

# CNES MAG

FR  
EN

ESPACE • INNOVATION • SOCIÉTÉ

#95  
Juin 2023

TRANSPORT SPATIAL

L'INCONTOURNABLE TRAIT D'UNION

  
cnes  
CENTRE NATIONAL  
D'ÉTUDES SPATIALES



## SOMMAIRE



### **05** ÉDITORIAL

**06**  
**L'ESSENTIEL**  
Nouveaux pas de tirs, réutilisation, moteurs... le point sur les lanceurs

**12**  
**#COMMUNAUTÉ**  
Les followers du CNES s'expriment sur son rôle dans le transport spatial de demain

**13**  
**GRAND ORAL**  
Joël Barre, délégué interministériel, ancien directeur du CSG et directeur général délégué du CNES

**16**  
**EN IMAGES**  
ELA-4, en sous-sol ou vu du ciel

**18**  
**EN CHIFFRES**  
Nombre de lanceurs, de décollages, financement, en France, en Europe et dans le monde.

**19**  
**LE CNES EN ACTIONS**  
Enjeu clé de souveraineté

**27**  
**MATIÈRE**  
Une nanopuce de sécurité

**28**  
**INSTANTS T**  
CALLISTO

**30**  
**RENCONTRES**

- Massimiliano Costantini, responsable du service Sauvegarde vol au Centre Spatial Guyanais
- Luce Fabreguettes, responsable du département Infrastructure et Chaîne de la valeur de la direction du transport spatial de l'ESA
- Emmanuel Lacôte, directeur du laboratoire de chimie sur les ergols du futur

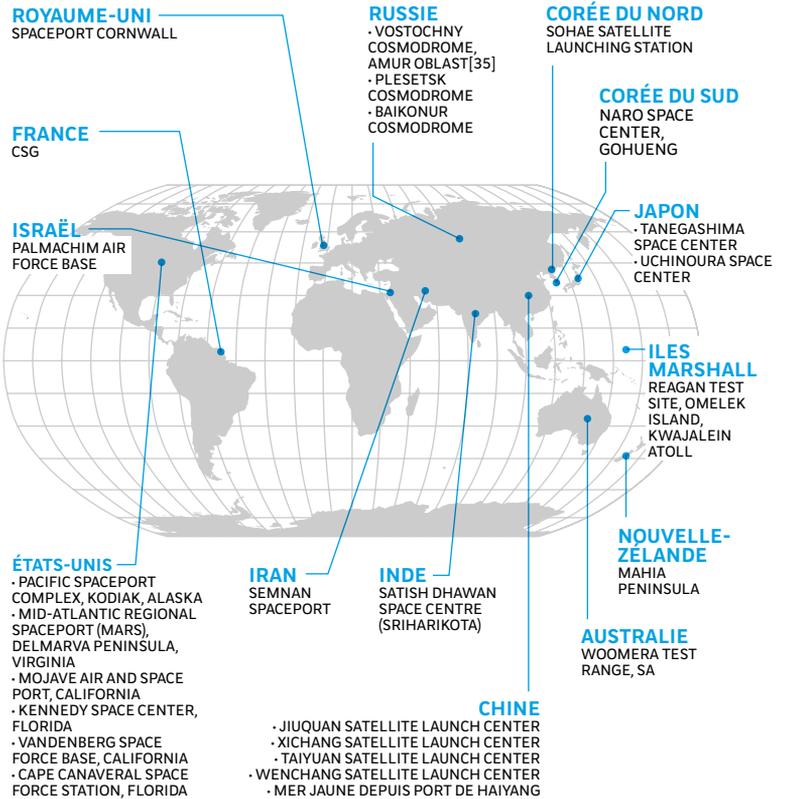


## SOMMAIRE



# 19

# BASES DE LANCEMENT EN ACTIVITÉ



### 33

## ESPACE ÉTHIQUE

Un si beau voyage,  
par Jacques Arnould

### 34

## EN VUE

Les initiatives et événements  
marquants

### 36

## TRANSFERT

Des « super-réfrigérateurs »  
entre mer espace

## PARTENAIRES

Sont cités dans ce numéro : ArianeGroup p. 6/8/10/24/31/32, ESA p. 7/8/10/11/14/18/21/23/24/31, DLR p. 8/28/29, France 2030 p. 7/8/10, Exotrail p. 10, Thales Alenia Space p. 10/12, Airbus Defence & Space p. 10, Opus Aerospace p. 11, ISAE Ensma p. 12, Space X p. 14, Air Liquide p. 23/36, Sara p. 23, Isar Aerospace p. 26, Dassault Aviation p. 27, LAAS p. 27, CNRS p. 27/32/35, JAXA p. 28/29, Arianespace p. 31.



Découvrez les contenus  
en ligne de ce nouveau  
numéro sur  
[cnes.fr/cnesmag](https://cnes.fr/cnesmag)

CNESfrance

@CNES

CNES



## CONTRIBUTEURS

**YANN  
GUÉLOU**



**Arrivé au CNES en tant qu'ingénieur pyrotechnicien,** Yann Guérou a occupé plusieurs fonctions en rapport avec le transport spatial.

Aujourd'hui responsable des activités en lien avec la Loi sur les Opérations Spatiales, sa vision large des lanceurs et sa capacité à mobiliser son réseau d'experts sont de véritables atouts pour ce numéro.

**EMLINE  
DESEEZ**



**Ingénieure de formation, Emline Deseez est incollable sur le transport spatial,** thématique

qu'elle valorise en tant que chargée de communication depuis 10 ans. Sa fine connaissance des experts et des expertises du CNES en la matière aboutit à un magazine précis et qualitatif, sur le fond comme sur la forme.



**AIMÉE  
CIPPE**

**Chargée de mission innovation et préparation du futur en Guyane,**

Aimée Cippe a notamment été la première femme directrice des opérations du CSG. Pour ce numéro, elle nous ouvre les portes du Port spatial de l'Europe, nous fait découvrir ses différentes facettes et ses projets pour l'avenir.

**PHILIPPE  
PUJES**



**Familier du spatial durant son parcours professionnel**

au sein de plusieurs institutions publiques, Philippe Pujes est responsable des programmes systèmes de lancement au CNES et délégué français au comité directeur de l'ESA pour le transport spatial. Il apporte sa vision stratégique à notre magazine, notamment sur l'importance de la souveraineté dans l'accès à l'espace.

**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://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 :** Mélanie Ramel. **Secrétaire générale de la rédaction :** Céline Arnaud. **Rédaction :** Dominique Fidel, Aude Borel, Anais Maréchal, Hortense Lasbleis, Mélanie Ramel. **Iconographie :** Orianne Arnould, Lauren Lacau (Photon). **Responsable photo :** Loïc Octavia. **Crédits photo :** p. 4 CNES/C. Peus – CNES/ESA/Arianespace-Optique Vidéo CSG-PPiron – CNES/S.Roelandt ; p. 5 CNES/C.Peus ; p. 6 ESA-S.Corvaja ; p. 7 CNES/ESA/Arianespace-Optique Vidéo CSG-PBaudon ; p. 8 ArianeGroup ; p. 9 CNES/C.Peus ; p. 10 CNES ; p. 11 (haut) CNES ; p. 11 (bas) OPUS Aerospace ; p. 13 - p. 15 Nicola Lo Calzo ; p. 16 CNES/ESA/Arianespace-Optique Vidéo CSG-PPiron ; p. 17 CNES ; p. 19 CNES/ESA/Arianespace-Optique Vidéo CSG-PPiron ; p. 20 CNES/ESA-ill D.Ducros ; p. 21 CNES/ESA/Arianespace-Optique Vidéo CSG-PPiron ; p. 22 (haut) CNES ; p. 22 (bas) CNES/ESA/Arianespace-Optique Vidéo CSG-PBaudon ; p. 24 CNES/ESA/Arianespace/ArianeGroup-Optique Vidéo CSG-PPiron ; p. 25 ESA/S.Corvaja ; p. 26 CNES ; p. 27 CNES/Nawan ; p. 33 J.Arnould ; p. 34 Présence ; p. 34 CNES/K. Regy ; p. 34 (bas) CNES/Reactive Production/P. Berretta ; p. 35 (gauche) Planète Science/ anthelme B. ; p. 35 (droite) Editions Privat - Panini ; p. 36. AirLiquide/Laurent Lelong. **Illustrations :** Robin Sarian (Idix), François Foyard. **Web master :** Sylvain Charrier et Marie Fesuick. **Réseaux sociaux :** Mathilde de Vos, Marc L'Helgouach et Alice Thomas. **Traduction :** Boyd Vincent. **Conception, conseil et réalisation :** Citizen Press – David Convaissier, Mathilde Gayet, Hortense Lasbleis, Fabienne Laurent, Blandine Pouzin. **Impression :** Ménard. ISSN 1283-9817. **Ont participé à ce numéro :** Yann Guérou, Philippe Pujes, Aimée Cippe, Emline Deseez, Marie-Anne Clair, Carine Leveau, Philippe Collot, Jacques Arnould, Massimiliano Costantini, Luce Fabreguettes, Emmanuel Lacôte, Joël Barre, Benoît Hilbert, Yannick Solana, Amaya Espinosa, Elisa Clignet-Moreno, Jean Blouvac, Vincent Taponier, Christophe Bonnal, Marie-Sophie Lachesnais, David Tchoukien, Bruno Vieille, Jérôme Dehouve, Joël Egalgi, Frédéric Munos, Nathalie Girard, Murielle Lafaye, Benjamin Durand, Jérôme Yvanez, Sandrine Richard, Typhanie Bouju, Olivier Bugnet, Pierre-Marc Bahu, Horacio Romero, Pascal Noir, Patrick Burdazszewski, Nathalie Cesco, Carole Rossi, Michel Illig, Christophe Chavagnac, Damien De Seze, Marie-Françoise Bahloul, Arnaud Prost





## É D I T O R I A L



**Le transport spatial constitue la pierre angulaire de notre stratégie. Véritable trait d'union entre le sol et le bord, il est synonyme de souveraineté pour les nations qui en disposent.**

La France est historiquement un acteur clé du transport spatial grâce notamment à son implantation au CSG, Port spatial de l'Europe et à son expertise lanceurs avec la filière Ariane.

Le transport spatial ne se limite pas à la mise en orbite de satellites, il est nécessaire aussi pour des actions de maintenance dans l'espace ou pour véhiculer des équipages humains.

Il prend également en compte les préoccupations de la société en matière de développement durable et de protection de l'environnement, avec les projets de lanceurs réutilisables ou encore l'optimisation et la modernisation des installations au sol.

Aujourd'hui, l'accès à l'espace et le développement durable du spatial sont deux des quatre piliers du Contrat d'objectif et de performance qui lie l'État et le CNES.

