



AstroInfo2021 : Ecole Thematique AstroInformatique 2021

29 nov. - 10 déc. 2021 Barcelonnette (France)



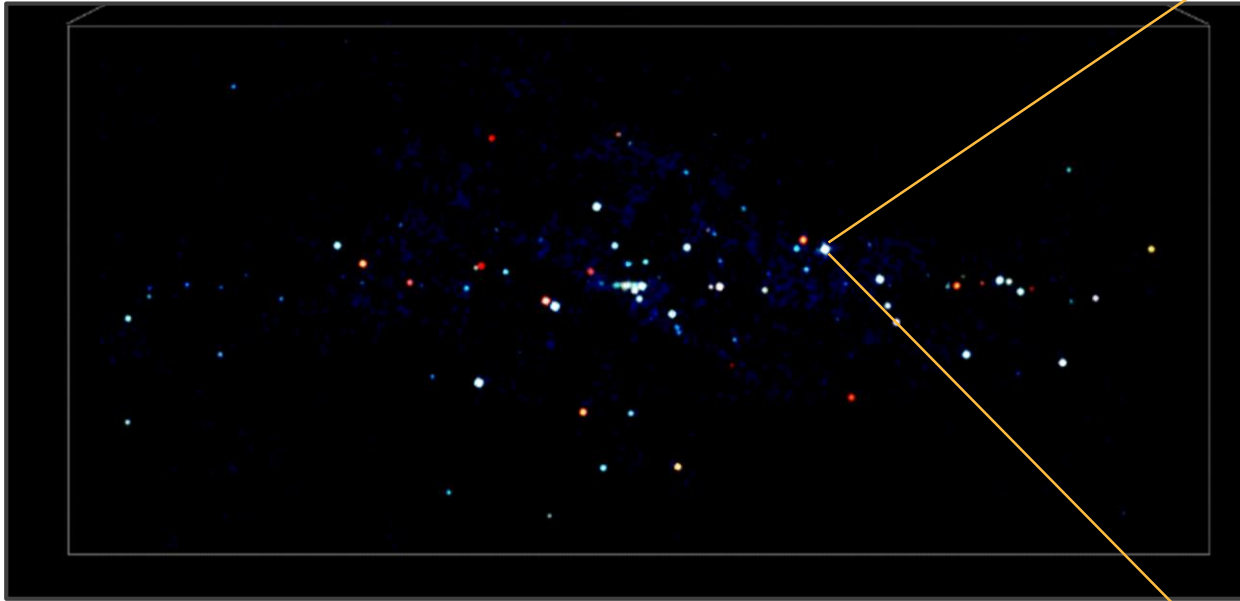
DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

