



ASSEMBLEE PARLEMENTAIRE DE L'OTAN

# COMMISSION DE L'ÉCONOMIE ET DE LA SÉCURITÉ (ESC)

## L'AVENIR DE L'INDUSTRIE SPATIALE

### Rapport général

par **Jean-Marie BOCKEL** (France)  
Rapporteur général

173 ESC 18 F fin | Original : français | 17 novembre 2018

## TABLE DES MATIÈRES

I.	INTRODUCTION .....	1
II.	ÉVOLUTION DE LA DYNAMIQUE DE L'INDUSTRIE SPATIALE .....	2
III.	ÉTAT ACTUEL DU MARCHÉ COMMERCIAL DE L'ESPACE .....	5
	A. LES SATELLITES.....	6
	B. LES SERVICES DE LANCEMENT .....	7
	C. LES ÉQUIPEMENTS AU SOL.....	8
	D. FUTURS MARCHÉS POTENTIELS .....	9
IV.	L'OTAN ET L'INDUSTRIE SPATIALE COMMERCIALE.....	10
V.	POTENTIALITÉS.....	11
	A. AVANTAGES ÉCONOMIQUES.....	11
	B. COOPÉRATION ENTRE ÉTATS .....	12
VI.	DÉFIS À VENIR.....	13
	A. CYBERMENACES .....	13
	B. DÉBRIS.....	14
	C. TRAITÉS ET CADRES RÉGLEMENTAIRES .....	15
	D. LA CONCURRENCE ENTRE ÉTATS ET LA MILITARISATION DE L'ESPACE .....	16
	BIBLIOGRAPHIE .....	18

## I. INTRODUCTION

1. Voici 60 ans, l'Union soviétique lançait avec succès le premier satellite artificiel, Spoutnik I. Cet événement marquait le début de ce qu'on allait appeler la « course à l'espace », une période de concurrence directe intense, principalement entre les États-Unis et l'Union soviétique, pour la suprématie dans l'espace. L'exclusion initiale d'autres acteurs n'était pas surprenante en raison de l'ampleur du projet et du coût des efforts que les deux superpuissances étaient disposées à consentir. Rappelons par exemple que le programme Apollo de la NASA avait mobilisé plus de 400 000 personnes et coûté 110 milliards de dollars (chiffre ajusté à l'inflation) (Baicocchi et Wel, 2015). Qui plus est, les premiers programmes spatiaux impliquaient des risques démesurés, impliquant plusieurs décès et blessures aux entraînements et au cours des vols d'essai. Ces coûts dépassaient de loin ce que la plupart des pays étaient prêts à supporter et aucun individu ou entreprise privée n'aurait même envisagé de se lancer dans une telle aventure sans aides publiques.

2. Malgré ces coûts, les programmes spatiaux ont apporté des avantages stratégiques et économiques considérables. Il n'existe aucune étude définitive sur l'incidence technologique globale des programmes spatiaux, cependant les retombées commerciales des programmes spatiaux nationaux ont manifestement eu un impact majeur sur l'économie des États-Unis et sont inextricablement liées à la révolution numérique. Le programme spatial américain a contribué à favoriser un réseau d'entreprises capables d'exploiter commercialement des technologies émergentes. Aussi, la nécessité de progresser sur le plan informatique et de réduire toujours davantage la taille des composants électroniques de manière à permettre les vols spatiaux a-t-elle contribué à des avancées majeures dans toute une série de domaines, allant des ordinateurs aux matériaux évolués. Construits principalement par des gouvernements à des fins de surveillance et de reconnaissance militaires, les satellites ont finalement permis l'avènement des télécommunications mondiales et de la technologie GPS. Une étude sur les effets macroéconomiques du programme spatial américain indique que chaque dollar dépensé en R&D a généré en moyenne un peu plus de 7 dollars de recettes commerciales sur une période de 18 ans (Schnee, 2000).

3. Une fois de plus, le lien étroit entre projets spatiaux et efforts commerciaux réapparaît, faisant la une de l'actualité avec des annonces spectaculaires comme le programme *Moon* de la Chine et un certain nombre de projets sur Mars (conduits par des acteurs comme *SpaceX*, la NASA et l'Agence spatiale européenne). L'espace reste une zone capitale en termes de concurrence stratégique et économique entre États. Qui plus est la liste des États menant des programmes spatiaux nationaux s'est considérablement allongée. L'Europe mutualise ses capacités par le biais de l'agence spatiale européenne et depuis le traité de Lisbonne, elle bénéficie collectivement par le biais des programmes communautaires, tels que *Galileo* ou *Copernicus*, d'avantages liés à des économies d'échelle. La Chine, l'Inde, et le Japon sont désormais d'éminents acteurs et un certain nombre d'autres pays s'y impliquent également. Les programmes de coopération internationale créent de nouveaux liens, matérialisés sous forme de projets.

4. Les technologies liées à l'espace contribuent à stimuler cette expansion et jouent un rôle essentiel dans la cohérence d'une économie globale interconnectée qui ne pèse pas moins de 78 000 milliards de dollars (AP-OTAN, 2017). Parallèlement, elles permettent de mettre en œuvre des systèmes de dissuasion nucléaire, facilitent les opérations militaires terrestres, aériennes et maritimes et génèrent des avancées colossales sur le plan météorologique, celui de l'observation de la Terre, de la cartographie, de l'internet et des télécommunications. Si le tout premier paradigme de l'exploration spatiale consistait en une course à la prépondérance propre à la guerre froide, aujourd'hui, l'espace est devenu un important domaine de coopération internationale. À cet égard, la station spatiale internationale (ISS) représente le parfait exemple de la collaboration entre États et les exemples de missions communes, d'acquisitions internationales et de projets scientifiques conjoints ne manquent pas.

5. Parallèlement, l'espace demeure aussi un important théâtre de concurrence entre États, dont l'expression la plus typique se situe sans doute au niveau des missiles balistiques intercontinentaux, mais également dans des domaines tels que la défense antimissile, les télécommunications militaires, le commandement et le contrôle, la surveillance et la collecte de renseignements. Le gouvernement des États-Unis continue de consacrer plus de 40 milliards de dollars par an à l'espace, principalement répartis entre le Pentagone et la NASA. Les États membres de l'agence spatiale européenne lui allouent plus de 6 milliards de dollars par an, tandis que le budget qu'alloue la Russie aux projets spatiaux est estimé à 1,6 milliard de dollars (Agence spatiale européenne, 2016). Obtenir des chiffres précis concernant la Chine demeure un exercice précaire.

6. Une révolution est en cours pour ce qui est du financement, de l'exploration et de la commercialisation des activités spatiales. Aiguillonnés par des progrès technologiques majeurs et la promesse de percées technologiques et commerciales, de nouveaux acteurs, dont certains pays en développement, des entreprises privées et même des particuliers, jouent aujourd'hui dans une cour jadis réservée presque exclusivement aux grandes puissances. Ils modifient ainsi la dynamique de l'industrie spatiale et soulèvent d'importantes questions commerciales et stratégiques pour les décideurs politiques de tous les États membres de l'OTAN. Le présent rapport général explore le changement de paradigme que l'on désigne désormais sous le nom de « nouvel âge spatial » (*New Space*) et identifie les possibilités qu'il ouvre ainsi que les principaux défis auxquels les États membres sont confrontés dans la mesure où cette dimension critique de l'activité humaine est aujourd'hui en proie à une révolution sur plusieurs plans : technologie, potentialités, attentes et leadership.

## II. ÉVOLUTION DE LA DYNAMIQUE DE L'INDUSTRIE SPATIALE

7. L'une des caractéristiques du *New Space* réside dans le fait que les entreprises privées n'opèrent plus dans l'espace en tant que simples contractants des États, elles deviennent elles-mêmes des protagonistes de premier plan. Pour exemple notable, en 2018, *SpaceX* a lancé, 15 fusées dont une a placé en orbite un satellite de fabrication luxembourgeoise pour le compte de l'OTAN. L'entreprise a également envoyé une automobile Tesla dans l'espace, un coup de marketing destiné à annoncer qu'elle était prête à réinventer la manière dont les sociétés conçoivent l'espace (*SpaceX*, 2018). Pour la seule année 2017, *SpaceX* a lancé 18 fusées et récupéré 14 propulseurs réutilisables (*The Economist*, 2018). *Blue Origin* prévoit d'emmener les premiers touristes dans l'espace d'ici avril 2019 (Wattles, 2017). Qui plus est, d'autres sociétés commerciales s'attaquent en outre aux marchés européens et contraignent les acteurs traditionnels à redoubler d'efforts. L'Europe, quant à elle, prend de l'envergure au niveau spatial et les entreprises européennes rivalisent désormais avec leurs concurrentes dans toute une série de technologies, ce qui contribue à nourrir ses ambitions. Parallèlement, les programmes spatiaux de certains pays en développement enregistrent des progrès significatifs. Aujourd'hui, la Chine consacre sans doute plus à l'espace que la Fédération de Russie (Clark, 2016). Plus de 60 États possèdent et exploitent actuellement des satellites. La mondialisation et la diversification du marché de l'espace progressent plus vite que jamais (OCDE, 2016).

8. Les investisseurs considèrent généralement que les opportunités commerciales liées à l'espace sont « très risquées, très coûteuses et [caractérisées par] de longs délais de paiements » (Wakimoto, 2018). En 2011, la NASA estimait à 450 millions de dollars le coût moyen d'une mission avec équipage d'une navette spatiale, et à 420 millions de dollars celui du lancement d'une fusée sans équipage (Bray, 2017). Quant au coût en termes d'assurances, il peut atteindre 800 millions de dollars (Basak, 2016). Il s'agit là toutefois d'une estimation haute du marché annuel de l'assurance, celle-ci représentant en moyenne environ 10% du coût d'un lancement. Les perspectives d'importants bénéfices sont longtemps apparues comme limitées, sans parler du coût financier et du préjudice potentiellement catastrophique pour la réputation résultant de l'échec d'un lancement. Jusqu'en 1982, les autorités américaines étaient responsables du lancement de toutes les charges utiles civiles et commerciales au sein de leurs frontières. Les lanceurs étaient

uniquement fabriqués sous contrats gouvernementaux, le processus d'appel d'offres ayant tendance à être non concurrentiel, en raison de la préférence accordée par le gouvernement (des États-Unis) vers un nombre limité de géants de l'industrie aérospatiale et à la nécessité d'assurer avant tout la sécurité de l'offre plutôt que la rentabilité (Berger, 2017).

9. Plusieurs changements majeurs ont cependant très fortement atténué les obstacles entravant l'accès au domaine spatial et accru l'intérêt du secteur privé pour ce dernier. Il y a d'abord eu l'amélioration graduelle des pratiques managériales et la nette diminution du coût et de la taille de la technologie qui réduisent de manière spectaculaire le coût d'un lancement et de la charge utile. *SpaceX* a expressément conçu ses fusées *Falcon* par exemple en vue de maximiser la standardisation, réduisant ainsi de manière drastique le nombre de processus et d'outils nécessaires avant un lancement, ainsi que le coût unitaire de composants essentiels. Par ailleurs, les progrès enregistrés au niveau de la conception des moteurs de fusées ont permis de diminuer l'instabilité de la combustion, de même que le coût des matériaux (Chaikin, 2012). La révolution numérique et la miniaturisation accroissent l'importance des technologies satellitaires critiques, tout en réduisant la taille et le poids des composants, ce qui comprime les coûts de lancement.

10. Sous l'effet de ces changements, l'industrie spatiale commence à produire un impact plus profond sur l'économie en général. Des satellites de télécommunications toujours plus petits jouent désormais un rôle pivot dans la stratégie des entreprises, en offrant des solutions spatiales à des problèmes intrinsèquement terrestres (OCDE, 2016). Comme les économies liées à ces progrès augmentent, les entreprises sont davantage incitées à tirer parti des systèmes spatiaux existants et à développer des capacités nouvelles pour un éventail toujours plus diversifié de marchés commerciaux.

