



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

The ins and outs of emission from accreting black holes

Drappeau, S.

Publication date
2013

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Drappeau, S. (2013). *The ins and outs of emission from accreting black holes*. [Thesis, fully internal, Universiteit van Amsterdam].

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Cette thèse traite des objets les plus puissants et énigmatiques que l'Univers contienne, à savoir les trous noirs accrétants. Les travaux effectués dans ce domaine permettent d'explorer les phénomènes physiques aux abords des trous noirs, phénomènes produits dans des conditions physiques extrêmes, impossibles à reproduire sur Terre.

Mon travail a consisté à mieux appréhender les émissions produites par les systèmes de trous noirs accrétants. Pour cela, j'ai analysé l'importance, dans les simulations numériques de fluides magnétohydrodynamiques en relativité générale (GRMHD), des processus radiatifs sur la dynamique des fluides s'accrétant sur le trou noir super massif se trouvant au centre de notre Galaxie, Sgr A* (Chapitre 2). Dans le Chapitre 3, j'ai étudié les effets qu'un traitement cohérent et interne des processus radiatifs dans les simulations GRMHD a sur les spectres simulés. Enfin dans le Chapitre 4, j'ai examiné la contribution des protons à l'émission à haute énergie des systèmes de trous noirs accrétants. J'y présente aussi un nouveau modèle spectral semi-analytique de jets. Ce modèle spectral est ensuite utilisé afin d'analyser des observations quasi-simultanées, de la radio aux rayons γ mous, de la source Cygnus X-1.

Les trous noirs accrétants et leurs émissions

Les trous noirs sont des singularités gravitationnelles qui attirent les gaz interstellaires vers leurs centres et convertissent ainsi l'énergie potentielle de ces gaz en énergie cinétique. Dans le même temps, ces gaz, ou nuages de gaz, se heurtent les uns aux autres, ce qui a pour conséquence de convertir une partie de leur énergie cinétique en énergie thermique. Dus aux collisions, ces nuages de gaz se retrouvent en orbites circulaires autour des trous noirs. Les nuages étant de tailles finies, les gaz se trouvant au plus proche du trou noir gravitent plus rapidement que ceux se trouvant au plus

loin, créant ainsi une rotation différentielle. Cette rotation différentielle, ainsi que la viscosité présente dans les nuages, font que les gaz perdent de l'énergie sous forme de chaleur et s'accrètent autour du trou noir en des orbites de plus en plus proches. Ce processus forme un disque d'accrétion autour du trou noir.

Deux types de trous noirs accrétants sont examinés dans cette thèse : ceux de masse stellaire et ceux super massifs. Les trous noirs de masse stellaire se forment à partir d'étoiles massives. Lors de leur mort, le coeur de ces étoiles s'effondre, produisant le trou noir. Les trous noirs super massifs se sont formés de façon différente, probablement lorsque l'Univers était très jeune, par l'agglomération de plusieurs petits trous noirs, puis en s'accroissant par l'accrétion des gaz environnants. Les trous noirs accrétants de masse stellaire se trouvent dans des systèmes nommés systèmes binaires à rayons X (*X-ray binaries* ou XRBs). Ces XRBs sont une classe d'étoiles binaires lumineuse en rayons X. Les trous noirs accrétants super massifs se trouvent quand à eux aux centres des galaxies et forment ce que nous appelons les noyaux actifs de galaxies (*Active Galactic Nuclei* ou AGN). Malgré l'énorme différence d'échelle entre ces deux types de trous noirs accrétants, XRBs et AGN partagent un mécanisme commun afin d'alimenter leur moteur central : du gaz s'accrète autour du trou noir, formant un disque d'accrétion et éjectant, parfois, des jets relativistiques (voir Figure 1).

