

Prospective Stratégique

Revue Internationale Trimestrielle – 1^{er} trimestre 2016 – N° 45 – 17,50 €

*Strategic
Prospective*





N.45 - 1^{er} trimestre 2016 • L'Espace sans limite... à portée de main

3 Éditorial

Loïc TRIBOT LA SPIÈRE, directeur de la publication

Jean-Yves LE GALL, président du CNES

6 Idée en marche marché aux idées

Nicolas ARPAGIAN, rédacteur en chef

8 Boussole

Les enjeux industriels de la politique spatiale européenne

Jean-Jacques TORTORA, secrétaire général d'Eurospace

La nouvelle Guerre des Étoiles. Réveiller la force ou disparaître

Guillaume de RANIÉRI, Ymed RAHMANIA & Diana GARIBIAN - McKinsey & Company

18 Pages blanches

L'espace ubérisé ?

Philippe COTHIER, président d'honneur du CEPS

Des Aliens et des barbares... Une révolution dans l'observation de la Terre

Tbierry ROUSSELIN, consultant en observation de la Terre

30 Prisme

Point de vue

La fin d'un paradigme. Les États ont-ils toujours un rôle à jouer dans l'espace ?

Pacôme RÉVILLON, président du directoire d'Euroconsult

Pas de lanceur compétitif sans un vrai partenariat public-privé et un engagement des États dans la durée

Stéphane ISRAËL, président-directeur général d'Arianespace

La numérisation de l'espace et son impact sur le financement de la filière et les stratégies de partenariat

Antoine GÉLAIN, directeur général de Paragon European Partners

Expertise

L'espace, source d'intenses et rapides transformations

Lionel SUCHET, directeur adjoint du centre spatial de Toulouse - CNES

HTS Disrupts Satellite Data Networking

Prashant BUTANI, Senior Analyst - India, & Blaine CURCIO, Senior Analyst Japan, Northern Sky Research (NSR)

Perspective

Is New Space lifting off?

Pr Walter PEETERS, président de l'International Space University

L'espace au service de la vie, de la connaissance et de la culture

Jean AUDOUZE, astrophysicien, directeur de recherche émérite au CNRS

& Carlos MORENO, professeur des universités, spécialiste des systèmes complexes

70 Impressions d'ailleurs

The Importance and the Future of the Scientific Exploration and Utilization of Space

Pr Lennard A. FISK, président du Comité mondial de la recherche spatiale - COSPAR

Petite playlist des meilleures BO de l'espace

Marc DARMON, président de l'ensemble orchestral et choral Le Palais royal

82 Horizon

Vitae Project, L'Espace, c'est nous !

Une odyssée artistique conçue par Anilore BANON

Conseillers éditoriaux

Les conseillers éditoriaux consultés par la direction de la revue afin de nourrir la réflexion de la rédaction sont issus du monde international de l'entreprise, des services, de la finance, des institutions, de l'université et des médias. La diversité des horizons recherchée dans la composition du Conseil éditorial reflète le rayonnement international et l'approche transversale des enjeux abordés dans le cadre de cette revue et du CEPS.

Georges AOUN, vice-recteur de l'université Saint-Joseph, Beyrouth - LIBAN

Jean AUDOUZE, directeur de recherche émérite au CNRS - FRANCE

Philippe BOURGUIGNON, vice-président directeur général, Révolution - ÉTATS-UNIS

Bernard BOURIGEAUD, président du CEPS, ancien président fondateur de Atos Origin - FRANCE

Hugues CAZENAVE, président, OpinionWay - FRANCE

Louise COFFI, présidente de l'Engagement d'Art et de la Culture, CEPS - FRANCE

Michel DERDEVET, secrétaire général et membre du directoire, ERDF - FRANCE

Willem VAN EEKELLEN, sénateur honoraire, Première chambre des États généraux - PAYS-BAS

Yvon-Christian ELENGA, recteur de l'Institut de Théologie, ITCJ - CÔTE D'IVOIRE

Mohammed ENNACEUR, avocat et ancien ministre TUNISIE

Enzo FAZZINO, chef de bureau de l'UNESCO - GABON

Gabrielle GAUTHEY, directrice des investissements et du développement local, Caisse des Dépôts - FRANCE

Karim HAJJI, président de Casablanca Stock Exchange, Bourse de Casablanca - MAROC

Dick JARRÉ, conseiller auprès de la présidente du Comité économique social européen, CESE - FRANCE

Françoise LE GUENNOU-REMARCK, directrice des relations institutionnelles et de la communication, Groupe CFAO - FRANCE

The Right Honourable Denis MACSHANE, ancien ministre - ROYAUME-UNI

Carlos MORENO, chairman & president of the scientific committee, InTI & The International Forum of the Human Smart City - FRANCE

Alexander ORLOV, ambassadeur de la Fédération de Russie en France - RUSSIE

Fathallah OUALALOU, maire de Rabat, ancien ministre de l'économie et des finances - MAROC

Andrew PIERRE, Distinguished Senior Fellow, US Institute of Peace - USA

Nasser RAMDANE, ancien maire adjoint de Noisy-le-Sec FRANCE

Vinod SAIGHAL, général d'armée - INDE

Frédéric SPAGNOU, président de ARD - FRANCE

Edouard TETREAU, managing partner, MEDIAFIN FRANCE

Direction et secrétariat de la rédaction

Directeur de la publication : Loïc TRIBOT LA SPIÈRE

Rédacteur en chef : Nicolas ARPAGIAN

Rédactrice en chef adjointe : Martine LE BEC

Secrétaire de rédaction : Socheata CHEA

Traductrice : Sara BIELECKI

Conseillers de la rédaction

Henri BURGELIN

Jean-Pierre DUBOIS MONTFORT

Jacques TOURNIER

Couvertures et tramés

Sculptures de Anilore BANON

Image 3D de Gaël PERRIN

ISSN: 1299-1759

Dépôt légal: 1018

Commission paritaire: 0101G79219

Les opinions exprimées dans les articles n'engagent que leurs auteurs. Nous tenons à remercier les auteurs pour nous avoir autorisés à publier leurs articles.

Loïc TRIBOT LA SPIÈRE

Directeur de la publication

Jean-Yves LE GALL

Président du Centre national d'études spatiales - CNES

L'Espace sans limite... à portée de main

Au milieu des années 2000, l'Europe était fermement installée au deuxième rang des puissances spatiales, derrière les États-Unis qui traversaient à l'époque, une crise sérieuse après la destruction de la navette Columbia en 2003. Le lanceur Ariane 5 « remis sur la bonne trajectoire » après l'échec de 2002, devait connaître une série ininterrompue de succès. En ce sens, on peut également évoquer les différentes missions scientifiques ambitieuses mises en œuvre, en dépit de budgets notoirement inférieurs à ceux alloués aux États-Unis. Notamment, dans le cadre du développement et de l'exploitation de la Station spatiale internationale, des innovations ont été menées tant dans le domaine de l'observation de la Terre, que de la surveillance de l'environnement, ou de la navigation. Les industriels européens étaient sur un réel pied d'égalité avec leurs concurrents américains sur les marchés commerciaux ouverts des télécommunications spatiales et de l'observation de la Terre.

Dix ans plus tard, constatons que la situation de l'Europe reste, pour l'instant, globalement favorable, mais que le contexte a radicalement changé. En la circonstance, il conviendra de prendre en compte et de relever deux défis majeurs qui pourraient à terme menacer la place éminente de l'Europe dans l'espace avec d'une part, la montée en puissance d'un certain nombre d'États émergents et d'autre part, la transformation profonde de l'univers spatial aux États-Unis, avec l'arrivée remarquée de nouveaux venus, issus de la Silicon Valley, totalement inconnus du secteur il y a encore dix ans, qui ont l'ambition de faire des satellites des outils essentiels de l'ère numérique. Constatons, en effet, qu'en quelques années, ces nouveaux acteurs se sont positionnés sur le marché du spatial « *low cost* » et ont contribué à bouleverser cet écosystème en état d'apesanteur. L'espace n'est plus la « chasse gardée » de ses grands acteurs historiques !

Éditorial

La montée en puissance de nouveaux acteurs internationaux sur la scène spatiale est un phénomène global, qui traduit bien le fait que l'apport du spatial aux politiques publiques est de plus en plus manifeste. Ce phénomène devrait s'amplifier avec les engagements climatiques pris. Les satellites seront demain les indispensables instruments de mesure et de contrôle des émissions de gaz à effet de serre et donc du respect des engagements internationaux ratifiés.

Parmi les puissances spatiales émergentes, la Chine et l'Inde se distinguent par l'importance et la diversité de leurs efforts. La Chine a engagé un programme spatial habité dont l'objectif est d'aboutir à la construction d'une station occupée en permanence et, à terme, à l'envoi de taïkonautes sur la Lune. Une nouvelle génération de lanceurs est en cours d'introduction et les satellites d'applications chinois sont de plus en plus sophistiqués. Si les contraintes d'ordre géopolitique à son entrée sur les marchés commerciaux internationaux étaient assouplies, la Chine pourrait devenir un concurrent redoutable pour l'industrie occidentale. De son côté, l'Inde a entrepris le développement d'activités dans le domaine des sciences et de l'exploration spatiales, tout en conservant une approche à bas coût. Cela va de pair avec la grande qualité de ses plateformes et de ses lanceurs qui ont progressé en fiabilité et en performances. Par ailleurs, grâce au dynamisme de son industrie numérique, l'Inde est bien placée pour jouer dans un avenir proche un rôle croissant dans la nouvelle économie de l'espace.

Aux États-Unis, c'est bien à une véritable révolution que nous sommes en train d'assister, ce qui constitue le second défi que va devoir relever l'Europe spatiale. Le *NewSpace* ne remplace pas l'industrie traditionnelle mais il la complète avec des sociétés entrepreneuriales, innovantes et la mise en œuvre des méthodes de la Silicon Valley. C'est un véritable défi d'entrepreneurs voulant transformer les activités spatiales, en faisant du cosmos la « nouvelle frontière » du rêve américain. Le défi technique et opérationnel est immense mais, quoi qu'il en soit, ces nouveaux venus ont d'ores et déjà contraint les acteurs historiques américains et européens à développer de nouveaux lanceurs et de nouveaux satellites, plus modernes et surtout plus compétitifs. Mais si le *NewSpace* est d'abord entrepreneurial, le gouvernement américain joue aussi un rôle essentiel dans son développement. La NASA et la DARPA ont su faire confiance à des entrepreneurs pour changer les règles du jeu. Le secteur s'est engagé dans un projet de co-construction et de co-investissement.

Éditorial

L'État fédéral bénéficie ainsi de services efficaces et moins chers et les sociétés du *NewSpace* créent des emplois et de la valeur.

C'est dans ce contexte que nous pouvons nous demander si la France et l'Europe sont capables de relever ce double défi. Elles disposent de nombreux atouts et l'arrivée de nouveaux acteurs doit être vue comme une opportunité. Accroître la coopération avec eux est fondamental et l'espace est un domaine qui a prouvé qu'il pouvait favoriser des rapprochements. De ce point de vue, la France est d'ores et déjà exemplaire puisque les programmes du CNES sont tous réalisés en coopération internationale, au sein de l'ESA mais aussi avec les grandes puissances spatiales. Ces dernières années, des coopérations ont été nouées avec de nombreux pays émergents pour qu'ils aient le « réflexe France » lorsqu'ils noueront des partenariats industriels pour le développement de projets spatiaux ambitieux.

Le défi du *NewSpace* impose des réponses très innovantes. Mais la priorité du CNES et de son plan stratégique « Innovation & Inspiration » est, et sera plus qu'hier, de conforter les positions de l'industrie spatiale française, notamment dans le domaine de la propulsion électrique des satellites, de l'observation de la Terre, de l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre. L'innovation se décline ainsi jusqu'aux applications sociétales et économiques des missions spatiales : l'enjeu est de transformer la donnée spatiale en information immédiatement utile au client final. L'avenir ne saurait s'écrire sur le fondement d'effets de mode. Il serait néanmoins inconséquent de ne pas prendre au sérieux les nouveaux défis qu'impose le *NewSpace* avec l'arrivée de nouveaux acteurs, de nouveaux métiers et le développement de nouveaux modèles économiques. Les technologies, les entrepreneurs, les financements publics et privés sont au rendez-vous. « Objectif Lune », « On a marché sur la Lune » restent de bons symboles spatiaux mais ils sont aujourd'hui dépassés. L'espace est dorénavant à portée de main !



Le comité éditorial de Prospective Stratégique tient à remercier pour leurs collaboration et précieux conseils dans l'élaboration et la confection de ce numéro, Messieurs Stéphane JANICHEWSKI, Pierre LASBORDES, Vincent ROUAIX et Alain WAGNER.

IDÉE EN MARCHÉ

Le monde extra-terrestre exige des Terriens extra !

La littérature et le cinéma de science-fiction sont pour la plupart d'entre nous la porte d'entrée la plus fréquentée pour accéder aux sujets relatifs à l'espace. L'Univers et ceux qui le peupleraient constituent une mine d'inspiration pour les auteurs : ils ouvrent à l'infini le champ des possibles en ce qui concerne les ennemis potentiels, les territoires à découvrir et les technologies omnipotentes. Ce monde extra-terrestre est donc finalement très présent dans notre quotidien mais dans une approche fictionnelle, qui le tient encore largement à distance de nos réalités quotidiennes, le cantonnant essentiellement à la sphère des loisirs. Pourtant, la thématique de l'espace apparaît de plus en plus fréquemment comme une réponse possible face aux défis bien terrestres auxquels les générations précédentes ont consciencieusement refusé de répondre depuis des décennies. Ainsi le caractère fini des ressources naturelles, la gestion des détritiques, la recherche d'une solution énergétique ou les conséquences d'une possible surpopulation sont autant de sujets vitaux pour la communauté humaine. Incapables d'y apporter une réponse concrète, réaliste et opérationnelle, la plupart des gouvernements s'échinent à persuader leurs opinions publiques qu'il s'agit là d'échéances négociables. Faute d'assumer la prise de décisions politiques pour adapter nos organisations à ces contraintes avérées, voici que l'option spatiale semble se parer de toutes les qualités. Nous pourrions ainsi y exporter les déchets que nous persistons à produire ou quêter dans ces reliefs les matériaux et substances qui

répondraient à nos prochains défis technologiques. Il ne s'agit pas tant de réviser notre mode de vie moderne au regard de ses dégâts environnementaux que de trouver des moyens de nous permettre de le prolonger quelque temps encore. Une solution guère satisfaisante, à l'instar du recensement des sables bitumineux. Quand ces nouvelles réserves de pétrole ont permis aux consommateurs américains et canadiens de ne pas remettre en question leur hyperconsommation de carburant puisque les stocks se trouvaient reconstitués pour de nombreuses années, fût-ce au prix d'une exploitation écologiquement dévastatrice.

Au-delà du mythe de la conquête des étoiles, les sommes dédiées à la course vers l'espace se justifient en termes de dépense publique par le fait que les découvertes réalisées doivent finir par bénéficier, à terme, au plus grand nombre. Les tenants de la Formule 1 ont longtemps tenu le même argumentaire pour expliquer les sommes englouties et le bilan environnemental peu flatteur de ces compétitions automobiles. Or, l'avenir de la voiture semble s'orienter vers le véhicule autonome, se souciant moins de sécurité et de performance car son pilotage sera opéré par un ordinateur qui régulera la circulation en fonction du contexte. Le véhicule tend à devenir secondaire au profit du service de mobilité. Peu importe le flacon... Avec l'auto-partage ou la location à l'usage, la marque et le standing de l'automobile deviennent accessoires : seuls comptent le prix, la disponibilité et la durée du voyage. Il convient de s'interroger

marché aux idées



sur les objectifs poursuivis par l'investissement dans le domaine spatial. Cette exigence de sens va au-delà d'une simple justification budgétaire, dans une période où les finances publiques sont exsangues. Il s'agit d'identifier et de faire connaître ce qui fait notre avenir commun dans ce territoire encore épargné par l'Homme, qui n'a quand même pas manqué de commencer à le polluer en y laissant divaguer certains de ses satellites au rebut...

Le potentiel de la recherche spatiale impose aux Terriens de ce début de XXI^e siècle d'adopter une démarche responsable de gestion de ces actifs encore largement insoupçonnés. Soit une ambition constructive pour un modèle de société qui englobe dès à présent l'ensemble de la communauté humaine. Il va falloir concevoir pour l'espace le même cheminement qui a conduit à l'organisation institutionnelle actuelle de la planète. En y intégrant toutes les dimensions de la géopolitique : le droit de propriété, la gestion des ressources, la garantie d'accès à ces territoires, la sécurisation et la protection de ces zones, la notion de souveraineté pouvant s'exercer sur place ainsi que les modalités de traitement d'éventuels contentieux qui pourraient y survenir. L'Organisation des Nations unies est-elle nécessairement la plus légitime pour coordonner le pilotage de ce domaine spatial ? Doit-on y appliquer le principe onusien du « un État = une voix » sans prendre en compte la capacité technique et financière de chaque État d'accéder à cette portion d'espace qui lui serait attribuée ?

Les pays qui maîtrisent l'expertise en matière de lanceurs, soit une dizaine au total, accepteront-ils de partager cette connaissance au nom d'un droit souverain de chaque nation à disposer de son lopin spatial ? C'est difficilement envisageable. Quels sont alors les risques à transposer dans l'espace les affrontements entre les grandes puissances ? Quelles armes sont employables avec quelles conséquences ? On comprend aisément qu'en abordant la question de l'espace on débute une série de questions sans réponses certaines ni définitives, qui touchent à la philosophie, à la stratégie militaire, à la concurrence économique et à la confrontation politique. Tandis que l'Humanité s'est bâtie avec de nombreux errements mais dans la durée, la pression technologique abrège les agendas et redistribue rapidement les cartes. Il nous faut hâtivement nous doter d'une doctrine et d'une stratégie de déploiement. Or les esprits ont rarement été aussi peu disponibles (priorité de la lutte contre le terrorisme, course à la production, intensification des catastrophes climatiques...) pour mener à bien une telle réflexion. L'espace exige des cerveaux bien faits, visionnaires et humanistes pour synthétiser dans un temps contraint les enjeux et mesures qui vont nous affecter durant un temps très long.

■
Nicolas ARPAGIAN - Rédacteur en chef

LES ENJEUX INDUSTRIELS DE LA POLITIQUE SPATIALE EUROPÉENNE

Jean-Jacques TORTORA
Secrétaire général d'Eurospace

La politique spatiale européenne doit être révisée afin de donner à l'industrie européenne les moyens de développer ses capacités au mieux des intérêts institutionnels. Cette transformation fondamentale ne sera acquise qu'après une redéfinition des rôles entre l'Agence spatiale et la Commission.

L'espace, secteur d'excellence européenne

L'espace est l'un des quelques domaines d'excellence de l'Europe aux plans technologique et industriel. Le niveau de performance de l'industrie spatiale européenne se situe en effet au premier plan mondial en dépit de ses capacités modestes en comparaison de ses grands rivaux internationaux. En matière de programmes institutionnels, et en particulier scientifiques, ses réalisations sont unanimement saluées. Cela est également patent au niveau de ses résultats sur les marchés commerciaux dès lors qu'un domaine de compétition ouvert lui est accessible, aussi bien dans le domaine des satellites que dans celui des services de lancement.

Il est incontestable que ces résultats n'auraient pu être atteints sans une claire vision politique. Ils sont le fruit des investissements cohérents et sou-

tenus des États membres européens depuis les années 1970.

Toutefois, en dépit des efforts constants réalisés en vue d'améliorer sans répit sa compétitivité sur les marchés commerciaux, l'industrie spatiale européenne demeure largement dépendante de la commande publique. Les programmes institutionnels restent le moteur de l'innovation technologique dans tous les domaines, et aucun projet commercial ne saurait, en l'état actuel des choses, assurer le financement requis pour accompagner l'évolution de la demande, ni soutenir les risques associés à la qualification en orbite de technologies novatrices.

Le fait que l'industrie spatiale européenne, comme ses homologues internationaux, doive être adossée à un marché institutionnel stable est incontestable. La sensibilité accrue des États membres européens aux réalités industrielles et l'implication

Avant de rejoindre Eurospace en 2007, Jean-Jacques Tortora a eu une longue carrière au CNES où il a exercé de multiples fonctions : à Kourou dans le domaine de la qualité des opérations, à Évry dans le domaine de la production des lanceurs, à Paris au sein de la délégation française à l'ESA, à Toulouse en tant que responsable de la politique industrielle et enfin, à Washington, en tant qu'attaché spatial.

B o u s s o l e

L'Europe doit s'assurer que ce qui a fait la force de son modèle, à savoir la recherche systématique de synergies entre les activités institutionnelles et commerciales, ne devienne pas sa faiblesse.

croissante de l'Union européenne dans les activités spatiales sont autant de facteurs appelant à relancer les réflexions sur les enjeux d'une politique industrielle dans ce secteur.

En effet, à la lumière des évolutions majeures récentes, à l'œuvre à travers le monde, il convient de s'interroger sur la pertinence des règles mises en place par l'Europe spatiale afin d'assurer son autonomie industrielle et technologique. Celles-ci procèdent en particulier :

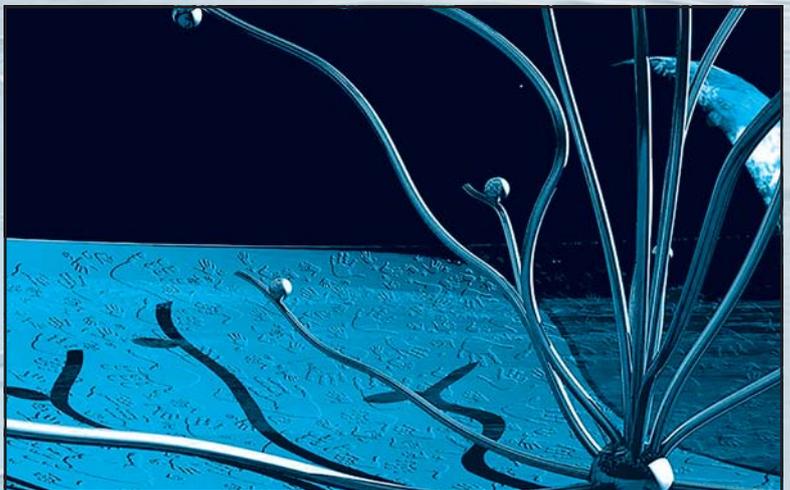
- de l'identification des besoins de l'industrie en matière de recherche et de développement technologique visant à renforcer sa compétitivité, son efficacité et la fiabilité de sa production ;
- de la sécurisation des approvisionnements conditionnant son accès à l'état de l'art dans tous les domaines technologiques, à des conditions économiques acceptables ;
- de la nécessité d'une répartition harmonieuse des capacités industrielles entre les divers États membres.

En d'autres termes, il convient de s'assurer que ce qui a fait la force du modèle européen, à savoir la recherche systématique de synergies entre les activités institutionnelles et commerciales, ne devienne pas sa faiblesse.

Une chaîne allant du secteur manufacturier aux opérateurs et aux fournisseurs de services

Les enjeux actuels dépassent en effet largement le strict secteur manufacturier. Il est évident que les opérateurs, qui achètent et exploitent commercialement les capacités des satellites, sont devenus des acteurs prépondérants en matière de définition des standards dans leurs secteurs respectifs.

En bout de chaîne se tiennent les fournisseurs de services, qui s'attachent à créer de la valeur ajoutée aux données satellitaires brutes. Nombre de politiques



■
Un enjeu majeur est aujourd'hui de considérer les moyens les plus efficaces en matière de dépense institutionnelle afin d'assurer la stabilité entre les secteurs amont (manufacturier) et aval (services).

publiques concentrent actuellement leurs efforts à dynamiser ce segment du marché, qui établit le lien entre les infrastructures spatiales telles que Galileo ou Copernicus et les utilisateurs finaux. Le développement de ce secteur est d'ailleurs à n'en pas douter une des conditions nécessaires à l'établissement d'une demande stable et à la justification de l'investissement public.

Le paradigme des infrastructures spatiales

Les secteurs amont (manufacturier) et aval (services) sont étroitement interdépendants et si le premier trouve sa justification dans le second, ce dernier ne saurait être pérenne sans des infrastructures durables et fiables. Un enjeu majeur est donc aujourd'hui de considérer les moyens les plus efficaces en matière de dépense institutionnelle afin d'assurer une telle stabilité.

Deux options extrêmes sont envisageables pour les puissances publiques :

- **Déployer des infrastructures propriétaires.** C'est l'approche historique qui conduit les agences à approvisionner et à superviser l'exploitation des systèmes. Elle va de pair avec le maintien en leur sein d'une forte compétence technique et industrielle.
- **S'appuyer sur le secteur privé pour les phases de développement, de déploiement et d'exploitation.** Les infrastructures sont dans ce cas financées par des sources privées en contrepartie

d'engagements institutionnels à long terme visant à approvisionner des services ou des données pour la satisfaction de besoins publics.

Au terme d'un processus long et difficile, l'Union européenne a conclu que c'est la première option qui s'appliquerait à Galileo et Copernicus. D'autres choix ont été faits, en particulier par l'administration américaine, pour stimuler et réguler son industrie d'imagerie satellitaire. C'est également ce second modèle qui est à l'œuvre dans des initiatives plus récentes, notamment en matière de transport spatial, pour assurer la desserte de la Station spatiale internationale avec le succès que l'on constate.