Geoffrey DANIEL  
CEA/DES/ISAS/DM2S/STMF/LGLS

Semaine du 6 décembre 2021

# Hackathon Astroinfo

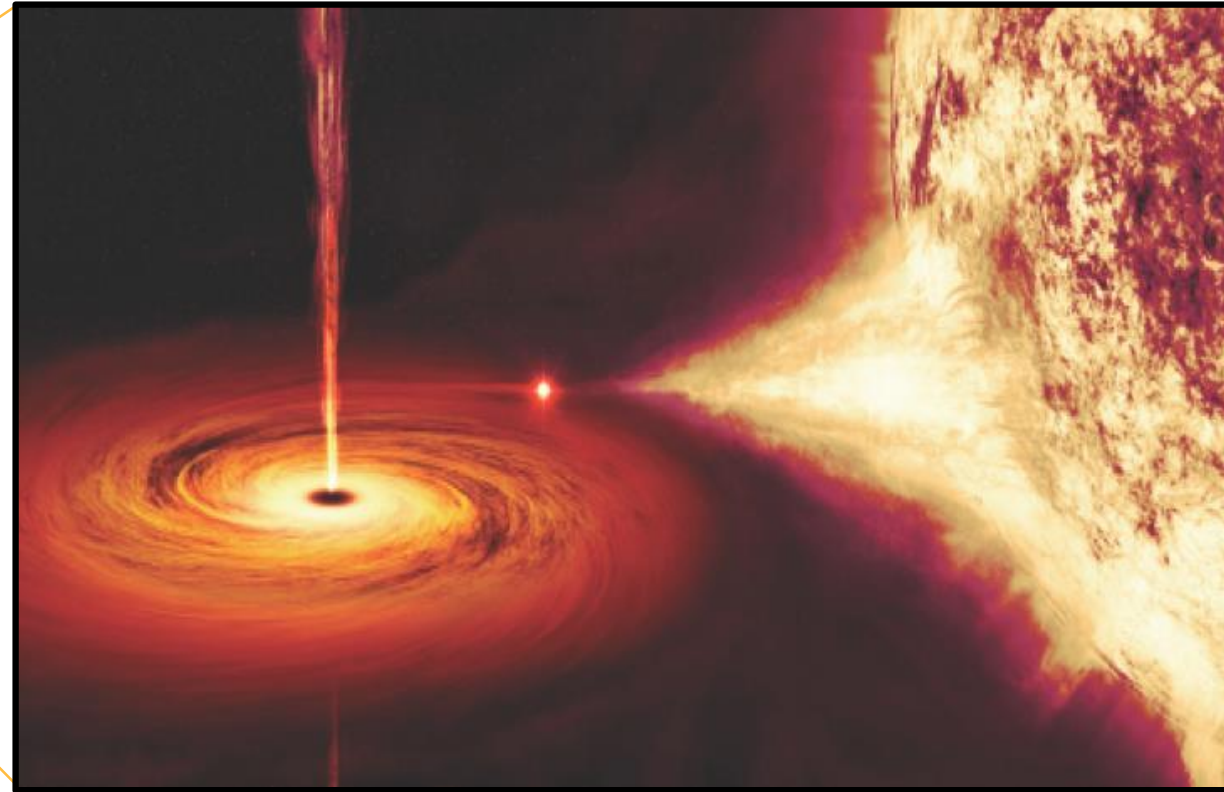
## Deep Learning appliqué à l'imagerie Compton avec les données du satellite INTEGRAL

3<sup>ème</sup> catalogue IBIS/ISGRI

Légende : 17 keV



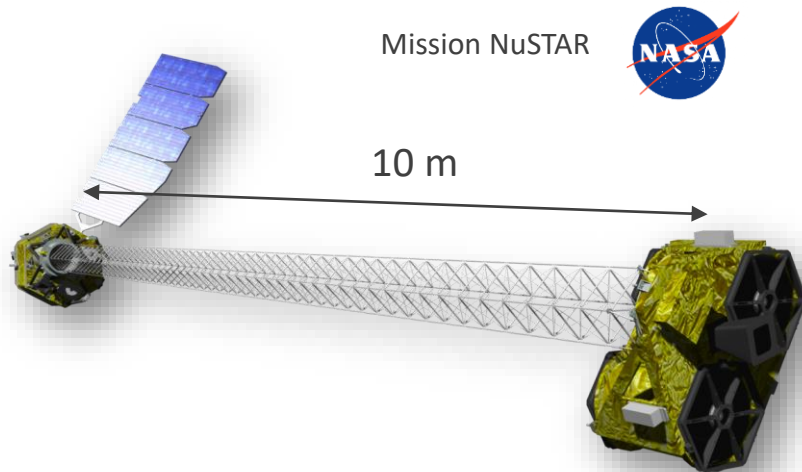
100 keV



Difficulté : impossibilité d'utiliser des optiques « classiques » à ces énergies

→ Autres approches

### Miroirs à incidence rasante



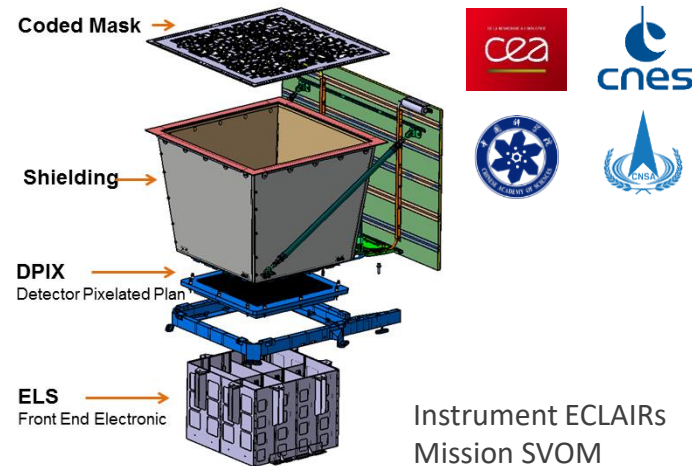
Avantageux pour :

