

Vendredi 16 avril 2021

# MISSION ALPHA AU CADMOS

## Le CNES au service de l'exploration spatiale et des vols habités





# SOMMAIRE

SOMMAIRE	3
PREAMBULE	4
LES EXPERIENCES FRANÇAISES DE LA MISSION ALPHA	4
LE CADMOS, EXPERT EN MICROPESANTEUR	12
LE CNES EN BREF	15
L'ESA	16
CONTACTS	18

## PREAMBULE

Au printemps 2021 l'astronaute français de l'ESA Thomas Pesquet décollera pour sa seconde mission à bord de la Station spatiale internationale (ISS) en orbite autour de la Terre entre 360 et 400 km d'altitude. Au cours de cette nouvelle mission, il sera amené à effectuer environ 200 expériences dont près d'une quarantaine sont européennes. Parmi ces expériences européennes, près de la moitié sont directement suivies par le CADMOS (Centre d'Aide au Développement des Activités en Micropesanteur et des Opérations Spatiales) au CNES.

Pour cette mission, au titre de la contribution française du CNES, le CADMOS a préparé une douzaine d'expériences scientifiques, technologiques et éducatives. À travers ce programme, le CNES cherche notamment à apporter des améliorations au laboratoire de pointe qu'est l'ISS, afin que les scientifiques puissent continuer de faire avancer le progrès depuis l'espace, pour la Terre. Il s'agit également de soutenir la recherche scientifique française et les avancées technologiques dans la perspective de l'exploration du système solaire et des missions spatiales habitées lointaines.

## LES EXPERIENCES FRANÇAISES DE LA MISSION ALPHA

### Physiologie et santé



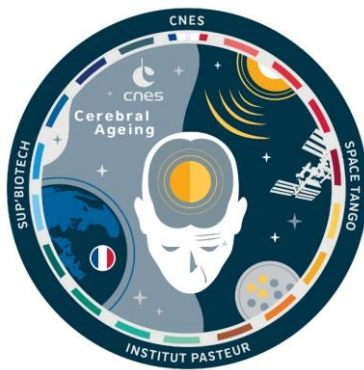
#### Dreams : étudier le sommeil des astronautes

Avec Dreams, le sommeil des astronautes dans l'ISS est scruté à la loupe. En micropesanteur l'ensemble des paramètres physiologiques est perturbé et le corps humain doit s'adapter à ces nouvelles conditions. Le rythme circadien s'en trouve affecté, eu égard notamment à l'absence de cycle naturel jour / nuit lors d'un voyage en orbite autour de la Terre : les astronautes voient le soleil se lever et se coucher 16 fois par jour ! Le protocole de l'expérience Dreams consiste à équiper l'astronaute, pendant plusieurs nuits, d'un bandeau frontal doté d'un capteur électroencéphalographique fonctionnant grâce à des électrodes sèches.

Afin d'observer l'adaptation et l'évolution des cycles du sommeil, des mesures de référence ont été réalisées avant le vol, puis plusieurs sessions sont prévues à bord en début, milieu et fin de mission. Dreams vise ainsi à démontrer le fonctionnement de l'instrument pour l'étude du sommeil en micropesanteur. Le bandeau a vocation à rester à bord de l'ISS afin de mettre à disposition de la communauté scientifique un appareil biomédical destiné à recueillir des données hypniques et neuroscientifiques. L'impact du confinement et de la micropesanteur sur le sommeil est un enjeu important dans le cadre de la préparation des futures missions de longue durée vers La Lune et Mars. Les résultats de Dreams serviront notamment à prévoir et adapter la mise en place de thérapies cognitives afin d'améliorer l'endormissement ou le ré-endormissement des astronautes lors des phases de réveil nocturne.

#### Partenaires :

Hôpitaux de Toulouse – Dreem



## Cerebral Ageing : comprendre le vieillissement du cerveau

L'expérience Cerebral Ageing vise à étudier les mécanismes du vieillissement du cerveau à l'échelle moléculaire. L'ISS fournit un environnement unique pour observer le vieillissement cellulaire et l'impact des radiations sur la physiologie humaine. L'analyse moléculaire du cerveau n'étant pas faisable sur des organismes vivants, c'est par l'utilisation d'organoïdes cérébraux que cette expérience est rendue possible. Les organoïdes cérébraux sont des structures 3D complexes qui contiennent des cellules neuronales et d'autres types de cellules présentes dans un cerveau en développement. Son objectif : démontrer que ces structures cellulaires, fabriquées sur Terre, peuvent être envoyées et cultivées dans l'espace puis redescendues sur Terre pour y être analysées. Les scientifiques comptent sur le vieillissement accéléré qui prend effet sur le corps humain lors des séjours dans l'espace pour étudier le développement et le vieillissement de ces organoïdes. Dans un premier temps, il s'agit essentiellement de faire une démonstration technologique. Cerebral Ageing pourra ensuite évoluer vers un protocole plus complexe visant à étudier le développement de différents types d'organoïdes cérébraux, sains et malades, sur des durées plus longues. L'intérêt de cette expérience est double : les résultats de ces études pourraient, d'une part aider à mieux comprendre certaines maladies génétiques, notamment celles qui provoquent un vieillissement prématuré chez les enfants qui en sont atteints (maladies progeroïdes). D'autre part, la santé et la condition physique des astronautes représentent un enjeu majeur dans la perspective de vols habités lointains et de longue durée. Connaître les effets de la micropesanteur et d'une exposition prolongée aux radiations ionisantes sur les cellules du cerveau est un prérequis indispensable pour le futur de l'exploration et la protection des astronautes.

