



Perspectives de l'astrophysique nucléaire

Jacques Paul

Service d'Astrophysique, CEA-Saclay
Fédération de recherche APC, Paris

IAP
Paris

Atelier MAX

23 mars
2004

Inventaire

L'astrophysique nucléaire : une communauté rassemblant astrophysiciens, physiciens nucléaires et théoriciens

→ Communauté interdisciplinaire par excellence
La communauté française compte une **cinquantaine de chercheurs permanents** (CNRS, CEA, Université)

L'astrophysique nucléaire française se trouve dans un contexte favorable s'agissant des moyens d'observation

→ Spectrométrie gamma avec INTEGRAL
Plus du **tiers de la communauté française** travaille sur l'analyse et l'interprétation des données pour l'étude de la nucléosynthèse dans l'univers local

Astrophysique nucléaire et spectroscopie gamma

L'étude des raies gamma de désexcitation nucléaire fournit des données uniques sur les processus nucléaires et sur les interactions à haute énergie dans l'univers

→ Intensité

Abondance des isotopes émetteurs

Conditions physiques des milieux où ils sont formés

→ Décalage spectral

Distances, vitesses d'expansion

mise en évidence de puits de potentiel alentour

→ Profil

Température / turbulence des milieux émissifs

Estimation du spectre des particules excitatrices

Conditions d'émission des raies gamma

Raies émises à la suite de décroissance de radionucléides

Radionucléides produits en abondance

Durées de vie assez courte (raies intenses)

Mais pas trop courte (opacité des milieux émissifs)

→ Très peu d'élus parmi les 917 émetteurs gamma

${}^7\text{Be}$, ${}^{22}\text{Na}$, ${}^{26}\text{Al}$, ${}^{44}\text{Ti}$, ${}^{56}\text{Ni}$, ${}^{57}\text{Co}$, ${}^{60}\text{Fe}$

Raies émises à la suite d'excitations induites par collisions

Noyaux les plus abondants

Milieux dilués (circumstellaires, interstellaires)

Milieux irradiés par des particules accélérées

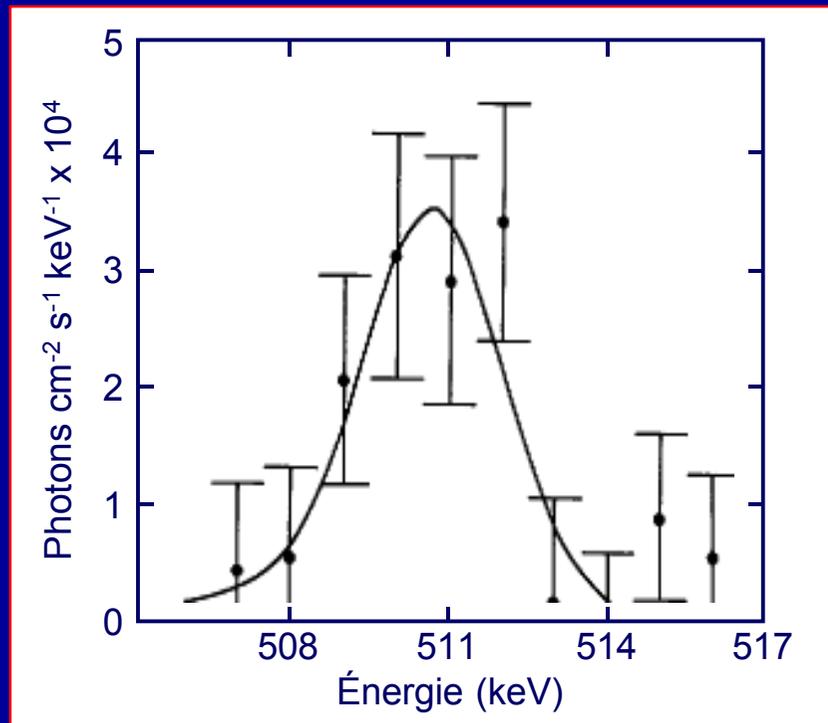
→ Éléments concernés

C, O, LiBeB (spallation / interaction alpha-alpha)

