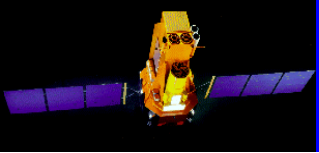


Etude de l'Aluminium 26 Galactique avec INTEGRAL

Patrick Sizun

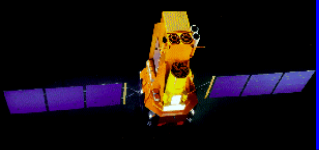
Service d'Astrophysique, CEA

sizun@cea.fr



- Objectif :
étudier la production de **noyaux radioactifs émetteurs γ** dans les **étoiles**, les **novae**, les **supernovae** et le **milieu interstellaire**
= un des buts majeurs d'INTEGRAL

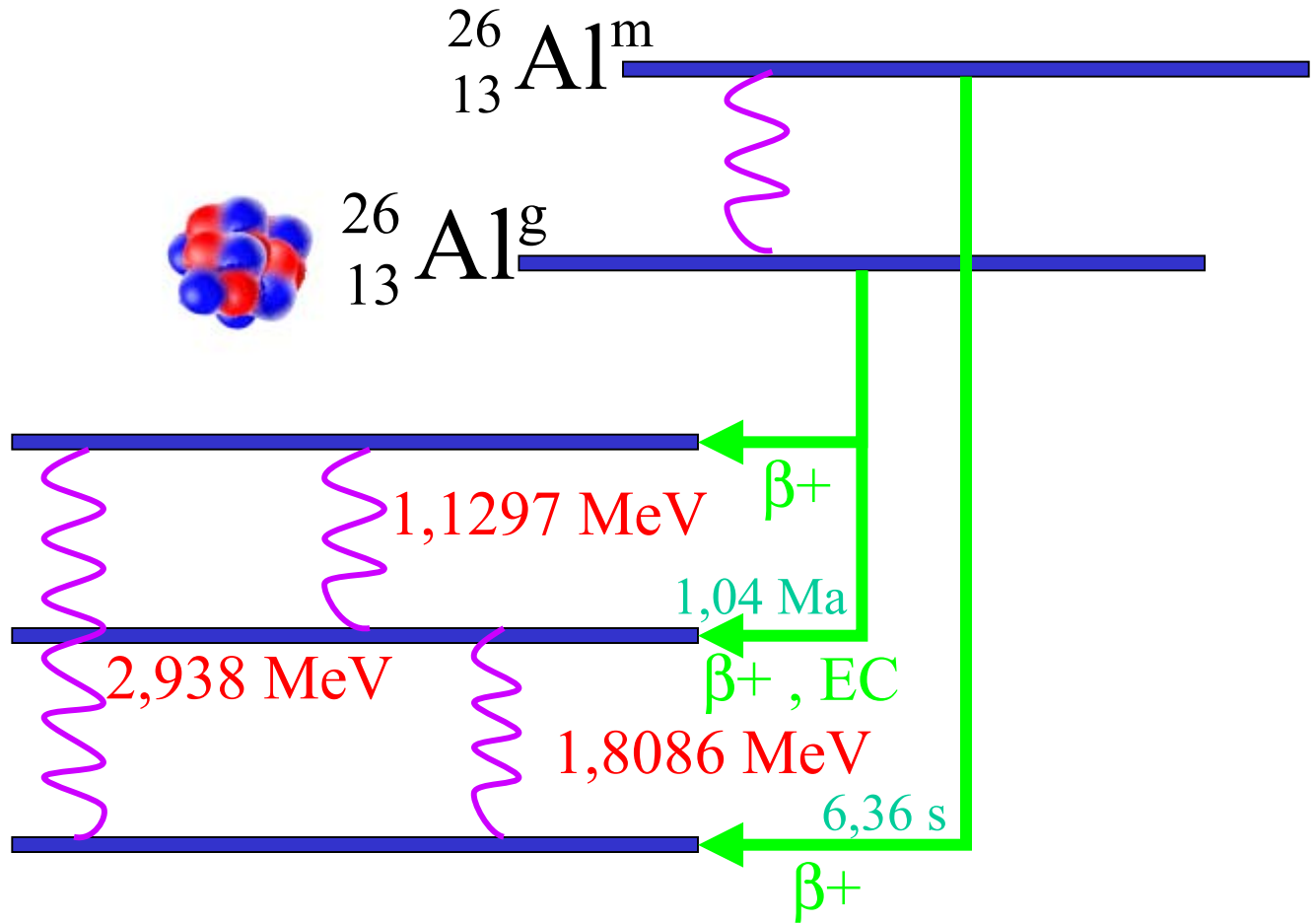
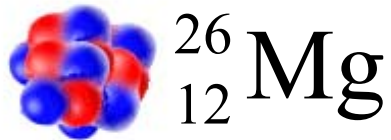
- Les raies γ résultent de la **désexcitation** de niveaux nucléaires excités peuplés
 - par collision noyau-noyau dans le MIS (LiBeB)
 - par **désintégration** d'un noyau radioactif fraîchement synthétisé et éjecté



