

Max et les Microquasars

S. Chaty
(Université Paris 7 / SAp Saclay)

Atelier MAX

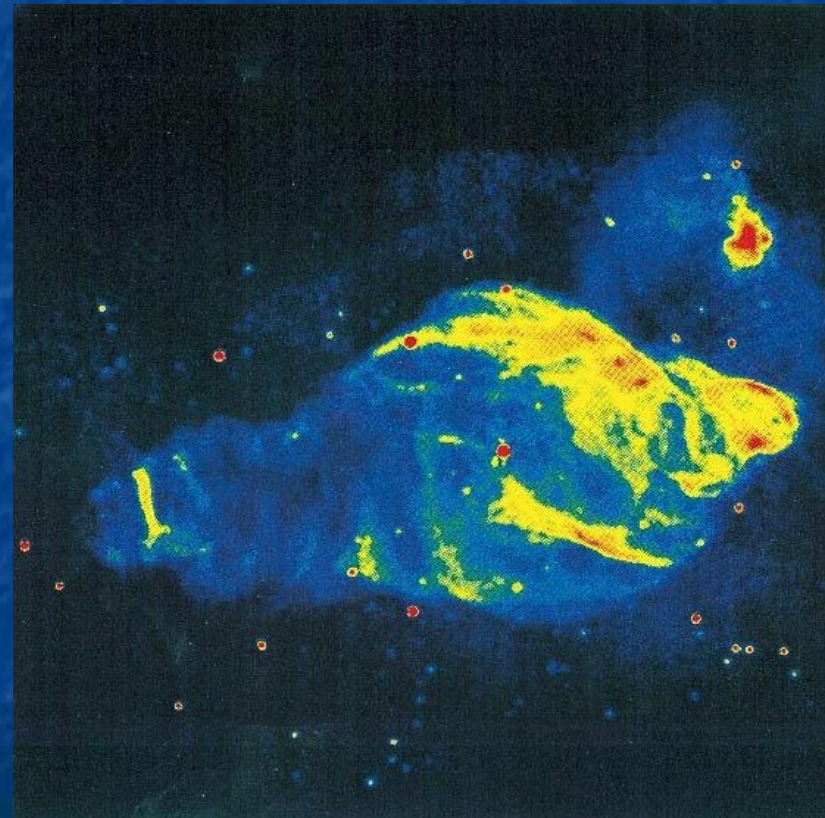
IAP, Paris, 23 mars 2004

Résumé

- 0. Prélude aux microquasars
- I. Jeunesse des microquasars
- II. Maturité des microquasars
 - Accrétion/éjection, les jets et les alentours...
- III. Max au pays des microquasars...

0. Prélude aux microquasars: SS 433

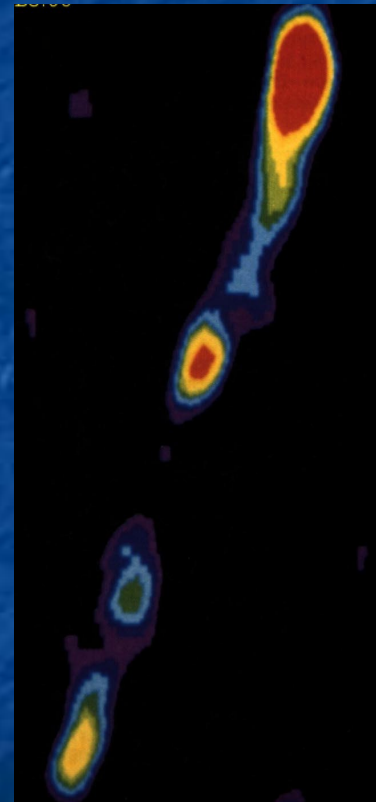
- 1979: **Microquasar prototype:** SS 433, ou comment un objet de la galaxie envoie de la matière à $0.26c$ ($\Gamma=1.04$ Margon 1984)
- Observations de raies d'émission en optique: contenu des jets baryonique
- Propriétés trop spéciales pour être classifié dans une famille



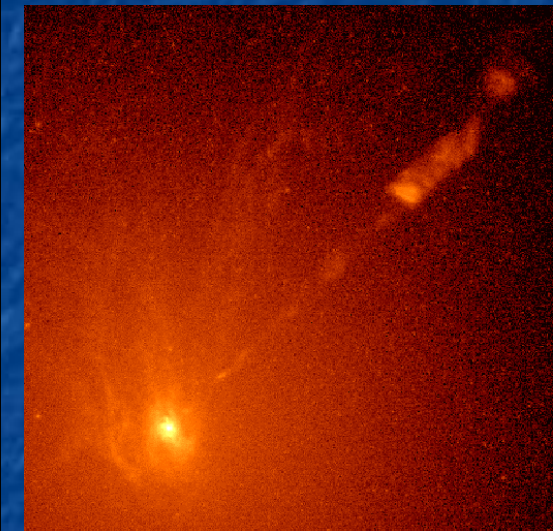
SS433 & W50: $2^\circ \times 2^\circ$ (Dubner et al., 1998)

I. La jeunesse des microquasars: 1E 1740.7-2942

- 1990: SIGMA en orbite sur Granat, observe des candidats trou noir de la Galaxie
- 1992: **Premier microquasar**: 1E 1740.7-2942: jets radio bipolaires s'étendant sur quelques années-lumière (interaction jets/ISM)
- Analogie avec les quasars
- Le grand annihilateur de la Galaxie