Ce modèle va de pair avec une redéfinition en profondeur des relations client/fournisseur ou États/industrie dans lesquelles le rôle clé des institutions est alors de définir leurs besoins à long terme en matière de services, et de s'engager dans la durée. En contrepartie, davantage d'initiative est laissée à l'industrie afin d'optimiser la conception, la production et l'exploitation des systèmes, tout en acceptant un transfert de risques plus important dans ces phases.

Un tel modèle est-il souhaitable pour l'Europe ?

Ce modèle présente des avantages pour les deux parties : du côté institutionnel, il permet d'envisager une planification budgétaire pluriannuelle stable et prévisible puisque l'essentiel des aléas

technologiques est supporté par le fournisseur. Il permet en outre de garantir la disponibilité à long terme de services publics délivrés en conditions forfaitaires une fois le déploiement acquis. Il implique toutefois que la puissance publique se résolve à évoluer d'un rôle de client omnipotent à celui de consommateur éclairé. Du côté industriel, il offre une autonomie accrue dans la gestion des développements et s'inscrit dans la durée. L'équilibre entre les risques additionnels supportés à court terme et leur compensation sur le long terme demeure toutefois délicat.

Un tel modèle est-il envisageable pour l'Europe ?

Un prérequis à ce modèle est de pouvoir structurer et renforcer la demande publique européenne pour des services exploitant les capacités spatiales. À ce jour, ce marché demeure fragmenté et ne saurait se comparer à ce que les autorités américaines en particulier ont mis en place dans tous les domaines applicatifs.

Une autre difficulté tient au processus d'élaboration des spécifications techniques. Ce dont l'industrie a besoin est un client compétent, sachant ce qu'il veut et déterminé à l'obtenir. En l'état actuel des choses, le document définissant la politique spatiale européenne tel qu'approuvée par le Conseil de l'Union en 2007 instaure une dichotomie entre l'Agence spatiale européenne, agence de développement en charge du segment « amont », d'une part, et la Commission européenne en charge des services et de « l'aval », d'autre part. Un tel schéma interdit toute continuité le long de la chaîne de valeur ajoutée, alors même qu'aucun des deux acteurs n'a la capacité de capter les besoins des utilisateurs dont il serait proche pour les traduire en spécifications techniques pertinentes, ces dernières étant indispensables pour assurer le succès de la phase de développement.

Instaurer cette continuité devrait être l'objectif majeur d'une refonte de la politique spatiale européenne, qu'il faut engager sans tarder. ■



LA NOUVELLE GUERRE DES ÉTOILES Réveiller la force ou disparaître

*Guillaume de RANIÉRI, Ymed RAHMANIA
& Diana GARIBIAN
McKinsey & Company*

La nette augmentation de la part commerciale dans les investissements spatiaux et l'émergence d'une concurrence nouvelle apparaissent comme les signes avant-coureurs d'une arrivée à maturité prochaine du « marché de l'espace ». Comment les industriels historiques du secteur peuvent-ils repenser dès aujourd'hui leurs grandes orientations stratégiques, afin d'anticiper le basculement vers ce nouveau paradigme ?

25 % : c'est le bond spectaculaire qu'a enregistré la part de la dépense privée dans le secteur de l'espace au cours des dix dernières années. Faut-il y voir le signe avant-coureur de l'arrivée à maturité économique du secteur ? On peut en effet légitimement se demander si le marché spatial à l'échelle de la planète ne serait pas à l'orée d'un changement de paradigme comparable à celui qu'a connu l'aéronautique dans les années 1960 ou l'industrie de la défense depuis la décennie 1990. Sur les quatre segments de marché qui composent le secteur - accès à l'espace, développement de satellites, exploitation des satellites et des services associés, missions scientifiques - devrait s'opérer une profonde recomposition du paysage, avec des évolutions qui affecteront à la fois l'offre et la demande, et toucheront aussi bien les donneurs d'ordre, que les systèmes de production ou encore les débouchés commerciaux. Or, la « normalisation » économique qui se profile pour le secteur intervient précisément à l'heure

où des facteurs de disruption majeurs, qui tiennent aussi bien à l'avènement de ruptures technologiques qu'à l'apparition de nouveaux entrants particulièrement offensifs, viennent compliquer la donne concurrentielle pour les industriels historiques.

D'une logique de souveraineté nationale à une logique commerciale

Depuis leurs origines, la conquête et l'exploration spatiale ont été des prérogatives gouvernementales où les pouvoirs publics ont joué les rôles de bailleur de fonds, de bureau d'études, d'industriel et d'assureur afin d'acquiescer et de maintenir un accès souverain à l'espace. C'est encore selon cette logique que les États ont continué d'alimenter l'industrie spatiale au moyen de programmes essentiellement militaires développés au travers d'agences et en partenariat avec des industriels nationaux. Aujourd'hui encore, un

Guillaume de Raniéri est directeur associé de McKinsey au bureau de Paris. Au sein du pôle d'activité Industrie, il dirige le secteur Aérospatiale et Défense. Il est aussi spécialiste des problématiques de R&D et de gestion de grands projets industriels.

Ymed Rahmania est directeur de projets et Diana Daribian est chef de projet au bureau de Paris de McKinsey.

La « normalisation » économique qui se profile pour le secteur intervient précisément à l'heure où des facteurs de disruption viennent compliquer la donne concurrentielle pour les industriels historiques.

quart de l'activité du secteur dépend de la commande publique et l'enjeu de souveraineté est sans doute plus marqué encore aux États-Unis, qui représentent à eux seuls près de 54 % du total des dépenses des gouvernements et autres institutions publiques consacrées à l'espace.

Pourtant, depuis quelques années les budgets gouvernementaux tendent à se contracter ou, au mieux, à stagner. Tandis que les États-Unis ont affiché un recul moyen de 7 % par an entre 2011 et 2013, les budgets des autres pays ne progressaient, en moyenne, que de 1 % dans la même période. Parallèlement, les dépenses du secteur privé ont affiché une croissance de 6 % par an, si bien que le secteur a vu son chiffre d'affaires global progresser de 20 % entre 2010 et 2014, passant de 275 à 330 milliards de dollars.

La réduction des dépenses des gouvernements et sa compensation par la montée en puissance du secteur privé témoignent d'une certaine maturité commerciale du secteur de l'espace mais également d'un transfert des investissements, partant, des risques, de la sphère publique aux industriels. Le phénomène est d'autant plus marqué dans les deux segments où les investissements privés ont suppléé la commande publique : l'accès à l'espace (au travers des opérations de lancement) et les satellites militaires.

Ainsi, dans le secteur des lanceurs, l'arrivée de l'acteur privé américain SpaceX annonce un bouleversement d'ampleur. L'entreprise d'Elon Musk espère proposer des prix de lancement jusqu'à 50 % inférieurs à ceux d'acteurs tels qu'Arianespace, auxquels il parviendrait par une série d'innovations comme la réutilisation du lanceur, le réemploi de composants et de systèmes existants (exonéré des coûts de R&D) ou encore l'optimisation des opérations (au travers notamment de personnels au sol moins nombreux par lancement). De plus, SpaceX a bénéficié du soutien de la NASA au travers de contrats d'approvisionnement de la station internationale visant à externaliser le fret spatial (programme COTS : Commercial Orbital Transportation Services) et les vols habités (CCDev : Commercial Crew Development), qui seront assurés à la fois par SpaceX et Boeing.

Face à cette offensive low cost, l'industrie européenne a engagé des évolutions majeures, en particulier dans le cadre du développement et de l'exploitation des futurs lanceurs Ariane 6. Ceux-ci se réaliseront selon un modèle fondamentalement différent des cinq précédents lanceurs dont des agences publiques (CNES puis ESA) étaient maîtresses d'œuvre. Dans un souci de compétitivité, Airbus Defence and Space et Safran, contributeurs industriels majeurs au lanceur Ariane, ont décidé de joindre leurs forces pour



■
La performance future des entreprises spatiales dépendra de leur capacité à comprendre finement les nouveaux usages qui émergent au sein des divers segments de clients, mais surtout à les anticiper, voire à les développer.

diriger le futur programme Ariane 6 à travers leur coentreprise Airbus Safran Launchers.

Dans le segment des satellites militaires, d'autres modes de substitution à un investissement exclusivement public et de partage des risques ont été envisagés notamment à travers la mise en place de partenariats public-privé pour les programmes militaires Skynet 5 en Grande-Bretagne et Syracuse en France.

L'émergence d'une concurrence privée dynamique et innovante

Alors même que s'opèrent ces mutations qui témoignent de l'émergence d'une véritable logique commerciale dans le secteur de l'espace, l'arrivée de nouveaux acteurs particulièrement dynamiques vient bouleverser les équilibres de marché, si bien que l'évolution en cours pourrait rapidement prendre les contours d'une révolution pour les acteurs historiques. Principalement issue de la nouvelle économie, la concurrence qui se fait jour s'accompagne d'une série d'innovations de rupture susceptibles d'affecter l'intégralité de la chaîne de valeur de l'industrie.

Pour les constructeurs et producteurs de satellites, les innovations majeures portent sur des concepts d'architecture différents et permettent de réduire la taille et la masse des satellites, qui pourrait atteindre moins de 10 kg s'agissant des nano-satellites. Les évolutions liées

aux systèmes de propulsion électrique permettent également d'envisager des satellites plus efficaces, plus propres et ayant une durée de vie plus importante. Enfin, les progrès technologiques ont également fait évoluer la capacité de bande passante. Cette dernière a été multipliée par 100 par rapport aux premiers satellites (1 Gbit/s pour les premiers satellites, contre plus de 100 aujourd'hui) répondant ainsi à la banalisation des usages de données et freinant la course à la masse croissante des satellites.

Pour les opérateurs de lancement, la diminution de la taille et de la masse des satellites permet d'envisager une mutualisation des lanceurs entre plusieurs opérateurs de satellites. Les progrès technologiques permettent également de réutiliser plusieurs fois le même lanceur comme en témoigne l'initiative réussie de Blue Origin (l'entreprise dirigée par le fondateur d'Amazon, Jeff Bezos) qui a, pour la première fois, pu faire atterrir sans dommage sa fusée New Shepard au mois de novembre 2015 après un vol sous-orbital.

Les innovations technologiques déployées par les lanceurs et les producteurs de satellites ont pour principale conséquence d'agir sur le coût des programmes spatiaux rendant le développement, la construction et le lancement des satellites plus abordables. Ainsi, le coût de production d'un nano-satellite est proche d'un million de dollars (quand celui d'un satellite traditionnel peut aller jusqu'à 850 millions).

B o u s s o l e

Le projet en cours de développement d'une constellation de 900 nano-satellites offrirait une rentabilité supérieure et présenterait donc un risque stratégique pour les acteurs traditionnels ne maîtrisant pas cette technologie.

Par ailleurs, pour les opérateurs de services, un déplacement de la valeur ajoutée s'est produit en faveur de l'exploitation aval des données. Quand il y a quelques années la valeur ajoutée résidait dans la capacité à collecter les données, celles-ci se sont banalisées et sont en partie devenues accessibles pour un coût marginal (c'est notamment le cas dans l'imagerie satellite disponible gratuitement au travers de Google Earth). Le déplacement de la valeur ajoutée s'est produit au profit de solutions logicielles permettant d'exploiter les données collectées : par exemple, des applications développées pour les professionnels (agriculture, exploitation des forêts, étude des sols et des océans) mais aussi pour le grand public (cartographie).

Des acteurs historiques contraints de repenser en profondeur leur business model

Pour faire face à cette nouvelle concurrence et à la diminution progressive des dotations gouvernementales, les acteurs historiques de l'espace (des fabricants de satellites ou de lanceurs jusqu'aux exploitants) doivent élaborer sans délai leur stratégie d'adaptation. Quatre pistes peuvent alors être explorées :

- **Réinventer les business models.** Alors que l'on assiste à une banalisation de certaines technologies, une part croissante de la valeur migre de la production des données vers leur analyse et leur exploitation. Les industriels doivent donc continuer à explorer tous les moyens de monétiser l'accès à l'information et se pencher sur les moyens d'exploiter commercialement cette information.
- **Insuffler de l'agilité dans l'organisation.** Face à des concurrents issus de la nouvelle économie, il importe pour les acteurs historiques d'aligner leur capacité d'innovation et de prise de risque sur celle des nouveaux entrants. Un tel effort les engage à revoir jusqu'à leur culture. Pour favoriser l'innovation dans des grands groupes réputés plus rigides et plus formels que des startups, certains acteurs ont opté pour des solutions novatrices comme la création de laboratoires d'innovation indépendants, le développement de technologies fondé sur l'architecture ouverte ou encore le lancement de fonds de capital risque, afin de favoriser l'émergence de technologies à des coûts inférieurs ou dans des délais moindres.
- **Repenser les méthodes d'industrialisation et de production.** L'exemple mentionné plus haut des constellations de nano-satellites est particulièrement révélateur. Quand un constructeur de satellites produit aujourd'hui 4 satellites en moyenne par an, il devra être capable de livrer



près de 900 nano-satellites sur une période de deux ans. D'une logique proche de l'artisanat de pointe, il va devoir basculer vers un modèle de production en grande série plus proche de celui de la construction automobile. Du design à l'assemblage, c'est l'intégralité de la chaîne de production qui devra s'adapter à un environnement où le temps devrait s'accélérer fortement, tandis que la recherche des effets d'échelle, de l'optimisation de l'implantation géographique, devraient intégrer pleinement les orientations stratégiques des acteurs.

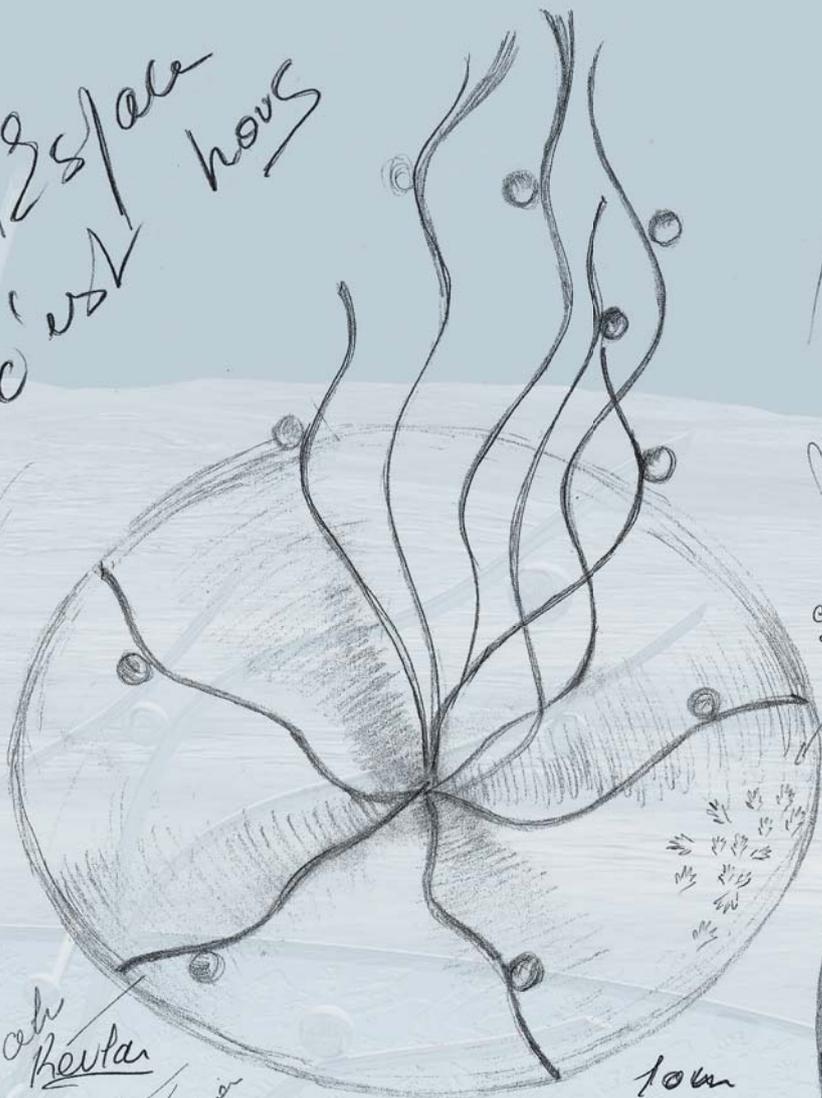
- **Adapter ses recrutements pour intégrer de nouveaux types de profils.** La forte croissance qui caractérise les services spatiaux, en particulier ceux liés à l'imagerie, et le développement des besoins tant de la part des professionnels que du grand public devrait inciter les industriels à investir fortement sur leurs compétences marketing et commerciales. À l'évidence, la performance future des entreprises spatiales dépendra

de leur capacité à comprendre finement les nouveaux usages qui émergent au sein des divers segments de clients, mais surtout à les anticiper, voire à les développer. Alors que leurs futurs concurrents issus de l'économie numérique sont maîtres en la matière, les industriels historiques gagneraient à se doter de compétences et de processus de pointe en matière de marketing stratégique, mais aussi de marketing aval de l'offre afin d'exploiter au mieux toutes les applications commerciales issues de leurs technologies, voire de créer eux-mêmes les débouchés qui rentabiliseront leurs investissements.

À l'heure où l'espace passe du statut de « nouvelle frontière » à celui d'un marché en voie d'accès à la maturité, les industriels seront paradoxalement contraints de renouer avec l'état d'esprit pionnier qui avait présidé à leur essor. Pour eux toutefois, le champ de l'innovation devrait cette fois porter moins sur la dimension technologique que sur les facteurs de compétitivité coûts et hors-coûts. Ce « monde d'ingénieurs » devra davantage s'ouvrir aux dimensions d'organisation, d'optimisation opérationnelle, de marketing, d'excellence commerciale pour négocier son entrée de plein pied dans l'hyper-compétition globale. ■

B o u s s o l e

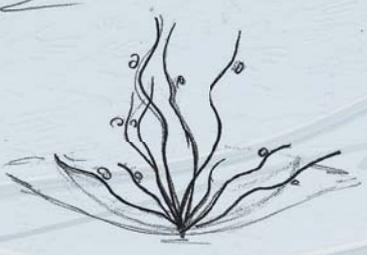
12 space
c'est nous



cupesites
de coupes
ailes
Kerla.
Repositio

ali
Berla

HLI
M. far
ovate - dimensio
non ref. cheri. tenu ite
n. la + ali coact



Amber Bamen

L'ESPACE UBÉRISÉ ?

Philippe COTHIER
Président d'honneur du CEPS

L'espace est-il en voie d'ubérisation, et, si oui, quels sont les tenants et les aboutissants de cette transformation majeure qui risque d'emporter des acteurs majeurs de l'industrie ? Tragédie en trois actes.

En moins d'un an le néologisme « ubérisation » s'est imposé pour quasiment tous les domaines : la *high-tech* bien sûr, mais davantage encore dans maints domaines d'activités traditionnelles : hôtellerie, transports, loisirs, presse, etc. Si la terminologie est plus douce que celles de « tsunami numérique » ou de « fracture numérique », il ne faut pas s'y tromper : l'ubérisation désigne, sur fond d'innovation de rupture et de technologies de l'information, le chamboulement complet des *business models* des acteurs historiques bien établis dans leurs secteurs d'activité respectifs. L'ubérisation peut ainsi être très nocive : à titre d'exemple la chaîne d'hôtels Best Western confesse que le phénomène Airbnb lui a coûté entre 20 % et 30 % de sa clientèle.

Le domaine spatial est le dernier dont on aurait pensé qu'il fût un jour l'objet de telles secousses telluriques. C'est pourtant bel et bien le cas aujourd'hui. La grande différence cependant, c'est que la remise en cause des *business models*, établis depuis

des dizaines d'années, ne provient pas tant de l'irruption d'innovations technologiques que d'un changement d'approche radical que seuls des acteurs extérieurs pouvaient apporter et mettre en œuvre.

ACTE I AU COMMENCEMENT ÉTAIT LA NASA

Tout commence en effet avec cet organisme créé à la fin des années 1950, qui fourmille d'idées, de conquêtes, de concepts opérationnels, de projets en tout genre, sur fond de compétition avec l'URSS. Lorsqu'en 1961, J.F. Kennedy (« À ceux qui demandent : pourquoi ?, je réponds : pourquoi pas ? ») lance le programme extrêmement ambitieux de l'homme sur la Lune, le foisonnement va décanter et les grandes filières traditionnelles de lanceurs, de satellites et de véhicules spatiaux vont émerger, fédérant ainsi les hommes et les technologies autour d'un but précis à atteindre avant la fin de la décennie. Ce sont ces filières technologiques et industrielles qui se sont cristallisées et qui

Ingénieur militaire, ancien élève du MIT (Massachusetts Institute of Technology), Philippe Cothier a été vice-président du groupe Matra Défense-Espace. Il est maître de conférences à Sciences Po.

ont perduré jusqu'à récemment, avec l'intermède de la navette spatiale.

Des années plus tard, le résultat est une institutionnalisation de la NASA, forte de ses convictions et peu encline à prendre des risques, à l'exception des programmes d'exploration spatiale, qui demeurent innovants et fascinants. C'est dans ce type d'environnement qu'entre en scène, en 2005, un administrateur au profil atypique : Michaël Griffin, précédemment président d'In-Q-Tel, le fond de capital risque de la CIA. Il entreprend d'initier les cadres de la NASA à des formes d'innovation jusqu'à non identifiées : l'innovation de rupture (*disruptive innovation*, ou comment les organismes établis doivent, sous peine de marginalisation, adopter de nouveaux *business models* et/ou technologies et anticiper les besoins futurs de leurs clients), ou bien encore l'innovation ouverte (*open innovation*, ou comment les compagnies ne peuvent plus se reposer uniquement sur leur

propre R&D et doivent se tenir sans cesse au fait des technologies, inventions, brevets d'autres acteurs économiques).

Pendant ce temps, un certain Elon Musk, cofondateur en 1998 de PayPal, revend ses parts lors du rachat de la société par eBay en 2002 pour 1,5 milliard de dollars. Il en retire 175 millions de dollars. La même année, il crée Space Exploration Technologies (SpaceX), pour développer les moyens d'un « transport spatial abordable ».

En 2006, un an après son arrivée à la tête de la NASA, Michaël Griffin signe, hors circuit traditionnel, un contrat de 400 millions de dollars avec SpaceX pour le transit spatial. Elon Musk ajoute 100 millions de dollars de ses ressources personnelles, et lève 350 millions de dollars auprès d'acteurs externes. Ainsi a démarré la gamme des lanceurs Falcon avec le plein soutien de la NASA. Mieux encore, la NASA se trouve éminemment gratifiée quand SpaceX remet au goût du jour ses études de lanceur réutilisable.

On connaît la suite : une fois passée cette gestation atypique, le Falcon - dont tous les caciques de l'espace affirmaient qu'il était techniquement voué à l'échec - a accumulé les succès en très peu de temps. Au plan commercial, le Falcon 9 a réussi 17 lancements successifs de 2010 à 2015, dont 9 tirs entre janvier 2014 et avril 2015. Le coût de lancement par satellite est environ deux fois moindre qu'avec les lanceurs traditionnels, et pour peu que la réutilisabilité devienne opérante, c'est par cinq ou dix que les coûts seront divisés. En quelques années SpaceX est devenu le seul véritable concurrent d'Arianespace, dont le lancement de la nouvelle Ariane 6 est prévu pour... 2021. Au plan institutionnel, le Falcon 9 a reçu en 2015 la certification officielle de l'US Air Force pour le lancement de satellites de sécurité nationale, ouvrant à SpaceX le marché de ces lancements lucratifs jusqu'ici chassés de l'alliance mono-politique entre Boeing et Lockheed (ULA). Enfin, parallèlement aux lanceurs eux-mêmes, SpaceX a



développé et lancé avec succès la capsule de transport spatial Dragon, qui a acheminé toutes sortes de matériels entre la Terre et la Station spatiale internationale.

Certes Falcon 9 a connu un échec (le seul à ce jour) en juin 2015, mais là où en Europe, une commission spéciale aurait été mise en place, paralysant tout lancement pendant deux ans, SpaceX a rapidement tiré les leçons techniques de son échec, programmant son prochain lancement au 22 décembre 2015. Non seulement le tir a rempli sa mission de mettre en orbite ses satellites, mais en plus la redescente à la verticale et l'atterrissage du premier étage du lanceur ont été un succès historique.

En synthèse, que faut-il retenir de cette révolution du domaine des lanceurs spatiaux, inconcevable il y a seulement dix ans? Tout d'abord qu'elle provient de personnalités radicalement différentes de celles des acteurs établis : capacité confirmée à prendre des risques, totale confiance dans les approches innovantes qui tranchent avec les concepts ankylosés du monde spatial traditionnel (à l'exclusion de l'exploration scientifique), appropriation de la formule de Kennedy « pourquoi

pas ? », et constat sans appel que l'espace commercial est beaucoup trop cher. Ne nous y trompons pas : si l'ubérisation frappe de manière irréversible le domaine des lanceurs spatiaux en remaniant complètement son paradigme économique, ce n'est pas le fait de l'irruption de technologies de rupture en provenance de la Silicon Valley (certaines avancées comme la réutilisabilité provenant de travaux datant d'au moins vingt ans), c'est tout simplement parce qu'un ensemble de *tycoons* de l'Internet et de vétérans du capital risque ont déclaré la guerre à l'espace. Une guerre des prix, s'entend.

