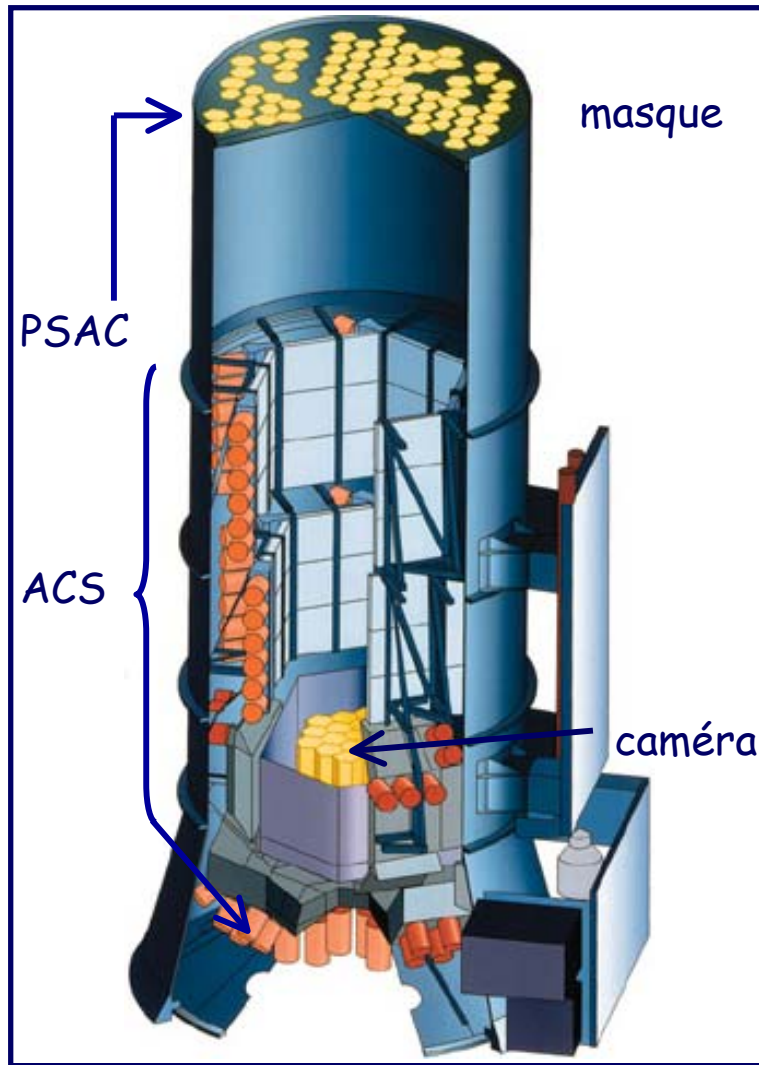


Observation des raies cyclotron  
de Vela X-1  
par le spectromètre  
INTEGRAL/SPI

David ATTIE

- ★ Présentation du spectromètre SPI
- ★ Etalonnage du spectromètre
- ★ Caractéristiques de la source Vela X-1
- ★ Contraintes sur les modèles géométriques et physiques
- ★ Observations de Vela X-1 par SPI
  - analyse spectrale
  - analyse temporelle
- ★ Conclusions

# Le spectro-imageur SPI



Blindage :

- PSAC :  
Scintillateur Plastique
- ACS :  
Bouclier d'Anticoïncidence  
91 BGO  
(*Bismuth Germanate Oxyde*)

Réduction du bruit de fond

# Étalonnage au sol du spectromètre

## LES OBJECTIFS

Mesures sur tout le domaine d'énergie (20 keV-8 MeV) *sans le masque*

- étalonnage en énergie (linéarité des gains)
- efficacité des détecteurs : photons  $\gamma$  produits par :
  - > 3 MeV, accélérateur Van de Graaf (4 MeV)
  - < 3 MeV, ~ 12 sources radioactives à 8 m
- sensibilité de la caméra
- homogénéité du plan de détection

Comparaison avec des mesures faites *avec le masque* (125m+ESTEC)

