



La mission SVOM

Le consortium SVOM

- **China (PI J. Wei)**

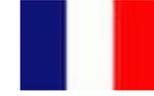


- SECM Shanghai
- Beijing Normal University
- Central China University Wuhan
- Guangxi University Nanning
- IHEP Beijing
- KIAA Peking University
- Nanjing University
- NAOC Beijing
- National Astronomical Observatories
- Purple Mountain Observatory Nanjing
- Shanghai Astronomical Observatory
- Tsinghua University Beijing

- **Mexico** UNAM Mexico



- **France (PI B. Cordier)**



- CNES Toulouse
- APC Paris
- CEA Saclay
- CPPM Marseille
- GEPI Meudon
- IAP Paris
- IRAP Toulouse
- LAL Orsay
- LAM Marseille
- LUPM Montpellier
- OAS Strasbourg

- **UK** University of Leicester



- **Germany**



- MPE Garching
- IAAT Tübingen

La mission SVOM

« Space-based multi-band astronomical Variable Objects Monitor » Lancement : 22 juin 2024.

VT 
"The Visible Telescope"
Petit champ de vue de 26 arcmin
Ritchey Chretien $\Phi=400\text{mm}$
Précision de localisation < 1arcsec

GRM 
"The Gamma-Ray burst Monitor"
détecteurs X et Gamma
30 keV – 5 MeV
Précision de localisation < 5°

ECLAIRs 
« La sentinelle »
Télescope X-durs
Domaine d'énergie : 4 keV – 150 keV
Précision de localisation < 12arcmin

MXT 
"The Micro-pore X-ray Telescope"
Télescope X à petit champ de vue
Domaine d'énergie : 0.2 keV – 10 keV
Précision de localisation < 1arcmin

C-GFT 
« Télescope de suivi »
 $\Phi > 1000\text{mm}$


GWAC 
« Ensemble de caméras grand champ »
 $\Phi = 180\text{cm}$


Colibri 
« Télescope de suivi »
 $\Phi = 130\text{cm}$


Réseau d'alerte VHF 

... and more !

Antennes bandes X et S 




La mission
SVOM

Lancement : 22 juin 2024.

VT 
"The Visible Telescope"
Petit champ de vue de 26 arcmin
Ritchey Chretien $\Phi=400\text{mm}$
Précision de localisation < 1arcsec

GRM 
"The Gamma-Ray burst Monitor"
détecteurs X et Gamma
30 keV – 5 MeV
Précision de localisation < 5°

ECLAIRs 
« La sentinelle »
Télescope X-durs
Domaine d'énergie : 4 keV – 150 keV
Précision de localisation < 12arcmin

MXT 
"The Micro-pore X-ray Telescope"
Télescope X à petit champ de vue
Domaine d'énergie : 0.2 keV – 10 keV
Précision de localisation < 1arcmin

C-GFT 
« Télescope de suivi »
 $\Phi > 1000\text{mm}$

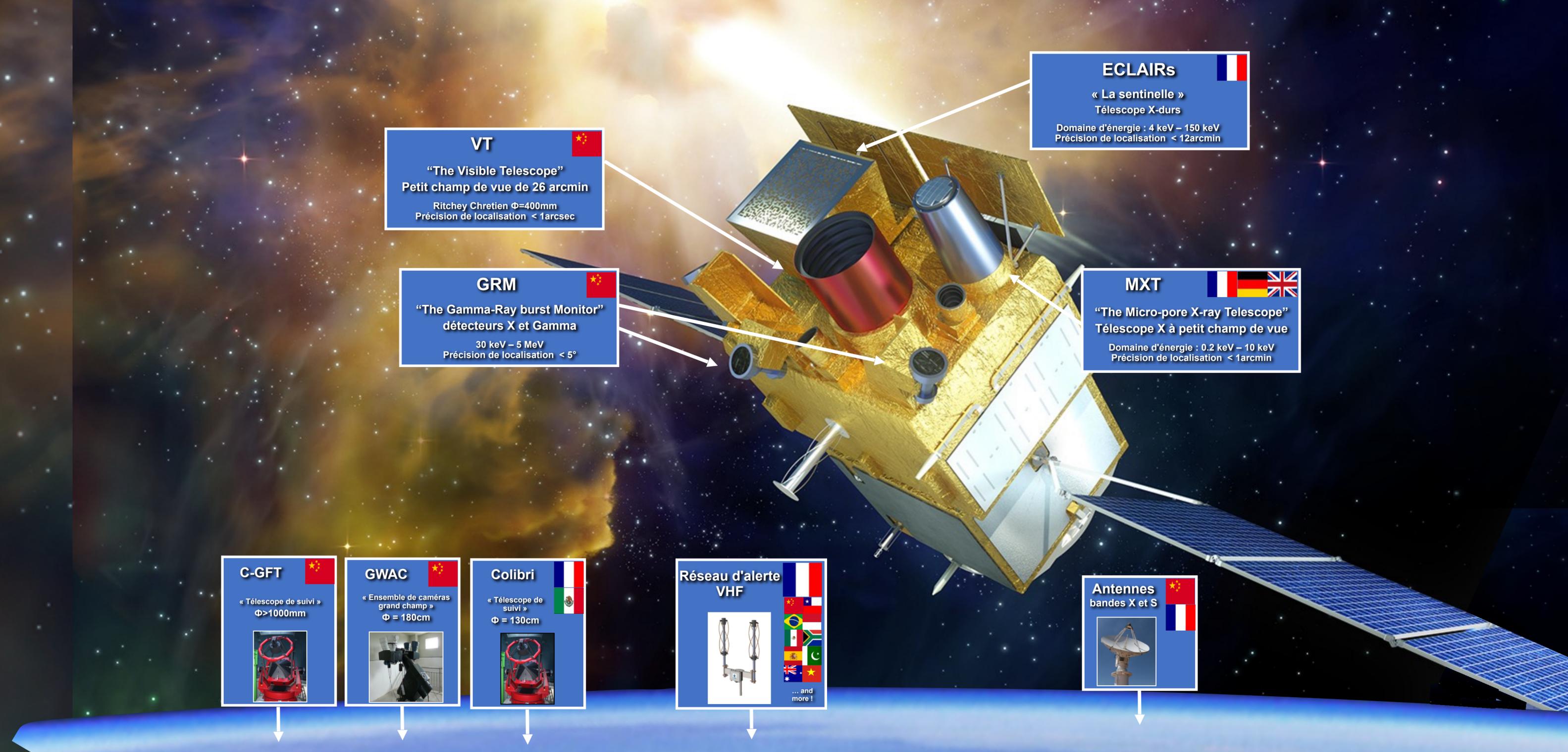

GWAC 
« Ensemble de caméras grand champ »
 $\Phi = 180\text{cm}$


Colibri 
« Télescope de suivi »
 $\Phi = 130\text{cm}$


Réseau d'alerte VHF 

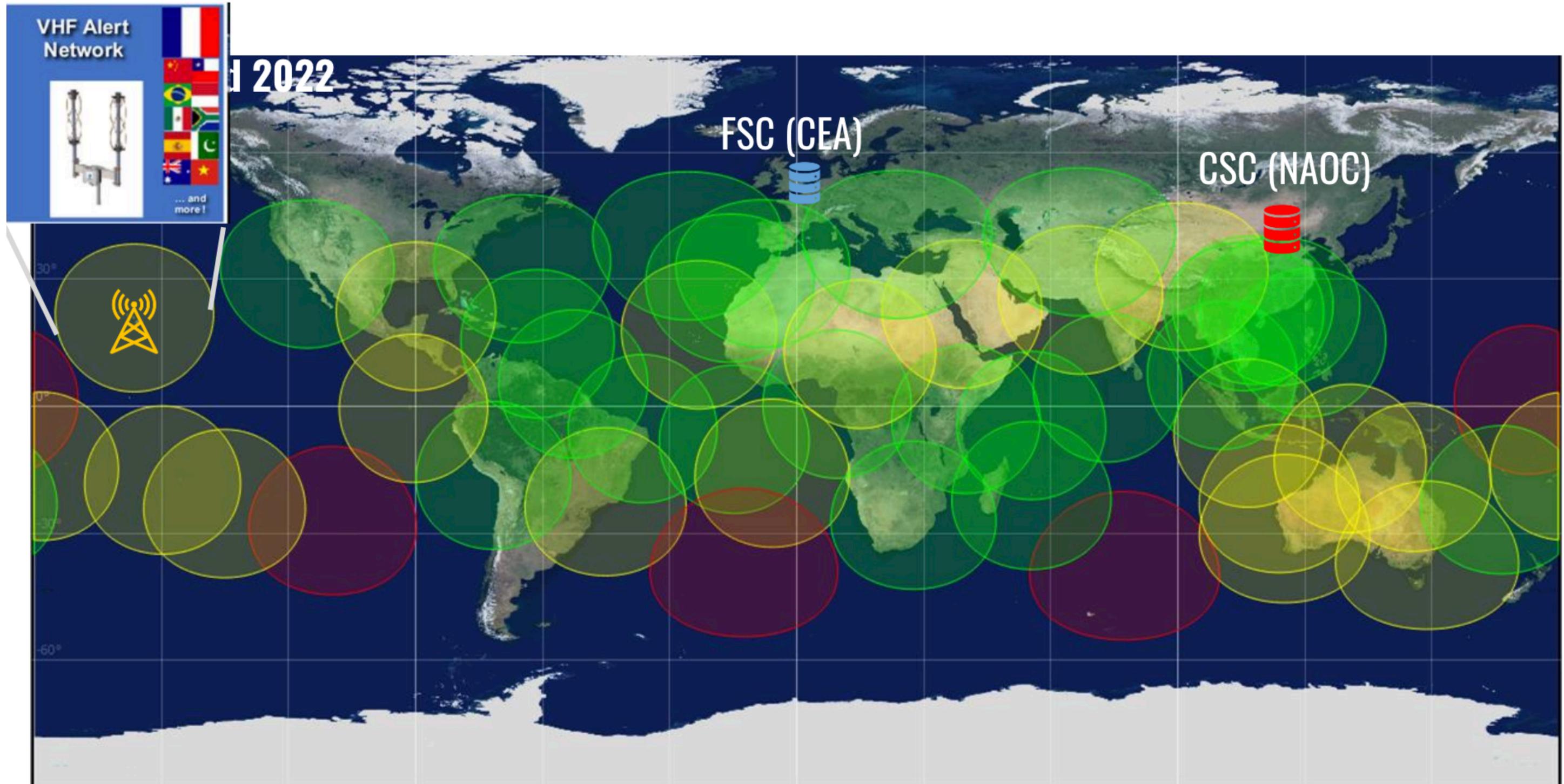
... and more !