Emetteurs γ d'intérêt astrophysique

Isotope	τ	Chaîne de désintégration	Energie raie [keV]	Site astrophysique
^7Be	77 j	$^7\text{Be} \rightarrow ^7\text{Li}^*$	478	novae
^{56}Ni	111 j	$^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe} + e^+$	847, 1238	SN
^{57}Co	390 j	$^{57}\text{Co} \rightarrow ^{57}\text{Fe}^*$	14, 122	SN
^{22}Na	3,8 a	$^{22}\text{Na} \rightarrow ^{22}\text{Ne}^* + e^+$	1275	novae
^{44}Ti	89 a	$^{44}\text{Ti} \rightarrow ^{44}\text{Sc}^* \rightarrow ^{44}\text{Ca}^* + e^+$	68, 78, 1157	SN
^{26}Al	1,04 Ma	$^{26}\text{Al} \rightarrow ^{26}\text{Mg}^* + e^+$	1809	SN, novae, WR, AGB
^{60}Fe	2,0 Ma	$^{60}\text{Fe} \rightarrow ^{60}\text{Co}^*$	1173, 1332	SN, WR, AGB
e^+	... 10^5 a	$e^+ + e^- \rightarrow \text{Ps} \rightarrow \gamma\gamma\dots$	511, < 511	divers

Décroissance de l'Aluminium 26



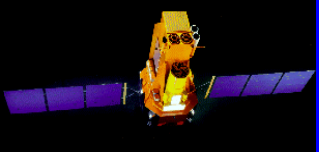
- 1) **Production** d'éléments radioactifs dans des environnements souvent opaques
- 2) **Dissémination** (vents ou explosion) des éléments et/ou dilution de la région d'émission
- 3) **Désintégration** : émission **ponctuelle** ou **diffuse**
- 4) Observation des γ retardés (Galaxie **transparente** aux γ)

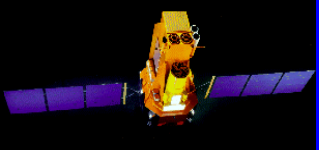
➤ Pourquoi l'Aluminium 26 ?

- $\tau \sim 1\text{Ma} \Rightarrow {}^{26}\text{Al}$ trace une nucléosynthèse encore active
- un des seuls isotopes, avec ${}^7\text{Li}$, d'origine a priori plurielle

