



La Belgique à bord de l'Observatoire spatial Herschel,
une "nouvelle fenêtre" sur le cosmos.
© ESA

L'observatoire spatial Herschel

En quête des objets les plus froids et les plus éloignés dans l'univers

Comment les galaxies sont-elles nées au tout début de l'univers ? Comment “naissent” les étoiles et quelle est leur interaction avec l'interstellaire ? Quelle est la composition chimique des différents astres peuplant le système solaire comme les planètes, leurs satellites et les comètes ? Comment se présente la chimie moléculaire de l'univers ? L'ESA compte bien apporter bientôt une réponse à ces questions grâce au projet Herschel. Ce Herschel Space Observatory a été lancé le 14 mai par une fusée Ariane 5 ECA depuis la base spatiale européenne de Kourou en Guyane française.

Herschel était autrefois connu sous le nom de *Far Infrared and Submillimetre Telescope*, FIRST en abrégé, et est le plus grand observatoire spatial infrarouge jamais construit. Sa construction a été pilotée par Alcatel Alenia Space (désormais Thales Alenia Space) et près d'une centaine d'entreprises européennes de même que des entreprises américaines y ont participé. La construction de Herschel a été confiée à un consortium regroupant EADS Astrium à Friedrichshafen (Allemagne) et Alenia à Turin (Italie). Ce satellite très particulier a été soumis à toute une batterie de tests à l'*European Space Research and Technology Centre* (ESTEC) de l'ESA à Noordwijk (Pays-Bas).

EADS Astrium considère Herschel comme une véritable révolution dans le domaine des télescopes spatiaux. “Herschel est le premier exemplaire d'une nouvelle génération de télescopes spatiaux. Haut de sept mètres et demi et large de quatre mètres, il dépasse tous ses prédécesseurs”, dit-on chez EADS Astrium. Le coût du projet Herschel (le satellite Planck, lancé en même temps que Herschel compris) atteint environ 1,65 milliard d'euros. Ce prix inclut le lancement, le coût opérationnel et les expériences menées par les différents États-membres de l'ESA. Uniquement pour l'ESA, la facture s'élève à près de 1,2 milliard d'euros. La science n'est pas bon marché, mais Herschel représente le nec plus ultra en matière d'astronomie infrarouge et les espérances de la communauté scientifique sont particulièrement énormes.

Voilà où se trouvaient l'observatoire spatial Herschel (partie supérieure) et Planck dans le nez de la fusée Ariane 5 lors du lancement.

© ESA



Poids plume

En dépit de ses dimensions impressionnantes et de ses 3300 kilogrammes lors du lancement, le télescope embarqué à bord de l'observatoire spatial Herschel reste un véritable poids plume d'à peine 270 kilogrammes. D'un diamètre de 3,5 mètres, il est plus grand que la lunette à bord du télescope spatial Hubble, mais le poids du miroir du télescope a pu être réduit grâce à l'utilisation de matériaux ultra légers. Les technologies classiques l'auraient rendu cinq fois plus lourd. C'est un atout majeur, parce qu'en astronautique le moindre kilogramme compte.

Le miroir du télescope capte notamment la lumière de galaxies extrêmement jeunes distantes de plusieurs milliards d'années-lumière. Herschel est le premier observatoire à effectuer des observations dans des longueurs d'onde allant du lointain infrarouge au submillimétrique.

Selon Jacques Louet, qui fut directeur du département des projets scientifiques de l'ESA, "Herschel ouvre une nouvelle fenêtre sur le cosmos. Ce que nous faisons ne semble pas spectaculaire de prime abord, mais c'est véritablement de la recherche fondamentale".

Les investigations de Herschel couvrent principalement deux domaines. Il observe et dresse la cartographie de gros nuages de gaz et de matière de notre galaxie. Cela devrait nous aider à mieux comprendre comment naissent et meurent les étoiles. Les étoiles apparaissent dans ce type de nuages sous l'influence de forces gravitationnelles. Tout cela est relativement difficile à déceler dans la lumière "normalement" visible. Mais les observations dans l'infrarouge sont particulièrement révélatrices.

Herschel se penche également sur l'évolution des galaxies. Certaines galaxies récentes recèlent des concentrations d'étoiles de une à cent fois supérieure à celles d'autres galaxies. A leur naissance, les étoiles réchauffent la matière environnante, générant un puissant rayonnement de chaleur dans l'infrarouge. Ces galaxies se situent à plusieurs milliards d'années-lumière. Herschel est le premier télescope suffisamment sensible pour mesurer le rayonnement qu'elles émettent.