### Partenaires :

Institut Pasteur – Sup'Biotech – Space Tango



## Pilote : dispositif de contrôle robotique visuo-haptique

Dans la continuité des expériences de neurosciences françaises menées à bord de MIR puis de l'ISS, l'objectif de Pilote est d'évaluer une méthode optimisée d'assistance visuo-tactile aux astronautes lors de la réalisation de tâches télé robotiques. Pilote utilise un casque de réalité virtuelle immersif couplé à un dispositif haptique<sup>1</sup> à retour d'effort recréant les sensations de pression et de toucher. Conçu comme un jeu vidéo immersif, le protocole inclut deux types de tâches à réaliser. Les tâches de guidage, d'une part, sont matérialisées par le pilotage d'un drone à travers un parcours d'obstacles afin d'évaluer l'alignement des informations visuelles et haptiques. Les tâches de capture d'un véhicule spatial grâce à un bras robotique doivent permettre, quant à elles, d'évaluer les différences entre un pilotage bi-manuel et un pilotage uni-manuel avec retour haptique. Les résultats de Pilote fourniront des informations importantes pour optimiser l'ergonomie des postes de travail à bord de l'ISS et, par la suite, du futur véhicule spatial pour les missions lunaires et martiennes. En concevant des interfaces capables de faire face aux défis que l'impesanteur présente pour le système humain, notamment pour la coordination œil-main, les méthodologies qui en résulteront conduiront à une meilleure intégration des informations gravitationnelles dans la conception des interfaces destinées à être utilisées sur Terre.

**Partenaires** : Université de Paris – TecNALIA – CNRS – Oculus

<sup>1</sup> Un dispositif haptique est une technologie de réalité virtuelle permettant une interaction physique avec un objet virtuel. Il s'agit de restituer à l'utilisateur la perception du toucher (sens tactile) et la sensation de déplacement dans l'espace (sens kinesthésique).



## **Immersive Exercise : quand le sport rencontre la réalité virtuelle**

2h par jour, c'est la fréquence à laquelle les astronautes dans l'ISS doivent s'entraîner pour compenser les effets physiologiques négatifs de la micropesanteur, et notamment la perte de masse musculaire et osseuse. Cet exercice physique quotidien, réalisé dans un environnement fermé et immuable, devient vite répétitif et ennuyeux pour les astronautes dont la motivation s'estompe peu à peu. L'objectif d'Immersive Exercise est de briser cette routine sportive grâce à la réalité virtuelle. Installé sur l'ergomètre CEVIS, équipé d'un casque de réalité virtuelle immersif et d'une paire de chaussures de cycliste dotée de capteurs de cadence,

l'astronaute peut ainsi pédaler depuis l'ISS tout en ayant l'esprit sur Terre. Des vidéos filmées à 360° sur Terre sont jouées dans le casque de réalité virtuelle et leur vitesse de défilement varie proportionnellement à la vitesse de pédalage. Plusieurs scènes ont été tournées en extérieur parmi lesquelles, à la demande de Thomas Pesquet, un parcours dans Paris à la découverte de ses différents monuments. Déjà utilisé dans certaines salles de sport terrestres, le dispositif Immersive Exercise pourra être amené à évoluer en intégrant une fonctionnalité de variation de la difficulté de pédalage en fonction du visuel diffusé, selon qu'il s'agit d'une pente ascendante ou descendante par exemple. Immersive Exercise vise donc à améliorer la motivation des astronautes à bord de l'ISS, et par conséquent leur performance, dans la perspective des longs voyages spatiaux vers la Lune et vers Mars dont l'impact psychologique est un enjeu majeur.

### **Partenaires :**

Fit immersion – Oculus – DAC (Danish Aerospace Company)

## Technologie et préparation du futur



### Télémaque : manipulation d'objets sans contact

Déplacer, manipuler, étudier des objets ou des liquides sans jamais entrer en contact avec eux : tel est l'objectif de la « pince acoustique » Télémaque. A intensité égale, la force exercée par les ondes acoustiques est environ 1 million de fois plus grande que celle des ondes optiques. La pince acoustique émet des ondes ultrasonores qui exercent une force sur les objets qu'elles rencontrent lors de leur propagation. Le champ acoustique est façonné de sorte à créer un piège sur ces objets. En déplaçant le faisceau, il est possible de déplacer l'objet avec une très bonne précision sur sa position. Avec Télémaque, l'objectif est d'évaluer en micropesanteur, d'une part, la capacité de capture puis de relâchement

sans contact de petites sphères de plastique ou de verre et, d'autre part, le déplacement à distance de ces petits objets le long d'un parcours contenant des obstacles. Télémaque est un démonstrateur technologique dont la vocation est de rester à bord de l'ISS, au service des astronautes et de la recherche scientifique. Il pourra notamment servir à immobiliser et étudier sans contact d'autres matériaux, gels, ou liquides, tels qu'un produit dangereux, un échantillon biologique afin d'éviter sa contamination, ou encore une goutte d'eau en cours d'évaporation, afin de mieux comprendre les phénomènes physiques en jeu. D'autres applications de Télémaque existent dans le domaine de la santé. La pince acoustique pourrait notamment servir à l'expulsion de calculs rénaux, ou à la délivrance ciblée de médicaments dans l'organisme.

#### Partenaires :

Institut Jean Le Rond d'Alembert (Sorbonne Université / CNRS) – EREMS – COMAT



### Lumina : mesurer les radiations à bord de l'ISS

Lumina est un dosimètre à fibre optique visant à démontrer la fiabilité de la fibre optique comme outil de mesure des radiations ionisantes à l'intérieur de l'ISS. Les fibres optiques radiosensibles s'obscurcissent lorsqu'elles sont exposées à une source de radiation. Cette opacification permet de quantifier précisément l'atténuation du signal injecté dans la fibre et ainsi de mesurer la dose totale ionisante reçue. L'atout du dosimètre Lumina est sa grande résistance aux conditions extrêmes dans l'espace, et notamment sa robustesse face aux variations de température. Avec ses 2 bobines de fibres, longues de plusieurs kilomètres et fonctionnant respectivement dans le visible et dans l'infrarouge, Lumina est un démonstrateur qui permettra d'augmenter les connaissances

scientifiques sur le comportement des fibres optiques exposées à de faibles doses ionisantes sur une longue durée dans l'espace. La mesure et l'anticipation des radiations est un enjeu stratégique majeur pour l'exploration et les vols habités. À bord de l'ISS, les astronautes reçoivent en moyenne une dose de radiation une centaine de fois supérieure à celle relevée sur Terre, au niveau de la mer, pour un laps de temps identique. Cette dose augmente de manière significative à l'extérieur de la Station et ne cesse de croître à mesure que l'on s'éloigne de la Terre et de la protection offerte par sa magnétosphère. La dosimétrie par fibre optique vise donc à devenir une technologie indispensable à la protection du matériel et des astronautes lors des voyages spatiaux vers la Lune ou Mars.

