

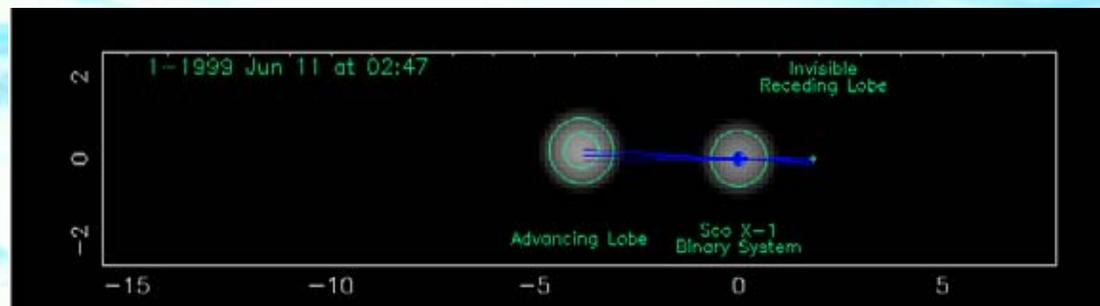
Séminaire IAP Vendredi 16 Février

De l'importance des jets relativistes

Stéphane Corbel

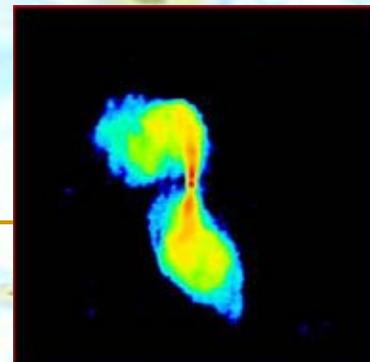
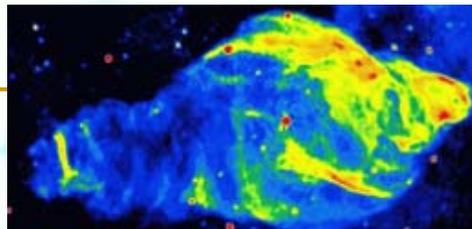
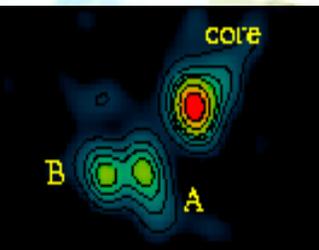
(Université Paris 7 & CEA Saclay)

A.I.M.

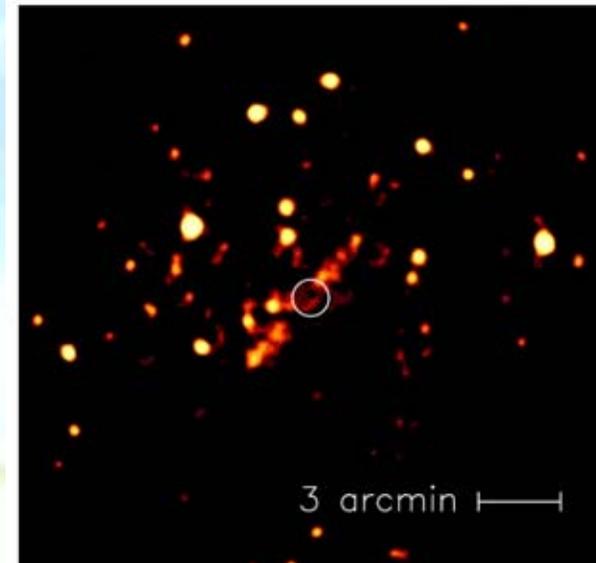
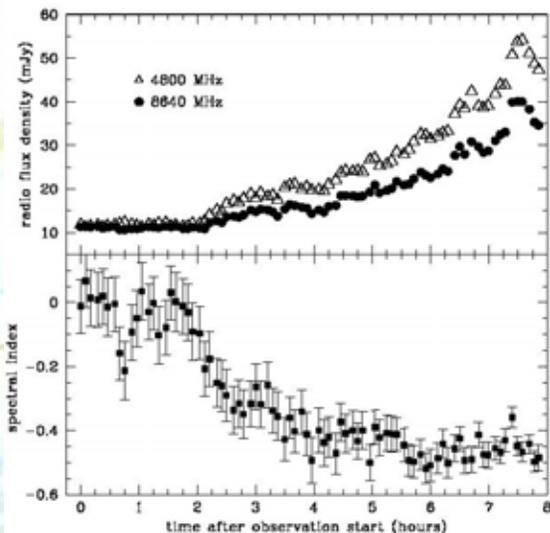


Sommaire (sélection de quelques thèmes)

- Introduction: accrétion, jets relativistes
- Multiples facettes des jets relativistes:
 - Les jets compacts
 - Le plan fondamental d'activité des TN
 - Ejections discrètes et jets larges
- Unification des propriétés accrétion – éjection
- Conclusions et perspectives



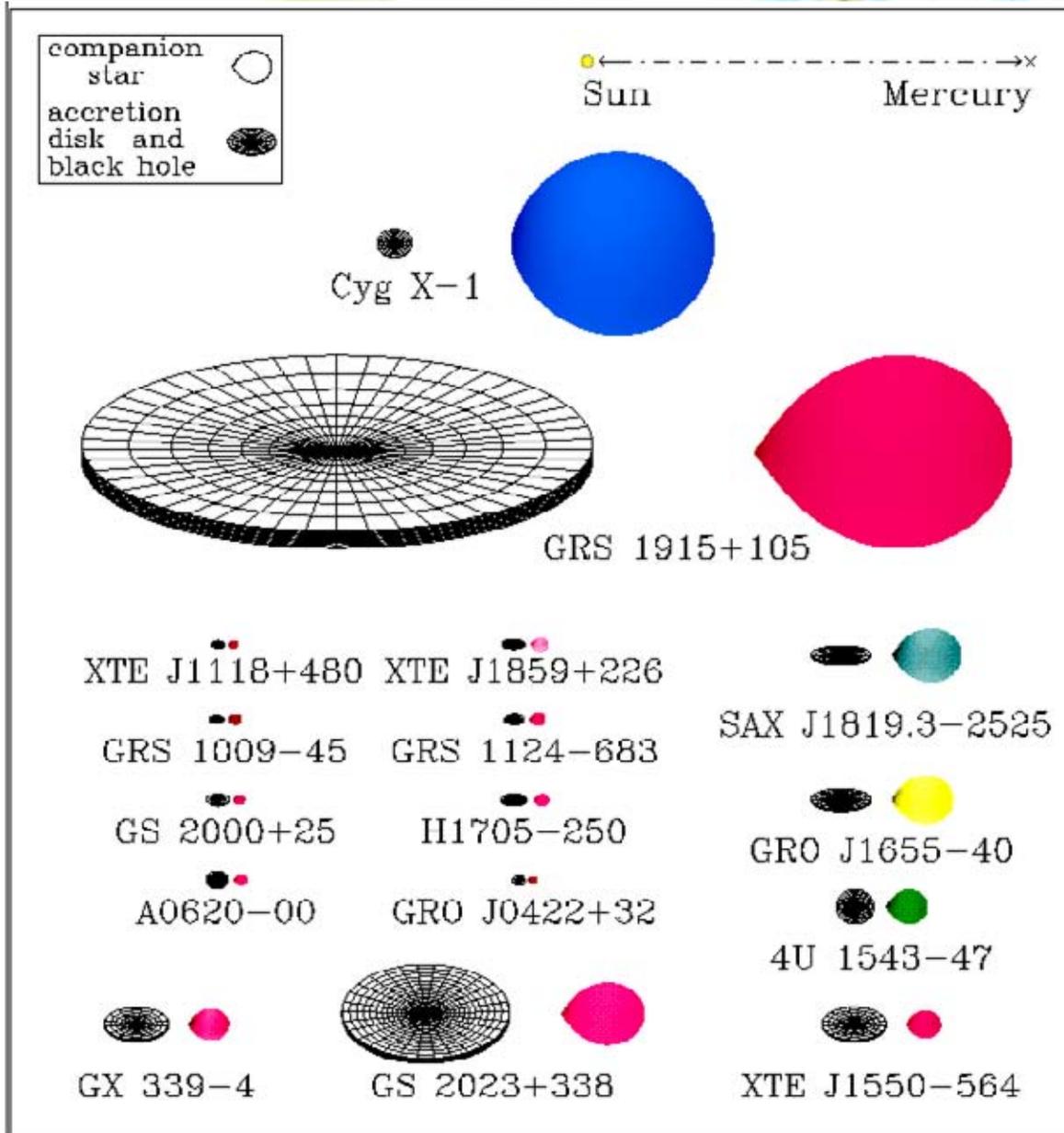
Introduction et présentation du contexte



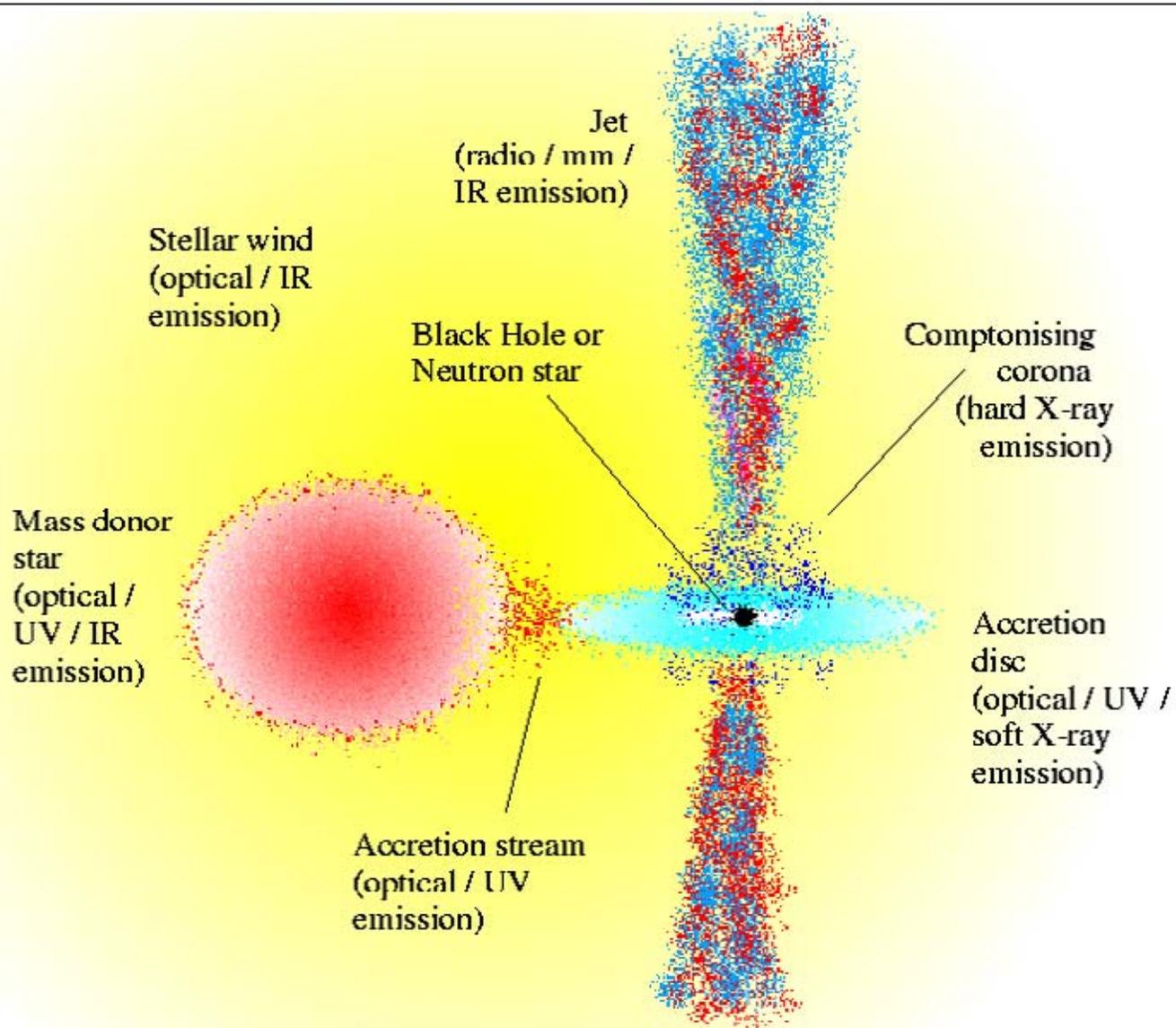
Trous noirs dans la Galaxie

18 TN (en binaire)
confirmés dans la
Galaxie
+ candidats
+ nombreux TN en
quiescence

Echelle relative;
inclinaison, et couleur du
compagnon.



