



Association Aéronautique  
et Astronautique de France

# LETTRE 3AF

La revue de la société savante  
de l'Aéronautique et de l'Espace

**20 JUILLET 1969  
MISSION APOLLO 11**



**NUMÉRO SPÉCIAL  
ESPACE**



**KOUROU, 25 SEPTEMBRE 2018  
100<sup>E</sup> LANCEMENT D'ARIANE 5**



UTILISATION DE L'ESPACE



NEWSPACE : THE FRENCH TOUCH



ASTRONAUTIX, UN CENTRE SPATIAL  
ÉTUDIANT À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

## 3 ÉDITORIAL

## 4 MESSAGES DU PRÉSIDENT ET DU VICE-PRÉSIDENT ALAIN WAGNER

## PRÉFACES

### 5 FLORENCE PARLY

ministre des Armées

### 6 FRÉDÉRIQUE VIDAL

ministre de l'Enseignement supérieur, de  
la Recherche et de l'Innovation.

## LES ORGANISMES NATIONAUX

### 7 LE SPATIAL OU QUAND LE TEMPS LONG PERMET D'ALLER VITE

par Jean-Yves Le Gall (CNES)

### 12 L'ONERA ET L'ESPACE

par Bruno Sainjon (ONERA)

### 17 LE RÔLE DU CNES DANS L'ÉCOSYSTÈME SPATIAL FRANÇAIS

par Lionel Suchet (CNES)

### 20 LA RECHERCHE SPATIALE EN MODE COLLABORATIF À L'ONERA

par Jean-Claude Traîneau (ONERA)

## ESPACE ET DÉFENSE

### 25 INTERVIEW DU GÉNÉRAL JEAN TESTÉ

par Jean-Pierre Sanfourche

## L'ACCÈS À L'ESPACE

### 30 ARIANE, 40 ANNÉES AU SERVICE DE L'AUTONOMIE STRATÉGIQUE

par André-Hubert Roussel  
(ArianeGroup)

### 31 KOUROU, TERRE D'ENVOL

par Didier Faivre (CNES)

### 34 ARIANE 6

par Patrick Bonguet (ArianeGroup)

## L'UTILISATION DE L'ESPACE

### 38 L'UTILISATION DE L'ESPACE

par Jean-Marc Nasr (Airbus Defence  
and Space et Jean-Loïc Galle (Thales  
Alenia Space)

### 39 LE DROIT DE L'ESPACE

par Philippe Achilleas, Raphaël Costa et  
Éloi Petros (Institut du droit de l'espace  
et des télécommunications)

### 44 METTRE L'ESPACE AU SERVICE D'UNE SOCIÉTÉ INNOVANTE

par Isabelle Bénézech, Audrey Briand  
et Alain Wagner (groupe de travail  
Applications du COSPACE)

### 47 NEWSPACE : THE FRENCH TOUCH

par Patrick Mauté (TAS)

### 50 DE MARS AU NEWSPACE : LES ÉQUIPEMENTIERS, UN ATOUT DU SPATIAL FRANÇAIS

par Franck Poirrier (SODERN)

### 52 RÔLE DES MICRO-SATELLITES DANS LA SURVEILLANCE MARITIME

par Amélie Proust (CFL)

### 54 L'INITIATIVE FÉDÉRATION

par Damien Hartmann (Open Space  
Makers)

## LES JEUNES ET L'ESPACE

### 59 LES NANOSATELLITES UNIVERSITAIRES DE MONTPELLIER

par Laurent Dusseau (Centre Spatial  
Universitaire de Montpellier)

### 62 LE SECRET PARTAGÉ ENTRE LES PROFESSIONNELS DE L'ESPACE

par Juan de Dalmau (International  
Space University)

### 66 ACTINSPACE

par Matthieu Lys (Airbus DS)

### 68 LES TRAVAUX DE L'ESO-ESTACA

par Yann Goument et Jordan Tromme  
(ESO)

### 70 ASTRONAUTIX, UN CENTRE SPATIAL ÉTUDIANT À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

par Lilia Solovyeva, Nicolas Hanappier  
et Florian Marmuse (Centre Spatial  
Etudiant)

## HISTOIRE

### 72 ON A PHOTOGRAPHIÉ SUR LA LUNE

par Victor Martin-Malburet

## NOTE DE LECTURE

### 79 HISTOIRE DE LA CONQUÊTE SPATIALE PAR JEAN-FRANÇOIS CLERVOY ET FRANK LEHOT PARU CHEZ DE BOECK SUPÉRIEUR

par Bruno Chanetz

#### ÉDITEUR

Association Aéronautique  
et Astronautique de France  
6, rue Galilée, 75116 Paris  
Tél. : 01 56 64 12 30  
secr.exec@aaaf.asso.fr

#### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Michel Scheller

#### RÉDACTEUR EN CHEF

Bruno Chanetz

#### COMITÉ DE RÉDACTION

Pierre Bescond  
Jean Déleroy  
Jean-Yves Guédou  
Paul Kuentzmann  
Bertrand de Montluc  
Jean-Pierre Sanfourche  
Jean Tensi  
Anne Venables  
Bernard Vivier

#### CONCEPTION GRAPHIQUE

ICI LA LUNE  
www.icilaLune.com

Droit de reproduction, textes et  
illustrations réservés pour tous  
pays.



## ÉDITORIAL

Les grands rêves poussent les hommes aux grandes actions avait déclaré André Malraux, sentence qui fait écho aux paroles du capitaine Nemo : *Tout ce qu'un homme est capable d'imaginer, d'autres seront capables de le réaliser.* La conquête de l'espace a bien d'abord été rêvée avant de devenir réalité.

Le 12 septembre 1962 à Houston, le président Kennedy annonçait le choix des États-Unis d'aller sur la Lune et il ajoutait : *Quoi qu'il en soit ce sera fait et avant la fin de la décennie.* Et le pari fut tenu, puisque le 20 juillet 1969, l'équipage d'Apollo 11 foulait pour la première fois le sol lunaire. Une exposition au Grand Palais commémore en ce moment cette grande aventure, l'occasion de revenir en fin de Lettre sur cet événement spatial, qui eut un retentissement considérable à l'époque et dont la popularité n'a jamais été égalée depuis.

Une mission d'exploration chinoise Chang'e 4 a bien réussi au tournant de l'année 2018 le premier alunissage sur la face cachée de la Lune. Cependant les robots ne suffisent pas à déclencher l'enthousiasme des foules. Pourtant la colonisation de la Lune est en marche. Dans une Lettre précédente <sup>1</sup>, Bernard Foing, directeur du groupe international d'exploration lunaire, envisageait la proclamation d'une république de la Lune en 2057.

Avec la Chine, de nouveaux états ont rejoint le club des puissances spatiales, capables d'envoyer des satellites et des hommes dans l'Espace. Mais ce club n'est plus réservé aux seuls états et l'émergence d'une industrie spatiale privée avec Jeff Bezos (Blue Origin) et Elon Musk (SpaceX), caractérise ce qu'il est convenu de nommer le *NewSpace*. Le 6 février 2018, le lancement de la fusée Falcon Heavy de SpaceX avait marqué un tournant : les deux boosters latéraux étaient revenus se poser sur le pas de tir, comme la fusée à damier rouge et blanc de Tintin, qui fit en 1954 la couverture de l'album d'Hergé *On a marché sur la Lune*. Il s'agissait d'un premier pas réussi vers un lanceur réutilisable. Mais c'est aussi la planète rouge qui est l'objectif d'Elon Musk, fixant ainsi un cap ambitieux à tous les acteurs du spatial.

Au-delà des aspects civils et commerciaux, l'espace constitue un terrain stratégique pour la Défense nationale, comme l'a rappelé la ministre des Armées Florence Parly <sup>2</sup>, en visite à l'ONERA le 10 janvier 2019 : *Chaque jour, nos quotidiens, nos renseignements et nos opérations s'appuient sur les satellites. Chaque jour, aussi, l'espace s'arme un peu*

*plus et les actions hostiles s'y multiplient.* La situation a en effet bien changé depuis le discours de Kennedy en 1962 : *Pour l'instant il n'y a ni querelle, ni conflit national dans l'espace.* Son actuel successeur à la Maison Blanche, le président Trump a ordonné en décembre 2018 la création d'un commandement militaire américain pour l'espace, chargeant cette autorité d'assurer la suprématie des États-Unis, menacée par la Chine et la Russie, sur ce nouveau terrain de combat.

En France, l'importance accordée aux affaires militaires spatiales a présidé dès 2010 à la création d'un Commandement interarmées de l'espace, qui représente l'état-major des armées pour toute question relative à l'espace et relevant du domaine de compétence des armées. Le général Jean-Daniel Testé, qui en assumait le commandement de 2014 à 2017, répond dans cette lettre aux questions de Jean-Pierre Sanfourche.

Ainsi les enjeux civils et militaires font de l'espace une nouvelle frontière de notre monde. La France entend continuer à y jouer un rôle de premier plan, grâce à ses organismes nationaux, ses écoles, ses universités et bien sûr ses champions industriels. Parmi eux Airbus Defence and Space, dont le vice-président Alain Wagner, s'est investi dans la conception de ce numéro spécial, pour nous offrir un panorama complet des activités de notre pays dans ce domaine. Cette revue met aussi l'accent sur les sociétés industrielles françaises, grandes et petites, qui produisent des satellites et des équipements de renommée internationale.

La 3AF avait accompagné la création de *Fédération Open Space Makers* en consacrant un numéro spécial <sup>3</sup> à cette initiative originale, lancée par le CNES au salon du Bourget en 2017 et dont on mesure la pleine réussite au bout de deux ans d'existence. Les centres spatiaux universitaires et les grandes écoles d'ingénieurs présentent également leurs réalisations. Elles permettent d'apprécier l'engouement que suscite toujours l'espace auprès des jeunes et laissent augurer des lendemains prometteurs pour notre industrie spatiale. ■

Bruno Chanetz  
rédacteur en chef

<sup>1</sup> Lettre 3AF n° 33, interview de Bernard Foing page 5 : <https://www.3af.fr/sites/default/files/lettre-3af-33.pdf>

<sup>2</sup> Lettre 3AF n° 35, Florence Parly à l'ONERA page 15 : <https://www.3af.fr/sites/default/files/lettre-3af-35.pdf>

<sup>3</sup> Lettre 3AF n°26, Le projet Fédération du CNES : <https://www.3af.fr/sites/default/files/lettre3af-n26.pdf>

## LE MESSAGE DU PRÉSIDENT

« Bonjour à tous,

Je suis infiniment fier pour la Société savante 3AF, membre du CORAC et du COSPACE, que nous ayons pu nous trouver au rendez-vous du Salon international de l'air et de l'espace du Bourget, et réaliser cette livraison de la Revue 3AF consacrée à l'Espace. Je tiens à féliciter tous ceux qui ont contribué à ce numéro, et je souhaite à chacun de prendre autant de plaisir et d'intérêt que moi à la lecture de cette Revue 3AF.

## LE MESSAGE DU VICE-PRÉSIDENT

Nous avons souhaité consacrer cette lettre de la 3AF à l'espace. En effet 2019 va être une année charnière pour l'avenir de filière spatiale française avec la conjonction de plusieurs événements porteurs de forts enjeux :

- La tenue du Conseil de l'Agence Spatiale Européenne au niveau Ministériel, baptisé Space 19+ à Séville, les 27 et 28 novembre 2019. À cette occasion, les investissements consentis pourraient s'élever à 16 milliards d'euros couvrant les 3 ou 4 années à venir sur 4 axes : science et exploration, sécurité, applications et activités capacitanes dont l'accès à l'espace ;
- La préparation du Cadre Financier Pluriannuel (2021-2027) de l'Union Européenne avec un budget dédié au spatial qui pourrait dépasser 16 milliards d'euros pour financer les évolutions de Galileo et Copernicus et mettre en œuvre des solutions de surveillance de l'espace ainsi que GovSatCom pour assurer des communications sécurisées. Le contexte politique est complexe car l'Union Européenne connaîtra des élections en mai 2019. Le Brexit aura aussi un impact visible sur le programme spatial européen ;
- La tenue de la Conférence Mondiale des Radiocommunications qui se tiendra à Charm el-Sheikh en Egypte du 28 octobre au 22 novembre 2019. L'identification globale du spectre pour la 5G y sera statuée sur de larges bandes de fréquences comprises entre 24,25 et 86 GHz. La communauté spatiale devra veiller à ce que soit pérennisé l'accès au spectre qu'elle utilise dans des conditions de viabilité économique et technique ;
- Enfin, l'exécution de la Loi de Programmation Militaire 2019-2025 qui prévoit le renouvellement complet des capacités spatiales militaires françaises.

Le début de l'année 2019 a été marqué par plusieurs coups d'éclat :

- La Chine a réalisé une première mondiale en posant Chang'e-4 sur la face cachée de la Lune dans le plus grand cratère d'impact connu du système solaire (Chang'e est la



Michel Scheller



Alain Wagner

Enfin je voudrais remercier chaleureusement Mesdames les ministres Florence Parly et Dominique Vidal d'avoir bien voulu préfacier cette Lettre, montrant ainsi l'importance que notre nation accorde à la question spatiale. ■

Michel Scheller  
Président de la 3AF

déesse de la Lune dans la mythologie chinoise). Les communications avec cet engin sont relayées par les communications par le satellite Queqiao (pont des pies). Chang'e-4 a déployé un rover, Yutu-2 (lapin de jade 2) qui a commencé son exploration et transmis ses premières images ;

- OneWeb Satellites, la co-entreprise entre Airbus et OneWeb, a livré les premiers satellites de la mégaconstellation OneWeb produits à Toulouse. Six des premiers satellites ont rejoint le centre spatial guyanais à Kourou pour un lancement prévu le 19 février.

Cette année verra aussi de nombreuses célébrations du cinquantième anniversaire du premier pas de l'homme sur la Lune. Cet événement a suscité de nombreuses vocations dans la profession. C'est probablement ce qui m'est arrivé après avoir vu, comme 600 millions de personnes dans le monde, la retransmission du 21 juillet 1969 sur un petit téléviseur en noir et blanc. Nous sommes tous sortis dans la rue, et la météo idéale nous a permis d'observer la Lune avec l'espoir un peu fou d'y percevoir quelque activité.

Que de chemin parcouru depuis le lancement du Spoutnik en 1957 ! Les solutions spatiales sont désormais devenues indispensables à la mise en œuvre de nombreuses politiques publiques et à tous les secteurs économiques. Ainsi, lors du lancement du satellite d'observation CSO (Composante Spatiale Optique), le 19 décembre dernier, la ministre des Armées Florence Parly a insisté sur l'importance stratégique du spatial. « Il nous faut surveiller plus et mieux nos satellites, a-t-elle expliqué. Il nous faut connaître parfaitement les objets qui les entourent, qui croisent leurs trajectoires. Il nous faut une cartographie parfaite du ciel. Il nous faut décourager quiconque voudrait s'attaquer à nos satellites ».

2019 sera bien une année charnière pour l'espace. Je remercie ici, au nom de la 3AF, tous les contributeurs à cette lettre espace de la 3AF qui seront des acteurs de cette transformation. ■

Alain Wagner  
Vice-Président de la 3AF

## PRÉFACE

# ESPACE ET DÉFENSE

par Florence Parly, Ministre des Armées



Florence Parly

Penser aujourd'hui à l'espace, ce n'est plus imaginer un monde lointain et obscur. Le ciel, devenu un espace de rivalité et de confrontation, est désormais la réalité de nos quotidiens et de nos opérations : les actes inamicaux s'y multiplient, l'espionnage s'y pratique dans l'ombre, les puissances développent des capacités antisatellites. C'est une évidence, aujourd'hui, plus que jamais, notre défense passe par l'espace.

J'évoquerai un exemple récent : l'opération Hamilton. Quand le régime syrien a décidé de franchir les limites de l'humanité et de gazer son propre peuple, il nous fallait réagir. Si nous avons pu le faire vite, c'est précisément grâce aux renseignements que nous avons pu collecter depuis l'espace, via les satellites Hélios et Pléiades. Ce n'est pas une mode, c'est un fait, la conduite des opérations militaires passera de plus en plus par l'espace.

À l'aube du lancement d'une ambitieuse stratégie spatiale de défense commandée par le Président de la République, la France dispose de nombreux atouts. Depuis soixante ans, notre pays fait figure de pionnier dans les activités spatiales. Seulement quatre ans après sa création en 1961 à l'initiative du général de Gaulle, le

Centre National d'Études Spatiales plaçait sur orbite le premier satellite français, hissant ainsi la France au rang de troisième puissance spatiale juste derrière l'ex-URSS et les États-Unis. Depuis, les succès et les avancées ont été nombreuses, je pense notamment à la construction du centre spatial guyanais, véritable « port spatial de l'Europe », ou plus récemment à la mise au point de la composante spatiale optique dont le premier satellite CSO-1 a été lancé le 19 décembre 2018.

La France doit continuer de compter dans l'espace et je compte sur tous les organismes publics, et les industriels du secteur pour relever le défi et maintenir la France au plus haut niveau dans un monde qui change. La création prochaine d'une *Space Force* au sein de l'Etat-Major des Forces Armées des États-Unis, la montée en puissance des capacités chinoises et indiennes montre à quel point le spatial est désormais au cœur des enjeux de défense. Une autre donnée ne doit pas être ignorée : la montée en puissance du *NewSpace* qui permet à des acteurs privés de disposer de l'accès à l'espace et d'en user à des fins commerciales compétitives.

Il est donc temps d'accélérer et d'intensifier encore nos efforts. Notre priorité est de renouveler nos capacités spatiales de défense et de sécurité et de pouvoir assurer une protection robuste de nos satellites : surveiller, identifier, caractériser ce qui leur advient et construire en toute autonomie notre veille spatiale est indispensable. La loi de programmation militaire 2019-2025 nous en donnera les moyens.

La France, avec le CNES, la DGA et ses établissements de recherche, notamment l'ONERA, son industrie et ses universités, est parfaitement placée pour donner cette impulsion nouvelle tout en entraînant nos partenaires de l'Union Européenne dans la construction d'une Force Spatiale en mesure de répondre à ce fait incontestable : l'espace est désormais une clé de voûte de la défense.

La France, troisième puissance spatiale, y parviendra j'en suis convaincue. ■

# ESPACE ET INNOVATION

par **Frédérique Vidal**, Ministre de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation



*Frédérique Vidal*

Le secteur spatial est tout à la fois une filière industrielle d'excellence, à la pointe de la technologie, une composante importante de notre recherche publique et un instrument essentiel à la souveraineté de la France et de l'Europe. C'est aussi, et on l'oublie trop souvent, un outil au service des citoyens, qui au quotidien nous permet de communiquer, de nous orienter, de nous informer. Et si le secteur spatial est plus que jamais tourné vers l'univers, sa compréhension et son exploration, sa contribution aux activités sur Terre n'a jamais été aussi importante.

De la gestion du trafic aérien à l'exécution de transactions financières, de l'optimisation des méthodes agricoles à la maintenance des infrastructures ferroviaires, le secteur spatial s'ouvre à tous les domaines d'activité. Et il nous faut accélérer cette dynamique, qui est un facteur de progrès économique et social. La valorisation des données satellitaires, que l'on parle d'observation de la Terre, de géolocalisation ou de télécommunications, représente un immense potentiel, qui nous permettra de développer une meilleure mobilité, d'apporter Internet à tous nos concitoyens, et de renforcer la compétitivité de nos entreprises.

Tout ceci est rendu possible par l'innovation, qui a toujours été l'un des moteurs du secteur spatial, et connaît aujourd'hui une accélération fulgurante. Les nouveaux matériaux, la miniaturisation ou les procédés industriels en rupture comme l'impression 3D, permettent une évolution profonde des technologies spatiales et des

modèles d'affaires. Le numérique, par ailleurs, contribue à ces transformations autant qu'il s'en nourrit : l'originalité des données satellitaires et l'efficacité des satellites pour transmettre de l'information tout autour du globe font du spatial un élément essentiel du monde digital qui se construit.

Dans cette course à l'innovation, la France et l'Europe peuvent compter sur des acteurs au meilleur niveau mondial : des agences spatiales de tout premier plan, des industriels champions dans leur domaine, des laboratoires de recherche exceptionnels et un tissu de start-up en pleine expansion. Il nous faut désormais aller encore plus vite ! Cela nécessite de réinventer la relation entre les pouvoirs publics et l'industrie, en concentrant l'intervention des États sur le soutien à l'innovation de rupture et en faisant croître des écosystèmes d'innovation ouverts qui agrègent l'ensemble des acteurs de l'innovation.

C'est pour ces raisons que nous avons créé un fonds de dix milliards d'euros pour l'industrie et l'innovation, qui sera prolongé au niveau européen par une agence de l'innovation de rupture, et c'est aussi pour cela que le CNES et ArianeGroup ont récemment créé « ArianeWorks », qui constitue une approche nouvelle de l'innovation spatiale. L'objectif est d'explorer des innovations de rupture, avec le moins de contraintes possibles pour aller vite, tout en s'appuyant sur l'expertise et les capacités technologiques et industrielles d'acteurs emblématiques. Et ArianeWorks est bien sûr ouvert à nos partenaires européens, car c'est ensemble que nous sommes forts et c'est ensemble que nous écrirons un nouveau chapitre de l'aventure spatiale européenne.

Je voudrais pour conclure remercier l'Association Aéronautique et Astronautique de France pour son action de réflexion académique et de communication en faveur du spatial, vers les jeunes et tous les citoyens. Dans notre société d'aujourd'hui, les sociétés savantes sont appelées à jouer un rôle de plus en plus important, non seulement sur le plan scientifique et technique, mais aussi sur le plan des relations humaines : j'encourage les étudiants, les jeunes professionnels et les ingénieurs et techniciens du secteur spatial à y adhérer en grand nombre. ■

# LE SPATIAL OU QUAND LE TEMPS LONG PERMET D'ALLER VITE

par Jean-Yves Le Gall, président du CNES (Centre National d'Études Spatiales)



Jean-Yves Le Gall

Le spatial aujourd'hui, que ce soit dans le domaine scientifique, militaire ou industriel, est au cœur d'un paradoxe. Depuis quelques années, tout semble s'accélérer, comme si une nouvelle Loi de Moore était devenue le paradigme de l'industrie spatiale. Du retour sur la Lune à l'exploration martienne, des nanosatellites en orbite basse remplaçant les satellites de plusieurs tonnes en orbite géostationnaire, des start-ups concurrençant les géants industriels et prétendant dépasser les agences spatiales historiques, le temps semble s'accélérer. Et la fiction devenir réalité.

L'astronaute Matt Damon, perdu seul sur Mars, n'est plus un personnage de science-fiction mais un reportage en direct tourné par les équipes du *NewSpace* à la surface de la planète rouge. La voiture autonome circule déjà dans les agglomérations, guidée par le système de positionnement européen Galileo.

Ce phénomène que d'aucuns baptisent post-vérité, lorsque la perception de la réalité devient la réalité elle-même, semble distraire les décideurs et empêcher une analyse partagée, seule capable de poser un diagnostic et d'envisager une stratégie. Car si le temps s'accélère, c'est parce que nous avons pris notre temps. C'est ce paradoxe qu'on peut tenter d'expliquer selon trois dimensions, technologique, économique et systémique.

## APOLLO 11, UNE TRÈS LONGUE MISSION.

Le 24 juillet 1969, l'écran géant du centre de la NASA à Houston affichait « Mission accomplie » en référence à l'ambition donnée par le Président Kennedy au début des années 60, de poser un homme sur la Lune et de le faire revenir en toute sécurité « before the decade is out ». Cette accélération, cet effort extraordinaire, que ce soit en termes technologiques ou financiers est à l'origine sans doute de cette vision d'un temps qui s'accélère. En effet, comment ne pas être surpris devant cette première fusée qui s'élève de Peenemünde en 1942 et qui atterrit 27 ans plus tard sur la Lune. Comme si 27 ans après le 9 octobre 1890 et le vol de Clément Ader, décollait un A380 !



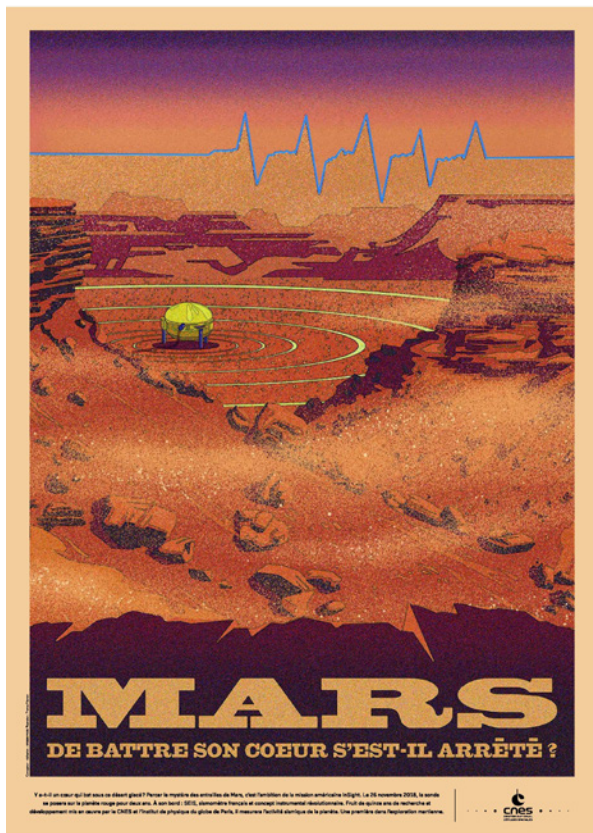
Le président Kennedy

Avec du recul, la date de naissance de 1942 est sans doute erronée et ne représente que la preuve de concept et non le début de l'histoire. Dès 1887, Konstantin Tsiolkovski avait déjà réfléchi à l'intérêt d'un véhicule spatial, travaillant notamment sur les propriétés de l'oxygène et de l'hydrogène liquides. À l'orée de la première guerre mondiale, les travaux de Robert Goddard et Hermann Oberth, confirmèrent ses recherches, avec notamment la publication en 1923 à Munich du livre *The rocket into interplanetary space*. Et en 1930, l'équipe de Rudolf Nebel eut la permission de louer un site militaire à Berlin, à proximité de l'actuel aéroport de Tegel, pour tester ce que l'on n'appelait pas encore des lanceurs. Du V2 allemand, américanisé en Redstone dès le début des années 50, l'histoire de Saturn V, le lanceur américain d'Apollo 11, pouvait alors s'écrire.

Ce temps long nécessaire à ce succès historique, poser un homme sur la Lune, se retrouve aujourd'hui dans le lanceur réutilisable qui marque une étape importante dans les nouveaux modes de mise en orbite pour un coût moindre que les lanceurs classiques. SpaceX semble ainsi, pour les néophytes, une révolution technologique née de la volonté d'un milliardaire génial et de brillants ingénieurs du numérique, issus de la Silicon Valley.

## LES ORGANISMES NATIONAUX LE SPATIAL OU QUAND LE TEMPS LONG PERMET D'ALLER VITE

Mais en fait, la clé de cette réussite est le moteur à bas coût et réutilisable Merlin, qui ne date pas d'hier. « Le moteur Merlin est développé en interne par SpaceX mais profite de 40 années de technologie ; l'injecteur Pintle est au cœur du système ; il a été utilisé sur le moteur de descente du Lunar Module des missions Apollo à la fin des années 60 » (source Capcomspace). Une nouvelle fois, l'industrie spatiale est une industrie incrémentale qui construit ses succès sur le temps long, celui de l'ingénieur, alors même que les produits de sortie semblent révolutionnaires. Il s'agit alors moins de révolutions technologiques que d'applications nouvelles de technologies robustes.



Le sismomètre français SEIS sur Mars.

Ce temps long est aussi et avant tout scientifique. Fin 2018, la sonde InSight se posait sur Mars avec à son bord le sismomètre français SEIS, capable de mesurer les tremblements de la planète rouge, étape décisive pour comprendre son évolution alors que les scientifiques affirment qu'elle a été habitable et qu'on cherche la preuve qu'elle a été habitée. À l'origine de cette épopée scientifique, le chercheur français Philippe Lognonné. Sa thèse, soutenue en 1989, portait déjà les germes de ce sismomètre martien mais pour que son projet devienne réalité, il lui a fallu travailler sur plusieurs générations de sismomètres pour la Lune et Mars sans que ces projets ne se réalisent, rencontrer Bruce Banerdt du Jet Propulsion Laboratory, gagner le soutien actif des politiques français, répondre à un appel d'offres de la NASA et enfin, bénéficier de

l'expertise unique des ingénieurs du CNES et de la société française Sodern. Et il y a quelques semaines, 30 ans après avoir soutenu sa thèse, le chercheur français a enfin pu mesurer son premier tremblement de Mars.

Ce temps long qui structure toute évolution dans le domaine spatial est aussi symbolisé par la politique spatiale de la Chine, qui a su mettre en orbite des taïkonautes dans une station spatiale autonome et poser un rover sur la phase cachée de la Lune. Le tout, avec des ambitions affichées, que ce soit pour l'exploration lunaire et martienne ou pour l'observation de la Terre, illustrée par les coopérations internationales comme celle développée avec la France autour du satellite CFOSat. Ce temps de la stratégie a été formalisé par Deng Xiaoping, premier réformateur de l'économie chinoise, dans son slogan *Crossing the River by Feeling the Stones*. La réussite est question de patience et d'investissement dans le temps long. Il faut s'assurer que les pierres ne glissent pas pour traverser la rivière, pour tenter une nouvelle épopée. Mais cet investissement, ce temps long semble alors heurter de manière frontale le mur de l'argent, du nécessaire investissement colossal que nécessite l'industrie spatiale. Une nouvelle fois il n'en n'est rien : le retour sur investissement attendra.

### QUAND LA SILICON VALLEY PREND LE RELAI DE WALL STREET

Le *NewSpace*, enfant naturel de la mondialisation et de la numérisation, est souvent défini comme l'apparition de nouveaux acteurs milliardaires venus d'Internet, qui en mettant en œuvre de nouvelles technologies, ont accéléré le cours d'une industrie spatiale jusqu'alors bloquée sur les satellites de télécommunications en orbite géostationnaire. « *Rich Guys Love Rockets* » a rappelé le Vice-Président Mike Pence lors de son discours à la conférence Satellite 2019 à Washington le 5 mai dernier. Et cette nouvelle vague s'accompagne d'une privatisation d'un espace jusqu'alors apanage des États, grâce à l'apparition de start-ups et du remplacement de la doctrine de l'espace historique *Failure Is Not an Option* par le slogan des start-ups *Fail Faster*. Et bien que né aux États-Unis, ce phénomène est devenu mondial en l'espace de quelques années !

L'apparition de ces nouveaux entrants s'accompagne dans un même mouvement d'une évolution essentielle de la chaîne de valeur de l'industrie spatiale. D'une économie d'infrastructure patrimoniale avec ses lanceurs et ses satellites, l'industrie spatiale est dorénavant tirée par la demande de données. Cette évolution se lit parfaitement dans les statistiques sur les revenus pour 2018 des différents segments de l'industrie où les lanceurs et la production de satellites ne représentent plus qu'à peine 10% du total.



## LES ORGANISMES NATIONAUX LE SPATIAL OU QUAND LE TEMPS LONG PERMET D'ALLER VITE

Cette évolution d'une industrie qui mute de l'amont vers l'aval, des infrastructures vers la donnée, du contenant vers le contenu, comme pour le secteur des télécommunications ou celui de la communication, semble dans un premier temps remettre en question les modèles économiques. Puisque le spatial est devenu un secteur numérique, le temps du retour sur investissement devrait alors se compter en mois et le nombre de start-ups se multiplier au niveau mondial, comme s'est développée l'industrie du software et des applications.

A cette vision simpliste s'oppose dans un premier temps la distribution géographique de la création des start-ups sur l'ensemble du globe. Leur grande majorité se trouve soit aux États-Unis, soit en Chine et un peu en Europe. Peu ou pas de dispersion mondiale. Et quand le Japon ou l'Inde présentent le paysage de leurs nouvelles entreprises, celles-ci sont dans l'immense majorité soit soutenues par leurs agences nationales comme la JAXA ou l'ISRO, soit financées par des prises de participations institutionnelles. Le deuxième temps de l'analyse nous renvoie alors à ce temps long. Dans le spatial, ce sont les fonds publics qui structurent le marché car les risques sont grands et le retour sur investissement est long, même pour les applications. Les paris sur les constellations en sont la preuve.

OneWeb a multiplié les tours de table pour consolider son financement, Starlink de SpaceX est dans la même démarche et la création de Kinéis, porté par CLS et soutenu par le CNES, montre à la fois que les besoins de financements sont importants et qu'ils rencontrent l'intérêt des financiers. Comment expliquer alors ce paradoxe, d'une

économie à long retour sur investissement et qui malgré tout, attire les investisseurs ?

D'abord, par un changement de paradigme aux États-Unis. Wall Street et sa vision trop souvent purement financière a, pour les hautes technologies, été supplantée par les capitaux-risqueurs de la Silicon Valley. L'objectif est le *MoonShot* qui consiste à investir sur 10 entreprises disruptives en pariant que l'une d'entre elles sera une licorne, c'est-à-dire que sa capitalisation boursière dépassera le milliard de dollars. Cette approche est préférée à investir à court terme sur des technologies confirmées mais avec une faible chance de gagner le gros lot. Planet, à l'image d'Amazon « brûle du cash » et se soucie relativement peu de sa rentabilité annuelle. L'objectif est de devenir sur la durée le Numéro 1 et de dominer le marché. Le business du spatial est devenu celui du *The Winner Takes it All*. On prend son temps, on investit sur des années et on peut gagner très gros... et écraser la concurrence. C'est exactement ce qu'avait dit Elon Musk en 2014, lorsqu'il avait rencontré plusieurs Chefs d'Etat européens.

Mais ces adeptes du temps long ne sont pas pour autant des philanthropes. Ils savent bien qu'ils ont un formidable atout dans leur poche, qui est en fait la meilleure réassurance possible, des financements publics toujours plus importants. Si cet investissement est difficile à mesurer en Chine, où séparer financement public direct et investissement via la Bank of China n'est pas évident, il n'en est pas de même pour l'Europe et la France.



Thomas Pesquet à bord de l'ISS.

# EUROPEAN SPACE ECOSYSTEM 2019



**EUROPEAN SPACE AGENCY AND MAIN NATIONAL SPACE AGENCIES**

**LARGE SPACE AND SATELLITE COMPANIES**

**BUSINESS AND INDUSTRY ASSOCIATIONS**

**CLUSTERS AND CLUSTER'S NETWORKS**

**OTHER NETWORKS**

**MAJOR EUROPEAN SPACE PROGRAMS**

**INVESTORS (VC FUNDS, BUSINESS ANGELS, ACCELERATORS)**

**BUSINESS INCUBATORS**

**THE BIGGEST EVENTS (CONFERENCES, FAIRS)**

**SPACE COMPETITIONS**

**SPACEPORTS**

**EDUCATION AND HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT**

**SPACE LAW ORGANISATIONS**

**SCIENCE, RESEARCH**

**NGOS (THINK TANKS, FOUNDATIONS)**

**TECHNOLOGY TRANSFER (SELECTED MEMBERS OF THE ESA TECHNOLOGY TRANSFER NETWORK)**

**EUROPEAN SPACETECH TRANSFER FORUM 2019**  
Warsaw - 25.04.2019

**arp** Industrial Development Agency JSC

Ecosystème Spatial Européen.

La Commission européenne a proposé pour son prochain cadre financier, un budget ambitieux de 16 milliards d'euros, en augmentation de près de 50% par rapport à la période précédente, avec un fort soutien aux projets Copernicus et Galileo.

À cet effort considérable, s'ajoute le budget de l'Agence spatiale européenne avec près de 5,7 milliards d'euros en 2019 et les budgets de toutes les agences nationales. L'industrie spatiale française dépend ainsi à plus de 80% des financements publics ce qui permet aux grandes entreprises d'avoir une vision à long terme des ressources et de définir ainsi leurs politiques d'investissements. Aux

États-Unis, les investissements des capitaux-risqueurs s'élevèrent pour les années 2000 à 2018 à 20 milliards de dollars dont près de trois milliards pour la dernière année (Ambassade de France à Washington), ce qui représente certes, une formidable accélération mais ce qui ne dépasse pas, cumulé sur 20 ans le budget d'une seule année de la NASA qui s'élève en 2019 à 22 milliards de dollars ! Et si on ajoute les programmes des autres agences spatiales fédérales et de la DARPA, il est facile d'imaginer la réassurance que procurent aux investisseurs privés ces budgets publics.

Les États offrent ainsi dans partout dans le monde, un cadre de financement à long terme qui permet l'apparition de nouvelles entreprises, au début financées par le privé mais soutenues in fine par le public. Ce nouveau cadre nécessite une nouvelle gouvernance car il multiplie les interlocuteurs et rend moins évident toute politique industrielle.

#### UN NOUVEAU PARTENARIAT PUBLIC-PRIVÉ

Le monde spatial d'hier, structuré par quelques puissances spatiales et quelques grandes entreprises, n'existe plus. Le cœur scientifique et technologique dispose d'un héritage de premier plan dans lequel les industriels puisent pour développer de nouveaux lanceurs, de nouveaux satellites et de nouvelles applications. Le Deep Space reste un formidable laboratoire aux confins de la science et la donnée tire vers le haut l'industrie des satellites avec toujours plus d'informations et toujours plus de précisions. Ce cercle vertueux s'appuie sur un formidable investissement de la puissance publique, comparable à celui dévolu il y a 50 ans au programme Apollo mais qui aujourd'hui, fait la part belle aux capitaux-risqueurs qui apportent des capitaux tout en étant adossés à un flux d'argent public.

Le risque alors est d'être confronté à de multiples acteurs avec des stratégies divergentes. La cartographie du paysage spatial européen pose en effet une question de lisibilité et de gouvernance. Le problème n'est pas le même de part et d'autre de l'Atlantique, voire en Asie, principalement avec la Chine. Aux États-Unis et notamment dans la Silicon Valley, il existe ce que les économistes urbains appellent *The Invisible College* qui permet à l'ensemble de la communauté scientifique, financière et entrepreneuriale, de la multinationale à la start-up, de travailler ensemble, de synchroniser les stratégies avec, encore une fois, un maître des horloges, le financement public et pour le spatial, le financement de la NASA.

Ainsi quand la NASA lance un appel d'offres sur les futurs landers lunaires, si elle ne retient que les sociétés matures comme Boeing, Lockheed Martin, SpaceX, Blue Origin ou Sierra Nevada, elle s'assure de la capacité de ces

entreprises à « délivrer » mais aussi, voire surtout, elle sait que ses contrats irrigueront l'ensemble de l'écosystème, du laboratoire universitaire jusqu'au capital-risqueur rassuré sur les fonds qu'il a investis et donc capable de soutenir une future start-up.

Face à cet *Invisible College* américain, l'Europe a encore du chemin à faire pour créer cette communauté spatiale industrielle allant de l'université à la start-up. Les grandes entreprises ont encore parfois du mal à faire évoluer leur positionnement historique et les start-ups semblent encore avoir des difficultés à trouver la porte des financements publics.

Le CNES est au cœur de cette évolution et a vocation à être la clé de voûte de cette nouvelle stratégie en créant cet *Invisible College* où grandes et petites entreprises, laboratoires universitaires, capitaux-risqueurs et financements européens pourront se développer plus en synergie et moins en silo. En se dotant d'une stratégie pour la science et l'exploration, en multipliant les actions pour développer le secteur aval des applications, en travaillant en totale synergie avec l'industrie et le GIFAS pour préparer les grandes échéances comme la Conférence ministérielle de l'ESA de novembre 2019, le CNES se positionne en intégrateur de ce nouveau partenariat public privé.

La conviction profonde que seule une communauté spatiale européenne forte pourra répondre au formidable défi financier et technologique que nous lançent les États-Unis et la Chine, conduit aussi à renforcer à la fois le rôle de l'ESA comme agence spatiale fédératrice et dans le même temps rend toujours plus nécessaire une stratégie ambitieuse de la Commission européenne.

Cette ambition est la seule urgence, tant l'héritage technologique et la qualité de la formation des ingénieurs assurent à la France et à l'Europe, des compétences de premier rang et une position incontournable dans tous les futurs défis spatiaux qu'ils soient stratégiques, économiques ou sociétaux comme l'exploration de la Lune et plus tard de Mars. Cet héritage nous oblige à être au rendez-vous et à multiplier les initiatives pour que ce nouveau partenariat public privé réinvente ce que la France du Général De Gaulle a créé et qui a fait de notre pays dès 1965, la troisième puissance spatiale mondiale et aujourd'hui, le principal acteur de l'Europe spatiale. ■

## L'ONERA ET L'ESPACE

par Bruno Sainjon, président de l'ONERA



Bruno Sainjon

Plus de soixante ans après sa conquête l'espace est au cœur de la vie des États et de leurs habitants. Plus que jamais il constitue cette « nouvelle frontière » dont la maîtrise est un marqueur de puissance et de prestige bien identifié. Il est utilisé quotidiennement par les scientifiques aussi bien dans l'étude d'une Terre sous haute surveillance que pour sonder et explorer l'Univers. Il fait aussi partie du quotidien de milliards de personnes qui utilisent les capacités de géolocalisation que fournissent les constellations GPS et Galiléo.

