

Le programme scientifique de l'Agence spatiale européenne (ASE)

L'Europe est au premier rang des progrès de la connaissance à partir de missions spatiales.

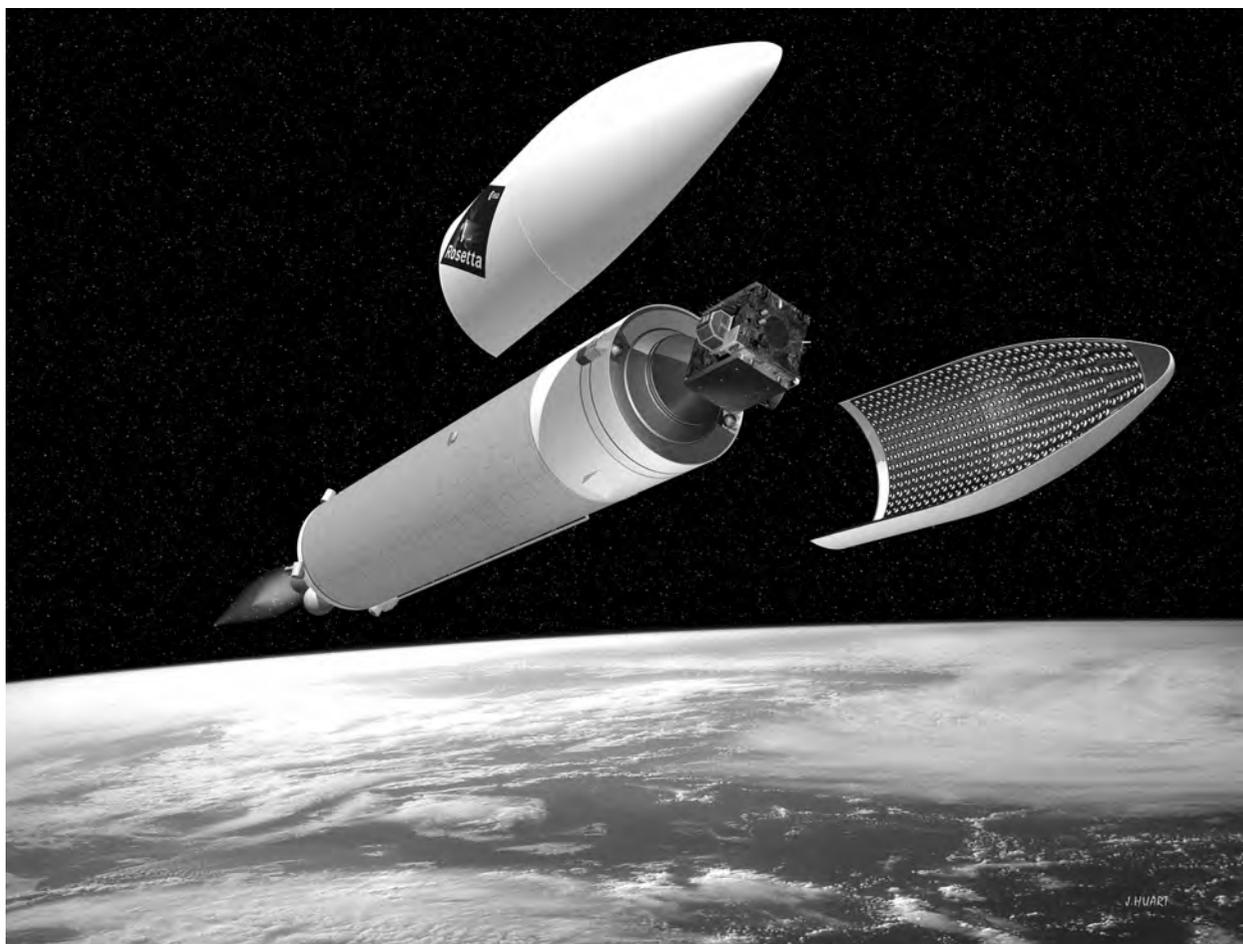
Au cours des trente dernières années, l'Europe a réalisé avec succès un grand nombre de premières dans les missions spatiales, qu'il s'agisse de l'exploration de l'Univers, de la découverte du système solaire, de la compréhension de notre planète ou des sciences exploitant les conditions uniques de l'environnement spatial.

Les exemples abondent, qu'il s'agisse de l'atterrissage d'une sonde sur Titan, la lune de Saturne, des missions autour de Mars et de Vénus, de celles visant à surveiller les glaces polaires ou la salinité de nos océans, ou encore de favoriser la compréhension des processus physiques en l'absence de pesanteur.

Cet impressionnant enchaînement de succès a permis à l'Europe de se placer au premier rang dans de nombreux domaines de ces disciplines scientifiques, de revendiquer des découvertes majeures et d'ouvrir la voie à des applications et à des services dérivés de ses progrès scientifiques. Ainsi, pour un budget modeste (en regard de ceux de ses principaux partenaires), l'Europe, au travers des programmes de l'Agence spatiale européenne (ASE) et de ceux de ses Etats, s'est dotée de moyens – en particulier d'une base technologique et industrielle compétitive et à la pointe de l'innovation – qu'elle a su mettre au service des communautés scientifiques européennes. Ce sont ces dernières qui définissent le contenu des programmes scientifiques de l'ASE, lesquels sont conduits en étroite coopération avec les Etats membres de l'ASE et leurs agences nationales respectives.

Par Jean-Jacques DORDAIN*

* Directeur Général de l'Agence spatiale européenne (ASE).