Comparaison avec les simulations

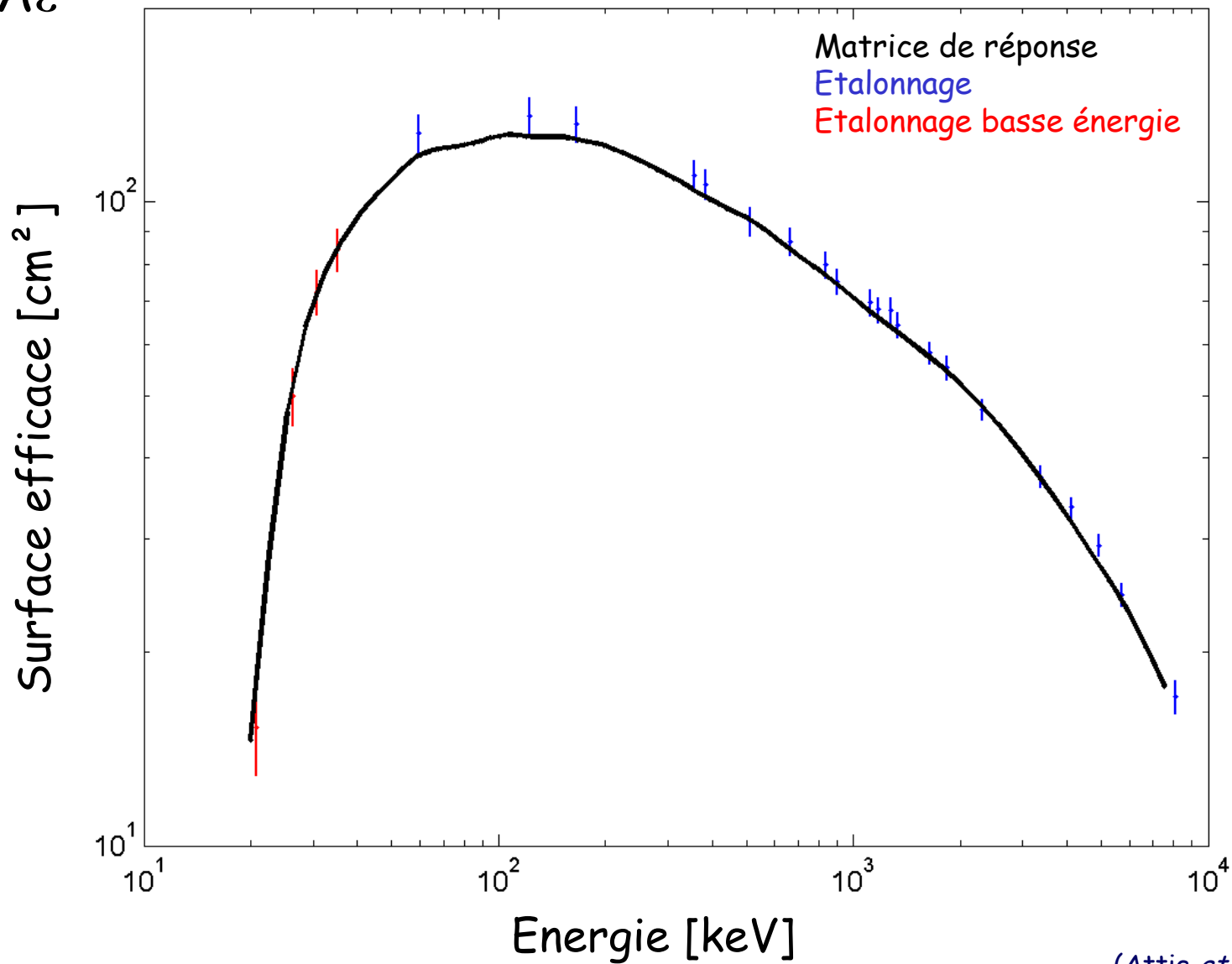
Mesure des performances en imagerie

- sources de haute intensité placées à 125 m

-> validation de la réponse instrumentale (IRF)

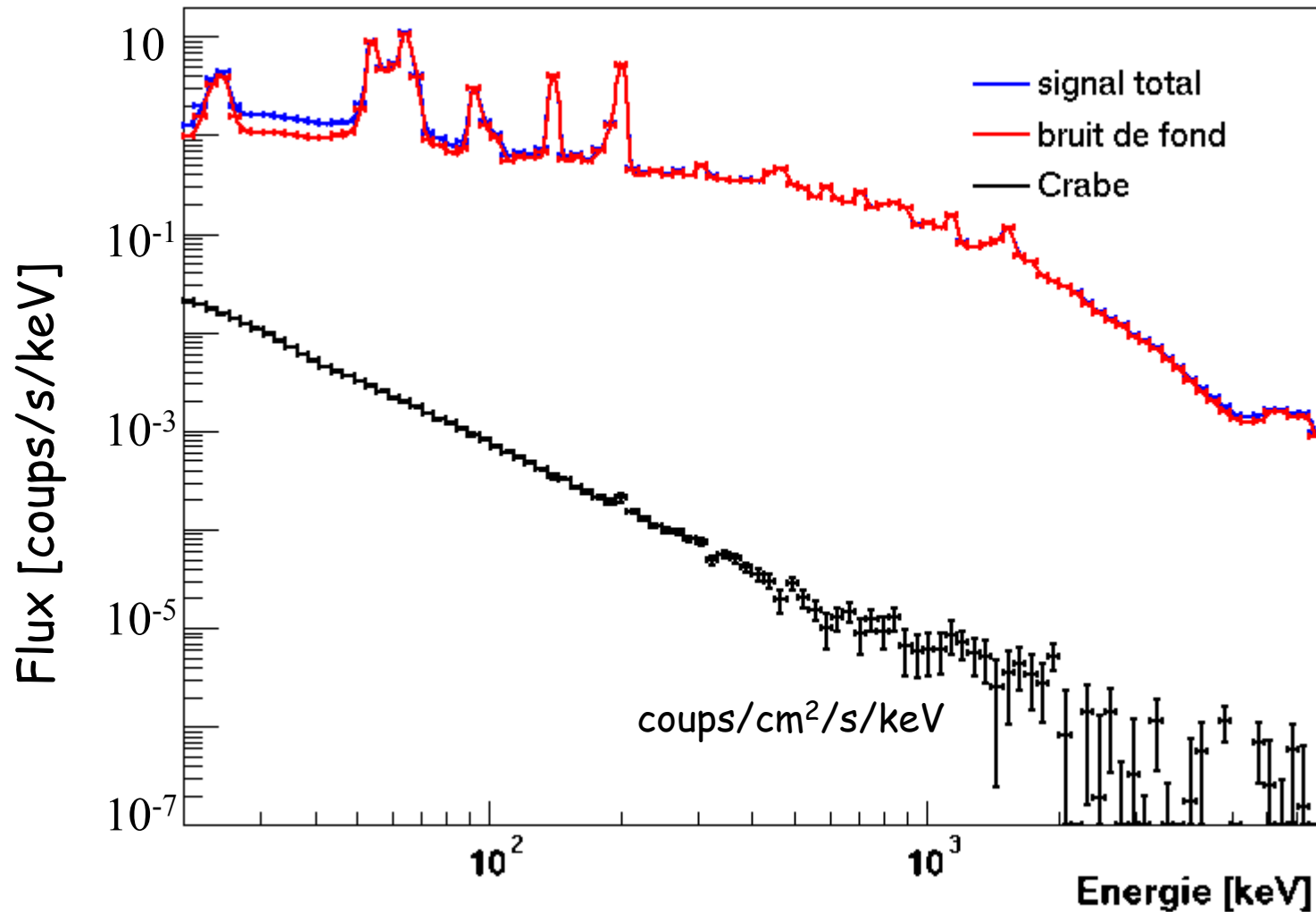
# Réponse spectrale du spectromètre

$$S_{\text{eff}} = A \varepsilon$$



(Attie *et al*, A&A 2003)