Systeme binaire X



Spectres X-Gamma

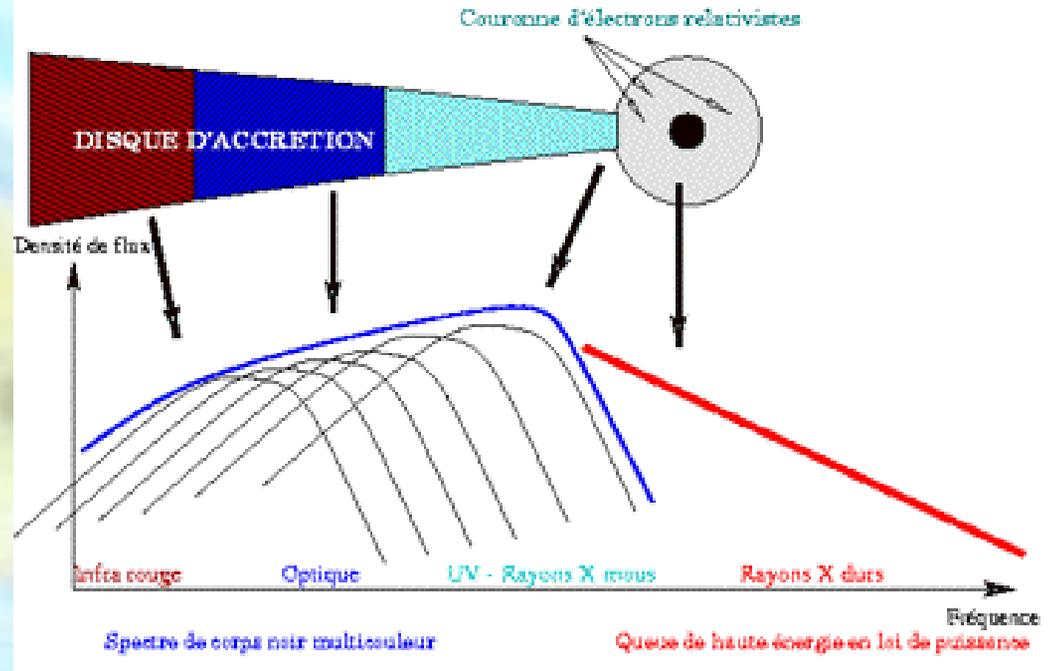
Disque d'accrétion:

disque α standard, $T_{in} \propto R^{-3/4}$ modélisé par une succession de corps noirs

Queue de haute énergie:

nature exacte inconnue, couramment interprétée comme couronne Compton

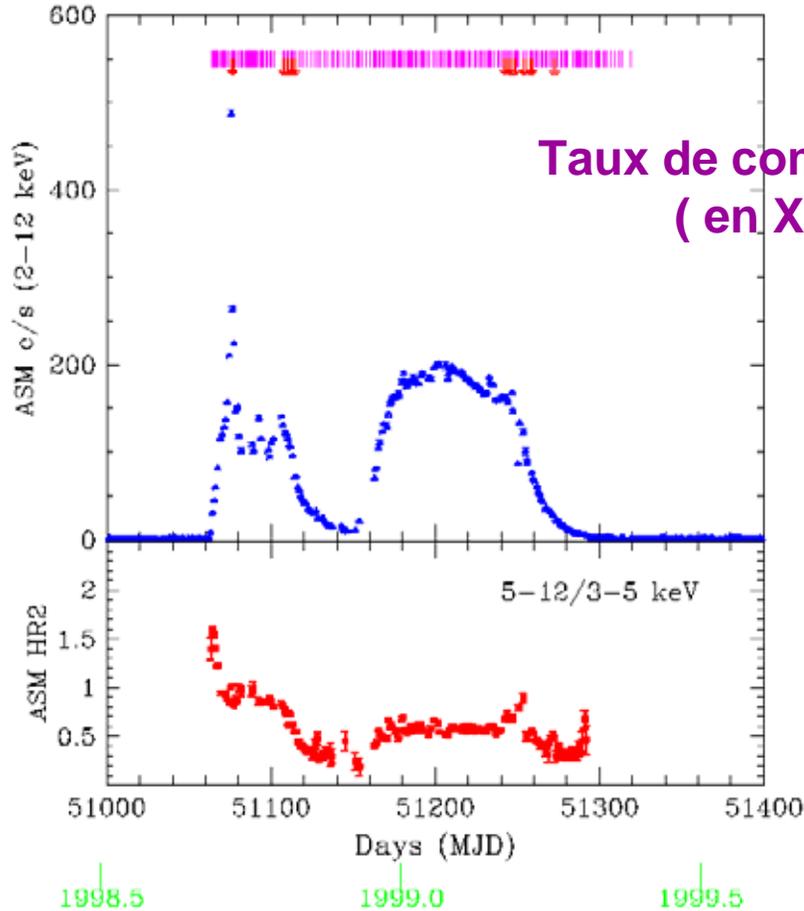
Modélisation en loi de puissance (+coupure) ou modèles Compton



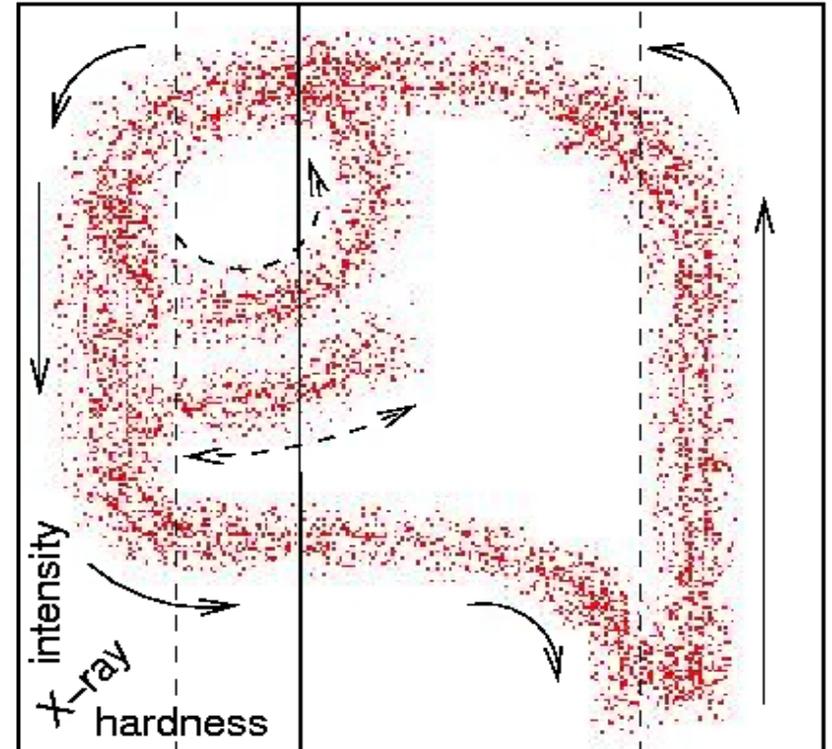
+ Composante de réflexion
+ raie du fer....

Variabilités temporelles et spectrales

RXTE All Sky Monitor: XTE J1550-564



TD SPL / IS HS (McC& Rem)

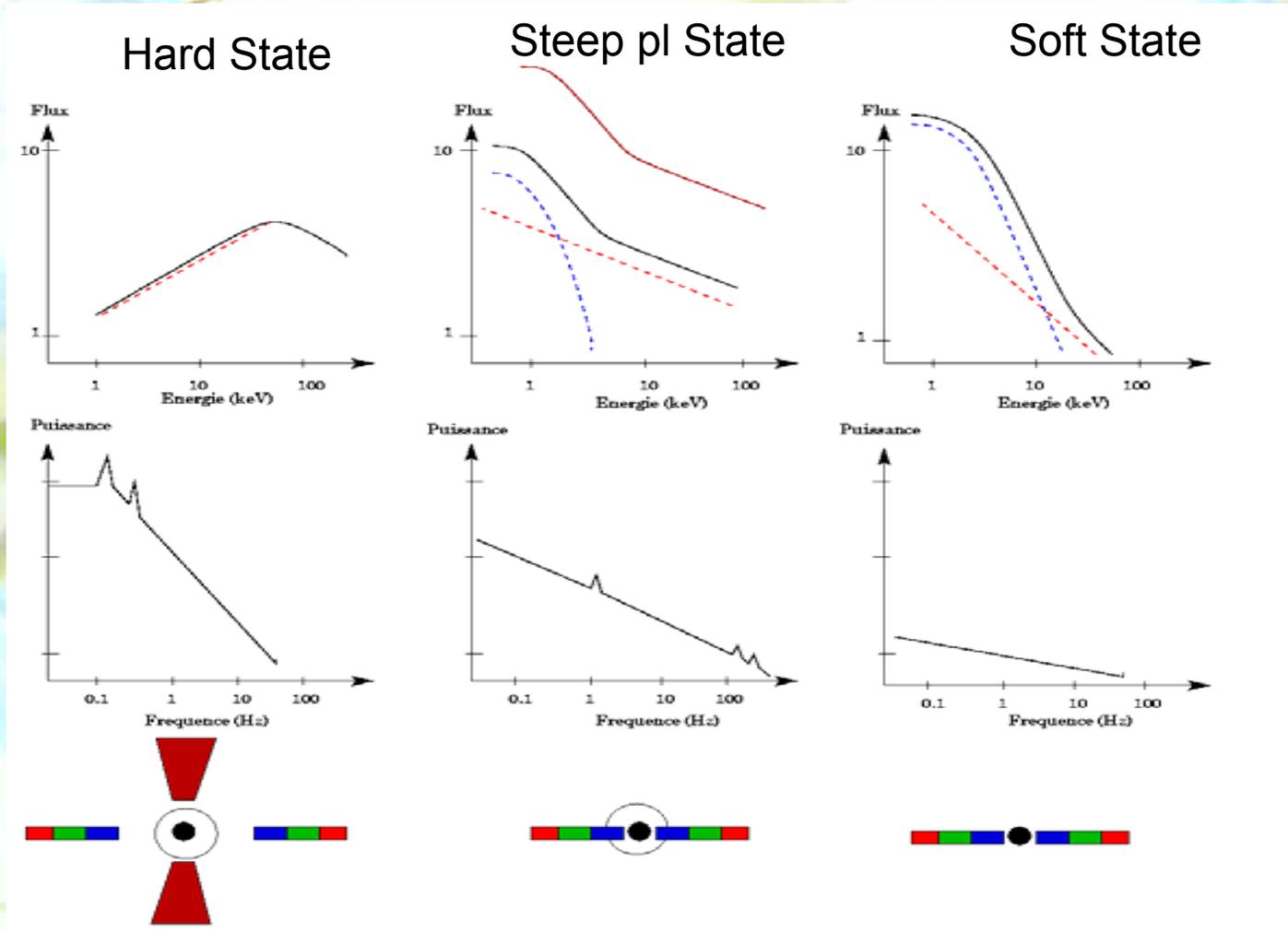


Dureté du spectre X

Hardness Intensity Diagram (HID)

➔ Variabilités (jour → ms) : disque, jet couronne

Etats spectraux en X



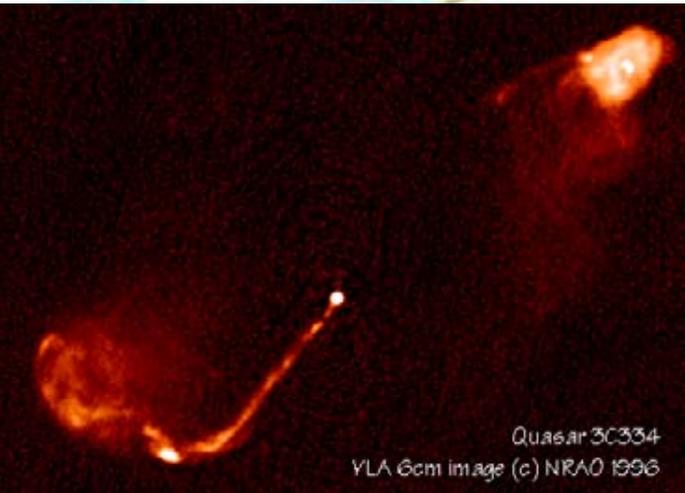
Historiquement: Etat spectraux ordonnés selon luminosités croissantes: HS -> SS -> SPL \Leftrightarrow Taux d'accrétion = paramètre unique dictant les transitions

-
- Outils pour caractériser les propriétés d'accrétion (mais pas uniquement) = spectres de puissance (RXTE) et spectre en énergie (RXTE, XMM, Chandra, Integral et GLAST)

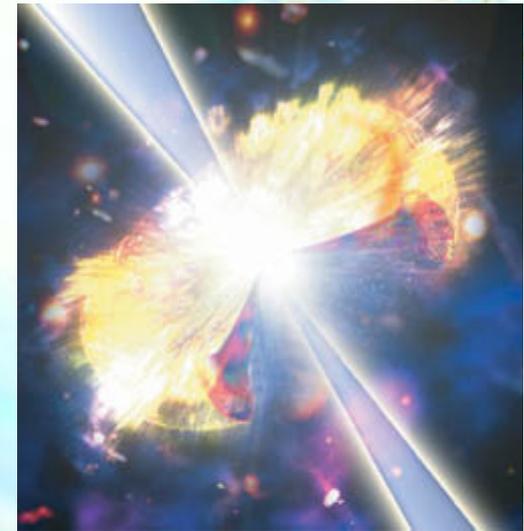
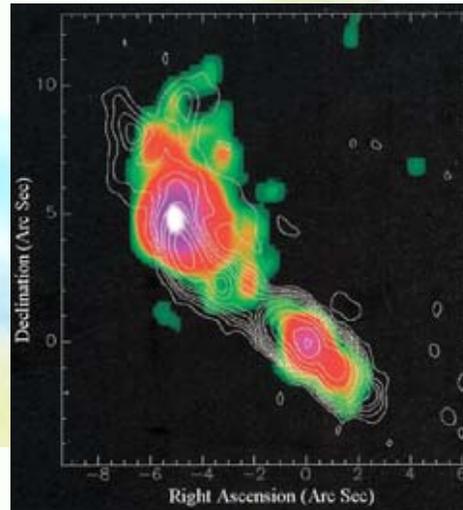
Film GRO J1655-40(J. Homan, private communication)

- Ne pas oublier importance des observations multi-longueurs d'ondes !!! Microquasars.
-

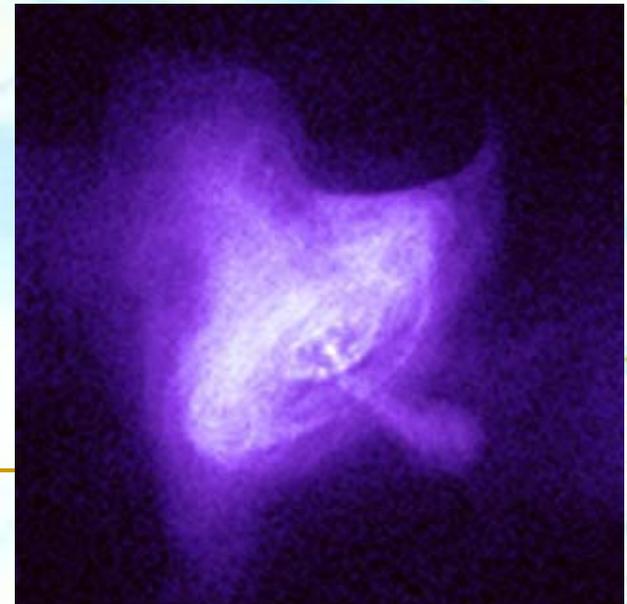
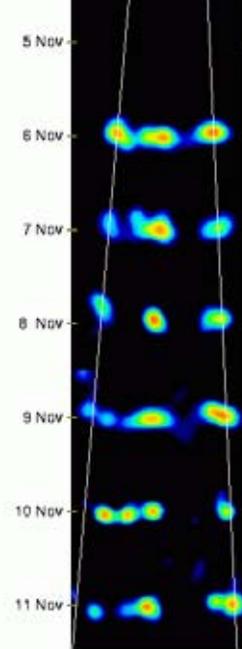
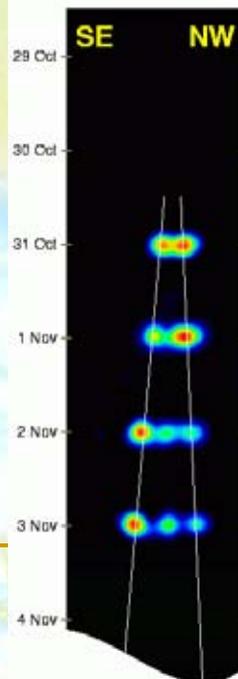
Les jets: ils sont partout...



