

A portrait of astronaut Thomas Pesquet in his white space suit, looking directly at the camera. The suit has a French flag patch on the chest. The background is a soft, out-of-focus grey.

proxima

→ THOMAS PESQUET :
UN PEU PLUS PRÈS DES ÉTOILES

L'Agence spatiale européenne

Depuis les débuts de l'« ère spatiale », l'Europe participe de manière active aux vols spatiaux. Aujourd'hui, elle lance des satellites d'observation de la Terre, de navigation, de télécommunication et d'astronomie, envoie des sondes jusqu'aux confins du système solaire et mène en coopération des projets d'exploration humaine de l'espace.

Atout maître pour l'Europe, l'espace fournit aux décideurs des informations essentielles pour relever les défis mondiaux. C'est une source de technologies et de services indispensables, qui nous permet de mieux connaître notre planète et l'Univers. Depuis 1975, l'Agence spatiale européenne (ESA) gère le développement des capacités spatiales de l'Europe.

En coordonnant les ressources de ses 22 États 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. L'ESA développe les lanceurs, les satellites et les moyens sol dont l'Europe a besoin pour jouer un rôle de premier plan sur la scène spatiale mondiale.

Les États membres de l'ESA sont les suivants : 20 pays de l'UE (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, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République tchèque, la Roumanie, le Royaume-Uni et la Suède), auxquels s'ajoutent la Norvège et la Suisse.

Sept autres États membres de l'UE ont signé des accords de coopération avec l'ESA : la Bulgarie, Chypre, la Lettonie, la Lituanie, Malte, la Slovaquie et la Slovénie. Un accord de coopération est en cours de négociation avec la Croatie. Le Canada participe à certains programmes de l'ESA au titre d'un accord similaire.





Publié par le Bureau Planification stratégique
et Sensibilisation, Direction des
Programmes de vols habités et d'exploration
robotique de l'ESA.

ESTEC, PO Box 299
2200 AG Noordwijk
Pays-Bas

Courriel : hsocom@esa.int

ESA et le logo de l'ESA sont des marques
appartenant à l'Agence spatiale européenne.
Images protégées par copyright de l'Agence
spatiale européenne, sauf indication contraire.
L'autorisation de reproduire ou distribuer
du matériel identifié comme protégé par des
droits d'auteur de tiers doit être obtenue
auprès des détenteurs des droits en question.



www.esa.int
thomaspesquet.esa.int



@esa
@Thom_astro



youtube.com/ESA

facebook.com/europeanspaceagency

flickr.com/photos/europeanspaceagency



- 4 **L'ESPACE POUR TOUS**
Présentation de la mission
- 8 **THOMAS PESQUET**
Le benjamin de la nouvelle génération d'astronautes de l'ESA
- 12 **L'ÉQUIPAGE**
Une mission en partage
- 14 **UN VOYAGE EN SOYOUZ**
Le vétéran du transport spatial
- 18 **L'ESPACE À VOTRE SERVICE**
La Station spatiale internationale
- 22 **LA RECHERCHE AU PROFIT DE L'HUMANITÉ**
La science européenne dans l'espace
- 32 **L'ESPACE POUR L'ÉDUCATION**
Une source d'inspiration pour la nouvelle génération



→ L'ESPACE POUR TOUS

Présentation de la mission



L'astronaute de l'ESA Thomas Pesquet s'envolera bientôt dans l'espace pour une mission de longue durée, lors de laquelle il mènera à bien de multiples activités scientifiques et pédagogiques. Pendant six mois, son domicile et son lieu de travail se trouveront à quelque 400 kilomètres au-dessus de la Terre. Thomas sera ingénieur de bord de la Station spatiale internationale (ISS) pour les expéditions 50 et 51.

Il décollera à bord d'un lanceur russe Soyouz du cosmodrome de Baïkonour au Kazakhstan en novembre 2016, et reviendra sur Terre en mai 2017. Il sera accompagné du cosmonaute russe Oleg Novitsky et de l'astronaute de la NASA Peggy Whitson.

Ingénieur en aéronautique devenu pilote de ligne puis astronaute, Thomas voyagera dans le siège de gauche de la capsule Soyouz. Nommé copilote de la mission, il a été formé pour assister le commandant du Soyouz pendant les voyages aller et retour, surveiller les systèmes et prendre la relève en cas de besoin.

Thomas, qui est âgé de 38 ans, sera le dixième Français à voyager dans l'espace, et le premier astronaute français à s'envoler pour la Station spatiale internationale depuis 2008. Cette mission, la neuvième mission européenne de longue durée, a été baptisée Proxima, en hommage à l'étoile la plus proche de notre Soleil : l'étoile Proxima du Centaure.

La science sera au cœur de la mission Proxima. Thomas réalisera des expériences très variées à bord de la Station spatiale internationale, cet avant-poste de recherche exceptionnel, qui est un véritable tremplin pour l'exploration humaine de l'espace.

“

Si nous partons dans l'espace, ce n'est pas pour nous-mêmes, mais parce que nous croyons que c'est utile pour tout le monde sur Terre. C'est une aventure collective, née des rêves et du travail d'une multitude de personnes. C'est pourquoi je tiens à la faire partager au plus grand nombre.

Thomas Pesquet

”

Proxima en bref

Site de lancement	Baïkonour, Kazakhstan
Lancement	15 novembre 2016
Amarrage	15 novembre 2016
Atterrissage	15 mai 2017
Vaisseau	Soyouz MS-03
Lanceur	Soyouz FG
Durée de la mission	6 mois

(Données de juin 2016)



Le nom de la mission et son logo

La mission de Thomas a été baptisée Proxima, en hommage à l'étoile la plus proche de notre Soleil, ce qui perpétue la tradition française qui consiste à baptiser les missions des astronautes du nom d'une étoile ou d'une constellation. Le nom a été choisi parmi plus de 1 300 propositions reçues à l'occasion d'un concours organisé par l'ESA en 2015.

Le « x » de Proxima, placé au centre de l'écusson, symbolise l'étoile Proxima du Centaure. Il fait également référence à l'inconnu et au fait que Thomas sera le dixième astronaute français à se rendre dans l'espace. Les trois lignes verticales de couleur forment la silhouette de la Station spatiale internationale et représentent la Terre, la Lune et Mars, tout en étant un clin d'œil au drapeau français. Les traînées d'étoiles évoquent les futures missions habitées au-delà de l'orbite terrestre basse.



↑ Devant un simulateur Soyouz, avec ses coéquipiers Peggy Whitson et Oleg Novitsky (GCTC)



↑ Thomas enfile une combinaison Orlan russe (GCTC)

Des chercheurs examineront le cerveau, les os et les muscles de Thomas pour étudier l'impact des vols spatiaux sur les êtres humains. L'astronaute français testera une nouvelle génération de capteurs médicaux qui trouveront des applications aussi bien dans l'espace que sur Terre.

Issu d'une famille d'enseignants, l'astronaute est bien décidé à susciter des vocations d'explorateur chez les jeunes. En vue de promouvoir les carrières en sciences et en génie aérospatial, il participe activement à un programme intensif de sensibilisation du jeune public. Les activités pédagogiques qui seront exécutées pendant la mission de Thomas porteront sur différents thèmes scientifiques et technologiques, dans des domaines variés allant du codage informatique à la culture de plantes, en passant par la chimie, l'exercice physique et la nutrition.



↑ Thomas contrôle sa combinaison Sokol russe

Les astronautes français

Thomas Pesquet sera le dixième Français à s'envoler dans l'espace, et le quatrième astronaute français à séjourner à bord de la Station spatiale internationale. Sa mission sera la première mission de six mois d'un astronaute français à bord l'ISS.

Jean-Loup Chrétien, qui s'est rendu dans la station spatiale soviétique Salyut en juin 1982, a été le premier Français et le premier Européen de l'Ouest à aller dans l'espace. En 1988, au cours de sa mission à bord de la station spatiale russe Mir, il est devenu le premier non-Russe et non-Américain à effectuer une sortie dans l'espace.

Claudie Haigneré, la première femme française à être allée dans l'espace, a séjourné à bord de la station Mir pendant 16 jours en 1996. En 1999, elle est devenue la première femme à recevoir la qualification de commandant d'une capsule Soyouz pour un vol de rentrée sur Terre. En 2001, elle a été la première femme européenne à se rendre dans la Station spatiale internationale. Claudie est la première femme astronaute de l'ESA.

Jean-Pierre Haigneré, Léopold Eyharts et Michel Tognini ont effectué des missions dans la station Mir ; Patrick Baudry, Jean-François Clervoy, Léopold Eyharts, Jean-Jacques Favier, Philippe Perrin et Michel Tognini ont volé à bord de la Navette spatiale américaine en tant que spécialistes de mission ou de charge utile ; Léopold Eyharts a été le dernier astronaute français en service dans l'ISS, où il a travaillé deux mois en 2008.

La France est le plus gros contributeur de l'Agence spatiale européenne. L'ESA, dont le siège est à Paris, fait décoller ses lanceurs depuis le Centre spatial guyanais, situé près de Kourou en Guyane française.

L'assistance au sol

Jour et nuit, un réseau mondial de centres de contrôle assiste les astronautes qui vivent et travaillent dans la Station spatiale internationale. En Europe, les opérateurs du Centre de contrôle Columbus d'Oberpfaffenhofen, près de Munich en Allemagne, seront en liaison directe avec Thomas en orbite. Ils seront là pour l'aider 24 heures sur 24, 7 jours sur 7. Ils connaissent sur le bout des doigts l'emplacement de tous les systèmes de la Station, et maîtrisent parfaitement leur fonctionnement. Les équipes peaufinent constamment les procédures pour assurer que Thomas puisse remplir sa mission.

Les chercheurs au sol peuvent quant à eux contrôler et surveiller les expériences effectuées dans le laboratoire européen Columbus depuis leurs bureaux, grâce aux connexions établies par les huit centres de soutien aux utilisateurs (USOC) basés en Europe.



↑ Salle de contrôle du Centre de contrôle Columbus

“

Participer à l'exploration spatiale est pour moi un engagement envers l'avenir. Nous devons bien sûr penser au présent et mieux nous occuper de la Terre et de ses habitants, mais il ne faut pas pour autant négliger le futur.

Thomas Pesquet

”



→ THOMAS PESQUET

Le benjamin de la nouvelle génération d'astronautes de l'ESA

“

Tout me plaît dans le métier d'astronaute. Cela me rappelle beaucoup ma vie précédente de pilote de ligne. J'avais le deuxième meilleur métier du monde, maintenant j'ai le meilleur.

