



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



CNESMAG

#101 AUTOMNE 2026



Vers l'ISS
et au-delà ?

Rampe de lancement

#101 — AUTOMNE 2026

05

Horizon

06

Dans l'objectif



10

Flash spatial



12

Cosmoculture(s)

Demain, tous Luniens ?

14

Signal fort

«L'Europe doit se réinventer, trouver sa place dans la coopération internationale»

Frank De Winne, responsable du groupe d'exploration en orbite basse et de l'implémentation du programme européen d'exploration au sein de la direction de l'exploration humaine et robotique de l'ESA



17

Balises



18

Planète CNES

Vol habité et exploration : l'Europe à l'heure des choix



19/ À la croisée des chemins

21/ Vol habité : le temps de l'après

23/ Artemis à l'heure européenne

25/ Les voies vers la Lune

26

Retour vers le futur

D'Hermès à Orion : l'épopée du vol habité « made in Europe »



27

Espace éthique

Le corbeau, le renard et les raisins



28

Constellation

Galerie de portraits



32

Trajectoire

Expériences spatiales :
de l'idée à la donnée

34

Attractions terrestres



36

Open space

Le club mondial du vol habité

Pour lire
le magazine
en ligne



Ursula Aniakou-Serrant



C'est lors d'un stage d'école d'ingénieur au CSG qu'Ursula s'est découvert une passion pour le spatial. Après plusieurs fonctions en lien avec le transport spatial, notre sous-directrice adjointe à la préparation du futur travail aujourd'hui sur l'accompagnement de l'écosystème ou la réutilisation des étages de lanceurs. Son conseil pour les jeunes ? Rêvez grand et ne vous découragez pas même si vos rêves semblent inaccessibles. Pour CNESMAG, elle met en lumière le moteur à forte poussée pour l'accès de l'Europe au vol habité.

Sébastien Barde



Participer à la grande aventure de l'exploration spatiale. C'est ce qui anime notre sous-directeur exploration et vol habité, qui a occupé de nombreux postes au CNES depuis 30 ans. En tant que membre de la délégation française à l'ESA, il ajoute une dimension européenne à son expertise. Sa fierté ? Travailler au contact des scientifiques et des astronautes, dans un domaine qui ne laisse personne indifférent. Pour CNESMAG, il nous guide de la magie de la salle de contrôle du Cadmos jusqu'au cœur des négociations internationales.

Pierre Emmery



Délégué du CNES aux affaires d'exploration auprès de l'ESA, Pierre garde les pieds sur Terre. Spécialiste de la défense des intérêts stratégiques de la France, il décrypte pour CNESMAG les affaires internationales, via les enjeux de puissance pour le vol habité (démonstration technologique, capacité d'innovation...) Le spatial étant par essence international, il encourage les jeunes à expérimenter ce terrain de jeu stimulant et multiculturel. Travailler dans ce domaine est également l'occasion de confronter le rêve à la réalité du terrain.

Pierre Le Metayer



Notre expert chargé de mission exploration a toujours eu une familiarité avec le domaine spatial. Entré au CNES en 2007 sur l'activité ballons, il a ensuite occupé des postes transverses. Aujourd'hui, il porte la voix française au niveau européen et œuvre pour la mise en place de coopérations internationales. Le travail d'équipe est au cœur de ses motivations, au CNES comme au-delà : avec la sphère scientifique, l'industrie, les ministères mais aussi les jeunes. Pour lui, le vol habité et l'exploration possèdent une part de rêve qu'il est important de transmettre.



Propulsez le magazine sur les réseaux sociaux

Un article vous plaît ?
N'hésitez pas à le partager avec votre communauté.



@cnes



facebook.com/
CNESFrance



CNES



cnes_france



CnesFrance



CnesFrance



cnes.fr

CNESMAG, le magazine 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. : 05 61 27 31 31. Internet : <https://cnes.fr>. Abonnement : <https://cnes.fr/cnesmag/abonnement>.

Directeur de la publication : François Jacq. **Directrice éditoriale** : Séverine Klein. **Rédactrice en chef** : Mélanie Ramel. **Secrétaire générale de la rédaction** : Céline Arnaud. **Rédaction** : Dominique Fidel, Aude Borel, Hortense Lasbleis, Mélanie Ramel. **Iconographie** : Loïc Octavia, Orianne Arnould, Ambre Bonnefoi (Photon).

Credits photo : Couverture : © ESA/NASA/2026 ; p.4 : CNES/Frédéric Maligne, CNES/Hervé Piraud ; p.5 : CNES/Frédéric Maligne ; p.6 : CNES/Adrien Ribet ; p.7 : ESA/NASA/SpaceX ; p.8 : ESA ; p.9 : ESA/PEV/PNRA-J Studer ; p.10 (haut et bas) : ESA/NASA ; p.11 : ESA/NASA/Chris Williams ; p.12 (gauche) : collection Christophel ; p.12 (droite) : Domaine Public ; p.13 (haut) : Keoken Interactive ; p.12-13 (bas) : Collection Christophel / 20th Century Fox Film Corporation ; p.13 : CNES/Thierry de Prada ; p.14 et 16 : Felix Schmitt ; p.17 (haut) : NASA/Bill Ingalls ; p.17 (bas) : NASA/Keegan Barber ; p.18-19 : NASA/Jessica Meir ; p.20 : NASA/Jessica Meir ; p.21 : VAST Space ; NASA ; Starlab Space ; p.21 (bas) : ESA/NASA ; p.22 (haut) : CNES/Piraud Hervé ; p.22 (bas) : CNES/Frédéric Maligne ; p.23 : NASA ; p.24 (haut) : NASA/Ben Smegelsky ; p.24 (bas) : CNES ; p.25 (haut) : CNES/David Ducros ; p.25 (bas) : CNES/ESA/Arianespace-ArianeGroup/Optique Vidéo CSG/T Leduc ; p.26 : CNES/David Ducros ; p.32 : CNES/Emmanuel Grimaud ; CNES/Alexandre Ollier ; CNES ; p.33 : ESA/NASA ; CNES/Emmanuel Grimaud ; p.34 : Musée de l'Armée / Anne-Sylvaine Marre-Noël ; CNES ; p.35 : Novespace ; CNES/ESA/Universcience/Hervé Piraud ; (bas) Stéphane Tidet.

Illustrations : Citizen Press pour Décryptage et Anne Cresci pour Constellation.

Webmaster : Mathilde Tournier. **Réseaux sociaux** : Aurélie Marmu, Hermine Chaumulot, Ariane Dana, Marie Dupont (Citizen Press), Méliandre Lacaille (La Netscouade).

Traduction : Boyd Vincent.

Conception, conseil et réalisation : Citizen Press – David Corvaisier, Hortense Lasbleis, Stéphane Boumendil. **Impression** : Escourbiac l'imprimeur. ISSN 1283-9817.

Ont participé à ce numéro : Ursula Aniakou-Serrant, Sébastien Barde, Pierre Emmery, Pierre Le Metayer, Rémi Canton, Alexis Paillet, Sébastien Rouquette, Frank De Winne, Vincent Taponier, Isabelle Savin de Larclause, Pierre Guilhem, Jacques Arnould, Jessica Grenouilleau, Rebecca Bilette de Villemeur, Romain Hernandez, Geoffroy de Broglie, Emmanuel Thuilliez, Sophie Roelandt, Elodie Tran, Damien De Seze, Gérard Azoulay, Jean Blouvauc.

IMPRIM'VERT®



PEFC

10-31-1393



« L'Europe face à son destin »

Lionel Suchet

Directeur général délégué du CNES

Le vol spatial habité se trouve aujourd'hui à la croisée des chemins.

Sur le plan technique, l'ISS est en fin de parcours. Il est donc logique de réfléchir à l'après pour continuer à réaliser des expériences en orbite basse et de la science en micropesanteur. Dans un contexte géopolitique complexe, les annonces du Sommet International sur l'Espace esquissent une voie pour l'Europe : Cargo ravitailleur, capsule habitée, lancements depuis Kourou...

Cette ambition politique doit maintenant être déclinée par les agences spatiales dans le cadre de l'ESA dans un contexte budgétaire contraint. Le travail de co-construction va commencer avec la conférence ministérielle intermédiaire à Rome fin 2026, puis la conférence ministérielle de l'ESA en 2028. Peser sur la scène internationale de l'exploration nécessite une ambition européenne affirmée mais aussi réaliste. Cet avenir du vol habité aura besoin entre autres de l'expertise développée par le CNES ces 50 dernières années : Projet Hermes, cargo spatial ATV, centre opérationnel Cadmos, clinique spatiale MEDES ou vols paraboliques chez NOVESPACE.

Autant de sujets que vous retrouverez dans ce numéro.

Le spatial de demain sera réalisé par les jeunes d'aujourd'hui. Nous comptons donc aussi sur le vol habité et sa force d'inspiration pour attirer ces derniers vers les carrières scientifiques et réaliser leurs rêves d'avenir, qu'ils soient spatiaux ou non.

Nul doute que la mission parfaitement réussie de Sophie Adenot y participera grandement, notamment pour les jeunes filles dont la science a tant besoin, comme l'a fait le vol de Claudie Haigneré il y a 30 ans cette année.