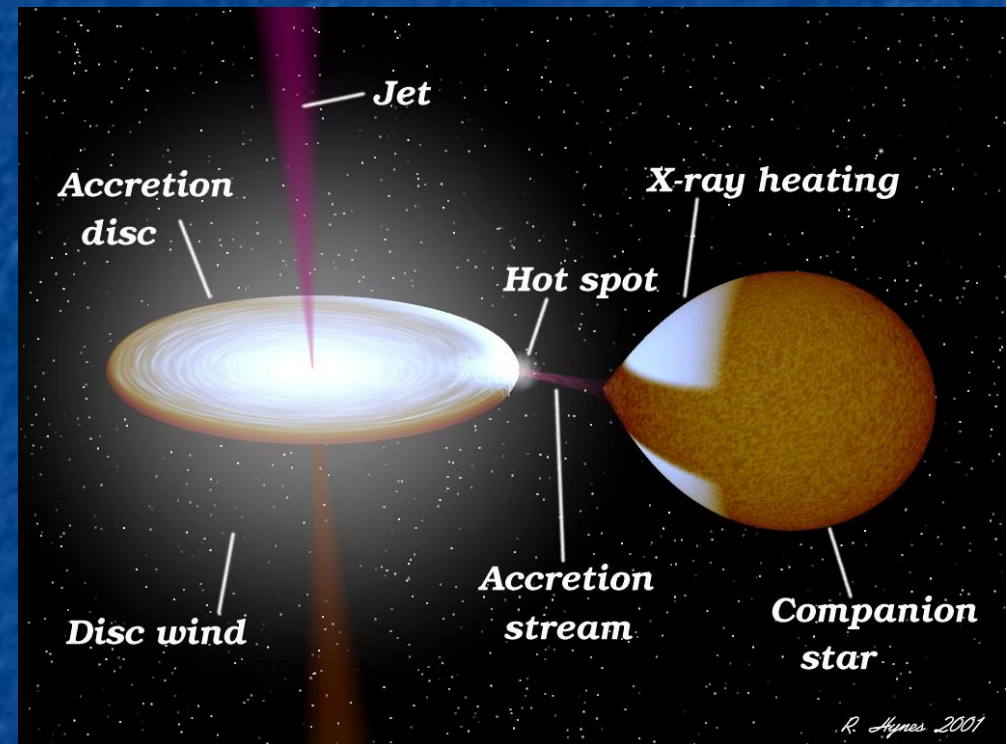
1E1740, 1'x1': Mirabel et al. 1992



M87

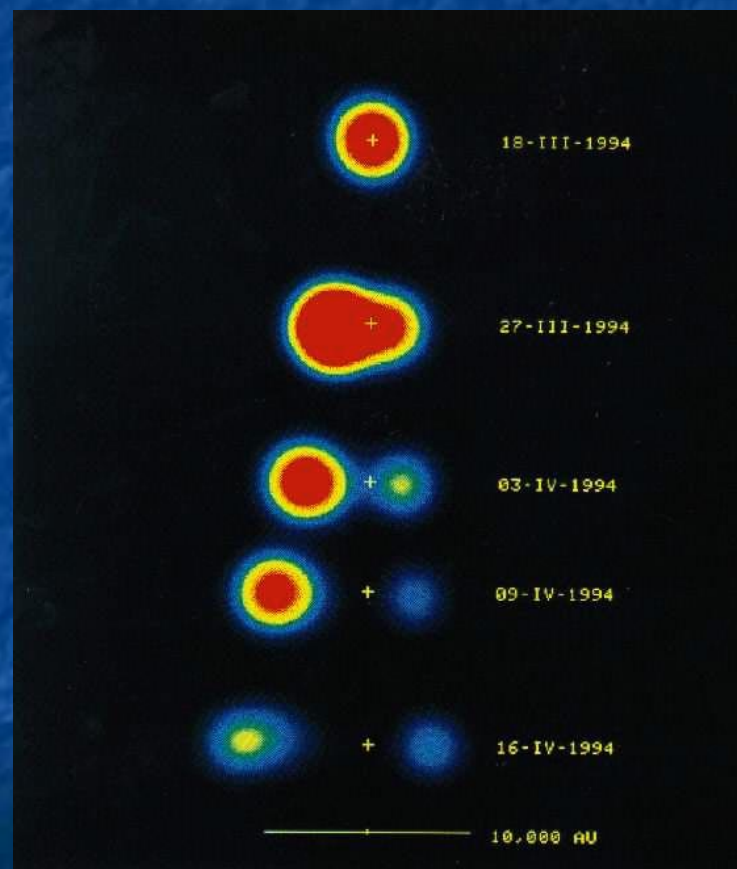
I. La jeunesse des microquasars: le schéma

- Système binaire de la Galaxie, trou noir ou étoile à neutron, entouré d'un disque d'accrétion, et étoile compagne
- Nécessité d'observations multi-longueur d'onde pour percevoir les différents éléments, aux différentes échelles du système



