

- **Nom du service d'observation :** *SVOM, un observatoire multi-longueurs d'onde pour l'étude des sursauts gamma et du ciel transitoire X et visible*

- **Nom et coordonnées des responsables locaux (Laboratoire, téléphone et Email)**

Atteia, Jean-Luc (ECLAIRs/CAGIRE)	0561332884	jean-luc.atteia@irap.omp.eu
Godet, Olivier (EIC)	0561557536	olivier.godet@irap.omp.eu
Klotz, Alain (GFT)	0561332871	alain.klotz@irap.omp.eu

- **Nom de l'OSU et nom du directeur :**

OMP : P. Soler
IRAP : P. Louarn

- **Numéro de SO auquel le service se rattache:** ANO2, ANO3.

1. Contexte

La mission SVOM (*Space Variable Objects Monitor* - <http://www.svom.fr/>) est une coopération entre l'Agence spatiale chinoise (CNSA) et le CNES. Elle vise à placer en orbite, à 600 km d'altitude autour de la Terre, un satellite dédié à l'observation des sursauts gamma. Ces phénomènes, les plus énergétiques de l'Univers, résultent de l'explosion d'étoiles massives (plus de 20 fois la masse du soleil) mais aussi de la fusion d'objets compacts comme les étoiles à neutrons ou les trous noirs. En garantissant à partir de 2021 l'observation multi-longueurs d'onde d'environ 80 sursauts gamma par an, la mission sino-française SVOM apportera une contribution majeure aux deux axes de recherche les plus féconds ayant émergé des avancées récentes dans l'étude et l'exploitation des sursauts gamma, l'un tenant à l'utilisation des sursauts en cosmologie, l'autre à la compréhension du phénomène lui-même.

La mission repose sur une approche multi-longueur d'onde des sursauts gamma. A bord du satellite seront associés quatre instruments: un imageur X-dur gamma déclencheur de l'alerte du sursaut (ECLAIRs), un ensemble de détecteurs gamma fonctionnant à plus haute énergie (GRM), un télescope X (MXT) et un télescope opérant dans le mode visible (VT). Grâce à ses télescopes spatiaux, SVOM donnera la position du sursaut en temps réel via un réseau d'antennes VHF placé judicieusement sous la trace du satellite à la surface du globe. Cette information sera alors transmise à un ensemble de télescopes robotiques au sol qui prendront le relais afin d'affiner la position et d'évaluer la distance du sursaut.

La labellisation du projet SVOM concerne pour l'instant les services ANO2 et ANO3 respectivement associés aux réalisations instrumentales françaises (ANO2) et à la mise en place du segment sol qui produira les données pour la communauté :

- Conception, réalisation, livraison, tests et intégration des *instruments embarqués*, ECLAIRs et MXT, ainsi que du réseau d'alerte.
- Conception, réalisation, livraison, tests et validation des *télescopes robotiques*.
- **Segment sol :**
 - Conception, développement, tests, validation et livraison des algorithmes, des logiciels et des pipelines de traitement et contrôle qualité des données associés à la modélisation, à la production et à l'exploitation des données.
 - Développement des simulations et des recettes de validation permettant de tester les logiciels.

La mission, le lancement, le satellite et les opérations de la mission SVOM sont sous responsabilité chinoise. La conception et la réalisation des instruments et des composantes sol sont partagées entre la Chine et la France. La contribution française est développée en partenariat avec des laboratoires du CEA/IRFU et du CNRS/INSU dont l'IRAP (Toulouse), l'APC (Paris), le CPPM (Marseille), le GEPI (Paris), l'IAP (Paris), le LAL (Paris), le LAM et l'OHP (Marseille), le LUPM (Montpellier) et l'OAS (Strasbourg).

L'IRAP joue un rôle crucial dans cette mission avec plusieurs responsabilités scientifiques majeures décrites dans le document « Plan de management SVOM – contribution française »

- L'IRAP est PI de l'un des deux instruments fournis par la France, l'imageur grand champ ECLAIRS qui fournira la position initiale des sursauts gamma.

- L'IRAP est PI de l'Instrument Center de ECLAIRS, qui a pour mission le suivi en vol de l'instrument, la gestion de la configuration instrument en vol, la calibration et le support scientifique aux « avocats sursauts ».

- L'IRAP est PI de la caméra infrarouge CAGIRE et « Instrument Scientist » pour le télescope F-GFT de suivi des alertes et d'accompagnement au sol de la mission.