Les frottements et frictions, ayant lieu dans le disque d'accrétion, ont pour conséquence l'échauffement du gaz. Dans le cas des trous noirs accrétants, le gaz constituant les disques d'accrétion peut atteindre le million de degrés Kelvin. Cette chaleur est alors évacuée sous forme de rayonnement électromagnétique. D'autres processus d'émission sont aussi en jeu, comme les rayonnements de particules chargées, accélérées dans un champ magnétique, ou encore d'interactions de particules.

Tous ces processus font que les trous noirs accrétants émettent dans tous les domaines du spectre électromagnétique, de la radio aux rayons γ (voir Figure 2).

Les outils d'analyses

Prenant en compte les processus radiatifs et leurs effets sur la dynamique des fluides qu'ils simulent, les simulations GRMHD refroidies sont de puissants outils afin d'analyser les dynamiques des fluides au voisinage d'un trou noir accrétant. Ces vastes simulations numériques permettent d'explorer l'évolution des disques d'accrétion ainsi que des champs magnétiques à proximité des trous noirs. De plus, elles permettent de simuler des spectres cohérents qui peuvent ensuite être comparés aux données observationnelles.

Quoique bien moins vaste numériquement que les simulations GRMHD, les modèles spectraux semi-analytiques n'en restent pas moins de puissants outils d'analyses de trous noirs. Ils permettent de décrypter et d'appréhender les processus phy-

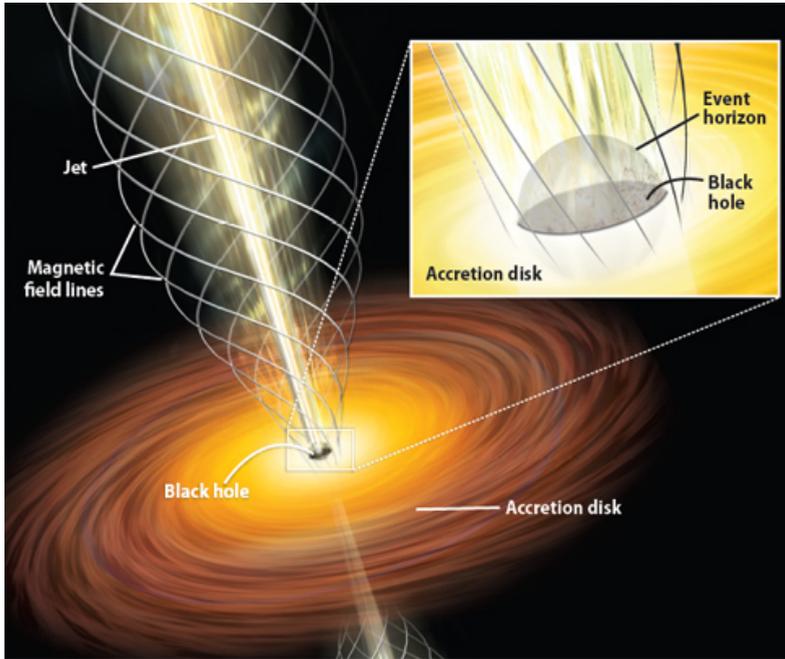


FIGURE 1: Impressions d'artiste présentant les composants principaux d'un trou noir accrétant.
Credits : Astronomy Magazine/Roen Kelly

