1964-2014

→ L'EFFET ESA

Au service de la coopération européenne et de l'innovation

European Space Agency

esa

1964-2014

→ L'EFFET ESA

Au service de la coopération européenne et de l'innovation

European Space Agency

5 CINQUANTE ANS D'EUROPE DANS L'ESPACE

6 INTRODUCTION
8 Budget de l'ESA
9 Bases spatiales
10 Organes directeurs

12 LES PROFONDEURS DE L'ESPACE ET DU TEMPS
14 La flotte de l'ESA le long du spectre
16 La machine à remonter le temps
18 Voyage à proximité du zéro absolu
20 Une carte de la totalité
22 Des galaxies comme des grains de sable
24 Regard froid
26 Les filaments de la création
28 Un fantôme aux rayons X
30 Vie et mort des étoiles
32 L'univers de Hubble
34 De la matière noire, cachée aux yeux de tous
36 À la recherche des premières étoiles
38 La conception du Webb
40 Observer les étoiles à l'ombre
42 L'œil de Gaia
44 La chute rêvée d'Einstein

46 LE SYSTÈME SOLAIRE
48 Traverser le vide
50 Atterrissage dans le brouillard
52 Une ménagerie de lunes
54 Éclipse de Soleil
56 Mondes de glace avec des océans cachés
58 Attrapeur de comètes
60 Terre inconnue
62 Doublure
64 Un océan asséché sur la planète rouge ?
66 Pic martien
68 Le visage de Phobos
70 Bienvenue aux Enfers
72 Lumière extraterrestre
74 Mission vers un chaînon manquant
76 Sous les projecteurs
78 Du feu dans le ciel
80 Le cycle solaire de la violence
82 Une touche de Soleil
84 Exploration polaire
86 Une oasis lointaine

88 LE QUARTIER DES AFFAIRES DE L'ESPACE
90 L'Anneau-Monde
92 Des antennes disponibles
94 Partenariats publics-privés
96 Refléter la performance
98 Présentation d'Alphasat
100 Des satellites pour un ciel plus sûr
102 Autorisation d'atterrir
104 Avis de tempête

106 ORBITE STABLE POUR LA NAVIGATION PAR SATELLITE
108 Guidé d'en haut
110 Fondations de Galileo
112 La nouvelle ère de la navigation en Europe
114 Contrôle de santé en orbite
116 Galileo au sol
118 Avant-poste isolé
120 En bas du monde

122 SURVEILLER NOTRE PLANÈTE NATALE
124 Pôle position
126 Ascension de MetOp
128 Vision radar
130 Envisat : 10 ans de vie sur la Terre
132 Les Sentinels : surveillance orientée
134 Quelque chose dans l'air
136 Un trou dans le ciel
138 Planète de feu
140 Épousseter les cieux
142 Lignes de vol
144 La lisière des glaces
146 Le visage des profondeurs
148 L'herbe de la mer
150 Respiration planétaire

152 La disparition de la forêt
154 Le cœur de pierre de l'Asie
156 Pas de fumée sans feu
158 Frappé par un tsunami
160 Eaux troubles
162 Lieu de refuge
164 Planète urbaine
166 Une ville qui s'enfonce
168 Travailler dans les champs
170 La nouvelle génération
172 Carte mondiale de la gravité
174 La peau aqueuse et salée de la Terre
176 Une nouvelle dimension dans la cartographie polaire
178 Mission magnétique
180 L'œil de l'ESA sur Terre

182 **UN FOYER EN HAUTEUR**
184 Un espace partagé
186 Plate-forme de recherche
188 La place de l'Europe dans l'espace
190 Défier la gravité
192 Approvisionnement dans l'espace
194 Bagage de dernière-minute
196 ATV en route
198 Rendez-vous robotique
200 Le facteur humain
202 Perdre du poids rapidement avec la méthode ESA
204 Couler et nager
206 Le meilleur ami de l'homme
208 Simulateur de Soyouz
210 Une fusée sur un train
212 Vers le haut
214 Fenêtre sur le monde
216 Lumières dans la nuit
218 Joyaux bleus de la Mer Rouge
220 Sommets enneigés
222 L'œil de la radio sur le trafic maritime sur Terre
224 Descente
226 Signe de progrès
228 Ce qu'il y a dessous
230 Prélude glacé à l'exploration

DES PONTS VERS L'ORBITE 232
Prêt au décollage 234
Voler près du feu 236
Candidat sérieux 238
Soyouz sud-américain 240
Observatoire insulaire 242
Lien radio avec l'orbite 244
Grande antenne 246
Centre de contrôle 248
Assurer la surveillance 250

PRÉPARER LA VOIE 252
Le cœur technique 254
Les missions prennent forme 256
L'espace dans une bouteille 258
Sonder le nanomonde 260
L'épreuve par le vide 262
Mur de son 264
Secoué, pas remué 266

L'ESPACE SUR LA TERRE 268
Notre vie aujourd'hui 270
Plier le métal 272
Tourner dans le vent 274
L'art du verre 276
Amarrage grâce à la conception 278
Faire des affaires 280
Réservoir de connaissances 282

JUSTE UN DÉBUT 284
Espace propre 286
Regarder le ciel 288
Regarder vers le bas 290
Hors réseau, en ligne 292
Action énergique 294
Un monde à eux 296
Faire passer le message 298

Les missions de l'ESA 300

Une publication de l'ESA Communications

BR-306/FR août 2014

Traduction/disposition	Translatus
Auteur	S. Blair
Responsable de la publication	A. Wilson
Concepteur	G. Gasperoni (Taua)
Concepteur de production	H. Simões
ISBN	978-92-9221-077-9
ISSN	0250-1589

Copyright © 2014 European Space Agency

CINQUANTE ANS D'EUROPE DANS L'ESPACE

D'où est née l'Agence spatiale européenne, objet de ce livre ? La collaboration spatiale, qui donnera le moment venu naissance à l'ESA, a débuté il y a un demi-siècle. L'année 2014 marque le 50ème anniversaire de la construction de l'Europe en tant que puissance spatiale et donne lieu à une série de manifestations et d'activités.

À la fin des années 40 et dans les années 50, l'Europe était un continent qui rebondissait après la guerre. Toute présence européenne dans l'espace quelle qu'elle soit n'était absolument pas prédestinée, jusqu'à ce que deux hommes d'État, Pierre Auger en France et Edoardo Amaldi en Italie, commencent à évoquer un effort européen commun. Amaldi déclara que le lancement de satellites européens, qu'il surnomma « e*urolunes* », présenterait « une importance de premier ordre, à la fois *morale* et *pratique*, pour tous les pays du continent ».

Ces pères fondateurs de l'Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire (CERN), au début des années 1950, avaient en tête un modèle pour cette nouvelle entreprise qui devait être guidée « par des principes scientifiques et techniques et non sur la base d'arguments politiques et commerciaux », comme l'expliqua Amaldi. Les discussions ont débouché sur la création, à la fin des années 1960, de la Commission préparatoire européenne pour la recherche spatiale (COPERS).

En 1964, les efforts ont produit leur fruit : les Conventions pour l'Organisation européenne pour la mise au point et la construction de lanceurs d'engins spatiaux et l'Organisation européenne de recherches spatiales sont entrées en vigueur – La science spatiale européenne était distincte du point de vue organisationnel du développement de lanceurs au cours de ces premières années.

Un peu plus de dix ans plus tard, l'ESA fut créée pour remplacer ces deux organisations. Malgré les revers technologiques et les incertitudes politiques qui ont marqué les années 1960 et 1970, le modèle pour un effort collaboratif européen viable en matière de science spatiale et d'applications, ainsi que le développement du lanceur, était défini. Ce modèle a fourni un cadre pour tous les programmes européens réussis qui ont suivi.

Dans quelle mesure 2014 est-elle à la hauteur de la large vision d'Amaldi ? L'ESA est devenue la porte de l'Europe vers l'espace, avec la mission de façonner le développement de la capacité spatiale de l'Europe et de garantir que l'investissement dans l'espace soit profitable aux citoyens de l'Europe et du monde. L'utilisation de l'espace fournit toujours plus de services aux citoyens, en allant des prévisions météorologiques aux télécommunications et à la navigation. L'exploration de l'espace apporte des connaissances plus approfondies de notre Système Solaire et de la Terre et fournit des informations uniques pour mieux comprendre les changements à l'échelle du globe.

Ceci est possible uniquement parce que nous avons les lanceurs, les systèmes et les technologies capables d'envoyer des satellites dans l'espace. Les bénéfices de l'utilisation et de l'exploration spatiale se sont développés dans des proportions qui n'auraient pu être envisagées il y a 50 ans. Les applications spatiales font aujourd'hui partie de la vie quotidienne de tous les citoyens européens et elles sont devenues l'une des voies les plus efficaces vers la croissance. L'avenir est beaucoup plus important pour l'espace que le passé.

La devise choisie pour célébrer cet anniversaire « Au service de la coopération européenne et de l'innovation » souligne à quel point l'ESA, avec ses États membres, l'industrie spatiale, la communauté scientifique et plus récemment l'Union européenne, fait la différence pour l'Europe et ses citoyens. Il est devenu impossible d'imaginer l'Europe sans l'espace.

Cette célébration de la coopération spatiale est en réalité l'anniversaire de tout le secteur spatial européen. Celui-ci peut être fier de ses résultats et de ses réalisations. C'est la preuve que quand les États membres partagent les mêmes objectifs ambitieux et unissent leurs forces, l'Europe peut être à la pointe du progrès scientifique et, renforcer la croissance économique et la compétitivité, au profit de tous les citoyens.

Jean-Jacques Dordain
Directeur Général

INTRODUCTION

L'Agence spatiale européenne représente le moyen collectif pour l'Europe d'accéder, d'explorer et de tirer profit de l'Univers, y compris de notre propre planète. En contemplant l'immensité infinie de l'espace et ses possibilités illimitées qu'il représente, les États membres de l'Agence décident de combiner leurs efforts sur une base collaborative et d'atteindre des résultats sur une échelle qu'aucune nation seule ne pourrait atteindre.

C'est une Agence faite de personnes, issues de tous les États membres qui la constituent. L'ESA a dépassé les barrières de la langue et de l'éducation pour forger une culture commune poussée par la recherche de l'excellence, avec la diversité parmi ses forces principales et trois valeurs fondamentales qui guident toutes ses actions : européenne, visionnaire et humaine. Les résultats de l'ESA parlent d'eux-mêmes. Le bon travail a généralement un impact. Les effets cumulés de quatre décennies d'efforts de l'Agence ont produit des différences tangibles pour l'Europe, le reste du monde et l'espace au-delà.

L'espace comme levier

Mais pourquoi l'Europe devrait-elle être active dans l'espace ? Le fait que l'exploration fait partie de l'héritage de l'Europe c'est une raison, mais seulement une parmi tant d'autres. L'espace a été qualifié de nouvel océan et de dernière frontière, mais même si cela est vrai, aucune de ces descriptions n'exprime l'éventail d'opportunités qui s'ouvre en laissant la Terre derrière nous.

Ce que l'accès à l'espace apporte avant tout est un levier ; l'amplification des efforts pour atteindre un objectif particulier. Nos ancêtres savaient que la meilleure méthode pour s'attaquer à un obstacle lourd était de reculer et d'appliquer un levier, l'un des plus anciens outils d'ingénierie. Plus l'obstacle est important, plus le levier nécessaire pour le déplacer doit être long. Comme l'a écrit Archimède : « Donnez-moi un levier suffisamment long et un point d'appui sur lequel le placer et je déplacerai le monde. »

Les satellites d'aujourd'hui sont des outils plus sophistiqués selon un grand nombre de critères, mais le principe opérationnel sous-jacent reste le même : c'est l'action de les déployer loin de leur planète d'origine qui leur confère leur puissance. Ceci englobe la possibilité pour l'humanité de regarder plus loin dans l'espace lointain, de communiquer instantanément et de naviguer avec précision sur une base mondiale, d'établir la composition de l'atmosphère terrestre et le plus infime mouvement du sol au millimètre près, ou même de comprendre les rouages internes du système de la Terre. Se rendre dans ces hauteurs ultimes est la seule manière d'accomplir ces tâches.

L'héritage de l'ESA

Les effets positifs de l'existence de l'ESA sont multiples et variés. Les visions du lointain cosmos acquises par les missions de l'ESA, qui suscitent l'inspiration, ont modifié la façon dont l'humanité perçoit l'Univers et notre place en son sein. Notre compréhension de notre propre monde et des systèmes complexes qui déterminent un enviornnement source de vie a été révolutionnée en adoptant un point de vue à partir de l'espace. Simultanément, la Terre peut être comparée aux autres mondes du Système Solaire et au-delà.

Des satellites météorologiques aux télécommunications spatiales et à la surveillance de l'environnement, les systèmes conçus et mis en place par l'ESA ont contribué au renforcement de l'indépendance stratégique de l'Europe et à sa place dans le monde, ainsi qu'à la qualité de vie et à la prospérité de ses habitants.

La complexité des projets spatiaux menés par l'ESA a un effet durable sur l'économie européenne. Les entreprises acquièrent de l'expérience en ingénierie à des niveaux de précision et de performance inédits, inspirant souvent au passage de nouvelles techniques et technologies, ce qui augmente au final la compétitivité commerciale et technique de l'Europe. En clair, les entreprises finissent par travailler à un niveau supérieur. Tout ce savoir-faire peut alors être transféré utilement aux domaines terrestres. Et le succès de l'ESA, en tant que pionnier dans l'espace, a conduit à la création d'organisations de services pour exploiter ces développements de façon continue, ainsi qu'à l'émergence d'entreprises commerciales leaders dans le monde sur les nouveaux marchés ouverts par l'innovation spatiale.

Un compromis pour la coopération

L'élan pour créer une puissance spatiale indépendante s'est concrétisé au début des années 1960, avec la création du Conseil européen de recherches spatiales (CERS), pour entreprendre des projets de satellites scientifiques, et le Centre européen pour la construction de lanceurs d'engins spatiaux (CECLES) pour développer un lanceur. Les pays partenaires ont accepté en 1973 de créer une entité unique. La nature du délai était politique plutôt que technique : au-delà de l'exploration scientifique pure, les différents pays européens avaient des priorités nationales très différentes pour la table rase qu'est l'espace, et ces différences ont empêché un accord rapide sur un plan d'action commun.

Au final, la promesse de l'espace était trop forte, il fallait résoudre la quadrature du cercle d'une manière ou d'une autre. Un compromis très européen a été négocié et concrétisé dans la Convention de l'ESA. Le seul engagement obligatoire pour les États membres de l'ESA est le programme scientifique de l'Agence, ainsi que le financement de sa recherche et de sa technologie de base et de son infrastructure opérationnelle. Le soutien aux autres programmes de l'ESA est facultatif.

Une telle approche à la carte de l'espace a été initialement considérée avec scepticisme, mais au cours des années suivantes, la convention ESA s'est avérée être une méthode d'organisation extrêmement robuste et souple qui permet aux membres de privilégier les priorités nationales tout en récoltant les bénéfices de l'action collective.

La Convention est vraiment l'un des atouts majeurs de l'ESA. C'est en fait un traité international qui autorise l'ESA, sous la forme du Conseil de l'ESA des délégations des États membres et du Directeur général de l'Agence, à transformer des plans techniques particuliers en déclarations de programme approuvées (elles-mêmes étant des accords internationaux entre les États membres impliqués), d'une façon rapide et rationalisée, puis à se mettre au travail.

Les gouvernements européens ont manifesté leur accord. Depuis sa constitution et au fil des ans, le nombre de membres de l'ESA a doublé, de 10 à 20 États membres actuellement, plus le Canada en tant que membre associé. Même si ce sont des entités distinctes, l'ESA collabore avec l'Union Européenne, développant ensemble l'utilisation de l'espace au bénéfice des européens et des citoyens du monde.

Exemple d'influence

L'un des effets importants de l'existence de l'ESA est sa valeur d'exemple. Les États en dehors de l'Agence ont vu par eux-mêmes comment les pays peuvent travailler ensemble dans la pratique. En conséquence, la culture plus large de l'exploration spatiale à l'échelle mondiale a évolué d'un modèle de compétition nationale vers une coopération internationale.

En tant qu'entité européenne avec une perspective mondiale, l'Agence est parfaitement conçue pour la coopération, concluant selon les circonstances des partenariats avec des agences spatiale dans le monde entier, ou servant de point de nucléation pour des accords internationaux. Le partenariat international à l'origine de la Station spatiale internationale est l'exemple le plus remarquable. Son succès a conduit en retour à un accord tacite selon lequel l'exploration à venir au-delà de la Terre sera réalisée sur une base internationale coordonnée. Il y a également des programmes communs, des accords de partage de ressources et de données dans les domaines de la science spatiale et de l'observation de la Terre, comme le rôle fondateur de l'ESA dans la Charte Internationale « Espace et catastrophes majeurs », qui gère les observations par satellite pour guider les interventions suite aux catastrophes.

Nous pouvons faire davantage ensemble : cela a toujours été le credo de l'ESA et le monde commence à l'approuver. Les pages qui suivent illustrent l'action de l'ESA, soit seule, soit en partenariat, et ses projets à l'avenir.

Ce livre présente une vue d'ensemble des résultats de l'Agence plutôt qu'un guide de toutes les missions, et il trace les ondulations de l'Effet ESA sur un certain nombre d'échelles de la topographie des confins de l'espace et du temps au sondage de notre propre Système solaire, les systèmes de satellites de communication, la météorologie, la navigation et l'observation de la Terre jusqu'à la propre tête de pont orbitale de l'humanité, les lanceurs et les stations au sol qui relient l'Europe à l'espace. Il présente aussi le flux régulier des nouvelles technologies qui rapprochent l'espace et proposent des retombées dans la vie quotidienne.

Allemagne
Autriche
Belgique
Danemark
Espagne
Finlande
France
Grèce
Irlande
Italie
Luxembourg
Norvège
Pays-Bas
Pologne
Portugal
Roumanie
Royaume-Uni
République Tchèque
Suisse
Suède

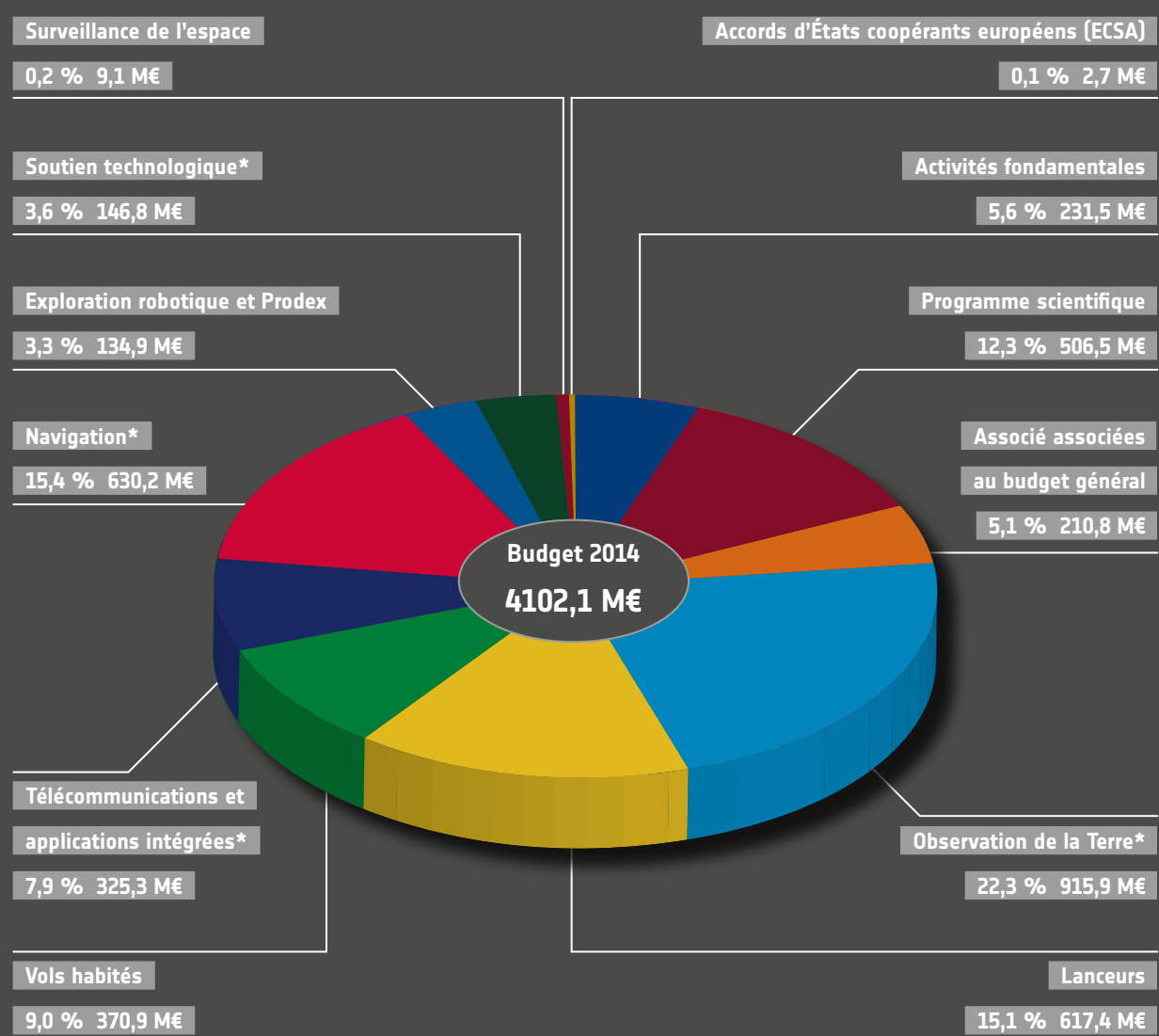
Canada

BUDGET de l'ESA

L'ESA est l'une des rares agences spatiales au monde qui combine des responsabilités dans presque tous les domaines du secteur spatial, de la recherche scientifique fondamentale jusqu'au soutien de la compétitivité industrielle, tout ceci pour le coût moyen d'une place de cinéma par an pour chaque citoyen des États membres. Les États membres contribuent aux programmes obligatoires de l'Agence (à hauteur de 20 % environ de son budget) selon une échelle basée sur leur Produit National Brut. Les autres programmes facultatifs n'intéressent que certains États membres, qui sont libres de décider du niveau de leur participation.

La totalité du budget annuel de l'ESA de 4 milliards d'euros est bien entendu dépensée sur le terrain, dont 85 % dans des contrats avec des entreprises européennes, des universités et des instituts de recherche. Ces contrats sont attribués sur la base du « Juste Retour » ; le niveau de fonds qu'un État membre investit dans un programme donné de l'ESA détermine la part potentielle de contrats qui en résultent pour son industrie. Cependant, ces contrats doivent encore être remportés selon des processus de passation des marchés clairement définis.

Une caractéristique importante du secteur industriel et scientifique que l'ESA soutient est la forte valeur ajoutée de la fabrication, qui peut difficilement être délocalisée ou externalisée, en raison de sa nature stratégique. Ce travail et cette expertise ont débuté en Europe et restent en Europe. La plupart des activités et du savoir-faire sont en Europe. Ceci est très important : de nombreuses innovations émanent du processus de fabrication lui-même ; l'apprentissage par la pratique. D'autres secteurs dans lesquels la fabrication a été externalisée hors d'Europe finissent par perdre en compétitivité au profit d'autres pays. Ce n'est pas le cas du spatial, en grande partie grâce aux règles de la politique industrielle de l'ESA et au soutien permanent des États membres.



*Englobe les programmes mis en œuvre par d'autres partenaires institutionnels

M € : millions d'euro

BASES SPATIALES

L'ESA possède des sites à travers toute l'Europe avec un site de lancement en Guyane française en Amérique du Sud et un réseau de stations sol qui s'étend sur tout le globe.

Siège de l'ESA : Le siège de l'ESA se trouve à Paris. Le Directeur Général et le Conseil y ont leurs bureaux, ainsi que certains directeurs de programmes de l'ESA. Les décisions qui façonnent les activités présentes et à venir de l'ESA sont prises au siège.

ESTEC : Le Centre européen de Recherche et de Technologie spatiales à Noordwijk, aux Pays-Bas, est le plus grand établissement de l'ESA, le cœur de l'ingénierie de l'ESA, un centre d'essais et une plate-forme pour les activités spatiales européennes.

ESOC : Le Centre européen d'Opérations spatiales à Darmstadt, en Allemagne, assure le bon fonctionnement des engins spatiaux en orbite.

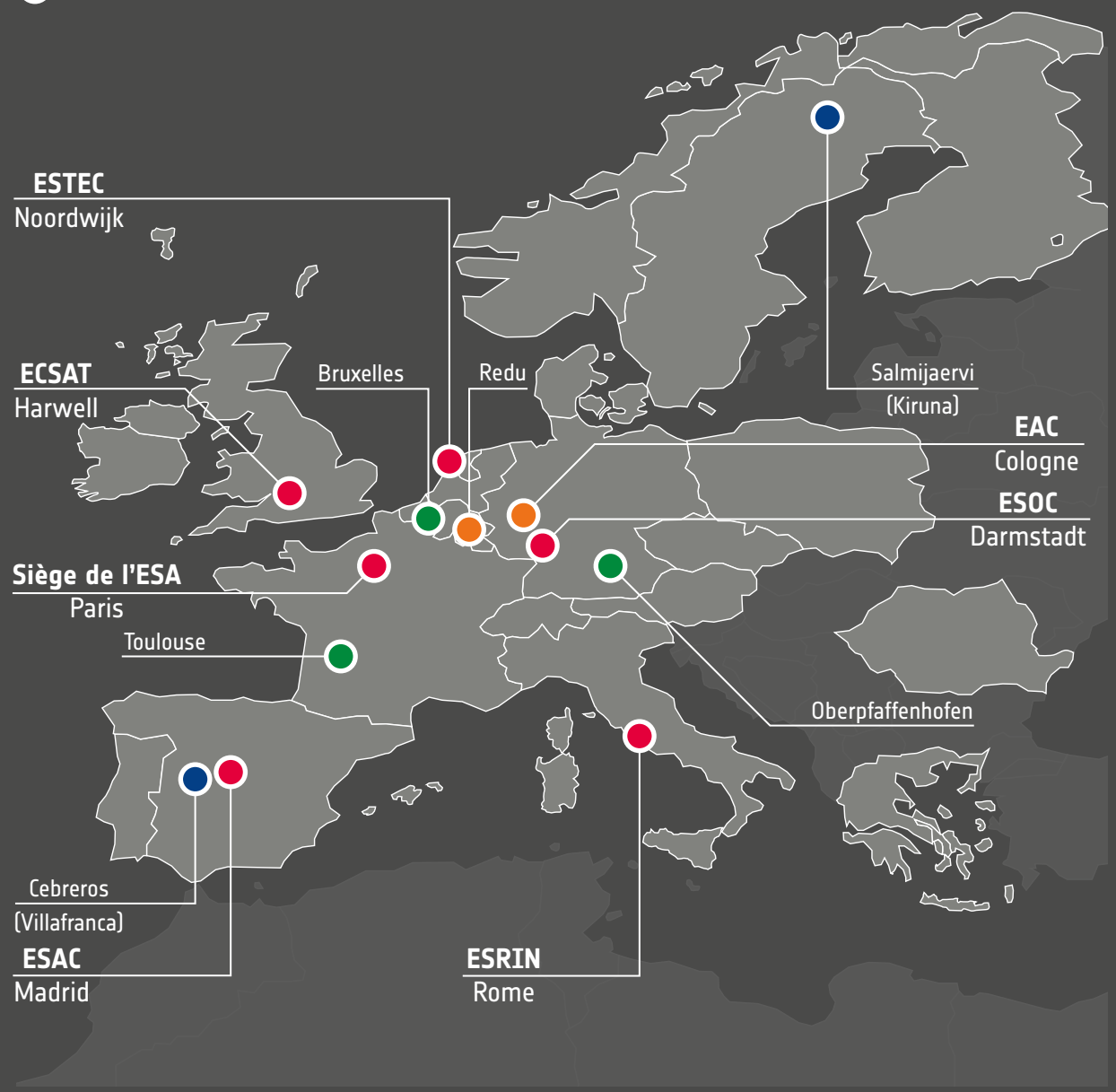
ESRIN : Le centre d'observation de la Terre de l'ESA à Frascati, près de Rome, gère la partie terrestre pour les satellites d'observation de la Terre de l'ESA et de tiers, entretient les plus importantes archives de données environnementales en Europe, coordonne plus de 20 stations et équipements au sol et coopère avec 20 autres opérateurs de segments sol à travers le monde.

EAC : Le Centre des Astronautes européens, situé à Cologne en Allemagne, est un centre d'entraînement et la base pour tous les astronautes européens, membres du corps des astronautes de l'ESA.

ESAC : Le Centre européen de l'Astronomie spatiale à Villanueva de la Cañada, près de Madrid en Espagne, héberge les opérations scientifiques pour les missions d'astronomie et planétaires de l'ESA, ainsi que leurs archives scientifiques.

ECSAT : Le Centre européen des applications spatiales et des télécommunications à Harwell au Royaume-Uni, se concentre sur la modélisation du changement climatique à partir de données satellite, sur les technologies d'exploration spatiale et sur les applications spatiales intégrées.

Redu Centre : Ce centre en Belgique est responsable du contrôle et des essais d'un certain nombre de satellites en tant que partie intégrante du réseau de stations au sol de l'Agence. Il héberge également le Centre de données de la météo spatiale.



ORGANES DIRECTEURS

Voici à quoi ressemble en pratique la coopération spatiale en Europe : la vue depuis le siège du Directeur général sur le Conseil de l'ESA en octobre 2011. Autour de la table se trouvent les 19 États qui étaient alors membres de l'ESA, ainsi que le Canada. Les 10 États membres de l'UE qui ne sont pas encore membres de l'ESA mais qui coopèrent avec elle siègent également.

Le Conseil de l'ESA est la principale instance dirigeante de l'ESA et il fournit les principes directeurs fondamentaux sur lesquels l'ESA développe le programme spatial européen. Le Directeur général soumet au Conseil des propositions concernant la politique, les programmes et les activités. Le Conseil débat sur ses propositions et prend les décisions que le Directeur général et ses cadres appliquent.

Chaque État membre est représenté au Conseil et dispose d'une voix, quelle que soit la taille de sa contribution financière.

Depuis la réunion représentée ici, les délégations des 10 États membres qui ne sont pas encore membres de l'ESA ont la possibilité de siéger au Conseil en tant qu'observateurs, une fois que l'avenir des programmes spatiaux européens a été débattu et défini. Le Conseil de l'ESA a décidé en juin 2011 d'accorder le statut d'observateur aux 10 États qui sont membres de l'UE mais pas de l'ESA : la Bulgarie, Chypre, l'Estonie, la Hongrie, La Lettonie, la Lituanie, Malte, La Pologne, la République de Slovaquie et la Slovénie. Ces États sont invités à assister aux réunions du Conseil de l'ESA et de ses organes auxiliaires sur les sujets d'intérêt commun à l'ESA et l'UE.

Le statut d'observateur de ces pays leur permet de suivre les discussions dans un contexte ESA sur les affaires ESA-UE et de s'informer à la source à propos des processus utilisés dans la prise de décisions à l'ESA.

L'ESA et l'UE ont un objectif commun : renforcer l'Europe et en faire bénéficier ses citoyens. Le traité de Lisbonne de 2009 charge l'UE d'élaborer une Politique spatiale européenne et d'établir les relations adaptées avec l'ESA, qui a le rôle d'agence spatiale de recherche et de développement. Avec l'accord-cadre ESA-UE établi en 2004, les deux partenaires ont établi la Politique spatiale européenne comme cadre politique commun des activités spatiales en Europe.

Enfin, les 29 États membres de l'ESA et de l'UE sont rejoints au Conseil de l'ESA par le Canada, présent grâce à son accord de coopération de longue date avec l'Agence.

Le Conseil se réunit au niveau ministériel tous les trois ans environ. Le Conseil ministériel prend les décisions primordiales sur les nouveaux programmes, ceux en cours et les engagements financiers, définissant ainsi la portée pour les années à venir.

esa
PRESIDENT
DIRECTEUR
GÉNÉRAL
COMMISSION
SUISSE

→ LES PROFONDEURS DE L'ESPACE ET DU TEMPS

Si une atmosphère plus dense avait résulté de l'évolution de la Terre, nos yeux n'auraient peut-être jamais regardé le ciel au-dessus de nous et l'histoire de l'homme aurait été très différente. En réalité, l'Univers visible a été délimité à l'origine par les limites de l'œil nu, d'où un Système Solaire comportant seulement six planètes. Pour voir plus loin, il fallait donner un coup de pouce à notre vision. Le télescope est sans doute une invention néerlandaise, mais en 1609, le scientifique italien Galilée fut le premier à penser à orienter vers le ciel son « tube optique » artisanal. L'année suivante il fut récompensé pour la découverte de quatre lunes autour de Jupiter.

Univers en expansion

Aujourd'hui, nous savons quand nous regardons le ciel de nuit que nous remontons le temps dans un Univers âgé de 14 milliards d'années, qui se développe de façon mystérieuse. Notre Soleil est l'une des 200 milliards d'étoiles dans la galaxie de la Voie Lactée, qui fait elle-même partie d'un superamas de milliers de galaxies, long de 100 millions d'années-lumière ou plus, qui pourrait être un élément d'une structure encore plus grande appelée un « Grand Mur ».

Mais quatre siècles de progrès ont été nécessaires pour atteindre ce niveau de connaissance de l'Univers comprehénsion grandissante au fur et à mesure de l'utilisation de plus grands télescopes. Le 20ème siècle a vu l'astronomie dépasser les limites de l'œil humain, car ce dernier est sensible uniquement à une étroite fenêtre du spectre électromagnétique. Voir plus loin nécessitait d'emmener des télescopes et d'es instruments au-delà de la Terre, car tenter d'observer le cosmos en étant sous notre atmosphère turbulente c'est comme regarder la surface depuis le fond d'une piscine. Les télescopes spatiaux ont une vision plus nette sur un spectre plus large. Les rayons gamma de très haute énergie, les rayons X et le rayonnement ultraviolet sont bloqués par notre atmosphère, ce qui est mieux étant donné que ces énergies sont dangereuses pour la matière vivante. Et les infrarouges émis par les objets les plus froids de l'Univers peuvent être vus seulement par des systèmes eux-mêmes plus froids, sans que l'air chaud en traverse leur chemin.

Cartographier les étoiles

La science avait tellement besoin de l'aide des satellites, que le programme scientifique spatial européen a débuté bien avant l'ESA elle-même : son prédécesseur, le Conseil européen de recherches spatiales (CERS) uniquement concentré sur la science, a commencé à fonctionner en 1964. Aujourd'hui, la science spatiale

européenne est un leader reconnu dans des domaines clés, dont l'astronomie dans l'infrarouge et les rayons X ainsi que la cartographie extrêmement précise des étoiles. Dans le cadre de ses efforts pour voir plus loin dans l'Univers, l'ESA déploie des télescopes spatiaux au-delà de l'influence perturbatrice de la Terre.

Cap fixé pour la science

L'une des raisons principales du succès du programme spatial scientifique européen est que les priorités sont déterminées par la communauté scientifique. L'Agence sollicite des thèmes pour les futurs programmes à travers des groupes scientifiques consultatifs comme le Groupe de travail sur l'astronomie, le Groupe consultatif sur la physique fondamentale et, plus proche de chez nous, le Groupe de travail sur l'exploration du Système Solaire. Et comme il faut de nombreuses années de dur labeur pour produire les missions spatiales toujours plus ingénieuses nécessaires pour répondre aux mystères scientifiques les plus ambitieux, l'ESA travaille sur la base de plans à long terme, organisés à partir de ces thèmes.

Le plan actuel s'appelle Cosmic Vision 2015–2025 et traite de quatre questions fondamentales sur l'Univers et la place qu'on y tient. Quelles sont les conditions nécessaires à la formation des planètes et à l'apparition de la vie ? Comment fonctionne le Système Solaire ? Quelles sont les lois de la physique fondamentale de l'Univers ? Comment l'Univers est-il né, et de quoi est-il fait ? Ces questions englobent une vaste gamme de sujets. Les propositions des missions potentielles sont sélectionnées à travers une série d'appels pour des missions avec, quand c'est possible, l'option pour une coopération plus large non-européenne.

La flotte de l'ESA le long du spectre

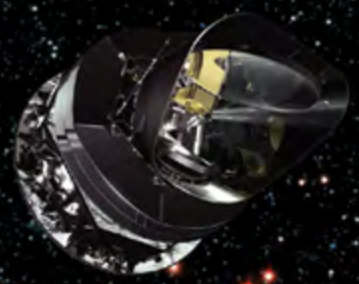
Grâce à une technologie de pointe, l'astronomie dévoile aujourd'hui un nouvel Univers autour de nous. Avec la flotte d'observatoires astronomiques de l'ESA, la science peut explorer le spectre complet de la lumière, voir dans l'Univers infrarouge caché, visiter le cosmos à haute énergie, sauvage et violent, faire le relevé de notre propre galaxie et même regarder en arrière vers la nuit des temps.

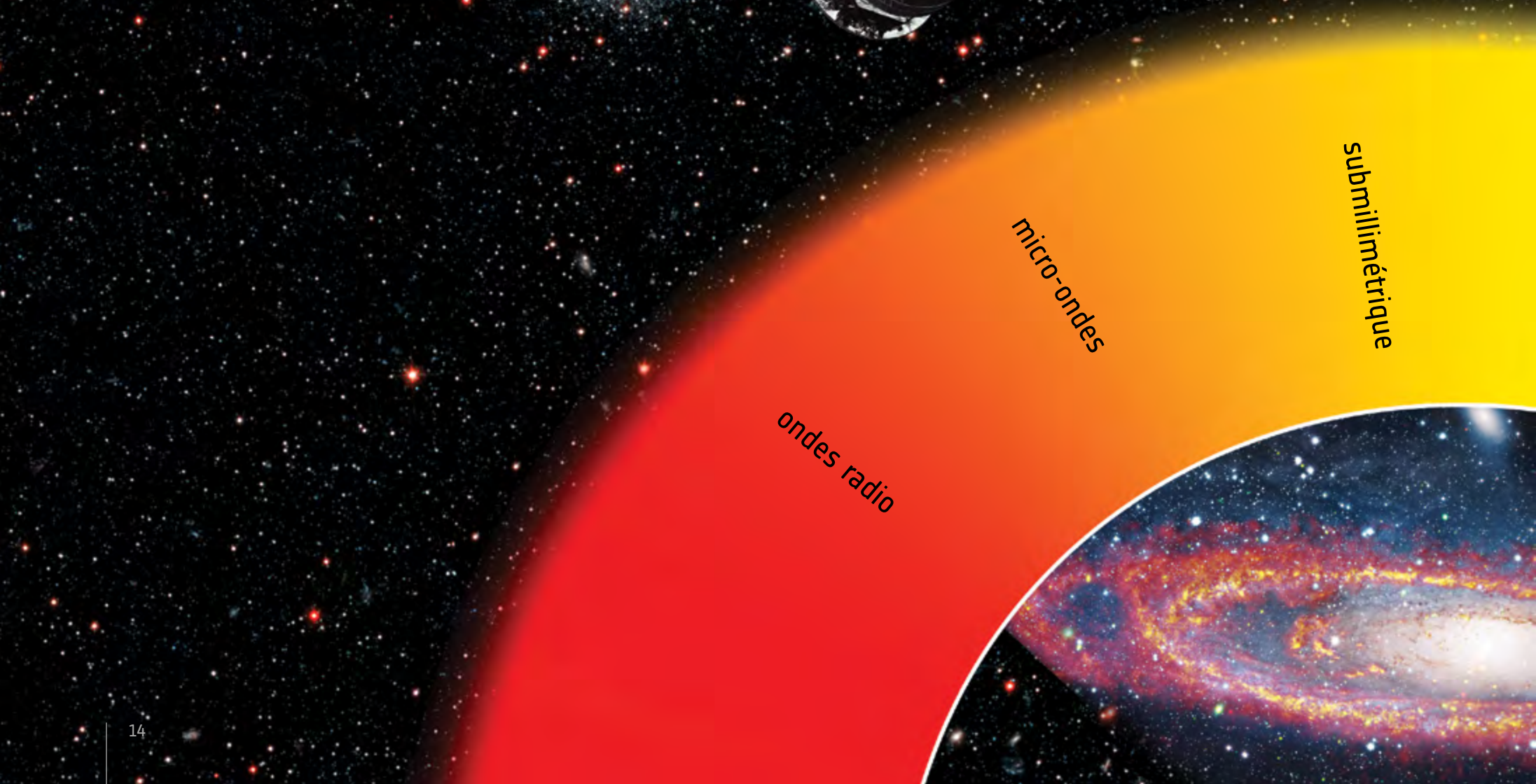
herschel

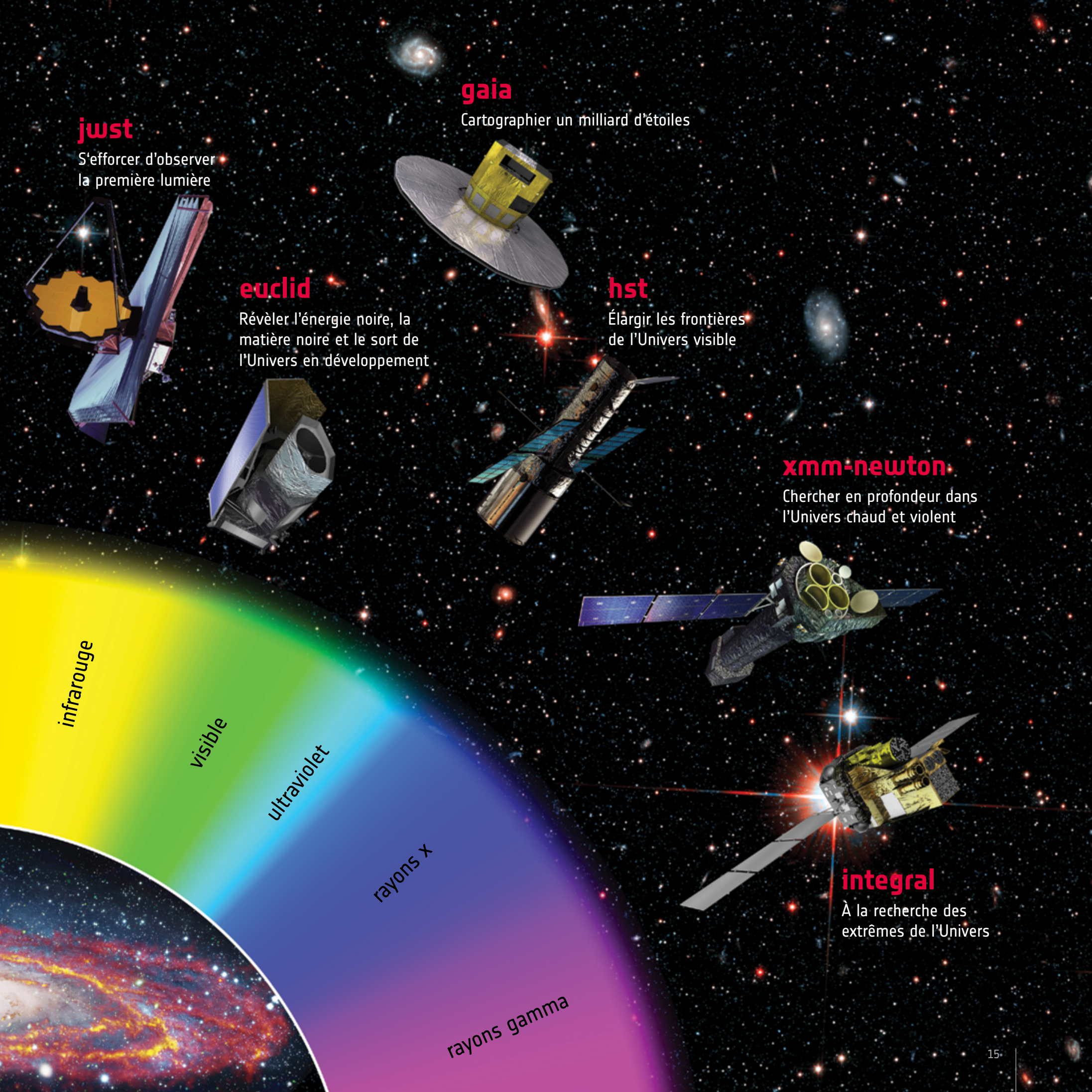
Dévoiler l'Univers froid et poussiéreux

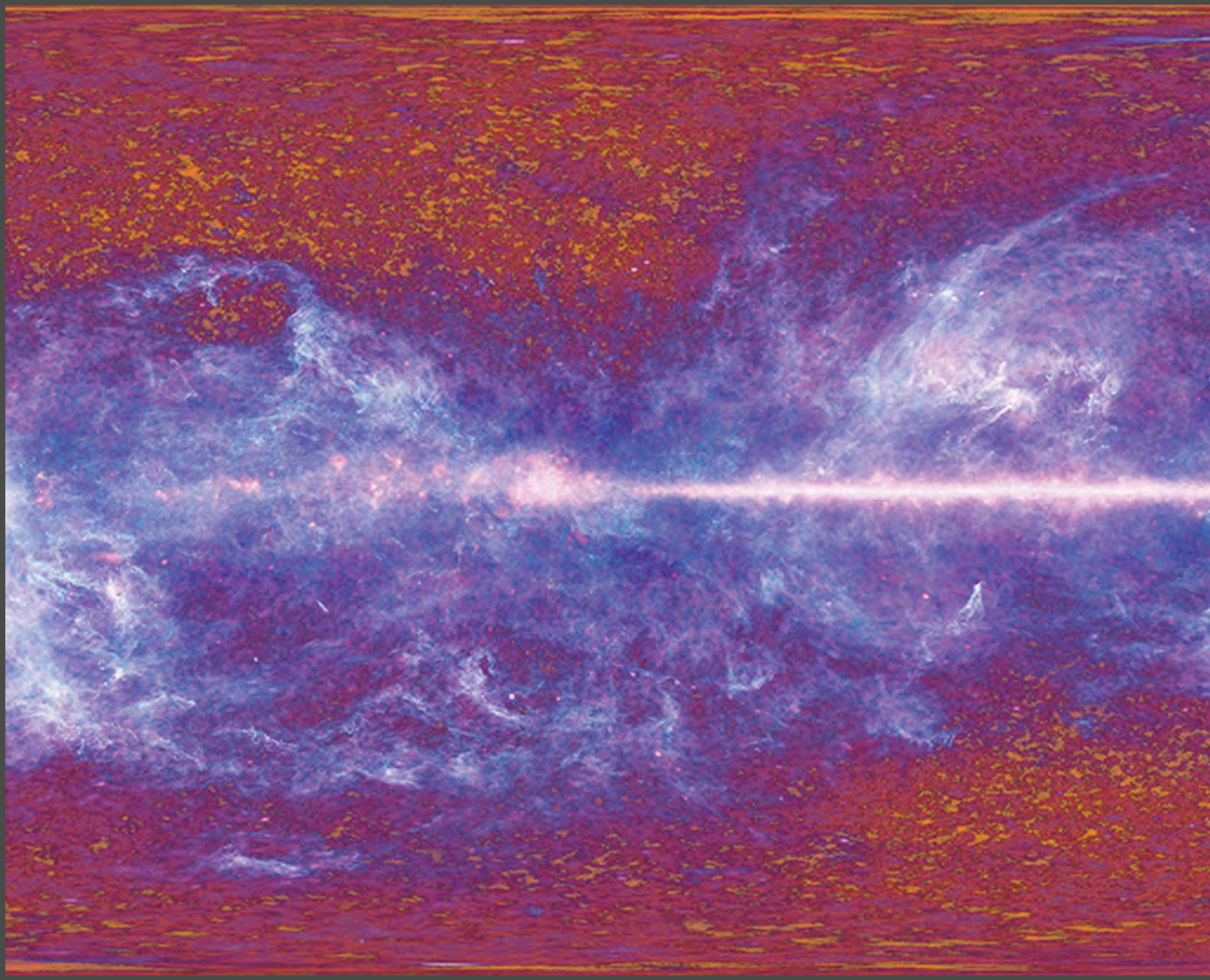
planck

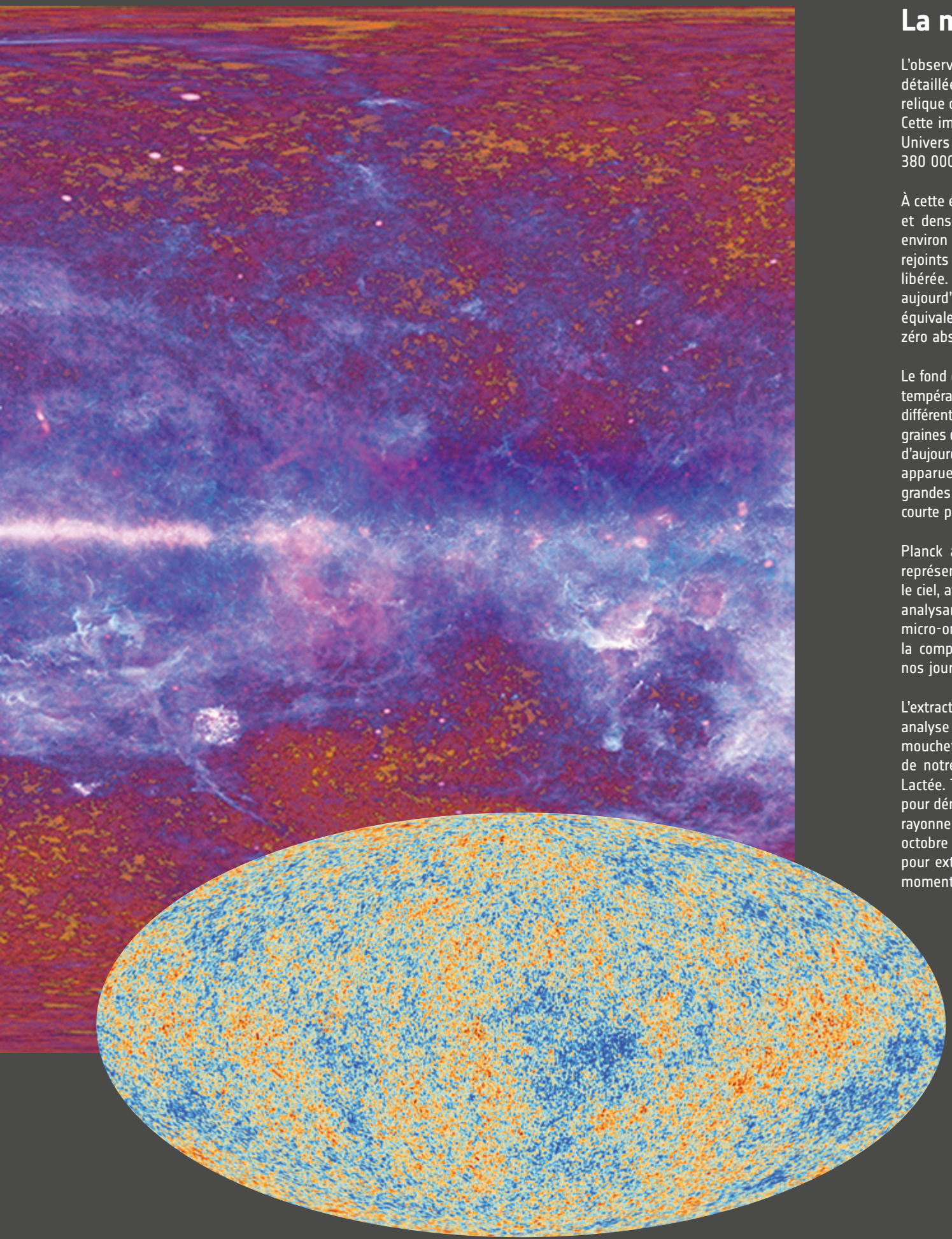
Regarder en arrière vers la nuit des temps






jwst
S'efforcer d'observer la première lumière
gaia
Cartographier un milliard d'étoiles
euclid
Révéler l'énergie noire, la matière noire et le sort de l'Univers en développement
hst
Élargir les frontières de l'Univers visible
xmm-newton
Chercher en profondeur dans l'Univers chaud et violent
integral
À la recherche des extrêmes de l'Univers
infrarouge
visible
ultraviolet
rayons x
rayons gamma





La machine à remonter le temps

L'observatoire spatial Planck de l'ESA a fourni la carte la plus détaillée jamais établie du fond diffus cosmologique – une relique de rayonnement du Big Bang (représentée ci-dessous). Cette image est un cliché de la plus vieille lumière dans notre Univers âgé de 13,8 milliards d'années, imprimé sur le ciel 380 000 ans après le Big Bang.

À cette époque, le jeune Univers était plein d'une soupe chaude et dense de protons, d'électrons et de photons interactifs à environ 2700 °C. Quand les protons et les électrons se sont rejoints pour former des atomes d'hydrogène, la lumière a été libérée. Avec l'expansion de l'Univers, cette lumière est aujourd'hui étirée vers la longueur d'onde des micro-ondes, équivalente à une température de 2,7 °C à peine au-dessus du zéro absolu de –273 °C.

Le fond diffus cosmologique indique de minuscules variations de température correspondant à des régions de densités légèrement différentes à des périodes très anciennes, qui représentent les graines de toutes les structures à venir : les étoiles et les galaxies d'aujourd'hui. Les scientifiques pensent que ces fluctuations sont apparues juste après le Big Bang et ont été étirées sur de grandes échelles d'un point de vue cosmologique pendant une courte période d'expansion accélérée, appelée inflation.

Planck a été conçu pour cartographier ces fluctuations qui représentent seulement une fraction de degré, à travers tout le ciel, avec une résolution et une sensibilité sans précédent. En analysant la nature et la distribution des graines sur l'image micro-ondes de Planck, les cosmologistes peuvent déterminer la composition et l'évolution de l'Univers de sa naissance à nos jours.

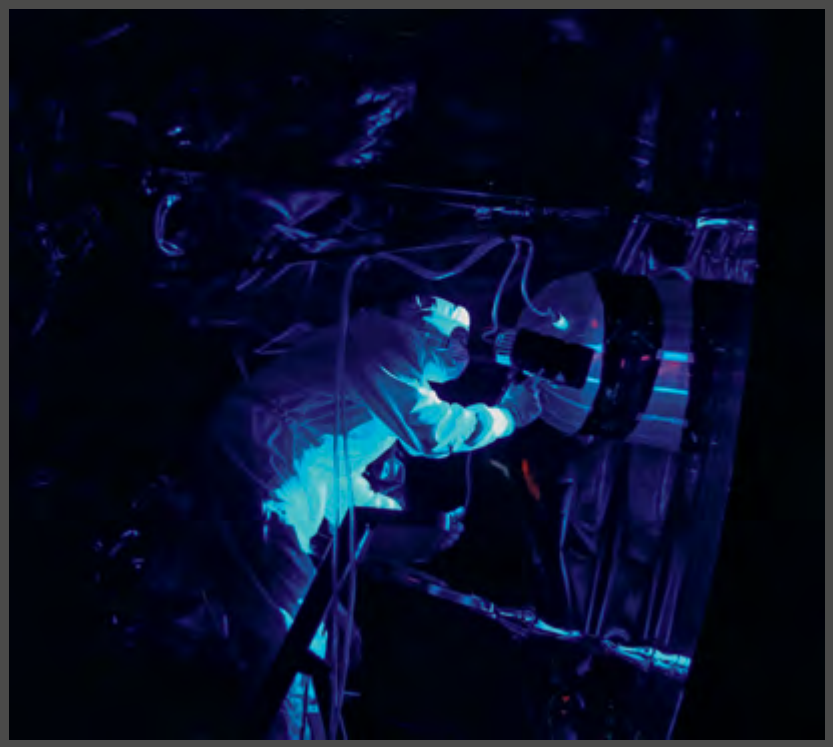
L'extraction de telles informations détaillées demande une analyse minutieuse. L'image de gauche montre l'arrière-plan moucheté du fond en micro-ondes, avec le gaz et la poussière de notre propre galaxie, traversée en son centre par la Voie Lactée. Toutes ces émissions en avant-plan ont dû être retirées pour démêler les signaux les plus faibles dans le diagramme de rayonnement en arrière-plan. Planck a terminé sa mission en octobre 2013 mais les données sont toujours en cours d'analyse pour extraire encore plus d'informations sur les tous premiers moments de l'existence de l'Univers.

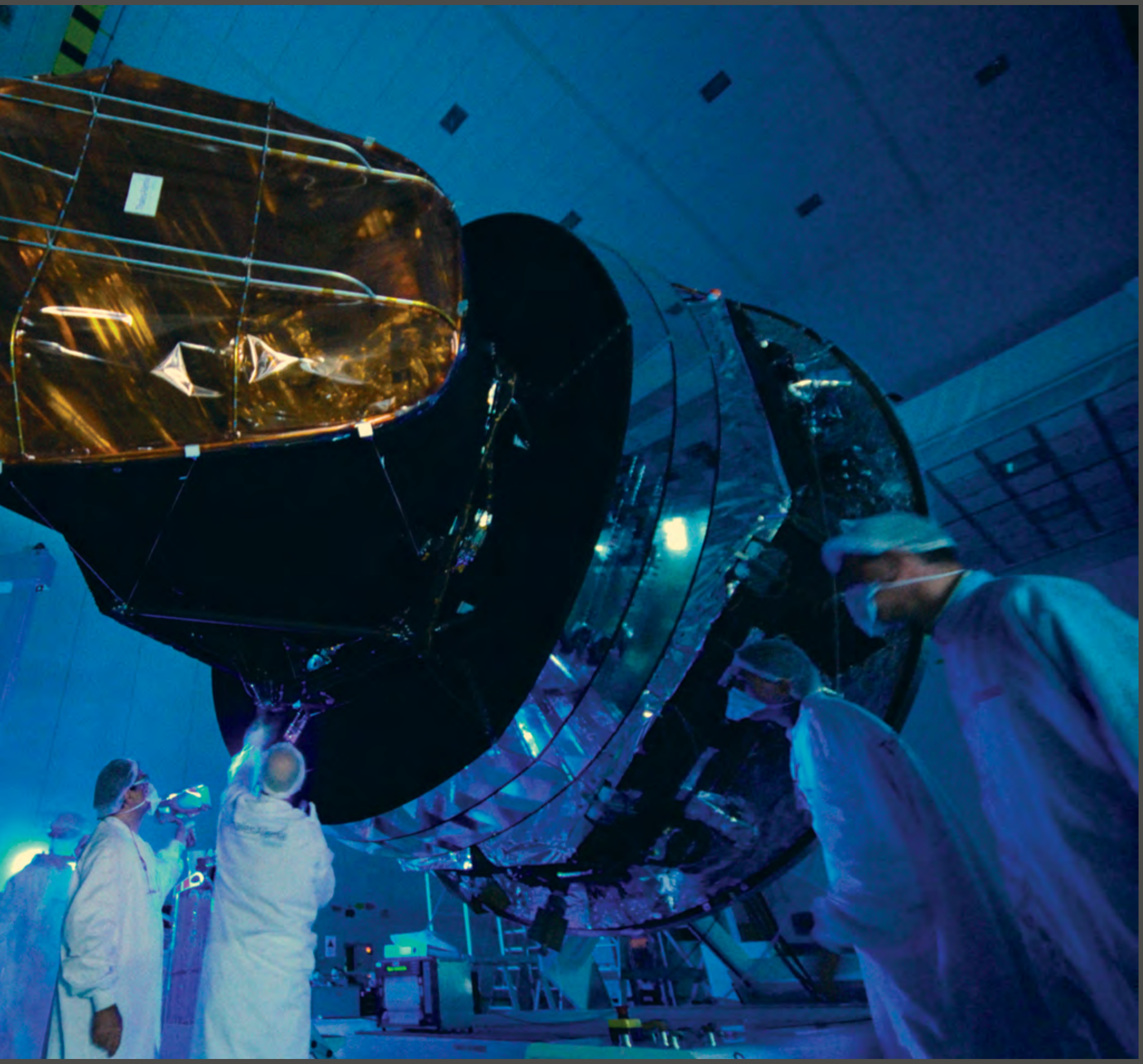
Voyage à proximité du zéro absolu

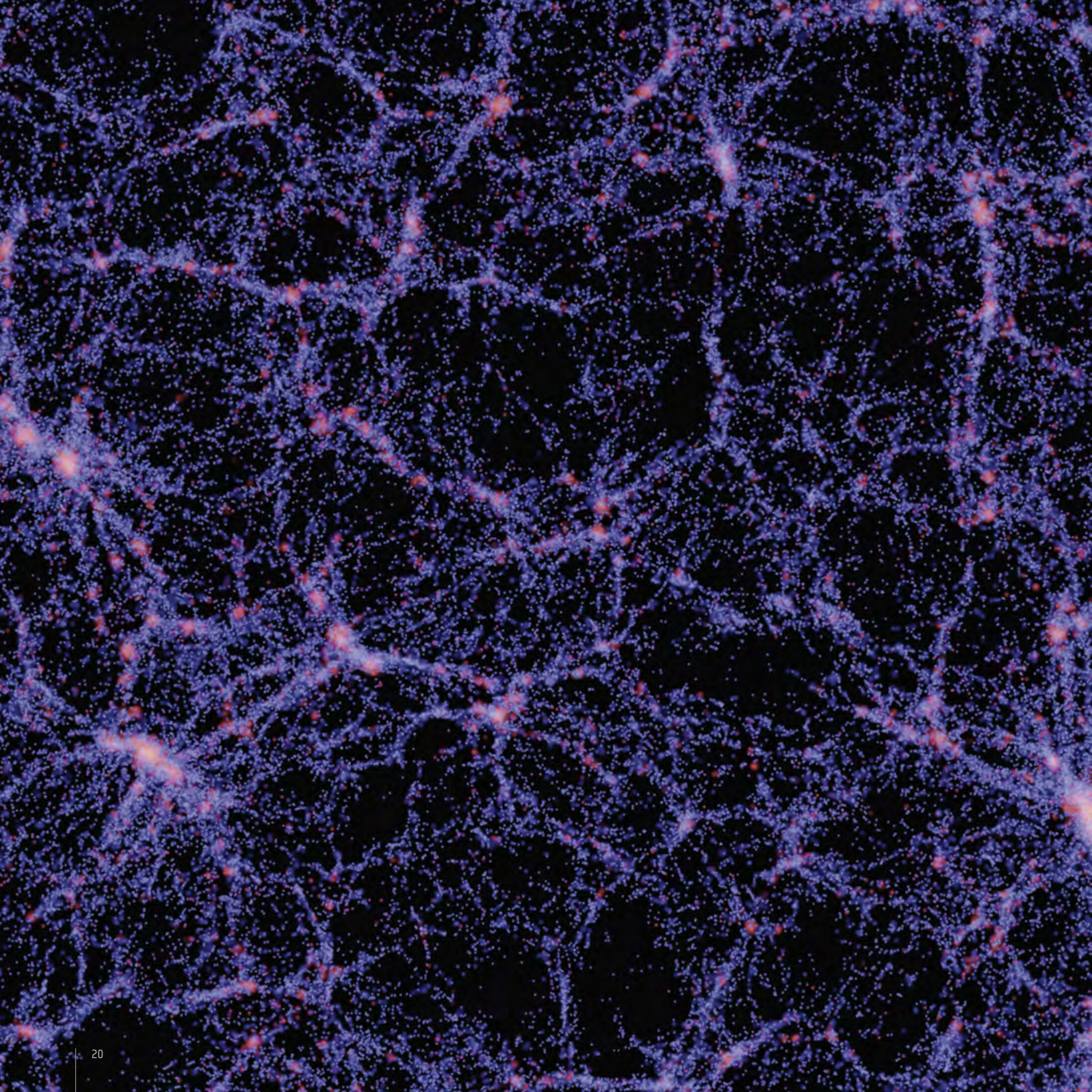
L'absence de contamination sur l'observatoire Planck de l'ESA est contrôlée avant son lancement en 2009, en même temps que le télescope spatial Herschel. Planck était remarquable parce qu'il contenait les objets les plus froids ayant jamais voyagé dans l'espace : la technologie avancée de la cryogénie a mené les détecteurs de l'Instrument à Haute Fréquence à un dixième de degré à peine du zéro absolu. Cette température d'exploitation extrême a été nécessaire pour observer les caractéristiques les plus froides de l'Univers – le fonds diffus cosmologique – sinon les résultats auraient été noyés par les propres émissions du détecteur.

Mais aucun système ne pourrait atteindre la température visée par Planck en une seule étape. Au lieu de cela, le vaisseau spatial a utilisé une chaîne de quatre techniques différentes de refroidissement, disposées comme des poupées russes. Chacune a descendu la température à un certain niveau pour laisser la suivante faire son travail. Ce processus a débuté avec des boucliers thermiques passifs, en progressant à travers une paire de refroidisseurs à gaz en circuit fermé (l'un basé sur l'hydrogène et l'autre sur l'hélium) jusqu'à une étape finale basée sur les propriétés étranges de l'hélium liquide : l'évaporation d'un mélange d'atomes d'hélium-3 et d'hélium-4 refroidit le mélange restant. Il a fallu trois mois pour atteindre –273,05 °C, pendant que Planck se dirigeait vers son poste d'observation à 1,5 million de km de la Terre.

Maintenant que les différentes méthodes de refroidissement de Planck ont été éprouvées en vol, elles sont disponibles pour d'autres missions et instruments et offrent ainsi un moyen d'améliorer aussi bien la performance de l'astronomie infrarouge que des capteurs environnementaux.





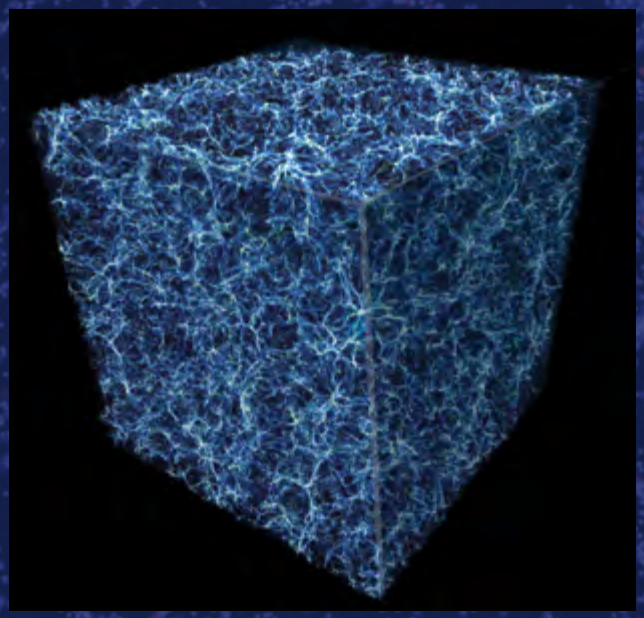


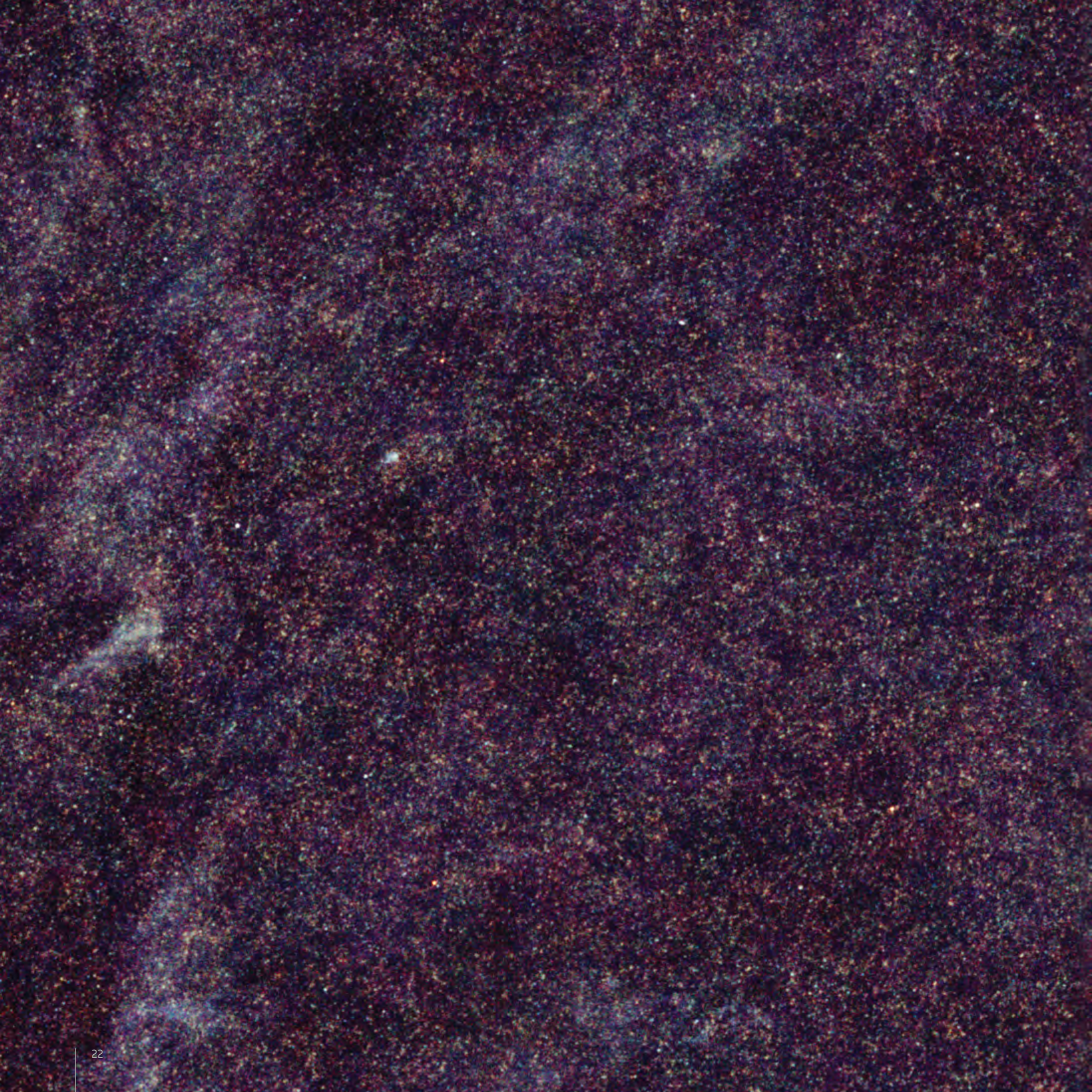
Une carte de la totalité

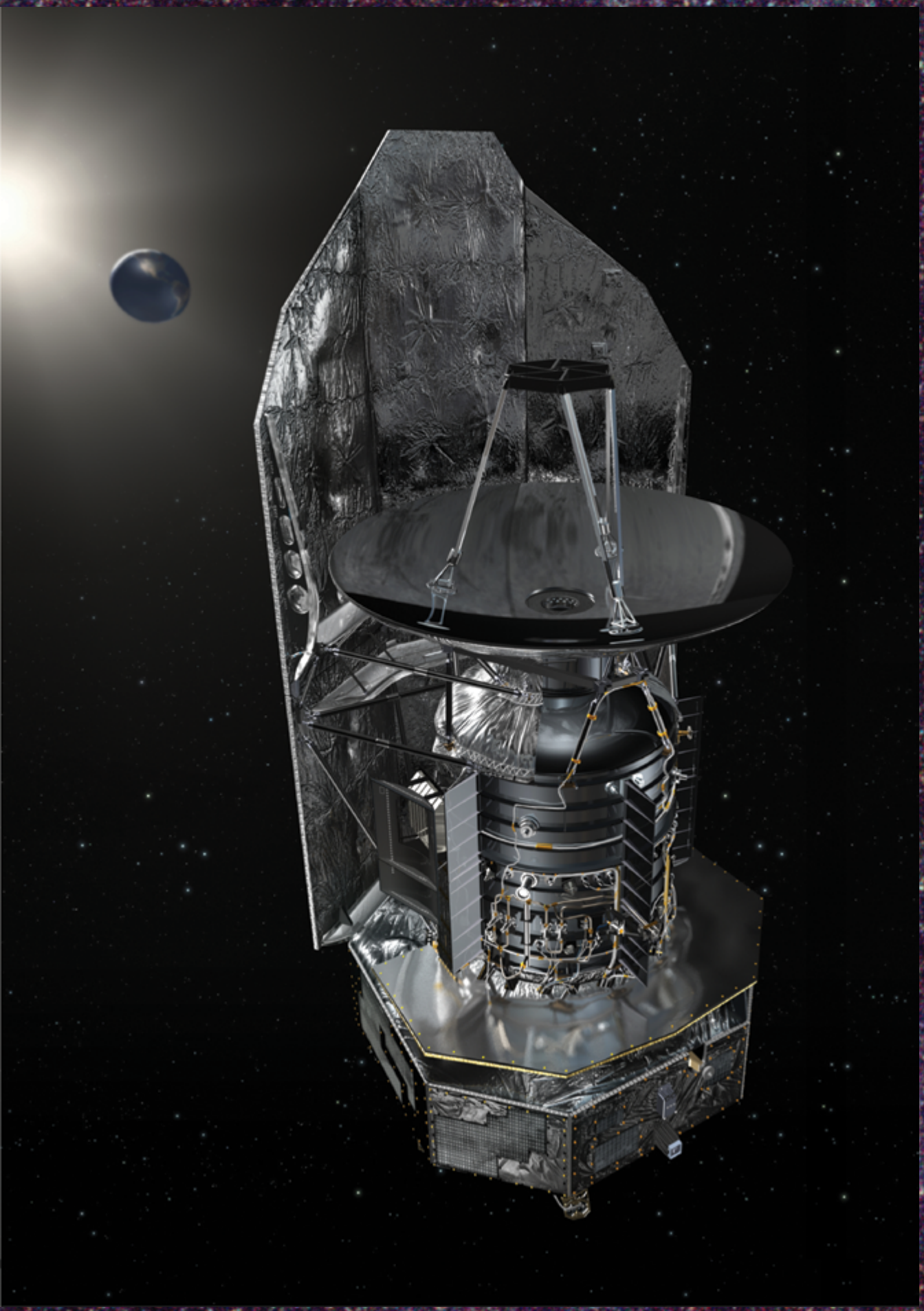
Cette image, qui émerge de la complexité d'une simulation par ordinateur, est notre meilleure compréhension à grande échelle de la matière dans l'Univers. Elle montre comment le cosmos à peine né, révélé par le fonds diffus cosmologique a évolué au cours des 13 millions d'années qui ont suivi le Big Bang. L'agglomération extrême d'amas et de superamas de galaxies reliés par des vides entre eux est entraînée par la gravité résultant à la fois de la matière ordinaire – ce dont nous sommes faits, qui constitue seulement 4 % de l'énergie dans l'Univers – et de la « matière noire », qui peut être détectée seulement par son influence gravitationnelle mais qui constitue 30 % de l'Univers. Le reste – et la plus grande partie – du budget énergétique de l'Univers est affecté à une mystérieuse « énergie noire » qui entraîne l'accélération actuelle de l'expansion cosmique.

Cette image provient de la « Simulation du Millénaire » de l'Institut d'astrophysique Max Planck ; une simulation de l'Univers en expansion dans un cube de deux milliards d'années-lumière de côté faite par sur un superordinateur, qui prend comme point de départ le fonds diffus cosmologique connu avant Planck. Les résultats de Planck vont augmenter la précision des simulations à venir.

Et Euclid, une mission de l'ESA qui sera lancée en 2020, comparera les résultats de ces simulations avec la réalité observée. Euclid mesurera la moitié du ciel qui n'est pas bloquée par les étoiles et les nuages dans la Voie Lactée dans un relevé à grande échelle sur 10 milliards d'années-lumière. Sa mission, qui doit durer six ans, est de cartographier la structure à grande échelle de l'Univers en 3D avec une précision sans précédent. L'évolution de l'agglomération des matières noire et visible depuis la naissance de notre Univers est affectée par la présence d'énergie noire, ce qui donne un aperçu de ses propriétés. Euclid fournira aux scientifiques la carte la plus précise à ce jour de la matière dans l'Univers visible.







Des galaxies comme des grains de sable

Une zone de l'espace lointain qui semblait vide et sombre à la lumière visible est apparue sous un jour très différent une fois observée par la mission sœur de Planck, Herschel, le plus grand télescope infrarouge en vol dans l'espace. L'image couvre environ une zone 70 fois la taille de la pleine lune. Presque chacun des 6000 points lumineux est une galaxie regorgeant d'étoiles nouvellement formées, beaucoup d'entre elles n'étant pas visibles dans les longueurs d'ondes optiques, car occultées par des nuages de poussière, mais rendues visibles en infrarouge.

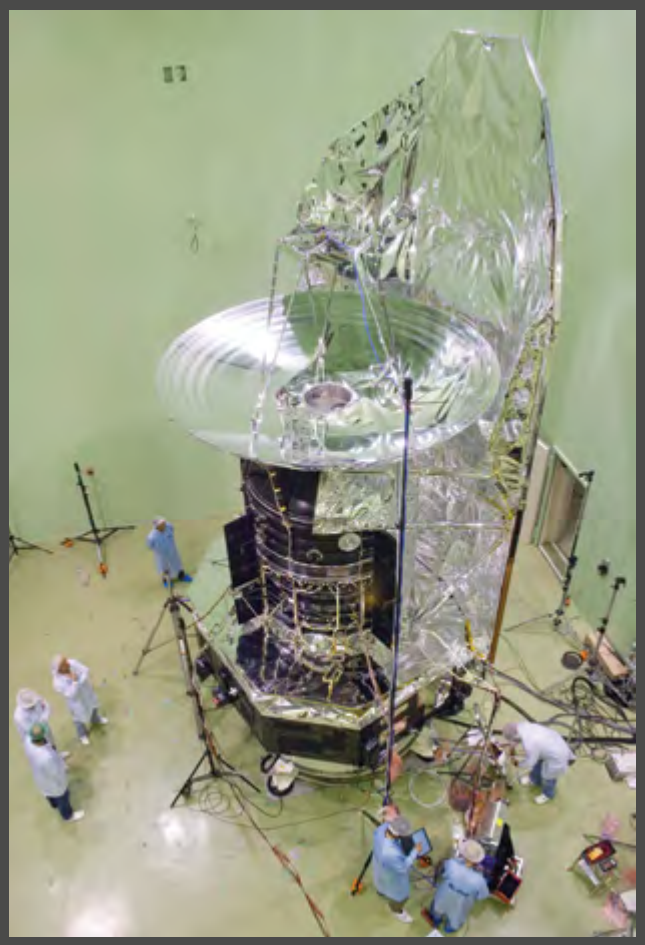
Certaines galaxies vues ici sont assez proches de la nôtre, d'autres s'estompent dans l'espace et le temps – jusqu'à 12 milliards d'années, la lumière ayant été émise seulement deux milliards d'années après le Big Bang. La luminosité indique le nombre d'étoiles en formation, les éléments suggèrent que plus la galaxie est ancienne et éloignée, plus le nombre de naissances d'étoiles est important. Notre propre Voie Lactée produit seulement quelques étoiles par an, mais il y a trois milliards d'années, le rythme classique de formation des étoiles était cent fois plus élevé.

L'image de 2010 fait partie du relevé Atlas fait par Herschel, qui visait à cartographier environ un quatre-vingtième du ciel pendant la durée de vie de l'observatoire, échantillonnant environ 250 000 galaxies en tout.

Regard froid

Herschel, le télescope spatial infrarouge de l'ESA lancé avec Planck en 2009, comportait le plus grand miroir unique jamais envoyé dans l'espace. Avec 3,5 m de diamètre, il avait deux fois la surface collectrice du télescope spatial Hubble, mais seulement un tiers de son poids. Alors que le miroir principal de Hubble était en verre, celui de Herschel était fait dans une nouvelle matière pour l'espace : la céramique au carbure de silicium, développée à l'origine comme un diamant synthétique. Fabriqué en 12 segments ensuite soudés ensemble, le miroir ne pesait que 300 kg – un miroir comparable fabriqué comme celui de Hubble aurait pesé près de 1,5 tonne.

En plus de sa haute solidité et rigidité, le carbure de silicium est pratiquement insensible aux déformations thermiques. Ceci est important parce que Herschel fonctionnait à des températures extrêmement basses. Herschel a étudié des objets froids qui irradiaient de la chaleur plutôt que de la lumière, ses détecteurs devaient donc travailler à –271 °C ou moins. Si leur température avait augmenté, ils auraient eux-mêmes émis de l'infrarouge et ainsi noyé les faibles émissions de leurs cibles. Cependant, contrairement au système de refroidissement actif de Planck, Herschel dépendait d'une réserve initiale embarquée de 2300 litres d'hélium superfluide qui s'est progressivement évaporée, ainsi que de refroidisseurs d'instruments dédiés. Ce « cryostat » stabilisait la température de l'engin tout comme le corps humain dépend de la transpiration qui s'évapore de la peau pour rester frais. Ceci signifie que Herschel était une mission limitée dans le temps : sa mission vers l'Univers froid s'est achevée en avril 2013.



esa
4

Les filaments de la création

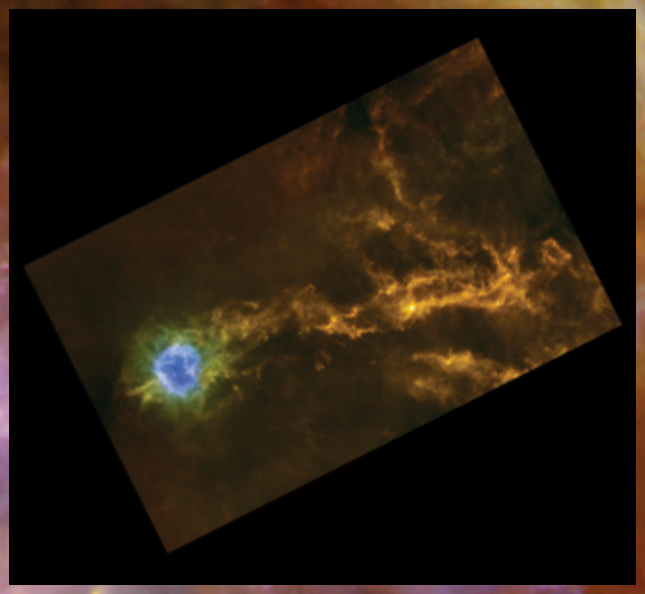
Des réseaux chaotiques de poussière et de gaz balisent les prochaines générations d'étoiles massives sur cette scène, capturée par Herschel, de la pépinière d'étoiles Cygnus-X. Cygnus-X est une région extrêmement active qui construit de grandes étoiles à environ 4500 années-lumière de la Terre dans la constellation de Cygnus, le Cygne.

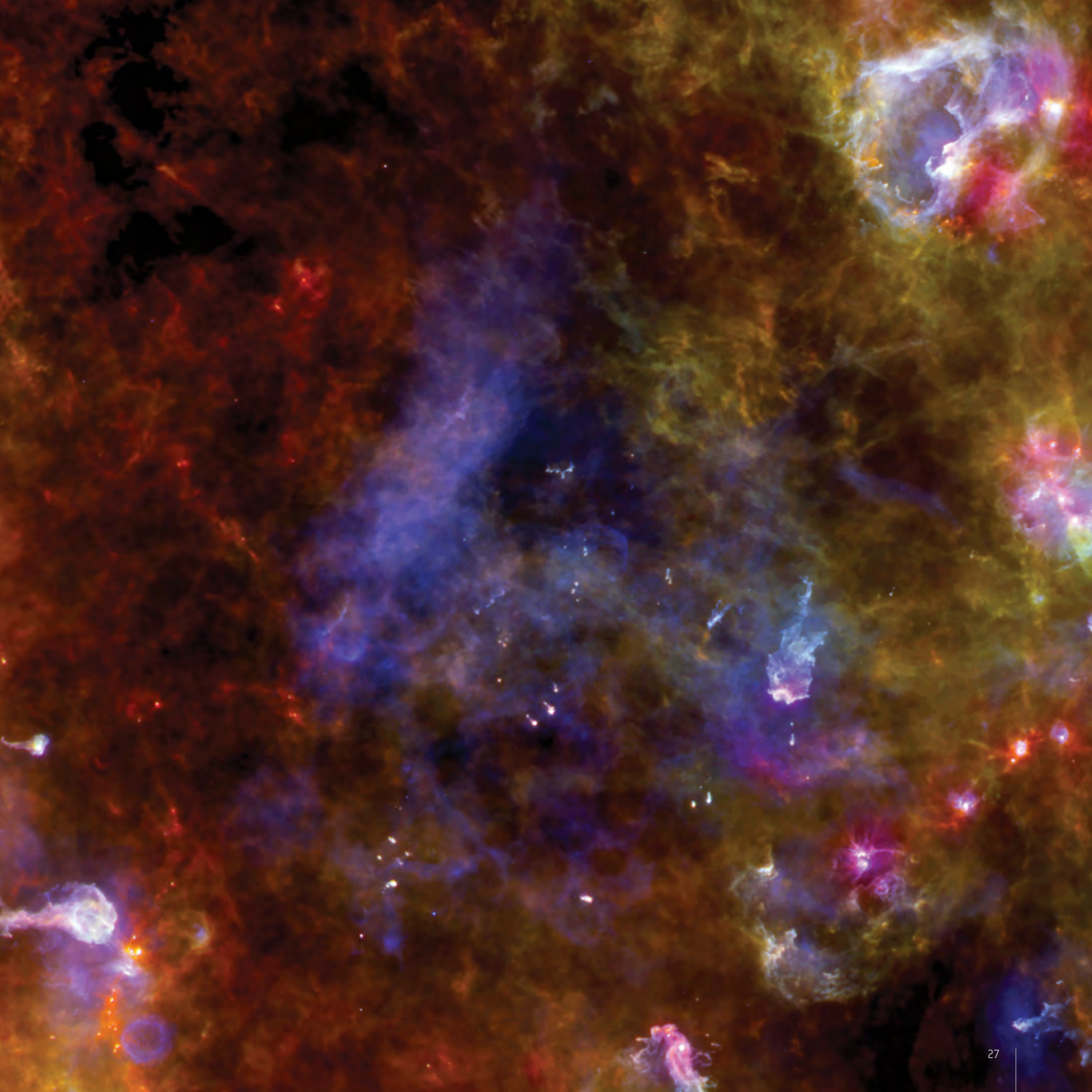
À l'aide des yeux de Herschel regardant dans l'infrarouge lointain, les astronomes ont cherché des régions où la poussière est doucement chauffée par les étoiles, et pointé vers les amas denses de gaz dans lesquels les nouvelles générations d'étoiles se forment. Les surfaces blanches lumineuses signalent des zones où de grandes étoiles ont récemment émergé des nuages turbulents.

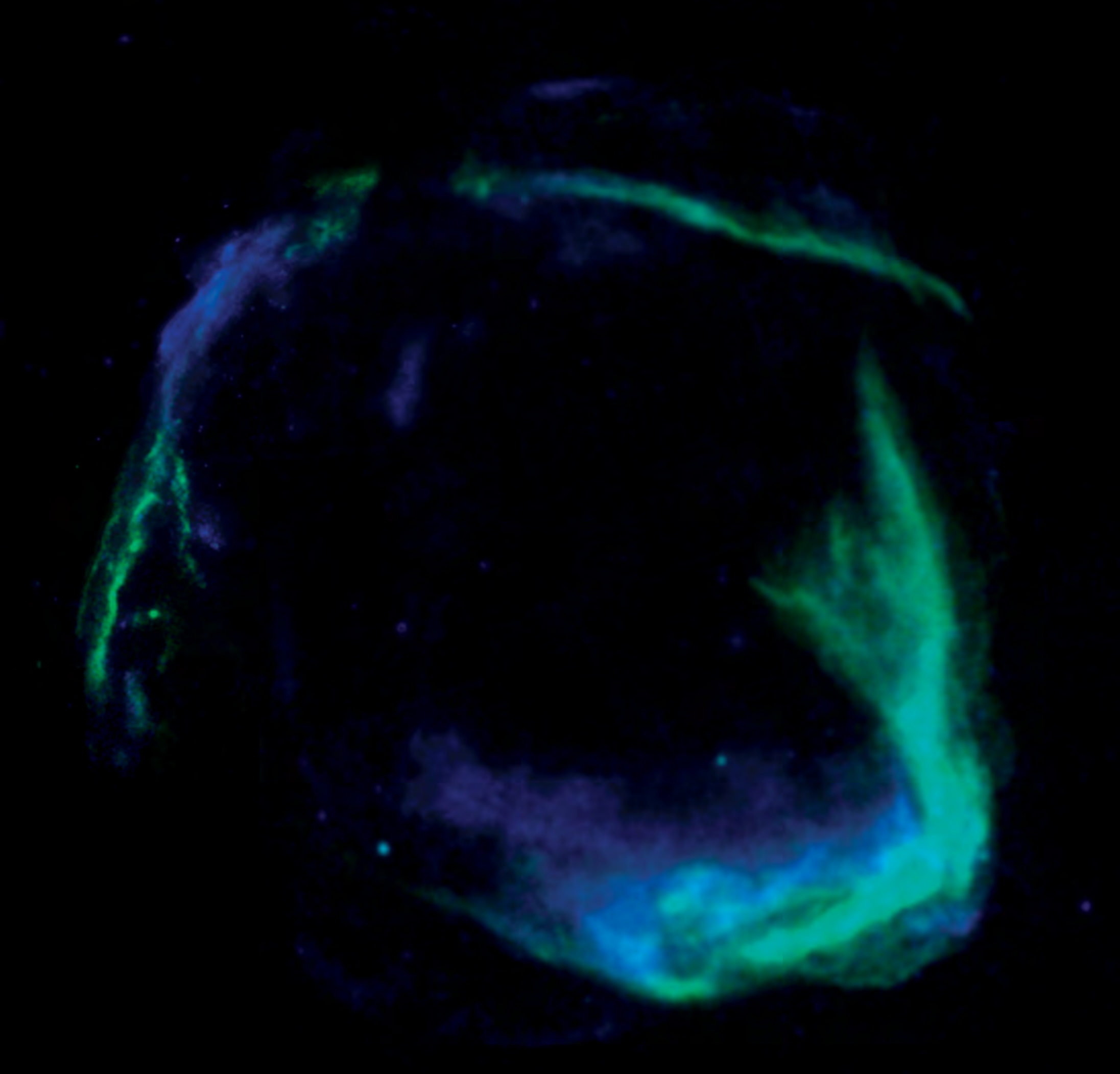
Ici, des nœuds denses de gaz et de poussière marquent les intersections où les filaments se rencontrent et s'effondrent pour former de nouvelles étoiles, et où les structures en forme de bulle sont taillées par leur immense rayonnement. Au centre-droit de l'image, un violent rayonnement et de puissants vents stellaires venant d'étoiles non détectées par les longueurs d'ondes de Herschel, ont partiellement dégagé et chauffé la matière interstellaire, qui brille en bleu sur cette représentation. La partie gauche de la scène est dominée par un pilier de gaz.

Herschel fut le premier observatoire à couvrir toute la gamme, depuis l'infrarouge lointain jusqu'aux longueurs d'ondes submillimétriques et à relier les deux, explorant plus loin que toutes les missions précédentes dans l'infrarouge lointain, pour examiner autrement les régions invisibles du cosmos, poussiéreuses et froides, qu'elles soient proches ou lointaines.

L'image en médaillon montre un filament gazeux suivi par sa poussière au cœur de la nébuleuse du Cocon. Herschel a montré que quelle que soit la longueur ou la densité d'un filament, la largeur est toujours à peu près la même : environ 0,3 année-lumière de section, soit environ 20 000 fois la distance de la Terre au Soleil. De tels filaments sont supposés regorger de centaines d'étoiles nouvellement formées.