Par ailleurs l'espace est fortement militarisé depuis les débuts de sa conquête : milieu de transit des missiles balistiques et milieu de mise à poste de satellites. En tant que zone de mise à poste, il prolonge la recherche de l'avantage donné par la maîtrise d'un « point haut ». C'est aussi un milieu intimement lié aux capacités nucléaires et balistiques des États.

La Revue stratégique de défense et de sécurité nationale publiée en décembre 2017 fait d'ailleurs une mention particulière pour « l'espace exo-atmosphérique » dans le cadre de la rubrique « des espaces contestés ». Il y est notamment indiqué qu'il s'agit d'un milieu « peu régulé » et que la banalisation de l'accès à l'espace va en faire un domaine de confrontation entre États, autrement dit que la question de l'arsenalisation de l'espace est d'ores et déjà posée.

Les positions très récentes adoptées aux États-Unis viennent renforcer cette tendance. Lors de la troisième réunion du National Space Council, tenue le 18 juin 2018, le président des États-Unis a souligné l'importance du domaine spatial en matière de création d'emplois et de fierté nationale, mais aussi dans le domaine de la Défense. C'est dans ce contexte qu'il a demandé à la Défense de mettre en place une Space Force.

Cette tendance est d'ailleurs confirmée par les différentes démonstrations de force auxquelles nous assistons depuis des années : tout récemment encore c'est l'Inde qui a procédé à la destruction d'un de ses satellites en orbite basse en utilisant un missile, devenant ainsi le quatrième pays à faire la démonstration d'une capacité anti-satellite.

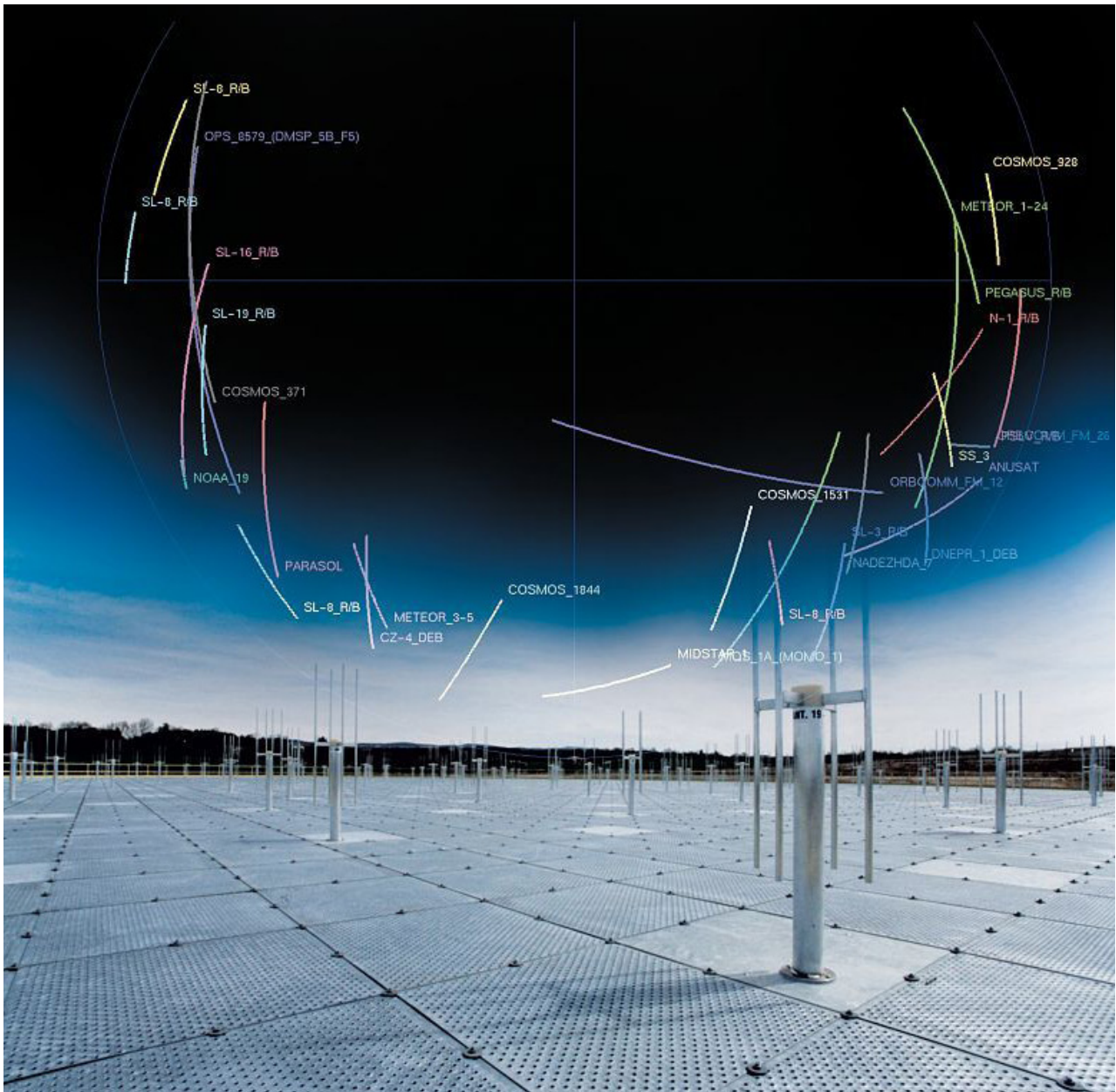
Rien de ce qui se passe dans l'espace n'est donc anodin pour la France et - depuis environ un an - plusieurs initiatives émanant en particulier du ministère des Armées, du ministère de l'Économie et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation ont réexaminé les éléments de politique spatiale de notre pays.

L'investissement de l'ONERA dans le secteur spatial concerne aussi bien les finalités civiles que militaires où les recherches se concentrent sur la surveillance de l'espace, l'acquisition du renseignement géospatial ou la mise au point de capteurs à des niveaux parfois uniques au monde.

### LA SURVEILLANCE DE L'ESPACE, SES ENJEUX DE SOUVERAINETÉ ET SES BÉNÉFICES DIPLOMATIQUES

Le radar GRAVES (Grand Réseau Adapté à la Veille Spatiale) est l'unique système opérationnel de veille et de surveillance de l'espace en Europe. Il est utilisé par l'Armée de l'air et ses données sont exploitées au CNOA (Centre National des Opérations Aériennes) basé au mont Verdun près de Lyon. Il a été conçu par l'ONERA et c'est aussi l'ONERA qui a piloté sa réalisation. Grâce à lui la France dispose de manière autonome d'une base de données des éléments orbitaux des différents satellites. Depuis sa mise en service opérationnel en 2005 il a répertorié et il assure le suivi régulier de plus de 2500 objets qui passent au-dessus de notre territoire. Il permet aux Armées de disposer d'une élaboration et tenue autonome de la situation spatiale en orbite basse sur les objets de la gamme du mini-satellite à 1000 km d'altitude.

Cette réalisation illustre aussi une contribution de l'ONERA à la souveraineté de notre pays et à sa diplomatie puisque le 14 avril 2015, en marge du Space Symposium - rendez-vous annuel mondial des professionnels de l'espace à Colorado Springs - le général commandant le Commandement interarmées de l'espace (CIE) et le responsable de la planification au commandement stratégique américain (USSTRATCOM) ont signé un arrangement technique visant à renforcer la coopération bilatérale franco-américaine dans le domaine de la surveillance de l'espace. Cet arrangement s'inscrivait dans la continuité du Mémorandum d'entente signé en janvier 2011 ; il permet



Antennes réceptives de GRAVE sur le plateau d'Albion (Alpes de Haute-Provence).

d'étendre le partage de données utiles à la surveillance de l'espace, de veiller à la sécurité de nos satellites et de lutter contre la prolifération des débris spatiaux.

On le constate, il y avait bien un « avant GRAVES » et il y a depuis 2005 un « après GRAVES » reflété par l'attitude américaine à l'égard de la France : on observe ici une attitude similaire – toutes proportions gardées – à celle qui prévaut dans le domaine du renseignement !

En outre, une capacité de surveillance permet la vérification du respect des traités internationaux relatifs à l'espace ; elle joue par conséquent également un rôle pour la diplomatie de la France, tout cela pour un coût total de 30 M€.

L'ONERA travaille sur le futur de la surveillance de l'orbite basse – c'est-à-dire des altitudes inférieures à 2000 km – en proposant un système capable de répondre aux enjeux dictés par les évolutions du milieu spatial.

À l'avenir, il s'agit de disposer des connaissances pour s'adapter à la dynamique des nouveaux objets en orbite, améliorer la détection de satellites plus petits et certainement manœuvrants et de cataloguer des mesures à la fois beaucoup plus nombreuses et plus variées. En résumé, il faudra dans le futur proche être en mesure de cataloguer des objets spatiaux plus petits, en plus grand nombre et à des altitudes plus élevées.

La surveillance de l'espace ne se limite pas à l'emploi de moyens radars mais inclut l'optique grâce à l'utilisation des compétences de l'optique adaptative. L'optique adaptative permet de corriger en temps réel les perturbations causées par les turbulences de l'atmosphère terrestre et d'obtenir une image en haute résolution d'un satellite en orbite basse en permettant l'identification des sous-systèmes qui le composent. L'ONERA utilise un télescope de 1,5 m de diamètre équipé d'un système d'optique adaptative comportant notamment un analyseur de surface d'onde et une optique déformable permettant d'obtenir des images et des séquences vidéo de satellites.

L'imagerie de satellites en orbite basse est également possible au moyen de radars à synthèse d'ouverture inverse (ISAR) qui peuvent fournir des images – dont l'interprétation est un peu plus délicate que celle d'une image optronique – mais qui permettent de s'affranchir des conditions météorologiques et d'éclairement du satellite pour son observation.

### LA MÉTÉOROLOGIE DE L'ESPACE COMPLÈMENT NATUREL DE SA SURVEILLANCE

L'espace est aussi un milieu qui peut être dangereux du simple fait des phénomènes naturels dont il est le siège. On sait à quel point les conditions météorologiques atmosphériques affectent les opérations militaires et, à l'instar de la météorologie classique, il existe aussi une météo de l'espace dont la connaissance est déterminante pour une puissance spatiale telle que la France. L'ONERA a dédié des équipes scientifiques à cette activité : il s'agit notamment de modéliser les ceintures de radiations et les flux de particules chargées et d'étudier théoriquement et expérimentalement les interactions entre un satellite et son environnement. Cette connaissance de l'environnement permet aussi d'être en mesure de différencier – de lever toute ambiguïté – entre des perturbations d'origine naturelles et une agression. Il s'agira d'être en mesure de qualifier la dangerosité réelle des menaces qui vont apparaître et d'en déduire les risques encourus afin d'élaborer les solutions d'atténuation de ces risques, voire de protection de nos propres satellites.

### L'ALERTE SPATIALE ANTI-MISSILES BALISTIQUES : UNE PRÉOCCUPATION RÉCURRENTÉ INTIMEMENT LIÉE AUX TENSIONS INTERNATIONALES

La prolifération de la menace balistique n'est certes pas un sujet nouveau mais elle se pose avec une acuité particulière depuis quelques temps avec les démonstrations de la Corée du Nord. Récemment l'Iran a testé son missile KHORRAMSHAR d'une portée de 2000 km, missile d'origine nord-coréenne basé sur un missile russe modifié en vecteur sol-sol.

Pour être capable de contrer un missile balistique le point clé est d'être capable de détecter son lancement suffisamment tôt pour permettre à un système de défense anti-missile d'entrer en action. Il y a dix ans, la France a lancé deux satellites nommés SPIRALE (Système Préparatoire Infra-Rouge pour l'ALerte) qui ont permis de disposer d'un démonstrateur d'alerte avancée par satellite, capable de détecter des tirs de missiles et surtout de recueillir une moisson d'informations. La mission SPIRALE a en effet permis la constitution d'une base de données qui comprend un très grand nombre d'images indispensables à la compréhension des phénomènes naturels et physiques susceptibles d'engendrer de fausses alertes lors de la détection des missiles pendant leur phase propulsée. L'ONERA a eu la charge d'exploiter cette base de données en la confrontant notamment aux résultats de modélisation des fonds de terre dans l'infrarouge d'une part, et des signatures infrarouges des missiles d'autres part. L'ONERA a mis à contribution ses compétences en modélisation des scènes atmosphériques (code MATISSE) et des mesures de scènes nuageuses dans le domaine infrarouge. En ce qui concerne la modélisation de la signature des missiles, c'est un problème difficile car il met en jeu plusieurs disciplines – aérothermochimie, rayonnement, influence de la turbulence – pour obtenir un résultat représentatif.

L'ONERA dispose de ces compétences rares permettant le dimensionnement d'un système spatial d'alerte anti-missiles à l'heure où de plus en plus de pays cherchent à se doter de missiles balistiques.

### LA DEMANDE CROISSANTE EN RENSEIGNEMENT GÉOSPATIAL

Le renseignement d'origine image est un besoin exprimé par toutes les armées. L'imagerie militaire mobilise – pour son besoin d'informations – une grande partie du spectre électromagnétique. Par ailleurs, les technologies qui permettent l'acquisition du renseignement se prêtent bien à des innovations qui entrent dans le cadre de ce qu'on appelle – parfois un peu vite – le *NewSpace*. La France a été pionnière en Europe dans les années 1990 avec le développement de la filière Hélios et elle doit continuer à faire preuve d'initiative. L'avenir est à la mise en œuvre des technologies les plus avancées, dès leur disponibilité, combinée à des solutions éprouvées lorsqu'elles suffisent. Il faudra être prêt – le cas échéant – à assumer une prise de risque liée à des temps de développement réduits et accepter éventuellement une durée de vie moins longue de certains satellites. Actuellement les constellations GEOINT présentent des performances encore modestes en terme de résolution (1 à 4 m pour Planet) pour un besoin militaire mais offrent des temps d'accès potentiellement très faibles (quelques dizaines de minutes) sur l'ensemble du globe et reposent sur un modèle de « service aux utilis-

teurs » avec des produits issus du traitement des données massives collectées et fusionnées avec d'autres sources d'information. Ces performances illustrent la démocratisation de l'accès à la haute résolution à l'œuvre depuis 1994, année de la libéralisation de l'imagerie d'origine spatiale aux États-Unis.

Ce type d'offre se développe aussi dans les domaines radar SAR (1 m en bande X), hyperspectral (30 m, combiné à du visible et de l'infrarouge) et même vidéo (sub-métrique).

Toutes les missions qui intéressent la défense sont concernées par ces évolutions : la surveillance de la scène opérationnelle, la surveillance de l'environnement naturel (atmosphère, ressources, biomasse, infrastructures, etc.) et de l'activité anthropique, le renseignement (d'origine électromagnétique ROEM, d'origine image ROIM, etc.).

Il ne s'agit pas de dire que le *NewSpace* va chasser l'ancien mais qu'à l'avenir ils vont certainement se compléter. On a tendance à l'oublier, mais la Défense a été pionnière dans l'utilisation de petits satellites : dans le domaine très confidentiel de l'ELINT (Intelligence électronique) nous avons utilisé des satellites comme CERISE et CLEMENTINE pour préparer les systèmes opérationnels actuels et ce dès le milieu des années quatre-vingt-dix.

Voici deux exemples de systèmes d'imagerie dans deux domaines de longueurs d'onde qui vont connaître des évolutions importantes et qui illustrent ce qu'on peut attendre dans le proche avenir.

#### *L'imagerie de la Terre par radar à synthèse d'ouverture*

L'observation avec un radar SAR fournit des images très riches en information mais qui sont moins intuitives qu'en optique. Il est donc indispensable de comprendre la physique pour spécifier et concevoir les capteurs et développer les traitements et les outils d'exploitation.

L'ONERA dispose du moyen aéroporté RAMSES NG qui est pleinement opérationnel depuis 2013. Ce radar est bien adapté à l'imagerie à haute résolution et aux activités de surveillance car il permet la détection des changements intervenus sur une scène. Il permet également l'imagerie d'objets dissimulés par des bâches par exemple.

Dans le domaine de l'environnement le radar aéroporté Sethi de l'ONERA est applicable aux études de l'évolution de la biomasse. Ce moyen nous permet de quantifier la distribution géographique et les évolutions dans le temps de la biomasse des forêts. Le moyen Sethi permet aussi la détection sub-surfacique d'infrastructures enterrées.

L'imagerie spatiale au moyen de radars SAR va se miniaturiser et permettra la haute résolution en trois dimensions ainsi que la détection d'activité avec des satellites de petites dimensions.

#### *L'imagerie optronique*

En optique, un des axes d'effort de l'ONERA concerne l'imagerie « hyper spectrale ». Il s'agit de concevoir de nouveaux systèmes optiques avec les traitements d'images associés pour affiner la caractérisation et la connaissance des sols ou de cibles potentielles. Cet accroissement d'information sera autorisé par la découpe du spectre électromagnétique en bandes fines et par l'analyse détaillée des caractéristiques de réflectance dans chacune de ces bandes. L'imagerie hyper spectrale permettra d'exploiter le maximum d'information dans chaque pixel d'une image et rendra possibles la discrimination et la classification des différents éléments d'une image. Avec cette technique il sera possible de classifier tout objet par sa signature unique, de rendre caduques nombre de méthodes de camouflage et de détecter des objets enterrés.

Il est aussi envisageable d'atteindre une très haute résolution spatiale avec des satellites dont la longueur sera ainsi très réduite : une piste très prometteuse consiste à remplacer le miroir de l'instrument optique par un ensemble - une matrice - de petites lentilles associées à un plan focal de détecteurs. Les informations élémentaires seraient ensuite combinées par interférométrie. En outre, par rapport à un instrument d'optique classique, les contraintes mécaniques d'alignement sont relâchées.

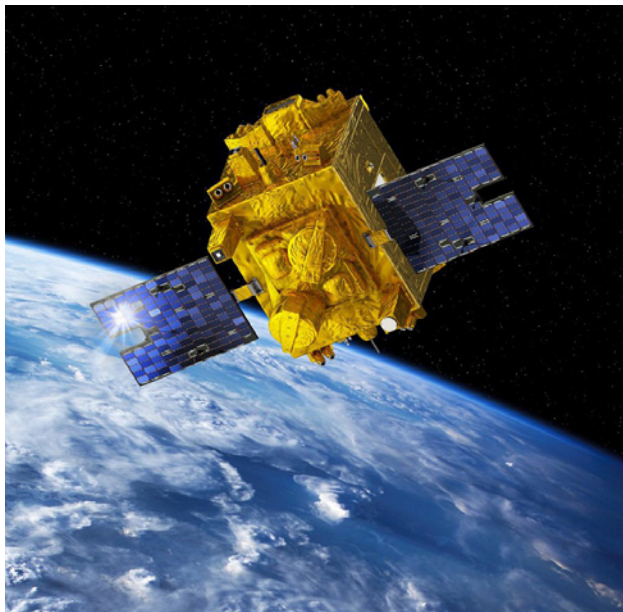
#### **LA MONTÉE EN PUISSANCE DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION**

L'augmentation de la performance technologique des capteurs se conjugue avec les avancées de l'analyse des données faisant notamment appel à l'Intelligence Artificielle (IA).

Parmi les sujets en plein développement, citons la perception augmentée de l'environnement, le suivi dynamique et l'anticipation de l'évolution d'une scène.

Pour le renseignement électronique, l'utilisation de techniques à des fins de classification robuste est une priorité car il importe d'être capable de configurer et d'optimiser ses ressources pour discerner et reconnaître des signaux dans un spectre très encombré.

Dans un proche avenir, il sera également possible de conférer une certaine autonomie aux satellites - qui pourront être agiles - en leur donnant la possibilité de ne s'activer que lorsque qu'une modification intervient



*Vue d'artiste de MICROSCOPE (crédit CNES).*

dans l'environnement. Cela permet aussi d'envisager une révolution dans la planification de la mission de collecte de renseignements multisatellites afin d'affecter aux ressources d'observations un ensemble de demandes sur des objectifs multiples. Aujourd'hui, la planification s'effectue hors ligne, ou de manière continue, par mise à jour d'un plan initial.

Par ailleurs le proche avenir verra l'avènement de nouveaux « capteurs cognitifs » dans lesquels les deux fonctions perception et cognition seront intégrées dans un système unique capable de raisonnement en cours d'acquisition lui permettant d'optimiser l'information qu'il apportera.

**LA SCIENCE FONDAMENTALE DANS L'ESPACE :  
LA PHYSIQUE THÉORIQUE QUI S'APPUIE SUR UNE  
TECHNOLOGIE ONERA INTÉRESSANT AUSSI LA  
DÉFENSE**

La théorie de la relativité générale constitue, avec la théorie quantique, l'une des avancées majeures de la physique au XX<sup>e</sup> siècle. La vision géométrique de la gravitation qu'elle propose est en rupture avec celle que Newton avait construite dans ses Principia à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. La théorie repose sur un principe qui postule l'égalité de la masse gravitationnelle et de la masse inertielle : c'est le principe d'équivalence.

L'ONERA, avec l'instrument « Microscope », a imaginé de relever le défi de la vérification de ce principe d'équivalence avec une précision inégalée :  $10^{15}$ . Pour fixer les idées, cela revient à être capable de détecter la variation de masse qui survient lorsqu'une mouche se pose sur un supertanker ! C'est l'exploit réalisé par la mission spatiale « Microscope » qui pousse l'accélérométrie ultra-sensible dans ses retranchements.

Fin 2017, l'ONERA est devenu la nouvelle référence mondiale en battant le précédent record de précision de la vérification du principe d'équivalence. Actuellement, les mesures continuent d'affluer pour réduire encore les barres d'incertitude.

L'ONERA met ainsi au point les accéléromètres spatiaux les plus précis au monde. C'est ce qui conduit régulièrement le Jet Propulsion Laboratory à faire appel à l'ONERA pour les missions de géodésie de la NASA telles que GRACE, GOCE et bientôt GRACE follow on. Ces sujets n'ont pas qu'un intérêt scientifique car la connaissance précise du champ de gravité terrestre est d'une importance capitale pour la précision de la navigation des missiles.

Actuellement les réflexions vont bon train pour imaginer un successeur à la mission Microscope : aller encore plus loin en précision, voire explorer de nouveaux champs scientifiques.

On le constate, la France dispose de nombreux atouts pour faire face à la demande croissante des Armées concernant le milieu spatial. C'est notamment le cas dans de nombreux secteurs très technologiques comme ceux des capteurs, qu'il s'agisse d'optronique ou de radar. En revanche, on assiste depuis maintenant plusieurs années à une accélération du rythme des innovations et à une multiplication des acteurs. Même si on ne doit pas perdre de vue que les avancées obtenues par des acteurs privés – notamment aux États-Unis traditionnellement cités en exemple – s'appuient sur un effort de long terme de l'Etat fédéral, il est indispensable pour notre pays de retrouver ou d'acquérir un esprit pionnier. Après tout – pour n'évoquer que l'espace militaire – nous l'avons fait avec des missions telles que CLEMENTINE ou SPIRALE il n'y a pas si longtemps. ■



# LE RÔLE DU CNES DANS L'ÉCOSYSTÈME SPATIAL FRANÇAIS

par Lionel Suchet, directeur-général délégué du CNES

Le Centre National d'Etudes Spatiales joue un rôle central dans la définition et la mise en œuvre de la politique spatiale française. Cette affirmation garde toute sa pertinence après bientôt 60 ans d'existence du CNES alors que l'écosystème spatial français a complètement changé en passant d'une feuille blanche où tout était à créer à un ensemble de laboratoires de recherche et d'industries de toutes tailles et de premier rang mondial. Dans le même temps, le paysage international s'est aussi profondément transformé pour passer de quelques acteurs à plusieurs dizaines de pays, tous très impliqués dans les activités spatiales.

En fait, le CNES a toujours su adapter son périmètre de compétences et ses modes d'interventions pour rester un acteur à forte valeur ajoutée pour la France et son écosystème spatial. C'est toujours le cas aujourd'hui, même si un nouveau challenge se présente à lui avec une forte accélération des évolutions du domaine spatial.

## LES ÉVOLUTIONS MAJEURES DU DOMAINE SPATIAL

Le constat d'une évolution de plus en plus rapide du domaine spatial n'est pas discutable et s'explique principalement par les deux éléments suivants :

- La révolution numérique qui modifie en profondeur nos sociétés tant au niveau des techniques que des usages ;
- L'augmentation importante du volume, de la qualité et de la diversité des données mesurées depuis l'Espace.



*Les services utilisant des données spatiales touchent maintenant tous les secteurs de l'économie.*

La combinaison de ces deux éléments permet de proposer de plus en plus de services utilisant des données spatiales dans de très nombreux domaines d'activité (santé, sécurité, aménagement du territoire, pêche, agriculture, tourisme, transports, etc.) Les enjeux très étatiques et

fondateurs du spatial (science et sécurité) s'enrichissent donc de forts enjeux économiques à l'instar des télécommunications spatiales qui avaient déjà ouvert cette voie.

Du fait de cette évolution majeure, l'économie très étatique et fermée du monde spatial (hors télécoms) s'enrichit donc d'une économie ouverte où règne une compétition effrénée entre des acteurs de plus en plus nombreux, pertinents et intéressés.

Et c'est bien d'un enrichissement dont il faut parler et non d'un remplacement, car de façon concomitante, les enjeux stratégiques du spatial se renforcent partout dans le Monde. Ainsi à côté du rôle naissant des acteurs privés, le rôle des États reste très majoritaire et se renforce d'autant plus que le domaine spatial devient encore plus stratégique et à plusieurs titres : sécurité des populations, outil de savoir, enjeux économiques et sécurité des systèmes spatiaux eux-mêmes.

Enfin, de plus en plus d'enjeux sociétaux trouvent aussi des réponses dans l'Espace. Au niveau opérationnel, c'est le cas depuis longtemps de la météorologie mais maintenant se rajoutent la compréhension du changement climatique, de la déforestation ou de la désertification et la gestion des ressources en eau. Dans un autre registre tout aussi important, le rêve de l'espace lointain, l'envie d'aller explorer plus loin pour comprendre nos origines inspirent nos sociétés et sont des sources importantes de vocations scientifiques.

Pour résumer en une phrase : l'Espace et ses services seront demain de plus en plus une nécessité pour tous et partout.

Ainsi, hier le CNES devait démontrer seul que la France pouvait lancer un engin et le faire fonctionner dans l'Espace. Aujourd'hui, il doit préparer le futur des systèmes spatiaux au sein d'un écosystème extrêmement riche qu'il a lui-même contribué à créer. Il doit aussi préparer notre pays à l'usage des outils spatiaux qui seront un discriminant important pour les sociétés de demain.

## UN CNES RÉACTIF

Dans ce contexte, une adaptation importante et rapide du CNES était nécessaire. En effet :

- Les scientifiques et les militaires utilisant des outils spatiaux forment de petites communautés avec lesquelles le CNES a l'habitude de travailler depuis toujours mais les services utilisant des données spatiales concernent maintenant des domaines complètement

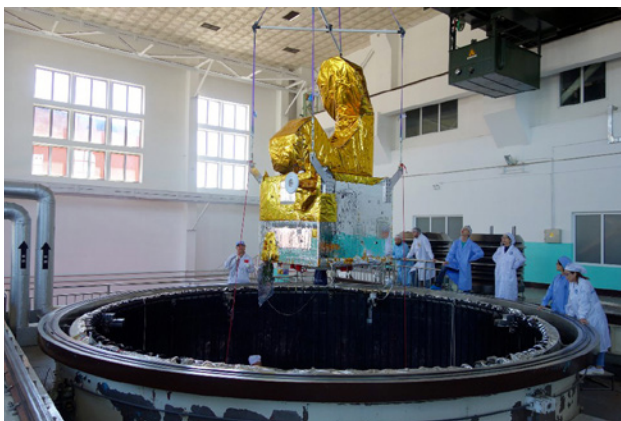
## LES ORGANISMES NATIONAUX LE RÔLE DU CNES DANS L'ÉCOSYSTÈME SPATIAL FRANÇAIS

nouveaux. Comment s'interfacer avec la communauté des pêcheurs ou des responsables politiques de grandes agglomérations ?

- Les acteurs se diversifient. Développer de nouveaux systèmes spatiaux avec les grands industriels du domaine demande des compétences aujourd'hui bien maîtrisées mais comment adapter les modes d'intervention du CNES à de nouveaux entrants pour les aider efficacement à se développer ?
- Le champ des technologies utilisables s'élargit aussi considérablement : miniaturisation des composants, intelligence artificielle embarquée, charges utiles entièrement numériques, etc. Les boucles d'innovation se raccourcissent et les investissements nécessaires pour développer de nouvelles générations de produits augmentent.

Dès 2016, le CNES a créé la Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA) avec plusieurs objectifs :

- Proposer une analyse prospective et assurer une veille du domaine spatial ;
- Ouvrir le spatial à la société au sens le plus large et préparer notre société à l'utilisation des outils spatiaux ;
- Inciter les acteurs économiques des écosystèmes non spatiaux à développer des applications utilisant des données spatiales ;
- Aider le développement des initiatives nouvelles ;
- Définir les feuilles de route programmatiques des grands domaines des systèmes orbitaux (science, observation, télécommunication, défense) ;
- Assurer la préparation des futures technologies spatiales en lien avec ces feuilles de route.



*Le satellite CFO-Sat : Première coopération spatiale entre la France et la Chine.*

Bien évidemment, la DIA ne travaille pas seule et s'appuie sur toutes les directions du CNES dont notamment deux nouvelles directions créées en 2017 : la Direction des Systèmes Orbitaux et la Direction du Numérique, de l'Exploitation et des Opérations, cette dernière regroupant les avancées nécessaires dans le domaine du numérique, à

la fois pour les enjeux d'entreprise et pour les segments sol des nouvelles missions spatiales.

Les lanceurs ne sont pas en reste avec deux réflexions intenses lancées sur le futur de la base spatiale guyanaise et le futur des lanceurs européens.

Il faut noter que les ressources humaines du CNES n'étant pas extensibles, ces évolutions n'ont été possibles qu'en transformant d'autres fonctions afin qu'elles utilisent moins de RH. En ce sens, la montée en compétence des industriels spatiaux a permis notamment d'alléger le suivi technique des contrats.



*L'instrument SEIS : le cœur français de la mission américaine InSight d'exploration de Mars.*

### DES RÉSULTATS CONCRETS ET RAPIDES

Moins de trois ans après, les premiers résultats sont bien concrets et montrent l'importance de la capacité d'adaptation et la force de l'intelligence collective du CNES.

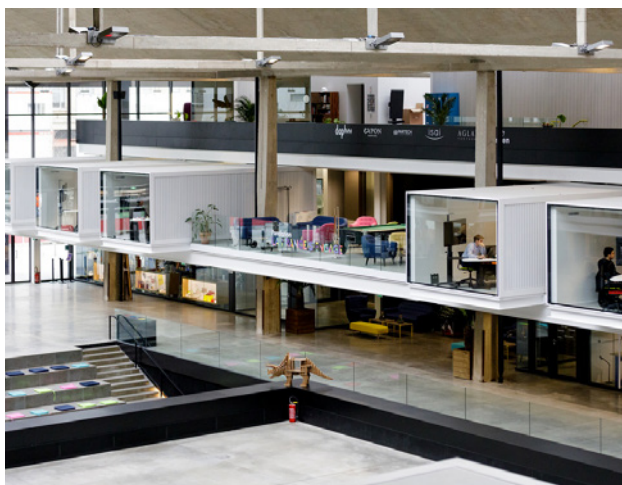
Dans le domaine de l'ouverture du spatial à la société, le projet Fédération est lancé. Sur le modèle des hackers et des makers, ce projet propose, à qui le souhaite, de s'emparer de sujets coopératifs touchant aussi bien aux infrastructures qu'aux services spatiaux de demain. Le CNES est à l'origine de sa création mais comme souhaité dès le début, il n'en est pas maître : le projet Fédération se développe par lui-même.

## LES ORGANISMES NATIONAUX LE RÔLE DU CNES DANS L'ÉCOSYSTÈME SPATIAL FRANÇAIS

Dans le domaine des applications, de très nombreux partenariats sont noués avec de nouveaux écosystèmes : santé, agriculture, navigation autonome, etc. Le CNES s'est implanté au sein de Station F pour parler de ce que permet l'utilisation des données spatiales à tous ceux qui s'y intéressent. Les travaux entrepris avec ces nouveaux utilisateurs montrent combien le spatial et son potentiel restent méconnus. À chaque nouvel échange, de nouvelles idées d'applications voient le jour.

Concernant l'aide aux nouveaux entrants, les équipes techniques s'enrichissent auprès d'idées venant d'horizons nouveaux. Nombre de ces idées sont originales et donnent lieu à des initiatives privées intéressantes. Pour adosser une aide financière à l'aide technique ou juridique apportée aux nouveaux entrants, le CNES décide alors de mettre en place un fonds d'investissement dédié au spatial : CosmiCapital, aujourd'hui en cours de création.

De nouvelles méthodes de travail sont expérimentées en interface avec l'industrie, par exemple pour créer par un travail collaboratif en plateau, une filière française de nano satellites ou pour monter des projets coopératifs où le partenariat et le partage de coût de possession remplace la relation client/fournisseur.



*Le CNES est implanté à Station F pour faire bénéficier les startups des outils spatiaux.*

L'enrichissement de notre culture spatiale passe aussi par les échanges avec les autres acteurs mondiaux du domaine. Grâce à des coopérations de tailles et d'ambitions très diverses, le CNES a aujourd'hui tissé des liens avec tous les acteurs mondiaux du spatial.

Enfin, la formation est un sujet particulièrement important à la fois pour préparer les futurs ingénieurs dont le spatial aura besoin demain, mais aussi pour préparer tous les acteurs scientifiques et économiques de demain à l'utilisation des outils spatiaux. Le CNES y prend une part active.

### DES RÉUSSITES EMBLÉMATIQUES, ET DEMAIN...

Une liste impressionnante de réussites récentes montre que le CNES, tout en ouvrant de nouvelles voies innovantes pour préparer l'avenir, reste à l'avant-poste de l'excellence pour la réalisation et l'exploitation des missions spatiales actuelles. Ainsi, au cours de l'année 2018 seulement, on peut noter : une participation instrumentale importante à la mission euro-japonaise BEPI-COLOMBO ; la commande à l'industrie française du satellite de nouvelle génération et de très grande capacité KONNECT pour couvrir les zones blanches internet sur la métropole ; le posé du robot MASCOT sur l'astéroïde Ryugu en coopération avec l'Allemagne et le Japon ; le lancement de la mission CFO-Sat, première coopération spatiale d'envergure entre la Chine et un pays étranger ; l'atterrissage du sismomètre SEIS sur Mars, instrument principal de la mission InSight du JPL ; enfin, le lancement et la mise à poste du satellite d'observation de défense de nouvelle génération CSO.



*CSO : Dernier né des satellites d'observation français destiné aux forces armées.*

Après avoir été à l'origine de la création de l'écosystème spatial français, le CNES œuvre très activement à son développement. Le spatial sera demain un atout déterminant pour les nations qui maîtriseront la conception, le lancement et l'utilisation des systèmes spatiaux. Nous pouvons compter aujourd'hui en France sur des compétences uniques et reconnues mondialement, que ce soit au sein de l'agence, des laboratoires de recherche ou dans l'industrie. La multiplication des initiatives privées doit être encouragée mais ne doit pas masquer le fait que le rôle des acteurs institutionnels reste aujourd'hui largement prépondérant pour le développement des activités spatiales.

Ainsi, grâce à ses 60 années d'expérience, son expertise mondialement reconnue et son positionnement toujours adapté et réactif, le CNES assure les succès d'aujourd'hui et prépare la France spatiale de demain. ■

# LA RECHERCHE SPATIALE EN MODE COLLABORATIF À L'ONERA

par Jean-Claude Traineau, directeur Espace à l'ONERA

L'ONERA (Office National d'Etudes et de Recherche Aérospatiale) est en charge de mener les recherches aérospatiales nationales depuis 1961, date de la création du CNES, élargissant ainsi au domaine spatial le rôle dévolu au domaine aéronautique qui lui avait été assigné à sa création en 1946.

Depuis on retrouve l'ADN de l'ONERA au sein de tous les grands programmes spatiaux nationaux et européens. Dans les années 60 et 70, c'est tout d'abord au profit des lanceurs que les chercheurs de l'ONERA ont apporté leur savoir-faire en matière de conception et d'essais à petite échelle de systèmes de propulsion bi-liquides de la famille des lanceurs Diamant puis Ariane. Depuis les années 80, l'ONERA a accompagné tous les lanceurs de la famille Ariane en travaillant sur des phénomènes où l'expertise expérimentale allait de pair avec le développement progressif de la simulation numérique. C'est ainsi que les experts de l'ONERA ont travaillé sur les problèmes de combustion d'ergols stockables, puis d'ergols cryogéniques et enfin de propergol solide à partir d'Ariane 5. Tous les phénomènes d'instabilités haute et basse fréquence ont été passés au peigne fin par les scientifiques de l'ONERA d'abord en contact avec les experts américains du programme Saturn 5 puis progressivement de par leur propre expertise. Cela a conduit très récemment à contribuer au dimensionnement du booster solide P120C du futur lanceur Ariane 6 de telle manière qu'il soit exempt de tout phénomène d'oscillations de pression comme ceux existants – et maîtrisés – sur Ariane 5. Pour cela la simulation numérique a atteint un stade inégalé mettent en œuvre les équations les plus complexes de la mécanique des fluides, couplées à la combustion des particules d'aluminium quittant la surface du propergol avant de terminer leur course en sortie de la tuyère pour générer la poussée. Que de chemin parcouru depuis les années 60 ! On peut en dire autant de la simulation couplée aéro-acoustique de la maîtrise du bruit généré par le lanceur au décollage avec là-encore la prise en compte par simulation numérique de l'injection d'eau sur la table de lancement et dans les carneaux afin de réduire l'impact du bruit réfléchi vers la coiffe du lanceur et d'assurer ainsi un vol paisible aux satellites embarqués.

Depuis les années 80 c'est également sur les satellites que l'ONERA a fait porter son savoir-faire à la fois dans le domaine optique avec les premiers satellites de la famille SPOT puis avec les satellites militaires comme HELIOS et le tout récent CSO mis en orbite fin 2018 et qui pousse la performance à un niveau encore inégalé. Le caractère dual des activités s'est affirmé, l'ONERA travaillant à la fois pour la DGA et pour le CNES et l'ESA sur les systèmes

satellites, l'optimisation de leur mission et de leurs performances. La technologie des satellites n'a pas été en reste et diverses solutions de propulsion qu'elle soit chimique conventionnelle ou innovante (ergols verts) ou électrique ont été imaginées par les chercheurs de l'ONERA. Les échanges d'information entre le sol et les satellites ont également fait l'objet des plus grandes attentions de la part de l'ONERA qui s'est construit une base scientifique à la fois expérimentale et numérique de modélisation des liaisons radio-fréquence et plus récemment optiques. Citons encore l'expertise reconnue de l'ONERA dans la modélisation des effets de l'environnement spatial sur les satellites, menée de concert avec le CNES depuis les années 70, et qui permet maintenant de proposer les modèles les plus précis de météorologie spatiale au niveau européen. Et pour être exhaustif citons encore les travaux uniques réalisés par l'ONERA dans le domaine de la surveillance de l'Espace avec le développement du système GRAVES (Grand Réseau Appliqué à la Veille Spatiale) basé sur un radar de veille combiné à des traitements de pistage, de catalogage et d'analyse, opérationnel depuis 2005, et qui permet aux Armées de disposer d'une élaboration et tenue autonome de la situation spatiale en orbite basse sur les objets de la gamme du mini-satellite à 1000 km d'altitude.

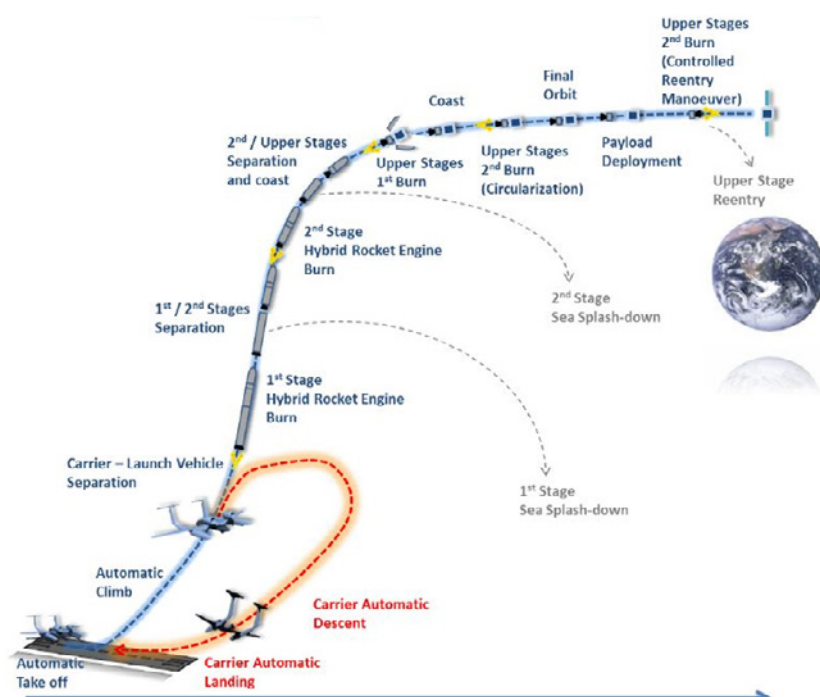
Depuis de nombreuses années l'ONERA est donc investi d'une mission européenne dans le domaine de la recherche spatiale. Avec la montée en puissance du rôle joué par la Commission Européenne dans l'orientation des recherches spatiales il fallait l'affirmer plus nettement et c'est ainsi que l'ONERA a été à l'origine avec son homologue allemand le DLR à la création en 2016 de l'ESRE (association of European Space Research Establishments) regroupant initialement 5 établissements publics de recherche européens (le CIRA italien, le DLR allemand, l'INTA espagnol, le NLR hollandais et l'ONERA) récemment rejoints par le CBK polonais, l'INCAS roumain et le VZLU tchèque. Cette association s'est fixée comme objectif de proposer à l'ESA et à la Commission Européenne des solutions innovantes voire disruptives dans le domaine spatial. C'est ainsi qu'un « White Paper » définissant les grandes orientations proposées pour la recherche spatiale européenne a été écrit par l'ESRE en 2017. Il a servi de document de référence pour l'action menée ces deux dernières années par l'ESRE auprès de la Commission Européenne pour contribuer au projet de SRIA (Strategic Research and Innovation Agenda) qui guidera les actions de recherche européenne spatiales du programme Horizon Europe sur la période 2021/2027.