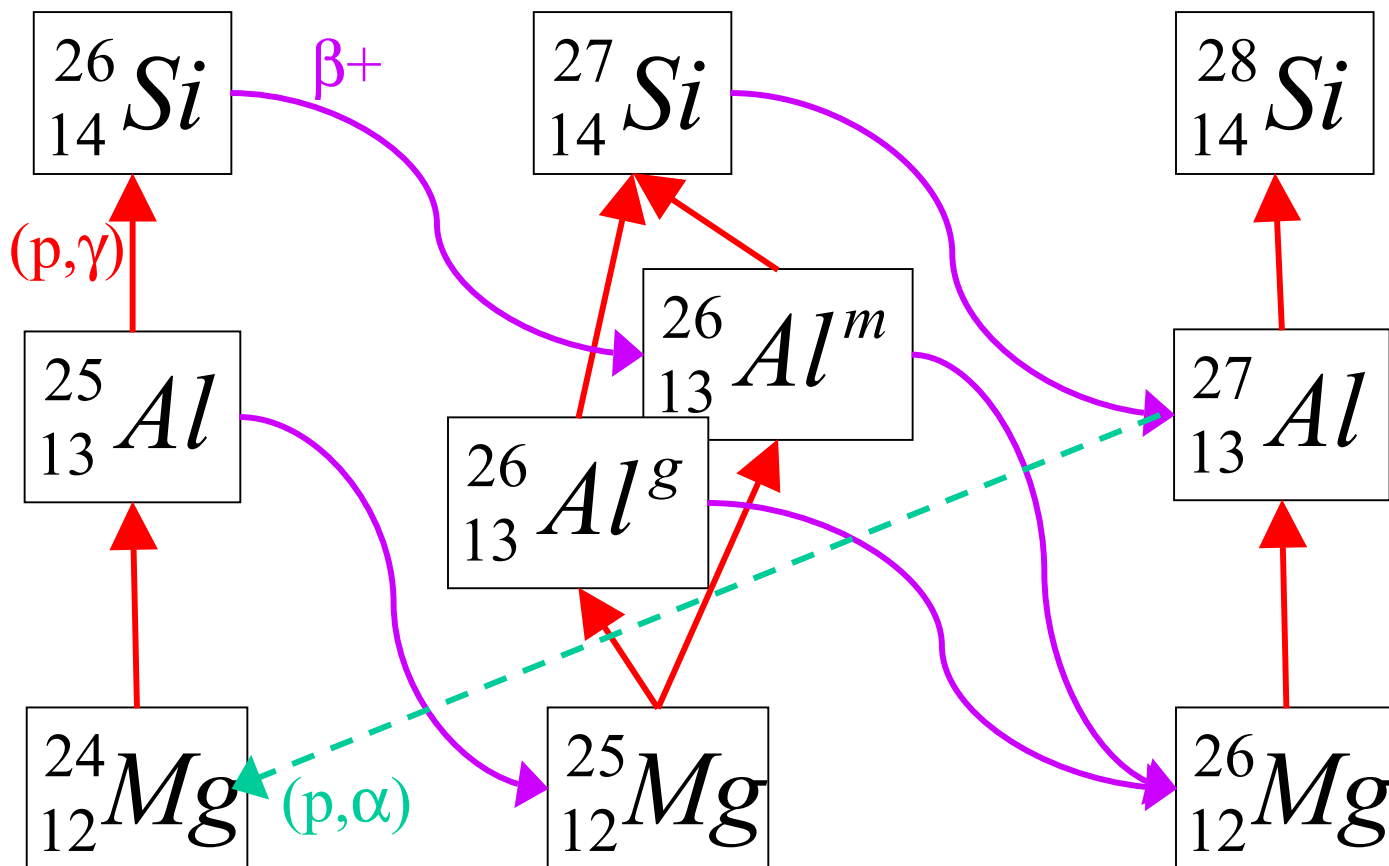
➤ Historique

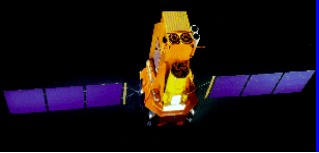
- 1976, anomalie météorite d'Allende
- 1977, Ramaty et Lingenfelter
- 1984, HEAO-3 : ${}^{26}\text{Al}$ = 1^e détection de la radioactivité cosmique





Synthèse de l'Aluminium 26

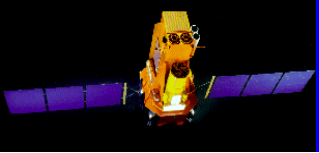




Sites de production d'Aluminium 26 (1 / 2)

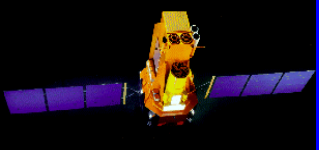
- Mécanisme principal : $^{25}\text{Mg}(p, \gamma)^{26}\text{Al}$
- Environnements **riches en protons** de T suffisante
 - combustion **hydrostatique** de l'H
 - noyau convectif d'H des **étoiles massives**
 - couche/enveloppe d'H des **étoiles de masse moyenne**
 - combustion **explosive** de l'H
 - **novae**; intérêt d'une C.I. enrichie en ^{24}Mg
 - **supernovae**
- Environnements **riches en Mg** : couches **C et Ne** des étoiles massives, production hydrostatique ou explosive à $T \sim 10^9$ K
 - rapide malgré faible abondance en protons
 - mais production importante de neutrons \Rightarrow destruction
 - et destruction $^{26}\text{Al}^m(\beta^+)$ favorisée par T



