

CNES MAG



ESPACE • INNOVATION • SOCIÉTÉ

#87

Février 2021

EXPLORATION

CHANGEMENT D'ÉCHELLE



cnes

CENTRE NATIONAL
D'ÉTUDES SPATIALES



SOMMAIRE



05 ÉDITORIAL

06 L'ESSENTIEL

Mission Alpha, Perseverance, New Space... Le point sur l'actualité mondiale de l'exploration spatiale

12
#COMMUNAUTÉ
Les followers du CNES suivent de près les progrès de l'exploration spatiale

13
GRAND ORAL
Thomas Pesquet détaille le rôle essentiel de l'ISS pour préparer l'exploration humaine de demain

16
EN IMAGES
Un vol habité, ça se prépare

18
EN CHIFFRES
Au menu : activité physique des astronautes, vols en impesateur et tarifs du tourisme spatial

19
LE CNES
EN ACTIONS
Maintenir le lien

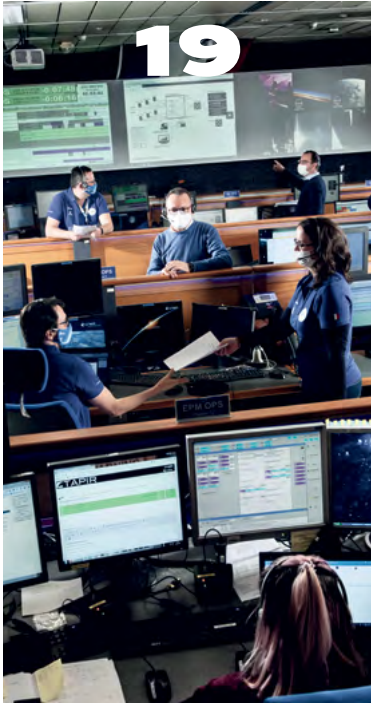
27
MATIÈRE
Lumina : bouclier de lumière

28
INSTANTS T
SpaceShip France : embarquement imminent

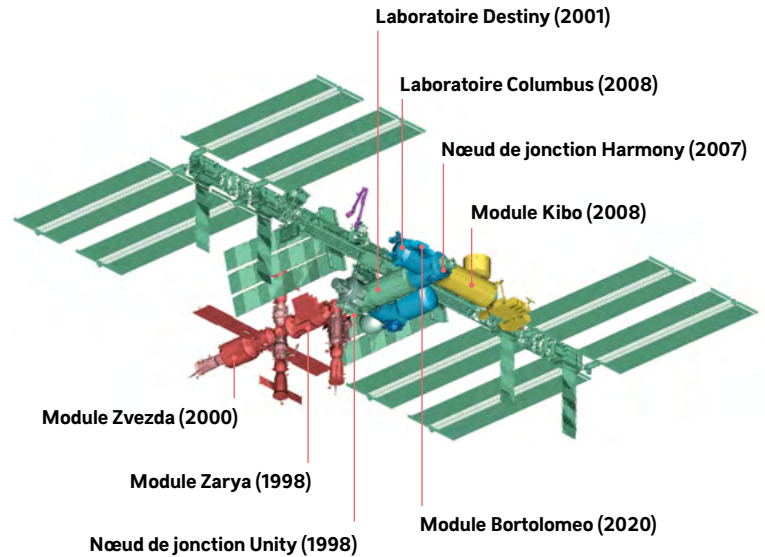
30
RENCONTRES
- Frank de Winne, responsable du Centre des astronautes européens
- Miria Ricchetti, chercheuse à l'Institut Pasteur
- Alexandra Oppenheim-Delauze, présidente-directrice générale de la Compagnie maritime d'expertise



SOMMAIRE



ISS : 20 ANS DE CO-CONSTRUCTION



33
ESPACE ÉTHIQUE
Comme nous respirons...,
par Jacques Arnould

34
EN VUE
Les événements et ouvrages
à ne pas manquer

36
TRANSFERT
Céleste, un peu plus près des étoiles

● MODULES AMÉRICAINS ● MODULES RUSSES ● MODULES EUROPÉENS
● MODULES JAPONAIS ● MODULES CANADIENS

PARTENAIRES

Sont cités dans ce numéro : Agence spatiale américaine (NASA) p. 6, 8-9, 11, 18, 20-22, 30 ; Agence spatiale européenne (ESA) p. 7, 9, 14-15, 18, 20-22, 24, 26, 28, 30, 32 ; CHU de Toulouse-Rangueil p. 7, 26 ; Institut des problèmes médico-biologiques de Moscou (IMBP) p. 8 ; Agence spatiale indienne (ISRO) p. 9, 10, 34 ; Novespace p. 16, 18 ; Agence spatiale canadienne (ASC) p. 21 ; Agence spatiale japonaise (JAXA) p. 21 ; Institut de recherche en astrophysique et planétologie (Irap) p. 22 ; Institut Pasteur p. 26, 31 ; Laboratoire Hubert-Curie p. 26-27 ; Centre national de la recherche scientifique (CNRS) p. 26, 35 ; Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) p. 34 ; Cité de l'espace p. 35.



[WWW.CNES.FR](http://www.cnes.fr)

Découvrez les contenus
en ligne de ce nouveau
numéro sur
cnes.fr/cnesmag

CNESFrance

@CNES

CNES



CONTRIBUTEURS

RÉMI CANTON



Il a la passion de l'espace chevillée au corps. Faire lien entre la Terre et l'ISS ne pouvait donc que lui plaire. Chef de projet de la mission Alpha et manager Cadmos en charge du développement, Rémi Canton prépare au Cadmos les expériences que le CNES a confiées à Thomas Pesquet. Avec son enthousiasme communicatif, il nous embarque dans cette nouvelle aventure scientifique.

JEAN BLOUVAC



Très impliqué dans les programmes lunaires, Jean Blouvac est responsable de l'Exploration et des Vols habités au CNES. Demain, l'exploration humaine s'ouvrira à l'espace lointain. Représentant de la France au sein de l'ESA pour ces questions, Jean Blouvac nous a permis de comprendre la feuille de route européenne dans cette quête mondiale, ainsi que celle des pays compétiteurs.



SÉBASTIEN BARDE

Responsable du Cadmos durant la mission Proxima, Sébastien Barde est aujourd'hui sous-directeur Sciences et Exploration au CNES, où il conjugue programmation et exploitation. Astronautes, science dans l'ISS et préparation de l'exploration lointaine (robotique et humaine) n'ayant pas de secret pour lui, il nous a guidés dans les programmes d'envergure qui se dessinent.

GUILLEMETTE GAUQUELIN-KOCH



Poser un regard aussi savant qu'humain sur les sciences, c'est ce que fait Guillemette Gauquelin-Koch, responsable des programmes Sciences de la vie au CNES. Exaltante pour l'esprit, l'exploration spatiale est invalidante pour le corps. C'est pourquoi cette experte est particulièrement attentive aux contre-mesures qui pourraient prévenir les désordres physiologiques et psychologiques des astronautes.

CNESMAG

CNESmag, le magazine d'information du Centre national d'études spatiales, 2 place Maurice Quentin, 75039 Paris cedex 01. Adresse postale pour toute correspondance : 18 avenue Édouard Belin, 31401 Toulouse cedex 9. Tél. : +33 (0)5 61 27 40 68. Internet : <http://www.cnes.fr>. Cette revue est adhérente à Communication&Entreprises. Abonnement : <https://cnes.fr/reabonnement-cnesmag> **Directeur de la publication** : Jean-Yves Le Gall. **Directrice éditoriale** : Marie-Claude Salomé. **Rédactrice en chef** : Brigitte Alonzo-Thomas. **Secrétaire générale de la rédaction** : Céline Arnaud. **Rédaction** : Brigitte Alonzo-Thomas, Karol Barthélémy, Liliane Feuillera. **Photothèque (recherche iconographique)** : Marie-Claire Fontebasso. **Responsable photo** : Thierry De Prada. **Crédits photo** : p. 4 CNES/E. Grimault - CNES/N. Tronquart - CNES/L. Lecarpentier - CNES/S. Godefroy ; p. 5 CNES/C. Peus ; p. 6 NASA/ESA/R. Markowitz ; p. 7 (haut) GCTC - (gauche) CNES/R. Gaboriaud - (bas) ESO ; p. 8 (haut) CNES/IMBP - (bas) CNES/E. Grimault ; p. 9 (haut) CNES/E. Grimault - (bas) CNES/ESA/NASA/RKK/F. Matta/ZIG ZAG ; p. 10 (haut) SPACEX - (bas) Getty Images ; p. 11 (haut) S. Remezov/A. Canada - (bas) NASA/JPL-Caltech/IDIX ; p. 13 et 15 ESA/N. Fischer ; p. 16 CNES/S. Rouquette ; p. 17 CNES/E. Grimault ; p. 19 CNES/E. Grimault ; p. 20 NASA/Roscosmos ; p. 21 NASA-Rad Sinyak ; p. 22 ESA/ATG-Medialab ; p. 23 CNES/T. De Prada ; p. 24 CNES/R. Barranco ; p. 25 et 26 CNES/E. Grimault ; p. 27 Société iXblue/CNES/G. Le Bras ; p. 33 J. Arnould ; p. 34 (haut) CNES/S. Rouquette - (bas) CNES/M. Weiss ; p. 35 Quisproduction/F. Quignaux ; p. 36 Zephalto/V. Farret d'Astiès. **Illustrations** : David Ducros, François Foyard, Jean-Marc Pau. **Web master** : Sylvain Charrier, Mélanie Ramel. **Réseaux sociaux** : Mathilde de Vos. **Traduction** : Boyd Vincent. **Conception, conseil et réalisation** : Citizen Press – Camille Aulas, David Corvaisier, Fabienne Laurent, Alexandra Roy. **Impression** : Ménard. ISSN 1283-9817. **Ont participé à ce numéro** : Mauro Augelli, Marine Bernat, Christophe Bonnal, Pierre Bousquet, Florence Clément, Philippe Colloït, Christine Correcher, André Debus, Claire Dramas, Vincent Dubourg, Jean Evrard, Thomas Fouquet, Alexis Paillet, Cyrille Przybyla, Sébastien Rouquette, Martial Vanhove, Mathieu Weiss.



