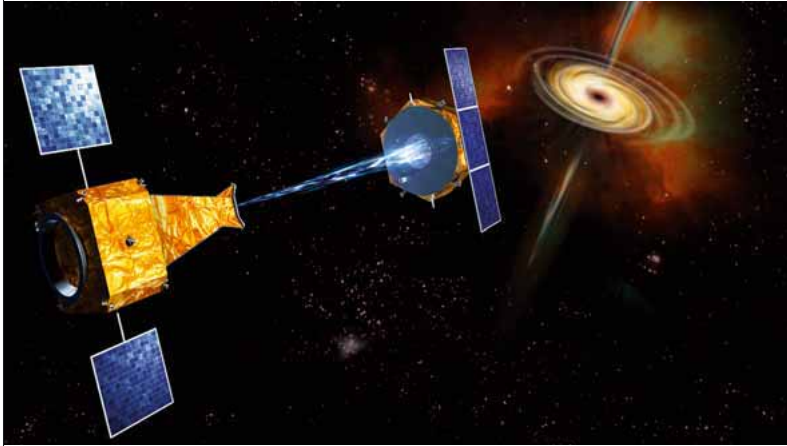


## 2. Voir plus précis

# Simbol-X, pionnier des vols en formation



CNES/IO-Sattier

Vue d'artiste de Simbol-X observant une galaxie active. Le satellite de droite porte le miroir qui focalise les rayons X sur le détecteur placé sur le satellite de gauche, 20 mètres plus loin.

**S'**il existe dans le ciel des témoins de l'activité des sources extrêmes de l'Univers, ce sont bien les **rayons X** et **gamma** nés de **plasmas** portés à des centaines de millions de degrés ou de particules accélérées à des énergies jusqu'à un milliard de fois supérieures à celles de nos accélérateurs les plus puissants. D'où l'intérêt manifesté par les astrophysiciens pour scruter le ciel dans ce domaine de **rayonnement**. Peut-être pourront-ils ainsi répondre un jour aux questions fondamentales de l'astrophysique moderne – celles

posées notamment sur les **trous noirs** dont on approche l'horizon, au plus près, dans le spectre des rayons X, ou encore, celles de l'origine des **rayons cosmiques**. Ces trous noirs, combien sont-ils dans l'Univers? Qui sont-ils? Influencent-ils leur environnement? Quel rôle jouèrent-ils dans la formation des **galaxies**? De quelle manière, par ailleurs, fonctionnent les accélérateurs cosmiques? Peut-on expliquer tous les rayons cosmiques?

Le télescope spatial Simbol-X a été conçu pour tenter de répondre à ces questions en observant le ciel, très loin et très précisément. Si aucun instrument n'a pu le faire avant lui, c'est en raison du caractère trop pénétrant des **photons X** et gamma qui empêche l'utilisation de télescopes de facture classique où ils seraient collectés et réfléchis par un grand miroir pour être concentrés sur un petit détecteur. À l'instar de nos tissus, lors des radiographies médicales, ces miroirs sont transparents aux rayons X. Aussi, l'optique des meilleurs instruments imageurs en rayons X et gamma, comme IBIS (pour *Imager on Board the Integral Satellite*) installé à bord d'INTEGRAL (pour *International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory*) se compose d'un masque codé permettant d'obtenir de véritables images avec une **résolution** angulaire encore faible d'une dizaine de minutes d'arc (un tiers de la Lune vue de la Terre). Mais, ne focalisant pas la lumière, ces instruments ne bénéficient pas de l'effet de concentration qui donne leur puissance aux télescopes

classiques. Heureusement, un moyen existe pour focaliser les rayons X. Il s'appuie sur le fait que ces rayons peuvent être réfléchis sur des surfaces très lisses à condition de les aborder de façon quasiparallèle. En combinant plusieurs de ces matériaux réfléchissants, sous forme de coquilles de révolution emboîtées comme des poupées gigognes, on arrive à réaliser des optiques focalisatrices de grande surface que les rayons X « traversent » avant d'atteindre le détecteur au foyer du système. L'énergie maximale à laquelle l'optique peut fonctionner s'avère proportionnelle à la longueur du télescope. La première optique de focalisation X, emportée dans l'espace, en 1978, révolutionna l'astronomie X. Mais elle se limitait à l'observation des rayons X de relativement basse énergie, dits « mous ».

Aujourd'hui, la situation demeure inchangée. La mission *Simbol-X* met en œuvre la technologie émergente du vol en formation pour fabriquer, pour la première fois, un télescope de très grande focale. Ce nouveau concept révolutionnaire consiste à placer l'optique focalisatrice de rayons X sur un premier satellite et le plan focal sur un second, asservi en position par rapport au premier, de façon à former, en quelque sorte, un télescope quasiment rigide mais sans tube. Avec une telle configuration, le télescope peut être sensible aux rayons X dits « durs », c'est-à-dire dix fois plus énergétiques que les rayons X « mous ». Cet instrument à focalisation de nouvelle génération est cent à mille fois plus performant que les meilleurs instruments actuels.