## LES ORGANISMES NATIONAUX LA RECHERCHE SPATIALE EN MODE COLLABORATIF À L'ONERA

D'ores et déjà sur la période actuelle les équipes de l'ONERA ont exploré non sans une certaine réussite le champ de la recherche européenne collaborative dans le cadre du programme H2020. Sélectionné en 2015, le projet de démonstrateur de lanceur aéroporté ALTAIR est conduit par les équipes de l'ONERA avec 7 partenaires européens et repose sur un aéronef automatisé et réutilisable embarquant un lanceur pour petits satellites (jusqu'à 150 kg en orbite basse). Un démonstrateur fera ses premiers essais en vol au cours du deuxième semestre 2019 au CSG à Kourou. La poursuite des activités dans ce domaine des lanceurs partiellement réutilisables se fera dans un cadre de coopération avec le CNES, le DLR et ArianeGroup sur des technologies applicables aux futurs étages de lanceurs lourds ou de lanceurs plus modestes pour les petits satellites. Le choix du couple d'ergols Oxygène/Méthane pour un moteur réallumable à poussée modulaire et coût de développement réduit mettra à profit les connaissances accumulées par l'ONERA dans le domaine de la maîtrise d'une combustion en phase gazeuse dense. Un programme de recherche commun avec le CNES sur ce sujet va démarrer en 2019 pour une période initiale de 4 ans qui couvrira la montée en puissance du moteur Prometheus et son application au démonstrateur Themis pour une future Ariane ou son dérivé pour un petit lanceur. Les techniques les plus innovantes issues de l'aéronautique seront mises en application par l'ONERA : conception et optimisation multidisciplinaire intégrant des modèles de guidage, pilotage et navigation et moyens de contrôle santé intégrés pour l'étage et les moteurs garantissant un retour en vol rapide et économique.

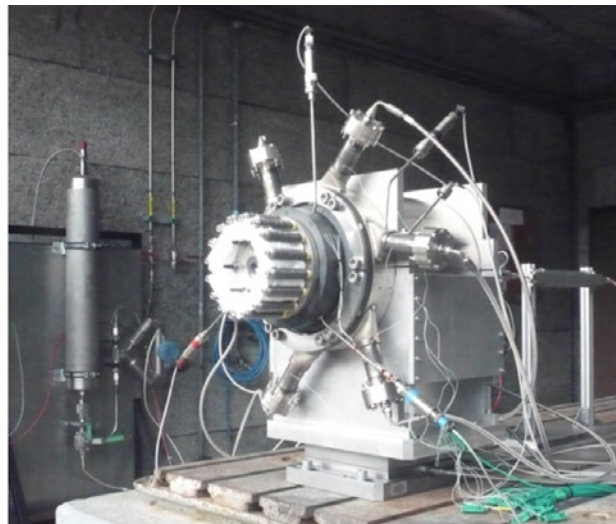
Toujours dans le domaine de la propulsion mais appliquée aux satellites, l'ONERA a été au cœur de projets mettant en œuvre des solutions novatrices pour assurer aux satellites la manœuvrabilité qu'ils vont devoir rapidement acquérir, qu'ils soient de grande taille ou de taille plus modeste pour les futures constellations. Ainsi le projet HYPROGEO piloté par l'industriel ADS de 2016 à 2018 a vu l'ONERA développer et essayer un moteur à propulsion chimique hybride dont la durée de fonctionnement de plusieurs minutes a constitué un record mondial pour ce type de propulsion. Un tel système propulsif pourrait être mis en œuvre pour la mise à poste de satellites de taille respectable dans le cas où l'application de la directive REACH visant à limiter l'usage de produits dangereux devait amener à éliminer l'usage de systèmes propulsifs utilisant des ergols conventionnels plus agressifs.

Dans le domaine de la propulsion électrique, c'est cette fois-ci grâce à un concept en rupture utilisant un plasma généré par micro-ondes que l'ONERA a gagné avec 7 partenaires européens le projet MINOTOR afin de faire monter en niveau de maturité ce type de propulsion présentant l'intérêt d'une grande simplicité technologique et garantissant de ce fait une durée de vie plus importante au système propulsif. La maturité d'un tel concept dit ECRA, breveté par l'ONERA, est encore à renforcer et, au-delà de la fin du projet en 2019, l'ONERA et ses partenaires ont d'ores et déjà déposé un nouveau projet pour passer à un niveau supérieur en maturité technologique du propulseur afin qu'une société bien établie ou

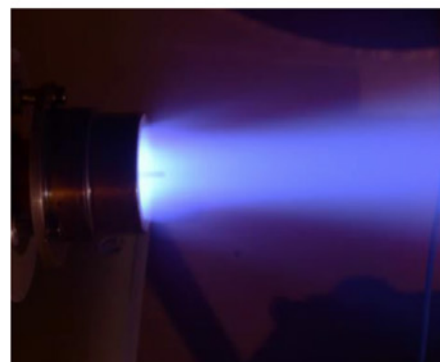
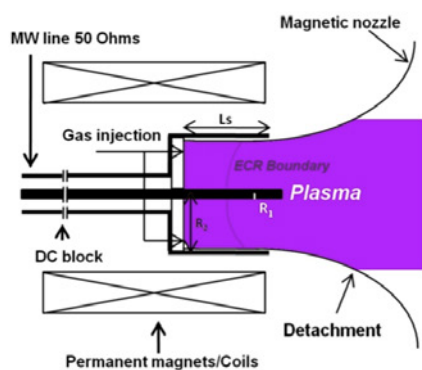


La mission du lanceur aéroporté du projet H2020 ALTAIR.

## LES ORGANISMES NATIONAUX LA RECHERCHE SPATIALE EN MODE COLLABORATIF À L'ONERA



Le projet H2020 HYPROGEO (HYbrid PROpulsion system for GEO and LEO transfer) et l'essai du propulseur au laboratoire de propulsion du Fauga-Mauzac de l'ONERA.



Le projet H2020 MINOTOR (MagnetIc NOzzle elecTRon cyclOTron Resonance thruster) et le propulseur ECRA breveté par l'ONERA.

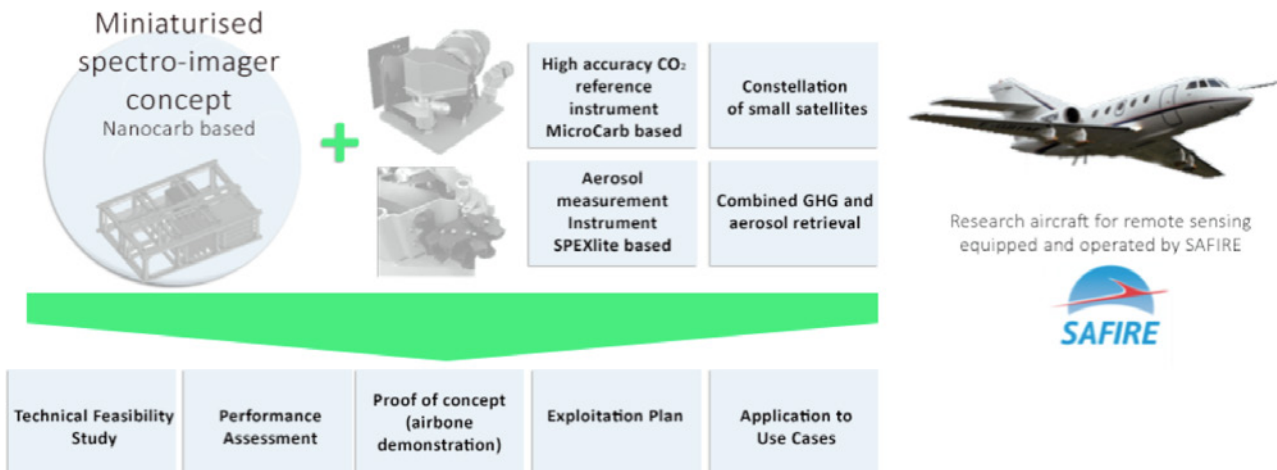
une start-up puisse ensuite se l'approprier et en faire un produit industriel. Ce faisant l'ONERA a développé des moyens d'essais et des techniques de diagnostics évoluées pour les systèmes de propulsion électrique, que ces sociétés ou start-ups du NewSpace utilisent pour conforter les performances de leur propres solutions innovantes, que ce soit celle de ThrustMe, COMAT ou Exotrail.

Un des axes majeurs d'utilisation de systèmes satellitaires en particulier ceux du programme Copernicus de l'Union Européenne est la mesure des données environnementales depuis l'Espace, car c'est bien depuis l'Espace que l'on peut mesurer une très large part des variables climatiques essentielles. Pour ce faire au-delà de sa contribution aux programmes actuels Merlin et Microcarb, l'ONERA est associé à deux programmes européens majeurs mettant en œuvre des techniques de mesure des gaz à effet de serre depuis des satellites de petite taille. C'est en effet la miniaturisation des instruments passifs (spectromètres) ou actifs (LIDAR) qui est au cœur de la révolution qui se dessine en termes de constella-

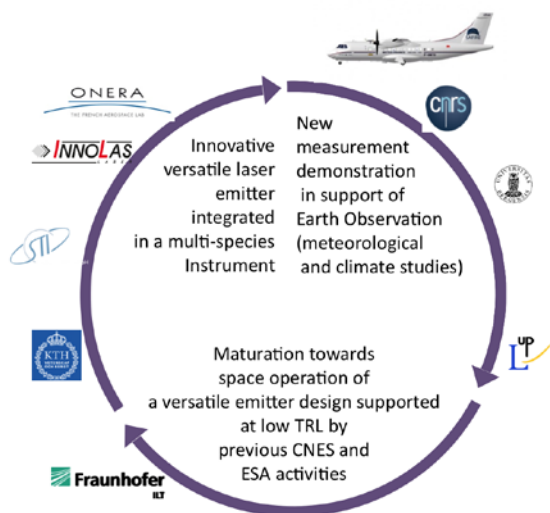
tions de satellites observateurs et sondeurs. C'est tout d'abord au sein du projet européen SCARBO réunissant 8 partenaires européens et piloté par ADS depuis 2018, que l'ONERA a l'ambition de développer un micro-spectromètre permettant de mesurer à la fois le CO<sub>2</sub> et le CH<sub>4</sub> présent dans l'atmosphère. Et c'est bien l'avantage d'une haute revisite, rendue possible par l'emploi d'une constellation d'une vingtaine de micro-satellites (50 kg), qui le rend complémentaire des futurs satellites Sentinel de mesure des gaz à effet de serre du programme européen Copernicus, en permettant une surveillance journalière des principales zones d'émission.

Toujours sur le thème de la mesure d'espèces chimiques depuis l'espace le projet LEMON, que l'ONERA, avec le CNRS/LATMOS et le SAFIRE (Service des Avions Français Instrumentés pour la Recherche) comme partenaires nationaux, des vient de gagner sur l'appel Horizon 2020 Espace en 2018, permettra de développer un LIDAR à absorption différentielle pour mesurer à différentes échelles (globale, européenne, jusqu'à un pays) les gaz

## LES ORGANISMES NATIONAUX LA RECHERCHE SPATIALE EN MODE COLLABORATIF À L'ONERA



Les éléments clé du projet H2020 SCARBO (Space CARBon Observatory).



Projet H2020 LEMON (Lidar Emitter and Multispecies greenhouse gases Observation iNstrument).

à effet de serre avec un seul laser, le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> et les isotopes de la vapeur d'eau.

Les compétences dans le domaine spatial à l'ONERA s'appuient souvent sur des acquis résultant d'une recherche de long terme. L'exemple de l'optique adaptative utilisée pour les télécommunications optiques l'illustre parfaitement. Cette technologie a été développée dès le début des années 80 par l'ONERA lorsque le gouvernement français voulait évaluer les conséquences éventuelles sur la force de dissuasion de l'Initiative de Défense Stratégique américaine. L'optique adaptative permet de s'affranchir des turbulences atmosphériques qui perturbent par exemple la propagation d'un faisceau laser. Ces techniques ont trouvé leurs premières applications en sciences et plus particulièrement en astronomie, domaine dans lequel l'ONERA est désormais leader mondial depuis plus de vingt ans. Tous les grands télescopes, à l'exception des américains, utilisent ces savoir-faire.



Space Terminal  
Breadboard@Mont Teide

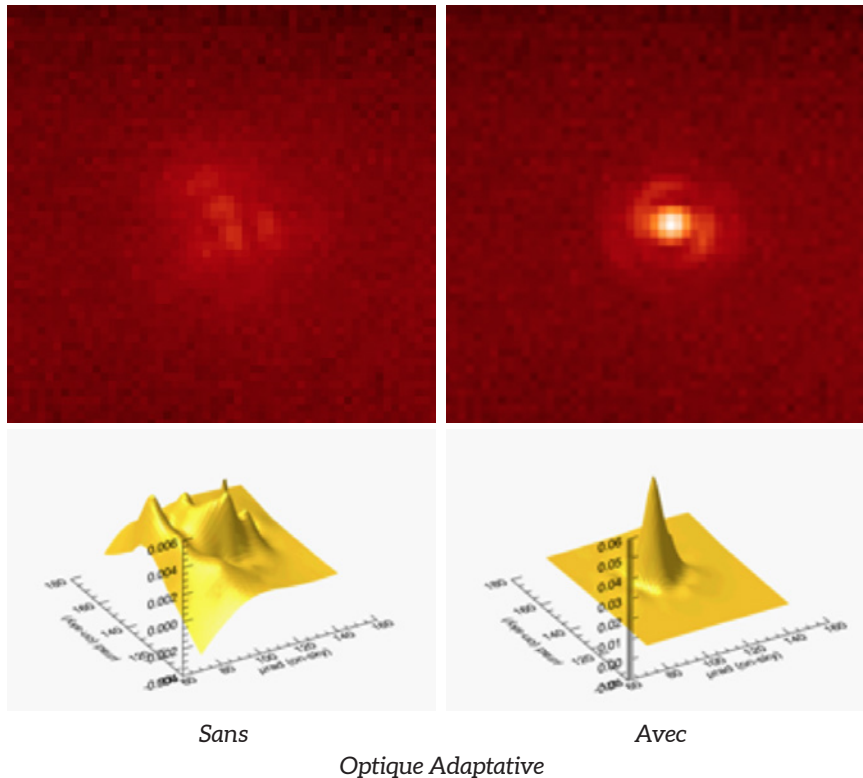


Ground Terminal  
Breadboard@OGS

Le projet FEDELIO de l'ESA et la mise en évidence du gain apporté par la pré-compensation utilisant l'optique adaptative.

## LES ORGANISMES NATIONAUX

### LA RECHERCHE SPATIALE EN MODE COLLABORATIF À L'ONERA



Ainsi le Very Large Telescope (VLT) de l'European Space Organisation (ESO) installé au Chili a pu, grâce à l'instrument SPHERE développé grâce à l'ONERA, réaliser en 2018 une première mondiale en observant directement une exoplanète. Le prochain grand télescope européen, l'Extremely Large Telescope (ELT) est conçu autour de l'optique adaptative développée par l'ONERA. En terme d'applications de cette technique, pour répondre à des demandes de débits de plus en plus importants pour les communications spatiales, l'ESA a lancé une compétition remportée mi 2017 par les équipes de l'ONERA pour démontrer l'avantage d'une pré-compensation utilisant l'optique adaptative pour corriger les effets de la turbulence atmosphérique sur des liens à très haut débit entre le sol et un satellite géostationnaire. Les résultats tous justes validés par un essai réalisé entre le télescope OGS de l'ESA et le sommet du mont Teide aux Canaries a montré qu'un gain très significatif (d'un facteur 10) pouvait être obtenu sur le débit d'information échangé. Cette étape majeure

franchie, les applications ne manqueront pas d'apparaître et les équipes de l'ONERA ont d'ores et déjà été sollicitées à ce sujet par les grands industriels européens du spatial.

Bien évidemment toutes les méthodes et techniques développées par l'ONERA via ces coopérations s'interpénètrent avec les missions plus régaliennes de Défense, que ce soit de surveillance de l'Espace, de guidage inertiel des engins balistiques, d'alerte spatiale avancée ou de survivabilité de système spatiaux. Les défis portés par ces missions placent l'ONERA au cœur de la préparation du futur dans le domaine de l'Espace de Défense dont la montée en puissance, annoncée par la ministre des armées dans son discours de septembre 2019 est attendue par la communauté scientifique et technique des acteurs du spatial dont l'ONERA grâce à son rôle central joué dans le tissu européen des acteurs du spatial sera un des partenaires majeurs. ■



# INTERVIEW DU GÉNÉRAL JEAN-DANIEL TESTÉ

par Jean-Pierre Sanfourche, Chargé de Mission à la 3AF

*Le Général de Brigade Aérienne (2S) Jean-Daniel Testé est consultant dans le domaine spatial après avoir été Général Espace du CIE (Commandement Interarmées de l'Espace<sup>1</sup>) de 2014 à 2017.*

**Mon Général, pourriez-vous rappeler aux lecteurs de la Lettre de la 3AF quel est l'apport des capacités spatiales de la France à sa Défense ?**

L'Espace est aujourd'hui essentiel à la défense. Le Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale de 2013 a ainsi fixé les principales capacités que devront remplir les forces armées françaises au cours des prochaines années :

- Entrée en premier sur un théâtre d'opérations ;
- Frappes de précision ;
- Opérations spéciales ;
- Rôle de nation-cadre au sein d'une coalition internationale.

De nombreuses conditions préalables sont nécessaires pour cela :

- Connaissance préalable du théâtre et de son environnement: domaine de la géographie ;
- Connaissance précise de l'ennemi et des forces engagées: domaine du renseignement ;
- Connaissance précise des cibles: domaine du ciblage ;
- Capacité à effectuer des missions en toute sécurité et sans dommage collatéral: domaine d'opérations ;
- Capacité à commander et à attribuer des missions: domaine de commandement et du contrôle.

Encore plus que par le passé, aujourd'hui les commandants d'opérations doivent gérer trois paramètres prépondérants.

Le premier est le temps: le temps est essentiel, le temps des décideurs, le temps des médias, le temps des réseaux sociaux et, globalement, la nouvelle dimension d'Internet.

La seconde est le tempo: les opérations doivent être menées rapidement, avec des résultats visibles, sans dégâts collatéraux, dans un contexte de réduction des capacités militaires et des effectifs.

Le troisième, enfin, est l'adversaire : nous sommes confrontés aujourd'hui à une menace à géométrie variable. En effet, sa nature couvre un large éventail allant des petits groupes terroristes disparates aux organisations structurées étatiques ou non, utilisant des armes conventionnelles, parfois des missiles balistiques et systématiquement des capacités d'action dans le cyberspace. La frontière entre les différentes typologies est changeante et parfois difficilement perceptible.

La bonne nouvelle est que nous sommes maintenant en mesure de relever tous ces défis. Cela n'est possible que parce que nous disposons d'un spectre complet de capacités spatiales :

- L'observation et la localisation sont nécessaires pour la géographie ;
- L'observation et l'écoute sont nécessaires pour le renseignement ;
- L'observation et la localisation précise, permettant un ciblage de précision ;
- La Navigation et les SATCOM sont indispensables pour le commandement et le contrôle des opérations.

La disponibilité de toutes ces capacités spatiales pour tous les combattants permet aux forces armées françaises de mener des opérations militaires AU BON MOMENT, avec le bon TEMPO, quel que soit le type d'ADVERSAIRE contre lequel elles doivent se battre.

L'espace fournit l'effet de levier dont nous avons absolument besoin, mais d'un autre côté, nous devons considérer la dépendance vis-à-vis de nos capacités spatiales sans alternative efficace, de sorte que ces capacités doivent être protégées et préservées.

***L'espace pour la défense était à l'origine dans les années 80 (SAMRO/HELIOS) conçu dans la logique de dissuasion ; plusieurs exemples récents montrent que les systèmes spatiaux sont désormais utilisés sur le théâtre à des fins tactiques. En se projetant vers l'avenir à l'horizon 2050, peut-on imaginer de nouvelles extensions ou ruptures d'emploi, prenant en compte notamment le fait que le continuum air-espace est de plus en plus affirmé notamment aux États-Unis ?***

Effectivement depuis la mise en service des premières capacités spatiales (Télécommunications et Observation), dédiées essentiellement aux fonctions stratégiques, le concept d'emploi a notablement évolué. Aujourd'hui, comme détaillé précédemment, les satellites sont une composante essentielle des opérations militaires. Cette évolution a pris plus de 20 ans à se concrétiser, on peut donc raisonnablement penser qu'en 2050 plusieurs autres évolutions seront survenues.

La première que j'envisage est une démocratisation encore plus forte de l'accès aux capacités spatiales, qui pourrait se traduire en opérations par :

<sup>1</sup> Le Commandement Interarmées de l'Espace (CIE) a été créé en 2010. Il représente l'Etat-Major des Armées (EMA) pour toutes questions relatives à l'Espace, relevant du domaine de compétence des armées.

## ESPACE ET DÉFENSE

### INTERVIEW DU GÉNÉRAL JEAN-DANIEL TESTÉ

- La capacité par une force tactique au sol de commander directement des données spatiales aux satellites approchant de la zone d'opérations (satellites/ constellations d'observation ou d'écoute dédiés à ce type d'emploi tactique) ;
- La possibilité pour un centre d'opérations de suivre en temps réel le déroulement d'une opération (observation permanente géostationnaire, et vidéo).

La seconde se matérialise par la conduite d'opérations spatiales défensives et offensives :

- défensives pour protéger nos satellites des agressions dans l'espace ;
- offensives pour recueillir du renseignement sur les satellites adverses et priver l'adversaire de son soutien spatial.

Dans les deux cas, les armes mises en œuvre ne produiront pas de débris spatiaux.

En complément à cette date, les armées seront impliquées dans le *Space Traffic Management (STM)*. Elles seront chargées de faire respecter les règles internationalement agréées et ainsi d'intervenir s'il y a des infractions.

**La coopération européenne a été recherchée depuis deux décennies, avec des succès (MUSIS) toutefois limités. Comment imaginer dans une logique à 3 cercles (cœur de souveraineté, extension européenne et/ou mondiale, privatisation/PPP) le devenir de la mise en commun des données et capacités, ou plus ?**

Il nous faut bien constater que MUSIS n'est pas un succès majeur de la coopération européenne car fondé sur des capacités nationales initialement programmées pour répondre en priorité à des besoins de souveraineté. L'ambition du début était louable et légitime mais ne se traduit aujourd'hui que par une interface informatique entre la France et l'Italie afin d'échanger des données spatiales et de coordonner les programmations des satellites (voir encadré). L'avenir nous dira si cet embryon de système d'information pourra évoluer vers un véritable segment sol de contrôle et de programmation intégré et partagé.

Les programmes spatiaux européens quels qu'ils soient doivent être conçus désormais d'une façon complètement différente. Ils devront être aptes à répondre sans restriction à la fois aux besoins ponctuels et occasionnels des petits pays qu'aux exigences stratégiques des grandes puissances. Il s'agit d'enjeux complexes mais qui seront déterminants pour la réussite de ces programmes.

À l'exception des grandes puissances qui garderont des objectifs de souveraineté nationale, la majorité des pays Européens pourra être satisfaite par les besoins exprimés

par le Service Européen d'action extérieure (SEAE) de l'UE. Néanmoins chaque pays membre devra disposer d'un droit de programmation garanti selon des quotas fixés et équitables. Le SEAE sera l'autorité centrale chargée de l'optimisation et des arbitrages.

Les grandes puissances (France, Allemagne, Italie), du moins celles qui ont gardé des velléités de souveraineté nationale (sécurité, Défense, Diplomatie) devront se voir attribués des droits particuliers, en termes de garantie d'accès, de priorité et de confidentialité.

L'énoncé de ces points met toutefois en exergue la difficulté du sujet.

**Depuis quelques années surtout aux États unis le domaine spatial s'ouvre à l'initiative privée ou semi privée (Space X, constellations), tandis que d'autres puissances (Russie, Chine) privilégient l'investissement public souverain : comment voyez-vous l'évolution en ce qui concerne la France et l'Europe dans le domaine de l'espace pour la défense et la sécurité ou l'espace dual, étant entendu que dans le domaine spatial ce sont souvent les objectifs et les fonctions qui sont duales ? La multiplication des équipements spatiaux pour la défense ou la sécurité peut aussi conduire à une forme d'anarchie inconnue qu'alors, la question étant par voie de conséquence posée d'une régulation internationale nécessaire sans être coercitive (règles du jeu et de bonne conduite) ?**

Comme indiqué dans la question, les initiatives privées aux USA ont complètement redynamisé les activités spatiales et relancé des objectifs ambitieux dans les domaines les plus emblématiques comme les lanceurs, le transport, l'exploration. Leurs succès auxquels toutes les agences spatiales publiques n'ont jamais cru, sont aujourd'hui avérés, à un point tel qu'ils posent la question de l'utilité même de ces agences. Reconnaissons toutefois que ces dernières, en particulier en Europe ont multiplié les erreurs stratégiques depuis près de 20 ans.

Le *NewSpace* propose de nombreux avantages pour les applications de Défense (fréquence d'accès aux orbites, répétitivité du recueil d'information, moindre coût des programmes et des services,...) néanmoins la prolifération des initiatives qu'il génère en orbite va effectivement, à terme, poser des questions d'encombrement orbital, aggravé par la petite taille des objets lancés.

Une régulation internationale sera absolument nécessaire pour réduire les risques de collision et d'interférences. L'Europe devra rapidement être active sur ce sujet afin d'éviter qu'il ne lui échappe et que les modalités de contrôle lui soient inaccessibles.

*Après le rapport GOSPS de 2003 (Mme Alliot-Marie), de nombreux rapports ou revues stratégiques, y compris au niveau du Parlement très récemment, ont formulé des recommandations sur la politique spatiale. Il s'en suit semble-t-il un maintien notable de la dynamique en faveur des programmes spatiaux de défense et de sécurité. Comment prolonger voire amplifier encore les actions de conviction auprès des décideurs et du public au sujet de l'utilité des systèmes spatiaux, alors que les États-Unis, la Chine, l'Inde multiplient les annonces... ?*

La meilleure sensibilisation viendra malheureusement des actions étrangères, sur lesquelles il faudra communiquer en toute clairvoyance et sans langue de bois, à l'instar de la Ministre des Armées en septembre 2018, à Toulouse. Les systèmes de surveillance de l'espace de la Défense nous permettent d'acquérir des données preuve nationales et de qualité, ce ne sera probablement plus le cas dans 5 à 10 ans. La Défense doit donc plus communiquer et publier sur les événements orbitaux suspects.

*A l'horizon du temps de développement du SCAF, dans un contexte à la fois géopolitique (retour des puissances, fragilités européennes) et technologiques (digitalisation), certes difficile à anticiper mais néanmoins perceptible aujourd'hui, comment anticiper de façon prospective les évolutions souhaitables des systèmes et services spatiaux du futur ?*

En complément de la réponse à la question 2, les services spatiaux futurs devront renforcer l'intégration de tous les acteurs du niveau tactique, toutes armées confondues. Les unités élémentaires interarmées (section de l'armée de Terre, bâtiment de la Marine nationale, aéronef) seront interconnectées dans une bulle d'information fondée sur les systèmes spatiaux (GNSS, COMMUNICATION, RENSEIGNEMENT). Afin de tirer le meilleur parti des services offerts, les systèmes d'armes conventionnels devront avoir été conçus pour ça par anticipation. Deux domaines d'effort me semblent plus particulièrement à développer :

- La constitution des bases de données de référence (Géographie de haute précision, dont le 3D urbain ;
- Renseignements sur les systèmes d'armes adverses dont leurs paramètres techniques et leur localisation très précise ;
- La possibilité d'ingérer et de traiter une quantité considérable de nouvelles données en temps réel (en incorporant de l'intelligence artificielle et les techniques les plus élaborées de data mining et de machine learning).

*Le gouvernement a décidé au titre de la Loi de Programmation Militaire de renouveler les capacités spatiales de défense et de sécurité tout en augmentant la performance des systèmes (voir, écouter, communiquer). Cette décision s'accompagne-t-elle de prescriptions afin d'initier de nouvelles capacités dans des domaines tels que l'alerte (Early warning), la SSA, le STM, les ASAT ... Dans l'avenir certaines capacités de surveillance pourraient-elles être opérées presque en totalité depuis l'espace ?*

La décision du renouvellement de nos capacités spatiales classiques est une avancée notable et témoigne d'une maturité inédite. Pour la première fois depuis le début du spatial militaire, il n'y a pas eu de débat au sein du Ministère tant ces capacités apparaissent désormais indispensables à notre stratégie de Défense et de Sécurité.

En complément, la prochaine stratégie spatiale du Ministère, qui devrait être publiée avant l'été, devrait mettre l'accent sur le renforcement des moyens de surveillance et d'action dans l'espace. Une composante spatiale de ces capacités me semble tout à fait opportune.

En revanche, faute de crédits suffisants l'alerte anti-missiles balistiques depuis l'espace devrait être repoussée ultérieurement. Cette dernière ne doit aucunement être abandonnée car elle renforcera la crédibilité et les performances de nos moyens de dissuasion, à un moment où les composantes étrangères offensives ou défensives progressent très vite. ■

#### ENCADRÉ 1. MUSIS: MULTINATIONAL SPACE-BASED IMAGING SYSTEM

En 2010, la France et l'Italie avaient mis en place un accord de coopération ad hoc afin de faciliter les échanges directs d'images fournis par leurs systèmes satellitaires respectifs. Cela donna naissance au programme MUSIS Federating Activities qui fut intégré dans les activités de l'OCCAR (Office pour la Coordination et la Coopération en matière d'Armements) en 2011. L'objectif premier de ce programme est de permettre un accès mutuel facile et fiable aux informations satellitaires de ces deux nations, qui sont parfaitement complémentaires :

- Le système français CSO (Composante Spatiale Optique) qui fournit des images dans les domaines optiques visible et IR ;
- Le système italien CSG (COSMO-SkyMed Second Generation) dont les images sont produites par les systèmes Radar.

Après des débuts assez lents, une impulsion nouvelle est donnée à ce programme : un appel d'offres pour le développement et la production (phases C et D) du

## ESPACE ET DÉFENSE

### INTERVIEW DU GÉNÉRAL JEAN-DANIEL TESTÉ

système MUSIS CIL (Common Interoperability Layer) fut émis par l'OCCAR en octobre 2018, Thales Alenia Space (Italy) et Airbus DS (France) remirent en janvier 2019 une proposition commune, il est prévu que l'OCCAR leur notifie le contrat très prochainement, en juin 2019. L'année 2021 est la date visée pour l'entrée en service opérationnel de MUSIS CIL.

#### ENCADRÉ 2. LE CNES AU SERVICE DE LA DÉFENSE : OBSERVER, ÉCOUTER, TRANSMETTRE

##### UN PARTENARIAT PERFORMANT

Au sein du ministère des Armées, l'état-major des Armées (EMA) définit le besoin opérationnel et la Direction Générale de l'Armement (DGA) conduit les programmes de systèmes spatiaux relatifs à la défense. Pour ces programmes, le CNES est le partenaire privilégié de la DGA. Pour certains programmes, la DGA délègue la maîtrise d'ouvrage au CNES. Dans ce cas, c'est au CNES qu'il appartient de déterminer les meilleures solutions technologiques en termes d'architecture, de systèmes et de procédures.

Dès les études préliminaires d'un projet, la DGA et le CNES investissent ou réinvestissent les technologies civiles dans les satellites militaires et vice-versa : la dualité est un souci constant car produire des systèmes duaux permet à l'évidence de réaliser d'importantes économies.

##### OBSERVER : LE RENSEIGNEMENT D'ORIGINE IMAGE (ROIM)

Depuis Spot 1 (1986), le CNES a accumulé une grande expertise dans l'observation de la Terre. Celle-ci a été mise à profit pour les satellites militaires Hélios 1 et Hélios 2 (Helios IIA lancé le 18/12/2004 et Helios IIB lancé 18/12/2009), puis sur système dual civil-militaire Pléiades. Composé de deux satellites (1A lancé le 17/12/2011 et 1B lancé le 1/12/2012), Pléiades est un système d'imagerie à très haute résolution fournissant des clichés sur n'importe quel point du globe en moins de 24 heures. Les performances de Pléiades vont être encore améliorées avec l'actuelle Composante Spatiale Optique (CSO). Cette composante est formée de « satellites : CSO-1, lancé le 19 décembre 2018, CSO-2 (lancement prévu en mai 2020) et CSO-3 (lancement prévu en octobre 2021).



CSG 19 décembre 2018 : lancement réussi de la fusée Soyouz, qui a mis sur orbite le premier satellite de la Composante Spatiale Optique, CSO-1 © CNES/ESA/Arianespace/CSG Service Optique, 2018.



Une vue du satellite CSO  
© CNES/Mira Productions/Parot Rémy, 2018.

##### ÉCOUTER : LE RENSEIGNEMENT ÉLECTRO-MAGNETIQUE (ROEM)

Le ROEM consiste à détecter, analyser et localiser les émissions électromagnétiques depuis l'espace. Les données recueillies sont utilisées pour la veille stratégique et la planification opérationnelle. Le démonstrateur opérationnel Elisa actuellement en

orbite prépare la mise en service en 2020 du système Ceres, premier système spatial opérationnel dans les armées.

**Elisa** : une grappe de 4 microsattellites lancée en 2012, qui teste dans l'espace les nouvelles technologies de détection des émissions radar.

**Ceres** : une nouvelle étape dans l'identification et le traitement des signaux électromagnétiques pour le renseignement des armées. Une constellation de 3 mini-satellites dont le lancement est prévu en 2020, qui voleront en orbite basse et renforceront les performances d'écoute. Objectifs : localiser les émetteurs d'autres pays, détecter les flottes ennemies, fournir aux unités en déplacement un état précis des situations.



Les satellites Ceres. © CNES.

**TRANSMETTRE : LES TÉLÉCOMMUNICATIONS SPATIALES - RÉACTIVITÉ - RAPIDITÉ - CONFIDENTIALITÉ**

Mais le renseignement ne fait que précéder l'action militaire. Lors des opérations, les télécommunications spatiales sont indispensables, dont la confidentialité est un impératif absolu. Voici quarante ans, le CNES contribuait déjà à la conception des satellites Telecom 1 et Telecom 2 incluant les missions militaires Syracuse 1 et Syracuse 2. En 2005 et 2006, il participait à Syracuse 3A et Syracuse 3B, premiers satellites à assurer la confidentialité totale des données. Aujourd'hui, Syracuse 4 offre en outre des systèmes résistants au brouillage et des débits accrus. En coopération avec l'Italie, le CNES a développé le satellite Athena-Fidus qui a été lancé en 2014. Objectif : préparer les réponses aux besoins futurs tels que des systèmes de transfert par ondes codées. Il développe de grandes capacités de communications : 3 gigabits/seconde. Il a montré tout l'intérêt de l'approche duale civil-militaires.



Préparation du satellite Athena-Fidus chez Thales Alenia Space © CNES.

Le futur : Castor (Capacité stratégique de télécommunication mobile et résiliente) - horizon 2028. Le programme Castor prépare la lignée des satellites tout numérique, les futurs systèmes qui seront en mesure de répondre aux besoins en connectivité, avec des capacités de transmission totalement flexibles sur le territoire national comme sur les zones prioritaires. Une équipe intégrée DGA-CNES est à l'œuvre pour établir les spécifications et piloter les études d'ingénierie et de R&T.

**ENCADRÉ 3. SIGLES ET ACRONYMES**

- ASAT : Anti-Satellites
- ATHENA-FIDUS: *Access on theatres for European allied forces nations French-Italian dual*
- CASTOR : Capacité stratégique spatiale de télécommunication mobile et résiliente
- CERES : Capacité de renseignement électromagnétique spatial
- CIE : Commandement Interarmées de l'Espace
- CNES : Centre National d'Etudes Spatiales
- CSO : Composante Spatiale Optique
- DGA : Direction Générale de l'Armement
- ELISA : *Electronic Intelligence Satellite*
- EMA : Etat-Major des Armées
- GNSS : *Global Navigation Satellite System*
- GOSPS : Groupe d'Orientation Stratégique de la Politique Spatiale de Défense
- HELIOS : Héliosynchrone
- MUSIS : *Multinational Space-based Imaging System*
- OTOS : Observation de la Terre super-résolue
- PPP : Partenariat Public Privé
- ROEM : Renseignement d'origine électromagnétique
- ROIM : Renseignement d'origine image
- SAMRO : Satellite militaire de reconnaissance optique
- SCAF : Système de combat aérien futur
- SEAE : Service européen d'action extérieure
- SSA : *Space Situational Awareness*
- STM : *Space Traffic Management*
- SYRACUSE : Système de radiocommunications utilisant un satellite

# ARIANE, 40 ANNÉES AU SERVICE DE L'AUTONOMIE STRATÉGIQUE

par André-Hubert Roussel, Président exécutif d'ArianeGroup

Le lanceur est à l'accès à l'espace ce que les fondations sont à toute construction. Si Ariane n'existait pas, c'est toute la filière industrielle spatiale européenne qui n'aurait pas existé.

Garantir l'avenir du lanceur européen, signifie garantir l'accès indépendant et souverain de l'Europe à l'espace.

Les Européens ne le savent que trop bien, c'est la raison même pour laquelle le programme Ariane a été lancé : parce qu'en 1974, les États-Unis ont conditionné le lancement par la NASA du satellite de télécommunications Symphonie à l'interdiction de la commercialisation de ses capacités. C'est paradoxalement grâce à ce « chantage » que 40 ans après son premier tir en 1979 depuis le centre spatial guyanais, Ariane garantit toujours à l'Europe un accès autonome à l'espace.

Cette autonomie stratégique se double aujourd'hui d'un impératif de compétitivité accru. C'est le sens du programme Ariane 6 qui permettra à la fois aux gouvernements européens de mettre leurs satellites institutionnels sur toutes les orbites, et d'assurer toutes les missions pour les clients commerciaux au prix du marché, et ce dès 2020. En 6 ans à peine, ArianeGroup et ses partenaires industriels développent et vont produire et exploiter un nouveau lanceur qui doit permettre à l'Europe de rester leader sur le marché des services de lancement.



24 décembre 1979, premier lancement de la fusée Ariane.

Il est impératif que cet objectif ambitieux soit partagé par tous les États membres et s'accompagne d'un nouveau cadre législatif et réglementaire qui protège la filière des lanceurs d'une concurrence déloyale de la part des autres nations spatiales. En adoptant le nouveau règlement spatial de l'Union pour la période 2021-2027, les États membres et le Parlement européen ont consacré la notion d'accès autonome à l'espace et introduit dans le droit européen un précédent qui pourrait préfigurer un véritable *Buy European Act*, à l'instar du *Buy American Act* en vigueur outre-

Atlantique pour permettre à nos entreprises au service de la souveraineté européenne de lutter à armes égales avec leurs compétiteurs aux États-Unis, en Russie, en Chine, en Inde, etc., et ainsi de préserver les emplois industriels et un patrimoine technologique unique sur nos territoires.

Il est déjà temps de voir plus loin encore en préparant la suite d'Ariane 6 afin de faire face à toutes les évolutions possibles du *NewSpace* et en dotant l'Europe de nouveaux outils de souveraineté, notamment en matière de gestion du trafic spatial et de surveillance de l'espace.



Mardi 25 septembre, pour la 100e fois, la fusée Ariane 5 a décollé avec succès en Guyane.

Car aujourd'hui, le lanceur et le pas-de-tir ne sont plus les seuls prérequis d'un accès autonome à l'espace. En effet, la conjoncture actuelle rend la surveillance de l'espace indispensable. Les débris spatiaux, de plus en plus nombreux, représentent des menaces directes pour tout objet spatial. Il faut non seulement détecter et caractériser un maximum d'objets en orbite terrestre afin d'éviter les collisions, mais aussi identifier les capacités spatiales adverses et être en mesure d'attribuer une agression contre nos satellites. C'est pourquoi depuis 10 ans, en complément des outils développés par le CNES et l'ONERA - en particulier le radar GRAVES - les équipes d'ArianeGroup ont investi dans le développement de capacités optiques, à l'origine du réseau de télescopes GEOTracker, et cartographié l'arc géostationnaire dans une base de données mise à jour quotidiennement aux Mureaux.