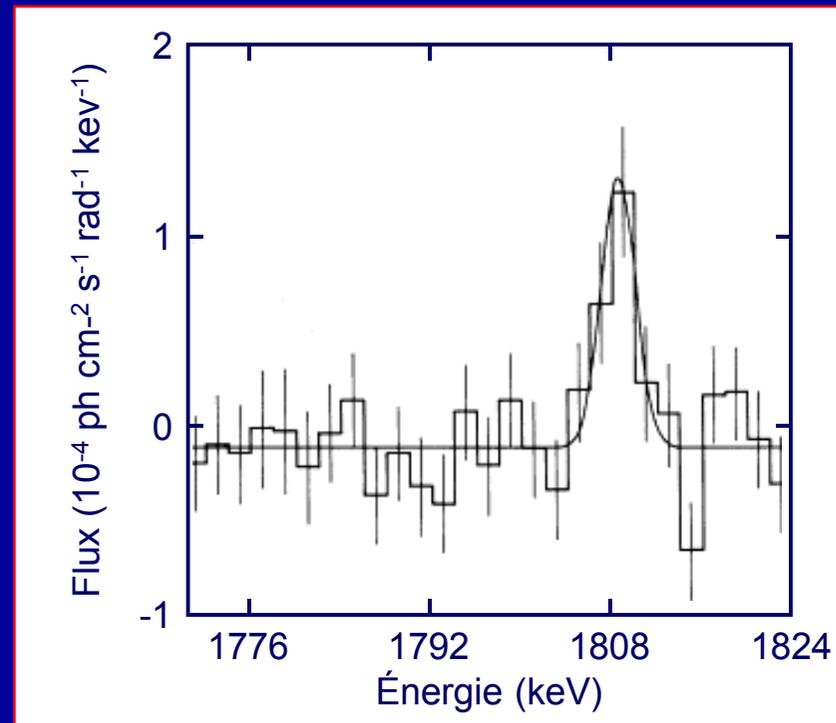
Premiers repères

1978 Première mesure précise de la raie d'annihilation des positons en direction du centre de la Galaxie

1982 Première raie nucléaire observée au delà du Soleil

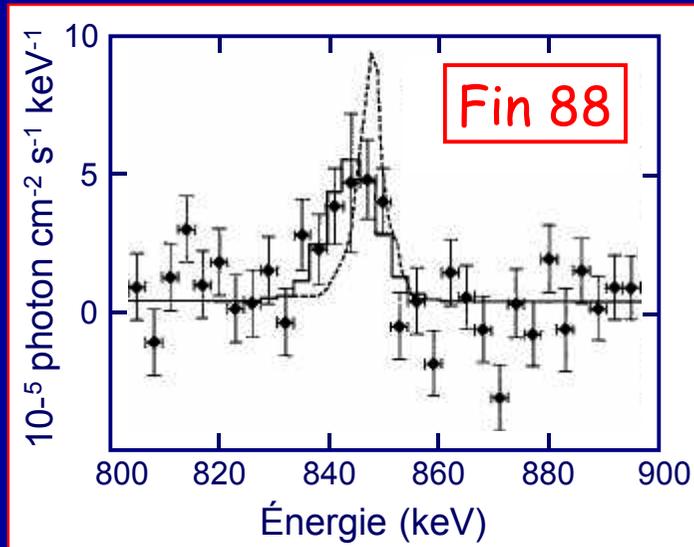


D'après Leventhal et al. (1978)



D'après Mahoney et al. (1983)

SN 1987a : la supernova radioactive



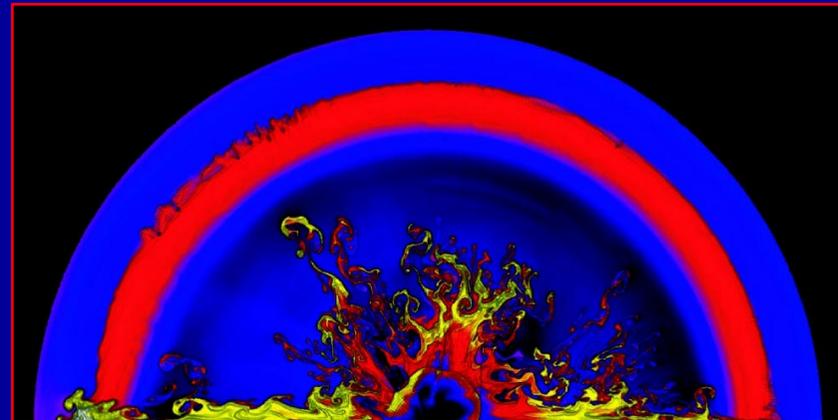
D'après Tueller et al. (1990)

Confirmation des théories de la nucléosynthèse explosive, mais :
raie plus large que prévu
raie détectée plus tôt que prévu
(~ 6 mois)

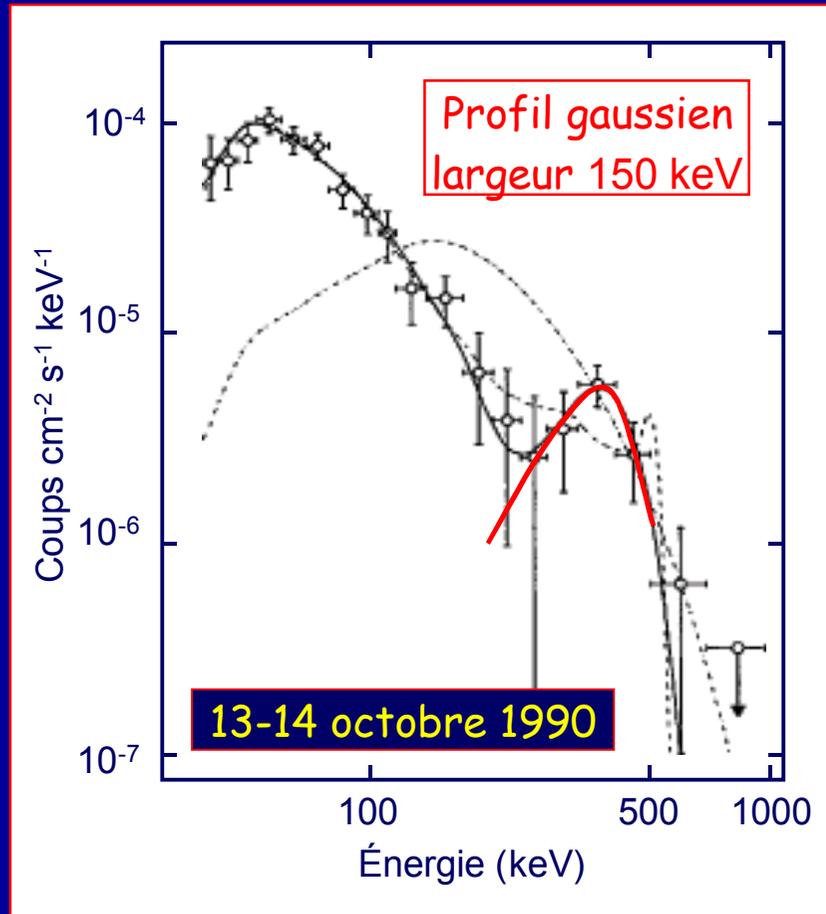
Le modèle 1D « en pelure d'oignon » ne tient plus !

Explosion asymétrique ?