# Etalonnage en vol : spectre crabe



(Attie *et al*, A&A 2003)

# Performances du spectromètre

Performance de SPI	Etalonnage	En vol
Domaine d'énergie (MeV)	0,02 - 10	<0,014 - >8
Résolution spectrale (keV)	2,3 @ 1 MeV	2,31 @ 0,88 MeV 2,98 @ 1,79 MeV
FOV totalement codé	16°	Testé et validé à 14°
Résolution angulaire	2,5°	2,7°
Localisation d'un point source	30'	$8' < \text{PSL} < 2,7^\circ / \sigma_{\text{detection}}$
Sensibilité dans le continu ( $3\sigma$ $10^6$ s @1 MeV $\Delta E=1$ MeV; photon $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{keV}^{-1}$ )	$3 \cdot 10^{-7}$	$1.2 \cdot 10^{-6}$
Sensibilité dans la raie ( $3\sigma$ $10^6$ s @1 MeV; photon $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$2 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$

# Les caractéristiques de Vela X-1

prototype de pulsar accrétant alimenté par vent stellaire

**Nom** : 4U 0900-40, ...

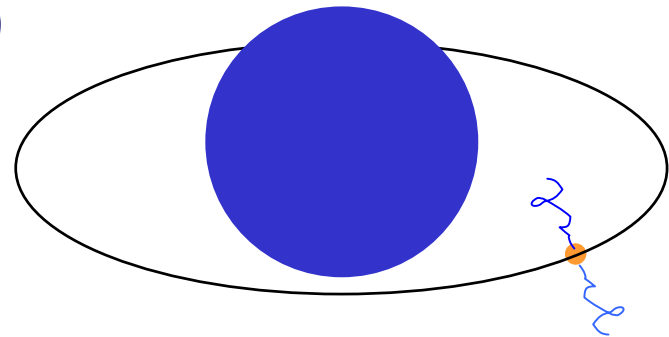
**Type** : binaire X de forte masse (HMXB) variable, éclipseante  
- étoile supergéante bleue : HD 77581  
- étoile à neutrons

**Distance** : ~ 2 kpc (~ 6500 année-lumière)

**Masse** : ~ 23  $M_{\odot}$  & 1,4  $M_{\odot}$

**Rayon** : ~ 30  $R_{\odot}$

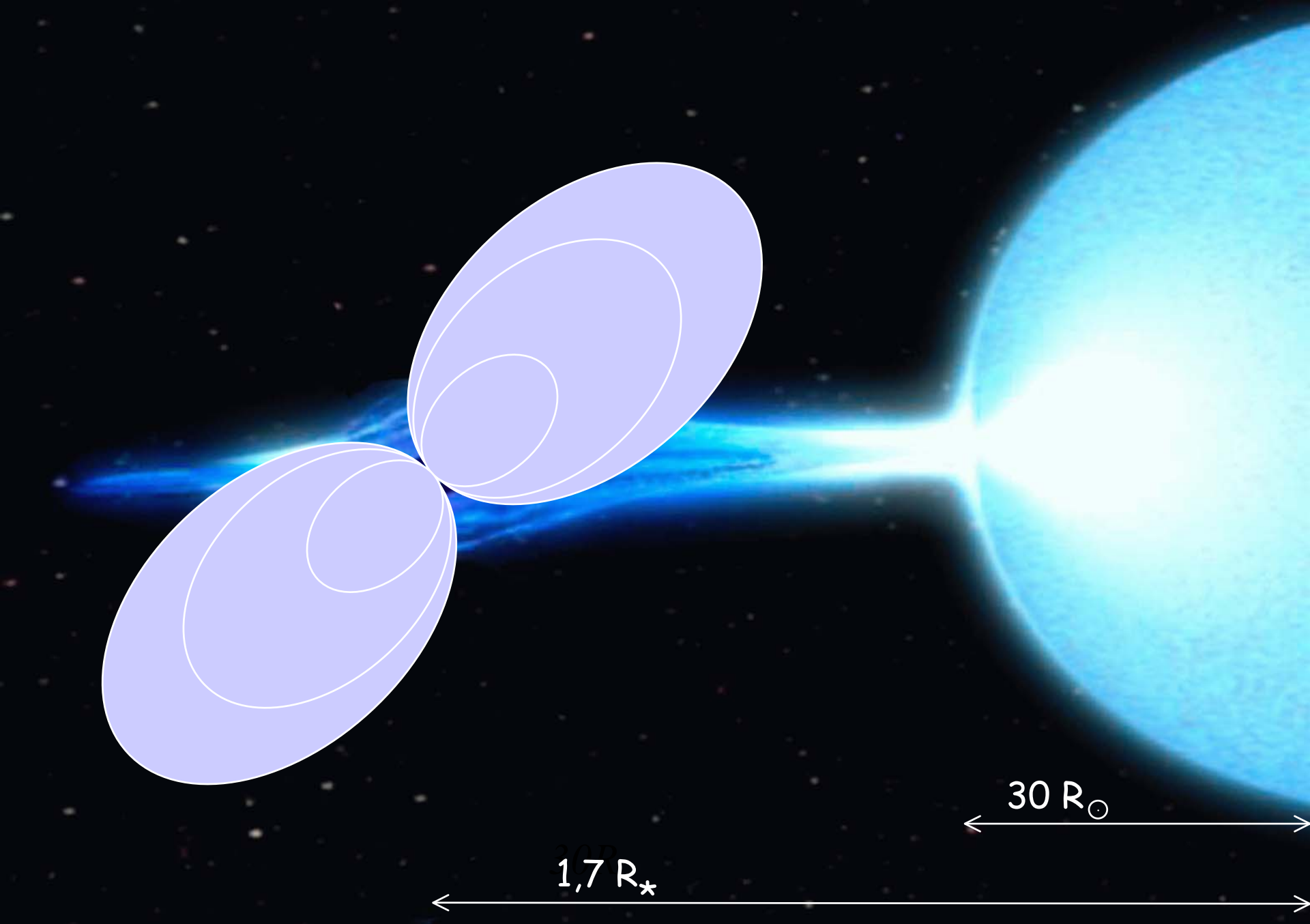
**Périodes** : orbitale : ~ 8,96 jours  
pulsar : ~ 283 s