Un fantôme aux rayons X

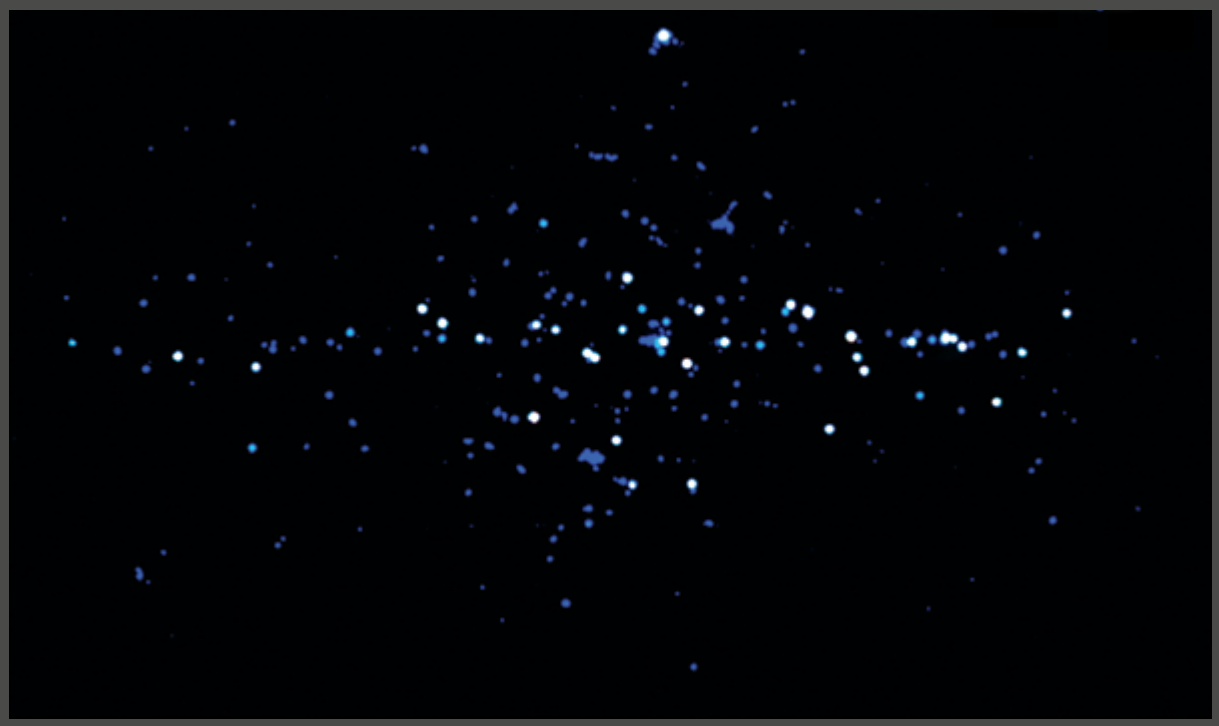
Illuminés par les rayons X, les vestiges fantomatiques de RCW 86, la première supernova enregistrée par les astronomes, comme cela a été vue conjointement par les observatoires XMM-Newton de l'ESA et Chandra X-ray de la NASA. Les Chinois ont assisté à l'événement en 185 av J.- C. et ils ont documenté une « étoile invitée » mystérieuse qui a brillé dans le ciel pendant huit mois. La vision aux rayons X révèle le gaz interstellaire, qui a été réchauffé à des millions de degrés par le passage de l'onde de choc de la supernova.

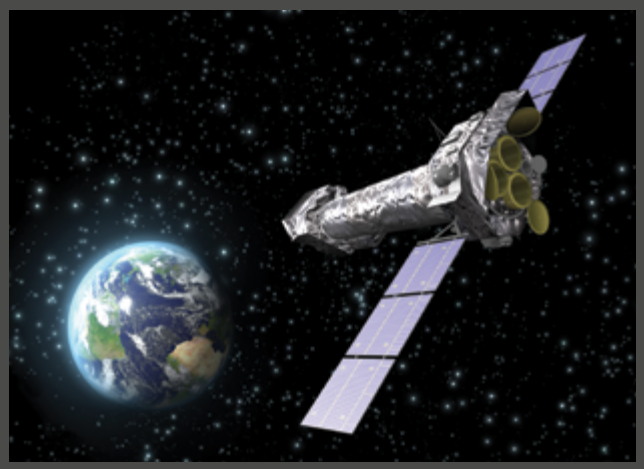
L'image de gauche, qui combine des données de XMM-Newton et de Chandra avec l'imagerie optique, montre un jeune pulsar – une étoile très dense à rotation rapide – à côté d'un reste de supernova dans le Petit Nuage de Magellan, une galaxie naine voisine de la nôtre.

L'observation du ciel à de plus hautes énergies révèle un Univers violent d'étoiles qui explosent, de trous noirs et de nuages de gaz incandescents. Avec des températures de plusieurs millions de degrés, de tels objets à haute énergie brillent dans les longueurs d'onde de rayons X mais pas dans la lumière visible.

Les rayons X à haute énergie sont réfléchis seulement dans des angles extrêmement faibles. Alors que la lumière visible se réfléchit sur un miroir comme une balle qui rebondit sur un mur, la réflexion des rayons X fonctionne davantage comme une pierre qui ricoche sur la surface d'un étang. Les miroirs du télescope doivent être orientés latéralement et non de face : XMM-Newton utilise plus de 250 miroirs en nickel recouverts d'or.

Integral, l'observatoire de l'ESA des rayons X durs et des rayons gamma mous, relie la bande d'énergie observée par XMM-Newton et Chandra à celle des missions spatiales des rayons gamma à haute énergie et aux observatoires au sol à ultra-hautes énergies. Avec sa caméra optique et ses détecteurs à haute énergie, Integral peut observer simultanément des objets aux rayons gamma, aux rayons X et à la lumière visible. Même s'il est unique à savoir étudier la nucléosynthèse – la production de nouveaux noyaux atomiques – dans notre galaxie, Integral étudie un large éventail d'objets à haute énergie d'intérêt pour l'astrophysique, y compris les explosions de rayons gamma – de violentes explosions provenant de l'extrémité de l'Univers observable – ainsi que des objets plus proches, comme ce relevé des rayons X durs de la Voie Lactée (en bas à gauche).





Vie et mort des étoiles

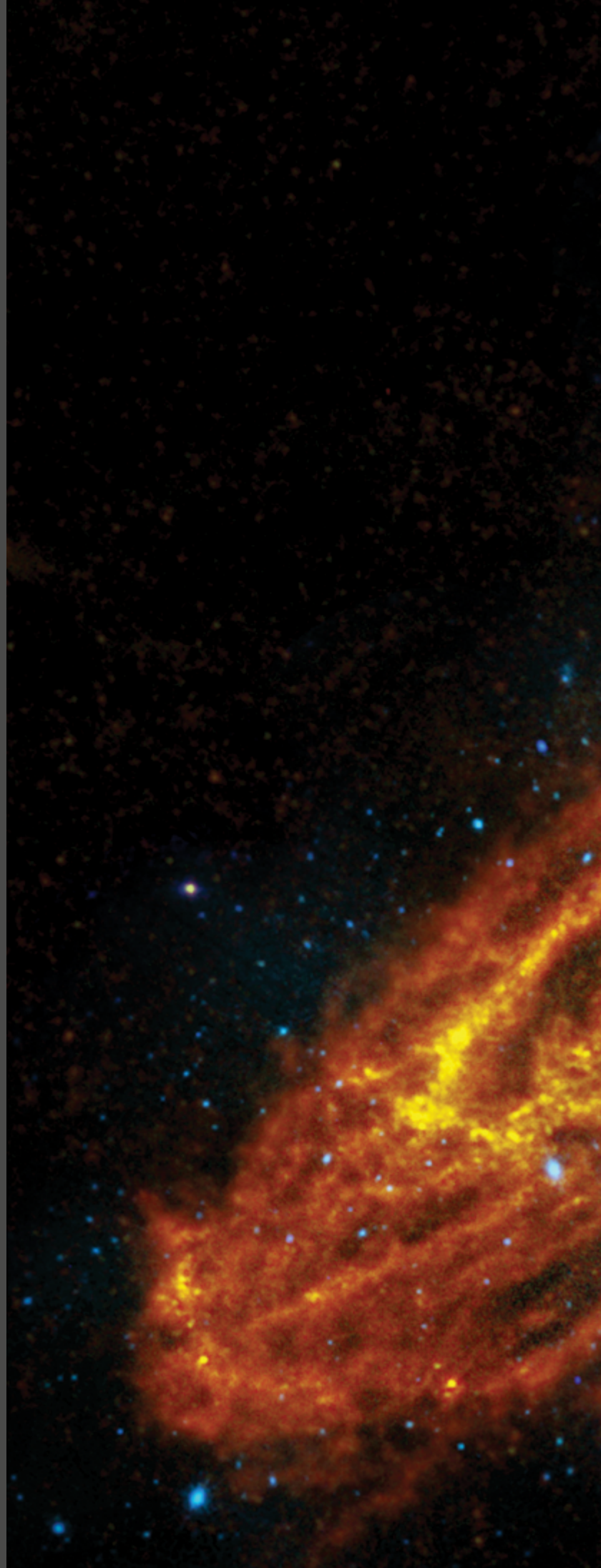
La combinaison des observatoires spatiaux de l'ESA génère des perspectives encore plus riches. Cette vue détaillée de la galaxie d'Andromède M31, semblable à notre propre galaxie de la Voie Lactée, provient du travail en commun de Herschel et de XMM-Newton. Herschel (en orange) voit des anneaux d'étoiles nouvellement formées tandis que XMM-Newton (en bleu) montre des étoiles mourantes qui émettent des rayons X dans l'espace.

Sensible à la lumière infrarouge lointaine, Herschel trouve des nuages de poussière et de gaz froids là où les étoiles se forment. Dans ces nuages se trouvent de nombreux cocons poussiéreux qui abritent les étoiles en formation, chacune se contractant dans un lent mouvement gravitationnel qui peut durer des centaines de millions d'années. Une fois que l'étoile est suffisamment dense, commence à briller dans la lumière visible, elle sort de son nuage natal et devient visible pour les télescopes courants. Herschel a discerné au moins cinq anneaux concentriques de gaz formant des étoiles marqués par leur poussière, probablement les suites d'une collision avec une autre galaxie.

La vue quasi-simultanée aux rayons X de XMM-Newton est superposée à l'image infrarouge. Tandis que l'infrarouge révèle la naissance des étoiles, les rayons X montrent généralement leur fin, et l'imagerie optique montre des étoiles telles qu'elles sont la plus grande partie de leur vie, comme notre Soleil.

XMM-Newton montre des centaines de sources de rayons X à l'intérieur d'Andromède, plusieurs étant regroupées autour du centre. Certaines d'entre elles sont des ondes de choc ou des débris d'étoiles qui ont explosé et qui roulent à travers l'espace, d'autres sont des paires d'étoiles enfermées dans des luttes à mort gravitationnelles.

Dans ces étreintes mortelles, l'une des étoiles est déjà morte et tire le gaz de sa compagne encore vivante. Le gaz qui tombe à travers l'espace se réchauffe à plusieurs millions de degrés et émet des rayons X. L'étoile vivante sera peut-être largement dépouillée, la majeure partie de sa masse étant arrachée par la traction plus forte de sa partenaire plus dense. Au moment où le corps stellaire s'enveloppe dans ce gaz volé, il pourrait lui-même exploser.



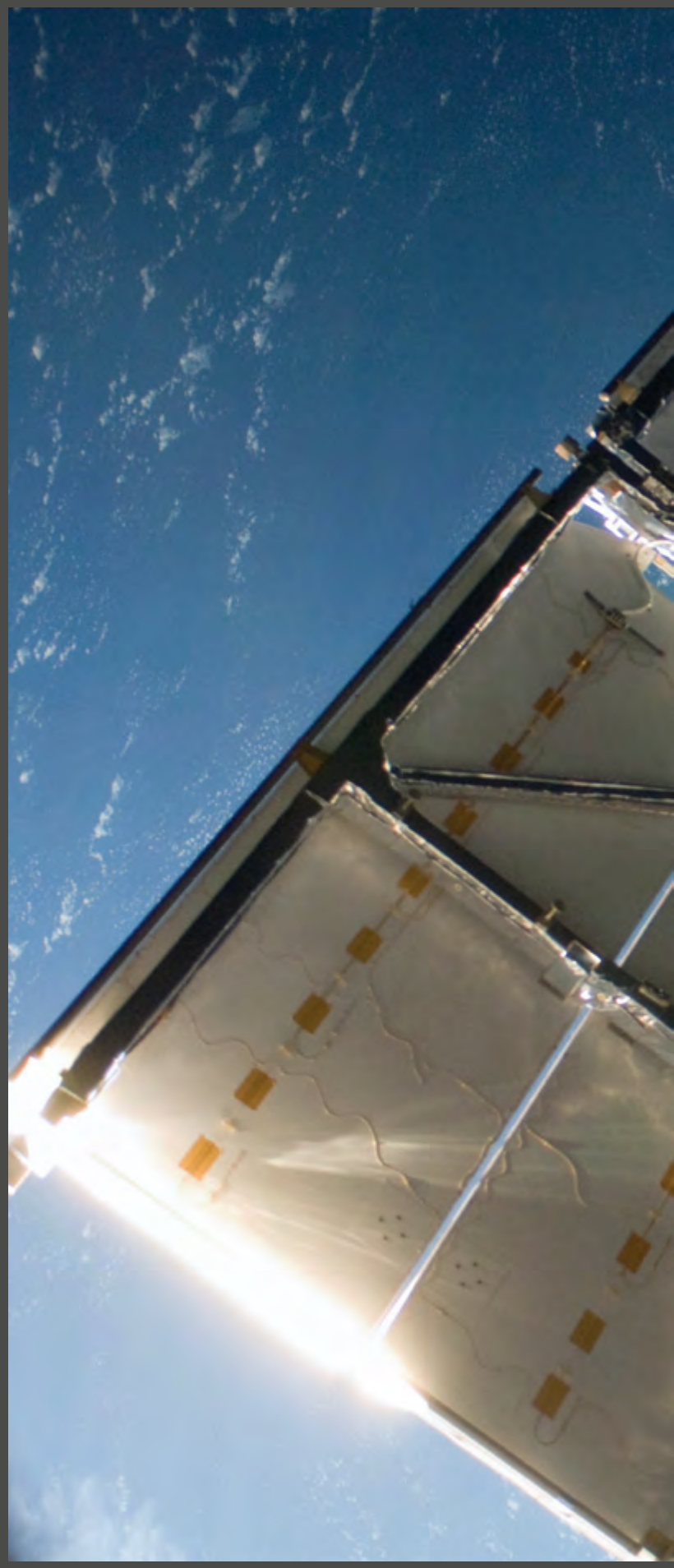
L'univers de Hubble

Plus que n'importe quelle autre mission spatiale, le télescope spatial Hubble de la NASA–ESA a changé la façon dont nous voyons l'Univers. Il existe de nombreux télescopes optiques plus grands que le miroir de 2,4 m de diamètre de Hubble, mais il est le seul à fonctionner au-delà de l'influence déformante de l'atmosphère de la Terre. Le dix millième article scientifique basé sur les résultats de Hubble a été publié à la fin de 2011.

La signature de l'ESA sur le projet en 1977 pour obtenir 15 % du temps d'observation de Hubble s'est avérée être une très bonne affaire. En retour, l'Agence a fourni la Faint Object Camera, conçu et construit les ailes solaires de Hubble et fourni une assistance scientifique et d'ingénierie pendant toute la vie opérationnelle de la mission.

Lancé en 1990, Hubble a été entretenu périodiquement par des astronautes de la navette spatiale qui ont remplacé des instruments et d'autres éléments au cours des cinq missions de révision, et deux astronautes de l'ESA, Claude Nicollier et Jean-François Clervoy, ont joué un rôle-clé dans deux missions. Les astronautes américains John Grunsfeld (à gauche) et Andrew Feustel sont photographiés ci-dessous pendant la dernière mission de révision en 2009. Même si les ailes solaires actuelles de Hubble ont été fabriquées aux États-Unis, leur mécanisme principal d'entraînement et l'électronique d'assistance qui les maintient alignées avec le Soleil reste européen. Et l'ESA compte 15 scientifiques dans l'Institut scientifique du télescope spatial, le centre en charge des opérations scientifiques de Hubble, tandis que les ingénieurs de l'ESA ont donné des conseils sur toutes les missions de révision de Hubble.

L'ère de la navette étant terminée, et Hubble plus puissant que jamais, la dernière mission vers le télescope spatial sera presque certainement sans équipage, un robot fixera très probablement un étage de propulsion pour désorbiter en toute sécurité le vénérable observatoire spatial – mais ceci n'arrivera pas avant un certain nombre d'années.



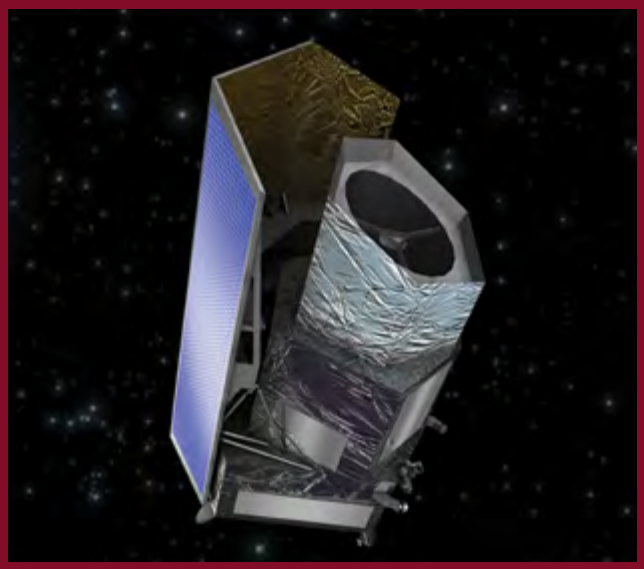
De la matière noire, cachée aux yeux de tous

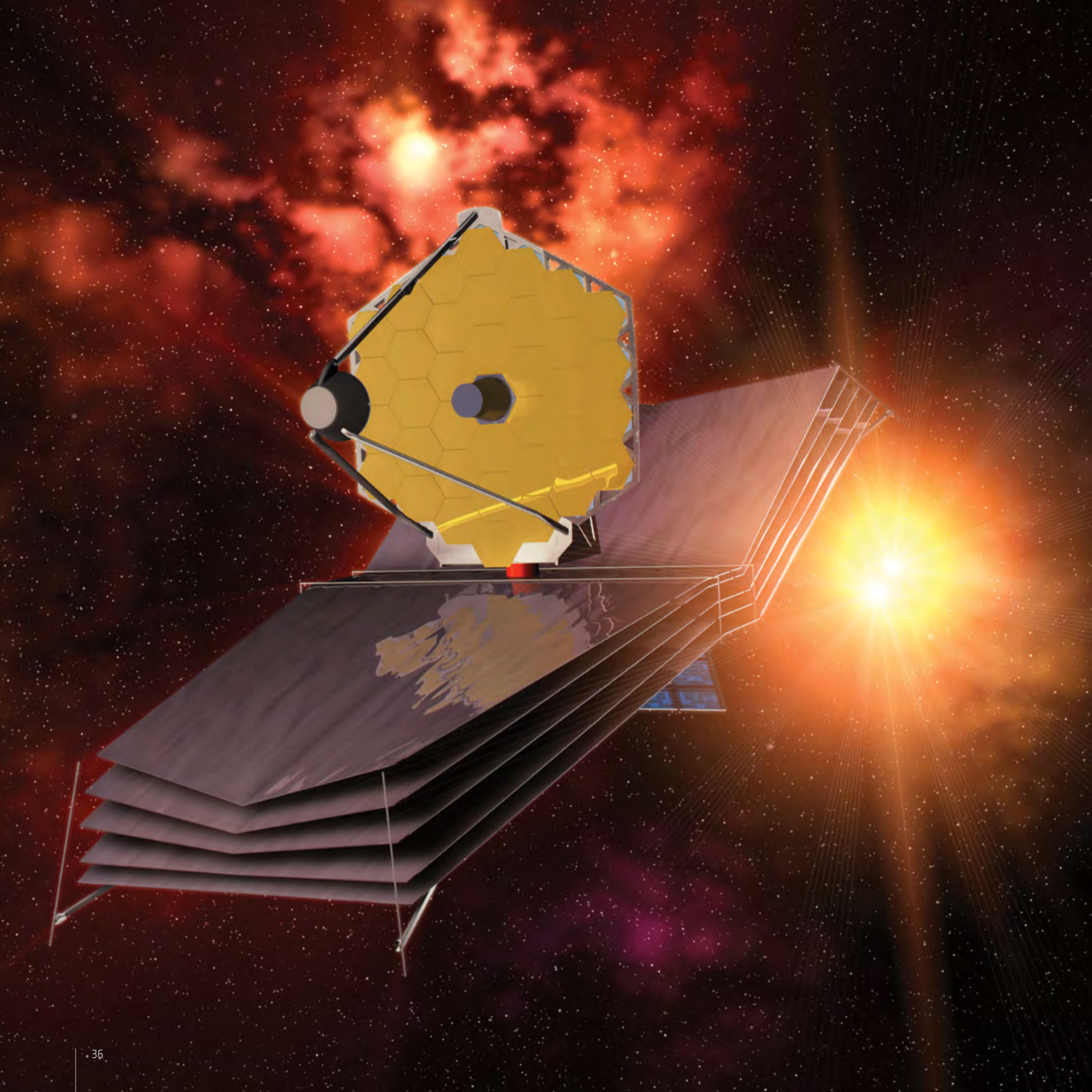
Cette image de Hubble révèle la présence invisible de matière noire dans l'amas de galaxies MACS J1206.2-0847. À environ 4,5 milliards d'années-lumière de distance dans la constellation de la Vierge, ce groupe de galaxies a été assemblé par leur gravité mutuelle, y compris celle de la matière noire invisible. Le champ gravitationnel résultant de l'agglomération est tellement intense qu'il courbe et déforme les rayons de lumière des galaxies lointaines, les étirant et les déformant en un dessin circulaire autour du centre.

La matière noire représente la plus grande partie de la masse de l'Univers – environ cinq fois plus que la matière visible – cependant elle peut être détectée seulement en mesurant la traction de sa gravité sur la matière visible et la courbure de l'espace, comme un miroir dans une baraque de foire, de sorte que la lumière des objets éloignés est déformée. Les amas de galaxies comme MACS 1206 sont de parfaits laboratoires pour étudier les effets gravitationnels de la matière noire, parce qu'ils sont les structures les plus massives dans l'Univers. En raison de leur poids, les amas agissent comme des lentilles cosmiques géantes qui grossissent, déforment et courbent toute lumière les traversant, un effet appelé lentille gravitationnelle.

Cet amas était un des premiers objectifs dans un recensement qui permettra aux astronomes de construire les cartes les plus détaillées de la matière noire dans un nombre d'amas de galaxies plus important que jamais, appelé Cluster Lensing And Supernova survey with Hubble (lentille d'amas et relevé de supernovæ avec Hubble) ou CLASH.

La mission Euclid de l'ESA étudiera le même phénomène sur une plus grande échelle, évaluant les effets plus faibles de courbure de la lumière appelé « lentille gravitationnelle faible » dans la totalité du ciel pour donner une estimation fiable, non seulement de la distribution de la matière noire dans l'Univers, mais aussi de la mystérieuse énergie noire qui l'étire à une vitesse toujours plus élevée. La manière dont la distribution a évolué fournira des informations sur les propriétés à la fois de la matière noire et de l'énergie noire.





À la recherche des premières étoiles

La NASA et l'ESA, avec l'Agence spatiale canadienne étendent leur partenariat sur Hubble au nouveau télescope spatial James Webb Space Telescope (JWST), beaucoup plus grand, qui doit être lancé par Ariane 5 en 2018. Son miroir principal de 6,5 m de diamètre a une surface sept fois plus étendue que celle de Hubble, ce qui le rendra beaucoup plus sensible.

Stationné à 1,5 million de km de la Terre, JWST observera les plus faibles étoiles et galaxies à des longueurs d'ondes infrarouge. À l'abri derrière un écran solaire multi-couches de la taille d'un court de tennis, JWST fonctionnera à –220 °C pour une sensibilité optimale au rayonnement infrarouge. Les objets les plus distants s'éloignent de nous à grande vitesse et en conséquence leur lumière passe de l'ultraviolet et de la lumière visible à l'infrarouge proche. L'étude des objets les plus éloignés dans l'Univers nécessite donc un télescope infrarouge.

L'un des principaux objectifs de JWST est de détecter la toute première génération d'étoiles, les premières à se former après la création de l'Univers, beaucoup plus grosses que celles qui se forment aujourd'hui. De tels géants stellaires se seraient développés à partir de l'hydrogène et de l'hélium – les seuls éléments existants après le Big Bang il y a 14 milliards d'années – qui fonctionnaient comme des haut-fourneaux cosmiques pour produire tous les éléments plus lourds découverts dans les générations ultérieures d'étoiles et de galaxies – y compris toutes nos matières premières. L'une des théories est que les sursauts de rayons gamma sont un bref aperçu de l'agonie de ces toutes premières étoiles.

La conception du Webb

Les six derniers segments de la matrice principale du miroir du télescope spatial James Webb sont soumis à des essais d'ultra-froid (en haut) au Marshall Space Flight Center de la NASA en Alabama, États-Unis, en décembre 2011.

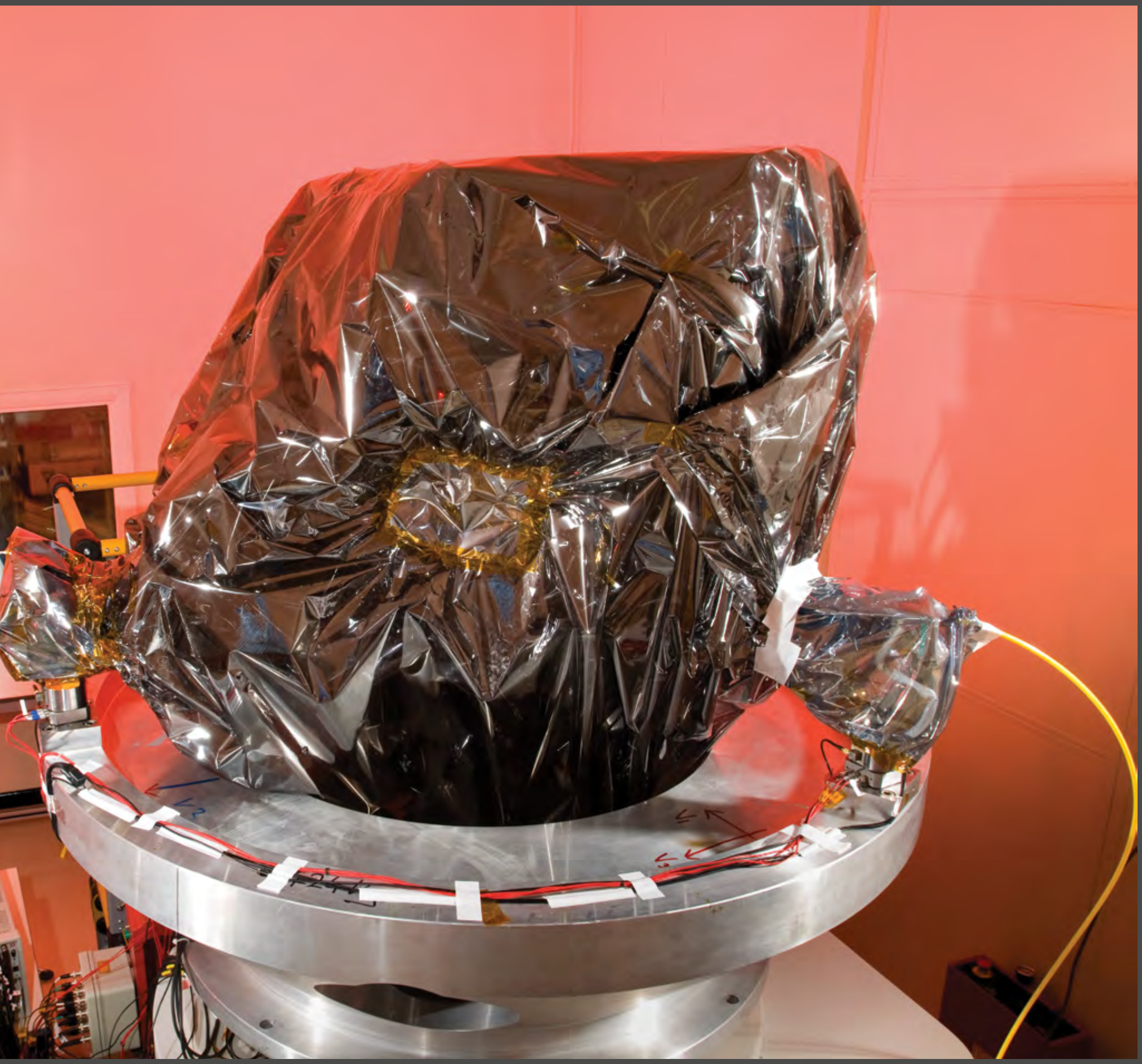
Le miroir complet de 6,5 m de diamètre du JWST est constitué de 18 segments hexagonaux de béryllium mesurant chacun 1,3 m de diamètre. Dans l'espace, la forme et la position du segment seront ajustées par des actionneurs contrôlés par ordinateur pour produire une image nette et de haute qualité. Les miroirs resteront alignés comme s'ils constituaient un seul grand miroir avec une précision d'un dix-millième de cheveu humain.

Le miroir est segmenté car il doit pouvoir être installé dans la coiffe de 5 m de diamètre d'une fusée Ariane 5. De la même manière, le pare-soleil de JWST de la taille d'un court de tennis sera replié pour le lancement et déployé une fois l'engin spatial en orbite.

Parmi les quatre instruments qui recevront la lumière de son miroir, deux sont européens. Le Mid-InfraRed Instrument (MIRI, image principale), premier instrument du JWST à terminer les essais (vu ici au cours d'essais au Royaume-Uni), sera utilisé par les astronomes pour étudier les comètes de faible luminosité tournant autour du Soleil, les planètes très éloignées nouvellement formées et les régions obscurcies de formation d'étoiles, ainsi que les galaxies près du bord de l'Univers.

The Near-InfraRed Spectrograph (spectrographe proche de l'infrarouge, NIRSpec, en bas) observera les galaxies lointaines pour révéler leur constitution de base et les taux de formation d'étoiles, car il est capable d'obtenir simultanément les spectres de plus de 100 galaxies ou étoiles de faible luminosité.

La NASA fournit la Near-Infrared Camera (Caméra dans le proche infrarouge, NIRCam) pour la détection directe et l'imagerie des objets de faible luminosité. L'agence spatiale canadienne est responsable du Fine Guidance Sensor (détecteur de guidage de précision), une caméra dédiée au ciblage précis de l'observation des objectifs astronomiques et qui intègre un imageur proche infrarouge et un spectrographe pour des observations scientifiques directes.



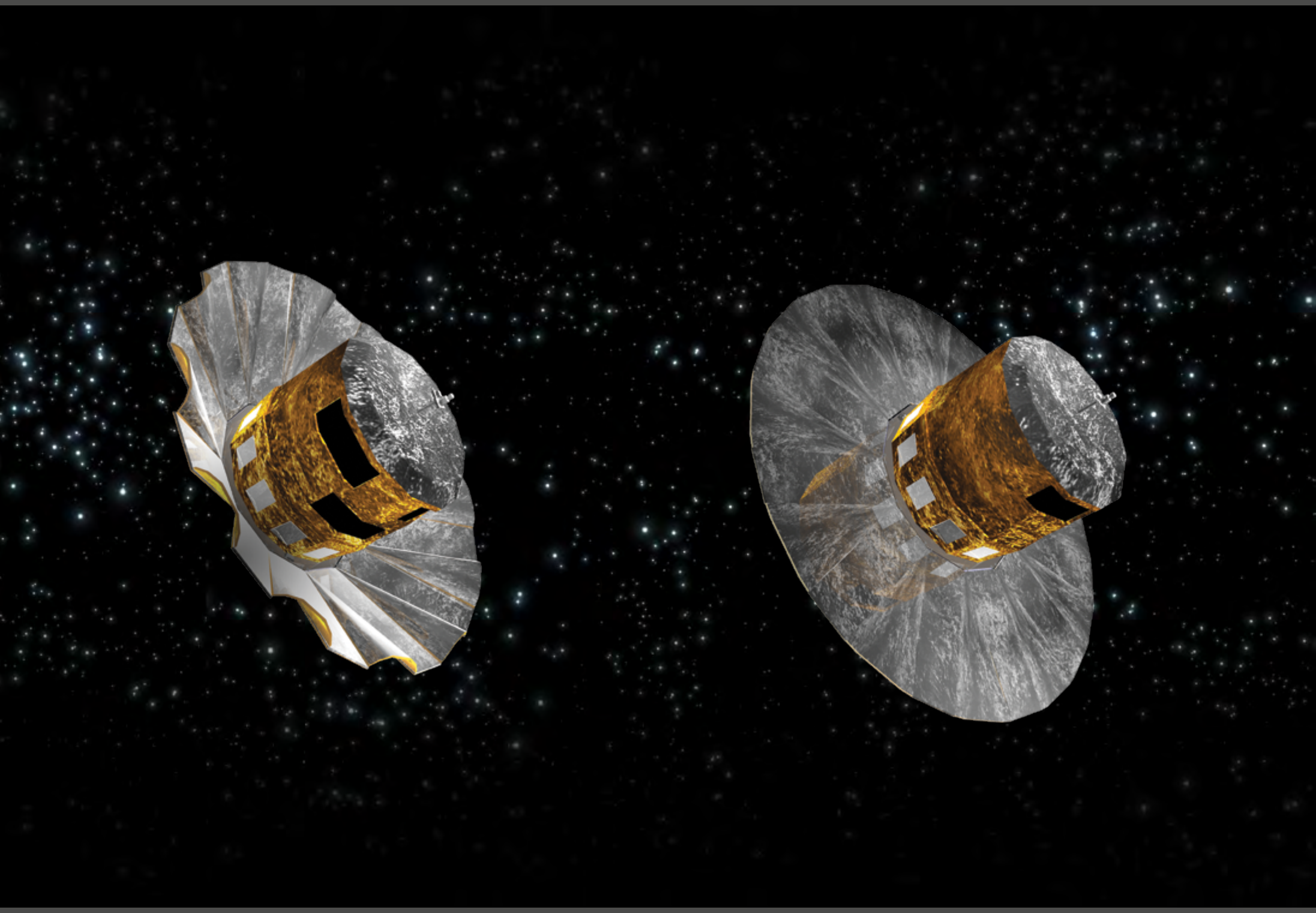
Observer les étoiles à l'ombre

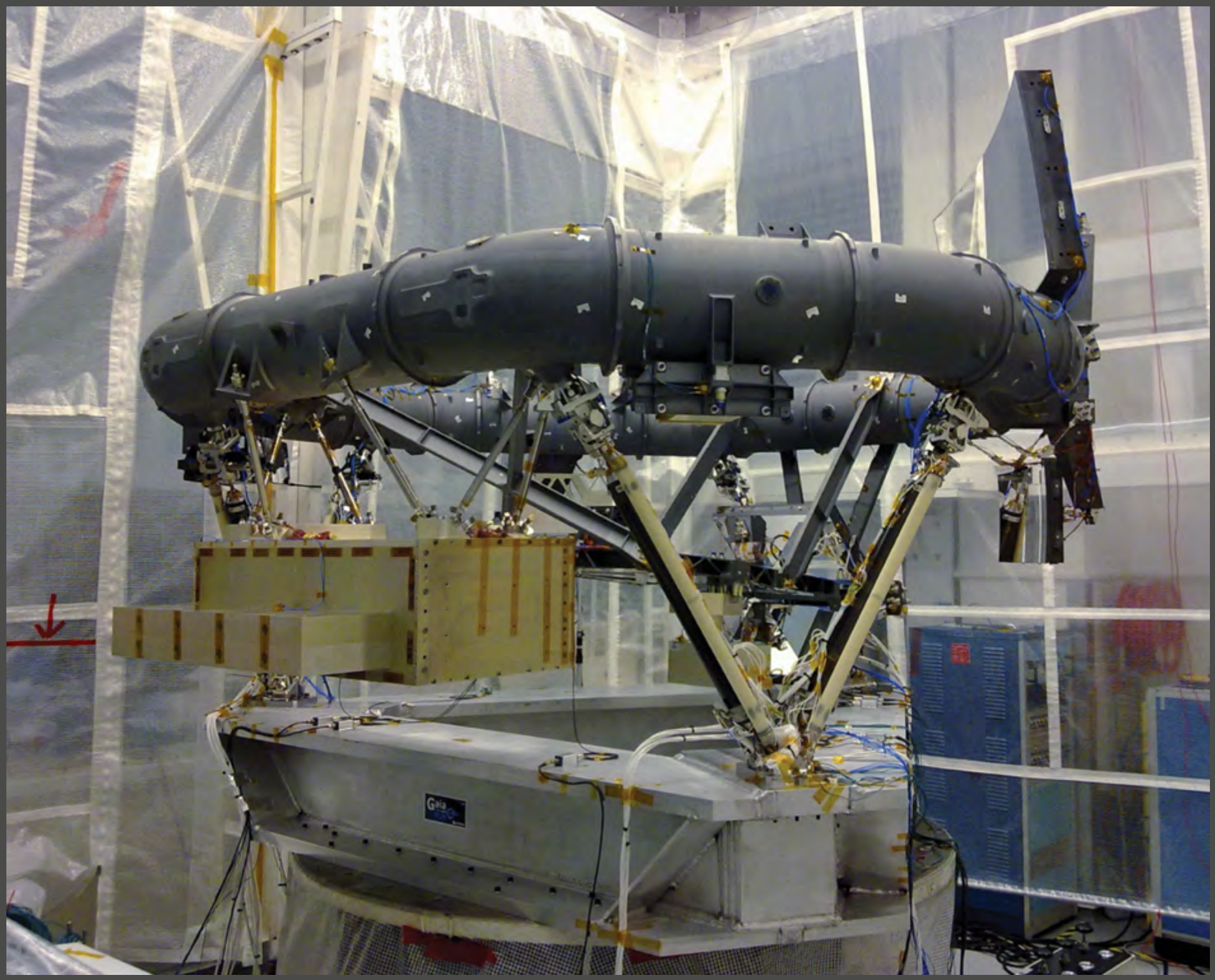
L'œil humain seul peut voir quelques milliers d'étoiles dans le ciel la nuit. La mission Gaia de l'ESA scrute les cieux à l'aide de ses deux télescopes pour en détecter beaucoup, beaucoup plus : elle ambitionne de détecter un milliard d'étoiles au cours des cinq années de sa mission. Ces mesures de précision peuvent être effectuées uniquement par un engin spatial extrêmement stable, une stabilité assurée par un fonctionnement derrière un parasol déployé. Avec une surface de 75 m^2, le pare-soleil est conçu pour être utilisé dans l'apesanteur de l'espace, c'est pourquoi il a été soutenu par des câbles et des contrepoids pendant l'essai chez Astrium en France. Les 12 panneaux qui composent le pare-soleil se trouvent en position désaxée par rapport à l'engin spatial et ont une épaisseur de quelques millimètres seulement.

Lancé en décembre 2013, Gaia suivra environ 1 % de toutes les étoiles de notre galaxie, relevant leur luminosité et leurs caractéristiques spectrales, ainsi que leurs positions en 3D et leur déplacement dans le temps. La carte des étoiles en déplacement de Gaia retracera l'histoire de la Voie Lactée et prédira son avenir.

Gaia fonctionnant à 1,5 million de km de la Terre, sa température doit rester constante à quelques millionièmes de degré près derrière le pare-soleil, pour éviter la moindre déformation du télescope et atteindre la précision requise.

Gaia permet à l'Europe de maintenir sa position de leader dans la cartographie des étoiles, initié avec la mission Hipparcos qui a fourni les catalogues d'étoiles Hipparcos et Tycho, qui sont devenus les sources de références « astrométriques » standard d'aujourd'hui. Les catalogues Gaia constitueront le nouveau cadre de référence de l'astronomie.




Gaia

L'œil de Gaia

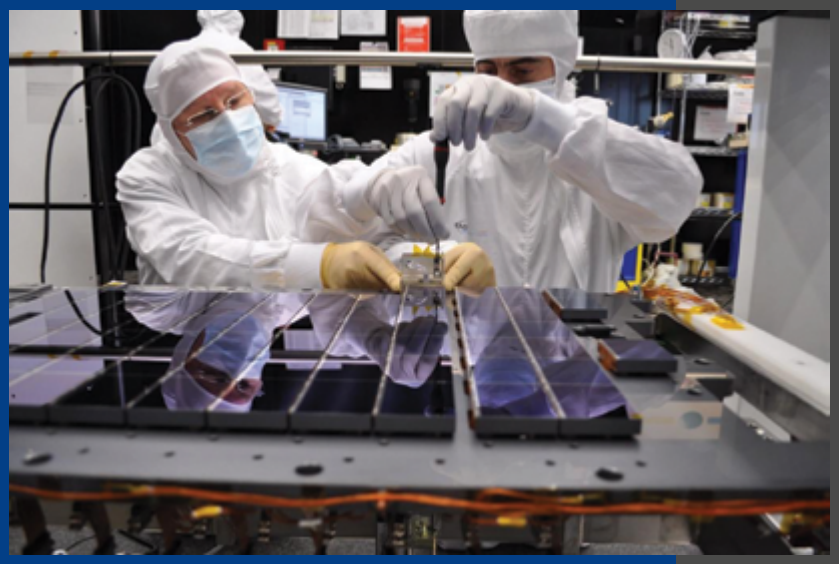
Pour détecter des étoiles distantes qui émettent une lumière environ un million de fois plus faible que ce que l'œil peut voir, Gaia transporte le plus grand appareil photo numérique jamais construit pour une mission spatiale. Il est constitué d'une mosaïque de 106 détecteurs électroniques individuels appelés dispositifs à couplage de charge (CCD), des versions améliorées des puces que l'on trouve dans les appareils photo numériques classiques.

Développés pour la mission par e2v Technologies à Chelmsford, Royaume-Uni, ces détecteurs rectangulaires sont un peu plus petits qu'une carte de crédit, chacun mesurant 4,7 x 6 cm avec un substrat de silicone photosensible plus fin qu'un cheveu humain.

La mosaïque de 0,5 x 1,0 m a été assemblée en 2011 sur le site Toulousain d'Astrium SAS le maître d'œuvre de Gaia. Astrium SAS. La matrice obtenue, d'une surface de 0,38 m² avec un milliard de pixels est « l'œil » hypersensible de Gaia.

Les techniciens ont passé plusieurs semaines à fixer avec soin et à aligner avec précision chacun des CCD sur la structure support. Travaillant en deux équipes dans des conditions strictes de salle blanche, ils ont construit le plan focal rectangulaire au rythme de quatre CCD par jour. Pour augmenter la sensibilité de ses détecteurs, l'engin spatial les maintient à –110 °C.

La structure support des CCD de Gaia, son anneau principal (page ci-contre) et presque tout le module de charge utile sont fabriqués en carbure de silicium, résistant aux déformations provoquées par les variations thermiques. Le SiC a également l'avantage du faible poids associé à une extrême raideur et il peut être poli jusqu'à une finition miroir : les 10 miroirs des télescopes jumeaux de Gaia sont faits en carbure de silicium.



esa
esa

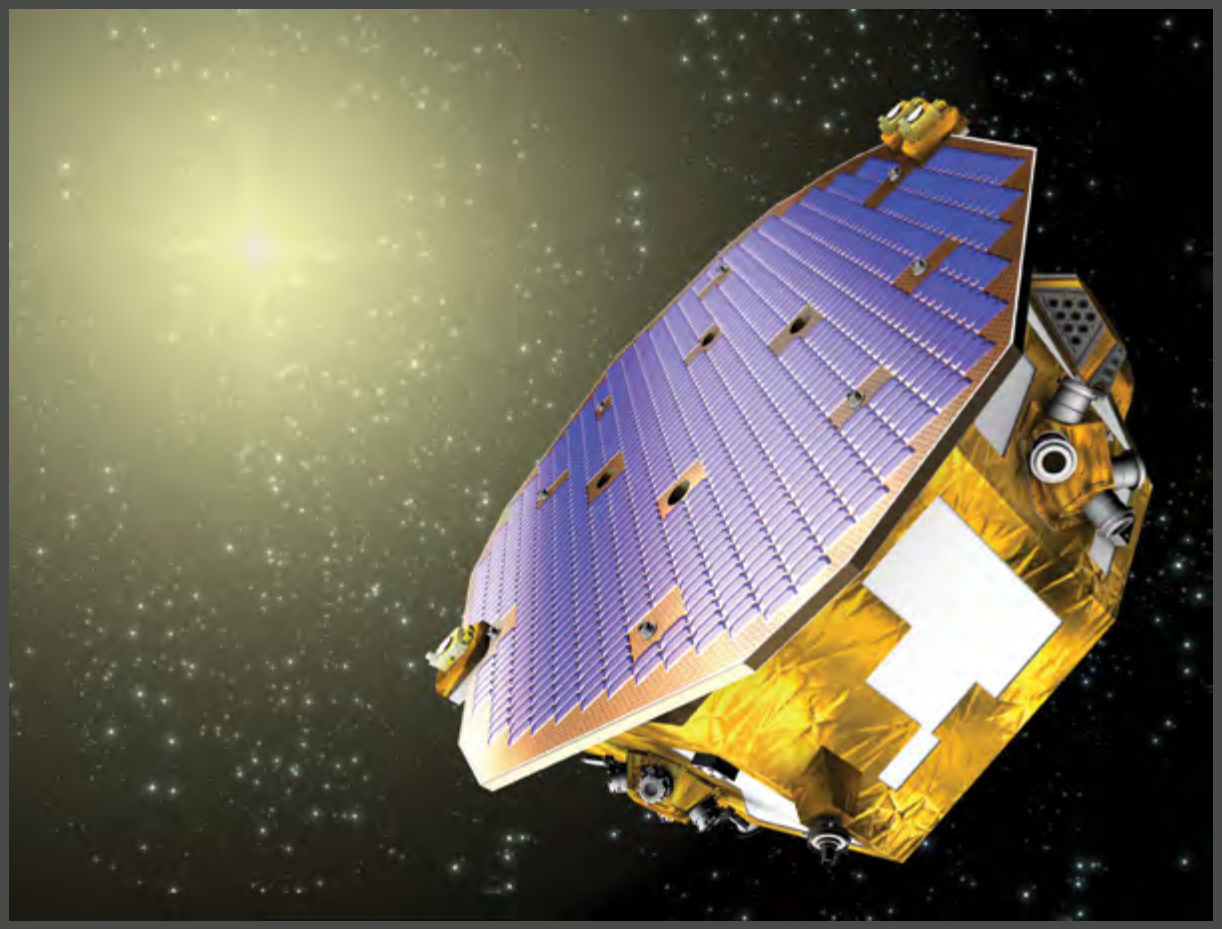
La chute rêvée d'Einstein

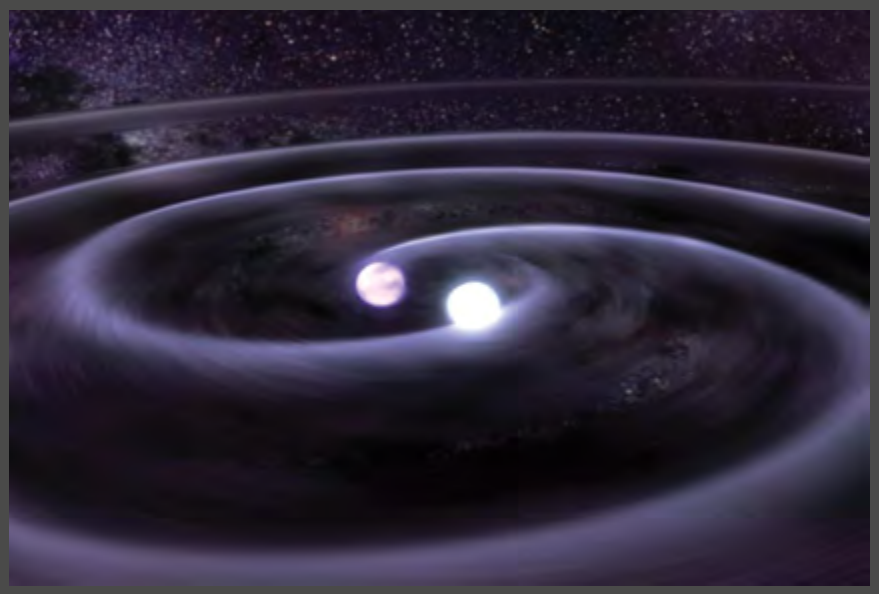
LISA Pathfinder est un engin spatial contrôlé avec un niveau de précision sans précédent. Il est conçu officiellement comme une mission de démonstration de technologie où ses concepteurs sont confrontés à la tâche difficile de donner vie à l'une des célèbres expériences imaginée par Albert Einstein.

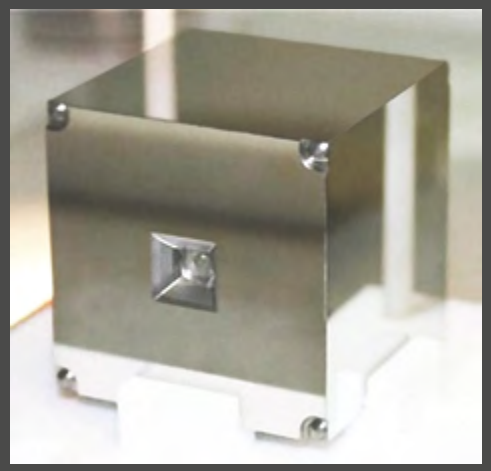
Pendant le développement de sa Théorie de la relativité générale en 1915, Einstein s'est demandé comment un objet tomberait à travers l'espace s'il était réellement libéré de toutes les influences externes. Il décida que au lieu de se déplacer en ligne droite il décrirait une légère courbe appelée une « géodésique » – de la même manière que les avions de ligne suivent de grands cercles autour de la surface ronde de la Terre – parce que la gravité déforme la structure sous-jacente de l'espace et du temps.

LISA (Laser Interferometer Space Antenna, antenne spatiale à interféromètre laser) Pathfinder réalisera une telle chute pour de vrai, libre de l'influence de toutes les forces externes. Effectuée à une distance de 1,5 million de km dans l'espace, cette mission de vol en formation sera d'un type particulier, avec deux tout petits engins spatiaux flottant à l'intérieur d'un troisième. Deux cubes de 4,6 cm (en bas à droite) flotteront librement dans deux chambres espacées de 35 cm situées au cœur de l'engin spatial principal. Leur séparation sera suivie par un système laser à une précision subatomique.

L'objectif n'est pas tellement de créer un mouvement géodésique pour lui-même mais plutôt d'essayer en vol des technologies et des techniques pour une proposition encore plus ambitieuse pour une mission future appelée New Gravitational wave Observatory (Nouvel Observatoire des Ondes Gravitationnelles). L'action de relier par des rayons laser plusieurs engins spatiaux de ce type séparés par des millions de kilomètres offre un moyen de détecter les ondes gravitationnelles. Ces ondulations à travers l'espace-temps sont une prédiction particulièrement dramatique de la Relativité Générale de Einstein, supposée découler d'objets astronomiques exotiques comme des trous noirs qui entrent en collision ou des étoiles binaires proches. Le succès ouvrirait la voie à un tout nouveau type d'astronomie : il ne s'agirait plus de regarder la lumière émise par les étoiles dans le spectre électromagnétique mais de détecter les ondulations dans l'espace-temps dues à la force fondamentale de la gravité.







→ LE SYSTÈME SOLAIRE

La Terre n'est pas seule, mais intégrée dans le vaste Univers. Bien que indéniablement unique, elle est faite des mêmes ingrédients que le Soleil et son système environnant de huit planètes, plus d'une centaine de lunes et d'innombrables corps plus petits. Tous les membres du Système Solaire partagent la même histoire, mais chacun a sa propre histoire à raconter. Certaines, comme Mars et Vénus, ont débuté leur existence comme des mondes semblables à la Terre mais se sont ensuite développées de façons très différentes. D'autres comme Titan, la lune de Saturne, semblent stagner depuis peu après leur création.

Né de la mort d'une étoile

Cette création s'est produite de façon assez classique, déclenchée par le même type de mort d'une étoile que celles que les télescopes spatiaux de l'ESA observent dans le vaste Univers. Des éléments cuits dans le cœur des étoiles ont explosé dans le vide environnant quand ces corps ont rejeté leur carburant, enrichissant des nuages de gaz dans le gouffre entre les étoiles. Il y a 4,6 milliards d'années, une détonation stellaire destructive appelée supernova a envoyé des ondes de choc à travers l'un de ces nuages moléculaires géants, provoquant son effondrement sur lui-même par sa propre gravité. Un disque protoplanétaire s'est formé, avec une protoétoile centrale entourée de gaz et de poussière en rotation, d'où se sont condensés les premiers grains microscopiques, qui ont fusionné pour former des planétésimaux, qui à leur tour ont servi de graines de planètes.

Le cosmos sur le pas de notre porte

À la différence des visions plus éloignées des étoiles et des galaxies, il est possible en réalité de scruter de près le système obtenu dans lequel nous nous trouvons, de s'y poser et de l'étudier in situ. Un engin spatial peut cartographier les caractéristiques des autres planètes au même niveau de détail que la Terre elle-même, surveiller leurs atmosphères et leurs conditions météorologiques ou échantillonner et analyser leur sol. Et l'espace intermédiaire n'est pas réellement vide, il héberge une riche interaction de plasma et de rayonnement, de champs magnétiques et de forces gravitationnelles, toutes dominées par le Soleil.

Notre puissante étoile parente mérite une grande attention. C'est la source d'énergie de notre Système Solaire et pour nous, habitants de la planète Terre, un compagnon fondamental. Le Soleil est étudié comme un objet astronomique – une étoile classique qui est la plus facile à observer pour nous – qui fait office de laboratoire pour des théories de formation et d'évolution stellaires. Nous savons que les particules de vent solaire générées par le Soleil interagissent avec la magnétosphère de la Terre et pourraient affecter les télécommunications et d'autres systèmes faits par l'homme qui sont devenus essentiels à la vie moderne. Nous avons beaucoup plus à apprendre sur la façon de vivre avec notre étoile, qui n'est qu'un « brillant » exemple de l'astrophysique au service de la vie moderne.

Exploration européenne

En 1968, le CERS – le prédécesseur de l'ESA – a lancé Highly Eccentric Orbit Satellite-1 (satellite à orbite fortement excentrique, HEOS 1), sa première mission dans l'espace interplanétaire, qui a échantillonné le vent solaire pendant sa durée de vie de sept années. Au cours des années qui ont suivi, l'ESA est devenue un contributeur de classe mondiale de la science solaire, la physique du plasma spatial, la science planétaire, l'héliophysique et la science des comètes. La mission de l'ESA Ulysses a pivoté hors du plan du Système Solaire pour cartographier les pôles du Soleil, tandis que Giotto a fait une rencontre rapprochée avec le noyau de la comète de Halley (et Rosetta ambitionne le premier atterrissage sur une comète). Une sonde fabriquée par l'ESA a atterri sur Titan et des engins spatiaux de l'ESA sont en orbite autour de Mars et Vénus, alors qu'un autre est en préparation pour Mercure.

Les missions de technologie de pointe de l'ESA représentent un effort ciblé pour permettre des comparaisons avec le nôtre. Quels facteurs ont influencé les développements disparates de ces mondes et pourquoi la vie semble s'être développée uniquement sur notre troisième planète en partant du Soleil ? Est-ce qu'une forme de vie pourrait exister ailleurs dans le Système Solaire ?

Recherche alimentée par des questions

Finalement, notre étude du Système Solaire cherche à comprendre l'Univers et notre place dans son sein. Quelles sont les lois physiques fondamentales de l'Univers ? Comment l'Univers est-il né, et de quoi est-il fait ? Quelles sont les conditions à la formation des planètes et à l'apparition de la vie ? Comment fonctionne le Système Solaire ?

Il y a des synergies évidentes avec l'astronomie de l'espace lointain. Pendant une grande partie de l'histoire de l'humanité, il n'y avait pas de certitude sur le fait que notre Système Solaire soit ou non unique dans l'Univers, mais aujourd'hui nous avons bien d'autres systèmes exoplanétaires éloignés avec lesquels le comparer. Nous savons que le nôtre n'est pas, à priori, un système stellaire très inhabituel.

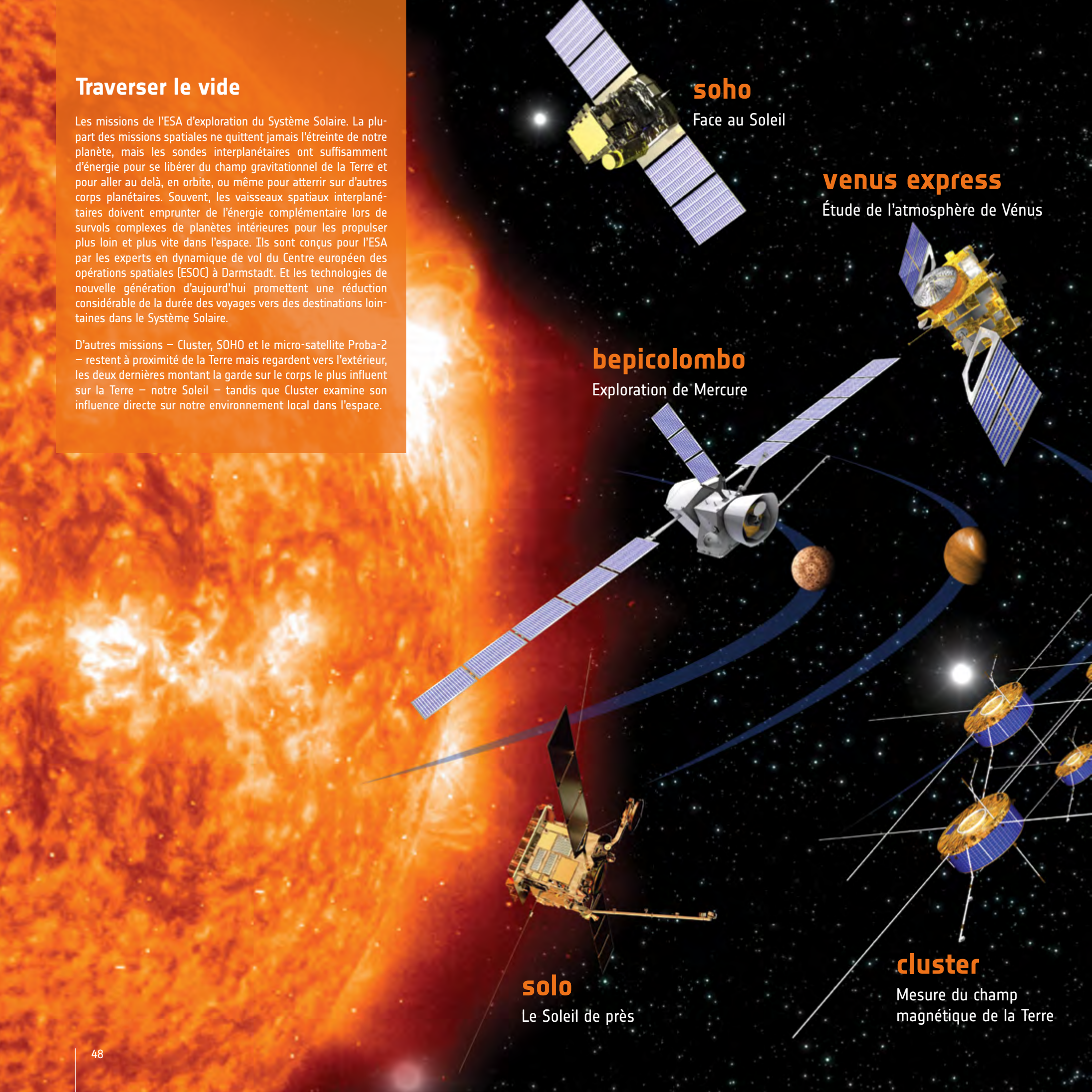
Donc quels sont les facteurs qui font qu'un environnement est potentiellement capable de maintenir la vie ? Certains critères géophysiques, géochimiques et astrophysiques doivent être remplis avant qu'un corps astronomique ne soit classé comme habitable. Si l'on considère les différentes conditions offertes par notre Système Solaire, nous sommes en mesure de limiter les conditions « idéales » au développement de la vie.

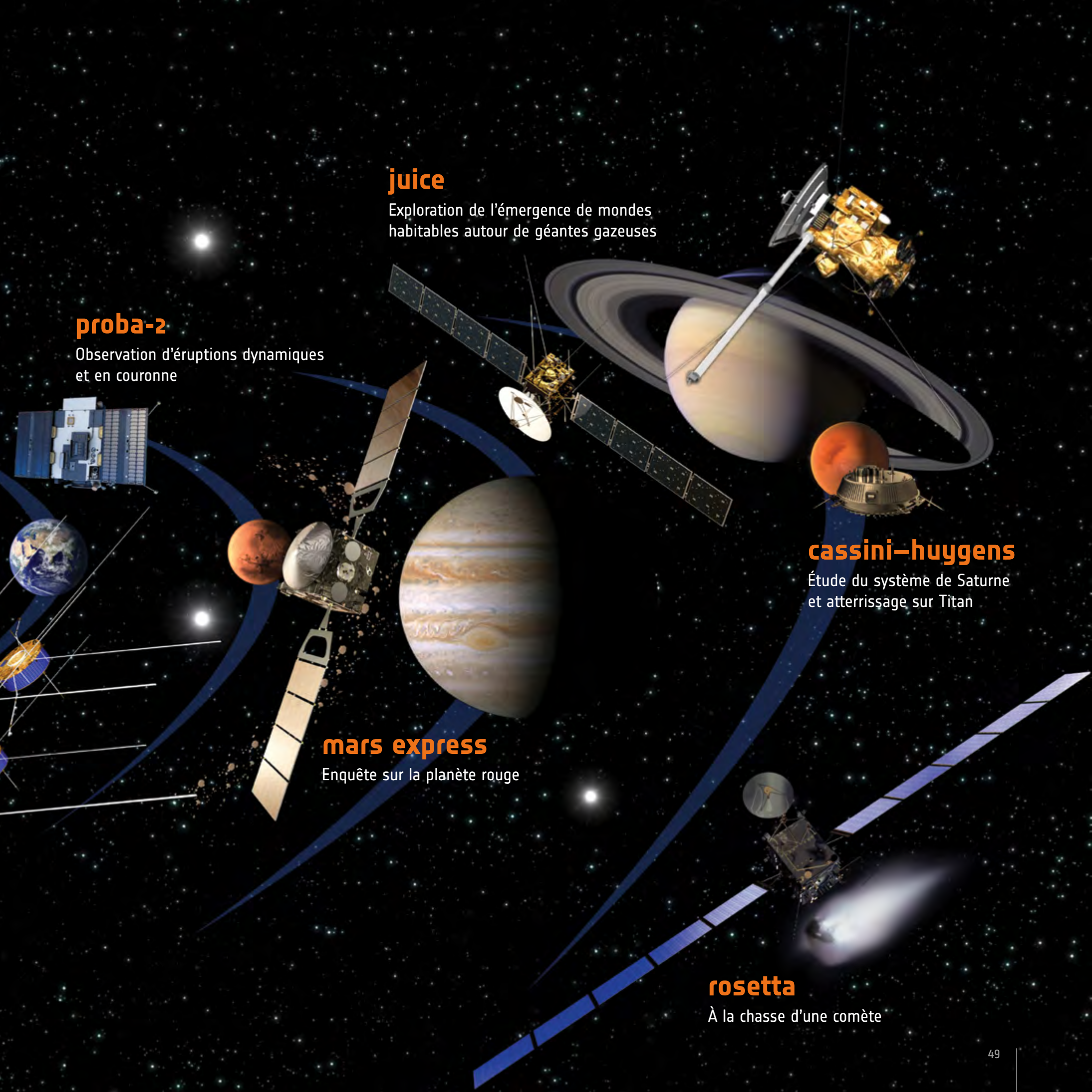
Les réponses à ces questions devraient nous aider à déterminer combien d'autres mondes sont potentiellement adaptés à l'hébergement de la vie. Porter notre regard sur la Terre à partir de sondes éloignées nous suggère des stratégies pour la détection à long-terme de mondes vivants de ce type, et, plus important, des stratégies pour préserver la vie sur la Terre, notre « vaisseau spatial ».

Traverser le vide

Les missions de l'ESA d'exploration du Système Solaire. La plupart des missions spatiales ne quittent jamais l'étreinte de notre planète, mais les sondes interplanétaires ont suffisamment d'énergie pour se libérer du champ gravitationnel de la Terre et pour aller au delà, en orbite, ou même pour atterrir sur d'autres corps planétaires. Souvent, les vaisseaux spatiaux interplanétaires doivent emprunter de l'énergie complémentaire lors de survols complexes de planètes intérieures pour les propulser plus loin et plus vite dans l'espace. Ils sont conçus pour l'ESA par les experts en dynamique de vol du Centre européen des opérations spatiales (ESOC) à Darmstadt. Et les technologies de nouvelle génération d'aujourd'hui promettent une réduction considérable de la durée des voyages vers des destinations lointaines dans le Système Solaire.

D'autres missions – Cluster, SOHO et le micro-satellite Proba-2 – restent à proximité de la Terre mais regardent vers l'extérieur, les deux dernières montant la garde sur le corps le plus influent sur la Terre – notre Soleil – tandis que Cluster examine son influence directe sur notre environnement local dans l'espace.



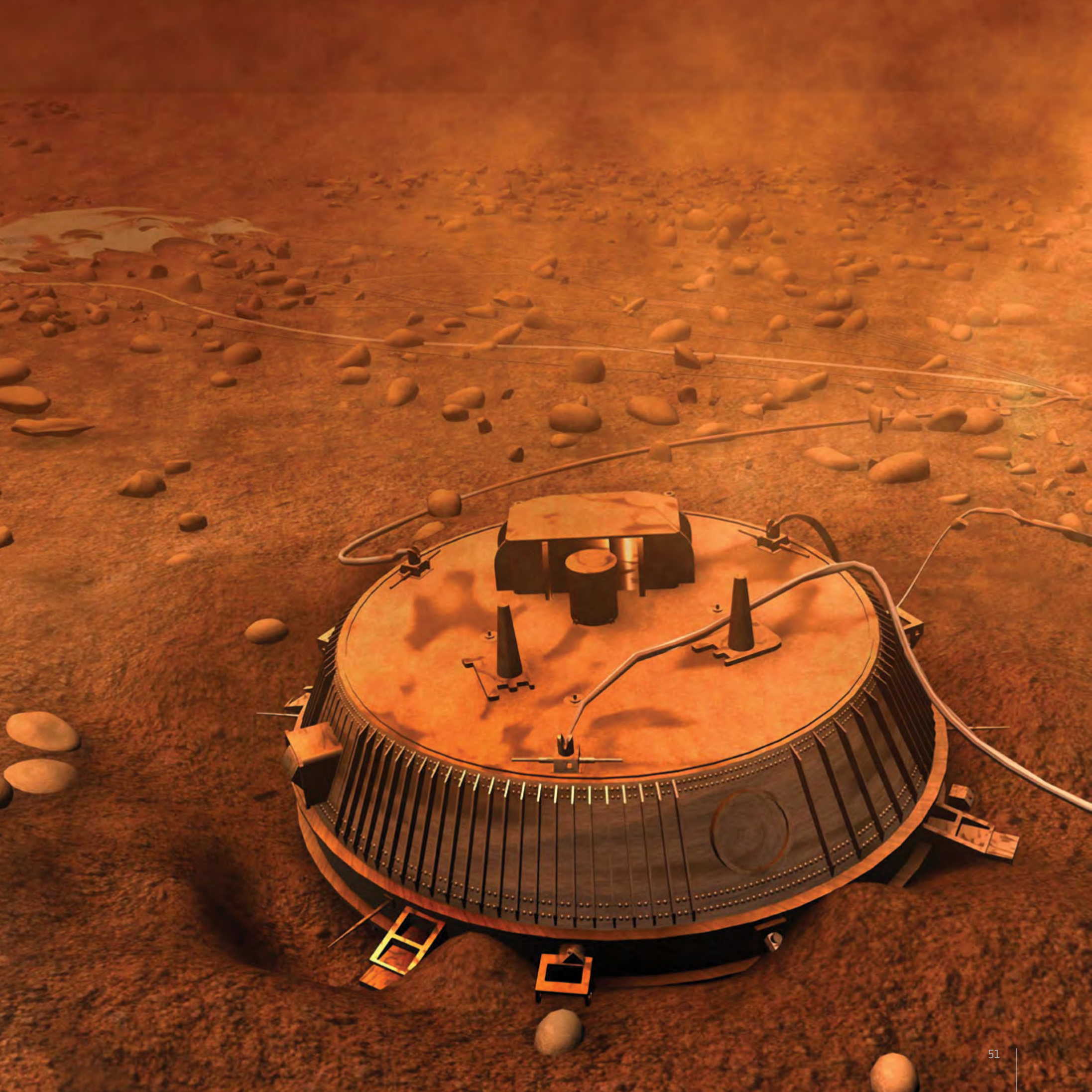

juice
Exploration de l'émergence de mondes habitables autour de géantes gazeuses
proba-2
Observation d'éruptions dynamiques et en couronne
cassini–huygens
Étude du système de Saturne et atterrissage sur Titan
mars express
Enquête sur la planète rouge
rosetta
À la chasse d'une comète

Atterrissage dans le brouillard

Le 14 janvier 2005, l'ESA a réussi l'atterrissage sur un autre corps céleste le plus éloigné de l'histoire de l'humanité. L'atterrisseur Huygens a été parachuté sur la surface jusqu'alors cachée de la plus grande lune de Saturne, Titan, à 1,4 milliard de km de la Terre, après sept ans de voyage. Avant ceci, l'atmosphère brumeuse de Titan et ses 80 millions de km² de surface étaient surtout un point blanc sur les cartes du Système Solaire.

L'atterrisseur faisait partie de la mission combinée Cassini–Huygens avec la NASA et l'agence spatiale italienne. Avec une masse de lancement de 5,82 tonnes, il s'agit d'un des plus grands vaisseaux spatiaux interplanétaires qui aient jamais volé, et il a dû effectuer de multiples survols des planètes intérieures pour accumuler suffisamment de vitesse pour atteindre Saturne. L'engin est entré dans l'orbite de Saturne en juillet 2004 et les deux engins spatiaux se sont séparés le jour de Noël, Huygens descendant vers Titan au cours des 20 jours suivants.

L'atterrisseur en forme de coquillage a débuté ses observations au cours des 148 minutes de la descente finale sous trois jeux de parachutes à travers l'épaisse atmosphère d'azote de Titan, échantillonnant l'air, enregistrant la vitesse et même le bruit du vent tout en captant des images. La couche de brume s'est éclaircie en dessous de 25 km d'altitude et la caméra spécialement conçue pour la faible luminosité sur Titan a commencé à filmer le paysage en dessous. Des lits de rivière asséchés qui s'écoulaient dans le lit d'un lac noirci ont été aperçus. Finalement son instrument SSP l'a montré atterrissant dans un éclaboussement boueux. Les photos retransmises vers la Terre via Cassini montraient la dernière demeure de Huygens, une surface plane jonchée de pierres de glace arrondies. La transmission a été interrompue environ 70 minutes après l'atterrissage quand Cassini s'est déplacée hors de portée. Ses batteries se sont vidées, accablées par la température de –179 °C.

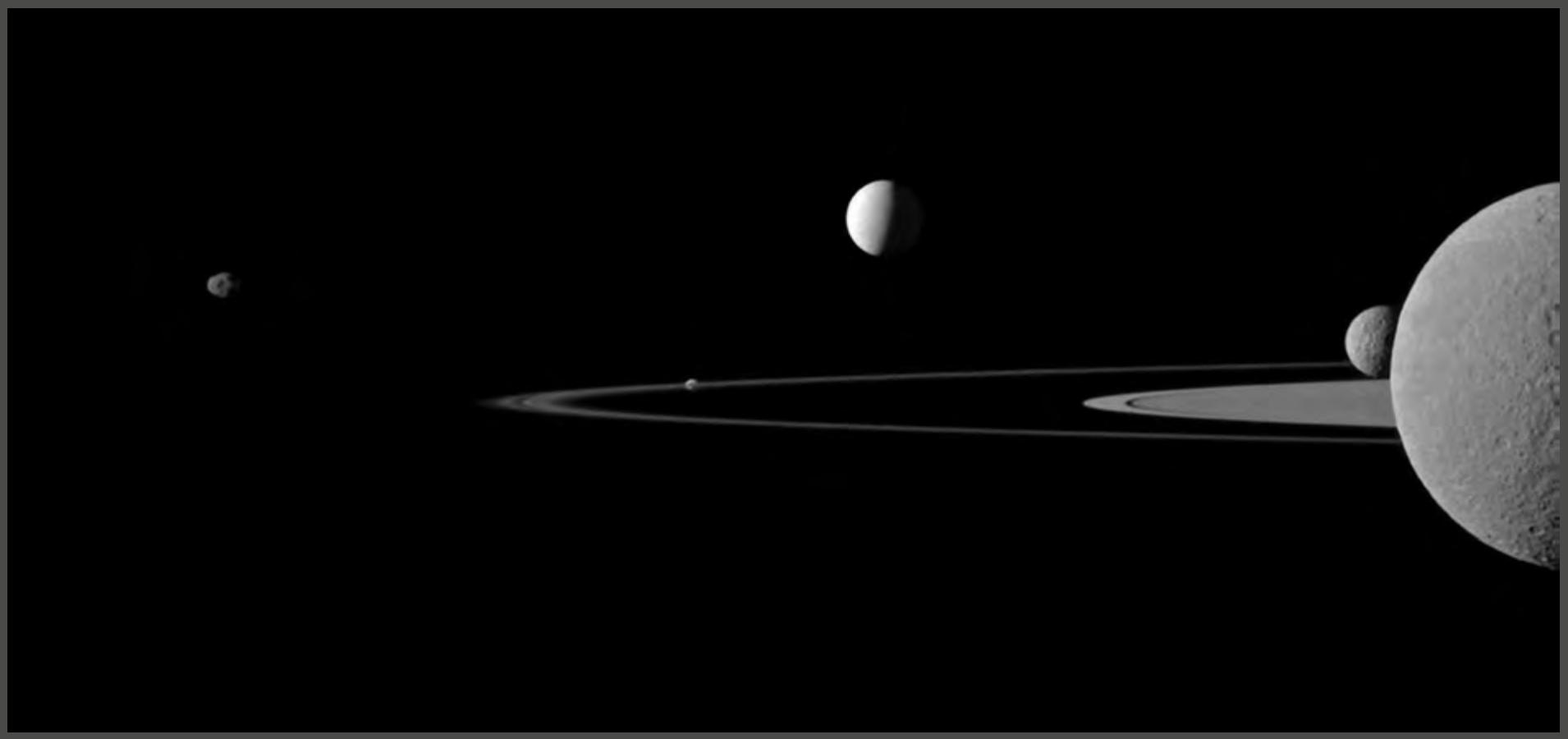


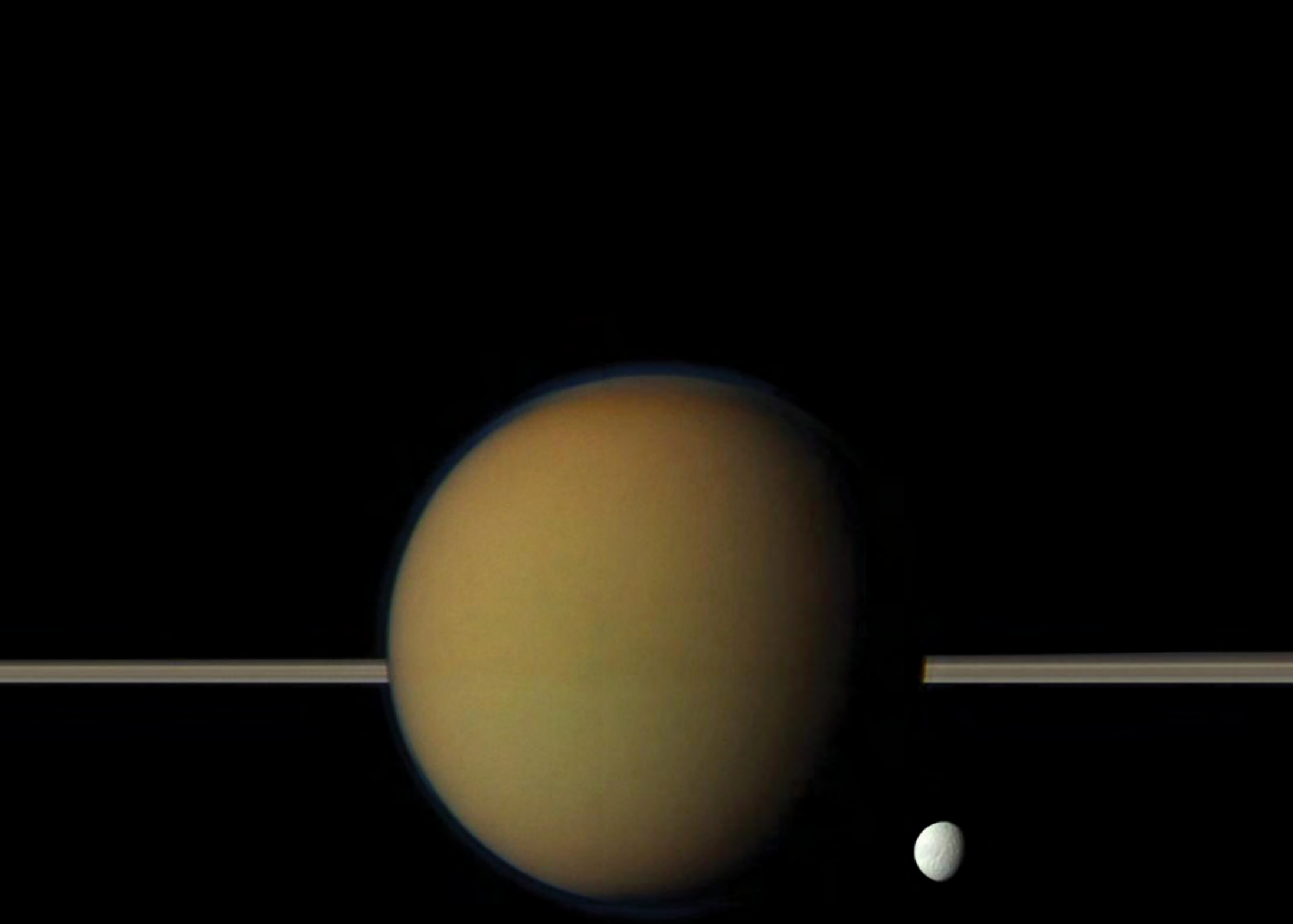
Une ménagerie de lunes

Cassini, le vaisseau-mère de Huygens, reste totalement opérationnel en orbite autour de Saturne, où il réalise des observations pour en apprendre davantage sur Titan, Saturne et les douzaines d'autres lunes, la magnétosphère et les anneaux de la planète géante. La photo principale montre Titan recouverte d'une brume orange devant les anneaux latéraux de Saturne, avec la Lune glacée Téthys à l'arrière-plan.

Cassini perce les nuages pour relever la surface de Titan (photo ci-contre) avec un radar et des spectromètres, les résultats de Huygens servant de « vérité du sol » pour les observations en orbite de l'engin spatial. Titan a une fois et demie la taille de notre Lune et présente des caractéristiques surprenantes de la Terre, avec des nuages, du vent et de la pluie qui modèlent des dunes de sable, des rivières et des lacs en surface (photo en médaillon), mais avec du méthane liquide, de l'éthane et d'autres hydrocarbures à la place de l'eau, et de la glace d'eau congelée à la place des rochers terrestres. On pourrait trouver de l'eau liquide à une plus grande profondeur – les observations de Cassini sur le long terme par ondes radio suggèrent l'existence d'un océan composé d'un mélange d'eau et d'ammoniac en profondeur.

La vue du bas donne un échantillonnage de cinq autres lunes, dans toute leur variété, à côté des anneaux de Saturne : Janus (179 km de diamètre), Pandore (81 km) entre l'anneau A et le mince anneau F près du centre de la photo, et la lumineuse et glacée Encélade (504 km), au-dessus du centre de la photo. La deuxième Lune de Saturne par la taille, Rhéa (1528 km), est coupée en deux par le bord droit de la photo. La plus petite Lune Mimas (396 km) se trouve derrière Rhéa.



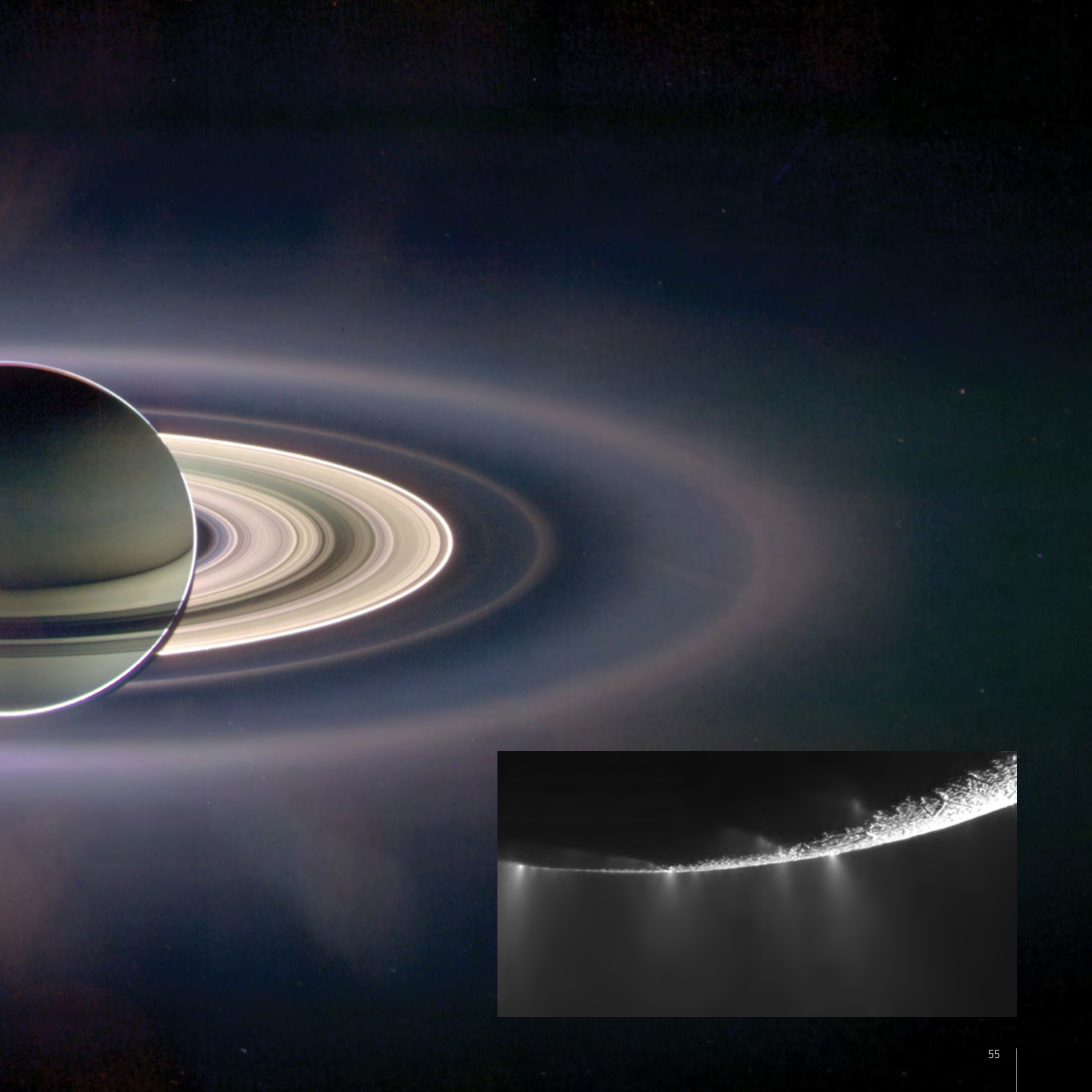


Éclipse de Soleil

En 2006 Cassini est passée dans l'ombre, d'où elle a enregistré ce panorama spectaculaire de Saturne éclipsant le Soleil. Les anneaux de la planète luisent dans la lumière diffuse du Soleil, et le point bleu pâle sur la gauche de la planète entre le système principal lumineux d'anneaux et l'anneau G plus diffus n'est pas une lune de Saturne, mais la Terre, comme elle apparaît à 1,3 milliard de km de distance. Normalement, la lumière éblouissante du Soleil rend le monde de Cassini presque indétectable.

L'anneau le plus extérieur E est particulièrement clair, et selon les observations de Cassini, il est formé de dizaines de fontaines de glace d'eau qui surgissent de la surface de la sixième lune de Saturne par la taille, Encélade (voir médaillon), qui est en orbite à l'intérieur l'anneau. Ces plumes glacées montent à des milliers de kilomètres dans la zone des « rayures du tigre » à travers la région du pôle sud. Leur ascension, propulsée par la chaleur géologique, pourrait également produire des réservoirs d'eau liquide dissimulés sous la glace lumineuse de surface d'Encélade. Cette hypothèse a été renforcée par l'analyse de la salinité des particules de glace de l'anneau E, échantillonnées par Cassini, qui suggère qu'elles pourraient tout à fait provenir d'un océan liquide.

Quand l'eau salée gèle lentement, le sel est expulsé, laissant derrière de l'eau de glace pure. Donc si les plumes provenaient de la glace de surface, elles devraient contenir très peu de sel. L'équipe Cassini suggère qu'il y a une couche d'eau entre le noyau rocheux et le manteau glacé, conservée à l'état liquide par des marées générées par Saturne et des lunes voisines, ainsi que par la chaleur générée par la désintégration radioactive, le sel de la roche se dissolvant dans l'eau. Cette découverte fait d'Encélade une destination attrayante pour les futures explorations.



Mondes de glace avec des océans cachés

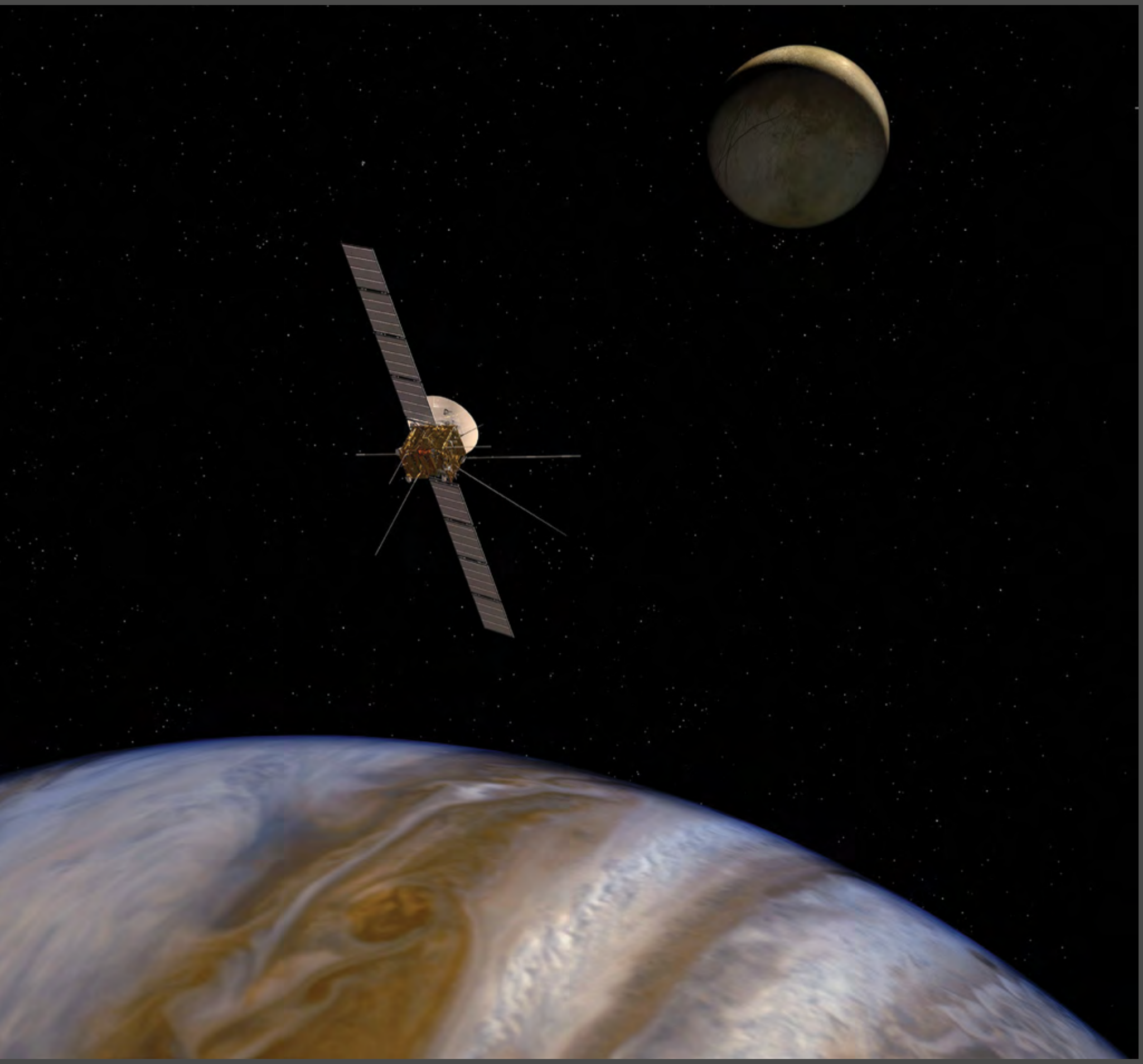
Ganymède, Europe et Callisto, les trois plus grandes lunes de la plus grande planète du Système Solaire, sont le prochain objectif de l'ESA aux confins du Système Solaire. Le Icy Moons Explorer (explorateur de lunes glacés) de Jupiter, appelé Juice, sera lancé en 2022 et atteindra Jupiter environ huit ans plus tard. Il échantillonnera l'atmosphère et la magnétosphère de la planète géante, et volera à proximité d'Europe et Callisto avant de devenir le premier orbiteur d'une lune glacée, Ganymède.

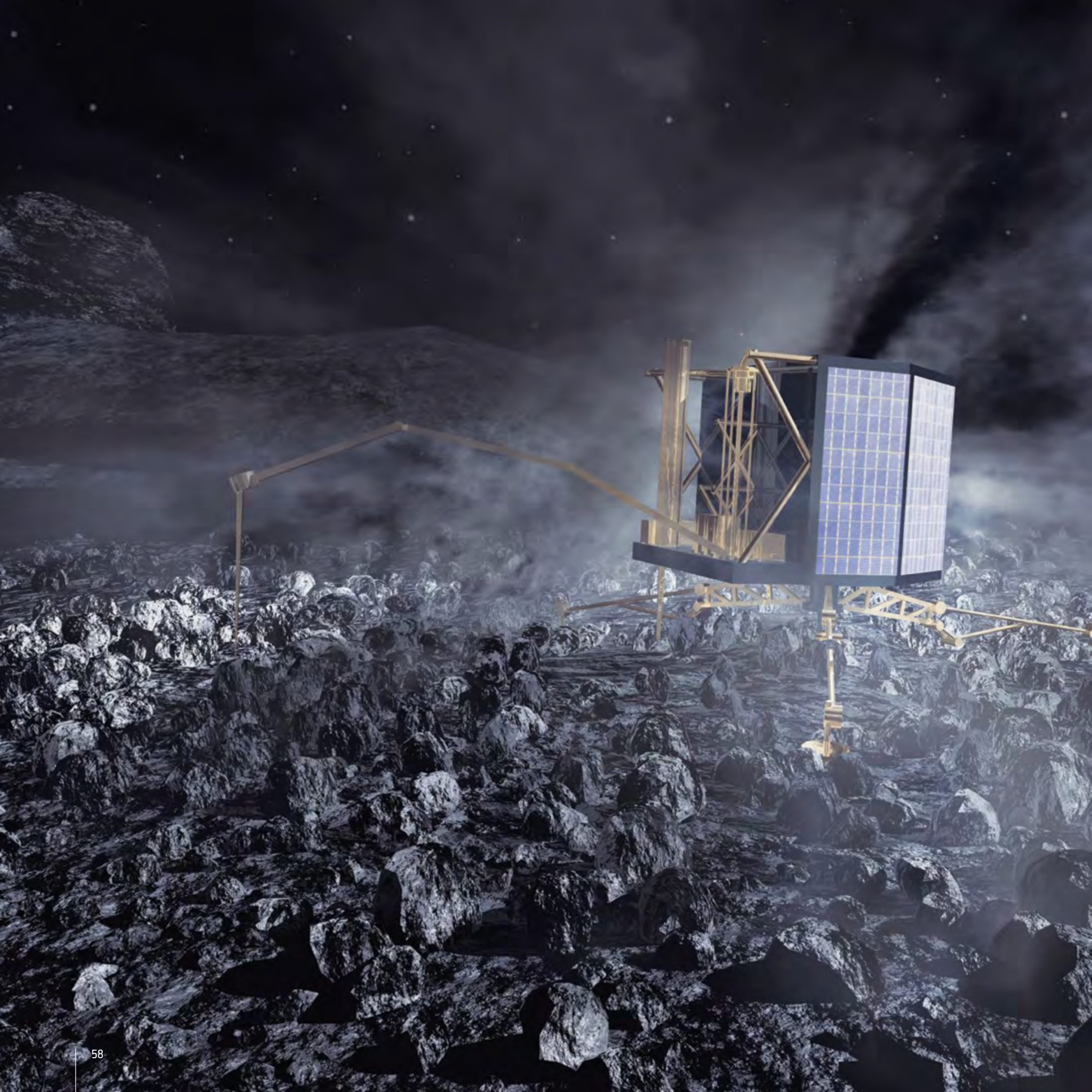
Vu de côté sur la photo ci-contre, le célèbre point rouge de Jupiter semble jeter un regard noir à Ganymède, la plus grande de ses 66 lunes confirmées. Cette photo a été prise en 2000 par Cassini–Huygens en route vers Saturne.

