

Tâche de service SVOM/ECLAIRs

Type (ANO1 à ANO6)	ANO2
Nom du service	SO2 - Instrumentation spatiale
Nom de la tâche	SVOM/ECLAIRs
Labellisation	oui
Nom du responsable scientifique correspondant	Bertrand Cordier
Laboratoire et OSU dont elle relève	IRAP - OMP

Les sursauts gamma comptent parmi les phénomènes les plus lumineux dans l'Univers. Observés à des distances cosmologiques depuis les années 60, ils sont probablement associés au lancement d'un jet ultra-relativiste depuis le voisinage immédiat d'un objet compact nouvellement formé. Outre qu'ils nous renseignent sur la première génération d'étoiles, les sursauts longs sondent l'Univers primordial et l'époque de la réionisation et pourraient un jour servir comme chandelles standards jusqu'à des distances bien plus importantes que les supernovae Ia, apportant ainsi de nouvelles contraintes sur les paramètres cosmologiques et la nature de l'énergie noire. Les sursauts courts ont connu un regain d'intérêt en 2017 après la détection d'un signal d'onde gravitationnelle produit par la coalescence de deux étoiles à neutrons dans l'Univers local : pour la première fois, la détection s'est accompagnée d'une contrepartie photonique avec un sursaut gamma court suivi d'une kilonova. Les découvertes à venir grâce à cette nouvelle astronomie multi-messager sont considérables, parmi lesquelles la structure interne des étoiles à neutrons et leur équation d'état, le mécanisme de formation des trous noirs et de lancement des jets ou encore la nucléosynthèse des éléments les plus riches en neutrons.

Au cours des 15 dernières années, le satellite *Swift* a détecté plus d'un millier de sursauts gamma dont seulement un tiers ont une mesure de décalage vers le rouge. Avec la détection de nombreuses sources transitoires à venir grâce au LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*) et à SKA (*Square Kilometre Array*), un satellite agile et multi-longueurs d'onde capable de fournir rapidement et de façon automatique les positions précises de ces sources (notamment des sursauts gamma) afin de mesurer leur distance est indispensable à l'essor de l'astronomie multi-messagers pour la prochaine décennie. **Le satellite multi-longueurs d'onde sino-français SVOM** (*Space-borne multi-band Variable Object Monitor*), dont le lancement est prévu pour 2021, intègre à la fois des instruments de détection à grand champ de vue (entre 4keV et 5MeV) pour une localisation préliminaire de la source, et des instruments à petit champ de vue pour affiner la boîte d'erreur et assurer le suivi temporel de la contrepartie du visible aux rayons X. Ce dispositif spatial sera complété par un réseau de télescopes robotiques au sol.

La présente tâche de service porte essentiellement sur 2 composantes sous la responsabilité scientifique de l'IRAP : **le télescope grand champ X et gamma ECLAIRs** embarqué sur SVOM, semblable à l'instrument BAT (*Burst Alert Telescope*) sur *Swift*, et **le segment sol associé, l'EIC** (*ECLAIRs Instrument Center*). Le plan de détection développé à l'IRAP doit être livré au CNES début 2020 pour intégration à l'instrument complet ECLAIRs, **ce qui nécessite dès maintenant l'étalonnage du plan de détection et le développement des outils numériques pour ce faire**, afin d'assurer la réussite scientifique de l'instrument. Je me propose de participer à la préparation des essais menés sur le modèle de vol du plan de détection, au développement logiciel, notamment en contribuant à **étalonner le modèle numérique des réponses spectrale et temporelle de l'instrument ECLAIRs** à partir de données expérimentales, et à la validation des performances scientifiques d'ECLAIRs. Au sein de l'EIC, je prendrai part au **développement des fichiers auxiliaires de calibration requis pour l'analyse des données d'ECLAIRs** et aux **activités scientifiques d'avocat sursaut** sous la responsabilité du FSC (*French Scientific Center*).