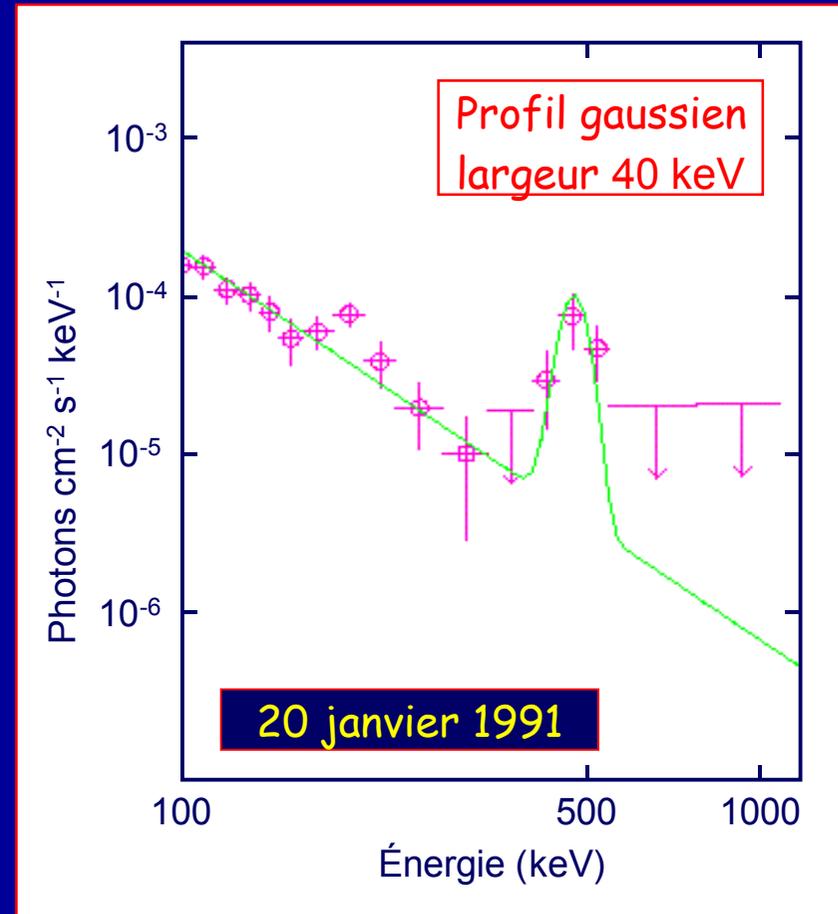
Instabilités hydro au cœur de l'explosion ?



Raies émises par des trous noirs accrétants

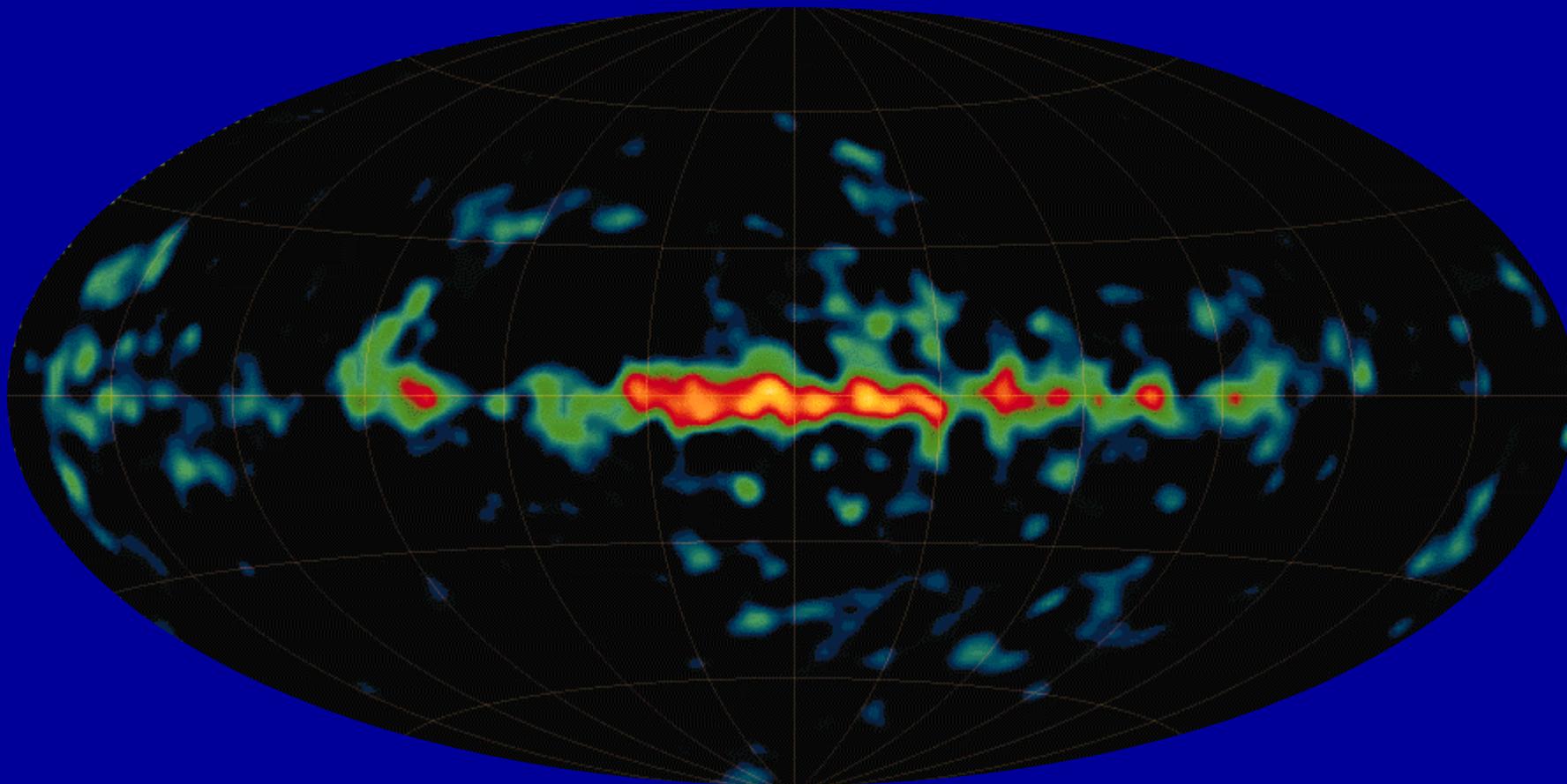


D'après Sunyaev et al. (1991)