L'idée de *Simbol-X* fut proposée dès la fin 2001, par les astrophysiciens du CEA. Portée par les communautés scientifiques française, italienne et allemande, la phase d'étude de faisabilité du projet a été passée avec succès. Elle a été conduite par les agences spatiales française et italienne ainsi qu'une vingtaine de laboratoires français, italiens et allemands, réunis sous la responsabilité conjointe du CEA et de l'Italie. Parmi les éléments clés de *Simbol-X* figurent notamment :

- l'optique X, placée sous la responsabilité italienne, qui bénéficie du savoir-faire acquis lors des missions d'astronomie X à basse énergie, notamment celle du satellite XMM (pour *X-ray Multi Mirror*) ; ses caractéristiques principales résident dans sa focale de 20 mètres et son excellente résolution angulaire de 20 secondes d'arc ;
- le vol en formation, une première donc, dépend du Cnes ; le défi consiste à pouvoir garder, de façon automatique, le satellite « détecteur » positionné autour du point focal donné par l'optique avec une incertitude de l'ordre du  $\text{cm}^3$  ;
- l'ensemble détecteur, fabriqué par la France avec une participation de laboratoires allemands, doit couvrir entre 0,5 et 80 kiloélectronvolts, s'avérer extrêmement sensible et être doté d'une grande finesse d'imagerie.

Pour répondre à son exigeant cahier des charges, l'ensemble détecteur se base sur la superposition de deux plans « spectro-imageurs » de 16 384 pixels couvrant  $8 \times 8 \text{ cm}^2$  au total (figure 1).

Pour chaque photon X (comptés un par un à ces énergies), ils en mesurent l'énergie et la localisation sur le détecteur. Le premier plan spectro-imageur, en silicium, fourni par une équipe allemande, détecte les rayons X « mous » avec une vitesse de lecture 20 000 fois plus rapide que ses prédécesseurs. Le

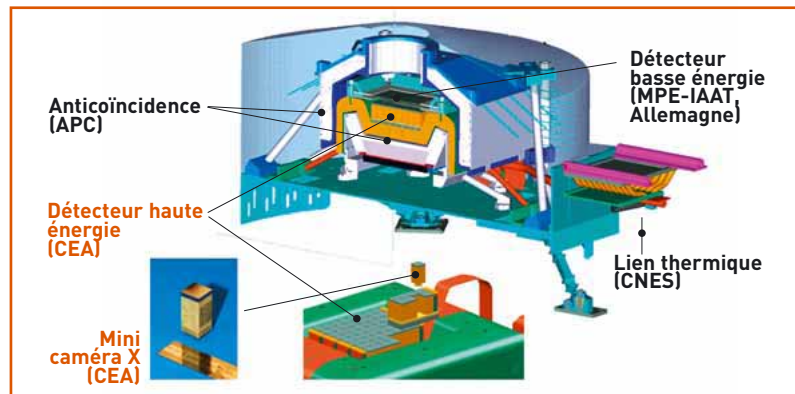


Figure 1. L'ensemble du plan focal de détection, placé sous responsabilité de l'Irfu, avec ses différents éléments et les laboratoires les fournissant : CEA, Laboratoire astroparticule et cosmologie (APC), Max Planck Institut für extraterrestrische Physic, Institut für Astronomie und Astrophysik-Tübingen (IAAT), Cnes. Les différents composants et leur fonctionnement sont décrits en détail dans le texte.

silicium étant transparent aux rayons X de plus haute énergie qui sont bien plus pénétrants, un second plan lui a été adjoint, juste en dessous du premier, de manière à pouvoir arrêter et caractériser ces rayons. Ce deuxième plan est réalisé par le CEA, à base de cristaux de tellure de cadmium (CdTe), matériau ayant déjà prouvé son efficacité dans l'imageur à masque codé d'INTEGRAL. Depuis le lancement de ce satellite, d'importantes avancées ont été enregistrées concernant la miniaturisation (les pixels de *Simbol-X* étant 50 fois plus petits) et la réduction maximale des zones insensibles entre les pixels. Le plan imageur haute énergie est construit en juxtaposant 64 minicaméras X, de  $1 \text{ cm}^2$  de côté, avec chacune 256 pixels complètement adjacents et comprenant toute l'électronique critique à leur fonctionnement (figure 1). Un système compact de blindage et de détecteurs de particules entoure les deux plans imageurs. Fourni par le Laboratoire astroparticules et cosmologie (APC) de Paris, il réduit, d'un facteur 10, les bruits parasites engendrés par les nombreux rayons cosmiques peuplant l'espace interplanétaire. Ce plan focal, étudié sous responsabilité de l'Irfu, dispose également d'un traitement de données de bord géré par le Centre d'études spatiales des rayonnements (CESR) de Toulouse.

Les agences spatiales italienne et française n'ayant pu réunir les fonds suffisants pour financer cet ambitieux projet, celui-ci n'a pu entrer dans la phase d'étude détaillée. Étant donné la qualité de la « science à faire » avec ce projet et la large communauté de chercheurs intéressée, il devrait renaître dans un autre contexte.

#### > Philippe Ferrando

Service d'astrophysique (SAp)  
Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu)  
Unité mixte de recherche astroparticule et cosmologie  
(CNRS-Université de Paris 7-CEA-Observatoire de Paris)  
Direction des sciences de la matière (DSM)  
CEA Centre de Saclay (Orme des Merisiers)

#### > Martial Authier

Service d'ingénierie des systèmes (SIS)  
Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu)  
Direction des sciences de la matière (DSM)  
CEA Centre de Saclay (Orme des Merisiers)