Ce numéro de *CNESmag* vous invite à nous suivre dans cette aventure qui continue de s'écrire, grâce à notre action conjointe à celle de nos partenaires européens, pour construire le transport spatial de demain. Bon voyage au fil des pages.

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



ARIANE 6

## DERNIÈRE LIGNE DROITE

Après 117 tirs d'Ariane 5, l'heure de la relève s'annonce ! Dans les mois qui viennent, ce sera au tour d'Ariane 6 d'entrer en scène pour son vol inaugural, au départ de l'ensemble de lancement n° 4 du Centre Spatial Guyanais. Compétitif et polyvalent, le nouveau lanceur lourd produit par ArianeGroup aura pour mission de conforter l'autonomie de l'Europe dans l'accès à l'espace, tout en répondant aux besoins d'acteurs institutionnels et commerciaux.

En prévision de l'événement, le début de l'année 2023 est consacré aux dernières phases de la campagne d'essais combinés pour tester l'ensemble des interfaces, la communication entre le lanceur et son pas de tir, les logiciels de vol et le banc de contrôle, ainsi que les opérations de remplissage et de vidange des réservoirs.

Vue aérienne d'ELA-4, le site de lancement d'Ariane 6, au Centre Spatial Guyanais.



CSG

## ELM-DIAMANT : UNE OUVERTURE SUR L'AVENIR

**P**remier ensemble de lancement orbital du CSG, le pas de tir Diamant était désaffecté depuis quatre décennies. D'ici à 2024, le site entamera une seconde vie sous le nom d'ELM, pour « ensemble de lancement multilanceurs ». Il sera composé dans un premier temps de plusieurs zones de lancement distinctes et d'un socle de moyens communs mis à la disposition des opérateurs (énergie, Wi-Fi, fluides conventionnels...). Le CNES entend ainsi répondre avant tout aux besoins du marché émergent des micro/mini-lanceurs. Quatre zones leur sont d'ores et déjà dédiées, sachant que sept opérateurs ont été présélectionnés l'an dernier dans cette perspective. La zone de lancement restante sera consacrée au démonstrateur de premier étage réutilisable Callisto (voir p. 28-29). Pour l'heure, le CNES finalise la sélection des entreprises chargées des travaux de réhabilitation des ouvrages existants qui devraient démarrer cet été pour accueillir Callisto, avant un vaste chantier d'extension du site. Avec, en ligne de mire, un premier vol du démonstrateur fin 2024 et un premier micro-lanceur fin 2024.



**50**  
**MILLIONS**  
**D'EUROS**

C'est le budget  
des travaux pour  
la création  
de l'ELM-Diamant,  
financés par le plan  
France 2030.

CMIN22

## UNE AMBITION SPATIALE EUROPÉENNE RÉAFFIRMÉE

**R**éuni à Paris les 22 et 23 novembre 2022, le Conseil ministériel de l'ESA a décidé d'étendre les ambitions européennes en matière de spatial avec un budget de 16,9 milliards d'euros pour les trois prochaines années, en hausse de 17 % par rapport à celui de la session de 2019. Les ministres ont notamment confirmé la nécessité absolue pour l'Europe de disposer d'un accès indépendant à l'espace en dédiant une enveloppe de 2,8 milliards d'euros au transport spatial, ce qui permettra de soutenir la montée en puissance d'Ariane 6 et de Vega-C, tout en construisant le futur à travers la modernisation du CSG et les projets Prometheus et Themis.



## L'ESSENTIEL



Premier essai à feu du moteur Prometheus sur le site de Vernon.

### LANCEURS RÉUTILISABLES

## THEMIS ET PROMETHEUS AU BANC D'ESSAI

**L'**an dernier, deux fers de lance de l'avenir du spatial européen se sont rencontrés au banc d'essai sur le site de Vernon d'ArianeGroup. Prometheus, le moteur réutilisable à poussée variable et à très bas coût lancé par le CNES et développé par l'ESA, a en effet été monté sur le banc d'essai T1B du programme Themis conçu par ArianeWorks (CNES/ArianeGroup). L'objectif : valider les opérations au sol pour le démonstrateur de premier étage réutilisable européen et réaliser les premiers tests à feu de Prometheus. Ces derniers ont débuté en septembre.

### Premiers allers-retours en vue

Pour Prometheus la prochaine étape est une campagne d'essais de démonstration en vue de l'industrialisation ; elle est attendue fin 2023 sur le banc d'essai P5 du DLR, l'agence spatiale allemande, à Lampoldshausen. Les deux protagonistes poursuivront ensuite leur trajectoire commune à Kiruna, avec des « hop tests » – petits vols verticaux à faible altitude du véhicule T1H – prévus en 2024.

# 15 MILLIONS D'EUROS

ont été investis par la France, via le programme France 2030, pour préparer le banc d'essai T1B à Vernon.

### LANCEURS SUPER LOURDS

## VERS LA MOTORISATION À FORTE POUSSÉE

**D**epuis plusieurs années le monde du spatial est marqué par l'arrivée de lanceurs super lourds capables de placer des charges utiles de plus de 50 tonnes en orbite terrestre basse et taillés pour les vols habités. Dans ce contexte, le CNES et ses partenaires ont engagé une réflexion sur les moteurs à forte poussée, indispensables à l'existence de ces mastodontes du ciel. L'ambition ? Atteindre la classe de poussée supérieure à celle des moteurs européens actuels les plus puissants, c'est-à-dire 200 tonnes au lieu de 100 tonnes. Cela nécessitera notamment de lever certains verrous technologiques pour maîtriser un cycle à combustion étagée. Des travaux d'avant-projet ont été engagés avec ArianeGroup en 2021. Parmi les configurations motrices envisagées figure notamment une évolution – en cours de conception – du moteur Prometheus et une configuration haute performance. Des premiers essais moteur intégrant les sous-systèmes nécessaires à cette évolution sont programmés en début d'année prochaine sur le site de Vernon.

## LES LANCEURS EUROPÉENS





# 4000 PERSONNES

issues de 13 pays différents ont été mobilisées pour le programme Ariane 6.

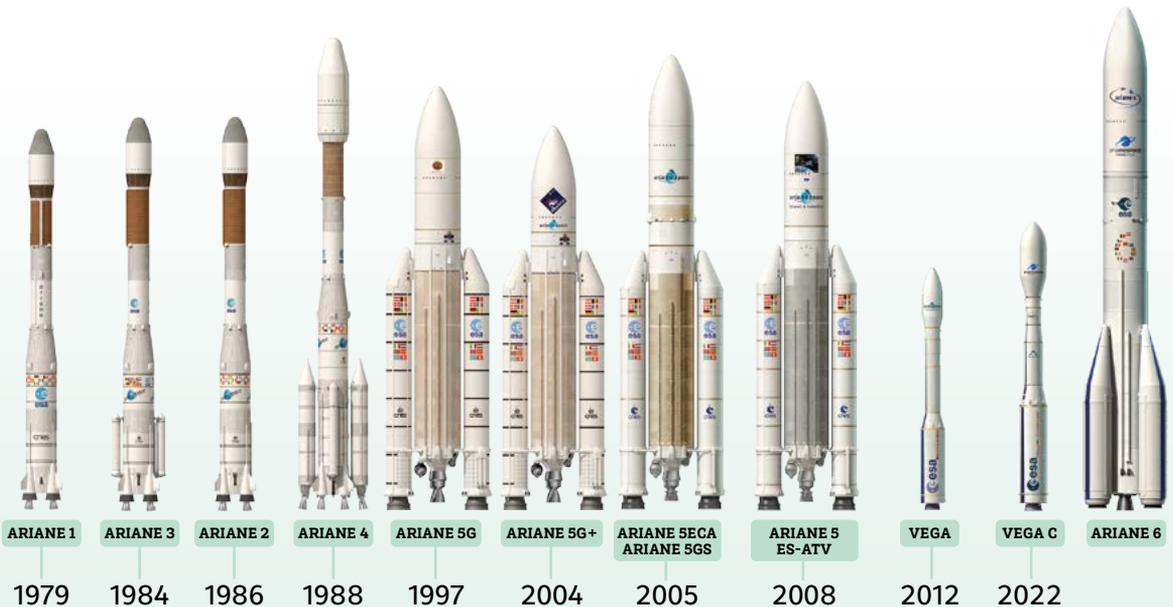
## PERSEUS

### PROJETS ÉTUDIANTS PARÉS AU DÉCOLLAGE

**D**epuis 2005, le programme Perseus promeut les métiers du transport spatial auprès de milliers d'étudiants en leur proposant des projets spatiaux à caractère pédagogique et industriel dans un cadre académique ou associatif. En 2023, l'aventure Perseus n'embarque pas moins de 300 jeunes répartis sur sept grands projets, dont plusieurs convergent vers la conception d'un démonstrateur de fusée-sonde réutilisable (DREAM'ON challenge). Parmi les temps forts de cette année figurent notamment la validation (réussie en février) des réservoirs LOX et éthanol conçus par la PME CMP Composites dans le cadre du projet de fusée-sonde Astreos, le lancement de la quatrième version de la fusée en mai, la participation au C'Space en juillet, sans oublier la qualification de la rampe de lancement d'Astreos programmée pour la fin d'année.

# 90%

À l'horizon 2030, le Centre Spatial Guyanais entend avoir recours à 90 % d'énergies vertes pour ses activités.





## L'ESSENTIEL

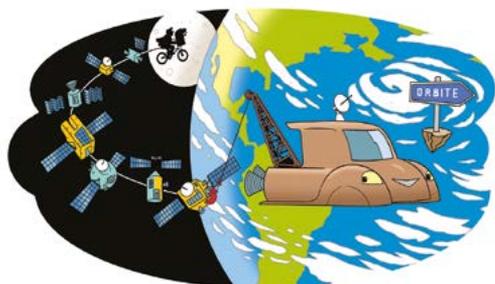
### FUTUR

## DES CONVOYEURS DANS L'ESPACE

**P**our les opérateurs de satellites, les vols mutualisés sur des lanceurs offrent des perspectives de

réduction des coûts d'accès à l'espace non négligeables. Mais cela se fait parfois au prix de la diminution de leur durée de vie en raison de la consommation de l'énergie embarquée pour rejoindre l'orbite désirée ! Une solution se dessine avec les services de mobilité en orbite qui se chargeraient de convoyer les charges utiles jusqu'à leur destination cible. Depuis 2020, le CNES explore activement ce marché émergent en se positionnant en client de démonstrateurs de service de remorquage de satellite.

À l'issue d'un appel d'offres lancé mi-2022 dans le cadre du programme France 2030, deux prestataires ont été retenus. Il s'agit d'Exotrail pour le projet « SpaceVan » dédié aux petits satellites (voir *CNESmag* 94), et de Thales Alenia Space pour le projet Astarte, à destination de satellites en position géostationnaire. Les premières démonstrations en vol sont attendues pour 2024.



Projet de configuration Ariane 6 pour les vols habités.

