

INTEGRAL

P. Laurent (APC et IRFU/SAp)





INTEGRAL : mission moyenne ESA lancée le 17 octobre 2002



2 Avril 2014

Les instruments d'INTEGRAL

Satellite
4.1 tonnes
5 m haut
3.7 m diamètre

OMC (optique)

IBIS

JEM-X

ISDC

15 keV - 10 MeV
12' FWHM
<1' précision
localisation
19°x19° FOV



SPI

20 keV - 8 MeV
2 keV FWHM
26° Ø FOV



L'orbite d'INTEGRAL

Orbite excentrique :

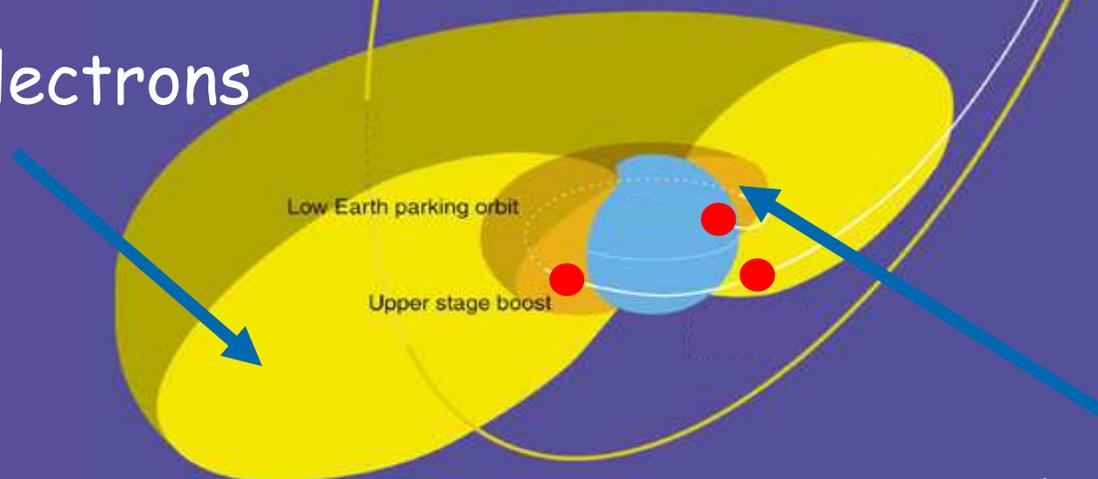
Apogée: 13 000 km

Périgée : 152 000 km

Inclinaison : 51°

Durée : 72h

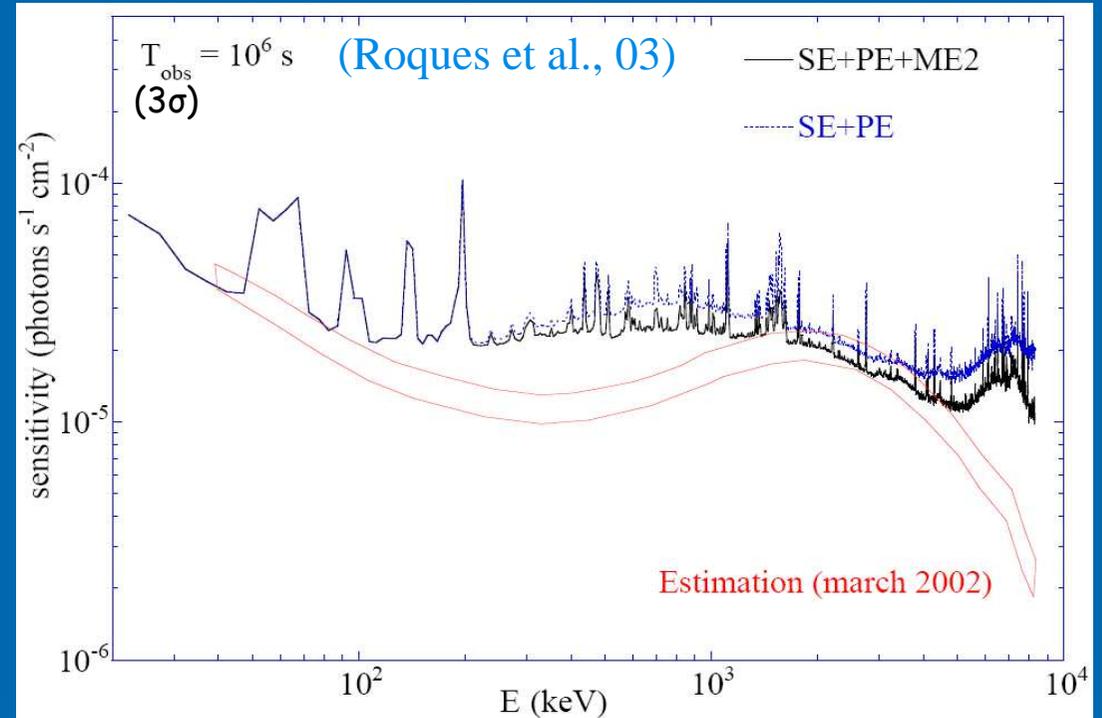
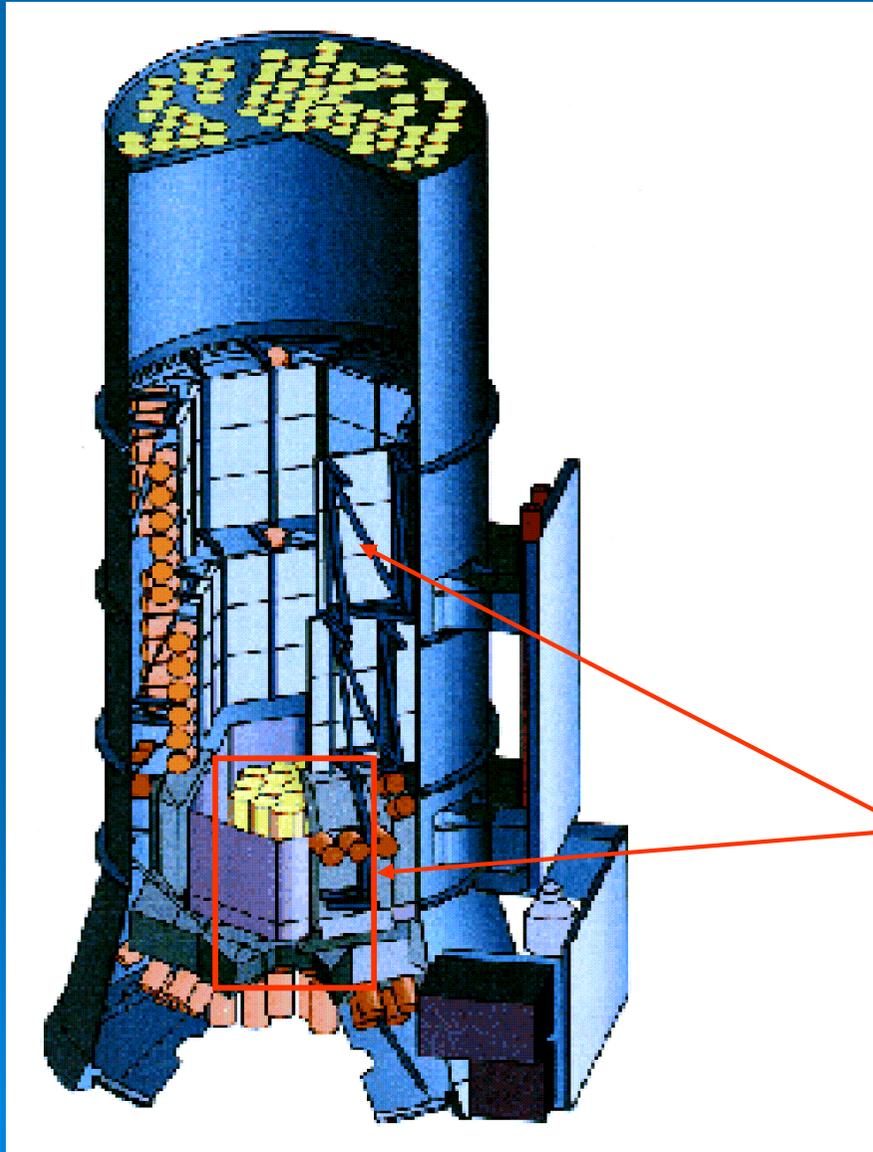
Ceintures d'électrons



Ceintures à protons



Le spectromètre d'INTEGRAL : SPI



19 diodes Ge, $T \sim 80$ K (IRAP)
anticoincidence BGO (700 kg)
Système sous responsabilité CNES

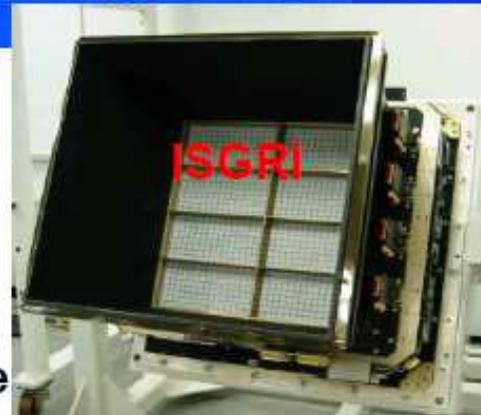
$\Delta E \sim 2$ keV @ 1 MeV - 500 cm²



L'imageur d'INTEGRAL : IBIS



IBIS detector assembly:
two stacked detection planes, lateral and bottom veto anticoincidence, passive tungsten shield



Collection area ~ 3000 cm²

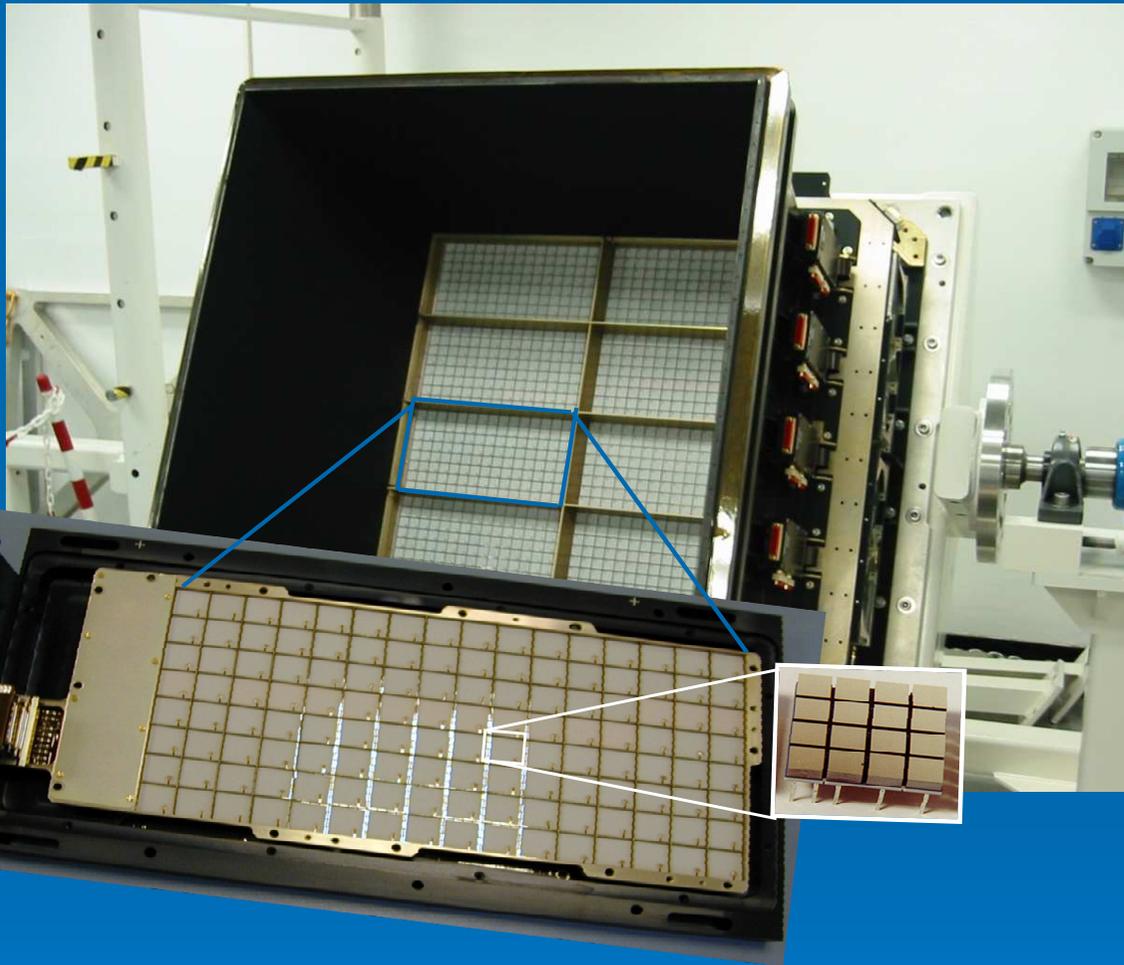
Two-Layers detector:

- 1) 2mm thick CdTe (ISGRI)
- 2) 30mm thick CsI (PICsIT)

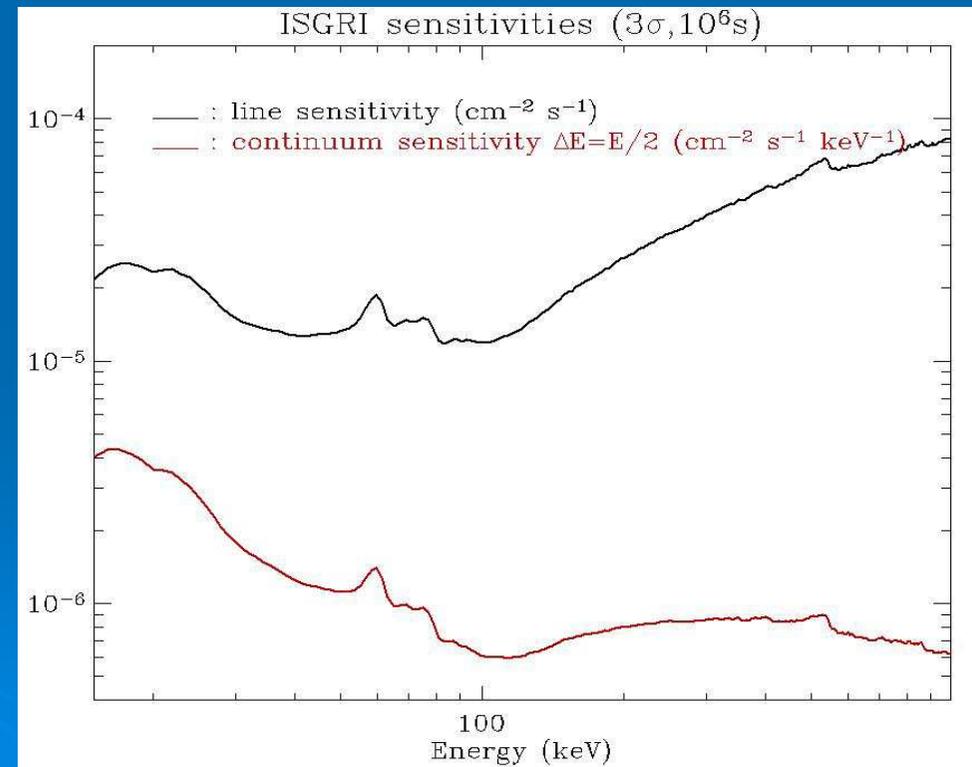
Field-of-view: $\pm 14.5^\circ$ FWZR ($\pm 4.5^\circ$ fully coded)



L'imageur ISGRI



- 16384 pixels CdTe (2620 cm^2)
- FWHM = 9 keV à 60 keV
- Résolution spatiale : 4.6 mm
- Précision en temps :
 - relative: 254 ns
 - absolue: 100 μs



Première gamma-caméra à semi-conducteur fonctionnant à température ambiante (CEA)



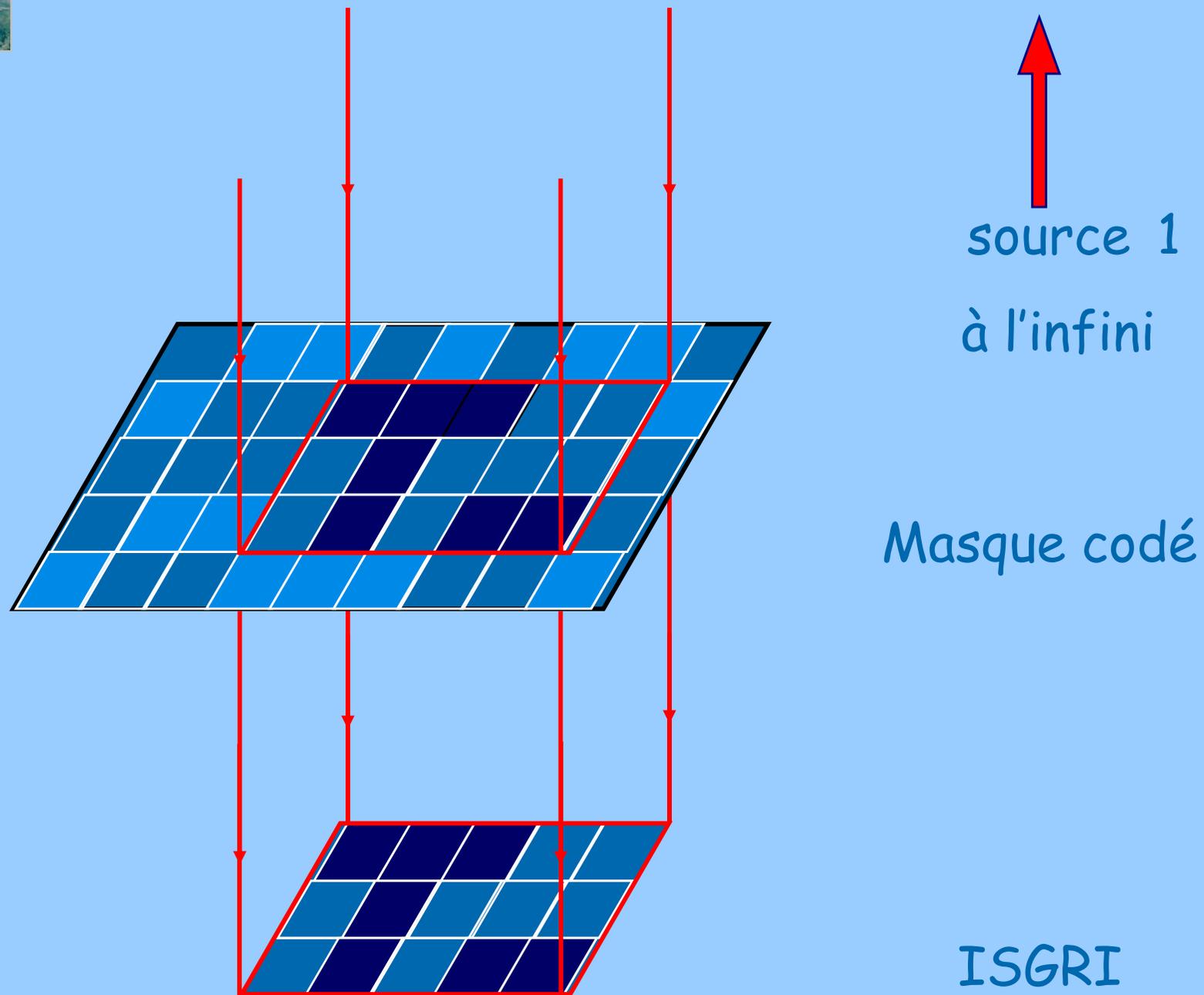
L'INTEGRAL Science Data Center (ISDC)



- L'ISDC est l'interface entre la mission INTEGRAL et la communauté astrophysique mondiale. Il est situé à Versoix, Suisse.
- Ce centre est responsable de la fourniture à la communauté des données INTEGRAL, des outils nécessaires à leur analyse et de leur archivage.
- Dans ce cadre, les équipes françaises ont fourni les logiciels de traitement de données spécifiques à leur instrument (SPI, ISGRI). Elles sont aussi responsables de la fourniture des fichiers de calibration.

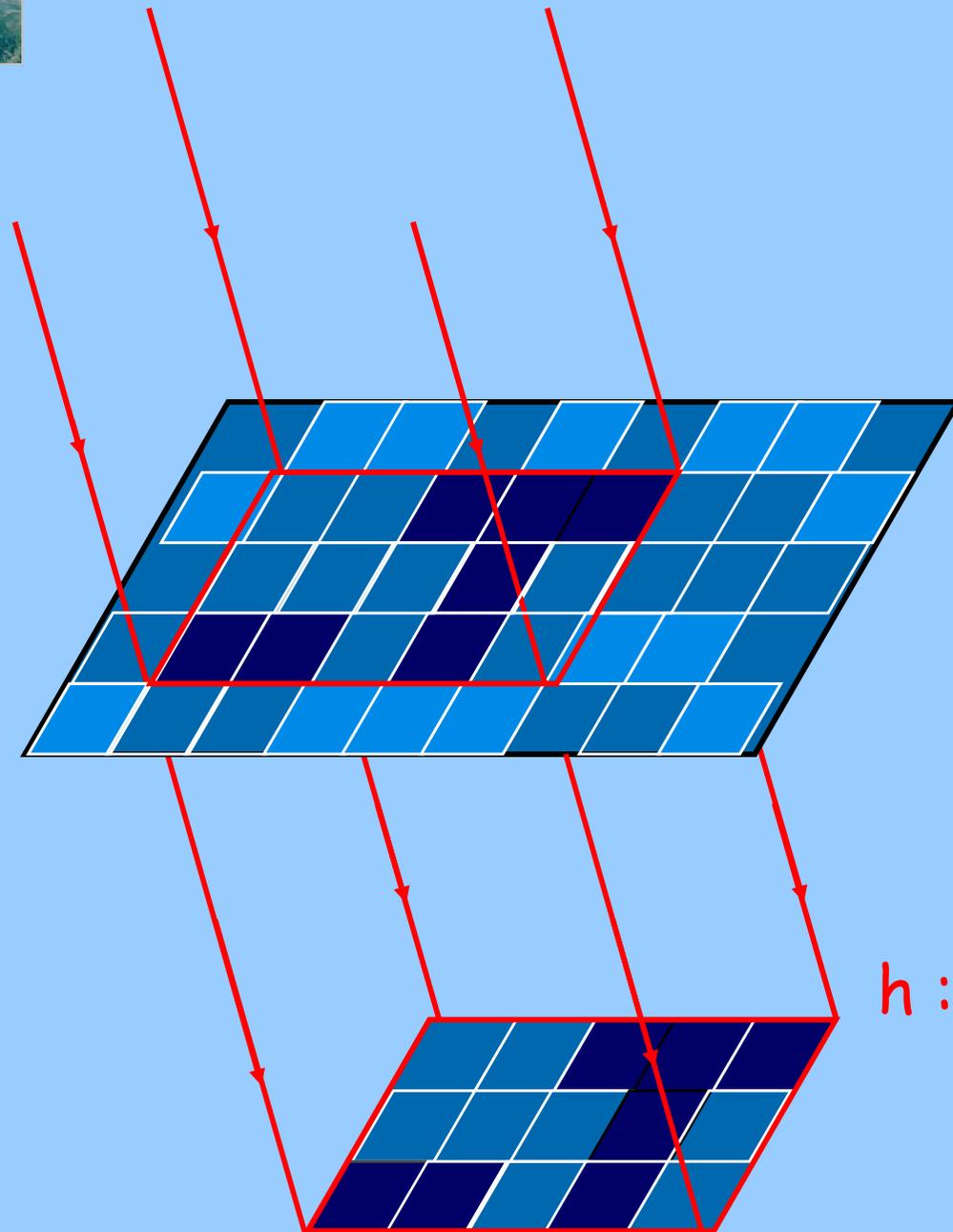


Imagerie à masque codée (1/2)