I. La jeunesse des microquasars: GRS 1915+105

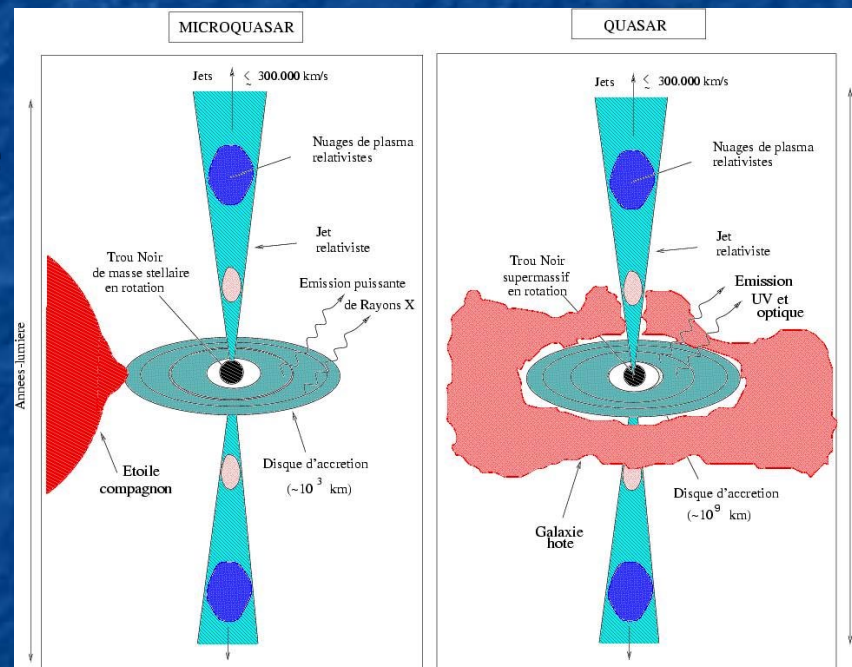
- 1992: Découverte du candidat trou noir GRS 1915+105, **archétype des microquasars**
- 1994: Observations de mouvement superluminique à $v \sim 0.92c$
- Avantages par rapport aux quasars:
 - Plus proches
 - Observation des deux jets: s'approchant et s'éloignant
 - Echelle de temps d'éjection beaucoup plus courte
- Analogie physique: les microquasars deviennent des "micro"-quasars à part entière
- Il ne manque plus que les microblazars...



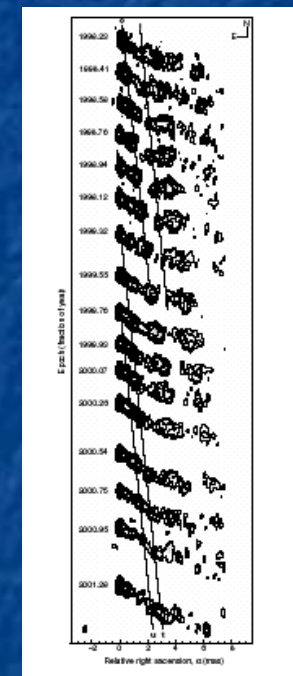
10000AU=800mas

I. La jeunesse des microquasars: analogie avec les quasars

- Analogie quasars/microquasars fructueuse
- Avantage microquasars: Echelle de temps d'accrétion/ éjection proportionnelle à la masse du trou noir
- Avantages quasars: Application des modèles de jets dans les galaxies actives pour décrire l'éjection dans les microquasars

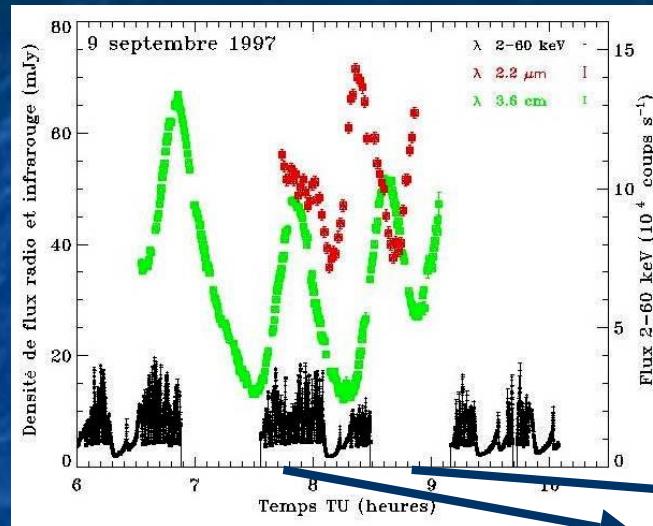


Chaty, PhD, 1998

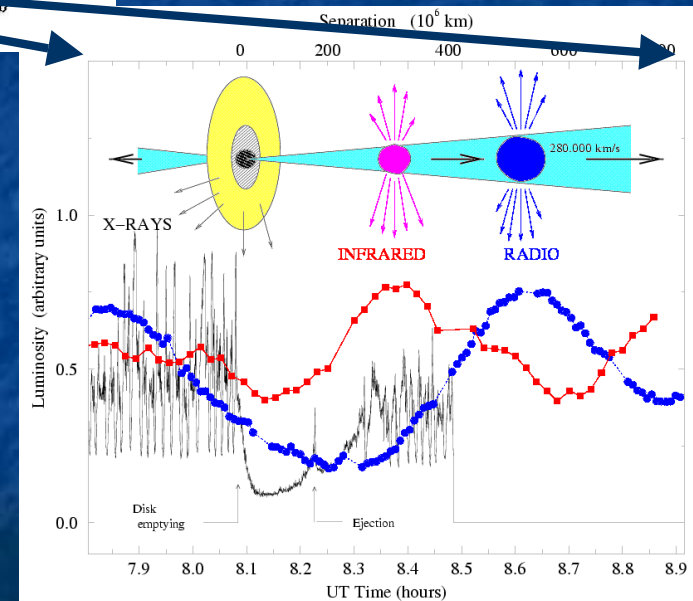


Marscher et al. 2002
(3C120 observée sur 3 ans)

