

An artistic rendering of a microquasar. A bright, glowing yellow-white central source is surrounded by a thick, glowing orange and yellow accretion disk. From the top of the disk, a narrow, blue, jet-like stream of material is being ejected upwards. The background is dark, making the glowing components stand out.

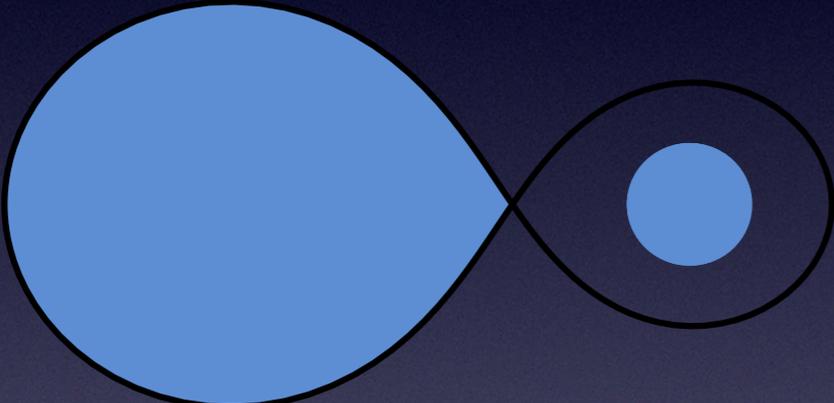
Accretion/ejection in microquasars

Sylvain CHATY
Université Paris Cité, APC
17/09/2024
sylvain.chaty@u-paris.fr

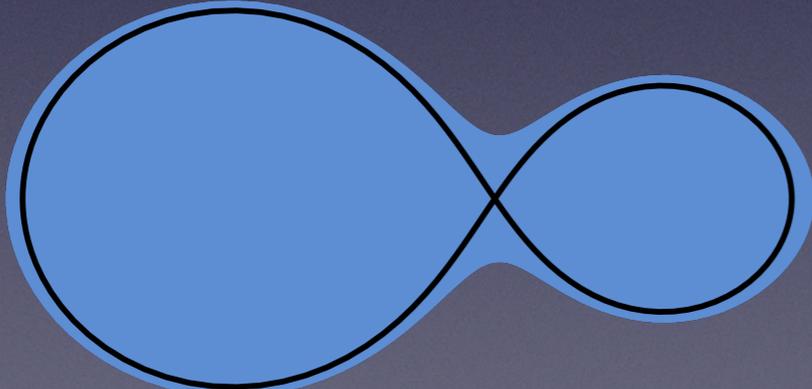
Various types of binaries



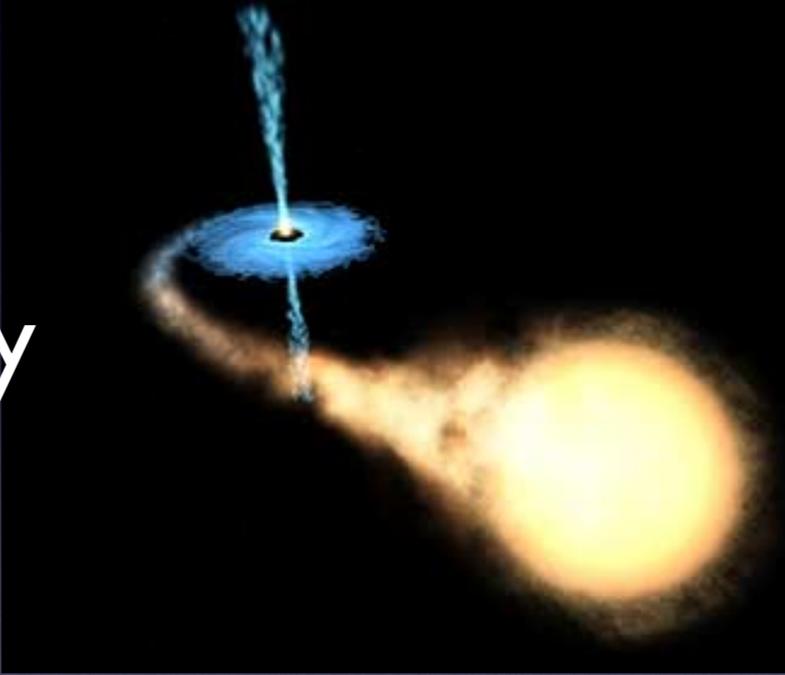
Detached binary



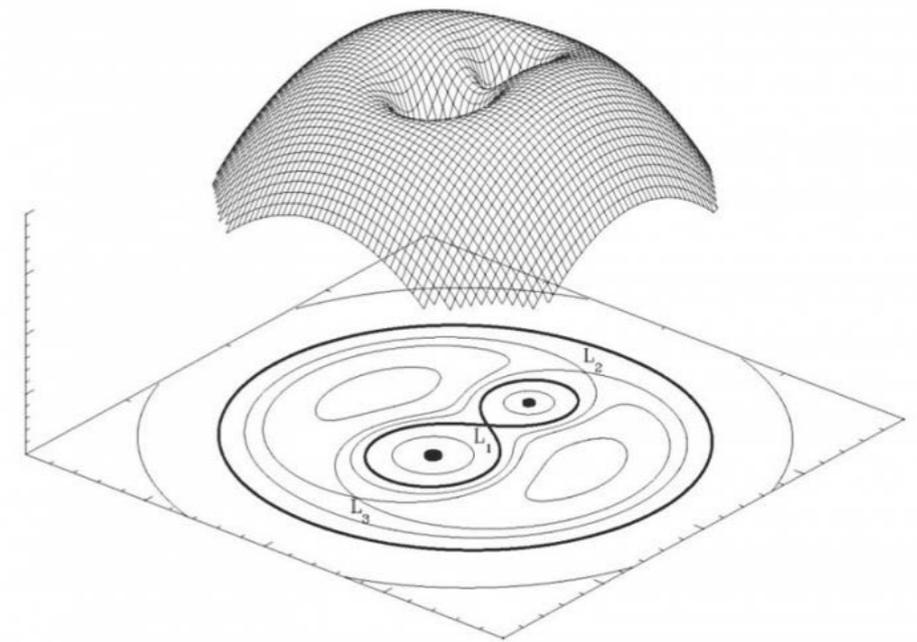
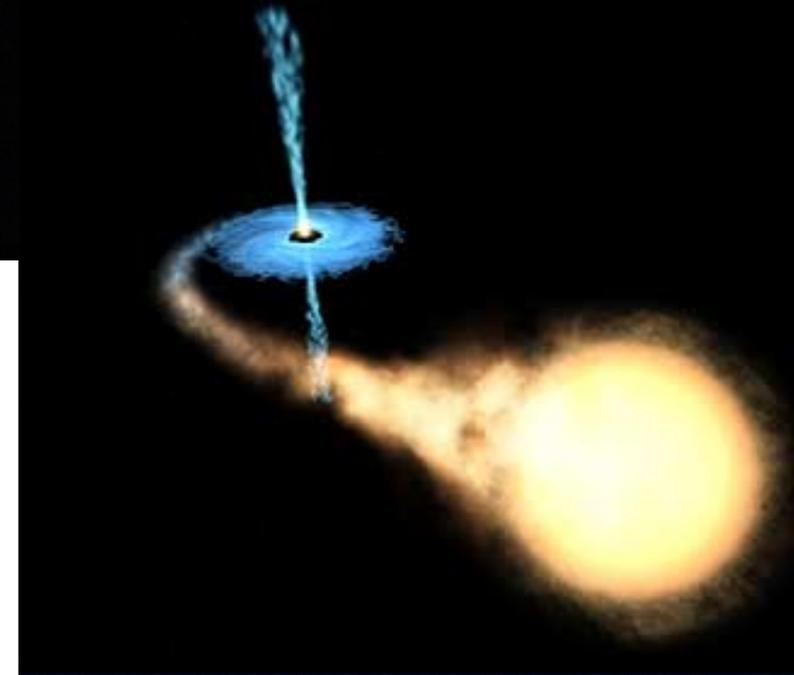
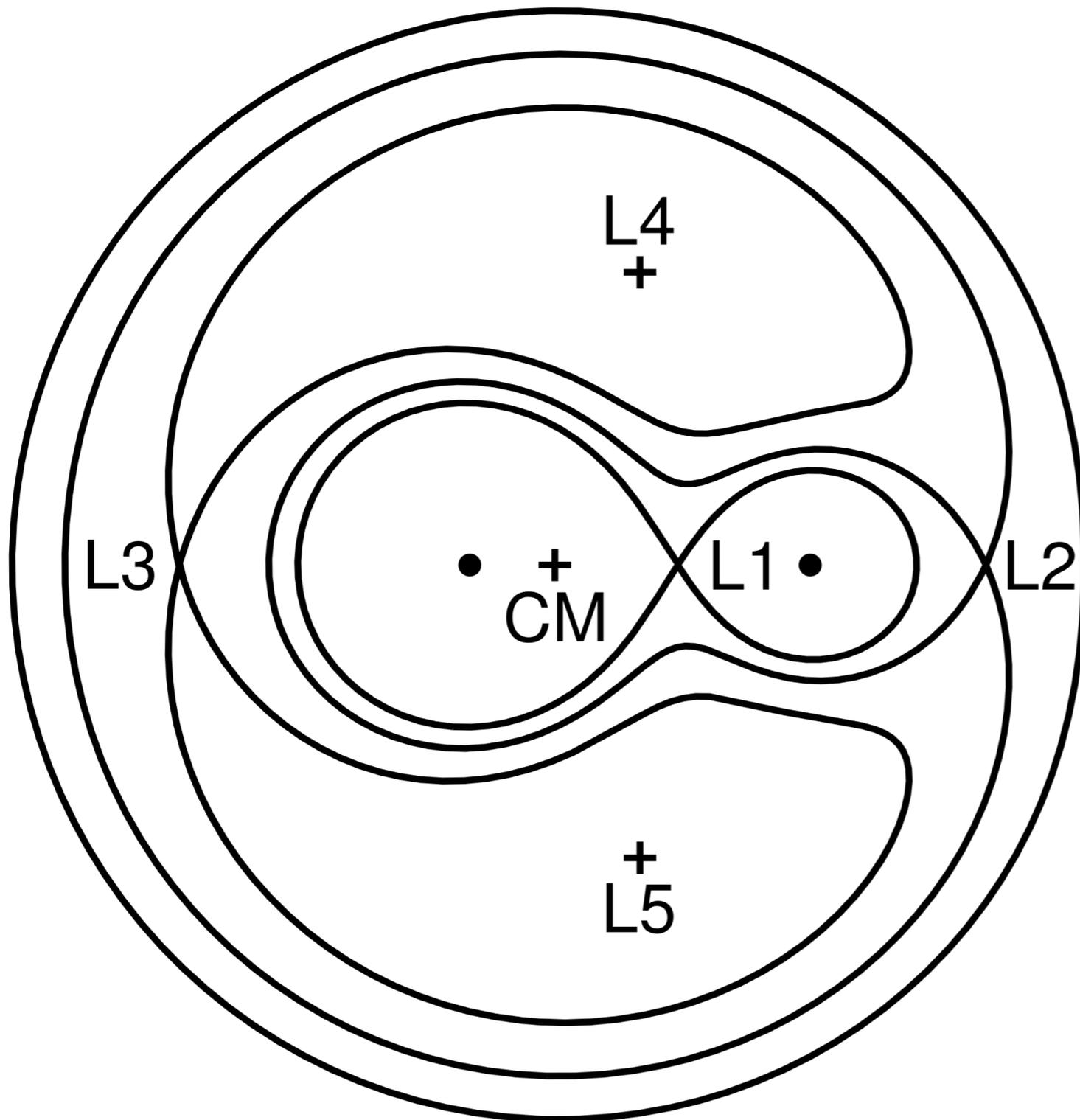
Semi-detached binary



