

RÉALITÉS INDUSTRIELLES

« Se défier du ton d'assurance qu'il est si facile de prendre et si dangereux d'écouter »
Charles Coquebert, Journal des mines n°1, Vendémiaire An III (septembre 1794)



Les nouveaux horizons de l'Europe spatiale

UNE SÉRIE DES
ANNALES
DES MINES

FONDÉES EN 1794

MAI 2019

Publiées avec le soutien de
l'Institut Mines-Télécom

Les nouveaux horizons de l'Europe spatiale

03

Préface

Frédérique VIDAL

05

Avant-propos

Jacques SERRIS

Les enjeux stratégiques spatiaux du XXI^e siècle

06

Politiques spatiales intergouvernementales européennes
Géraldine NAJA

13

European Union Space Policy
Pierre DELSAUX

17

La place de la France dans le domaine spatial
Jean-Yves LE GALL

21

L'évolution du contexte spatial américain
Xavier PASCO

25

Chine, Russie, Inde, Japon : essai de typologie de leurs ambitions spatiales en 2019
Isabelle SOURBÈS-VERGER

30

Petits satellites, petits lanceurs : quelles opportunités pour de nouveaux entrants ?
Florence GAILLARD-SBOROWSKY

34

Le rôle de l'État français dans l'Europe de l'espace
Patrice BRUDIEU

L'offre industrielle et les nouveaux marchés

38

Les chiffres clés de l'industrie spatiale française
Anne BONDIOU-CLERGERIE

44

Le New Space
Jean-Jacques TORTORA

49

Quel avenir pour la filière spatiale française ?
Un essai d'analyse prospective fondé sur la théorie de la disruption stratégique
Éric JOLIVET et Grégory PRADELS

54

Où va la filière des lanceurs européens ?
Alain CHARMEAU

59

De nouvelles chaînes industrielles, l'exemple de OneWeb
Nicolas CHAMUSSY

64

L'entreprise allemande OHB, un nouvel acteur de l'industrie spatiale
Alain BORIES

69

How Luxembourg becomes Europe's commercial space exploration hub
Marc SERRES

73

Réalité et perspectives de l'IoT spatial
Paul WOHRER

77

Développement des applications spatiales : l'initiative « Boosters »
Christèle DONADINI

80

Traductions des résumés

83

Biographies des auteurs

 Dossier coordonné par Jacques SERRIS

UNE SÉRIE DES
**ANNALES
DES MINES**
FONDÉES EN 1794

RÉALITÉS INDUSTRIELLES

Série trimestrielle • Mai 2019

Rédaction

Conseil général de l'Économie (CGEIET), Ministère de
l'Économie et des Finances
120, rue de Bercy - Télédocus 797 - 75572 PARIS CEDEX 12
Tél. : 01 53 18 52 68
<http://www.annales.org>

François Valérien

Rédacteur en chef

Gérard Comby

Secrétaire général

Delphine Mantiene

Secrétaire générale adjointe

Liliane Crapanzano

Assistante / correctrice

Myriam Michaux

Webmestre et maquettiste

Membres du Comité de Rédaction

Grégoire Postel-Vinay

Président du Comité de rédaction

Godefroy Beauvallet

Serge Catoire

Pierre Couveinhes

Jean-Pierre Dardayrol

Robert Picard

Françoise Roure

Bruno Sauvalle

Rémi Steiner

Christian Stoffaës

Claude Trink

François Valérien

Photo de couverture

Vue d'artiste des lanceurs européens Vega, Vega-C,
Ariane 5 et Ariane 6.
Photo © ESA-D. Ducros

Iconographie

Christine de Coninck

Abonnements et ventes

COM & COM

Bâtiment Copernic - 20, avenue Edouard Herriot
92350 LE PLESSIS ROBINSON

Alain Bruel

Tél. : 01 40 94 22 22 - Fax : 01 40 94 22 32

a.bruel@cometcom.fr

Mise en page : Nadine Namer

Impression : Printcorp

ISSN : 1148-7941

Editeur Délégué :

FFE - 15, rue des Sablons - 75116 PARIS - www.ffe.fr

Régie publicitaire : Belvédère Com

Fabrication : Aïda Pereira

aida.pereira@belvederecom.fr - Tél. : 01 53 36 20 46

Directeur de la publicité : Bruno Slama

Tél. : 01 40 09 66 17

bruno.slama@belvederecom.fr

La mention au regard de certaines illustrations du sigle
« D. R. » correspond à des documents ou photographies
pour lesquels nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se
sont avérées infructueuses.

Les nouveaux horizons de l'Europe spatiale

Par Frédérique VIDAL

Ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

En 1961, le général de Gaulle, convaincu que la maîtrise du spatial serait un jour un élément central de la souveraineté de la France, créa le Centre national d'études spatiales en lui assignant comme première mission de développer la fusée Diamant, le premier lanceur national. Plus d'un demi-siècle plus tard, le soutien politique au secteur spatial est toujours aussi fort et il s'incarne désormais au niveau européen. Ariane 5 et demain Ariane 6 sont d'immenses réussites pour l'Europe, tout comme Galileo, dont les performances surpassent celles du GPS américain.

Ces succès constituent autant d'atouts pour préparer l'avenir, face aux transformations profondes que connaît le secteur spatial et qu'il est convenu d'appeler « New Space ». Ce phénomène résulte avant tout d'une accélération sans précédent de l'innovation, portée par une abondance de capitaux publics et privés, par l'abaissement des barrières à l'entrée (chute du coût d'accès à l'espace, miniaturisation des satellites, procédés industriels en rupture, etc.), et par la promesse de nouveaux services fondés sur des infrastructures spatiales et répondant aux besoins les plus divers, de l'Internet des objets à l'agriculture de précision, en passant par la sécurité.

Le « New Space » est parfois vu comme une menace, qui bouscule nos habitudes et remet en cause les schémas du passé. Je suis convaincue que c'est au contraire une chance. Ces nouveaux services, qu'ils s'appuient sur les télécommunications par satellites, l'observation de la Terre ou encore la géolocalisation, constituent un gisement de croissance et d'emplois, qu'il nous faut savoir exploiter en accélérant le développement de notre secteur aval et en faisant croître un écosystème de *start-ups* au meilleur niveau mondial. L'enjeu est majeur : il est économique, bien sûr, mais aussi sociétal et même régalien, car le spatial est éminemment dual.

Parce que nous voulons que la France et l'Europe deviennent des champions du « New Space », l'innovation doit être notre priorité. Cela nécessite de renouveler la relation entre les pouvoirs publics et l'industrie. Si la montée en puissance des acteurs privés ne traduit en rien un effacement de la sphère institutionnelle – les exemples américains et chinois montrent qu'au contraire elle se renforce, étant elle aussi directement intéressée par les nouveaux usages du spatial –, celle-ci doit se concentrer sur le soutien à l'innovation de rupture. Il existe pour cela plusieurs leviers : lancement de défis d'innovation, investissement dans la recherche, commande publique innovante, etc.

C'est dans cette optique que nous avons constitué un fonds de dix milliards d'euros pour l'industrie et l'innovation, déployé un grand plan en faveur de l'intelligence artificielle ou soutenu la création d'une agence européenne de l'innovation de rupture : toutes ces initiatives vont renforcer notre secteur spatial. C'est aussi pour cela que le CNES et ArianeGroup ont récemment créé « ArianeWorks », qui réunit certains de leurs meilleurs talents dans un cadre original et propice à la créativité et à la prise de risque. ArianeWorks sera aux avant-postes de la préparation du futur, notamment en matière de technologies réutilisables ; il a vocation à fédérer un réseau de *start-ups* et à nouer des liens avec nos partenaires européens, notamment l'Allemagne et l'Italie.

La dynamique est désormais lancée ! Nos industriels portent des projets ambitieux qui s'inscrivent pleinement dans le « New Space », comme la constellation en orbite basse OneWeb, le dirigeable solaire Stratobus ou encore le démonstrateur d'étage de lanceur réutilisable Callisto. Dans les prochains mois, nous amplifierons ce mouvement, avec plusieurs échéances importantes. Le conseil ministériel de l'Agence spatiale européenne qui se tiendra en novembre sera l'occasion pour la France et l'ensemble des États membres de l'ESA de déterminer et de financer leurs priorités pour les prochaines années. La loi de programmation pour la recherche, annoncée par le Premier ministre et dont les travaux préparatoires sont lancés, viendra renforcer notre modèle d'innovation et densifier les interactions entre nos laboratoires et nos entreprises. Enfin, la mobilisation d'un budget de 16 Md€ par la Commission européenne pour le spatial sur la période 2021-2027, permettra de consolider l'espace comme axe important de la construction européenne.

Le spatial est un secteur extraordinaire, et plus que jamais un secteur d'avenir. De la voiture autonome à la 5G, de la biologie en microgravité à l'exploration lointaine, l'espace va jouer au cours des prochaines décennies un rôle central dans le progrès scientifique, technologique, économique et social. C'est pourquoi le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et son agence, le CNES, se mobilisent pleinement au service de l'aventure spatiale,

l'une des plus belles que nous offre le XXI^e siècle. C'est ainsi que nous avons lancé un grand concours à destination des étudiants, baptisé « Génération ISS », qui permettra aux meilleurs projets, notamment scientifiques, d'être acheminés vers la station spatiale internationale pour y être mis en œuvre par Thomas Pesquet. Car en matière d'espace comme sur beaucoup d'autres sujets, je suis convaincue que nos jeunes, nos étudiants, ont la capacité de transformer le monde.

Avant-propos

Par Jacques SERRIS
Conseil général de l'Économie

Le dernier numéro des *Annales des Mines* consacré aux « Industries de l'espace » date de 2012. Il soulignait cinq défis pour l'Europe spatiale. À bien des égards, ces défis restent d'actualité : la mise en place d'une gouvernance européenne intégrant harmonieusement et efficacement l'Union européenne, l'Agence spatiale européenne ainsi que les États membres et leurs agences nationales ; la contribution de l'espace à la satisfaction des besoins des citoyens et en appui à des politiques publiques ; les besoins de l'Europe en matière de Défense et sécurité ; l'exploration de l'Univers ; l'indépendance technologique et l'accès à l'espace. Les réalisations engrangées depuis en réponse à ces défis montrent que, pour que l'Europe reste parmi les leaders spatiaux, la continuité des efforts est cruciale. Elle est en effet la clé pour réussir !

Et pourtant, s'il est clair que la persévérance reste nécessaire, on a le sentiment que l'activité spatiale se développe aujourd'hui dans un monde largement différent de ce qu'il était il y a sept ans.

Le terme « New Space » symbolise ce nouveau contexte. On peut être un Européen convaincu, et en même temps être souvent déçu par le caractère abscons de certains textes publiés à Bruxelles. Aussi, cette fois-ci, c'est un plaisir pour moi de citer l'introduction de la proposition de règlement du Parlement et du Conseil établissant le programme spatial de l'Union et de l'Agence de l'Union européenne pour le programme spatial, qui décrit clairement l'enjeu : « L'espace fait également partie d'une chaîne de valeur mondiale, qui fait face à des changements majeurs repoussant les limites traditionnelles du secteur spatial. Ce "nouvel espace" ("New Space") est en train de révolutionner le secteur spatial, non seulement du point de vue technologique mais aussi du point de vue du modèle économique. L'espace attire de plus en plus d'entreprises et de chefs d'entreprise, qui parfois n'ont pas d'expérience dans ce domaine. Il est donc essentiel que l'Union soutienne activement l'ensemble du secteur spatial, en particulier la recherche et le développement, les *start-ups* et les incubateurs d'entreprises présents dans ce secteur ».

C'est à l'étude de ces horizons nouveaux de l'Europe spatiale, ouverts par le « New Space », que ce numéro des *Annales des Mines* est consacré. La France et l'Europe sont bien conscientes des enjeux, elles s'organisent et agissent en conséquence. Dans sa préface, la ministre de la Recherche, de l'Enseignement supérieur et de l'Innovation souligne la détermination des pouvoirs publics à soutenir les acteurs pour leur permettre de saisir les opportunités qui s'ouvrent à eux, afin que nous restions parmi les leaders. Mais, bien entendu, la partie n'est pas gagnée d'avance, comme vous le verrez à la lecture des articles qui vous sont proposés dans ce numéro de *Réalités industrielles*.

Des opportunités, mais aussi des risques : aujourd'hui, on recense environ 4 000 satellites en orbite, dont seulement le quart serait actif. Les prix des satellites ont été divisés par 10, voire 100 pour les *Cubesats*. Le nombre des satellites va donc augmenter significativement, mais leur fiabilité diminue. Le problème posé par les débris en orbite va s'aggraver et nécessitera une action coopérative résolue des puissances spatiales.

Ce numéro se focalise sur l'espace « civil », au sens de l'exploitation pacifique de l'espace extra-atmosphérique par l'homme. Un choix éditorial qui n'empêche pas pour autant que soient traités des sujets militaires, en particulier au travers des stratégies des États, ou quand les synergies entre le civil et le militaire ne peuvent pas être passées sous silence. Cette approche pacifique est traditionnellement celle à laquelle l'Europe est attachée. Cependant, au XXI^e siècle, on peut parler d'un effacement des limites traditionnelles entre les sphères économique et sécuritaire. L'espace n'est pas à l'écart de ce phénomène, comme le montre la politique spatiale des États-Unis. L'Europe continuera à plaider résolument contre la militarisation de l'espace. Mais gageons que le prochain numéro des *Annales des Mines* consacré à l'espace sera dual et donnera une part plus importante à la Défense et à la sécurité.

Un dernier mot. Au XX^e siècle, on a souvent filé la métaphore de la découverte de l'Amérique, en poursuivant un parallèle entre l'exploration de la Terre à la Renaissance et l'aventure spatiale (les Américains préféraient, bien sûr, l'image de « la nouvelle frontière »). Au XXI^e, Michel Serres a montré comment le numérique, aujourd'hui, représente une évolution (un grand pas pour l'humanité) comparable à l'imprimerie de la Renaissance : une nouvelle révolution technologique est bien là. Et pourtant, au triomphalisme de la science-fiction du XX^e siècle – utopies alliant technologies triomphantes, colonisation d'une partie de l'Univers par l'homme et dépassement des limites physiques – ne voit-on pas succéder la vision d'une humanité isolée sur une Terre à préserver – notre seule Terre – au sein d'un système solaire difficilement habitable, avec un cortège de dystopies, risques et catastrophes ? Loin de tout pessimisme, n'oublions pas que l'activité spatiale est là pour nous apporter des moyens de communication, de *monitoring* de l'environnement ou de connaissance des mondes lointains, mais aussi une part de rêve.

Politiques spatiales intergouvernementales européennes

Par **Géraldine NAJA**

Agence spatiale européenne

L'Europe politique, économique et industrielle est complexe. En effet, elle s'articule autour de multiples dimensions : nationale, régionale, intergouvernementale et communautaire. Cette complexité et l'imbrication des différents niveaux de décision et de mise en œuvre représentent néanmoins une richesse pour l'Europe. On retrouve cette complexité dans le secteur spatial, et ce d'autant plus que, dès ses balbutiements, l'espace a été un terrain favorable d'intégration européenne ainsi qu'un domaine à forte dimension stratégique.

Face aux deux superpuissances spatiales historiques, que sont les États-Unis et l'ex-URSS, les États européens et leurs entreprises n'ont eu d'autre choix que de coopérer. Une telle coopération s'est organisée autour d'une organisation intergouvernementale, l'Agence spatiale européenne (ESA).

L'Europe a progressivement élaboré une politique cohérente et un programme spatial complet lui permettant, au travers de l'ESA, des agences nationales et, plus récemment, de l'Union européenne, d'être un acteur de premier rang dans le spatial.

Ainsi, espace et Europe sont intimement liés. Pionnière de l'intégration européenne, l'ESA a su s'adapter aux évolutions politiques et institutionnelles de l'Europe, et devra continuer à le faire dans le futur.

Introduction

L'Europe politique, économique et industrielle est complexe. En effet, elle s'articule autour de multiples dimensions : nationale, régionale, multilatérale, intergouvernementale et communautaire. On retrouve cette complexité dans le secteur spatial, et ce d'autant plus que, dès ses balbutiements, l'espace a été un terrain favorable d'intégration européenne autant qu'un domaine à forte dimension stratégique. Face aux deux superpuissances spatiales historiques, que sont les États-Unis et l'ex-URSS, les États européens et leurs entreprises n'ont eu d'autre choix que de coopérer pour exister dans le monde.

En parallèle de son intégration dans l'économie et la société et de l'implication croissante des acteurs privés, en particulier dans le « New Space », l'espace demeure encore aujourd'hui un enjeu de souveraineté placé au sommet des priorités politiques que ce soit aux États-Unis, en Russie, en Chine ou en Inde.

L'Europe a élaboré une politique cohérente et un programme spatial complet lui permettant, au travers des agences européenne (ESA) et nationales, et plus récemment de l'Union européenne, d'être un acteur de premier rang dans le spatial.

Ainsi, espace et Europe sont intimement liés, et ce dès le début de l'aventure spatiale. Pionnière de l'intégration européenne, l'ESA a su s'adapter aux évolutions politiques et institutionnelles de l'Europe.

Les racines de l'Europe spatiale

Alors que les États-Unis et l'ex-URSS entament une course à l'espace dans les années 1950 – en pleine guerre froide –, en s'appuyant de part et d'autre de l'Océan pacifique sur les technologies développées en Allemagne pour la production des V2, et que les grandes premières spatiales se succèdent rapidement, puisque moins de douze ans séparent le lancement du premier satellite artificiel (Sputnik, en octobre 1957) du premier pas de l'homme sur la Lune (Neil Armstrong, en juillet 1969), l'Europe commence à développer ses premières capacités spatiales au début des années 1960.

La première traduction de l'engagement de l'Europe dans le domaine spatial revêt une dimension intergouvernementale, avec la création de deux agences européennes : ESRO (European Space Research Organisation) et ELDO (European Launcher Development Organisation), trois ans après la création en 1961 de l'agence spatiale française, le Centre national d'études spatiales.

Photo © ESA-G. Porter



L'étage supérieur du lanceur Vega-C, lors d'essais au Centre européen de l'ESTEC.

En 1964, six pays européens – l'Allemagne, la Belgique, la France, l'Italie, les Pays-Bas et le Royaume-Uni (bien avant que ce dernier ne rejoigne la Communauté économique européenne) – fondent la première organisation spatiale chargée de développer des lanceurs : l'ELDO. Puis, avec le Danemark, l'Espagne, la Suède et la Suisse, ces mêmes pays fondent une organisation pour assurer le développement de satellites scientifiques, l'ESRO. Ainsi, dès le commencement de l'aventure spatiale européenne, science et lanceurs sont les deux piliers de l'espace européen. Cependant, alors que l'ESRO développe avec succès son premier satellite en 1968 (pour l'étude des rayons cosmiques et des rayons X solaires), le projet de lanceur Europa de l'ELDO connaît douze échecs successifs et finit par être abandonné en 1972. 1975 marque la relance de l'espace européen, avec la création de l'Agence spatiale européenne (ESA), née de la fusion de l'ESRO et de l'ELDO, et étendant ses activités aux applications et aux services. Le siège de l'ESA est à Paris (en application de sa convention fondatrice) et ses établissements sont répartis dans toute l'Europe : son centre technique, l'ESTEC, est localisé aux Pays-Bas, son centre pour l'observation de la Terre, l'ESRIN, en Italie, et son centre d'opérations, l'ESOC, en Allemagne. Ces centres seront rejoints plus tard par le Centre des astronautes européens (en Allemagne), le Centre pour la science spatiale (en Espagne) et le Centre pour les Applications et les Télécommunications (au Royaume-Uni).

La création de l'ESA s'appuie sur son texte fondateur, une convention : un petit livret de moins de cent pages quasiment inchangé à ce jour et qui énonce les grands prin-

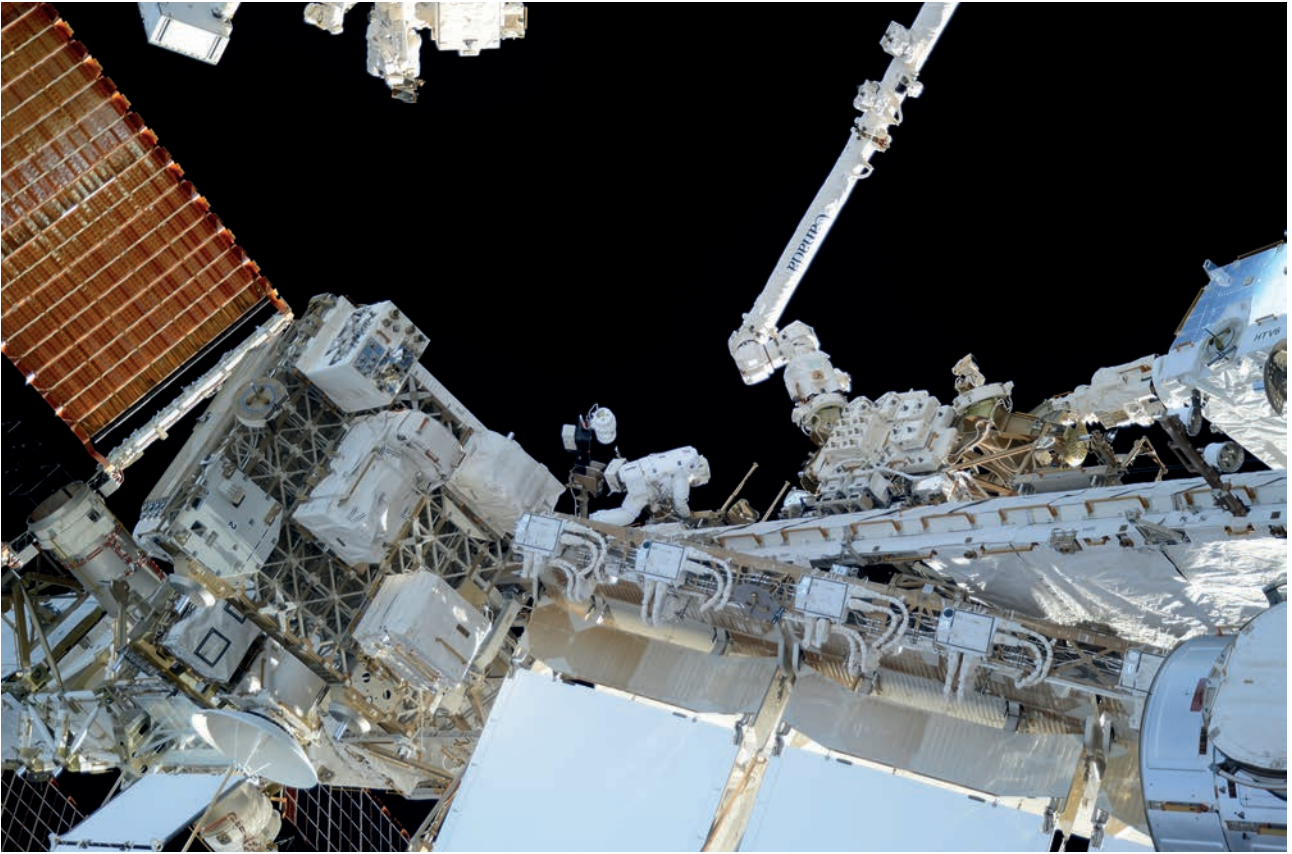
cipes à l'origine du succès de l'Agence : solidarité entre les États membres, solidité de son programme obligatoire essentiellement dédié à la science et à la technologie, flexibilité de ses programmes facultatifs contribuant au développement d'applications et de l'infrastructure spatiale, et soutien à l'industrie européenne au travers d'une politique industrielle originale. Ces grands principes ont conduit aux grands succès rencontrés par les générations successives des programmes de l'ESA, lesquels ont permis à l'Europe, en dépit d'un budget très inférieur à ceux de ses concurrents, de rattraper son retard initial et de se placer au premier rang dans de nombreux domaines.

La première génération des programmes de l'ESA s'articule autour :

- du développement du lanceur Ariane, dont le premier lancement réussi est intervenu le 24 décembre 1979 depuis la base spatiale de Kourou, en Guyane française ;
- du développement du programme Spacelab (un laboratoire spatial emporté par la navette spatiale américaine) en coopération avec la NASA ;
- de celui des satellites de télécommunications MARECS et ECS ;
- et du programme scientifique, avec les missions COS-B – sonde assurant la surveillance par satellite des émissions de rayons gamma dans l'univers –, et IUE – premier télescope à haute orbite de la planète, qui fonctionnera avec succès pendant dix-huit ans.

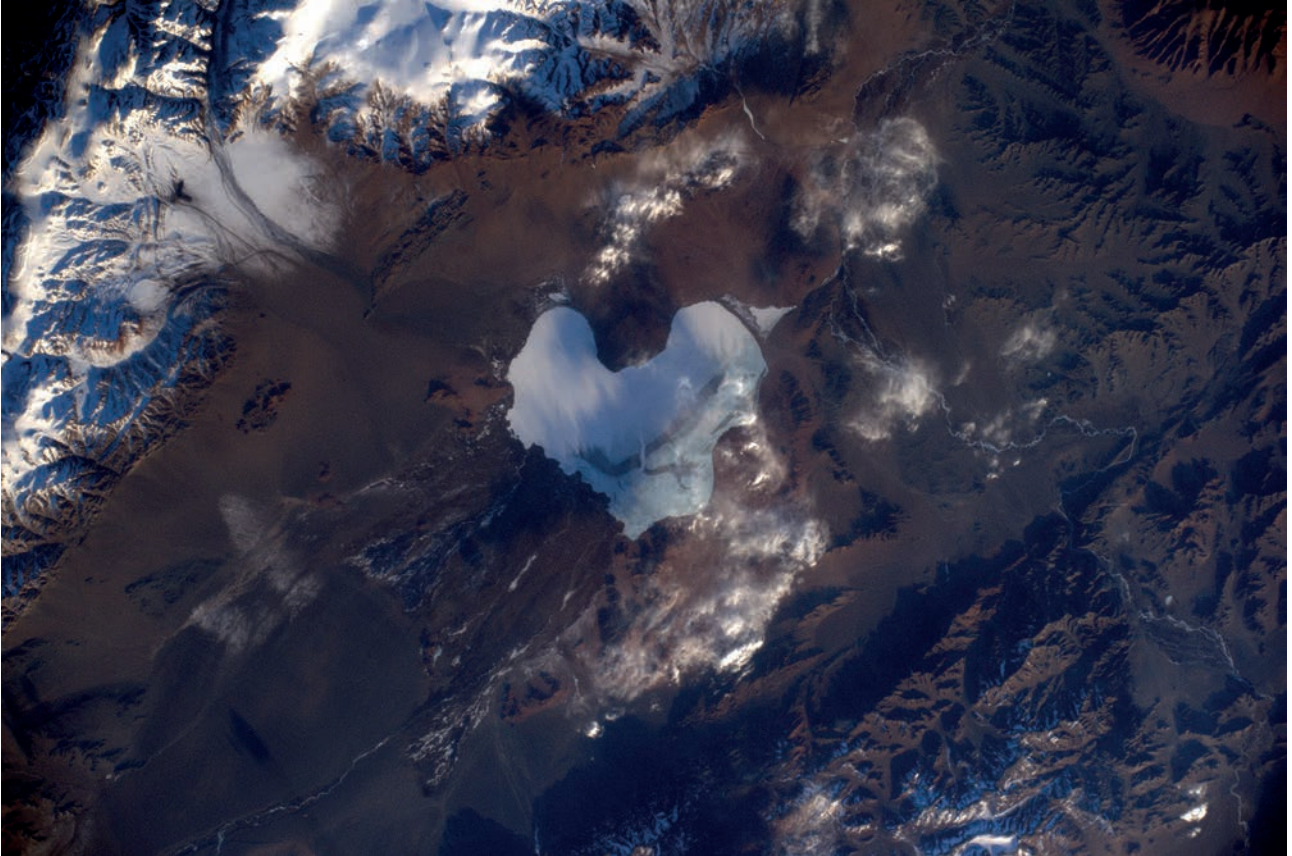
Cette première génération sera suivie par beaucoup d'autres, avec des succès spectaculaires comme la

Photo © NASA/ESA



Thomas Pesquet en sortie extra-véhiculaire et la station spatiale internationale, 13 janvier 2017.

Photo © NASA/ESA



« From Earth with love », photo d'un lac de Mongolie prise par Thomas Pesquet depuis l'ISS.

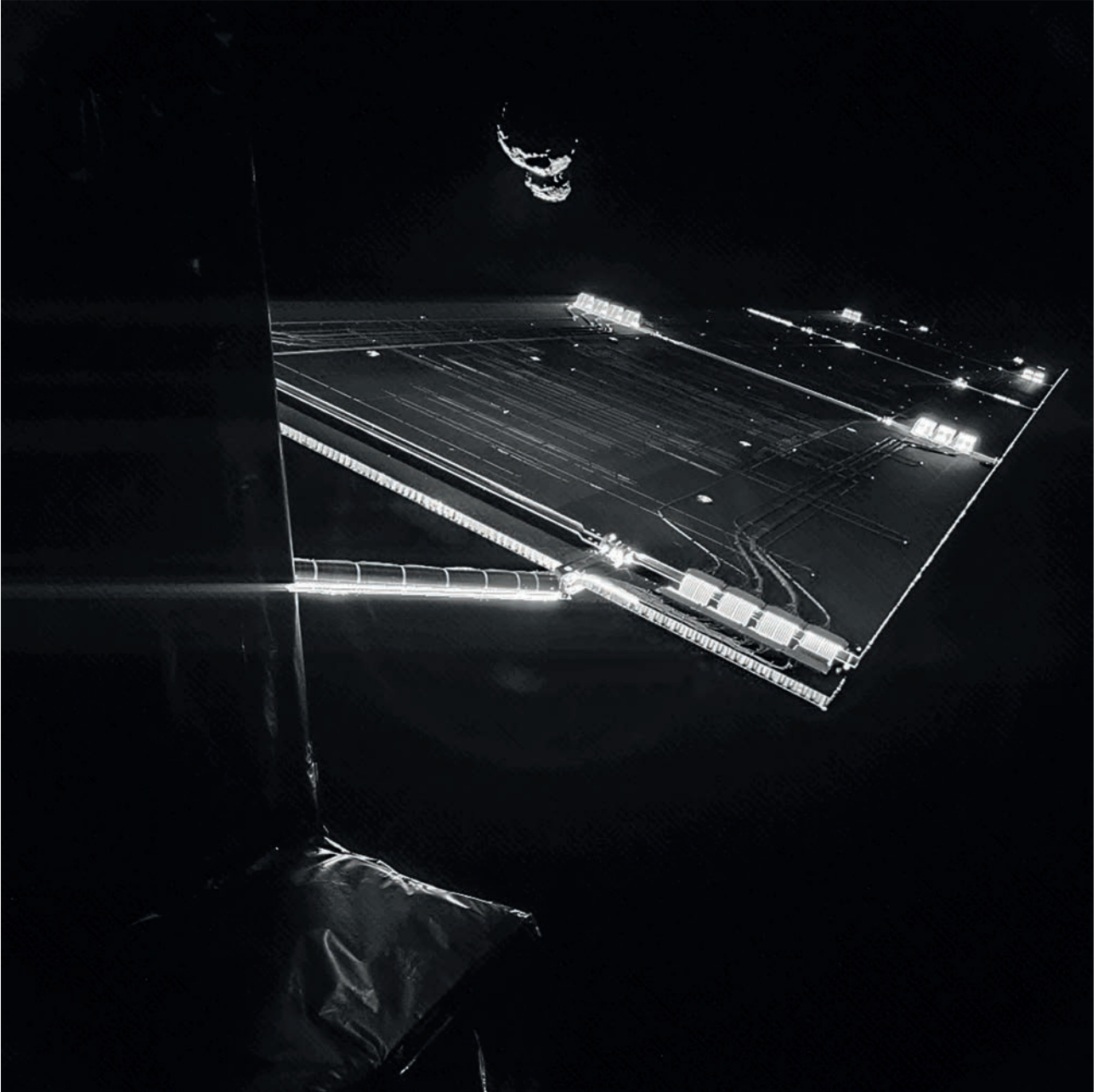


Photo © ESA

Selfie de Rosetta devant la comète 67-P/Churyumov-Gerasimenko.

contribution européenne à la station spatiale internationale (ISS) avec le laboratoire Columbus et le véhicule de transfert automatique ATV ; le petit lanceur Vega ; la mission Herschel-Planck qui a conduit à la remise en cause des fondements mêmes de notre compréhension actuelle de l'univers ; Rosetta qui a été mise en orbite en novembre 2014 autour de la comète 67-P/Churyumov-Gerasimenko ; sans oublier, bien sûr, les lancements des satellites Galileo pour la navigation et le démarrage de leurs services opérationnels, et la contribution des satellites du système Copernicus à la surveillance de l'environnement.

La dimension intergouvernementale du spatial a été renforcée par la création, sous l'impulsion de l'ESA, de deux entités intergouvernementales : Eutelsat, en 1977, dans le but de construire, lancer et exploiter des satellites de télécommunications européens, et Eumetsat, en 1986, pour exploiter les satellites météorologiques européens. Eu-

metsat est resté une organisation intergouvernementale, tandis qu'Eutelsat a changé de statut en 2001 pour devenir un opérateur privé. Il est d'ailleurs intéressant de noter que c'est ce modèle d'organisation gouvernementale qui a été ultérieurement copié par l'Asie avec la création et l'entrée en fonctionnement en 2008 de l'APSCO (Asia-Pacific Space Cooperation Organisation), laquelle rassemble six États asiatiques et un État sud-américain.

En parallèle à la création des institutions de l'Europe spatiale (agences nationales et européennes) et sous l'impulsion de la politique industrielle de l'ESA, fondée sur le soutien à la compétitivité de l'industrie européenne sur le marché mondial, une distribution équitable des activités sur tout le territoire européen et l'utilisation systématique de la compétition, l'industrie spatiale s'est développée dans les pays membres de l'Agence, à partir des industries aéronautiques et de Défense nationales. Elle s'est

consolidée à travers la création de grands groupes européens capables de gagner des compétitions au niveau mondial (Airbus Defence and Space, Thales Alenia Space, ArianeGroup). Les programmes de développement technologique de l'ESA, s'inscrivant dans le cadre de partenariats conclus avec des industriels et des opérateurs européens en charge de programmes nationaux, ont contribué à placer cette industrie en position de leader sur le marché des satellites de télécommunications et sur celui des lanceurs commerciaux.

Ainsi, grâce aux efforts déployés conjointement par les États aux niveaux national et intergouvernemental, et depuis une vingtaine d'années au niveau communautaire, l'Europe s'est dotée d'une base industrielle solide, de capacités scientifiques et technologiques de haut niveau, et d'infrastructures spatiales lui donnant à la fois autonomie stratégique et capacité d'engager des coopérations avec les autres puissances spatiales pour se lancer ensemble à la conquête des marchés, l'Europe étant un partenaire recherché pour sa fiabilité et la qualité de ses développements. En dépit d'un investissement public qui demeure faible, puisque l'effort public européen en faveur du spatial, qui s'élève à environ vingt euros par an et par habitant, ne représente que 10 % de l'ensemble des dépenses publiques consacrées au spatial dans le monde, l'espace demeure le symbole d'une intégration européenne réussie. L'Europe est devenue la première puissance en termes de nombre de missions et de kilogrammes mis en orbite par euro public investi dans le spatial. Elle est leader dans de très nombreux domaines scientifiques, dans les sciences de l'univers et dans la compréhension de notre planète et des interactions entre ses composantes. Elle est également une référence pour les missions de service public, comme la météorologie par satellite.

Aujourd'hui, l'investissement public européen dans le spatial s'élève à près de 10 milliards d'euros par an, dont environ 6 Mds pour la seule ESA. Sur ces 6 Mds€, les deux tiers proviennent de contributions des États membres et le tiers restant de l'Union européenne et d'Eumetsat, dans le cadre des programmes Galileo, Copernicus et MTG/METOP.

Une gouvernance qui a su s'adapter aux grands changements ayant affecté le spatial en Europe

Comme nous l'avons vu, l'ESA a su s'adapter et anticiper les évolutions, par exemple, le développement des services spatiaux au travers de la création des premiers opérateurs, le soutien de la croissance de nouveaux industriels spatiaux comme SSTL ou OHB, et la consolidation des grands groupes industriels, Airbus Defence and Space et ArianeGroup.

L'ESA a rapidement mis en place (avec succès) les outils lui permettant d'encourager et de soutenir l'implication croissante du secteur privé dans le spatial, comme les partenariats public-privé (PPP) dans son programme ARTES pour les télécommunications, les incubateurs Business Incubation Centers ou le programme de transfert de technologie encourageant les *spin-off* et *spin-in*.

Mais le plus grand défi soulevé par la gouvernance du spatial en Europe au cours des deux dernières décennies a été sans aucun doute le développement de l'intérêt de l'Union européenne pour l'espace, ce qui en a fait un grand acteur institutionnel au même titre que les gouvernements nationaux et les agences intergouvernementales.

Si l'Union européenne a manifesté son intérêt pour ce secteur dès la fin des années 1990, c'est le démarrage des programmes Galileo et Copernicus, et l'entrée en vigueur du traité de Lisbonne, le 1^{er} décembre 2009, qui ont consacré le rôle désormais majeur de l'Union dans le spatial.

La nouvelle compétence spatiale de l'Union est définie par l'article 189 du traité précité : « Afin de favoriser le progrès scientifique et technique, la compétitivité industrielle et la mise en œuvre de ses politiques, l'Union élabore une politique spatiale européenne. » Cette compétence s'accompagne d'un rôle accru du Parlement européen dans l'élaboration des mesures nécessaires à l'atteinte des objectifs : « Le Parlement européen et le Conseil (...) établissent les mesures nécessaires, qui peuvent prendre la forme d'un programme spatial européen, à l'exclusion de toute harmonisation des dispositions législatives et réglementaires des États membres. » Ainsi, l'Union européenne a dorénavant un mandat explicite pour mener des actions, pour définir et mettre en œuvre des programmes spatiaux et pour coordonner les actions dans ce domaine.

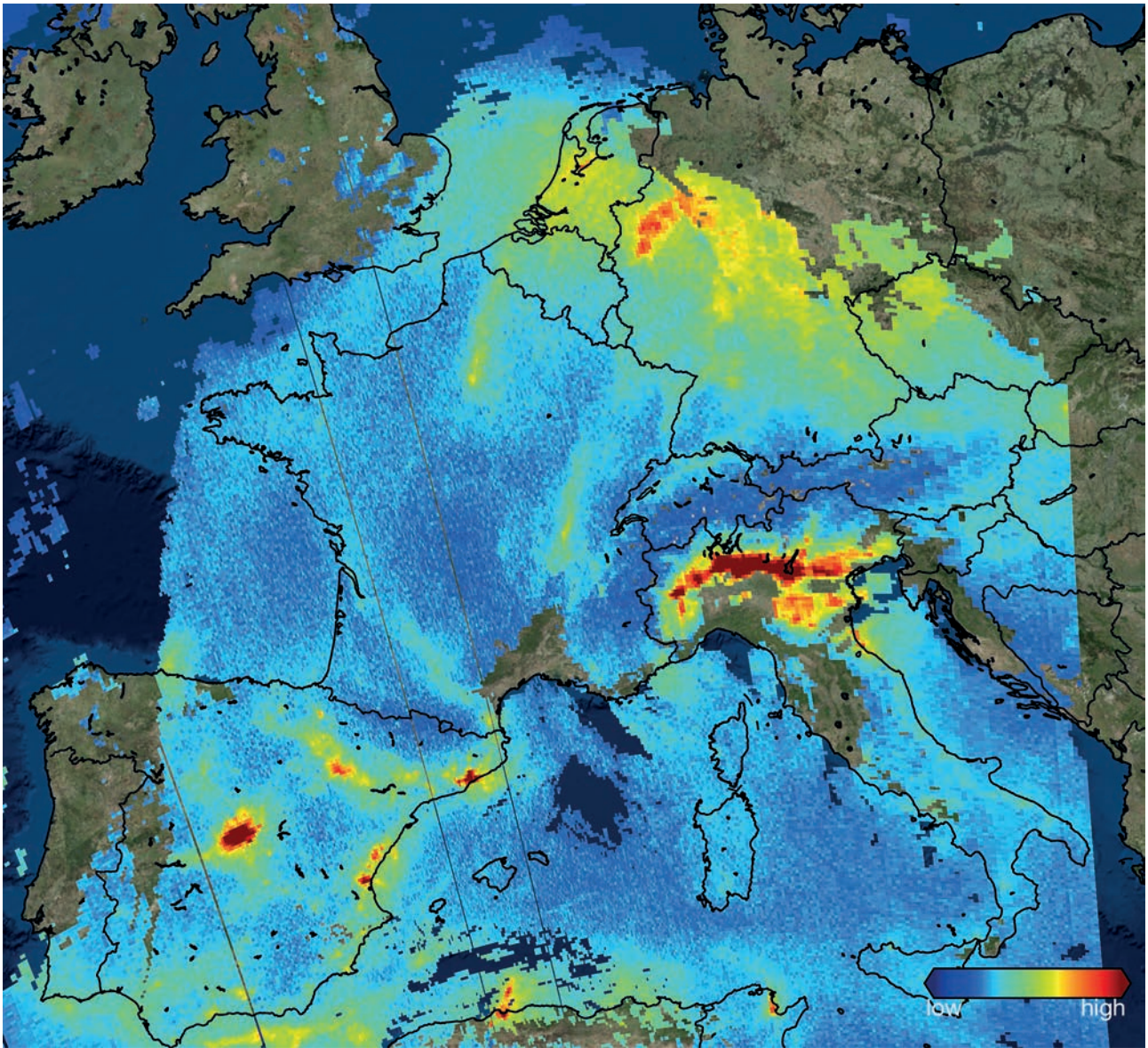
Enfin, le traité de Lisbonne reconnaît explicitement le rôle de l'ESA, puisque son article 189 encourage l'Union à établir « toute liaison utile avec l'Agence spatiale européenne ».

Cela constitue indéniablement une excellente nouvelle non seulement pour l'Europe et le secteur spatial, mais aussi pour les citoyens européens. Ce traité permet à l'Union d'utiliser pleinement l'outil spatial au service de la mise en œuvre de ses politiques ; il renforce aussi la visibilité politique du secteur spatial.

L'Union européenne n'a cependant pas attendu le traité de Lisbonne pour être un acteur majeur du spatial au plan européen. L'Union s'était déjà engagée dans le spatial au travers de programmes comme GNSS et Galileo pour la navigation et la localisation, ou encore Copernicus, le système de surveillance globale pour l'environnement et la sécurité, ainsi qu'au travers des programmes cadres pour la recherche et développement successifs (pour leur partie consacrée à l'espace). Dès 2004, l'Union européenne a par ailleurs conclu un accord-cadre avec l'ESA, qui définit les termes de leur coopération. Cet accord toujours en vigueur à ce jour a été complété par des accords de l'Union déléguant à l'ESA le développement de Galileo et Copernicus, faisant *de facto* de l'ESA, l'agence de mise en œuvre des programmes spatiaux de l'Union. Cela a permis de capitaliser sur les décennies d'expérience acquises par les États européens et l'Agence spatiale européenne, pour élaborer et mettre en œuvre des projets européens complexes sur les plans technologique et organisationnel.

Les géométries de l'Europe sont variées et le secteur spatial reflète la multiplicité de celles-ci. Depuis l'entrée en

Photo © ESA



Sentinel 5-P (décembre 2017) mesurant la pollution au dioxyde d'azote au-dessus de l'Europe. Les concentrations importantes observables dans la vallée du Po et l'ouest de l'Allemagne sont liées aux combustibles fossiles industriels et à l'intensité du trafic routier.

jeu de l'Union européenne dans le domaine spatial, l'Europe spatiale est plus encore diverse et multiforme. Ainsi, les grandes missions spatiales scientifiques sont le plus souvent financées et développées *via* des partenariats conclus entre l'ESA, qui développe la plateforme et finance lancements et opérations, et les agences et laboratoires nationaux, qui eux ont la responsabilité de financer et développer les instruments. Ainsi, les programmes de météorologie par satellites sont développés et exploités dans le cadre d'un partenariat entre l'ESA (en charge du développement des premiers modèles de vol) et Eumetsat (en charge des modèles récurrents et des opérations). De même, le programme Copernicus est le fruit d'une coopération entre l'Union européenne, les agences européennes en charge de l'environnement, l'ESA et les agences nationales. La plupart des programmes de télécommunications par satellites de l'ESA sont construits autour de partenariats avec les maîtres d'œuvre (Airbus, TAS...), les opérateurs (Eutelsat, SES, Avanti...) ou les agences nationales (CNES, DLR).

Cette flexibilité et la gamme des formes possibles de la gouvernance sont deux des clés du succès de l'Europe spatiale. Cela permet d'adapter les contributions de chacun à ses ambitions et à ses capacités, tout en mettant en commun les grandes infrastructures (centres techniques et d'opérations, moyens d'essai, installations de lancement...) afin de développer de manière coordonnée des capacités qui ne pourraient pas l'être par un État, seul. C'est aussi une organisation qui permet de choisir le niveau le plus efficace et le plus compétent pour la prise de décision et pour sa mise en œuvre. Une telle approche « à la carte » de l'intégration européenne, qui repose sur une recherche permanente du compromis, a prouvé au fil des ans sa robustesse et sa flexibilité permettant de développer de grandes infrastructures et de les mettre au service des utilisateurs. C'est une organisation originale, symbole d'une Europe de projets, d'une Europe qui réussit et qui est même leader dans de nombreux domaines.

Quel futur pour l'espace en Europe ?

L'importance de l'espace pour l'économie, la société et le futur de notre planète est devenue telle qu'elle ne peut plus concerner le seul secteur spatial. C'est ce que l'on observe avec les grands acteurs du monde numérique, les GAFA, qui investissent désormais dans le spatial, mettant un nouveau coup de projecteur sur l'espace, à travers la compétition acharnée que se livrent Jeff Bezos et Elon Musk.

Cette ère du New Space ne représente pour le moment qu'une partie congrue des activités spatiales. En 2018, les investissements privés dans le spatial se montaient, en Europe, à 230 millions d'euros, contre un peu plus de 9 milliards de financements publics. Même aux États-Unis, les investissements privés représentent moins de 10 % des financements publics. Une intervention minoritaire qui oblige cependant les acteurs traditionnels du spatial à évoluer, à adapter leurs standards, leurs façons de travailler, pour pouvoir rester dans la course.

Cette nouvelle ère du spatial peut être caractérisée par plusieurs évolutions : l'émergence d'acteurs privés dans un monde jusqu'alors dominé par des acteurs publics et de grands industriels ; des activités tirées bien plus par le marché que par la technologie, et fondées sur les données et les services plus que sur l'infrastructure ; l'ouverture du secteur à un grand nombre de (petits) acteurs entrepreneurs ; la priorité donnée à la baisse des coûts de production plus qu'à l'excellence scientifique et technique ; l'acceptation du risque, qui est nécessaire à l'innovation ; de nouvelles façons de passer des contrats, une autre culture, des acteurs plus jeunes et plus divers...

Cette ère nous plonge aussi dans un monde où l'espace, pleinement intégré dans la société et l'économie, permet

de dépasser les limites de la Terre et, bientôt, d'accéder à de nouvelles sources de ressources minérales ou énergétiques.