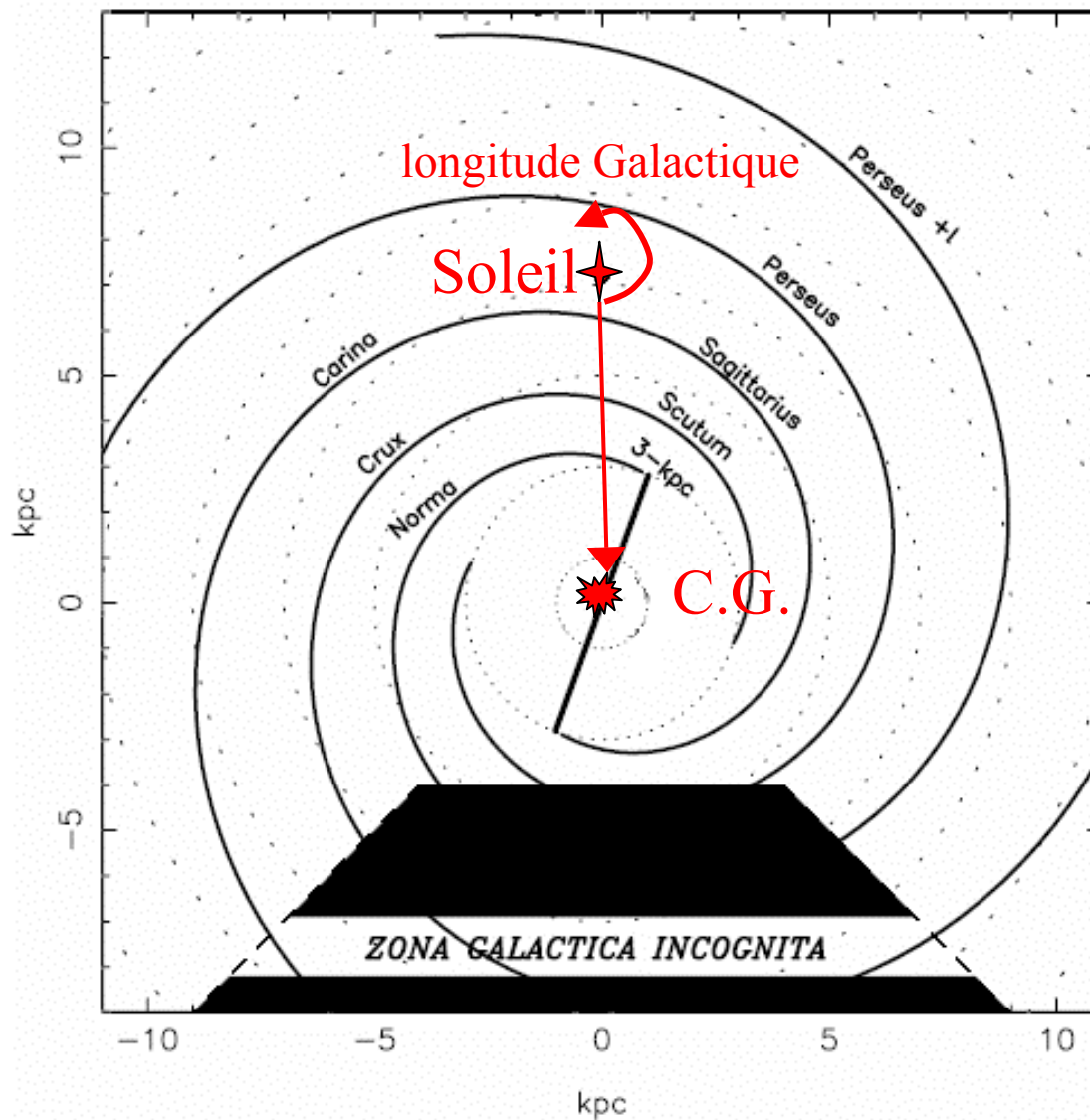


- Observation implique **éjection** ^{26}Al avant destruction
 - sites explosifs :
 - **novae**
 - **supernovae**
 - objets à **mélange interne** (d'où milieu riche en protons **et** en Mg) et **perte de masse** importants
 - étoiles Wolf-Rayet
 - Luminous Blue Variables
 - étoiles AGB

