



SVOM, A LA RECHERCHE DES PHENOMENES LES PLUS EXTREMES DE L'UNIVERS

DOSSIER DE PRESSE – JUIN 2024



LA MISSION

SVOM ■

La mission spatiale franco-chinoise SVOM (Space-based multi-band astronomical Variable Objects Monitor) est consacrée à la **localisation et à l'étude des plus lointaines explosions d'étoiles**, les sursauts gamma. Ces cataclysmes qui se signalent par un bref éclair de rayons gamma, la forme la plus énergétique de la lumière, accompagnent la désintégration des plus grosses étoiles. Visibles jusqu'aux confins de l'Univers, ces explosions offrent l'unique moyen d'observer le destin des toutes premières étoiles de l'Univers et de sonder les confins du cosmos.

SVOM sera lancé le 22 juin 2024 par le lanceur chinois Longue Marche 2C, depuis la base de Xichang en Chine. La mission est le fruit d'une collaboration des deux agences spatiales nationales CNSA (China National Space Administration) et CNES (Centre national d'études spatiales) avec les contributions principales du CEA et du CNRS pour la France et de l'Observatoire Astronomique National (NAO) et l'Institut de Physique des Hautes Energies de Pékin (IHEP) pour la Chine. La mission SVOM est prévue pour une durée initiale de trois ans.

LES ÉTAPES DE LA MISSION

▪ 22 juin ▪

Lancement depuis Xichang (Chine)

▪ Début juillet ▪

Mise sous tension des instruments et contrôle de leur température

▪ Mi juillet ▪

Premières données scientifiques

▪ Août ▪

Premiers sursauts gamma détectés

▪ Septembre ▪

Premiers pointages automatiques

▪ Début octobre ▪

Début de l'exploitation scientifique

DE MYSTERIEUSES BOUFFÉES DE RAYONS GAMMA QUI ILLUMINENT LE CIEL ■

Dans le ciel, de brèves et intenses bouffées de rayonnement gamma sont détectées chaque jour. Evènements fugaces qui ne durent parfois que quelques millièmes de secondes, ces éclairs gamma sont le témoignage d'une **libération colossale d'énergie**, équivalente à celle générée par le Soleil durant toute sa vie. Depuis les années 90, les astronomes soupçonnent certains éclairs gamma d'être associés à la mort violente d'étoiles très massives au sein de galaxies lointaines.

Grâce à leur extrême luminosité, certains éclairs gamma sont **parmi les phénomènes les plus lointains**, donc les plus anciens jamais observés dans l'Univers. Cette lumière a parfois été émise alors que l'Univers avait moins d'un milliard d'années, soit 5 à 10 % de son âge actuel. Étudier ces bouffées gamma, c'est donc sonder l'Univers jeune et s'approcher de ses premières étoiles et de leur environnement.

Accéder aux premières étoiles de l'Univers

Les sursauts gamma sont aujourd'hui une des rares lumières que nous savons capter qui tirent leur origine des toutes premières étoiles de l'Univers, dites de "population III". Ces étoiles, dont on ignore toujours le mécanisme de formation, ont été les premières à transformer l'hydrogène et l'hélium - formés après le big-bang - en atomes plus lourds comme ceux qui nous constituent. Recueillir des informations sur ces étoiles grâce aux sursauts gamma nous renseigne donc non seulement sur cette production d'atomes, mais aussi sur la vie de ces étoiles et sur le milieu où elles sont nées.

Par exemple, le sursaut le plus lointain identifié à ce jour, GRB090423, s'est produit seulement 630 millions d'années après le Big Bang. Il serait issu de l'explosion d'une étoile 20 à 30 fois plus grosse que notre Soleil et qui aurait vécu quelques millions d'années seulement.