Un vrai glaçon

Avec son miroir poids plume, Herschel est un petit bijou technologique. Mais le miroir du télescope ne suffit pas. C'est pourquoi Herschel embarque trois instruments destinés à mesurer le rayonnement thermique le plus infime émanant du cosmos.

Ces équipements doivent être refroidis pratiquement jusqu'au zéro absolu (-273,15 °C). Ce n'est que dans ces conditions extrêmes que Herschel peut observer des rayonnements émis par les objets les plus froids et les plus éloignés

de l'univers et effectuer des observations dans des longueurs d'onde inexplorées jusqu'à présent. Le refroidissement des instruments est indispensable pour que leur propre rayonnement thermique ne surclasse pas celui émis par les objets cosmiques lointains.

Pour transformer Herschel en 'glaçon', ses instruments sont emballés dans un énorme cryostat, un réservoir contenant près de 2300 litres d'hélium liquide assurant le refroidissement extrême. L'hélium s'évaporant lentement, Herschel ne sera pas éternel. Le vaisseau spatial devrait pouvoir rester opérationnel

pendant au moins trois ans. Mais après quatre ans maximum, l'hélium sera épuisé et les instruments de bord deviendront "aveugles".

Le cryostat de Herschel dans la chambre stérile du centre technologique ESTEC de l'ESA à Noordwijk, Pays-Bas. Le cryostat renferme près de 2300 litres d'hélium pour assurer le refroidissement.

© ESA



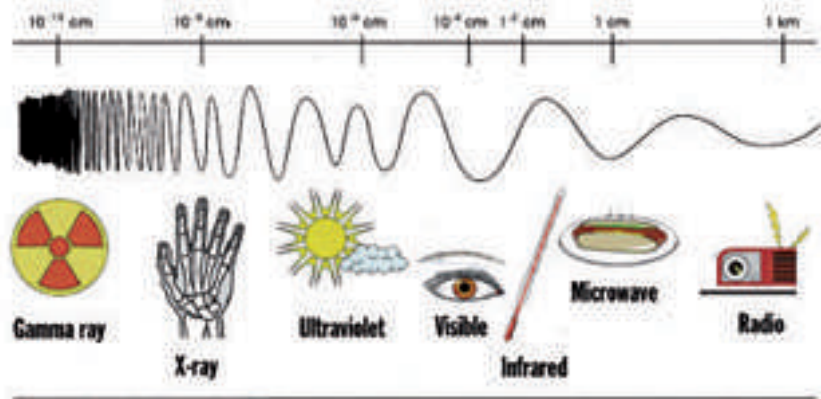
L'envolée de l'astronomie infrarouge

Lorsque, par exemple, le rayonnement infrarouge touche la peau, il procure une sensation de chaleur et est pour cette raison parfois qualifié de rayonnement thermique. Le rayonnement infrarouge connaît d'innombrables applications notamment dans le domaine de la photographie infrarouge et celui des diagnostics médicaux effectués à l'aide d'images infrarouges. Alors que le rayonnement visible s'étend sur des longueurs d'onde de $0,4 \mu\text{m}$ pour la lumière bleue ($1 \mu\text{m} = 1 \text{micromètre} = 1 \text{millionième de mètre}$) à $0,7 \mu\text{m}$ pour la lumière rouge, le rayonnement infrarouge a des longueurs d'onde supérieures (jusqu'à près de 1 millimètre, au-delà duquel apparaissent les micro-ondes).

L'astronomie infrarouge s'est considérablement développée au cours de ces 30 dernières années. Ce sont essentiellement les objets les plus froids qui dégagent le plus de rayonnement infrarouge. L'astronomie infrarouge a notamment permis la découverte de dizaines de milliers de nouvelles galaxies et il a été établi que celles-ci renferment de gigantesques quantités de vapeur d'eau.

L'astronomie infrarouge est l'outil par excellence pour observer d'autres systèmes solaires. C'est également une longueur d'onde se prêtant à l'observation de galaxies extrêmement éloignées, apparues peu après la naissance de l'univers.

Depuis la Terre, l'astronomie infrarouge n'est possible qu'à travers un nombre réduit de 'fenêtres' spectrales dans des longueurs d'onde où l'atmosphère terrestre laisse passer le rayonnement infrarouge. Pour effectuer des observations dans d'autres longueurs d'onde, les chercheurs vont pousser leurs recherches plus loin dans l'espace, grâce à des satellites comme Herschel.