Thomas Pesquet

”

Thomas Pesquet est le benjamin du Corps des astronautes européens. Sa récente affectation signifie que les six astronautes de la promotion 2009 de l'ESA auront séjourné à bord de l'ISS dans les sept ans qui auront suivi la remise de leur diplôme.

Lorsque l'ESA a émis un appel à candidatures auprès de ses États membres pour renforcer le Corps des astronautes européens, plus de 8 000 personnes ont déposé leur dossier. Thomas et cinq autres élus sont devenus membres de la nouvelle promotion d'astronautes européens à l'issue d'un impitoyable processus de sélection, qui a duré un an.

Un parcours de haute volée

Thomas Pesquet est né à Rouen le 27 février 1978. Il rêvait déjà tout petit d'aller dans l'espace et jouait, enfant, dans une navette spatiale construite par son père avec des cartons et des oreillers.

Il a continué à cultiver ses passions et ses intérêts au cours de ses études et de sa vie professionnelle, et a acquis peu à peu l'expérience et les compétences nécessaires pour devenir astronaute. Étudiant en génie aérospatial, il s'est spécialisé dans la conception et le contrôle des satellites avant de travailler comme ingénieur en dynamique des satellites, puis comme ingénieur-chercheur sur l'autonomie des missions spatiales. Pilote privé passionné, il a été sélectionné en 2004 pour suivre le programme de formation de pilotes d'Air France, et est devenu pilote de ligne pour la compagnie en 2006. Il a accumulé plus de 2 500 heures de vol sur des avions de ligne commerciaux, avant de devenir instructeur sur Airbus A320.

Thomas voit de nombreuses analogies entre son ancien et son nouveau métier : à bord d'un avion comme d'un vaisseau spatial, des connaissances techniques poussées, des capacités de leadership, un esprit d'équipe et de bonnes compétences de communication et d'analyse sont indispensables. Autant de qualités qui, s'ajoutant à sa soif de connaissances, sa motivation et son naturel positif, sont déjà bien utiles à Thomas dans son quotidien d'astronaute et l'aideront à faire de la mission Proxima un succès.

Son diplôme d'astronaute en poche, Thomas a d'abord exercé la fonction d'Eurocom, qui consiste à communiquer avec les astronautes pendant les vols. Il a également été chargé des futurs projets au Centre des astronautes européens, notamment de la mise en place de la coopération avec de nouveaux partenaires, comme la Chine.

Ceinture noire de judo, Thomas est également un grand amateur de basket-ball, de course à pied, de natation, de squash et de sports de plein air comme le VTT, la voile, le ski et l'alpinisme. Il a aussi beaucoup pratiqué la plongée et le parachutisme.





↑ Dans la piscine de formation de la NASA, où les astronautes s'entraînent aux sorties dans l'espace

Sa formation

Durant son premier cycle de formation au Centre des astronautes européens de l'ESA à Cologne, en Allemagne, Thomas a acquis des connaissances et compétences fondamentales aussi bien dans les domaines scientifique, technique et médical qu'en mécanique orbitale, en russe ou encore en techniques de survie. Pour tous les astronautes, le défi est de parvenir à retenir une quantité considérable d'informations, et d'entretenir un niveau de connaissance suffisant sur des sujets très variés.

À l'issue de cette formation initiale, Thomas a pu passer à la phase suivante de son parcours : la formation post-affectation. Avant de s'envoler pour la Station spatiale internationale, les astronautes suivent en effet deux ans et demi de préparation intensive.

Le rythme s'est alors accéléré : Thomas a enchaîné les formations pratiquement sans interruption, en voyageant entre les différents sites des partenaires internationaux. Son emploi du temps chargé l'a amené à Houston (États-Unis), à la Cité des étoiles près de Moscou (Russie), à Tsukuba près de Tokyo (Japon) et à Montréal (Canada).

En tant qu'ingénieur de bord du vaisseau Soyouz, Thomas doit effectuer de nombreuses « heures de vol » dans le simulateur du vaisseau russe. Il s'est donc entraîné jusqu'à ce qu'il se sente parfaitement à l'aise dans le cockpit et puisse commander le Soyouz à la perfection dans toutes les situations.

Thomas s'est aussi formé aux systèmes de l'ISS dans des maquettes grandeur nature, où il a assimilé le fonctionnement de tous les équipements et a appris à les réparer en cas de panne. Il s'est familiarisé avec un certain nombre d'expériences et de démonstrations

technologiques, ainsi qu'avec le laboratoire européen Columbus, qui n'a maintenant plus de secret pour lui.

Thomas s'est exercé à utiliser le bras robotique qui sert à l'amarrage de certains vaisseaux à la Station. Il s'est préparé pour les sorties dans l'espace, que l'on appelle les activités extravéhiculaires, dans d'énormes piscine qui simulent les conditions du travail en apesanteur à l'extérieur de la Station. Si l'opportunité se présente, il a toutes les cartes en main pour s'aventurer dans procéder à une sortie en scaphandre.

Il a également participé à des simulations de missions spatiales en vue de son séjour en orbite. Thomas a notamment participé à une mission d'exploration de 12 jours à destination d'un astéroïde, simulée dans la base Aquarius, le seul laboratoire de recherche sous-marin au monde. Pour se préparer aux conditions de vie dans l'espace, il a dû s'habituer à vivre dans des installations très exigües, à 20 m en dessous du niveau de la mer au large des côtes de Floride (États-Unis), et à dépendre totalement des équipements de vie. Il a aussi participé au programme de formation CAVES de l'ESA, pendant lequel il a vécu sous terre pendant une semaine avec une équipe internationale d'astronautes, et a exploré un réseau de grottes en Sardaigne (Italie).

Thomas a suivi des stages de survie en environnement extrême pour se préparer à faire face à toutes sortes de situations dans un contexte d'isolement prolongé et de stress psychologique. Ces stages aident les astronautes à se préparer mentalement à gérer des urgences comme une dépressurisation du vaisseau spatial, un incendie ou des déversements toxiques, ou encore à atterrir dans des régions lointaines ou hostiles.



1



3



4



5



2

- 1 Formation aux procédures et techniques médicales de base.
- 2 Entraînement physique.
- 3 Exploration du monde souterrain dans le cadre de la formation CAVES de l'ESA.
- 4 Entraînement avec son coéquipier des expéditions 50/51, Oleg Novitsky, dans le Centre spatial Johnson de la NASA.
- 5 Ramassage de petit bois pendant l'entraînement à la survie en hiver. Le vaisseau Soyouz de Thomas pourrait atterrir dans une contrée lointaine et froide, et l'équipage doit donc acquérir des compétences pour survivre en attendant les secours.
- 6 Quand un vaisseau Soyouz revient sur Terre, il peut arriver qu'il atterrisse dans l'eau. Thomas a suivi un entraînement à la survie près de la Cité des étoiles en Russie.



6



↑ De gauche à droite : Peggy Whitson (NASA), Oleg Novitsky (Roskosmos) et Thomas Pesquet (ESA)

→ L'ÉQUIPAGE

Une mission en partage

Des hommes et des femmes se relaient à bord de la Station spatiale internationale depuis 2000. Étant donné que les capsules Soyuz ne peuvent transporter qu'un maximum de trois astronautes à la fois et ont une durée de vie opérationnelle limitée, les arrivées et les départs rythment la vie de la Station.

Assurer en permanence la présence d'un équipage complet requiert une planification attentive. Plusieurs fois par an, comme un mouvement d'horlogerie, trois astronautes quittent la station et sont remplacés par un nouveau trio. Ces rotations d'équipage de la Station spatiale internationale s'appellent des « expéditions ». Chaque astronaute reste dans l'espace pendant environ six mois et participe à deux expéditions consécutives.

Thomas fera partie des Expéditions 50 et 51. Il voyageera dans le Soyuz MS-03 en tant qu'ingénieur de bord, aux côtés du commandant du Soyuz Oleg Novitsky et de l'astronaute de la NASA Peggy Whitson.

Thomas est enthousiaste à l'idée de faire les trajets aller et retour avec un équipage aussi talentueux et chevronné. Peggy fait partie des astronautes les plus expérimentés de la NASA, puisqu'elle a déjà effectué deux missions et totalise 376 jours dans l'espace et six sorties extravéhiculaires, qui ont duré au total plus de 39 heures. Elle a participé à la construction de la Station spatiale internationale. Oleg, qui a fait carrière dans l'armée, est pilote, plongeur et instructeur de parachutisme militaire. Ce sera son deuxième voyage à destination de l'ISS.

Le nouveau système de rotation des équipages permet de disposer de six astronautes à bord de la Station, ce qui autorise une plus grande souplesse dans les tâches opérationnelles et la maintenance, et augmente le temps consacré à la recherche par rapport à l'époque où la Station n'accueillait que trois astronautes à la fois.

Les rotations d'équipages



Expédition 50

Nov. 2016 – mars 2017

Commandant ← Shane Kimbrough 
Ingénieur de bord 1 ← Andreï Borissenko 
Ingénieur de bord 2 ← Sergueï Ryzhikov 

Ingénieur de bord 3 ← Peggy Whitson 
Ingénieur de bord 4 ← Oleg Novitsky 
Ingénieur de bord 5 ← Thomas Pesquet 

Alexander Misurkin 
Nikolaï Tikhonov 
Mark Vande Hei 

→ Commandant
→ Ingénieur de bord 1
→ Ingénieur de bord 2

→ Ingénieur de bord 3
→ Ingénieur de bord 4
→ Ingénieur de bord 5

Expédition 51

Mars – mai/juin 2017



L'ISS en chiffres

- Plus de **200 personnes** se sont rendues dans la Station spatiale internationale.
- L'astronaute américain Scott Kelly et le cosmonaute russe Mikhaïl Kornienko sont ceux qui ont passé le plus de temps à bord de l'ISS au cours d'une même mission, à savoir **340 jours**.
- Les astronautes ont effectué un peu plus de **190 sorties dans l'espace** pour la construction et la maintenance de la Station.

↓ À l'intérieur de la capsule Soyouz (GCTC)



↑ Thomas avec ses coéquipiers au Centre de formation de cosmonautes Gagarine à la Cité des étoiles en Russie

Astronautes ou cosmonautes ?

Une personne qui voyage dans l'espace s'appelle un astronaute ou un cosmonaute : ces deux mots sont synonymes. Le terme cosmonaute est employé par les Russes. Il dérive des mots grecs *kosmos*, qui signifie univers, et *nautes*, qui veut dire marin. Le terme d'astronaute est utilisé principalement dans les pays de langue anglaise, tandis que les Français lui préfèrent souvent le mot « spatonaute ».