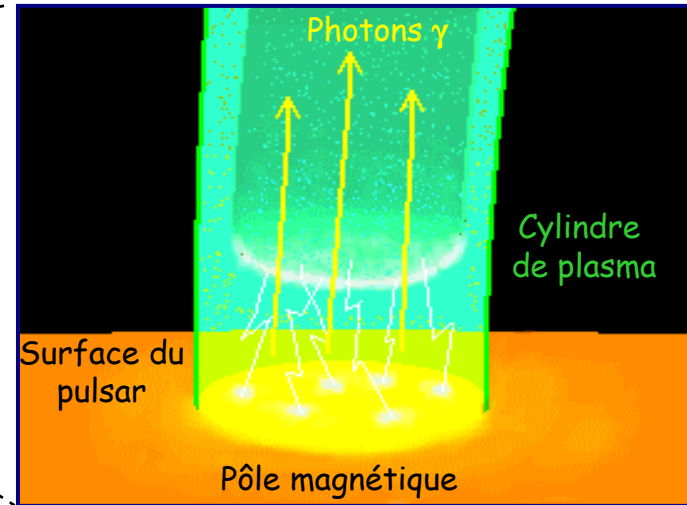
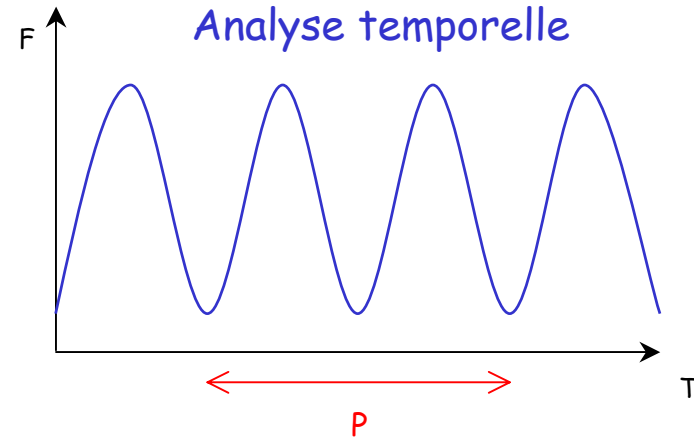
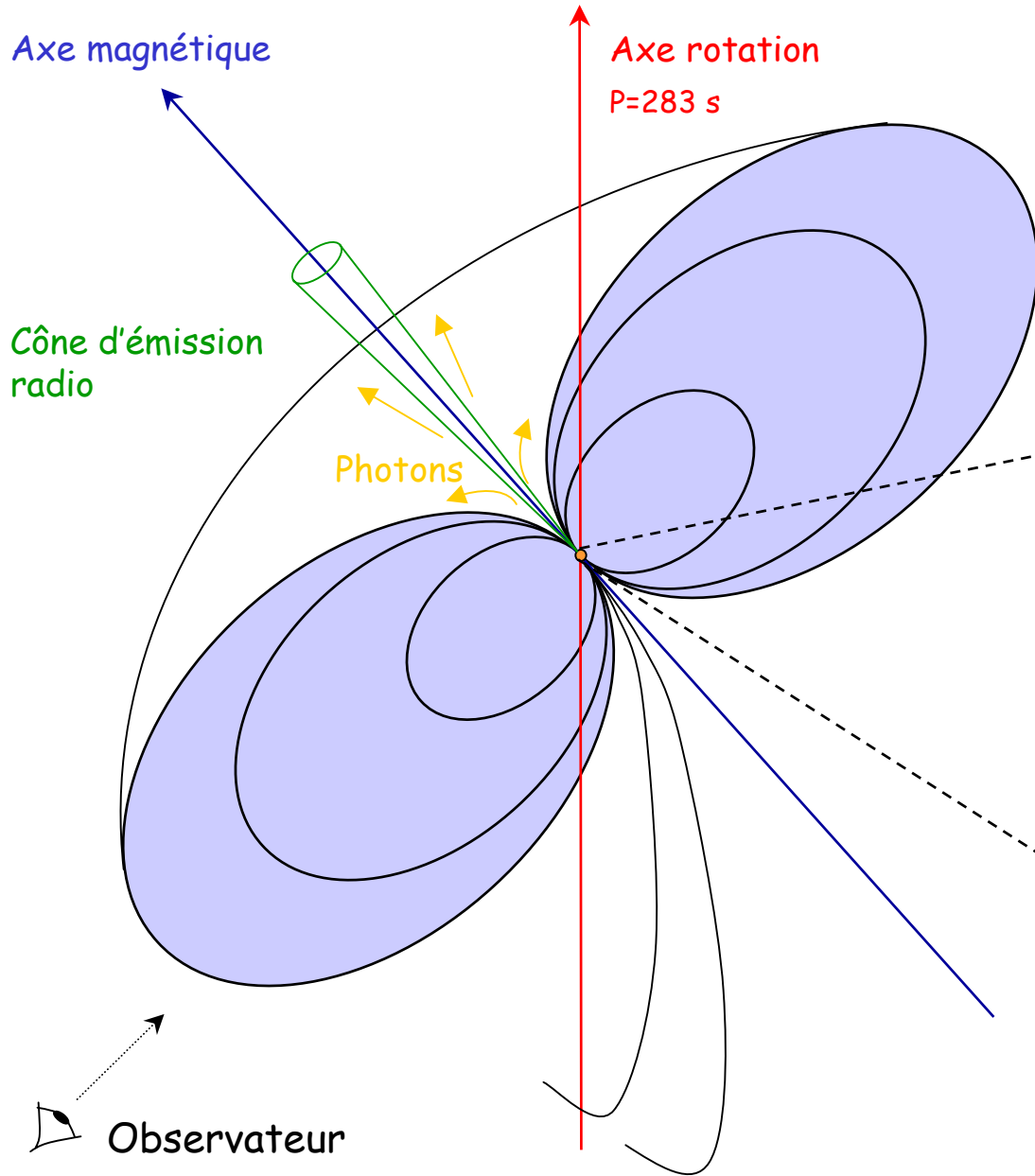
-> raies  $\gamma$  d'absorption cyclotron attendues :  
fondamental : ~ 26 keV  
1ère harmonique : ~ 52 keV