PARTENAIRES

Sont cités dans ce numéro :

ESA - p. 6, 8, 14, 15, 16, 19, 20, 22, 24, 25, 26, 28, 29 ; SpaceX - p. 7, 15, 17 ; MEDES - p. 11, 20, 21, 24, 28 ; Novespace - p. 11, 21 ; DLR - p. 11 ; Blue Origin - p. 15 ; NASA - p. 15, 19, 22, 23, 26 ; Axiom Space - p. 15, 22 ; Lisa - p. 17 ; Roscosmos - p. 19 ; Vast - p. 22 ; Starlab - p. 22 ; Safran - p. 24 ; ArianeGroup - p. 24 ; Airbus Defence & Space - p. 26 ; CHU de Toulouse - p. 28 ; CNRS - p. 30 ; Lumetis - p. 30 ; BSPP - p. 31 ; Milan - p. 34 ; Printemps des Poètes - p. 34 ; Musée de l'Armée - p. 34

La science à distance

Depuis leur **salle de contrôle**, les équipes du Cadmos¹ assurent le suivi opérationnel d'une trentaine d'expériences dans l'ISS : celles développées par le CNES, et celles dont l'ESA lui délègue la mise en œuvre. Si certaines d'entre elles sont entièrement automatisées, la plupart nécessitent l'intervention d'un astronaute de la station spatiale – comme ici Sophie Adenot à l'écran – qui doit suivre à la lettre les procédures rédigées par le Cadmos lors de la préparation de l'expérience.

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



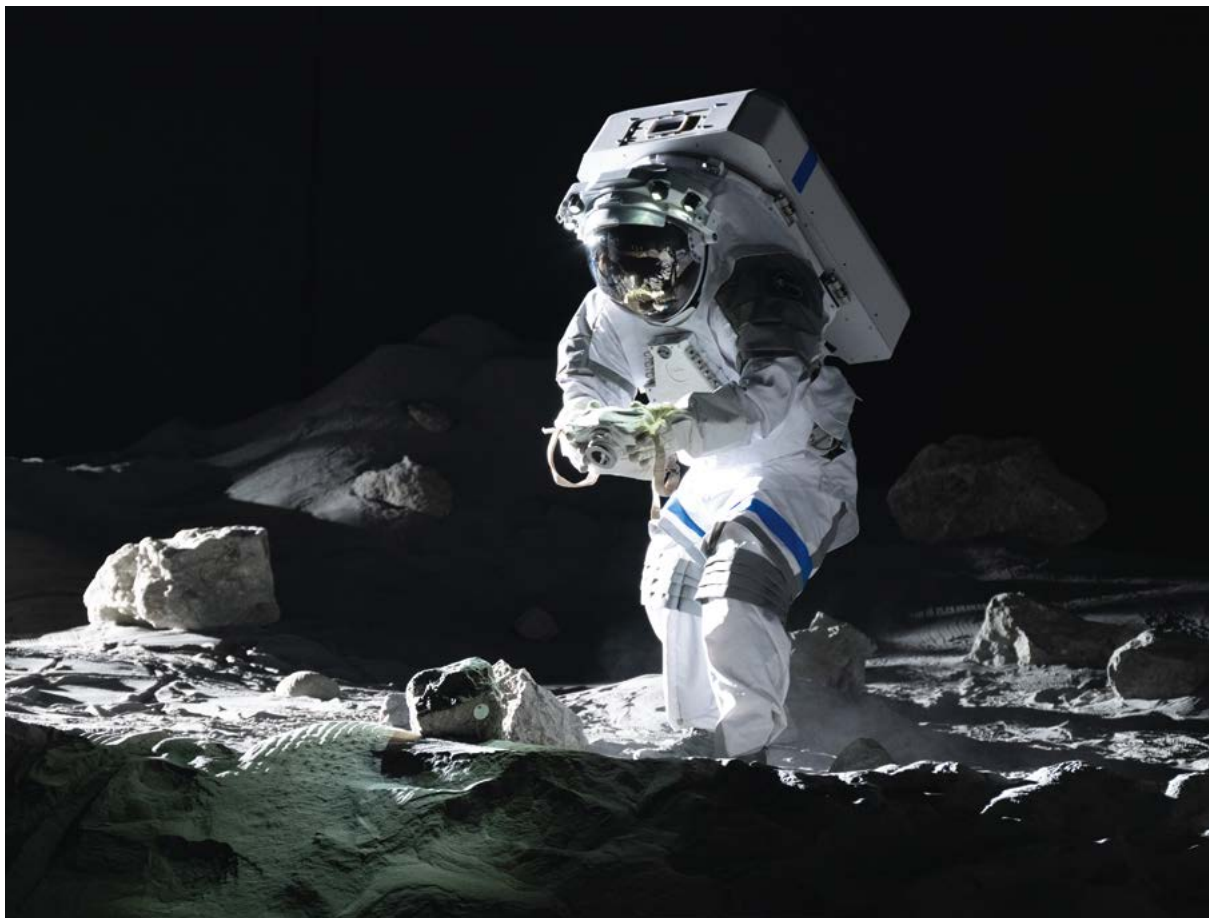


En direct de Crew Dragon

———— **Cap Canaveral, le 13 février, 11 h 15.** Un Falcon 9 de SpaceX décolle, embarquant la capsule Crew Dragon Freedom à destination de l'ISS. Quatre astronautes sont du voyage : les Américains Jessica Meir et Jack Hathaway (à gauche), le Russe Andrey Fedyaev (au centre) et Sophie Adenot (à droite). Deuxième femme astronaute française de l'histoire après Claudie Haigneré, celle-ci a résumé l'esprit de la mission en quelques mots : « Osons rêver grand ensemble. »

Clair de Lune à Cologne

————— **Un astronaute européen sur la Lune ?** Pas tout à fait : cette photo a été prise à Cologne, dans les locaux de Luna, le « terrain d'entraînement » inauguré par l'ESA en 2024. Du régolite – le « sable » lunaire – aux rayonnements solaires, en passant par les reliefs du sol, cet espace de 700 m² simule toutes les caractéristiques de la Lune pour mieux s'y préparer. L'équipe de SpaceShip FR s'y est déjà rendue plusieurs fois pour y tester concepts et prototypes dans le cadre de la préfiguration d'une exploration humaine et des tests de mobilité robotique en milieu déstructuré.





Le grand blanc, laboratoire de l'isolement

—— Pour mieux comprendre les effets de l'isolement sur le corps et l'esprit, le CNES n'attend pas d'envoyer ses astronautes en orbite : la station franco-italienne Concordia, en Antarctique, et ses hivernants offrent un terrain d'étude comparable, sans quitter la Terre. Le CNES y a notamment financé des recherches sur le sommeil et sur la douleur. Les conséquences psychologiques (dépression, tensions interpersonnelles, stress...) liées à l'isolement prolongé ont également été étudiées.



EchoFinder, PhysioTool, EchoBones : surveiller la santé dans l'espace

— Au cours des huit mois de la mission *epsilon*, Sophie Adenot réalise près de 200 expériences, dont sept nouvelles sous la bannière du CNES. Conçues par le Cadmos¹ et un vaste réseau de partenaires scientifiques, trois d'entre elles ont pour objet l'amélioration des suivis physiologique et médical des astronautes. Avec EchoFinder, Sophie Adenot et ses coéquipiers s'échographient mutuellement, guidés par la réalité augmentée et l'intelligence artificielle, sans aucun appui depuis la Terre. Un dispositif pensé pour les futures missions vers la Lune ou vers Mars, où les délais de communication rendront impossible tout guidage depuis le sol, et qui pourrait également s'appliquer dans les déserts médicaux. Pour PhysioTool, Sophie Adenot se soumet à des sessions de suivi médical via un petit boîtier qui mesure notamment sa fréquence cardiaque et sa tension artérielle. PhysioTool explore également l'impact de l'espace sur la charge cognitive à l'aide d'exercices sur tablette qui évalueront sa concentration, ses prises de décision et sa mémoire. EchoBones, enfin, mise sur l'imagerie osseuse par ultrasons, avant et après le vol, pour mesurer les effets de l'impesanteur sur le squelette.



MatISS-4, MultISS et EuroSuit : garantir la sécurité des astronautes

Suivre efficacement la santé des astronautes à bord de l'ISS, c'est important, mais les protéger l'est tout autant. Trois des sept expériences du CNES de la mission *epsilon* y contribuent. MatISS-4 est consacrée au comportement des bactéries lorsqu'elles sont au contact de surfaces ayant reçu des traitements contre les micro-organismes. L'observation se fait grâce à des boîtiers équipés de capteurs, installés par Sophie Adenot fin avril. Quant à la caméra multispectrale MultISS, elle vise à identifier les biocontaminations de surface, invisibles à l'œil nu, qui peuvent dégrader des équipements essentiels de l'ISS. EuroSuit est d'une autre nature : Sophie Adenot teste un prototype de combinaison intra-véhiculaire, en éprouvant la rapidité d'enfilage et de retrait en cas d'incendie ou de dépressurisation.

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



ChlorISS : faire germer le raisonnement scientifique

En mai, Sophie Adenot s'est transformée en jardinière de l'espace dans le cadre de ChlorISS, une expérience éducative partagée avec plus de 260 000 élèves de 4 500 établissements scolaires, du CP à la terminale. Il s'agit de faire germer des graines d'arabette des dames et de mizuna, et de suivre leur croissance pendant dix jours en comparant quotidiennement la progression sur Terre et dans l'ISS. L'objectif : observer l'impact de la micropesanteur, de la lumière et des imprévus liés aux manipulations. Outre l'aspect exceptionnel de cette aventure commune, ChlorISS a offert une occasion unique aux élèves de découvrir les bases du raisonnement scientifique : formuler des hypothèses, analyser des données, et valider (ou non) leurs théories.