Antennes bandes X et S 

Segment sol de SVOM

1. Un dispositif d'alerte de ~40 récepteurs VHF sur Terre répartis autour du globe



Réseau VHF

UPF
Papeete
French Polynesia



METEO FRANCE
Rikitea
French Polynesia



IRD
Ouagadougou
Burkina Faso



BSC
Malindi
Kenya



OUKAIMEDEN
OBSERVATORY
Morocco



CARNARVON S&T
MUSEUM
Australia



SURE
Diego Garcia



AST. OBSERVATORY
Maidenak
Uzbekistan



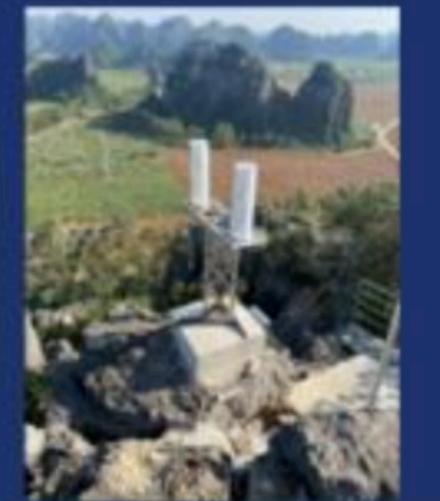
TRISTAN DA CUNHA
UK



NSSTC
Al Ain
UAE



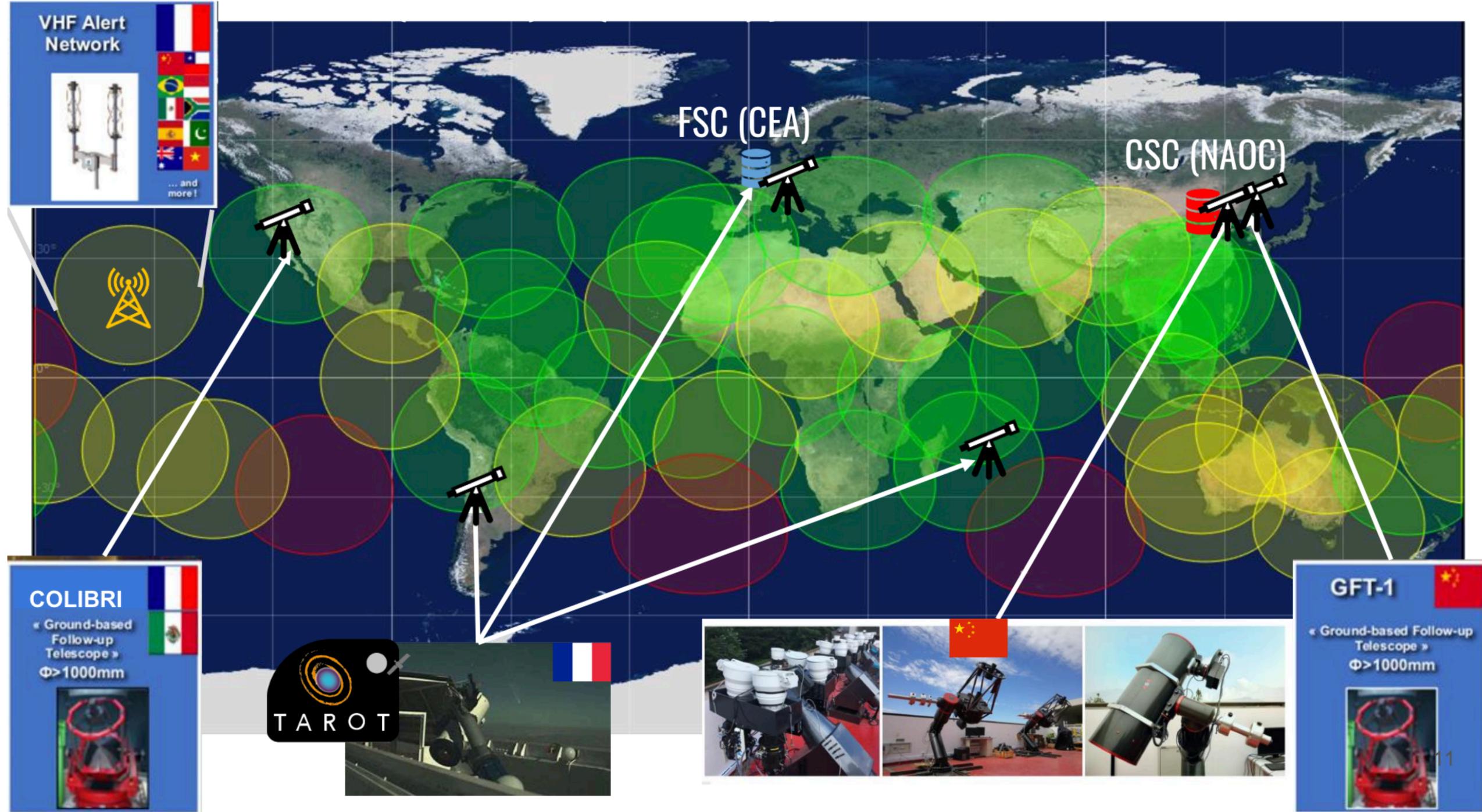
SMA
Mahe
Seychelles



GUANGXI UNIVERSITY
Nanning
China

Segment sol de SVOM

- 1. Un dispositif d'alerte de ~40 récepteurs VHF sur Terre répartis autour du globe
- 2. Un réseau de télescopes pour le suivi des alertes SVOM