L'Europe – et en son sein, l'ESA – a de nombreux atouts : culture de la coopération, expertise, richesse des cultures..., autant d'atouts qui doivent lui permettre de s'adapter et d'entrer pleinement dans l'ère du New Space. L'ESA dispose déjà des activités et des outils devant lui permettre de soutenir et de bénéficier de l'ère du New Space, comme ses 18 incubateurs européens qui ont déjà permis de soutenir et de favoriser le développement de plus de 500 *start-ups*, son initiative en faveur des PME ou son programme de transfert de technologies. Mais il faut aller encore plus loin : à ce titre, l'ESA doit mettre en place une coopération avec la BEI pour soutenir le financement innovant de *start-ups* et de PME, des systèmes de mentorat et, plus généralement, elle doit produire un important effort de simplification de ses processus et faire preuve d'une plus grande réactivité.

C'est seulement à ces conditions que l'Europe pourra continuer à faire la course en tête dans le spatial, que ce soit dans le domaine des sciences ou celui des services opérationnels ; que l'industrie européenne sera encore plus compétitive et continuera à gagner les grands contrats, y compris ceux de la conception des constellations de satellites New Space comme OneWeb ou Blacksky ; et que l'Europe, au sens large (regroupant les capacités nationales, intergouvernementales et communautaires), demeurera un compétiteur respecté et un partenaire recherché pour s'engager dans toutes les grandes aventures à venir de l'espace.

European Union Space Policy

By **Pierre DELSAUX**

Deputy Director General at the European Commission Directorate General for the Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SME's

Europe has achieved many successes in Space, thanks to the fruitful collaboration of Member States, the European Space Agency (ESA), the European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) and the European Union. Copernicus and Galileo/ EGNOS the two Union flagships are the result of this synergic cooperation. They are both fully operational and deliver world class services for Earth Observation and Satellite Navigation. Building on these successes, on 26 October 2016, the European Commission adopted the Space Strategy for Europe setting up a common vision and identifying a number of concrete actions to achieve its objectives. This was enriched by an intensive political debate and orientations provided by Council and Parliament. In view of the political changes at the horizon with the forthcoming elections, it is mandatory to ensure that Europe's successes in Space are ensured. As a result, last June this Commission adopted important proposals that will shape the future of Space in terms of programme components, research and innovation needs and investment ambitions.

Copernicus

Copernicus is the European Union' Earth Observation Programme headed by the European Commission in partnership with the European Space Agency (ESA) that monitors the Earth and its many ecosystems, whilst ensuring that citizens are prepared and protected in the face of crises and natural or man-made disasters. Building on the foundations of deeply rooted scientific knowledge and on decades of EU investment in research and technological development, the Copernicus programme is exemplary of European strategic cooperation in space research and industrial development.

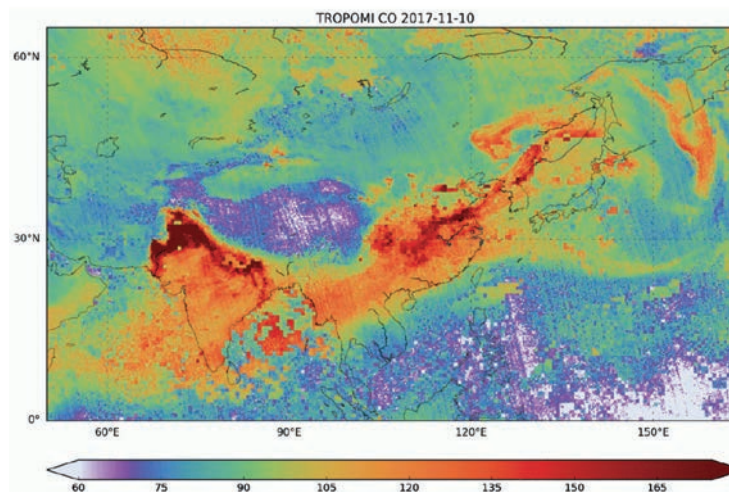
Copernicus brings together communities from across the geoinformation and environmental scientific spectrum, and delivers operational services that range from Arctic sea ice monitoring to emergency response, through oil spill detection and monitoring of urban sprawl. Copernicus services support a broad range of environmental and security applications, including climate change monitoring, sustainable development, transport and mobility, regional and local planning, maritime surveillance, agriculture and health.

Thanks to a variety of technologies, from satellites in space to measurement systems on the ground, in the sea and in the air, Copernicus delivers operational data and information services openly and freely. In this perspective, Copernicus is supporting the EU's role as a global actor and is contributing to solutions to common global challenges. One of the ten priorities of the Juncker Commission is to create a resilient energy union with a forward-looking climate neutral European economy by 2050.

The Copernicus Climate Change Service (C3S) will allow policy makers to adapt and mitigate policies based on consistent and authoritative data about climate change to assess its impacts and better address a sustainable management of resources. The C3S will also help monitor and achieve the EU 2030 objectives for climate change and energy, whose main targets are: a minimum 40% cut in greenhouse gas emissions compared to 1990; at least a 27% market share for renewable energy; and an improvement in energy efficiency of not less than 27%.

Air pollution movement

Copernicus Sentinel-5P carbon monoxide measurements in November 2017 show long-range transboundary air



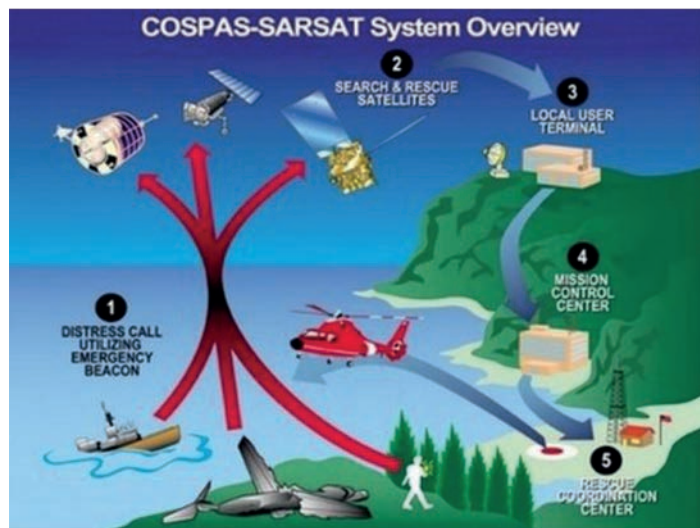
pollution transport from India to China. Launched on 13 October, the Copernicus Sentinel-5P satellite has been used to map atmospheric carbon monoxide around the globe. The mission has a swath width of 2600 km, which allows the whole planet to be mapped every 24 hours. Thanks to its Tropomi instrument – the most advanced multispectral imaging spectrometer to date – Sentinel-5P can zoom down to the surface of Earth and deliver highly detailed and accurate data about the atmosphere.

Galileo/EGNOS

With the declaration of Galileo Initial Services in December 2016, Galileo officially moved from testing phase to the provision of live services. For the first time ever, users around the world started using the positioning, navigation and timing information provided by European satellites.

In the lead up to Galileo Initial Services, many forward-looking companies have created Galileo-enabled receivers, chipsets and modules serving a variety of needs. With Galileo, the positioning information provided by our mobile devices, such as smartphones wearables and tablets, is more accurate and reliable – particularly in urban environments where narrow streets and tall buildings often block satellite signals and limit the usefulness of many mobile services.

To highlight just one recent example of how Galileo is helping European citizens during an emergency it is worth mentioning the Galileo's Search and Rescue (SAR) service. This service is Europe's contribution to an international co-operative effort on search-and-rescue activities – known as COSPAS-SARSAT. It will reduce the time it takes to detect a person lost at sea or in the mountains' from 3 hours to just 10 minutes after a distress beacon is activated, facilitating rescue operations and saving lives. The rescue teams can then make use of the European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), a fully operational regional satellite navigation system improving the accuracy and reliability of the US GPS signal over the European territory. Galileo is also at the core of the eCall UE initiative: since March 2018 all new car and light van models sold in the EU have to be fitted with eCall devices that automatically alert rescue services in the event of accident.



The aim is to promote the uptake of this service not only across all European Member States, but also worldwide. As an example, in November, the US Federal Communications Commission decided to grant a licence waiver for Galileo signal reception in the US. This means that Galileo is the first and only non-US satellite navigation system authorised for use in the US and that citizens and businesses in the US will be able to benefit from using Galileo. This also demonstrates the confidence that policy makers, on the other side of the Atlantic, have in our programme.

To build on our success the main goal for Galileo/EGNOS is to bring the constellation to completion in 2020. Besides, the Galileo High Accuracy Service will bring unprecedented 20cm level accuracy to users around the globe. This development is crucial for cutting-edge technologies like autonomous driving. Work is also ongoing for the Emergency Warning Service, which will swiftly inform people about emergencies such as natural disasters.

Space Surveillance and Tracking (SST)

As European space infrastructure grows, there has been a growing need to ensure the security of space assets that have become indispensable to our economy and society. Actually, it is foreseen that by 2020 Europe will have around 40 EGNSS and Copernicus satellites. To address this, the SST Decision adopted on 16 April 2014⁽¹⁾ establishes a Space Surveillance and Tracking support framework whose general objective is to contribute to ensuring the long-term sustainability of European and national space infrastructure, facilities and services that are essential for the safety and security of the economies, societies and citizens in Europe.

The implementation procedures foreseen in the Decision led to the effective constitution of a Consortium in June 2015 and to the start of the provision of initial EU SST services in July 2016. The five pioneer States (DE, ES, FR, IT, UK) and the EU SATCEN have laid down the building blocks of the EU SST. Most recently, Poland, Portugal and Romania became part of the SST Consortium. Building on national SST capabilities, the EU SST Decision defines three actions:

- The establishment of a sensor function consisting of a network of Member States ground-based and/or space-based sensors, including national sensors developed through ESA, to survey and track space objects and to produce a database thereof;
- The establishment and operation of a processing function to process and analyse the SST data at national level to produce SST information and services for transmission to the SST service provision function;
- The setting up of a function to provide SST services of civilian nature to users (assessment of risk of collision, detection of in-orbit fragmentation, assessment of risk of re-entry of objects in the Earth atmosphere).

(1) Decision N°541/2014/EU of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014.

In line with the Commission' objective to deliver a Europe that protects and defends its citizens, and in order to ensure a more comprehensive protection of space and ground infrastructure, the 2016 Space Strategy for Europe⁽²⁾ recommended reinforcing the SST Support framework and exploring also a possible evolution towards a European Space Situational Awareness (SSA) system to address other threats and vulnerabilities, such as for instance space weather impacts or cyber-attacks.

Space Strategy for Europe

Space technologies, data and services have become essential in almost every sector of society. In our everyday life when using mobile phones and car navigation systems, watching satellite TV or withdrawing cash. Satellites provide immediate information when disasters such as earthquakes, forest fires or floods strike, allowing emergency and rescue teams to better coordinate their efforts. In addition, agriculture benefits from improved land use and transportation and energy infrastructure is safer and can be managed more efficiently thanks to satellite technologies. In short, global challenges due to growing populations, increased demand for resources and climate change require information about our planet which space based solution can provide more easily⁽³⁾.

Space is of strategic importance for Europe as it can support numerous EU policies and key priorities, including the competitiveness of our economy, migration, climate change, the Digital Single Market and sustainable management of natural resources. Besides, it reinforces Europe's role as a strong global player and is an asset for its security and defence.

Building on Article 189 of the Treaty of the European Union, on 26 October 2016 the Commission adopted a new Space strategy for Europe in which a number of concrete actions were identified to achieve four strategic goals:

- Maximising the benefits of space for society and the EU economy by encouraging the uptake of space services and data of the EU flagship programmes Copernicus, EGNOS and Galileo that already serve a number of public policies and sectors;
- Fostering a globally competitive and innovative European space sector by creating the right ecosystem, improving business opportunities and exploiting synergies with non-space sectors;
- Reinforcing Europe's autonomy in accessing and using space in a secure and safe environment by supporting the development of cost-effective, reliable and competitive European launch service, protecting European assets and reinforcing synergies between civil and security space activities;
- Strengthening Europe's role as a global actor and promoting international cooperation with strategic international partners through economic diplomacy initiatives.

In its communication, the Commission expressed its forward-looking vision for the European Space policy of the future.

Space in the post-2020 period

Thanks to the fruitful collaboration of the European, national and international public and private institutions, Europe has achieved many milestones over the last ten years. To continue with these successes and prepare for a smooth transition for the post-2020 period, in June 2018 the Commission adopted three important proposals where space is explicitly referred:

- The Space Programme⁽⁴⁾, to address deployment, evolution and exploitation of space systems and services;
- Horizon Europe⁽⁵⁾ to address research and innovation needs of the Space Programme and the competitiveness of the sector, and;
- InvestEU⁽⁶⁾ to stimulate investment in the space sector in support of entrepreneurship, innovation, and sustainable infrastructure.

The Space Programme regulation is a €16 billion package with concrete proposals to ensure that Europe remains a global leader in space. The proposed roadmap for the upcoming year is clear: continuity, evolution and adaptation.

In this perspective, it is mandatory to maintain and, where needed, to upgrade our world-class infrastructures for Copernicus and Galileo/EGNOS.

For Galileo & EGNOS, we therefore propose to invest €9.7 billion to complete the infrastructure, maintain it and prepare the second generation of the system in order to create a true competitive advantage for Europe in developing for instance autonomous and connected cars, Internet of Things and traffic management but also in developing an autonomous strategic asset for our security & defence.

For Copernicus, we propose to invest €5.8 billion. Copernicus is the most advanced Earth observation system in the world. The objective is to maintain EU's autonomous capacity to observe the Earth and to position Copernicus in support to Europe's security and to Europe's leadership to fight climate change.

To make sure that the European space sector adapts to the new realities space is and should be promoted as an enabler of security. For this, the Space Programme proposes to progressively launch two new initiatives, with a budget of €500m:

- A Space Situational Awareness (SSA) system to avoid collision and debris on key satellites, and to monitor the hazards from space such as solar activities or meteorites.
- A Governmental Satellite Communication (GovSatCom) initiative to provide Member States with reliable and se-

(2) COM(2016) 705 final, 26 October 2016.

(3) Space Strategy for Europe COM(2016) 705 final.

(4) COM/2018/447 final – 2018/0236 (COD).

(5) COM(2018) 435 final – 2018/0224 (COD).

(6) COM(2018) 439 final – 2018/0229 (COD).

cure satellite communication to support police, border protection, diplomatic corps or civil protection during crisis.

The Space Programme foresees a number of horizontal activities aimed at ensuring autonomous access to space through the aggregation of EU demand for launchers and support for the adaptation of ground infrastructures. Besides, it supports the promotion of a European “New space” approach as well as accompanying measures for the creation of a homogeneous space ecosystem across Europe where space start-ups and SMEs can flourish. Finally, in addition to a simplified and consolidated Space programme, we are also proposing a slight adjustment of our governance, between the Commission, the Member States, the European Space Agency (ESA) and the GSA in Prague, which will be renamed the EU Agency for Space Programme. While building on the existing framework, the objective is to ensure an even more efficient decision-making and to build on each other respective strengths. ESA will remain the main partner in the implementation of the Space Programme while the Agency in Prague will have a strengthened role especially on security matters.

The Commission proposal for Horizon Europe has an overall budget of €100 billion divided into three pillars. Space is part of Pillar II on Global Challenges and Industrial Competitiveness under the cluster Digital, Industry and Space that has a budget of €15 billion. Research and Innovation needs for the Space programme components Copernicus, EGNSS, Space Situational Awareness, Governmental Satellite Communications will be identified by the Space Programme and addressed under Horizon Europe. These include R&I needs for the mission, system and services evolution of the programme components as well as foster the user uptake of EU space services and data. In ad-

dition, we hope to be able to launch both a public and private partnership focused on large-scale space systems to boost innovation capacity and competitiveness in the global context, and a Knowledge and Innovation Community (KIC) dedicated to space to foster links with research organisations and academia and facilitate the market uptake of our space programme components.

The InvestEU programme brings together the different EU financial instruments and it will build on the success of the Juncker Plan’s European Fund for Strategic Investments (EFSI). It is organised into four policy windows and Space projects are expected to contribute to sustainable infrastructure, Research, Innovation and Digitisation and SMEs policy windows. Space has been identified as an area for financing and investment operations. Through this programme, Space companies can benefit, for example, through the design of appropriate products, thus capitalising on the InnovFin space equity fund pilot (ISEP), a space fund that launched during this Multiannual Financial Framework. This should also facilitate the development of space infrastructure by financing projects as it currently happens in the transport and energy sectors. Or else, by taking advantage from the advisory support so as to develop a bankable pipeline of projects or for capacity building, communication and awareness raising. Another option could come from synergies with the Space Programme and Horizon Europe. In this case, Space companies could benefit from blending mechanisms, thus allowing de-risking investments. In this perspective, InvestEU embraces a smart capital approach for Space in synergy with the Space Programme and the Horizon Europe framework programme in the endeavour to maximise investment opportunities for Space companies.

La place de la France dans le domaine spatial

Par Jean-Yves LE GALL
Président du CNES

Historiquement, la France a toujours été la troisième puissance spatiale et elle est aujourd'hui le moteur de l'Europe spatiale. Ce rôle éminent s'est bâti sur un partenariat entre le CNES et les industriels, qui leur a permis de devenir des acteurs mondiaux de premier plan dans les lanceurs, les satellites et les applications.

Ce positionnement est confronté à un bouleversement du secteur, né de l'apparition, aux États-Unis, de nouvelles entreprises, dont les chefs de file ont des parcours liés au développement d'Internet. Ce phénomène, baptisé New Space, semble remettre en question les fondamentaux du secteur.

En fait, le spatial connaît une double évolution, la numérisation et la globalisation. Cela signifie une réduction très forte du coût de possession des systèmes spatiaux et l'émergence de nouveaux acteurs, à la fois publics et privés, et pour la France, à la fois clients et concurrents.

La réponse du CNES repose sur le maintien de son excellence scientifique, le développement de son écosystème et la coopération internationale. L'ensemble étant soutenu par la puissance publique dont le rôle est finalement, et de façon un peu paradoxale, considérablement renforcé par le New Space.

La France, la troisième puissance spatiale...

La conquête spatiale n'est pas seulement un défi industriel et technologique, comme pour la plupart des autres secteurs économiques. Cette conquête engendre plus de rêves que toutes les autres, mais surtout, elle affirme aux yeux du monde l'avancée technologique d'un pays et son rayonnement. C'est en quelque sorte une autre arme de dissuasion, l'affirmation de la prédominance scientifique d'une nation.

Cette course à l'espace a été au cœur de la conquête spatiale américaine. Le 20 juillet 2019, nous célébrons le 50^{ème} anniversaire du premier pas sur la Lune de Neil Armstrong. Quand James Webb, l'administrateur de la NASA, entendit le 25 janvier 1961, le discours du Président Kennedy annonçant l'homme sur la Lune, "before the decade is out", il eut cette réplique : "Who wants my job?". En effet, il fallait tout inventer et surtout innover, alors que les ingénieurs travaillaient encore avec des règles à calculs. Mais il s'agissait avant tout de démontrer l'avance des États-Unis sur l'Union soviétique, bien plus que d'engager une révolution technologique.

La France en a fait de même à l'époque. Afin de fournir une structure chargée de développer et de coordonner les

activités spatiales françaises, le général de Gaulle a décidé de créer le Centre national d'études spatiales (CNES), le 19 décembre 1961. Cette décision s'inscrivait dans la continuité des actions menées après la Libération pour faire de la France la troisième puissance spatiale mondiale et, par la suite, le moteur de l'Europe spatiale.

... et le moteur de l'Europe spatiale

Grâce à la volonté du général de Gaulle, confirmée depuis par tous ses successeurs, la France a su se doter d'une industrie spatiale intégrée et verticale, qui développe des lanceurs, des satellites et des applications utilisant le formidable flux de données que génèrent les systèmes spatiaux. Aujourd'hui, les deux principaux industriels français de l'espace, Thales Alenia Space et Airbus Defence and Space, sont des acteurs mondiaux reconnus sur l'ensemble des segments. Certes, l'Allemagne a su, au cours des dernières années, investir le champ des satellites avec la société OHB, soutenue financièrement et politiquement par le gouvernement allemand. Certes, l'Italie en a fait de même sur le segment des lanceurs, avec plus particulièrement le lanceur Vega développé par la société Avio. Mais la France, avec son Centre spatial guyanais, devenu au fil du temps « le port spatial de l'Europe », avec le succès des lanceurs Ariane, avec ses compétences



Photo © CNES/ESA/Arianespace/Optique Vidéo CSG

Opération d'intégration des satellites Galileo 19, 20, 21 et 22, au Centre spatial guyanais.

« La France, avec son Centre spatial guyanais, devenu au fil du temps “le port spatial de l'Europe” a un positionnement unique et incontournable dans le secteur spatial européen. »

reconnues mondialement dans tous les domaines des systèmes orbitaux et sa capacité d'anticiper sur tous les sujets de l'activité spatiale, a un positionnement unique et incontournable dans le secteur spatial européen.

Cela se traduit par un chiffre d'affaires du spatial français dépassant les 4,4 milliards d'euros et par plus de 14 000 emplois hautement qualifiés, soit plus de la moitié du chiffre d'affaires de l'industrie spatiale européenne et plus d'un tiers de l'emploi (CoSpace, 2017). De même, la France est le premier contributeur de l'Agence spatiale européenne, avec, en 2019, un financement de 1 174 millions d'euros, lequel est en augmentation de près de 20 %, la France se plaçant devant l'Allemagne et l'Italie.

Ce savoir-faire industriel s'appuie notamment sur la qualité d'une science spatiale française qui se classe deuxième au niveau mondial, comme l'illustre sa contribution aux missions martiennes Curiosity ou InSight : les principaux instruments – la caméra d'analyse du sol martien ChemCam et le sismomètre SEIS – étant des fabrications françaises. La France a su aussi, dans la droite ligne du succès de l'Accord de Paris et dans le cadre du One Planet Summit imaginé par le président de la République, se mobiliser pour convaincre la plupart des puissances spatiales de la planète de la rejoindre dans le Space Climate Observatory

pour mettre à la disposition des États du monde entier les données disponibles sur le changement climatique pour pouvoir mesurer son impact aux niveaux global et régional. Enfin, la France a su développer, à partir de là, des partenariats uniques avec la Chine pour l'observation des vents et des vagues, avec l'Inde pour prévenir les conséquences du changement climatique ou encore avec le Japon pour le retour sur Terre d'échantillons de corps célestes.

La Défense est le deuxième pilier, après la science, du savoir-faire français. Pendant la première guerre du Golfe, au début des années 1990, 98 % des images spatiales stratégiques étaient apportées par les États-Unis. Cette dépendance, inacceptable à long terme, a conduit à la réalisation des programmes de renseignement spatial militaire Hélios et de ceux qui leur ont succédé dont le satellite d'observation CSO-1, lancé depuis la Guyane, le 19 décembre 2018. Une nouvelle fois, l'excellence scientifique et industrielle française a démontré sa qualité et sa capacité à répondre présente dans la course technologique que nous imposent nos concurrents.

Mais cette double excellence est aujourd'hui confrontée à l'émergence d'un nouveau paradigme, le New Space.

Le New Space, le trublion américain

L'arrivée de nouveaux acteurs industriels issus du monde de l'Internet et l'émergence de nouveaux compétiteurs comme SpaceX, société créée par Elon Musk, ou Blue Origin, propriété de Jeff Bezos, ont pu faire croire à une révolution dans l'industrie spatiale rendant celle-ci moins dépendante des États et de leur financement en l'ouvrant largement aux investissements privés. En fait, il n'en est rien.

En ce qui concerne l'investissement privé, le GIFAS a présenté en 2018 les montants clés de l'industrie spatiale (CoSpace, 2018) et a souligné le fait que plus de 80 % du chiffre d'affaires mondial de cette industrie reposent sur la commande publique, ce que la NASA a confirmé récemment. Aux États-Unis, le spatial historique représente 80 milliards de dollars, là où le New Space se situe entre 2 et 4 milliards ! Et la commande publique est tout autant majoritaire dans les programmes de puissances spatiales affirmées, comme la Chine, l'Inde ou le Japon (pays dans lequel on atteint même les 95 %), que dans ceux des nouveaux venus, comme l'Australie ou les Émirats Arabes Unis.

L'autre révolution annoncée concernait celle de l'arrivée en masse de *start-ups*, qui allaient vite dépasser les grands donneurs d'ordre en place. Dans leur ouvrage récent, *Big is Beautiful*, paru aux Éditions du MIT, en 2018, Robert Atkinson et Michael Lind nous éclairent sur le paysage réel de l'innovation. Les *start-ups* sont des accélérateurs importants de croissance et d'innovation. Mais pour passer de l'innovation au produit, puis au marché, ces mêmes *start-ups* collaborent avec les grands groupes auxquels elles proposent leurs productions. En fait, les *start-ups* représentent moins de 5 % de l'emploi industriel !

Une vraie révolution ou une simple évolution ?

Dans son livre *The World is Flat*, publié en 2005, Thomas Friedman essayait de décrire ce que nous appelons communément la quatrième révolution industrielle. Pour lui, deux éléments centraux ont façonné ce nouveau paradigme : d'une part, la numérisation de l'économie et, d'autre part, la mondialisation et l'apparition de nouveaux compétiteurs économiques.

Si nous partons de ces données de base, nous comprenons bien que ce que nous appelons le New Space n'est en fait rien d'autre que ce nouveau paradigme économique dans lequel tous les acteurs du spatial ont un rôle à jouer. La numérisation de l'économie a permis, dans le spatial, la miniaturisation des satellites, et son corollaire, l'abaissement considérable du coût de possession d'un système spatial.

Cette miniaturisation, synonyme de baisse des coûts de production, a amené de nouvelles entreprises à se positionner sur ce marché qu'est devenue la donnée spatiale. Car plus encore que la numérisation, c'est la valeur de la « bonne » donnée qui révolutionne cette industrie. Or, les satellites mesurent depuis l'espace de plus en plus

de paramètres divers et variés, que ce soit dans l'atmosphère, sur toute la surface des terres émergées ou partout sur les océans. Aujourd'hui, dans la télémédecine, le véhicule autonome, l'aménagement du territoire ou la gestion des villes, la donnée spatiale donne un avantage compétitif décisif et son émergence bouleverse le modèle économique qui prévalait jusqu'alors.

D'une économie de l'offre représentée par les satellites et les lanceurs, nous évoluons à grande vitesse vers une économie de la demande « drivée » par la bonne donnée et l'établissement d'un marché rentable. Aujourd'hui, les lanceurs et les satellites deviennent des utilités au service du marché de la donnée, à l'instar de l'évolution de la SNCF, qui aujourd'hui n'est plus uniquement un opérateur ferroviaire avec ses trains Alstom, Siemens ou Bombardier, mais est également un opérateur de toutes les mobilités, avec pour objectif non plus de nous transporter d'une gare à une autre, mais de notre domicile vers notre lieu de travail.

Le secteur spatial connaît à son tour la même évolution. Il ne propose plus seulement des satellites ou des lanceurs, mais également de véritables infrastructures nous permettant d'accéder à un grand nombre de données. Galileo n'est déjà plus une infrastructure de satellites, il est devenu une offre de services de positionnement et de temporalité.

Pour se convaincre de cette évolution, il suffit d'analyser les chiffres macroéconomiques. En 2017, par rapport à un chiffre d'affaires mondial qui s'élevait à 348 milliards de dollars (Satellite Industry Association, 2018), celui des services liés à la donnée était de 128 milliards contre seulement 5 milliards pour les lanceurs et 15 milliards pour les satellites ; les 200 milliards restants se répartissant entre les équipements de réseaux et les missions institutionnelles, science ou Défense.

La mondialisation dont parle Thomas Friedman est aussi une évolution structurante du secteur spatial. Il y a à peine trente ans, le secteur spatial était une sorte de « Ivy League » menée par les États-Unis, l'Union soviétique, la France et le Japon. Aujourd'hui, ce sont plus de 50 États qui ont rejoint ce club. Cette mondialisation illustre aussi ce que les géographes urbains américains appellent le paradoxe de Porter. Car à cette ouverture au monde correspond une concentration sectorielle des activités de haute technologie comme l'est le spatial. En France, le centre de gravité de ce secteur est situé dans le grand Sud-Ouest, avec Toulouse comme capitale des satellites et des applications. Un second pôle, spécialisé dans les lanceurs, est situé en région parisienne. En Allemagne, Brême et la région de Munich sont les pendants de cette concentration française.

Une réponse en trois volets

Face à ces évolutions structurelles, la première réponse repose sur notre excellence scientifique qui, forte de ses scientifiques de renommée mondiale, est unanimement reconnue, notamment en matière d'exploration martienne ou de lutte contre le changement climatique. C'est sur

ce terreau que nous avons construit notre base industrielle et c'est aussi à partir de celle-ci que nous avons pu développer un grand nombre de satellites dans des domaines très divers, par exemple Konnect pour les télécommunications qui permettra bientôt à la France de ne plus déplorer l'existence de zones blanches pour Internet, et permettre ainsi de tenir les promesses du président de la République sur l'effacement de la fracture numérique territoriale à l'horizon 2022.

Cette excellence scientifique sur laquelle s'est construite notre industrie est la seule à permettre l'innovation sur laquelle reposent le développement et l'avenir de notre filière. Sans recherche scientifique spatiale, pas d'innovation, et sans innovation, pas de nouveaux marchés, et donc, moins d'emplois en France. Elle garantit aussi sur le long terme la position de la France face aux nouveaux acteurs que sont les nouveaux entrants et leur industrie.

La deuxième réponse réside dans l'intégration encore plus poussée de l'écosystème spatial français. Le CNES a parfaitement intégré le nouveau rôle qu'il a à jouer en la matière, comprenant vite que seul le développement de l'ensemble de cet écosystème permettra de maintenir l'excellence française, que ce soit dans le domaine scientifique ou dans celui de l'industrie.

Dans ce but, le CNES collabore avec plus de cent *start-ups* et a su, par des transferts de technologies en faveur de Géoflex, par des investissements dans CLS et Novespace et par le soutien technologique qu'il apporte à la filière des nano-satellites au travers de Nexeya et des projets Angels et Kinéis, développer des activités qui aujourd'hui prospèrent et créent des emplois. De même, le CNES signe des collaborations avec les régions et les métropoles françaises afin d'offrir à des entreprises ne travaillant pas directement dans le secteur spatial la possibilité de bénéficier de transferts de technologies et de partenariats gagnant-gagnant avec l'écosystème spatial. Mais cela ne suffit pas dans un monde où 3,9 milliards de dollars ont été investis dans la création de nouvelles entreprises spatiales en 2017 (Space Angels, 2018). Le CNES a donc décidé de créer un fonds pour financer les futures créations d'entreprises afin d'élargir la base industrielle spatiale française car, plus celle-ci sera large, et plus la France pourra continuer à jouer un rôle majeur dans ce secteur.

Enfin, la coopération internationale est la troisième réponse aux évolutions qui touchent le secteur spatial. Aujourd'hui, aucun État – même les États-Unis – ne peut financer à lui seul des missions scientifiques d'exploration, pas plus que les systèmes orbitaux nécessaires à

leur réalisation et à celle des futures missions lunaires ou martiennes. Les États-Unis proposent déjà pour réaliser le projet « Deep Space Gateway », autour du système Terre-Lune, de conclure un partenariat public-privé, mobilisant les partenaires historiques de la station spatiale internationale, ainsi que, sans doute, l'Inde, voire la Chine, mais aussi et surtout les grandes entreprises du spatial mondial. Sur ce sujet, la France bénéficie là encore d'atouts sans équivalent, notamment le CNES qui est la seule agence spatiale à coopérer avec l'ensemble des acteurs spatiaux dans le monde.

En Europe, l'excellence spatiale repose sur la France, l'Allemagne et l'Italie. Sans le renforcement de cette intégration industrielle et stratégique, l'Europe et la France ne pourront pas maintenir leur rang. Il existe donc une urgence à un renforcement des filières existantes et à l'émergence de projets communs, comme il a été rappelé dans le traité franco-allemand signé à Aix-la-Chapelle, le 22 janvier 2019.

Un secteur public incontournable

La quatrième révolution industrielle, caractérisée par la numérisation des modes de production et la mondialisation des échanges, a touché le secteur spatial comme l'ont été tous les autres secteurs technologiques. Face à ce défi, le spatial doit, en France, repenser son partenariat public-privé. Ce partenariat s'est construit durant les vingt dernières années autour du CNES, qui a permis l'émergence d'industriels de niveau mondial grâce à des financements innovants et au transfert de technologies.

Aujourd'hui, ce partenariat nécessite d'inclure encore plus d'acteurs venus de secteurs aval comme l'agriculture, le transport autonome ou la télémédecine : ce sont des entreprises privées, allant des *start-ups* aux grands groupes, en passant par les équipementiers et, bien sûr, le CNES, dont le rôle est d'expérimenter et de consolider les innovations pour préparer les marchés de demain.

La privatisation de l'espace, annoncée par les augures du New Space, n'est finalement que l'évolution nécessaire et le renouveau d'un partenariat public-privé, dans lequel chacun des acteurs doit jouer son rôle autour d'enjeux économiques et stratégiques de plus en plus importants, et où l'investissement public restera largement majoritaire dans les années à venir.

De ce point de vue, la France, forte de son excellence scientifique, de l'action du CNES, qui s'étend en Europe et dans le monde entier, et de ses industriels du meilleur niveau mondial, a su prendre le train du changement !

L'évolution du contexte spatial américain

Par Xavier PASCO

Directeur de la Fondation pour la recherche stratégique

Des investissements encore inégaux à ce jour continuent de faire des États-Unis la première puissance spatiale dans le monde. Cette première place repose sur les deux piliers que sont l'exploration spatiale habitée et le développement de l'espace militaire. L'époque récente s'est même caractérisée par une croissance des dépenses militaires liée à un sentiment croissant de vulnérabilité face à la montée en puissance de la Chine et le maintien par la Russie de capacités importantes. En parallèle, l'émergence d'une nouvelle industrie spatiale à vocation plus directement commerciale s'est exprimée à travers des entreprises emblématiques comme Space-X ou Blue Origin dans le domaine du lancement. Les applications spatiales connaissent aussi des évolutions avec l'espoir pour les investisseurs de nouveaux débouchés dans le secteur de l'information. Mais le soutien apporté par l'État apparaît indispensable pour garantir le succès de ce qui reste encore un pari industriel incertain.

Du point de vue gouvernemental, et en dépit d'effets d'annonce parfois déroutants, l'activité spatiale américaine reste marquée sous l'administration Trump par deux grandes tendances : la consolidation d'un programme d'exploration habitée qui demeure structurant pour l'industrie et la poursuite d'un effort militaire inégalé, qui, à la fois, nourrit et tire parti des avancées d'une nouvelle économie spatiale.

Le secteur industriel spatial américain se trouve ainsi consolidé dans ses fondements mêmes en même temps qu'il étend ses relations avec le monde des technologies de l'information. Cette interaction de deux cultures différentes, voire de deux mondes étrangers, apparaît sans doute comme l'une des nouveautés formelles (à défaut de l'être au fond) les plus radicales de ces dernières années pour tout observateur assidu du secteur spatial américain.

Un resserrement de la stratégie spatiale américaine sur l'exploration habitée

Le programme spatial civil a toujours été sensible aux aléas politiques. Plus précisément, l'exploration humaine de l'espace n'a existé qu'en rapport avec des conjonctures extérieures qui lui donnaient ponctuellement une valeur particulière. Ce fut le cas pour la course à la Lune. Cela a été également vrai avec la décision d'engager puis d'accélérer le programme de la station spatiale internationale, voire avec la décision de relancer l'exploration lunaire avec le programme Constellation annoncé en 2004 par George W. Bush. Mais, en dehors de ces périodes

spécifiques, le thème de l'Homme dans l'espace n'a, en général, présenté que peu d'attrait politique aux États-Unis. Le programme de la navette spatiale n'a été décidé en 1972 par Richard Nixon que pour éviter de coûteuses fermetures d'usines dans un contexte électoral tendu, alors que l'engouement pour Apollo était retombé. La station spatiale, elle-même, a parfois connu des temps difficiles à la fin des années 1980 avec des risques d'annulation au Congrès. Et au cours des années récentes, les mêmes difficultés se sont manifestées avec l'arrivée au pouvoir de Barack Obama.

Les débuts de la présidence démocrate se sont traduits par l'abandon du programme du retour sur la Lune annoncé par son prédécesseur républicain. L'espace habité passait alors avec difficulté le test de l'alternance politique et se trouvait en butte aux critiques des défenseurs des programmes sociaux, le cœur même de l'électorat du nouveau président. Celui-ci prit la décision d'annuler le programme dès les premiers mois de son mandat. La nécessité d'augmenter le budget du programme lunaire de 3 milliards de dollars par an, selon l'étude d'un panel d'experts missionnés par le président, suffira à justifier cette mesure. La Lune ne présentait plus suffisamment d'intérêt (« *déjà fait* », dira Obama) pour pouvoir infléchir la vision du président républicain.

Mais le choix fut aussi tactique, Barack Obama subissant les mêmes contraintes que ses prédécesseurs. Un des grands directeurs de l'administration spatiale américaine, doté lui-même d'une vision assez critique de l'Homme dans l'espace, estimait en effet, dans les années 1970,

qu'« aucun président ne pourrait jamais sortir les États-Unis du vol habité ». La charge symbolique reste lourde et place chaque exécutif dans la situation de devoir « gérer au mieux » ce type d'engagement. Il n'en a pas été différemment pour l'administration Obama. Et c'est par choix tactique qu'en même temps que se confirmait l'annulation du programme du retour sur la Lune, la présidence démocrate prit soin, sous la pression du Congrès, de confier à la NASA un effort d'investissement à long terme dans un lanceur lourd (le *Space Launch System*, ou SLS, dont on attend le premier vol pour 2020) et un véhicule « à tout faire » (*Multi-Purpose Crew Vehicle*, ou MPCV devenu depuis *Orion*) appelé à préparer les premières étapes d'un voyage martien à un horizon non spécifié. En parallèle, la NASA a été invitée à passer ses premiers contrats dits de « services commerciaux de transport en orbite » (COTS) dès 2006, permettant ainsi à de nouveaux acteurs tels que Space-X ou Orbital ATK (qui sera ensuite repris par Northrop Grumman) d'émerger comme de nouveaux entrants capables de devenir des partenaires de l'Agence au-delà du rôle classique de sous-traitant. L'ambition pour l'administration était de réduire au silence les critiques des républicains qui commençaient alors à accuser la présidence démocrate de saper la base industrielle américaine. La décision prise montrait précisément l'inverse et allait même jusqu'à faire de la Maison Blanche le soutien de l'industrie la plus moderne et la plus compétitive. Ce mouvement tactique magistral eut l'effet politique escompté privant l'opposition de tout moyen de critiquer les orientations spatiales d'un président qui pouvait par ailleurs se prévaloir d'avoir mis fin à des dépenses lunaires jugées excessives par son électoral.

Cette position a eu des conséquences durables au plan industriel. Au programme COTS succédera un premier programme concernant le transport d'équipages vers la station spatiale. Ce programme CCDev (*Commercial Crew Development*) a été initié en 2009, puis renouvelé en 2012. Il apportera une première tranche de 440 millions de dollars à Space X, presque à égalité avec Boeing (460 millions). Puis une version renouvelée du contrat conduira, en 2014, à verser à Boeing 4,2 milliards de dollars contre 2,6 milliards à Space-X qui s'affichait ainsi comme le *leader* de la « nouvelle industrie » dans l'activité de lancement. Une troisième vague de contrats concernant cette fois le réapprovisionnement de la station spatiale à compter de 2019 jusqu'à sa fin de vie supposée intervenir en 2024 (*Commercial Resupply Service 1 et 2*) a confirmé en 2016 l'installation de Space-X et d'Orbital ATK comme principaux prestataires de transport par capsules (respectivement Dragon pour Space-X et Cygnus pour Orbital ATK) avec un montant global de 14 milliards de dollars au titre de la rémunération de leurs services⁽¹⁾.

Cette période Obama a placé la NASA dans une position délicate que créait pour elle la perte apparente d'objectifs à moyen terme. L'annulation du programme du retour sur la Lune, couplée à l'émergence de prestataires privés, a remis en question le rôle de l'Agence. Les projets lointains de « redirection » d'astéroïdes pour évaluer l'intérêt d'une exploitation de ressources *in situ* ou les idées très

hypothétiques de tests d'atterrissage sur Phobos, une des lunes de Mars, n'ont pas suffi à cette époque à structurer une véritable vision de long terme.

À l'issue du mandat de Barack Obama, l'Agence devait retrouver en urgence un plan susceptible de convaincre l'exécutif et les parlementaires. Alors que le nouveau pouvoir encourageait l'idée d'un retour vers la Lune, prenant ainsi le contrepied de l'administration précédente, les responsables de la NASA ont pu imposer l'idée d'une nouvelle station circumlunaire destinée cette fois à permettre un retour durable sur la base d'une idée originale. Cette idée ira nourrir la première directive spatiale de l'administration Trump qui appelle « au retour d'humains sur la Lune pour une utilisation et une exploration sur le long terme, suivi de missions humaines vers Mars et d'autres destinations⁽²⁾ ». Sans bien sûr que ce texte court aux contours vagues puisse faire office de plan spatial, il a redonné à la NASA un élan fédérateur et un rôle identifiable. De ce point de vue, et sans juger d'objectifs scientifiques qui peuvent être contestés, cette évolution traduit un succès de l'Agence qui réapparaît comme un acteur central doté d'un véritable poids politique dans ses relations avec les acteurs industriels émergents. Ceux-ci ne semblent d'ailleurs pas s'y tromper en réaxant certains de leurs discours sur l'objectif lunaire, qu'il s'agisse de la communication d'Elon Musk concernant les premiers voyages d'amateurs fortunés vers la Lune, ou, plus sérieusement, l'annonce par Jeff Bezos, au travers de sa société Blue Origin, de plans destinés à soutenir cet effort, notamment sur le plan logistique.

L'espace et le monde de l'information

Les transformations des rapports de force industriels aux États-Unis n'ont pas seulement affecté le secteur du lancement. Un trait frappant de ces dernières années a été l'efflorescence de nombreuses « jeunes pousses » dans le champ des applications spatiales. C'est d'abord dans le domaine de l'observation de la Terre que ces *start-ups* sont apparues à l'aube des années 2000, pour certaines d'entre elles. Le mouvement concentré en Californie est d'abord apparu comme une nouvelle étape d'un processus de commercialisation des services spatiaux mis en place dès les années 1990 par l'administration Clinton⁽³⁾. Suite à cette volonté d'installer l'industrie américaine dans le domaine jugé stratégique de la collecte et de la diffusion de données satellitaires, la société Digital Globe, par exemple, est devenue le premier acteur de vente d'images satellitaires dans le monde (devant Airbus, l'autre acteur majeur de ce domaine).

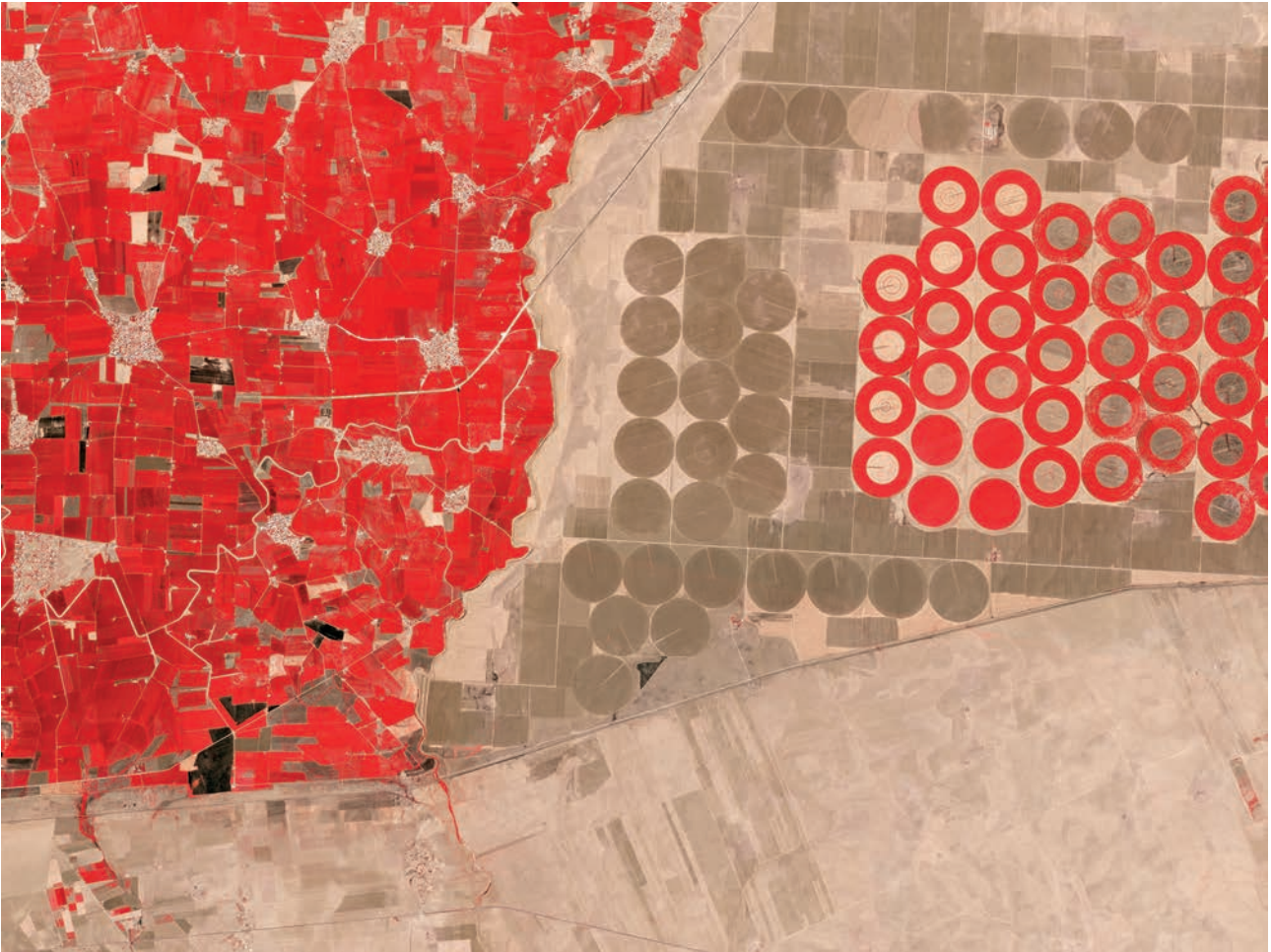
Et c'est dans la continuité de ces premiers efforts que le terrain a continué d'être préparé pour une extension du rôle des États-Unis dans la fourniture de données et dans la maîtrise de leur diffusion. Des nouveaux entrants comme la

(1) *Sierra Nevada, un autre challenger ayant, quant à lui, développé une navette spatiale pour le vol habité, a également vu son projet retenu dans sa version cargo pour assurer cette desserte.*

(2) *Space Policy Directive-1 du 11 décembre 2017.*

(3) *Sur ces points, voir Pasco X. (2017), Le Nouvel Âge spatial, de la guerre froide au New Space, Paris, CNRS Éditions, 192 p.*

Photo © PLANET LARS - Creative Commons



Mise en évidence de pratiques agricoles différentes de part et d'autre de la frontière turco-syrienne, photo satellite Planet.