11. Les fusées réutilisables se rangent parmi les progrès les plus prometteurs sous réserve de parvenir à maîtriser les coûts de remise en état, très élevés à ce jour. Cette avancée réduit considérablement les coûts puisqu'un même lanceur peut être utilisé à plusieurs reprises. En 2010, *SpaceX* a placé en orbite une charge utile, avec retour sur terre de son lanceur pour réutilisation ultérieure. Elle est ainsi devenue la première entité non gouvernementale à réaliser une telle prouesse. En 2015, elle récupérait le premier étage d'une de ses fusées (Kluger, 2018). En 2017, elle procédait au lancement d'une des plus puissantes fusées de l'histoire et récupérait ses deux étages extérieurs, qui pourront donc être redéployés pour d'autres missions (Hern, 2018). En 2015, *Blue Origin*, une autre société privée, a conçu et lancé une fusée suborbitale réutilisable, ce qui contribuera à une forte réduction des coûts de production de l'entreprise (Kim et Orwig, 2017).

12. Traditionnellement, le soutien des autorités publiques constitue un moteur essentiel de l'évolution technologique liée à l'industrie spatiale. Aux États-Unis par exemple, des entreprises privées ont depuis longtemps accès aux archives techniques de l'agence spatiale nationale. Elles ont également bénéficié de détachements d'experts de la NASA. Ces conditions favorables ont aidé ces entreprises à enregistrer des progrès technologiques qui ont nécessité des décennies de travail et coûté des milliards de dollars en financement public (Chaikin, 2012). La coopération entre les scientifiques du secteur public et le secteur privé permet des progrès impressionnants sur toute une série de composants critiques, tels que les isolateurs thermiques, ce qui en retour, aboutit à d'importantes applications commerciales (Werner, 2015). De plus, les autorités jouent un rôle financier motivant en soutenant l'industrie spatiale via un système de bourses de recherche, de contrats et d'autres accords avec le secteur privé. Même lorsque son utilité a été démontrée, une technologie peut nécessiter un soutien public direct ou indirect considérable avant de devenir un élément ou une plateforme commercialisable. Les coûts d'investissements peuvent être colossaux et souvent, les risques demeurent trop élevés à supporter pour une seule entreprise (OCDE, 2016). *United Launch Alliance*, un programme conjoint entre Boeing et Lockheed Martin, bénéficie par exemple d'une allocation annuelle de quelque 800 millions de dollars de l'armée américaine, par le biais d'un contrat de capacité de lancement (Gruss, 2016).

13. Aux États-Unis, on constate cependant une philosophie bien ancrée de prise de risques liée à la culture entrepreneuriale et d'autres options financières apparaissent. Les « investisseurs providentiels » ont joué un rôle essentiel dans l'essor de l'économie numérique. Les sociétés d'investissement acceptant de prendre des risques ont injecté des milliards dans des startups ayant de brillantes idées et des ingénieurs de talent, sans avoir les capitaux suffisants. La réussite de ce modèle est bien connue et a profité dans certains cas au marché spatial. Cela n'est pas surprenant lorsqu'on sait que la révolution numérique est l'une des caractéristiques essentielles du paradigme du *New Space*. Quoi qu'il en soit, ceux qui, aux États-Unis, repoussent les frontières technologiques et commerciales de l'espace disposent d'un plus grand choix d'options financières qu'en Europe ou au Japon par exemple. Il est par conséquent honnête de dire que différents modèles nationaux sont en jeu dans ce secteur en rapide évolution.

14. Les révolutions au niveau de la gestion constituent un autre élément à prendre en compte. Stimulées par la concurrence, les grandes entreprises réduisent leurs coûts de fabrication et accélèrent leurs chaînes de production en comprimant leurs chaînes d'approvisionnement, en recourant à la robotique et aux technologies d'impression numérique, voire même en produisant en interne des composants essentiels. L'*ArianeGroup* en Europe utilise par exemple des imprimantes numériques pour produire ses propres composants critiques en titane et réalise ainsi d'énormes économies ([Visite de l'AP-OTAN à Toulouse, octobre 2018](#)). *SpaceX* fabrique et assemble également plus de 70% de ses lanceurs pour réduire sa dépendance envers un fournisseur unique (*SpaceX*, 2013). Des composants de série peuvent jouer un rôle critique dans la diminution des coûts. *SpaceX* affirme qu'elle parvient à économiser entre 45 000 et 95 000 dollars pour une seule radio que les autres entreprises aérospatiales paieraient au prix fort (Koebler, 2015). *Blue Origin* a récemment présenté sa propre usine de fabrication de fusées, qui assurera la conception et la reconstruction de ses fusées réutilisables (Kim et Orwig). *Virgin Galactic* a mis sur pied une équipe à intégration verticale, capable de produire et de tester en interne de nombreux composants de fusée (Foust, 2015). Pour les nouveaux arrivants sur le marché, l'expertise est de plus en plus concentrée au sein de chaque entreprise, plutôt que répartie entre de nombreux fournisseurs et sous-traitants externes. Toutes ces entreprises rationalisent de manières nouvelles et novatrices les processus de conception, d'essai et d'amélioration des produits. Une gestion innovante et de nouvelles approches sont essentielles pour compresser les coûts de cette industrie en pleine expansion.

15. Ces réductions de coûts sont d'autant plus cruciales que la concurrence ne cesse d'augmenter. Pendant longtemps, les largesses des autorités publiques ont contribué à préserver l'industrie spatiale commerciale des pressions classiques du marché. Le programme spatial étant au départ motivé par des considérations de sécurité nationale et de prestige, le gouvernement américain a adopté des lois qui limitaient la possibilité pour des entreprises étrangères de travailler (sur ce type de projet) aux États-Unis. Le marché n'a donc pas connu le type de dynamisme qu'encourage généralement la concurrence commerciale. Aujourd'hui, certaines de ces pratiques, dont beaucoup s'expliquent par des préoccupations liées à la sécurité, se perpétuent (Zelnio, 2006). C'est ainsi par exemple que la réglementation américaine sur le trafic d'armes au niveau international (ITAR) impose des règles restrictives au commerce des technologies, ce qui a contribué à inciter les fabricants européens à développer leurs propres technologies pour échapper à ces contrôles de leurs exportations imposés par les États-Unis (Hauser and Walter-Range, 2008). Le mandat très étendu de l'ITAR, sa portée extraterritoriale et le processus lent et imprévisible qui la caractérise ont entraîné presque paradoxalement la prolifération, par des entreprises spatiales non américaines, de nouvelles technologies qui leur sont propres et qui repoussent encore un peu plus les limites de la conquête de l'espace.

16. Aux États-Unis, de grands groupes comme *Lockheed Martin* et *Boeing* ont surmonté cet obstacle en concluant des contrats exclusifs avec le secteur public, qui n'a guère eu d'autre choix, avec pour résultat l'exclusion du marché de leurs plus petits concurrents. C'est ainsi que la politique gouvernementale a contribué à la création d'oligopoles, éliminant dès lors tous stimuli à l'innovation et à la réduction des coûts.

17. En 2014 cependant, le département d'État a décidé que la plupart des satellites commerciaux, civils et scientifiques et les équipements y afférents relèveraient désormais de la « liste de contrôle du commerce » (CCL) du département du commerce, facilitant ainsi l'accès au marché international pour les entreprises privées de l'industrie spatiale américaine. L'ITAR continue certes à restreindre de nombreux aspects de l'industrie spatiale mais cette décision a représenté une étape importante vers l'assouplissement des restrictions pesant sur le marché.

18. Des procès, des changements de politique et une plus grande prise de conscience des conséquences économiques engendrées par les règles de l'ITAR ont conduit à réouvrir le débat aux États-Unis et ailleurs. De nouvelles politiques ont encouragé la concurrence et contribué à ouvrir le marché commercial à d'autres acteurs. Cette concurrence a, à son tour, incité l'industrie à fabriquer des produits toujours moins chers et plus performants. En 2006, la NASA a cessé d'utiliser des fusées gouvernementales pour approvisionner la Station spatiale internationale et s'est tournée vers le secteur privé (Grush, 2017). Une analyse ultérieure de cette décision a montré que la NASA dépensait quelque 89 000 dollars par kilo de fret, alors que le même service aurait coûté 135 000 dollars/kilo s'il avait été fourni par un géant traditionnel de l'industrie aérospatiale et 272 000 dollars/kilo s'il était contracté auprès d'un service public. Cette analyse a également calculé le coût d'une rotation d'équipage de la Station spatiale internationale assurée par une startup, comparé à la même opération effectuée par un géant de l'industrie spatiale : 405 millions de dollars dans le premier cas ; 654 millions de dollars dans le second (Zapata, 2017). Selon certains analystes, *SpaceX* facture 4 653 dollars/kilo pour la mise en orbite d'un satellite de télécommunication, tandis que les entreprises aérospatiales traditionnelles demandent de 14 000 à 39 000 dollars/kilo (Routh, 2017). Cela entraîne un profond bouleversement pour l'industrie, avec des conséquences commerciales, scientifiques et même de sécurité militaire à long terme. La chute des prix varie en fonction du changement des réglementations, des innovations sur le plan de la gestion, de la concurrence et d'innovations techniques essentielles.

19. Ces progrès suscitent en outre un vif intérêt parmi les passionnés de l'espace et certains entrepreneurs qui disposent de ressources financières confortables. Motivé par son intérêt personnel pour l'espace et sa conviction de pouvoir drastiquement abaisser les coûts, Elon Musk, l'entrepreneur américain qui a fait fortune après avoir vendu sa société *Paypal*, a fondé *SpaceX* grâce à un investissement de 100 millions de dollars provenant principalement de sa poche (Tilley, 2016). Depuis la création de *Blue Origin*, Jeff Bezos, le fondateur d'*Amazon*, a vendu un milliard de dollars d'actions par an pour pouvoir financer sa société aérospatiale (St. Fleur, 2017). Ces entrepreneurs, qui manifestent un intérêt personnel pour la question, pensent être en mesure de repousser les limites de la conquête spatiale tout en identifiant des projets potentiellement générateurs de profit à long terme. Leur fortune personnelle leur permet d'élargir l'horizon des investissements sur ce marché, certes en pleine mutation mais qui demeure coûteux et risqué.

### III. ÉTAT ACTUEL DU MARCHÉ COMMERCIAL DE L'ESPACE

20. En dépit d'une tendance à se concentrer sur les grands acteurs de l'industrie spatiale américaine, l'Europe joue désormais un rôle majeur dans ce domaine. La société française *Arianespace* par exemple est pionnière sur le marché des services de lancement. Des constructeurs et des opérateurs de satellites européens comme *Airbus DS*, *Thales Alenia Space*, *OHB*, *Eutelsat*, *SES* se classent aux premiers rangs à l'échelle mondiale. Le gouvernement des États-Unis consacre néanmoins beaucoup plus d'argent que les autres sur les activités spatiales. En 2014 par exemple, le budget spatial institutionnel des États-Unis dépassait les 4 milliards de dollars, soit bien plus que le budget de n'importe quel autre pays (OCDE, 2014). Leur secteur spatial commercial est stimulé par l'innovation, la prise de risques et une structure financière qui encourage cette dernière et cherche à en recueillir les fruits.

21. L'industrie spatiale commerciale acquiert toutefois une dimension de plus en plus globale au point que la traditionnelle suprématie américaine est aujourd'hui remise en question. Désormais, des entreprises européennes par exemple contrôlent environ 40% du marché mondial de la fabrication, du lancement et de l'exploitation des satellites (Commission européenne, 2009). Bien que pénalisée depuis peu en raison de lancements ratés et de l'apparition d'alternatives moins onéreuses, l'agence spatiale russe *Roscosmos* fournissait encore en 2014 des composants pour fusées à la NASA (Wright, 2014). *Virgin Galactic*, une entreprise fondée par l'investisseur britannique Richard Branson, consacre quant à elle des ressources substantielles à la mise au point d'un vaisseau spatial qui opérerait des vols suborbitaux commerciaux.

22. Malgré son évolution accélérée, l'industrie de l'espace telle qu'elle se présente aujourd'hui s'organise en trois grands secteurs : les satellites, les services de lancement et les équipements au sol. Dans le chapitre qui suit, nous examinons l'environnement propre à chacun de ces secteurs et leurs perspectives de développement.