BRAHMS : le jeûne en micropesanteur

En juin, la clinique spatiale de MEDES a conduit l'étude clinique BRAHMS (BedRest And HypoMetaboliSm). Objectif : examiner les effets combinés du jeûne et de l'impesanteur simulée par alitement prolongé. Pendant dix jours, dix sujets masculins âgés de 20 à 40 ans ont été alités sur un lit incliné à -6° (la tête légèrement plus basse que les pieds), et soumis à une restriction calorique de 250 kcal par jour. Résultats : une fonte musculaire et osseuse, et une redistribution des fluides corporels. Des effets physiologiques comparables à ceux observés chez les astronautes en impesanteur. L'ajout du jeûne à ce protocole permet aux chercheurs de mieux comprendre les conséquences d'une privation de nourriture dans l'espace en cas de défaillance du système de support vie, d'échec d'approvisionnement ou d'allongement de la mission.

71^e campagne de vols paraboliques : la science en impesanteur

Opéré par la filiale du CNES Novespace depuis Mérignac, l'Airbus A310 Air Zéro-G est un laboratoire de recherche en impesanteur à part entière. Chaque année, le CNES, l'ESA et le Centre aérospatial allemand (DLR) y organisent, à tour de rôle, des campagnes de vols scientifiques. Pour le CNES, la 71^e a débuté en septembre, embarquant une douzaine d'expériences dans le domaine des sciences de la matière et de la vie. Trois jours, trois vols, et 90 paraboles pour explorer la physique des fluides appliquée aux écoulements sanguins, le potentiel antiseptique du plasma froid ou la propagation du feu dans les vaisseaux spatiaux.

Demain, tous Luniens ?

Fasciné par la Lune depuis toujours, l'homme rêve d'y habiter. Entre utopie conquérante et réalisme inquiet, cinéma, littérature, musique et jeux vidéo explorent sans cesse ce voisin céleste qui nous obsède et nous ressemble peut-être plus qu'on ne le croit.



Elle est toute ronde, dorée, presque à portée de main. Tellement proche que l'homme y a toujours projeté ses rêves les plus fous. L'un des plus vieux témoignages de cette fascination est... un lapin ! De nombreuses cultures en Asie, en Amérique du Sud et en Afrique comportent en effet des légendes évoquant un rongeur

lunaire qui passerait ses journées à préparer des gâteaux, des philtres d'amour ou des remèdes. Liés sans doute à un effet de paréidolie¹, car les taches sombres des mers lunaires peuvent effectivement faire penser à un lapin, ces récits fondateurs ont eu une très large descendance. Dès le deuxième siècle de notre ère, Lucien de Samosate imagine, dans ses *Histoires vraies*, une rencontre avec les Sélénites, un peuple lunaire très proche de l'humanité. Mille cinq cents ans plus tard, Galilée découvre que notre satellite présente des reliefs similaires à la Terre, ce qui nourrit le fantasme d'un astre

habitable. De nombreux auteurs s'emparent dès lors de l'idée. Le Français Cyrano de Bergerac est l'un des premiers : dans *L'Autre Monde ou les*



États et Empires de la Lune (1657), son héros atteint la Lune à l'aide de fusées et y découvre une civilisation florissante. Jules Verne (*De la Terre à la Lune*, 1865) puis Hergé (*Objectif Lune*, 1953) prendront le relais, posant les jalons d'un imaginaire qui a nourri des générations d'ingénieurs.

Inquiétudes et espoirs

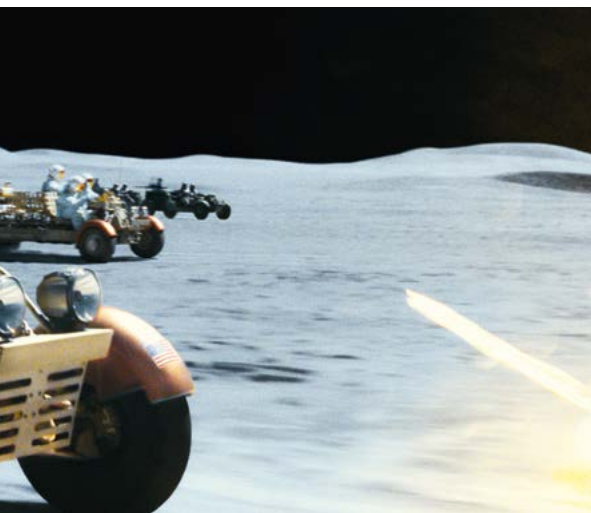
À mesure que la science et la technologie progressent, la possibilité d'une installation réelle de l'Homme sur la Lune déchaîne les passions. Dans le même temps, les fictions lunaires troquent l'émerveillement contre un réalisme inquiet. Au cinéma, dans *Tykko Moon* (Enki Bilal, 1996), la Lune est colonisée depuis longtemps, et déjà inégalitaire, sale, traversée de luttes de pouvoir. *Moon* (Duncan Jones, 2009), quant à lui, met en scène un homme seul chargé de la maintenance d'une base





d'extraction d'hélium. Dix ans plus tard, *Ad Astra* (James Gray) explore une Lune disputée, militarisée, âprement convoitée par des puissances aux intérêts contradictoires. Le jeu vidéo *Deliver Us the Moon* (2019) prolonge cette veine sombre : le joueur explore seul une base lunaire abandonnée, dans un futur où les ressources terrestres sont épuisées et où l'humanité a tout misé sur l'exploitation lunaire avant de tout perdre. La Lune comme dernière chance, ou comme dernier avertissement, pour les Terriens. Pourtant, l'espoir résiste, et avec lui la légèreté. C'est la musique qui en témoigne le mieux : *Walking on the Moon* de Police (1979) célèbre l'impensable comme une promesse de liberté. Avec *Moon Safari* (1998) puis *Le Voyage dans la Lune* (2012), bande originale du film de Méliès colorisé, le groupe français Air compose un univers feutré, étrange, mais étonnamment invitant. Amel Bent, enfin, en fait une métaphore d'émancipation dans *Ma Philosophie*. Son « Viser la Lune, ça ne me fait pas peur » a marqué toute une génération en rappelant que, sur Terre ou à 384 400 km d'ici, le rêve n'a pas dit son dernier mot.

1. Tendance naturelle à voir des formes familières dans des formes abstraites.



Pour lire
la version
longue
de l'article

Décryptage

Alexis Paillet,

CHEF DE PROJET SPACESHIP FR



« La supervision devra être prise en charge par les équipages eux-mêmes »

Peut-on imaginer que demain n'importe qui puisse habiter la Lune ?

Dans l'état actuel des choses, c'est peu probable ! L'installation sur la Lune est contrainte par l'éloignement et par les faibles capacités d'export : moins de 10 tonnes dans le scénario le plus ambitieux. Le modèle sur lequel nous travaillons à SpaceShip FR est une base où quatre personnes vivraient en autonomie pendant six mois, confinées dans un habitat enterré de très faibles dimensions. Ce n'est pas pour tout le monde !

Quelle serait l'alimentation sur la Lune ?

Nous visons une alimentation mixte, à base d'aliments lyophilisés et de végétaux produits sur place, dont on consomme presque toutes les parties. Côté protéines animales, nous étudions la possibilité d'élever des poissons en aquarium, que les résidents pourraient regarder évoluer, ce qui serait bénéfique pour leur moral. Mais nous ne sommes pas sûrs qu'ils pourraient ensuite les manger ! Cela fait partie des questions faussement anodines que nous ne devons pas négliger.

Quelles seraient les différences fondamentales entre une installation sur la Lune et sur Mars ?

La principale différence, c'est la distance et tout ce qu'elle implique. Avec Mars, on parle d'une vingtaine de minutes de délai de communication, voire un mois de black-out complet quand la planète passe derrière le Soleil. L'autonomie doit donc être totale. Sur la Lune, on est à trois secondes : on peut encore s'appuyer sur des équipes au sol. Mais c'est là que les conditions de vie sont les plus hostiles (absence d'atmosphère, températures extrêmes...). Mars ressemble davantage à la Terre, mais encore faut-il être capable d'y aller !

FRANK DE WINNE

Responsable du groupe d'exploration en orbite basse et de l'implémentation du programme européen d'exploration au sein de la direction de l'exploration humaine et robotique de l'ESA



«L'Europe doit se réinventer, trouver sa place dans la coopération internationale »

Ancien pilote d'essai, astronaute et premier commandant européen de la Station spatiale internationale, Frank De Winne est un témoin privilégié des grandes mutations du secteur spatial. Dans un contexte géopolitique en recomposition, il analyse les défis que l'Europe doit relever pour renforcer sa souveraineté spatiale.

Pour lire
la version
longue
de l'article



_____ Vous travaillez sur le vol habité depuis plus de vingt-cinq ans. Quelles grandes évolutions avez-vous observées ?

La transformation majeure, c'est le rôle croissant du secteur privé. Avant, tout ce qui touchait aux infrastructures et aux transports était géré par les agences. Aujourd'hui, les industriels ont une responsabilité plus grande dans le développement, la certification et la configuration des véhicules. On le voit avec SpaceX, mais aussi avec Blue Origin ou le nouveau scaphandre de la NASA conçu par Axiom Space pour les vols habités vers la Lune. Cette évolution s'applique également à la recherche scientifique. À l'ESA, 30 % de nos ressources dédiées à la recherche soutiennent des projets commerciaux. À l'avenir, nous verrons aussi des stations orbitales exploitées par le privé.

_____ En 1991, vous êtes sélectionné pour le programme Hermès, avant qu'il ne soit abandonné. Quel regard portez-vous sur cette page de l'histoire spatiale européenne ?