#### Partenaires :

Laboratoire Hubert Curien (Université Jean Monnet St Etienne / CNRS) – iXblue – CERN



## **Eco Pack : une nouvelle génération d'emballages**

Le recyclage et la gestion des ressources figurent parmi les 93 axes technologiques identifiés comme nécessaires à l'établissement d'une future base lunaire ou martienne. S'inscrivant dans cette réflexion à grande échelle, le CADMOS a préparé trois expériences autour de la gestion des emballages spatiaux. Elles sont rassemblées sous le label « Eco Pack ».

### **Renewable Foam et Edible Foam : donner une seconde vie aux trousse de transport**

Toute expérience qui s'envole pour l'ISS est emballée dans une trousse en tissu ignifugé dont les parois sont constituées de mousses protectrices, préservant notamment le matériel des vibrations subies lors du lancement. Toutefois, avec un espace utile total de 900 m<sup>3</sup>, dont 388 m<sup>3</sup> habitables, l'ISS n'a pas d'espace à perdre avec du matériel encombrant.

Pour répondre à cette problématique, Renewable Foam et Edible Foam proposent l'utilisation expérimentale de matériaux de protection réutilisables, biodégradables ou comestibles, pour remplacer les traditionnelles mousses pétro-sourcées inutiles une fois à bord de la Station. Afin de démontrer l'efficacité de ces nouveaux matériaux, l'instrument de l'expérience Dreams a été acheminé vers l'ISS dans une trousse dont les parois sont composées de plaques recyclables réalisées en impression 3D à partir de polyesters produits par fermentation bactérienne. Grâce à leur matière biodégradable et leur système alvéolaire, ces plaques pourront ensuite servir de supports de culture pour des semis végétaux, ou encore être broyées pour être refondues et utilisées à nouveau en impression 3D.

Avec Edible Foam, les ingénieurs du CADMOS se sont lancés le défi de transformer les trousse de transport en charge utile comestible. C'est donc grâce à du pain d'épice, de la madeleine et du pain de Gênes, entourés d'un film protecteur, que les consommables de Food Processor seront protégés lors de leur voyage vers l'ISS.

En cours de développement au CADMOS, Food Processor est un démonstrateur de robot culinaire autonome qui rejoindra l'ISS en fin d'année 2021.

#### **Partenaires :**

Groupe Jean Hénaff – CompositIC – Innovons à 360° – Maison Pillon – Maison Darnis

### **Freshness Packaging : l'emballage longue durée de produits frais**

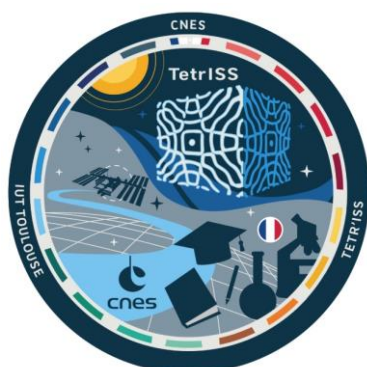
Avec une durée de conservation d'environ une semaine seulement, les produits frais actuellement apportés par les véhicules de ravitaillement dans la Station spatiale internationale sont une denrée particulièrement sensible, d'autant que ces ravitaillements sont espacés tous les 3 ou 4 mois. L'expérience Freshness Packaging, proposée par le CNES et ses partenaires au Food Lab de la NASA, doit démontrer l'efficacité de nouveaux emballages perméables dont la particularité est de permettre des échanges gazeux favorisant la conservation des fruits et légumes pendant 15 jours à 1 mois. La démonstration de Freshness Packaging est faite sur 4 produits alimentaires frais : des pommes, des tomates cerises, un kiwi jaune et du raisin, qui seront stockés sur étagère dans l'ISS, enveloppés dans ces nouveaux emballages. Les applications de ces emballages sont également terrestres. Si leur efficacité est démontrée, ils pourront servir aux expéditions extrêmes pour lesquelles le ravitaillement en nourriture est difficile ou impossible (courses transocéaniques, missions scientifiques aux pôles ou dans les zones désertiques...).

#### **Partenaires :**

Groupe Jean Hénaff



## Jeunes et étudiants



### **TetrISS : une expérience étudiante pour matérialiser les ultrasons**

Expérience étudiante sélectionnée dans le cadre du concours Génération ISS, TetrISS est le démonstrateur technologique d'une plateforme fonctionnant de manière quasi-autonome pour la fourniture de la puissance nécessaire à l'expérience intégrée, le contrôle des caméras d'enregistrement et le stockage des vidéos. Pour valider le fonctionnement de cette plateforme, l'expérience Figures de Chladni propose de mettre en vibration de fines particules et d'observer en 3D les ondes ultrasonores stationnaires qui sont créées. Sur Terre, il est possible d'observer ce phénomène en 2 dimensions : quand de la poudre fine s'aligne sur les

ondes sonores d'une membrane de haut-parleur, elle dessine des formes géométriques régulières, nommées Figures de Chladni. Dans la Station spatiale internationale, les fines particules sont enfermées dans un conteneur transparent, entre 2 émetteurs à ultrasons dont la fréquence et la distance varient. On peut ainsi observer la matérialisation des ondes ultrasonores en 3 dimensions. Les images de ce phénomène seront enregistrées sur une carte micro-SD et redescendues sur Terre pour être visionnées et analysées par les étudiants.