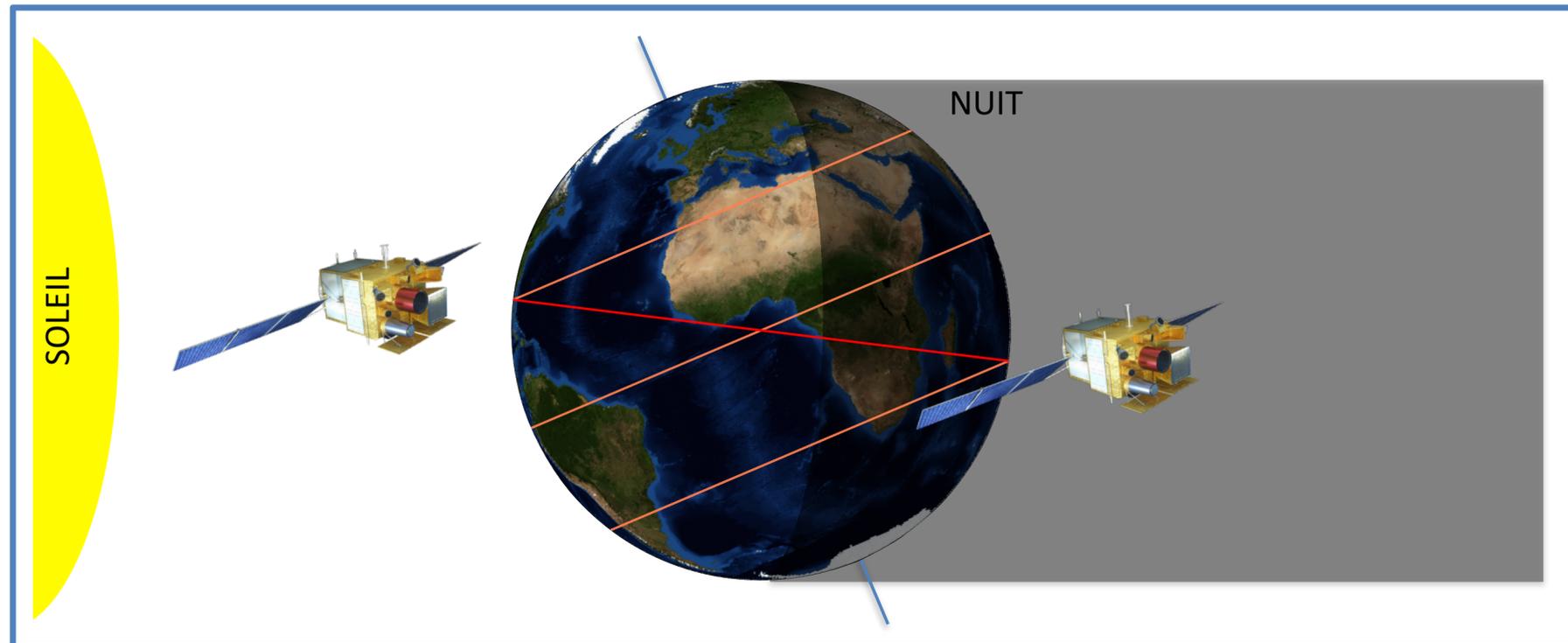
Stratégie d'observation

Orbite basse à 625 km d'altitude avec une inclinaison de 30°

Pointé anti-solaire pour favoriser le suivi immédiat des sursauts-gamma

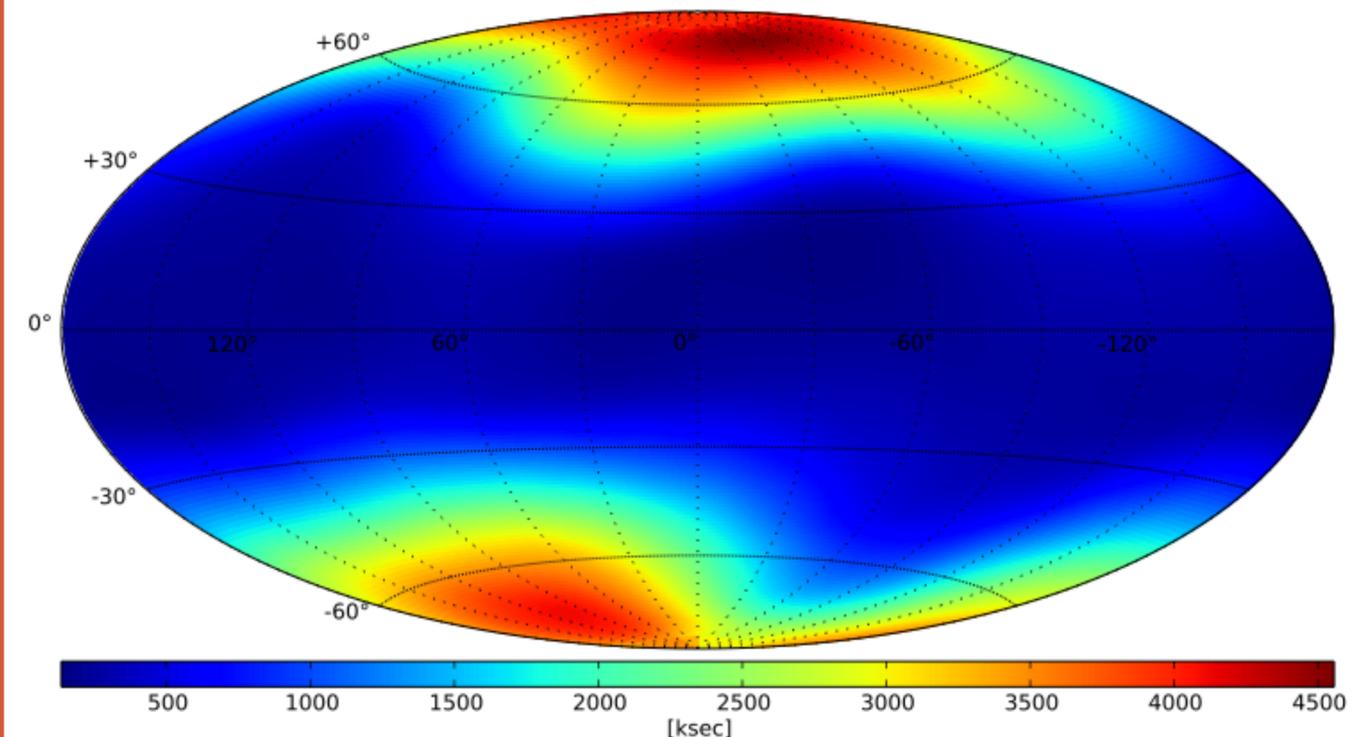
Evitement du plan galactique et de Sco X-1

Capacité de rotation du satellite : 45° en moins de 5 minutes (avec stabilisation)



Carte d'exposition d'ECLAIRs (65 GRBs/an, 1 ToO par jour)

- 4 Ms dans la direction des pôles galactiques
- 500 ks sur la plan galactique



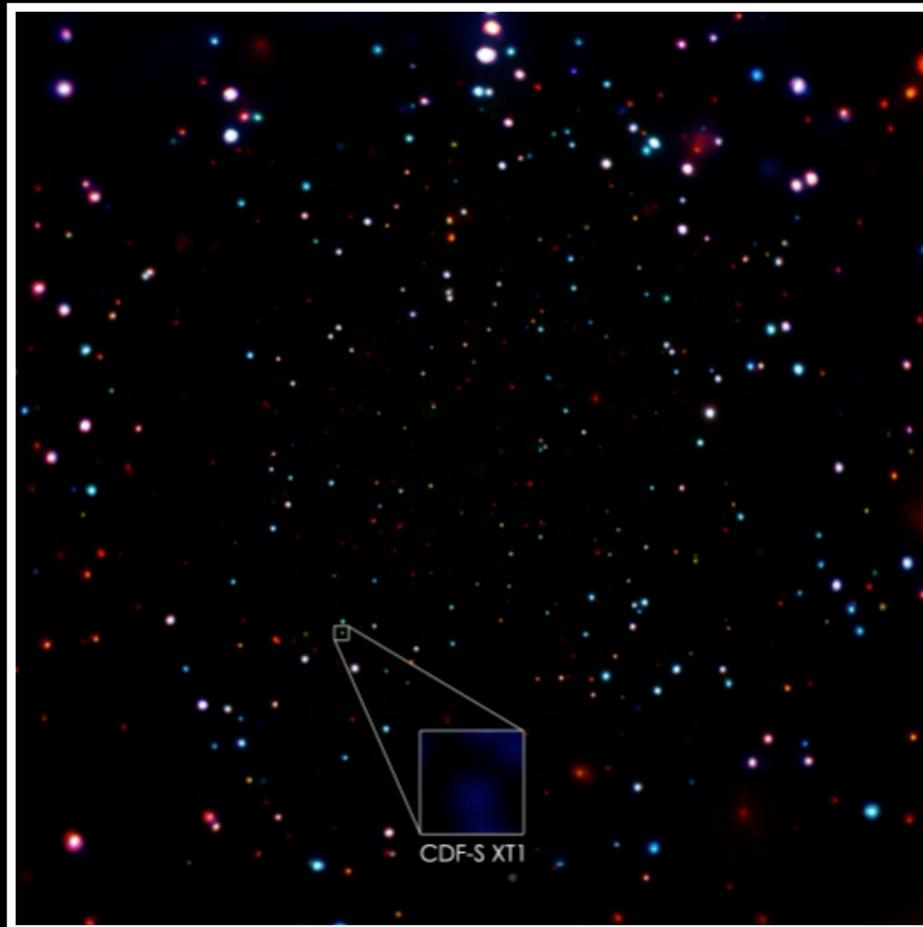
Sonder le ciel transitoire avec SVOM

Floriane Cangemi

Le ciel transitoire

Les « événements transitoires » sont des phénomènes astrophysiques variables qui se déroulent pendant un temps limité.