L'IRAP intervient enfin dans plusieurs secteurs du segment sol scientifique : la préparation du programme général (observations réalisées entre les sursauts gamma), la préparation des outils pour l'analyse scientifique des observations fournies par les instruments ECLAIRS, MXT et F-GFT, la mise en place des stratégies de suivi sol des sources transitoires, la constitution des catalogues de sources qui constitueront l'héritage de SVOM et la formation des « avocats sursauts ».

1.1. Tâches de service SVOM à l'IRAP

Les tâches de service sont nombreuses à l'IRAP. Elles sont liées aux réalisations instrumentales en cours, au développement de l'EIC ainsi qu'aux contributions attendues de l'IRAP à la préparation du segment sol scientifique et à l'exploitation scientifique de la mission.

ANO2 : Instrumentation des grands observatoires au sol et spatiaux

ECLAIRS/DPIX : Support aux activités de calibration au sol : analyse des étalonnages de la réponse instrumentale, simulations de l'instrument et de ses performances ; préparation des outils d'analyse des données.

ECLAIRS/EIC : Préparation des outils pour le suivi de l'instrument et sa calibration en vol et simulation des performances en vol de l'instrument. Simulation des performances en vol de l'instrument. Formation des « ECLAIRS scientists » qui seront d'astreinte pour gérer les alarmes en provenance de l'instrument.

CAGIRE : Caractérisation des performances et étalonnages de la réponse instrumentale ; simulations de l'instrument et de ses performances ; préparation des logiciels d'analyse scientifique et des stratégies d'observation dans le proche infrarouge.

ANO3 : Stations d'observation

SVOM/FSC : Outils pour l'analyse scientifique des observations fournies par les instruments ECLAIRS, MXT et F-GFT. Constitution des catalogues des sources nécessaires à l'exploitation en vol de la mission. Préparation et formation des « avocats sursauts » responsables de la gestion scientifique des alertes. Conception et tests du système de déclenchement au sol pour les sursauts gamma, complémentaire du système de déclenchement en vol.

SVOM/Science : Préparation de key programs pour maximiser la synergie entre instruments SVOM et hors collaboration. Préparation du suivi sol multi-longueur d'onde des sources transitoires : stratégies d'observation, mise en place de collaborations, préparation des outils d'analyse scientifique.

Les priorités de l'IRAP pour un recrutement au CNAP sur la mission SVOM sont les suivantes :

- ***Soutenir scientifiquement les équipes en charge des réalisations instrumentales :***
 - *Pour ECLAIRs il s'agit de développer les outils pour l'analyse scientifiques des mesures réalisées avec le prototype (2017-2018) puis avec l'instrument pendant les phases AIT/AIV (2018-2019), ainsi que les outils pour la calibration au sol et en vol de l'instrument qui seront implémentés à l'EIC.*
 - *Pour CAGIRE, il s'agit d'une part de développer les outils d'analyse des mesures réalisées avec la caméra de test puis avec la caméra scientifique (réponse instrumentale), et d'autre part de préparer les outils pour le prétraitement et l'analyse scientifique en temps réel des images de l'instrument.*
- ***Soutenir la préparation scientifique de la mission à IRAP, en permettant une implication forte de l'IRAP dans les activités du segment sol scientifique (French Science Center) qui prépare les outils d'analyse scientifique pour la communauté.***

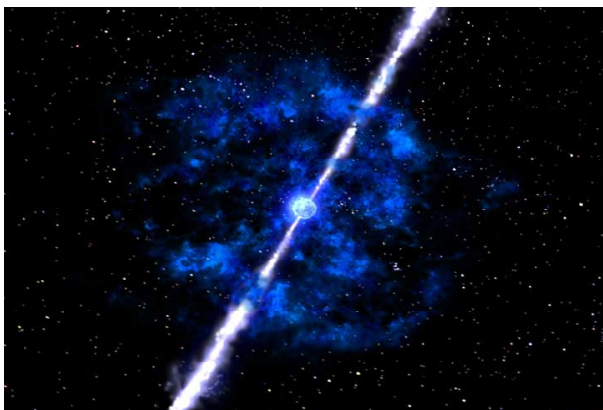
2. Description détaillée du SO SVOM à l'IRAP/OMP