### PROSPECTIVE

## VOL HABITÉ EUROPÉEN : QUELLES PERSPECTIVES ?

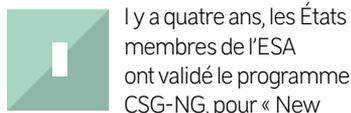
**D**epuis l'arrêt du développement de la navette spatiale Hermès en 1992, les activités de l'Europe dans le domaine des vols habités se sont recentrées sur des participations aux travaux de l'ISS et au véhicule Orion. Mais les

programmes très ambitieux vers la Lune et vers Mars menés par les États-Unis et la Chine depuis quelques années rebattent les cartes. L'an dernier, lors du sommet spatial à Toulouse, le président Macron appelait l'Europe à préciser ses ambitions en matière d'exploration spatiale et de vol habité. L'ESA a alors réuni un groupe consultatif de haut niveau chargé d'approfondir la réflexion et de fournir des recommandations. Les conclusions de ce groupe ont récemment été présentées aux États membres en préparation du prochain Space Summit, qui se tiendra à l'automne en Espagne.

### Des briques technologiques à portée de main

Le CNES et plusieurs partenaires (ESA, ArianeGroup, Airbus Defence and Space..) avaient déjà engagé dès 2020 des travaux de prospective destinés à étudier l'hypothèse d'un vol habité sur Ariane 6 au départ du CSG. Ces investigations ont révélé que la plupart des composantes nécessaires à un vol habité sont connues et maîtrisées par les acteurs européens, à l'exception cependant des combinaisons extravéhiculaires ou des systèmes d'éjection de la capsule. Fin 2022, l'ESA a décidé de prolonger ces premières études en constituant un groupe de travail, auquel participe le CNES, chargé d'éclairer techniquement les réflexions des décideurs du sommet spatial européen.

## UNE NOUVELLE ÈRE AU CSG UNE ÉQUIPE 100 % « NEW GENERATION »



Il y a quatre ans, les États membres de l'ESA ont validé le programme CSG-NG, pour « New

Generation », en le dotant d'un budget de 140 millions d'euros. L'enjeu : renouveler la base de Guyane d'ici 2024 pour la moderniser, renforcer son attractivité, réduire les coûts et décarboner ses activités. Découpé en six composants – centre des opérations, climatisation, énergies, localisation, infrastructures et socle numérique transverse –, ce vaste chantier est piloté à Kourou par une équipe dédiée, composée de 6 personnes. Son rôle : façonner les différentes tâches



# 34 ETP

(équivalents temps plein) ont été impliqués directement dans le programme CSG-NG en 2022, dont l'équipe pilote.

de chaque composant et orchestrer leur mise en œuvre. Pour ce faire, l'équipe s'appuie sur l'ensemble des forces vives du CNES en intégrant des représentants des différentes catégories d'utilisateurs à toutes les phases du programme. Ce dernier est mené en mobilisant une méthode dite « agile » qui favorise les coopérations entre équipes pluridisciplinaires et auto-organisées.

### Place au concret

Un temps freiné par les contraintes de

la crise sanitaire, CSG-NG avance désormais d'un bon pas, puisque 90 % des éléments du programme seront engagés à la fin du premier semestre 2023. Les tout premiers chantiers opérationnels concernent la rénovation du réseau d'eau potable/eau incendie avec le déploiement d'infrastructures connectées, ainsi que le futur centre des opérations dont la construction démarrera dès le début du second semestre 2023 (voir p. 22-23).



## INNOVATION UNE MÉSANGE À KOUROU

**D**epuis quelques mois, le pas de tir des fusées-sondes du CSG reprend du service pour étudier l'accueil de Mésange, une fusée suborbitale de 3,5 m de haut pour 15 cm de diamètre qui pourra atteindre 100 km d'altitude. Mésange est le fruit des recherches d'Opus Aerospace, une start-up française lauréate d'un challenge R&D organisé par le CNES en 2021 autour de la réutilisation d'étages supérieurs pour les futurs lanceurs européens. L'objet du challenge est un bouclier thermique en fabrication additive qui couvre la coiffe de la petite fusée afin de protéger sa structure de la chaleur. Elle a bénéficié d'une enveloppe de 100 000 € de la part du CNES. Le lancement de Mésange est prévu cette année. Ce sera la première fusée d'Opus Aerospace à décoller, mais sans doute pas la dernière car la start-up, qui a déjà mis à feu avec succès un moteur-fusée à ergols liquides, développe parallèlement un micro-lanceur baptisé « Sterne ».



## # COMMUNAUTÉ

Tous les jours, sur les réseaux sociaux, le CNES discute avec vous. Vous nous faites part de vos réflexions ou questions. Rejoignez la conversation ! ;)



**@SRETAILLEAU**

Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche



À Kourou, le Centre Spatial Guyanais est le Port spatial de l'Europe. Ses infrastructures uniques en font un élément clé de notre souveraineté.



**@ISAE\_ENSMA**

École d'ingénieur publique en conception aéronautique et spatiale



Ils s'appellent Maël, Nathan, Ugo et Maxime, ils sont étudiants en formation ingénieur à @ISAE\_ensma et participent au concours #LanceLeFutur organisé par le @CNES. Il s'agit d'imaginer, inventer, modéliser et prototyper le transport spatial de demain.

<https://tinyurl.com/4m95ufsz>

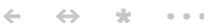


**@THOM\_ASTRO**

Astronaute 🇫🇷, pilote de vaisseau spatial, de retour sur Terre après la #MissionAlpha, parrain @ONG\_ASF



Le CSG, ou le Port spatial de l'Europe ! Incroyable de voir les pas de tir surgir de la forêt luxuriante. Après les succès de la famille Ariane, la base se transforme pour le futur, et l'Europe imagine de plus en plus sa propre capsule habitée, lancée depuis la Guyane Française !

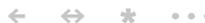


**@THALES\_ALENIA\_S**

Official account of Thales Alenia Space. Joint Venture between @thalesgroup |67% and @leonardo\_live |33%.



« La condition sine qua non à la #souveraineté spatiale de l'Europe doit se traduire par une industrie spatiale européenne forte, autonome, compétitive et innovante » P. Cexus.  
« On distingue 3 types de souverainetés : économique, industrielle et celle de l'emploi » #LTSF2022





GRAND ORAL

JOËL  
**BARRE**

TOUR À TOUR AUX CÔTÉS DU CNES ET DES DÉCIDEURS,  
DES INDUSTRIELS OU DES FORCES ARMÉES, JOËL BARRE  
A CONSACRÉ L'ESSENTIEL DE SA CARRIÈRE AU SPATIAL.

Il livre son analyse sur les lanceurs, pierre angulaire  
des stratégies spatiales et véritable sésame  
pour un accès autonome à l'espace.



## GRAND ORAL

### **Quels sont les enjeux de la maîtrise des lanceurs pour la France ?**

**Joël Barre :** L'autonomie d'accès à l'espace est une condition de notre souveraineté. Sur le plan économique d'abord. Après les télécommunications, nous assistons à un développement très fort des applications du spatial dans le domaine de l'observation de la Terre, en particulier de la surveillance de l'environnement, devenu un impératif sociétal. C'est aussi une priorité pour notre sécurité et notre défense, en matière de télécommunications, de renseignement et de guidage des systèmes d'armes. La France est la locomotive de cette autonomie spatiale. Dans les années 1970, Ariane 1 est née de ce désir d'indépendance stratégique face aux Américains. Enfin, en matière de lancement de satellites, notre pays applique une préférence européenne stricte.

**« Le grand enjeu de la génération des lanceurs futurs, c'est la réduction du coût de lancement en s'appuyant sur l'industrie. »**

### **Et les grands défis de l'Europe spatiale ?**

**J. B. :** Sur le volet commercial et stratégique, la principale compétition a lieu avec les Américains. Pour conserver son autonomie d'accès

à l'espace, l'Europe doit gagner en compétitivité. C'est l'objet du programme Ariane 6 mais aussi de Vega-C, qui remplaceront bientôt la famille Ariane 5, Soyouz et Vega. Nous avons besoin d'une gamme de lanceurs pour couvrir l'ensemble des capacités spatiales : un lanceur lourd pour couvrir le gros satellite en orbite géostationnaire, un moyen et un petit pour positionner des satellites sur des orbites basses. L'industrie européenne doit continuer à se mobiliser pour y parvenir et doit partager la charge financière de ces programmes. Le grand enjeu de la génération des lanceurs futurs, c'est la réduction du coût de lancement en s'appuyant sur l'industrie.

### **Qu'attendez-vous du déploiement d'Ariane 6 ?**

**J. B. :** Qu'il arrive vite ! En 2014, nous nous étions donné pour objectif de diminuer de 40 à 50 % le coût de lancement d'Ariane 6 par rapport à Ariane 5, pour une performance identique. Ce nouveau programme devait aussi remplacer Soyouz, mais nous n'imaginions pas alors le contexte sécuritaire de 2022 et l'arrêt des lancements de la fusée russe en Guyane. Nous avons donc donné la priorité au calendrier, sans rupture de concept en termes de propulsion. Après son premier vol, il faudra en tirer des leçons pour la génération suivante. D'abord sur l'organisation du programme entre les États, l'ESA, le CNES et les autres agences nationales, puis avec l'industrie. Il faudra sûrement remettre sur le tapis l'idée d'un « mécanisme de juste contribution » défendue en son temps

par le directeur général de l'ESA d'alors, Jean-Jacques Dordain. Autrement dit, répartir les travaux en fonction des compétences et capacités industrielles des pays, et ensuite demander aux États de financer l'industrie qui aura été retenue.

### **Quelles innovations ont marqué le secteur ces dernières années ?**

**J. B. :** La rupture majeure qui s'est imposée, c'est la réutilisabilité partielle d'un lanceur après son lancement. Une technologie introduite par SpaceX avec le Falcon 9, qui doit permettre de diminuer le coût des lancements. L'Europe doit poursuivre ses programmes de recherche et développement pour en doter le successeur d'Ariane 6. Ensuite, partout fleurissent des projets de mini-lanceurs destinés à positionner des satellites miniaturisés – de quelques centaines de kilos – en orbite basse. Chacune de ces innovations s'accompagne de la construction d'une base de lancement, comme dans les pays nordiques ou au Royaume-Uni.