La surveillance spatiale est devenue une priorité stratégique, comme l'a souligné la Ministre des armées Florence Parly dans son discours à Toulouse en septembre 2018 L'enjeu, pour la France et pour l'Europe, c'est de « conserver sa liberté d'appréciation, d'accès et d'action dans l'espace demain comme aujourd'hui » ■

# KOUROU, TERRE D'ENVOL

par **Didier Faivre**, Directeur du Centre Spatial Guyanais (CSG)

Kourou n'a pas été choisi par hasard pour devenir cette terre d'envol, autrefois du programme spatial français, et aujourd'hui de missions européennes emblématiques et de satellites venus du monde entier. Climat propice, proximité de l'équateur, ouverture sur l'océan, ... Au-delà de ces atouts « naturels », si le CSG, Centre spatial guyanais, le port spatial de l'Europe, conserve sa place dans l'échiquier international, c'est parce qu'il sait continuellement s'adapter aux attentes des clients satellites et aux évolutions technologiques dans le domaine des lanceurs et des moyens sols.

## TERRE D'ENVOL DU SPATIAL FRANÇAIS

Si le premier Diamant, propulsé d'Hamaguir, hisse la France au rang de troisième puissance spatiale, c'est bien à Kourou que cette aventure, alors française, prendra l'envergure d'une épopée. Tandis que la France lance son premier satellite, Asterix, depuis l'Algérie en 1965, Kourou embrasse sa destinée de terre d'envol. Quatre ans à peine après la décision de son implantation à Kourou, le CSG fait décoller sa première fusée-sonde, Véronique. C'était le 9 avril 1968.

A la suite de Véronique, dont le lancement marque la qualification opérationnelle du CSG, 353 fusées-sondes s'envoleront de Kourou entre 1968 et 1992. Elles s'appelaient Eridan, Bélier, Dragon, Vesta, Nike Cajun, Dauphin, Centaure, Super Arcas, Super Loki, Skua, M100...

### Ce qui fait de Kourou une terre d'envol privilégiée

Une large ouverture sur l'océan Atlantique et la possibilité de lancer des engins vers l'Est sans risque pour la population et les biens alentour ; la proximité de l'équateur (5,3° Nord) qui permet de bénéficier au maximum de l'énergie fournie par la vitesse de la rotation de la Terre (effet de fronde) et fait ainsi gagner au lanceur un précieux complément de vitesse ; un vaste territoire peu habité ; une zone à l'abri des cyclones.

Chaque envol de l'un de ces engins marquait un pas de plus vers la maîtrise des installations au sol d'une base de lancement et vers la naissance du programme Ariane. C'est cette excellence technique soutenue par la volonté politique sans faille de l'Europe spatiale de garantir un accès autonome à l'espace qui depuis trace encore aujourd'hui les contours du futur du CSG.

**Kourou, terre d'envol des premiers engins spatiaux français, mais aussi de missions cruciales pour la toute jeune puissance spatiale.** En 1979, la France décide de disposer de son propre système de télécommunications - face, déjà, à la suprématie américaine en la matière. C'est

depuis Kourou que s'envoleront les deux générations des premiers satellites Telecom. Avec 7 lancements entre 1984 et 1996, la constellation offrira les premiers services de télécommunications aux entreprises et citoyens de France.

Dans le domaine de l'observation, Kourou voit s'élancer toute la constellation SPOT (Système probatoire d'observation de la Terre). Débutée en 1977, l'histoire de ces satellites conçus par le CNES s'entremêle avec celle de la famille Ariane. Le premier est lancé en 1986 à bord d'une Ariane 1 et le dernier en mai 2002 à bord d'une Ariane 4. SPOT offre alors une vision de plus en plus précise de la Terre et ouvre une pléiade d'applications de la cartographie à la mesure de l'impact des catastrophes naturelles.

Aujourd'hui, la France s'appuie encore sur le CSG pour ses missions stratégiques dans le domaine de la Défense. Un exemple récent est celui du lancement, en décembre dernier, du satellite CSO (Composante spatiale optique). Sous maîtrise d'ouvrage du CNES par délégation de la Direction Générale de l'Armement, ces satellites d'observation militaire doivent contribuer au renforcement des capacités des forces dans le domaine du renseignement spatial, du soutien et de la conduite des opérations sur les théâtres d'engagement.

### Le CSG, Port spatial de l'Europe

Depuis 1975, la France et l'ESA ont conclu un accord sur le CSG :

- Mise à disposition de terrains pour les programmes de l'ESA.
- Financement par l'ESA de 2/3 des dépenses de maintien en conditions opérationnelles du CSG.
- Engagement de la France à maintenir l'environnement socio-économique et les infrastructures de support.
- Responsabilité donnée au CNES d'assurer la sauvegarde, la sécurité et la sûreté
- Mesures d'eupéanisation.

## TERRE D'ENVOL DE L'EUROPE SPATIALE

Suite à un accord conclu entre le Gouvernement français et l'Agence spatiale européenne en 1975, le CSG devient le port spatial de l'Europe, terre d'envol des lanceurs européens Ariane et Vega. Aujourd'hui, avec Ariane 5, Vega et Soyuz, le CSG réalise de 10 à 12 lancements par an mais, surtout, il garantit un accès autonome à l'espace pour les 22 états-membres de l'ESA et pour les programmes spatiaux de l'Union européenne.



Vue sur le pas de tir Ariane 5. Au loin : le pas de tir de Vega et les bâtiments de préparation Ariane 5.

© 2018 ESA-CNES-Arianespace / Sentinel.

Kourou, terre d'envol des lanceurs européens mais aussi de missions européennes emblématiques. De l'observation de la Terre à l'exploration planétaire, les équipes du CSG ont fait et vu s'élancer des missions cruciales pour la science, l'Europe et ses citoyens. C'est depuis Kourou, à bord de Soyouz puis d'Ariane 5, qu'ont été mis en orbite les satellites de la constellation Galileo, garante d'un accès autonome aux données de géolocalisation, réponse européenne au GPS américain, au Glonass russe et au Baidu chinois. On se souvient également de l'ATV, le cargo de ravitaillement de la Station spatiale internationale, dont les lancements ont eu lieu entre 2008 et 2014, de l'IXV, le véhicule de test de rentrée atmosphérique, lancé en 2015, la même année que la mission de détection des ondes gravitationnelles Lisa Pathfinder,

Il y a plus de 30 ans déjà, l'ESA lançait Giotto depuis le CSG à la rencontre de la comète Halley. C'était en juillet 1985, à bord d'une Ariane 1. Il s'agissait alors de la toute première mission de l'ESA vers l'espace lointain. Dans le domaine de l'exploration, on se souvient aussi de la sonde Rosetta qui a entamé son voyage de Kourou vers la comète « Tchouri » en 2004 pour y déposer, 12 ans plus tard, l'atterrisseur Philae - ou encore les télescopes Herschel et Planck en 2009.

Plus récemment, en 2018, BepiColombo s'est envolé pour rejoindre la planète Mercure. L'année qui vient de s'achever fut d'ailleurs riche en lancements européens. Les ensembles de préparation des charges utiles ont accueilli les missions Aeolus, MetOp-C et Galileo, faisant

s'imbriquer en toute fiabilité et en toute discrétion les différentes campagnes de lancement.

En matière d'**observation de la Terre**, on pense par exemple à Topex-Poséidon, lancé depuis le CSG en 1992 à bord d'une Ariane 4, ou encore aux constellations Pléiades et Sentinelle. C'est de Kourou que s'élancent les satellites européens de météorologie de l'organisation européenne Eumetsat essentiels pour notre vie quotidienne.

#### TERRE D'ENVOL POUR DES CLIENTS DU MONDE ENTIER

Après le premier lancement réussi d'Ariane 1, le 24 décembre 1979, le CNES crée Arianespace et fait ainsi entrer l'Europe sur le marché commercial. Parmi les tous premiers clients, Intelsat lance encore aujourd'hui depuis le CSG, et ce depuis 1983. L'un de ses satellites était d'ailleurs à bord d'Ariane 5 pour son 100<sup>e</sup> lancement l'année dernière.

C'est en 1984 que le premier vol commercial sous la bannière de l'opérateur Arianespace a lieu. Il permet de mettre en orbite le satellite américain Spacenet 1. Dès ses premiers pas sur le marché commercial, le CSG attire les clients américains mais pas seulement. Parmi les clients historiques, accueillis à Kourou à plusieurs reprises, on citera par exemple l'européen Eutelsat, le japonais JSAT ou l'Agence spatiale indienne qui est un utilisateur fidèle d'Ariane depuis l'origine.



C'est à la fin des années 80 que le calendrier de commandes se remplit ; les cadences augmentent pour atteindre 10 à 12 lancements par an ; Ariespace est le leader mondial pour les lancements commerciaux.

Aujourd'hui, les clients viennent du monde entier pour lancer depuis le CSG, devenu une véritable fenêtre de la Guyane vers le monde.

### TERRE D'ENVOI GUYANAISE

Avec la saga Ariane et l'entrée de l'Europe sur la scène commerciale, le spatial devient peu à peu un secteur économique porteur en Guyane. Aujourd'hui, selon les derniers chiffres de l'INSEE publiés en 2017, le spatial représente 15% de la création de richesses de la Guyane, 58 millions de recettes fiscales dont 22% de l'octroi de mer, 11,2% de l'investissement. Quarante entreprises sont implantées sur la base de lancement, que leur activité soit directement liée au secteur spatial ou bien aux services nécessaires à son développement et à son maintien en condition opérationnelle. En Guyane, le spatial représente 4600 emplois directs, indirects et induits, dans l'enceinte du CSG et à l'extérieur, soit 9% de la population active du territoire.

Le spatial, arrivé par surprise en Guyane, est désormais enraciné dans ce territoire et est devenu un symbole et un partenaire de son développement. Le CNES, selon les orientations définies par ses ministères de tutelle, contribue au développement du territoire sur des projets dimensionnant pour l'avenir de la Guyane au côté des moteurs que sont les collectivités locales et les partenaires publics tels que le Rectorat et l'Université. La contribution du CNES s'élève à 40 millions d'euros sur la période 2014-2020, auxquels viennent s'ajouter 10 millions d'euros dans le cadre du Plan Phèdre 2 entamé en 2018.

C'est depuis Kourou - et Sinnamary, car le CSG est implanté sur ces deux villes - que le spatial européen doit faire face à la concurrence aujourd'hui de plus en plus rude. Pour ce faire, le CSG se prépare à accueillir au tournant de la décennie, les futurs lanceurs Vega-C et Ariane 6, Mais le CSG doit aussi se moderniser, dans ses infrastructures et ses processus pour rester une base fiable, adaptable, compétitive et performante. Un programme ambitieux de modernisation se prépare avec le fidèle soutien de l'Agence spatiale européenne et de ses États membres.

Kourou, terre d'envol de l'Europe spatiale... et de son avenir. L'histoire continue. ■

*10 à 12 lancements par an... et à chaque fois, une expérience unique pour des clients du monde entier.*



© 2018 ESA-CNES-ARIANESPACE  
Optique vidéo du CSG - S. Martin.



© 2018 ESA-CNES-ARIANESPACE  
Optique vidéo du CSG - JM. Guillon.



© 2018 ESA-CNES-ARIANESPACE  
Optique vidéo du CSG - P. Piron.



© 2018 ESA-CNES-ARIANESPACE  
Optique vidéo du CSG - P. Baudon.

# ARIANE 6 : ON ENTRE DANS UN CONTRE-LA-MONTRE INDUSTRIEL AVANT LE PREMIER VOL EN 2020

par Patrick Bonguet, directeur de programme Ariane 6

*Le prochain lanceur européen, Ariane 6, entre dans la dernière ligne droite de son développement. Des étapes critiques ont été franchies ces derniers mois grâce au travail et à l'énergie des équipes d'ArianeGroup et leurs partenaires... Mais c'est un effort continu. Interview de Patrick Bonguet, chef du programme Ariane 6 chez ArianeGroup*



Vue d'artiste d'Ariane 6.

Crédits: Agence spatiale européenne (ESA).

**ArianeGroup a été créé au moment du lancement du programme Ariane 6. Concrètement, qu'est-ce qui a changé dans le processus industriel ?**

Ariane 6 est un programme qui rassemble 13 pays, pèse 4 milliards d'euros et dure 5 ans pour permettre à l'Europe de se doter d'un nouveau lanceur et rester dans la course à l'espace. Pour un programme d'une telle ampleur et d'une telle complexité, il n'y avait pas d'autre choix que d'avoir un seul maître d'œuvre industriel. C'est la raison d'être d'ArianeGroup, qui rassemble l'héritage industriel d'Airbus et Safran dans les lanceurs spatiaux en France et en Allemagne, et qui sert d'aiguillon à toute la base industrielle européenne.

L'objectif est ambitieux : construire un lanceur compétitif en réduisant de 40% à 50% les coûts, et en un temps record ! A titre de comparaison, le programme de développement d'Ariane 5 a été lancé en 1987 et le premier lancement a eu lieu en 1996 soit une durée de 9 ans. À l'inverse, nous avons adopté pour Ariane 6 une approche « design to cost », en optimisant le « coût » de fabrication dès la phase de conception et en cherchant à faire des économies dans toutes les étapes : industrialisation, intégration, tests, etc. et en réussissant du premier coup. Cela nous pousse à nous dépasser, à changer nos process, à revoir nos méthodes de travail. C'était un véritable défi et nous sommes confiants qu'il sera relevé avec succès avant fin 2020.

Concrètement, après l'aéronautique, l'aérospatiale est passée à la méthode « Lean », un système d'organisation industrielle développant une approche depuis le terrain au plus près des vraies difficultés des salariés et colla-

borateurs de l'entreprise - par exemple, l'intégration du lanceur se déroule à l'horizontale, à hauteur d'homme, et non à la verticale, comme par le passé. Tout cela permettant d'adopter une vision globale sur la réduction des coûts et des délais. La difficulté chez ArianeGroup est que nous ne produisons pas et n'intégrons pas dans un seul endroit. Les sites de production sont répartis dans toute l'Europe. Mais nous réussissons quand même à réduire coûts et délais malgré cette contrainte de retour géographique. Ce qui change en pratique : Ariane 6 sera construite et assemblée en position horizontale. Elle sera mise en position verticale seulement une fois arrivée à Kourou, au Centre Spatial Guyanais. Cette méthode a été adoptée puis mise en place afin de générer une baisse significative de coûts de production et une plus grande cadence de production. En bout de chaîne, la campagne de lancement en Guyane pourra ainsi être réduite de 31 à 9 jours.

Autre élément déterminant, nous avons fait monter en puissance la technique de fabrication additive, souvent appelée « impression 3D ». À la différence de la fabrication soustractive, cette dernière permet le design de pièces fonctionnelles complexes. Elle permet la création d'équipements de pointe et innovants qui ne pouvaient pas être réalisés auparavant.

Cette technologie a pu être testée sur Ariane 5 pour des premières pièces qui ont été qualifiées en vol. C'est le cas de la croix de cardan du moteur Vulcain 2 qui a été réalisée grâce à l'impression 3D et a volé pour la première fois le 17 novembre 2016. Avec Ariane 6, la fabrication additive est généralisée pour gagner en agilité et permettre là encore de réduire les délais d'approvisionnement et les coûts de production. Cette technique permet également, et c'est une avancée conséquente, la conception de pièces innovantes qui n'auraient jamais pu voir le jour sans l'impression 3D. Par exemple, le moteur auxiliaire du troisième étage, l' Auxiliary Power Unit (APU) est un système unique au monde issu des bureaux d'études d'ArianeGroup et développé en cours de programme pour améliorer encore la flexibilité de l'étage supérieur en assurant la pressurisation autogène des réservoirs en plaquant les ergols durant les phases orbitales, en mettant à poste simultanément sur différents plans d'orbite des dizaines de petits satellites des constellations, en désorbitant en fin de mission l'étage.

## ARIANE 6 : ON ENTRE DANS UN CONTRE-LA-MONTRE INDUSTRIEL AVANT LE PREMIER VOL EN 2020

### Aujourd'hui, où en est-on précisément du développement d'Ariane 6 ?

La production des modèles de qualification d'Ariane 6 et le modèle du premier vol, sont en cours de production et d'intégration dans les usines d'ArianeGroup. Depuis le 6 mai 2019, une étape décisive a été franchie avec le lancement de la production industrielle des 14 fusées qui suivront le tir inaugural grâce à la décision de l'ESA de présenter aux acteurs industriels un système de garanties suffisantes au cas où les commandes institutionnelles européennes ne seraient pas contractualisées à temps. Le développement industriel est conforme aux délais et aux objectifs pour être à l'heure sur le marché mondial, et le calendrier initial contractualisé avec l'ESA qui fixe un premier tir d'Ariane 6 avant la fin 2020 reste notre objectif.

Cela ne se fait pas sans difficulté ni effort de la part de toutes les équipes industrielles. En effet, des étapes majeures ont été franchies au cours des derniers mois, en particulier tous les moteurs du lanceur ont été testés avec succès.

Le 3 mai 2019, la nouvelle version du moteur de l'étage principal Vulcain 2.1 a passé une nouvelle étape dans sa qualification sur les bancs d'essai de Vernon. Le 28 janvier, c'était le booster P120C, plus grand propulseur à poudre monolithique en fibre de carbone au monde contenant 142 tonnes de propergol, qui a été testé pour la deuxième fois à Kourou. Un troisième tir d'essai au banc est prévu d'ici la fin de l'année pour qualifier ce moteur avant les vols de Vega-C et d'Ariane 6. Compte tenu des importants investissements qu'implique la production de moteurs à propergol solide, le P120C est un parfait exemple de rationalisation, puisqu'il équipera à la fois Ariane 6 (dans ses versions Ariane 62 et Ariane 64) et le premier étage de Vega-C. Cela nous permet d'utiliser de façon optimale les infrastructures industrielles présentes sur le continent européen et en Guyane.

Le troisième moteur d'Ariane 6, le moteur Vinci de l'étage supérieur, a lui aussi terminé sa campagne d'essai en octobre 2018 : 149 essais qui ont permis d'explorer précisément son domaine de vol et ses marges de qualification, en particulier avec une séquence de 20 allumages successifs. Ce dernier essai de qualification a eu lieu le 12 octobre 2018 à Vernon et a duré plus de 15 minutes (957 secondes). L'objectif était de tester le moteur Vinci au-delà de ses besoins opérationnels, puisque, lors de ses missions, celui-ci n'aura besoin d'être allumé que d'une à quatre fois, avec une durée maximale de fonctionnement en vol de 900 secondes. Le moteur réallumable Vinci est un véritable atout innovant. Il permet d'atteindre des orbites à haut périhélie (satellites à propulsion électrique,

constellations) et de changer de plan orbital, ce qui s'avère primordial aujourd'hui vu les nouveaux profils de missions, en particulier pour le déploiement de constellations.

La prochaine étape, après la qualification de tous les moteurs, c'est la finalisation de la conception de la plate-forme lanceur (structures et aménagement avec impact sur les lignes fluidiques et les câblages) dans le cadre de la revue de programme en cours avec l'ESA, avant d'entamer la dernière ligne droite vers la Maturity Gate 10, qui consiste à obtenir l'aptitude aux essais combinés entre le lanceur et le pas de tir.

Les 12 prochains mois seront cruciaux et il faudra être au rendez-vous du test de l'étage supérieur à Lampoldshausen et des tests combinés du système lanceur et du pas de tir, développé par le CNES, sous l'égide de l'ESA, Architecte du Système de Lancement, à partir de janvier 2020.

### Ariane 6, c'est un objectif en soi... mais c'est aussi un nouveau départ ?

L'avenir n'est pas écrit... mais il se prépare aujourd'hui. La capacité d'évolution d'Ariane 6 a été anticipée dès sa conception, pour lui permettre d'intégrer des technologies futures, réutilisables ou non, en fonction des besoins du marché et pour encore plus de compétitivité. C'est le sens des propositions sur lesquelles travaillent ArianeGroup et ses partenaires en vue de la prochaine conférence ministérielle à Séville en novembre 2019.

Ainsi, ArianeGroup travaille avec son partenaire MT-Aerospace à un programme de recherche pour un étage supérieur ultraléger, appelé ICARUS, utilisant les matériaux composites à base de carbone, que ce soit pour les réservoirs d'ergols liquides ou pour les structures. Les objectifs sont de permettre une optimisation des performances de l'étage supérieur pour les missions complexes de type mise à poste de constellation et de réduire les coûts.

Egalement, Prometheus, qui est un programme de l'ESA dont la maîtrise d'œuvre a été confiée à ArianeGroup en coopération avec le CNES et avec le DLR pour les essais, est un démonstrateur de moteur de nouvelle génération utilisant l'oxygène liquide (LOX) et le méthane. L'objectif est de pouvoir développer un moteur de la classe de poussée du Vulcain® 2 (100 tonnes), avec un coût de production dix fois inférieur grâce à l'utilisation de l'impression 3D et des technologies numériques. Réutilisable, il commencera ses tests en 2020. Ses applications pourront équiper les étages principaux et les étages supérieurs des futurs lanceurs européens.

## L'ACCÈS À L'ESPACE

### ARIANE 6 : ON ENTRE DANS UN CONTRE-LA-MONTRE INDUSTRIEL AVANT LE PREMIER VOL EN 2020

Evolution notable, ETID (Expander-cycle Technology Integrated Demonstrator) est un démonstrateur taille réelle de chambre de combustion innovante d'étage supérieur. Equipé des technologies les plus récentes, il préfigure la nouvelle génération de moteurs de 10 tonnes de poussée. Placé sous maîtrise d'œuvre d'ArianeGroup, ce programme de l'ESA fait appel aux compétences de nombreux industriels européens. Il a terminé sa première série d'essais avec succès au DLR en fin d'année dernière et continue à être testé.

Et enfin, exemple même de la volonté d'ArianeGroup de se tourner dès aujourd'hui vers le futur, le démonstrateur Themis qui est un programme de démonstrateur à l'échelle 1 d'un étage réutilisable pour futur lanceur, fonctionnant avec le couple oxygène liquide - méthane. Themis, qui pourra être équipé de plusieurs moteurs Prometheus, aura pour objectif d'explorer le domaine de vol d'un étage réutilisable en conditions représentatives, dans le but de réduire les coûts et d'améliorer encore la flexibilité du lanceur. Themis est développé dans le cadre d'ArianeWorks, une plate-forme d'accélération destinée à préparer, avec le CNES, l'Agence spatiale française, l'avenir des lanceurs civils européens.

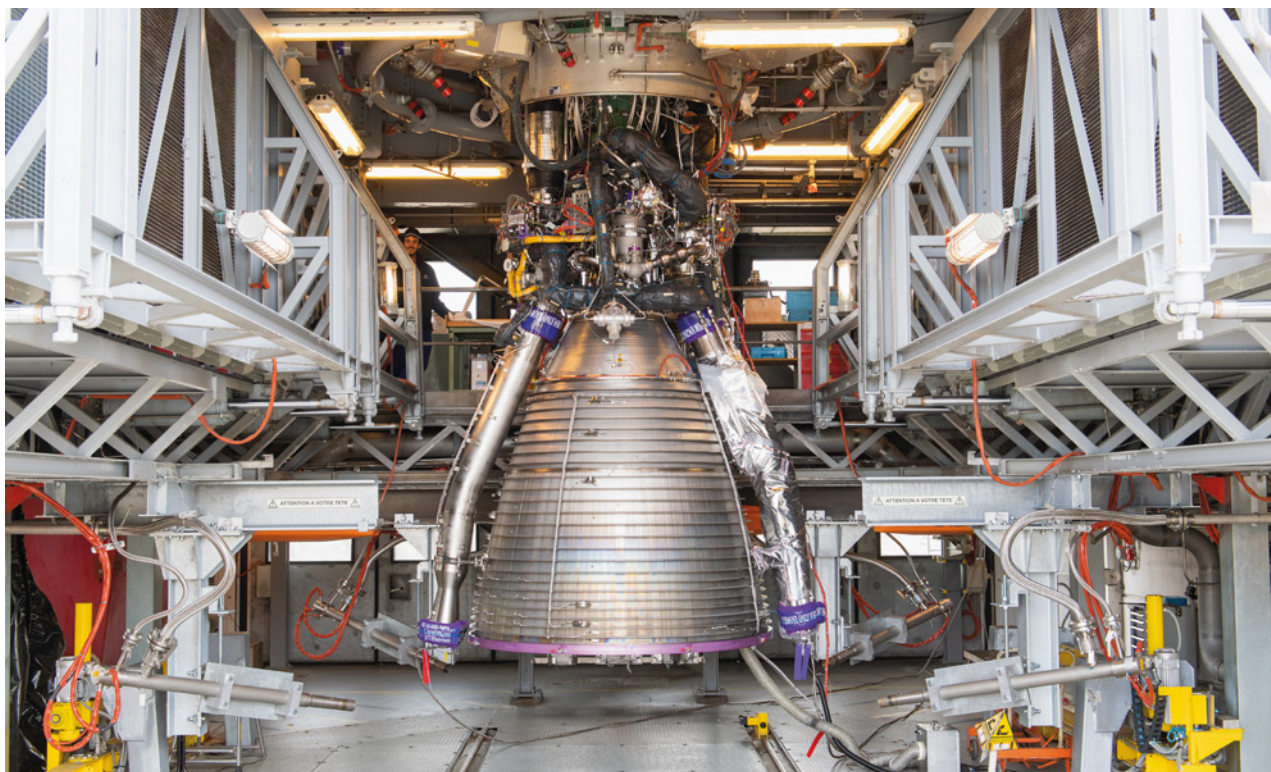
**Le challenge est immense. Comment font les équipes pour faire voler Ariane 5, produire Ariane 6 et préparer la suite ?**

Nous avons fusionné les équipes Ariane 5 et Ariane 6 afin d'assurer une fertilisation croisée des deux programmes : prise en compte de l'expérience opérationnelle unique d'Ariane 5 pour amener des lanceurs en vol, anticipation sur Ariane 5 des concepts d'Ariane 6, en particulier «faire bien du premier coup».

Cela devrait nous permettre d'assurer une transition en douceur entre les deux systèmes de lancement. Les succès d'Ariane 5 nourriront ainsi les succès d'Ariane 6. Je suis tout-à-fait conscient des problématiques que ce contexte peut engendrer au sein de nos équipes et de l'effort que doit faire chacun pour résoudre les problèmes qui interviennent quotidiennement.

Mais nous sommes aussi conscients de ce que nous sommes en train d'accomplir : le développement d'un nouveau système de lancement qui assurera l'autonomie d'accès à l'espace pour l'Europe pour les années à venir et répondra aux besoins de lancement des applications du NewSpace. Et cela tout en changeant le modèle industriel des lanceurs en Europe !

Nous sommes à un moment clef. De nombreux challenges nous attendent encore mais toutes les équipes sont sur le pont, prêtes pour la dernière ligne droite. Dans ce secteur, rien n'est acquis, la preuve, en plein développement et production d'Ariane 6, nous pensons déjà au futur ! ■



Vulcain 2.1 - ArianeGroup - Dominique Eskenazi.

ARIANE 6 : ON ENTRE DANS UN CONTRE-LA-MONTRE INDUSTRIEL AVANT LE PREMIER VOL EN 2020



ArianeGroup ICARUS

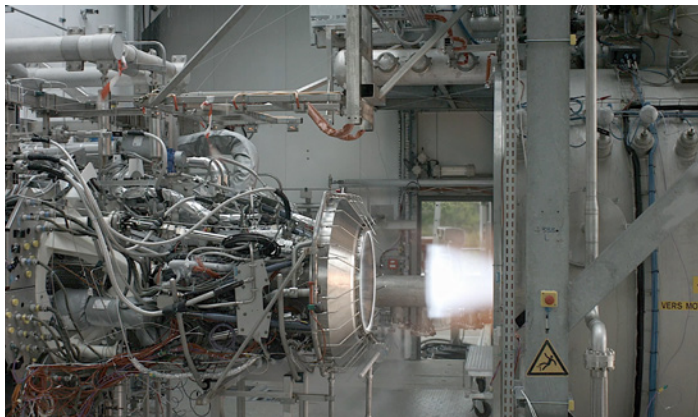


©ArianeGroup

Essai P120C QM1 03



Vinci Tests. Copyright ArianeGroup - Orao Productions 01.



Vinci Tests. Copyright ArianeGroup - Orao Productions 02.



Essai P120C QM1 02.

## L'UTILISATION DE L'ESPACE

par Jean-Marc Nasr, président exécutif Systèmes spatiaux d'Airbus Defence and Space  
et Jean-Loïc Galle, président-directeur général de Thales Alenia Space

L'industrie spatiale française s'est construite sur une ambition de souveraineté qui est aujourd'hui plus que jamais d'actualité dans un contexte où l'espace, qui est l'ultime point haut selon la définition de Clausewitz, devient le lieu de l'expression d'enjeux stratégiques. Le défi pour la France, comme l'a clairement exprimé le Ministre des Armées, c'est « de conserver notre liberté d'appréciation, d'accès et d'action dans l'espace ».

Depuis maintenant cinq décennies, l'industrie spatiale française, avec le soutien des institutions nationales et européennes, a développé des savoir-faire de haute technicité qui lui ont permis de réaliser des missions de classe mondiale (météorologie, science et exploration, environnement), contribuer à la défense (télécommunications durcies et sécurisées, renseignement « image » et électromagnétique, sécurisation du signal crypté de Galileo) et aux grandes politiques de l'Union européenne (surveillance de l'environnement et du climat, mobilité, etc.) et à sa prospérité économique.

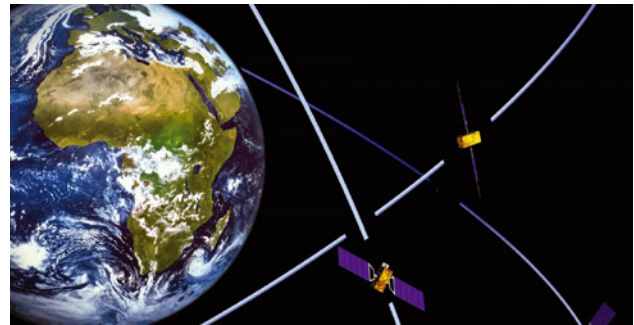
Forte de ces compétences, l'industrie satellitaire française est devenue un acteur clé du marché spatial commercial mondial avec des succès de premier plan comme dans les domaines des constellations (Iridium, OneWeb), de l'accès au très haut débit (Konnect VHITS), de l'exportation de satellites de télécommunications et d'observation de la Terre, et des services de géo information.

Conséquence de ce succès, l'industrie satellitaire française constitue aujourd'hui plus de la moitié de son chiffre d'affaire auprès du secteur privé et des clients export. Ce schéma vertueux qui permet de démontrer la compétence et la compétitivité de notre filière industrielle, la place dans une situation critique alors que le marché commercial accessible connaît un retournement face à ses concurrents principalement américains alimentés à plus de 90% par les budgets publics de la NASA et du Pentagone.

Dans ce contexte, toute faiblesse du marché commercial représente un défi pour la filière spatiale nationale.

Or, la convergence de facteurs affectant l'activité commerciale vient fragiliser ce modèle de développement : un marché des télécommunications en pleine mutation et qui a connu une forte contraction, une compétition accrue avec les grandes puissances spatiales (États-Unis, Chine), le développement spectaculaire de nouveaux acteurs américains bénéficiant à la fois du soutien des grandes agences (grâce à la réforme de la NASA) mais également des capitaux privés des GAFAs, le déplacement

des « business model » de la fourniture de satellites à celle de services. De nouveaux États prenant conscience du caractère stratégique du spatial encouragent le développement d'une industrie nationale, la création d'agences ou la mise en place de partenariats adaptés : cette politique conduit à la réduction de la taille du marché commercial accessible à l'industrie spatiale française.



*Galileo, le « GPS européen » séduit de plus en plus : 200 millions de personnes l'utilisent désormais.*

Dans ce contexte, l'action publique française et européenne est plus que jamais nécessaire pour permettre à la filière industrielle nationale de se battre à armes égales avec ses concurrents. Cette action publique devrait s'appuyer sur les deux leviers complémentaires suivants :

- le soutien à la compétitivité afin que l'industrie puisse, grâce à l'innovation, à nouveau gagner des parts sur les marchés commerciaux sans se battre uniquement sur les coûts ce qui serait rapidement fatal;
- le renforcement de la part institutionnelle du marché spatial global de manière contracyclique afin de limiter la dépendance de l'industrie française à un secteur commercial irrégulier et fragile.

Une telle action viendrait concrétiser, d'une part, les ambitions régaliennes d'une grande nation spatiale comme la France et, d'autre part, les objectifs sociétaux de l'Union européenne.

Enfin, le développement du secteur aval, en particulier les services à valeur ajoutée est de nature à maximiser l'effet de levier de l'investissement public et d'irriguer tous les secteurs de l'économie. ■

# TROIS ENJEUX POUR LE DROIT DE L'ESPACE

par **Philippe Achilleas**, professeur de droit public à l'Université Paris Saclay, directeur de l'Institut du droit de l'espace et des télécommunications, **Raphaël Costa**, secrétaire exécutif de l'Institut du droit de l'espace et des télécommunications et **Éloi Petros**, membre du comité exécutif de l'Institut du droit de l'espace et des télécommunications

*Le droit de l'espace fut créé au début des années 1960 dans le cadre des Nations Unies, sous l'impulsion des États-Unis et de l'URSS alors engagés dans la course à la Lune. Dans le contexte de tension lié à la Guerre froide les deux grandes puissances ont ainsi cherché à éviter que l'espace ne devienne une zone de conflit.*

Le texte fondateur de cette nouvelle branche du droit international est le Traité de l'espace du 27 janvier 1967. Cet accord cadre fut complété par quatre traités spécifiques : l'Accord sur les Astronautes du 22 avril 1968 ; la Convention sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux du 29 mars 1972 ; la Convention sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace du 14 janvier 1975 ; et l'Accord régissant les activités des États sur la Lune et les autres corps célestes du 18 décembre 1979. Ces textes posent une série de grands principes que voici : liberté d'utilisation et d'exploration de l'espace, non appropriation de l'espace, utilisation pacifique de l'espace, protection des astronautes, obligation de l'État d'autoriser et de superviser les opérations spatiales privées, responsabilité de l'État de lancement pour dommage causé par un objet spatial, et juridiction et contrôle de l'État d'immatriculation sur l'objet lancé dans l'espace.

Depuis son adoption, le droit de l'espace a connu plusieurs périodes. D'abord développé dans le contexte du droit international public afin d'encadrer les activités des États dans l'espace, le droit de l'espace a connu une première mutation significative à partir des années 80 avec l'adoption de lois nationales visant à réglementer les opérations spatiales conduites par les entreprises privées. Ainsi, si le droit international demeure le cadre général des activités spatiales, celles-ci sont désormais directement régies par le droit national. En France, les activités spatiales relèvent de la loi n° 2008-518 du 3 juin 2008 relative aux opérations spatiales.

La seconde mutation du droit de l'espace vise à placer le droit au service de l'innovation entrepreneuriale. Cette évolution a pris son origine aux États-Unis, d'abord par la mise en place de partenariats publics privés. À travers les programmes COTS (Commercial Orbital Transportation Services) de 2005, Commercial Resupply Service (CRS) de 2008, et Commercial Crew Development (CCDeV - Développement commercial pour équipage) de 2010, la NASA a signé plusieurs contrats pour stimuler la privatisation des vols spatiaux au moyen de solutions innovantes et rentables. L'innovation entrepreneuriale est également encouragée par l'adoption

de lois spécifiques dans deux domaines nouveaux pour soutenir les initiatives privées ayant permis l'émergence du *NewSpace* : les vols suborbitaux par l'amendement au Commercial Space Launch Act de 2004 et l'exploitation des ressources naturelles des corps célestes par Space Resource Exploration and Utilization Act de 2015 (I.).

Les puissances spatiales, déléguant les applications commerciales aux entreprises, se recentrent à présent sur leurs activités spatiales militaires. Tandis que les uns démontrent leur capacité à détruire des satellites en orbite – les leurs pour commencer – et que d'autres annoncent la création de forces armées spécifiques à l'espace, tous craignent les possibles débordements issus de cette nouvelle militarisation de l'espace (II.)

Enfin, l'amplification de tout bord des activités commerciales et militaires dans l'espace ainsi que la multiplication des débris annonce une saturation de l'espace qui sera bientôt préjudiciable aux activités spatiales quelle que soit leur nature. Cette menace interroge sur la nécessité de mettre en place des outils de gestion du « trafic spatial », comme c'est déjà le cas concernant le trafic aérien. Il s'agit de la question du *space traffic management* (III.)

## I. L'EXPLOITATION DES RESSOURCES NATURELLES DES CORPS CÉLESTES

Alors que les ressources naturelles sont en voie d'épuisement sur Terre, plusieurs d'entre elles sont disponibles en quantité énorme sur les corps célestes, notamment les astéroïdes. Leur exploitation se heurte à l'article II du Traité de l'espace de 1967 lequel précise : « [l']espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, ne peut faire l'objet d'appropriation nationale par proclamation de souveraineté, ni par voie d'utilisation ou d'occupation, ni par aucun autre moyen ». Toutes les formes d'appropriation sont prohibées dans l'espace, y compris par les personnes privées. Cela n'a pas empêché les États-Unis, d'adopter à la demande des entreprises privées, le Space Resource Exploration and Utilization Act de 2015, ni le Luxembourg, à la recherche de nouveaux marchés pour compenser la fin de secret bancaire, à voter la loi du 13 juillet 2017 sur l'exploration et l'utilisation des ressources de l'espace. Ces deux textes mettent en place un cadre réglementaire pour autoriser les entreprises privées à exploiter et à vendre les ressources naturelles des corps célestes. Les États-Unis, comme le Luxembourg, soulignent que leur loi est conforme au droit international.

## L'UTILISATION DE L'ESPACE TROIS ENJEUX POUR LE DROIT DE L'ESPACE

Comment ces États peuvent-ils affirmer la licéité internationale de ces lois ? Leur argumentation consiste à dissocier l'appropriation du corps céleste, qui est interdite, de l'exploitation de ses ressources, qui serait licite. Deux arguments sont ici avancés. D'une part, l'Article II du Traité de l'espace ne mentionne pas les ressources naturelles, mais uniquement les corps célestes. Le principe de non-appropriation ne concerne donc pas les ressources. Ainsi si l'appropriation d'un corps céleste est prohibée, l'exploitation de ses ressources serait licite. D'ailleurs la loi américaine précise expressément que les États-Unis ne revendiquent aucun droit de propriété dans l'espace. D'autre part, l'exploitation minière est protégée par la liberté d'utilisation de l'espace proclamée à l'Article premier du même texte.

Reprenons ce raisonnement. D'abord, les États-Unis, comme le Luxembourg, procèdent à une interprétation unilatérale de l'Article II du Traité de l'espace, une démarche juridiquement et politiquement contestable. Ensuite, l'Article premier du Traité, qui mentionne la liberté de l'espace, précise que l'exploration et l'utilisation de l'espace sont l'apanage de l'humanité tout entière et qu'elles doivent se faire pour le bien et dans l'intérêt de tous les pays. Comment des entreprises privées, dont la motivation est principalement financière, peuvent-elles répondre aux intérêts de l'humanité ? Il faudrait ici démontrer que l'exploitation minière des corps célestes serait un moyen de poursuivre les objectifs humanistes du Traité de l'espace. En fait, ces lois sont en parfaite adéquation avec le Traité de l'espace sur un seul point. L'obligation pour toute entreprise privée d'obtenir une autorisation nationale pour entreprendre une activité dans l'espace. En établissant un mécanisme d'agrément, ces textes répondent ainsi aux exigences de l'Article VI du Traité de l'espace.

Les lois américaine et luxembourgeoise se heurtent également à l'Accord sur la Lune de 1979. Certes, le texte n'a pas été ratifié par les États-Unis et le Luxembourg et à ce jour, seuls 18 États sont parties à ce traité, mais il fait partie du système normatif adopté par l'ONU. L'Article 11 de l'Accord considère que la Lune et ses ressources constituent le patrimoine commun de l'humanité. En conséquence, l'exploitation commerciale de ces ressources ne peut intervenir que dans le cadre d'un régime international qui doit être mis en place par les États parties à l'Accord sur la Lune dès qu'une telle exploitation sera possible.

En 2019, la Grèce et la Belgique ont cherché à mettre en place un groupe de travail sur la question au sous-comité juridique du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (CUPEAA), mais c'était sans compter sur l'opposition des États-Unis et de leurs alliés. L'étude de la proposition a finalement été reportée à la prochaine

session. La Russie est la seule puissance spatiale à critiquer la position des États-Unis. Les autres, dont la France, considèrent qu'il est trop tôt pour réfléchir à un régime international sur l'exploitation des ressources des corps célestes.

