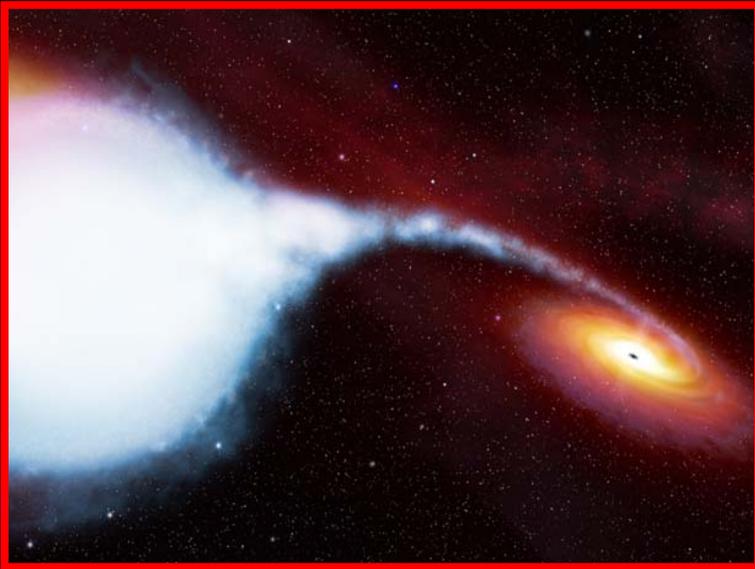


Etude de trous noirs stellaires accrétants avec le satellite INTEGRAL



Marion Cadolle Bel
DEA Astrophysique et Méthodes Associées
Thèse 1^{ère} année, Service d'Astrophysique, CEA Saclay, France

Formation d'objets compacts (OC)

- « Vie » d'une étoile = lutte permanente **gravité / pression radiative**
- « Mort » par **effondrement** gravitationnel (supernovae=SN)
 10^{46} J libérés = rayonnement EM d'une galaxie entière pendant 30 ans !
- Définition de la **compacité** : $\Xi \sim E_{\text{Grav}} / Mc^2$

Naine blanche (NB) $10^{-4} \leq \Xi \leq 10^{-3}$ (e^- dégénérés)

Etoile à neutrons (EN) $\Xi \sim 2 \cdot 10^{-1}$ (I_F entre neutrons)

Trou noir (TN) $\Xi \sim 1$ (rien ne s'oppose)

v libération $> c$, le + compact

Aucun rayonnement émis par TN...

→ domaines **X** et **gamma** à expliquer...(environnement ?)

Définition d'un trou noir

- Région causalement **déconnectée** de l'Univers
Horizon à $R_S = 2GM/c^2$
- 2 types authentifiés
 - *stellaire* (entre 3 et 20 M_\odot) : reste d' **étoile massive** (SN type II)
 - *massif* (entre 10^5 et $10^9 M_\odot$) : **noyaux de galaxies**
- 2 cas incertains
 - galaxies ultra lumineuses (masse intermédiaire)
 - « mini » trous noirs **primordiaux**

Systeme binaire X

- Systeme : OC (EN, TN) + étoile compagne

Fonction de masse : limite inférieure de M

- > 200 dans la Voie Lactée

TN (masse stellaire) : $\sim 3 \cdot 10^8$, $1000 M_{SgrA^*}$!

- Intérêts astrophysiques variés

- 2 classes

-HMXB (compagne massif, O ou B) : Cygnus X-1

-LMXB (compagne de faible masse) : XTE 1720, H 1743

1/3 non persistants = TRANSIENTS

Étude de systèmes binaires à TN : plusieurs états spectraux à comprendre et à modéliser (de 0,1 keV au MeV)