II. La maturité des microquasars: GRS 1915+105



- 1997: Premières observations du lien entre accréation-éjection chez GRS 1915+105
- Disparition de la partie interne du disque d'accréation, suivie d'éjection de nuages de plasma relativistes
- Cycles récurrents de $\sim 30-45$ mn



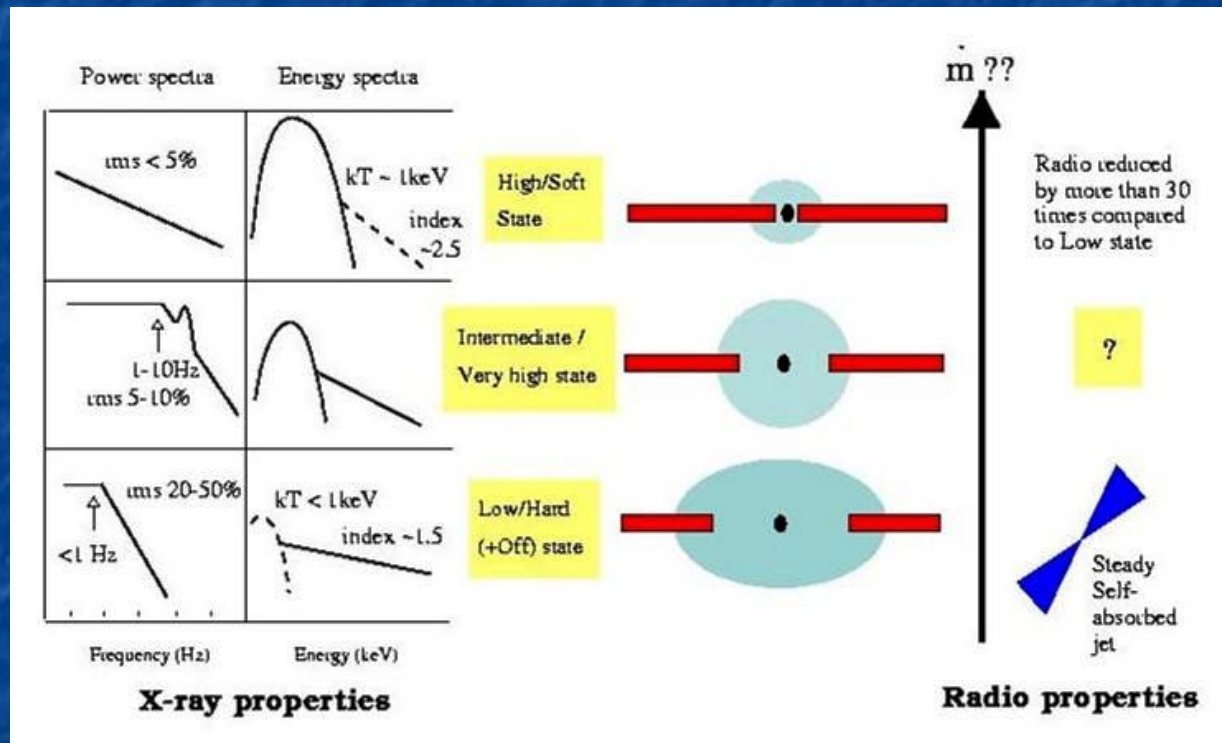
Chaty, PhD, 1998

Sylvain Chaty - Atelier MAX

Mirabel, Dhawan, Chaty et al. 1998
23 mars 2004

II. La maturité des microquasars: l'accrétion

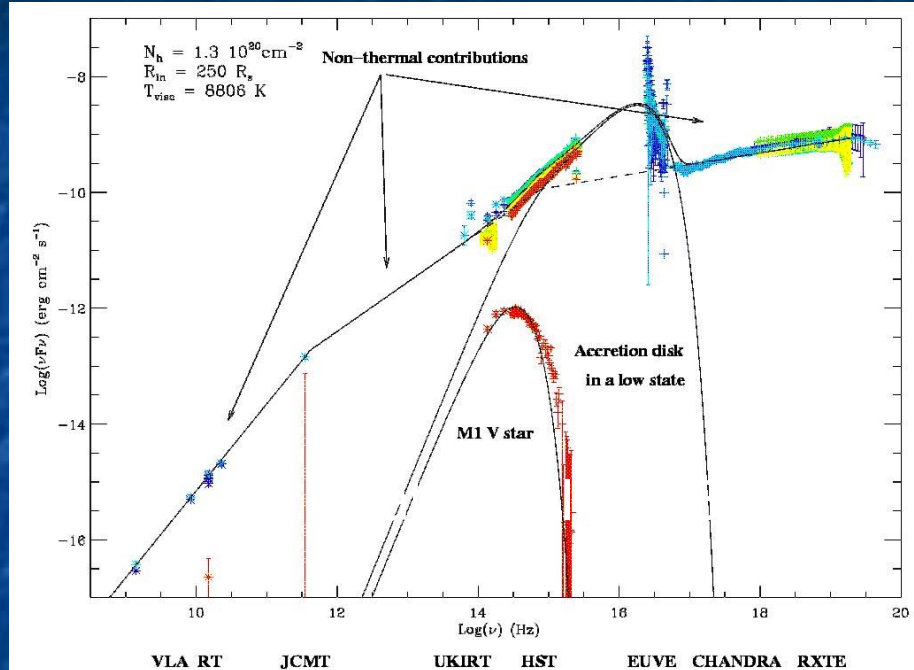
- Modèle standard: émission thermique du disque d'accrétion multicolore + émission non-thermique d'une couronne de plasma
- Etats bas et haut
- Modèle concurrent: émission synchrotron des jets de la radio jusqu'aux X