### **Dans ce contexte, comment consolider la place du Centre Spatial Guyanais ?**

**J. B. :** Le CSG doit lui aussi faire une proposition de capacité de lancement pour mini-lanceurs. Pour cela, il a de nombreux atouts : emplacements disponibles, installations nécessaires pour fournir l'énergie et conditions de sécurité. Ensuite, le CSG continuera à bénéficier d'avantages en matière



**JOËL BARRE**

DÉLÉGUÉ  
INTERMINISTÉRIEL

« À partir du moment où la pollution spatiale peut devenir un handicap pour la poursuite de l'utilisation de l'espace à des fins gouvernementales, de défense ou commerciales, cela devient un enjeu stratégique. »

de positionnement géographique et territorial. Sa situation à proximité de l'équateur permet de réaliser des lancements de satellites tous azimuts : vers l'est sur l'orbite géostationnaire pour les télécommunications, et vers les orbites polaires pour l'observation. En outre, il est sur une zone française et à l'abri des perturbations météorologiques. Le Port spatial de l'Europe peut s'adapter à ce nouveau marché des mini-lanceurs dans des conditions compétitives.

### Qu'en est-il de la transition écologique ?

**J. B. :** Le CSG doit être moteur sur ces questions et donner une impulsion dans l'utilisation des énergies renouvelables, telles que la biomasse et le solaire. La pollution terrestre qui peut intervenir au moment des lancements est limitée et étroitement surveillée. Des analyses sont régulièrement publiées par le CNES. Elles démontrent que l'impact sur la faune et la flore alentour est maîtrisé dans le temps et l'espace.

### Et la pollution spatiale ?

**J. B. :** La prolifération des débris de satellites en orbite basse constitue une préoccupation majeure. De plus, à partir du moment où la pollution spatiale peut devenir un handicap pour la poursuite de l'utilisation de l'espace à des fins gouvernementales, de défense ou commerciales, cela devient un enjeu stratégique. L'Europe doit acquérir son autonomie dans la surveillance de l'espace. Doter les satellites de capacité de désorbitation en fin de vie pourrait être une solution. Il faudrait aussi que les grandes puissances spatiales arrivent à se mettre autour de la table pour appliquer une réglementation internationale. Un sacré défi !

### Quels sont les enjeux du vol habité ?

**J. B. :** Le vol habité touche à une question sociétale, presque philosophique : la vocation de l'Homme à explorer l'Univers.

Il a aussi un intérêt scientifique, comme en témoignent les expériences médicales menées à bord de la Station spatiale internationale. Le vol habité est aussi un enjeu d'attractivité pour la jeunesse. À cet égard, en tant qu'ancien directeur général de l'armement, je me réjouis de la sélection de Sophie Adenot, première femme pilote d'essai d'hélicoptère parmi les astronautes de l'ESA. Par ailleurs, il est frappant de constater que l'invasion de l'Ukraine n'a pas perturbé l'exploitation de l'ISS entre la Russie, les États-Unis et l'Europe. C'est un bel exemple de coopération internationale qui doit perdurer !

### PROFIL

#### 1988-1995

Directeur du programme de satellites d'observation militaire Helios, à la Direction générale de l'armement.

#### 1997-2001

Directeur en charge des programmes et des affaires industrielles au CNES.

#### 2001-2007

Directeur de la propulsion spatiale au sein de la société Snecma.

#### 2007-2012

Directeur du Centre Spatial Guyanais.

#### 2012-2017

Directeur général délégué du CNES.

#### 2017-2022

Délégué général pour l'armement.



EN IMAGES

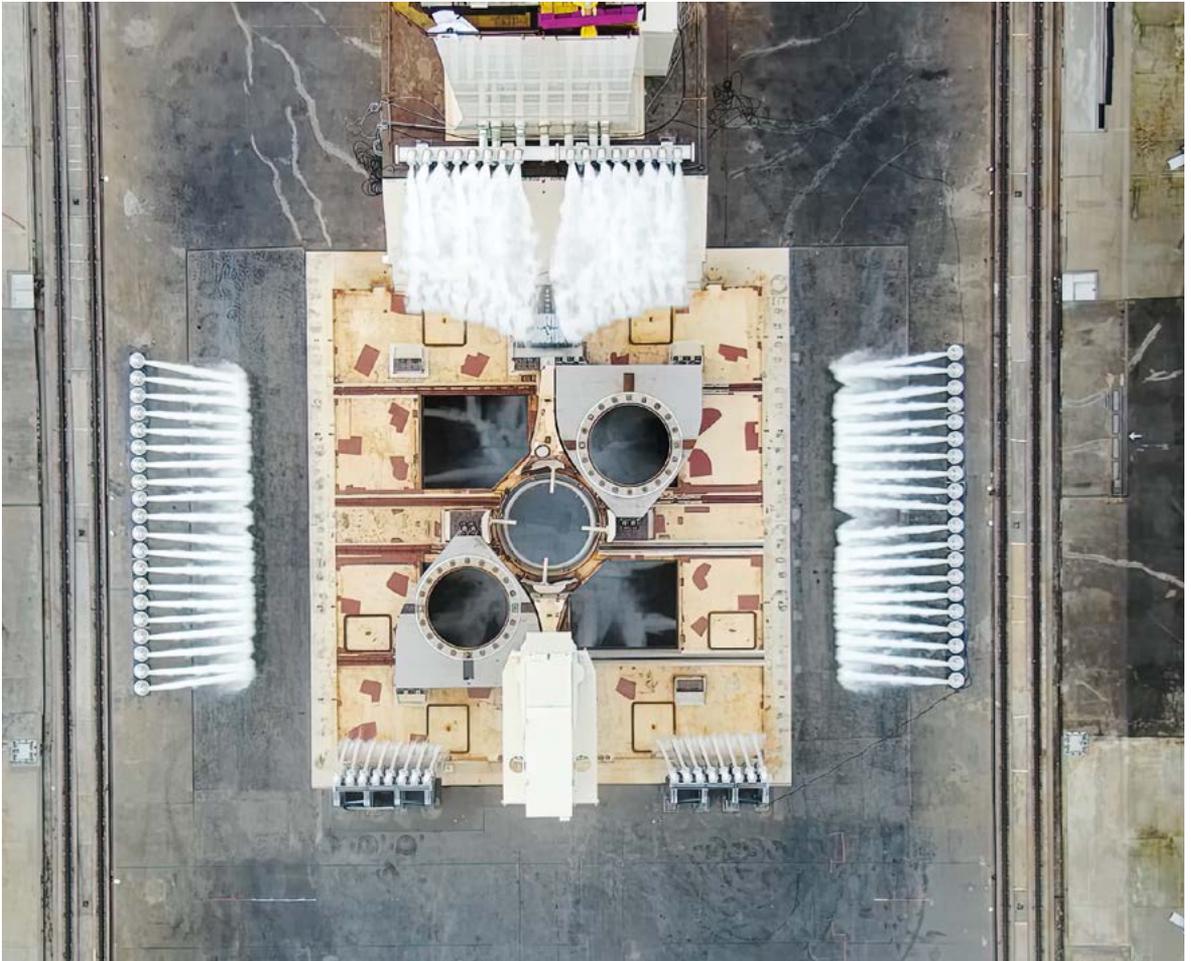


## ERGOLS EN SOUS-SOL

Jusqu'à leur rencontre combustible au moment d'arracher Ariane 6 à la gravité terrestre, les ergols du lanceur auront toujours fait chambre à part. Dioxygène et dihydrogène sont stockés dans deux sites dédiés : celui du dioxygène se situe au sud-est de la table de lancement tandis que celui du dihydrogène se trouve à l'ouest. Quant au trajet jusqu'aux moteurs, là encore, chacun circule dans sa canalisation dédiée de 20 cm de diamètre, protégée par une double enveloppe sous vide pour éviter les échanges thermiques. Au total, chaque litre d'ergol parcourt environ 300 m entre le stockage et le massif de lancement, puis une centaine de mètres dans le massif avant de grimper dans le mât pour atteindre les bras et les caissons cryogéniques.



EN IMAGES



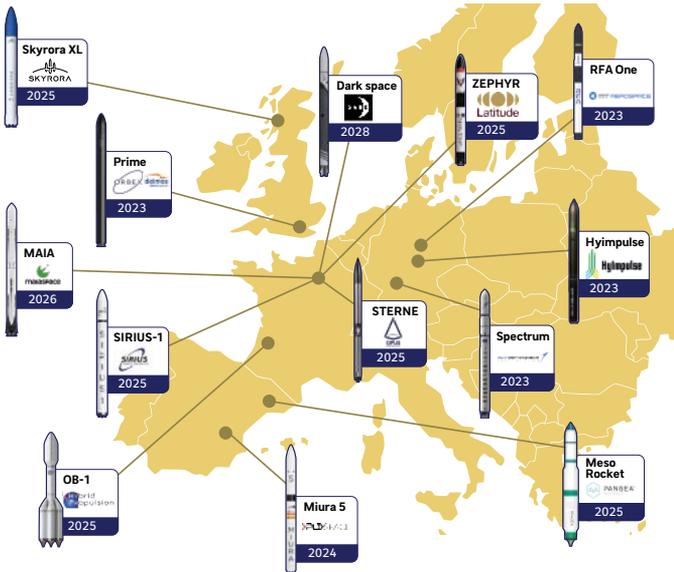
## LES GRANDES EAUX DE L'ELA-4

Comme tous les ensembles de lancement, l'ELA-4 est doté d'un dispositif de déluge dédié à la protection acoustique et à la protection thermique des installations lors du décollage du lanceur. Ce sont d'abord des systèmes de ruissellement qui sont déclenchés 30 secondes avant le décollage, pour refroidir le guide-jet et le déflecteur de jet dans le carneau central. Puis, à T0, les déluges acoustiques prennent le relais, avec des débits beaucoup plus élevés : environ  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  pour le carneau, et le double pour les 72 buses qui arrosent la table. Tous les systèmes sont pilotés par un automate centralisé, dont la qualification a nécessité un mois d'essais.



## EN CHIFFRES

# MICRO/MINI-LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT EN EUROPE



# 116

## LANCEURS

**super lourds et lourds** ont décollé en 2022. C'est la principale catégorie de lanceurs dans le monde et Ariane en fait partie. Suivent les lanceurs moyens (39) et légers et ultra légers (31).

# 1,1 milliard d'euros

**C'est le montant des nouvelles aides destinées aux lanceurs**, validées par l'Allemagne, l'Italie et la France en ouverture de la conférence ministérielle de l'ESA de novembre dernier. Cette somme sera destinée à garantir la montée en cadence et les développements futurs d'Ariane 6 et de Vega C.

# 186

**LANCEMENTS** ont été recensés en 2022, tous pays confondus. 97 étaient des lancements institutionnels et 89, des lancements commerciaux.



# 9,6

**milliards de dollars** ont été générés par le marché des services de lancement en 2022 dans le monde.

# 593 milliards d'euros.

**C'est la somme qui va être investie** par les pays européens dans la maintenance et le développement du CSG.

# 3,2 milliards d'euros

Deuxième contributeur à l'ESA juste derrière l'Allemagne, la France participe à hauteur de 3,2 milliards d'euros aux 16,9 milliards d'euros de financements validés lors de la conférence ministérielle de 2022. C'est 600 millions d'euros de plus qu'en 2019.