« Planet a construit son modèle d'affaires sur l'exploitation de très petits satellites, de type Cubesats, fournissant à très bas prix des images certes moins précises que celles diffusées par les plus gros satellites, mais en quantité bien plus grande et avec l'objectif à terme de plusieurs revisites de sites par jour. »

société Planet ont largement bénéficié de ce mouvement de fond. Planet a construit son modèle d'affaires sur l'exploitation de très petits satellites, de type Cubesats, fournissant à très bas prix des images certes moins précises que celles diffusées par les plus gros satellites, mais en quantité bien plus grande et avec l'objectif à terme de plusieurs revisites de sites par jour. Faisant le pari d'une demande en hausse de flux d'informations venant en complément d'images plus détaillées, Planet suscite d'abord l'intérêt du gouvernement américain et de ses services de renseignement qui constituent aujourd'hui son soutien économique le plus sûr. Confrontée à un marché commercial plus lent à décoller, la société compte d'abord sur ce flux d'affaires gouvernemental pour consolider son activité dans l'attente de l'essor progressif d'une activité plus intégrée dans le flux créé par la croissance des technologies de l'information. Cet exemple, s'il reste unique, semble pouvoir faire école, comme pourraient le confirmer les nombreux projets qui tentent aujourd'hui de se faire une place.

Des efforts similaires sont en cours dans le domaine des télécommunications avec l'annonce de nombreuses « méga-constellations » constituées de plusieurs centaines,

voire de plusieurs milliers de satellites en orbite basse. L'objectif serait de réduire la fracture numérique ou de servir des marchés en applications nouvelles basées, par exemple, sur l'Internet des objets. Échaudée par l'échec enregistré par de tels projets dans les années 1990, avec à la clé l'explosion d'une bulle spéculative, la communauté des télécommunications garde un avis mitigé sur le succès de telles entreprises.

Pour autant, aussi bien pour les télécommunications que pour l'observation de la Terre, deux facteurs majeurs sont venus transformer le paysage depuis vingt ans : l'existence d'une activité Internet qui génère d'énormes revenus publicitaires sur lesquels parient les entrepreneurs considérés, et, bien sûr, l'évolution des techniques qui permet désormais d'envisager des télécommunications opérées sur la base de satellites défilants (qui moins coûteux que les satellites géostationnaires permettent en outre une plus grande instantanéité des télécommunications) ou une prise d'image de plus en plus performante grâce à des objets dont le coût unitaire très réduit laisse envisager une possible multiplication de leur mise en orbite à très basse altitude.

Une étude récente d'un cabinet spécialisé américain montre que plus de 1 300 microsattellites (parmi lesquels 70 % de Cubesats) ont été lancés entre 2012 et 2018, avec une multiplication par 6 des satellites de ce type lancés en 2018 par comparaison avec 2012. Sur la même période, la moitié des satellites lancés concernait des charges commerciales avec environ 80 % de ces satellites destinés à l'observation de la Terre. Sur l'ensemble des petits satellites lancés sur la période, 36 % l'ont été aux États-Unis⁽⁴⁾. Les petits satellites ou les Cubesats, longtemps cantonnés dans un rôle purement expérimental, semblent donc trouver aux États-Unis une fonction désormais plus opérationnelle. Cette tendance n'a pas encore d'équivalent dans d'autres pays et correspond à l'éclosion du secteur dit du « New Space », qui, précisément, parie sur la production massive d'images ou de systèmes de télécommunications en relation avec un monde de l'information de plus en plus avide de données.

Ainsi, ce n'est pas un hasard si l'essentiel de ces nouveaux projets se sont d'abord concentrés aux États-Unis, plus exactement en Californie, à Palo Alto, et dans les environs de la Silicon Valley. Toujours selon le cabinet Bryce, entre 2000 et 2017, ce sont près de 17 milliards de dollars qui ont été investis dans plus de cent quarante *start-ups* créées, dans le même intervalle de temps, dans le monde entier, la Californie représentant à elle seule la moitié des deux cent cinquante investisseurs répertoriés. Le phénomène a connu une accélération avec deux tiers des montants investis au cours des cinq dernières années de la période précitée. Les stratégies d'investissement sont nombreuses et varient selon les types d'acteurs considérés, qu'il s'agisse de capital risque, des investisseurs souvent demandeurs d'un retour rapide sur investissement, ou des GAFA, qui y voient plus un possible investissement de moyen terme, ou encore de *Business Angels* qui sont, eux, plus prompts à aider de jeunes pousses prometteuses sur le plus long terme. Avec une moyenne de 2,5 milliards de dollars investis sur les toutes dernières années, les chiffres impressionnent vus de ce côté de l'Atlantique.

Pour autant, le « New Space » continue de ne représenter qu'une fraction des dépenses publiques qui continuent largement d'assurer la continuité des activités spatiales et de l'emploi qui y est associé.

La part écrasante de l'investissement militaire

L'explosion annoncée de la commercialisation des activités spatiales semble en fait au milieu du gué avec une administration qui paraît vouloir stimuler ce secteur tout en évitant de donner un rôle trop central à des acteurs comme Space-X ou Blue Origin. Une nouvelle directive publiée en mai 2018, complétée par la troisième du genre un mois plus tard⁽⁵⁾, appelle à donner un rôle plus grand au Département du Commerce en matière d'organisation et de promotion de cette activité, notamment dans le domaine de la vie orbitale. Ces deux textes montrent une volonté réelle de faciliter l'accès du secteur privé à l'utilisation de l'espace.

Pour autant, aux États-Unis, la dépense militaire représentée, depuis le milieu des années 1980, la plus grosse part de la dépense publique. Le budget spatial du Pentagone s'établirait annuellement autour de 20 milliards de dollars sans compter les programmes classifiés qui, de fait, ne sont pas comptabilisés dans le budget public. De ce point de vue, la présidence Trump, très prompte à afficher son volontarisme militaire, perpétue en réalité une tradition bien ancrée à laquelle son prédécesseur n'avait lui-même pas dérogé. Il faut en fait plutôt parler d'une relance depuis environ dix ans de programmes militaires intégrant une préoccupation stratégique nouvelle, qui est celle de la possibilité, pense-t-on outre-Atlantique, de la survenue d'un conflit militaire dans l'espace. L'insistance américaine à ériger la Chine en futur ennemi spatial depuis le test antisatellite réalisé avec succès par Pékin, le 11 janvier 2007, puis le constat fait du développement d'activités orbitales suspectes, aussi bien par les Chinois que par les Russes (qui sont en fait souvent similaires aux activités expérimentales menées du côté américain), ont, depuis lors, convaincu les administrations américaines successives de renforcer leurs capacités à défendre les satellites américains contre toute tentative d'attaque, voire à en prévenir la survenue possible.

De nombreux programmes dits « contre-spatiaux » ont donc été engagés depuis plusieurs années qui visent aussi bien à accroître les capacités à surveiller de plus en plus précisément les mouvements spatiaux adverses qu'à durcir les satellites ou produire des systèmes offensifs pour contrer, le cas échéant, toute action préemptive. Les lignes budgétaires correspondantes ont été augmentées de près de 8 milliards de dollars sur cinq ans par l'administration Obama, geste confirmé depuis par l'administration Trump qui a réservé un montant du même ordre au titre des prochaines années.

Dans ce contexte, une quatrième directive spatiale vient d'être signée par le président américain, le 19 février 2019, qui annonce la création d'une « force spatiale ». Le mouvement est avant tout symbolique, jugé utile autant pour des raisons intérieures qu'extérieures, et qui, en dépit de réorganisations internes, n'affectera que peu le mouvement de fond déjà engagé⁽⁶⁾. Dans ce contexte, l'industrie spatiale américaine se voit bénéficier de débouchés assurés, et *a priori* pour longtemps. Elle peut compter sur des autorités chinoises ou russes, bien décidées à continuer à affirmer ou à réaffirmer leur présence dans l'espace, y compris sur le plan militaire, pour rester finalement ses meilleures « forces de vente ».

(4) Bryce *Space and Technology* (2019), « Smallsats by the Numbers ». Voir aussi l'étude plus détaillée de la Fondation pour la recherche stratégique, « Petits satellites, petits lanceurs », réalisée entre 2016 et 2018, avec le soutien du CSFRS et accessible à l'adresse suivante : https://www.csfrs.fr/sites/default/files/rapport_final_pspl_avril2018.pdf

(5) *Sapac Policy Directive-2* du 24 mai 2018 et *Space Policy Directive-3* du 18 juin 2018.

(6) En dépit du souhait de Donald Trump de créer une « sixième armée », la Space Force restera tout d'abord (et peut-être pour longtemps) placée sous l'égide de l'armée de l'air américaine...

Chine, Russie, Inde, Japon : essai de typologie de leurs ambitions spatiales en 2019

Par Isabelle SOURBÈS-VERGER

Directeur de recherche au CNRS, Centre Alexandre Koyré

Les activités spatiales des principaux membres du club spatial sont volontiers étudiées par référence à l'hyper-puissance spatiale des États-Unis. Le classement désormais classique des experts occidentaux, si l'on exclut l'Europe, place ainsi en second la Chine suivie de la Russie, puis de l'Inde et du Japon. De fait, cette hiérarchie ne correspond pas tant à des critères liés aux performances spatiales qu'à l'importance accordée à ces États sur la scène internationale et, en filigrane, à la façon dont chacun d'eux est perçu en tant que compétiteur potentiel des États-Unis. Le rôle des activités spatiales étant pleinement reconnu comme élément de puissance, il est intéressant de comparer les ambitions spatiales respectives de ces différents acteurs et de voir si une typologie peut être dégagée afin d'offrir une nouvelle grille de lecture des modalités particulières de l'occupation actuelle de l'espace.

Il existe plusieurs façons d'appréhender le groupe Chine, Russie, Japon, Inde. Trois de ces pays sont membres des BRIC, le Japon se singularisant complètement de par son alliance particulière avec les États-Unis, comme par ses caractéristiques géo-économiques. On peut aussi proposer une approche régionale et considérer qu'il s'agit de puissances asiatiques, la Russie manifestant, de son côté, une orientation vers l'Asie de plus en plus marquée, au détriment de son statut de puissance européenne. Enfin, si l'on prend plus particulièrement en compte les compétences et l'organisation du secteur spatial de chacun, ce sont deux types d'approches qui se distinguent. La première, celle de la Russie et de la Chine, met en avant la dimension stratégique de la puissance spatiale, tandis que la seconde, celle de l'Inde et du Japon, se caractérise par la priorité donnée aux applications civiles et l'ouverture à la coopération.

Le spatial comme élément de politique de puissance

La dimension stratégique de l'espace est un des éléments clefs des débuts de la conquête spatiale. Associées fortement aux capacités nucléaires, les technologies spatiales faisaient partie des déterminants du statut de Super-puissance des États-Unis et de l'Union soviétique pendant la guerre froide. La maîtrise des lanceurs permet en effet le survol par satellite de la Terre entière, et donc du territoire de l'adversaire, de même que les capacités d'observation depuis l'espace permettent l'acquisition d'informations cru-

ciales⁽¹⁾. Cet héritage se retrouve dans les ambitions spatiales d'États comme l'Iran et la Corée du Nord qui restent marquées par la proximité avec des ambitions nucléaires⁽²⁾.

Soixante ans plus tard, si le terme « stratégique » est toujours volontiers employé dans les discours de politique spatiale, le sens qui lui est conféré a évolué pour désigner aujourd'hui une activité considérée comme cruciale et contribuant à l'intérêt national. De ce point de vue, la compétence spatiale renforce l'image de puissance d'un État capable de se projeter dans le milieu circumterrestre pour satisfaire ses besoins en termes d'applications civiles et militaires et d'utiliser cette maîtrise pour renforcer ses moyens d'action à des fins aussi bien nationales qu'internationales.

Cette approche se retrouve au cœur de la politique spatiale de la Russie et de la Chine, non pas pour donner la priorité au volet militaire opérationnel, mais plutôt pour soutenir une ambition de présence globale dans un secteur d'activité essentiel à la puissance étatique.

(1) SOURBÈS-VERGER I. (2010), « L'espace en jeu », L'information géographique, 2010/2, Vol. 74, Armand Colin, <https://www.cairn.info/revue-l-information-geographique-2010-2.htm>

(2) Le cas de l'Iran peut être nuancé, dans la mesure où la géographie du pays et son déficit en infrastructures, couplé à l'ancienneté de son intérêt pour l'espace contribuent aussi à sa volonté de développer des technologies spatiales (voir, Prolifération spatiale et sécurité internationale, coll. « Étude », CSFRS, 2013, https://www.csfrs.fr/sites/default/files/rapport_final_pssi.pdf

La Russie, un effacement relatif faute de stratégie claire

La politique spatiale de la Russie peine à trouver sa propre logique et à se dégager de l'héritage de l'Union soviétique, en particulier d'une approche intégrée des activités spatiales dans le complexe industriel de Défense⁽³⁾. De fait, le regroupement entrepris depuis le milieu des années 2000 de différentes entreprises au sein de *holdings* ne se réalise que très lentement. Les rivalités entre dirigeants mais aussi entre les intérêts locaux, dans la mesure où l'activité spatiale disséminée sur le territoire a donné lieu au développement de villes spécifiques, handicapent une rationalisation imposant la disparition de moyens industriels redondants. En même temps, les efforts de modernisation voulus par le gouvernement depuis plus de quinze ans ont conduit à la rupture des modèles anciens d'approvisionnement et à l'apparition d'une dépendance vis-à-vis de fournisseurs étrangers, en particulier dans le domaine de l'électronique, une des faiblesses récurrentes de l'industrie russe.

La multiplication d'échecs récents, y compris dans le domaine des lanceurs et des vols habités qui sont traditionnellement les points forts du secteur spatial russe, témoigne de la disparition des filières traditionnelles d'intégration et de la difficulté à mettre en place un nouveau système. Sur le plan pratique, les sanctions occidentales liées à la crise ukrainienne⁽⁴⁾ ont encore contribué à renforcer la vulnérabilité des entreprises au point que le gouvernement insiste sur la nécessité de reconstruire une auto-suffisance.

Les lenteurs de cette réforme de l'appareil industriel s'expliquent aussi par l'absence de schéma directif d'ensemble. Les difficultés de réorganisation administrative du secteur sont une autre illustration de ce déficit de pilotage. La création de la corporation d'État, Roskosmos, intégrant dans une seule entité la totalité des entreprises du secteur considéré et l'agence spatiale du même nom visait officiellement à ouvrir un espace de transition entre les anciennes entreprises d'État et l'ouverture à un partenariat pouvant intégrer des acteurs privés. Cette orientation semble en recul avec la nomination en 2018 de Dmitri Rogozine, ex-vice-ministre du complexe industriel de Défense, à la tête de Roskosmos. Le modèle sous-jacent serait alors plutôt celui du secteur des missiles aux succès récents⁽⁵⁾ en termes de modernisation.

Dans ce contexte, les innovations du New Space peuvent difficilement trouver une place. Hormis l'environnement de Skolkovo⁽⁶⁾ qui tente de favoriser l'émergence de nouveaux acteurs, ce sont les entreprises traditionnelles qui continuent à promouvoir les générations futures de programmes.

Depuis quinze ans, la Russie poursuit à son rythme la reconstruction de capacités nationales avec de nouveaux lanceurs (Angara)⁽⁷⁾, mais aussi le développement de la base de Vostotchny en Sibérie afin de se libérer de sa dépendance vis-à-vis de la base de Baïkonour, située au Kazakhstan. Indépendamment du retard pris dans les travaux, le choix de cette localisation témoigne aussi d'une volonté de se tourner vers l'Asie que l'on retrouve dans de

multiples aspects de la politique russe depuis une dizaine d'années.

Cette volonté de remontée en puissance, pour indéniable qu'elle soit, reste marquée par le caractère imprécis des ambitions spatiales nationales russes. Si la volonté de remontée en capacité des systèmes nationaux à des fins aussi bien civiles que militaires est indéniable, la Russie n'affiche pas pour autant de programmes très clairs à l'échéance des quinze années à venir. La fin proche du partenariat avec les Occidentaux pour la desserte de la station spatiale internationale⁽⁸⁾ rebat les cartes des financements internes et externes et pose la question des ambitions nationales russes. L'intérêt de l'Inde pour l'acquisition de compétences dans le domaine des vols habités représente certes une ouverture, mais elle reste limitée. La Russie s'emploie donc à proposer des offres de coopération multiples comme avec la Chine et l'Inde sur les vols habités et l'exploration, et avec les États-Unis dans le cadre du projet Lunar Gateway. Mais en la matière aucun accord définitif n'est encore signé.

La question aujourd'hui ouverte est donc celle de la définition d'une véritable stratégie nationale répondant aux besoins affichés, à savoir le développement de satellites d'application (télécommunications et observation de la Terre) destinés à la satisfaction des besoins intérieurs, une présence plus marquée sur le marché international et la mise en place de coopérations.

La Chine, une puissance montante portée par ses besoins nationaux

Couvrant la gamme totale des capacités spatiales et annonçant des programmes nouveaux ambitieux, la Chine est devenue le point focal de l'attention internationale. Le souci de multiplier les premières comme l'alunissage en janvier 2019 d'un robot sur la face cachée de la Lune après la mise à poste d'un satellite de télécommunications au point de Lagrange⁽⁹⁾, la multiplication du nombre des satellites lancés annuellement, avec un accent particulier sur l'observation de la Terre, et le développement d'un lanceur lourd renforcent le sentiment d'une priorité politique forte accordée aux activités spatiales.

(3) Voir SOURBÈS-VERGER I. (2012), « La Russie et l'espace », dossier « Les industries de l'espace », Réalités industrielles, Annales des Mines, ESKA, mai, pp. 82-91.

(4) La rupture des liens industriels avec l'Ukraine et donc avec les grandes entreprises spatiales de Dniepropetrovsk, Ioujnoe et Ioujmach, a encore renforcé la volonté de la Russie de disposer d'une production 100 % nationale.

(5) Les opérations en Syrie ont montré le caractère opérationnel des nouvelles générations de moyens.

(6) Centre d'innovation près de Moscou.

(7) SOURBÈS-VERGER I. (2018), « La place de la Russie sur le marché des lanceurs », in DUBIEN A. (ed.), Russie 2018. Regards de l'observatoire franco-russe, Éditions l'Inventaire, http://obsfr.ru/fileadmin/reports/2018/Sourbes-Verges_YB2018_FR.pdf

(8) Le vol réussi en mars 2019 de la capsule Dragon de Space-X en mode inhabité permet d'envisager que les États-Unis redeviennent autonomes dans l'accès à l'espace en 2020, après neuf ans de dépendance au Soyouz.

(9) Il s'agit du point d'équilibre, dans ce cas à 450 000 km de la Terre, permettant de figer les positions dans un système à deux corps, ici Terre-Lune, assurant le relais des communications.

Ces ambitions ne sont pas nouvelles⁽¹⁰⁾, mais elles marquent d'autant plus les esprits qu'elles s'inscrivent dans la durée, au point que la Chine est désormais volontiers présentée aux États-Unis comme le seul véritable compétiteur potentiel dans le *leadership* pour l'espace. En réalité, les ressources financières⁽¹¹⁾ et les capacités technologiques de la Chine sont encore loin du standard américain.

Le point fort du spatial chinois reste l'ampleur des besoins nationaux à satisfaire en termes d'infrastructures de télécommunications et d'aménagement du territoire qui suffisent, à eux seuls, à justifier l'ampleur des programmes en cours. Ces attentes vis-à-vis des systèmes spatiaux concernent d'abord des besoins gouvernementaux civils, y compris sécuritaires, puisque l'administration nationale chinoise de l'espace (CNSA, pour le sigle anglais) dépend d'une commission, la SASTIND, qui est intégrée dans le ministère de l'Industrie et des Technologies de l'information⁽¹²⁾. La réforme de l'Armée populaire de Libération engagée depuis 2015⁽¹³⁾, avec la création de forces spatiales et d'une force de soutien stratégique, montre l'importance croissante accordée à l'espace dans la doctrine militaire chinoise. Cela se traduit concrètement par l'augmentation du nombre des satellites lancés à des fins militaires comme la reconnaissance et l'écoute, ainsi que par la mise en place d'un système de surveillance de l'espace. La mise en avant de la synergie civilo-militaire promue au rang de stratégie nationale joue à plein dans le domaine spatial, puisqu'il s'agit de promouvoir le développement des moyens de la Défense en jouant sur le potentiel des capacités civiles et donc d'associer une planification stratégique à des mécanismes de marché.

De ce fait, les annonces chinoises d'un développement des constellations de petits satellites calquées sur le modèle américain deviennent crédibles, même dans l'hypothèse où les bénéfices commerciaux internationaux attendus ne seraient pas au rendez-vous. Cet atout d'un marché intérieur suffisant se retrouve dans les projets de petits lanceurs et, plus globalement, donne à la Chine un élan suffisant pour afficher son intérêt pour le New Space. Ce marché garde cependant certaines caractéristiques chinoises qui doivent être soulignées, en particulier le contrôle que le gouvernement exerce sur les sociétés « privées » susceptibles de se positionner sur le marché spatial commercial.

Enfin, la Chine utilise de plus en plus ses capacités technologiques pour renforcer son influence et poursuivre un développement économique indispensable pour garantir sa stabilité politique. L'outil spatial est ainsi explicitement mis en avant dans le cadre du programme des Nouvelles routes de la soie, au travers de la notion de « corridor de l'information spatiale » qui couvre aussi bien la navigation que les télécommunications. Il est aussi volontiers utilisé comme un outil d'influence au travers de la commercialisation de satellites auprès de pays tiers et au sein d'organisations régionales comme l'APSCO, dont la Chine est le principal leader.

La Chine profite ainsi des effets indirects de l'interdiction de transfert de technologies mise en place par le pouvoir

politique américain à son encontre depuis la fin des années 1990⁽¹⁴⁾. Son secteur spatial est parfaitement autonome et cela lui permet de se présenter comme une alternative aux États-Unis. Indépendamment des coopérations qu'elle propose sur une base de relations entre pays dits du Sud, elle joue aussi sur des effets d'opportunité comme dans le domaine des vols habités. En effet, alors que la station spatiale internationale devrait cesser son activité vers 2025 et que la construction de la base circumlunaire sous *leadership* américain ne sera probablement achevée que vers 2026, la Chine propose déjà des vols vers sa future station Tiangong-3 qui devrait être opérationnelle en orbite circumterrestre autour de 2022, pour une durée de vie de dix ans. Cette politique qui rappelle celle de l'Union soviétique dans les années 1980, et qui a permis le vol de cosmonautes français, suscite évidemment un intérêt réel de la part de nombreux acteurs y compris Occidentaux venant encore renforcer le *soft power* chinois et contribuer à l'illusion d'une concurrence à parité avec les États-Unis.

Dans le spatial comme dans de nombreux autres domaines, la Chine valorise l'originalité de son système, marqué par un fort contrôle et dirigisme gouvernemental, une synergie organisée entre capacités civiles et militaires ainsi qu'entre entreprises publiques et privées, les premières gardant la main sur les programmes gouvernementaux tout en proposant des niches à des acteurs insérés dans le système avec un statut privé. Si la commercialisation des capacités spatiales fait bien partie des objectifs affichés à terme, ce sont les besoins nationaux qui guident encore les décisions politiques, tout en s'inscrivant dans un des mots d'ordre populaires du régime, comme celui du « rêve chinois ».

Une approche exclusivement civile des activités spatiales et la mise en œuvre de la dualité

Les approches indiennes et japonaises se situent dans un registre totalement différent, puisque les deux principes fondateurs de leurs politiques spatiales respectives portent sur le caractère exclusivement civil de leurs activités spatiales et sur une forte dépendance, dès l'origine, à la coopération internationale, principalement américaine pour le Japon et globale pour l'Inde qui applique sa politique de non-alignement.

La maturité acquise au fil du temps fait que le Japon et l'Inde développent aujourd'hui des capacités duales et

(10) SOURBÈS-VERGER I. (2012), « La Chine et l'espace », dossier « Les industries de l'espace », Réalités industrielles, Annales des Mines, ESKA, mai, pp. 92-101.

(11) Bien qu'en croissance régulière, le budget spatial chinois ne représenterait, selon les évaluations les plus larges, que le 1/5^{ème} du budget américain.

(12) L'usage croissant des moyens de surveillance électronique – par exemple, pour la mise en place du « système de crédit social » – renforce encore l'importance de ce ministère.

(13) <https://www.frstrategie.org/publications/notes/moderniser-et-discipliner-la-reforme-de-l-armee-chinoise-sous-xi-jinping-05-2017>

(14) Ces mesures datent du rapport Cox de 1999 accusant la Chine d'espionnage dans le domaine nucléaire et spatial.

qu'ils possèdent leur autonomie. En dépit de ces ressemblances, chacun a évidemment des priorités différentes liées à son niveau de développement économique, technologique et à son statut particulier sur la scène internationale.

L'Inde, la normalisation d'un modèle initial original

La politique spatiale indienne s'est construite sur la priorité donnée à l'usage des technologies spatiales pour contribuer au développement du pays en offrant des moyens inédits de cartographie, de gestion des ressources et de communication incluant du télé-enseignement et de la télé-médecine. L'agence spatiale indienne, l'ISRO (Indian Space Research Organisation), possède ainsi une culture originale intégrant les services et les applications en parallèle du développement de compétences technologiques propres sur fond de coopérations tous azimuts.

L'autre trait particulier de l'ISRO est sa place d'acteur unique : elle est seule responsable de la mise en œuvre de la politique spatiale et de la production des moyens spatiaux, et intègre elle-même les éléments industriels produits par les entreprises nationales. Son rôle central se traduit par une forte dimension interministérielle, puisqu'elle a pour mission de satisfaire les demandes gouvernementales dans leur ensemble, dont celle du ministère de la Défense considéré comme un utilisateur parmi d'autres.

Cette politique s'inscrit aussi dans une volonté d'opérer un rattrapage sur le plan des compétences et de l'autonomie, une ambition couronnée de succès. Ainsi, l'Inde va maîtriser en 2020 la mise sur orbite de ses satellites géostationnaires. En outre, son plan de charge en matière de lancement de satellites nationaux suppose un accroissement significatif de la production du lanceur PSLV, puisqu'elle compte passer de 6 à 12 exemplaires par an.

De plus, la diversification des programmes de l'ISRO va mobiliser l'ensemble des équipes. Alors que les activités d'exploration et surtout de vols habités étaient présentées comme étrangères à la nature du spatial indien au regard de ses obligations d'utilité⁽¹⁵⁾, elles acquièrent progressivement leur légitimité depuis le milieu des années 2000 et sont présentées comme la preuve du chemin parcouru par l'Inde depuis l'époque du sous-développement jusqu'à son nouveau statut international. La maîtrise du lancement de capsules récupérables, et surtout les missions lunaires Chandrayaan en 2008 (le second exemplaire de la sonde qui embarquera un rover doit être lancé en avril 2019) et martienne Mangalyaan en 2013 ont consacré l'Inde comme puissance spatiale de plein exercice. La capacité scientifique du spatial indien illustre ainsi le slogan des années 2000, « Shining India », tandis que la décision d'un vol habité prise par le Premier ministre Modi en 2018 marque une forme de normalisation d'une activité spatiale indienne déclinant désormais toutes les compétences de souveraineté et d'affichage, à l'exception des activités militaires qui, en dépit de propositions de plus en plus insistantes, ne donnent pas lieu à la mise en place d'instances spécifiques⁽¹⁶⁾.

Le principal enjeu actuel du spatial indien porte sur la place que doit occuper l'industrie, notamment la nécessi-

té de lui accorder un rôle accru afin de permettre à l'ISRO de se dégager des activités d'intégration. Si la décision de principe est prise pour l'augmentation de la production du PSLV, dans la pratique, le mécanisme va mettre du temps avant de devenir opérationnel. Un consortium a été créé avec le soutien de l'entité particulière Antrix, laquelle est chargée de commercialiser les licences et technologies développées par l'Agence. Le transfert de compétences se fera progressivement sous l'égide de l'ISRO. En parallèle, une nouvelle société a été créée en mars 2019, avec une participation directe de l'ISRO, pour assurer la production de satellites et de petits lanceurs sur un modèle prônant le partage avec les acteurs industriels.

Cette nouvelle voie permettrait à l'Inde de capitaliser sur les opportunités ouvertes par le lancement de petits satellites. En 2017, l'Inde est apparue sur le devant de la scène internationale avec le lancement d'une centaine de cubesats, profitant de la capacité offerte par la disponibilité du PSLV, en plus des deux satellites nationaux embarqués. Le New Space devient de fait un sujet volontiers mis en avant dans les médias indiens. La particularité d'un écosystème ouvert où le nombre important d'ingénieurs et de techniciens de l'ISRO arrivant à l'âge de la retraite ou souhaitant développer une activité complémentaire, a conduit à la création de quelques sociétés privées par de jeunes ingénieurs souvent formés dans des universités américaines et proposant des voies originales. La société Team Indus a ainsi été l'une des finalistes du concours Google Prize pour la construction d'un engin lunaire privé⁽¹⁷⁾. Ce phénomène reste cependant marginal. S'il témoigne de l'intérêt suscité par les activités spatiales et de l'existence de compétences variées, l'ISRO reste l'acteur crucial. Plus que l'évolution actuelle vers une ouverture forte aux acteurs privés, il faut davantage y voir la nouvelle place donnée au volet industriel dans un écosystème qui reste fortement marqué par la puissance publique.

Les contraintes spécifiques du spatial japonais et ses performances technologiques

À la différence de la Russie, et plus encore de la Chine ou de l'Inde, le spatial japonais n'est pas porté par des besoins intérieurs soutenus. Il est ainsi assez proche du cas européen, dès lors que lui aussi ne conçoit pas les technologies spatiales comme étant au cœur de l'intérêt national.

La caractéristique principale du spatial japonais est son haut degré de performance technologique que les missions Hayabusa de retour d'échantillons d'astéroïdes réalisées en 2010 et 2020 ont largement popularisé. Ce type

(15) L'initiateur du spatial indien, Vikram Sarabhai, dont la vision est encore mentionnée sur le site de l'ISRO, les excluait de la feuille de route nationale des années 1960.

(16) Le tir anti-satellite du 27 mars 2019 a été réalisé par le Defence Research and Development Organisation – l'ISRO n'étant pas concernée – avec un effort visant à limiter le nombre des débris en choisissant de détruire le satellite à une orbite assez basse de 300 km.

(17) Le concours a finalement été annulé faute de lanceur disponible, mais le module de Team Indus devrait être posé sur la Lune en 2020 par la société américaine Space-X.

de réalisation témoigne aussi d'un des aspects marquants du programme national, à savoir la démonstration de sa compétence au travers d'activités échappant à toute critique au regard d'une supposée volonté d'affirmation, une priorité pour le Japon face à la Chine en particulier, mais aussi face à l'Australie et à d'autres acteurs de la scène régionale. Le nombre important de satellites contribuant à l'étude du climat et emportant des instruments appartenant à différents pays, dont la France, en est un bon exemple.

Le Japon maîtrise une large gamme de compétences spatiales, à l'exception des vols habités, alors que, comme l'Europe, il aurait là encore les capacités technologiques et financières pour les réaliser. À la différence des Européens toutefois, la volonté de commercialisation de ses lanceurs comme de ses satellites reste limitée. Le caractère assez restreint de l'industrie spatiale nationale est un élément d'explication, de même que le souci d'éviter des tensions avec son partenaire historique, les États-Unis, toujours très soucieux de patronner le spatial japonais. Enfin, le faible bénéfice qui peut être attendu de l'activité spatiale, comparée à d'autres domaines d'activité, a probablement réduit l'intérêt des entreprises privées d'autant plus que l'agence nationale, la Jaxa, ne peut pas contribuer à la R&D privée⁽¹⁸⁾. Le secteur spatial s'est donc construit autour de besoins nationaux limités, intégrant depuis maintenant vingt ans une dimension de sécurité nationale avec le déploiement d'un nombre croissant de satellites IGS de reconnaissance optique et radar⁽¹⁹⁾ dans un environnement régional difficile lié aux tensions avec la Corée du Nord, mais aussi en mer de Chine⁽²⁰⁾.

Cette expérience dans la gestion des crises *via* les satellites d'observation est aussi exportée à l'échelle régionale dans le cadre des risques majeurs et environnementaux, le Japon proposant des images et des applications au sein de l'Asia Pacific Regional Space Agency Forum⁽²¹⁾. Il offre aussi des services de positionnement dans la zone Asie-Pacifique avec le Quasi-Zenith Satellite System. Le Japon travaille en parallèle à de nouveaux partenariats avec l'Inde sur le mode recherche et développement, ainsi que sur des applications liées à de nouveaux services spatiaux. De même, c'est lui qui a été retenu pour le lan-

cement (prévu en juillet 2020) de la sonde martienne Hope (Al Amal) des Émirats Arabes Unis. Ces coopérations restent cependant contraintes en matière de transfert de technologies par la dépendance aux États-Unis, qui demeurent un partenaire incontournable. Après avoir été très présent dans le programme de station spatiale internationale, le Japon annonce des projets ambitieux dans le cadre de l'exploration lunaire comme un rover habité qui pourrait être développé par Toyota et lancé à la fin des années 2020.

Reconnu pour ses réalisations et des projets technologiques et scientifiques originaux, le Japon souffre cependant d'un budget limité⁽²²⁾. Un fonds spécial dont peuvent profiter les *start-ups* spatiales a été mis en place en mars 2018 par le gouvernement pour soutenir l'innovation, mais l'absence de stratégie globale ambitieuse reste peu favorable à un essor significatif.

Conclusion

L'exercice consistant à traiter ensemble Chine, Russie, Inde et Japon permet bien de montrer des convergences et des divergences dans les façons nationales d'appréhender les activités spatiales. Outre les traits déjà soulignés et la réalité inégale de leurs besoins propres en technologies spatiales, un élément crucial est sans aucun doute le degré d'investissement du politique dans l'élaboration des stratégies spatiales nationales. À ce titre, c'est une autre hiérarchie qui peut être proposée, au sein de laquelle Russie et Japon se trouvent être, depuis déjà plusieurs dizaines d'années, les parents pauvres du club spatial.

(18) Même s'il s'agit d'une disposition nationale, elle est le résultat d'une pression américaine très forte afin de préserver les intérêts des sociétés américaines au regard des appels d'offres japonais.

(19) La constellation devrait atteindre 10 satellites en 2019.

(20) L'adoption en 2018 des nouvelles National Defense Program Guidelines prévoit aussi un engagement en faveur de la surveillance spatiale à partir de 2023.

(21) Le Japon est à l'origine de ce forum, qui, créé en 2006, réunit plus de 42 pays et 27 organisations internationales.

(22) Il est d'environ 4 milliards de dollars.

Petits satellites, petits lanceurs : quelles opportunités pour de nouveaux entrants ?

Par Florence GAILLARD-SBOROWSKY

Fondation pour la recherche stratégique

Selon de nombreux commentateurs, le spatial entrerait désormais dans une nouvelle ère, celle du « New Space », marquée par l'irruption et la multiplication d'acteurs privés proposant un accès à l'espace pour tous grâce à de nouveaux systèmes innovants. Les petits satellites et les petits lanceurs sont des constituants majeurs de cette approche à la conjonction de plusieurs facteurs : miniaturisation des composants électroniques, développement de composants standards sur étagère, commercialisation croissante de services de lancement dont l'objectif est d'abaisser drastiquement les coûts de mise en orbite, et qui sont plus particulièrement dédiés aux petits satellites. Ces nouvelles approches technologiques et industrielles impactent la notion de puissance spatiale et semblent proposer des opportunités pour de nouveaux entrants dans le spatial. Pour autant, il est nécessaire d'apprécier à l'aune de la réalité les changements en cours et les possibilités concrètes qu'ils peuvent susciter.

Plongeant leurs racines dans la guerre froide, l'exploration et l'exploitation de l'espace extra-atmosphérique ont longtemps été l'apanage des acteurs gouvernementaux. Outils de souveraineté associés aux préoccupations sécuritaires et stratégiques, les technologies et leurs coûts associés (développement et production de satellites, de lanceurs et d'infrastructures sol complexes) étaient autant de raisons pour que l'utilisation de l'espace reste à ses débuts entre les mains de quelques nations, les plus avancées technologiquement et économiquement. Au début des années 1980, ce « club » comptait six puissances spatiales reconnues, c'est-à-dire ayant la capacité à assurer nationalement une mise en orbite de satellites : l'Union soviétique, les États-Unis, l'Europe, le Japon, la Chine et l'Inde. Elles ont été rejointes par Israël en 1988, par l'Iran en 2009, la Corée du Nord en décembre 2012 et la Corée du Sud en janvier 2013. Pour ces trois derniers, il s'agissait avant tout de faire la démonstration de leurs capacités.

Petits satellites, petits lanceurs : un objectif en soi ?

Historiquement, le développement de petits lanceurs est à l'origine de tous les programmes d'accès à l'espace – un type de lanceur logiquement considéré comme une entrée de gamme appelée à évoluer vers des lanceurs moyens et/ou lourds. De même, le développement de petits satellites est la voie généralement choisie par un pays désireux

de commencer à se doter de technologies spatiales. Cependant, depuis quelques années, l'approche américaine, et plus largement occidentale, des petits lanceurs et des petits satellites s'inscrit en rupture et à contre-courant de cette tendance historique : il s'agit ici de miser sur l'émergence d'une demande pour des services spatiaux *low cost* proposant des niveaux de performances limités à des coûts attractifs. De nouvelles dynamiques se profilent avec l'idée que se dessine un nouvel écosystème. Avec comme slogan « l'accès à l'espace pour tous », le « New Space » conjugue plusieurs variables : une part grandissante du financement apporté par le secteur privé, une baisse tendancielle des coûts, un accès facilité aux technologies spatiales, la création de nouveaux produits et services et l'adoption d'une logique de *start-up* ; un mouvement de fond qui touche tous les secteurs du domaine spatial (observation de la Terre, télécommunications, services en orbite, SSA, etc.⁽¹⁾). Ainsi, l'utilisation de l'espace se banaliserait. Mais c'est surtout les conditions de son exploitation qui se normaliseraient au sens où les entreprises spatiales pourraient se comporter et édifier leur *business model* à l'instar de ce que ferait n'importe quelle autre entreprise de n'importe quel autre secteur. Cette remise en cause des cadres traditionnels se traduit pour une

(1) PAIKOWSKY D. (2017), "What Is New Space? The Changing Ecosystem of Global Space Activity", *New Space*, vol. 5, Issue 2, June 1, <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/space.2016.0027>

grande part à travers les vocables de « petit », « micro », « nano », « pico », « *low cost* », qui sont communs à toutes les analyses du « New Space » dans la littérature.

Ce nouveau paradigme est particulièrement présent dans le discours médiatique sur les petits satellites. Pour ce qui est des lanceurs, ce sont, au contraire, plutôt les lanceurs lourds destinés au transport des charges utiles traditionnelles comme Space-X et Blue Origin qui captent le plus l'attention des médias et des experts. L'ambition de nouveaux États de développer leurs propres petits satellites et les projets de petits lanceurs privés, qui se mettent aussi progressivement en place, font bien moins les gros titres des journaux.

Cette transformation en cours, qualifiée par certains observateurs de « révolutionnaire », peut-elle dès lors permettre à un pays quel qu'il soit de se doter d'importantes capacités spatiales à moindre coût et d'accéder ainsi au statut de puissance spatiale ? Dit autrement, est-ce que les logiques du « New Space » vont bénéficier aux nouveaux entrants et, par voie de conséquence, représenter une opportunité permettant un élargissement de la pyramide des pays ayant accès à l'espace ?

Une utilisation croissante de l'espace par de nouveaux pays

La part des pays dotés de petits satellites, porte d'entrée des nouveaux entrants, ne cesse d'augmenter depuis les années 1980, comme le montre la Figure 1 ci-contre ⁽²⁾.

Leur répartition géographique, telle que le planisphère ci-contre (voir la Figure 2) ⁽³⁾ et le tableau ⁽⁴⁾ ci-après (voir la Figure 3) l'illustrent, témoigne de deux logiques distinctes pour les pays disposant de leurs premiers satellites nationaux, mais dont l'activité spatiale n'est encore que marginale : d'un côté, les pays désireux de se doter d'une filière de développement national de satellites, comme les Émirats Arabes Unis, et, de l'autre, ceux qui, pour l'instant,

achètent sur étagère un satellite et ne sont donc que de simples utilisateurs d'applications spatiales.

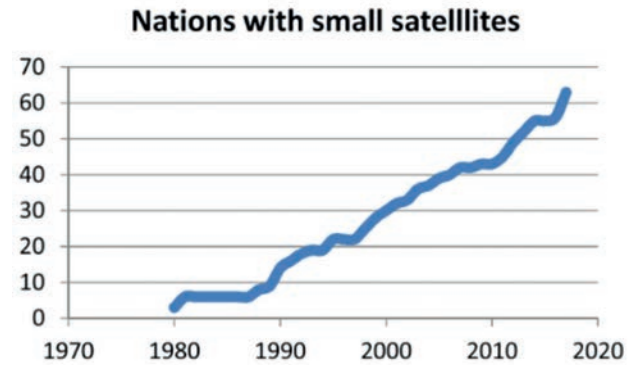


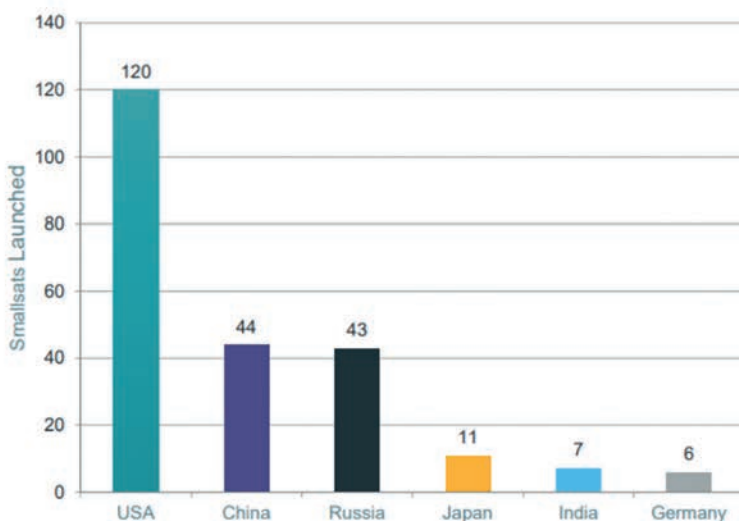
Figure 1 : Évolution de la part des pays disposant de petits satellites.



Figure 2 : Répartition géographique des petits satellites lancés entre 2003 et 2018.

(2) SWEETING M. (2018), "Modern Small Satellites – Changing the Economics of Space", Proceedings of the IEEE, vol. 106, n°3, March.
 (3) Répartition géographique des petits satellites lancés entre 2003 et 2018, in « Petits satellites, petits lanceurs. Étude des évolutions technologiques et économiques, analyse de leurs implications stratégiques et du positionnement français/européen », GAILLARD-SBOROWSKY F. (2018) (slc), CSFRS, mars.
 (4) Bryce Space and Technology (2019), "Smallsats by the Numbers", https://brycetechnology.com/downloads/Bryce_Smallsats_2019.pdf

Countries Deploying the Most Government Smallsats, 2012 - 2018



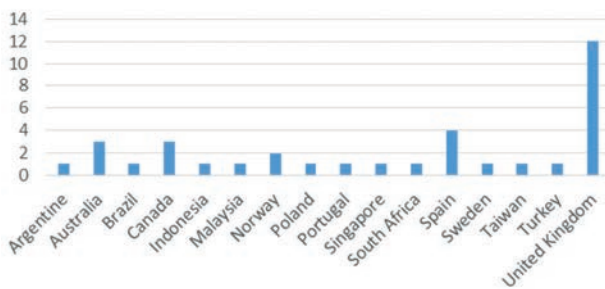
5 or Fewer Government Smallsats Deployed	
South Korea	Ecuador
Australia	Indonesia
European Space Agency	Spain
Canada	Kazakhstan
Israel	Turkey
Iran	Peru
Brazil	Greece
Algeria	Taiwan
North Korea	Vietnam
Saudi Arabia	Belarus
UAE	Pakistan
Italy	Philippines
France	Colombia
Poland	Malaysia
United Kingdom	

Figure 3 : Nombre de petits satellites déployés entre 2012 et 2018, par pays.

Une multiplication des projets de petits lanceurs

Dans le domaine des petits lanceurs, si onze pays⁽⁵⁾ sont dotés d'une capacité d'accès à l'espace, la donne semble appelée à se modifier sous l'effet de deux dynamiques simultanément à l'œuvre : un accroissement du nombre des pays soucieux de développer des capacités de lancement et un foisonnement de projets portés par des acteurs privés anticipant une forte croissance de la demande de lancement de petits satellites. Cette dynamique, initiée aux États-Unis, essaime à travers le monde, y compris en Chine dont le secteur spatial est soumis à un fort contrôle étatique.

Le graphique ci-dessous présente les lanceurs actuellement en projet ou en développement. Constatons l'entrée en jeu de pays jusque-là absents de la scène spatiale et de pays renouant avec d'anciennes ambitions nationales. Deux logiques sont à distinguer entre les pays dont l'ambition est de se doter d'un accès indépendant à l'espace (Argentine, Brésil, Turquie, Afrique du Sud, par exemple) et ceux dont l'objectif est de « surfer » sur la vague du « New Space », poursuivant des objectifs commerciaux, la question de l'indépendance restant en arrière-plan.



De ce fait, les filières utilisées ne sont pas les mêmes. La première repose sur le développement de lanceurs sur la base de financements privés (Australie, Canada, Espagne, Portugal, Royaume-Uni, Norvège, Singapour, Afrique du Sud), la seconde relève d'une approche classique avec l'implication de la puissance publique, le développement d'un petit lanceur n'étant que la première étape de la constitution d'une filière nationale appelée à monter en gamme (Argentine, Brésil, Indonésie, Pologne, Turquie, Taïwan, Suède).

Quatre grandes voies d'entrée dans le spatial

La coopération intergouvernementale

La voie la plus ancienne, celle portée dès les origines par l'ONU⁽⁶⁾, est celle de la coopération entre États. Elle s'est développée et renforcée au cours des dernières décennies dans le sens Nord-Sud, mais également dans le sens Sud-Sud comme l'illustre l'accord sino-brésilien visant à assurer le développement des satellites d'observation de la Terre CBERS. Il s'agissait avant tout pour ces pays de contourner les restrictions imposées par les grandes puissances occidentales et de démontrer les effets bénéfiques d'une coopération entre « mis à l'écart⁽⁷⁾ ». Une forme

de « diplomatie par l'espace » est ainsi créée. Motivées bien souvent par des objectifs de politiques étrangère et économique, les puissances spatiales en sont venues à soutenir le développement des capacités nationales de certains de ces pays, ce soutien reposant essentiellement sur l'apprentissage de l'utilisation de la technologie spatiale bien plus que sur de réels transferts de technologies d'importance. Cette coopération intergouvernementale peut se décliner sous une forme bilatérale ou multilatérale selon les objectifs poursuivis.

De l'achat sur étagère de satellites aux COTS en accès libre

La voie, classique, de l'achat de satellites sur étagère a longtemps été soumise aux restrictions réglementaires sur les technologies duales et elle restait tributaire des quelques grandes entreprises du secteur. Elle se voit bousculée par l'irruption des acteurs privés, mais surtout par l'étape importante franchie au début des années 2000 avec l'émergence des *cubesats*⁽⁸⁾. Miniaturisation, modularisation et disponibilité accrues de composants sur étagère permettent l'acquisition, par un pays, de technologies spatiales sans qu'il y ait eu pour lui nécessité de disposer au préalable d'une assise reposant sur un développement national. Le faible coût d'entrée dans l'espace permis par ces développements permet d'accéder directement à l'espace de façon abordable et à peu de risque, les équipes et les budgets nécessaires étant restreints.