Hermès était un projet de navette spatiale habitée pour établir un accès indépendant de l'Europe à l'espace et y faire de la science en microgravité. En tant que pilote d'essai, j'ai travaillé sur les interfaces homme-machine. Le programme a été arrêté, et aujourd'hui l'Europe reste la seule grande puissance spatiale sans accès autonome à l'espace pour ses astronautes. C'est un grand manque face à la Chine, aux États-Unis, à la Russie, et à l'Inde qui est en train de la développer.

_____ Quels défis attendent le Vieux Continent pour construire son propre programme spatial d'exploration ?

En orbite terrestre basse, la priorité est de continuer à maximiser l'exploitation de l'ISS et de développer

« L'Europe doit renouer avec cette ambition d'avoir une capacité autonome d'amener les astronautes dans l'espace »

une capacité européenne de transport de fret (Leo Cargo Return Service). L'Europe doit renouer avec cette ambition d'avoir une capacité autonome d'amener les astronautes dans l'espace. L'atterrisseur Argonaut apportera de la science et de la technologie sur la surface lunaire. Une exploitation soutenable de la Lune sur le long terme passe par le développement de la robotique (mobilité et dextérité), l'investissement dans des sources d'énergie renouvelables pour survivre aux 14 jours de la nuit lunaire, et des systèmes de navigation et communication. Pour que les astronautes européens aient l'opportunité de fouler la surface lunaire, il faut continuer à travailler avec la NASA dans le cadre du programme Artemis.

_____ Quels sont les impacts du climat géopolitique actuel ?

Du côté des États-Unis, la relation est devenue beaucoup plus transactionnelle que par le passé. Le projet Lunar Gateway a été mis en pause, Mars Sample Return remanié puis abandonné. Dans ce contexte, l'Europe doit se réinventer, trouver sa place dans la coopération internationale, qui reste un pilier de l'exploration spatiale. Elle doit développer ses propres capacités, afin de ne plus être dépendante d'autres pour implémenter ses programmes. Nos astronautes et nos agences ont les compétences nécessaires, mais il faut une volonté politique qui se donne les moyens financiers adéquats pour développer ces systèmes. C'est le débat prévu avec nos États membres lors du Sommet spatial international et la conférence ministérielle de l'ESA en 2026.



2000

Intègre le corps des astronautes de l'ESA.

2002

S'envole pour la mission OdisSea à bord de la capsule Soyouz.

2009

Premier astronaute européen commandant de l'ISS.

2012

Prend la tête du Centre européen des astronautes à Cologne.

2023

Dirige l'implémentation du programme ISS et Terra Nova de l'ESA.

« Il faut une volonté politique qui se donne les moyens financiers adéquats pour développer ces systèmes »

_____ Qu'est-ce que l'astronaute fait que la machine ne fera jamais ?

C'est une question éternelle pour les êtres humains. Nous aimons explorer, visiter, aller où c'est difficile pour faire des choses que les robots ne peuvent pas faire. L'exploration purement robotique a ses limites. Les vols habités stimulent l'innovation et constituent une source d'inspiration pour les sociétés, et en particulier pour les jeunes.

_____ Vous avez participé au développement du module-laboratoire européen Columbus. Pourquoi la science en micropesanteur reste-t-elle essentielle en 2026 ?

Métabolisme des astronautes, comportement des plantes, réaction des mousses à l'impesanteur...

Dans l'espace, nous ne pouvons pas éliminer la microgravité, qui influence tous les résultats. De plus en plus de chercheurs utilisent la Station, de plus en plus de compagnies commerciales voient l'intérêt de faire de la recherche en impesanteur. Ce domaine spécifique et unique peut nous apporter des connaissances pour améliorer les processus, accélérer le développement de nouveaux médicaments et matériaux, ainsi que la recherche de solutions d'adaptation au changement climatique. À mon avis, ce n'est que le début de la recherche en impesanteur.

_____ En 2009, vous devenez le premier européen commandant de bord de l'ISS. Que retenir de cette expérience ?

Ce fut un grand honneur et un privilège d'être commandant de la Station. À bord, le commandant est là pour garantir que l'équipage puisse travailler en synergie et dans les meilleures conditions pour exécuter toutes les tâches qui lui sont attribuées. Les vols habités reposent avant tout sur le travail collectif des équipes au sol, des équipages, ingénieurs, techniciens et scientifiques.

Balises



Capsule habitée/avion spatial : quelles différences ?

Dans l'univers du vol habité, deux grands concepts coexistent et se complètent : les capsules et les avions spatiaux (navettes).

- La capsule, de forme conique ou sphérique, privilégie la simplicité au prix d'une manœuvrabilité réduite. Elle se pose sous parachute. Contrairement aux premiers modèles, les capsules modernes comme Orion ou Crew Dragon sont conçues pour être réutilisées une fois leur bouclier thermique remplacé.
- L'avion spatial, lui, dispose d'une voilure qui lui permet de manœuvrer dans l'atmosphère et d'atterrir sur une piste. Il présente également l'avantage de soumettre la charge utile ou l'équipage à des accélérations limitées à 2G ou 3G¹, bien moins traumatisantes que la rentrée atmosphérique en capsule. En revanche, ses ailes sont inutiles au-delà de l'orbite basse.

Pour l'exploration lunaire (ou martienne), la capsule reste actuellement le moyen le plus adapté.

1. Accélérations deux ou trois fois supérieures à celle subie sous l'effet de la gravité.

10,8 km/s

C'est la vitesse à laquelle un vaisseau doit être propulsé pour s'injecter sur l'orbite de transfert lunaire (LTO).

Il décélère ensuite naturellement jusqu'à l'approche de la Lune, où une dernière impulsion de freinage lui permet de s'insérer en orbite basse lunaire à environ 1,6 km/s.

EMA est de retour

Le 27 février, le vaisseau cargo Dragon CRS-33 de SpaceX a améri dans l'océan Pacifique, ramenant à son bord l'expérience française EMA. Avant son rapatriement, EMA a passé une année fixée sur la plateforme externe Bartolomeo de l'ISS. Là, ses deux charges utiles – SESAME (CNES) et IR-COASTER (Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques, Lisa) – ont été exposées au vide spatial et aux rayonnements solaires en continu. Leur mission : étudier le vieillissement de nouveaux matériaux pour l'un, et l'effet de l'exposition spatiale sur des échantillons astrobiologiques pour l'autre. À son arrivée sur le sol français, EMA a été livrée au CNES pour être démontée et subir un premier bilan de santé. IR-COASTER a ensuite été rendu au Lisa pour la suite de l'expérience. SESAME, pour sa part, demeure au CNES pour une comparaison des propriétés des matériaux avant et après ce séjour dans l'espace, en vue de nourrir les réflexions sur les futurs systèmes orbitaux.

Vol habité et exploration : l'Europe à l'heure des choix

Station spatiale internationale en fin de parcours, Artemis qui s'élance : le vol habité change d'ère. Entre recherche d'autonomie et nouveaux partenariats, l'Europe et la France redessinent leur stratégie.

Panneaux solaires déployables de la Station spatiale internationale, photographiés lors de la sortie extra-véhiculaire effectuée le 18 mars 2026 par Jessica Meir et Chris Williams.





À la croisée des chemins

Pendant des décennies, le vol habité européen et l'exploration spatiale se sont construits dans la coopération, d'abord avec l'ancienne Union soviétique puis avec les États-Unis. Aujourd'hui, les cartes sont rebattues et l'Europe doit choisir son degré d'autonomie.

Le vol habité européen est né d'un choix concerté. En 1998, les grandes nations spatiales du continent – Allemagne, Italie, France – renoncent à leurs corps d'astronautes nationaux pour constituer un corps unique, installé à Cologne. À partir de ce moment, l'exploration spatiale avance sous une bannière commune, celle de l'ESA.

Le 20 novembre de la même année, les premiers éléments de l'ISS rejoignent l'orbite basse. Il faudra onze années pour assembler cette structure de 74 m de long et de 400 m³ habitable. La Station est composée de deux parties distinctes : le segment russe construit et exploité par Roscosmos, et le segment américain (USOS) construit et exploité par la NASA, avec des contributions des agences spatiales canadienne et japonaise ainsi que de l'ESA. *« Ce segment fonctionne comme une copropriété, précise Sébastien Barde : chaque agence peut utiliser la Station à hauteur de sa contribution (voir encadré). Pour l'Europe, c'est 8,6 %. Cela signifie que nous avons droit à 8,6 % du temps de travail des astronautes en mission, de la bande passante pour les communications ou de la masse des objets montés à bord. Les États-Unis, eux, détiennent 76 % des parts. »*

Pour l'Europe, l'intérêt est capital : accéder à un laboratoire en microgravité unique au monde qu'elle n'aurait jamais pu financer seule. *« Les sciences qu'on y pratique sont de deux types, poursuit Sébastien Barde. D'une part, la science fondamentale, par exemple la physique des matériaux, qui tire parti de la microgravité pour observer des phénomènes que la pesanteur masque au sol. D'autre part, les sciences*



Les astronautes Sophie Adenot (ESA) et Chris Williams (NASA) à l'intérieur du laboratoire Columbus de la Station spatiale internationale.

de la vie telle que la physiologie et la médecine, pour mieux comprendre le comportement du corps humain sous l'effet de la micropesanteur. » Ce second volet nourrit par ailleurs les travaux engagés par les partenaires européens autour de la préparation de missions d'exploration. Cette thématique montante mobilise aujourd'hui plusieurs équipes du CNES, comme le Cadmos¹, MEDES, ou encore Spaceship FR, dont l'objectif est de préfigurer une future base lunaire et/ou martienne en réunissant l'ensemble des technologies développées en France. Via l'ESA, le CNES est aussi partie prenante des grands programmes d'exploration, qu'il s'agisse de l'alunisseur européen Argonaut ou du module de service européen (ESM) du vaisseau Orion d'Artemis.