# ENJEU CLÉ DE SOUVERAINETÉ

DEMAIN, LES LANCEURS EUROPÉENS SERONT RÉUTILISABLES, MINIS, MICROS, MODULABLES, MOINS COÛTEUX, ENCORE PLUS RESPECTUEUX DE L'ENVIRONNEMENT. MAIS UNE CHOSE NE CHANGERA PAS : ILS RESTERONT AU SERVICE DE L'AUTONOMIE ET DU RAYONNEMENT DE NOTRE CONTINENT.



## LE CNES EN ACTIONS



La famille des lanceurs européens avec Ariane et Vega.

**E**n France, la filière spatiale totalise environ 70 000 emplois, 1 700 entreprises, et génère près de 11 milliards d'euros de chiffre d'affaires pour son industrie manufacturière<sup>1</sup>.

Aussi imposants qu'ils soient, ces chiffres ne sauraient suffire à refléter l'importance réelle du spatial dans notre société. « *La maîtrise de l'espace est un enjeu clé de souveraineté nationale et européenne*, résume Carine Leveau, directrice du transport spatial au CNES. *Au fil des dernières décennies, l'espace s'est en effet imposé comme un élément indispensable d'autonomie stratégique et militaire, un rouage essentiel de notre souveraineté industrielle et économique, un levier puissant pour le dynamisme scientifique, et un outil fondamental dans la compréhension des grands enjeux environnementaux et climatiques.* » Dans ce contexte, quel

**3  
JOURS**

**C'est l'objectif de délai**

**entre deux  
lancements pour  
le CSG d'ici à 2030,  
contre 11 jours  
aujourd'hui.**

est le rôle des lanceurs ? « *C'est la base de tout. La première condition de la compétitivité et de la souveraineté spatiale, ce sont les lanceurs.* » Ces mots, c'est Emmanuel Macron en personne qui les a prononcés, en février 2022, lors de la rencontre informelle des ministres européens chargés de l'Espace.

### **UNE SOLIDARITÉ EUROPÉENNE RÉAFFIRMÉE**

Un constat qui n'a rien de nouveau. « *Mais les bouleversements récents du contexte mondial – consécutifs au Covid-19, et surtout à la guerre en Ukraine – soulignent plus que jamais l'importance pour les pays européens de disposer d'un accès autonome à l'espace* », estime Philippe Pujes, responsable des programmes systèmes de lancement au CNES. Sur ce plan, l'accord trouvé par la France,



## LE CNES EN ACTIONS

l'Allemagne et l'Italie en novembre dernier est de bon augure. Il réaffirme le principe d'une « préférence européenne » en matière de lancements spatiaux, garantit l'exploitation future des lanceurs d'Ariane 6 et de Vega-C, et envisage l'autorisation pour les micro et mini-lanceurs à accéder au marché des lancements institutionnels de l'ESA. « C'est une avancée importante à l'heure où le monde des lanceurs est soumis à de profondes mutations économiques, géopolitiques et technologiques », reprend Carine Leveau.

### PRÉPARER L'AVENIR DANS UN CONTEXTE MOUVANT

Concurrence accrue des grandes puissances spatiales extra-européennes et des acteurs privés, explosion du nombre de charges utiles de tailles et de technologies de plus en plus variées, nécessité de lutter contre le changement climatique... L'agence spatiale française et ses partenaires européens doivent aujourd'hui naviguer dans un contexte aussi changeant qu'exigeant. Le contrat d'objectifs et de performance établi entre l'État et le CNES ainsi que nombre d'actions déjà engagées par les équipes prennent en compte ces évolutions. Parmi les priorités phares figure la réussite des débuts d'exploitation d'Ariane 6 et de son ensemble de lancement ELA-4. La volonté est aussi d'élargir la gamme des réponses possibles à la concurrence mondiale, en favorisant l'émergence de nouveaux acteurs français, particulièrement sur le segment des micro et mini-lanceurs. Plusieurs mesures ont d'ores et déjà été prises dans ce sens, concernant tant les infrastructures que l'écosystème industriel. Pour Philippe Pujes, « ces petits lanceurs nous permettront au passage d'expérimenter des briques technologiques qui nous aideront à relever l'important défi de la réutilisation que nous explorons depuis quelques années avec notre projet de moteur réutilisable à bas coûts Prometheus et les démonstrateurs d'étages réutilisables Callisto et Themis ». Enfin, le CNES s'attache également à conforter le CSG dans son statut de Port spatial de l'Europe, grâce à de grands plans de transformation destinés à accélérer les cadences de lancement tout en réduisant drastiquement l'empreinte environnemen-

### Syracuse 4A & 4B

## AU SERVICE DE LA SOUVERAINÉTÉ MILITAIRE FRANÇAISE



**Dans la nuit du 23 au 24 octobre 2021, le satellite Syracuse 4A a décollé du Centre Spatial Guyanais. Il sera bientôt rejoint par son jumeau Syracuse 4B qui s'envolera à bord de l'ultime Ariane 5 de l'histoire. Ces nouveaux représentants de la famille Syracuse permettront aux armées déployées sur tout le globe de communiquer à haut débit et en toute sécurité depuis des relais au sol, aériens, marins et sous-marins. Issus de la dernière génération de satellites militaires français de télécommunication, ils offrent un débit jusqu'à trois fois supérieur à celui des engins de la génération précédente, ainsi que des performances accrues en matière de sécurité et de protection contre les menaces cybernétiques et les brouillages.**

tale de la base. « En novembre dernier, la conférence ministérielle de l'ESA a validé la somme de 593 millions d'euros investie par les pays européens dans la maintenance et le développement du CSG, qui porte à 900 millions d'euros les investissements dont bénéficiera le port spatial de Kourou », indique Carine Leveau, qui y voit « un signal fort pour l'avenir ».

1. Chiffres issus de l'Observatoire de l'économie spatiale et de l'Insee.



# Quel avenir

## POUR LE CSG ?

**Encore plus flexible, plus disponible, plus attractif, plus compétitif, plus respectueux de l'environnement. Aujourd'hui le Centre Spatial Guyanais se réinvente en profondeur.**



u fil de ses six décennies d'histoire, le Port spatial de l'Europe n'a cessé de se transformer pour répondre aux besoins des acteurs de l'espace. À l'heure du New Space et de ses multiples acteurs, la base de lancement engage une nouvelle mutation pour renforcer plus que jamais son attractivité. « *La multiplication sans précédent des opérateurs de petits et nanosatellites amène le CSG à développer des capacités de lancement adaptées aux spécificités des micro/mini-lanceurs. C'est ce que nous faisons avec l'ensemble de lancement multilanceurs (ELM) en cours de construction sur le site historique Diamant, qui sera aussi utilisé pour les démonstrateurs des futurs Callisto et Themis, indique Marie-Anne Clair, directrice du CSG. Ces nouveaux entrants ont aussi de nouvelles manières de travailler et d'autres attentes, ce qui nous incite à faire évoluer nos méthodes et nos infrastructures, pour optimiser la disponibilité et les capacités de mise en orbite du centre spatial tout en réduisant de manière importante les coûts de maintenance.* »

Autant d'orientations pour l'avenir qui structurent les deux grands programmes de modernisation engagés ces dernières années. Le premier, baptisé « CSG New Generation » (voir p. 11), prévoit en particulier la construction d'un nouveau centre



Vue d'artiste du futur centre des opérations du CSG.



Travaux de terrassement du nouveau centre des opérations du CSG.



## LE CNES EN ACTIONS



### Ergols

## CAP SUR LE BIOMÉTHANE ET L'HYDROGÈNE VERT

**Dans la perspective de la transition énergétique du CSG et du CNES, la question des ergols des futurs lanceurs européens occupe une place essentielle.** Depuis plusieurs années, deux projets de décarbonation des carburants sont menés de front au Port spatial de l'Europe, avec la même stratégie de déploiement d'écosystèmes vertueux, en lien étroit avec le tissu économique local. Baptisé Hyguane et porté par l'ESA, le premier programme rassemble le CNES et des acteurs industriels (Air Liquide, Sara...) pour faire émerger une filière d'hydrogène vert. Il prévoit la construction d'une installation pilote adossée à un champ photovoltaïque dédié, fondée sur la technologie de l'électrolyse<sup>2</sup>, d'une capacité de 130 tonnes d'hydrogène par an. Le projet comporte également un centre de conditionnement qui ouvre la voie à des usages stationnaires (piles à combustibles) et mobilité (alimentation de véhicules). Il prévoit aussi un centre de compétences (formation, veille, sensibilisation) sur le territoire guyanais. Le second programme porte, lui, sur la mise en place d'une filière biométhane, avec la construction d'une unité de production de méthane aux abords du CSG. Cette installation sera approvisionnée par des déchets agricoles locaux et/ou du gaz de décharge dans une logique d'économie circulaire. Elle est destinée dans un premier temps au démonstrateur Themis puis pourrait approvisionner de futurs micro/mini- lanceurs. Un appel d'offres sera prochainement lancé pour sa construction.

2. Procédé qui permet de séparer les molécules d'hydrogène présentes dans l'eau grâce à l'électricité.

des opérations optimisé pour l'accélération des cadences de lancement et la diversification des lanceurs. Le second, validé par la conférence ministérielle de l'ESA de novembre 2022, s'articule autour des enjeux de flexibilité et de digitalisation des activités pour une meilleure compétitivité. Il comporte aussi un important volet consacré au développement durable et à la transition énergétique de la base.

« Ce troisième point est au cœur des priorités stratégiques du CNES qui a un devoir d'exemplarité vis-à-vis de l'ensemble du secteur spatial, mais il est aussi d'une grande importance pour l'avenir écologique et économique de la Guyane », poursuit Marie-Anne Clair. Fort d'une politique ambi-

tieuse déployée depuis de nombreuses années en matière de protection de la biodiversité sur ses 660 km<sup>2</sup> d'emprise, le CSG s'engage désormais dans une politique volontariste de transition énergétique avec un objectif clair : fonctionner avec 90 % d'énergies renouvelables à l'horizon 2030, tout en réduisant drastiquement ses consommations. Concrètement, cette ambition se traduit par la construction de deux centrales photovoltaïques et l'implantation de deux unités de production d'énergie à partir de biomasse. Mais aussi par un vaste chantier d'économies en matière de climatisation, par l'optimisation et la modernisation du parc immobilier, mais aussi par le recours à des ergols moins carbonés (voir encadré).



L'assemblage du corps central d'Ariane 6 se fait à l'horizontale, contrairement à l'assemblage d'Ariane 5.

