

# CNES @ MAG

ESPACE • INNOVATION • SOCIÉTÉ

#90

Novembre 2021

NUMÉRO SPÉCIAL  
FR  
EN

60 ANS

POUR LE FUTUR



cnes

CENTRE NATIONAL  
D'ÉTUDES SPATIALES

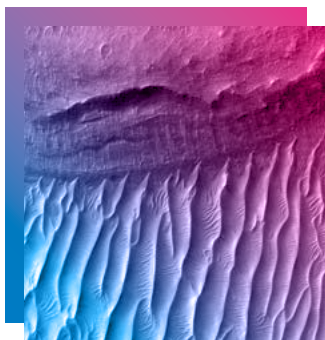
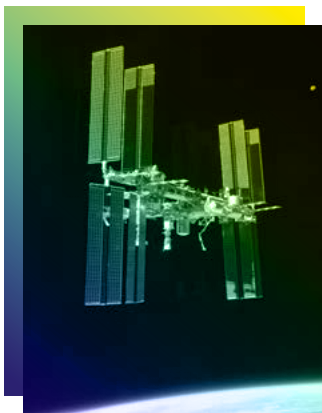


## SOMMAIRE

### 04 GRAND ORAL

### 06 TECHNOLOGIE

Imagerie, navigation, télécommunications, lanceurs... Il n'existe pas de champ du spatial dans lequel le CNES n'a pas impulsé de bond technologique. Des progrès bien visibles depuis la Terre mais qui nourrissent aussi les programmes spatiaux d'aujourd'hui et de demain.



### 12 EXPLORATION

Entre grandes révélations et petites révolutions, l'exploration spatiale a fait couler beaucoup d'encre. De Saturne à Mars en passant par le Soleil, et demain les trous noirs : le CNES a toujours su apporter sa pierre à l'édifice de la connaissance de l'Univers.

### 18 COOPÉRATION

Il est des coopérations exemplaires comme la Station spatiale internationale (ISS), chasse gardée de la science et à l'abri de toute tension diplomatique. Il en est d'autres plus difficiles à nouer ou à entretenir. Pourtant, la coopération spatiale a toujours constitué un outil précieux au service de la science et de l'équilibre mondial.

### 24 TRANSFERT

De bien des façons, l'espace a su se rendre indispensable. Le mérite en revient aux technologies spatiales qui, en plus de faire avancer la science, irriguent notre quotidien d'applications toujours plus utiles. Un transfert technologique que le CNES s'emploie à faciliter.

### 30 PLANÈTE

Depuis 60 ans, la France observe la Terre depuis l'espace. Seuls les satellites offrent une vision objective des dynamiques complexes qui s'y jouent. Ces précieuses données, le CNES les stocke, les traite puis les met au service de tous.



### 36 PERFORMANCE

Le monde a bien changé en 60 ans. Heureusement, le CNES aussi. Au fur et à mesure de l'apparition de nouveaux enjeux, l'établissement public a su rebondir et s'adapter pour répondre rapidement aux besoins émergents de la société.

### 42 FAITS MARQUANTS

## CNESMAG

**CNESmag**, le magazine d'information du Centre national d'études spatiales, 2 place Maurice Quentin, 75039 Paris cedex 01. Adresse postale pour toute correspondance : 18 avenue Édouard Belin, 31401 Toulouse cedex 9. Tél. : +33 (0)5 61 27 40 68. Internet : <http://www.cnes.fr>. Cette revue est adhérente à Communication&Entreprises. Abonnement : <https://cnes.fr/reabonnement-cnesmag>.

**Directeur de la publication :** Philippe Baptiste. **Directrice éditoriale :** Marie-Claude Salomé. **Rédactrice en chef :** Brigitte Alonzo-Thomas. **Secrétaire générale de la rédaction :** Céline Arnaud. **Rédaction :** Brigitte Alonzo-Thomas, Liliane Feuillerac, Dominique Fidel. **Photothèque (recherche iconographique) :** Marie-Claire Fontebasso. **Responsable photo :** Thierry De Prada. **Crédits photo :** p. 1 CNES/ESA/Arianespace/Optique Vidéo CSG/S. Martin, 2019; p. 3 La Poste/CNES/D. Ducros; p. 4 CNES/C. Peus, 2021; p. 6 CNES 2021, distribution Airbus DS; p. 7 CNES/A. Ollier; p. 8 (haut) C. Virmondois - (bas) CNES/E. Grimault; p. 9 Espace Patrimoine Safran; p. 11P. Nayler; p. 12 NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona; p. 13 ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team/MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA; p.14 (haut) ESA/ATG Medialab - (bas) ESA/M. Cowan; p.15 ESA/DLR/Fur Berlin; p. 17 S. Maurice; p. 18 NASA; p. 19 CNES/ESA/Arianespace/Service optique vidéo CSG; p. 20 (haut) ESA/Gaia/DPAC - (bas) ESA, GG BY SA 3.0 IGO; p. 21 ESA; p.23 C. Cornuat/French Embassy in the US; p. 24 NASAModis; p. 25-27 Getty Images; p. 29 CLS; p. 30 Getty Images; p. 31 CNES 2019, distribution Airbus DS; p. 32 (haut) CNES/Mira Production - (bas) CNES/P. Coqueruez; p. 33 Optique vidéo CSG/L. Mira; p. 35 D. Korber; p. 36 CNES/C. Peus; p. 37 CNES/SIGMA; p. 38 Planète Sciences/Agence TL - T. Labois; p. 39 Armée de l'air/J.L. Brunet; p. 41 ESA/N. Imber-Vier; p. 42 CNES/ESA/NASA; p. 43 NASA. **Illustrations :** Jean-Marc Pau. **Web master :** Sylvain Charrier, Mélanie Ramel. **Réseaux sociaux :** Mathilde de Vos. **Traduction :** Boyd Vincent. **Conception, conseil et réalisation :** Citizen Press - Camille Aulas, David Corvaisier, Fabienne Laurent, Alexandra Roy. **Impression :** Ménard. ISSN 1283-9817. **Ont participé à ce numéro :** Cecile Angelelis, Jacques Arnould, Kader Amsif, Jean Blouvac, Typhanie Bouju, Eric Boussarie, Eric Breil, Olivier Bugnet, Rémy Canton, Thierry Chapuis, Jean-Marc Charbonnier, Selma Cherchali, Florence Chiaavassa, Philippe Collot, Evelyne Cortiade, Sophie Coutin-Faye, Audrey Decrock, Serge Delmas, Emiline Deseez, Vincent Dubourg, Sandra Dusses, Pascal Faucher, Valérie Foix, Marie-Laure Gouzy, Aurélie Jeanne, Nathalie Journo, Sandrine Lafont, Carole Larigauderie, Olivier Lamarle, Brice Lamotte, Alice Lebreton, Samuel Mamou, Jean Maréchal, Jean-Youri Marty, Vincent Meens, Eric Médaille, Anne-Marie Medinailla, Laurence Monnoyer-Smith, Christian Mustin, Pascal Noir, Amélie Proust, Gilles Rabin, Sandrine Richard, Sylvain Rouzaud, Michel Sarthou, Arnaud Sellé, Lionel Suchet, Christophe, Sophie Tiget, Claire Tinel, Venet, Nicolas Verdier, Cédric Virmondois.



## PHILATÉLIE

## UN TIMBRE ÉVÉNEMENT



Pour célébrer l'anniversaire de sa création, La Poste a émis un timbre événement dans la collection Historique du timbre-poste français. David Ducros, qui signe la création, y fait cohabiter Terre et Univers dans un camaïeu de bleus. Ariane 5 en phase de décollage s'impose en majesté sur la planète Mars pendant que

le rover Perseverance fait faire le tour de la planète rouge à l'instrument SuperCam. Au premier plan, l'astronaute français Thomas Pesquet rappelle la place de l'homme dans l'aventure spatiale. Sous planche de 15 unités, 504 000 exemplaires ont été mis en vente au mois d'octobre 2021. Sa valeur faciale est fixée à 1,50 euro international. Cette édition spéciale ne marquera pas la fin de la collaboration entre le CNES et La Poste : avis aux philatélistes, le prochain timbre événement devrait célébrer le premier lancement d'Ariane 6.

## PORTFOLIO

## L'ART DU SPATIAL



our son 60<sup>e</sup> anniversaire, le CNES a décidé de visiter ses archives sous l'angle historique et artistique. Il en a extrait une sélection de photos d'une exceptionnelle qualité.

À la conquête du Cosmos, l'ouvrage luxueux qui en découle, livre un condensé d'émotions partagées pendant ces six décennies d'aventures spatiales. Chaque page rend hommage aux hommes et aux femmes, pionniers de l'aventure, mais aussi à la science et à la technologie. Chaque visuel s'accompagne d'un commentaire explicatif. Conçu avec soin et élégance, ce portfolio sous coffret marque un point d'étape. Signe que la conquête du cosmos ne fait que commencer, la préface de Philippe Baptiste, président-directeur général du CNES, nous projette dans l'avenir.

À la conquête du Cosmos, sous la direction artistique d'Alice Leroy, éd. Flammarion. En vente en librairie.



e 19 décembre 1961, le général de Gaulle signait la loi à l'origine de la création du CNES et faisait officiellement entrer la France dans

le cercle très fermé des puissances spatiales. 60 ans, ça se célèbre. Pour commémorer cet anniversaire, nous vous proposons un *CNESmag* repensé pour l'occasion. Il aurait été facile de céder au séduisant appel de la rétrospective, de ne retracer que les temps les plus forts de ces six décennies d'aventures humaines et scientifiques, voire de composer une liste à la Prévert de toutes les avancées majeures que l'on doit, tout ou partie, au CNES. Mais nous avons préféré opter pour un autre regard. Ce qui nous a guidés dans le choix drastique de contenus, avec comme seul objectif : vous montrer comment le CNES a toujours participé à façonner le futur. Nouvelles technologies, programmes d'exploration, exploitation de données spatiales, étude du climat... dans tous ses champs de compétences, il a su se projeter vers l'avenir. Ce sont ses excellentes capacités d'adaptation et d'anticipation qui ont permis à l'établissement de détecter précocement l'émergence de nouveaux enjeux et besoins, et de proposer les réponses adéquates. Au travers de six chapitres thématiques, nous vous proposons donc de découvrir ou de redécouvrir le positionnement avant-gardiste du CNES et de décoder comment il a participé à changer le monde. Éléments historiques, témoignages de collaborateurs de toutes les époques mais aussi interviews de personnalités extérieures : nous avons pensé ce numéro comme une immersion dans la grande histoire spatiale française. Et parce qu'un anniversaire ne s'envisage pas sans se rappeler quelques temps forts partagés, vous trouverez à la fin de ce numéro une frise chronologique de programmes qui ont marqué l'histoire du CNES.

Bonne lecture à tous !

**MARIE-CLAUDE SALOMÉ,**  
DIRECTRICE DE LA COMMUNICATION DU CNES



## GRAND ORAL



# PHILIPPE BAPTISTE

Président-directeur général du CNES



**Vous avez été nommé en début d'année 2021 à la présidence du CNES; quel regard portez-vous sur l'établissement qui fête aujourd'hui ses 60 ans ?**

**Philippe Baptiste :** C'est une immense fierté d'être à la tête du CNES. Je regarde le travail accompli par mes prédécesseurs durant ces 60 ans et j'y vois l'ampleur des transformations du domaine spatial. Le CNES a été un pionnier tous secteurs confondus et a su s'adapter à chaque nouvel enjeu. Il a été à l'origine de la naissance de l'industrie spatiale française et

européenne, ainsi que de la création d'entreprises telles que Arianespace, Spot Image ou encore CLS. Il a accompli des grandes premières, ce qui en fait un partenaire incontournable des grandes agences spatiales. Grâce à ce bilan et ses perspectives, le CNES fait partie des joyaux scientifiques et technologiques de notre pays. Face à un secteur en pleine mutation, il est nécessaire de continuer à faire évoluer nos pratiques ainsi que notre organisation tout en restant fidèles à notre ADN. Nos industriels gagnent en compétence et en maturité, faisons leur confiance et concentrons-nous sur les sujets émergents les plus difficiles et les moins maîtrisés.

De nouveaux entrepreneurs arrivent sur le marché, faisons-les monter en compétence en passant des contrats avec eux. C'est une gymnastique continue qui nécessite une grande souplesse.

**Comment appréhendez-vous le paysage international du secteur spatial dans les prochaines années, entre nécessaires coopérations et compétition accrue ?**

**P. B. :** Le point d'équilibre entre compétition et coopération est assez simple à trouver secteur par secteur : Sur les lanceurs comme



## GRAND ORAL

sur les télécoms, nous faisons face à une compétition mondiale féroce et largement soutenue par les États. De nouveaux enjeux commerciaux pointent aussi autour de l'IoT (les objets connectés), de l'observation de la Terre, etc. Mais il y a aussi des champs scientifiques entiers où la coopération est notre moteur. Le CNES, en plein accord avec le MEAE<sup>1</sup>, a toujours coopéré avec tous les pays ! Nous avons vocation à poursuivre des coopérations structurantes avec nos partenaires européens, américains, japonais, indiens, ainsi que chinois, dans une certaine mesure.

### **Vous êtes un fervent défenseur d'une constellation européenne; pouvez-vous préciser votre vision ?**

**P. B. :** L'enjeu stratégique des constellations en orbite basse est majeur : apporter l'Internet partout dans le monde en temps quasi réel. Cela va être crucial pour la défense et la sécurité intérieure, mais également pour de nombreuses applications commerciales, en matière de transports avec les véhicules autonomes par exemple. Les enjeux sont à la croisée du numérique et du spatial. Ne pas disposer demain d'une constellation propre, ce serait dépendre à l'avenir d'autres grands acteurs. Il ne peut en être question.

### **Vous insistez aussi sur la valorisation de la donnée spatiale; pourquoi est-ce une priorité selon vous ?**

**P. B. :** Nous devons « évangéliser » les entreprises, les industriels, les collectivités : les données spatiales vont permettre de développer de nouveaux services qui vont révolutionner nos usages. Les données

spatiales, c'est l'or noir du XXI<sup>e</sup> siècle. Le CNES a vocation à les qualifier, à mettre en relation des entrepreneurs d'horizons très différents pour faire émerger de nouvelles idées, de nouveaux services. C'est la philosophie de notre initiative Connect by CNES, qu'il faut pousser encore plus loin.

**“Le CNES fait partie des joyaux scientifiques et technologiques de notre pays.”**

### **Le monde change aussi en profondeur avec la montée de préoccupations climatiques et sociétales. Comment cela doit-il se traduire pour le CNES ?**

**P. B. :** Tous les travaux sur le climat ou la biodiversité font appel aux données spatiales. Sans ces données, nous ne pouvons pas mesurer l'état de santé de notre planète. Les prévisionnistes météo, les scientifiques qui construisent les modèles climatiques, réclament des observations chaque jour plus précises. C'est absolument primordial et nous devons investir massivement dans ces sujets. Quant aux enjeux de responsabilité sociétale des entreprises (RSE), nous sommes confrontés à la même problématique que toutes les grandes entreprises : limiter notre empreinte carbone. Nous avons déjà de très beaux projets, notamment celui en Guyane d'avoir prochainement une source d'énergie biosourcée.