→ UN VOYAGE EN SOYOUZ

Le vétéran du transport spatial



↑ Décollage de nuit du lanceur Soyouz depuis le Cosmodrome de Baïkonour au Kazakhstan (NASA)

L'ascension du Soyouz et son insertion en orbite

T + 00:00:00
Décollage



T + 00:01:58
Séparation
du premier
étage



T + 00:02:38
Séparation de la tour de
sauvetage et de la coiffe



Altitude : 0 km

42 km

85 km

Vitesse : 0 km/h

6100 km/h

8300 km/h

Distance
parcourue :

39 km

109 km



Le Soyouz est utilisé pour les vols habités depuis bien plus longtemps que tous les autres systèmes de lancement. Le fidèle lanceur russe est actuellement le seul moyen de transport dont disposent les astronautes pour rejoindre la Station spatiale internationale.

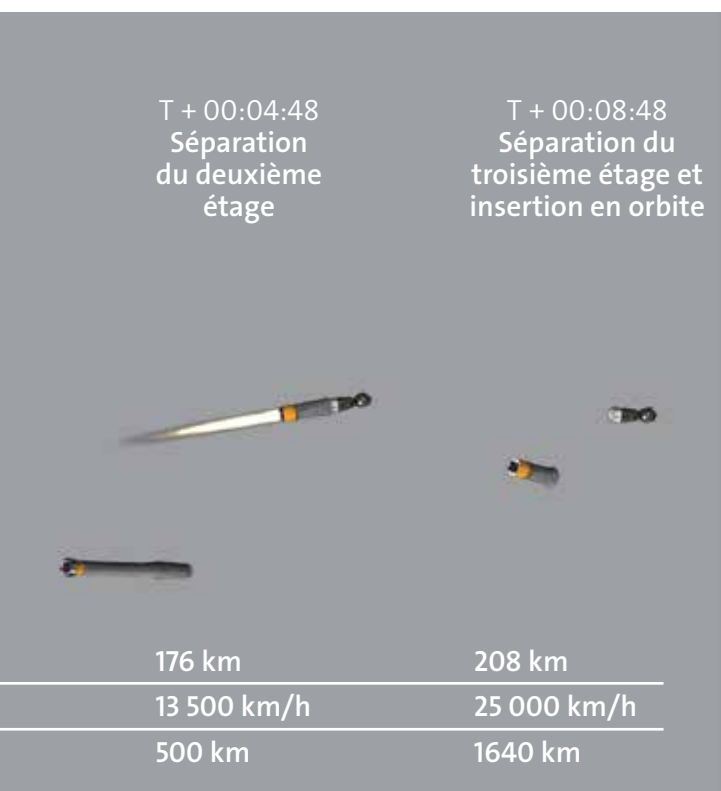
Le vaisseau spatial Soyouz, qui porte le même nom que son lanceur – nom qui signifie « union » en russe –, est capable d'effectuer les manœuvres de rendez-vous et d'amarrage automatiquement ou sous contrôle manuel. Conçu dans les années 1960 dans le cadre du programme spatial soviétique, à l'époque où l'URSS et les États-Unis se disputaient la conquête de la Lune, le vaisseau Soyouz continue à transporter les astronautes jusqu'à l'orbite terrestre basse.

Le lancement

Le jour du lancement, le véhicule fait le plein de carburant et le compte à rebours final commence trois heures avant le décollage. Quatre propulseurs d'appoint, mesurant chacun près de 20 m de long, assurent la poussée pendant les deux premières minutes de vol avant d'être largués par le lanceur.

En moins de cinq minutes, 225 tonnes de RP-1 et d'oxygène liquide sont consommées. Le RP-1 est une forme hautement raffinée de kérosène, similaire au carburant d'un moteur à réaction. Au bout d'environ dix minutes de vol, à une altitude de près de 210 km et à une vitesse de 25 000 km/h, le Soyouz se met en orbite autour de la Terre.

Des corrections orbitales sont nécessaires avant que le vaisseau ne rejoigne l'orbite de la Station spatiale internationale, qui vole à une altitude de 400 km et une vitesse d'environ 28 000 km/h. Une fois placé en orbite derrière l'ISS, l'équipage du Soyouz procède aux vérifications des systèmes et reste en contact avec les contrôleurs du Centre de contrôle russe de la mission.



Le Soyouz est un engin complexe. Il faut apprendre à faire le travail de cinq ou six personnes en même temps, et le tout en russe !

Thomas Pesquet



Le lanceur Soyouz

Les fusées Soyouz mettent des vaisseaux et des satellites en orbite depuis près d'un demi-siècle, ce sont les lanceurs les plus utilisés au monde. Elles ont à leur actif plus de 1 700 lancements habités ou non, soit bien plus que n'importe quelle autre fusée. Leur conception à trois étages remonte au lanceur Vostok, qui avait été utilisé pour le premier vol habité du cosmonaute Yuri Gagarine en 1961. Le Soyouz se distingue par une conception simple, des coûts bas et une grande fiabilité. La fusée Soyouz FG, qui mesure 51 m de haut, est équipée à son sommet d'un système de sauvetage relié au vaisseau Soyouz, permettant de désolidariser rapidement le module de l'équipage en cas de défaillance de la fusée, jusqu'à environ trois minutes après le lancement.

L'approche finale et l'amarrage

Le Soyouz de Thomas atteindra rapidement la Station spatiale internationale. Le vaisseau exécutera un rendez-vous le jour même et s'amarrera au bout de seulement quatre orbites, moins de six heures après le lancement.

Le rendez-vous et l'amarrage sont automatisés, mais l'équipage du Soyouz peut exécuter ces opérations manuellement en cas d'anomalie. Le vaisseau Soyouz effectue une série de corrections de trajectoire et de manœuvres pour s'aligner sur un des quatre ports d'amarrage russes disponibles sur l'ISS.

Une fois amarré à la Station, l'équipage égalise la pression ambiante entre le Soyouz et l'avant-poste orbital. Après avoir retiré leur combinaison de vol, les astronautes ouvrent le sas pour entrer dans ce qui sera leur domicile pendant les six mois à venir.

Un canot de sauvetage

Une capsule spatiale Soyouz a transporté le premier équipage permanent jusqu'à la Station spatiale internationale en novembre 2000. À l'heure actuelle, chaque équipage de trois astronautes dispose d'un Soyouz amarré à la Station, qui peut servir d'abri de sécurité ou de véhicule de sauvetage pour rentrer sur Terre en cas d'urgence. Bien que l'ISS soit le vaisseau spatial le plus blindé au monde, un débris de la taille d'une pièce de monnaie suffirait à mettre en danger la vie des astronautes.

Le vaisseau Soyouz

Thomas Pesquet volera sur le Soyouz MS-03, une version modernisée du légendaire véhicule de transport russe. Il s'agit de la dernière version du vaisseau Soyouz, qui bénéficie en l'occurrence de panneaux solaires plus efficaces, d'un nouvel ordinateur de contrôle de vol avancé, d'un système de navigation plus précis et d'un système de propulsion amélioré.

1 Le module de service

Ce module contient l'oxygène et les ergols, les propulseurs de contrôle d'attitude, et l'électronique des systèmes de communication et de pilotage, guidage et navigation. Les astronautes n'ont pas accès à ce module, dont toutes les fonctions sont commandées à distance.

2 Le module de descente

Seul module à revenir sur Terre, il est conçu pour résister aux pressions de la rentrée dans notre atmosphère.

3 Le module orbital

Ce module, qui n'est utilisé qu'en orbite, sert d'espace de vie. Il est équipé de W.C.



“

Voler dans un vaisseau spatial, c'est comme voler dans un avion de ligne. Le rythme est le même que lors d'un vol long-courrier, et même le pilotage est similaire.

Thomas Pesquet

”

Les débris spatiaux sont surveillés depuis le sol, et la Station spatiale peut être manœuvrée pour les éviter en cas de besoin. Si cela n'est pas possible, les astronautes peuvent s'abriter dans leur vaisseau Soyouz. En cas de collision avec la Station, les astronautes seraient ainsi dans leur capsule, prêts à revenir sur Terre.

Le désamarrage et la rentrée

Après avoir vécu et travaillé à bord de l'ISS pendant près de 190 jours, Thomas reviendra sur Terre dans la capsule Soyouz avec ses coéquipiers. La fermeture du sas du Soyouz marquera la fin de la mission Proxima, et les astronautes atterriront sur Terre moins de quatre heures plus tard.

Environ trois heures après le désamarrage, lorsque le Soyouz sera à une distance de 19 km de la Station spatiale, le moteur principal du vaisseau s'allumera pendant environ quatre minutes. Cette poussée de désorbitation ralentira le vaisseau pour abaisser son orbite. Peu après, à une altitude de 140 km et moins de 30 minutes avant l'atterrissage, le vaisseau Soyouz se séparera en trois parties.

Le module orbital et le module de service se consumeront dès leur entrée dans les couches plus denses de l'atmosphère terrestre. Le module de descente pivotera naturellement, de sorte que son bouclier thermique puisse absorber l'essentiel de la chaleur causée par le frottement atmosphérique.

La phase de rentrée commencera à une altitude d'environ 100 km : à ce stade, la capsule subira une très forte décélération, et l'équipage sera collé aux sièges par une force atteignant 5 g, l'équivalent de cinq fois le poids de leur corps.

L'atterrissage et la récupération

Les parachutes se déploieront pour réduire encore la vitesse. Les sièges ajustés sur mesure et équipés d'amortisseurs de chocs absorberont alors une partie de la secousse. Juste avant l'atterrissage, les rétrofusées s'allumeront pour limiter la vitesse à environ 5 km/h.

Après avoir touché le sol, l'équipage déploiera une antenne de communication pour signaler sa position aux équipes de secours. Les modules de descente Soyouz ne sont pas réutilisables, mais une partie de l'équipement, panneau de commande compris, peut être retirée et réutilisée.

De retour sur Terre, Thomas s'envolera directement pour le Centre des astronautes européens, qui est la base de tous les astronautes de l'ESA et se trouve à Cologne, en Allemagne. L'équipe médicale de l'ESA pourra profiter de

son arrivée rapide pour l'examiner sous toutes les coutures et lui faire commencer rapidement son programme de remise en forme et de réhabilitation. Cela permettra aussi aux scientifiques de poursuivre leurs recherches peu après l'atterrissage.



↑ Lors du retour sur Terre, les modules du Soyouz se séparent avant la rentrée dans l'atmosphère, à environ 140 km d'altitude. Le module orbital et le module de service se désintègrent et se consomment dans l'atmosphère. (ESA/NASA)



↑ Trois heures après le désamarrage, un système de parachutes se déploie selon une séquence précise. La capsule de rentrée entame une descente stable à une vitesse d'environ 7 m/s. (NASA)



↑ Quelques minutes après son atterrissage en septembre 2015, l'astronaute de l'ESA Andreas Mogensen est transporté vers une tente médicale où il pourra se mettre debout, après 10 jours dans l'espace.