La mise en orbite de satellites nationaux grâce à une assistance technique étrangère privée

Dans ce domaine, une nouvelle logique s'est mise en place au début des années 1980 à l'initiative de jeunes ingénieurs de l'Université du Surrey. Créant leur propre entreprise en 1985 (Surrey Satellite Technology Ltd), ils vont proposer des satellites standardisés d'une masse de 150 kg à un prix accessible pour des utilisateurs non commerciaux (radioamateurs, universités, agences publiques de pays s'initiant aux activités spatiales, etc.⁽⁹⁾). Cependant, la réelle valeur ajoutée du SSTL est d'offrir des possibilités de transfert de technologies au profit des pays clients. Ainsi, depuis le milieu des années 1980, en combinant formation académique et participation à la conception et au développement des petits satellites proposés,

(5) États-Unis, Russie, Chine, Inde, Europe, Japon, Ukraine, Israël, Corée du Nord, Corée du Sud et Iran.

(6) Création du CUPEEA en 1959 (futur COPUOS). Ce comité a été mis en place pour examiner l'étendue de la coopération internationale, encourager la recherche, le partage des informations relatives à l'espace et étudier les problèmes juridiques que pose l'exploration de l'espace. Ce comité comprend aujourd'hui soixante-dix-sept États membres.

(7) Voir GAILLARD-SBOROWSKY F. (2012) (*slid*), Analyse comparée de la stratégie spatiale des pays émergents : Brésil, Inde, Chine, études IRSEM, n°15.

(8) Le standard de satellites miniatures développé par l'Université Stanford, lequel a permis d'abaisser les barrières à l'entrée.

(9) Des plateformes à partir de 10 M\$, des instruments dont les prix démarrent en dessous de 1M\$ et des packages de transfert de technologies à des tarifs fixés aux alentours de 14M\$. Voir à ce sujet : BHAVYA Lal et al., Global Trends in Space, vol. 1 : Background and Overall Findings, Science & Technology Policy Institute, IDA Paper P-5242, 2015.

le SSTL a permis à près d'une vingtaine d'États, dont la Corée du Sud, la Thaïlande, le Chili, la Malaisie, l'Algérie, la Turquie, le Nigéria, le Pakistan et le Kazakhstan, d'accéder aux technologies spatiales ⁽¹⁰⁾. Depuis, les possibilités d'achat de satellites, en bénéficiant d'un transfert de compétence et de technologie, se sont diversifiées avec un nombre croissant de fournisseurs de solutions clés-en-main mettant en œuvre des programmes de formation efficaces. Par exemple, Berlin Space Technologies, société fondée en 2010, propose des plateformes TUBSAT développées par l'Université technique de Berlin s'accompagnant d'un programme de transfert de compétence qui a déjà bénéficié à l'Université de Singapour (satellite Kent-Ridge 1), au Maroc (Tubsat-1) ou encore à l'Indonésie (satellites LAPAN-Tubsat, Orari, A2). Peut également être citée l'Initiative Satrec en Corée du Sud ⁽¹¹⁾ qui est à l'origine des satellites émiratis Dubaisat.

L'exploitation nationale d'un secteur privé allant croissant

Au-delà du transfert de compétence et de technologie, la croissance exponentielle d'une offre privée ouvre aux pays clients de réelles opportunités d'exploiter la concurrence assez féroce à laquelle se livrent les acteurs privés pour accélérer leur développement national. Par exemple, le contrat passé entre l'Arabie Saoudite et Lockheed Martin pour l'achat de deux satellites de télécommunications incluait l'engagement de Lockheed à créer une entreprise commune pour construire, assembler et intégrer des satellites sur le territoire saoudien ⁽¹²⁾. D'autres pays, comme l'Azerbaïdjan, le Kazakhstan, la Turquie, le Brésil ou le Pérou, ont demandé que leur signature d'un contrat de vente d'un satellite s'accompagne de la création d'une industrie satellitaire locale durable, parfois presque à partir de rien ⁽¹³⁾.

Des opportunités en matière satellitaire, mais persistance de difficultés résiduelles, notamment en matière de développement d'un lanceur

La montée en puissance des acteurs privés semble positive dans le sens où cela élargit la base des utilisateurs, renforce l'intérêt politique pour les enjeux spatiaux, diversifie les applications et favorise leur diffusion. Si, pendant longtemps, un pays désireux de se doter de capacités nationales spatiales devait généralement soit avoir le budget suffisant pour pouvoir acheter un satellite sur étagère à l'une des entreprises du secteur – sous réserve qu'il satisfasse aux règles d'exportation –, soit s'appuyer sur un développement technologique national avec le temps

inhérent à ce type de programme, l'accessibilité accrue des petits satellites offre une première marche pour pouvoir entrer, à moindre coût, dans le monde du spatial. Démontrant leur capacité à remplir des missions de plus en plus qualitatives et variées, ils bénéficient d'une offre de lancement qui est de plus en plus attractive.

Pour autant, le critère majeur pour être une puissance spatiale reste la maîtrise de l'accès à l'espace, seul moyen pour un État d'être autonome. Or, même si l'état du marché international du lancement laisse penser que du fait d'une offre bientôt supérieure à la demande, tout pays pourra procéder au lancement d'un satellite dès lors qu'il sera prêt à payer, sa dépendance demeurera dans son principe même. De fait, si le prix d'un lancement baisse, la complexité que revêt le développement d'un lanceur et les ressources tant financières qu'humaines qu'il faut y consacrer demeurent une limite certaine pour nombre de pays. En témoigne, par exemple, le cas du Brésil, qui cherche depuis très longtemps des solutions abordables pour pouvoir se doter d'un lanceur national ⁽¹⁴⁾. Au-delà de ces barrières, un des obstacles majeurs reste la question sous-jacente de la filiation lanceur/missile et de la prolifération des technologies balistiques. Facteur de craintes pour les puissances spatiales établies, notamment les États-Unis, les activités spatiales récentes de l'Iran et de la Corée du Nord illustrent parfaitement cette quête d'autonomie.

La question du transfert de technologie conjuguée à la volonté des grandes puissances spatiales de conserver leur avantage stratégique complique la tâche des petits pays. Devenir une puissance spatiale reste ainsi l'apanage, aujourd'hui encore, de quelques pays seulement. Ils présentent comme caractéristique principale d'avoir mis en place une réelle politique spatiale dans laquelle subsiste une forte implication de la puissance publique. Il s'agit là, *a priori*, d'un préalable nécessaire pour assoir toute ambition spatiale d'aller au-delà de la simple utilisation d'applications à travers l'achat de services ou même de petits satellites.

(10) <https://www.sstl.co.uk/space-portfolio/customer-training-programmes>

(11) BHAVYA Lal et al.

(12) <http://www.air-cosmos.com/lockheed-martin-livrera-deux-satellites-a-arabsat-33472>

(13) Voir note 12.

(14) Voir note 7 et GAILLARD-SBOROWSKY F. (2013) (sld), Prolifération spatiale et sécurité internationale, Éléments pour une prospective technologique à l'horizon 2030, CSFRS.

Le rôle de l'État français dans l'Europe de l'espace

Par **Patrice BRUDIEU**

Responsable de la politique spatiale

Direction générale de la Recherche et de l'Innovation, MESRI

L'espace est en pleine (r)évolution. L'État doit néanmoins jouer plus que jamais un rôle majeur pour assumer quatre fonctions essentielles : autonomie et capacités régaliennes, soutien à l'industrie amont et aval et à l'économie, contrôle législatif et réglementaire, sciences et exploration.

Le spatial européen : une volonté commune, une histoire française

En 1974, faute de disposer d'un lanceur de capacité suffisante (la fusée Europa ayant connu des échecs répétés de 1967 à 1970), il fallut faire appel à une fusée américaine Thor Delta pour lancer le satellite de télécommunications franco-allemand Symphonie. La NASA accepta... à la condition que ce satellite ne soit pas exploité commercialement. Cette restriction donna un nouvel élan au programme spatial français, puis européen : sous l'impulsion du CNES, créé en 1961, et de la France, le développement du lanceur Ariane fut décidé par l'Europe en 1973, et aboutit à un premier vol réussi six ans plus tard.

La France a ainsi toujours été convaincue de cette nécessité d'acquérir une autonomie en matière d'accès à l'espace et d'utilisation du spatial, et en a fait depuis un moteur de son action européenne.

Si le spatial a été mû jusqu'à la fin des années 1970 par la compétition entre grandes puissances (rappelons-nous la course à la Lune, qui a culminé avec le premier pas sur la Lune de Neil Armstrong, il y a cinquante ans de cela), l'arrivée des lanceurs commerciaux, dont Ariane a longtemps été le chef de file, et des satellites de télécommunications a fait entrer, dès les années 1980, le spatial dans l'ère industrielle et commerciale. Cette évolution s'est poursuivie et s'est accélérée jusqu'à nos jours avec le « New Space », conduisant à une révision profonde aussi bien du rôle de l'État que du mode de fonctionnement de l'industrie spatiale et des relations entre les différents acteurs.

Les acteurs du spatial en France

En France, le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) exerce la tutelle principale du spatial en approuvant la stratégie spatiale nationale et internationale, en négociant les arbitrages budgétaires liés au programme LOLF 193 (recherche spatiale) et en jouant son rôle de tutelle du Centre national d'études spatiales (CNES). Le MESRI est également char-

gé de mettre en œuvre la loi sur les opérations spatiales (LOS).

L'autre grand ministère de tutelle est le ministère des Armées (MinArm), qui exerce *via* la direction générale de l'Armement (DGA) une cotutelle du CNES, finance et accompagne la recherche spatiale duale (programme LOLF 191), et développe – le plus souvent en s'appuyant sur le CNES, à qui il délègue la maîtrise d'ouvrage – les programmes spatiaux de Défense.

Cette complémentarité entre MESRI et MinArm repose sur la dualité du développement et de l'usage des moyens spatiaux. Ce mode original de gouvernance, que l'on ne retrouve chez aucune autre grande puissance spatiale (sauf partiellement en Italie), permet d'importantes économies pour l'État. Mentionnons à titre d'exemple la filiation entre les satellites civils Pléiades et les satellites militaires CSO-MUSIS : gain de temps et moindres risques pour les technologies comme pour le système, moyens sol communs, utilisation complémentaire...

De nombreux autres ministères français sont très impliqués dans les arbitrages portant sur la stratégie spatiale : le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères (MEAE), qui voit dans le spatial un vecteur important de la diplomatie française ; le ministère de l'Économie et des Finances (MEF), qui est garant du soutien à l'industrie nationale ; le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), qui est le principal ministère utilisateur civil (environnement, transports, mer...), et d'autres entités de l'État pour qui le spatial apporte des solutions : numérique, santé, agriculture, Outre-mer...

Les grands arbitrages (définition de la stratégie pour les lanceurs, engagements pris lors des conseils ministériels de l'Agence spatiale européenne...) sur les programmes sont établis en réunions interministérielles. Elles sont généralement instruites par l'équipe mise en place auprès de la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation ou par la ministre elle-même, en liaison avec les autres ministères impliqués, et sont arbitrées par le Premier

ministre ou le Président de la République. Ce dernier suit de près la politique spatiale française compte tenu de son importance pour l'autonomie et pour l'économie du pays.

Ces ministères s'appuient sur l'agence française de l'espace, le Centre national d'études spatiales. Le CNES, à la fois opérateur de l'État et centre de compétence technique, propose une politique spatiale au gouvernement, et après validation par celui-ci, la développe et la met en œuvre, dans le cadre national ou en coopération. La subvention allouée au CNES au titre de ses activités nationales et celles réalisées en coopération a été, en 2018, de 700 M€, dont 550 M€ venant du programme 193 (P193 « Recherche spatiale » – MESRI).

D'autres organismes jouent un rôle incontournable dans les succès français dans ce domaine : citons notamment l'ONERA pour les technologies de lanceurs, la surveillance de l'espace ou l'observation scientifique de la Terre (gravimétrie, hyperspectral...); le CEA pour sa contribution à l'astronomie des hautes énergies ; le CNRS (notamment l'INSU, l'Institut national des sciences de l'Univers) qui réalise une grande part des instruments embarqués pour la réalisation de missions scientifiques, qu'elles soient nationales, menées en coopération ou développées dans le cadre de l'ESA ou de l'Union européenne (UE).

Enfin, rien ne serait possible sans l'existence en France d'un large tissu industriel spatial, l'un des tout premiers au monde en termes de qualité, de capacité à innover ou de compétitivité sur les marchés commerciaux mondiaux. Aux côtés des trois grands maîtres d'œuvre français (ArianeGroup, ADS et TAS), existe un tissu dense d'équipementiers, de PME et de nouvelles *start-ups*, tous contribuant au dynamisme du spatial français. L'État doit les encourager en évitant toute distorsion de concurrence, les accompagner sans les brider par excès de réglementation et les réguler sans leur imposer de contraintes superflues.

Les relations de la France avec ses partenaires européens et internationaux

Le premier partenaire spatial de la France est l'ESA ; la France en est également le premier contributeur national avec l'Allemagne. En 2018, notre contribution à l'ESA a été de 963 M€, bien supérieure à la subvention versée au CNES. Le pilotage et la défense de la position française auprès de l'ESA sont assurés par le CNES au sein des conseils « ordinaires » et des comités directeurs de programme ; ces positions sont validées par le MESRI, au cas par cas.

La participation aux conseils de l'ESA au niveau ministériel, au rythme d'un tous les trois ans environ, est préparée en concertation entre le CNES, le MESRI et les autres ministères impliqués, y compris le ministère du Budget. Une réunion interministérielle formelle permet de finaliser les arbitrages relatifs aux engagements français, dont le montant total dépasse généralement les 2 Md€ et qui doivent donc être analysés avec une grande attention pour préserver un certain équilibre entre les diverses priorités françaises : soutien au programme scientifique, accès à l'espace, technologies satellite, observation scientifique de la Terre et

préparation des programmes relatifs aux futurs satellites Sentinelles de Copernicus, exploration et vol habité...

Outre l'ESA, le programme 193 finance également la contribution française à l'organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques Eumetsat ; cette participation s'est élevée en 2018 à 81 M€, et a été complétée par Météo-France à hauteur de 2,8 M€. La contribution à Eumetsat, qui est déterminée pour la plus grande part au prorata du PNB des États membres de cette organisation, permet de financer les satellites géostationnaires Météosat et ceux en orbite polaire METOP. La France est représentée au conseil d'Eumetsat par Météo-France, qui reçoit ses instructions du MESRI.

L'autre grand acteur spatial européen est l'Union européenne, qui développe plusieurs grands programmes clés pour l'environnement (les Sentinelles de Copernicus), pour la navigation et la distribution du temps (Galileo et EGNOS), et bientôt pour la surveillance de l'espace et les communications inter-gouvernementales. Le cadre financier et programmatique de ces activités, pour la période 2021-2027, a fait l'objet de longues discussions impliquant, pour la France, de nombreux acteurs : le MESRI (chef de file), le SGAE (Secrétariat général des affaires européennes), la représentation permanente française à Bruxelles, le MTES, le SGDSN (Secrétariat général de la Défense et de la sécurité nationale) et le MinArm (compte tenu des aspects de sécurité et d'usages duaux). Des points comme l'accès à l'espace, la gouvernance entre la Commission, la création de la future agence spatiale de l'UE et l'ESA, la sécurité ou les relations avec les pays tiers, ont fait l'objet d'après discussions.

Au-delà de ces acteurs européens, les relations bilatérales sont indispensables et fructueuses, même s'il peut être difficile parfois de concilier des objectifs industriels qui peuvent être en opposition, ainsi que des cultures et des visions de la notion d'autonomie qui, dans la plupart des cas, sont très différentes. Les deux grands partenaires de la France en Europe sont l'Allemagne et l'Italie, avec qui les relations sont fortes autant au travers des programmes ESA qu'en bilatéral. L'Italie, très investie dans le programme du « petit » lanceur Vega, est aujourd'hui un ardent défenseur de l'accès autonome à l'espace et a donc rejoint la France sur ce point. Par contre, l'Allemagne ne s'engage que timidement dans cette voie : si elle a signé une déclaration d'intention sur la préférence européenne en matière de lancements en 2018, elle avait auparavant attribué plusieurs contrats de lancements institutionnels au concurrent américain d'Arianespace, Space-X.

Le Royaume-Uni est aussi une puissance spatiale, forte d'une industrie de pointe, notamment dans le domaine des sciences, en matière d'exploration planétaire, de télécommunications par satellite, et d'applications du spatial. Le Brexit, s'il se confirme, n'aura pas d'effet sur la participation britannique à l'ESA ; par contre, le rôle de l'industrie britannique dans les programmes de l'UE, notamment Copernicus et Galileo, devra être revu en attendant d'éventuels accords spécifiques. Cette évolution posera inévitablement des problèmes complexes, en particulier



Photo © ESA- P. Carril

Vue d'artiste de Sentinel 6, sixième génération des satellites du programme Copernicus.

« L'autre grand acteur spatial européen est l'Union européenne, qui développe plusieurs grands programmes clés pour l'environnement (les Sentinelles de Copernicus), pour la navigation et la distribution du temps (Galileo et EGNOS), et bientôt pour la surveillance de l'espace et les communications inter-gouvernementales. »

parce que les Sentinelles sont préparées dans un cadre ESA, puis financées par l'UE : que deviendront les industriels britanniques dans le cadre du transfert de responsabilité entre l'ESA et l'UE ?

L'ensemble des coopérations internationales de la France, en Europe comme avec les États-Unis, la Russie, la Chine, le Japon, l'Inde et de nombreux autres pays, enrichit considérablement notre éventail de possibilités en missions scientifiques, exploratoires, ou technologiques : le MESRI encourage donc cette démarche, pour peu qu'elle respecte les priorités de la stratégie spatiale française.

L'État ne peut plus se passer de l'espace, tout comme l'espace a besoin de l'État pour gérer menaces et opportunités

Le désir de tout connaître, partout, tout le temps, l'attente d'une plus grande efficacité économique, la nécessaire prise en compte de la dimension environnementale, l'exigence de sécurité des individus et des États sont autant de besoins qui ne cessent de croître. Les moyens spatiaux contribuent, souvent de façon essentielle, à apporter ces services aux citoyens, aux collectivités et aux États.

Il suffit d'imaginer, par exemple, quelles seraient les conséquences d'un arrêt, accidentel ou volontaire, du fonction-

nement du système GPS, si l'Europe ne disposait pas depuis peu de sa propre constellation Galileo : l'arrêt de la distribution du signal temps entraînerait un chaos économique généralisé, affectant directement les systèmes bancaires, la distribution d'électricité et d'eau, la synchronisation d'Internet et des systèmes de radars aériens... Au-delà de cette synchronisation, de la navigation, des télécommunications ou de la diffusion d'Internet dans les zones blanches, les satellites rendent bien d'autres services à l'État comme aux citoyens. Le spatial est aussi un précieux allié de la science, en permettant la compréhension globale du système Terre (météorologie, changement climatique, océanographie...), l'exploration du système solaire et l'étude de l'Univers ou de ses lois physiques. L'observation opérationnelle de la surface du globe contribue à la plupart des politiques publiques (aménagement, transports, sécurité, Défense) et à l'économie (agriculture et pêche, trafic maritime...) ; de nouveaux services aux citoyens sont créés chaque jour par des *start-ups* et des PME. Enfin, l'espace est un instrument indispensable de l'autonomie diplomatique et stratégique de la France : peu de gens savent que nos satellites ont contribué à éviter que la France participe à la guerre d'Irak, en 2003.

Le spatial est à la confluence de la recherche scientifique, qui est à la fois le but de certaines missions spatiales et le moyen de faire progresser les technologies, de l'éduca-

tion, en étant source d'encouragement pour nombre de jeunes grâce à la forte image positive qu'il véhicule et qui, pour certains, seront les ingénieurs et chercheurs du spatial de demain, de l'innovation technologique qu'il inspire et diffuse souvent hors de son domaine, de l'industrie qui crée les lanceurs et satellites ou qui utilise les moyens et données de l'espace, de l'État qui le soutient et qui en dépend. Le MESRI, lui aussi au carrefour de l'enseignement, des savoirs, de l'innovation et des grandes missions de l'État, est le cadre naturel pour assurer le soutien du spatial en France, avec l'aide de son agence, le CNES.

La révolution du « New Space », déclenchée par l'usage intensif des technologies numériques, la miniaturisation des satellites et l'irruption des GAFAs, offre des opportunités telles que les méga-constellations pour diffuser Internet, les nanosats étudiants ou de recherche, l'exploitation future des ressources des astéroïdes ou le tourisme spatial. Mais cette révolution est également porteuse de nouveaux risques : multiplication des débris spatiaux et donc des collisions, menaces d'agression, cyberattaques... L'État doit accompagner ce mouvement et jouer son rôle de régulateur, sans doute encore plus qu'avant. La LOS, adoptée en 2008, vise à protéger les intérêts de l'État et à préserver autant que possible l'environnement spatial, tout en limitant les biais concurrentiels. Ainsi, le MESRI, aidé par le CNES, est amené à délivrer les autorisations de lancement et de maîtrise en orbite. La LOS est en cours de révision pour l'adapter au nouvel âge spatial.

État et industrie : des liens en évolution

Que ce soit en France, dans le reste de l'Europe, aux États-Unis ou ailleurs dans le monde, le spatial reste marqué par un fort soutien institutionnel. Pendant longtemps, le spatial s'est bâti autour des technologies amont : lanceurs et satellites. Depuis quelques années, les États ont pris conscience de la nécessité d'apporter un soutien à une troisième voie complémentaire : les applications du spatial et l'émergence de services aux citoyens, aux entreprises, aux collectivités et aux États. C'est là que se situe aujourd'hui la véritable valeur du spatial.

Concernant l'accès à l'espace, un lanceur uniquement régalien s'avérant trop coûteux à maintenir, la façon la plus efficiente de garantir cette capacité a été de compléter les lancements institutionnels par des lancements commerciaux, grâce à un prix compétitif obtenu principalement par un cofinancement d'actions de recherche et développement (R&D). Ce marché commercial est essentiel pour Ariane, qui ne s'est vu attribuer que quatre lancements institutionnels européens en 2018, alors que le gouvernement américain a fait procéder la même année à dix-huit lancements institutionnels (non ouverts à la compétition internationale, et payés le double du prix du marché !). La préférence européenne dans ce domaine reste un objectif lointain...

Dans le domaine des satellites, l'engagement fort des autorités publiques a permis de maintenir à la fois la compétitivité de nos industries et l'excellence de nos laboratoires. L'ensemble des commandes à finalité militaire, scientifique ou commerciale associées à des actions ciblées de

R&D permet à notre écosystème industriel de satellites de rester parmi les leaders mondiaux. Mais l'effort français ne doit pas se relâcher. Or, il est actuellement rendu plus difficile par l'accroissement du soutien aux lanceurs imposé par la forte compétition internationale.

Ces équilibres complexes sont discutés entre l'État et l'industrie au sein du COSPACE, le comité État/Industrie français sur le spatial, qui réunit une fois par an les ministres concernés (MESRI, MinArm, MEF). Le COSPACE s'appuie également sur des groupes de travail portant sur les applications, la technologie, les études économiques, le soutien aux *start-ups* via les *boosters* régionaux – créés sur initiative du COSPACE.

Les moteurs du spatial en France et en Europe

En France, depuis la volonté gaullienne de permettre à notre pays d'accéder à l'indépendance en matière spatiale, la motivation étatique pour le spatial a évolué s'élargissant à un soutien à l'industrie (autonomie économique et stratégique) et à l'espace utile pour la science, la satisfaction des besoins des citoyens comme des États. Reste aussi, en toile de fond, l'envie de tous de comprendre, d'explorer, de se projeter, de rêver...

En effet, dès les années 1960, le spatial a passionné les foules avec l'exploration habitée lunaire. Cet engouement s'est renouvelé, comme lors des explorations robotiques de Mars ou de la comète « Tchoury » par Rosetta en 2014. En France, le vol de Thomas Pesquet sur l'ISS en 2016 a été largement suivi et a provoqué un effet très positif sur l'intérêt des jeunes pour les sciences.

Cette part de contribution du spatial à l'imaginaire collectif reste un moteur fort, parfois inconscient. Elon Musk ne dit-il pas que sa principale motivation dans la création de Space-X est de lui permettre d'aller lui-même sur Mars ? L'exploration habitée, la compréhension de l'origine de la vie, l'idée subconsciente d'une (très hypothétique) expansion de l'humanité vers d'autres planètes, prédite par Constantin Tsiolkovski (« La Terre est le berceau de l'humanité, mais on ne passe pas sa vie entière dans un berceau »), restent en toile de fond de cette conquête spatiale. En attendant, les vols habités autour de la Terre et, demain, de la Lune, continueront à alimenter le rêve, la technologie, le développement de nouveaux moyens, l'exploration scientifique, et aussi – c'est assez rare pour le souligner – une réelle coopération entre États : les États-Unis, l'Europe, la Russie, et peut-être demain, la Chine. L'espace est ainsi un facteur de paix par les relations qu'il permet de nouer au-dessus des frontières.

Le « New Space » a fait se rejoindre ces deux approches que sont le *business* et le rêve, et l'État se doit d'accompagner ce nouvel élan intégrant autonomie, économie et demande citoyenne. L'espace peut ainsi devenir un catalyseur pour l'éducation et la cohésion. À l'échelle de l'Histoire, l'ère spatiale vient à peine de naître : le futur est rempli d'opportunités et de succès technologiques et industriels qui permettront de repousser les limites de la connaissance et de l'exploration, tout en apportant des solutions à des défis sociétaux majeurs.

Les chiffres clés de l'industrie spatiale française

Par Anne BONDIOU-CLERGERIE

Directrice R&D Espace et Environnement, GIFAS

Avec une présence forte sur le territoire national des trois grands maîtres d'œuvre européens, avec une chaîne d'équipementiers, de PME et de *start-ups* innovants, la filière française poursuit sa croissance. Elle est créatrice d'emplois depuis plusieurs années consécutives et contribue positivement à la balance commerciale du pays. Elle s'est affirmée comme un acteur de tout premier plan sur les marchés commerciaux, tout en développant ses capacités au service des marchés institutionnels, civils et militaires. Si cet équilibre est délicat à préserver dans un environnement compétitif en pleine mutation, il apparaît que nos industries ont réussi à mobiliser toutes leurs capacités d'innovation pour répondre aux nouveaux défis, dans le domaine des lanceurs avec le programme Ariane 6, comme dans celui des satellites, qu'il s'agisse de l'évolution vers le très haut débit ou du développement de constellations. Dans le même temps, l'industrie spatiale française a pu réaliser des missions complètes de classe mondiale (météorologie, science, environnement) et contribuer largement à la Défense et aux grandes politiques de l'Union européenne et à sa prospérité économique.

La filière française

Depuis des décennies, l'espace est l'un des grands secteurs à avoir fait, en France, l'objet d'une politique industrielle volontariste afin de garantir à notre pays et à l'Europe une indépendance stratégique. La France, avec l'Europe, fait partie du club très fermé des grandes puissances spatiales présentes sur toute la chaîne de la valeur : accès à l'espace, systèmes satellitaires, équipements et services à valeur ajoutée. Elle est numéro 1 ou numéro 2 mondial dans de nombreux domaines : services de lancements commerciaux, satellites de télécommunications, exportation de satellites d'observation de la Terre, services de géo-information... Elle réalise de bout en bout des missions de classe mondiale (météorologie, science, environnement...) et contribue largement à la défense et à l'autonomie stratégique de notre pays (composante océanique de la dissuasion nucléaire, télécommunications durcies et sécurisées, renseignement...). En aval du secteur manufacturier, on trouve l'opérateur de télécom Eutelsat, et tout un ensemble (en plein développement) de sociétés spécialisées dans la vente de capacités et de données, le traitement des images satellites... (Airbus Défense and Space, Telespazio, CLS pour ne citer que les plus gros acteurs).

Les capacités d'innovation et d'adaptation de cette filière à un paysage spatial en profonde mutation positionnent la France parmi les puissances spatiales mondiales, et en font le leader incontesté au niveau européen.

Le secteur manufacturier dont il est ici question ⁽¹⁾ rassemble trois grands maîtres d'œuvre de rang mondial : ArianeGroup pour l'accès à l'espace, Airbus Défense and Space et Thales Alenia Space pour les systèmes satellitaires (voir l'Encadré de la page suivante).

Un écosystème de fournisseurs s'est progressivement constitué autour de ces maîtres d'œuvre, même si le secteur est davantage verticalisé que ne l'est celui de l'aéronautique. En effet, les analyses économiques qui seront détaillées *infra* montrent que cet écosystème de fournisseurs ne représente que 10 % du chiffre d'affaires total du secteur national, contre environ 30 % pour le secteur aéronautique. Au titre de ces fournisseurs, on dénombre une cinquantaine d'ETI et PME adhérentes du Gifas, parmi lesquelles Air Liquide, Nexeya, les divisions concernées du groupe Safran, Sodern, Sofradir, ainsi que des PME présentes sur certaines technologies, dans les activités essais et méthodes, etc. Un grand nombre d'entreprises de taille plus modeste, ou dont le chiffre d'affaires n'est que minoritairement réalisé sur le secteur spatial, sont regroupées au sein des trois grands pôles de compétitivité aérospatiaux : Aerospace Valley, Astech et Safe.

(1) Les chiffres d'affaires des opérateurs, sociétés du secteur aval, centres de recherche, etc., ne sont pas pris en compte dans les bilans présentés dans cet article.

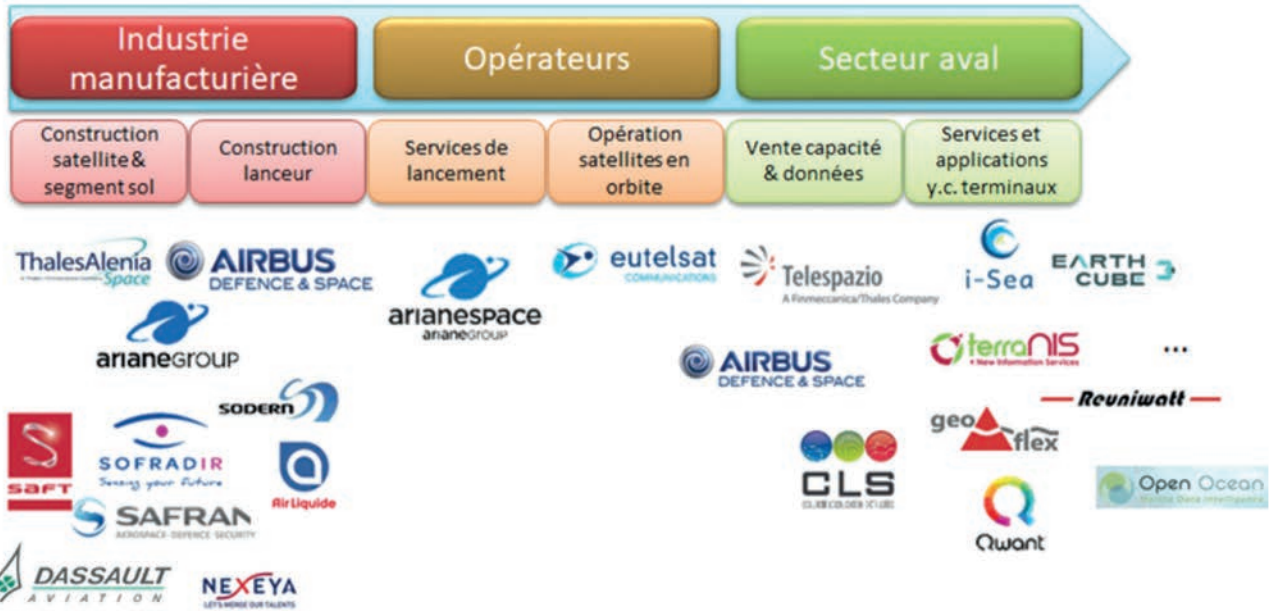


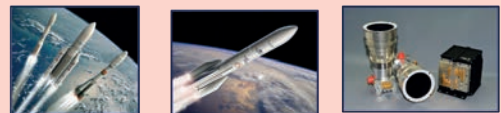
Figure 1 : Schéma d'ensemble de la filière française avec mention des maîtres d'œuvre et de quelques-uns des principaux acteurs (des ETI et PME) (Source : GIFAS).



Airbus Defence & Space est la division d'Airbus Group en charge des activités spatiales et de Défense. Fondée en 2014, elle est issue de la fusion d'entités faisant originellement partie d'EADS : Airbus Military, Astrium et Cassidian. Maître d'œuvre spatial, elle produit des plateformes et des équipements pour des satellites de télécommunications (plateforme Eurostar), d'observation de la Terre (Pléiades NEO, Sentinel, MetOp), scientifiques (Gaïa, rover Exomars...) ou encore militaires (Pléiades). Elle propose également des services associés d'accès et de traitement des données (plateforme One Atlas). La société s'est récemment positionnée sur les constellations en formant une coentreprise avec OneWeb pour la conception et la construction d'une chaîne d'assemblage devant servir à la production des premiers satellites.



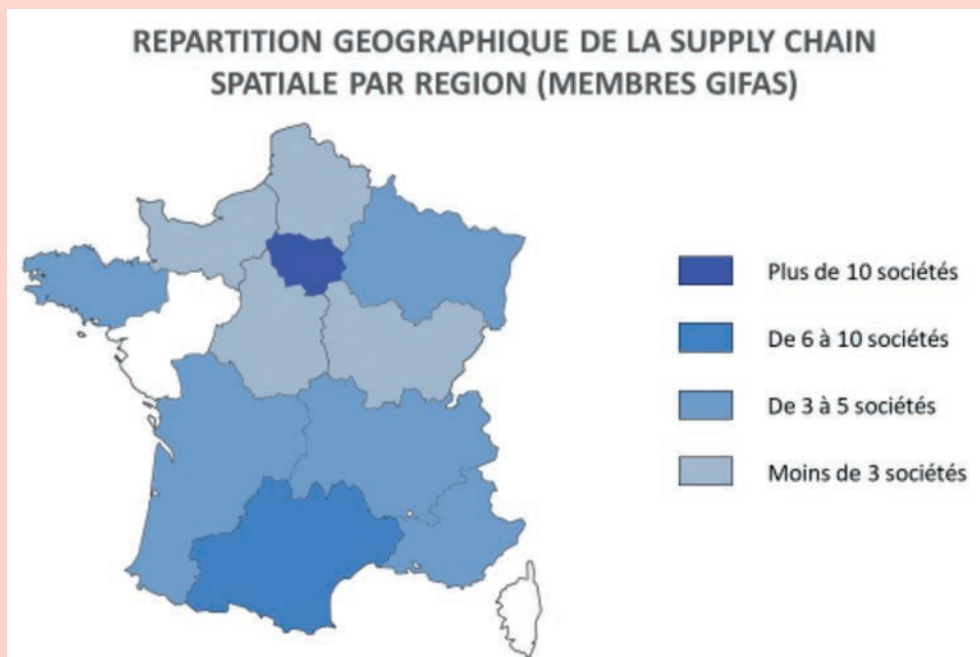
Thales Alenia Space est une coentreprise franco-italienne détenue par Thales et Leonardo. Fondée en 2007, elle développe des plateformes et des équipements pour des satellites de télécommunications (plateforme Spacebus), d'observation de la Terre (Meteosat, SMOS), de navigation (instruments pour Galileo, EGNOS), militaires (Helios, instruments pour Pléiades...) ou encore scientifiques (Herschel, Planck...). La société s'est positionnée très tôt sur les constellations de télécommunications et maintient son implication dans des projets en cours (Iridium NEXT, O3B, Leo-sat...). Enfin, elle est également présente sur les plateformes stratosphériques (Stratobus) ou sur le projet de navette spatiale Space Rider.



Coentreprise détenue par les groupes Airbus et Safran depuis 2014, ArianeGroup (anciennement Airbus Safran Launchers) développe et fournit des solutions en matière de lanceurs spatiaux (Ariane, Vega). Elle est notamment en charge du développement, de la production et de la commercialisation de ces derniers (au travers de sa filiale opérationnelle Arianespace). Le groupe est actionnaire majoritaire de nombreuses filiales présentes sur des segments clés du secteur, telles que Sodern (viseurs d'étoiles, tubes neutroniques), Europropulsion (propulsion solide), Pyroalliance (équipements pyrotechniques) ou encore Starsem (une coentreprise franco-russe qui assure la mise en orbite de satellites grâce à son lanceur Soyouz, à partir de la Guyane). Elle est actuellement responsable du développement et de l'exploitation du nouveau lanceur Ariane 6.

L'écosystème des fournisseurs au sein de la filière française

Le chiffre d'affaires total des équipementiers et PME de la filière française (sociétés adhérentes du Gifas) s'élevait à 596 M€ en 2017⁽²⁾ (soit 11 % du total de la filière⁽³⁾), dont 132,4 M€ pour le segment sol. Au titre de la même année, les PME représentaient 7 % du total avec un chiffre d'affaires de 41 M€⁽⁴⁾. Sur le plan des effectifs, les équipementiers et PME de ce secteur représentent près de deux mille cinq cents emplois en France. En termes de répartition géographique, une grande majorité de ces sociétés de la *supply chain* spatiale française sont basées en Île-de-France (23 sociétés) et en région Occitanie (8 sociétés).



Par ailleurs, le secteur manufacturier bénéficie d'un écosystème diversifié et est engagé de longue date dans des coopérations avec des laboratoires académiques, parmi lesquels les laboratoires de l'INSU et de l'Onera, et des établissements d'enseignement supérieur. Ces coopérations peuvent concerner la R&T, ainsi que la définition et la réalisation de charges utiles : de grandes réussites se sont construites sur la rencontre entre des compétences théoriques et des compétences expérimentales issues des grands laboratoires spatiaux et des technologies maîtrisées par l'industrie. On citera par exemple : les accéléromètres de l'Onera développés dans le cadre de la mission GOCE, les télescopes de l'INSU ayant servi pour la réalisation des missions Herschel Planck, etc.

Enfin, il importe de souligner le fait que la filière s'est engagée, depuis cinq ans, dans une série d'actions visant au développement du secteur aval, celui des applications et des usages du spatial. Sept structures d'accompagnement appelées « Boosters⁽⁵⁾ » ont ainsi été mises en place par l'ensemble de l'écosystème national dans le cadre du comité de concertation État/Industrie, le Cospace, placé sous l'autorité des ministres de la Recherche et de l'Enseignement supérieur, des Armées et de l'Industrie. Ces structures⁽⁶⁾ s'appuient sur des écosystèmes locaux (pôles de compétitivité ou équivalent) et ont pour mission de faciliter le rapprochement entre les acteurs du spatial,

du numérique et des usages, afin de faire émerger et d'accompagner des projets innovants valorisant les données spatiales. Cette initiative est l'un des piliers de la transformation numérique de la filière : elle a d'ores et déjà permis de financer l'accompagnement d'une cinquantaine de projets innovants portés par des *start-ups* ou des PME.

Un modèle unique

Le secteur manufacturier français a réalisé en 2017 un chiffre d'affaires consolidé de 4,6 Md€ (+ 13 % en deux ans), avec près de 16 000 emplois directs (+ 20 % en deux ans) hautement qualifiés et non délocalisables⁽⁷⁾. L'évolution des données économiques de la filière au cours des vingt dernières années est représentée dans la Figure 2 de la page suivante : elle se caractérise par la progression constante du chiffre d'affaires, comme des emplois, depuis dix ans.

(2) *Activité et production en France.*

(3) *Sociétés de services (activités de recherche exclues).*

(4) *Membres du Comité Aero-PME du GIFAS.*

(5) *Morespace, Nova, Space 4 Earth, Seine Espace, Rhinespace, Morpho et Centaura.*

(6) *Voir l'article de Christèle Donadini, « Développement des applications spatiales : l'initiative "Boosters" », publié dans ce numéro.*

(7) *Chiffres relatifs à l'activité 2017, extraits de l'enquête Gifas-Eurospace.*

Notons que la France réalise plus de la moitié des ventes finales de l'industrie européenne et représente près de 40 % des emplois, la différence entre ces deux valeurs s'expliquant principalement par la présence de grands maîtres d'œuvre intégrateurs ainsi que par les efforts de productivité consentis après la période difficile qu'a connue cette industrie au début des années 2000.

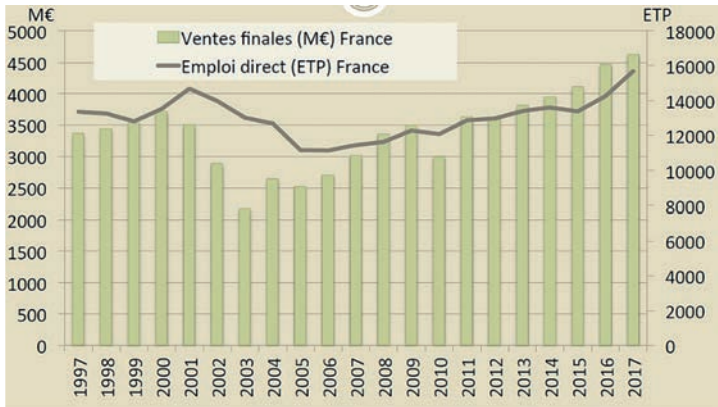


Figure 2 : Évolution des ventes finales (ou du chiffre d'affaires consolidé) et des emplois de l'industrie manufacturière spatiale française (Source : Eurospace).

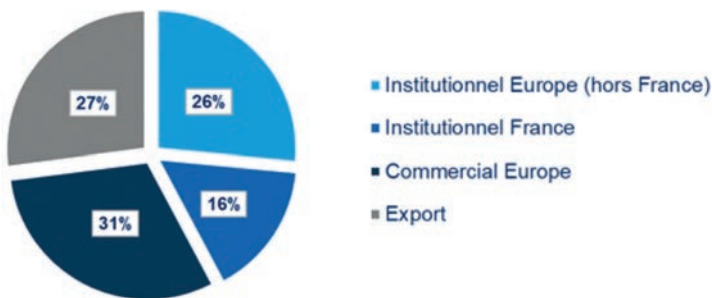


Figure 3 : Répartition des ventes finales 2017 de la filière française manufacturière par types de clients (source : données Eurospace).

L'industrie spatiale française présente une particularité unique au monde, celle de réaliser près de 60 % de son chiffre d'affaires sur le seul secteur commercial, alors que ses concurrents sont partout ailleurs majoritairement financés par les États pour répondre à leurs besoins institutionnels. De ce modèle très spécifique, la filière française a su faire un atout en atteignant le premier ou le second rang mondial dans de nombreux domaines : services de lancements commerciaux, exportation de satellites de télécommunications et d'observation de la Terre, et services de géo-information. Ce modèle économique très particulier est précisé dans la Figure 3 ci-dessus. En complément, on mentionnera que :

- 94 % des ventes institutionnelles en Europe sont réalisées à destination de l'ESA (en incluant la délégation des programmes de l'Union européenne) ;
- 63 % des ventes institutionnelles en France correspondent à des activités de Défense ;
- 60 % des ventes sur le secteur commercial en Europe sont réalisées pour le compte d'Arianespace⁽⁸⁾ ;
- 54 % des ventes à l'export sont réalisées à destination de clients institutionnels (agences civiles, ministères de la Défense, etc.).

Les positions de la filière française sur les différents marchés, commerciaux et institutionnels, doivent être analysées à la lumière des atouts qui sont les siens (compétences sur tous les segments, fort potentiel d'innovation, présence sur les constellations, soutiens de l'État à l'export, etc.), mais également au regard du contexte de mutations accélérées que connaît le secteur : arrivée de nouveaux acteurs, fragilités européennes liées au Brexit, pour ne citer que ces quelques facteurs de risque.

La forte position des entreprises françaises sur les marchés commerciaux et export ne doit pas laisser penser que l'espace pourrait être abandonné aux seules forces du marché. En volume, les activités spatiales à l'échelle mondiale sont à 90 % à finalité institutionnelle (Défense, environnement, science...) et elles exigent toujours un engagement permanent des États en matière de recherche et développement.

Positions de la filière française sur les marchés commerciaux de télécommunications et d'observation de la Terre

Marché des télécommunications

Le marché commercial ouvert des satellites de télécommunications (satcoms) géostationnaires connaît depuis 2015 une baisse régulière des commandes (voir la Figure 4 ci-après). Cette contraction du marché est liée à la transformation de la demande (forte baisse du prix du Mbit/s, stagnation des marchés traditionnels tel que celui de la télévision, croissance de la demande de très haut débit pour l'Internet et de connectivité des mobiles), mais également à une accélération sans précédent des mutations technologiques (flexibilité dans la conception des charges utiles, tout-numérique, arrivée des constellations, etc.). Dans ce contexte difficile, la filière française est parvenue à préserver une part de marché d'environ 30 % (chiffre correspondant à la maîtrise d'œuvre des satcoms, s'y ajoutent certains contrats ne concernant que les charges utiles). En 2017, la contribution nette du secteur des satellites de télécommunications à la balance commerciale nationale a été de l'ordre de 700 M€.

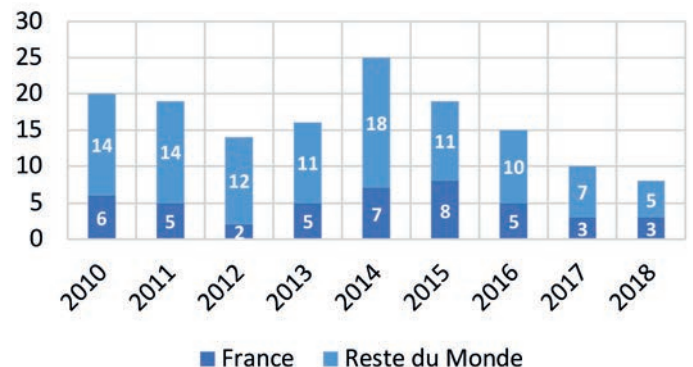


Figure 4 : Commandes de satellites de télécommunications géostationnaires (total marché ouvert et part française) sur la période 2010-2018 (Source : GIFAS).

(8) Soulignons qu'Arianespace est ici classée comme « client final » et n'intervient pas dans le calcul du chiffre d'affaires du secteur des lanceurs, qui est restreint à la fourniture de lanceurs par le secteur manufacturier, et ce afin de ne pas compter deux fois leur chiffre d'affaires.

Très récemment, grâce à ses capacités d'innovation et à une action coordonnée avec l'opérateur Eutelsat, la filière française a pu proposer un satellite très haut débit, Konnect, destiné, à l'horizon 2021, à contribuer efficacement à la réduction des zones blanches sur le territoire national.

Satellites d'observation de la Terre

La filière française évolue ici sur un marché commercial/export irrégulier, dominé par des usages Défense et quelques marchés thématiques civils (cadastre, agriculture et forêt, *oil and gas*). Jusqu'en 2017, la filière française se situait au premier rang mondial, sur le marché ouvert, pour la fourniture de satellites et au deuxième rang pour la fourniture de données et de solutions. Sur ce second secteur, on assiste également à une mutation rapide avec de nouveaux entrants, des concurrents traditionnels qui ont la possibilité de se replier sur un marché national de grande ampleur, une exigence de performance accrue (très haute résolution et forte revisite), de nouveaux modèles économiques reposant sur la diffusion gratuite de données en basse résolution. La tendance à réduire le temps d'accès à la donnée conduit à proposer des constellations de satellites à très haute résolution assurant une fréquence élevée de revisite.

Une forte présence sur les constellations

Dans un contexte de multiplication et d'accélération des projets de constellations en orbite basse – plusieurs centaines à plusieurs milliers de satellites vont être déployés par des sociétés et/ou des entrepreneurs autres que les acteurs traditionnels et dont l'activité est en rupture avec les modèles économiques actuels –, nombre de défis opérationnels (positions orbitales, gestion des fréquences, rythme de déploiement, fin de vie et gestion des débris...) et industriels (processus de fabrication, coûts...) sont à relever. Les maîtres d'œuvre et les équipementiers français (voir, par exemple, la fourniture par Sodern de senseurs d'étoiles Auriga NG adaptés à la constellation OneWeb) montrent depuis quelques années qu'ils sont en capacité de les relever. Ils ont ainsi acquis des positions fortes sur les constellations Iridium NEXT, Globalstar-2, O3B, OneWeb, Kineis, BlackSky, Northstar, EarthNow...