L'accrétion dans les systèmes binaires

- Chute gravitationnelle \longrightarrow énergie cinétique acquise transformée en chaleur puis en rayonnement

$$E_{\text{cin}} = \Xi mc^2 \longrightarrow L_{\text{acc}}$$

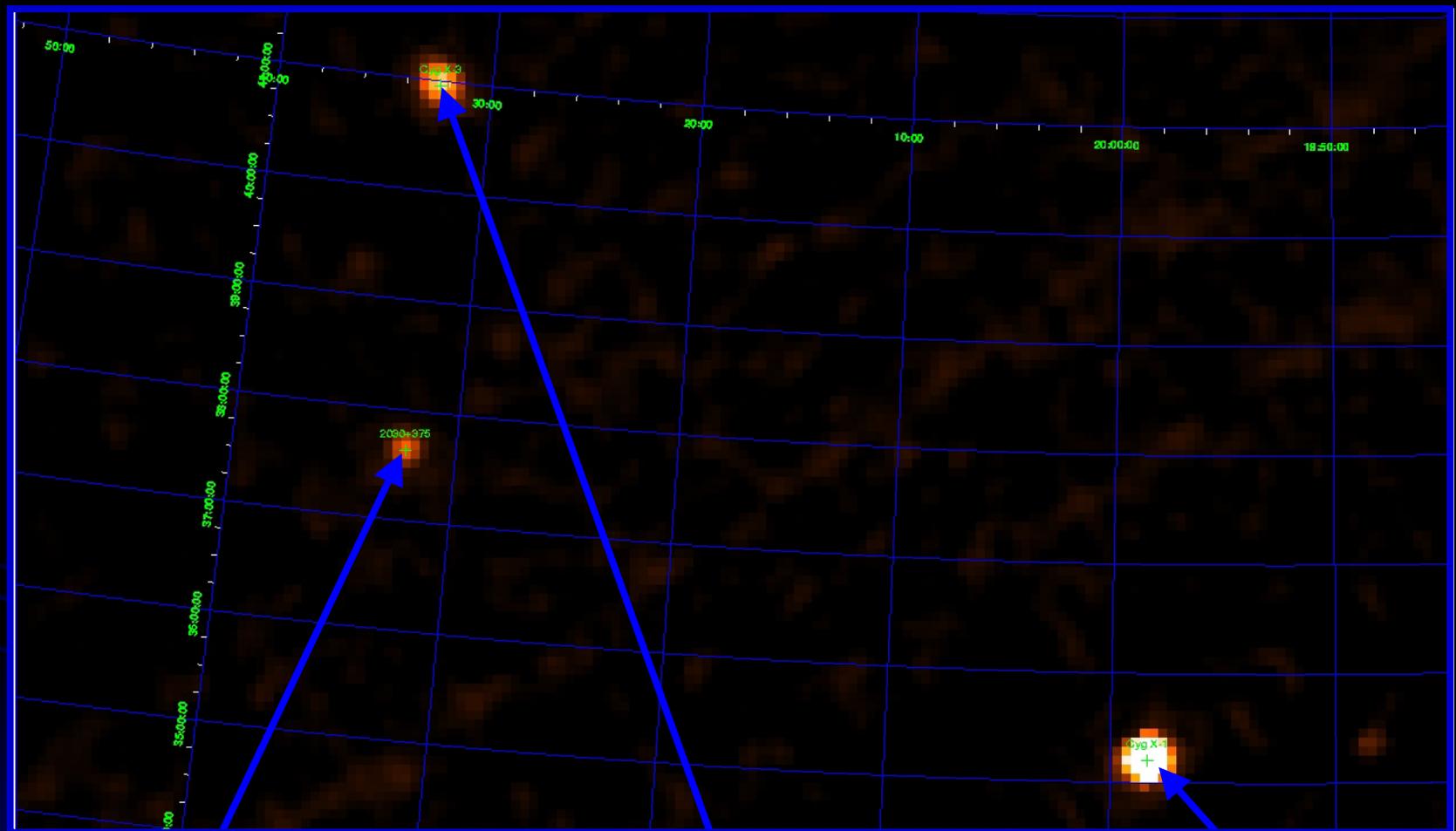
- TN : dégage jusqu'à 42 % de l'énergie de masse de matière accrétée

- Luminosité d' Eddington (Thompson sur e^-) en égalisant P_{rad} et gravitation

Formation d'un disque ?