**-> contraintes sur le champ magnétique et la géométrie du système**





# Description du système



# Raies d'absorption cyclotron

- Au voisinage d'un pulsar (étoile à neutrons fortement magnétisée en rotation rapide)
  - > présence d'un plasma
- Par effet Compton inverse, les électrons cèdent leur énergie aux photons
  - > un spectre continue dans le domaine des X et des gamma
- Dans un plasma où règne un champ magnétique, l'énergie des électrons est quantifiée à des valeurs déterminées, appelées niveaux de Landau :

$$E_n = m_e c^2 \sqrt{1 + (2n + 1) \frac{h\omega}{m_e c^2}}$$

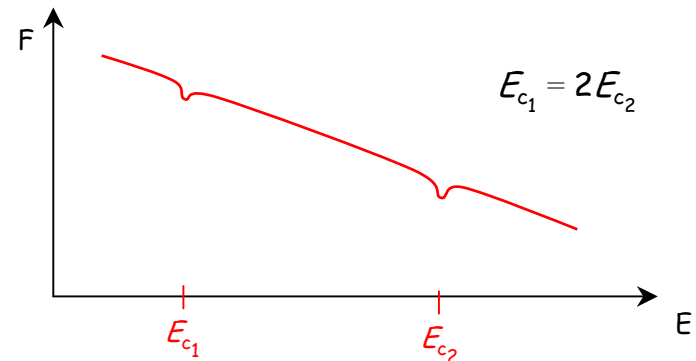
$$E_{C_n} = E_{n+1} - E_n = \frac{heB}{m_e c} \quad \text{avec } h\omega \ll m_e c^2$$

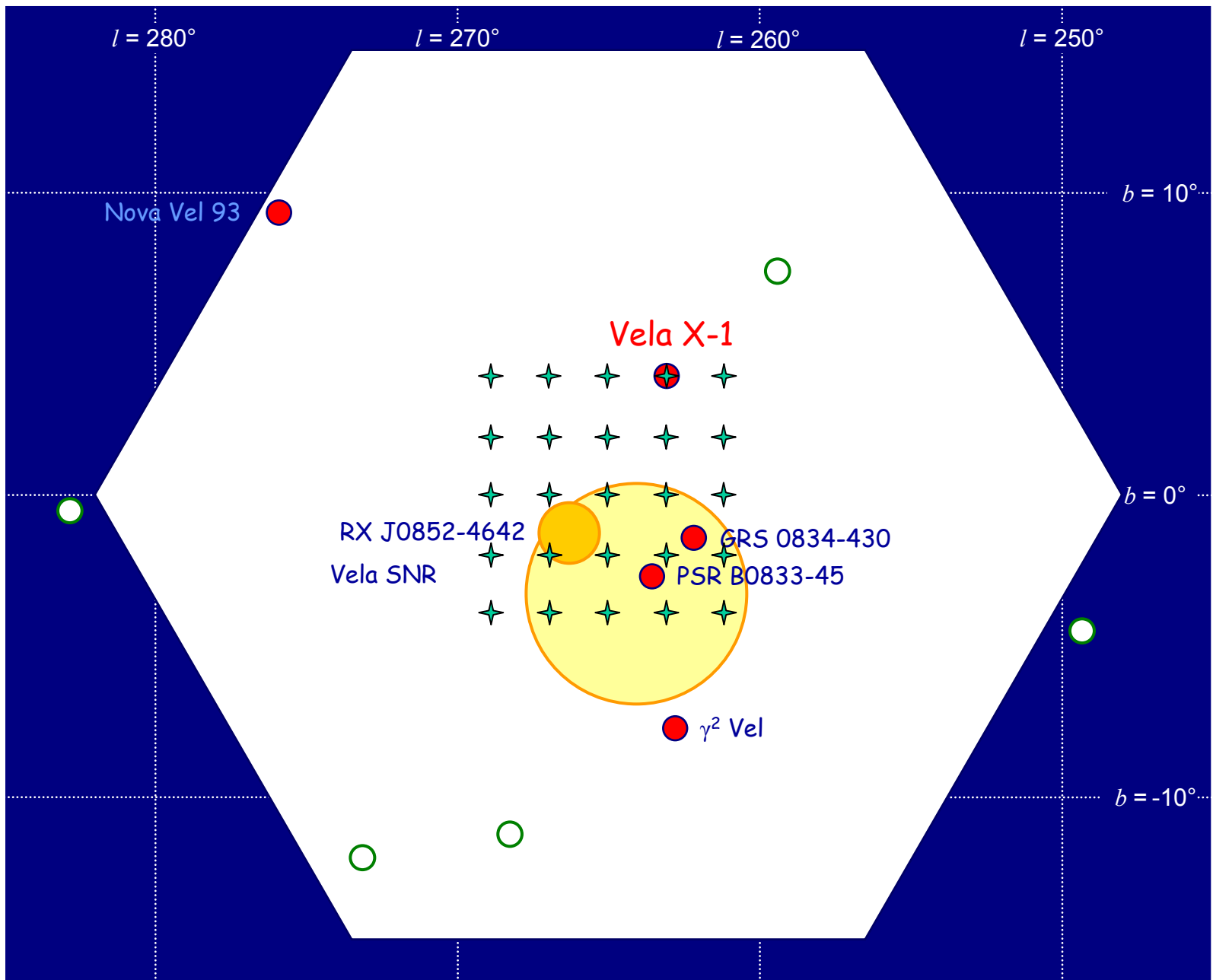
- $h$  : constante de Planck
- $\omega$  : pulsation de l'électron
- $E_{C_1}$  : énergie absorbée durant la transition entre 2 niveaux