Imagerie à masque codé (2/2)



source 2
à l'infini

Masque codé

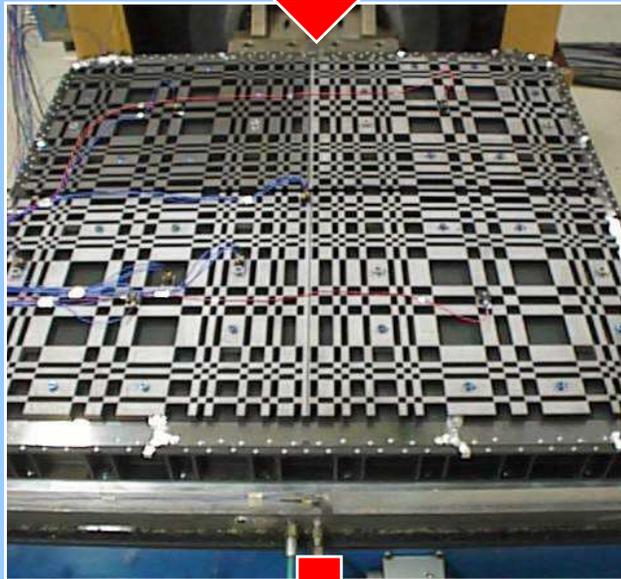
$$\delta\theta = \arctg\left(\frac{m}{h}\right)$$

m : taille élément masque
 h : distance masque - détecteur

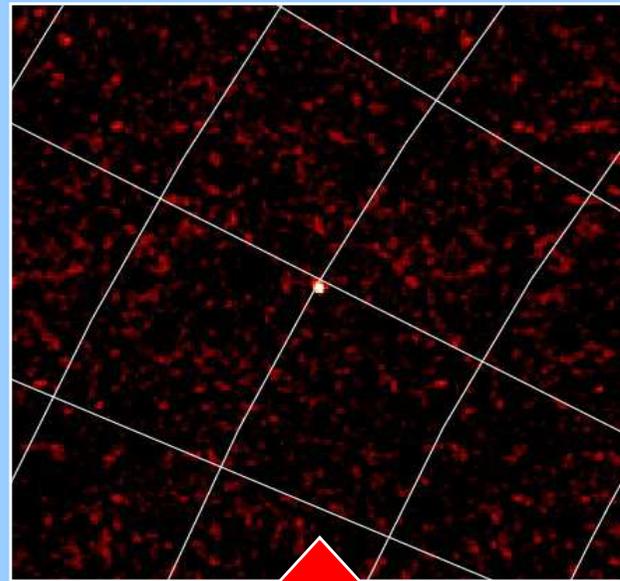
ISGRI



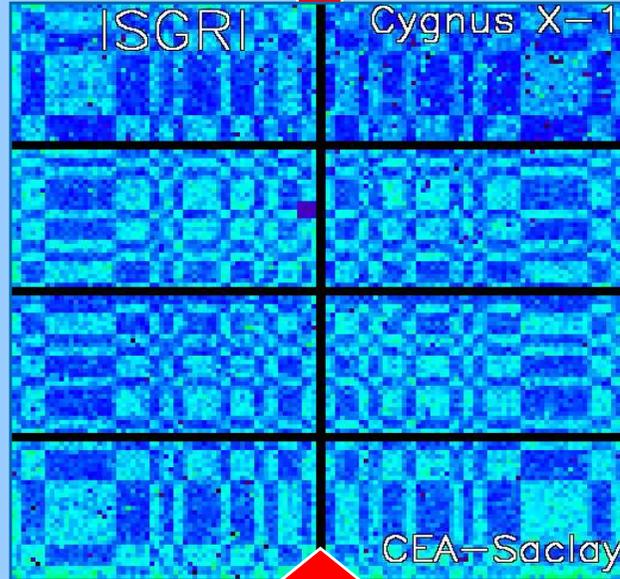
observation



transmission



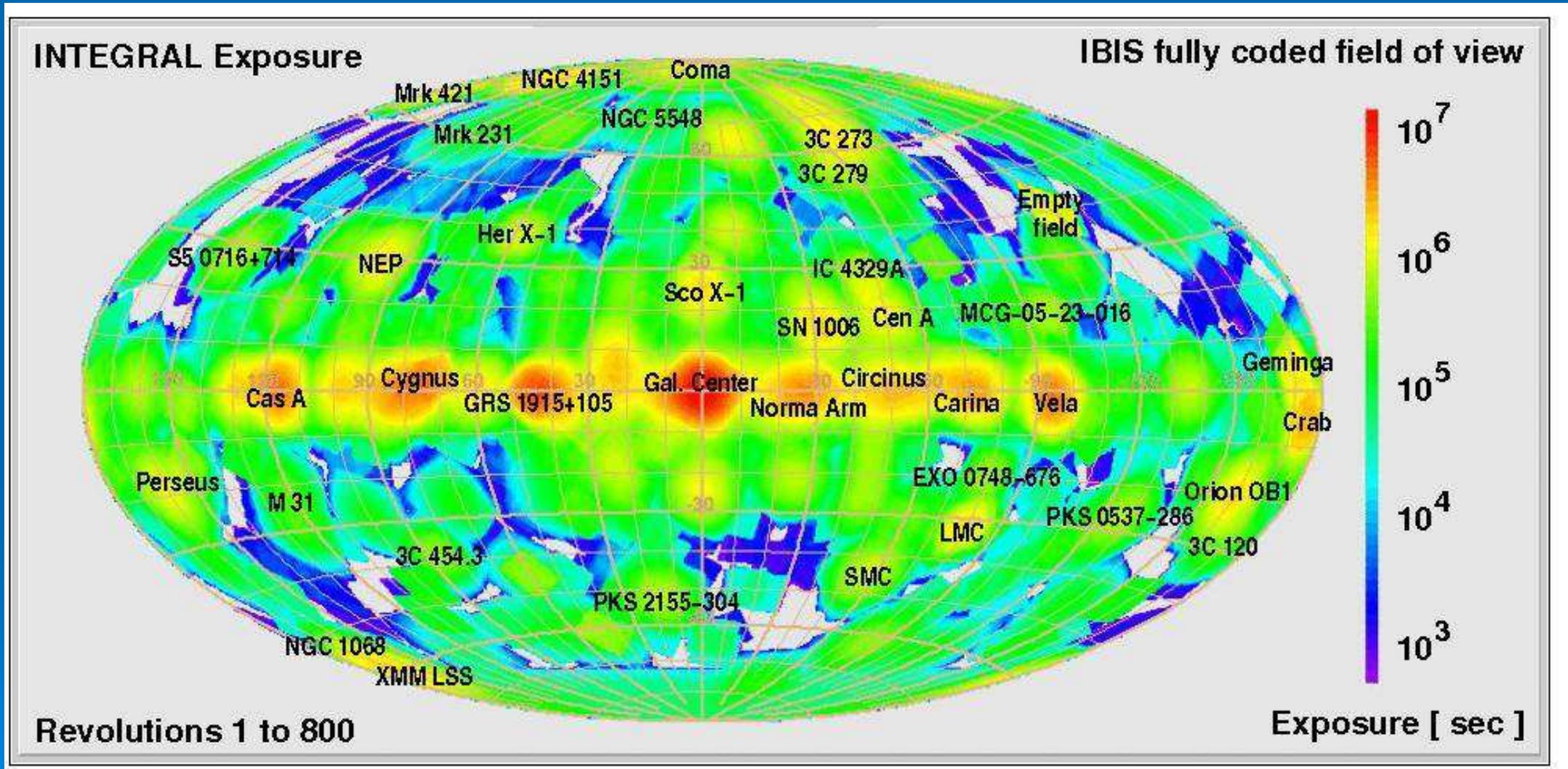
decoding



FOV : 9°
Res. : 12'



La couverture du ciel par INTEGRAL (~8 ans)



