

SPICA:
Le futur grand observatoire spatial infrarouge de l'Europe et du Japon
The future ESA-JAXA large infrared space observatory

Giard M¹ et F. Herpin² et M. Sauvage³ pour la collaboration SPICA

¹IRAP, CNRS-UPS, Université de Toulouse, martin.giard@irap.omp.eu

²LAB, CNRS, Université de Bordeaux, fabrice.herpin@u-bordeaux.fr

³AIM, CEA-IRFU-DAP, Saclay, marc.sauvage@cea.fr

Mots clés (en français et en anglais) : astronomie spatiale infrarouge / infrared space astronomy

Résumé/Abstract

SPICA est le projet d'observatoire infrarouge spatial de nouvelle génération porté par l'Europe et le Japon, et qui pourrait voir sa première lumière au début de la décennie 2030. Il s'inscrit dans la lignée des observatoires spatiaux infrarouge de l'agence spatiale européenne: ISO et HERSCHEL. Equipé d'un miroir primaire de 2,5 mètre de diamètre, il sera le premier observatoire infrarouge disposant de systèmes de refroidissement 100% électriques, et sa durée de vie ne sera donc pas limitée comme pour ses prédécesseurs par la disponibilité de fluides cryogéniques embarqués. SPICA sera par ailleurs équipé d'une panoplie de détecteurs refroidis en dessous du degré Kelvin, offrant des possibilités de mesures en spectroscopie, imagerie et polarisation, et qui offriront aux astronomes du monde entier des performances 100 à 1000 fois supérieures à ce qui aura été possible dans ce domaine de longueur d'onde (12 – 300 μm) aussi bien avec HERSCHEL, SOFIA que JWST. De cette façon, SPICA ouvrira une fenêtre d'étude totalement nouvelle sur la physico-chimie des régions obscures: systèmes planétaires en formation dans notre Galaxie et galaxies lointaines en formation.

SPICA is the future space infrared observatory discussed between the European (ESA) and Japanese (JAXA) space agencies to be in service in the beginning of the 2030's. On the European side, this will be the successor of ISO and HERSCHEL. With a primary mirror of 2,5 meter diameter, this will be the first infrared observatory equipped with fully electric cryogenic systems so that its lifetime will not be limited by cryogenic fluids reserves. The SPICA focal plane will be instrumented with sub-kelvin detectors, in spectroscopy, imagery and polarimetry, which will offer to the worldwide astronomy community performances 100 to 1000 times higher than what would have ever been achieved in this wavelength domain (12 – 300 μm) with HERSCHEL, SOFIA or JWST. SPICA will thus open a fully unexplored observing window on the physics of obscured regions in the Universe: planetary systems in formation within our Galaxy, and distant galaxies in the forming.

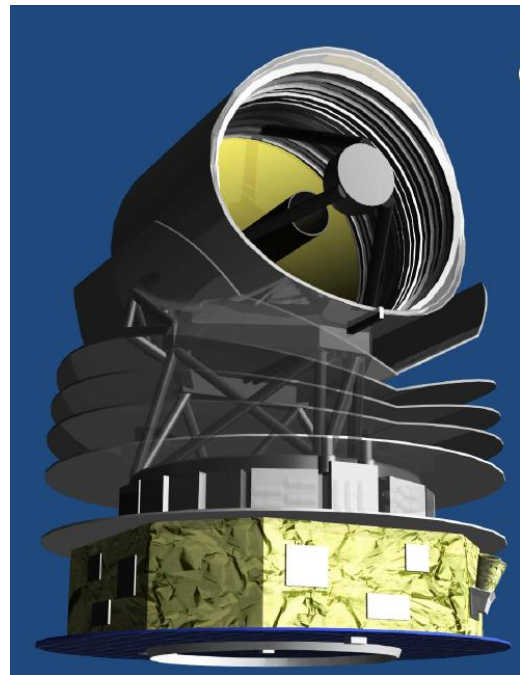


Figure 1 : l'observatoire spatial SPICA.