1 SVOM : charge utile et segment sol

La mission SVOM rassemble un satellite éponyme et un segment sol composé de télescopes robotiques de suivi au sol et d'un réseau d'antennes radio au sol VHF (*Very High Frequency*) pour assurer le relai avec le satellite et communiquer à la communauté scientifique les informations nécessaires au suivi au sol en moins d'une minute. Le satellite comporte plusieurs instruments :

- Développé par l'IRAP, l'IRFU et l'APC et sous maîtrise d'œuvre du CNES, **l'imageur grand champ X durs / gamma ECLAIRs** est doté d'un masque codé qui surplombe un plan focal de détection DPIX, une plaque refroidie à -20°C sur laquelle sont disposés 6400 détecteurs en tellure de Cadmium. Le flux des sources dans le champ de vue passe par le masque et active les détecteurs du DPIX. Ce dispositif confère à ECLAIRs à la fois un large champ de vue et une résolution angulaire suffisamment bonne pour apporter une localisation préliminaire de la source ($\lesssim 13$ minutes d'arc). Une unité de gestion et de traitement scientifique embarquée, l'UGTS (*Unit for detector manaGement, Triggering and Scientific processing*) scanne en temps réel le ciel à la recherche de nouveaux signaux transitoires apparaissant dans son champ de vue de manière autonome. Dès qu'une détection est confirmée et qu'une position a pu être calculée, ECLAIRs envoie cette information à la plateforme pour initier la séquence d'alerte: certains paramètres de la source (e.g. position et flux) sont immédiatement communiqués via les antennes VHF tandis que la plateforme calcule l'itinéraire le plus rapide permettant de pointer les instruments à petits champs de vue vers la position identifiée par ECLAIRs (en moins de cinq minutes dans 50% des cas).
- Un premier instrument à petit champ de vue (un degré carré), le **télescope X MXT** (*Micro-channel X-ray Telescope*, 0.2-10keV), doté d'une meilleure résolution angulaire qu'ECLAIRs, de l'ordre de quelques secondes d'arc.
- Un second instrument à petit champ de vue, le **télescope VT** (*Visible Telescope*), qui apportera une localisation encore meilleure, inférieure à l'arcseconde dans le visible.
- Enfin, le **GRM** (*Gamma Ray Burst Monitor*) dont les 3 détecteurs permettront la localisation grossière de la source par triangulation dans un champ de vue plus large que celui d'ECLAIRs et la mesure du spectre de l'émission prompt jusqu'à 5 MeV, en particulier pour les sursauts gamma courts.

2 Contenu et équipe d'accueil

L'IRAP est considérablement impliqué (i) dans le développement de l'instrument ECLAIRs (conception du plan de détection DPIX et de ses électroniques de lecture, et étalonnage scientifique) dont le laboratoire est PI avec son responsable scientifique Jean-Luc Atteia et (ii) dans le segment sol via l'EIC sous la responsabilité d'Olivier Godet. L'EIC représente 20 personnels scientifiques équivalent temps plein sur la période 2017-2022 et apporte un support scientifique et technique sous différentes formes : préparation du commissionnement de l'instrument (vérification des performances après le lancement et ajustement), surveillance de l'état et de la calibration de l'instrument en vol, suivi de l'évolution des performances de l'instrument, mise à jour des fichiers de configuration pour le bord (opérabilité de la caméra) et auxiliaires (pour le traitement et l'analyse des données), maintenance du logiciel de bord et gestion des alarmes.