→ L'ESPACE À VOTRE SERVICE

La Station spatiale internationale

Le saviez-vous ?

- Il est possible de voir la Station spatiale internationale à l'œil nu presque partout sur Terre : elle ressemble à une **étoile très lumineuse en mouvement**. Quand le ciel est dégagé, vous pouvez l'observer jusqu'à trois heures avant le lever du soleil ou trois heures après son coucher, environ dix jours par mois.
- La Station offre plus d'espace de vie qu'une **maison de six chambres** classique, avec une baie vitrée à 360 degrés que l'on appelle la Cupola, deux cabinets de toilette et des équipements sportifs.
- La Station est **habitée depuis 16 ans**. Aucune autre station spatiale n'a été habitée aussi longtemps ni n'a reçu autant de visiteurs.



La Station spatiale internationale est un formidable exemple de coopération, qui réunit l'Europe, les États-Unis, le Japon et le Canada au sein de l'un des plus grands partenariats de l'histoire de la science. Elle est l'un des plus grands ouvrages d'ingénierie jamais réalisés. Cet avant-poste humain en orbite autour de la Terre est un tremplin pour les futures missions d'exploration spatiale.

Grâce à cet effort international sans précédent, des hommes et des femmes vivent et travaillent dans l'espace sans interruption depuis près de deux décennies. Le complexe orbital, qui a la taille d'un terrain de football, offre suffisamment de place pour héberger l'équipage et un nombre considérable d'installations de recherche. Ce laboratoire en apesanteur permet d'effectuer certaines expériences plus efficacement que n'importe quelle autre plateforme de microgravité sur Terre.

L'utilisation efficace et intensive de ces équipements de recherche permet de développer de nouvelles applications pratiques, et de mettre ainsi l'espace au service de tous les habitants de notre planète.

Un laboratoire de recherche en chute libre dans l'espace

Depuis des dizaines d'années, les expériences effectuées dans l'espace apportent des réponses à de nombreuses questions scientifiques, inspirent des développements technologiques et conduisent même parfois à des résultats inattendus. La Station spatiale internationale, dont la construction a duré 13 ans, nous permet en outre d'observer dans la durée les effets de la microgravité sur les êtres humains.

La gravité influe sur pratiquement tout ce que nous faisons sur Terre. En chute libre autour de la planète, la Station spatiale offre aux astronautes la possibilité de vivre dans des conditions de microgravité. Les scientifiques profitent de ce cadre exceptionnel pour mener des études pionnières, tester des théories et repousser les limites de la connaissance.

Ce laboratoire international de haute volée abrite des installations sophistiquées, qui sont utilisées pour un large éventail de travaux de recherche dans les domaines de la physiologie humaine, de la biologie, de la physique fondamentale, de la science des matériaux, de l'observation de la Terre et de la science spatiale.

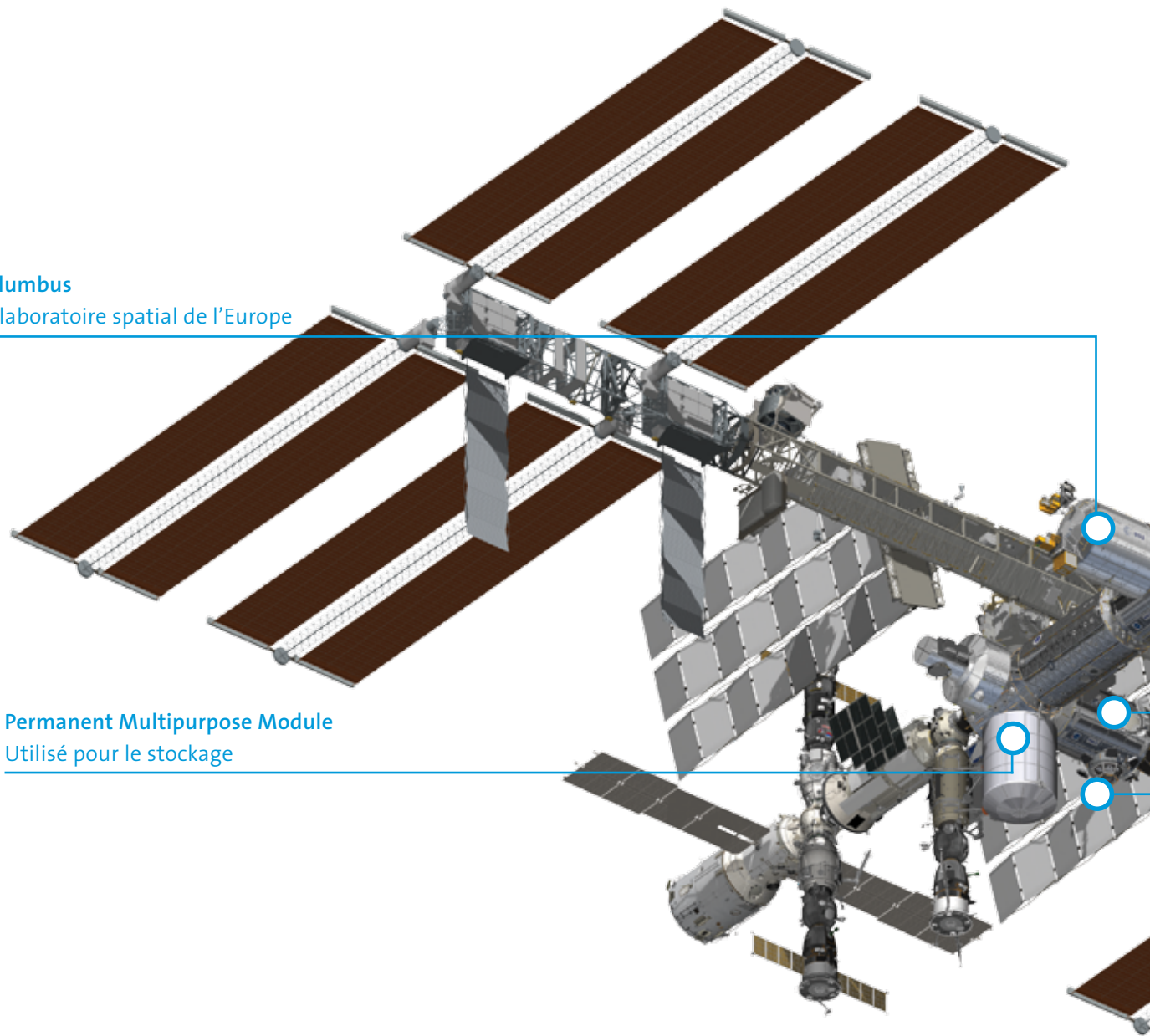
Cet avant-poste orbital offre une vue unique de la Terre, idéale pour recueillir des données scientifiques. L'observation des glaciers, des terres agricoles, des villes et des barrières de corail vient compléter les données des satellites, et nous permet ainsi de dresser un portrait complet de notre planète. La science dans l'espace soutient le développement de technologies compétitives, la recherche et l'éducation.

Columbus

Le laboratoire spatial de l'Europe

Permanent Multipurpose Module

Utilisé pour le stockage



Les éléments européens de la Station spatiale internationale

Columbus

Le laboratoire Columbus est la première installation de recherche européenne permanente dans l'espace. Depuis 2008, ce laboratoire multifonction génère des données scientifiques dans un large éventail de disciplines. Des plateformes extérieures permettent de conduire des expériences et de tester des applications dans le domaine de la science spatiale, de l'observation de la Terre et de la technologie.

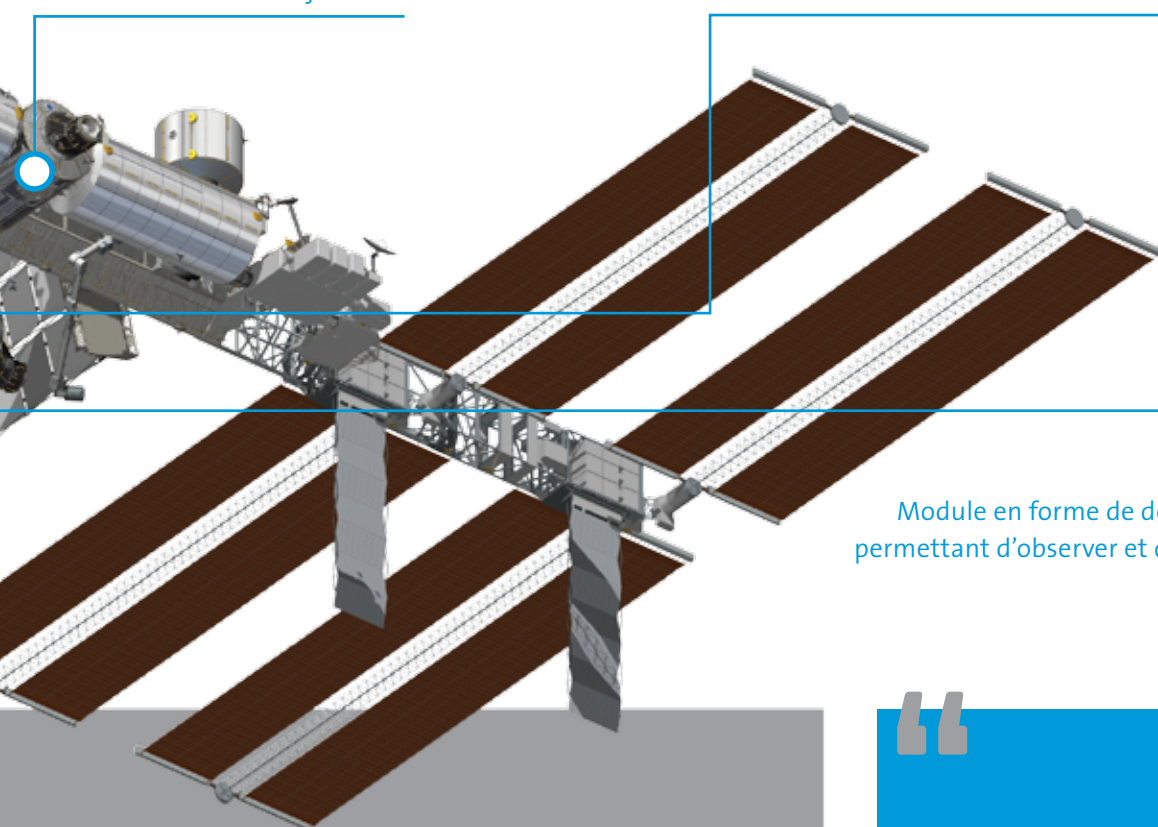
Harmony et Tranquility

Le Node-2 Harmony est un module de jonction qui raccorde les laboratoires Columbus, Destiny et Kibo. Il est doté de trois ports d'amarrage destinés aux vaisseaux en visite. Connecté au Node-1 Unity et à la Cupola, le Node-2 Tranquility abrite l'équipement de soutien-vie et d'exercice physique nécessaire aux six membres d'équipage. Il est lui aussi doté de ports d'amarrage.