Un phare sur les milieux galactique et intergalactique

Avant d'arriver jusqu'à nous, la lumière de ces sursauts gamma traverse plusieurs milliards d'années-lumière d'Univers. Elle agit ainsi comme une lumière d'arrière-plan qui, en passant par ces innombrables tranches d'Univers d'âge croissant, se charge d'empreintes. Celles-ci pourraient ainsi nous donner des indications sur la teneur en éléments de l'Univers au cours de son histoire.

Cela inclut également la galaxie hôte du sursaut gamma : ils doivent donner accès à quels composants sont présents dans le milieu interstellaire, en quelle quantité, sous quelle forme, mais aussi nous aider à distinguer le nombre de nuages présents et la vitesse à laquelle le gaz se déplace. Les sursauts gamma nous aident ainsi à avoir un aperçu de la face cachée des galaxies quand l'univers était très jeune.

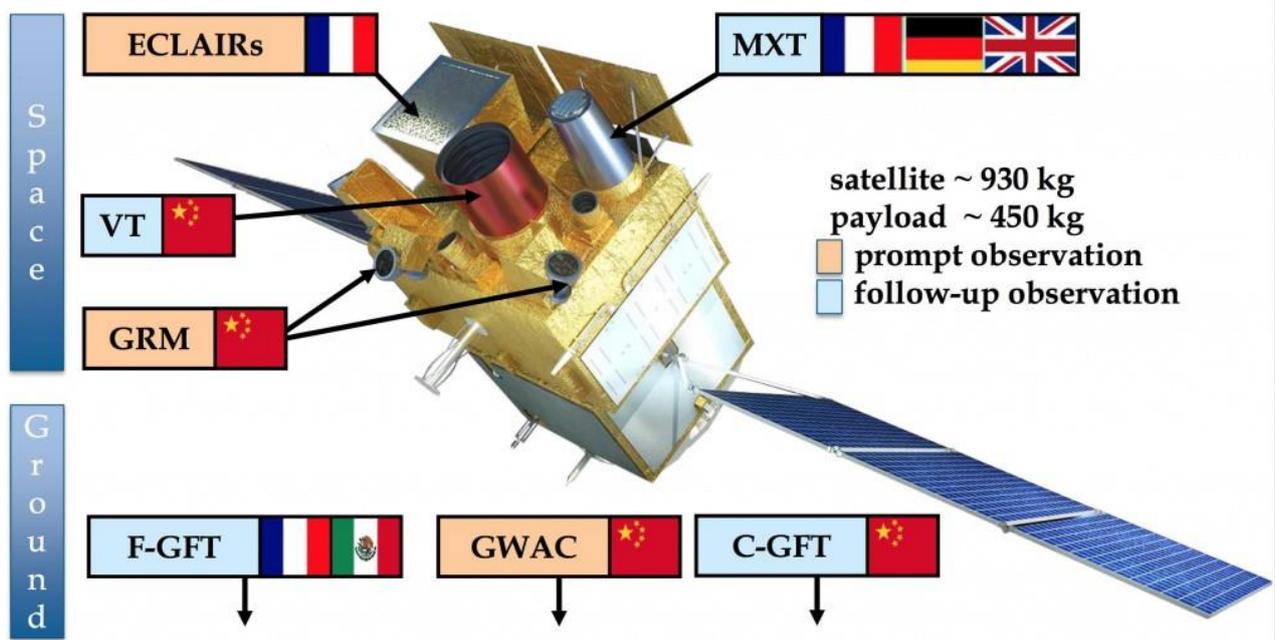
UNE BATTERIE D'INSTRUMENTS À L'AFFUT DANS LE CIEL ■

La fugacité des sursauts gamma rend leur observation très difficile. L'émission de rayons gamma, accessible uniquement depuis l'espace car bloquée par l'atmosphère, est très brève, d'une fraction de seconde à quelques dizaines de secondes seulement. Au cours de l'explosion, cette brève et intense lueur gamma est suivie en général par une émission de rayons X qui peut durer jusqu'à quelques heures, elle-même suivie par un rayonnement de lumière visible pendant quelques jours.