© ESA-CNES-ARIANESPACE/J. Huart

« Les précédents programmes, Horizon 2000 (préparé en 1984) et Horizon 2000 Plus (préparé en 1994-1995) ont permis, entre autres, d'explorer Mars, avec la sonde Mars Express, d'aller à la chasse aux comètes, avec Rosetta, et se sont conclus avec les succès exceptionnels des télescopes Herschel et Planck, en 2009 ». *Vue d'artiste du lanceur Ariane 5G+ transportant la sonde Rosetta.*

LES PROGRAMMES SCIENTIFIQUES DE L'ASE

Dès l'origine de l'ASE, les activités scientifiques ont été au cœur de ses programmes, puisque cette agence a été créée sur une base scientifique, reprenant en 1975 l'héritage de l'Esro (*European Space Research Organisation*) qui avait été créée en 1964. Cet héritage est resté sous la forme du programme obligatoire qui couvre l'exploration de l'Univers et du système solaire, et la physique fondamentale, un programme auquel tous les États membres contribuent au prorata de leur PNB. A l'heure actuelle, ce programme représente un budget d'environ 470 millions d'euros par an, au sein d'un niveau de ressources dont le montant est fixé par tranche de trois ans. Mais ce programme de science spatiale n'est pas la seule activité scientifique conduite à l'ASE. Celle-ci a en effet désormais un programme scientifique sur la connaissance de la Terre (*via* des programmes d'observation et, plus récemment, *via* l'utilisation scientifique des satellites de localisation), ainsi qu'un programme portant sur l'utilisation de la microgravité, si bien qu'il

est plus exact de parler de programme(s) scientifique(s) de l'ASE – au pluriel.

Le contenu des différents programmes scientifiques de l'ASE est décidé par les scientifiques eux-mêmes, qui déterminent discipline par discipline les domaines de recherche prioritaires et qui sélectionnent les missions par des appels d'offres ouverts, sur la base d'une évaluation par les pairs.

Dans le cadre de la collaboration de l'ASE avec la communauté scientifique européenne pour identifier les missions de science spatiale prioritaires, le processus de consultation de 2004-2005 a permis de définir les thèmes du programme *Cosmic Vision 2020*, qui concernera des missions qui seront lancées entre 2015 et 2025. Les précédents programmes, Horizon 2000 (préparé en 1984) et Horizon 2000 Plus (préparé en 1994-1995) ont permis, entre autres, d'explorer Mars, avec la sonde Mars Express, d'aller à la chasse aux comètes, avec Rosetta, et se sont conclus avec les succès exceptionnels des télescopes Herschel et Planck, en 2009. Horizon 2000 Plus a également décidé de la préparation de Gaia, Lisa et BepiColombo, et de la contribution européenne au télescope spatial James Webb, qui est le successeur du



télescope Hubble. A son tour, Cosmic Vision vient d'entrer dans une nouvelle phase avec les sélections des missions Euclid et Solar Orbiter (plusieurs appels à idées devant suivre, en 2013 et 2015).

Le programme concernant les sciences de la Terre vise à comprendre le fonctionnement des principales composantes de notre planète – terres émergées, océans, glaces polaires et atmosphère – et à comprendre les interactions entre ces différentes composantes, ainsi que l'impact qu'ont sur elles les activités humaines. Ce programme des « Explorateurs de la Terre » est conduit sur un modèle similaire au programme de science spatiale, avec des missions définies et choisies par les scientifiques et une enveloppe budgétaire définie par périodes de cinq ans. Le budget annuel de ce programme, qui comprend aussi une tranche pour la promotion du développement d'applications et de services basés sur les données d'observation de la Terre, est d'environ 300 millions d'euros.

L'ASE conduit également un programme de sciences exploitant les conditions d'apesanteur (dans des installations de chute libre au sol ou en orbite) : le programme ELIPS. La disponibilité récente d'instruments scientifiques volant à bord de la station spatiale internationale offre la possibilité de comprendre comment les processus physiques et biologiques se produisent en l'absence virtuelle de gravité. Le budget de ce programme est de l'ordre de 70 millions d'euros par an, en sus du programme de la station spatiale elle-même (qui est d'environ 200 millions d'euros par an).

Ces différents programmes scientifiques ont entre eux un point commun, la coopération internationale, qui reflète une coopération traditionnelle entre les scientifiques du monde entier. Les Etats-Unis, au travers de la Nasa, sont le partenaire le plus ancien de l'ASE et le plus étroitement associé à celle-ci, mais des coopérations ambitieuses sont également menées avec la Russie, le Japon, l'Inde et la Chine. Cette coopération s'effectue dans les domaines où l'Europe est leader, tout au moins sur des niches essentielles, ainsi que sur les grandes infrastructures ; la coopération coexiste avec la compétition, laquelle intervient au niveau des idées, et stimule innovation et progrès scientifique.

Les programmes de l'ASE ont ainsi constamment permis de combiner l'ambition scientifique et un fort contenu technologique innovant essentiellement lié aux défis que représentent l'environnement spatial et aux prouesses scientifiques et techniques requises par ces programmes. Ils ont également permis de développer, puis de mettre en œuvre des outils et des méthodes d'ingénierie innovants qui ont pu bénéficier, par la suite, à d'autres secteurs industriels.

LES DOMAINES DE RECHERCHE

La recherche scientifique, dans sa composante spatiale, a pour objet de chercher des réponses aux ques-

tions fondamentales qui ont toujours marqué l'histoire des hommes, qui portent non seulement sur l'origine de l'univers, sur celle de notre existence et sur les conditions de notre survie dans l'univers, mais aussi sur des questions plus récentes concernant l'évolution de notre planète et le rôle que nous jouons dans cette évolution. L'avancée des sciences et des technologies nous permet d'apporter des éléments de réponse à ces questions, qui nous semblaient hors de portée, il y a encore de cela une génération. Beaucoup de ces éléments ne peuvent être fournis qu'à l'aide de projets spatiaux qui requièrent une grande ingéniosité.

Ainsi, l'Agence spatiale européenne, *via* son programme scientifique et la coopération avec ses Etats membres, contribue à l'étude de questions majeures concernant l'univers, son évolution et notre place en son sein.