- Sensibilité
- Résolution angulaire

Désavantageux pour :

- Champ de vue
- Encombrement
- Énergies au-delà de quelques dizaines de keV

### Masque codé



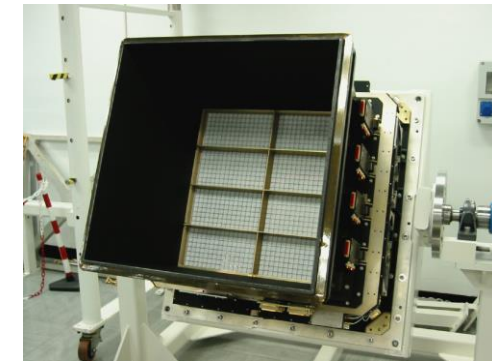
Avantageux pour :

- Champ de vue
- Encombrement
- Énergies jusque 300 keV

Désavantageux pour :

- Imagerie de sources multiples ou étendues
- Énergies au-delà de 300 keV

### Imagerie Compton



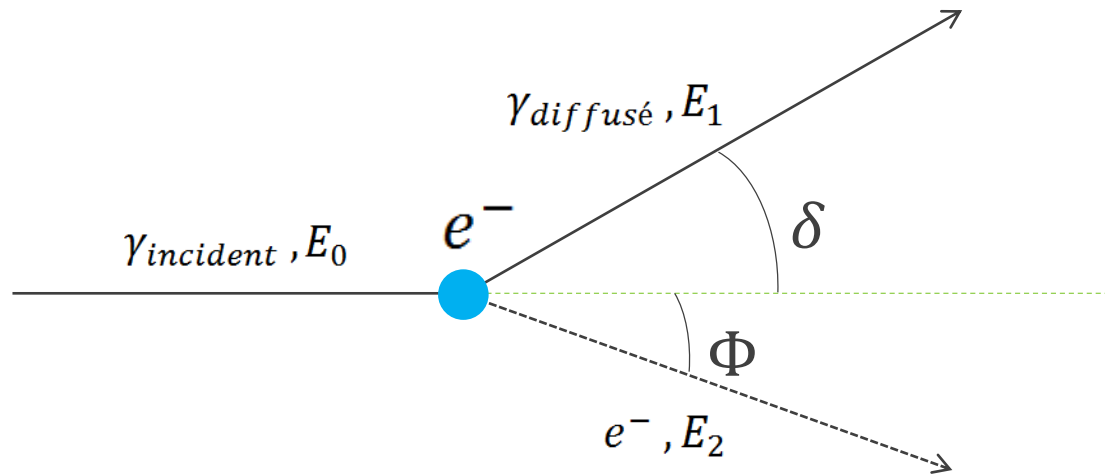
Mission INTEGRAL  
IBIS/ISGRI

Avantageux pour :

- Champ de vue très large
- Énergies au-delà de 300 keV
- Imagerie de sources multiples

Désavantageux pour :

