

Instabilités et turbulence dans les disques d'accrétion astrophysiques

François Rincon^{1,2}

¹ CNRS ; IRAP ; 14 avenue Edouard Belin, F-31400 Toulouse, France

² Université de Toulouse ; UPS-OMP ; IRAP : Toulouse, France

mél : francois.rincon@irap.omp.eu

1 L'accrétion en astrophysique

Les processus d'accrétion jouent un rôle clé dans la formation et l'évolution de nombreux systèmes astrophysiques allant des environnements protostellaires et protoplanétaires aux noyaux actifs de galaxies ([1, 2, 3], voir Fig 1). Sous l'effet de la rotation, la matière en phase d'accrétion sur un objet central massif tend à s'organiser sous la forme d'un disque de matière d'épaisseur variable, suivant que la matière est dans un état fluide collisionnel plutôt froid (disque fin Képlérien soutenu par la force centrifuge, Fig. 2 à gauche) ou bien dans un état de plasma chaud et ténu (disque épais, tore d'accrétion supporté par la pression, Fig. 2 à droite).

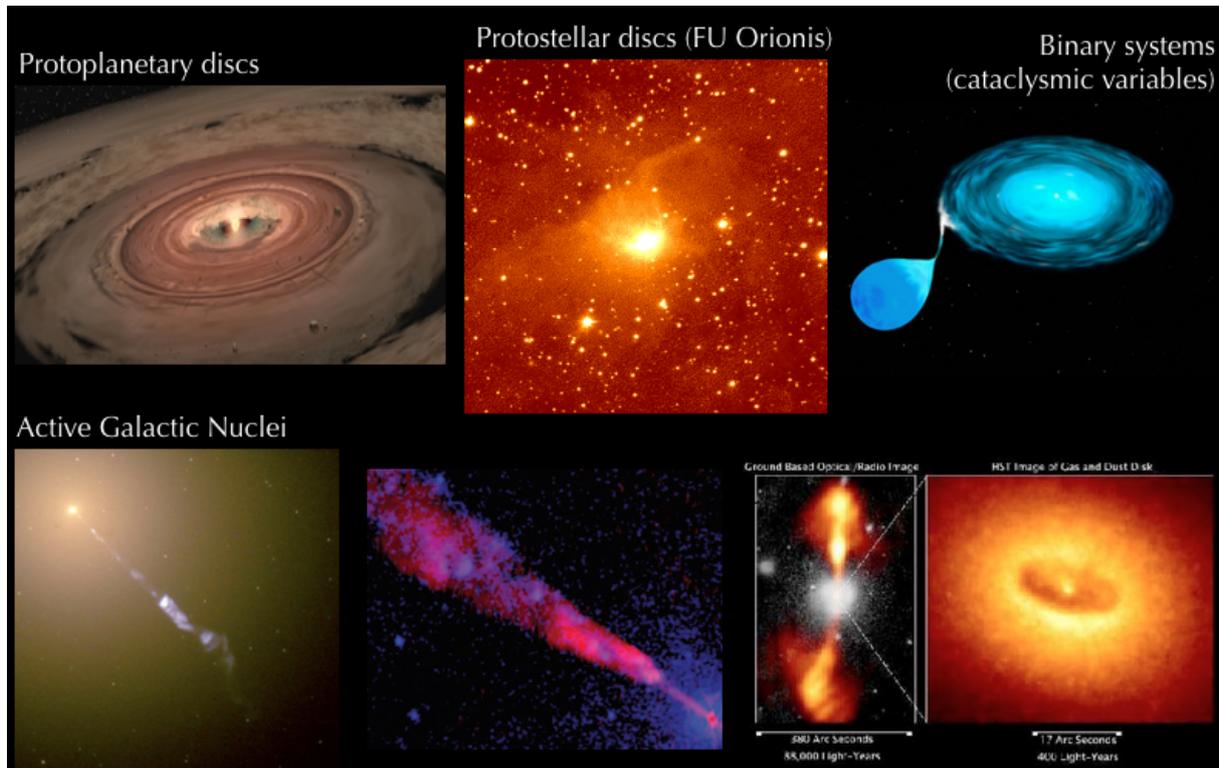


FIGURE 1 – *Quelques vues d'artistes et observations de systèmes accrétants (crédits : 1. David Darling, 2. DSS/ESO, 3. Dana Berry/STScI, 4,6. HST/NASA, 5. Chandra/NASA + VLA).*