Pour détecter, localiser et étudier avec efficacité tous ces phénomènes, SVOM possède quatre instruments :

- **ECLAIRs**, télescope pour détecter et localiser les sursauts gamma dans la bande des rayons X et des rayons gamma de basse énergie. Ce télescope à ouverture codée à grand champ couvre un sixième de l'ensemble de la voûte céleste. Il détectera les sursauts gamma et fournira leur position avec une précision d'une dizaine d'arc minute, le tiers du diamètre apparent de la Lune.
- **MXT** (Microchannel X-ray Telescope), télescope pour l'observation des sursauts gamma dans le domaine des rayons X mous. À petit champ de vue (57x57 minutes d'arc), il détectera l'émission rémanente des sursauts gamma et en fournira la position sur la voûte céleste avec une précision meilleure que 30 secondes d'arc (diamètre apparent de Jupiter) dans 50 % des cas.
- **GRM** (Gamma Ray Monitor), spectromètre gamma à grand champ, qui mesurera le spectre à haute énergie des sursauts gamma.
- **VT** (Visible Telescope), télescope dans le domaine visible et le très proche infrarouge, qui détectera et observera l'émission de lumière produite immédiatement après un sursaut gamma.

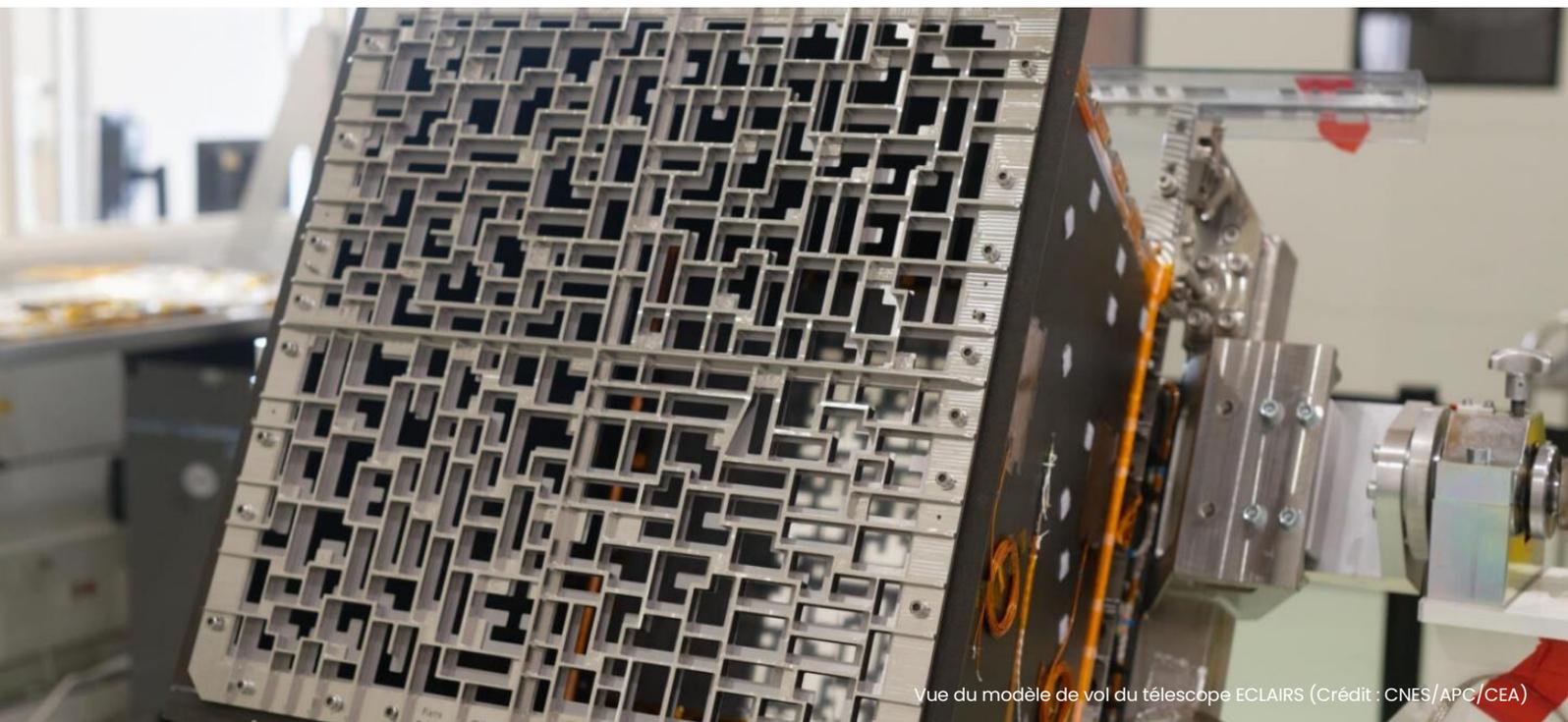
Le satellite pèse au total 930 kg ; il sera placé sur orbite à une altitude de 625 km avec une période orbitale de 96 minutes.