Node-2
Module de jonction

Node-3
Module de jonction



Cupola
Module en forme de dôme doté de baies vitrées permettant d'observer et de guider les opérations à l'extérieur de la Station

Cupola

L'observatoire de la Cupola est le plus récent des modules européens de la Station. Ce dôme à sept baies vitrées est la fenêtre panoramique qui permet à l'équipage d'observer la Terre et de bien voir l'équipement extérieur qu'ils contrôlent depuis l'intérieur de la Station.



Dans l'espace, j'aurai la chance d'expérimenter de nouvelles sensations : flotter en apesanteur, observer la Terre d'en haut et profiter du privilège extraordinaire de vivre et de travailler à bord de la Station spatiale. Je devrai désapprendre ce que j'ai connu sur Terre et m'adapter à un environnement complètement nouveau, où même mon corps changera.

Thomas Pesquet

→ DE LA RECHERCHE POUR L'HUMANITÉ

La science européenne dans l'espace

La mission Proxima marquera un temps fort pour la communauté scientifique européenne. Thomas contribuera à 62 expériences coordonnées par l'ESA et le Centre national d'études spatiales (CNES). Ces expériences viseront à faire avancer la connaissance du corps humain, la physique et la biologie, et à démontrer de nouvelles technologies à bord de la Station spatiale internationale.

Comme lors des missions françaises précédentes à destination de la station spatiale russe Mir et de la Station spatiale internationale, l'accent sera mis sur la physiologie humaine. Les scientifiques espèrent parvenir à en savoir plus sur les compétences cognitives et motrices, ainsi que sur les os et la santé musculaire,

dans la perspective des futures missions d'exploration de l'espace.

Thomas utilisera au maximum les installations scientifiques de l'ISS et effectuera des expériences précieuses pour l'Europe dans le laboratoire européen Columbus. Les résultats bénéficieront aux habitants de la planète et apporteront des informations utiles pour les futures missions d'exploration spatiale.

Thomas ne contribuera pas uniquement à la science européenne. Pendant sa mission Proxima, il prendra part à près de 55 autres expériences des agences spatiales américaine, canadienne et japonaise.

LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT SPATIAL



↑ SOLAR nous permettra d'en savoir plus sur notre étoile (NASA/SOHO)

LE SOLEIL

L'installation SOLAR mesure le rayonnement électromagnétique de notre étoile avec une précision sans précédent, couvrant une grande partie de son spectre. Les spectromètres utilisés effectuent des observations dans les longueurs d'onde ultraviolettes, visibles et infrarouges. Un des premiers objectifs de cette étude est de mesurer la constante solaire pour distinguer l'impact solaire de l'influence humaine sur le climat terrestre.

LE RAYONNEMENT

Dans l'espace, les niveaux de rayonnement sont en général 30 à 50 fois plus élevés que sur Terre. L'expérience **DOSIS-3D** surveille le rayonnement dans le module européen Columbus pour prévenir les problèmes de santé pendant les missions spatiales de longue durée.

LE CHAMP MAGNÉTIQUE

L'expérience **MagVector** mesure les variations d'intensité du champ magnétique qui interagit avec la Station Spatiale, pour mieux comprendre les effets du champ magnétique terrestre sur les systèmes électriques.



↑ Le champ magnétique de la Terre (ESA/ATG Medialab)

LES PLANTES

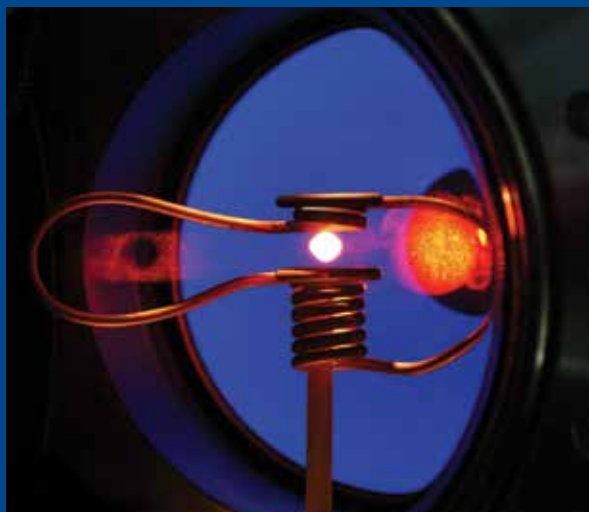
L'expérience **Seedling Growth-3** analyse la façon dont les plantes réagissent aux sources de lumière colorée en microgravité. À long terme, l'objectif est de trouver des substituts à la lumière solaire pour les cultures. Faire pousser des plantes avec peu de lumière naturelle est un défi qui se pose en effet aux cultivateurs travaillant dans des serres, mais également aux astronautes, qui pourraient bien un jour avoir à produire leur propre nourriture afin de conserver une alimentation équilibrée lors de missions à destination de la Lune ou de Mars.



↑ La croissance des semis dans la salle claire de l'ISS (SRON)

LES MÉTAUX

Les superalliages métalliques sont très demandés, car ils permettent d'optimiser les procédés de fonte industriels. Un ensemble d'expériences explorera les effets de la microgravité sur les microstructures métalliques et, en particulier, sur les métaux liquides lors de la formation des alliages. Le four à lévitation électromagnétique (**Electromagnetic Levitator**) permet de fondre et de solidifier des échantillons métalliques sans creuset, dans des conditions d'ultravide, ainsi que dans des gaz extrêmement purs.



↑ L'Electromagnetic Levitator (DLR)

LE PLASMA

Le plasma est un gaz ionisé. Considéré comme le quatrième état de la matière, il se distingue de la matière gazeuse, liquide et solide. L'expérience **PK-4**, mise en œuvre par les cosmonautes russes dans le laboratoire Columbus, étudie la formation de microparticules de plasma en apesanteur, ce qui, par analogie, aide à comprendre comment les molécules interagissent en trois dimensions.

LES FLUIDES

Les fluides et les gaz ne sont jamais au repos. Leurs molécules bougent sans cesse et entrent continuellement en collision les uns avec les autres. Il est intéressant pour les scientifiques de mesurer le mouvement des particules, car celui-ci révèle des informations sur la rapidité avec laquelle la chaleur se répand dans un fluide et la rapidité avec laquelle les liquides se mélangent. Les fluides étant moins dynamiques en microgravité, des chercheurs ont eu l'idée de profiter de l'ISS pour mesurer la diffusion dans les mélanges liquides : c'est l'objectif de l'expérience **SODI-DCMIX-3**. L'expérience **Fluid Dynamics in Space (FLUIDICS)** portera elle aussi sur le comportement des fluides en microgravité, et en particulier sur le ballonnement des carburants liquides dans les réservoirs pendant les manœuvres des satellites. Les résultats de ces travaux aideront à améliorer la conception des réservoirs d'ergols des futurs engins spatiaux.



↑ La cosmonaute de Roskosmos Elena Serova avec l'unité d'expérience PK-4 dans le laboratoire Columbus de l'ESA (Roskosmos)

LA PERCEPTION DE LA FORCE

L'ESA étudie les limites de la perception humaine et la capacité des astronautes à exercer des forces légères avec les membres et les mains dans l'espace. Dans le cadre de l'expérience **Haptics/Interact**, Thomas utilisera un joystick à retour de force. Les données recueillies permettront d'améliorer les équipements, de manière à faciliter l'interaction hommes-robots en apesanteur, dans la perspective de futures missions d'exploration planétaire où les hommes et les robots travailleront en partenariat.



↑ L'astronaute de l'ESA Thomas Pesquet utilise le joystick à retour de force

LE NETTOYAGE

À bord de la Station spatiale internationale, le ménage n'est pas une mince affaire. Thomas évaluera l'utilisation de surfaces antimicrobiennes dans l'espace. L'objectif de l'expérience **MATISS** est de réduire la contamination microbienne dans le vaisseau habité en testant des substances qui diminuent la capacité des microorganismes à survivre sur les surfaces. Certaines des surfaces qui seront testées ont des propriétés autonettoyantes. Si les résultats sont concluants, ces produits pourraient être utilisés dans les hôpitaux et d'autres établissements de soins.

LA PURIFICATION DE L'EAU

Thomas testera les capacités de filtration d'une membrane en microgravité et analysera la qualité

microbiologique de l'eau de l'ISS. L'objectif ultime de la démonstration **Aquamembrane** est de révolutionner la purification de l'eau au moyen de procédés biotechnologiques dans l'espace et sur Terre. **Aquapad** vise à simplifier l'analyse de la qualité de l'eau dans la Station spatiale en démontrant l'efficacité d'une méthode bon marché et facile à utiliser, permettant de détecter la présence de microbes dans un échantillon d'eau potable.



↑ L'astronaute de l'ESA Andreas Mogensen travaille sur l'expérience Aquamembrane

LE CONTRÔLE À DISTANCE

En vue de faire de la robotique et des opérations télécommandées un outil standard des missions spatiales, l'ESA établit des liaisons entre l'ISS et la Terre. Alors qu'il sera en orbite, Thomas commandera le rover Eurobot de l'ESA, qui se trouve aux Pays-Bas, à l'aide d'un ordinateur portable et d'un joystick. L'activité **Meteron SUPVIS-E** s'inscrit dans la continuité d'une série d'expériences de complexité croissante. L'astronaute européen testera aussi l'unité **Echo**, un scanner ultrasonique d'imagerie médicale qui sera contrôlé à distance par un radiologue sur Terre. Cette technique pourrait permettre à des populations isolées de bénéficier de l'expertise médicale à laquelle elles n'ont pas accès pour le moment.



↑ Le rover Eurobot

HABILLÉ POUR L'ESPACE

Les astronautes peuvent prendre jusqu'à sept centimètres, car leur colonne vertébrale s'allonge en apesanteur. Résultat : ils sont nombreux à souffrir de maux de dos pendant les missions de longue durée. Thomas portera une combinaison conçue pour lutter contre les effets de l'absence de gravité, qui compresse le corps des épaules aux pieds avec une force similaire à celle ressentie sur Terre. Cette combinaison de type « seconde peau » (Skinsuit) pourrait être utilisée au sol par les personnes souffrant de douleurs lombaires.