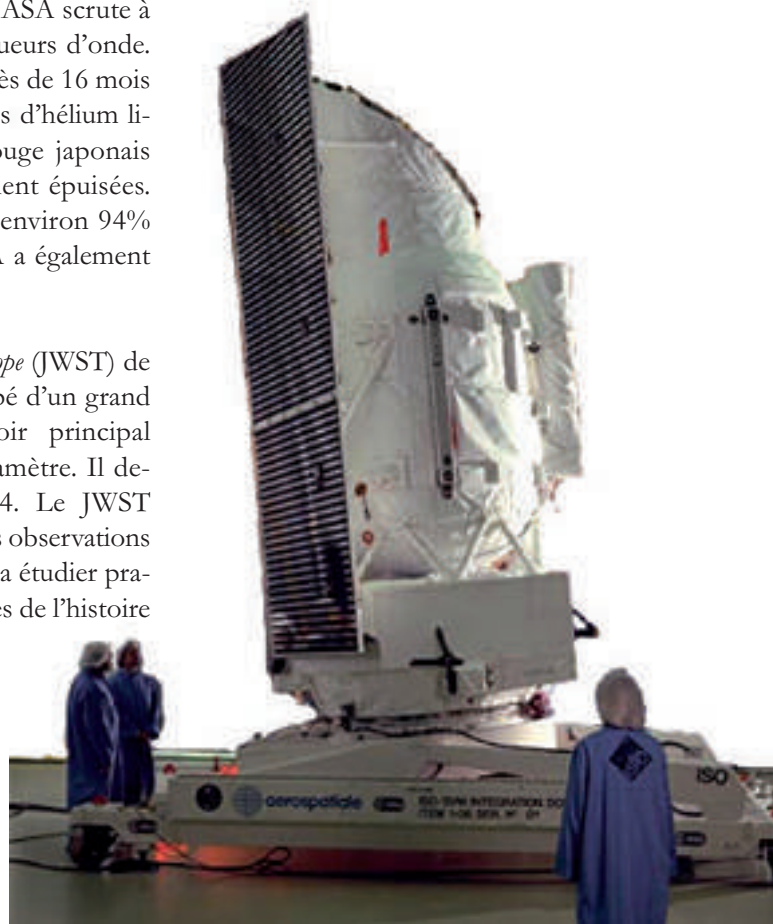
Herschel succède à une série d'illustres prédécesseurs parmi lesquels les observatoires spatiaux IRAS, ISO, Spitzer et Akari. L'Infrared Astronomical Satellite (IRAS) est le premier observatoire spatial qui, dès 1983, a exploré pratiquement tout le ciel dans l'infrarouge. IRAS était une coopération entre les États-Unis, le Royaume-Uni et les Pays-Bas. Herschel peut être considéré comme le successeur d'un autre célèbre explorateur spatial infrarouge de l'ESA : l'Infrared Space Observatory (ISO) qui, entre 1995 et 1998 a procédé à des observations dans des longueurs d'onde situées entre $2,4$ et $240 \mu\text{m}$.


Depuis 2003, le *Spitzer Space Telescope* (autrefois appelé *Space Infrared Telescope Facility* ou SIRTf) de la NASA scrute à peu près les mêmes longueurs d'onde. Le 26 août 2007, après près de 16 mois d'observation, les réserves d'hélium liquide du satellite infrarouge japonais Akari (alias Astro F) étaient épuisées. Akari a dressé la carte d'environ 94% du ciel infrarouge. L'ESA a également participé à ce projet.

Le *James Webb Space Telescope* (JWST) de la NASA/ESA sera équipé d'un grand télescope dont le miroir principal mesure $6,5$ mètres de diamètre. Il devrait être lancé en 2014. Le JWST effectuera l'essentiel de ses observations dans l'infrarouge et pourra étudier pratiquement toutes les étapes de l'histoire de l'univers.

Le spectre électromagnétique avec l'infrarouge coïncé entre la lumière visible et les micro-ondes.