Quelques résultats INTEGRAL

2010

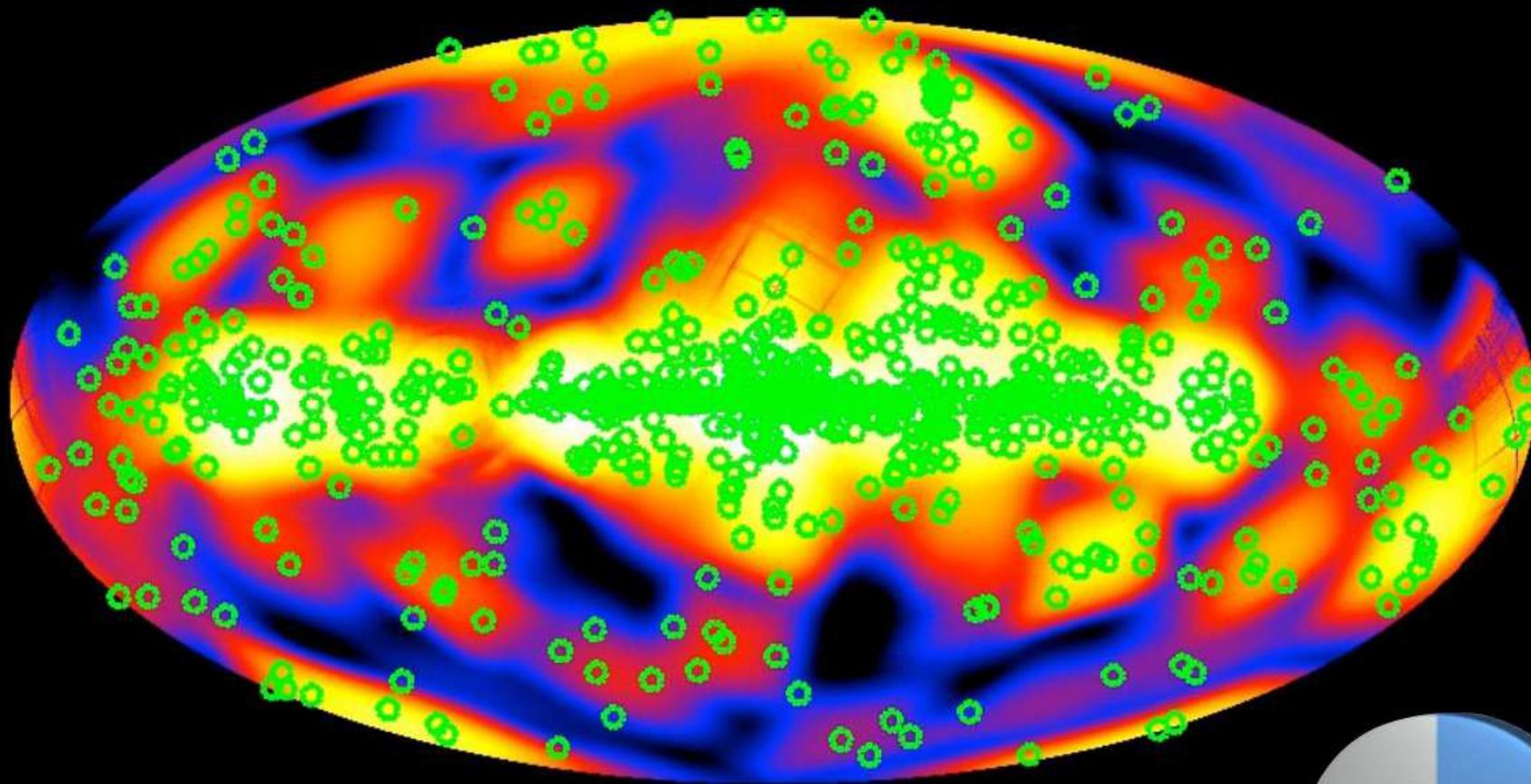
4th IBIS/ISGRI catalog
Bird+

Catalogue IBIS/ISGRI

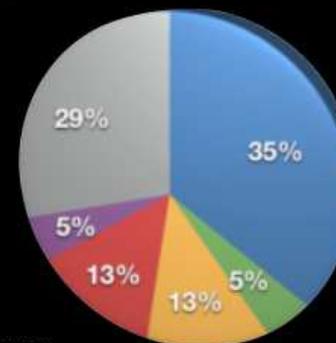
Revs 12-650

~40000scw

~70Ms



Bird et al., APJS, 186, 1, 2010

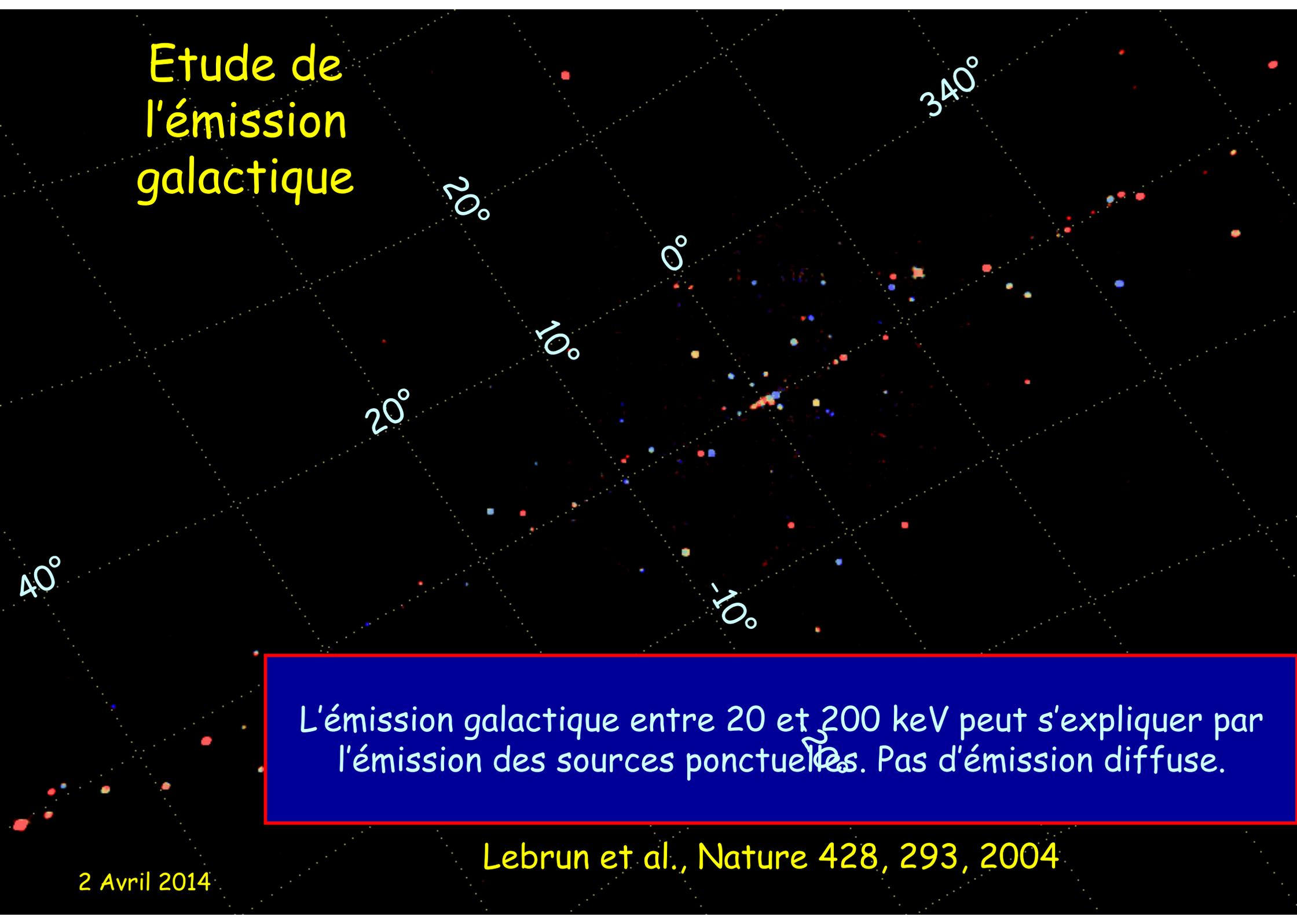


723 sources

● AGN ● CV ● HMXB ● LMXB ● Others ● Unknown

2 Avril 2014

Etude de l'émission galactique

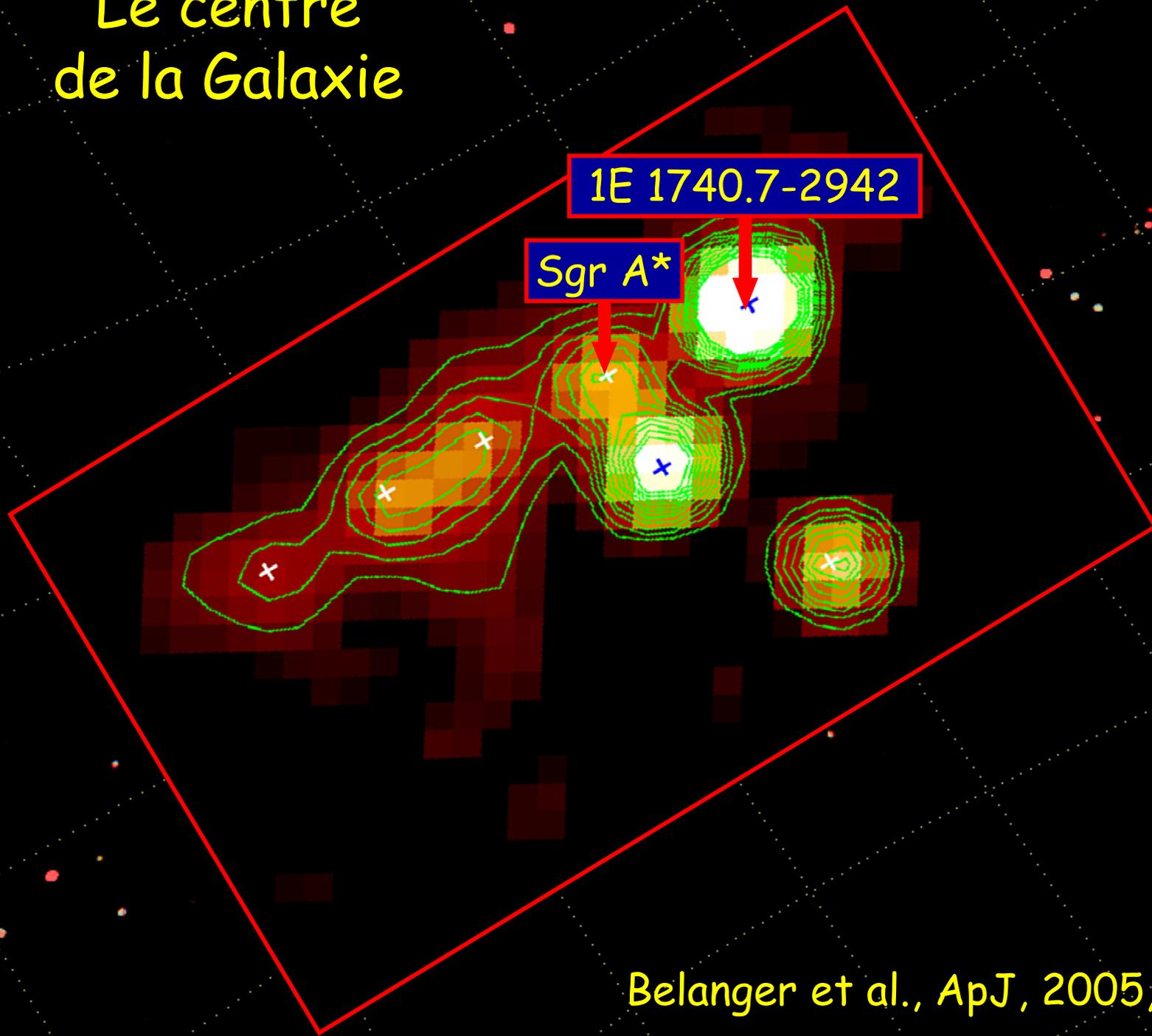


L'émission galactique entre 20 et 200 keV peut s'expliquer par l'émission des sources ponctuelles. Pas d'émission diffuse.

Lebrun et al., Nature 428, 293, 2004



Le centre de la Galaxie



Belanger et al., ApJ, 2005, 635, 109

Observations INTEGRAL de la région de Sgr A

- INTEGRAL a découvert une émission entre 20 et 120 keV (IGR J1745.6-2901) à $\sim 1'$ de Sgr A*, $L(20-120 \text{ keV}) \sim 4 \cdot 10^{35} \text{ erg/s}$.
 - Cette émission n'est pas liée à une source ponctuelle connue \Rightarrow Trou noir central ? Mais pas directement lié aux éruptions X observées par XMM ...

Belanger et al., 2006, ApJ, 636, 275

- INTEGRAL a aussi observé une source brillante (20-200 keV) dans le nuage moléculaire Sgr B2.
 - Cette émission est compatible avec l'écho Compton d'une éruption de Sgr A* (10^{39} erg/s) il y a environ 300 ans.