É D I T O R I A L



Jusqu'où les hommes iront-ils dans l'espace ? Et lorsqu'ils y seront, qu'y feront-ils et qu'y découvriront-ils ? Ces questions constituent sans doute les vraies motivations de l'exploration humaine de l'espace qui occupe ces derniers temps, beaucoup l'actualité spatiale.

Aujourd'hui, nous pouvons raisonnablement espérer aller sur Mars d'ici deux à trois décennies. Cela nécessitera une grande coopération internationale pour lever tous les obstacles encore à résoudre. Aussi, les Etats-Unis, la Chine et avec eux l'Europe, le Japon, le Canada et d'autres puissances spatiales, vont d'abord retourner sur la Lune avant 2030. Ils s'y installeront de façon durable comme c'est le cas à bord de la station spatiale internationale (International Space Station, ISS) qui vient tout juste de célébrer ses 20 années d'occupation permanente. Cela nous permettra de parfaire notre connaissance encore bien sommaire de la Lune, de ses ressources, de la formation de la Terre, mais surtout d'apprendre à vivre en dehors de la protection du champ magnétique terrestre et avec plus d'autonomie.

En attendant, Thomas Pesquet, le 10^e astronaute de nationalité française, retournera au printemps séjourner à bord de la station, dans le cadre de la mission de longue durée Alpha. Il contribuera ainsi activement à préparer ce retour sur la Lune qui, pour la décennie à venir, constitue l'objectif de l'exploration humaine de l'espace.

JEAN-YVES LE GALL

PRÉSIDENT DU CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

A full-page photograph of astronaut Thomas Pesquet inside a spacecraft hatch. He is wearing a white spacesuit with a blue and red patch on the chest and is looking down at a piece of equipment he is holding. The hatch is circular with a metallic rim and various cables and equipment are visible inside. A large orange bag is hanging from the top.

MISSION 65

NOUVELLE EXPÉDITION VERS L'ISS

La mission 65 vers la Station spatiale internationale (ISS) devrait décoller au printemps. Impatient, Thomas Pesquet est paré au départ. Il sera le premier astronaute européen à prendre les commandes de la capsule Crew Dragon de SpaceX, affrétée pour le compte de la NASA dans la légendaire base de Cap Canaveral. Dès l'entraînement, Thomas Pesquet a apprécié le design futuriste du « cockpit » et les fonctionnalités largement optimisées de son nouveau taxi spatial (cf. Grand oral p. 13-15). Son objectif, lui, reste inchangé : faire de la recherche fondamentale dans ce laboratoire unique au monde qu'est l'ISS. L'équipage 65 fera sa part dans le continuum des expériences déjà en cours et mettra également en œuvre une centaine de manipulations. Le tout dans un but précis : préparer l'avenir de l'exploration spatiale humaine.

Préparation de Thomas Pesquet
à une sortie extravéhiculaire (EVA)
au Johnson Space Center.



L'ESSENTIEL



Tests d'endurance et de survie lors des entraînements des futurs astronautes.

OFFRE D'EMPLOI

DÉCROCHEZ LA LUNE !

Travailler dans l'espace est votre rêve ? Le métier d'astronaute requiert courage, autonomie, audace, adaptabilité... et endurance. Les étapes pour le devenir aussi. La première, c'est l'épreuve de la sélection. L'ESA lance en 2021 une campagne de recrutement des astronautes européens en vue des futures missions habitées (cf. Rencontres p. 30). Vous voulez postuler ? Soyez déterminé : au-delà de vos diplômes ou de votre polyglottisme, une batterie de tests psychotechniques vous attend. Vos qualités psychologiques individuelles et en groupe, votre endurance physique, votre sang-froid opérationnel et votre résilience seront autant d'atouts pour franchir les obstacles qui jalonnent ce marathon. Faites preuve d'opiniâtreté ! Pour vous détresser, vous pouvez toujours lire ou relire la BD de Marion Montaigne *Dans la combi de Thomas Pesquet*.

PLUS D'INFOS : WWW.ESA.INT/YOURWAYTOSPACE



27 000

Le nom d'Alpha a été choisi à la suite d'un concours lancé par l'ESA en partenariat avec le CNES. Une initiative qui a connu un large succès : 27 000 propositions ont été soumises au jury. L'appellation « Alpha » a été proposée 47 fois.



SANTÉ

PRIORITÉ À LA PRÉVENTION

1 heure 48 minutes pour Yuri Gagarine, 7 jours pour Jean-Loup Chrétien, 6 mois pour Thomas Pesquet...

La durée des séjours dans l'espace ne cesse de s'allonger. Et avec elle, la distance à la Terre. L'explorateur humain vers la Lune ou Mars ne sera plus protégé des radiations ionisantes par l'atmosphère terrestre. Vieillesse accélérée, altérations cellulaires... les risques de ces radiations pour la santé doivent être précisés. En 2019, une campagne de ballons stratosphériques embarquait des cellules humaines pour les exposer aux rayonnements directs ou secondaires. En 2021, une nouvelle expérience sous ballon établira le profil de dosimétrie physique et biologique de la même zone, permettant ainsi l'étude comparative des résultats. En lien avec le CHU de Toulouse-Rangueil, le CNES a aussi lancé des études pour évaluer l'impact radiatif sur les modifications des cellules humaines. Le confinement longue durée est un autre danger de l'exploration lointaine. Pour en mesurer les effets, des études éthologiques¹ et psychologiques sont en cours de développement.

1. Science des comportements des espèces animales, incluant l'humain, dans leur milieu naturel.



L'ESSENTIEL



CARDIOMED

UNE AFFAIRE DE CŒUR



absence de pesanteur modifie la répartition des fluides dans l'organisme ; le reflux du sang vers le haut du corps peut conduire à de graves troubles. Débit sanguin, rythme cardiaque, pression artérielle... l'équipement franco-russe Cardiomed compilait dix protocoles cliniques pour le suivi cardiovasculaire des cosmonautes dans l'espace. Après dix ans de service dans l'ISS, il a fait l'objet d'un rapport très fourni. À 92 ans, Adilia Kotovskaia, médecin à l'Institut des problèmes médico-biologiques de Moscou (IMBP) et ancienne médecin de Youri Gagarine, le signait. Deux semaines plus tard, en mars 2020, son décès affectait particulièrement les équipes du CNES avec lesquelles elle avait conçu ce dispositif. Le Cadmos¹ et l'IMBP travaillent aujourd'hui à une nouvelle génération de Cardiomed pour l'ISS. Plus complet, il évaluera les effets d'un long séjour en impesanteur notamment sur la colonne vertébrale (tassements de vertèbres, dorsalgies), la circulation sanguine cérébrale et l'hypertension artérielle.

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

DECLIC

BACK TO THE ISS



n micropesanteur, les matériaux liquides comme l'eau pourraient-ils, à l'état de fluides

supercritiques, répondre à l'enjeu du recyclage des déchets sans rejet de CO₂ sur Terre ? Conçu par le Cadmos et hébergé dans un rack scientifique de l'ISS, le mini-laboratoire Declic¹ étudie le phénomène depuis 2009 grâce à trois expériences² (ou inserts) activées à tour de rôle pendant des périodes de 3 à 6 mois. En cours de restauration après une panne de laser, Declic devrait remonter à bord au printemps et y rester au moins jusqu'à 2024. Au vu de ses résultats, une extension du

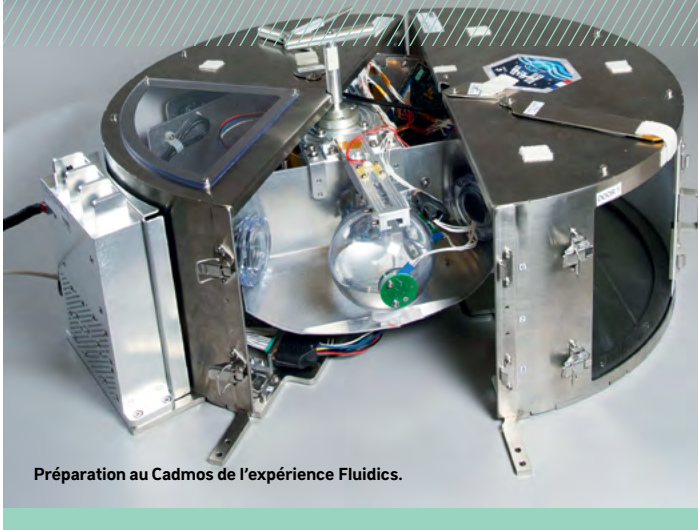


programme scientifique est acquise. La coopération CNES-NASA utilisera les mêmes principes pour intégrer deux nouveaux inserts dans le programme Declic-EVO : Aerosol, qui permettra de mieux comprendre les phénomènes à l'œuvre à l'intérieur

des nuages, et Scow, qui étudiera l'oxydation de déchets organiques dans l'eau supercritique.

1. Dispositif d'étude de la croissance et des liquides critiques.

2. ALI (Alice Like Insert), HTI (High Temperature Insert) et DSI (Directional Solidification Insert).



Préparation au Cadmos de l'expérience Fluidics.

PROXIMA

DES SUCCÈS DANS LA DURÉE



chaque mission laisse à bord de l'ISS de la « science en marche », c'est-à-dire des expériences aux vies multiples. C'est le cas, entre autres, d'EveryWear de la mission Proxima. Application développée par le CNES pour la collecte de données

physiologiques et le suivi médical des astronautes, elle est aussi support pour Aquapad (diagnostic microbiologique d'eau de boisson des astronautes) ou Vascular Aging (mesure de rigidité artérielle réalisée par l'échographe ECHO de Proxima). Son succès opérationnel vaut d'ailleurs à EveryWear d'être adoptée par l'ESA. Ses évolutions et utilisations se discutent actuellement conjointement avec les autres agences partenaires de l'ISS. Des déploiements hors station sont déjà en cours sur les projets Gaganyaan (ISRO), Orion et Gateway (NASA). L'expérience Fluidics (CNES-ADS²), qui étudie la turbulence des ondes capillaires en impesanteur, est également un succès puisqu'elle reste activée dans l'ISS à raison de trois sessions par an. La plateforme de réalité virtuelle Perspectives, activée quant à elle une fois par mois, continue d'étudier les modifications cognitives en impesanteur.