L'attitude des États-Unis rappelle ici la position américaine vis-à-vis du plateau continental lorsque le 28 septembre 1945, le Président Truman a unilatéralement proclamé la juridiction des États-Unis sur les ressources naturelles du plateau continental adjacentes aux côtes américaines, alors situées en haute mer. D'autres États ayant formulé des revendications analogues, le droit international de la mer a finalement été modifié dans le sens d'une reconnaissance de droits souverains à l'exploitation des ressources du plateau continental par les États côtiers. En ce qui concerne les corps célestes, d'autres pays sont en cours d'élaboration de cadres juridiques nationaux permettant l'exploitation commerciale des ressources spatiales à l'image des Emirats arabes unis et de l'Arabie saoudite. Si le mouvement normatif national se poursuit par l'adoption d'autres lois, le droit international de l'espace, à l'image du droit international de la mer, pourrait être modifié dans le sens du droit national américain.

Face à l'incertitude de la licéité des lois luxembourgeoise et américaine, il est important de ramener le débat dans une enceinte internationale et de trouver un cadre permettant d'organiser l'exploitation des ressources naturelles des corps célestes dans l'esprit - peut-être même dans la lettre - du droit de l'espace. Parmi les options envisageables, nous proposons l'établissement, sous la responsabilité du Secrétaire général des Nations Unies, d'un registre des autorisations nationales précisant la location et la nature des opérations de prospection et d'exploitation. Un tel système, peu contraignant pour les États, s'il est accepté par les puissances spatiales, répondrait également aux exigences de l'Accord sur la Lune et serait de nature à réconcilier les intérêts de l'industrie spatiale autour du droit international. La France, qui a signé l'Accord sur la Lune, sans l'avoir encore ratifié, pourrait être à l'origine d'une telle initiative.

## II. LA MILITARISATION DE L'ESPACE

Les actualités spatiales militaires furent, ces dernières années, très régulières. La recrudescence et le renforcement des politiques spatiales militaires des États - y compris la France - est l'occasion de revenir sur le régime juridique d'utilisation militaire de l'espace. Cette tendance est également susceptible de relancer les débats entre les États sur une course à l'armement dans l'espace et sa compatibilité avec les objectifs d'utilisation de l'espace dans l'intérêt de l'humanité.



Dans le contexte de la Guerre Froide déjà évoqué, les résolutions onusiennes antérieures à l'adoption du Traité de l'espace précisait que l'espace ne devait être réservé qu'à des fins « exclusivement pacifiques ». Mais d'une résolution l'autre, l'adverbe « exclusivement » fut escamoté pour ne laisser place qu'à l'adjectif « pacifiquement », entrouvrant ainsi une porte sur la possibilité pour les États d'utiliser l'espace militairement, ce qui fut très rapidement leur volonté. En effet, le 1er juillet 1960, l'avion militaire américain U-2 dont la mission était de photographier le territoire soviétique fut abattu et son pilote, Francis Gary Powers, capturé. Les possibilités d'observation militaires sécurisées offertes par les satellites devinrent alors essentielles aux intérêts géopolitiques des nations spatiales.

Fut alors adopté, à l'article IV du Traité de 1967 un régime d'utilisation militaire de l'espace différencié selon qu'il s'agisse de l'espace circumterrestre ou des corps célestes. Ces derniers sont sanctuarisés : « Tous les États parties au Traité utiliseront la Lune et les autres corps célestes exclusivement à des fins pacifiques. Sont interdits sur les corps célestes l'aménagement de bases et installations militaires et de fortifications, les essais d'armes de tous types et l'exécution de manœuvres militaires. » La notion juridique de « corps céleste » comprenant les objets célestes de type astéroïdal et planétoïde, ces derniers sont protégés de toute exploitation militaire – à défaut de l'être de toute exploitation commerciale.

En ce qui concerne l'espace circumterrestre, seule y est interdite « [la mise] sur orbite d'objet porteur d'armes nucléaires ou de tout autre type d'armes de destruction massive ». Cet article autorise, a contrario, les États à faire transiter par l'espace, des objets porteurs d'armes nucléaires ou de destruction massive. De plus, est autorisée la mise en orbite d'armes ne causant pas de destruction massive. Pourtant, le préambule du traité de l'espace, cette sorte de testament trahi, précise que : « Les États parties au présent Traité, Reconnaiss[ent] l'intérêt que présente pour l'humanité tout entière le progrès de l'exploration et de l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique à des fins pacifiques, Estim[ent] que l'exploration et l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique devraient s'effectuer pour le bien de tous les peuples, quel que soit le stade de leur développement économique ou scientifique ».

Vinrent alors deux théories interprétatives quant à la portée et signification de l'utilisation « pacifique » de l'espace. La première, stricte, considère que l'espace ne peut être utilisé de façon militaire, le terme étant l'opposé de pacifique. Seraient dès lors interdits dans l'espace tous les satellites d'espionnage, de surveillance et plus généralement tous les satellites militaires. C'est en tout cas le sens donné à l'utilisation pacifique prévue au Traité sur l'Antarctique – lui qui cependant a conservé l'adverbe

« exclusif ». La seconde théorie, celle de la non-agressivité, considère quant à elle que l'utilisation militaire non-agressive de l'espace peut être considérée comme pacifique. Elle serait même nécessaire au maintien de la paix qui serait impossible sans une surveillance réciproque constante des États. De plus, l'antonyme de « pacifique » n'est pas « militaire » mais « belliqueux ».

La rédaction de l'Article IV et la militarisation précoce de l'espace par les États rédacteurs du Traité donnèrent raison à la seconde interprétation, celle de la « non agressivité ». Comme le concluait Simone Courteix : « l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique n'est pas limitée à des fins pacifiques. »

D'autres textes internationaux de contrôle des armements et de l'usage de la force s'appliquent aussi aux activités spatiales sans pour autant remettre en cause le régime permissif d'utilisation militaire des orbites terrestres. Il s'agit par exemple du Traité « ABM » de 1972, interdisant aux États – notamment aux deux Grands – la réalisation d'essais ou de mise en place de systèmes anti-missiles balistiques dans l'espace. Seul texte à interdire d'autres armes que celles de destruction massive dans l'espace, les États-Unis sortirent du giron de cette convention qu'ils dénoncèrent en 2002.

Car en effet, malgré la fin de la guerre froide et l'abandon de l'initiative de défense stratégique américaine, la militarisation de l'espace est restée un enjeu majeur d'indépendance et de supériorité technologique des puissances spatiales, le monde ayant depuis assisté à l'émergence de plusieurs d'entre elles autres que les deux puissances du temps de la Guerre froide. Nous observons ces dernières années une augmentation des essais militaires spatiaux des États : essais de missiles antisatellites sur les propres satellites par la Chine en 2007, les États-Unis en 2008, l'Inde en 2019 ; tentative d'espionnage russe sur le satellite français en 2017, mise en orbite depuis la même année d'une série de quinze satellites militaires chinois de détection des navires ennemis, création de la Space Force américaine depuis 2018.

Ces essais entraînent des réactions réciproques des autres États qui annoncent le renforcement à venir de leur occupation militaire des orbites terrestres. Jugeons-en par ces quelques extraits du discours de la Ministre de la Défense suite à la tentative d'espionnage russe en orbite : « Nous ne sommes pas protégés contre ces menaces. Non, l'espionnage et les actes offensifs, ça n'arrive pas qu'aux autres. Oui, nous sommes en danger, nos communications, nos manœuvres militaires comme nos quotidiens sont en danger si nous ne réagissons pas. [...] La loi de programmation militaire lance le renouvellement de toutes nos capacités spatiales. Et une équipe dédiée a été lancée avec un mandat large et une consigne simple : ne

## L'UTILISATION DE L'ESPACE TROIS ENJEUX POUR LE DROIT DE L'ESPACE

vous interdisez rien. » Autre extrait de discours significatif, celui du président américain, lorsqu'il précise le rôle de la future Space Force – qui finalement ne sera pas séparée des autres forces américaines mais restera sous le giron de l'Air Force : « Notre stratégie repose sur un objectif primordial : détecter et détruire tout type d'attaque par missile contre toute cible américaine, que ce soit avant ou après le lancement ».

En octobre 2018, plusieurs États ont exprimé leurs inquiétudes devant la Première Commission des Nations Unies (désarmement et sécurité internationale) face aux menaces d'une course à l'armement spatial. Deux visions se font alors face. La première, portée par le couple sino-russe, milite au niveau diplomatique pour l'adoption d'un nouveau traité contraignant afin d'interdire le déploiement d'armes dans l'espace. Ce projet de traité, discuté depuis une décennie à la Commission sur le désarmement, propose notamment d'élargir l'interdiction de placement en orbite d'armes de destruction massive à tout type d'arme de quelque sorte qu'elle soit. La seconde, portée par les États-Unis, s'oppose à l'adoption d'un nouveau traité – la proposition était jugée « hypocrite » vu les essais de missiles antisatellite chinois et d'espionnages cosmiques russes. En outre, la délégation américaine estime que la proposition de nouveau traité, contraignant, n'œuvre pas au renforcement de la confiance entre les États. L'Australie, par exemple, considère également que des mesures de transparence et de confiance seraient plus adaptées au contexte international actuel. De plus, la nature duale des technologies spatiales – beaucoup de satellites pouvant être utilisés militairement et civilement – aboutira à l'interdiction de nombre de satellites si les activités potentiellement militaires venaient à être complètement interdites dans l'espace.

Notons cependant que si les puissances spatiales diffèrent quant à la nature des mesures à prendre, tous s'accordent sur la nécessité de celles-ci face au risque réel de guerre des étoiles. La majorité des délégations, dépourvue d'accès aux technologies spatiales, a quant à elle exprimé ses vives inquiétudes face au danger d'un espace « saturé » de satellites militaires dont la plupart des pays ne retirent aucun bénéfice.

En effet, malgré les différentes interprétations étatiques de l'Article IV du Traité de l'espace, l'utilisation de l'espace dans des intérêts militaires unilatéraux n'a pour l'instant su être justifiée comme : « pour le bien et dans l'intérêt de tous les pays », critère pourtant contraignants énoncé dès l'Article premier du Traité de l'espace.

### III. LE SPACE TRAFFIC MANAGEMENT

À mesure que s'accroît le nombre d'objets spatiaux en orbite autour de la Terre, s'accroît le risque qu'ils entrent en collision. Les vitesses auxquelles ils voyagent font planer la menace, pour chacun d'entre eux, de dangers considérables, sinon fatals. Aux objets opérationnels, manœuvrant ou non, opérés depuis la Terre, s'ajoutent les débris spatiaux. Cette population variée d'objets inactifs, rassemblant en son sein des satellites de plusieurs tonnes, aussi bien que des étages de lanceurs ou encore que des éclats de peintures détachés de ces derniers, évolue sur des orbites variées.



*Modélisation en temps réel de la gestion du trafic spatial.*

L'augmentation de cette population orbitale semble aujourd'hui presque inéluctable. D'une part, la diminution des coûts d'accès à l'espace, fruit de la miniaturisation des satellites et de la baisse des coûts de lancement, invite des acteurs toujours plus nombreux à prendre part à ces activités et ces activités à se multiplier. D'autre part, la prolifération des débris, renforcée par le risque croissant de collisions entre eux, augmente considérablement le nombre d'obstacles en orbite.

Assurer la viabilité des activités orbitales implique donc de mettre en place un régime de « trafic spatial », c'est-à-dire d'un ensemble de règles de conduite de ces objets. Cette problématique, désormais objet de nombreux travaux, est généralement désignée par l'expression anglophone *Space Traffic Management (STM)*. Elle ne peut être décorrélée des capacités de surveillance spatiale, désignées quant à elles par l'expression *Space Situational Awareness (SSA)*.

Sous le prisme du droit, ces problématiques présentent un double enjeu. D'une part, le régime juridique des activités spatiales nécessite pour sa parfaite application l'établissement d'un tel dispositif. D'autre part, le droit est l'instrument approprié à la construction de ces normes.

En effet, l'application de certains mécanismes établis par le droit de l'espace nécessite que soient définies des règles relatives au trafic spatial. Cela est notamment le cas en matière de responsabilité.

Le Traité de l'espace et la Convention sur la Responsabilité citées ci-avant établissent un régime très particulier de responsabilité, unique en droit international. Ce dernier se structure autour de deux situations possibles en cas de dommage causé par un objet spatial : soit le dommage a lieu sur Terre ou est causé à un aéronef en vol, soit il a lieu ailleurs, c'est-à-dire dans l'espace. Dans le premier cas, la responsabilité est dite sans faute - c'est-à-dire que la seule survenance du dommage causé par l'objet spatial suffit à retenir la responsabilité de son État de lancement ou de l'un d'entre eux en cas de pluralité d'États de lancement. Dans le second cas, la responsabilité est dite pour faute - c'est-à-dire qu'il est nécessaire de démontrer que le dommage causé par l'objet spatial est le fruit d'une faute.

Si ce double régime ne présente aucune difficulté conceptuelle, la « faute » à laquelle il est fait référence dans le second cas n'est pas définie. Dès lors, il devient difficile, sinon impossible, de déterminer avec certitude si la responsabilité d'un État de lancement peut être retenue dans l'hypothèse d'un dommage qu'un objet spatial aurait causé à un autre objet spatial, une telle responsabilité nécessitant de démontrer l'existence d'une faute.

À cet égard, établir un régime de *Space Traffic Management*, entendu très largement comme un ensemble de règles gouvernant la conduite des objets spatiaux, est nécessaire pour fonder l'existence d'une faute et avec elle engager la responsabilité d'un État de lancement pour un dommage causé dans l'espace extra-atmosphérique. Le non-respect de ces règles de « conduite » constituerait bien une faute au sens de la Convention sur la responsabilité et permettrait ainsi d'appliquer en toute rigueur le régime prévu.

À l'inverse, le *Space Traffic Management* constitue l'un des nouveaux enjeux majeurs du droit de l'espace, en tant qu'il est l'outil par lequel un tel régime peut être établi. En tout état de cause, cet ensemble de normes à venir, gouvernant la conduite des objets spatiaux en orbite, sera une composante de l'ensemble plus large que constitue l'encadrement juridique et réglementaire des activités spatiales.

Il convient ainsi de s'interroger sur le schéma juridique qui pourrait convenir à l'établissement du STM. Si des exemples existent, une réflexion par analogie est possible sur la forme, mais inopérante sur le fond. Les lois physiques propres à l'astronautique empêchent bien d'établir un système comparable à ceux mis en place dans d'autres espaces. Par définition, les objets spatiaux placés en orbite sont constamment en mouvement et sont contraints par leur vitesse. Un objet spatial ne se manœuvre pas avec autant de facilité qu'un aéronef ou qu'un navire et il est ainsi impossible d'imaginer aujourd'hui pouvoir requérir d'un opérateur spatial un contrôle similaire sur son objet.

En toute rigueur, le STM devrait ainsi être basé sur une logique différente de celle adoptée pour l'Air Traffic Management, avec lequel il partage néanmoins certaines problématiques. Parmi ces dernières, celle de savoir si une institution internationale pourrait jouer un rôle similaire à celui que joue l'Organisation de l'aviation civile internationale pour les vols conduits dans les espaces aériens internationaux. En effet, l'espace extra-atmosphérique n'est pas souverain et partage ainsi un statut similaire à l'espace aérien surplombant la haute mer.

De même que le trafic aérien ou que le trafic maritime imposent d'être gouvernés par des règles communes et partagées de tous, les normes à venir du trafic spatial ne sauraient être définies autrement que multilatéralement. Il semble donc que les instances qui devraient être privilégiées pour conduire les travaux relatifs au STM soient d'abord celles qui ont permis d'adopter les principes juridiques gouvernant aujourd'hui les activités spatiales. La construction du droit de l'espace a également évolué et les nouvelles dynamiques de construction normative à l'œuvre aujourd'hui pourraient également être une voie d'établissement de ces normes communes. Dans ce contexte, une attention particulière doit être donnée aux risques que font peser les initiatives unilatérales, notamment conduites à travers les lois nationales.

Ces enjeux choisis pour droit de l'espace vont du plus prospectif au plus pratique. Tous trois démontrent la nécessité de rester dans un cadre international, chose que comprennent, il y a plus de cinquante, les deux puissances qui se faisaient pourtant face. La nature internationale de l'espace extra-atmosphérique et les objectifs humanistes - voir idéalistes - du Traité de 1967 nous imposent d'établir les règles d'exploitation commerciale et militaire ainsi que de trafic spatial en coopération internationale ; et non de laisser celles-ci s'établir de façon unilatérale puis d'être élevées seulement ensuite au rang de norme internationale. Il s'agira du moyen premier permettant à : « l'exploration et l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, [de] se faire pour le bien et dans l'intérêt de tous les pays », Traité de l'espace, Article premier. ■

# METTRE L'ESPACE AU SERVICE D'UNE SOCIÉTÉ INNOVANTE

par **Audrey Briand** (Eutelsat), **Isabelle Bénézech** (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire) et **Alain Wagner** (Airbus Defence and Space) Animateurs du groupe de travail Applications du Cospace<sup>1</sup>

Le 4 septembre 2013, le Cospace, groupe de concertation Etat-Industrie sur l'Espace, est créé sur le modèle du Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile (CORAC). Il en diffère cependant par la volonté de développer des « applications » et de faire du spatial un outil au service de notre société.

Alors que la filière spatiale manufacturière française occupe des positions de tout premier plan au niveau mondial dans tous les segments de marché, le secteur aval ne se développe pas de manière commensurable. Or, la chaîne de valeur spatiale dans le monde est estimée à 350 milliards d'euros. Elle croît rapidement et de manière tentaculaire puisque qu'elle contribue à tous les domaines économiques et à la mise en œuvre de la plupart des politiques publiques. La filière spatiale française comprend bien de grands opérateurs de télécommunications et des fournisseurs de données et de solutions à valeur ajoutée tels que Airbus DS, CLS, Eutelsat et Telespazio mais il lui manque un écosystème d'entreprises, notamment des PME et des ETI, capables de porter un ensemble d'offres permettant de saisir les opportunités de marché dans les services, en France et à l'étranger.

Le groupe de travail Applications s'est donc d'abord demandé comment remettre les utilisateurs finaux au centre des activités de la filière spatiale. Comment repenser les interactions entre la filière spatiale, le monde du digital, et le reste de l'économie, qu'il s'agisse de secteurs aussi divers que l'agriculture, l'énergie, l'environnement, la qualité de l'air, l'océan, le changement climatique, la gestion des risques, les télécommunications, les transports ou la santé ? Comment réussir à tirer parti de la position de leader en Europe dans les infrastructures spatiales pour accélérer l'innovation en France et faire émerger de nouveaux projets à finalité publique ou entrepreneuriale, de nouvelles entreprises et créer de l'emploi ?

Il est ici utile de rappeler quelques constats, sans appel, de l'époque : « la position de la France dans les applications n'est pas à la hauteur de notre rang de leader dans les systèmes spatiaux » ; « la montée en puissance exponentielle des GAFA » ; « la multiplicité des dispositifs

d'aide » ; « la difficulté d'accéder à la donnée spatiale » ; « la difficulté de rencontrer les marchés et de mettre en place les réseaux de distribution adéquats ».

Le groupe de travail Applications du Cospace se réunit pour la première fois le 3 octobre 2013. Il est coanimé par Isabelle Bénézech du ministère de la transition écologique et solidaire, Alexandra Pocholle puis Audrey Briand d'Eutelsat et Alain Wagner d'Airbus Defence and Space. Il réunit des représentants du CNES, du GIFAS, de différents ministères, des organismes de recherche, des utilisateurs et des principaux acteurs économiques du secteur. À ce jour, ce groupe s'est réuni plus de 72 fois.

Le groupe de travail devient très vite un forum d'échange d'informations et un « club de réseautage » entre acteurs de la filière spatiale française tout en s'ouvrant vers l'extérieur avec l'audition régulière de personnalités issues d'autres secteurs. Il s'emploie à identifier des « success stories » où le spatial apporte une contribution majeure, et, partant d'elles, les principaux facteurs de succès et les freins éventuels. Des témoignages d'acteurs du spatial, du numérique et de différents secteurs économiques sont organisés. La très grande diversité des applications possibles grâce au spatial et la diversité des façons de les aborder, fait que de très nombreuses pistes de réflexions sont ouvertes. Le groupe contribue également aux consultations publiques comme celle de 2014 sur la République Numérique pour faire connaître et promouvoir l'apport des technologies spatiales.

Dès 2014, le groupe de travail a une idée, aussi évidente que sa genèse a été laborieuse : il faut créer des « villages de l'innovation » où se rencontreront des acteurs du spatial, du numérique et les secteurs d'application (la gestion des risques, le maritime, la mobilité, l'urbanisme...). Quelques principes simples président alors la création des Boosters<sup>2</sup> du Cospace :

- S'appuyer sur une structure juridique existante ; donc s'inscrire au sein des pôles de compétitivité qui maîtrisent les instruments financiers, la propriété intellectuelle, disposent d'incubateurs, de mentors...
- Conserver un caractère local avec une coordination

<sup>1</sup> Mis en place par le gouvernement français en septembre 2013, le Comité de Concertation Etat Industrie sur l'Espace (COSPACE) regroupe tous les acteurs de la filière : le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, le Ministère des Armées, le Ministère de l'Economie et des Finances, le Ministère de l'Europe et des Affaires Etrangères, le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, CNES, GIFAS, communauté scientifique, industriels -des maîtres d'œuvre aux PME - et opérateurs. L'objectif est de développer pleinement l'ensemble des capacités d'un secteur d'excellence de l'industrie française et de créer une véritable « Equipe de France » du spatial pour faire face à une concurrence européenne et internationale grandissante.

<sup>2</sup> [www.boosters-cospace.com](http://www.boosters-cospace.com)

## L'UTILISATION DE L'ESPACE METTRE L'ESPACE AU SERVICE D'UNE SOCIÉTÉ INNOVANTE

nationale la plus légère possible ;

- Aider les entrepreneurs en leur fournissant des « goodies » (photos satellites offertes par Airbus, heures d'expertise assurées par le CNES, logiciels open-source et formation fournis par CS, kits Ka-Sat fournis par Eutelsat, liste des portails d'accès à la donnée et accès aux données Copernicus).

Quatre premiers boosters sont labellisés en janvier 2016 :

- **Morespace** est porté par le pôle de compétitivité Mer Bretagne Atlantique basé en Bretagne et Pays de la Loire. Il est centré sur la thématique de la mer ;
- **Nova** est porté par le pôle Aerospace Valley autour de Bordeaux, Montpellier et Toulouse. Il couvre les 6 thématique suivantes : la croissance bleue, l'énergie, les Smart City, l'agriculture, la maîtrise de l'espace et du cadre de vie et les économies du Sud ;
- **Seine Espace** est porté par le pôle ASTech Paris Région en Ile-de-France et en Normandie et sert les thématiques suivantes : ville et mobilité, logistique, gestion intelligente de l'énergie, climatologie, environnement, loisirs, éducation;
- **Space4Earth** est porté par le pôle SAFE en région PACA qui traite les thématiques suivantes : sécurité (villes, côtes, mers), écotecnologies, services mobiles liés à la géolocalisation et les smart cities (transport intelligents, énergie, villes durables ...).

Les quatre premiers Boosters ont rapidement su développer un nouvel écosystème dans leurs territoires en multipliant les rencontres entre acteurs du spatial, du numérique et des usages. Le dispositif s'avérant fécond, un second appel à labellisation est lancé qui fait émerger trois nouveaux Boosters :

- **CENTAuRA** est porté par le pôle de compétitivité Imaginove qui a transféré cette responsabilité à Minalogic en 2019, basé en Région Auvergne-Rhône-Alpes. Ses thématiques portent sur la transmission de connaissance et la vulgarisation (contenus numériques, data visualisation), le numérique et l'aménagement du territoire ;
- **Morpho** est porté par Guyane Développement Innovation (par dérogation car il n'existe pas de pôle de compétitivité sur ce territoire). Ses principales thématiques sont la valorisation des ressources naturelles et les télé-applications dans des domaines comme l'agriculture et la santé ;
- **Rhinespace** est porté par le pôle véhicule du futur localisé en région Grand Est. Ses thématiques sont les mobilités innovantes, l'eau, l'énergie et les infrastructures.

Depuis leur création, les Boosters ont proposé 84 projets dont 56 ont été sélectionnés et financés par différents dispositifs d'aide à l'innovation nationaux et européens (Programmes d'investissement d'Avenir, Challenges Numériques, Fonds Unique Interministériel, Agence Nationale de la Recherche, Fonds Européen de Développement Régional, Copernicus Incubation Programme, etc...).



Début 2019, la France dispose de 7 écosystèmes régionaux coordonnés au plan national par le COSPACE.

## L'UTILISATION DE L'ESPACE METTRE L'ESPACE AU SERVICE D'UNE SOCIÉTÉ INNOVANTE

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

Ainsi, avec les Boosters, le COSPACE a mis en place un processus qui permet de construire une offre de services et de dynamiser le secteur aval français. Mais qu'en est-il de la demande ? A l'exception notable des applications pour le secteur de la défense et de la météorologie, très structurés, la majorité des satellites servent différentes thématiques et donc des marchés avec des utilisateurs très divers, dispersés géographiquement. Cela rend difficile, voire périlleux, l'investissement privé dans un système spatial d'observation de la terre : en effet, il faut pouvoir bâtir un plan d'affaires avec la garantie d'atteindre tous les clients avec des réseaux de distribution adéquats. Plusieurs pistes sont donc étudiées par le groupe de travail :

- Des achats groupés à l'instar de l'Equipex Geosud (2011-19) qui vise à renforcer en France l'utilisation de l'imagerie satellitaire. Il permet d'assurer l'acquisition et la mise à disposition gratuite de couvertures annuelles du territoire national métropolitain ainsi que d'images à très haute résolution acquises sur demande dans le monde entier, ces images étant disponibles en licence « tous acteurs publics ». Le site Geosud peut être consulté sur Internet à l'adresse suivante : <http://ids.equipex-geosud.fr/> ;
- L'utilisation de centrales d'achat du secteur public telles que l'UGAP. Adresse Internet : <https://www.ugap.fr/> ;
- La labellisation par la puissance publique de certains services. Ainsi, des services d'agriculture de précision permettant un accroissement de la récolte en quantité et en qualité tout en minimisant les apports en intrant pourraient faire l'objet d'une labellisation qui conduirait à une réduction des contrôles sur les exploitations qui les emploient ;
- Le support au service public pour l'évaluation des directives cadres notamment sur les milieux marins, la qualité de l'air, ... avec la possibilité d'avoir des références pour l'export ;
- L'exploration de l'utilisation du numérique pour adresser des besoins innovants.

À ce stade, la structuration de la demande et l'exploration de l'apport du numérique restent des chantiers ouverts au sein du groupe de travail applications.

Enfin, en interface avec un autre groupe de travail du COSPACE, le groupe de travail « R&T, feuilles de route », des dossiers ont été préparés sur plusieurs thèmes en consultant l'ensemble des parties prenantes de la recherche aux utilisateurs finaux en passant par les acteurs du spatial et les acteurs économiques. Ces thèmes sont :

- Le dioxyde de carbone, approuvé en 2015 ;
- L'océan, approuvé en 2016 ;
- L'hydrologie, dossier approuvé en 2017 ;
- La surveillance maritime, approuvé en 2018 ;
- Végétation, approbation en cours ;
- Atmosphère, à venir ;
- Services d'urgence, à venir.

Ces dossiers ont permis, pour chaque thème, de préciser les objectifs en croisant les questions de recherche, les besoins utilisateurs et les capacités industrielles, d'identifier les services prioritaires, les technologies à développer et de produire un état de l'art. Le dossier CO2 a ainsi permis de confirmer le caractère prioritaire du satellite Microcarb dont le lancement doit intervenir en 2021.

Ces dossiers thématiques ont aussi permis à toute la filière spatiale de promouvoir les mêmes positions, de façon argumentée, au sein des différentes instances européennes.

Fondé sur une « coalition de bonnes volontés », le groupe de travail applications du Cospace a obtenu des résultats conséquents avec la constitution de 7 boosters, la création d'entreprises, l'émergence de nouveaux services et la production de nombreux dossiers thématiques qui ont consolidé la position de la France dans le secteur spatial. Ce groupe est en outre un forum productif d'échanges d'information et de rencontres.

En guise de conclusion, Si vous appartenez à une entreprise ou vous avez un projet qui nécessite l'utilisation de données spatiales ou le recours à des télécommunications par satellite, n'hésitez pas à vous rapprocher des personnes référentes pour chaque Booster en région (citées plus haut) afin d'être orientés et guidés vers les bons partenaires et les dispositifs d'aide adaptés.

*\* Nous remercions les participants du groupe de travail Applications du Cospace et tous les collègues de la filière spatiale qui ont donné de leur temps et de leur énergie en contribuant à cet effort collectif depuis la création du groupe de travail Applications du COSPACE.* ■

# NEWSPACE : THE FRENCH TOUCH

par Patrick Mauté, Chief Technical Officer Thales Alenia Space

## 1. INTRODUCTION

Le monde du spatial traverse actuellement une mutation profonde, à laquelle il est devenu commun de faire référence sous le terme de « NewSpace », qui trouve son origine aux USA. Le principal moteur de cette mutation est l'avènement du « Big Data » et des technologies associées, dont l'Intelligence Artificielle; ce phénomène du « Big Data » génère d'une part un besoin croissant de télécommunications et d'autre part un appétit pour toujours plus d'informations, qu'il faut renouveler avec une fréquence sans cesse accrue. Sous cette impulsion, les Utilisateurs du spatial et les Opérateurs, qui étaient traditionnellement réticents vis-à-vis de l'introduction de nouvelles technologies dans leurs projets, tant que celles-ci n'avaient pas été entièrement validées et qualifiées en orbite, sont désormais demandeurs de toujours plus d'innovation; l'industrie doit répondre à cette attente par une intensification de son effort de R&D et une accélération du changement au sein de ses lignes de produits. Les principales caractéristiques de ce changement sont : l'ubiquité et la permanence des services (Anywhere, Anytime...) que ce soit dans le domaine de l'Observation de la Terre ou des Télécommunications, et le besoin de pouvoir reprogrammer la mission des satellites en orbite pour s'adapter au cours de leur durée de vie à un marché en mutation accélérée. Ces évolutions sont rendues possibles par le recours à des technologies miniaturisées, et à des composants COTS<sup>1</sup> qui permettent à la fois le lancement de constellations de nano- ou micro-satellites à des coûts réduits et l'utilisation de processeurs embarqués performants. Dans ce contexte, les principaux défis posés à l'industrie du satellite concernent l'observation permanente et globale, l'Ultra-Haut débit et la résolution de la fracture numérique, l'Internet des Objets, et l'insertion des satellites dans la 5G.

## 2. LE NEWSPACE AUX ÉTATS-UNIS

Le NewSpace a trouvé un terrain extrêmement favorable aux États-Unis grâce à l'injection massive de capitaux publics et privés dans l'écosystème spatial, et à un changement de paradigme au niveau des investisseurs, ceux-ci s'intéressant désormais davantage à l'innovation elle-même qu'au Business Plan présenté pour justifier à long terme cette innovation !

Ce mix d'investissements publics et privés, encouragés par le gouvernement qui souhaite soutenir un secteur identifié comme stratégique, provient tant des secteurs de la Défense que du civil, et comprend aussi bien des soutiens à la R&D menée en phase amont que des contrats

d'ancrage pour favoriser le passage à la phase aval. On y retrouve des acteurs aussi divers que la DARPA, des Capital Ventures, des GAFA et des majors de l'industrie de l'information ou de l'automobile... Cette approche s'est révélée être particulièrement efficace pour faire éclore un grand nombre de nouvelles initiatives dans le secteur du spatial. Il en résulte un foisonnement de nouvelles technologies et de nouveaux projets, souvent basés sur des constellations de petits satellites lancées en mode plus ou moins expérimental, faisant appel aux techniques du Big Data, de l'Intelligence Artificielle et de la Cyber sécurité pour optimiser le rendement de la mission et/ou en extraire toute l'information possible.

Un rapport récent de la Commission Européenne<sup>2</sup> relève que l'Europe a certes fait beaucoup durant la dernière décennie pour soutenir l'innovation dans le secteur spatial, et a obtenu des succès de premier plan dans les domaines de la météo par satellite, de la surveillance de l'environnement ou de la navigation, mais que l'investissement privé reste souvent en retrait, comparé aux États-Unis, tant que les projets ne sont pas soutenus par le secteur public via un investissement en phase amont et un contrat d'ancrage en phase aval.

Ce rapport préconise donc de renforcer l'écosystème des mécanismes de soutien public, avec un effort particulier dans le domaine de la Défense et des utilisations duales. Il recommande également de rapprocher du secteur spatial la communauté des investisseurs financiers, en aidant cette communauté à mieux comprendre les particularités du secteur spatial et les opportunités qu'il recèle.

## 3. LE NEWSPACE EN FRANCE

Le secteur spatial français a lui aussi amorcé le virage du NewSpace, même si, ne bénéficiant pas d'un écosystème d'investissement aussi riche qu'aux États-Unis, il a dû adopter sa propre feuille de route spécifique. Le nombre d'opportunités est plus réduit, l'approche retenue ne repose pas systématiquement sur des initiatives bottom-up en mode rapide de type « try, launch, fail, learn from failure and re-try », mais repose plutôt sur une optimisation approfondie des solutions en phase amont. Même si les technologies retenues sont les mêmes, les processus de décision sont parfois plus longs, mais l'efficacité est au rendez-vous et les taux de succès sont plus importants : il n'est pas nécessaire de lancer un nano-satellite pour prédire ses performances et sa durée de vie, il est souvent plus efficace et plus économique de consacrer un peu plus de temps en phase amont aux analyses techniques et à la

<sup>1</sup> COTS: Commercial Off The Shelf

<sup>2</sup> The Future of the European space sector, report of the European Commission

## L'UTILISATION DE L'ESPACE NEWSPACE : THE FRENCH TOUCH

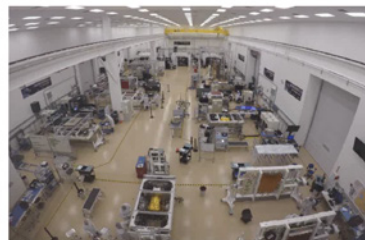
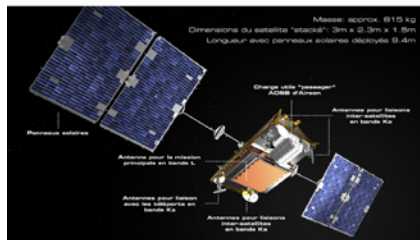
qualification des composants.

Dans le domaine des constellations de télécommunications, en particulier, cette approche a permis à Thales Alenia Space d'occuper une position de leader mondial, avec Globalstar-2 et O3B, récemment renforcée par le déploiement en un temps record de la constellation Iridium Next. Forte de ses 81 satellites, cette constellation fournit d'ores et déjà un service global de communications avec les téléphones mobiles, indépendant de tout réseau terrestre, et de connectivité large bande pour les secteurs de l'aviation, du maritime, et du terrestre.

Ce succès a été rendu possible grâce à une approche originale de design-to-cost disruptif au niveau du système global, à la mise en œuvre et à la qualification de composants COTS, et de techniques d'ingénierie / d'intégration innovantes. Cette approche a permis d'atteindre le coût cible défini par le client en réalisant le meilleur compromis entre le nombre de satellites et leur performance individuelle, tout en garantissant une durée de vie de 10 ans telle que définie dans le Business Plan. Elle a également permis d'insérer très rapidement les nouveaux satellites dans la constellation, sans aucune discontinuité de service.

Dans le secteur des SATCOMS GEO, grâce au soutien de la DGA et du CNES et à une politique de R&D extrêmement dynamique dans le domaine des processeurs embarqués et des services bande large (VHTS), Thales Alenia Space se positionne en leader des satellites flexibles, avec le satellite ultra-capacitif KONNECT VHTS pour Eutelsat, qui permettra de résoudre la fracture numérique en Europe, et avec l'offre FLEXSAT qui révolutionnera l'usage des satellites de Télécommunications en permettant de reconfigurer la mission tout au long de sa durée de vie pour s'adapter aux évolutions du marché. Pour garantir cette flexibilité, tout en minimisant la masse et la consommation, les processeurs embarqués s'appuient sur les dernières technologies comme la 28nm FDSOI de ST Microelectronics.

Enfin, dans le domaine de l'internet des objets, Thales Alenia Space a été retenu par CLS pour développer le projet KINEIS, à base de nano-satellites, permettant de développer une constellation qui fournira une couverture mondiale et permanente à la mission ARGOS4NG, évitant toute dépendance par rapport à d'autres missions, et ouvrira la voie à une mission globale d'Internet des Objets.

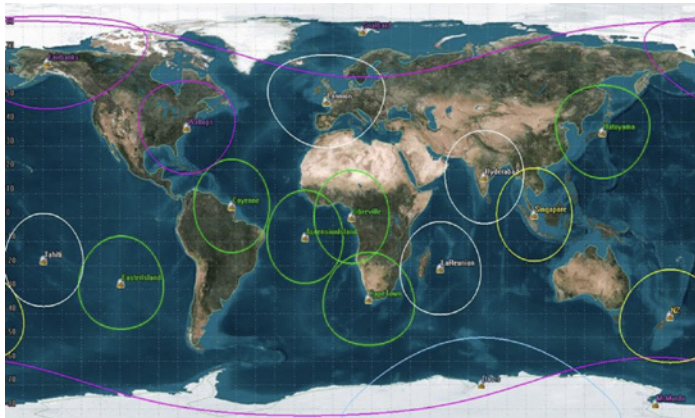


IRIDIUM Next

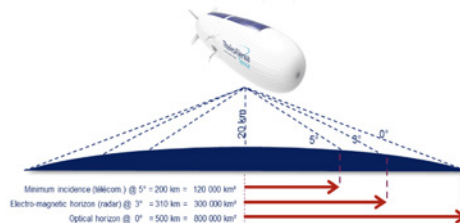
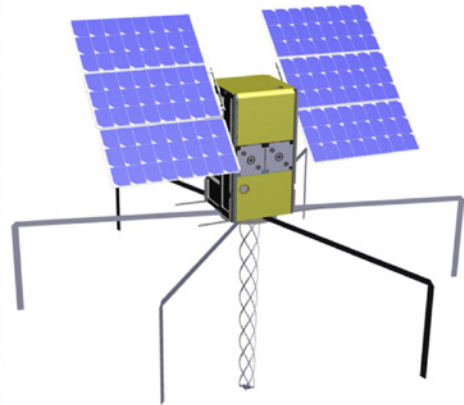


Satellite VHTS en base compacte





KINEIS / ARGOS4NG



STRATOBUS

En ce qui concerne les systèmes de la génération future, Thales Alenia Space prépare d'ores et déjà le passage à la 5G et l'insertion des satellites dans les systèmes de demain, en tant que leader de ce thème au sein du groupe de travail 3GPP..

Dans le domaine de l'Observation également, les mutations du NewSpace sont en marche: Thales Alenia Space, capitalisant sur la R&D initiée depuis plusieurs années et s'appuyant sur un tissu de PME extrêmement dynamiques, prépare la ligne de produit EOS-20, qui permettra de réunir dans un système d'information unique l'Observation à Haute Résolution et la collecte d'informations à Haute Revisite, permettant aux Utilisateurs de concilier précision et fréquence des informations recueillies.

De façon à compléter les constellations futures d'Observation, et à permettre d'observer de façon permanente les sites les plus sensibles, Thales Alenia Space, soutenu par la BPI et le CGI, développe le ballon stratosphérique STRATOBUS. Placé à 20 km d'altitude en vol stationnaire, il permettra de concevoir des systèmes d'observation hybrides, combinant les avantages des satellites, c'est à

dire un accès mondial global, et ceux des HAPS<sup>3</sup>, c'est-à-dire une surveillance permanente à l'échelle régionale.

Toutes ces initiatives bénéficient d'un écosystème en plein essor grâce à la DGA, à l'Agence de l'Innovation de Défense, au CNES, à la BPI et au CGI.

Elles s'appuient également sur le développement des technologies numériques engagé au niveau mondial par Thales dans les domaines du Big Data, de l'Intelligence Artificielle, de la Connectivité et de la Cyber Sécurité, qui permettent d'optimiser les performances de ces missions et leur Retour sur Investissement.

Le NewSpace français se place donc au meilleur niveau, et la qualité des projets compense un nombre plus réduit d'initiatives.

Il ne fait aucun doute qu'une intensification des Partenariats Public Privé et le développement d'une politique ambitieuse de contrats d'ancrage permettra à l'industrie française et européenne de rivaliser avec les États-Unis.

*The Old Space is dead...vive l'Espace Nouveau !* ■

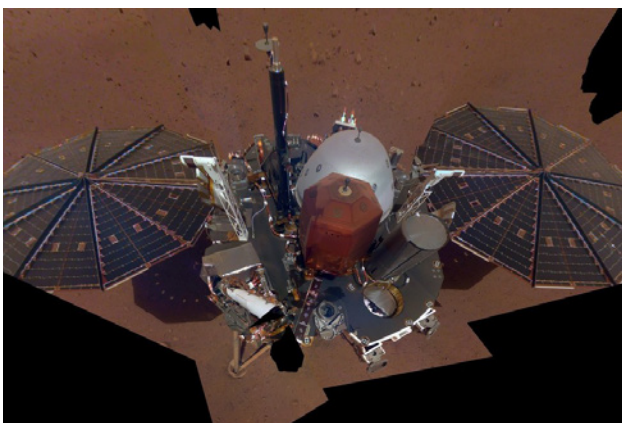
<sup>3</sup> HAPS: High Altitude Pseudo Satellite

# DE MARS AU NEWSPACE : LES ÉQUIPEMENTIERS, UN ATOUT DU SPATIAL FRANÇAIS



par Franck Poirrier, Président-Directeur Général de la société SODERN

Le 26 novembre 2018, à l'issue de près de sept minutes de tension, l'atterrisseur InSight s'est posé sur Mars. À son bord : l'instrument principal de la mission, le sismomètre du CNES baptisé SEIS, dont Sodern a conçu le cœur.