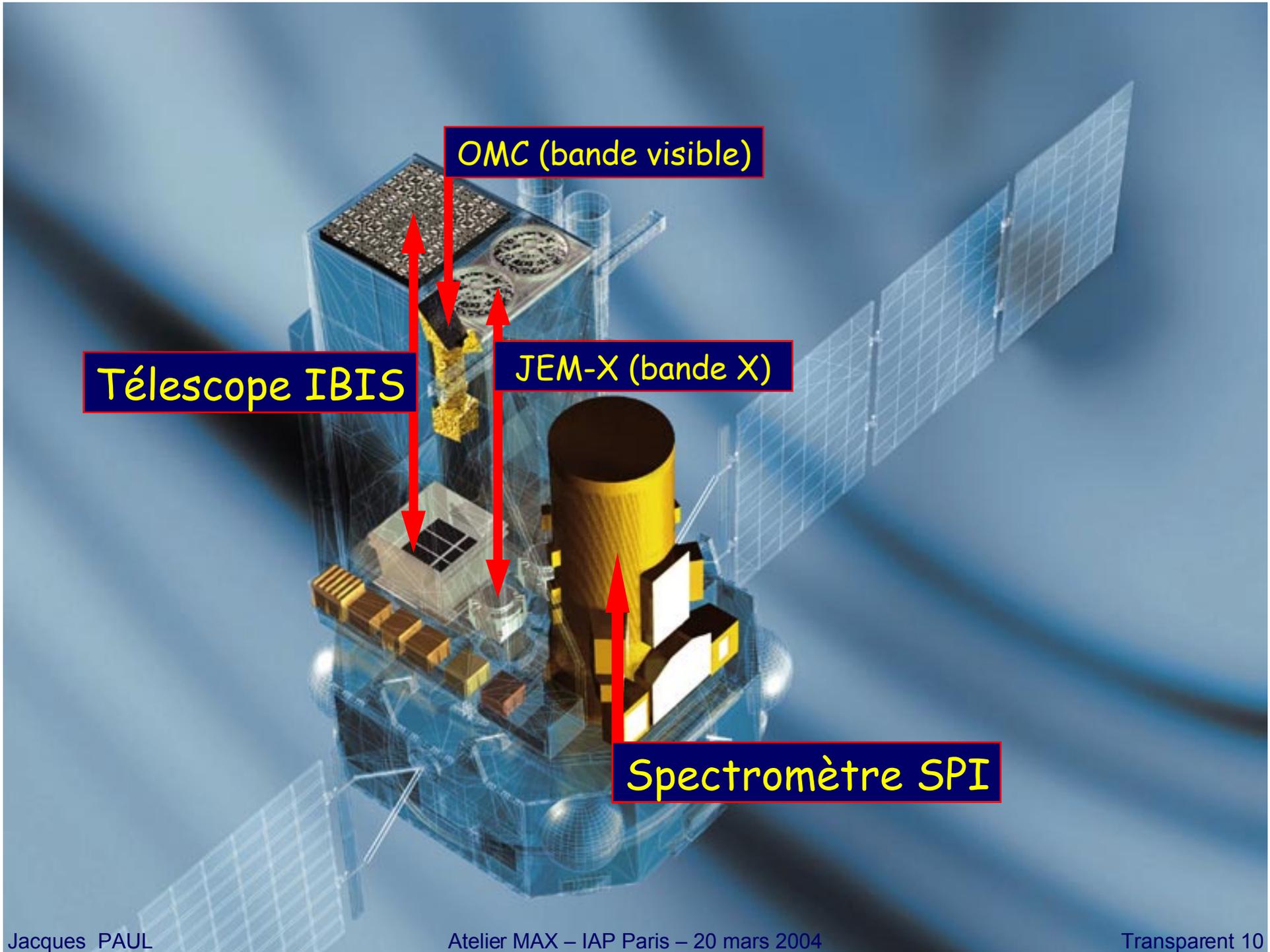
D'après Goldwurm et al. (1993)

La Voie lactée radioactive



Carte de l'émission de la décroissance de l'aluminium-26
D'après Oberlack et al. 1997





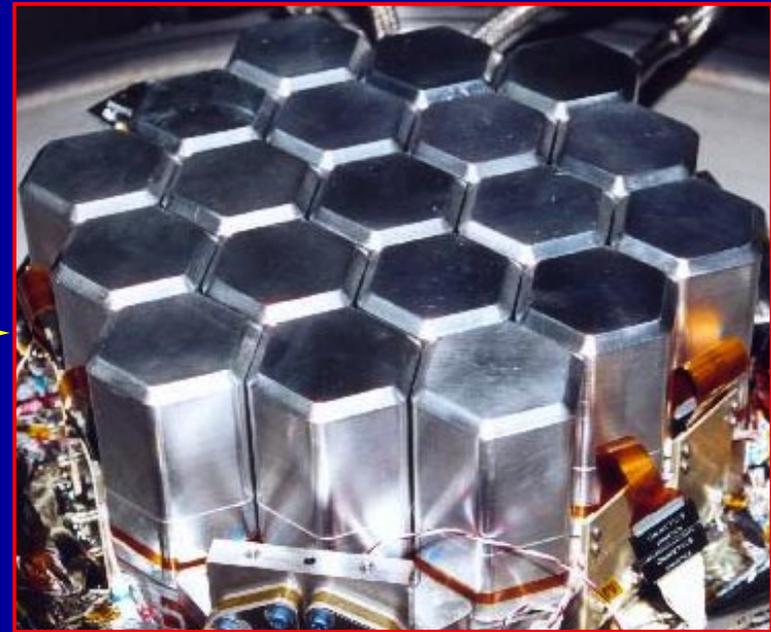
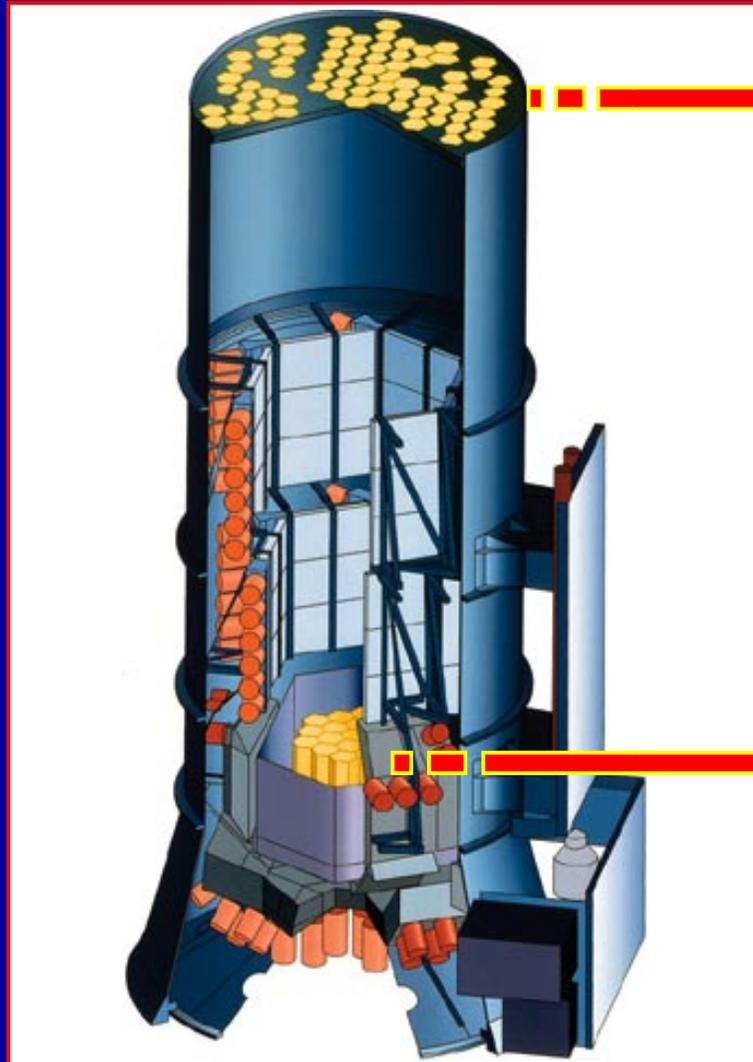
OMC (bande visible)