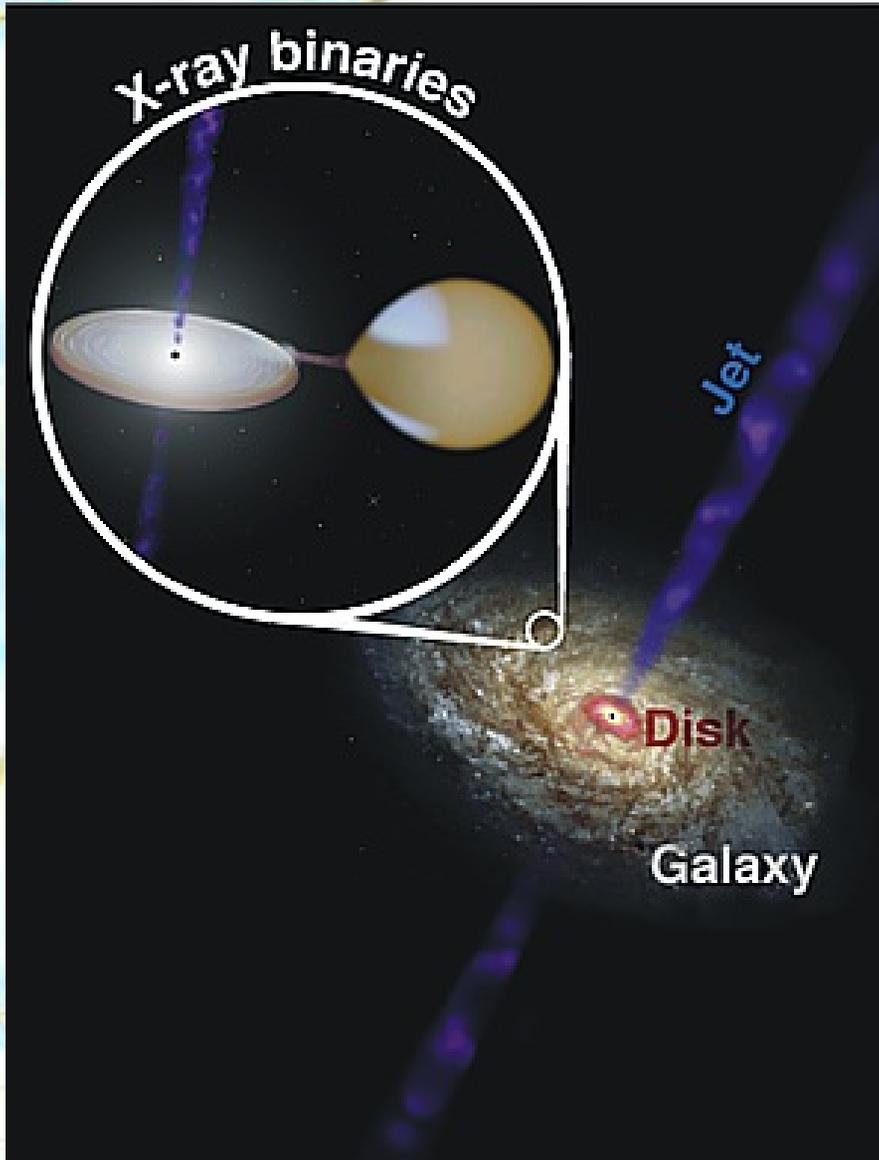
LIN



GRS1915+105



Analogies AGNs / XRBs

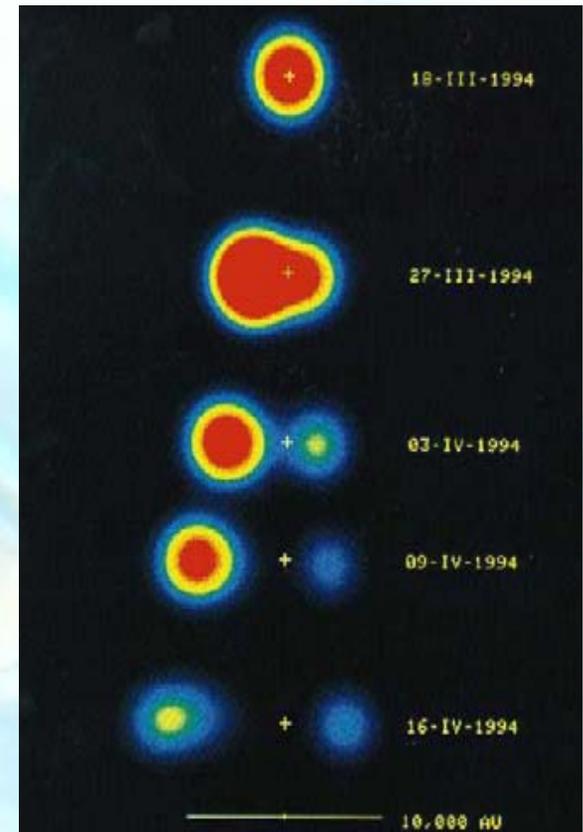
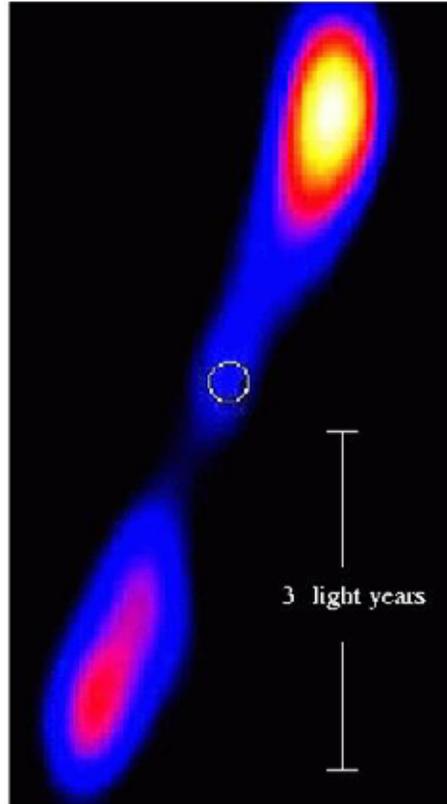
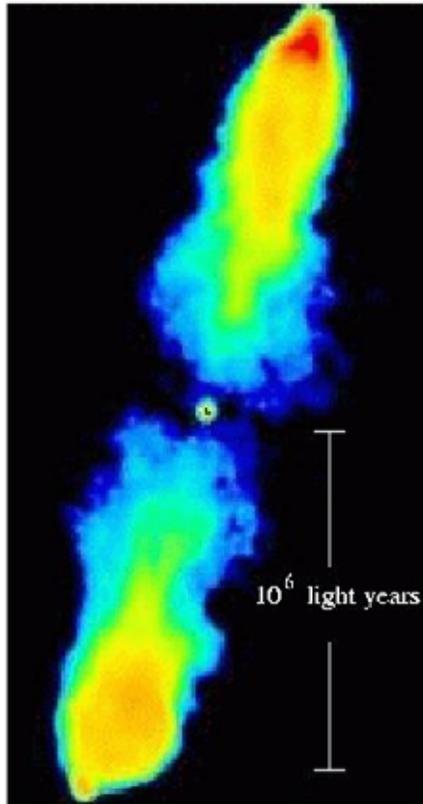


- Même ingrédients: Trou noir + disque d'accrétion + jets
- Même physique sur une grande échelle de masse (et géométrie différente) ?

Jet radio large: analogie quasar – microquasar

Quasar 3C 223

1E1740.7-2942



Mirabel et al. 94

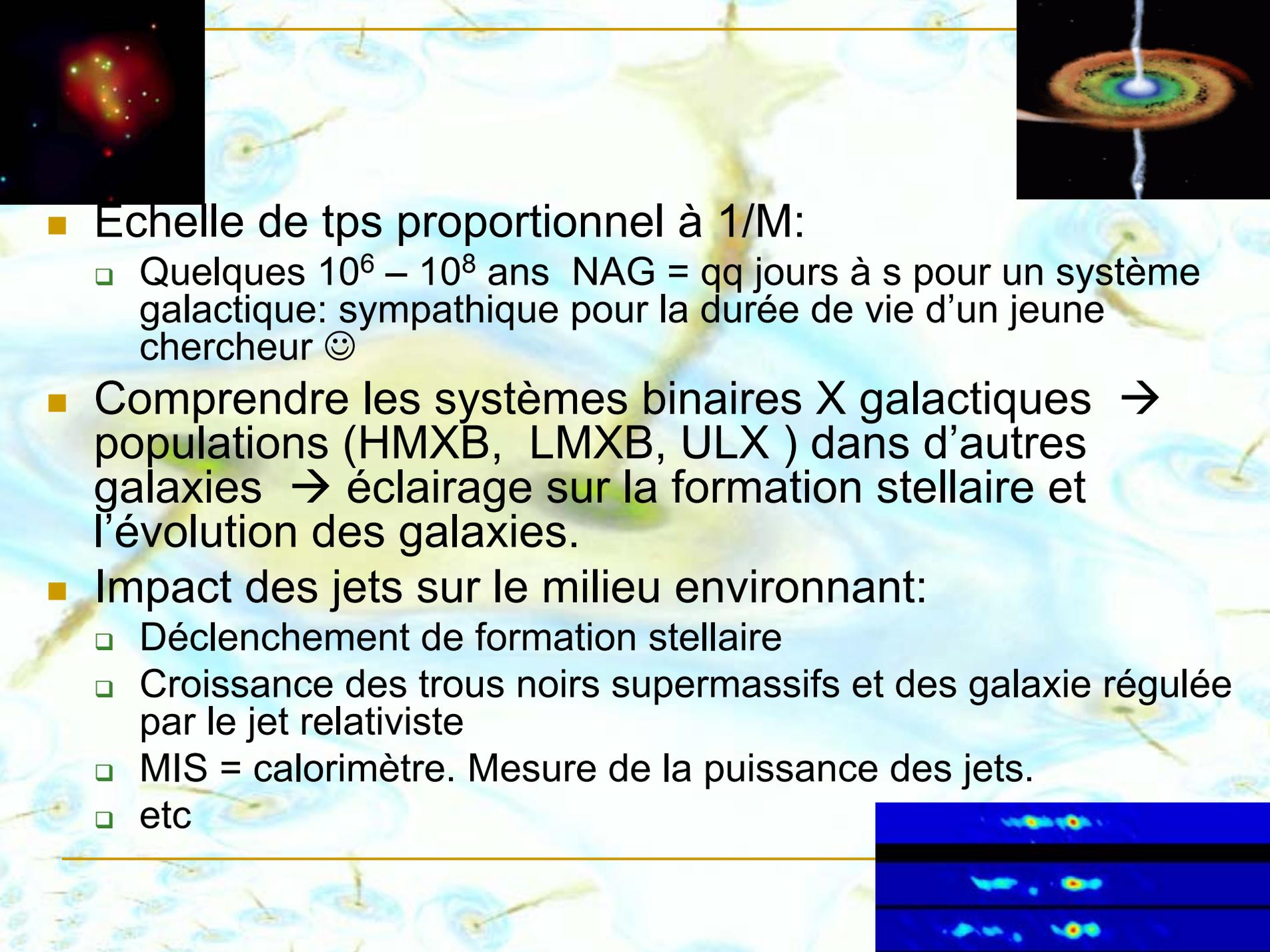
Jets larges persistants en radio
⇒ action à long terme des éjections
sur le MIS.

Ejections discrètes:

- qq sec arc = qq 10 000s u.a.
- superluminique, balistique

- **Jets collimatés**: présent partout, la seule composante actuellement résolues dans les NAG:
 - ❑ Les processus physiques sous-jacents à l'accélération et à la collimation ne sont toujours pas compris: B...
 - ❑ Composition des jets: e^-/e^+ , e^-/p , ions ?
 - ❑ Energétique des jets: fraction de l'énergie d'accrétion ? Extraction de l'énergie de rotation du trou noir ?
 - ❑ Ré-accélération dans les jets, chocs internes, flux de Poynting?,
 - ❑ Jets intimement reliés au processus d'accrétion par l'intermédiaire d'un disque
- **Disques d'accrétion** jouent un rôle dans un large nombre de situation astrophysique de la formation des étoiles aux NAG. En particulier, les disques autour des objets compacts constituent un sujet central pour l'astrophysiques des hautes énergies:
 - ❑ Physique de l'extrême incluant la relativité en champ gravitationnel intense, rotation des trous noirs, horizon des évènements,
 - ❑ Extraction du moment angulaire (viscosité, jets, ...)