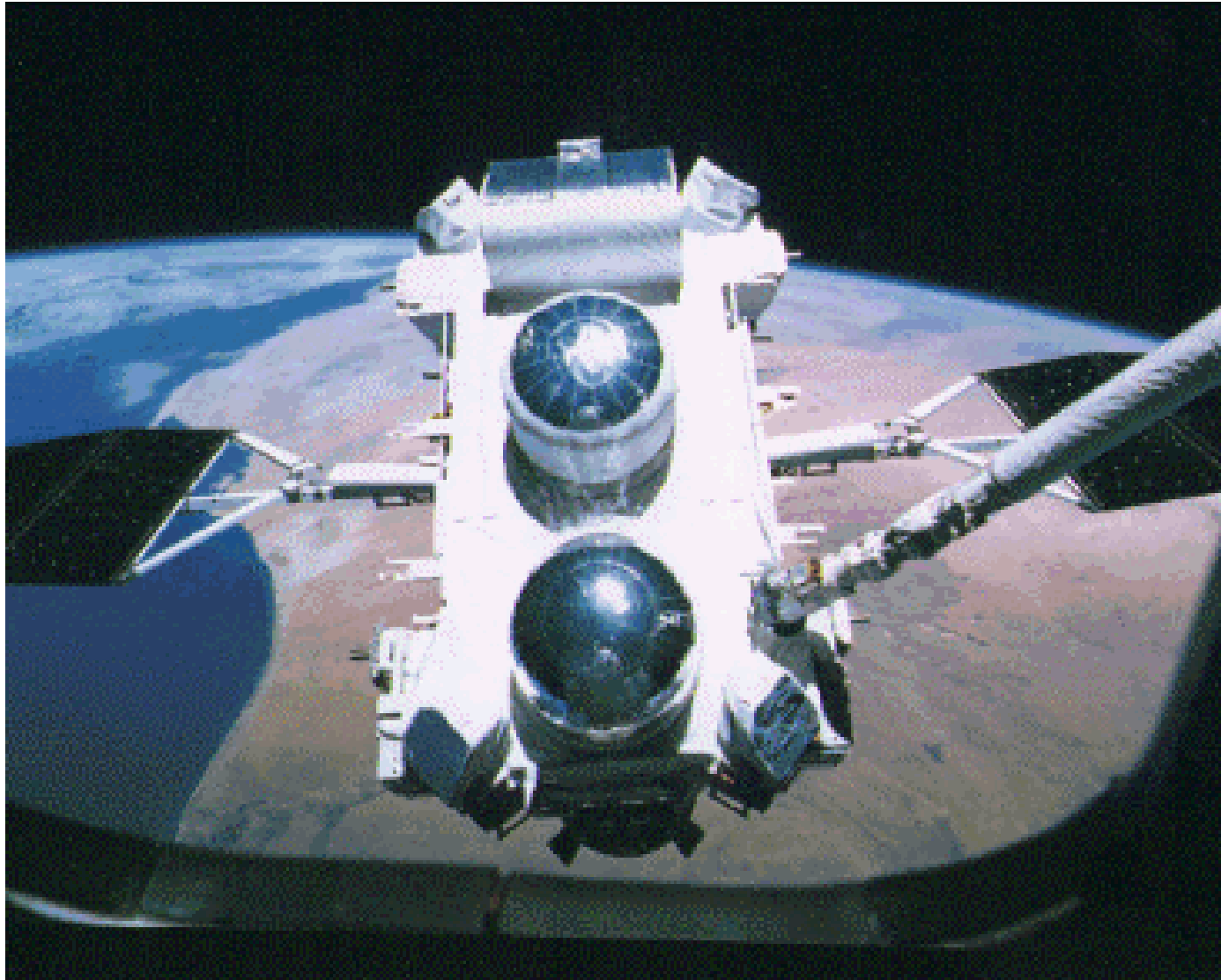
- Estimation théorique de la production dans les divers sites



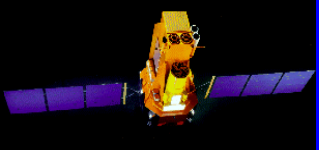
Rappel : structure spirale de la Galaxie