Le masque codé d'ECLAIRS, une merveille de technologie

La localisation d'un sursaut gamma dans le ciel est une tâche bien plus ardue que celle de la lumière visible. C'est pourquoi l'instrument ECLAIRS de SVOM utilise la **technologie innovante du masque codé**, issue de la longue expérience des instruments SIGMA (à bord du satellite franco-russe GRANAT) et ISGRI (à bord du satellite européen INTEGRAL), développés en France par le CEA et le CNES.

Pris en charge par le laboratoire « Astroparticule et cosmologie » (CNRS/Université Paris Cité), le masque codé est une plaque métallique percée de trous. Lorsqu'une source de rayons gamma illumine le masque, elle projette sur le plan de détection un **motif unique** qui permet de reconstituer sa direction. Il s'agit du **premier masque codé autoporteur**, c'est-à-dire qu'il est suffisamment rigide pour résister aux vibrations du lancement, sans nécessiter le recours à une structure porteuse qui dégraderait son fonctionnement. Il est pour cela précisément usiné dans une plaque de tantale de 0,6 mm d'épaisseur et renforcé par deux plaques en titane.

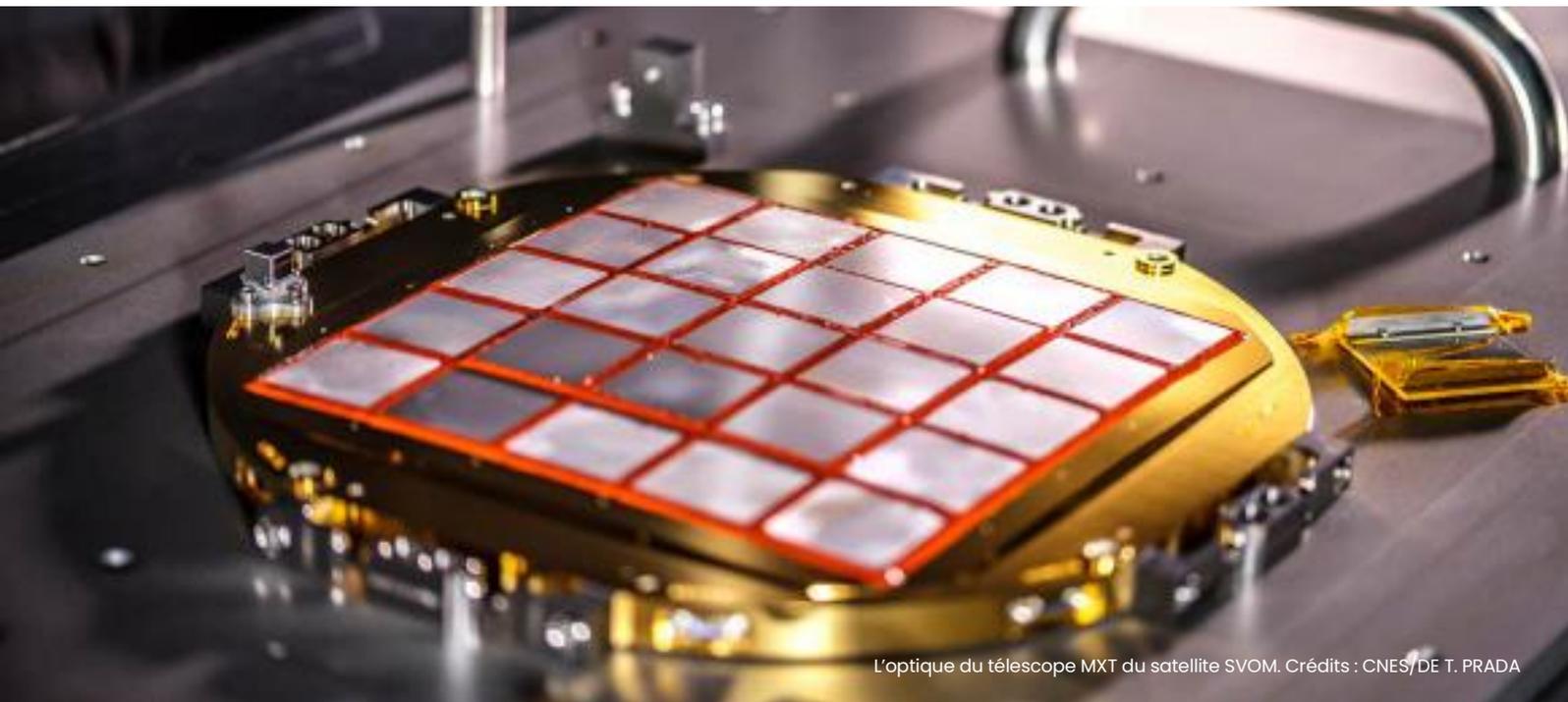


L'œil de homard de MXT, une vision tout azimut

Pour assurer un très grand champ de vue de l'ordre de 1 degré carré, l'instrument MXT bénéficie d'une **optique révolutionnaire**, un concentrateur à galette de micro-canaux qui s'inspire de la structure des yeux de crustacés comme le homard ou la langouste.