### **En termes d'exploration, quelle vision avez-vous**


### **du rôle du CNES et, à travers lui, du rayonnement scientifique de la France ?**

**P. B. :** Le CNES ne décide pas seul d'une mission d'exploration. Elle est menée soit au sein de l'ESA, soit en coopération avec d'autres agences spatiales, et supervisée par des comités scientifiques. Aux équipes du CNES de les rendre possible. C'est pourquoi le rayonnement de la science française repose autant sur la qualité de nos scientifiques que sur notre capacité à spatialiser les problématiques (monter les instruments, concevoir des dispositifs, etc.). Aujourd'hui, la grande question concerne notre place dans l'exploration humaine lointaine : l'Europe n'a jamais eu de programme autonome dans ce domaine. À l'heure où les grandes puissances spatiales réfléchissent à des bases sur la Lune, voire sur Mars, il est important de savoir comment l'Europe compte se positionner demain.

### **Pour conclure, qu'auriez-vous envie de dire à la nouvelle génération qui découvre notre patrimoine spatial riche de ses 60 ans d'existence mais qui devra inventer de nouveaux usages et relever de nouveaux défis ?**

**P. B. :** La « conquête » de l'espace est une histoire fabuleuse d'hommes et de femmes passionnés. Nous n'avons plus le même rôle qu'hier, et celui de demain est à écrire. Alors, faites de la science et de la technologie et venez nous rejoindre, en apportant vos idées nouvelles !

1. Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères.

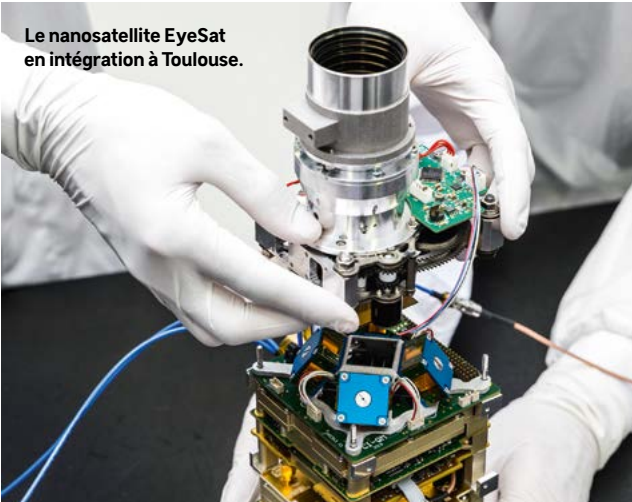


Vous ne pourrez pas être à Dubaï<sup>1</sup> pour l'exposition universelle ? Cette image Très Haute Résolution vous y transporte. Depuis 2011, les satellites Pléiades conjuguent THR (résolution à 70 cm), 3D, agilité, dualité pour des usages civil/défense.

1. Jusqu'au 31 mars 2022.

# TECHNOLOGIE

IMAGERIE, NAVIGATION, TÉLÉCOMMUNICATIONS, LANCEURS...  
IL N'EXISTE PAS DE CHAMP DU SPATIAL DANS LEQUEL LE CNES  
N'A PAS IMPULSÉ DE BOND TECHNOLOGIQUE. DES PROGRÈS BIEN  
VISIBLES DEPUIS LA TERRE MAIS QUI NOURRISSENT AUSSI  
LES PROGRAMMES SPATIAUX D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN.



**Le nanosatellite EyeSat en intégration à Toulouse.**

## L'INNOVATION POUR TRADITION

**En 1962, le CNES fraîchement créé reçoit la mission de « fournir un effort technologique soutenu ».**

**Message reçu : le progrès technologique deviendra à la fois sa raison d'être et sa marque de fabrique.**



est à Brétigny-sur-Orge que le général de Gaulle engage la France dans l'aventure spatiale avec la création d'un centre d'essais. Six ans plus tard, en 1968, ce dernier déménage dans la ville rose. Le Centre spatial de Toulouse est né. Il a vocation à relever de grands défis techniques. Dès les années 1980, le satellite d'imagerie spatiale Spot-1 révolutionne l'observation de la Terre. Il a été imaginé et conçu pour observer villes, routes, champs et – déjà ! – catastrophes naturelles. Le retour sur investissement est impressionnant : Spot ouvre la voie aux satellites Pléiades (Pléiades-NEO, CSO, etc.). Ces derniers ont pour illustres descendants les Sentinel du programme européen Copernicus, dédié à l'environnement, mais aussi une nouvelle génération de satellites de défense ou d'imagerie haute résolution de la Terre. Une décennie plus tard, les satellites altimétriques Topex-Posidon puis Jason-1, 2 et 3 mesurent l'emballement des océans, via l'altimétrie opérationnelle (cf. chapitre



**En 1986, Spot-1 offrait une résolution d'image de 10 m. En 2002, Spot-5 la portait à 2,5 m. Bientôt, la très haute résolution THR-NG atteindra une résolution de 25 à 30 cm.**

Planète p. 32). Avec Swot, l'altimétrie interférométrique élargit encore l'observation aux eaux continentales, lacs, rivières, etc. Avec Iasi, l'interférométrie infrarouge précise la prévision météorologique autant que l'analyse de la chimie atmosphérique. Demain, Microcarb mesurera même les échanges de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par spectrométrie.

### Une expertise technologique à large spectre

Quant à la géolocalisation, elle n'est plus sous exclusivité GPS. L'europpéen Galileo utilise une nouvelle méthode de calcul des signaux de navigation, dont plusieurs ont fait l'objet de brevets. La marge d'erreur s'en voit réduite ; et la précision, portée au centimètre près. Autre technologie, autre usage : dès 1979, Télécom-1 fait descendre la téléphonie et la télévision dans les foyers français. Depuis 2015, les nouvelles générations de SatCom<sup>1</sup> contribuent à résorber les zones blanches. Modern très large bande, chaînes de transmission très haut débit ou encore augmentation de capacité des satellites : l'optimisation des transmissions est toujours à l'ordre du jour.

Force de proposition pour de nouveaux concepts ou systèmes, le CNES sait aussi, à l'inverse, se saisir d'évolutions technologiques profitables. Dès les années 2010, il a pris part aux projets de nanosatellites ou équipements miniaturisés (cf. Caspex p. 8) qui ont, depuis, bouleversé le marché du spatial.

Côté lanceurs, ArianeGroup continue, depuis Vernon, à façonner leur avenir : le moteur Prometheus prépare les technologies de demain pour des fusées à ergols plus propres et à bas coût (cf. p. 9).

L'organisation atypique du CNES est unique en Europe : agence spatiale, il est aussi centre technique et peut, à ce titre, donner un avis expert, conduire des études de faisabilité, vérifier l'adéquation d'une technologie, d'un matériau, bref : innover. Il initie des étapes préliminaires de R&T, de R&D, de plateformes qui à leur tour stimulent la recherche technologique. En aval du système spatial, il aide à l'exploitation des données, dont certaines sont mises à disposition gratuitement. Efficaces sur Terre, ces technologies sont aussi support pour les programmes d'exploration robotique en cours et à venir, voire les missions habitées de l'Univers lointain qui se préparent en coulisses (cf. chapitre Exploration p. 12).

1. Satellite de communications.



## MINIATURISATION

# CASPEX DANS LA COUR DES GRANDS



**N**e vous fiez pas à son format XXS ! Le petit format de la caméra Caspex a un grand avenir. Sous entière maîtrise d'œuvre CNES, ce cube de 3 cm de côté a été conçu en 2014 pour répondre au cahier des charges de SuperCam, un des instruments du rover Perseverance. Il fallait alors des systèmes miniaturisés innovants. Certains ont été trouvés « sur étagère » comme le capteur d'images qui s'appuie sur la technologie de nos téléphones portables. Les tests de résistance aux vibrations, radiations et écarts extrêmes de température ont confirmé sa bonne tenue en conditions martiennes. En complément, Caspex est fournie avec microsystème complet, réseau programmable, mémoires vives et non volatiles pour intervenir sur les images. Sur SuperCam, Caspex a prouvé sa valeur. Adossée à des produits du commerce, elle génère de substantielles économies sans rien altérer de ses performances. La mini-caméra sera intégrée au rover lunaire émirati Rachid (2022) ainsi qu'à la mission japonaise MMX (Martian Moons Exploration). Elle est également la pièce maîtresse des viseurs d'étoiles Auriga, de Sodern, sélectionnés sur la constellation One Web à plus de 2 000 exemplaires.

# 600 000

[CATALOGUE.THEIA-LAND.FR](https://catalogue.theia-land.fr)

## Les données générées

par l'observation de la Terre sont infinies : humidité des sols, altitude des glaciers et bientôt hydrologie continentale... Le nouveau catalogue de la plateforme Theia met à la disposition des scientifiques et des services publics 600 000 produits numériques issus de ces données.



## DECLIC

L'instrument Declic prépare ici son retour vers la Station spatiale internationale (ISS). En étudiant la destruction de la matière organique dans les fluides supercritiques, il pourrait nous rapprocher, au quotidien, d'applications pour faciliter le traitement des déchets. Sur l'ISS, il profite de l'existence du point critique, un point précis d'équilibre de température et de pression que la pesanteur rend impossible sur Terre.





## LANCEURS

# UN HÉRITAGE PARFAITEMENT GÉRÉ

**L**e panache qui entoure la fusée au lancement cache des années de recherche technologique pour propulser un ensemble de 750 tonnes jusqu'à son apogée. Ce challenge, le CNES le relève depuis des décennies. Héritier des fusées-sondes, le moteur Viking du CNES a été le premier à faire des étincelles ! Utilisant des ergols chimiques stockables, il motorisait les deux premiers étages des Ariane 1 à 4. Le 3<sup>e</sup> étage, lui, était propulsé par un petit moteur cryotechnique : HM7. En 1973, pour soutenir la concurrence, l'Europe lance le programme Ariane 5 : une fusée sophistiquée qui emporte jusqu'à 10 tonnes dans l'espace. Un nouveau moteur – Vulcain – est alors dimensionné pour la propulser. Grâce à l'expertise acquise sur Viking et HM7, deux propulseurs à poudre sont conçus pour assurer la poussée ; ils sont relayés par le moteur cryotechnique Vulcain alimenté par des ergols liquides<sup>1</sup> stockés à très basse température. Dans sa version améliorée – Vulcain 2 –, le moteur a été utilisé par les Ariane 5 ECA, et dans sa toute dernière version – Vulcain 2.1 – par Ariane 6. Il est le moteur pour fusée à ergols liquides le plus puissant d'Europe.

1. Oxygène et hydrogène.

## LE DÉFI POUR DEMAIN DES ERGOLS VERTS POUR LES LANCEURS

Depuis 2017, la production d'ergols verts ajustée aux contraintes environnementales pour propulser les lanceurs fait l'objet d'investigations poussées, en conformité avec la réglementation européenne Reach<sup>1</sup>. Le biométhane appartient à cette nouvelle génération de combustibles. Atout supplémentaire, il peut être produit en Guyane, à proximité des ensembles de lancement, à partir d'un approvisionnement local de déchets industriels, ménagers, végétaux complété au besoin par des cultures énergétiques non préjudiciables à l'agriculture locale. Le concept de biomasse, l'installation de production et le process d'approvisionnement ont fait l'objet d'un avant-projet suivi de l'engagement de la phase de définition du projet en avril 2021. La construction pourrait être entérinée fin 2021. L'installation, conçue sur un mode « durable », pourrait à terme devenir un projet de territoire soutenant une économie circulaire locale.

1. Règlement n° 1907/2006 entré en vigueur en 2007 pour sécuriser la fabrication et l'utilisation des substances chimiques dans l'industrie européenne.



HISTOIRE  
EXTRAORDINAIRE



# ANTOINE RESSOUCHE

Cofondateur et directeur technique de U-Space

**"J'ai intégré Janus sans savoir  
que j'allais y rester huit ans"**

**B**oudés par la NASA et considérés comme des « jouets éducatifs » par les industriels, les CubeSats ont connu des débuts difficiles à l'orée des années 2000. Aujourd'hui, ces nanosatellites initialement conçus pour former des étudiants aux technologies spatiales connaissent un succès grandissant auprès des universités et des équipes scientifiques, qui louent leur standardisation, synonyme de développements rapides à moindre coût. Dès 2012, le CNES s'est emparé du concept pour développer le programme Janus<sup>1</sup>, devenu Nanolab Academy. Parmi les tout premiers bénéficiaires du dispositif, un certain Antoine Ressouche, étudiant à l'Enac<sup>2</sup>. « Sans savoir dans quoi je m'embarquais, j'ai intégré le projet pilote EyeSat dont le but était la conception et le développement jusqu'au lancement d'un nanosatellite d'observation de la lumière zodiacale. En tout, j'y suis resté huit ans. Simple stagiaire au départ, je me suis ensuite vu proposer un poste d'ingénieur technique

au Centre spatial de Toulouse afin de superviser les travaux des étudiants. » Au total, quelque 250 personnes ont participé à l'aventure EyeSat, à coups de promos de 15 à 20 étudiants se relayant tous les six mois. Un turnover en forme de défi pour le jeune homme, qui devait conjuguer pédagogie et gestion de projet. Le programme prend fin en décembre 2019, quand EyeSat s'envole à bord d'une fusée Soyouz. Mais l'histoire d'amour entre Antoine Ressouche et l'espace se poursuit : aux côtés de deux associés rencontrés à travers EyeSat, il dirige aujourd'hui U-Space, une start-up dédiée à la conception et à la construction de... nanosatellites. Avec un démarrage sous de bons auspices, la jeune société a récemment remporté la fabrication du démonstrateur Ness pour le CNES et celle d'un nanosatellite pour l'Onera<sup>3</sup>.

1. Jeunes en Apprentissage pour la réalisation de Nanosatellites au sein des Universités et des écoles de l'enseignement Supérieur.

2. École nationale de l'aviation civile.

3. Office national d'études et de recherches aérospatiales.



### 3 QUESTIONS À

# "LE TRÈS HAUT DÉBIT INTERNET S'IMPOSE PARTOUT ET POUR TOUS"

## Quel produit votre société conçoit-elle en lien avec les technologies spatiales ?

**Peter Naylor** : Notre entreprise concevait au départ des circuits intégrés dans plusieurs domaines : médical, aéronautique, automobile... Puis notre expertise s'est étendue à des circuits intégrés plus complexes destinés aux applications spatiales. En 2020, nous avons repris certaines activités de la société STMicroelectronics, notamment des produits de communication par satellite et en particulier Oxford, un circuit intégré miniaturisé conçu au CNES. Ce mini-circuit, ou puce, traite les signaux reçus par une antenne. Il peut être installé dans la plupart des terminaux ou des décodeurs dédiés à l'Internet par satellite pour des utilisations grand public. Le flux de données traité est équivalent à celui de la fibre optique.