- Accrétion directe radiale possible
 - Chauffage par accrétion de matière en mouvement
efficacité maximale si **spirale**
 - Modèle standard disque **visqueux**
 - chauffé par diffusions coulombiennes des p^+ , ions sur e^-
 - refroidi par (Bremsstrahlung) comptonisation
- viscosité : $\frac{1}{2} L_{acc}$ **dissipée**

Image de la région du Cygne avec IBIS



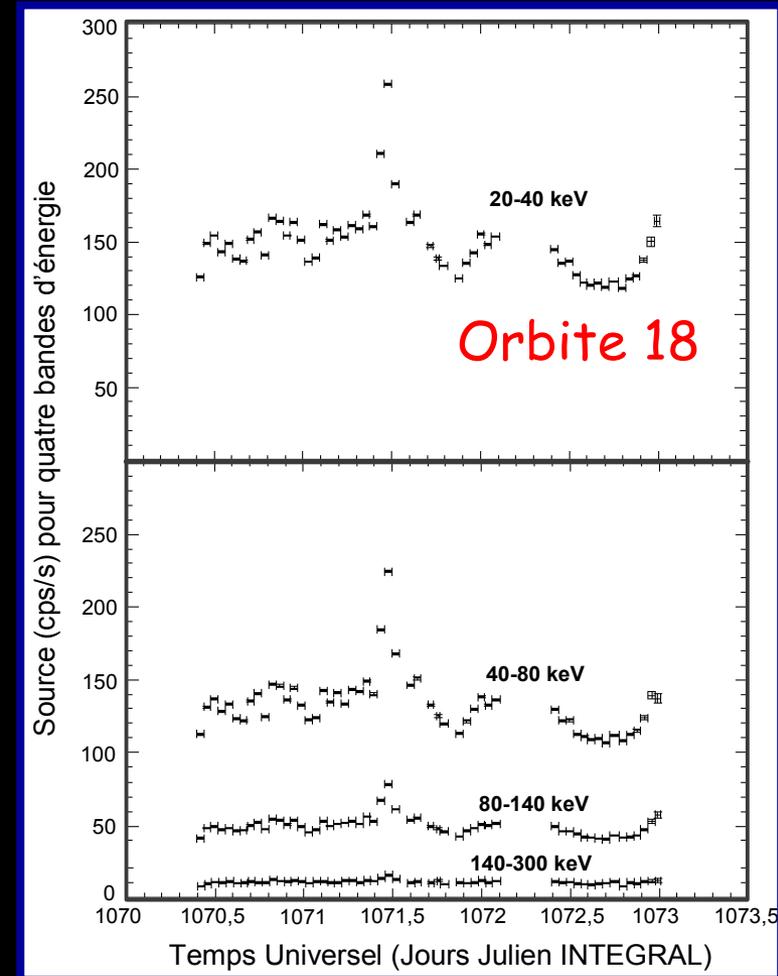
EXO2030

Cygnus X-3

Cygnus X-1

Cygnus X-1, prototype HMXB

- Emission X **brillante persistante** 1964
- **1^{er} TN** reconnu en 1972
période + inclinaison connus
- Binaire X de **grande masse** à 2,4 kpc
période orbitale 5,6 j
accrétion par vents
- Trou noir de $10 M_{\odot}$ et supergéante bleue (type O9.7 I) de $18 M_{\odot}$
- Comportement **spectro-temporel** complexe (variabilité rapide X, spectre dur au-delà de 100 keV)