Comment l'univers est-il apparu et de quoi est-il composé ?

On estime que moins de 5 % de la masse de l'univers est identifiée, le reste étant potentiellement composé de matière et d'énergie « noire ». L'apparition et l'évolution de la matière et de l'énergie, depuis la naissance de l'univers jusqu'à nos jours, restent donc largement incomprises.

Quelles sont les conditions de la formation des planètes et de l'émergence de la vie ? Comment la vie est-elle apparue sur la Terre ? Peut-elle apparaître sur d'autres planètes ?

Dans ce cadre, le programme scientifique de l'ASE s'attache à étudier l'émergence de la vie non seulement dans notre système solaire, mais aussi sur les exo-planètes en orbite autour d'autres étoiles. Il s'agit, pour ce faire, d'étudier comment les étoiles et les planètes se forment, ainsi que d'éventuels signes d'apparition de la vie, à travers l'étude de marqueurs biologiques.

Comment le système solaire fonctionne-t-il ?

Il s'agit ici de comprendre le fonctionnement global du système solaire, depuis le soleil lui-même jusqu'aux limites de sa sphère d'influence, la formation des planètes géantes gazeuses et celle de leurs lunes, l'évolution des planètes telluriques, de leur climat et de leur environnement et, enfin, le rôle des astéroïdes et des autres petits corps célestes dans le processus de formation des planètes.

Comment notre planète fonctionne-t-elle ?

Il s'agit ici de comprendre le fonctionnement et l'évolution du « système Terre » comportant les grandes composantes citées plus haut et l'influence de l'Homme sur ces composantes, ainsi que leurs interactions.

Quelles sont les lois physiques fondamentales qui régissent l'univers ?

Malgré les progrès réalisés depuis les travaux d'Einstein sur la théorie de la relativité générale, il y a maintenant de cela un siècle, beaucoup reste à faire pour affiner les lois de la physique terrestre, qui ne s'appliquent pas dans les conditions extrêmes et dont le rôle dans les origines de l'univers n'a pas encore été explicité. Le comportement de la matière à très hautes températures et à très hautes énergies, ou encore l'existence des ondes gravitationnelles restent à être explorés. De plus, certaines expériences de physique fondamentale ne peuvent pas être réalisées sur Terre, car elles sont « masquées » par la pesanteur.

LES MISSIONS SCIENTIFIQUES DE L'ASE

L'astrophysique

La liste des succès européens en astrophysique est longue, mais son premier porte-flambeau est certainement le satellite Hipparcos (lancé en 1989), qui réalisa une cartographie, la plus complète et la plus précise à ce jour, de 100 000 étoiles, une cartographie qui nourrit toutes les branches de l'astronomie. L'Observatoire astronomique dans l'infrarouge (ISO, 1995) a fourni des données cruciales sur l'univers froid, y compris sur les lieux de formation des étoiles et sur le milieu interstellaire. XMM-Newton (1999) est, à ce jour, le plus sensible des télescopes fonctionnant dans les rayons X, ses miroirs multiples ont permis la détection de millions de nouveaux objets célestes, en particulier d'un immense filament de gaz chaud reliant deux grappes de galaxies situées à 2,3 milliards d'années-lumière l'une de l'autre, ce qui pourrait être la première preuve de l'existence d'un « réseau cosmique ». Integral (*International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory*) a, quant à lui, révélé l'existence des objets à l'origine de la production d'antimatière.

Les télescopes Herschel et Planck, lancés en 2009, étudient la formation de l'univers, Herschel en s'intéressant à la formation des étoiles et des galaxies les plus anciennes de l'univers, et Planck, en recherchant le

bruit de fond du Big Bang, c'est-à-dire les radiations fossiles émises au moment de la formation de l'univers. Ces deux satellites travaillent en tandem pour améliorer notre compréhension du Big Bang.

L'observatoire spatial Planck utilise un miroir d'un mètre cinquante de diamètre pour recueillir les échos de micro-ondes cosmiques provenant de tout le ciel afin de rechercher des fluctuations infimes de puissance qui pourraient indiquer des différences de densité de matière dans l'univers jeune, des concentrations de matière qui se transformeront ensuite en galaxies.

Herschel est un grand télescope opérant dans l'infrarouge (c'est le successeur d'ISO). Il est doté d'un miroir de 3,5 m de diamètre, le plus grand à avoir été déployé jusqu'ici dans un télescope spatial. Il a pour mission d'explorer la partie la plus méconnue du spectre, l'infrarouge lointain, pour y observer la naissance des étoiles et des galaxies ; pour rendre ces observations possibles, ce miroir doit être refroidi par une circulation d'hélium liquide permettant de travailler à des températures très basses, de quelques dizaines de millikelvins. Cela implique des contraintes énormes, en termes de sophistication technologique.

Gaia, qui est le successeur d'Hipparcos, sera lancé en 2013. Il aura pour mission de créer une cartographie en 3D de 1 000 millions d'étoiles de notre galaxie, et au-delà. Enfin, Euclid, la dernière mission sélectionnée dans le cadre du plan *Cosmic Vision 2020*, aura pour objectif de nous aider à comprendre la nature de la matière et de l'énergie noire au moyen d'une mesure précise de l'expansion de l'univers.

L'exploration du système solaire et planétaire

L'exploration du système solaire par l'ASE a pris son envol avec la mission Giotto, qui, en 1986, réalisa le premier survol d'une comète, la comète de Halley, et en photographia le noyau. Lancée en 1990, Ulysses, une mission réalisée en coopération avec la Nasa, a exploré jusqu'en 2009 les champs de particules du soleil et a, pour la première fois, survolé ses pôles. Il a été suivi de Soho (1995), qui étudie lui aussi la physique du noyau et de la couronne du soleil (voir la photo 1), et qui a révolutionné notre compréhension du soleil. La mission Cluster (composée de quatre satellites volant en formation) a, de son côté, fourni une vue en trois dimensions du proche environnement spatial de la Terre [la magnétosphère terrestre].