# Ariane 6 - ELA-4:

## UN DUO D'AVENIR

**D'ici quelques mois, le nouveau lanceur lourd européen prendra son envol depuis l'ELA-4. Retour sur une aventure spatiale hors du commun par l'importance des enjeux et des savoir-faire mis en œuvre.**

**D**ès 2009, le CNES préconise le développement d'un successeur d'Ariane 5 pour garantir à l'Europe son autonomie d'accès à l'espace. Après un vaste chantier d'études et de travaux préparatoires et un engagement des 20 États membres de l'ESA fin 2014, le programme entre en phase opérationnelle en 2015, lorsque l'agence spatiale européenne confie le développe-

ment du lanceur à ArianeGroup, et celui de son ensemble de lancement ELA-4 au CNES. Ce dernier soutient l'ESA dans sa maîtrise d'ouvrage et réalise les essais combinés. « *La feuille de route du futur lanceur lourd européen était claire : il devait être beaucoup moins coûteux que son prédécesseur, modulaire, et son étage supérieur devait être réallumable pour pouvoir placer plusieurs satellites sur des orbites différentes lors d'un seul lancement et se désorbiter activement* », résume Olivier Bugnet, chef de projet Ariane 6. Pour l'ensemble de lancement, l'objectif central est la baisse des coûts. « *Il s'agissait de mutualiser les frais de développement, de réduire les dépenses récurrentes et d'op-*



## LE CNES EN ACTIONS

*timiser les processus de fabrication », indique Pierre Guilhem, chef de projet des Moyens Sol Guyane Ariane 6.*

*Pour répondre à ces attentes, les équipes de développement ont eu recours à des technologies et à des process innovants. De nouveaux procédés de fabrication, plus économiques en matière et plus rapides, ont été mis en œuvre, telles que l'impression 3D pour le générateur de gaz de Vulcain 2 et le soudage par friction-malaxage pour les réservoirs cryotechniques. Par ailleurs, tous les bancs de contrôle destinés aux tests des étages et des essais à feu ont été construits sur la même plateforme, ce qui réduit les coûts de fabrication et évite les hiatus entre les différents environnements de test. « L'implantation de l'ensemble de lancement a, pour sa part, été repensée en vue "d'économiser" une zone d'activité par rapport à l'ELA-3, ajoute Pierre Guilhem. Un bâtiment d'assemblage à l'horizontale a également été préféré à la typologie classique à la verticale, ce qui autorise de substantielles économies. Parallèlement, un dispositif de récupération des eaux du déluge (voir p. 17) et une unité de traitement des eaux polluées ont aussi été ajoutés pour libérer le terrain plus rapidement après un lancement et limiter les impacts environnementaux. »*

*Mis bout à bout, ces choix de conception permettent de réduire considérablement la facture des futurs vols. « Cela se traduit par des carnets de commandes pleins pour plusieurs années, avec une trentaine de lancements programmés, dont 18 pour le déploiement du Projet Kuiper, la constellation d'Amazon », ajoute Olivier Bugnet. Et l'avenir se construit déjà : en novembre dernier, la conférence ministérielle de l'ESA a acté le développement d'une évolution du lanceur européen.*



**années**

**C'est le temps qu'ont duré les travaux pour construire l'ELA-4.**

### Qualifications

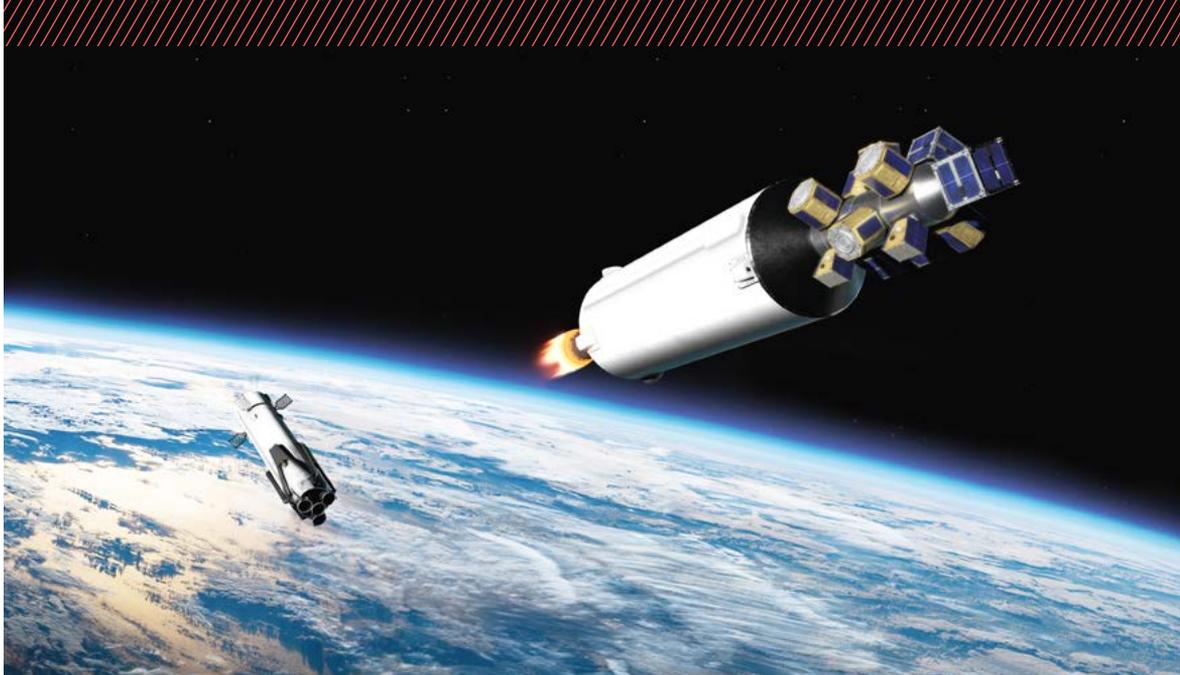


Essai à feu de l'étage supérieur d'Ariane 6 équipé du moteur Vinci.

### LES « JOIES » DE L'INNOVATION

**Imaginer de nouvelles solutions, c'est souvent grisant, mais ce n'est pas sans risque !** De fait, les développements d'Ariane 6 et de son ensemble de lancement n'ont pas été exempts de difficultés, amplifiées par l'ampleur du projet et la multiplicité des intervenants qui devaient se coordonner avec une précision d'horloger. Pour le lanceur, l'un des points les plus épineux a sans doute été le rallumage du moteur Vinci qui a nécessité d'innombrables essais et réglages pour maîtriser le comportement des ergols cryogéniques lors de la phase balistique où la fusée est en impesanteur. Le banc de contrôle, qui réunit l'ensemble des interfaces matérielles et logicielles entre le lanceur et l'ensemble de lancement, a également réservé son lot de surprises.

Plusieurs versions ont dû être développées avant de pouvoir engager les campagnes de tests et d'analyses, elles-mêmes pléthoriques en raison des multiples paramètres de sécurité à piloter. Mais ce chantier particulièrement intense touche à son terme avec la revue de qualification du banc de contrôle en avril, qui ouvre la voie à la dernière étape des essais combinés.



Vue d'artiste d'une mise en orbite à partir d'un mini-lanceur.

# Mini-lanceurs,

## MAXI ENJEUX

**Face à l'émergence rapide du marché des petits lanceurs, le CNES développe une stratégie à plusieurs étapes.**

**D**ans sa dernière étude<sup>3</sup> sur l'avenir des petits satellites de moins de 500 kg, le cabinet Euroconsult prévoit que plus de 18 000 « small-sats » seront lancés au cours de la prochaine décennie, dont un tiers d'origine européenne. Ce boom du petit se traduit également par la multiplication de projets de micro/mini-lanceurs. Et le CNES entend bien accompagner la montée en puissance de ce nouveau marché, en saisissant l'opportunité de développement qu'il représente pour le CSG. La base de Kourou dispose déjà de solides arguments, à commencer par sa position géographique exceptionnelle et son savoir-faire unique en Europe en matière de systèmes de lancement et d'interfaces sol/bord. Elle se dote également d'infrastructures adaptées, avec la construction d'un ensemble multilanceurs (ELM) qui prendra place sur le site Diamant, dont quatre zones seront dédiées aux tirs de micro/mini-lanceurs. Dans ce cadre, un appel à candidatures a été lancé en



**Milliards de dollars**

**Le marché des petits satellites a été évalué à 17 milliards de dollars entre 2011 et 2020, selon le cabinet Euroconsult.**

décembre 2021 pour présélectionner sept opérateurs européens. Parmi eux, certains auront l'opportunité, après accord préliminaire avec le CNES, d'aider l'Europe à accroître son offre de services de lancement depuis le territoire guyanais. Un premier précontrat a d'ores et déjà été signé avec l'entreprise allemande Isar Aerospace. Depuis l'an dernier, les équipes du CNES apportent également un support technique à cinq start-up françaises pour le développement de leur lanceur, répondant ainsi à l'un des objectifs principaux du CNES, qui met l'accent sur la contribution à l'émergence d'un nouvel écosystème spatial. Parmi ces start-up, plusieurs pourraient avoir atteint un niveau de maturité suffisant pour participer au nouvel appel d'offres qui sera prochainement lancé par le CNES à l'intention des acteurs hexagonaux, avec notamment à la clé un accompagnement financier. Rendez-vous en 2024 pour les premiers décollages !

3. « Prospects for the small satellite market », Euroconsult, juillet 2022



MATIÈRE



# Une nanopuce de sécurité

DU HAUT DE SES QUELQUES MILLIMÈTRES, CETTE NANOPUCE EST CAPABLE DE NEUTRALISER LE DÉMONSTRATEUR DE FUSÉE RÉUTILISABLE CALLISTO (VOIR P. 28-29) EN CAS DE PROBLÈME EN VOL. Conçue sur une base microélectronique, elle peut être fabriquée en très grande quantité pour un coût concurrentiel. Elle est constituée de plusieurs couches très minces de métaux (aluminium et oxyde de cuivre) et d'un filament. Dès qu'un courant électrique y circule, la nanopuce prend feu. Le but ? Initier un système pyrotechnique qui endommagera le réservoir de la fusée en cas de problème de sécurité. Développée par le LAAS-CNRS, la nanopuce a été intégrée au sein d'un système pyrotechnique novateur par Dassault Aviation. Contrairement aux autres dispositifs existants, celui-ci est miniaturisé et facilement interchangeable. À l'avenir, cette technologie pourrait même se retrouver dans nos voitures : les équipes du LAAS-CNRS développent un prototype d'initiateurs airbag déclenché par ce type de nanopuce.



I N S T A N T S T



# 1

## HISTOIRE

### LE PREMIER DÉMONSTRATEUR EUROPÉEN

Depuis le début des années 1980, le CNES étudie la possibilité de réutiliser les lanceurs.

En 2017, lors du salon du Bourget, le CNES et deux agences spatiales signent un partenariat pour un projet inédit en Europe et au Japon :

Callisto. L'objectif ? Faire voler un démonstrateur de lanceur réutilisable de petite taille (15 m de haut) en conditions réelles.