- Résolution angulaire
- Énergies en-deçà de 300 keV
- Sensibilité



$$\cos(\delta) = 1 - m_e c^2 \frac{E_2}{E_1 E_0}$$

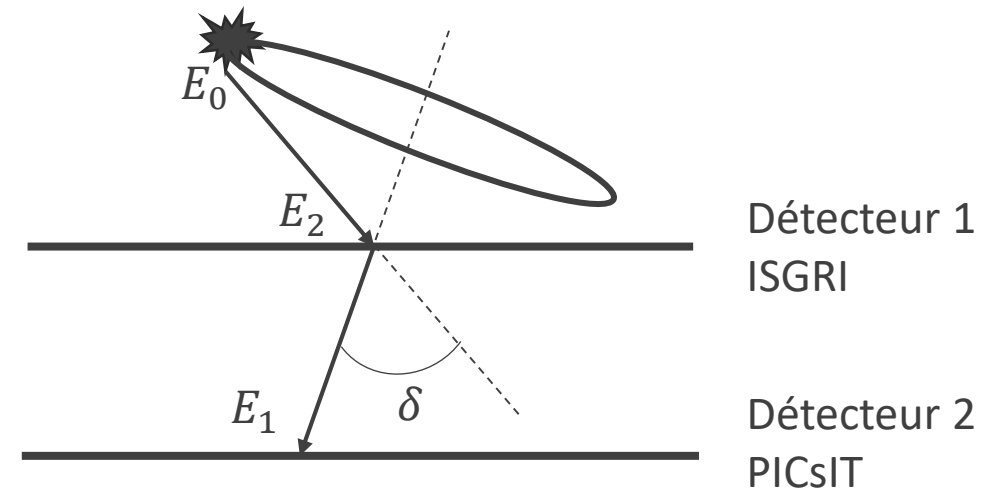
Approximation (élargissement Doppler)

$$E_0 = E_1 + E_2$$

$E_0$  inconnu en astrophysique  
 $E_1$  et  $E_2$  mesurés avec une certaine résolution