Cette optique particulière est constituée d'une mosaïque de micro-tubes faits de verre, de seulement quelques dizaines de microns de côté (inférieurs à la finesse d'un cheveu).

L'optique complète est **un bijou de technologie**, d'une vingtaine de centimètres de diamètre, pour un poids de seulement 1,8 kg, réalisée par la société française Photonis. Elle comporte plusieurs millions de ces micro-tubes, garantissant ainsi de pouvoir **capter le maximum de lumière** dans toutes les directions, comme le font avec efficacité les yeux du homard.



L'optique du télescope MXT du satellite SVOM. Crédits : CNES/DE T. PRADA

UNE COURSE CONTRE LA MONTRE ■

La brièveté des sursauts gamma impose une stratégie très complexe pour la collecte des informations scientifiques.

L'observation d'un sursaut avec SVOM

T0 Arrivée du sursaut gamma

T0 + 30s Détection et première localisation par ECLAIRs

T0 + 2' Alignement de SVOM avec la direction du sursaut

T0 + 5' Localisation plus précise par MXT puis les télescopes opérant dans le visible

T0 + 10' Confirmation du sursaut et de sa localisation ; alerte des télescopes au sol ; début de l'étude détaillée

T0 + 2h Première détermination de la distance du sursaut par un grand télescope

Sur SVOM, le premier instrument à détecter et localiser le sursaut gamma sera le **télescope ECLAIRs**. Une alerte est alors déclenchée au sein du satellite et entraîne automatiquement son repointage pour l'aligner plus précisément dans l'axe de la source et permettre les observations de **suivi des télescopes MXT et VT**. Cette opération s'effectue en moins de 5 minutes.

