

**Titre/Title :** Etudes spectro-polarimétriques de microquasars en rayons X et Gamma.

**Directeurs :**

Jérôme Rodriguez (ingénieur CEA) et Philippe Laurent (ingénieur CEA) - (AIM-UMR 7158 / AIM - Laboratoire d'études des phénomènes cosmiques et haute énergie)

**DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE :**

Les binaires X sont des systèmes binaires serrés contenant une étoile « normale » et un objet compact (trou noir ou étoile à neutrons). Le potentiel gravitationnel intense de l'objet compact permet l'extraction et finalement l'accrétion d'une partie de la matière de l'étoile compagne. La matière en tombant forme un disque d'accrétion dont la température au niveau des régions proche de l'accréteur est de l'ordre de plusieurs millions de degré ce qui est source d'un intense rayonnement de type corps noir dont le pic du spectre est dans les rayons X (à typiquement 1 keV). Une autre composante spectrale est aussi habituellement détectée. Le spectre de cette dernière est une loi de puissance qui s'étend typiquement jusque 100-200 keV, mais qui a aussi été vue jusque dans les rayons gamma (1-10 MeV). L'origine de cette composante de haute énergie est âprement débattue. Elle pourrait être due à une Comptonisation inverse des photons mous du disque par un plasma hybride (thermique-non thermique) aussi appelé couronne. D'autres travaux penchent pour une émission synchrotron et synchrotron self-compton due à la présence d'un jet de matière. La réalité pouvant être un mélange des deux. L'origine de cette composante est d'importance capitale puisque chaque modèle implique des canaux énergétiques et des rétro-actions sur le milieu interstellaire fondamentalement différents.

Des observations polarimétriques du microquasar prototypique Cygnus X-1 ont montré, grâce à la détection de rayonnement gamma polarisé, que le jet était responsable de la composante 500 keV-1MeV (Laurent et al. 2011, Rodriguez et al. 2015) bien qu'au-dessous de cette énergie l'émission était plutôt typique d'un rayonnement Compton. Mais une généralisation de ces résultats est nécessaire pour pouvoir conclure définitivement.

Le but de la thèse est d'étudier les propriétés des composantes de haute énergie dans d'autres microquasars de manière systématique et cohérente. Le travail de fond de la thèse sera donc d'exploiter la large archive de données du satellite INTEGRAL, dont le Service d'Astrophysique a développé l'instrument principal utilisé dans ce projet, mais aussi de nouvelles données obtenues d'une part grâce aux programmes de cibles d'opportunité dans lesquels l'équipe est incluses (à haute énergie mais aussi en radio), mais aussi à partir du satellite Japonais Astro-H (lancement courant 2016) dont l'un d'entre nous est co-I. Le travail pourra débiter par l'analyse des données du microquasars V404 Cyg dont l'éruption a eu lieu en Juin-Juillet 2015, et qui est devenu, pendant cette période l'objet X le plus brillant du ciel.

**DESCRIPTION GROUPE/LABO/ENCADREMENT**

Le travail se déroulera dans le laboratoire d'étude des phénomènes cosmiques de hautes énergies (LEPCHE) du service d'astrophysique, avec éventuellement une collaboration avec les laboratoires IPAG et IRAP de Grenoble et Toulouse, et l'observatoire de Bamberg en Allemagne. Jérôme Rodriguez et Philippe Laurent sont spécialistes des binaires X à trous noirs et chacun apportera un aspect original au programme. Le travail se fera en collaboration avec S. Corbel (et son/ses doctorants), radio-astronome, aussi membre de la collaboration Fermi, satellite d'observation en rayons gamma de très haute énergie (> GeV). Jérôme Rodriguez est spécialiste des observations en rayons X mou et gamma mou, et membre de la collaboration INTEGRAL. Philippe Laurent est membre de la collaboration INTEGRAL et Astro-H et aussi un théoricien spécialiste du transfert de rayonnement et des phénomènes de Comptonisation.

Le LEPCHE est le laboratoire où les méthodes d'analyses (non-standard) polarimétriques de l'instrument IBIS sur INTEGRAL ont été développées et l'unique laboratoire mondial où les propriétés multi-longueurs d'ondes, spectroscopiques et polarimétriques sont menées à l'heure actuelle.

### **TRAVAIL PROPOSE**

Le travail sera divisé en plusieurs parties :

- Le doctorant commencera par séparer les observations en états spectraux, puis l'analyse spectroscopique de chaque état sera effectuée. L'accumulation d'un grand nombre d'observations permettra d'augmenter la significativité de détection de l'émission de haute énergie.
- Les propriétés spectrales – indice de photon, énergie de coupure, flux – de cette composante seront étudiées et comparées aux propriétés multi-longueur d'onde de la source en question (position dans un diagramme couleur-intensité, présence d'un jet, propriétés du disque d'accrétion). L'idée sous-jacente est de sonder l'origine du milieu émetteur de cette composante de haute énergie, son énergétique, et la connexion avec l'état spectral, et potentiellement le type d'éruption.
- L'approche systématique présentée ci-dessus sera menée en parallèle avec une étude polarimétrique des émissions de haute énergie. Ce faisant plusieurs aspects peuvent être étudiés :
  1. On vérifiera si, comme dans Cygnus X-1, la polarisation gamma est détectée dans d'autres sources.
  2. On pourra établir les propriétés de polarisation large bande et ainsi apporter de nouvelles contraintes sur les processus émissifs.
- Le doctorant s'appuiera sur les données d'archives et les données « fraîches » auxquelles l'équipe a accès avec INTEGRAL, mais aussi en radio grâce à des programmes de suivis en collaboration avec les membres du LEPCHE, et dans un futur proche les données X du satellite Astro-H seront aussi exploitées.

### **FORMATION ET COMPETENCES REQUISES**

Stage de master 2 préalable proposé par l'encadrant. Un master 2 en astrophysique, plus un goût prononcé pour l'observation, la réduction et l'analyse des données. Quelques connaissances en astrophysique des hautes énergies. Connaissance de l'environnement UNIX/LINUX/OS X. Eventuellement programmation en python.

### **COMPETENCES ACQUISES**

- Autonomie, synthèse de résultats et écriture de rapports (anglais et français), présentations orales (anglais et français), gestion d'un projet (scientifique), travail en équipe et interaction.
- Manipulation de l'outil informatique, programmation (basique), scripting, langage UNIX/Linux
- Analyse de données et esprit critique.
- Techniques de mesure de rayonnement de haute énergie (divers type de télescopes X utilisés), éventuellement observations dans le domaine radio