1. Agence spatiale indienne.
2. Airbus Defence and Space.

60 ans

Le 12 avril 1961, Youri Gagarine était le premier à voir la Terre depuis l'espace. Pilote de la mission Vostok 1, sélectionné parmi 20 candidats, il a effectué une révolution complète autour de notre planète en 1 heure 48 minutes (temps complet du vol). Véritable exploit dans un contexte de guerre froide, ce premier « vol habité » sera salué dans le monde entier. En 2021, à l'heure où se programment des vols habités vers la Lune, la communauté scientifique célébrera le 60^e anniversaire de ce vol historique.

22 tonnes

Pour se nourrir, un équipage de six astronautes en mission de trois ans vers Mars aurait besoin d'environ 22 tonnes de nourriture.

578 personnes

sont allées dans l'espace. Parmi elles, seulement 65 femmes, soit à peine plus de 10 %. Ces 578 « chanceux » représentent 38 nationalités différentes.

LA FRANCE ET LES VOLS HABITÉS



1980

Première sélection d'astronautes français organisée par le CNES



1982

Vol du premier astronaute français Jean-Loup Chrétien sur la station Saliout 7



1985

Vol de l'astronaute français Patrick Baudry sur STS-51-G (navette Discovery)



1988

Première sortie extra-véhiculaire d'un astronaute français (Jean-Loup Chrétien, mission Aragatz)



1996

Vol de Claudie Haigneré, première femme astronaute française (mission Cassiopée)



1998

Création du corps d'astronautes européens de l'ESA intégrant celui du CNES



2001

Première mission française dans l'ISS (Andromède)



2025-2027

Trois astronautes européens voleront vers la station lunaire Gateway



L'ESSENTIEL

UN DRAGON POUR L'ISS SUCCÈS CONFIRMÉ



Depuis 2012, la capsule SpaceX Dragon assure pour partie le ravitaillement de l'ISS. Le 30 mai 2020, la société américaine SpaceX faisait voler Crew Dragon, sa version habitable. Cette dernière profite de nombreuses améliorations en matière de rendez-vous et d'interface avec la station mais aussi de propulsion secours pour éjecter la capsule en cas d'anomalie au lancement. Depuis ce vol de qualification, SpaceX a effectué en novembre 2020 la première mission opérationnelle avec quatre astronautes à bord ; le prochain vol amènera Thomas Pesquet sur l'ISS. Crew Dragon assurera désormais la totalité des missions de desserte vers l'ISS et, ultérieurement, vers des destinations plus lointaines comme la Lune.

MISSION GAGANYAAN UN COUP DE POUCE « MADE IN FRANCE »

En 2022, les trois premiers astronautes indiens partiront dans l'espace à bord du vaisseau Gaganyaan¹. La France met ses compétences agrégées autour du CNES à disposition de l'ISRO pour préparer ce séjour orbital de 5 à 7 jours. Medes, la filiale santé du CNES, décline ainsi plusieurs séquences spécifiques pour la formation du médecin de l'agence spatiale indienne et contribue à l'élaboration des supports de vie à bord (programme de nutrition). Le Cadmos et le Centre des astronautes européens (EAC) sont également de la partie pour former les ingénieurs indiens à la gestion des vols habités (contrôle, suivi du vol, gestion d'urgence). Seront aussi mis à la disposition des astronautes indiens des équipements testés dans l'ISS et toujours en fonctionnement comme Aquapad



ou EveryWear (cf p. 9). Enfin, le CNES fournira des trousse de transport ignifuges « made in France » pour protéger le matériel des chocs et radiations pendant le transport.

1. « Véhicule céleste » en sanscrit.



L'ESSENTIEL

PERSEVERANCE

DE LA SUITE DANS LES IDÉES

Parti en juillet 2020, le rover Perseverance de la mission Mars 2020 va traquer, à partir de février 2021, d'éventuelles traces de vie passée et étudier notamment l'effet de l'environnement martien sur des matériaux utilisés dans les scaphandres. Le rover collectera également des échantillons qui seront ramenés sur Terre par d'autres missions au début des années 2030, une étape majeure dans l'exploration de Mars. Mais la mission Mars 2020 prépare aussi l'exploration humaine de la planète rouge. Sur Mars, il faudra impérativement utiliser les ressources disponibles sur place, notamment pour produire de l'oxygène.



À défaut de planter des arbres, l'instrument Moxie de Perseverance produira, par électrolyse solide, de l'oxygène pur à partir des molécules de dioxyde de carbone martien. Démonstrateur technologique, Moxie ne fournira que 10 g d'oxygène par

heure de manière intermittente, mais permettra de valider le principe de production. Vital pour les futurs explorateurs, l'oxygène le sera aussi pour produire sur place le carburant nécessaire aux moteurs pour le trajet retour sans alourdir la charge utile.

NEWSPACE

L'AUDACE DE LA JEUNESSE



Septième touriste spatial, le fondateur du Cirque du Soleil Guy Laliberty dans le vaisseau Soyouz.

Lassé de la mer et de la montagne ? Les acteurs du NewSpace¹ vous offrent un dépaysement garanti avec un vol ou un séjour dans l'espace. Entre 2001 et 2009, sept touristes ont déjà bénéficié de cette opportunité hors norme. Aujourd'hui, les projets de tourisme spatial se multiplient mais la plupart d'entre eux se heurtent encore au plafond de verre de la ligne de Karman (100 km d'altitude). Crew Dragon de SpaceX, la capsule New Shepard de Blue Origin et un vaisseau de Virgin Galactic sont annoncés pour 2022. SpaceX prévoit à plus long terme d'amener des touristes sur la Lune. Dans ce cas, l'hébergement pourra être prévu : la société Bigelow Aerospace, par exemple, a conçu en partenariat avec la NASA un module Beam² préfigurant les premiers hôtels spatiaux. Pour sa part, le CNES valorise son expertise en matière de ballons. Sa collaboration avec la société Zephalto (cf. Transfert p. 36), notamment, permet un projet de tourisme spatial aussi viable qu'audacieux.

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

2. Bigelow Expandable Activity Module.



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 !;)



@ASTRO_DANYBOY

Daniel Chrétien, blog editor at <http://space-kiwi.fr> & @RevesdEspace. Space news, China space program and Newspace watcher. Space is friendship



Weiss : moins d'un mois après l'annonce du premier ministre (Modi) de l'intention de l'Inde d'envoyer par elle-même des astronautes, un accord a été établi avec le CNES sur les vols habités.



@THOM_ASTRO

Astronaute @ESA, pilote de vaisseau spatial à l'entraînement pour #MissionAlpha, parrain @ONG_ASF



How it started:

How it's going:



@VIDALFREDERIQUE

Ministre de l'EnseignementSup, de la Recherche et de l'Innovation - @sup_recherche

Retour en images sur le concours #GénérationISS avec @Thom_astro. Plus de 130 dossiers déposés autour de projets artistiques, technologiques ou scientifiques. Bravo aux talentueux lauréats qui vont pouvoir peaufiner leurs projets avec l'appui du @CNES avant leur envol vers l'ISS !



@REVESESPACE

Actualités, événements sur l' #Espace et les articles de <http://reves-d-espace.com>, le tout en français !

Appel à candidats ! @esa va ouvrir mi-février une nouvelle sélection d'astronautes. Si vous pensez candidater j'aimerais récolter vos témoignages, vos raisons pour des articles et suivre votre parcours. Et surtout, les filles, osez !





GRAND ORAL

THOMAS PESQUET

L'ASTRONAUTE EUROPÉEN THOMAS PESQUET
s'envolera au printemps 2021 pour son deuxième séjour dans l'ISS.
L'occasion d'échanger avec lui sur l'exploration spatiale
humaine d'aujourd'hui et de demain
et sur tout ce que l'ISS peut y apporter.



GRAND ORAL

Vous vous apprêtez à retourner à bord de l'ISS. Vous êtes-vous préparé de la même façon aux missions Proxima et Alpha ?

Thomas Pesquet : Pas tout à fait ! Le tronc commun reste le séjour dans l'ISS. Le programme scientifique évolue, mais vivre dans l'espace, réparer des choses quand elles cassent, etc., cela ne change pas. Quand on a l'expérience de la première mission, les entraînements ayant trait à ces aspects sont plus légers. La grande différence, c'est le moyen d'accès à l'ISS. La première fois, j'ai passé beaucoup de temps en Russie pour être copilote du Soyouz – 76 séances de simulateur à la Cité des étoiles ! Cette fois, je suis en Californie, dans les locaux de SpaceX, à Hawthorne. C'est un autre environnement, plus moderne, et une autre capsule, Dragon. Comme sur un nouvel avion, il faut tout réapprendre, des systèmes aux procédures en passant par les scaphandres, les urgences, etc.

Comment appréhendez-vous ce second séjour ?

T.P. : C'est comme le deuxième saut en parachute ! Dans mes souvenirs, le premier est plus facile : on a décidé de le faire mais sans vraiment savoir

ce que ça veut dire. La deuxième fois, on sait exactement de quoi il retourne, la magie que l'on vit mais aussi les difficultés, l'éloignement de la famille... Je prends donc les choses avec le même enthousiasme mais avec un peu plus de recul. Et, peut-être égoïstement, j'ai envie cette fois d'en profiter plus, de me réserver plus de temps pour moi, pour regarder la Terre.

Quels liens entretenez-vous avec le CNES ?

T.P. : Le CNES a un historique de vols habités, il est donc partie prenante aux côtés de l'ESA. En tant que Français dans le corps des astronautes européens, je porte un drapeau tricolore sur la manche du bras gauche, c'est une fierté. Personnellement, j'ai un lien très spécial avec le CNES car j'y ai débuté en tant qu'ingénieur. J'ai ensuite eu l'opportunité de devenir pilote et ma carrière a pris finalement une autre tournure, mais je me sens quand même encore un peu de la maison et j'échange régulièrement avec les équipes.

Au-delà des objectifs précis des missions Proxima ou Alpha, quelle ambition de fond revêt selon vous l'ISS ?