2.1. La mission SVOM.

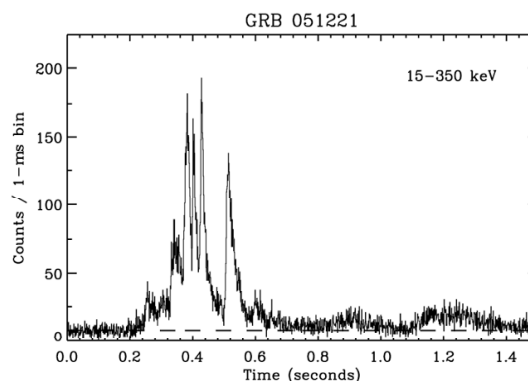
2.1.1. Les sursauts gamma

Les sursauts gamma (voir figure ci-contre) sont les phénomènes astrophysiques les plus violents connus dans l'Univers. Dans le modèle standard, les sursauts gamma sont associés à l'effondrement d'une étoile massive en rotation rapide ou à la coalescence de deux astres compacts (étoiles à neutrons ou trous noirs). Dans les deux cas, le sursaut est associé à la formation d'un trou noir émettant deux jets transitoires de particules relativistes (figure ci-dessous).

Associés à la mort d'étoiles massives, les sursauts gamma constituent des laboratoires exceptionnels pour l'étude des phénomènes d'accrétion/éjection autour des trous noirs, comme pour l'étude des explosions de ces étoiles. Leur exceptionnelle luminosité les rend visibles jusqu'à des décalages vers le rouge cosmologiques $z \sim 10$. Ils permettent ainsi de retracer l'histoire de la formation stellaire depuis les premières galaxies. Potentiellement, ils permettent aussi d'identifier la première génération stellaire qui est en partie responsable de la ré-ionisation de l'univers et de son enrichissement en métaux. Utilisés comme « chandelles standards », ils permettraient d'étendre jusqu'à des redshifts ~ 10 la cartographie de l'univers, alors que les supernovæ le permettent jusqu'à $z \leq 1.7$. Ils pourraient donc fournir d'excellentes contraintes sur les paramètres cosmologiques et sur la nature de l'énergie noire. Phares de lumière de l'Univers lointain, les sursauts gamma permettent de mener les études spectroscopiques des avant-plans, et ainsi de déterminer la composition du milieu interstellaire de la galaxie hôte ainsi que celle des milieux le long de la ligne de visée. Mettant en jeu des processus extrêmes, ils permettent d'étudier la



physique de l'accrétion et de l'éjection de matière. Ces processus encore très mal connus sont communs à de nombreux systèmes astrophysiques. L'observation sur une gamme spectrale étendue des sursauts permet de contraindre une éventuelle violation de l'invariance de Lorentz. La détection simultanée de sursauts gamma courts améliore la capacité de détecteurs d'ondes gravitationnelles (VIRGO/LIGO) à découvrir des événements de type coalescence d'astres ultra compacts. Enfin, la mesure des paramètres clés (distance) de sursauts gamma observés simultanément à très haute énergies (par exemple avec CTA – *Cherenkov Telescope Array*) ouvre la possibilité d'étudier le potentiel des sursauts gamma pour produire des rayons cosmiques de très hautes énergies.



La prochaine mission spatiale approuvée dédiée à l'étude des sursauts gamma est la mission Sino-Française SVOM (Space based multi-band Variable Object Monitor : PI Français B. Cordier du CEA). Prévue pour un lancement à partir de 2021 et une durée de vie nominale de 3 ans, SVOM fournira la localisation rapide et les paramètres spectraux et temporels d'au moins 200 sursauts gamma. Elle permettra de plus d'étudier l'émission prompte et rémanente de ces événements du

domaine visible aux rayons gamma. Une particularité de SVOM est sa capacité à détecter et localiser les sursauts les plus distants (au-delà d'un décalage vers le rouge de 6). Les caractéristiques (position, durée, spectre...) des sursauts gamma détectés par SVOM seront immédiatement et automatiquement distribuées à la communauté astronomique mondiale via des alertes de type **VOEvent**. La mission permettra également de détecter des événements transitoires très énergétiques comme par exemple des dislocations d'étoiles, des *super-flares* stellaires et des sursauts provenant de magnetars.