Callisto ne se destine pas à devenir un véhicule opérationnel, mais ouvre la voie au futur démonstrateur Themis et, à terme, à une fusée réutilisable commerciale.

# 2

## LANCEMENT

### UN SITE HISTORIQUE RÉHABILITÉ

L'ancien site de lancement Diamant, opérationnel dans les années 1970, fait peau neuve. Callisto va être lancé et récupéré depuis ce site historique du Centre Spatial Guyanais.

Réutiliser un ancien site répond aux enjeux actuels de sobriété puisque cela limite l'artificialisation des sols et l'utilisation de nouvelles ressources. Autre atout : en lançant Callisto depuis un port spatial en activité, l'ensemble des opérations pourra être validé dans les mêmes conditions qu'un vol commercial. Une fois le projet terminé, cette zone servira à faire décoller des micro-lanceurs commerciaux.



**CALLISTO EST UN DÉMONSTRATEUR DE PREMIER ÉTAGE DE FUSÉE RÉUTILISABLE. IL DÉCOLLERA (ET ATERRIRA !) DÉBUT 2025, DEPUIS L'ANCIENNE ZONE DE LANCEMENT DIAMANT, RÉHABILITÉE POUR L'OCCASION. CE PROJET INÉDIT EN EUROPE OUVRE LA VOIE À DE FUTURES FUSÉES COMMERCIALES RÉUTILISABLES.**

# 3

## RÉUTILISATION

### DE NOUVEAUX ÉQUIPEMENTS ET OPÉRATIONS À TESTER

Nous maîtrisons le lancement des fusées dans l'espace depuis des décennies, mais les réutiliser est un véritable défi. Deux étapes cruciales vont être testées avec Callisto.

La récupération du lanceur exige d'embarquer de nouveaux équipements : moteur à poussée variable, gouvernes aérodynamiques, pieds d'atterrissage. Callisto devra se poser à la verticale avec une précision de moins de 10 m.

Autre étape importante : la réutilisation.

Les équipes vont s'attacher à évaluer le temps, le coût et les moyens humains nécessaires pour faire redécoller la fusée.

# 4

## COOPÉRATION

### UNE ALLIANCE INTERNATIONALE INÉDITE

Connaissez-vous la signification de Callisto ?

En anglais, il s'agit de l'acronyme de « Cooperative Action Leading to Launcher Innovation in Stage Toss-back Operations », que l'on peut traduire par « action coopérative menant à l'innovation pour un lanceur réutilisable ». Ce nom reflète

l'une des forces du projet : la coopération.

Le démonstrateur réunit le CNES et les agences spatiales japonaise (JAXA) et allemande (DLR). Cela mutualise les efforts, les expertises et les moyens autour d'un objectif commun. Pour l'ensemble des équipes, Callisto est une occasion unique et enrichissante de partager des méthodes de travail au quotidien.



RENCONTRES

# MASSIMILIANO COSTANTINI

Responsable du service sauvegarde vol au Centre Spatial Guyanais

« Garantir la sécurité des personnes et des biens à chaque lancement. »



Kourou, 12 décembre 2017. Ariane 5 va effectuer son 240<sup>e</sup> vol, avec le GPS européen Galileo comme passager. Massimiliano Costantini s'apprête à vivre son premier lancement. « *Cinq secondes avant le décollage, la tension est palpable. Une fois le moteur allumé, le cerveau se réinitialise pour se focaliser sur la mission* », se souvient-il. En poste au CSG depuis neuf ans, il a gravi les échelons pour devenir chef de la cellule sécurité des vols, en 2020. Un rêve de gosse : « *J'étais passionné par tout ce qui vole, puis j'ai découvert avec fascination les technologies spatiales.* » Il se forme à la propulsion à l'École polytechnique de Milan. En 2014, il rejoint le CNES, en Guyane, comme ingénieur modélisation

et calcul au service Sauvegarde sol. Il gravite rapidement vers la Sauvegarde vol, une fonction cruciale de la base de lancement. Condition sine qua non à tout lancement, la capacité de sauvegarde garantit la sécurité des personnes et des biens. « *C'est l'ingénieur Sauvegarde vol qui appuie sur le bouton pour neutraliser la fusée s'il y a un problème à bord, à toute phase du vol* », explique-t-il. Dans la nuit du 20 décembre 2022, tandis que Massimiliano scrute Vega-C, le lanceur quitte sa trajectoire. L'ordre de destruction est donné. « *Nous sommes entraînés pour réfléchir de manière quasi automatique.* » Chaque semaine, son équipe répète les gestes et dialogues comme au J0, sur simulateur.

« *L'instructeur va injecter des pannes, comme un lanceur qui dévie, un incident sur les moyens de localisation ou de télémesure* », précise-t-il. Un nuancier de scénarii du pire pour engendrer les bonnes réactions. Même après 27 tirs, il ressent toujours « cette adrénaline qui monte » au fil de la chronologie de lancement. Il participe aussi à la vérification de la conformité des lanceurs à la loi relative aux opérations spatiales (LOS). « *L'arrivée des micro-lanceurs ouvre de nouvelles perspectives pour la sauvegarde vol. Notre défi, c'est d'arriver à garantir le même niveau de sécurité, tout en respectant les contraintes économiques et technologiques de ces lanceurs.* »



RENCONTRES

# LUCE FABREGUETTES

Responsable du département Infrastructure et Chaîne de la valeur de la direction du transport spatial de l'ESA

« Proposer des lanceurs compétitifs,  
tout en répondant à la mission publique d'accès à l'espace. »



Pour décrire son métier, Luce Fabreguettes convoque le mouvement artistique Supports/Surfaces qui fait la part belle aux matériaux autant qu'à l'œuvre finale. « *Jem'assure que la toile, les outils et les pinceaux sont disponibles pour ceux qui travaillent sur l'œuvre, qu'ils n'aient pas à se préoccuper des sujets infrastructure, processus ou sécurité* », explique-t-elle. Depuis 2020, cette Montpellieraise est à la tête du département Infrastructure et Chaîne de la valeur de l'ESA. « *Mon rôle consiste à optimiser processus et moyens de fabrication des lanceurs et installations de lancement, à trouver le bon équilibre public/privé pour que nos lanceurs soient compétitifs, tout en répondant à la mission publique d'accès à l'espace.* » Avant

de se consacrer à ce volet stratégique, Luce Fabreguettes a touché à l'ingénierie pure. En 1990, au sortir de Centrale Lyon, elle rejoint Aérospatiale, en plein développement d'Ariane 5. Le deuxième lancement de sa version ECA résonne comme « une apothéose » après des mois de travail acharné. L'ingénieure participe à la conception de l'ATV, ce véhicule de transfert automatique destiné à ravitailler la Station spatiale internationale. Elle suit aussi les prémices de Vega et le passage au numérique sur Soyouz. « *Après 15 ans dans l'industrie, je voulais mieux cerner les attentes des passagers à bord et des clients.* » Ses interrogations la propulsent chez Arianespace, en 2005, puis à l'ESA, où elle accompagne les

programmes spatiaux européens. Sa fine connaissance des lanceurs renforce sa légitimité vis-à-vis des industriels. « *Si je touche moins aux aspects techniques, j'aime les comprendre, je garde l'âme d'une ingénieure* », affirme-t-elle. En 30 ans, Luce Fabreguettes a vécu la privatisation croissante du secteur et l'émergence de nouveaux acteurs sur le marché des micro-lanceurs ou des ports spatiaux. « *Pour des raisons géostratégiques, la coopération est devenue plus sélective* », observe-t-elle. S'ajoutent des impératifs de diminution de l'empreinte carbone. « *Cet environnement complexe oblige l'ESA et le CNES à se transformer pour trouver un système pérenne et durable.* »

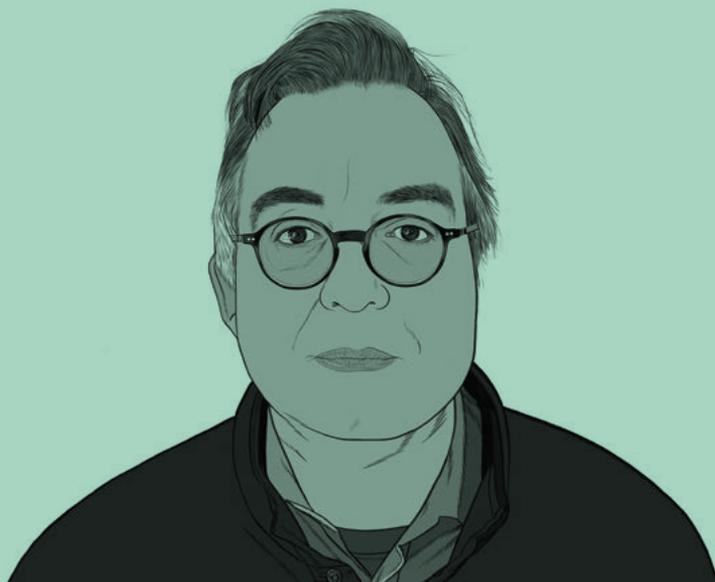


RENCONTRES

# EMMANUEL LACÔTE

Directeur du laboratoire de chimie sur les ergols du futur

« Trouver de nouveaux carburants liquides pour propulser les lanceurs de demain. »



La chimie verte repose sur un paradoxe : il faut mettre au point de nouvelles molécules toujours plus performantes, tout en minimisant les impacts sur notre santé et notre environnement. « Pour envoyer un satellite en orbite, il faut développer un quantum d'énergie déterminé. Les solutions actuelles ont une certaine toxicité. Trouver un ergol vert serait le Graal », confie Emmanuel Lacôte, directeur de l'unité de recherche Hydrazines et Composés énergétiques polyazotés. Derrière cette appellation sibylline, une unité mixte de recherche créée par le CNES, le CNRS, ArianeGroup et l'université Claude-Bertrand-Lyon-1. Depuis 2016, le chercheur en chimie des éléments façonne les ergols du futur.

« Notre but est de trouver de nouveaux carburants liquides pour propulser les lanceurs de demain », résume-t-il. Le challenge ? Élaborer un ergol de rupture. L'invention d'ergols HEDM (high energy density material) constitue l'une des pistes explorées par l'initiative Ariane Ultimate, portée par le CNES. « Nous sommes à mi-chemin de la preuve de principe. Nous avons inséré l'enchaînement d'atomes nécessaires pour la propulsion dans une molécule. Il reste à polir ce diamant brut pour atteindre l'HEDM cible », développe Emmanuel Lacôte. Avec une impulsion spécifique importante en ligne de mire, la recherche amont est ici conditionnée par l'application industrielle : « Nous devons

garder en tête les contraintes particulières liées au spatial pour trouver la solution. » De fait, une molécule plus concentrée en énergie pourra être stockée dans un réservoir plus petit. « Si nous arrivons à synthétiser ces molécules en grosse quantité, cela permettrait de modifier complètement les architectures des lanceurs, et donc d'avoir des gains en taille, en poids et surtout en coût », détaille-t-il. À l'horizon 2040, il s'agit bien de construire un lanceur neutre en carbone, réutilisable et à faible coût de lancement. « C'est palpitant de faire de la recherche qui peut avoir un impact pour garantir la primauté de l'Europe et de la France dans le domaine du spatial », conclut le chercheur.