2 Transport de moment cinétique, instabilités et turbulence

Pour que de l'accrétion épisodique ou continue soit effectivement possible dans ce genre de configurations, il est essentiel que du moment cinétique soit efficacement transporté vers l'extérieur du système ou extrait de celui-ci [5]. Les problématiques de la nature et de l'efficacité des

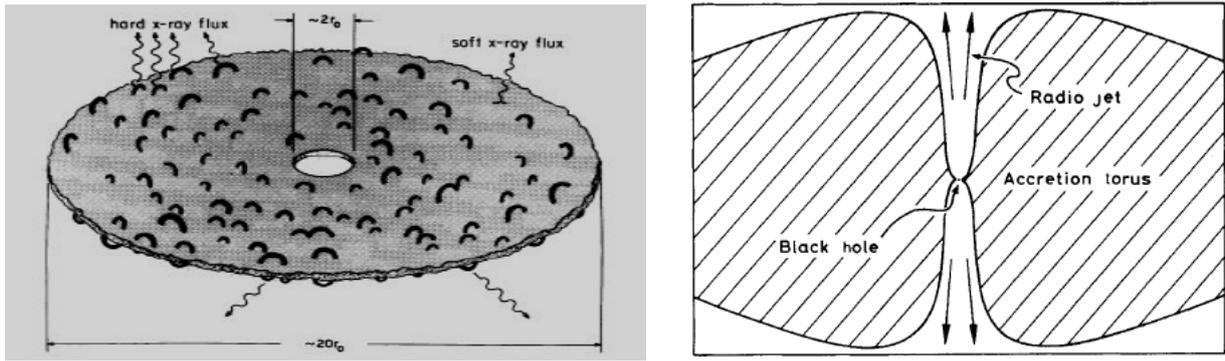


FIGURE 2 – Schémas sommaires d'un disque mince (disques protoplanétaires, systèmes binaires accrétants), et d'un disque épais / tore d'accrétion (AGNs [4]).

processus de transport et d'éjection dans les disques ont été identifiées il y a plus de quarante ans [6, 7], mais demeurent aujourd'hui encore parmi les grandes questions de l'astrophysique.

Après avoir dressé le portrait des systèmes astrophysiques accrétants les plus communs, je présenterai les principaux mécanismes physiques de transport invoqués dans ce contexte, en insistant sur le plus populaire d'entre eux, le transport turbulent découlant du développement de l'instabilité MHD magnéto-rotationnelle [8], dont le principe est illustré Fig. 3.