1 La mission SPICA

SPICA (the SPace Infrared telescope for Cosmology and Astrophysics) [1] sera un observatoire spatial infrarouge doté d'un télescope de 2,5 mètres de diamètre refroidi à 8 Kelvin par un système de refroidissement passif et des machines cryogéniques. Actuellement étudié par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) pour un financement dans le cadre de la mission M5 du programme scientifique Cosmic Vision, SPICA sera réalisé en partenariat avec l'agence spatiale Japonaise (JAXA) en vue d'un lancement en 2032 par une fusée Japonaise pour une mise en service quelques mois plus tard au point de Lagrange L2 du système Soleil-Terre à environ 1 500 000 kilomètres de la Terre. SPICA sera équipé de trois instruments focaux (cf Tableau 1 ci dessous) lui permettant d'analyser les rayonnements infrarouge en spectroscopie, photométrie et polarimétrie de 12 à 300 μm : SMI sous responsabilité Japonaise, SAFARI sous responsabilité Hollandaise, et B-BOP sous responsabilité Française. Ces trois instruments utilisent des détecteurs inédits qui ont été spécifiquement développés au cours des dix dernières années au Japon [2], en Hollande [3] et en France [4].

Tableau 1 : Capacités instrumentales de SPICA

Spectroscopie		
SAFARI	34 – 230 μm	Résolution spectrale = 300 à 11000
SMI/MR	18 – 36 μm	Résolution spectrale \approx 1000 à 2000
SMI/HR	12 – 18 μm	Résolution spectrale = 28000
SMI/LR	17 – 36 μm	Résolution spectrale \approx 100
Imagerie		
SMI/CAM	30 – 37 μm	Champ de vue : $10^\circ \times 12^\circ$
Polarimétrie		
B-BOP	110/220/350 μm	Champ de vue : $2,6^\circ \times 2,6^\circ$

L'unicité de SPICA réside dans la combinaison d'un télescope refroidi à 8 Kelvin et d'instruments équipés de détecteurs refroidis en dessous de 0,1 Kelvin, de sorte que la sensibilité de cet observatoire spatial sera limitée uniquement par le bruit statistique du rayonnement de fond de ciel qui à ces longueurs d'onde provient de l'émission thermique des poussières diffuses dans le système solaire (lumière zodiacale) et dans la Voie Lactée (cirrus galactiques). De cette façon, SPICA ouvrira la fenêtre astronomique située entre celles des observatoires JWST (dans l'espace) et ALMA (au sol), avec une sensibilité 100 à 1000 fois supérieure à ce qu'a offert par le passé l'observatoire spatial HERSCHEL [5], ou ce qui est disponible actuellement à bord de l'observatoire stratosphérique SOFIA [6] (cf Figure 2).

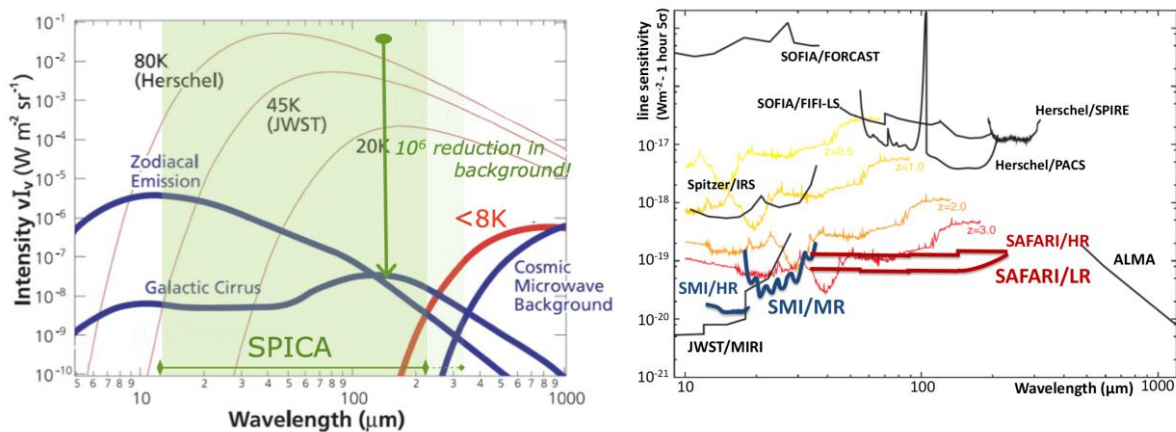


Figure 2 - gauche : niveaux comparés des fonds d'émission instrumentaux (HERSCHEL 80K, JWST 45K, SPICA <8K) et du ciel astronomique (émission zodiacale, émission galactique, rayonnement fossile). – droite : sensibilités spectroscopiques comparées de SPICA, JWST, HERSCHEL et ALMA.