## A. LES SATELLITES

23. Les satellites constituent le secteur le plus développé de l'industrie spatiale, en raison de leur place dans l'architecture de l'économie mondiale. De 2012 à 2017, le nombre de satellites en orbite est passé de 994 à 1 459. Ce nombre devrait atteindre 7 000 d'ici quelques années ([Visite de l'AP-OTAN à Toulouse, octobre 2018](#)). Les revenus de ce secteur sont passés de 113,5 à 127,7 milliards de dollars (*Bryce Space & Technology*, 2017). Les activités satellitaires peuvent remplir un nombre inimaginable de fonctions, mais le secteur est structuré autour de deux pôles essentiellement : la fabrication et les services. La conception, le déploiement et la maintenance de ces systèmes sont des tâches extrêmement complexes et coûteuses, mais qui peuvent générer des profits considérables. Le savoir-faire a des retombées non négligeables dans d'autres secteurs commerciaux que ceux directement impliqués dans la construction de satellites. La ville de Toulouse, en France, représente un cas typique. Son économie florissante repose non seulement sur son importante industrie satellitaire, mais également sur les retombées de ce secteur, qui contribue au lancement d'industries de toutes sortes, allant des services numériques à l'ingénierie de matériaux.

24. Alors que gouvernements et entreprises du monde entier comptent de plus en plus sur les satellites, la fabrication de ces derniers reste plus ou moins aux mains d'une poignée de sociétés qui possèdent une main-d'œuvre qualifiée, une envergure, des capacités techniques et les ressources financières nécessaires pour produire des systèmes fiables et complexes. Parmi ces compagnies figurent *Thales Alenia Space*, *Airbus DS* et *OHB* en Europe, ainsi que plusieurs sociétés américaines telles que *Maxar Technology*, anciennement *SSL*, *Boeing*, *Lockheed Martin* et *Orbital ATK*. Comme le montre cette liste, les États-Unis sont les principaux fabricants de ces systèmes, suivis par l'Europe et la Russie (Canis, 2016). En 2016, des organismes gouvernementaux ont fait l'acquisition de 382 satellites, soit près des trois quarts de tous ceux qui ont été lancés. La fabrication de satellites est donc pour une grande part alimentée par la demande des autorités publiques, mais celle-ci peut varier considérablement au fil du temps. En 2016 par exemple, les revenus commerciaux annuels ont reculé de 13,1%, notamment parce que plusieurs clients publics et privés étaient parvenus à la fin du « cycle de remplacement » de leurs satellites (ce cycle désignant la période au cours de laquelle un satellite actif doit être remplacé) (*Bryce Space & Technology*, 2017). Selon certains analystes, le marché pâtirait d'une surcapacité importante ainsi que du report de décisions d'investissement sur le marché des satellites GTO (orbite de transfert géostationnaire) classiques. La demande commerciale devrait contribuer à réduire la dépendance envers les États clients et à remplir les carnets de commandes.

25. Les satellites sont très onéreux, mais leur coût diminue avec l'arrivée des satellites miniaturisés, les « mini-sats » dont le poids est inférieur à 500 kilos et les « nano-sats », dont le poids ne dépasse parfois pas 3,5 kilos. Ces petits satellites peuvent effectuer certaines tâches autrefois confiées uniquement à de plus gros modèles. Les progrès rapides de l'électronique grand



public transforment la technologie des satellites, et contribuent à en réduire le coût et la taille. La baisse des prix et l'amélioration des performances entraînent une diminution du coût de production des satellites complexes. Le fabricant américain de petits satellites *Orbital Sciences* affirmait il y a quelques années que ses coûts de production et de lancement allaient de 150 000 à 1 million de dollars, alors qu'ils oscillent entre 200 millions et 1 milliard de dollars pour de plus gros satellites présentant des fonctionnalités similaires (*The Economist*, 2014). Le fabricant britannique SSTL, leader mondial en petits satellites, offre des solutions d'entrée de gamme à moins d'un million de dollars. Les satellites de masse supérieure offrent des fonctionnalités supérieures à celles des petits satellites. Le programme satellitaire *Airbus-OneWeb* prévoit le lancement de 900 microsatsellites qui fourniront collectivement un accès internet abordable au monde entier. Les premiers microsatsellites sont déployés en 2018. Il s'agit d'un projet transatlantique très ambitieux, qui exige des chaînes de production très rapides reposant sur la robotique. Ce projet est source d'innovation dans ce dernier domaine. *Space X* prévoit également le lancement à terme de milliers de petits satellites pour soutenir l'internet mondial (Wattles, 2018). Ces innovations génèreraient une augmentation de 11% du chiffre d'affaires de l'industrie de l'imagerie terrestre (Klotz, 2017). Selon certaines estimations, les charges utiles d'un poids moyen de 13,1 kilos ont représenté un quart des mises en orbite en 2016.

26. Selon l'OCDE, en 2013, les 25 plus grands acteurs des services fixes par satellites dont l'architecture s'appuie sur des terminaux au sol ont réalisé un chiffre d'affaires de 12 milliards de dollars. Les cinq premiers acteurs de ce marché spécialisé s'adjugeaient 70% de ce montant, mais leur part a diminué sous l'effet d'une intensification de la concurrence de nouveaux acteurs (OCDE, 2014). Entretemps, on évalue à 92 milliards de dollars le marché de la diffusion satellitaire. En 2017, la télévision satellitaire représentait presque un tiers de l'activité commerciale liée à l'espace (Canis, 2016).

27. Les services satellitaires vont bien au-delà des télécommunications. Les startups d'observation de la Terre ont recueilli 96 milliards de dollars en 2017. Ce secteur évolue rapidement allant de la collecte d'images sur la terre entière à la transformation de données en renseignements pratiques. L'analyse des données devrait générer de considérables revenus pour le secteur dans les prochaines années (Komissarov). Ces informations servent notamment au suivi des tendances dans le domaine agricole, à la prévention des catastrophes, au suivi des migrations de masse, à la navigation, mais aussi pour détecter des actes de piraterie et d'autres activités criminelles, dont les délits environnementaux. Les satellites de surveillance atmosphérique suivent les phénomènes climatiques et les prévisions météorologiques quotidiennes et aident à prédire sécheresses et inondations. Les satellites liés au transport fournissent des services de géolocalisation aux consommateurs, aux véhicules de livraison comme ceux de FedEx et aux services de covoiturage comme ceux d'Uber (Canis, 2016). Des services du même genre ont bien sûr d'importantes applications militaires et les forces de sécurité nationales ainsi que les agences de renseignement qui restent tous des clients majeurs dans ce secteur. Rappelons qu'au départ, la constellation GPS était un système militaire et que le programme *Galileo* aura une dimension militaire classifiée pour les membres de l'UE uniquement.

## **B. LES SERVICES DE LANCEMENT**

28. Le secteur du lancement est peut-être moins un vecteur de l'industrie spatiale qu'un moteur pour d'autres activités. Si l'industrie exige des composants électroniques sophistiqués et des systèmes bien conçus, elle doit aussi placer ces équipements en orbite, ce qui, en soi, pose nombre de défis technologiques et financiers. En 2017, les États-Unis, la Chine, la Russie, l'Union européenne, l'Inde, le Japon, Israël, le Brésil et la Corée du Nord ont procédé à 90 lancements. 64 d'entre eux étaient d'origine commerciale, 13 ne l'étaient pas et 13 impliquaient des véhicules spatiaux (Bryce Space and Technology, 2018). De 2004 à 2014, d'après certaines estimations, des entreprises privées auraient placé quelque 817 satellites en orbite, dont 41% étaient destinés aux télécommunications et 21% à l'observation terrestre (Euroconsult, 2015).

29. La valeur du secteur des lancements commerciaux est estimée à 5,4 milliards de dollars ; en 2015, des clients ont acheté des services de lancement pour 2,6 milliards de dollars (Canis, 2016). Si le nombre de lancements varie dans le temps, la plupart des experts s'accordent à dire que le taux d'activité et la rentabilité du secteur devraient globalement augmenter. La diminution des barrières entravant l'accès à l'espace devrait stimuler davantage encore cette croissance et il semble que la sphère des programmes commerciaux ne cesse de s'élargir, contrairement à celle des programmes gouvernementaux. En 2015, des entreprises américaines ont procédé à huit lancements commerciaux (Dillingham, 2016). De 2013 à 2018, la part de *SpaceX* dans le marché mondial est passée de 5 à plus de 60%, tandis que la part de *Roscosmos*, l'agence spatiale russe, reculait de 50% à 5% seulement (Hughes, 2017). Des installations gérées par les instances publiques, telles que le centre spatial Kennedy en Floride ou le centre spatial CSG (centre spatial guyanais de Kourou), servent traditionnellement de sites de lancement aux entités commerciales dans des conditions économiques très différentes. *SpaceX* utilise quasi gratuitement les installations de la NASA, ce qui n'est pas le cas pour Ariane au CSG, qui demande environ 20 millions d'euros par lancement. Rien qu'aux États-Unis, il existe 19 sites de lancement en activité disposant d'une licence officielle, dont 10 sont exploités par des États en partenariat avec le secteur privé. Trois autres sites ne disposant pas d'une licence existent parce qu'ils appartiennent aux entreprises qui les exploitent et utilisent exclusivement leurs propres véhicules (*Federal Aviation Administration*, 2017).

30. Comme nous l'avons déjà signalé, les nouveaux arrivants sur le marché et le perfectionnement de la technologie des fusées sont à l'origine d'un grand nombre de ces transformations. Les fusées réutilisables, une innovation récente testée avec succès par *SpaceX* en 2018, représentent un progrès particulièrement prometteur qui réduira davantage les coûts et le délai de rotation entre les lancements. Toutefois, ce choix de production réduisant le nombre de fusées produites implique une augmentation du prix unitaire de production. On ignore pour l'heure quand cette technologie sera intégrée aux services réguliers du secteur.

31. L'un des facteurs limitatifs potentiels pour l'industrie du lancement est la mesure dans laquelle le secteur est « accaparé » par les entreprises bien établies. Comme le constate l'Administration fédérale de l'aviation (FAA) américaine dans son évaluation du secteur en 2018, la plupart des opérateurs de satellites ont signé avec leurs fournisseurs de services de lancement des accords exclusifs leur interdisant de se tourner vers d'autres prestataires (*Federal Aviation Administration*, 2018). Une telle clause d'exclusivité pourrait limiter les économies potentielles, dans la mesure où elle restreint la concurrence, ce qui entraîne inévitablement des prix plus élevés que nécessaire.

### C. LES ÉQUIPEMENTS AU SOL

32. Les équipements au sol constituent le dernier composant notable de l'industrie spatiale. Il s'agit des infrastructures terrestres qui redirigent les informations transmises par les satellites vers les émetteurs et les destinataires adéquats. Ces infrastructures incluent des antennes permettant la transmission et la réception de différents signaux, pour la radio et la télévision satellitaires notamment. S'ajoutent à cela les terminaux des utilisateurs, tels que les paraboles pour la télévision, les grandes antennes paraboliques des entreprises et les systèmes de comptabilisation et de distribution des données, qui identifient et corrigent les erreurs de transmission. Ces systèmes tendent à être fortement automatisés et n'ont que rarement besoin d'une intervention humaine (Canis, 2016).

33. Avec 119,8 milliards de dollars de revenus sur 248 milliards pour l'ensemble de l'industrie, les services au sol ne représentent pas moins de 34% du chiffre d'affaires du secteur spatial. Leur principal segment, les équipements grand public incluant les systèmes mondiaux de navigation (GNSS), a représenté 108 milliards sur ces 119,8 milliards de dollars (The Space Industry Association, 2018). Les systèmes GNSS regroupent des petits produits grand public, tels que des appareils autonomes de navigation ou des puces de détection de position dans les téléphones mobiles, ainsi que des systèmes plus compliqués et de plus grande taille, pour le contrôle du trafic

notamment, ou des circuits avioniques d'aéronefs et des réseaux pour le commerce maritime. Un montant de 18,5 milliards de dollars supplémentaires est consacré aux équipements grand public non-GNSS, tels que télévision et radio satellitaires et terminaux à haut débit, tandis que les 10 milliards de dollars restants échoient aux équipements de réseaux, pour la collecte de reportages satellitaires notamment (*Bryce Space & Technology*, 2017). La croissance du secteur résulte du besoin croissant en puces GNSS pour les smartphones et d'autres produits grand public. En conséquence, de 2012 à 2016, le chiffre d'affaires généré par les seuls équipements GNSS est passé de 52,7 à 84,6 milliards de dollars (Al-Ekabi, 2017).