En effet, les grands acteurs du Net sont immergés dans un milieu marqué par la loi de Moore (doublement des capacités et division des prix par deux tous les deux ans), la culture de la gratuité (si particulière à l'Internet), l'accès quasi-illimité aux ressources financières, les ambitions à la fois planétaires (couverture mondiale) et domestiques (Internet des objets), et la remise en cause des convictions établies. Mais si la loi de Moore s'était appliquée à l'espace, on irait déjà sur Mars. Au lieu de cela, les satellites sont hors de prix, devenus tellement lourds que les coûts de lancement ont également été aspirés

vers le haut, les cargos entre la Terre et l'espace reposent sur une prouesse technique dont les coûts et les délais de développement sont démesurés par rapport à la mission basique à assurer. Cet état de fait est intolérable pour les grands de l'Internet, qui ont besoin d'accéder à l'espace à un coût radicalement inférieur à ceux d'aujourd'hui, afin d'atteindre leurs objectifs : délivrer leurs services à l'échelle planétaire.

D'où le défi lancé, typique de la mentalité Silicon Valley : mieux, plus vite, moins cher.

ACTE II **L'ENGOUEMENT DU CAPITAL** **RISQUE POUR L'ESPACE** **ET LA PROLIFÉRATION DES** **CONSTELLATIONS**

« Les sociétés soutenues par le capital risque telles SpaceX, Skybox, Planet Labs ont un effet de rupture sur l'industrie aérospatiale avec des produits meilleurs, moins chers et plus rapidement disponibles », déclarait en mars 2015 David Cowan sur Tech Crunch, le site emblématique de la Silicon Valley. À l'attention des incroyables, il rappelle que le premier satellite privé de télécommunications, InteSat1, a été lancé en 1965 à

peine quatre ans après que la Commission fédérale des communications eut officiellement affirmé que les satellites de télécommunications n'avaient aucune chance de délivrer de meilleurs services que le téléphone, la radio ou la télévision.

Renforcé dans ses convictions, le capital risque se réjouit que « les capitaux soient enfin entre les mains de ceux qui sont prêts à prendre des risques, prêts à échouer, prêts à suivre leurs rêves ». Il ne s'agit pas là de propos de doux rêveurs, mais d'une réalité financière bien tangible. David Cowan est cofondateur de la société Internet Verisign dont la partie authentification & sécurisation a été rachetée par Symantec en 2010 pour 1,3 milliard de dollars. Spécialiste de cybersécurité, il a depuis étendu ses investissements au « Space-Tech » : associé de Bessemer Venture Partners, il a investi dans la jeune société Skybox Imaging (mini-satellites d'observation de la Terre), rachetée par Google en 2014 pour 500 millions de dollars. « SpaceTech is Venture Capital's Final Frontier », résume-t-il, faisant écho à *Star Trek* (« *Space, The Final Frontier* »). Qui eut cru que l'espace serait un jour le domaine le plus attractif du capital risque américain ?

Dans le domaine des lanceurs, on ne peut évoquer Elon Musk et SpaceX sans évoquer également Jeff Bezos, fondateur d'Amazon mais aussi de Blue Origin, la société qui est entrée le 23 novembre 2015 dans l'histoire spatiale en réussissant magistralement le lancement de sa fusée New Shepard destinée au tourisme spatial, puis sa redescende à la verticale - d'une altitude de moindre Falcon - pour atterrir sans encombre. Double succès pour New Shepard / Falcon 9 : la voie de la réutilisabilité des lanceurs est désormais ouverte. Les nouveaux acteurs de l'Internet vont s'y engouffrer, accompagnés du capital risque acquis à la cause, trop heureux de saisir les opportunités associées à une telle révolution. Si la voie est conduite jusqu'à son terme, c'est un tsunami qui va frapper l'industrie spatiale.

Elon Musk et Jeff Bezos révolutionnent les *business models* de l'accès à l'espace. C'est leur mentalité, forgée dans la Silicon Valley, qui a permis un tel tour de force, dans ce domaine, plutôt que les technologies de l'Internet proprement dites. En revanche, ces dernières vont entrer pleinement en action dans le domaine-clé des satellites... À la base, le constat est

le même que pour les lanceurs : les satellites de télécommunications et d'observation de la Terre emportent de plus en plus d'électronique, sont de plus en plus lourds et de plus en plus chers à fabriquer et à lancer. En dépit de maintes prouesses technologiques, leur mode de fonctionnement imposé continue de restreindre leurs performances : les satellites de télécommunications étant par définition géostationnaires, la distance de 36000 km qui les sépare de la Terre entraîne de *facto* un retard de communication ; les satellites d'observation, en général en orbite à 800 km d'altitude, défilent autour de la Terre avec de *facto* un délai de revisite d'un à deux jours pour un point donné de la surface du globe. Dans les deux cas, il existe une approche radicalement différente pour faire mieux, moins cher et plus rapide à mettre en œuvre : ce sont les constellations de satellites.

Le concept de constellation n'est pas nouveau dans les télécommunications : Iridium (77 satellites) mis en service en 1998 et en faillite dès 1999, avant d'être repris par le Pentagone ; Globalstar (48 satellites) dont le démarrage commercial a eu lieu en 2000 et dont une

nouvelle génération de satellites plus lourds (!) est en cours de construction à 13 millions d'euros l'unité ; O3B (16 satellites) dont le déploiement a démarré en 2013. S'y ajoutent deux géants mort-nés : Teledesic, projet de 288 satellites soutenu par Bill Gates, initié en 1997 et abandonné en 2002, et Skybridge (80 satellites), initiative d'Alcatel estimée à 5 milliards de dollars, également abandonnée en 2002.

À ce stade, il est bon de rappeler qu'une innovation n'est pas seulement technologique : son *timing* est tout aussi important. À titre d'exemples, au lancement de l'Apple Macintosh, en 1984, les observateurs et les utilisateurs ont salué une révolution technologique majeure, oubliant que les icônes graphiques et les souris avaient été développées par Xerox au moins dix ans auparavant. À la même époque, HP commercialisait le premier ordinateur à écran tactile. Ce fut un échec.

C'est précisément ce que les *tycoons* de l'Internet ont compris : quinze ans après ces grands projets de constellations de télécommunications aient périclité, voici que la Silicon Valley lance de nouveaux projets de constellations de télécommunications

et d'observation de la Terre, entièrement conçus sur le *leitmotiv* qu'elles seront « moins chères, plus performantes et plus rapides à mettre en œuvre ». Cette fois-ci les technologies et le financement sont au rendez-vous. Il s'agit de constellations d'un très grand nombre de satellites très peu chers à l'unité. Pour réaliser de telles baisses de coût, il faut produire en grandes séries des mini-satellites fabriqués en recourant le plus possible à des composants issus d'autres industries (COTS), en s'affranchissant de toute sur-spécification et en reportant vers le segment sol les traitements usuellement effectués par des électroniques embarquées. Une telle approche permet de réduire le coût de certains équipements par un facteur 100, pour une performance et une fiabilité peut-être individuellement moindres que celles des équipements traditionnels. Mais ce déficit est compensé par le très grand nombre de satellites dont l'énorme volume de données recueillies sont traitées au sol avec les techniques que l'Internet maîtrise mieux que quiconque, le fameux *Big Data*. Le traitement massif de données en partie redondantes peut générer une performance quasi-équivalente à celle des systèmes satellitaires usuels, plus lourds et plus chers.

Ces constellations inaugurent en outre de nouvelles fonctionnalités : en matière d'observation de la Terre, là où le délai de revisite est de deux jours, la constellation Planet Labs rend possibles des revisites de quelques heures, voire de la vidéo. La constellation Google/Skybox propose des services similaires, à telle enseigne que les militaires américains et européens sont parmi les premiers intéressés.

Ces mini-satellites sont considérés « consommables » : en cas de panne de l'un d'entre eux, d'une part la performance de l'ensemble est peu affectée, et d'autre part il sera facile de remplacer « l'élément » défectueux. La constellation OneWeb en est l'exemple : composée de 600 satellites, elle en fait fabriquer 900. Google, associé à SpaceX, quant à lui a annoncé sa propre constellation de 4 000 satellites de télécommunications.

Les modes de lancement sont également revisités : c'est ainsi que Planet Labs a récemment envoyé une dizaine de ses mini-satellites d'observation Dove par le cargo Dragon de SpaceX jusqu'à la Station spatiale internationale. Cette dernière a ensuite procédé à l'« injection » des mini-satellites sur leur orbite

basse. Les coûts d'un lancement traditionnel auraient été prohibitifs.

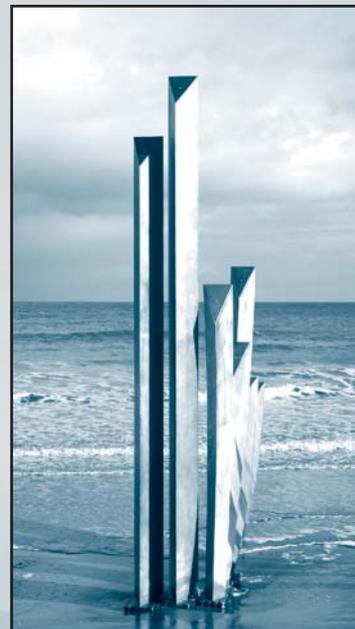
D'autres exemples pourraient être cités, mais le fait est là : la combinaison des divers facteurs - des technologies propres à l'Internet (*Data Science* en tête), l'obsession de réduction des coûts, la liberté d'approche et le soutien enthousiaste du capital risque - a soudainement réveillé la belle endormie qu'était devenu l'espace. D'aucuns qualifient de rupture ce réveil brutal. L'industrie spatiale continuera de produire des lanceurs et des satellites traditionnels pour ses clients institutionnels, mais s'agissant des clients, commerciaux, l'industrie devra effectuer une révolution copernicienne pour survivre à l'arrivée de ces nouveaux acteurs particulièrement agiles. C'est là le risque d'ubérisation de l'espace.

ACTE III LA DÉFENSE ENTRE EN SCÈNE

S'il est un domaine de l'espace en risque d'ubérisation radicale (c'est-à-dire en passe de disparition), c'est bien celui des satellites de navigation, plus précisément celui du GPS dont l'usage s'est mondialement généralisé

dans toute application Internet ou télécom. À la base, le GPS est un système militaire américain de l'US Air Force qui opère 31 satellites à très grand frais (plusieurs milliards de dollars).

En avril 2015, le secrétaire américain à la défense, Ashton Carter, scientifique reconnu auparavant en charge de la R&T au Pentagone, lors de sa visite à Andreessen Horowitz, une firme de capital risque très réputée de la Silicon Valley, a ainsi qualifié le système GPS : trop cher, trop lourd à opérer et peu performant ! Il a donc fait état de ses plans graduellement le système satellitaire au profit d'un système terrestre reposant sur les composants miniaturisés « MEMS » (micro-systèmes électro-mécaniques) : lorsque l'innovation technologique permettra un degré de miniaturisation tel que l'on pourra loger sur une même puce un micro-gyroscopie, des micro-accéléromètres et une micro-horloge, alors on pourra s'affranchir du système GPS actuel en dotant chaque équipement de puces interconnectées dans ce qu'on appelle déjà le « *GPS of Things* », dont les performances de géolocalisation seront aussi nettement supérieures pour un coût bien



moins que le GPS actuel. Une telle initiative, avec de gigantesques débouchés à la clé, a tout pour séduire le capital risque de la Silicon Valley.

La substitution du GPS satellitaire par le GPS des objets est sans conteste une rupture technologique majeure. Mais plus encore, c'est la plus radicale des ubérisations qui soit : un secteur entier de l'espace, la géolocalisation par satellites, va disparaître au profit de nouveaux systèmes terrestres, plus simples et moins coûteux, inspirés de l'« *Internet of Things* ».

Oui, l'espace peut bel et bien être « ubérisé ».

DES ALIENS ET DES BARBARES Une révolution dans l'observation de la Terre

Thierry ROUSSELIN

Consultant en observation de la Terre

L'observation de la Terre est depuis la fin des années 2000 l'un des espaces de conquête privilégié des nouveaux acteurs du spatial, des acteurs souvent figurés comme des Aliens ou des barbares. À juste titre : des Aliens parce que ces nouveaux entrants n'ont pas du tout les mêmes codes que les acteurs traditionnels ; des barbares parce qu'ils avancent à une vitesse inouïe.

En septembre 2007, la blogosphère titra sur le premier satellite Google Earth à l'occasion du lancement par Digital Globe du satellite WorldView-1, premier satellite commercial permettant des images à 50 cm de résolution. L'impact médiatique et sociétal de Google Earth, disponible depuis juin 2005, était tel qu'il amenait les internautes à considérer que l'observation spatiale à très haute résolution était assurée par Google (alors qu'en réalité WorldView-1 était préfinancé à 100 % par la défense américaine via un contrat de la NGA, National Geospatial-Intelligence Agency). Les spécialistes s'amuserent de cette confusion. Pourtant, ces rêveurs avaient en fait sept ans d'avance. Skysat-2, microsatellite d'observation (en

mode image et vidéo) lancé le 8 juillet 2014, est bien le premier satellite Google. Un mois auparavant, le géant d'Internet venait d'annoncer le rachat de Skybox Imaging pour quelque 500 millions de dollars, soit environ dix fois la valeur de l'investissement déjà consenti à la date du rachat. Nous allons examiner cette révolution dans l'observation de la Terre et analyser les conséquences pour les différentes familles d'acteurs.

LE PASSÉ ET SES LIMITES

Entre les modèles promus pour l'observation de la Terre dans les années 1980 et ceux d'aujourd'hui, il y a déjà eu des évolutions majeures : les modèles technologiques ont évolué et,

Ancien directeur du programme géographie à la Direction générale de l'armement, Thierry RousselIN enseigne la Geospatial Intelligence à Mines ParisTech et est consultant en observation spatiale pour des agences spatiales et des opérateurs.

Les nouveaux acteurs ont fait le choix de monétiser de toutes les façons possibles, et cela en s'insérant dans tous les maillons de la chaîne de valeur.

à leur suite, les modèles économiques. Les acteurs ont en conséquence eu déjà à se réinventer à plusieurs reprises. Mais en dépit de ces mues ils sont restés centrés sur des applications de souveraineté (défense, catastrophes naturelles, cadastre, collecte de l'impôt, etc.) - où la partie institutionnelle est centrale avec un poids prépondérant du militaire (le numéro 1 mondial Digital Globe fait 70 % de son chiffre d'affaires avec la défense américaine et, depuis 2014, son chiffre d'affaires civil baisse). Ce poids de la défense impacte les produits vendus, les processus et la vitesse de réaction (les cycles classiques du militaire et du spatial sont des cycles lents sur dix ans minimum) ; c'est aussi la défense qui tire la définition des besoins et fixe les critères de qualité. L'économie du secteur reste extrêmement fragile au point que tous les acteurs de l'observation ont au moins une fois été en situation d'échec économique (faillite, *chapter 11* ou procédures similaires de redressement).

Les observateurs traditionnels - militaires, pétroliers ou humanitaires - ont limité les champs d'investigation à des zones prévisibles pour eux. Les militaires

reviennent constamment aux mêmes endroits, les pétroliers se centrent sur les licences d'exploitation (connues publiquement), et les humanitaires partent de la localisation de la catastrophe.

De ce fait, l'idée d'une observation de la Terre ubiquitaire et permanente était largement un fantasme car l'observation était à la fois extrêmement discontinue (un même lieu ne pouvait être imagé en très haute résolution par une constellation qu'une fois par jour au mieux - et presque toujours le matin) et éminemment prévisible (toutes les orbites d'observation militaires comme civiles sont connues).

L'impression (fausse) de surveillance permanente était liée à plusieurs facteurs :

- des confusions scientifiques, en particulier entre l'observation géostationnaire toutes les 15 minutes des satellites météo et l'observation en très haute résolution des satellites polaires ;
- de la propagande (les armes de destruction massives de Saddam Hussein) ;

- des applications coercitives (par exemple le contrôle des jachères agricoles ou le comptage des oliviers) dans lesquelles l'impression de ne pouvoir mentir du fait du contrôle donne une perception de surveillance même si du point de vue technique une image sans nuage prise un mois donné suffit à établir le diagnostic ;
- des confusions entre la réalité et la fiction (dans des séries comme *24 heures chrono* ou des films comme *Ennemi d'État*).





Au total, les capacités d'observation réelles sont jusqu'ici bien inférieures à ce que le discours des spécialistes ou la perception sociétale laisse imaginer. Le modèle économique dominant est lié à un cercle de clients restreint et à faible renouvellement et les réussites (techniques et économiques) sont orientées vers des systèmes à performances toujours plus hautes pour satisfaire ces clients.

DES ALIENS ET DES BARBARES

Le terme de barbares a été largement utilisé pour caractériser les nouveaux entrants dans de multiples services économiques récents. Il s'applique ici et on peut y rajouter celui d'Aliens. Des Aliens parce que ces nouveaux entrants n'ont pas du

tout les mêmes codes que les acteurs traditionnels et des barbares parce qu'ils avancent à une vitesse inouïe.

Qu'est-ce qui caractérise ces nouveaux acteurs de l'observation de la Terre ?

La jeunesse. Que ce soit chez Skybox Imaging, Planet Labs ou Spire, la moyenne d'âge était en 2014 de 27 ans, et celle des patrons de 33 ans.

La capacité à démarrer petit. Les premiers tours de table sont très modestes - à hauteur de 20 ou 30 millions de dollars, jugés plus que raisonnables par le monde du capital investissement. Le premier satellite de Spire (qui s'appelait encore Nanosatsfi) a même été financé par du *crowdfunding* (à hauteur de 200 000 dollars) sur la plateforme Kickstarter.

L'écosystème d'origine. Ces nouveaux acteurs ne viennent pas du spatial mais des technologies de l'information, de la Silicon Valley, avec pour beaucoup d'incessantes incursions dans les mondes des médias et de l'événementiel. Pour eux, l'observation spatiale n'est pas une fin mais un moyen devant leur apporter un élément de

N'ayant pas d'a priori sur la complexité, les nouveaux acteurs vont chercher des solutions transgressives.

décision monétisable. Lorsque Google a racheté Skybox Imaging, ce ne sont pas des satellites que Google a rachetés, mais un formidable outil de détection de changements dans les images. Connecté avec les bases de données des gigantesques plateformes du moteur – toutes les analyses de réseaux, les analyses comportementales, etc. – cet outil devient extrêmement puissant et apporte des éléments de décision et/ou de contexte.

Le choix des cibles à observer. Savoir où et quand regarder est depuis toujours l'obsession de tous les « observateurs » de la Terre (obsession renforcée par les contraintes techniques qui ont longtemps limité les capacités réelles d'observation). On a vu que les acteurs traditionnels résolvaient le problème en se centrant sur la satisfaction de populations aux intérêts focalisés. Pour les nouveaux acteurs, c'est l'analyse comportementale qui permet de maîtriser la géolocalisation des zones d'intérêt : la carte des clics de Google montre où les internautes sont en train de regarder, à quoi ils sont en train de s'intéresser, avec quelle permanence – tout cela permettant de calculer des rythmes d'observation, des taux de revisites, etc.

Un positionnement sur toute la chaîne de valeur. Google propose l'imagerie satellitaire à ses utilisateurs (Google Earth ou Google Maps), l'utilise en interne pour ses services d'analyse (Google Analytics), se positionne comme revendeur d'images (y compris pour Digital Globe ou Airbus DS GEO) ou vend des services d'hébergement (via son infrastructure de *cloud*). Trois des vingt-six satellites de la nouvelle constellation Skybox sont ainsi a priori réservés au gouvernement japonais. Les nouveaux acteurs ont fait le choix de monétiser de toutes les façons possibles, et cela en s'insérant dans tous les maillons de la chaîne de valeur.

L'absence de respect des codes et règles tacitement édictés par les acteurs traditionnels du spatial. Ces règles, construites sur cinquante années d'exercice d'observation de la Terre, sont considérées par les uns comme intangibles et par les autres comme non naturelles (logique pour des acteurs issus d'autres univers, porteurs d'autres cultures). En 2014, le directeur technique de Skybox considérait que puisqu'on savait piloter un drone avec un smartphone, il n'y avait aucune raison que le pilotage

d'une constellation de satellites nécessite un segment sol complexe et onéreux. N'ayant pas d'a priori sur la complexité, les nouveaux acteurs vont chercher des solutions transgressives. En 2014, Planet Labs a lancé dans sa première année 99 satellites d'observation, dont seuls 20 fonctionnaient début 2015. Un tel ratio paraît aberrant selon les critères traditionnels. Il est pourtant proche de l'objectif de Planet Labs qui vise sur le long terme une capacité opérationnelle basée à tout instant sur 30 % des satellites lancés. Ces satellites coûtent 20000 dollars l'unité (hors lancement) ; l'objectif est de parvenir à un coût de 6000 dollars le satellite. La transgression est la même sur les lancements, ces nouveaux acteurs acceptant des lancements en passager *low cost*.

Les cibles commerciales. Ces nouveaux acteurs ne visent pas les mêmes clients que les observateurs traditionnels (théoriquement du moins, car étant aussi particulièrement opportunistes, il n'est pas exclu qu'ils visent un jour la clientèle de défense). Leur objet est en tout cas de servir des décisions de *business*. Leurs cibles majeures sont les analystes financiers, les assureurs, les banquiers – des clients

que les acteurs traditionnels de l'observation de la Terre n'ont jamais réussi à « accrocher ». Ces clients ne verront jamais les images et se contenteront des informations qui en sont dérivées.

La communication. Les codes sont ceux de la société de l'information et sont utilisés dans la communication institutionnelle, commerciale et financière. Cela se traduit par un accès au capital risque, renforcé par la tendance américaine (Amazon, OneWeb, SpaceX...) qui a (re) mis à la mode la « conquête spatiale » et l'investissement dans le spatial.

Le caractère transnational. Même si la plupart des constellations ont été conçues sur la côte ouest des États-Unis et en particulier dans la Silicon Valley, il y a des liens transnationaux forts (de capitaux et de projets). Le Russe Dauria a rejoint l'incubateur de la NASA à Mountain View pour construire une constellation de satellites avec des Espagnols et un *cloud* avec des Allemands. D'autres alliances s'orientent vers l'Argentine, Israël, etc.

Un mélange assumé entre rupture (affichée) et tradition (plus cachée). À l'image de ce qui se passe dans le domaine des lanceurs, derrière un discours de

rupture, ces nouveaux entrants ont souvent été largement aidés par l'institution (NASA, DARPA...). Cette nouvelle vague a donc plus de points communs qu'elle ne veut le reconnaître avec celle des années 1990, qui avait vu l'observation civile de la Terre à très haute résolution émerger sur les acquis technologiques accessibles après la fin des programmes de la « guerre des étoiles » des années 1980.

La relation au succès. L'échec est acceptable et intégré dans le modèle. Parmi tous les acteurs apparus depuis quatre ans pour annoncer des constellations (UrtheCast, Skybox Imaging, Planet Labs, BlackSky, OmniEarth, Dauria Perseus, Spire, Tempus Global Data, PlanetiQ, GeoOptics, XPressSAR, Hera Systems...), certains sont déjà en difficulté et la réalité du marché économique tuera vraisemblablement 90 % d'entre eux, mais ceux qui survivront et se développeront mettront en péril les solutions anciennes.

QUELLES CONSÉQUENCES ET QUELS IMPACTS ?

La transition violente en cours s'est accompagnée des phases traditionnelles (choc, déni, colère, tristesse, résignation,



acceptation, reconstruction), mais tous les acteurs ne vivent pas l'événement de la même manière :

Les acteurs industriels majeurs (Digital Globe et Airbus DS GEO en premier lieu) se positionnent sur des capacités de niche leur permettant de garder une forte attractivité pour leurs clients traditionnels, quitte à n'être que des acteurs futurs assez mineurs de la révolution des services grand public.

Les institutions américaines essayent de s'insérer dans un mouvement qu'elles n'ont pas créé (même s'il est en partie issu de leurs travaux et de leurs incubateurs). La NASA travaille à adapter les concepts et les modes de fonctionnement des nouveaux acteurs sur des applications de service public institutionnel (projet FireSat monté avec la startup Quadra Pi R2E). La NGA, plus gros consommateur au monde d'imagerie d'observation, a lancé au printemps 2015 une consultation auprès des nouveaux acteurs pour « apprendre comment travailler avec eux » et a publié en octobre 2015 sa feuille de route indiquant avec humilité ne pas vouloir se placer comme le donneur d'ordres

omniscient mais bien comme un maillon du nouvel écosystème qui est en train d'émerger aux États-Unis.

Les institutionnels européens qui avaient fait le choix d'une politique de services basée sur une diffusion ouverte et gratuite des données du programme Copernicus sont doublement déstabilisés. Les nouveaux entrants sauront dans une logique *Big Data* tirer parti de leurs données plus vite et mieux que les fournisseurs de services associés au programme européen et les émergents chinois ou indiens iront également plus vite dans la production de services *low cost* sur de la donnée financée par le contribuable européen.

Au total, le monde du spatial traditionnel attendait depuis quarante ans l'avènement d'un âge d'or de l'observation dans de multiples applications grand public et se rend compte aujourd'hui que cet âge d'or risque de se produire, mais avec d'autres acteurs.



p r i s m e

Point de vue Point de vue Point de vue Point de v

LA FIN D'UN PARADIGME

Les États ont-ils toujours un rôle à jouer dans l'espace ?

Pacôme RÉVILLON

Président du directoire d'Euroconsult

L'écosystème privé du spatial s'est étoffé de manière continue depuis le début des années 2000. Cette tendance est même aujourd'hui en train de s'accélérer. Mais de là à minimiser le rôle des États dans l'espace serait une terrible gageure.