La détection par le télescope ECLAIRs est le fruit de l'ordinateur embarqué muni de son logiciel, développé pendant six ans au CEA. Il s'agit d'un des logiciels les plus complexes jamais embarqués sur un instrument spatial. En effet, en plus d'assurer la gestion de l'instrument (alimentation, régulation de température, réception et émission des commandes), il analyse en temps réel les signaux du ciel à la recherche des sursauts gamma et **réoriente sans intervention humaine le satellite**, une performance quasi-unique dans le monde spatial.

Parallèlement, le satellite transmet également l'alerte vers le sol par radio grâce à un **réseau d'antennes VHF** déployé tout autour de la Terre. L'information est transmise au centre de contrôle, mais aussi aux deux télescopes robotiques GFT (Ground Follow-up Telescope), qui doivent mesurer avec précision les coordonnées et la distance du sursaut gamma en détectant sa contrepartie visible.

Recevant en temps réel toutes ces données, l'« avocat-sursaut » d'astreinte en salle de contrôle peut alors décider d'interrompre les observations ou au contraire lancer l'alerte, y compris vers les plus **grands observatoires** mondiaux, comme le VLT au Chili ou le GTC au Canaries, qui ont réservé un quota d'heures pour l'observation de ces sursauts.

De plus, l'ensemble de **télescopes au sol GWAC** regardera dans le visible la même zone que celle vue par SVOM, afin d'observer au plus vite le sursaut sans attendre le repointage du satellite à la recherche d'éventuels précurseurs.

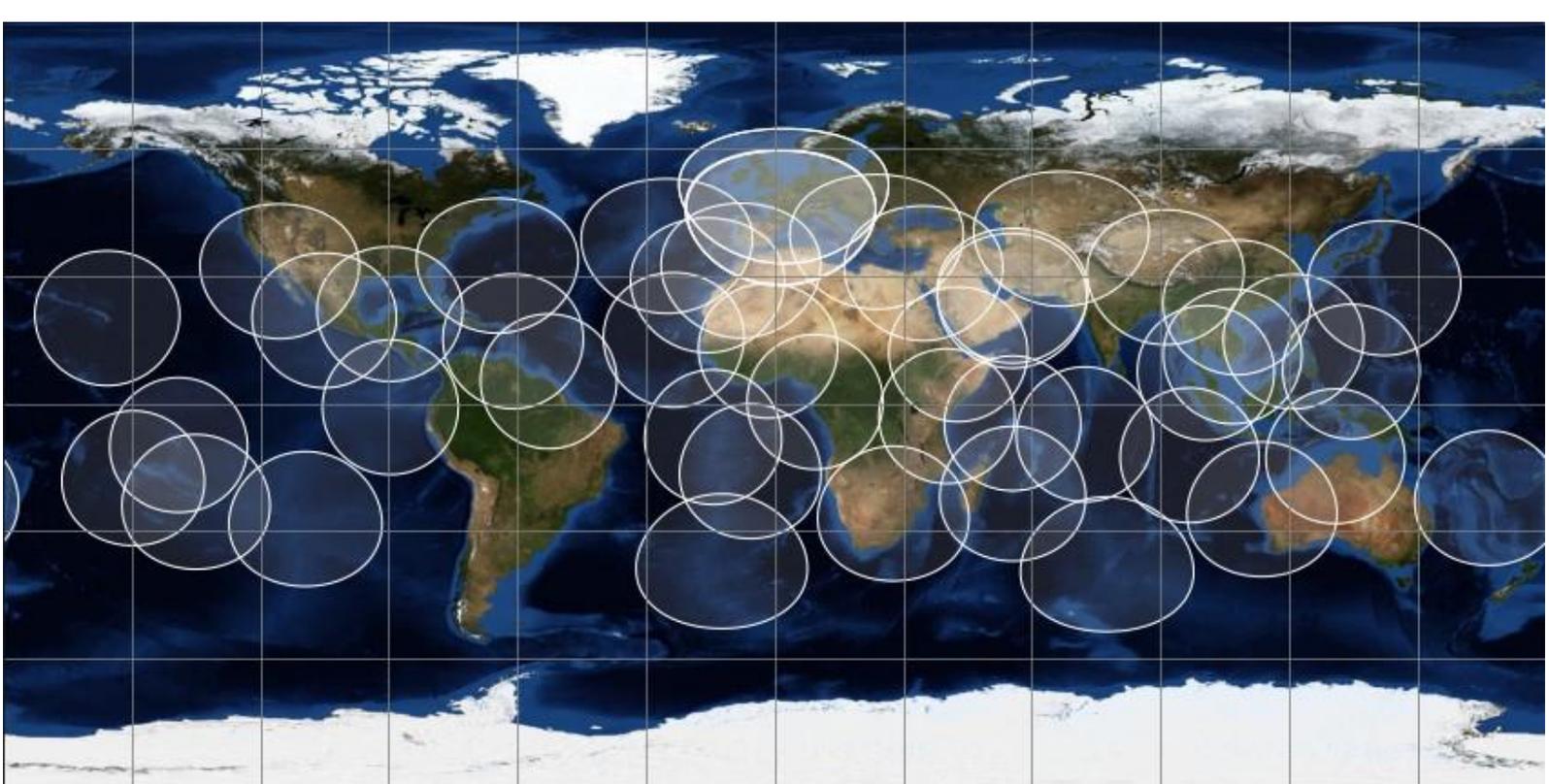
Au cœur de la mission, un réseau VHF sans équivalent