#### D. FUTURS MARCHÉS POTENTIELS

34. Les médias consacrent une énergie folle et d'innombrables articles à explorer les plans ambitieux des nouvelles compagnies spatiales et de leurs dirigeants. Elon Musk, le CEO de *SpaceX*, et Jeff Bezos, le propriétaire de *Blue Origin*, attirent largement l'attention et utilisent leur fortune personnelle pour développer ces sociétés ambitieuses. Comme celles-ci sont quelque peu à l'écart des exigences immédiates des actionnaires, elles sont bien placées pour se concentrer sur des projets de long terme, comme les missions vers la Lune ou sur Mars, l'exploitation minière des astéroïdes et le tourisme spatial, de même que sur des activités plus immédiates, comme la production de moteurs de fusée et de lanceurs.

35. Le tourisme spatial n'est pas un concept nouveau ; on en parlait déjà avant l'avènement de l'ère spatiale. Mais depuis quelques années, ce concept est devenu nettement moins abstrait. Depuis 2001, de courts vols orbitaux sont proposés par des sociétés privées, à des tarifs pouvant atteindre 20 millions de dollars (Carrington, 2013). En 2017, *SpaceX* a annoncé la réservation par deux particuliers pour un voyage autour de la Lune en 2018 (*SpaceX*, 2017), mais en février de cette année, Elon Musk a décidé de reporter ce voyage jusqu'à ce que la nouvelle fusée *Big Falcon* soit disponible (Clark, 2018). D'autres entreprises comme *Blue Origin* et *Virgin Galactic* consacrent elles aussi d'importants efforts au tourisme spatial, la société *Blue Origin* de Jeff Bezos prévoyant d'offrir un tel service à partir de 2019 (Clark, 2018). L'agence spatiale russe a organisé le vol payant de sept clients dans l'espace contre paiement.

36. La durabilité de ces efforts reste à voir en raison du caractère incertain de la demande, de la possibilité d'un échec entraînant une responsabilité éventuelle et qui serait catastrophique, ainsi que des investissements colossaux qu'exige un transport de civils dans l'espace. Cela devrait donc rester, au mieux, un marché spécialisé (*niche market*) réservé à des personnes extrêmement fortunées. Les petits vols spatiaux tels ceux envisagés par *SpaceX* semblent plus probables et réalisables qu'un séjour de longue durée dans l'espace, en raison de l'absence d'infrastructures nécessaires et des coûts élevés qu'il implique. L'office gouvernemental des comptes des États-Unis ne pense pas qu'une entreprise commerciale sera accréditée pour l'envoi de véritables astronautes dans l'espace avant 2019, ce qui permet de penser qu'un secteur durable des voyages civils dans l'espace n'est pas pour demain (*Government Accountability Office*, 2017).

37. Une seconde entreprise commerciale souvent évoquée est l'extraction et la récupération de ressources naturelles en dehors de l'orbite terrestre. L'univers est riche en ressources de ce genre qui, en théorie, ne demandent qu'à être exploitées. Les astéroïdes par exemple peuvent contenir du nickel, du platine, du fer et du cobalt. La NASA estime à 700 trillions de dollars la valeur de la ceinture d'astéroïdes (qui en compte plus d'un million) entre Mars et Jupiter (Desjardins, 2016). Plusieurs atterrissages sur des astéroïdes de grande taille ont déjà été entrepris pour démontrer la faisabilité technique d'une telle entreprise, mais la structure actuelle des coûts ne semble pas justifier des efforts majeurs dans ce domaine, du moins pour le moment. D'après le *Keck Institute for Space Studies* de l'Institut de technologie de Californie, la capture d'un astéroïde de 500 000 kg coûterait quelque 2,6 milliards de dollars et exigerait d'importantes avancées en matière de systèmes de propulsion et d'observation au sol, ainsi qu'une présence humaine en orbite lunaire (*Keck Institute for Space Studies*, 2012). En raison de ces exigences, l'entreprise semble irréalisable avant plusieurs décennies. Toute récupération de ressources naturelles impliquerait aussi probablement

un remaniement des traités internationaux, comme le traité sur l'espace extra-atmosphérique, qui interdisent aux États de revendiquer des corps célestes.

#### IV. L'OTAN ET L'INDUSTRIE SPATIALE COMMERCIALE

38. Comme le constate l'Alliance dans son Concept stratégique en 2010, le maintien d'un accès sans entrave à l'espace est une priorité majeure pour l'OTAN et ses membres. Qui plus est, tous les membres dépendent du vaste réseau de ressources spatiales partagées pour la dissuasion, les communications stratégiques et la navigation. Et comme le souligne l'AP-OTAN dans son rapport d'octobre 2017, [Domaine spatial et défense alliée](#) [162 DSCFC 17 F rév. 1 fin], l'OTAN doit « se doter d'une approche globale qui lui permette de protéger ses intérêts dans l'espace, de manière à renforcer sa résilience et à dissuader d'éventuelles menaces à l'encontre de ses capacités spatiales » (AP-OTAN, 2017).

39. L'OTAN ne semble pas se concentrer pour l'instant sur le domaine spatial, même si celui-ci demeure important notamment pour le renseignement et la surveillance, ainsi que pour la défense antimissile. Il existe actuellement six affectations seulement désignées par l'OTAN comme opérations spatiales dans six départements différents. Après avoir constaté le soutien qu'apportent les ressources spatiales aux missions de l'Alliance, surtout au niveau de la Force internationale d'assistance à la sécurité (FIAS) qu'elle dirige depuis 12 ans en Afghanistan, l'OTAN a créé un groupe de travail pour le soutien des opérations spatiales (*Bi-Strategic Command Space Working Group*) en 2012. L'une des recommandations essentielles, parmi les plus ambitieuses pour améliorer les capacités spatiales de l'Alliance, est la proposition de créer un centre d'excellence pour les opérations spatiales, afin d'« offrir une expertise et une expérience reconnues au bénéfice de l'Alliance » (OTAN, 2018). Lors du sommet de Bruxelles de 2018, la décision a été prise d'élaborer une politique spatiale commune pour l'OTAN, mais le calendrier de ce projet n'a pas encore été fixé.

40. L'émergence de nouveaux acteurs sur le marché de l'espace et la prolifération des programmes spatiaux nationaux sont susceptibles d'accroître l'importance de ces capacités. Alors que des membres de l'OTAN comme les États-Unis, la France, l'Allemagne et le Royaume-Uni représentent des leaders mondiaux dans le domaine spatial et que des pays comme le Canada et le Luxembourg jouent des rôles importants, bien que plus modestes, un nombre croissant de pays qui n'étaient pas des acteurs traditionnels développent des capacités nouvelles. L'OTAN est ainsi confrontée à un défi concurrentiel dans le domaine spatial. En 2017, pas moins de six pays ont pour la première fois placé des satellites en orbite terrestre. Et la Chine accroît rapidement ses capacités. Bien que la défaillance récente d'une fusée ait provoqué un ralentissement certain, la Chine reste alignée sur son programme de lancement d'un premier module destiné à sa propre station spatiale en 2019 (Jones, 2018). Ne disposant que d'une technologie relativement peu sophistiquée, la Corée du Nord est aussi devenue une actrice sur la scène spatiale, en raison notamment de ses ambitions militaires. Elle semble désormais intéressée par le lancement de satellites supplémentaires et a placé en orbite un satellite d'observation terrestre, Kwangmyongsong-4, en février 2016 (Panda, 2018). Le programme de missiles de l'Iran suscite également des préoccupations majeures et constitue la principale raison pour laquelle l'OTAN a opté pour la mise en place d'un bouclier antimissile balistique limité. Alors qu'une série de nouveaux pays entrent en scène, les membres de l'OTAN devront s'appuyer sur leur capacité d'innovation pour conserver leur avantage concurrentiel.

41. Les acteurs privés pourraient représenter à la fois des défis et des potentialités en termes de sécurité. En mars 2018, une entreprise californienne a été accusée de lancer des satellites sans l'approbation des autorités. Les responsables redoutent que ces satellites « représentent un risque inacceptable de collision pour d'autres engins spatiaux » (Dvorsky, 2018). Après le lancement dans l'espace par une entreprise néo-zélandaise d'une grande « boule disco » en janvier 2018, des astronomes se sont plaints de l'éclat du satellite, qui peut interférer avec l'observation et l'étude de l'espace (Griffin, 2018). La diminution des obstacles pour accéder à l'espace pourrait en outre

engendrer des problèmes de négligence et d'abus et finir par ouvrir le domaine spatial à des acteurs malveillants, tels que des pirates informatiques ou des organisations terroristes. Les planificateurs occidentaux, déjà préoccupés par les programmes antisatellites chinois et russes, doivent désormais au moins prendre en compte la possibilité que ces défis se multiplient et que de nouveaux pays se lancent dans des programmes spatiaux orbitaux.

42. Au-delà de la sécurité, les systèmes spatiaux représentent un élément de plus en plus important des régimes économiques et de gouvernance nationaux et internationaux, dans toute une série de secteurs allant des télécommunications à la surveillance de l'environnement. Si l'OTAN est une organisation principalement politique et militaire, la prospérité de ses membres dépend de plus en plus d'un accès sans entrave à l'espace et de sa capacité à assurer la sécurité et donc, de la survivabilité des moyens spatiaux. L'Alliance a tout intérêt à préserver cette capacité économique tout en dissuadant toute menace pouvant s'appuyer sur l'utilisation du domaine spatial. Au niveau technologique, la conception des satellites militaires inclut de plus en plus d'éléments d'autodéfense pour faire face à des menaces potentielles pour leur intégrité.

43. La puissance aérienne interarmées (JAP) de l'OTAN demeure très dépendante des capacités nationales des États membres qui sont basées dans l'espace en soutien des domaines aérien, maritime, terrestre et cybernétique. L'OTAN ne possède ni ne contrôle de ressources spatiales, mais la JAP en est tributaire pour « la détection lointaine et opportune, l'ISR dans l'espace, les communications satellitaires et la fourniture de services de positionnement, de navigation et de synchronisation » (OTAN, 2018). Les ressources spatiales soutiennent les opérations militaires américaines depuis la première guerre du Golfe (1990-1991), surnommée « la première guerre de l'espace », et ont supporté des opérations militaires critiques de l'OTAN, dont l'intervention en Yougoslavie en 1999, ainsi que plus tard les guerres en Iraq et en Afghanistan (Tombarge, 2014).

## V. POTENTIALITÉS

44. Les capacités croissantes de l'industrie spatiale commerciale offrent plusieurs opportunités notables aux pays de l'Alliance, incluant des avantages économiques liés à ses retombées commerciales, la possibilité d'une coopération entre États et des partenariats public-privé.

### A. AVANTAGES ÉCONOMIQUES

45. Le marché spatial commercial connaît une expansion accélérée. De 2001 à 2011, l'activité économique liée au transport spatial et aux secteurs apparentés a fait un bond de 239% (Whealan-George, 2013). En 2015, le marché spatial mondial représentait 323 milliards de dollars et il devrait atteindre 1,1 mille milliards de dollars à l'horizon 2040 (Hampson, 2017 ; Sabbagh, 2017). La majeure partie de cette activité est liée à des marchés bien établis (comme le marché des satellites TV, évalué à 95 milliards de dollars), mais l'espace permet un éventail sans cesse plus étoffé d'activités économiques. Il supplante en outre des systèmes traditionnels. En Belgique, par exemple, la géolocalisation et la communication par satellite ont remplacé en Flandre les détecteurs souterrains du réseau de trams (*Space Foundation*, 2017). En France, un système de communication satellitaire est utilisé dans la commune d'Alban (Tarn) pour la gestion de l'eau potable ainsi que pour la gestion et la sécurité en temps réel de son approvisionnement (Eurisy, 2018).

46. Nombreux sont les signes qui suggèrent que le marché spatial commercial est appelé à jouer un rôle de plus en plus important dans l'économie mondiale. Dans son rapport de 2016, l'Administration fédérale de l'aviation des États-Unis note que le secteur des lancements commerciaux n'a connu que peu de mouvements en cinq ans, mais que l'absence de mouvements observables « est démentie par ce qui se passe en coulisses ». Le rapport évoque d'autre part la manière dont « plusieurs nouveaux lanceurs sont en cours de développement pour répondre spécifiquement à ce que certains pensent être une demande latente d'opérateurs de petits

satellites » (*Federal Aviation Administration*, 2017). L'année 2016 a été celle des investissements les plus importants dans des startups liées à l'espace, les investisseurs y ayant consacré non moins de 2,8 milliards de dollars. Comme l'indique ce rapport, les petits satellites ouvrent de nouvelles possibilités. Plusieurs entreprises ont annoncé leur volonté de les utiliser pour fournir un accès mondial et rapide à internet (Scoles, 2018).

