Doctorat de l'Université PSL
préparé à l'Observatoire de Paris

AVIS DE SOUTENANCE

Irene URSO

Astronomie et astrophysique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Contraindre la nature d'objets compacts via l'observation interférométrique de trous noirs

Soutenance prévue le **13 octobre 2026** à **14h00**

Lieu : Salle de conférence du Château
Observatoire de Paris, 5 place Jules Janssen, 92195, Meudon

Composition du jury proposé

M. Frédéric VINCENT	Chargé de recherche	Observatoire de Paris - LIRA	Directeur de these
M. Cédric DEFFAYET	Directeur de recherche	École Normale Supérieure - LPENS	CoDirecteur de these
Mme Marie-Christine ANGONIN	Professeur des universités	Observatoire de Paris - LTE	Membre du jury
M. Eugeny BABICHEV	Directeur de recherche	IJCLab	Rapporteur du jury
M. Julien MALZAC	Directeur de recherche	IRAP	Rapporteur du jury
Mme Delilah GATES	Chercheuse postdoctorale	Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian	Membre du jury

Mots-clés : Trous noirs,Accrétion,Gravitation,Processus relativistes,

Keywords : Black holes,Accretion,Gravitation,Relativistic processes,

Résumé :
Les avancées récentes dans les observations électromagnétiques des trous noirs supermassifs (TNSMs) ont révolutionné notre capacité à sonder la relativité générale (RG) dans le régime de champ fort, où elle reste encore peu testée. Deux installations sont au cœur de ces études : l'instrument GRAVITY du Very Large Telescope Interferometer, qui surveille le mouvement astrométrique de la matière à proximité du TNSM situé au centre de notre Galaxie, Sgr A*, et l'Event Horizon Telescope (EHT), qui a fourni les premières images à l'échelle de l'horizon de Sgr A* et de M87*, ce dernier étant situé dans l'amas de la Vierge. Dans un avenir proche, les améliorations des capacités observationnelles, permises par le Next Generation EHT et des projets d'interférométrie spatiale tels que le Black Hole Explorer et SHARP, permettront l'acquisition d'images de plus haute résolution et même de films de ces environnements extrêmes, renforçant ainsi le besoin de prédictions théoriques détaillées et de simulations numériques réalistes. Cette thèse de doctorat contribue à

ces efforts en explorant ces deux voies émergentes, en se concentrant sur l'étude de caractéristiques fines de l'image actuellement non résolues produites par des trajectoires photoniques fortement courbées, appelées « anneaux de photons », ainsi que sur l'analyse de la variabilité temporelle dans des séquences d'images de trous noirs. Concernant la première direction de recherche, en considérant des écarts paramétrés à la RG et un modèle simplifié, nous montrons que des déviations gravitationnelles dans M87* pourraient être détectées dans les mesures des anneaux de photons malgré les incertitudes astrophysiques. Nous présentons également les premières étapes vers l'extension de ces résultats à des configurations plus complexes et à des paramétrisations physiquement mieux motivées. Pour la seconde approche, nous décrivons comment les effets différentiels de propagation de la lumière façonnent la variabilité intrinsèque d'une structure compacte de plasma énergétique, un « point chaud », en orbite autour de Sgr A*, et montrons que ces signatures peuvent, en principe, être utilisées pour contraindre les propriétés astrophysiques de l'émetteur, l'orientation relative de l'observateur, ainsi que les propriétés de l'espace-temps du trou noir. En vue d'applications prospectives aux données réelles, nous présentons aussi des extensions du cadre de modélisation, notamment l'implémentation de disques d'accrétion fluctuants analytiquement traitables, sur lesquels des analyses similaires pourront être réalisées.

Summary :

Recent advances in electromagnetic observations of supermassive black holes (SMBHs) have revolutionised our ability to probe general relativity (GR) in the strong-field regime, where it remains poorly tested. Two facilities are at the core of these investigations: the GRAVITY instrument at the Very Large Telescope Interferometer, which monitors the astrometric motion of matter close to the SMBH at the centre of our Galaxy, Sgr A*, and the Event Horizon Telescope (EHT), which delivered the first horizon-scale images of both Sgr A* and M87*, the latter being located in the Virgo Cluster. In the near future, enhancements to observational capabilities, provided by the Next Generation EHT and space-interferometry projects like the Black Hole Explorer and SHARP, will enable the acquisition of higher-resolution images and even movies of these extreme environments, thereby increasing the need for detailed theoretical predictions and realistic numerical simulations. This Ph.D. thesis contributes to these efforts exploring both emerging avenues, focusing on the study of currently unresolved narrow image features produced by highly lensed photon trajectories, known as “photon rings”, and the analysis of temporal variability in black hole image sequences. Regarding the first research direction, by considering parametrised departures from GR and a simplified model, we find that gravitational deviations in M87* could be detected in photon-ring measurements despite astrophysical uncertainties. We also present the first steps towards extending these results to more complex configurations and more physically motivated parametrisations. As for the second approach, we describe how differential light-propagation effects shape the intrinsic variability of a compact energised plasma structure, a “hot spot”, orbiting around Sgr A* and show that these signatures can, in principle, be used to constrain the astrophysical properties of the emitter, the relative orientation of the observer, as well as the properties of the black hole spacetime. With prospective applications to real data in mind, we also outline extensions of the modelling framework, namely the implementation of analytically tractable fluctuating accretion discs on which similar analyses can be performed.