La présence quasi exclusive des maîtres d'œuvre français sur des constellations déjà opérationnelles ou en voie de déploiement résulte de leur capacité à prendre des risques et à fournir des solutions à bas coût. Des qualités qui ne sont pas étrangères à cette position de leader qu'occupe l'industrie spatiale française sur les marchés commerciaux et export considérés.

La filière lanceurs et ses marchés

À l'échelle mondiale, les activités de lancement sont très largement dominées par les marchés institutionnels, les lancements commerciaux ne représentant que 23 % du total (en 2018, 26 lancements commerciaux sur un total de 114). Contrairement aux autres grandes puissances en capacité d'accéder à l'espace, le secteur des lanceurs, et donc la filière française, est en Europe très fortement exposé aux fluctuations du marché commercial (voir la

Figure 5 ci-après). En effet, 64 % des lancements européens sont réalisés au profit de clients commerciaux/export. Les performances affichées par ce secteur comme sa fiabilité (au 5 février 2019, 103 tirs pour Ariane 5, dont 98 réussis) lui ont néanmoins permis de maintenir des positions fortes s'assurant notamment 50 % du total des satellites géostationnaires lancés en 2018, et ce malgré un fort ralentissement de ce marché.

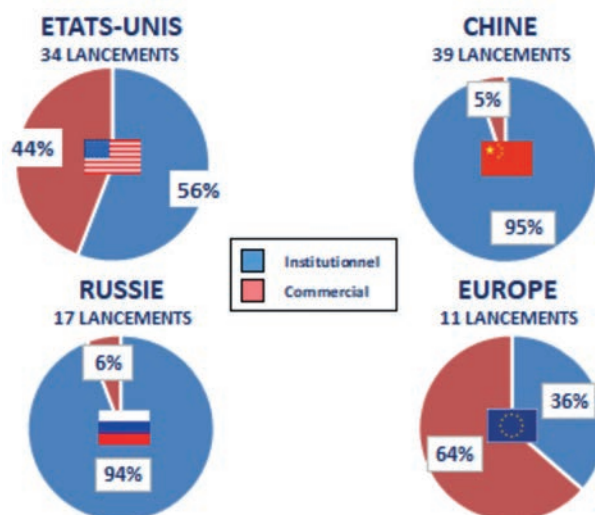


Figure 5 : Nombre de lancements opérés en 2018 par chacune des grandes puissances spatiales, en distinguant les lancements commerciaux de ceux institutionnels (Source : GIFAS).

Marchés institutionnels et filière satellites

Les marchés institutionnels constituent un socle d'activité indispensable pour les développements technologiques, l'ouverture de nouveaux marchés et le maintien des compétences. Ils offrent aussi de solides références pour exporter les solutions françaises avec le soutien bien rodé de la diplomatie économique. Face à la concurrence des États-Unis et de la Chine, dotée de budgets institutionnels massifs et concentrés, la filière nationale accède en Europe à des financements à la fois beaucoup plus modestes et fragmentés (issus de l'ESA, de l'Union européenne ainsi que des agences nationales).

En 2017, les acteurs institutionnels européens (ESA + UE + EUMETSAT) ont représenté un chiffre d'affaires de près de 1,2 Mds€ pour la filière spatiale manufacturière française, soit 26 % de son activité. La filière française assure la maîtrise d'œuvre d'une très large gamme de programmes européens : on citera, par exemple, les satellites Sentinel du programme d'observation de la Terre Copernicus, les missions Météosat et Metop en météorologie, une partie des programmes scientifiques et d'exploration de l'ESA, etc. Les échéances majeures de 2019 – la tenue du Conseil ministériel de l'ESA et l'élaboration du prochain cadre financier pluriannuel de l'UE – seront l'occasion pour la filière française de réaffirmer le rôle de tout premier plan qu'elle joue, lequel repose sur une maîtrise technologique extrêmement diversifiée.

Sur l'exercice 2017, les clients institutionnels français de l'industrie ont généré environ 719 M€ de chiffre d'affaires, dont 454,5 M€ correspondant à des programmes militaires. Ces derniers se répartissent entre le renseignement image (avec le programme CSO⁽⁹⁾ succédant aux satellites Helios), le renseignement électromagnétique (avec le programme CERES) et les télécommunications (satellites Syracuse). Enfin, l'industrie nationale contribue, pour le compte du CNES, à la préparation de missions nationales (par exemple, la mission Microcarb pour la mesure du CO₂), et prend part à des missions multilatérales (comme la mission franco-américaine SWOT pour l'hydrologie) ; elle est aussi au cœur de nombreuses coopérations avec l'ESA (Exomars 2020, Euclid, FLEX).

Conclusion

La filière spatiale française a su jusqu'à maintenant conserver une position de *leadership* sur des marchés commerciaux en pleine mutation, tout en positionnant ses meilleures technologies au service des besoins institutionnels d'un secteur stratégique pour la souveraineté nationale et à l'échelle de l'Europe. Face à des marchés incertains, tant sur le secteur des télécommunications qu'en matière d'observation de la Terre, cette filière d'excellence doit poursuivre sa trajectoire de croissance continue depuis plus de dix ans, maintenir ses efforts d'innovation

dans une action partagée avec l'ensemble des acteurs du secteur et accompagner les mutations industrielles. Par ailleurs, la filière doit davantage encore contribuer au développement des usages du spatial en ouvrant davantage ce secteur aux filières du numérique et à celui des applications sur un segment aval encore en devenir.

Enfin, alors que de grands programmes spatiaux sont en voie de déploiement, il est nécessaire de préparer le remplacement des capacités actuelles et, pour ce faire, de développer de nouvelles solutions. L'espace est à la croisée des chemins en 2019 (réunion du Conseil de l'ESA au niveau ministériel, prise de décisions sur le cadre financier pluriannuel de l'UE avec des élections qui se dérouleront en mai, mise en œuvre de la loi sur la programmation militaire, tenue de la Conférence mondiale des radiocommunications). Seul un effort significatif de la France sur les technologies, qui constituent le noyau dur et ont un fort effet de levier, permettra à notre industrie de consolider ses positions et de poursuivre l'accroissement de son chiffre d'affaires et de ses effectifs.

(9) Composante spatiale optique : le premier satellite a été lancé en décembre 2018.

Le New Space

Par Jean-Jacques TORTORA

Directeur de l'Institut européen de politique spatiale (Vienne, Autriche)

Né aux États-Unis à l'instigation de la NASA et s'inscrivant dans une démarche de recherche d'efficacité, le phénomène du New Space n'en finit pas de susciter l'intérêt du public et des gouvernements à travers le monde, tant il est riche de promesses d'un secteur spatial enfin devenu accessible au plus grand nombre par la magie de quelques entrepreneurs audacieux.

Cet article fait la synthèse des éléments fondamentaux de ce phénomène et met en perspective les initiatives européennes intervenues ces deux dernières années.

Si aucun bilan définitif ne saurait encore être tiré, il est acquis que le secteur spatial se trouve revitalisé par l'intérêt soudain que lui portent nombre d'investisseurs privés. De même, la radicalité de certaines approches ouvre également des perspectives prometteuses.

À terme, l'Europe devra probablement faire évoluer son cadre réglementaire et juridique, en particulier, l'articulation de la relation client/fournisseur entre ses institutions et le secteur industriel, à la fois pour tirer profit de ces potentialités et pour donner à son industrie les moyens de faire face à une concurrence d'une virulence renforcée.

L'avènement longtemps attendu des acteurs privés dans le secteur spatial

L'ère spatiale pionnière, largement dominée par des enjeux stratégiques ou géopolitiques, a été le privilège quasi exclusif d'acteurs gouvernementaux, civils ou militaires.

Historiquement, un secteur spatial commercial opéré par des sociétés privées n'est apparu qu'à la fin des années 1980, à la faveur d'initiatives publiques visant à établir une offre commerciale de lancement dans le sillage de l'émergence du marché des télécommunications par satellites. Profitant de quelques initiatives de portée plus limitée dans le domaine de l'imagerie satellitaire, le secteur spatial mondial a pu, au plan industriel, atteindre au début des années 2000 un point d'équilibre entre activités publiques et activités commerciales que nombre d'observateurs s'accordaient à considérer comme pérenne.

Ce *statu quo* a été récemment mis à mal par l'irruption d'acteurs privés dans une dynamique d'offre de services visant à exploiter extensivement les ressources spatiales pour répondre à de multiples défis économiques, sociétaux ou environnementaux. D'un point de vue conjoncturel, cette approche a été favorisée par l'abondance de capitaux privés cherchant à s'investir dans des entreprises innovantes et prometteuses, auxquelles le secteur spatial a été identifié à la faveur d'une visibilité dopée par les annonces spectaculaires de personnalités médiatiques de premier plan, comme Elon Musk, Jeff Bezos ou Mark Zuckerberg.

Cet enthousiasme des investisseurs privés et la multiplicité de ces initiatives conduisent à éclairer d'un jour

nouveau l'économie du spatial, indépendamment des activités gouvernementales.

Quelques caractéristiques communes se dégagent des schémas entrepreneuriaux mis en œuvre dans ces divers projets :

- Les acteurs sont généralement de nouveaux venus dans le secteur spatial, avec un spectre extrêmement large, allant de *start-ups* jusqu'aux grandes entreprises des technologies de l'information et des communications (TIC ou GAFA) ;
- Les approches techniques se veulent innovantes, notamment au niveau des processus industriels, d'avantage qu'au plan strictement technologique, dans une démarche sans concession de réduction des coûts ;
- L'offre est largement orientée vers la fourniture de services intégrés directement délivrés à leur utilisateur final afin de réduire les chaînes contractuelles et d'en optimiser l'efficacité ;
- Les sources de financement privé sont extrêmement diversifiées et exploitent la totalité du spectre des mécanismes disponibles ;
- Sont particulièrement ciblés des marchés verticaux de l'industrie, ou des marchés spatiaux plus traditionnels sur la base de nouvelles applications ;
- L'intervention des acteurs publics se limite en général à la mise en œuvre de mécanismes de soutien à l'innovation ou d'accords de partenariat visant à assurer un partage des coûts/risques entre partenaires publics et partenaires privés ;
- Enfin, si certains États entrevoient l'opportunité de

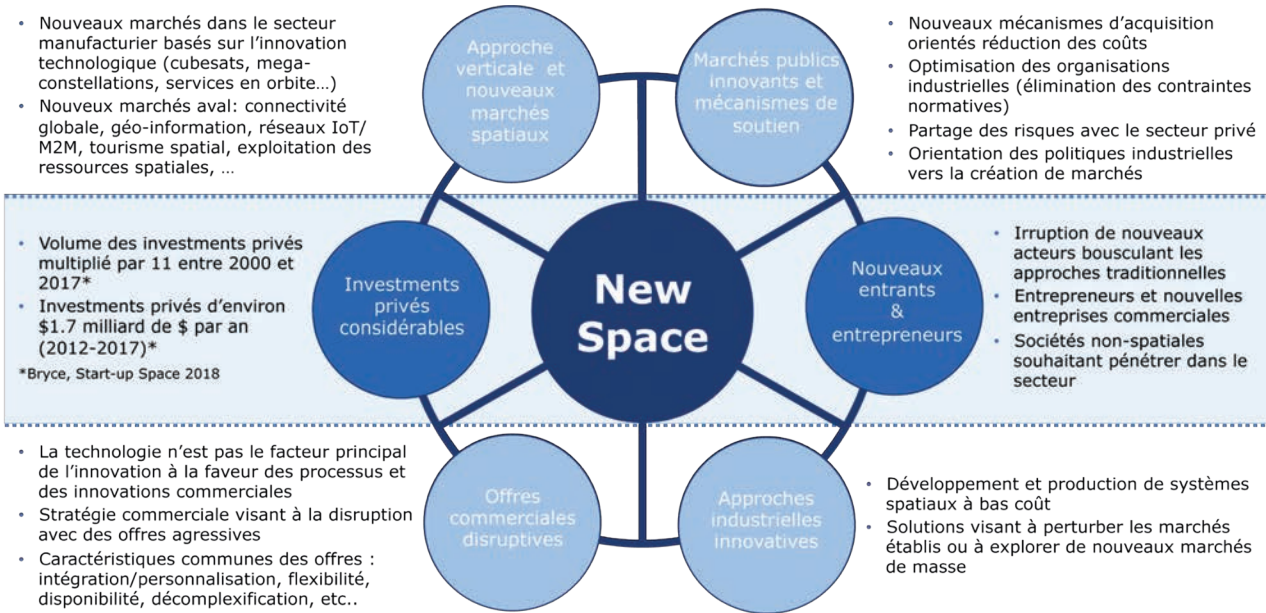


Figure 1 : Tendances clés à la base de la dynamique du New Space ⁽¹⁾.

développer par ce biais leurs capacités spatiales nationales, ce phénomène demeure marginal.

La Figure 1 ci-dessus, extraite du récent rapport de l'ESPI (Institut européen de politique spatiale – *European Space Policy Institute*) "Space Ventures Europe 2018", présente une synthèse des tendances clés observées dans le cadre des initiatives associées à la dynamique New Space à travers le monde.

Le montant annuel mondial des investissements privés dans le secteur spatial est estimé en moyenne à 1,7 Md\$ sur la période 2012-2017 ⁽²⁾. Ils sont majoritairement localisés aux États-Unis où ce phénomène a émergé. Rapporté aux budgets publics mondiaux – ou ne serait-ce qu'au budget spatial fédéral américain, qui à lui seul représente plusieurs dizaines de milliards de dollars –, ce montant peut paraître modeste. Il convient toutefois de tenir compte du fait que ces investissements sont directement injectés dans l'industrie, mais dans des conditions optimisées afin de développer des applications spatiales innovantes et de proposer des services opérationnels. Afin de mieux en anticiper l'impact, notamment sur les enjeux concurrentiels, il conviendrait de le rapporter aux investissements publics consacrés annuellement au secteur applicatif, qui ne représentent, partout dans le monde, qu'une faible part du montant total des budgets institutionnels.

Ce phénomène n'a donc rien d'anecdotique ; et si nombre d'initiatives ne seront pas couronnées de succès, il est certainement appelé à se poursuivre, même s'il est encore difficile de tirer des conclusions définitives sur son caractère structurant – ou non – pour le secteur.

Le New Space en Europe

L'Europe constitue après les États-Unis la seconde région la plus propice aux initiatives spatiales privées. Bien que le mouvement y ait démarré plus récemment comme le montre le graphique de la Figure 2 ci-contre, les montants

investis en 2017 et 2018 sont estimés, au minimum, à 220 M€, pour l'essentiel en opérations de capital risque.

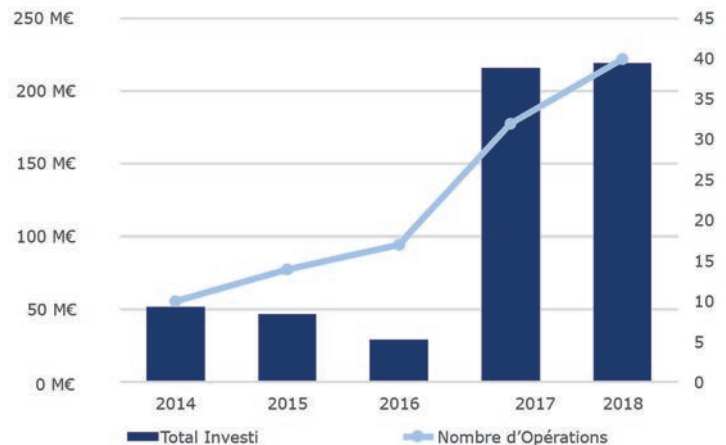


Figure 2 : Évolution des investissements privés dans le secteur spatial en Europe ⁽³⁾.

Au total, ce montant se répartit entre une quarantaine d'opérations recensées par l'ESPI, mais les cinq plus importantes représentent à elles seules les deux tiers de l'investissement ⁽⁴⁾ (voir la Figure 3 de la page suivante) :

- Orbx : une société britannique qui développe un micro-lanceur ;
- Reaction Engine : une société britannique développant un nouveau concept de motorisation pour un avion spatial ;
- Iceeye : une *start-up* finlandaise qui développe des microsatellites pour l'observation de la Terre par radar ;

(1) Source : ESPI, "Space Ventures Europe 2018", report.

(2) Source : Bryce, "Start-up 2018", report.

(3) Source : ESPI, "Space Ventures Europe 2018", report.

(4) Source : ESPI, "Space Ventures Europe 2018", report.

- Goonhilly : un opérateur de stations au sol qui développe une offre commerciale de service de télécommunications vers l'espace lointain ;
- Kayrros : une société française spécialisée dans l'interprétation des images satellites par intelligence artificielle.

Enfin, pour conclure ce bref état des lieux, la Figure 4 ci-après présente la répartition géographique des investissements privés intervenus en 2018 en Europe.

Il apparaît que le Royaume-Uni tient dans ce classement une place de choix. Il y a à cela des raisons aussi bien culturelles que structurelles du fait de la stratégie spatiale nationale britannique, laquelle est centrée de longue date sur les services, ou conjoncturelles du fait de la concomitance de trois projets majeurs et totalement indépendants.

Cet intérêt renouvelé pour les applications spatiales est, pour ce secteur, une bonne nouvelle tant il lui apporte un dynamisme inédit en tirant, dans une large mesure, profit de l'effacement de la barrière technologique qui a protégé efficacement et durablement les acteurs établis de la concurrence de nouveaux entrants. Ce phénomène ouvre également des perspectives prometteuses en s'intéressant à un marché de services basés sur des compromis inédits coût/performance ou coût/fiabilité dans un secteur jusqu'ici mobilisé par une amélioration perpétuelle et exclusive des performances au profit de clients essentiellement institutionnels.



Figure 3 : Principales opérations européennes New Space recensées en 2017/2018.

Optimisation industrielle vs contraintes normatives

Si, comme on l'a vu, les acteurs industriels et financiers européens se sont saisis de cette ouverture, la question qui se pose, à terme, est celle du rôle que seraient appelées à jouer les institutions publiques en appui à ces initiatives.

En effet, du côté américain, tout un arsenal réglementaire et législatif a été mis en œuvre pour favoriser l'émergence

(5) Source : ESPI, "Space Ventures Europe", report, 2018.

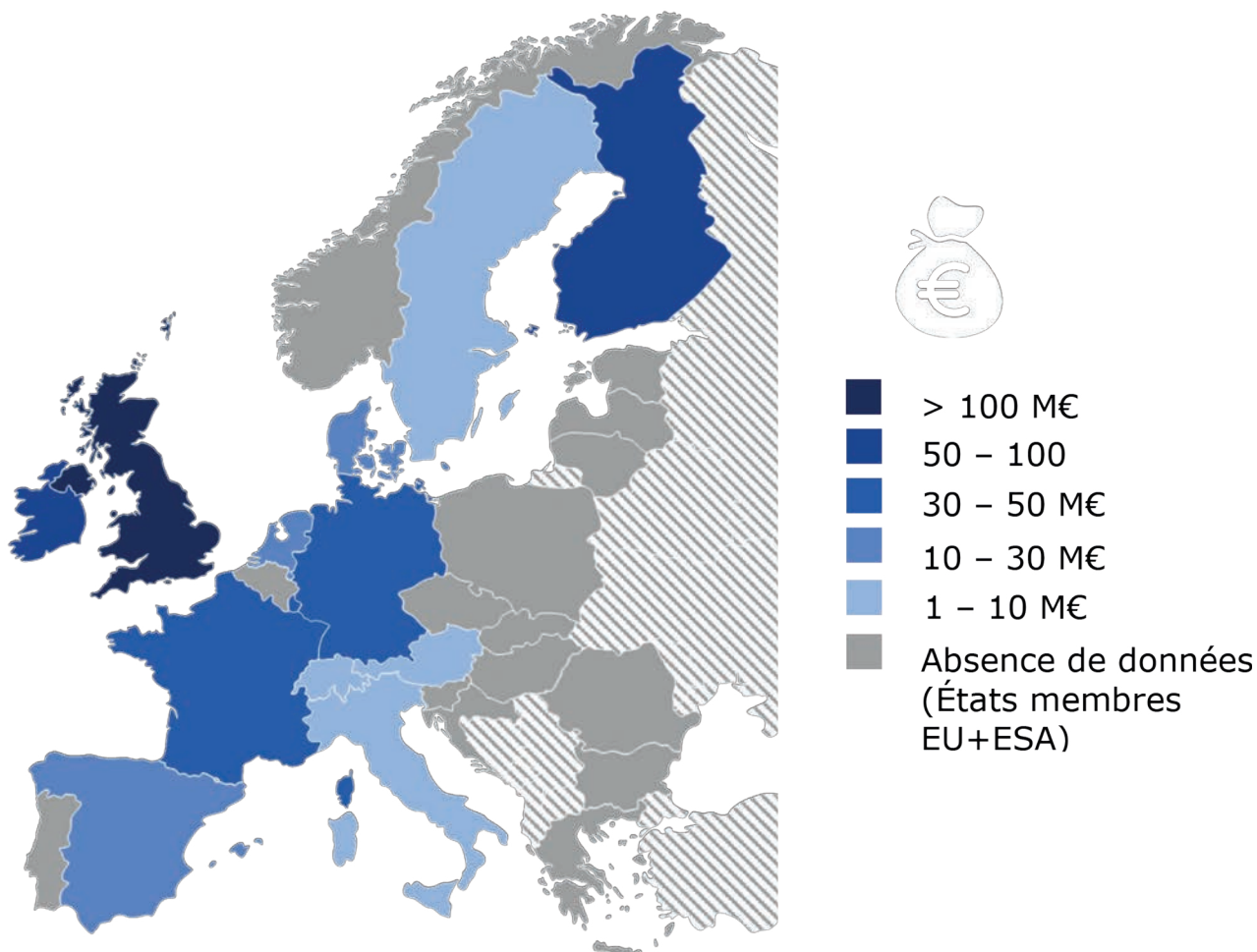


Figure 4 : Répartition géographique des investissements privés en Europe en 2018 (6).

de ces nouveaux entrants. On peut citer :

- l'injonction faite à la FAA par l'administration fédérale d'assouplir ses procédures de certification afin de permettre l'éclosion du marché du tourisme spatial ;
- les engagements à long terme de la NASA, en particulier en matière d'approvisionnement de services de lancement au profit de Space-X et de Orbital ;
- les dispositions de l'“Anchor Tenancy” mis en place par diverses administrations visant à assurer aux *start-ups* innovantes un flux de commandes en cas de difficultés financières, et ce jusqu'à un retour à meilleure fortune ;
- la promulgation du Space Act, un nouveau cadre législatif favorable aux initiatives privées américaines souhaitant exploiter commercialement des ressources spatiales ;
- et enfin, pour mémoire, le cadre général du Buy American Act venant en appui d'un marché institutionnel national massif.

De la même manière, les contrats passés par la NASA ou par le Department of Defense avec Space-X pour la desserte de la station spatiale internationale ou le lancement de charges utiles gouvernementales sont établis en termes de services. Il s'agit en soi d'une rupture fondamentale avec l'approche qui prévalait jusqu'alors, selon laquelle les lancements gouvernementaux étaient réalisés au moyen de systèmes propriétaires développés sur fonds publics, et donc sous contrôle du Congrès qui avait ainsi toute latitude pour imposer certaines contraintes aux montages industriels, comme la distribution géographique des activités sur le territoire. De manière concrète (et provocatrice), on pourrait dire que si le lanceur Falcon de Space-X avait été développé par la NASA avec le niveau de concentration industrielle que l'on constate à ce jour, seule la Californie aurait voté le budget de l'Agence.

Ces différents points illustrent l'étendue du chemin parcouru par les États-Unis dans le but de relâcher certaines contraintes en matière d'approvisionnements publics et de favoriser ainsi l'émergence de ces multiples projets.

À ce jour, on chercherait en vain du côté européen une quelconque démarche équivalant à l'une ou l'autre de ces dispositions. De ce côté de l'Atlantique, l'accent a plutôt été mis sur l'accès au financement ou sur l'accompagnement – technologique ou financier – *via* la mise en œuvre de toute une panoplie de mécanismes de soutien à l'innovation. Le cas d'Ariane 6 constitue également un exemple intéressant qui s'avère être un savant compromis visant à accroître l'autonomie décisionnelle du maître d'œuvre industriel dans ses choix fondamentaux, tout en préservant le cadre original de la conduite des programmes par l'Agence spatiale européenne.

En revanche, les institutions européennes, à la différence de leurs homologues américaines, restent très en retrait dans les différentes phases de l'exploitation commerciale. Il en résulte que l'écosystème des *start-ups* européennes demeure fragile. En effet, le dispositif européen s'avère singulièrement plus sommaire en matière d'accompagnement des sociétés en difficulté ou, plus généralement, en matière d'adoption de dispositions visant à leur permettre

de gagner la confiance des investisseurs, notamment en leur offrant des perspectives de commandes sur le moyen ou long terme.

Les raisons en sont multiples. Nous nous contenterons d'en rappeler quelques-unes, comme la taille limitée des marchés institutionnels européens, la difficulté pour les États membres à converger sur des règles communes en matière de politique industrielle, ou le carcan réglementaire de l'Union européenne, qui s'avère incompatible avec nombre des dispositions mentionnées ci-dessus.

De manière plus générale, l'Europe peine à s'accorder sur des dispositions autres que celles qui ont fait leurs preuves pour façonner l'industrie spatiale actuelle, à savoir essentiellement un soutien à la R&T et à l'innovation, et un accompagnement lors des phases de développement.

Pour efficaces qu'ils soient, ces outils demeurent essentiellement centrés du côté de l'offre de services, là où le dispositif américain a été, au contraire, largement réorienté vers un soutien de la demande. De fait, pour certaines de leurs activités, les agences américaines ont dû accepter de passer du statut de clients tout-puissants à celui de consommateurs de services sur étagère développés par des acteurs privés, en dehors de toute supervision technique de leur part.

C'est probablement dans ce domaine que des évolutions du cadre institutionnel européen sont les plus attendues au cours des prochaines années afin de permettre de relâcher certaines contraintes normatives au profit d'une optimisation plus radicale des organisations industrielles et de tirer ainsi profit du potentiel économique de ces nouvelles approches – notamment en matière de partage des risques et des coûts avec le secteur privé –, mais aussi afin de permettre à l'industrie européenne d'être plus à même de faire face à une concurrence devenue plus virulente.

Cela dit, il convient également de ne pas pécher par excès d'enthousiasme, car la multiplication des acteurs et des projets auxquels le New Space donne corps, ne va pas sans soulever de nombreux problèmes, notamment en matière de congestion des orbites ou du spectre de fréquences, ainsi que de génération de débris, à l'instar des méga-constellations. Face à la montée de ces risques, le cadre juridique international discuté sous l'égide des Nations Unies ne saurait évoluer à une vitesse en rapport avec la rapidité des développements de ce secteur. C'est finalement aux États qu'il reviendra de veiller, aux plans juridique et technique, aux agissements de leurs sociétés ressortissantes.

Un avenir encore incertain

À ce jour, nombre des acteurs du New Space ont démontré de manière spectaculaire leur capacité à développer rapidement des systèmes opérationnels dans tous les domaines d'application. La démonstration qui reste toutefois à faire est celle de leur capacité à engranger des profits. Quelques exemples existent toutefois des capacités novatrices déployées par cette nouvelle génération d'entrepreneurs, lesquelles seront probablement pérennes.

D'autres ont connu et connaîtront des fortunes diverses, telles ces sociétés qui ambitionnaient, probablement un peu trop prématurément, une exploitation fructueuse des ressources spatiales.

D'autres encore paieront le prix d'un enthousiasme excessif les ayant conduit à multiplier les projets au mépris des perspectives réelles de marché. Le domaine des petits lanceurs est tout à fait emblématique de cette problématique ; rares seront les élus d'ici à quelques mois.

De la réaction des investisseurs privés à ces inévitables déconvenues dépendra finalement le futur de ce fameux New Space. L'année 2019 devrait, à cet égard, être riche d'enseignements.

La nécessité de revoir à terme les schémas historiques

Nous concluons en soulignant le fait que si l'aventure New Space constitue une opportunité de revitaliser le secteur spatial en le rapprochant des secteurs industriels *high tech*, elle ne va pas sans poser de nombreux défis, tant aux acteurs industriels établis – dont on ne saurait se passer – qu'aux institutions qui vont être appelées, tôt ou tard, à redéfinir leur relation client/fournisseur historique vis-à-vis du secteur industriel afin de préserver la capacité vitale de ce dernier à continuer de capter des parts significatives de marchés commerciaux ouverts, ce qui est un élément essentiel de la stratégie spatiale européenne.

Quel avenir pour la filière spatiale française ?

Un essai d'analyse prospective fondé sur la théorie de la disruption stratégique

Par **Éric JOLIVET**

Toulouse School of Management, Université de Toulouse I, Capitole

et **Grégory PRADELS**

Aerospace Valley, Pôle de compétitivité Occitanie et Nouvelle-Aquitaine

Les sociétés américaines SpaceX, Planet ou encore OneWeb bousculent, chacune dans leur domaine, le secteur spatial et contribuent à faire émerger une nouvelle industrie désignée sous l'appellation de New Space. Pourtant, l'industrie spatiale a longtemps été considérée comme particulièrement stable et difficile d'accès. La théorie de la disruption technologique aide à comprendre certains changements, notamment comment de nouveaux entrants réussissent à détrôner des géants, parfois en utilisant des technologies inventées par ces derniers. L'enjeu est de réussir à modifier les normes de performance afin de transformer les atouts détenus par les firmes en place en charges et en actifs obsolètes. S'il s'agit bien du mécanisme économique actuellement en jeu dans le secteur spatial, l'industrie française, qui occupe jusqu'à présent une place de choix, se trouve en danger. Dans ce contexte, l'article évoque quelques scénarii probables et les stratégies possibles pour les acteurs de cette filière, s'ils veulent faire face à cette rapide évolution de leur environnement.

La filière spatiale française, une industrie devenue leader

Selon un nombre croissant d'observateurs, le marché mondial du spatial entre dans une période de forte accélération (Fioraso, 2016). Le cabinet Bryce montre que ce marché a représenté \$339,1 Mds de chiffre d'affaires en 2016 (Bryce, 2017), un marché en forte progression depuis une décennie (Sauzay, 2017). Selon l'OCDE, les États-Unis, la Chine et la Russie demeurent très engagés en termes d'investissements. Mais sur le plan technique et commercial, l'Europe, et au sein de celle-ci, la France, en particulier, occupe une position de *leader* (OECD, 2014).

Outre une conjoncture historique favorable, cette réussite de l'industrie spatiale française a reposé sur la grande qualité de l'organisation de la filière, incluant notamment une forte coopération public-privé. Celle-ci a permis aux acteurs de relever efficacement trois défis majeurs :

- *L'innovation continue* : la nécessité de développer et d'assimiler en permanence et de façon cumulative des technologies de pointe, évolutives, pour les appliquer à des contextes extrêmes.
- *La fiabilité* : l'impératif d'une très forte maîtrise industrielle des procédés et de l'ingénierie de projets complexes pour livrer des objets de haute technicité quasiment uniques et extrêmement coûteux.
- *La sécurité* : du fait de l'importance historique de la commande institutionnelle et de Défense, de la nécessité d'une maîtrise de l'information et de l'établissement d'une forte confiance entre les différentes parties prenantes.

Pour relever ces défis, l'industrie française s'est dotée d'atouts essentiels, notamment :

- *Une politique industrielle stable et forte* au niveau national, et au niveau européen, tant en matière civile qu'en

matière militaire : elle se traduit par un budget élevé et régulier (35 euros/habitant en France, soit au second rang après les États-Unis). Cette source de financement a garanti une stabilité au secteur en dépit de changements conjoncturels brutaux.

- Une activité de recherche-développement-innovation performante et ambitieuse permettant aux acteurs d'acquérir et de maîtriser des technologies et des savoir-faire complexes. L'industrie a bénéficié, en amont, de la collaboration de l'agence spatiale nationale avec des organismes de recherches publiques et, en aval, de l'existence de grands groupes industriels français et européens, intervenant en association avec un tissu dense de PME spécialisées.
- La constitution d'une filière industrielle complète, cohérente et bien coordonnée, capable, à travers une offre compétitive, de répondre aux besoins des clients du secteur spatial, avec lesquels elle partage une culture industrielle commune, dans une logique de compétition mesurée et de complémentarité. Les acteurs de la filière ont été fortement incités à coopérer pour relever des défis à la fois nationaux et internationaux. La pratique d'une forte mobilité des personnels qualifiés entre les différents acteurs et à différents niveaux stratégiques a également accéléré la dissémination et le partage des bonnes pratiques et de visions stratégiques communes (Fioraso, 2016).

Au regard de la très bonne organisation collective de la filière française, de la complexité technologique propre à cette industrie, de l'importance de la commande publique et du faible volume des marchés en jeu, l'apparition de *challengers* paraissait donc très improbable, du moins jusqu'à une période récente. Comment de nouveaux entrants, sans compétence spécifique dans le domaine, ont-ils réussi à s'immiscer dans cette industrie spatiale réputée être aussi fermée qu'innovante ? À quel point faut-il s'en inquiéter ?

La théorie de la disruption appliquée au secteur spatial : quelle est la nature du risque stratégique ?

Un risque bien connu des stratèges est le phénomène désigné sous le nom de « dérive stratégique » (Romanelli et Tushman, 1994). Il consiste à devenir victime de succès passés (Miller et Friensen, 1980) en ignorant les transformations rapides de l'environnement (Finkelstein, 2006) ou en devenant incapable de s'y adapter. Cette dérive stratégique induit un déphasage progressif entre l'organisation et la réalité du monde qui l'entoure, jusqu'à aboutir à son déclin : c'est notamment le cas désormais célèbre de Polaroid, une société qui est devenue incapable de se départir des modèles qui avaient assuré son succès, et qui l'ont tout aussi sûrement conduite à sa perte (Tripsas et Gavetti, 2000).

L'une des sources bien identifiées de transformation rapide de l'environnement d'une industrie est l'innovation, en particulier l'innovation de rupture. Cette arme, utilisée le plus souvent par de nouveaux entrants sur un marché, consiste à bousculer les pratiques et à modifier les règles du jeu de la concurrence. La transformation rapide de l'in-

dustrie induite par une innovation de rupture déstabilise les entreprises les plus performantes qui s'y trouvent installées et offre aux nouveaux venus une opportunité de remettre à plat les normes de performance industrielle et les atouts nécessaires à la conquête de parts de marché (Gans, 2018).

La théorie de la disruption montre à quel point cette approche s'avère souvent redoutable pour les entreprises en place : devenant dominante dans une industrie, elle se traduit fréquemment par un changement de *leadership* (Christensen, 1997). Comme nous allons le montrer, dans le cas de l'industrie spatiale, cette théorie permet d'éclairer la nature de la bataille actuelle entre l'industrie spatiale française (et européenne) et de nouveaux acteurs, notamment des *start-ups*, cherchant à modifier en profondeur les normes de cette industrie.

Les mécanismes de la disruption

Selon la théorie de la disruption, les nouveaux entrants dans une industrie sont les plus enclins à user de cette stratégie (Bower et Christensen, 1995). En effet, ceux-ci souffrent structurellement d'un désavantage concurrentiel par rapport aux groupes installés les plus performants, se heurtant à d'importantes barrières à l'entrée. À l'inverse, les entreprises installées les plus performantes sont peu enclines à mobiliser des innovations de rupture qui détruisent une partie des actifs et des sources d'avantages qu'elles ont construits au fil du temps.

Les forces en jeu dans l'économie industrielle sont généralement favorables à l'accumulation d'actifs performants. Les firmes *leaders* ont acquis ces ressources de haute lutte : l'expérience industrielle, les savoir-faire, les brevets, les outils de travail... Elles ont affiné leur connaissance du marché, se sont bâties une réputation. Ces actifs les protègent, ils constituent autant d'obstacles, de barrières, de sources de désavantages, pour de nouveaux candidats qui, eux, en sont dépourvus.

La disruption ouvre un point d'inflexion dans cette logique d'accumulation. Un moment particulier où l'apprentissage ne se réalise plus par accumulation et continuité, mais, au contraire, par rupture et exploration de pistes nouvelles, de segments ou de niches de marché délaissés (Anderson et Tushman, 1990 ; O'Reilly et Tushman, 2016). Les nouveaux entrants sont donc incités à privilégier cette approche exploratoire et disruptive afin d'orienter le jeu à leur avantage.

La rupture s'appuie en effet sur deux mécanismes complémentaires. Premièrement, elle vient changer les normes et les critères de performance industrielle. Deuxièmement, modifiant les compétences et les ressources nécessaires à la performance, elle frappe d'obsolescence celles qui opéraient jusqu'alors, et transforme ainsi les actifs précédents en passifs. Lorsqu'elle est couronnée de succès, cette stratégie se traduit par une inversion radicale des forces et des faiblesses des acteurs en présence :

- Les actifs des entreprises installées deviennent graduellement obsolètes et constituent des freins à leur adaptation aux nouvelles normes.

- Les éléments ayant constitué des barrières à l'entrée se muent en coûts de conversion et en barrières à la sortie.
- Les normes et pratiques des nouveaux entrants s'imposent comme les nouveaux standards de performance à acquérir.

Tout dépend dès lors de la réaction des firmes dominantes. Avec les moyens et la réputation dont elles disposent, elles pourraient imiter les nouveaux venus, ou les acquérir et, de fait, s'approprier leur marché. Christensen et ses collègues estiment que ce n'est généralement pas le choix qu'elles font. Le phénomène de standardisation tend à les inciter à focaliser leurs investissements sur certains besoins, ceux de leurs clients principaux, laissant de côté des niches de marché mal servies, du fait que, dans un premier temps, elles dégagent une faible rentabilité ou ne permettent pas de profiter d'économies d'échelle (Christensen, McDonald et Raynor, 2015). Les nouveaux entrants, au contraire, concentrent leurs efforts sur ces niches pour y affûter des avantages concurrentiels très spécifiques qui seront plus tard difficiles à rattraper.

Quelles implications pour l'industrie spatiale ?

Un premier élément de rupture est apparu lorsque plusieurs *start-ups*, Space-X en tête, ont entrepris de proposer un service standardisé, misant sur le prix comme critère unique de performance, dans l'espoir d'accroître radicalement la taille du marché et d'ouvrir le champ à de nouvelles applications possibles du spatial, qui étaient jusque-là limitées par les tarifs alors en vigueur (Sauzay, 2017).

À cette fin, Space-X, la plus avancée en la matière, a été amenée à réinventer les méthodes de conception et de production, et à introduire la notion de lanceur réutilisable. Pour réussir, cette stratégie suppose qu'un certain nombre de clients acceptent désormais un service moins élaboré, et considèrent comme critère central la charge utile transportée au regard du prix au kilo. Avec cette stratégie, Space-X s'est approprié, à la barbe des entreprises existantes, la majorité des opportunités de lancements institutionnels et commerciaux (voir la Figure 1 ci-dessous), ouvrant ainsi la voie à d'autres *start-ups*.

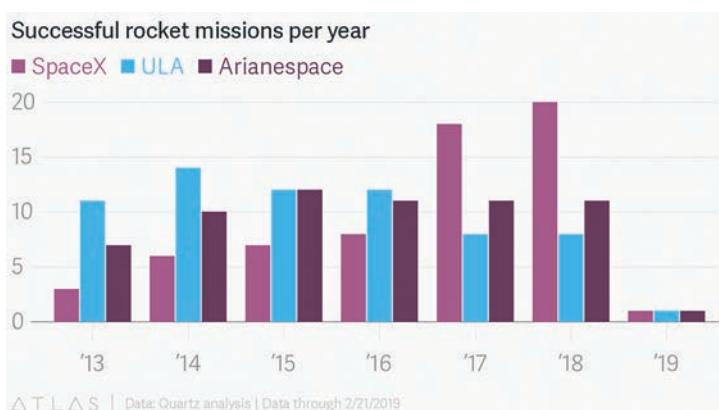


Figure 1 : Évolution du nombre des lancements effectués par les acteurs historiques ULA (États-Unis) et Ariespace (EU) par rapport à ceux réalisés par le nouvel entrant SpaceX (États-Unis).
Source : www.theatlant.com

Dans un autre domaine majeur de l'industrie spatiale, les satellites, d'autres *start-ups* ont entrepris d'explorer de nouvelles niches en partie délaissées par les acteurs historiques telles que l'éducation et la recherche (CubeSat), ou même de renouveler la proposition faite à des clients historiques en matière, par exemple, d'observation de la Terre (Planet). La recherche de produits standardisés et peu chers, combinée à la possibilité de lancements moins onéreux, vise ainsi à ouvrir la voie à de nouveaux marchés. La facilité de fabrication et de mise en orbite des satellites couplée à un prix très faible est devenue un critère supplantant la maîtrise de technologies et de missions complexes. Face à cette nouvelle norme, les actifs des acteurs historiques ne sont plus adaptés, expliquant en partie le retard pris par la France sur cette thématique : sur les 568 nanosats (m<20kg) lancés dans le monde entre 2001 et 2015, un seul était français (Pradels, 2016).

Les facteurs clés de succès identifiés dans la première partie de cet article, et qui agissaient comme des barrières à l'entrée pour les nouveaux entrants, ont donc été contournés par ces derniers au travers de ces nouvelles approches :

- Le soutien récurrent de la commande publique, fondamental dans la période initiale, n'a pas incité les acteurs traditionnels à explorer d'autres approches pour trouver des sources de financement alternatives. Les nouveaux entrants, à l'inverse, ont visé en grande partie l'expansion du marché commercial.
- L'excellence technologique, atteinte grâce à une très bonne coordination entre acteurs très qualifiés, a poussé les acteurs historiques à se focaliser sur des technologies toujours plus complexes et des innovations incrémentales, délaissant, par voie de conséquence, des approches orientées sur la recherche de nouveaux modèles économiques ou de nouveaux marchés.
- La forte cohésion de l'écosystème français, à la source de ses performances exceptionnelles, s'est ainsi progressivement traduite en une faiblesse empêchant de sortir de cet entre-soi et donc de s'inscrire dans une logique d'innovation ouverte.

Contexte politique et propositions

Si, comme semble l'indiquer la théorie de la disruption, l'industrie spatiale française (et européenne) se trouve menacée, la nature de cette menace semble revêtir deux dimensions :

- *Une menace stratégique.* Si l'avenir de l'industrie spatiale passe effectivement par une très forte croissance de la partie commerciale, la capacité à concevoir et à livrer des produits plus standardisés et à coûts réduits va représenter une source d'avantages concurrentiels et permettre l'acquisition de parts de marché. Il s'avère clairement nécessaire que l'industrie se prépare à cette nouvelle donne afin d'éviter de se trouver marginalisée.
- *Une menace pesant sur le modèle d'organisation industrielle et de sa gouvernance.* Le modèle historique d'une filière organisée par une politique centrale est actuellement concurrencé par le modèle en réseau d'une chaîne de valeur mondialisée, où la coordination est assurée par

la modularisation et la standardisation des composants. Le *leadership* et la gouvernance y sont davantage distribués : ils passent par la maîtrise de certaines plateformes standardisées de production, de certains composants indispensables à forte valeur ajoutée ou par la capacité à promouvoir une innovation portant sur l'architecture d'ensemble des produits à assembler (Gans, 2016).

L'avenir demeure à ce jour relativement ouvert ; l'industrie spatiale apparaît donc se situer à un moment charnière de sa transition. Il semble donc utile d'explorer différents scénarii plausibles au regard de ces enjeux et d'évoquer les stratégies possibles pour les acteurs de l'industrie française. Nous avons identifié trois stratégies possibles.

Une première option, dans l'hypothèse où le marché et l'organisation de l'industrie demeureraient relativement stables, consiste à miser sur la continuité avec le passé, les acteurs de l'industrie s'efforçant d'améliorer leurs performances en optimisant davantage les atouts qu'ils ont patiemment construits. Cette stratégie, dite du « bateau à voile », se révèle très efficace dans un environnement stable, mais dramatique dans un environnement évoluant rapidement.

Une seconde option, cette fois dans l'hypothèse où le marché évoluerait radicalement vers une forte composante commerciale et des applications nouvelles, vise à développer une politique industrielle mêlant soutien budgétaire et incitations à faire émerger rapidement un marché commercial et des acteurs associés, sur le modèle américain, de manière à obtenir une filière équivalente à l'échelle de la France et de l'Europe. Cela suppose une organisation hybride, ambidextre (O'Reilly et Tushman, 2016), capitalisant sur l'existant dans la continuité des investissements passés sur les marchés institutionnels et militaires notamment, tout en favorisant le développement d'acteurs de type *start-up*, plus agiles, capables de servir des marchés de niche et de les développer pour concurrencer les *start-ups* américaines sur le terrain du marché commercial. Cette stratégie s'apparente à une stratégie d'imitation. Elle présente l'avantage de pouvoir bénéficier des essais-erreurs réalisés par le pionnier. Mais une condition essentielle à sa réussite est la rapidité de sa mise en œuvre.

Une troisième option stratégique, toujours dans l'hypothèse d'une forte disruption du marché (devenant un marché de séries standardisées) et de l'organisation industrielle (devenant un réseau mondialisé de conception et de production), consiste à s'efforcer d'occuper des positions stratégiques, à tenir des nœuds du réseau (par exemple, des composants clés incontournables sur lesquels les entreprises françaises ont une longueur d'avance, une innovation architecturale...) : cela dans un réseau mondial de production avec lequel il faudrait s'interfacer, notamment à travers la modularisation des produits complexes et la standardisation des produits et des procédés sur la base des standards industriels mondiaux. Cette option requiert la transformation la plus radicale de l'industrie à travers la mondialisation de ses éléments les plus performants et le maintien d'une activité nationale pour alimenter un

marché local tiré par une demande publique portant sur des éléments présentant un moindre intérêt commercial ou concurrentiel. Le rôle de la politique industrielle serait dans ce cas totalement transformé, il consisterait à favoriser cette transition.

Conclusion

Paradoxalement, c'est alors que l'industrie spatiale française atteint son plus haut niveau de performance qu'elle se trouve mise en danger par la prochaine vague d'innovation (Finkelstein, 2006). À ce stade, plusieurs scénarii demeurent envisageables, et plusieurs avenir sont ouverts. Du fait de sa position de leader, les choix réalisés par l'industrie française influenceront l'avenir, mais les nouvelles forces en présence vont également peser fortement. La victoire d'un scénario sur un autre n'est pas encore écrite, elle dépendra du rapport de force existant entre les acteurs (Akrich, 1988). La stratégie retenue par les décideurs français et leur capacité à faire advenir le scénario qu'ils auront choisi, seront déterminantes pour l'avenir de cette industrie.