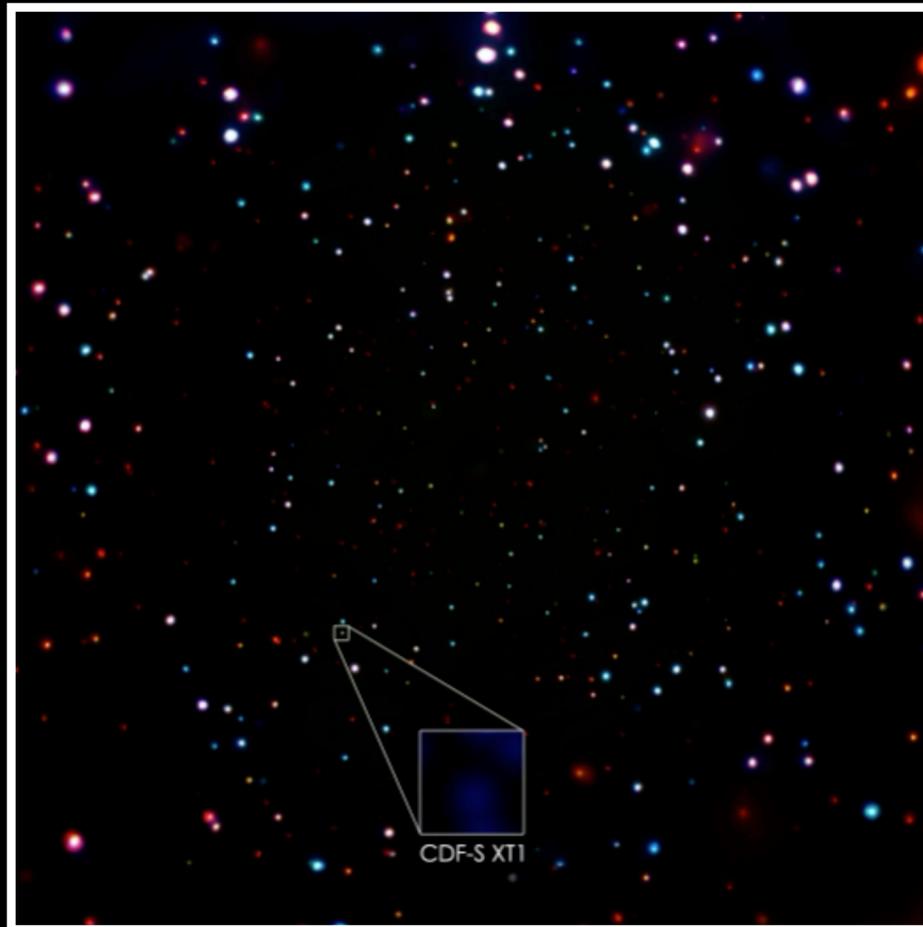
Exemple d'une source transitoire



Le ciel transitoire

Les « événements transitoires » sont des phénomènes astrophysiques variables qui se déroulent pendant un temps limité.

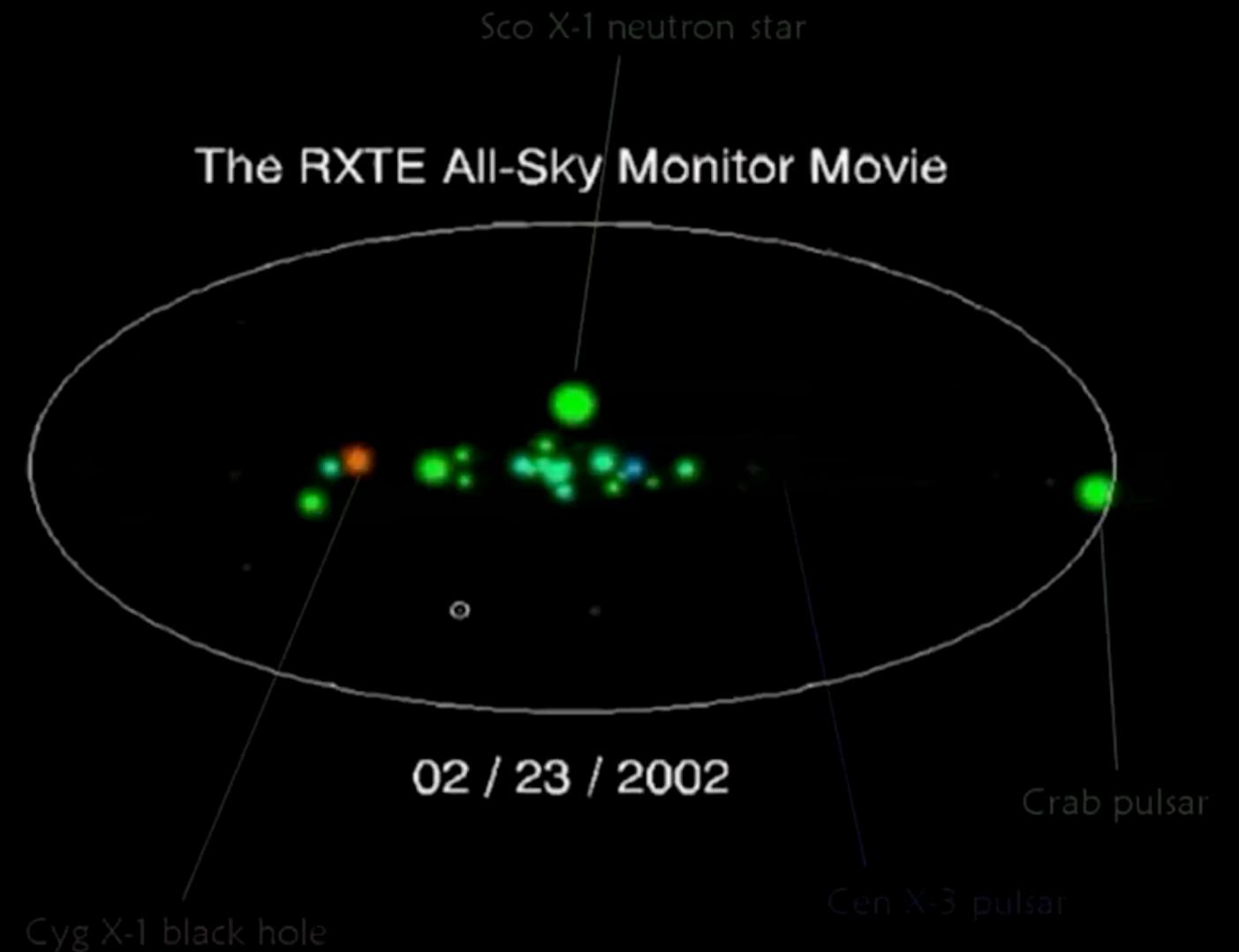
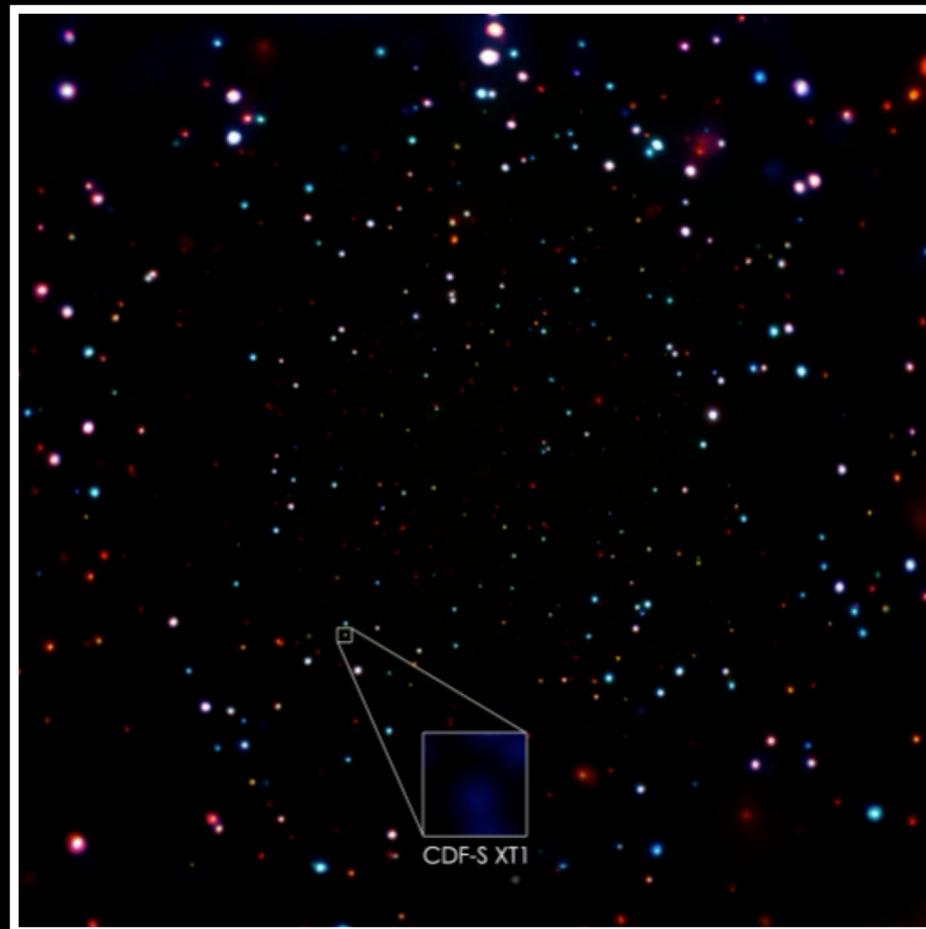
Exemple d'une source transitoire



Le ciel transitoire

Les « événements transitoires » sont des phénomènes astrophysiques variables qui se déroulent pendant un temps limité.