## À quels besoins va répondre cette nouvelle génération ?

**P. N.** : Le secteur des télécommunications spatiales évolue très vite. Après les antennes paraboliques classiques, de nouvelles générations ont émergé. Les signaux qu'elles reçoivent sont soumis à de nouvelles caractéristiques techniques. Nous adaptons le mini-circuit Oxford pour qu'il réponde à ce marché du futur. Oxford-2 va augmenter le débit des signaux traités et fournir, via un décodeur,



## PETER NAYLER

Business Manager  
de la société EASii-IC

"Le CNES a été déterminant pour nous aider à concevoir techniquement cette nouvelle génération"

### PARCOURS

#### 1986

Diplôme d'électronique et communications (Université du Sussex)

#### 1999-2003

Responsable des applications radio-fréquence (terminaux cellulaires), STMicroelectronics


#### 2019

Business manager EASii-IC

des données de qualité optimale à la fois pour le réseau Internet et pour les applications vidéo. Avec l'arrivée de la 5G, le développement des avions ou des bateaux connectés, la situation va encore évoluer. Avec le CNES, nous continuons à nous projeter vers l'avenir.

## Cette collaboration a-t-elle fait évoluer vos liens avec le CNES ?

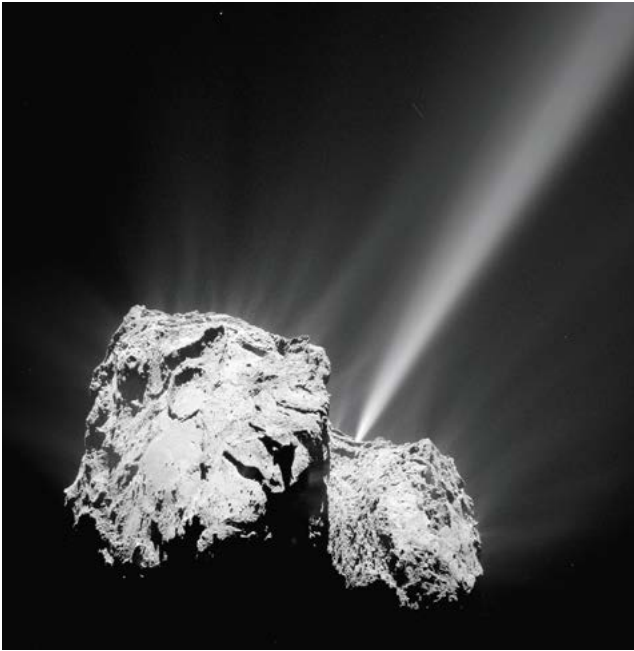
**P. N.** : Le CNES s'est impliqué très tôt dans le développement d'Oxford. Il a accompagné STMicroelectronics ; aujourd'hui, il nous accompagne. Toujours dans une vision prospective, l'Oxford-2 a, par exemple, été optimisé pour l'utilisation des satellites en orbite basse. Le CNES a été déterminant pour nous aider à concevoir techniquement cette nouvelle génération. Il a encouragé les partenariats avec des acteurs clés. Il est clairement un partenaire très important pour notre entreprise. Notre ambition est de voir EASii-IC s'imposer comme un acteur majeur de l'industrie spatiale française et européenne.



L'eau a-t-elle coulé sur Mars ? Oui, c'est une certitude. Ces harmonieux entrelacs d'argiles en témoignent. En 2005, la sonde européenne Mars Express en a localisé sur une vingtaine de sites et les investigations se poursuivent.

# EXPLORATION

ENTRE GRANDES RÉVÉLATIONS ET PETITES RÉVOLUTIONS, L'EXPLORATION SPATIALE A FAIT COULER BEAUCOUP D'ENCRE. DE SATURNE À MARS EN PASSANT PAR LE SOLEIL, ET DEMAIN LES TROUS NOIRS : LE CNES A TOUJOURS SU APPORTER SA PIERRE À L'ÉDIFICE DE LA CONNAISSANCE DE L'UNIVERS.



## PLUS LOIN ENSEMBLE

**Des hommes ont marché sur la Lune et des robots arpentent le sol martien. Mais explorer l'Univers et ses « mondes lointains » reste encore une aventure périlleuse, suffisamment excitante pour inspirer toujours plus de nouvelles missions européennes.**

**D**écouvrir l'Univers est rarement un voyage en solitaire. Malgré tout, en 2001, la France a pris l'initiative d'une mission de sismologie stellaire sous maîtrise d'œuvre CNES : CoRoT<sup>1</sup>. Elle a permis l'identification de nombreuses exoplanètes dont le catalogue a été publié en 2018. Mais CoRoT reste un cas d'école. C'est plus généralement dans le cadre de l'Agence spatiale européenne (ESA) que la France participe à des missions d'astrophysique ou d'exploration de l'Univers. La science spatiale est, en effet, un « programme obligatoire » défini par l'ESA. Tous les États membres sont appelés à y participer ; leur contribution est corrélée



**C'est la date à laquelle l'instrument Sam du rover Curiosity a confirmé que de l'eau avait bien coulé sur Mars grâce à l'analyse de sa roche argileuse.**

à leur PIB. Si elle est contrainte, cette mutualisation n'en demeure pas moins très efficace : elle rend possibles des missions trop complexes ou trop coûteuses pour être menées par une seule nation.

### Un tremplin pour la science et l'industrie

Une fois sélectionnées pour leur intérêt scientifique, ces missions doivent être mises en œuvre techniquement. Dans ce cadre, la France est appelée à participer au développement d'instruments, voire à en prendre la responsabilité. Une contribution qui permet, par ricochet, d'impliquer les scientifiques et les laboratoires français, notamment le CNRS<sup>2</sup> et sa dizaine d'instituts. Par exemple, en 1997, Cassini-Huygens (NASA-ESA) a étudié l'environnement de Saturne et ses satellites Titan et Encelade avec des instruments français servant à l'analyse de leur composition chimique. En 2018, BepiColombo (ESA/JAXA<sup>3</sup>) est partie cartographier Mercure : six de ses 16 instruments avaient été conçus par huit laboratoires français. En 2014, la France et l'Allemagne ont fourni à la sonde japonaise Hayabusa-2 l'atterrisseur Mascot ainsi que ses instruments qui ont contribué au succès de la mission. Aujourd'hui, l'Europe soutient un projet qui réunit astronomes et physiciens européens autour de l'étude de « l'Univers sombre ». La mission cosmologique Euclid devrait ainsi être lancée en 2022 pour réaliser une cartographie 3D de plusieurs centaines de millions de galaxies. En France, 500 scientifiques pourraient être concernés par ce projet. Partie prenante du consortium qui assure la responsabilité du segment sol (stations de poursuite, télécommandes, etc.) et pilote du développement d'un spectromètre, le CNES les soutient à travers sa contribution.

À horizon plus lointain, vers 2034, la mission Athena du programme Cosmic Vision étudiera les trous noirs. Elle sera dotée d'un télescope à rayons X nouvelle génération, un instrument révolutionnaire dont la maîtrise d'œuvre exclusive a été confiée au CNES.

1. Convection, Rotations et Transits planétaires.  
2. Centre national de la recherche scientifique.  
3. Agence spatiale japonaise.



## SOLEIL

# UNE ÉTOILE DANS TOUS SES ÉCLATS



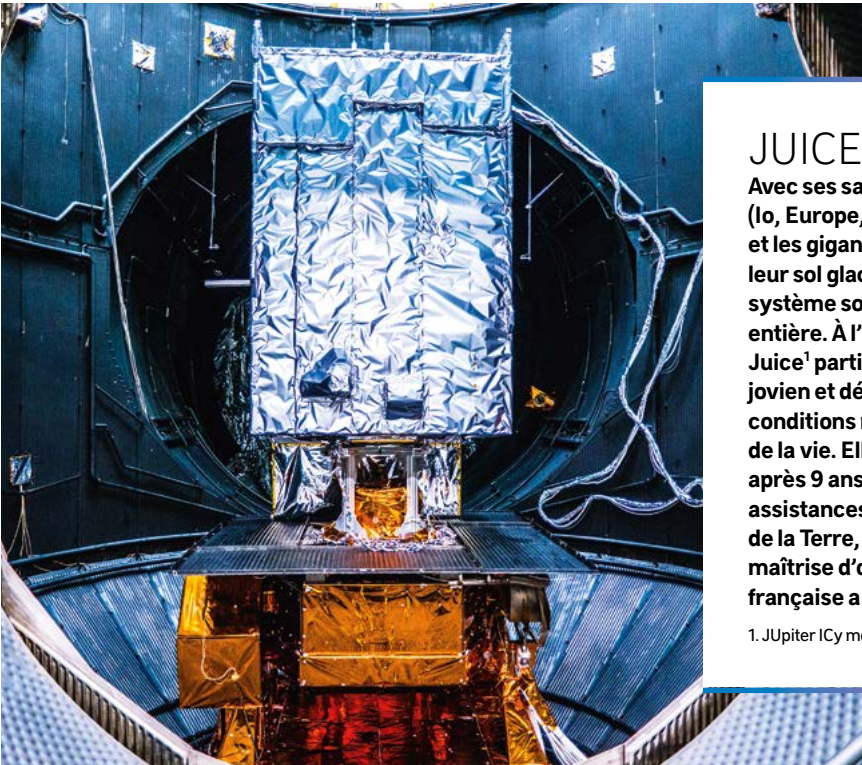
**S**a lumière transporte l'énergie qui façonne nos climats et son rayonnement nourrit nos plantes. Pourtant, le Soleil reste une énigme, même si depuis 1990 quelques missions d'exploration l'ont approché (Ulysse, Soho, Stereo). Très élevée à sa surface (5 000 à 6 000 °C), sa température augmente de manière inexplicable dans la couronne solaire (1 million de degrés). Pour comprendre ce phénomène, les États-Unis et l'Europe ont envoyé deux missions complémentaires. Partie en 2018, Parker Solar Probe (NASA) étudie la couronne solaire avec une instrumentation en partie française. Lancée en 2020, Solar Orbiter (ESA) observe, quant à lui, le Soleil avec une résolution jamais atteinte jusqu'ici ! Grâce à ses 10 instruments, le satellite tente de mieux comprendre notre étoile et son environnement. Dans quelques années, Solar Orbiter ira ensuite scruter les pôles solaires.

# 4838

## Combien sont-elles en dehors du Système solaire ?

Les planètes extrasolaires (ou exoplanètes) renferment encore bien des mystères.

En 2006, CoRoT a été conçu, entre autres, pour prouver leur existence. En septembre 2021, 4 838 exoplanètes avaient été recensées.



## JUICE

Avec ses satellites naturels (Io, Europe, Ganymède et Callisto) et les gigantesques océans sous leur sol glacé, Jupiter constitue un système solaire miniature à part entière. À l'automne 2022, la mission Juice<sup>1</sup> partira décoder l'univers jovien et découvrir s'il détient les conditions nécessaires à l'apparition de la vie. Elle arrivera en 2031, après 9 ans de périple et quelques assistances gravitationnelles autour de la Terre, de la Lune et de Vénus. La maîtrise d'ouvrage de la contribution française a été confiée au CNES.

1. JUPITER ICY MOONS EXPLORER



Selfie du rover Curiosity depuis le sol martien.

## ROBOTIQUE

# CENTRE NÉVRALGIQUE DE L'EXPLORATION

**F**in 2003, les spectromètres Omega et Spicam de la sonde Mars Express (ESA) commencent à analyser l'atmosphère et le sol martiens. Ce n'était qu'un début : suivront ChemCam et Sam sur Curiosity (NASA, 2011), Seis sur Insight (NASA, 2018) et SuperCam sur Perseverance (NASA, 2020). Depuis près de vingt ans, les laboratoires français travaillent sur les précieux instruments des missions martiennes. En témoigne la mission européenne Exomars, qui s'articule en deux temps. Pour la première étape, l'industrie française a déjà réalisé l'orbiter Trace Gas (lancé en 2016), qui observe avec succès l'atmosphère martienne et sert de relais de télécommunications pour les autres missions. Pour la seconde, des laboratoires français réalisent en ce moment quatre instruments du rover Rosalind Franklin qui décollera en septembre 2022, en vue d'une arrivée sur Mars en 2023. La suite s'écrira en 2030 avec le retour d'échantillons martiens (cf. encadré ci-contre). Pour l'ensemble de la communauté spatiale, derrière l'exploration robotique s'inscrit en filigrane l'exploration humaine. La prochaine grande étape !

## LE DÉFI POUR DEMAIN SUIVRE LA VIE À LA TRACE

Comment la vie s'est-elle établie sur Terre ? S'est-elle écrite ailleurs ? Pour le savoir, la science cherche d'autres environnements planétaires propices à l'apparition ou au développement de formes de vie. Depuis plus d'un demi-siècle, l'exploration du Système solaire se poursuit : Vénus Express, BepiColombo vers Mercure, Huygens vers Titan (lune de Saturne). Mais c'est Mars qui cristallise les attentions. En plus d'être relativement accessible, la planète rouge recèle des dépôts de sédiments indiquant la présence abondante d'eau à sa surface par le passé. Les missions actuelles recherchent des biosignatures sous forme de minéraux ou molécules organiques. C'est donc un véritable jeu de piste qui se joue en ce moment sur le sol martien : le rover Perseverance prélève des échantillons dans des zones ciblées pour leur intérêt géologique et exobiologique. Conditionnés à l'abri dans des tubes, ils seront collectés par un second robot puis placés en orbite martienne pour être ramenés sur Terre. C'est l'objectif ambitieux de la mission ESA-NASA Mars Sample Return (MSR) à l'horizon 2026-2031.



HISTOIRE  
EXTRAORDINAIRE



# PHILIPPE GAUDON

Ancien chef de projet Rosetta au CNES

**"Avec Philae,  
l'improbable s'est produit"**

**N**ous sommes le 12 novembre 2014 : Philae a rendez-vous avec la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko, Tchouri pour les intimes. Pour le petit atterrisseur européen, c'est l'aboutissement d'un périple de 7 milliards de km commencé en mars 2004 en compagnie de la sonde Rosetta. Mais l'épilogue réserve son lot de surprises. « *Nous avons pourtant mis toutes les chances de notre côté. En orbite autour de la comète pendant quatre mois, nous avons pu l'observer de près et discuter pendant des jours du meilleur site à visiter et de la meilleure trajectoire pour y arriver, se remémore Philippe Gaudon, alors chef du projet Rosetta au CNES. Mais l'improbable se produit : deux des trois dispositifs déclenchés lors de l'atterrissage ne fonctionnent pas.* » Résultat : au lieu de se poser, Philae rebondit, heureusement sans causer de dommage à la dizaine d'instruments scientifiques embarqués. « *Après deux longues heures d'angoisse,*

*le module s'est immobilisé et pendant 60 heures nous avons reçu de très belles images et un très grand nombre de données qui occupent encore aujourd'hui les scientifiques.* » Mais une fois les batteries de Philae vides, l'éclairage dans la zone de rebond n'est pas suffisant pour alimenter les panneaux solaires prévus à cet effet. Philae se trouvant couché sur un côté, ce sont ensuite les communications avec Rosetta qui posent problème : quelques contacts brefs seront tout de même établis avant une dernière transmission le 9 juillet 2015. En septembre 2016, la sonde survole une nouvelle fois Tchouri et photographie le site où Philae repose pour toujours. « *Nous lui avons dit adieu ce jour-là mais son héritage est immense : les molécules extrêmement complexes détectées pendant ces 60 heures de transmission semblent confirmer que les comètes sont bel et bien à l'origine de l'ensemencement des océans, et donc de la vie sur Terre.* » Immense, en effet.