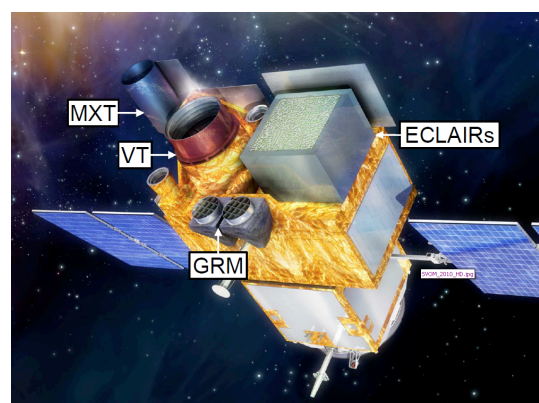
2.1.2. Le Programme Général

Si l'observation des sursauts demeure l'objectif principal de SVOM, pendant 70% de son temps, il sera utilisé comme un observatoire multi-longueur d'onde pour des programmes larges, mais aussi mobilisé rapidement sur alerte pour des observations d'opportunité. Les observations réalisées entre les sursauts constituent ce qu'on appelle le *Programme Général*, ce programme sera défini par les groupes scientifiques SVOM et validé par le *Joint Science Working Group* de la mission. Les objectifs scientifiques de ce programme touchent par exemple les domaines des galaxies, des étoiles, et des objets compacts en général. L'ensemble des instruments de SVOM (en particulier les instruments à petit champ, le VT et le MXT) pourront être utilisés simultanément, y compris les télescopes robotiques sol si le programme le demande. Outre le programme sursaut et le programme général la mission sera aussi ouverte à la communauté, par le biais d'observations en ToO (Target of Opportunity), sous condition d'associer un des co-investigateurs de SVOM à la demande de ToO.

2.1.3. La charge Utile et le segment sol

La mission SVOM est constituée d'un satellite et d'un segment sol dédié. Le satellite sera placé sur une orbite basse peu inclinée ($\sim 30^\circ$) et pointera ses instruments dans la direction opposée au soleil, pour favoriser la détection de sursauts immédiatement observables depuis l'hémisphère nocturne de la Terre. Le segment sol comprendra un ensemble de caméras visibles à grand champ de vue, pour surveiller une fraction significative du champ de vue de ECLAIRs et au moins 2 télescopes robotiques pour l'étude des premières minutes de l'émission visible. La charge utile de SVOM est composée de (voir figure ci-dessous):

- *ECLAIRs*: télescope X-dur grand champ ($\sim 2\text{sr}$) à masque codé fonctionnant dans la gamme 4-150 keV, développé conjointement par l'IRAP (PI), le CEA/Irfu et l'APC. Instrument central de SVOM, il fournira en temps réel les positions des sursauts avec une précision meilleure que 14 minutes d'arc avec un niveau de confiance de 90%.
- *Multi-channel X-Ray Telescope (MXT)* : télescope X (0,3-10 keV ; $1 \times 1 \text{deg}^2$) sous responsabilité française (PI : CEA) qui pourra notamment fournir la position des sursauts avec une précision de quelques secondes d'arc avec un niveau de confiance de 90%.
- *Gamma-Ray Monitor (GRM)* : spectromètre non imageur sous responsabilité chinoise opérant dans la gamme d'énergie 50 keV – 5 MeV.



- *Visible Telescope (VT)* : télescope sous responsabilité chinoise opérant dans le visible avec deux voies B & R simultanées et un champ de vue de 26'. Le VT pourra fournir la position des sursauts avec une précision meilleure que la seconde d'arc.

Cette charge utile est complétée par un émetteur VHF embarqué et par un réseau de stations VHF au sol permettant de distribuer la position des sursauts à l'ensemble de la communauté dans un délai de plusieurs secondes.

Lorsque ECLAIRs localise un nouveau sursaut, l'information sur la position est immédiatement transmise au sol par la liaison VHF, ce qui permet aux télescopes robotiques de mesurer l'évolution de l'émission rémanente visible dès les premières minutes et aux grands télescopes de mesurer le *redshift* de la source.

Sous financement CNES/CNRS/CEA, la France contribue à SVOM en fournissant les instrument spatiaux ECLAIRs et MXT, le réseau VHF, un télescope robotique de suivi des sursauts (en coopération avec un partenaire étranger) et un centre d'analyse scientifique pour la mission (FSC – French Science Center).