Le rover InSight a publié son premier selfie sur Mars le 11 décembre. Crédit : Nasa.

En décembre 2018, le lancement réussi du premier satellite de la Composante Spatiale Optique (CSO), qui en comptera trois à terme, a renforcé les capacités opérationnelles françaises en matière d'imagerie optique et conforté notre statut de puissance spatiale de premier rang. Le cœur de détection des trois satellites CSO a été développé et produit par Sodern, acteur historique de l'observation de la Terre sur le marché institutionnel national.

Ces deux succès résument la nature de l'industrie spatiale française : profondément duale, elle se caractérise par sa compétitivité et ses performances à l'export, par son excellence technique, et par son engagement au service de l'État, dans un contexte où l'espace s'affirme de plus en plus comme un enjeu de souveraineté de premier plan.

Ces caractéristiques permettent à l'industrie spatiale d'être présente sur des missions étrangères à fort retentissement comme InSight, et plus généralement de figurer presque systématiquement en « shortlist » dans les appels d'offres mondiaux, assurant ainsi sa capacité à investir dans le long terme, et donc à créer de l'emploi et à remplir sa mission régaliennne à moindre frais pour l'État.

Si ce constat s'applique à l'ensemble de l'industrie, il convient néanmoins de distinguer les spécificités des systémiers et des équipementiers. Comme en témoigne la volonté américaine de retour vers la Lune, le spatial s'affirme de plus en plus comme un outil de prestige et

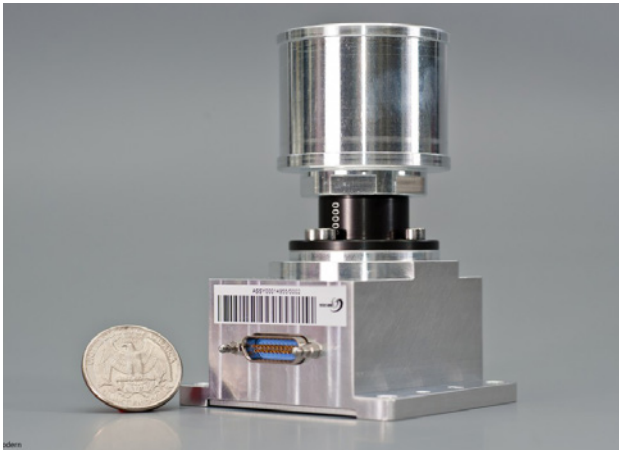
d'influence ou, pour reprendre un terme anglo-saxon, de « soft power ». Les systémiers sont le fer de lance de la France dans ce contexte, et chaque maîtrise d'œuvre française sur une grande mission spatiale offre crédibilité et visibilité à l'ensemble de l'industrie. Les équipementiers, pour leur part, jouissent d'une visibilité moindre, mais accèdent à des marchés qui restent fermés aux systémiers, notamment les marchés institutionnels étrangers. Ainsi, près d'un tiers des satellites mondiaux de plus de 150 kg (c'est-à-dire l'ensemble des plateformes à l'exclusion des nano-satellites) embarquent au moins un équipement Sodern...

Cette capacité, propre aux équipementiers, à pénétrer des marchés fermés aux maîtres d'œuvres représente un atout pour la France et pour la compétitivité de l'ensemble de la filière. En effet, outre son intérêt évident en termes d'exportation et de création d'emplois, ce positionnement des équipementiers leur permet d'être intrinsèquement compétitifs en diluant leurs coûts fixes entre l'ensemble de leurs clients mondiaux, et de bénéficier d'un chiffre d'affaires suffisant pour investir en autofinancement et rester en pointe sur le plan technologique. Les systémiers français peuvent ainsi s'appuyer sur cette base équipementière compétitive et concentrer leurs efforts d'optimisation sur leur cœur de métier, assurant ainsi leur performance à long terme. L'alternative, consistant à développer eux-mêmes leurs propres équipements pour les installer sur leurs plateformes, semble en effet moins pertinente. Les systémiers verticalisés pourraient bien sûr décider de vendre leurs équipements à leurs concurrents, mais se retrouveraient alors dans la délicate position d'être à la fois fournisseur et compétiteur. Par nature, ces équipements seront produits en séries plus limitées, et ne bénéficieront donc pas des économies d'échelles garanties par un accès plus large au marché mondial.

Un éventuel essor du NewSpace n'altérerait pas la pertinence de ce constat : si des réussites européennes majeures sur le plan des systèmes sont à signaler, comme la création d'Airbus OneWeb Satellites et les projets portés par Airbus Defence and Space et Thales Alenia Space en général, il n'en demeure pas moins vrai que les principaux projets conserveront a minima une maîtrise d'ouvrage, voire parfois une maîtrise d'œuvre, américaines. Aussi, le marché des équipements (comme d'ailleurs celui des lancements) représente une autre opportunité pour l'Europe de s'insérer sur le segment NewSpace, y compris pour des projets développés outre Atlantique.

## DE MARS AU NEWSPACE : LES ÉQUIPEMENTIERS, UN ATOUT DU SPATIAL FRANÇAIS

Le viseur d'étoiles de Sodern, baptisé Auriga, constitue un exemple d'équipement développé pour le marché *NewSpace*. Ce produit de rupture pèse 200g contre près de 2 kg pour les modèles traditionnels, fait la taille d'une canette de soda contre celle d'un magnum de champagne, avec une réduction de coût de plusieurs facteurs dix. Sodern est en capacité d'en produire une unité par heure, contre une par semaine pour les viseurs d'étoiles traditionnels.



*Auriga, viseur d'étoiles pour petits satellites.*

*Crédit : Sodern.*

Pour réaliser ce tour de force, Sodern a constitué une start-up interne en 2015, composée de spécialistes de la visée stellaire dont la crédibilité a permis de discuter avec le client en co-engineering. Être un leader historique du spatial fut un atout essentiel pour bénéficier de la confiance du client, et ainsi lui proposer des ajustements en termes de spécifications afin d'atteindre sa cible de coût tout en répondant à son juste besoin. Sodern s'est concentrée sur les éléments sur lesquels elle avait le plus de valeur ajoutée, c'est-à-dire le design, l'intégration, les essais et la qualification. Pour la fabrication des pièces, l'option la plus rationnelle était de s'appuyer sur des entreprises spécialisées, et surtout de s'insérer dans des chaînes de fabrication existantes.

Enfin, Sodern a reçu, à la demande du CNES, l'aide indispensable de la Banque Publique d'Investissement, qui a exceptionnellement raccourci son délai d'intervention pour accompagner ce projet.

Dans la lignée d'Auriga, Sodern travaille d'ores et déjà au développement de nouveaux équipements *NewSpace*, dont des sous-ensembles pour terminaux de liens laser. La plupart des projets mondiaux de constellations de satellites prévoient en effet de s'équiper de cette technologie, susceptible d'augmenter considérablement le débit des échanges inter-satellites voire bord-sol, et permettant de s'affranchir des contraintes de régulation liées aux radio-fréquences.

Outre son intérêt propre, le *NewSpace* représente une opportunité pour renforcer les positions de l'industrie sur les autres segments de marché : la déclinaison des leçons apprises grâce au *NewSpace* sur les lignes de produits traditionnelles contribue à améliorer la compétitivité de ces dernières.

L'impact du contrat OneWeb en termes d'image a été exceptionnel, et a totalement modifié la perception que les grands systémiers mondiaux avaient de Sodern. Fort de cet atout, nous avons pu convaincre de nouveaux clients et renforcer notre partenariat avec nos clients existants.

En conséquence, Sodern a pour objectif de doubler sa production de viseurs d'étoiles traditionnels d'ici 2020 pour honorer son carnet de commandes. Si le *NewSpace* représente une opportunité en soi pour la France, et notamment ses équipementiers, il constitue également un moyen de renforcer nos positions sur les marchés traditionnels, d'une part en tirant profit des leçons apprises dans le cadre des projets de petits satellites, d'autre part en limitant l'apparition de concurrents « par le bas ».

La France et l'Europe peuvent compter sur plusieurs équipementiers spatiaux de haut niveau, dont des leaders dans leur domaine comme Zodiac Data Systems, Sofradir, Air Liquide, Pyroalliance, Sodern...

Ceux-ci constituent un atout pour notre industrie et pour le secteur spatial en général, en ce qu'ils peuvent s'implanter sur des marchés inaccessibles aux maîtres d'œuvre nationaux tout en faisant bénéficier ces derniers de leurs produits, compétitifs grâce aux économies d'échelle réalisées. Ils sont également bien armés pour s'implanter sur le marché *NewSpace*, y compris outre-Atlantique, et ce faisant pour renforcer leur compétitivité, y compris sur les marchés traditionnels.

Néanmoins, à la veille de la Conférence ministérielle de l'ESA, il convient de rappeler que pour réussir ce pari et tirer pleinement profit de ce tissu d'équipementiers de premier rang, le soutien de l'État et une politique industrielle adaptée demeurent indispensables. La clé d'une politique industrielle efficace réside dans son adéquation au tempo du marché. Dans un secteur où les cycles de développement sont fortement accélérés sous l'effet du *NewSpace*, la France doit réinventer sa politique industrielle et ses dispositifs de soutien pour préserver le pacte dual gagnant-gagnant qui est au cœur du succès du spatial français depuis son origine, au bénéfice de l'Etat comme de l'industrie. ■

# L'ESPACE AUTREMENT

## RÔLE DES MICRO-SATELLITES

### DANS LA SURVEILLANCE MARITIME

par Amélie Proust-Albrand, CLS

#### SURVEILLANCE DU DOMAINE MARITIME - L'ESPACE INDISPENSABLE

Pollution par hydrocarbures, oxyde d'azote ou de soufre, trafic illicites (clandestins, drogue, bois précieux), terrorisme, piraterie ou encore brigandage, les actes illégaux sur nos mers et nos océans sont quotidiens. Quel rôle le spatial peut-il jouer pour sécuriser notre domaine maritime ? Depuis les années 2000, CLS, filiale du CNES, opérateur satellitaire et fournisseur de services, accompagne les autorités internationales (douanes, garde-côtes, marines nationales, agences pluri-étatiques de sécurité maritime) dans leurs missions de sécurité, de sûreté et de lutte contre les pollutions. La lettre de l'A3F vous propose de revenir sur l'usage du spatial dans ce domaine.

#### SURVEILLANCE DU TRAFIC MARITIME MONDIAL

Transport de marchandise, exploitation pétrolière et gazière, activités de pêche, de plaisance, les activités en mer sont multiples. Pour avoir une vision juste et précise des activités maritimes, CLS suit, depuis l'espace, l'ensemble du trafic maritime mondial pour le compte des plus grandes agences de sécurité maritime. Depuis plus de 10 ans, CLS suit les 10 000 bateaux battant pavillon européen. SSAS, SAT-AIS, LRIT, VMS tous ces systèmes de suivi par satellites sont maîtrisés et utilisés par CLS. Cette étape est la base de la surveillance du domaine maritime. En effet, collecter les données transmises de façons collaboratives par l'ensemble des acteurs permettra par la suite via d'autres systèmes satellitaires (Radar, Optique, Drones connectés, etc.) de détecter les activités illicites.

#### LUTTE CONTRE LES POLLUTIONS - CAS DU GRANDE AMERICA

Le 12 mars dernier, le navire Grande America sombrait dans le Golfe de Gascogne. Les données fournies par l'armateur recensent 365 conteneurs, dont 45 répertoriés comme contenant des matières dangereuses et un peu plus de 2000 véhicules. En dehors de cette cargaison, les soutes du navire contiennent environ 2200 tonnes de fuel lourd, qui servaient de combustible de navigation au navire. Comment surveiller l'étendue de la situation ? Grâce à ses stations VIGISAT, (l'une d'entre elles ayant été la première station civile française de réception d'images satellites radar haute résolution), les opérateurs de CLS ont les infrastructures, les compétences et la connaissance nécessaires au suivi de l'incident. Six satellites sont

utilisés par les experts de CLS pour surveiller la zone contaminée pour le compte de l'agence européenne de sécurité maritime.



Le 12 mars dernier le navire Grande America sombrait, CLS a surveillé la zone polluée pour le compte de l'Agence Européenne de Sécurité Maritime depuis l'espace.

#### UNE POLLUTION MALHEUREUSEMENT QUOTIDIENNE SUR LES EAUX EUROPÉENNES.

Nadia Maaref, directrice en charge des applications de sécurité maritime à CLS : « Le naufrage du Grande America est un événement médiatisé car son origine a mis en péril la vie de l'équipage. On craignait par ailleurs que certains navires saisissent l'occasion pour polluer à leur tour dans la zone comme on avait pu le voir sur des événements similaires par le passé ... mais nos équipes se sont mises à pied d'œuvre et ont fourni des rapports de pollution quotidiens à l'Agence Européenne de Sécurité Maritime, informations qui ont ensuite été complétées par les observations aériennes ou in situ en dehors de la zone de naufrage. » Cette surveillance et son annonce semble sur ce cas avoir eu un effet dissuasif.



Nadia Maaref, directrice en charge des applications de sécurité maritime à CLS : « Les systèmes spatiaux sont des dispositifs clé dans la lutte contre les pollutions maritimes ».

### LUTTE CONTRE LES POLLUTIONS : L'ESPACE GAGE DE SUCCÈS AVEC UN NOMBRE DE POLLUTIONS REDUIT DE MOITIÉ EN 10 ANS

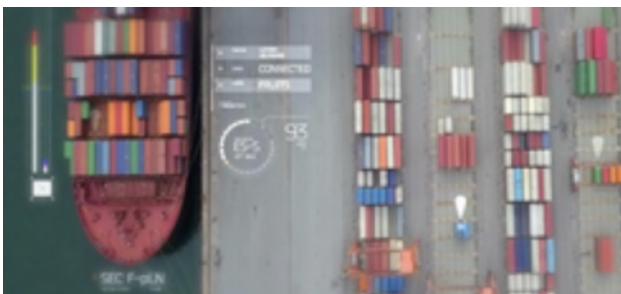
Vincent Kerbaol, Responsable du site de CLS Brest et du pôle Innovation et Solutions pour les applications de Surveillance Maritime : « Mandatée par l'agence européenne de sécurité maritime, CLS détecte pollution et pollueurs depuis plus de 10 ans. Nous détectons les pollutions maritimes accidentelles ou intentionnelle de jour comme de nuit quelle que soit la couverture nuageuse. CLS et la station VIGISAT œuvre depuis ses débuts pour le service européen CLEANSEANET. Ce service de surveillance maritime a permis, en 10 ans, de diviser par 2 le nombre de pollutions, donnant ainsi la preuve que l'effet dissuasif marche. »



Vincent Kerbaol, Responsable du site de CLS Brest et du pôle Innovation et Solutions pour les applications de Surveillance Maritime : « Les équipes de CLS ont détecté près de 6500 pollutions par satellite les 10 dernières années ».

### KINEIS DES NANOSATELLITES À LA RESCOURSE : DES CONTENEURS QUI AURAIENT PU NOUS EN DIRE PLUS

365 conteneurs étaient à bord du Grande America, dont 45 répertoriés comme contenant des matières dangereuses. À l'échelle mondiale, la plupart des marchandises sont transportées par conteneurs. Ce trafic est en constante augmentation. Pour autant il est toujours compliqué de connaître la position de ces marchandises tout au long du transport.



+ de 500 millions de conteneurs sont manutentionnés sur les ports chaque année.

Kinéis, filiale de CLS, nouvel acteur majeur du NewSpace français lancera la première constellation européenne de nanosatellites en 2022 et rendra ce suivi enfin possible !

Alexandre Tisserant, Directeur Général de Kinéis. « Kinéis connectera les conteneurs d'un bout à l'autre de leur expédition. Notre constellation permettra aux spécialistes du fret : de savoir en permanence où se trouvent les conteneurs équipés, d'optimiser la gestion des parcs et la rotation des conteneurs, de garantir les délais de livraisons mais aussi d'assurer la sécurité, l'intégrité et la qualité des transports. Des données économiques pour l'industrie du transport mais des données facilement accessibles et utiles comme dans le cas du Grande America pour accéder rapidement au contenu des conteneurs et mesurer la dangerosité de leur perte. » Nous rappelons que + de 500 millions de conteneurs sont manutentionnés sur les ports chaque année et qu'en moyenne un navire fait naufrage tous les 3 jours !



Alexandre Tisserant, Directeur Général de Kinéis «la constellation Kinéis, 25 nanosatellites opérationnels en 2022, représente un atout pour la surveillance du domaine maritime. Déjà 7 satellites ARGOS sont accessibles via notre space priority program».

### DRONES CONNECTÉS PAR SATELLITES

Depuis 2017, CLS opère également des drones pour le compte de l'Agence Européenne de Sécurité Maritime. Ces drones, d'une envergure de 6 mètres sont dotés d'une autonomie comprise entre huit et dix heures, connectés par satellites, ils sont un très bon complément de ces derniers pour lutter contre les trafics illicites, la pêche illégale ou l'immigration clandestine par voie maritime. Rien qu'en 2018 et sur les eaux européennes, CLS a mené pour l'EMSA plus de 86 missions drones, soit 468 h de vol, 47615 km parcourus. Plus de 150 bateaux (commerce et pêche) ont fait l'objet d'investigation. CLS a également développé un data center adapté à cet outil de surveillance qui permet aux autorités d'avoir une vue temps réel des activités en mer. Vidéo live, chat en lien avec les autorités, demande en temps réel pour adapter les missions de surveillance, le système drone est très agile et d'une efficacité redoutable. ■



# FEDERATION OPEN SPACE MAKERS : OUVRIR LE MONDE DE L'INFRASTRUCTURE SPATIALE AU PLUS GRAND NOMBRE

par Damien Hartman, président d'Open Space Makers

*A l'ère de la révolution digitale, la vitesse sans cesse croissante des progrès technologiques oblige à mettre en place des méthodes nouvelles pour innover. Innovation, tel est à l'heure actuelle le mot clé du management d'entreprise !*

*Dans le domaine spatial, le CNES a mis en place voici deux ans l'initiative FÉDÉRATION Open Space Makers. De quoi s'agit-il ? D'un processus faisant le pari de l'intelligence collective en utilisant le web pour faire communiquer entre elles deux populations : d'une part une structure verticale, composée des professionnels – agences, industrie, organismes de recherche, universités – et d'autre part des groupes transverses horizontaux – les non-professionnels passionnés par le spatial – appelés à proposer des idées novatrices dans une démarche libre Bottom Up. On peut parler d'une forme de Wikinomie dans l'espace, pour reprendre l'expression du professeur Jacques Blamont, l'inspirateur de l'initiative Fédération.*

*Damien Hartman, président d'Open Space Makers, expose dans le présent article l'état d'avancement du projet.*

## FEDERATION : UNE DÉMARCHE DE CRÉATION DE PROPOSITIONS DE PROJETS INNOVANTS FONDÉE SUR QUATRE PILIERS

L'initiative Federation lancée par le CNES a pour but d'ouvrir le monde de l'infrastructure spatiale au plus grand nombre, en permettant à chaque citoyen de participer activement à la conception et à la fabrication de matériel spatial, en open source, dans le cadre des tiers-lieux.

Federation est portée par l'association de loi 1901 Open Space Makers, composée de membres bénévoles issus de la société civile. L'association agit principalement au travers de quatre vecteurs :

- une **charte Federation** qui donne le cadre juridique au développement de matériel spatial open source et fixe les valeurs fondamentales de l'initiative ;
- une **plateforme en ligne** qui permet à la fois de communiquer sur les projets, de mettre à disposition des outils de gestion de projet et de documenter les travaux réalisés ;
- des **actions de création de réseaux et de communications** pour mettre en relation les makers passionnés et les tiers-lieux de fabrication collaborative, autour de projets spatiaux ;
- le **support direct aux projets**, qu'il soit matériel, en compétences ou financier.

Aujourd'hui, plus d'une vingtaine d'étapes de villes et lieux de production collaborative ont accueilli une présentation de Federation, et l'association compte plus de 100 membres.

## QUELQUES EXEMPLES DE PROJETS VISIBLES SUR LA PLATEFORME

Depuis sa mise en ligne fin septembre 2018, plus d'une douzaine de projets ont été lancés sur la plateforme Federation. Ils touchent à des domaines très différents des techniques spatiales, les exemples qui suivent permettent d'en apprécier l'étendue.

### **NELS Normalized European Launch System**

Basée au sein de l'ENSAM de Châlons-en-Champagne, l'équipe qui propose ce projet est convaincue qu'il serait bénéfique pour accélérer les avancées technologiques et environnementales que chacun puisse envoyer un projet dans l'espace. Elle propose de rajouter une brique technologique à l'édifice spatial afin que des entreprises, des universités, ou même des lycées puissent envoyer leur expérience dans l'espace plus simplement et à moindre coût. Pour atteindre cet objectif, ce projet consiste à concevoir un système standardisé de déploiement de CubeSat.

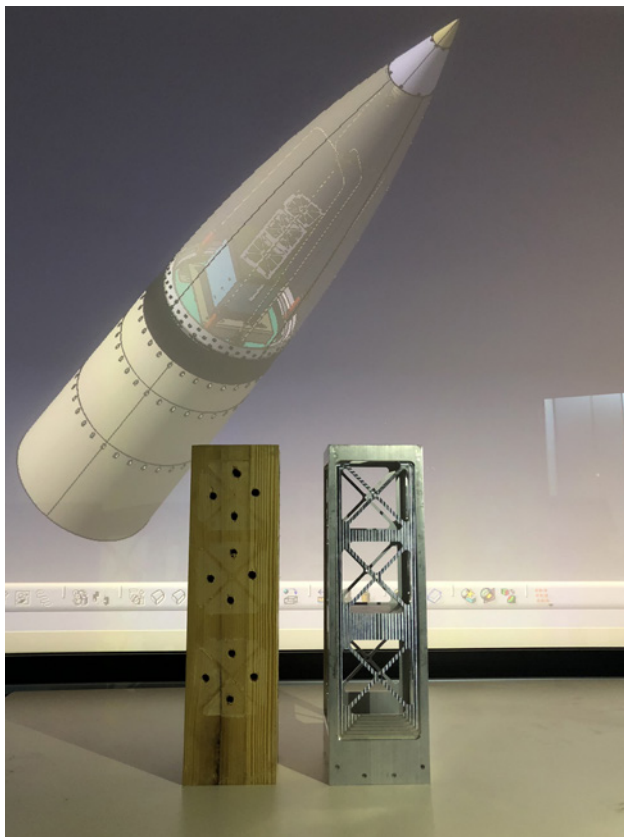
### **Mode de réalisation**

Le système NELS (Normalized European Launcher System) vise à être un système de lancement simple, léger, et peu coûteux (moins de 5.000,00 € contre plus de 50.000,00 € actuellement).

Il faut pour cela tester et valider les différents blocs technologiques du système de déploiement. Il s'appuie sur un choix de composants courants et peu chers.

De plus l'équipe choisit les options les moins chères, mais tout aussi efficaces et adaptables afin que le budget alloué passe principalement dans les expériences et non pas dans l'achat de matériels trop onéreux.

## L'UTILISATION DE L'ESPACE FEDERATION OPEN SPACE MAKERS : OUVRIR LE MONDE DE L'INFRASTRUCTURE SPATIALE AU PLUS GRAND NOMBRE



Prototype du système de largage de cubesats NELS.

### Prototypes du système NELS

#### Perspectives

Ce projet est réalisé dans une optique d'aide communautaire et participative basée sur les licences open source. L'ensemble des documents nécessaires à l'étude, à la fabrication, au partage et à la modification du système seront mis à disposition sous licence open source :

- la liste des composants ;
- les documents de conception ;
- le manuel d'assemblage ;
- Le manuel d'utilisation.

L'équipe compte dès à présent faire profiter un partenaire extérieur du projet. Il est ainsi ouvert à une expérience incluse dans un CubeSat 2 unités (c'est-à-dire 20x10x10 cm<sup>3</sup>) ou bien deux CubeSat 1 unité (c'est-à-dire 10x10x10 cm<sup>3</sup>).

#### Avancement du projet

En 3 ans les équipes ont réalisés plusieurs prototypes de NELS ainsi que des structures de CubeSat de tests. À l'aide du parc-outils de l'école, des maquettes permettant de tester le système ont été réalisées et les pièces correspondantes usinées. Les portes ont également été réalisées

en impression 3D. Le support du système de déploiement a été fabriqué dans le parc-machines de l'école, ce qui a contribué à réduire considérablement les frais de développement et de production des prototypes.

L'étape en cours est l'intégration du système électronique de commande et de mesure dans le CubeSat à l'aide d'un système d'attache simple et ajustable.

L'équipe entreprend aussi de terminer le système de lancement. Pour réaliser des tests d'attache entre le système de lancement et le socle, il faudra fabriquer une plaque «test». Afin de vérifier l'encombrement du système, il est prévu de réaliser la coiffe d'une fusée-cible.

### DRYADE: un chasseur de débris spatiaux

Le projet Dryade a été initialement développé à l'ENSCI (École nationale supérieure de création industrielle). Il a pour but de créer un chasseur de débris spatiaux pouvant aussi servir à de la manutention orbitale sur satellite ou tout autre objet spatial.

Une fois son diplôme obtenu, le porteur du projet a été embauché dans un cabinet d'architecte, ne lui laissant plus le temps de faire avancer le projet seul. Une partie du projet a été reprise par la société *Share My Space*, qui développe un système de démonstrateur de sous-marin de récupération de débris. N'ayant dès lors plus suffisamment de temps pour continuer le projet Dryade, il a décidé d'ouvrir ce dernier sur la plateforme Federation afin de bénéficier d'un grand nombre de contributeurs. Il est hautement souhaitable que ce projet de drone Dryade aboutisse, tant devient urgent le désengorgement de l'espace par les débris dont le nombre ne cesse d'augmenter.

Dryade était un projet déjà assez avancé lorsque son auteur a obtenu son diplôme. Il s'agit d'un drone robot de maintenance. Ce drone est conçu pour pouvoir assurer des missions de maintenance et conçu également pour être en mesure de capter des débris spatiaux puis de les désorbiter avec des petits modules avec pour objectif d'en réunir un maximum lors de chaque mission. La séquence « débris » est la suivante : 1) capter les débris à l'aide de deux longues pinces ; 2) les manipuler avec des pinces plus courtes ; 3) y pratiquer un trou avec une petite perceuse ; 4) les réunir les unes aux autres au moyen d'un câble logé dans l'un des modules ; 5) une fois chaque module rempli, il est largué et mis à feu pour partir vers la Terre ou une autre orbite basse.

Lorsque le robot a utilisé tous ses modules, la séquence « débris » est terminée ; il part alors s'accrocher à un satellite où il finira sa vie en tant que drone de maintenance.

## L'UTILISATION DE L'ESPACE

### FEDERATION OPEN SPACE MAKERS :

## OUVRIRE LE MONDE DE L'INFRASTRUCTURE SPATIALE AU PLUS GRAND NOMBRE

En le miniaturisant au maximum un tel drone, ne pourrait-on pas entrevoir dans le futur un système analogue au plancton des océans ?

### Les grandes lignes du cahier des charges

Pour que ce projet puisse devenir un écosystème, il doit répondre à certaines caractéristiques d'ordre pratique et économique :

- Être être réaliste au présent : ce doit être un drone standard facile à mettre en œuvre, d'où la nécessité de travailler sur un prototype physique, matériel et non simplement sur des « vues d'artiste » ;
- Economique (on parle d'envoi en masse), d'où notamment la démarche open source ;
- Déclinable selon un système de modules facile à assembler pour répondre à n'importe quelle demande ;
- Capable de fonctionner comme une colonie.

### Les prochaines étapes

Compte tenu du temps limité dont disposait l'auteur du projet dans le cadre de son diplôme, plusieurs options techniques furent présentées qui nécessitent aujourd'hui d'être revues et améliorées. C'est le cas notamment du système de communication : au lieu du simple dispositif « raspberry/arduino » via « Teamviewer », un système radio s'impose.

D'une manière générale, il faut maintenant redéfinir l'ensemble du projet pour le rendre compatible avec les normes de l'industrie spatiale.

Beaucoup d'idées novatrices sont contenues dans ce projet « Dryades », aussi est-il hautement souhaitable de conduire dans les meilleurs délais aujourd'hui, ce travail de redéfinition. Une grande partie des schémas de conception ainsi que le programme de démonstration sont déjà disponibles en ligne, ainsi dispose-t-on dès maintenant d'une base solide pour continuer et parfaire le travail de définition/conception.

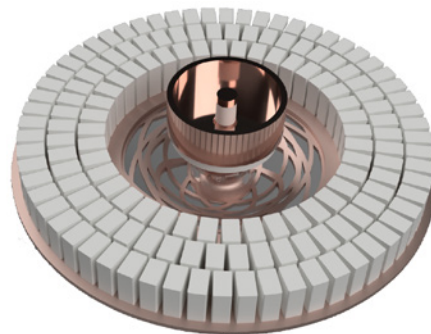
Le prototype initial est présent à l'ENSCI et facilement accessible à distance au travers de Teamviewer. Au travers du forum Federation, plusieurs membres se sont manifestés pour contribuer aux prochaines étapes du développement du projet.

### Propulsion microsatellite par DPF

Des membres de l'association Electrolab, un hackerspace de la région parisienne, sont arrivés presque par accident sur le thème du propulseur par focalisation de plasma dense (Dense Plasma Focalisation, DPF), en partant initialement sur la recherche de moyens permettant de

démocratiser l'accès à l'espace. Or, en pratique, le premier paramètre limitant les opérations spatiales pour les amateurs est le coût : le matériel spatial est cher !

Cela est dû principalement au fait que l'on utilise des matériels développés à l'unité pour des besoins hyperspécialisés. C'est donc l'ensemble du cycle de vie du matériel spatial qui est à revisiter dans le contexte de Federation.



Vue CAO du DPF

Un des leitmotifs du mouvement « hacker » est le détournement d'objets et leur rétro-ingénierie en vue de les rendre adaptables et améliorables. Un grand nombre de produits (capteurs, actionneurs, blocs fonctionnels divers) peuvent être issus de cette démarche, et existent sur étagère (fonctions dites « COTS » - commercial off-the-shelf) sans pour autant être qualifiées pour le vol.

Une approche permettant de faire progresser l'accès à l'espace est donc le développement de moyens d'essais largement duplicables permettant d'évaluer la compatibilité soit de produits « COTS », soit de qualifier des modules conçus et fabriqués par la communauté. Qui dit « qualifier pour le vol spatial » dit aussi « qualifier en résistance aux rayonnements cosmiques », et c'est initialement en tant que source de neutrons que l'équipe s'est intéressée au DPF.

Très vite, l'étude de cette technologie a poussé l'équipe à envisager une toute autre application : la propulsion spatiale.

Ce projet vise donc à concevoir un prototype de moteur pour microsatellite utilisant la technologie du DPF dans le cadre d'un plasma d'argon non radiatif.

### Cas de la fabrication

Sur un DPF basique les pièces à fabriquer ne requièrent qu'une perceuse et un tour (manuel ou numérique) capable d'usiner des pièces de quelques centimètres tout au plus. Ce sont là des moyens que de nombreux particuliers et associations ou autres structures ont à leur disposition.



## L'UTILISATION DE L'ESPACE FEDERATION OPEN SPACE MAKERS : OUVRIR LE MONDE DE L'INFRASTRUCTURE SPATIALE AU PLUS GRAND NOMBRE

Partant de ce besoin de base, suivant les objectifs fixés par les équipes du projet, on peut cependant bien entendu élever ce besoin de manière infinie : rectification pour obtenir des précisions extrêmes et des états de surface très fins ; moyens d'usinage numérique pour des pièces aux formes complexes ; dépôt en couche mince pour diverses sous-parties (par exemple pour constituer un revêtement prévenant l'érosion des électrodes) ; fonderie, dinanderie, etc. L'éventail est vaste, et chaque groupe de travail pourra soit se satisfaire des moyens dont il dispose dans son environnement classique de travail, soit utiliser cette opportunité pour travailler en collaboration avec des lieux (hackerspaces, fablab,...), etc.) disposant «du bon moyen au bon moment.»

Plus de détails sont disponibles dans un document de 26 pages publié sur la page dédiée au projet sur la plateforme.

### **Autres projets sur la plateforme**

Parmi les autres projets lancés jusqu'ici sur la plateforme, on trouve un cubesat visant à tester la technologie EmDrive (quoi que l'on pense de la technologie, la démarche de test est scientifique!), un projet de production de ressources in situ sur Mars, une sonde stratosphérique,

une première brique de catapulte électromagnétique sous la forme d'un hyperloop miniature, et même un lanceur réutilisable de petites charges. Ces projets sont à des niveaux techniques et d'avancement très différents, mais tous sont des opportunités à la fois de motiver la recherche d'innovation frugale, et de nouveaux moyens de pédagogie pour inclure dans leur développement toute personne motivée, sans exigence de compétences ni de connaissances préalables.

### **LES PROCHAINES ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT DE FEDERATION EN 2019 ET AU-DELÀ**

#### **Nouvelles fonctionnalités prévues sur la plateforme**

Plusieurs axes de développement pour la plateforme sont prévus en 2019, dont l'ajout de nouveaux outils de gestion de projet et de collaboration, l'ajout d'outils type wiki comme socle de la base de connaissances, et l'intégration de fonctionnalités de groupes thématiques. Dans la version 1.1 de la plateforme mise en ligne en avril, a été ajoutée la possibilité de créer des sous-projets et de gérer des niveaux d'autorisation et de visibilité variable, première étape pour le développement de systèmes

complexes.

#### **Axe fort de travail sur la pédagogie et l'inclusion**

Aujourd'hui les profils des membres sont, à l'image de l'ensemble des lieux de production collaborative, très largement issus de formations techniques. Dans le cadre de la mission de Fédération d'ouvrir le spatial au plus grand nombre, et parce que nous croyons fermement à l'importance de l'inclusion, nous prévoyons de consentir des efforts significatifs dans les actions favorisant l'inclusion des personnes motivées mais sans bagage technique. «Réduire la marche» est l'un de nos leitmotivs!

#### **Structuration et documentation des projets en préambule au support financier direct**

L'un des moyens d'action de Fédération est le support financier direct aux projets, pour aider les équipes à acquérir notamment les matières premières nécessaires à la réalisation de projets de matériel. Nous travaillons actuellement sur la formalisation du cycle de vie d'un projet, ainsi que de sa méthodologie de documentation. Cela dans le but de faire en sorte que les pages « projets » de la plateforme deviennent en elles-mêmes, par la rigueur et la richesse de leur documentation, le justificatif permettant de prétendre au support financier de Fédération.

#### **Perspectives d'extension à l'international**

Pour le moment la plateforme est uniquement disponible en français, nous comptons pour cette année la rendre disponible en anglais, et potentiellement aussi dans d'autres langues. Au-delà de la traduction des pages statiques, le véritable enjeu est de permettre la communication entre personnes parlant des langues différentes. Plutôt que de créer une instance de forum par langue, nous voulons étudier plus avant les solutions incluant de la traduction automatique pour permettre à des personnes ne parlant que leur langue maternelle d'échanger avec des personnes du monde entier - en droite ligne de l'Inclusion de l'Ouverture et de la Collaboration, valeurs clés de Fédération.

Nous sommes extrêmement enthousiastes par sur les perspectives que Fédération commence à laisser entrevoir, et espérons que vous serez nombreux à venir apporter votre contribution à cette initiative d'un genre nouveau! ■

contact@federation-openspacemakers.com

<https://www.federation-openspacemakers.com/>

[www.makery.info/2018/10/09/open-space-makers-ouvre-sa-plateforme-collaborative-pour-le-spatial/](http://www.makery.info/2018/10/09/open-space-makers-ouvre-sa-plateforme-collaborative-pour-le-spatial/)

## LA PHILOSOPHIE DE L'INITIATIVE FEDERATION EST EXPOSÉE DANS L'OUVRAGE DU PR JACQUES BLAMONT RESEAUX ! LE PARI DE L'INTELLIGENCE COLLECTIVE

par Jean-Pierre Sanfourche, Chargé de mission à la 3AF



**Figure majeure de l'exploration spatiale, Jacques Blamont a cofondé l'Agence Spatiale française, le CNES, dont il a été le premier directeur scientifique et technique.**

Les progrès technologiques dus notamment à la révolution de la communication numérique avancent à une vitesse si grande qu'ils sont presque impossibles à suivre. Il est difficile d'imaginer quels seront nos objets quotidiens à court terme, et a fortiori ceux qui seront à la disposition des générations à venir !

Alors comment maîtriser le progrès ? Que faut-il faire pour ne pas perdre la main ? En utilisant la puissance des réseaux, en faisant le pari de l'intelligence collective en utilisant le Web.

L'auteur a initié la mise en place au sein du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) d'un projet concret appelé FEDERATION Open Space makers.

De quoi s'agit-il ? D'une nouvelle conception de la wikinomie, qui consiste à faire communiquer entre elles deux catégories de structure : d'une part une structure verticale, composée d'institutions spécialisées - Administration, Agences d'Objectif - douée d'une culture Top Down, d'autre part des groupes participatifs transverses, horizontaux, émettant librement des idées novatrices dans une logique Bottom Up.

L'auteur explique : « *La première apporte ses motivations, sa maturité, son organisation, son amour des règles, ses normes, sa puissance. La seconde sa créativité, sa jeunesse, son enthousiasme, sa haine des règles, bref : la liberté. L'objectif de cette union est de mener à bien des projets concrets à partir des forces spécifiques et antinomiques de chacune.* »

Dans son ouvrage, Jacques Blamont introduit le futur participant à FEDERATION dans l'univers des bytes, des ordinateurs, des réseaux.

Les cinq premiers chapitres - Le moteur de l'histoire aux environs de l'an 2020 - Le monde 4.0 : l'homme et les données - L'espace devient une chose de la foule - NewSpace - réseaux sociaux et communautés - décrivent la métamorphose que subit le notre mode, son passage à un nouvel âge, celui du silicium.

Le chapitre 6 décrit la Fédération Wikinomique, dont l'objectif au CNES est de contribuer à son adaptation au NewSpace par la recherche participative faisant intervenir des amateurs dans les idées et réalisations de projets.

« La Fédération est donc un algorithme social conçu pour transformer les spectateurs en acteurs. Son objectif est de créer un écosystème. »

L'idée peut être appliquée dans d'autres domaines que le « spatial » : l'océanographie, le changement climatique, la santé, l'intégration des migrants, la politique.

En conclusion Jacques Blamont évoque l'idée d'une Fédération universelle. ■

## LES JEUNES ET L'ESPACE

# LES CENTRES SPATIAUX UNIVERSITAIRES ET ÉTUDIANTS

par Jean-Claude Traineau, directeur Espace à l'ONERA

Créés en France, à partir de 2011, les Centres Spatiaux Universitaires (CSU) et les Centres Spatiaux Etudiants (CSE) illustrent la volonté affirmée des Universités et des Grandes Ecoles de donner à leurs étudiants l'opportunité de « toucher » aux métiers et technologies du spatial de A à Z.

Construits sur la base de modèles nU (le CubeSat 1U représente un module élémentaire : cube de 10 cm d'arête, 1 litre, 1 kg), les Nanosats sont un outil pédagogique de premier ordre pour la conception, la réalisation, les essais, le lancement et le vol d'un véritable satellite avec sa charge utile, sa mission, ses moyens de contrôle et communications,...

Après le CSU de Montpellier-Nîmes, ceux de Grenoble (CSUG) spécialisé dans l'instrumentation spatiale miniaturisée, de Toulouse adossé à l'ISAE-SUPAERO (CSUT) qui propose une gamme de missions basées sur des plateformes 3U et tout récemment celui de la Côte d'Azur (CSUCA) ont vu le jour. En Ile-de-France le CSE AstronautiX adossé à l'Ecole Polytechnique a été le

pionnier. On peut citer également le CSE CurieSat de l'UPMC Sorbonne Université, et les projets de Nanosat portés par le Campus Spatial Paris Diderot, l'Ecole des Mines ParisTech et par Centrale Supélec. Le CSE ELISA Aerospace Jules Verne sur les sites de Saint Quentin et Saint-Jean-d'Illac est également actif depuis quelques années..

Soutenus par le CNES à travers le programme JANUS, l'ESA, l'Union Européenne et des Fondations, ces centres spatiaux universitaires ou étudiants ont su créer une dynamique nouvelle, en ligne avec l'esprit *NewSpace* (innover, oser, faire et refaire) et apportent maintenant une pierre importante à l'édifice spatial français et européen.

Et quel plaisir de voir les yeux de nos futurs ingénieurs et chercheurs briller quand les premières données de leur Nanosat apparaissent sur leurs écrans de contrôle !