#### **Partenaires :**

Equipe Tetr'ISS – IUT de Toulouse



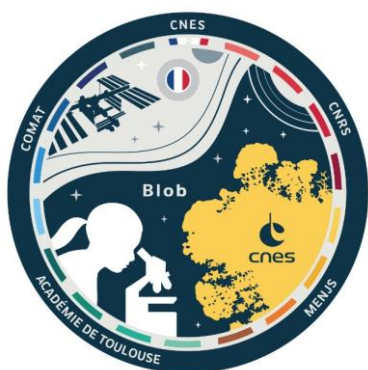
### **Eklosion : un « compagnon de voyage » pour Thomas Pesquet**

Deuxième lauréat du concours Génération ISS, Eklosion est un projet étudiant dont l'objectif est de symboliser le lien entre l'astronaute et la Terre, au travers d'une plante à faire pousser. Alors que tous les sens des astronautes sont perturbés lors d'un séjour en micropesanteur, l'objectif d'Eklosion est d'incarner un « compagnon de voyage » pour l'astronaute. Ce compagnon est matérialisé par une capsule close, installée dans le module Columbus de l'ISS, à l'intérieur de laquelle pousseront des œillets d'Inde sous le regard et les soins de Thomas Pesquet. Afin de personnaliser encore ce lien entre la Terre et l'ISS, la capsule Eklosion est dotée d'un compartiment délivrant à l'astronaute, sur des cartes

odorantes, des messages personnels rédigés par ses proches. Le projet Eklosion est décliné sur Terre à travers une expérience participative au cours de laquelle le public est invité, lui aussi, à faire pousser des graines d'œillets d'Inde, à suivre simultanément la croissance de ces fleurs sur Terre et à bord de l'ISS, et à partager des photos de cette évolution sur les réseaux sociaux.

#### **Partenaires :**

Association Eklo – GSBMS – L'École de Design Nantes-Atlantique – Université Toulouse III Paul Sabatier



## **Blob : étude d'un organisme unicellulaire étonnant**

Le blob, ou *Physarum polycephalum*, n'est ni une plante, ni un animal, ni un champignon, et sa place dans l'arbre du vivant a longtemps été incertaine. Composé d'une seule et unique cellule et dépourvu d'un cerveau, il est pourtant capable de se déplacer à une vitesse de 3mm/h, de se nourrir, de s'organiser et même de transmettre ses apprentissages à un congénère. Généralement de couleur jaune, il vit dans les zones tempérées, humides et sombres telles que les sous-bois. Cet organisme étonnant fait l'objet de recherches dans le laboratoire d'Audrey Dussutour, directrice de recherche CNRS au Centre de recherches sur la cognition animale (CRCA ; CNRS/Université Toulouse III – Paul Sabatier). L'objectif

de l'expérience éducative « Blob » est d'observer l'impact de la micropesanteur sur la nutrition, le comportement et la vitesse de déplacement de plusieurs blobs, placés dans des boîtes transparentes hermétiques dans l'ISS, et filmés pendant qu'ils se nourrissent et explorent leur environnement (Blob-ISS). En parallèle, les élèves de plus de 2000 établissements scolaires français sélectionnés sont invités à réaliser la même expérience sur Terre (Blob-Terre) et à comparer le comportement de leur blob avec celui des blobs spatiaux.

### **Partenaires :**

CNRS – COMAT – Académie de Toulouse – Ministère de l'Education nationale, de la Jeunesse et des Sports

## **Les expériences héritées de Proxima**

### **EveryWear : assistant de l'astronaute**

Initié lors de la mission Proxima en tant que démonstrateur technologique, et véritable succès opérationnel, EveryWear est désormais un outil à disposition des ingénieurs et des scientifiques à bord de l'ISS. Il s'agit d'une application mobile évolutive, installée sur une tablette tactile grand public, grâce à laquelle il est possible de collecter les données médicales et physiologiques issues d'un ensemble de capteurs physiologiques (smartshirt, tonomètre, actimètre, glucomètre). Elle sert également à assurer le suivi nutritionnel des astronautes, l'exécution d'expériences de physiologie via des questionnaires et l'échange de messages cryptés entre les astronautes et les équipes médicales au sol. Au cours de la mission Alpha, EveryWear sera utilisé pour agréger les données de l'expériences Lumina. C'est également grâce à cette interface que Thomas Pesquet répondra aux questionnaires des expériences Edible Foam, Dreams et Immersive Exercise.

### **ECHO : l'échographie Terre – Espace**

Initialement le démonstrateur d'un échographe télé-opérable depuis le sol, ECHO a été développé par le CNES, en coopération avec les agences spatiales canadienne (ASC) et européenne (ESA), dans le but d'optimiser la qualité des images enregistrées en micropesanteur et de diminuer à la fois le temps d'entraînement des astronautes et le temps équipage à bord. Il est aujourd'hui un instrument au service de plusieurs protocoles à bord de l'ISS. L'échographe français est notamment utilisé dans le cadre des expériences canadiennes Vascular Echo et Vascular Aging, qui visent à mesurer respectivement les changements structurels et fonctionnels du système cardio-vasculaire et les mécaniques de perte d'élasticité des artères. Il est également l'instrument d'une expérience européenne, MYOTONES, dont l'objectif est d'étudier l'évolution des caractéristiques mécaniques de certains muscles et tendons au cours d'un vol. Une nouvelle version d'ECHO est également à l'étude dans le cadre de l'équipement de la future station lunaire Gateway.

## **FLUIDICS : dynamique des fluides dans l'espace**

Installée dans l'ISS par Thomas Pesquet lors de sa mission Proxima, FLUIDICS est une expérience de science de la matière portant sur la mécanique des fluides dans l'espace. L'objectif : étudier la turbulence des ondes capillaires (mouvements désordonnés observés à la surface d'un liquide) en micropesanteur et améliorer, notamment, la connaissance et la maîtrise des mouvements d'ergols dans les réservoirs des engins spatiaux. Cette expérience est toujours active à bord de l'ISS et a fait l'objet d'évolutions telles que l'installation de nouveaux réservoirs notamment. Les équipages successifs se relaient pour l'opérer à raison de 3 sessions par an.