Contact binary



Roche geometry



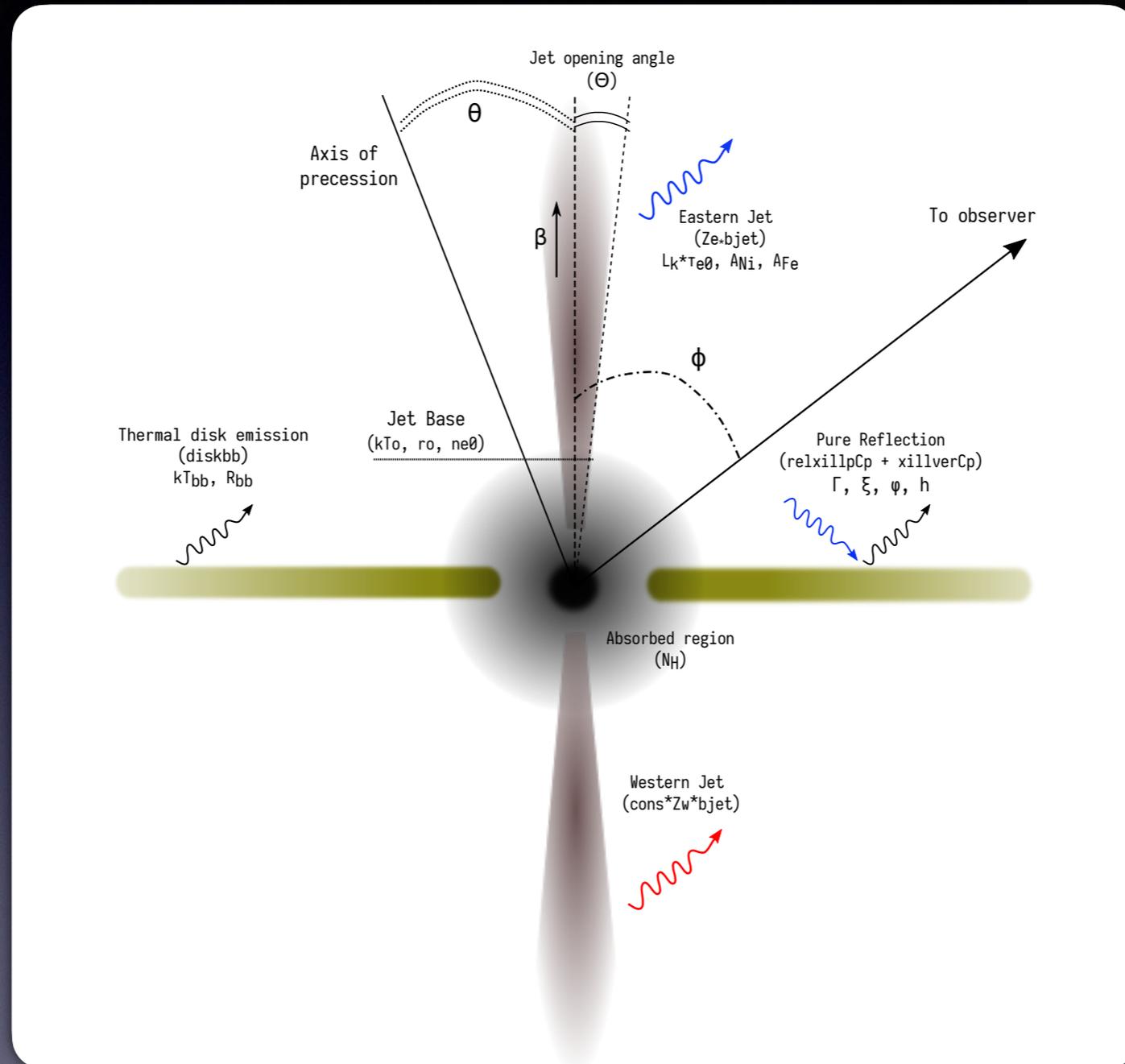
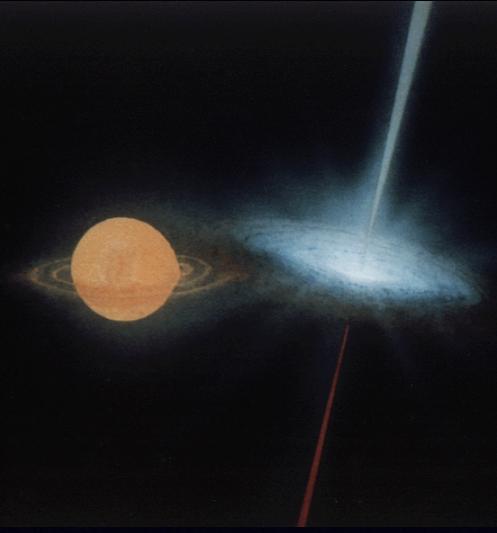
First « Microquasar » SS 433 (1979)

jets seen in X-rays

black hole

SS 433: binary system, star $M_V \sim 8 - 15M_\odot$ + black hole $M_X \sim 5 - 9M_\odot$, 2 symmetrical jets of relativistic particles ($v = 0.26 c$, $\gamma = 1.04$) interacting with W50 SN remnant (radio VLA, IR WISE, X-ray Chandra)