Télescope IBIS

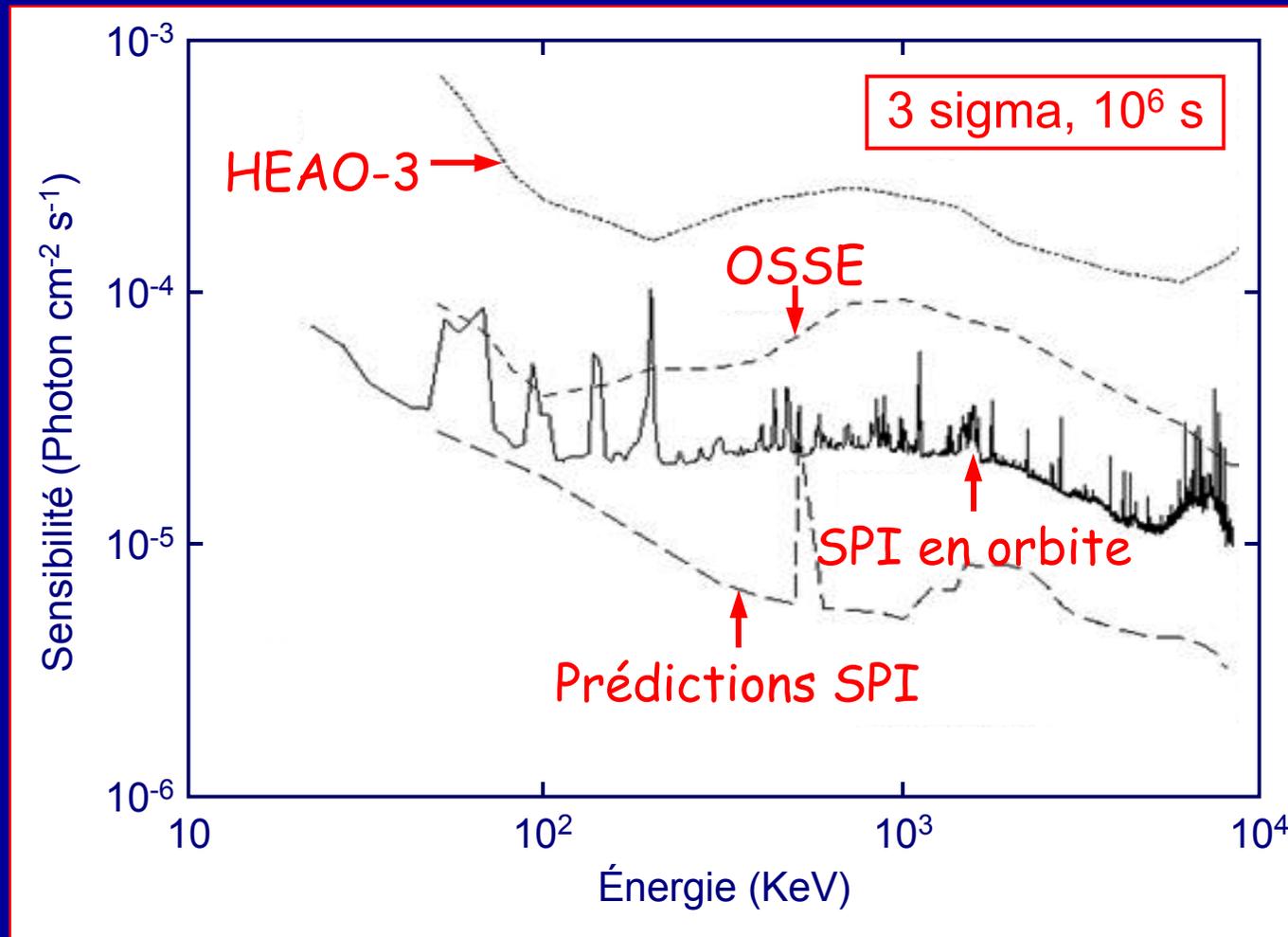
JEM-X (bande X)