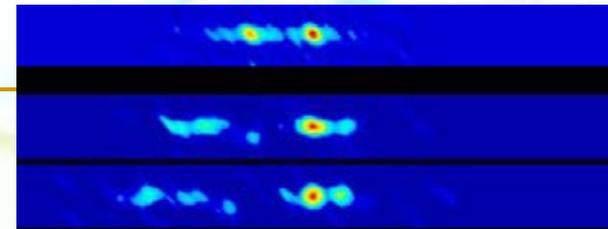
- Echelle de tps proportionnel à $1/M$:

- Quelques $10^6 - 10^8$ ans NAG = qq jours à s pour un système galactique: sympathique pour la durée de vie d'un jeune chercheur ☺

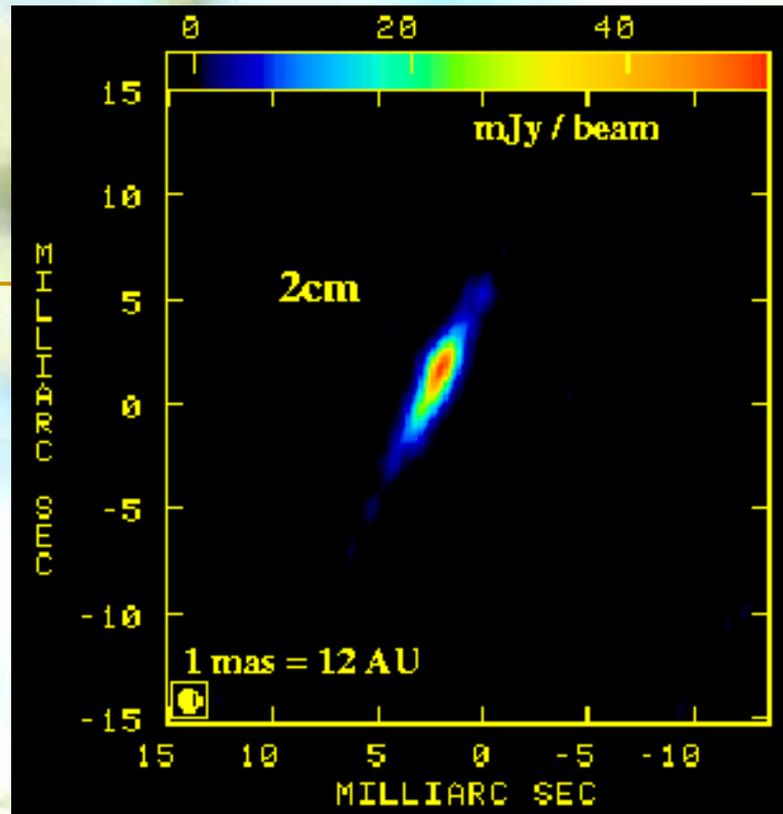
- Comprendre les systèmes binaires X galactiques → populations (HMXB, LMXB, ULX) dans d'autres galaxies → éclairage sur la formation stellaire et l'évolution des galaxies.

- Impact des jets sur le milieu environnant:

- Déclenchement de formation stellaire
- Croissance des trous noirs supermassifs et des galaxie régulée par le jet relativiste
- MIS = calorimètre. Mesure de la puissance des jets.
- etc

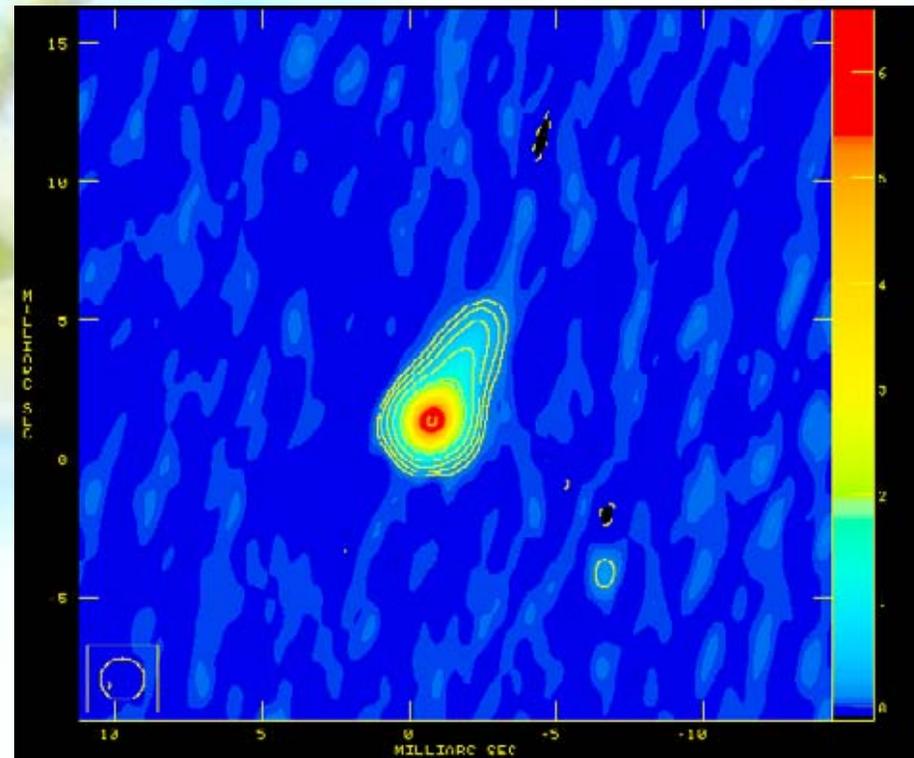
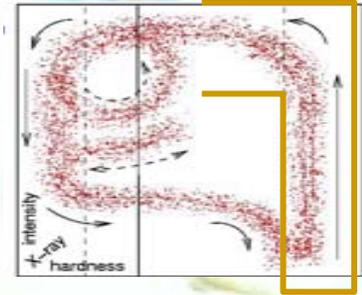


Multiples facettes des jets relativistes

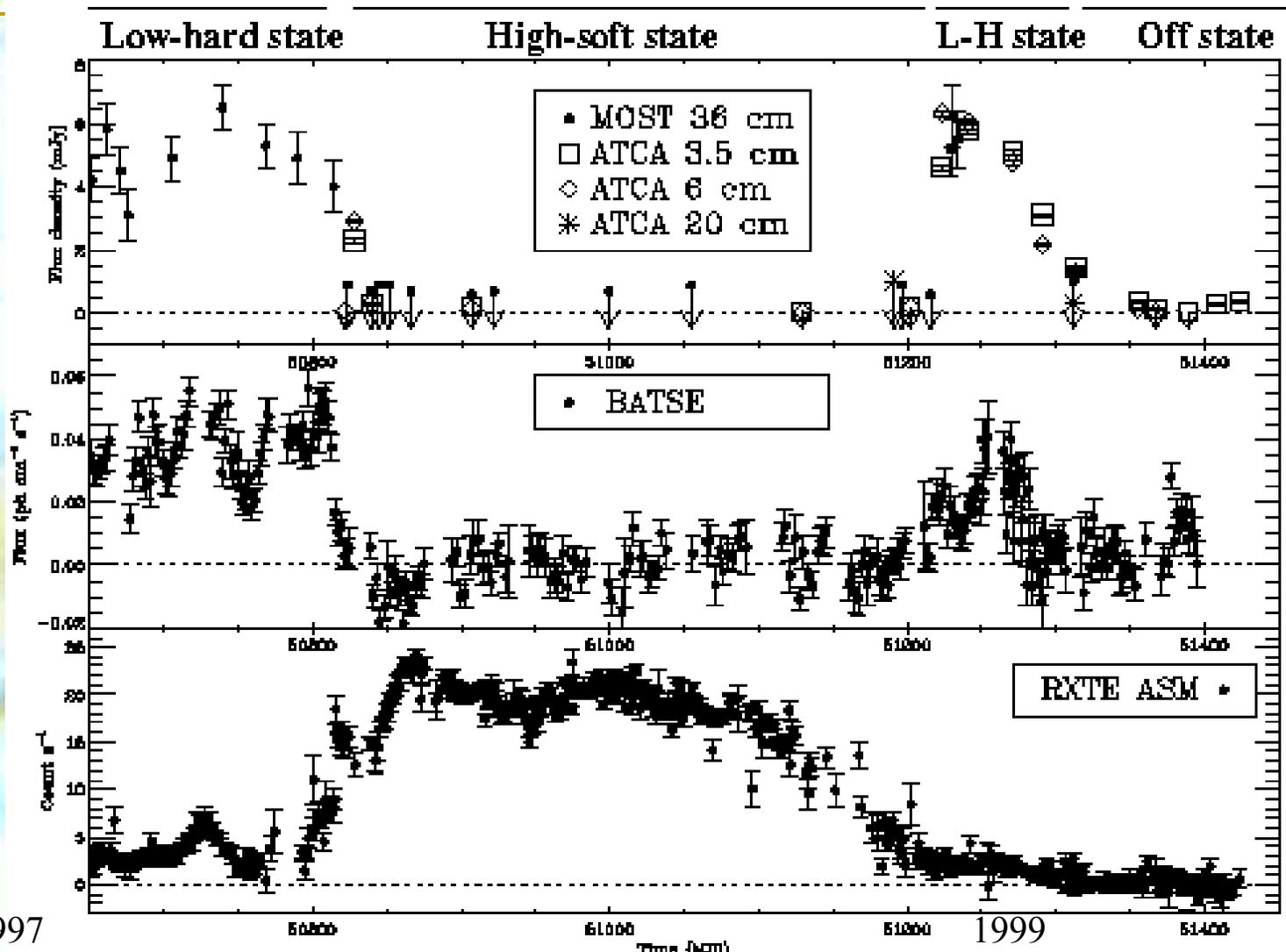


Mise en évidence des jets compacts

- Spectre radio plat \neq éjections discrètes
- Dimension = qq mas = qq 10s u.a. (mais non résolue en général)
- Jet compact auto-absorbé
- Similaire au cœur compact des NAG
- Associé spectre X dur (hard state)



Carte radio VLBA de Cyg X-1
(Stirling et al. 2001)

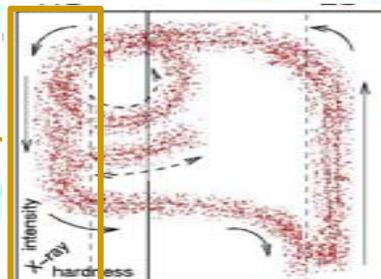


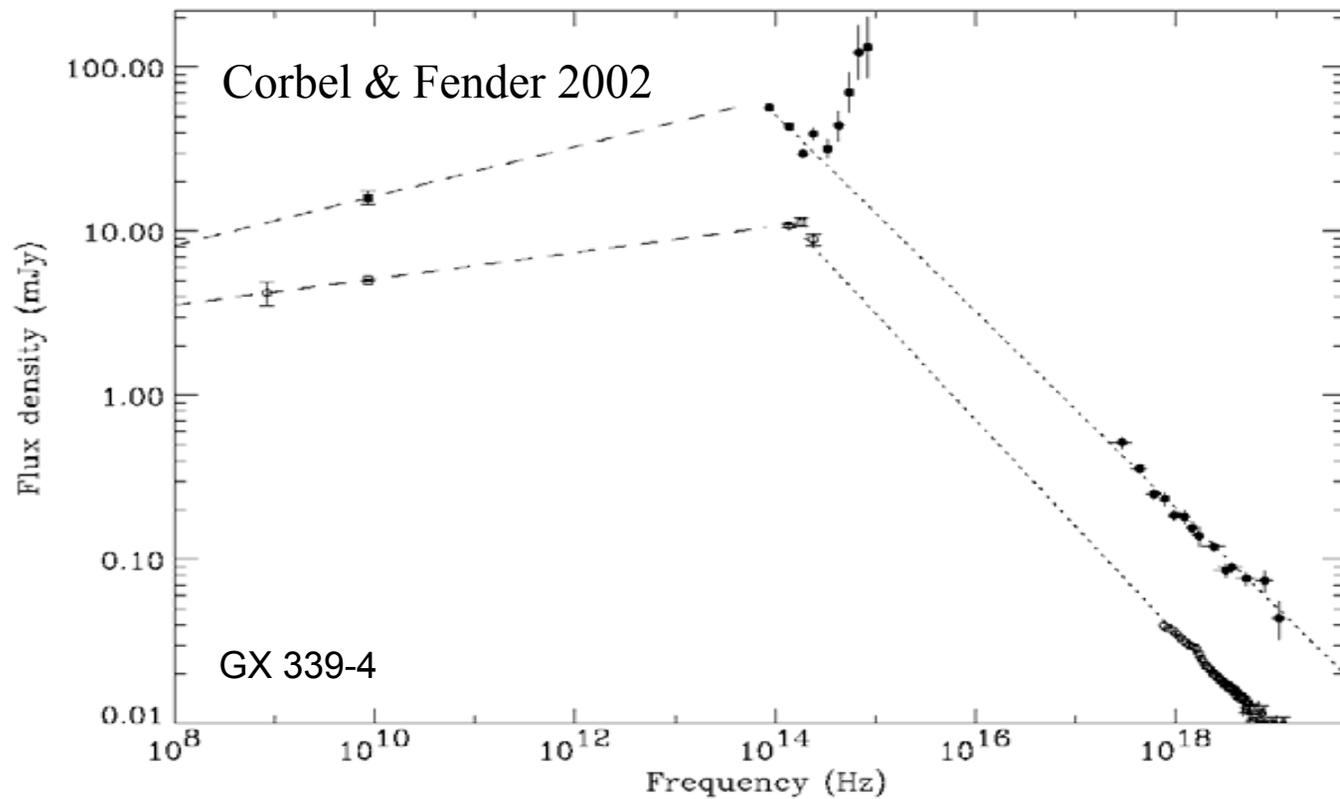
1997

1999

Fender et al. (1999), Corbel et al. (2000)

Suppression du jet compact à fort
taux d'accrétion

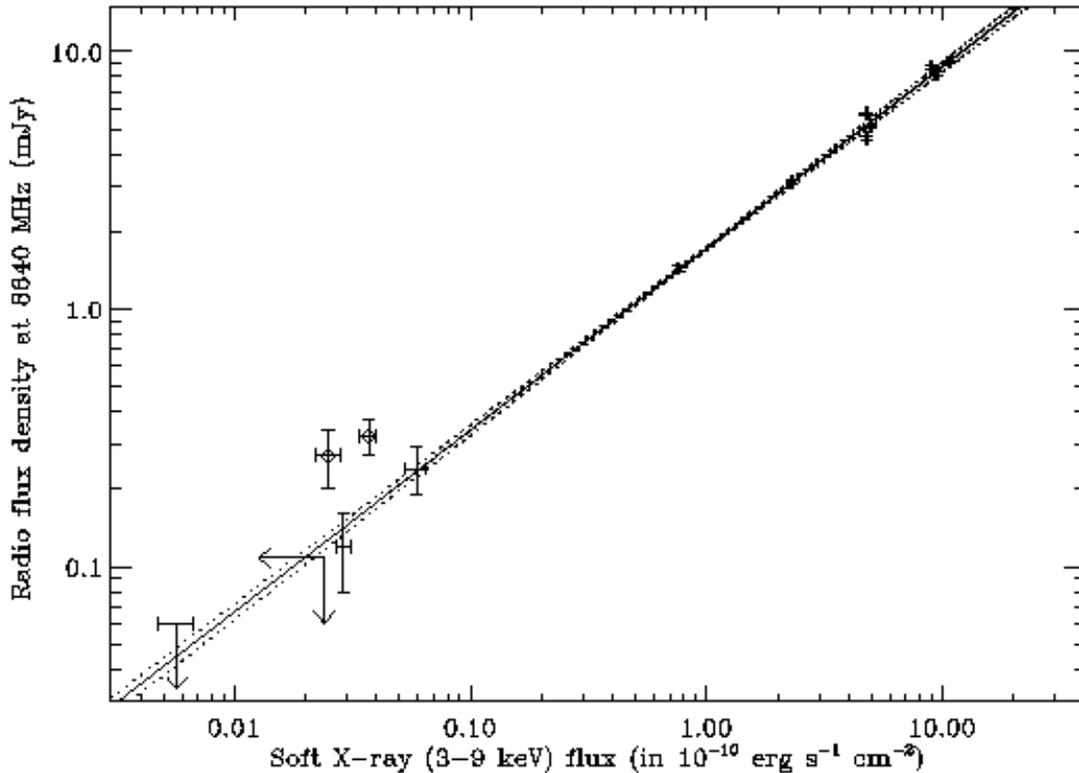




- Contribution significative du jet compact en IR (> émission thermique du disque: **rayonnement IR synchrotron** !)
- Spectre X consistant avec une extrapolation de la loi de puissance en provenance de l'IR (-0.6): **X = raynmt synch. optiquement mince** (et non la couronne) ???