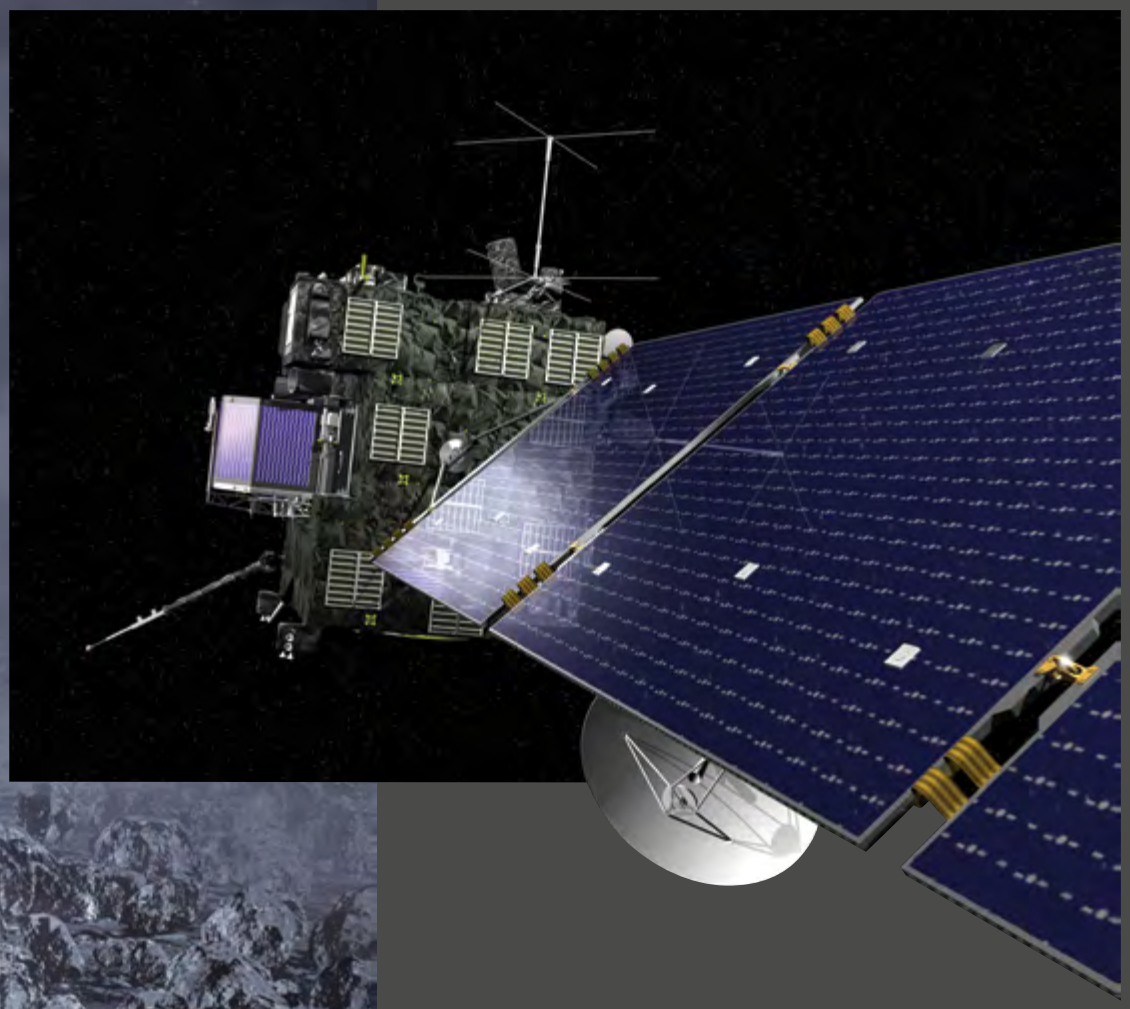
Jupiter avec son royaume de lunes est un mini-système solaire, et est considéré comme un archétype des géantes gazeuses. Ces lunes couvertes de glace seront explorées comme habitats potentiels. Étant donné que des planètes de la classe de Jupiter ont été découvertes en rotation autour de nombreuses autres étoiles, les leçons apprises ici apporteront un éclairage sur l'émergence d'environnements habitables plus loin dans l'Univers.

Alors qu'Europe est bien connue pour sa surface de glace craquelée, des indices suggèrent que les trois lunes abritent des océans d'eau liquide en sous-sol. Juice mènera les premières études de la croûte glacée d'Europe et identifiera des sites potentiels pour une future exploration in-situ. Il fera des relevés de la surface de Callisto – l'objet le plus fortement cratérisé du Système Solaire – pour décoder l'histoire violente du système de Jupiter. Placé en orbite autour de Ganymède en 2032, Juice étudiera sa surface glacée et sa structure interne, y compris son océan. Plus grande que la planète Mercure, Ganymède est la seule lune du Système Solaire qui génère son propre champ magnétique. Juice observera en détail les uniques interactions magnétiques et du plasma avec la magnétosphère de Jupiter, la proximité de la planète fonctionnant comme un accélérateur géant de particules.

Juice est la première grande mission du programme Cosmic Vision et elle servira de banc d'essai à l'ESA pour l'exploration des confins du Système Solaire.







Attrapeur de comètes

La mission de l'ESA Rosetta vise un objectif de 4 km de large à travers un espace interplanétaire de 450 millions de km – ce qui revient en termes de navigation à enfiler un fil dans une aiguille à cent kilomètres de distance. En mai 2014 l'engin spatial a commencé à tourner en orbite autour de la comète 67P/Churyumov–Gerasimenko, à la distance de Jupiter, et en novembre de cette année, son atterrisseur Philae s'est amarré à la surface de la comète.

L'engin spatial de 1,5 tonne a été nommé ainsi d'après la pierre de Rosette qui a permis aux Européens de comprendre les anciens hiéroglyphes égyptiens. Sa suite d'instruments devrait permettre aux scientifiques de déchiffrer les secrets des capsules temporelles gelées appelées comètes, et de regarder 4 600 millions d'années en arrière vers la naissance du Système Solaire, quand un essaim dense de comètes formait la matière première des mondes qui ont suivi.

Malheureusement, il n'existe aucune fusée capable de propulser un engin spatial à la vitesse d'une comète. Au lieu de cela, pour gagner de la vitesse Rosetta a dû rebondir autour du Système Solaire interne comme une boule de billard cosmique, tournant autour du Soleil presque quatre fois pendant son périple de 10 ans. Le long de cette route sinueuse, Rosetta est entrée à deux reprises dans la ceinture d'astéroïdes et a reçu des poussées gravitationnelles lors de survols proches de Mars (2007) et de la Terre (2005, 2007 et 2009).

Et le voyage de Rosetta ne se terminera pas en orbite autour de son objectif, très loin de la Terre et proche de Jupiter. L'engin spatial va rester avec Churyumov–Gerasimenko alors qu'ils se rapprochent de la Terre, que le Soleil fait évaporer les glaces à sa surface et que des jets de gaz projettent des grains de poussière dans l'espace, pour devenir ce que nos ancêtres appelaient « une étoile barbue ». Pendant toute une année, alors qu'elle se déplacera autour du Soleil, Rosetta va tourner en orbite autour de la comète, cartographiant et analysant son noyau et étudiant les modifications de son activité. Pendant que les glaces de la comète s'évaporent, les instruments étudieront la poussière et les particules qui entourent la comète et trainent derrière elle comme des queues ruisselantes, interagissant avec le vent solaire et le champ magnétique interplanétaire.

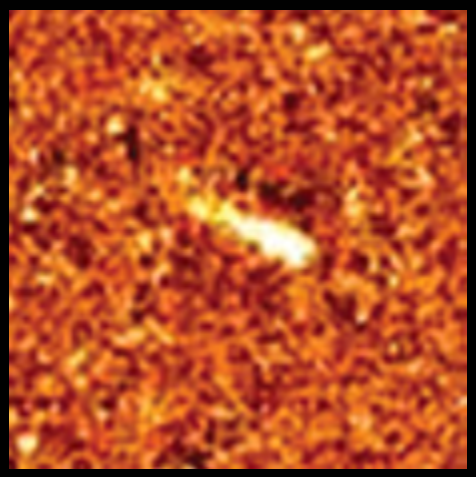
Terre inconnue

L'odyssée de Rosetta vers la comète Churyumov–Gerasimenko a elle-même été un voyage de découverte. L'engin spatial est passé à proximité de plusieurs corps spatiaux, dont Lutetia était le plus grand : Rosetta est passée à 3170 km de l'astéroïde de 130 km de longueur le 10 juillet 2010, à une vitesse de 54000 km/h.

Les autres survols de Rosetta ont impliqué des objets – l'astéroïde Steins en 2008 et la queue de poussière (en bas) de l'astéroïde P/2010 A2, semblable à une comète, plus tôt en 2010 – ils semblent être des fragments de corps autrefois plus importants.

Lutetia représente un mini-monde plus vieux et primitif. Certaines parties de sa surface ont environ 3,6 milliards d'années, tandis que d'autres sont jeunes à l'échelle astronomique, soit 50 à 80 millions d'années. Ces zones jeunes de Lutetia sont des glissements de terrain, probablement déclenchés par les secousses d'impacts particulièrement proches. Les débris qui résultent de ces nombreux impacts sont aujourd'hui répartis à la surface en une couche de roche pulvérisée de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. La surface est également jonchée de rochers : certains font 300 à 400 m de diamètre, soit à peu près la moitié de Ayers Rock en Australie.

Lutetia ressemble davantage à une planète que ce qui ressort à première vue. Elle est dense pour un astéroïde, ce qui suggère qu'elle contient de grandes quantités de fer, mais pas nécessairement dans un noyau ferrugineux. Sa surface encore inchangée implique que Lutetia n'a jamais atteint des températures suffisamment élevées à cause de la radioactivité interne pour faire fondre ce fer en un noyau, comme cela s'est produit sur la Terre au cours de ce que les géologues appellent « la catastrophe du fer », le monde composé de couches que nous connaissons aujourd'hui. Donc cet astéroïde est en fait un cliché miniature d'une étape particulière du développement initial de la Terre.



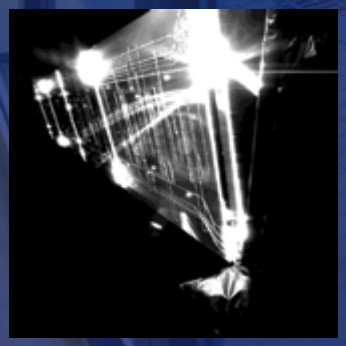
Doublure

Le « jumeau » de Rosetta est toujours sur la Terre ; cette maquette d'ingénierie d'engin spatial est au Centre européen des opérations spatiales (ESOC) de l'ESA à Darmstadt, en Allemagne, d'où la mission est contrôlée. Avant de charger les mises à jour de logiciels en liaison montante vers l'engin spatial, elles sont d'abord testées sur ce banc d'essai totalement fonctionnel. La maquette est également utilisée pour l'entraînement, y compris des simulations de comportement du matériel (« hardware-in-the-loop ») pour les opérateurs.

Rosetta est le premier engin spatial à énergie solaire à s'aventurer aussi loin dans l'espace (voir son autoportrait sur la photo en médaillon), et en 2011 il est entré en hibernation, pour conserver sa précieuse énergie au moment où il est passé à 790 millions de km du Soleil, en chemin vers Churyumov–Gerasimenko. Il est devenu silencieux, attendant d'être automatiquement réveillé par le logiciel de l'ordinateur de bord et quatre réveils – ils ont déclenché le processus de réveil à 10h00 GMT le 20 janvier 2014.

Les opérations ont alors repris : les communications radio entre Rosetta et le sol utilisent les antennes pour l'espace lointain de l'ESA à New Norcia en Australie, Malargüe en Argentine et Cebreros en Espagne, chacune équipée d'une antenne parabolique de 35 m de diamètre qui concentre l'énergie du signal radio en un mince rayon, ce qui lui permet d'atteindre des distances supérieures à 1000 millions de kilomètres de la Terre. Le réseau de communications pour l'espace lointain de la NASA (Deep Space Network) fournit également une couverture quand elle est nécessaire.

Le taux d'envoi des données de Rosetta vers la Terre varie entre 10 et 22000 bits par seconde. Cependant, la communication en temps réel n'est pas toujours possible en raison de la rotation de la Terre. Pour dépasser ces limites, la mémoire à semi-conducteurs de 25 gigabits de Rosetta peut stocker toutes les données scientifiques et les transmettre vers la Terre dés que possible.



Un océan asséché sur la planète rouge ?

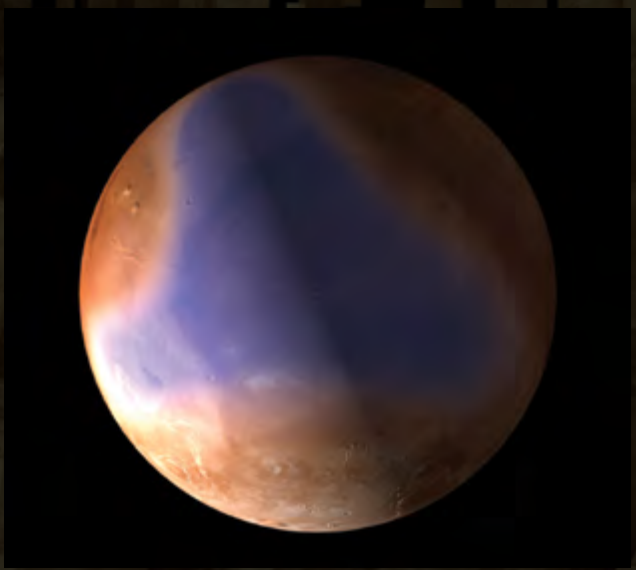
Couverture globale de la planète rouge par la mission Mars Express de l'ESA jusque juin 2011, en orbite depuis décembre 2003. Tout en étant plus petite que la Terre, la surface de Mars est légèrement inférieure à celle de la Terre, sans ses océans.

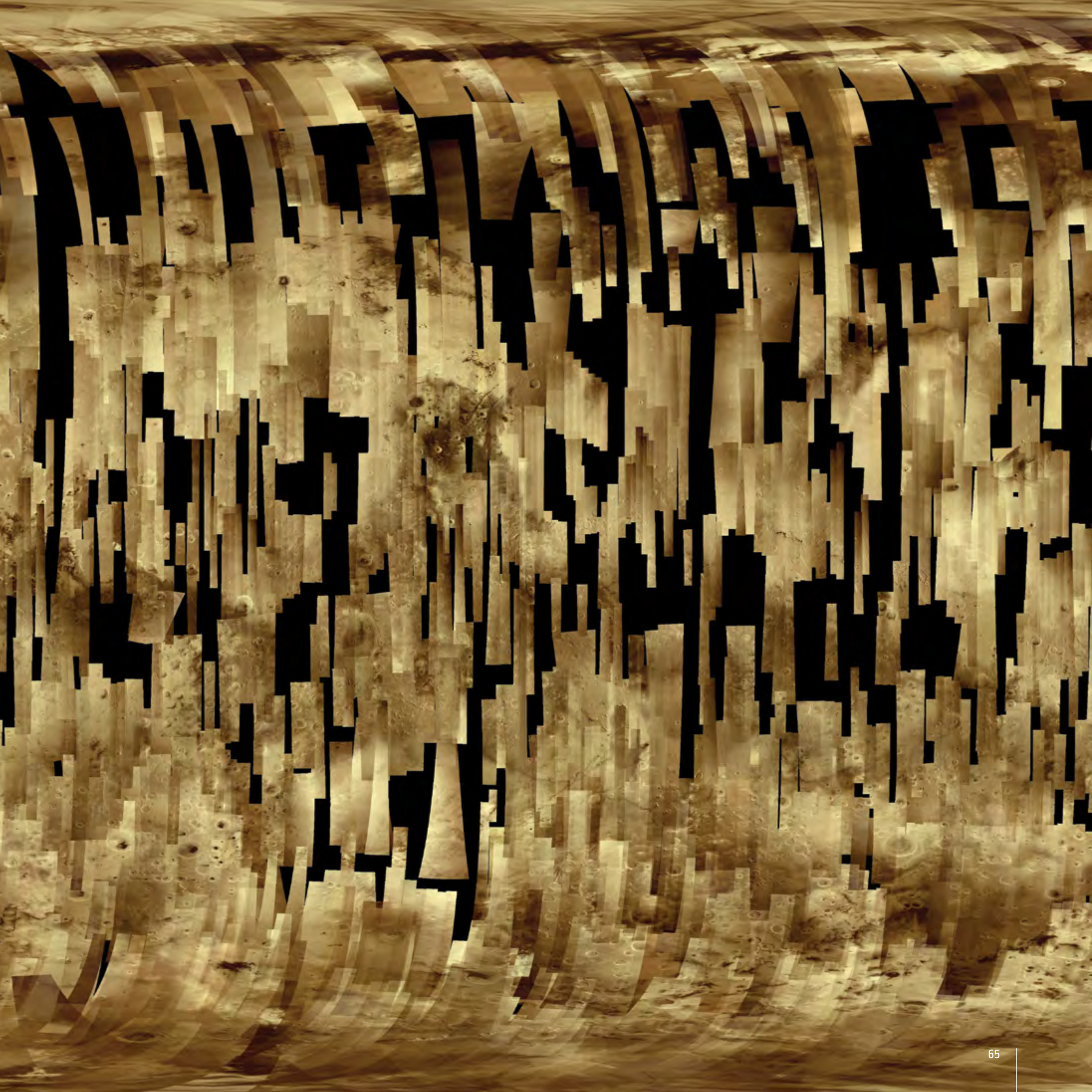
La première mission de l'Europe vers Mars dispose de suffisamment de carburant pour continuer à fonctionner pendant plusieurs années, donc les lacunes restant sur la carte seront probablement comblées avant que la mission n'arrive à terme.

Les instruments de l'engin spatial comprennent une caméra stéréo à haute résolution qui cartographie la topographie de la planète en 3D, une suite de spectromètres qui révèlent la composition de la surface et de l'atmosphère, un analyseur de particules, et un sondeur radio qui détecte le haut de l'atmosphère, l'ionosphère, et le champ gravitationnel de la planète, tout en mesurant simultanément la rugosité de la surface de la planète et en étudiant la couronne solaire.

Mars Express a déployé son antenne radar de 40 m de long en 2005 pour donner aux chercheurs une vision précise du sous-sol martien. Il a détecté des couches de sédiments semblables à des roches suggérant le fond d'un ancien océan sous les basses terres du nord (ci-dessous), s'ajoutant aux preuves existantes de ce qui semblent être des côtes asséchées.

Deux océans ont été proposés : il y a quatre milliards d'années, quand des conditions plus chaudes régnaient, et il y a trois milliards d'années, quand la glace du sous-sol a fondu, peut-être le résultat d'une activité géothermique accrue, créant des canaux d'évacuation qui ont drainé l'eau vers des zones plus basses. Ce dernier océan aurait été temporaire. En un million d'années, cette eau aurait soit gelée sur place, ce qui l'aurait préservée dans le sous-sol à nouveau, ou bien elle se serait transformée en vapeur qui serait montée progressivement dans l'atmosphère.





Pic martien

Selon les normes terrestres, le volcan Tharsis Tholus – représenté ici (en haut à gauche) avec un code de couleur en fonction de la hauteur par la caméra stéréo à haute résolution de Mars Express – est un géant de huit kilomètres d'altitude au-dessus du sol environnant, presque aussi haut que le Mont Everest, avec une base s'étendant sur 155 x 125 km. Cependant, sur Mars, c'est seulement un volcan de taille moyenne.

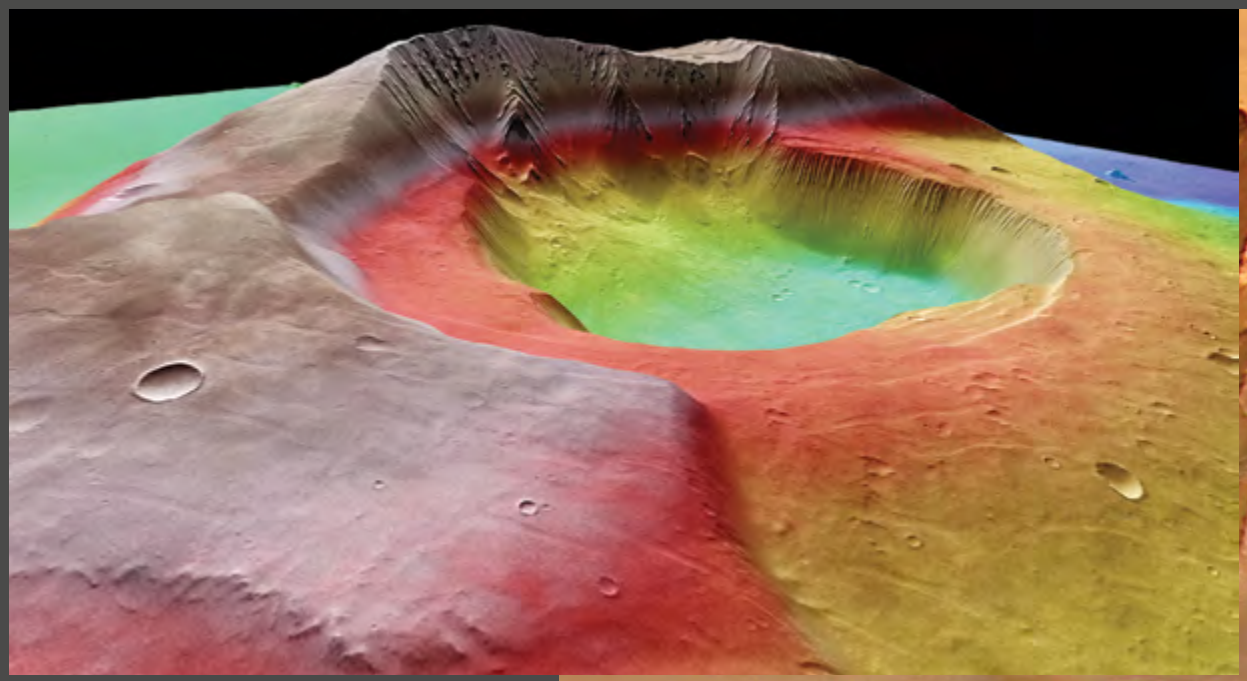
Ce qui le rend inhabituel, c'est son état délabré, avec les flancs qui se sont effondrés et une caldera centrale affaissée, provoquée par la lave qui a vidé son réservoir de magma jusqu'à ne plus pouvoir supporter son propre poids. La nature inactive de Tharsis Tholus est soulignée par les cratères d'impact qui marquent ses hautes pentes – mais on pense que la lave s'est écoulée d'une fissure sur le versant sud du volcan au plus tard, il y a 200 millions d'années.

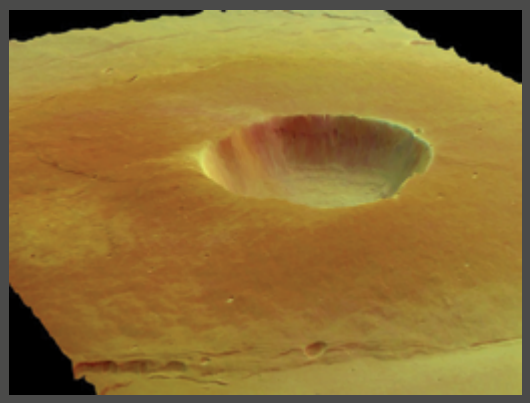
Mars pourrait-elle être encore active géologiquement ? L'une des plus importantes et surprenantes découvertes de Mars Express a été les faibles quantités de méthane dans certaines régions de l'atmosphère martienne, ce qui signifie que soit une activité volcanique continue à générer de la chaleur sous la surface, ou bien qu'il y a une forme de vie sur Mars. Le méthane a une durée de vie relativement courte de 300 à 600 ans dans la mince atmosphère avant d'être décomposé par le rayonnement ultraviolet, quelque chose produit donc du méthane. D'autres processus géologiques abiologiques sont possibles, mais ils impliquent la présence d'eau souterraine liquide. Les résultats de Mars Express ont été confirmés par des relevés ultérieurs des télescopes sur Terre et préparent le terrain pour la planification de futures missions vers Mars.

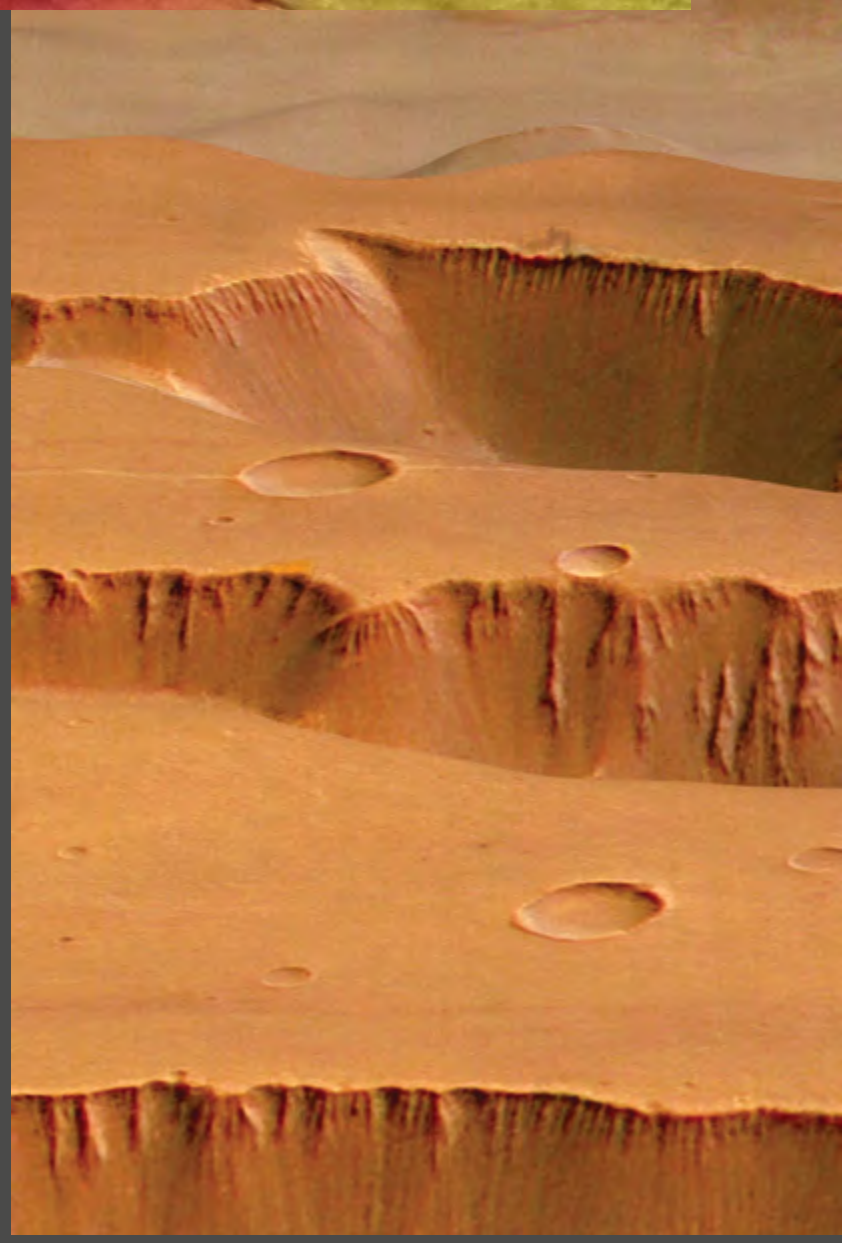
Une autre découverte surprenante de Mars Express a été la présence relativement abondante d'eau liquide sur la surface martienne à travers le temps, ainsi que son histoire climatique. Il est possible que des glaciers aient été actifs il y a quelques centaines de milliers d'années seulement.

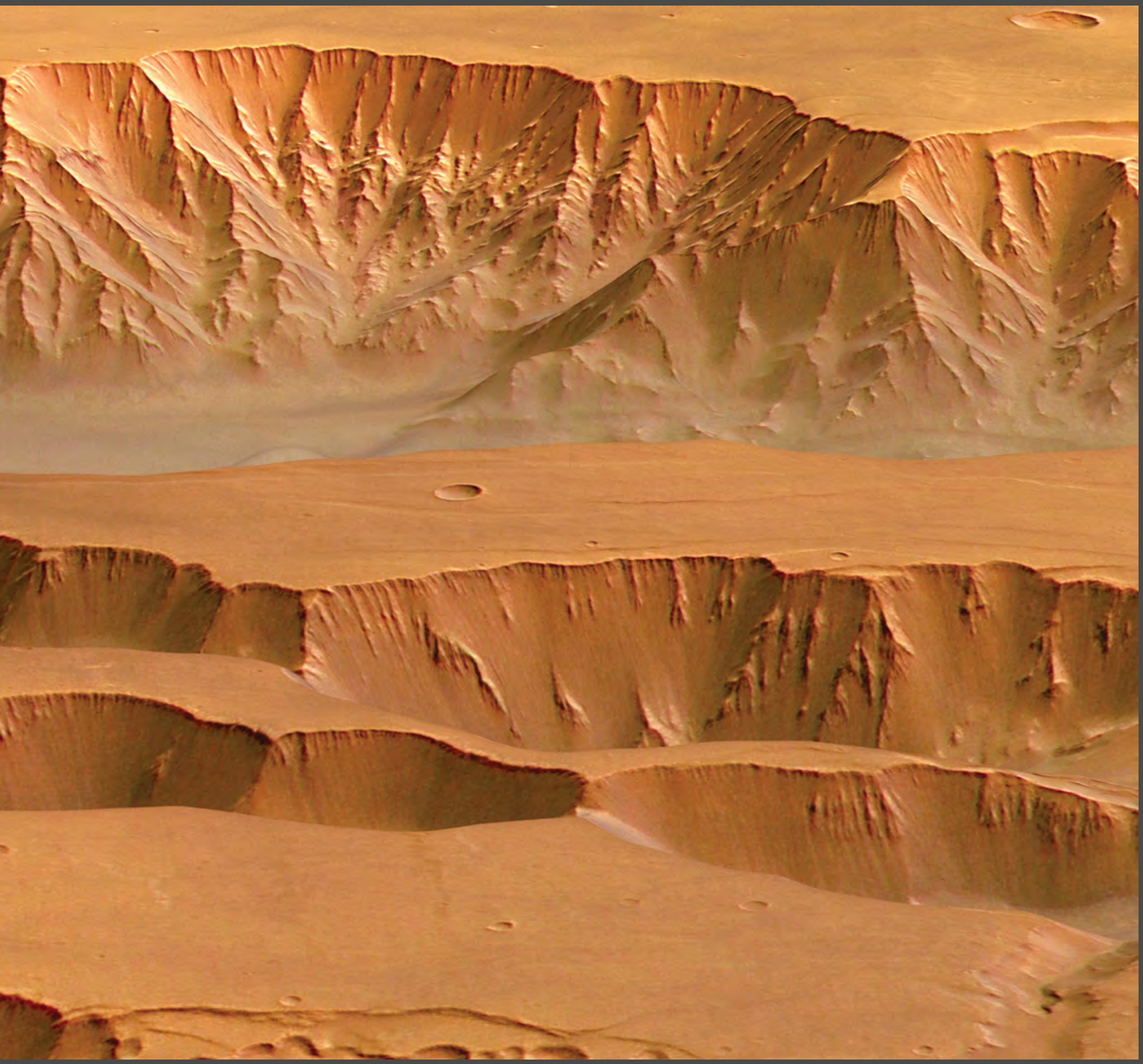
L'ESA planifie un retour en deux phases sur la planète rouge. Début 2016, le ExoMars Orbiter de l'Agence examinera les traces de gaz dans l'atmosphère, y compris le méthane. Deux ans plus tard viendra le tour de ExoMars Rover, qui emportera une foreuse et une série d'instruments dédiés à l'exobiologie et à la recherche en géochimie.

Le site d'atterrissage du rover sera choisi parmi une liste détaillée de sites. Les résultats de Mars Express ont mis en lumière des caractéristiques spectaculaires de la surface. La photo principale présente une partie de Coprates Catena, une grande dépression autour du centre du système de canyons Valles Marineris long de plus de 4000 km. Notez le sol mou de la dépression comparé aux sommets des falaises, probablement dû à la poussière soufflée par le vent. La perspective de la caméra 3D a capturé la poussière lors de sa chute dans la caldera du volcan Albor Tholus (au centre à gauche).







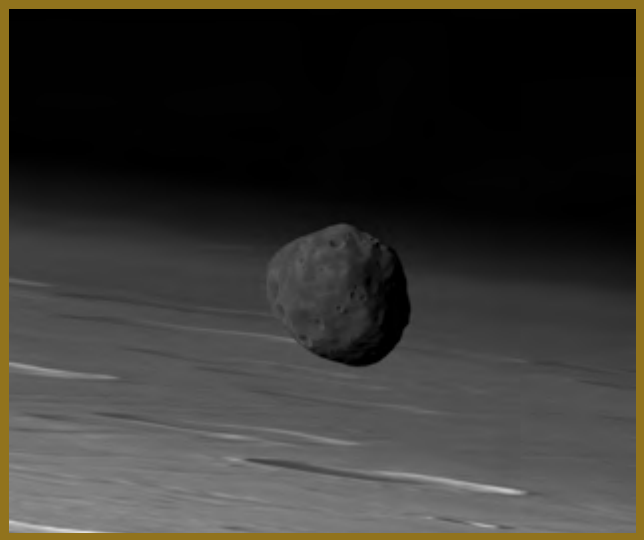


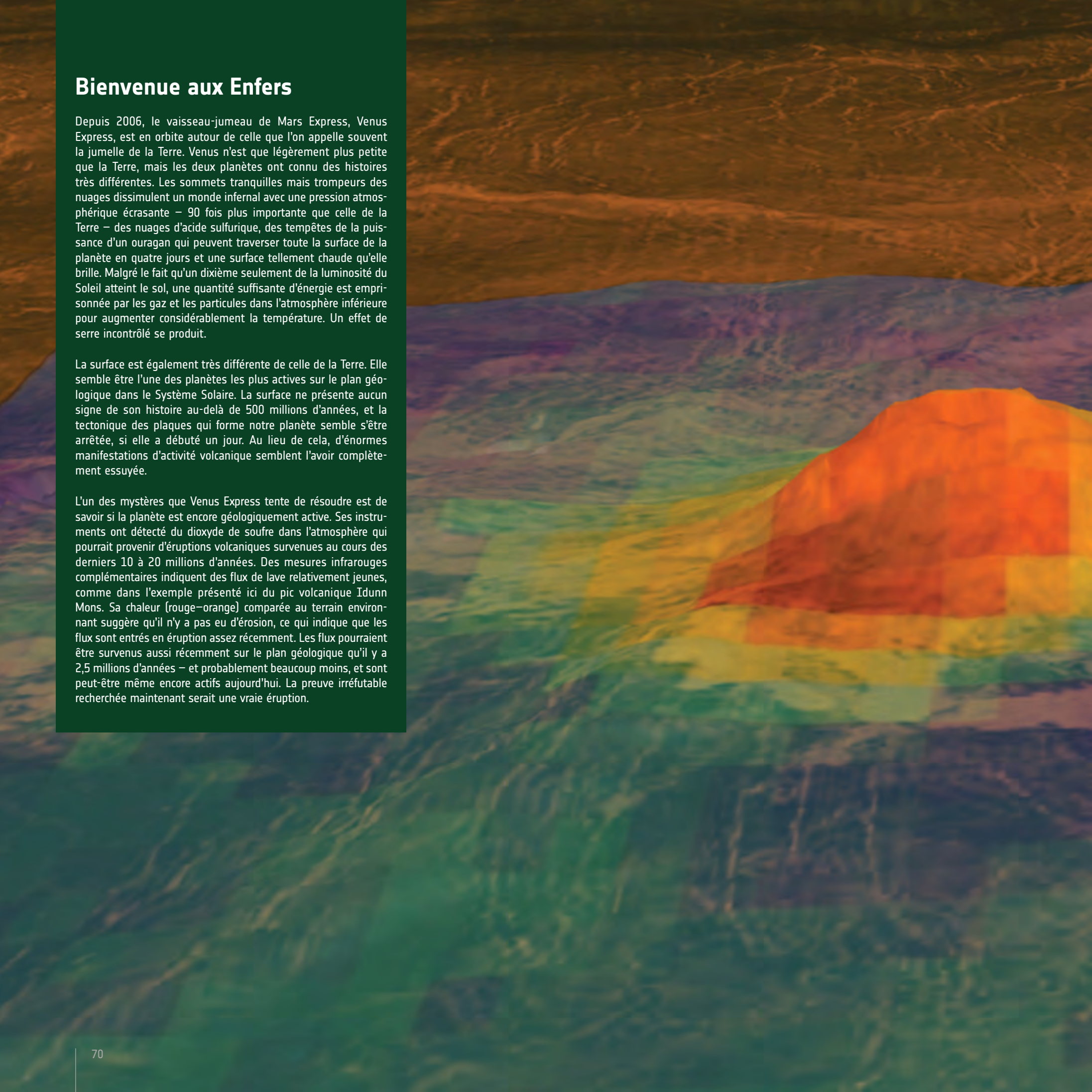
Le visage de Phobos

Une grande ville européenne pourrait presque tenir sur la lune martienne Phobos, photographiée ici par Mars Express. La lune en forme de pomme de terre mesure 27 km sur 22 km par 18 km de diamètre. Sa surface parsemée de cratères pourrait bien voir des empreintes de pas humains avant la planète rouge. Phobos offre un accès relativement facile parce qu'elle n'a pas d'air et qu'elle se trouve au bord du puits de gravité de Mars, ce qui permettrait d'y atterrir et d'en décollez avec beaucoup moins de carburant.

Conçu pour scruter un corps planétaire en particulier, Mars Express s'est avéré suffisamment polyvalent pour étudier ce compagnon beaucoup plus petit. L'orbite elliptique proche des pôles de l'engin spatial l'emmène à proximité de Phobos tous les cinq mois environ. Les sillons à la surface pourraient être des fissures, peut-être provoquées par le puissant impact qui a créé le plus grand cratère de la lune, le Stickney, de près de 10 km de diamètre (à gauche). Celui-ci aurait peut-être fait éclater le corps entier en morceaux avant que la faible gravité de Phobos ne les rapproche à nouveau.

De près, Mars Express est tiré légèrement hors de sa trajectoire par ce même champ gravitationnel. Cet effet ne représente pas plus de quelques millimètres chaque seconde et ne perturbe pas du tout la mission. Cependant, il donne aux scientifiques une occasion unique de regarder à l'intérieur de la lune la répartition générale de la masse. La faible densité de Phobos indique que son intérieur contient d'importantes quantités de matière poreuse et/ou de glace d'eau. Elle apparaît également comme un amas de débris à moitié creux, ce qui pourrait donner une indication sur son origine encore non résolue. S'agit-il comme la lune Deimos, d'un astéroïde capturé par l'attraction gravitationnelle de Mars, ou bien s'est-elle formée à partir d'un disque de débris autour de Mars, suite peut-être à un impact majeur sur la surface ?



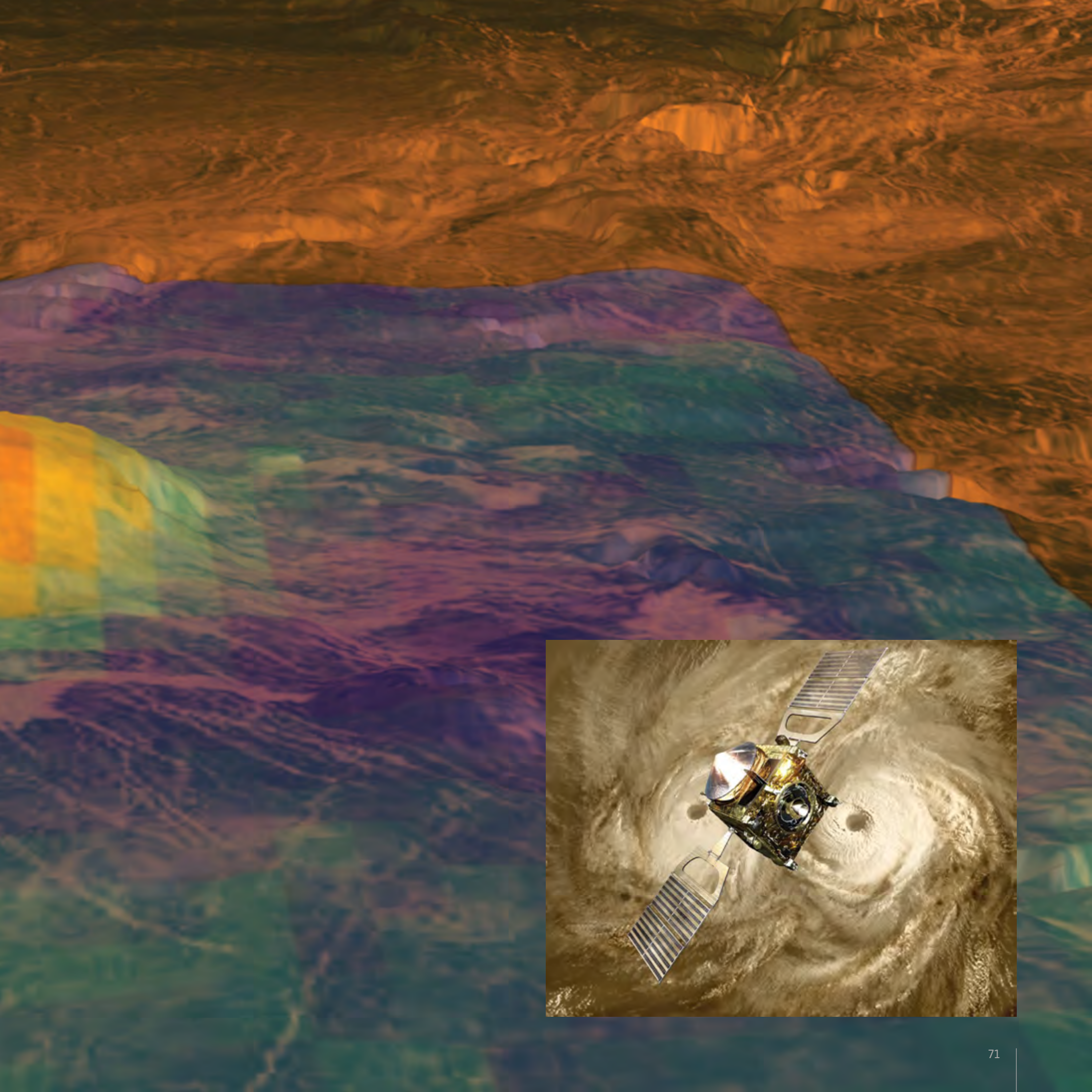


Bienvenue aux Enfers

Depuis 2006, le vaisseau-jumeau de Mars Express, Venus Express, est en orbite autour de celle que l'on appelle souvent la jumelle de la Terre. Venus n'est que légèrement plus petite que la Terre, mais les deux planètes ont connu des histoires très différentes. Les sommets tranquilles mais trompeurs des nuages dissimulent un monde infernal avec une pression atmosphérique écrasante – 90 fois plus importante que celle de la Terre – des nuages d'acide sulfurique, des tempêtes de la puissance d'un ouragan qui peuvent traverser toute la surface de la planète en quatre jours et une surface tellement chaude qu'elle brille. Malgré le fait qu'un dixième seulement de la luminosité du Soleil atteint le sol, une quantité suffisante d'énergie est emprisonnée par les gaz et les particules dans l'atmosphère inférieure pour augmenter considérablement la température. Un effet de serre incontrôlé se produit.

La surface est également très différente de celle de la Terre. Elle semble être l'une des planètes les plus actives sur le plan géologique dans le Système Solaire. La surface ne présente aucun signe de son histoire au-delà de 500 millions d'années, et la tectonique des plaques qui forme notre planète semble s'être arrêtée, si elle a débuté un jour. Au lieu de cela, d'énormes manifestations d'activité volcanique semblent l'avoir complètement essuyée.

L'un des mystères que Venus Express tente de résoudre est de savoir si la planète est encore géologiquement active. Ses instruments ont détecté du dioxyde de soufre dans l'atmosphère qui pourrait provenir d'éruptions volcaniques survenues au cours des derniers 10 à 20 millions d'années. Des mesures infrarouges complémentaires indiquent des flux de lave relativement jeunes, comme dans l'exemple présenté ici du pic volcanique Idunn Mons. Sa chaleur (rouge–orange) comparée au terrain environnant suggère qu'il n'y a pas eu d'érosion, ce qui indique que les flux sont entrés en éruption assez récemment. Les flux pourraient être survenus aussi récemment sur le plan géologique qu'il y a 2,5 millions d'années – et probablement beaucoup moins, et sont peut-être même encore actifs aujourd'hui. La preuve irréfutable recherchée maintenant serait une vraie éruption.

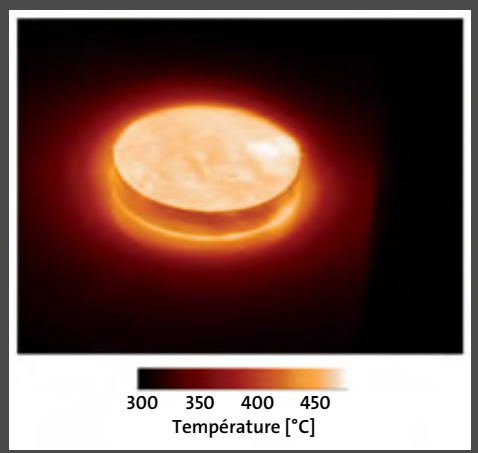


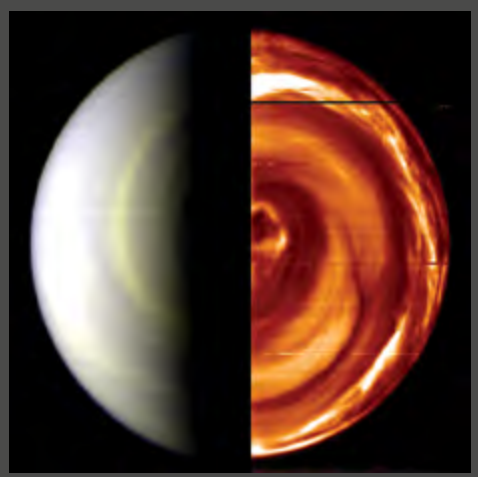
Lumière extraterrestre

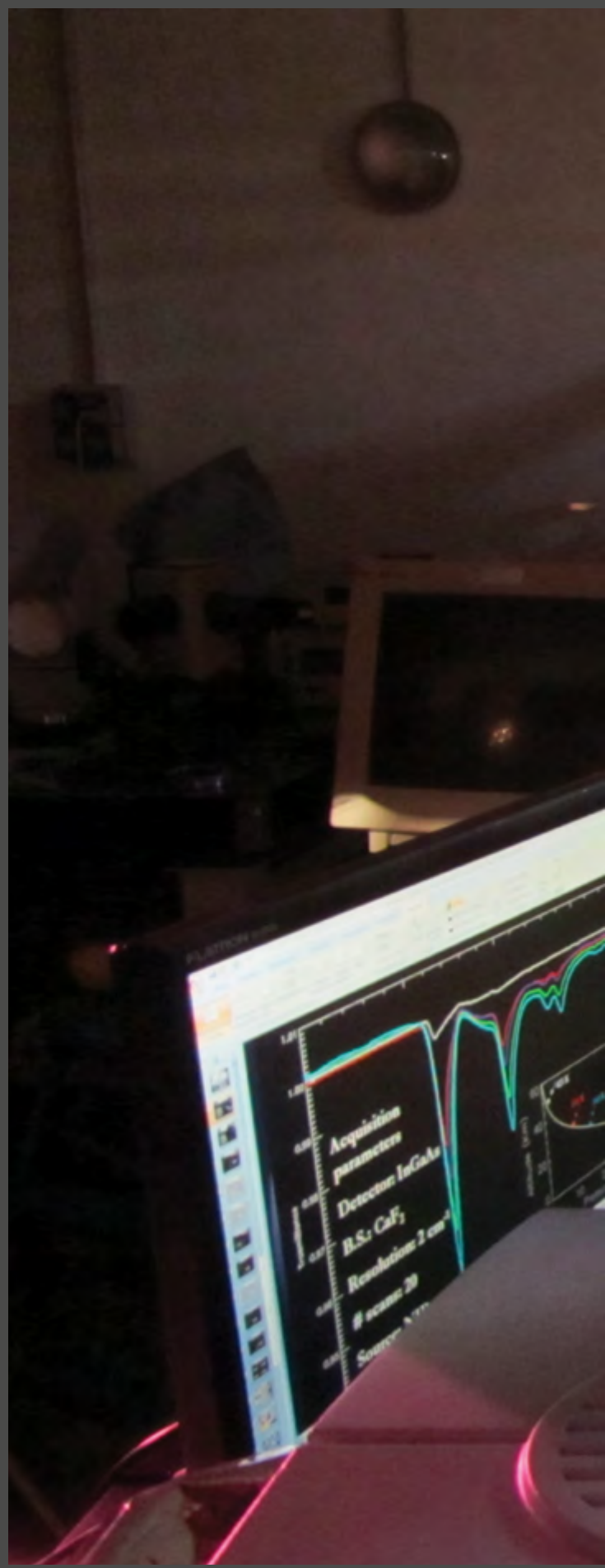
Une chercheuse est baignée par une lumière vive alors qu'elle travaille à l'Institut d'astrophysique et de planétologie de Rome, dépendant de l'Institut national d'astrophysique italien, pour reproduire l'atmosphère de Vénus sur Terre.

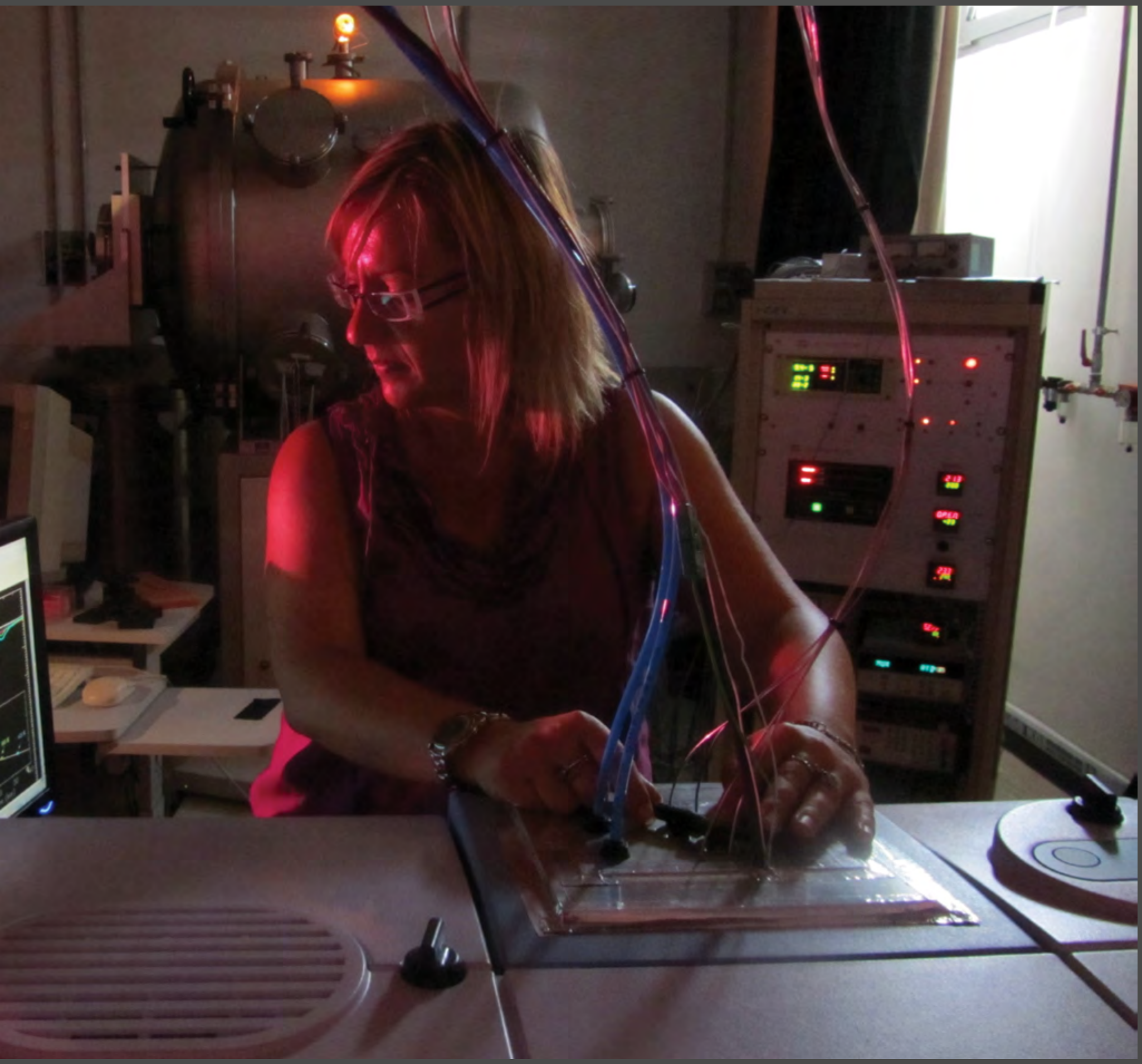
Tandis que la surface de Vénus est dissimulée à nos yeux par des nuages, la surveillance infrarouge par Venus Express ouvre une nouvelle fenêtre pour sonder les mystères de son atmosphère inférieure et de sa surface. Mais la chaleur incroyable à la surface de la planète – avec des températures qui peuvent dépasser 480 °C, soit deux fois plus qu'un four domestique – peut rendre compliquée l'interprétation des observations. La réponse est la reproduction de l'environnement extrême dans des conditions de laboratoire. À Rome, des cellules échantillons sont remplies de dioxyde de carbone chauffé et pressurisé pour enregistrer leur schéma d'absorption de la lumière.

Pendant ce temps, le Laboratoire d'émissivité planétaire du Centre aérospatial allemand DLR à Berlin a chauffé des roches et des échantillons de poussière (ci-dessous), comme le basalte et le granite, et a observé qu'ils brillent d'abord en infrarouge puis dans le spectre visible. Étant donné que la puissance relative de cette lueur est unique à chaque matière, les résultats aident à identifier les rochers à la surface de Vénus et à démêler son histoire géologique inconnue.









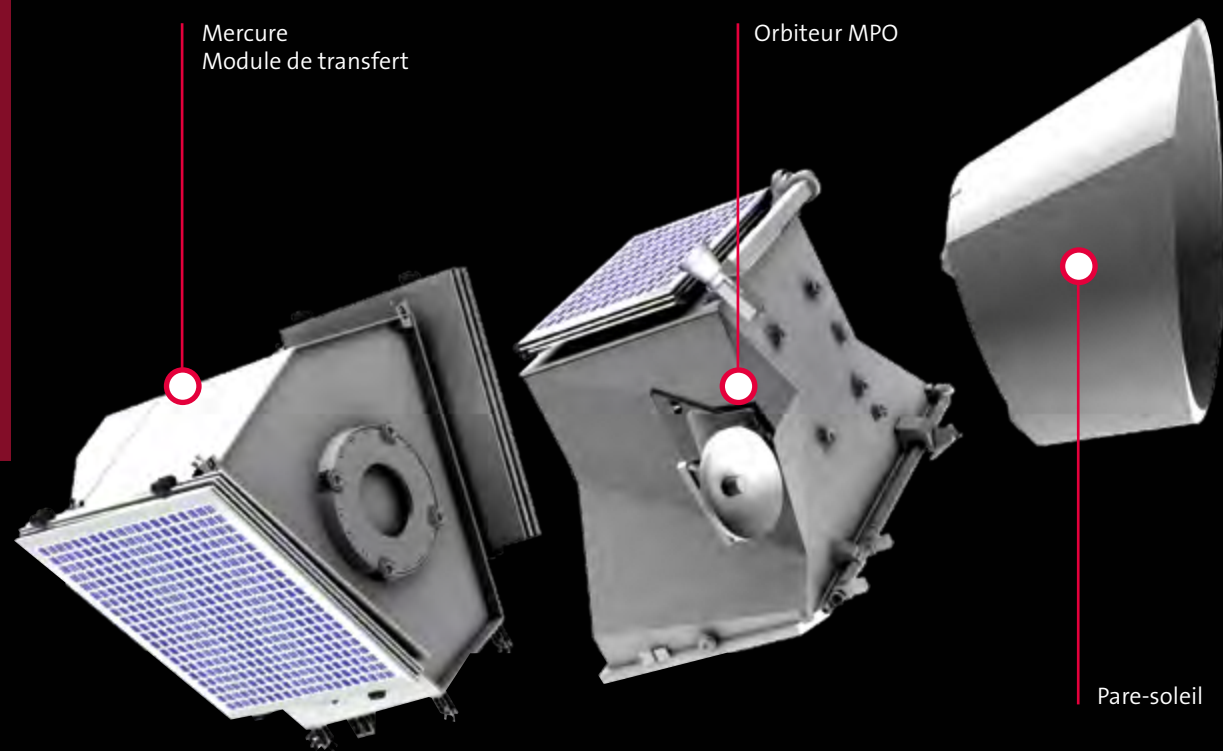
Mission vers un chaînon manquant

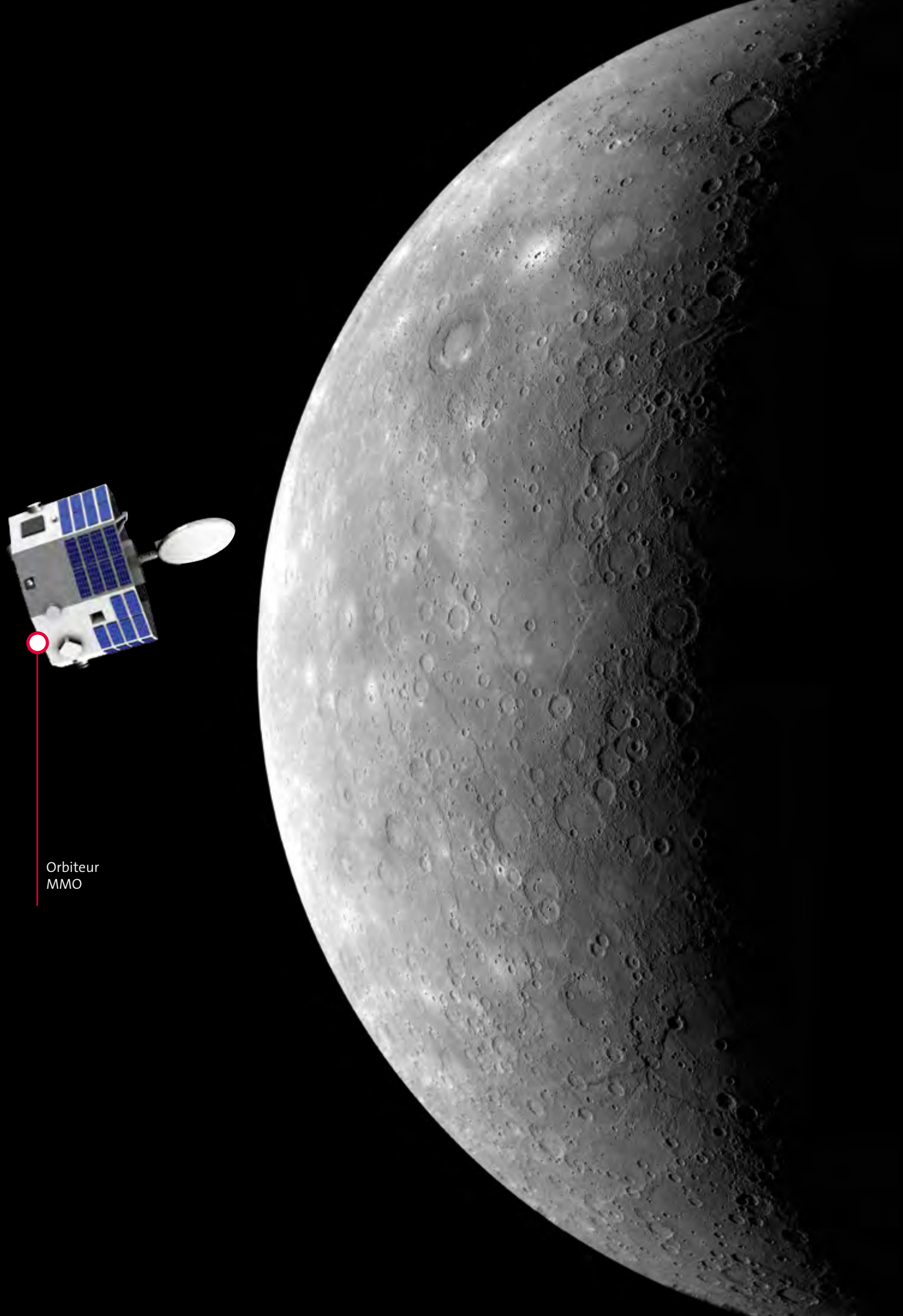
À proximité du Soleil éblouissant, Mercure est difficile à observer à partir de la Terre, et encore plus difficile à atteindre. On l'appelle le lien manquant du Système Solaire.

La mission BepiColombo de l'ESA vers Mercure en 2016 profitera au mieux de cette opportunité : ce sont en fait deux missions en une. En arrivant sur Mercure après près de six ans de voyage, les deux engins spatiaux se sépareront pour étudier différents aspects de ce monde mystérieux. C'est le corps le plus dense du Système Solaire, avec la plus vieille surface intacte et les plus importantes variations de température – plus de 600 ºC entre le jour et la nuit.

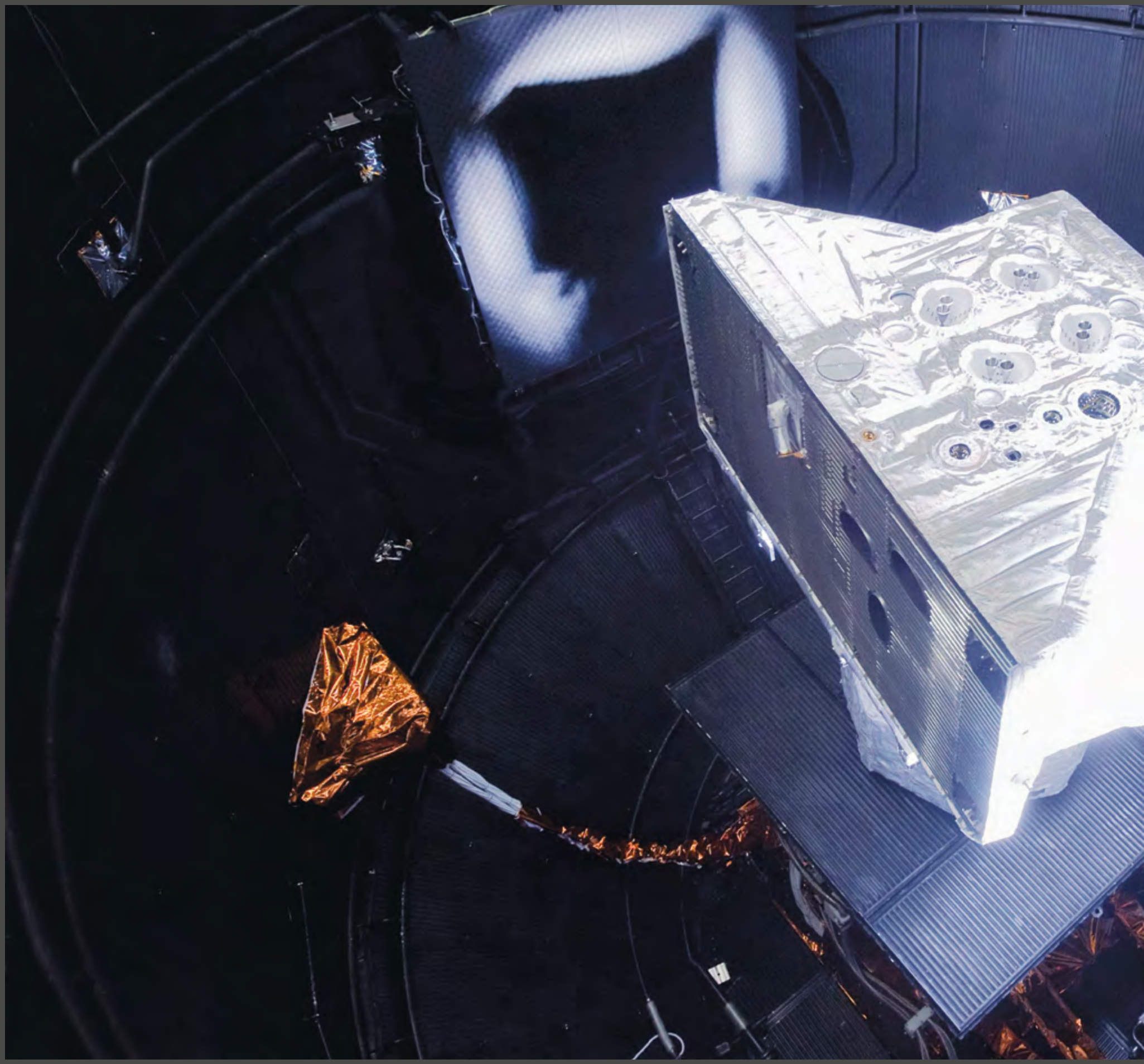
L'orbiteur japonais de la magnétosphère de Mercure (Mercury Magnetosphere Orbiter) étudiera le champ magnétique, tandis que l'orbiteur planétaire de Mercure de l'ESA (Mercury Planetary Orbiter) s'insérera en orbite rapprochée pour faire une cartographie optique et spectrale, échantillonner « l'exosphère » rudimentaire de Mercure et sonder l'intérieur de la planète.

Se mettre en orbite autour de Mercure représente un défi en raison de sa proximité avec le Soleil, dont l'immense influence gravitationnelle attire l'engin spatial vers lui comme l'eau dans un siphon. Une autre section, le module de transfert MTM, utilisera donc des propulseurs électriques à énergie solaire pour voler à proximité de la Terre et deux fois autour de Vénus afin de placer BepiColombo dans une position où il peut être faiblement capturé par la gravité de Mercure. Les missions interplanétaires de l'ESA effectuent normalement des survols pour ajouter de l'énergie ; avec BepiColombo cela sera la première fois que les survols seront nécessaires pour ralentir un engin spatial.





Orbiteur
MMO



Sous les projecteurs

Un modèle d'ingénierie de l'orbiteur planétaire de Mercure de la mission BepiColombo est soumis à un rayonnement solaire d'intensité équivalente à celle mesurée au niveau de Mercure, soit dix fois plus qu'au niveau de la Terre. Cette photo montre les essais dans le Grand simulateur spatial, la plus vaste chambre à vide en Europe, située à ESTEC, le centre technique de l'ESA aux Pays-Bas.

Normalement, la chambre simule l'environnement spatial en orbite terrestre. Pour imiter les conditions autour de Mercure, une mise à niveau soigneuse a été nécessaire. Les 19 lampes de la classe des projecteurs IMAX qui simulent la lumière solaire n'ont pas été modifiées, mais les 121 miroirs hexagonaux qui réfléchissent la lumière dans la chambre à vide sont maintenant beaucoup plus concentrés pour une intensité accrue.

Ces niveaux d'éclairage sont tellement intenses qu'une ingénierie astucieuse a été nécessaire pour maintenir la température de la chambre dans des limites de sécurité : une enveloppe thermique supplémentaire installée contre les parois du simulateur a augmenté le flux d'azote liquide plus de six fois, atteignant en moyenne 5000 litres de liquide à –196 °C par heure pour chacun des essais d'une durée de deux semaines.

Pour résister à de telles conditions extrêmes, l'orbiteur lui-même est enveloppé dans des couvertures à haute température et des revêtements spéciaux pour le garder au frais, tandis que l'intérieur est équipé d'un labyrinthe de tuyaux chauffants. Ces tuyaux fonctionnent comme une version en boucle fermée des glandes sudoripares humaines, pour transporter l'excès de chaleur du côté ensoleillé de l'engin vers un radiateur orienté du côté opposé. Le radiateur de 2 x 3,6 m est lui-même protégé par une série unique de lamelles en robées qui l'empêchent de « voir » la planète chaude en-dessous, tout en permettant à la chaleur de s'échapper dans l'espace lointain.

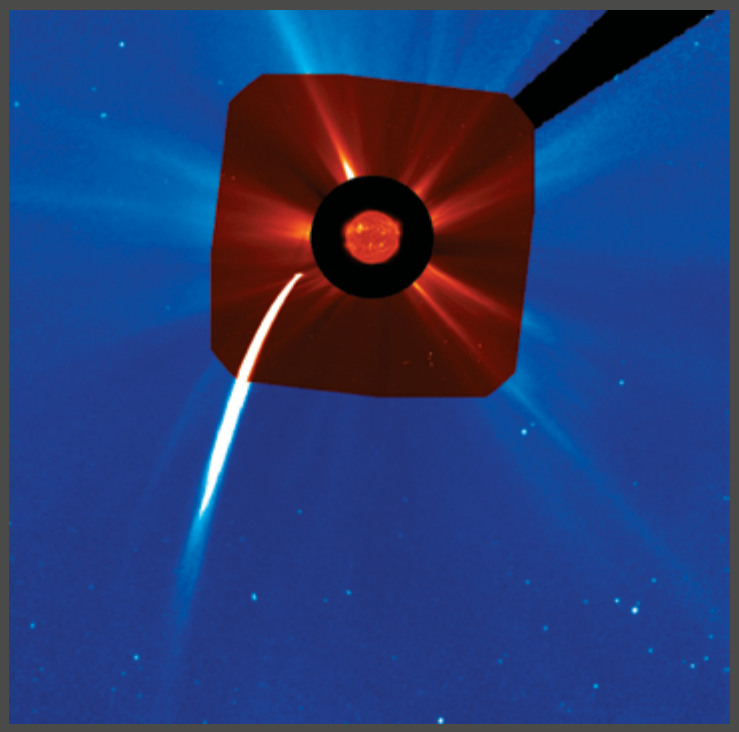
Les essais de BepiColombo ont commencé en 2010 avec des tests de l'orbiteur japonais (Mercury Magnetosphere Orbiter), plus le pare-soleil de l'ESA qui le maintiendra à l'ombre pendant son voyage vers Mercure. L'engin entier a été testé en 2012 : l'empilement des deux orbiteurs plus le pare-soleil et le module de transfert pour les véhiculer dans l'espace interplanétaire.

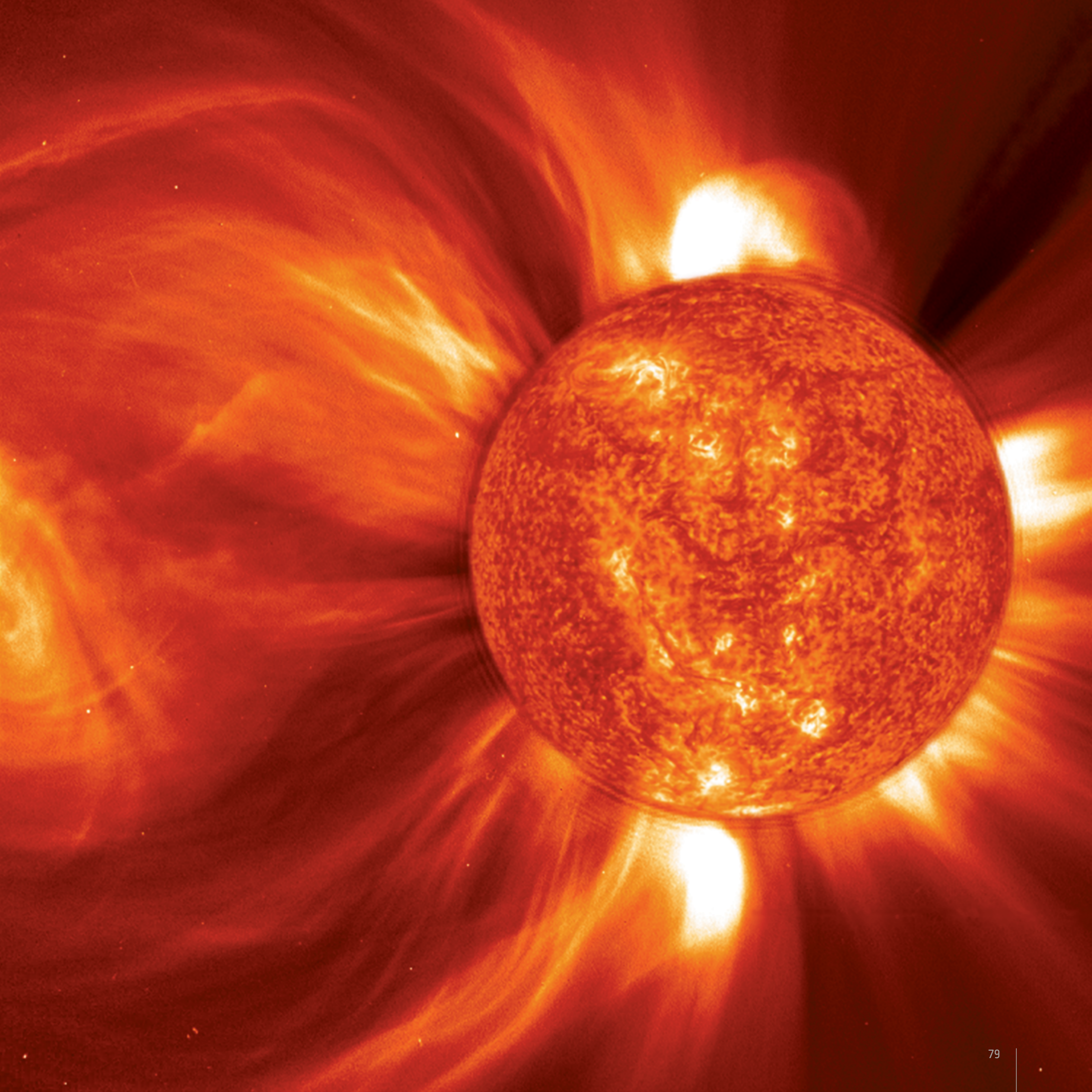
Du feu dans le ciel

Plus de 99,85 % de la masse totale de notre Système Solaire est concentrée dans le cœur de l'étoile. Le Soleil a un diamètre de 1,4 million de km environ – soit 110 terres ficelées ensemble – et il est composé essentiellement d'hydrogène (73,5 % de sa masse), et d'hélium (24,8 %) avec 1,7 % d'éléments plus lourds, surtout du carbone, de l'azote, de l'oxygène, du néon, du magnésium, du silicone et du fer. Le Soleil tourne plus vite à son équateur qu'à ses pôles. Le « différentiel de rotation » joue un rôle-clé dans la création du champ magnétique du Soleil, l'origine de toute l'activité solaire. La masse du Soleil est de 2 000 000 000 000 000 000 000 000 000 tonnes – soit 330 000 Terres – et elle perd environ 10 millions de tonnes par seconde en brûlant de l'hydrogène dans son cœur et en expulsant de la matière dans l'espace sous la forme de vent solaire. Ce taux augmente avec une éjection de masse coronale (CME) tel que vu ici en 2002. Dans ce cas, plus d'un milliard de tonnes sont projetées dans l'espace à des millions de kilomètres/heure. Cette CME (page opposée) a été photographiée par le coronographe spectrométrique grand angle de l'Observatoire du Soleil et de l'héliosphère (SOHO) de l'ESA–NASA, avec le disque solaire superposé (pas à l'échelle) à partir de l'imageur dans l'ultraviolet lointain. Leur différence de luminosité est telle qu'il n'est pas possible d'observer simultanément le disque brillant du Soleil et la couronne d'une faible luminosité.

La masse énorme du Soleil en fait le pivot gravitationnel du Système Solaire, avec des comètes qui tournent régulièrement autour. SOHO est le découvreur de comètes le plus prolifique dans l'histoire de l'astronomie – il en avait trouvé plus de 2100 en avril 2012, la plupart d'entre elles par des astronomes amateurs du monde entier qui fouillent les photographies de SOHO diffusées en temps réel sur Internet. À la fin de 2011, SOHO a vu la comète Lovejoy s'échapper miraculeusement après un vol à travers la couronne chaude du Soleil (en haut à gauche).

En 2017, la mission Solar Orbiter (Orbiteur solaire) de l'ESA s'aventurera plus près que Mercure pour faire des observations rapprochées du Soleil et de sa couronne. Certaines de ses technologies d'observation ont déjà volé sur le microsatellite expérimental Proba-2 de l'ESA, lancé en 2009, qui surveille le Soleil à partir de l'orbite terrestre.



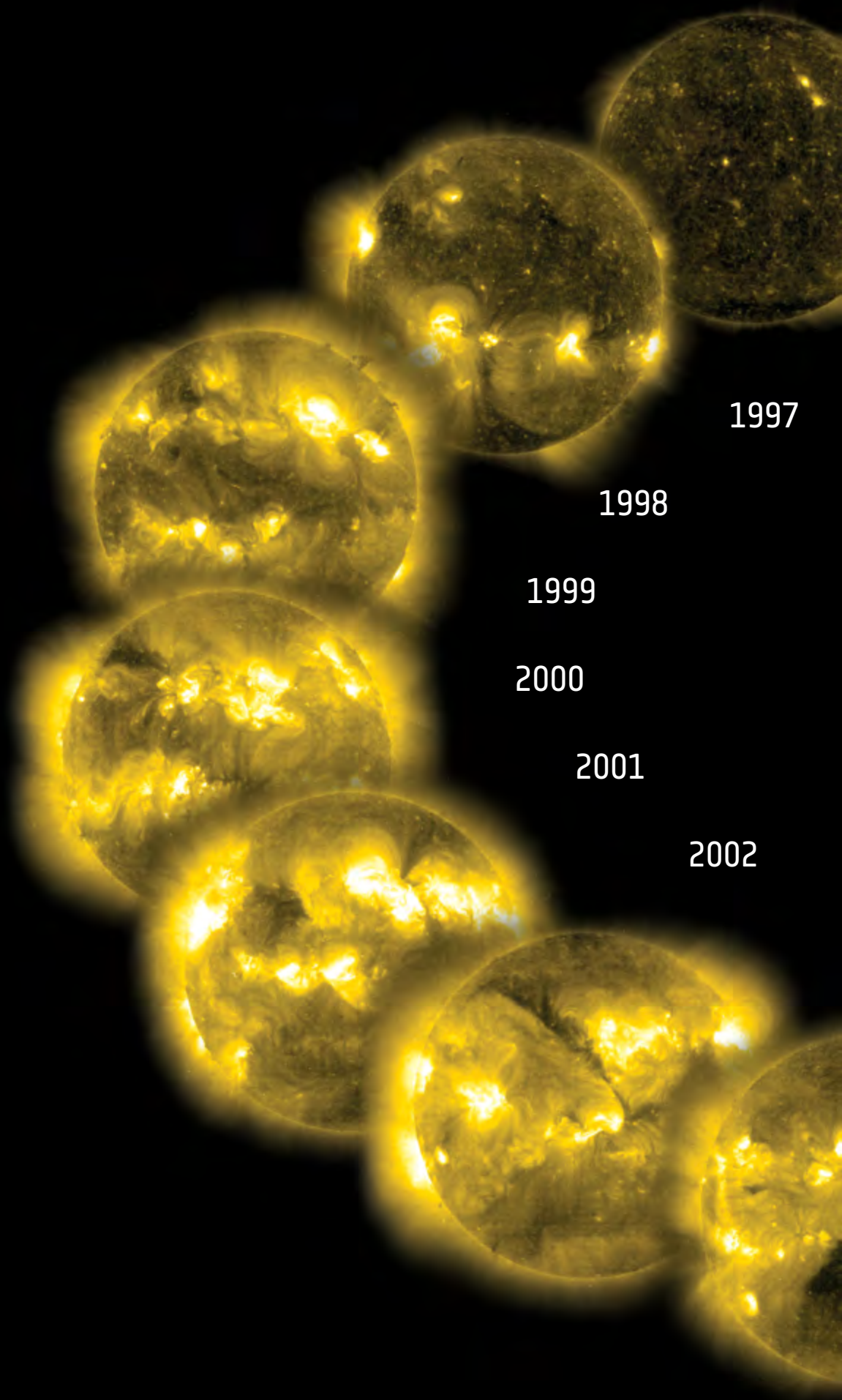


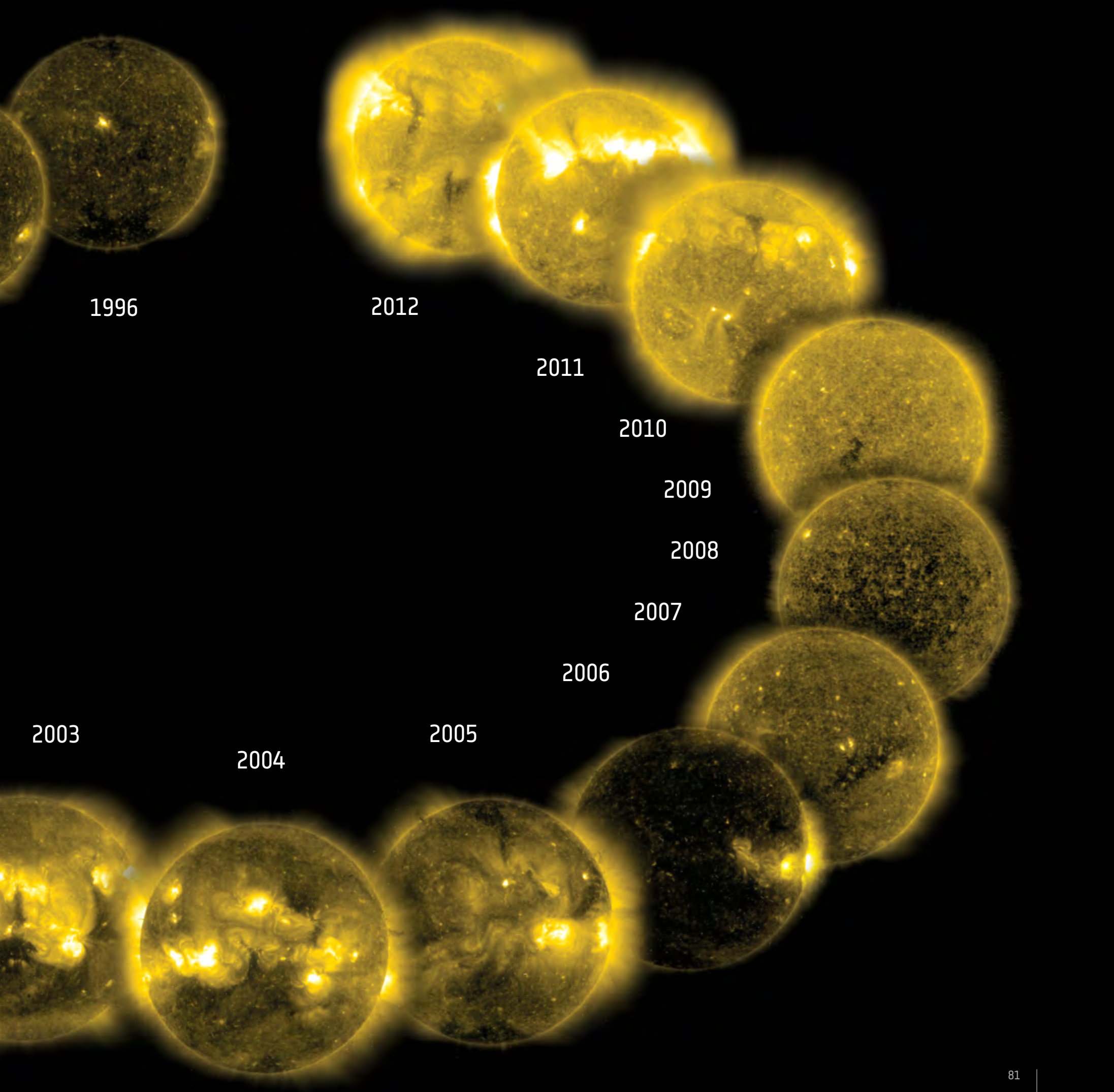
Le cycle solaire de la violence

Notre Soleil, qui dormait jusqu'ici, remue. Alors que la face orageuse du Soleil semble en évolution perpétuelle, elle suit un cycle de 11 ans influencé par des changements périodiques dans son champ magnétique régissant, qui vont du maximum solaire, lorsque les taches solaires, les éruptions solaires et les éjections de masse coronale sont très courantes, au minimum solaire lorsqu'elles deviennent relativement rares. Les minimums solaires se sont produits autour de 1996 et 2008, alors que le dernier maximum solaire s'est produit en 2001– 2003. Le dernier minimum a été inhabituellement profond et prolongé, avant le prochain maximum en 2013–2014.

Ces portraits annuels du Soleil en ultraviolet extrême proviennent de SOHO, qui est perché à 1,5 million de km de la Terre du côté du Soleil, d'où il maintient une vue permanente du Soleil. Ce gardien solaire a été conçu et construit en Europe, ses instruments fournis par les équipes européennes et américaines. Lancé en 1995, SOHO a suivi le Soleil tout au long d'un cycle solaire complet et il est maintenant à mi-chemin du deuxième.

SOHO a fourni les premières images jamais prises de la coque externe turbulente de l'étoile et des taches solaires sous la surface. Il a découvert des phénomènes solaires dynamiques comme les ondes coronales et les tornades solaires. SOHO a révolutionné notre capacité à prévoir la météorologie spatiale en avertissant jusqu'à trois jours à l'avance des perturbations se dirigeant vers la Terre. Il surveille le rayonnement solaire total ainsi que les variations dans le flux ultraviolet extrême, les deux étant importants pour comprendre l'effet de la variabilité solaire sur le climat de la Terre. Les images de SOHO sont disponibles gratuitement sur Internet presque en temps réel. Les experts à travers le monde utilisent les photos et les données de SOHO pour prévoir la météorologie spatiale qui affecte notre planète, et préparent le programme Surveillance de l'espace (Space Situational Awareness, SSA) de l'ESA pour les prévisions opérationnelles de tels événements.




1996
2012
2011
2010
2009
2008
2007
2006
2003
2004
2005

Une touche de Soleil

Une vue à 360° d'une aurore boréale prise par le photographe de l'espace Sebastian Voltmer dans la région montagneuse de Kirkenes en Norvège arctique, sur la côte la plus septentrionale du continent européen. Ces lumières qui dansent dans le ciel sont la manifestation visible d'une énorme bataille qui se déroule en permanence au-dessus de nos têtes.

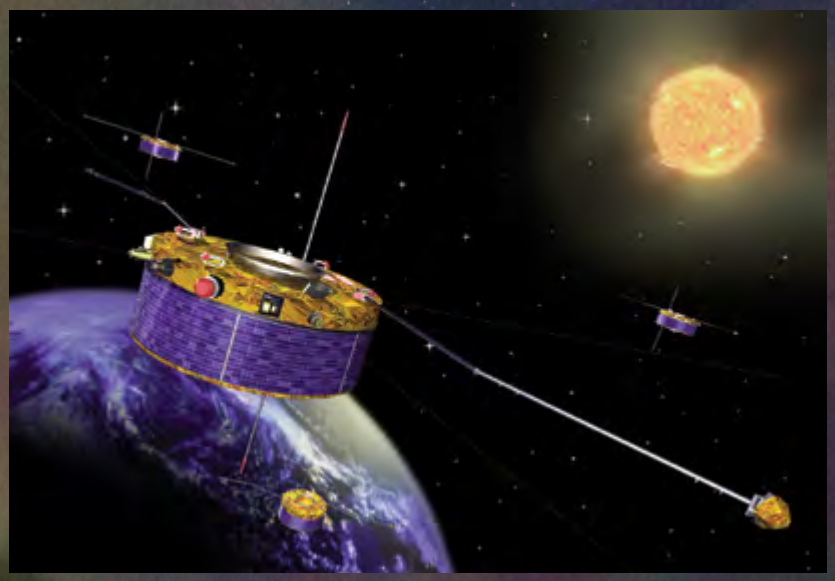
Des particules chargées du vent solaire entrent en collision tous les jours avec le champ magnétique de notre planète. La plupart sont déviées au loin mais certaines sont piégées et accélérées et entrent en collision avec l'atmosphère, créant l'aurore boréale et les ceintures de radiations de notre planète. Parfois, le vent solaire devient turbulent et souffle en rafales, faisant trembler le champ magnétique de la Terre et produisant des particules à haute énergie. Ces orages peuvent ralentir les systèmes électriques à bord des satellites et au sol. Dans le pire des cas, ils peuvent détruire des composants électroniques vitaux, laissant les satellites et d'autres technologies électriques pour morts.

Pendant que SOHO et Proba-2 surveillent le Soleil et ses émissions, la mission Cluster de l'ESA suit les détails de leur interaction avec la Terre. Ce quatuor de satellites volant en formation amasse des impressions en 3D de l'interaction de ce flux perpétuel de particules subatomiques – le vent solaire, avec son champ magnétique intégré – interagissant avec la bulle de magnétisme protectrice de la Terre, la magnétosphère. Les satellites volent en orbites elliptiques qui les emmènent de quelques centaines de kilomètres pour la position la plus rapprochée de la terre à environ 125000 km au point le plus éloigné.

Cluster a fourni une multitude de données pour comprendre la météorologie de l'espace. Une caractéristique récurrente de l'interaction de la magnétosphère avec le vent solaire est la connexion du champ magnétique terrestre avec celui du Soleil, qui facilite l'entrée de particules solaires énergétiques dans le système proche de la Terre. Des processus comme celui-ci ressemblent à un accélérateur de particules naturel, qui permet de mieux comprendre le comportement des champs magnétiques que l'on trouve à travers l'Univers, ainsi que d'autres comportements mystérieux au cœur des réacteurs à fusion nucléaire – jusqu'au et y compris le Soleil lui-même. De la même manière, les multiples satellites de Cluster ont permis aux scientifiques d'avoir un aperçu sur la façon dont les aurores polaires sont créées.

Plus d'un millier d'équipes scientifiques à travers le monde travaillent avec des données de Cluster et la mission a récemment élargi son appel en impliquant la communauté. Dans une annonce, la première du genre pour une mission spatiale, elle offre la possibilité aux scientifiques de proposer des opérations et des observations à partir d'engins spatiaux.

La mission a également un aspect pratique: elle révèle l'environnement dans lequel les engins spatiaux comme les satellites de navigation et de télécommunication sont sensés travailler. Et parce que les particules solaires peuvent endommager l'électronique des engins spatiaux, les résultats de Cluster participent à l'orientation de la conception future des satellites.



Exploration polaire

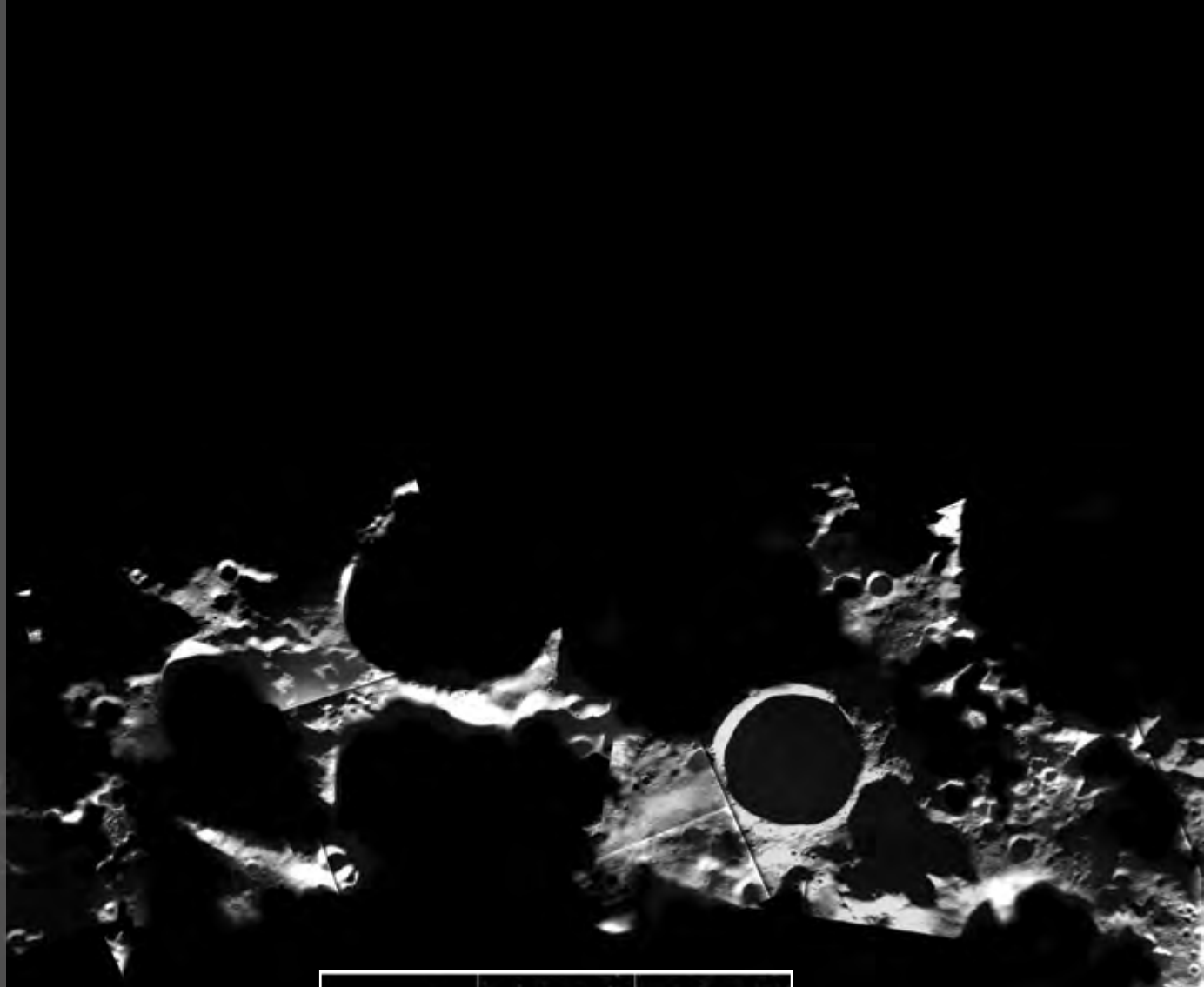
Cette mosaïque de photographies de l'orbiteur SMART-1 de l'ESA représente le pôle sud de la Lune – un bien immobilier parmi les plus prometteurs du Système Solaire.