Remises en question

Mais cet équilibre vacille. « Dans le domaine de l'exploration, l'Europe est fortement dépendante de sa relation avec les États-Unis, ce qui peut provoquer des difficultés, notamment lorsque ces derniers prennent des décisions unilatérales susceptibles d'avoir de lourdes conséquences financières et stratégiques pour l'Europe, indique Pierre Emmery, délégué du CNES aux affaires d'exploration auprès de l'ESA. Cela a été le cas autour du programme Mars Sample Return² hier, et Artemis³ aujourd'hui. En outre, avec l'administration Trump, l'exploration répond à nouveau à des ambitions politiques teintées de

nationalisme. » Surtout, une rupture s'amorce avec la mise à l'arrêt de l'ISS à l'horizon 2032 et la suspension du projet Gateway⁴, pour lequel l'Europe avait consenti un effort majeur, portant à elle seule la moitié des modules envisagés, auxquels il faut désormais trouver des débouchés. « Les trois grandes destinations qui structuraient l'exploration – orbite basse, Lune, Mars – sont ainsi toutes remises en question », résume Sébastien Barde.

Pour la France et le CNES, l'avenir tient en un mot : autonomie. « C'est historiquement la position française que de pousser pour la souveraineté, rappelle Pierre Emmery. Mais les contraintes budgétaires en limitent les moyens, quand d'autres États membres restent étroitement liés à Washington. » Au sein des Comités des programmes vol habité, microgravité et exploration de l'ESA, une approche stratégique se dessine : concevoir chaque investissement dans un nouveau projet pour qu'il reste utile, quoi qu'il arrive. « C'est une période difficile, mais c'est aussi une opportunité pour l'Europe de prendre son destin en mains », résume Pierre Emmery. C'est dans cette logique que, lors du Sommet spatial organisé par la France en septembre, les états membres de l'ESA ont approuvé une déclaration pour une ambition européenne renforcée dans le domaine de l'exploration, en préparation de la ministérielle intermédiaire de l'ESA de décembre 2026.

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

² Mission consacrée au retour d'échantillons martiens.

³ Programme de la NASA dont l'objectif est d'établir à terme une présence humaine permanente sur la Lune.

⁴ Projet de station cislunaire (dont l'orbite passe à proximité de la Lune).

Vous avez dit « barter » ?

Entre les partenaires de l'ISS, aucun argent ne circule. Le modèle de coopération repose sur un système de troc (*barter*, en anglais) : chacun apporte des composants matériels ou des services – les cargos ATV ou le laboratoire Columbus pour l'Europe – et reçoit en contrepartie des droits d'usage de la Station proportionnels à sa contribution.





De gauche à droite : Station Haven-1 (Vast Space) ; Axiom Space ; Station Starlab Space.

Vol habité : le temps de l'après

Garder un pied dans l'espace habité une fois l'ISS disparue : tel est l'enjeu. La France avance ses pions en explorant toutes les pistes, avec pragmatisme et ambition.



Depuis plus de quarante ans, grâce au CNES et à ses partenaires, la France bénéficie d'une expertise internationalement reconnue dans le domaine des vols spatiaux habités. Le Cadmos, MEDES et Novespace⁵ constituent notamment des ressources précieuses pour le soutien logistique et opérationnel des expériences scientifiques en micropesanteur. « Mais avec la mise à l'arrêt annoncée de l'ISS –

entre 2030 et 2032 – la stratégie française et européenne de vol habité et d'accès à la microgravité doit être repensée, indique Pierre Le Metayer, responsable programme Exploration et Vol habité au CNES. L'arrêt de l'ISS porte un coup de frein aux travaux de la communauté scientifique ainsi qu'à toute la chaîne de compétences mobilisées derrière chaque astronaute. »

——— **Trois pistes sont à l'étude.** Côté NASA, le choix post-ISS s'est porté sur un passage de relais au secteur privé via les Commercial LEO Destination (CLD) exploitées par des entreprises comme Vast, Axiom et Starlab. Côté européen, plusieurs scénarios sont sur la table. Jouer la carte de l'indépendance, d'abord, en se dotant d'une station en propre. Cette piste est actuellement à l'étude à l'ESA, sachant que les coûts à envisager sont énormes et que le consensus entre les États membres sera difficile à obtenir. S'associer aux partenaires historiques de l'ISS (Canada, Japon), voire à des puissances émergentes comme l'Inde et les Émirats arabes unis, ensuite. Mais ce type d'architecture suppose une convergence politique et industrielle durable. Face à ces deux pistes de long terme, une troisième voie pragmatique et opportuniste se dessine, qui consiste à nouer des accords avec les opérateurs de stations privées. C'est le choix que vient de faire la France à travers un contrat inédit avec Vast. En 2027, Thomas Pesquet sera le commandant de bord d'une mission gérée par l'entreprise à bord de l'ISS, tandis qu'Ar-



Les astronautes Arnaud Prost et Thomas Pesquet participeront aux missions spatiales commerciales de l'entreprise VAST.

naud Prost deviendra, quelques mois plus tard, le premier astronaute français à rejoindre une station privée, Haven-1, dans le cadre d'un vol d'essai inédit. En effet, il sera le premier astronaute européen à participer à la qualification d'une station spatiale. Le CNES sera chargé de préparer, d'opérer et de suivre les activités des deux astronautes avec toutes les parties prenantes impliquées. « Cet investissement pourrait nous ouvrir de nouveaux horizons pour le post-ISS, notamment en expérimentant les relations que l'on pourra développer avec des acteurs privés, remarque Pierre Emmerly, délégué du CNES aux affaires d'exploration auprès de l'ESA. On pourrait imaginer par exemple l'établissement de partenariats sur la même logique de barter que l'ISS (voir encadré p. 20) : services contre sièges d'astronautes. Et ce sans remettre en cause la coopération avec l'ESA, qui demeure le cadre de référence pour les missions d'exploration. »

⁵ Filiale du CNES spécialisée dans les vols paraboliques.



——— **« Pour la communauté scientifique, l'accès à un environnement de microgravité est une vraie chance, en particulier pour l'étude du vivant dans l'espace, conduisant à de possibles retombées applicatives. Dans l'ère post-ISS, le CNES continuera à faire le lien entre la communauté scientifique française et les opportunités de vol, tout en participant à la mise en place de la feuille de route stratégique de l'ESA aux côtés des autres États membres. »**

Pierre Le Metayer

3

**C'est le nombre
minimal
d'astronautes
européens**

qui composeront l'équipage
de la mission Vast PAM-1,
dont Thomas Pesquet.

Artemis à l'heure européenne

**Dans le grand programme lunaire
américain, l'Europe et la France avancent
leurs atouts, du cœur technique d'Orion à
son poste de pilotage.**

————— **En décembre 1972**, Gene Cernan et Harrison Schmitt passent près de 75 heures sur la Lune dans le cadre de la mission Apollo 17. C'est le plus long séjour sur notre satellite naturel, mais c'est aussi le dernier en date. Avec le programme Artemis lancé par la NASA en 2017, l'histoire de l'exploration lunaire habitée ouvre un nouveau chapitre qui devrait aboutir, au début de la prochaine décennie, au déploiement d'une base permanente. D'ici là, les étapes à franchir sont nombreuses. En avril dernier, Artemis 2 a vu le véhicule Orion effectuer son premier vol avec équipage. L'an prochain, Artemis 3 permettra de tester, en orbite terrestre, l'amarrage d'Orion à un atterrisseur lunaire, dernier cap à franchir avant un premier retour d'équipage sur la Lune, attendu pour 2028 avec Artemis 4.

L'astronaute Harrison H. Schmitt
ramassant des échantillons sur
le sol lunaire le 12 décembre 1972
lors de la Mission Apollo 17.



Le vaisseau spatial Orion sur le lanceur SLS (Space Launch System) de la NASA avant le lancement de la mission Artemis II.

Quelle place pour l'Europe et pour la France dans cette aventure à forte portée symbolique, scientifique et géopolitique ? L'ESA en fournit une pièce maîtresse : l'ESM. Ce module de service d'Orion assure les fonctions vitales du voyage : propulsion, énergie, gestion de l'eau, de l'air et de la température. La France y contribue de manière concrète à travers plusieurs équipements critiques, des systèmes de filtration de gaz produits par Safran aux réservoirs de ergol et d'hélium signés ArianeGroup, en passant

par les systèmes d'avionique et le réseau de câbles. À bord d'Artemis 2 figurait également une signature tricolore : EveryWear, application de suivi médical développée par le CNES qui transmet au sol les données physiologiques de l'équipage. Enfin, côté astronautes, l'Europe demeure pleinement présente. Début juin, Luca Parmitano s'est ainsi vu confier le poste de pilote d'Orion pour Artemis 3, une place de choix qui confirme que l'aventure lunaire continue aussi de ce côté-ci de l'Atlantique.

Mars, presque en vrai

Viser la Lune, c'est aussi préparer Mars. C'est dans cette perspective que les équipes de SpaceShip FR – initiative européenne visant à préparer l'exploration et les vols habités – et de MEDES ont passé quelques jours au centre de simulation du CHU de Toulouse pour réaliser des activités scientifiques, de maintenance et sportives dans des conditions rappelant celles de la planète Mars. L'enjeu : collecter des données précieuses afin d'étudier la faisabilité d'une future mission humaine vers la planète rouge.





Étude d'un concept d'Ariane 6, dans sa version habitée, avec une capsule de transport d'équipage.