Corrélation flux radio et X

GX 339-4



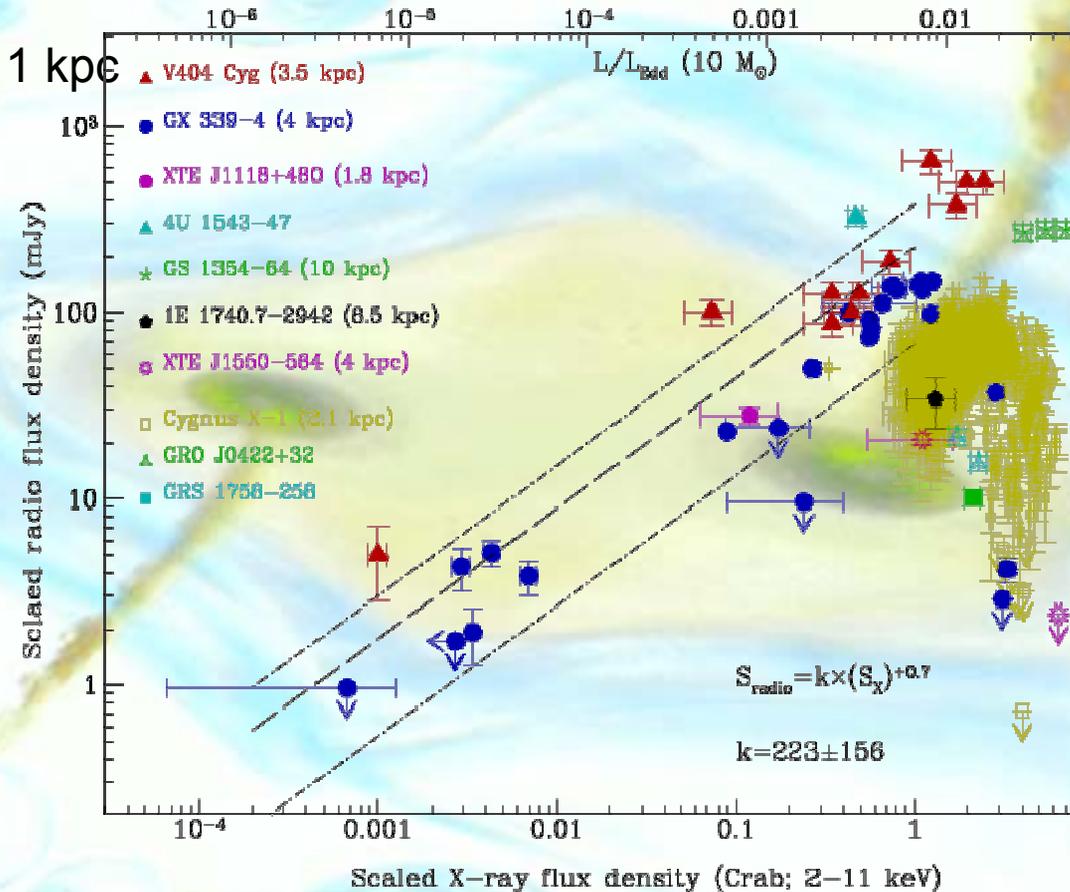
Corbel et al. (2000), Corbel et al. (2003)

Très forte corrélation entre émissions radio et X sur plus de 3 décades en flux (et ce jusqu'à la quiescence et sur différents sursauts)

$$F_{\text{rad}} \propto F_X^{+0.7}$$

Non-linéaire

Une corrélation universelle !



Gallo, Fender, Pooley (2003)

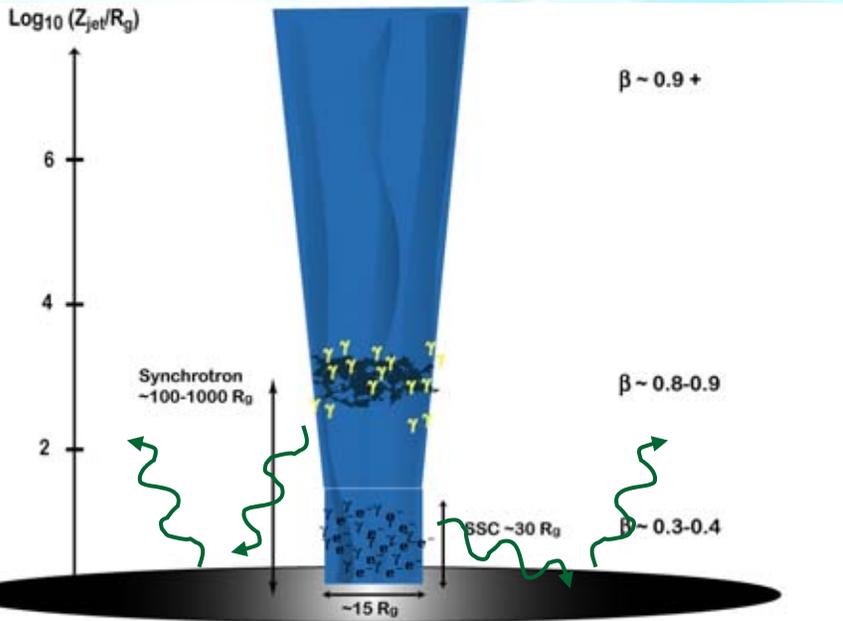
$$F_{\text{rad}} \propto F_X^{+0.7}$$

➔ Même couplage !!!

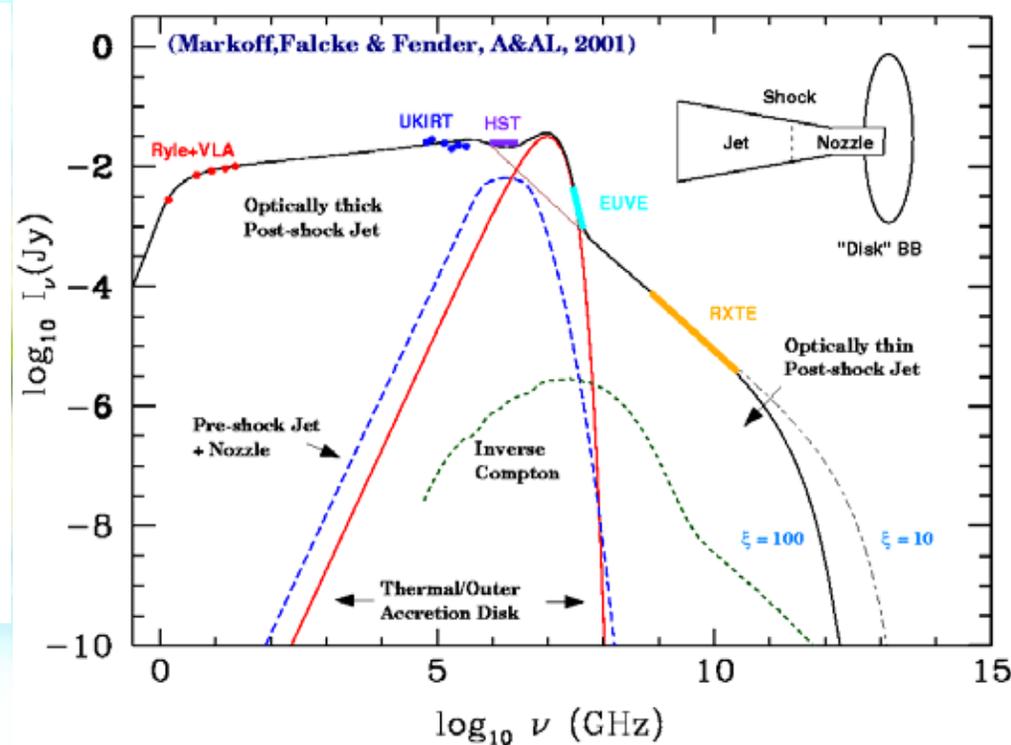
Pas d'amplification
Doppler forte $\rightarrow \beta < 0.8 c$
pour les jets compacts

Un modèle de jet compact pour expliquer l'émission des TN de la radio jusqu'aux X

XTE J1118+480



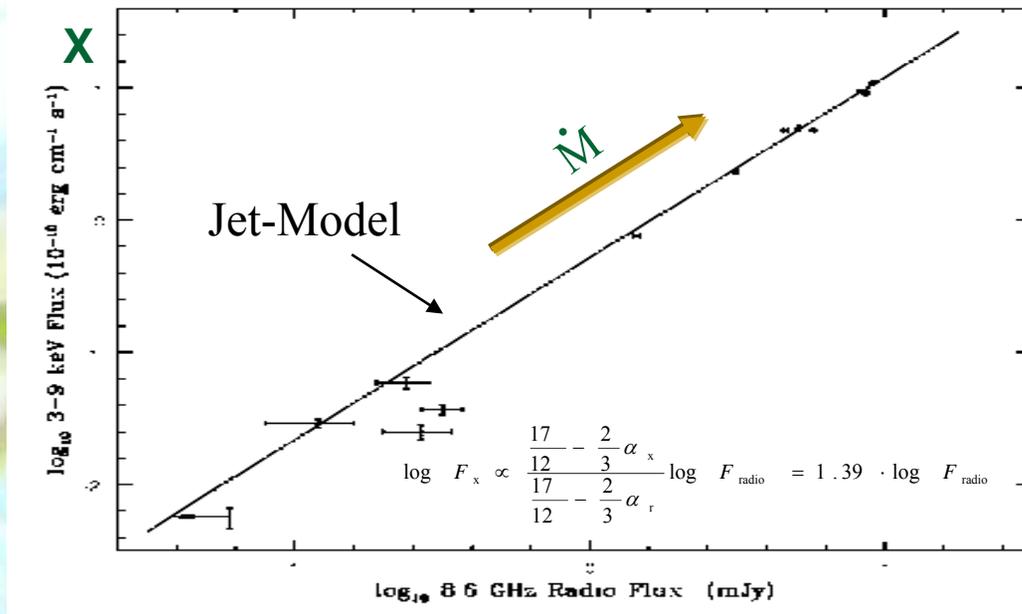
Markoff & Nowak (2004)



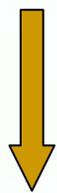
Si l'émission du jet s'étend jusqu'à l'optique, alors le jet emporte $> 10\%$ de la puissance ($> 90\%$ si jusqu'aux X) !!!

Le modèle de jet et la corrélation radio/X de

GX 339-4 X-ray vs. Radio correlation (GX339-4)