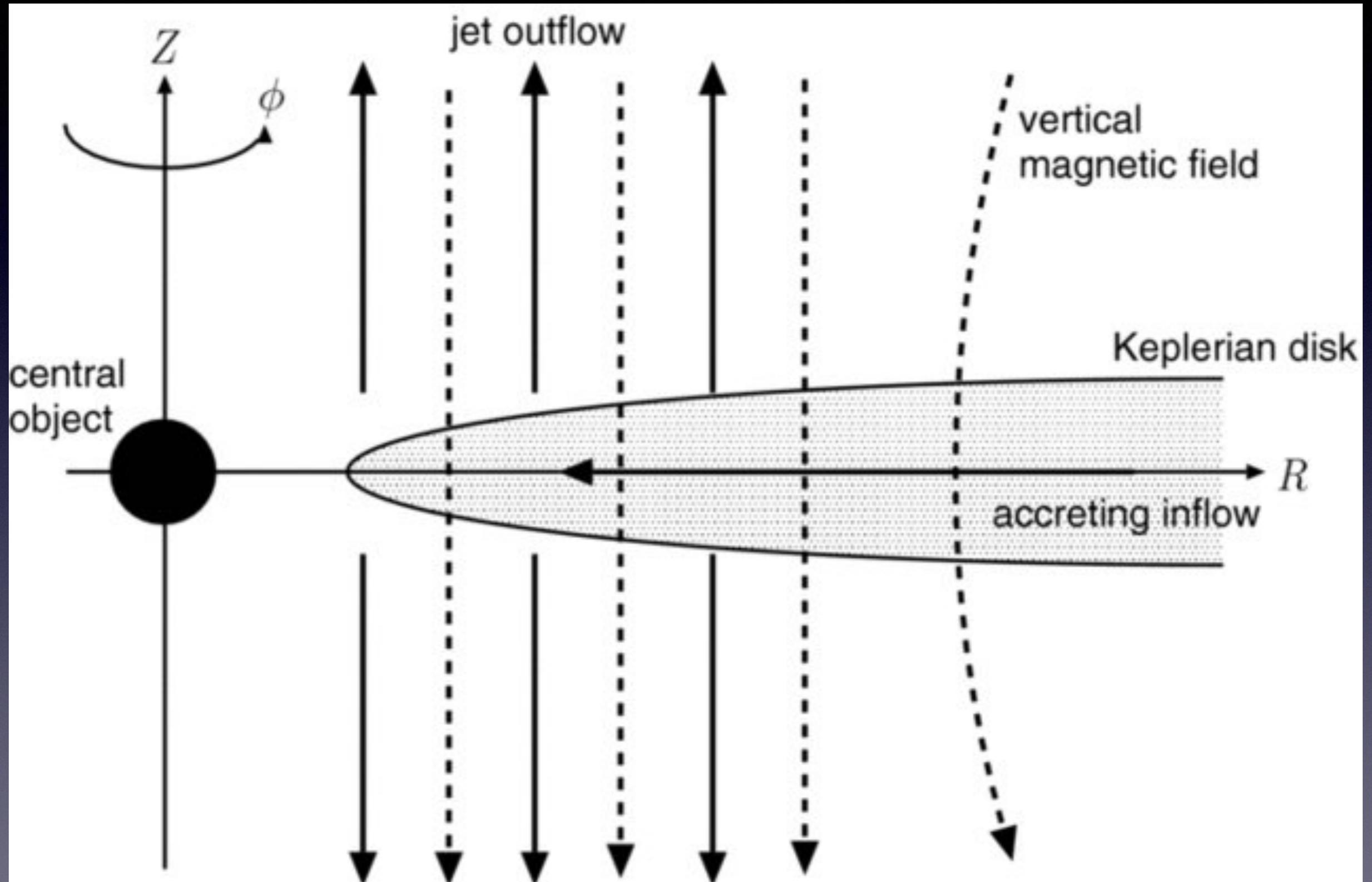
Microquasar SS 433



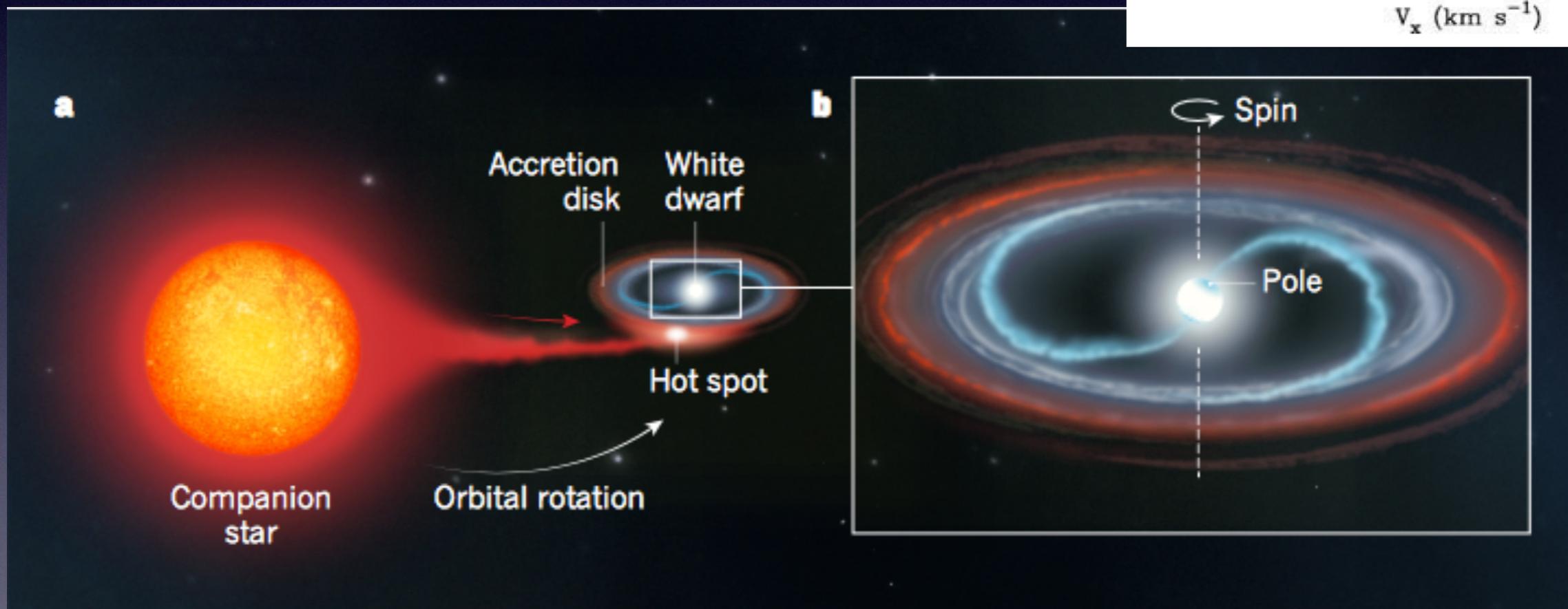
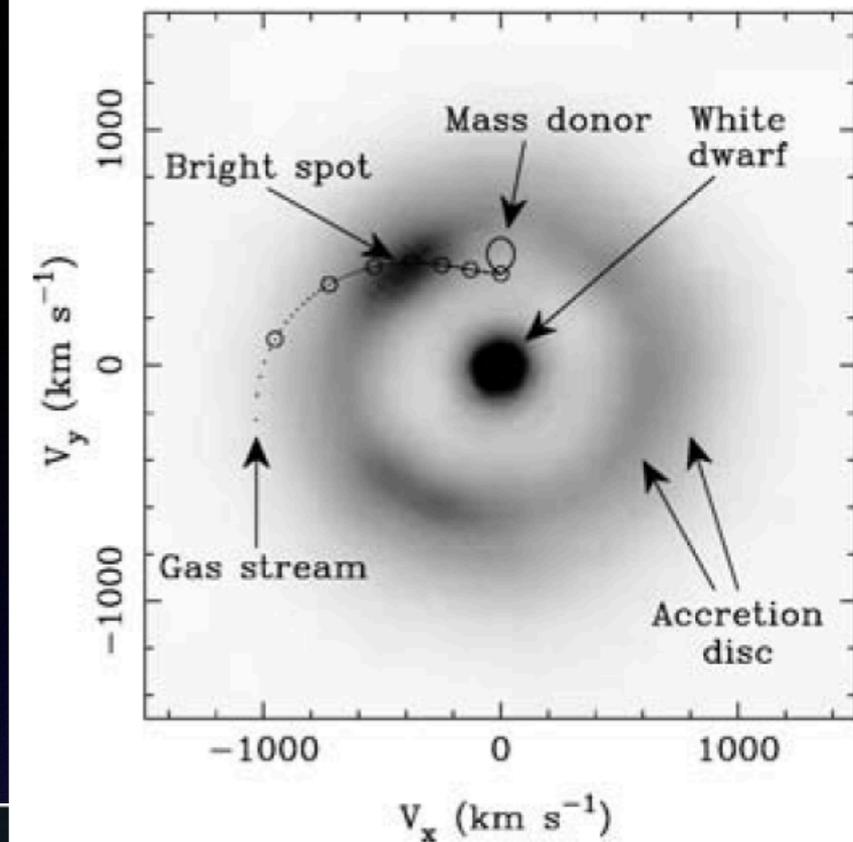
- **Study in X-rays with *NuSTAR* of the microquasar SS 433 :** how to constrain geometrical parameters of the system

Fogantini, García, Combi, Chaty et al., 2023, *A&A*, 669, A149

Structure of an accretion disk

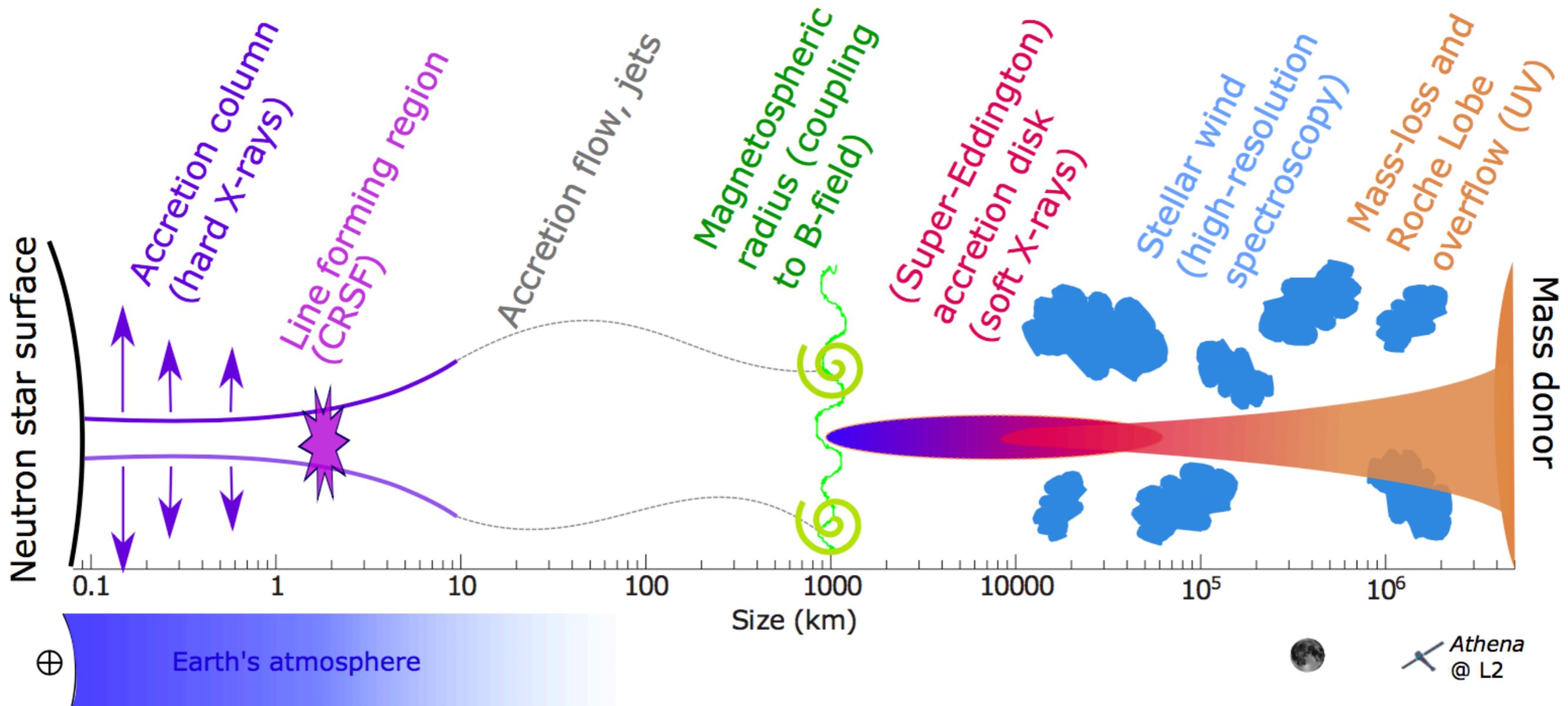
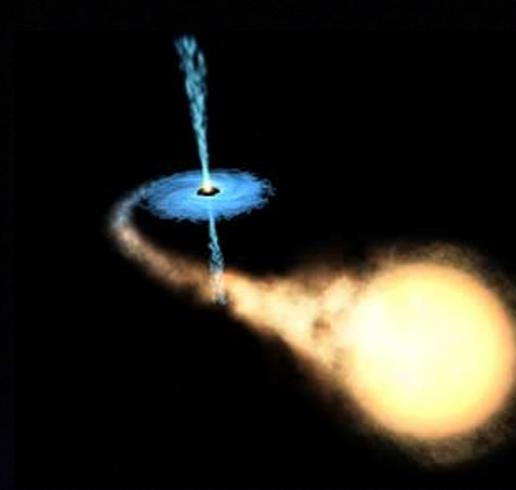