Bibliographie

- AKRICH M., CALLON M. & LATOUR B. (1988), « À quoi tient le succès des innovations », *Gérer & Comprendre, Les Annales des Mines*, juin, pp. 4-17.
- ANDERSON Ph. & TUSHMAN L. M. (1990), "Technological discontinuities and dominant designs : a cyclical model of technological change", *Administrative Science Quarterly* 35(4), pp. 604-633.
- Bryce Space and Technology (2017), "Global Space industry dynamics", Research Paper for Australian Government, Department of Industry, Innovation and Science by Bryce Space and Technology, LLC, publié sur Brycetechnology/reports.
- Bryce Space and Technology (2018), "Start-up space. Update on investment in commercial space ventures", publié sur Brycetechnology/reports.
- BOWER L. J. & CHRISTENSEN C. M. (1995), "Disruptive technology. Catching the wave", *Harvard Business Review*, January-February, pp. 43-53.
- CHRISTENSEN C. M. (1997), *The innovator's dilemma. When new technologies cause great firm to fail*, Harvard Business School Press.
- CHRISTENSEN C. M., McDONALD R. & RAYNOR E. M. (2015), "What is disruptive innovation", *Harvard Business Review*, december, pp. 44-53 [Traduction française (2016) : « Qu'est-ce que l'innovation disruptive et comment l'appliquer ? », *Harvard Business Review, French*, décembre 2016-janvier 2017].
- FINKELSTEIN S. (2006), "Why smart executives fail: four cases histories of how people learn the wrong lessons from history", *Business History* 48 (2), pp. 153-170.
- FIORASO G. (2016), « Open Space. L'ouverture comme réponse aux défis de l'industrie spatiale », République française, Rapport au Premier ministre.

GANS J. (2018), "The disruption dilemma", MIT Press.

MILLER D. & FRIESEN P. H. (1980), "Momentum and revolutions in organisational adaptation", *Academy of Management Journal* 23 (4), pp. 591-614.

OECD (2014), "The space economy at a glance".

O'REILLY C. A. & TUSHMAN M. L. (2016), *Lead and disrupt: how to solve the innovator's dilemma*, Stanford University Press.

PRADELS G. (2016), « L'innovation dans le secteur spatial », Rapport CNES.

ROMANELLI E. & TUSHMAN M. L. (1994), "Organisational transformation as punctuated equilibrium: an empirical test", *Academy of Management Journal* 37(5), pp. 1141-1161.

SAUZAY A. (2017), « Espace : l'Europe contre-attaque ? », note, décembre, Institut Montaigne.

VANCE A. (2015), "Elon Musk: Tesla, Space-X and the quest for a fantastic future", Ecco.

Où va la filière des lanceurs européens ?

Par Alain CHARMEAU

CEO d'ArianeGroup (de 2014 à 2018)

ArianeGroup

Si explorer l'univers a fait rêver l'humanité pendant des siècles, l'aventure spatiale est aujourd'hui une réalité, et l'accès autonome à l'espace un enjeu non seulement stratégique, mais également politique, sociétal, économique et industriel. La filière européenne, incarnée par le lanceur Ariane, a réussi à garder sa place de leader mondial, en sachant se transformer pour mieux s'adapter aux évolutions du marché. Elle évolue vers toujours plus de compétitivité, de productivité et de coopération ; des leviers indispensables à sa pérennité et au maintien des savoir-faire et emplois qu'elle représente. Ses atouts ? Un héritage prestigieux, une capacité d'anticipation déjà à l'œuvre et une volonté des États de poursuivre l'aventure encore plus loin. Des décisions cruciales pour l'évolution d'Ariane 6 à horizon 2025 et pour l'avenir des lanceurs européens au-delà de 2030 devront être prises dès cette année lors du prochain conseil de l'Agence spatiale européenne qui se tiendra au niveau ministériel.

Quarante ans d'histoire spatiale européenne

Pour savoir où va la filière des lanceurs européens, commençons par rappeler d'où elle vient...

Les premières tentatives

Depuis ses premiers pas, l'humanité a toujours regardé vers les étoiles avec espoir. Aujourd'hui, l'espace nous est accessible. En Europe, cette prouesse est indissociable d'une formidable aventure industrielle : celle d'Ariane, devenue en quelques décennies le lanceur spatial le plus fiable du marché commercial. Depuis près de quarante ans, les lanceurs Ariane ont permis le développement d'une industrie spatiale européenne et ont contribué à améliorer la vie de milliards de personnes et d'entreprises en mettant en orbite des satellites qui leur rendent des services au quotidien : télécommunications, Internet, géolocalisation, navigation, observation de la Terre, météorologie et surveillance du climat, mais aussi exploration et recherche scientifique. L'explosion des données et des services en temps réel fait encore de l'accès à l'espace un enjeu majeur non seulement de souveraineté des États, mais également de compétitivité commerciale. Historiquement, et pour l'ensemble des grandes nations, les savoirs spatiaux ont toujours été un enjeu de souveraineté, qu'il s'agisse des missiles balistiques de la dissuasion océanique française ou des fusées commerciales.

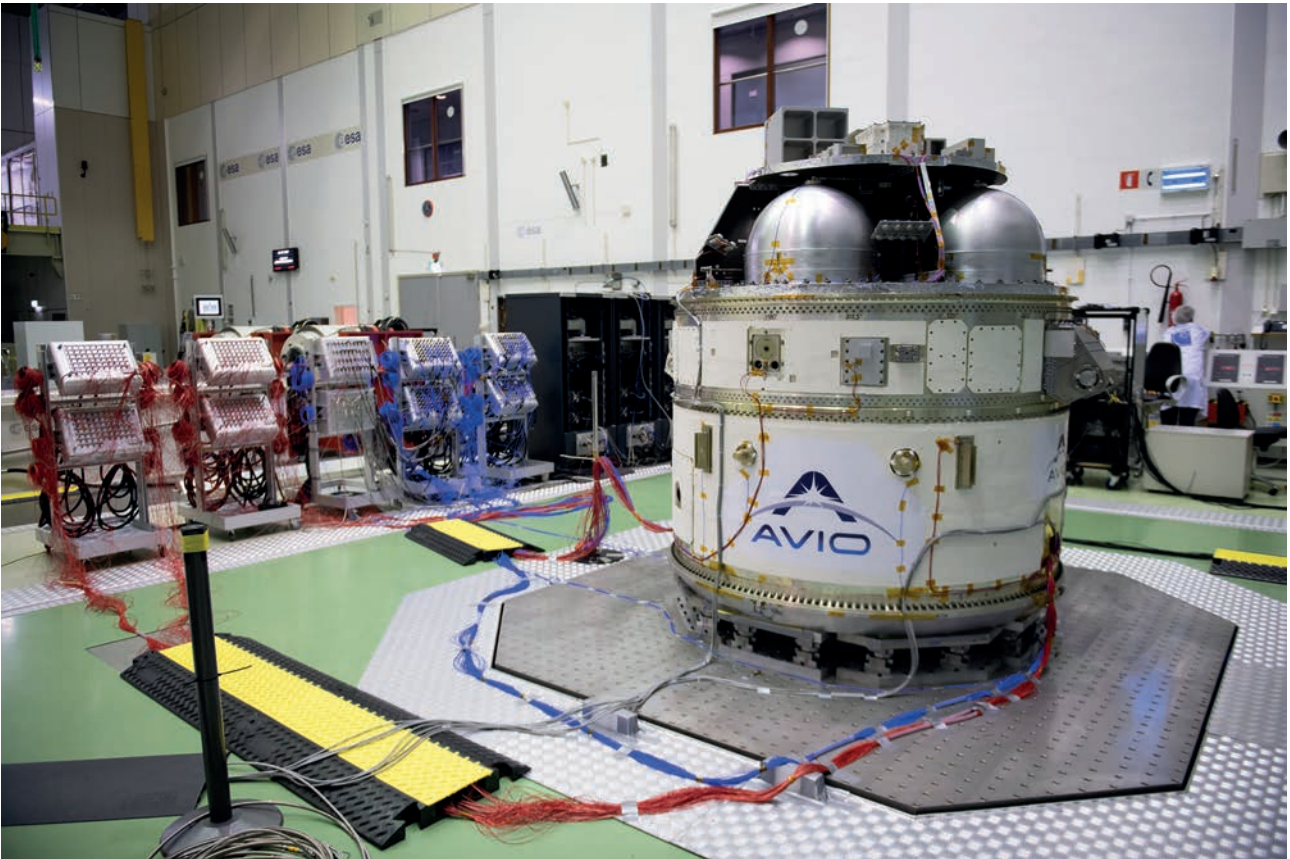
La capacité à envoyer de manière indépendante des satellites et des véhicules dans l'espace, c'est-à-dire de

disposer d'un système de lancement spatial autonome, est plus que jamais un atout critique dans l'exécution des missions institutionnelles d'observation de la Terre ou de télécommunications de Défense, mais elle constitue également un enjeu économique clé à l'heure du *Big Data*, des transports autonomes et de l'intelligence artificielle.

Rien n'était gagné d'avance. Car qui dit lanceur européen, dit coopération européenne. Or, lorsque les premiers projets spatiaux à l'échelle du continent émergent à la fin des années 1950, la notion d'Europe est loin d'être ancrée. La France a d'abord fait cavalier seul, portée par l'ambition gaullienne de rivaliser avec les Américains et les Russes. C'est l'époque des lanceurs Diamant et des premières études de moteurs à ergols cryotechniques. Puis vient Europa, la première tentative de se doter d'un lanceur européen portée par la Belgique, le Royaume-Uni, la France, l'Allemagne, l'Italie et les Pays-Bas⁽¹⁾, réunis au sein du Centre européen pour la construction de lanceurs d'engins spatiaux, également appelé ELDO (European Launcher Development Organisation). Face à l'incapacité de ce dernier à s'imposer en tant qu'architecte industriel, le projet échoue et s'arrête en 1973. Il peut toutefois être considéré comme l'ancêtre d'Ariane, l'Agence spatiale européenne (ESA) reprenant, quant à elle, – avec succès cette fois – le flambeau que n'avait pas su tenir l'ELDO.

(1) Et l'Australie en tant que membre associé.

Photo © ESA-G, Porter



Le module de propulsion supérieur du lanceur européen Vega.

« Lors de la conférence ministérielle de l'ESA du 2 décembre 2014, les États membres confirment l'investissement dans une nouvelle famille de lanceurs européens : Ariane 6 et Vega C. »

L'héritage d'Ariane

Faisons un saut dans le temps pour revenir à notre époque. Les lanceurs Ariane fêtent cette année leur quarantième anniversaire. Initialement pensé pour donner à l'Europe une autonomie en matière d'accès à l'espace, le programme devait ensuite permettre le vol habité avec Hermès, un projet de navette spatiale abandonné en 1995. Ariane a su trouver sa place en devenant le lanceur commercial le plus fiable du monde, avec le succès que l'on connaît. Fer de lance du savoir-faire spatial européen, Ariane 5 a gagné la confiance de ses clients institutionnels et opérateurs commerciaux par sa remarquable fiabilité. Véritable référence dans le domaine du transport spatial, il détient le record des lancements commerciaux réussis, avec un total de cent trois tirs au début janvier 2019 et quatre autres prévus au cours de l'année. Il s'est également imposé comme un champion de l'exportation, plus de la moitié des satellites mis en orbite étant destinés à répondre aux besoins d'opérateurs non européens.

Toutefois, l'accès autonome de l'Europe à l'espace n'a pas été facile à construire ; il doit toujours être défendu. Rappelons à cet égard l'histoire du satellite franco-allemand Symphonie, le premier satellite de télécommunications à avoir été développé en Europe dans les années 1970. Alors qu'à l'époque, le programme Europa vient d'échouer, des négociations sont conduites avec les États-Unis pour procéder au lancement de ce satellite.

Ces derniers acceptent..., mais ils en interdisent toute exploitation commerciale. Les Européens sont contraints d'accepter, mais cette exigence pèsera lourd dans leur décision de se doter de leur propre vecteur en lançant le programme Ariane. Près de quarante ans plus tard, dans un marché de plus en plus concurrentiel, la donne politique a changé, mais le risque est toujours présent. L'indépendance spatiale de l'Europe repose aujourd'hui autant sur la réussite commerciale des lancements que sur l'implication des États membres de l'ESA dans la filière industrielle Ariane.

Une filière qui a su évoluer

Entre Ariane 5 et Ariane 6, cette filière est passée de douze à treize pays membres de l'Agence spatiale européenne (ESA) à être impliqués dans la fabrication du lanceur. Elle réunit désormais près de six cents grandes entreprises industrielles, et des milliers d'entreprises de taille intermédiaire (ETI) et de petites et moyennes entreprises (PME). Sous la maîtrise d'œuvre d'ArianeGroup, ce réseau collaboratif de partenaires et de fournisseurs organisés en pôles d'excellence travaille chaque jour à atteindre les objectifs de compétitivité qui permettront à Ariane 6 de s'imposer sur le marché et de répondre au mieux aux besoins des clients commerciaux et institutionnels.

Un nouveau schéma industriel optimisé vise en effet à réduire les coûts de production d'Ariane 6 de 40 à 50 % par

rapport à ceux d'Ariane 5. Il combine de nouvelles méthodes de travail et d'organisation avec des technologies innovantes, parmi lesquelles le numérique a la part belle. Du positionnement des pièces au contrôle par laser en passant par des outillages intelligents et connectés, des robots et *cobots*, des portiques d'assemblage robotisés et mobiles ou encore des processus industriels numérisés de bout en bout, toutes les technologies utilisées dans ce programme renforcent l'efficacité industrielle, diminuent les temps de production et réduisent les coûts. Avec Ariane 6, l'Europe est déjà dans l'ère 4.0 pour la production de ses lanceurs. Il reste néanmoins de nombreux défis à relever, comme nous le verrons plus loin.

2014, le tournant

Tous ces changements n'auraient pas vu le jour sans les décisions ambitieuses prises lors de la conférence ministérielle de l'ESA du 2 décembre 2014. Après une longue période de maturation et plusieurs solutions envisagées, les États membres confirment l'investissement dans une nouvelle famille de lanceurs européens : Ariane 6 et Vega C. L'objectif visé est d'assurer l'accès de l'Europe à l'espace au moyen d'un lanceur moderne (Ariane 6) aussi fiable qu'Ariane 5, mais plus compétitif, à la fois sur le marché institutionnel et sur le marché commercial mondial, et capable d'emporter tous les types de satellites ; tout en disposant dans le même temps d'un autre lanceur (Vega C) pour transporter les petites charges. Les deux lanceurs sont équipés du même moteur à poudre, le P 120. À la fois étage principal de Vega C et propulseurs à poudre pour les Ariane 62 (deux *boosters*) et 64 (quatre *boosters*), le P 120 permet une grande économie d'échelle et symbolise la rationalisation industrielle en cours.

Cette feuille de route tracée, les acteurs peuvent dès lors se mettre en ordre de bataille pour relever les défis techniques, organisationnels et industriels qui les attendent. Et ils sont nombreux ! Cinq ans pour faire un lanceur, c'est court... Premier chantier : la rationalisation de la filière industrielle. Airbus et Safran font un grand pas dans ce sens avec la création d'Airbus Safran Launchers, qui deviendra par la suite ArianeGroup. Les relations avec Avio (Italie) et avec Air Liquide sont également simplifiées : la production d'Ariane 6 s'organise désormais autour de « *clusters* d'excellence ». Cette stratégie consiste à regrouper les capacités industrielles des partenaires du programme en fonction de leurs compétences (éléments composites, éléments métalliques, expertise cryogénique, etc.) et à organiser ces pôles d'excellence selon une approche globale permettant de rationaliser la production dans l'ensemble de l'Europe.

Autre défi : adapter le principe du juste « retour géographique » de la production, sur lequel repose le financement de l'ESA. Il consiste, pour chaque pays membre, à bénéficier de retombées industrielles sous la forme de contrats, dont le montant correspond approximativement à chaque contribution. Ce fonctionnement présente l'avantage de permettre le financement des programmes et de soutenir le développement de technologies de pointe et la création d'emplois dans chaque État contributeur. Mais il favorise aussi l'éclatement du paysage industriel et est,

par conséquent, source de duplications, de complexités conduisant à une moindre compétitivité économique de la filière. Il est donc impératif de trouver le moyen d'adapter le retour géographique aux contraintes de coûts, ce qui milite pour plus de regroupements industriels et une meilleure organisation des savoir-faire en fonction des compétences réelles disponibles dans chaque État participant.

Enfin, davantage de synergies doivent être mises en place à l'échelle européenne. Un premier jalon a été franchi avec la coopération entre ArianeGroup et Avio (Italie) autour du moteur à propergol solide P 120C, lequel est codéveloppé *via* leur filiale qu'elles détiennent à parts égales, Europropulsion. Correspondant aux *boosters* des deux versions d'Ariane 6 et au premier étage du petit lanceur européen Vega C, le P 120C est un parfait exemple de rationalisation industrielle. Il pourra être produit à trente-cinq exemplaires par an, avec à la clé d'importantes économies d'échelle et une utilisation optimisée des infrastructures spatiales sur le continent européen et en Guyane française. Il en résulte des cycles de production raccourcis et des coûts réduits.

Ariane 6, au rendez-vous du marché

À un an du lancement de la première Ariane 6, ArianeGroup et ses partenaires industriels européens sont dans les temps. Prenons-en justement un peu pour revenir sur les deux grands atouts de ce lanceur pour l'avenir de la filière spatiale européenne.

Un lanceur polyvalent...

Ariane 6 est un lanceur modulaire par conception, ce qui lui permet d'être à la fois polyvalent et évolutif. Il existe en deux versions complémentaires Ariane 62, qui est équipée de deux *boosters*, et Ariane 64, qui en a quatre. Il est ainsi capable de remplir tous les types de missions, en lancements simples, doubles ou multiples (satellites de télécommunications, d'observation de la Terre, constellations, véhicules spatiaux, satellites scientifiques, télescopes, sondes...), de desservir toutes les orbites, proches ou lointaines, et de répondre aux besoins des clients institutionnels comme à ceux des opérateurs commerciaux. Son étage supérieur réallumable le rend particulièrement adapté aux missions complexes, comme la mise à poste de grappes de satellites composant des constellations.

... et évolutif

Cette modularité lui permet également d'être évolutif et de pouvoir intégrer de nouvelles technologies lorsque le marché le demandera. La capacité d'évolution d'Ariane 6 a en effet été anticipée dès sa conception, pour lui permettre d'intégrer des technologies futures, réutilisables ou non, en fonction des besoins du marché et pour afficher une compétitivité encore plus grande. Ainsi, alors que la première Ariane 6 volera dès 2020, les futures évolutions de ce lanceur sont déjà en cours de réflexion, et plusieurs démonstrateurs technologiques sont déjà à l'étude pour que l'Europe soit toujours prête à répondre aux besoins d'un marché spatial en pleine mutation.

Photo © ArianeGroup Holding, 2019



Le lanceur Ariane 64.

Préparer l'avenir dès maintenant

Citons quelques-unes des avancées élaborées et soutenues par les équipes de l'ESA, des agences nationales, d'ArianeGroup et de ses partenaires industriels.

Des briques technologiques pour demain

Trois démonstrateurs sont actuellement à l'étude :

- Prometheus est un démonstrateur de moteur de nouvelle génération utilisant l'oxygène liquide (LOX) et le méthane. Il est de la même classe de poussée que le Vulcain® 2 (100 tonnes) qui équipe actuellement l'étage principal d'Ariane 6. Tout en étant réutilisable, il doit afficher un coût de production dix fois inférieur à celui de son prédécesseur, et ce grâce à l'utilisation massive de l'impression 3D et des technologies numériques. Au titre de ses applications futures, il pourra équiper les étages principaux et les étages supérieurs des futurs lanceurs européens.
- ETID (Expander-cycle Technology Integrated Demonstrator) est un démonstrateur en taille réelle d'une chambre de combustion d'un étage supérieur. Équipé des technologies les plus récentes, il préfigure la nouvelle génération de moteurs-fusées de dix tonnes de poussée.

- Themis est un programme de démonstrateur d'étage réutilisable d'un futur lanceur, fonctionnant avec le couple oxygène liquide/méthane. Son intérêt est de permettre d'explorer dans le domaine du vol le comportement d'un étage réutilisable dans des conditions représentatives du réel, dans le but de réduire les coûts et d'améliorer encore la flexibilité du lanceur. Il pourra être équipé de plusieurs moteurs Prometheus.

Par ailleurs, ArianeGroup travaille avec son partenaire MT-Aerospace (Allemagne) à un programme de recherche portant sur le développement d'un étage supérieur ultra-léger utilisant massivement les matériaux composites à base de carbone, que ce soit pour les réservoirs d'ergols liquides ou pour les structures. L'objectif poursuivi est de permettre une optimisation des performances de l'étage supérieur pour les missions complexes de type mise à poste de constellations pour en réduire le coût.

Prochaine étape : les décisions du Space19+

La prochaine réunion du Conseil ministériel de l'ESA, baptisé « Space19+ », qui se tiendra en novembre 2019 à Séville (Espagne), cristallise toutes les attentes de la filière des lanceurs européens. Le Conseil doit en effet entériner l'avenir de l'Europe spatiale, aussi bien en termes d'organisation que d'activités opérationnelles et de recherche.

Parmi les points à aborder figurent notamment l'amélioration du mode de pilotage des programmes en vue d'accélérer les prises de décision, ainsi que le soutien nécessaire à l'accroissement de la compétitivité européenne dans le domaine de l'accès à l'espace. Y sera également attendue la confirmation d'une politique de préférence européenne prônant l'utilisation de nos propres lanceurs pour toutes les missions institutionnelles nationales et européennes. Ce « Buy European Act » permettra à l'Europe de s'aligner sur les politiques de préférence instaurées par les autres nations spatiales depuis bien longtemps.

Préparer l'avenir dès aujourd'hui en élaborant, puis en validant les briques technologiques pour être aux rendez-vous du marché, quels qu'en soient les futurs besoins, est la seule façon de pérenniser la filière européenne des lanceurs, et donc un accès souverain à l'espace.

Ariane 6, en mission vers la Lune !

D'autres décisions pourraient également confirmer l'ambition de l'ESA de faire de l'Europe un acteur incontournable des nouvelles initiatives mondiales en matière d'exploration spatiale, notamment à destination de la Lune. Car, au-delà des enjeux stratégiques et industriels, l'espace est aussi par excellence le domaine du rêve : celui de la conquête spatiale, des découvertes scientifiques, de l'infini et de l'inspiration. Un récent sondage publié par l'ESA sur la perception par le public des activités liées au spatial montre d'ailleurs que les citoyens européens ont une opinion favorable de l'espace à plus de 90 %. Si 40 % seulement pensent être bien informés sur les activités spatiales européennes, ils surestiment tous le coût de ces activités pour les finances publiques de leurs pays respectifs. Mais la totalité d'entre eux voit l'Europe comme le concurrent

principal des deux « superpuissances » spatiales historiques que sont les États-Unis et la Russie. Et presque toutes les personnes interrogées sont d'accord avec l'idée que les pays européens doivent mettre en commun leurs ressources à cet effet. Or, le rêve n'est-il pas un puissant levier pour fédérer et mobiliser ?

Ouvrant le bal, ArianeGroup a signé en janvier 2019 un contrat avec l'ESA pour étudier la possibilité d'aller sur la Lune grâce à Ariane 6, avant 2025. L'objectif de cette mission serait l'exploitation du régolithe, un minerai duquel il est possible d'extraire de l'eau et de l'oxygène et, par conséquent, d'envisager une présence humaine autonome sur la Lune et de produire le carburant nécessaire à des missions d'exploration plus lointaines.

Conclusion

Le spatial prend de plus en plus d'importance dans nos vies, et pour l'Europe maintenir un accès indépendant à l'espace est plus crucial que jamais. C'est un enjeu de souveraineté à l'heure où les États se livrent à une compétition accrue pour la maîtrise de l'espace, tant pour leurs activités civiles et commerciales que pour leur Défense. Cette indépendance est indispensable au maintien d'une industrie spatiale européenne de pointe, de tout premier plan mondial et donc capable de rivaliser avec les États-Unis, la Russie et la Chine. Autour d'Ariane 6, l'Europe se doit de se construire une ambition forte dans le domaine spatial ; nos institutions y travaillent activement. À cet égard, 2019 n'est pas seulement l'année du quarantième anniversaire d'Ariane, c'est aussi l'année de la préparation de l'avenir, avec des décisions structurantes attendues dans quelques mois, lors de la tenue du Space19+.

De nouvelles chaînes industrielles, l'exemple de OneWeb

Par Nicolas CHAMUSSY

Directeur de Space Systems au sein de la division Airbus Defence & Space et président d'Airbus Defence and Space SAS (ex-Astrium)

En 2015, l'obtention par Airbus Defence and Space du contrat de réalisation des neuf cents satellites du projet OneWeb, première méga-constellation d'une telle ampleur jamais mise en chantier, a permis d'écrire un nouveau chapitre de l'histoire de l'industrie spatiale. Le soutien institutionnel apporté au travers du Programme d'investissements d'avenir à la constitution de constellations a été à l'origine de la création d'une capacité industrielle française unique au monde. Les objectifs très ambitieux en termes de coût unitaire, de cadence de production et de niveau de miniaturisation des satellites ont conduit les ingénieurs à repenser complètement les processus de conception, d'intégration et d'essais. Une véritable « usine du futur » présageant l'industrie spatiale de demain a ainsi été construite à Toulouse sur le site d'Airbus Defence and Space. À l'heure où les premiers satellites OneWeb viennent d'être mis en orbite, l'industrie française est incontestablement une pionnière sur le marché en mutation des constellations de satellites.

Genèse d'une aventure industrielle

Ce qui pouvait paraître impossible il y a quelques années seulement est devenu aujourd'hui réalité. Airbus a relevé un défi ultra ambitieux : produire des satellites très performants à la cadence de cinq à six cents par an, soit deux à quatre par jour, du jamais vu dans l'industrie spatiale.

À l'origine de cette aventure, la société OneWeb, fondée par l'Américain Greg Wyler (ancien responsable des activités satellites de Google et fondateur de O3b Networks), a lancé la construction d'une méga-constellation de satellites de télécommunications pour fournir, à partir de 2021/2022, un accès mondial à l'Internet à haut débit et de faible latence, partout dans le monde.

La méga-constellation telle que prévue par OneWeb ne comprend pas moins de 900 satellites en orbite, dont 648 indispensables à la réalisation de la mission et 252 en « redondance chaude », c'est-à-dire prêts à prendre la relève d'un satellite qui serait défaillant. OneWeb recourt à des satellites de petite taille dont le coût de fabrication est drastiquement abaissé grâce à un volume de série dix fois supérieur aux standards de l'industrie spatiale. En effet, les plus grandes constellations jamais déployées jusqu'à ce jour ne comptent pas plus de quatre-vingt-dix satellites.

En novembre 2014, OneWeb Ltd (qui se nommait alors WorldVu Ltd) lance un appel d'offres international auprès des grandes entreprises du spatial pour l'acquisition des

neuf cents satellites nécessaires à la concrétisation de son projet.

Fort de son expérience sur les marchés commerciaux à l'export et de sa capacité à prendre des risques entrepreneuriaux, Airbus Defence and Space remporte cet appel d'offres. L'industriel s'engage à concevoir une constellation composée de petites plateformes électriques très compétitives et à développer une ligne d'assemblage ultra-moderne pour la production, l'intégration et réaliser les tests.

Grâce au soutien engagé et réactif du Secrétariat général pour l'investissement, de la direction générale des Entreprises et de Bpifrance, au travers du dispositif PIAVE (Programme d'investissements d'avenir) en faveur des constellations, Airbus Defence and Space a pu s'entourer d'une vingtaine de fournisseurs français, dont de nombreuses PME et ETI. Le dispositif PIAVE a ainsi permis la mise en place de programmes de développement à la pointe de l'innovation chez chacun de ces industriels, développant ainsi une position française très compétitive sur le marché mondial en forte croissance des constellations de petits satellites en orbite basse.

Le grand système OneWeb et ses neuf cents satellites

Les principaux éléments du grand système OneWeb sont les terminaux de réception pour les utilisateurs, le segment sol de commande et de contrôle et le segment spatial (c'est-à-dire les satellites). Le tout exige des études

système, l'intégration de l'ensemble ainsi que les services de lancement nécessaires pour placer les satellites en orbite.

La société OneWeb, futur opérateur des services, est en charge de l'acquisition du grand système, des opérations et de la commercialisation des services. OneWeb orchestre également la levée des fonds, dont la masse critique est en passe d'être réunie avec des investisseurs du monde entier, tels que Airbus Group, Bharti Enterprises, The Coca-Cola Company, Hughes Network Systems, Intelsat, Qualcomm Inc., Softbank, Grupo Salinas Company...

Pour la conception et la fabrication des neuf cents satellites, clé de voûte du programme considéré, une co-entreprise entre Airbus Defence and Space SAS et OneWeb Ltd a été créée, Airbus OneWeb Satellites SAS.

S'agissant de la conception technique, les satellites OneWeb seront placés en orbite basse, à 1 200 km d'altitude au lieu des 36 000 km, l'altitude de mise en orbite des satellites de télécommunications géostationnaires plus traditionnels. Cela permet de réduire les délais de latence et de couvrir toute la surface de la planète en offrant des connexions à haut débit de plusieurs dizaines de Mbit/s. Mais alors que trois ou quatre satellites géostationnaires à une altitude de 36 000 km pourraient suffire à couvrir totalement la surface de la Terre, il en faut plus de six cents à 1 200 km d'altitude pour assurer le même service.

Il s'agit de microsatellites de 150 kg stabilisés sur leurs trois axes. Chaque satellite émet seize faisceaux en bande Ku couvrant une surface au sol de forme elliptique, dont le grand axe mesure environ 1 500 km.

Les satellites sont équipés d'un système de propulsion entièrement électrique (propulsion plasmique) leur permettant de rejoindre leur orbite et d'assurer le contrôle d'orbite.

Pour produire ces satellites, une première chaîne d'assemblage est aujourd'hui opérationnelle dans l'usine de Toulouse d'Airbus Defence and Space. Elle a permis la mise au point des processus de production, d'assemblage, d'intégration et de tests. Les six premiers satellites, construits à Toulouse, ont été lancés depuis Kourou, en Guyane française, le 27 février 2019.

Pour la production de masse de la constellation OneWeb, deux répliques de cette chaîne d'assemblage ont été installées dans une usine dédiée, située à Exploration Park, près du Centre spatial Kennedy en Floride.

Dès l'ouverture de l'usine américaine, la ligne de Toulouse sera affectée à la construction d'autres constellations et/ou absorbera les éventuelles surcharges des deux lignes américaines.

Lancement du projet : tout le monde dans la même piscine, dans le grand bain !

Quelques semaines seulement après la contractualisation, une équipe industrielle intégrée a été mise en place. Co-localisés à Toulouse, les ingénieurs d'Airbus et leurs

partenaires industriels, recrutés sur leur seule capacité à produire des solutions compétitives, ont su, ensemble et rapidement, prendre les nombreuses décisions clés nécessaires pour relever le défi : les objectifs de coût, de cadence et d'innovation du projet sont exceptionnellement ambitieux, comme jamais encore dans l'industrie spatiale.

De nouvelles méthodes et pratiques inspirées des industries automobile et aéronautique ont été mises en œuvre pour la première fois. Des partenariats avec ces industries, ainsi que des recrutements ciblés, pour une intégration dans l'équipe de la co-entreprise OneWeb Satellites, ont permis des ruptures dans la conception et la production.

De nouvelles méthodes Design-to-Cost, Design-to-Manufacture ou Design-to-AIT ont été mises en œuvre à tous les niveaux du programme pour la sélection des composants, la production des équipements, l'assemblage, l'intégration et les essais du satellite.

La conception collaborative entre les architectes des satellites et ceux des équipements a permis de réduire considérablement les coûts, que ce soit pour la production des équipements ou pour l'assemblage et les essais.

L'expression employée alors par l'un des artisans de ce grand projet était : « On a mis tout le monde dans la piscine. » L'idée directrice était de mouiller tous les partenaires, et ce dès le début du projet.

Le programme Design-to-Cost – Design-to-Manufacture a également permis des avancées significatives dans le domaine de l'hybridation des secteurs spatiaux et non spatiaux. De nombreuses technologies commerciales disponibles « sur étagère » ont pu être utilisées en environnement spatial grâce à des stratégies de qualification optimisées. En particulier, la robustesse des équipements venant du monde automobile s'est avérée satisfaisante.

Grâce à la démarche Design-to-AIT, la conception de chaque élément a intégré dès le début la problématique d'un assemblage très automatisé.

Les techniques de l'industrie 4.0 ont été largement appliquées au monde des satellites : outils intelligents, robots et *cobots*, dialogue entre les outils et les postes de travail, mais aussi avec l'extérieur, automatisation, traitement de lacs de données, simulation numérique et jumeau numérique... Ces technologies ont été employées de façon pragmatique à travers une combinaison d'opérateurs humains, de *cobots* et de robots après analyse poste par poste des options les plus pertinentes.

Une usine du futur conçue pour l'industrie spatiale

Airbus a démontré une capacité industrielle unique au monde, permettant une production pouvant aller jusqu'à quatre satellites par jour. Pour atteindre cet objectif sans précédent, les approches traditionnellement retenues pour la conception, la production, la validation et les tests ont été totalement repensées.

De nombreuses idées d'améliorations disruptives qui

Production OneWeb

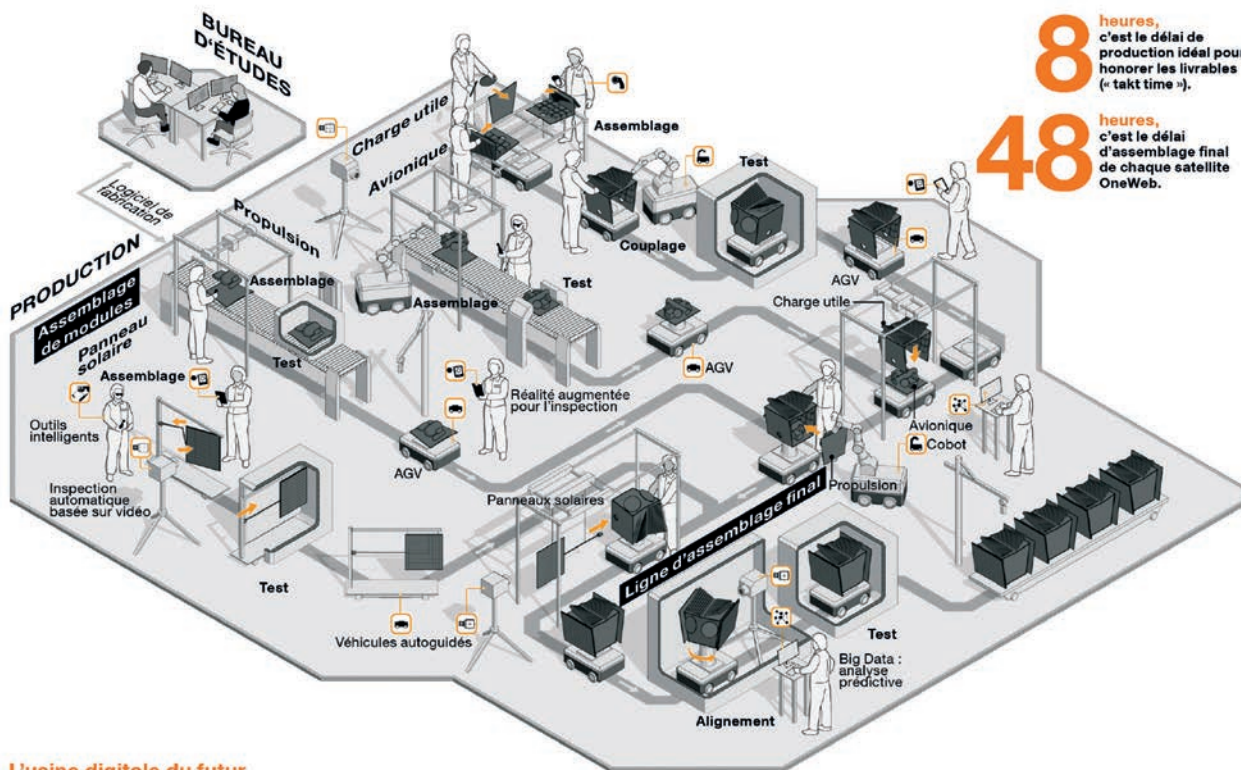
Bureau d'études

Le bureau d'études envoie les instructions d'assemblage et d'essai directement en salle blanche sur les écrans de contrôle des postes de travail.

3 équipes pourront se relayer 24h/24.

8 heures, c'est le délai de production idéal pour honorer les livrables (« takt time »).

48 heures, c'est le délai d'assemblage final de chaque satellite OneWeb.



L'usine digitale du futur



Cobots

Des robots collaboratifs, conçus pour travailler avec les humains, aident les opérateurs à la maintenance et au montage d'équipements lourds.



Big Data

L'analyse statistique des données générées pendant la production aide à détecter des défauts au plus tôt dans les processus.



Contrôle automatique du réchauffage

Des caméras infrarouges contrôlent que les systèmes de chauffage sont correctement fixés aux panneaux des satellites et raccordés électriquement.



Outils intelligents

Des outils géo-localisés reconnaissent les écrous à serrer. Le logiciel central de l'usine indique le couple de serrage et enregistre l'action.



Couplage automatique

Des systèmes mécaniques automatisés assemblent les différents modules de satellite avec un parfait alignement.



Réalité augmentée

Les éléments 3D de la maquette numérique sont superposés directement sur la surface de travail pour aider l'opérateur (Imaginer - Pokémon Go...).



Inspection optique automatique

Des caméras prennent des images du matériel assemblé et les comparent avec une base d'images de référence. Des scanners automatiques 3D contrôlent la géométrie de zones critiques.



Véhicules autoguidés

Des chariots de transport se déplaçant sur des circuits prédéfinis livrent automatiquement les composants, les modules de satellite et les satellites aux différents flots de productions.



Tests automatiques

Des connecteurs de tests rétractables se branchent automatiquement pour réaliser les essais électriques et fonctionnels.

La ligne de production des satellites OneWeb

Il y a cinq îlots principaux, chacun composé de plusieurs postes de travail.

Deux opérateurs travaillent sur chaque poste, avec un total de 30 postes de travail pour La ligne d'assemblage final.

Le rythme nominal de travail est d'une vacation par jour, avec la flexibilité de passer à trois vacations par jour si nécessaire.

Figure 1 : Empruntées aux secteurs aéronautique et automobile, de nombreuses technologies digitales et méthodes de fabrication ont été mises au point et adaptées à l'industrie spatiale.

étaient déjà dans les cartons des ingénieurs d'Airbus et de leurs partenaires industriels, n'étaient pas encore passées au stade de réalisation étant jugées insuffisamment rentables au regard du faible nombre de satellites produits. La méga-constellation OneWeb a permis de changer de paradigme en autorisant l'amortissement des investissements sur un volume de... neuf cents satellites !

Le rythme de production (TAKT time) de cette nouvelle capacité industrielle permet de produire deux satellites par jour, et ce pour une seule ligne de production.

Cette capacité de production unique a été démontrée par l'usine Airbus de Toulouse, en 2018. Pour la production de masse de OneWeb, comme indiqué *supra*, ce sont deux nouvelles lignes de production qui ont été installées en parallèle dans l'usine située en Floride, permettant ainsi de doubler la cadence de fabrication et de procéder à la mise en orbite de l'ensemble des satellites composant la méga-constellation en vingt et un tirs, échelonnés sur deux ans.

La France est désormais en avance dans le domaine des méga-constellations de satellites

L'activité industrielle engendrée par le programme OneWeb, incluant la maîtrise d'œuvre et les équipements, a permis de développer et de pérenniser en France des produits, processus et savoir-faire sans équivalent dans le monde spatial.

La part française dans le développement de la constellation OneWeb et de ses constituants est d'environ 65 %, avec des éléments clés des satellites. La part française dans l'équipement des chaînes de production de série est d'environ 50 % (Latesys, Syntony, Assystem, Airbus Safran Launchers, Airbus Defence and Space...).

Environ 30 % des équipements des neuf cents plateformes de série sont conçus et fabriqués en France, notamment une grande partie des équipements stratégiques : calculateur embarqué, viseurs d'étoiles, électronique de pilotage des moteurs électriques, batteries, récepteurs GPS, émetteurs/récepteurs TT&C, réservoirs, câblage électrique...

Capitalisant sur ces investissements et les enseignements tirés du programme OneWeb, l'équipe industrielle propose désormais pour les futures constellations une plateforme générique très compétitive nommée ArrOW, spécialement

conçue pour être fabriquée à forte cadence dans l'usine de Toulouse.

La plateforme ArrOW constitue le cœur du véhicule spatial qu'est le satellite. Elle en assure l'ensemble des fonctions auxiliaires. C'est un système composé d'un très grand nombre de constituants : éléments de structure, alimentation électrique, système de propulsion, calculateurs électroniques, mécanismes, capteurs, actionneurs, réservoirs, protections thermiques, etc.

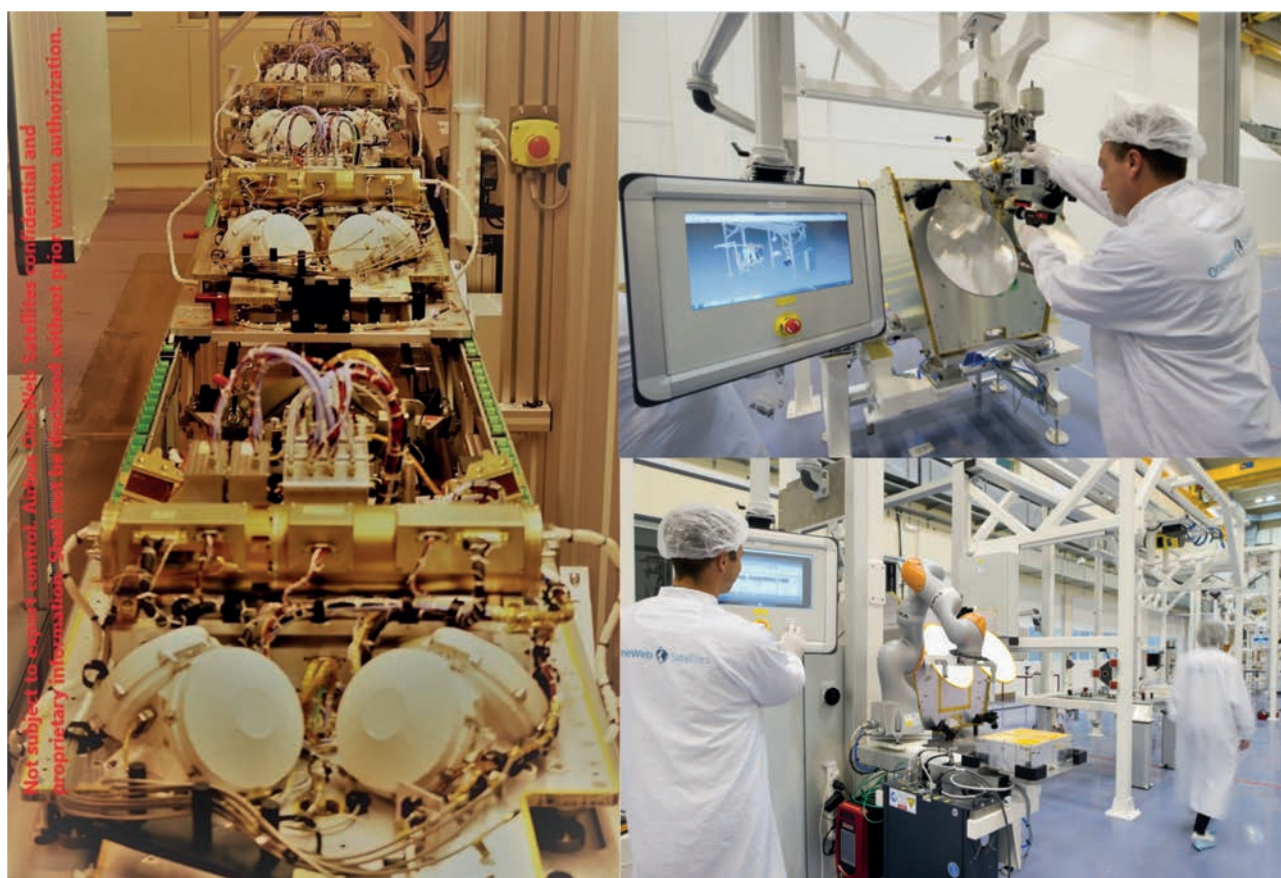
Elle répond à des exigences élevées de fiabilité et de performance liées à l'environnement spatial (phase de lancement, variations extrêmes de température en orbite, radiations, fonctionnement en orbite pendant plus de cinq ans...).

La plateforme ArrOW offre des capacités inégalées dans la classe des satellites de 150 kg en orbite basse. Elle est conçue dans un esprit d'efficacité industrielle et pour s'adapter aux besoins de nombreuses missions (télécommunications, observation de la Terre, surveillance maritime...).

Cette approche permet de repenser complètement le rapport entre le prix unitaire d'un satellite et le nombre de satellites utilisés en orbite.

Les avantages-clés de la plateforme ArrOW sont :

- un standard de haute fiabilité qualifié au travers du programme OneWeb ;



« Capitalisant sur les investissements réalisés par l'industrie française et sur les enseignements tirés du programme OneWeb, une plateforme générique nommée ArrOW a été spécialement conçue pour être fabriquée à forte cadence dans l'usine de Toulouse. »

- une durée de vie en orbite basse d'au moins cinq ans ;
- une compatibilité avec les lanceurs du marché, en lancements dédiés ou partagés ;
- un système de propulsion électrique plasmique offrant une capacité inégalée de remontée de l'orbite ;
- une grande flexibilité, paramétrable en orbite ;
- une puissance garantie en fin de vie de 200 W ;
- le respect des normes de destruction en fin de vie (grâce à la propulsion électrique) pour une utilisation durable de l'espace, notamment en conformité avec la loi sur les opérations spatiales françaises ;
- une capacité à accueillir des charges utiles de poids différents (jusqu'à 60 kilos), par exemple pour observer la Terre.

La plateforme ArrOW, désormais disponible sur le marché international, est une solution pionnière extrêmement économique répondant à de nombreux concepts de constellations en orbite basse dans des domaines d'application variés.

La capacité d'une production en série est déjà effective dans l'usine de Toulouse.

Les perspectives du marché

Nombreux sont les analystes à considérer que le marché mondial des constellations de satellites en orbite basse est en forte croissance. Euroconsult estime le volume du marché à 1,5 milliard de dollars par an et à une centaine de satellites par an, représentant environ 70 % du marché des satellites de classe équivalente à ceux de la plateforme ArrOW.

Des projets sont en gestation dans des domaines aussi variés que les télécommunications, l'imagerie et

l'observation de la Terre, l'Internet des objets, la communication *Machine-to-Machine*, la météorologie, la sécurité maritime, la localisation et le pistage aéronautique, la collecte de données, la surveillance spatiale, des missions scientifiques, la surveillance du spectre de radiofréquence, la validation en orbite de démonstrateurs...

La seconde génération de satellites OneWeb est déjà à l'étude : elle devrait se composer de plus d'un millier de satellites supplémentaires, afficher une capacité cinquante fois supérieure à la génération actuelle, et probablement proposer des liaisons inter-satellites par laser.

La plateforme ArrOW, grâce au faible coût et à la flexibilité qu'elle offre, intéresse également des agences spatiales et est même d'une accessibilité inédite pour des universités, des centres de recherche, des PME, voire des *start-ups*, comme l'illustrent les récents contrats de démonstrateurs passés par deux d'entre elles avec l'Agence spatiale européenne (ESA), pour le projet IODA, et la Darpa, l'agence de recherche américaine, pour le programme Blackjack.

OneWeb a été un véritable catalyseur de transformation pour toute la filière. Grâce à Airbus et à un soutien réactif de la France, la filière spatiale française est désormais bien positionnée sur les méga-constellations. Alors que les opérateurs de satellites sont à la recherche de solutions toujours plus économiques, les enseignements et brevets issus de OneWeb, la ligne de production de Toulouse, la plateforme ArrOW et les équipements à très bas coût bientôt qualifiés en orbite sont autant d'atouts pour provoquer ou saisir de nouvelles opportunités sur le marché en mutation des constellations de satellites.