LA MONTÉE EN PUISSANCE CONTINUE DU SECTEUR PRIVÉ...

L'activité spatiale s'est développée au cours des cinquante dernières années. Si quelques acteurs industriels sont historiquement impliqués dans ce secteur, l'écosystème de sociétés privées s'est étoffé de façon continue, et ce à tous les niveaux de la chaîne de valeur spatiale.

Pour prendre quelques exemples, les premiers opérateurs de satellites commerciaux de communications sont apparus dans les années 1980 aux États-Unis et en Europe, avant que

Pacôme Révillon est président du directoire d'Euroconsult depuis 2003, dont les activités incluent le conseil, la recherche et l'organisation de sommets mondiaux. Pacôme Révillon est diplômé de l'École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace (Supacro/ISAE) et du DESIA, formation en ingénierie des affaires.

Les États restent actuellement propriétaires et/ou en situation de contrôle pour l'essentiel des infrastructures spatiales considérées comme critiques.

ce segment ne connaisse une large vague de privatisations au début des années 2000. La maîtrise d'œuvre pour la fabrication de lanceurs et la fourniture de services de lancement s'est elle aussi progressivement privatisée. Certains segments très sensibles tels que les communications militaires et l'observation de la Terre pour le renseignement ont également été en partie privatisés avec, par exemple, la mise en place de partenariats public-privé de différentes natures au Royaume-Uni, en Allemagne et en Italie. Aux États-Unis, l'opérateur Digital-Globe est un fournisseur principal du gouvernement américain pour l'imagerie spatiale.

Ce transfert d'activité à la sphère privée a généralement correspondu à quatre tendances :

- l'arrivée à maturité de certaines technologies et d'acteurs industriels permettant la prise en charge de nouvelles activités, et de nouveaux gains de compétitivités des solutions spatiales ;
- le désengagement total ou partiel des États de certaines activités, pour des motivations politiques et/ou économiques. Ce désengagement se combine généralement avec la

mise en place de programmes d'acquisition de biens ou de services auprès d'acteurs privés ;

- la présence d'un marché « adressable » de taille suffisante pour la pérennité d'activités commerciales ;
- la présence d'investisseurs en mesure d'accompagner le développement des sociétés.

... S'ACCÉLÈRE AU COURS DE CETTE DÉCENNIE

L'apparition de nouveaux projets et acteurs s'est accélérée au cours des cinq dernières années notamment, mais pas seulement, aux États-Unis. Au cours des vingt-quatre derniers mois, environ deux milliards de dollars ont été levés par des startups pour des projets spatiaux. Les projets s'intéressent à la grande majorité des segments d'activités, tels que l'accès à l'espace, la construction de satellites, les communications, et l'observation de la Terre. Fait intéressant, les investisseurs incluent des acteurs financiers mais aussi des groupes issus d'autres secteurs et en particulier de l'économie numérique,



à l'image de Google, Facebook, Amazon ou Qualcomm. Les changements en cours se concentrent pour une large part sur l'utilisation de petits à très petits satellites, déployés le plus souvent à travers de larges constellations. Les progrès technologiques permettent aujourd'hui d'envisager des coûts unitaires de développement plus faibles, combinés à une augmentation importante des performances. L'une des évolutions majeures concerne un nouveau niveau de responsabilité donné aux acteurs industriels pour la définition de solutions d'accès à l'espace, tant aux États-Unis dans le cadre de contrats mis en place par la NASA avec des acteurs comme SpaceX et Boeing qu'en Europe avec le programme Ariane 6. Cette phase d'innovation au niveau des produits et services appelle également à de nouvelles formes de partenariats, et à des changements dans la chaîne de valeur. Différentes joint-ventures ont ainsi été récemment formées, incluant au choix des acteurs privés ou publics et privés.

Il serait alors facile de mettre en doute l'importance du rôle des États dans l'espace. Ce serait cependant une erreur majeure et ce pour quatre raisons principales.

LES ÉTATS, PREMIÈRE SOURCE DE R&D ET DE FINANCEMENT

Les États restent un acteur incontournable du progrès technologique dans la filière spatiale. Si l'apport d'autres secteurs industriels est indéniable, l'activité spatiale nécessite un large effort d'adaptation de technologies et de développements spécifiques liés à

En dehors de l'intervention directe dans la filière spatiale, il est crucial de relever l'importance plus large de la réglementation et des politiques publiques dans le développement du secteur.

l'environnement dans lequel les infrastructures doivent évoluer. Pour ne donner qu'un exemple emblématique, l'investissement public représente une part prépondérante de l'investissement dans le développement de solutions d'accès à l'espace. En fonction des pays, cet investissement peut prendre la forme de programmes de R&D ou de contrats de services, mais reste indispensable en particulier pour le développement de lanceurs lourds. Les budgets gouvernementaux « spatiaux » s'élèvent à environ 67 milliards de dollars dans le monde pour les activités civiles et militaires. Ceux-ci sont destinés d'une part à l'effort de recherche et développement, ainsi qu'au développement de systèmes opérationnels.

Considérant les liens avec la sphère privée, on constate qu'une part très importante des briques technologiques mises à profit dans les

innovations du secteur privé, incluant les récents projets de constellations, s'appuient sur des programmes de recherche conduits ou soutenus par les agences spatiales au cours des quinze dernières années. En Europe, le partage des risques liés à l'innovation a notamment résulté ces dernières années en la signature de partenariats public-privé impliquant l'Agence spatiale européenne (ESA), ainsi que dans le lancement de programmes de recherche et développement associant étroitement les agences publiques avec les acteurs industriels et opérateurs privés d'infrastructures satellitaires.

UN NOMBRE CROISSANT DE PAYS ET D'ORGANISATIONS GOUVERNEMENTALES INVESTISSENT ET UTILISENT LE SPATIAL

Le nombre de pays et organisations gouvernementales investissant dans des programmes spatiaux augmente de façon quasi continue. Plus de 58 pays ont actuellement un programme spatial identifié, contre 38 en 2005. Les derniers pays à avoir acquis des capacités incluent notamment le Bangladesh et le Congo. Dans les nations spatiales émergentes, les investissements commencent généralement par des acquisitions de systèmes associés à des transferts de technologie. Certains pays, derrière les principales puissances spatiales, ont établi une stratégie de développement de capacités industrielles. Quelques exemples incluent la Corée, l'Argentine, ainsi que les Émirats Arabes Unis.



En Europe, nous pouvons noter trois tendances clés des dix dernières années qui témoignent de l'investissement continu des États :

- la continuité de l'effort d'investissement dans le spatial, et ce malgré la crise économique de 2009 ;
- l'investissement de l'Union européenne dans des programmes spatiaux. Cet investissement, initialement concentré sur le programme de navigation Galileo, s'est étendu à l'observation de la Terre avec le programme Copernicus. Un programme centré sur les communications pour les acteurs publics (GovSatcom) est également actuellement en discussion ;
- l'intégration de nouveaux pays dans l'ESA, dont 73 % du budget reste néanmoins financé par cinq pays sur les 22 États membres de l'organisation.

UN NOMBRE CROISSANT D'OPÉRATEURS D'INFRASTRUCTURES CRITIQUES

Les États restent actuellement propriétaires et/ou en situation de contrôle pour l'essentiel des infrastructures spatiales considérées comme critiques. Tous les systèmes de navigation par satellite sont ainsi contrôlés par les États, à l'image de la constellation GPS aux États-Unis ou du programme Galileo en Europe. Il en est de même pour l'essentiel des systèmes dédiés à la météorologie. Par ailleurs, s'il existe quelques cas de gestion de systèmes dédiés à une utilisation militaire et opérés par des sociétés privées, notamment dans les commu-

nications par satellites, les gouvernements soit possèdent directement l'essentiel de ces systèmes, soit ont la capacité de prendre le contrôle des actifs nationaux en cas de nécessité. Dans ce segment, il est également important de faire référence aux programmes scientifiques et d'exploration spatiale, qui ne pourraient exister aujourd'hui sans l'investissement continu des principales puissances spatiales mondiales.

UN NOMBRE CROISSANT DE POLITIQUES ET DE RÉGLEMENTATIONS TOUCHANT LES UTILISATEURS FINAUX

En dehors de l'intervention directe dans la filière spatiale, il est crucial de relever l'importance plus large de la réglementation et des politiques publiques dans le développement du secteur.

Tout d'abord, l'accès et l'utilisation de l'espace doivent être réglementés et le sont en partie, le niveau de maturité des réglementations dépendant des types d'applications. Parmi les réglementations les plus développées et ayant un impact quotidien sur la filière des communications par satellite, l'attribution des fréquences – tout d'abord aux applications satellitaires en général et ensuite à chaque orbite et position permettant de fournir des services – est déterminante pour l'existence et la pérennité d'une filière de communications par satellite.

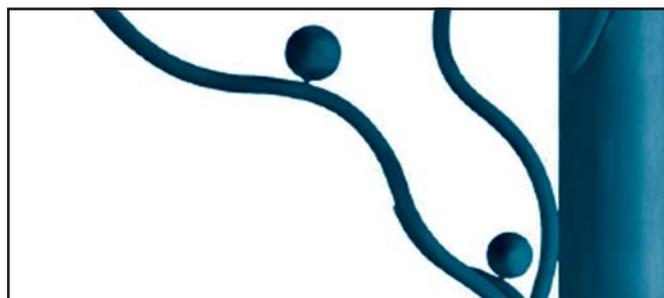
Plus en aval, les politiques publiques en matière de communication, d'environnement et

de sécurité ont des impacts directs sur le développement d'activités :

- Dans les pays émergents, la montée en puissance de politiques d'accès universel aux services de communications est un vecteur de croissance important, le satellite étant dans de nombreuses situations la solution la plus performante pour apporter des solutions de téléphonie, d'accès Internet et d'autres applications sur l'ensemble du territoire. Ces politiques, déjà en place dans de nombreux pays, continuent à s'étoffer, et entraînent un besoin croissant de capacités satellitaires dans des pays tels que l'Indonésie, le Mexique ou à travers l'Afrique ;
- En termes de sécurité, différentes normes et obligations réglementaires s'appliquent par exemple au secteur maritime, et entraînent une utilisation de ressources satellitaires pour l'identification des bateaux, et pour garantir une capacité à établir en toutes circonstances des communications d'urgence. Une application en cours de développement est celle de la gestion du trafic aérien, où des satellites devraient compléter la couverture des réseaux terrestres ;
- La protection de l'environnement et la surveillance du climat ont un impact direct sur le lancement de programmes permettant d'obtenir des outils objectifs d'aide à la décision politique. Ils contribuent ainsi à la mise en place de politiques nationales et/ou à la négociation d'accords internationaux, ce qui est mis en relief par la tenue de la COP21 en France.

LE RÔLE DES ÉTATS RESTE PRÉPONDÉRANT DANS UN ÉCOSYSTÈME PLUS OUVERT

Les éléments de réflexion présentés ci-dessus, bien que succincts et quelque peu simplifiés, amènent à deux conclusions principales. D'une part, suggérer une diminution du rôle des États dans le développement de l'activité spatiale serait une erreur majeure dans l'optique de son développement futur. Parallèlement, la multiplication des innovations, des solutions et des applications potentielles du spatial résultent en un écosystème plus ouvert, qui voit interagir un plus grand nombre d'acteurs tant publics que privés. La capacité à innover, et à dynamiser le secteur spatial, dépendra en conséquence de plus en plus de la capacité d'organiser des échanges et des partenariats entre les acteurs de la filière, et ce au niveau international. Cette capacité sera d'autant plus cruciale dans une industrie travaillant sur des développements à long terme, devant optimiser l'utilisation de budgets publics contraints, et garantir sa compétitivité pour la fourniture de services publics et commerciaux.



p r i s m e

Point de vue Point de vue Point de vue Point de v

PAS DE LANCEUR COMPÉTITIF SANS UN VRAI PARTENARIAT PUBLIC-PRIVE & UN ENGAGEMENT DES ÉTATS DANS LA DURÉE

Stéphane ISRAËL

Président-directeur général d'Arianespace

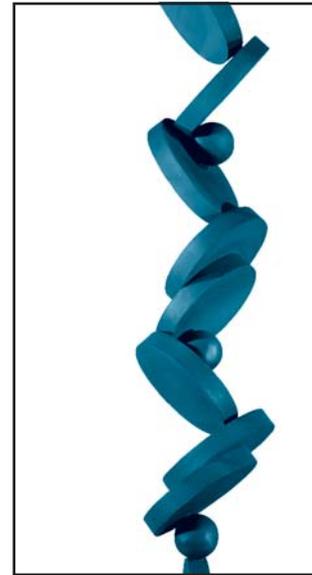
L'irruption de SpaceX a accéléré la volonté de l'Europe de mettre en place un nouveau modèle d'exploitation dont l'objectif premier est d'améliorer la compétitivité de sa filière des lanceurs. Ariane 6 et Vega-C sont au cœur de cette stratégie qui, pour réussir, suppose que tous les acteurs, opérateur de lancement, industrie et institutions, jouent pleinement leur rôle dans une gouvernance refondée.

Ancien élève de l'École normale supérieure et de l'École nationale d'administration, Stéphane Israël est nommé magistrat à la Cour des comptes en 2001. Dans ces fonctions, il participe notamment à des missions sur la politique spatiale et sur la filière Ariane. En 2007, il rejoint l'industrie aéronautique et spatiale, d'abord comme conseiller du président d'EADS, puis en occupant des responsabilités opérationnelles au sein de la branche défense d'Astrium Space Transportation et de la branche géo-information services d'Astrium Services. De mai 2012 à avril 2013, il est directeur de cabinet du Ministre du redressement productif.

smairq

vue Point de vue

L'accès à l'espace et à ses nombreuses applications a toujours constitué un enjeu de souveraineté pour les États soucieux de leur suprématie, ou plus modestement de leur indépendance. On pense en premier lieu aux applications militaires de l'espace et à la lutte que se sont livrés les États-Unis et l'Union soviétique pendant la guerre froide ; on pense moins à ses applications commerciales. Pourtant, c'est bien pour développer ces dernières, en l'occurrence les télécommunications, que l'Europe a décidé de se doter d'un système de lancement autonome, le système Ariane. Prise en juillet 1973 par l'Agence spatiale européenne (ESA), cette décision faisait suite à la demande des États-Unis de limiter l'usage des premiers satellites de télécommunications européens, les satellites Symphonie, à des fins non commerciales en contrepartie de leur mise en orbite par un lanceur américain. C'était le début de la fabuleuse aventure d'Ariane, le coût des développements et la conception étant assurés par les États européens, fédérés au sein de l'ESA, la mise en œuvre du développement et la production étant confiées à l'industrie, alors que l'exploitation était placée sous la responsabilité d'un opérateur dédié, Arianespace, fondée dès 1980.



LES FINANCEMENTS PUBLICS ACTUELS DANS LE CADRE DE L'EXPLOITATION D'ARIANE 5 ET DE VEGA

35 ans après la naissance d'Arianespace, l'exploitation d'Ariane 5 repose sur un principe simple : le volume limité des commandes institutionnelles européennes nécessite que l'opérateur de lancement Arianespace développe son activité sur le marché commercial, pour atteindre des cadences qui garantissent la fiabilité et la disponibilité du système, tout en abaissant son coût récurrent à un niveau acceptable. Néanmoins, les revenus qui résultent de cette activité commerciale, et qui représentent aujourd'hui environ 80 % du chiffre d'affaires généré par Ariane 5, sont fixés selon les lois d'un marché étroit de 20 à 25 satellites à lancer annuellement, celui des télécommunications géostationnaires.

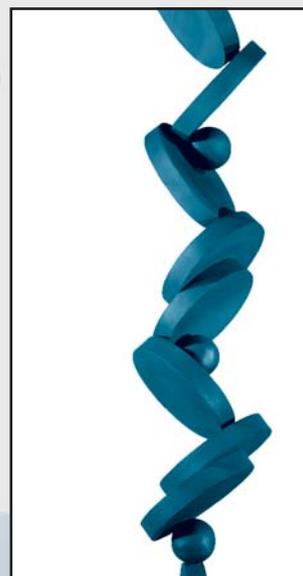
Aussi bien aux États-Unis qu'en Russie, les missions institutionnelles constituent l'essentiel de la charge de l'industrie des lanceurs.

Or, l'offre concurrente disponible est telle que ces revenus restent insuffisants pour couvrir l'ensemble des coûts d'exploitation, et ce bien qu'Arianespace capte régulièrement plus de 50 % des parts de ce marché. Dès lors, Arianespace reçoit de l'ESA un soutien financier direct, qui fluctue d'une année sur l'autre en fonction des souscriptions des États membres, mais qui se situe en moyenne autour de 100 millions d'euros par an. Ce soutien doit être vu comme une contribution des citoyens européens à la garantie d'un accès fiable et autonome à l'espace, contribution *in fine* bien moins élevée que celle qui serait nécessaire dans l'hypothèse où Arianespace se limiterait à remplir sa mission de souveraineté au profit des États européens. À titre d'exemple, le coût du lanceur japonais H2, qui se consacre quasi intégralement aux besoins institutionnels japonais sans ambition forte à l'export, est supérieur d'environ 30 % à celui d'Ariane 5 à iso-performance. Par ailleurs, nul n'est besoin de rappeler que les milliers d'emplois de la filière Ariane sont situés en Europe, dans le cadre de la loi du retour géographique, ainsi qu'au Centre spatial guyanais (CSG), en Guyane française.

Ce modèle nous distingue de celui en vigueur aussi bien aux États-Unis qu'en Russie, où le volume des missions institutionnelles est sans commune mesure et constitue, dans ces deux pays, l'essentiel de la charge de l'industrie des lanceurs. À titre d'exemple, en 2014, ces deux États ont réalisé pas moins de 56 lancements, soit près des deux tiers du volume mondial, contre seulement 11 en Europe (6 Ariane, 4 Soyouz depuis le CSG et 1 Vega), le reste

étant à mettre à l'actif de la Chine, du Japon et de l'Inde. Pourtant, seulement 8 de ces 56 lancements étaient à vocation commerciale contre 7 sur les 11 accomplis par l'Europe.

Dans le cas des États-Unis, ces missions institutionnelles captives, achetées le plus souvent de façon groupée, sont en outre rémunérées très nettement au-dessus des prix pratiqués sur le marché commercial, assurant ainsi une marge de manœuvre importante aux opérateurs outre-Atlantique lorsque ceux-ci, comme SpaceX, décident de se lancer dans l'aventure commerciale. Ainsi, et toujours en 2014, les lancements institutionnels américains, civils et militaires, ont représenté un chiffre d'affaires proche de 5 milliards de dollars contre moins de 400 millions d'euros pour les lancements institutionnels européens.



En 2014, les États-Unis et la Russie ont réalisé 56 lancements contre seulement 11 en Europe.

Seulement 8 de ces 56 lancements étaient à vocation commerciale contre 7 sur les 11 accomplis par l'Europe.

VERS UN NOUVEAU MODÈLE DE PARTENARIAT PUBLIC-PRIVÉ AVEC ARIANE 6 ET VEGA-C

C'est d'ailleurs l'irruption de SpaceX qui a accéléré la volonté de l'Europe de mettre en place un nouveau modèle d'exploitation dont l'objectif premier est d'améliorer la compétitivité de sa filière des lanceurs tout en assurant à celle-ci un volume minimal de missions institutionnelles. La nouvelle gouvernance, qui accompagne le choix de développer en synergie Ariane 6 et Vega-C, envisage ainsi de redistribuer les responsabilités au sein de la filière, en laissant l'industrie assumer en totalité les risques commerciaux sans soutien financier des États membres. En contrepartie, l'industrie obtiendrait une charge garantie, constituée d'un socle de lancements institutionnels européens de l'ordre de 5 Ariane 6 et de 3 Vega-C à réaliser en moyenne chaque année et à des prix déterminés. Elle prendrait en outre le contrôle de l'exploitation commerciale, à travers la cession des parts aujourd'hui détenues par le CNES dans Arianespace à la co-entreprise Airbus Safran Launchers.

Ce modèle nécessite de disposer de lanceurs disponibles sur le marché à des prix conformes aux attentes de celui-ci et avec des potentiels d'évolution lui permettant de s'adapter et de résister aux attaques de la concurrence. C'est tout l'enjeu des développements en cours d'Ariane 6 (dans ses versions dites 62 et 64) et de Vega-C, "market-driven" plutôt que "technology-driven" comme l'avait été celui d'Ariane 5, développements financés essentiellement par les pouvoirs publics mais suivant un *modus operandi* là encore en rup-

ture avec le passé : sur la base d'un cahier des charges produit par l'ESA qui se limite aux exigences de haut niveau, l'industrie en endosse l'entière responsabilité, dès la conception du lanceur, et s'engage sur les coûts à terminaison. Mieux, elle investit une partie de ses fonds propres, pour contribuer au financement dès la phase de développement (à hauteur de 400 millions d'euros sur Ariane 6 pour ce qui concerne Airbus Safran Launchers, soit environ 10 % d'un budget total proche de 4 milliards d'euros).

LES CONDITIONS DU SUCCÈS

À terme, ce modèle est vertueux, car plus engageant et plus simple, avec des périmètres et des responsabilités clairement définis. Toutefois, il suppose pour réussir que soient mis en œuvre des changements profonds, bien évidemment du côté de l'industrie et de l'opérateur de lancement, lesquels doivent se rapprocher pour raccourcir le chemin qui mène du produit au marché et, ce faisant, augmenter leur compétitivité, mais également du côté des institutions : l'Union européenne qui, depuis l'adoption du traité de Lisbonne et en particulier de son article 189, doit « élaborer une politique spatiale européenne », l'ESA et enfin les agences spatiales des différents États membres.

En premier lieu, et pour lutter à armes égales avec la concurrence, tout particulièrement celle située outre-Atlantique, il est primordial que ces institutions s'engagent à utiliser les solutions de

L'irruption de SpaceX a accéléré la volonté de l'Europe de mettre en place un nouveau modèle d'exploitation.

Il est primordial que l'UE, l'ESA et les agences nationales s'engagent à utiliser les solutions de lancement européennes.



lancement européennes pour réaliser leurs missions. Aujourd'hui avec sa gamme de trois lanceurs, Ariane 5, Soyouz et Vega, demain avec Ariane 6 et Vega-C, Arianespace a et aura la capacité de mettre en orbite tous types de satellites, couvrant ainsi l'ensemble du spectre d'applications offertes par l'espace. Dès lors, les moyens disponibles sont là pour répondre à l'ensemble des besoins et construire le socle de lancements institutionnels confiés à l'industrie européenne autour de ce qui pourrait être un "Buy-European Act". Il convient de rappeler que, sauf dans le cadre de projets menés en coopération, le marché institutionnel américain est totalement fermé aux lanceurs européens. Il ne peut y avoir de *fair competition* ni de *level-playing field* si les règles du jeu diffèrent de part et d'autre de l'Atlantique. Un engagement d'achat dans la durée des institutions européennes au profit des lanceurs européens aurait le mérite d'offrir stabilité et visibilité, conditions essentielles pour développer l'investissement d'une industrie désormais essentiellement privée.

Une fois consacré le principe d'une préférence européenne, encore faut-il avoir des missions ambitieuses à mettre en œuvre. C'est le deuxième enjeu : la volonté de l'Europe de développer l'usage de l'espace au service de ses citoyens devrait se manifester plus fortement encore, dans le cadre de projets d'envergure, comme le sont Galileo ou Copernicus conduits

Le deuxième enjeu réside dans la volonté de l'Europe de développer l'usage de l'espace au service de ses citoyens.

sous l'égide de l'Union européenne, et qui ont fortement augmenté la part institutionnelle du carnet de commandes d'Arianespace. L'espace a beaucoup à apporter dans des domaines qui peuvent être considérés comme des biens publics, comme la défense ou la lutte contre le réchauffement climatique, que l'actualité a récemment mis sur le devant de la scène, tragiquement avec les attentats terroristes du 13 novembre à Paris, plus heureusement avec la conférence pour le climat, la COP21, qui s'est tenue également à Paris en décembre. Aux côtés de la poursuite des programmes Galileo et Copernicus, les applications au service de la défense et de la mesure et du contrôle des émissions de gaz à effet de serre constitueraient de véritables relais de croissance pour l'industrie spatiale européenne, et plus spécifiquement pour l'industrie des lanceurs, en charge de fournir les solutions permettant de les mettre en œuvre. Mais ils ne sont pas les seuls. Les télécommunications, bien que répondant en général à des logiques d'ordre privé, ouvrent également de nouvelles perspectives au spatial avec les projets de connectivité globale qui voient actuellement le jour aux États-Unis. Bien public mondial, l'accès universel à Internet pourrait être dopé par des flottilles de satellites bénéficiant au minimum d'achats de capacité par les États européens, voire davantage dans le cadre de projets conçus dès l'origine en partenariat entre opérateurs privés et institutions européennes.

En dernier lieu, il convient de ne pas oublier les coûts d'exploitation importants que représente pour Arianespace le Centre spatial guyanais. S'il est normal que les coûts variables soient à la charge de l'opérateur, on pourrait imaginer une plus ample prise en charge par le secteur public des coûts fixes, comme cela se pratique couramment sur les bases américaines. Appelée à devenir le premier utilisateur public du port spatial européen, l'Union européenne, pourrait, à l'avenir, contribuer à son financement.