### 3 QUESTIONS À

# "EXPLORER LE SYSTÈME SOLAIRE À LA RECHERCHE D'EAU ET DE VIE"

## Quels ont été (ou sont encore) vos grands domaines d'études ?

**Sylvestre Maurice :** Je suis spécialiste des surfaces planétaires. Une large part de mes travaux porte sur la recherche d'eau et de preuves d'habitabilité dans différents endroits du Système solaire : Saturne, Jupiter, Mercure, Mars, la Lune...

Je suis aussi instrumentaliste ; notre équipe a conçu et pilote désormais ChemCam et SuperCam, les deux caméras laser qui équipent les rovers martiens Curiosity et Perseverance. Elles ont été développées en France, en partenariat avec le Los Alamos National Laboratory (LANL), pour le compte du Jet Propulsion Laboratory (JPL) à Pasadena, en Californie.

## Et les grandes découvertes de votre carrière ?

**S. M. :** Mon aventure préférée demeure encore aujourd'hui la mission Lunar Prospector. En 1999, elle a conduit à la découverte d'hydrogène indiquant la présence de glaces d'eau aux pôles de la Lune. L'équipe qui étudiait ces données était toute petite, à peine quatre personnes, une taille inenvisageable de nos jours ! Par la suite, j'ai contribué à d'autres découvertes comme l'identification de phases hydratées à l'équateur de Mars (mission Mars Odyssey) et de glaces d'eau aux pôles de Mercure (mission Messenger). Mais la vie de scientifique n'est pas faite que de succès, et j'ai moi aussi connu mon



## SYLVESTRE MAURICE

Astrophysicien et planétologue  
à l'Institut de recherche en  
astrophysique et planétologie (Irap)

"Cela fera bientôt dix ans  
que mon bureau est  
sur la planète rouge !"

lot de « ratés » : je n'ai, par exemple, pas réussi à identifier dès la première mission des molécules d'eau dans la magnétosphère de Saturne. Il y a bien sûr eu l'épopée Curiosity, qui a apporté la preuve de l'habitabilité passée de Mars. Et depuis février 2021, c'est Perseverance qui cherche des traces de vie.

## En quoi le CNES vous a-t-il permis ces avancées ?

**S. M. :** Depuis les premières études conjointes, en 2001, qui allaient conduire aux campagnes martiennes d'aujourd'hui, les relations nouées entre nos équipes académiques (CNRS, universités) et celles du CNES sont devenues si étroites que nombre de mes collègues américains ne savent même pas que je suis de l'Irap ! Pour SuperCam, environ 70 personnes du CNES ont été mobilisées, venant d'horizons divers : mécanismes, composants, qualité, etc. Elles ont fourni plusieurs sous-systèmes, à commencer par son laser et sa caméra. Aujourd'hui, nous pilotons ensemble ces instruments au quotidien sur Mars. Plus généralement, le CNES nous garantit l'accès à l'espace, des accords avec de multiples partenaires pour embarquer les instruments que nous construisons ensemble. Tout bien considéré, j'estime que j'ai la plus belle des positions : en appartenant au monde académique tout en évoluant au quotidien dans celui d'une agence spatiale, je bénéficie du meilleur des deux univers !

### PARCOURS

#### 1994

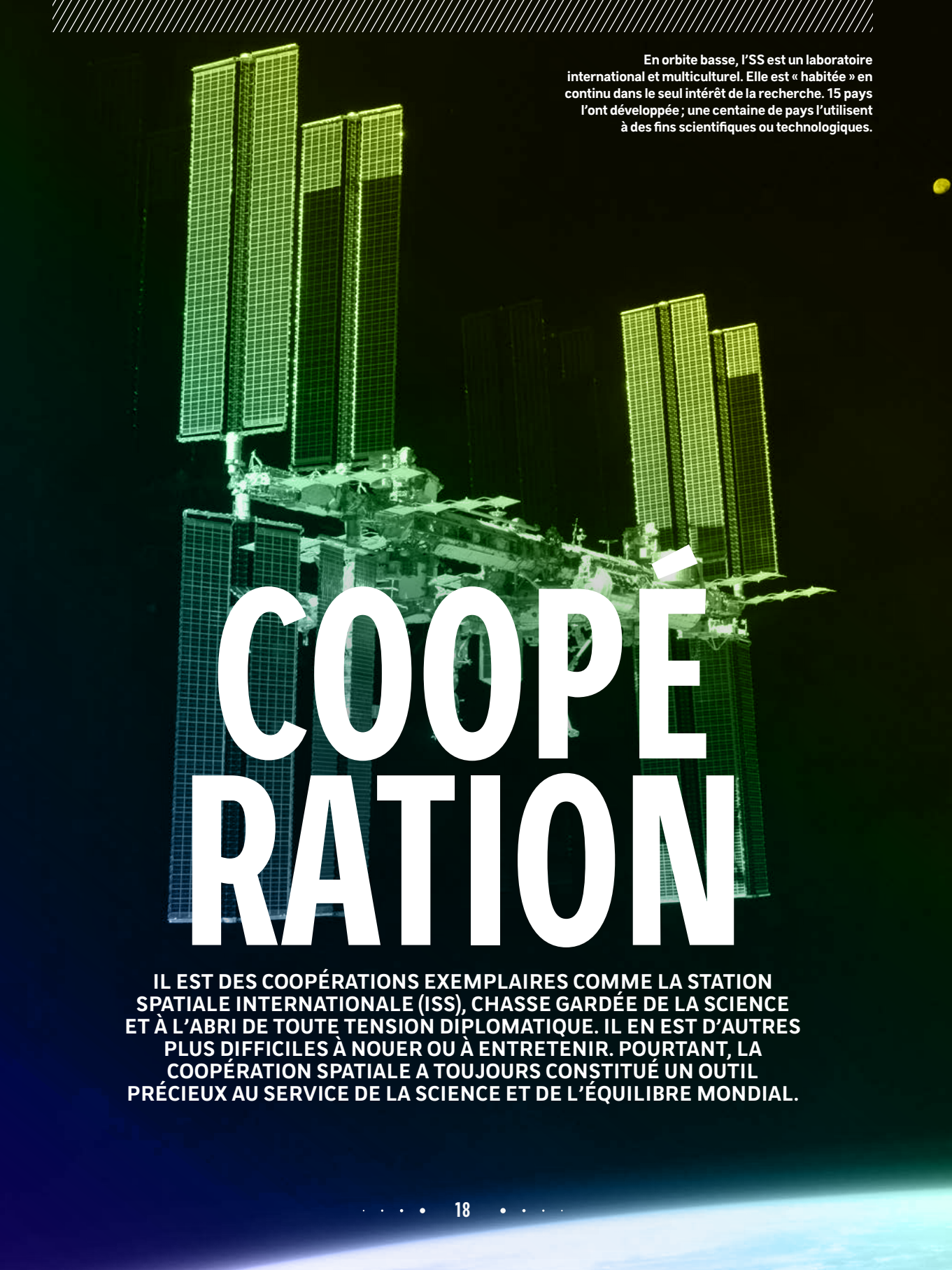
Doctorat en astrophysique  
(université Paul-Sabatier).

#### 2001

Mission Mars Odyssey ;  
découverte de minéraux  
hydratés à l'équateur de  
Mars.

#### 2012

Le rover Curiosity se pose  
sur Mars avec, à son bord,  
la caméra ChemCam.



En orbite basse, l'ISS est un laboratoire international et multiculturel. Elle est « habitée » en continu dans le seul intérêt de la recherche. 15 pays l'ont développée ; une centaine de pays l'utilisent à des fins scientifiques ou technologiques.

# COOPÉRATION

IL EST DES COOPÉRATIONS EXEMPLAIRES COMME LA STATION SPATIALE INTERNATIONALE (ISS), CHASSE GARDÉE DE LA SCIENCE ET À L'ABRI DE TOUTE TENSION DIPLOMATIQUE. IL EN EST D'AUTRES PLUS DIFFICILES À NOUER OU À ENTREtenir. POURTANT, LA COOPÉRATION SPATIALE A TOUJOURS CONSTITUÉ UN OUTIL PRÉCIEUX AU SERVICE DE LA SCIENCE ET DE L'ÉQUILIBRE MONDIAL.



Premier décollage d'un Soyouz depuis la Guyane le 21 octobre 2011.

## PLUS QU'UNE STRATÉGIE, UN ÉTAT D'ESPRIT

**En s'engageant dans une politique spatiale, la France a dû trouver sa place entre deux États géants et ambitieux, les États-Unis et l'Union soviétique. Dans l'intérêt de la recherche, elle a choisi de collaborer avec les deux. Depuis, elle multiplie les partenariats.**



À l'origine d'une coopération, il y a toujours des intérêts à coopérer, qu'ils soient programmatiques, scientifiques ou industriels. Depuis 2011, par exemple, le lanceur russe Soyouz est accueilli au Centre spatial guyanais (CSG). Il y trouve des conditions optimales de lancement et, en échange, complète la gamme des lanceurs européens. Généralement, les accords portent sur les domaines dont le CNES fait sa priorité : exploration de l'Univers, environnement, observation de la Terre, télécommunications... mais pas que. En sa qualité d'établissement public, le CNES est partie prenante de la vie diplomatique française. Huit bureaux permanents sont hébergés par les ambassades à Tokyo, Berlin, Washington, Pékin, Abou Dhabi, Moscou, Bangalore et, auprès de l'Union européenne, à Bruxelles. Ces



**Aujourd'hui, 90 % des missions réalisées par la France le sont en coopération européenne ou internationale.**

conseillers constituent de précieux relais locaux de l'action européenne et internationale. Enfin, par son « caractère industriel et commercial », le CNES soutient l'ouverture des marchés internationaux aux industriels, PME et start-up français.

### **La coopération, une démarche incontournable**

Dès sa création, en 1961, il noue des relations privilégiées avec ses partenaires historiques. Avec les États-Unis en 1963 (accompagnement des ingénieurs français sur le satellite FR-1), l'URSS en 1966 (premier accord intergouvernemental sur l'exploration et l'utilisation de l'espace à des fins pacifiques), l'Inde en 1964, le Japon en 1996 et, plus récemment, avec la Chine. De nouveaux partenariats se développent également avec de nouveaux acteurs du spatial comme les Émirats arabes unis (Emirates LunarRover), la Corée (Kass, le « Galileo » coréen), Israël (mission Venüs) ou encore le Maroc (Irrisat).

Mais la coopération emblématique de l'histoire spatiale française, c'est celle qui, avec les pays voisins, a permis l'émergence d'une véritable Europe spatiale. Avec l'Allemagne, la France a été l'un des acteurs de la fondation de l'Agence spatiale européenne, en 1975. Aujourd'hui forte de ses 22 États membres, elle porte l'ambition des pays européens, et le CNES en reste l'un des moteurs et principaux contributeurs. Par ailleurs, la France soutient également celle de l'Union européenne, montée en puissance ces dernières années. Ce cadre européen favorise la participation française à des missions de grande envergure.

Au-delà de la vision scientifique et/ou économique, certaines coopérations s'entendent dans une vision plus géopolitique. Les données spatiales jouent un rôle primordial pour aider au développement de certaines régions du globe (Afrique, Amérique du Sud) ou accompagner certains pays dans divers secteurs comme la gestion de l'eau, la préservation de l'environnement ou encore la santé. Le Kenya, par exemple, lutte contre le braconnage d'éléphants via les données spatiales ; le Nigeria les utilise pour contrôler la gestion de ses forêts. Les coopérations ont aussi pour finalité la solidarité internationale ; les Objectifs de développement durable (ODD) des Nations unies sont là pour le rappeler.



ESA

## UNE FORTE VALEUR AJOUTÉE

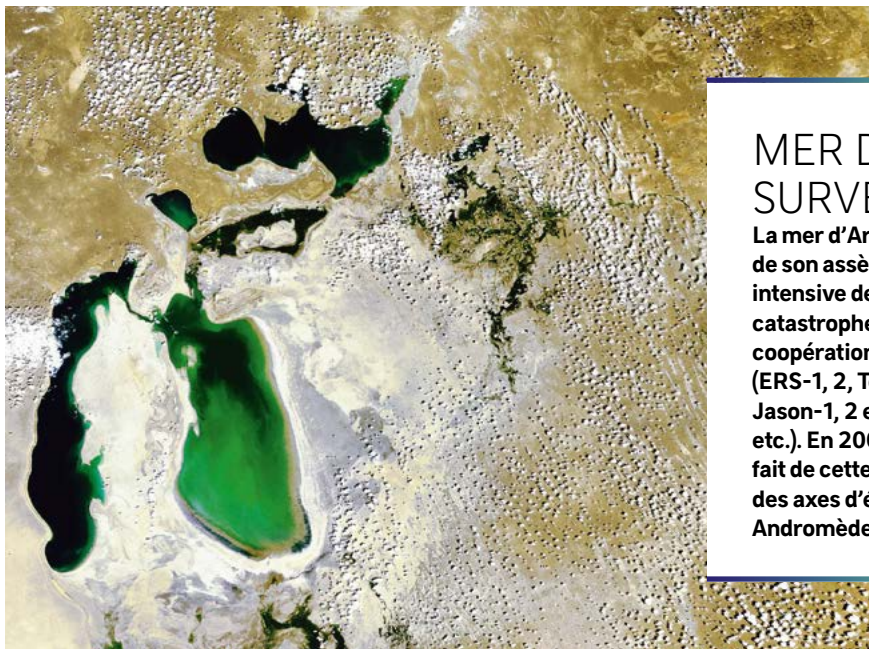


**L**e spatial comme symbole de la construction européenne ? La France en défend l'idée depuis longtemps. D'ailleurs, elle a très tôt fait le choix de mettre ses compétences scientifiques et techniques au service de l'Europe. Depuis la création de l'ESA, le CNES participe étroitement aux orientations et à la mise en œuvre de la politique spatiale européenne. La famille de lanceurs Ariane en est la tête d'affiche. Et pour cause : cette filière prestigieuse a garanti à l'Europe un accès à l'espace autonome, tout en satisfaisant une grande partie de la demande commerciale mondiale de lancement de satellites. Par ailleurs, Galileo a doté l'Europe d'un système de géolocalisation d'une précision inégalée et Copernicus observe minutieusement la planète. Les missions scientifiques de l'ESA, enfin, illustrent l'intérêt de la mutualisation des talents et des savoir-faire. Rosetta ou le rendez-vous improbable avec une comète (cf. Histoire extraordinaire p. 16), BepiColombo et son approche de Mercure, la rencontre à haut risque de Solar Orbiter avec le Soleil (cf. p. 14), l'épopée Mars Express. D'autres comme Gaia, le « must » de la cartographie galactique, s'inscrivent dans Cosmic Vision, un programme décennal qui scelle par classes – petites, moyennes, lourdes – le destin d'ambitueuses missions. Et la liste est longue.