47. Il est difficile de prédire avec certitude sur quoi ces efforts déboucheront. Ensemble, ils révèlent toutefois un intérêt croissant de l'industrie pour l'espace, comme en atteste la tendance à long terme des investissements. De 2012 à 2017, les investissements dans des start-ups liées à l'espace (10 238,3 millions de dollars) ont été près de trois fois supérieurs aux investissements totaux de 2000 à 2012 (3 688,7 millions de dollars) (Bryce Space and Technology, 2018). Cela engendre une série de défis liés à la réglementation et à la structure du marché, qui conduiront à une évolution des partenariats entre l'industrie et les gouvernements, afin d'assurer la sécurité, promouvoir la concurrence et encourager l'innovation.

## B. COOPÉRATION ENTRE ÉTATS

48. Un autre avantage réside dans le renforcement potentiel de la connectivité internationale. Comme nous l'avons dit, l'industrie spatiale s'internationalise de plus en plus. Des entreprises comme *Thales Alenia Space*, *Airbus DS* et *OHB* bénéficient énormément de la répartition dans toute l'Union européenne de leur main-d'œuvre et chaînes d'approvisionnement. Ces entreprises offrent un modèle pour des projets commerciaux multinationaux similaires. Elles montrent en outre comment les intérêts commerciaux peuvent redéfinir la manière dont est perçue la notion d'intérêt national. Les entreprises américaines sont relativement plus limitées dans leurs possibilités de coopération avec des firmes étrangères en raison de l'ITAR (pour rappel, la réglementation américaine sur le trafic d'armes au niveau international) et d'autres lois, mais de nombreux pays ne sont pas confrontés à des restrictions si rigoureuses. Ceci étant, des firmes américaines ont conclu tout un éventail de partenariats importants avec leurs homologues européennes.

49. L'intérêt commercial croissant pour l'espace a par ailleurs recentré l'attention sur le régime de traités qui régit l'espace extra-atmosphérique. Aux États-Unis, le sénateur Ted Cruz milite en faveur de la révision de ce traité, qui interdit aux États le déploiement dans l'espace d'armes de destruction massive et exige que les entités non gouvernementales obtiennent une approbation officielle avant de se lancer dans toute activité spatiale. Il fait valoir que le traité, conçu voici plus d'un demi-siècle, est aujourd'hui dépassé (Foust, 2017). Certains redoutent que des ambiguïtés légales affaiblissent le secteur spatial commercial naissant et que le manque de clarification sur les droits de propriété entrave l'innovation ou débouche sur des conflits liés à la propriété des roches extra-atmosphériques. En d'autres termes, le traité est de plus en plus considéré comme dépassé. Le Congrès américain examine depuis peu un projet de loi relatif à l'espace (*Space Frontier Act*) ; ce projet étendrait le fonctionnement et l'exploitation de la station spatiale internationale et rationaliserait la supervision des activités de lancement et de retour sur Terre, ainsi que les activités d'observation non gouvernementales de la Terre. Il apparaît que ce projet de loi bénéficie du soutien des démocrates et des républicains au sénat, le sénateur Cruz espérant son adoption d'ici la fin de l'année 2018 (Cruz, 2018).

50. Les capitaines d'industrie, majoritairement opposés à toute révision du traité, ont fait part de leurs réserves quant à des « charges réglementaires coûteuses » et au danger lié à l'incertitude. Le débat devrait gagner en intensité au cours des prochaines années. Lorsque, par exemple, l'entreprise *Moon Express* a cherché à obtenir l'autorisation d'aller au-delà de l'orbite terrestre basse en 2016, le problème s'est posé de savoir qui, parmi les responsables gouvernementaux, avait autorité pour accorder cette permission dans le cadre du traité sur l'espace extra-atmosphérique. Ce problème révèle la nécessité de réexaminer les obligations liées au traité et de veiller à ce que tous les acteurs impliqués dans le domaine spatial acceptent les mêmes principes (Foust, 2017). Bien qu'un nouveau phrasé du traité reste peu probable, il est indispensable d'actualiser un code de conduite général stipulant la responsabilité des États dans la supervision des activités spatiales

commerciales planifiées et réalisées au sein de leurs frontières. L'exemple français qui a adopté sa propre loi sur les opérations spatiales en 2008 est étudié par de nombreux pays dont les États-Unis.

## VI. DÉFIS À VENIR

51. Si le secteur est prometteur, il existe aussi d'importants risques et défis parmi lesquels de possibles cyberattaques, la présence de débris, les entraves réglementaires et l'hostilité entre États.

### A. CYBERMENACES

52. Les cyberattaques représentent une menace croissante pour les pouvoirs publics, les entreprises et la société civile. Les liens entre ce défi et le domaine spatial ne sont pas encore explorés à fond, mais le danger potentiel n'en est pas moins important. Ces attaques pourraient être lancées par des pirates isolés désireux de tester leur habileté, des organisations criminelles, des groupes terroristes ou des États cherchant à obtenir un avantage militaire. Des opérations hostiles peuvent se traduire par du brouillage et de la manipulation de satellites destinés à perturber des réseaux de communication. Elles pourraient cibler les systèmes de contrôle des satellites pour les mettre hors service ou modifier les orbites, ou encore viser des installations au sol pour empêcher de recevoir ou d'interpréter des données spatiales (Livingstone et Lewis, 2016)<sup>1</sup>. De telles attaques pourraient avoir de lourdes conséquences sur toutes sortes d'activités, allant des télécommunications aux transactions par cartes de crédit. Il est clair qu'elles pourraient avoir des répercussions immédiates sur la défense, si elles ciblaient par exemple des satellites militaires utilisés à des fins de commandement, de contrôle et de collecte de renseignements.

53. Plusieurs indices laissent à penser que certains acteurs testent déjà ces capacités. En 2011, la commission de suivi des relations économiques et sécuritaires sino-américaines, une agence du gouvernement des États-Unis, a accusé la Chine d'interférence avec deux satellites américains de surveillance de l'environnement, via une cyberattaque contre une station au sol en Norvège (Wee, Wills et Nishikawa, 2011). En septembre 2014, l'agence américaine d'observation océanique et atmosphérique a vu son réseau de satellites météorologiques temporairement mis hors service par une puissante tentative de piratage. Les responsables américains ont à nouveau accusé la Chine, qui a nié ces allégations (Flaherty, Samenow et Rein, 2014). Ces incidents n'ont eu que peu de conséquences à long terme pour la sécurité nationale, mais ils ont révélé les vulnérabilités des systèmes spatiaux. Ils soulignent la nécessité de sécuriser des réseaux et des systèmes de contrôle. En 2014, deux chercheurs russes ont identifié au moins 60 000 systèmes connectés à internet susceptibles d'être attaqués par internet (Pauli, 2014). En 2017, des documents ayant fait l'objet d'une fuite ont révélé que les services de renseignement russes étaient capables de pirater des signaux de satellites en recourant à des techniques relativement simples (Bing, 2017). En dépit des avantages stratégiques manifestes que présente le recours croissant de l'OTAN au soutien satellitaire, cette tendance renforce également les préoccupations liées à la vulnérabilité de ces systèmes.

54. Les satellites militaires sont généralement bien protégés et conçus dans un souci de sécurité, mais les satellites commerciaux ont tendance à être nettement plus vulnérables, faute de ressources consacrées à leur sécurisation. Certains opérateurs commerciaux ne se considèrent pas vulnérables car ils n'ont pas fait l'objet d'attaques. Un tel excès d'optimisme est dangereux dans le contexte actuel et le secteur privé devra consacrer plus de ressources à la défense des systèmes spatiaux, même ceux qui n'ont pas de fonctions militaires.

<sup>1</sup> Pour un aperçu des composants techniques de ces attaques, voir le rapport 2017 de la commission de la défense et de la sécurité de l'AP-OTAN [Domaine spatial et défense alliée \[162 DSCFC 17 F rév.1\]](#).

## B. DÉBRIS

55. Comme signalé dans de précédents rapports, les systèmes spatiaux sont aussi de plus en plus menacés par des collisions avec des débris. Le nombre de satellites en orbite s'accroît proportionnellement à l'augmentation rapide des capacités des acteurs étatiques et commerciaux. Les nouveaux satellites orbitent dans un environnement de plus en plus encombré par des satellites en fin de missions ou endommagés. La NASA et le CNES (Centre national d'études spatiales) suivent actuellement des milliers de débris orbitaux et il en existe des millions d'autres, allant d'éclats de peinture aux morceaux de métal, beaucoup trop petits pour être détectés (Garcia, 2013). Ces débris peuvent sembler anodins, mais ils se déplacent à des vitesses incroyables et peuvent endommager et même détruire des systèmes de grande taille en cas de collision. Le commandement stratégique des États-Unis a enregistré plus de 8 000 avertissements de collision pour la seule année 2014, dont 121 ayant exigé des manœuvres urgentes de contournement (Pellegrino et Stang, 2016).

56. Une source importante de préoccupations réside dans le fait que les débris spatiaux peuvent eux-mêmes générer de nouveaux débris. Lorsqu'un objet entre en collision avec un autre dans l'espace, les deux objets peuvent se fragmenter et leur éparpillement peut provoquer de nouveaux dommages à d'autres satellites. Le 10 février 2009, un satellite en fin de mission datant de l'époque soviétique est entré en collision avec un satellite de communication américain actif, éparpillant un nuage de débris en orbites haute et basse (Broad, 2009). Toutes les collisions n'entraînent pas des dommages structurels aussi graves, mais éclats, cratère et érosion peuvent dégrader progressivement l'intégrité structurelle d'un satellite. Au mieux, ces incidents endommagent des engins spatiaux de plusieurs millions de dollars et mettent en danger des astronautes effectuant une sortie dans l'espace. Au pire, une collision peut provoquer un syndrome de Kessler, un scénario théorique où des débris se heurtent les uns les autres et génèrent des collisions plus importantes et plus fréquentes (Szondy, 2018). Ce cas extrême peut provoquer la contamination de plusieurs niveaux orbitaux, les rendant alors inaccessibles pendant plusieurs générations.

57. Les débris retombant sur la Terre suscitent eux aussi des préoccupations liées à la responsabilité. Bien qu'il n'y ait eu aucune retombée récente de ce type aux conséquences importantes, les répercussions éventuelles d'un tel incident inquiètent. Ainsi par exemple, après la perte de contrôle par la Chine de sa station spatiale Tiangong-1, celle-ci est rentrée dans l'atmosphère en avril 2018, pour sa majeure partie sous forme de fragments se consumant dans l'atmosphère (Kuo, 2018). Certaines pièces du laboratoire spatial ont cependant survécu à leur rentrée dans l'atmosphère et sont tombées dans l'océan. Si elles s'étaient écrasées non loin de ou sur la terre ferme, les questions de responsabilité auraient pu s'avérer beaucoup plus graves. La convention de 1972 sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux stipule qu'« [un] État initiant un lancement a l'absolue responsabilité de verser réparation pour le dommage causé par son objet spatial à la surface de la Terre ou aux aéronefs en vol » (ONU, 1975). Une seule plainte a été déposée à ce jour dans le cadre de cette convention, lorsque qu'en 1978 le satellite soviétique Kosmos 954 s'est écrasé sur le territoire canadien.

58. Il existe bien sûr des initiatives visant à réduire le nombre de débris spatiaux par le biais de réglementations et de pratiques durables. L'établissement d'exigences pour limiter le nombre de débris permet à l'Europe de réduire la quantité de débris spatiaux générés par ses programmes (Pellegrino et Stang, 2016). Le comité de coordination inter-agences sur les débris spatiaux, forum gouvernemental international pour les activités liées à ces derniers et le comité des Nations unies sur l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique cherchent à établir des protocoles et directives internationalement acceptés pour empêcher la dispersion importante de débris dans l'espace. Acteurs publics et privés recherchent des solutions technologiques, comme la capture et l'élimination des satellites. Toutefois, comme l'explique l'Institut d'études de sécurité de l'Union européenne, ces solutions technologiques exigeraient « un cadre légal accepté au niveau international [...] car le propriétaire des débris est la seule partie à en être responsable » (Pellegrino et Stang, 2016).