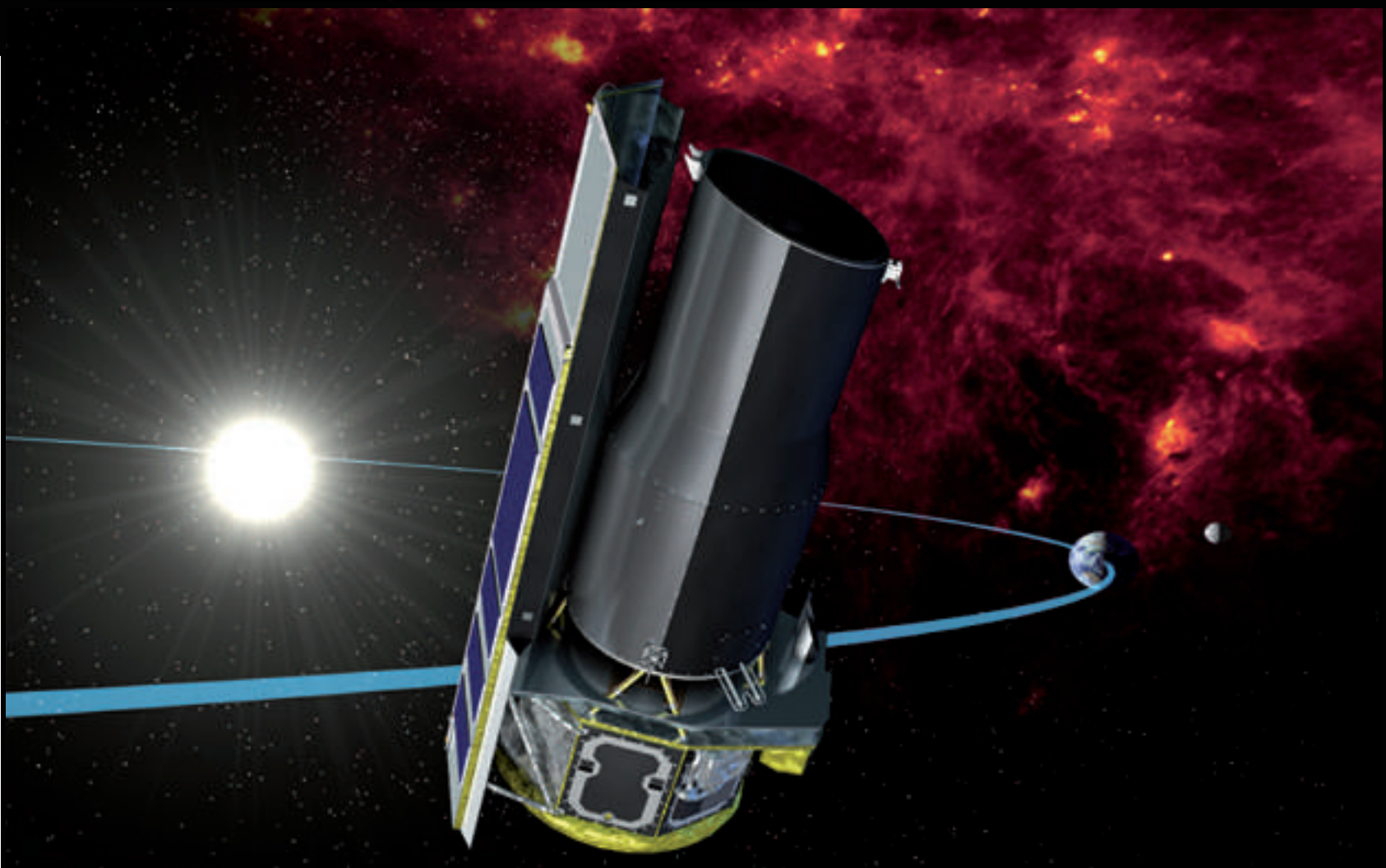
L'Observatoire spatial Herschel succède à l'Infrared Space Observatory (ISO) de l'ESA.
© ESA