## **MatISS : des surfaces intelligentes contre les bactéries ?**

MatISS est une expérience visant à étudier la manière dont des surfaces dites « intelligentes » permettraient de stopper le développement de micro-organismes pathogènes. Le premier volet de l'expérience, appelé Matiss-1 et déployé par Thomas Pesquet lors de la mission Proxima, a fourni aux chercheurs des données de référence. Les 5 matériaux envoyés à bord de l'ISS ont été sélectionnés pour leur propension à repousser les micro-organismes, empêcher leur croissance, ou créer leur propre biofilm afin de former un bouclier protecteur. Après le retour sur Terre des premiers échantillons, l'expérience s'est poursuivie avec Matiss-2 et MatISS 2.5 dont les échantillons sont revenus sur Terre respectivement en août 2019 et en fin d'année 2020. Comprendre l'efficacité et les usages potentiels de tels matériaux est essentiel dans le cadre de la conception de futurs véhicules spatiaux, mais également pour le développement de surfaces antimicrobiennes sur Terre (par exemple pour les boutons d'ascenseur, les poignées de porte mais aussi dans les bars, les transports publics et dans d'autres zones très fréquentées).

## **Perspectives : environnement immersif en réalité virtuelle**

Perspectives est une plateforme adaptative de réalité virtuelle, mise en œuvre lors de la mission Proxima à partir d'équipements grand public, visant à réaliser des expériences de neurosciences à bord de l'ISS afin d'étudier notamment les modifications des fonctions cognitives en micropesanteur. Cette plateforme de réalité virtuelle a été un grand succès opérationnel, et est toujours utilisée au moins une fois par mois à bord de l'ISS. Elle fait l'objet d'améliorations continues, notamment pour les logiciels scientifiques. Les expériences GRASP et TIME ont eu Alexander Gerst (ESA) comme premier sujet, puis VECTION avec Davis Saint-Jacques (ASC). L'expérience PILOTE, développée pour la mission Alpha, est la suite logique de Perspectives.

## LE CADMOS, EXPERT EN MICROPESANTEUR

Basé au CNES à Toulouse, le CADMOS (Centre d'Aide au Développement des Activités en Micropesanteur et des Opérations Spatiales) bénéficie d'une longue expérience acquise au fil des missions et coopérations internationales. Bien qu'il ait été officiellement créé en 1993, l'expertise de ses ingénieurs remonte dans les faits au début des années 1980. À cette époque, la coopération franco-russe fait germer l'idée d'un centre opérationnel destiné à préparer et suivre les expériences scientifiques réalisées lors de vols habités. Il entre en fonction dès 1982 avec le vol du 1<sup>er</sup> astronaute français, Jean- Loup Chrétien, et sa mission PVH (Premier Vol Habité). Les ingénieurs du CNES apprennent alors à mettre en œuvre des programmes scientifiques ambitieux dans le cadre très exigeant des vols habités.

Preuve de son savoir-faire, le CADMOS est devenu en 1998, l'un des neuf centres européens au sol, User Support Operations Centre (USOC), à avoir été retenu par l'ESA pour aider les utilisateurs de la Station spatiale internationale à en exploiter les équipements. Aujourd'hui le CADMOS fait partie de l'équipe intégrée de l'ESA en tant que support des opérations à bord de l'ISS. Dès lors, l'activité du CADMOS s'articule autour de trois domaines d'action : la préparation des opérations, le suivi des opérations, et le traitement des données, du recueil à l'archivage. Le CADMOS accompagne ainsi continuellement les expérimentateurs de la micropesanteur à bord de l'ISS, mais aussi dans des capsules automatiques (satellites « Bion ») et dans l'Airbus Zéro-G de Novespace, filiale du CNES. Le CADMOS mène des expériences dont l'échelle est aujourd'hui tout à la fois nationale, européenne (pour le compte de l'ESA) ou internationale en s'inscrivant dans le cadre de coopérations multilatérales (notamment avec la Russie et les États-Unis).

Dans le domaine des vols habités, le CNES travaille en étroite collaboration avec sa filiale santé : MEDES (Institut de Médecine et Physiologie Spatiales). Ses équipes interviennent en soutien au CADMOS pour le volet physiologique des missions : à la Clinique Spatiale à Toulouse, où sont menées des expériences de simulation des effets de la micropesanteur sur l'organisme, et à l'EAC à Cologne, pour le suivi de l'entraînement et l'accompagnement médical des astronautes.

### **Le CADMOS, un USOC (User Support Operations Centre) exemplaire**

Le CADMOS a pour but la définition, le développement et la réalisation d'expériences en micropesanteur. Pour cela, il met en œuvre différents moyens sols : laboratoires, modèles sol, centres de contrôle, réseaux, dédiés aux programmes scientifiques devant être réalisés pour le compte du CNES ou par délégation de l'ESA. Autrement dit, le CADMOS s'est toujours montré capable de concevoir et offrir des solutions aux organismes, aux entreprises qui l'ont sollicité pour mener des expériences en apesanteur sans savoir comment les réaliser. Fort de son expertise, il met au point des protocoles expérimentaux, entraîne les équipages, synthétise puis rend les données aux mandataires à l'initiative des manipulations.

Le CADMOS intervient pour effectuer ses essais à la fois dans Station Spatiale Internationale (ISS) et sur l'Airbus ZERO-G dédié aux Vols paraboliques.

Une fois l'expérience en vol réalisée, le CADMOS est chargé de son suivi opérationnel. Cette activité se déroule dans une salle de contrôle spécialement aménagée. Des spécialistes en opérations (opérateurs) assurent les liaisons alors que les responsables d'instruments et d'expériences sont formés à l'utilisation des consoles et aux procédures d'intervention pour le suivi de leurs expériences.

Dans le cas particulier des vols habités, le CADMOS est le point de contact entre les segments sol en Europe, aux États-Unis ou en Russie et les spécialistes scientifiques, qui suivent le bon déroulement de l'expérience en temps réel, afin de piloter et accompagner l'astronaute dans la réalisation de l'expérience.