Galactic binaries hosting white dwarfs



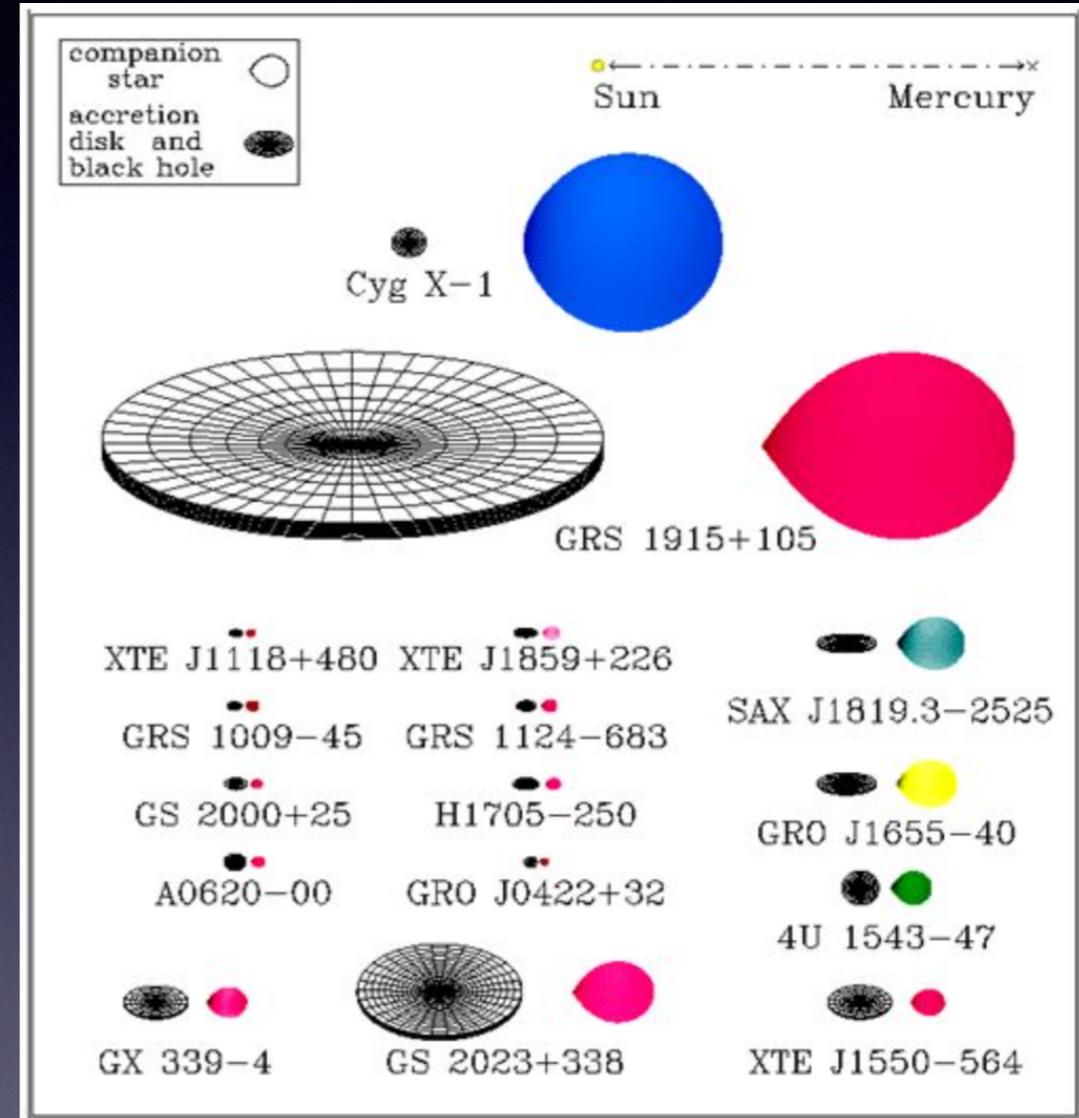
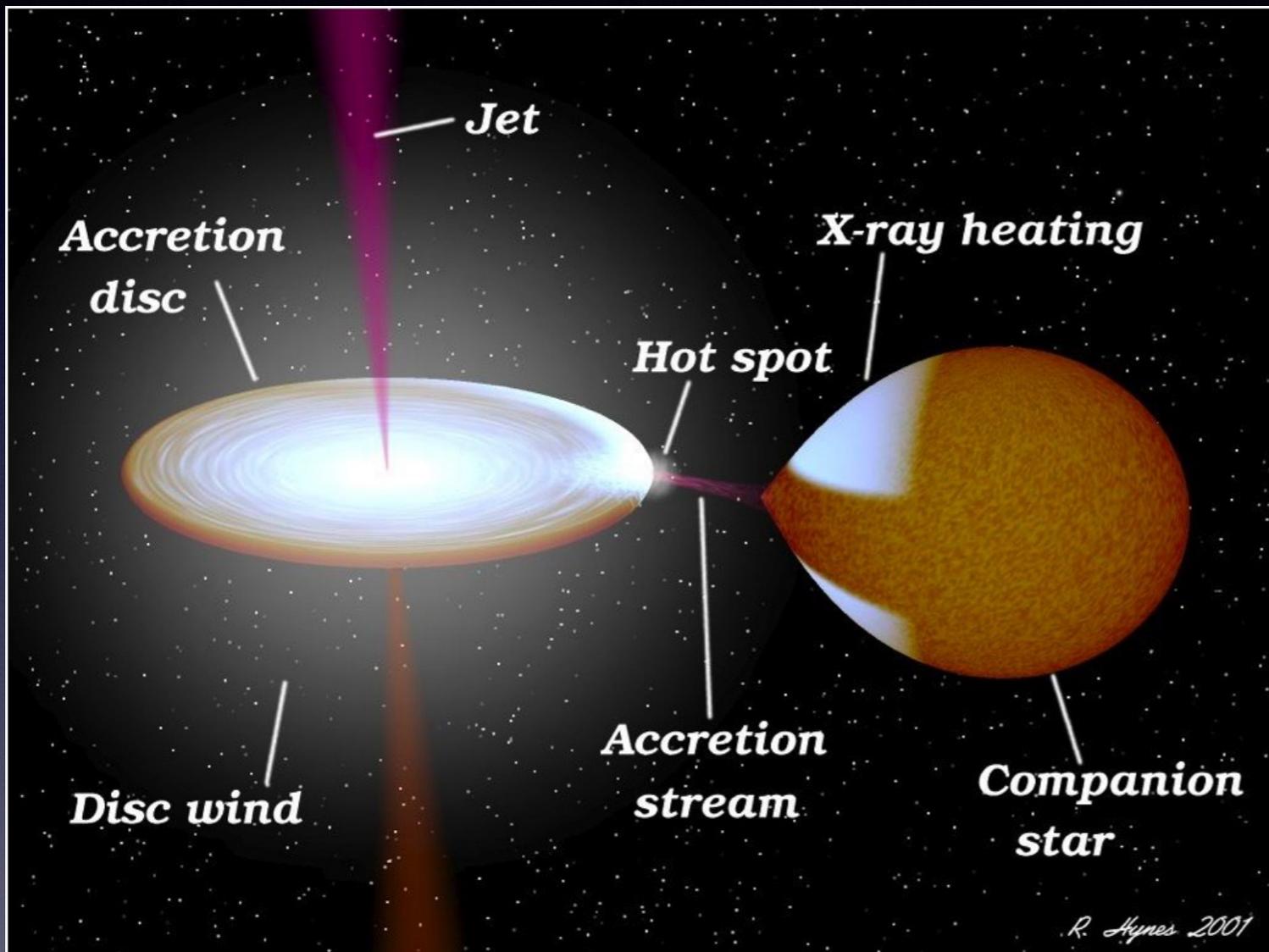
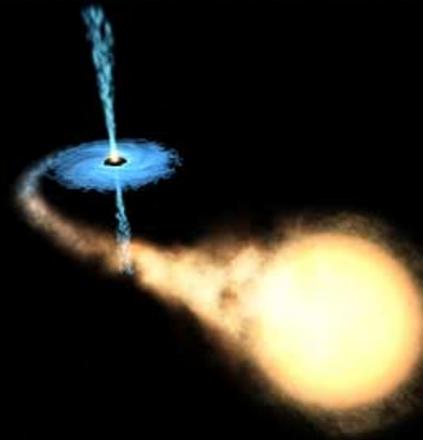
- Cataclysmic variables: binary systems of star orbiting a white dwarf surrounded by accretion disk