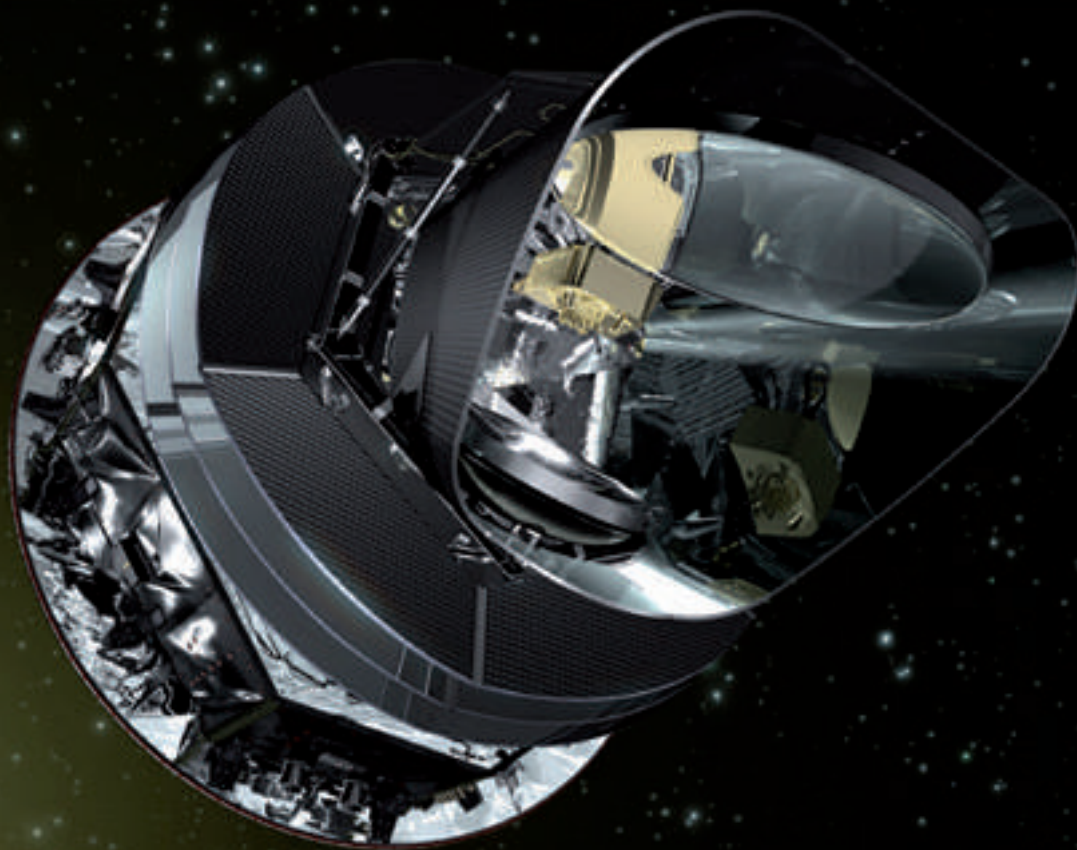




◀ Les observations dans l'infrarouge révèlent des détails indécélables dans la lumière visible. Voici un cliché de la galaxie M51 (la "galaxie tourbillon") dans la constellation des Chiens de Chasse pris dans la lumière visible (à gauche) par le Kitt Peak National Observatory et dans l'infrarouge par le *Spitzer Space Telescope*. Dans les longueurs d'onde visibles, la lumière émane principalement des étoiles ; dans les longueurs d'onde infrarouges supérieures, elle provient de nuages de matière interstellaire.
© NASA/JPL-Caltech/R. Kennicutt (University of Arizona)