Les voies vers la Lune

—— Aller vers la Lune, voire sur Mars, et en revenir exige des moyens sol adaptés, des lanceurs puissants et récupérables et des vaisseaux spécifiques. Tels sont les trois sujets phares des travaux de prospective menés par le CNES sur l'exploration et le vol habité.

Au sol d'abord : l'ESA a confié au CNES une étude sur l'adaptation du Centre spatial guyanais (CSG) aux vols habités en vue de la qualification d'Ariane 6 pour cet usage. Trois infrastructures sont à l'étude. Les premières seraient un bâtiment d'accueil et de quarantaine des équipages, ainsi qu'un hall de réception des éléments du vaisseau (capsule des astronautes, tour d'éjection...). La zone de lancement d'Ariane 6 devrait également être modifiée pour installer une passerelle d'embarquement doublée d'un toboggan d'évacuation d'urgence.

Parallèlement, pour propulser une capsule de la classe d'Orion, soit 15 à 25 tonnes, l'Europe devrait se doter d'un lanceur super lourd. Avec le projet ASTRE, le

CNES fédère recherches amont et démonstrateurs technologiques pour préparer, à un horizon de cinq à dix ans, un moteur de 200 à 300 tonnes de poussée, contre 100 à 130 tonnes pour la génération actuelle. Côté vaisseaux enfin, l'ESA porte le programme LCRS (LEO Cargo Return Service), successeur réutilisable de l'ATV appelé à desservir l'orbite basse en cargo dans un premier temps, et qui dispose d'un potentiel d'évolution vers le vol habité ou le ravitaillement lunaire. Pour accompagner ce projet, le CNES a mené un avant-projet interne afin d'acquiescer une vision indépendante de son intérêt et de sa faisabilité. Les éléments issus de ces travaux ont contribué à orienter la décision de la France d'inscrire la contribution au développement du cargo européen dans sa stratégie nationale spatiale 2025-2040.

L'après Ariane 6 ?

—— Le CNES et ses partenaires mènent une série d'études d'avant-projet sur sa succession. Toutes explorent les voies de la réutilisation du premier étage et de la propulsion au méthane. Mais aucune architecture n'est encore privilégiée : de la continuité d'un lanceur de la classe d'Ariane 6 jusqu'au super lourd, le spectre des solutions reste ouvert dans un secteur désormais marqué par la multitude des acteurs et une concurrence accrue.



Retour vers le futur

D'Hermès à Orion : l'épopée du vol habité « made in Europe »

Trente ans d'ingénierie spatiale européenne, trois programmes, une même ambition. Retour sur une aventure au long cours qui, d'un projet d'avion spatial qui n'a pas vu le jour, a conduit l'Europe jusqu'aux portes de la Lune, en assurant les fonctions vitales d'Orion.



Illustration du projet de navette spatiale européenne Hermès développé par le CNES.

REPÈRES

1977

Le CNES commence les études pour Hermès.

1992

Abandon du projet par l'ESA.

2008

Premier vol du ravitailleur ATV.

2018

Livraison du premier ESM à la NASA pour la mission Artemis 1.

Avril 2026

Au cours de la mission Artemis 2, la capsule Orion exécute un voyage de dix jours aux abords de la Lune.

————— Tout commence dans les années

1980. « Poussée par un élan politique inédit, l'Europe veut accéder à l'espace avec ses propres équipages, à bord de son propre véhicule, indique Sébastien Barde, sous-directeur Exploration et Vol habité au CNES. Le projet d'avion spatial Hermès porté par le CNES cristallise cette volonté. » Il suscite une mobilisation industrielle considérable et génère des avancées majeures dans de nombreux domaines. Mais après l'accident de Challenger¹, le contexte se retourne, les coûts s'envolent et le calendrier se délite. En 1992, l'ESA suspend le projet, avant de l'abandonner. Mais les savoir-faire acquis – pour le guidage autonome, la propulsion, l'avionique – ne disparaissent pas. Ils sont réinvestis dans le programme de cargo automatisé ATV, dont le rôle est de ravitailler la Station spatiale internationale en eau, en oxygène, en carburant et en matériel scientifique. Cinq de ces joyaux technologiques, capables d'exécuter des manœuvres d'approche et d'arrimage complexes de manière autonome, volent entre 2008 et 2014, pilotés depuis le centre de contrôle ATV du CNES à Toulouse. Ce succès installe durablement l'expertise européenne dans le paysage de l'exploration habitée. En 2026, douze ans après le dernier ATV, l'héritage d'Hermès vit encore à travers le module de service européen (ESM) de la capsule Orion de la NASA. Développé par Airbus Defence & Space, l'ESM assure les fonctions essentielles – l'eau, l'air, l'électricité et surtout la propulsion – au vaisseau qui a réalisé son premier vol avec équipage en avril dernier. « Ses panneaux solaires en croix trahissent la parenté avec ATV, indique Sébastien Barde. Sans l'ESM, Orion ne pourrait ni atteindre l'orbite lunaire, ni en revenir. »

¹ En 1986, la navette spatiale américaine Challenger se désintègre peu après son décollage, causant la mort des sept astronautes à bord.



Jacques Arnould

Historien des sciences et théologien, chargé de mission pour les questions éthiques au CNES

Le corbeau, le renard et les raisins

« La fable, écrivait Voltaire, est la sœur aînée de l'histoire. » Et si nous recourions à celles de La Fontaine pour relire l'épopée des vols habités ?

_____ Ils s'appelaient Laïka, Sam et Hector, et ils ont ouvert la route de l'espace à Yuri, Neil et Jean-Loup : au début de l'ère spatiale, les ingénieurs et les savants aimaient donner un nom aux cobayes qu'ils harnachaient à bord des premiers vaisseaux spatiaux. Dommage qu'ils ne l'aient pas simplement baptisé la Chienne, le Singe et le Rat : leurs aventures auraient peut-être inspiré un descendant de Jean de La Fontaine dont les fables auraient interrogé nos pratiques spatiales. En absence d'un fabuliste de l'espace, contentons-nous de recourir aux fables du célèbre écrivain du ^{xvii}^e siècle pour parcourir les soixante-cinq années qui nous séparent du vol de Gagarine.

Le Corbeau et le Renard nous fait immanquablement penser à la première décennie de l'ère spatiale, à cette époque où deux nations avaient transporté dans l'espace la guerre froide qu'elles menaient entre elles. Au fil des succès et des échecs, des annonces tonitruantes ou des secrets bien gardés, le fromage, autrement dit l'homme sur la Lune, était passé d'un bec à l'autre, d'une gueule à l'autre, dans l'attente que le titre de phénix soit définitivement décerné... C'est Sam qui finit par emporter le morceau. La morale de *La Grenouille qui veut se faire aussi*

grosse que le Bœuf pourrait être appliquée à plus d'un projet spatial, tant l'hubris, la démesure, a souvent soufflé sur les pas de tir. À l'inverse, l'aventure de la navette Hermès a été interrompue avant de subir une possible issue « explosive », sans mettre en cause les succès spatiaux d'une Europe engagée dans la foulée conquérante d'Ariane. Le pays des mangeurs de grenouilles, où est toujours conservée une maquette du projet, aurait-il insufflé la morale de la fable au sein de la communauté européenne ? Apollo 13 n'a peut-être pas été le seul « échec réussi ».

Venons-en à la nouvelle course à la Lune, qui oppose cette fois les États-Unis à la Chine. Un journaliste de *La Tribune de Genève*, en juin 2024, n'a pas hésité à parler du lièvre américain et de la tortue chinoise : un bel hommage à l'une des plus célèbres fables de La Fontaine. Toutefois, la course n'est pas achevée et nous savons que l'espace n'a jamais manqué d'occasions pour devoir dire « adieu veau, vache, cochon, couvée » !

Mais revenons au Goupil et à une fable aussi courte qu'acide : *Le Renard et les Raisins*. Faut-il l'appliquer aux atterrissages de l'Europe en matière de projets lunaires et martiens ? Les fruits ainsi convoités sont-ils réellement verts, ou bien le sont-ils seulement au regard de la pâleur de nos ambitions et de la faiblesse de nos moyens ? Ésope est plus sévère : « *Le glorieux méprise ce qu'il ne peut avoir.* » Une invitation à ne pas nous tromper de gloire.

MEDES

« Le vol habité n'existe pas sans la recherche humaine spatiale »

**REBECCA BILLETTE
DE VILLEMEUR**

Responsable de la recherche clinique



« **Le spatial, on tombe dedans sans s'y attendre, et ça devient une passion.** On a l'impression de participer à la grande aventure humaine », confie Rebecca Billette de Villemeur. Lors de ses études de médecine, elle se spécialise en santé publique. En parallèle, elle obtient un master d'épidémiologie et recherche clinique. Pendant son internat, la jeune médecin effectue des gardes de nuit à la clinique spatiale de l'Institut de médecine et physiologie spatiale (MEDES), implantée au sein du CHU de Toulouse.