T.P. : Pour moi, l'ISS est une étape incontournable sur la route de l'exploration spatiale et concilie pour cela deux objectifs vertueux : l'exploration et les sciences. En effet, l'ISS est d'abord un moyen d'apprendre à vivre en orbite basse. À proximité de la Terre, on y répète

les techniques et les opérations nécessaires pour être un jour capables de créer une base plus lointaine, sur la Lune pour commencer. Certaines expériences à bord visent directement à préparer cette exploration humaine, comme le contrôle à distance de robots dans la perspective de diriger des rovers sur la Lune depuis le Gateway. Mais la finalité, c'est d'aller sur Mars, pour apprendre comment la vie se crée et surtout comment elle disparaît. Nous savons que Mars a perdu son atmosphère et son eau liquide : cela pourrait-il arriver à la Terre ? Dans cette période où nous nous interrogeons beaucoup sur l'environnement et l'avenir de la planète, c'est une question importante. Dans le même temps, l'ISS nous offre un environnement unique pour faire de la recherche fondamentale car elle nous donne accès à des phénomènes qui, sur Terre, sont cachés par la gravité permanente.

Quels sont les obstacles les plus compliqués à lever dans le cadre d'une future exploration humaine ?

T.P. : Le problème majeur, c'est d'envoyer des humains. Prenons l'exemple d'une mission vers Mars. L'équipage sera soumis à des doses de radiations assez élevées dès qu'il sortira de la protection de la ceinture de Van Allen. Il faut donc blinder le vaisseau, ce qui l'alourdit et le rend plus difficile à lancer. Ensuite, l'atmosphère martienne n'est pas assez dense pour permettre de freiner

« L'ISS est une étape incontournable sur la route de l'exploration spatiale. »



GRAND ORAL



THOMAS PESQUET

ASTRONAUTE EUROPÉEN

« La finalité, c'est d'aller sur Mars, pour apprendre comment la vie se crée et surtout comment elle disparaît. »

ou utiliser un parachute – sauf immense. Mais elle est suffisamment présente pour brûler le vaisseau en l'absence de bouclier. C'est une équation d'une complexité monstre, que l'on sait résoudre pour un rover d'une tonne comme Curiosity ou Perseverance, mais pas encore pour une mission habitée de 40 tonnes. La clé, c'est la propulsion. Et nous y travaillons : si on vole beaucoup plus vite, on est exposé aux mêmes radiations mais moins longtemps, avec un besoin de ravitaillement moindre des astronautes (eau, nourriture, oxygène). Au regard de certaines technologies, on ne s'interdit pas de penser que ce sera un jour possible. L'autre grand verrou est psychologique : nous n'avons jamais vraiment perdu la Terre de vue. Avec Mars, on part pour 600 jours. Si on a le moindre souci, que ce soit un

problème moteur ou une rage de dents, la trajectoire la plus courte consiste à faire le tour de Mars et revenir. Pour se préparer à cela, les missions de 200 jours dans l'ISS sont déjà un bon entraînement. La vie à bord de la Station nous montre combien la cohésion du groupe est indispensable, souvent grâce à de petits riens. Les sélections d'astronautes tiennent compte de tous ces paramètres pour recruter des gens patients, doués d'empathie, capables d'être leader quand il le faut et suiveur si la situation l'exige. L'autre clé est le lien avec la famille : tant qu'on arrive à le garder, même virtuellement, ça va.

Voudriez-vous participer à une telle mission ?

T.P. : J'adorerais, ce sera l'aventure la plus dingue du XXI^e siècle ! Si cela arrive dans vingt ans, je serai en fin de carrière mais expérimenté. Cela étant, c'est comme s'engager sur le Vendée Globe, c'est une décision qui ne se prend pas à la légère mais en concertation avec ses proches.

Pensez-vous qu'il y ait une limite à l'exploration humaine ?

T.P. : Aujourd'hui, oui, c'est Mars, car on ne vole pas assez vite pour aller plus loin. Pour se donner un élément de comparaison, un avion de ligne monte à 10 km d'altitude ; l'ISS est à 400 km, la Lune à 400 000 km, et Mars entre 40 et 400 millions de km en fonction de son orbite. Avec un facteur mille à chaque fois, ce sont des distances qui dépassent déjà

l'entendement, mais on sait y aller. Au-delà, les destinations suivantes sont plutôt des exoplanètes, à des années-lumière. Pour y aller, il faudrait voler si vite que l'on comprimerait les distances. Ou congeler les passagers, mais cela relève vraiment de la science-fiction !

L'ESA ouvre bientôt une nouvelle sélection d'astronautes. Qu'avez-vous envie de dire aux candidats ?

T.P. : (Rires) Rendez-vous sur la ligne de départ ! Plus sérieusement, j'utiliserais la formule « 100 % des gagnants ont tenté leur chance ». Alors, ne vous auto-censurez pas et, même si vous pensez ne pas faire partie des meilleurs, inscrivez-vous quand même !

PROFIL

2001

Ingénieur diplômé en aéronautique

2002-2004

Travaille sur l'autonomie des missions spatiales au CNES

2005

Pilote de ligne

2009

Rejoint le corps des astronautes européens de l'ESA

2016-2017

Premier séjour sur l'ISS (mission Proxima)



EN IMAGES



DESTINATION : IMPESANTEUR

Le vol parabolique en Airbus Zéro G n'est pas de tout repos. Pour ses passagers, des scientifiques pour la plupart, c'est une aventure mémorable, loin de leur laboratoire. Cabré à 50° par rapport à l'horizontale, l'appareil vous ballote entre sol et plafond pendant 22 secondes d'impesanteur. Et ce, 31 fois ! Le vol parabolique met en évidence des phénomènes indécélables en pesanteur terrestre. L'Airbus Zéro G teste des expériences sélectionnées par les agences spatiales qui balaient de nombreux champs : médecine, biologie, mécanique, technologie spatiale, etc. Mis en service par le CNES (1989) et exploité par Novespace, cet avion unique en son genre offre d'excellentes conditions expérimentales à coûts réduits. Il a même séduit des réalisateurs voulant donner du réalisme à des séquences spatiales.



EN IMAGES



CLINIQUE SPATIALE

Passer quelques jours allongé dans des lits inclinés à -6° ou en immersion sèche (cf. photo), ça vous tente ? Ces modèles d'études permettent de comprendre les effets physiologiques de l'impesanteur et d'évaluer des moyens de prévention ou des contre-mesures comme la gravité artificielle. En 2021,

Medes réalisera la première étude d'immersion sèche européenne sur un panel exclusivement féminin. En 2022, une nouvelle étude de « bed rest » (campagne d'alitement pour tester les effets de l'impesanteur sur le corps humain) évaluera le potentiel de la gravité artificielle grâce à une centrifugeuse à bras court. Embarquée dans les vaisseaux du futur, une telle centrifugeuse pourrait contribuer à limiter les désordres induits par l'impesanteur.



EN CHIFFRES

Cœur surveillé



Après un vol spatial, même de courte durée, le volume du ventricule gauche du cœur diminue de l'ordre de 12 à 15 %, de même que la masse de sa paroi. En cause : l'inactivité physique. Pour surveiller le système cardiovasculaire des astronautes, le dispositif Cardiospace a été installé dans la station spatiale chinoise Tiangong 2 ; Cardiomed, lui, dans le module russe de l'ISS.

100 m²

Depuis 1986, le CNES a chargé sa filiale Novespace d'organiser des vols en impesanteur. Moins onéreux et plus souples que l'utilisation de l'ISS, ils sont plébiscités par les scientifiques. Jusqu'en 1997, c'est sur Caravelle qu'étaient embarquées les expériences à tester. De 1997 à 2014, un Airbus A300, qualifié pour les vols Zéro G, avait pris la relève et réalisé plus de 13 000 paraboles au cours de 102 campagnes. Depuis mai 2015, c'est un Airbus A310 qui répond à cette mission. Il met à la disposition des chercheurs et ingénieurs une zone de 100 m² au sol pour un volume de 200 m³. Cet Airbus Zéro G peut embarquer jusqu'à 40 passagers et une douzaine d'expériences scientifiques. Depuis 2013, via la société Avico, Novespace a ouvert, sous conditions, des « baptêmes d'impesanteur » au grand public.

ISECG

De l'orbite basse à la Lune ou Mars, la marche est haute.

Pour relever le défi, les agences spatiales coordonnent leurs efforts au sein d'une instance spécifique, l'ISECG¹. Une première feuille de route élaborée en 2018 a été réactualisée en septembre 2020 pour l'exploration de la Lune. Elle n'a rien de contraignant mais, dans une vision partagée, planifie, à l'échelle de chaque agence, qui peut faire quoi, à quelle échéance et avec quels moyens. Les partenaires (dont le nombre vient de passer de 14 à 26) travaillent à traduire concrètement cette collaboration. L'ESA s'est par exemple engagée à renforcer l'exploration lunaire en construisant un module de service pour le vaisseau spatial Orion (NASA) et en créant un système de communication avec la Terre. Un engagement déjà consigné dans la feuille de route commune.

1. Groupe international de l'exploration spatiale.

Tarifs



Les conditions d'accès (santé, entraînement) pour les vols spatiaux touristiques ne sont pas connues, mais les tarifs, si ! Chez Blue Origin, le vol de 5 minutes à 100 km d'altitude s'élèverait à 250 000 euros. Virgin Galactic appliquerait le même prix pour la même durée à 80 km d'altitude. Enfin, chez SpaceX, le ticket pour un séjour de 31 jours sur la Lune est estimé à... 100 millions d'euros ! On restera loin et pour longtemps du tourisme de masse.

8 413

Le métier d'astronaute est exaltant.

En 2008, la dernière sélection européenne a recueilli 8 413 candidatures pour un recrutement final de 6 astronautes, parmi lesquels le Français Thomas Pesquet. Ce nombre sera-t-il battu par la sélection de 2021 ?

2h30

DANS L'ISS,

l'activité physique est indispensable pour lutter contre les effets de l'impesanteur.

Les astronautes s'astreignent à la pratique d'exercices physiques 2 heures 30 minutes par jour, 6 jours sur 7. Malgré cela, les astronautes perdent environ 2,4 % de leur poids initial par 100 jours passés dans l'espace. Une mission martienne pourrait entraîner une perte de masse corporelle de 15 %.



LE CNES EN ACTIONS

MAINTENIR LE LIEN

LA PERSPECTIVE DE VOLS HABITÉS LONGUE DURÉE N'A JAMAIS ÉTÉ AUSSI PROCHE. MAIS POUR ENVOYER DES HOMMES VIVRE SUR LA LUNE OU SUR MARS, LES DÉFIS À RELEVER RESTENT COLOSSAUX. LA FRANCE CONTRIBUE ACTIVEMENT AUX EFFORTS MONDIAUX, NOTAMMENT À TRAVERS L'EXPERTISE DU CADMOS.