### C. TRAITÉS ET CADRES RÉGLEMENTAIRES

59. Des efforts sont en cours pour actualiser le droit spatial national et international. Les experts de l'*International Law Association* font remarquer que le cadre général du traité de l'espace continue à présenter des « lacunes [...] qui demeurent ouvertes à interprétation ». Ces lacunes incluent un manque de clarté concernant la propriété de certains corps célestes et le statut légal des ressources qu'ils contiennent. Il existe également des vides juridiques quant au contrôle des risques présentés par les débris en orbite autour de la Terre ; des règles sont nécessaires pour régir l'activité du secteur privé dans l'espace (Currie, 2008). L'accord régissant les activités des États sur la lune de 1979 fournit certes quelques indications, dont des règles sur l'extraction et la gestion des ressources naturelles célestes, mais ces dispositions exigent une coopération internationale substantielle pour assurer leur application. Ce traité oblige les États à partager équitablement les ressources extraites avec les autres États. Pour l'heure, aucune puissance spatiale n'a ratifié cette disposition.

60. Ce vide permet à certains gouvernements d'adopter leur propre législation nationale réglementant l'activité spatiale, mais ces lois ne sont pas nécessairement en adéquation avec la législation internationale ni avec les lois d'autres États. Les États-Unis et le Luxembourg permettent à leurs citoyens et entreprises de posséder, détenir, transporter, utiliser et vendre des ressources extraites d'un corps céleste. Ces lois accordent le droit de propriété après l'extraction de ces ressources, afin d'essayer d'éviter tout conflit avec le traité sur l'espace, qui interdit la propriété corporative de corps célestes. Le chef du département juridique de l'agence spatiale européenne, Marco Ferrazzani, a fait part de son intérêt pour l'élaboration de règles nouvelles liées à l'exploitation minière spatiale (Doldirina, 2018). L'exploitation minière spatiale à grande échelle semble une probabilité lointaine, mais l'existence de ces lois démontre les risques de conflit potentiel. L'absence d'un consensus international clair sur une conduite appropriée dans l'espace peut mener à des réglementations contradictoires dans divers pays. Et celles-ci pourraient étouffer l'activité commerciale ou décourager la mise en œuvre de ces différentes obligations.

61. Un problème connexe réside dans l'existence de réglementations nationales qui remontent à la guerre froide et entravent l'activité commerciale. L'exemple le plus fréquemment cité en la matière est l'ITAR, qui restreint et contrôle le transfert de technologies de défense et militaires. Son objectif vise à empêcher d'autres pays de reproduire les capacités militaires des États-Unis, mais des universitaires et les défenseurs de l'espace commercial sont d'avis que cette réglementation peut avoir des conséquences indésirables qui entravent le développement des échanges commerciaux licites. De nombreuses entreprises américaines travaillant sur des projets spatiaux se voient interdire d'embaucher ou de collaborer avec des personnes étrangères en l'absence d'une licence d'exportation ou même de partager des pièces et composants, fussent-ils mineurs. Il en résulte que les entreprises spatiales commerciales en dehors des États-Unis cherchent tout simplement à réduire leur dépendance envers toute ressource américaine (De Selding, 2016).

62. Certaines organisations, comme la *Space Foundation*, demandent instamment la révision de cette réglementation, en collaboration avec des experts de l'industrie spatiale. D'autres recommandations se concentrent sur la création de traités commerciaux liés à la défense, afin de renforcer la collaboration entre les entreprises des États alliés. À cet égard, les travaux du comité des Nations unies pour l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique (CUPEEA), créé en 1959 par l'Assemblée générale, et en particulier les travaux de son sous-comité juridique, sont essentiels pour orienter le droit international relatif à l'exploration spatiale.

63. La majeure partie des développements liés à la gouvernance revêt la forme de normes non contraignantes sur le plan juridique, de résolutions de l'ONU et de réglementations et pratiques gouvernementales. Le droit spatial étant à ce point limité, les législations nationales présentent une certaine importance, surtout lorsqu'il s'agit de celles des principales puissances spatiales. Il est intéressant de noter qu'il n'existe aucune loi internationale relative aux débris ou leur « production ». Un groupe *ad hoc* a toutefois été formé pour proposer des réglementations techniques afin de limiter les débris. Il n'a aucun statut juridique en tant que tel, mais de nombreux pays ont adopté ses

normes, ainsi que d'autres accords non contraignants. Ce genre de pratique contribue à imposer une certaine uniformité des règles internationales régissant les activités dans l'espace. Il révèle par ailleurs le degré suivant lequel l'élaboration de règles relatives aux opérations dans l'espace est devenu un processus induit par la base plutôt que par le sommet. Il convient en outre de noter que l'article 189 du traité de Lisbonne de l'UE crée une compétence partagée pour certaines matières liées à l'espace. Enfin, l'agence spatiale européenne a par ailleurs fourni aux membres de l'UE une série de normes qu'ils partagent, même si celles-ci n'ont pas force de loi.

#### **D. LA CONCURRENCE ENTRE ÉTATS ET LA MILITARISATION DE L'ESPACE**

64. L'idée directrice des lois internationales régissant l'espace consiste à veiller à ce que l'accès à l'espace extra-atmosphérique et aux corps célestes demeure sans entrave. C'est ainsi par exemple que le traité de l'espace de 1967 réaffirme l'importance de son exploitation pacifique et licite (Assemblée générale de l'ONU, 1966). Plusieurs accords internationaux reflètent la volonté de la communauté internationale de créer un code de conduite global pour ceux qui opèrent dans l'espace. Outre le traité sur la Lune susmentionné de 1979 et la convention de 1972 sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux, l'accord sur le retour et le sauvetage des astronautes et la restitution des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique de 1968 et la Convention sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique de 1975 cherchent à réglementer les modalités de l'exploration spatiale. Des discussions plus récentes soulignent la difficulté de parvenir à un accord international sur la question. De 1985 à 1994, un comité ad hoc sur la prévention d'une course aux armements dans l'espace extra-atmosphérique (PAROS) a négocié la création d'un traité en la matière. La Chine et la Russie ont proposé un traité sur la prévention du placement d'armes dans l'espace et sur la menace de la force et le recours à la force contre des objets dans l'espace (PPWT), mais les États-Unis continuent à s'opposer à cette initiative, faisant valoir qu'elle est « fondamentalement biaisée » et qu'elle manque de dispositions essentielles (Foust, 2014). Les discussions sur PAROS se poursuivent dans le cadre de la conférence sur le désarmement de l'ONU et plusieurs pays demeurent très focalisés sur les questions d'accès à l'espace. La stratégie nationale de sécurité de 1999 des États-Unis stipule que « l'accès et l'utilisation de l'espace sans entrave sont vitaux pour l'intérêt national – essentiels pour la protection de la sécurité nationale des États-Unis » (Maison blanche, 1999). Dans sa politique spatiale nationale, le Royaume-Uni souligne sa dépendance envers l'accès à l'espace pour un large éventail de services essentiels (Javid et Letwin, 2015).

65. Des événements récents indiquent que l'espace pourrait ne pas demeurer un endroit pacifique et qu'il existe une possibilité réelle que son accès soit limité dans certaines conditions. S'exprimant devant la sous-commission sur les forces stratégiques de la commission des forces armées de la Chambre des représentants des États-Unis, des responsables du département de la défense ont déclaré que les États-Unis « ne peuvent plus considérer l'espace comme un sanctuaire » car « des adversaires potentiels comprennent l'importance [qu'ils] lui accordent et veulent le leur enlever » (Marshall, 2015). Dan Coats, directeur du renseignement américain, a fait écho à ces remarques lors de son témoignage en mai 2017 devant la commission du renseignement du Sénat. Il a déclaré que la Chine et la Russie sont de plus en plus désireuses de saper l'avantage militaire des États-Unis lié aux systèmes spatiaux militaires, civils et commerciaux et que ces deux pays « envisagent de plus en plus des attaques contre des systèmes satellitaires dans le cadre de leur future doctrine de guerre » (Coats, 2017). En 2015, la Chine a présenté sa force de soutien stratégique chargée de développer et de coordonner ses capacités de guerre spatiale, cybernétique et électronique (Bureau du secrétaire à la défense, 2017).

66. Les préoccupations croissantes des États-Unis face aux risques liés à l'espace se reflètent dans le récent appel du président Donald Trump à la création, dans les cinq années à venir, d'une force spatiale et à l'allocation de 8 milliards de dollars à des systèmes de sécurité spatiale. En août 2018, le département de la défense a présenté un plan pour la création d'une force de ce type, chargée de la défense des intérêts américains grâce à des capacités offensives agressives (Bachman, 2018). La force spatiale proposée assumerait probablement des responsabilités au

service de l'armée de l'air américaine en assurant le suivi des satellites en activité, afin de veiller à ce qu'ils n'entrent pas en collision.

67. À ce jour, aucun État n'a cédé à la tentation de déployer des armes destructrices dans l'espace. Plusieurs systèmes d'armement terrestre dépendent cependant d'infrastructures spatiales et sont produits par le secteur privé. Aux États-Unis, des concepts de missiles balistiques intercontinentaux sont conçus et fabriqués par des entreprises privées dans le cadre de processus d'appels d'offres (Erwin, 2018). Le Royaume-Uni et la France ont récemment procédé à des investissements importants dans des systèmes de missiles à longue portée, qui étoffent les capacités de base de l'Alliance (Baldwin, 2017). Parallèlement, *SpaceX* a conclu des contrats classifiés avec des agences de défense et de sécurité (Seemangal, 2017). La Russie et la Chine se dotent de plus en plus de missiles à guidage de précision et d'une technologie de communication militaire de plus en plus sophistiqués. Ces deux pays développent par ailleurs leurs capacités de neutralisation d'objets spatiaux, cherchent à moderniser leurs satellites militaires et mettent au point des missiles antisatellites.

68. Aucun engin spatial commercial n'a pour l'instant fait l'objet d'une attaque, mais l'évolution des capacités agressives pourrait avoir un effet dissuasif sur la volonté du secteur privé d'investir dans ce domaine. Le monde des affaires déteste l'incertitude et l'instabilité. Il est peu probable qu'il réagisse positivement s'il considère que ses très onéreux engins spatiaux sont menacés par une course aux armes spatiales. Le bon sens exige donc de poursuivre les efforts diplomatiques pour promouvoir la non-militarisation de l'espace et pour dissuader les menaces contre les engins spatiaux.

69. Signalons enfin que la politique spatiale commune dont la création a été entérinée par l'OTAN lors du sommet de Bruxelles affirme l'engagement des Alliés à promouvoir la non-militarisation de l'espace (OTAN, 2018). Les experts ne manquent pas de suggestions pour la création d'organes au sein de l'OTAN afin de traiter explicitement et exclusivement des questions de sécurité spatiale. Il sera manifestement difficile de parvenir à un équilibre entre la sécurisation des satellites, qui sont essentiels aux activités quotidiennes sur Terre, et la collaboration pour éviter voire empêcher que se déclenche une course à la militarisation de l'espace. À cet égard, l'OTAN est bien préparée pour partager son expertise et promouvoir un consensus sur ces questions, de manière à renforcer la sécurité au sens le plus large du terme.