En 2005, l'ASE a réalisé un de ses plus beaux exploits interplanétaires, avec l'atterrissage réussi de la sonde Huygens sur le sol de Titan, l'une des « lunes » de Saturne. Huygens avait été lancé, en 1997, en passager du satellite Cassini de la Nasa et il a permis de découvrir à plus d'un milliard de km de la Terre un monde, semblable au nôtre, avec des océans, des rivières, des nuages, une atmosphère..., mais un monde où le méthane remplace l'eau terrestre.



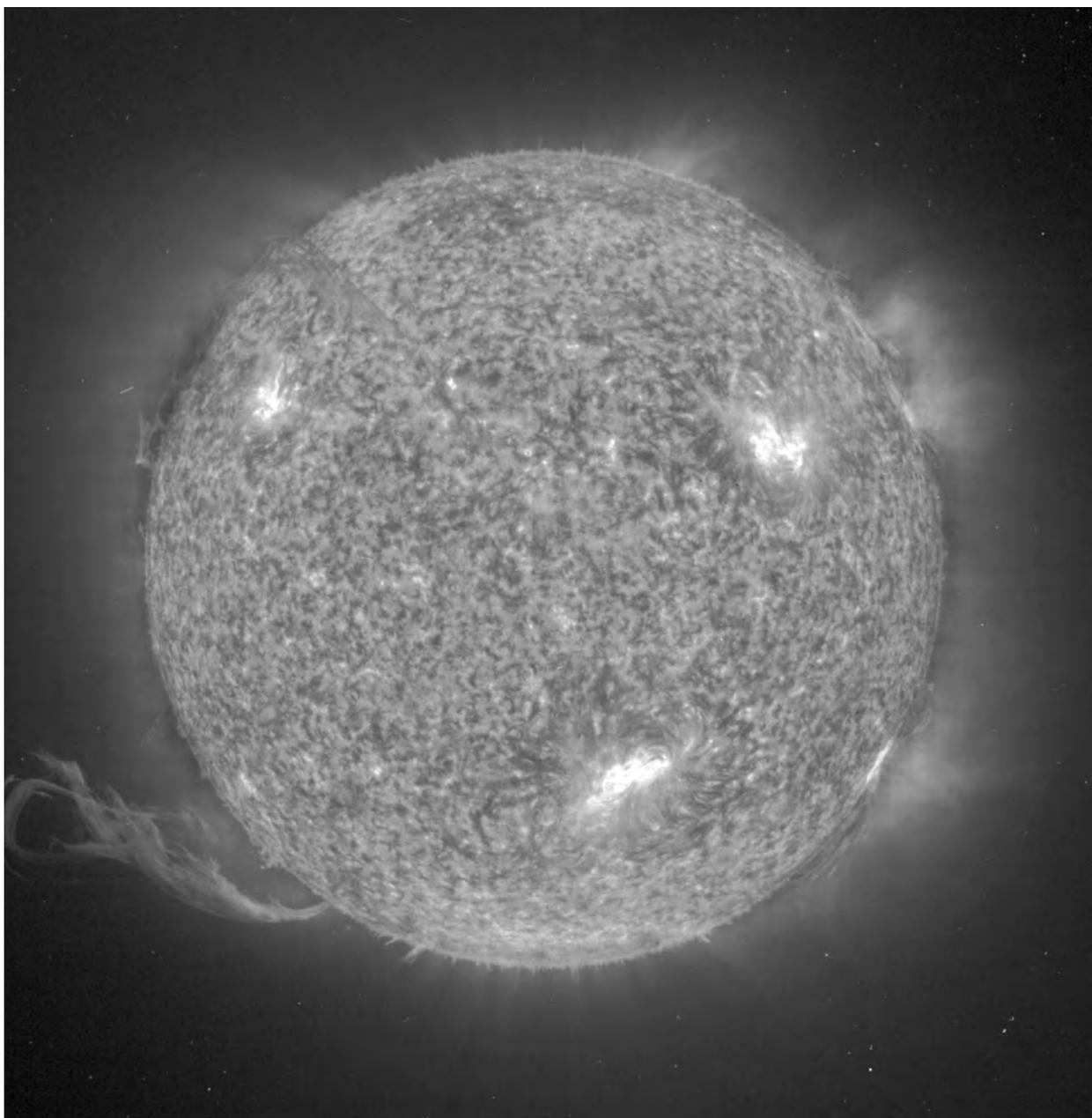
© 5568/GAMMA

« L'observatoire spatial Planck utilise un miroir d'un mètre cinquante de diamètre pour recueillir les échos de micro-ondes cosmiques provenant de tout le ciel afin de rechercher des fluctuations infimes de puissance qui pourraient indiquer des différences de densité de matière dans l'univers jeune, des concentrations de matière qui se transformeront ensuite en galaxies ». *Le télescope Planck, le 6 mai 2009.*

La sonde Mars Express est incontestablement une des missions martiennes ayant le plus contribué à l'avancée de notre connaissance de cette planète (de sa surface, de son atmosphère et de ses structures internes). Lancée en 2003 et toujours opérationnelle, cette sonde a envoyé des images stéréoscopiques à haute résolution qui ont permis une couverture complète de la surface de la planète et de comprendre son cycle de l'eau. Le succès de cette mission a poussé à en réutiliser le concept pour Venus Express, mis en orbite en 2005 et toujours opérationnel, qui a permis de révéler les dynamiques atmosphériques de la planète Mars et le fonctionnement de son vortex du Pôle Sud. Ces deux missions nous aident

aussi à comprendre les processus environnementaux à l'œuvre sur la Terre.