LE CNES EN ACTIONS



oixante ans après l'exploit de Youri Gagarine dans son étroite capsule du Saliout 7, les astronautes disposent avec l'ISS d'un « 400 m² habitable » et d'installations fonctionnelles pour vivre et travailler. En relisant l'histoire, le CNES y retrouve ses marques. En 1983, la France soutient déjà le concept de « laboratoire permanent en orbite basse », porté par la NASA. Le CNES met alors son expertise en physiologie au service du projet. Il mènera trois actions déterminantes. En 1989, il crée une unité unique en Europe, la clinique spatiale Medes, pour étudier l'impact de l'impesanteur sur les équipages (cf. encadré p. 21). En 1993, il fonde le Cadmos (cf. p. 23) pour préparer et suivre les expériences embarquées. Dans les années 2000, à la demande de l'ESA, il développe à Toulouse le centre de contrôle

des ATV (Automated Transfer Vehicle) puis assure les opérations des 5 cargos ravitailleurs de l'ISS (2008 à 2014). En 2008, lors de son premier vol, l'ATV Jules-Verne transporte à son bord le module européen de physiologie spatiale Columbus, que l'astronaute français Léopold Eyharts installe alors à bord de la Station.



En vingt ans d'existence, plus de 3 000 expériences scientifiques ont été menées dans l'ISS. En plus de ses « locataires », l'ISS a hébergé 241 astronautes de 19 pays pour des missions de courte durée.

UNE OCCUPATION CONTINGENTÉE

« Habitée » de manière permanente depuis 2001, l'ISS « est une sorte de copropriété en orbite », précise Sébastien Barde, sous-directeur Sciences et Exploration au CNES. *Chacun est venu construire un bout de l'appartement.* » Les modules s'articulent autour de deux grandes parties : une sous-gestion russe et une dite « occidentale » cogérée par quatre partenaires, la NASA (États-Unis), l'ESA (Europe), l'ASC (Canada) et la



La Station spatiale internationale.



La capsule Orion et son module de service après leur intégration au Kennedy Space Center de la NASA.

JAXA (Japon). Les séjours de chacun sont contingentés au prorata de leur engagement financier. Via l'ESA, dont elle est l'un des trois contributeurs majeurs pour ce programme, la France bénéficie d'un quota de « temps/équipage » et d'emport de matériel pour mener certaines expériences préparées par le Cadmos. À ce titre, en 2017, sept expériences françaises avaient été développées pour la mission Proxima. Une douzaine d'expériences s'ajoutent dans le cadre d'Alpha. Par ailleurs, le CNES peut mettre en œuvre des recherches scientifiques ou technologiques dans le cadre de partenariats bilatéraux. Cardiomed (cf. L'essentiel p. 8) est par exemple une initiative franco-russe. Declic (cf. L'essentiel p. 8), lui, est le fruit d'une collaboration avec les États-Unis.

PLUS HAUT, PLUS LOIN, PLUS LONGTEMPS

L'ISS évoluera en orbite basse pour quelques années encore, de même que, demain, la station spatiale chinoise (CSS). Mais bientôt, l'orbite basse ne sera plus la seule destination possible. À court terme, l'exploration humaine s'étendra à la Lune puis, à plus long terme, à Mars, voire à des géocroiseurs. Ces destinations font déjà l'objet de multiples missions robotiques, « véritables tremplins pour des vols habités » selon Jean Blouvac, responsable du programme Exploration et Vols habités au CNES. Certains pays comme les États-

Exploration lointaine

UNE VIE À INVENTER

L'exploration humaine de l'espace lointain pose bien des problèmes.

Le premier est d'ordre vital : les explorateurs de la Lune ou de Mars ne devront pas recevoir plus de radiations que dans l'ISS. Sur le sujet, le CNES s'implique activement dans plusieurs études. Par exemple, des expériences de la mission Alpha comme Cerebral Ageing ou Lumina (cf. Matière p. 27) doivent contribuer à mieux évaluer ce risque. L'autre défi concerne l'autonomie de vie sur site. Pas de rapatriement sanitaire d'urgence possible, pas de click & collect pour les repas et pas non plus de matières premières, d'eau, de carburant, d'oxygène... les équipages devront tout fabriquer sur place.

Sur Mars, le rover Perseverance (cf. L'essentiel p. 11) pourrait apporter un premier élément de réponse en validant un principe de production d'oxygène. Plus complexe encore, la gestion des déchets reste un casse-tête. Sur l'ISS, les cargos ravitailleurs font la « tournée des poubelles ». Surcharge et surcoût rendent ce service inenvisageable pour un séjour sur la Lune, Mars ou un géocroiseur.

Enfin, il est encore difficile d'évaluer précisément l'impact des conditions de confinement et de promiscuité imposées par les missions interplanétaires sur la psyché humaine. C'est l'une des questions sur lesquelles se penche Medes depuis 2003 dans ses campagnes de confinement.

2,6 fois

Des chercheurs allemands et chinois viennent de publier les résultats de l'expérience menée par l'alunisseur Chang'e 4. Ils estiment que le niveau de radiations à la surface de la Lune est 2,6 fois supérieur à celui reçu par les astronautes dans l'ISS.



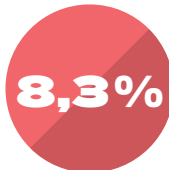
LE CNES EN ACTIONS



L'atterrisseur européen Heracles dépose à la surface de la Lune une cargaison à destination des astronautes dans le cadre du programme américain Artemis.

Unis, la Chine ou l'Inde sont déjà très engagés dans des projets d'exploration humaine. *Quid* de l'Europe ? « *Son rôle consiste à contribuer à ces missions et à assurer leur complémentarité* », précise ce dernier. Ainsi, dans le cadre d'un accord bilatéral avec la NASA, l'ESA construit des modules d'habitation, de ravitaillement et de communication pour Gateway (LOP-G), la future station orbitale lunaire. Trois astronautes européens y séjourneront. Ce devrait être aussi le cas pour le programme américain Artemis, qui projette d'envoyer, à partir de 2024 via Gateway, un équipage mixte pour explorer la Lune.

Dans le même temps, l'agence spatiale chinoise (CNSA) fait aujourd'hui voler la mission de retour d'échantillons lunaires Chang'e 5. La mission robotique suivante, Chang'e 6, embarquera l'expérience française Dorn, un instrument de détection du radon soutenu par le CNES et mis au point par



L'ISS
comprend une partie à 100 % russe et une partie dite « occidentale ». Sont « colocataires » de cette partie les États-Unis (76,6 %), le Japon (12,8 %), l'Europe (8,3 %), et le Canada (2,3 %). Ils utilisent le laboratoire au prorata de leur investissement (construction, fonctionnement, charges, etc.).

l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (Irap). Un préalable nécessaire à une occupation humaine durable de la Lune.

L'exploration martienne, aujourd'hui encore en phase robotique, est aussi en bonne voie. Le CNES est associé aux programmes Mars Express (2003), Mars Science Laboratory (2011) et Insight (2018). En cours, la mission Mars 2020 constitue la première étape du défi martien ultime (cf. L'essentiel p. 11). Encore plus complexe, la mission de retour d'échantillons MSR (Mars Sample Return) concentre tous les espoirs de la communauté spatiale internationale. Le succès de ces missions annoncerait en effet l'entrée dans un « nouvel âge spatial », celui des vols habités au long cours. Toujours partie prenante pour innover et préparer les futures bases habitées, le CNES va d'ailleurs héberger un SpaceShip (cf. Instants T p. 28-29) sur son site toulousain.



Cadmos

LE CIMENT DE LA RELATION SCIENCE-ESPACE

Interlocuteur privilégié des chercheurs comme des astronautes, le Cadmos prépare, programme et suit les expériences scientifiques menées en impesanteur. Responsable des campagnes de vols paraboliques, il est aussi et surtout un centre support pour les activités de l'ISS.



En 1975, l'Union soviétique et les États-Unis envoient leur première mission spatiale conjointe. Le CNES leur confie alors quelques expériences de biologie « pour étudier les effets de la micropesanteur ». En 1982, Jean-Loup Chrétien part sur la station Saliout lesté de 500 kg d'instruments scientifiques à la demande des chercheurs français et soviétiques. En 1993, le CNES substitue à ces opérations au « coup par coup » une politique plus pérenne et plus structurée. Il réunit, au sein du Centre spatial de Toulouse, le savoir-faire de ses équipes projets « micropesanteur » dans une unité atypique qu'il conçoit comme « un support technique et opérationnel » des expériences en impesanteur. C'est la naissance du Cadmos.

UNE ORGANISATION INSPIRANTE

Dès 1998, l'ESA adopte ce concept de « centre support » pour faire le lien entre les scientifiques, concepteurs d'expériences, et les astronautes qui les réalisent. Elle crée un réseau d'Usoc¹ étendu à toute l'Europe. Le Cadmos, au titre de son expertise dans différents domaines (physiologie humaine, neurosciences, science fondamentale, sciences de la matière, applications technologiques), intègre tout naturellement ce réseau européen en tant qu'Usoc français. En 2008, avec l'installation du laboratoire européen Columbus sur l'ISS, le Cadmos franchit un nouveau cap : il devient l'un des quatre FRC² européens. À ce titre, il devient responsable, entre autres, de l'EPM³, véritable « boîte à outils » instrumentée pour surveiller le système cardiovas-



minutes
La Station spatiale internationale ne met que **92 minutes pour faire le tour complet de la Terre. Elle évolue à la vitesse de 28 000 km/h, soit 7 km/sec. Les astronautes voient le soleil se lever et se coucher 16 fois par jour.**

culaire et musculaire des astronautes. Le Cadmos garde aussi un volet d'activité nationale. Il prépare et exploite les expériences développées par le CNES ou en coopération bilatérale. C'est le cas de Declic (cf. L'essentiel p. 9), manipulé à distance depuis le Cadmos, où les scientifiques peuvent, en direct, piloter leurs expériences. Activé en alternance par séquences de trois semaines, il fonctionne six mois pleins, une période pendant laquelle le Cadmos joue son rôle de centre de contrôle.