$$F_{\text{rad}} \propto F_X^{+0.7}$$



$$F_X \propto F_{\text{Rad}}^{+1.40}$$

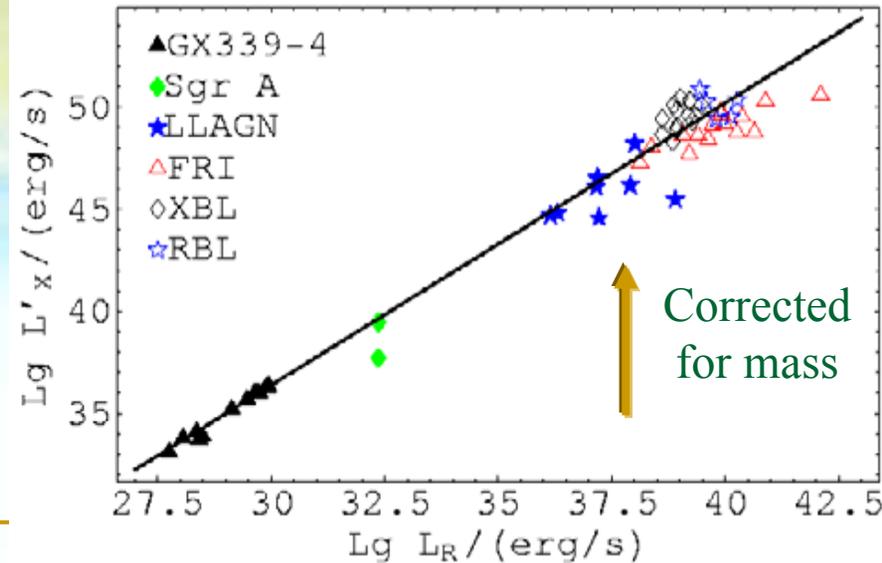
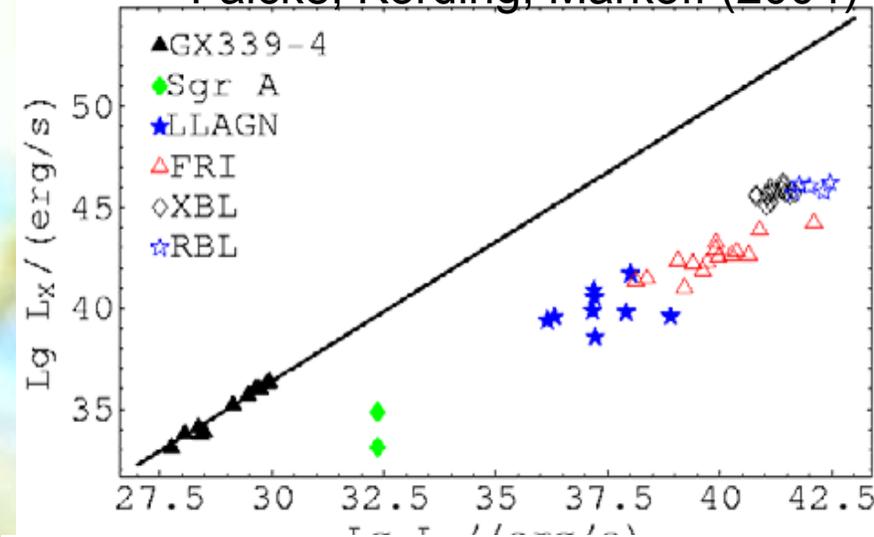
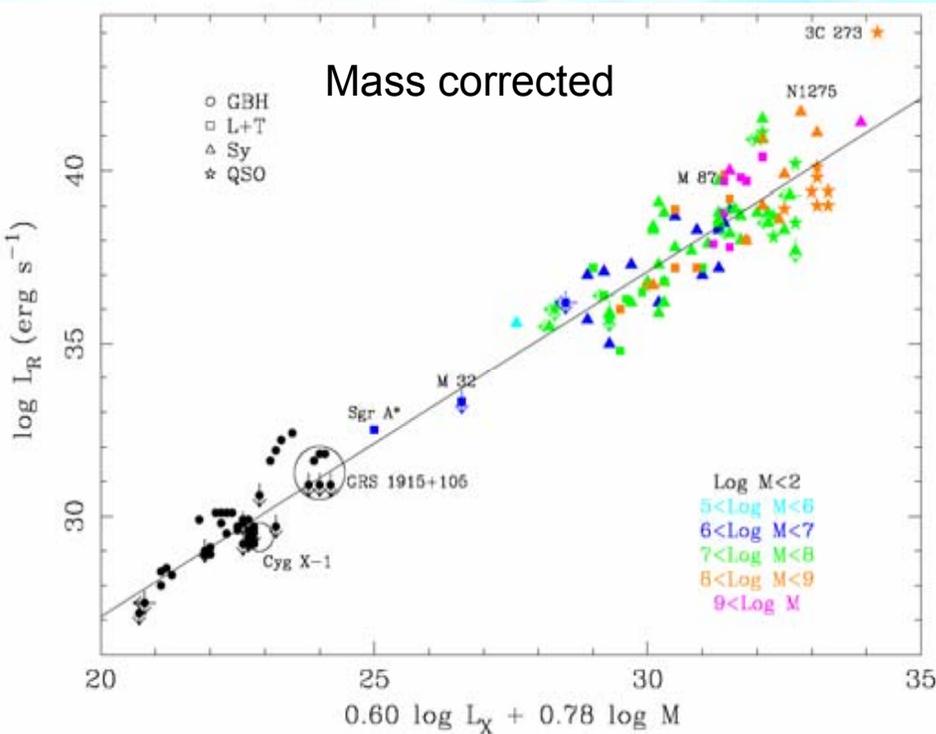
Radio

- Données: corrélation non linéaire $\alpha=1.40$ (!!! X vs radio !!!).
- Modèle analytique de jet prédit $\alpha=1.39$
- ⇒ Reproduit parfaitement la pente de la corrélation radio/X

Plan fondamental : deux illustrations

Radio, X, et Masse

Falcke, Körding, Markoff (2004)

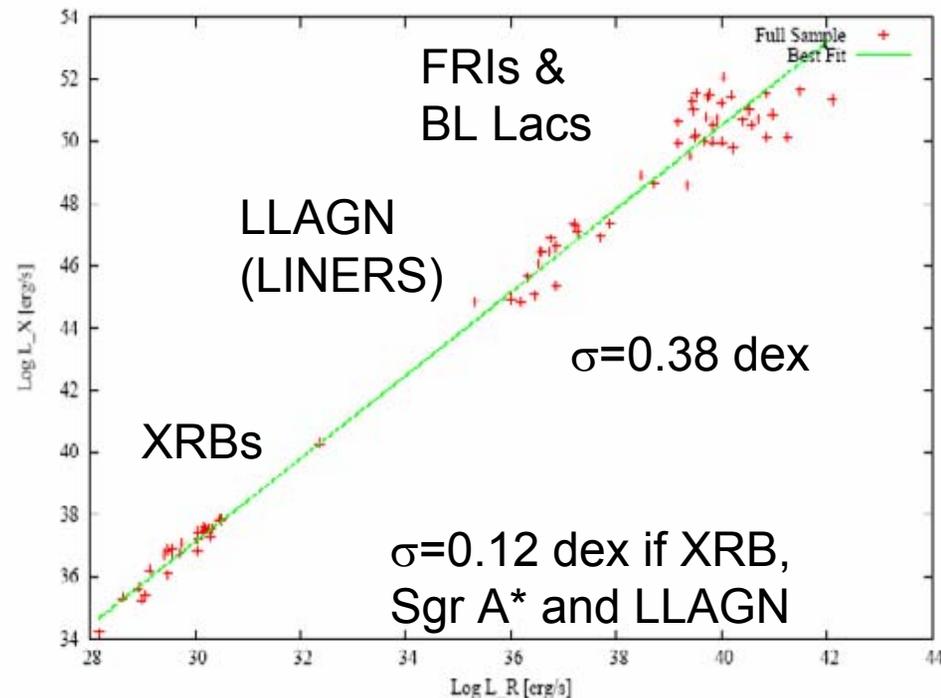
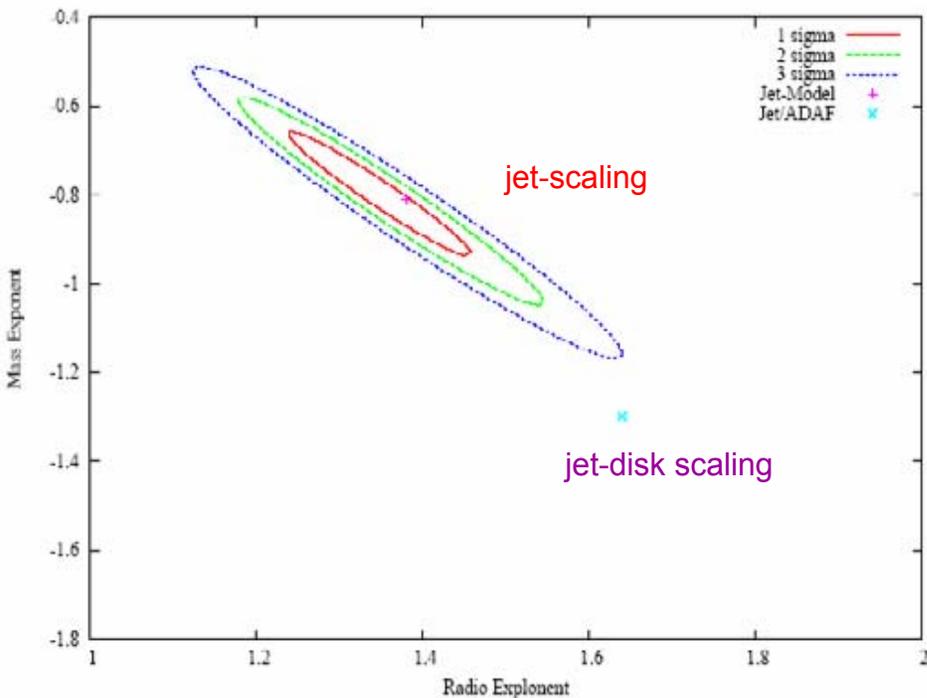


Merloni, Heinz, Matteo (2003)

→ *Modèle ADAF/Jet*

→ *Modèle jet seul*

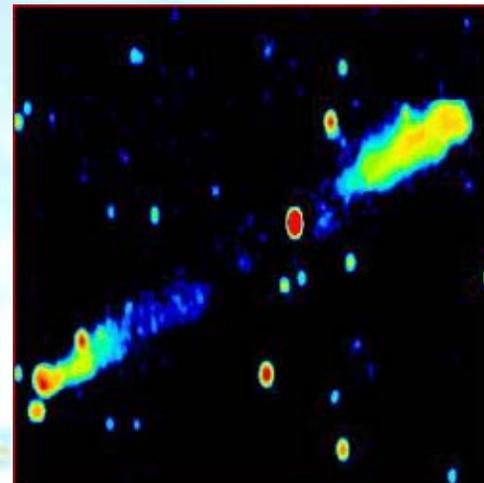
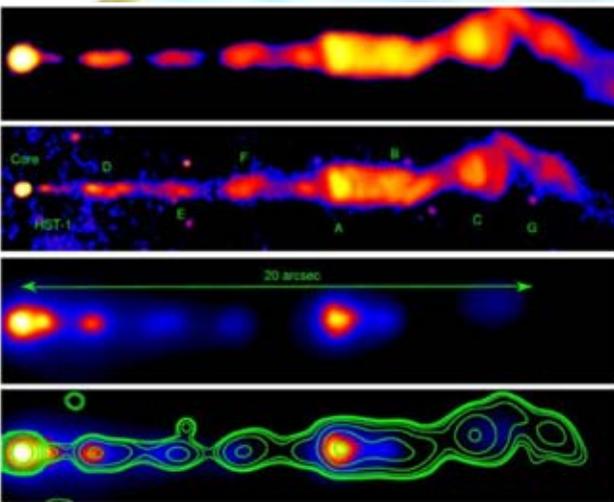
Statistique – Variation de l'échantillon: XRBs, LLAGN, FRIs, BL Lacs

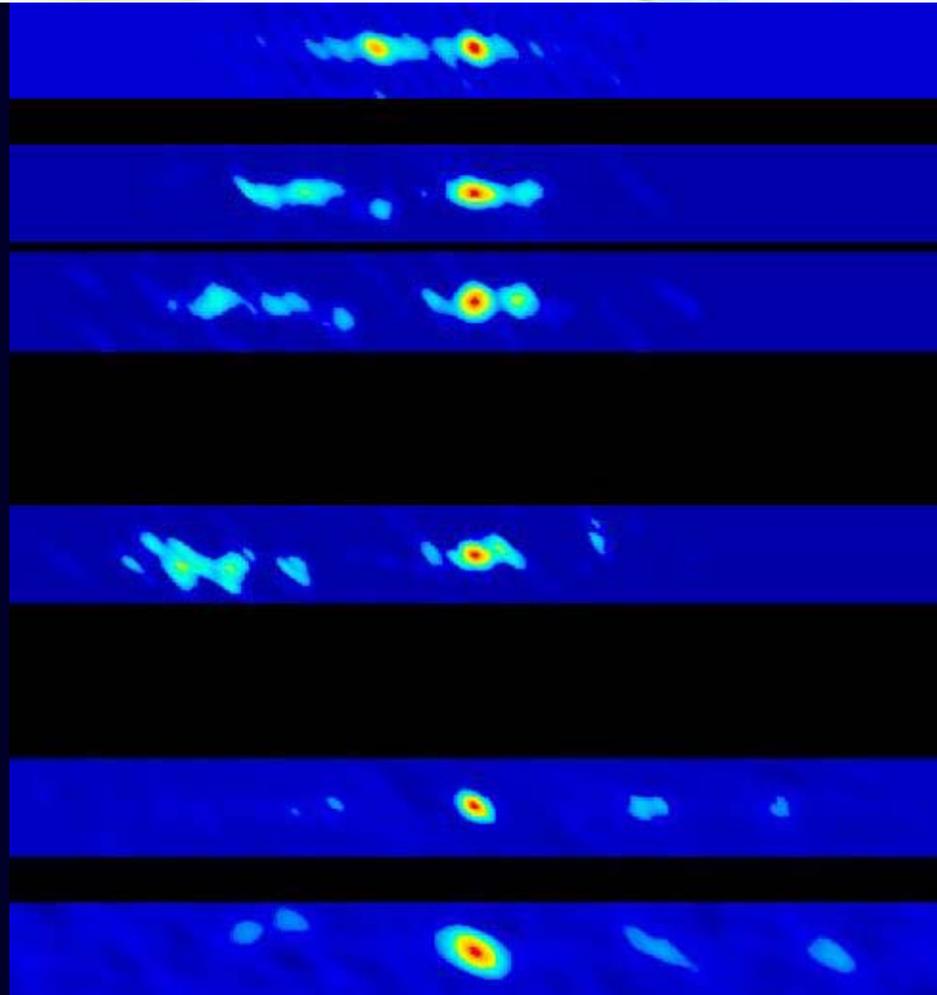
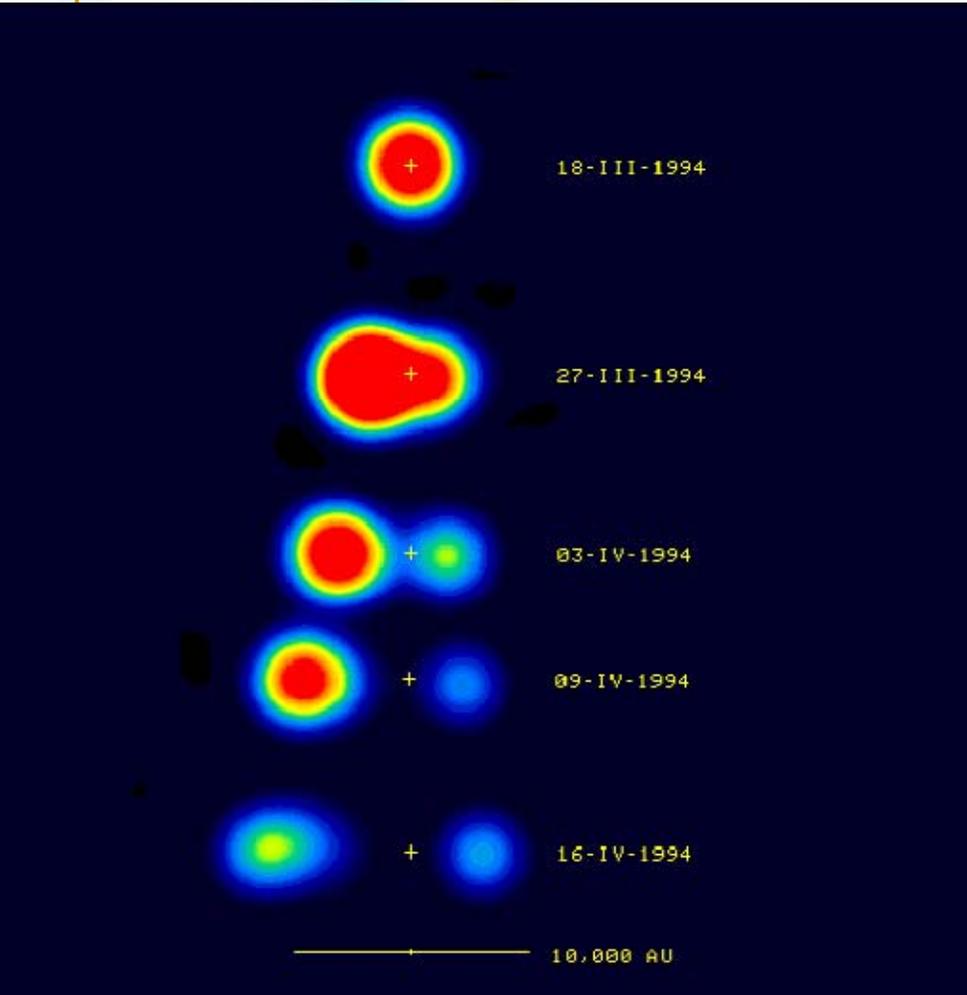
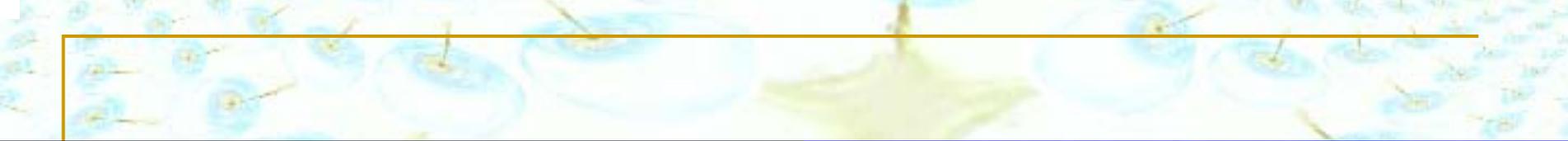