Avec Ariane 6 et Vega-C, l'Europe réinvente donc son modèle de financement de l'industrie des lanceurs. Le modèle vertueux consacré lors de la conférence ministérielle de l'ESA à Luxembourg en décembre 2014 doit désormais être mis en œuvre. C'est la clé pour qu'Arianespace continue de faire la course en tête, dans un contexte concurrentiel toujours plus vif et où les États ne sont jamais loin.

p r i s m e

Point de vue Point de vue Point de vue Point de v

LA NUMÉRISATION DE L'ESPACE et son impact sur le financement de la filière et les stratégies de partenariat

Antoine GÉLAIN

Directeur général de Paragon European Partners

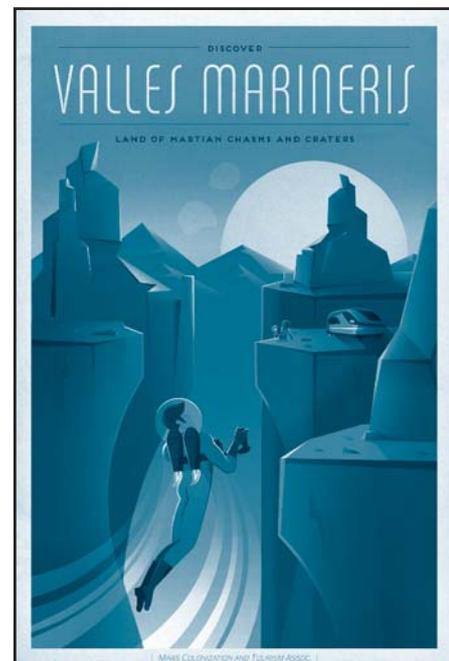
L'industrie spatiale est de plus en plus dominée par la dimension logicielle de ses produits. Ce phénomène de numérisation, qui focalise dorénavant la création de valeur, ouvre le secteur à de nouveaux acteurs ainsi qu'à de nouveaux modes de financement et de partenariat, totalement étrangers à l'industrie spatiale traditionnelle ; et, plus loin encore, à une nouvelle démarche créatrice.

Antoine Gélain est consultant en stratégie et innovation, expert du secteur aérospatial et défense. Il a débuté sa carrière chez Matra Défense puis Aérospatiale, avant de rejoindre le cabinet international Booz Allen Hamilton et de créer ensuite Paragon European Partners à Londres. Il est diplômé de l'ESSEC et de Harvard University.

L'un des plus grands obstacles à l'innovation dans le domaine spatial est la culture de recours aux clients institutionnels pour financer la R&D.

Il fut un temps où le secteur spatial était une industrie relativement confortable avec des acteurs bien établis, de fortes barrières à l'entrée et une concurrence limitée. Il y avait deux raisons principales à cette stabilité : d'une part la relative jeunesse du secteur et, d'autre part, l'approche conservatrice de ses principaux clients – les gouvernements.

Dans une industrie relativement jeune et immature telle que l'industrie spatiale, en particulier en Europe (rappelons-nous que le premier lancement commercial réussi d'Ariane n'a eu lieu qu'en 1983), les clients privilégient logiquement la fiabilité des produits sur d'autres dimensions de la performance tels que le prix ou la flexibilité. Cela a favorisé les entreprises contrôlant la conception et l'intégration finale des produits spatiaux, tels qu'Airbus Group, ainsi que leurs principaux fournisseurs comme Safran ou Thales, qui eux-mêmes ont créé des architectures fermées autour de sous-systèmes clés que sont les propulseurs de fusée ou les charges utiles de satellites. En outre, la propension des clients institutionnels à lancer des programmes technologiquement ambitieux et budgétairement gourmands dans des architec-



tures cloisonnées calquées sur les grands programmes militaires a renforcé la prédominance des maîtres d'œuvre issus du complexe militaro-industriel, créant une sorte de « zone de confort » tant pour les clients eux-mêmes que pour ces fournisseurs. Ces interdépendances et ce cloisonnement ont empêché pendant très longtemps l'entrée sur le marché de nouveaux acteurs proposant des technologies de rupture.

La numérisation de l'économie bouscule ce statu quo de façon spectaculaire. Des salles blanches aux salles de contrôle, des bureaux d'études aux ateliers de production, l'économie numérique est

L'enjeu pour le spatial est de développer de nouveaux modèles économiques et de nouvelles applications, lesquels ne peuvent venir que de l'extérieur, par le biais d'une « pollinisation ».

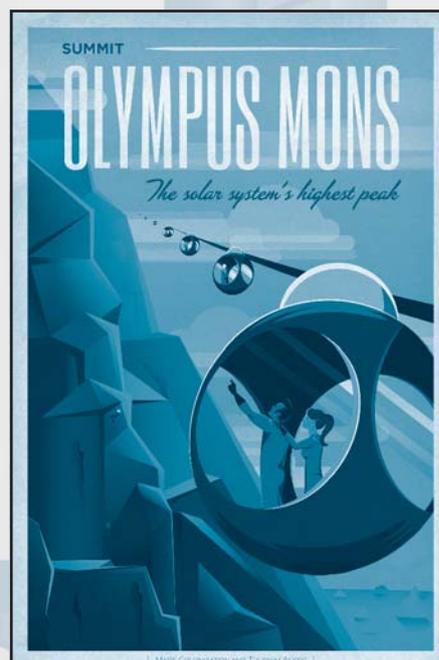
en train d'envahir l'industrie spatiale et, ce faisant, révolutionner le secteur. Une industrie qui se définissait traditionnellement par la puissance de ses lanceurs ou la capacité d'emport de ses satellites ("*hardware*") devient de plus en plus dominée par la puissance de calcul de ses logiciels ("*software*"), au point où la performance d'un produit donné est davantage limitée par sa bibliothèque numérique que par ses caractéristiques physiques. C'est d'ailleurs ainsi que l'on nomme la dernière génération de satellites : ils sont "*software-defined*", c'est-à-dire conçus autour d'une architecture logicielle, et capables de se mettre à jour et de se reconfigurer de façon autonome.

Cette entrée en force du numérique dans le spatial a plusieurs conséquences majeures sur la dynamique de la filière.

Premièrement, la numérisation brouille les frontières traditionnelles entre les secteurs économiques, créant des opportunités pour des nouveaux entrants et ouvrant la porte à des transferts de technologies, d'expériences et de ressources venant de multiples directions, et non plus seulement de la communauté spatiale ou de défense. Ainsi, un nouvel écosystème d'entreprises partageant les mêmes modèles de développement (labellisé "*New Space*" par les Anglo-Saxons) est apparu dans des domaines connexes tels que l'exploration de l'espace, le tourisme spatial, la géo-intelligence et les communications par Internet.

Deuxièmement, au fur et à mesure que l'économie numérique continue de se développer, les événements de création de valeur – ou points de

contact économiques (*economic touchpoints*) – s'éloignent de plus en plus des entreprises spécialisées dans le développement et la production de plateformes *hardware*, ce qui est encore le cas des acteurs historiques. Ce sont au contraire les acteurs dits « natifs » du numérique (*digital natives*) qui monopolisent de plus en plus ces points de contact économiques, parce que la création de valeur numérique, quel que soit le médium utilisé, est inscrite dans leur ADN. Peu importe qu'il s'agisse d'un téléphone, d'une voiture, d'une maison individuelle ou d'un satellite, ce ne sont que des « nœuds » dans un réseau numérique géant. Pour ces nouveaux acteurs issus



Il apparaît assez naturel que les secteurs du spatial et du divertissement se nourrissent mutuellement, l'imagination des uns se fondant dans l'imaginaire des autres.

du numérique, l'espace n'est donc pas une fin en soi ; c'est un catalyseur, ce qui signifie qu'ils ne sont pas asservis à un système, produit ou client particuliers, ce qui leur permet d'innover de façon plus opportuniste et rapide. Ce faisant, ils contribuent à la marginalisation des entreprises traditionnelles et à la banalisation de leurs produits. C'est pourquoi, en dépit de tailles similaires en termes de revenus et d'employés, les capitalisations boursières d'Amazon, Google, Apple et autres acteurs numériques purs sont plusieurs fois supérieures à celles des acteurs spatiaux traditionnels tels que Boeing, Airbus ou Safran. Un tel écart de valeur reflète la perception de vulnérabilité des acteurs de la « vieille économie » à des ruptures majeures, qu'il s'agisse de nouveaux concurrents, de nouvelles technologies, de nouveaux modèles économiques ou de nouvelles applications.

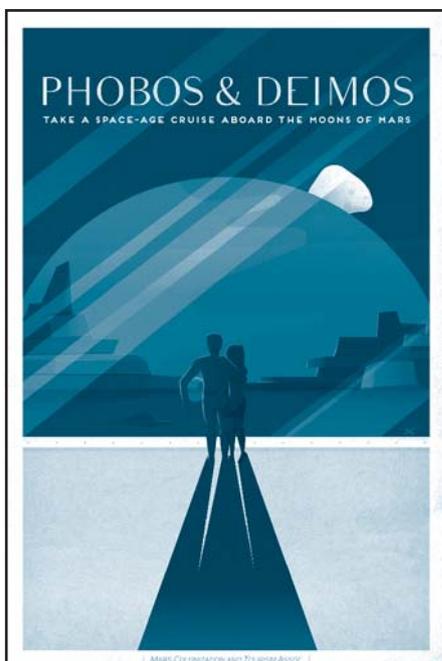
Pour se rendre à l'évidence d'une telle vulnérabilité, il suffit d'observer la philosophie qui sous-tend la culture de développement logiciel de la nouvelle économie, telle qu'appliquée par les nouveaux acteurs de l'espace. Cette philosophie a été formalisée en 2001 par un groupe de développeurs de la Silicon Valley dans un communiqué intitulé *"The Manifesto for Agile Software Development"*. Essentiellement, ce manifeste explicite les facteurs d'amélioration et les *"best practices"* en matière de développement logiciel, à savoir mettre l'accent : sur les individus et les interactions individuelles plutôt que sur les processus et les outils ; sur des logiciels qui fonctionnent plutôt que sur une documentation exhaustive ; sur la collaboration avec les clients plutôt que sur la négociation contractuelle et sur la capacité de réponse au changement plutôt que sur le respect

d'un plan préétabli. De telles pratiques sont en rupture totale avec les pratiques traditionnelles du secteur spatial.

Une fois cet état des lieux établi, il est légitime de se poser la question des implications pour le financement de la filière et les stratégies de partenariat.

Pour ce qui est du financement de la filière, force est de constater que la R&D spatiale est de plus en plus financée par des fonds de capital risque et des entrepreneurs issus du monde du web, et non plus par les investisseurs institutionnels et les poids lourds de l'industrie. De fait, l'un des plus grands obstacles à l'innovation dans le domaine spatial est la culture de recours aux clients institutionnels pour financer la R&D. En clair, les entreprises du spatial ont pris l'habitude de n'innover que si elles ont d'abord la garantie de financements par les États. Une fois cela acquis, alors elles se soucient de la viabilité commerciale de leurs innovations. À l'inverse, les nouveaux acteurs du spatial, tels que Skybox Imaging et PlanetLabs avec leurs satellites d'observation de la Terre à faible coût, SpaceX avec ses lanceurs, ou Virgin Galactic avec son véhicule de transport suborbital, ont une approche purement commerciale pour démarrer, et plus tard seulement cherchent-ils, le cas échéant, des financements complémentaires auprès des clients institutionnels.

Cette approche commerciale se matérialise également dans l'utilisation quasi-exclusive de technologies standard dites COTS (*commercial-off-the-shelf*) – qu'il s'agisse de capteurs CMOS utilisés dans les appareils photo numériques ou d'outils



de conception électronique utilisés pour la console de jeux Playstation 4, cela ne les empêchant pas d'obtenir une performance semblable, si ce n'est meilleure, à celle de leurs concurrents historiques. À certains égards, ces acteurs ressemblent d'ailleurs davantage à des fabricants d'électronique grand public ou de téléphones cellulaires qu'à des fabricants de satellites.

Il est donc clair que le financement futur du secteur de l'espace va de plus en plus venir non pas des clients institutionnels, mais des investisseurs privés, tels que les sociétés de capital risque et les fonds de *private equity*. De ce point de vue, les entreprises du spatial ont plus de chances de trouver des financements en étant, dans le jargon de Wall Street, "*long on vision and talent, and short on time and budget*" (riche en vision et en talent, mais pauvre en budget et en temps).

Pour ce qui est des stratégies de partenariat, là aussi l'économie numérique change radicalement

la donne. Il ne s'agit en effet plus de faire des partenariats intra-industrie mais plutôt extra-industrie, c'est-à-dire avec des entreprises venant d'autres secteurs : Internet, télécommunications, électronique, informatique, voire automobile et médias. En effet, l'enjeu pour le spatial est de développer de nouveaux modèles économiques et de nouvelles applications, lesquels ne peuvent venir que de l'extérieur, par le biais d'une « pollinisation » de pratiques adaptées à l'ère du numérique et répondant aux besoins des utilisateurs finaux. Déjà de nombreuses alliances improbables ont vu le jour (Google-CNES, Facebook-Eutelsat, Qualcomm-OneWeb, etc.) et ce phénomène devrait s'amplifier dans les années à venir.

Par ailleurs, le type de partenariats lui-même est amené à changer. Historiquement, les partenariats entre entreprises du secteur spatial étaient de nature verticale, les gros phagocytant les petits. Souvent, ils finissaient par l'acquisition pure et simple des petits acteurs par les gros. Or, le numérique, en supprimant dans une large mesure les effets d'échelle, suggère un autre mode de partenariat, plus horizontal, entre les acteurs. Ceci devrait donner davantage de latitude aux startups pour se développer de façon autonome et éviter de perdre leur indépendance au profit des grands donneurs d'ordre. L'émergence de nouvelles sources de financement capitalistiques telles que le capital risque ou le *private equity* ne peut qu'aider à préserver l'indépendance de ces acteurs en les accompagnant dans leur processus de croissance et dans leurs interactions avec les clients traditionnels du secteur.

Jusqu'où ce phénomène de pollinisation de l'espace peut-il aller ?

Il y a quelques mois, SpaceX a publié plusieurs affiches futuristes faisant la promotion de Mars comme destination touristique. On y retrouve le style des bandes dessinées des années 1950, l'occasion de se rappeler combien cette période fut riche en projets futuristes d'explorations spatiales. C'est d'ailleurs à cette époque que les premières ébauches de véhicules sensés atteindre Mars ont été réalisées par des scientifiques visionnaires, tels que Wernher von Braun aux États-Unis avec son Projet Mars ("The Mars Project") publié en 1952. Ses concepts futuristes ont inspiré de nombreux artistes et ouvert la porte de l'imaginaire collectif. Dès 1950, deux films de science-fiction relatifs à l'exploration spatiale ("*Destination Moon*" et "*Rocketship X-M*") ont été réalisés. De façon prémonitoire, "*Destination Moon*" cultive l'idée que c'est l'industrie privée qui mobilisera les ressources et développera la technologie nécessaires pour atteindre la Lune et que le gouvernement sera ensuite obligé d'acheter la technologie pour rester une puissance dominante. Walt Disney, lui-même passionné par l'espace, produira à cette époque plusieurs films et documentaires en partenariat avec von Braun.

Il apparaît ainsi assez naturel que les secteurs du spatial et du divertissement se nourrissent mutuellement, l'imagination des uns se fondant dans l'imaginaire des autres, les deux nécessitant une démarche créatrice assez similaire. Ce n'est d'ailleurs pas un hasard si l'émergence du "New Space" s'est accompagnée

d'une foison de films récents sur le spatial, notamment "*Gravity*", "*Interstellar*" et, dernièrement, "*The Martian*". À y regarder de plus près, il y a effectivement d'étranges similitudes entre Elon Musk et Walt Disney. Musk pratique la même approche créative que celle qui a permis à Disney de produire les succès universels que l'on connaît, faisant d'abord la place au rêve (coloniser Mars), puis faisant preuve d'un esprit critique redoutable (comment trouver les ressources financières nécessaires ? La réponse a été : en lançant des satellites commerciaux et en approvisionnant la Station spatiale internationale) pour aboutir à une solution pragmatique lui permettant d'envisager de faire de ce rêve une (quasi-)réalité (SpaceX et son concept de lanceur réutilisable).

On peut donc parier que le destin de l'espace ne sera jamais trop éloigné de celui des médias et de l'industrie du divertissement. En effet, quand il s'agit de projets d'une ambition a priori démesurée qui touchent les frontières de l'imagination humaine, le champ d'application importe moins que l'état d'esprit avec lequel on aborde le défi qui se présente. À cet égard, Elon Musk et ses pairs entrepreneurs du "New Space" pourraient bien s'approprier cette maxime de bienvenue de Disney : « Ici, vous quittez aujourd'hui et entrez dans le monde d'hier, de demain et de l'imaginaire » ("*Here you leave today, and enter the world of yesterday, tomorrow and fantasy*").

Affiches : Mars Colonization and Tourism Association, SpaceX

p r i s m e

Expertise Expertise Expertise Expertise Expertise

L'ESPACE, SOURCE D'INTENSES ET RAPIDES TRANSFORMATIONS

Lionel SUCHET

Directeur Adjoint du Centre spatial de Toulouse - CNES

Que ce soit dans les systèmes spatiaux, leur conception et leur mode de propulsion, qui vont nous permettre d'aller plus vite plus loin, ou dans les plateformes orbitales, leur autonomie et leurs systèmes de transmission, ou dans le domaine des charges utiles, ou encore dans la conception, la fabrication et la gestion des méga-constellations annoncées, le domaine spatial, loin de voir ralentir ses évolutions, est actuellement source d'intenses et rapides transformations. Aperçu à 360 degrés de cet univers, apparu il y a à peine plus d'un demi-siècle.

Diplômé de l'École polytechnique et de l'École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace, Lionel Suchet, est entré au CNES en 1989. Il a été chef de projet de nombreux vols spatiaux habités réalisés sur les stations MIR et ISS. À partir de 2004, il dirige le développement des projets spatiaux en Sciences de l'Univers puis, à partir de 2008, de l'ensemble des projets spatiaux dans le domaine des satellites, des sondes interplanétaires et des instruments scientifiques embarqués. Il est directeur adjoint du CNES Toulouse depuis 2011.

Après la période des pionniers et des grandes démonstrations technologiques, est arrivé le temps des missions plus complexes dédiées à des communautés très ciblées...

Le 4 octobre 1957, depuis le cosmodrome de Baïkonour en Union soviétique, était lancé Spoutnik 1, le premier satellite artificiel de notre planète. C'était il y a 58 ans à peine. En comparaison, l'aéronautique est née il y a déjà 125 ans avec le vol de Clément Ader sur sa « chauve-souris » et la toute première automobile a roulé il y a presque 250 ans. Autant dire que le spatial est un domaine technique extrêmement jeune. En France, le Centre national d'études spatiales (CNES) a été fondé en 1961 et nous a propulsés au troisième rang des puissances spatiales mondiales.

Cependant, dès le départ, il a fallu réapprendre toutes les techniques et réinventer toutes les technologies pour aborder ce milieu si spécifique qu'est l'environnement spatial. De fait, sans effet de la gravité, sans convection, dans le vide et soumis à un bombardement permanent de particules énergétiques tout ou presque se comporte différemment qu'au sol. Les mécanismes n'auront pas les mêmes appuis, les électroniques devront être durcies pour résister aux flux de particules, les éléments chauffants ne pourront plus évacuer les calories par convection, les colles pourront s'évaporer, etc. Faire fonctionner des machines complexes dans ces conditions extrêmes a été,

et reste, une source importante d'innovations technologiques en tous genres.

Cela est d'autant plus vrai qu'une autre des particularités structurantes du spatial est qu'on ne peut plus accéder à nos satellites une fois qu'ils ont été lancés. Il est dès lors impossible de changer un composant défectueux ou d'ajouter une cale salvatrice... Cette autre caractéristique a été source d'innovations importantes dans les méthodologies de conception, d'intégration et de validation. Toute la démarche qualité au sens large, reprise maintenant dans de nombreux autres domaines techniques (l'industrie automobile par exemple), est née bien souvent du fait des exigences du domaine spatial.

Les agences, à l'instar du CNES, et les industriels du domaine sont ainsi très rapidement devenus de véritables machines à innover. Le récent exploit de la sonde Rosetta et de son orbiteur Philae en est une parfaite illustration. On pourrait aussi citer d'autres instruments incroyables que le CNES développe en ce moment : Euclid (pour percer les secrets de l'énergie noire) ; Swot (pour mesurer la hauteur de l'eau au centimètre près n'importe où sur la planète) ; IASI-NG (pour détecter les molécules

S'ouvre aujourd'hui une nouvelle ère, encore plus riche, combinant des missions ciblées toujours plus complexes et des systèmes spatiaux toujours plus nombreux.

dans notre atmosphère avec une très grande précision)...

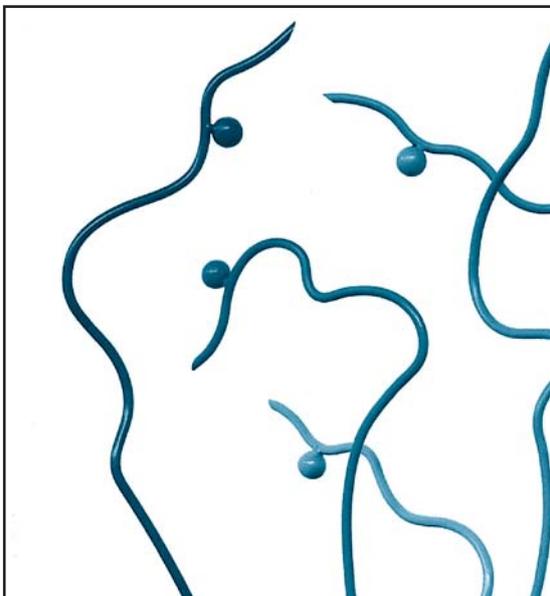
Avons-nous fait le tour de ces problématiques ? Il serait très présomptueux de penser que tout a été fait et qu'il n'y a plus rien à apprendre. En réalité, le domaine spatial est toujours en pleine mutation et peut-être plus vite encore aujourd'hui qu'au tout début de l'ère spatiale. En effet, après la période des pionniers et des grandes démonstrations technologiques, est arrivé le temps des missions plus complexes dédiées à des communautés très ciblées, elles-mêmes spécialistes du spatial. S'ouvre aujourd'hui une nouvelle ère, encore plus riche, combinant des missions ciblées toujours plus complexes et des systèmes spatiaux toujours plus nombreux, pour répondre à des enjeux sociétaux extrêmement variés. L'utilisateur du spatial n'est plus obligatoirement un spécialiste ; bien souvent, il ne sait même pas qu'il manipule des données spatiales.

Quelles sont les technologies qui permettent de progresser si vite dans tous les domaines du spatial ? Quelles sont les ruptures qui nous permettraient d'aller encore plus vite et plus loin ?

Un des premiers enjeux de nos systèmes spatiaux est la propulsion. De façon générale, ces systèmes qui mettent en jeu des énergies considérables quand il s'agit de lancements sont technologiquement très complexes, chers et polluants. Les technologies cryogéniques ont permis de gagner en performance mais au prix d'une complexité accrue ; les lanceurs se détruisent en remplissant leurs missions, ce qui n'est pas très efficace ; l'hydrazine de

nos satellites est extrêmement toxique, ce qui pose des problèmes de sécurité pour les opérateurs... Bref, on est loin de l'optimum rêvé. Les travaux actuels portent sur les « ergols verts », systèmes chimiques non toxiques qui pourraient à court terme remplacer l'hydrazine d'une part, sur les lanceurs réutilisables permettant de diminuer les coûts de lancement et, d'autre part, sur la propulsion électrique des satellites réglant ainsi les problèmes de toxicité des ergols tout en proposant un système de propulsion bien plus léger que tous les systèmes chimiques existants. De plus, sur de longs trajets, la propulsion électrique permet des poussées en continu en utilisant de l'énergie solaire, ou même nucléaire, ce qui permettrait de réduire fortement la durée des voyages interplanétaires.

Au niveau des plateformes orbitales de nombreux paramètres évoluent. On observe tout d'abord une variété de plus en plus grande : les plus gros satellites de télécommunication pèsent jusqu'à 8 tonnes alors que les nanosats pèsent moins de 10 kilogrammes. On dispose ainsi de toute une gamme d'objets permettant de mieux s'adapter à des missions qui sont, elles aussi, de plus en plus variées. Les plateformes seront aussi de plus en plus autonomes : elles peuvent déjà contrôler leurs positions en orbite sans aucune aide du sol et demain, sans nul doute, elles seront capables d'éviter seules d'autres satellites ou des débris spatiaux. Parce que les instruments enregistrent de plus en plus de données, les capacités des plateformes pour stocker et transmettre ces données vers le sol doivent aussi augmenter fortement. Ainsi, les émetteurs sont de plus



en plus puissants et les longueurs d'onde utilisées évoluent elles-mêmes pour offrir plus de flux : on est déjà passé de la bande S à la bande X, on peut prévoir des évolutions vers la bande Ka et, demain sans doute, des liaisons optiques bord/sol.