225

### C'est le nombre d'accords

de coopération signé ces dix dernières années par le CNES. 126 sont toujours actifs, 80 ont été signés avec les pays d'Asie et 70 avec l'Amérique du Nord. Au total, 41 pays sont concernés.



## MER D'ARAL SOUS SURVEILLANCE

**La mer d'Aral est à l'agonie. La cause de son assèchement : la production intensive de coton. Le suivi de cette catastrophe doit beaucoup à la coopération spatiale internationale (ERS-1, 2, Topex-Poséidon, GFO, Jason-1, 2 et 3, Envisat, Sentinel, etc.). En 2001, le CNES avait même fait de cette surveillance l'un des axes d'étude de sa mission Andromède à bord de l'ISS.**



Station orbitale lunaire Gateway.

## EXPLORATION

# L'HOMME SUR MARS, ÇA SE PRÉPARE

**D**'ici à quelques décennies, l'exploration habitée de la planète rouge deviendra une réalité. Une épopée qui se prépare, aujourd'hui dans l'ISS et demain sur la Lune. Sur cette dernière, il s'agit de tester les capacités d'autonomie et d'autarcie nécessaires pour le voyage martien. Encore faut-il mieux connaître notre satellite naturel. Outre ses collaborations européennes, la France devrait contribuer d'ici à 2024 à plusieurs missions robotiques préparatoires. Pour Rachid, le petit rover des Émirats arabes unis qui alunira en 2022, le CNES fournit des caméras Caspex (cf. p. 8). Pour la mission chinoise de retour d'échantillons Chang'e 6, il livrera un instrument de mesure des émissions de radon en surface. De l'autre côté de l'océan Pacifique, les États-Unis prévoient, à l'horizon 2024, une mission d'étude géophysique du manteau lunaire. Dans ce cadre, un sismomètre dérivé de Seis sera livré au JPL<sup>1</sup>. Un magnétomètre a d'ores et déjà été fourni à l'université de Berkeley pour la mission LuSEE<sup>2</sup>, qui étudiera les champs électrique et magnétique à la surface de la Lune. Des travaux sont aussi envisagés dans le Gateway, la future station en orbite lunaire ; ils seront dédiés à la santé.

1. Jet Propulsion Laboratory, laboratoire de recherche de la NASA.

2. Lunar Surface Electromagnetics Experiment.

## LE DÉFI POUR DEMAIN PROTÉGER L'ESPACE EXTRA- ATMOSPHÉRIQUE

Déclaré bien commun de l'humanité, le domaine extra-atmosphérique a des airs d'espace de coworking. Depuis 1967, les États qui l'explorent à des fins scientifiques ont signé un traité international à l'initiative des Nations unies. Fondé sur le principe de non-appropriation, ce traité stipule que l'exploitation de l'espace extra-atmosphérique doit se faire « pour le bien et l'intérêt de tous les pays ». Mais la montée en puissance du New Space<sup>1</sup> et l'annonce de programmes de séjours lunaires ou martiens rebattent les cartes. Doit-on y voir un risque d'appropriation des ressources naturelles au profit d'une exploitation commerciale ? Dans l'immédiat, l'exploitation des dites ressources reste de l'ordre du projet, mais qu'en sera-t-il demain ? À qui appartiendra l'espace ? Il serait possible de s'inspirer de la réglementation des fonds des mers dont les ressources sont inaliénables, ou encore d'envisager des systèmes concessionnaires. L'heure est à la réflexion.

1. New Space, ou entrepreneurial space, désigne le mouvement lié à l'émergence d'une industrie spatiale d'initiative privée.



HISTOIRE  
EXTRAORDINAIRE



# PATRICK CASTILLAN

Ancien chef de projet CFOSat au CNES

**"Nous n'avions pas la moindre connaissance  
du fonctionnement de nos collègues chinois"**

**J**iuquan, Mongolie-Intérieure, 29 octobre 2018, 00 h 47 UTC. *Sân, èr, yī...* la fusée Longue Marche 2 s'arrache du sol avec succès. À son bord, un satellite nommé CFOSat, pour China France Oceanography Satellite. « *Un lancement parfait, dans un ciel splendide.* » Pour Patrick Castillan, chef de projet au CNES, le souvenir de ce matin dans le désert de Gobi est encore chargé d'émotion. Il faut dire que l'épopée qui s'est achevée ce jour-là est de celles que l'on n'oublie jamais. Tout commence douze ans plus tôt avec un accord gouvernemental entre Paris et Pékin pour une première coopération spatiale. L'enjeu est avant tout politique, mais l'ambition scientifique n'est pas en reste. « *Le choix s'est porté sur un projet réellement innovant pour l'observation colocalisée et simultanée des vagues et des vents.* » C'est aussi un défi humain : comment des équipes venant d'horizons culturels aussi différents allaient-elles s'entendre sur le long terme ? « *Nous*

*n'avions pas la moindre connaissance des modes de fonctionnement de nos collègues, si ce n'est quelques clichés. Il faut bien reconnaître que nous étions pétris d'incertitudes.* » Mais finalement tout se passe bien, les deux parties apprenant à faire avec les spécificités de l'autre : « *Du côté français, nous discutons beaucoup et longtemps entre nous pour explorer toutes les options possibles. Nos partenaires préféreraient avancer rapidement avec seulement quelques échanges, privilégiant l'efficacité et la réactivité à l'exhaustivité. Nous avons beaucoup appris à leur contact. Chemin faisant, nous nous sommes retrouvés sur la même longueur d'onde. Cette aventure nous aura tous changés et elle m'aura personnellement appris à rester plus serein face aux aléas. C'est certainement quelque chose que j'ai ramené de Chine !* » CFOSat, lui, tourne toujours, et les données qu'il fournit nourrissent le remarquable travail des équipes d'exploitation et des équipes scientifiques.



3 QUESTIONS À

# “LES MAÎTRES MOTS DE NOTRE RELATION SPATIALE AVEC LES ÉTATS-UNIS : CONFIANCE ET RECONNAISSANCE”



## NICOLAS MAUBERT

Conseiller spatial auprès de l'ambassade de France aux États-Unis et représentant du CNES à Washington

“Nos excellents rapports avec les États-Unis doivent être entretenus en permanence”

### Vous êtes arrivé en poste à Washington à l'été 2019... dans quel climat ?

**Nicolas Maubert :** L'administration Trump avait déjà pris des décisions importantes pour le spatial, avec la renaissance du National Space Council et plusieurs grandes directives visant à installer une présence humaine sur la Lune, à faciliter l'utilisation de l'espace pour les acteurs privés et à créer une force armée de l'espace. Cette succession de mesures a réellement structuré la politique spatiale américaine et mondiale. Les États-Unis avaient la volonté de réaffirmer leur leadership dans le domaine, une dynamique qui ne s'est pas infléchie avec l'arrivée de Joe Biden. En deux ans, j'ai également pu observer l'arrivée massive d'acteurs privés et la montée en puissance de nations comme la Chine, bien sûr, mais aussi de pays ayant des ambitions spatiales comme l'Australie, la Corée du Sud ou le Luxembourg.

### Comment évolue la relation entre les États-Unis et la France sur les questions spatiales ?

**N. M. :** La France et les États-Unis sont des partenaires historiques dont la coopération remonte à la création du CNES. Aujourd'hui encore, un tiers des accords noués par le Centre national d'études spatiales le sont avec la NASA ou l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA). En matière de spatial, les maîtres mots de la relation transatlantique sont la confiance et la reconnaissance.

Cette relation privilégiée ne doit jamais faire oublier que le concept d'*America First* prime, d'autant plus dans un contexte économique difficile, comme l'a rappelé dernièrement l'affaire des sous-marins australiens. Il faut donc garder à l'esprit que nos excellents rapports avec les États-Unis peuvent sans cesse être remis en question et doivent être entretenus en permanence.

### Pensez-vous que la coopération spatiale peut encore être une alliée de la diplomatie ?

**N. M. :** Je suis convaincu que la coopération spatiale demeure un formidable outil au service de la diplomatie. Ce n'est pas nouveau : depuis la guerre froide, l'espace a toujours été un domaine où le consensus est plus facile, avec des enjeux partagés, notamment scientifiques, même quand on a des difficultés à se parler par ailleurs. L'espace est aussi une excellente porte d'entrée à des discussions plus larges. La première conversation entre Emmanuel Macron et Kamala Harris s'est d'ailleurs tenue à l'occasion de l'atterrissage de Perseverance sur Mars... C'est symbolique ! Depuis, le National Space Council – dirigé par Kamala Harris – a appelé de ses vœux la mise en place d'un sommet intergouvernemental franco-américain sur les questions spatiales... un signal très positif pour notre relation diplomatique.

### PARCOURS

#### 2003


Intègre le programme Galileo chez Thales Alenia Space puis à l'ESA

#### 2013

Intègre le CNES en tant que responsable technique et opérationnel au CSG

#### 2019

Nommé conseiller spatial auprès de l'ambassade de France et représentant du CNES aux États-Unis



Avec 20 cyclones dont 9 ouragans,  
2020 a été l'année de tous les records !  
Le transfert des données spatiales vers  
les bulletins d'alerte est vital pour la  
prévention et la protection des populations.  
Depuis plus de 20 ans, l'interféromètre Iasi  
améliore la qualité des prévisions.

# TRANS FERT

**DE BIEN DES FAÇONS, L'ESPACE A SU SE RENDRE INDISPENSABLE.  
LE MÉRITE EN REVIENT AUX TECHNOLOGIES SPATIALES QUI, EN  
PLUS DE FAIRE AVANCER LA SCIENCE, IRRIGENT NOTRE QUOTIDIEN  
D'APPLICATIONS TOUJOURS PLUS UTILES. UN TRANSFERT  
TECHNOLOGIQUE QUE LE CNES S'EMPLOIE À FACILITER.**





## LE SPATIAL AU SERVICE DE TOUS

**Depuis des millénaires, la connaissance du ciel est au cœur de notre culture. Et depuis quelques années, elle est aussi au cœur de nos vies ! La technologie, les satellites et la donnée spatiale l'ont installée durablement dans notre quotidien.**

**A**ujourd'hui, l'espace est partout. Prenez le système de positionnement de nos smartphones, par exemple. Avec une précision de quelques dizaines de centimètres, il nous indique où nous sommes et comment nous rendre à notre prochain rendez-vous. Plus personne ne s'en étonne : c'est l'une des applications de technologies spatiales les plus courantes. Les expériences spatiales ont non seulement renforcé la connaissance scientifique, mais elles ont aussi été réinvesties dans des applications très utiles. Dans les années 1960, par exemple, la course à la Lune a favorisé la miniaturisation de l'électronique et ainsi permis l'avènement de nos ordinateurs, tablettes ou liseuses. La couverture de survie et la combinaison des pompiers ont adopté, elles, un matériau composite isolant de satellite.

### De l'intérêt de la microgravité

En mettant l'homme en position d'impesanteur, la Station spatiale internationale a fortement

dynamisé la recherche. Parmi des exemples récents, « Perspectives » a fait avancer les observations sur le fonctionnement du système nerveux central ; « Aquapad » a, lui, engendré le développement d'un testeur de qualité de l'eau. Tout aussi pertinent à 400 km en orbite que sur Terre pour déterminer la potabilité d'une eau, ce dernier, élaboré avec le laboratoire BioMérieux, va être déployé prochainement dans des pays en développement.

Mais s'il est un domaine dans lequel le transfert des technologies spatiales a plus que démontré son intérêt pour les populations, c'est bien celui de la santé. En créant l'institut de médecine et de physiologie spatiales Medes en 1986 pour suivre la santé des astronautes et en ouvrant en 1993 un service opérationnel interne, le Cadmos<sup>1</sup>, le CNES a renforcé cet axe. La télémédecine est en voie d'effacer certains déserts médicaux et, en la matière, l'ISS a joué un rôle majeur d'expérimentation. L'électrocardiogramme, entre autres, y a été testé et éprouvé. Le vêtement « Everywear » et ses capteurs communicants ont même surveillé scrupuleusement la santé de Thomas Pesquet !

### Le spatial au service de la planète

Dans les secteurs de la navigation-mobilité, de l'environnement-agriculture, le spatial s'avère également incontournable. Autre domaine, autre exemple : le CNES et CMA-CGM, une société engagée dans la logistique « durable », ont imaginé une solution de routage intelligent pour fluidifier et « verdier » le transport maritime. Concernant le changement climatique, aujourd'hui bien connu, c'est au spatial que l'on doit les indicateurs objectifs.

C'est encore lui qui apporte une assistance appréciable aux services de secours en fournissant des indications (cartographies, accès) sur les zones touchées par une catastrophe, comme en septembre 2021 aux États-Unis après la tempête Ida. Dernier effet et non des moindres : les transferts issus du spatial dynamisent les secteurs d'activités traditionnels autant que start-up du New Space. Un réel plus pour l'économie.

2000

**Bulletin météo, LED, oreiller à mémoire de forme, masque de ski high tech... plus de 2 000 produits et services sont directement hérités du spatial.**

1. Centre d'aide au développement des activités en micropesanteur et des opérations spatiales.



## GÉOLOCALISATION

# GALILEO S'IMPOSE



ous l'appeliez GPS, et il était américain. Mais ça, c'était avant. Depuis 2016, l'Europe a gagné son autonomie avec les 24 satellites du système de positionnement Galileo. Précurseur, le CNES a, dès les années 2000, inventé le positionnement mondial PPP<sup>1</sup>. Il a réalisé les mises à poste des satellites jusqu'en 2018. Aujourd'hui, il coordonne la surveillance des performances par les États membres de l'ESA, gère plusieurs stations à Kourou et exploite, au sol, les données spatiales dédiées à la recherche et au sauvetage via le système Cospas-Sarsat. En plus de jouer un rôle clé dans la coordination interministérielle Galileo, le CNES reste attentif aux nouvelles solutions porteuses pour l'industrie. Enfin, sous l'impulsion du Plan de Relance spatial (avril 2021), il travaille à des compléments spécifiques sur nanosatellites en orbite basse pour des usages sécurisés. Aujourd'hui, 2 milliards de smartphones sont compatibles avec les quatre systèmes Galileo (Europe), GPS (États-Unis), Beidou (Chine) et Glonass (Russie).

1. Precise Point Positioning.

# 1280

## Le CNES dispose d'un portefeuille

de brevets exploitables dans des domaines extrêmement variés : plus de 400 familles de brevets issus de sa propriété intellectuelle sont délivrés en France, soit plus de 1 280 brevets délivrés tous pays confondus.