Körding, Falcke, Corbel (2006)

KFC sample

Ejections relativistes et jets larges





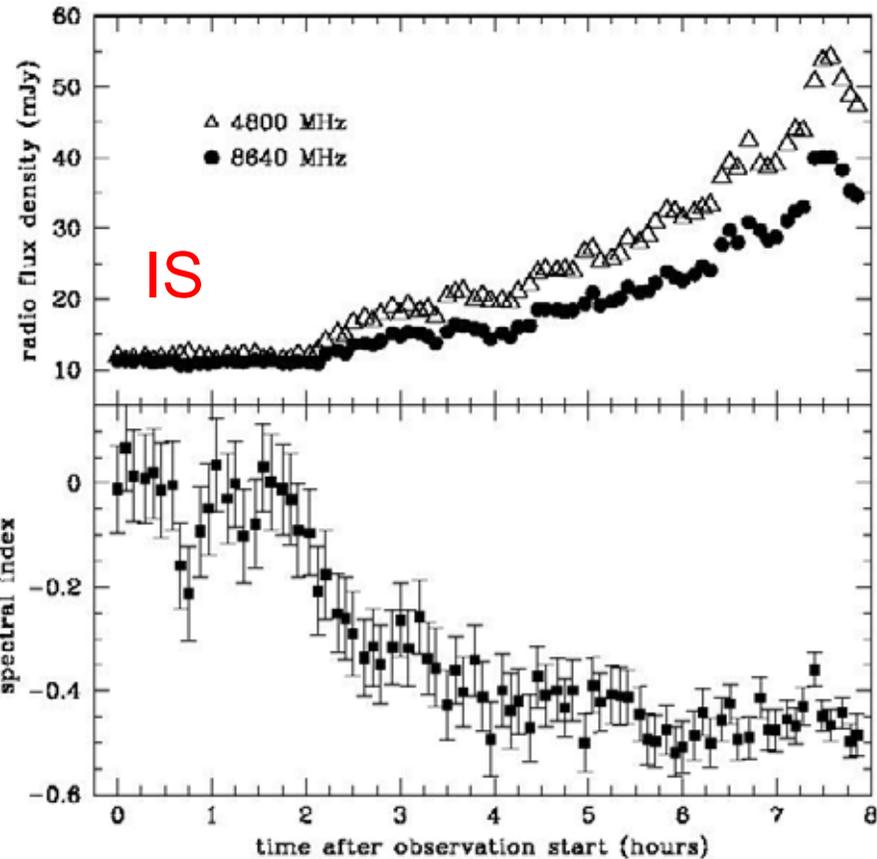
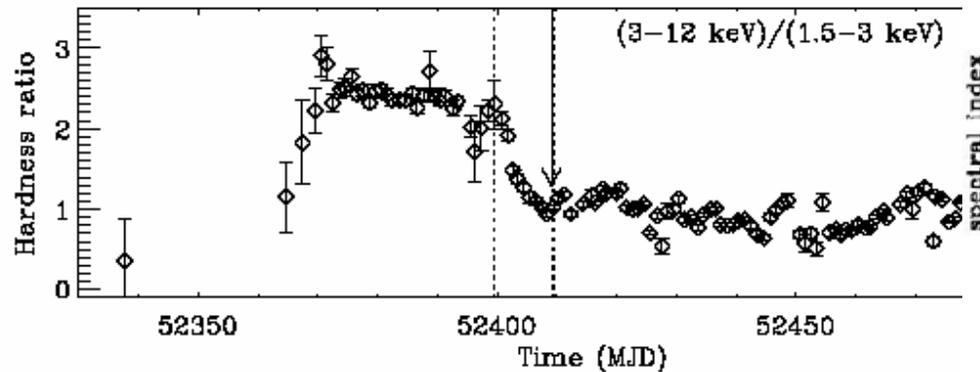
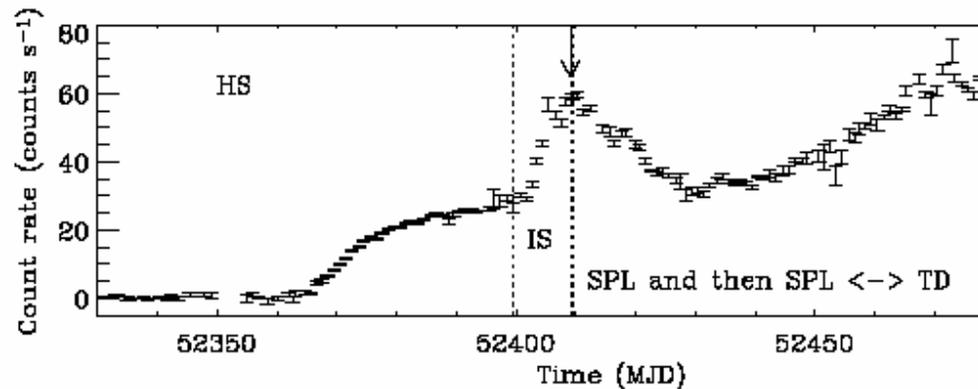
Mirabel & Rodriguez 1994

Hjellming et al. 1995



GX 339-4: sursaut 2002

Sursaut radio en mai 2002



Corbel et al. 2004

Gallo et al. 2004

Compact jet « survit » dans IS + éjection massive pdt la transition IS/SPL (Corbel et al. 2004) → formation jet large

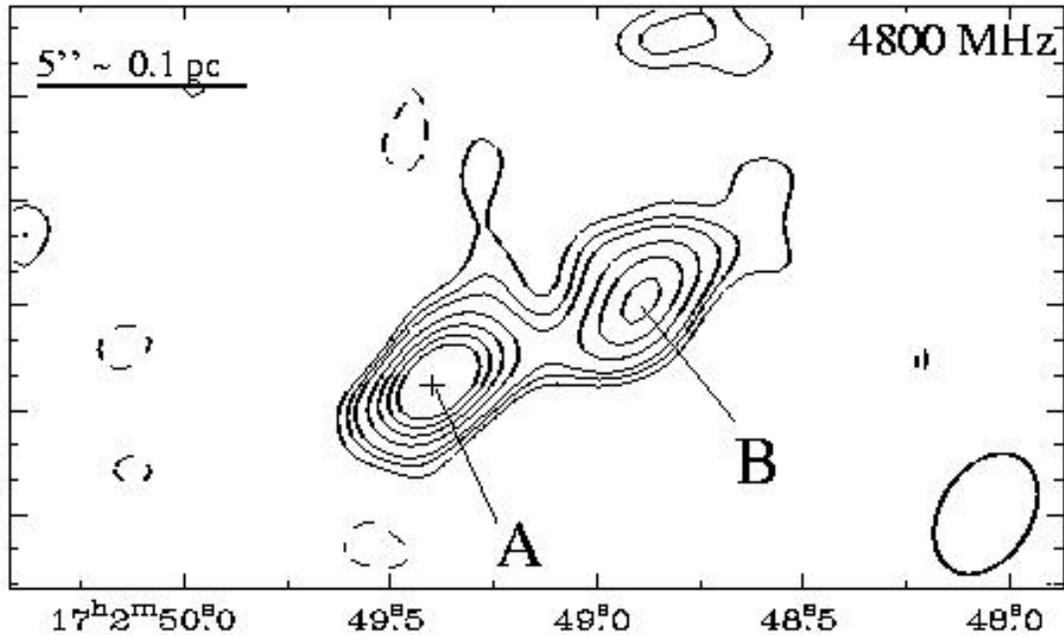
Dec
(J2000)

2003 Jan 23

-48°47'27"

15"
18"
21"
24"

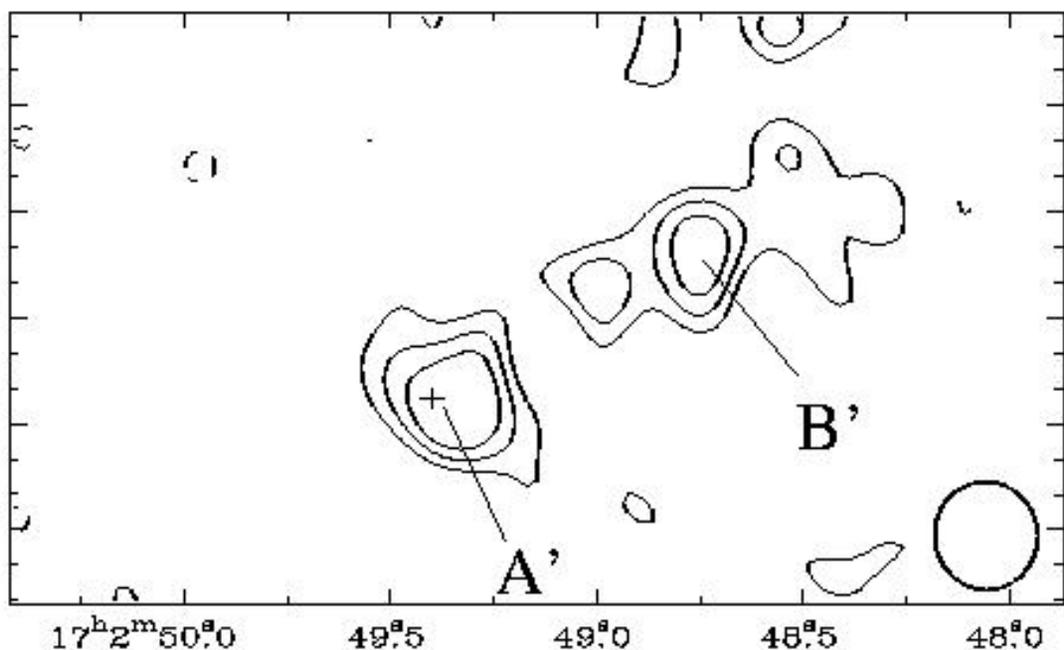
5" ~ 0.1 pc



2003 March 10

-48°47'27"

15"
18"
21"
24"



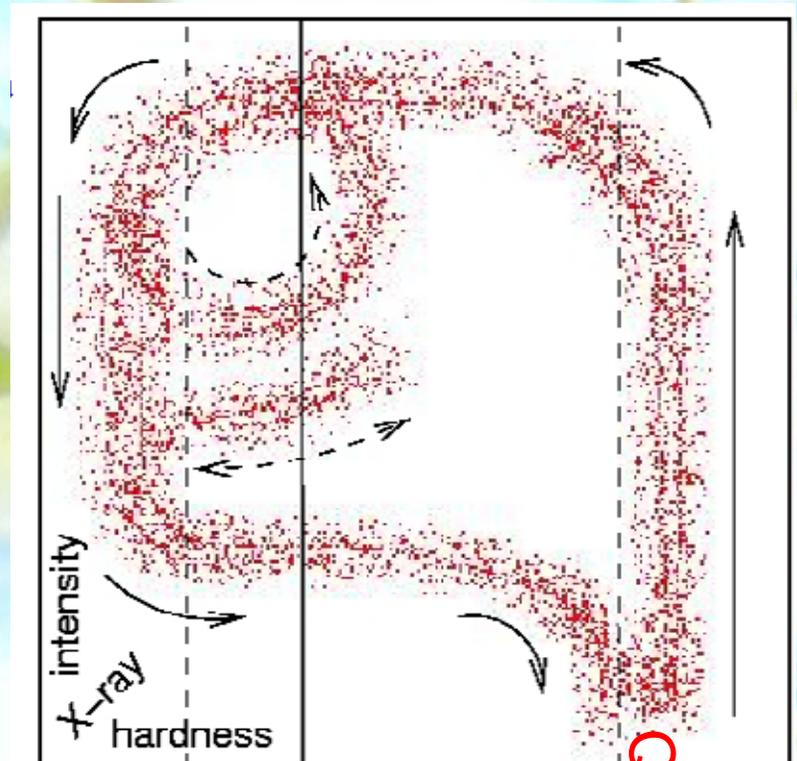
RA (J2000)

Relation entre éjections relativistes et états spectraux X

TD SPL / IS HS (McC& Rem)

- Jet compact dans état HS et IS (hard).
- Ejections discrètes pdt la transition IS (hard) vers état SPL.
- Pas de jet pdt l'état mou (soft) TD.