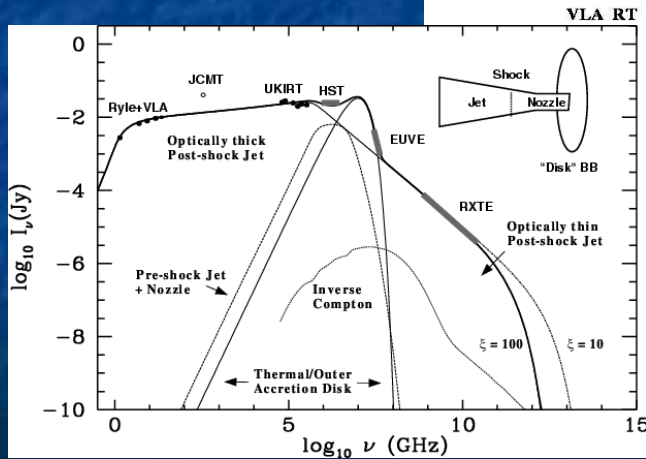
Fender 2001

II. La maturité des microquasars: Spectre d'émission à large bande

Modèle de
XTEJ1118+480:
 disque
 d'accrétion +
 émission
 non-
 thermique +
 émission de
 l'étoile



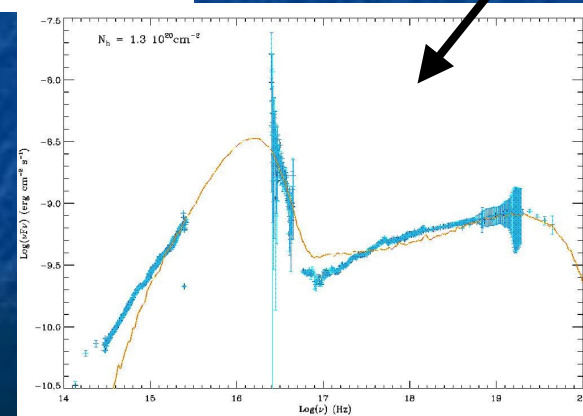
Simulation
 Monte-Carlo non-
 linéaire avec
 plasma chaud
 sphérique au
 centre



Markoff et al. 2001

Chaty et al. 2003
 Quelle est la
 contribution des
 jets???
 ->MAX: sensibilité
 + temporel

Sylvain Chaty - Atelier MAX



Chaty et al. 2003

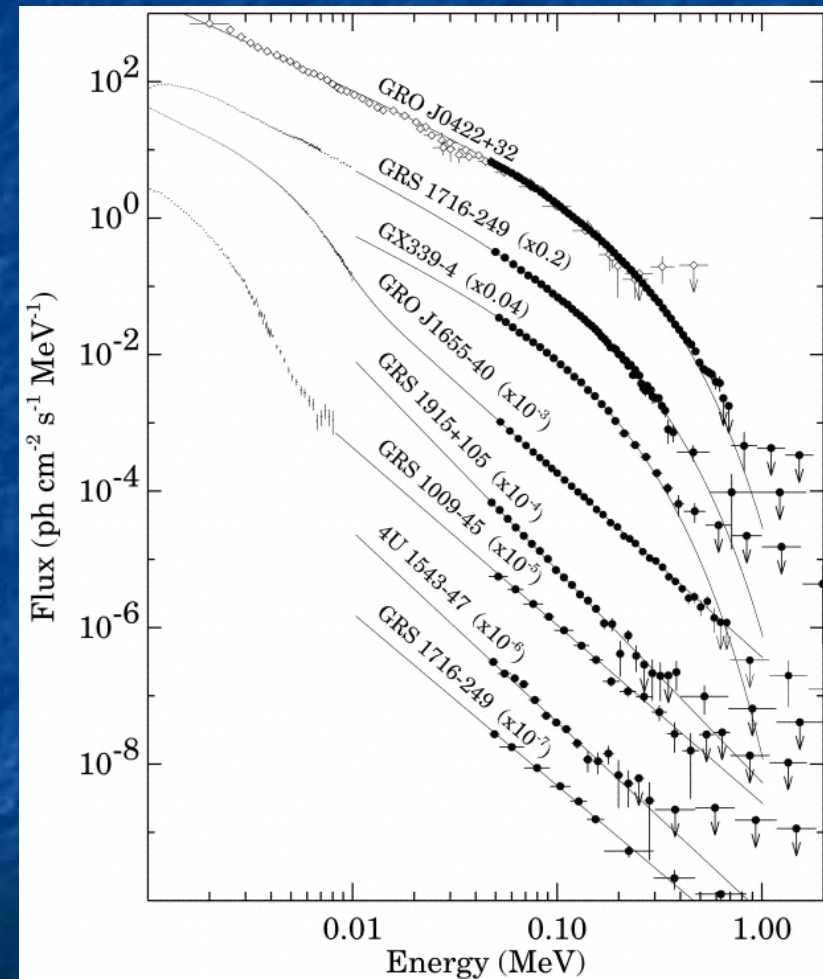
23 mars 2004

II. La maturité des microquasars: l'accrétion-éjection

- Certains microquasars émettent à haute énergie, leur émission étant dominée par une loi de puissance (indice spectral 2.5-3), sans coupure spectrale.
- Quel en est le processus physique sous-jacent: comptonization ou synchrotron?
 - **MAX**: polarisation