▼ Le Spitzer Space Telescope de la NASA.
© NASA



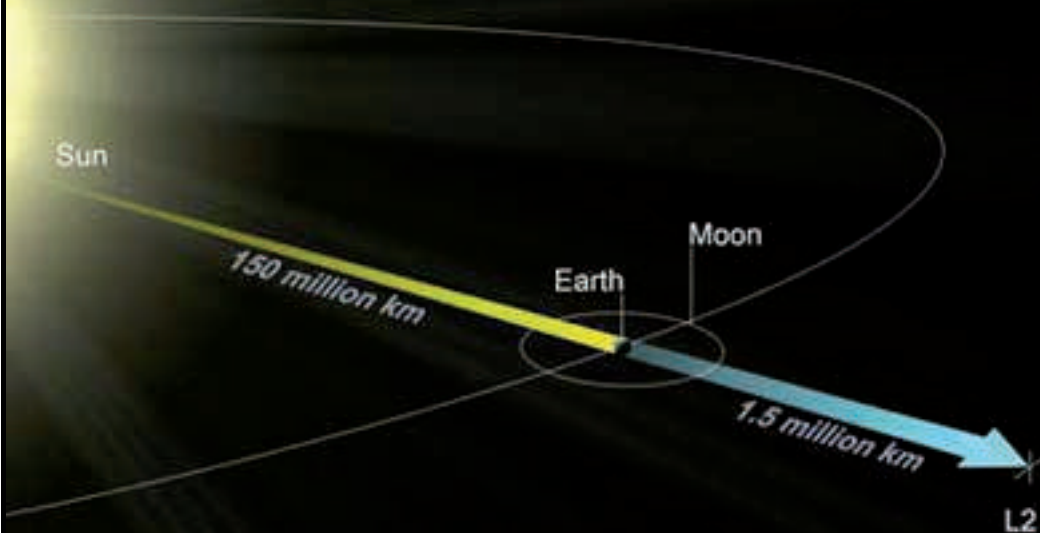


Planck: une mission pour comprendre l'origine et l'évolution de l'univers

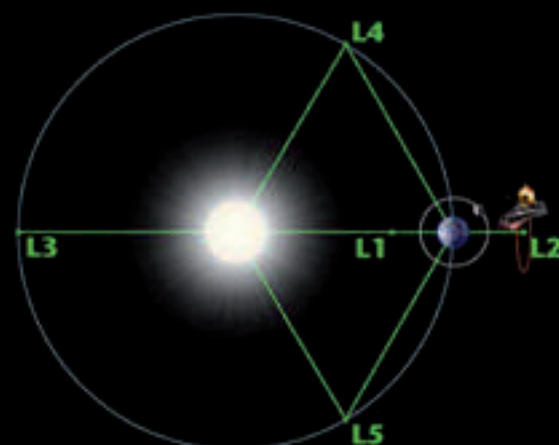
La sonde Planck (masse 1430 kilogrammes, dont 445 kilogrammes d'instruments scientifiques) a été lancée en même temps que Herschel. Planck effectue elle aussi des observations à partir d'une orbite autour du point de Lagrange L2. Durant quinze mois elle scrutera minutieusement le rayonnement cosmologique. Ce rayonnement envahit l'ensemble de l'univers et est considéré par la majorité des cosmologues comme la meilleure preuve du Big Bang.

Grâce à ses observations, Planck doit aider à appréhender la naissance et l'évolution de l'univers. Le rayonnement cosmologique a été détecté pour la première fois en 1964. Cette "première lumière" a été cartographiée par le satellite américain *Cosmic Background Explorer* (COBE) lancé en 1989 et par le satellite *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (WMAP), lancé en 2001. Selon les prévisions, la sensibilité de Planck pour mesurer le rayonnement cosmologique devrait être trente fois supérieure à celle du WMAP et les images produites par Planck devraient être dix fois plus précises.

De nombreux chercheurs attendaient impatiemment le lancement de Planck. En effet, COBE a répondu à une série de questions concernant la naissance de l'univers, mais comme c'est souvent le cas en science, en a soulevé de nombreuses autres. COBE a par exemple confirmé que l'univers est né d'un gaz primaire super chaud et Planck va notamment étudier comment des clusters de galaxies et même des galaxies individuelles se sont formés à partir de cette boule de feu originelle. Planck va également essayer de déterminer si l'univers a commencé son expansion très rapidement après le Big Bang.



Le point de Lagrange L2 se trouve à 1,5 million de kilomètres de la Terre.



Les cinq points de Lagrange du système Terre-Lune.

Le point de Lagrange L2

Herschel doit graviter au moins trois ans autour du fameux point de Lagrange L2 du système Soleil-Terre pour effectuer ses observations. C'est une primeur pour l'ESA. Dans un système où deux corps célestes tournent autour d'un point de gravitation commun, il y a cinq points de Lagrange dont trois sont situés sur la ligne de jonction entre les deux astres. Une sonde spatiale est capable de se maintenir en un point de Lagrange (ou point de libration) dans une position relativement stable (corrigée à l'aide de petits moteurs) par rapport aux deux corps célestes.

Pour ce qui est de la Terre et du Soleil, le point de Lagrange L2 se situe sur l'axe Terre-Soleil et partant du Soleil, à

1,5 million de kilomètres de la Terre (environ quatre fois plus loin que la Lune) c'est-à-dire dans l'ombre de notre planète.

Un vaisseau spatial a littéralement le Soleil, la Terre et la Lune dans le "dos" et réduit ainsi au minimum les interférences générées par le rayonnement infrarouge de ces astres. C'est dès lors la situation idéale pour procéder à des observations dans l'infrarouge et à cet endroit, un vaisseau spatial bénéficie en outre d'une vue imprenable sur l'univers.

Le satellite américain *Wilkinson Anisotropy Probe* (WMAP) lancé le 30 juin 2001 a atteint son poste d'observation au point L2 le 1^{er} octobre 2001. Il est chargé de cartographier précisément le rayonnement cosmologique et de

répondre à des questions essentielles concernant la naissance et l'évolution de l'univers.

En 2011, l'ESA a l'intention de mettre la sonde *Global Astrometric Interferometer for Astrophysics*, en abrégé GAIA, en orbite autour de L2. Elle doit notamment dresser une carte précise en trois dimensions de notre Galaxie. Le James Webb Space Telescope (JWST), dont le lancement est programmé pour 2014 sera également positionné sur le point de Lagrange L2.

Après un voyage de près de six mois, Herschel atteindra L2 et gravitera autour sur une orbite dite de Lissajous. Les orbites autour de L2 étant dynamiquement instables, Herschel procédera de temps à autre à des corrections.