## Utilisation pour la localisation de sources

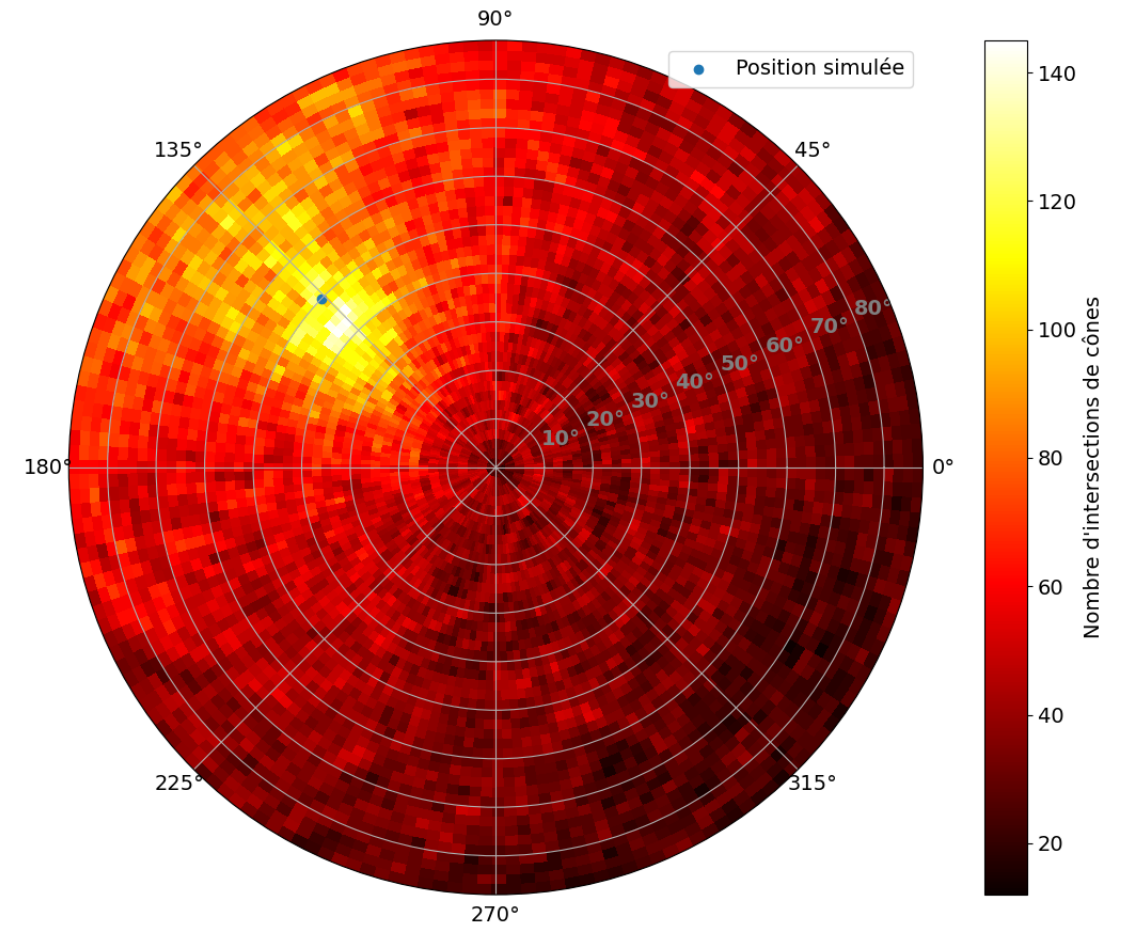
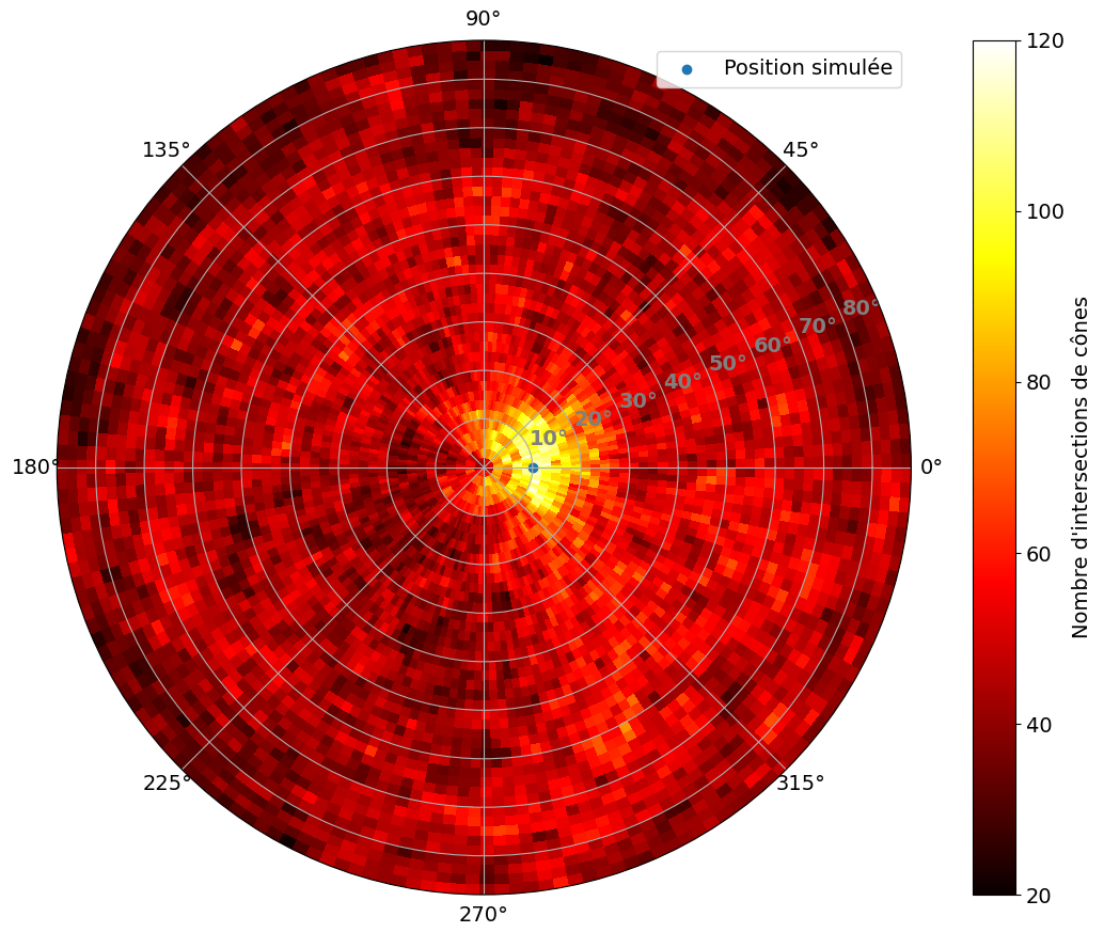
Source gamma