## Le CADMOS, un USOC à l'expertise reconnue

Pour donner toutes leurs chances aux scientifiques européens d'accéder à l'ISS, et afin de coordonner les activités à bord, l'ESA a mis en place des centres de support aux expérimentateurs, les USOCs, localisés à l'origine en Allemagne, Belgique, Espagne, France, Danemark, Italie, Norvège, Pays-Bas et Suisse. Ces centres sont responsables de l'utilisation et la mise en œuvre des charges utiles européennes à bord de l'ISS, grâce aux ressources de la télé-science et des opérations à distance. Chacun peut être spécialisé dans plusieurs domaines, c'est le cas du CADMOS en physiologie et sciences de la matière.

Dans un souci de coordination des activités développées par les USOCs, l'ESA a décidé de réduire leur nombre, en passant progressivement de 9 à 3 centres. Le CADMOS fait partie des 3 centres retenus avec le MUSC à Cologne et le B-USOC à Bruxelles. Alors que la mission Proxima a été une réussite scientifique complète, l'USOC CADMOS s'est vu confier un périmètre d'activité de plus en plus large par l'ESA.

## Une histoire tournée vers l'exploration

Basé à Toulouse, le CADMOS est l'héritier de tout ce qui a été fait en matière de vol habité. Il bénéficie d'une longue expérience acquise au fil des missions et coopérations internationales, depuis les années 1980.



C'est ce qui lui permet d'être le vecteur majeur de l'exploration de demain, une référence mondiale en matière d'opérations robotiques. C'est du CNES à Toulouse que sont pilotées les opérations d'exploration martienne : le rover Curiosity, le sismomètre SEIS d'Insight et le rover Perseverance.

Le centre est entré en fonction dès 1982 avec le vol du premier spationaute français, Jean-Loup Chrétien, et sa mission PVH (Premier Vol Habité). Les ingénieurs du CNES apprennent alors à mettre en œuvre des programmes

scientifiques ambitieux dans le cadre très exigeant des vols habités.

La mise en orbite de la station MIR puis l'accord-cadre de 1992, qui lie la France et la Russie pour les questions ayant trait à l'espace, amorcent un tournant. La stabilité qu'offre la station MIR en termes de missions spatiales permet aux ingénieurs du CNES de travailler sur le long terme. C'est alors une véritable stratégie de développement de compétences et de moyens au service des vols habités qui se met en place, et c'est de cette effervescence que naît le CADMOS.

En 1998, dans la foulée de l'accord pour la construction de la Station spatiale internationale, l'ESA crée les USOC, centres de soutien aux utilisateurs de l'ISS, et sélectionne alors le CADMOS, qui interviendra dans le champ des expériences physiologiques. Les USOC interviennent dans trois domaines d'action : préparation des expérimentations, suivi du vol, recueil et traitement des données. Chaque centre est compétent pour un ou plusieurs de ces domaines. La qualité des équipements du CADMOS et l'expertise de ses ingénieurs lui permettent d'obtenir la main sur ces trois domaines.

Par la suite, le centre opérationnel suit les vols de tous les spationautes français jusqu'à la mission de Léopold Eyharts en 2008, qui correspond à la mise en service du module européen Columbus au sein de l'ISS. C'est un nouvel élan pour le CADMOS, qui voit évoluer son rôle, avec la gestion notamment de la baie EPM (European Physiology Module).

Si cette nouvelle dimension européenne élargit considérablement l'horizon du CADMOS, ses ingénieurs continuent de travailler en étroite collaboration avec les laboratoires de recherche, les universités, les grands

groupes industriels ou encore les start-ups pour développer des expérimentations en micropesanteur toujours plus pointues.

Ses principaux atouts sont la complémentarité et la qualité de ses équipements : des laboratoires à la salle de contrôle, en passant par la salle propre destinée à la préparation des kits d'expérience, tous les éléments sont réunis pour appuyer la recherche scientifique hors du champ gravitationnel. Pour conduire des expériences à bord de l'ISS, il faut notamment adapter le matériel et les protocoles expérimentaux à des conditions extrêmes et contraignantes. Dans ce cadre exceptionnel, tout est une question d'adaptation et d'optimisation.

Si le CADMOS apporte aujourd'hui un soutien permanent aux utilisateurs européens de la Station spatiale internationale, la sélection en 2009 d'un astronaute français par l'ESA et l'annonce de sa mission en 2014 ont été l'occasion pour le CNES de proposer ses propres expérimentations en vue de la mission Proxima. Son choix s'est porté sur 6 démonstrateurs, à travers lesquels il vise à améliorer le laboratoire de pointe qu'est l'ISS, afin que les scientifiques puissent continuer à œuvrer pour le progrès depuis l'espace, au bénéfice des citoyens sur Terre. Dans le cadre de sa politique éducative, le CNES a également mis en œuvre une expérience à destination des plus jeunes afin de les sensibiliser aux enjeux et applications du spatial et susciter de nouvelles vocations scientifiques.

## Le CADMOS et la mission Proxima



L'équipe du CADMOS pour la mission Proxima.  
© CNES/BOUCON Daniele, 2016

Le CADMOS est la structure du CNES qui a développé et suivi les 7 expériences françaises de la mission de Thomas Pesquet à bord de la station spatiale internationale (ISS). Pas moins de 35 ingénieurs de l'agence spatiale française ont été impliqués. Pour l'équipe du CNES, le projet Proxima est un succès total qui a confirmé l'expertise, le savoir-faire technique et la passion qui caractérisent le secteur spatial français.