## BIBLIOGRAPHIE

- Agence spatiale européenne, “ESA Budget for 2016”, 2016, [http://m.esa.int/var/esa/storage/images/esa\\_multimedia/images/2016/01/esa\\_budget\\_2016/15771687-1-eng-GB/ESA\\_budget\\_2016\\_article\\_mob.jpg](http://m.esa.int/var/esa/storage/images/esa_multimedia/images/2016/01/esa_budget_2016/15771687-1-eng-GB/ESA_budget_2016_article_mob.jpg)
- Al-Ekabi, Cenani, “Space Policies, Issues, and Trends in 2016-2017”, *European Space Policy Institute*, September 2017, [https://www.espi.or.at/images/Reports/Rep63\\_online\\_170928-1412.pdf](https://www.espi.or.at/images/Reports/Rep63_online_170928-1412.pdf)
- AP-OTAN, *Domaine spatial et défense alliée*, rapport Madeleine Moon, 8 octobre 2017, <https://www.nato-pa.int/fr/document/2017-domaine-spatial-et-defense-alliee-rapport-moon-162-dscfc-17-f-rev1-fin>
- Bachman, Justin, “Why Trump Wants a Space Force for the Final Frontier,” *Bloomberg*, 6 August 2018, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-08-06/what-s-a-space-force-and-can-trump-really-start-one-quicktake>
- Baiocchi, Dave and William Wel, “The Democratization of Space”, *Foreign Affairs*, May 2015, <https://www.foreignaffairs.com/articles/space/2015-04-20/democratization-space>
- Ball, Philip, “The Galileo space row shows the mess of Brexit in microcosm,” *The Guardian*, 28 May 2018, <https://www.theguardian.com/commentisfree/2018/may/28/galileo-space-eu-satellite-brexite-microcosm>
- Barney, Jon and Matthew Breen, “Rising Tide: Game Changing Competition in the Global Aerospace & Defense Market”, *Avascent*, July 2014, <http://www.avascent.com/2014/07/rising-tide-game-changing-competition-global-aerospace-defense-market/>
- Baldwin, Harriett, “UK and France strengthen defence cooperation with new weapon system agreement”, *Ministry of Defence*, 28 March 2017, <https://www.gov.uk/government/news/uk-and-france-strengthen-defence-cooperation-with-new-weapon-system-agreement>
- Basak, Sonali, “When a Commercial Rocket Blows Up, Who Pays?”, 2 September 2016, *Bloomberg*, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-09-02/when-a-commercial-rocket-blows-up-who-pays>
- Berger, Eric, “How America’s two greatest rocket companies battled from the beginning”, *Ars Technica*, 2 August 2017, <https://arstechnica.com/science/2017/08/how-americas-two-greatest-rocket-companies-battled-from-the-beginning/>
- Bing, Chris, “Russians can hijack satellites in order to launch cyberattacks, documents show”, *CyberScoop*, 3 August 2017, <https://www.cyberscoop.com/russian-satellite-hacking-turla-canada/>
- Bray, Nancy, “Space Shuttle and International Space Station”, *National Aeronautics and Space Administration*, 4 August 2017, [https://www.nasa.gov/centers/kennedy/about/information/shuttle\\_faq.html#10](https://www.nasa.gov/centers/kennedy/about/information/shuttle_faq.html#10)
- Broad, William J., “Debris Spews Into Space After Satellites Collide”, *New York Times*, 11 February 2009, <http://www.nytimes.com/2009/02/12/science/space/12satellite.html>
- Bryce Space and Technology, “2017 State of the Satellite Industry Report”, *Satellite Industry Association*, June 2017, <https://www.sia.org/wp-content/uploads/2017/07/SIA-SSIR-2017.pdf>
- Bureau du secrétaire à la défense des États-Unis, “Annual Report to Congress: Military and Security Developments Involving the People’s Republic of China 2017”, 15 mai 2017, [https://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2017\\_China\\_Military\\_Power\\_Report.PDF?ver=2017-06-06-141328-770](https://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2017_China_Military_Power_Report.PDF?ver=2017-06-06-141328-770)
- Canis, Bill, “Commercial Space Industry Launches a New Phase”, *Congressional Research Service*, 12 December 2016, <https://fas.org/sgp/crs/space/R44708.pdf>
- Carrington, Daisy, “What does a \$250,000 ticket to space with Virgin Galactic actually buy you?”, *CNN*, 16 August 2013, <https://edition.cnn.com/travel/article/virgin-galactic-250000-ticket-to-space/index.html>
- Chaikin, Andrew, “Is SpaceX Changing the Rocket Equation?”, *Air & Space*, January 2012, <https://www.airspacemag.com/space/is-spacex-changing-the-rocket-equation-132285884/?all>

- Clark, Stuart, "China: the new space superpower", *The Guardian*, 28 August 2016, <https://www.theguardian.com/science/2016/aug/28/china-new-space-superpower-lunar-mars-missions>
- Clark, Stuart, "Spacewatch: one step on for space tourism as Bezos rocket lands," *The Guardian*, 3 May 2018, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-08-06/what-s-a-space-force-and-can-trump-really-start-one-quicktake>
- Clark, Stuart, "Space tourists will have to wait as SpaceX plans bigger rocket," *The Guardian*, 8 February 2018, <https://www.theguardian.com/science/2018/feb/08/spacewatch-tourists-wait-spacex-bigger-rocket>
- Cruz, Senator R.E., "The Space Frontier Act of 2017", The Senate of the United States, 25 July 2018, <https://www.commerce.senate.gov/public/cache/files/23f40c25-8e23-40ca-9054-2431c92f52/7707FE8AA5A884E7A3765D7F3C2284BC.s.-3277.pdf>
- Coats, Daniel R., "Statement for the Record: Worldwide Threat Assessment of the US Intelligence Community", *Senate Select Committee on Intelligence*, 11 May 2017, <https://www.dni.gov/files/documents/Newsroom/Testimonies/SSCI%20Unclassified%20SFR%20-%20Final.pdf>
- Currie, John. "Public International Law, 2/E", Irwin Law, 2008.
- Commission européenne, "Mobile Satellite Services in Europe: Frequently Asked Questions", 14 mai 2009, [http://europa.eu/rapid/press-release MEMO-09-237\\_en.htm?locale=en](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-09-237_en.htm?locale=en)
- Commission européenne, "Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing the space programme of the Union and the European Union Agency for the Space Programme and repealing Regulations (EU) No 912/2010, (EU) No 1285/2013, (EU) No 377/2014 and Decision 541/2014/EU," 6 June 2018, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A447%3AFIN>
- De Selding, Peter, "U.S. ITAR satellite export regime's effects still strong in Europe", *SpaceNews*, 14 April 2016, <http://spacenews.com/u-s-itar-satellite-export-regimes-effects-still-strong-in-europe/>
- Desjardins, Jeff, "There's big money to be made in asteroid mining", *Business Insider UK*, 3 November 2016, <http://uk.businessinsider.com/the-value-of-asteroid-mining-2016-11?r=US&IR=T>
- Dillingham, Gerald, "Commercial Space: Industry Developments and FAA Challenges", Government Accountability Office, 22 June 2016, <https://www.gao.gov/assets/680/677943.pdf>
- Doldirina, Catherine, "Outer space laws and legislation: regulating the province of all mankind", *Institution of Engineering and Technology*, 22 January 2018, <https://eandt.theiet.org/content/articles/2018/01/outer-space-laws-and-legislation-regulating-the-province-of-all-mankind/>
- Dvorsky, George, "California Startup Accused of Launching Unauthorized Satellites Into Orbit: Report [Updated]", *Gizmodo*, 9 March 2018, <https://gizmodo.com/california-startup-accused-of-launching-unauthorized-sa-1823657316>
- Erwin, Sandra, "Northrop Grumman moves ahead with new ICBM design, impact of Orbital merger still unclear", *SpaceNews*, 27 February 2018, <http://spacenews.com/northrop-grumman-moves-ahead-with-new-icbm-design-impact-of-orbital-merger-still-unclear/>
- Eurisy, "City of Ablan: Managing drinking water supplies", 2018, [https://www.eurisy.org/good-practice-city-of-alban-managing-drinking-water-supplies\\_50](https://www.eurisy.org/good-practice-city-of-alban-managing-drinking-water-supplies_50)
- Euroconsult, "Satellite Value Chain: The Snapshot", 20 April 2015, <http://www.euroconsult-ec.com/svc/satellite-value-chain-2014-excerpt.pdf>
- Evanoff, Kyle, "The Outer Space Treaty's Midlife Funk," *Council on Foreign Relations*, 10 October 2017, <https://www.cfr.org/blog/outer-space-treatys-midlife-funk>
- Fecht, Sarah, "The US Senate just passed an important space bill with unanimous approval," *UK Business Insider*, 12 November 2015, <http://uk.businessinsider.com/senate-passes-space-act-2015-2015-11?r=US&IR=T>
- Foust, Jeff, "U.S. Dismisses Space Weapons Treaty Proposal as "Fundamentally Flawed," *SpaceNews*, 11 September 2014, <https://spacenews.com/41842us-dismisses-space-weapons-treaty-proposal-as-fundamentally-flawed/>

- Federal Aviation Administration*, “The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2017”, January 2017, [https://brycetek.com/downloads/FAA\\_Annual\\_Compndium\\_2017.pdf](https://brycetek.com/downloads/FAA_Annual_Compndium_2017.pdf)
- Federal Aviation Administration*, “The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018”, January 2018, [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ast/media/2018\\_AST\\_Compndium.pdf](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/2018_AST_Compndium.pdf)
- Flaherty, Mary Pat, Jason Samenow, Lisa Rein, “Chinese hack U.S. weather systems, satellite network”, *Washington Post*, 12 November 2014, [https://www.washingtonpost.com/local/chinese-hack-us-weather-systems-satellite-network/2014/11/12/bef1206a-68e9-11e4-b053-65cea7903f2e\\_story.html?utm\\_term=.186f9653e25b](https://www.washingtonpost.com/local/chinese-hack-us-weather-systems-satellite-network/2014/11/12/bef1206a-68e9-11e4-b053-65cea7903f2e_story.html?utm_term=.186f9653e25b)
- Foust, Jeff, “Virgin Galactic Opens LauncherOne Facility in Long Beach”, *SpaceNews*, 12 February 2015, <http://spacenews.com/virgin-galactic-opens-launcherone-facility-in-long-beach/>
- Foust, Jeff, “Is it time to update the Outer Space Treaty?” *Space Review*, 5 June 2017, <http://www.thespacereview.com/article/3256/1>
- Garcia, Mark, “Space Debris and Human Spacecraft”, *National Aeronautics and Space Administration*, 27 September 2013, [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/news/orbital\\_debris.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html)
- Government Accountability Office*, “NASA Commercial Crew Program”, 16 February 2017, <https://www.gao.gov/products/GAO-17-137>
- Grush, Loren, “NASA is saving big bucks by partnering with commercial companies like SpaceX”, *The Verge*, 10 November 2017, <https://www.theverge.com/2017/11/10/16623752/nasa-commercial-cargo-crew-spacex-orbital-atk-boeing-orion>
- Griffin, Andrew, “Astronomers enraged by huge man-made star that has ‘vandalised’ the sky”, *The Independent*, 26 January 2018, <http://www.independent.co.uk/news/science/man-made-star-new-zealand-night-sky-humanity-space-bright-rocket-lab-a8180061.html>
- Gruss, Mike, “U.S. Air Force evaluating early end for ULA’s \$800 million in yearly support”, *SpaceNews*, 27 January 2016, <http://spacenews.com/u-s-air-force-looks-at-ending-ulas-launch-capability-payment/>
- Hampson, Joshua, “The Future of Space Commercialization”, *US House Committee on Science, Space, and Technology*, 25 January 2017, <https://science.house.gov/sites/republicans.science.house.gov/files/documents/TheFutureofSpaceCommercializationFinal.pdf>
- Hauser, Marty and Micag Walter-Range, “ITAR and the U.S. Space Industry”, *Space Foundation*, September 2008, [https://www.spacefoundation.org/sites/default/files/white-papers/SpaceFoundation\\_ITAR\\_0.pdf](https://www.spacefoundation.org/sites/default/files/white-papers/SpaceFoundation_ITAR_0.pdf)
- Hern, Alex, “Forget the car in space: why Elon Musk’s reusable rockets are more than a publicity stunt”, *The Guardian*, 7 February 2018, <https://www.theguardian.com/science/shortcuts/2018/feb/07/forget-the-car-in-space-why-elon-musks-reusable-rockets-are-more-than-a-publicity-stunt>
- Hughes, Tim, “Statement of Tim Hughes Senior Vice President For Global Business & Government Affairs Space Exploration Technologies Corp. (SpaceX)”, *US Committee on Commerce, Science, and Technology*, 13 July 2017, [https://www.commerce.senate.gov/public/\\_cache/files/8a62dd3f-ead6-42ff-8ac8-0823a346b926/7F1C5970AE952E354D32C19DDC9DDCCB.mr.-tim-hughes-testimony.pdf](https://www.commerce.senate.gov/public/_cache/files/8a62dd3f-ead6-42ff-8ac8-0823a346b926/7F1C5970AE952E354D32C19DDC9DDCCB.mr.-tim-hughes-testimony.pdf)
- Javid, Sajid and Oliver Letwin, “National Space Policy”, *Government of the United Kingdom*, December 2015, [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/484865/NSP\\_-\\_Final.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/484865/NSP_-_Final.pdf)
- Jones, Andrew, “China’s Long March 5 heavy-lift rocket to fly again around November in crucial test”, *SpaceNews*, 14 March 2018, <http://spacenews.com/chinas-long-march-5-heavy-lift-rocket-to-fly-again-around-november-in-crucial-test/>
- Keck Institute for Space Studies, “Asteroid Retrieval Feasibility Study”, 2 April 2012, [http://kiss.caltech.edu/final\\_reports/Asteroid\\_final\\_report.pdf](http://kiss.caltech.edu/final_reports/Asteroid_final_report.pdf)