2.2. SVOM à l'IRAP/OMP

La participation à la mission SVOM constitue une des priorités affichées de l'IRAP, qui est par ailleurs fortement impliqué dans la partie hardware spatiale (PI de l'instrument ECLAIRs) et dans le segment sol de la mission SVOM (PI de l'EIC et de l'instrument CAGIRE). L'implication de l'IRAP est la suivante :

- Réalisation complète du plan de détection de l'instrument ECLAIRs (DPIX), constitué de 200 modules XRDPIX, composés chacun de 8x4 pixels (4x4x1 mm³) de CdTe à contact Schottky couplés à une électronique bas bruit & basse consommation ASIC IDeF-X. ECLAIRs est actuellement en phase de réalisation, et l'instrument demande un travail technique et scientifique considérable.
- Réalisation de l'électronique de lecture de proximité du DPIX (8 boîtiers ELS) permettant de coder chaque événement en temps, en position sur le DPIX, en énergie et en multiplicité (simple, double, etc...) en temps réel.
- Calibration en énergie du DPIX / validation des performances scientifiques (seuil bas, efficacité quantique, réponse spectrale par exemple)
- Responsabilité du centre de suivi en vol des performances de ECLAIRs (EIC). L'EIC sera en charge de la calibration de l'instrument en vol, la surveillance de l'état de l'instrument moyen et long terme et l'établissement des configurations de l'instrument ECLAIRs pour le plan d'observations hebdomadaire. Les scientifiques travaillant à l'EIC serviront également de supports scientifiques (avec une notion d'astreinte H24) au Burst Advocate, un scientifique de la collaboration SVOM désigné pour valider le trigger ECLAIRs et assurer la coordination du suivi du sursaut.
- Contribution au MXT (préparation de l'analyse des données / participation aux discussions scientifiques du groupe science).
- Responsabilité du Centre de Contrôle/Commande et de planification du télescope robotique GFT. Contribution au traitement automatique des alertes et des données.
- Responsabilité de la caméra infrarouge CAGIRE pour le F-GFT.
- Plusieurs contributions au Centre de Mission Scientifique SVOM (FSC).

- Distribution des alertes à la communauté astronomique mondiale, au travers de plusieurs « avocats sursauts » de l'IRAP.
- Contribution à la définition du Programme Général.
- Contribution au suivi multi longueur d'onde des sources transitoires détectées par SVOM.

2.3. Calendrier

En décembre 2016, le CNES a approuvé le passage de la mission SVOM en phase de réalisation (phases C/D/E1), pour un lancement prévu en 2021. La livraison d'ECLAIRs au CNES aura lieu deux ans avant le lancement, soit fin 2019. La livraison de la caméra CAGIRE au F-GFT aura lieu en 2020.

Les développements instrumentaux s'accompagnent d'un important travail d'analyse des données issues des instruments en cours de développement et de préparation scientifique de la mission.

3. Quelques références récentes

Wei, J., Cordier, B. et al. *The Deep and Transient Universe in the SVOM Era: New Challenges and Opportunities - Scientific prospects of the SVOM mission*, arXiv arXiv:161006892W

Lacombe, K., et al. *Development of a 32-detector CdTe matrix for the SVOM ECLAIRs x/gamma camera: tests results of first flight models*, SPIE 9905, 99050J

Cordier, B., et al. (2015) *The SVOM gamma-ray burst mission*, arXiv arXiv:1512.03323-

Schanne, S., et al. (2014) *A Scientific Trigger Unit for Space-Based Real-Time Gamma Ray Burst Detection, I - Scientific Software Model and Simulations*, arXiv arXiv:1411.7810-

Lacombe, K., et al. (2014) *ECLAIRs detection plane: current state of development*, SPIE 9144, 914451-

Nasser, G., et al. (2014) *The use of Schottky CdTe detectors for high-energy astronomy: application to the detection plane of the instrument SVOM/ECLAIRs*, SPIE 9144, 91443X-

Godet, O., et al. (2014) *The x-/gamma-ray camera ECLAIRs for the gamma-ray burst mission SVOM*, SPIE 9144, 914424-

Mercier, K., et al. (2014) *The French payload on-board the SVOM French-Chinese mission*, SPIE 9144, 914422-

Antier, S., et al. (2014) *Simulations of GRB detections with the ECLAIRs telescope onboard the future SVOM mission*, styd.conf 59-

Lacombe, K., et al. (2013) *Development of a 32-detector CdTe matrix for the SVOM ECLAIRs X/Gamma camera: Preliminary results*, NIMPA 732, 122-

Godet, O., et al. (2012) *The Chinese-French SVOM Mission: studying the brightest astronomical explosions*, SPIE 8443, 84431O-