Dans le domaine des « charges utiles », autrement dit, des instruments embarqués sur les plateformes, les choses évoluent de la même manière, très vite. En optique par exemple, on parlait il y a quelques années dans le domaine de l'observation civile de la Terre de résolutions au sol de plusieurs mètres et c'était alors déjà un exploit pour des images prises depuis 700 kilomètres d'altitude. Aujourd'hui, la résolution frôle le demi-mètre, demain elle sera d'une dizaine de centimètres... Les télescopes offrant ces niveaux de précision sont de plus en plus complexes et surtout, de plus en plus compliqués à régler au sol (sous la gravité terrestre et à l'air). Un tel système ne peut pratiquement plus être réglé une fois le satellite lancé,

aussi la moindre erreur de réglage au sol est fatale. Ainsi, les ingénieurs pensent maintenant à utiliser des techniques d'optique « active » : les miroirs se déformeront automatiquement si nécessaire, à chaque prise de vue, pour optimiser la qualité de l'image. Ainsi, les réglages au sol pourront être largement simplifiés, donc réalisés plus vite et de façon moins coûteuse. De plus, des erreurs de montage pourront être compensées en vol, ce qui augmentera la robustesse du système et diminuera le coût global.

En télécommunications, c'est davantage la course aux capacités de transmission. Les briques technologiques de THD-Sat développées par le CNES et les industriels français permettront d'obtenir très rapidement une capacité d'émission 20 fois supérieure à la capacité des satellites actuellement en orbite. Or, lorsqu'on dispose d'une telle capacité, on ne peut pas se contenter de l'utiliser tout au long de la vie du satellite entre les mêmes points utilisateurs au sol. Ainsi, les nouvelles charges utiles proposeront aussi des capacités de flexibilité, c'est-à-dire la possibilité de réorienter les flux de données en fonction des besoins réels.

Concernant le nombre de satellites en orbite et la façon de les opérer, les méga-constellations annoncées pour les années qui viennent pourraient constituer une rupture technologique et opérationnelle sans précédent. Alors que les constellations de satellites GPS comportent quelques dizaines d'éléments, une seule de ces méga-constellations pourrait contenir à elle seule 1 000 satellites, c'est-à-dire plus que l'ensemble de tous les satellites

aujourd'hui opérationnels en orbite autour de la Terre. Ceci représente un challenge très important pour opérer tous ces satellites en parallèle, gérer le trafic opérationnel et les débris générés après leur fin de vie. Les segments sol de ces constellations devront donc être extrêmement sophistiqués et faire appel aux dernières technologies informatiques de traitement de masse des données. La fabrication de ces satellites en grand nombre est aussi un nouveau challenge car s'il faut aujourd'hui 18 mois pour fabriquer un seul satellite, à ce rythme il faudrait 1 500 ans pour fabriquer la constellation entière. Ainsi, les usines de fabrication vont se transformer pour ressembler davantage à des chaînes automobiles qu'à des chaînes spatiales. Le lancement est un challenge tout aussi important. Aujourd'hui, on sait lancer sans problème, mais non sans difficultés, 4 satellites sur un même lanceur mais à ce rythme, il faudrait 250 lancements, ce qui serait bien

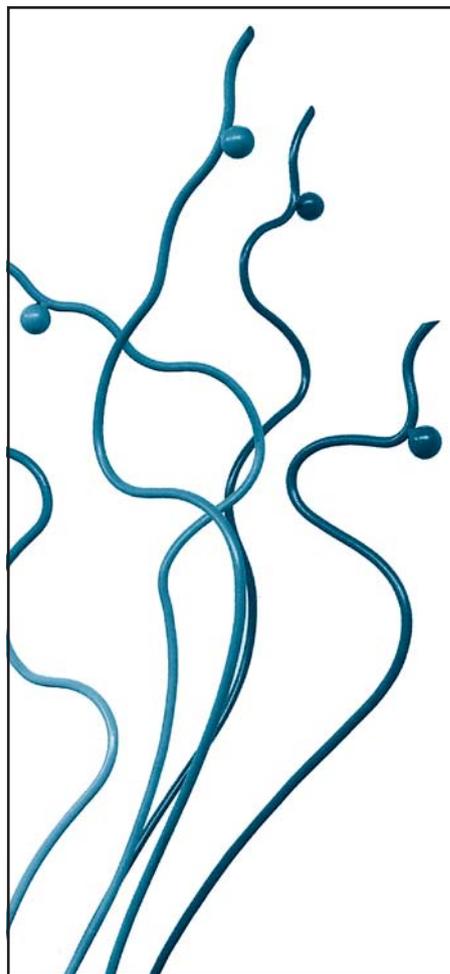
trop cher et bien trop long pour les résultats escomptés. Ainsi, on envisage de lancer les satellites par grappes de 36, voire de 72, satellites sur un même lanceur. Ceci représente une difficulté extrême pour assurer le suivi des premières heures en orbite. Enfin, les prix extrêmement bas recherchés pour chacun de ces satellites nécessiteront des gains de productivité d'un facteur 100. En dépit de l'effet de nombre, cela ne sera pas possible sans une remise en cause profonde des méthodes de conception et de fabrication des engins spatiaux.

Liée à l'apparition des futures méga-constellations et à la multiplication des nano satellites, mais pas uniquement, la gestion des débris spatiaux représente elle-même un challenge pour le futur. Comment éviter de créer trop de débris en orbite, comment mieux observer et simuler l'évolution de la population de débris, comment éviter les collisions de façon



automatique en vol, comment éventuellement, demain, pouvoir éliminer des débris mal placés ou trop gênants ? Ces questions sont autant de défis qui seront relevés en rendant nos satellites plus autonomes, en améliorant nos moyens d'observation depuis le sol ou depuis l'orbite, en imaginant de nouvelles missions de nettoyage mais aussi en enrichissant les réglementations sur l'utilisation de l'espace.

Ces quelques exemples ne sont pas exhaustifs. Ils montrent que le domaine spatial, loin de voir ralentir ses évolutions, est actuellement source d'une intense et rapide transformation technique, opérationnelle, juridique et organisationnelle. De plus, les ruptures à attendre dans un futur proche relèvent sans aucun doute autant des nouveaux usages des données spatiales que des technologies utilisées pour les satellites. En effet, la multitude, la variété et la richesse des missions spatiales existantes, la grande quantité de données qu'elles nous fournissent et la capacité de savoir traiter ces données en masse nous ouvrent des portes très prometteuses sur de nouvelles applications. Technologies à la pointe, capacités en forte croissance et usages nouveaux : ce sont ces défis qui motivent les femmes et les hommes du spatial, passionnés à l'idée d'imaginer, de concevoir et d'opérer des systèmes visant à répondre à des enjeux à la fois variés et primordiaux : notre sécurité, l'avancée de nos connaissances et aussi, de plus en plus, la qualité de vie de chacun d'entre nous.



HTS DISRUPTS SATELLITE DATA NETWORKING

*Blaine CURCIO, Senior Analyst, Japan
Prashant BUTANI, Senior Analyst, India
Northern Sky Research - NSR*

Over the past decade the satellite telecommunications industry has been transformed by the continued advent of High Throughput Satellites and, over the past year, a series of announcements made in the industry have accelerated the pace of change surrounding technology. Looking to the future, a number of programs might still fundamentally alter the satellite telecommunications industry landscape.

Blaine Curcio joined NSR in 2012. He previously worked for SGS International and SES. He is the lead author for NSR's annual Satellite Operator Financial Analysis report, and contributing author of the Global Satellite Capacity Supply and Demand (GSCSD) report. M. Curcio's obtained a Bachelor's Degree in International Business from Illinois State University.

Prashant Butani joined NSR initially in 2009 and again in 2014. He has previously worked at Vodafone Global Enterprise, Barathi Airtel Ltd., Avanti Communications, Inmarsat and Tata Consulting Services. M. Butani is contributing author of the Global Satellite Capacity Supply and Demand (GSCSD) report. He has a Master of Science in Satellite Communications from the University of Surrey (U.K.) and a Bachelor's Degree in Information Technology from the University of Mumbai (India).



Expertise Expertise Expertise Expertise Expertise Expertise

One of the most unconventional business models to arise from the advent of HTS technology is the company O3b Networks, whose acronym stands for the Other Three Billion – implying those not connected to the Internet.

Over the past decade the satellite telecommunications industry has been transformed by the continued advent of High Throughput Satellites (HTS); these satellites utilize frequency reuse and spot beam technology to achieve many times the capacity of traditional satellites for the same allocation of spectrum. The commonly cited anecdote is that the first major geostationary Earth orbit (GEO) HTS launched over North America – ViaSat-1 – had more capacity than all other satellites over North America combined at the time of its launch in 2011.

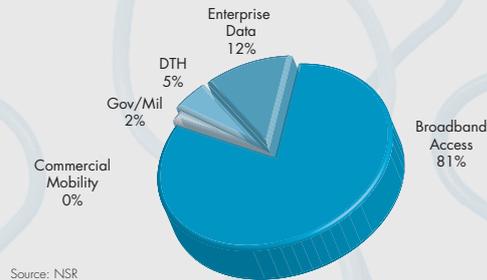
Over the past year, a series of announcements made in the industry have accelerated the pace of change surrounding high throughput technology, and opened the door to new opportunities for satellite telecom to bridge the communication gaps that are still all too common in our increasingly interconnected world. These macro trends merit some discussion on how HTS has altered the industry thus far, before looking to the future at a number of programs, business cases, and the like that will further disrupt the traditional paradigm, creating winners and losers and ultimately fundamentally altering the satellite telecommunications industry landscape.

High Throughput Satellites **A BRIEF HISTORY**

HTS have already played a significant role in the recent evolution of the satellite telecommunications industry, in a number of ways. First, HTS technology has allowed for consumer broadband via satellite to become a viable business model. According to NSR's VSAT & Broadband via Satellite, 14th Edition study, there were more than 2 million broadband subscribers worldwide via satellite, as of the end of 2014. With lower cost per bit being made possible through HTS, this has allowed for a very real market to emerge in developed countries and, increasingly, some middle-income developing countries. As the chart above shows, over 80% of global GEO-HTS capacity leased as of the end of 2014 was leased for consumer broadband purposes, reflecting the enormous number of these payloads for broadband access. This also demonstrates the potential of a market that cannot be served by terrestrial means, and as such where satellite remains the most practical option. The largest driver of broadband adoption via satellite, however, has not necessarily been availability – indeed there have been limited

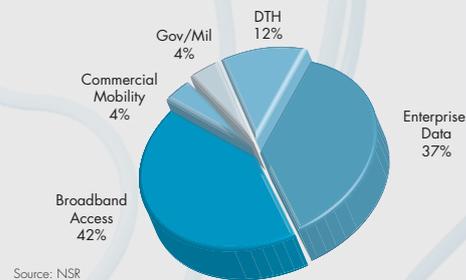
broadband offerings in the past over more traditional capacity – but rather the lower cost per bit offered by spotbeam HTS technology. As the chart below shows, despite accounting for over 80% of leased HTS capacity, consumer broadband represented only around 40% of HTS leasing revenues as of the end of 2014. This is an indicator that so far, HTS systems have been able to target only the somewhat lower-margin, “low-hanging fruit” of consumer broadband. Examples of these types of business models include ViaSat and Hughes (part of Echostar) in the United States, both of which have subscribers well into the 500,000 to 1 million range and have next generation satellites planned that could grow available capacity by a further order of magnitude. On the other side of the pond in Europe is Eutelsat’s KA-SAT which, after some initial struggles to gain traction, has carved out a nice niche within the European broadband market and now counts well over 150,000 subscribers. Other notable business models that helped to spur the adoption of HTS include Thailand’s Thaicom’s IPSTAR, which launched over Asia-Pacific in 2005 as the first High Throughput Satellite in orbit. IPSTAR has carved out a niche in a number of markets across a breadth of applications, including a broadband market in Australia, as well as backhaul services through its partner SoftBank in Japan. Recently, Russia’s RSCC launched HTS satellites for broadband access to the Siberian countryside where terrestrial options are not feasible or too costly. Indeed, HTS is becoming the “new PrideSat” for countries like Brazil, China and India – all of whom have state-sponsored HTS projects in the works.

Global GEO-HTS Leased Capacity by Application, 2014



Source: NSR

Global GEO-HTS Revenues by Application, 2014



Source: NSR

***HTS OF TOMORROW
Cannibalizing Force or Complimentary Coverage?***

High Throughput Satellites have already begun an evolution aimed at targeting applications above and beyond the programs discussed above. Indeed, HTS systems launched today are much more oriented towards Enterprise applications such as VSAT networking, backhaul, trunking, and commercial mobility. These systems are targeting higher-cost applications

with a smaller number of end users, and more importantly, the systems are targeting many of the existing data verticals of traditional FSS players, with costs per bit being potentially orders of magnitude less than has been the case under the current paradigm. This will ultimately lead to a significant change in the way that the business models in the industry are structured, and the way that the value chain is set up. Indeed, companies like Avanti Communications (UK) and Yahsat (UAE) with their HTS systems have been quite forthright in selling their services to both consumer broadband service providers as well as those serving backhaul or enterprise data (or B-to-B) markets. This also reflects the more macro trend that consumer broadband commands a much higher average revenue per user in the developed markets than in emerging ones.

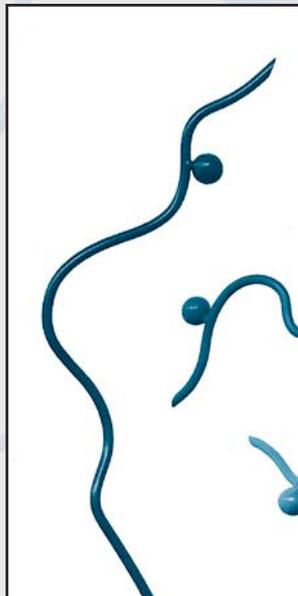
***NEW MARKETS
Will Continue to Emerge***

One of the most unconventional business models to arise from the advent of HTS technology is the company O3b Networks, whose acronym stands for the Other Three Billion (implying those not connected to the Internet). It has built a business on providing very high throughput capacity through a spot beam over areas between 45 degrees north and south of the equator with 12 satellites in Medium Earth Orbit (MEO), which are closer to the Earth than in GEO. Far from its original mission of providing connectivity to the unconnected, the company has found a solid market in the mobility sector, with cruise ships in the Caribbean providing good growth for O3b.

Moving forward, HTS players are expected to find mobility (or connectivity for ships, planes and vehicles) to be a significant, higher-margin market, as verticals like in-flight connectivity, broadband at sea, and the like provide more dollars per megabit than lower-margin applications like consumer broadband. Other new markets will include trunking services that will involve larger amounts of throughput than ever before at lower cost than was previously possible, with the aforementioned O3b targeting this vertical aggressively. Other players in this increasingly crowded market will include Kacific, operating in the Pacific Ocean Region, as well as operators such as ViaSat, SES, Intelsat and Thaicom, to name a few. New HTS payloads in both GEO and Low Earth Orbit (LEO) will likely target similarly underserved markets through a combination of higher throughput and lower cost, thus expanding the pie for satellite and partially offsetting cost pressures. Markets like backhaul, enterprise VSAT and consumer broadband are ripe for disruption as they have long battled with costs per bit that are orders of magnitude higher in the satellite world as opposed to fiber. While dropping prices helps grow addressable market, what also helps is true global reach and a seamless, ubiquitous service that has somewhat evaded even the best of GEO and LEO operators today.

***SERVICE PROVIDERS
Will Have More to Work With***

Historically, many HTS systems have a “closed” architecture, with the operator essentially controlling the majority of the “pipe” that



PRICING PRESSURES Will Continue

Over the past 24 months or so, NSR has consistently heard of decreased satellite capacity pricing across a wide swath of applications and across a diverse set of regions. A topic that was once restricted to private conversations is now being spoken of openly at trade shows and conferences where operators lament the falling prices of both traditional wide beam and high throughput bandwidth. This decrease in pricing has come in part due to demand not keeping up with historically bullish supply growth in regions such as Sub-Saharan Africa and Latin America, but equally due to a capacity explosion of HTS onto the market in a number of regions. Downward pressure on pricing will continue to be spurred by new entrants coming into the market with comparatively few in-orbit assets to support, and as such the key trend moving forward will be to “grow the pie” from a total bits leased perspective at a faster rate than the revenue pie shrinks due to decreasing revenues per bit.

And What if a LEO-HTS CONSTELLATION LAUNCHES?

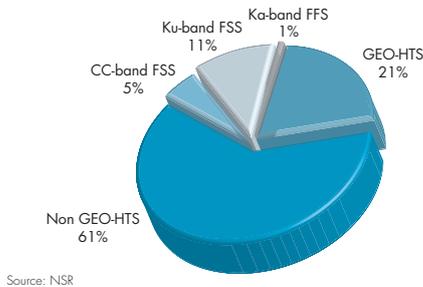
The most significant announcements over the past couple of years relate to Low Earth Orbit – High Throughput Satellite constellation, or LEO-HTS constellations, with hundreds and even thousands of satellites proposed and total system throughputs of terabits, not gigabits, per second, by the likes of SpaceX, LeoSat and OneWeb. These constellations would completely revolutionize the way that data networking

transmits data, and restricting the ability for end users to make use of the throughput as they please. However, recently, new HTS systems have made a shift towards “open” architecture, which allows greater ability and flexibility for the end user to manage the bandwidth on their own. Examples of this include Avanti Communications, Intelsat’s EpicNG series of satellites, and the HTS systems being developed by players such as SES. These open systems will give more freedom to service providers to optimize the capacity for their own end users’ needs, which, combined with a number of recent mergers among these service providers, will allow for an increase in the bargaining power, and ultimately an improvement in the competitive market positioning of these service providers. Signs of a shifting paradigm in the service provider market are already visible with consolidation happening both up and down as well as across the value chain.

New HTS systems have made a shift towards “open” architecture, which allows greater ability and flexibility for the end user to manage the bandwidth on their own.

via satellite is structured, with the potential for extremely open system architecture that basically relies on ground equipment in the range of a few hundred dollars that allows service providers to create 3G, 4G and Wi-Fi hotspots anywhere to act as remote backhaul sites for individuals or small businesses. To give a sense of scale as to the new LEO-HTS satellites being brought onto the market, the chart below shows a potential global breakdown of capacity type in the year 2020 – one year after the first LEO-HTS constellation has entered service.

Global Satellite Capacity by Application, 2020



Traditional FSS capacity has been converted from the more conventional 36 megahertz transponder equivalent to Gigabits per second utilizing a highly optimistic 4 bits per hertz ratio, which would, if anything, overstate the percentage of traditional FSS capacity. And yet, we still see that traditional FSS accounts for less than one fifth of capacity in orbit by that time, with Non GEO-HTS, which includes O3b in MEO and LEO-HTS, accounting for more than 60%. Challenges abound for these new



constellations, including questions about profitability, spectrum and interference, requirements for significant advances in ground equipment, and the consistent issue of distribution networks to get the huge amount of new capacity to end users, but should these questions be addressed, it is undeniable that it will completely transform the addressable market for satellite services.

BOTTOM LINE

The advent of many “flavors of HTS” over the last decade, and the continued increase in traction for these systems, has and will continue to alter the satellite telecommunications landscape and the way that data networking is targeted and addressed by satellite. These High Throughput Satellites have already expanded the addressable market for backhaul and trunking and will continue to do so for other applications. But in turn they will cause a significant shift in the value chain opening the door for players at different points along the distribution network to capitalize on added value and higher margins from end users.



p r i s m e

Perspective Perspective Perspective Perspective

IS NEW SPACE LIFTING OFF?

Professor Walter PEETERS

President of the International Space University - ISU, Strasbourg

Space has become a commercial sector, which we now call the New Space Economy. This commercial part represents nowadays 75% of the total space turnover and is constantly increasing. Space applications are gradually becoming a commodity and are omnipresent in our daily lives, even if we are not always fully aware of it. With other evolutions in robotics and transport, space will therefore become a paramount factor for each advance economy in the near future.

Pr Walter Peeters has spent the major part of his career in ESA in different functions, after having completed studies in Engineering (PhD) and Business Administration (MBA). He joined afterwards the International Space University, based in Illkirch, Strasbourg, France as professor in space business and management with emphasis on space tourism and space entrepreneurship. He presently serves as President of the University and is also director of the International Institute of Space Commerce (IISC), an international think-tank dealing with Space Commercialization.

Summary

Perspective Perspective Perspective Perspective Perspective

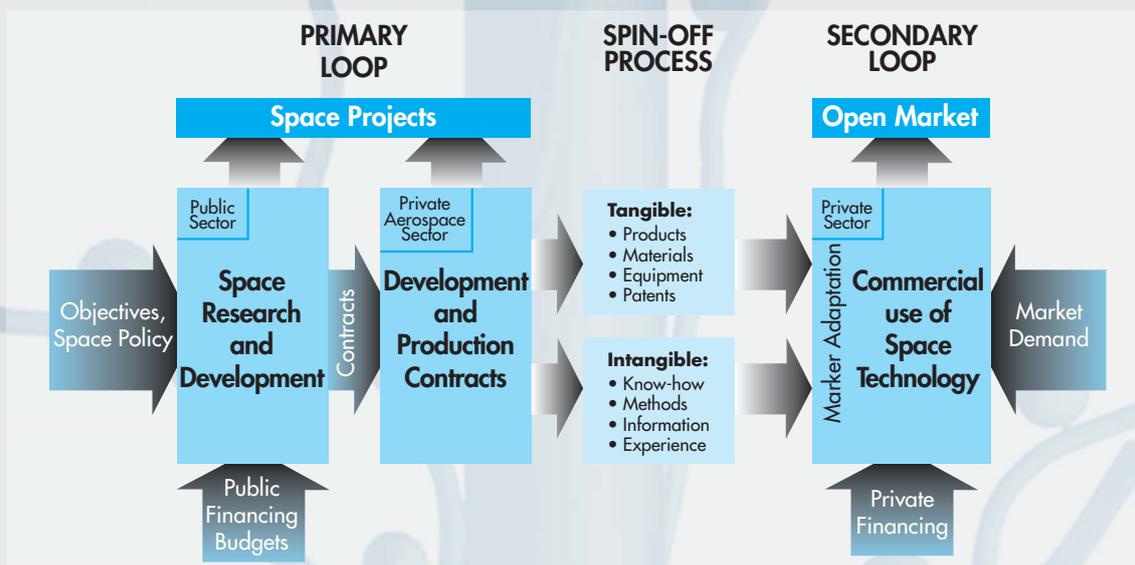
The traditional space sector was primarily government oriented, as a result of the so-called Space Race. Indeed, the main space powers at that time, Russia and the USA, were competing fiercely to launch the first satellite, to put the first human in space and to put the first human on the moon. These projects were exclusively government funded, also in view of the technological developments with military interest in the field of rocketry, communications, navigation and, in particular, remote sensing. The latter was used to observe military activities from space, beyond the reach of any offensive weapon, contrary to spy-planes which, even flying at high altitude, were vulnerable to attacks of ground-to-air missiles.

This mechanism operated well during the 1950's till the 1970's. However, from the moment that the first Human had put a foot on the moon on 20 July 1969, e.g. Russia stopped its Moon program, although it was very far advanced (in fact the first crew was ready to go...). After this followed an era of the Space Shuttle and space stations like the Russian space station MIR with a reduced but still substantial space expenditure (to give an example space expenditure was more than 5% of the US governmental budget in the 1960's (during the Apollo era) and rapidly decreased to less than 1% from the year 2000 onwards (and still decreasing...)).



An important factor contributing to more commercial space activities started with international space programs such as the International Space Station (ISS). Even if technology transfer was constrained by export control regulations such as the famous US ITAR regulations, there was a larger indirect transition of technological knowhow between many companies worldwide. Still, one shall not underestimate the large investments made in early communication satellites for military purposes (like MilStar) or satellites for precision navigation such as NavStar, which was later baptized as the well-

*Nowadays some 75% of the space activities are commercial.
This represents in total a sector of 330 billion USD worldwide.*



known GPS. The advantage of such high-technological developments funded by government money had a considerable spin-off effect in the space industry, as shown in above figure¹.

The companies working for the multibillion projects (e.g. GPS has costed more than 20 billion Euros) and operating under very severe (military) requirements gained the necessary know-how and knowledge allowing them to offer launchers and satellites at reasonable costs, as the R&D expenses were already financed via the large previous government contracts.

The decrease of government funding forced the space companies to start their own programs, using traditional private funding, or in some cases a combination of both, called PPP (Public-Private-Partnership). The communication sector was the first obvious effect of this approach,

developing large fleets of communication satellites based upon their own requirements to transmit phone, TV and now also Internet data.

Since then the portion of commercial applications has steadily increased in the space sector. If we look e.g. to the turnover of space activities in 2014 in next figure², we note that at present some 75% of the space activities nowadays are commercial (even if there is uncertainty about some military space budget figures which are estimated).

This represents in total a sector of 330 billion USD worldwide. There is no doubt that such

1. Peeters, W. *Space Marketing* (Kluwer, Dordrecht, 2000).
2. Source: *The Space Report 2015*, (The Space Foundation, Colorado Springs, 2015).

Whereas space is a very strong contributor to the world economy and our daily life, people are not very aware of it and therefore do not have the empathy with space activities they would deserve.

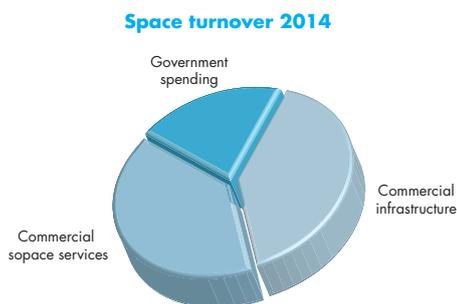


figure will surprise the readers. Probably one of the major reasons is the fact that rather spectacular projects, announced with strong publicity campaigns, have indeed not materialized as scheduled. A typical example of this is sub-orbital space tourism. The brilliant idea of the X-Prize competition, initiated by Dr Diamandis, lead to first flights in October 2004 (the same visionary person who had the idea to create the International Space University³, now established in Strasbourg and based upon unprecedented interdisciplinary principles).

