

# Projet de thèse doctorale en astrophysique



Observatoire astronomique  
de Strasbourg

## Modéliser la polarisation des rayons X émis par les systèmes de trous noirs accrétants

Projet de thèse au sein de l'Équipe Hautes Énergies  
de l'Observatoire Astronomique de Strasbourg

Co-direction de la thèse par

*René Goosmann*

*Delphine Porquet*

### **Contexte scientifique du projet**

Les trous noirs accrétants se manifestent dans deux domaines principaux : les trous noirs supermassifs dans les noyaux actifs de galaxies (AGN) et les trous noirs de masse stellaire dans les systèmes de binaires-X (BHXRBS). Les fortes luminosités des AGN et des BHXRBS sont dues à l'accrétion de matière sur le trou noir central. Très proche du trou noir existent à la fois des flots d'accrétion et des flots d'émission dont les géométries ne sont pas encore connues en détail. On suppose qu'une grande partie de l'accrétion s'effectue par un disque qui produit la composante thermique du spectre. A cette composante s'ajoute un spectre de rayons X dont le mécanisme d'émission n'est pas encore bien compris. A proximité du trou noir, on s'attend également à constater la présence de fortes éjections qui sont observées dans nombreuses AGN et dans quelques BHXRBS. Une explication de l'accélération de ces vents reste également à trouver.

Les régions les plus proches des trous noirs doivent être examinées dans le domaine des rayons X. Des progrès importants ont été faits par les moyens de la spectroscopie et de l'analyse temporelle des données obtenues par les plus récents observatoires spatiaux (*XMM-Newton*, *Chandra*, *Suzaku*, *Integral*). Cependant, nous sommes actuellement au seuil d'une nouvelle époque observationnelle dans le domaine des rayons X qui va bientôt inclure la technique de la polarimétrie. Le montage d'un polarimètre est prévu sur plusieurs missions du futur proche : pour la mission *GEM SMEX* (lancement planifié pour 2014), la polarimétrie des rayons X sera l'objectif scientifique principal. Le projet *NHXM* actuellement examiné par l'agence spatiale italienne prévoit même des polarimètres dans les deux bandes des rayons X mous et durs. A plus long terme, le projet de mission à grande taille *IXO* peut encore renforcer la capacité de la polarimétrie des rayons X.

Le transfert de rayonnement dans l'environnement immédiat des trous noirs est complexe et inclut différents processus d'émission et de reprocessing. Vu que les régions centrales des trous noirs accrétants ne peuvent pas être analysées par des méthodes d'imagerie, la polarisation induite par des effets de diffusion offre un outil important pour décoder le couplage radiatif des différents milieux. Pour l'interprétation des futures données de polarisation des rayons X, il est crucial que les modèles du transfert de rayonnement soient assez développés et exacts. Le projet de modélisation proposé ici s'insère dans ce contexte.

## **Stratégie de la thèse et collaborations internationales**

Partant des AGN, le sujet de thèse proposé porte sur la modélisation complexe des effets de transfert radiatif sur la polarisation des rayons X émis à proximité d'un trou noir. Pour cet objectif, on se sert du code *STOKES* qui permet de modéliser le transfert de la polarisation dans le domaine spectral des rayons X. On peut spécifier la géométrie, la dynamique et la composition des régions d'émission et de reprocessing dans l'environnement du trou noir. Le code calcule par la suite le flux spectral et la polarisation en fonction de l'énergie de photon et de l'angle d'observation. Il est également possible d'inclure des effets d'évolution temporelle dans ce type de modèle. Le reprocessing se fait dans des plasmas ionisés et les profils de température et d'ionisation dans ces milieux doivent être obtenus en appliquant le code de photoionisation *TITAN*. Pour les régions les plus proches du trou noir, il est indispensable d'inclure les effets de la relativité générale dans le transfert de rayonnement ce qui nécessite de coupler *STOKES* avec la méthode de ray-tracing *KY*.

En combinant les différentes méthodes de transfert de rayonnement (*STOKES*, *KY*, *TITAN*), le projet de thèse prévoit le calcul d'un ensemble de modèles de polarisation pour les AGN et les BHXRBs. Comme le premier paramètre de Stokes d'un rayonnement représente son intensité, les calculs de la polarisation vont automatiquement inclure des modèles de spectroscopie et de variabilité. Ceci ouvre la voie à l'évaluation des modèles à l'aide des données de *XMM-Newton*. Puis, il est possible d'utiliser les modèles afin de trouver des prédictions pour les observations futures avec les missions spatiales dédiées à la polarimétrie des rayons X.

Ce projet de thèse entre dans un réseau de travail international. Nous maintenons une collaboration fructueuse avec l'équipe d'astrophysique relativiste à l'Institut d'Astronomie de Prague (République tchèque) et avec une équipe à l'Université de Rome III (Italie) qui développe des polarimètres de rayons X pour les futures missions spatiales.

## **Résumé des objectifs principaux du travail de thèse**

- Calcul d'un grille de profil de température et d'ionisation pour un disque d'accrétion situé autour d'un trou noir et irradié par des rayons X
- Calcul du spectre et du signal de polarisation des rayons X pour la grille de modèle de disque irradié en incluant les effets relativistes proche du trou noir et en variant la géométrie d'irradiation du disque
- Analyse de données de spectroscopie et de variabilité de *XMM-Newton* à l'aide de la grille de modèle obtenue
- Obtention de simulations pour les futures observations de polarimétrie des rayons X à la base des modèles et des contraintes observationnelles obtenus

## **Responsable du projet de thèse / contact**

René Goosmann  
Observatoire Astronomique de Strasbourg  
Équipe Hautes Énergies  
11 rue de l'Université  
F-67000 Strasbourg

Tél.: +33 3 68 85 23 93  
Fax: +33 3 68 85 24 32  
Email: [goosmann@astro.u-strasbg.fr](mailto:goosmann@astro.u-strasbg.fr)