Un temps de développement record : le CADMOS travaille en continu avec les astronautes de l'ESA mais le temps de développement des expériences a été très court (18 mois), alors qu'il faut en général au moins 24 mois pour les mettre au point, le décollage de Thomas Pesquet depuis Baïkonour en novembre 2017 a marqué le début de la phase opérationnelle. Cette phase correspond au suivi en salle de contrôle des procédures scientifiques préparées en amont et exécutées par l'astronaute. Toute l'équipe a pu apprécier le professionnalisme, l'enthousiasme et l'efficacité de l'astronaute français. Les 7 expériences CNES ont été couronnées de succès

On distingue le versant expérimental purement scientifique de l'expérience qui s'inscrit dans un temps long, du versant technologique qui se caractérise par un rythme beaucoup plus rapide. Les expériences physiologiques nécessitent quant à elles la prise de mesures sur un nombre important de sujets (une dizaine en moyenne) et s'étalent donc sur cycles de plusieurs années. Aux plans scientifiques et technologiques, tous les objectifs ont été remarquablement atteints. En effet, Thomas Pesquet a non seulement rempli sa mission au niveau « nominal » mais, mieux encore, il a également atteint en grande partie les objectifs facultatifs. Maintenant que Thomas Pesquet a permis aux expériences de se dérouler dans les meilleures conditions, ce sont les équipes scientifiques qui prennent le relais pour l'analyse des résultats. Les volets technologiques, eux, ont été confirmés et de nouveaux développements ont déjà été engagés.

Le succès de la mission Proxima est une véritable fierté pour l'équipe du CADMOS qui a pu montrer la capacité d'innovation du CNES au service de la recherche et de la société.

## LE CNES EN BREF

Le CNES (Centre National d'Études Spatiales) est l'établissement public chargé de proposer au Gouvernement la politique spatiale française et de la mettre en œuvre au sein de l'Europe. Il conçoit et met en orbite des satellites et invente les systèmes spatiaux de demain ; il favorise l'émergence de nouveaux services, utiles au quotidien. Le CNES, créé en 1961, est à l'origine de grands projets spatiaux, lanceurs et satellites et est l'interlocuteur naturel de l'industrie pour l'accompagner à l'export et favoriser l'innovation. Le CNES ouvre des champs d'application infinis et intervient sur cinq domaines : Ariane, les sciences, l'observation, les télécommunications, la défense. Le CNES est un acteur majeur de la recherche technologique, du développement économique et de la politique industrielle de la France. Il noue également des partenariats scientifiques et est engagé dans de nombreuses coopérations internationales. La France, représentée par le CNES, est le principal contributeur de l'Agence spatiale européenne (ESA), chargée par ses 22 États membres de conduire la politique spatiale de l'Europe.

### **Quatre centres d'excellence**

Le CNES compte 2 368 collaborateurs, femmes et hommes passionnés par cet espace qui ouvre des champs d'application infinis, innovants, utiles à tous. À Paris Les Halles, les collaborateurs du siège sont chargés d'élaborer la politique spatiale de la France et de l'Europe et de conduire les programmes du CNES en ligne avec la stratégie. Implanté en Midi-Pyrénées depuis 1968, le Centre spatial de Toulouse (CST) est le plus grand centre technique et opérationnel du CNES. Ses ingénieurs étudient, conçoivent, développent, réalisent, mettent à poste, contrôlent et exploitent les systèmes orbitaux, satellites et instruments. À Paris Daumesnil, la Direction des lanceurs (DLA) préside depuis plus de 40 ans aux destinées de la famille Ariane. Ses spécialistes sont plus que jamais engagés dans l'avenir du lanceur européen au sein d'une équipe intégrée avec l'Agence spatiale européenne. En Guyane, les équipes du Centre spatial guyanais (CSG), coordonnent les activités de lancement de la gamme des lanceurs européens. Idéalement situé à proximité de l'équateur, le port spatial de l'Europe est un atout majeur du programme spatial européen.

En inventant les systèmes spatiaux de demain, le CNES est un acteur majeur de l'innovation technologique, du développement économique et de la politique industrielle de la France. 80% de son budget revient vers les entreprises françaises et 40% de l'industrie spatiale européenne est localisée en France. En France métropolitaine, 16 000 emplois sont générés par l'activité spatiale et en Guyane, l'espace représente 9 000 emplois directs et indirects, soit 15% de l'emploi local. Au total, avec 20 € de retombées économiques pour 1 € investi, l'innovation spatiale représente un effet de levier considérable pour l'industrie, l'économie, la recherche, la société et les politiques publiques.

# L'ESA

## **L'Agence spatiale européenne (ESA)**

L'Agence spatiale européenne (ESA) constitue la porte d'accès de l'Europe à l'espace.

L'ESA est une organisation intergouvernementale créée en 1975, dont la mission consiste à œuvrer au développement des capacités spatiales de l'Europe en veillant à ce que les investissements dans le secteur spatial bénéficient aux citoyens européens et du monde entier.

L'ESA compte vingt-deux États membres : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, l'Estonie, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République tchèque, la Roumanie, le Royaume-Uni, la Suède et la Suisse. La Lettonie et la Slovénie ont le statut de membre associé.

L'ESA a mis en place une coopération officielle avec six États membres de l'UE. Par ailleurs, le Canada participe à certains programmes de l'ESA au titre d'un accord de coopération.

En coordonnant les ressources financières et intellectuelles de ses membres, l'ESA peut entreprendre des programmes et des activités qui vont bien au-delà de ce que pourrait réaliser chacun de ces pays à titre individuel. Elle coopère en particulier avec l'UE à la mise en œuvre des programmes Galileo et Copernicus, ainsi qu'avec Eumetsat pour le développement de missions météorologiques.

## **Le Centre européen des astronautes de l'ESA**

Le Centre européen des astronautes (European Astronaut Centre, EAC) est le centre d'entraînement du corps des astronautes de l'ESA. Le centre, créé en 1990 et situé à Cologne en Allemagne, assure la sélection et le recrutement des astronautes de l'Agence spatiale européenne, la planification des missions, la préparation et l'implémentation des programmes d'entraînement des astronautes sélectionnés pour faire partie des équipages de la Station spatiale internationale. Le centre emploie une centaine de personnes ainsi que des salariés des agences spatiales française et allemandes et de l'industrie. L'EAC est le centre d'entraînement pour la mise en œuvre des composants de la station spatiale réalisés en Europe dont le laboratoire spatial Columbus et le cargo spatial ATV. Les activités de l'EAC comprennent aussi l'entraînement spécial des astronautes des États-Unis, de la Russie, du Canada et du Japon pour l'opération du laboratoire Columbus, des expériences européennes et de l'ATV. Il est équipé d'une piscine de flottabilité neutre pour l'entraînement des astronautes, l'Installation de flottabilité neutre.