Spectres de Cygnus X-1

Loi de puissance

$$\alpha = 2,03 \pm 0,20$$

$$\chi^2_{\text{réd}} = 1,99 \text{ (ndl=23)}$$

Modèle ST

$$kT_{e^-} = 46,34 \pm 4,39 \text{ keV}$$

$$\tau = 2,77 \pm 0,27$$

$$\chi^2_{\text{réd}} = 0,20 \text{ (ndl=23)}$$

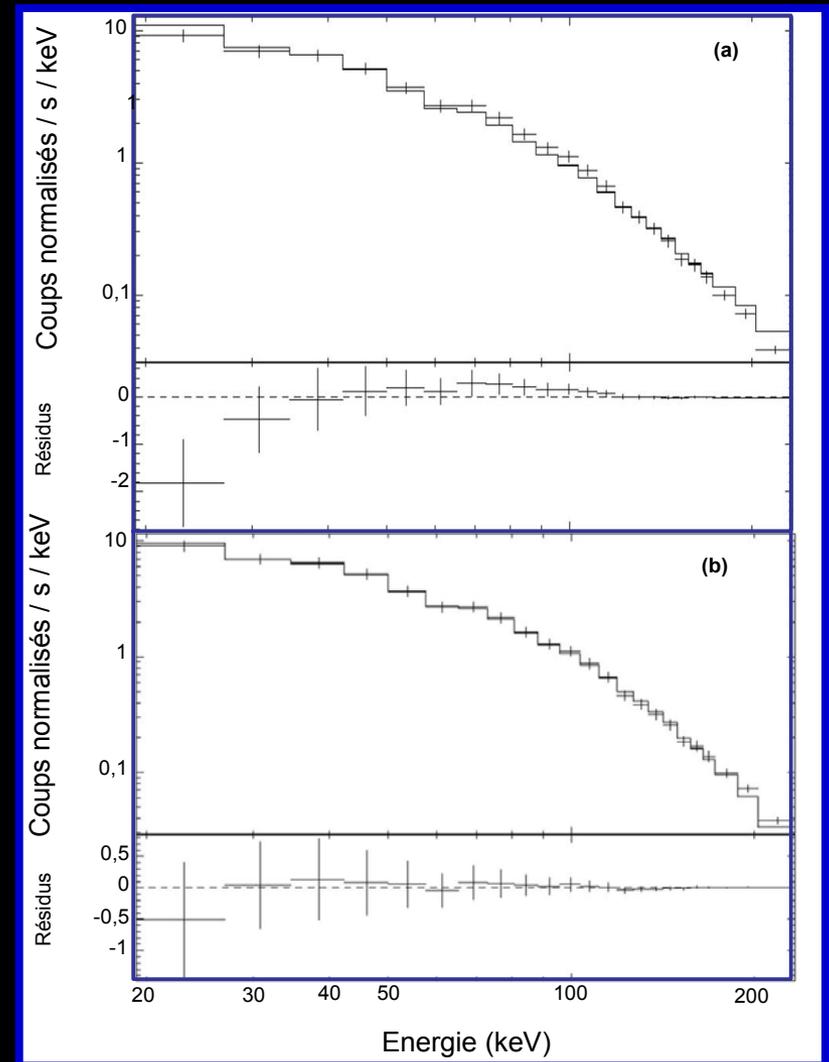
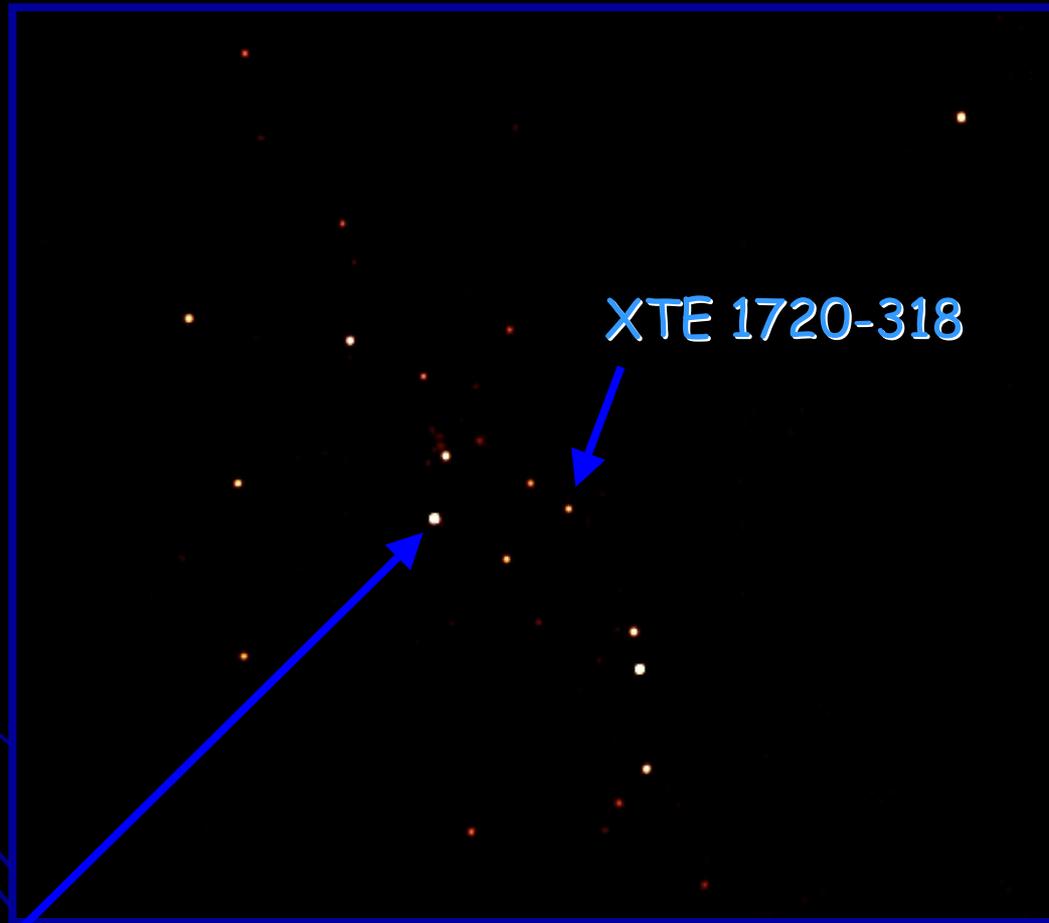