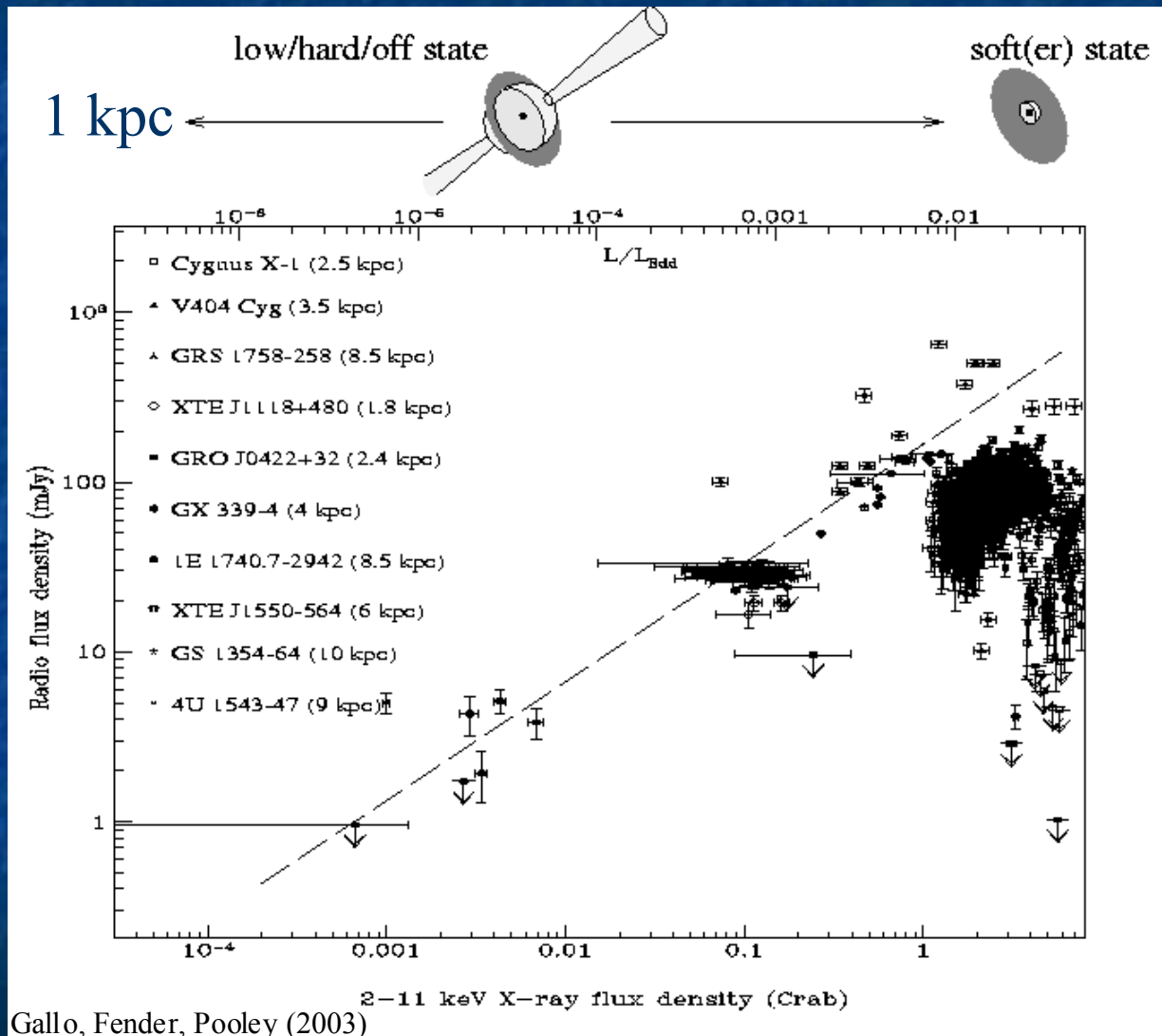
Observations à haute énergie:

- Contraintes sur les modèles d'accrétion-éjection: Blandford-Payne, Blandford-Znajek, IMR...
- Jets constitués de e-/e+ ou e-/p?
- Réponse par la détection de raies d'émission décalées (Doppler) ou d'annihilation? => Apport de **MAX** grâce à sensibilité



Grove et al. 1998

II. La maturité des microquasars: corrélation radio/X



Gallo, Fender, Pooley (2003)