Exemple d'une source transitoire

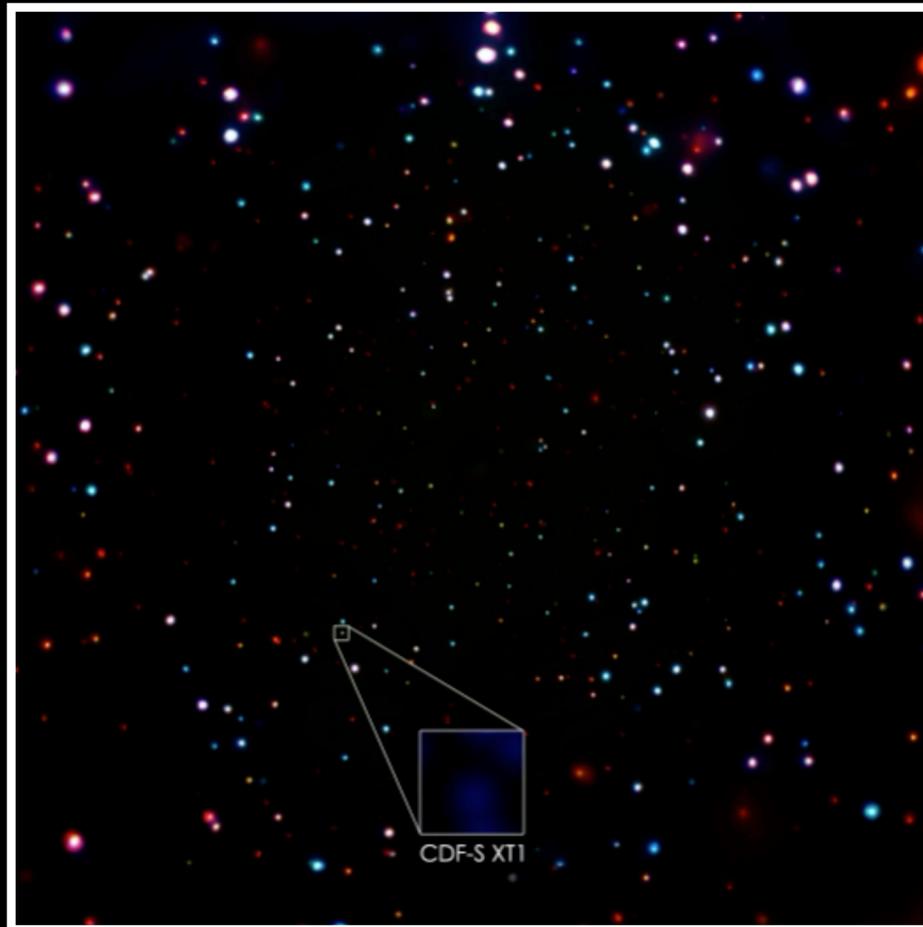


RXTE / DA Smith et al

Le ciel transitoire

Les « événements transitoires » sont des phénomènes astrophysiques variables qui se déroulent pendant un temps limité.

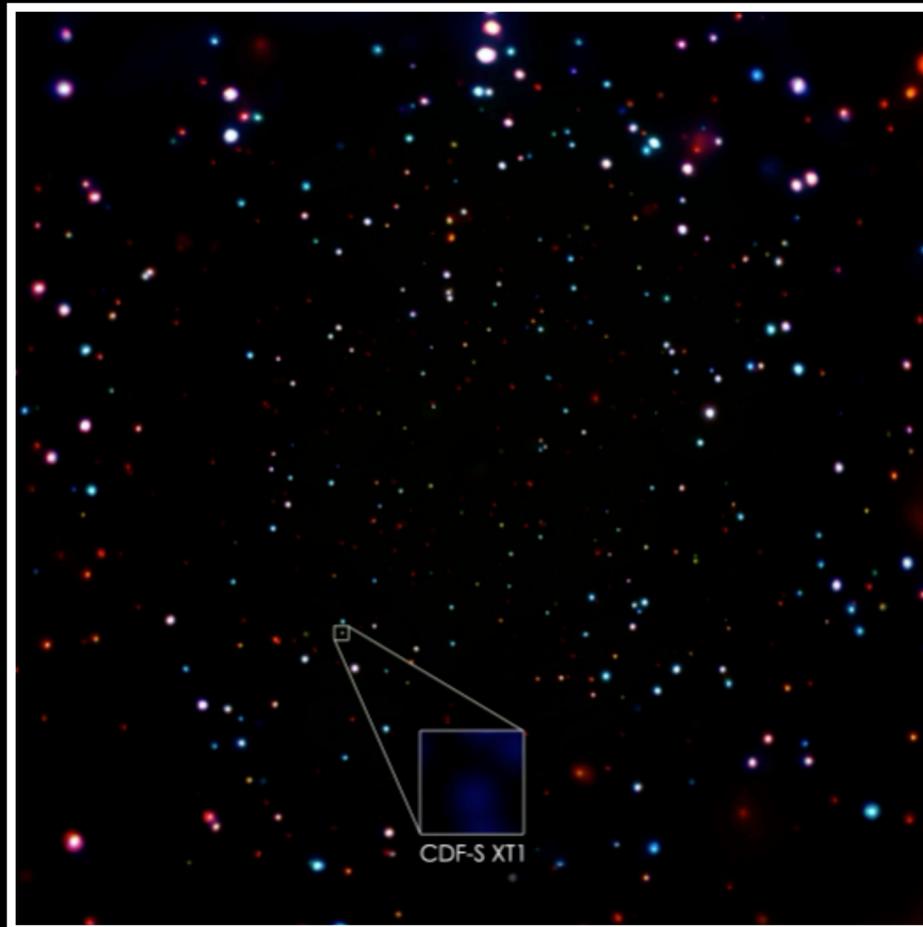
Exemple d'une source transitoire



Le ciel transitoire

Les « événements transitoires » sont des phénomènes astrophysiques variables qui se déroulent pendant un temps limité.

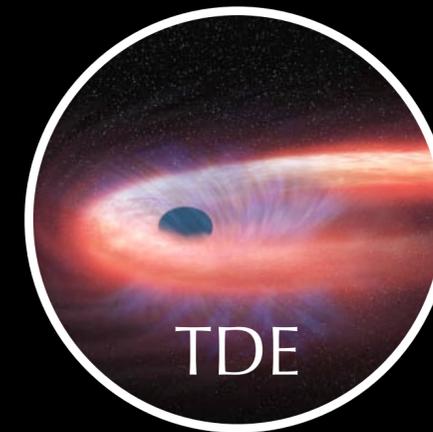
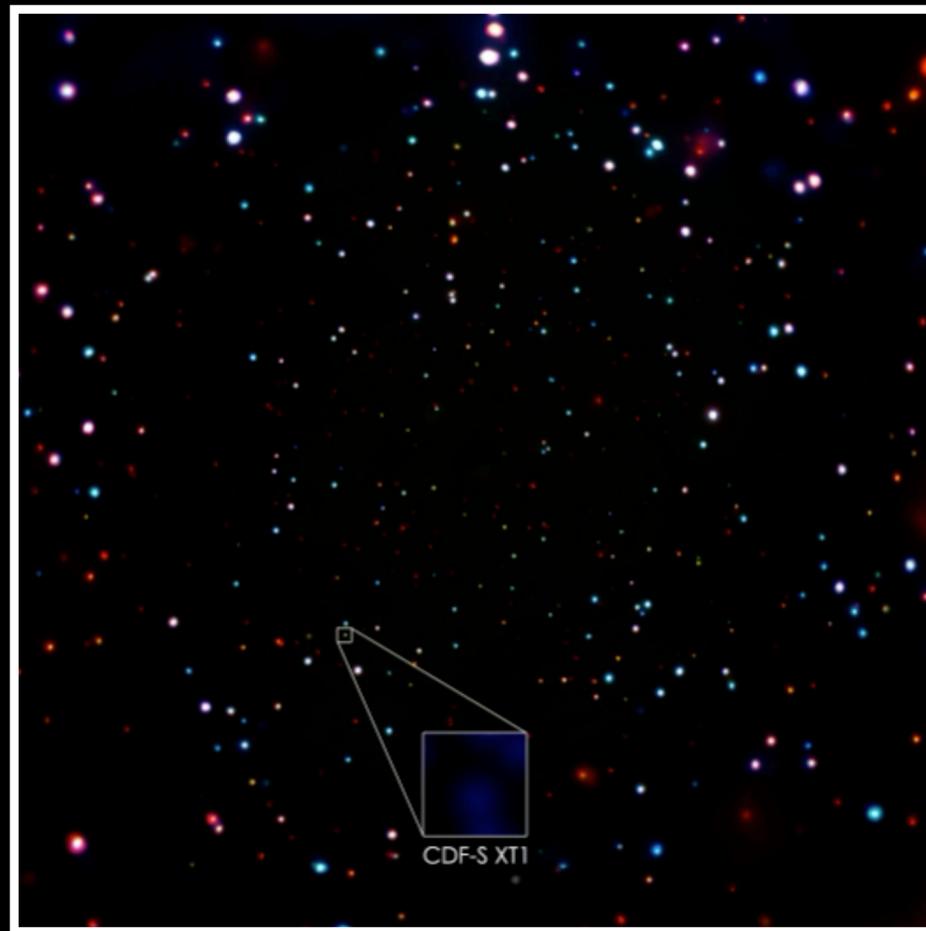
Exemple d'une source transitoire



Le ciel transitoire

Les « événements transitoires » sont des phénomènes astrophysiques variables qui se déroulent pendant un temps limité.