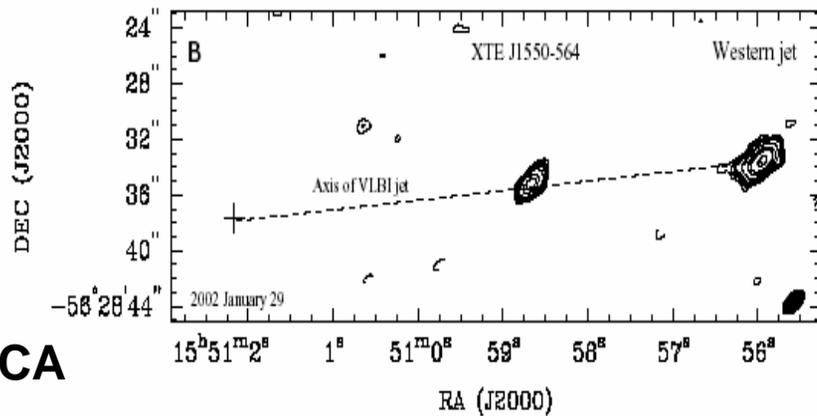
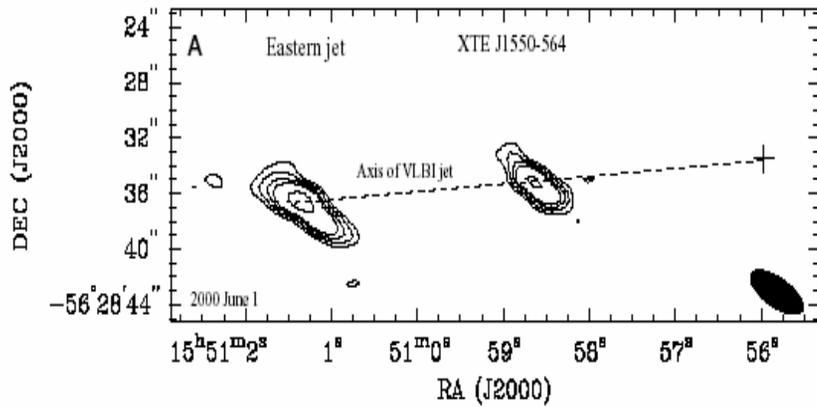
Corbel et al. (2004)



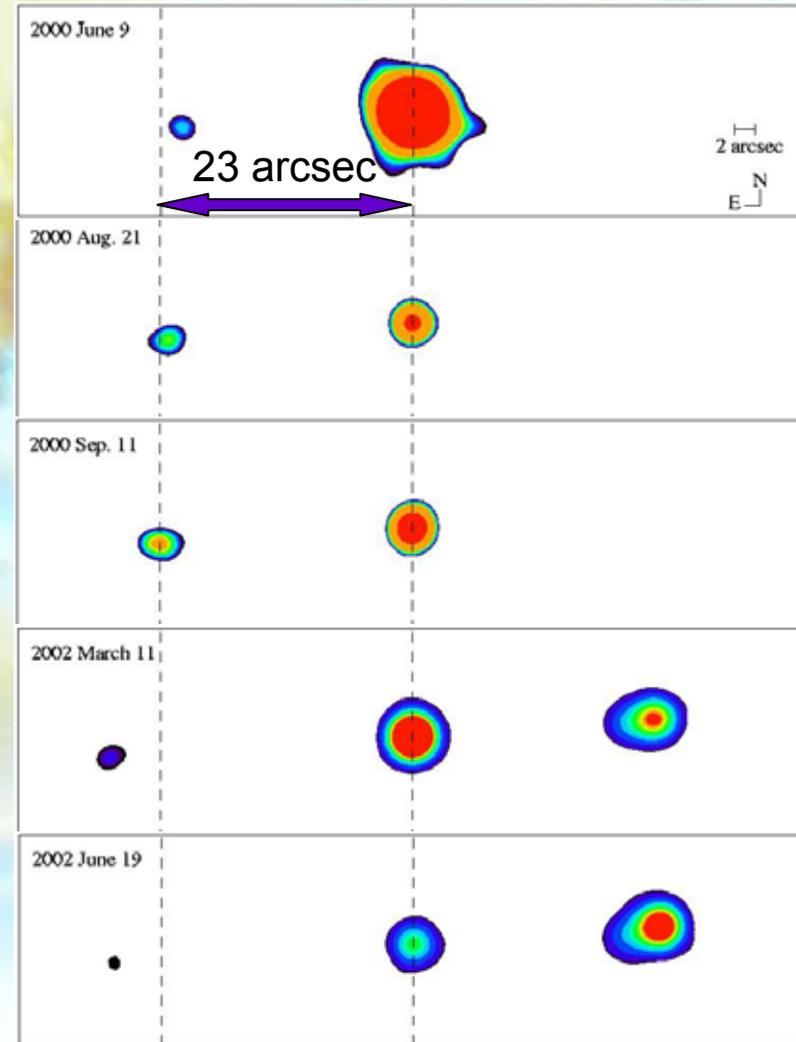
Fender, Belloni & Gallo (2004)



Vers la formation des jets
larges



Chandra (0.3 - 8 keV) 2000-2002

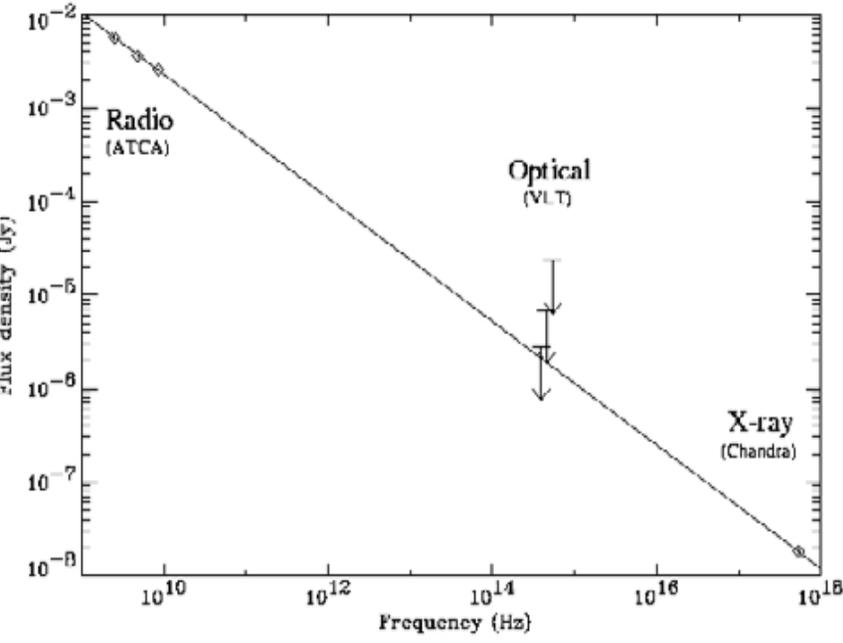


ATCA

Nouvelle source radio source à l'ouest du TN en 2002 + une autre à l'est en 2000: alignées avec axe jet VLBI.

Sources X mobiles associées (+décélération) avec les lobes radio.

Mécanisme d'émission



- SED consistant avec une LP d'indice spectral $\alpha = 0.66 \pm 0.01$
- Même morphologie. radio/X



Emission synchrotron de la même distr. électrons

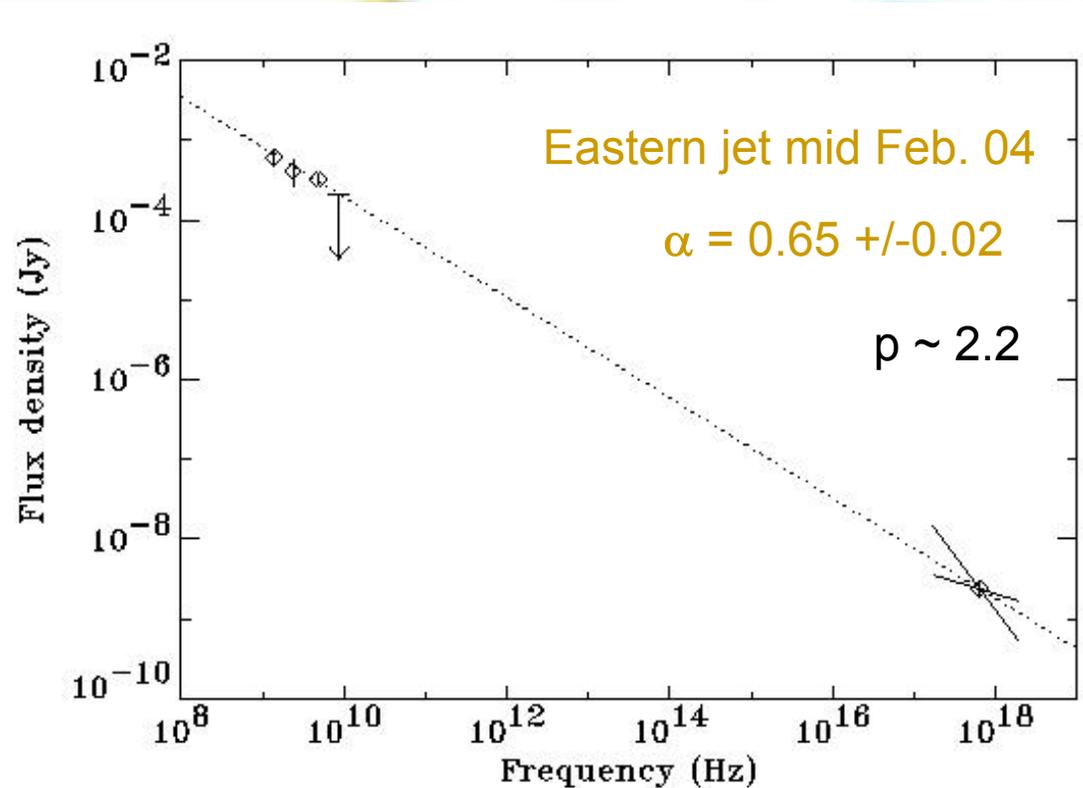
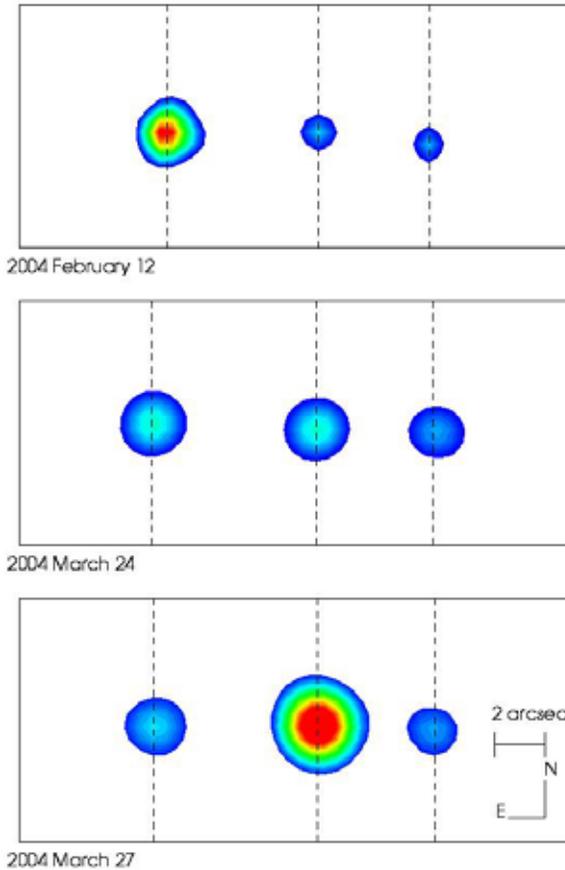
Synchrotron + Equipartition: $B_{eq} = 0.3$ mG

X-ray électrons: Lorentz factor $\gamma_e > 2 \times 10^7$ (TeV electrons)

$N_e = 10^{45}$ électrons; si un p/e, masse = 10^{21} g

avec un taux d'accrétion = 10^{18} g/s, alors temps d'injection ~ 1000

Un nouveau jet large en X: H1743-322



E. jet

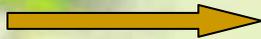
W. Jet

Propriétés similaires aux jets X de XTE J1550-564, mais décroissance beaucoup plus rapide (Corbel et al. 2005).

Une collision jet/MIS

Pour XTEJ1550 or H1743: éjection de qq bulles de plasma relat.
Expansion adiabatique → décroissance de l'émission radio

Non détectable pdt des mois (voire ans) et ensuite ré-allumage.



Indication que le rayt de la radio aux
X est d'origine synchrotron.

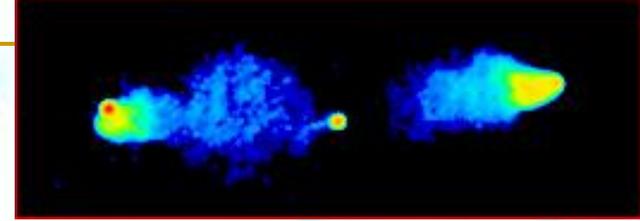
- Choc Interne?: instabilités internes, flots \neq vitesses
- **Choc externe (en retour) : interactions avec phase dense MIS**



Accélération de particules *in-situ* généré par la perte d'Ec

Emission X focalisée (pour la première fois)!!!

Conclusions



- Unification propriétés accrétion – éjection:
 - Jet compact : formation et suppression
 - Ejections discrètes de bulles de plasma relativiste
 - Ejections discrètes → formation jets larges
- Contributions à hautes énergies:
 - Jet compact ? → Possibilité que les jets compacts emportent l'essentiel de l'énergie d'accrétion.
 - Ejections discrètes + Jets larges → TeV e^- (inter MIS)
- Sources X ultra-lumineuses: microblazar ?
- Similarités très fortes avec NAG