Pour la première fois depuis 11 ans, l'ESA recrute de nouveaux astronautes européens pour se joindre à la plus grande aventure de l'humanité, une mission d'exploration au profit de notre planète. Ces derniers travailleront aux côtés des astronautes actuellement au service de l'ESA au moment où l'Europe entre dans une nouvelle ère d'exploration spatiale.

Outre l'avis de candidature portant sur le recrutement de nouveaux membres du corps des astronautes de l'ESA, l'agence ouvre un poste dans le cadre de l'étude de faisabilité « Parastronaute » visant à intégrer dans ses rangs un astronaute présentant un certain degré d'handicap physique. En outre, l'ESA travaille avec les partenaires internationaux et commerciaux des vols spatiaux pour évaluer la possibilité de faire voler le(s) candidat(s) sélectionné(s) dans le cadre d'une mission sûre et utile de l'ESA à bord de la Station spatiale internationale. Le candidat sélectionné intégrera entretemps la réserve de candidats astronautes de l'ESA.



## **Thomas Pesquet, astronaute de l'ESA**

Diplômé en 2001 de l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace de Toulouse (Supaéro), spécialité Conception et contrôle des satellites, Thomas passe sa dernière année de formation à l'École polytechnique de Montréal (Canada), dans le cadre d'un programme d'échange d'étudiants suivant le master Aéronautique et espace.

Il effectue son stage d'ingénieur d'avril à septembre 2001 chez Thales Alenia Space à Cannes, France, où il développe un outil de conception de système satellitaire au moyen de techniques d'ingénierie concurrente. À partir d'octobre 2001, il travaille comme ingénieur en dynamique des satellites pour des missions de télédétection chez GMV S.A., à Madrid (Espagne).

De 2002 à 2004, Thomas travaille pour le CNES en tant qu'ingénieur de recherche, sur l'autonomie des missions spatiales. Il est également chargé d'étudier le concept du futur segment sol européen et l'harmonisation des technologies spatiales en Europe. À partir de fin 2002, il est l'un des représentants du CNES auprès du CCSDS, le Comité Consultatif pour les Systèmes de Données Spatiaux, où il travaille sur le soutien mutuel entre les agences spatiales internationales.

Étant un pilote privé passionné, Thomas est sélectionné en 2004 pour suivre le programme de formation des pilotes de ligne d'Air France. Une fois diplômé, il commence à voler en 2006 en tant que pilote sur Airbus A320 pour la compagnie française. Avec plus de 2300 heures de vol à son actif sur des avions commerciaux, il devient instructeur sur A320, ainsi qu'instructeur Facteurs humains.

C'est en mai 2009 qu'il est sélectionné pour devenir astronaute. Il entre à l'ESA en septembre 2009 et achève sa formation initiale en novembre 2010. Une fois diplômé, il travaille comme Eurocom, qui est le responsable des communications avec les astronautes pendant les vols depuis le centre de contrôle des missions. Il est également chargé des futurs projets au Centre des astronautes européens (EAC), notamment de la mise en place de la coopération avec de nouveaux partenaires, comme la Chine.

Pour se préparer à une mission spatiale, Thomas suit un entraînement technique et opérationnel complémentaire en Europe, en Russie et aux États-Unis : sur le véhicule Soyouz, sur les combinaisons spatiales américaine et russe, et sur les systèmes de la Station spatiale internationale. Thomas prend également part à des formations sur l'exploration : en 2011, il participe au programme d'entraînement souterrain de l'ESA, puis en 2012 à la mission Seatest-2 de la NASA organisée dans une base sous-marine.

Le 17 mars 2014, Thomas est affecté à une mission de longue durée (environ 6 mois) à bord de la Station spatiale internationale. Ingénieur de vol pour les Expéditions 50 et 51, Thomas a décollé le 17 novembre 2016 à destination de la Station spatiale internationale dans le cadre de Proxima, sa mission de six mois. Thomas est revenu sur Terre le 2 juin 2017.

Le second vol de Thomas a été annoncé le 28 juillet 2020. Il voyagera à destination de la Station spatiale internationale à bord du second vol opérationnel du Crew Dragon de SpaceX en compagnie des astronautes de la JAXA Akihiko Hoshide et de la NASA Shane Kimbrough et Megan McArthur, qui sera la pilote du Dragon. Cette mission marquera la première fois qu'un Européen vole à bord d'un Crew Dragon, et la première fois qu'un Européen décolle du sol américain depuis plus de dix ans.

La mission de Thomas porte le nom « Alpha », d'après Alpha Centauri, le système stellaire le plus proche de la Terre, perpétuant ainsi la tradition française qui consiste à baptiser les missions spatiales du nom d'une étoile ou d'une constellation. Durant sa mission, Thomas réalisera notamment les expériences développées au CADMOS.

# CONTACTS

---

**Pascale Bresson** — Attachée de Presse  
Tél. 01 44 76 75 39 / [pascale.bresson@cnes.fr](mailto:pascale.bresson@cnes.fr)

**Raphaël Sart** — Responsable Presse  
Tél. 01 44 76 74 51 / [raphael.sart@cnes.fr](mailto:raphael.sart@cnes.fr)


**Claire Dramas** — Attachée de Presse Toulouse  
Tél. 05 61 28 28 36 / [claire.dramas@cnes.fr](mailto:claire.dramas@cnes.fr)

[presse.cnes.fr](http://presse.cnes.fr)

 [@CNES](https://twitter.com/CNES)

 [facebook.com/CNESFrance](https://facebook.com/CNESFrance)

 [instagram.com/cnes\\_france](https://instagram.com/cnes_france)

 [linkedin.com/company/cnes](https://linkedin.com/company/cnes)

 [twitch.tv/cnes\\_france](https://twitch.tv/cnes_france)

 [youtube.com/CNES](https://youtube.com/CNES)