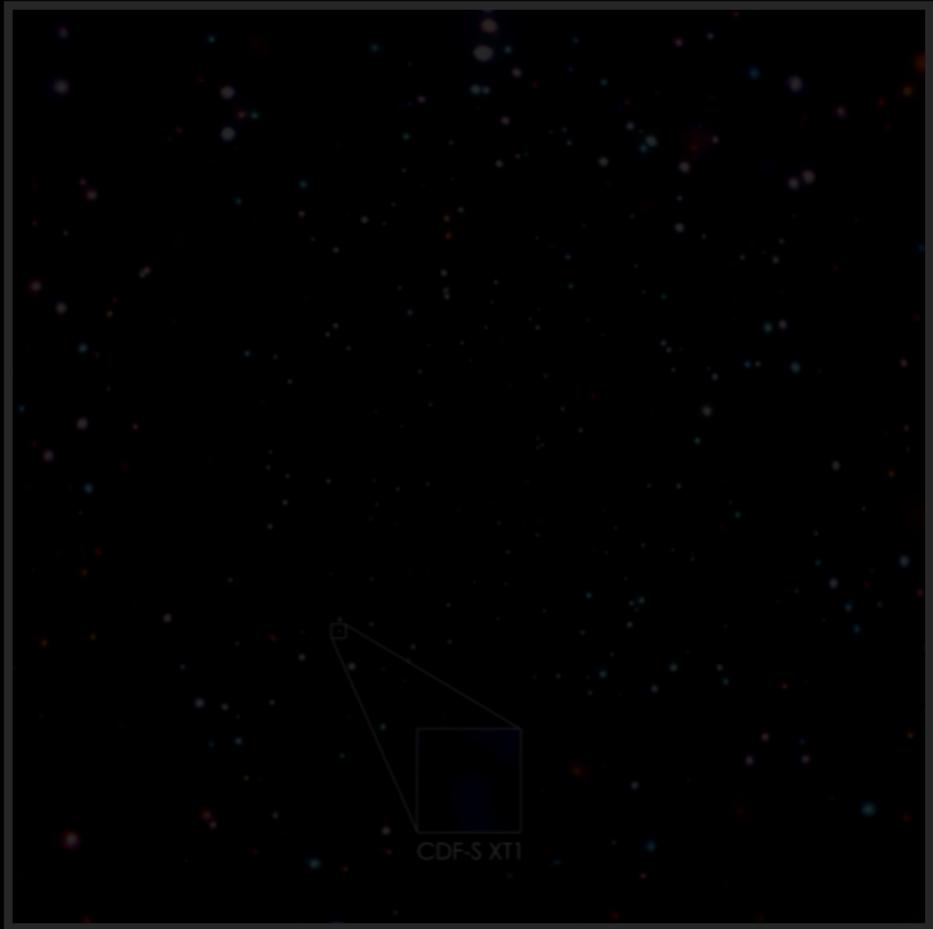
Exemple d'une source transitoire



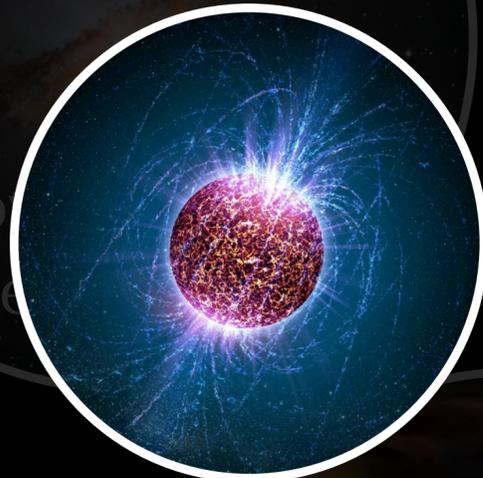
Le ciel transitoire

Les « événements transitoires » sont des phénomènes astrophysiques variables qui se déroulent pendant un temps limité.

Exemple d'une source transitoire



Lié à la présence d'un objet **compact**



Etoile à neutrons



Trou noir



Systemes binaires X

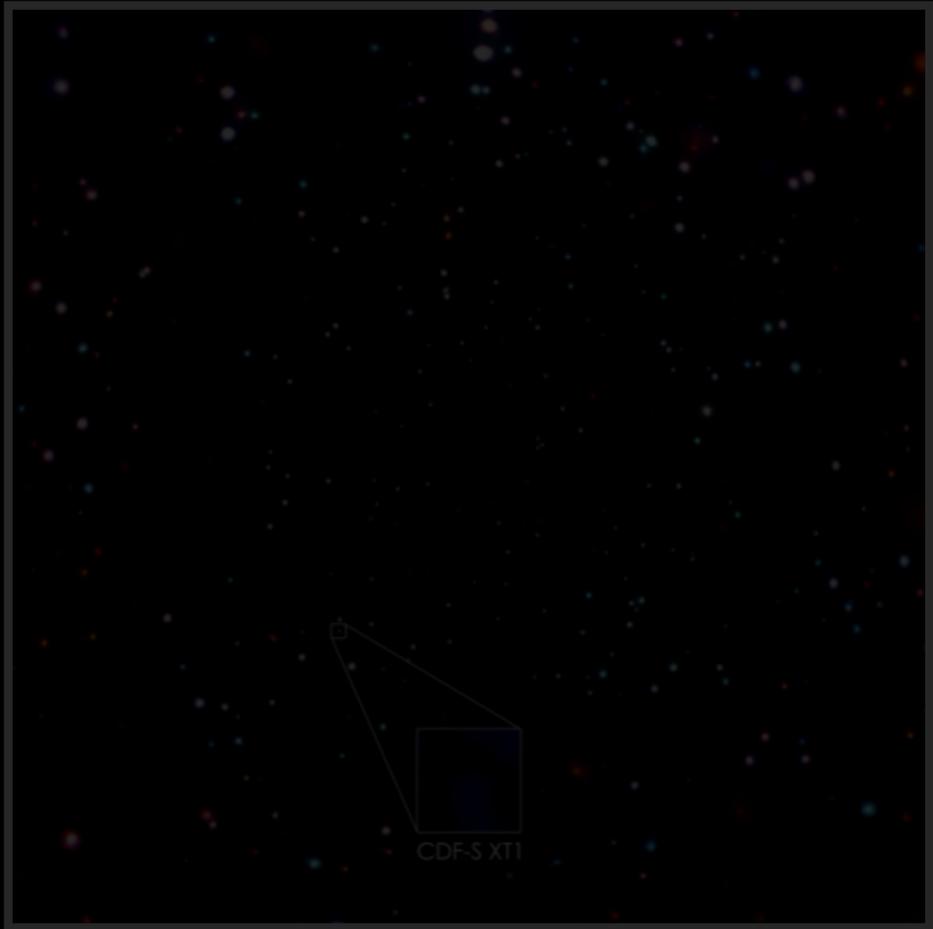


Sursauts gammas

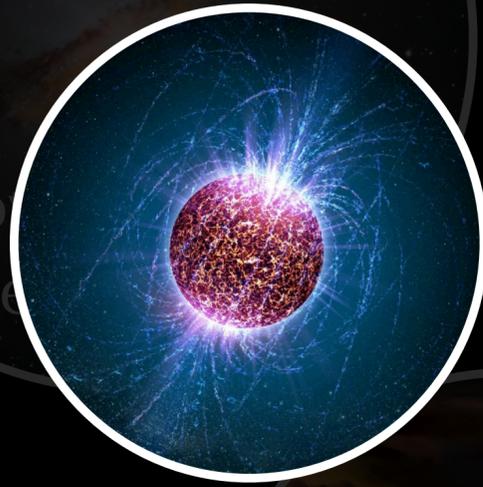
Le ciel transitoire

Les « événements transitoires » sont des phénomènes astrophysiques variables qui se déroulent pendant un temps limité.