Terrier et al., 2010, ApJ, 719, 143

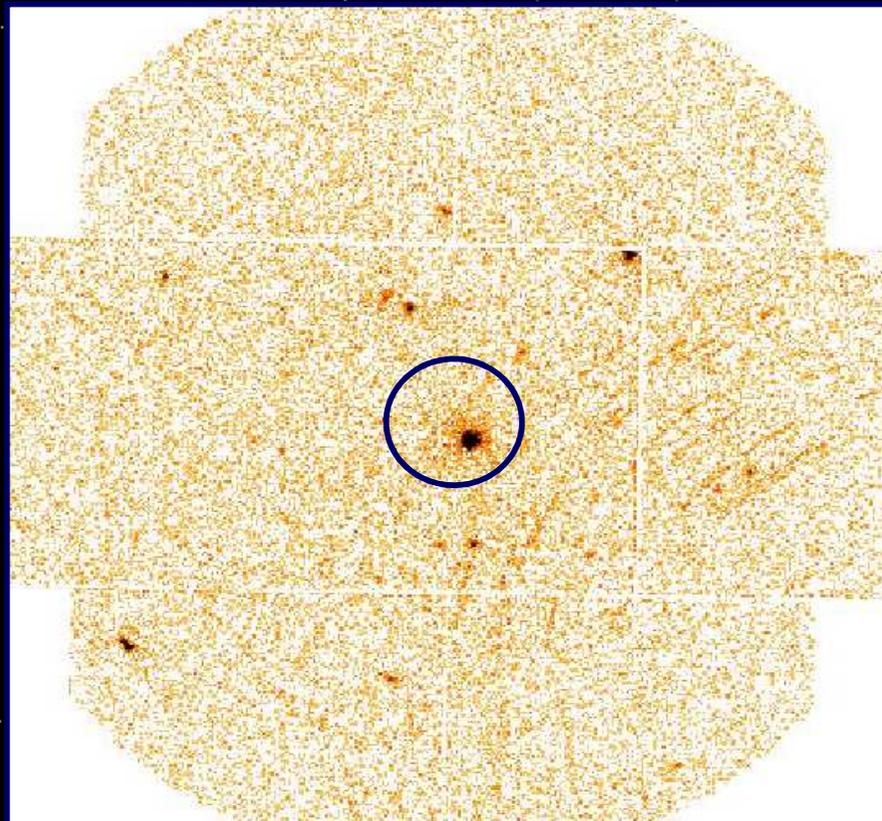


Binaires de grande masse absorbées

340°

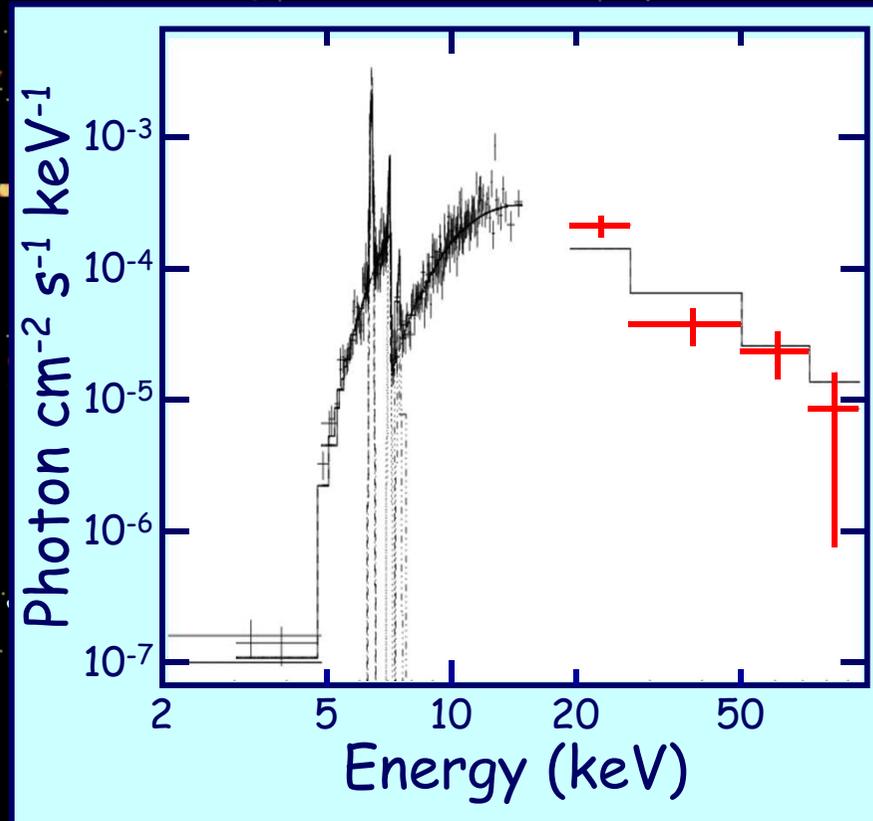
20°

IGR J16318-4848



40°

0°

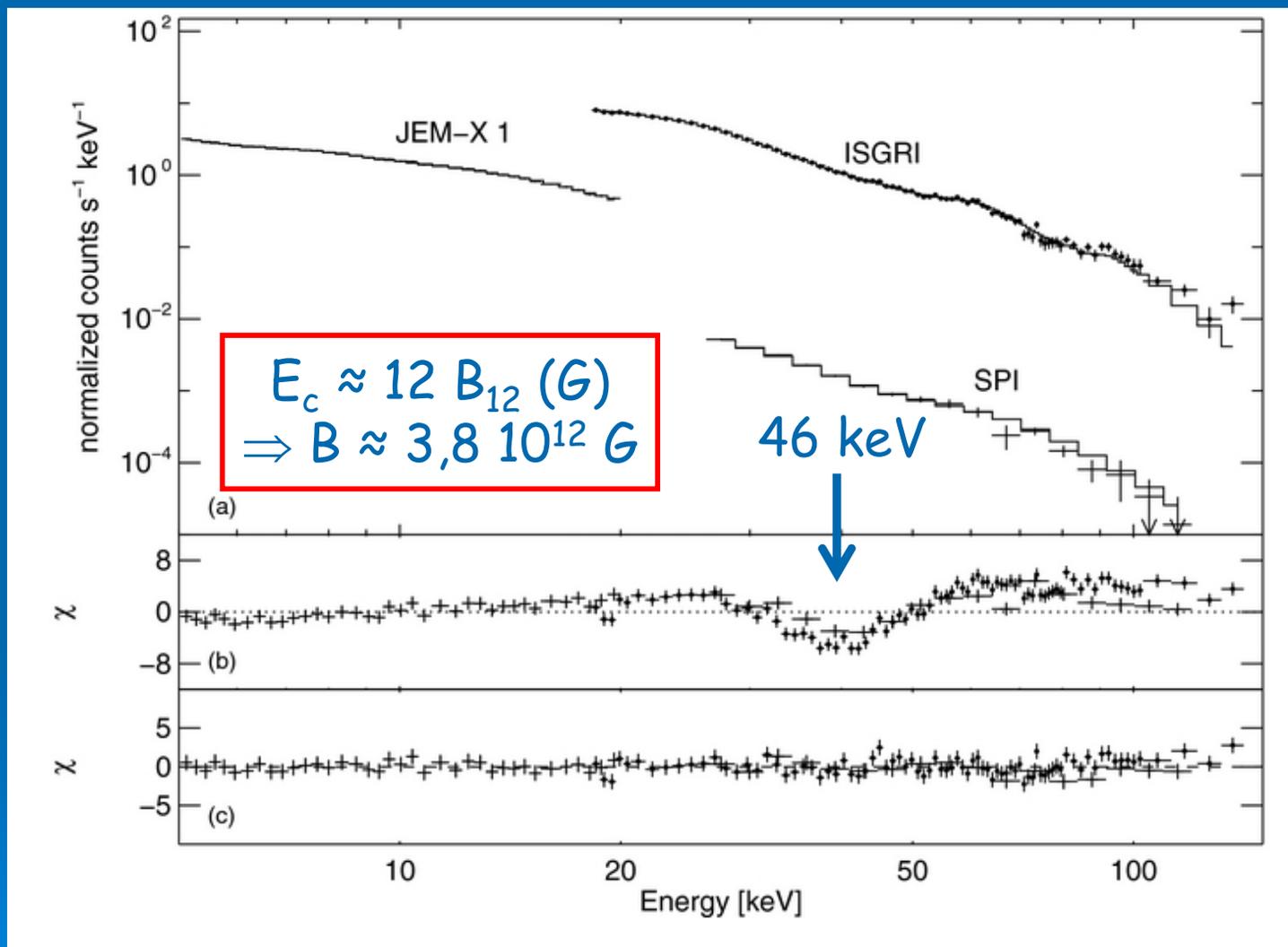


20°

• Chaty et al., Ap&SS, 2005, 297, 235



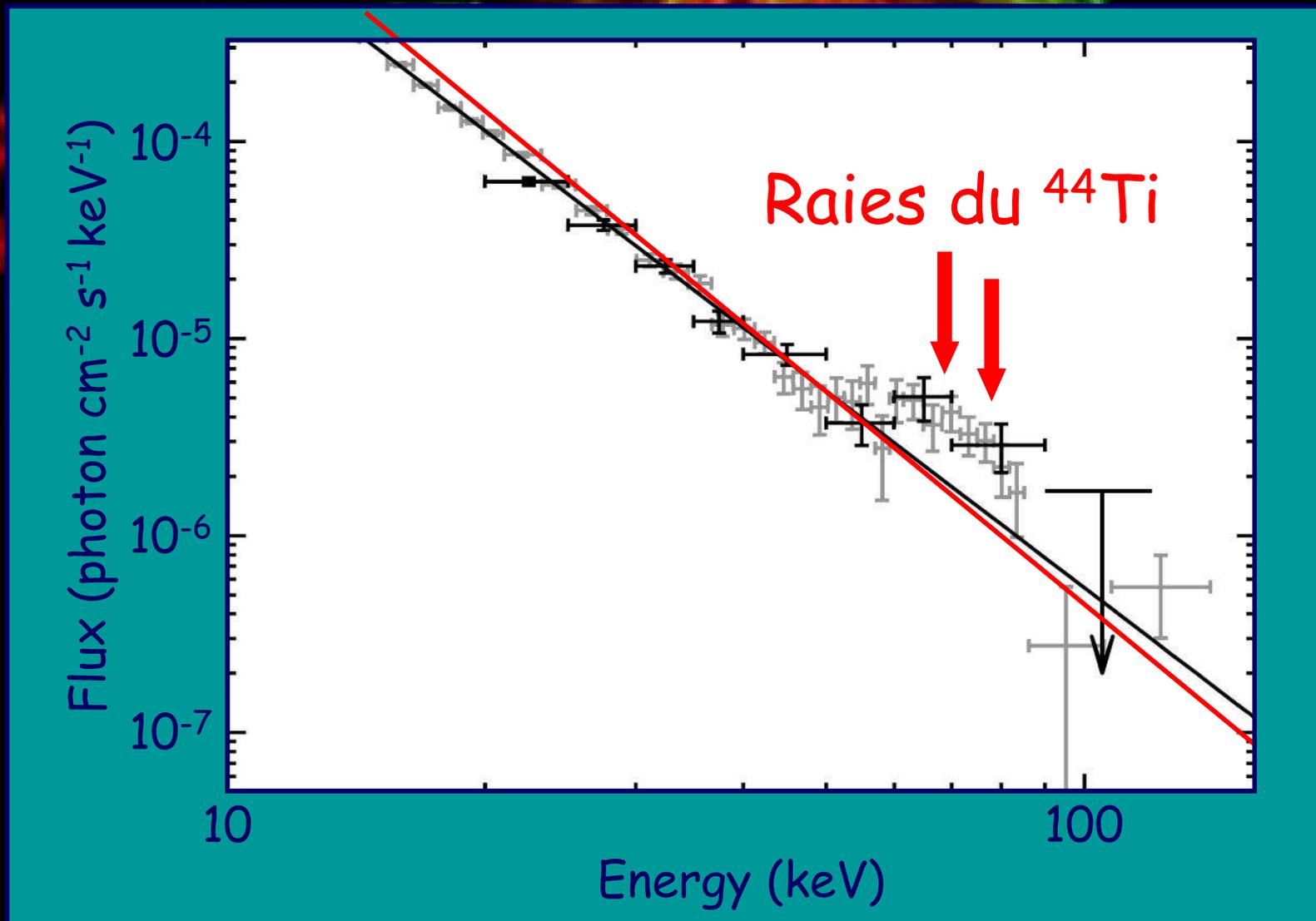
Raies cyclotrons dans la binaire Be A 0535+26