↑ Thomas teste sa combinaison au cours d'un vol parabolique (CNES/Novespace)

LE CONTRÔLE MARITIME

Le système **Vessel ID** est l'équivalent maritime du contrôle aérien. Installé sur le laboratoire européen Columbus, son récepteur satellite peut identifier jusqu'à 22 000 navires par jour. Ces données contribuent à développer la surveillance maritime mondiale.



↑ Le trafic maritime mondial depuis l'espace (LuxSpace)



↑ Les astronautes de l'ESA Christer Fuglesang et Thomas Reiter portent à la ceinture des systèmes de surveillance des rayonnements (ESA/NASA)

LES CAPTEURS INTELLIGENTS

Thomas portera des vêtements équipés de capteurs. L'expérience **EveryWear** démontrera qu'il est possible de relever des données physiologiques sur les astronautes et de les transmettre à la Terre en temps réel à des fins médicales et scientifiques. Le projet **EuCPAD** testera un nouveau système de mesure du rayonnement conçu pour l'espace, capable de fournir en temps réel continu des informations sur l'exposition aux radiations. Cette solution pourrait être intégrée à la stratégie de l'ESA en matière de protection des astronautes contre le rayonnement.

LA TECHNOLOGIE DE DÉTECTION SANS FIL

Comment un capteur sans fil fonctionne-t-il dans l'espace ? L'expérience **Wise-Net** teste un ensemble de capteurs dans le module Columbus.

LA TÊTE

Comprendre comment les processus neuronaux de la perception s'adaptent à l'apesanteur est l'objectif de l'expérience **Brain-DTI**. Le cerveau de Thomas sera soumis à un examen détaillé avant et après sa mission. Cette étude pourrait déboucher sur de nouveaux outils permettant de faire avancer la recherche sur les processus cognitifs dans l'espace. Thomas tiendra aussi un registre des maux de tête et autres symptômes qui l'affecteront en orbite. Les résultats de l'expérience **Space Headaches** aideront à mettre au point des mesures pour lutter contre les migraines.

LES MAINS

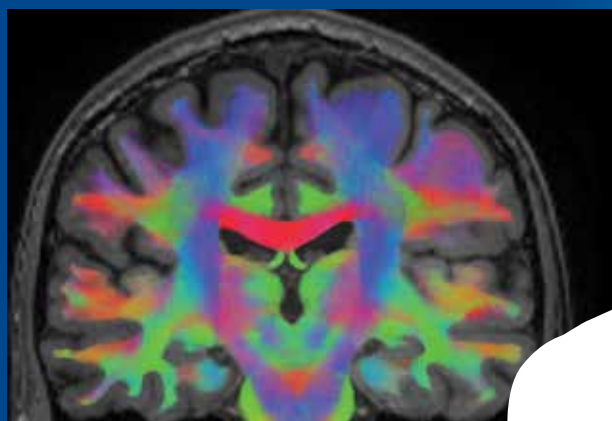
L'expérience **GRIP** étudiera les effets d'un vol spatial de longue durée sur la dextérité de Thomas en analysant la façon dont le système nerveux central contrôle la force et les mouvements des mains pendant la manipulation des objets en microgravité. L'expérience **GRASP** consistera à immerger Thomas dans un environnement de réalité virtuelle, grâce à l'équipement **Perspectives**. L'objectif est d'étudier comment le système nerveux central traite les indices sensoriels et les informations provenant de différents cadres de référence pour coordonner le mouvement des mains et la perception visuelle. En particulier, l'expérience examinera comment la gravité agit comme un cadre de référence lorsqu'une personne tend la main vers un objet ou le saisit. Ces deux expériences pourraient aider les patients qui ont du mal à manipuler les objets.

LE MÉTABOLISME

La masse du corps humain diminue dans l'espace. Thomas mesurera les variations de sa dépense énergétique pour mettre au point une équation permettant de calculer les besoins d'un astronaute en apesanteur. L'expérience **Energy** vise à améliorer la planification des rations alimentaires nécessaires pour les missions de longue durée à bord de la Station spatiale internationale ou vers des destinations plus lointaines.

L'HORLOGE INTERNE

Nous avons tous une horloge interne, dite horloge circadienne ou biologique, qui nous indique plus ou moins l'heure qu'il est et qui régule notre cycle veille/sommeil. Dans la Station spatiale, ce cycle est perturbé, car les astronautes assistent à 16 levers et couchers de soleil par jour. L'expérience **Circadian Rhythms**



↑ Scanner cérébral (Université d'Anvers)



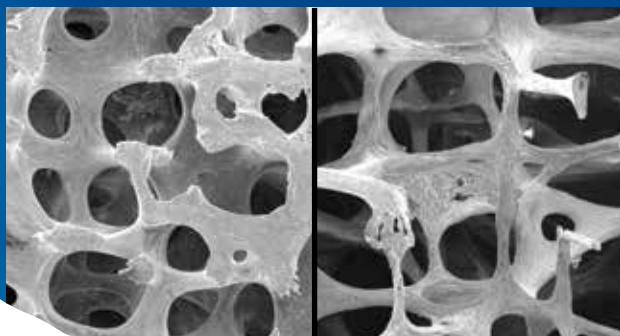
↑ Test du prototype GRIP au cours d'un vol parabolique recréant des conditions d'apesanteur



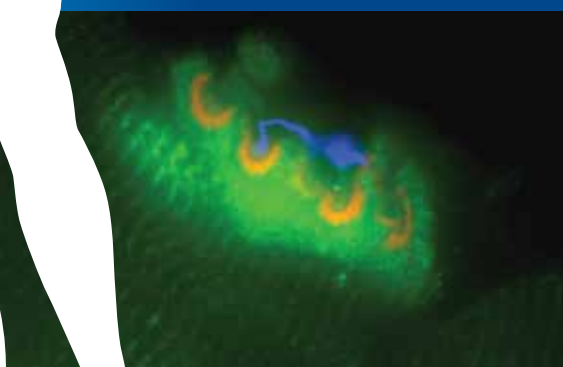
↑ Aliments spatiaux pour l'expérience Energy



↑ L'astronaute de l'ESA Alexander Gerst porte sur le front un thermomètre qui mesure sa température en continu (ESA/NASA)



↑ Comparaison d'une architecture osseuse normale (à gauche) et ostéoporotique (à droite) (University College de Londres — T. Arnett)



↑ Image laser d'un muscle de veau (Charité)



↑ L'astronaute de l'ESA Samantha Cristoforetti effectuant l'expérience Skin-B (ESA/NASA)

examinera comment le vol de longue durée affecte l'horloge biologique de Thomas. Ses conclusions pourraient être utiles aux personnes ayant des horaires de travail irréguliers.

LES OS

Les astronautes perdent jusqu'à 1 % de leur masse osseuse par mois passé dans l'espace. L'expérience **Early Detection of Osteoporosis in Space** étudiera les changements survenant dans la structure osseuse des astronautes. Ces travaux aideront à détecter et, espérons-le, à prévenir l'ostéoporose, en particulier chez les personnes de plus de 55 ans.

LES MUSCLES

Vivre en microgravité entraîne une perte de masse musculaire, ainsi qu'un affaiblissement de la fonction musculaire et du contrôle moteur. L'expérience **SARCOLAB-3** étudiera les caractéristiques des muscles qui sont particulièrement affectés dans l'espace, comme les muscles des jambes, qui servent essentiellement à marcher et à garder l'équilibre. Grâce à des échantillons de tissus mous prélevés sur Thomas avant et après le vol spatial, l'expérience **Muscle Biopsy** aidera à comprendre comment contrecarrer la perte de force musculaire dans l'espace. L'astronaute européen communiquera son ressenti sur le fonctionnement de ses muscles avant et après le vol.

LA PEAU

Quand nous vieillissons, notre peau devient plus fragile et les plaies mettent plus de temps à cicatriser. Les astronautes perdent plus de cellules cutanées et vieillissent plus vite pendant les vols spatiaux. Le but de l'expérience **Skin-B** est de mieux comprendre la physiologie de la peau dans l'espace et, en particulier, le processus de vieillissement de la peau.

LE SYSTÈME IMMUNITAIRE

Plus de la moitié des voyageurs de l'espace présentent des signes de dysfonctionnement du système immunitaire après une mission de longue durée. En utilisant des scanners cérébraux, en surveillant la respiration et en examinant des échantillons de cheveux des cosmonautes russes, l'expérience **Immuno-2** étudie l'impact du stress sur le système immunitaire.

“

Nous sommes les opérateurs, mais aussi les sujets des expériences conduites dans l'ISS. Nous sommes des cobayes.

Thomas Pesquet

”

Le CNES

En 1961, alors que Youri Gagarine accomplissait le rêve de l'humanité de voyager dans l'espace, la France créait son agence spatiale, le Centre National d'Études Spatiales (CNES). Doté en 2015 d'un budget de plus de 2,1 milliards d'euros, dont 80 % vont directement à l'industrie, le CNES est un acteur majeur de la coopération spatiale internationale. En ce sens, il entretient des relations très étroites avec ses partenaires européens, par le biais de l'ESA et de la Commission européenne, ainsi qu'avec l'ensemble des puissances spatiales de la planète.

Avec 2 400 collaborateurs répartis entre ses quatre centres de Paris les Halles, Paris Daumesnil, Toulouse et Kourou en Guyane, l'agence spatiale française propose aux pouvoirs publics une politique spatiale nationale et la met en œuvre dans cinq grands domaines stratégiques : les lanceurs Ariane, les sciences, l'observation, les télécommunications et la défense. Ses activités sont donc multiples et parmi la kyrielle d'équipes qui l'animent, une en particulier accompagne le volet expérimental de la Station spatiale internationale (ISS) : celle du Centre d'Aide au Développement des Activités en Micropesanteur et des Opérations Spatiales (CADMOS). Ce centre opérationnel accompagne les expérimentateurs de la micropesanteur, c'est-à-dire les scientifiques qui souhaitent confronter leurs expériences à l'absence de gravité à bord de l'ISS, mais aussi dans des capsules automatiques ou encore dans l'Airbus Zero-G de la filiale Novespace du CNES.

Le CADMOS

Basé à Toulouse, le CADMOS 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, centre qui entre 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 compte tenu des compétences développées dans ce secteur. 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.

L'institut MEDES

L'Institut de Médecine et Physiologie Spatiales (MEDES), également basé à Toulouse, est la filiale santé du CNES. Créé en 1989, à l'initiative du CNES et du CHU de Toulouse,

il formalise l'existence d'un premier pôle physiologie au sein du CNES. Ses équipes interviennent en soutien au CADMOS pour le volet physiologique, à la Clinique spatiale, à Toulouse, où sont menées des expériences de simulation des effets de la micropesanteur sur l'organisme, et au Centre des astronautes européens, à Cologne, pour le suivi de l'entraînement et l'accompagnement médical des astronautes. L'expertise de MEDES l'a amené à participer à la sélection de la promotion 2009 du Corps des astronautes européens, dont fait partie Thomas Pesquet.