Exemple d'une source transitoire



Lié à la présence d'un objet **compact**



Etoile à neutrons



Trou noir



Supernova



Systemes binaires X

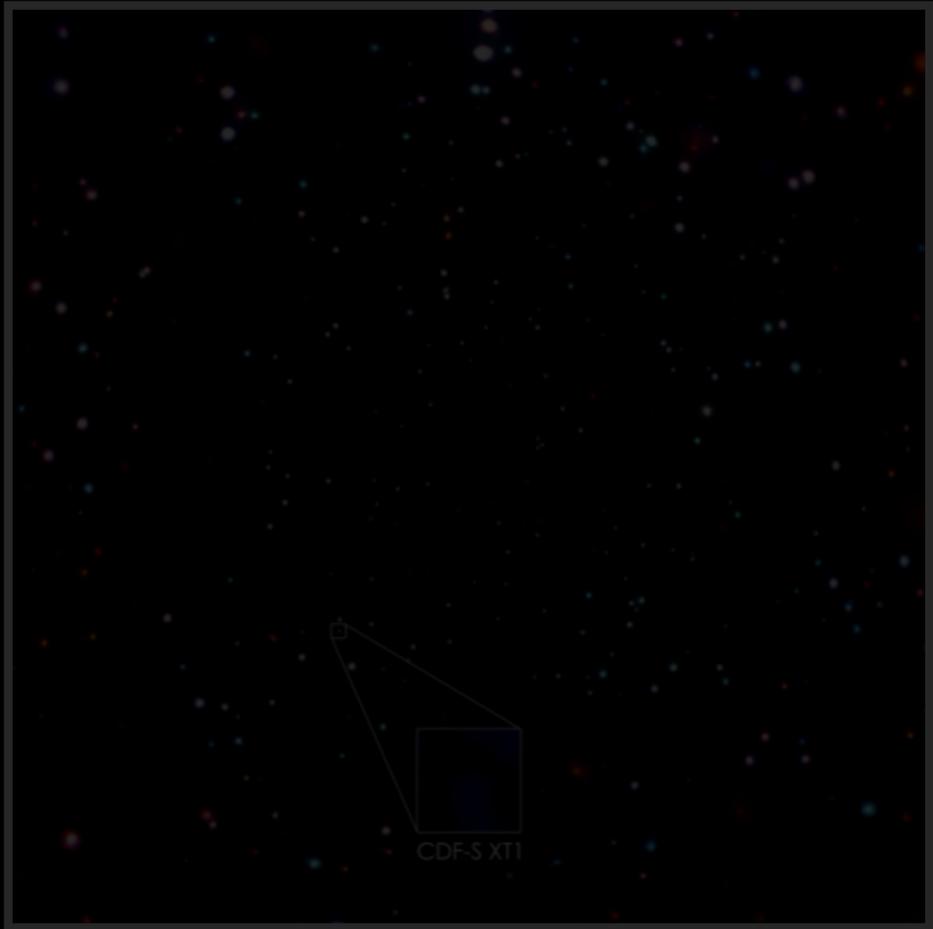


Sursauts gammas

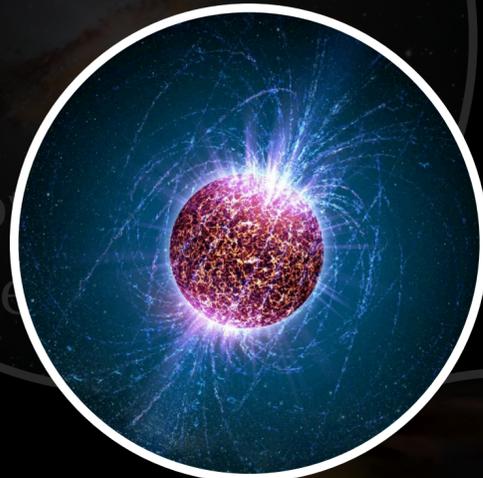
Le ciel transitoire

Les « événements transitoires » sont des phénomènes astrophysiques variables qui se déroulent pendant un temps limité.

Exemple d'une source transitoire



Lié à la présence d'un objet **compact**



Etoile à neutrons



Trou noir



Systemes binaires X



Sursauts gammas

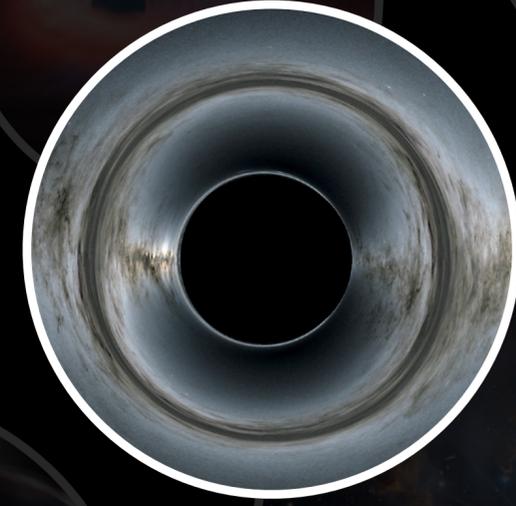
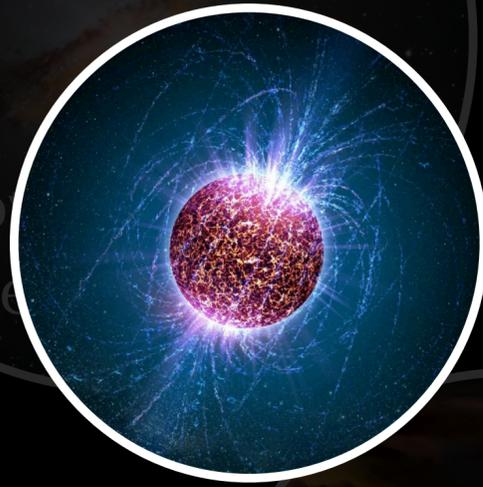
Le ciel transitoire

Les « événements transitoires » sont des phénomènes astrophysiques variables qui se déroulent pendant un temps limité.