Afin d'assurer la livraison du modèle de vol du plan de détecteurs DPIX au CNES début 2020 puis de l'instrument ECLAIRs en Chine pour intégration au satellite fin 2020, il est impératif d'effectuer au plus vite une série de mesures de performance instrumentale. Pour étalonner les **modèles numériques de la réponse spectrale d'ECLAIRs**, je me propose de prendre comme référence

des spectres de sources radioactives simulés par le code Geant4 et de les comparer à ceux mesurés. Je développerai les outils logiciels d'analyse nécessaires pour mener à bien cet étalonnage et pour **calculer certaines tables de configuration pour le bord** telles que les tables des seuils bas des ASICs (*Application-Specific Integrated Circuit*), d'efficacité, de gain, d'offset ou de pixels bruyants/morts. **Le contrôle du bruit** intrinsèque et propagé introduit par les ASICs du DPIX est un enjeu majeur pour éviter que de fausses alertes ne soient déclenchées. Je caractériserai la **réponse temporelle** d'ECLAIRS en calculant les temps morts des détecteurs afin d'en évaluer l'impact sur les flux mesurés. Dans un second temps, ces outils seront en partie intégrés à l'EIC pour **construire les fichiers de calibration en vol**.

3 Evolution de la tâche de service

Dans un second temps se posera la question du legs de la mission avec **l'archivage des données SVOM et leur mise à la disposition** de la communauté scientifique mais aussi des étudiants et du public, du ressort d'une tâche de service ANO5 (Centres de traitement, d'archivage et de diffusion de données). Je souhaiterais participer de deux manières : (i) en développant des outils numériques pour **constituer un catalogue et détecter a posteriori de nouvelles sources**, et (ii) **en organisant les données issues de SVOM dans des formats qui respectent les standards de l'IVOA** (*International Virtual Observatory Alliance*), de façon semblable à ce qui a été réalisé à l'Observatoire de Paris-Meudon par Zakaria Meliani, Franck Le Petit et leurs collaborateurs pour des données de simulation.

A plus long terme, je souhaite mettre à profit l'expérience que j'aurai accumulée avec SVOM pour contribuer à **l'instrument X-IFU** (*X-ray Integral Field Unit*; PI: Didier Barret, IRAP) du satellite Athena (*Advanced Telescope for High ENergy Astrophysics*, Agence Spatiale Européenne) dont le lancement est prévu après 2030. Présentement, Edoardo Cucchetti (IRAP), Etienne Pointecouteau (IRAP) et leurs collaborateurs produisent des observations synthétiques à partir de simulations cosmologiques hydrodynamiques et du simulateur de télescopes X *Sixte*. A terme, le simulateur *end-to-end* d'X-IFU et les outils d'analyse bénéficieront de ceux développés pour la mission SVOM.

4 Compétences pour la tâche de service

Mon activité scientifique ces cinq dernières années a été résolument tournée vers la programmation de modules destinés à produire et analyser des données de simulation en tout point semblables à celles issues des expériences que j'ai menées à bien pendant mon cursus (en particulier pendant l'année de préparation à l'Agrégation). La gestion en temps réel de données volumineuses est un problème que je résous régulièrement en recourant à des méthodes de parallélisation des tâches allouées à différents processeurs (e.g. avec le protocole de communication MPI et l'interface pour architectures à mémoire partagée OpenMP). J'ai su m'adapter à des environnements de travail pré-existants tels que des packages et des codes particulièrement sophistiqués dont la documentation n'était pas toujours exhaustive. J'ai appris à développer rapidement en équipe des ensembles de scripts complexes, documentés en détail (e.g. avec Doxygen) et robustes en me servant des systèmes de contrôle de versions et de partage des tâches (e.g. Git), une qualité précieuse pour garantir la livraison d'ECLAIRS dans les temps. Ma versatilité numérique garantit que je pourrai être opérationnel dès mon affectation, quels que soient les langages et conventions au sein de l'équipe d'accueil.

Pendant mon cursus, j'ai aussi acquis les connaissances théoriques et pratiques pour caractériser la réponse spectrale d'une matrice de pixels. Lors des dix jours d'observation qui m'ont été alloués à l'Observatoire du Mont Mégantic (Canada) par exemple, j'ai réalisé des mesures de vitesses radiales sur des systèmes binaires d'étoiles en recourant à une caméra CCD que j'ai d'abord dû calibrer.