Enfin, Rosetta, lancé en 2004, est le successeur de Giotto. Il est en route vers la comète Churyumov-Gerasimenko autour de laquelle il se mettra en orbite en 2014. Son atterrisseur devrait être le premier à se poser sur le noyau d'une comète. BepiColombo, qui devrait être lancé en 2014, est composé de deux satellites ayant pour mission de se mettre en orbite autour de Mercure en 2020. Le Solar Orbiter, qui a été sélectionné dans le cadre de Cosmic Vision 2020 (son lancement étant prévu en 2017) sera, quant à lui, le successeur de Soho ; il fournira une étude du soleil d'une



© ESA/SOHO - EIT

Photo 1 : Le soleil vu par le satellite Soho.

plus grande résolution et réalisée à une distance moindre de l'astre solaire.

La physique fondamentale

e-Lisa est une mission de physique fondamentale extrêmement ambitieuse dont les relevés sont en cours d'étude. Réalisée en coopération avec la Nasa, cette mission composée de trois satellites volant en formation synchronisée par laser à 5 millions de kilomètres les uns des autres aura pour objectif de détecter, pour la

première fois, les ondes gravitationnelles que prévoit la théorie de la relativité générale.

Un grand nombre d'expériences de physique fondamentale et de métrologie peuvent être réalisées dans le cadre du programme Galileo (le système européen de navigation et de positionnement), lequel fonctionne sur la base d'horloges atomiques ultra-stables, notamment, la synchronisation quantique, l'étude de protocoles de cryptage et la définition de cadres de référence. Les signaux Galileo peuvent aussi être utilisés pour les sciences de la Terre (surveillance du niveau des océans et des plaques tectoniques, mesures précises de l'ionosphère, etc.).



L'étude de la Terre

L'observation de la Terre depuis l'espace, de manière continue, répétitive et sur des périodes longues nous permet de surveiller de nombreux phénomènes (naturels ou d'origine humaine) et de comprendre les interactions entre l'atmosphère, la biosphère, l'hydrosphère, la cryosphère et l'intérieur de la Terre.

Les variables climatiques essentielles

L'initiative de l'ASE relative au changement climatique exploite les archives de données satellitaires accumulées depuis trente ans, en les combinant avec les données obtenues par les missions nouvelles. Cette initiative s'attache en particulier à l'étude des *variables climatiques essentielles* qu'a définies le groupe intergouvernemental du GCOS (*Global Climate Observing System* (en français, SMOC)). Cela permettra d'affiner les modèles et d'améliorer les actions d'adaptation et d'atténuation des effets du changement climatique.

Les missions « Explorateurs de la Terre »

Le programme d'observation de la Terre de l'ASE a commencé par la série des satellites Meteosat destinés à la météorologie, puis s'est étoffé avec le développement des missions ERS-1 (1991) et ERS-2 (1995), qui ont fourni ensemble des données pendant plus de vingt ans. Lancé en 2002, Envisat continue à acquérir des données avec ses dix instruments. Afin de mieux répondre aux questions scientifiques majeures, les « Explorateurs de la Terre » (*Earth Explorers*) ont été conçus, tout en permettant de valider des technologies observationnelles innovantes. La communauté scientifique est impliquée dès la définition des missions et la sélection de ces dernières se fait sur la base d'une évaluation par les pairs. Le programme comporte six missions en cours de réalisation (déjà placées sur orbite ou en cours de développement), tandis que cinq missions candidates sont en cours d'évaluation.

La première mission en cours est GOCE, la mission gravitationnelle, qui a été lancée en mars 2009. Son objectif principal est la détermination du champ gravitationnel terrestre et du géoïde. Combinées avec les données d'altimétrie spatiale, les données de GOCE permettent aussi d'étudier la topographie océanique dynamique et contribuent à la recherche portant sur la circulation océanique et sur le niveau des mers, des données essentielles pour les modèles climatiques globaux. Afin de remplir sa mission, GOCE a nécessité le développement de nombreuses technologies totalement nouvelles, telles que la propulsion électrique modulée permettant le contrôle de la trajectoire sans traînée, des capteurs solaires Gallium Arsenide à triple jonction et la production de grandes structures 3D en carbone-carbone afin de fournir au gradiomètre une stabilité mécanique

extrême. Ce gradiomètre, qui est le cœur de GOCE, est constitué de trois paires d'accéléromètres cent fois plus sensibles que les accéléromètres qui ont pu voler jusqu'ici. Ces paires, positionnées à 50 centimètres de distance l'une de l'autre sur le satellite, cette distance ne devant pas varier de plus d'un centième d'ångström (le diamètre d'un atome !), permettent de mesurer les gradients de gravité de la Terre et, ainsi, de fournir une carte du champ gravitationnel terrestre d'une très haute précision et d'une résolution spatiale maximale.

La mission Cryosat-2 a été lancée en avril 2010 (elle se substitue à la mission Cryosat, qui avait été perdue lors de son lancement, fin 2005) avec pour objectif l'observation des glaces terrestres et de leur évolution. En effet, la disparition éventuelle des glaces de mer pourrait conduire à un effet de serre accru dans l'Arctique et à des variations importantes du niveau des océans. Cryosat-2 permettra d'obtenir un bilan détaillé de la variabilité naturelle de la glace dans l'Arctique et d'étudier le taux de diminution des grandes couvertures glaciaires de l'Antarctique et du Groenland. D'ores et déjà, Cryosat-2 a permis d'établir la première carte complète des glaces de mer sur la période janvier-février 2011 et les informations obtenues en termes d'épaisseur des glaces ont pu être validées par des mesures tant aériennes qu'*in situ*.