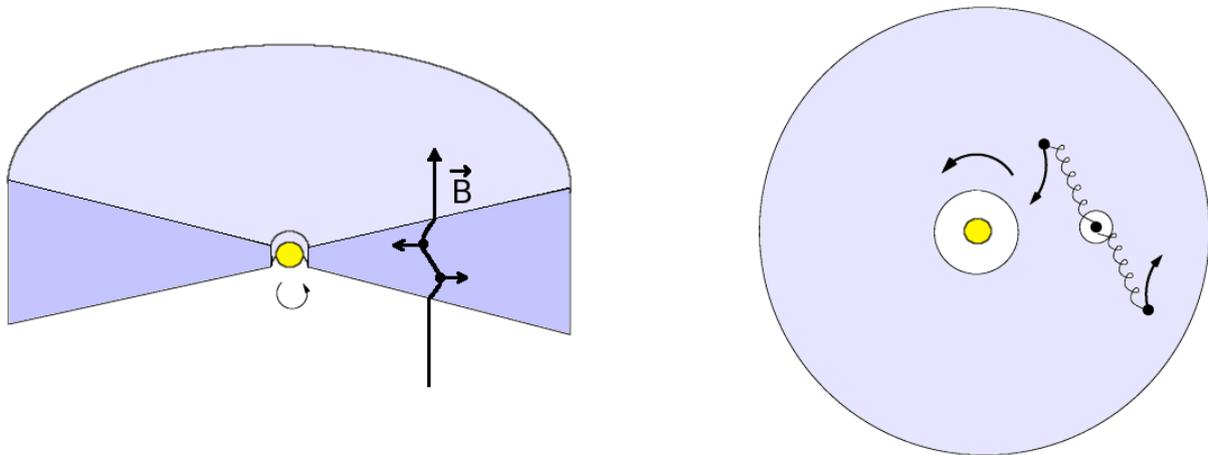


FIGURE 3 – Principe de l'instabilité magnéto-rotationnelle : deux particules fluides en orbite képlérienne liées à une même ligne de champ magnétique sont perturbées radialement, l'une vers l'intérieur, l'autre vers l'extérieur. La particule interne se retrouve sur une orbite plus rapide que la particule externe, ce qui a pour conséquence d'étirer la ligne de champ. La tension magnétique résultante freine la rotation de la particule interne, précipitant ainsi sa chute vers une orbite encore plus basse, tandis que la rotation de la particule externe est accélérée, amplifiant ainsi sa dérive vers l'extérieur. Le phénomène est par essence linéaire et l'amplification des perturbations est donc exponentielle en temps (crédits image : G. Lesur).

3 Des disques d'accrétion à la physique des plasmas non collisionnels

J'expliquerai finalement comment divers effets non-idéaux [9, 10], multifluides [11] ou cinétiques [12] viennent mettre leur grain de sel dans ce scénario fondamental. Si le temps le permet, je décrirai notamment un peu plus en détail comment le développement de micro-instabilités plasma firehose [13] et miroir [14, 15] bien connues par les spécialistes du vent solaire et des magnétosphères planétaires [16, 17, 18, 19], est susceptible d'altérer significativement la physique de l'accrétion dans des environnements très chauds [20], comme le voisinage du trou noir central de notre galaxie (Fig. 4).