- Le premier niveau de quantification correspond à l'énergie  $E_{C_1}$ , en unités astrophysiques (gauss, keV, cm), s'exprime alors comme :

$$E_{C_1} = 11,6 \text{ keV} \times \frac{B}{10^{12} \text{ G}}$$

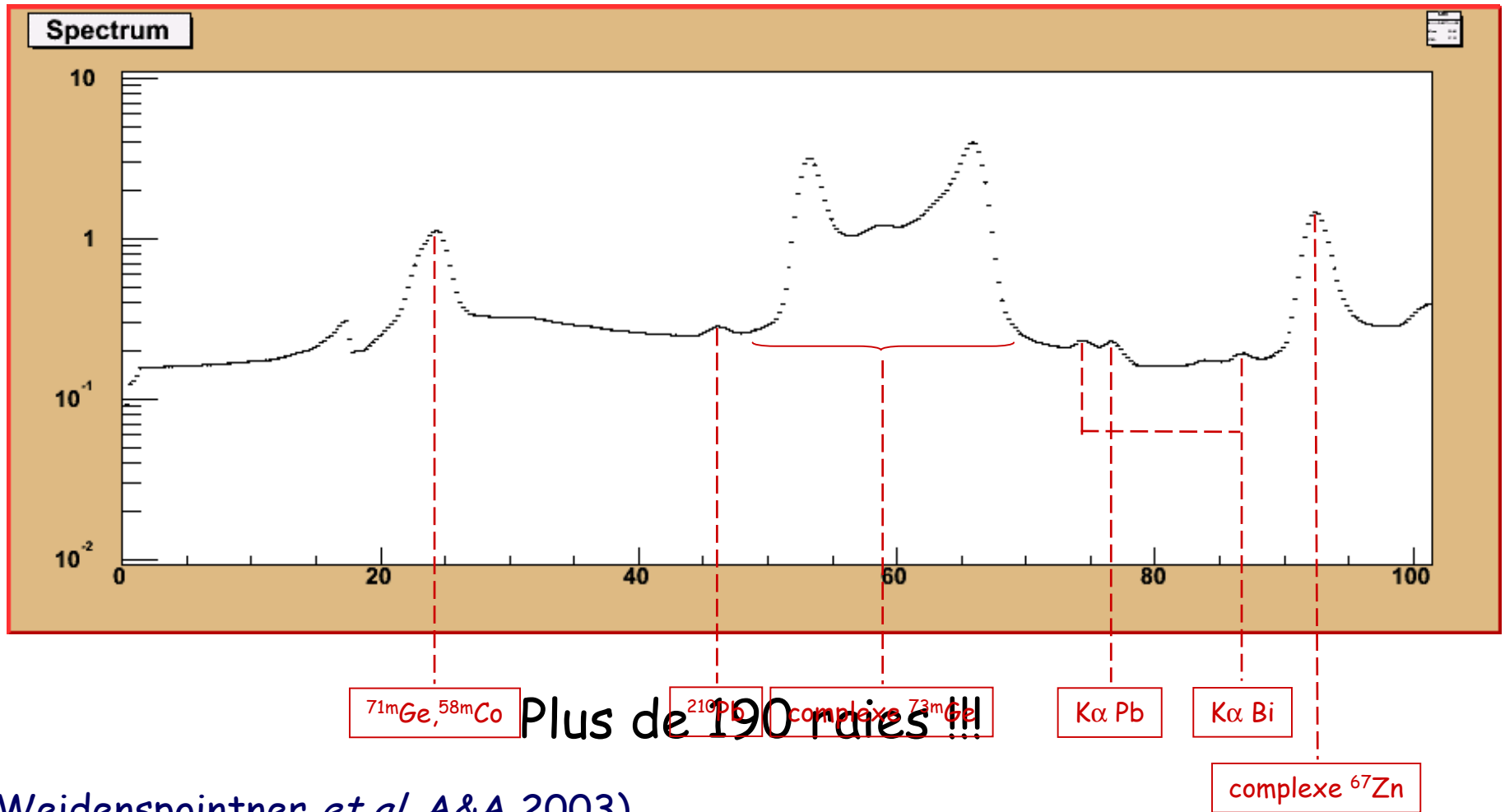
**B** : champ magnétique [ $\times 10^{12} \text{ G}$ ]





# Bruit de fond de SPI

Identification des raies de bruit de fond instrumentale : intensité & variabilité



(Weidenspointner *et al*, A&A 2003)

# Vela X-1 : spectro-imagerie

Source

Flux [Coups/cm<sup>2</sup>/s/keV]

10<sup>-3</sup>

10<sup>-4</sup>

120

DEC-CAR (degrees)

-35

-40

-45

-50

-55

145

140

135

130

125

120

RA--CAR (degrees)