Caballero et al., 2013, ApJ, 764, L23



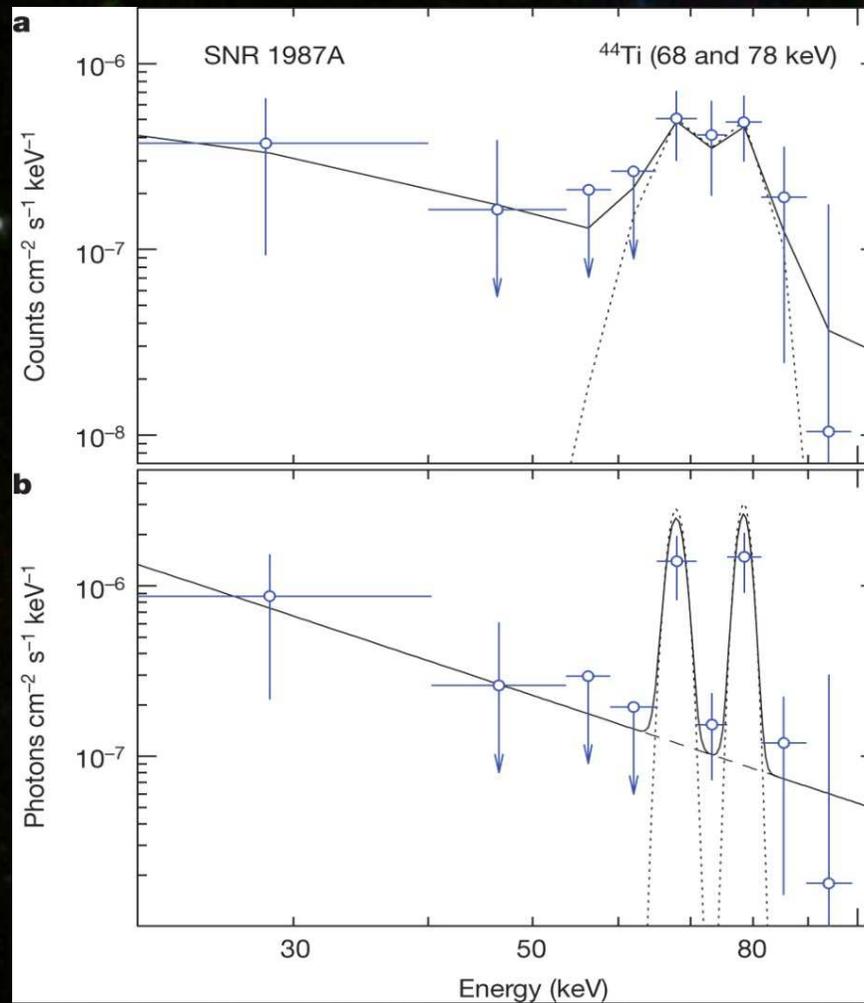
Raies nucléaires dans Cas A



Renaud et al., ApJ, 2006, 647, L41



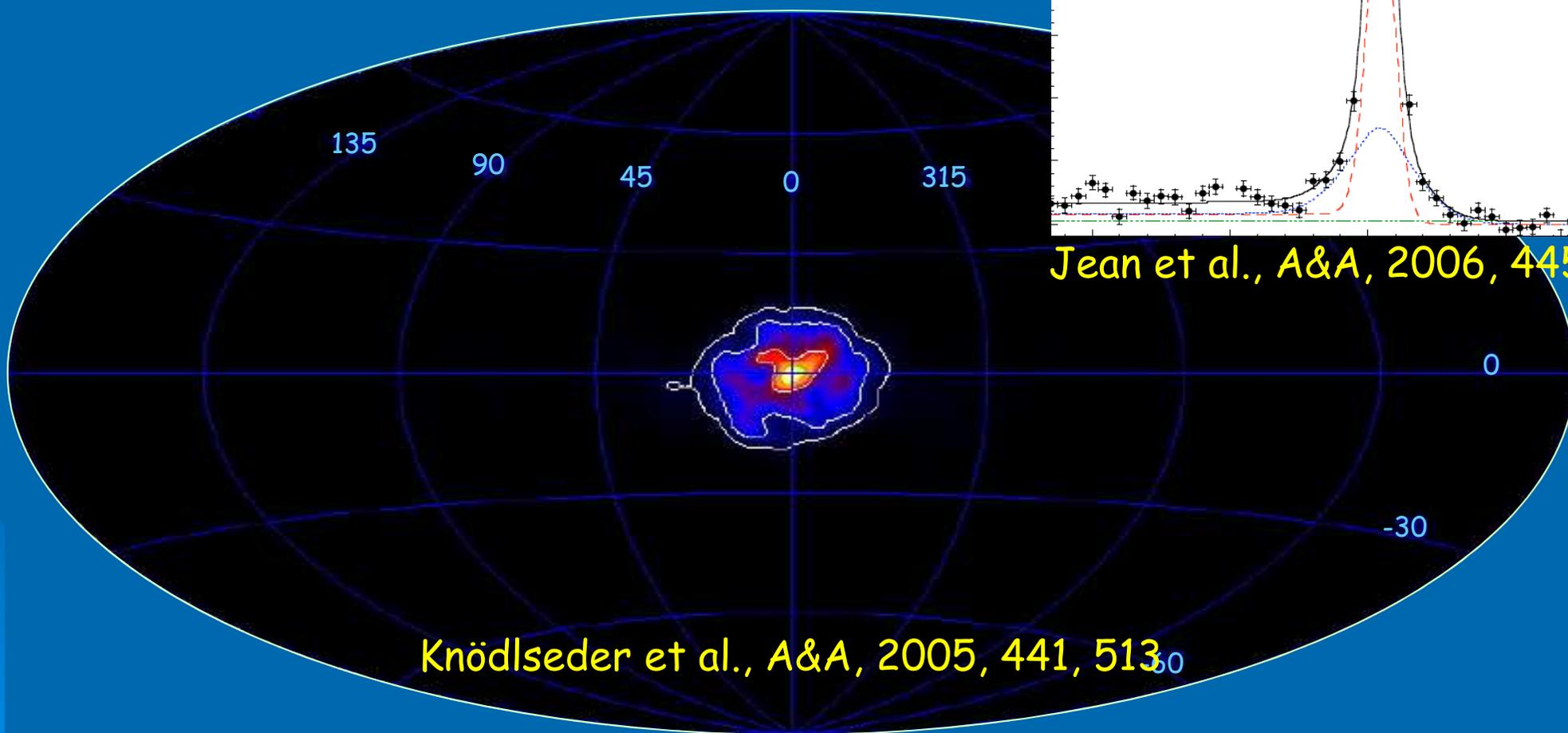
Raies du Titane 44 dans SN 87A



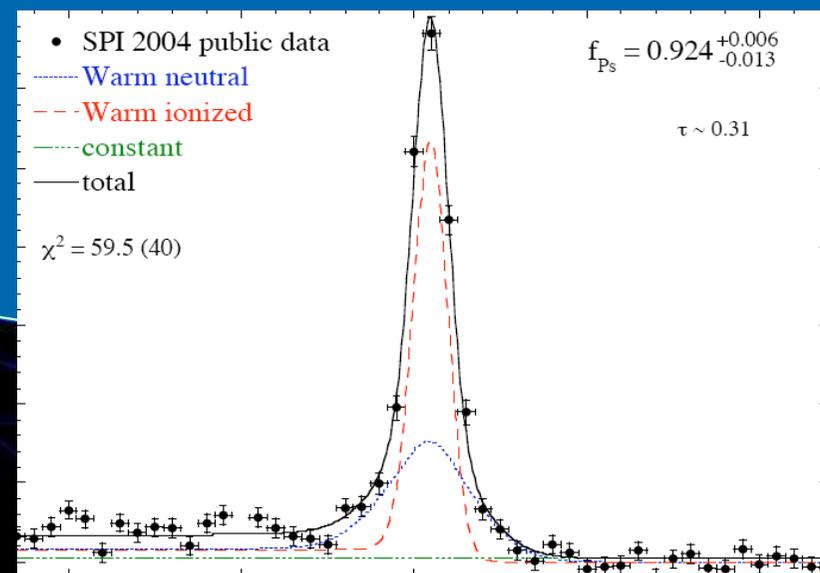
Grebenev et al., 2012, Nature, 490, 373



raie à 511 keV line galactique



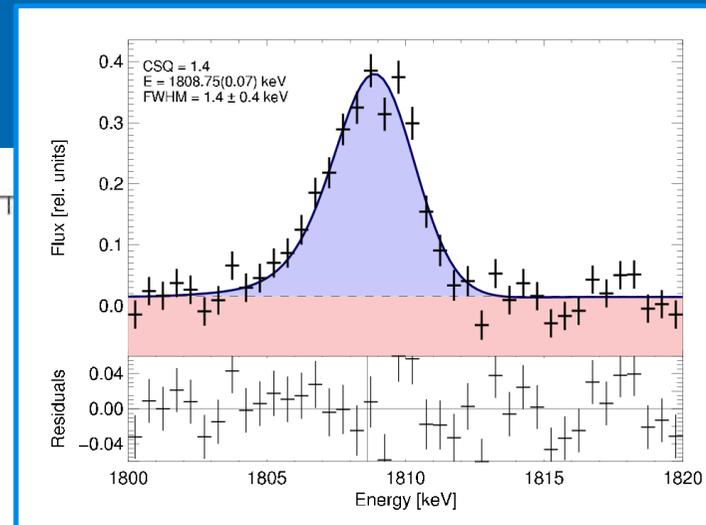