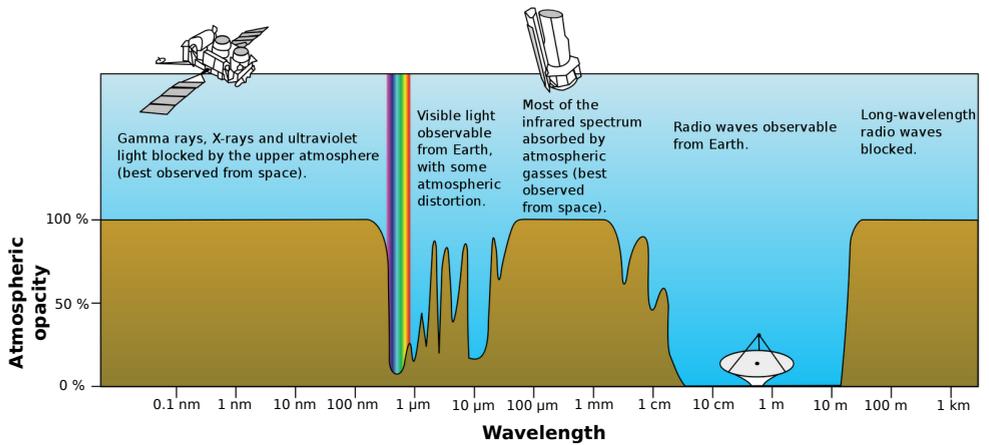


FIGURE 2: Opacité de l'atmosphère terrestre selon la fréquence du rayonnement. Credits : NASA/IPAC

siques responsables des émissions détectées depuis ces sources.

Il est important de tirer profit de la nature complémentaire de ces deux outils, afin de pleinement comprendre les processus physiques se produisant dans les trous noirs accrétants responsables des rayonnements observés.

La thèse

Le travail présenté dans cette thèse utilise les rayonnements comme marqueurs des processus physiques se produisant à la fois au plus proche des trous noirs accrétants et au loin dans les jets.

Pour cela, j'ai tout d'abord étudié l'importance qu'ont les processus radiatifs dans les simulations GRMHD sur la dynamique des fluides s'accrétant sur Sgr A*, ainsi que les effets qu'un traitement cohérent et interne de ces processus a sur les spectres simulés. Sgr A* est le trou noir super massif qui se trouve au centre de notre Galaxie et c'est aussi le noyau actif de galaxie à faible luminosité (*low-luminosity AGN* ou LLAGN) le mieux étudié. Les études les plus récentes indiquent que plus de la moitié de toutes les galaxies connues à ce jour contiennent un LLAGN en leur coeur. Cela fait de Sgr A* un représentant de la majorité des trous noirs accrétants super massifs. De plus, de part sa proximité comparée aux autres centres de galaxies, et la multitude de campagnes d'observations multi-fréquences effectuées de la radio aux très hautes énergies de ces dernières décennies, Sgr A* est le candidat parfait afin de tester les modèles théoriques de processus d'accrétion à faible taux d'accrétion.

Dans le Chapitre 2, je montre que les pertes radiatives ont une influence sur la dynamique des fluides dans les simulations GRMHD et que leur importance augmente avec le taux d'accrétion. Une limite est trouvée sur ce taux, au-dessus de laquelle les pertes radiatives ne peuvent plus être négligées, leurs effets sur la dynamiques des fluides devenant important.

Dans le Chapitre 3, je présente le premier spectre simulé cohérent de simulations GRMHD refroidies de fluides s'accrétant sur Sgr A* qui correspond remarquablement aux données observées. Ce résultat suggère que notre trou noir super massif accrète le gaz environnant à un taux d'accrétion très bas. Cela sous-entend également que Sgr A* est un trou noir tournant rapidement sur lui-même.

Dans le Chapitre 4, je présente un modèle spectral semi-analytique de jets relativistes. J'y évalue, de plus, l'importance de la contribution des protons aux émissions à haute énergie des trous noirs accrétants. Je revisite ensuite la source XRB Cygnus X-1 avec ce nouveau modèle. Cygnus X-1 est l'une des rares sources de trous noirs accrétants de masse stellaire qui a avoir été détectée à haute énergie. Cela en fait une source extrêmement intéressante à étudier. Dans ce but, j'ai analysé des données multi-ondes quasi-simultanées, de la radio aux rayons γ avec le nouveau modèle, afin de trouver un ensemble de paramètres correspondant à ces données.

Pour finir, je résume les conclusions principales de cette thèse dans le Chapitre 5 et conclut ce travail en présentant quelques perspectives de recherche dans le domaine de l'étude des trous noirs accrétants.