SMOS est la mission dédiée à l'eau, plus précisément à l'humidité du sol et à la salinité de l'océan. Lancée en novembre 2009, SMOS, qui est une coopération entre l'ASE, le CNES et l'Agence spatiale espagnole CDTI, vise à améliorer notre connaissance du cycle de l'eau et, ainsi, de permettre une prévision améliorée des phénomènes météorologiques extrêmes et des climats saisonniers. La précision de cette mission est inédite : SMOS peut détecter l'équivalent d'une cuillerée à café d'eau dans une poignée de terre, et un dixième de gramme de sel dans un litre d'eau et ce, depuis son orbite, à 755 kilomètres d'altitude. Cette précision a nécessité le développement d'un instrument, le MIRAS, un radiomètre à synthèse d'ouverture fonctionnant en mode interférométrique.

Les missions en cours de développement sont la mission Swarm (étude du champ magnétique terrestre), effectuée par une constellation de trois satellites en orbite polaire qui devraient être lancés en juillet 2012 ; la mission ADM-Aeolus, une mission d'étude des vents (qui devrait être lancée à l'automne 2013) et, enfin, Earthcare, une mission d'étude des nuages et des aérosols, qui, menée en coopération avec l'agence spatiale japonaise (Jaxa), devrait être lancée fin 2015. D'autres missions sont en phase d'étude de faisabilité, telles que Biomass, qui porte sur les écosystèmes forestiers et le cycle du carbone ; CoReH2O, portant sur les régions froides et, enfin, Premier pour l'étude de la troposphère haute et de la basse stratosphère, qui se situe entre 6 et 25 kilomètres d'altitude.

Le programme d'observation de la Terre de l'ASE s'appuie fortement sur la fertilisation croisée entre sa composante scientifique - les Explorateurs de la Terre - et sa partie applicative, les *Earth Watches*, y compris dans leur partie météorologique. Dans cette perspective, il est utile de mentionner le programme GMES (Surveillance Globale

pour l'Environnement et la Sécurité) développé en coopération avec l'Union européenne, et dont les premiers satellites, les *Sentinels*, seront lancés dès 2013, ce qui devrait assurer notre approvisionnement en données d'observation de la Terre sur une longue durée.

L'orbite basse et la station spatiale internationale (ISS)

Les contributions européennes à l'ISS

L'Europe est un partenaire essentiel de la station spatiale internationale, principalement à travers deux contributions importantes, le module pressurisé Columbus et le véhicule de transfert automatique ATV, qui est lancé par Ariane 5.

Le laboratoire Columbus abrite dix « racks » (bâti instruments) où peuvent être réalisées des expériences touchant à différents domaines de la science, et il est également équipé, à l'extérieur, de plateformes porteuses d'instruments pointant vers le ciel, ou vers le sol. L'Europe a également fourni les *nœuds* (*nodes*), ces modules intermédiaires qui raccordent les laboratoires russes, américains, japonais et européens, ainsi, plus récemment, qu'un module supplémentaire conçu à l'origine pour le transport de charges utiles *via* la navette spatiale. Cette fonctionnalité n'étant plus remplie, après le retrait des dites navettes, ce module a été laissé en orbite lors de son dernier lancement, portant ainsi à un tiers la contribution européenne au volume pressurisé total de la station. En termes de systèmes de support, l'Europe a également fourni un bras robotisé permettant des manipulations de charges à l'extérieur de la station et un dôme à vision panoramique, la Coupole, qui permet de superviser les opérations depuis l'intérieur et qui constitue un poste particulièrement privilégié d'observation de la Terre.

En sus de ces éléments qui restent en orbite de façon permanente, l'Europe couvre sa part des « frais de fonctionnement » en contribuant avec cinq modèles récurrents du véhicule de transfert automatique (ATV) lancé par Ariane 5, qui est capable, d'une part, d'emporter sans guidage depuis le sol jusqu'à sept tonnes de charge utile et de fluides de support vers la station et, d'autre part, d'en rehausser l'orbite (cette opération doit être réalisée régulièrement en raison de la traînée aérodynamique résiduelle subie par les satellites en orbite basse et de la taille imposante de la station (l'équivalent de la superficie d'un terrain de football)).

Une plateforme de recherche unique

Avec la station spatiale internationale, la communauté scientifique, académique et industrielle dispose d'une

plateforme permettant de réaliser des expériences uniques qui viennent compléter la recherche menée au sol. Elle est en effet un site privilégié pour réaliser des expériences à caractère fondamental ou à caractère de R&D appliquée, elle permet également les études et les développements requis pour la préparation de l'exploration humaine du système solaire envisagée à plus long terme.

La station spatiale est en particulier indispensable pour la recherche concernant l'adaptation de l'être humain aux conditions spatiales. Ainsi, chaque spationaute est le sujet de plusieurs expériences sélectionnées et coordonnées au niveau international. L'adaptation neurosensorielle à l'absence de gravité et donc à l'absence des repères d'orientation habituels, l'évolution du squelette, celle du métabolisme, des capacités respiratoires ou cardiovasculaires ou de l'état psychologique, ainsi que les différentes mesures permettant d'en minimiser l'impact font l'objet d'expériences s'étalant sur plusieurs mois, en orbite.

Par ailleurs, certains symptômes observés chez les spationautes, tels par exemple la perte de masse osseuse ou de masse musculaire, sont comparables à ceux de maladies associées à l'âge, comme l'ostéoporose. La station devient dès lors un banc d'essai intéressant pour tester des traitements de ces problèmes de santé qui deviennent de plus en plus critiques en raison du vieillissement de la population mondiale. Plus généralement, l'absence de pesanteur permet de comprendre des problèmes qui, une fois résolus, permettront aux hommes de mieux vivre sur la Terre.