L'entreprise allemande OHB, un nouvel acteur de l'industrie spatiale

Par Alain BORIES
OHB

L'émergence d'OHB, PME typique du « Mittelstand » allemand, comme troisième maître d'œuvre européen du spatial, a étonné beaucoup d'acteurs, mais son développement est la réussite d'une famille d'entrepreneurs passionnés par le domaine spatial et convaincus de pouvoir « disrupter » les modèles établis. Cet article reprend quelques éléments d'une saga familiale, dont l'histoire du fondateur a été contée dans un livre (*A Pioneer of Space Flight*).

Parmi les atouts du modèle industriel allemand, le « Mittelstand » est toujours cité comme une grande force, enviée par les autres pays, et en particulier en France où le nombre des ETI est trois fois moindre qu'en Allemagne. Mais on parle surtout de ce « Mittelstand » pour les entreprises de mécanique, fortement exportatrices. Le cas d'OHB, une ETI dans le spatial, familiale de surcroît, est un cas plutôt unique (Kayser-Threde en était un autre, mais elle a été rachetée par OHB en 2007, lorsque ses

fondateurs ont voulu « passer la main », ce qui est souvent le cas quand la descendance ne peut – ou ne souhaite pas – prendre la suite). Le nom d'OHB a été propulsé sous les feux de l'actualité lorsque la société a gagné l'appel d'offres pour la fabrication de quatorze satellites Galileo en janvier 2010, la faisant entrer dans la cour des grands du spatial, à un moment clé, celui où l'Union européenne, par le biais de la Commission, est devenue un nouvel acteur du domaine spatial.



Photo 1 : Intégration en série de satellites Galileo.

Photo © D.I.R.

Une saga familiale

Pour comprendre « l'événement Galileo », il est important de connaître l'histoire d'OHB, car si celle-ci est typique du « Mittelstand » allemand, elle est en revanche atypique dans le lander de Brême.

En 1981, Madame Fuchs rachète une petite société dans le domaine hydraulique, Otto Hydraulik Bremen (OHB), fondée en 1958. En 1985, elle embauche son mari, le professeur Manfred Fuchs, ingénieur au sein de la société ERNO (qui deviendra par la suite Astrium Bremen, puis Airbus). Ces deux entrepreneurs dans l'âme décident de développer une activité spatiale au sein d'OHB, une activité qui deviendra prépondérante jusqu'à éclipser complètement l'hydraulique : en 2000, la société est renommée Orbitale Hochtechnologie Bremen, et une entrée partielle en Bourse est opérée en 2001.



Photo © D.R.

Photo 2 : Le siège de la société OHB, à Brême (Allemagne).

2001, c'est aussi l'année du contrat des satellites militaires radar allemands SAR-Lupe, qu'OHB remporte contre toute attente (déjà !) à la barbe du grand du secteur en Allemagne, Dornier (aujourd'hui Airbus Friedrichshafen). Arrêtons-nous un instant sur ce contrat, lui aussi atypique à plus d'un titre. D'abord, parce que, pour la première fois, en réaction au refus américain de fournir des images satellite radar lors d'une intervention au Kosovo (première opération extérieure de l'Allemagne), l'armée allemande prend la décision de disposer à l'avenir de ses propres moyens. Manquant de compétences techniques en matière de satellites, et après avoir refusé une offre de Dornier jugée trop coûteuse, elle organise une compétition internationale avec une spécification satellite très simplifiée : un certain nombre d'images par jour, leur niveau de résolution, un engagement du contractant à fournir le service pendant dix ans.

Cette forme d'appel d'offres, très orientée spécifications opérationnelles, a permis à OHB de présenter une réponse très innovante. Par exemple, en prévoyant cinq satellites, là où la spécification n'en exigeait que trois, pour éviter d'avoir à relancer un satellite en cas de défaillance et réaliser des économies en ne prenant pas d'assurance... Du « New Space » avant l'heure... Ou bien encore, en allant chercher une technologie atypique pour ce type de mission, à savoir la technologie altimétrique développée par

Alcatel Space (aujourd'hui Thales Alenia Space) pour mesurer la hauteur des océans et dont était équipé le satellite Topex-Poséidon.

Grâce à la souplesse de sa réponse, OHB a pu présenter une offre très attractive sur le plan financier (315 M€), qui a donc été retenue par le ministère allemand de la Défense. À l'époque, OHB n'employait que cent vingt personnes !

La décision du ministère était donc pour le moins... audacieuse. Il n'a pas eu à le regretter, puisque SAR-Lupe a été livré dans les temps et sans dépassement de budget, un cas rare ! Cette performance a beaucoup fait pour la reconnaissance d'OHB comme maître d'œuvre crédible dans le domaine des satellites, la consécration venant avec l'attribution en 2009 par l'Agence spatiale européenne (ESA) du statut de « Large System Integrator », aux côtés de Thales Alenia Space et Airbus.

C'est grâce à ce nouveau statut qu'OHB est devenu éligible pour répondre en tant que maître d'œuvre aux appels d'offres Galileo...

Galileo, une compétition germano-allemande sur les satellites

Bien entendu, Galileo est devenu un emblème de la construction européenne du fait que c'est la première infrastructure à appartenir à l'Union européenne, que c'est la concrétisation du rôle qui lui est conféré dans le domaine spatial par le traité de Lisbonne, et qu'aucun pays européen n'aurait pu le réaliser seul. En cela, c'est un symbole, d'autant plus important dans des périodes de doute sur la construction européenne. Il est d'ailleurs symptomatique que le Royaume-Uni ait essayé d'en faire un argument dans la négociation du Brexit !

Après plusieurs péripéties (on a d'abord parlé de GNSS2 à partir de 1994, puis de Galileo), ce n'est qu'en 2008 que la Commission lance la procédure d'acquisition des satellites nécessaires au déploiement de la constellation, avec le soutien de l'ESA avec qui elle a entre-temps signé un accord permettant à cette dernière d'être le maître d'œuvre système de Galileo.

En scindant le marché en six lots et en interdisant à une même société d'être maître d'œuvre de plus de deux lots, la Commission s'assurait d'un maximum de compétition entre les candidats, tout en permettant de conserver les grands équilibres entre les pays participants, puisque formellement, contrairement à l'ESA, il n'y a pas d'application du principe de retour géographique dans les appels d'offres de la Commission. C'est dans ce contexte nouveau qu'OHB doit prendre sa décision de se lancer ou non dans la compétition pour l'attribution d'un lot de satellites, sachant qu'à l'époque, c'était l'une des rares sociétés du secteur spatial à ne pas être impliquées dans le programme.

Plusieurs éléments vont convaincre OHB de se lancer dans l'aventure :

1) La mise en place par la Commission d'une procédure de dialogue compétitif, qui, par le jeu de réponses successives, permet d'affiner et d'optimiser les propositions



Photo © D.R.

Photo 3 : Lancement de 4 satellites Galileo par Ariane 5, le 25 juillet 2018.

formulées par les différents compétiteurs pour répondre plus à un besoin qu'à une spécification fermée. Toutes proportions gardées, c'est un contexte un peu similaire à celui de SAR-Lupe tel que décrit plus haut, car cela permet véritablement au maître d'œuvre potentiel d'être une force de proposition dans un processus visant à obtenir la "best value for money".

2) La disponibilité d'une équipe « qui a fait ses preuves », à savoir l'équipe du projet SAR-Lupe, qui avait déployé avec succès une constellation de cinq satellites.

3) La convergence d'intérêts avec SSTL, société qui avait lancé un premier satellite (GIOVE A) pour occuper les fréquences nécessaires à Galileo : un accord est vite trouvé, OHB est maître d'œuvre et responsable du satellite, tandis que SSTL est responsable de la charge utile... Il s'agit là d'une configuration identique à celle d'un autre compétiteur, Astrium Allemagne (aujourd'hui Airbus) et Astrium UK, laquelle respecte les grands équilibres non écrits en vertu desquels l'Allemagne est maître d'œuvre satellite et le Royaume-Uni responsable de la charge utile.

4) La conviction qu'en tout état de cause, la Commission ne souhaiterait pas mettre « tous ses œufs dans le même panier », les retards récurrents ayant affecté la fabrication des quatre premiers satellites de la constellation (dits IOV, In-Orbit Validation) l'incitant à avoir un fournisseur alternatif, au moins pour quelques satellites.

Après une procédure certes longue, mais fructueuse en termes d'optimisation du système (et donc du coût final),

la sentence tombe : OHB est choisi, à la surprise générale, pour fournir quatorze satellites... Beaucoup plus que les quelques satellites dédiés à un fournisseur alternatif !

Entre-temps, SSTL a été rachetée par... Astrium, ce qui permet au « perdant », en additionnant la part SSTL et les équipements qu'il fournit à OHB, d'avoir une part plus importante que le maître d'œuvre !

Puis, au fur et à mesure des appels d'offres successifs (« batch 2 » de huit satellites, puis « batch 3 » de douze), la constellation est complétée. Aujourd'hui, les vingt-deux premiers satellites ont été livrés et mis en orbite, ils permettent au service Galileo d'être déclaré opérationnel, avec des performances supérieures aux spécifications et, à ce jour, bien meilleures que celles de GPS.

La fin de l'histoire... On n'y est pas encore, car Galileo est maintenant une constellation opérationnelle. La Commission doit en assurer la pérennité, ainsi que la diffusion dans le monde entier. Mais le succès est déjà là, puisque presque tous les *smartphones* de nouvelle génération ont « Galileo Inside ». La consécration viendra quand on ne parlera plus du GPS, mais du « Galileo américain » !

D'une société allemande à un acteur européen

Depuis 2001, OHB s'est bien développée, aussi bien par croissance interne qu'externe. En 2018, elle comptait plus de deux mille sept cents employés (contre seulement cent vingt en 2001) et a atteint le milliard d'euros de chiffre d'affaires.

fares. C'est aujourd'hui une SE (Societas Europaea), et non plus une AG...

La croissance interne s'est faite par une présence accrue sur les grands programmes de l'ESA (Meteosat 3^{ème} génération, programme scientifique Plato, programme de télécommunications SmallGEO, puis Electra – propulsion électrique) et des agences nationales civiles ou militaires (programmes EnMap et Prisma pour l'observation de la Terre en hyperspectral, programme SARaH dans la continuité de SAR-Lupe, programmes de satellites militaires optiques Optsat en Allemagne et NAOS au Luxembourg...).

Mais OHB a aussi crû par achat de sociétés dans plusieurs pays d'Europe. D'abord en Italie, car la famille Fuchs bénéficie de la double nationalité (le père, Manfred Fuchs, étant né à Bolzano), et la fibre italienne a été un élément clé dans le rachat de Carlo Gavazzi Space (devenue OHB Italia).

Puis ont suivi Luxspace (créée de toutes pièces quand le Luxembourg est devenu membre de l'ESA), Antwerp Space (ancienne filiale de Thales Alenia Space en Flandres) et OHB Sweden (ancienne division systèmes spatiaux de la société étatique Swedish Space Corporation). OHB vient récemment de s'établir en République tchèque, en Autriche et en Grèce.

La plus grosse acquisition a été celle de l'activité spatiale de MAN qui, rachetée en 2005, est devenue MT Aerospace (MTA). MTA est le plus gros contributeur non français à la filière Ariane, fournissant près de 11 % de la valeur d'une Ariane 5 et autant pour le futur lanceur Ariane 6. MTA est également le plus gros actionnaire non français

d'Arianespace, avec environ 8 % du capital. MTA est également présent sur le territoire français... soixante-dix de ses employés sont en poste à Kourou, le port spatial de l'Europe.

Bien sûr, la pérennité du lanceur européen constitue de ce fait un sujet crucial pour OHB, cela recouvre des enjeux énormes dans le contexte d'une concurrence exacerbée par l'arrivée de Space X. MTA a réalisé d'importants efforts de compétitivité pour diminuer les coûts. Cet effort a été récompensé récemment par des contrats remportés sur le marché américain (pas vraiment réputé pour son ouverture !), avec Boeing (lanceur SLS) et Blue Origin (New Glenn). Peut également être cité le contrat conclu avec ISRO (Indian Space Research Organisation, l'agence spatiale de l'Inde) pour le lanceur indien PSLV, ce qui, compte tenu des coûts comparés entre l'Inde et l'Europe, est une véritable performance !

MTA développe par ailleurs un mini-lanceur devant lui permettre de participer à la compétition organisée par le Portugal pour procéder à des lancements depuis l'île de Santa Maria aux Açores... Serait-ce le prélude à l'établissement d'OHB au Portugal ?

Une saga familiale : suite

Le décès soudain de Manfred Fuchs, en 2014, a été un choc pour toute la communauté spatiale. Ses funérailles ont mobilisé bien au-delà de la petite ville de Brême. Il était certainement l'une des figures mythiques du spatial européen, ayant commencé sa carrière en 1961... l'année de la création du CNES et du premier vol habité dans l'espace (le Russe Youri Gagarine).

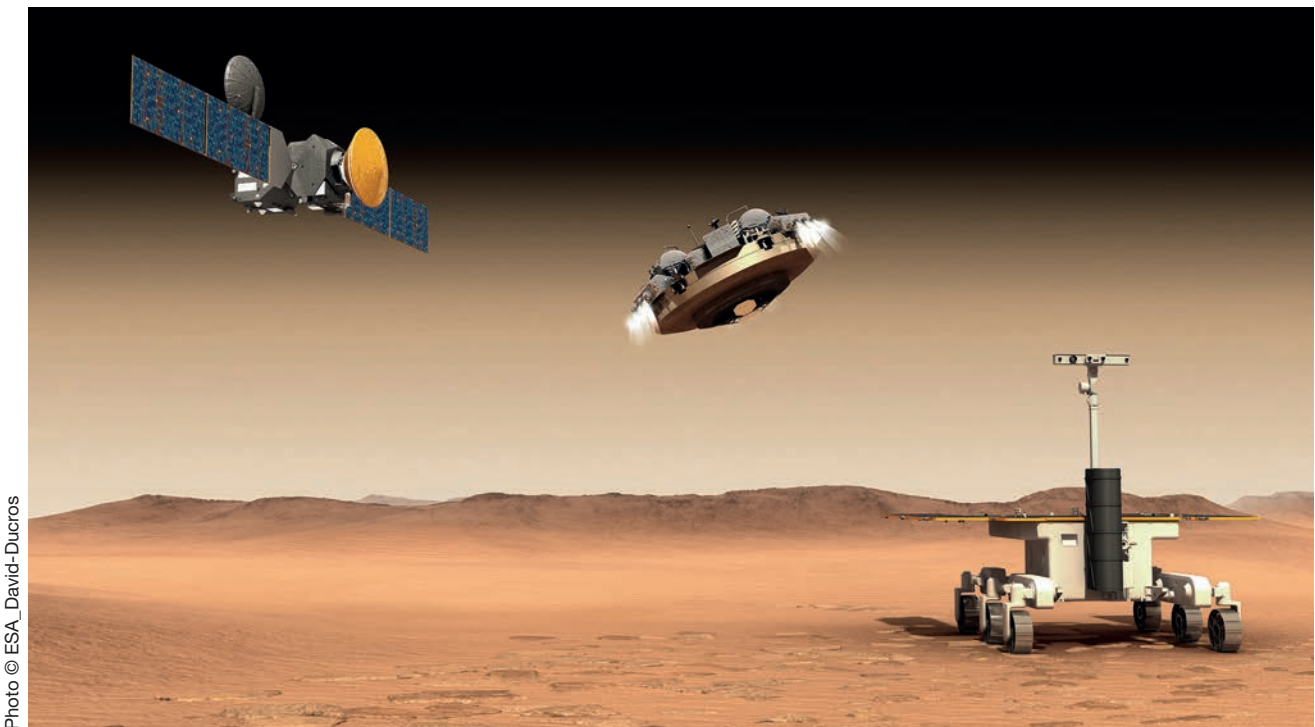


Photo © ESA_David-Ducros

Photo 4 : OHB est l'une des sociétés participant au programme Mission Exomars 2016-2020 développé par l'Agence spatiale européenne.

Pour honorer sa mémoire, Luxspace (la filiale luxembourgeoise d'OHB) a construit en quatre mois un petit « objet spatial », qui a été mis en orbite lunaire par une fusée chinoise (la seule mission lunaire à avoir eu lieu cette année-là, Chang'e 3). Cet « objet », appelé 4M (Manfred Memorial Moon Mission), a embarqué des messages de sympathie venant de radio-amateurs du monde entier, qui ont été diffusés depuis l'orbite lunaire sur la fréquence qu'utilisent ces derniers. Bel hommage à quelqu'un qui a milité longtemps pour que les Européens aient un programme lunaire... Vœu exaucé par l'ESA, avec son projet "Moon Village" !

Mais Manfred Fuchs avait préparé sa succession. Son fils Marco, dans l'entreprise depuis plus de vingt ans, a ainsi pris les rênes d'une société en pleine croissance, qui a atteint en 2018 le milliard d'euros de chiffre d'affaires : un exemple rare de succession réussie, le sujet étant toujours un facteur de risque pour les ETI familiales.

Conclusion : un *pure player* du spatial

OHB a certes bénéficié de la croissance importante du spatial en Europe, en particulier depuis l'irruption de l'Union européenne dans le paysage, mais a aussi réussi à se faire une « place au soleil » en faisant preuve de persévérance et surtout d'agilité et de compétitivité. C'est bien entendu un défi de conserver ces atouts tout en continuant de se développer, mais la structure familiale permet heureusement de conserver une grande réactivité. La grande autonomie laissée aux filiales européennes est elle aussi source d'une flexibilité importante.

OHB est un *pure player* du spatial, ce qui lui permet de se concentrer sur son domaine d'excellence. Son activité étant principalement institutionnelle, OHB ne subit pas la décroissance inéluctable du marché commercial des télécommunications spatiales.

L'autre assurance-vie d'OHB, c'est la pérennité de son actionariat familial, et une transmission réussie entre



Photo © ESA-Anneke-Le-Floc'h

Photo 5 : Intégration chez OHB du module Trace Gas Orbiter de la mission Exomars.

les fondateurs et leur descendance. La continuité permet d'assurer le futur, et tout en ayant toujours dégagé des profits, OHB a su faire les investissements nécessaires dans une vision de long terme, très pertinente pour une activité à cycle long comme le spatial.

How Luxembourg becomes Europe's commercial space exploration hub

By **Marc SERRES**

CEO of the Luxembourg Space Agency and Vice Chair of the ESA council

During its short history as an independent nation, Luxembourg had to reinvent itself continuously, adjusting to changing conditions beyond its control and taking advantage of new opportunities, in order to open up new spheres of value creation and national development for the benefit of its citizens and residents. The most prominent example is certainly the transformation, within a generation, of its economy based on world leadership in technology and production of steel and steel-based products to one of the planet's most significant financial centers. Luxembourg, known for its fruitful utilization of radiofrequencies since the 1930's, now aims at becoming Europe's commercial space exploration hub.

It all started with radio frequencies

The utilization of space-based technologies, in particular communication technologies, has been part of the country's economic DNA since the utilization of radio frequencies – a national resource – for the distribution of commercial radio programming in the early 1930s. To do so, Compagnie Luxembourgeoise de Radiodiffusion (CLR), in 1929, was granted a license by the Government to use long wave radio frequencies. These rights were extended to frequencies for television signal distribution in the 1950s. 30 years later, in the mid-1980s, a commercial, Luxembourg based, public-private partnership corporation was pioneering the use of fixed service satellite communication technologies to distribute television and radio programming via geostationary orbit-based satellites at 36000 km over the equator. Such orbital positions or “slots” had been assigned for use to Luxembourg by the International Telecommunications Union (ITU), a specialized agency of the UN that is responsible for issues that concern information and communication technologies, at its Conference in Geneva in 1977. Thus, Luxembourg had been allotted a “space resource” for exclusive use for telecommunication services, while other unassigned slots were allowed for use on a “first come” basis.

Scientific and technological development and legal rule setting processes had thus extended the economic and commercial sphere of Luxembourg to 36000 km over the equator. Since then, additional space-related services and businesses have developed in Luxembourg and today these commercial activities represent close to 2% of GDP.

The next step: becoming Europe's commercial space exploration hub

In 2005, Luxembourg joined ESA as a full member, creating the foundation for Luxembourg business participation in ESA's R&D programmes and space exploration missions. The awareness, experience and benefits of the continuous expansion of the economic sphere of Earth towards ever more distant outer space frontiers, the accelerating speed of technological advancement and the emergence of privately funded commercial startups in the “new space” business segment have encouraged the Government of Luxembourg to further explore the long term economic opportunities provided by outer space.

Humanity is eager to seek new frontiers as it aims to learn more about the Solar System and our Galaxy, gain new knowledge about the Universe and look out for biological existence and intelligence in Outer Space. Many Government Space Programmes such as those of NASA or ESA, as well as private entrepreneurs are preparing for the establishment of permanent human settlements in space. Central to these exploratory endeavours will be the space resources that can be identified, mined and transformed for use in space.

Launch of the Luxembourg Space Agency

In September 2018, Luxembourg launched its own space agency. Unlike similar organizations abroad, the Luxembourg Space Agency will not directly conduct research, or launch missions. Its goal is to foster

collaboration between key players in the space industry, with the core mission of accelerating the emergence of innovation-driven businesses.

The focus will be on supporting a sustainable ecosystem for the space industry and offering a platform in Europe for commercial space development.

Over the last 3 years, around 20 space companies have established a presence in Luxembourg, bringing the total to 50 public and private players. Attracted by the unique framework we've been developing, for the exploration and commercial utilization of resources in space.

Access to funding is a key issue for growing companies in any industry, and space is no exception. With this in mind, the Luxembourg Space Agency is currently drawing up plans for a financial instrument designed to provide equity funding for new companies developing the kind of ground-breaking ideas and technologies from which our future space industry will be built. Luxembourg is also working closely with the European Investment Bank to bridge the information gap and develop financing solutions for the space sector.

An equally important 'source of capital', will be the talent and skills the country develops. This is why, starting in the 2019 academic year, the University of Luxembourg will offer an inter-disciplinary Space master's degree, markedly different from programs by other institutions. The course will provide participants from an engineering or scientific background with additional technical expertise in areas needed to support Luxembourg's space industry. This training will be twinned with a strong grounding in business. Perhaps one day the graduates of this course will be true space-age entrepreneurs.

Resources in space: a universe of potential

Celestial bodies – including the Moon or near-earth objects (NEOs) such as asteroids – are naturally forming objects found beyond Earth's atmosphere. Many planets, moons and asteroids contain a rich diversity of inert physical substances such as metals, along with gases and water that could be used as energy sources and means to sustain human life as we venture deeper into space.

Many of the metals found within the Moon and other celestial bodies are already scarce on Earth. One day, we may use them not only to construct equipment in space but transport them back to support terrestrial activities, employing on Earth the technologies developed to explore and mine resources in space.

NEOs are close to Earth in astronomical terms. Nudged by the gravitational pull of nearby planets, they are within 1.3 Astronomical Units (1 AU = 150 million kilometers).

NEOs take different forms. Comets, which are formed in the cold outer planetary system, are mostly frozen water embedded with dust particles. Rocky asteroids are formed closer to home, in the warmer inner solar system between the orbits of Mars and Jupiter, from the residue of the material that constituted Mars, Mercury, Venus and Earth

itself. Asteroids show a large variety of material composition, such as carbon-rich (C-type), metallic (M-type) or mineral-rich silicate (S-type).

Around 15,000 near-earth asteroids of various sizes had been identified and listed by the end of 2016, according to the US National Aeronautics and Space Administration (NASA), and their number keeps growing.

The Moon is gravitationally bound to the Earth and is roughly 400,000 km away. Since the 1960s, 12 people have set foot on the lunar surface and close to 400 kg of lunar rock and regolith have been brought back to the Earth. These samples helped us to realize the immense resource potential available on the Moon.

Significance of space resources

Earth's natural resources are already under pressure from the planet's growing population, estimated to reach nearly 10 billion by 2050. Rising demand for resources will eventually push the economic balance in favor of harvesting resources from space to sustain our lives on Earth.

But for now, the clearer and more immediate benefits from mining resources are for use in space. Both, the Moon and NEOs contain significant, highly concentrated quantities of metals such as iron, nickel, tungsten cobalt and Rare Earth Elements, while ammonia, nitrogen, hydrogen and other useful gases have been detected. Frozen water, billions of tons which exist at the lunar poles and on NEOs, could be among the most important assets as man ventures further into the unknown. These valuable materials can be applied to technologies used in space and to sustain life in space.

Not long ago, space exploration was the preserve of national governments and international agencies with access to the necessary financial resources. Today, private investors and companies utilize lower-cost technologies and have at their disposal the financial resources to launch satellites to explore the opportunities for mining resources on NEOs or the Moon. In doing so, they increase the knowledge on these bodies and may also contribute to help defend Earth against asteroid impacts, preventing material damage and human casualties.

First steps

Mining space resources may well come surprisingly quickly. Expeditions to near-Earth asteroids and to the Moon have already yielded remarkable discoveries.

The European Space Agency's Rosetta probe, which was launched in 2004, astounded the world with images and data sent back from its Philae module after landing on a comet in 2015.

The first Japanese Hyabusa ("Peregrine Falcon") probe brought some 1,500 grains of material back from the Itokawa asteroid in 2010. A second Japanese Aerospace Exploration Agency probe should reach the Ryugu asteroid in 2018. If all goes well, its samples will be back on Earth two years later.



Photo © Spacecraft: ESA - J. Huart, 2014; Comet image: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/

Artist's impression of the Rosetta orbiter deploying the Philae lander to comet 67P/Churyumov-Gerasimenko.

“The European Space Agency’s Rosetta probe, which was launched in 2004, astounded the world with images and data sent back from its Philae module after landing on a comet in 2015.”

The Moon was visited several times by the United States, the former Soviet Union and most recently China. The samples returned by the various missions and the data gathered since then proves the mineral wealth of the lunar rocks and dust. Moreover, the recent orbital missions, such as NASA’s LCROSS and Lunar Reconnaissance Orbiter, and India’s Chandrayaan-1 mission further increased the attractiveness of the Moon by showing large deposits of water ice in several locations scattered throughout the lunar poles.

Many future missions are planned, by both national space agencies and private commercial entities. These missions promise to further unveil the resource potential and help us better understand the extraction and processing methods required to utilize the resource in space or on Earth.

The economics of space

Greater competition and ongoing scientific discovery will lower the cost of space exploration still further.

Today, the biggest impediment to space exploration is the cost of escaping Earth’s atmosphere. Lifting heavy equipment and cargo requires a great deal of thrust – and fuel.

Building new spacecraft or servicing existing ones in the weightlessness of space could be more economic if the

necessary resources are already close at hand. And those resources could serve as well as the basic materials for additive manufacturing in space of a variety of critical equipment and parts.

Once in space, the emphasis switches to the resources necessary for sustaining human habitat. At present, astronauts must ferry all their fuel, food and water with them, adding to already hefty payloads.

Water is the critical component for drinking, nourishing plants, and as an element in the ongoing production of energy and air. Without it, there is virtually no prospect for deep-space travel and habitats. Ice from asteroids or the Moon could be harnessed for both biological and energy needs in outer space.

The legal challenges of space

Having the right materials in the right place at the right price is just one component of the space exploration equation.

Some of today’s international space law was drawn up long ago, well before the prospect of harnessing space resources had become a realistic option. The idea of using space resources was already around when the 1967 Outer Space Treaty was concluded at a time when the United

States and the former Soviet Union were competing to reach the Moon. The treaty bans countries from appropriating celestial, outer space bodies, including the Moon. However, no international legislation so far has set rules about ownership of metals, minerals and other resources that may be found there.

This legal uncertainty now needs clarification. Investors, companies and their customers rightfully expect certainty if they are to commit significant resources – human, material and financial – to long-term projects.

Luxembourg is the first European country and the second country worldwide after the United States to offer

a legal framework that secures property rights for space resources. As more countries develop their own legal framework, Luxembourg is ready to join international efforts to harmonize global rules for the peaceful exploration and utilization of space resources. Access to space resources is clearly a global issue and the number of countries collaborating with Luxembourg is increasing all the time. Belgium is latest to join a list which includes China, Japan, the United Arab Emirates, Russia, Poland, Czech Republic and Portugal.

Réalité et perspectives de l' IoT spatial

Par Paul WOHRER

Fondation pour la Recherche stratégique

L'Internet des objets est considéré par de nombreux observateurs comme l'évolution naturelle du réseau Internet. Dans un futur proche, ce sont des milliards d'objets qui se connecteront au réseau pour accomplir de nombreuses tâches.

Même si leurs capacités sont moindres, les petits satellites, en raison de leur faible coût, apparaissent comme des relais idéaux des communications avec les objets connectés, en particulier dans les lieux faiblement couverts par les réseaux terrestres. De nombreuses *start-ups* ont donc été créées pour bénéficier de l'avantage au premier entrant sur ce marché potentiel.

Ce marché n'existe pas encore et pourtant plusieurs satellites ont déjà été lancés pour le servir. Cette course à l' IoT, qui a déjà fait mûrir le marché de la fabrication des petits satellites, pourrait pourtant ne jamais représenter une réalité économique structurante pour eux. En revanche, s'il devenait un marché viable, cette dynamique de rupture pourrait profondément modifier le secteur spatial actuel.

L'Internet des objets, plus connu sous son sigle anglais IoT, pour *Internet of Things*, est un sujet brûlant pour l'évolution du réseau Internet. Parfois défini comme la suite logique du Web social qui caractérise la structure actuelle du réseau, l' IoT repose sur la supposition que de nombreux objets viendront se connecter à Internet dans un futur proche pour des applications variées. Ce type d'évolution fait écho à la vision développée par Mark Weiser dans les années 1990 : des milliards d'objets connectés au réseau auraient le potentiel de changer profondément l'usage d'Internet en le rendant omniprésent dans la vie quotidienne (Weiser, 1991).

Des objets connectés ont déjà commencé à émerger dans notre vie quotidienne : les compteurs Linky, les scooters en libre-service ou les enceintes connectées en sont des exemples. Certains observateurs anticipent l'existence de 20 milliards d'objets connectés d'ici à 2020 (Hung, 2017), contre environ 7 milliards aujourd'hui (Lasse Lueth, 2018). Ce marché pourrait ainsi représenter à cette échéance plus de 450 milliards de dollars (Columbus, 2018).

Certains analystes anticipent l'apport des technologies spatiales pour ce type d'applications. L'objectif affiché par de nombreuses *start-ups* consiste à trouver une niche au sein du marché de l' IoT, mettant en avant le caractère global des télécommunications par satellite.

La « course » à l' IoT spatial

Le secteur des télécommunications par satellite a historiquement favorisé l'usage de l'orbite géostationnaire

pour des raisons d'économie : les satellites sont en effet des appareils coûteux et lourds, leur poids se mesurant en tonnes. L'altitude de l'orbite dite « géostationnaire », située à 35 687 km de la surface terrestre, permet à un satellite d'apparaître fixe dans le ciel, un seul satellite permettant donc d'offrir un relais de télécommunications couvrant une large partie du globe (Clarke, 1945). En orbite basse, les satellites « défilent » au-dessus de la surface, un nombre important de ceux-ci est donc nécessaire pour assurer une couverture globale. Un ensemble de satellites est traditionnellement décrit comme une « constellation ».

Les évolutions techniques dans la miniaturisation électronique ont permis depuis le début du XXI^e siècle de réduire considérablement le poids et la taille des satellites, réduisant également leur coût de production à l'unité. Le standard « Cubesat » inventé en Californie est devenu particulièrement répandu : une unité (u) est constituée d'un cube de 10x10x10 cm. Un Cubesat 3u est un parallélépipède de 30x10x10 cm. Ces petits satellites peuvent désormais être produits en masse de façon relativement économique, ce qui était impossible pour des satellites lourds. Cela permet d'envisager la réalisation de constellations de satellites en orbite basse pour un coût raisonnable.

Ces satellites sont cependant beaucoup moins performants que les satellites géostationnaires. Ils sont incapables de transmettre les débits d'informations nécessaires à la diffusion d'images télévisées de bonne qualité ou à une connexion Internet pour un utilisateur humain (OneWeb, 2018). De plus, leur caractère défilant signifie

qu'à moins d'en déployer des centaines voire des milliers, une couverture totale et permanente du globe ne peut être garantie.

L'IoT constitue potentiellement un cas d'usage dans lequel un débit faible et une latence importante ne sont pas des facteurs limitants. Certains objets connectés ont en effet des besoins de connexion modestes : un relevé par jour constitué d'un message court peut suffire à certaines applications (Holmes, 2018). Les petits satellites apparaissent particulièrement adaptés à un tel usage, car leur faible coût permet, avec un risque minime, de se positionner sur ce marché.

C'est ainsi que plusieurs entreprises ont été fondées pour investir ce marché émergent : peuvent être citées Aerial & Maritime, AisTech, Analytical Space, Astrocast, Blink Astro, eightyLEO (Henry, 2015), Fleet Space Technologies (Hill, 2018), Helios Wire, Hiber Global (Harris, 2018), Hongyan (Jones, 2018), Kepler Communications, Kineis (Henry, 2018), Lacuna Space, Myriota (Reichert, 2018), OQ Technology (Nyirady, 2018), Swarm Technologies, Spire Global, Sky and Space Global, SAT4M2M (Cordis, 2018) ou encore Xingyun.

À ces nouveaux entrants il faut ajouter les acteurs traditionnels de la communication de machine à machine (M2M) : Iridium, Globalstar, Inmarsat, Thuraya et Orbcomm, qui connectent déjà des millions d'objets par satellite, mais pour un coût plus élevé (Orbcomm, 2017). Eutelsat et Telesat, deux opérateurs de satellites de télécommunications géostationnaires, ont également annoncé leur décision de se lancer sur ce marché (Holmes, 2018). La nouvelle version des balises Argos, appelée Argos Neo, proposera vraisemblablement des applications IOT, gérées par la société Kineis (Cabirol, 2018).

Les projets des *start-ups* présentent certains points communs : la plupart utilisent des satellites basés sur le format Cubesat, prévoient des constellations en orbite basse

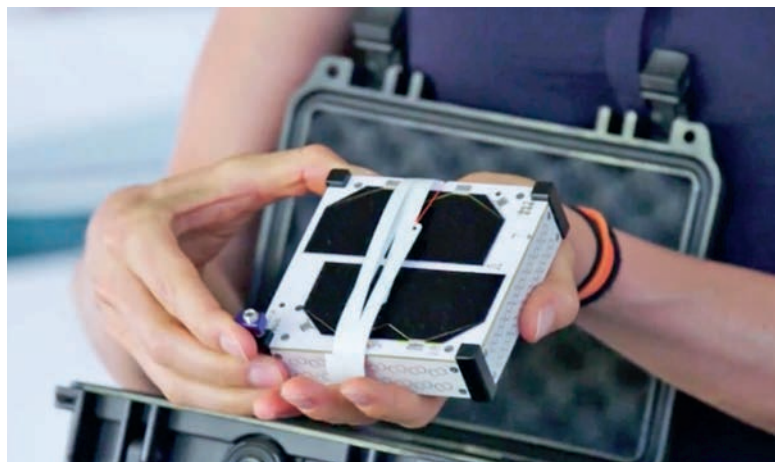


Photo © D.R.

Figure 1 : Un Cubesat 0,25u de Swarm Technologies.

terrestre et proposent des services basés sur un flux de données faible et intermittent à un coût nettement inférieur aux solutions actuelles (Crisp, 2018).

Certaines différences pourraient cependant les départager dans cette nouvelle course à l'espace.

La seule entreprise à avoir opté pour l'intégration verticale de sa production de satellites est Swarm Technologies. Celle-ci a conçu des satellites originaux : ils sont en effet au format 0,25u, soit un quart de Cubesat. Ce format est à l'origine d'un scandale qui a affecté l'entreprise en 2018 : la FCC avait en effet refusé d'autoriser le lancement de satellites-tests de ce format, par crainte que les radars de surveillance de l'espace soient incapables de suivre ces objets de si petite taille. Le lancement a pourtant eu lieu malgré cette interdiction (Harris, 2018). Swarm Technologies a dû renoncer au vol suivant et s'acquitter d'une amende de 900 000 dollars auprès du régulateur américain (Henry, 2018), ce qui n'a pas empêché l'entreprise de lever 25 millions de dollars en janvier 2019 (Pressman, 2019).

Start-ups	Fabricant de satellites	Origine du constructeur
• Kepler Communications	AAC Clyde	Grande-Bretagne
• Astrocast	Airbus	Europe
• Helios Wire • Lacuna Space	Astrodigital	États-Unis
• Hongyan	CASC	Chine
• Xingyun	Casic	Chine
• Aerial & maritime • AisTech • Hiber Global • Sky and Space Global • OQ Technologies	GomSpace	Danemark
• Blink Astro	Nanoavionics	Lituanie
• Kineis	Thales Alenia Space, Nexeya et Syrlink	France
• Fleet Space Technologies	Pumpkin Space Systems	États-Unis
• Myriota	SpaceQuest	États-Unis

Tableau 1.

Les autres *start-ups* ont majoritairement décidé de confier la fabrication de leurs microsattellites à des entreprises établies. Le Tableau 1 de la page précédente résume les choix effectués par certaines d'entre elles.

Certaines initiatives utilisent la station spatiale internationale comme segment spatial : ainsi, la NASA a eu recours à une charge utile fabriquée par Digi-international (société américaine spécialisée dans les communications et la technologie de la machine à la machine) pour surveiller le fonctionnement de son dispositif *exo-brake* (Roberts, 2017). La *start-up* SAT4M2M, soutenue par l'ESA, a fait le même choix (SAT4M2M, 2019).

Kineis est, quant à elle, une société française issue de l'entreprise CLS, qui souhaite capitaliser sur les acquis du projet Argos, notamment en utilisant la plateforme Angels pour développer sa constellation de vingt satellites. Ceux-ci seront des Cubesats 12u construits par Thales Alenia Space, Nexeya et Symlink (Henry, 2018).

Les architectures diffèrent donc, mais ces entreprises ont un objectif commun : être parmi les premières à offrir des services IoT depuis l'espace.

Un marché présentant un réel potentiel, mais immature

La plupart de ces entreprises se concentrent sur les réseaux *Low Power Wide Area* (LPWA), qui comprend les réseaux SigFox, LoRa et NB-IoT. Comme dans la plupart des offres de télécommunications, il existe une concurrence entre les offres spatiales et les offres terrestres, les coûts affichés par ces dernières jouant généralement en leur faveur. Il semble que l'IoT ne fasse pas exception à cette règle.

En conséquence, les applications de l'IoT spatial sont essentiellement liées à des lieux peu couverts par les réseaux terrestres – soit 80 % de la surface du globe ! – Les espaces maritimes et désertiques sont particulièrement concernés. Bien que cette proposition puisse avoir du sens pour certaines applications, particulièrement celles liées à la logistique et à la connectivité des zones isolées (plateformes pétrolières, industrie minière, militaires en opération), certains analystes se montrent réservés sur la capacité de ces *start-ups* à proposer des services adéquats à leurs clients, étant donnée la présence sur le marché de concurrents historiques offrant des services certes plus onéreux, mais également plus performants et fiables. Ainsi, si *Northern Sky Research* prévoit bien l'émergence d'un segment de marché couvert par des petits satellites, celui-ci serait limité à seulement 5,1 % du marché de l'IoT spatial (Crisp, 2018).

Par ailleurs, le grand nombre de constellations programmées nécessiterait, pour espérer un retour sur investissement, l'émergence d'un marché de millions d'objets connectés par constellation. Si tous les projets annoncés étaient menés à leur terme, ce serait plus de 1 600 satellites qui seraient lancés, ce qui, d'après certains analystes, est un nombre bien trop important au regard du marché potentiel.

Tim Farrar de TMF Associates explique ainsi que s'il est aisé pour la plupart des *start-ups* de lever 10 millions de dollars pour pouvoir prouver la viabilité technique de leur concept, il est beaucoup plus difficile pour elles de lever suffisamment de fonds pour développer leur *business model* (Higginbotham, 2018).

Face à l'anticipation de ce que seront les futurs marchés, il est logique de voir se multiplier les investissements dans différentes infrastructures et une forme de course à l'IoT spatial se mettre en place, incluant le lancement de satellites-tests prouvant la viabilité technique des projets envisagés, et ce malgré l'absence de clients. Il est ainsi presque certain que toutes ces *start-ups* ne survivront pas et que les prochaines années verront une consolidation de cette industrie (Harris, 2018).

Conclusion

Une conséquence de cette course à l'IoT spatial est cependant déjà notable : les commandes passées par ces *start-ups* auprès de fabricants de microsattellites comme GomSpace ou AstroDigital ont contribué à l'arrivée à maturité de ce secteur, qui cherche désormais à concevoir des satellites de plus en plus performants pour le compte de clients toujours plus exigeants. Ainsi GomSpace a-t-il été sélectionné par l'ESA pour la construction d'un Cubesat qui dans le cadre de la mission HERA sera envoyé vers un astéroïde (GomSpace, 2019), ainsi que par les forces aériennes colombiennes pour la fabrication d'un satellite d'observation de la Terre (GomSpace, 2017). AAC Clyde est, pour sa part, passé de la construction de sous-systèmes pour Cubesats à la fabrication et à l'intégration de microsattellites complets pour ses clients. Cette course à l'IoT spatial a donc eu pour effet de dynamiser le secteur de la construction de satellites, alors que le marché qu'il souhaite atteindre n'existe pas encore. La pérennité du secteur industriel des microsattellites apparaît donc largement dépendante de l'évolution des besoins de l'IoT en termes de connectivité spatiale.

Les besoins de l'IoT semblent correspondre aux capacités des petits satellites, il est donc compréhensible que des entreprises se positionnent sur ce marché potentiel pour bénéficier de l'avantage du premier entrant. Il est tout à fait envisageable aujourd'hui que l'IoT ne s'élève jamais à la hauteur de son potentiel estimé : dans ce cas, les investissements consentis auront été relativement modestes. Si, en revanche, l'IoT devient un marché massivement desservi par les satellites, les ruptures technologiques engendrées par l'industrie des petits satellites auront des conséquences importantes sur le secteur spatial, surtout au regard de la période de fragilité qu'il traverse actuellement. Il apparaît donc nécessaire de garder un œil attentif sur son évolution.

Références bibliographiques

CABIROL M. (2018), « Le CNES confie le futur système Argos à Thales », <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/c-est-thales-qui-va-developper-la-future-generation-d-argos-778263.html>

- CLARKE A. C. (1945), "Extra-terrestrial relays", <http://www.tnmoc.org/sites/default/files/Extra-Terrestrial%20Relays2.pdf>
- COLUMBUS L. (2018), "2017 Roundup of Internet of Things Forecasts", <https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2017/12/10/2017-roundup-of-internet-of-things-forecasts/#2fe62aa51480>
- CORDIS (2018), "Space IoT takes off", <https://phys.org/news/2018-07-space-iot.html>
- CRISP A. (2018), "The ROI challenge of IoT Smallsats", <https://www.nsr.com/the-roi-challenge-of-iot-smallsats/>
- GOMSPACE (2017), "The Colombian Air Force Orders its second advanced Nanosatellite platform from GomSpace", <https://gomspace.com/news/the-colombian-air-force-orders-its-second-adv.aspx>
- GOMSPACE (2019), "ESA and GomSpace Sign Contract for Advanced Nanosatellite to join the HERA mission", <https://gomspace.com/news/esa-and-gomspace-sign-contract-for-advanced-n.aspx>
- HARRIS M. (2018), "SpaceX's Next Launch Will Spark A Space Internet Showdown", <https://www.wired.com/story/spacexs-next-launch-will-spark-a-space-internet-showdown/>
- HARRIS M. (2018), "Why Did Swarm Launch Its Rogue Satellites?", <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/aerospace/satellites/why-did-swarm-launch-its-rogue-satellites>
- HARRIS M. (2018), "Why Did Swarm Launch Its Rogue Satellites?", <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/aerospace/satellites/why-did-swarm-launch-its-rogue-satellites>
- HENRY C. (2015), "EightyLEO Details Vision for IoT SmallSat Constellation", <https://www.satellitetoday.com/telecom/2015/10/22/eightyleo-details-vision-for-iot-smallsat-constellation/>
- HENRY C. (2018), "FCC fines Swarm \$900,000 for unauthorized smallsat launch", <https://spacenews.com/fcc-fines-swarm-900000-for-unauthorized-smallsat-launch/>
- HENRY C. (2018), "French IoT company plans \$139 million smallsat constellation", <https://spacenews.com/french-iot-company-plans-139-million-smallsat-constellation/>
- HIGGINBOTHAM S. (2018), "Lacuna is bringing the internet of things to space", <https://staceyoniot.com/lacuna-is-bringing-the-internet-of-things-to-space/>
- HILL J. (2018), "Fleet Space to Launch on ISRO's PSLV This Year", <https://www.satellitetoday.com/launch/2018/07/03/spaceflight-scores-australian-commercial-passenger-on-pslv-rocket/>
- HOLMES M. (2018), "Eutelsat Exec Discusses Possibility of Full LEO Constellations", <https://www.satellitetoday.com/telecom/2018/03/09/eutelsat-exec-discusses-possibility-of-full-leo-constellation/>
- HOLMES M. (2018), "Telesat and LEO: Goldberg Answer the Burning Question", <http://interactive.satellitetoday.com/via/january-february-2018/telesat-and-leo-goldberg-answers-the-burning-question/>
- HUNG M. (2017), "Leading the IoT", https://www.gartner.com/imagesrv/books/iot/iotEbook_digital.pdf
- JONES A. (2018), "China to launch first Hongyan LEO communications constellation satellite soon", <https://gb-times.com/china-to-launch-first-hongyan-leo-communications-constellation-satellite-soon>
- LASSE LUETH K. (2018), "State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating", <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>
- NYIRADY A. (2018), "Luxembourg Companies to Test IOT Technology", <https://www.satellitetoday.com/iio/iio-aerospace/2018/09/21/luxembourg-companies-to-test-iot-technology/>
- ONEWEB (2018), "Keyshot Module", <https://www.oneweb.world/technology#keyshot-module>
- ORBCOMM (2017), "ORBCOMM Surpasses Two Million Subscriber Communicators in The Industrial IoT Market", <https://www.orbcomm.com/en/company-investors/news/2017/orbcomm-surpasses-two-million-subscriber-communicators-iot-market>
- PRESSMAN A. (2019), "Exclusive: Satellite Startup Swarm Raises \$25 Million For Space-Based Internet Plan", <http://fortune.com/2019/01/24/exclusive-satellite-startup-swarm-raises-25-million-space-internet/>
- REICHERT C. (2018), "Satellite IoT start-up Myriota raises \$15m", <https://www.zdnet.com/article/satellite-iot-start-up-myriota-raises-15-million/>
- ROBERTS F. (2017), "NASA looks to bring IoT to space with wireless comms test", <https://internetofbusiness.com/nasa-iot-space-wireless/>
- SAT4M2M (2019), "SAT4M2M", <http://www.sat4m2m.com/>
- WEISER M. (1991), "The Computer for the 21st Century. Scientific American", vol. 265, pp. 94-104.

Développement des applications spatiales : l'initiative « Boosters »

Par **Christèle DONADINI**

Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

L'espace est devenu un outil indispensable dans notre vie quotidienne et répond à de multiples enjeux sociétaux, comme la compréhension du climat, les prévisions météorologiques, la mobilité ou encore l'Internet pour tous. En parallèle, le secteur spatial fait aujourd'hui face à de nouvelles ruptures, tant en matière d'observation de la Terre, avec l'accès gratuit à la donnée, que dans les télécommunications, avec la multiplication des constellations, et la navigation, avec la mise en œuvre opérationnelle de Galileo. Cette mutation en cours bouleverse la chaîne de valeur traditionnelle et conduit de plus en plus d'acteurs à renforcer leur position sur l'aval, où près de 60 % des revenus sont générés.