Spectromètre SPI

SPI : Un spectromètre apte à faire des images

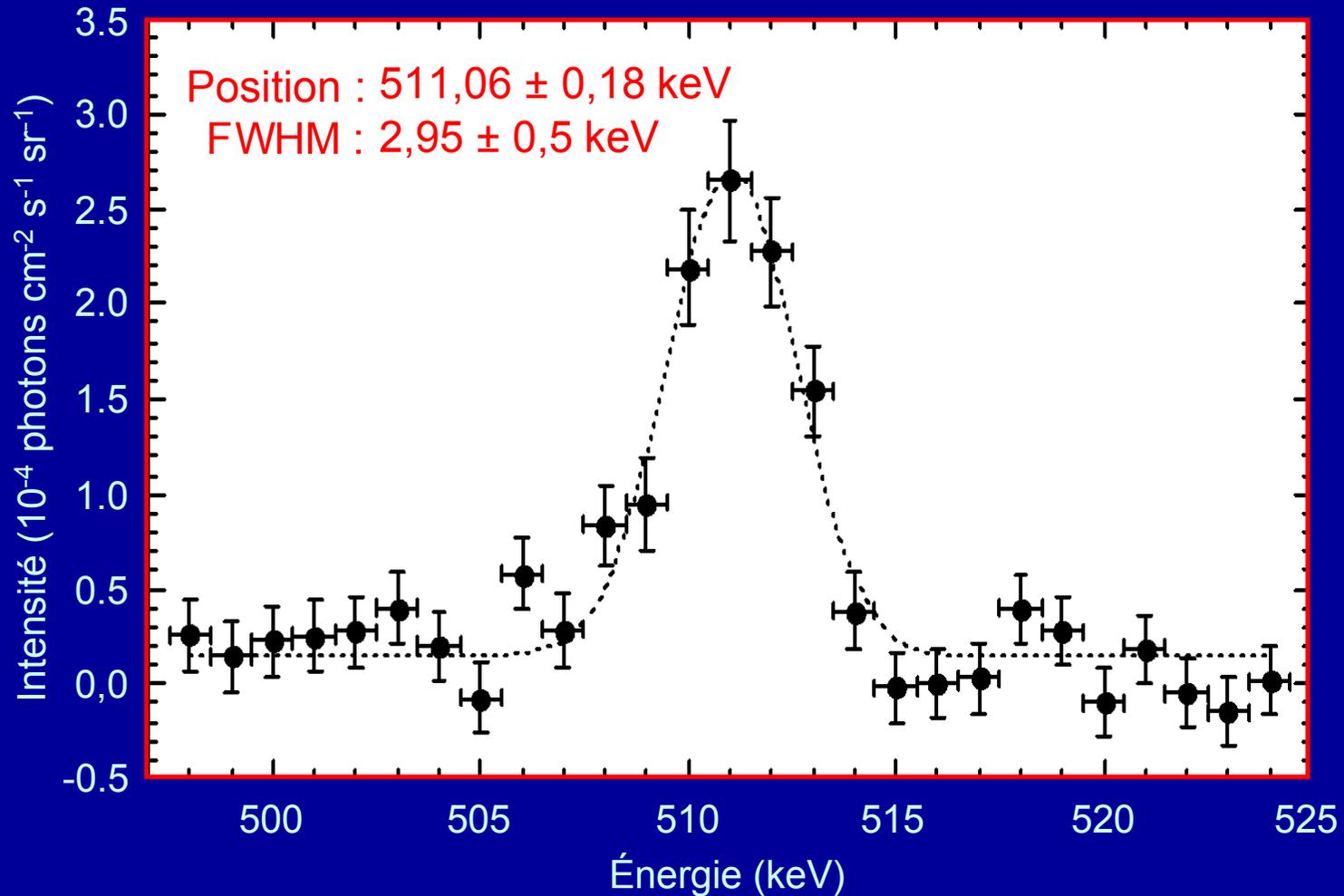


Sensibilité de SPI aux raies fines



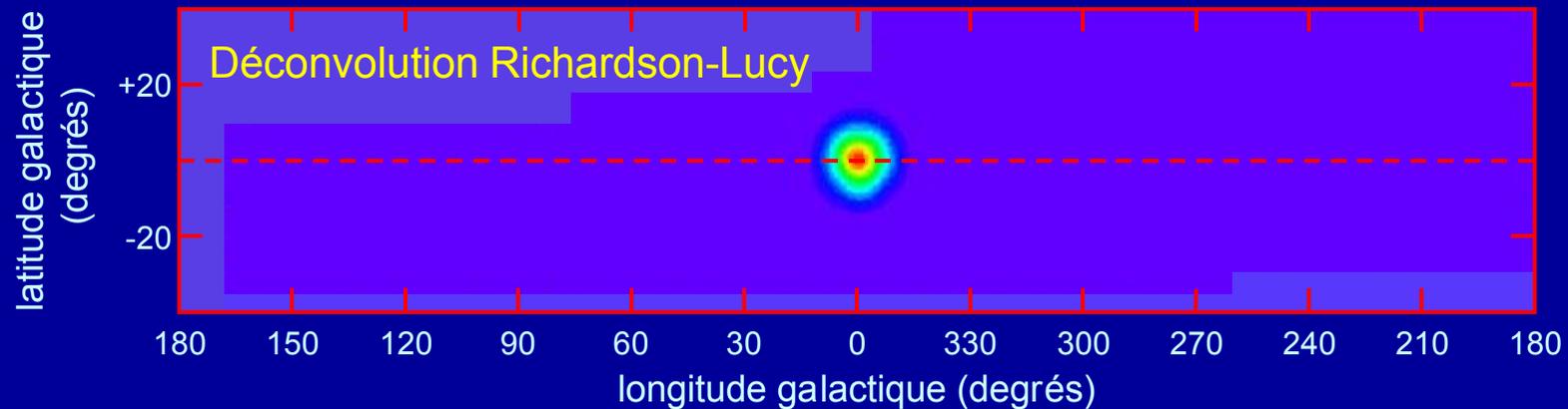
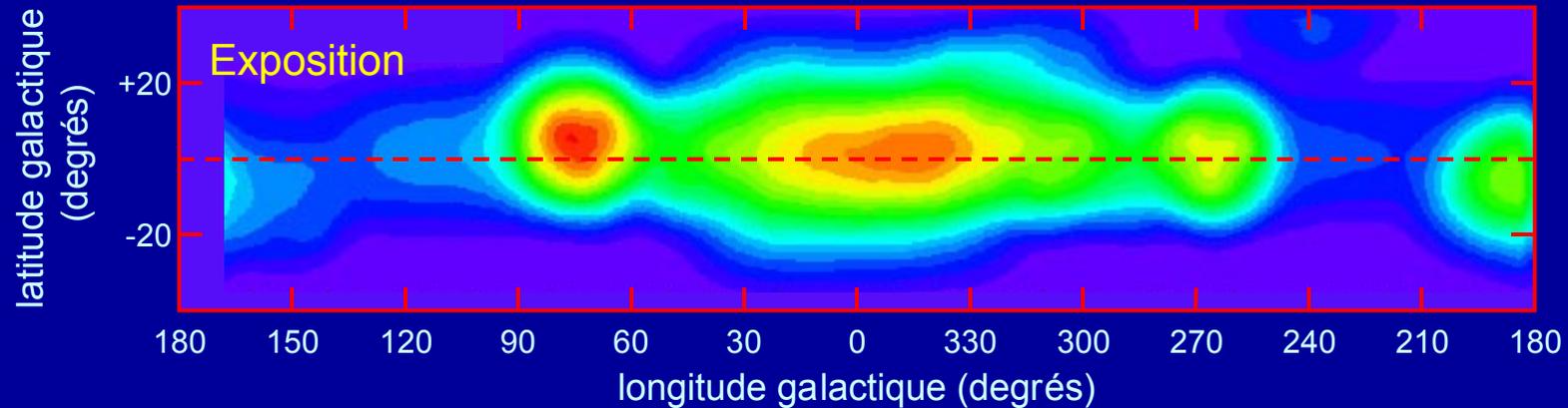
D'après Roques et al. (2003)