If we compare this first successful private spaceflight with the first flights of the Wright Brothers in 1903 – which lead to commercial flights only 16 years later with the Paris-London Express in 1919 – it is evident that progress in this field is disappointing. Main reasons for this slow start are linked to liability issues and a higher level of risk aversion in society...

Admittedly the aviation development was fueled by the First World War, and some 680 planes were produced in France in the period 1914-1918. After the war, there was logically an abundance of planes and experienced

pilots available, leading to larger commercial flights such as the aforementioned London-Paris connection (using DH-16, transformed bombers). But also later with the transatlantic crossing in 1927 (the so-called Orteig Prize, won by Charles Lindbergh) there was at that time a public risk acceptance of several fatal accidents before this successful flight. These accidents have never put the objectives of the competition in question⁴.

The spectacular prospect of space tourism has overshadowed a lot of growing space applications, which are taking place nowadays as a result of the previous governmental investments and R&D. Let us take the example of Navigation, in general language often referred to as GPS. All of us are using GPS devices in our cars or smartphones, saving many kilometers of detours and fuel, but also avoiding traffic jams. However plenty of other, less known, applications such as banking operations are linked to GPS due to the very accurate timestamp provided by this system. Nearly daily there are different applications entering the market, such as guidance assistance for blind people, tracking of containers, safety and agricultural tools. As a further illustration, approximately 1.8 billion download Apps in 2014 rely on navigation/positioning information⁵.

To a large extent here lays the source of a

3. See also: www.isunet.edu
4. Peeters, W., A Roadmap for Suborbital Commercial Passenger Spaceflight, *New Space*, 1(2), 2013.
5. The European GNSS Agency, *GNSS Market Report 4* (March, 2015).

rather contradictory paradigm: whereas space is a very strong contributor to the world economy and our daily life, people are not very aware of it and therefore do not have the empathy with space activities they would deserve. Just a few random examples of day-to-day applications for which the space root has been forgotten⁶:

- Firefighting suits are developed on the basis of Apollo suit technologies;
- Mammogram screening is based upon technologies used in the Hubble telescope;
- Heart assist pumps are based upon Shuttle technology;
- Emergency blankets are based upon satellite isolation material;
- Flexible ski boots are based upon space suit design;
- Metro fire detection systems were first developed for the MIR space station;
- Insulin pumps are based upon technologies developed for the Rosetta satellite;
- Panoramic (Google) pictures are based upon Mars rover technologies;
- Lithium/Ion batteries were developed for satellite power subsystems;
- Solar energy is based upon satellite solar panel technologies;
- Friction Stir Welding is based upon Shuttle welding techniques.

This is only a small subset of a large list of tangible space spin-offs. In fact studies made by the University of Strasbourg have shown

that the return factor of space activities is in general in the order of 3-3.5. In other words, for each Euro spent on space activities there is a return to society between 3 to 3.5 Euros overall! Admittedly, the space sector itself is a source of this under-valuation due to a lack of transparency and outreach efforts. It can only be hoped that this situation will improve to counter the constantly decreasing public financial support.

Such support remains of paramount importance. There are a growing number of commercial space activities, which we now label as part of the New Space Economy, but these can only develop if the early R&D investments are properly financed. As an example the previously mentioned navigation sector would not have existed if the initial GPS, and now European Galileo, systems would not have been developed with government support.

Space developments are indeed expensive for mainly two reasons:

- There is no serial production, and in general only one specific satellite is made. In order to illustrate this, an Airbus 380 has a list price comparable with the cost of a larger satellite (around 350 million USD). However, this is, in the case of the Airbus due to a serial production. If only one Airbus 380 would have been fabricated the full development cost of the program would have to be covered by this one plane, which would have cost around... 16 billion USD!
- There is a limited possibility to use of off-the-shelf products.

⁶. See also ESA *spin-off publications*.

This is linked to the fact that each object sent in space as to withstand a dual environment, initially the terrestrial one we all know but soon after a very aggressive space environment with extreme temperature gradients, strong radiation and lack of gravity (leading to the so-called out-gassing of materials such as plastics). Therefore virtually no products used for applications on earth can be implemented in space programs. There is, as described before, an advantage to this: new, light and very resistant materials and products had to be created for space projects which are now applied in terrestrial applications.

Still, there is a wrong concept on the cost of space activities which needs rectification. In Europe, space activities overall (varying from country to country) are in the order of 15 Euros yearly per capita, certainly much less as the general public perception. To put this in a context: Europeans are spending in average 10 times more money yearly, as an average, on gambling than on space...

There is no doubt that commercial space applications will continue to grow. New space exploration activities, be it on Moon, on Mars or on asteroids, will again require a large variety of systems to be developed, such as closed loop systems for humans, and more independent robotic activities (which cannot be tele-guided due to the time differences). These developments will undoubtedly lead to a considerable number of spin-offs on Earth.

The New Space Economy may therefore not have lifted off as many were hoping and expecting, but its progress is obvious and cannot be stopped!



L'ESPACE AU SERVICE DE LA VIE, DE LA CONNAISSANCE ET DE LA CULTURE

*Jean AUDOUZE
Carlos MORENO*

Propos recueillis par Martine LE BEC

Que ferons-nous dans et de l'espace au cours des trente prochaines années ? Les prédictions de Jean Audouze, astrophysicien, directeur de recherche émérite au Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et de Carlos Moreno, professeur des universités et président du conseil scientifique du forum *Live in a Living City*.

Que se passera-t-il dans l'espace d'ici 2046 ?

Jean Audouze : D'ici trente ans, un ou plusieurs télescopes spatiaux géants auront rejoint le James-Webb Space Telescope qui doit être lancé en 2017 ou 2018. Alors que ce dernier effectuera ses observations dans l'infrarouge, celui qui lui succédera immédiatement observera l'ultraviolet et les rayons X pour nous apporter une meilleure connaissance de l'univers chaud, voire violent. C'est également à ce moment-là qu'on lancera l'opération LISA, programmée dans le cadre des missions lourdes du programme Cosmic Vision de l'Agence spatiale européenne. Le projet, qui devrait être opérationnel à partir de 2035, vise à détecter les émissions d'ondes gravitationnelles – ces déformations très faibles de l'espace-temps prédites par la théorie de

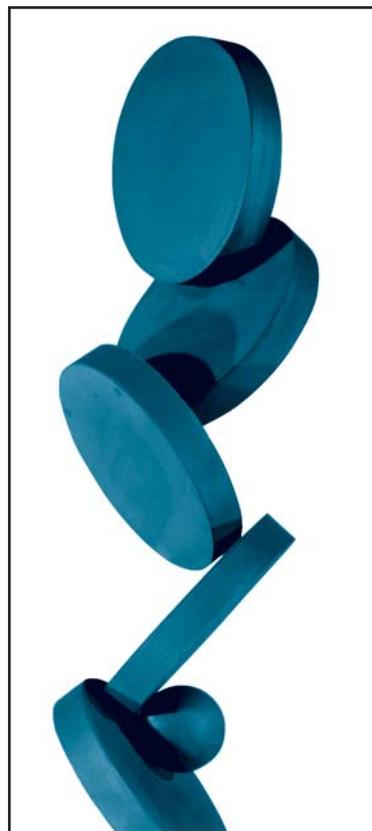
Astrophysicien, directeur de recherche émérite au CNRS, Jean Audouze présida l'établissement public du Parc de la Villette et la Commission nationale française pour l'UNESCO et dirigea l'Institut d'astrophysique de Paris et le Palais de la découverte. Il fut conseiller scientifique du Président Mitterrand et enseigna à Polytechnique et à Sciences Po.

Professeur des Universités, conseiller scientifique, spécialiste des systèmes complexes, Carlos Moreno est l'un des pionniers dans la thématique des villes intelligentes. Ses travaux ont donné lieu à une approche originale de la *Smart City*, la ville vivante ou *Living City*, dont il est l'un des animateurs reconnus sur la scène nationale et internationale.

la relativité générale – grâce à trois satellites aux sommets d'un triangle équilatéral, formant un gigantesque interféromètre optique. Par ailleurs, le système solaire fera lui-même l'objet d'importantes études et expériences notamment dans le domaine de l'astrobiologie. On ira visiter les principaux satellites de Jupiter, de Saturne. On cherchera à valider (ou à infirmer) la théorie de la panspermie selon laquelle la vie se propagerait à partir de petits grains « biologiques » situés partout dans les espaces interstellaires et interplanétaires. Selon cette hypothèse, des météorites ou des comètes auraient pu apporter à la Terre au moment de sa formation les briques essentielles à la vie. Enfin, à nouveau au-delà du système solaire, on aura amplifié les efforts de détection des exo-planètes. La question est de savoir s'il existe d'autres Terres, pas trop loin, et si oui, à quel stade d'évolution elles sont.

Est-ce que sera venu le temps de la colonisation de l'espace ?

Jean Audouze : Je ne crois pas au succès des projets de missions habitées sur Mars aux échelles de temps considérées ici. Les problèmes à résoudre sont tels qu'en trente ans on n'y arrivera pas. En revanche, je suis intimement persuadé que la colonisation de la Lune sera pour sa part déjà entamée ou en passe de l'être. Les opérations que l'on pourra entreprendre sur la Lune seront de trois ordres : d'abord, l'observation astronomique puisque la Lune constitue en quelque sorte un observatoire naturel qui n'est pas gêné par une atmosphère ; ensuite l'exploration et la découverte de ce site, cela englobe la recherche mais aussi le tourisme lunaire, car la



Lune n'est bel et bien qu'à un saut de puce de la Terre (à moins de 400 000 kilomètres, contre 60 millions de kilomètres pour Mars, aux meilleures périodes). Le troisième objectif visera probablement l'exploitation minière : le pôle sud de la Lune pourrait être une zone assez riche en ressources naturelles. Dans ce contexte, le défi sera de faire progresser rapidement le droit de l'espace.

Par ailleurs, je tiens à rappeler ici qu'on ne peut plus se passer de l'espace, et que tous ces efforts engagés dans la recherche fondamentale servent finalement les hommes et leurs entreprises. Ils participent à l'approfondissement de nos connaissances et de nos technologies. Il ne fait plus de doute aujourd'hui que l'espace est déjà dans notre quotidien.

Au-delà des échanges et des communications, au-delà aussi de l'observation de la planète, de la prévention des risques naturels, de l'e-université ou de l'e-santé, comment pourrait-on figurer le lien qui unit dorénavant les sociétés humaines à l'espace et comment ce lien pourrait-il dessiner le XXI^e siècle ?



Carlos Moreno : Plus de la moitié de la population mondiale vit désormais dans des villes et ce taux dépassera probablement les deux tiers d'ici 2050. Pour beaucoup, les impacts technologiques vont rendre nos villes intelligentes, d'où l'engouement pour le concept de *smart cities* (traduit par « villes intelligentes »). En réalité, les villes n'ont pas attendu le XXI^e siècle pour devenir intelligentes : bientôt deux fois millénaires, Paris ou Marseille – ou encore Bologne, la première ville quadrillée en Europe, ont fait preuve d'intelligence tout au long de leur histoire, et même les premières cités mésopotamiennes étaient intelligentes : protégées par des murailles, organisées selon des plans définis avec des lieux de sociabilité et de pouvoir, elles étaient déjà des lieux symboliques, là où s'étaient installés les dieux par opposition au néant des steppes extérieures. L'espace urbain s'est ainsi organisé autour de l'agora grecque, du forum romain ou du zócalo mexicain, en établissant des règles de gouvernance et en initiant des notions telles que l'*urbis*, le *civis* ou la *res publica*, qui constituent l'essence de la ville et du savoir vivre en commun.

Mais le XXI^e siècle apporte une nouveauté : l'ubiquité. Grâce à l'utilisation du silicium embarqué, tous les objets ont dorénavant la

capacité d'être connectés et communicants. À travers ces objets ou avec eux, l'espace du territoire et sa cartographie et les espaces de connectivité et ses usages ne coïncident plus. L'instantanéité de la communication dissocie l'espace physique (le *topos*) de la connaissance (le *logos*), et même progressivement de l'être. Chaque individu vit désormais dans une multiplicité de temps, de lieux et d'actions.

L'espace – ou l'utilisation qui nous en est aujourd'hui offerte –, en démultipliant nos moyens de communication, est à l'origine de cette transformation. L'espace redéfinit et augmente nos espaces de connaissance, d'être et de vie.

Ce sont donc les fondements du vivre ensemble qui sont bouleversés. L'exploration spatiale ne risque-t-elle pas de bouleverser plus que cela : nos croyances ?

Carlos Moreno : Toutes ces avancées attendues dans l'exploration spatiale me font penser à l'astronome et géographe Ératosthène et à sa carte de l'écoumène, des terres plus en avant. « Qu'est-ce qu'une limite de l'écoumène, qui d'un côté est mesurable, représentable dans l'étendue, et de l'autre ne l'est pas ? » demande Augustin Berque (géographe

et philosophe, ancien directeur d'études à l'École des hautes études en sciences sociales). L'humanité n'a eu de cesse de dépasser les limites de son écoumène pour aller explorer les zones blanches de la mappemonde. Alors que l'on ressent aujourd'hui très fortement la finitude de la Terre, on se prête en même temps à penser que cette limite n'est pas absolue puisque, justement, on peut aller sur la Lune et peut-être même plus loin encore.

Jean Audouze : Les progrès technologiques extraordinaires réalisés à ce jour par l'humanité n'ont pas été accompagnés de progrès dans notre pensée et notre éthique. Nous voyageons aux confins de l'Univers (en tout cas de l'Univers observable) et en même temps, sur Terre, ce sont encore souvent les obscurantismes qui dominent. Même nos idées sur la démocratie et nos pratiques n'ont que très peu évolué depuis l'Antiquité, sans grand enrichissement, ni progrès.

Cette dichotomie entre le progrès technologique et l'éthique est dangereuse car le progrès technologique se situe en dehors de la morale : ni bon, ni mauvais, il est ce qu'on en fait. Nous nous exprimons ici dans la revue *Prospective Stratégique*, qui pourrait judicieusement se rebaptiser *Prospective Stratégique & Éthique*.

Et Dieu dans tout ça ?

Jean Audouze : C'est là la question la plus difficile. La Renaissance, qui a marqué l'avènement de l'astronomie moderne, était encore entièrement dominée par le religieux, mais au

fur et à mesure que les sciences ont progressé, les approches et les compétences des religions ont marqué le pas, leurs domaines se réduisant jusqu'à ne plus être que des peaux de chagrin. C'est une constatation. Je ne veux pas dire que Dieu n'existe pas, mais ce dont je suis sûr, c'est que si Dieu existe, il s'éloigne de plus en plus de nous.

Carlos Moreno : Au cours des cent dernières années, l'humanité s'est approprié des technologies qui ont transformé les rapports des humains entre eux, avec la planète et avec le futur. Les révolutions aujourd'hui à l'œuvre vont engendrer, n'en doutons pas, des transformations encore plus profondes dans la relation de l'homme à l'homme, à la planète Terre et à l'espace. Tout l'enjeu des années à venir se situe donc selon moi dans la question de savoir si, forts de l'apport de ces révolutions technologiques, de ces nouveaux écoumènes qui s'offrent à nous et de ce don d'ubiquité (mais qui est à proprement parler plus une capacité qu'un don) nous serons capables de nous transformer nous-mêmes, et d'atteindre l'âge de la connaissance, un âge qui se caractériserait par le respect de la nature, de la Terre et de l'espace... La réponse sera oui, mais seulement si nous nous réapproprions les valeurs d'empathie et d'altruisme, et si nous nous efforçons aussi de redécouvrir le lien qui nous unit au cosmos, littéralement au *bon ordre*.

Jean Audouze : Nous sommes, les humains, de petits morceaux d'Univers. Si nos atomes pouvaient parler, ils raconteraient de belles histoires – éphémères et en même temps éternelles.

Impressions

THE IMPORTANCE AND THE FUTURE OF THE SCIENTIFIC EXPLORATION AND UTILIZATION OF SPACE

Pr Lennard A. FISK

President of the Committee on Space Research - COSPAR

I have had the good fortune to witness and to participate in our national efforts to explore and to use space. As a teenager, I marveled at and was inspired by Sputnik, as it orbited over my home in New Jersey. As a graduate student in the 1960s, I awaited each new discovery and applauded the successes of our space program. As a practicing scientist in the 1970s and 1980s, I participated in the discoveries; everything was new and unanticipated; puzzles abounded; progress was swift. In 1987, I was appointed NASA Associate Administrator for Space Science and Application and had the good fortune of serving at a time when the United States was willing to reinvest in its space program, following the Challenger accident. After returning to my research career in 1993, I have

continued to pursue solutions to the significant problems in my own research area, and to advise and to champion that we as a civilization pursue all of the opportunities that space offers us.

So much has been accomplished since the beginning of the space age. We have now observed the universe in all the wavelengths of light, and with unprecedented spatial resolution, and marvel at and remain profoundly humbled by its unfathomable vastness and complexity. We have explored the solar system, with flybys, and in some cases with orbiters and landers on the significant bodies of the solar system, marveling at the fascinating objects in our neighborhood, and intrigued by the possibility that there are

Lennard A. Fisk is the Thomas M. Donahue Distinguished University Professor of Space Science at the University of Michigan. Prior to joining the University in July 1993, Prof. Fisk was the Associate Administrator for Space Science and Applications of the National Aeronautics and Space Administration. Prof. Fisk is the author of more than 225 publications on energetic particle and plasma phenomena in space.

d'ailleurs

other life forms nearby. The realization that the Earth is an integrated and coupled system, comprised of the atmosphere, hydrosphere, cryosphere, land and biosphere, results from our capabilities to observe the Earth from the global perspective of space. We have also found that our Sun is not the benign orb that we observe in our daily lives, but rather has a violent atmosphere that expands into space, impacting and defining the magnetic fields of the planets. We have also learned the impacts of the microgravity of space on human physiology and that there are opportunities to use the microgravity environment for research.

Unfortunately, in the course of my career I have also witnessed vacillations in com-



mitment and funding for the vigorous pursuit of the scientific exploration and utilization of space. The United States invested vast sums in the Apollo program that landed a few humans on the Moon. Fortunately, the enlightened leadership of NASA at the time considered that they were to develop a comprehensive and complete space program, and so they also pursued space science, creating the infrastructure at American universities for scientific research, and for the development of instrumentation. But then Apollo came to an abrupt end in the early 1970s, and funding for NASA

fell dramatically. Space science continued, but not at the pace envisioned. As noted above, following the Challenger accident in 1986, the United States reinvested in space, and the budget for space science doubled. However, in the 1990s it leveled off, and then in this century has declined, with some disciplines, particularly the essential discipline of Earth science suffering more decline and oscillation than others, as politicians in my country debate the merits of climate research.

The funding model of the European Space Agency for

Impressions

Thus, today we view our past with pride for what we have accomplished, but also with dismay, recognizing that research essential for the advancement of our civilization, and in some ways even the survival of our civilization, has not been possible.

space science, the mandatory program, has more stability than the American funding model, but it is dependent for its success on the national programs, for joint missions and for instrumentation; the optional program, which funds Earth science and exploration missions, is completely dependent upon national programs that are subject to variations in the health of the European economy and political will. Both, however, have achieved remarkable results, notably thanks to the leadership of one



of my predecessors as COSPAR President, Professor Roger Bonnet. The Soviet, now Russian space science efforts had great successes in the past; then fell into serious decline with the fall of the Soviet Union; then resurged as the Russian economy prospered, and must now be challenged with the current state of the Russian economy. The Japanese have been a steady and reliable partner in the pursuit of smaller space science missions, but they too have been challenged by the impact of the cost to the Government for the recovery from the Tohoku earthquake and tsunami in March 2011. China and India, emerging now as major space powers, will undertake important space science missions, but they cannot compensate for the decline in funding for space science elsewhere in the world.

Thus, today we view our past with pride for what we have accomplished, but also with dismay, recognizing that research essential for the advancement of our civilization, and in some ways even the survival of our civilization, has not been possible:

- The climate of the Earth is changing rapidly, driven by the impact of our human civilization. It is not a question of the increase in global averaged temperature. Rather, it is a question of the regional consequences of climate change. Even if we are so fortunate as to limit the human impact on the climate, we will soon begin to have to adapt to the inevitable regional consequences: rising sea levels, changes in precipitation patterns, changing growing seasons. Unfortunately, our observations and our knowledge are not sufficient to predict with certainty the regional consequences or the timing of when they become critical. We do not even have the climate monitoring system in space that was envisioned when NASA embarked upon the comprehensive Earth Observing System in the early 1990s. Even worse, the current observing system lacks comprehensiveness and continuity while suffering from excessive duplication in some cases. A much better and more robust system could exist, if wisdom and increased cooperation were used instead of national pride and unnecessary competition.

d'ailleurs

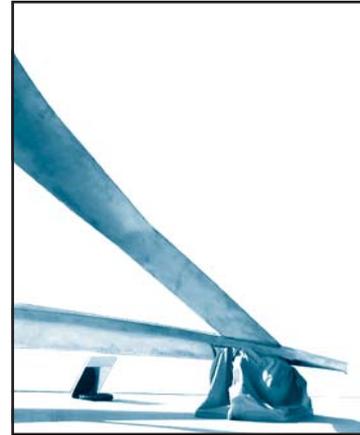
- We recognize that catastrophic space weather events, in which the Sun emits massive plasma disturbances that can impact Earth, can be devastating to our technological civilization, disabling orbiting satellites and inducing currents that destroy the ground-based power grids on which our civilization depends. Yet we take no effective action to improve our ability to predict and have advanced warning of a catastrophic disturbance. The Sun emits potentially catastrophic disturbances many times during its 11-year solar cycle. So far they have missed us. It seems unwise to base the safety of our technological civilization on good luck.

- The most profound recent discovery in astronomy is that we have no concept of what 97% of the universe is made of and that there are unknown forces, the so-called dark energy, and unknown matter, the so-called dark matter, that control the physics of the universe. There are missions under development that will begin to probe dark energy and dark matter, but should not there be an all-out effort to understand the

missing 97% of the universe, with the certainty that when we do, our knowledge of the most fundamental principles of physics will be profoundly altered.

- Our solar system contains many fascinating objects. We concentrate our efforts today on the scientific exploration of Mars, recognizing that it is the one planet in our solar system that is similar enough to Earth, particularly in its past, to harbor life and where humans could one day set foot. There are other interesting objects in the solar system, such as Europa, the moon of Jupiter, which with its oceans under a layer of ice could also host life. For the missions to Mars and Europa, and other interesting objects, to be successful, and worth the effort, they need to be comprehensive and daring, and that will be costly. Funding needs to be provided for these missions, and not at the expense of the many other important scientific missions.

- We built the International Space Station (ISS) and spent over \$100 billion of the world's resources. The stated purpose of the ISS was to



do research, in microgravity, to advance life and physical sciences. It has been an extraordinary project, a model of international cooperation, and a demonstration that we can assemble and maintain complex structures in space. However, by any reasonable standard the ISS is underutilized for research. The experiments conducted are limited; there is nowhere near the number of experiments that were envisioned and funded for development when the Station project was initiated. It seems that either we should end the ISS, declare victory and celebrate the success of the collaboration and the construction, or we should actually use what we built.

The irony of our current limited pursuit of the scientific exploration and utilization of

Impressions

The irony of our current limited pursuit of the scientific exploration and utilization of space is that while we have languished, our technological civilization has become entirely dependent upon space.

space is that while we have languished, our technological civilization has become entirely dependent upon space: on the satellites in orbit, whether for communications, direct broadcasting, or reliable weather forecasts; on the global positioning satellites that guide our movements, and are used to time every electronic financial transaction. Our militaries cannot defend us without the extensive use of satellites in orbit. Our scientific discoveries of the environment and the opportunities of space made all these applications possible, and resulted in our satellites in orbit being essential components of the infrastructure of our civilization. Indeed, it can be argued that the advent of the global economy was made possible by the space age. The ability to communicate worldwide, to have detailed knowledge of other cultures and their capabilities has led to worldwide

manufacturing, and to inter-connected global enterprises.

Given the centrality of space in our society, how is it that we have been unwilling to invest to the maximum in what research in space can do to enhance and protect our civilization? The United States has a fixation on human space exploration, which has been the primary purpose of NASA since its inception. It is a worthy activity of a great nation; an opportunity for strategic leadership by the United States. Yet, we should never be confused that human exploration will advance or protect our civilization. That is the province of robotic satellites, just as it is robotic satellites that are essential components of the infrastructure of our civilization. The United States must ensure that it balances the resources that it is prepared to spend in space on what matters most for our future.

It all comes down to the political leadership of the nations of the world that have the capabilities to explore and to utilize space. We need leaders that think beyond their immediate problems and concerns, or in the case of democratic societies beyond their next election, and recognize that the investments that we make in space research today determine our future security and prosperity. We need leaders who recognize that international cooperation in space research, regardless of our political differences, leads to a safer world, binding us together to advance and protect our civilization. We need to encourage that space be treated as a global commons, a region where all nations that will explore and utilize space for peaceful purposes can do so, and where the developed space programs can lead, by example and in cooperation, all with the goal of making the opportunities of space available to all nations with the desire to pursue them. And if we ever do venture forth from Earth, to explore and to inhabit, we do so as a civilization, not nations in competition, but nations in cooperation.



d'ailleurs

Given the centrality of space in our society, how is it that we have been unwilling to invest to the maximum in what research in space can do to enhance and protect our civilization?