À titre d'illustration, le CSU de Montpellier et le CSE AstronautiX nous racontent leur belle aventure. ■

## LES JEUNES ET L'ESPACE

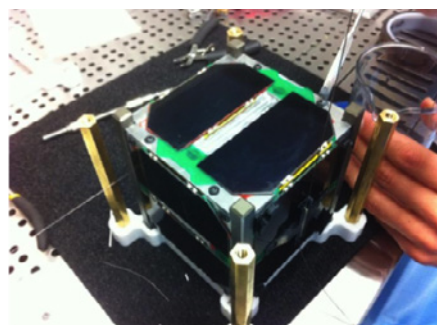
# LES NANOSATELLITES

par Laurent Dusseau, directeur du Centre Spatial Universitaire de Montpellier

## ROBUSTA-1A

### Les Origines

En 2006, Le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) lance l'appel à projets EXPRESSO (EXpérimentations et PROJets EtudiantS dans le domaine des Systèmes Orbitaux et des ballons). Alors que les filières scientifiques souffrent d'une désaffection des étudiants, les objectifs affichés par le CNES sont d'impliquer des étudiants dans un projet spatial, de participer à la promotion du spatial et des sciences pour attirer les jeunes vers les filières scientifiques et techniques et de donner une expérience professionnelle aux étudiants. Laurent Dusseau, Professeur à l'Université de Montpellier et chercheur du groupe RADIAC de l'Institut d'Electronique et des Systèmes UMR5214, répond à cet appel à projets en proposant le projet ROBUSTA (Radiations on Bipolar Using Student Satellite Application), un nanosatellite correspondant au standard CubeSat (1 kg, forme cubique, interfaces standardisées facilitant le lancement) avec une charge utile visant à étudier l'effet des radiations sur des composants électroniques commerciaux en technologie bipolaire.



Le nanosatellite Robusta-1A

Le CNES retient le projet posant ainsi les jalons du premier Centre Spatial Universitaire, le CSU.

L'idée générale du projet ROBUSTA est de décomposer le système en éléments dont la conception et la fabrication seraient confiées à des composantes d'enseignement de l'Université et réalisées sous la supervision d'enseignants et d'enseignants-chercheurs dans le cadre de projets de fin d'études et de stages. L'ensemble du satellite doit être conçu et fabriqué au sein de l'université, aucun élément ne devant être acheté sur étagère.

## LES JEUNES ET L'ESPACE LES NANOSATELLITES

À partir d'une feuille blanche, six ans de développement conduiront au lancement de ROBUSTA-1A, premier CubeSat français, lancé le 13 février 2012 depuis le Centre Spatial Guyanais à bord du vol inaugural du petit lanceur Vega.



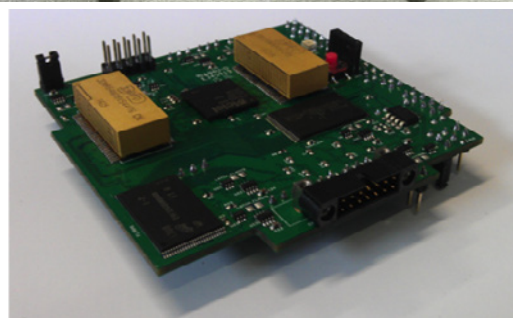
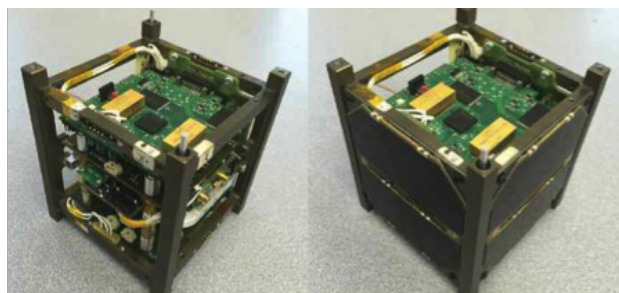
L'équipe Robusta devant le pas de tir de VEGA au Centre Spatial Guyanais. © Université de Montpellier

### ROBUSTA-1B

L'aventure de ROBUSTA-1A a mis en évidence l'intérêt que pouvait représenter les projets de nanosatellites étudiants. Grâce à l'investissement d'enseignants et de chercheurs passionnés, le projet a été mené à terme avec succès. Cependant, il est clairement apparu que la poursuite des activités spatiales à l'université nécessitait la mise en place d'une structure dédiée et d'une infrastructure adaptées. C'est ainsi qu'en juillet 2011, a été créé officiellement le Centre Spatial Universitaire de Montpellier (CSUM), adossé dès 2012 à la Fondation Van Allen (FVA), fondation partenariale de l'Université de Montpellier, permettant de sécuriser les financements et d'assurer une gouvernance stable. Sur ces bases solides, le CSUM se lance dès 2013 dans le projet ROBUSTA-1B, un CubeSat-1U (CubeSat de base, 10 cm d'arête, masse de 1kg) prenant en compte le retour d'expérience acquis et faisant l'objet d'un cofinancement FVA et CNES.

ROBUSTA-1B a été lancé le 23 juin 2017 depuis l'Inde par un petit lanceur PSLV. Le lancement est un grand succès. Quelques heures plus tard, les premiers signaux sont captés par l'Université Technique d'Etat Baumann de Moscou. Enfin, le signal est reçu clair et fort par la station sol du CSUM. Depuis plus de 18 mois, ROBUSTA-1B a transmis un volume considérable de données scientifiques et validé la technologie développée. Ce succès vient récompenser dix années d'effort et positionne les nanosatellites comme l'une des vitrines de Université de Montpellier.

### Les projets en cours



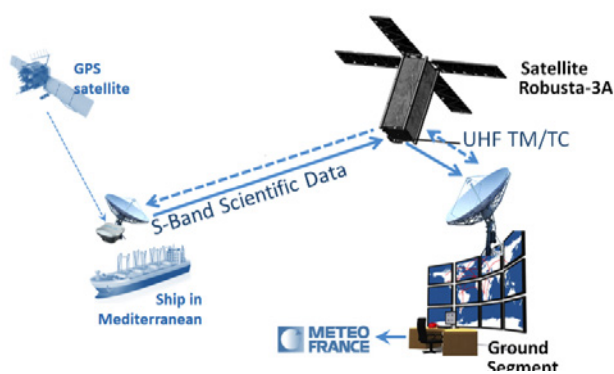
Le nanosatellite MT CUBE. © Université de Montpellier

### MTCUBE ET CELESTA



Le nanosatellite MT CUBE juste avant l'intégration dans le déployeur. © Université de Montpellier

Forts du succès de ROBUSTA-1B, le CSUM se lance dans de nouveaux projets et développe une version 3U de sa plateforme 1U aux performances très supérieures. Ces travaux sont directement liés aux projets MTCUBE (cofinancés par l'ESA et la FVA) et CELESTA développés en partenariat avec le CERN à Genève. MTCUBE devrait être lancé au second trimestre 2019. CELESTA quant à lui a été sélectionné pour participer au projet FLY YOUR SATELLITE de l'ESA Education Office, bénéficiant ainsi de revues et d'un processus d'assurance qualité permettant à l'équipe d'enrichir ses compétences avec un lancement à la clé.



Concept de la mission du Nanosatellite Robusta-3A Méditerranée. © Université de Montpellier

## ROBUSTA-3A ET LE PROJET MEDITERRANÉE

Chaque année, les épisodes cévenols frappent durement le Sud de la France. Ces pluies soudaines, très localisées et parfois extrêmement violentes, sont à l'origine d'inondations catastrophiques telles qu'en a connu le Gard en 1988 et plus récemment l'Aude en octobre 2018. Ces événements prennent leur source en Méditerranée dans l'accumulation de vapeur d'eau dans la troposphère. Il est donc important de mesurer cette quantité de vapeur d'eau au large et de transmettre l'information dans un temps aussi bref que possible aux météorologues. Le CSUM se propose de contribuer à cet objectif dans le cadre du projet MEDITERRANÉE, projet soutenu par le CNES et la FVA.

La présence de vapeur d'eau intégrée dans la troposphère affecte les signaux des satellites GNSS (GPS, Galileo, Glonass). Les retards introduits, appelés délais zénithaux, peuvent être mis à profit pour évaluer cette quantité de vapeur d'eau. Si les zones continentales sont équipées de nombreuses stations de mesure, il n'en va pas de même pour la haute mer. Or c'est là que se forment les épisodes cévenols. Le CSUM a donc proposé d'embarquer des stations de mesure des ZTD (Délais Zénithaux Totaux) sur des navires effectuant des lignes régulières en Méditerranée dans le cadre d'un partenariat avec le Port de Sète. Reste à résoudre le problème de la transmission de ces données aux scientifiques en temps quasi réel. Le projet MEDITERRANÉE consiste à placer en orbite un nanosatellite dont le rôle sera de collecter les données enregistrées sur les bateaux et de les transférer immédiatement à la station sol située au CSU à Montpellier pour mise à disposition des utilisateurs finaux.

D'un point de vue technologique, cette mission nécessite le développement d'une nouvelle plateforme de CubeSat-3U (30 cm de long, masse de 4kg). ROBUSTA-3A sera bien plus complexe que les précédents CubeSat-1U car il devra disposer d'un contrôle d'attitude lui permettant de s'orienter dans l'espace pour pointer ses antennes vers la zone d'intérêt lors du survol de la Méditerranée et orienter ses panneaux solaires vers le soleil le reste du temps pour recharger ses batteries.

Fidèle à sa stratégie, le CSUM ne se contente pas d'assembler des sous-systèmes achetés sur étagère mais développe tant que faire se peut sa propre technologie. Ainsi, ROBUSTA-3A bénéficiera de nouveaux panneaux

solaires en matériaux composites, d'un nouvel ordinateur de bord tolérant aux radiations, d'une nouvelle carte radio, d'un bloc de contrôle d'attitude et d'une architecture mécanique, entièrement réalisés en interne. Pour développer ces éléments, le CSUM peut compter sur les partenaires industriels membres fondateurs de la FVA. La station sol bande S qui sera installée en avril 2019 sur le toit du CSUM fait l'objet d'un don en nature de la part de ZODIAC DATA SYSTEMS Groupe Safran. Le harnais a été réalisé en collaboration avec la société LATECOÈRE Branche Interconnection Systems. Les bancs de test ont, quant à eux, bénéficié de solutions développées par la société SPHEREA. Enfin, le projet bénéficie du support du CNES dans le cadre du projet JANUS.

Dès le second semestre 2019, un premier bateau test devrait être équipé d'une station de mesure des délais zénithaux. En attendant le lancement de ROBUSTA-3A en 2020, les données seront recueillies a posteriori lors des escales à Sète et transmises aux chercheurs. Le système complet devrait être opérationnel à l'automne 2020. À terme, quatre bateaux pourraient être équipés. Il s'agira alors de démontrer l'apport d'un tel système pour les prévisionnistes. Si cette démonstration s'avérait concluante, une petite constellation permettant de multiplier les données collectées pourrait être envisagée.

Lorsque ROBUSTA-3A ne survolera pas la Méditerranée, il sera possible de lui attribuer une mission secondaire à caractère éducatif. En partenariat avec l'association TEGLO, l'AASO (African Aeronautics and Space Association) et le French South African Institute of Technology, le CSUM souhaite mettre les capacités de collecte et de transmission de données au service d'un projet éducatif visant à mettre en contact des écoles françaises et africaines.

## CONCLUSION

Issu d'une idée germée il y a maintenant plus de dix ans, le CSUM est devenu un acteur incontournable de la formation et de l'innovation en Région Occitanie. Alors que les acteurs majeurs de la recherche en France comme le CNRS s'intéressent de plus en plus aux potentialités des nanosatellites en tant que plateformes pour l'emport de charge utiles scientifiques, le CSUM peut désormais proposer une gamme de plateformes fiables et validées en vol basées sur une technologie « Made in Occitanie ».

Aujourd'hui, l'équipe du CSUM est composée d'ingénieurs permanents hautement qualifiés issus de l'industrie et est située dans un bâtiment dédié construit avec le support de la Région Occitanie. ■

# LE SECRET PARTAGÉ ENTRE LES PROFESSIONNELS DE L'ESPACE

par Juan de Dalmau, International Space University, Strasbourg

## PRATIQUER LES « 3I » AVEC LE « TEAM PROJECT »

Dans la pédagogie voulue par l'International Space University, le projet en équipe (Team Project) constitue un élément essentiel. Il permet l'apprentissage du travail en équipe où toutes les ressources et toutes les connaissances d'une personne doivent être sollicitées et où les solutions sont rarement uniques. Cela dans un environnement « 3I » : international, interculturel et interdisciplinaire.

Ces projets de groupe fournissent à chaque élève l'occasion de mobiliser ses connaissances et compétences individuelles pour résoudre un problème actuel concret. La structure et l'organisation des projets simulent un travail collaboratif dans une agence spatiale ou une entreprise d'envergure internationale, où interdisciplinarité et interculturalité sont des éléments essentiels.

Ces travaux reflètent toujours les préoccupations actuelles du secteur spatial. Aussi les élèves sont-ils toujours en contact durant le projet avec les entreprises, organismes et professionnels qui ont soumis les problèmes étudiés, mais en gardant un contact pédagogique étroit avec les enseignants responsables.

Ces travaux font l'objet d'un rapport écrit et d'une présentation en public où sont invités les élèves, la direction de l'école, les professionnels, professeurs et sponsors.

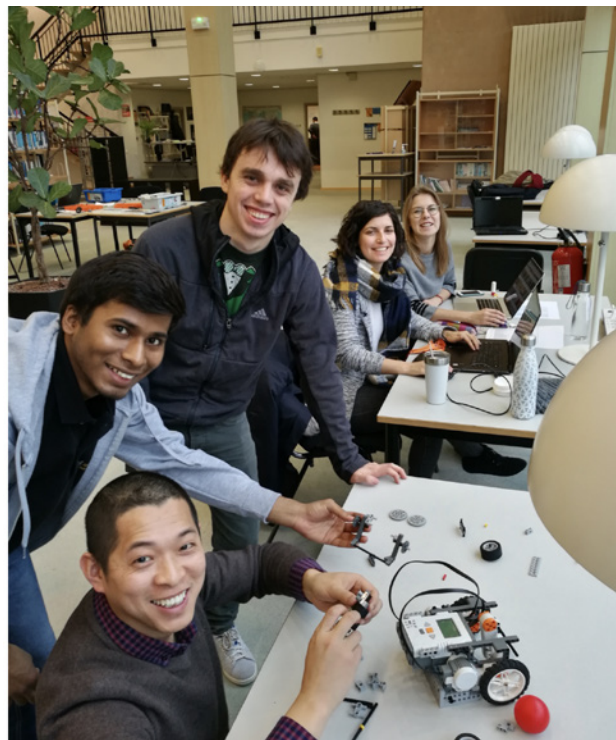
Grâce à cet exercice, les élèves apprennent à résoudre des problèmes réels et à affronter des projets de grande envergure, à se familiariser avec les cultures de travail d'autres pays, à collaborer et à partager leurs connaissances.

Exemples de projets de groupe 2018 :

- *Without space: in a world without space, what will happen ?*
- *FAST weather solutions: Forecast and Alert System for Terrestrial applications*
- *LIFT : Lifeline for the ISS and Future Tethers*

Ces projets sont disponibles sur le site web de la bibliothèque de l'ISU : <https://bit.ly/2I9NOY1>

Mais que deviennent les anciens étudiants ou stagiaires des programmes de l'ISU ? En nombre de presque 4.700, ils travaillent pour 75% dans le domaine spatial dans plus de 100 pays. La suite de l'article vous révèle leur secret.



Des étudiants du Master dans la bibliothèque

## CONCEVOIR, CONSTRUIRE, TESTER ET EXPLOITER

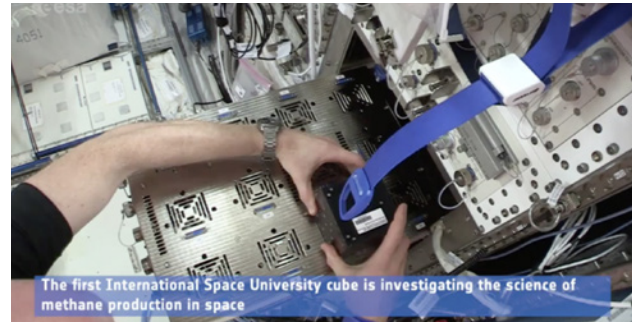
En 2018, trois expériences Hydra de l'ISU ont été lancées sur la Station Spatiale Internationale où elles ont été installées dans le module Columbus de l'Agence Spatiale Européenne grâce au nouveau service ICE-Cubes développé par Space Applications Services. Le tableau ci-dessous résume ces petites charges utiles, d'une taille de 10x10x10 cm et pesant environ 1 kg chacune.

Le travail sur ces charges utiles permet la participation directe d'étudiants en Master des sciences de l'espace (MSS) avec du matériel spatial. Ils ont conçu et construit, dans le cadre de leurs études, une partie importante de chacune des trois charges utiles.

Ce faisant, les étudiants ont dû interagir avec des scientifiques, répondre aux exigences techniques, résoudre des problèmes de conception et de fabrication, concevoir et mettre en œuvre des composants électroniques et des logiciels, et procéder à l'assemblage et aux essais avant lancement. Répondre à toutes ces questions a donné aux étudiants une compréhension très claire des complexités à prendre en compte pour concevoir, construire, tester et exploiter les données d'une expérience spatiale. Il s'est également révélé être un outil de motivation très important, permettant de maintenir l'intérêt et l'engagement pendant le programme MSS.

LE SECRET PARTAGÉ ENTRE LES PROFESSIONNELS DE L'ESPACE

	Hydra-1	Hydra-2	Hydra-3
Lancement vers l'ISS	5 décembre 2018	29 juin 2018	29 juin 2018
Retour sur terre	15 janvier 2019	15 janvier 2019	13 août 2019 (à confirmer)
Partenaires	Stanford University/ Utah University, Université de Strasbourg/CNRS, avec contributions de support NASA Ames Research Centre.	Université de Strasbourg /CNRS, University of New South Wales, DLR.	Studio Nahum, MacQuairie University.
Charge Utile	Expérimentation sur les effets de l'apesanteur sur la croissance de plantes génétiquement modifiées.	Expériences sur les effets de l'environnement spatial sur la croissance des micro-organismes producteurs de méthane et sur l'ADN microbien, ainsi que sur la mesure de l'environnement de rayonnement.	Démonstration interactive d'une œuvre d'art (caléidoscope) et démonstration technologique d'électronique tolérante aux radiations.

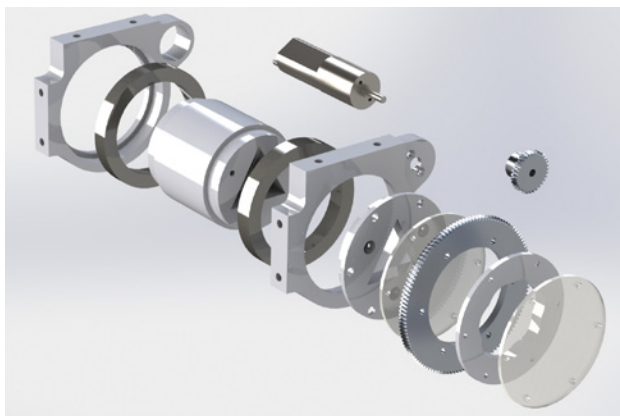


Installation d'Hydra-2 sur l'ISS (image ESA)

En cherchant un peu plus, vous vous rendez compte que ces personnes ont toutes suivi des cours à l'International Space University (ISU), dont le campus se trouve en France, près de Strasbourg. Ils appartiennent à un réseau d'anciens assez informel mais très efficace, où ils partagent la vision des fondateurs de l'ISU, deux américains et un canadien, pour une utilisation de l'espace par tous les pays du monde à des fins pacifiques.

L'un de ces étudiants, embauché par l'ISU à la fin de ses études, exploite maintenant les charges utiles Hydra sur l'ISS et a donc vu tout un projet spatial se dérouler de la conception au vol et (dans le cas d'Hydra-1 et -2) au post-vol. Pour les autres, cela a amélioré leurs compétences en matière de gestion de projets et a renforcé leur attrait aux yeux de futurs employeurs.

En poursuivant vos recherches, vous réalisez que la vingtaine de professionnels de cette liste n'est qu'un échantillon des plus de 4.600 anciens élèves de l'ISU répartis dans plus de 100 pays. Bien évidemment, ils ne sont pas tous camarades de la même promotion, mais dès qu'ils rencontrent un autre ancien lors d'une conférence ou une réunion professionnelle, ils ont immédiatement un lien qui rend le dialogue bien plus facile, au-delà des nationalités, des cultures ou de l'appartenance à d'organisations différentes.



Le mécanisme Hydra-3 créé par les élèves.

Mais, vous me direz, dans cette liste on trouve des juristes, des ingénieurs, médecins et autres économistes... comment peuvent-ils avoir suivi ensemble des cours de niveau universitaire ?

LE SECRET PARTAGÉ ENTRE LES PROFESSIONNELS DE L'ESPACE

Si vous avez un moment, vous êtes invité à faire une simple recherche dans la toile pour trouver les noms propres des professionnels listés dans l'encart ci-contre.

Voudriez-vous avoir ces personnes dans votre carnet d'adresses ? Probablement oui. Pour y réussir, vous allez chercher ce qu'ils ont en commun : ils parlent tous l'Anglais et partagent une certaine passion pour le spatial, mais cela ne suffit pas pour qu'ils vous répondent si vous leur envoyez un message via LinkedIn, par exemple.

Le secret est bien là : les cours de l'ISU, que ce soit le Master de 12 ou 24 mois ou les Ecoles d'été de 5 ou 9 semaines, le cours spécialisé sur l'Entreprenariat et le Commerce spatial de 6 semaines, ou encore l'Executive Space Course d'une semaine, sont tous basés sur le concept d'apprentissage « 3I » International, Interculturel et Interdisciplinaire.

Le contenu des cours magistraux (Core Curriculum) permet aux juristes de se familiariser avec les concepts de base de la mécanique orbitale, aux ingénieurs d'apprendre les principes du droit spatial (international et national) et des règles sur l'utilisation des positions orbitales et des fréquences radioélectriques, ou aux astronomes d'apprendre les rudiments sur le comportement du corps humain dans l'environnement extraterrestre.

Une fois le Core Curriculum acquis, les stagiaires peuvent travailler dans des équipes multiculturelles et multidis-

ciplinaires en comprenant mieux le niveau de connaissances et la façon d'attaquer les problèmes des autres membres de l'équipe. Ces équipes travaillent sur un Team Project où ils analysent l'état de l'art et consultent des experts dans une problématique concrète de leur choix, liée à l'exploration, à l'observation de la terre, ou à l'espace pour le développement économique ou social, et font des recommandations adressées aux décideurs des agences gouvernementales, de la recherche ou de l'industrie.

De nombreuses idées surgies des Team Projects de l'ISU se sont vues transformées en idées d'entreprise jeune-pousse ou ont été adoptées par des agences spatiales dans les quatre coins du monde. La NASA est l'une des agences qui sponsorise systématiquement ces Team Projects, dans sa recherche d'idées innovantes et de talent.

L'Armée de l'Air Française sélectionne tous les ans un ou deux officiers pour participer à l'école d'été itinérante (SSP) de neuf semaines, et le CNES soutient des stagiaires français en plus de la « Chaire CNES » dans l'équipe enseignante de l'ISU à Strasbourg.

Après plus de 30 ans de tournée dans quatre continents, la session SSP est actuellement prévue à Strasbourg en 2019, à Shenzhen en Chine en 2020 et à Grenade en Espagne en 2021. Des rencontres et conférences pour les anciens élèves sont organisées plusieurs fois par an, favorisant l'échange d'idées entre jeunes diplômés et professionnels de tous origines et de tous âges, la première école d'été datant de 1988.

A ce stade de vos recherches, vous commencez sans doute à penser que telle ou telle personne de votre entourage pourrait bénéficier des cours de l'ISU, mais vous hésitez à en faire une recommandation au vu du prix des inscriptions. L'ISU se voulant une plate-forme neutre pour la recherche et le libre échange d'idées, a voulu prendre le statut d'université privée tout en gardant le but non lucratif d'une association « loi 1901 ». La grande majorité des étudiants et stagiaires qui s'inscrivent à l'ISU bénéficient de bourses d'études accordées par des agences spatiales et des entreprises du spatial en France, en Europe, en Chine, Inde, Australie, Israël, Canada, Japon ou encore les États-Unis.

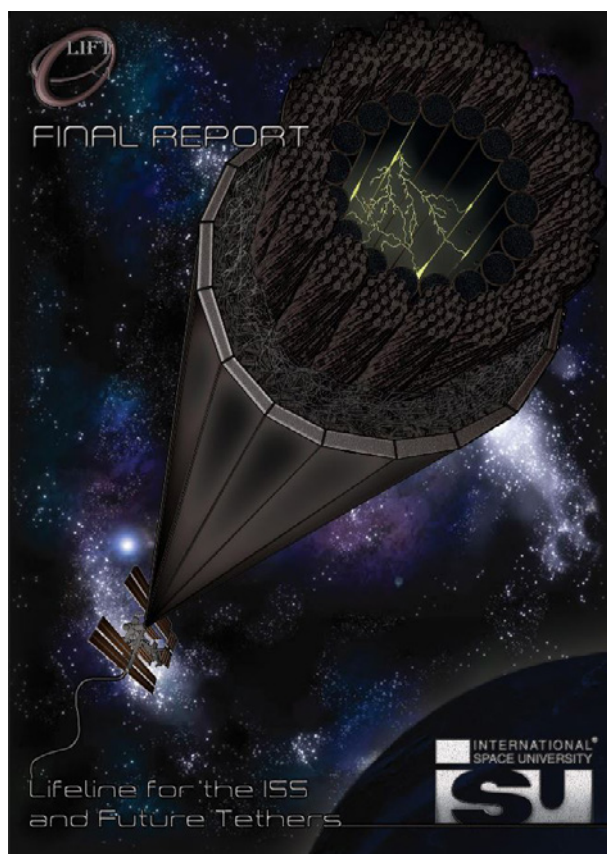
Maintenant que vous connaissez le « secret » que partagent ces professionnels du spatial, vous saurez comment l'utiliser pour construire votre propre parcours dans le spatial et aider vos collègues, ainsi que votre entreprise, à en bénéficier.

N'hésitez pas à nous rendre visite sur [www.isunet.edu](http://www.isunet.edu) ou encore mieux en personne à Strasbourg !

#### Quel secret partagent ces professionnels du secteur spatial ?

- La Présidente du Comité pour l'espace et l'aéronautique au Congrès des États-Unis.
- Le Chef de projet de la Station spatiale Chinoise au CASC à Pékin.
- L'Adjointe à la Représentation du CNES à Moscou.
- Un Vice-président de la 3AF à Paris.
- La Chef du projet d'Atterrisseur lunaire à l'ESA ainsi que sa correspondante commerciale chez OHB à Munich.
- Le Directeur du Medes-Institut de Médecine et de Physiologie Spatiales à Toulouse.
- Le Responsable des Relations internationales au DLR Allemand à Cologne, ainsi que son homologue à ESA à Paris.
- Le Président de l'association des industriels du spatial en Australie.
- La Directrice Strategy & Planning at BAE Electronic Systems à Washington DC.
- Le fondateur de Planet en Californie.
- Le fondateur de Spire en Californie.
- Le Chef du projet de module Européen pour la capsule Orion chez Airbus Group à Munich, ainsi que son « client » à l'ESA à Noordwijk.
- L'initiateur du projet SpacEL/Beresheet d'atterrisseur lunaire Israélien.
- La Directrice des services clients à Blue Origin à Seattle.
- Le VP Special Projects à Virgin Orbit en Californie.
- Le VP Advanced Projects and Products chez Airbus Defence and Space à Brême.
- Le Responsable Commercial chez PTScientists à Berlin.
- Le VP Global Sales chez ispace au Japon.
- L'une des quatre femmes astronaute sélectionnée par la NASA en 2013.
- La Responsable Advanced Exploration Programs à Thales Alenia Space à Turin.
- La seule femme astronaute de Corée du Sud.





Exemples de TP ■

## ACTINSPACE

par **Matthieu Lys**, innovation manager, Airbus Defence and Space

Airbus est partenaire d'ActInSpace, le challenge international pour l'invention de produits et services à partir des technologies spatiales

Lancé par le CNES et mené en coopération avec l'ESA et le Pôle de compétitivité Aerospace Valley, ActInSpace est un concours mondial d'innovation organisé tous les 2 ans depuis 2014. Son but est de promouvoir l'usage du spatial en favorisant la création de startups, au bénéfice des citoyens, de l'emploi et de notre planète. Pendant 24h, des équipes d'étudiants, créateurs d'entreprise, chercheurs, développeurs sont invités à répondre à l'un des défis proposés par les organisateurs et sponsors de l'événement.

En 2018, ActInSpace a rassemblé près de 2200 participants dans 54 villes et 32 pays. Plus de 500 équipes ont travaillé sur 80 défis, dans des domaines aussi variés que la réduction de l'impact climatique, la surveillance maritime, le suivi de la végétation, les villes intelligentes ou le futur de l'exploration spatiale. 34 startups ont déjà vu le jour depuis la première édition, parmi lesquelles 17 ont été créées depuis l'édition de mai 2018 : il s'agit donc d'un véritable tremplin pour les entrepreneurs et en particulier pour les jeunes, la moyenne d'âge des participants étant de 25 ans.

Chez Airbus, convaincus par les multiples retombées positives de la démarche, nous sommes engagés dans ActInSpace depuis 2016 aux côtés du CNES et de l'ESA. En 2018, près de 80 employés ont ainsi participé à cette aventure, en tant qu'expert du spatial pour répondre aux questions techniques, mais aussi en aidant les équipes à développer leur modèle économique, en participant aux jurys, ou même directement en tant que candidats !

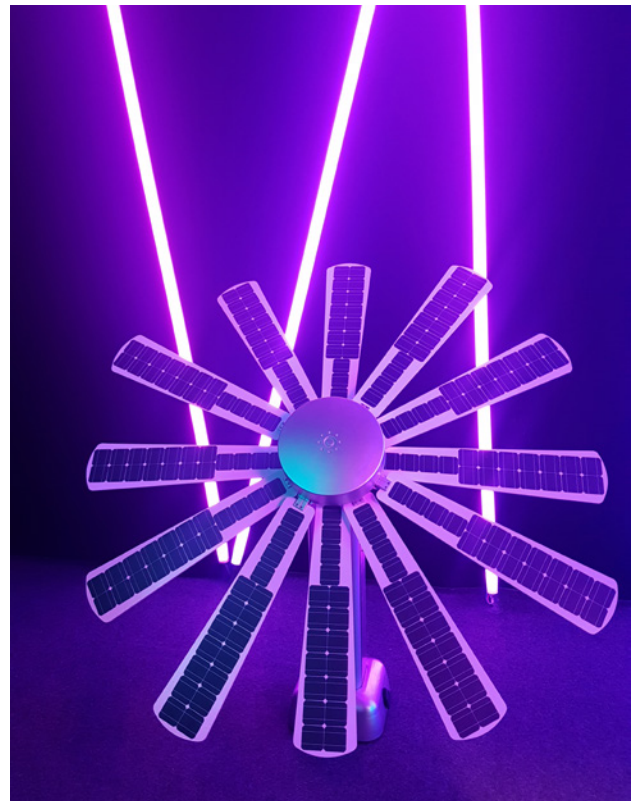
Les prix réservés aux équipes gagnantes sont particulièrement attractifs : un vol en apesanteur sur l'Airbus A310 « zéro G » avec Novespace pour le prix international de l'ESA, un voyage à Kourou pour assister à un lancement spatial pour le prix national du CNES. Des images satellites d'une valeur totale de 100 000€ sont également proposées par Airbus pour le prix de l'Entrepreneuriat, et pour le prix Airbus de l'Innovation : une formation au pilotage sur un simulateur d'A320 et une visite de nos salles d'intégration des satellites.

Citons quelques startups créées à la suite des précédentes éditions d'ActInSpace. Kormap développe des applications qui permettent le suivi de la végétation et de la pollution dans les villes, combinant l'imagerie satellitaire et l'intelligence artificielle, pour faciliter la transition écologique des territoires. Labellisée FrenchTech, cette startup rennaise est désormais membre de l'Alliance mondiale pour les solutions efficaces, qui est pilotée par la Fondation Solar

Impulse. Autre exemple : O'sol développe un générateur solaire mobile, dont le mécanisme de déploiement s'appuie sur un brevet du CNES. Cette startup française basée à Cannes est actuellement accélérée par l'ESA BIC Sud France, dont Airbus est partenaire. C'est le cas également de Greenvest Solutions, une jeune startup qui souhaite proposer les meilleures options d'utilisation des énergies renouvelables en fonction de la localisation géographique, en s'appuyant notamment sur l'imagerie spatiale. On peut aussi citer La TeleScop, société coopérative et participative créée en 2018, qui propose des services en télédétection spatiale, cartographie et appui aux politiques publiques.

Airbus soutient également d'autres challenges d'innovation comme les Copernicus, INNOspace et Space Exploration Masters, couvrant les différents domaines du spatial en partenariat avec la Commission Européenne, l'ESA, le CNES ou encore le DLR en Allemagne. Ces compétitions mondiales sont des relais pour accélérer les projets issus d'ActInSpace.

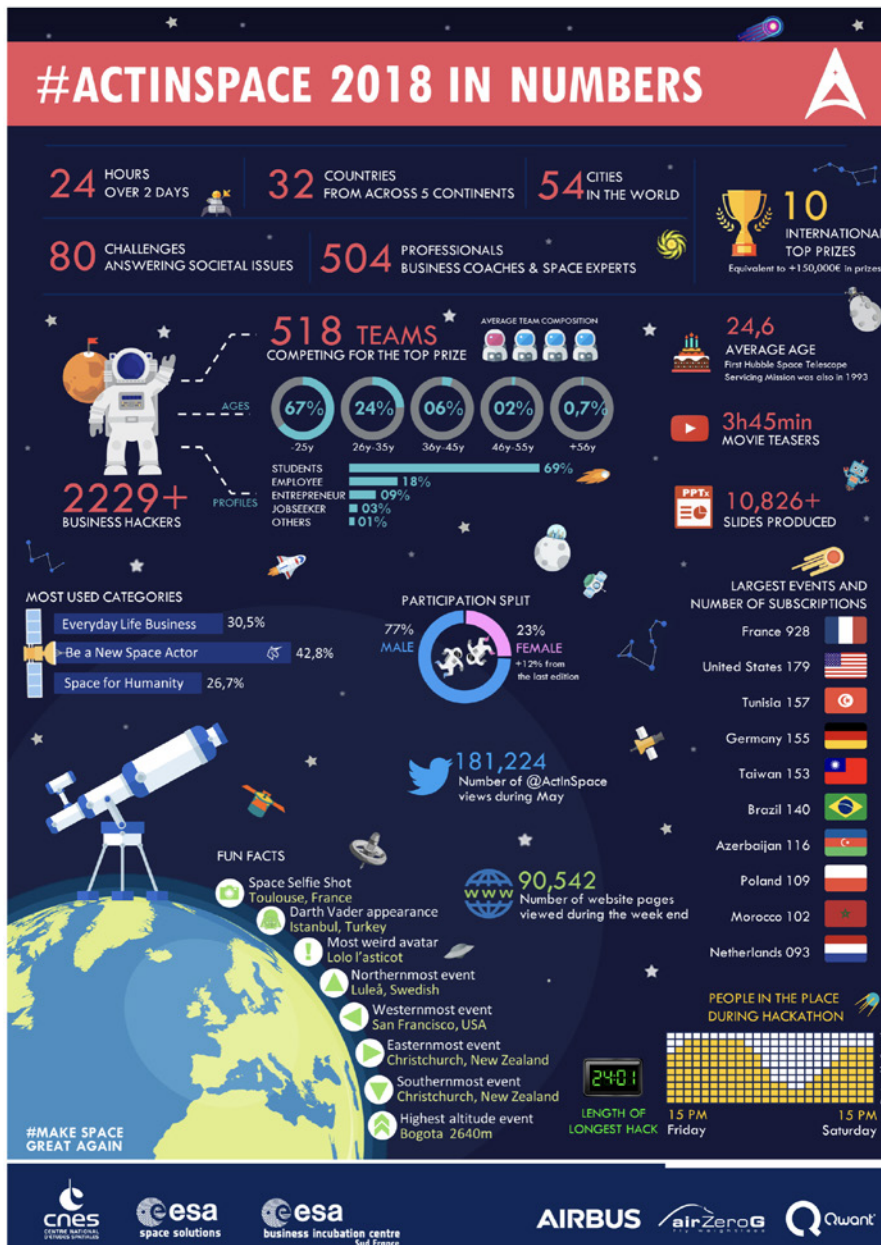
Nous serons à nouveau présents aux côtés de nos clients et partenaires institutionnels pour la quatrième édition d'ActInSpace qui devrait être toujours plus internationale. Les inscriptions seront ouvertes au début de l'année prochaine sur le site [www.actinspace.org](http://www.actinspace.org), l'événement étant programmé les 24 et 25 avril 2020. Save the date! ■



Générateur solaire conçu par O'Sol



ActInSpace 2018 – Equipes gagnantes des prix Airbus



# LES TRAVAUX DE L'ESO-ESTACA

par Yann Goument et Jordan Tromme (ESO)



L'ESTACA Space Odyssey (ESO) a été créée en 1992, au sein de l'école d'ingénieurs ESTACA (Ecole Supérieure des Techniques Aéronautiques et de Construction Automobile). Notre école est spécialisée dans les transports, avec les dominantes suivantes : aéronautique, spatial, automobile et transports guidés.

Aujourd'hui présente sur les deux campus de cette école, à Montigny-le-Bretonneux et à Laval, l'ESO compte chaque année plus de cent membres qui réalisent des projets techniques dans la dominante spatiale, et qui participent aux différents événements organisés par l'association.

L'ESO travaille principalement sur des fusées, classées selon deux gabarits : les fusées expérimentales et les mini-fusées. Les premières sont des fusées d'environ 2 m de long qui contiennent une expérience scientifique (annulation du roulis, étude vibratoire, étude supersonique, etc.). Les mini-fusées sont plus petites et servent de formation avec de petites expériences (capteurs de pression, température, etc.). Au-delà des fusées, l'ESO touche tout le domaine spatial avec également des ballons stratosphériques et des CanSats (module d'expérimentation assimilable à un petit satellite contenu dans le volume d'une canette de soda). Ces projets, réalisés de la conception à la fabrication, sont l'occasion de transmettre à la fois passion et savoir-faire aux membres, tout en leur permettant d'appliquer de façon concrète leurs notions théoriques de mécanique, d'électronique, ou encore d'aérodynamique.

Les projets se déroulent sur un an et sont lancés lors de la campagne de lancement C'Space organisée par le CNES et Planètes Sciences. Cette campagne de lancement réunit de nombreux clubs espace pendant une semaine, à laquelle les membres prennent part pour assister au dénouement de leur projet. Ces acteurs encadrent le projet et imposent à tous les projets un cahier des charges à respecter pour pouvoir bénéficier des services fournis, que cela concerne le suivi de projet ou le moyen de lancement. En effet, l'ESO peut tout réaliser sur ses fusées sauf le moyen de propulsion, car ce dernier est très réglementé et classé dans la catégorie des explosifs. Il est fourni par le CNES lors de la campagne une fois la fusée prête. Cette campagne a lieu tous les mois de juillet près de Tarbes.

L'ESO réalise également des projets qui ne s'appliquent pas au C'Space mais qui sont des projets de recherche académique. Ainsi, cette année, en plus des traditionnels projets cités ci-dessus, des projets inédits ont vu le jour :

- Le projet de fusée expérimentale « Bertha » rassemble 39 membres pour la construction d'une fusée de plus de 4 mètres de long, la plus grande jamais réalisée à l'ESO. Ces proportions hors-normes et le caractère inédit d'une telle réalisation requièrent des études et des tests nouveaux et approfondis, qui bénéficient à notre association au travers d'un champ de compétences élargi ;
- Le projet Aurora Liquid Engine est un projet de fin d'études réalisé par neuf étudiants de l'ESTACA issus de la spécialisation aérospatiale. Ce projet ambitieux a pour objectif la conception, l'impression et l'essai d'un moteur de catégorie spatial à ergols liquides, ainsi que la conception de son banc d'essai de mise à feu statique ;
- Le projet ODDS (Optical Debris Detection System) vise à créer un module expérimental détecteur de débris spatiaux dans le cadre de la lutte contre la pollution spatiale. Ce module devrait être capable de dresser une carte des débris dans son environnement. L'objectif actuel est de lancer le module ODDS lors du vol de la fusée Bertha citée ci-dessus, afin de réaliser un test de fonctionnement en larguant préalablement des « débris » pour simuler des conditions qui seraient rencontrées dans l'espace.

L'association aspire aujourd'hui à développer ses connaissances et son expertise en réalisant un projet d'envergure : une fusée sonde qui concourra pour le record d'altitude d'une fusée étudiante européenne (actuellement de 21,5 km). Une fusée sonde est une fusée d'un à quatre étages ayant une trajectoire suborbitale. Elle a pour fonction d'effectuer des mesures ou des expériences dans la haute atmosphère. Le projet de fusée sonde serait donc divisé en de nombreux « petits » projets ayant pour but de préparer le projet principal. Cela représenterait un total de 21 projets (en comptant la fabrication de la fusée sonde) répartis sur 8 périodes de 6 mois (temps nominal). Certains de ces projets seraient dépendants, c'est-à-dire que leurs résultats serviront de données de base à des projets ultérieurs. Tous ces projets comprennent le développement de la fusée sonde et des outils annexes de la phase de développement à la phase de réalisation.