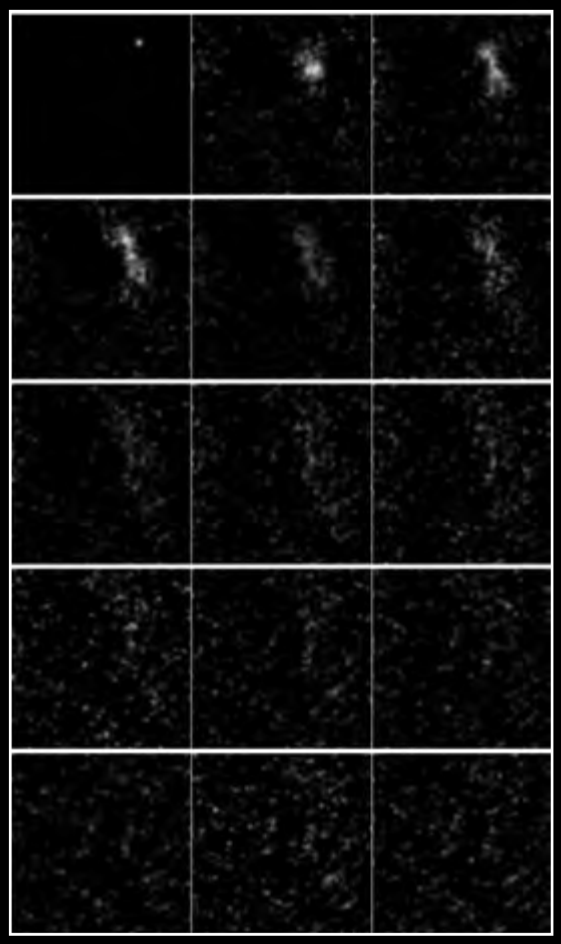
La rotation de la Lune est telle que le Soleil effleure seulement les pôles lunaires à de faibles angles. Les relevés des profondeurs ombragées des cratères polaires, que la lumière du Soleil n'atteint jamais, révèlent la présence d'hydrogène, qui pourrait signaler de l'eau et d'autres substances volatiles disponibles pour l'eau potable et le carburant des fusées pour les futurs colons. Simultanément, des pics élevés à proximité restent presque en permanence dans la lumière du Soleil. Un « pic de lumière éternelle » presque constant a été localisé près du cratère Shackleton, dans la mosaïque à gauche du centre (le deuxième à gauche du plus grand cratère d'Admunsen avec ses pics centraux distinctifs). Le sol presque circulaire de Shackleton est plongé dans l'ombre avec une crête éclairée au nord. Un tel pic éclairé par le Soleil offre une énergie solaire abondante pour toute base lunaire.

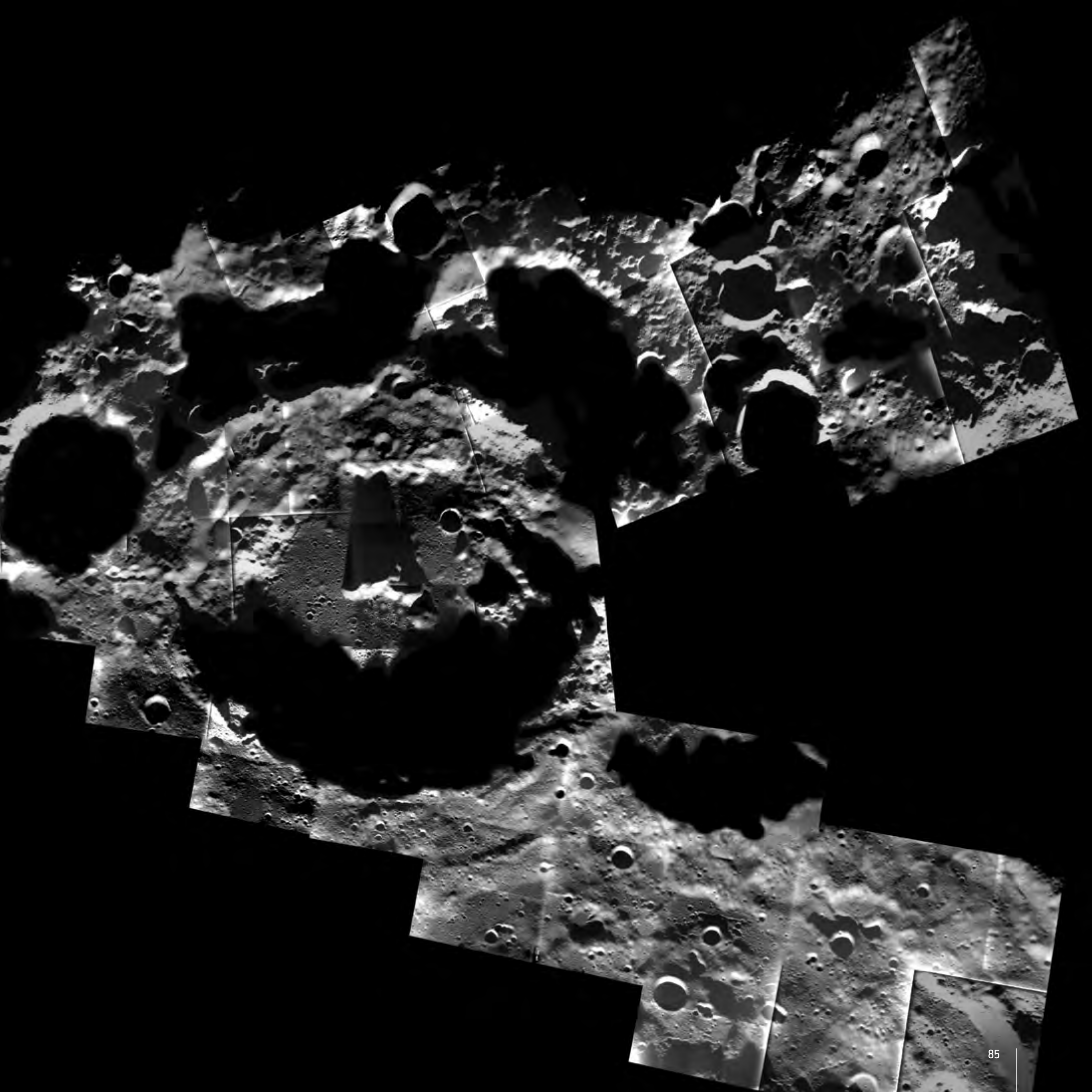
Ce site offrirait un soulagement bienvenu par rapport aux extrêmes de chaleur et de froid rencontrés sur le reste de la Lune. Chaque jour lunaire de deux semaines voit la température augmenter au-dessus du point d'ébullition de l'eau (les astronautes d'Apollo ont aluni pendant les douces matinées lunaires), alors que les deux semaines de nuit les voit descendre aussi bas que –150 °C.

Parfois appelée le « huitième continent », la Lune a une surface équivalente à l'Amérique du Nord et du Sud combinées, avec des concentrations de métaux précieux y compris du titane, du platine et des éléments rares sur Terre. Les six atterrissages de l'homme sur la Lune à ce jour se sont concentrés autour de l'équateur lunaire de la face visible, de sorte que les latitudes plus élevées restent inexplorées.

La mission expérimentale SMART-1 a cartographié la totalité de la Lune entre novembre 2004 et septembre 2006. Une partie de l'expérience acquise au cours de ces années a été utilisée quand trois instruments européens ont volé à nouveau vers la Lune dans le cadre de la mission lunaire indienne Chandrayaan-1. La première mission lunaire européenne s'est terminée par un crash contrôlé (médaillon) – la première trace laissée par l'Europe sur la Lune, mais certainement pas la dernière.





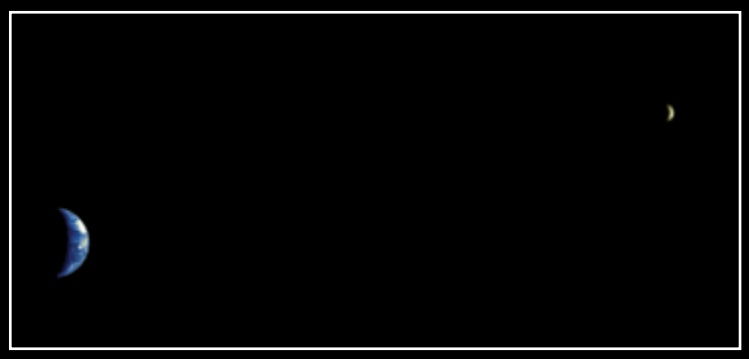


Une oasis lointaine

Cette vue éloignée d'un croissant de Terre provient de la mission Rosetta de l'ESA, lors de son passage près de chez elle pour la troisième et dernière fois en novembre 2009. Prise à 350 000 km de distance, elle montre une partie de l'Antarctique éclairée par le Soleil et l'Amérique du Sud.

Les sondes ESA en route vers le Système Solaire regardent en arrière vers la Terre pour tester leurs instruments sur un objectif connu. Les photographies en médaillon montrent les observations de la Terre faites par Venus Express en visible et en infrarouge, jusqu'à la bande spectrale pour la chlorophylle (en vert) afin de détecter la végétation.

Les résultats ressemblent à une vue de notre planète par un œil étranger, comme sur la photo en bas en couleurs réelles de la Terre et de la Lune prise par Mars Express à huit millions de km de distance, en route vers la planète rouge en 2003. La nôtre est clairement un monde vivant comparée au gris jaunâtre de la Lune. L'Océan Pacifique est bleu et les nuages près de l'équateur et aux latitudes moyennes à septentrionales sont blancs à gris clair. Au même moment, un autre capteur analysait la composition moléculaire de l'atmosphère, de l'océan et de certains continents. L'eau et le dioxyde de carbone dominent aussi bien que l'oxygène moléculaire, l'ozone et le méthane – qui suggèrent la vie. Les spectres de disques globaux de ce type sont utiles pour préparer les futures observations des planètes semblables à la Terre. Une mission de chasse à la Terre impliquerait de nombreux télescopes spatiaux combinant leurs observations pour produire la puissance équivalente à un unique télescope géant.



→ LE QUARTIER DES AFFAIRES DE L'ESPACE

Il existe une multitude d'orbites possibles pour des satellites autour de la Terre. Mais une orbite en particulier apporte une contribution collective à l'économie terrestre valorisée à des milliards d'euros. Elle est devenue un élément indispensable dans la vie de tous les jours. Tournant à une altitude de 35786 km au-dessus de l'équateur, les satellites suivant le rythme de rotation de la Terre, ils restent donc suspendus dans le ciel par rapport au sol.

Dans un article de l'édition d'octobre 1945 de *Wireless World*, Arthur C. Clarke – avant qu'il ne devienne un célèbre auteur de science-fiction – suggérait de placer des « relais extra-terrestres » sur cette orbite. « Beaucoup pourraient considérer la solution proposée dans la discussion comme trop fantaisiste pour être prise au sérieux, » remarqua Clarke, à une époque où seules les fusées V2 en temps de guerre avaient brièvement quitté l'atmosphère. Mais le premier satellite de communications a atteint l'orbite « géostationnaire » moins de 20 ans plus tard.

L'espace mis au travail

Aujourd'hui, il existe plus de 350 satellites de communications dans la « Ceinture de Clarke » qui fournissent des transmissions, des liaisons par téléphone ou de données. Plus de 24000 chaînes de télévision sont transmises directement à plus de 270 millions de foyers, avec même des stations locales par câble recevant leurs contenus par satellite. Les appels téléphoniques longue distance et les circuits de fournisseurs de services Internet sont « ramenés » par satellite, faisant des systèmes spatiaux un maillon essentiel de l'infrastructure de télécommunications mondiale. Les foyers dans les régions sans infrastructures Internet terrestres peuvent acquérir un accès abordable à Internet haut débit par satellite, soulageant ainsi la fracture numérique urbain-rural. Les grandes entreprises relient de plus en plus géographiquement leurs sites dispersés par des réseaux privés de satellite et même les distributeurs automatiques de banque sont intégrés dans le réseau bancaire mondial par satellite.

C'est un marché en croissance permanente, et l'Europe est sur le devant de la scène. L'ESA a lancé OTS-2 en 1978, le premier d'une lignée de satellites de télécommunications expérimentaux de l'Agence. En cours de route, les entreprises de pointe de télécommunication internationales Eutelsat et Inmarsat ont été créées. Aujourd'hui, avec une technologie bien établie, l'industrie montre la voie.

L'Europe sur le devant de la scène

Entre 2006 et 2011, l'industrie européenne a sécurisé 35 % de parts du marché des satellites de télécommunications géostationnaires, une amélioration de 14 pourcents par rapport à cinq ans auparavant. En incluant les nouveaux réseaux de satellites non-géostationnaires, les ventes de satellites de télécommunications se sont chiffrées à quelques 1800 millions d'euros en 2010, ce qui représente plus de 60 % de l'activité totale de l'industrie du satellite en Europe et plus de 80 % du total des ventes à l'export. L'industrie spatiale européenne est donc rentable grâce à son succès continu dans l'arène des satellites de télécommunication.

Cependant, le marché des satellites de communication évolue en permanence et il n'y a pas de place pour l'autosatisfaction. L'ESA travaille à maintenir la compétitivité européenne à travers son Advanced Research in Telecommunications Systems (ARTES, Programme de Recherche de Pointe sur les Systèmes de Télécommunications) de longue durée, qui investit dans les développements innovants ou à risques en partenariat avec l'industrie. Ces nouveaux produits, technologies et services maintiennent l'industrie européenne à la pointe de l'innovation, même face à la concurrence de plus en plus importante des États-Unis, du Japon, de l'Inde et de la Russie. Et, reflétant ainsi la maturité du secteur européen des satellites de télécommunications, l'ESA noue de plus en plus de partenariats public-privé avec des entreprises pour faire progresser la technologie la plus moderne avec une plus grande efficacité financière, en partageant les risques et les avantages avec le secteur privé.

Alertes météorologiques

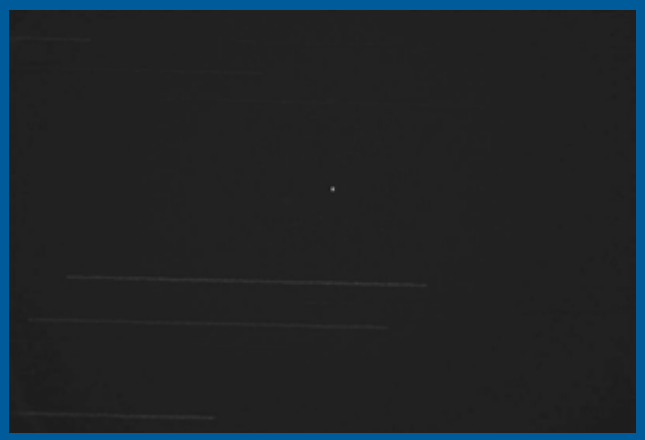
L'altitude de l'orbite géostationnaire a d'autres applications. Elle est très éloignée de la Terre – environ un dixième de la distance jusqu'à la Lune – et n'offre donc que des vues avec une résolution relativement faible de la planète, mais elle donne une perspective unique sur les systèmes climatiques. L'ESA a envoyé le premier satellite météorologique Météosat en orbite géostationnaire en 1977. La série Météosat n'a pas cessé d'envoyer un flux continu d'images météorologiques, qui forment la matière première des prévisions météorologiques quotidiennes à la télévision et permettent d'économiser des millions d'euros pour l'économie européenne dans des secteurs comme l'agriculture, le transport, l'énergie et le tourisme.

L'Anneau-Monde

Tout comme Saturne et les autres géantes gazeuses, la Terre dispose d'un anneau équatorial. Sauf que le nôtre est beaucoup plus petit et artificiel – comme on le voit sur cette représentation exagérée des satellites actifs autour de notre planète. L'orbite géostationnaire est une région tellement rentable économiquement qu'elle est soigneusement contrôlée par l'Union internationale des télécommunications, les nations recevant des créneaux géostationnaires le long du cercle de 265 000 km correspondant à leur territoire géographique, le positionnement étant étudié avec précision pour éviter les interférences en cas de recouvrement de signaux.

Chaque créneau géostationnaire a une largeur de quelques dizaines de km, ce qui signifie que les satellites géostationnaires de télécommunications et météorologiques doivent être conçus avec soin avec des systèmes de contrôle sophistiqués, afin de conserver leur position pendant toute leur durée de vie fonctionnelle, qui peut dépasser 15 ans. Les satellites géostationnaires ont tendance à dériver sous l'influence gravitationnelle du bourrelet équatorial de la Terre, de la Lune et du Soleil, et aussi sous la légère mais persistante pression de la lumière du Soleil elle-même. Toute déviation en altitude est détectée par des capteurs pointés sur le Soleil, la Terre et les étoiles, de sorte que des roues à réaction ou des propulseurs puissent apporter les corrections. L'ESA travaille en étroite collaboration avec les fabricants de satellites pour améliorer les systèmes existants, contribuant à maintenir la compétitivité de l'industrie spatiale européenne dans ce secteur des plus lucratifs.

L'image ci-dessous montre l'une de ces étoiles stationnaires artificielles dans le ciel. Météosat-9 reste immobile dans cette longue exposition par l'observatoire Starkenburg–Sternwarte à Heppenheim, Allemagne, comparé aux trainées laissées par les étoiles qui se déplacent lentement à l'arrière-plan.



esa

Des antennes disponibles

Les antennes représentent le volet commercial des satellites de télécommunications. Un nouvel appareil mobile (page de gauche), permet maintenant la vérification directe d'un satellite terminé, sans avoir à le renvoyer dans un centre d'essais spécialiste des antennes – ceci fait partie d'un flux continu d'innovations fournies par le Programme de Recherche Avancée dans les Systèmes de Télécommunications (Advanced Research in Telecommunications Systems, ARTES) de l'ESA, qui renforce la compétitivité des industries spatiales de télécommunications européenne et canadienne.

D'autres exemples englobent (à gauche sur cette page) une parabole réfléchissante à haute fréquence pour le satellite Ka-Sat de Eutelsat pour transmettre davantage de données, un logiciel avec l'appui de cas réels pour la conception et l'amélioration des antennes et le logiciel Media Fleet Manager pour les émetteurs TV pour planifier, prévoir et réserver simultanément l'utilisation du satellite (voir ci-dessous).

À la différence des autres puissances spatiales, dont l'industrie spatiale est subventionnée efficacement par les dépenses militaires ou autres soutiens directs de l'État, l'industrie européenne doit se battre pour les contrats sur un marché ouvert. Les revenus des satellites de télécommunications assurent la rentabilité économique du reste de l'industrie spatiale de l'Europe.

L'Europe est restée le leader sur le marché des satellites de télécommunications jusqu'à présent, s'attribuant environ un tiers des contrats de satellites à travers le monde, mais la concurrence des acteurs américains et des nouveaux entrants chinois et indiens sur le marché est féroce. L'ESA encourage la recherche et le développement industriels, selon des règles équitables à travers ARTES et des programmes liés, comme élément essentiel pour gagner de nouveaux contrats sur la scène mondiale. L'Europe doit être plus intelligente quand elle ne peut pas être moins chère afin de conserver son rôle de pointe dans les satellites de télécommunications.

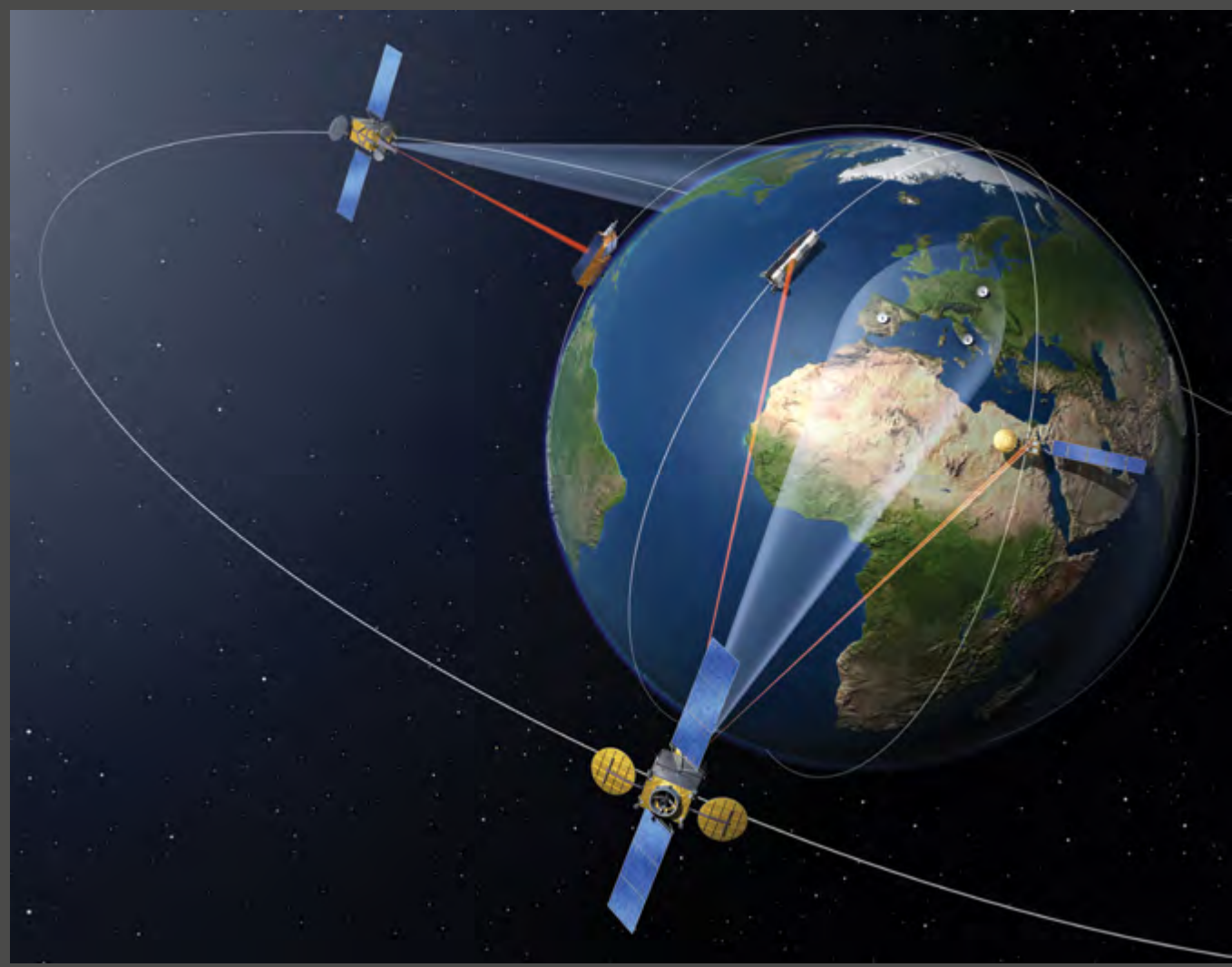
Partenariats publics–privés

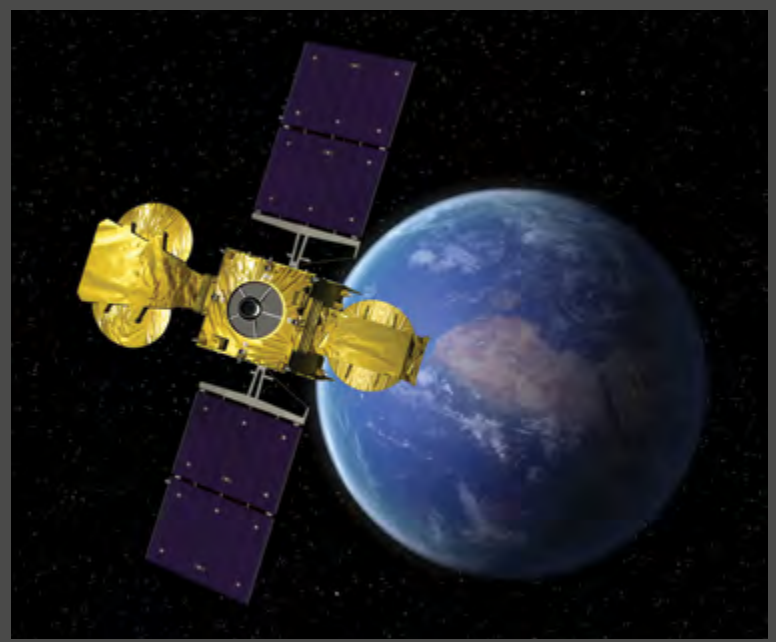
Ce 18 juin 2009, la signature du contrat (page de droite) entre Magali Vaissière, directrice des Télécommunications et des Applications Intégrées de l'ESA, Manfred Fuchs, président de OHB System AG, Petra Mateos-Aparicio, président de Hispasat et Angel Post, directeur-exécutif de Thales Alenia Space (Espagne), au Salon de l'Aéronautique et de l'Espace de Paris a marqué une étape importante dans la concrétisation de la plate-forme avancée du satellite géostationnaire SmallGEO de l'ESA.

Mais le contrat en question est différent d'un contrat ESA standard : c'est un partenariat public-privé.

Les satellites de télécommunications de l'Europe étant le secteur spatial le plus développé et le plus lucratif, l'ESA s'est embarquée dans une nouvelle méthode de travail. L'opérateur commercial, dans ce cas Hispasat, apporte une partie plus importante du budget en échange de la propriété et de l'utilisation de la mission du point de vue commercial, tandis que l'ESA arrive à stimuler la technique de pointe et de développer le marché des satellites de télécommunications en Europe.

Le premier partenariat public-privé de l'ESA à atteindre l'orbite a été le satellite Internet à haut-débit Hylas-1 avec la société anglaise Avanti en 2010 (ci-dessous). Parmi ceux à venir, on trouve le Système relais de données européen (à droite) – une autoroute de données dans le ciel basée sur une paire de satellites géostationnaires interconnectés, qui supporteront une partie des volumes importants de données qui seront produits par Copernicus, l'initiative européenne de surveillance de l'environnement basée dans l'espace (voir page 120), avec les services d'Astrium Services (en médaillon) et la mission Alphasat-XL, et avec Inmarsat au Royaume-Uni.





esa
Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace
Paris Air Show, Le Bourget
Thursday 18 June
Hispasat AG1 Contract Signature
Hispasat S.A. and OHB System AG

Refléter la performance

Ce réflecteur en composite de carbone en cours d'essais au centre d'essais de l'ESA, l'ESTEC à Noordwijk, aux Pays-Bas, est destiné au satellite Hispasat-AG1, le premier à utiliser la nouvelle plate-forme SmallGEO de l'ESA. Cette plate-forme géostationnaire, capable de supporter une charge utile de 30 kg, une puissance de charge utile jusqu'à 3 kW et qui a une durée de vie nominale de 15 ans, maintiendra la compétitivité de l'industrie européenne sur le segment inférieur du marché. SmallGEO est un partenariat public–privé entre l'ESA, l'espagnol Hispasat et l'allemand OHB.

Avec 1,8 m de diamètre, ce réflecteur conçu pour fournir des services en bande large à travers l'Espagne et l'Europe occidentale, n'est pas d'une couleur habituelle. La peinture blanche standard le protégerait des températures extrêmes de l'espace mais au prix d'une déformation des signaux radio. Au lieu de cela, le carbone nu maintient la perte de fréquence au minimum. Pendant la campagne d'essais à l'ESTEC, il a été soumis à des niveaux de son atteignant 145 décibels – le niveau sonore d'un moteur d'avion à réaction – et aux niveaux de vibration similaires à un lancement de fusée. Les essais suivants ont évalué ses performances en radiofréquence et sa résistance aux températures extrêmes, en vue du lancement de Hispasat-AG1 en 2015.

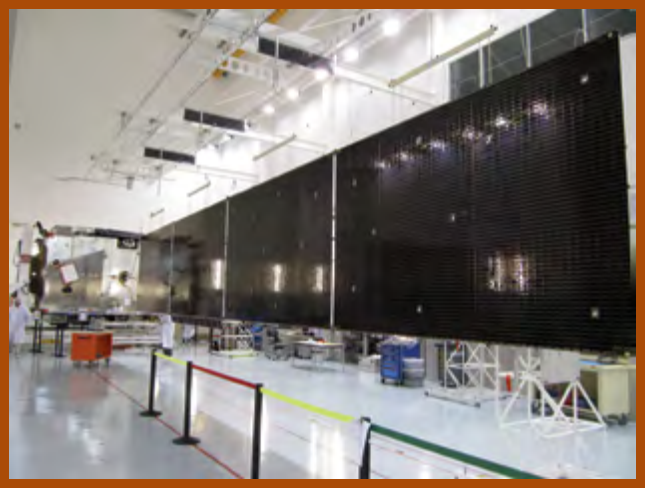
Présentation d'Alphasat

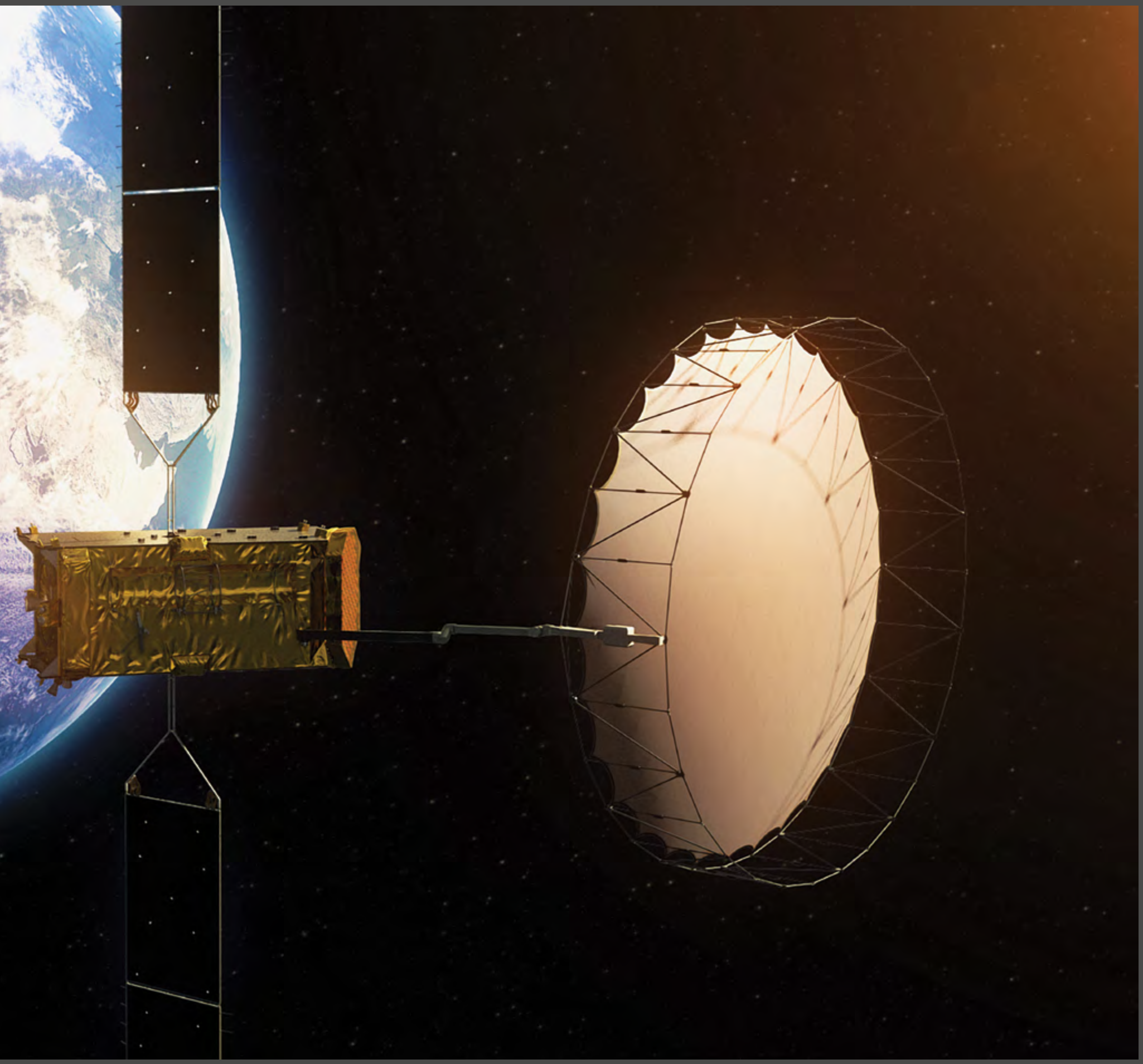
Alors que le poids du satellite moyen diminue, la tendance est à la hausse dans le cas des satellites de télécommunications. Plus la plate-forme de satellite est grande, plus elle peut recevoir de transpondeurs et d'équipements avancés de traitement embarqué, plus elle peut produire d'énergie solaire et maintenir sa position plus longtemps grâce à un réservoir de propergol agrandi – la panne de carburant étant la raison la plus courante de l'arrivée à terme d'une mission spatiale.

L'Alphasat de six tonnes lancé en 2013 est le premier d'une nouvelle génération de plate-formes européennes de télécommunications de grande puissance développée en partenariat par Astrium et Thales Alenia Space dans le cadre d'un contrat commun de l'ESA et du CNES. C'est la réponse européenne coordonnée à la demande accrue du marché de charges utiles de télécommunications plus importantes, capable de prendre en charge des missions avec 18 kW maxi de puissance de charge utile.

Entreprise comme un partenariat public–privé entre l'ESA et Inmarsat, la mission est un vol expérimental pour cette nouvelle plate-forme Alphabus tout en étant également un satellite actif du nom de Inmarsat I-XL qui améliore le service de réseau mondial haut-débit d'Inmarsat en permettant des communications mobiles à travers l'Europe, l'Asie, l'Afrique et le Moyen-Orient avec une capacité accrue.

Alphasat transporte également un ensemble de technologies hébergées faisant partie du programme ARTES de l'ESA, offrant une première occasion de vol à de nouvelles technologies de satellite de télécommunications : une liaison de communications par laser, des transpondeurs expérimentaux, un capteur stellaire sophistiqué et un équipement de surveillance des effets des radiations spatiales.



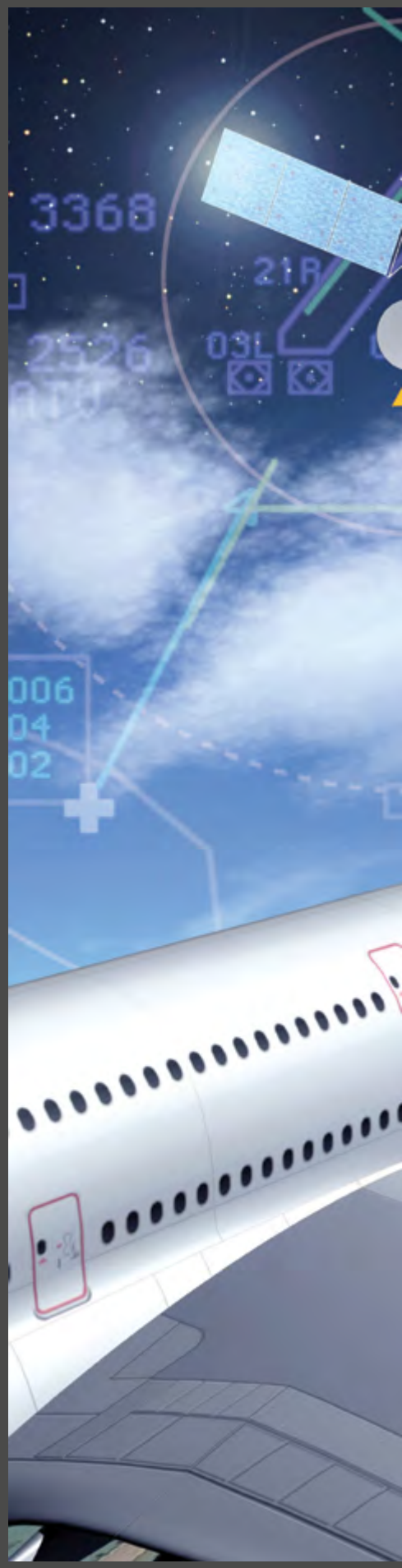


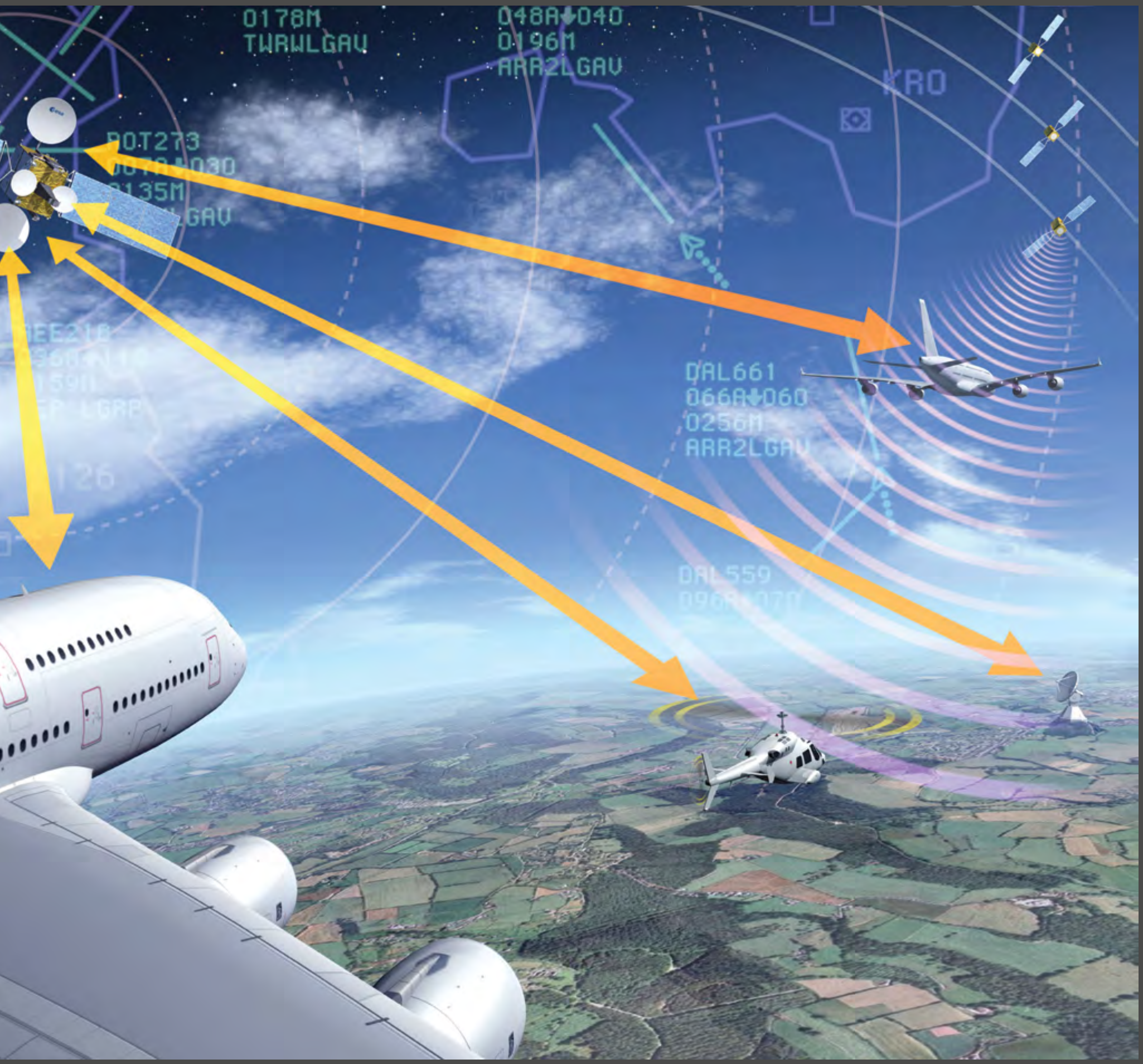
Des satellites pour un ciel plus sûr

Les jours de forte activité, plus de 33000 vols sont contrôlés dans l'espace aérien européen, et les chiffres devraient augmenter. En 2020, le nombre de vols annuels contrôlés devrait atteindre 17 millions. Aussi la gestion du trafic aérien en Europe est encore basée sur une technologie des années 50 et devisée entre plus de 60 secteurs, tous contrôlés individuellement.

Le Ciel unique européen (SES) de la Commission européenne vise à moderniser et harmoniser la gestion du trafic aérien (ATM) en Europe en intégrant un pilier technologique – le Système européen de nouvelle génération pour la gestion du trafic aérien (SESAR). Dans le cadre du programme SESAR, l'ESA développe Iris, un système de communication par satellite pour servir l'aviation. En collaboration avec des partenaires comme Eurocontrol, l'Organisation européenne pour la sécurité de la navigation aérienne, l'ESA développe Iris pour fournir des liaisons numériques de données vers les équipages dans le cockpit via des satellites de télécommunications géostationnaires pour l'espace aérien continental et au-dessus des océans.

Les satellites sont utilisés depuis des années pour les communications des passagers, mais pas comme un moyen essentiel de communication pour la sécurité. Iris est l'une des trois nouvelles technologies sans fil développée à travers SESAR pour réaliser des communications sans fil pendant la durée d'un vol, avec des avantages pour l'amélioration de la circulation et l'efficacité du routage, ainsi que pour réduire de moitié les coûts liés à la gestion du trafic aérien (ATM).




0178M
TWRWLGAV
048A↓040
0196M
ARR2LGAV
KRO
DAL661
066A↓060
0256M
ARR2LGAV
DAL559

Autorisation d'atterrir

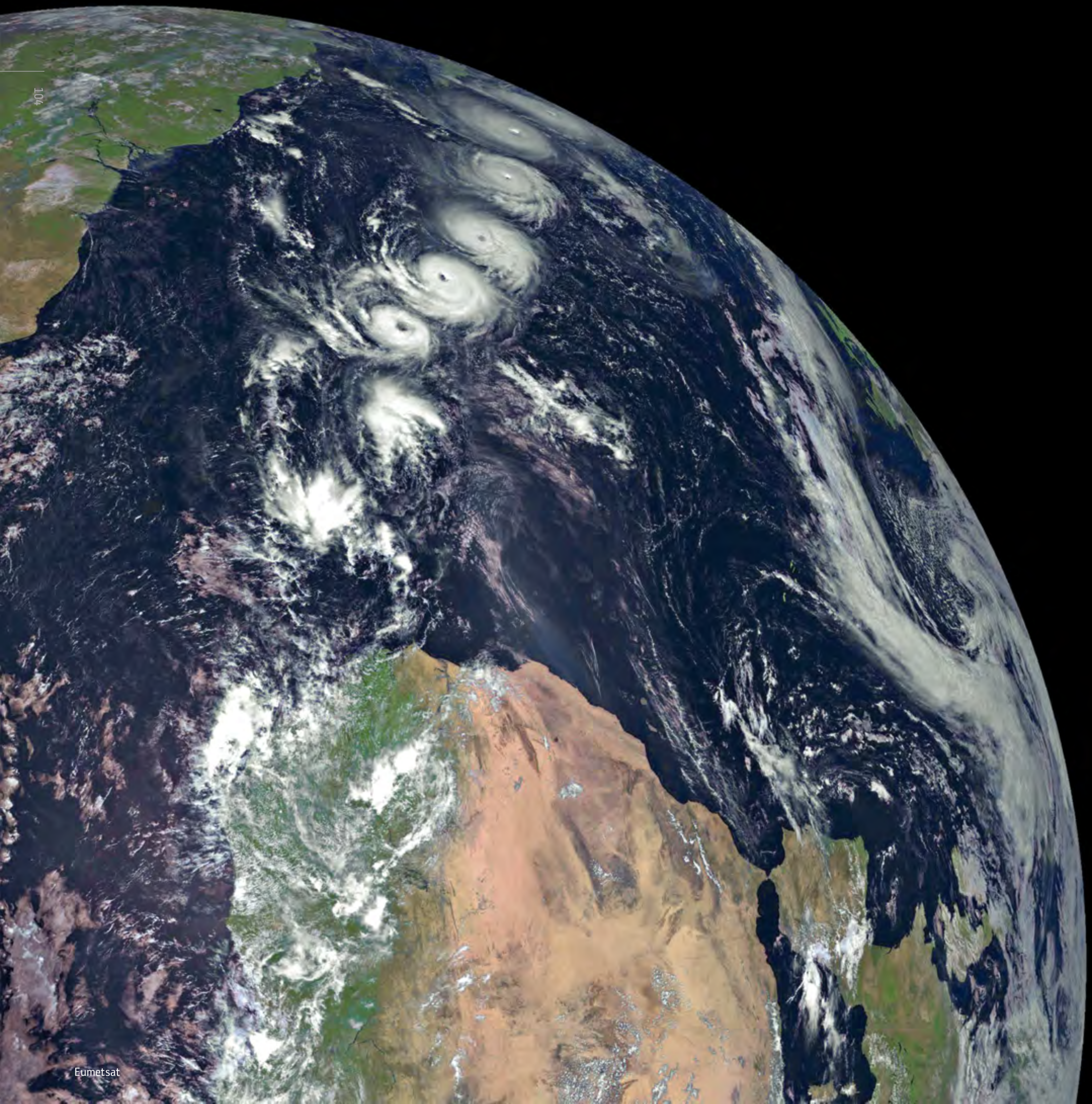
Pour la toute première fois en Europe, le guidage du trafic aérien essentiel pour la sécurité est fourni à partir de l'espace et plus seulement à partir du sol. Le 2 mars 2011, le Service européen de navigation par recouvrement géostationnaire (EGNOS) a été officiellement déclaré disponible pour guider les aéronefs pendant l'atterrissage. Les opérations non critiques de EGNOS avaient débuté deux ans plus tôt et ont trouvé des milliers d'applications de haute précision, allant de l'assistance aux piétons aveugles en Espagne au salage de précision des routes principales tchèques en hiver.

Pour améliorer la fiabilité des signaux GPS Américains au-dessus de l'Europe, EGNOS utilise un réseau de stations au sol à travers l'Europe (en bas à droite) pour vérifier la précision du positionnement puis formule un message de correction à émettre via un trio de satellites géostationnaires. Ce service est garanti avec un niveau de fiabilité extrêmement élevé fixé par l'Organisation de l'aviation civile internationale : il a le droit à une possibilité d'erreur sur 10 millions et les utilisateurs de EGNOS sont informés en six secondes si cette tolérance est dépassée.

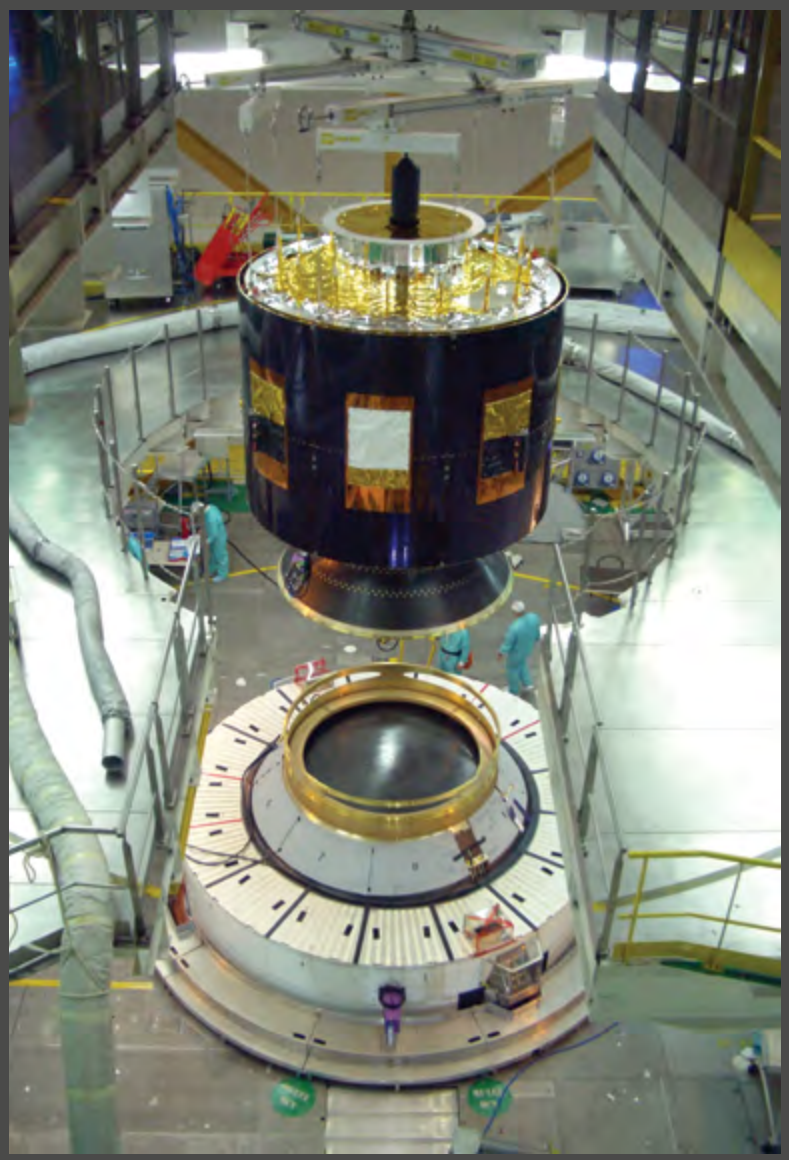
L'ESA a conçu EGNOS en collaboration avec la Commission européenne et Eurocontrol. Il est introduit progressivement en Europe, en commençant par les petits aéroports qui ne disposent pas au sol des instruments pour le système d'atterrissage.

Le développement de EGNOS a été réalisé en coordination avec d'autres systèmes satellitaires d'amélioration des signaux à travers le monde : MSAS au Japon, GAGAN en Inde et WAAS aux États-Unis – ce dernier étant utilisé aujourd'hui par plus de 40 000 aéronefs.

Artemis de l'ESA (ci-dessous) fait partie des satellites géostationnaires qui rendent EGNOS possible. Ce vétéran des bancs d'essai technologiques lancé en 2001 a également apporté un soutien à la mission Envisat d'observation de la Terre de l'ESA et aux vols du véhicule de transfert automatique (ATV) vers la Station spatiale internationale.



Eumetsat



Avis de tempête

La progression vers l'ouest de l'ouragan Isabel suivie jour par jour, depuis un point fixe géostationnaire dans le ciel, par un satellite Météosat construit par l'ESA. La couverture des satellites météorologiques a doublé la période d'alerte précoce d'arrivée sur les côtes des cyclones tropicaux et des ouragans de 24 heures en 1990 à plus de 48 heures aujourd'hui.

L'Europe possède des satellites météorologiques en orbite géostationnaire depuis 1977 qui renvoient un flux continu d'imagerie visible et infrarouge pour suivre les nuages, prendre la température des nuages, de la surface de la terre et de la mer et faire des sondages de la concentration atmosphérique d'ozone, de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone.

L'un des intérêts de l'orbite géostationnaire est qu'elle permet de voir simultanément environ un tiers de la Terre. Les météorologues peuvent suivre à la trace les systèmes météorologiques qui évoluent au-dessus de l'océan, plusieurs jours avant d'atteindre des régions habitées. La position normale de chaque satellite actif de la longue série de Météosat se trouve au-dessus de l'Équateur et du méridien de Greenwich. Elle permet une surveillance permanente de l'Europe, de l'Afrique et de l'Océan Atlantique, à la seule exclusion des régions les plus septentrionales et méridionales du globe.

L'ESA conçoit et commissionne les satellites météorologiques, mais, ils sont exploités pour le compte des agences nationales de météorologie européennes par Eumetsat, l'Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques. La coopération de l'ESA avec Eumetsat s'étend aux sept satellites de la série originale Météosat, à un trio de satellites Météosat de seconde génération améliorés – environ trois fois plus grands que les satellites d'origine, le premier ayant été lancé en 2000 – et aux séries à venir pour les missions Météosat de troisième génération, ainsi que la série MetOp en orbite polaire. Un satellite actif est toujours accompagné par un « remplaçant à chaud » en orbite prêt à poursuivre les observations météorologiques si le premier tombe en panne.

→ ORBITE STABLE POUR LA NAVIGATION PAR SATELLITE

La région sous l'orbite géostationnaire et au-dessus de l'orbite basse a une population clairsemée et a toujours été ignorée. En termes d'espace, c'est un mauvais quartier, délimité par les deux ceintures de radiation de la planète qui peuvent frire les satellites non protégés par des attaques de particules chargées. Quand Artemis, le satellite de communications de l'ESA, en 2001, sur sa route vers une orbite géostationnaire a été temporairement coincé en orbite moyenne à cause d'un problème de lanceur, la réaction des contrôleurs au sol a été de sortir de là le plus vite possible.

Activité intense en orbite moyenne

Aujourd'hui les choses ont changé : en plein milieu, à une altitude de 23222 km, le système de navigation par satellite européen Galileo prend rapidement forme. Résultat du premier partenariat entre l'ESA et la Commission européenne, la constellation de 30 satellites fournira des services de positionnement, de navigation et de datation de haute qualité dans le monde entier en tant que service sous contrôle civil offrant la garantie d'une couverture continue.

Un système de navigation en orbite géostationnaire ne pourrait pas fournir une couverture mondiale car la courbure de la terre laisserait les régions polaires hors de vue, et les grands bâtiments ou les arbres sur les horizons locaux pourraient facilement brouiller les signaux satellites sur la majeure partie du continent européen vers le sud. Et les satellites en orbite basse embrassent la Terre de si près qu'il en faudrait des dizaines pour répartir les signaux de navigation sur tout le globe.

L'orbite moyenne offre le meilleur compromis disponible. L'empreinte de chaque satellite peut couvrir une large partie de la planète et les satellites se déplacent suffisamment lentement pour rester plusieurs heures dans une zone déterminée de ciel visible du sol. Un total de 30 satellites, y compris les satellites de secours, soigneusement répartis sur trois plans orbitaux veillent à ce que le minimum de quatre satellites nécessaires à un point de navigation soient visibles dans le ciel à tout moment. Les constellations du GPS américain, du Glonass russe et du Compass chinois occupent des orbites similaires.

Vol calme

Il y a un autre avantage : l'orbite moyenne est relativement exempte de perturbations. La position orbitale de chaque satellite doit être connue avec un très haut niveau de précision parce que la navigation par satellite est basée sur le principe de la mesure de la distance entre le satellite et le récepteur au sol. Très peu de corrections orbitales devraient être nécessaires

au cours des 12 années de vie d'un seul satellite. L'Europe n'a jamais eu à superviser une constellation satellite de cette taille auparavant, mais cette orbite facilite un peu cette tâche.

Livraison de Galileo

Dans le cadre des préparatifs, l'ESA a développé des missions exploratoires pour transporter les éléments de Galileo et collecter des données sur les radiations en orbites moyennes, étant donné que l'altitude choisie pour Galileo se trouve juste au-dessus de la ceinture extérieure de radiations de la Terre. Deux satellites Galileo In-Orbit Validation Element (GIOVE) ont été construits en parallèle avec des capacités complémentaires pour fournir une redondance. GIOVE-A a été lancé avec une fusée Soyouz depuis le cosmodrome de Baïkonour au Kazakhstan le 28 décembre 2005, et GIOVE-B est parti du même site le 27 avril 2008. Les deux satellites sont restés opérationnels jusqu'en 2012, grâce en partie à un cycle solaire plus doux que d'habitude, mais ils ont prouvé que les protections contre les radiations et les autres contre-mesures sont efficaces et ils ont montré que les éléments-clés de Galileo, comme les horloges atomiques au rubidium et à l'hydrogène passif, supportent bien l'orbite moyenne.

Simultanément, l'ESA a développé et construit un système au sol tout autour du globe pour gérer les satellites et leurs charges utiles de navigation, et maintenir la précision du service de navigation de Galileo à tout moment, ce qui est l'une des tâches les plus complexes jamais entreprises par l'Agence.

Démarrage des services

Le système devrait fournir ses premiers services en 2014, l'intégralité de la constellation devant être en place en 2018. La Commission européenne, partenaire de l'ESA, prévoit que Galileo – qui coûte au total l'équivalent de 150 km d'autoroutes européennes – pourrait rapporter environ 90 milliards d'euros au cours des 20 premières années d'exploitation et créer 150 000 emplois. En construisant Galileo, l'Europe assure sa non-dépendance sur le plan technologique et économique dans un secteur d'activité crucial. Même aujourd'hui, on estime que la navigation par satellite représente 7 % du produit intérieur brut européen, et ce pourcentage ne fera qu'augmenter dans les années à venir.

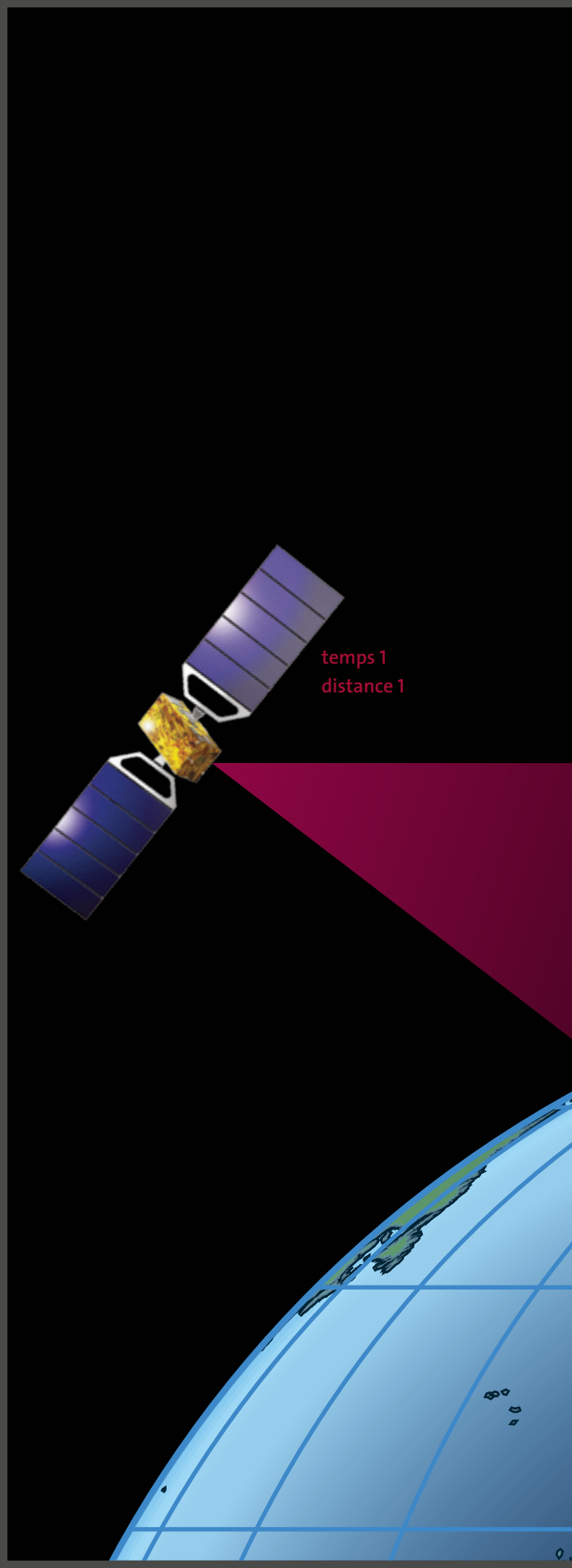
Guidé d'en haut

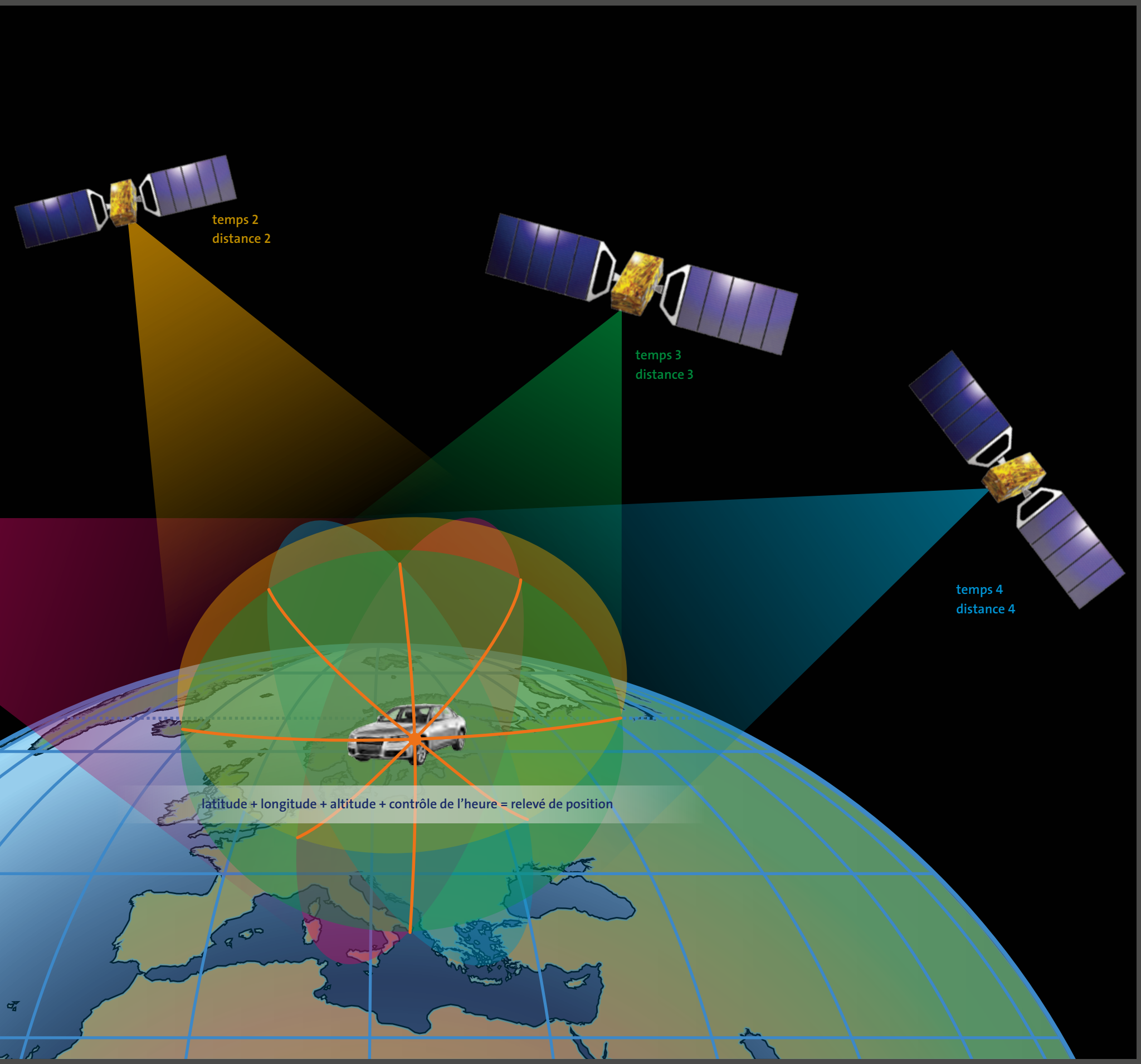
Ou êtes-vous ? Galileo est sur le point de répondre à cette question avec une précision sans précédent. La navigation par satellite est basée sur le principe de la télémétrie : il s'agit de mesurer combien de temps est nécessaire à un signal de satellite pour vous atteindre, puis d'utiliser la vitesse de la lumière pour calculer la distance entre le satellite et votre récepteur. Trois satellites donnent la longitude, la latitude et l'altitude, un quatrième est nécessaire pour vérifier la précision de la datation.

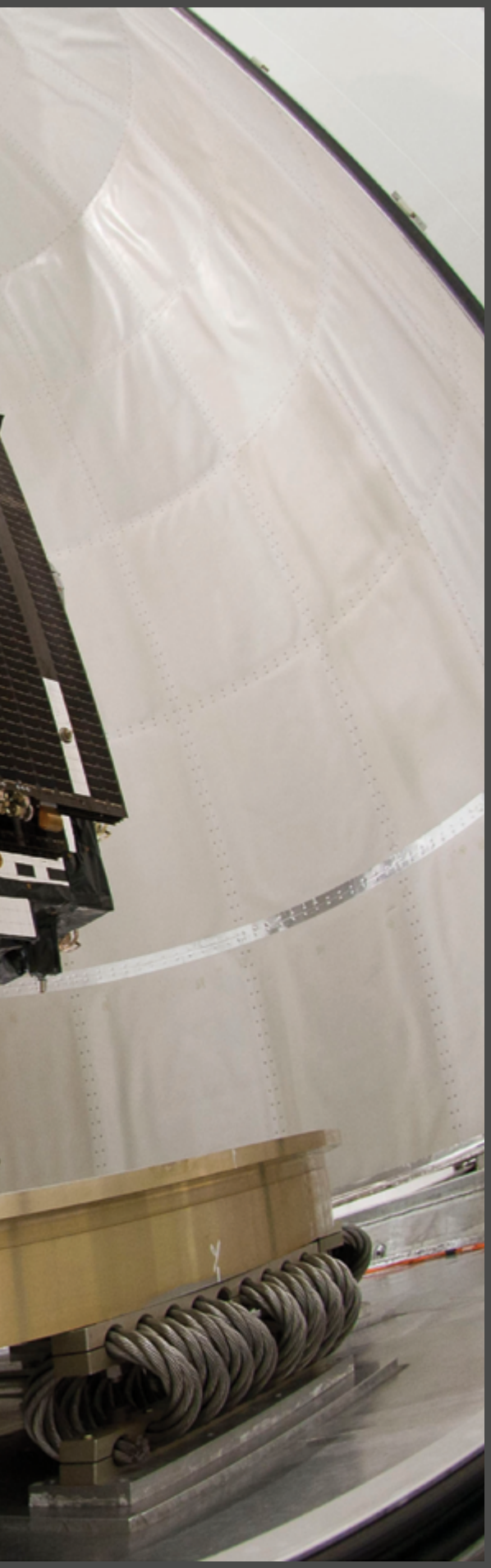
Ils doivent être précis au milliardième de seconde près, l'équivalent d'une erreur de distance de 30 cm. Un millième de seconde correspond à une erreur de 300 m, et une deuxième erreur signifierait que le système vous place largement au-delà de l'orbite lunaire.

Pour que le système puisse fournir des résultats corrects sur toute la Terre, 30 satellites transportant des horloges atomiques très précises sont nécessaires, dans un trio de plans orbitaux soigneusement conçus pour maximiser la couverture mondiale. Chaque satellite Galileo embarque deux masers à hydrogène passif, ayant une précision d'un seconde sur trois millions d'années, et une paire d'horloges atomiques au rubidium de secours, avec une précision de trois secondes sur un million d'années.

Leur précision extrême, combinée avec un système au sol mondial prêt à corriger toute erreur de résultat, confère à Galileo une précision accrue comparé à la génération actuelle de satellites GPS, ouvrant une gamme plus large d'applications potentielles, comme les péages routiers et l'acheminement des trains.




temps 2
distance 2
temps 3
distance 3
temps 4
distance 4
latitude + longitude + altitude + contrôle de l'heure = relevé de position



Fondations de Galileo

Les satellites jumeaux Galileo, tenus par le distributeur qui les relâchera sur leurs orbites finales à 23222 km d'altitude, sont préparés pour leur lancement le 21 octobre 2011.

Les deux premiers des quatre satellites initiaux jouent un double rôle : prouver que les satellites et le segment sol répondent à plusieurs exigences de Galileo et valider la conception du système, tout en servant de partie intégrante de la future constellation de 30 satellites.

La plate-forme de satellites est conçue autour d'une exigence principale essentielle : étant donné que Galileo supporte de nombreuses applications, les satellites doivent être très fiables et fonctionner avec peu d'interruptions. Quand les satellites classiques ont des problèmes, ils peuvent passer en mode sécurité en attendant le diagnostic, mais ces satellites ont le droit à 5 jours hors service seulement dans toute leur vie opérationnelle de 12 ans. Ils sont largement reconfigurables, ce qui signifie que les modules peuvent être intervertis pour maintenir le fonctionnement. Chaque satellite transmet 20 000 données différentes à propos de son statut vers la Terre, pour donner aux contrôleurs une vue détaillée de sa santé.

La nouvelle ère de la navigation en Europe

Une occasion doublement historique : Les deux premiers satellites de navigation européens Galileo sont sur le premier lancement de Soyouz depuis son nouveau site de lancement au port spatial de l'Europe en Guyane le 21 octobre 2011, inaugurant l'ère Galileo.

Une variante de Soyouz plus puissante avec un étage supérieur renfermant du propergol supplémentaire a relâché les satellites sur leur orbite finale à 23222 km d'altitude. Ils ont atteint leur altitude finale 229 minutes après le décollage, puis leur distributeur les a relâché, en les faisant passer sur les côtés de l'étage supérieur Fregat, qui a continué vers une orbite cimetière. Les contrôleurs de la mission à Toulouse, en France, ont capté tout de suite les signaux des deux satellites.

Ce processus sera répété plusieurs fois au cours des prochaines années. Pour accélérer le déploiement, une version d'Ariane 5 permettant d'emporter quatre satellites d'un coup est en préparation, pour une utilisation conjointe avec le lanceur Soyouz. Une constellation Galileo de 8 satellites en orbite au milieu de la décennie fournira une première capacité opérationnelle, la constellation complète étant attendue en 2018.

Contrôle de santé en orbite

Le centre Redu de l'ESA, dans la forêt des Ardennes belges, joue un rôle important car il vérifie que les satellites Galileo, une fois lancés, sont en bonne santé et adaptés à l'objectif.

Dès que les satellites sont en orbite, ils sont progressivement activés par une équipe basée soit à Toulouse, soit à l'ESOC à Darmstadt. Puis vient la tâche complexe de la mise en service de leurs charges utiles de navigation.

Le contrôle des satellites est transmis au Centre de contrôle Galileo de Oberpfaffenhofen en Allemagne, tandis que l'évaluation de la charge utile est effectuée à Redu.

Ouvert en 1968, Redu a été sélectionné pour cette mission en raison de sa longue expérience dans des missions similaires pour les satellites de télécommunication européens.

Pour Galileo, le centre Redu est équipé d'une antenne de 20 m de diamètre pour recevoir les signaux de navigation au très haut niveau de détail de diagnostic requis – en capturant la forme exacte des signaux transmis – d'une antenne de transmission pour tester le récepteur embarqué de la mission et faire remonter les messages de navigation. Une antenne UHF transmet des signaux simulés de recherche et de sauvetage, qui seront relayés aux autorités régionales par le système international Cospas–Sarsat de satellites pour les recherches et le sauvetage.

Redu contrôlera la santé de tous les futurs satellites Galileo après leur lancement tout en réalisant les mêmes tâches pour les satellites de télécommunications de l'ESA. Les missions de l'ESA Artemis, Integral et Proba sont également dirigées de là et Redu hébergera l'un des deux centres d'opération des missions pour les satellites du système relais de données européen.

esa
esa
esa
esa

Galileo au sol

Des journalistes au salon de l'Aéronautique et de l'Espace de Paris en 2011 regardent l'ESA et la Commission européenne signer des contrats industriels pour le Segment sol de contrôle de Galileo et pour le Segment sol de mission – Galileo au sol.

Les satellites dans l'espace ne sont que la partie émergée de l'iceberg mondial Galileo. L'un des développements les plus complexes jamais entrepris par l'Europe, un réseau global au sol, est essentiel pour superviser les satellites et s'assurer de leur fiabilité en continu dans le temps et des informations de positionnement contenues dans les signaux de navigation envoyés depuis l'orbite.

La surveillance et le contrôle des plates-formes des satellites, sont effectués par le Segment sol de contrôle de Galileo basé pendant la phase initiale au Centre de contrôle Galileo de Oberpfaffenhofen près de Munich en Allemagne, relié aux stations de télémétrie, de suivi et de télécommande situées à Kiruna en Suède et à Kourou en Guyane française.

Le Segment de contrôle de mission assure les performances de pointe de navigation de Galileo en vérifiant chaque satellite en permanence et en émettant un message de correction pour compenser la plus légère dérive, un message qui est remonté au satellite pour rediffusion aux utilisateurs au moins toutes les 100 minutes.

Pendant la phase initiale, le Segment sol de la mission est basé dans l'autre Centre de contrôle Galieo à Fucino, dans le centre de l'Italie, mais à l'avenir, Oberpfaffenhofen et Fucino hébergeront des équipements équivalents, pouvant ainsi se remplacer mutuellement, avec une synchronisation des données en temps réel pour améliorer la robustesse générale du système Galileo.

Avant-poste isolé

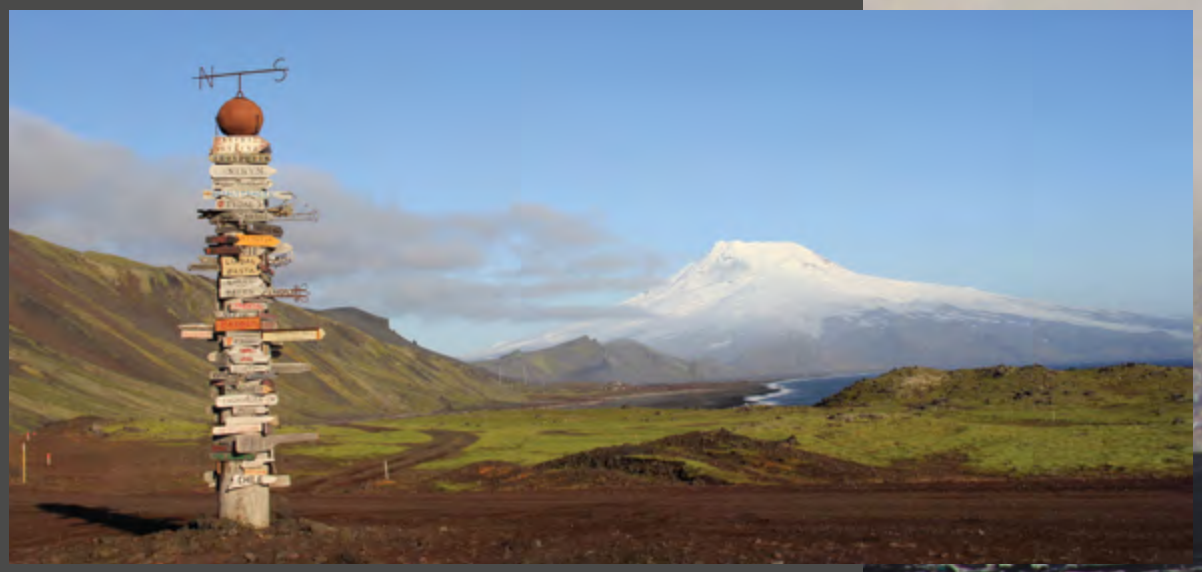
Galileo fournira des services de navigation au niveau mondial, ce qui en retour nécessite un réseau mondial de stations sol, y compris dans certains endroits les plus reculés de la Terre. L'île de Jan Mayen, représentée ici, est un affleurement volcanique dans l'Arctique norvégien, célèbre pour ses conditions météorologiques parmi les pires de la planète – mais elle héberge tout de même une Station de captage Galileo.

La navigation par satellite repose sur le récepteur qui extrait l'heure et le point dans l'espace auxquels un signal a été transmis à un niveau de précision extrêmement élevé. Mais les horloges atomiques à bord d'un satellite pourraient toujours dériver au fil du temps, tout comme son orbite.

Le réseau mondial de stations de captage vérifie l'heure de chaque satellite par rapport au Temps du système Galileo, déterminé par les Centres de gestion précise du temps dans les Centres de contrôle Galileo à Fucino et Oberpfaffenhofen avec une précision de 28 milliardièmes de seconde.

Les orbites des satellites dérivent également, poussées par l'attraction gravitationnelle du léger bourrelet équatorial de la Terre et par celle de la Lune et du Soleil. Même la poussée légère mais continue de la lumière solaire elle-même peut affecter leur trajectoire orbitale. Les stations sol à travers le monde qui reçoivent les signaux Galileo effectuent donc une télémétrie par ondes radio, à l'inverse des satellites qui les émettent, pour localiser précisément leur position exacte et identifier toute dérive orbitale. Après une surveillance de la puissance du signal, les données sont retransmises à la Station de surveillance au sol Galileo par liaison satellite.

La station Jan Mayen de captage et de lien satellite, a été construite sur le seul terrain plat de ce territoire – une plage de sable volcanique noir, jonchée de vieux bois blanchi échoué sur cette île sans arbres au large du continent russe.



En bas du monde

Le site Galileo le plus méridional de tous est la base Troll en Antarctique. Cet établissement norvégien est à 235 km à l'intérieur des terres dans l'air raréfié à 1270 m d'altitude.

Cette combinaison de Station de captage et de Station de liaison montante Galileo – cette dernière étant utilisée pour retransmettre aux satellites les messages de correction de navigation émis par le Segment sol Galileo – est située sur les solides fondations d'un pic montagneux qui s'élève au milieu des glaciers environnants.

Parce que la constellation Galileo tourne aussi haut en orbite, le site de Troll en bas du monde permet simultanément, des liaisons montantes avec les satellites au-dessus des Océans Atlantique, Pacifique et Indien. L'équivalent nordique de Troll, Svalbard dans l'Arctique norvégien, offre une couverture similaire pour les latitudes septentrionales, avec d'autres Stations de liaison montante à travers le monde pour maximiser les opportunités de liaisons montantes de Galileo – les messages de correction de la navigation étant la clé pour maintenir la synchronisation des horloges individuelles des satellites Galileo avec le Temps du Système Galileo.

La base de Troll héberge déjà la station au sol du satellite TrollSat. La base est occupée toute l'année et approvisionnée via un terrain d'aviation sur un glacier à proximité et par des convois terrestres pendant la période de lumière continue du court été antarctique.

→ SURVEILLER NOTRE PLANÈTE NATALE

Rapprochez-vous de la Terre et l'aspect incroyablement varié de sa surface devient plus net. Sous une fragile bande d'atmosphère, c'est là que nous vivons tous, et il faut en prendre soin et la surveiller. De ce point de vue, nous pouvons mieux comprendre le système complexe qu'est la Terre, et en savoir davantage sur ses origines, comment elle fonctionne et son avenir.

L'orbite basse est le domaine des satellites d'observation de la Terre, mais il y a des conséquences à cette vue plus nette. À mesure que la résolution de la vision d'un satellite augmente, son champ de vision diminue, et plus un satellite est en orbite proche de la Terre, plus il doit se déplacer rapidement pour surmonter la traction de la gravité – à 7 km par seconde et plus dans le cas d'Envisat de l'ESA et de missions d'observation de la Terre comparables. Disposés de manière classique sur des orbites nord-sud, les satellites d'observation peuvent couvrir une grande partie de la planète qui tourne en dessous d'eux, mais ne revoient le même endroit que des semaines ou même des mois plus tard.

Une telle faible fréquence de revisite convenait très bien pour les premières missions d'observation, comme la série américaine Landsat, dont les données ont été acquises et archivées par l'ESA pour les scientifiques européens au milieu des années 80, ou les missions radar ERS (satellelite de recherche d'environnement) de l'ESA qui ont suivi au début des années 90. Mais la révélation principale de ces missions pionnières c'est que le monde évolue en permanence. Les images satellites, comme les cartes traditionnelles sur papier, sont obsolètes dès qu'elles existent.

La principale explication de la puissance des satellites d'observation de la Terre en tant qu'outils d'information est leur capacité à faire des revisites régulières. Un aéronef de cartographie, ballotté par les turbulences, peut rarement reproduire sa trajectoire précédente, mais un satellite en orbite le fait sans effort, à chaque fois. Des photographies ou des données consécutives d'un site donné peuvent être comparées avec précision. Cette capacité ajoute une dimension temporelle à la télédétection, ce qui était autrefois impossible ; les différences entre les photos deviennent aussi lumineuses que les photos elles-mêmes, qui capturent la nature complexe et dynamique du système terrestre et le rôle toujours plus perturbateur de l'homme en son sein. Les villes grandissent, les panaches de pollution et les autoroutes traversent des habitats naturels, les lacs s'assèchent et les forêts sont abattues. Les effets des désastres naturels ou provoqués par l'homme sont clairement restitués.

Les missions avec un seul satellite proposent au mieux des vues saisonnières sans garantie de service. Et surveiller des régions entières avec l'amplitude limitée d'un seul satellite revient à naviguer dans une pièce en regardant à travers une paille. Les utilisateurs des données de l'observation de la Terre ont besoin de davantage, surtout depuis que les chercheurs ont été rejoints par des gouvernements nationaux et locaux, des associations internationales, environnementales et de développement, des spécialistes de la sécurité alimentaire, de l'agriculture de précision et des agences de réponse aux catastrophes, pour n'en citer que quelques-uns.

Le satellite Envisat de l'ESA a servi de pionnier dans plusieurs de ces services sur une base expérimentale, et le relevé effectué du changement mondial a souligné le besoin d'une surveillance continue de l'environnement à la disposition des politiciens et des fournisseurs de services publics, aussi bien que des scientifiques. Aucun satellite isolé ne peut répondre à ce besoin, il faut un système qui rassemblera tous les satellites disponibles et d'autres sources de données dans un tableau cohésif unique.

C'est ça la vision derrière Copernicus, une initiative de l'ESA et de la Commission européenne. Ayant identifié le rythme rapide du changement mondial, Copernicus est un moyen de le gérer et d'atténuer ses effets. En combinant toutes les informations disponibles au sol et

dans l'espace dans un tout cohésif, Copernicus fournira des données précises, opportunes et facilement accessibles pour améliorer la gestion de l'environnement, atténuer les effets du changement climatique et assurer la sécurité civile.

La nouvelle génération de satellites Sentinels de l'ESA fonctionnera comme le « Composant spatial » fondateur pour Copernicus, avec deux satellites par mission sur les côtés opposés de la Terre pour augmenter leur couverture et la fréquence de revisite. De plus, le segment sol multi-missions ingérera des données de toutes les sources disponibles – comme c'est déjà le cas.

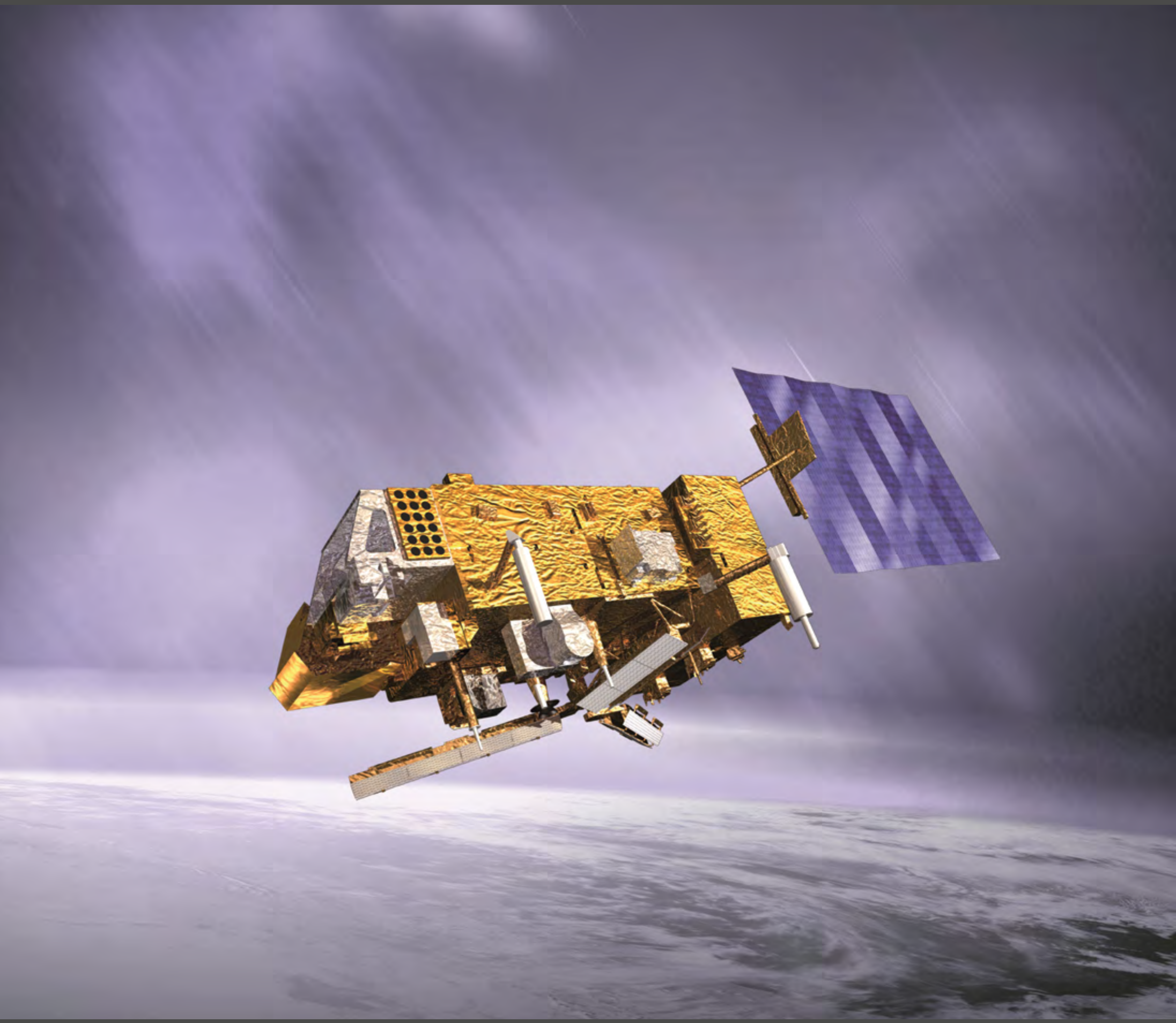
Les services de Copernicus contribueront à renforcer la sécurité civile et procureront des avantages économiques aux citoyens européens et du monde. Ce changement majeur des observations scientifiques de l'ère de l'Envisat vers les besoins opérationnels de Copernicus est un défi, mais l'ESA a déjà accompli quelque chose de comparable auparavant, lors de la transition de ses satellites Météosat de dispositifs expérimentaux vers les ressources opérationnelles qui assistent les prévisions météorologiques européennes jusqu'à présent.

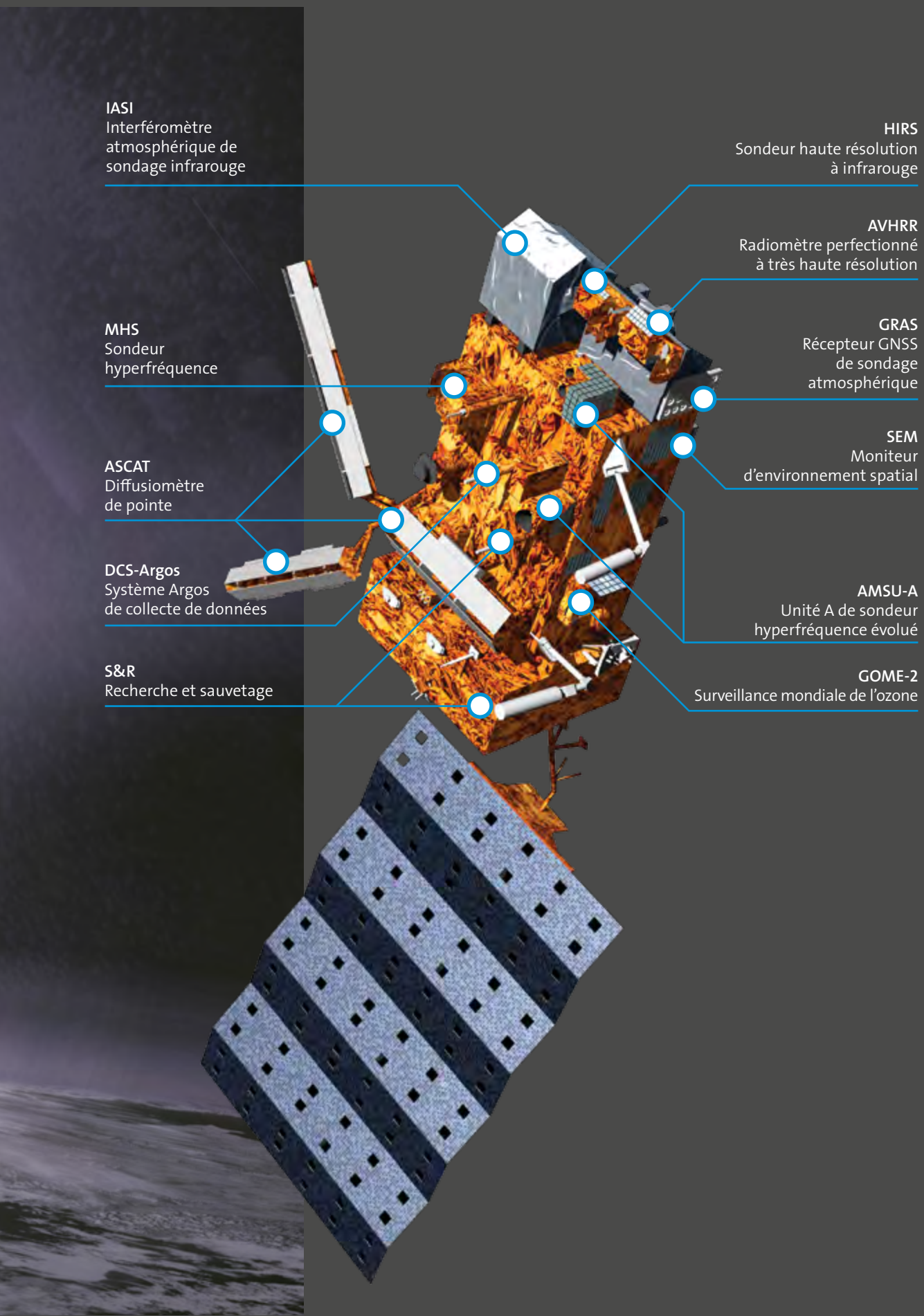
Le point-clé des données que les Sentinels produiront est qu'elles sont accessibles à tous. Aucune distinction n'est faite entre les utilisations publiques, scientifiques et commerciales. Cette disponibilité devrait accélérer le développement des services d'informations géographiques à valeur ajoutée. L'observation de la Terre à partir de l'espace ouvre une nouvelle dimension à la connaissance et aux services d'information qui n'est tout simplement pas disponible d'une autre manière. Ceci à son tour définit de nouveaux marchés et de nouvelles industries, développe de la richesse et crée des emplois pour l'économie de l'Europe.

La cartographie de l'utilisation des sols et la surveillance de l'environnement constituent les principales applications des services d'informations actuels à valeur ajoutée d'observation de la Terre. Depuis 2009, l'ESA explore les possibilités d'innovation et de croissance pour l'industrie spatiale européenne dans ce domaine à travers son Programme d'éléments à valeur ajoutée.

Les projets pilotes ont englobé la cartographie opérationnelle des forêts, la planification d'infrastructures à énergies renouvelables, le suivi de navires pour la défense et l'application de la loi, la capture et le stockage du carbone, l'évaluation des risques pour l'industrie de la réassurance et le géomarketing. À l'avenir, ces nouveaux marchés semblent être destinés à croître, poussés par une mutation vers une économie plus verte et le besoin d'atténuer les dégradations de l'environnement et de s'adapter au changement climatique.