## RUCHE CONNECTÉE

Aider les apiculteurs à surveiller la température, l'humidité et les vibrations dans les ruches pour mieux prendre soin de leurs abeilles : c'est l'une des initiatives que soutient *Connect by CNES*, un programme de développement durable qui facilite l'utilisation des données et services spatiaux auprès des entreprises et acteurs publics. Déjà en 1986, le CNES créait la société Novespace pour transférer les technologies spatiales vers l'industrie et promouvoir l'impesanteur comme nouvel outil de recherche.



IoT

## CONNECTER LE MONDE

**P**lanifier les intrants sur une parcelle agricole, suivre des troupeaux, contrôler un champ d'éoliennes... L'Internet des objets (IoT, pour *Internet of Things*) est en pleine révolution. Car le satellite capte des données partout, y compris là où les réseaux terrestres n'existent pas. Un atout majeur pour des activités à sites multiples, disséminées à la surface du globe. Parties prenantes de ce nouveau monde, le CNES et sa filiale CLS ont créé Kinéis, acteur à part entière du New Space (cf. 3 questions à p. 29). Héritière du système Argos, Kinéis va développer les usages de l'IoT spatial bas débit au moyen d'une constellation de 25 nanosatellites. S'ils sont adossés à des technologies différentes, IoT terrestre et spatial ne sont pas incompatibles pour autant. Ils sont même complémentaires : quelle que soit la technologie, tous les objets connectés peuvent venir alimenter les mêmes plateformes de données et de services.

## LE DÉFI POUR DEMAIN LE SPATIAL AU CHEVET DE NOTRE SANTÉ

Arbocarto. Sous ce nom insolite se cache un programme prophylactique soutenu par le CNES. Son objectif : cartographier en temps réel la densité des moustiques tigre dans les régions infestées. Ce programme est en cours de développement en France. Et ce n'est pas le seul : grâce aux données Sentinel-2, ClimHealth est, lui, expérimenté au Cambodge. Sur le même principe, il établit des cartes de risques pour faire barrage aux maladies liées à l'environnement, comme la leptospirose, transmise par les rats. Au-delà de la prévention de maladies, les satellites de communication peuvent jouer un rôle essentiel d'aide aux soignants et acheminer diagnostic et télémédecine cliniques auprès des populations isolées, dans des pays à faibles revenus ou en guerre. Le CNES se mobilise pour que de telles solutions puissent être développées. Sa filiale Medes réinvestit déjà ses observations au bénéfice de la médecine de ville dans la lutte contre certaines maladies chroniques ou la prévention du vieillissement.



HISTOIRE  
EXTRAORDINAIRE



CTO de Agreenculture

## “Le CNES a joué un rôle clé dans le développement d’Agreenculture”

**E**n 2015, Clément Baron est ingénieur à la direction des lanceurs du CNES. Six ans plus tard, il est directeur technique d’Agreenculture, une start-up toulousaine de robotique agricole. Une évolution de carrière qui s’explique par une belle opportunité, saisie grâce au soutien du CNES. « *Tout a commencé lorsque j’ai retrouvé un ami d’études qui m’a présenté le projet de robot de désherbage qu’il développait. Je lui ai conseillé l’achat d’une centrale inertielle pour compléter le système GPS auquel il pensait. Deux semaines plus tard, il avait acheté sa centrale et une stagiaire travaillait dessus. Cette réactivité m’a bluffé et la dimension très concrète de ce qu’il faisait m’a plu. Progressivement, je me suis investi à ses côtés.* » Quand Clément Baron frappe à la porte du responsable du dispositif d’essai du CNES, qui accompagne les salariés souhaitant créer une start-up valorisant les technologies spatiales, le dossier séduit. Le soutien du CNES sera

protéiforme : hébergement au sein de l’incubateur européen – ESA BIC –, prise en charge de la prestation du laboratoire Guide GNSS<sup>1</sup> pour les essais et la validation des systèmes de positionnement du robot, subvention pour la candidature à un programme de recherche de l’ESA... « *Sans compter un autre apport considérable : tout ce que j’ai pu apprendre au fil de mon parcours à la direction des lanceurs, sur le plan technologique mais aussi en matière de gestion des projets complexes.* » Désormais forte de 45 collaborateurs, la jeune entreprise lance cette année la commercialisation de robots d’une précision centimétrique et totalement autonomes pour la préparation du sol et le désherbage des vignobles. Elle propose aussi le « cerveau » de ce robot et son environnement logiciel. Quant à la suite de l’aventure, elle se dessine déjà : « *Si tout fonctionne comme prévu, nous voudrions mettre nos robots au service des céréaliers et des maraîchers.* »

1. Laboratoire de test pour les applications de géolocalisation par satellite



### 3 QUESTIONS À

# "CRÉER DES SERVICES À FORTE VALEUR AJOUTÉE AVEC LES DONNÉES SATELLITES"

## Quels ont été les débuts de CLS ?

**Christophe Vassal** : CLS, pour Collecte Localisation Satellites, est une filiale du CNES et de la société d'investissements belge CNP. Elle a été créée en 1986 pour exploiter le système satellitaire Argos, inventé par le CNES pour localiser et collecter les données de balises terrestres et maritimes. Au début, nos activités portaient essentiellement sur la collecte des données issues des bouées océanographiques et sur le suivi de la faune sauvage. En 1991, le CNES nous a confié l'exploitation de satellites d'altimétrie : nous sommes devenus des spécialistes de l'océanographie spatiale. Quelques années plus tard, nous avons racheté une société dédiée à l'analyse de données radar satellitaires, complétant ainsi notre palette d'outils. Nous utilisons aujourd'hui 400 satellites pour développer des solutions spatiales d'étude et de protection de notre planète ainsi que de gestion durable des ressources.

## D'Argos à Kinéis, les succès s'enchaînent. Comment expliquez-vous cette belle trajectoire ?

**C. V.** : Je crois que notre force est de bien connaître les besoins du terrain et d'être capables de créer des services à forte valeur ajoutée avec les données satellites conjuguées à des outils d'intelligence artificielle. Cela nous permet de répondre à des problèmes très concrets relatifs aux grands enjeux de nos sociétés : l'environnement,



## CHRISTOPHE VASSAL

Président de CLS et président du conseil de surveillance de Kinéis

"Le CNES est un formidable mentor technique et un appui stratégique pour notre développement à l'international."

l'énergie, les infrastructures, la sécurité maritime, les transports et la logistique... Ainsi, notre département chargé de la biodiversité propose des services pour suivre les troupeaux sauvages et comprendre leur comportement au travers de colliers dotés d'IA et connectés à des satellites. Nous superposons ces informations à des données sur les conditions environnementales et les activités humaines pour construire des outils d'aide à la décision pour l'aménagement du territoire. Kinéis, notre filiale commune avec le CNES, représente une nouvelle étape dans notre stratégie de développement. À l'horizon 2023, son ambition est de démocratiser l'usage du système Argos en proposant une connectivité bas débit, facile d'intégration et à un prix abordable. Le système Argos connecte aujourd'hui 20 000 balises ; avec Kinéis, il en connectera plusieurs millions.

## Quelle est selon vous la recette pour un transfert de technologie spatiale réussi ?

**C. V.** : Je crois que le mot d'ordre est la confiance mutuelle. Sur ce plan, le CNES a toujours été un partenaire exemplaire qui a su nous accompagner dans la construction d'applications spatiales tout en respectant nos choix à toutes les étapes. Visionnaire, il a joué un rôle clé dans le développement de CLS et des applications spatiales au service de l'homme et de la planète. Aujourd'hui, nous nous efforçons de faire de même avec Kinéis et les autres start-up que nous accompagnons.

### PARCOURS

#### 1992

Démarrage des activités d'océanographie spatiale

#### 2000

Début des activités de surveillance des océans, grâce aux services radar

#### 2023

Lancement de la constellation de 25 nanosatellites IoT Kinéis

Nous regardons ailleurs mais notre maison brûle ! Humanité et biodiversité sont en danger. En alerte, le rapport du GIEC paru en août 2021 s'appuie sur les données des satellites qui, seules, peuvent observer la planète entière avec ses diverses composantes.



# PLANÈTE

DEPUIS 60 ANS, LA FRANCE OBSERVE LA TERRE DEPUIS L'ESPACE. SEULS LES SATELLITES OFFRENT UNE VISION OBJECTIVE DES DYNAMIQUES COMPLEXES QUI S'Y JOUENT. CES PRÉCIEUSES DONNÉES, LE CNES LES STOCKE, LES TRAITE PUIS LES MET AU SERVICE DE TOUS.



Mayotte, Petite-Terre vue par Pléiades.

## UN REGARD ATTENTIF **SUR NOTRE PLANÈTE**

**L'observation de la Terre, c'est l'ADN du CNES. L'expertise acquise au fil de 60 ans de missions d'observation place la France au rang des grandes puissances mondiales et dynamise du même coup laboratoires et industriels français.**

**S**i le CNES développe en interne de nombreux métiers, l'observation de la Terre ne s'appuie pas sur l'un ou l'autre, mais bien sûr la chaîne entière de ses compétences. De l'onde à la donnée, des photons aux applications, cette approche globale est le fruit d'une longue tradition d'innovation, dont l'optique est l'atout majeur. Chaque pixel, chaque point d'une image a une valeur physique précise qui permet de caractériser finement les données sur nos environnements terrestre, océanique ou atmosphérique. Elle est à la base de premières mondiales : Météosat (1977), Spot-1 (1986), Topex-Poséidon (1992), Jason (2001) ou encore Iasi (2006). Cette qualité de la donnée a aussi convaincu les instances spatiales internationales : elle est aujourd'hui réinvestie dans Copernicus.

**27**

**Au 1<sup>er</sup> juillet 2021, 27 institutions référentes en matière d'observation de la Terre étaient partenaires de l'Observatoire spatial du climat (SCO). 36 projets ont d'ores et déjà été labellisés.**

### **Pourquoi observer la Terre ?**

Produire des données, c'est bien ; les utiliser, c'est mieux. Très tôt, le CNES a pris conscience de leur potentiel applicatif au service de la planète. Les entrées sont multiples : imagerie visible, radar infra-rouge thermique ou 3D, échelles spatio-temporelles, approches très locales (THR), régionales ou globales. Traitées et archivées, elles sont mises à la disposition de communautés de recherche, d'institutions publiques ou de professionnels, via des pôles de services et de data (cf. Theia p. 8).

Combinées à d'autres types de données (*in situ*, aéroportées), elles contribuent à l'analyse du dérèglement climatique et constituent un outil d'aménagement du territoire (lutte contre les îlots de chaleur, mesure de qualité de l'air, etc.), de gestion des risques (inondations, incendies) ou encore de surveillance des zones fragiles (littoraux, estuaires, mangroves, etc.). La donnée spatiale est également au service de la santé (cf. p. 27), de la mobilité et de la biodiversité. Dans les années à venir, d'autres applications s'ajouteront grâce aux observations délivrées par les futures missions Swot (hydrologie des lacs, rivières, barrages, retenues collinaires), Trishna (suivi de l'état hydrique), CO3D (carte en 3D de la surface émergée de la planète), MicroCarb (mesures du CO<sub>2</sub>) ou encore Merlin (méthane).

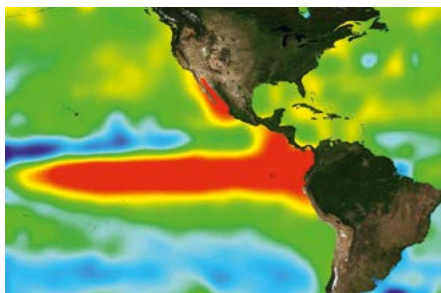
Avec les satellites Pléiades à usage civil et militaire, le CNES a innové. Le logiciel Orfeo Tool Box a fédéré une communauté d'utilisateurs et fait l'objet de développements réguliers vers de nouveaux services. Cette orientation « aval » est un axe que le CNES tend à systématiser. Il l'a proposé pour Swot et le réitérera avec CO3D ou Trishna.

Du fait de son antériorité dans le domaine de l'observation de la Terre, la France occupe un leadership qui n'a rien de surfait en matière climatique. Il a d'ailleurs été d'une aide décisive lors de l'accord de Paris, ce traité international, juridiquement contraignant sur les changements climatiques, arraché de haute lutte en 2015. En 2017, le One Planet Summit, réunion des chefs d'agence spatiale, a débouché, lui, sur la création du SCO, l'Observatoire spatial du climat. Outil stratégique et diplomatique, son rôle est d'accompagner les politiques publiques en matière de changement climatique. En 2000 déjà, la France était à l'initiative de la charte internationale Espace et catastrophes majeures (cf. 3 questions à p. 35).



ALTIMÉTRIE

## L'Océan SOUS ÉTROITE SURVEILLANCE



Phénomène El Niño observé par Jason.

**D**epuis son orbite, l'altimètre envoie un signal qui se réfléchit à la surface de l'océan; la hauteur de la mer lui est instantanément renvoyée. C'est sur ce principe qu'en 1992 le CNES et la NASA conçoivent Topex-Poséidon, un satellite qui révolutionnera l'océanographie. Pour connaître son orbite exacte, le CNES, le GRGS<sup>1</sup> et l'IGN<sup>2</sup> inventent aussi le système Doris, qui apporte précision et stabilité à cette mesure des hauteurs de mer. La dynastie des Jason-1, 2 et 3 prend la suite et porte la mesure à l'échelle centimétrique. Aujourd'hui, c'est Sentinel-6 du programme européen Copernicus, qui mesure de manière continue l'élévation du niveau moyen des océans. Les longues séries temporelles d'observations permettent aux scientifiques d'étudier marées, vagues, courants et vents marins. La flotte actuelle comporte 11 missions et unit l'Europe, les États-Unis, l'Inde et la Chine. Leurs données sont exploitées au quotidien par une communauté scientifique internationale de plus de 500 chercheurs. Elles ont aussi favorisé le développement de nombreuses applications liées à la mer (niveaux et zones de marée, détection d'icebergs, gestion des risques littoraux, etc.).

1. Groupe de recherche de géodésie spatiale.

2. Institut national de l'information géographique et forestière.



## BALLONS STRATOSPHERIQUES

**Depuis 60 ans, comme un fil rouge, les campagnes de ballons stratosphériques s'enchaînent dans une minutieuse inspection de la stratosphère. Entre 20 et 40 km d'altitude, les ballons sont au cœur des phénomènes déstabilisants. Le trou de la couche d'ozone ? Strateole Vorcore l'a sondé en 2005 en Antarctique : en deux mois, 27 ballons ont effectué 150 000 observations ! En octobre 2021, 20 ballons pressurisés sont partis affronter les frasques du ciel équatorial entre vents tournants et nuages de haute altitude.**





## CENTRE SPATIAL GUYANAIS

# UNE BIODIVERSITÉ BIEN PROTÉGÉE

**S**eize mille hectares de savanes, une forêt primaire, 450 espèces d'oiseaux et des dizaines de grands mammifères protégés : le CSG est installé depuis 1968 sur un îlot de biodiversité de 66 600 hectares.

En tant que « propriétaire terrien », le CNES s'est engagé à assumer la protection de ces milieux naturels en s'appuyant sur des plans de gestion établis avec l'ONF<sup>1</sup>, à qui il a délégué la gestion de la forêt. Non classé en réserve naturelle, le centre pourrait s'affranchir des contraintes afférentes à ce statut.