IMPLICATION DE A À Z

« Les scientifiques connaissent leur sujet, pas forcément les procédures. En participant à la sélection en amont des expériences, le Cadmos donne un avis éclairé sur leur faisabilité technique, com-



LE CNES EN ACTIONS

Medes



INNOVER POUR EXPLORER

Si l'aventure spatiale garde sa part de rêve, l'impesanteur garde sa part de risques. Filiale santé du CNES, Medes détecte ces risques, en étudie les impacts sur la santé des astronautes, propose et évalue des contre-mesures. Pour l'ESA, elle intervient dans la sélection, la préparation et le suivi médical des astronautes. Via des simulations cliniques de l'impesanteur, elle mène au sol des études qui font référence pour préparer les futures missions.

En soutien au Cadmos, elle apporte son expertise en physiologie pour la préparation des programmes et le support aux expériences dans l'ISS. Forte de trente ans de recherche, Medes s'engage aux côtés de la communauté spatiale européenne dans un nouveau défi : l'exploration humaine de long terme.

« Pour préserver la santé et les performances des astronautes pour ces futures missions, il faudra non seulement limiter les effets indésirables de l'impesanteur mais aussi gérer les risques psychologiques et ceux liés aux radiations, rappelle Audrey Berthier, directrice de Medes. L'autonomie médicale de l'équipage sera cruciale pour faire face à un éventuel problème en situation d'isolement.

Pour répondre à ces nouveaux défis, il est essentiel d'innover : dans le domaine de la recherche médicale mais aussi technologiquement », insiste-t-elle.

Autant de thèmes sur lesquels les équipes Medes composées de médecins, physiologistes, ingénieurs et informaticiens se penchent *« afin d'aider à faire avancer la recherche spatiale et accélérer des innovations terrestres en santé ».*

mente Rémi Canton, manager Cadmos en charge du développement. *Si besoin, avant d'engager la phase de développement, il conçoit et développe des équipements spécifiques et élabore les procédures d'utilisation. »* « Pour une expérience de réalité virtuelle par exemple, le Cadmos peut déterminer si un casque est le dispositif le mieux adapté, poursuit Mauro Augelli, manager Cadmos en charge des opérations. *Mieux encore : il peut concevoir les aménagements nécessaires au regard des attendus de l'expérience ».* Et de conclure : *« La force du Cadmos, c'est cette maîtrise de bout en bout, depuis la conception jusqu'à la réalisation et la dissémination des résultats scientifiques. »*

DES EXPÉRIENCES EN MIROIR

L'astronaute rejoignant l'ISS a bénéficié d'un briefing pour chacune des manipulations dont il a la responsabilité. Le lien avec le Cadmos est assuré par une cinquantaine de personnes au total, 7 jours sur 7, 24 heures sur 24. Et ce n'est pas tout : les expériences menées dans l'ISS sont réalisées à l'identique dans un modèle sol au Cadmos. Quand, dans l'ISS, l'application EveryWear collecte les données physiologiques de Thomas Pesquet, ces informations sont instantanément transmises au Cadmos qui, en retour, peut envoyer des télécommandes en orbite ou intervenir en cas d'anomalie. En fin de mission, c'est aussi au Cadmos qu'il incombe de récupérer les échantillons biologiques sur le site d'atterrissage et de les acheminer jusqu'au laboratoire, de compléter le recueil des données au sol après le vol, ou encore d'archiver et/ou de diffuser les données aux scientifiques qui en font la demande. S'il est « aux manettes » avant, pendant et après chaque mission, il sait aussi bien s'entourer. L'approche « santé » est par exemple assurée par Medes via une équipe intégrée d'une dizaine de personnes. De leurs côtés, laboratoires et industriels traduisent, dans les protocoles ou équipements nécessaires, les préconisations et adaptations spécifiques à chaque expérience.

1. User Support and Operations Centre.
2. Facility Responsible Centre.
3. European Physiology Module Facility.



LE CNES EN ACTIONS



7

Pendant la mission Alpha, l'ISS hébergera en moyenne 7 astronautes au lieu de 6, ce qui permettra d'augmenter le nombre des expériences scientifiques conduites.

Vérification de la trousse d'emballage comestible Edible Foam destinée aux consommables de l'expérience Food Processor de la mission Alpha.

Mission Alpha

PASSAGE OBLIGÉ AVANT L'EXPLORATION HUMAINE

Si elle s'inscrit dans la continuité de la mission Proxima, la mission Alpha apporte cependant avec elle son lot de nouveautés. Elle embarque notamment une douzaine de nouvelles expériences scientifiques conçues par le CNES dans un but précis pour certaines : préparer l'avenir de l'exploration humaine.



Si l'appellation « Alpha » a été retenue parmi des milliers de propositions, c'est notamment pour son universalité : le mot se prononce de la même manière dans presque toutes les langues. « *Ce nom se réfère aussi à Alpha du Centaure, le système stellaire le plus proche de la Terre, dans le prolongement de Proxima, étoile de la même constellation* », précise l'astronaute Thomas Pesquet. S'inscrire dans le prolongement des missions précédentes, c'est justement l'objectif de la mission Alpha. En effet, dans l'ISS, les expériences éphémères se font rares. Il suffit de suivre la visite guidée de Thomas Pesquet (cf. En vue p. 35) pour se rendre compte que dans tous les modules de la Station des manipulations sont en cours, des équipements sont en fonctionnement et des astro-



LE CNES EN ACTIONS

nautes s'activent selon les protocoles établis au sol par les centres de contrôle comme le Cadmos.

UNE AVENTURE QUI NE FAIT QUE COMMENCER

L'ampleur de ce travail à bord est plus que jamais nécessaire car l'exploration humaine de la Lune ou de Mars n'est plus une perspective si lointaine. Les perturbations physiologiques nouvelles que les équipages de ces futures missions vont subir ont orienté le choix des expériences embarquées par la mission Alpha. Une douzaine d'entre elles ont été conçues et réalisées spécifiquement par le CNES ; certaines viendront s'ajouter aux expériences de Proxima toujours en cours à bord. Lumina (cf. Matière p. 27) mesurera le niveau de radiations, Dreams évaluera l'impact du confinement et de l'impesanteur sur le sommeil et Pilote utilisera la réalité virtuelle pour améliorer l'assistance haptique (en lien avec le toucher) lors de tâches robotiques. Cerebral Ageing analysera, quant à lui, les effets de l'impesanteur sur le vieillissement cérébral. Toujours dans la perspective de préparer de longs séjours spatiaux, des expériences comme Télémaque (une pince acoustique pour immobiliser ou déplacer de petits objets à distance) ou Immersive Exercise (pour améliorer les conditions des séances de sport journalières) ont été pensées pour agrémenter le quotidien des astronautes. L'expérience Food Processor, elle, vise une production alimentaire autonome. Renewable/Edible Foams va remplacer les mousses de calage pétro-sourcées par des mousses recyclables ou consommables. Enfin, Active Packaging devrait, via de nouveaux emballages, prolonger la durée de conservation des produits frais.



À gauche : casque de réalité virtuelle Oculus Quest et chaussures de cycliste pour l'expérience Immersive Exercise. En haut à droite : modèle de qualification du bandeau du sommeil de l'expérience Dreams. En bas à droite : modèle de laboratoire de la « pince » acoustique de l'expérience Télémaque.



L'écusson de la mission Alpha compte 17 aplats de 17 couleurs différentes.

La raison : la volonté de l'ESA de s'inscrire pleinement dans les 17 Objectifs de développement durable (ODD) fixés par les Nations unies.

UNE ÉQUIPE DE FRANCE SOUDEE

Pour relever les défis de cette nouvelle mission, le CNES ne fait pas bande à part : il s'est fait capitaine d'une « équipe de France » bourrée de talents. On retrouve à ses côtés des laboratoires et universités avec lesquels le Cadmos a tissé des liens particulièrement forts : Sorbonne Université, le laboratoire Hubert-Curien, le CNRS, Paris-Descartes, l'Institut Pasteur, Sup'Biotech... ou le CHU de Toulouse. Le Cadmos a aussi fait appel à un réseau d'industriels, acteurs majeurs du secteur spatial, qui soutiennent la recherche et ont pu concevoir des systèmes ou équipements totalement ajustés aux expériences et à leurs exigences. Des sociétés partenaires déjà largement impliquées dans les missions spatiales comme par exemple Eremis, Comat, Dreem, Hénaff, iXblue ou encore FIT Immersion ont ainsi respecté à la lettre un cahier des charges exigeant pour une mission qui l'est tout autant.



MATIÈRE

Bouclier de lumière

DANS L'ESPACE, LES ASTRONAUTES – ET A FORTIORI DE FUTURS COLONS – DOIVENT IMPÉRATIVEMENT ÉVITER LES RAYONNEMENTS IONISANTS DE HAUTE ÉNERGIE, OU RADIATIONS. Ce petit boîtier d'à peine 30 cm de côté pourrait être le système d'alerte qui leur permettra d'anticiper une éruption solaire. Développé par le Cadmos, en partenariat avec la société iXblue et le laboratoire Hubert-Curien, Lumina est un dosimètre actif à fibre optique. Avec une précision et une stabilité de mesure inégalées, il détermine en permanence la dose de radiations reçues en mesurant l'obscurcissement qu'elles produisent sur la fibre optique. Pour cela, deux diodes transmettent un signal lumineux, dans une longueur d'onde visible pour l'une et infrarouge pour l'autre, dans deux bobines de fibre optique (de 2 et 7 km !); à l'autre extrémité des bobines, une photodiode mesure le reliquat de lumière. Lumina partira pour l'ISS au printemps 2021 pour une démonstration dans le cadre de la mission Alpha.



I N S T A N T S T



1

LE 3^E SPACESHIP D'EUROPE

Coordonné par l'ESA, le réseau des SpaceShip naît en 2012. Après ceux d'Allemagne et de Grande-Bretagne, respectivement axés sur les astronautes et la robotique, le SpaceShip France incarnera une base spatiale type lunaire ou martienne. Misant sur une forte implication de start-up et de post-doctorants, en plus des acteurs traditionnels de l'exploration spatiale, son leitmotiv tient en trois verbes : inspirer (les talents et l'excellence), fédérer (les synergies entre spatial et non spatial, industrie et recherche), accompagner (la maturation de solutions innovantes).