Herschel et la Belgique

La Belgique apporte une contribution non négligeable au programme Herschel. Il y a d'une part le financement de l'ensemble de la mission par le programme scientifique de l'ESA auquel chacun des Etats-membres de l'ESA contribue en fonction de son BIP.

D'autre part, il y a les instruments de bord, financés par des fonds nationaux additionnels, dont le montant est fixé par chaque pays. En Belgique, ce financement passe par la Politique scientifique fédérale via le *PROgram for the development of scientific EXperiments* (PRODEX) de l'ESA.

Herschel embarque trois instruments. Le *Photodetector Array Camera and Spectrometer* (PACS) et le *Spectral and Photometric Imaging Receiver* (SPIRE) sont des caméras avec options spectroscopiques. Le Heterodyne Instrument for the Far Infrared (HIFI) est un spectromètre.

Albrecht Poglitsch du *Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik* à Garching près de Munich (Allemagne) est le directeur de recherche du PACS. Cet instrument a une signification particulière pour notre pays. En effet, Christoffel Waelkens de la *Katholieke Universiteit Leuven* (KUL) est co-directeur de recherche scientifique pour la partie belge du développement de PACS, tandis que le volet industriel est dirigé par le Centre Spatial de Liège (CSL).

PACS est une caméra et un spectromètre de basse à moyenne résolution pour des longueurs d'onde allant jusqu'à près de 205 micromètres et a été conçu et construit par un consortium de chercheurs et d'instituts allemand, belge, autrichien, français, italien et espagnol. La part belge représente environ 20%.

La KUL est responsable du calibrage de l'instrument au sol et dans l'espace, du développement du segment terrestre, du développement du logiciel pour le traitement des données, du développement et de l'architecture du système, des essais, du monitoring de l'instrument en orbite autour de la Terre et du développement d'une stratégie pour le *on-board data reduction* (destiné à limiter la quantité de données à transmettre).

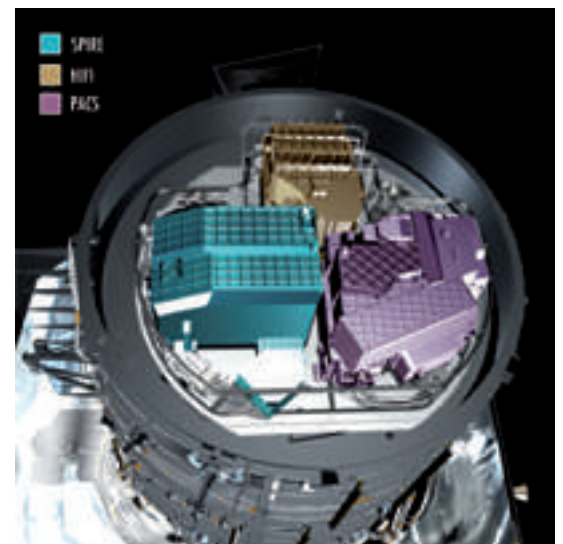
Le CSL a réalisé une partie du PACS et s'est par ailleurs chargé de l'analyse des prestations du télescope dans des conditions thermiques extrêmes comme celles rencontrées dans l'espace. Les conditions régnant dans l'espace peuvent y être précisément simulées. Le télescope de Herschel a ainsi été placé sur le "banc de torture" du CSL. Rien que les essais de Herschel réalisés au CSL représentent un budget de 660.000 euros et 5000 heures de travail. Assisté par l'entreprise liégeoise Amos, le CSL a mis au point une configuration de tests spécifiques pour le télescope de Herschel, afin de pouvoir tester l'ensemble des exigences imposées par la mission. L'Université Catholique de Louvain (UCL) a prêté son cyclotron pour les essais du capteur.

Les entreprises belges suivantes ont coopéré avec le CSL à la construction de l'instrument PACS : IMEC, Amos, OIP, Nexans, Alcatel ETCA (devenue Thales Alenia Space ETCA). Les entreprises Alcatel Bell (devenue Thales Alenia Space Antwerp), Alcatel ETCA, Euro Heat Pipes, Nexans, OIP et RHEA ont participé à la construction du satellite Herschel.