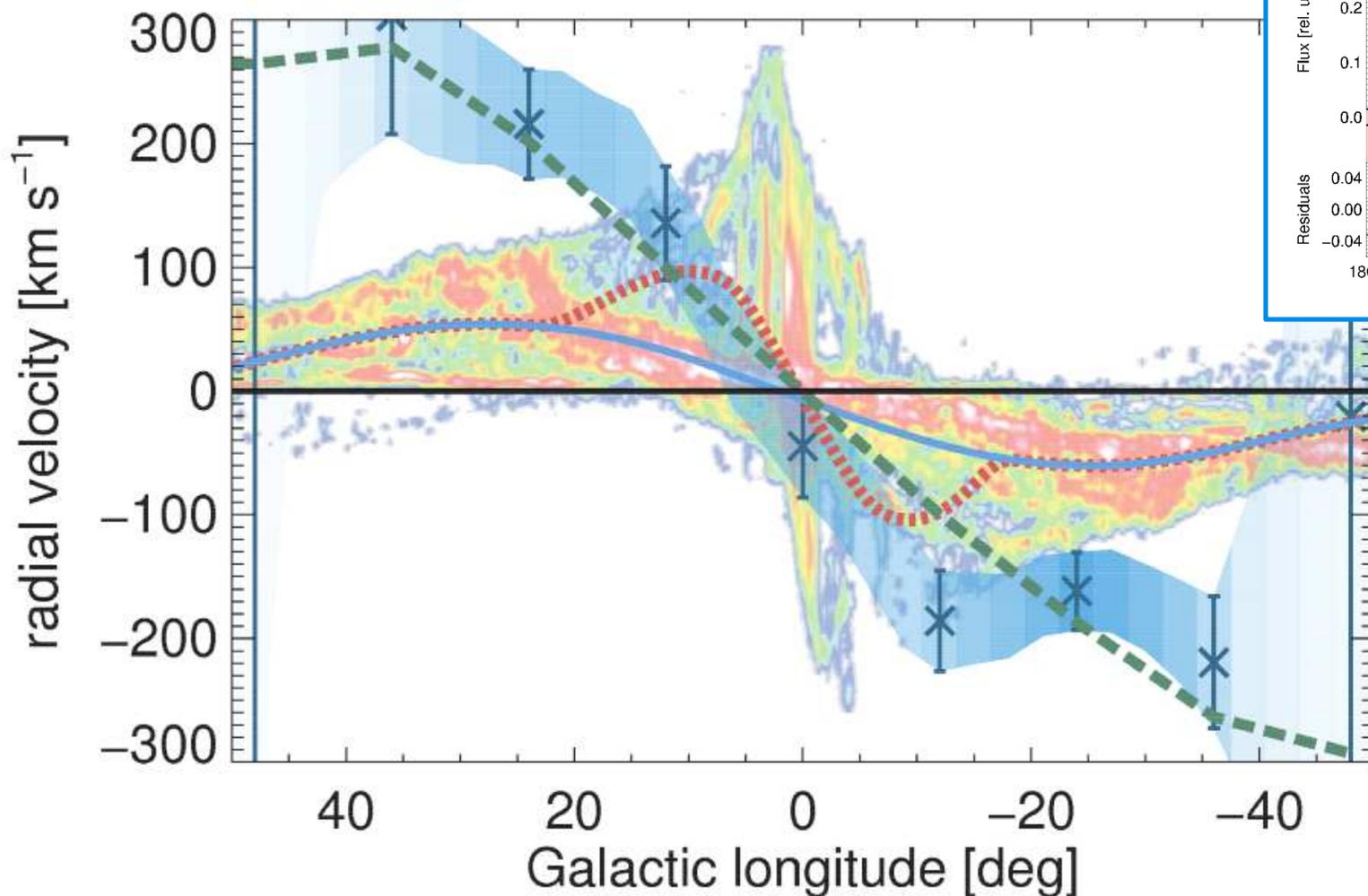
Knödseder et al., A&A, 2005, 441, 513₆₀



Jean et al., A&A, 2006, 445, 579



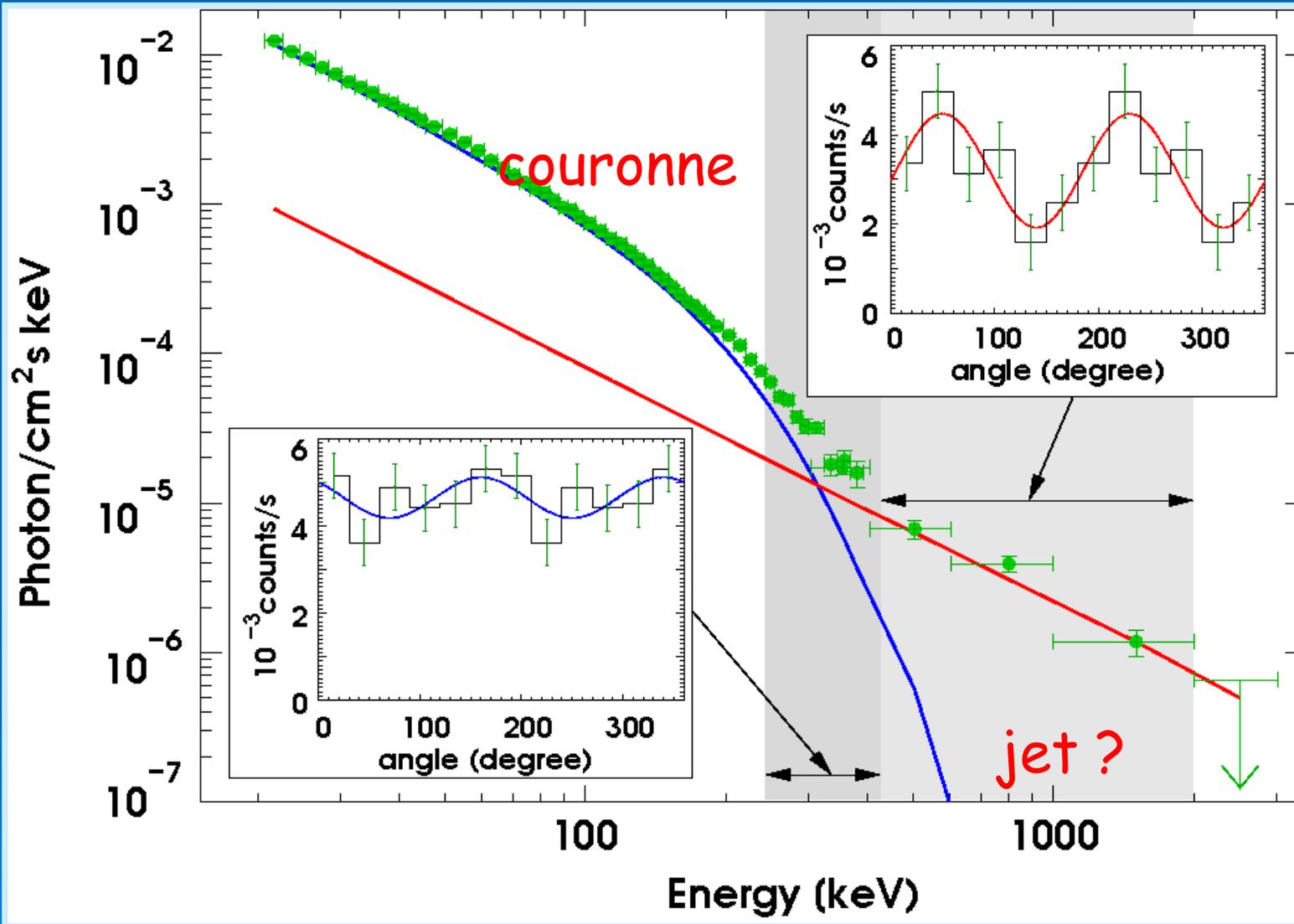
Décroissance de l' ^{26}Al



Kretschmer et al., *A&A*, 2013, 559, 99



Emission polarisée dans Cygnus X-1



Laurent et al., Science, 2011, 332, 438

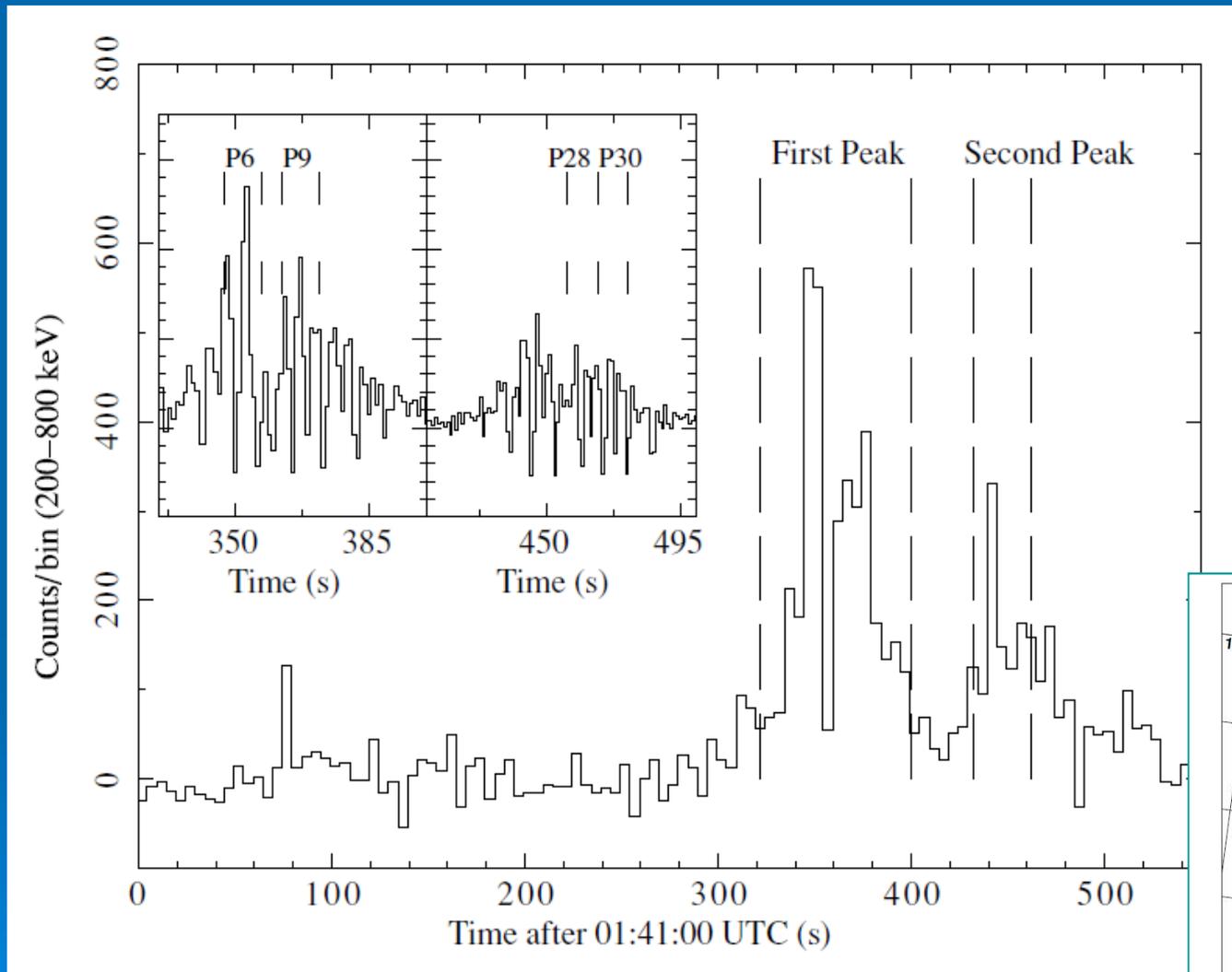
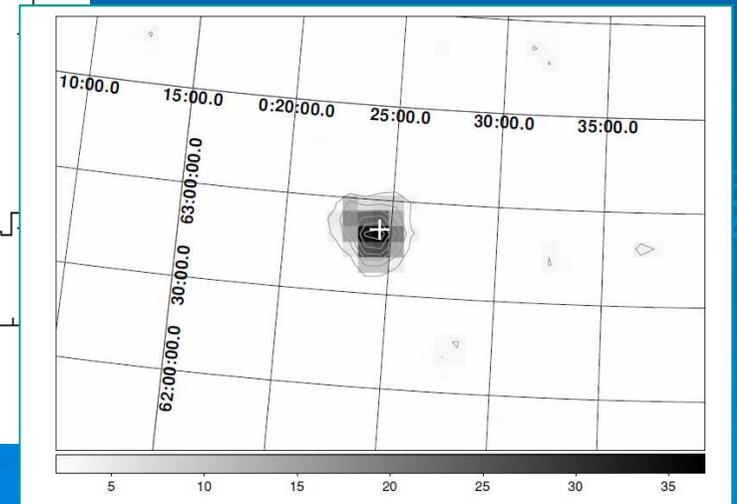