2

13 AXES TECHNOLOGIQUES

Eu égard aux savoir-faire tricolores, la France a choisi de développer 13 des 93 axes technologiques identifiés comme nécessaires à la création d'une base sur une autre planète : habitat, énergie et stockage, protection contre les radiations, contrôle de l'environnement, robotique, numérique, santé, nutrition, agronomie, recyclage, utilisation des ressources *in situ*, centre de contrôle, guidage/navigation. Avec déjà plus de 40 partenaires de tous horizons, le CNES apporte son expertise pour faire émerger, mener à maturité et qualifier des technologies innovantes.



À DES JOURS OU DES MOIS DE LA TERRE, COMMENT LES EXPLORATEURS SPATIAUX VIVRONT-ILS DE FAÇON AUTONOME ? POUR RÉPONDRE À CETTE QUESTION, LA FRANCE DÉVELOPPE LE SPACESHIP FRANCE, UNE BASE SPATIALE TÉMOIN CONÇUE COMME UN LIEU D'INNOVATION POUR UN APPRENTISSAGE COLLABORATIF ET STIMULANT.

3

IMPLANTATION PRÉVUE À TOULOUSE

Prototype d'une base spatiale européenne où vivraient quatre à six personnes, le SpaceShip France devrait s'installer au Centre spatial toulousain dès 2021. Pourvus de panneaux solaires, 450 m² de modules et un terrain martien accueilleront les partenaires pour leurs expériences en immersion. Dans la zone « utilisation des ressources » par exemple, certains s'activeront sur l'impression 3D avec du basalte lunaire, quand d'autres testeront des bactéries pour recycler les mousses de protection des cargos de fret en éléments totalement différents, voire consommables !

4

FOCUS SUR LE VOLET NUTRITION

Le SpaceShip France expérimentera une serre hydroponique¹ développée en partenariat avec une start-up spécialiste de la culture indoor, notamment dans des conteneurs hermétiquement clos et plongés dans le noir. Complémentaire des rations lyophilisées, la production de cette serre doit contribuer à l'alimentation des astronautes autant qu'à leur bien-être. Elle abritera également un système circulaire aquaponique² dont les poissons serviront à diversifier la nutrition quotidienne des astronautes et permettront de créer des engrais à partir de leurs déchets ammoniacés (cf. En Vue p. 34).

1. Culture hors-sol dont les racines des plantes cultivées ne plongent pas dans le sol mais dans un liquide nutritif.

2. Méthode de culture de poissons et de plantes dans le même système. Les déchets produits par les poissons sont utilisés comme source de nutriments par les plantes.



RENCONTRES

FRANK DE WINNE

Responsable du Centre des astronautes européens

« Nous cherchons des gens capables d'apprendre beaucoup en peu de temps »



Au printemps 2021, au terme d'un processus de sélection rigoureux confié à Frank de Winne, le corps des astronautes européens comptera deux à quatre recrues supplémentaires. **Ingénieur et pilote émérite de l'armée de l'air belge, recruté par l'ESA en 2000, Frank de Winne a notamment été le premier commandant européen de l'ISS.** « Les candidats seront soumis à des tests psychotechniques, psychologiques et médicaux, explique-t-il. Les derniers encore en lice passeront des entretiens avec le directeur de l'Exploration puis avec le directeur général de l'ESA. » **Avec deux séjours dans l'ISS à son actif, cet astronaute aguerri sait toute l'étendue des**

aptitudes requises pour répondre aux besoins du métier : être ingénieur ou scientifique, polyglotte, apte à travailler en équipe avec d'autres cultures et bien sûr doté d'une excellente condition physique et d'un mental à toute épreuve. « *Nous cherchons des gens stables, flexibles et capables d'apprendre beaucoup en peu de temps car l'entraînement est particulièrement dense* », résume l'astronaute en chef. La priorité européenne étant l'exploitation de l'orbite basse en partenariat avec le programme américain Gateway, la promotion 2021 sera sûre de voler vers la Lune, voire d'y poser le pied si la conférence ministérielle de 2022 valide une coopération avec la NASA sur

le programme Artemis. L'ESA garde donc les mêmes critères de sélection qu'en 2008, mais introduit une nouveauté importante. Le nombre d'États membres participant au programme d'exploration européen ayant doublé en vingt ans, « **nous allons recruter des astronautes de carrière, assurés de voler dans l'espace, et des astronautes de réserve, prioritaires si une nouvelle opportunité se présente** », assure Frank de Winne. Lui-même recalé à l'ultime phase de sa première candidature en 1989, l'astronaute belge invite tous les Européens qui le souhaitent à participer à ce concours, « *véritable aventure au cours de laquelle on découvre beaucoup de soi-même* ».



RENCONTRES

MIRIA RICCHETTI

Chercheuse à l'Institut Pasteur, groupe Ricchetti, unité Cellules souches et développement

« Étudier l'effet sur le long terme des radiations cosmiques et du stress oxydant »



Elle cite Louis Pasteur avec un suave accent italien et considère l'erreur comme une étape vers de nouvelles avancées. **Microbiologiste de formation, Miria Ricchetti s'est très tôt prise de passion pour l'ADN, plus particulièrement pour ses dommages et leur réparation.** Elle a suivi les résultats les plus probants des recherches pour se consacrer aujourd'hui au syndrome de Cockayne, un vieillissement accéléré assorti d'une neurodégénérescence chez l'enfant. « Pour comprendre cette maladie très complexe, nous devons étudier les mécanismes moléculaires sous-jacents », explique-t-elle. Prélever un bout de cerveau humain étant exclu,

et les organismes animaux ne réagissant pas de la même façon à la maladie, la chercheuse a sollicité ses collègues de Sup'Biotech pour générer des organoïdes cérébraux. « Découverts en 2013, **les organoïdes sont formés à partir d'une cellule (de peau ou de sang le plus souvent) reprogrammée en laboratoire. Avec leur structure tridimensionnelle qui mime les fonctions cérébrales, les organoïdes cérébraux ne sont pas des cerveaux en tant que tels mais constituent un modèle expérimental de structure cérébrale très avancé** », détaille la chercheuse. La vie en apesanteur altérant l'organisme des astronautes, **le CNES prépare avec Mi-**

ria Ricchetti un premier envoi d'organoïdes cérébraux sur l'ISS pour un séjour de deux mois. Que cette expérience soit intégrée à la mission Alpha ou à la suivante, « son intérêt est double pour les acteurs de l'exploration spatiale, commente la scientifique. Technologiquement, ce processus permet de disposer de cultures de structures formées, bien plus élaborées qu'une cellule isolée, et qui résistent quasiment un an moyennant peu de manipulations. Physiologiquement, il devient possible d'étudier sur ces structures l'effet sur le long terme des radiations cosmiques, non reproductibles sur Terre, et du stress oxydant. »



RENCONTRES

ALEXANDRA OPPENHEIM-DELAUZE

Présidente-directrice générale de la Compagnie maritime d'expertise (Comex)

« L'immersion permet d'évoluer dans un environnement semblable à la micropesanteur lunaire »



Véritable « touche-à-tout », **Alexandra Oppenheim-Delauze est la digne héritière de son grand-père, Henri Germain Delauze, qui fonda à Marseille la Comex en 1961** pour allier ingénierie et monde sous-marin (son métier et sa passion pour la plongée profonde). Admirative de son ingéniosité, sa petite-fille évoque un « visionnaire qui a imaginé un système pressurisé et étanche permettant de soumettre des hommes (notamment des soudeurs) à la pression des profondeurs et d'y rester pour y travailler ». L'immersion permettant d'évoluer dans un environnement semblable à la micropesanteur lunaire, **l'entreprise a rapidement pris part à l'aventure spatiale aux côtés de l'ESA.**

« *Tout a commencé dans les années 1980 avec notre Gandolfi, un scaphandre dit humide, conçu pour que les astronautes puissent s'entraîner sous l'eau en simulant différentes gravités. Tenant compte de la morphologie propre de la personne, la seconde version de notre scaphandre améliore la sensation de micropesanteur où, par exemple, les gestes sont plus lents* », détaille la présidente. Concepteur de plateformes d'essais hypobares et hyperbares depuis plus de cinquante ans, la Comex s'adapte naturellement aux nouvelles ambitions d'exploration. « **L'Europe pousse les entreprises à allier leurs compétences au service d'un projet commun visant à établir une base sur la Lune avant**

d'aller sur Mars. De fait, nous travaillons plus dans l'ingénierie de l'habitat spatial, comme actuellement avec Hydrosphere. D'environ 4x6 mètres, ce module développé pour l'ESA permet d'y faire le vide et de simuler les tempêtes spatiales qui risquent d'endommager les robots déposés sur la surface martienne », explique la PDG. Animée de valeurs comme « *notre responsabilité dans la société* », cette patronne hors normes voit dans l'exploration spatiale « *l'exploration humaine que tout un chacun doit avoir dans sa vie personnelle* ». Et c'est bien ainsi qu'elle tient les rênes de sa société, « *pour donner aux gens la possibilité de poursuivre l'aventure dans les meilleures conditions possible* ».



JACQUES ARNOULD

COMME NOUS RESPIRONS...

Après la mission « Proxima », la bien nommée puisqu'elle nous a offert de redécouvrir notre Terre, Alpha s'inscrit plus explicitement dans le retour de l'exploration d'un espace plus lointain. L'occasion de nous interroger sur cet élan qui anime notre espèce depuis son apparition, celui d'explorer.

Mais pourquoi donc vouloir escalader l'Everest ? À cette question, George Mallory se contentait de répondre : « *Because it is there* – Parce qu'il est là. » Le mot est beau, surtout lorsque nous nous souvenons que l'alpiniste britannique a été aperçu pour la dernière fois le 8 juin 1924 sur la crête nord de l'Everest et que son corps a été retrouvé, soixante-quinze ans plus tard, le 1^{er} mai 1999, à 8 300 mètres d'altitude. Le mot est beau ; d'ailleurs, les astronautes y font volontiers référence. Mais il reste néanmoins insuffisant pour expliquer la fascination exercée par le ciel sur les humains, pour justifier leur volonté d'explorer l'espace. Même coûte que coûte.