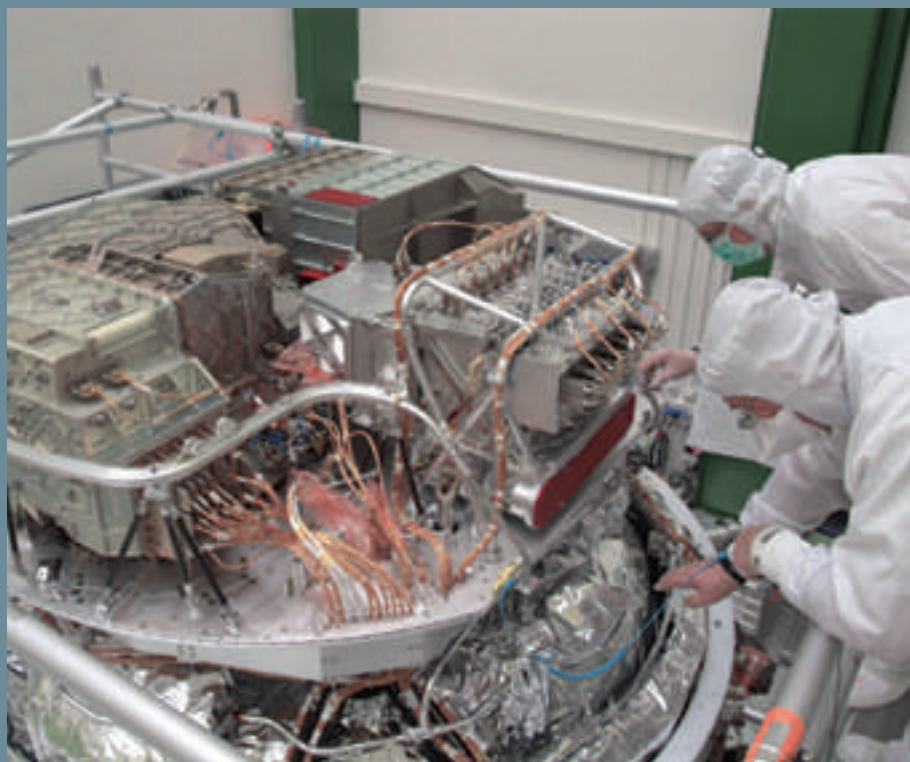
Il est important de souligner que la partie du *PACS Instrument Control Centre* (ICC) chargé des opérations du volet spectrographique de l'instrument est localisée à la KUL (prof. Waelkens et collaborateurs). Là aussi, le financement est assuré par la Politique scientifique fédérale.

Grâce à la participation au PACS, les astronomes belges bénéficient d'un accès garanti au temps d'observation de l'Observatoire spatial Herschel. Un projet PRODEX finance six scientifiques de la *Katholieke Universiteit Leuven*, de l'Université de Liège, de l'Université Libre de Bruxelles, de l'Université Gent et de l'Observatoire Royal de Belgique (ORB).

Le projet Planck n'inclut aucune participation scientifique belge, mais la construction du satellite compte une participation industrielle de TAS ETCA, Amos, CSL, Euro Heat Pipes, Nexans, OIP et RHEA.



Les trois instruments à bord de Herschel avec en violet le PACS, auquel notre pays a largement contribué. © ESA



Intégration des expériences scientifiques de Herschel.
© Astrium

PLUS

Informations générales sur Herschel

- herschel.esac.esa.int
- sci.esa.int/herschel
- www.esa.int/science/herschel
- www.ipac.caltech.edu/Herschel
- herschel.jpl.nasa.gov

Instrument PACS avec participation belge

- pacs.mpe.mpg.de
- pacs.ster.kuleuven.ac.be

Timbre poste des Comores commémorant la découverte d'Uranus par William Herschel.



William Herschel (1738-1822)

Herschel célèbre Sir William Herschel, auteur de multiples découvertes astronomiques et musicien à ses heures. À leur époque, lui et sa sœur Caroline Herschel étaient des astronomes de haut vol. Il est devenu célèbre dans le monde entier le 13 mars 1781 grâce à la découverte de la planète Uranus.

En 1800, c'est par hasard qu'il découvre le rayonnement infrarouge en faisant passer la lumière solaire dans un prisme et en mesurant la température juste au-delà de la limite rouge du spectre visible (l'arc-en-ciel, phénomène dans lequel la lumière se disperse en différentes couleurs). A cet endroit, où la lumière solaire ne semblait pas passer, la température était supérieure à celle du spectre visible.

Herschel en a finalement conclu qu'il s'agissait de la conséquence d'une forme de lumière invisible à l'œil nu située au-delà de la partie rouge du spectre. Plus tard, ses *calorific rays* furent rebaptisés rayonnement infrarouge (le préfixe infra signifie sous et indique que la fréquence du rayonnement infrarouge est inférieure à celle du rouge). L'existence de formes de lumière invisibles à l'œil nu était pour la première fois démontrée. □