Il a choisi, au contraire, d'aligner ses plans de gestion sur cette méthodologie rigoureuse. L'édition 2021-2030 de son plan de gestion, qui vient d'entrer en vigueur, va renforcer encore le niveau des initiatives entreprises. Une réunion annuelle CSG-ONF va permettre d'établir des comparatifs entre intention et action, de vérifier l'adéquation entre projets et possibilités d'exécution. Cette démarche a valeur d'exemplarité : le CSG a été invité à évoquer cette initiative lors du Congrès mondial de la nature de l'UICN<sup>2</sup> qui s'est tenu en septembre 2021 à Marseille.

1. Office national des forêts

2. L'Union internationale pour la conservation de la nature

## LE DÉFI POUR DEMAIN PLAIDOYER POUR UN ESPACE RESPONSABLE

Le 10 février 2009, les satellites américain Iridium et russe Kosmos entrent en collision. Bilan : 2 200 débris spatiaux de plus de 10 cm dans l'espace. Le 6 mars 2021, un satellite Galileo réalise sa première manœuvre d'évitement de collision avec un débris spatial. L'espace paraît infini, mais faudrait-il un « bison futé » pour y circuler sans risque ? On compte aujourd'hui 34 000 objets de plus de 10 cm en orbite basse ; 12 % sont des satellites actifs. Et de nouvelles constellations sont chaque jour annoncées.

Le consortium EU SST<sup>1</sup> mutualise, au sein de l'Europe, les moyens des États membres et protège, via le centre d'orbitographie opérationnelle du CNES, 228 satellites des risques de collision. Mais il reste un véritable défi : celui de la coordination du trafic dans l'espace à l'échelle de la planète. Si la loi sur les opérations spatiales (LOS), dont le CNES est le garant pour la France, balise l'utilisation de l'espace, elle n'est en rien contraignante. Il y a donc urgence réelle à promouvoir ces pratiques à l'échelle mondiale, et à agir sur la conscience de tous les utilisateurs de l'espace.

1. European Space Surveillance and Tracking.



HISTOIRE  
EXTRAORDINAIRE



# BENOIT MEYSSIGNAC

Chercheur CNES au Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (Legos)

**"D'ici à 2100, de nombreux territoires insulaires  
pourraient être en danger"**

**D**ans son dernier rapport publié en août 2021, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) indique que le niveau des océans est monté d'environ 20 cm depuis 1900, et que le rythme de cette hausse a triplé ces dix dernières années. « *Aujourd'hui, on sait avec certitude que c'est le réchauffement climatique qui est à l'origine de la montée des eaux, mais ça ne fait pas si longtemps que le lien de causalité est établi* », rappelle Benoit Meyssignac, chercheur CNES au Legos, une unité mixte de recherche dont le CNES est l'une des tutelles. Cette certitude scientifique, on la doit en grande partie aux ingénieurs du CNES, qui n'ont eu de cesse de perfectionner les satellites d'altimétrie spatiale – de Topex-Poseidon à Jason-2 – jusqu'à leur conférer une précision millimétrique. Parmi eux, Anny Cazenave, ancienne chercheuse du Legos, a été la première à prouver que la hausse du niveau de la mer était bel et bien due au ré-

chauffement de l'eau et à la fonte des glaces. Aujourd'hui, Benoit Meyssignac poursuit ses travaux avec une inflexion nouvelle. « *J'ai pu calculer la part de la hausse du niveau de la mer due au seul réchauffement de l'eau ; je me sers désormais de ces calculs pour évaluer les fluctuations du déséquilibre énergétique de la planète.* » Ce concept, qui décrit l'excédent de chaleur dans le système terrestre essentiellement dû à l'activité humaine, « *est à l'origine même du changement climatique* ». Pour les climatologues, cette approche ouvre de nouvelles perspectives en termes d'observation, d'évaluation et de compréhension du climat. « *Nous travaillons actuellement sur la conception de la future mission Marvel, dont l'objectif est d'améliorer la mesure du champ de gravité variable de manière que les scientifiques puissent observer à 10 ans la progression du déséquilibre énergétique.* » Un atout de taille pour mesurer, entre autres, l'impact réel des politiques d'atténuation du changement climatique.



### 3 QUESTIONS À

# "MOBILISER LES SATELLITES POUR GÉRER LES CATASTROPHES"

## Qu'est-ce que la charte Espace et catastrophes majeures ?

**Deborah Korber :** Créée en 2000 à l'initiative de l'ESA et du CNES, la charte facilite l'accès aux données satellitaires aux gestionnaires de crise en cas d'événement de grande ampleur, qu'il soit d'origine naturelle ou humaine. Aujourd'hui, c'est une coopération mondiale qui fédère 17 agences spatiales autour d'une constellation d'environ 70 satellites. Sur les vingt dernières années, la charte a été activée près de 700 fois partout dans le monde, soit environ 40 fois par an. Dans la moitié des cas, cette activation faisait suite à des phénomènes d'inondation ou de submersion des zones littorales.

## Comment fonctionne-t-elle ?

**D. K. :** Seules les autorités nationales de gestion de crise – en France, le Centre opérationnel de gestion interministérielle des crises (Cogic) – sont autorisées à mobiliser les ressources satellitaires via la charte. En pratique, quand un événement majeur s'annonce ou survient, nous commençons par prendre contact avec la représentante de la charte au CNES pour l'avertir d'un déclenchement imminent. Nous précisons ensuite nos besoins (zone à couvrir, types d'informations attendues, etc.) sur une interface web dédiée. Dans un délai de 24 à 48 heures au plus tard, les images et informations expertisées par l'équipe du Sertit<sup>1</sup> sont mises à notre disposition.



## DEBORAH KORBER

Adjointe au chef du pôle transverse d'information géographique et de géomatique (T12G) au ministère de l'Intérieur

**"Ces 20 dernières années,  
la charte a été activée  
près de 700 fois"**

### PARCOURS

#### 2000

Lancement de la charte  
Espace et catastrophes  
majeures

#### 2017

Déclenchement de  
la charte dans le sillage  
de l'ouragan Irma

#### 2021

Déclenchements de  
la charte après le séisme  
et les inondations  
survenus en Haïti

## Quels en sont les usages pour le ministère de l'Intérieur ?

**D. K. :** Lorsque nous recevons les informations demandées, nous les intégrons dans le système d'information géographique Synapse pour les mettre à disposition de l'ensemble de la chaîne territoriale de gestion de crise. Cette dernière comprend les préfectures, les zones de défense, le Cogic et le centre interministériel de crise en cas d'événement très grave. Si la charte a été activée en prévision d'une catastrophe, les données satellitaires servent surtout à prioriser les mesures pour la protection des personnes et des infrastructures. Mais lorsque l'événement a déjà eu lieu, les images sont utilisées pour planifier les interventions des équipes de secours sur le terrain, étudier les dégâts puis plus tard pour faciliter la reconstruction, etc.

En août 2021, par exemple, un séisme d'une magnitude de 7,2 a frappé Haïti ; la charte a été immédiatement activée. Le Cogic s'en est servi pour organiser la mission d'assistance des formations militaires pour la sécurité civile. Grâce aux images Pléiades, il a pu en identifier les zones les plus touchées et les routes restées accessibles.

1. Service régional de traitement d'image et de télédétection.

Comment approcher fusée grandeur nature, satellites, drones, ou rovers... Au Bourget, le Salon international de l'aéronautique et de l'espace reste le plus grand événement mondial pour découvrir l'univers mythique des engins spatiaux.



# PERFORMANCE

LE MONDE A BIEN CHANGÉ EN 60 ANS. HEUREUSEMENT, LE CNES AUSSI. AU FUR ET À MESURE DE L'APPARITION DE NOUVEAUX ENJEUX, L'ÉTABLISSEMENT PUBLIC A SU REBONDIR ET S'ADAPTER POUR RÉPONDRE RAPIDEMENT AUX BESOINS ÉMERGENTS DE LA SOCIÉTÉ.



## RETOUR SUR UNE BELLE TRAJECTOIRE

**À sa création par le général de Gaulle, le 19 décembre 1961, le CNES répond avant tout à une volonté politique. 60 ans plus tard, porté par des hommes et des femmes de conviction, il a gagné en lettres de noblesse et en champs d'expertise. Récit.**

**P**lacer la France dans le club des puissances spatiales aux côtés de l'URSS et des États-Unis : c'est la première mission confiée au CNES. Pour écrire cette histoire, il dispose en tout et pour tout de 17 salariés ; un petit poucet au pays des titans ! Dès 1962, quelques lignes directrices se dégagent : intensifier les études de la haute atmosphère, se pencher sur la réalisation d'un lanceur (Diamant), d'un satellite (Astérix), et esquisser une structure spatiale européenne. Tout un programme.

L'agence spatiale naissante a alors une double vocation : à la fois établissement public et centre technique, elle est invitée à « mobiliser les énergies pour créer et faire croître un écosystème spatial français ». Une orientation qui vise à associer les laboratoires scientifiques en amont et une industrie spatiale balbutiante en aval. Pari tenu : dès 1965, la France devient la 3<sup>e</sup> puissance spatiale mondiale.

300 000

**Plus de 300 000 visiteurs se pressent tous les deux ans au Salon international de l'aéronautique et de l'espace du Bourget. Une vitrine ouverte sur un secteur d'activité en constante mutation.**

## Des remises en question qui paient

Soixante ans plus tard, le CNES a changé de dimension. Ses activités sont réparties entre quatre sites : le siège social et la direction des lanceurs à Paris, le centre technique de Toulouse et la base spatiale de Kourou, en Guyane. 2 400 agents mettent en œuvre une politique spatiale coordonnée à l'échelle européenne. Son management est adossé aux normes ISO 9001 et 14001, avec pour points forts « l'engagement de ses équipes dans les démarches de progrès » et « la forte dynamique environnementale ». Devenu une référence mondiale pour les techniques spatiales, le CNES est aussi à l'écoute du monde qui l'entoure. Pour répondre aux nouveaux enjeux sociétaux, il n'hésite pas à adapter sa structure. En 2016, face à la révolution numérique, à l'explosion du volume des données d'observation de la Terre et à l'émergence des applications grand public, il crée une direction spécifique, la direction de l'innovation des applications et de la science (DIA). En 2020, c'est la direction du développement durable et de la performance (DDP) qui voit le jour afin d'animer la politique de responsabilité sociétale de l'entreprise (RSE). Au tournant de ses 60 ans, le CNES se réorganise à nouveau pour mieux appréhender les enjeux spatiaux en pleine mutation. « *Le spatial ne s'accommode pas d'immobilisme, explique Lionel Suchet, directeur général délégué. Aujourd'hui, nous sommes sur un marché mondial, qui mixe initiatives privées et étatiques, avec toujours plus d'acteurs. Dans l'esprit de ce qu'il a toujours fait, le CNES doit accompagner cette évolution* ». Les liens tissés avec l'écosystème participent largement de la valeur ajoutée du spatial français. Et, pour rester en pole position sur ce marché concurrentiel que le New Space bouscule, le développement du futur démonstrateur de lanceurs réutilisables a aussi muté. Il a été confié à ArianeWorks, une plateforme d'accélération associant les expertises concurrentes d'ArianeGroup et du CNES. Son objectif : accélérer les cycles d'innovation et aider à la préparation des lanceurs de demain. Et le futur s'annonce aussi excitant que le passé. Parmi les grands enjeux de demain : l'utilisation des données spatiales et l'avènement de lanceurs réutilisables. Comme Janus, le CNES garde un œil sur un passé riche qu'il ne veut pas renier, l'autre dardé sur l'avenir, attentif à la marche d'un monde dans lequel le spatial prend de plus en plus d'importance.



## L'ESSENTIEL

### SIGNATURE

## UN ESPACE DE PASSION



**E**n 1962, le premier logo du CNES symbolisait l'ambition gaullienne : élever la France vers un accès à l'espace autonome. Ce défi relevé, le spatial s'est imposé dès les années 1970 comme outil au service de l'observation et des applications, ce que symbolise la Terre au cœur de notre logo. Ce positionnement a été à nouveau réaffirmé plus récemment dans la signature « De l'espace pour la Terre ». Depuis 2019, le spatial s'installe toujours plus dans nos vies. Garant de la qualité de la donnée et animateur de l'écosystème spatial, le CNES l'affirme implicitement dans sa nouvelle identité de marque : « Nous sommes tous explorateurs ». Son objectif : miser sur les valeurs humaines – pragmatisme, passion et empathie – pour embarquer les citoyens, partager sa passion, ses émotions... bref, en faire des explorateurs du monde d'aujourd'hui.

### 3

#### La politique spatiale française

a d'abord été placée sous l'autorité du Premier ministre. Les tutelles ont ensuite évolué au fil des orientations du secteur spatial. Deux supervisions sont restées constantes : la Recherche et la Défense. Depuis le mois d'avril 2021, une troisième tutelle essentielle a été instaurée : celle du ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance.



### PRÉPARER L'AVENIR

Faire voler des expériences sous ballon depuis sa cour de récré, élever des blocs comme dans l'ISS, lancer des mini-fusées... Quoi de mieux pour susciter de l'appétence pour l'espace chez les jeunes ? L'ambition éducative du CNES a toujours été inscrite dans sa feuille de route ; l'établissement met en œuvre de nombreux programmes ludiques et attractifs pour les élèves de tous les âges et tout niveau scolaire.



## COMMANDEMENT DE L'ESPACE UNE ENTITÉ MILITAIRE À TOULOUSE

**L**a « guerre de l'espace » aura-t-elle lieu ? Depuis 2019, on y songe : l'espace est devenu un terrain « de confrontation et de conflictualité comme les autres », selon Florence Parly, ministre des Armées. C'est pour se munir de véritables capacités de défense que le Commandement de l'espace a été créé. Entité militaire, il est hébergé au Centre spatial de Toulouse, qui assure depuis des décennies la maîtrise d'ouvrage de certains satellites de défense (Helios, CSO, etc.) et un rôle de conseil auprès de la DGA<sup>1</sup>. Les quelque 450 militaires accueillis auront à appréhender de nouveaux outils et à développer de nouvelles stratégies : ils pourront compter sur l'expertise du CNES. L'installation du commandement est amorcée ; elle devrait être complète en 2025 sur le campus CNES Nouvelle Génération. Par effet induit, l'Otan installe sur ce même campus un « centre d'excellence » qui jouera un rôle dans la formation, l'élaboration des doctrines à mettre en œuvre dans un contexte de militarisation de l'espace.