Pour collecter l'information du satellite, vu la brièveté des sursauts gamma, aucun temps mort ne peut être toléré. Cependant, les satellites en orbite basse ne communiquent généralement avec la Terre que 2 à 3 fois par jour, lors de leur passage au-dessus de stations de communication.

Pour pouvoir capter en continu les alertes déclenchées à bord et transmises par radio, un **gigantesque réseau d'alerte** a dû être conçu. Véritable centre nerveux de la stratégie scientifique de la mission SVOM, il est constitué d'une cinquantaine d'antennes VHF disposées autour de l'équateur dans une quarantaine de pays.

Cette nouvelle infrastructure est déjà utilisée par la mission chinoise Einstein Probe pour laquelle une communication en temps réel est aussi essentielle.

En mettant en place ce réseau d'alerte, SVOM implique de nombreux pays qui pourront ainsi développer leur recherche spatiale en accédant aux données de la mission.



UN OBSERVATOIRE AU CŒUR DE LA NOUVELLE ASTRONOMIE ■

Si le cœur de la mission SVOM est de garantir l'observation d'environ 100 sursauts gamma par an, c'est aussi un formidable outil pour observer des phénomènes soudains grâce à sa remarquable combinaison d'instruments déployés, tant au sol qu'à bord du satellite, et sa réactivité sans équivalent.

Des équipes de recherche du monde entier pourront ainsi mettre à profit cette technologie automatisée pour mieux observer les phénomènes cosmiques transitoires, c'est-à-dire des objets éphémères ou dont la luminosité varie dans le temps, tels les supernovæ ou les sources d'ondes gravitationnelles.