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

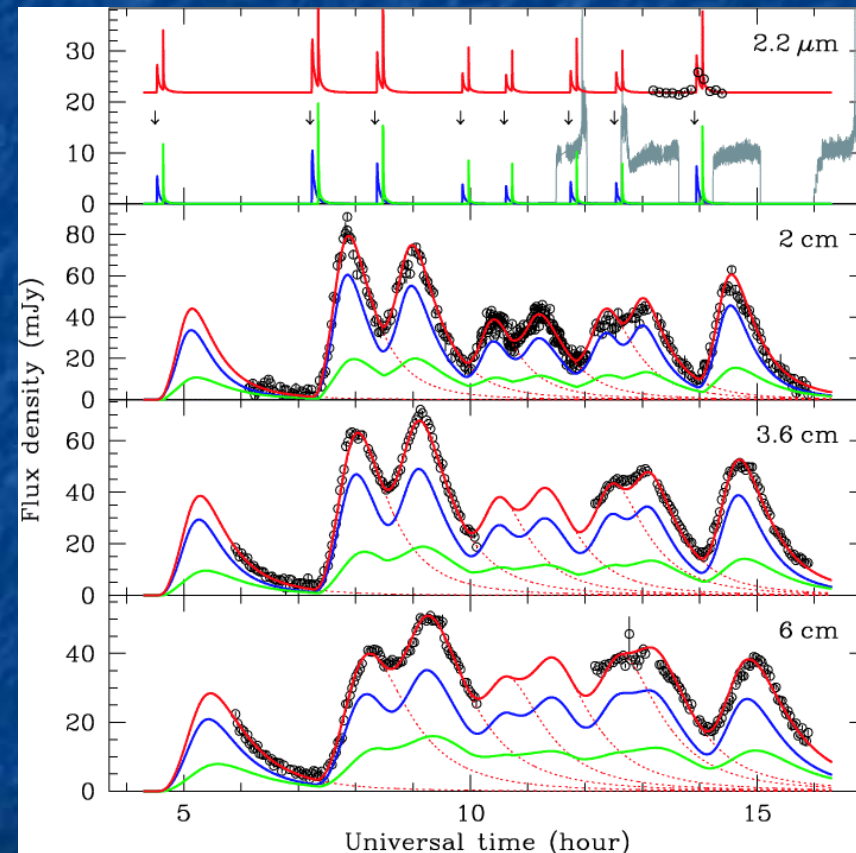
Important pour la
 compréhension du
 couplage
 accrétion/éjection et les
 contraintes des modèles

Pas d'amplification
 Doppler forte: jet de
 faible vitesse
 ($\beta < 0.8c$, $\Gamma < 2$)

Couplage à plus haute
 énergie? -> **MAX!**

II. La maturité des microquasars: les jets

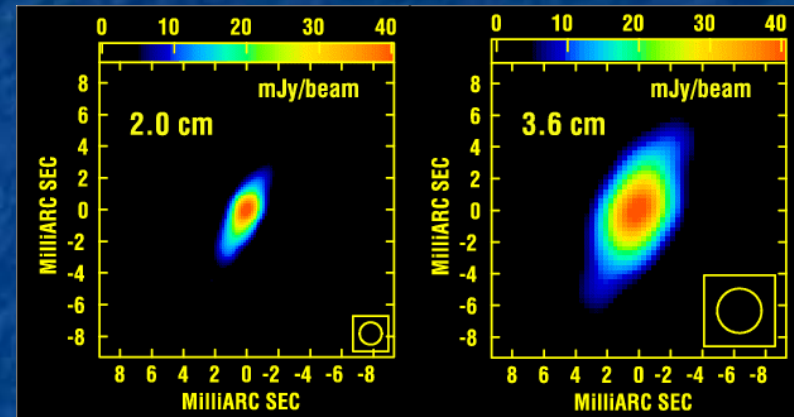
- Communauté des microquasars: jet = propagation de nuages de plasma
- Communauté extragalactique: jet = propagation d'onde de choc
- Application du modèle de 3C273 à GRS 1915+105: Propagation d'une onde de choc se formant à 1UA, avec flot dissipatif à $v=0.6c$



Turler, Courvoisier, Chaty, Fuchs, 2004

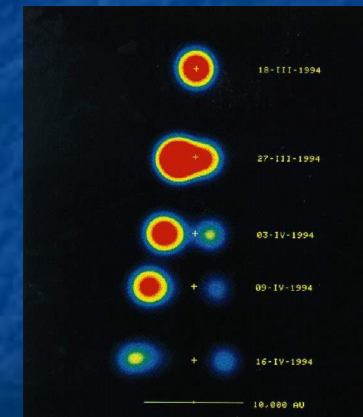
II. La maturité des microquasars: observation multi-échelle des jets

- Observation d'un jet compact continu dans GRS 1915+105, $1\text{mas}=10\text{UA}$ (Dhawan et al. 2000)



Fuchs, Rodriguez, Mirabel, Chaty et al. 2003

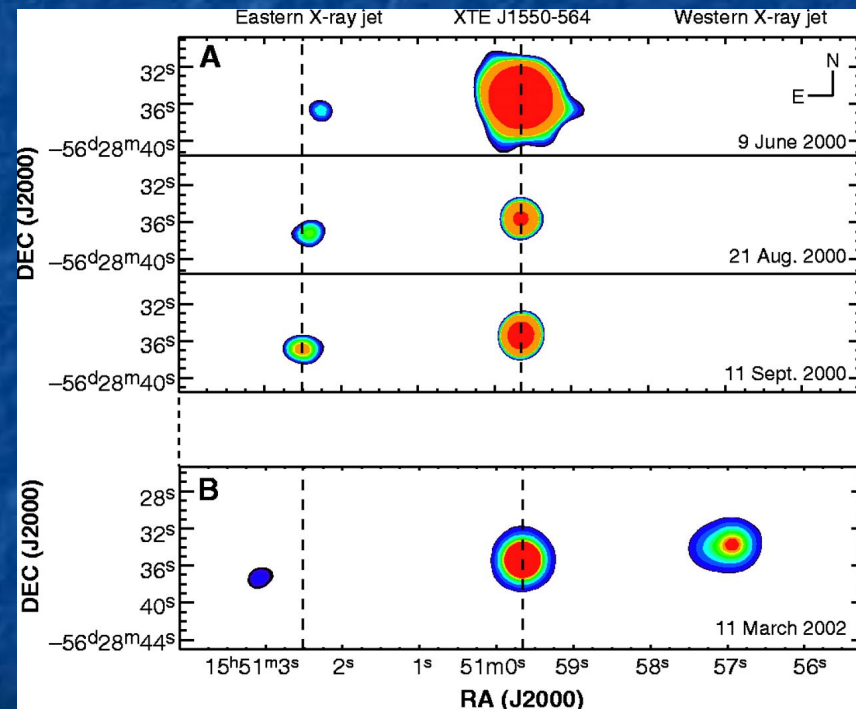
- Observation d'éjections sporadiques à grande échelle