Galactic binaries hosting neutron stars



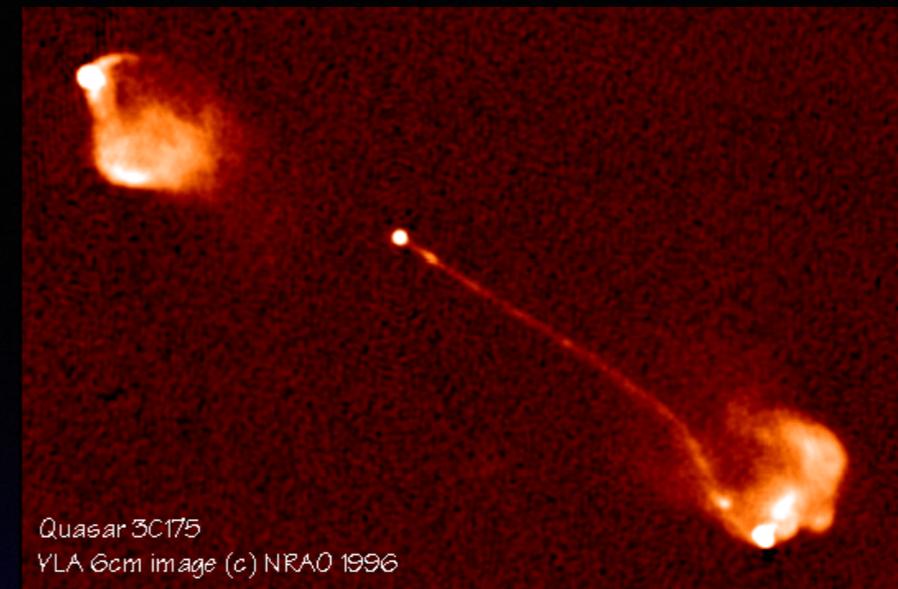
- NSXRB: binary systems of star orbiting a neutron star surrounded by accretion disk

Galactic binaries hosting black holes

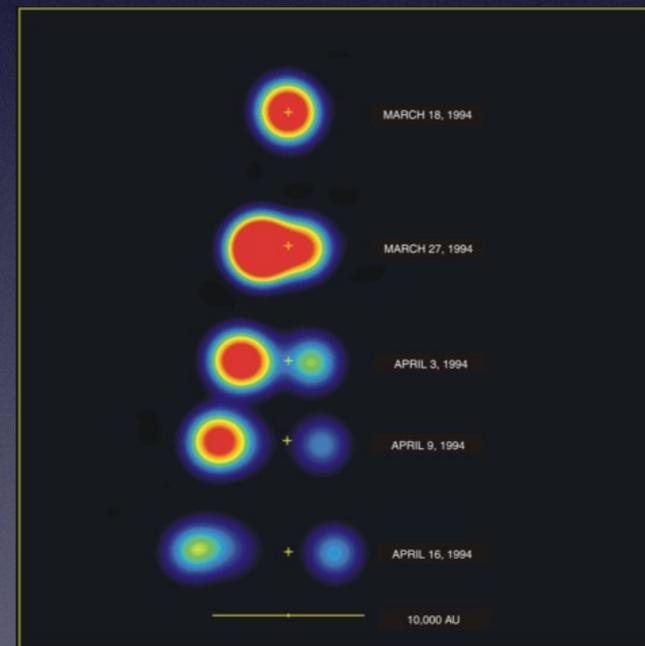
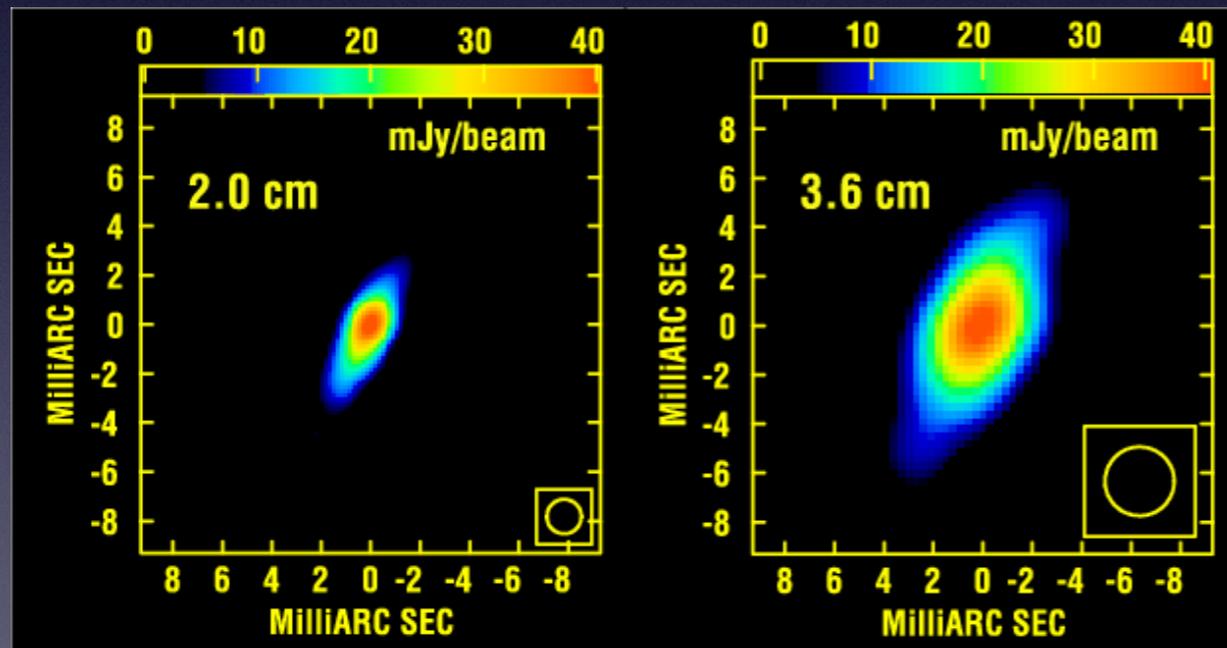


- BHXRBB: binary systems of star orbiting a black hole surrounded by accretion disk

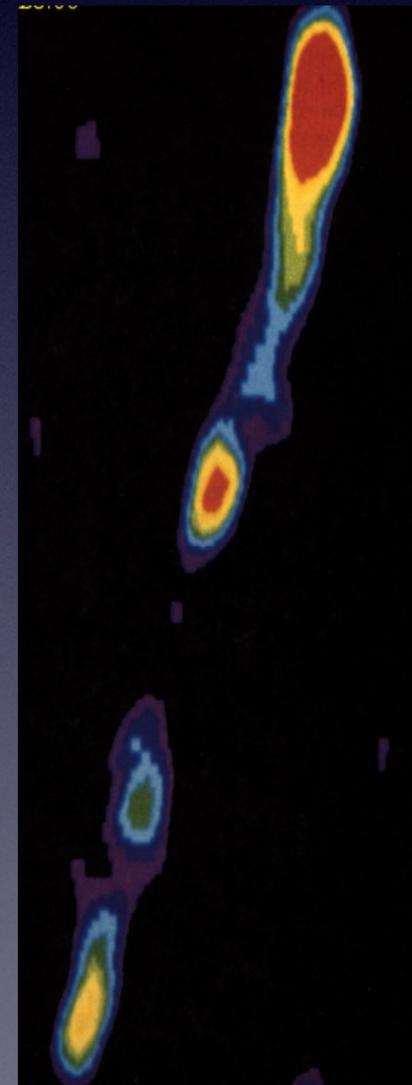
Microquasars



- Quasar 3C 173

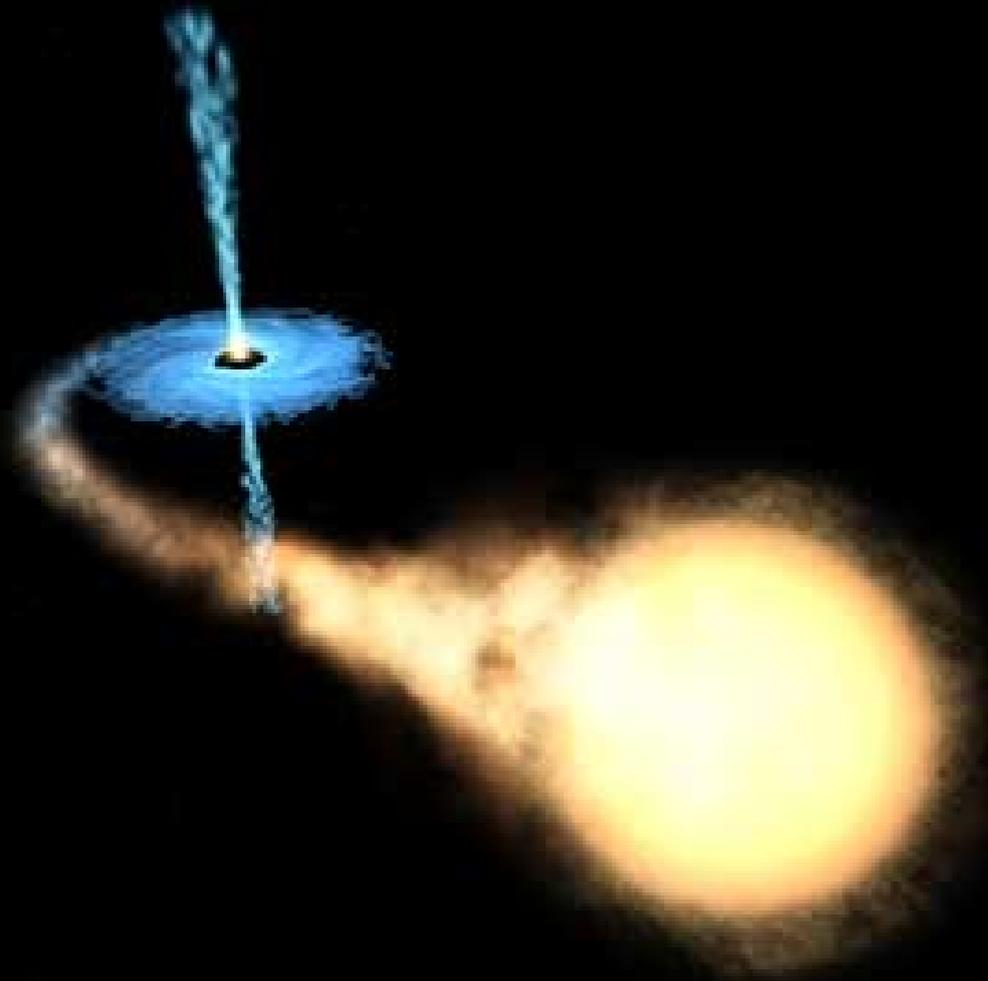


- GRS 1915+105 observed during one month (1 mas = 10 au)