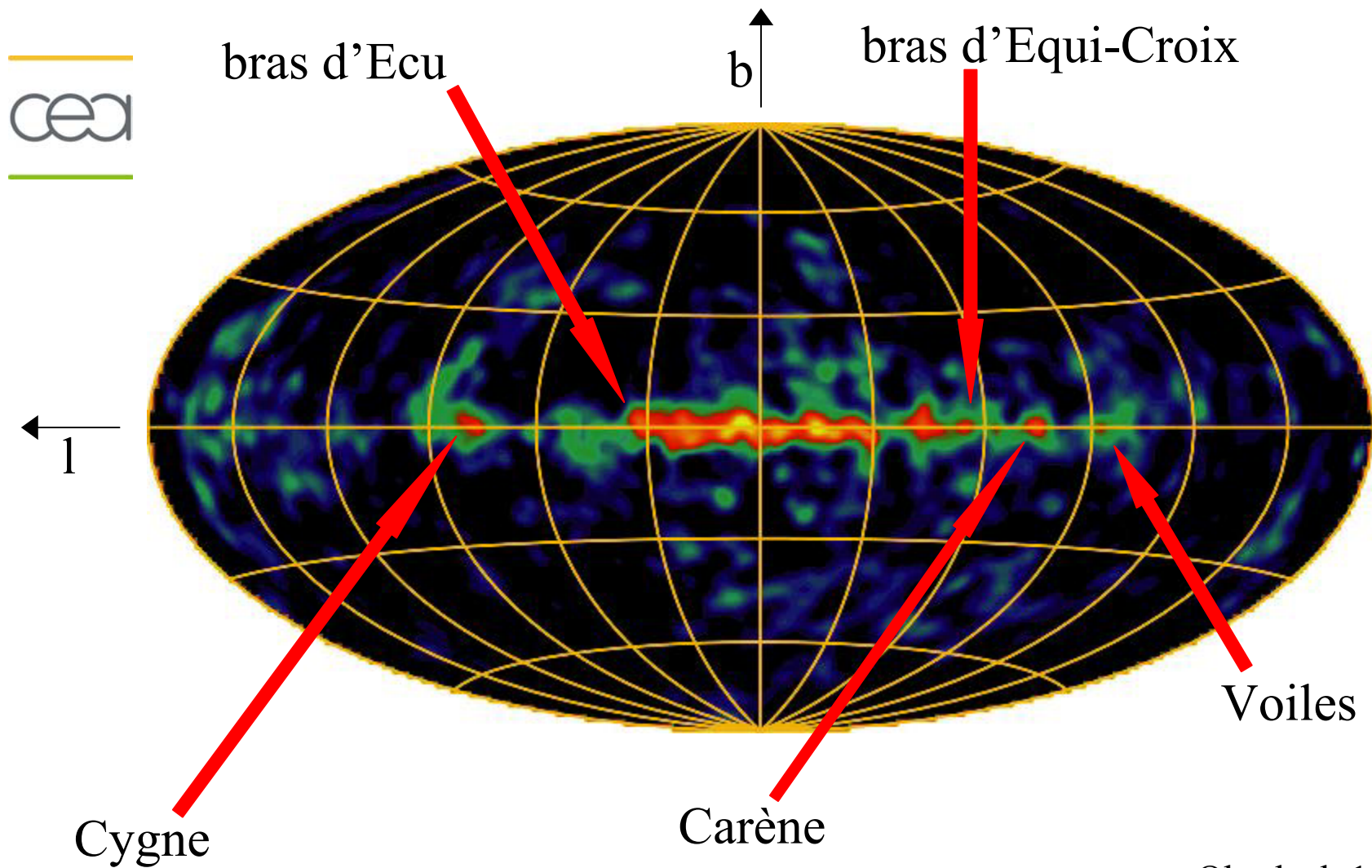
Compton GRO (1991-2000)



- COMPTON
- OSSE
- BATSE
- EGRET



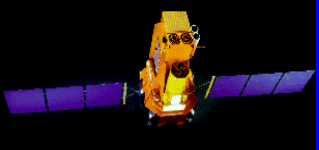
Carte COMPTEL de l'Aluminium 26 Galactique