Les spationautes sont aussi chargés de mettre en place et de configurer (dans les *racks* prévus à cet effet) des instruments spécifiques visant à la compréhension de l'influence de la gravité sur les organismes vivants tant au niveau cellulaire qu'au niveau de systèmes plus complexes, tels que des plantes, des vers ou des insectes, ainsi qu'à la détermination des capteurs biologiques de gravité et à celle des adaptations à son absence virtuelle. Les expériences réalisées soit à l'intérieur, soit à l'extérieur de la station apportent des indications précieuses sur la résistance des organismes à l'effet combiné de différentes radiations. Ces informations ne peuvent être obtenues au sol, car il est physiquement impossible d'y réaliser tout le spectre des radiations solaires et cosmiques sur un même échantillon. Cette spécificité de l'environnement spatial - la grande variété des radiations qui y règnent - est par ailleurs considérée comme étant l'obstacle principal à surmonter pour envisager des excursions humaines de longue durée en dehors de la zone protectrice de la magnétosphère, lors de l'exploration future du système solaire.

La disponibilité d'une plateforme en orbite a également inspiré les physiciens, qui vont tester en orbite des horloges à atomes refroidis ultra-précises. Non seulement l'absence de gravité permet de ralentir encore plus les atomes et donc d'améliorer le niveau de précision de ces horloges en orbite, mais les mesures comparatives extrê-

mement fines avec de multiples horloges au sol permettront de réaliser des tests des principes de la physique fondamentale plus précis de plusieurs ordres de grandeur que ceux qui ont été jusqu'ici réalisés au sol. En outre, des études dans le domaine de la physique de la matière condensée ou des mécanismes de changement de phase apportent des mesures uniques et des échantillons de référence qui permettent d'alimenter et de valider des modèles numériques, et par là, d'améliorer la description physique de phénomènes complexes. La validation de ces modèles permet de confirmer leur capacité de prédiction et, par conséquent, de les utiliser comme outils pour le *design* ou l'optimisation de procédés au sol, avec de multiples applications pratiques dans les sciences des matériaux.

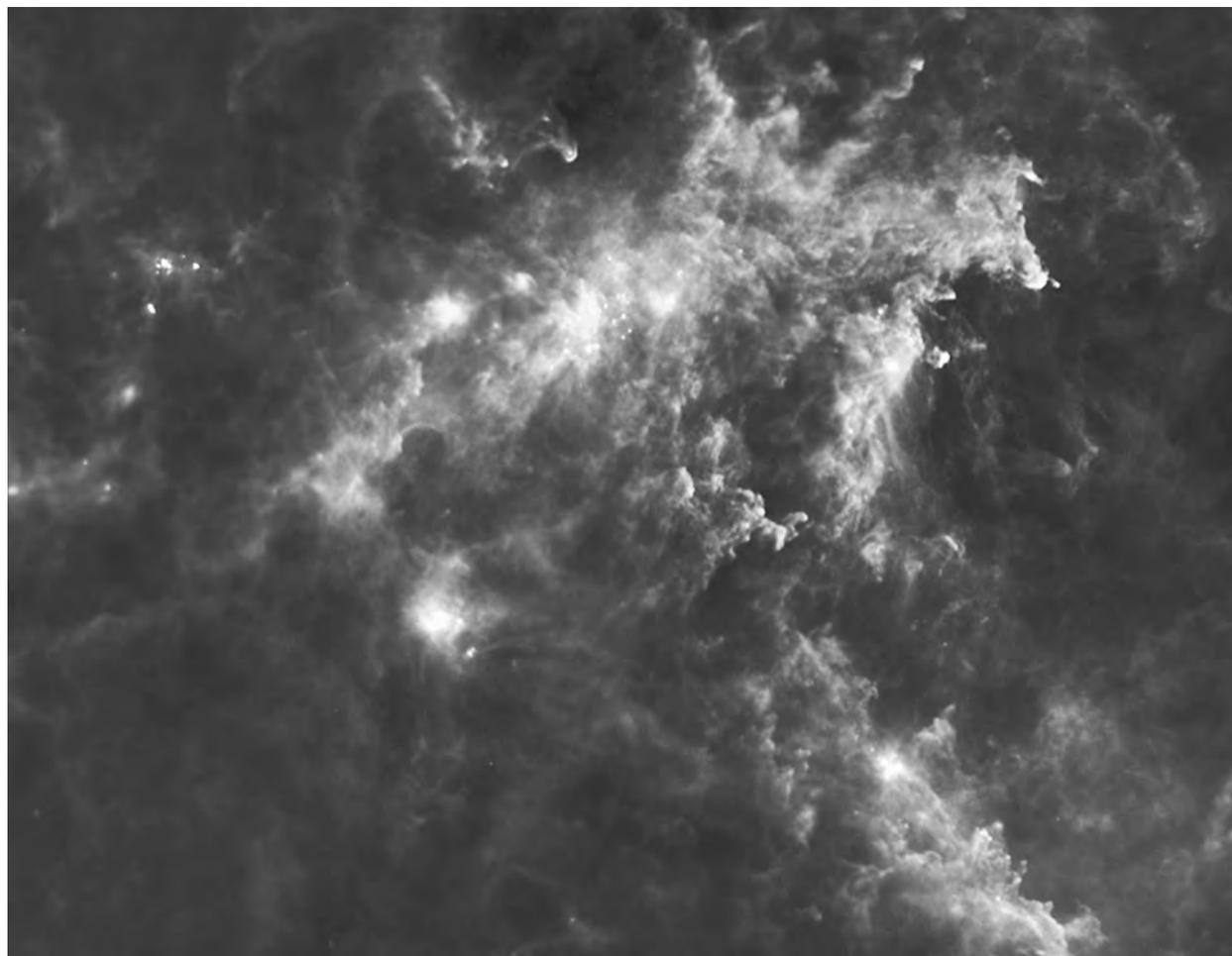
Au final, la dimension européenne, mais aussi, très largement, internationale de la coopération qui a permis la concrétisation du projet de station spatiale internationale, tant dans sa réalisation technique et ses opérations que dans son utilisation, doit être mise en exergue. Quatorze pays (dont dix pays européens) ont été impliqués dans sa construction et plusieurs milliers de scientifiques de plus de trente-et-un pays sont associés aux projets déjà réalisés à bord (ou en cours de préparation) pour exploiter, ensemble, les opportunités uniques qu'elle offre. Ces chiffres démontrent à quel

point le spatial est un puissant vecteur de coopération et de construction d'une vision globale de notre planète au XXI^e siècle. Ils nous montrent aussi l'esprit « terrien » dans lequel une exploration plus avancée de notre système solaire devrait être envisagée (voir la photo 2).