- IE 1740.7-2942

2 kinds of accreting binaries



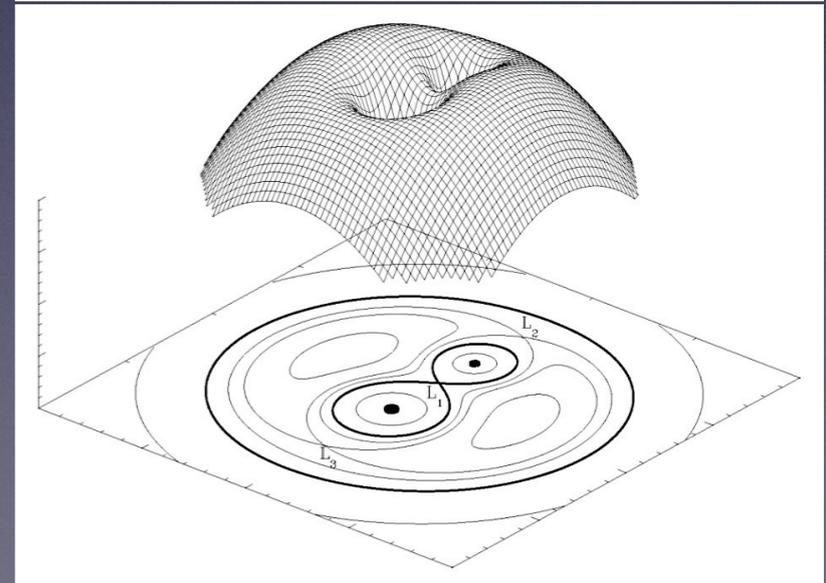
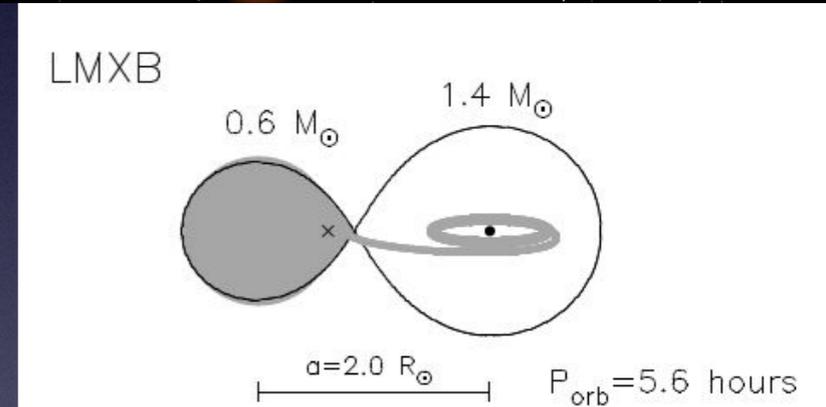
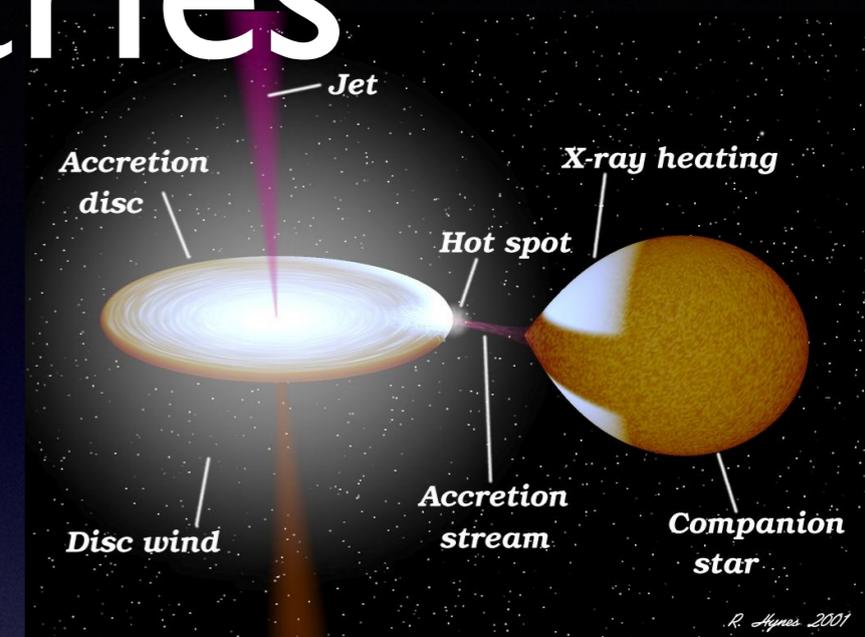
~250 low-mass X-ray binaries (LMXB):
filling the Roche lobe



~167 high-mass X-ray binaries (HMXB):
accreting stellar wind

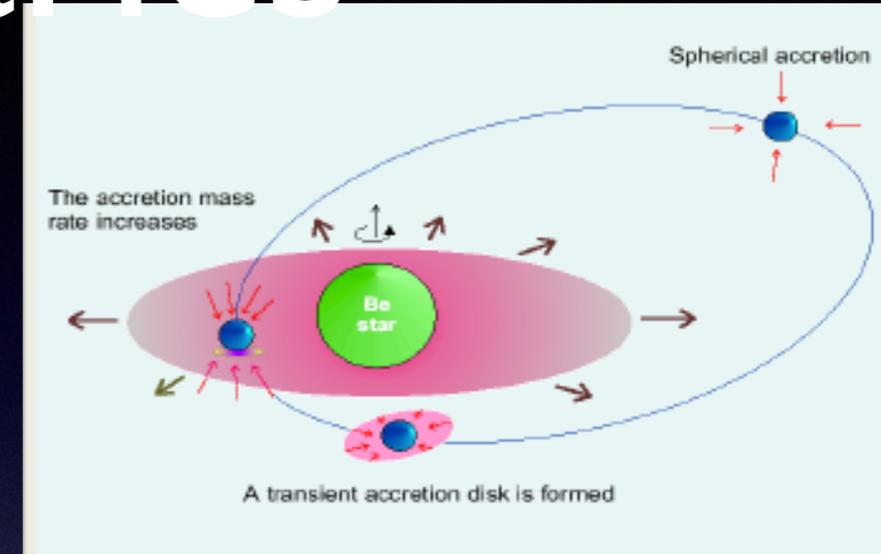
Accreting binaries

- 250 LMXB (60%):
 - Companion star later than B ($M < 1 M_{\odot}$)
 - Mass transfer: Roche lobe filling (accretion disk)
 - BH/NS LMXBs (Sco X-1 ...)
 - Microquasars (jet sources)

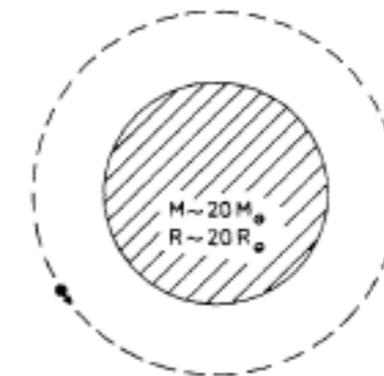


Accreting binaries

- **167 HMXB (40%):**
 - Donor: Luminous early-type OB companion star ($M > 10 M_{\odot}$)
 - 3 types depending on mass transfer:
 - **BeXB** (40): direct accretion from Be III-V star decretion disk
 - **sgXB** (36): spherical accretion from sg I/II stellar wind (500-1000 km/s) with CO in circular orbit, $L_X \sim 10^{35-40}$ erg/s (Vela X-1, GX 301-2, 4U 1700-37...)
 - **RLO** (5): Beginning Atmospheric Roche Lobe Overflow

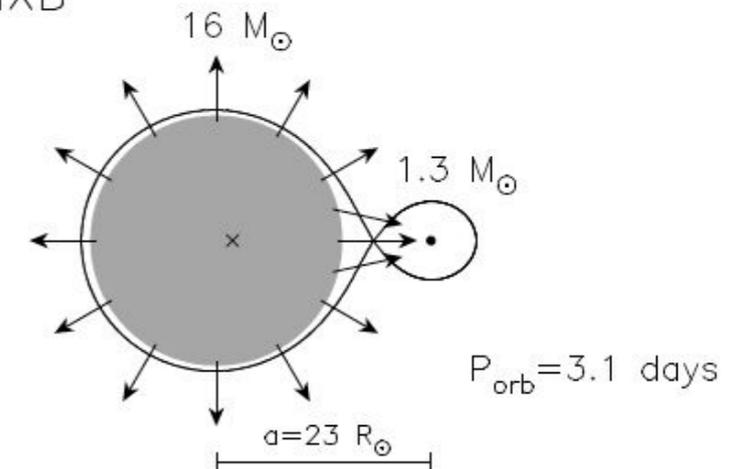


STANDARD MASSIVE X-RAY BINARY



- Companion evolved to fill critical potential lobe
- $Z^d \leq P_{\text{orb}} \leq 10^d$
- Circular Orbit
- Eclipses likely
- "Steady" X-ray emission
- Mass transfer ($10^{-10} - 10^{-8} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$) by Roche lobe overflow, stellar wind or both

HMXB



Cygnus X-1 : first « black hole candidate » (1965)

THÉMA

LE VAMPIRE ET LA GÉANTE BLEUE

Cygnus X1, c'est la fin d'un couple stellaire : une supergéante bleue lentement dévorée par un trou noir, issu de l'effondrement d'une étoile massive. De leurs échanges, nous ne percevons que des bouffées de rayons X émis par la matière avant d'être avalée par l'astre compact.