LES EXPÉRIENCES PROPOSÉES PAR LE CNES

AQUAPAD : UN NOUVEL OUTIL DE DIAGNOSTIC DE L'EAU

L'évaluation de la qualité de l'eau est un enjeu constant des vols habités. À bord de l'ISS, la majorité de l'eau utilisée pour se laver, boire et manger provient du traitement des eaux usées. Aquapad vise à améliorer la rapidité et l'efficacité des analyses de potabilité de l'eau. Le dispositif consiste en un simple coton absorbant sur lequel est injecté 1 ml d'eau. En présence de bactéries, l'astronaute verra apparaître des points de couleur. Il lui suffira alors de photographier le pad avec l'application mobile EveryWear pour calculer automatiquement le nombre de colonies présentes et obtenir une quantification précise. Grâce à une facilité d'interprétation intégrée au processus, le dispositif ne laissera aucun doute à l'astronaute quant à la potabilité de l'eau. Si Aquapad a été conçu pour une utilisation au sein de l'ISS, ses applications terrestres pourraient avoir une large portée. En effet, une analyse simple et rapide de l'eau

permettrait de faciliter l'accès à l'eau potable dans des pays où cette question se pose au quotidien. Dans des situations plus exceptionnelles, Aquapad pourrait aussi servir à diagnostiquer l'état de l'eau après des catastrophes naturelles.



MATISS : DE NOUVELLES SURFACES INTELLIGENTES

MATISS a pour objet de tester de nouvelles surfaces intelligentes en micropesanteur. Ces surfaces sont dites « intelligentes » ou « innovantes » eu égard à leur capacité à apporter une réponse adaptée à un stimulus donné. Les surfaces intelligentes du dispositif MATISS réagissent à l'approche de bactéries en les empêchant de se poser, de proliférer et de créer les biofilms qui les protègent dans un environnement hostile. L'expérience vise notamment à comprendre les mécanismes d'attachement des biofilms en situation de micropesanteur. L'optimisation des surfaces intérieures de l'ISS représente un véritable défi. Le



premier objectif de MATISS est de simplifier les opérations de décontamination afin de gagner du temps-équipage. Le second enjeu concerne l'exploration spatiale : la validation de ces surfaces innovantes permettrait en effet de disposer de nouveaux atouts pour l'élaboration de futurs vaisseaux spatiaux, notamment dans l'optique de voyages lointains. Au-delà du domaine spatial, MATISS trouvera des applications sur Terre. Par exemple, la qualification de nouvelles surfaces intelligentes pourrait servir pour l'équipement des transports en commun ou encore pour le revêtement de surfaces très sensibles et précises telles que les boutons d'ascenseurs.



EVERYWEAR : L'ASSISTANT DE L'ASTRONAUTE

À bord de l'ISS, le suivi des astronautes représente lui aussi un enjeu quotidien. Le système EveryWear, développé par MEDES, propose une nouvelle approche en la matière, avec un assistant matérialisé par une simple application sur tablette tactile. Il s'agit plus précisément de regrouper un ensemble de capteurs biomédicaux portatifs connectés en Bluetooth à un terminal mobile (en l'occurrence une tablette grand public). L'utilisation d'une tablette qui recueille un ensemble d'informations distinctes est une grande avancée dans le recueil des données médicales, physiologiques et personnelles de l'astronaute. Les principaux atouts d'EveryWear sont sa capacité à agréger les données provenant de différents outils mais aussi la simplification qu'il apporte dans les procédures pour les astronautes. C'est un dispositif adaptable qui peut couvrir un large éventail de besoins, avec une collecte de données adaptée qui permet un traitement uniformisé. Là

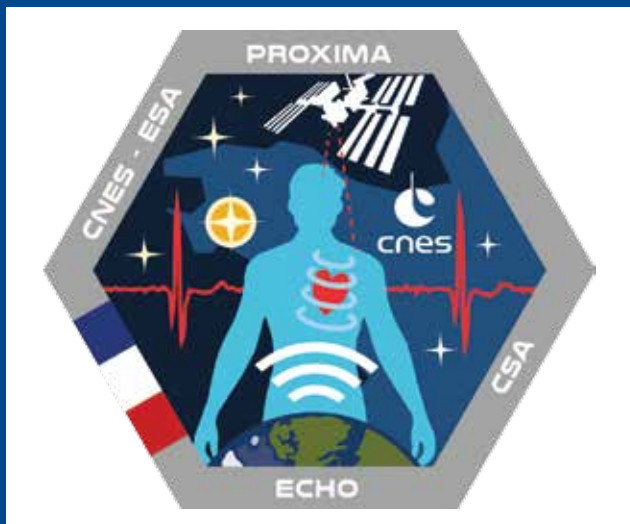
encore, le gain de temps-équipage induit par l'assistant personnel sera très important. À titre d'exemple, le suivi nutritionnel de l'astronaute l'oblige actuellement à répondre à des questionnaires au fur et à mesure de la prise de nourriture. Avec EveryWear, il lui suffira de scanner le code-barres imprimé sur l'emballage de chaque aliment. En retour, l'assistant pourra lui fournir des recommandations nutritionnelles adaptées et en temps réel. L'assistant EveryWear apportera également une dimension supplémentaire à Aquapad avec le calcul automatique des bactéries repérées dans l'eau. Véritable dispositif « connecté », EveryWear ambitionne de transformer le quotidien des membres d'équipage de l'ISS.

PERSPECTIVES : UN ENVIRONNEMENT IMMERSIF EN RÉALITÉ VIRTUELLE

Les effets de la micropesanteur sur l'être humain ne sont pas seulement d'ordre physique. On constate aussi une modification du système neurologique, qui cherche à s'adapter à son nouvel environnement. L'absence de « haut » et de « bas », l'abolition de la position debout sont autant de bouleversements auxquels le cerveau doit répondre pour continuer de diriger le corps avec précision. Dans ce contexte de perte de repères spatio-temporels, la réalité virtuelle offre une opportunité unique d'analyser dans le détail les modifications des fonctions cognitives des astronautes en les plongeant dans un environnement immersif choisi. Le dispositif Perspectives est un simple casque occultant stéréoscopique issu du commerce, accompagné d'une application dédiée. Ce nouveau casque plus performant, élargissant le champ d'action possible dans le domaine de la réalité virtuelle, sera testé dans le cadre de la mission Proxima. Le principal avantage de la réalité virtuelle est de permettre de contrôler les stimuli envoyés à l'astronaute, mais aussi de



pouvoir quantifier les réponses visio-moteurs du sujet. Au-delà des tests de bon fonctionnement, Perspectives sera avant tout expérimenté à travers les manipulations GRIP, GRASP (neurologie) et Time Perception (perception du temps en microgravité).



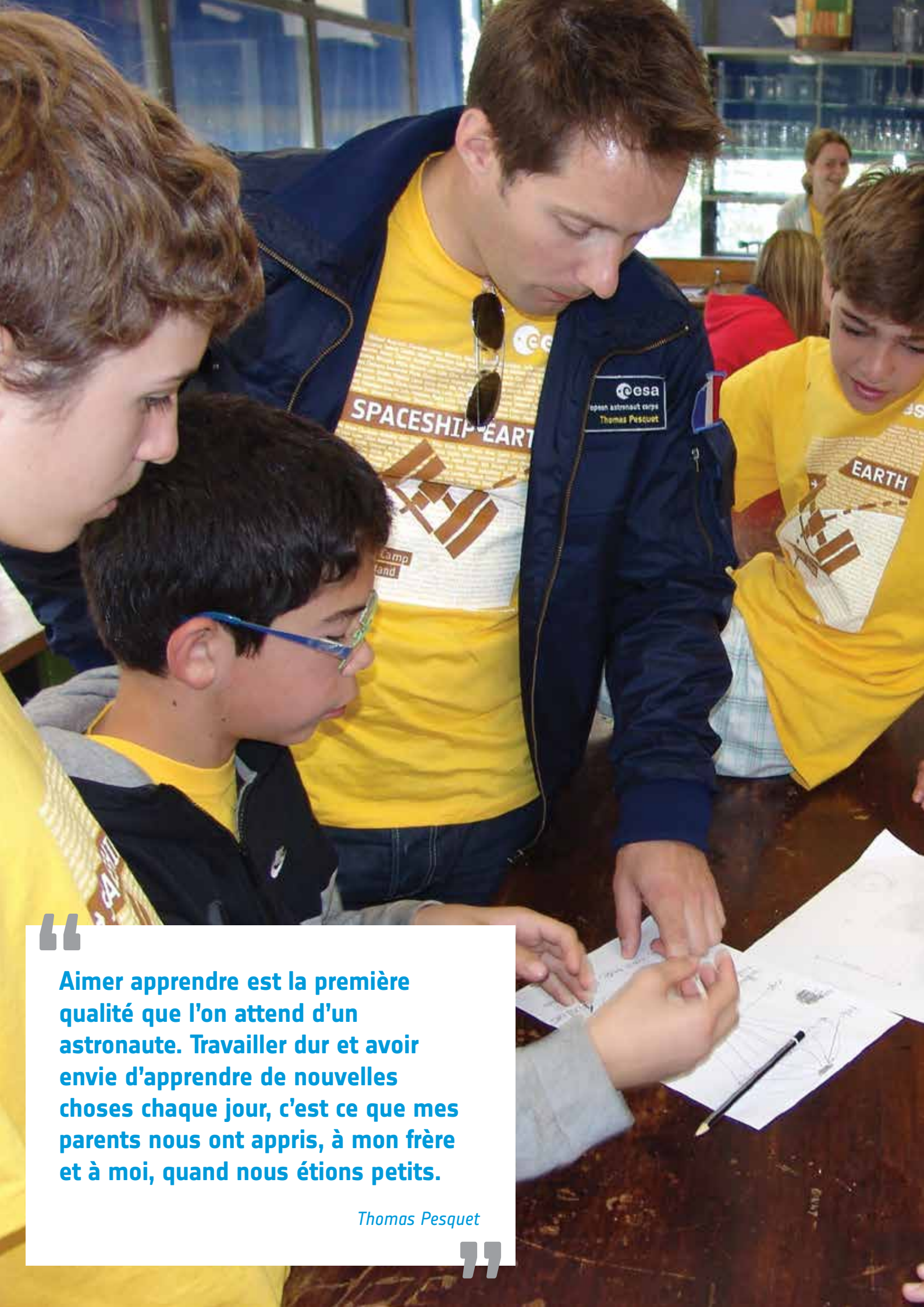
ECHO : UN ÉCHOGRAPHE TÉLÉ-OPÉRÉ DEPUIS LA TERRE

Depuis les années 1990, plusieurs systèmes d'échographes télé-opérés ont été développés et testés sur Terre puis à bord de l'ISS. L'expérimentation Echo a pour objet l'essai d'un équipement plus performant et plus simple d'utilisation, offrant de nouvelles possibilités d'expérimentation à bord de l'ISS. Cette nouvelle génération d'outil permet à l'expert d'opérer les mouvements fins de la sonde depuis la Terre et de recevoir en retour une image de haute qualité. Du côté de l'astronaute, de simples connaissances en anatomie sont nécessaires pour placer la sonde sur la zone à explorer. L'astronaute peut suivre l'échographie sur écran et l'interface de contact avec la Terre a elle aussi été simplifiée. Le véritable défi est de proposer un équipement performant avec une image d'excellente qualité et une réactivité de la sonde maximale pour un diagnostic médical rapide et précis. L'Agence spatiale canadienne prévoit d'ores et déjà d'utiliser Echo dans le cadre de son expérimentation Vascular Echo. Sur Terre, dans le domaine de la télé-médecine, cet échographe télé-opéré amélioré apportera un progrès considérable dans la gestion médicale des zones isolées (zones rurales des pays développés ou pays en voie de développement). Il suffira d'un assistant sur place, capable d'accompagner le patient et de gérer l'interface avec le système et l'expert. Le principe d'un échographe télé-opéré a déjà été éprouvé avec succès en France métropolitaine et en Guyane et c'est ce retour d'expérience qui a permis d'imaginer les améliorations qui seront testées dans le cadre d'Echo.