BOL D'AIR SPATIAL

Car le mot de Mallory n'en appelle qu'à la seule curiosité. Celle que montrent aussi nos animaux familiers et d'autres animaux plus farouches. Or, l'élan qui anime notre espèce depuis des millénaires et, peut-être, depuis sa « sortie d'Afrique », cet élan que nous pouvons qualifier d'exploration n'est pas seulement le fait de la curiosité, ni de l'impérative

nécessité de survivre et, par voie de conséquence, de conquérir, de coloniser de nouveaux territoires. Ce que les récits des explorateurs nous dévoilent dépasse le seul assouvissement d'une animale curiosité ou d'une vitale nécessité et relève d'un des « cadeaux » les plus singuliers que la nature ait faits aux humains : l'imagination. Autrement dit, leur capacité à franchir par l'esprit les limites de l'ici et du maintenant pour visiter, habiter, jouir d'autres lieux et d'autres temps, qu'ils existent ou non. En son essence, l'exploration est donc la conspiration de la curiosité et de l'imagination. Et, pour filer la métaphore respiratoire, elle est aussi l'alliance d'un double mouvement : celui d'expirer, de sortir de soi, de ses frontières, de ses connaissances pour affronter l'inconnu, souvent par avance imaginé ; celui d'inspirer, de ramener en soi l'air, l'atmosphère d'un nouveau monde, de s'en nourrir et d'y trouver les forces de repartir ou d'inciter d'autres à le faire... Oui, nous les humains, nourris d'imaginaire, explorons comme nous respirons ; mais nous respirons aussi dans la mesure où nous explorons. Pourquoi ne pas aller prendre dans l'espace un grand bol d'air ?



EN VUE

NEUROSCIENCES

ILLUSION, UNE EXPÉRIENCE MAGIQUE !



Time, Grip, Grasp... À bord de l'ISS, plusieurs expériences portées par des scientifiques français étudient le cerveau et le système nerveux central. Mais pour le grand public, les neurosciences restent arides. Pour sensibiliser le plus grand nombre à ce sujet complexe, le CNES va avoir recours à un artifice : illusion, une activité conçue spécialement pour la mission Alpha. Le pitch : faire réaliser à Thomas Pesquet des tours de magie conçus pour l'impesanteur. Pour cette activité, le Cadmos a fait appel au champion du monde de

magie Yann Frisch, pour qui « ce que les scientifiques comprennent par la rationalisation, nous l'apprenons par l'empirisme ». Ce dernier a pu concevoir et tester ses illusions lors de vols paraboliques destinés à créer les conditions de l'impesanteur. Une expérience que le maître de l'illusion n'est pas près d'oublier : « *C'est une chose de conceptualiser l'impesanteur ; ç'en est une autre de la vivre !* »



À LIRE L'HUMAIN ET L'ESPACE – SES ADAPTATIONS PHYSIOLOGIQUES

Soixante ans après le premier vol habité, il manquait un document de référence pour étayer l'intérêt scientifique de l'exploration humaine. État de l'art en matière de science, les dix-sept chapitres de cet ouvrage recensent l'essentiel des problématiques posées, des recherches entreprises et du chemin restant à parcourir.

L'humain et l'espace – Ses adaptations physiologiques, par Marc-Antoine Couston, Stéphane Blanc, Guillemette Gauquelin-Koch et Claude Gharib – 344 pages, éditions BoD.



LUNAR HATCH Élever des poissons sur la lune

Cyrille Przybyla est biologiste marin à l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer). Le programme Lunar Hatch (« éclosion lunaire » en français), qu'il élabore avec le soutien du CNES, de l'Ifremer et du CSUM1, s'attaque au problème de l'autonomie alimentaire une fois sur la Lune. En effet, les explorateurs devront produire sur place les protéines animales et oméga 3 dont ils auront besoin. Lunar Hatch projette donc d'envoyer des œufs fécondés de poisson d'aquaculture sur la future base lunaire. Les poissons seraient ensuite élevés en milieu clos pour économiser l'eau lunaire. D'autant que l'aquaculture en milieu clos favoriserait aussi la production de micro-algues pouvant alimenter les poissons. Cinq espèces candidates de poissons ont déjà été sélectionnées.

1. Centre spatial universitaire de Montpellier.

VYOM MITRA Une femme-tronc dans l'espace



Brushing impeccable et sourcils froncés, Vyom Mitra est un robot humanoïde « genré » conçu par l'agence spatiale indienne pour conduire les missions préparatoires à la mission habitée Gaganyaan (cf. L'essentiel p. 10). Le choix d'un prototype à visage féminin n'est

pas neutre mais répond à l'enjeu de la féminisation des milieux scientifiques. Reste à espérer que cette initiative profite à des aspirantes astronautes pour les missions habitées de demain. Pour l'heure, la première sélection a eu lieu parmi les pilotes d'essai militaires, tous hommes !




EN VUE



ÉDUCATION

ADOPTÉ UN BLOB !

Plus connu sous son nom usuel, blob, le *Physarum polycephalum* est dépourvu de cerveau mais possède de réelles capacités d'apprentissage que le CNRS a pu observer. Il se déplace, se nourrit, se défend. Le blob réagira-t-il différemment dans l'espace ? Quels seront les effets de la micropesanteur et des rayonnements sur la composition, le comportement et l'évolution de cet organisme ? Pour le savoir, le Cadmos va placer ce « locataire » particulier sous l'étroite surveillance de Thomas Pesquet. Ce dernier mettra en œuvre deux protocoles scientifiques : « Exploration » étudiera l'attitude de quatre blobs dans un environnement sans nourriture, et « Exploitation » analysera leur comportement en présence de nourriture. Le service Éducation-Jeunesse du CNES invite des écoles, collèges et lycées à s'associer à cette recherche. Objectif : que les élèves reproduisent ces protocoles dans leurs salles de classe. Compte tenu de la nature du blob, la préparation de l'expérience a constitué, elle-même, tout un challenge ! Le blob sera livré à l'état de dormance et ensuite réhydraté à bord de l'ISS, et dans les classes participantes à partir de la rentrée de septembre 2021. Un concours sera aussi lancé auprès des classes participantes ; les résultats seront connus fin 2021.

 **PLUS D'INFOS** : LES RESSOURCES ET PRODUCTIONS DE CE PROJET SONT À RETROUVER SUR LE SITE DE LA MISSION ALPHA, RELAYÉ PAR LE CNES.

GÉNÉRATION ISS LE PALMARÈS DÉVOILÉ

Organisé par le CNES en lien avec la mission Alpha, le concours Génération ISS offrait aux jeunes une chance unique de voir leurs projets manipulés dans la Station par Thomas Pesquet. Les deux projets lauréats ont été annoncés en juin 2019 sur le pavillon du CNES au salon du Bourget. Tetr'ISS, porté par des étudiants de l'IUT de mesures physiques de l'université Toulouse III Paul-Sabatier, est une expérience de visualisation en 3D d'ondes acoustiques. Eklosion, porté par des étudiants de l'École de design de Nantes et de l'Université Toulouse III Paul-Sabatier, vise à renforcer le lien entre l'astronaute et la Terre grâce à des œillets d'Inde qui lui délivrent à intervalles réguliers des messages personnels et des cartes odorantes.

À VOIR OU À REVOIR

Trombinoscope de l'ISS

La Cité de l'espace de Toulouse a fêté à sa manière les vingt ans de l'ISS. Elle affiche sur son site le portrait des 64 équipages qui ont assuré les 64 missions de la Station.

À retrouver sur : <https://www.cite-espace.com/actualites-spatiales/iss-20-ans-expeditions>

ISS : suivez le guide !

Pour mieux connaître la vie et l'œuvre des astronautes, Thomas Pesquet vous propose une visite guidée de l'ISS !

À retrouver sur : <https://www.facebook.com/ESAThomasPesquet/videos/visite-guid%C3%A9e-aussi-exhaustive-que-possible-de-la-station-spatiale-international/621082794767864/>



TRANSFERT

CÉLESTE, UN PEU PLUS PRÈS DES ÉTOILES

He had a dream : admirer la Terre depuis le ciel. Pour le réaliser, Vincent Farret d'Astiès a conçu un véhicule capable d'emmener ses passagers un peu plus près des étoiles. En 2016, il fonde la start-up Zephalto pour développer Céleste, le vaisseau pionnier du tourisme stratosphérique.



mi-chemin entre une montgolfière et un ballon atmosphérique, Céleste sera bientôt en mesure d'emmener pendant plusieurs jours deux à six personnes à 25 km d'altitude grâce à sa capsule pressurisée sous un ballon de 140 m de haut. « La capsule possède de larges surfaces vitrées pour profiter du spectacle, un panorama de plus de 1000 km au sol depuis le noir de l'espace ! s'enthousiasme Vincent Farret d'Astiès. Un vol durera 6 heures minimum sans limite de durée : on peut imaginer une croisière de plusieurs jours, pour voir un lever et un coucher de Soleil par exemple. » De quoi faire une demande en mariage hors du commun ou organiser un séminaire inoubliable !

ÉCOLOGIQUE ET INNOVANT

Fonctionnant uniquement à l'énergie solaire, Céleste possède un régulateur d'altitude qui lui permet de monter et descendre à volonté, pour s'intégrer au trafic aérien ou réaliser un palier en altitude par exemple. « Avec 50 années d'expérience de vols stratosphériques, le CNES met ses connaissances et une partie de ses moyens de tests à la disposition de Zephalto, détaille Jean Evrard, expert Ballons au CNES. Le Centre accompagne la start-up pour la physique du vol et les matériaux, notamment pour élaborer une enveloppe de ballon réutilisable ». Échange de bons procédés, « Céleste pourra embarquer des technologies du CNES – ou de laboratoires scientifiques – aux protocoles très élaborés grâce à la présence d'opérateurs à bord », commente le PDG de Zephalto. Après le vol d'essai réussi du 21 août dernier, la start-up héraultaise se concentre à présent sur le développement de la nacelle et l'expérience passager pour un vol inaugural en 2024. Deux cent cinquante personnes se sont déjà préinscrites pour un ticket de quelques dizaines de milliers d'euros.



25

kilomètres
d'altitude suffisent pour être dans le noir de l'espace et voir le Soleil, les étoiles, le dégradé de l'atmosphère et la courbure de la Terre.