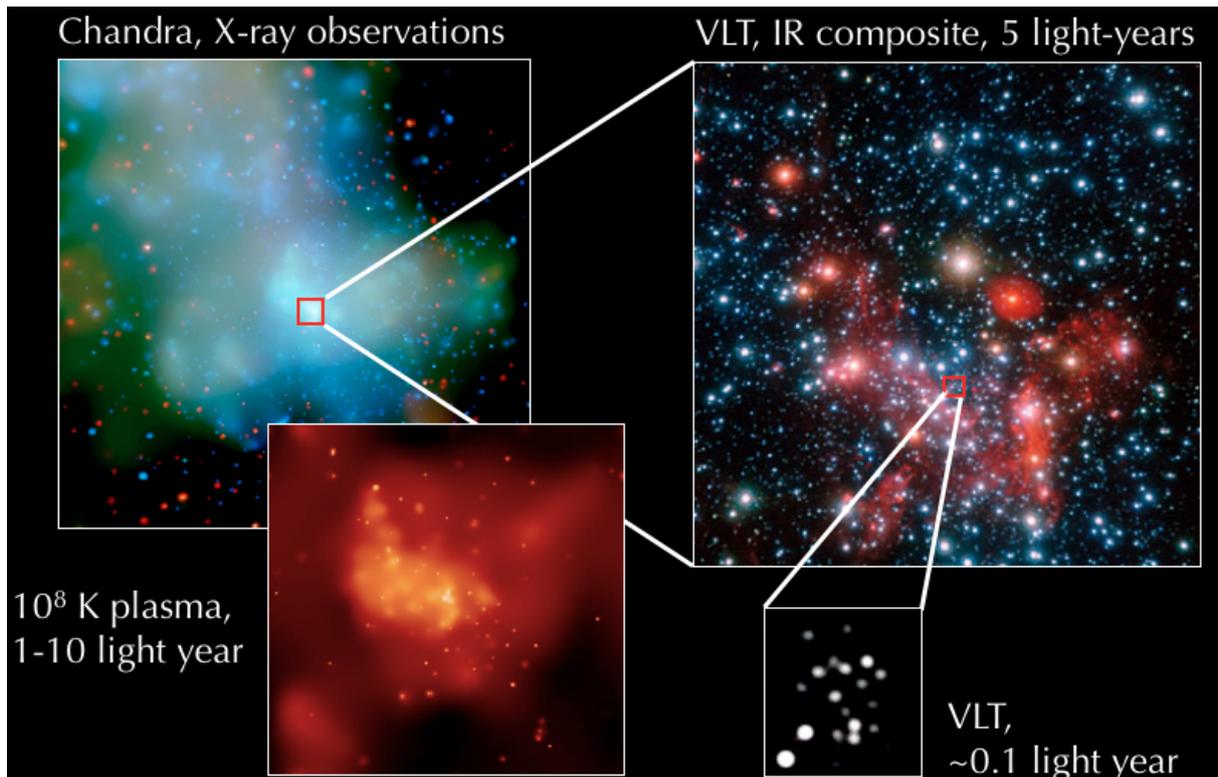


FIGURE 4 – Le plasma chaud dans la région du centre galactique SgrA* qui héberge un trou noir supermassif faiblement accrétant (crédits : Chandra/NASA, VLT/ESO).

Les références marquées d'une astérisque constituent des points d'entrée classiques dans la littérature sur la physique des disques d'accrétion.

Références

- [1] L. Hartmann, *Accretion Processes in Star Formation 2nd edition*, Cambridge University Press (2009)*
- [2] P. J. Armitage, *Astrophysics of Planet Formation*, Cambridge University Press (2010)*
- [3] J. Frank, A. King & D. Raine, *Accretion Power in Astrophysics 3rd edition*, Cambridge University Press (2002)*
- [4] M. J. Rees et al., *Nature* **295**, 17 (1982)
- [5] S. A. Balbus & J. F. Hawley, *Rev. Mod. Phys.* **70**, 1 (1998)*
- [6] N. I. Shakura & R. A. Sunyaev, *Astron. Astrophys.* **24**, 337 (1973)*

- [7] D. Lynden-Bell & J. E. Pringle, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **168**, 603 (1974)*
- [8] S. A. Balbus & J. F. Hawley, *Astrophys. J.* **376**, 214 (1991)*
- [9] G. Lesur & P.-Y. Longaretti, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **378** 1471 (2007)
- [10] S. Fromang et al., *Astron. Astrophys.* **476**, 1123 (2007)
- [11] M. W. Kunz & G. Lesur, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **434**, 2295 (2013)
- [12] E. Quataert, W. Dorland & G. W. Hammett, *Astrophys. J.* **577,524**, (2001)
- [13] E. N. Parker, *Phys. Rev.* **109**, 1874 (1958)
- [14] S. Chandrasekhar et al., *Proc. R. Soc. A* **245**, 435 (1958)
- [15] P. Hellinger, *Phys. Plasmas* **14**, 082105 (2007)
- [16] P. Hellinger et al., *Geophys. Res. Lett.* **33**, L09101 (2006)
- [17] S. P. Joy et al., *J. Geophys. Res.* **111**,A12212 (2006)
- [18] S. D. Bale et al., *Phys. Rev. Lett.* **103**, 211101 (2009)
- [19] V. Génot et al., *Ann. Geophys.* **27**, 601 (2009);
- [20] P. Sharma et al., *Astrophys. J.* **667**, 714 (2007)