Spectre SPI des régions centrales de la Galaxie



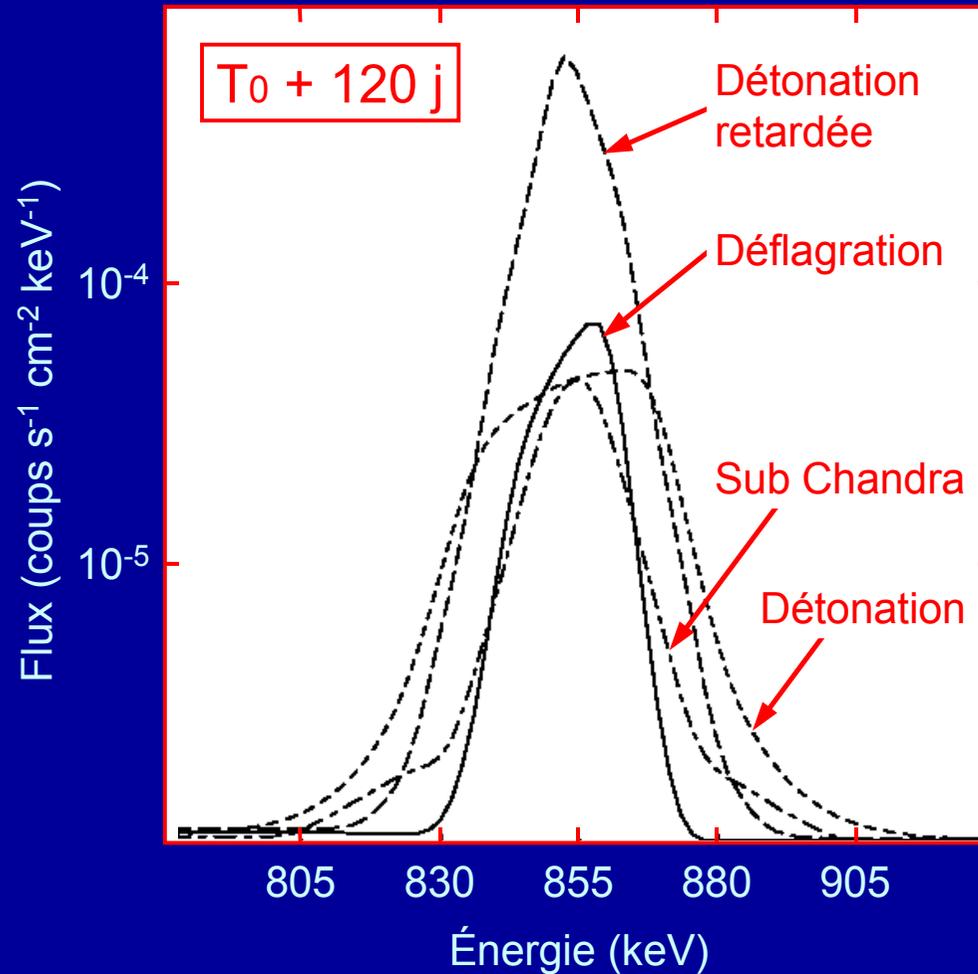
D'après Jean et al. (2003)