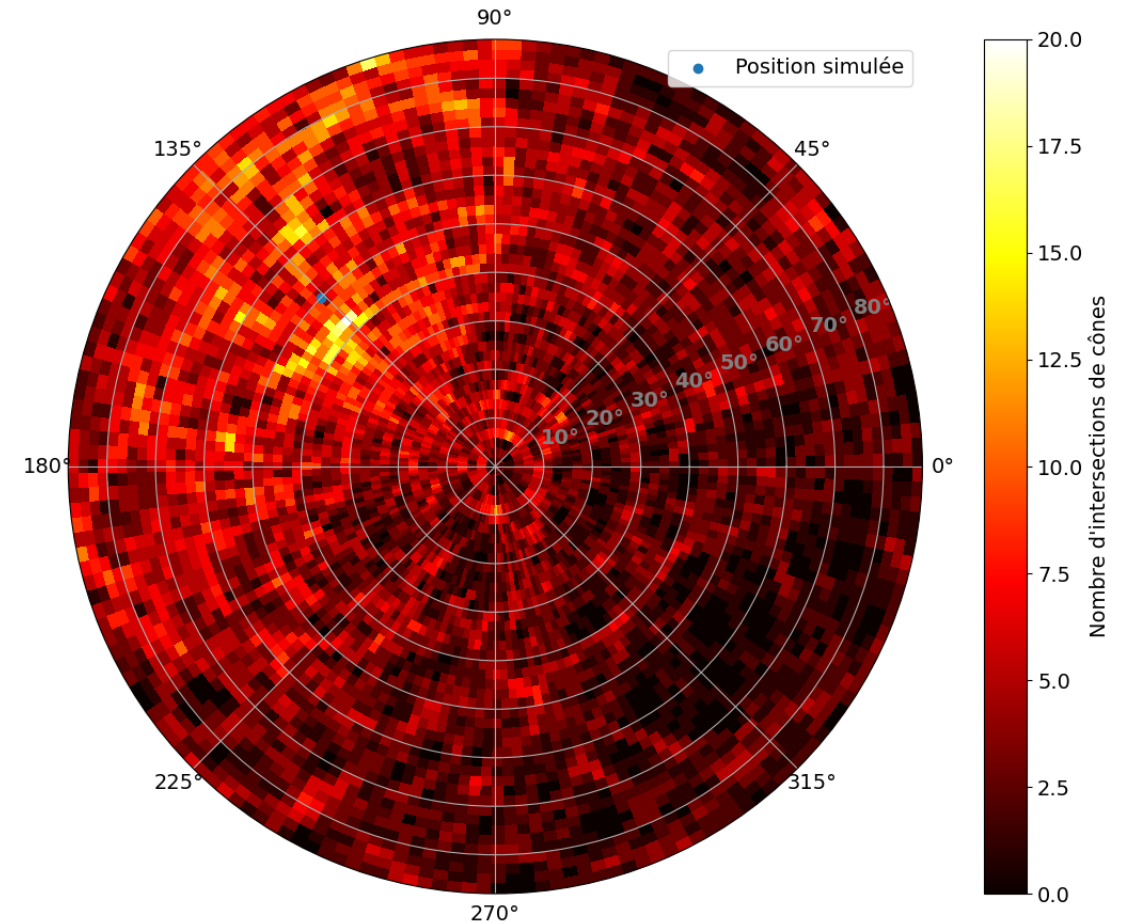
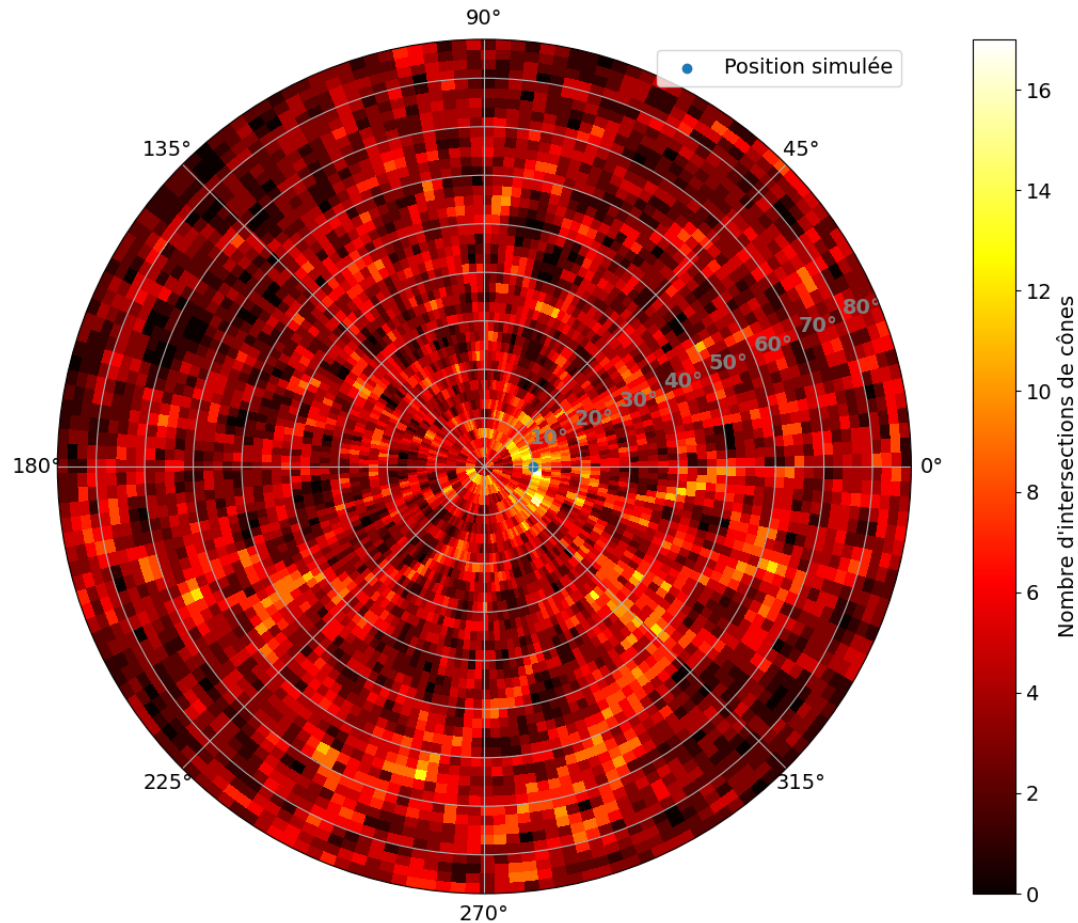
| Caractéristiques                | Valeurs                        |
|---------------------------------|--------------------------------|
| ISGRI : nombre de pixels        | 128x128 (8 modules 64x32) CdTe |
| ISGR : taille des pixels        | 4,6x4,6 mm <sup>2</sup>        |
| ISGRI : épaisseur               | 2 mm                           |
| ISGRI : résolution en énergie   | 8 % FWHM @ 122 keV             |
| PICsIT : nombre de pixels       | 64x64 (8 modules 16x32) CsI    |
| PICsIT : taille des pixels      | 9,2x9,2 mm <sup>2</sup>        |
| PICsIT : épaisseur              | 30 mm                          |
| PICsIT : résolution en énergie  | 12 % FWHM @ 662 keV            |
| Distance ISGRI/PICsIT (top/top) | 88,83 mm                       |