1. Direction générale de l'armement.

## LE DÉFI POUR DEMAIN UN ESPACE PLUS VERT(UEUX)

Acteur de premier rang dans l'observation de la Terre, le CNES est un opérateur public qui sait aussi s'observer : il a fait son examen de conscience avant de s'engager dans une politique de RSE avec acuité, sur tous les fronts. Et s'il porte une attention accrue au bien-être au travail de ses salariés, il porte la même attention à son impact sur l'environnement. Son objectif ? Le même que celui de la France : s'inscrire dans la trajectoire « zéro émission nette ». Rénovation des bâtiments, diminution des déplacements professionnels... tous les moyens sont bons pour atteindre l'objectif d'émissions de gaz à effet de serre nulles à l'horizon 2050. Malgré sa nouvelle direction du Développement durable et de la performance et son nouveau « chef de projet bas carbone », la tâche n'est pas simple pour le CNES, car certaines émissions résiduelles ne pourront pas être occultées. Une politique de compensation devra donc être mise en place. Mais *in fine*, le CNES considère ces contraintes comme une opportunité, celle d'une remise à niveau des concepts et des usages. D'ici à cinq ans, le Centre spatial guyanais devrait être converti à 90 % aux énergies renouvelables. Une façon pour le CNES de promouvoir une économie spatiale en phase avec les limites planétaires.



HISTOIRE  
EXTRAORDINAIRE



# MICHEL MIGNOT

Ancien directeur du Centre spatial guyanais (CSG)

**“Le premier lancement d’Ariane est  
l’un de mes plus beaux cadeaux de Noël”**

**T**out commence en 1967. Jeune ingénieur des Arts et Métiers, Michel Mignot est embauché au CNES pour construire les installations de lancement des fusées-sondes Véronique. Deux ans plus tard, il s’installe en Guyane avec sa famille ; il est désormais responsable des constructions et des essais des installations Diamant. Le CSG n’a été inauguré qu’un an auparavant, et « Kourou est encore un gros bourg de 3 000 habitants, continuellement en chantier ». En 1971, le projet Europa 2 se solde par un échec. Le CNES sait rebondir : les installations d’Europa 2 sont disponibles ? Utilisons-les pour autre chose ! Et pas pour une broutille : on pense au lanceur LS3, qui sera bientôt rebaptisé Ariane. « *Moi, je suis chargé de concevoir les installations au sol pour le premier lancement, qui devra avoir lieu avant la fin de la décennie 1970.* » Problème : le nouveau lanceur est 50 % plus grand qu’Europa 2. Il faut donc surélever la tour et abaisser le massif de lancement pour gagner les 15 mètres manquants.

Le lancement d’Ariane 1 est prévu le 15 décembre 1979 mais le tir avorte. Ce n’est que le 24 décembre que la fusée décolle enfin, après deux autres reports. Mais Michel Mignot n’a pas le temps de se remettre de ses émotions car depuis plusieurs mois déjà, il doit aussi veiller à la conception d’ELA 2, qui accueillera Ariane 3 et 4. Et la même situation se reproduit pour ELA 3, dont la revue de conception a lieu en 1985, avant même le premier tir depuis ELA 1<sup>2</sup>. « *La stratégie du CNES était d’avoir toujours un coup d’avance.* » Fin 1991, Michel Mignot change de trajectoire : il est nommé à la tête du CSG. Il y restera huit ans, un record encore inégalé. « *J’y ai coordonné 77 lancements, jusqu’à 3 dans le même mois, et piloté l’intégration sur le centre des usines de production des propergols et des boosters d’Ariane 5.* » Et de conclure : « *Mais j’ai surtout eu la chance inouïe de conduire le plus bel orchestre qui soit dans la plus belle base de lancement du monde.* »

1. Ensemble de lancement





### 3 QUESTIONS À

# "RÉENCHANTER L'ESPACE AVEC UNE AUDACE RAISONNÉE"

## Quel regard portez-vous aujourd'hui sur votre expérience au CNES ?

**Claudie Haigueré :** Cela fait vingt-cinq ans que la mission Cassiopée m'a menée à bord de la station Mir. Je garde un souvenir vibrant de cette aventure, en particulier sur le plan des relations humaines et de la collaboration franco-russe. Il y a quelques semaines, je suis retournée au Cadmos, le centre d'aide au développement des activités en microgravité, qui m'a accompagnée tout au long de la préparation de la mission. J'ai pu mesurer le chemin parcouru. Dans les années 1990, nous apprenions vraiment en avançant, sur un mode presque artisanal, au sens noble du terme. Aujourd'hui, l'excellence s'est professionnalisée sans pour autant se scléroser ! Au fil des années, le CNES a su faire preuve d'une belle adaptabilité.

## Quel est selon vous le principal ingrédient de cette adaptabilité ?

**C. H. :** Je crois qu'une des grandes forces de l'établissement est d'avoir su sortir de sa capsule « spatio-spatiale » pour s'ouvrir à un grand nombre d'interlocuteurs et d'enjeux. C'est un changement culturel essentiel pour une agence institutionnelle. Désormais l'espace est au cœur de nos sociétés, de nos économies, des relations diplomatiques ; on ne pense plus les missions comme de pures quêtes scientifiques. En tant que



## CLAUDIE HAIGUERÉ

**Astronaute et ancienne ministre déléguée à la Recherche et aux Nouvelles Technologies, puis aux Affaires européennes**

**"Aujourd'hui, l'excellence s'est professionnalisée"**

### PARCOURS

#### **1996 puis 2001**

Vols de 16 et 10 jours à bord des stations MIR et ISS

#### **2002-2004**

Ministre déléguée à la Recherche et aux Nouvelles Technologies

#### **2015-2020**

Conseillère auprès du directeur général de l'ESA

coprésidente du groupe « Objectif Lune » de l'Association nationale de la recherche technologique (ANRT), je discute avec des chercheurs, mais aussi avec des énergéticiens, des spécialistes du numérique, des acteurs de la mobilité... Et lorsque le CNES structure un incubateur comme TechTheMoon, c'est la preuve de sa volonté de faire de l'ouverture une nouvelle source de créativité.

## Comment voyez-vous l'avenir du vol habité ? Et quid de la place de la France sur le sujet ?

**C. H. :** Je pense que c'est avant tout une question qui doit s'envisager au niveau européen. Mais je ne crois pas qu'un pays à lui seul puisse se lancer dans un programme global d'exploration lunaire ou martien. Cela dit, je suis persuadée que c'est un sujet crucial pour l'Europe et pour sa place dans un monde qui change. Pour ma part, j'aimerais voir émerger une stratégie d'exploration avec une ambition propre et complémentaire par rapport aux deux voix dominantes américaine et chinoise. L'éventualité d'un accès autonome au vol habité est une question géopolitique qui doit être réexaminée de façon dépassionnée. Et je crois aussi qu'il y a là matière à réenchanter l'espace avec lucidité, avec une audace raisonnée, en recherchant constamment l'équilibre entre le besoin inspirant de voir toujours plus loin et les impératifs environnementaux qui gouvernent notre destinée dans l'immédiat.



## FAITS MARQUANTS

**19 DÉCEMBRE  
1961**

La loi L. 61-1382 est promulguée. Publiée au *Journal officiel* du 20 décembre 1961, elle porte sur la création du Centre national d'études spatiales.

**14 AVRIL  
1964**

Champ de tir sécurisé, accès à toutes les orbites, proximité de l'équateur... en remplacement d'Hamaguir, le CNES trouve à Kourou les conditions d'installation du Centre spatial guyanais, futur port spatial de l'Europe.

**1<sup>ER</sup> OCTOBRE  
1964**

Installation à Aire-sur-l'Adour (Landes) de la base de lâcher de ballons.

**26 NOVEMBRE  
1965**

Diamant, 1<sup>re</sup> fusée française, place Astérix 1<sup>er</sup> satellite français, sur orbite. Ce succès place la France au 3<sup>e</sup> rang des puissances spatiales.

**1<sup>ER</sup> MARS  
1968**

Le gouvernement français décentralise : Toulouse accueille le centre technique et opérationnel du CNES.

**31 JUILLET  
1973**

L'Europe programme la construction d'un lanceur à 3 étages, Ariane. La réalisation est déléguée au CNES.

**7 DÉCEMBRE  
2001**

Lancement de Jason-1, premier des trois satellites chargés d'étudier la circulation des océans. Il surveille et établit la « météo des océans ».

**10 DÉCEMBRE  
1999**

Premier vol commercial d'Ariane 5, dont le programme avait été décidé le 5 novembre 1987.

**JUIN  
1998**

Adoption du programme Vega, petit lanceur européen qui vient compléter la gamme. Le 1<sup>er</sup> lancement aura lieu le 13 février 2012.

**7 JUILLET  
1995**

Lancement du satellite d'observation militaire Hélios 1A. Il sera opérationnel pendant 17 ans !

## ILS ÉTAIENT 10 !



Dès sa création, le CNES a montré son intérêt pour les vols habités et fait acte de candidature pour former et envoyer dans l'espace un astronaute. À ce jour, dix ont fait partie des équipages ayant volé : Jean-Loup Chrétien (1982, 1988, 1997), Patrick Baudry (1985), Michel Tognini (1992, 1999), Jean-Pierre Haigneré (1993, 1999), Jean-François Clervoy (1994, 1997, 1999), Jean-Jacques Favier (1996), Claudie Haigneré (1996, 2001), Léopold Eyharts (1998, 2008), Philippe Perrin (2002) et Thomas Pesquet (2016, 2021). Parmi eux, 3 civils, 7 militaires ; 9 hommes et 1 femme. Jusqu'en 1998, le CNES avait son propre corps d'astronautes. À partir de 1998, il est passé sous responsabilité de l'ESA, intégrant le corps européen des astronautes (EAC). La France espère avoir un nouveau ressortissant à l'issue de la 4<sup>e</sup> campagne de recrutement européen actuellement en cours.



## FAITS MARQUANTS

**1978**

Création d'Argos, système mondial de localisation et de collecte de données par satellite, dédié à l'étude et à la protection de notre planète, notamment en matière de biodiversité. 100 000 espèces animales ont déjà été suivies.

**1979**

Création de Cospas-Sarsat, système dérivé d'Argos pour la collecte des signaux de détresse par satellite, par les États-Unis, le Canada, l'URSS et la France. Opérationnel depuis 1985, il a permis de sauver 43 000 personnes.

**FÉVRIER 1979**

Lancement du premier satellite de télécommunications français, Télécom 1.

**26 MARS 1980**

Création de la société Arianespace. Elle exploite et commercialise aujourd'hui les lanceurs Ariane, Vega et Soyouz en Guyane.

**24 JUIN 1982**

Premier vol d'un Français dans l'espace, Jean-Loup Chrétien, dans le cadre de la mission franco-soviétique PVH (station Saliout-7).

**1993**

Création du Cadmos qui aide les utilisateurs à bord de la station russe Mir, puis de l'ISS à réaliser les expériences en micropesanteur.

**1989**

Création de Medes, filiale santé du CNES.

**1986**

Spot-1 révolutionne l'observation de la Terre. Ses données seront exploitées par la société Spot Image créée par anticipation le 1<sup>er</sup> juillet 1982.

**10 JANVIER 2004**

Signature d'un accord ESA-CNES-Roscosmos pour l'implantation de Soyouz au CSG. Après désaffectation du cosmodrome de Baïkonour, le premier lancement aura lieu le 21 octobre 2011.

**2005**

Création du Geipan pour analyser les phénomènes inexplicables de tous types observables dans le ciel.

**14 JANVIER 2005**

Atterrissage du module européen Huygens sur Titan, la grande lune de Saturne.



**ATV**

Ils avaient pour nom Jules-Verne (2008), Johannes-Kepler (2011), Edoardo-Amaldi (2012), Albert-Einstein (2013) et Georges-Lemaître (2014). Ces cinq ATV (Automated Transfer Vehicle) constituaient la contribution de l'ESA au programme de l'ISS. Leur rôle ? Ravitailler et rehausser la station en lieu et place des vaisseaux cargos russes Progress M, arrivés en fin de service. Reconnu pour son expertise en matière de rendez-vous orbitaux, le CNES a assuré la responsabilité du Centre de contrôle des opérations (ATV-CC) entre 2005 et 2015. L'ATV a été le premier vaisseau européen à réaliser un rendez-vous dans l'espace sous amarrage automatique avec une station orbitale ; la précision de la manœuvre était de l'ordre du centimètre.



## FAITS MARQUANTS

**19 OCTOBRE  
2006**

Développé par le CNES en coopération avec Eumetsat, l'instrument Iasi équipe les satellites météorologiques européens Metop. Sa force : il mesure plus de 25 composants atmosphériques avec une très grande précision.

**27 DÉCEMBRE  
2006**

Lancement du télescope spatial CoRoT. En huit 8 ans, il a identifié 34 planètes hors de notre Système solaire. Une révolution !

**11 FÉVRIER  
2008**

Amarrage du laboratoire européen Columbus à l'ISS.

**9 MARS  
2008**

Lancement du premier cargo ravitailleur de l'ISS, ATV Jules-Verne.

**14 MAI  
2009**

Les deux télescopes spatiaux d'exception, Herschel et Planck, partent observer l'Univers. Planck a été le satellite à la recherche du rayonnement cosmique le plus froid jamais lancé et Herschel le plus grand jamais réalisé.

**17 DÉCEMBRE  
2011**

Le premier satellite d'observation de la Terre à usage dual (civil et militaire), Pléiades A, est lancé. Pléiades B suivra le 2 décembre 2012.

**30 JUILLET  
2020**

Décollage de Mars 2020 avec à son bord le rover Perseverance. Son atterrissage sur Mars a eu lieu le 18 février 2021.

**5 MAI 2018**

La sonde spatiale martienne Insight emporte l'instrument principal français, le sismomètre Seis. Elle atterrira sur Mars le 26 novembre 2018.

**19 DÉCEMBRE 2018**

Lancement du 1<sup>er</sup> des trois satellites de reconnaissance militaire CSO (Composante Spatiale Optique). Avec cette constellation, la défense entre dans une autre dimension.

**3 DÉCEMBRE  
2014**

Départ du satellite Hayabusa-2 avec à son bord l'atterrisseur franco-allemand Mascot qui atterrira sur l'astéroïde Ryugu le 3 octobre 2018.

**19 DÉCEMBRE  
2013**

Lancement du télescope Gaia, qui va cartographier plus d'un milliard d'objets de la voie lactée et faire entrer l'astronomie dans le Big Data. La France assure le gigantesque traitement de données.

## ARIANE, UNE FIÈRE LIGNÉE

En 1979, l'Europe veut, avec Ariane 1, rompre sa dépendance aux grandes puissances pour accéder à l'espace. Ariane 2 et 3 se situent dans la continuité. Ariane 4 passe à la vitesse supérieure en augmentant performance et cadence. Parfaitement adaptée à la demande, la nouvelle fusée place Arianespace en leader mondial du lancement commercial. Mais les satellites grossissent. Ariane 5 va s'adapter en doublant sa capacité d'emport. Au-delà des lancements de SatCom principalement commerciaux, elle satisfait à des commandes civiles ou militaires (Helios-2B), voire scientifiques (télescopes Herschel et Planck). Elle lancera les 5 ATV à destination de l'ISS. La suite s'écrira avec Ariane 6, avec en ligne de mire la réduction drastique des coûts face à une concurrence effrénée et l'arrivée d'opérateurs privés.

**FIN  
2021**

Mise en service du nouvel ensemble de lancement ELA 4 à assemblage horizontal dédié aux lancements d'Ariane 6.