0.2"/semaine

II. La maturité des microquasars: l'interaction jet-milieu interstellaire

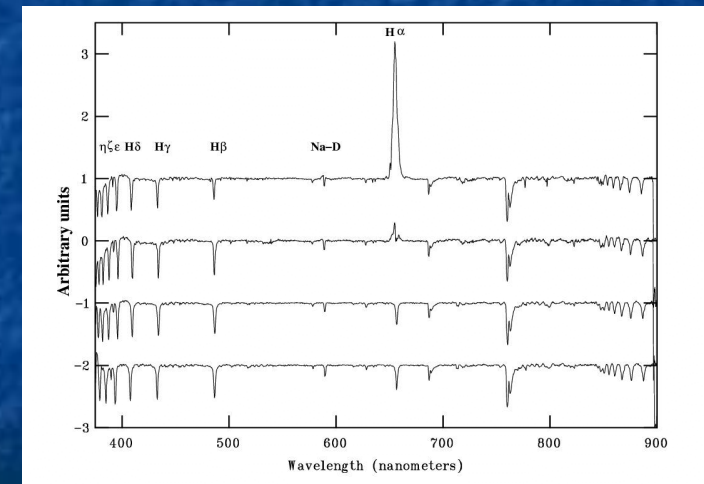
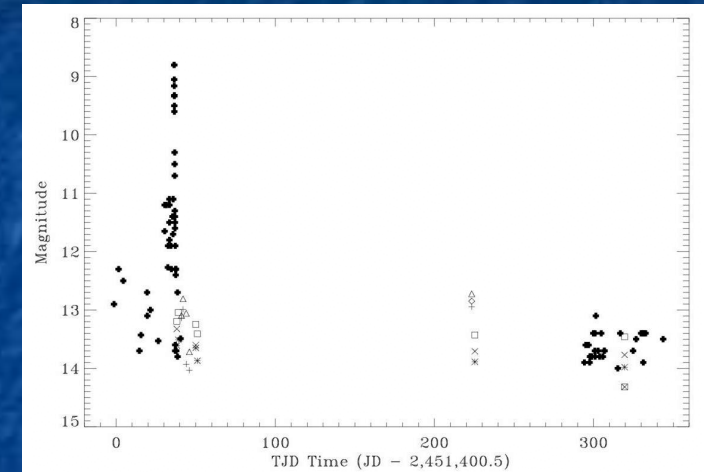
- Observations d'interactions entre le jet et le milieu interstellaire: GRS 1915+105 (Mirabel, Rodriguez, Chaty et al. 1996), XTE J1748-288 (Hjellming et al. 1998), XTE J1550-564 (Corbel et al. 2002)...
- XTE J1550-564: Jets en rayons X => Accélération des particules jusqu'au TeV: analogue avec quasars
- Quelle est l'énergie maximale des e-? -> **MAX**
- Ralentissement du jet dans le milieu interstellaire pourrait produire des raies fines de 511 keV: observables par **MAX** (meilleure sensibilité)?



Jets à grande distance: 45'' (Corbel et al. 2002)

II. La maturité des microquasars: observation de microblazars, ULXs...

- **Microblazar = Microquasar dont le jet pointe vers l'observateur**
- V4641 Sgr: à la distance de 6 kpc, les jets présentent une vitesse apparente de $v \sim 10c$: **microblazar?**
- $V=0.98c$: temps/10, flux*1000, augmentation de l'énergie des photons
- MAIS sources difficiles à observer, car les sursauts, bien qu'importants, sont brefs
- Précession des jets: microblazar intermittent
- ULXs: sources ultra-lumineuses des autres galaxies pourraient être des microblazars...
- Observation par **MAX** de ces ULXs, grâce à sa meilleure résolution angulaire



V4641 SGR: sursaut en 1 jour, 1.6- \rightarrow 12.2
Crab, 14 \rightarrow 8.8mag, vent à 5000km/s
Chaty et al. 2003

III. MAX au pays des microquasars: les questions

- Sensibilité 30 fois meilleure que celle de SPI (10^{-6} ph/s/cm² pour des raies fines entre 460-530 keV et 800-900 keV)
 - Emission dure liée à la présence du jet?
 - Raie d'annihilation émise par les microquasars, dans jet ou des e⁺ impactant le milieu interstellaire?
 - Quelle est la nature du jet?
- Résolution angulaire de $\sim 45''$ (JEM-X: 1'):
 - Précision inégalée permettant de distinguer les sources, en particulier les ULXs
- Temporel
 - Corrélation entre émission à haute énergie et radio (jet)
- Polarisation
 - Emission synchrotron à haute énergie: fin du débat Compton/Synchrotron???