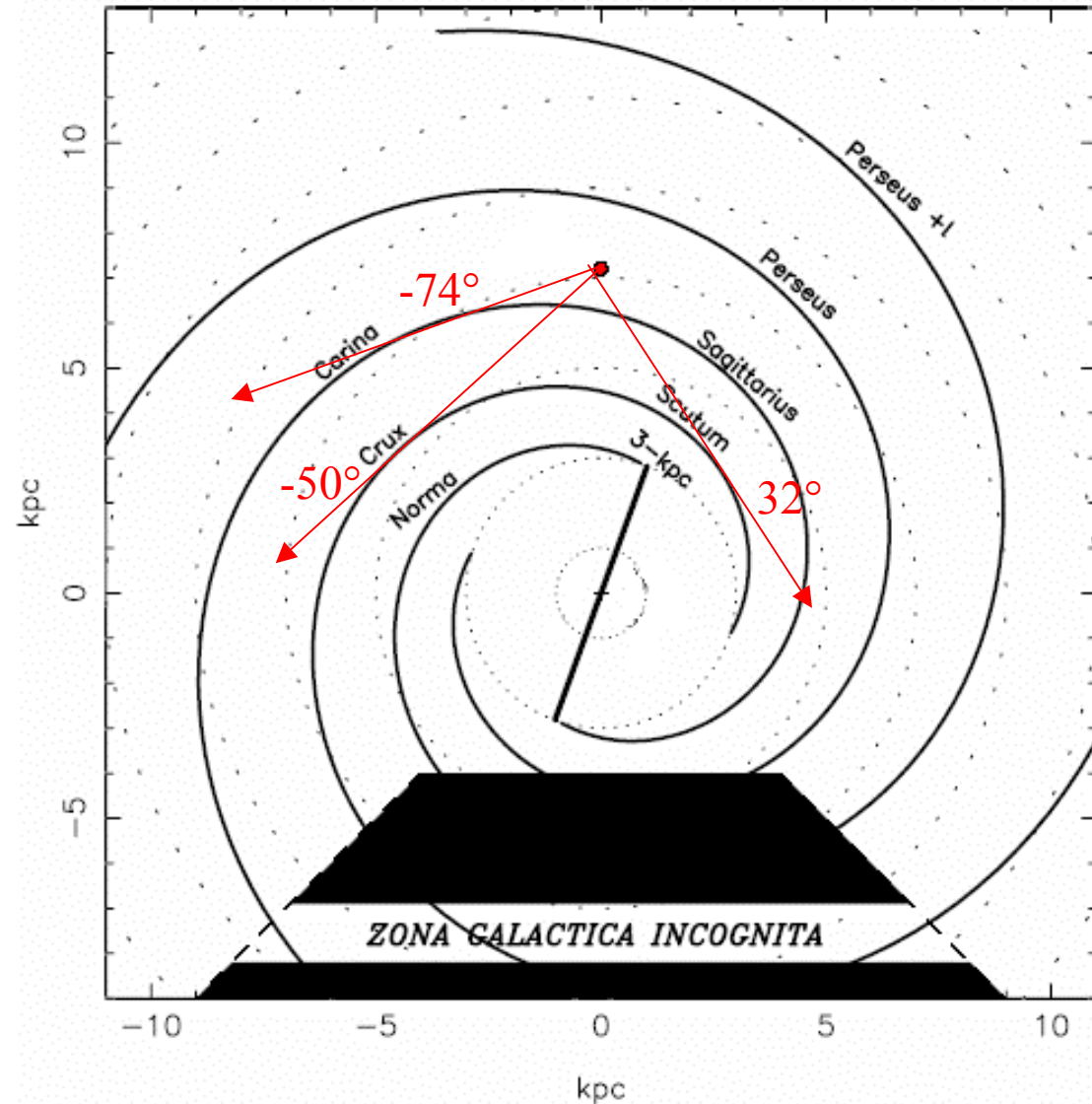
Oberlack 1998

- 1,7 à 3 masses solaires
- Emission prononcée à 1,8 MeV le long du plan Galactique, ~ modèle de disque exponentiel
- 8 points chauds
 - ⇒ Exclut population vieille (novae et AGB de faible masse) comme source majeure (trop faible contribution individuelle)
- Point chaud central **décalé** ($l=2,0^\circ$, $b=-1,5^\circ$) ⇒ étoiles massives
 - ⇒ **SNII, WR et AGB massives**





Conclusions de COMPTEL (2/2)