PROGRAMMES SCIENTIFIQUES, DÉVELOPPEMENTS TECHNOLOGIQUES ET NOUVEAUX SERVICES

Chercher à approfondir la compréhension de notre espace proche ou lointain et, à terme, son exploration par des êtres humains, s'inscrit dans la logique du déroulement de l'histoire de l'Homme. Comme par le passé, cette exploration apporte de nombreux bénéfices, culturels, scientifiques et économiques, et est à la source de développements technologiques qui, progressivement, se retrouvent dans la vie de tous les jours, de façon directe ou indirecte.

Les efforts continus dans la minimisation des ressources nécessaires à la recherche spatiale en général ont conduit à des développements nouveaux et à des approches d'ingénierie originales visant à maximiser l'efficacité des systèmes. Intégration et miniaturisation,



© ESA/PACS & SPIRE Consortium/HOBYS Key Programme Consortia

Photo 2 : Vue du nuage moléculaire Rosette – Vue du satellite Herschel.

réduction des poids morts à tous les niveaux, minimisation des besoins en énergie, maximisation des informations générées par tout instrument, optimisation des transmissions avec les opérateurs et les scientifiques au sol, optimisation des méthodes et outils de gestion des missions : tous ces aspects sont le pain quotidien des ingénieurs et des scientifiques impliqués. Certaines missions scientifiques ne peuvent du reste être envisagées avant certains développements technologiques et des petites missions de validation de ces technologies ont dû être entreprises avant de pouvoir démarrer le développement complet de la mission. Ainsi, par exemple, la mission Smart 1 a permis de valider la propulsion électrique. Le développement de matériaux nouveaux permettant de répondre efficacement aux contraintes structurales ou aux besoins énergétiques des satellites, celui de systèmes portables pour les mesures biomédicales sur les spationautes, ou de caractérisation *in situ* ou locale d'échantillons physiques ou biologiques résultent tous de programmes de R&D engagés spécifiquement pour des projets spatiaux, mais trouvant dans de nombreux cas des applications dans des systèmes ou dans des services terrestres. Ceux-ci sont bien évidemment un bonus ajouté aux connaissances et aux données acquises grâce aux missions spatiales et ils ne constituent pas la justification *a posteriori* de ces missions. Mais les poussées technologiques stimulées par le spatial sont avérées et permettent d'apporter des solutions dans d'autres domaines scientifiques ou industriels.

Il faut enfin souligner que, si les connaissances acquises au sein de programmes spatiaux peuvent bénéficier aux applications terrestres, elles bénéficient également, en retour, au spatial lui-même dans la mesure où tout progrès réalisé, par exemple, dans le domaine des matériaux structuraux ultralégers ou des systèmes de transfert de chaleur permet d'augmenter les performances des systèmes orbitaux, de manière générale.

Au-delà des mécanismes de transfert de technologie mis en place pour élargir le champ d'application des technologies développées, établir le lien avec la R&D industrielle est un souci constant de l'ASE afin de s'assurer de manière proactive que les connaissances acquises au sein de ses programmes scientifiques trouvent le plus rapidement possible leur chemin vers des domaines applicatifs. En plus des mesures d'incitation à destination des équipes scientifiques mises en place par l'ASE pour assurer la rapidité et l'efficacité de ce

transfert, un certain nombre de projets organisés autour de ces objectifs d'acquisition de connaissances dans l'espace et ciblés sur des objectifs définis par des industriels ont été soumis, avec succès, à des appels à propositions des programmes-cadres de la Commission européenne. L'exemple du projet Impress, dans le domaine des matériaux intermétalliques avancés, dont le succès a été salué par la Commission européenne, démontre qu'une intégration bien menée de la recherche dans l'espace avec la recherche appliquée au sol permet d'exploiter pleinement les capacités uniques dont l'Europe s'est dotée.

C'est peut-être dans le domaine de l'observation de la Terre que le lien entre missions scientifiques et futurs services opérationnels est le plus visible et le plus fort. Ainsi, ces missions ont permis de démontrer les capacités opérationnelles d'instruments comme le diffusiomètre ou l'instrument GOME, pour la surveillance de la couche d'ozone, des instruments qui transférés par la suite sur les séries opérationnelles Metop d'Eumetsat. De même, ERS-1, ERS-2 et Envisat ont permis de valider des services pré-opérationnels dans le domaine de la gestion des catastrophes, des services qui ont été ensuite repris dans le cadre du programme GMES.

CONCLUSION : UN LEADERSHIP À MAINTENIR POUR RENFORCER LA PLACE DE L'EUROPE EN MATIÈRE D'EXPLORATION SPATIALE

L'année 2012 sera une année clé pour les activités scientifiques au sein de l'ASE. C'est en effet en novembre 2012 que les ministres européens devront décider du niveau de financement alloué à ces activités pour les trois prochaines années, et donc du maintien des succès de l'Europe dans les différents domaines scientifiques dont les progrès sont liés aux missions spatiales. L'investissement d'aujourd'hui représente les emplois de demain..., mais la technologie et les missions scientifiques d'aujourd'hui engendrent également les services et les applications de demain, dans une société axée sur l'acquisition et l'exploitation de connaissances. Aussi est-il plus fondamental que jamais, en ces temps de crise économique, que l'Europe investisse de manière soutenue dans les domaines où sa maîtrise est reconvenue et qui lui garantissent compétitivité, innovation et emplois à forte valeur ajoutée et à haute qualification.