« J'avais la volonté de faire de la recherche clinique, mais le spatial, j'y suis arrivée un peu par accident », explique-t-elle. Au fil des gardes, elle se passionne pour l'étude des mécanismes physiologiques sous toutes leurs coutures, du moléculaire à l'organisme entier. Et à la fin de son internat, en 2020, c'est à MEDES qu'elle prend son premier poste. Deux ans plus tard, le docteur prend la tête de la recherche clinique. « Mon rôle, c'est d'assurer la santé des volontaires qui participent à nos études. » Car ici, l'équipe médicale conduit des campagnes de *bed rest*

pour le compte du CNES et de l'ESA. Cette expérience d'alitement prolongé reproduit l'état d'impesanteur subi par les astronautes dans l'espace. MEDES évalue la faisabilité technique et éthique des protocoles scientifiques proposés. Une fois l'expérience validée par les autorités de santé, le recrutement des volontaires peut démarrer. « Les candidats viennent réaliser des tests. On sélectionne ceux qui correspondent le mieux à nos critères d'inclusion : avoir entre 20 et 45 ans, être sportif et en parfaite santé. » En 2023, Rebecca Billette de Villemeur dirige l'essai BRACE visant à tester « si la gravité artificielle par centrifugeuse potentialise les effets du vélo », pour contrer les effets néfastes de la micropesanteur sur le corps humain. « Les 24 sujets étaient alités pendant soixante jours. C'est très marquant : en trois mois, on s'attache vraiment aux gens ! » Autre méthode de simulation de l'impesanteur : l'immersion sèche. Enroulé dans une bâche imperméable, le volontaire est plongé dans un bac d'eau tiède. Sans contact avec des surfaces dures, le corps flotte. Dans les prochaines années, MEDES se focalisera sur les incidences d'une mission lunaire comme Artemis. « Pour essayer de trouver des moyens de préserver la santé et la performance des astronautes, il faut faire des études au sol. MEDES n'existe pas sans le CNES, et le vol habité n'existe pas sans la recherche humaine spatiale », insiste-t-elle.



ESA

« Les États membres se donnent la possibilité d'aller vers les vols habités »

JESSICA GRENOUILLEAU

Coordinatrice des études de pré-développement pour les missions lunaires et les vols habités

« **Mon objectif, c'est de contribuer à des projets novateurs qui repoussent les limites de l'exploration spatiale et de la technologie** »,

explique Jessica Grenouilleau. Cette ingénieure spécialisée en maintenance des systèmes aéronautiques et spatiaux a intégré l'ESA en 1996. Elle participe au développement, à la mise en service puis au pilotage des opérations du laboratoire orbital Columbus, et contribue à la qualification du véhicule de transfert automatique (ATV) ravitailleur de l'ISS. En 2015, direction les Pays-Bas pour se consacrer à l'exploration robotique au Centre européen de technologie spatiale. En 2023, Jessica Grenouilleau devient

coordinatrice des études de prédéveloppement pour les missions lunaires et les vols habités. L'invasion de l'Ukraine bouleverse l'industrie spatiale occidentale, tandis que les fluctuations de la politique américaine accentuent les incertitudes. Entre coopération et compétition, l'Europe veut renforcer son indépendance et son autonomie d'accès à l'espace. Cette volonté se traduit par le développement de nouvelles capacités, comme l'acheminement de fret vers et depuis l'orbite basse via le programme Leo Cargo Return Service¹. « Avec LCRS, les États membres se donnent la possibilité d'aller vers les vols habités. Tous ceux qui ont réussi à les développer sont passés par la phase cargo », rappelle-t-elle. Jessica Grenouilleau a la charge du système de sauvegarde équipage, destiné à évacuer les astronautes en cas de problème avec un lanceur, et travaille en lien étroit avec le CNES pour l'adaptation des moyens de lancement à Kourou. Au-delà de l'orbite terrestre, l'Europe se prépare pour débarquer sur la Lune avec son futur atterrisseur lunaire Argonaut. « Depuis l'astre le plus proche de la Terre, nous pouvons observer l'univers beaucoup plus finement, et remonter le temps pour mieux comprendre sa genèse et sa formation », indique l'ingénieure. Mais la Lune est un « environnement brutal » : températures extrêmes, conditions d'illumination difficiles, poussière corrosive... « L'exploration spatiale lointaine, comme l'exploration terrestre en conditions extrêmes, pousse à développer des techniques et technologies de survie. » Jessica Grenouilleau s'est d'ailleurs rêvée un temps exploratrice en Antarctique pendant son doctorat à Centrale Paris : « Intéressé par ma candidature, l'Institut polaire français m'avait proposé de partir sur la station Dumont-d'Urville² pour une rotation d'un an. La vie en a décidé autrement. »

¹ Service de retour de fret en orbite basse.

² Base scientifique française située dans l'Antarctique, sur les îles des Pétréls, en terre Adélie.

LUMETIS

« Le CNES nous a apporté son savoir-faire pour spatialiser notre technologie »

ROMAIN HERNANDEZ

Docteur en optique

————— **À bord de l'ISS**, faire le ménage s'apparente à traquer les micro-organismes qui peuvent détériorer des équipements critiques. Un risque identifié dans les années 1980 par l'équipage de la station Mir. « *En micropesanteur, bactéries et champignons se déposent partout et forment des biofilms qui peuvent attaquer les panneaux de contrôle et affecter la santé des astronautes* », explique Romain Hernandez.

En 2023, ce chercheur spécialisé en photonique¹ quitte le CNRS pour rejoindre Lumetis, start-up spécialisée en imagerie. Recruté pour son bagage en optique, il s'attèle au développement d'un outil capable de détecter ces menaces invisibles à l'œil nu. Avec le Cadmos², structure du CNES dédiée à l'exploration spatiale

habitée, Lumetis met au point MultiSS, une caméra multispectrale qui éclaire les surfaces avec différentes longueurs d'onde (ultraviolet, visible et infrarouge) et trahit la présence de biofilms bactériens ou de moisissures. L'enjeu : repérer une contamination biologique, en préciser la nature et cibler les zones à nettoyer pour préserver la santé des astronautes et prévenir la corrosion des matériaux. « *Pendant trois ans, le Cadmos nous a apporté son savoir-faire sur le vol habité pour spatialiser notre technologie. L'équipementier Comat nous a accompagnés sur le volet sécurité* », indique le docteur en optique. Sur Terre, l'imagerie multispectrale a déjà trouvé des débouchés. Dans le domaine de l'art, elle peut révéler les « repentirs » et retouches d'un artiste sur un tableau. Mais ses applications ne s'arrêtent pas là : assistance à la chirurgie, traçabilité des composants sensibles dans la défense ou sécurisation des chaînes de production. « *Nous avons aussi travaillé avec un doctorant en archéologie qui étudie comment les peintures rupestres de la grotte Chauvet ont pu être piégées dans un voile de calcite pendant si longtemps* », note-t-il. Dans le cadre du laboratoire d'innovations SpaceShip FR porté par le CNES, Romain Hernandez travaille sur GeoAssist, un prototype d'assistant géologue capable d'aider un astronaute ou un robot à analyser des roches et à prélever des échantillons. « *C'est la même technologie mais poussée plus loin dans l'infrarouge, jusqu'à 1,7 micron, pour mieux révéler les roches*, détaille-t-il. *L'objectif final, c'est de se greffer sur les prochains vols martiens ou lunaires comme la mission Artemis.* »

¹ Ensemble des sciences et technologies qui émettent, captent ou transforment la lumière.

² Centre d'aide au développement des activités en micropesanteur et des opérations spatiales.

BSPP

« Mettre à l'épreuve les équipements développés pour les vols habités »

GEOFFROY DE BROGLIE

Adjoint du bureau études et prospective



9 mars 2008, base de lancement de Kourou : la fusée Ariane 5 s'apprête à décoller. Dans sa coiffe, l'ATV Jules Verne, premier vaisseau spatial ravitailleur européen. Le 3^e régiment étranger d'infanterie sécurise la zone. Geoffroy de Broglie, chef de section, fait partie des hommes déployés. En deux ans en Guyane, il a assisté à onze lancements, mais celui-ci l'a marqué « *pour la taille du module, qui a nécessité de doubler le périmètre de sécurité, et le bruit assourdissant au décollage* ». De retour dans l'Hexagone, le militaire est affecté à la Brigade de sapeurs-pompiers de Paris (BSPP). Il officie à la caserne Ménilmontant puis commande la 24^e compagnie d'incendie et de secours à Montreuil (Seine-Saint-Denis). Après une année de master à CentraleSupélec, Geoffroy de Broglie planche sur la conduite des programmes d'armement de l'armée de Terre, avant de regagner les rangs de la BSPP. Nommé adjoint du bureau études et prospective en 2023, le lieutenant-colonel prépare la brigade aux défis futurs, tant sur

le plan stratégique que technologique. Ses missions ? « *Identifier les grands changements à venir de notre environnement, préfigurer les nouveaux équipements, augmenter la sécurité des interventions et aller vers plus de résilience* », résume-t-il. C'est dans cette logique d'innovation continue que la BSPP et le CNES ont scellé, en juin 2025, un partenariat inédit autour d'une ambition commune : accélérer le développement des technologies de pointe. Le militaire et le spatial sont deux univers confrontés aux mêmes enjeux : intervention en milieux extrêmes, fiabilité des équipements, continuité des communications, gestion du stress, préparation physique et mentale des hommes. « *L'espace et le feu sont deux environnements où la perte de repères engendre un fort stress qui doit être maîtrisé* », souligne Geoffroy de Broglie. Sur la robotisation autonome ou la miniaturisation des outils médicaux, l'alliance du savoir-faire opérationnel des combattants du feu et de l'expertise spatiale du CNES constitue un « *démultiplicateur d'innovation* ». Pour Geoffroy de Broglie, la BSPP peut être « *un laboratoire d'essai grandeur nature pour mettre à l'épreuve les équipements développés pour les vols habités longue distance* ». Courant 2026, la résistance au feu des combinaisons de vol des astronautes sera testée par les sapeurs-pompiers en intervention. D'ici là, le lieutenant-colonel aura rejoint le premier groupement d'incendie de secours pour défendre la capitale et sa petite couronne. « *Contribuer à la conquête spatiale restera une immense fierté* », conclut-il.

Expériences spatiales : de l'idée à la donnée

De la sélection des expériences menées
lors d'un vol habité à l'exploitation
de leurs résultats sur Terre, itinéraire
d'un programme scientifique spatial.