- Kim, Gene and Jessica Orwig, "Here's a first look at Jeff Bezos' monster rocket factory", *Business Insider UK*, 14 August 2017, <http://uk.businessinsider.com/jeff-bezos-space-company-blue-origin-new-rocket-factory-florida-2017-8?r=US&IR=T>
- Klotz, Irene, "Small satellites driving space industry growth: report", Reuters, 11 July 2017, <https://www.reuters.com/article/us-space-satellites/small-satellites-driving-space-industry-growth-report-idUSKBN19W2LR>
- Kluger, Jeffrey, "10 Things to Know About SpaceX", *Time*, 2018, <http://time.com/space-x-ten-things-to-know/>
- Koebler, Jason, "Willed SpaceX Into Making the Cheapest Rockets Ever Created", *Vice Motherboard*, 12 May 2015, [https://motherboard.vice.com/en\\_us/article/kbz5jv/how-elon-musk-willed-spacex-into-making-the-cheapest-rockets-ever-created](https://motherboard.vice.com/en_us/article/kbz5jv/how-elon-musk-willed-spacex-into-making-the-cheapest-rockets-ever-created)
- Komissarov, Valery, "How will the Earth-observation market evolve with the rise of AI", *Space News*, 7 February 2018, <https://spacenews.com/op-ed-how-will-the-earth-observation-market-evolve-with-the-rise-of-ai/>
- Kuo, Lily, "Tiangong-1 crash: Chinese space station comes down in Pacific Ocean." 2 April 2018, <https://www.theguardian.com/world/2018/apr/02/tiangong-1-crash-china-space-station>
- Livingstone, David and Patricia Lewis, "Space, the Final Frontier for Cybersecurity?", *Chatham House*, September 2016, <https://www.chathamhouse.org/sites/files/chathamhouse/publications/research/2016-09-22-space-final-frontier-cybersecurity-livingstone-lewis.pdf>
- Marshall, Tyrone C. Jr. "Officials: Space no Longer a Sanctuary; Sequester a Threat", *Department of Defense*, 26 March 2015, <https://www.defense.gov/News/Article/Article/604366/>
- Maison Blanche, "A National Security Strategy for a New Century", December 1999, <https://www.hsdl.org/?abstract&did=487539>
- Maison Blanche, "Vice President Pence Announces National Space Council Users Advisory Group", 20 February 2018, <https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/vice-president-pence-announces-national-space-council-users-advisory-group/>
- Organisation de coopération et développement économique, "Space and Innovation", 2016, <http://www.oecd.org/futures/space-and-innovation-9789264264014-en.htm>
- Organisation de coopération et développement économique, "The Space Economy at a Glance 2014", *OECD iLibrary*, 23 October 2014, [http://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-space-economy-at-a-glance-2014\\_9789264217294-en;jsessionid=7df9497ffpkpr.x-oecd-live-02](http://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-space-economy-at-a-glance-2014_9789264217294-en;jsessionid=7df9497ffpkpr.x-oecd-live-02)
- Organisation de coopération et développement économique, "Working Party on Telecommunication and Information Services Policies", 2004, <https://www.oecd.org/sti/ieconomy/34695448.pdf>
- ONU; Assemblée générale, "Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies", *United Nations Office for Outer Space Affairs*, 19 décembre 1966, <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>
- OTAN, "NATO's Joint Air Power Strategy," 26 June 2018, [https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/pdf\\_2018\\_06/20180626\\_20180626-joint-air-power-strategy.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_2018_06/20180626_20180626-joint-air-power-strategy.pdf)
- Panda, Ankit, "Why North Korea Is Likely Planning a Satellite Launch in 2018", *The Diplomat*, 12 January 2018, <https://thediplomat.com/2018/01/why-north-korea-is-likely-planning-a-satellite-launch-in-2018/>
- Pappalardo, Joe, "8 Countries Angling to Dominate the Launch Business", *Popular Mechanics*, 18 March 2013, <https://www.popularmechanics.com/space/rockets/a8821/8-countries-angling-to-dominate-the-launch-business-15222860/>
- Pauli, Darren, "Hackers gain 'full control' of critical SCADA systems", *IT News*, 10 January 2014, <https://www.itnews.com.au/news/hackers-gain-full-control-of-critical-scada-systems-369200>
- Pellegrino, Massimo and Gerald Stang, "Space security for Europe", *Institute for Security Studies*, July 2016, [https://www.iss.europa.eu/sites/default/files/EUISSFiles/Report\\_29\\_0.pdf](https://www.iss.europa.eu/sites/default/files/EUISSFiles/Report_29_0.pdf)
- Roulette, Joey, "SpaceX rocket launches Luxembourg satellite for NATO," Reuters, 31 January 2018, <https://www.reuters.com/article/us-space-spacex-launch/spacex-rocket-launches-luxembourg-satellite-for-nato-idUSKBN1FK375>

- Routh, Adam, "Why America's Space Launch Must be Competitive", *National Interest*, 13 January 2017, <http://nationalinterest.org/blog/the-buzz/why-americas-space-launch-must-be-competitive-19052>
- Sabbagh, Karim Michel, "New Frontiers of Opportunities: Evolution of Space Ecosystem", *SES*, 16 November 2017, <https://www.ses.com/sites/default/files/2017-11/New%20frontiers%20of%20opportunities-%20Presentation.pdf>
- Schnee, Jerome, "The Economic Impacts of the U.S. Space Program", *Rutgers University*, 2000, <https://er.jsc.nasa.gov/seh/economics.html>
- Scoles, Sarah, "Maybe Nobody Wants Your Space Internet", *Wired*, 15 March 2018, <https://www.wired.com/story/maybe-nobody-wants-your-space-internet/>
- Scorbureau, Alexandrina and Arne Holzhausen, "Working Paper: The Composite Index of Propensity to Risk", *Allianz*, 12 April 2011, [https://www.allianz.com/v\\_1339498684000/media/current/en/economic\\_research/images\\_en\\_glisch/pdf\\_downloads/working\\_papers/cipre.pdf](https://www.allianz.com/v_1339498684000/media/current/en/economic_research/images_en_glisch/pdf_downloads/working_papers/cipre.pdf)
- Seemangal, Robin, "SpaceX Keeps Lining Up Covert Military Launches", *Wired*, 24 October 2017, <https://www.wired.com/story/spacex-keeps-lining-up-covert-military-launches/>
- Space Foundation, "The Space Report 2016", Space Foundation, 1 July 2017, [https://web.archive.org/web/20170205105025/https://www.spacefoundation.org/sites/default/files/downloads/The\\_Space\\_Report\\_2016\\_OVERVIEW.pdf](https://web.archive.org/web/20170205105025/https://www.spacefoundation.org/sites/default/files/downloads/The_Space_Report_2016_OVERVIEW.pdf)
- SpaceX, "Production at SpaceX", 24 September 2013, <http://www.spacex.com/news/2013/09/24/production-spacex>
- SpaceX, "SpaceX To Send Privately Crewed Dragon Spacecraft Beyond The Moon Next Year", 27 February 2017, <http://www.spacex.com/news/2017/02/27/spacex-send-privately-crewed-dragon-spacecraft-beyond-moon-next-year>
- SpaceX, Updates: Launch Manifest, 5 September 2018, <https://www.spacex.com/missions>
- St. Fleur, Nicholas, "Jeff Bezos Says he Is Selling \$1 Billion a Year in Amazon Stock to Finance Race to Space", *New York Times*, 5 April 2017, [https://www.nytimes.com/2017/04/05/science/blue-origin-rocket-jeff-bezos-amazon-stock.html?\\_r=1](https://www.nytimes.com/2017/04/05/science/blue-origin-rocket-jeff-bezos-amazon-stock.html?_r=1)
- Szondy, David, "NASA straps a new space debris sensor onto the ISS", *New Atlas*, 4 January 2018, <https://newatlas.com/nasa-space-debris-sensor/52805/>
- The Economist, "Nanosats are go!" 7 June 2014, <https://www.economist.com/news/technology-quarterly/21603240-small-satellites-taking-advantage-smartphones-and-other-consumer-technologies>
- The Economist, "The Falcon Heavy's successful flight is another vindication for Elon Musk", 6 February 2018, <https://www.economist.com/news/21736429-and-another-headache-spacexs-competitors-falcon-heavy-s-successful-flight>
- Tilley, Aaron, "Seat Of Power: Tesla And SpaceX Investor Steve Jurvetson", *Forbes*, 23 March 2016, <https://www.forbes.com/sites/aarontilley/2016/03/23/seat-of-power-tesla-and-spacex-investor-steve-jurvetson/#3b98253d2291>
- Tombarge, Colonel Paul A., "NATO SPACE OPERATIONS: The Case for a New NATO Center of Excellence," The George C. Marshall European Center for Security Studies, December 2014, <http://www.marshallcenter.org/MCPUBLICWEB/en/170-cat-english-en/cat-publications-en/cat-pubs-occ-papers-en/1587-art-pubs-occ-paper-26-en.html>
- UNOOSA, Bureau de l'ONU pour les affaires spatiales, "International Space Law: United Nations Instruments," mai 2017, [http://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2017/stspace/stspace61rev\\_2\\_0\\_html/V1605998-ENGLISH.pdf](http://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2017/stspace/stspace61rev_2_0_html/V1605998-ENGLISH.pdf)
- United Nations Treaty Series, "No. 13810: Multilateral Convention on the international liability for damage caused by space objects. Opened for signature at London, Moscow and Washington on 29 March 1972," 1975, <https://treaties.un.org/doc/Publication/UNTS/Volume%20961/volume-961-I-13810-English.pdf>



- Wakimoto, Takuya, "How to reduce US space expenses through competitive and cooperative approaches", *The Space Review*, 22 January 2018, <http://www.thespacereview.com/article/3412/1>
- Wattles, Jackie, "Blue Origin CEO: We're taking tourists to space within 18 months", *CNN*, 5 October 2017, <http://money.cnn.com/2017/10/05/technology/future/blue-origin-launch-human-space-tourism/index.html>
- Wattles, Jackie, "SpaceX to launch demo satellites for high-speed internet project", *CNN*, 18 February 2018, <http://money.cnn.com/2018/02/18/technology/future/spacex-launch-paz-demo-starlink/index.html>
- Wee, Sui-Lee, Ken Wills, Yoko Nishikawa, "China denies it is behind hacking of U.S. satellites", *Reuters*, 31 October 2011, <https://www.reuters.com/article/us-china-us-hacking/china-denies-it-is-behind-hacking-of-u-s-satellites-idUSTRE79U1YI20111031>
- Werner, Debra, "SpaceX Leaves Searing Impression on NASA Heat Shield Guy", *SpaceNews*, 9 March 2015, <http://spacenews.com/spacexs-high-velocity-decision-making-left-searing-impression-on-nasa-heat-shield-guy/>
- Whealan-George, Kelly, "The Projected U.S. Economic Impacts of the Space Industry 2030", *Embry-Riddle Aeronautical University*, October 2013, <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.be/&httpsredir=1&article=1000&context=ww-economics-social-sciences>
- Wright, Robert, "Satellite pinpoints US's Russian space dependence", *Financial Times*, 16 May 2014, <https://www.ft.com/content/d0eadfdc-dbbc-11e3-a460-00144feabdc0>
- Zapata, Edgar, "An Assessment of Cost Improvements in the NASA COTS/CRS Program and Implications for Future NASA Missions", *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 2017, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170008895.pdf>
- Zelnio, Ryan, "A short history of export control policy", *The Space Review*, 9 January 2006, <http://www.thespacereview.com/article/528/1>
-