LE TROU NOIR

Il n'a pas de surface, et dans un rayon infime, concentre l'équivalent de 15 masses solaires. C'est le vestige d'une étoile supergéante d'au moins 40 masses solaires qui, en quelques dizaines de millions d'années, a perdu beaucoup de masse, dont une partie a probablement été accrétée par l'étoile compagne.

PERTE DE MASSE

L'étoile perd de sa masse sous deux formes : du gaz et un vent de particules. Une quantité constante du premier passe vers le disque d'accrétion, tandis que le vent stellaire, qui souffle dans toutes les directions, est d'intensité variable.

DÉFORMATION

La puissance gravitationnelle du trou noir déforme l'étoile compagne, qui prend l'aspect d'un œuf dont le bout pointu est dirigé vers le trou noir.

JETS

Toute la matière n'est pas absorbée par le trou noir ; 10 % sont expulsés sous forme de jets. Les particules légères (surtout des électrons) suivent des lignes de champ magnétique et sont propulsées dans l'espace à une vitesse proche de celle de la lumière.

Gaz de l'étoile attiré par le trou noir

Trou noir

LIMITE INTERNE

C'est la dernière orbite stable, celle où la matière tourne encore très rapidement avant d'approcher l'horizon des événements.

DISQUE D'ACCRÉTION

Son diamètre est 10 à 15 fois celui du Soleil. Il est très fin et visqueux, mais n'est pas homogène. Le frottement des particules, qui engendre des températures de 10 à 15 millions de degrés, est responsable de l'intense émission de rayons X.

HORIZON DES ÉVÉNEMENTS

C'est le bord du trou noir, là où la matière tombe en chute libre et disparaît dans le trou noir. Il tourne très vite sur lui-même : 800 tours par seconde ! Son rayon est de 50 km.

LIMITE EXTERNE

Le disque d'accrétion commence là où l'influence gravitationnel du trou noir prend le pas sur celle de l'étoile HD 266868.

L'ÉTOILE GÉANTE BLEUE

Baptisée HD 226868 dans le catalogue stellaire Henry Draper, cette étoile supergéante bleue fait entre 20 et 30 masses solaires pour un rayon 16 fois supérieur à celui du Soleil. Elle est 300 000 à 400 000 fois plus brillante que celui-ci.

LEXIQUE

Étoile à neutrons

Astre issu de l'effondrement du cœur d'une étoile massive. Cet objet très compact est composé principalement de neutrons.

Naine blanche

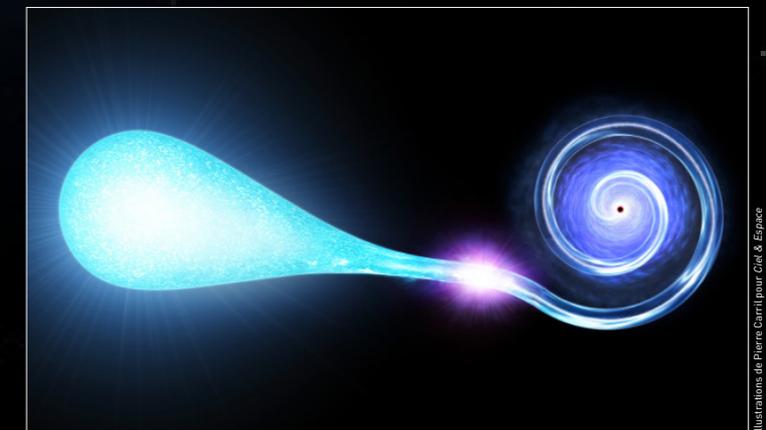
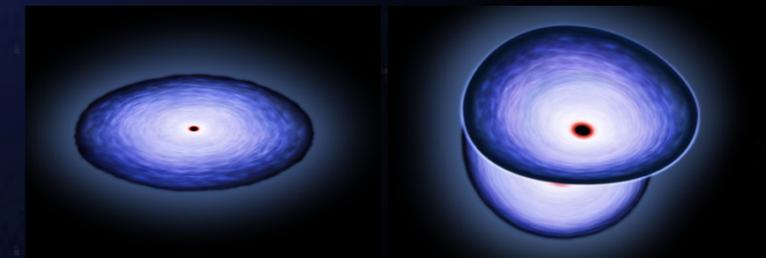
Étoile en fin de vie qui, après avoir épuisé son combustible, s'effondre sur elle-même. Les plus massives d'entre elles évoluent en étoiles à neutrons ou en trous noirs.

Géante bleue

Étoile de 10 masses solaires et plus, très chaude et lumineuse. Ces astres massifs ont une courte durée de vie, quelques dizaines de millions d'années, avant d'exploser en supernova.

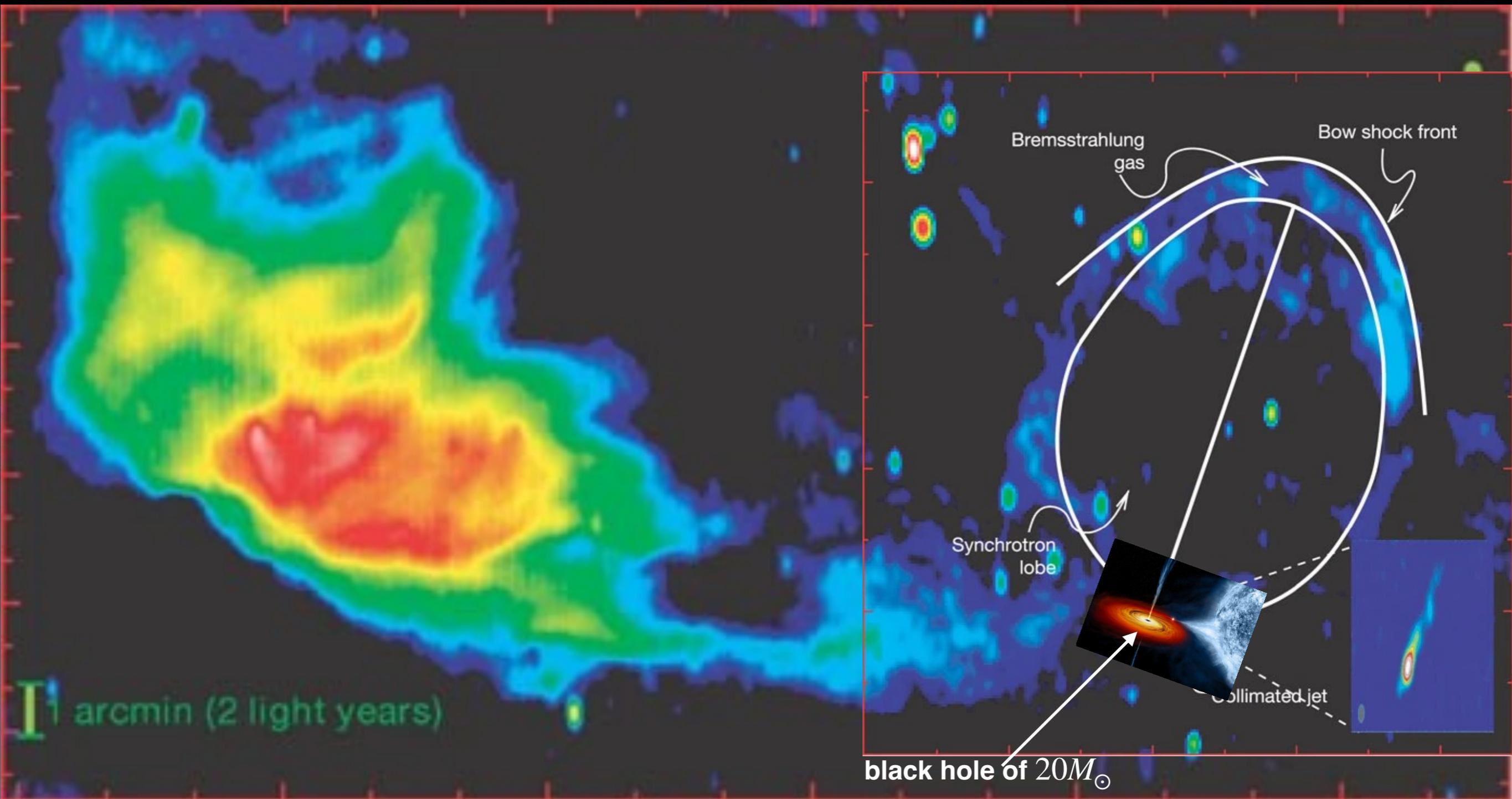
Trou noir

Astre dont la gravité est si puissante qu'aucune matière ni lumière ne peut s'en échapper. Ces astres invisibles ne se détectent que par leurs effets sur leur environnement — par exemple, la matière qu'ils vampirisent brille en rayons X.