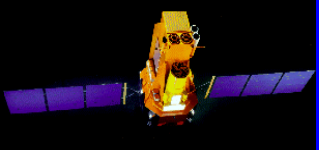


➤ 3 points chauds =
directions **tangentes aux
bras spiraux**

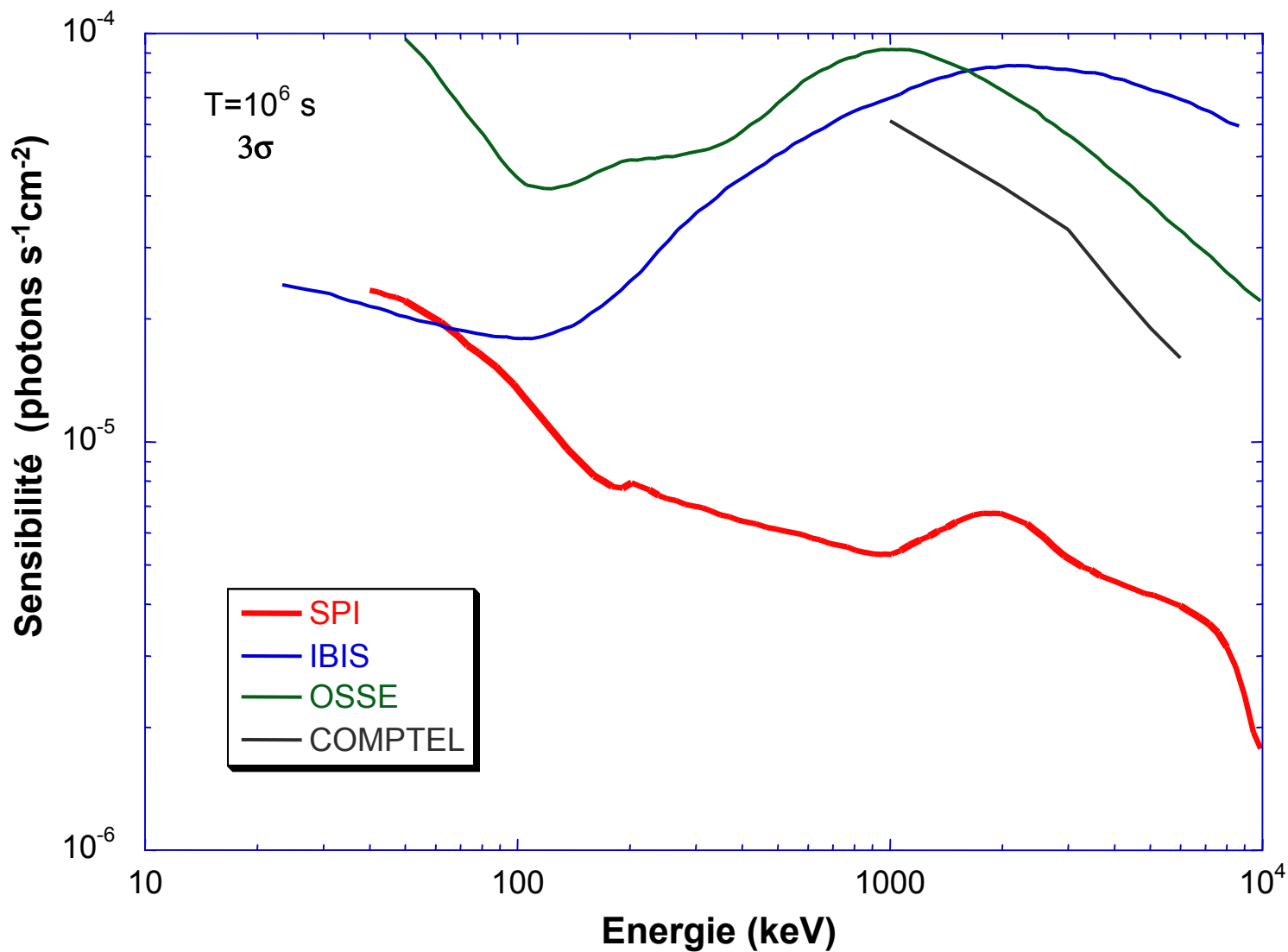
⇒ source d' ^{26}Al =
régions de
formation d'étoiles

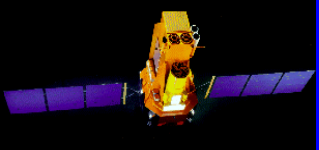
➤ 4 autres points chauds

⇒ **2^{nde} composante ?**



INTEGRAL, successeur de COMPTEL





Perspectives et conclusion

	COMPTEL	SPI	IBIS
résolution spectrale à 1,8 MeV	8 %	1,7 ‰	9 % ?
résolution angulaire	3,8 °	2,5 °	12 '

- Carte plus précise de la Galaxie
- Contribution relative des différents sites
- $^{60}\text{Fe}/^{26}\text{Al} \Rightarrow$ discrimination entre WR, SNII et AGB
- Décalage Doppler de la raie à 1,809 MeV ?
 - Distance des « points chauds »
 - Carte 3D du bras de la Carène
- ⇒ Développement de nouvelles méthodes de traitement de l'émission diffuse adaptées à SPI en cours...