Un maillon essentiel pour l'observation des phénomènes transitoires et l'astronomie multi-messagers

La mission pourra réagir à des alertes générées par d'autres observatoires, au sol ou dans l'espace, et pointer alors ses instruments vers l'événement détecté, principalement des éruptions ou fusions de systèmes binaires (étoiles à neutrons et/ou trous noirs) ou des supernovæ. SVOM sera ainsi un partenaire de choix pour d'autres grands programmes d'observation, dont l'Observatoire Vera Rubin au Chili qui scannerá le ciel dans le domaine visible ou le réseau SKA (*Square Kilometre Array*) en construction en Afrique du Sud et en Australie, radiotélescope le plus puissant au monde.

De même, SVOM pourra contribuer à la localisation des sources d'ondes gravitationnelles ou de neutrinos. Il pourra ainsi répondre aux alertes délivrées par les interféromètres d'ondes gravitationnelles LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) aux États-Unis, Virgo en Italie et Kagra au Japon, ou par les télescopes à neutrinos comme IceCube au Pôle Sud ou le KM3NeT (*Cubic Kilometre Neutrino Telescope*) en cours d'installation en mer Méditerranée.

LA CONTRIBUTION FRANÇAISE À SVOM

Le CNES est responsable programmatique de la mission et responsable technique du projet de développement. Il est donc maître d'œuvre des instruments ECLAIRs et MXT.

Les laboratoires scientifiques français du CEA, du CNRS et de leurs partenaires assurent la responsabilité scientifique du projet et, par délégation du CNES, le développement technique de certains produits et des opérations d'exploitation.

Le CEA a la responsabilité scientifique de SVOM, de l'instrument MXT, du segment sol de mission français et de l'instrument center de MXT. Il a aussi la responsabilité technique du développement du centre de mission scientifique de la mission, hébergé au CEA Paris-Saclay, de la caméra MXT et du logiciel de bord qui analysera les données reçues et dirigera en temps réel le satellite vers le sursaut détecté.

Le CNRS a contribué à la réalisation des instruments embarqués ECLAIRs et MXT. Plus précisément, l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie a la responsabilité scientifique de l'instrument ECLAIRs ainsi que la responsabilité technique du développement du plan de détection de l'instrument ECLAIRs. Il participe au développement du segment sol scientifique français et a la responsabilité du développement de l'instrument center de l'instrument ECLAIRs. De plus, il est responsable technique du développement de la caméra infra-rouge (CAGIRE) qui sera installée sur le F-GFT à San Pedro Mártir au Mexique.

Le CNRS apporte également des moyens financiers et humains pour les opérations et l'exploitation scientifique de la mission. Il contribuera notamment au calibrage des instruments, au maintien de l'opérationnalité du système, à l'analyse scientifique des données obtenues et à l'amélioration des logiciels d'analyse scientifique.

Les autres laboratoires français ayant participé au développement de ces deux instruments sont :

- Le laboratoire Astrophysique instrumentation et modélisation (CNRS/CEA/Université Paris Cité) ;
- L'Institut d'astrophysique de Paris (CNRS/Sorbonne Université) ;
- Le Laboratoire de physique des deux infinis Irène Joliot-Curie (CNRS/Université Paris-Saclay) ;
- Le Laboratoire d'astrophysique de Marseille (CNRS/CNES/Aix-Marseille Université) ;
- Le laboratoire Astroparticule et cosmologie (CNRS/Université Paris Cité) ;
- L'Observatoire astronomique de Strasbourg (CNRS/Université de Strasbourg) ;
- Le Centre de physique des particules de Marseille (CNRS/Aix-Marseille Université) ;
- Le laboratoire Galaxies, étoiles, physique et instrumentation (Observatoire de Paris – PSL/CNRS) ;
- Le Laboratoire Univers et particules de Montpellier (CNRS/Université de Montpellier).



Contacts presse :

CEA / Guilhem Boyer / guilhem.boyer@cea.fr / +33 6.73.41.42.45

CNES / Nathalie Blain / nathalie.blain@cnes.fr / +33 6.73.99.02.49

CNRS / Manon Landurant / manon.landurant@cnrs.fr / +33 1.44.96.51.37