Les projets majeurs cités ci-dessus permettront d'acquérir des compétences dans la réalisation d'une fusée de grandes dimensions, dans le domaine de la propulsion et dans l'intégration d'une charge utile significative.

Parmi les événements que l'ESO organise autour du spatial, citons la participation chaque année à la Fête de la Science, pour faire découvrir notre activité aux enfants. Des conférences avec des intervenants du secteur et des alumni sont régulièrement organisées, autour de thèmes variés comme la colonisation de Mars ou la vie d'un

## LES JEUNES ET L'ESPACE LES TRAVAUX DE L'ESO-ESTACA

astronaute. L'ESO est également présente lors de forums tel que celui de l'Ecole polytechnique à l'occasion de la Space Week qui a eu lieu cette année fin janvier, mais aussi participe à différents évènements de l'aéronautique et du spatial tels que le salon du Bourget ou encore l'International Astronautical Congress. ■



*Fusée expérimentale Aeris I à la campagne de lancement C'Space 2017*



*Fusée expérimentale Frégate lancée au C'Space 2018*



*Fusée expérimentale Frégate sur la rampe de lancement au C'Space 2018*



*Photo de groupe au C'Space 2017*



*Décollage fusée expérimentale EOS au C'Space 2016*

# ASTRONAUTIX, UN CENTRE SPATIAL ÉTUDIANT À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

par Lilia Solovyeva, responsable du Centre Spatial Étudiant de l'École polytechnique, Nicolas Hanappier et Florian Marmuse, moniteurs au Centre Spatial Étudiant

Le Centre spatial étudiant (CSE) de l'École polytechnique se nomme AstronautiX, un nom hérité de l'association historique d'astronomie du campus. Son objectif est, depuis 2011, de créer un écosystème spatial à l'École polytechnique afin d'utiliser ce domaine comme un outil éducatif, de préparer les élèves à l'industrie et la recherche spatiale et de positionner l'École polytechnique comme acteur important dans ce domaine.

Le CSE propose, coordonne, encadre ou accompagne les projets étudiants de l'École polytechnique ayant trait au secteur spatial. Ces projets sont réalisés en partenariat avec des laboratoires français ou internationaux, tels que les laboratoires LPP (Laboratoire de Physique des Plasmas), LMD (Laboratoire de Météorologie Dynamique), LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales) ou le VKI, avec des entreprises privées ou des organismes publics comme le CNES, l'ONERA, Thales Alenia Space et ArianeGroup entre autres, ainsi qu'avec de nouveaux acteurs du secteur spatial à fort potentiel de développement tels que ThrustMe, Share My Space ou encore Mars City Design.

En moyenne, le Centre spatial étudiant AstronautiX regroupe chaque année 12 à 14 projets spatiaux de différentes ambitions, du CubeSat aux études initiales de futurs projets potentiels. Ces projets regroupent 15% des élèves polytechniciens de deuxième année de chaque promotion. L'équipe d'encadrement comporte une ingénieure à temps plein, deux doctorants en monitorat, ainsi que plusieurs élèves eux-mêmes, de deuxième ou troisième année.

Les projets du CSE font appel aux nouvelles technologies et participent efficacement à la formation des futurs ingénieurs. Ils permettent de développer les compétences des étudiants en ingénierie des systèmes, en ingénierie spatiale, et dans les différents aspects (gestion, innovation et recherche) du développement de projets complexes. D'autre part, ils sont essentiels pour affirmer la présence de l'École polytechnique tant au niveau académique que mondial dans ce domaine d'excellence.

Chaque année, grâce à ses partenaires, AstronautiX propose aux élèves 15 à 20 projets spatiaux abordant une multitude de thématiques comme la gestion des débris spatiaux, la propulsion plasma, l'étude de l'atmosphère et de la magnétosphère terrestre ou d'autres planètes ou encore l'installation d'une communauté humaine sur Mars. Parmi les projets en cours, nous comptons par exemple un nanosatellite, un ballon scientifique, une fusée

ou encore diverses charges utiles. Les activités menées par les étudiants sont diverses, entre analyses de données spatiales, modélisation, fabrication et expériences.

Le satellite X-CubeSat a été mis en orbite à 400 km d'altitude le 17 mai 2017 depuis la Station Spatiale Internationale, après six années de développement encadrées par Gérard Auvray. 66 étudiants et étudiantes de deuxième et troisième année se sont relayés sur ce projet avec l'aide de plusieurs ingénieurs et ont construit ce double CubeSat de A à Z. Ce nanosatellite contribue à la recherche scientifique au sein du projet QB50, une constellation internationale de 36 nanosatellites, dirigée par le VKI. Son développement a été financé par le CNES (via son programme JANUS) et l'École polytechnique. Le rôle de X-CubeSat est d'analyser le taux d'oxygène atomique dans la thermosphère, l'une des couches atmosphériques les moins étudiées. Il a terminé sa mission le 4 février 2019, en se consumant dans l'atmosphère. Ce projet a permis de former les élèves au développement d'un projet complexe et multidisciplinaire. Grâce à cette mission, on a pu obtenir et suivre des données télémétriques issues du satellite en orbite. Actuellement, ces données sont analysées pour que ce retour d'expérience profite à nos nouveaux projets et à la communauté dans son ensemble.

Encouragé par ce succès, le CSE a lancé un nouveau projet de nanosatellite en septembre 2017. Cette fois, les élèves du projet IonSat développent un CubeSat à propulsion électrique, en collaboration avec le LPP et ThrustMe et toujours avec le soutien du CNES (programme JANUS). IonSat est un CubeSat de 6 unités standards et devrait utiliser un module de propulsion développé par ThrustMe. Une analyse de mission pour ce satellite a été présentée en décembre 2018 à la conférence 10<sup>th</sup> European CubeSat Symposium à Toulouse.

En 2018 le CSE a réalisé des prototypes de charges utiles pour de futures missions CubeSat. Un projet en collaboration avec l'ONERA, ESD-CubeSat, a pour objectif de quantifier l'influence des décharges électrostatiques sur les dysfonctionnements des satellites. L'autre projet, en collaboration avec la start-up Share My Space, vise la détection des débris spatiaux.

Les étudiants montrent aussi un grand intérêt pour les missions humaines dans l'espace. Un groupe a ainsi conçu et testé la première combinaison étudiante imprimée en 3D dans l'Utah du 16 au 31 décembre 2017. La Mars Society a sélectionné ce prototype de combinaison martienne pour prendre part aux expériences de la

## ASTRONAUTIX, UN CENTRE SPATIAL ÉTUDIANT À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

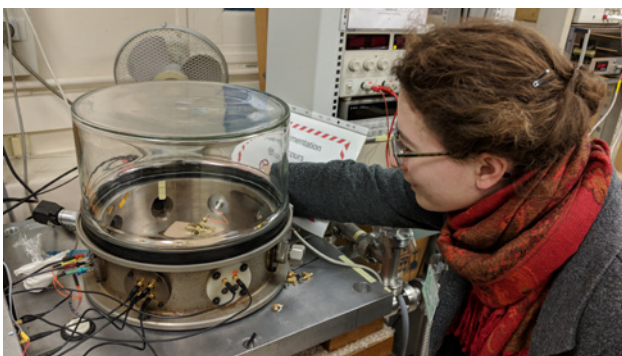
*Mars Desert Research Station (MDRS).* Cette station grandeur nature dans le désert de l'Utah héberge des ingénieurs et des chercheurs pour qu'ils réalisent des missions en conditions martiennes simulées grâce au terrain géologique du désert de l'Utah proche de celui de la planète rouge.

Des étudiants du CSE ont également gagné les éditions 2017 et 2018 du concours Mars City Design. Ce concours organisé depuis la Californie réunit les principaux experts, chercheurs et ingénieurs s'attachant à résoudre certains des défis les plus innovants d'une future base martienne. Une équipe a remporté la compétition dans la catégorie transport en 2017 avec le projet *Around Mars in 80 days* ; une autre équipe en 2018 avec le projet Marsupilami.

En collaboration avec des laboratoires scientifiques, le CSE propose régulièrement des sujets d'expériences embarquées dans des ballons atmosphériques. Cette année, le projet *Destiny - Ballon vénusien*, proposé par David Mimoun (ISAE-SUPAERO), et ayant pour objectif de sonder la structure interne de Vénus via des études sismologiques (études des infrasons dans l'atmosphère de la planète), a été sélectionné par le programme BEXUS de l'ESA pour effectuer un vol d'essais sur Terre en octobre 2019.



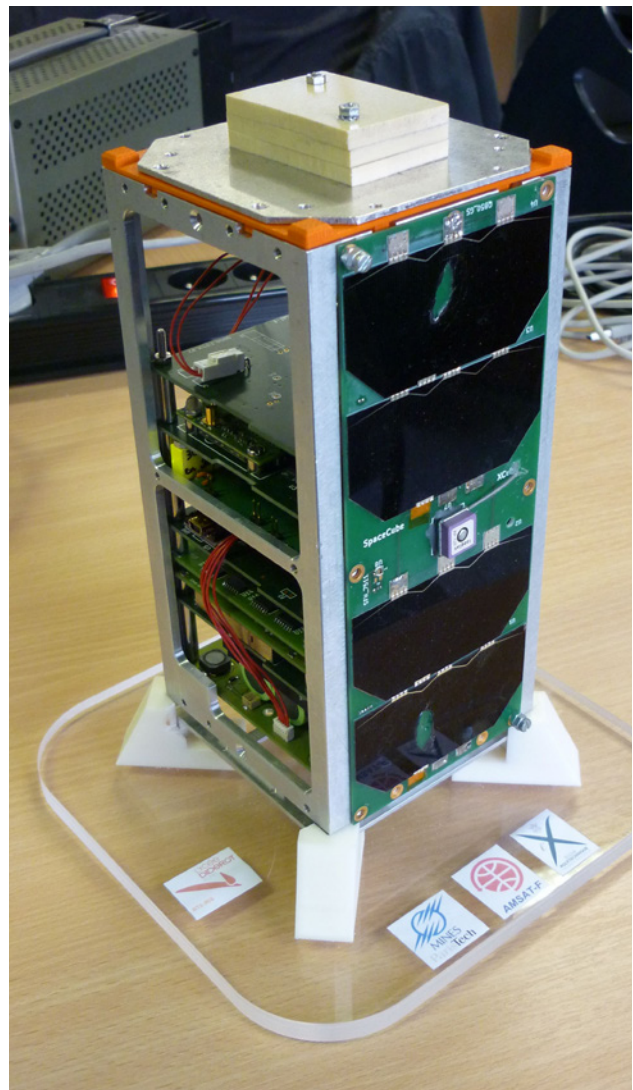
Dans l'Utah, accueillis par la Mars Desert Research Station, essais de la 1<sup>ère</sup> combinaison imprimée en 3D conçue par les étudiants.



Développement et essai du démonstrateur ESD-CubeSat à l'ONERA par les X16.

Le projet du CSE Plasma Mars est également né en collaboration avec le Laboratoire de Physique des Plasmas de l'École polytechnique. L'objectif est de développer un réacteur à plasma froid particulièrement adapté à l'atmosphère martienne qui serait capable de produire du dioxygène à partir de dioxyde de carbone en consommant relativement peu d'énergie. De premiers résultats ont été présentés à la conférence 2nd Symposium on Space Education Activities de l'ESA en 2018.

Bien implanté auprès des étudiants, le Centre spatial étudiant de l'École polytechnique va aujourd'hui grandir en servant de support à de nouveaux cours proposés aux étudiants du cursus polytechnicien. Des sponsors et partenaires sont activement recherchés pour changer encore d'échelle et devenir une vraie plateforme pérenne d'éducation et de recherche spatiale à l'École polytechnique. ■



X-CubeSat, le 1er nanosatellite de École polytechnique.

# ON A PHOTOGRAPHIÉ SUR LA LUNE

par Victor Martin-Malburet

*Victor Martin Malburet a participé activement à la conception de l'exposition « Lune : du voyage réel aux voyages imaginaires au Grand Palais » visible jusqu'au 22 juillet 2019. Les clichés de cet article proviennent de sa collection et sont présentés dans cette exposition.*

Avant l'invention de la photographie, les hommes comptaient sur le langage, l'écriture, la peinture et autres moyens de représentation pour rendre compte d'événements historiques ou d'explorations pionnières. C'est depuis bientôt deux cents ans que la photographie permet de s'emparer de la lumière de ces événements pour les figer dans le temps.

C'est aussi la photographie qui a permis à l'astronomie de se développer, en capturant une information lumineuse jusque-là non disponible et en tissant dès ses débuts des liens étroits avec l'espace.

Le 20 juillet 1969 à 21h56 heure de Houston, cinq cents millions de Terriens suivirent en direct à la télévision le premier pas de Neil Armstrong sur la Lune lors de la mission Apollo 11.

C'était « un pas vers l'immortalité », déclara Wernher von Braun, le génie scientifique à l'origine du programme de la fusée Saturne V, « car l'homme prouvait désormais qu'il pouvait atterrir sur d'autres corps célestes, y vivre et y travailler ».

Cependant les images télévisées noir et blanc d'Armstrong et Aldrin, floues et fantomatiques, paraissaient presque irréelles à ceux qui assistaient à cet exploit quasi inimaginable, abasourdis devant leur écran de télévision à 380 000 km de là.



Buzz Aldrin photographié par Neil Armstrong.

Ce furent véritablement les photographies rapportées sur pellicule par les astronautes et publiées seulement à partir du 30 juillet 1969 en une des journaux du monde entier, soit près d'une semaine après leur retour sur Terre, qui révélèrent au public la réalité et la beauté du voyage dans l'espace et du monde lunaire.

Dans notre ère digitale, il est difficile de se souvenir que l'âge d'or de la conquête spatiale, avec ses incroyables avancées techniques, correspond à une époque où l'information n'était pas instantanée et où la photographie était encore analogique, ce qui nécessitait des supports chimiques, films et papiers, sensibles à la lumière, et que le support papier restait le moyen de prédilection pour regarder les images, les diffuser et les étudier scientifiquement.

Ainsi, chacun des films exposés dans l'espace était développé, une fois la mission revenue sur Terre, par le laboratoire de technologie photographique du NASA *Manned Spacecraft Center* à Houston. Dans le cas d'Apollo 11 les films furent mis en quarantaine comme les astronautes et durent subir une fastidieuse et précautionneuse procédure de décontamination. Dupliqué sous forme de « master » – selon la terminologie en vigueur –, le précieux film original était immédiatement archivé et préservé pour les générations futures. À partir des « masters », les photographies étaient tirées, numérotées et analysées par les spécialistes de la NASA. Ces tirages, maillon final de la chaîne photographique, étaient des documents tout à la fois d'étude, de présentation et de communication. Témoignages esthétiques et artefacts historiques dotés de numéros de négatifs, de légendes, de logos de la NASA, de tampons « contrôle qualité » et de marques de tirage de laboratoires, ces photographies constituent le legs visuel d'une époque qui a vu l'homme quitter pour la première fois les limites de sa planète, explorer un autre monde et inaugurer le processus de colonisation de l'espace, ainsi qu'une nouvelle période de l'histoire de la photographie.

L'exploration de l'espace et du nouveau monde lunaire, combinée à la technologie photographique la plus sophistiquée de l'époque et à l'inspiration des astronautes-photographes de la NASA, fut ainsi à l'origine d'un vocabulaire visuel absolument nouveau, magnifié par le voyage d'Apollo 11 :

Tandis qu'ils quittaient la Terre à bord de la fusée Saturn V, Armstrong, Aldrin et Collins purent admirer la beauté de leur planète depuis l'orbite et se muèrent photo-



graphes. Ils avaient reçu entraînement photographique et conseils de la part de spécialistes de la NASA comme Richard Underwood et de photo-reporters de Life ou du National Geographic.

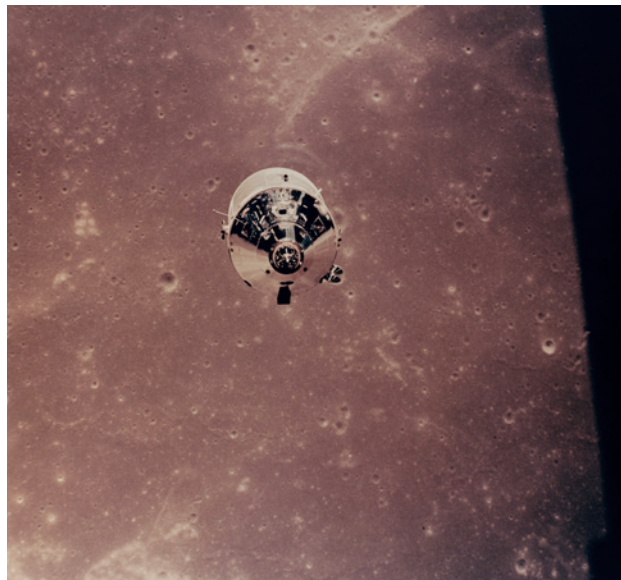


*Lever de soleil sur la terre.*

Au contraire des explorateurs et des photographes qui étaient jusque-là restés confinés dans les limites de la Terre, ils firent une expérience sensorielle entièrement nouvelle et bénéficièrent de conditions et d'un éclairage inédits pour leurs clichés. Dans l'espace, en effet, la notion d'horizontalité et de verticalité disparaît avec la gravité, il n'y a plus de jour ou de nuit, et rien ne vient filtrer la lumière du Soleil...



*La terre pendant le voyage translunaire.*



*Le module de commande Columbia en orbite lunaire.*

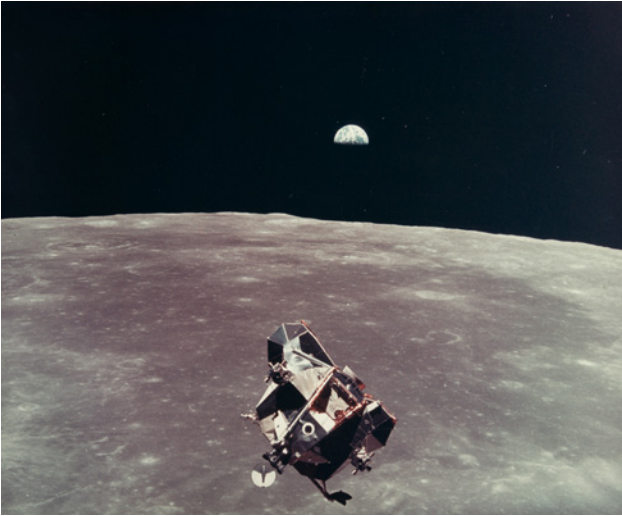
Allumant le moteur du troisième étage pour l'injection translunaire au terme de leur orbite terrestre, ils firent partie du cercle réduit de 24 hommes dans l'histoire (les 24 astronautes des missions Apollo 8 à Apollo 17 entre décembre 1968 et décembre 1972 excepté Apollo 9) qui quittèrent le champ gravitationnel de la planète Terre et voyagèrent vers la Lune.



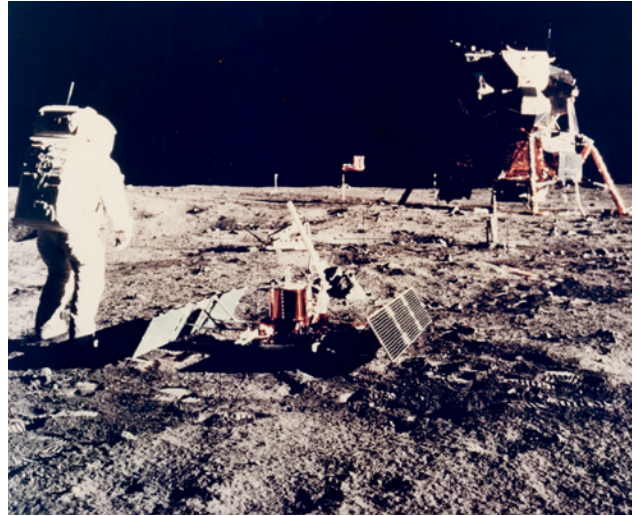
*Lever de soleil sur la Lune.*

Ils virent pour la première fois la Terre comme une sphère dans l'espace. Pour leurs yeux seulement, la Terre devenait un corps céleste comme un autre, seul îlot de vie au milieu du noir profond de l'espace.

**HISTOIRE**  
**ON A PHOTOGRAPHIÉ SUR LA LUNE**



*Le LEM et le lever de terre sur l'horizon lunaire.*



*Buzz Aldrin et la base de la Tranquilité.*



*La pleine Lune dans une perspective non visible de la terre.*



*La terre émergeant au dessus de l'horizon lunaire.*



*Cratère Dedalus sur la face cachée de la Lune.*



*Lever de terre sur l'horizon lunaire.*

## HISTOIRE ON A PHOTOGRAPHIÉ SUR LA LUNE

Depuis leur vaisseau en orbite lunaire, ils passèrent de précieux moments à observer un monde jusque-là seulement rêvé et imaginé et prirent en photo les divers « états » de la Lune. Ils photographièrent ainsi sa face visible depuis la Terre avec une résolution et un angle de vue radicalement différents de ceux de l'observation terrestre, révélant des paysages fantomatiques de cratères, de plaines et de montagnes dont l'apparence était menaçante ou séduisante suivant l'inclinaison de la lumière solaire. Les photographies du terminateur (ligne de séparation entre la partie éclairée et la partie obscure d'un astre), étaient particulièrement saisissantes.

Les astronautes dévoilèrent sur pellicule les détails de la face cachée de la Lune, divulguant finalement aux Terriens les secrets et les trois dimensions de cet astre pourtant familier ; notamment un paysage tourmenté très distinct de la face visible, avec une surface bombardée par les météorites et très peu de mers lunaires.



*Buzz Aldrin photographié par Neil Armstrong.*

Ils photographièrent également une pleine Lune comme on ne la voit pas depuis la Terre (puisqu'elle n'expose qu'une seule face) et rapportèrent des clichés montrant d'autres hémisphères lunaires.

Peu de visions dans l'histoire de l'humanité furent aussi exaltantes et émouvantes que le lever de Terre sur l'horizon lunaire...

Les photographies du nouveau monde lunaire et de sa face cachée étaient déjà fascinantes, mais les photographies du « spaceship Earth » furent pour les astronautes une révélation profonde de ce voyage.



*Première photographie prise par Neil Armstrong sur la surface lunaire (non publiée à l'époque).*

Finalement, Armstrong et Aldrin écrivirent une nouvelle page de l'histoire humaine en explorant la surface d'un autre monde.

C'était un monde étranger, hostile, privé d'air, silencieux et vide.

En le découvrant, Armstrong, qui devait après son fameux premier pas collecter en priorité un échantillon de roche lunaire dans le cas d'un retour en urgence sur Terre, choisit de prendre d'abord des photographies avec son Hasselblad tendu par Aldrin depuis le cockpit du LEM.

Photographier est ainsi la première activité d'un homme sur la surface d'un autre monde.

C'était un monde dont le ciel est noir en plein jour car il s'agit du ciel de l'espace, mais un ciel dépourvu d'étoiles car le soleil brille si fort sur la poussière lunaire que son rayonnement masque la lumière des autres astres, excepté la Terre.

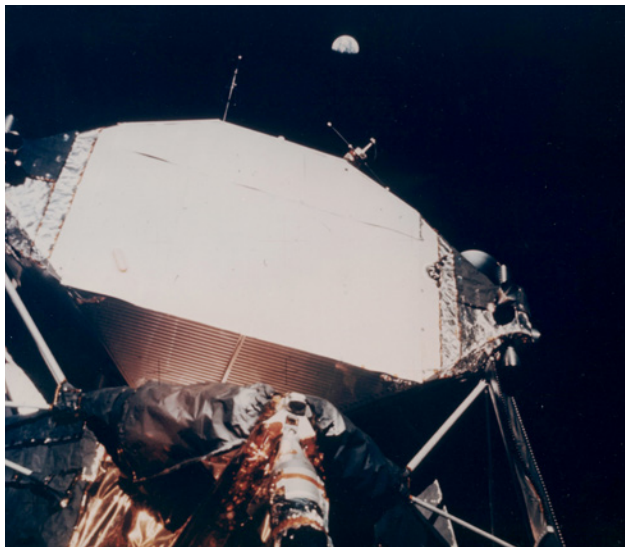
Un monde rapetissé où l'horizon paraît tout proche (le globe terrestre possède un diamètre près de quatre fois plus grand que celui du globe lunaire et la Terre pourrait contenir cinquante Lunes en volume).

Un monde d'une clarté absolue (pas d'atmosphère pour filtrer, adoucir ou colorer la lumière du Soleil).

Un monde dépourvu de couleurs si ce n'est des nuances de gris suivant l'inclinaison des rayons du soleil.

## HISTOIRE ON A PHOTOGRAPHIÉ SUR LA LUNE

Un monde désolé et sans vie où l'absence de végétation, d'érosion ou d'édifice humain entraîne chez l'explorateur une perte totale des notions de distance, d'échelle ou d'horizon ; Armstrong et Aldrin ne s'éloignèrent d'ailleurs pas de plus de 100m du LEM. « Vous vous tenez là et vous vous dites simplement, je ne crois pas ce que je vois ! », expliquait Eugène Cernan, dernier homme sur la Lune et qui parcourut plusieurs dizaines de kilomètres avec la Jeep lunaire lors d'Apollo 17.



La terre au dessus du LEM Eagle.



Buzz Aldrin prélevant un échantillon de roche.

Un monde où la notion du temps lui-même se trouble puisque le jour et la nuit lunaires durent chacun quatorze jours terrestres.

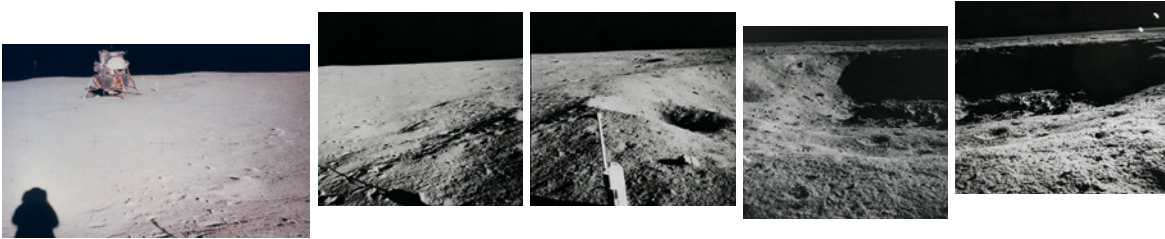
Pour les cerveaux humains inadaptés, un seul point de repère dans ce monde irréel : la planète Terre, toujours fixe dans le ciel lunaire, comme veillant sur ses explorateurs. Selon Cernan, « regarder la Terre, c'était le seul moyen de se raccrocher à la réalité. C'est là d'où vous venez, c'est votre chez vous... Je me demande ce que ça aurait été de marcher sur la Lune et de ne pas avoir la Terre dans le ciel ».

Dans ce monde déroutant et dangereux, les astronautes eux-mêmes ressemblaient à des extraterrestres avec leurs combinaisons encombrantes et leurs casques aux visières dorées. La gravité 1/6 rendait leurs mouvements gauches et lents, en même temps qu'aériens ; leurs photographies enregistraient des poses inhabituelles pour nos yeux terrestres.

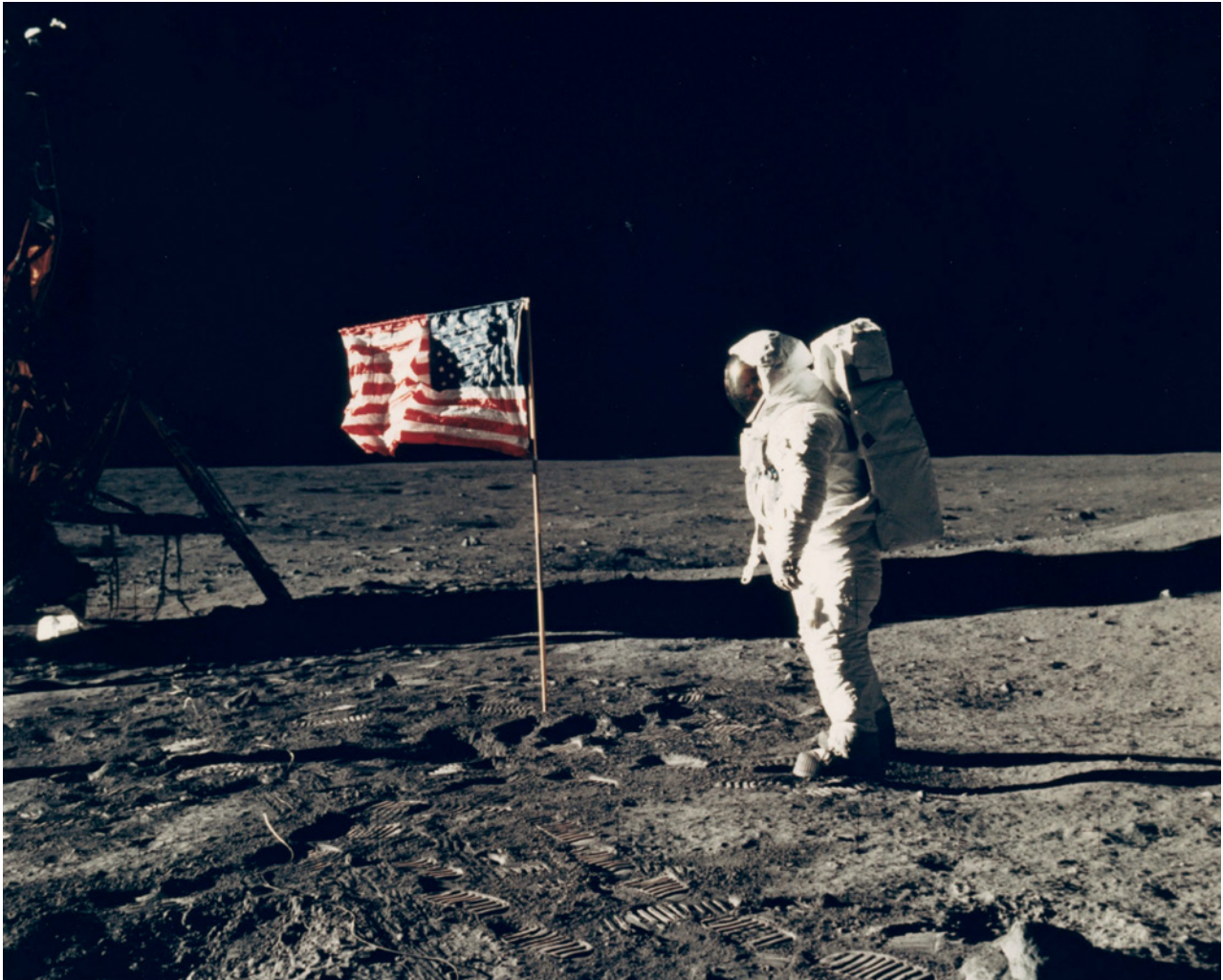
Chaque pas était un pas dans l'inconnu. Tandis qu'ils mettaient en place des expériences scientifiques ou collectaient des échantillons de roche, ils documentaient leurs activités au moyen de l'appareil Hasselblad fixé sur la poitrine. Ils effectuaient également des prises de vue panoramiques. Initialement réalisés afin que les scientifiques sur Terre puissent reconstituer la localisation et les caractéristiques géologiques des stations lunaires, ces panoramas révèlent la beauté surréaliste des paysages de la Lune.

Comme dans d'autres domaines, la NASA a été à l'avant-garde de la technologie en matière de photographie. Sa division de technologie photographique spatiale a été fondée en partenariat étroit avec Kodak, Hasselblad et Zeiss. Pour toutes ces firmes, les exploits extraordinaires de la NASA et de ses astronautes étaient une source incomparable de publicité et leurs meilleurs ingénieurs collaboraient pour fabriquer les films, les appareils et les objectifs adaptés aux contraintes extrêmes de l'espace.

Si la photographie s'est révélée un outil fondamental pour atteindre et explorer la Lune, la NASA s'est vite rendu compte qu'elle était un atout exceptionnel pour promouvoir son programme spatial et imposer le voyage lunaire aux Américains et au reste du monde (la course à l'espace avec les Soviétiques allait mobiliser 4 % du budget fédéral pendant dix ans et les efforts combinés de quatre cent mille ingénieurs et ouvriers). La beauté des images de l'espace allait justifier le voyage lui-même. Le chef de la photographie à la NASA, Richard Underwood, répétait ainsi aux astronautes: «Vous savez, quand vous rentrerez, vous serez des héros nationaux, mais ces photographies, si vous prenez de belles photos, elles vivront éternellement. Votre passeport pour l'éternité est la qualité de vos photographies et rien d'autre!»



Séquence panoramique prise par Neil Armstrong lors de son exploration à Little West Crater.



Buzz Aldrin posant devant le drapeau des USA.

Embrassant le précepte d'Underwood, les astronautes, scientifiques et pilotes de formation trouvèrent dans la photographie le meilleur support pour transcrire à destination du reste de l'humanité la magie et l'exaltation du voyage dans l'espace, leur perception de la beauté irréaliste d'un autre monde et le sens profond de leur exploration de l'inconnu.

Chacune des photographies rapportées par ces voyageurs privilégiés était l'occasion d'une nouvelle révélation, et certaines d'entre elles figurent parmi les plus célèbres de l'histoire de la discipline.

Cependant, le public n'eut pas connaissance de toutes leurs images: après chaque mission, le bureau des relations publiques de la NASA (le « Public Affairs Office », qui gérait la diffusion de l'information et la communication de l'agence) ne publiait qu'une sélection des photographies prises par les astronautes (de préférence celles qui avaient un fort impact visuel et célébraient les réussites de l'agence). Destinées à la diffusion scientifique et à la parution dans la presse, les médias et les livres d'histoire, nombre de ces « photographies publiées » sont devenues des icônes et appartiennent à notre culture visuelle.

## HISTOIRE ON A PHOTOGRAPHIÉ SUR LA LUNE



*Empreinte de pas sur la Lune.*

Quant aux photographies non publiées, elles n'étaient accessibles qu'aux chercheurs accrédités dans les archives des différents centres de la NASA (en particulier celui du *Manned Spacecraft Center* à Houston). Pendant trente ans, jusqu'à leur diffusion virtuelle et leur mise en ligne progressive sur Internet (sites du *Lunar and Planetary Institute* et du *Apollo Lunar Surface Journal*), ces « photographies inédites » sont restées quasiment inconnues du grand public, comme de spectaculaires séquences panoramiques prises en orbite et sur la surface de la Lune. Cette sélection a eu pour conséquence une compréhension incomplète des réalisations photographiques de l'agence.

D'autre part, la NASA n'a pas non plus saisi à l'époque l'occasion qui lui était offerte de construire un récit sur le voyage dans l'espace, comme l'avaient fait les photographes explorateurs qui avaient voyagé dans l'Ouest américain et en Antarctique. La plupart du temps, les photographies étaient sorties du contexte de la mission et n'étaient pas créditées à l'astronaute qui les prenait mais à la NASA elle-même.

En combinant les photographies publiées à l'époque et les photographies « inédites » et en les replaçant dans leur contexte originel au moyen des transcrits des missions, il est possible de mieux appréhender la richesse du patrimoine photographique de la NASA et de donner une nouvelle lecture de la première exploration d'un nouveau monde.

Les photographies des astronautes, encore étudiées aujourd'hui par les géologues et les planétologues, fournirent de précieuses informations et donnèrent à l'agence un long héritage scientifique. Mais leur impact dépasse de loin le cadre scientifique.

Ainsi, du point de vue de leur impact social et historique, ces images peuvent être comparés à celles des grands photographes américains Mathew Brady, Margaret Bourke-White, Dorothea Lange et Ansel Adams.

Lorsqu'elles furent publiées dans la période turbulente de la fin des années 1960 et du début des années 1970, les photographies des astronautes transcendèrent immédiatement les barrières culturelles, politiques et étatiques. C'est toujours le cas de nos jours, et elles continuent de constituer une grande source de prestige pour la NASA. Leur pénétration dans l'inconscient collectif et leur capacité à communiquer sur les exploits de l'agence spatiale américaine sont fascinantes. À l'opposé, le programme spatial soviétique, dont les responsables n'ont pas perçu que des réalisations spatiales extraordinaires exigeaient des photographies extraordinaires, occupe une place réduite dans notre mémoire collective, et ce en dépit de ses grandes premières ; à tel point que l'on peut se demander si la NASA n'a pas décroché la Lune grâce à ses fusées, certes, mais aussi grâce à ses photographies.



*Lever de terre sur horizon lunaire au départ de la Lune.*

L'art a toujours célébré le pouvoir de l'exploration et le triomphe du génie humain.

Aujourd'hui, le talent des photographes explorateurs du XIX<sup>e</sup> siècle est reconnu. Ils ont produit des images nouvelles et d'une qualité technique supérieure, qui étaient aussi l'expression de leur perception et de leur interprétation face aux paysages qu'ils découvraient.

Les astronautes photographes, quant à eux, « ont transporté l'intellect humain, sa vision du monde, sa manière de penser, à 380 000 km de son camp de base. Ce fut cela l'importance du voyage », rappelait Frank Borman, de la mission Apollo 8.

Au croisement de l'investigation scientifique et de l'inspiration créatrice, les photographies des astronautes sont une expression de la curiosité humaine, du désir de l'homme d'explorer, de questionner ses origines et de repousser ses limites. Et elles ont changé notre compréhension de la condition humaine et de notre place dans l'univers. ■

# HISTOIRE DE LA CONQUÊTE SPATIALE PAR JEAN-FRANÇOIS CLERVOY ET FRANK LEHOT PARU CHEZ DE BOECK SUPÉRIEUR

par Bruno Chanetz



À l'occasion du 50<sup>e</sup> anniversaire du premier pas de l'homme sur la Lune, les éditions De Boeck publient une nouvelle édition - la 3<sup>e</sup> - de *Histoire de la conquête spatiale*, par Jean-François Clervoy et Frank Lehot. Jean-François Clervoy est polytechnicien, astronaute de l'ESA, et totalise trois vols spatiaux. Président de Novespace, il est l'initiateur des vols paraboliques en Europe. Frank Lehot est médecin aérospatial, instructeur lors des vols publics de découverte de l'impesanteur et conférencier en astronautique.

Après un survol historique depuis l'antiquité jusqu'à Jules Verne, en passant par Cyrano de Bergerac <sup>1</sup>, les auteurs évoquent les visionnaires et les ingénieurs qui posèrent véritablement les bases du voyage spatial. Parmi ces grands noms un Français Robert Esnault-Pelterie (1881-1957).

Le livre se poursuit avec une présentation d'une grande clarté, la page de gauche avec une année et un texte et la page de droite réservée aux photos. À tout seigneur tout honneur c'est Youri Gagarine, qui ouvre le bal en 1961. En réaction, la même année le Président Kennedy demande

au congrès des États-Unis de soutenir le projet ambitieux d'envoyer des hommes sur la Lune, déclarant : Aucun projet spatial dans cette période ne sera plus impressionnant pour l'humanité. L'année suivante, en septembre 1962, il prononce le discours mythique, réaffirmant l'engagement américain : *Nous choisissons d'aller sur la Lune au cours de cette décennie ... non parce que c'est facile, mais bien parce que c'est difficile.* Et 7 ans plus tard Neil Armstrong et Buzz Adrin foulent le sol lunaire. Une photo montre une famille asiatique regardant les images de cet exploit sur un poste de télévision, comme 500 millions de personnes dans le monde, soit le quart de la population mondiale de l'époque.

Au fil des pages s'égrène cette aventure de la conquête de l'espace avec des anecdotes, des faits vécus par les astronautes, qui rendent cette histoire vivante. Ainsi une photo montre une coupe de cheveux dans l'ISS, qui fait irrésistiblement penser au capitaine Haddock tondant la chevelure fournie des Dupondt dans la fusée lunaire en s'exclamant : *Quand on me demandera, quelles étaient mes fonctions à bord de la fusée, je répondrais que j'étais garçon coiffeur !* Dans la réalité on voit une femme aux cheveux dressés qui tient un aspirateur dans la main pour avaler les cheveux coupés par son collègue et éviter qu'ils n'envahissent toute l'atmosphère de la station en quelques instants sous la ventilation continue indispensable au renouvellement de l'air.

Par rapport aux éditions précédentes, l'ouvrage adopte non seulement une maquette différente, mais présente aussi de nouvelles images. Le fond est largement réactualisé avec 16 chapitres supplémentaires et parmi les nouveaux thèmes abordés :

- Que faire après avoir marché sur la Lune ? : le devenir des marcheurs lunaires ;
- Ont-ils vraiment marché sur la Lune ? : le scepticisme lié à certaines missions Apollo qui auraient été montées en studio ;
- Ce qu'a apporté la Lune aux Terriens : les retombées du programme lunaire dans notre vie quotidienne. ■

<sup>1</sup> voir éditorial de la Lettre n°32 : <https://www.3af.fr/sites/default/files/lettre-3af-32-bat-preview.pdf>



Association Aéronautique  
et Astronautique de France

[www.3af.fr](http://www.3af.fr)