Le refroidissement du télescope et de ses instruments est possible grâce à une combinaison de machines cryogéniques : réfrigérateurs Steerling coolers à 25K, 20K, et 15K, réfrigérateurs Joule-Thompson à 4K et 1K, réfrigérateur hybrides à sorption d’Hélium 3 (300 mK) et démagnétisation adiabatique (50mK).

Le développement de l’ensemble de la mission SPICA (ESA, JAXA) et de ses instruments (consortiums internationaux) est de l’ordre d’un milliard d’euros et atteint de fait l’ampleur d’une mission ESA de type L.

2 Objectifs scientifiques de SPICA.

L’unicité de SPICA sera dans sa capacité à caractériser physiquement, par la spectroscopie, l’imagerie et la polarimétrie, les régions obscurcies de notre Univers, celles qui renferment les clefs de la formation des étoiles, des éléments lourds et des planètes à partir du gaz primordial.

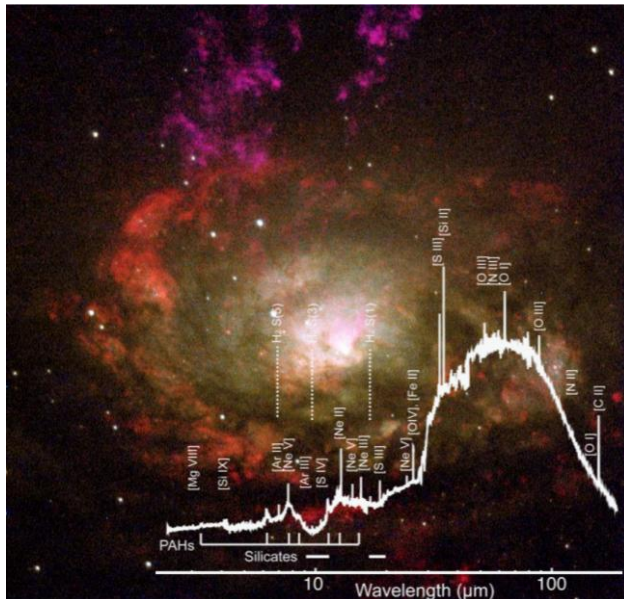


Figure 3 : spectre obtenu avec le satellite ISO sur la galaxie voisine Circinus, prototype d’une galaxie à flambée de formation d’étoiles [14]. SPICA pourra caractériser ainsi des milliers de galaxies dans l’univers lointain.

En ce qui concerne la formation des étoiles, B-BOP, l’imageur polarimétrique de SPICA, pourra mesurer les champs magnétiques au sein des nuages moléculaires proches, pouponnières d’étoiles nouvelles, aux échelles spatiales critiques pour comprendre les processus qui permettent au gaz moléculaire magnétisé de se condenser en étoiles et systèmes planétaires (cf la Figure 4 qui illustre le potentiel de B-BOP dans ce domaine par la superposition d’une image d’intensité réalisée avec HERSCHEL avec des lignes indiquant la direction du champ magnétique mesurée avec l’instrument polarimétrique PLANCK-HFI).

Dans le domaine de la formation des systèmes planétaires, c’est à nouveau la puissance spectrale de SAFARI et SMI qui permettra de caractériser l’état physique des disques de gaz et de poussières autour d’étoiles proches dans lesquels des planètes sont en train de se former. Grâce aux transitions de l’hydrogène moléculaire deutéré situées à 56 et 112 μm , SPICA sera le seul observatoire astronomique au monde capable d’évaluer directement la masse de ces disques gazeux, sans passer par des traceurs minoritaires comme le monoxyde de carbone utilisé

Dans le domaine de la formation des galaxies (cf Figure 3) et des trous noirs massifs qui leurs sont associés, ont sait qu’ils sont nés lors d’une flambée spectaculaire il y a 10 à 6 milliard d’années. SPICA sera le premier observatoire capable de construire avec ses instruments SAFARI et SMI une bibliothèque de spectres pour plus d’un millier de ces objets répartis sur toute la durée de cette flambée afin d’en élucider les mécanismes qui ont mené à l’Univers qui nous environne (cf [7], [8], [9], [10], [11], [12] et [13]). La spectroscopie des raies des ions, des atomes, de certaines molécules et des bandes des grains de poussière sont une observable absolument unique qui permettra de quantifier les processus physique à l’œuvre lors de cette période clef.