Emission polarisée de GRB 041219A

Analyse dans des bins
de 10s

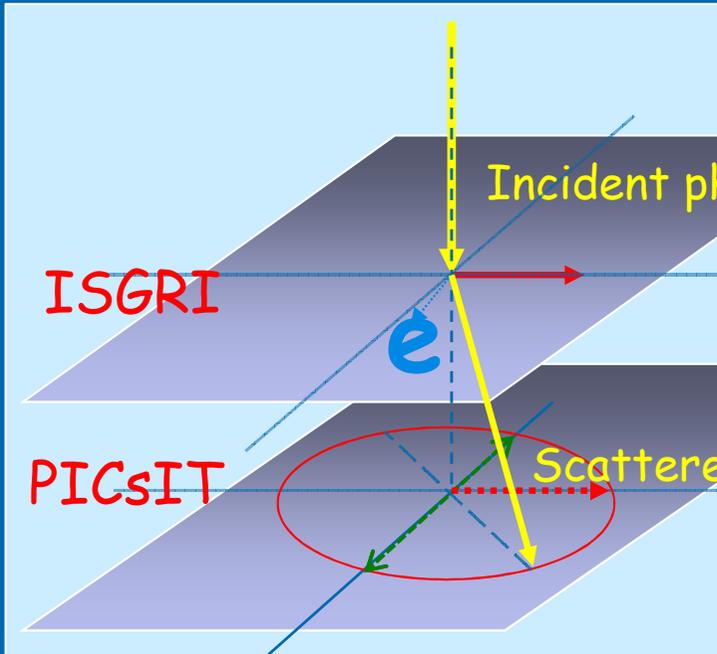
Total S/N
(200-800 keV) : 37σ

(Götz et al, 2009,
ApJ, 695, L208)

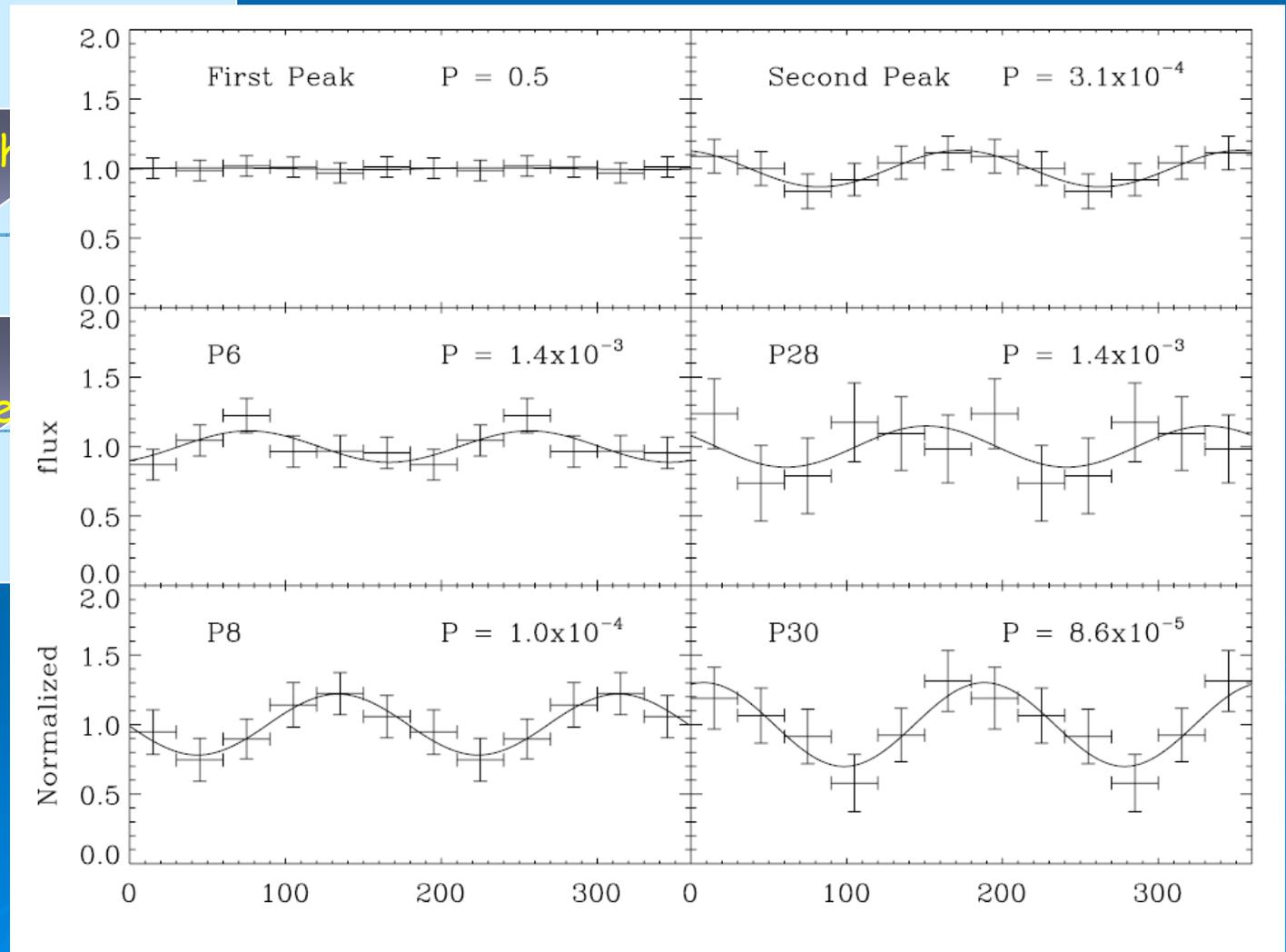




Polarigrammes de GRB 041219A



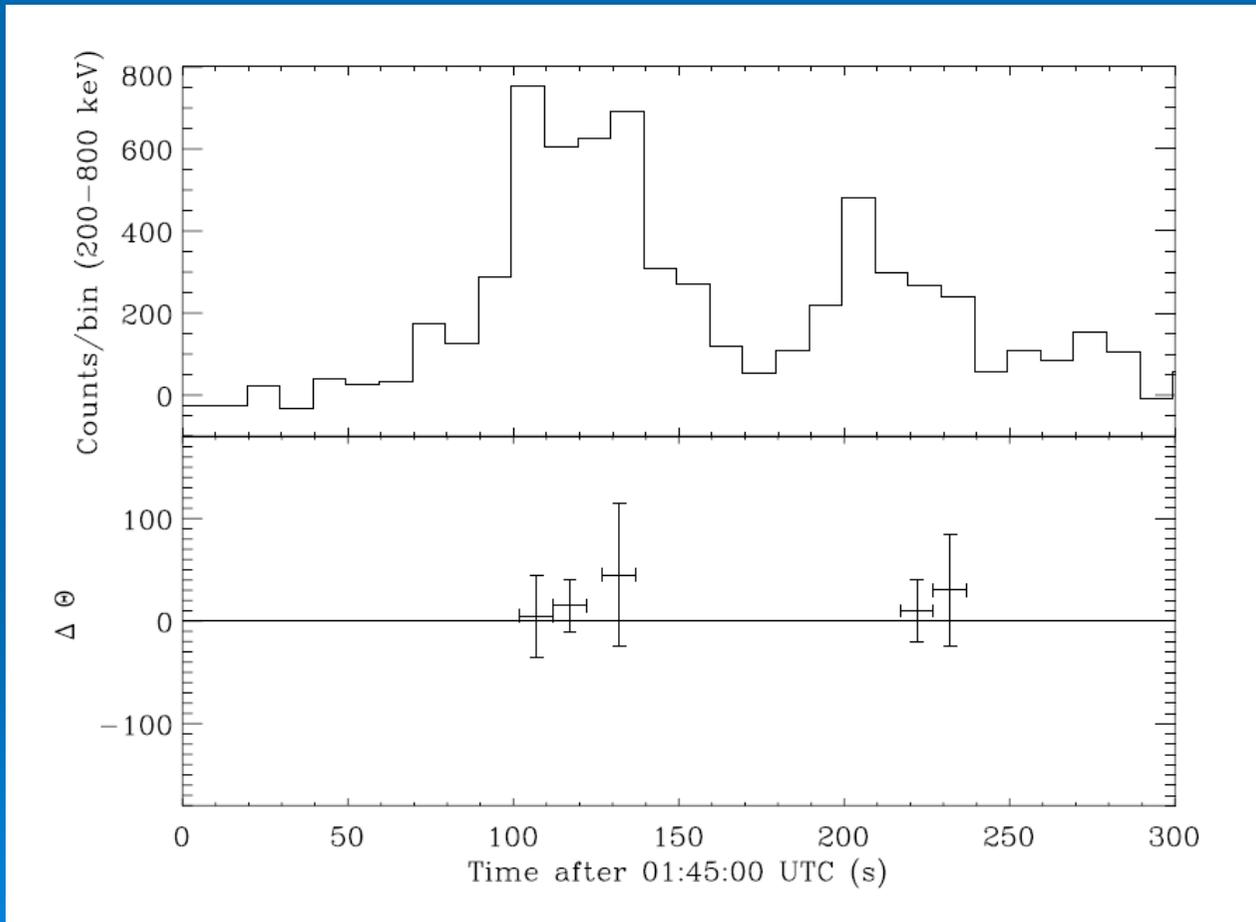
(Götz et al, 2009, ApJ, 695, L208)





GRB 041219A: contraintes sur une possible violation de l'invariance de Lorentz

Comparaison de l'angle de polarisation dans deux bandes d'énergie



200-250 keV vs
250-325 keV
 $\Delta\theta = 21 \pm 47^\circ$

$$\Delta\theta(p) = \frac{\omega_+(k) - \omega_-(k)}{2} d \approx \xi \frac{k^2 d}{2M_{Pl}}$$

$$\xi < 4 \cdot 10^{-15}$$

(Laurent et al, 2011,
Phys. Rev. D, 83, 12)

Conclusions (1/2)

- SPI et ISGRI \Rightarrow Expertise instrumentale (\Rightarrow SVOM), mais difficile à maintenir en l'absence de mission à moyen terme.
- Traitement de données \Rightarrow Connaissance approfondie du télescope (réponse en énergie, masque, défauts des détecteurs, ...) \Rightarrow sensibilité accrue car maîtrise des effets systématiques et accès à la polarisation.

Conclusions (2/2)

- Améliorer l'imagerie en X-dur \Rightarrow comparaison avec les images X, optique, infrarouge, radio (NuStar et au-delà).
- Sensibilité limitée de SPI et IBIS au-delà de 500 keV \Rightarrow être efficace au MeV.
- Développer l'étude de la polarisation (Astro-H et +).