## ESPACE ÉTHIQUE



JACQUES ARNOULD

# UN SI BEAU VOYAGE

**De plus en plus nombreux sont les équipages, les satellites et les sondes à quitter la surface de notre planète pour rejoindre l'espace : il n'existe guère de plus belle destination. Mais quels sont leurs objectifs ?**

**T**out a commencé en avril 1610. Après avoir lu le compte-rendu des premières observations astronomiques menées par Galilée au cours de l'hiver précédent, Johannes Kepler s'enthousiasme et annonce la naissance de la navigation spatiale : « *On ne manquera certainement pas de pionniers lorsque nous aurons appris l'art de voler. Créons des vaisseaux et des voiles adaptés à l'éther céleste, et il y aura des gens à foison pour braver les espaces vides. En attendant, nous préparerons pour les hardis voyageurs du ciel des cartes des corps célestes, je le ferai pour la Lune et vous, Galilée, pour Jupiter.* »

Époustouflante prophétie qui prendra trois siècles et demi pour être réalisée et qui, aujourd'hui, entame un nouveau chapitre de son histoire : jamais sans doute le transport spatial n'a été autant sollicité. Kepler n'était pas dupe : « *Il y a loin d'une conception théorique à sa réalisation pratique, de la mention des antipodes dans Ptolémée à la découverte du Nouveau Monde par Colomb.* »

Et nous ne pouvons penser à l'art de la navigation spatiale sans nous souvenir de ses pionniers, de ses brillants succès, mais aussi des épisodes de nuit et de brouillard que contient son histoire. Parce qu'elles sont humaines, dramatiquement humaines, aucune de nos conquêtes,

aucune de nos explorations ne sont exemptes d'erreurs ni même de fautes.

### QUI VEUT ALLER LOIN...

Ce dernier constat ne doit pas ralentir notre marche aux étoiles. Il doit plutôt nous inviter à nous interroger sur nos motivations. Si l'espace, le plus proche comme le plus lointain, offre les plus fascinantes destinations qui soient, celles-ci ne suffisent pas à justifier les efforts engagés, les risques encourus pour les atteindre. Norman Augustine, dans le rapport qu'il rend au président Barack Obama à l'automne 2009, a parfaitement raison : « *Nous explorons pour atteindre des buts, pas des destinations. [...] Il y a un danger à choisir d'abord les destinations et les architectures. Nous courrons le risque de nous en tenir à une destination, sans avoir une claire compréhension de la raison pour laquelle elle a été choisie, ce qui à son tour peut conduire à l'incertitude, au moment où il convient de démarrer.* »

Ce que défend Augustine à propos des vols habités est vrai pour tous les usages et toutes les formes du transport spatial : nous ne devons pas nous laisser aveugler par la magnificence des destinations spatiales ; nous devons impérativement et continuellement nous interroger sur les objectifs que nous poursuivons. Le voyage n'en sera que plus beau !



EN VUE

EXPOSITION

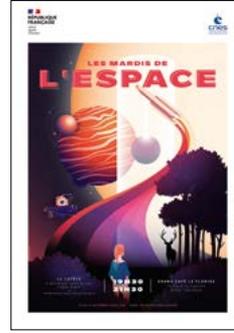
## LE MUSÉE DE L'ESPACE FAIT PEAU NEUVE



Depuis août 2022, ses portes sont closes pour une refonte d'envergure. Le musée de l'Espace du Centre Spatial Guyanais (CSG) se réinvente pour devenir un centre d'interprétation ! « Le concept clé du nouveau musée de l'Espace du CSG, c'est l'interactivité. Nous voulons rendre le visiteur acteur de son expérience, pour qu'il apprenne en s'amusant », explique Marie-Françoise Bahloul, cheffe de projet CNES à Kourou. Lors d'une déambulation immersive, petits et grands revivront l'histoire de la conquête spatiale et les évolutions de la base spatiale guyanaise. Une galerie dédiée accueillera des maquettes au format 1/10<sup>e</sup> des lanceurs emblématiques Ariane et Vega. « L'humain est au cœur de cette rénovation, complète Marie-Françoise Bahloul. À travers des témoignages vidéo et audio, nous avons souhaité dévoiler les coulisses et valoriser les 90 métiers représentés au CSG. » Qui n'a jamais rêvé de se mettre dans la peau d'un opérationnel pour autoriser un lancement ? De sélectionner l'orbite et le lanceur adaptés à sa mission d'observation de la Terre ? Ou encore de se métamorphoser en satellite ? Une multitude de nouveautés destinées à attirer les curieux et à dynamiser l'offre pédagogique pour la jeunesse locale. Encore un peu de patience pour le découvrir : le nouveau musée de l'Espace ouvrira ses portes courant 2024.

PODCAST

### MARDIS DE L'ESPACE



À quoi ressemblera la nouvelle génération de lanceurs spatiaux à l'horizon 2030 ? De quelles innovations sera fait le transport spatial de demain ? Quel rôle peuvent jouer la France et l'Europe dans ce domaine ? Voici quelques-unes des questions abordées lors du Mardi de

l'espace « Lanceurs spatiaux du futur : vers un accès autonome et compétitif à l'espace », en décembre 2022. Un événement proposé par le CNES, en partenariat avec l'association Bar des Sciences. Animée par Paul de Brem, journaliste scientifique, la soirée a été ponctuée par les interventions de trois spécialistes du secteur sur les nouveaux modes de propulsion, les micro-lanceurs et lanceurs écoresponsables. Une discussion à réécouter en podcast sur toutes les plateformes et sur [cnes.fr](http://cnes.fr).

RENCONTRE

### UN ASTRONAUTE CHEZ PERSEUS



Les 30 et 31 janvier derniers, plus de 80 personnes ont participé au séminaire annuel du programme Perseus, destiné à promouvoir les métiers du spatial et l'entrepreneuriat

auprès des étudiants de tous horizons (voir p. 9). Pour ce retour en présentiel après deux éditions à distance, les participants ont eu la chance de rencontrer Arnaud Prost, récemment nommé membre de l'équipe réserve d'astronautes de l'ESA, et ont pu échanger avec lui sur son incroyable parcours, incluant un passage chez Perseus. De quoi, peut-être, susciter des vocations.



EN VUE



**HAPPY BIRTHDAY !**

# C'SPACE FÊTE SES 60 ANS

**Le rendez-vous estival des projets spatiaux étudiants se déroulera du 15 au 22 juillet 2023, sur le camp d'entraînement militaire de Ger du 1<sup>er</sup> régiment de hussards parachutistes, près de Tarbes.** Organisé par le CNES, le C'Space réunira une soixantaine de bénévoles de l'association Planète Sciences et 150 à 200 jeunes venus de toute la France pour lancer des fusées. Dans le cadre de la compétition étudiante CanSat, les participants devront fabriquer un satellite de la taille d'une canette de soda. Parmi les temps forts de cette édition anniversaire, une session de lancement nocturne pour les mini-fusées et une table ronde sur le thème « Espace et environnement » animée notamment par Lucie Poulet, doctorante soutenue par le CNES-CNRS pour ses recherches sur la culture de légumes en impesanteur, et Faustine Cantalloube, astrophysicienne. De quoi régaler les passionnés du spatial !



**LIVRES**

## L'ESPACE À LA PORTÉE DE TOUS

Pour sensibiliser les plus jeunes à la culture spatiale, le CNES soutient la publication d'ouvrages illustrés. C'est le cas de L'Espace, dans la collection « J'ai tout compris », paru aux éditions Privat. Cinquante questions-réponses pour mieux connaître l'espace et les enjeux de son exploration. Planètes, la série de mangas réalisée par Makoto Yukimura, a aussi bénéficié d'une relecture scientifique du CNES. Dans le neuvième tome des aventures de Violette Mirguez, intitulé Mission Espace, Marie-Constance Mallard fait décoller sa célèbre souris depuis le CNES à Toulouse pour une mission inédite : ramener les déchets éparpillés dans l'espace. À lire de toute urgence !





TRANSFERT

# DES « SUPER-RÉFRIGÉRATEURS » ENTRE MER ET ESPACE

**Air Liquide a mis au point un « super-réfrigérateur » : il peut maintenir le gaz naturel à l'état liquide sur les navires, tout comme conserver des échantillons à bord de l'ISS!**

**P**lus de 600 navires chargés de gaz naturel liquéfié (GNL) voguent sur les océans. Pour éviter toute déperdition de méthane (un gaz à effet de serre qui compose 90 % du GNL), celui-ci doit être maintenu dans le conteneur à l'état liquide – soit à une température de -162 °C.

Un véritable défi à bord. Air Liquide a mis au point un système adapté, le Turbo-Brayton. « Il permet de reliquéfier le méthane qui se vaporise et ainsi de le réutiliser », expose Benoît Hilbert, directeur général d'Air Liquide Advanced Technologies. Ces équipements simples d'utilisation et nécessitant peu de maintenance se sont imposés ces cinq dernières années : plus de 140 d'entre eux équipent les méthaniers.

## CONSERVER LES ÉCHANTILLONS BIOLOGIQUES

Ces machines fonctionnent grâce à un principe physique connu depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle : la compression suivie de la détente d'un gaz génère du froid. « Au sein d'Air Liquide, cette technologie vogue entre la Terre et l'espace », note Benoît Hilbert. Avant de les embarquer sur les méthaniers, la société utilisait déjà les turbomachines depuis les années 1970 pour liquéfier de l'hydrogène et de l'hélium à des fins scientifiques. Puis Air Liquide a adapté cette technologie au spatial au début des années 2000 pour équiper MELFI<sup>3</sup> : un « réfrigérateur » idéal pour l'espace grâce à la taille compacte des turbomachines, leurs vibrations réduites et leur grande fiabilité. Trois de ces équipements sont à bord de la Station spatiale internationale. Leur rôle ? Conserver les échantillons biologiques lors des expériences scientifiques à bord. « Elles les maintiennent à des températures comprises entre +4 °C et -95 °C », précise Benoît Hilbert. À l'avenir, ces super-réfrigérateurs pourraient notamment équiper les vols habités scientifiques, quelle que soit la distance à parcourir.

3. Minus Eighty Degree Laboratory Freezer for ISS.



**8,5**

**C'est le poids en kilogrammes d'un Turbo-Brayton à bord de l'ISS, capable de refroidir à -95 °C.**

**40**

**C'est le poids en tonnes d'un Turbo-Brayton pour méthanier, pour une température descendant jusqu'à -170 °C.**