Une mission habitée
commence bien avant le
décollage. Son contenu scientifique
se construit au sol, avec l'appui du
Cadmos (Centre d'aide au
développement des activités en
micropesanteur et des opérations
spatiales). Plusieurs années sont

Concevoir le programme

Pour être adaptés aux
contraintes de l'ISS et assurer
la sécurité des astronautes,
les matériels et logiciels
nécessaires à l'exécution des
expériences sont soumis à une
batterie de tests : mécaniques,
électromagnétiques,
vibrations... Cette phase peut
durer plusieurs mois, voire
plusieurs années.

Préparer les opérations



Les propositions soumises par la
communauté scientifique sont retenues
pour leur intérêt scientifique, leur maturité
et leur faisabilité. Pour epsilon,
elles couvrent la physiologie humaine,
les futures technologies spatiales
et l'éducation avec ChloriSS¹
(voir « Flash spatial » p. 10).

¹ Expérience éducative pour comprendre
les effets de la lumière sur la croissance
des plantes.

Développer et qualifier

Tout scénario d'anomalie
potentiel est anticipé (panne
au démarrage, perte de signal).
Chaque procédure est figée
à l'écrit. Pour parer à toute
éventualité au moment
d'exécuter l'expérience dans
l'espace, le centre de contrôle
répète les séquences
d'opération et prépare
le suivi scientifique.

nécessaires pour définir les expériences scientifiques et technologiques qui seront embarquées dans l'ISS, développer les équipements associés et les rendre compatibles avec un vol orbital. Derrière chaque expérience, chercheurs et ingénieurs s'activent

pour transformer une idée de recherche en un protocole opérationnel suffisamment robuste pour être exécuté dans l'espace. Une préparation minutieuse, qui conditionne la réussite scientifique de la mission. Une fois réalisées en orbite, les expériences poursuivent

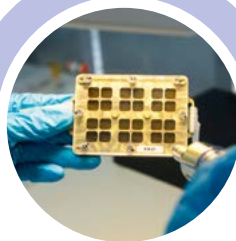
leur trajectoire dans les laboratoires terrestres, à travers l'analyse et l'exploitation des données recueillies. La mission epsilon a embarqué une série d'expériences françaises, dont sept préparées et pilotées par le Cadmos.

Opérer en orbite



Dans l'ISS, l'astronaute conduit les expériences, suivies de près au sol par les opérateurs du Cadmos. Pendant la mission epsilon, EchoFinder, un dispositif qui utilise la réalité augmentée et l'IA pour réaliser des échographies en autonomie, a mobilisé plusieurs astronautes, dont Sophie Adenot.

Des heures, jours ou semaines s'écoulent avant que les données ne soient récupérées et transmises à la communauté scientifique. Stockées sur des disques durs, les plus volumineuses redescendent par cargo. Certaines expériences, comme MatISS², nécessitent le retour du matériel sur Terre avant analyse.



Exploiter les résultats

² Expérience qui vise à collecter et à analyser les micro-organismes qui circulent dans l'air de l'ISS.

Attractions terrestres



Exposition : trois siècles d'expéditions françaises

_____ D'avril à juin dernier, le musée de l'Armée a accueilli l'exposition « Explorations : une affaire d'État ? », une traversée de trois cents ans d'explorations françaises, des abysses aux grandes missions spatiales. Archives, objets scientifiques et techniques, œuvres d'art et témoignages retracent les grands voyages maritimes, commissions scientifiques et croisières, motivés par des ambitions stratégiques, coloniales ou technologiques. Pour l'occasion, un scaphandre d'astronaute ainsi que les maquettes du CNES représentant le rover Perseverance et le satellite Yoda y étaient exposés.

Mission epsilon : des poèmes en orbite

_____ Organisé par le CNES, la maison d'édition Milan et le Printemps des poètes, le concours Astropoèmes invitait des élèves de 5 à 15 ans à s'inspirer de l'espace et du rêve pour écrire un poème de 20 vers. Sur 2 903 participants, quatre lauréats ont été récompensés pour l'originalité de leur texte, le respect de la thématique, le style et l'orthographe. Le prix coup de cœur, décerné par Sophie Adenot, présidente du jury, a été lu depuis l'ISS !



Boutique CNES : un sac à dos pour la rentrée ou pour l'espace !

Un aspirant astronaute bien équipé en vaut deux ! Avec sa toile résistante en coton 100 % bio, le sac à dos « made in CNES » sera votre compagnon quelles que soient vos aventures terrestres ou spatiales. Fabriqué de manière artisanale et éthique par une ONG indienne engagée pour l'émancipation des femmes, il est aussi utile que porteur de sens. À retrouver sur maboutique.cnes.fr - 59,90 €.



30 jeunes à la conquête de la micropesanteur

Organisée par le CNES, l'édition 2026 du concours **Astronaute d'un jour** a offert à 2 256 élèves de 4^e une chance de vivre l'expérience de l'impesanteur en vol parabolique. Répartis de façon aléatoire, les candidats de plusieurs établissements ont enchaîné des épreuves coopératives. Dans la peau de scientifiques ou d'astronautes, ils ont calculé les paramètres d'une mission spatiale, installé des expériences scientifiques dans l'ISS et géré un atterrissage d'urgence. Leur esprit critique a aussi été testé pour démêler le vrai du faux d'un témoignage troublant sur les ovnis, à la manière des enquêteurs du GEIPAN. En avril, 20 jeunes en situation de handicap ont rejoint 80 sélectionnés pour disputer la finale astro-sportive en équipes. En juin, 30 lauréats ont vécu l'incroyable expérience de flotter dans la cabine de l'Airbus Zéro-G (voir « Flash spatial » p. 11).

Cap sur l'Espace ! à la Cité des Sciences



Près de 20 000 visiteurs, petits et grands, ont profité d'activités spatiales gratuites le temps d'un weekend à La Villette. Cet événement, organisé par le CNES en partenariat avec l'ESA, s'est tenu en marge du Sommet international sur l'espace. Son objectif ? Faire découvrir l'aventure spatiale aux familles. Au programme : exposition de maquettes, dispositifs numériques (VR), ateliers pédagogiques et conférences. Nos experts étaient présents pour répondre aux questions et partager leur passion. Les astronautes Thomas Pesquet et Arnaud Prost ont profité de l'événement pour lancer un concours portant sur les noms de leurs futures missions. Un immense succès et qui sait, de nouvelles vocations ?

Observatoire de l'espace : un voyage sonore orbital



OSCAR, c'est une machine à écrire une œuvre musicale en symbiose avec l'espace. Installé en 2024 à l'extérieur de l'ISS sur la plateforme Bartolomeo, ce dispositif a composé avec son environnement : la température, la lumière et les vibrations ont influencé les fréquences et le rythme des notes. OSCAR est revenu sur Terre en

février 2026 avec l'équivalent de 303 heures de partitions de piano écrites en orbite. Cette expérience artistique inédite imaginée par l'artiste Stéphane Thidet et produite par l'Observatoire de l'espace, le laboratoire culturel du CNES, sera restituée sous forme d'installation sonore sur Terre en 2027.



Le club mondial du vol habité

Longtemps réservés à deux superpuissances, le vol habité et l'exploration spatiale rassemblent aujourd'hui un cercle élargi d'agences. Tour d'horizon des acteurs, de l'expérience la plus ancienne aux ambitions les plus récentes.

LES PIONNIERS : ÉTATS-UNIS, RUSSIE

Ce sont eux qui ont ouvert la voie. Dès les années 1960, Américains et Soviétiques envoient les premiers humains dans l'espace, puis bâtissent les stations qui jalonnent l'histoire du vol habité. Aujourd'hui, les deux nations partagent encore les équipages de l'ISS, mais leurs chemins se séparent : quand les États-Unis visent la Lune avec Artemis, la Russie se tourne vers la Chine pour le programme ILRS¹.

¹ International Lunar Research Station : projet d'installation d'un laboratoire scientifique sur la Lune, ou en orbite autour de celle-ci.

LES PUISSANCES MONTANTES : CHINE, INDE

Restées à l'écart de l'ISS, ces deux nations avancent désormais en propre.

La Chine, qui a lancé sa première station, Tiangong, dès 2011, maintient aujourd'hui des taïkonautes à demeure en orbite. Le pays a pour ambition de mettre un pied sur la Lune en 2029, année des 80 ans de la République populaire de Chine. L'Inde, plus récemment dotée d'un programme habité, affiche de hautes ambitions, jusqu'à viser la Lune à l'horizon 2040.

Toutes deux misent sur l'autonomie comme marqueur de puissance.

LES PARTENAIRES DE LA STATION : EUROPE, JAPON, CANADA

Avec le lancement de l'ISS à la fin des années 1990, la rivalité entre Washington et Moscou laisse place à une aventure internationale qui réunit un cercle de partenaires. L'Europe, le Japon et le Canada y apportent modules, expériences scientifiques et bras robotique. Pour ces agences, le vol habité passe par la coopération : pas de programme autonome, mais une place reconnue, adossée à des contributions technologiques de premier plan.

LES NOUVEAUX VENUS : ÉMIRATS ARABES UNIS, ARABIE SAOUDITE

Pour ces deux nations, le vol habité est moins un projet industriel qu'un instrument stratégique. Envoyer ses ressortissants dans l'espace, c'est afficher sa modernité sur la scène internationale, susciter des vocations scientifiques chez soi et préparer l'après-pétrole. Le « soft power », autant que la diversification économique, guide une ambition spatiale qui s'appuie sur des partenariats, plutôt que sur des moyens propres.