Les nouvelles méthodes d'observation issues de la recherche fondamentale soutiennent ce processus de croissance des services et de développement du marché. Ce processus est poursuivi à travers la nouvelle série de satellites scientifiques de l'ESA, les missions d'exploration de la Terre (Earth Explorers), qui exploitent l'innovation technique pour présenter de nouvelles manières d'observer notre planète. Chaque mission se concentre sur des segments particuliers du système terrestre pour améliorer notre compréhension des processus qui entraînent le changement climatique. Chaque nouvelle mission Earth Explorers pourrait éventuellement être suivie par des missions opérationnelles à l'avenir, une fois que la communauté de la recherche aura décidé de son utilité sur le long terme. Pour l'instant, elles comblent des lacunes béantes dans notre compréhension du monde en évolution. Sans ces efforts soutenus, nos descendants pourraient se trouver sur une planète très différente.



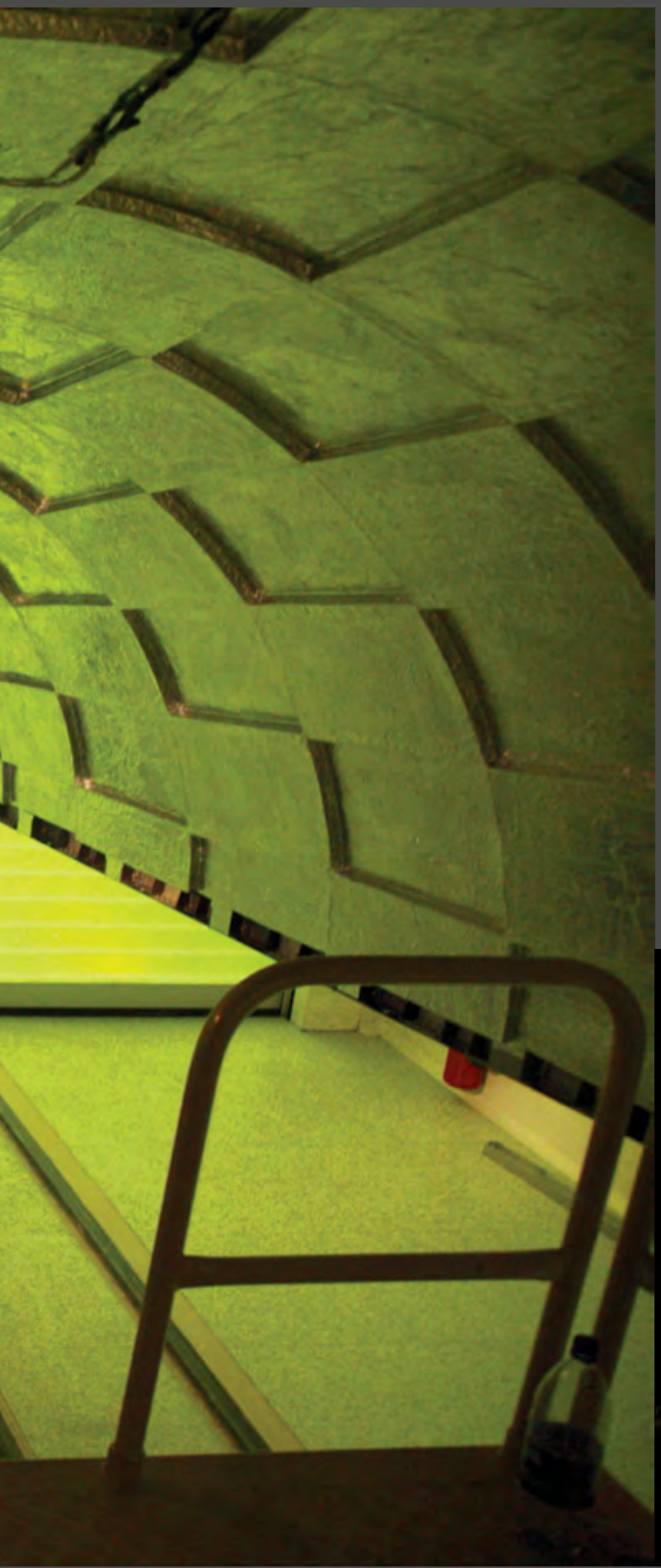


Pôle position

Développée par l'ESA et exploitée par Eumetsat, la série MetOp présente une différence fondamentale par rapport aux satellites météorologiques européens précédents : elle tourne en orbite 40 fois plus près de la Terre, en orbite polaire à environ 800 km d'altitude. L'orbite géostationnaire fournit une large vue en continu sur un tiers de la planète, mais les pôles sont hors de vue et voir des gros plans détaillés implique de se rapprocher.

Le Programme de satellite météorologique opérationnel (MetOp) est la contribution de l'Europe à une collaboration avec l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA), qui fournit des données météorologiques depuis l'orbite polaire depuis plus de 45 ans gratuitement aux utilisateurs à travers le monde. MetOp-A, le premier satellite de la série, a remplacé l'un des deux services de satellite exploités auparavant par la NOAA, et par la suite la responsabilité de tels services a été partagée entre les États-Unis et l'Europe.

MetOp-A est conçu pour travailler conjointement avec le système de satellites NOAA dans lequel les deux satellites volent en orbites complémentaires. L'orbite polaire de MetOp-A est héliosynchrone, c'est-à-dire que la route du satellite par rapport au sol est toujours à la même heure locale, en l'occurrence en milieu de matinée. NOAA continue d'exploiter son satellite en orbite de milieu d'après-midi. En septembre 2012, MetOp-B a rejoint MetOp-A en orbite polaire pour assurer la continuité des services de prévisions, au cas où le premier satellite relativement ancien tomberait en panne.



Ascension de MetOp

Des techniciens nettoient l'intérieur de la coiffe du Soyouz-ST qui lancera un deuxième satellite européen MetOp depuis le cosmodrome de Baïkonour au Kazakhstan en 2012. La photo du bas montre le satellite pendant son lancement en septembre.

La coiffe de 4,1 m de diamètre de Soyouz-ST a permis d'y loger à la fois le satellite et le quatrième étage Fregat qui a placé MetOp-B sur son orbite finale. Il suivait le premier satellite de la série, MetOp-A, lancé le 19 octobre 2006. Le satellite a terminé sa mise en service et a commencé à être utile aux météorologues et aux climatologistes au mois de mai suivant.

MetOp emporte des instruments embarqués auparavant par les satellites NOAA, et il est équipé de nouveaux capteurs pour mesurer la température et l'humidité, la vitesse et la direction du vent à la surface de l'océan, les concentrations d'ozone et les autres traces de gaz.

Aujourd'hui, les observations rapprochées de MetOp représentent une aide importante pour les prévisions météorologiques numériques auxquelles l'Europe et le monde se fient pour offrir des prévisions météorologiques précises. Il est essentiel de maintenir la couverture, donc une série de satellites MetOp est prête à combler chaque lacune. Le troisième satellite de la série, MetOp-C, doit être lancé depuis la Guyane française autour de 2018. L'ESA supervise le processus d'achat de MetOp pour le compte de d'Eumetsat.

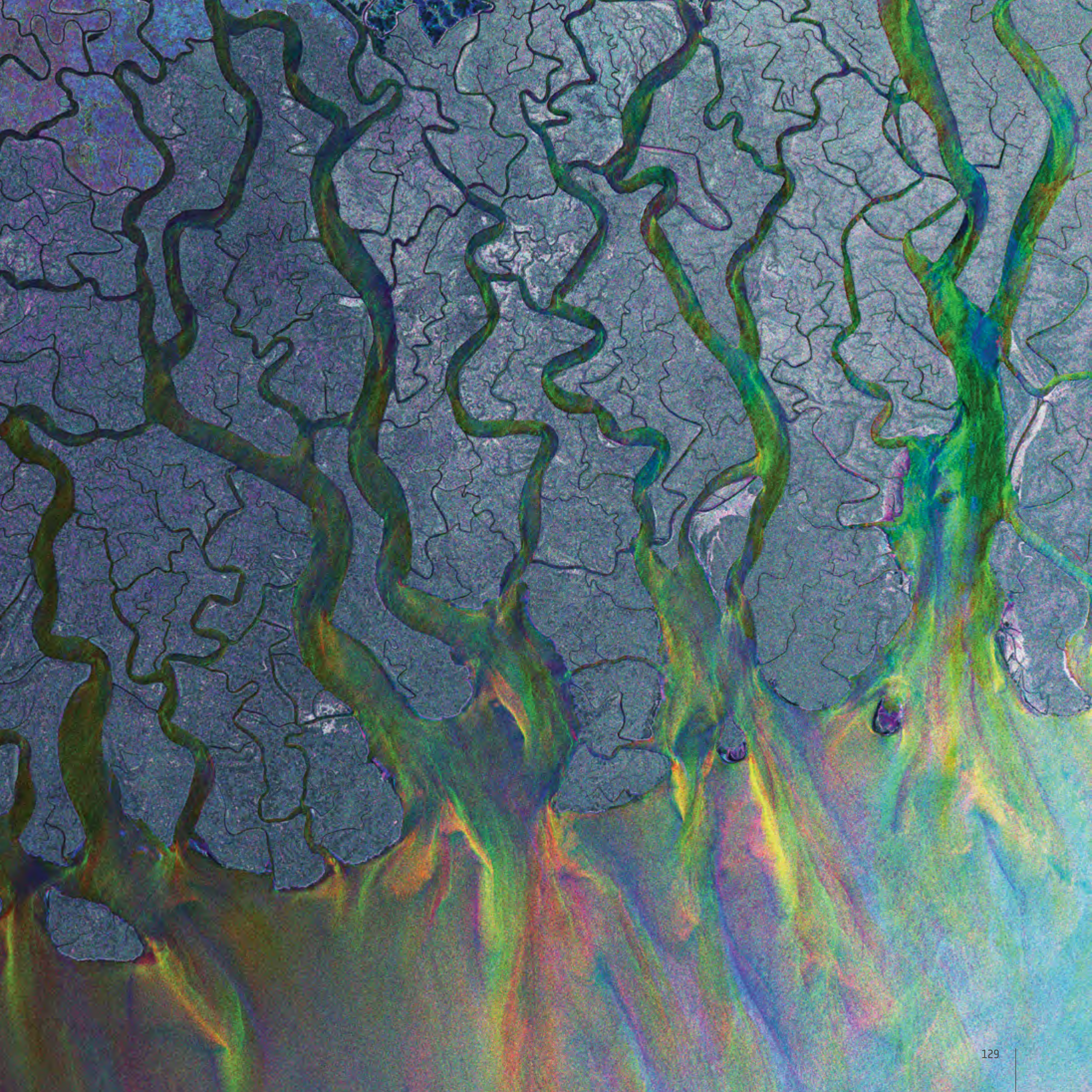
Vision radar

Les premières missions de l'ESA qui observent la Terre ont été les satellites météorologiques de la famille Météosat. Les missions d'observation de la terre de l'Agence qui ont suivi ont vu notre planète natale d'une façon totalement nouvelle. Alors que les séries de satellites américains Landsat et français Spot fonctionnaient à des longueurs d'ondes visibles, les deux satellites de télédétection de l'ESA – ERS-1 lancé en 1991 et ERS-2 en 1995 – et la mission Envisat qui a suivi (2002) ont effectué des relevés de la terre, de la mer et de la glace par radar.

Les images radar, comme cette image du Radar à synthèse d'ouverture ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) d'Envisat du Delta du Gange (page ci-contre), paraissent très différentes des vues satellites standard basées sur la lumière réfléchie. Les satellites radar envoient des impulsions vers la planète située en dessous et enregistrent les modèles de rétrodiffusion qui en résultent. L'imagerie radar révèle ainsi la texture de la surface, et elle est potentiellement capable de différencier des types de végétation et de cultures, la terre humide de la terre sèche, les irrégularités à la surface des océans, différents types de glace et de structures artificielles. La photo ci-dessous présente la même région à la lumière visible, vue par MERIS, l'un des instruments de d'Envisat. L'image de droite révèle les reflets brillants des bateaux rassemblés pour la « Revue internationale de la flotte » dans le Solent en 2005 entre Portsmouth et l'île de Wight, au Royaume-Uni. Le repérage des navires est une application satellite radar particulièrement active ; les mêmes techniques fonctionnent également bien pour les icebergs. Les radars peuvent percer les nuages et l'obscurité locale pour observer la Terre en continu.

De plus, les images radar prises au-dessus du même point à des heures différentes peuvent être mathématiquement combinées de différentes manières pour souligner les changements. Cette image du Gange par exemple provient de trois images différentes et les couleurs montrent les différences saisonnières. D'autres images soulignent de minuscules décalages de l'ordre du millimètre dans le paysage, comme un mouvement tectonique, les failles sismiques ou l'affaissement d'un tunnel.

Les missions ERS ont également transporté des altimètres radar pour déterminer l'altitude du sol et de la mer sur la Terre et des radiomètres pour surveiller leur température et leurs propriétés de réflexion. L'Envisat de génération suivante a encore élargi la vision de l'Europe, avec un imageur multispectral parmi ses 10 instruments.



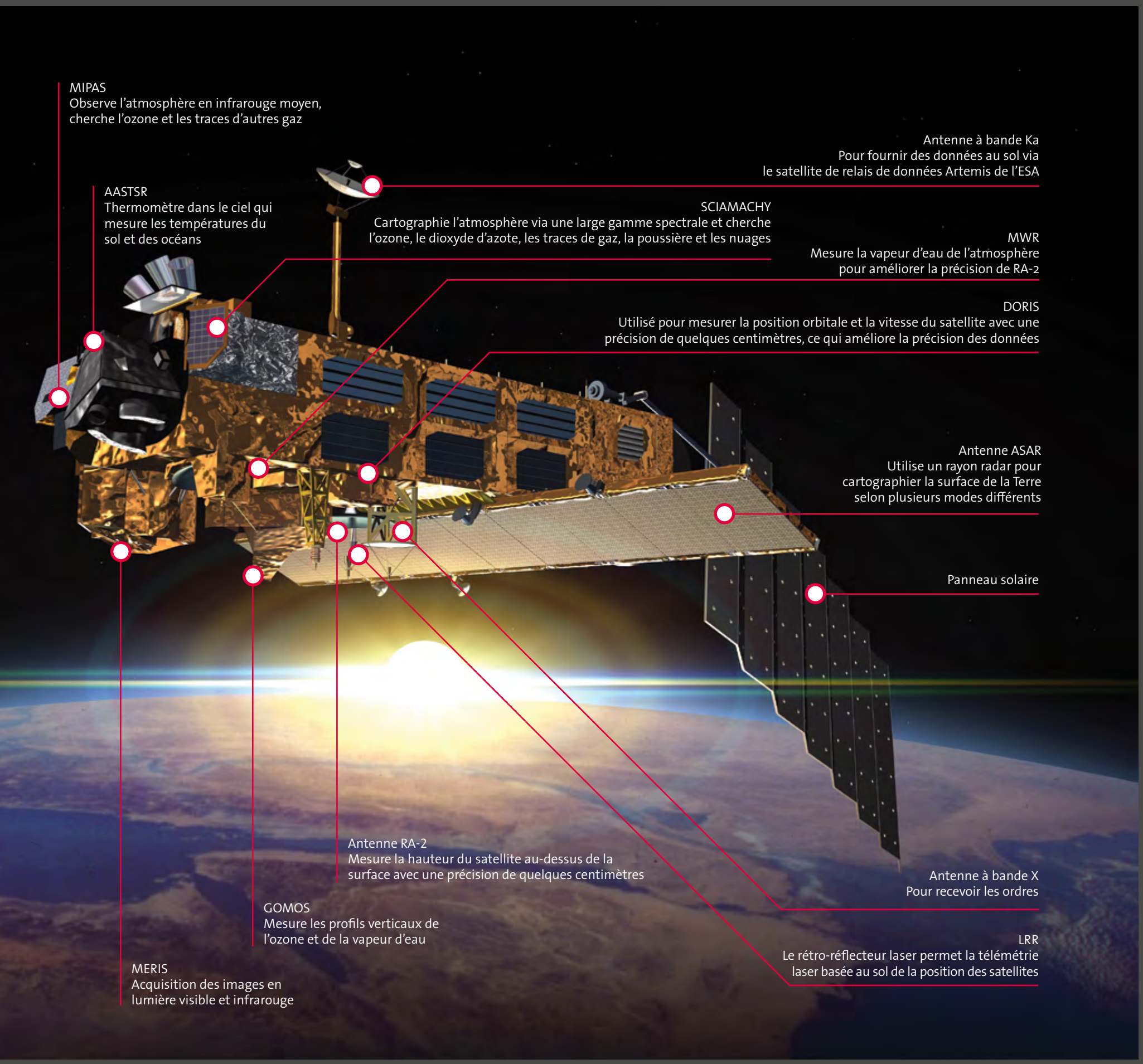
Envisat : 10 ans de vie sur la Terre

Envisat – pour « Environmental Satellite » (satellite environnemental) – a été la plus grande mission civile d'observation de la Terre qui ait jamais volé. Pendant plus de dix ans – le double de la durée de vie opérationnelle prévue – ses 10 instruments optiques et radar sophistiqués – ont observé en continu le sol, l'atmosphère, les océans et les calottes glaciaires de notre planète. Le résultat a été le tableau le plus riche et le plus détaillé du système terrestre jamais réalisé par un satellite unique.

Lancé aux premières heures du 1er mars 2002 de Guyane française, le satellite de huit tonnes de la taille d'un camion a tourné autour de la Terre 14 fois par jour à 7,45 km/s. Envisat a été une contribution européenne majeure à un problème imminent : Le climat de la terre change plus rapidement qu'à n'importe quelle époque depuis la fin du dernier âge de glace, il y a 10 000 ans. Les scientifiques et les décideurs s'accordent sur le fait que le changement climatique est le problème le plus important auquel notre planète doit faire face aujourd'hui.

Envisat a peint un portrait combiné de notre planète qui évolue rapidement, ses instruments radar élargissant les enregistrements des missions d'observation précédentes ERS-1 et -2 de l'ESA avec une perspective multi-capteurs élargie. Le satellite s'est révélé être un outil important pour la science de la Terre : environ 2000 articles scientifiques sont basés sur ses résultats. De manière tout aussi importante, les données d'Envisat ont contribué à la création d'une large gamme de services opérationnels d'informations environnementales, donnant ainsi aux instances de protection de l'environnement et aux décideurs la meilleure compréhension possible du monde naturel, pour le protéger, avec le soutien des activités de sécurité civile.

La perte d'Envisat est survenue après 10 ans d'opérations fructueuses. Ayant prouvé l'utilité des données radar et spectrométriques en continu, d'autres missions lui ont emboité le pas. Des missions comme Radarsat-2 du Canada, TerraSAR-X d'Allemagne, Cosmo-Skymed d'Italie et la « Constellation pour la surveillance des catastrophes » du Royaume-Uni aident à minimiser les lacunes de données pour les utilisateurs entre le point final d'Envisat et le lancement de ses successeurs, les Sentinels.


MIPAS
Observe l'atmosphère en infrarouge moyen, cherche l'ozone et les traces d'autres gaz
AASTSR
Thermomètre dans le ciel qui mesure les températures du sol et des océans
Antenne à bande Ka
Pour fournir des données au sol via le satellite de relais de données Artemis de l'ESA
SCIAMACHY
Cartographie l'atmosphère via une large gamme spectrale et cherche l'ozone, le dioxyde d'azote, les traces de gaz, la poussière et les nuages
MWR
Mesure la vapeur d'eau de l'atmosphère pour améliorer la précision de RA-2
DORIS
Utilisé pour mesurer la position orbitale et la vitesse du satellite avec une précision de quelques centimètres, ce qui améliore la précision des données
Antenne ASAR
Utilise un rayon radar pour cartographier la surface de la Terre selon plusieurs modes différents
Panneau solaire
Antenne RA-2
Mesure la hauteur du satellite au-dessus de la surface avec une précision de quelques centimètres
Antenne à bande X
Pour recevoir les ordres
GOMOS
Mesure les profils verticaux de l'ozone et de la vapeur d'eau
LRR
Le rétro-réflecteur laser permet la télémétrie laser basée au sol de la position des satellites
MERIS
Acquisition des images en lumière visible et infrarouge

Les Sentinels : surveillance orientée

La nouvelle famille de l'ESA des missions Sentinels est la fondation dans l'espace de Copernicus, qui fournit des données d'observation de la Terre pour alimenter une gamme de services opérationnels pour la surveillance de l'environnement et pour soutenir la protection civile.

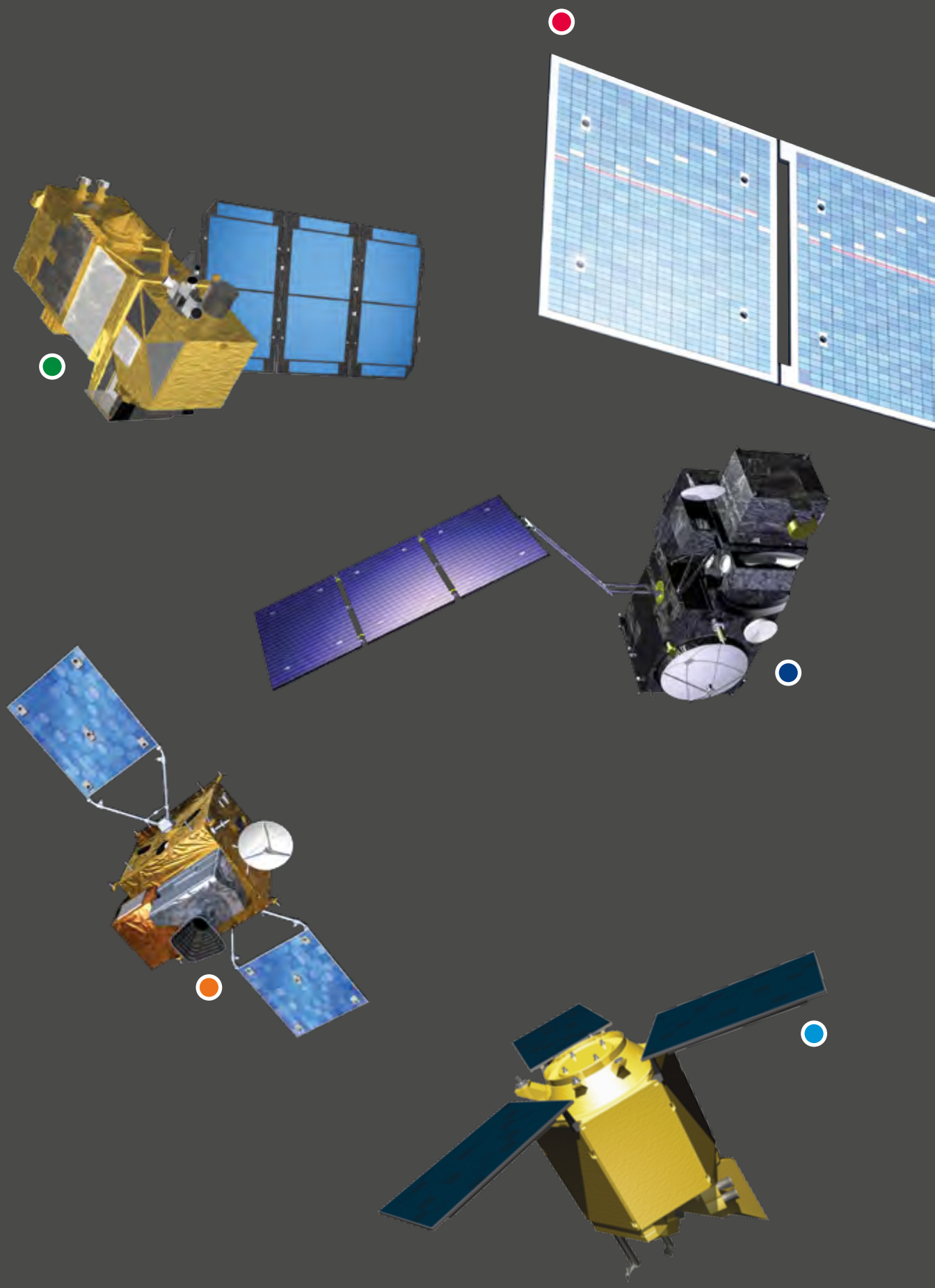
Le satellite multi-fonctions Envisat a démontré la faisabilité d'une large gamme de services d'information sur l'environnement. Cependant il est devenu rapidement clair que pour rendre ces services suffisamment robustes et opportuns pour être fiables d'un point de vue opérationnel, il faudrait bien plus qu'un unique satellite expérimental. C'est pourquoi cette nouvelle génération voit les différentes fonctions d'observation d'Envisat réparties entre différentes missions individuelles plus petites. Et chaque mission est constituée de deux satellites placés sur les côtés opposés de la même orbite pour couvrir davantage de la planète, plus rapidement.

Les cinq familles des Sentinels de l'ESA fourniront des données à Copernicus et à des missions d'autres agences spatiales, appelées Missions de contribution. Un segment sol unique, à travers lequel les données sont diffusées et mises à la disposition des services de Copernicus, complète la composante spatiale.

Alors que les satellites Sentinels sont développés spécialement pour les besoins du programme, les Missions de contribution fournissent déjà une profusion de données pour les services Copernicus et continueront à fournir des données complémentaires après la mise en orbite des Sentinels.

- Sentinel-1 est une mission d'imagerie radar en orbite polaire tout-temps, jour et nuit, pour les services terrestres et océanographiques. Le lancement du premier satellite Sentinel-1 est prévu en 2014.
- Sentinel-2 est une mission d'imagerie multi-spectrale à haute résolution en orbite polaire pour la surveillance des terres qui fournira, par exemple, des images de la végétation, de la couverture des terres et des eaux, des voies navigables intérieures et des zones côtières. Sentinel-2 fournira aussi des informations pour les services d'urgence. Le lancement du premier satellite Sentinel-2 est prévu en 2015.
- Sentinel-3 est une mission multi-instruments en orbite polaire pour mesurer des variables comme la topographie de la surface de la mer, la température à la surface de la mer et du sol, la couleur de l'océan et la couleur du sol avec une grande précision et une grande fiabilité. Le lancement du premier satellite Sentinel-3 est prévu en 2015.
- Sentinel-4 est une charge utile qui sera transportée par un satellite sondeur Météosat de Troisième Génération (Meteosat Third Generation-Sounder : MTG-S) en orbit géostationnaire, prévue pour être lancé en 2019. Sentinel-4 est dédié à la surveillance de l'atmosphère.
- Sentinel-5 est une charge utile qui sera transportée par un satellite MetOp de deuxième génération dont le lancement est prévu en 2021. Sentinel-5 est dédié à la surveillance de l'atmosphère.

Le lancement de Sentinel-5 Precursor est prévu en 2015, pour minimiser les lacunes de données entre Envisat et Sentinel-5. Cette mission sera dédiée à la surveillance de l'atmosphère.



Quelque chose dans l'air

Vue de l'espace, notre atmosphère est mince – environ 100 km seulement – et relativement vulnérable, du moins quand elle est observée avec des yeux non-humains. Cette carte atmosphérique globale à haute résolution de la pollution au dioxyde d'azote montre clairement à quel point les activités humaines affectent la qualité de l'air.

Le spectromètre d'absorption à balayage pour la cartographie de l'atmosphère de l'Envisat, ou Sciamachy, a enregistré le spectre de la lumière solaire brillant à travers l'atmosphère. Ces résultats ont ensuite été finement passés au crible pour trouver les « empreintes » de traces de gaz dans l'air.

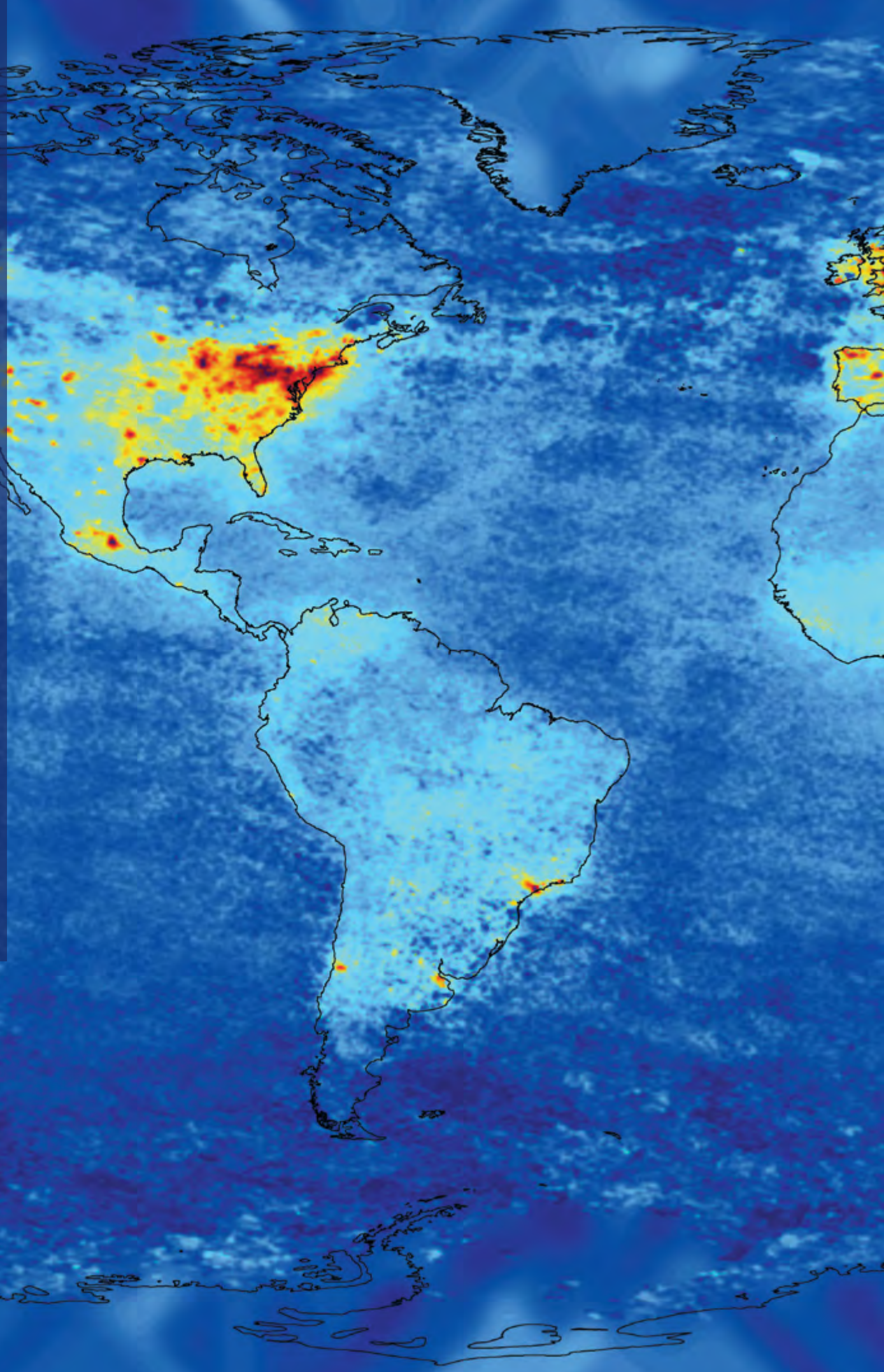
Le dioxyde d'azote est essentiellement un gaz produit par l'homme, qui provoque des lésions pulmonaires et des problèmes respiratoires en cas d'exposition excessive. Il joue également un rôle important dans la chimie de l'atmosphère car il conduit à la production d'ozone dans la troposphère, qui est la partie inférieure de l'atmosphère, située entre 8 et 16 km d'altitude.

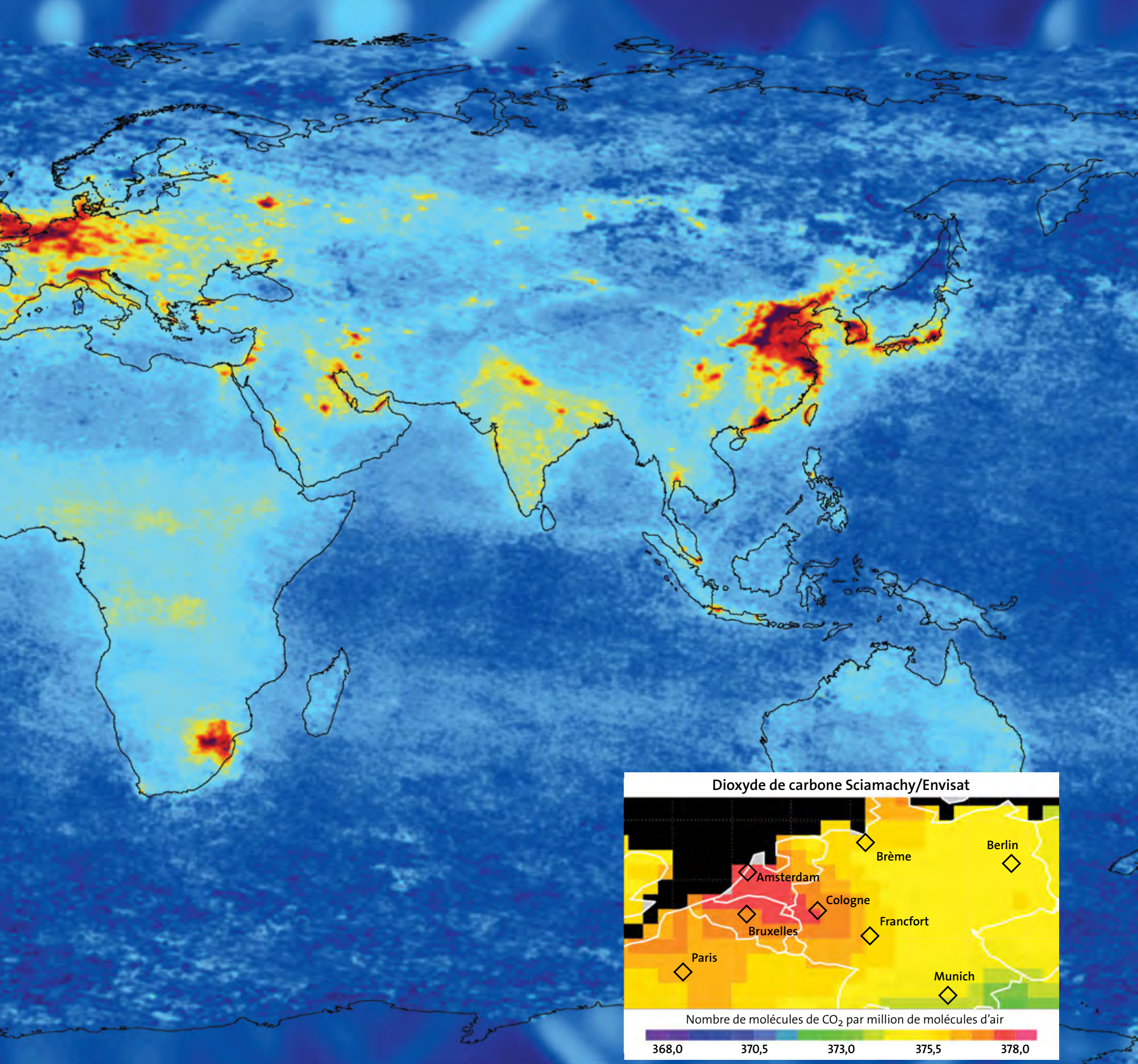
Les oxydes d'azote sont produits par les émissions des centrales électriques, de l'industrie lourde et du transport routier, ainsi que par la combustion de la biomasse. La foudre crée aussi des oxydes d'azote naturellement, tout comme l'activité microbienne dans la terre.

Des mesures in-situ localisées du dioxyde d'azote atmosphérique sont réalisées dans plusieurs pays industrialisées occidentaux, mais elles sont trop peu nombreuses.

Les capteurs des satellites sont le seul moyen d'effectuer une surveillance globale efficace, en observant l'atmosphère sous différentes coupes horizontales et verticales. Les imageurs optiques révèlent des niveaux de poussière atmosphérique autour du monde qui affectent à la fois le forçage climatique et la santé humaine.

Ces résultats, collectés à une échelle globale ou régionale, peuvent être assimilés dans des modèles numériques des niveaux de pollution autour des principaux centres de population, pour prévoir la qualité de l'air, fournie dans un service de Copernicus appelé « Promote ».




Dioxyde de carbone Sciamachy/Envisat
Brème
Berlin
Amsterdam
Cologne
Francfort
Bruxelles
Paris
Munich
Nombre de molécules de CO_2 par million de molécules d'air
368,0
370,5
373,0
375,5
378,0

Un trou dans le ciel

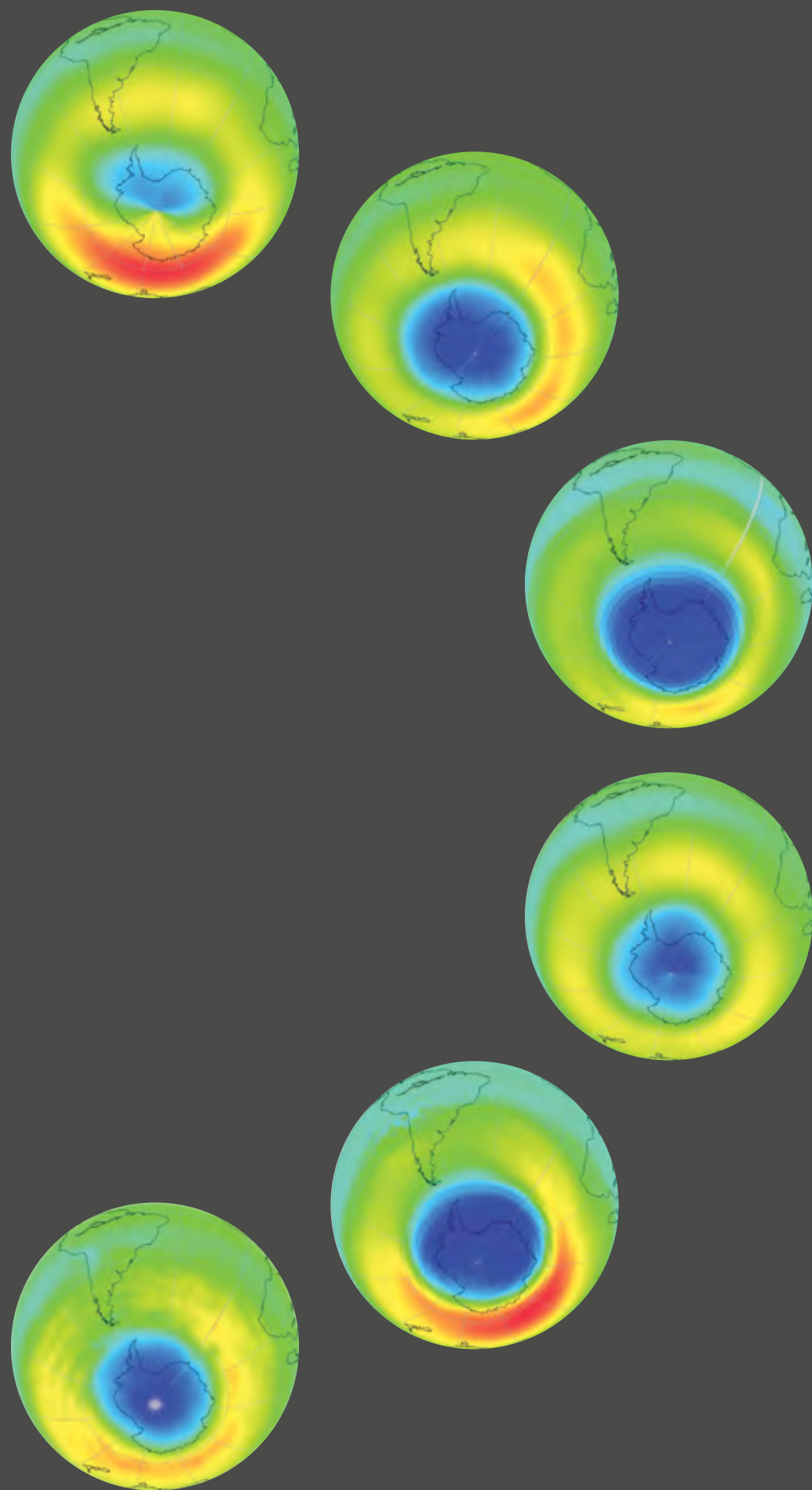
Le trou saisonnier dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique relevé par le capteur Sciamachy d'Envisat (page ci-contre). Ce trou dans la couche protectrice de l'atmosphère a été découvert par des chercheurs au sol dans l'Antarctique dans les années 80 mais leurs découvertes semblaient tellement choquantes que des observations satellites ont été nécessaires pour les confirmer.

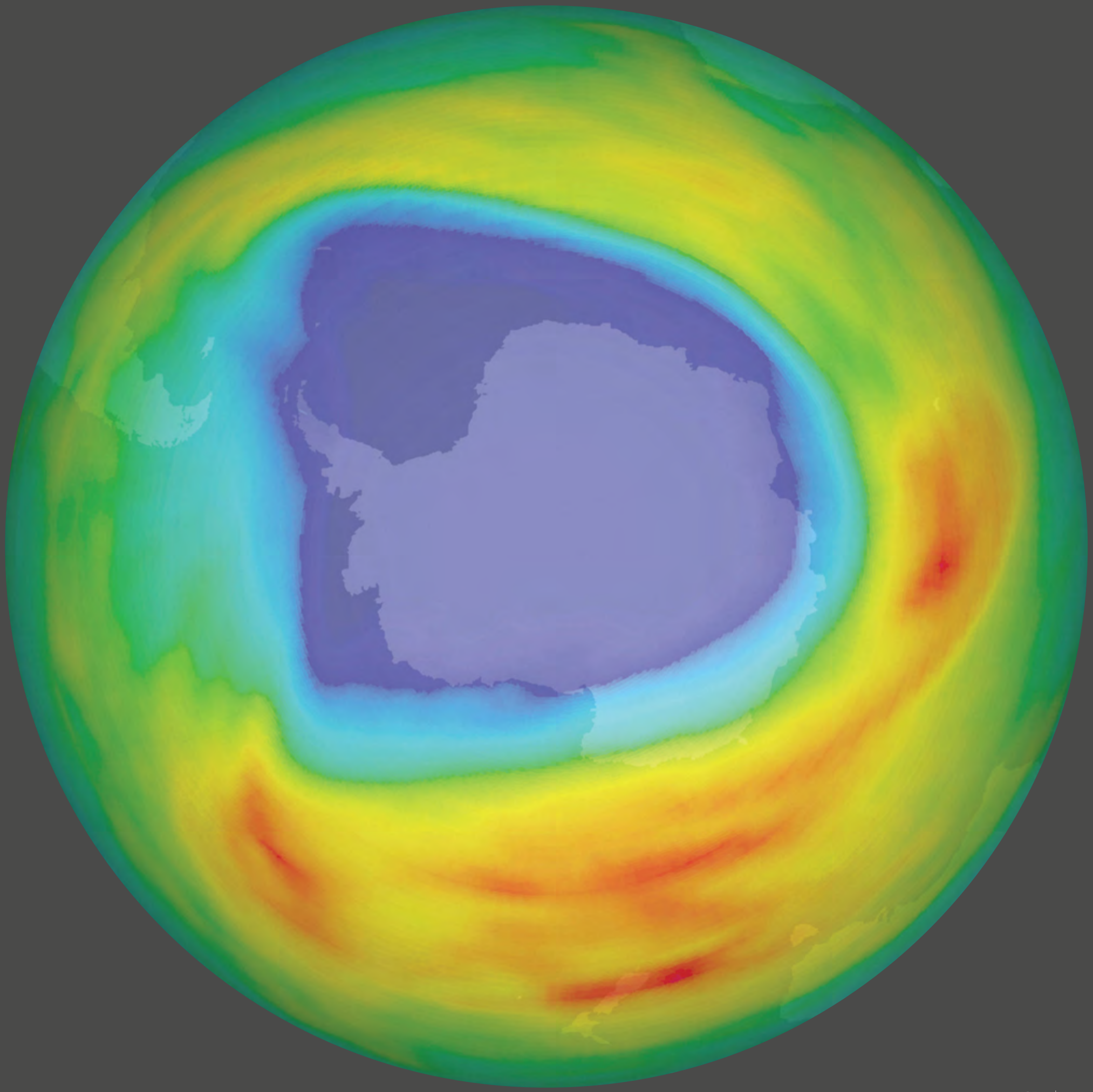
Située à une altitude de 25 km environ, la couche d'ozone filtre le rayonnement solaire et protège la vie sur Terre des dangereux rayons ultraviolets, qui peuvent augmenter le risque de cancer de la peau et de cataracte et affecter la vie marine. La diminution de l'ozone est provoquée par des températures extrêmement basses à haute altitude et par des gaz destructeurs de l'ozone comme le chlore et le brome, issus de produits fabriqués par l'homme comme les chlorofluorocarbones, qui ont été supprimés progressivement par le Protocole de Montréal en 1987 mais qui continuent à flotter dans l'atmosphère.

En 2008, la zone représentée ici de la couche d'ozone amincie au-dessus du Pôle sud atteignait environ 27 millions de km², comparée à une extension record du trou dans la couche d'ozone de 29 millions de km² en 2006 – à peu près la taille du continent Nord-américain.

La taille du trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique varie d'une année à l'autre selon les conditions météorologiques. Pendant l'hiver austral, l'atmosphère au-dessus de l'Antarctique est coupée des échanges avec l'air des latitudes moyennes par les vents dominants connus sous le nom vortex polaire – la zone dans laquelle a lieu la principale destruction de l'ozone chimique. Le vortex polaire se caractérise par de très basses températures qui génèrent des nuages polaires stratosphériques.

Au moment de l'arrivée du printemps polaire en septembre ou octobre, la combinaison du rayonnement solaire qui revient et de la présence de nuages polaires stratosphériques provoque la libération de radicaux de chlore très réactifs à l'ozone, qui réduisent l'ozone en molécules individuelles d'oxygène. Une seule molécule de chlore peut détruire des milliers de molécules d'ozone – et d'autres trous saisonniers plus petits dans la couche d'ozone se trouvent au-dessus de l'Arctique, s'étendant parfois au-dessus de l'Europe. Un certain nombre d'instruments de satellites ont poursuivi la surveillance des trous dans la couche d'ozone polaire à partir de GOME de l'ERS-2 (voir les images à gauche), et c'est maintenant GOME-2 de MetOp qui collecte les données.





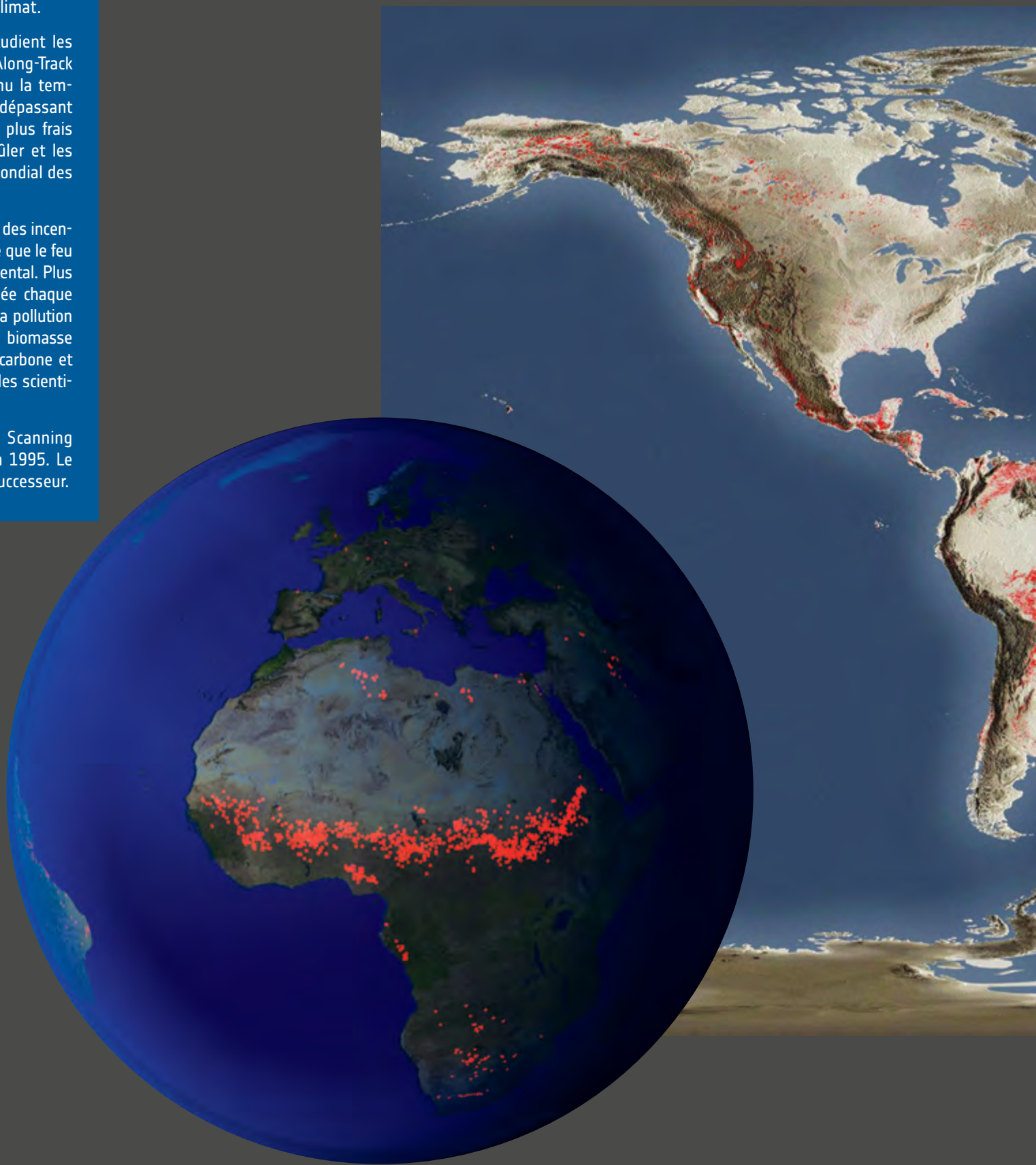
Planète de feu

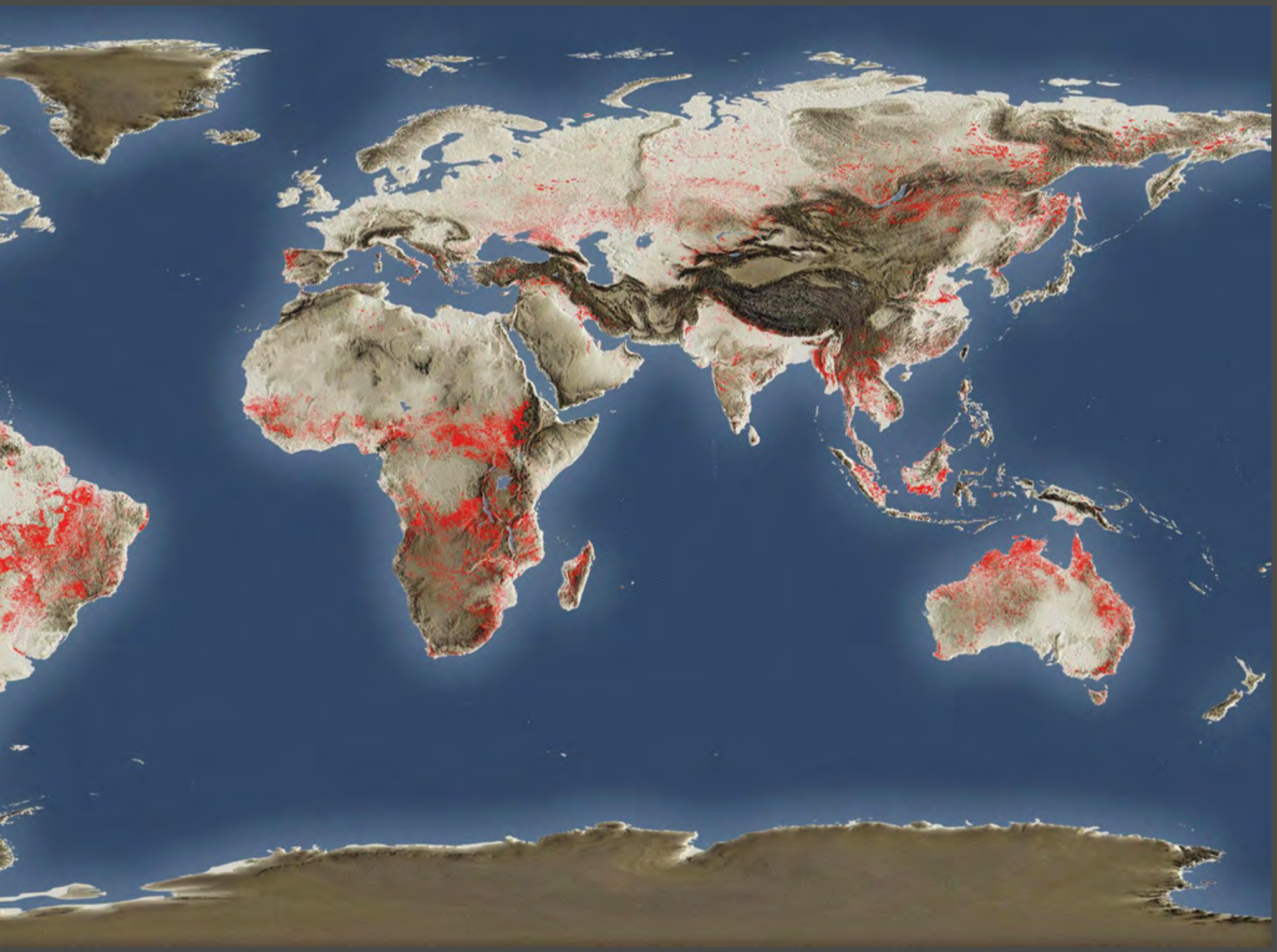
La terre est unique de manière parfois surprenante. Avec son atmosphère d'oxygène, elle est la seule planète connue où le feu peut brûler librement. Ceci a des conséquences importantes pour notre environnement et notre climat.

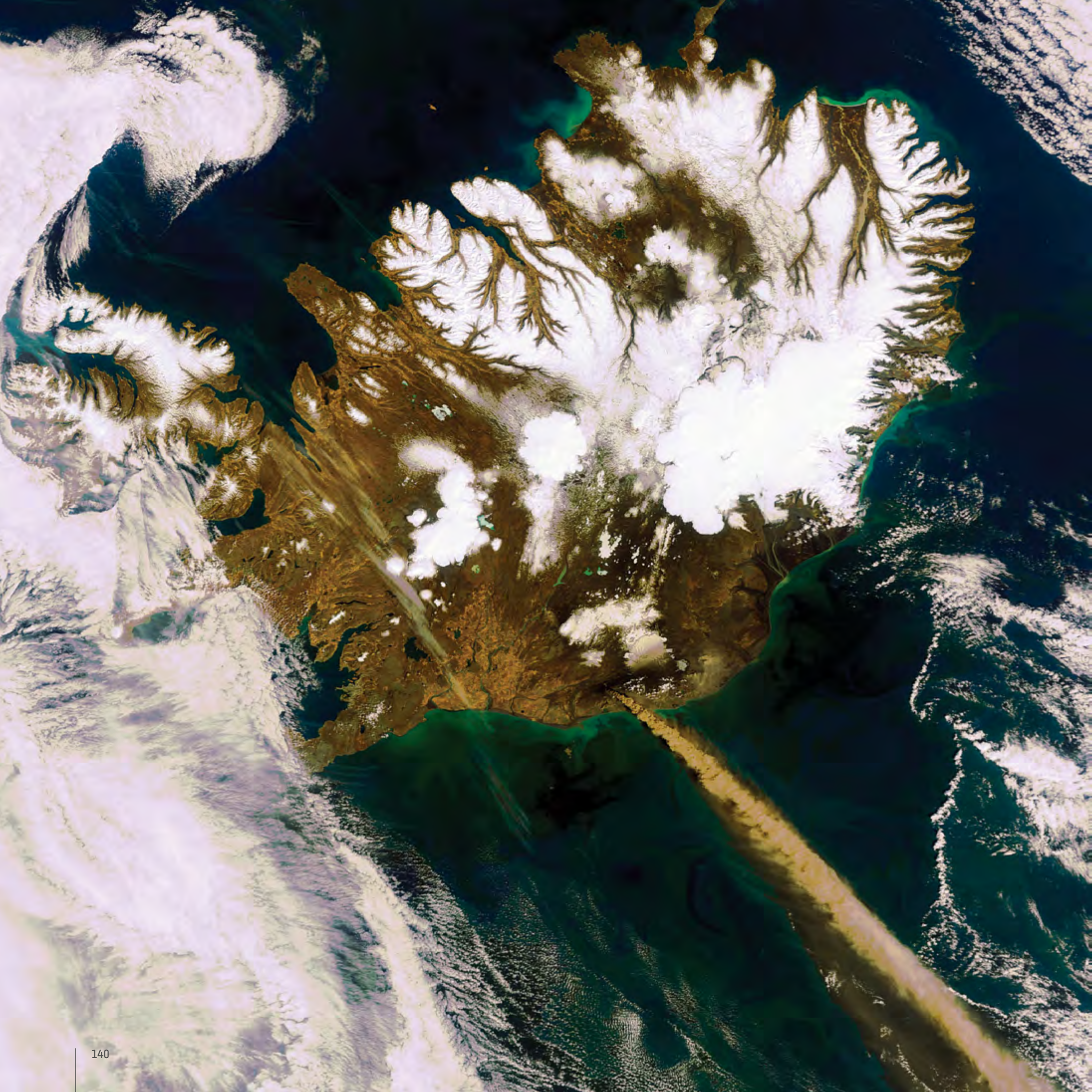
Depuis plus de 15 ans, les satellites de l'ESA étudient les incendies qui brûlent sur la Terre. Le Advanced Along-Track Scanning Radiometer d'Envisat a relevé en continu la température sur terre et en mer. Les températures dépassant 38,85 °C la nuit – quand le sol environnant est plus frais – sont classées comme des feux en train de brûler et les informations sont utilisées pour produire l'Atlas mondial des incendies ATSR.

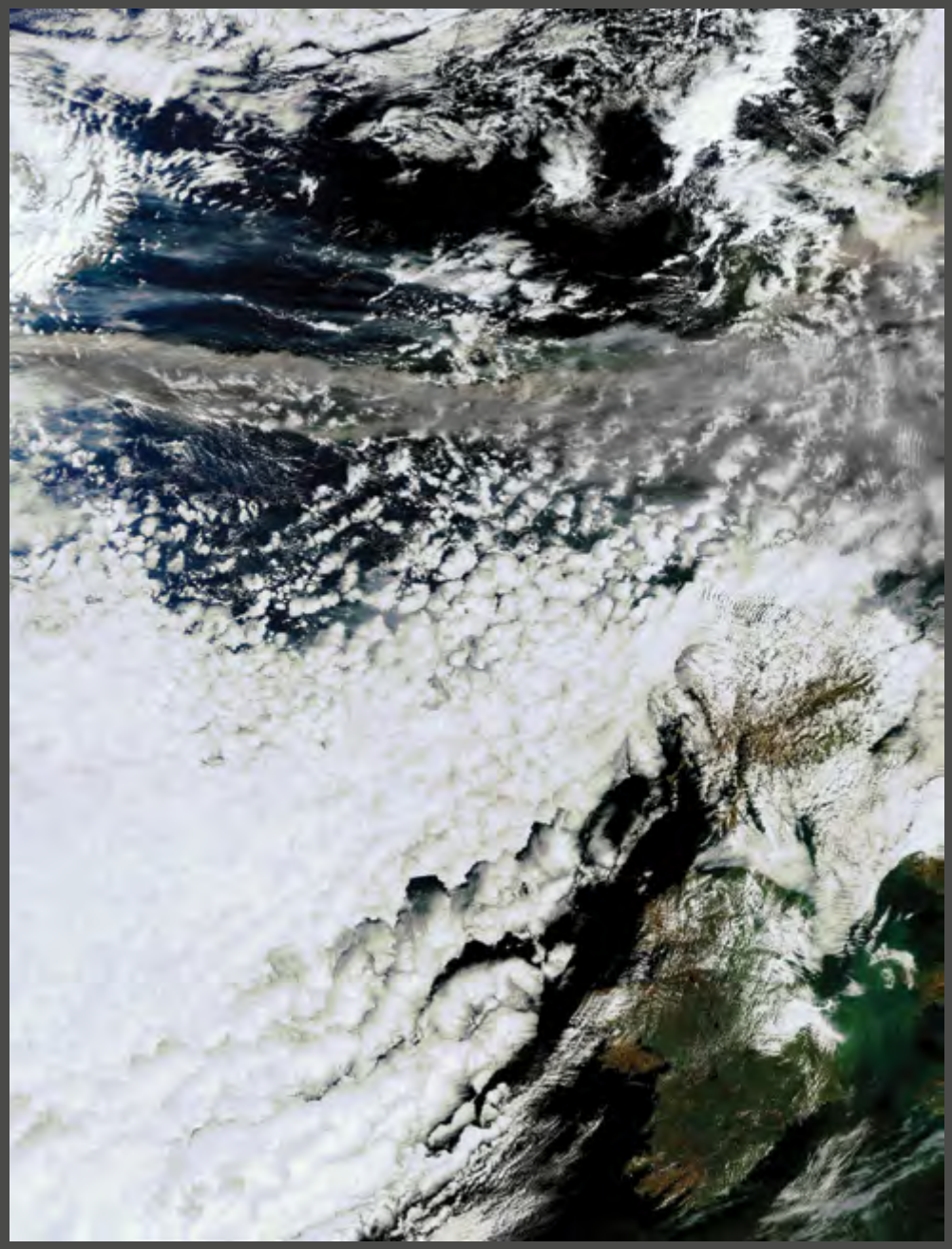
Premier atlas pluriannuel de ce type, l'Atlas mondial des incendies est une ressource scientifique importante parce que le feu est un élément majeur du changement environnemental. Plus de 50 millions d'hectares de forêt partent en fumée chaque année et ces incendies ont un effet significatif sur la pollution atmosphérique mondiale, la combustion de la biomasse contribuant aux budgets mondiaux du dioxyde de carbone et des autres gaz à effet de serre. Des dizaines d'articles scientifiques ont été basés sur les données de l'Atlas.

Avant Envisat, l'atlas se fiait au Along-Track Scanning Radiometer du satellite ERS-2 de l'ESA, lancé en 1995. Le Sentinel-3 de l'ESA transportera un instrument successeur.









Épousseter les cieux

Quand le volcan islandais Eyjafjallajökull est entré en éruption explosive sous sa calotte glaciaire en avril 2010, il a projeté des cendres minérales à 10 km d'altitude dans l'atmosphère, ainsi fermant la plus grande partie de l'espace aérien européen pendant plusieurs jours en avril et en mai. Cette forte concentration de particules abrasives risquait de rayer les ailes des avions et les ventilateurs d'admission, et de boucher les moteurs.

Les satellites ont traqué le déplacement de la poussière alors qu'un continent bloqué au sol attendait que le ciel s'éclaircisse. Sur l'image principale prise par l'instrument MERIS du satellite Envisat de l'ESA le 11 mai 2010, on voit un lourd panache de cendre se déplaçant vers le sud-est à partir du volcan en éruption. Le panache gris brun a une longueur de 400 km environ. Des techniques spéciales ont été utilisées pour mesurer la « hauteur du sommet du nuage » de cendre. Les deux images ont été prises à pleine résolution, ce qui donne une distance d'échantillonnage du sol de 300 m. L'image du bas de la Caméra à haute résolution sur le microsatellite Proba-1 de l'ESA donne une vue en gros plan avec une résolution de 5 m du point de départ du panache, prise le 20 avril.

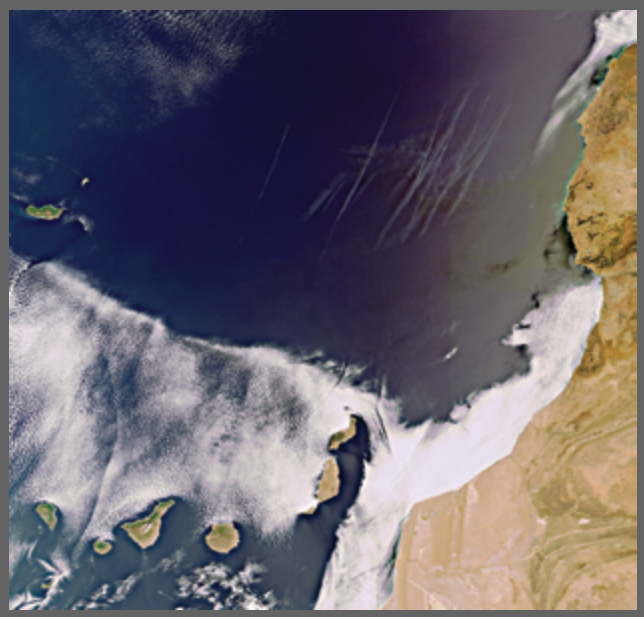
Lignes de vol

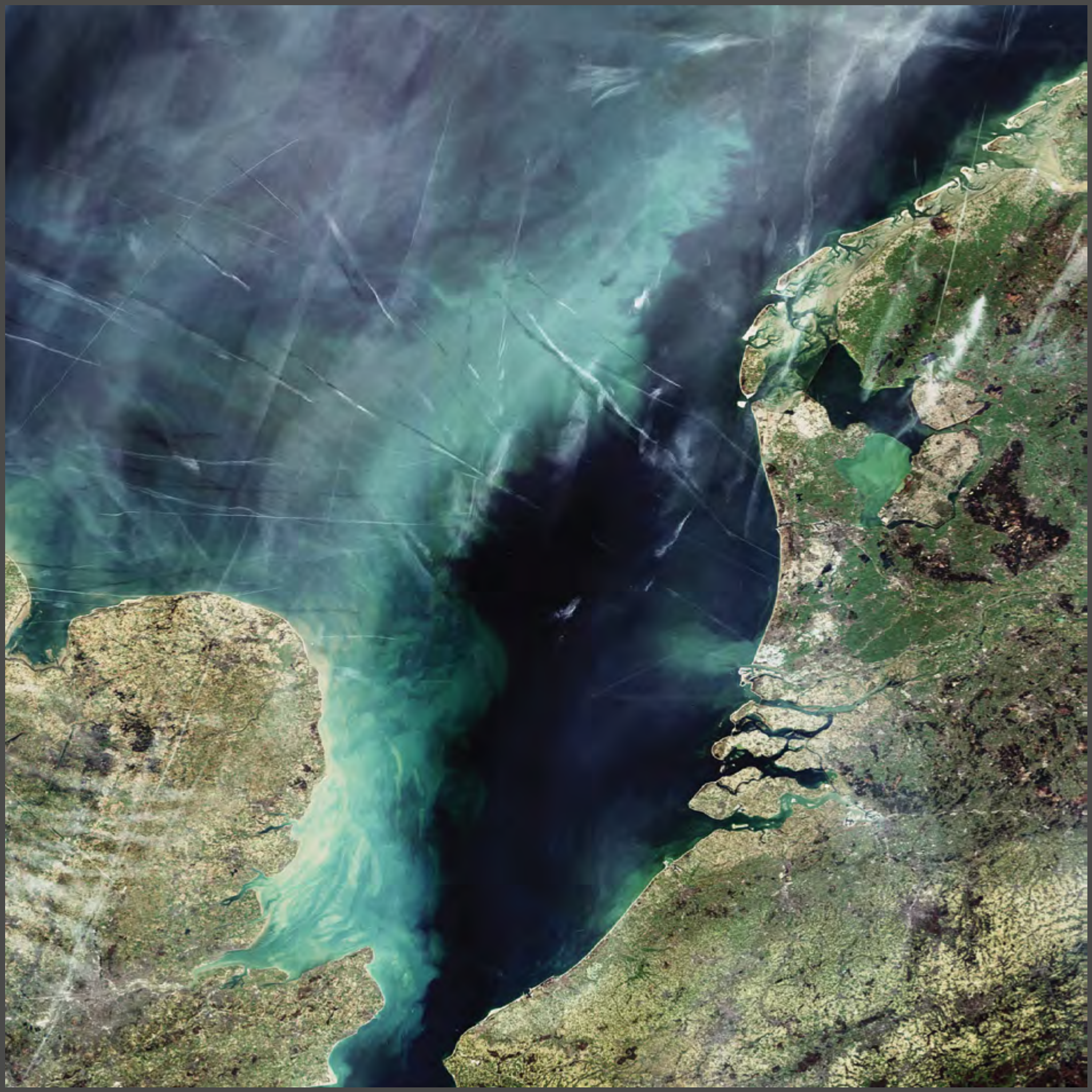
L'espace aérien de l'Europe est le plus actif au monde – avec des conséquences visibles en orbite. L'image MERIS de l'Envisat sur la mer du Nord capture de nombreuses trainées de condensation d'avions ainsi qu'une partie des Pays-Bas (en haut à droite), de la Belgique (en bas à droite) et de l'Angleterre (en bas à gauche). L'image du bas montre des trainées de condensation similaires dans les approches sud vers notre continent, au-dessus de l'Atlantique-Nord et des Îles Canaries.

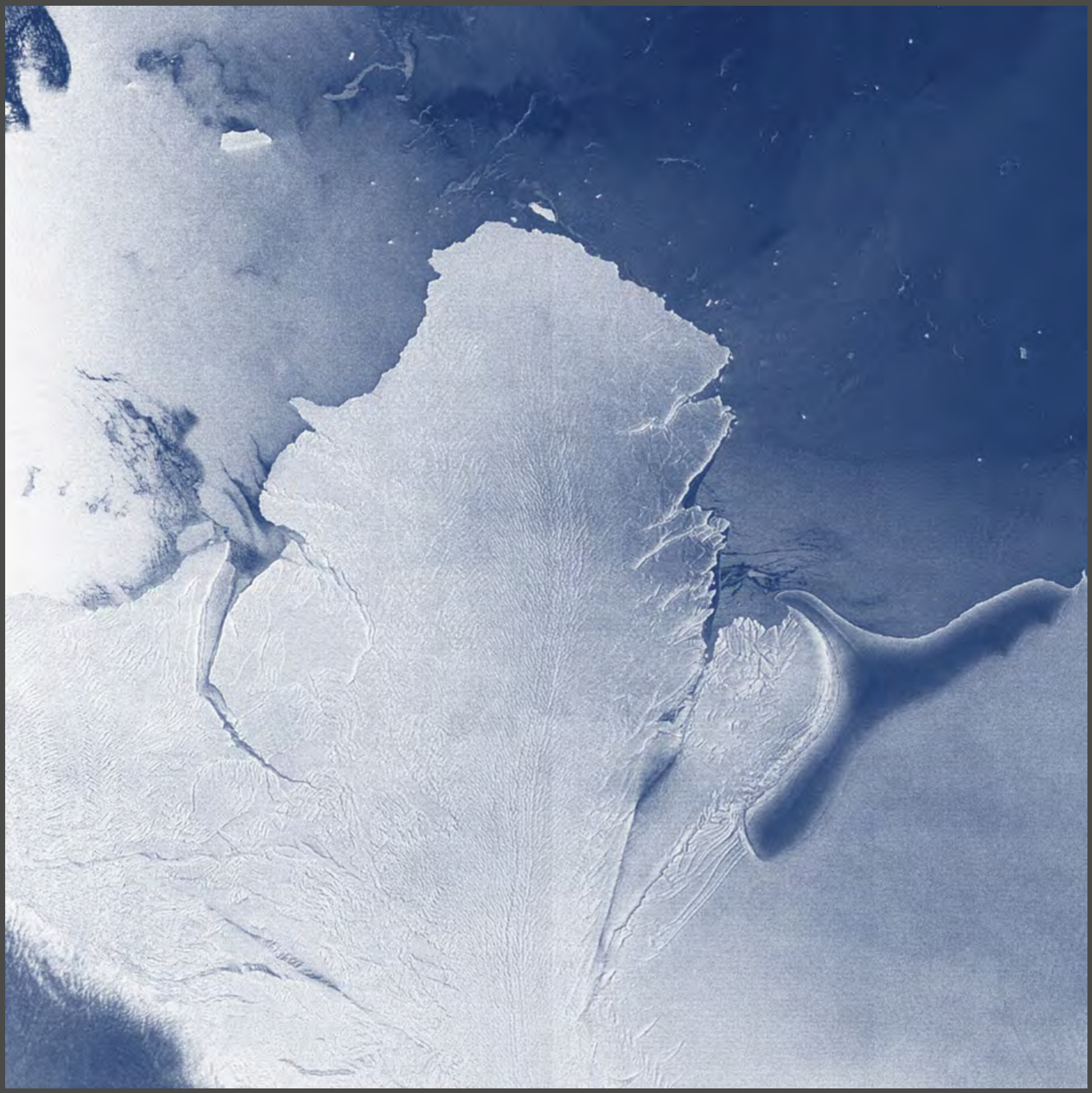
Les gaz d'échappement des avions contiennent de grandes quantités de vapeur d'eau qui, sous certaines conditions atmosphériques, vont se condenser pour former des cristaux de glace. Ceux-ci agissent comme des noyaux de condensation autour desquels la vapeur d'eau présente dans l'air environnant se condense. Le résultat est la formation dans le ciel de trainées de condensation allongées en forme de nuages.

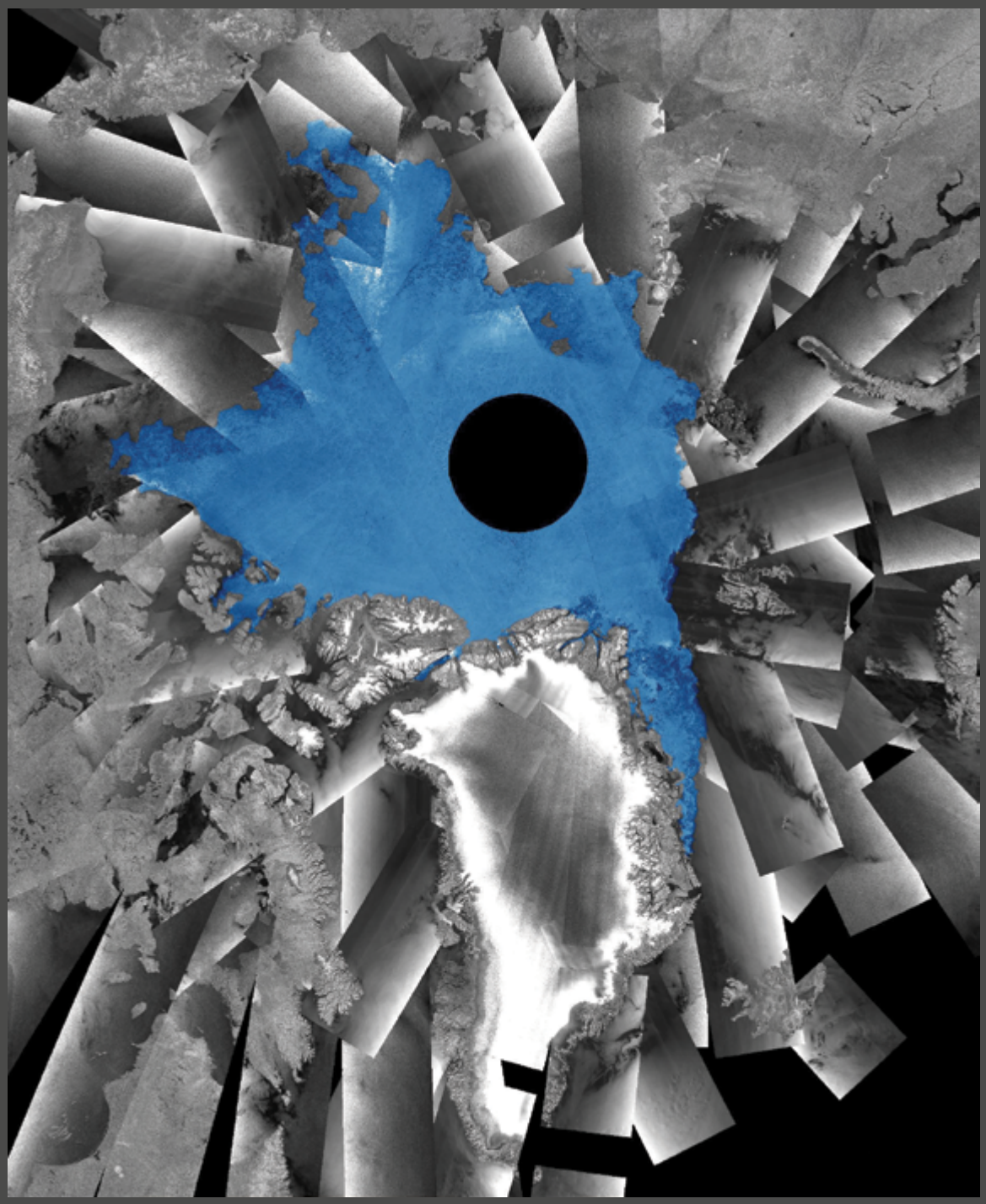
Les chercheurs utilisent les données satellite pour étudier les effets des trainées de condensation sur le changement climatique. Alors que la plupart des nuages ont un effet refroidissant sur la Terre en réfléchissant la lumière du Soleil, les nuages cirrus de haute altitude produits par les trainées de condensation tendent à avoir un effet isolant qui augmente les températures atmosphériques. Lorsque les avions au-dessus de l'Europe ont été maintenus au sol pendant l'éruption volcanique du Eyjafjallajökull en 2010, un net refroidissement a été observé – la même chose s'est produite en Amérique du Nord après les attaques terroristes du 11 septembre 2001.

Les différentes teintes de vert visibles dans la mer sur cette image sont dues aux sédiments dans l'eau. Prise le 21 mars 2009, l'image a une résolution de 300 m.









La lisière des glaces

Cette image radar Envisat (ci-contre) montre le système composé de la barrière de Brunt et de la langue de glace de Stancomb-Wills sur les côtes du nord de la Terre de Coats dans l'est de l'Antarctique, qui se déplace de plusieurs centaines de mètres chaque année vers l'océan. Dès qu'il atteint la mer de Weddell, il subit la pression de températures plus élevées et du mouvement des marées jusqu'à se rompre en morceaux qui forment des icebergs.

Depuis le milieu des années 50, la plate-forme de glace héberge la Station britannique de Halley d'étude Antarctique. En se déplaçant, la glace entraîne Halley avec elle. En réalité, la station dérive de 500 mètres vers le nord-ouest chaque année.

L'étude des plates-formes de glace est importante parce que ce sont des indicateurs du changement climatique. Au cours des deux dernières décennies, les missions ERS et Envisat de l'ESA ont été les principaux véhicules d'acquisition de données d'observation de la Terre dans les régions polaires, leurs instruments radar étant capables d'observer à travers les nuages polaires et l'obscurité de l'hiver.

Dans les latitudes septentrionales ci-contre, la zone couverte par la glace de l'océan Arctique a rétréci en 2007 à son plus faible niveau depuis le début des mesures par satellite, il y a près de 30 ans, ouvrant ainsi le passage du Nord-Ouest – un raccourci longtemps cherché entre l'Europe et l'Asie, historiquement infranchissable.

La glace de l'océan Arctique étend sa couverture en surface chaque hiver boréal et la rétrécit chaque été, mais le rythme global de perte a accéléré depuis le début des enregistrements satellite en 1978. La mission CryoSat de l'ESA ajoute maintenant l'épaisseur de la glace aux cartes polaires des scientifiques.

De nos jours, les services dédiés Copernicus surveillent sur une base opérationnelle la couverture de glace saisonnière sur les grandes voies de navigation, comme sur la mer Baltique. Jusqu'à la moitié de sa surface peut être recouverte par de la glace de mer chaque hiver, ce qui affecte plus de 2000 grands navires transportant plus de 800 millions de tonnes de marchandises à tout moment.

Le visage des profondeurs

Les océans qui recouvrent 71 % de notre planète sont perpétuellement en mouvement. C'est seulement avec l'âge du satellite que nous avons acquis la capacité de les percevoir en continu et de les cartographier de différentes manières.

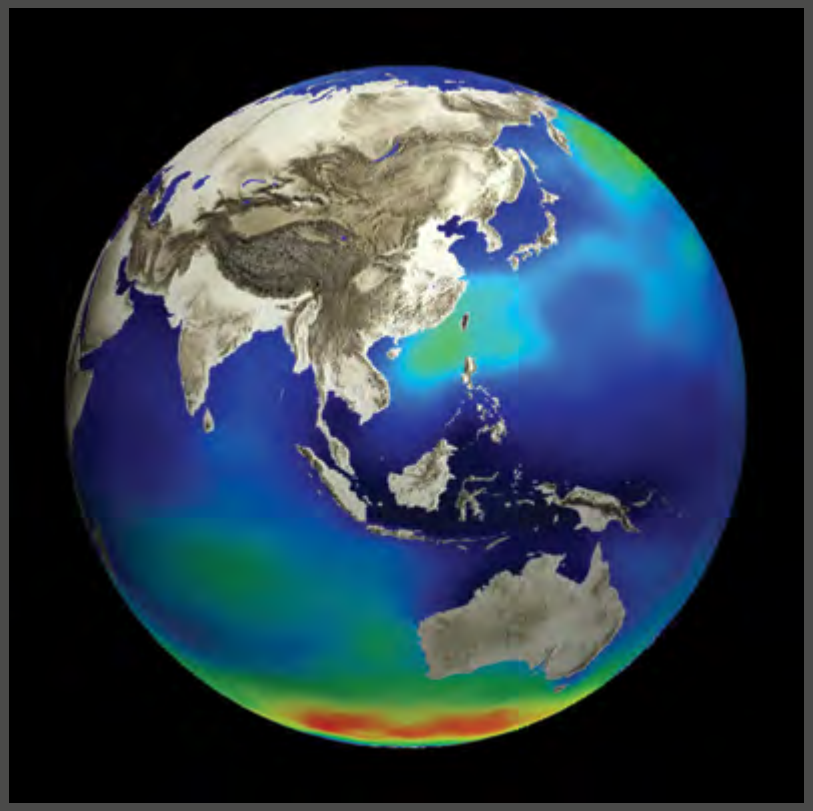
Les satellites en combinaison avec des instruments in-situ mesurent la température de l'océan selon des échelles régionale et globale. À eux seuls, les 2 m sous la surface des océans emmagasinent l'équivalent de toute l'énergie contenue dans l'atmosphère, tandis que l'océan entier contient plus d'un millier de fois cette quantité.

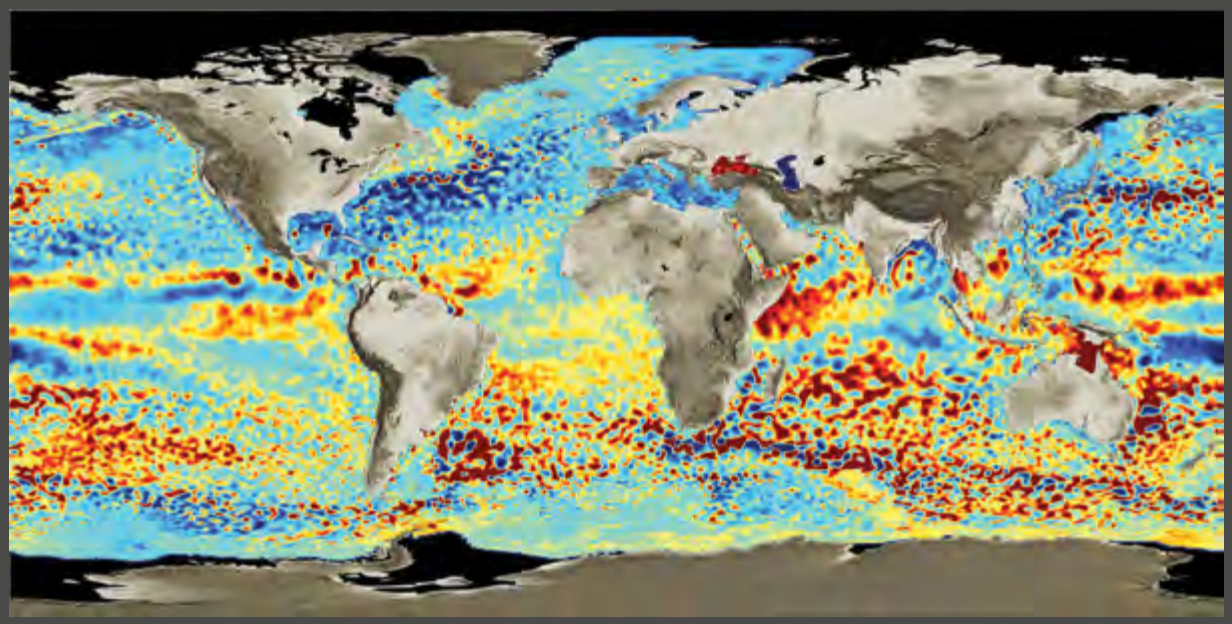
Comme des thermomètres dans le ciel, les radiomètres spatiaux utilisent des longueurs d'ondes infrarouges pour mesurer les températures à la surface de la mer sur un km² d'océan avec une précision de 0,2 °C (image principale). Le Radiomètre à balayeur en azimut perfectionné d'Envisat a été l'un des derniers exemples, avec une version mise à jour qui devrait voler sur Sentinel-3. Les premières versions ont volé sur les missions ERS-1 et ERS-2 de l'ESA, il existe donc un ensemble de mesures comparables qui remonte de 2012 à 1991.

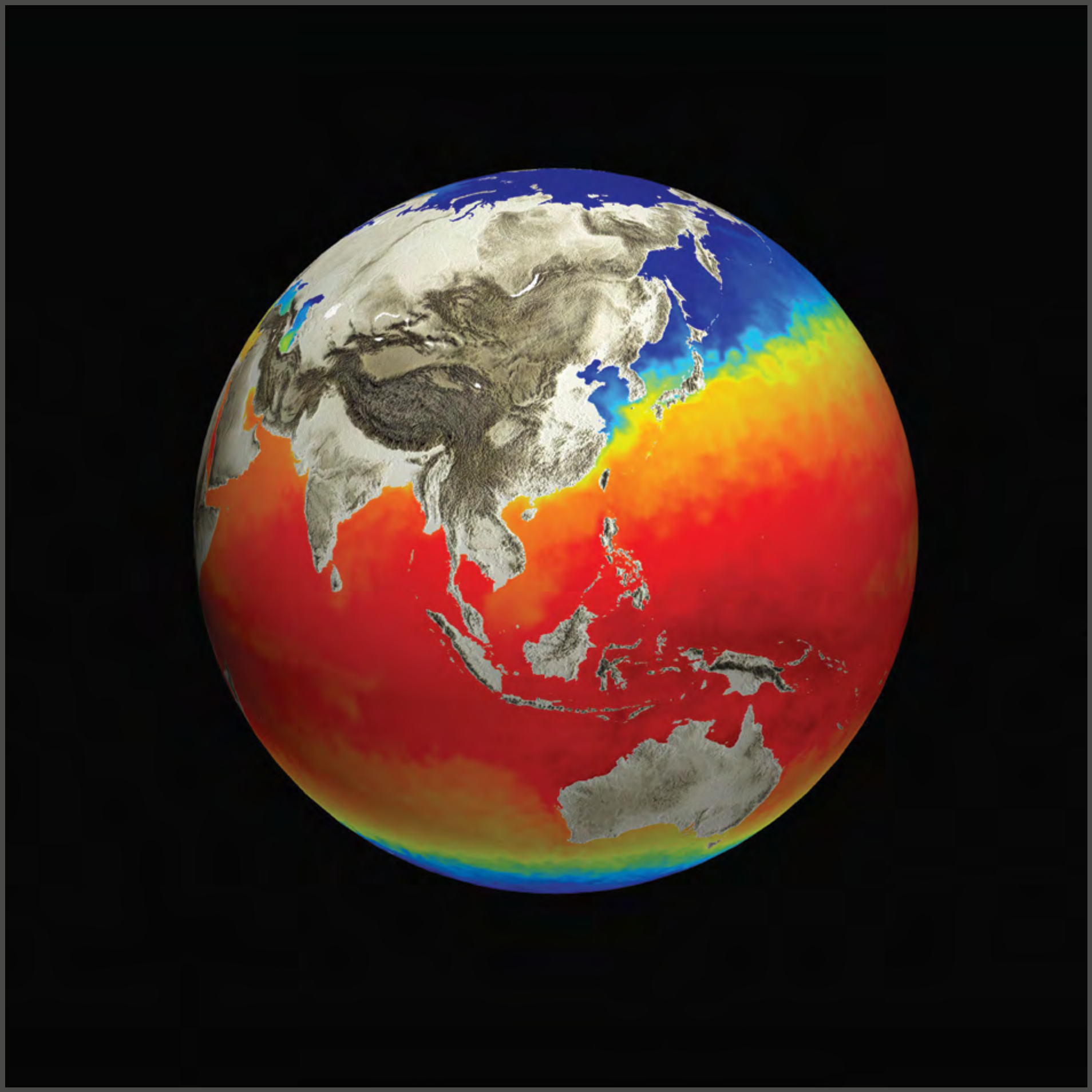
La surface de la mer elle-même est une interface instable entre l'océan et l'air, et elle transfère l'humidité et l'énergie entre ces deux royaumes. Mais ces conditions en perpétuel changement peuvent être cartographiées. Des altimètres radar envoient des milliers d'impulsions radar vers la mer à chaque seconde et le temps nécessaire à la réflexion de ces signaux permet de calculer une hauteur moyenne des vagues (en haut). Et le diffusiomètre radar de MetOp peut jauger la vitesse et la direction du vent sur l'océan.

Le résultat est une meilleure compréhension du processus de transfert de l'énergie entre l'océan et l'atmosphère, qui améliorera les futurs modèles climatiques. Il permet aussi de vérifier objectivement si les hauteurs maximales des vagues augmentent réellement à cause du changement climatique. L'altimètre radar peut aussi être utilisé pour mesurer l'élévation lente mais stable du niveau des mers sur le globe (en bas) – environ 3 mm par an, toutefois avec d'importantes variations régionales.

Le service maritime de Copernicus combine les observations par satellite avec des modèles numériques complexes de la circulation océanique pour produire une gamme de services de prévisions pour des applications comme le routage optimisé des navires, l'aquaculture et la gestion des pêcheries, la surveillance de la qualité de l'eau et de la pollution, et la fourniture d'informations aux services météorologiques nationaux et européens.







L'herbe de la mer

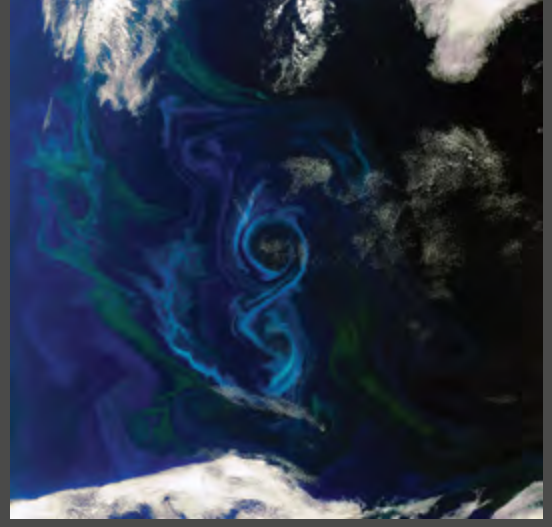
Le phytoplancton bleu électrique prolifère en volutes dans l'Atlantique Nord au large de l'Irlande sur cette image Envisat (ci-contre).

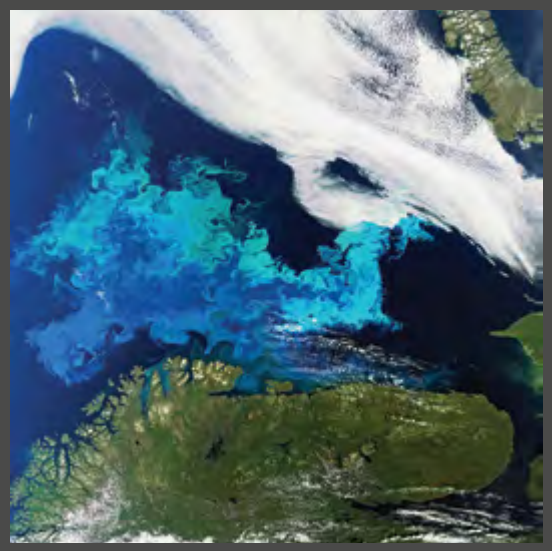
Le phytoplancton, appelé « l'herbe des mers » parce qu'il représente la nourriture de base de toute autre vie marine, est composé de plantes marines microscopiques qui dérivent librement à la surface de la mer ou à proximité. Elles convertissent des composés non organiques comme l'eau, l'azote et le carbone en matières organiques complexes. Avec leur capacité à « digérer » ces composants, on leur attribue aussi le mérite de retirer autant de dioxyde de carbone de l'atmosphère que la végétation le fait à terre.