0

0.005

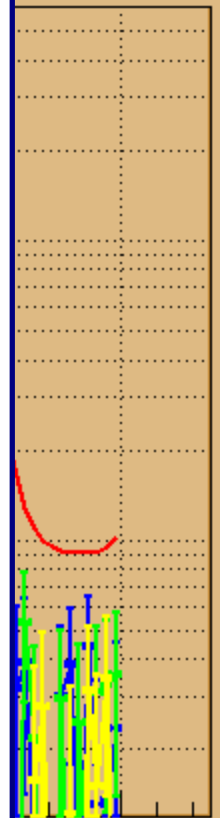
0.01

0.015

0.02

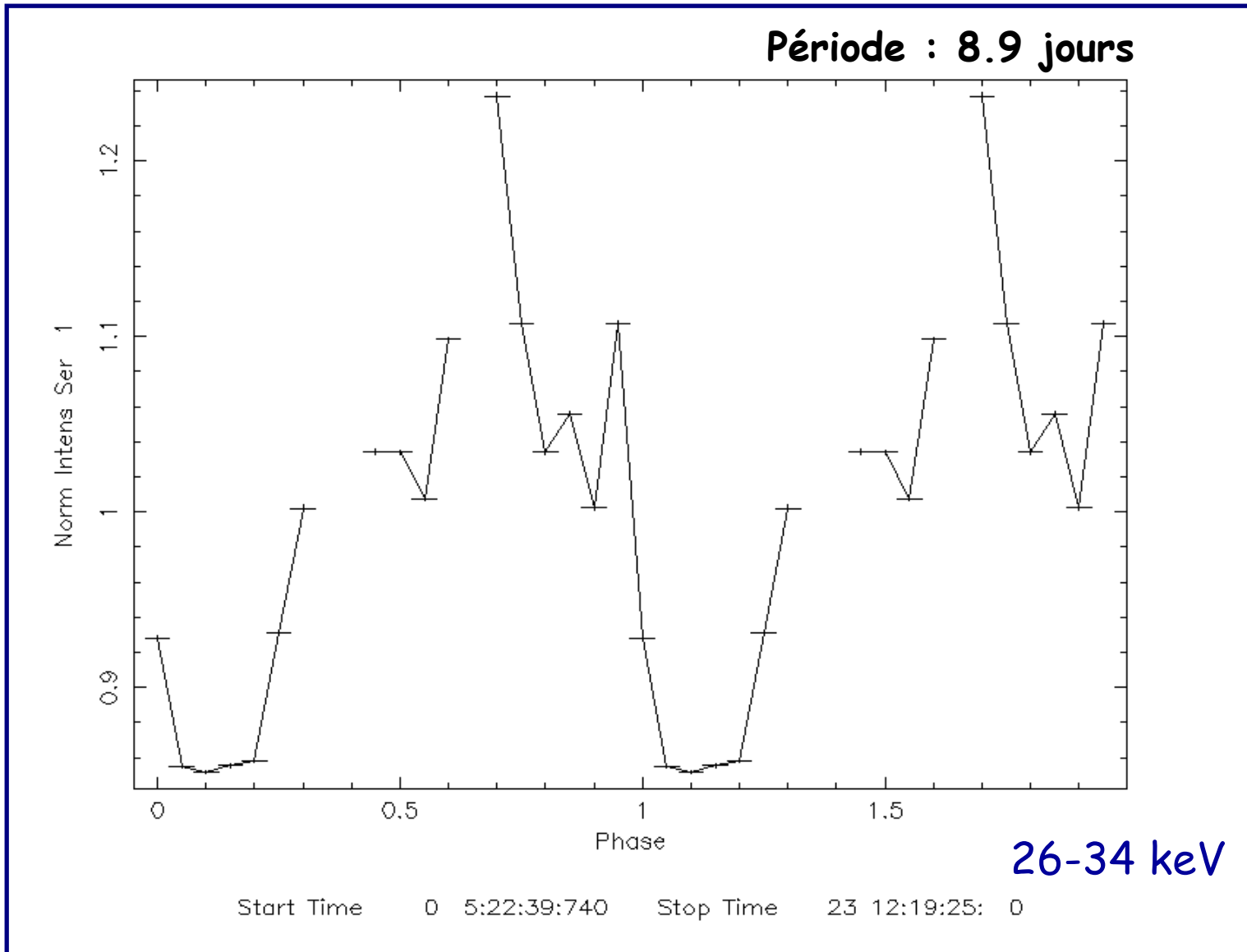
0.025

(counts)