We are a society rife with strife, often rooted in the past, often instigated by those who would exploit the ignorance and the worse instincts of their followers, and in all cases a serious impediment to the lives of the people affected. We are a society in denial about how fragile is our civilization on our insignificant planet in the backwater of the cosmos, whether due to our own misconduct or some cosmic event. Our space programs need to continually remind us of our vulnerabilities, and ever call upon society to apply its talents to what is really important, the wellbeing of our people and the survival of our civilization. Our space programs need to guide us past the vulnerabilities of our planet, and point the way toward a future in which we are a space faring civilization, secure and prosperous.



Impressions

PETITE PLAYLIST DES MEILLEURES BO DE L'ESPACE

Marc DARMON

Président de l'ensemble orchestral et choral Le Palais royal

Peut-on regarder l'espace avec un autre angle que tous ceux qui sont pris dans cette revue (politique, technologique...)? Oui, c'est celui du lien entre l'Espace et la Culture. Tous les arts ont été influencés par l'espace, et l'espace est connecté depuis longtemps à tout type d'œuvres culturelles. Sautent à l'esprit naturellement les romans de Jules Verne, les albums d'Hergé, les films de Georges Lucas ou Ridley Scott, mais aussi les poèmes (et romans) de Cyrano de Bergerac (le vrai !),

les peintures et sculpture de Fontana...

Pour ne pas nous noyer, nous consacrons cette rubrique plus légère que les autres à une sélection d'œuvres de musique classique qui se trouvent liées à l'espace.

Marc Darmon est directeur général adjoint de Thales, en charge de l'activité Systèmes d'information et de communications sécurisés, et président du Conseil des industries de la confiance et de la sécurité (CICS). Il publie régulièrement des chroniques musicales depuis 1987.

d'ailleurs



Viennent à l'esprit tout d'abord les morceaux classiques utilisés comme bande sonore de films sur l'espace. Comme ils ne sont pas si nombreux, cela va nous donner l'occasion de pouvoir en parler avec suffisamment de détails.

2001, *L'Odyssée de l'Espace* a été un événement lors de sa

sortie en 1968. Ce chef-d'œuvre du réalisateur caméléon Stanley Kubrick (aussi original pour un film de science-fiction qu'il l'avait été pour un péplum, *Spartacus*, ou un film de guerre, *Les Sentiers de la gloire*, ou qu'il le sera pour un film d'horreur, *Shining*) est une mise en perspective philosophique d'après le roman bien plus linéaire d'Arthur C. Clarke (l'écrivain explorateur et inventeur a publié depuis deux suites de son roman original). La musique du film est entièrement tirée du catalogue classique, comme le seront celles d'*Orange mécanique* et de *Barry Lyndon*. On ne parlera pas des quelques sons tirés du *Requiem* de Ligeti, et d'une courte pièce d'un ballet du compositeur arménien Khatchatourian, car les deux morceaux principaux sont *Ainsi parlait Zarathoustra* de Richard Strauss et *Le Beau Danube bleu* de Johann Strauss II.

La vie créatrice de Richard Strauss, au-delà des années de jeunesse, peut en fait se résu-

mer en deux grandes périodes, celle de 1886 à 1900 consacrée aux œuvres orchestrales et surtout aux poèmes symphoniques, puis à partir de 1905 celle consacrée principalement aux opéras, seconde période débutant par des *Salomé* et *Elektra* expressionnistes et exacerbées, avant des *Chevalier à la rose* et *Ariane à Naxos* plus mélodieux (« mozartiens » disent les amateurs). C'est Liszt qui popularisa le concept de poème symphonique, œuvre symphonique qui relate et suit une histoire, donc de la musique descriptive et non pure. Les premiers poèmes symphoniques de Strauss sont principalement consacrés à un personnage, *Macbeth*, *Till l'Espiègle*, *Don Juan*, *Don Quichotte*, avant *Une Vie de Héros* qui les résume tous. Mais bien sûr, mettre en musique un livre philosophique comme le *Zarathoustra* de Nietzsche, c'est autre chose. D'ailleurs reconnaissons que, même en étant un grand amateur de l'œuvre, de sa musique et de son orchestration, nous n'avons

I m p r e s s i o n s

jamais vraiment réussi à suivre les méandres philosophiques nietzschéens dans cette œuvre magnifique de plus d'une demi-heure. Kubrick de toute façon n'utilise que les deux premières minutes d'introduction du poème (en introduction et conclusion du film), et il a plus fait pour la notoriété du morceau que tous les chefs d'orchestre qui l'ont enregistré. Si vous voulez découvrir le reste de l'œuvre, chaudement recommandé, prenez au hasard une des versions de Karajan (c'est ce qu'a fait Kubrick). Mais mon disque de l'île déserte reste le disque enregistré à Chicago par Sir Georg Solti, couplé avec Till et Don Juan, peut-être le disque le mieux enregistré de l'Histoire.

Johann Strauss II n'a rien à voir avec Richard Strauss, allemand alors que la dynastie des Strauss est viennoise. Johann junior est probablement le plus doué de la famille. Avec son père Johann I et son frère Joseph Strauss, ils composèrent près de mille valse viennoises très bien construites mais les plus fameuses (*Valse de l'Empereur*, *Aimer boire et chanter*, *Sang viennois...*) sont celles de Johann II, et

la plus célèbre reste *Le Beau Danube bleu*. Kubrick utilise cette musique lors des prises dans l'espace pour accompagner le mouvement des engins spatiaux et il a apporté une attention particulière à la synchronisation des images avec la musique. Les versions discographiques sont extrêmement nombreuses, ne serait-ce parce que parmi les programmes différents tous les ans du concert du Nouvel An à Vienne, *Le Beau Danube bleu* est systématiquement joué en clôture du concert, avant le bis, toujours le même lui aussi. Beaucoup de grands chefs d'orchestre ont laissé un enregistrement de la valse. Mes préférés sont les versions de Karajan, celle enregistrée en studio (choisie par Kubrick) et celle enregistrée au concert du Nouvel An que Karajan dirigea en 1988, et les deux enregistrées par Carlos Kleiber lors des concerts de 1989 et 1992. Les trois concerts de 1988, 1989 et 1992, existent en DVD, et sont superbes.

Si on fait l'impasse sur quelques notes de la *Petite Musique de nuit* de Mozart dans *Alien*, le second film « spatial » où on entend de la musique classique est le film de 1983 de



Philip Kaufman, *L'Étoffe des héros*. On y entend le *Hallelujah*, passage le plus célèbre du *Messie* de Haendel, et *Mars* de Gustav Holst.

Haendel est né à quelques kilomètres et à quelques jours de la naissance de Bach. Mais contrairement à Bach, qui s'est formé auprès des grands maîtres allemands, Haendel est allé prendre le soleil de l'Italie à vingt ans avant de s'installer en Angleterre. Ses opéras et ses oratorios sont donc une combinaison de l'accessibilité et de la richesse mélodique de Vivaldi (leur contemporain exact) et de la profondeur et qualité de Bach. *Le Messie*, oratorio en trois parties, est une

d'ailleurs

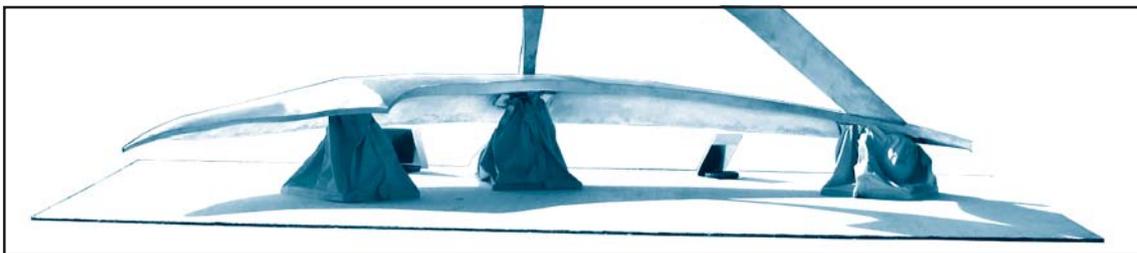
succession d'airs et de chœurs, composé en 1741, naturellement en anglais. Tout est intégralement magnifique dans ces deux heures et demie de musique. La célébrité de *l'Hal-lelujah* ne doit surtout pas faire oublier le reste de l'œuvre (ni mon second oratorio préféré, *Israël en Égypte*, superbe également, qui met en musique les mots de l'Exode). On n'enregistre plus Haendel comme on le faisait il y a trente ans, désormais les orchestres sont « historiquement renseignés », et jouent avec les instruments et les effectifs de l'époque. Avec cet effectif réduit (de 30 à 40 musiciens) choisissez les versions de Gardiner, de William Christie ou de René Jacobs. Mais si vous êtes nostalgiques des effectifs symphoniques et des instruments modernes, n'hésitez pas à trouver la version de Solti à Chicago ou celle Colin Davis. Je ne peux pas

terminer ce paragraphe sans dire que l'émotion la plus forte que j'ai eue avec cette œuvre a été lors des représentations par l'ensemble Le Palais royal, ensemble baroque français de niveau international, dont Haendel est une spécialité.

L'autre œuvre utilisée dans *L'Étoffe des héros*, *Mars*, fait le lien avec la seule œuvre de musique classique qui a été elle inspirée par l'espace, le cycle de poèmes symphoniques *Les Planètes*, de Gustav Holst. Ces sept poèmes symphoniques, un par planète, dans un léger désordre par rapport à l'ordre depuis le *Soleil*, a été publié en 1918. C'est l'œuvre la plus célèbre de Holst, compositeur anglais, guère plus célèbre que ses contemporains pourtant remarquables Elgar, Bantock, Bax, Vaughan Williams, Ketèlbey, Walton. Bien entendu la per-

sonnalité d'une planète est bien compliquée à cerner pour en tirer un poème symphonique, Holst s'est donc surtout appuyé sur la personnalité du dieu qui a donné son nom à chacune d'entre elles. Un Mars guerrier, avec un thème de marche martiale (thème des lancements des fusées dans *L'Étoffe des héros*), un Mercure léger (« aux pieds ailés »), un Saturne pensif... Pluton n'avait pas été encore découverte à l'époque, et donc n'a pas été composée.

Après les œuvres utilisées dans les films d'espace (*Zarathoustra*, *Le Beau Danube bleu* et *Le Messie*) et *Les Planètes* inspirée par l'espace, la troisième catégorie d'œuvres classiques qu'il nous faut citer ici sont les œuvres de musique envoyées dans l'espace. En effet la Nasa a décidé d'envoyer dans les sondes Voyager (1977) des



Impressions

messages pour les éventuels extraterrestres. Des dessins (avec les coordonnées du système solaire, les différences sexuelles des mammifères...) et des sons (« bienvenu » en 55 langues, bruits de la nature et extraits musicaux). Ne jugeons pas l'initiative, et contentons-nous de commenter le contenu.

Parmi les morceaux envoyés, citons les *Concertos brandebourgeois* de Bach, dans une version que l'on considérerait aujourd'hui bien vieillie (alors vous imaginez les extraterrestres!), une partita de Bach pour violon seul dans la version atemporelle d'Arthur Grumiaux, *L'Air de la Reine de la Nuit* de *La Flûte enchantée*, *Le Sacre du printemps* de Stravinsky dirigé par l'auteur, un extrait du *Clavier bien tempéré* de Bach dans la version immortelle, mais toujours discutable, de Glenn Gould, et la *cinquième* de Beethoven.

Parler de la *cinquième symphonie* de Beethoven, une des œuvres les plus célèbres du monde, dans une revue de cette qualité fait prendre le risque de ne strictement rien apprendre au lecteur. Contentons-nous donc de conseiller les versions discographiques



en quatre catégories. Depuis plus de vingt ans la plupart des ensembles baroques ont enregistré l'œuvre sur instruments d'époque, fidèles au son que Beethoven aurait pu entendre, à la verveur et à la difficulté à être jouée sur des instruments du début du XIX^e siècle : il y a peu de mauvaises versions. Mais il est permis de penser que le côté grandiose de ces œuvres symphoniques mérite un grand orchestre symphonique, que Beethoven aurait applaudi s'il

l'avait connu. Là, il y a les trois autres catégories : les grands chefs symphoniques, les versions de Furtwängler et les versions Karajan. Parmi les grands chefs, recommandons Solti, Klemperer (le choix de la Nasa), Bernstein et Carlos Kleiber. Mais que les amateurs se régalent, comme les spécialistes, des versions de Furtwängler et de Karajan (une dizaine chacun, entre les enregistrements de studio et les « lives »), et s'amuse à les comparer, c'est un jeu infini !

d'ailleurs

Pour terminer, disons un mot d'une occasion manquée. Puccini n'a rien écrit sur l'espace. Il avait su nous amener dans la Chine médiévale, au Japon de l'ère Meiji, au Far West, dans le Paris des Misérables (quatre fois !), en adaptant chaque fois sa musique vériste aux styles des pays et des périodes visités. Après les explorations harmoniques de *Turandot* (1924, inachevé), on imagine donc qu'il aurait sûrement composé un chef-d'œuvre lyrique si on lui avait proposé un livret « spatial » qui l'ait inspiré (*Micromégas*, *De la Terre à la Lune...*).

Naturellement, l'histoire du lien entre l'espace et la musique classique ne s'arrête pas là. L'histoire spatiale en est à ses débuts à l'échelle de l'humanité, et il en est de même pour la musique classique, qui n'a qu'un demi-millénaire. Déjà l'on voit poindre des œuvres de musique contemporaine inspirées elles aussi par l'espace (Dutilleux, Messiaen, Florentz...), musique dont j'avais fait le choix, subjectif une fois de plus, de ne pas parler ici.



VITAE
L'Espece, c'est nous !

H o r — z o n

La Lune a toujours réuni les hommes dans un rêve commun. Anilore Banon recueille des milliers d'empreintes de mains qui seront reproduites dans une sculpture et envoyées sur la Lune. À l'heure où l'humanité s'interroge sur la finitude de la Terre, Vitae sera sa première odysée artistique vers le témoin infatigable de nos égarements, mais aussi de nos richesses et de notre créativité.



Déposée sur le sol lunaire, *Vitae* sera une sculpture vivante et respirante : le jour, exposée à +130 °C, elle se refermera pour recueillir l'énergie et la nuit, soumise à -170 °C, elle s'ouvrira doucement et étendra ses bras sur la vaste coupelle regroupant toutes les empreintes de mains.

L'art et la science sont les seules expériences humaines capables de rendre possible l'impossible, de faire d'un rêve une réalité. C'est ce qui m'est venu à l'esprit lors de mes différentes conversations avec des scientifiques qui réfléchissaient à la vie sur la Lune. À l'heure où l'humanité semble se diviser et avoir peur de l'avenir, je ressens l'urgence de rêver à nouveau ensemble. La première victoire pour moi a été lorsque Jean Audouze m'a demandé à quel endroit exactement j'envisageais de déposer la sculpture ! J'ai ensuite rapidement compris, qu'habituee aux formats monumentaux, je devais immédiatement cesser de penser en tonnes et adopter le gramme. J'ai donc décidé d'en parler à un ingénieur de chez Dassault Systèmes, Richard Breitner, ce qui a débouché sur une collaboration de quatre ans avec Dassault Systèmes sous la direction technique de Shaun Whitehead dans un va-et-vient de compétences mêlées qui se répondent et continuent de se surprendre.

Il fallait pouvoir comprimer l'œuvre et lui permettre de se redéployer ultérieurement, une fois à destination. Sur place, l'un des problèmes majeurs devenait de trouver les matériaux capables de résister à des températures extrêmes. Je souhaitais aussi que l'œuvre soit visible depuis la Terre, mais tout en respectant l'environnement lunaire. Un système de pulsation lumineuse pourra ainsi être activé par intermittence, à des moments symboliques.



Un matériau inerte pour la coque (réalisée en Kapton) et un matériau à mémoire de forme pour les branches « habitées » (réalisées en Nitinol par la société de Metz Nimesis Technology) permettront de plier la sculpture tel un origami avant de l'embarquer dans sa fusée. C'est aussi grâce à ces capacités que l'œuvre se refermera chaque jour, emmagasinant son énergie (grâce à la chaleur du Soleil), et se ré-ouvrira chaque nuit, en reprenant sa forme initiale.

Les études de forme et de faisabilité, conduites sur maquettes physiques et numériques, ont été menées pendant trois ans et sont aujourd'hui achevées. L'équipe est aujourd'hui en train de prendre contact avec les sociétés de lancement : selon le lanceur utilisé, *Vitae* fera 1,50 mètre ou 4,50 mètres de diamètre. Dans une version plus élaborée, *Vitae* pourra recevoir de nouvelles images de la Terre, et notamment un flux continu de nouvelles empreintes. L'étape en cours de première collecte d'empreintes fait partie intégrale de l'œuvre. Cette collecte, qui se fait de visu et non sur Internet pour marquer l'importance du vivre-ensemble, devrait s'achever par un dernier recueil aux Nations unies.

Un premier envoi dans la stratosphère a été réalisé avec un ballon météorologique depuis Omaha Beach le 15 octobre 2012, avec une maquette comportant les empreintes de toute l'équipe. Un test de matériaux sera encore prochainement réalisé par la société NanoRacks depuis la Station spatiale internationale.

Le départ probable de *Vitae* s'opèrera courant 2017.

Propos recueillis par Martine Le Bec



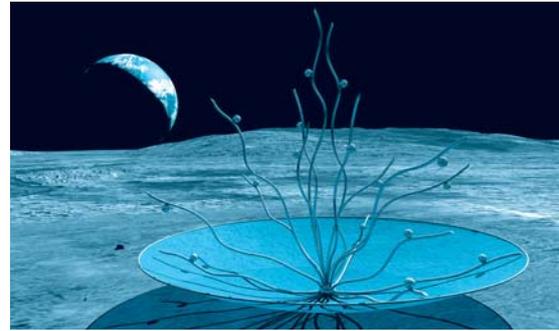
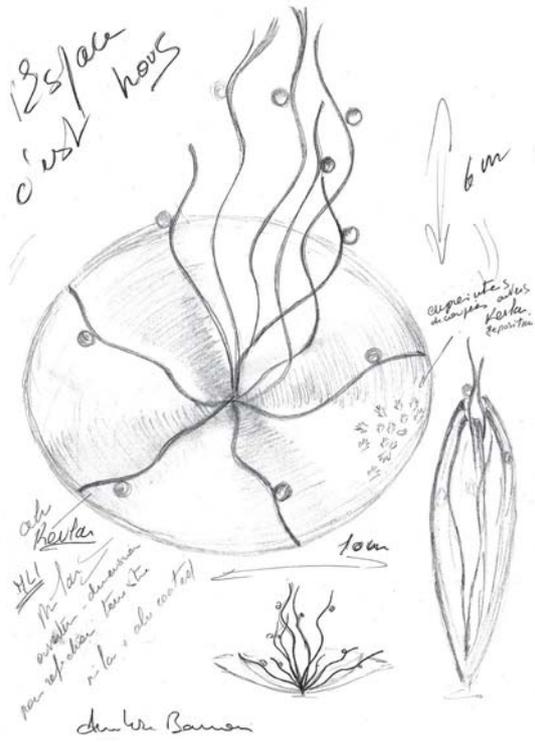
Anilore Banon est une artiste dont le parcours, les œuvres et les projets s'inscrivent dans une vision humaniste et philanthropique. Ses œuvres traitent de l'Homme, de ses grandeurs et de ses bassesses. En témoignent sa collection de *Peaux d'Âmes*, dont les peaux symbolisent des corps de femmes et les violences qu'elles subissent à travers le monde, ou bien ses *X commandements*, annoncés à l'aube du troisième millénaire pour nous amener à réfléchir à nos comportements et en tirer des règles de vivre-ensemble en adéquation avec notre époque, mais encore *Le Rire terrassant l'Ignorance*, installé à l'université d'Aïn Sebaâ, à Casablanca.

En 2004, elle créait *Les Braves*, un ensemble de trois sculptures monumentales qui, en hommage au courage, ont été installées sur la plage d'Omaha Beach en Normandie. L'œuvre est devenue la sculpture officielle des célébrations du 60^e anniversaire du débarquement. Elle est toujours visible aujourd'hui sur le site d'Omaha Beach, traversée par la mer deux fois par jour à la haute mer.

En 2014, Anilore Banon a réalisé l'hommage à Antoine Saint-Exupéry en inaugurant *Les Ailes du Courage* sur la base aérienne de Cognac.

« Les sculptures d'Anilore Banon sont debout, debout comme les corps de nos ancêtres et comme les nôtres depuis dix millions d'années, debout comme les colonnes des temples de nos cultures depuis dix milliers d'années, debout comme l'offrande solennelle aux Hommes et aux Dieux, debout comme la proclamation, la mise en garde, la dissuasion, debout comme la curiosité, la vigilance, la voyance, debout comme la liberté, la responsabilité, la dignité », a déclaré Yves Coppens, paléoanthropologue, professeur émérite au Collège de France.

Le site d'Anilore Banon – www.anilorebanon.net
Le site du projet – www.vitaeproject.com



Vitae Project

Image 3D de Gaël PERRIN



Les Braves

Ensemble de trois sculptures



Les Braves

Sur la plage d'Omaha Beach

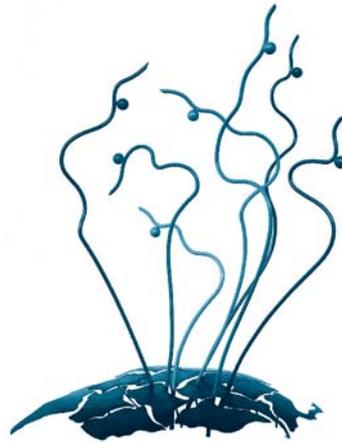


Les Ailes du Courage

Cœuvres de Anilore Banon
présentées dans cette revue



L'Arbre de Vie



Le Rire terrassant l'ignorance



La Responsabilité



Générique

Centre d'Étude et de Prospective Stratégique

CEPS

1, rue de Villersexel - 75007 Paris

Tél. +33 1 53 63 13 63 - Fax. +33 1 53 63 13 60

Site web : www.ceps-oing.org

Secrétariat de la rédaction : ceps@ceps-oing.org

Conception, réalisation et impression

TOO MUCH

91 rue du Faubourg Saint-Honoré - 75008 PARIS

Tél. +33 1 53 27 73 18

contact@toomuch-art.fr

Prix au numéro : 17,50 euros

Abonnement (quatre numéros) : 60 euros

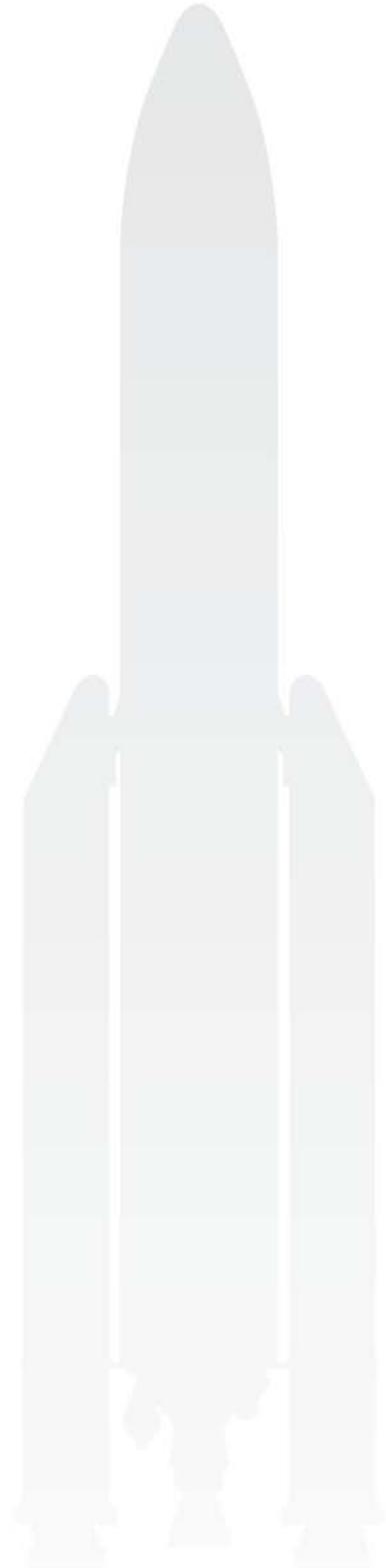
MISSION :

Mettre l'espace au service d'une vie meilleure sur terre
Plus simple, plus facile, plus sûre

Garantir à nos clients l'accès à des solutions de transport spatial
Pour tous types de satellites, institutionnels et commerciaux
Vers toutes les orbites
Avec Ariane 5, Soyuz et Vega

Chaque jour, aller plus loin
Avec passion et engagement
Dans un esprit d'équipe et d'excellence
Pour des succès partagés

MISSION TO SUCCESS



RÉUSSISSEZ VOTRE TRANSFORMATION DIGITALE

—
UNE VISION STRATÉGIQUE
DES EXPERTISES MÉTIERS
DES SOLUTIONS AGILES ET INNOVANTES
—

Parce que le digital change les règles du jeu, passez à l'offensive avec Gfi Informatique. Plus de 11 000 experts pour vous conseiller et vous accompagner, dans la durée, sur toute votre chaîne de valeur digitale : conseil, solutions, externalisation, big data, cloud...

Pour en savoir plus : gfi.fr