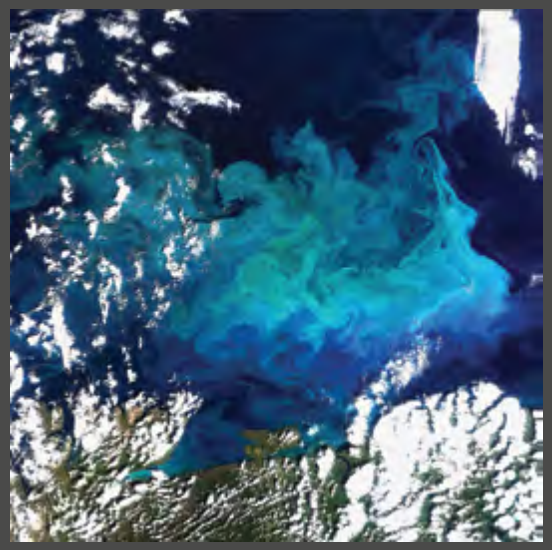
Bien que microscopique individuellement, la chlorophylle qu'elles utilisent pour la photosynthèse tinte les eaux environnantes des océans, fournissant ainsi un moyen de détecter ces organismes minuscules à partir de l'espace avec des capteurs dédiés « couleur de l'océan », comme le Spectromètre imageur à moyenne résolution (Medium Resolution Imaging Spectrometer : MERIS). De telles proliférations sont courantes pendant les étés européens, une réponse aux eaux de surface qui se réchauffent et au rayonnement solaire.

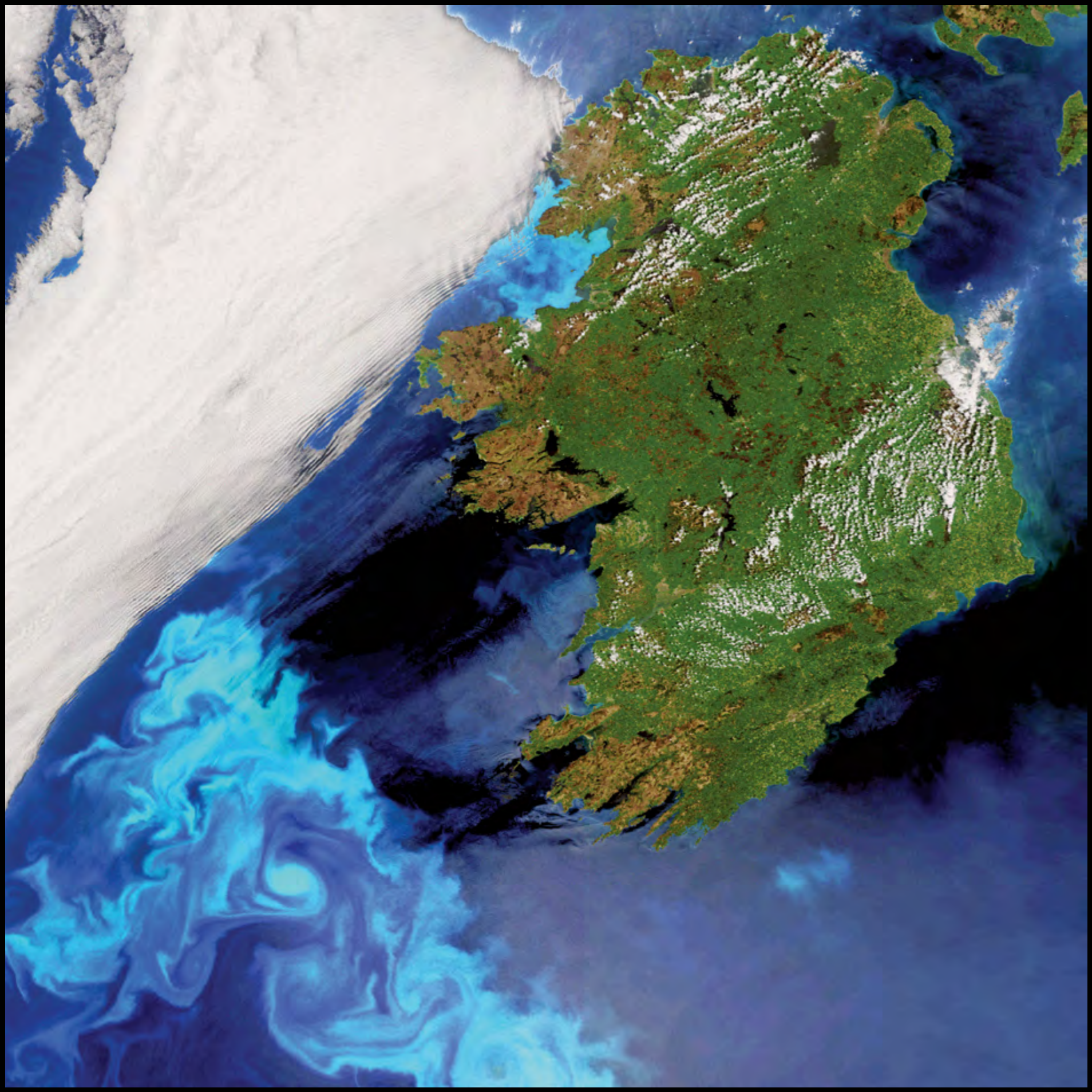
La cartographie des concentrations de chlorophylle dans l'océan est importante pour modéliser le changement climatique avec précision. En absorbant la moitié de tout le dioxyde de carbone en surplus que l'humanité envoie dans l'atmosphère, le phytoplancton a maintenu un frein sur le changement climatique jusqu'à présent – la question est de savoir combien de temps cet effet d'atténuation peut durer.

D'autres services sont également rendus possibles par ces observations, combinées avec la température à la surface de la mer et les données de vent et des vagues : l'aquaculture profite des préavis concernant les proliférations d'algues nuisibles tout comme des bancs de méduses.









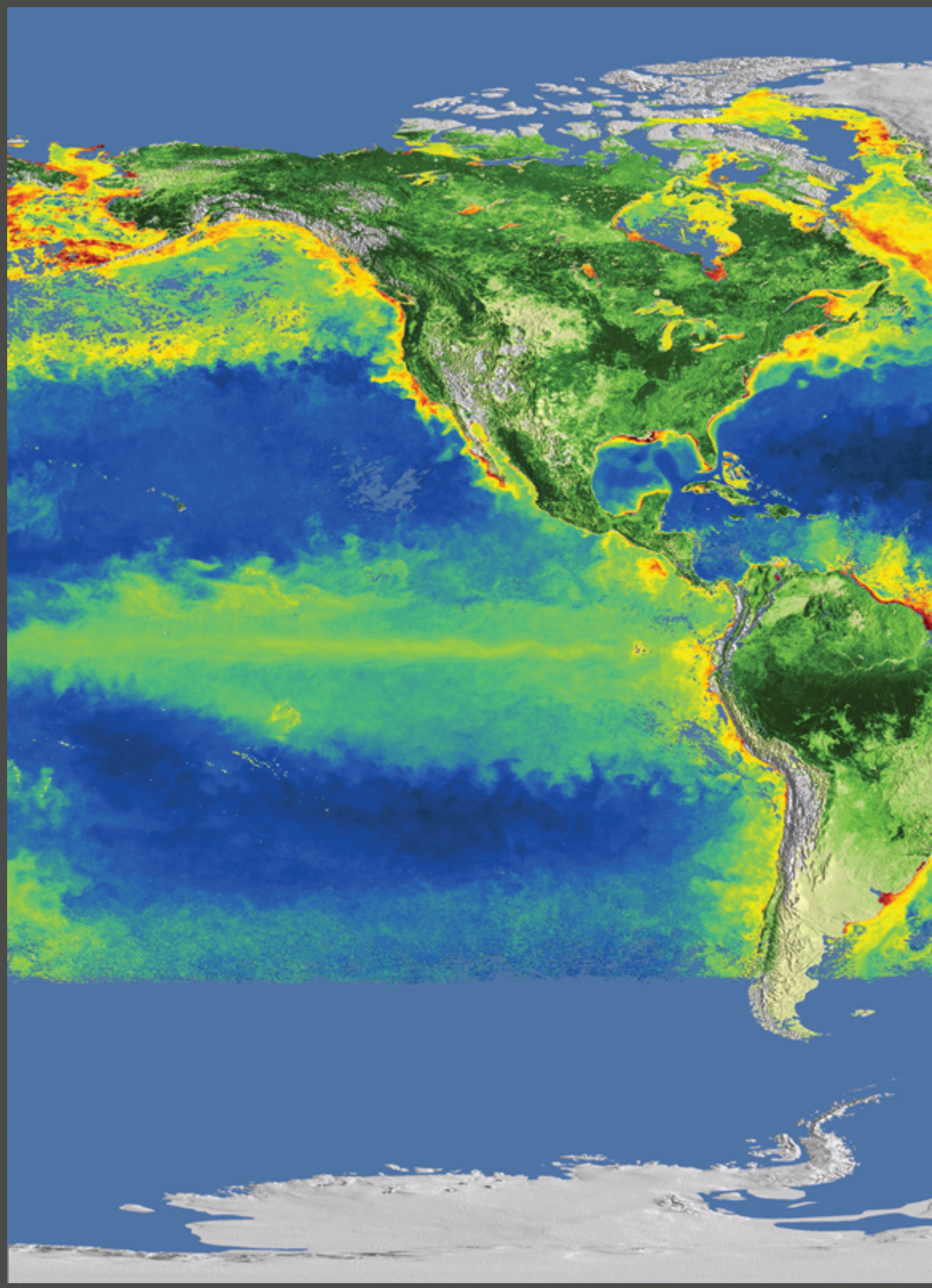
Respiration planétaire

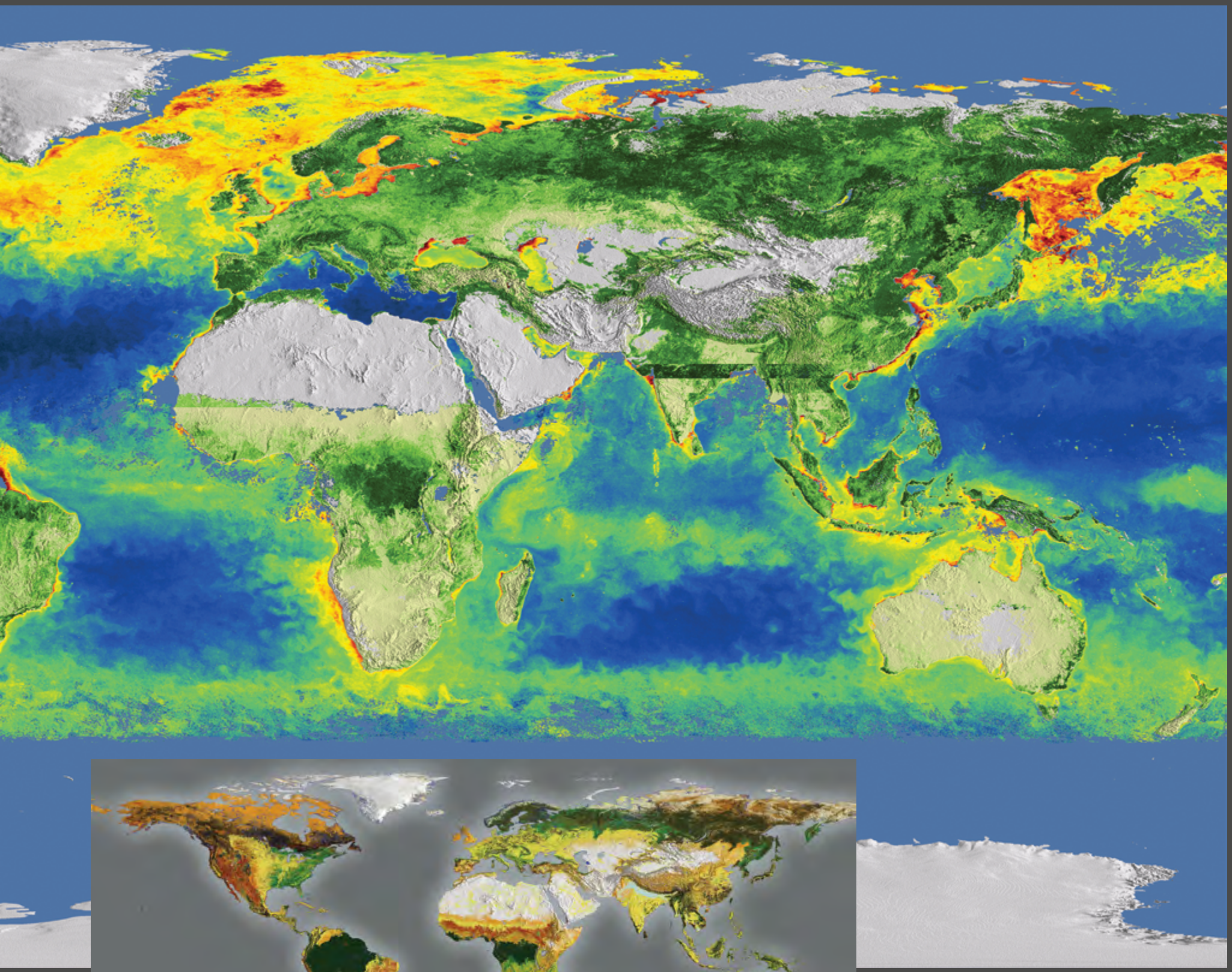
Créée à partir d'informations satellites, cette image combine la surface foliaire et la chlorophylle au-dessus de la mer avec les concentrations de chlorophylle marine pour présenter le processus de la photosynthèse qui se produit à l'échelle mondiale. Par la photosynthèse, la chlorophylle absorbe l'énergie pour transformer le dioxyde de carbone et l'eau en hydrates de carbone et en oxygène.

La surface du sol sur la Terre est le berceau de l'humanité ainsi que de la plupart de la flore et de la faune. Même si elle est minime à côté de la mer, elle couvre tout de même une surface importante : si toutes les terres de la planète étaient juxtaposées sans les océans, elles formeraient une planète un peu plus grande que Mars. Le service de surveillance des terres de Copernicus utilise des satellites et des données au sol pour garder la trace de notre planète natale.

Comme donnée de base, le projet Globcover de l'ESA a produit une carte mondiale de la couverture des sols (en bas à droite) avec une résolution trois fois plus élevée que toutes les cartes satellites précédentes, basée sur le Système de classification de l'occupation du sol de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Environ 20 téraoctets d'imagerie ont été utilisés pour établir cette carte – une quantité de données équivalente au contenu de 20 millions de livres.

L'étude du lien entre les cycles de vie des plantes et la variation climatique saisonnière s'appelle la phénologie. ESA a dirigé le développement d'un service de surveillance de la phénologie par satellite : en 2010 un utilisateur du service, le UK Woodland Trust, l'a utilisé pour souligner un retard de trois semaines de « l'arrivée du printemps » dans les îles britanniques, provoqué par l'hiver le plus froid depuis 31 ans.





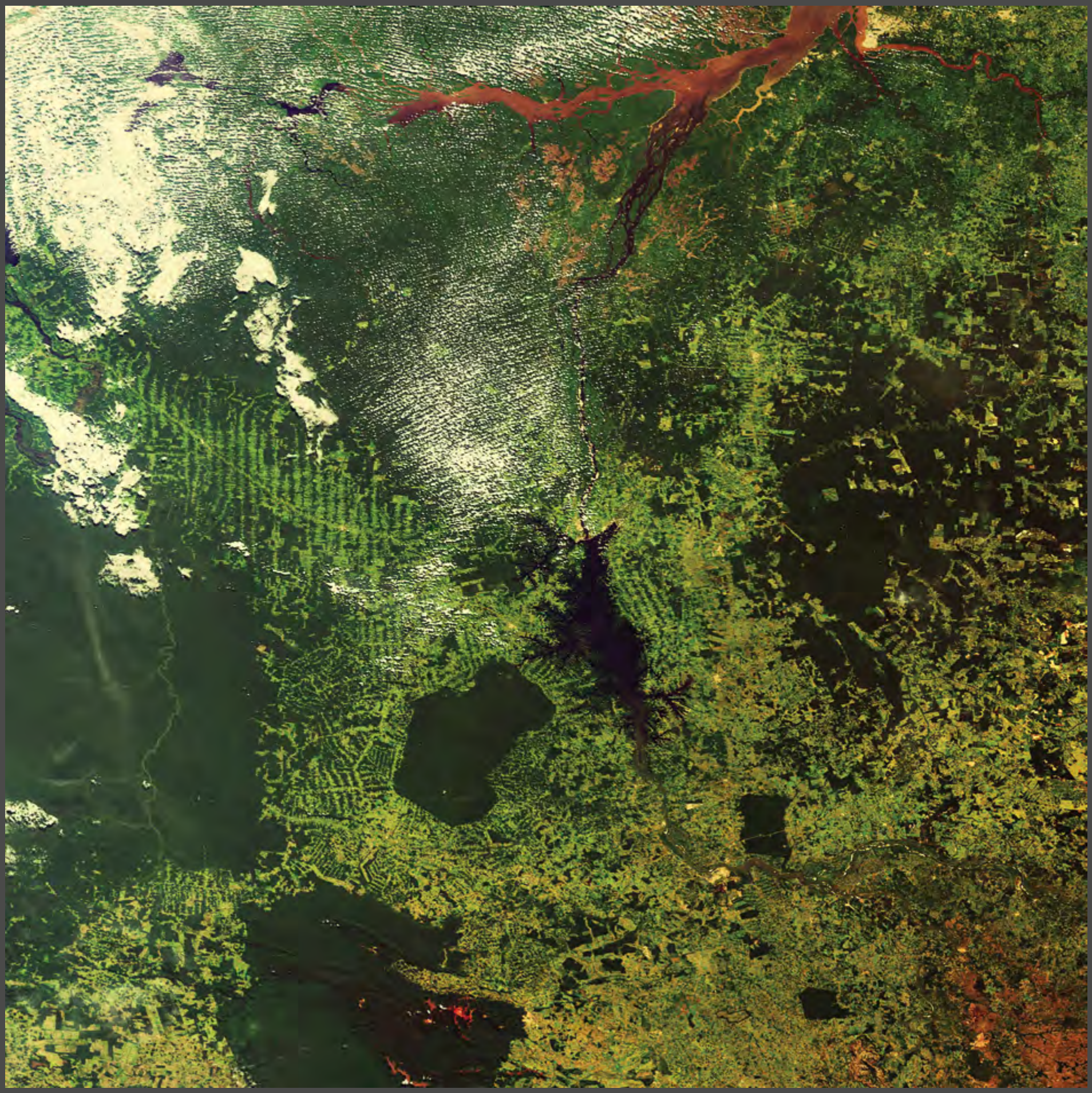
La disparition de la forêt

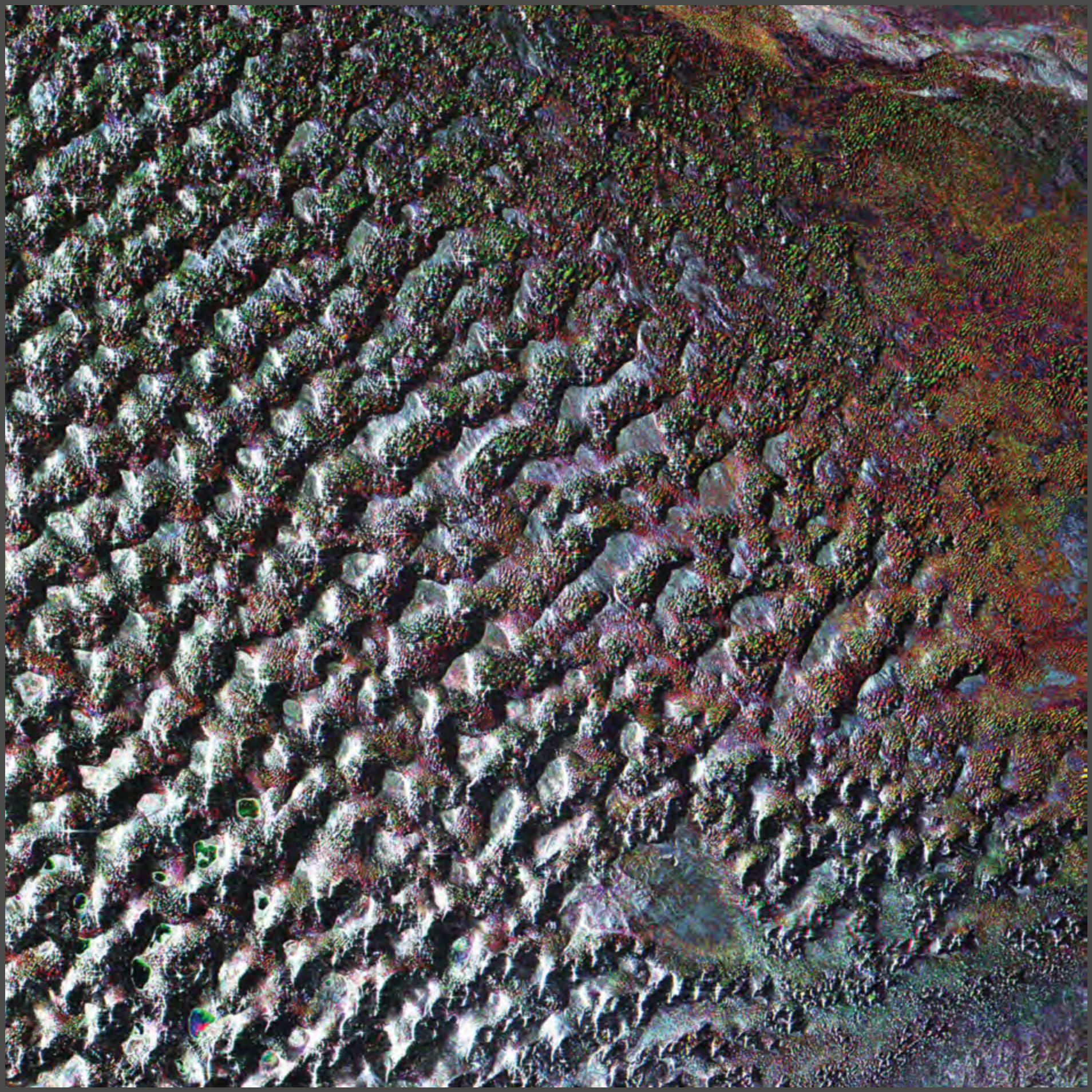
La déforestation observée de l'espace – représentée ici sur cette image MERIS d'Envisat de la forêt tropicale brésilienne – a un aspect caractéristique « en arête de poisson », avec des lignes de défrichement s'étirant à partir d'une route principale, utilisée comme itinéraire de transport ou bien parfois un système de fluvial. Le reste de la forêt est vert sombre, le vert clair marque les zones agricoles auparavant couvertes par la forêt tropicale.

L'eau brunâtre chargée de sédiments qui s'écoule en haut de cette vue de 2008 est la rivière Para, le bras sud de l'embouchure de l'Amazone. La grande surface sombre au centre est le réservoir formé par le barrage de Tucuruí sur le Rio Tocantins qui a noyé 2430 km² de forêt.

Pour développer des outils d'information basés sur le satellite pour la gestion de la forêt, l'ESA a lancé un Service de surveillance de la forêt qui fait partie de Copernicus. La déforestation tropicale est la deuxième source la plus importante de gaz à effet de serre après la combustion de carburants fossiles. Le programme de Réduction des émissions résultant du déboisement et de la dégradation des forêts (REDD) de l'ONU est un accord global selon lequel les nations les plus riches paieront les plus pauvres pour qu'elles n'abattent pas les forêts tropicales, en reconnaissance de leur valeur au moment où le carbone diminue ainsi que de la large gamme des autres services environnementaux inestimables qu'elles fournissent. Pour faire fonctionner ce programme, les forêts doivent être étudiées sur une base mondiale de manière cohérente et transparente. Seuls les satellites peuvent effectuer ceci d'une manière pratique et économique. Le Brésil lui-même est l'une des inspirations du REDD, lui qui a réduit de moitié son rythme de déforestation au cours de la dernière décennie, grâce en partie à sa propre utilisation de données satellites.

Les efforts de l'ESA pour étudier la déforestation ont débuté avec les satellites ERS – l'image radar en médaillon du nord-ouest du Brésil montre les coupes claires dans la forêt en zones rougeâtres, les zones intactes étant représentées en gris (rivières et étangs apparaissent en noir).





Le cœur de pierre de l'Asie

Cette image radar d'Envisat représente la surface rocheuse du Désert de Gobi qui s'étend sur de larges surfaces de la République populaire de Mongolie et de la région autonome de Mongolie-intérieure de Chine. Défiant l'idée populaire que les déserts sont faits de sable, le Désert de Gobi est couvert de roches nues.

De nombreux petits lacs alimentés par de l'eau souterraine sont visibles sur cette image. Les preuves archéologiques montrent que les lacs existent depuis très longtemps, et que des hommes vivaient sur leurs berges à l'âge de pierre.

L'un des atouts des images radar est que des acquisitions multiples du même site peuvent être combinées pour souligner les évolutions à travers le temps, comme sur l'image « multi-temporelle » de l'île de Qeshm dans le Détroit d'Ormuz en Iran. Bien qu'elle soit placée à proximité d'une des voies de navigation les plus fréquentées au monde, l'île de Qeshm abrite la Réserve de biosphère de Hara, la plus grande étendue de forêt de mangroves du Golfe Persique. On voit clairement ce réseau de forêts et de vasières intertidales entre l'île de Qeshm et le continent, son étendue précise variant avec les saisons. Les couleurs soulignent les évolutions à la surface entre les différentes acquisitions.

Pas de fumée sans feu

La fumée provenant des feux de forêts recouvre Moscou, comme l'a vu la caméra MERIS d'Envisat. En 2010, la Russie centrale et la région de Moscou ont subi l'été le plus chaud de l'histoire. Des températures records supérieures à 35 °C ont créé des conditions pour le déclenchement de feux – plus de 500 ont été signalés.

De grands panaches de fumée provenant des champs de tourbe qui brûlent et des feux de forêt sont visibles sur cette image qui couvre la zone à l'est de Moscou. La ville elle-même se trouve en bas à gauche. Les panaches de fumée s'étiraient sur plusieurs centaines de kilomètres, augmentant les niveaux de pollution urbaine de l'air et fermant les aéroports régionaux par manque de visibilité.

Les grands incendies sont visibles depuis l'espace – les satellites détectent non seulement la fumée qui tourbillonne au-dessus des incendies importants, mais aussi les cicatrices noircies laissées dans leur sillage, et même les feux eux-mêmes, qui apparaissent comme des points chauds aux longueurs d'ondes infrarouge. Les pompiers et les organisations de protection civile utilisent de plus en plus l'imagerie satellite pour lutter contre de telles catastrophes.

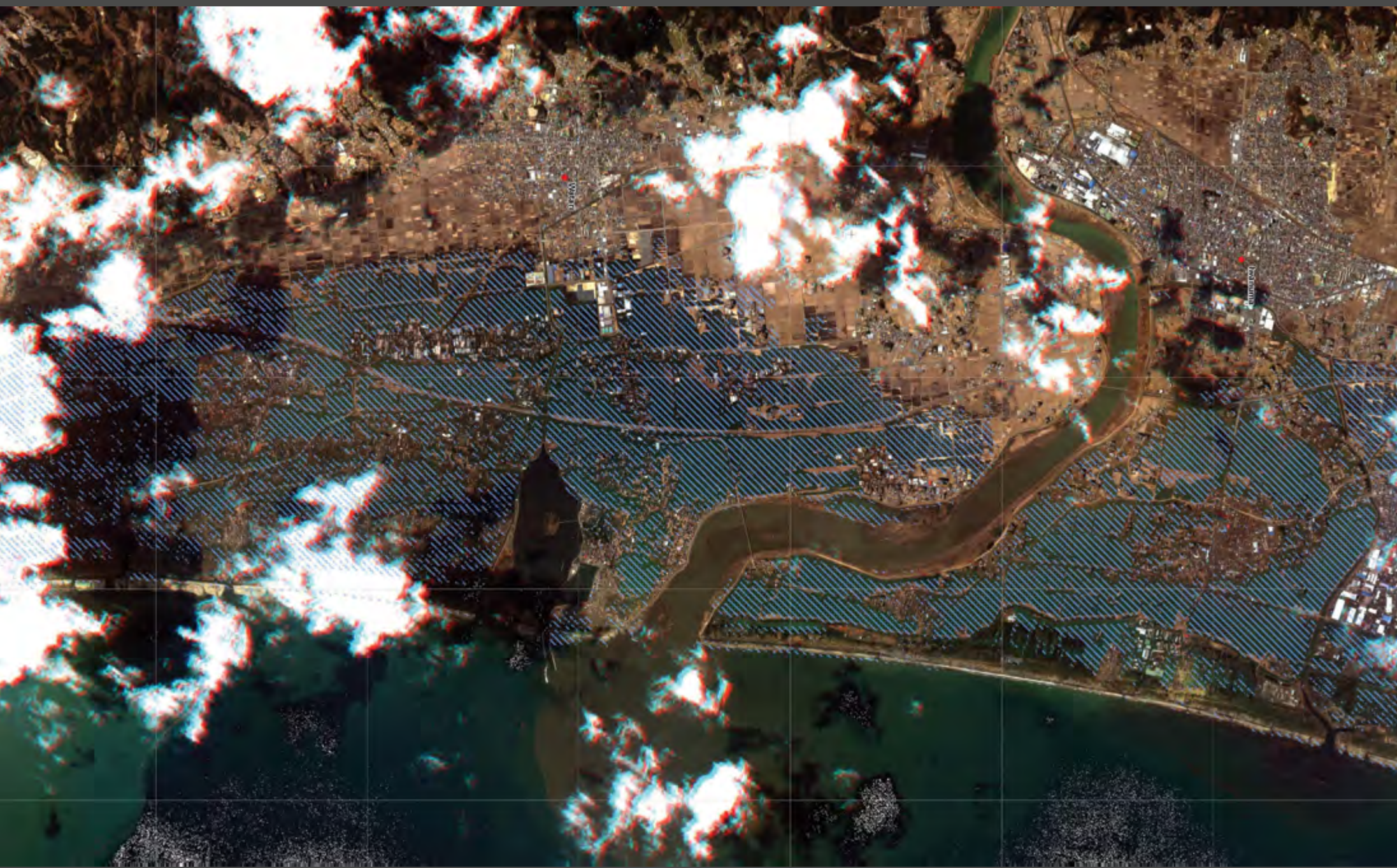
Les satellites sont également capables de suivre les torchères dans les zones productrices de pétrole à travers le monde, ce qui permet des estimations de leur effet sur les émissions de carbone. L'ESA a conduit un projet pilote pour présenter les techniques de surveillance.

Frappé par un tsunami

Cette carte satellite préparée pour les équipes d'urgence, montre les dégâts avant et après l'impact dévastateur du tsunami de 2011 sur la côte nord-ouest du Japon. Elle a été préparée sous l'égide de la Charte Internationale « Espace et catastrophes majeurs », dont les agences spatiales membres donnent priorité à l'acquisition de photos des zones de catastrophes pour aider à coordonner et guider les efforts d'intervention. L'ESA est un membre fondateur et un contributeur-clé de la Charte.

Aujourd'hui dans sa deuxième décennie, la Charte est née d'une catastrophe. Quand l'ouragan Mitch a fait des milliers de morts en traversant l'Amérique centrale en octobre 1998, L'ESA et l'Agence spatiale française (CNES) se sont précipitées pour fournir des cartes précises des dégâts aux équipes de sauvetage.

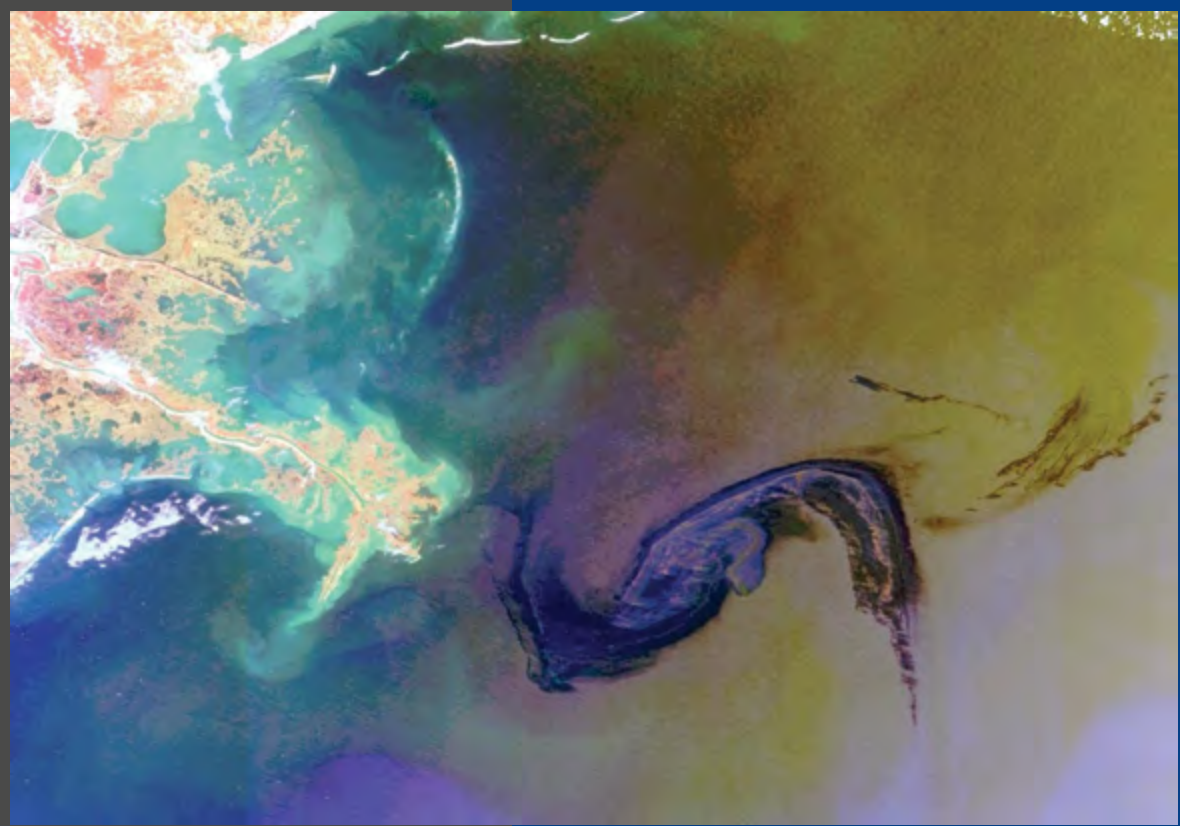
L'expérience a encouragé les deux agences à formaliser leur future coopération. La Charte qui en a découlé est entrée en vigueur en octobre 2000, quand l'ESA et le CNES ont été rejoints par l'Agence spatiale canadienne. La première activation a eu lieu le mois suivant, en réponse aux glissements de terrain en Slovénie. Aujourd'hui, la Charte a été activée plus de 300 fois et elle regroupe 14 membres à travers le monde. Une activation a pratiquement lieu toutes les deux semaines.

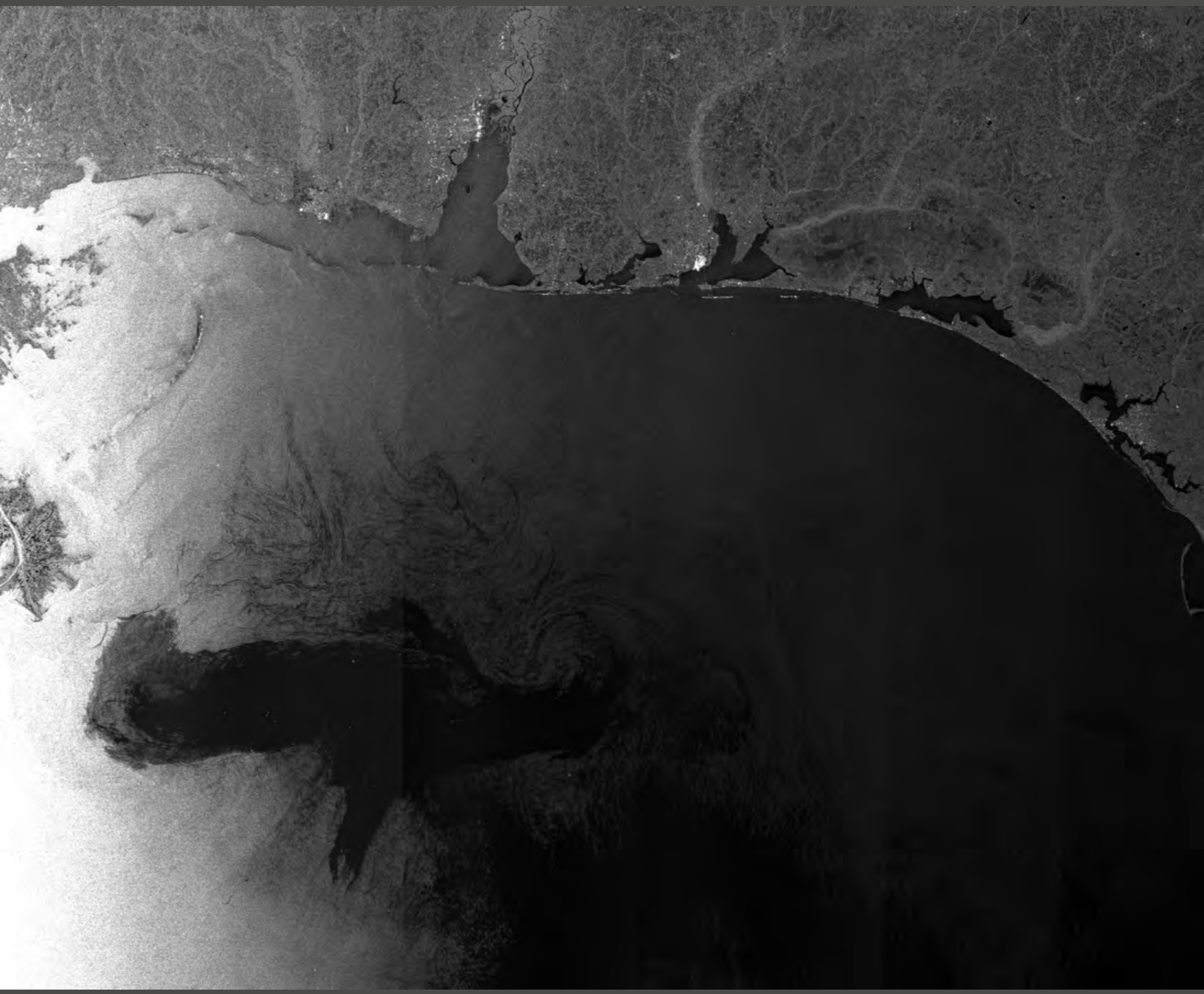

Wasco
Delano

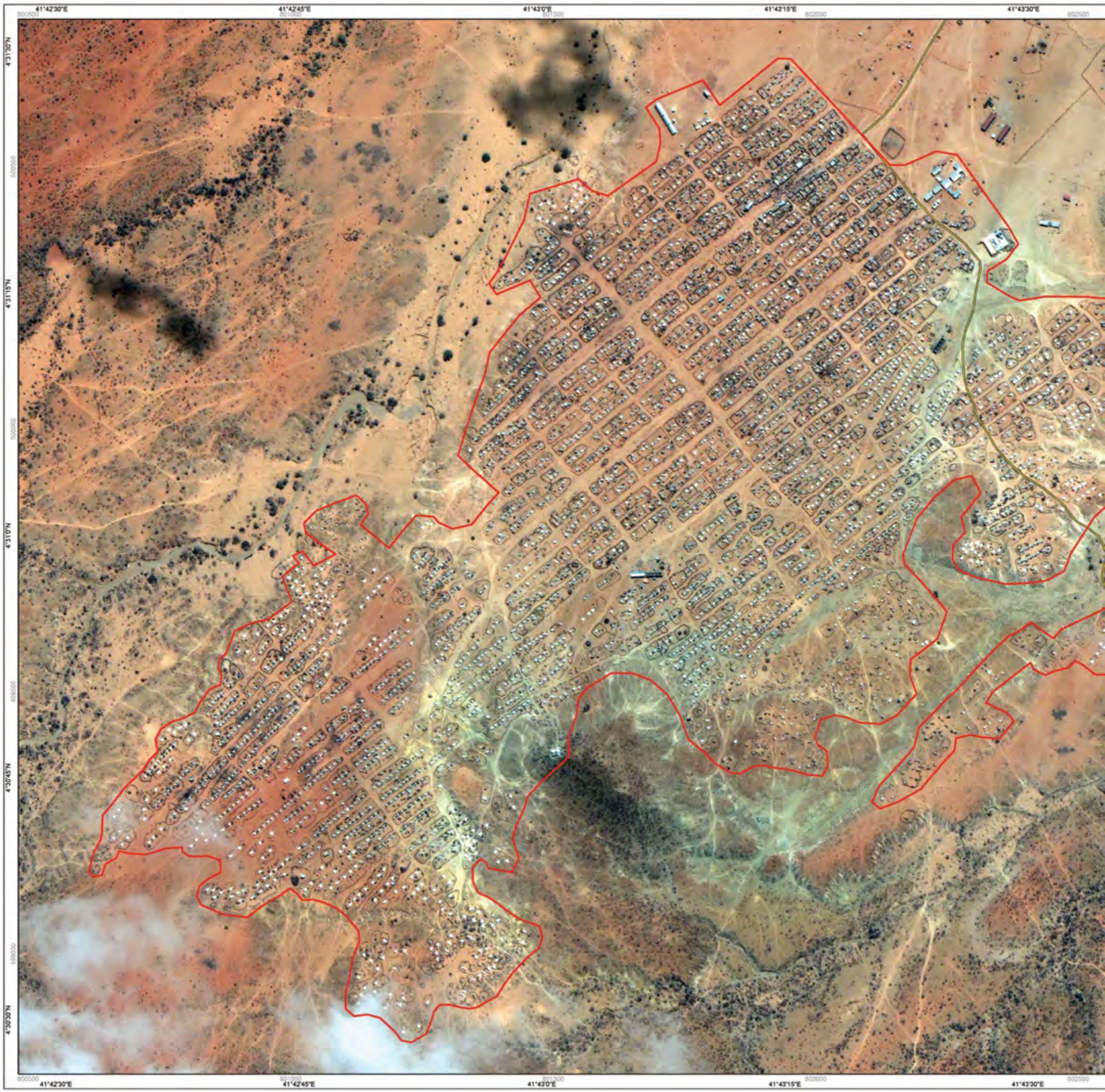
Eaux troubles

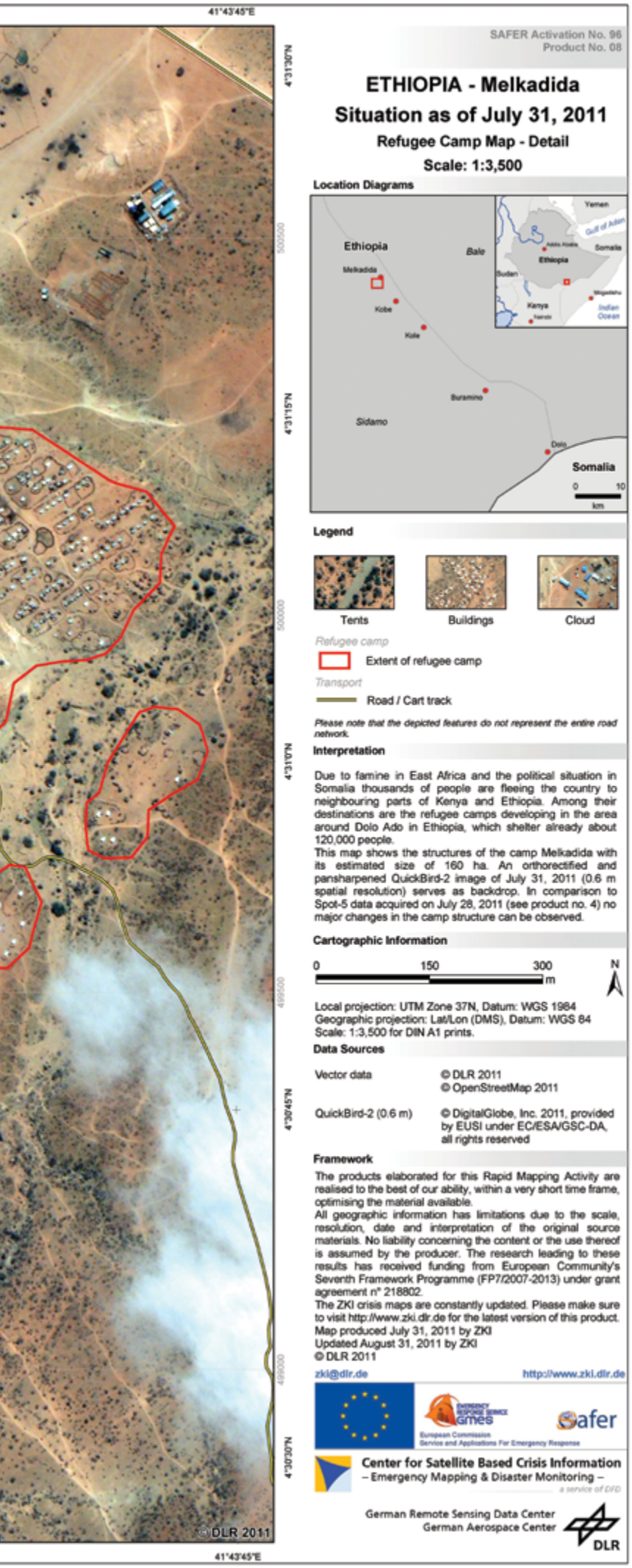
La marée noire de 2010 dans le Golfe du Mexique vue à deux reprises par Envisat : en lumière visible (ci-dessous) et aux longueurs d'ondes radar (à droite). Le pétrole stagnant sur l'eau a tendance à amortir les vagues et paraît donc plus sombre que les eaux environnantes, qui apparaissent comme un tourbillon gris foncé au centre de l'image radar.

La plate-forme de forage Deepwater Horizon a explosé dans le Golfe du Mexique le 22 avril 2010, tuant 11 personnes et envoyant des tonnes de pétrole vers les côtes de la Louisiane et du Mississippi. La Charte internationale « Espace et catastrophes » a été activée pour le compte des garde-côtes américains, et une large gamme de satellites d'observation de la Terre, dont l'Envisat de l'ESA, ont collecté des photos de la marée noire qui approchait du rivage. Les photos d'Envisat ont été utilisées par l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA) pour suivre la progression du pétrole au moment où il entrait dans la boucle de courant du Golfe du Mexique, et pour prédire quel endroit de la côte pourrait être touché.






41°42'30"E
41°42'45"E
41°43'0"E
41°43'15"E
41°43'30"E
4°31'30"N
4°31'15"N
4°31'0"N
4°30'45"N
4°30'30"N



Lieu de refuge

On peut apercevoir des bâtiments et des tentes individuels sur cette carte satellite du camp de réfugiés de Melkadida en Éthiopie, le foyer de milliers d'hommes, de femmes et d'enfants qui fuient la famine et le conflit dans le sud de la Somalie. La carte a été utilisée pour réaliser un premier recensement : 3 076 tentes et structures de bâtiment ainsi que 15 bâtiments fixes ont été comptés, ce qui a permis d'estimer la population à 15 000 personnes.

La photo a été prise le 31 juillet 2011 par le satellite QuickBird-2 et transformée très rapidement en une carte pour les agences humanitaires par le Centre pour l'information de crise du Centre aérospatial allemand, assisté par le Service de réponse aux crises et aux situations d'urgence (SAFER) de la Commission européenne. Le Service de réponse aux crises et aux situations d'urgence (SAFER) renforce la capacité de réponse à des situations d'urgence comme les incendies, les inondations, les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, les glissements de terrain et les crises humanitaires en fournissant rapidement des données cartographiques. Ces cartes servent à la fois comme outils d'organisation pour ceux qui gèrent la crise et comme guides faciles à comprendre pour le personnel sur le terrain. Le balisage géographique automatique de telles cartes – développé à travers un projet dirigé par l'ESA – permet d'intégrer des vues photographiques de la situation sur le terrain dans des versions numériques.

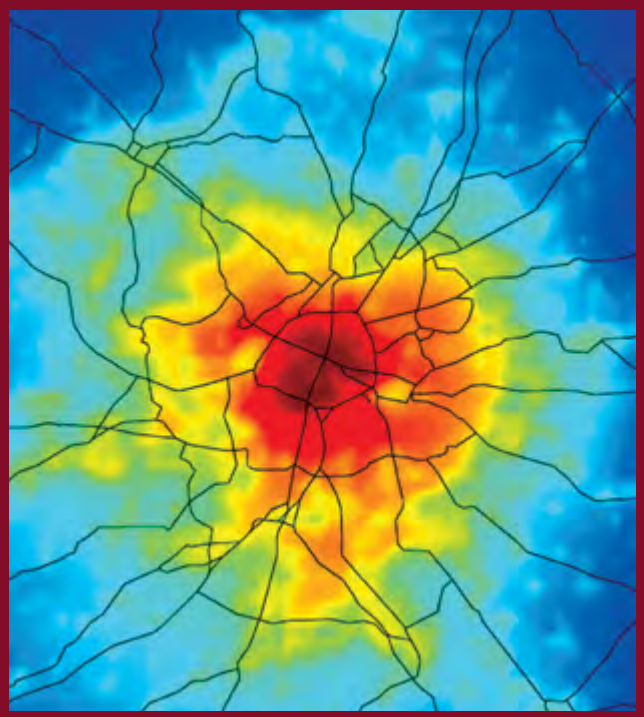
Planète urbaine

Paris – parmi les principales agglomérations européennes, avec plus de 10 millions d'habitants – semble briller sur cette photo d'Envisat. Un grand nombre de structures et de surfaces géométriques renvoie clairement les signaux radar vers l'espace.

Concentrations de gens, de propriétés et de richesses, nos villes se développent comme jamais, avec la moitié de la population du globe vivant désormais dans des zones urbaines – près de 70 % des Européens sont des citadins. La population urbaine mondiale augmente quatre fois plus vite que la population rurale, de sorte que les villes devraient héberger deux tiers des citoyens du monde en 2020. Neuf dixièmes de cette croissance se produit dans des régions en développement, et l'Afrique affiche le plus fort taux d'expansion urbaine, qui dépasse 5 % chaque année.

Cette croissance doit être surveillée pour s'assurer qu'elle s'effectue sur une base durable, qu'elle n'endommage pas les ressources environnementales ni ne réduit la qualité de vie et la sécurité des citadins. La taille des villes peut compliquer la tâche, du moins vue d'ici sur la Terre. Les satellites fournissent une dimension supplémentaire de l'information, qui complète les données in-situ pour une gestion urbaine qui répond aux problèmes et fait autorité.

Ci-dessous, les agglomérations denses peuvent également influencer le climat. Cette carte de température indique que le centre de Paris est un « îlot de chaleur urbain », plusieurs degrés plus chaud que la campagne environnante.



Une ville qui s'enfonce

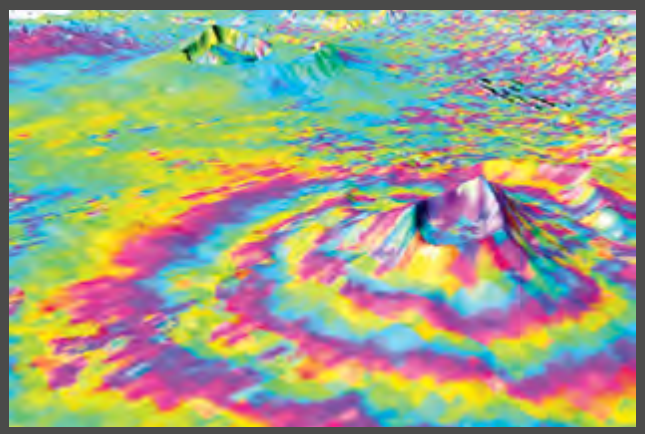
Venise, comme on le voit sur cette photo du satellite Ikonos, s'enfonce lentement sous les vagues. L'ESA soutient le satellite américain Ikonos en tant que « mission de tiers », ce qui signifie que l'Agence utilise son infrastructure européenne multi-mission au sol et son expertise pour acquérir, traiter et distribuer les données du satellite à sa large communauté d'utilisateurs scientifiques. Cette photo principale est incrustée d'un relevé radar satellite séparé de l'historique place Saint-Marc à Venise, qui révèle l'affaissement du sol à cause de l'extraction de l'eau souterraine. Les informations de ce type aident les urbanistes à concentrer les mesures structurelles de protection aux endroits où elles sont le plus nécessaires. La surveillance spatiale révèle un enfoncement moyen de 2 mm par an, combiné à une élévation de 2 mm dans la Lagune de Venise. L'installation de digues mobiles contre les inondations, devrait se terminer en 2014, et pourrait contribuer à stabiliser la situation.

L'imagerie satellite peut caractériser des environnements urbains à un degré de précision simplement impossible depuis le sol. En combinant différentes images radar du même site, les instruments satellite peuvent détecter des mouvements du sol se produisant aussi lentement que la pousse de vos ongles. Le résultat ressemble à un jeu des erreurs : tout déplacement qui s'est produit entre les photos est révélé par un motif d'interférence – c'est pourquoi ces photos sont appelées « interférogrammes de radar à synthèse d'ouverture » ou InSAR.

La restriction principale est que de nombreuses petites surfaces réfléchissantes qui forment le paysage – « les diffuseurs permanents » – doivent rester en place entre les scans. Hors, la végétation qui pousse, le vent qui éparpille les feuilles ou même la pluie qui s'infiltre dans la terre suffisent à l'empêcher.

Malgré cela, InSAR est couramment utilisé pour cartographier l'affaissement urbain ou côtier (sujet à des services Copernicus dédiés), dépister la lente « respiration » sismique des volcans (ci-dessous) et suivre le mouvement tectonique.

On étudie également l'InSAR pour suivre l'épuisement des réservoirs de pétrole et de gaz souterrains en identifiant de légers mouvements du sol à la surface, et de la même façon, pour améliorer la surveillance du captage et du stockage du carbone dans des réservoirs géologiques déjà vidés.



Affaissement du sol en millimètres par an
−5
0
+5

Travailler dans les champs

Traditionnellement, les fermiers surveillent de près leurs champs mais cette photo prise par Ikonos des champs au sud de Wurzbourg, en Allemagne, est un exemple de l'imagerie très détaillée disponible à partir de l'orbite pour pratiquer « l'agriculture de précision ».

La surveillance par satellite est appliquée à l'agriculture à différentes échelles. Copernicus comporte un élément de sécurité alimentaire qui réalise une surveillance des récoltes au niveau régional à travers l'Afrique subsaharienne pour avertir d'un manque de nourriture. Cependant, avec l'agriculture de précision, l'imagerie nécessaire a une résolution du sol qui descend au niveau des champs individuels, ou même des parties d'un champ.

Les satellites collectent des informations sur les ressources du sol – des observations sur plusieurs années peuvent révéler des variations dans la croissance des cultures à cause des changements de la terre – aussi bien que sur le statut actuel des récoltes. Cela peut commencer au moment où les graines sont semées. Ces résultats sont combinés avec des informations complémentaires comme les conditions météorologiques et l'humidité de la terre, pour guider le fermier dans l'optimisation de la croissance en sélectionnant certains champs pour des récoltes particulières, et indiquer les niveaux nécessaires de fertilisants et de pesticides. L'ESA a également soutenu un projet pilote d'utilisation de l'imagerie satellite pour certifier l'agriculture biologique, avec des essais atteignant des taux de précision de 80 à 100 % dans la différenciation entre les champs biologiques et les champs classiques.

L'efficacité de l'agriculture de précision est accrue en utilisant la navigation par satellite – comme dans l'initiative TalkingFields de l'ESA (ci-dessous), qui fait partie de la Promotion des applications intégrées de l'Agence pour combiner différents objets basés dans l'espace – avec des coordonnées géographiques précises saisies dans des pulvérisateurs automatiques de récoltes et d'autres équipements agricoles.

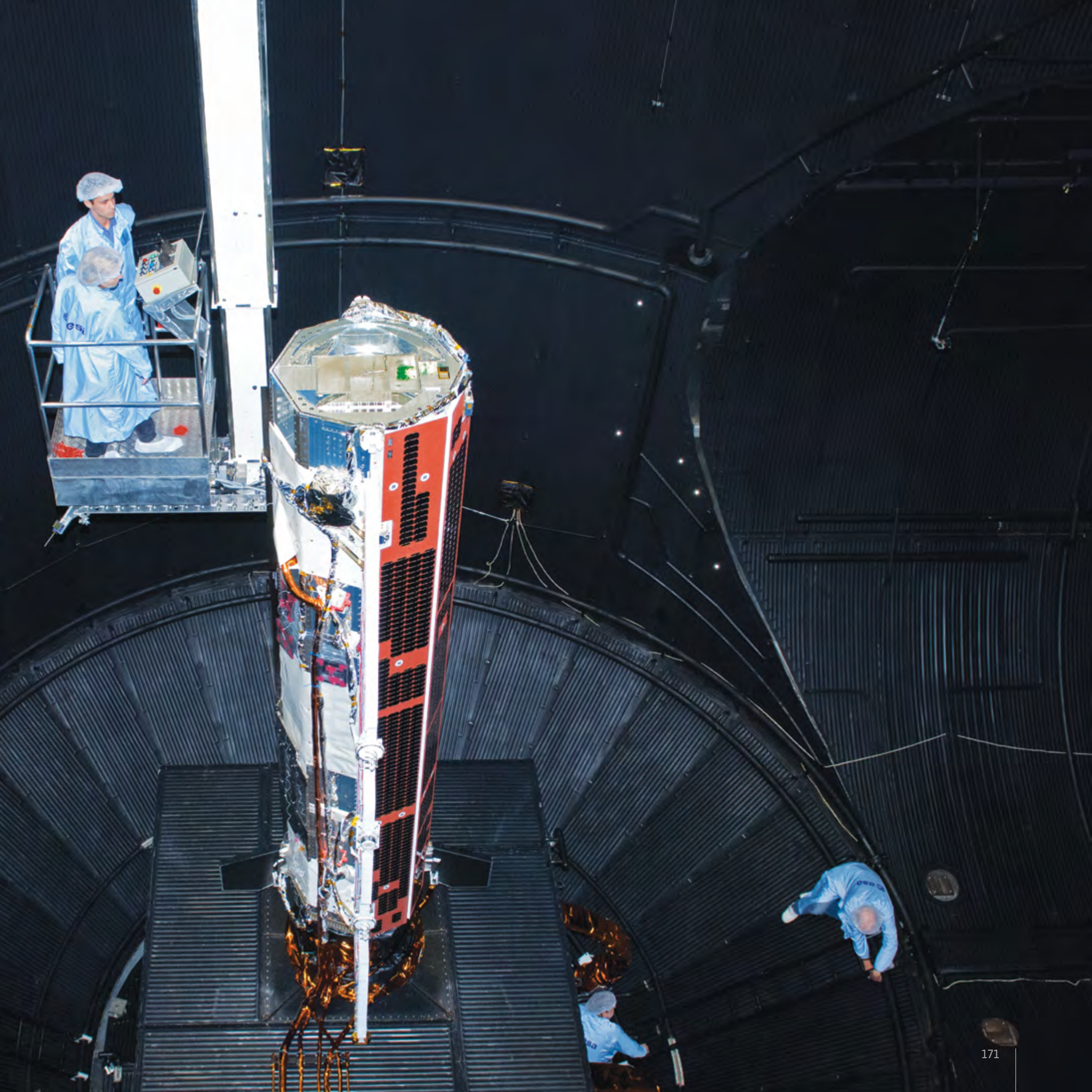
La nouvelle génération

Élégante et aérodynamique, la mission GOCE (Gravité et circulation océanique en régime stable) de l'ESA, vue ici pendant les essais au centre technique de l'ESA, ESTEC, a été la première d'une nouvelle génération de satellites d'observation de la Terre, les « Earth Explorers », lancée en 2009.

Alors que les satellites Sentinels de l'Agence soutiendront les services environnementaux opérationnels, les Earth Explorers sont des missions de recherche, chacune d'entre elles visant à améliorer la compréhension scientifique d'éléments particuliers dans le système terrestre. Le changement climatique étant le principal défi unique auquel l'humanité doive faire face au cours de ce siècle, chacun des Earth Explorers apportera une contribution importante à l'effort mondial pour comprendre notre planète.

GOCE a été conçu pour maximiser sa sensibilité à la gravité terrestre en restant en orbite à seulement 255 km d'altitude, beaucoup plus près que n'importe quel autre satellite.

C'était une mission d'observation de la Terre qui n'a pas observé, mais qui a enregistré l'attraction gravitationnelle changeante sur son « gradiomètre » perfectionné avec une précision d'un milliardième. Ses ailettes ont aidé à surmonter les faibles turbulences, tout comme son propulseur ionique compensait la trainée atmosphérique, de sorte que l'orbite de GOCE était finalement influencée uniquement par la gravité. Sa mission réussie s'est terminée en 2013 mais l'exploitation des mesures effectuées va se poursuivre pendant des années.



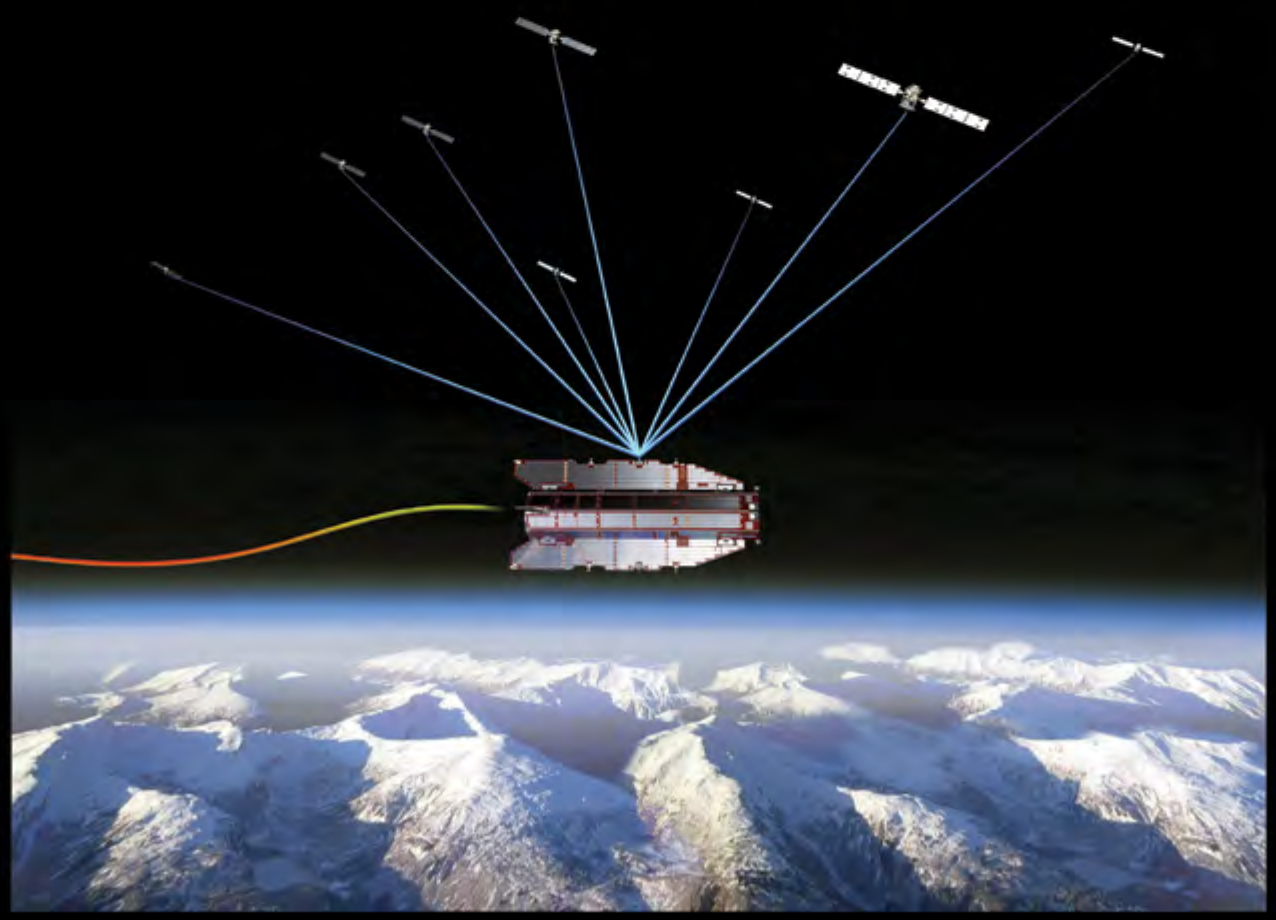
Carte mondiale de la gravité

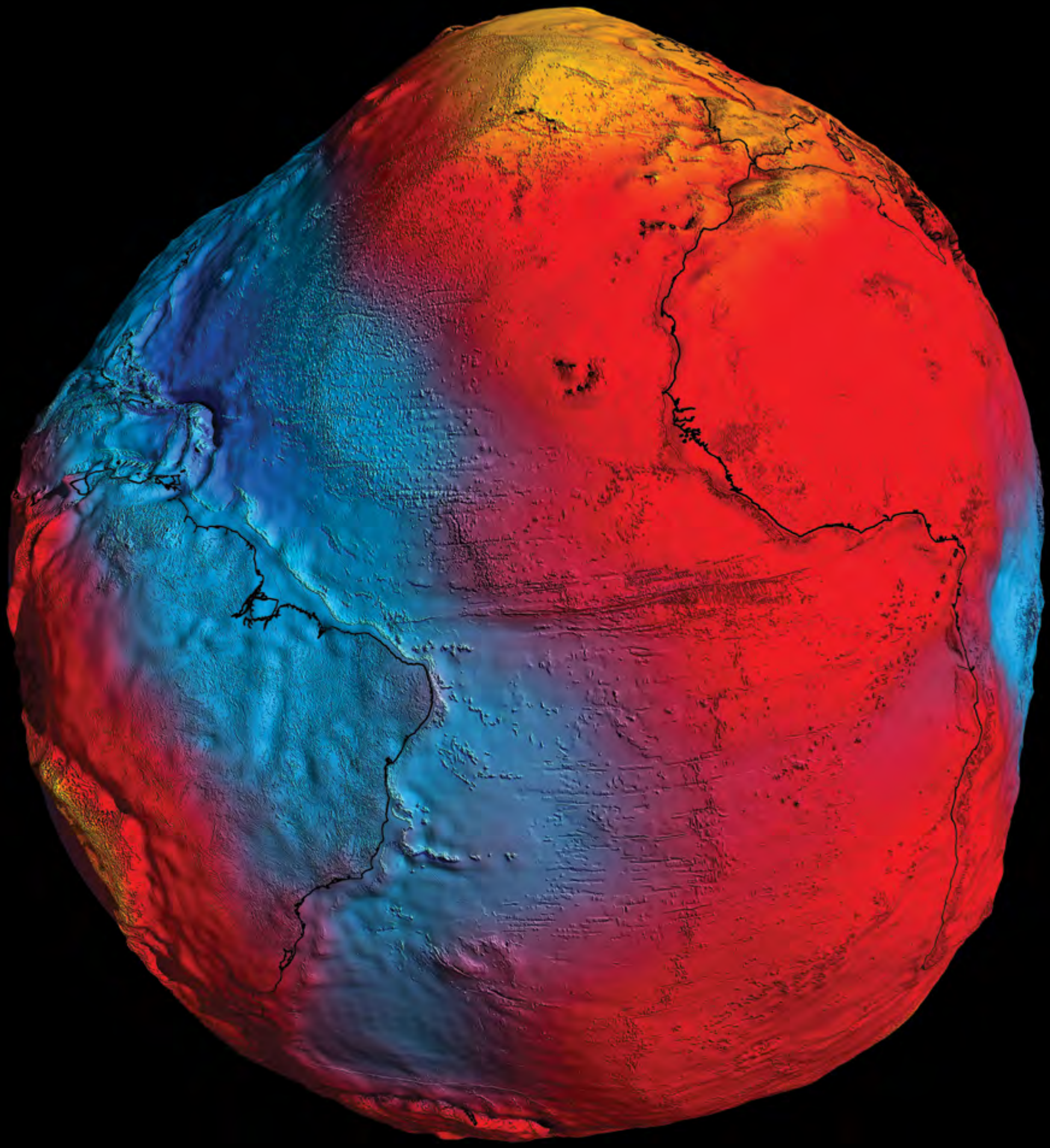
Imaginez que vous êtes au bord de la mer, vous claquez des doigts et comme par magie, la mer devient parfaitement calme. Devant vous se trouverait une vaste étendue d'eau sans courants ni même ondulations, libérée des effets du vent, de la marée ou de la force de la rotation de la Terre, désormais influencée par la seule gravité.

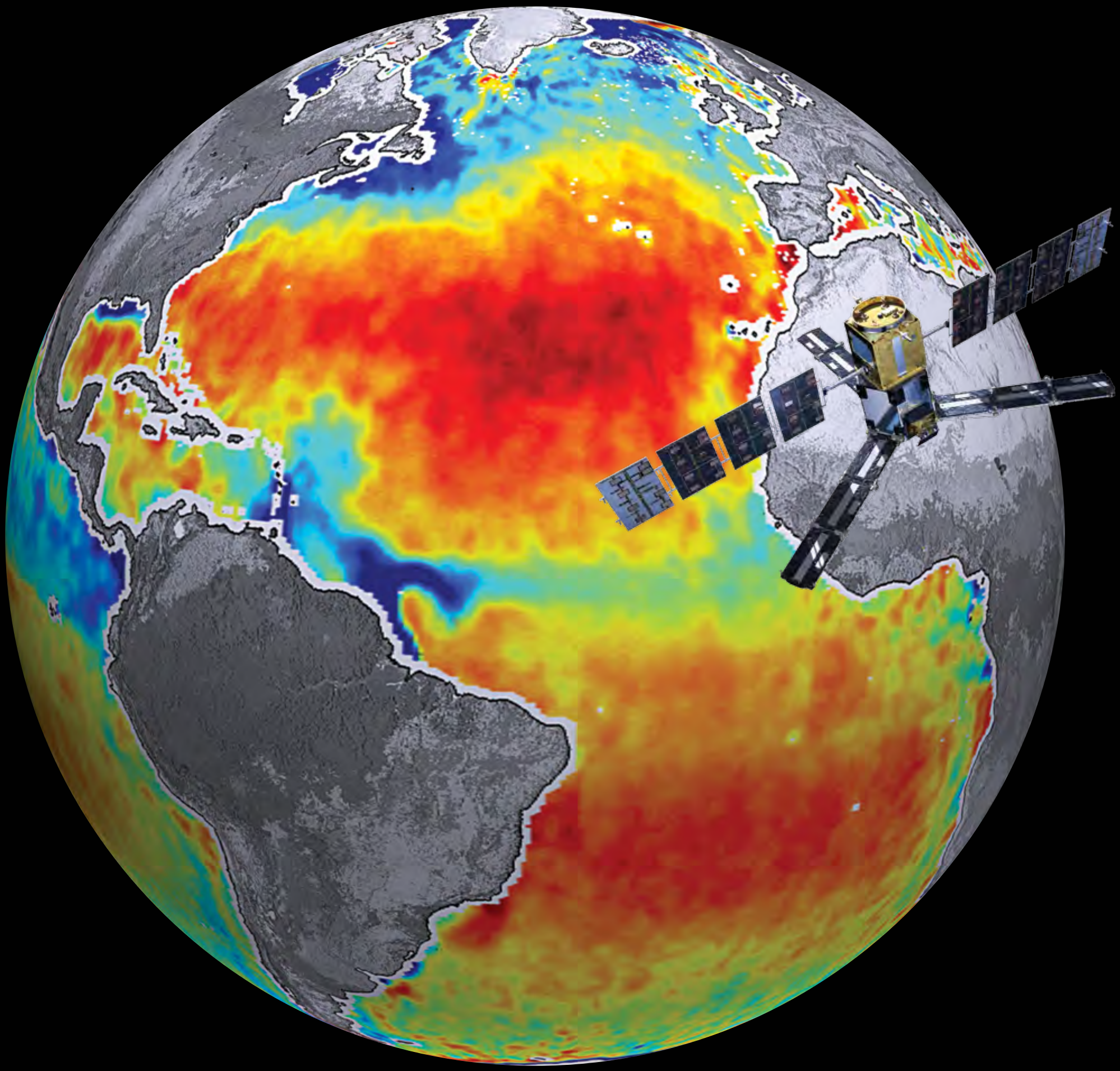
Identifier les détails d'une telle situation théorique était l'objectif principal de GOCE. En mars 2011, GOCE – son orbite précise par rapport à la Terre étant évaluée par navigation satellite (photo du bas) – a produit cette carte mondiale « géoïde ». Elle représente une surface du monde équivalente à la forme que les océans mondiaux suivraient s'ils n'étaient pas influencés par les vents, les courants ou d'autres forces perturbatrices.

Le géoïde a une amplitude dynamique vers le haut et vers le bas de 200 m environ à travers le monde et GOCE l'a réduite à environ 4 cm avec une résolution spatiale de 100 km, beaucoup mieux que ce qui a été atteint jusqu'à présent. Chaque nouvelle orbite a permis une photographie légèrement plus précise pendant le déroulement de la mission jusqu'en 2013.

Un géoïde précis ouvre une fenêtre dans la structure interne de la Terre, permet une cartographie plus précise que jamais des courants océaniques profonds, assiste la prospection du pétrole et des dépôts minéraux et des réservoirs d'eau souterraine, tout en permettant de standardiser les systèmes de mesure sur toute le planète.







La peau aqueuse et salée de la Terre

La mission d'étude de l'humidité des sols et de la salinité des océans SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) de l'ESA, lancée en 2009 en tant que deuxième Earth Explorer, est un radiotélescope en orbite. Il est à noter que son antenne en forme de Y la même configuration distinctive que les récepteurs du célèbre Very Large Array des observatoires de radioastronomie au Nouveau-Mexique, États-Unis (en bas).

Au lieu de scruter l'Univers, SMOS cartographie les signaux radio extrêmement faibles émis par la peau aqueuse de notre planète, enregistrant l'humidité du sol et les niveaux de salinité des océans.

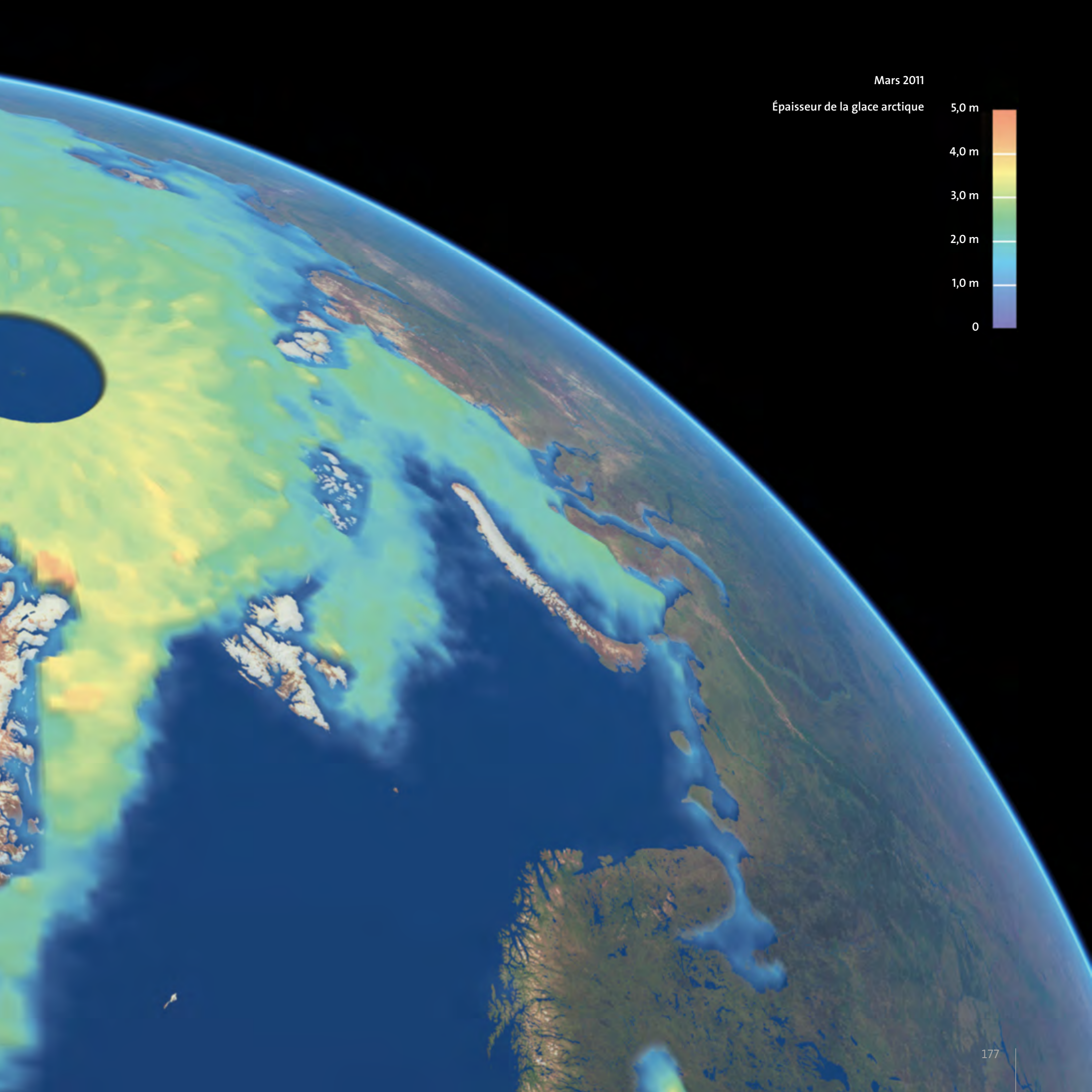
L'importance de cette information a été d'abord compris dans les domaines de l'agriculture et de la gestion de l'eau notamement pour evaluer les ressources alimentaires et pour dépister les processus de désertification – puis plus récemment en termes plus larges de cycle de l'eau, au bénéfice des prévisions météorologiques et de la climatologie. L'humidité de la terre influence les régimes météorologiques régionaux tandis que la salinité de la mer est un moteur primordial des courants marins.

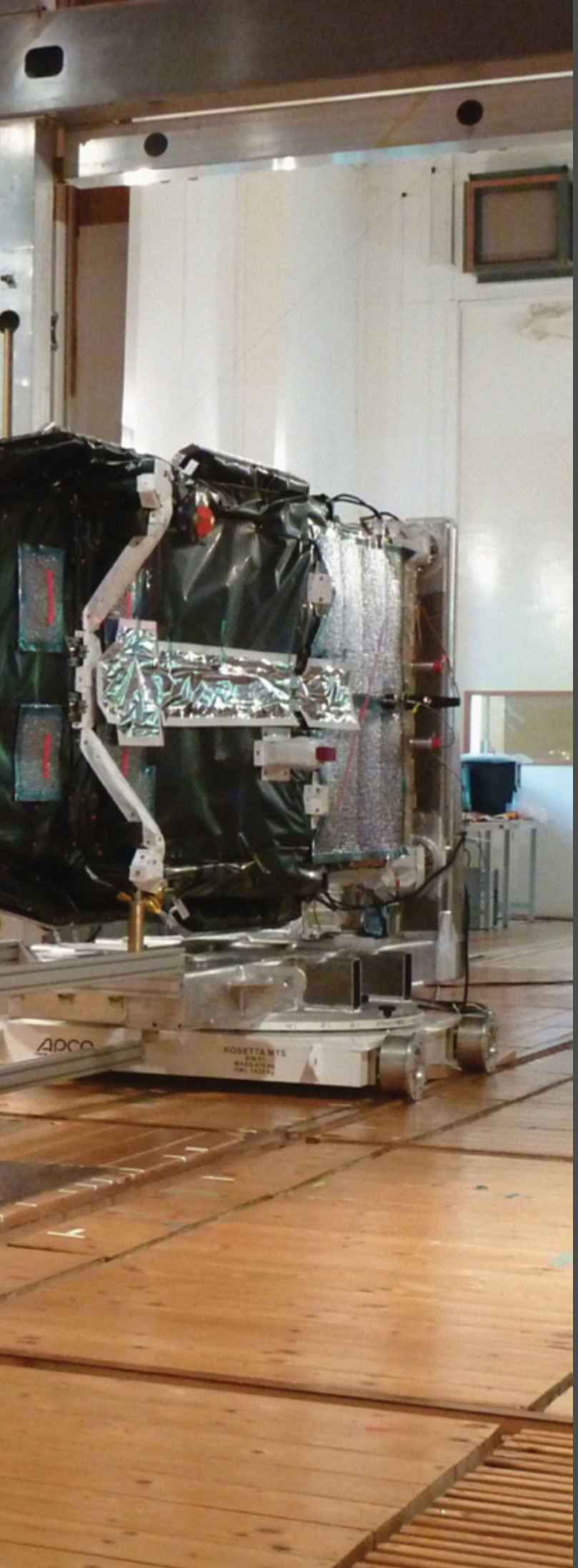
Deux décennies de développements technologiques ont été nécessaires pour rendre SMOS possible, mais la mission a dépassé les attentes, affichant une sensibilité inattendue à la glace de mer et à la terre gelée et améliorant la précision des prévisions de la force des ouragans.

Une nouvelle dimension dans la cartographie polaire

Une nouvelle dimension s'ajoute aux dernières cartes satellites des régions polaires de la Terre par CryoSat-2 de l'ESA. Les autres satellites peuvent mesurer la couverture de glace et le rythme apparent du retrait, à mesure que le Terre continue à se réchauffer, mais pas l'épaisseur de la glace. Mais CryoSat, lancé en 2010 en tant que mission Earth Explorers, transporte un altimètre radar perfectionné pour mesurer les contours de l'étendue glaciaire et les morceaux de glace de mar flottants et déterminer comment ils évoluent dans le temps. Ces deux régions sont importantes parce qu'elles sont le théâtre des évolutions les plus rapides, et toutes deux étaient plus ou moins invisibles pour les générations antérieures de satellites.

Cette carte de l'Arctique, créée par le Centre d'observation et de modélisation polaire, au Royaume-Uni, utilise les premiers résultats de CryoSat pour mesurer l'épaisseur de la glace de mer au printemps tout en haut de la Terre. La photo n'est qu'un avant-goût de ce qui va suivre – il faudra des années de données traitées pour déterminer les tendances – avec des résultats recoupés avec des campagnes essentielles de « vérité du terrain » à travers les régions polaires pour confirmer le maillage des résultats de CryoSat avec la réalité observée.


Mars 2011
Épaisseur de la glace arctique
5,0 m
4,0 m
3,0 m
2,0 m
1,0 m
0

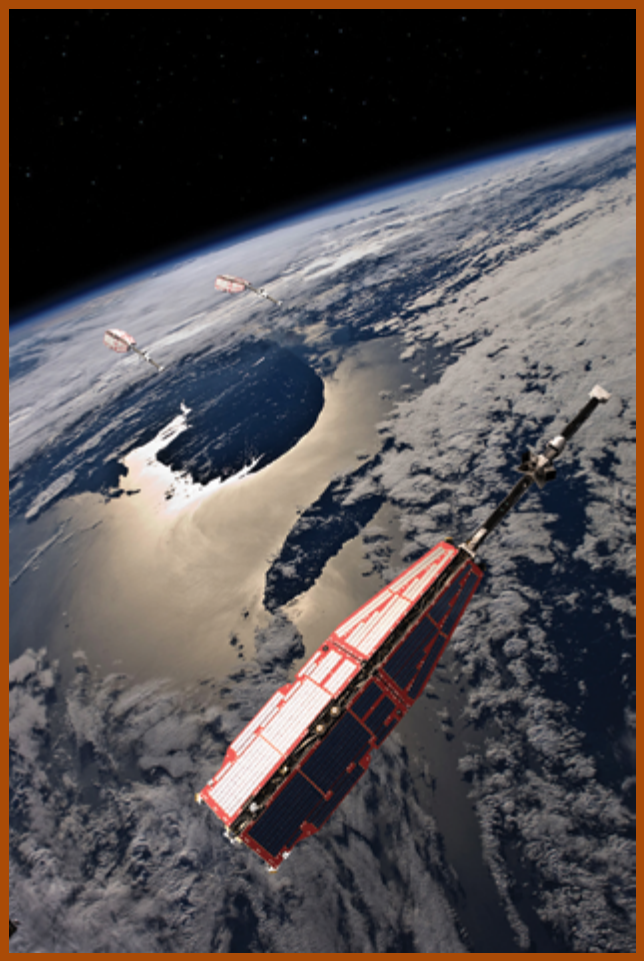


Mission magnétique

Notre planète est entourée d'une autre : un champ magnétique de la taille de la Terre. Les missions Earth Explorers, uniques en leur genre, se poursuivent avec Swarm, un trio de satellites qui réalise le relevé le plus net jamais effectué de la « magnétosphère » de la Terre, en mouvement perpétuel, et de la façon dont elle évolue dans le temps.

Vu ici en cours d'essais dans un environnement non magnétique de l'établissement IABG à Berlin, chaque satellite Swarm vole selon une orbite polaire différente à une altitude entre 400 km et 550 km, avec un télédétecteur pour mesurer la puissance et la direction du champ magnétique, ainsi que des appareils supplémentaires tels que des récepteurs GPS, un accéléromètre et un instrument de mesure des champs électriques. Les magnétomètres eux-mêmes sont placés sur des bras non-magnétiques de 4 m de longueur pour minimiser les interférences électriques.

Swarm a été lancé en 2013. Puis en 2015 arrivera Aeolus qui observera les vents globaux à l'aide d'un capteur laser. La mission EarthCARE, menée conjointement par l'Europe et le Japon, doit voler en 2016, pour étudier l'interaction entre les nuages, les aérosols et le rayonnement dans la formation du climat global.



L'œil de l'ESA sur Terre

Si les satellites d'observation de la Terre sont considérés comme les prémisses du système nerveux d'une planète, alors le centre nerveux de l'Europe c'est le Centre pour l'observation de la Terre (ESRIN) de l'ESA à Frascati, en Italie. Entouré de vignobles sur un coteau surplombant Rome, l'ESRIN est le centre de contrôle de toutes les missions d'observation de la Terre de l'ESA. C'est l'endroit où leurs données sont traitées, archivées et distribuées aux utilisateurs dans le monde entier.

Ces missions renvoient en permanence des données vers la Terre et l'ESRIN gère un segment sol de coopération mondial complexe et décentralisé pour s'assurer que ces données sont acquises par des stations réceptrices et traitées par des stations sol. L'ESA utilise également le segment sol multi-missions de l'ESRIN pour acquérir, traiter et archiver des données de 30 agences partenaires, appelées « missions de tiers ».

Les archives de données d'observation de la Terre de l'ESRIN sont les plus importantes en Europe. Mises gratuitement à la disposition des scientifiques, elles sont décentralisées et suivent l'évolution des technologies afin de gérer, de façon conviviale, des volumes de données en augmentation constante.

L'ESRIN soutient en plus des milliers de scientifiques et d'utilisateurs opérationnels des données d'observation de la Terre. Elle reçoit leurs propositions pour de futures acquisitions de satellites et traitent tous les problèmes liés à l'utilisation des données, établit des programmes avec de nouveaux groupes d'utilisateurs et héberge un centre d'incubation d'entreprises qui travaille avec des entreprises qui débutent dans le domaine de la technologie spatiale. ESRIN est également le site d'où sont organisées les contributions de l'ESA à Copernicus, y compris la gestion de la phase de transition des satellites Sentinels, jusqu'à l'entrée en service prévue en 2014.

→ UN FOYER EN HAUTEUR

En orbite sous la voûte des missions dédiées à l'observation de la Terre se trouve le satellite le plus bas, mais aussi le plus grand de tous. La Station spatiale internationale de 450 tonnes, qui tourne en orbite à 7,4 km par seconde à environ 400 km d'altitude, est également le seul satellite habité.

Rester en vie

Il y a actuellement six membres d'équipage à bord de la Station et un astronaute européen en fait partie tous les deux ans environ pour une période de six mois. Ils vivent dans un environnement confortable malgré le fait que de l'autre côté de la mince coque en aluminium se tapit le vide spatial qui les tuerait instantanément. Le simple fait de les laisser là en vie – sans penser au confort – représente un défi d'ingénierie considérable.

Un être humain consomme 0,84 kg d'oxygène par jour – nous survivons quelques minutes seulement en son absence – tout en produisant 1,0 kg de dioxyde de carbone. En circuit fermé, le premier gaz implique un ravitaillement actif tandis que le second doit être éliminé. Nous avons également besoin de 3,5 kg d'eau potable et 0,62 kg de nourriture solide au quotidien pour rester en bonne santé et la pression d'air, la température et l'humidité doivent rester dans des limites strictes. De plus, la Station elle-même a besoin de ravitaillements réguliers en carburant pour « rehausser » son orbite, car la faible résistance de l'air réduit son altitude d'environ 100 m par jour.

Travaux en apesanteur

Pourquoi fournir un tel effort international continu pour maintenir la Station en place ? Parce que nous sommes et nous avons toujours été dans le champ gravitationnel de la Terre, il est difficile de comprendre l'influence ou les effets masquant de la gravité sur tous types de phénomènes. Nous pouvons comprendre les mécanismes derrière ces phénomènes et comment la gravité interfère avec eux seulement en « supprimant » la gravité. Cependant, la gravité est omniprésente. Même à l'altitude de l'orbite de la Station, l'attraction de la gravité terrestre est réduite d'une petite fraction seulement. La Station est en chute libre, mais son déplacement latéral fait qu'elle ne peut jamais retomber sur la Terre. Par la simple vertu de sa vitesse, la Station reste dans cette chute libre permanente et offre une plate-forme d'études des processus physiques fondamentaux, libérés des effets déformants de la gravité.

Les chercheurs peuvent produire de nouveaux alliages et d'autres matériaux, observer comment le feu brûle pour développer des processus industriels d'allumage plus efficaces et étudier les mécanismes internes de la vie végétale et animale, le produit de millions d'années d'évolution au sein d'un champ de gravité. Parce que les humains ont évolué de cette manière, la vie en microgravité présente des inconvénients pour les astronautes, mais bien sûr nous nous adaptons. Les membres d'équipage séjournent en orbite pour des semaines ou des mois.

Chaque heure de chaque journée dans l'espace est une expérience d'apprentissage : une opportunité de réaliser des expériences scientifiques fondamentales et de développer de nouvelles applications industrielles, médicales et grand public.

Faire des progrès

L'expérience « Atomic Clock Ensemble in Space » ou ACES de l'ESA concerne la mise en service d'un nouveau type d'horloge atomique libre de l'influence de la gravité, ce qui lui confère un niveau de précision irréalisable sur Terre. En comparant l'heure de la Station avec les horloges atomiques sur Terre, les scientifiques

pourront tester des constantes fondamentales de la physique, mais ACES pourrait également doubler la précision de la navigation par satellite. Les nouveaux alliages métalliques à base de mousse découverts en apesanteur trouvent des applications partout, de l'aérospatiale aux téléphones mobiles. Dans le domaine médical, des études de biologie astronautique ont repéré l'enzyme responsable de la mort des cellules immunitaires, tandis que des plasmas froids étudiés à bord de la Station offrent un nouveau moyen de combattre les bactéries résistantes aux antibiotiques. En étudiant comment la circulation sanguine s'adapte dans le corps à la microgravité à la microgravité, nous pouvons comprendre pourquoi notre sang ne se dirige pas vers nos pieds quand nous nous levons et ce qui se passe dans les cas médicaux où cela se produit et où les gens s'évanouissent.

L'étude des effets de la gravité sur la physiologie signifie également que nous découvrons comment vivre dans l'espace à long terme, de façon à pouvoir explorer plus loin le moment venu.

Les européens entrent en orbite

L'ESA a été un membre fondateur du partenariat international qui a donné naissance à la Station, et qui est centré sur la vie et le travail des hommes dans l'espace pendant une longue durée. À l'époque des missions habitées sur la Lune, les scientifiques européens discutaient déjà de leur participation dans les activités post-Apollo de la NASA. Le résultat a été Spacelab, un module de laboratoire hébergé dans la soute de la nouvelle Navette spatiale, pour le transformer d'un camion de l'espace en un équipement de recherche orbital à part entière. Les astronautes de l'ESA ont volé pour la première fois sur la Navette. Ils ont commencé comme « spécialistes de la charge utile », ayant pour mission d'effectuer des expériences, développant progressivement leurs capacités au fil des ans, au point de participer à des activités fondamentales comme des sorties dans l'espace et l'utilisation du bras robotisé de la Navette.

L'effort de construction d'un laboratoire permanent de recherche en microgravité – qui deviendra la Station spatiale internationale – a débuté au milieu des années 80. L'ESA a utilisé son expérience de construction du Spacelab pour la conception de ses modules de la Station, ainsi que du Véhicule de transfert automatique européen, qui est actuellement l'engin spatial disposant de la plus grande capacité pour approvisionner l'avant-poste orbital.