La France occupe une position de leader dans les infrastructures spatiales et dispose d'un fort potentiel pour prendre également une place de premier plan dans le domaine des applications. En ouvrant la filière spatiale vers d'autres secteurs, à commencer par le numérique, le COSPACE a mis en place les structures « Boosters », dont l'objectif est de combiner données spatiales et outils numériques pour accélérer l'émergence de services innovants tant au regard de nouveaux usages que du modèle économique qu'ils sous-tendent.

Concept et création

Mis en place par le gouvernement français en septembre 2013, le Comité de concertation État/Industrie sur l'espace (COSPACE) regroupe tous les acteurs de la filière spatiale française : le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, le ministère des Armées, le ministère de l'Économie et des Finances, le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères, le ministère de la Transition écologique et solidaire, le CNES, la communauté scientifique, le GIFAS (Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales), les industriels (des maîtres d'œuvre aux PME) et les opérateurs. L'objectif est de renforcer la cohésion et la compétitivité de la filière spatiale afin de développer pleinement l'ensemble des capacités d'un secteur d'excellence de l'industrie française pour faire face à une concurrence européenne et internationale grandissante.

Fin 2015, le COSPACE a lancé l'initiative « Boosters » pour stimuler, catalyser et accélérer une innovation en France qui se situe au croisement des filières d'avenir que sont le numérique, le spatial et les domaines d'applications/utilisateurs (urbanisme, agriculture, énergie, environnement, mer, gestion des risques, industrie, mobilité, transport, développement durable des territoires, loisirs...).

Ces structures d'accompagnement, portées par un pôle de compétitivité ou une structure équivalente, ont pour

objectif d'identifier et d'accompagner des projets de services numériques innovants utilisant des données spatiales, seules ou combinées à d'autres types de moyens et/ou de données. Pour ce faire, les « Boosters » ont pour principales missions :

- de décloisonner les filières en organisant régulièrement des rencontres multi-secteurs (numérique, spatial, énergie, automobile...) et multi-acteurs (*business developers*, experts techniques, *designers*, financeurs, Web, sciences humaines, universitaires...);
- de créer un environnement favorable à l'émergence de nouvelles idées valorisant les données spatiales ;
- de sélectionner des projets prometteurs visant la mise sur le marché d'un service compétitif répondant aux attentes des utilisateurs et des clients institutionnels, privés ou grand public ;
- d'accompagner le développement de ces nouvelles applications jusqu'à leur commercialisation.

Les « Boosters » sont implantés régionalement et coordonnés par un comité de pilotage national constitué de représentants du COSPACE. En outre, pour favoriser la réussite des projets, les Boosters bénéficient de manière privilégiée de prestations d'expertises, de suites de logiciels et d'images satellitaires fournies par des membres du COSPACE.

Les « Boosters »

En janvier 2016, le COSPACE a sélectionné quatre « Boosters », qui ont rapidement su développer un nouvel écosystème dans leurs territoires respectifs en multipliant les rencontres entre les acteurs du numérique, du spatial et des usages :

- le « Booster » Morespace, localisé en Bretagne et porté par le pôle Mer Bretagne Atlantique, travaille sur la thématique maritime ;
- le « Booster » Nova, porté par le pôle Aerospace Valley et localisé autour des métropoles de Toulouse, Bordeaux et Montpellier, porte sur six domaines : la croissance bleue, l'énergie, les *smart cities*, l'agriculture, la maîtrise de l'espace et du cadre de vie et les économies du Sud ;
- le « Booster » Space4Earth, localisé en Provence-Alpes-Côte d'Azur et porté par le pôle Safe, propose des applications sur les thèmes de la sécurité (villes, côtes, mers), des écotecnologies, des services mobiles liés à la géolocalisation et des *smart cities* (transports intelligents, énergie, villes durables...) ;
- le « Booster » Seine Espace, porté par le pôle Astech Paris Région et localisé sur l'axe Seine Paris-Normandie, vise à développer de nouveaux services dans les secteurs ville et mobilité, logistique, gestion intelligente de l'énergie, climatologie, environnement, loisirs, éducation, etc.

La dynamique ainsi créée a suscité de nouvelles candidatures. Trois nouveaux « Boosters » ont ainsi été labellisés⁽¹⁾ en 2018 :

- le « Booster » CENTAuRA, localisé en région Auvergne-Rhône-Alpes et porté par le pôle de compétitivité Minalogic, traite des thèmes s'inscrivant en cohérence avec les domaines d'excellence de la région, à savoir le partage de connaissance et la vulgarisation (contenus numériques, *data* visualisation), ainsi que l'aménagement du territoire (milieu montagnard, tourisme) ;
- le « Booster » Morpho, porté par Guyane Développement Innovation, vise à accélérer l'émergence de *start-ups* sur les deux thématiques d'importance majeure que sont, pour la Guyane, les ressources naturelles (énergies renouvelables, lutte contre la déforestation, etc.) et les télé-applications dans des domaines comme l'agriculture et la santé ;
- et le « Booster » Rhinespace, centré sur le pôle métropolitain Strasbourg-Mulhouse-Colmar et porté par le pôle de compétitivité Véhicule du futur, qui s'inscrit dans une volonté de contribuer aux usages durables et intelligents sur des territoires denses, en s'appuyant sur des filières régionales (mobilités innovantes, eau, énergie, urbanisme et infrastructures).

L'ancrage régional de ces sept structures est un avantage, car les « Boosters » peuvent répondre précisément, au travers des projets qu'ils accompagnent, aux problématiques de leurs territoires respectifs, notamment la gestion des feux de forêt, l'anticipation des épidémies ou le déploiement des *smart cities*. Les « Boosters » contribuent ainsi localement à la structuration du tissu industriel, économique, éducatif et de recherche autour de projets



Répartition géographique des 7 boosters.

fédérateurs qui ont de forts effets de levier sur le développement économique et la création d'emplois dans leur région d'implantation.

Premiers résultats

Depuis leur création, les « Boosters » ont fait émerger plus de quatre-vingts projets, dont la moitié a été financée par différents dispositifs nationaux et européens d'aide à l'innovation (Programmes d'investissement d'avenir – Projets industriels d'avenir (PIAVE), Challenges numériques, Fonds unique interministériel (FUI), Agence nationale de la recherche (ANR), Fonds européen de développement régional (FEDER), Copernicus Incubation Programme, etc.).

En particulier, les projets soutenus par les « Boosters » ont pu être financés *via* des appels à projets opérés par Bpifrance entre 2016 et 2018, à savoir le PIAVE « Produits et services valorisant les informations issues du domaine spatial – Boosters » et le concours Innovation vague 2 qui comportait une thématique Espace avec un volet applications et un volet nanosatellites.

Sur ces deux guichets, les « Boosters » ont soumis 39 projets (hors volet nanosat), dont 17 ont été retenus et financés *via* le PIAVE⁽²⁾ et 3 *via* le concours Innovation (hors volet nanosat⁽³⁾).

Quelques exemples des projets emblématiques détectés puis accompagnés par les « Boosters » sont présentés ci-dessous :

- Créée en 2015, Unseenlabs, soutenue par le « Booster » Morespace, est spécialisée dans le domaine de l'interception de signaux depuis l'espace, dont la première application est un service innovant de surveillance maritime.

(1) Communiqué de presse des trois ministres du COSPACE, <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid131791/labellisation-de-trois-nouveaux-boosters-dans-le-cadre-du-cospace.html>

(2) Un seul projet non labellisé « Booster » a été retenu dans le cadre du PIAVE, mais aucun dans le cadre du concours Innovation.

(3) Sur quatre projets soumis par les « Boosters » sur le volet nanosat du concours Innovation vague 2, 3 ont été sélectionnés.

Cette société prévoit de déployer une constellation de nano-satellites embarquant une antenne révolutionnaire, qui permettra, notamment, l'identification et la localisation de navires non coopératifs.

En 2016, la *start-up* a été lauréate du concours iLab. Et en septembre 2018, Unseenlabs a bouclé une première levée de capitaux de 7,5 millions d'euros auprès de Definvest – le fonds du ministère des Armées, géré par Bpifrance et la direction générale de l'Armement (DGA) –, de la société Nexeya et du fonds régional breton BreizhUp, géré par Sofimac Innovation. Cette levée de fonds financera le développement de son projet de service novateur de surveillance maritime *via* des nano-satellites.

- Fondée en 2016, Earthcube, soutenue par le « Booster » NOVA, a développé des solutions basées sur des modèles mathématiques et des algorithmes d'intelligence artificielle. Issues de travaux de recherche conduits initialement dans l'imagerie médicale, ces solutions permettent d'automatiser l'analyse des images avec une très grande performance. L'idée a été d'appliquer ces solutions à l'imagerie satellitaire pour offrir des services de surveillance d'infrastructures. Lauréate de plusieurs prix et suivie par l'incubateur de l'Agence spatiale européenne ESA BIC (Business Incubation Center) Sud France, la *start-up* a notamment reçu une subvention au titre de l'appel à projets thématique Piave Boosters, avant de boucler une levée de fonds de 3 millions d'euros en 2017, marquée par l'entrée dans son capital de la société d'investissement 360 Capital Partners. Lors du EmTech (Emerging Technologies) Europe d'octobre 2018 organisé par le Massachusetts Institute of Technology, Earthcube a été désignée comme étant l'une des dix *start-ups* européennes représentant ce qu'il y a de mieux en matière d'innovation technologique.
- Fondée en 2012, la *start-up* GÉOFLEX, soutenue par le « Booster » Seine Espace, est l'opérateur de nouveaux services d'augmentation GNSS (Global Navigation Satellite Systems) reposant sur la technologie PPP-CNES (positionnement ponctuel précis) et ayant pour finalité d'améliorer la précision et l'intégrité des systèmes de radio-positionnement spatiaux.

Pour assurer la continuité d'opération et rendre très simple l'utilisation de ses services, GÉOFLEX a développé la box de services d'augmentation GNSS qui utilise plusieurs liens télécoms en simultané pour se connecter à un centre de services évolués.

En septembre 2018, GÉOFLEX a levé 1 M€ auprès de Demeter. En 2019, elle s'est vu attribuer un prix de l'innovation dans la catégorie « Véhicules intelligents et technologies de conduite autonome » par le jury du Consumer Electronics Show (CES) à Las Vegas.

- Smart'N'Go est une *start-up* innovante soutenue par le « Booster » Space4Earth et dont l'objectif est d'allier performance économique et combat écologique. Smart'N'Go propose à cette fin des solutions d'optimisation aux transporteurs maritimes pour leur permettre de réduire leurs coûts et leurs émissions de gaz à effet de serre.

À titre d'exemple, la solution Smart'N'Go Manta fournit des routes maritimes optimisées en réponse à des demandes émanant de l'industrie de la marine marchande (porte-conteneurs, vraquiers, pétroliers...). Cette solution utilise des données océano-météorologiques et de localisations issues du spatial (Copernicus, Automatic Identification System...), ainsi qu'une approche *Big Data* pour la modélisation des navires. La consommation de carburant est ainsi réduite grâce aux routes établies par Smart'N'Go Manta.

Conclusion

L'initiative « Boosters » lancée par le COSPACE il y a deux ans a su être rapidement opérationnelle et faire preuve d'efficacité en générant de belles réussites entrepreneuriales dans un contexte spatial international en pleine mutation.

Les « Boosters » contribuent à étendre la position de leader de la filière spatiale française au secteur aval, tout en apportant des réponses concrètes à des enjeux sociétaux qui touchent l'ensemble de nos concitoyens (www.boosters-cospace.com).

The new horizons of Europe in space

Preface: New horizons for building spatial Europe

Frédérique Vidal, minister of Higher Education, Research and Innovation

Foreword

Jacques Serris, engineer from the Corps des Mines, Conseil Général de l'Économie

Strategic spatial issues of the 21st century

European intergovernmental policies

Géraldine Naja, European Space Agency (ESA)

Politically, economically and industrially complex, Europe has many institutional dimensions: national, regional, intergovernmental and the EU. However this complexity and overlapping of levels of policy-making and implementation represent a treasure for Europe. It is even more relevant in space policy since, from the start, space has been an issue conducive to European integration, a highly strategic policy field. Given the two historical superpowers in space (the United States and the former USSR), European states and their firms have no other choice than cooperation. This cooperation is organized around an intergovernmental organization, the European Space Agency (ESA). Europe has gradually drawn up a coherent policy and a spatial program capable – through the ESA, national agencies and, more recently, the European Union – of turning the space industry into a top-ranking player. ESA, a pioneer of European integration, has adjusted to the political and institutional changes in Europe and will have to continue adapting in the future.

European Union Space Policy

Pierre Delsaux, Deputy Director General at the European Commission Directorate General for the Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SME's

Europe has achieved many successes in Space, thanks to the fruitful collaboration of Member States, the European Space Agency (ESA), the European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) and the European Union. Copernicus and Galileo/ EGNOS the two Union flagships are the result of this synergic cooperation. They are both fully operational and deliver world class services for Earth Observation and Satellite Navigation. Building on these successes, on 26 October 2016, the European Commission adopted the Space Strategy for Europe setting up a common vision and identifying a number of concrete actions to achieve its objectives. This was enriched by an intensive political debate and orienta-

tions provided by Council and Parliament. In view of the political changes at the horizon with the forthcoming elections, it is mandatory to ensure that Europe's successes in Space are ensured. As a result, last June this Commission adopted important proposals that will shape the future of Space in terms of programme components, research and innovation needs and investment ambitions.

France's place in space

Jean-Yves Le Gall, president of the Centre National d'Études Spatiales (CNES)

France has always been the third power in space and is now the driving force behind spatial Europe. This prominent role has been grounded on a partnership between the country's National Center for Space Studies (Centre National d'Études Spatiales, CNES) and industry. Thanks to this partnership, these parties have become leading world actors in space launchers, satellites and applications. The new firms that have emerged in the United States (the major ones with their roots in the Internet) might upend this position. This phenomenon, called "new space", is apparently challenging fundamentals in this sector. The twofold trend, digitalization and globalization, affecting the space industry tends to strongly reducing the costs of owning spatial systems and to lead to the arrival on this market of newcomers, that are public as well as private, and, for France, that are both clients and rivals. The CNES has responded by pursuing scientific excellence and developing its ecosystem and international cooperation. The space industry is supported by public authorities whose role has ultimately (and somewhat paradoxically) been bolstered by this "new space".

The evolving context of American space programs

Xavier Pasco, director of the Fondation pour la Recherche Stratégique

Given its still unequaled investments, the United States remains the world's top-ranking spatial power. This position rests on two pillars: the exploration of space by human beings and the development of the armed forces in space. In fact, military expenditures have recently grown owing to a gnawing feeling of vulnerability to China's rising power and Russia's maintenance of its military capacity. In parallel, a new – business-oriented – space industry is emerging, symbolized by Space-X or Blue Origin in launchers. Applications drawn from the space industry are also evolving, as investors see the glimmer of new outlets in information technology. However government support is indispensable to the success of a still uncertain industrial wager.

China, Russia, India, Japan: A typology of their ambitions in space in 2019

Isabelle Sourbès-Verger, director of research at the Centre National de Recherche Scientifique (CNRS), Centre Alexandre Koyré

The activities in space by the major members of the “space club” are studied in relation to the superpower in this field: the United States. If we exclude Europe, Western experts usually rank China in second place followed in order by Russia, India and Japan. This ranking corresponds less to criteria related to these countries’ actual performances in space than to their importance on the international scene and, implicitly, to the perception of each of them as a potential competitor of the United States. Since activities in space are a sign of power, it is worthwhile comparing these players’ ambitions and seeing whether a typology can provide a new framework for interpreting the various ways that space is now being occupied.

Small satellites, small launchers: Opportunities for newcomers in the marketplace?

Florence Gaillard-Sborowsky, Fondation pour la Recherche Stratégique

According to many commentators, the space industry is entering a new era – “new space” – characterized by the intrusion and multiplication of private firms that are opening the “access” to space thanks to new innovative systems. Small satellites and small launchers are the main components at the origin of this approach, which has come out of several trends: the miniaturization of electronic devices, the development of standardized parts, and the commercialization of launching services with the goal of drastically cutting the costs of placing satellites in orbit. This new technological and industrial approach has an impact on the concept of power in space and apparently opens opportunities for newcomers to the space market. Nevertheless, we ought to realistically judge the changes under way and the concrete possibilities thus opened.

The French state’s role in spatial Europe

Patrice Brudieu, head of space policy, Direction Générale de la Recherche et de l’Innovation, MESRI

Space is in the throes of change. More than ever, the state must play a major role in four basic ways: its autonomy and capacity for ensuring essential governmental functions; its support for industry both up- and downstream in the production process; legislative and regulatory controls; and sciences and exploration.

The industrial offer and new markets

The French space industry’ key figures

Anne Bondiou-Clergerie, director of R&D Espace et Environnement, GIFAS

Given that the three major European firms in space technology (along with a chain of suppliers, small and medium-sized businesses, and innovative startups) are implanted in France, the French space industry is growing. It has created jobs for several years now and contributed

positively to the balance of trade. It has asserted its position as a top-ranking player in the marketplace while developing its capacity for serving institutional markets, both civilian and military. This balance is hard to maintain in a competitive, fast evolving environment. Nonetheless, the space industry has managed to innovate in order to adapt its activities involving launchers (with the Ariane 6 program) and even satellites (high-speed data transmission and constellations of satellites). Meanwhile, the French space industry has carried out world-class missions (meteorology, science, environment) and has significantly contributed to defense, the EU’s major policy fields and prosperity.

New space

Jean-Jacques Tortora, director of the European Space Policy Institute (Vienna)

Born in the United States under NASA’s midwifery, “new space” is an approach motivated by the quest for efficiency. With its promises of making space accessible to a large number of persons thanks to the magic wrought by a few bold entrepreneurs, it has attracted the attention of the public and governments around the world. This overview of the basic aspects of this phenomenon places it in the perspective of European initiatives during the past two years. Even though a definitive assessment cannot yet be made, the space industry has been galvanized by private investors’ sudden interest in it. Furthermore, new space radically opens new prospects. Europe will probably have to modify its legal and regulatory framework, in particular, about the articulation of customer/supplier relations with its institutions and the industry. The objective will be to profit from this new potential and endow its industry with the means for coping with a virulent strain of competition.

What future for the French space industry? A prospective analysis based on the theory of strategic disruption

Éric Jolivet, Toulouse School of Management, Toulouse I University, Capitole; and Grégory Pradels, Aerospace Valley, Pôle de Compétitivité Occitanie et Nouvelle-Aquitaine

The American firms SpaceX, Planet and OneWeb are, each in its field, jostling the traditional space industry (long deemed to be stable and hard to rival) and contributing to what is called “new space”. The theory of technological disruption helps us understand some of these changes, in particular: how newcomers to the market manage to unseat the giants, sometimes by using the technology invented by the latter. The goal is to modify standards of performance so as to turn the advantages held by traditional firms into costs and obsolete assets. This economic force is now at work in the space industry, and French firms, which have held a prime position, are in danger. A few probable scenarios are discussed along with the possible strategies for coping with such a fast changing environment...

Where is the European satellite-launching industry headed?

Alain Charneau, CEO of ArianeGroup (from 2014 to 2018)

For centuries, humanity has dreamed about exploring the universe. Meanwhile, the adventure into space is actually occurring. Autonomous access to space is an issue not only strategic but also political, societal, economic and industrial. The European space industry, incarnated by the Ariane rocket family, has managed to keep its place as a world leader thanks to its ability to adapt to market trends. The current trend is toward becoming ever more competitive, productive and cooperative – the indispensable levers for survival, the upkeep of know-how, and the preservation of jobs. This industry's assets? A prestigious legacy, a capacity for anticipating trends, and the member states' determination to pursue this adventure. Crucial decisions about the evolution (by 2025) of Ariane 6 and about the future (beyond 2030) of European launchers will have to be made during the coming ministerial level meeting of the European Space Agency's council.

New industrial chains, the example of OneWeb

Nicolas Chamussy, director of Space Systems in the Airbus Defence & Space Division and president of Airbus Defence and Space SAS (ex-Astrium)

In 2015, Airbus Defence and Space obtained a contract for nine hundred satellites from OneWeb. This first project for a megaconstellation of satellites has opened a new chapter in the space industry's history. Institutional support under a state-run investment program was at the origin of the industrial capacity for executing this contract. Since the objectives with regard to unit costs, the pace of production and the miniaturization of satellites are so ambitious, engineers have had to overhaul the processes of design, integration and testing. A "factory of the future" for tomorrow's space industry has been built in Toulouse on the campus of Airbus Defence and Space. The first satellites for OneWeb are being placed in orbit, thus proving beyond any doubt that the French space industry is a pioneer in the evolving market for satellite constellations.

The German firm OHB, a new player in the space industry

Alain Bories, OHB

The emergence of OHB, a small firm typical of the German Mittelstand, as a third major contractor in the European space industry, has surprised more than one. However this firm's development is a success story about a family of entrepreneurs who, enthusiastic about space, are convinced that they can upend business models. A telling of this family saga... the story about the founder was told in the book, A Pioneer of Space Flight.

How Luxembourg becomes Europe's commercial space exploration hub

Marc Serres, CEO of the Luxembourg Space Agency and Vice Chair of the ESA council

During its short history as an independent nation, Luxembourg had to reinvent itself continuously, adjusting to changing conditions beyond its control and taking advantage of new opportunities, in order to open up new spheres of value creation and national development for the benefit of its citizens and residents. The most prominent example is certainly the transformation, within a generation, of its economy based on world leadership in technology and production of steel and steel-based products to one of the planet's most significant financial centers. Luxembourg, known for its fruitful utilization of radiofrequencies since the 1930's, now aims at becoming Europe's commercial space exploration hub.

The reality and prospects of a spatial IoT

Paul Woherer, Fondation pour la Recherche Stratégique

Several observers see the Internet of things (IoT) as a natural evolution of the Internet. In the near future, billions of devices performing numerous tasks will be connected to the Net. Despite their lower capacity but thanks to their lower costs, small satellites seem to be ideal relay stations for enabling connected devices to talk together, especially in places poorly equipped with land lines. Several startups have been set up to profit from being the first newcomers on this potential market, which does not yet exist even though several satellites have been launched. The race toward the IoT has brought the market for small satellites to maturity, but it might never be economically decisive for these startups. If it becomes a viable market, this breakthrough technology could deeply alter the existing space industry.

The development of space applications: Boosters

Christèle Donadini, Ministry of Higher Education, Research and Innovation

Space, now indispensable for our everyday lives, offers responses to several societal issues, such as understanding the climate, forecasting the weather or traffic, or providing the Internet to everyone. Meanwhile, the space industry must cope with a disruption in several fields of activity: observation of the Earth (for-free access to data), telecommunications (the multiplication of satellite constellations) and geolocation (the operation of Galileo). These changes are upending the traditional value chain as more and more players stake out strong positions upstream, where nearly 60% of the income is generated. France has a position as a leader in space industry infrastructures and might very well take the first place in the field of applications. By opening the space industry to other sectors of the economy (starting with digital technology), COSPACE has set up structures called Boosters with the objective of combining data from space and digital tools so as to accelerate the development of innovative services in new uses and in the underlying business model.

Issue editor: Jacques Serris

BONDIU-CLERGERIE Anne

Diplômée de l'École supérieure de physique et chimie industrielles de Paris et titulaire d'un doctorat en physique des plasmas, Anne Bondiou-Clergerie a rejoint, en 1985, l'Onera pour exercer au sein du laboratoire dédié à l'étude théorique et expérimentale de l'environnement électromagnétique des aéronefs. À partir de décembre 2001, elle a occupé les fonctions de responsable Systèmes orbitaux, puis de directeur Espace à la direction de la Stratégie de l'Onera. Depuis décembre 2006, elle a rejoint le Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales (GIFAS), où elle occupe les fonctions de directrice des Affaires R&D, Espace et Environnement. Elle est également, depuis 2018, rapporteur de la commission Fréquences du Gifas. Sur ces différents thèmes, elle anime des groupes de travail menant des réflexions approfondies sur des thématiques techniques (technologies-clés, évaluation de l'empreinte carbone de nos industries, etc.) ou stratégiques (financement et acteurs de la recherche, grands programmes européens du secteur aérospatial). Elle est depuis 2008, avec la DGAC, secrétaire exécutive du Conseil pour la recherche aéronautique civile (CORAC) et est, depuis 2013, membre du groupe de pilotage du Comité de concertation État/Industrie sur l'espace (COSPACE).

BORIES Alain



D.R

Ingénieur de l'armement, Alain Boris est diplômé de l'École polytechnique et de Sup'Aéro, et est titulaire d'une licence d'économie appliquée de l'Université de Paris-Dauphine et d'un Master du MIT (Massachusetts Institute of Technology).

Il est vice-président d'honneur de l'Association des anciens élèves de l'École polytechnique (AX), et Chevalier de l'Ordre national du Mérite.

Alain Bories a commencé sa carrière à la DGA, puis a rejoint la société Alcatel, où il a occupé plusieurs postes, principalement dans les domaines de la défense aérienne, de la gestion du trafic aérien et de la navigation. Après la cession de ces activités à Thomson-CSF, il reste chez Alcatel plus précisément dans la filiale Alcatel Espace, où il est en particulier en charge des activités Galileo. Il rejoint par la suite Thomson-CSF (aujourd'hui Thales) comme directeur Espace, poste qu'il a occupé jusqu'en 2006.

Depuis 2006, Alain Bories est directeur de la Stratégie et du Développement du business de la société allemande OHB SE.

Il est également président d'honneur de l'association Galileo Services, qu'il a créée en 2002, et qui regroupe les sociétés utilisatrices de Galileo.

BRUDIEU Patrice

Patrice Brudieu est directeur du département Politique spatiale et Défense au ministère de l'Enseignement su-



D.R

périeur, de la Recherche et de l'Innovation, et conseiller du directeur général de la Recherche et de l'Innovation, depuis 2015.

À ce titre, il travaille sur la stratégie spatiale française, en relation avec le cabinet de la ministre Mme Vidal, et contribue à l'exercice de la tutelle de l'État sur divers établissements : Centre national d'études spatiales (CNES) et Agence spatiale européenne (ESA), Météo-France, ONERA, ISAE-Sup Aéro, Agence nationale des fréquences, Musée de l'Air et de l'Espace. Il est également responsable de la mise en œuvre de la loi sur les opérations spatiales.

De 2012 à 2015, il a été l'adjoint Espace du directeur du service des Architectes de systèmes de forces de la DGA, puis conseiller Espace du directeur général de la DGRIS du ministère de la Défense.

Il a effectué avant cela sa carrière au CNES (depuis 1981) et à l'ESA, occupant divers postes de responsabilité sur des projets scientifiques, sur le projet d'avion spatial Hermès, sur les affaires budgétaires et de Défense, puis comme responsable des affaires européennes et internationales du CNES.

Patrice Brudieu est ancien élève de l'École polytechnique (X74). Il est titulaire d'un doctorat d'astrophysique (1980) et est diplômé de l'Institut des hautes études de Défense nationale (52^{ème} session nationale sur la stratégie de Défense 1999-2000).

CHAMUSSY Nicolas



D.R

Nicolas Chamussy a été nommé au 1^{er} juillet 2016 directeur de Space Systems au sein de la division Airbus Defence & Space, et est président d'Airbus Defence and Space SAS (ex-Astrium).

Il occupait depuis 2012 le poste de directeur de Cabinet du PDG d'EADS, après avoir été pendant 4 ans Senior Vice President en charge des programmes de

drones chez Cassidian.

Diplômé de l'École polytechnique (1987), de l'École supérieure de techniques avancées (1992) et de l'Institut d'études politiques de Paris (1992), Nicolas Chamussy a débuté sa carrière au sein d'un laboratoire de l'US Air Force aux États-Unis, puis au sein de la DGA, au Cabinet du ministre de la Défense et à la direction du Budget du ministère de l'Économie et des Finances.

Il a ensuite rejoint le secteur industriel, où il a occupé divers postes de direction technique et de programme chez EADS dans les branches spatiales (Astrium) et de Défense (Cassidian).

Nicolas Chamussy est Chevalier de la Légion d'honneur.

CHARMEAU Alain



D.R

Alain Charmeau a été président/CEO d'ArianeGroup de 2015 à 2018.

De janvier 2015 à fin 2018, Alain Charmeau a présidé la nouvelle société ArianeGroup (créée sous le nom d'Airbus Safran Launchers), qui rassemble les actifs industriels des deux groupes Safran et Airbus dans le domaine des lanceurs civils (Ariane) et militaires.

Directeur des Opérations de Space Systems au sein d'Airbus depuis 2013, il occupait depuis 2005 le poste de directeur général de Space Transportation et était, à ce titre, membre du comité exécutif d'Astrium.

Dans le cadre de cette fonction, il était en charge de programmes clés, tels qu'Ariane 5, la contribution européenne à la station spatiale internationale (à savoir l'ATV et le laboratoire Columbus), ainsi que des activités de Défense associées.

Avant de rejoindre Astrium en 2003 en tant que directeur de la Business Line Défense en charge des programmes de missiles balistiques, Alain Charmeau a été directeur des programmes Systèmes de défense aérienne au sein de MBDA.

De 1993 à 1997, il a occupé les fonctions de directeur des Programmes, en charge de la maîtrise d'œuvre du développement des missiles ASTER.

Alain Charmeau est président du conseil d'administration d'Arianespace.

Alain Charmeau est diplômé de l'École des Arts et Métiers, et possède un Master of Science de l'Université de Caltech aux États-Unis. Il est Chevalier de l'Ordre National du Mérite depuis 2007 et Chevalier de la Légion d'Honneur depuis 2015.

DELSAUX Pierre



D.R

Pierre Delsaux is Deputy Director General at the European Commission Directorate General for the Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SME's. After studying Law at the University of Liège, he obtained his Master of Law at the Northwestern University, Chicago, in 1983. He was Legal Secretary at the European Court of Justice from 1984

to 1987. He worked in the private sector before joining the European Commission in 1991. He started his career within the European Commission in the Directorate General for Competition. He was appointed Director responsible for regulating the financial services in 2007. Following this, in 2011, he was appointed Deputy Director General with responsibilities for the Single Market in the EU. Since December 2015, he is in charge of Space Policy and Defence.

DONADINI Christèle

Christèle Donadini a rejoint le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation en juin 2018, en qualité de chargée de mission Stratégie industrielle Espace au sein du département Politique spatiale et Défense de la direction générale de la Recherche et de l'Innovation. Précédemment, elle a travaillé pendant trois ans au GIFAS en tant que chargée de mission Espace, où elle a notamment contribué à la mise en place de l'initiative Booster du COSPACE. Justifiant d'une formation d'ingénieur en mécanique, aéronautique et espace, elle a commencé sa carrière chez Airbus Defence & Space. Tout d'abord en tant que chef de projet au sein du département Navigation par satellite, puis elle a passé trois ans au Royaume-Uni, où elle a intégré la direction technique occupant un poste de responsable innovation. Outre la mise en place de différentes actions pour stimuler et accompagner l'innovation au sein de l'entreprise, elle a développé plusieurs services combinant communication, positionnement et imagerie par satellite.

GAILLARD-SBOROWSKY Florence

Chercheur à la Fondation pour la recherche stratégique, Florence Gaillard-Sborowsky est en charge des questions couvrant le domaine Espace, Haute technologie et Sécurité. Elle travaille plus particulièrement sur les politiques spatiales des pays émergents (Iran, Corée du Nord, Corée du Sud, Brésil, Inde, Émirats Arabes Unis, etc.), et sur les sujets plus transversaux que sont le New Space, les utilisations militaires de l'espace, la sécurité spatiale et la « diplomatie spatiale ». Son approche considère plus globalement les interactions entre technologies et société dans le cadre des Science and Technology Studies.

JOLIVET Éric



D.R

Éric Jolivet exerce en qualité de Maître de conférences au sein du département Stratégie de la Toulouse School of Management, Université de Toulouse I Capitole. Ses recherches portent notamment sur l'émergence de nouvelles industries : la biopharmacie, les smart cities et le New Space.

Titulaire d'un doctorat portant sur le management de l'innovation dans l'industrie japonaise, réalisé en partenariat avec l'Université de Tokyo, Éric Jolivet a travaillé comme consultant pour la société britannique de conseil en stratégie technologique, Technopolis Ltd, avant de rejoindre le Centre de sociologie de l'innovation de l'École des Mines de Paris. Depuis 2002, il coordonne des formations consacrées au management de l'innovation et poursuit ses recherches dans ce domaine à l'École de management de l'Université de Toulouse I, Capitole.

LE GALL Jean-Yves



D.R

Jean-Yves Le Gall est, depuis 2013, président du Centre national d'études spatiales (CNES). À ce titre, il est également coordinateur interministériel pour les programmes de navigation par satellite et président du conseil d'administration de l'Agence européenne chargée de Galileo (GSA). Il est aussi président du conseil de l'Agence spatiale européenne (ESA) et président de la Fédération internationale d'astronautique (IAF).

Le CNES est chargé de proposer et de mettre en œuvre la politique spatiale de la France. Il intervient dans tous les secteurs de l'activité spatiale grâce à ses quatre centres d'excellence situés à Paris, à Toulouse et en Guyane, à ses 2 400 collaborateurs et à son budget de plus de 2,4 Md€ (2019). Le CNES assure la représentation de la France au sein du Conseil de l'ESA ainsi que dans de nombreuses organisations internationales et il est partenaire de plusieurs sociétés commerciales.

Ingénieur et scientifique de formation, Jean-Yves Le Gall a consacré toute sa carrière au programme spatial européen. Il a été en poste au Centre national de la recherche scientifique (CNRS), dans plusieurs ministères français, chez Novespace, au CNES, chez Starsem et chez Arianespace, dont il a été le directeur général, puis le président directeur général pendant 12 ans.

NAJA Géraldine



D.R

Géraldine Naja est, depuis mai 2015, chef du département Politique industrielle et Audits à l'Agence spatiale européenne (ESA). Diplômée de l'École polytechnique (82), de l'ENSTA (87) et de l'IEP Paris (87), elle est entrée à l'ESA en 1987, où elle a occupé diverses fonctions techniques, programmatiques et stratégiques, au sein de la direction

de la Station spatiale de la direction de la Stratégie, puis comme responsable du bureau des Relations avec l'Union européenne auprès du directeur général, et à la direction des Lanceurs. Elle a aussi été détachée pendant un an (2002-2003) auprès de la ministre de la Recherche en tant que conseiller Stratégie et Prospective.

PASCO Xavier

Xavier Pasco est, depuis octobre 2016, directeur de la Fondation pour la recherche stratégique (x.pasco@frstrategie.org).

À la FRS, Xavier Pasco coordonne les travaux portant sur l'espace, la haute technologie et la sécurité.

Depuis les années 1980, Il a conduit dans le cadre du CREST de nombreux travaux portant sur les questions



D.R

de politique spatiale ou liées au développement de systèmes anti-missiles. Il a été chargé à la FRS du suivi des affaires spatiales américaines civiles et militaires et de la stratégie internationale des États-Unis dans les domaines de l'espace (civil et militaire) de haute technologie. Il a également été chargé d'études

sur les futurs programmes nationaux et européens dans le domaine spatial, aussi bien dans le domaine civil que dans le domaine de la Défense et de la sécurité.

Il a été impliqué pendant de nombreuses années dans des groupes de travail internationaux (États-Unis, Grande-Bretagne, Allemagne, France). Il a également participé à plusieurs groupes d'étude organisés sous l'égide de l'administration française, qu'il s'agisse du ministère de la Défense ou des services du Premier ministre (Centre d'analyse stratégique). Il a plus généralement été l'auteur de nombreux rapports d'étude sur les activités spatiales civiles et militaires réalisés pour le compte d'organismes publics nationaux et européens. À ce titre, Xavier Pasco a été membre de groupes de travail de niveaux ministériel et interministériel. Depuis plusieurs années, il conduit les travaux d'études du ministère de la Défense sur les questions spatiales de Défense au profit de la DGRIS (Observatoire du spatial de défense).

Il a aussi participé à plusieurs projets européens organisés sous l'égide de la Commission européenne depuis le début des années 2000, notamment dans le cadre de l'action préparatoire pour la recherche de sécurité, des 6^{ème} et 7^{ème} Programmes cadres de recherche et développement européens (2007-2013) pour lesquels il a coordonné des actions spécifiques sur l'espace et les questions de sécurité et de Défense. Il a notamment coordonné, en 2011 et 2012, les travaux d'études sur le futur segment sol européen pour l'observation de la Terre à des fins de Défense et de sécurité au profit de l'Agence européenne de Défense (AED). Il a également été l'auteur de travaux récents sur la politique des données applicable au futur système européen d'observation de la Terre à des fins de Défense et de sécurité, et de surveillance de l'espace pour le compte de l'Union européenne ou de l'Agence spatiale européenne (ASE).

Auparavant, il a été :

- de 1994 à 2016, Maître de recherche à la Fondation pour la recherche stratégique ;
- de 2008 à 2010, Maître de conférences à l'Institut d'études politiques de Paris (Mastère de sécurité internationale) ;
- de 1999 à 2004, professeur associé en science politique à l'Université de Marne-la-Vallée ;
- de 1989 à 1994, chargé de recherche au CREST-École polytechnique.

Il est depuis 1994 Associate Research Fellow au Space Policy Institute à l'Université George Washington (Washington D.C., États-Unis).

Il est également :

- rédacteur en chef adjoint de la revue internationale « Space Policy » (Elsevier Science) depuis 2002,
- expert au Conseil économique et social européen,
- membre élu de l'Académie internationale d'Astronautique.

Il est depuis 2016 membre de l'Advisory Committee de la Secure World Foundation (États-Unis).

Lauréat de la bourse de la Fondation franco-américaine pour le développement des relations entre la France et les États-Unis (1990), il est Docteur en science politique (sa thèse soutenue en 1994 à l'Université Paris-I Panthéon-Sorbonne, sous la direction de Mme Marie-France Toinet, portait sur la politique publique nord-américaine dans le domaine des technologies spatiales civiles et de Défense).

Sa réflexion académique a été le socle de près d'une centaine d'articles dans des revues nationales et internationales et de plusieurs ouvrages. Ce lien avec l'université trouve aussi une traduction dans sa participation active depuis plusieurs années en tant que membre de l'équipe éditoriale – responsable de rubrique de l'Annuaire français des relations internationales (AFRI) édité annuellement par le centre Thucydide de l'Université de Paris II.

Xavier Pasco est l'auteur de plusieurs ouvrages dont le plus récent a été publié en avril 2017 chez CNRS Éditions, intitulé « Le nouvel âge spatial : de la Guerre froide au New Space ». Il a également publié en 1997 un ouvrage sur la politique spatiale américaine (*La politique spatiale des États-Unis, 1958-1997 – Technologie, Intérêt national et débat public*, Paris, L'Harmattan, 300 p., 1997) et est l'auteur de plusieurs autres publications sur ces différents thèmes. Il a publié en 2011 (en collaboration avec F. Heisbourg), *Espace militaire, l'Europe entre coopération et souveraineté*, aux Éditions Choiseul, Paris). Il a également collaboré à la réédition de *L'Espace, nouveau territoire. Atlas des satellites et des politiques spatiales* (sous la direction de Fernand Verger), Paris, Éditions Belin, 2002, dont une version mise à jour a été publiée chez Cambridge University Press : "The Cambridge Encyclopedia of Space" en 2003.

PRADELS Grégory



D.R

Après 10 années consacrées à la réalisation de plusieurs projets de missions spatiales, Grégory Pradels s'est intéressé de près à l'économie spatiale et au mouvement New Space. Dans son premier poste au sein du laboratoire français de l'aérospatiale (ONERA), Grégory Pradels a travaillé pendant trois ans sur des méthodes d'étalonnage en orbite

de charge utile. Ce travail a été récompensé par un prix international, remis par l'IAF. Au titre de son second poste au CNES, Grégory Pradels a dirigé pendant 10 ans des équipes travaillant sur divers projets spatiaux scientifiques afin de développer successivement des segments sol, des systèmes d'exploitation de missions et des équipements

de satellites. Après l'obtention d'un Master consacré à la gestion de l'innovation, Grégory Pradels a relevé le défi du pôle Aerospace Valley visant à soutenir le développement d'une filière New Space en France, en créant notamment le groupe NewSpace Factory. Ce groupe rassemble les PME et ETI du secteur et a pour ambition d'accompagner l'écosystème considéré dans une démarche d'émancipation bottom-up, vers l'international notamment.

SERRES Marc



D.R

Marc Serres is CEO of the Luxembourg Space Agency and Vice Chair of the ESA council.

He graduated with a PhD in Engineering in 2000 at the Catholic University of Louvain. He started his professional career in the satellite communications antenna manufacturing industry. Prior to his current position at the Ministry of the Economy, he managed

the relationship with ESA for 8 years at the Ministry of Higher Education and Research.

The ESA Council is the main governing body of the European Space Agency, representing the Member States either at Ministerial or delegate Level. The Council defines the basic policy guidelines and determines the directions of development of the European Space Agency and the European space industry.

Luxembourg officially became a member state of ESA in 2005. At the preceding step to position the country in the space sector, Luxembourg entered into space in 1985 through the creation of the Société Européenne des Satellites (SES). The last step taken by the Luxembourg government has been to position the country as a pioneer in the development of the space resources economy under the branding SpaceResources.lu. Luxembourg collaborates with ESA on activities concerning missions to the asteroids, related technologies and space resources exploration and utilization.

Luxembourg Space Agency

The mission of the Luxembourg Space Agency is to promote the economic development of the space sector in Luxembourg by providing support to the space industry, attracting new businesses, developing human resources, offering innovative financial solutions and supporting academic learning and research.

Under the authority of the Ministry of the Economy, the agency's main aims are:

- Development of the Luxembourg space ecosystem and synergies with businesses and organisations outside the space sector;
- Expansion of key skills and expertise, job creation and increasing the contribution of the space sector to Luxembourg's economy;
- Evolution of local human resources to benefit from the dynamism of the sector and the appeal of space and its potential, especially for young people;
- Promotion of Luxembourg and its space sector on a global scale.

Among its core activities, the agency:

- Implements the national space economic development strategy and policy,
- Drives and leads the SpaceResources.lu initiative,
- Manages international relations in space industry-related matters,
- Represents Luxembourg within the European Space Agency (ESA) and space-related programmes of the European Union,
- Contributes to and supports United Nations activities relating to space matters, especially with regard to the SpaceResources.lu initiative,
- Manages national space research and development programmes.

Acts as a focal point for public and private stakeholders in all matters relating to development of the space sector.

SERRIS Jacques

Jacques Serris est depuis 2010 ingénieur général des Mines au Conseil général de l'Économie, au ministère de l'Économie et des Finances. Au sein du Conseil, il réalise principalement des missions ou des audits dans les domaines de l'innovation, de la politique industrielle et du numérique. Il a précédemment travaillé au ministère de la Recherche, en tant que directeur adjoint de la technologie, puis comme directeur général adjoint de l'Ifremer. Il a présidé pendant 4 ans (jusqu'en 2007), le comité de la politique scientifique et technologique de l'OCDE. Dans les années 1990, il a travaillé au ministère de l'Industrie, puis au ministère de l'Économie et des Finances comme chef du service de l'Innovation et de la Qualité, et délégué interministériel à la Normalisation. Il a démarré sa carrière à France Télécom, comme responsable commercial à Lille, puis dans les affaires spatiales à Paris. Jacques Serris est ancien élève de l'École Normale Supérieure (Ulm) et de Télécom ParisTech.

SOURBÈS-VERGER Isabelle

Isabelle Sourbès-Verger est géographe, directeur de recherche au CNRS. Ses thèmes de recherche portent sur les politiques spatiales nationales, les formes et dynamiques d'occupation de l'espace circumterrestre et les effets induits par le développement des activités spatiales à l'échelle internationale.

Elle est l'auteur, seule ou en coopération, d'articles, chapitres d'ouvrages et ouvrages portant aussi bien sur l'étude géographique et cartographique des modes de mise en valeur du milieu spatial que sur les enjeux géopolitiques de la recherche de leadership à la question de la sécurité spatiale. Elle anime un séminaire à l'EHESS et intervient régulièrement dans les enseignements de l'École militaire ainsi que dans des enceintes internationales.

Directrice adjointe, puis directrice jusqu'en 2015 du centre Koyré, histoire des sciences et des techniques, elle est aussi expert pour les sciences humaines et sociales auprès de la Délégation générale pour l'Armement, membre de groupes de recherche internationaux et de comités de rédaction de revues spécialisées ainsi que de comités scientifiques dont le projet histoire de l'Agence spatiale européenne.

TORTORA Jean-Jacques



D.R

Jean-Jacques Tortora occupe actuellement les fonctions de directeur de l'Institut européen de politique spatiale, à Vienne. Sa mission est de proposer aux décideurs européens des analyses approfondies concernant les perspectives du secteur spatial à moyen et long terme et des recommandations indépendantes en matière de politique spatiale.

Précédemment, il a occupé de 2007 à juin 2016 le poste de Secrétaire général d'Eurospace, qui est le groupement professionnel des industries spatiales européennes manufacturières. À ce titre, il a été l'interlocuteur privilégié de l'Agence spatiale européenne et de la Commission européenne en matière de politique industrielle et technologique.

Au plan international, il a assuré de 2004 à 2007 les fonctions d'attaché spatial et de représentant du CNES en Amérique du Nord au sein de l'ambassade de France aux États-Unis.

Auparavant, il avait occupé de multiples fonctions au sein du CNES ou d'Arianespace.

VIDAL Frédérique



D.R

Avant d'être nommée ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, Frédérique Vidal était présidente de l'Université de Nice Sophia-Antipolis (UNS), depuis 2012.

Titulaire d'une maîtrise de biochimie à l'Université Nice Sophia-Antipolis, d'un DEA à l'Institut Pasteur, et d'un doctorat

à l'Université de Nice Sophia-Antipolis, elle y est recrutée en tant que Maître de conférences en 1995.

Frédérique Vidal était, depuis 2004, professeure des universités en biochimie, biologie moléculaire et cellulaire, à l'UNS.

Elle y a par ailleurs occupé la fonction de directrice adjointe du département des sciences de la vie, de 2007 à 2009, et a été nommée assesseur à la recherche auprès du doyen de la faculté, puis directrice du département dès 2009.

Elle était auparavant responsable des stages, puis directrice adjointe du magistère de pharmacologie.

Membre extérieur du conseil scientifique régional de l'Inserm de 1999 à 2003, Frédérique Vidal est membre du jury du master de virologie de l'UPMC-Paris Diderot-Institut Pasteur depuis 2004. Elle a été coresponsable du projet européen Tempus sur la mise en place du LMD dans les Balkans, de 2006 à 2009.

Frédérique Vidal est par ailleurs chevalier de la Légion d'honneur depuis 2013.

WOHRER Paul

D.R

Paul Wohrer est chargé de recherche Espace à la Fondation pour la recherche stratégique. Diplômé de Sciences Po Bordeaux et de l'International Space University de Strasbourg, il a également étudié au Space Policy Institute de l'Université Georges Washington.

Il s'est spécialisé dans l'étude des hautes technologies, des dynamiques économiques et des enjeux stratégiques du secteur spatial. Il a notamment écrit sur les ruptures technologiques en cours dans le domaine des lanceurs spatiaux, les changements organiques du spatial militaire américain et sur le mouvement du New Space.