Image INTEGRAL à 511 keV de la Voie lactée



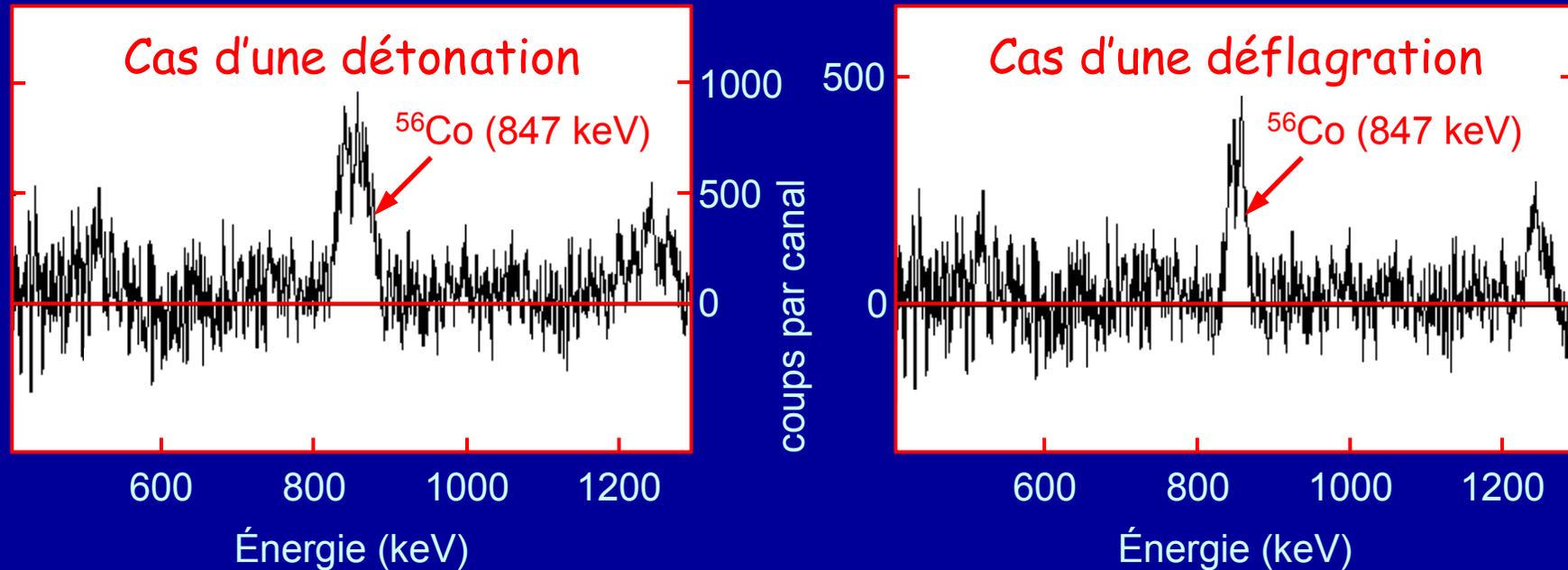
L'émission observée à 511 keV (10^{-3} photons s^{-1}) implique l'injection de 10^{43} positons par seconde dans le bulbe galactique

Les raies gamma : la clé des SN Ia



Profil de la raie à 847 keV émise par une SN Ia à 1 Mpc

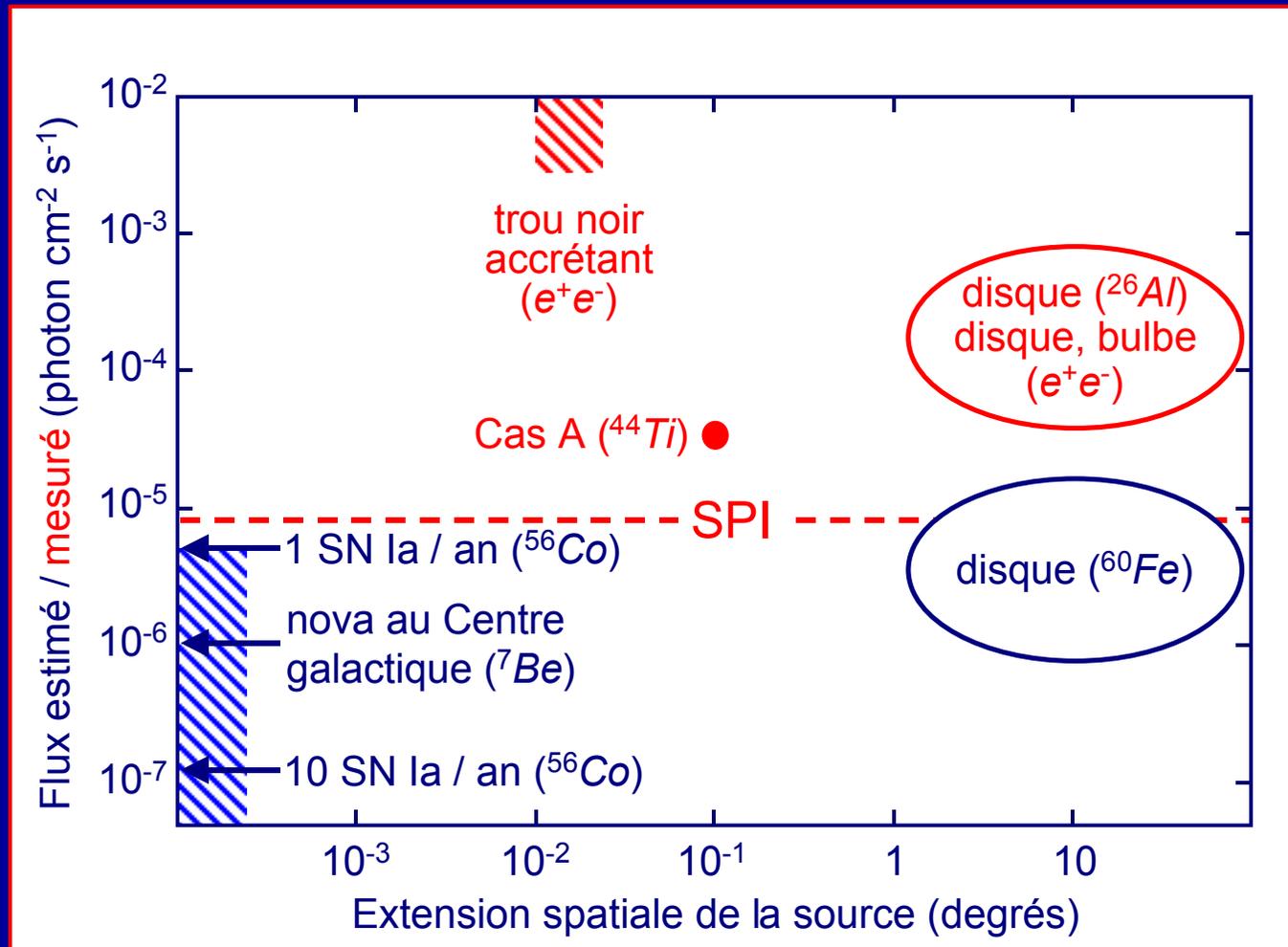
SPI et les SN Ia



Spectre SPI simulé d'une SN Ia à 2 Mpc (10^6 s)
D'après Gómez-Gomar et al. (1998)

SPI ne pourra étudier que des SN Ia dont la distance est inférieure à quelques mégaparsecs

Quelle stratégie pour le futur ?



D'après von Ballmoos (1997)