Aller plus loin

Pour la Station elle-même, l'ESA a produit le laboratoire Columbus et ses équipements d'expériences et elle a contribué au système informatique qui gère la partie russe, aux modules de refroidissement utilisés par les modules japonais Kibo et américain Destiny et à un rack d'équipements scientifiques spécialiste dans Destiny. Les Russes se sont joints aux efforts pour la Station au début des années 90 et les astronautes européens ont volés sur l'engin spatial russe Soyouz, d'abord vers Mir puis vers la Station nouveau-née. L'expérience qui a suivi la construction et l'utilisation de la Station a cimenté l'approche internationale comme une ligne de départ pour d'autres explorations. Pour les vols spatiaux habités, les valeurs de l'Europe de diversité et de coopération sont devenues la norme. Mais s'attaquer à s'aventurer plus loin dans l'espace sera encore plus difficile. La Lune est environ mille fois plus loin dans l'espace que la Station et Mars encore mille fois plus loin que la Lune. L'ESA effectue des recherches sur les avancées technologiques et les facteurs humains nécessaires pour un tel bon exploratoire.

Un espace partagé

La Station spatiale internationale est de loin le plus grand objet fabriqué par l'homme dans l'espace, comparable par sa taille à un Airbus A380 en orbite. Avec une masse finie d'environ 450 tonnes, elle s'étend sur 108 m de largeur – plus large qu'un terrain de football – pour une longueur de 74 m, qui est poussée à 88 m quand un engin de ravitaillement y est amarré. Les 2230 m^2 des ailes solaires qui dominent la Station produisent suffisamment d'électricité pour alimenter une petite ville.

À l'intérieur des modules pressurisés perpendiculaires à la poutre principale de la Station, ses six membres d'équipage disposent de 1200 m^3 d'espace – environ trois fois plus qu'une maison européenne classique.

La construction de la Station a été l'entreprise internationale la plus complexe de l'histoire. L'ESA est responsable de deux composants principaux de la Station : le laboratoire Columbus et le vaisseau de ravitaillement ATV, Véhicule de transfert automatique. De plus, plus de la moitié des éléments pressurisés de la Station ont été conçus et construits en Europe, et livrés à la NASA sur la base d'echange.

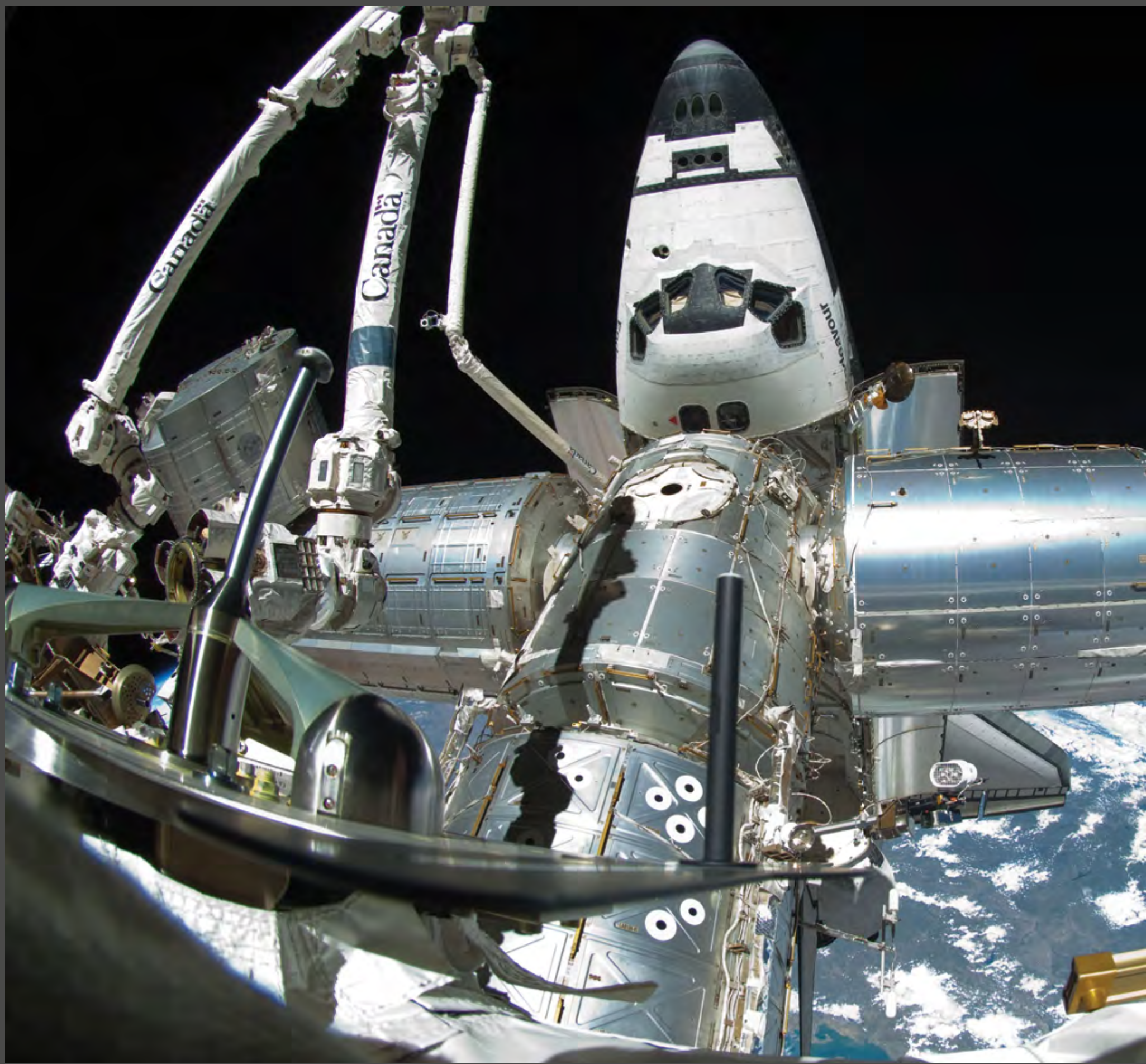
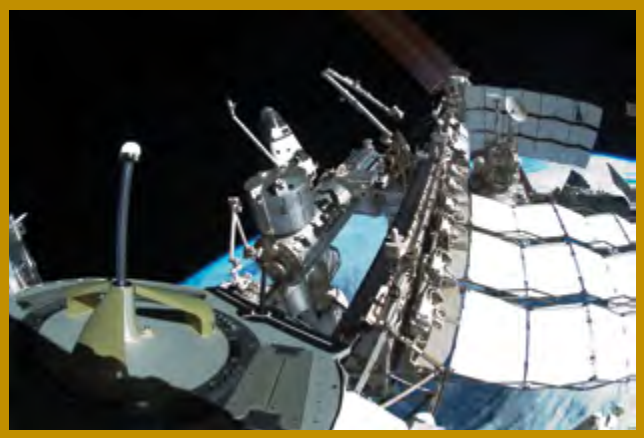

Canada
Canada
ENDEAVOUR

Plate-forme de recherche

La vue en grand-angle de l'extérieur de la Station spatiale internationale avec la Navette spatiale Endeavour amarrée montre la nature tentaculaire du complexe orbitale – le résultat final du projet de construction le plus ambitieux de l'histoire. Le module Columbus de l'ESA est au centre à droite. Plus de 40 vols de construction ont été nécessaires pour atteindre ce point, avec plus de 120 lancements au total vers la Station. Au sens strict, le chantier est toujours en cours, un module russe devant être ajouté, ainsi que le bras robotisé européen de l'ESA. Et des points d'amarrage restent disponibles pour des modules supplémentaires.

La Navette spatiale de la NASA a effectué toutes les opérations de levage de charges lourdes, de livraison et d'amarrage des éléments de la Station, avec plus de 150 sorties dans l'espace totalisant près de 1000 heures de montage et d'entretien, ainsi que de mise en place et de retrait d'expériences externes. En 2006 Thomas Reiter est devenu le premier astronaute de l'ESA à participer à une sortie dans l'espace pour la construction de la Station. Il a installé du matériel à l'extérieur pour préparer un assemblage à venir.

La Station est une plate-forme pour différents types de recherches, en extérieur tout comme à l'intérieur. L'instrument « MAXI » (Monitor of All-sky X-ray Image) hébergé par le module japonais Kibo (à gauche) surveille la totalité du ciel aux rayons X pour apporter aux astronomes une aide sur les choses où chercher. Le Spectromètre magnétique Alpha (ci-dessous) – supervisé par le CERN suisse et testé pour l'espace par l'ESTEC, le Centre technique de l'ESA, aux Pays-Bas – cherche à détecter des particules exotiques comportant des preuves potentielles de l'existence de la matière noire et de l'anti-matière.



La place de l'Europe dans l'espace

Le laboratoire Columbus est la principale contribution de l'ESA à la Station spatiale.

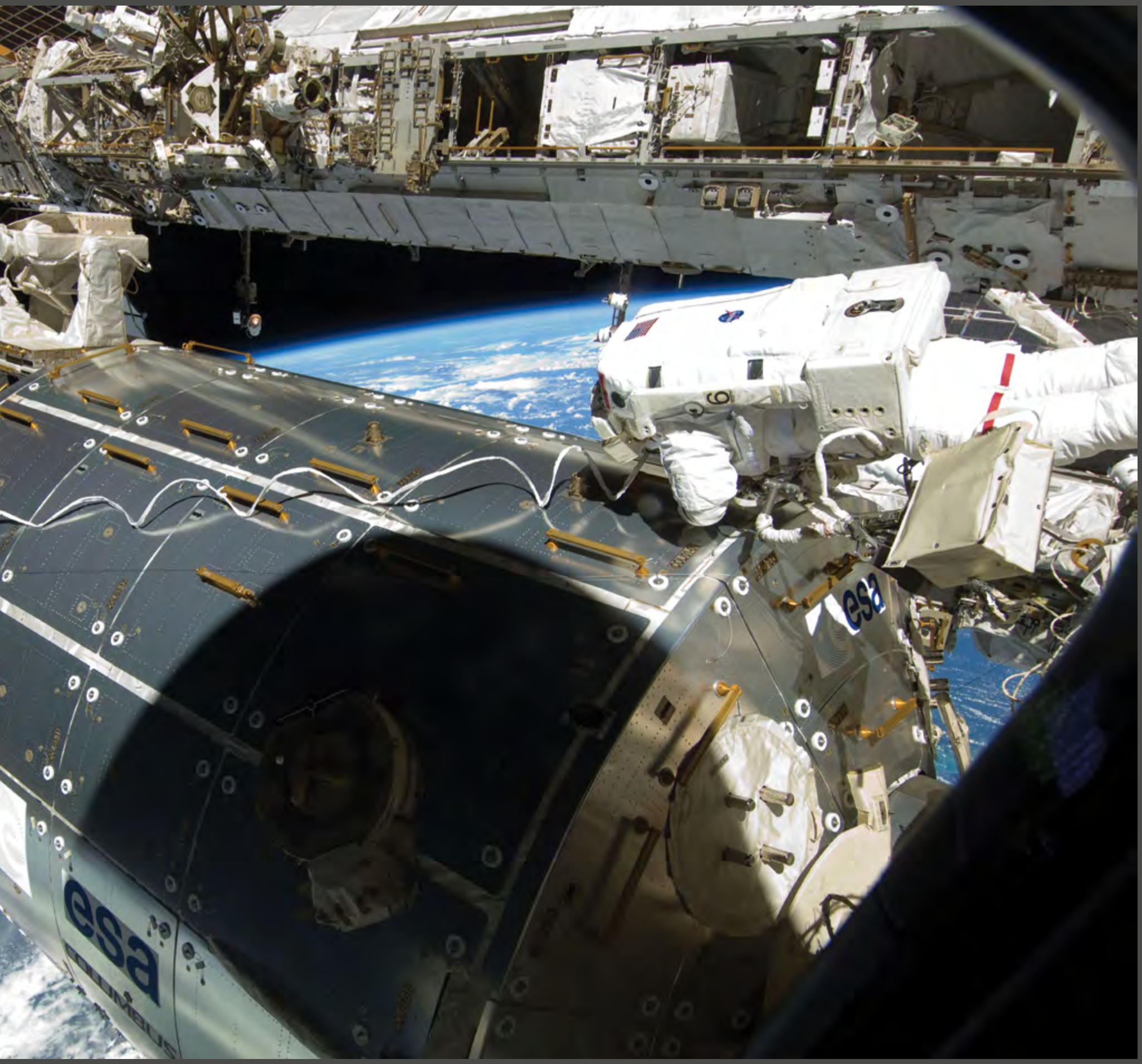
Parfois, les grandes choses arrivent dans des petits paquets. Sur Terre, un équipement comme Columbus remplirait largement un immeuble de plusieurs étages. Après tout, il s'agit moins d'un laboratoire unique mais plutôt d'un centre de recherches à part entière, dédié à un large éventail de disciplines scientifiques : la physique fondamentale, la science des matériaux, les essais de technologie et la biologie, ainsi que la surveillance environnementale.

Mais l'ESA a conçu Columbus non pour la Terre mais pour l'espace. Et dans l'espace le facteur qui fait toujours défaut c'est précisément l'espace lui-même.

Ainsi les ingénieurs européens ont dû faire face au défi de miniaturiser une série complète de laboratoires pour les faire entrer dans une coque cylindrique de 6,8 m de long et de 4,5 m de large au point le plus long – à peu près la taille d'un petit conteneur de transport ou d'un grand camping-car. Avec les laboratoires devaient embarquer tous les sous-systèmes essentiels, le labyrinthe des liaisons d'alimentation, de données et de vidéo, les canalisations de plomberie et de refroidissement, plus les commandes à distance et le support vie.

Comparez le volume d'ingénierie nécessaire pour construire une voiture de Formule 1 : des composants à hautes performances provenant de nombreux sites différents doivent être minutieusement intégrés dans un espace de taille strictement limité. Dans les deux cas, les machines qui en résultent sont trop complexes pour être maîtrisées par une seule personne et impliquent un logiciel d'exploitation composé de centaines de milliers de lignes de code. Et bien sûr, les deux doivent être conçues pour recevoir des êtres humains.

Son volume de 75 mètres cubes héberge une série entière de laboratoires scientifiques qui permettent des dizaines d'expériences différentes dans le domaine des sciences de la vie, la science des matériaux, la physique des fluides et d'autres disciplines à n'importe quel moment. De nombreuses expériences dans Columbus peuvent être réalisées sans surveillance par des astronautes, supervisées par le Centre de contrôle de Columbus à Oberpfaffenhofen en Allemagne, en liaison avec un réseau de centres de support aux expérimentateurs et d'opérations au service de différents États membres de l'ESA. Ainsi, alors que seule une poignée de personnes poseront le pied à l'intérieur de Columbus pendant sa durée de vie, des milliers d'autres y auront effectué des travaux.

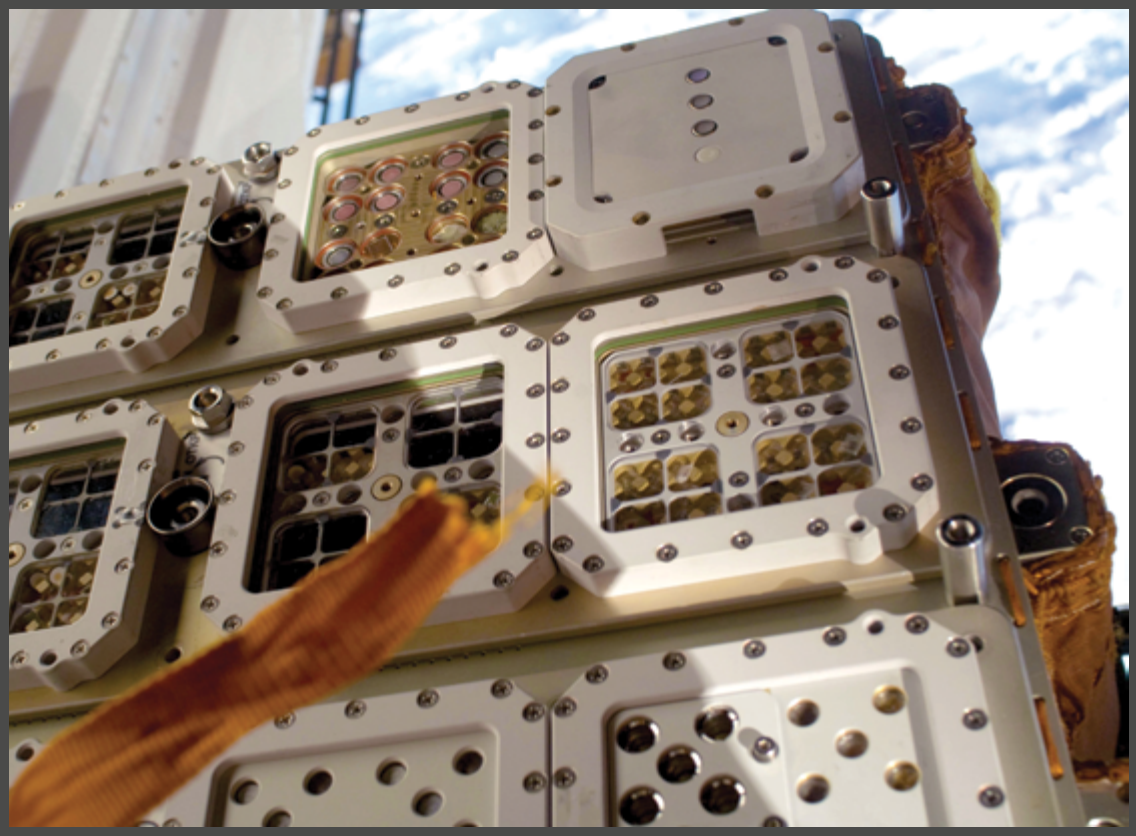

esa
esa

Défier la gravité

Dans une chute perpétuelle autour de la Terre – tirée en arrière par la gravité terrestre mais se déplaçant trop rapidement pour heurter le sol – la Station spatiale offre un accès permanent aux conditions de microgravité. C'est le grand avantage de la science : l'apesanteur peut être obtenue sur Terre seulement pendant quelques secondes à chaque fois, dans des tours de chute libre ou pendant des vols paraboliques dédiés.

Sur Terre, nous vivons au fond d'un puits de gravité. Elle modèle le monde, définit notre manière de vivre et donne naissance à des processus physiques fondamentaux comme la flottabilité, la sédimentation ou la convection. Les recherches de l'ESA à bord de la Station – soutenues par le programme européen de recherche dans les sciences de la vie et les sciences physiques (European Programme for Life and Physical Science : ELIPS) – fournissent l'opportunité d'étudier les processus physiques, chimiques et biologiques fondamentaux sans les effets déformants de la gravité. À bien des égards, la Station est un manuel de physique animé : La troisième loi du mouvement de Newton – « Pour chaque action il existe une réaction égale et opposée » – devient la base pratique du déplacement pour les astronautes.

Le vide spatial juste derrière la mince coque en aluminium est une autre ressource scientifique. Il est possible de placer des échantillons à l'extérieur pour voir comment ils réagissent à l'environnement spatial, comme dans l'exemple de l'équipement Expose (image ci-contre).



Approvisionnement dans l'espace

La Station spatiale a été la maison que la Navette a construite – presque tous ses modules et une grande partie des fournitures ont été transportés en orbite par l'engin spatial de transport lourd. L'image en bas à gauche montre l'atterrissage de STS-134 en 2011, l'avant-dernier vol de la Navette et le dernier à transporter un astronaute européen – l'italien Roberto Vittori.

Les autres partenaires internationaux doivent désormais assurer le ravitaillement de la Station en matériels et en équipages. Le Soyouz russe est actuellement le seul engin spatial certifié pour transporter des gens de et vers l'avant-poste (image principale), deux restant amarrés à la Station en alternance. Remarquez la segmentation comme le corps d'un insecte : seul le segment médian en forme de cloche, le module de descente, retourne sur Terre.

Les cargos non habités ravitaillent la Station en nouvelles expériences, en eau, nourriture, oxygène et carburant pour maintenir l'orbite à environ 400 km d'altitude. Le Progress russe est dérivé du Soyouz mais le module de descente est remplacé par un réservoir de propergol, et il transporte un peu moins de deux tonnes de carburant et une charge utile équivalente. Le H-II Transfer Vehicle japonais (ou HTV, en bas à droite) transporte six tonnes de ravitaillement dans sa coque dorée distinctive. Le Véhicule de transfert automatique de l'Europe est un lien majeur dans la chaîne logistique, avec les cargos non habités Dragon et Cygnus, développés par le secteur commercial américain.

Bagage de dernière-minute

Embarquement de bagages de dernière minute dans le troisieme Véhicule de transfert automatique de l'ESA (Automated Transfer Vehicle : ATV) sur la base de lancement de Kourou en 2012 (ci-dessous). La sécurité de l'équipage étant primordiale, les techniciens descendus par la trappe d'amarrage pour ajouter les derniers éléments portent des combinaisons pour éviter la contamination. Une fois cette opération terminée, l'intérieur est rincé à l'air ultra-propre avant de sceller la trappe. La majeure partie du chargement a déjà été réalisée à ce stade, avant que les deux moitiés de l'ATV – son module de service et le cargo intégré – ne soient jointes.

Maintenant que la Navette a pris sa retraite, l'ATV de la taille d'un autobus, est celui qui a la plus grande capacité d'emport de cargaison pour la Station spatiale internationale. Assemblé à partir d'éléments provenant de toute l'Europe, l'ATV mesure 10,3 m de haut, 4,5 m de large et pèse plus de 20 tonnes au lancement dont 7,6 tonnes de charge utile – eau, air, propergol et cargaison sèche telle que la nourriture, le matériel de remplacement et les expériences. Une partie du propergol que l'ATV transporte est utilisé pour son propre rendez-vous et son amarrage avec la Station, une partie est pompée à bord et le reste est utilisé par l'ATV lorsqu'il est amarré pour effectuer des poussées périodiques de l'avant-poste tous les quelques mois, pour contrer la traction aérodynamique des maigres restes de l'atmosphère.

ATV en route

Voilà à quoi ressemble un lancement spatial vu d'en haut. Le lancement de l'ATV-2, *Johannes Kepler*, tel qu 'il a été vu par l'équipage de la Station qui le guettait le 16 février 2011. Cette photo remarquable a été prise par l'astronaute de l'ESA Paolo Nespoli à 350 km d'altitude, quelques minutes seulement après le lancement de l'ATV en haut d'une Ariane 5 depuis le port spatial de l'Europe en Guyane française. Elle montre la trainée d'échappement ascendante d'Ariane, encore sur sa trajectoire verticale initiale vers l'orbite – visible sous la forme d'une mince trace sous le bras robotisé de la Station.

Environ 75 minutes après le lancement, à environ 260 km d'altitude, l'ATV se sépare de l'étage supérieur d'Ariane 5 pour devenir un engin spatial entièrement autonome. Une série de manœuvres orbitales préparée par son Centre de contrôle à Toulouse fait monter l'ATV, puis s'aligner progressivement avec la Station.

L'ATV-3 de l'ESA, lancé le 23 mars 2012, a été la combinaison la plus lourde d'une fusée et d'une charge utile que l'Europe ait jamais fait voler.

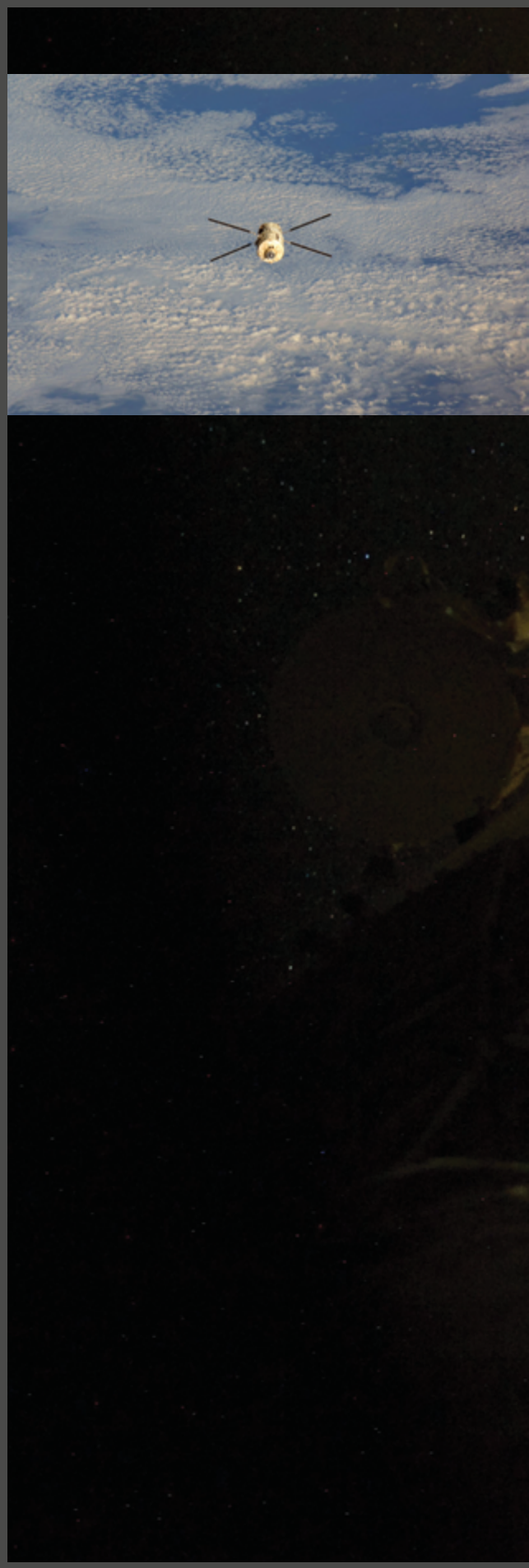
Rendez-vous robotique

L'ATV est peut-être un vaisseau inhabité mais il intègre de l'intelligence humaine. Environ un million de lignes de codes supervisent son vol, contrôlant presqu'une centaine de modes opératoires. Le résultat est un engin spatial qui peut s'amarrer à la Station spatiale internationale de façon entièrement automatique, sans la supervision d'un équipage. Sa conception respecte les règles de sécurité obligatoires pour un vol spatial habité : il doit rester sûr en toutes circonstances quelle que soit la combinaison de deux dysfonctionnements. Pour la redondance, deux séries de logiciels supervisent ensemble ses manœuvres d'amarrage, et une troisième qui dépend d'un panneau de capteurs indépendant est prêt à envoyer l'ATV sur une orbite de stationnement au moindre signe de problème. Le Centre de contrôle de l'ATV peut également s'opposer à chaque manœuvre successive, tout comme l'équipage de la Station lui-même.

L'ATV commence son amarrage final sur la base du repérage GPS, et utilise la vidéo et les mesures laser pour l'approche finale. Il se rapproche de la Station à la vitesse d'une tortue, 7 cm/s, et effectue l'amarrage final avec une précision de 1,5 cm/s tout en tournant autour du monde à 8 km/s. L'amarrage est tellement doux que l'équipage ne ressent même pas de choc.

Une fois amarré, la trappe est ouverte et les étagères du ferry sont déchargés à la main pendant que les robinets d'eau et d'oxygène sont ouverts. Le ravitaillement en propergol des réservoirs de la Station est automatique.

Pendant les six mois maximum d'amarrage prévus, il va offrir à l'équipage un espace supplémentaire pour vivre et dormir. Même s'il n'est pas conçu comme une espace habitable, l'équipage apprécie son calme et son éclairage efficace, et bien entendu il est entièrement équipé d'une protection contre les micrométéorites.



Le facteur humain

Le 2 novembre 2000 restera probablement comme une date historique pour les générations futures. C'est le jour où le premier équipage de trois hommes a pris pour la première fois ses quartiers dans la Station spatiale embryonnaire. « L'Expédition 1 » a établi une présence humaine permanente en orbite basse, ininterrompue à ce jour, plus de 30 expéditions plus tard.

La Station est un laboratoire de classe mondiale pour les expériences physiques, chimiques et biologiques en microgravité mais comme tout laboratoire, elle a besoin de techniciens. Les hommes sont l'ingrédient ajouté de la Station : les équipages sont occupès à faire des expériences, servent même de sujet aux essais, effectuent l'entretien et l'assistance, en apparence de routine, d'une manière que les systèmes automatisés ne pourraient pas égaler. La Station est aussi une plate-forme d'observation multifonctions, avec des astronautes qui surveillent leur planète alors qu'ils tournent en orbite autour d'elle.

Et l'expérience de vie et de travail en orbite acquise par les partenaires internationaux peut être transférée aux expéditions suivantes plus loin dans l'espace, y compris les tests de nouveaux systèmes et matériels.

Les astronautes de l'ESA font régulièrement partie de l'équipage de la Station. L'italien Umberto Guidoni est devenu le premier astronaute de l'ESA à poser le pied à bord en 2001, alors que l'allemand Thomas Reiter a été le premier à rejoindre un équipage « complémentaire » pendant les Expéditions 13 et 14 en 2006. Léopold Eyharts est monté à bord pour préparer le module Columbus en 2008. Frank De Winne est devenu le premier astronaute de l'ESA à commander la Station au cours de l'Expédition 21 en 2009. L'astronaute de l'ESA Paolo Nespoli, sur la photo, a participé à la surveillance de la livraison du module Node-2 Harmony en 2007 et il a été ingénieur de vol pendant les Expéditions 26 et 27 en 2010/2011.

CENTRE D'ESSAIS
EN VOL

Perdre du poids rapidement avec la méthode ESA

Le prochain groupe d'astronautes en formation de l'ESA goûte à l'apesanteur en mai 2010 à bord de l'aéronef « Zero-G » du CNES / ESA pour les vols paraboliques, qui a décollé de l'aéroport de Bordeaux–Mérignac en France.

De droite à gauche, en bleu : Samantha Cristoforetti d'Italie, Thomas Pesquet de France, Andreas Mogensen du Danemark et Tim Peake du Royaume-Uni. Alexander Gerst d'Allemagne et Luca Parmitano d'Italie étaient également à bord. Ces candidats astronautes de la « classe 2009 » ont terminé leur formation complète d'astronautes la même année.

L'homme en rouge est « l'ange gardien », dont le travail consiste à réorienter tout le monde dans le temps entre les 22 secondes maxi de microgravité et la période similaire « d'hypergravité » à 1,8 g qui suit quand les pilotes allument les moteurs pour ré-accélérer. En répétant la manœuvre, un total de 12 minutes environ de microgravité peut être atteint pendant chaque vol.

Les vols paraboliques sont utilisés beaucoup plus souvent dans des buts de recherche scientifique. L'ESA soutient des campagnes de vol paraboliques régulières ouvertes à des équipes scientifiques de toutes l'Europe.

Couler et nager

La microgravité peut être créée sur Terre pendant de courtes périodes seulement. La situation qui se rapproche le plus est l'immersion sous l'eau, dans une combinaison spatiale soigneusement équipée d'une association de poids et de dispositifs de flottabilité pour maintenir une flottabilité neutre. Ici, l'astronaute de l'ESA Alexander Gerst s'entraîne aux sorties dans l'espace dans le Laboratoire de flottabilité neutre (NBL) au Centre d'entraînement Sonny Carter de la NASA près du Johnson Space Center à Houston, Texas, États-Unis en février 2012. Alexander se prépare pour une mission de six mois sur la Station spatiale internationale comme ingénieur de volles Expéditions 40 et 41 en 2014.

Le NBL est la plus grande piscine du monde : 62 m de longueur, 31 m de largeur et 12,34 m de profondeur. Des modules entiers de la Station sont immergés dans les 23.5 millions de litres d'eau du NBL. La flottabilité neutre signifie que les stagiaires et tout ce avec quoi ils travaillent a tendance à faire du surplace dans l'eau plutôt qu'à couler ou remonter. Même de cette manière, les stagiaires ne sont naturellement pas sans poids, c'est pourquoi les combinaisons ajustées sont vitales.

En adéquation totale avec un projet spatial international, les astronautes doivent parcourir une odyssée mondiale avant d'être déclarés aptes à voyager vers la Station. C'est parce que quelle que soit son origine nationale, chaque membre d'équipage doit être capable de faire fonctionner tous les éléments de la Station, c'est pourquoi les différents partenaires internationaux assurent une formation sur leurs éléments respectifs. Ce processus complexe de formation dure de trois à cinq ans au total.

Le meilleur ami de l'homme

Les humains ne sont pas les seuls qui doivent s'entraîner pour les sorties dans l'espace. En 2007 l'« assistant robotisé » à trois bras appelé Eurobot a subi une série d'essais dans l'installation de flottabilité neutre de 10 m de profondeur de l'ESA, au Centre des astronautes européens à Cologne, Allemagne, pour travailler sur une mission simulée avec l'astronaute Jean-François Clervoy de l'ESA.

Les humains et les robots sont sensés devenir des partenaires dans l'exploration spatiale à l'avenir. Des robots placés sur la coque de la Station pourraient réaliser des inspections rapprochées avant toute sortie dans l'espace et effectuer le travail préparatoire initial, comme le transfert des outils et des équipements. De tels assistants robotisés vont devenir de plus en plus importants à mesure que la Station, en vieillissant, va demander davantage d'entretien.

Au-delà de l'orbite terrestre, les robots peuvent sonder de nouveaux environnements avant les explorateurs humains. Le projet Meteron (Multi-purpose End-To-End Robotic Operations Network) de l'ESA tente de commander les robots sur Terre à partir de la Station, validant ainsi le concept pour de futures missions pendant lesquelles les astronautes en orbite planétaire pourraient téléguider les rovers à la surface, projetant la présence humaine dans un environnement étranger, sans les coûts supplémentaires et les dangers de l'atterrissage.

esa

Simulateur de Soyouz

L'astronaute de l'ESA André Kuipers à l'entraînement dans la centrifugeuse du centre d'entraînement de la Cité des étoiles près de Moscou, dans le cadre de sa préparation pour son vol de décembre 2011 vers la Station spatiale. Le Soyouz avait été modernisé depuis la première visite de l'astronaute hollandais en 2004 avec d'importantes mises à jour internes qu'il lui a fallu apprendre.

La Cité des étoiles a entrainé le tout premier groupe de cosmonautes soviétiques, y compris Youri Gagarine, dont la veuve y vit toujours ici. Les équipements comprennent une centrifugeuse pour simuler les fortes accélérations du lancement et des versions des modules russes de la Station. Certains modules sont immergés dans le « Hydrolab » à flottabilité neutre de la Cité des étoiles pour l'entraînement aux sorties dans l'espace, tandis que d'autres sur la terre ferme permettent aux stagiaires de se familiariser avec les moindres détails de leur future maison en orbite, de pratiquer les procédures et de s'entraîner aux situations d'urgence comme le feu en microgravité – l'expérience montre que les modules se remplissent très rapidement de fumée aveuglante.

« Ils essaient de simuler le vol réel autant que possible », faisait remarquer André à l'époque. « Et nous sommes de plus en plus préparés à des choses qui, espérons-le, ne se produiront jamais ! ».

Une fusée sur un train

Roulant à la vitesse de la marche, la fusée Soyouz est déplacée horizontalement sur un train vers son pas de tir quelques jours avant le lancement. Une fois arrivée, elle est levée à la verticale et subit une répétition du lancement qui comporte l'activation de tous les équipements électriques et mécaniques. La fusée est ravitaillée en carburant le jour du vol. La séquence du compte à rebours final débute trois heures avant le lancement, et les trois membres d'équipage entrent dans le vaisseau spatial une demi-heure plus tard.

Le Soyouz russe – le nom se rapporte à la fois à la fusée à trois étages et à l'engin spatial à l'extrémité – est maintenant le seul moyen d'accès pour l'homme à la Station spatiale. La version habitée du Soyouz décolle uniquement du cosmodrome de Baïkonour au Kazakhstan, le site qui a vu le lancement de Youri Gagarine en 1961, inaugurant ainsi l'âge des vols spatiaux habités.

Baïkonour est un endroit morne, choisi à l'origine pour des raisons de sécurité pendant la Guerre froide. Au cœur de l'Asie centrale, ses conditions météorologiques peuvent varier considérablement. À l'heure actuelle, les astronautes du monde entier viennent ici pour voler. La participation de l'ESA à la Station permet aux astronautes européens d'effectuer des expéditions.

Vers le haut

Soyouz TMA-15 s'élance du cosmodrome de Baïkonour le 27 mai 2009, emportant l'astronaute de l'ESA Frank De Winne, qui deviendra le premier commandant européen de la Station spatiale internationale. Soyouz s'élève vers le ciel grâce à son premier étage de kérosène et d'oxygène liquide, et son quatuor de propulseurs. La séquence de rendez-vous et d'amarrage à la Station prend généralement six heures aujourd'hui, comparé à deux jours précédemment.

Soyouz est le cheval de trait du programme spatial russe, en production continue depuis les années 1960, et un descendant en termes de conception de la fusée R-7 qui a lancé Spoutnik en 1957, inaugurant l'âge de l'espace. Le Soyouz a effectué plus de 1770 missions habitées et non habitées, et il est conçu pour des niveaux de fiabilité extrêmement élevés pour les vols habités, y compris avec une fusée de secours pour emmener l'équipage en sécurité en cas d'urgence pendant le décollage.

Fenêtre sur le monde

Une fois en orbite, les yeux de l'équipage de la Station travaillent autant que leurs mains. La Cupola de l'ESA a la plus grande fenêtre qui ait jamais volé dans l'espace, avec une fenêtre principale de 80 cm de diamètre, entourée de six fenêtres latérales trapézoïdales avec un dôme en aluminium, pour une vision hémisphérique totale de la Terre et de l'espace autour de la Station. Ces panneaux de verre de silice fondue sont aussi parfaits du point de vue optique que possible et conçus pour résister à des années d'exposition au rayonnement solaire et aux impacts de débris.

Fixée au Node-3, la large vision de Cupola est utile pour superviser l'amarrage et les manipulations du bras robotique – elle est équipée d'un poste de travail robotisé – et des instruments scientifiques peuvent également y être montés. La fenêtre principale permet une observation directe de la surface terrestre, tandis que les fenêtres latérales offrent des vues du « limbe » atmosphérique de la Terre. Cupola est également un endroit populaire parmi les astronautes qui viennent d'y reposer pendant leurs pauses – le chemin de la Station la fait passer au-dessus de la majeure partie de la surface habitée de la Terre.

Quand elles ne sont pas utilisées, les fenêtres sont protégées par des volets extérieurs qui peuvent être ouverts par l'équipage à l'intérieur en un tour de main. Ensuite, les volets sont fermés pour protéger le verre des micrométéorites et des débris en orbite, et pour réguler la température.

Les panneaux de verre à triple couche sont conçus pour être facilement remplacés, individuellement ou avec toute la fenêtre, auquel cas un astronaute fixerait d'abord lors d'une sortie dans l'espace un capot extérieur sur la fenêtre afin de maintenir la pression.

Lumières dans la nuit

Les équipes de la Station qui regardent la Terre ont souvent des difficultés pour détecter des signes d'habitation, au moins pendant la « journée » de 45 minutes. Les zones urbaines peuvent se fondre dans l'arrière-plan à moins que les astronautes ne sachent précisément où regarder. Les longues routes droites et les voies ferrées, les champs cultivés et les barrages sont plus faciles à repérer. Mais tout ceci change quand le Soleil se couche et que la nuit de 45 minutes tombe.

Les régions à forte densité de population commencent à flamboyer comme des îles de lumière dans l'obscurité environnante – comme dans cet exemple de la Sicile et de la « botte » de l'Italie, vues ici sur cette photographie orientée vers le nord, prise par l'astronaute Paolo Nespoli en 2010. La Méditerranée apparaît en noir, alors qu'une partie de la Tunisie est visible à l'ouest et la côte Adriatique à l'est.

Les lumières de la nuit sont un indicateur fiable de la population et la photographie de nuit – prise soit par les astronautes soit par des satellites non habités (ci-dessous) – est utilisée pour évaluer l'incidence de la croissance urbaine continue sur les écosystèmes environnants.

Les autres sources de lumière sont d'origine naturelle, par exemple la foudre des orages interconnectés qui éclaire sur des centaines de kilomètres et les aurores autour des pôles. Notez également la lueur verdâtre du ciel détectée par la caméra, très sensible, qui provient d'une pâle luminescence dans l'atmosphère supérieure, la lumière des étoiles et la lumière artificielle qui s'éparpillent à travers les particules dans l'air.

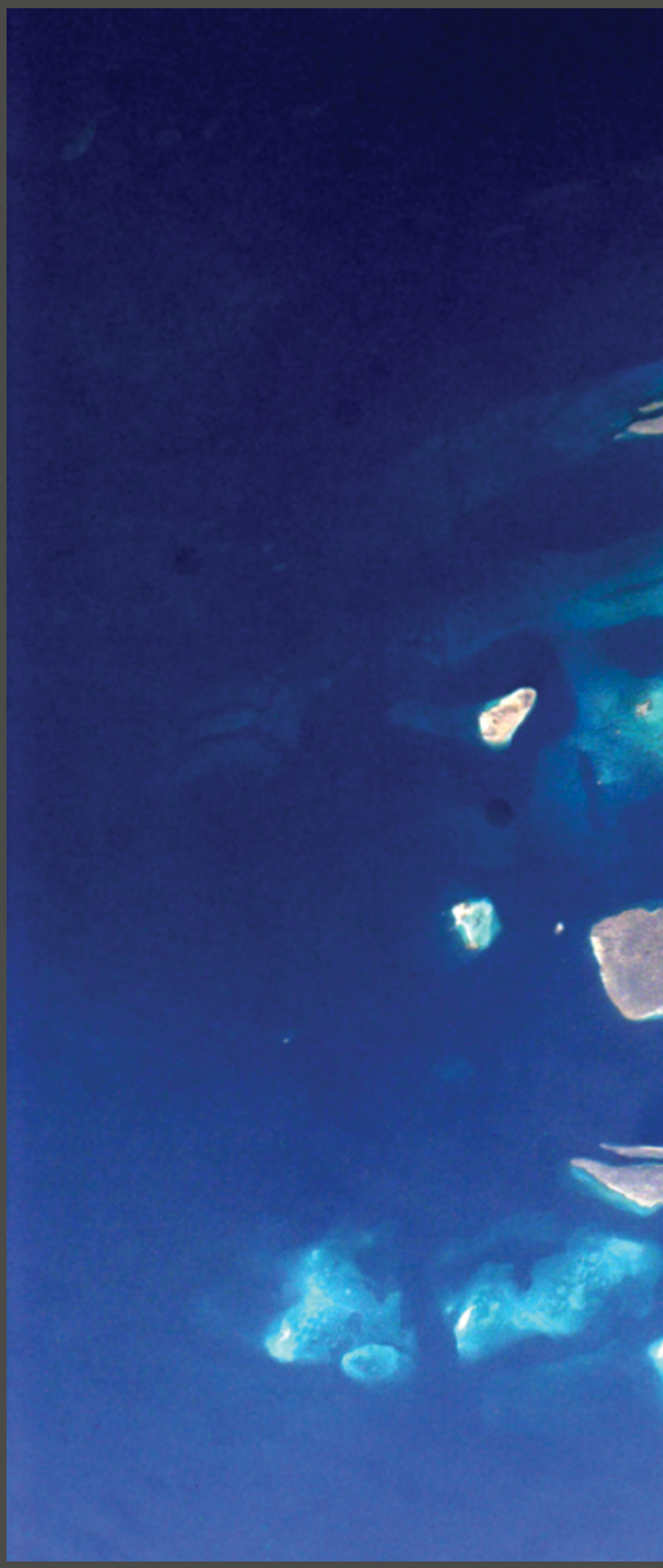
Joyaux bleus de la Mer Rouge

En principe, une image prise automatiquement par un satellite et une autre prise par un astronaute devraient être très semblables, mais les images cadrées par la main et l'œil humains présentent encore un avantage dans la qualité de la composition.

Cette photo montre les îles Farasan dans la Mer Rouge, à proximité de la ville de Jizan, dans l'angle sud-ouest de l'Arabie Saoudite, photographiées par Paolo Nespoli. Cet archipel de corail est une réserve naturelle spéciale qui possède la plus grande biodiversité de toute la Mer Rouge saoudienne et abrite 231 espèces de poissons, 49 espèces de coraux, trois espèces de dauphins et de grandes quantités d'oiseaux de mer qui s'y reproduisent.

Paolo a pris des milliers de photographies pendant son séjour de cinq mois à bord de la Station spatiale internationale, qu'il a partagées avec le public via son compte Twitter et ses pages Flickr. Il a même accepté des demandes de photographies.

Lors de cette opération, Paolo a gagné plus de 20 000 abonnés sur Twitter et enregistré deux millions de vues de ses photographies sur Flickr. Il a même atteint la finale des Shorty Awards 2010 dans la catégorie Science, l'équivalent des Oscars pour les médias sociaux.

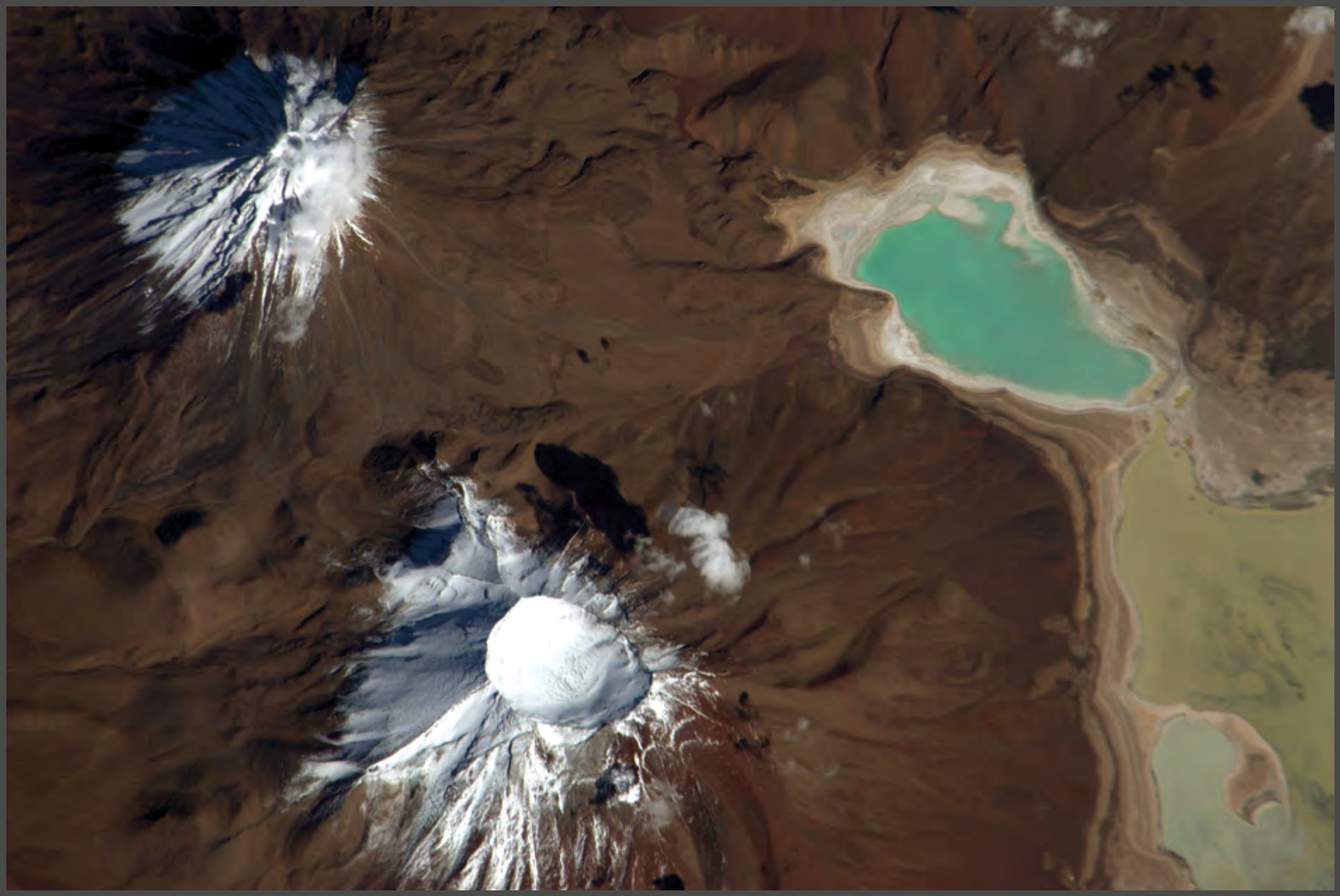


Sommets enneigés

La planète Terre a de loin la surface la plus variée dans le Système Solaire, transformée par des milliards d'années d'activité géologique, d'altération climatique et de processus biologiques. Rien que par l'énorme diversité de la photographie astronautique de la Terre, il est parfois difficile de croire que toutes ces images ont été prises de la même planète.

Cette image principale prise par Paolo Nespoli en 2011 représente les sommets enneigés des volcans Licancabur et du plus petit Juriques à 4000 m d'altitude à la frontière entre la Bolivie et le Chili. Tout près, au nord-est de Licancabur se trouve la Laguna Verde, un lac salé dont la couleur verte provient de sédiments de cuivre.

L'image en haut en médaillon est une photo prise par Paolo des monts Zagros, dans la province de Fars, en Iran, formés par la collision entre les plaques tectoniques eurasienne et arabe, qui s'étendent du sud et de l'ouest de l'Iran jusque dans le nord de l'Irak ; notez la neige sur les sommets les plus hauts. L'image en médaillon en bas montre une vue prise par Paolo d'une région géographique plus familière, le versant nord du Grand Canyon en Arizona, États-Unis.



L'œil de la radio sur le trafic maritime sur Terre

Un cliché du trafic maritime sur la planète pris par la Station spatiale internationale (ci-dessous). L'orbite de l'avant-poste s'étend jusqu'aux latitudes polaires, ce qui couvre une grande partie du globe habité. Elle peut également servir de plate-forme pour différents types de surveillances de la Terre.

Le laboratoire européen Columbus par exemple a hébergé le « Automatic Identification System » (AIS, son antenne dorée en cours d'installation apparaît sur l'image principale), plus généralement utilisé par les autorités portuaires et les garde-côtes pour surveiller le trafic maritime côtier. Tous les navires internationaux, les navires de passagers et les cargos de plus de 300 tonnes doivent avoir à leur bord un transpondeur VHF AIS. À terre, les messages AIS ont une portée de seulement 50 km environ vers l'horizon, mais cet essai de récepteurs norvégien et luxembourgeois reliés à une antenne externe prouve que les signaux se propagent beaucoup plus loin à la verticale, jusqu'à l'orbite. Des navires ont été suivis de cette manière pendant des mois d'affilée. Sur les voies maritimes les plus fréquentées, comme la Manche ou le détroit de Malacca, les signaux AIS se noient les uns les autres, et les navires sont perdus dans la foule. Mais la force de la surveillance AIS à partir de l'orbite comble ce qui était jusqu'à présent des points vides sur l'océan ouvert. L'ESA étudie actuellement la mise en place d'un service de détection AIS opérationnel.

Descente

La mission terminée, le module de descente Soyouz plonge en parachute pour atterrir dans les steppes plates du Kazakhstan. À l'heure actuelle, Soyouz est le seul engin spatial qui peut se rendre vers la Station et revenir, en ramenant des expériences et des gens sur Terre.

L'ATV ne peut pas effectuer de rentrée, cependant les futures versions devraient pouvoir le faire, pour dynamiser la capacité de « lien descendant » de la Station à la place de la spacieuse navette. Après six mois, l'ATV est chargé de tonnes de déchets et se sépare automatiquement de la même manière qu'il s'amarre, avant de s'aligner pour un plongeon suicidaire au-dessus d'une zone vide du Pacifique sud, et de brûler dans l'atmosphère (en bas).

Toute rentrée est mieux que pas de rentrée du tout, cependant l'astronaute de l'ESA Paolo Nespoli la décrit comme une expérience brutale après la sérénité de l'espace : « Au début la capsule est secouée comme si quelqu'un frappait sur le côté de la capsule avec un gros marteau. En fait la pyrotechnie fonctionne et le module central se sépare du reste. Puis l'accélération augmente. Nous avons pris 4,5 *g* au plus fort de la rentrée et j'avais vraiment des difficultés à respirer. » Après ceci, les parachutes s'ouvrent et pendant 30 secondes environ, la capsule est suffisamment secouée pour projeter ses occupants de part et d'autre. Ceci est suivi par l'abandon du bouclier thermique, les secousses sur les sièges et finalement l'impact de l'atterrissage. « C'est une série d'événements assez brutaux, mais qu'est-ce que je peux dire ? C'est fiable, cela fonctionne, nous sommes de retour sur Terre et j'en suis heureux. »

Signe de progrès

Nous pouvons voir la Station spatiale internationale de nos propres yeux. Cherchez-la à peu près une heure après le coucher du Soleil, ou une heure avant l'aube. Elle apparaît à l'ouest, comme une étoile qui glisse rapidement d'un horizon à l'autre. Elle peut briller aussi vivement que Vénus, comme sur cette photo prise par l'amateur hollandais Wim Joris, mais des gens vivent et travaillent sur cette étoile.

Un bon télescope peut en révéler davantage, comme sur l'image de l'astronome hollandais Ralf Vandebergh ci-dessous, prise en 2009 et qui montre le cargo spatial japonais HTV (à gauche) qui approche de la Station alors qu'elle luit dans la lumière solaire.

C'est le Soleil qui se reflète sur ses modules et ses ailes solaires qui rend la Station visible pour les observateurs au sol. Là-haut dans l'espace, elle est encore illuminée par le Soleil après qu'il se soit couché de ce côté de la Terre, de la même manière que les sommets des montagnes restent en pleine lumière après que le fond des vallées ait disparu dans la pénombre.

La Station a besoin de 90 minutes environ pour effectuer une orbite, il est donc parfois possible de voir plus d'un passage au cours d'une soirée ou une matinée, même si sa position dans le ciel change chaque nuit. Cependant elle doit passer au-dessus de chaque emplacement sur la Terre toutes les six semaines environ.

Ce qu'il y a dessous

Les astronautes de l'ESA pourraient un jour s'aventurer vers des destinations au-delà de la Station spatiale. Ainsi ils descendent parfois au lieu de monter, à la recherche d'analogies réalistes à l'environnement en orbite. En 2011, cette équipe internationale d'astronautes européens, américains et russes a exploré les profondeurs d'un réseau de grottes souterraines en Sardaigne, dans le cadre de leur entraînement de survie. Tim Peake et Thomas Pesquet de l'ESA ont été rejoints par Randolph Bresnik de la NASA, Norishige Kanai du Japon et Sergey Ryzhikov de Russie.

Les entraineurs du Centre des astronautes européens choisissent ces grottes pour leur isolement du monde extérieur, l'impression d'enfermement, l'intimité minimale, les défis techniques et les ressources et équipements limités pour l'hygiène et le confort – exactement comme dans l'espace.

Leur routine quotidienne était organisée selon un emploi du temps, tout comme pendant une mission spatiale. Des sessions de planification étaient tenues deux fois par jour par téléphone avec une équipe d'assistance à l'entrée de la grotte. Le réseau de grottes comportait de nombreux passages inexplorés, de sorte que l'équipe a dû prendre ses propres décisions sur la manière de procéder, comme d'utiliser un bateau gonflable pour franchir des lacs souterrains ou de se séparer en groupes plus réduits quand les passages se scindaient. Leur travail scientifique incluait la cartographie, la photographie, la surveillance des flux d'air, de la température et de l'humidité, ainsi que le prélèvement d'échantillons géologiques et microbiologiques.

Cette expérience exotique les a aidés à dépasser leurs différences culturelles et linguistiques pour travailler en équipe et résoudre les problèmes. Quand ils sont enfin sortis à la lumière en clignant des yeux, l'équipe a été totalement débriefée et a remis une présentation à utiliser pour le prochain groupe de « caveonautes ».

Prélude glacé à l'exploration

La base de recherche internationale Concordia est située sur l'un des points les plus élevés de l'Inlandsis Antarctique, appelé « Dôme C », 3200 m au-dessus du niveau de la mer. C'est l'un des points les plus isolés et les plus froids sur Terre. Pendant chaque hiver antarctique, il devient impossible d'accéder à cet avant-poste alors que les températures descendent à −84 ºC. Les 14 habitants de Concordia doivent apprendre à vivre et travailler ensemble sans l'aide du monde extérieur. C'est seulement une fois que l'été antarctique a réchauffé l'environnement stérile que le ravitaillement et du personnel peuvent atteindre le site.

Le programme de recherche de l'avant-poste isolé comprend la glaciologie, la biologie humaine et l'atmosphère – et l'ESA utilise cette base pour préparer de futures missions de longue durée au-delà de la Terre. Concordia est un endroit idéal pour étudier le ressenti de petites équipes multiculturelles isolées pendant de longues périodes dans un environnement extrême et hostile. L'ESA sponsorise des chercheurs qui vont sur la base pour étudier spécifiquement comment les occupants s'adaptent. Les domaines présentant un intérêt particulier sont les cycles de sommeil, les performances individuelles et en équipe et l'exercice physique. Des outils et des techniques qui pourraient aider les équipages sur de futures missions sont également évalués.

Le travail se poursuit, des dernières recherches de l'ESA jusqu'aux facteurs humains, en particulier sa participation à l'expérience internationale Mars500 en 2011–2012, quand deux volontaires européens ont rejoint une équipe internationale (en bas) de « marsonautes », simulant une mission vers Mars en étant enfermés dans une pièce pendant 520 jours à l'Institut russe des problèmes biomédicaux à Moscou. L'étude a contribué à déterminer les effets psychologiques et physiologiques clés d'un séjour dans un environnement fermé pendant une durée aussi longue.

→ DES PONTS VERS L'ORBITE

Il n'y a pas de définition officielle de l'endroit où il commence, mais l'espace est plus proche que vous ne pourriez le croire. La Station spatiale internationale tourne en orbite à une altitude équivalente à la distance entre Londres et Paris. Si vous pouviez conduire votre voiture à la verticale, vous atteindriez les satellites les plus bas en quelques heures.

Mais l'altitude seule ne suffit pas pour rester dans l'espace. L'attraction de la gravité terrestre à l'altitude de la station représente encore neuf dixièmes de ce qu'elle est au niveau du sol, et elle vous ramènerait rapidement sur Terre. Aller dans l'espace pour y rester signifie atteindre l'orbite et pour cela, votre voiture devrait commencer à circuler parallèlement au sol mais à une vitesse de près de 8 km par seconde. Techniquement, un objet en orbite tombe toujours vers la Terre, mais il se déplace si vite latéralement qu'il décrit une courbe autour de l'horizon et ne heurte jamais le sol.

Avec la technologie actuelle, les fusées chimiques multi-étages restent notre seule passerelle vers l'orbite. Un moteur de fusée qui s'allume est presque une explosion contrôlée, la poussée étant dirigée vers le bas. Suivant la troisième loi de Isaac Newton – *pour chaque action il existe une réaction égale et opposée* – la fusée monte vers le ciel. Cela demande une grande quantité d'énergie : Ariane 5 mesure 53 m de hauteur et pèse 780 tonnes, mais plus de 95 % de ce poids est constitué de combustible et de comburant. Même dans ces conditions, une fusée doit larguer les propulseurs et les étages vidés au cours de l'ascension, ce qui réduit ainsi méthodiquement sa masse en vol et augmente sa vitesse pour atteindre l'orbite.

La montée d'Ariane

Plus de 40 ans un groupe de gouvernements européens a décidé que le programme spatial européen avait besoin d'un accès garanti à l'espace, et qu'il était pertinent de combiner les efforts pour atteindre ce but. Grâce à leur esprit visionnaire, l'Europe a développé la famille de lanceurs Ariane et établi sa propre base de lancement en Guyane française. La première Ariane 1 a été lancée la veille de Noël en 1979. Plus de 215 Ariane ont volé depuis, en progressant de Ariane 2, 3 et 4 jusqu'à l'Ariane 5 actuelle.

Ariane s'est imposée comme un leader du marché qui a transporté la moitié des satellites commerciaux en orbite. La nouvelle fusée européenne Vega a été développée pour des charges utiles moindres et le Soyouz russe a été apporté au Port spatial de l'Europe en Guyane française pour augmenter la souplesse et la

compétitivité de la famille des lanceurs européens. Une entreprise privée, Arianespace, gère la famille des lanceurs, alors que l'ESA conserve un rôle de développement technique, y compris le travail sur la« prochaine génération de lanceurs » pour l'avenir.

Répondre

Presque tous les lancements de l'ESA quittent la Terre sans revenir, mais ils y restent liés par une autre forme de passerelle – les communications radio – à travers lesquelles les équipes au sol maintiennent le contrôle et l'engin spatial renvoie sur Terre ses précieux résultats.

Leur capacité haut-débit et leur aptitude à passer librement à travers l'atmosphère de la Terre signifient que les signaux radio sont l'épine dorsale des communications spatiales, avec un réseau de stations sol réparti sur la planète pour être au service des satellites sur différentes orbites. En résumé, plus l'antenne satellite est grande, plus ils peuvent être au service d'un engin spatial éloigné.

Le tout premier satellite, Spoutnik, n'émettait qu'un simple« bip bip » vers sa planète natale. Plus de cinq décennies plus tard, les missions spatiales font face au risque de se noyer dans les grands volumes de données générés par les instruments des satellites de la génération suivante. Les planificateurs de missions affrontent de plus en plus le problème épineux du relais de ces résultats très abondants vers le sol. La bande passante disponible pour une mission est fixée par la combinaison de la taille de l'antenne, de la puissance de transmission et des caractéristiques des stations sol dédiées. L'espace devenant de plus en plus encombré, la bande passante devient une ressource très rare avec les bandes traditionnelles de plus en plus surchargées. Le partage des fréquences et les autres schémas astucieux atteignent leurs limites.

On arrive à un point où augmenter le nombre total de stations sol devient inefficace. Le relais des communications par satellites est un autre moyen d'augmenter la connectivité des stations sol – le Système européen de satellites de relais de données (European Data Relay System : EDRS) de l'ESA va étudier cette solution. Une autre méthode, plus directe, consiste à réduire les résultats d'une mission à une taille gérable par une compression de données à bord, avant de les retransmettre vers la Terre.

Prêt au décollage

Une fusée Ariane 5 se détache sur le ciel tropical de la Guyane française, entourée de jungles denses. Le mât à côté d'elle est l'une des quatre tours paratonnerres disposées pour la protéger des orages. Le port spatial de l'Europe est situé à seulement 500 km au nord de l'équateur et ses lanceurs tirent une vitesse supplémentaire de la rotation de la Terre.

Celui-ci est le véhicule qui a lancé la sonde cométaire Rosetta le 2 mars 2004 – marquant le tout premier lancement par une Ariane d'une charge utile sur une trajectoire s'échappant de notre planète.

L'étage cryogénique au cœur d'Ariane 5 transporte de l'hydrogène et de l'oxygène liquides pour alimenter son moteur principal, et une paire de propulseurs à poudre qui fournissent plus de 90 pour cent du total de la poussée pendant les 130 premières secondes de vol. Le premier étage peut être surmonté soit d'un étage supérieur de carburant stockable, ou d'un étage supérieur de carburant cryogénique, qui prend en charge le vol au-delà de l'atmosphère pour une large gamme de missions, de l'orbite basse à l'orbite géostationnaire et au-delà. La case à équipements du véhicule tout en haut de l'étage principal renferme l'ordinateur de guidage qui met le lanceur sur son orbite finale avec une précision que peu de concurrents peuvent égaler. Cela permet d'économiser le carburant du satellite pendant les manœuvres finales pour le placer dans sa position opérationnelle. L'économie peut augmenter la vie utile du satellite de près d'une année.

L'image en médaillon montre l'un des deux conduits de flammes du pas de tir de d'Ariane 5, qui dirige les gaz d'échappement chauds sortant des propulseurs à poudre au moment de l'allumage. Les conduits sont doublés de plaques d'acier inoxydable de 8 cm d'épaisseur pour protéger leurs murs en béton et réduire l'entretien nécessaire entre les lancements.

Deux variantes d'Ariane 5 sont actuellement en production : l'Ariane 5 ECA (avec étage supérieur cryogénique) pour les orbites de transfert géostationnaires jusqu'à 10 tonnes et l'Ariane 5 ES (avec l'étage supérieur de carburant stockable) pour des charges jusqu'à 20 tonnes en orbite basse, comme l'ATV (Véhicule de transfert automatique) de l'ESA, ainsi que, potentiellement, le déploiement de quatre satellites de navigation Galileo en une seule fois sur une orbite de moyenne altitude.

esa
cnes
esa
cnes

Voler près du feu

Une Ariane 5 monte dans une tour de fumée vers l'orbite juste après son lancement (à droite) – la fumée provient en grande partie des propulseurs à poudre, qui fournissent la majeure partie de la poussée à ce moment. Après une montée initiale à la verticale, la fusée commence à tanguer et à rouler pour se diriger vers l'est au-dessus de l'Atlantique.

Cette vue – du vol V164 le 23 février 2005 – a été prise du centre de communications sur le Mont Pariacabo, à environ 15 km du pas de tir. Les propulseurs sont éjectés après 130 secondes et 65 km de vol, tandis que l'étage principal – qui transporte 150 tonnes d'oxygène liquide et 25 tonnes d'hydrogène liquide – fonctionne pendant près de 540 secondes. Au moment de l'arrêt, à une altitude comprise entre 160 km et 210 km selon la trajectoire de la mission, l'étage principal se sépare et rentre dans l'atmosphère au-dessus de l'Atlantique, laissant l'étage supérieur poursuivre son vol dans le vide de l'espace.

Selon la fenêtre orbitale définie, Ariane 5 peut être lancé pendant la nuit au lieu de la journée – comme sur l'image de gauche. Les témoins décrivent le moment du décollage comme un lever de Soleil dans l'obscurité.

Candidat sérieux

Le pas de tir en béton à ELA-1 hébergeait autrefois les lanceurs d'Ariane 1 pour leur vol vers l'orbite, mais il a été transformé pour servir la fusée européenne la plus récente.

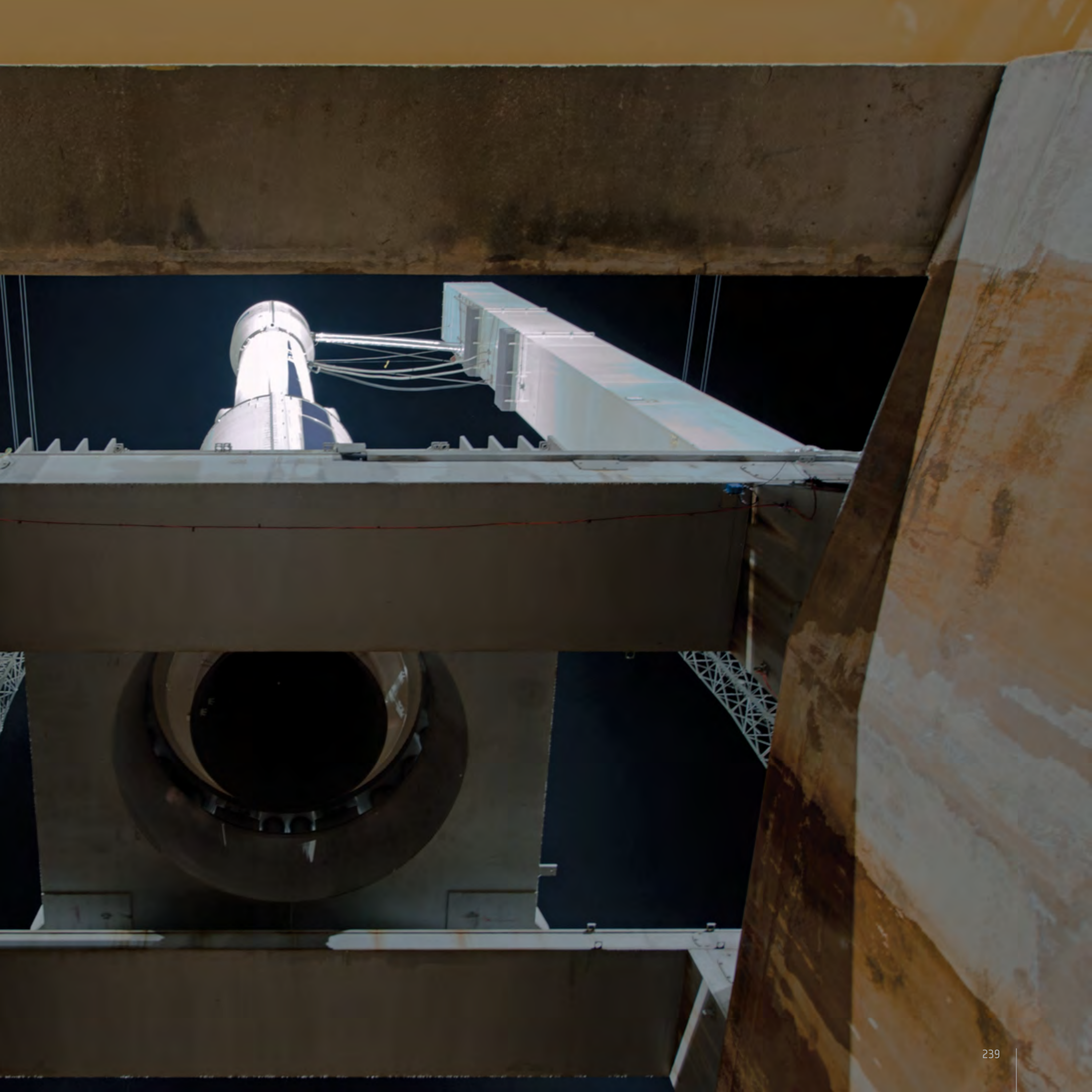
À mesure que la technologie spatiale développe ses capacités, la taille moyenne des satellites diminue fortement. Le lanceur Vega de l'ESA, qui a volé pour la première fois le 13 février 2012, a été conçu spécialement pour servir ce marché en expansion, avec la capacité de lancer plusieurs satellites simultanément.

Vega est compatible avec des charges utiles comprises entre 300 kg et 2 500 kg selon le type et l'altitude de l'orbite demandée par les clients. La valeur repère est de 1 500 kg en orbite polaire à une altitude de 700 km et l'ESA confiera au lanceur ses prochaines missions comme LISA Pathfinder, ADM-Aeolus et Sentinels-2 et -3 pour l'initiative de surveillance globale Copernicus.

La conception de Vega repose sur des décennies d'expérience dans la construction et les vols de fusées Ariane, ses trois premiers étages à propulseurs à poudre étant dérivés des propulseurs d'appoint d'Ariane 5. Un quatrième étage de propergol liquide qui peut être rallumé achève la livraison des charges utiles de Vega en orbite, et héberge des équipements avioniques et des propulseurs pour superviser le contrôle de roulis de toute la pile pendant son vol.

Vega intègre également une large gamme de matériaux pour optimiser autant que possible son propre poids – plus sa propre masse sera faible, plus la charge utile qu'il pourra transporter en orbite sera importante. Il faut noter que la coque de Vega est tissée de fibres de carbone renforcées de polymères puis durcies par cuisson – un matériau plus généralement utilisé pour les noyaux porteurs de charges au cœur des satellites de télécommunications ou même les châssis de Formule 1.

Le résultat c'est un véhicule trois fois plus léger qu'une fusée à coque métallique équivalente, mais le rapport poids-puissance est presque cinq fois plus important que l'acier ou l'aluminium. Les autres matériaux nouveaux incluent le carbone/carbone et les composés phénoliques du carbone, utilisés pour les tuyères – qui sont de la plus haute importance – des trois étages solides de la fusée.



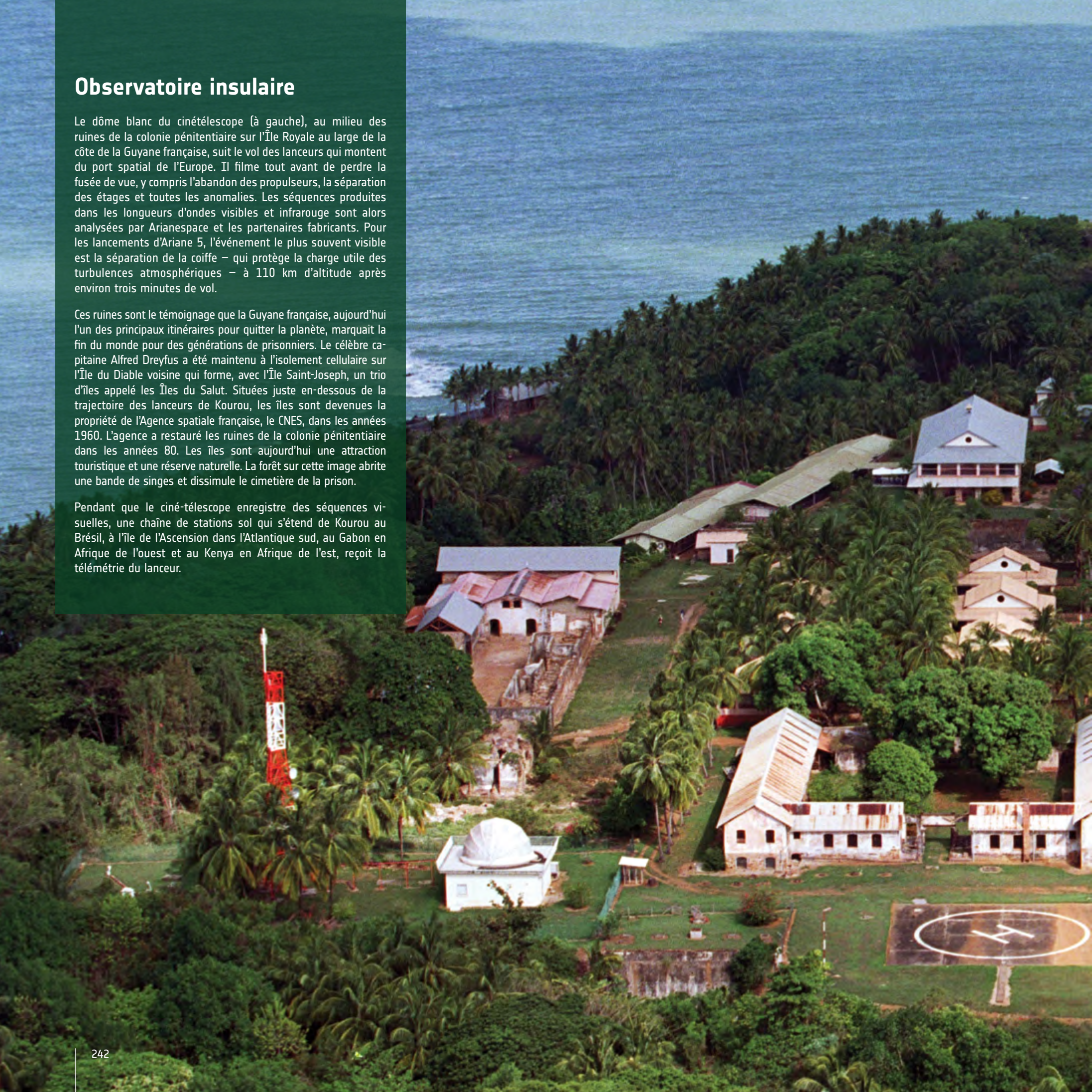
Soyouz sud-américain

Ce Soyouz a traversé la moitié du monde avant même de prendre son vol. Cette fusée et son portique mobile se trouvent sur le pas de tir de leur nouveau foyer au Port spatial de l'Europe en Guyane française.

Soyouz est le cheval de bataille du programme spatial russe, en production continue depuis les années 1960, et un descendant de la fusée qui a lancé Spoutnik en 1957, inaugurant l'ère spatiale. L'arrivée de Soyouz en tant que lanceur de classe moyenne en Guyane française en complément d'Ariane 5 et du plus petit Vega permet d'augmenter la souplesse et la compétitivité de la famille des lanceurs européens.

Pour les lancements en Guyane française, cette fusée à trois étages – plus un étage supérieur de Fregat classique – est assemblée horizontalement selon l'approche traditionnelle russe, puis relevée à la verticale, de sorte que sa charge utile puisse être accouplée par le haut selon la manière européenne. Un nouveau portique mobile assiste cette manœuvre tout en protégeant les satellites et la fusée de l'environnement tropical humide.

La Guyane française est proche de l'équateur, donc chaque lancement de Soyouz profite largement de la rotation de la Terre, ce qui augmente la charge utile maximale vers l'orbite de transfert géostationnaire de 1,7 tonnes à 3 tonnes.



Observatoire insulaire

Le dôme blanc du cinétélescope (à gauche), au milieu des ruines de la colonie pénitentiaire sur l'Île Royale au large de la côte de la Guyane française, suit le vol des lanceurs qui montent du port spatial de l'Europe. Il filme tout avant de perdre la fusée de vue, y compris l'abandon des propulseurs, la séparation des étages et toutes les anomalies. Les séquences produites dans les longueurs d'ondes visibles et infrarouge sont alors analysées par Arianespace et les partenaires fabricants. Pour les lancements d'Ariane 5, l'événement le plus souvent visible est la séparation de la coiffe – qui protège la charge utile des turbulences atmosphériques – à 110 km d'altitude après environ trois minutes de vol.

Ces ruines sont le témoignage que la Guyane française, aujourd'hui l'un des principaux itinéraires pour quitter la planète, marquait la fin du monde pour des générations de prisonniers. Le célèbre capitaine Alfred Dreyfus a été maintenu à l'isolement cellulaire sur l'Île du Diable voisine qui forme, avec l'Île Saint-Joseph, un trio d'îles appelé les Îles du Salut. Situées juste en-dessous de la trajectoire des lanceurs de Kourou, les îles sont devenues la propriété de l'Agence spatiale française, le CNES, dans les années 1960. L'agence a restauré les ruines de la colonie pénitentiaire dans les années 80. Les îles sont aujourd'hui une attraction touristique et une réserve naturelle. La forêt sur cette image abrite une bande de singes et dissimule le cimetière de la prison.

Pendant que le ciné-télescope enregistre des séquences visuelles, une chaîne de stations sol qui s'étend de Kourou au Brésil, à l'île de l'Ascension dans l'Atlantique sud, au Gabon en Afrique de l'ouest et au Kenya en Afrique de l'est, reçoit la télémétrie du lanceur.

arianespace
01:15

Lien radio avec l'orbite

L'antenne de 15 m de diamètre de l'ESA à Kourou regarde vers le ciel au moment où le lanceur Ariane 5 transportant Herschel et Planck décolle le 14 mai 2009.

Les missions de l'ESA vers l'orbite ou le Système Solaire restent reliées à leur planète natale par des liens radio invisibles qui s'étendent à partir du réseau des stations sol de l'ESA, appelé Estrack, qui quadrille le globe.

La tâche essentielle de toutes les stations de poursuite de l'ESA est de communiquer avec les missions européennes, de faire remonter les instructions et descendre les données scientifiques et les informations sur l'état de l'engin spatial. Les stations Estrack collectent également des données de radiométrie qui permettent aux contrôleurs de la mission de connaitre la position, la trajectoire et la vitesse de leur engin spatial. Les stations proposent des services complémentaires, comme la recherche et l'acquisition d'engins spatiaux récemment lancés, le contrôle de la fréquence et de la synchronisation à l'aide d'horloges atomiques et la collecte de données atmosphériques et météorologiques en analysant les signaux. Il existe 10 stations Estrack principales, complétées par d'autres stations si nécessaire. En retour, les stations de l'ESA prêtent assistance aux missions des partenaires internationaux et l'ESA joue un rôle important dans la définition des normes techniques qui permettent le partage des données entre les stations, l'engin spatial et les réseaux à la fois sur Terre et dans l'espace. Située à environ 5 km à l'ouest du complexe de lancement d'Ariane 5, la station de Kourou représentée ici est commandée à distance par le Centre européen des opérations spatiales (ESOC) à Darmstadt, en Allemagne, et elle fournit une assistance de poursuite et de contrôle dans toutes les phases des missions de l'ESA.

Grande antenne

La nouvelle station sol de l'ESA pour l'espace lointain, de 35 m de diamètre, située à Malargüe en Argentine, est entrée en service à la fin de 2012, pour compléter la couverture totale de la sphère céleste des stations existantes de New Norcia en Australie et Cebreros en Espagne, devenues opérationnelles respectivement en 2002 et 2005. Collectivement, elles fournissent la capacité européenne de poursuite dans l'espace lointain, en complétant les stations Estrack existantes, équipées principalement d'antennes de 15 m de diamètre conçues pour l'orbite basse. Les stations de 35 m fournissent une portée améliorée, la technologie radio et les taux de données supérieurs nécessaires aux missions scientifiques actuelles et des générations à venir telles que Mars Express, Venus Express, Rosetta, BepiColombo, Solar Orbiter, Euclid et Juice.

Les missions dans l'espace lointain parcourent couramment des centaines de millions de kilomètres à partir de la Terre, et la communication par-delà de telles distances demande un pointage mécanique de très haute précision. En août 2012, le réseau Estrack a fourni une assistance cruciale au rover Laboratoire Scientifique Martien de la NASA quand il a atterri sur Mars, en utilisant Mars Express comme une station de relais de données. En janvier 2014, il a rétabli le contact avec Rosetta au moment où l'engin sortait de son hibernation et se préparait à entrer en orbite de la comète 67P/Churyumov–Gerasimenko.

esa
esoc
european space operations centre
073 13:43:18
+ 006:39:46

Centre de contrôle

La salle de contrôle principale est le cœur du centre des Opérations spatiales (ESOC) de l'ESA à Darmstadt en Allemagne.

Ici, les équipes surveillent les événements importants qui marquent le déroulement de toutes les missions une fois séparées de la fusée, de la phase critique du lancement et de la mise en orbite initiale – le moment où la nouvelle mission prend vie – en passant par les manœuvres complexes, comme le vol à proximité d'un astéroïde, jusqu'à l'entrée en orbite autour de mondes extraterrestres.

Pour les opérations de routine, les contrôleurs de mission travaillent à partir des salles de contrôle spécialisées d'où ils surveillent les satellites d'observation de la Terre, ceux de l'astronomie et les engins dans l'espace lointain 365 jours par an. Ils planifient et chargent les commandes et assurent un flux retour de précieuses données vers les scientifiques et la communauté des utilisateurs. Les équipes opérationnelles collaborent chaque jour avec les stations du réseau Estrack et se fient à une assistance cruciale de la part de spécialistes de la navigation, des réseaux et de la dynamique des vols. Les analystes de mission travaillent sur les futures missions pour évaluer comment les satellites peuvent atteindre au mieux les objectifs scientifiques dans notre Système Solaire.

Depuis 1967, l'ESOC a mené plus de 60 missions de l'ESA et assisté plus de 50 satellites lancés par des partenaires européens et internationaux. Le succès du Centre repose non seulement sur l'expertise technique mais aussi, ce qui est peut-être plus important, sur l'engagement individuel et le travail d'équipe soigneusement entretenu depuis des décennies. ESOC c'est le centre névralgique de l'Agence pour les opérations, la dynamique des vols, la conception des stations sol, l'ingénierie et les opérations, le développement du logiciel de contrôle de mission, l'étude des débris spatiaux et bien davantage.

En étroite collaboration avec l'industrie européenne, les ingénieurs améliorent en continu la technologie des systèmes sol ; de nombreux concepts mis en pratique à l'ESOC sont ensuite essaimés vers l'industrie pour une exploitation commerciale. L'équipement de navigation de l'ESOC est devenu l'une des sources les plus respectées au monde de données géospatiales, qui assistent des services de navigation importants sur le plan économique.

Aujourd'hui, l'ESOC jouit d'une réputation unique et enviable de« centre d'excellence » pour les opérations de missions et il est prêt à jouer un rôle-clé dans les futures missions et programmes spatiaux.

Assurer la surveillance

Le ciel dégagé au-dessus de Tenerife en a fait l'un des sites de pointe pour les observatoires astronomiques. Cependant l'installation de l'ESA situé sur la plus grande des îles Canaries reste une exception : ses télescopes ne scrutent pas l'espace lointain, ils ne regardent pas plus haut que l'orbite terrestre.

La station sol optique de l'Agence est un élément unique des opérations globales au sol qui utilise des observations astronomiques pour surveiller les satellites artificiels dans l'espace. Située à 2400 m d'altitude au sein de l'Observatoire du Teide sur les pentes du volcan Teide, la station a été construite à la fin des années 1990, initialement pour tester un lien de communication expérimental par laser avec le satellite de télécommunications Artemis de l'ESA. Elle a poursuivi son travail au service d'autres missions avec des communications laser – comme la mission lunaire SMART-1 de l'ESA – et elle a établi un record mondial de transmission quantique sur 150 km de distance entre Tenerife et La Palma.

La station propose une large gamme d'applications, dont la surveillance des débris spatiaux, elle sonde l'atmosphère et réalise des observations astronomiques. Alors que le radar est le mieux adapté pour suivre les débris spatiaux en orbite basse, les objets plus éloignés sont mieux servis par l'optique. Une matrice CCD spéciale à large champ de 16 millions de pixels refroidie à l'azote liquide a été développée. Des relevés réguliers ont permis de créer un catalogue complet des débris qui fait de l'ESA un leader mondial sur un dans un domaine important.

Cette instalation doit jouer un rôle crucial dans le programme Surveillance de l'espace de l'ESA qui cherche à augmenter notre compréhension des risques spatiaux comme les débris orbitaux et les astéroïdes proches.

→ PRÉPARER LA VOIE

Les engins spatiaux comptent parmi les machines les plus complexes jamais construites, qui doivent supporter l'accélération extrême, les vibrations et la violence sonore du lancement; puis supporter le pression du vide, l'apesanteur, les températures extrêmes et le fort rayonnement de l'espace pendant des années, sans perspective de réparation.

L'ESA a conçu, testé et fait voler plus de 70 missions spatiales avec six types de lanceurs différents. L'ampleur des réalisations de l'Agence est encore plus importante si l'on considère son statut d'organisation de recherche et de développement. L'ESA ne fait pas de routine. Chaque nouvelle mission marque un pas technique ou scientifique décisif vers l'avant par rapport à ce qui a précédé. Dans de nombreux cas, les futures missions sont basées sur des technologies qui n'existent pas encore.

Repousser les limites du possible

Comment faire ? L'industrie européenne est responsable de la conception et de la construction des missions, mais l'ESA assure le rôle de leadership, coordination et supervision. Chaque nouvelle mission spatiale nait d'une idée nouvelle pour l'exploration ou pour des applications – émanant éventuellement des établissements de recherche ou de l'industrie – et à ce stade les ingénieurs de l'ESA, spécialisés dans chaque aspect de l'environnement spatial, évaluent leur faisabilité et les guident à travers le développement.

Amener des projets jusqu'au domaine du possible demande un flux continu d'innovations, permis par des contrats de recherche avec l'industrie. Les nouvelles technologies sont soigneusement déplacées vers une échelle de « un niveau de maturité technologique » – de TRL 1, qui repère une idée prometteuse jusqu'à TRL 9 qui signifie prêt pour un vol spatial. Mais le passage d'un niveau à un autre sur l'échelle implique de plus en plus de qualifications et d'essais rigoureux. De longue date, le Programme de recherche technologique de base de l'ESA explore de nouveaux concepts, alors que son successeur, le Programme général de technologie de soutien, prend les prototypes qui en résultent et les transforme en produits prêts à voler et pour le marché. Les différentes directions de l'ESA soutiennent également leurs propres activités de développement technologique complémentaires selon les besoins.

Feuilles de route de développement technologique

Le processus est supervisé par des experts de l'ESA, guidés par des cartes détaillées de recherche et de développement et en coordination avec d'autres entités européennes. L'ESA contribue aussi à fixer des normes

de travail communes pour l'industrie spatiale européenne par son affiliation à la Coopération européenne à la normalisation dans le domaine spatiale et dresse une liste de pièces qualifiées pour les missions spatiales à travers une instance appelée « Coordination européenne pour les composants spatiaux ». La quantité et la qualité des pièces fabriquées en Europe et des modules de construction disponibles pour les missions spatiales sont développées à travers « l'initiative européenne pour des composants ». L'ESA collabore avec des agences spatiales nationales et des organisations affiliées, comme l'Agence européenne de défense, pour s'assurer que la non-dépendance européenne ne soit pas mise en danger par dépendance excessive à l'égard de fournisseurs étrangers.

Soutien aux missions

Dans le cadre du soutien aux missions individuelles, les spécialistes de l'ESA participent à la décision sur les matériaux de construction d'un engin spatial donné. Les matériaux et pièces potentiels peuvent être testés de façon exhaustive en laboratoire à ESTEC, le centre technique principal de l'ESA, ou dans un réseau de laboratoires externes à travers l'Europe : indifféremment soumis à une tension électrique, des vibrations, des variations thermiques ou exposés à un vide comparable à celui de l'espace, ou même mis en rotation sous haute gravité pendant des jours ou des semaines. Le centre technique de l'ESA, l'ESTEC regroupe un ensemble unique d'installations pour tester les missions spatiales dans leur intégralité, en lancement simulé ou dans des conditions orbitales. C'est le plus grand centre de son genre en Europe et l'un des plus importants au monde.

Le cœur technique

Niché derrière les dunes de Noordwijk, sur la côte nord-est des Pays-Bas, l'ESTEC – Le Centre européen de recherche et de technologie spatiale – est le plus grand centre spatial en Europe. C'est le cœur technique de l'ESA.

L'ESTEC est l'incubateur des efforts spatiaux européens, c'est l'endroit où les missions sont conçues et guidées à travers le développement, où naissent les technologies qui permettront les missions du futur et où le matériel spatial peut être testé dans des conditions similaires à celles de l'espace.

Plus de 2600 personnes travaillant ici sont responsables du développement et de la gestion de tous les types de missions de l'ESA : science spatiale, vols habités et exploration, télécommunications, navigation par satellite et observation de la Terre.

Les spécialistes de l'ESTEC travaillent pour soutenir l'industrie spatiale européenne en étroite collaboration avec d'autres organisations, comme des universités, des instituts de recherche et des agences nationales des États membres, et des agences spatiales du monde entier.

C'est également à l'ESTEC que se trouve un ensemble d'installations d'essai, unique en Europe, où des composants de satellites ou des engins spatiaux complets sont soumis à une accélération extrême, aux vibrations et au bruit incontournables pour atteindre l'orbite, au vide spatial, aux températures extrêmes et au fort rayonnement que l'on trouve en orbite. Plus de 180 missions spatiales ont franchi les portes de l'ESTEC avant de rejoindre l'orbite.

Mission analysis

Les missions prennent forme

Chaque mission spatiale de l'ESA naît d'une nouvelle idée d'exploration ou d'applications. Ces idées initiales sont formalisées ici, dans l'installation de conception pluridisciplinaire de pointe à l'ESTEC : le Centre de conception concourante (CDF). Étant donné que les engins spatiaux comptent parmi les machines les plus sophistiquées jamais conçues, le processus de conception actuel peut se développer à une vitesse remarquable de nos jours.

Le réseau d'ordinateurs, les systèmes multimédia et les outils logiciels du CDF permettent à une équipe d'experts de plusieurs disciplines d'ingénierie différentes, de travailler en étroite collaboration au même endroit au même moment.

Traditionnellement, quand les ingénieurs ont la tâche de concevoir un nouveau système ou une nouvelle structure complexe – une voiture, un avion ou un satellite – ils travaillent dans l'ordre, étape par étape, se passant la conception d'un ingénieur à l'autre. L'ingénierie concourante rassemble tous les ingénieurs impliqués, avec toute leur puissance cérébrale et les outils nécessaires, avec le représentant de l'utilisateur final au même endroit au même moment. Ceci permet une conception itérative à un rythme élevé, avec un client et des concepteurs qui acceptent des exigences et qui prennent des décisions en temps réel, pour permettre la meilleure conception au coût adéquat et avec une part de risque acceptable.

Ce processus a été développé et perfectionné de sorte qu'il est maintenant courant de produire une conception de mission spatiale conceptuelle complète, chiffrée et aux risques évalués, avec différentes options et intégrant un planning, des essais et des opérations, en quelques semaines plutôt que en quelques mois, comme c'était le cas auparavant.

Comme le reconnaissent les pionniers de l'ingénierie concourante, les ingénieurs CFD de l'ESA ont contribué à guider la création d'équipements similaires dans d'autres agences spatiales, universités instituts de recherche et industries. L'ESA contribue à établir un mode de travail totalement nouveau.

L'espace dans une bouteille

Une chambre thermique sous vide utilisée pour simuler le vide d'air et les températures extrêmes de l'espace, avec une photo en médaillon des cellules solaires pour la mission BepiColombo vers Mercure, en cours de préparation pour un essai d'éclairage.

La plus grande ressource unique de l'ESTEC est le savoir-faire de son personnel, accumulé pendant près de 50 ans de conception de missions spatiales. Des équipes spécialisées dans chaque aspect de l'environnement spatial sont hébergées ensemble à Noordwijk.

L'espace est un environnement plus étrange et beaucoup plus dûr que la vie quotidienne sur Terre. Il faut une accélération énorme, des vibrations et du bruit pour arriver en orbite. Les engins spatiaux doivent supporter le vide, l'apesanteur, des variations de température extrêmes et un fort rayonnement – tout en continuant à fonctionner pendant des années sans perspective d'entretien.