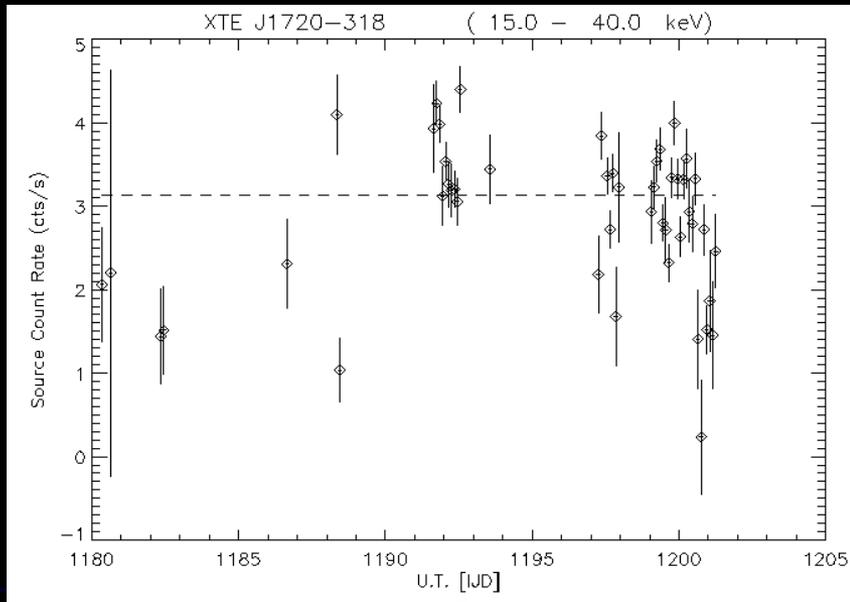
Image du centre galactique avec IBIS



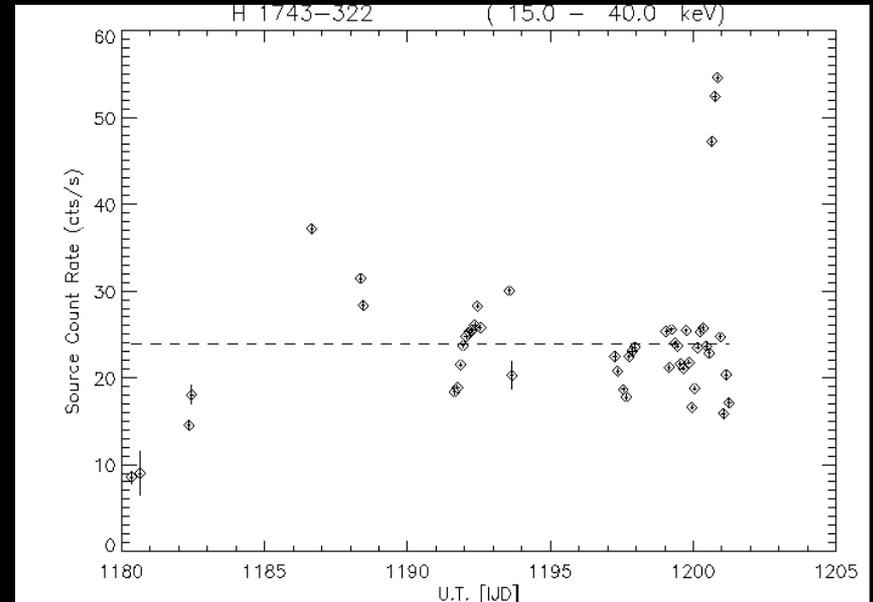
XTE 1720-318

H 1743-322

Deux sources intéressantes

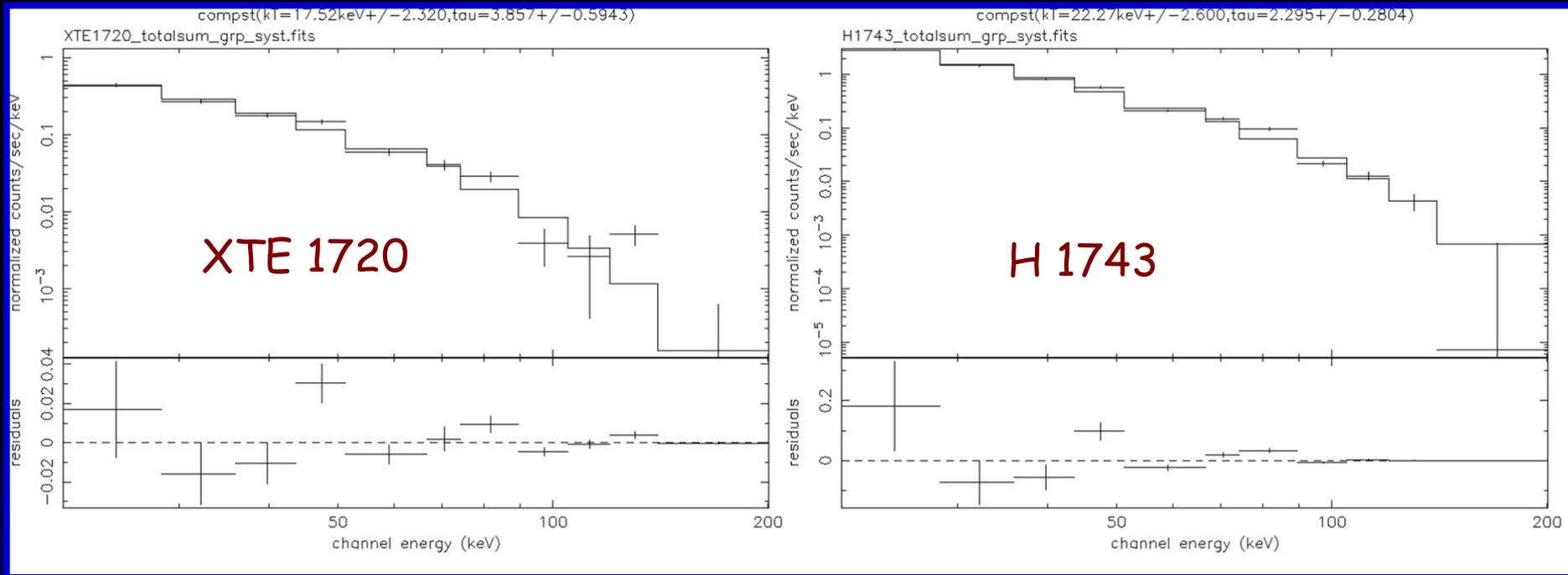


XTE 1720
découverte en janvier 2003
observée par INTEGRAL
radio et IR



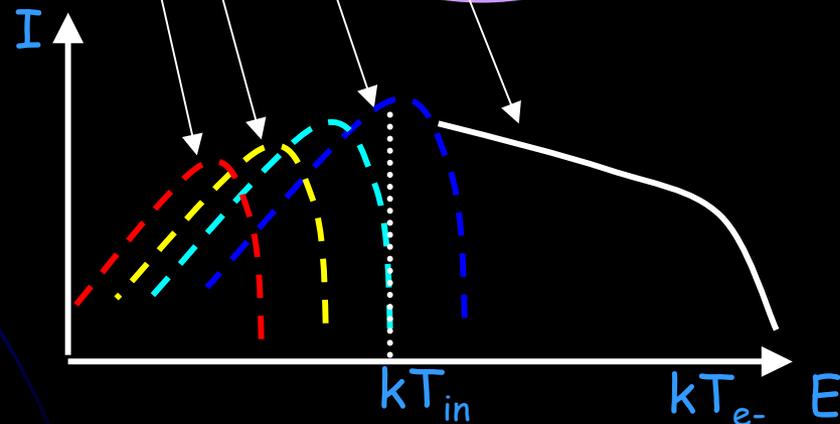
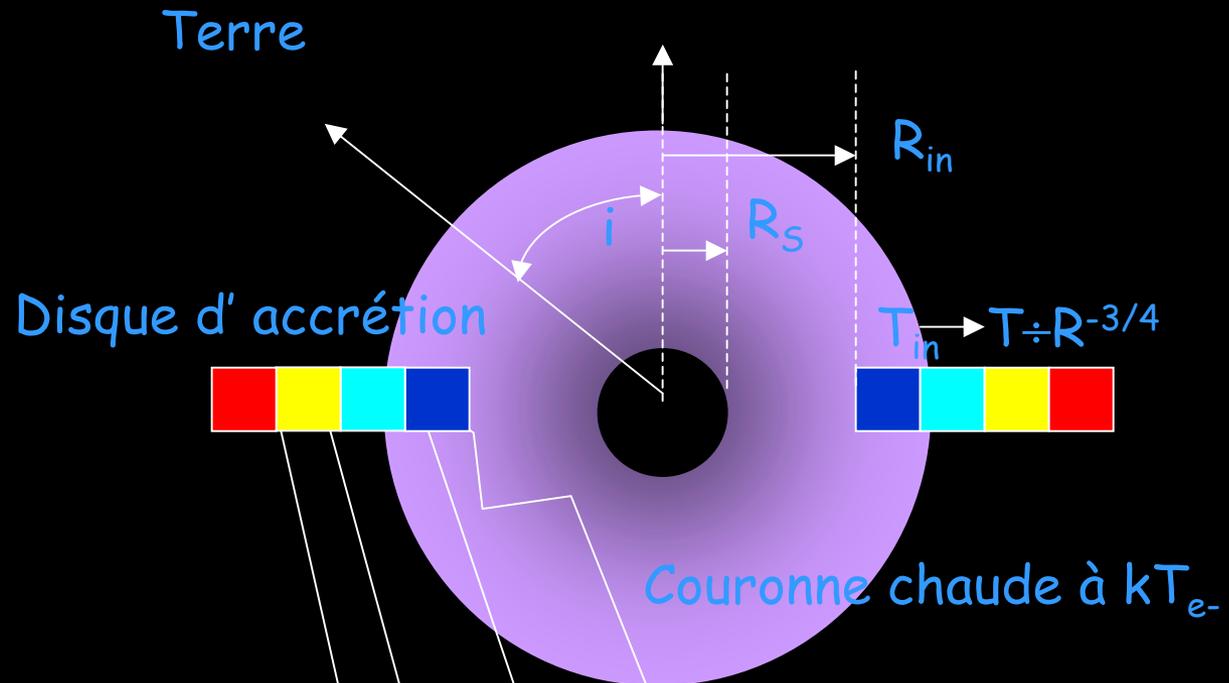
H 1743
identifiée depuis mars par
INTEGRAL comme source de 1978
radio

Spectres de ces sources transitoires ou novae X



...Interprétation physique de ce modèle ST ?

Schématisation des zones émissives



Objectifs de ma thèse

- Analyser les **changements d'états** des sources observées
 - TN persistants
 - Novae X : processus d'instabilités responsables ?
- Confirmer et/ou infirmer les **modèles** existants + améliorations contribution à haute énergie
- Combiner les résultats d'INTEGRAL (3 keV à 10 MeV) avec observations **multi-longueurs d'onde**
 - accès à différentes zones de l'accrétion et au compagnon si possible
- Raie d' **annihilation** à 511 keV
- Analyse **temporelle** rapide à développer (QPOs)