



Proposition de sujet de stage – printemps 2026

Étude spectro-temporelle en rayons X du pulsar GX 301-2 : dynamique du spin et accréation dans un système binaire de forte masse

Contexte scientifique : processus d'accréation-éjection

La compréhension des processus d'accréation et d'éjection de matière au voisinage des objets compacts constitue l'un des défis majeurs de l'astrophysique des hautes énergies. L'étude de ces processus et de leurs connexions avec l'astronomie multi-messager comptent parmi les priorités de ce domaine de recherche. Depuis juin 2024, les missions spatiales SVOM et Einstein Probe jouent un rôle de premier plan dans l'astronomie du ciel transitoire.

Les missions SVOM et Einstein Probe

La mission spatiale SVOM a été mise en orbite en juin 2024 avec 4 instruments à bord dont l'instrument ECLAIRs qui observe le ciel dans le domaine des rayons X durs (4-150 keV) grâce à son champ de vue atteignant 2 sr, un instrument gamma (GRM) qui étend la couverture spectrale jusqu'à 5 MeV, et deux télescopes petit champs, le VT (Visible Telescope) et MXT dans le domaine 0.2-10 keV. L'objectif d'ECLAIRs est de détecter des sources transitoires comme les sursauts gamma, sa cible principale, mais également de faire une surveillance du ciel pour détecter des sursauts d'activité d'objets accrétants comme les noyaux actifs de galaxie ou bien les systèmes binaires abritant un objet compact. Le laboratoire APC est responsable du développement du pipeline scientifique de traitement des données de l'instrument ECLAIRs, qui seront utilisées en grande partie pour l'étude que nous proposons, complétées par les données de l'instrument MXT. Par ailleurs, l'équipe de l'APC est responsable de deux des trois programmes d'observations de la mission.

Einstein Probe est une mission spatiale chinoise avec une contribution européenne significative, centrée sur l'astronomie des phénomènes transitoires grâce à son Télescope à Grand Champ de Vue (WXT) couvrant environ 3600°^2 . Lancé en janvier 2024, ce nouveau satellite à rayons X de basse énergie est un instrument extrêmement puissant pour détecter de manière systématique les événements transitoires. Le satellite est également équipé d'un télescope de suivi à rayons X sur un plus petit champ de vue (FXT), qui permet, grâce à sa sensibilité accrue, de mesurer avec précision les caractéristiques spectrales des sources observées.

Objectifs du stage : suivi et caractérisation spectro-temporelle du système binaire GX 301-2

Les systèmes binaires X sont constitués d'un objet compact, étoile à neutrons ou trou noir, en interaction avec une étoile compagnon. Sous l'effet du fort potentiel gravitationnel de l'objet compact, une partie de la matière de l'étoile compagnon est accrétée par l'objet compact. Cette matière forme un disque d'accréation qui, en se réchauffant par friction, émet un rayonnement intense dans le domaine des rayons X.

GX 301-2 est un système binaire X de forte masse abritant un pulsar en orbite autour d'une étoile hypergéante bleue d'environ 40 masses solaires. Le système possède une période orbitale d'environ 40 jours, au cours de laquelle l'étoile à neutrons traverse des régions de densité variable dans le vent stellaire de son compagnon. Lors du passage au périastre, l'accréation devient particulièrement efficace, entraînant une forte augmentation du flux X liée à la hausse du taux d'accréation de matière. Le pulsar présente une période de rotation d'environ 680 s, ce qui en fait l'un des plus lents de sa catégorie. Il montre également une évolution temporelle complexe de son spin, marquée par plusieurs épisodes d'augmentation de la fréquence de rotation ("*spin-up*") depuis 2008. Des travaux récents suggèrent de plus que le pulsar pourrait être en rotation rétrograde par rapport au mouvement orbital du système ; une hypothèse encore sujette à débat.

L'objectif de ce stage est d'étudier en détail l'évolution du spin et des processus d'accréation dans le système GX 301-2 à partir des observations récentes obtenues avec les instruments embarqués sur les missions SVOM et Einstein Probe. Le travail consistera à mesurer l'évolution de la fréquence de rotation du pulsar depuis le lancement de ces missions, afin de rechercher d'éventuels nouveaux épisodes de *spin-up* et de comparer cette évolution à celle observée lors de précédentes campagnes afin de mieux comprendre l'origine physique de cette évolution. En parallèle, une analyse spectrale sera menée pour suivre l'évolution du flot d'accréation en fonction de la phase orbitale. Ce suivi spectral complet au cours du cycle orbital (périastre, apoastre et phases intermédiaires) permettra d'étudier la variabilité du flux X, de l'absorption et des raies de fluorescence du fer (Fe K α), fournissant ainsi des contraintes sur la structure et la dynamique du vent stellaire de l'étoile compagnon. L'analyse permettra également de caractériser les raies

cyclotrons et d'étudier leur évolution avec la phase orbitale du système, afin de mieux comprendre la distribution du champ magnétique et les conditions physiques dans la région d'accrétion.

Ce projet de stage s'appuie sur des données inédites et présente ainsi un fort potentiel de valorisation scientifique, pouvant mener à une publication. Il s'inscrit dans les activités du groupe de travail *Observatory Science* du consortium SVOM, dont l'équipe de l'APC assure la co-responsabilité.

Sujet de thèse

L'équipe d'accueil propose un sujet de thèse dans la continuité du travail effectué durant le stage, portant sur l'étude des processus d'accrétion et d'éjection de matière à partir des données des missions SVOM et Einstein Probe.

Le/la candidat.e pourra choisir les sources étudiées en fonction de ses centres d'intérêt (étoiles à neutrons, trous noirs de masse stellaire ou supermassifs) et des opportunités qui se présenteront au sein de la collaboration.

Outre les données issues de SVOM et d'Einstein Probe, le projet de thèse s'appuiera également sur des observations multi-longueurs d'onde et multi-messagers disponibles au sein du groupe *Astrophysique des Hautes Énergies (AHE)* du laboratoire APC.

L'expérience acquise par le/la candidat.e lors du stage, notamment dans l'utilisation des outils d'analyse des données des instruments SVOM et Einstein Probe, lui permettra de jouer un rôle de premier plan dans l'exploitation scientifique de ces données.

Idéalement, nous souhaiterions donc que le/la stagiaire manifeste un intérêt à poursuivre ce travail dans le cadre d'une thèse.

Equipe d'accueil

Le stage se déroulera au laboratoire APC (AstroParticules et Cosmologie, Paris 13ème) au sein de l'équipe SVOM intégrée au groupe Astrophysique des Hautes Énergies (AHE). Les responsables du stage sont Floriane Cangemi (Maîtresse de conférences à l'Université Paris-Cité) et Alexis Coleiro (Maître de conférences à l'Université Paris-Cité).

Contact: cangemi@apc.in2p3.fr ; alexis.coleiro@u-paris.fr