FLUIDICS : DYNAMIQUE DES FLUIDES DANS L'ESPACE

FLUIDICS est l'expérience en sciences de la matière proposée par le CNES pour la mission Proxima. Elle couvre deux volets d'expériences physiques portant sur la mécanique des fluides. Le premier, dédié à l'industrie aérospatiale, doit analyser le phénomène de ballonnement des liquides dans les réservoirs des engins spatiaux en situation réelle de micropesanteur. L'objectif est d'améliorer le guidage et la précision de ces engins, en particulier des satellites, et d'optimiser leur temps de disponibilité grâce à une meilleure gestion de leur carburant. Le deuxième volet de l'expérience concerne l'étude des phénomènes de turbulence d'ondes qui se produisent à la surface des liquides. Ceux-ci résultent de la compétition entre la source de mouvement et les forces de rappel. Sur Terre, les forces de rappel sont liées d'une part à la gravité et d'autre part à la tension de surface. En observant ce phénomène en micropesanteur, les scientifiques pourront donc se focaliser sur la tension de surface seule. Au-delà d'une meilleure connaissance des mouvements des fluides, cette expérience pourra aussi aider à mieux comprendre le fonctionnement des océans et notamment le phénomène des « vagues scélérates ». Plus largement encore, les résultats attendus pourraient contribuer à améliorer nos systèmes de prévision climatique ou encore à optimiser l'utilisation des énergies renouvelables océaniques. Concrètement, FLUIDICS se présente sous la forme de trois petites sphères transparentes soumises à la force d'une centrifugeuse. Deux sont utilisées pour l'observation des ballonnements, la troisième sert à analyser le phénomène de turbulence d'ondes. Les résultats seront analysés et comparés à des modèles de simulation numérique.





“

Aimer apprendre est la première qualité que l'on attend d'un astronaute. Travailler dur et avoir envie d'apprendre de nouvelles choses chaque jour, c'est ce que mes parents nous ont appris, à mon frère et à moi, quand nous étions petits.

Thomas Pesquet

”

→ L'ESPACE POUR L'ÉDUCATION

Une source d'inspiration pour la nouvelle génération

Une des priorités de Thomas pendant son séjour à bord de la Station spatiale internationale sera de partager sa mission avec le grand public. L'astronaute espère que plus de gens pourront s'envoler dans l'espace à l'avenir. En attendant, de multiples activités pédagogiques inviteront les élèves et les étudiants à participer à son aventure spatiale et à enrichir leurs connaissances. Blogueur actif et excellent communicant, Thomas fera aussi passer son message dans les réseaux sociaux sur l'importance de faire de l'exercice, d'aimer apprendre et de prendre soin de notre planète.

Mission-X : entraîne-toi comme un astronaute !

L'initiative Mission-X rencontre un grand succès international. Des milliers d'aspirants explorateurs de l'espace s'apprêtent à envahir les gymnases pour relever le défi 2017. « Mission-X : entraîne-toi comme un astronaute » est un programme éducatif qui invitera des écoliers de 7 à 12 ans de plus de 25 pays à participer à des activités scientifiques et à apprendre comment acquérir une bonne forme physique.

Thomas donnera le coup d'envoi de ce challenge mondial en parlant de l'importance de la nutrition et de l'exercice physique régulier, sur Terre comme dans l'espace. Il répondra aux questions, expliquera les principes d'un mode de vie sain et parlera de ses expériences en apesanteur.

Chimie : vivre avec les enzymes

Les enzymes sont des molécules biologiques qui favorisent les réactions chimiques complexes dans les cellules des organismes vivants. Sans les enzymes, nous ne pourrions pas digérer les aliments. Avec l'aide de Thomas, des élèves étudieront comment les réactions chimiques intervenant dans la digestion sont influencées par les conditions de microgravité.

Thomas aura deux seringues : l'une contenant une gélatine de protéines et l'autre contenant de la pepsine diluée dans un liquide acide. La pepsine est l'une des principales enzymes qui décomposent les protéines dans notre estomac. Thomas injectera la solution de pepsine dans l'autre seringue et prendra des photos à intervalles





↑ Des graines dans l'espace (ESA/NASA)

réguliers pour montrer comment l'enzyme casse la protéine en apesanteur. Pour permettre aux élèves de comparer leurs résultats avec ceux de Thomas, l'ESA prépare actuellement des kits destinés aux établissements scolaires, qui contiendront le même matériel et les mêmes ingrédients.

Biologie : jardiner dans l'espace

Thomas sera aussi chargé de faire pousser des graines dans l'espace. Une cargaison spéciale de graines de moutarde, de lentilles et de radis l'attendra dans l'ISS. Il devra les arroser et prendre des photos à intervalles réguliers pour étudier comment les graines poussent dans l'espace.

Au sol, des écoliers utiliseront le même type de graines et suivront les mêmes procédures, puis ils compareront leurs notes à celles de Thomas. Ils apprendront ainsi quels sont les effets du voyage spatial sur la croissance végétale, et découvriront si les hommes peuvent espérer produire un jour leurs propres aliments dans l'espace.

Physique : limpidité cristalline

Thomas aidera les élèves à comprendre la croissance des cristaux dans l'espace. Il commencera l'expérience en préparant une solution saturée et en l'injectant dans un sachet contenant le cristal initial, du tartrate double de sodium et potassium aussi connu sous le nom de sel de Rochelle ou de Seignette. Préparé pour la première fois aux alentours de 1675 par l'apothicaire français Pierre Seignette, originaire de La Rochelle, ce cristal a par la suite été utilisé dans les microphones et les écouteurs, ou encore pour fabriquer des miroirs.

Thomas prendra des photos à intervalles réguliers et partagera ses résultats avec des élèves français, qui recevront des kits d'expérience similaires. Les écoliers apprendront comment la gravité influence la croissance des cristaux.

Sciences de l'espace : observer pour apprendre

Thomas Pesquet unira ses efforts à ceux des enseignants qui essaient d'expliquer la science de l'espace à leurs élèves. L'astronaute enregistrera des vidéos dans l'ISS pour mettre en évidence des phénomènes qu'il est difficile de montrer sur Terre.

Quelques élèves et enseignants chanceux pourront voir l'astronaute et lui parler à l'occasion de vidéoconférences en direct avec la Station spatiale internationale. Thomas sera à leur disposition pendant quelques minutes pour répondre à leurs questions.



↑ Les élèves peuvent poser des questions aux astronautes de l'ESA, qui leur répondent depuis l'espace (Parc des sciences de Grenade)

Parler avec des astronautes en orbite

Les outils utilisés dans l'espace ne sont pas tous high-tech. Des passionnés de radiocommunication peuvent établir des liaisons avec la Station spatiale internationale. Alors qu'il volera au-dessus de l'Europe, Thomas parlera à des enfants équipés de radios portables via ARISS, la radio amateur de la Station spatiale internationale.

Une conversation ARISS dure normalement une dizaine de minutes, ce qui correspond au temps que met la Station à



↑ L'astronaute de l'ESA Alexander Gerst regarde la Terre depuis la Cupola de l'ISS (ESA/NASA)

survoler une zone donnée, et durant lequel le contact radio est possible depuis l'orbite. Pendant ce laps de temps, les élèves pourront lui poser des questions sur sa vie et son travail dans l'espace.

Les gardiens de la Terre

Depuis la Cupola de la Station spatiale, les astronautes jouissent d'un point de vue privilégié pour admirer la beauté de notre planète. Cependant, sa fragilité ainsi que les menaces mondiales sont aussi plus visibles depuis l'espace. Dans la continuité d'un projet entrepris par l'astronaute de l'ESA Alexander Gerst, Thomas invitera les élèves à réfléchir à la protection de l'environnement et à envisager des stratégies durables pour l'avenir.

L'ESA distribuera un dossier d'activités liées à l'observation de la Terre dans les écoles primaires européennes. Un concours paneuropéen invitera les élèves à montrer comment ils prennent soin de notre planète. Thomas

annoncera les noms des trois meilleurs gardiens de la Terre pendant son séjour en orbite.

Informatique : Astro Pi

À la fin de sa mission, l'astronaute de l'ESA Tim Peake a laissé deux mini-ordinateurs Raspberry Pi à bord de l'ISS. Appelés Astro Pi, ces ordinateurs de la taille d'une carte bleue sont tous deux équipés d'une multitude de capteurs et d'applications.

Les élèves pourront proposer leurs solutions informatiques dans le cadre des concours de codage organisés par l'ESA. Thomas chargera les codes gagnants, les exécutera, recueillera les données générées et renverra les résultats sur Terre pour que les élèves les analysent.

Une âme d'explorateur ?

L'Agence Spatiale européenne fournit des outils dont l'objectif est de donner des idées aux enseignants, aux parents et aux élèves pour participer à l'aventure de Thomas dans l'espace. L'exploration commence sur :

<http://www.esa.int/Education>



↑ L'astronaute de l'ESA Tim Peake avec l'ordinateur Astro Pi dans l'ISS

CONTACT

ESA/ESTEC

Communication Office

+31 71 565 3009

hsocom@esa.int

An ESA Production

Copyright © 2016 European Space Agency