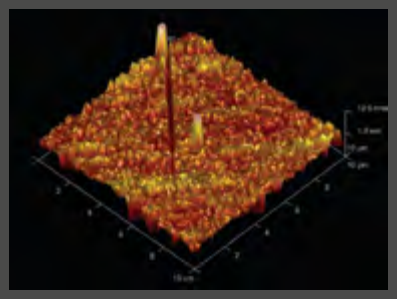
Tandis que le travail concret d'élaboration d'une mission spatiale est sous-traité à l'industrie et aux universitaires européens, l'ESTEC est la plate-forme spatiale de l'Europe, et fournit une coordination et une surveillance. Les spécialistes de l'ESTEC participent à la préparation de normes d'ingénierie pour les opérations spatiales, appuyées par des essais rigoureux. Ils surveillent un flux continu d'innovations basé sur des plans de recherche et de développement, qui visent à amener les futures missions prévues dans le domaine du possible.

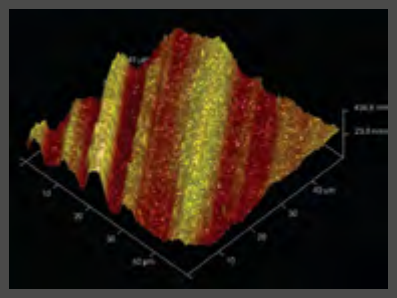
Et quand une pièce ou un matériel particulier est envisagé(e) pour une mission, les équipes de projet doivent être sûres qu'il ou elle est adapté(e) à l'espace. Les pièces et matériaux sélectionnés sont testés de manière exhaustive, au-delà du point de destruction si nécessaire, dans les laboratoires spécialisés de l'ESTEC. Les objets peuvent être bombardés de de rayonnements, soumis à une tension électrique, des vibrations, des contraintes thermiques ou exposés à un vide comparable à celui de l'espace.

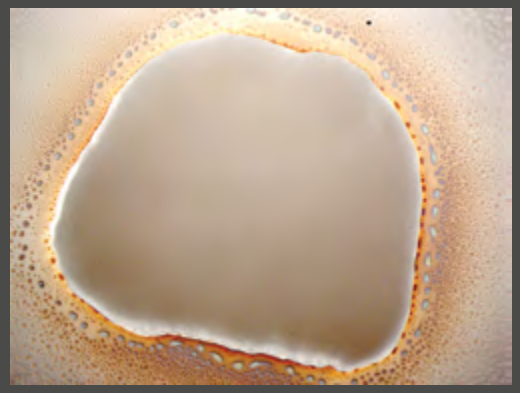
Naturellement, le meilleur moyen de tester un système prévu pour aller dans l'espace est de le faire voler dans l'espace. Les CubeSats ont à peu près la taille d'un carton de lait de 10 x 10 x 10 cm et représentent une norme de satellite courante pour ouvrir l'accès à l'espace au-delà des gouvernements et des grandes entreprises.

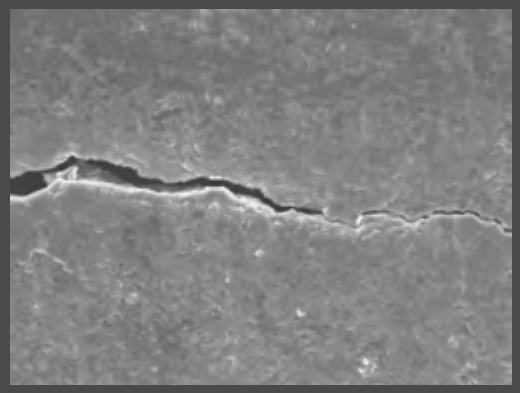
L'ESA intègre les CubeSats comme une composante de sa mission éducative pour conserver l'industrie spatiale en Europe, soutenant les objectifs de l'Agence d'inspirer la prochaine génération de scientifiques et d'ingénieurs et de les préparer autant que possible pour le marché du travail. Le programme CubeSat de l'ESA donne une expérience complète de l'apprentissage, de la conception au design et aux essais jusqu'aux opérations de vol d'un véritable véhicule spatial et de son système au sol associé, entièrement réalisée par des étudiants d'universités européennes sous la direction de l'Agence.

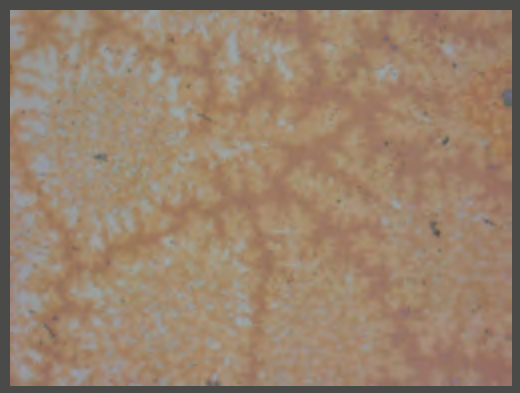
04











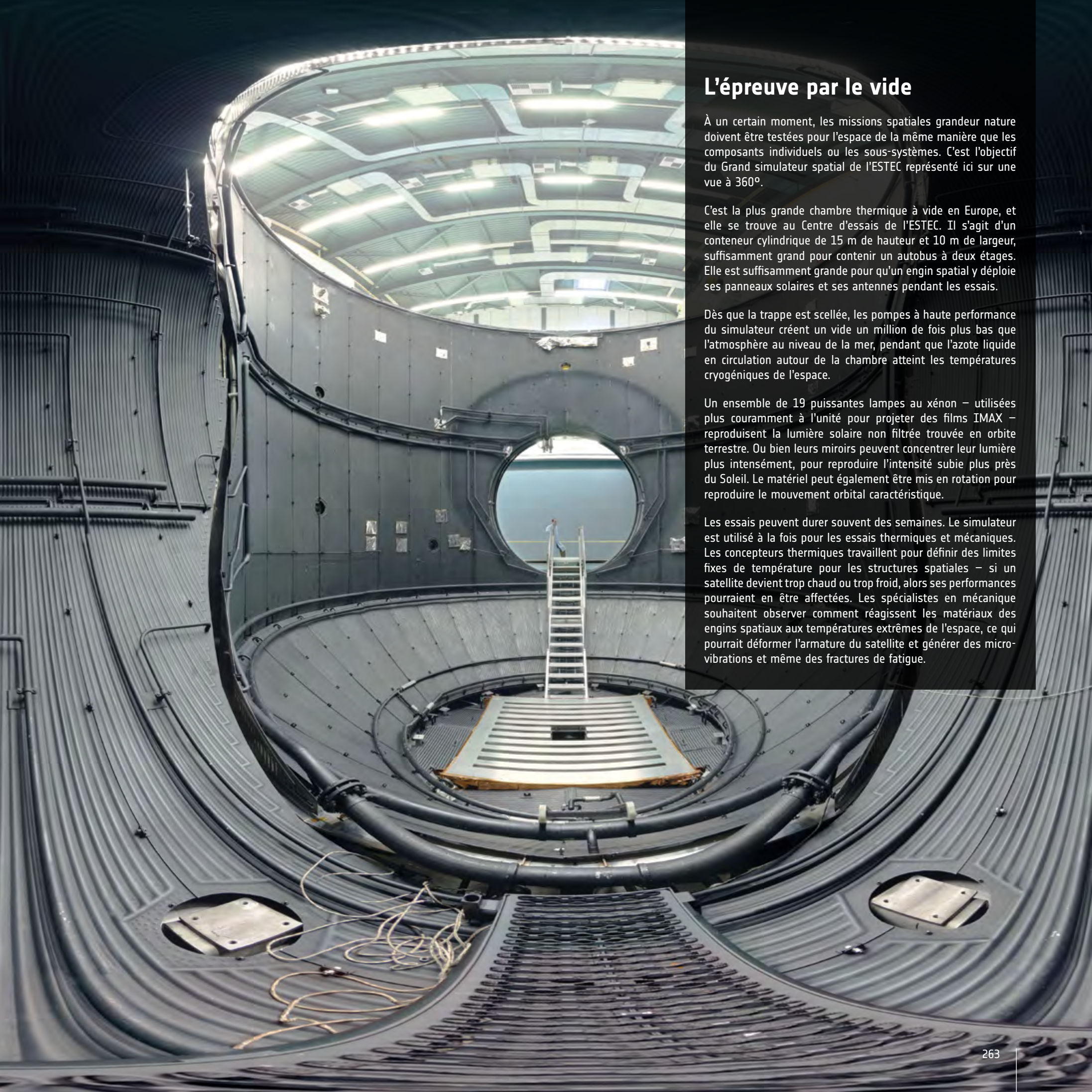
Sonder le nanomonde

La préparation de missions spatiales peut réclamer des essais à l'échelle de l'espace intérieur, réalisés dans les laboratoires d'essais de l'ESTEC situés le long du couloir représenté ici.

Les deux images en haut à droite sont créées à l'aide d'une pointe d'un nanomètre de largeur – un milliardième de mètre, soit l'équivalent à l'échelle d'une noisette comparée à la planète Terre – tirée sur des matières à tester comme un stylet sur un tourne-disque par un microscope à force atomique de l'ESTEC. Le « profilomètre » a été ajusté à une échelle aussi réduite – qui correspond à quelques dizaines d'atomes individuels – en utilisant des techniques empruntées à l'industrie des semi-conducteurs. Ce processus révèle la topographie de la surface jusqu'à l'échelle atomique des objets testés, cartographiant à peu près un atome unique par seconde. Les chercheurs s'intéressent à la réaction des matériaux aux différents aspects de l'environnement spatial, comme les extrêmes de températures et le rayonnement, étant donné que toute modification de la chimie de la surface peut modifier substantiellement le comportement général du matériau. L'image du haut représente un filtre optique conçu pour la mission Sentinel-2, et la deuxième montre une isolation à la feuille dorée.

Les laboratoires de l'ESTEC sont équipés de différents microscopes optiques, électroniques et confocaux à balayage, pour fournir des vues en gros plan des résultats des essais, les microscopes à sonde à balayage descendant la résolution au niveau de l'échelle atomique. Des outils spécialisés peuvent réaliser des perçages ou des coupes préparatoires dans les matériaux à tester. Des méthodes non-invasives sont également disponibles, comme les microscopes acoustiques fonctionnant avec des ultrasons. Le spectroscope de photoélectrons X de l'ESTEC peut identifier la composition chimique d'une surface jusqu'au niveau du nanomètre. Un « nanoscratch » de test évalue la résistance des revêtements sur la même échelle d'épaisseur.

La troisième image est une vue microscopique de verre fondu pendant un essai au laser. La quatrième image montre des fissures microscopiques qui apparaissent dans un film en titane de 10 microns d'épaisseur. La dernière image est une vue microscopique de dépôts organiques formés sur un échantillon de verre de l'équipement orbital Expose (voir page 191).



L'épreuve par le vide

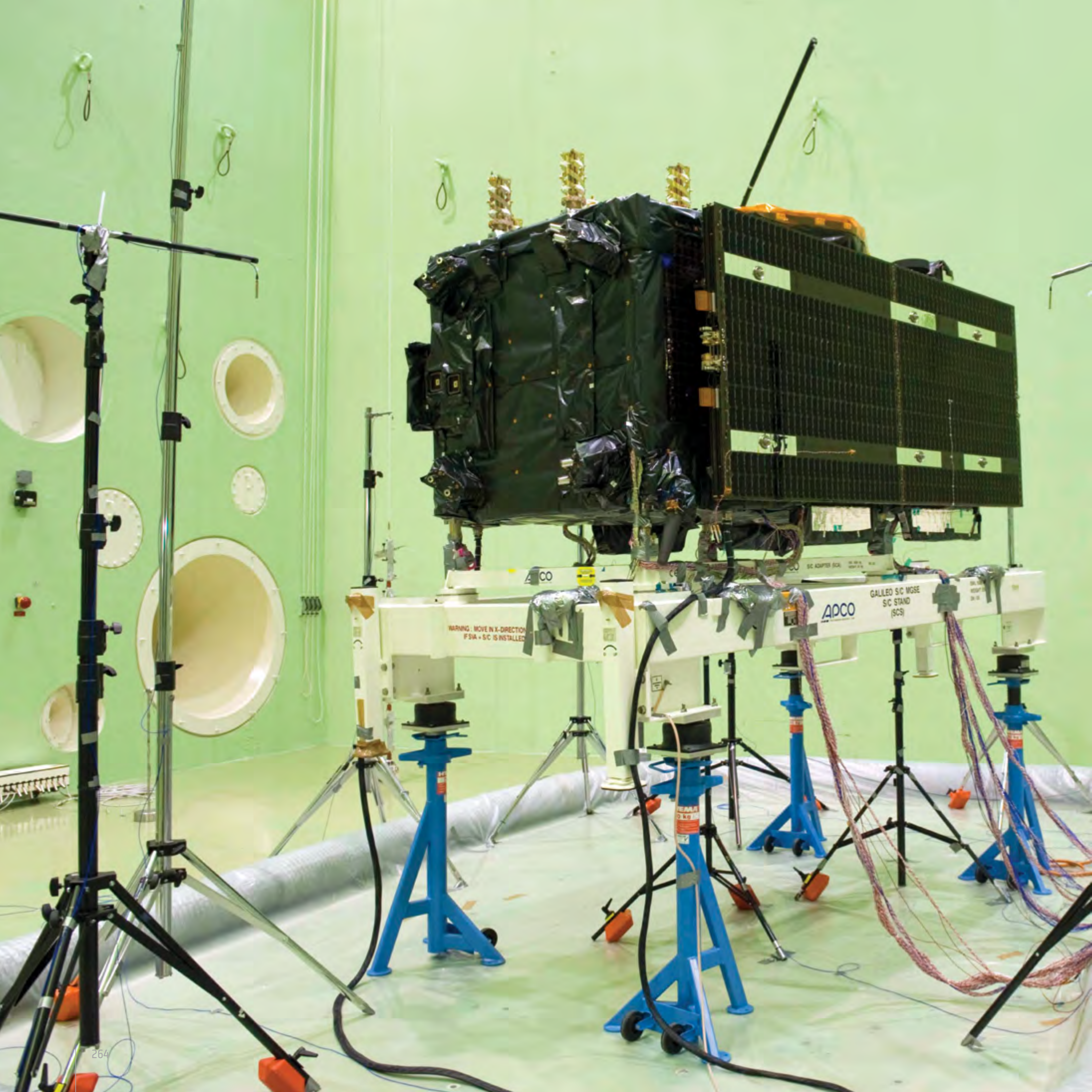
À un certain moment, les missions spatiales grandeur nature doivent être testées pour l'espace de la même manière que les composants individuels ou les sous-systèmes. C'est l'objectif du Grand simulateur spatial de l'ESTEC représenté ici sur une vue à 360°.

C'est la plus grande chambre thermique à vide en Europe, et elle se trouve au Centre d'essais de l'ESTEC. Il s'agit d'un conteneur cylindrique de 15 m de hauteur et 10 m de largeur, suffisamment grand pour contenir un autobus à deux étages. Elle est suffisamment grande pour qu'un engin spatial y déploie ses panneaux solaires et ses antennes pendant les essais.

Dès que la trappe est scellée, les pompes à haute performance du simulateur créent un vide un million de fois plus bas que l'atmosphère au niveau de la mer, pendant que l'azote liquide en circulation autour de la chambre atteint les températures cryogéniques de l'espace.

Un ensemble de 19 puissantes lampes au xénon – utilisées plus couramment à l'unité pour projeter des films IMAX – reproduisent la lumière solaire non filtrée trouvée en orbite terrestre. Ou bien leurs miroirs peuvent concentrer leur lumière plus intensément, pour reproduire l'intensité subie plus près du Soleil. Le matériel peut également être mis en rotation pour reproduire le mouvement orbital caractéristique.

Les essais peuvent durer souvent des semaines. Le simulateur est utilisé à la fois pour les essais thermiques et mécaniques. Les concepteurs thermiques travaillent pour définir des limites fixes de température pour les structures spatiales – si un satellite devient trop chaud ou trop froid, alors ses performances pourraient en être affectées. Les spécialistes en mécanique souhaitent observer comment réagissent les matériaux des engins spatiaux aux températures extrêmes de l'espace, ce qui pourrait déformer l'armature du satellite et générer des micro-vibrations et même des fractures de fatigue.


APCO
GALILEO S/C MGSE
S/C STAND
(SCS)
APCO

Mur de son

Ce satellite Galileo est en train d'être préparé pour des essais à l'intérieur de l'une des installations acoustique les plus importantes au monde – remarquez les émetteurs de bruit dans les murs qui ressemblent à des hauts-parleurs stéréo et les micros autour du satellite. C'est la Grande chambre européenne d'essais acoustiques (LEAF), qui simule le bruit d'une fusée au décollage – l'équivalent en volume au bruit d'une flotte d'avions à réaction qui décollent à quelques mètres de distance.

Toute personne ayant assisté au lancement d'une fusée est frappée par le bruit – même à plusieurs kilomètres de distance. Bien entendu, un satellite en haut de son lanceur est exposé à des niveaux de bruit beaucoup plus élevés. Bien avant cette étape, les concepteurs du satellite doivent vérifier que celui-ci peut supporter un tel son prolongé.

La plus grande installation de son genre en Europe, LEAF, est une chambre d'essais qui mesure 11 m de largeur sur 9 m de profondeur et 16,4 m de hauteur. Ses murs sont en béton renforcé d'acier de 0,5 m d'épaisseur pour contenir le son et revêtus d'une épaisse couche de résine époxy pour réduire l'absorption du bruit et augmenter la réverbération interne.

Le centre technique, l'ESTEC intègre de nombreux dispositifs d'essais sous un seul toit, tous conservés dans des conditions de salle blanche immaculées, indispensables aux essais des engins spatiaux. Plusieurs d'entre eux sont réglés pour tester d'autres aspects du lancement, y compris des tables vibrantes pour les vibrations et la compatibilité électromagnétique et des chambres d'antennes coupées des champs électromagnétiques du monde extérieur pour évaluer si les systèmes électriques et radio d'un engin spatial peuvent fonctionner sans auto-interférences.

Secoué, pas remué

Une section du fuselage d'un Airbus placée sur la table vibrante hydraulique « Hydra », du centre d'essais de l'ESTEC, capable de produire des vibrations équivalentes à un tremblement de terre de 7,5 sur l'échelle de Richter. Le centre technique est capable d'apporter son assistance à l'industrie européenne plus large lorsque son emploi du temps le permet. Dans ce cas, Airbus a essayé de simuler les tensions brèves mais importantes, appelées « transitoires » qu'un aéronef supporte pendant les manœuvres, les atterrissages et en cas de vents violents, dans le cadre du contrôle de l'absence d'effets de résonance internes potentiellement gênants.

Vue du dessus, la table Hydra – la plus puissante parmi plusieurs tables de ce type – paraît plutôt modeste. Sa partie visible est une simple plaque d'aluminium de 5,5 x 5,5 m aluminium placée à fleur du sol. Mais la plaque est la surface supérieure d'une table de 18 tonnes déplacée par huit actionneurs hydrauliques et qui fonctionne comme une plateforme de simulateur de vol. Le mouvement de la table est contrôlé par un réseau de 28 ordinateurs en parallèle. Le dispositif peut secouer des prototypes jusqu'à 22 tonnes avec une accélération allant de 0,05 à 5 fois la gravité de la Terre.

L'industrie spatiale exige les essais de vibrations les plus rigoureux au monde. Les deux premières minutes du vol d'un satellite sont les plus dures car il supporte les vibrations extrêmes du lancement. Il est essentiel de tester les satellites et leurs composants avant le lancement pour s'assurer qu'ils ne vont pas se rompre sous l'effet des vibrations.

esa
esa
6
MANNESMANN
REXROTH

→ L'ESPACE SUR LA TERRE

L'exigence de l'environnement spatial est un défi permanent pour les scientifiques et les ingénieurs. Leurs réponses poussent l'enveloppe de l'innovation. Les technologies qui en résultent sont dans une classe à part : capables de supporter une accélération, des vibrations et des températures extrêmes et d'autres tensions tout en étant aussi compactes et légères que possible. De tels attributs sont clairement bénéfiques aux autres secteurs industriels. Le Programme de transfert de technologie de l'ESA a pour mission de faire descendre les technologies spatiales sur Terre à travers de nouvelles applications, au bénéfice des citoyens européens et de l'industrie européenne.

Transfert de technologie

La plupart des meilleurs transferts de technologie se produisent automatiquement, quand le potentiel de la technologie est visible aux yeux de tous. C'est un processus continu et souvent discret : des fabricants peuvent utiliser le savoir-faire spatial pour améliorer les composants, produits et processus industriels.

Dans d'autres cas, il faut produire un effort pour trouver une niche prometteuse pour une technologie spatiale, en se basant sur une connaissance pointue des besoins d'un secteur industriel particulier. Le processus commence par l'étude du secteur non-spatial. L'ESA a créé un réseau de courtiers en technologie, dont la tâche est d'évaluer les besoins du marché en Europe et de chercher tout ce qui pourrait potentiellement exploiter des innovations spatiales.

Le programme de transfert de technologie de l'ESA est là pour faciliter le processus, et il a supervisé plus de 260 transferts au cours des deux dernières décennies. Ces systèmes existants ont été adaptés à un nouveau cycle de vie dans une industrie très différente. Cela revient à transplanter des plantes dans une nouvelle terre : les conditions doivent être bonnes pour que la plante transplantée fleurisse.

Développer des entreprises

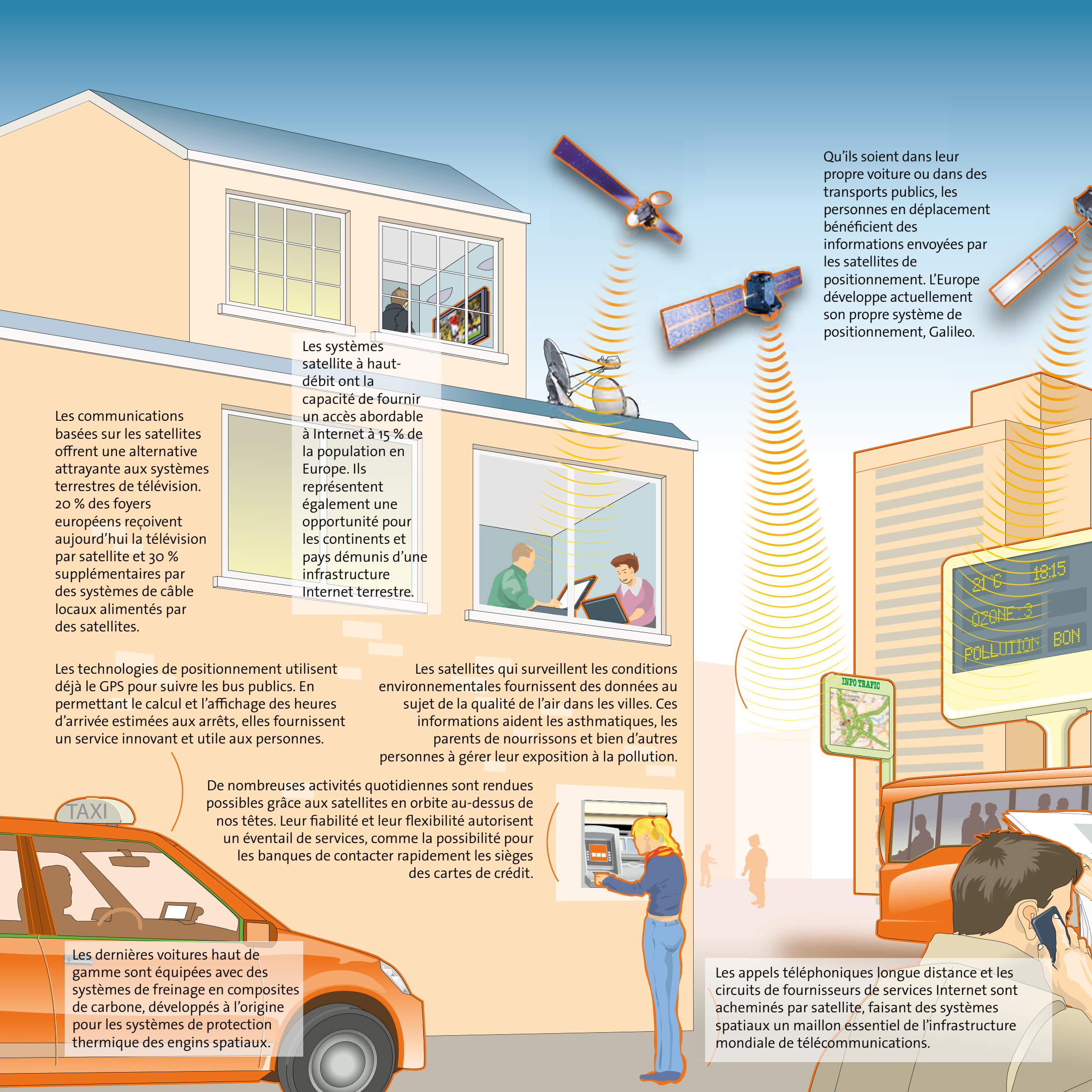
Le programme a également créé neuf centres d'incubation d'entreprises à travers l'Europe, avec plus de 160 jeunes entreprises entretenues dans ces centres. Le programme soutient les entrepreneurs qui cherchent à monter de nouvelles entreprises qui appliquent des technologies spatiales au marché terrestre en leur donnant un avis commercial et technique complet; cela contribue ainsi à la création de

dizaines de jeunes entreprises dans un domaine autre que spatial chaque année. Ces centres entretiennent des liens solides avec le réseau européen d'incubateurs spatiaux et des réseaux comparables qui encouragent l'incubation d'entreprises.

Cela peut être un défi de taille de passer directement d'un concept initial au développement d'une jeune entreprise qui réussit. Mais le soutien de l'ESA continue même lorsque l'entreprise quitte l'un de ses centres d'incubation. Le programme de transfert de technologie peut ensuite amener ces jeunes entreprises face à face avec des investisseurs visionnaires, concentrés sur la technologie, pendant le Forum annuel d'investissement de l'ESA. Au-delà de cela, l'ESA a également monté son propre fonds d'investissement appelé Open Sky Technologies Fund pour financer des entreprises commerciales pendant leur adaptation au marché.

Réciprocité des bénéfices

Le transfert de technologie continue à fournir de réels bénéfices de la technologie spatiale aux entreprises sur Terre, qui proposent à leur tour un choix plus large de produits plus solides et plus fiables aux utilisateurs industriels et commerciaux et finalement au grand public. Ce processus renforce également l'industrie spatiale de l'Europe en ouvrant de nouvelles opportunités d'affaires aux systèmes existants, ce qui augmente le retour sur l'investissement initial. Le Programme de transfert de technologie de l'ESA s'assure que l'Europe qui tend les bras vers les étoiles conduise à son tour vers une base industrielle plus large et plus compétitive et à une qualité de vie améliorée pour les citoyens européens.



Les communications basées sur les satellites offrent une alternative attrayante aux systèmes terrestres de télévision. 20 % des foyers européens reçoivent aujourd'hui la télévision par satellite et 30 % supplémentaires par des systèmes de câble locaux alimentés par des satellites.

Les systèmes satellite à haut-débit ont la capacité de fournir un accès abordable à Internet à 15 % de la population en Europe. Ils représentent également une opportunité pour les continents et pays démunis d'une infrastructure Internet terrestre.

Qu'ils soient dans leur propre voiture ou dans des transports publics, les personnes en déplacement bénéficient des informations envoyées par les satellites de positionnement. L'Europe développe actuellement son propre système de positionnement, Galileo.

Les technologies de positionnement utilisent déjà le GPS pour suivre les bus publics. En permettant le calcul et l'affichage des heures d'arrivée estimées aux arrêts, elles fournissent un service innovant et utile aux personnes.

Les satellites qui surveillent les conditions environnementales fournissent des données au sujet de la qualité de l'air dans les villes. Ces informations aident les asthmatiques, les parents de nourrissons et bien d'autres personnes à gérer leur exposition à la pollution.

De nombreuses activités quotidiennes sont rendues possibles grâce aux satellites en orbite au-dessus de nos têtes. Leur fiabilité et leur flexibilité autorisent un éventail de services, comme la possibilité pour les banques de contacter rapidement les sièges des cartes de crédit.

Les dernières voitures haut de gamme sont équipées avec des systèmes de freinage en composites de carbone, développés à l'origine pour les systèmes de protection thermique des engins spatiaux.

Les appels téléphoniques longue distance et les circuits de fournisseurs de services Internet sont acheminés par satellite, faisant des systèmes spatiaux un maillon essentiel de l'infrastructure mondiale de télécommunications.

Notre vie aujourd'hui

De façon presque imperceptible, les technologies de l'espace font maintenant partie de nos vies quotidiennes. Il est paradoxal que plus une technologie de l'espace s'avère utile et omniprésente, moins il est probable que nous continuerons à penser qu'elle vient de « l'espace ». Les ressources entretenues par l'ESA, comme les satellites météorologiques, les systèmes de navigation par satellite et les satellites de télécommunications, forment une infrastructure invisible aussi essentielle à notre façon de vivre et de travailler que les conduites d'eau, de gaz et de télécommunications enterrées ou les pylônes électriques qui courent de ville en ville. Les matériaux dérivés de l'espace commencent à jouer des rôles discrets similaires.

Un capteur électronique basé dans l'espace et conçu pour renifler la fumée protège le public voyageant dans les transports ferroviaires souterrains des risques d'incendie.

Toutes les formes de médias dépendent des communications par satellite, y compris la press écrit. Le contenu du journal du matin est câblé par satellite aux imprimeries régionales.

La surveillance par satellite radar de la surface peut avertir très tôt d'un affaissement dangereux, de l'ordre de quelques centimètres par an.

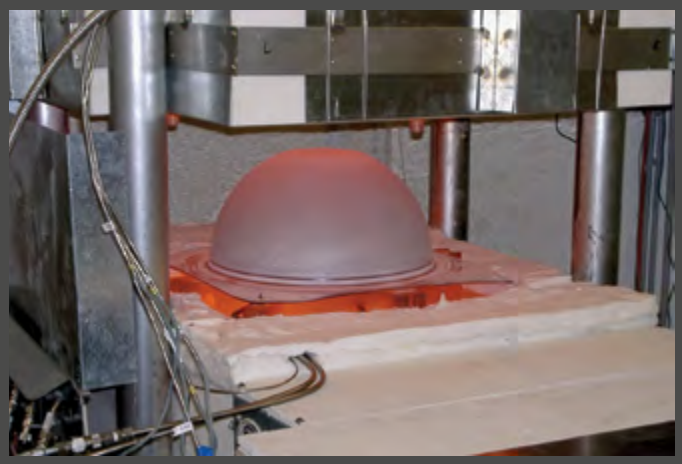
Plier le métal

Le processus de fabrication perfectionné utilisé pour les réservoirs sphériques de carburant d'Ariane 5 est maintenant employé par l'industrie terrestre pour fabriquer des voitures plus sûres.

Autant véhicule spatial que fusée, l'étage supérieur d'Ariane 5 déploie sa cargaison de satellite très haut dans le vide sidéral. L'hydrazine, son puissant propergol, est très volatile, corrosif et transporté sous haute pression. Le titane 6-4 – un alliage léger de titane, d'aluminium et de vanadium – est utilisé pour la fabrication des sphères parce qu'il ne réagit pas à l'hydrazine. Mais le martelage du titane froid peut provoquer des micro-fissures.

Au lieu de cela, l'entreprise allemande FormTech fait confiance au « formage superplastique », en chauffant l'alliage à 920 °C – la moitié de son point de fusion – puis en plaçant le métal ramolli dans un moule avant d'appliquer une pression de gaz, comme pour souffler une bulle. Les réservoirs d'1 cm d'épaisseur produits sont légers mais solides, tellement résistants que plusieurs d'entre eux ont survécu à leur plongeon de feu lors du retour sur Terre.

FormTech travaille avec le courtier en transfert de technologie de l'ESA MST Aerospace pour trouver des utilisations terrestres de ce processus, étudiant la fabrication d'écrans protecteurs pour le dessous des voitures (en bas à droite), capable de fonctionner à une température plus élevée, avec une meilleure adaptation et seulement 70 % de la quantité actuelle de protection en aluminium.



Tourner dans le vent

Trouver un bon emplacement pour une ferme éolienne est assez simple à partir du moment où vous savez d'où vient le vent. Pour que les nouvelles fermes éoliennes soient rentables, il est essentiel de déterminer les conditions locales de vent et d'identifier la meilleure position pour chaque turbine. Comprendre les conditions de vent peut être difficile à cause des arbres, des falaises ou des collines qui affectent la force et la direction du vent. La méthode traditionnelle consiste à dresser un mât pour collecter des informations, mais une jeune entreprise française, soutenue par le centre d'incubation des entreprises de l'ESA aux Pays-Bas, a trouvé une alternative moins onéreuse.

Le Windcube de Léosphere, petit et autonome, peut mesurer depuis le sol les profils de vent sur une plage de hauteurs atteignant 5 km à l'aide de l'équivalent laser du radar, le lidar. Les impulsions laser du Windcube sont éparpillées par les particules dans l'air, comme la poussière, l'eau ou les aérosols, et renvoyées à un capteur qui capture les schémas de mouvements dans l'atmosphère.

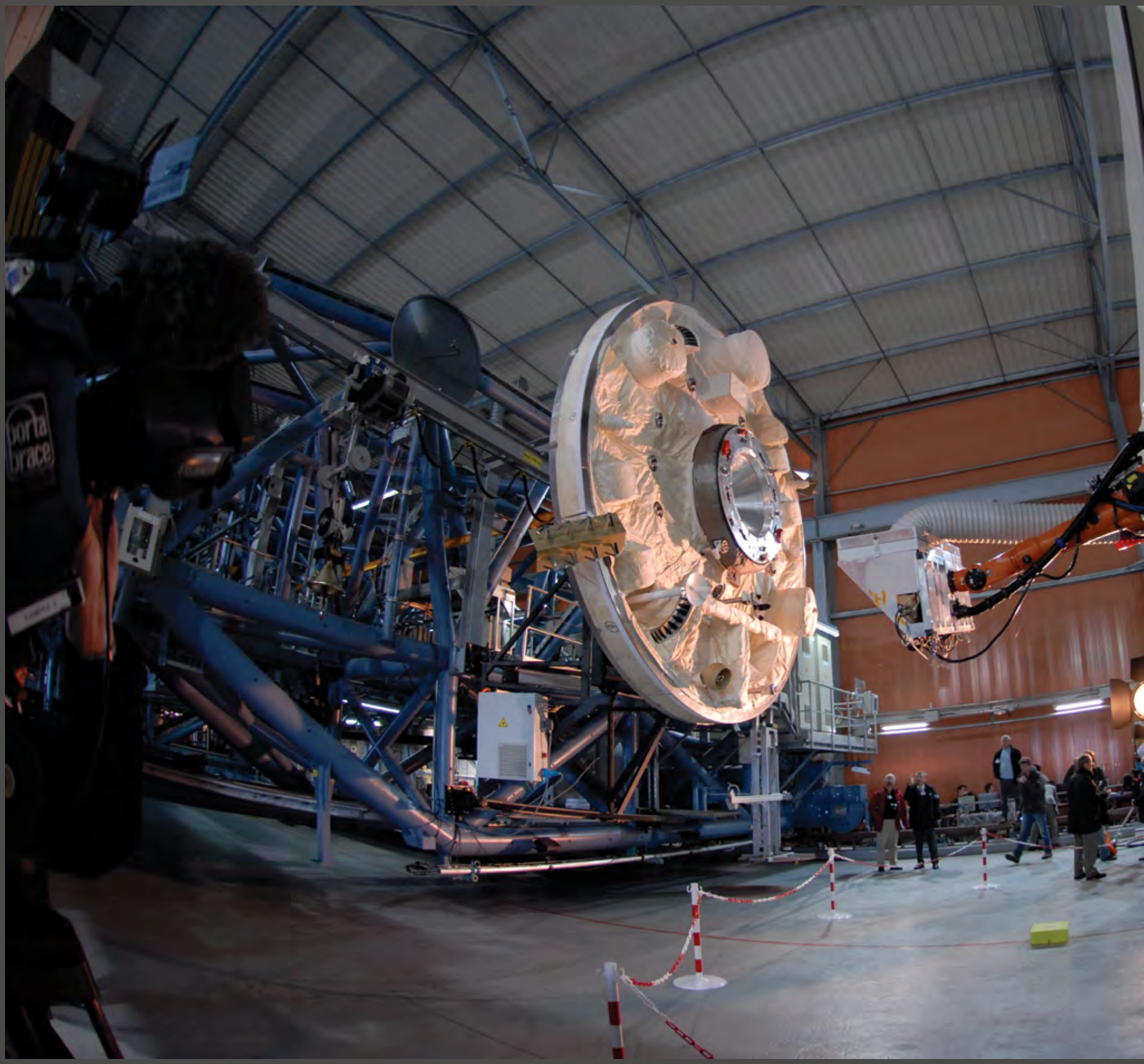
Le concept est similaire à celui du futur satellite Aeolus qui mesurera les vents depuis l'orbite. Les experts de l'Agence ont utilisé leur expérience pour aider les ingénieurs de Léosphere à optimiser les performances, le poids et la résilience optique du Windcube. Léosphere commercialise d'autres systèmes qui utilisent la même technologie lidar dans des domaines comme la météorologie et la recherche sur le changement climatique.

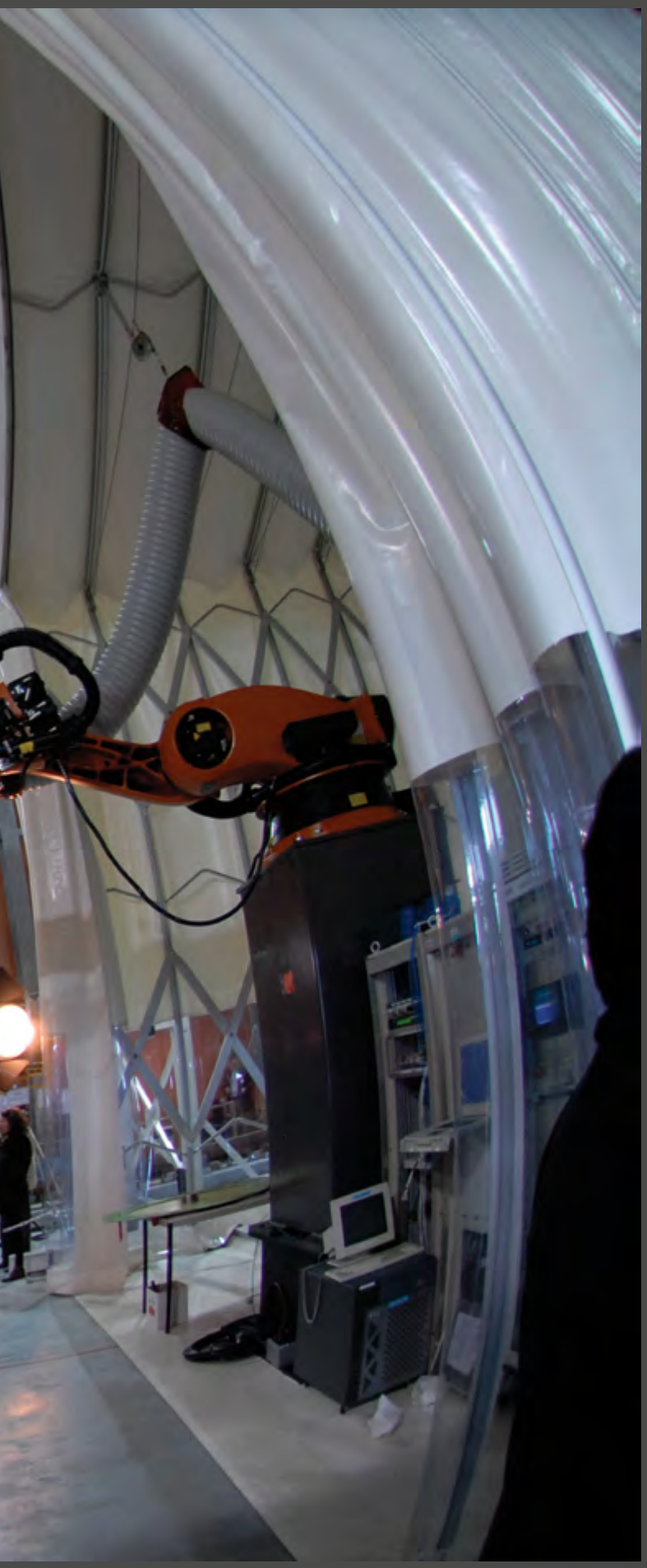
L'art du verre

Le complexe More London, sur la Tamise près de Tower Bridge, est une vitrine extravagante de l'architecture moderne. Le bâtiment de dix étages 7 More London – le dernier ajout au complexe représenté ici – comporte une façade en verre de 16 500 m^2.

Il s'agit d'un verre spécial, avec des propriétés d'isolation améliorées pour que l'intérieur du bâtiment reste frais en été et chaud en hiver. Grâce à un nouveau revêtement, il transfère seulement un tiers de la chaleur d'un verre de type ancièn 1980 tout en conservant une transmission de la lumière de 80 %, pour réduire le besoin en éclairage électrique. Il est devenu le premier bâtiment en Angleterre à recevoir la très convoitée mention « excellent » selon la méthode d'évaluation BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) pour la durabilité environnementale.

Le processus de revêtement du verre à hautes performances qui rend cela possible est basé sur un capteur développé à l'origine dans le cadre d'un contrat ESA au début des années 80 pour détecter l'oxygène atomique hautement érosif en orbite basse. Une version miniaturisée de ce capteur est montée sur la Station spatiale internationale aujourd'hui, tandis qu'une entreprise dérivée appelée ESCUBE, en Allemagne, a commencé en 1999 à proposer la même technologie aux marchés non spatiaux. Le capteur VacuSen de la taille d'une allumette est utilisé par le fabricant de pointe de verre plat en Allemagne pour optimiser le processus de revêtement pour l'adapter précisément aux propriétés du verre.

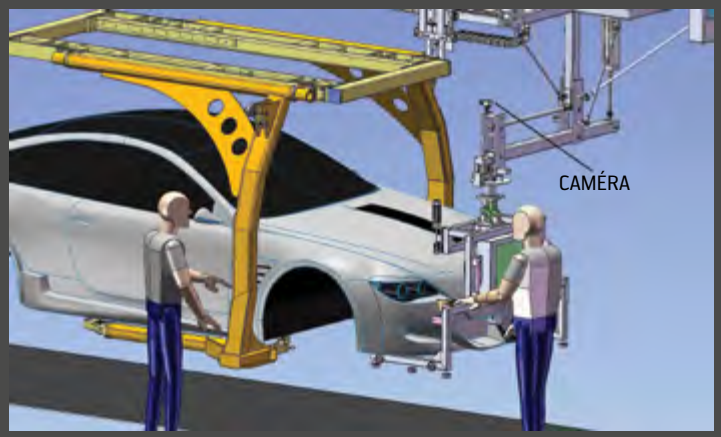




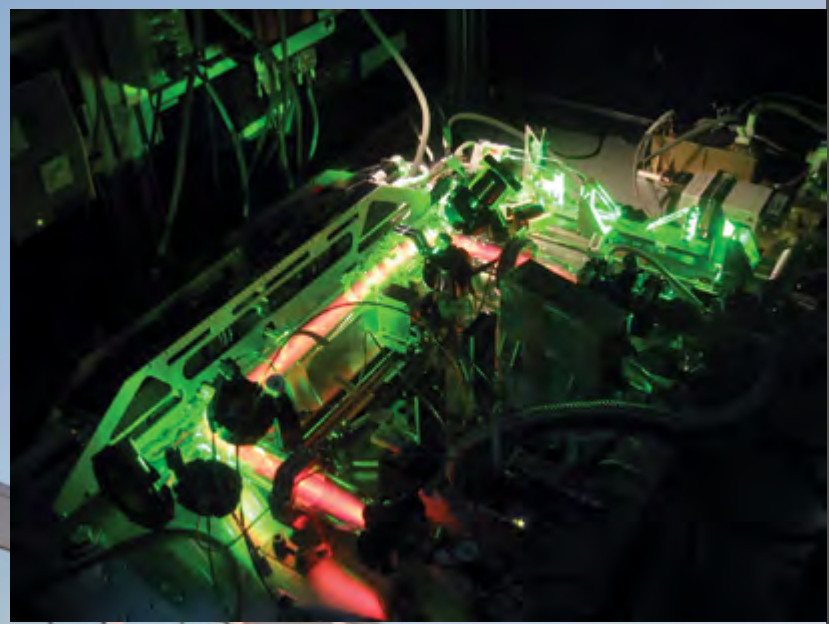
Amarrage grâce à la conception

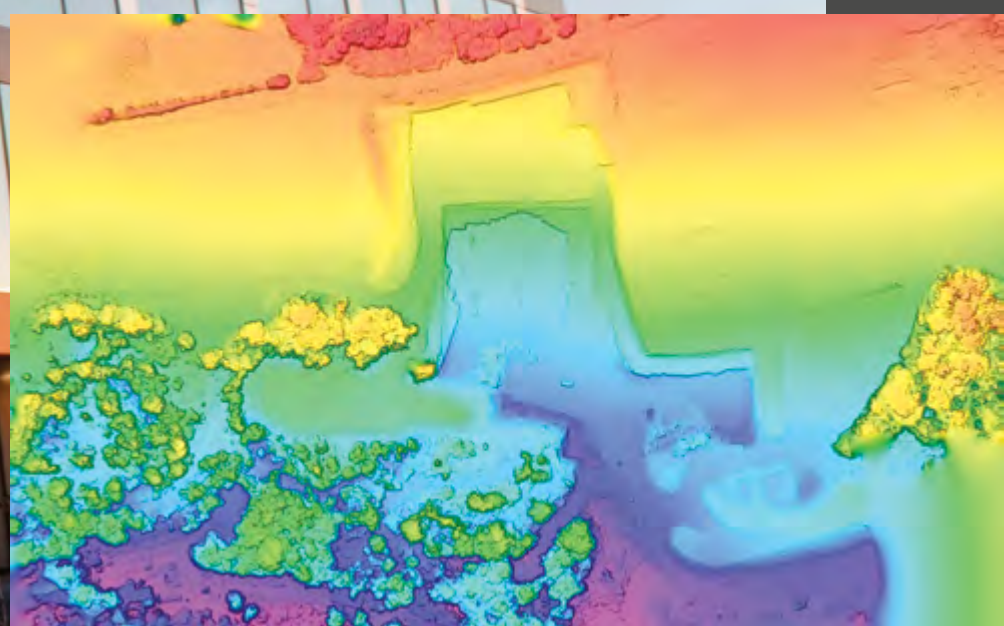
Le cargo de l'ESA, le Véhicule de transfert automatique, s'amarre automatiquement à la Station spatiale internationale en orbite selon un horaire précis et strictement contrôlé – un processus simulé ici dans les locaux d'Astrium ST aux Mureaux, 50 km à l'ouest de Paris, France.

Et grâce aux entrepreneurs soutenus par le centre d'incubation des entreprises de l'ESA à Noordwijk, Pays-Bas, l'usine Autoeuropa de Volkswagen à Palmela, au Portugal, applique une technique d'amarrage similaire pour monter des modules comme les tableaux de bord dans les voitures sur sa ligne de production. Développé par l'entreprise hollandaise MDUSpace, le système combine un flux de caméra en direct avec un logiciel pour la reconnaissance d'objets dérivé des systèmes d'amarrage des engins spatiaux, afin de vérifier que le manipulateur robotisé sur la ligne d'assemblage et la voiture se déplacent exactement à la même vitesse et sont dans la même position l'un par rapport à l'autre à tout moment. Le système prototype est également en cours d'évaluation pour des utilisations industrielles plus larges.



esa
business
incubation
centre
Noordwijk





Faire des affaires

Une vaste gamme de technologies spatiales inspire des entreprises innovantes, dans de nombreux cas grâce à de nouvelles entreprises, soutenues par le réseau des centres d'incubation des entreprises de l'ESA, comme le BIC de Noordwijk aux Pays-Bas, photographié ici.

- La technologie électromécanique miniature initialement dével-oppée pour la micro-propulsion des satellites a été adaptée pour produire des « scintillateurs » plus minces et à haute résolution pour les rayons X dentaires. Une caméra dentaire a été conçue par l'entreprise Scint-X avec un scintillateur pour convertir les rayons X en lumière normale fabriqué par Nanospace, une filiale de la Swedish Space Corporation. Étant beaucoup plus mince que les caméras à rayons X classiques sur le marché, ses images sont plus détaillées et la caméra peut être directement insérée dans la bouche du patient.

- L'institut Max Planck de physique extraterrestre en Allemagne a utilisé une longue série d'expériences sur le plasma – gaz chargé électriquement – à bord de la Station spatiale internationale (en haut à gauche) comme base d'un dispositif pour détruire les bactéries et les virus susceptibles de provoquer des infections nosocomiales. Avec l'aide de l'ESA, l'équipe se concentre maintenant sur le développement d'un système de désinfection des mains pour les hôpitaux, mais la technique du plasma froid pourrait entrer un jour dans nos foyers. Le plasma pourrait être utilisé pour désinfecter les brosses à dents et les rasoirs au lieu des rayons UV, qui assainissent seulement la surface qu'ils éclairent. Le gaz chargé de plasma désinfecterait aussi les fissures et les crevasses dissimulées.

- La navigation par satellite est utilisée pour piloter des micro-avions par l'entreprise en démarrage MAVinci pour le captage à distance à coût réduit (en bas à gauche). L'entreprise est hébergée par le centre d'incubation des entreprises de l'ESA de Darmstadt en Allemagne et les experts en optique de l'ESA ont apporté leur avis sur la calibration des instruments.

- L'entreprise hollandaise EstrellaSat, soutenue par l'ESA, applique la navigation par satellite pour augmenter la productivité et la sécurité des machines d'extraction minière en utilisation intensive. Les énormes camions de transport qui travaillent dans les mines d'Amérique du sud sont reliés sans fil par satellite à un centre de contrôle aux Pays-Bas, qui surveille les machines et les conducteurs en permanence pour intervenir rapidement en cas de problème.

- Le gaz stocké chimiquement dans un matériau solide au lieu de réservoirs pressurisés peut rester en toute sécurité à température ambiante pendant des années. Développés par l'entreprise hollandaise TNO Space et testés à bord du Proba-2 de l'ESA pour repressuriser ses réservoirs de carburant, ces générateurs de gaz sont utilisés pour supprimer les feux à l'intérieur des équipements informatiques par la jeune entreprise hollandaise Fire Suppression Inside.

Réservoir de connaissances

Le transfert de technologie est réellement un effort réalisé au sein de toute l'Agence, avec des techniciens apportant leur expertise de spécialistes aux jeunes entreprises qui s'appuient sur la technologie spatiale.

Plonger un équipement électronique coûteux dans l'eau n'est normalement pas recommandé, mais cet écran de télévision HD TV a terminé au fond de la piscine de l'ESTEC dans le cadre d'un essai de transfert de technologie.

L'entreprise hollandaise Dutch AquaCinema ambitionne de transformer les piscines en environnements de réalité virtuelle par immersion en les recouvrant de « dalles aquatiques » étanches qui diffusent des vidéos HD. Quand ils font leurs longueurs d'entraînement, les nageurs pourraient profiter d'images de la Grande Barrière de corail ou observer le monde à partir de l'orbite comme s'ils étaient en apesanteur – dans la mesure où le traitement d'étanchéité des dalles fonctionne comme prévu. Donc l'ESTEC a proposé la piscine de son club sportif pour essayer le matériel prototype.

Cet écran a été adapté à partir d'un système développé à l'origine pour présenter différentes configurations de la Station spatiale internationale à l'ESTEC, tandis que Aquacinema elle-même est soutenue par le centre d'incubation des entreprises de l'ESA situé à proximité à Noordwijk.

→ JUSTE UN DÉBUT

« Viser les étoiles », au sens propre comme au sens figuré, est un problème qui va occuper des générations ; quels que soient les progrès accomplis, il y aura toujours l'excitation du tout début. » C'est ce qu'écrivait le pionnier des fusées Robert Goddard en 1932 à l'auteur HG Wells, l'homme dont la science-fiction l'avait inspiré aux débuts de ses recherches.

A l'aube de sa cinquième décennie l'ESA a déjà parcouru un long chemin. Mais vu l'immensité de l'espace, l'Agence n'est en fait qu'à ses débuts. Ce n'est que le début d'un effort et d'un voyage qui se poursuivront aussi longtemps que notre espèce perdurera.

Préserver l'espace

En tant que pionniers, nous avons l'obligation de penser à ceux qui nous succéderont. Pour commencer, l'Agence s'assurera que la génération à venir pourra toujours profiter pleinement de l'espace autour de la Terre. L'ESA joue déjà un rôle majeur dans la réduction des débris spatiaux, rôle qu'elle souhaite étendre en devenant une agence modèle pour des activités spatiales responsables et durables. Le programme Surveillance de l'Espace de l'ESA contribuera à cet effort en surveillant les risques qui menacent notre planète et notre environnement spatial. Et l'ESA veillera à ce que les processus et les produits utilisés au sol soient aussi écologiques que possible.

Une agence spatiale est également durable si elle maximise les bénéfices pour ses citoyens en tant que retour sur investissement. L'ESA continuera à travailler avec la Commission européenne et les États membres pour transformer des connaissances durement acquises en produits et en services innovants, stimulant ainsi la compétitivité européenne. L'espace est l'un des endroits où l'on invente l'avenir, où l'on transforme notre continent en une société de la connaissance, pour prospérer au cours du siècle à venir.

Créer de la richesse

L'Agence fait un effort particulier sur les applications en aval basées sur l'infrastructure spatiale. C'est dans ce secteur que ce concentrera la majeure partie de la richesse et de la valeur ajoutée de l'espace et sa taille devrait quadrupler au cours de cette décennie. On commence à explorer de nouvelles opportunités qui s'ouvrent grâce au recoupage de l'observation de la Terre, de la navigation par satellite et des systèmes de communication par satellite.

L'ESA donne aussi la priorité à la création de liens avec des secteurs terrestres où des synergies techniques existent. L'ESA a longtemps été un précurseur dans les technologies des énergies renouvelables et du stockage de l'énergie, mais le secteur de l'énergie dispose également de connaissances dont l'Agence peut profiter :

le secteur de l'énergie et l'industrie spatiale ont tous deux besoin de matériaux à hautes performances qui peuvent supporter de grandes quantités d'énergie et des conditions extrêmes. Copernicus constitue déjà un nouvel outil de gestion environnementale, mais la recherche de l'ESA portant sur les missions spatiales de longue durée, à travers un support de vie avancé et les systèmes de recyclage, apporte des applications potentielles beaucoup plus larges pour « le vaisseau spatial Terre ».

Génération suivante

Finalement, l'ESA vise à fournir le même type d'inspiration que le jeune Robert Goddard trouvait dans sa science-fiction, pour contribuer à former la prochaine génération de scientifiques et d'ingénieurs européens. Des études ont montré que, une majorité de jeunes gens en Europe répondaient « Non », en particulier les filles et les jeunes femmes, quand on leur a demandé s'ils souhaitaient travailler dans le domaine de la science et de l'ingénierie. Ce qui est intéressant, c'est que les mêmes jeunes Européens ont répondu « Oui » quand on leur a demandé s'ils étaient intéressés par « les fusées, les satellites et les voyages dans l'espace ». Les activités spatiales sont un excellent moyen d'attirer l'attention des penseurs et décideurs scientifiques de demain. Ainsi, l'exploration de l'espace par l'Europe n'est pas une option supplémentaire : c'est la construction de l'avenir, à plus d'un titre.

Espace propre

Ils ressemblent peut-être à des astronautes (en haut) mais ce sont des ingénieurs, au port spatial de l'Europe en Guyane française, qui se préparent à remplir le satellite Herschel de l'ESA en hydrazine liquide avant son lancement. Comme beaucoup d'autres engins spatiaux, Herschel utilise de l'hydrazine pour manœuvrer en orbite. Mais ce carburant hautement énergétique est également très toxique et potentiellement explosif. Les vêtements de protection soulignent la nature dangereuse de l'hydrazine.

Dans le cadre d'une vaste initiative appelée Clean Space, l'ESA recherche des carburants alternatifs plus sûrs et plus écologiques, visant à devenir une agence modèle pour des activités spatiales propres, responsables et durables.

La première étape est l'analyse des impacts environnementaux des activités de l'Agence, comme celle du cycle de vie des lanceurs européens, dont les gaz d'échappement largués pendant un lancement d'Ariane 5 (ci-contre). Comparé au secteur automobile, le secteur spatial est une industrie plus modeste, mais active sur la même planète que tout le monde.

La nouvelle législation environnementale et l'inquiétude grandissante de la part des clients et des partenaires montrent qu'un tel examen devient inévitable – et c'est également la meilleure chose à faire.

Au sol, l'ESA veillera à ce que les processus et les produits utilisés soient aussi écologiques que possible. Pour gérer l'élimination des moyens spatiaux et nettoyer l'espace, elle travaillera à partir des techniques actuelles de réduction des débris spatiaux en utilisant les moyens du programme Surveillance de l'Espace pour dépister les grands morceaux de débris et pour encourager les futures missions à être déplacées vers une orbite cimetière quand nécessaire.

Ceci n'est que le début de l'ère spatiale. Nous devons transmettre l'orbite terrestre à la génération de demain dans un état aussi immaculé que possible.

Regarder le ciel

L'espace est déjà un élément crucial dans la vie quotidienne de tout à chacun. Les systèmes et les applications basés dans l'espace sont indispensables à de nombreux services essentiels aux économies et aux gouvernements de l'Europe, y compris ceux liés à la sécurité. Dans l'avenir, cette dépendance ne fera qu'augmenter.

Il est donc essentiel de mieux connaître l'environnement spatial sur lequel nous comptons tellement. C'est l'objet du programme Surveillance de l'espace (SSA) de l'ESA, qui sera mis en application pendant cette décennie.

Grâce au SSA, l'Europe saura ce qui se passe dans l'espace en gardant l'œil sur les objets et les phénomènes naturels qui pourraient endommager notre infrastructure. Le programme est actif dans la surveillance et le suivi des objets en orbite terrestre, comprenant les satellites actifs et morts, les étages de fusée abandonnés et les débris. Il implique également la surveillance de la météorologie spatiale – les particules et le rayonnement provenant du Soleil qui peuvent perturber les communications, les systèmes de navigation et d'autres réseaux dans l'espace et au sol. Enfin, le SSA est également concerné par la surveillance d'objets proches de la Terre, comme les astéroïdes qui pourraient potentiellement nous heurter.

Pour créer la capacité d'entreprendre ces activités, le programme utilisera au début les moyens déjà existants de l'ESA et des partenaires européens et internationaux en les fédérant dans un système SSA. Plus tard, ceux-ci seront complétés par une nouvelle infrastructure comprenant des radars de recherche et des télescopes de relevé optiques et pourrait, à l'avenir, englober des missions satellites dédiées.

Regarder vers le bas

La croissance du vignoble sud-africain est soigneusement supervisée par une série de mesures sur site et une surveillance par satellite.

Pour irriguer plus efficacement les vignes qui mûrissent, les exploitants ont besoin de renseignements sur la production des cultures et la consommation d'eau. Le service GrapeLook de l'ESA utilise la télédétection par satellite pour surveiller le volume d'eau rejeté par les plantes, le volume de biomasse développé et l'efficacité générale de l'utilisation de l'eau. Des relevés d'humidité sont envoyés en temps réel à un centre de traitement par lien satellite. Une fois les informations traitées, les cartes sont mises en ligne pour les vignerons et les gestionnaires de l'eau via un site Internet basé sur Google Maps. Pendant une période d'essai de ce service en 2011, les participants ont confirmé que GrapeLook est utile pour surveiller le stress hydrique, le développement de la production et pour identifier les problèmes d'irrigation. Ce service devrait augmenter la quantité de raisin récoltée tout en améliorant la qualité du vin, et ce en utilisant moins d'eau.

GrapeLook a été soutenu par la Integrated Applications Promotion (IAP) de l'ESA qui encourage les services terrestres fonctionnants grâce à une combinaison de systèmes situés dans l'espace, dans ce cas la télédétection, les télécommunications et la navigation par satellite. La majeure partie de la création de richesse et d'emplois dans l'industrie spatiale est concentrée dans le secteur en aval – des nouveaux marchés et services s'ouvrent grâce à l'infrastructure spatiale. Par exemple, le total des revenus générés par les satellites de télécommunications, à travers des industries comme la télévision par satellite, sont 30 fois plus importants que les investissements réalisés pour fabriquer et lancer les satellites eux-mêmes. Le développement d'« applications révolutionnaires » en aval est encouragé par l'IAP et des initiatives similaires «en préparation de la nouvelle infrastructure spatiale que l'Europe met en place.

Hors réseau, en ligne

Les écoliers du village de Mambi dans le Sulawesi occidental, en Indonésie, passent en vélo près de la borne de relais alimentée à l'énergie solaire qui maintient leur village isolé relié au réseau de téléphonie mobile, bien qu'il ne soit pas connecté au réseau électrique. L'entreprise irlandaise Altobridge a développé cette borne, aidée dans la recherche et le développement par l'ESA à travers le Programme de recherche avancée sur les systèmes de télécommunications (ARTES).

Avec l'aide de l'ESA, Altobridge a ajouté de nouvelles caractéristiques, comme la commutation d'appels et la transmission intelligente vers d'autres nœuds dans le réseau public de téléphonie mobile.

Les coûts ont été réduits par l'intégration de l'unité de passerelle distante dans un ordinateur à simple carte dans la borne de relais émettrice-réceptrice de faible consommation et à courte portée.

Grâce à l'ESA, Altobridge montre que les services mobiles peuvent être mis à disposition tout en utilisant avec efficacité le haut débit du satellite, à travers un traitement des appels et un codage du signal brevetés.

Cette entreprise a été reconnue par le Forum économique mondial comme un pionnier de la technologie, étant donné que ses stations de base sont déjà utilisées par des communautés locales en Asie, en Afrique, dans les îles du Pacifique et plus récemment dans le nord de l'Irak.

Action énergique

L'espace est peut-être vide de presque tout le reste, mais il a la chance de posséder une abondance infinie de lumière solaire.

Dans ce domaine, l'ESA joue un rôle cle depuis de nombreuses années, dans des technologies du photovoltaïque et d'autres énergies nouvelles. Les cellules solaires sont une technologie de base pour l'espace presque autant que les fusées elles-mêmes. L'ESA a réussi à augmenter l'efficacité des cellules solaires à 30 %, proche de la limite théorique. Le choix des sites des centrales à énergie solaire et la mesure de leur efficacité opérationnelle s'appuie aussi sur les « cartes de la lumière solaire » produites par les satellites d'observation de la Terre.

De plus, l'ESA fait des recherches sur des méthodes de stockage de l'énergie de haute densité pour les missions spatiales, une exigence-clé pour retirer le carbone du secteur des transports. Pour répondre aux préoccupations concernant les effets environnementaux liés à l'énergie et à la sécurité de l'énergie, l'ESA rends son expertise disponible au secteur terrestre de l'énergie en mettant en place des liens avec la Commission européenne sur le thème de l'énergie et en forgeant des liens avec l'industrie.

Un monde à eux

Voyager léger n'est pas vraiment possible pour les astronautes d'aujourd'hui – il leur faudrait emporter des tonnes de nourriture, d'eau et d'oxygène pour rester en vie pendant les longues expéditions au fin fond de l'espace. Cependant, cet « équipage » de rats contribue à changer cela, tout en influençant de nouvelles techniques de gestion environnementale.

L'usine pilote de l'ESA située à l'Université autonome de Barcelone est la dernière phase de l'Option micro-écologique pour un système de support-vie MELiSSA, qui ambitionne la création d'un système de support de vie en circuit fermé avec une efficacité proche de 100 % – un écosystème autonome qui idéalement n'a pas besoin de réapprovisionnement.

L'établissement de Barcelone est conçu pour démontrer le concept MELiSSA à l'échelle pilote, en gardant en vie un équipage de 40 rats dont la consommation collective d'oxygène est équivalente à celle nécessaire à un humain. MELiSSA va plus loin que les autres systèmes de recyclage utilisés dans la Station spatiale internationale, qui purifient l'eau et recyclent l'urine et le dioxyde de carbone expiré, mais n'essaient pas de recycler les déchets organiques pour la production de nourriture.

Ici, rien n'est gaspillé. Basé sur le principe d'un écosystème aquatique, l'équipement est composé de cinq compartiments interconnectés. Dans trois d'entre eux, les déchets sont progressivement désagrégés par la fermentation. Dans le quatrième compartiment, on fait pousser des algues et des plantes pour produire de la nourriture, de l'oxygène et de l'eau. Le cinquième compartiment constitue l'espace de vie de l'équipage.

Cette usine pilote n'est qu'un élément de l'effort international MELiSSA coordonné par l'ESA, qui a produit jusqu'à présent des centaines d'articles scientifiques et de nombreuses techniques environnementales dérivées, y compris sur le traitement des eaux usées, le contrôle de la contamination des vignobles et le recyclage des déchets d'origine animale pour l'agriculture intensive.

Faire passer le message

Le 18 septembre 2011, lors de la Journée allemande de l'aérospatiale, l'ESA et le Centre aérospatial allemand (DLR) ont conjointement accueilli le premier « Space TweetUp » européen au Centre des astronautes européens à Cologne. Cette manifestation était destinée aux passionnés de l'espace qui utilisent le média social de messagerie Twitter, et elle a rassemblé 60 invités des quatre continents pour un programme spécial d'information animé par des directeurs de mission, des scientifiques et des astronautes de l'ESA et de la NASA.

L'ESA vise à informer le grand public et s'adresse au-delà du public de l'Agence existant, qui consulte le portail de l'ESA et lit le *Bulletin* de l'ESA et d'autres publications, jusqu'au sous-ensemble plus important d'Européens qui savent peu ou rien à propos du travail de l'Agence. Les médias sociaux représentent un canal qui a de plus en plus de valeur – l'astronaute de l'ESA André Kuipers avait plus de cent mille abonnés Twitter après son séjour à bord de la Station spatiale – tandis que les partenariats avec des acteurs nationaux dans tous les États membres offrent une autre piste pour accroître la portée de l'ESA. L'objectif est d'aller là où sont les gens et de parler leur langue, au sens propre et figuré.

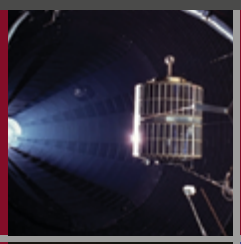
L'ESA a une histoire formidable à raconter, composé de succès avant-gardistes et d'excellence technique. Les résultats de sondages successifs, démontrent que le soutien pour l'espace s'accroit au fur et à mesure que la connaissance du sujet progresse. C'est juste une question de partage.

La photo en bas à droite montre une plaque placée à Noordwijk, près de l'ESTEC, pour commémorer le 40ème anniversaire du premier vol habité sur la Lune, et la photo en bas à gauche montre Neil Armstrong lui-même signant la table de granite exposée au Space Expo, le centre des visiteurs de l'ESTEC, tout comme l'ont fait beaucoup d'autres explorateurs historiques de l'espace.

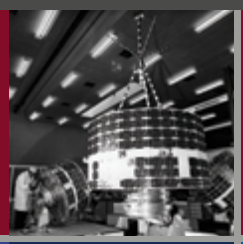
esa
esa
esa
esa
esa
esa

LES MISSIONS DE L'ESA

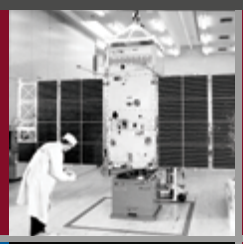
cers série
Lancé : 1967 (échec), 1968, 1969, 1972
Exploration scientifique des particules de l'espace et l'environnement du rayonnement



heos-1 et -2
Lancé : 1968 et 1972
Sondage du champ magnétique de la Terre et du milieu interplanétaire



td-1
Lancé : 1972
Astronomie dans le rayonnement UV, X et gamma

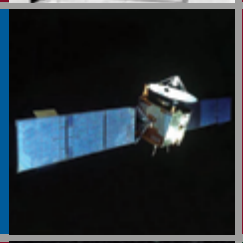


cos-b
Lancé : 1975
Astronomie dans le rayonnement Gamma

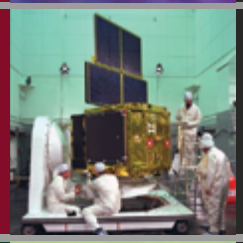
iue
Lancé : 1978
Astronomie dans le rayonnement ultraviolets

ariane
Premier lancement : 1979
Lanceur commercial sécurisant l'accès européen indépendant à l'espace

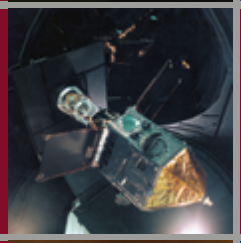
marecs série
Lancé : 1981, 1982 (échec), 1984
Satellites de télécommunications maritimes



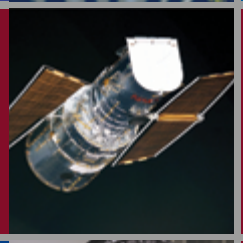
exosat
Lancé : 1983
Astronomie dans le rayonnement X



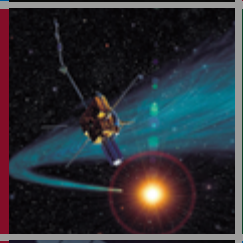
hipparcos
Lancé : 1989
Cartographie de plus de 1 000 000 étoiles



hubble space telescope
Lancé : 1990
L'ESA a fourni les panneaux solaires et la Faint Object Camera

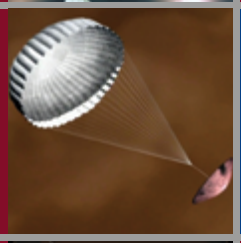


ulysses
Lancé : 1990
Cartographie de l'espace au-dessus et sous les pôles du Soleil

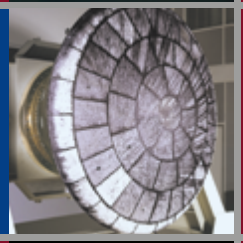


ers-1 et -2
Lancé : 1991, 1995
Observation radar de la Terre

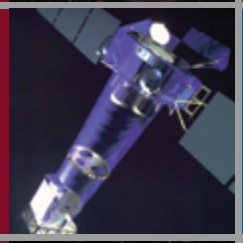
huygens
Lancé : 1997
Sonde se posant sur la surface de Titan, une lune de Saturne



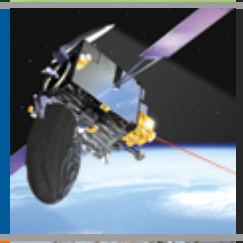
ard
Lancé : 1998
Premier véhicule européen expérimental de rentrée atmosphérique



xmm-newton
Lancé : 1999
Astronomie dans le rayonnement X



artemis
Lancé : 2001
Démonstration de technologie pour les télécommunications

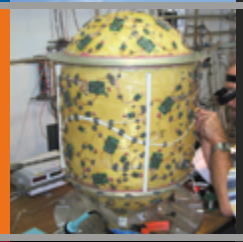


mars express
Lancé : 2003
Premier orbiteur européen de la planète rouge

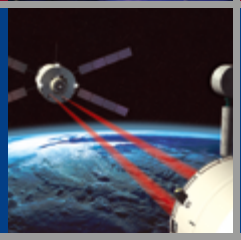
smart-1
Lancé : 2003
Mission expérimentale vers la Lune

rosetta
Lancé : 2004
Mission de rendez-vous avec une comète dans l'espace lointain

sloshsat
Lancé : 2005
Enquête sur les effets de ballotement du carburant

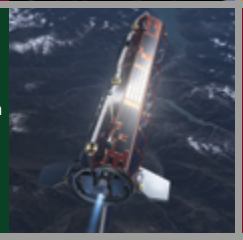


atv
Lancé : 2008, 2011, 2012, 2013, 2014
Vaisseau cargo spatial pour l'approvisionnement de la Station spatiale internationale



columbus
Lancé : 2008
Laboratoire de recherche de la Station spatiale internationale

goce
Lancé : 2009
Cartographie de l'attraction gravitationnelle de la Terre

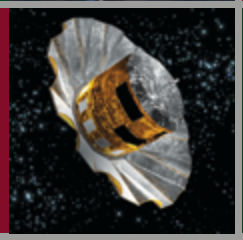


herschel
Lancé : 2009
Mission d'astronomie dans le rayonnement infrarouge lointain

alphasat
Lancé : 2013
Plate-forme innovante de télécommunications par satellite

swarm
Lancé : 2013
Trio de satellites de cartographie du champ magnétique terrestre

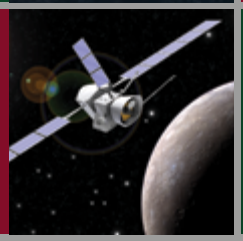
gaia
Lancé : 2013
Mission pour cartographier un milliard d'étoiles en 3D



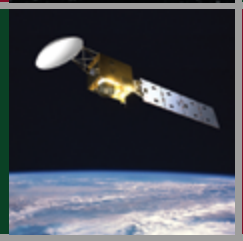
famille sentinels
Premier lancement : 2014
Une gamme de missions opérationnelles d'observation de la Terre

adm-aeolus
Lancement : 2015
Cartographie globale des champs de vent terrestres

bepicolombo
Lancement : 2016
Première mission européenne vers Mercure

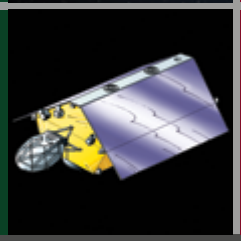


earthcare
Lancement : 2016
Étude de l'impact des nuages et des aérosols sur notre climat

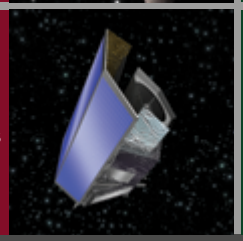


exomars
Lancement : 2016, 2018
Orbiteur et atterrisseur Martiens, suivis par le rover

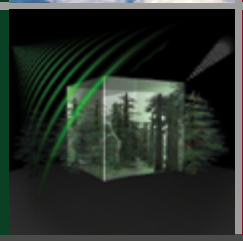
jason cs
Lancement : 2019
Mesure de la hauteur des océans de la Terre



euclid
Lancement : 2020
Cartographie de la matière noire et des effets de l'énergie noire sur l'Univers



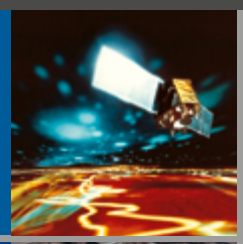
biomass
Lancement : 2020
Mesure de la biomasse forestière



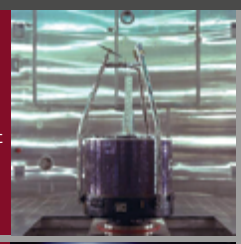
juice
Lancement : 2022
Première mission européenne vers le système de Jupiter

geos-1 et -2
Lancé : 1977, 1978
Sondage de la dynamique du champ magnétique terrestre incluant les ondes et les particules

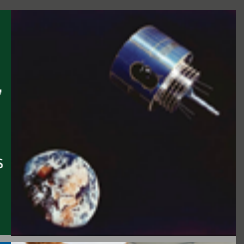
ots-1 et -2
Lancé : 1977 (échec), 1978
Démonstration de technologies pour les télécommunications



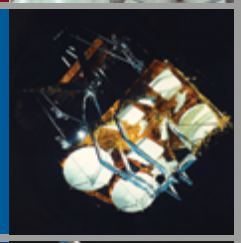
isee-2
Lancé : 1977
Cartographie des interactions Soleil-Terre et du champ magnétique



météosat série
Lancé : 1977, 1981, 1988, 1989, 1991, 1993, 1997, 2002
Satellites météorologiques européens pour les prévisions quotidiennes



ecs série
Lancé : 1983, 1984, 1985, 1987, 1988
Satellites de télécommunications opérationnels européens

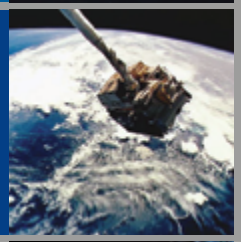


spacelab
Premier lancement : 1983
Module de laboratoire pour la navette spatiale américaine de la NASA ; 22 lancements

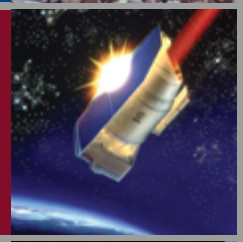
giotto
Lancé : 1985
Intercepter la comète de Halley et la comète Grigg–Skjellerup

olympus
Lancé : 1989
Démonstration de technologie pour les télécommunications

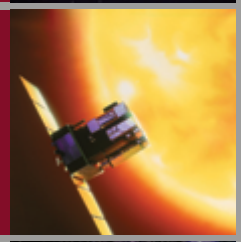
eureca
Lancé : 1992
Banc d'essai de microgravité en vol libre réutilisable



iso
Lancé : 1995
Astronomie dans le rayonnement infrarouge



soho
Lancé : 1995
Observation en continu du Soleil



cluster
Lancé : 1996 (échec), 2000
Physique du plasma spatial en 3D

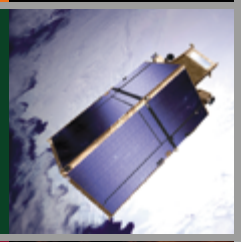
proba série
Lancé : 2001, 2009, 2013
Microsatellites de démonstration technologique

envisat
Lancé : 2002
Satellite environnemental à 10 instruments

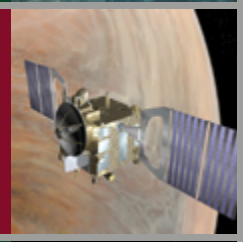
msg série
Lancements MSG : 2002, 2005, 2012
Satellites météorologiques de deuxième génération

integral
Lancé : 2002
Astronomie dans le rayonnement Gamma

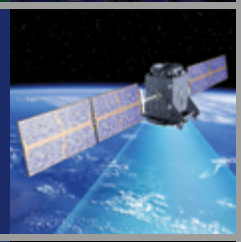
cryosat
Lancé : 2005 (échec), 2010
Mesurer l'épaisseur de la glace polaire



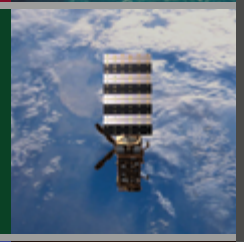
venus express
Lancé : 2005
Premier orbiteur européen Vénus



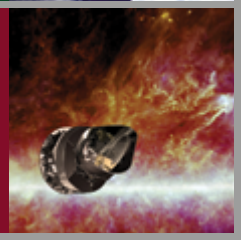
giove-a et -b
Lancé : 2005, 2008
Démonstration technologique pour Galileo



metop série
Lancé : 2006, 2012
Services météorologiques depuis l'orbite polaire



planck
Lancé : 2009
Cartographie du fond diffus cosmologique

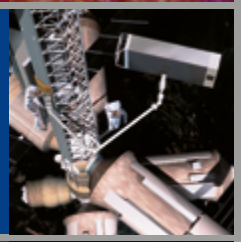


smos
Lancé : 2009
Mesure de l'humidité du sol et de la salinité des océans

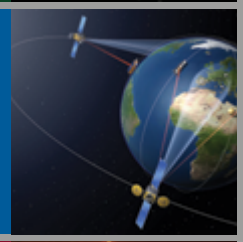
galileo
Premier lancement : 2011
Système européen de navigation par satellite

vega
Premier lancement : 2012
Lanceur européen de petits satellites

european robotic arm
Lancement : 2015
Bras télémanipulateur utilisé dans la partie russe de l'ISS

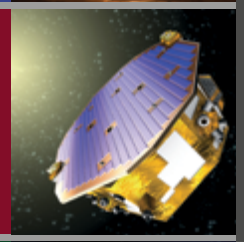


edrs
Premier lancement : 2015
Satellites géostationnaires pour relayer les données satellites

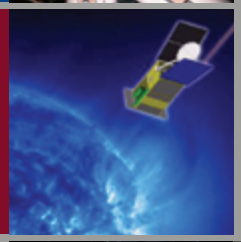


smallgeo
Lancement : 2015
Nouvelle petite plate-forme pour les télécommunications géostationnaires

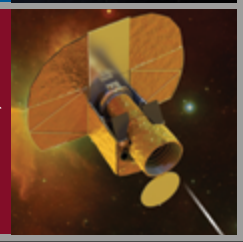
lisa pathfinder
Lancement : 2015
Démonstration technologique pour la détection d'ondes gravitationnelles



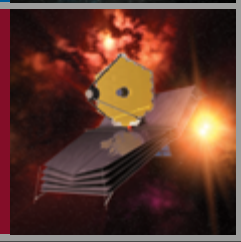
solar orbiter
Lancement : 2017
Mission européenne la plus proche du Soleil



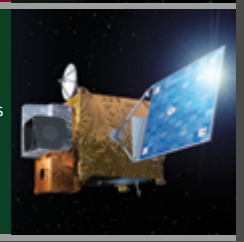
cheops
Lancement : 2017
Étude des planètes autour d'autres étoiles



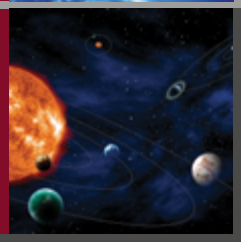
james webb space telescope
Lancement : 2018
Contribution de deux instruments au grand observatoire spatial de la prochaine génération



mtg série
Lancement : 2018
Satellites météorologiques européens de troisième génération



plato
Lancement : 2024
À la recherche d'exo-planètes au-delà de notre Système Solaire



Observation de la Terre

Vols habités et Opérations

Lanceurs

Programme Galileo et activités de navigation

Science et Exploration robotique

Technique et Gestion de la qualité

Télécommunications et Applications intégrées

Informations complémentaires
www.esa.int/missions

Crédits photos :

Images protégés par le copyright de l'ESA sauf mention contraire. ESA et le logo de l'ESA sont des marques déposées de l'Agence spatiale européenne. La permission de reproduire ou de distribuer des matériels protégés par le droit d'auteur d'un tiers doit être obtenue du détenteur du droit d'auteur concerné.

INTRODUCTION
10–11 ESA–N. Imbert-Vier

CHAPITRE UN
16–17 ESA/LFI & HFI Consortia – photo principale ; collaboration ESA/Planck (micro-ondes); NASA/DOE/Fermi LAT/Dobler et al./Su et al. (rayons gamma) – photo en médaillon
18–19 ESA/équipe Planck
20–21 V. Springel – University of Heidelberg/MPI for Astrophysics – photos principales et en médaillon
22–23 ESA/SPIRE/Herschel-ATLAS – photo source ; ESA–AOES Medialab – photo en médaillon
24–25 ESA–A. Le Floc'h
26–27 ESA/PACS/SPIRE/M. Hennemann & F. Motte, Laboratoire AIM Paris-Saclay, CEA/Irfu – CNRS/INSU – Univ. Paris Diderot, France – photo principale ; ESA/Herschel/SPIRE/PACS/D. Arzoumanian (CEA Saclay) pour le consortium du programme-clé« Gould Belt survey » – photo en médaillon
28–29 NASA/CXC/SAO & ESA – photo principale ; ESA/NASA/CXC/Univ. de Potsdam/L. Oskinova – photo en haut à droite ; ESA–C. Carreau – photo en bas à droite de l'engin spatial
30–31 infrarouge : ESA/Herschel/PACS/SPIRE/J. Fritz, U. Gent; rayons X : ESA/XMM-Newton/EPIC/W. Pietsch, MPE
32-33 NASA
34–35 NASA, ESA, M. Postman (STScI) et l'équipe CLASH – photo principale ; ESA–C. Carreau – photo en médaillon
37 NASA – photo en médaillon
38–39 STFC – photo principale ; Ball Aerospace – photo en haut à gauche ; Astrium/NIRSpec – photo en bas à gauche
40–41 ESA–AOES Medialab – photo principale ; Astrium France – photo en médaillon
42–43 Astrium France – photo principale ; Astrium – photo en médaillon
44 ESA/Astrium
45 NASA – photo d'onde gravitationnelle

CHAPITRE 2
50–51 ESA–C. Carreau – source photo principale ; ESA/NASA/JPL/Univ. Arizona – photo source du milieu ; NASA/JPL/Caltech – photo en médaillon en bas
52–53 NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute
54–55 CICLOPS, JPL, ESA, NASA
56–57 ESA–AOES Medialab – photo principale ; NASA/JPL/Univ. Arizona – photo en haut à gauche ; NASA/JPL/DLR – photo en bas à gauche
58–59 ESA–AOES Medialab – photo principale ; ESA–J. Huart – photo de droite
60–61 ESA–équipe OSIRIS ; MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA
62–63 ESA–J. Mai – photo principale ; CIVA/consortium Philae/ESA – photo en médaillon
64–65 ESA–équipe Mars Express – photo principale ; ESA–C. Carreau – photo en médaillon
66–67 ESA–AOES Medialab – photo en médaillon en bas ; ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum) – toutes les autres photos
68–69 ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)
70–71 ESA/NASA/JPL – photo principale ; ESA–AOES Medialab – photo en médaillon
72–73 INAF–IASF–Rome/PLAB – photo principale ; DLR/PEL (J. Helbert) – photo en médaillon en haut ; ESA/INAF-IASF, Rome, Italie et Observatoire de Paris, France DLR/PEL – photo en médaillon en bas
74–75 NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington – photo de droite
76-77 ESA–A. Le Floc'h
78–79 ESA/NASA–SOHO
80–81 ESA/NASA–SOHO EIT Consortium – photo source
82–83 Sebastian Voltmer/www.astrofilm.com – photo principale
84–85 ESA/SMART-1/Space-X (Space Exploration Institute), ESA/SMART-1/équipe caméra AMIE – photo principale ; Canada–France–Télescope de Hawaï – photo en médaillon
86–87 ESA ©2009 MPS pour l'équipe OSIRIS MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA – photo principale ; équipe VIRTIS-M à INF-IFSI et INAF-IASF, Rome, Italie – photo en médaillon en haut ; ESA/DLR/Freie Universität Berlin – photo en médaillon en bas

CHAPITRE 3
90–91 ESA–P. Carril – photo principale ; M.Busch, R. Kresken, Starkenburg-Sternwarte Heppenheim – photo en médaillon
92 Thales Alenia Space – photo source
93 EADS CASA Espacio – photo de gauche ; ND SatCom – photo de droite
94 ESA–P. Carril – photo du haut ; ESA–J. Huart – photo du bas
95 ESA–S. Corvaja
96–97 ESA–A. Le Floc'h – image principale
98–99 Astrium – photo en médaillon
100–101 ESA–P. Carril
102–103 Dassault Falcon – photo principale ; ESA–J. Huart – photo en médaillon en bas
104–105 Eumetsat – photo principale ; équipe ESA/MSG – photo en médaillon

CHAPITRE 4
110–111 ESA/CNES/Arianespace – Optique vidéo du CSG (P. Baudon)
112–113 ESA–S. Corvaja – photo principale ; ESA–P. Carril – photo en médaillon
114–115 ESA–C. Lezy – photo principale ; ESA–A. Van Der Geest – photo en médaillon
116–117 ESA–M. Pedoussaut
118–119 ESA–F. Alvarez Lopez
120–121 ESA–F. Alvarez Lopez

CHAPITRE 5
124–125 ESA/Eumetsat – photo principale ; ESA–Silicon Worlds – photo annotée ; ESA–AOES Medialab – photo en médaillon
126–127 ESA–Phi-Hung – photo principale ; Eumetsat – photo du bas
130–131 ESA–Denman Productions – photo principale ; ESA/CNES/Arianespace – Optique vidéo du CSG – photo en médaillon
132–133 Astrium GmbH – photo en haut à gauche ; Astrium UK – photo en bas à droite ; ESA–P. Carril – toutes les autres photos
135 DLR/ESA/IUP, Univ. Bremen – source photo source en médaillon
136–137 KNMI/ESA – photo principale ; DLR – photos en médaillon
145 ESA/DMI/NIC
150–151 CRI-ST/CNES/ESA/GeoEye/NASA/VITO – photo principale ; ESA–Globcover – photo en médaillon
158–159 DLR
162–163 DLR
166–167 European Space Imaging (EUSI) – photo principale
168–169 European Space Imaging (EUSI) – photo principale ; ESA–P. Sebirot – photo en médaillon
170–171 ESA–J. van Haarlem, A. Le Floc'h
172–173 ESA/HPF/DLR – photo principale ; ESA–AOES Medialab – photo en médaillon
174 CATDS, IFREMER, CESBIO, ESA – photo principale ; ESA–AOES Medialab – photo en médaillon
175 CATDS, IFREMER, CESBIO, ESA – photo principale ; NRAO/AUI – photo en médaillon
176–177 CPOM – photo principale ; ESA–AOES Medialab – photo en médaillon
178–179 ESA–R. Bock/IAGB – photo principale ; ESA–AOES Medialab – photo en médaillon
180 ESA–S. Corvaja
181 ESA–M. Valentini

CHAPITRE 6
184–185 ESA/NASA
186–187 NASA
188–189 ESA–S. Corvaja – photo en médaillon en bas ; NASA – toutes les autres photos
190 NASA
191 NASA – photo du haut ; ESA/NASA – photo en bas à gauche ; NASA–JSC – photo en bas à droite
192–193 NASA
194 ESA/CNES/Arianespace – Optique vidéo du CSG (J.M. Guillon) – photo de gauche ; Source image ESA–D. Ducros – photo de droite annotée
195 ESA–A. Le Floc'h

196–197 ESA/NASA – photo principale ; ESA/CNES/Arianespace – Optique vidéo du CSG – photo en médaillon
198–199 ESA/NASA–D. Pettit – photo principale ; ESA/NASA – photo en médaillon en bas ; NASA – photo en médaillon en haut
200-201 NASA
202–203 ESA–A. Le Floc'h – photo principale et en bas en médaillon ; Novespace – photo en médaillon en haut
204-205 NASA
206–207 ESA–H. Rub
208-209 ESA–S. Corvaja
210–211 ESA–S. Corvaja – photo principale ; NASA–C. Cioffi – photo en médaillon
212-213 ESA–S. Corvaja
214-215 NASA
216-217 NASA
218–219 ESA/NASA
220-221 ESA/NASA
222–223 NASA – photo principale ; FFI – photo en médaillon
224 NASA–B. Ingalls – photo principale ; ESA–S. Corvaja – photo en médaillon
225 NASA–B. Ingalls – photo principale ; ESA–S. Corvaja – photo en médaillon
226–227 W. Joris/www.oxidiser.nl – photo principale ; R. Vandebergh – photo en médaillon
228–229 ESA–V. Crobu
230–231 ESA/IPEV/PNRA–A. Kumar – photo principale ; ESA/équipe Mars500 – photo en médaillon en bas ; ESA/E. Macdonald-Nethercott – photo en médaillon en haut

CHAPITRE 7
234–235 ESA–S. Corvaja
236-237 ESA–S. Corvaja
238-239 ESA–S. Corvaja
240-241 ESA–S. Corvaja
242–243 ESA–S. Corvaja – photo principale ; Arianespace – photo en médaillon
244–245 ESA–A. Chance – photo principale ; ESA–S. Corvaja – photo en médaillon
246–247 ESA–R. Madde
248–249 ESA–J. Mai

CHAPITRE 8
254–255 ESA–A. Le Floc'h
256-257 ESA–A. Le Floc'h
258-259 ESA–A. Le Floc'h
260–261 ESA–A. Le Floc'h – image principale
262–263 ESA–W. Pearson
264-265 ESA–A. Le Floc'h
266-267 ESA–A. Le Floc'h

CHAPITRE 9
272–273 Astrium – photo principale ; FormTech – photos en médaillon
274 ESA–AOES Medialab
275 Leosphere
276–277 Nigel Young/Foster + Partners
278–279 ESA–S. Corvaja – photo principale ; MDUSpace – photo en médaillon
280–281 ESA–A. Le Floc'h – photo principale ; M. Kretschmer – photo en médaillon en haut ; MAVinci – photo en médaillon en bas
282-283 ESA–A. Le Floc'h

CHAPITRE 10
286 ESA–S. Corvaja
287 ESA/CNES/Arianespace – Optique vidéo du CSG (L. Mira) – photo en médaillon

288–289 ESA–P. Carril – photo source
290–291 Caren Jarmain, UKZN
292–293 Altobridge
294–295 nextgenlog/Stirling Energy Systems
296–297 UAB
298–299 ESA–D. Baumbach – photo principale ; H.v.d. Lande/Space Expo – photo en médaillon à gauche ; ESA–A. Le Floc'h – photo en médaillon à droite

Couverture : ESA ©2009 MPS pour l'équipe OSIRIS MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA

esa

European Space Agency

États membres de l'ESA

Allemagne
Autriche
Belgique
Danemark
Espagne
Finlande
France
Grèce
Irlande
Italie
Luxembourg
Norvège
Pays-Bas
Pologne
Portugal
Roumanie
Royaume-Uni
République Tchèque
Suisse
Suède

An ESA Communications Production
Copyright © 2014 European Space Agency
www.esa.int