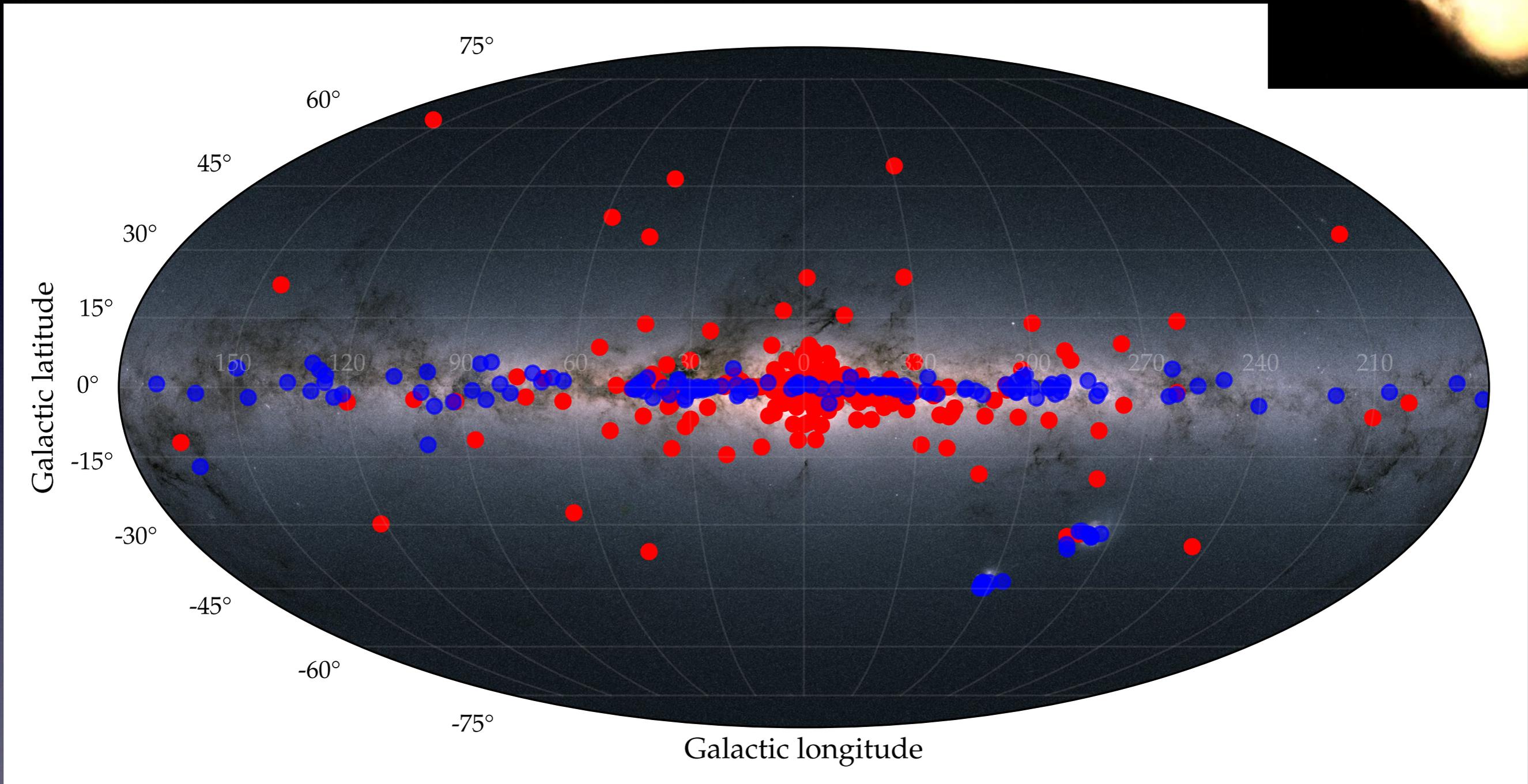
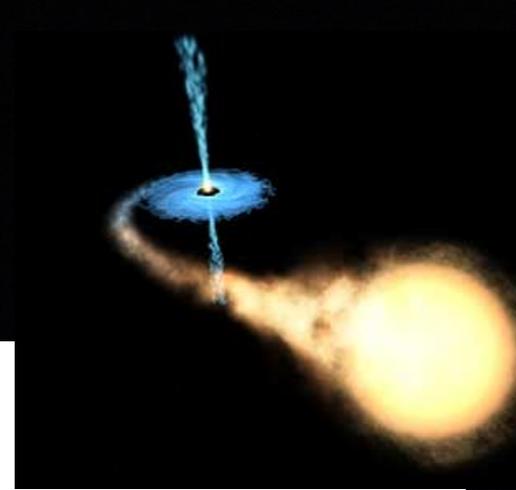
Illustrations de Pierre Guillard pour Ciel & Espace

Cygnus X-1: first « black hole candidate » (1965)

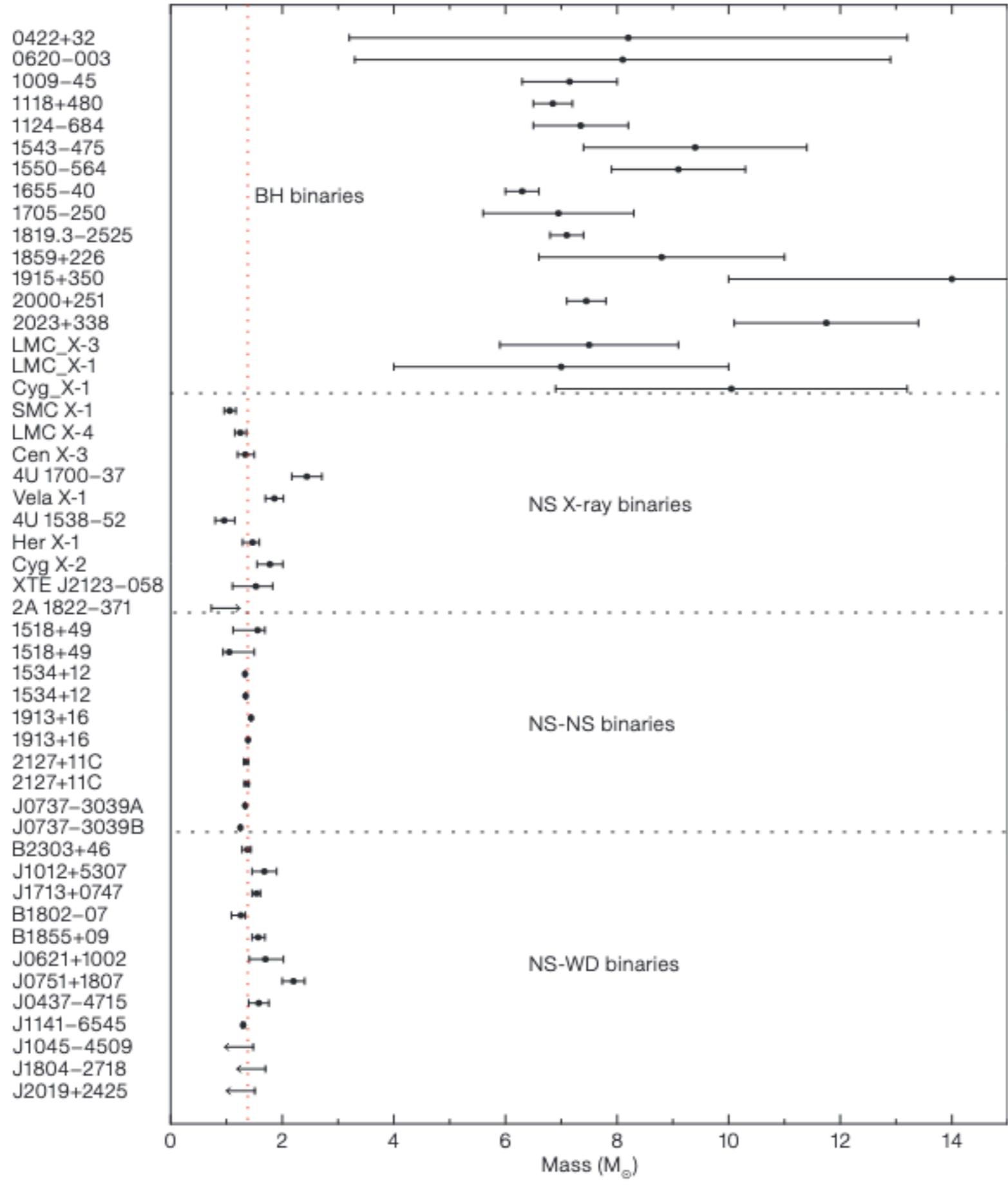
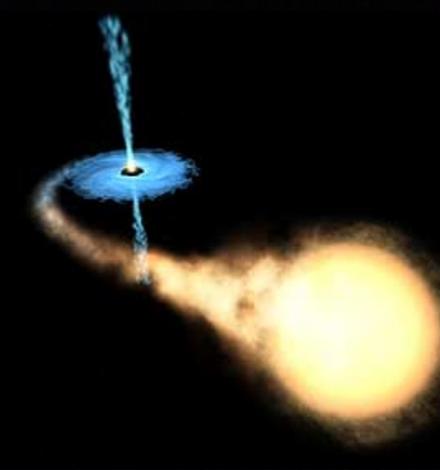


Cygnus X-1 (binary system with supergiant star HD226868 of $40M_{\odot}$ + black hole of $20M_{\odot}$) surrounded by SNR, ring of 15 l.y.
(Westerbork Synthesis Radio Telescope, 60 h)

Binary systems within MW



Galactic distribution of LMXB (in red) and HMXB (in blue)



Stellar couples



Accretion/ejection in microquasars

Thank you!

Sylvain CHATY
Université Paris Cité, APC
17/09/2024
sylvain.chaty@u-paris.fr