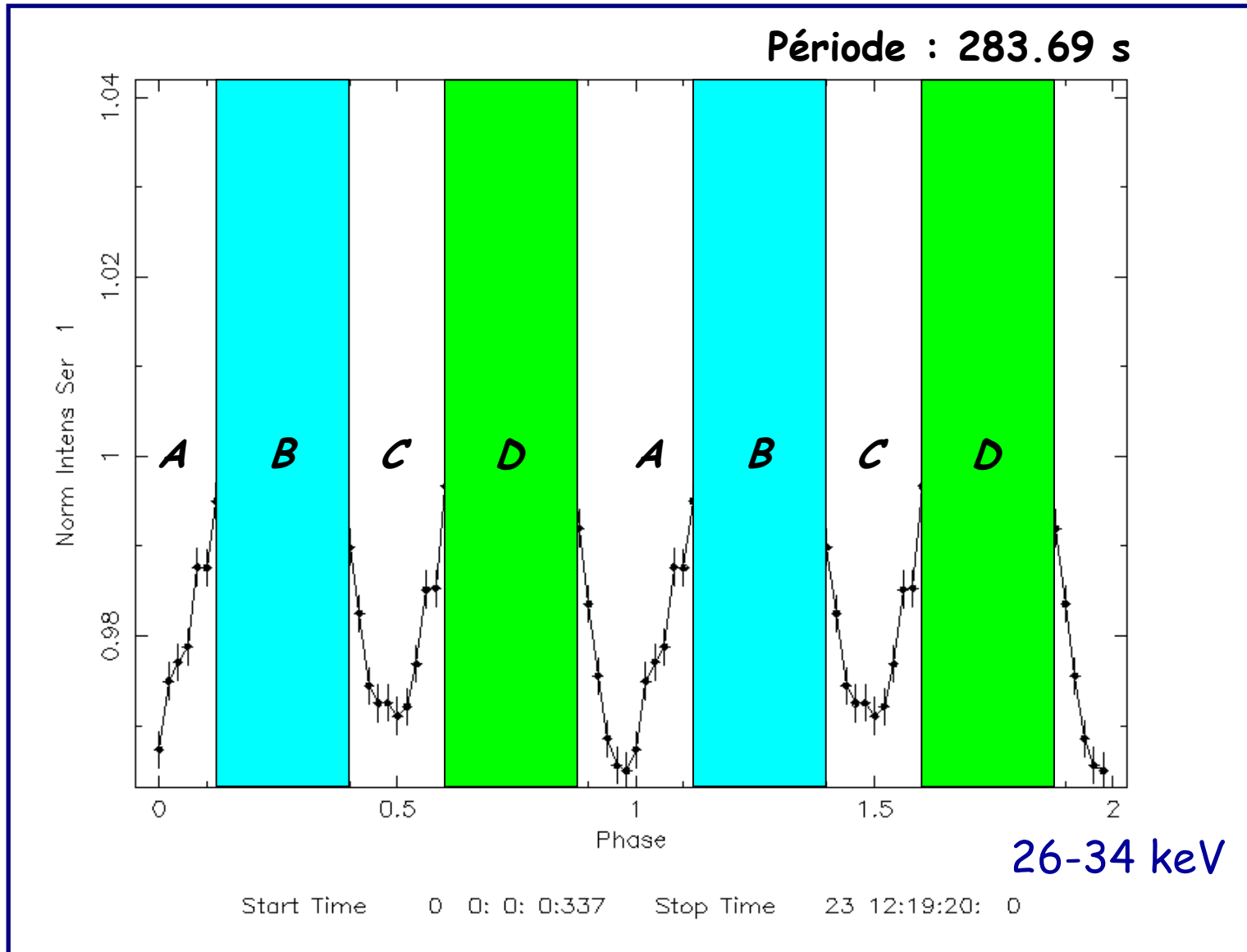


100  
ergie [keV]

# Vela X-1 : courbe de lumière repliée



# Vela X-1 : courbe de lumière repliée





## Etalonnage de SPI

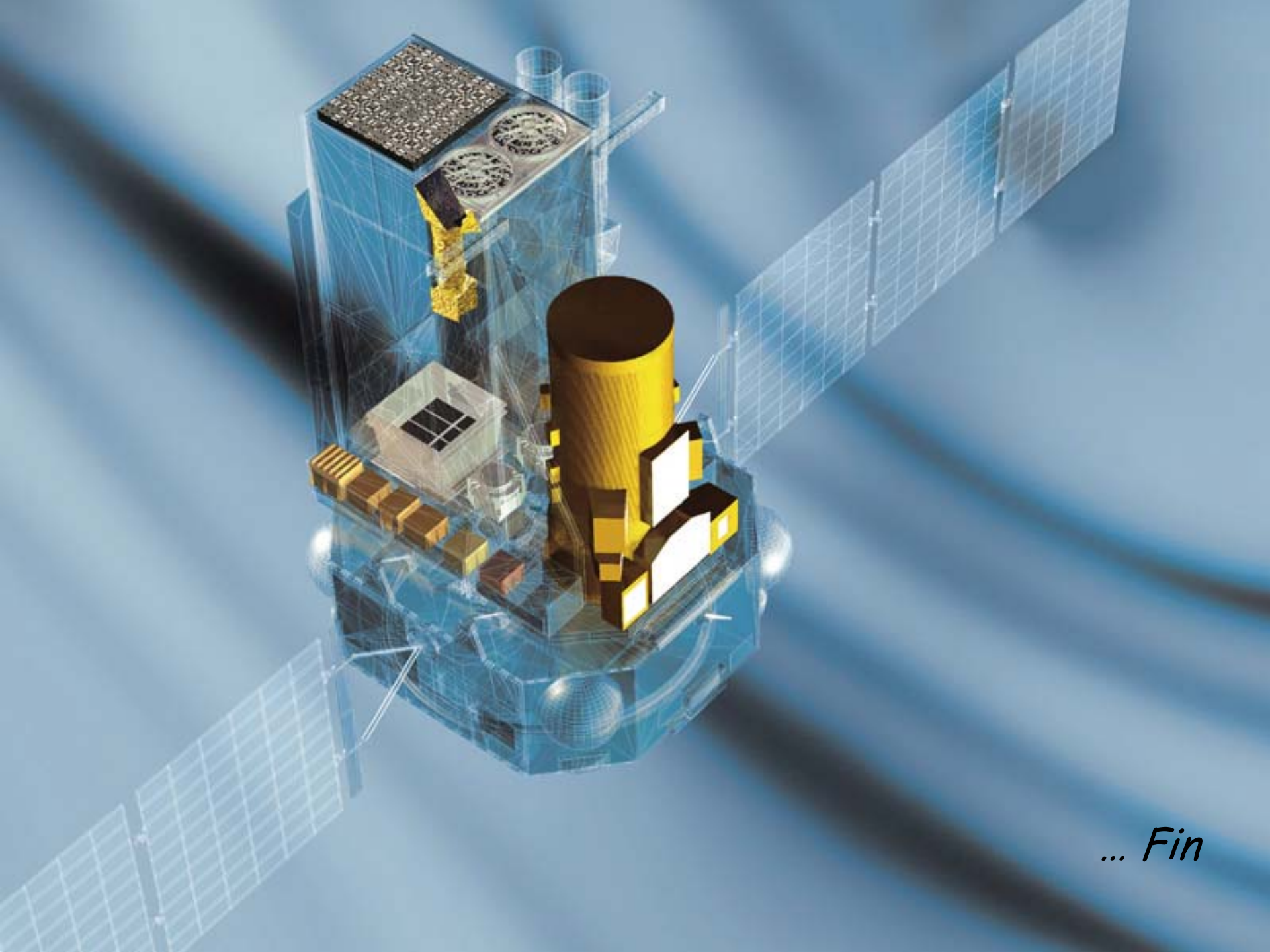
- Résolution spatiale et spectrale attendue
- Validation de la matrice de réponse

-> Papier Attie *et al.* 2003, publié dans le numéro spécial A&A sur INTEGRAL

## Observations de Vela X-1

- Etude des raies cyclotron
  - > contraintes sur le champ magnétique
- Courbes de lumière
  - > information sur la géométrie du système
  - > sélection en phase pour augmenter le S/B

**10<sup>6</sup> s supplémentaires en cours d'observation !!!**



*... Fin*