Quelques exemples avec plus de 2000 cônes



Quelques exemples avec 200 cônes



Issus de simulations Geant4 – Merci à Philippe LAURENT pour la production des données !

Coordonnées sphériques : longitude et colatitude

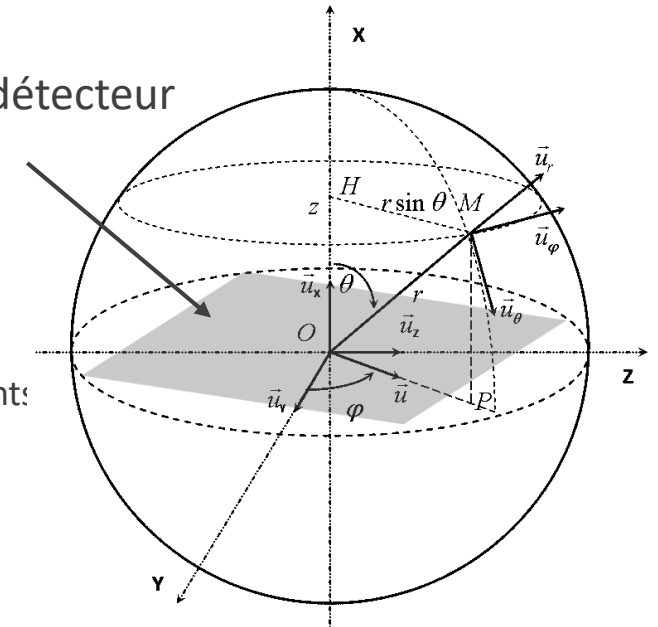
Simulations de sources sur le ciel :

- $\varphi$  de  $0^\circ$  à  $360^\circ$  par pas de  $4^\circ$
- $\theta$  de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  par pas de  $2^\circ$
- Environ 2000 événements par position

Attention :

- Pour  $\theta = 0^\circ$ , une seule simulation  $\varphi$  (tous les  $\varphi$  sont équivalents)
- Pour  $\theta > 84^\circ$ , fichiers parfois vides : pas d'événements détectés à cause du blindage de l'instrument

Plan du détecteur  
ISGRI



### Format des données

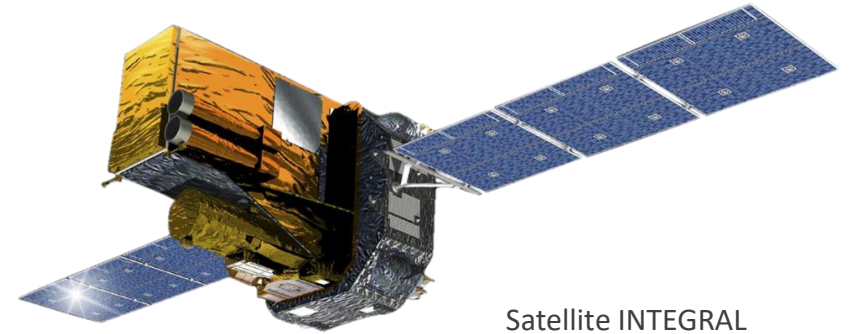
Position simulée donnée dans le nom du fichier : « theta\_10\_phi\_16.npy »

Contient la liste des événements détectés en coïncidence (« candidats Compton »)

| Colonne | 0  | 1  | 2   | 3   | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9   |
|---------|--|--|---|---|--|--|--|--|--|---|
| Contenu | Énergie enregistrée par ISGRI (keV)          | Énergie enregistrée par PICsIT (keV)           | Coordonnée Y de l'interaction dans ISGRI (en pixel) | Coordonnée Z de l'interaction dans ISGRI (en pixel) | Coordonnée Y de l'interaction dans PICsIT (en pixel) | Coordonnée Z de l'interaction dans PICsIT (en pixel) | Coordonnée Y du centre du pixel dans ISGRI (en cm)                       | Coordonnée Z du centre du pixel dans ISGRI (en cm) | Coordonnée Y du centre du pixel dans PICsIT (en cm)                              | Coordonnée Z du centre du pixel dans PICsIT (en cm) |
|         | ↑<br>Énergie déposée par interaction Compton | ↑<br>Énergie déposée par effet photoélectrique | Redondant avec les coordonnées en centimètre        |   |  |  | Coordonnées de l'interaction Compton (en 1 <sup>ère</sup> approximation) |  | Coordonnées de l'interaction photoélectrique (en 1 <sup>ère</sup> approximation) |   |

## Prédire la position de la source à partir des données Compton

- Cas 1 source, peu de cônes
- Cas multi-source
- Cas source étendue



Satellite INTEGRAL

### Approches possibles :

- Régression dans le cas à 1 source (prédictions d'incertitudes ?)
- Utilisation de la backprojection comme donnée d'entrée
- Augmentation de données pour créer des scénarios avec des quantités de cônes différentes
- Augmentation de données pour créer des données de sources multiples et/ou étendues

### Tests sur des données réelles issues d'INTEGRAL