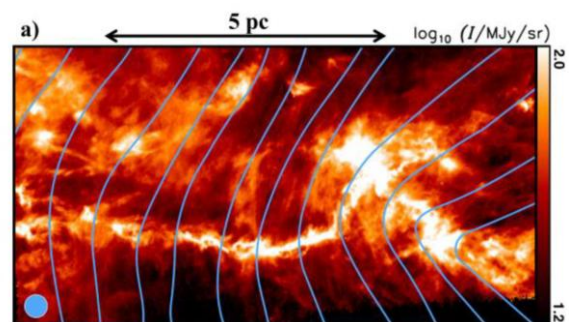


Figure 4 : couleurs : intensité de l’émission des poussières dans des filaments des nuages moléculaires proches cartographiée avec HERSCHEL, -lignes continues : direction du champ magnétique mesurée avec le satellite PLANCK.

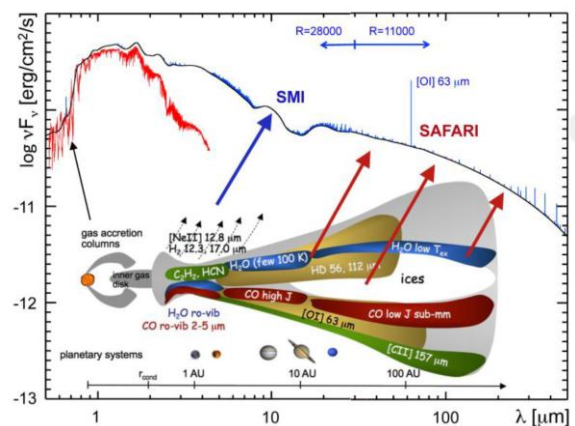


Figure 5 : séparation spectrale et caractérisation physique des gaz et poussières qui composent un disque de formation planétaire autour d’une très jeune étoile.

communément par les grands observatoires sol comme ALMA.

Le gain en sensibilité de SPICA sera tel (un facteur 100 à 1000), que cette mission ouvrira à coup sur des chapitres complètement nouveaux de l'astrophysique. Par exemple, dans le domaine des champs magnétiques, de leur croissance à partir de mécanismes primordiaux et de leur rôle dans la formation des galaxies, B-BOP ouvrira très probablement des perspectives inconnues à ce jour.

Références bibliographiques

- [1] Roelfsema, P., et al., 2018, Publications of the Astronomical Society of Australia, Volume 35, id.e030
- [2] Khalap, V., & Hogue, H. 2012, Proc. SPIE, 8512, 85120O.
- [3] Audley, M., et al. 2018, Proceedings of the SPIE, Volume 10708, id. 107080K.
- [4] Goudon, V. et al., 2018, Proceedings of the SPIE, Volume 10708, id. 107083O.
- [5] Pilbratt, G. et al., 2010, Astronomy and Astrophysics, Volume 518, id.L1.
- [6] Temi, P., et al., 2014, The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 212, Issue 2, article id. 24.
- [7] Spinoglio, L. et al., 2017, Publications of the Astronomical Society of Australia 34, pe057.
- [8] Fernandez-Ontiveros, J.A. et al., 2017, Publications of the Astronomical Society of Australia 34, pe053.
- [9] González-Alfonso, E. et al., 2017, Publications of the Astronomical Society of Australia 34, pe054.
- [10] Gruppioni, C. et al., 2017, Publications of the Astronomical Society of Australia 34, pe055.
- [11] van der Tak, F.-F.-S. et al., 2017, Publications of the Astronomical Society of Australia 35, pe002.
- [12] Egami, E. et al. 2017, Publications of the Astronomical Society of Australia 35, p.
- [13] Kaneda, H. et al., 2017, Publications of the Astronomical Society of Australia 34, pe059.
- [14] Moorwood, A., 1999, Astrophysics with Infrared Surveys: A Prelude to SIRTF, ASP Conference Series, Vol. 177. ISBN: 1-58381-001-3 (1999), p.141