Exemple d'une source transitoire

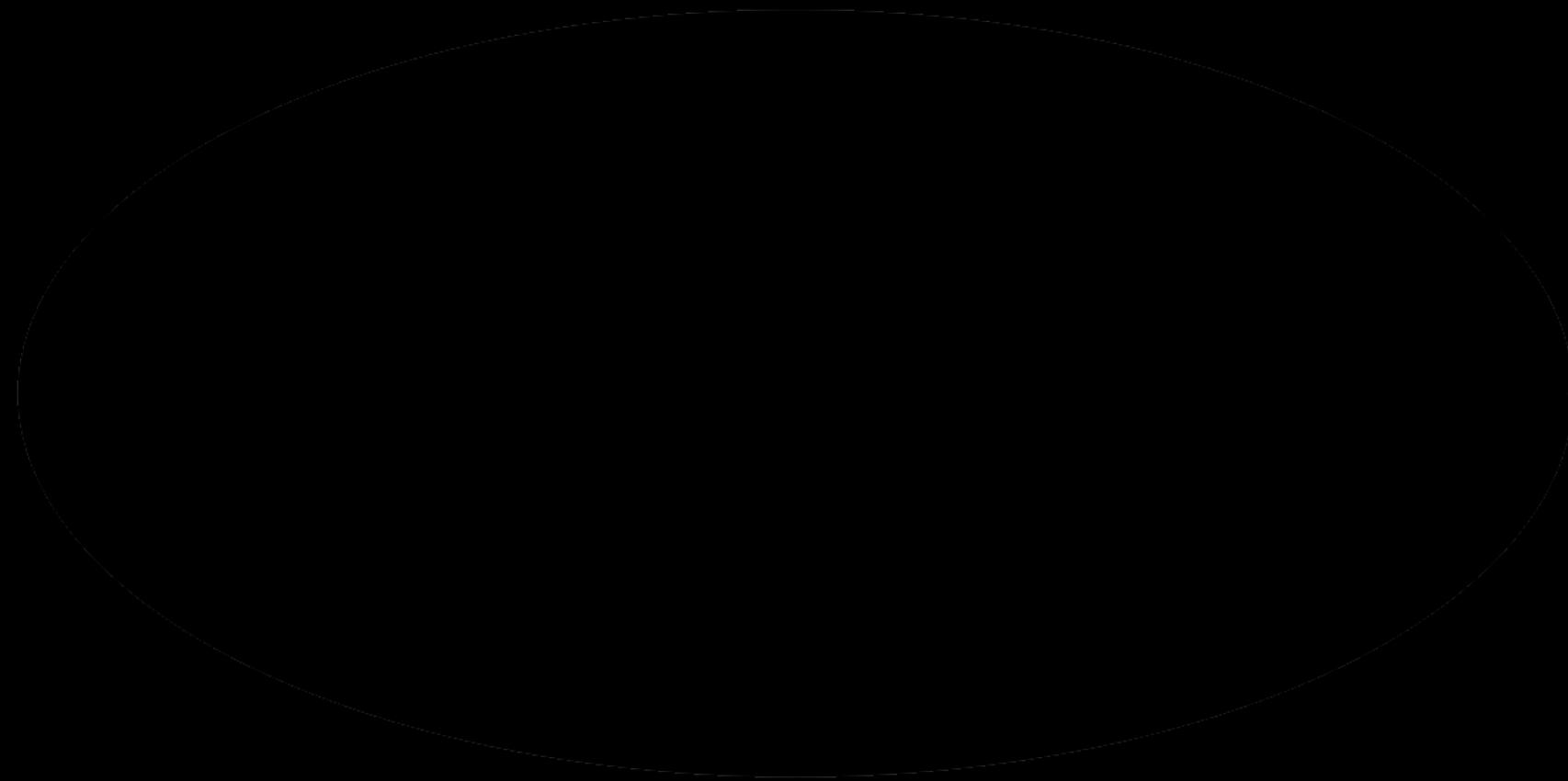


Lié à la présence d'un objet **compact**



Sursauts gamma

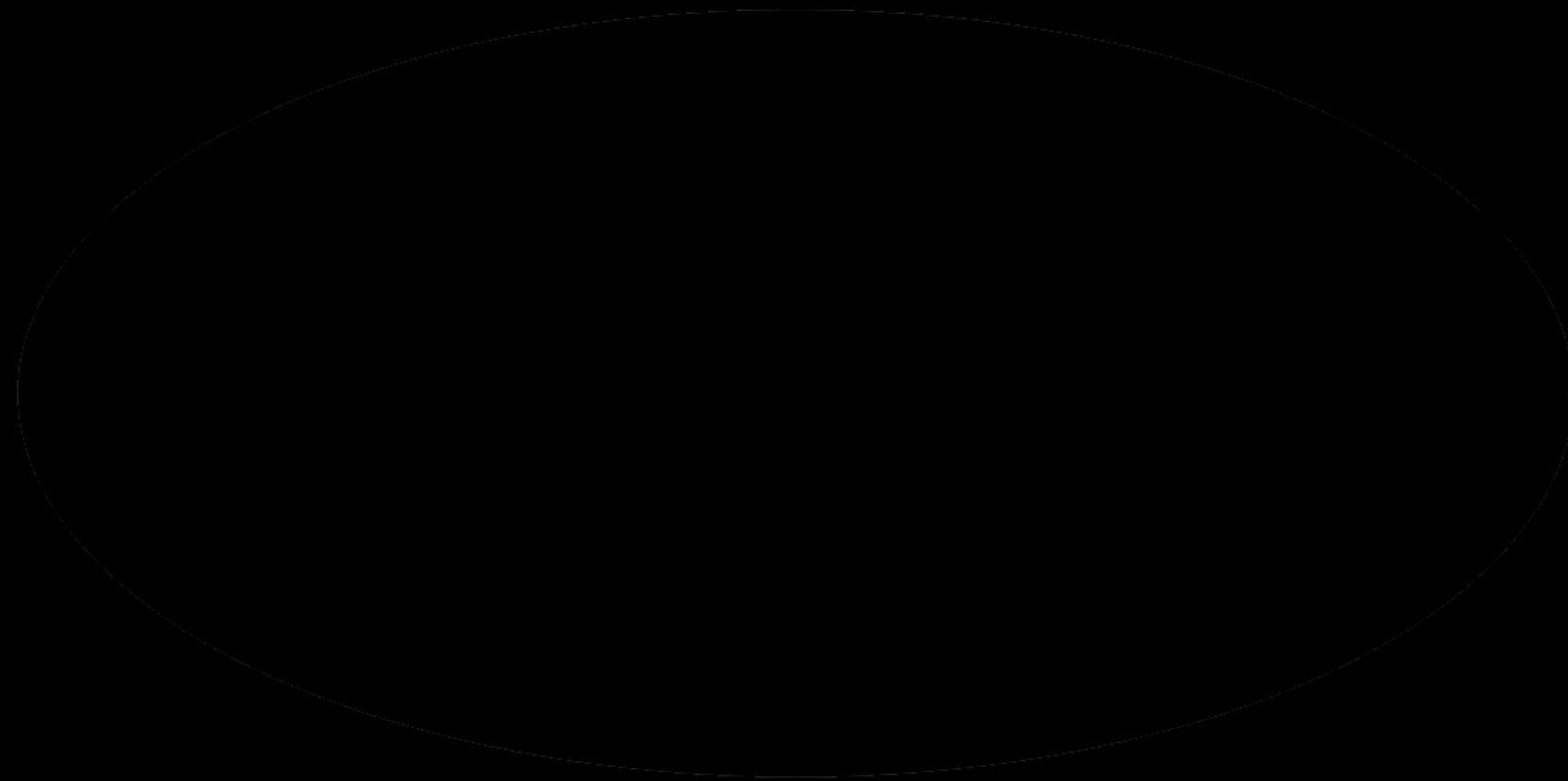
Les sursauts gamma sont des flashes de rayons X et gamma détectés depuis des endroits aléatoires dans l'Univers



En quelques secondes, les sursauts gamma émettent autant d'énergie que notre Soleil en libérera pendant toute sa durée de vie de 10 millions d'années

Sursauts gamma

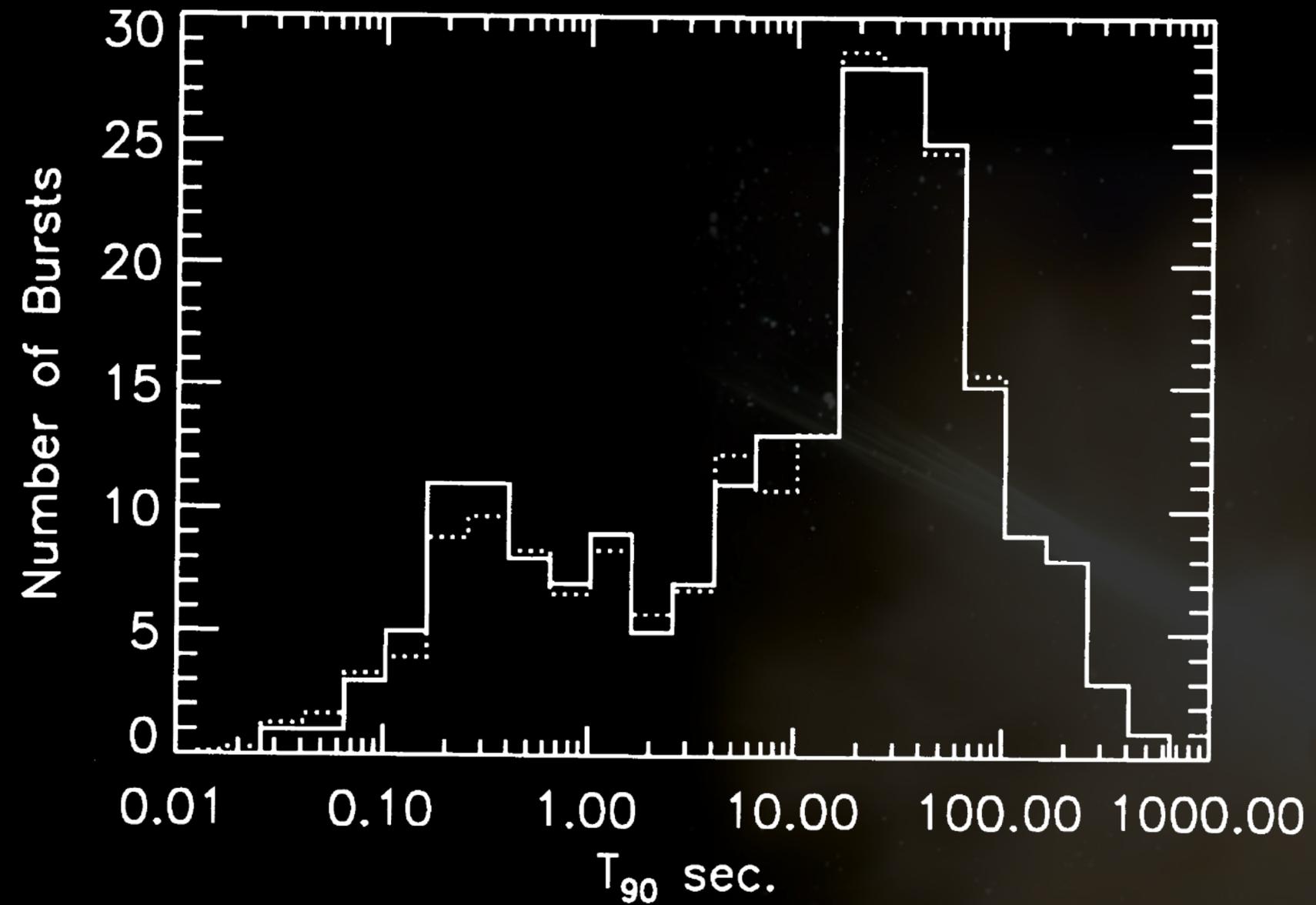
Les sursauts gamma sont des flashes de rayons X et gamma détectés depuis des endroits aléatoires dans l'Univers



En quelques secondes, les sursauts gamma émettent autant d'énergie que notre Soleil en libérera pendant toute sa durée de vie de 10 millions d'années

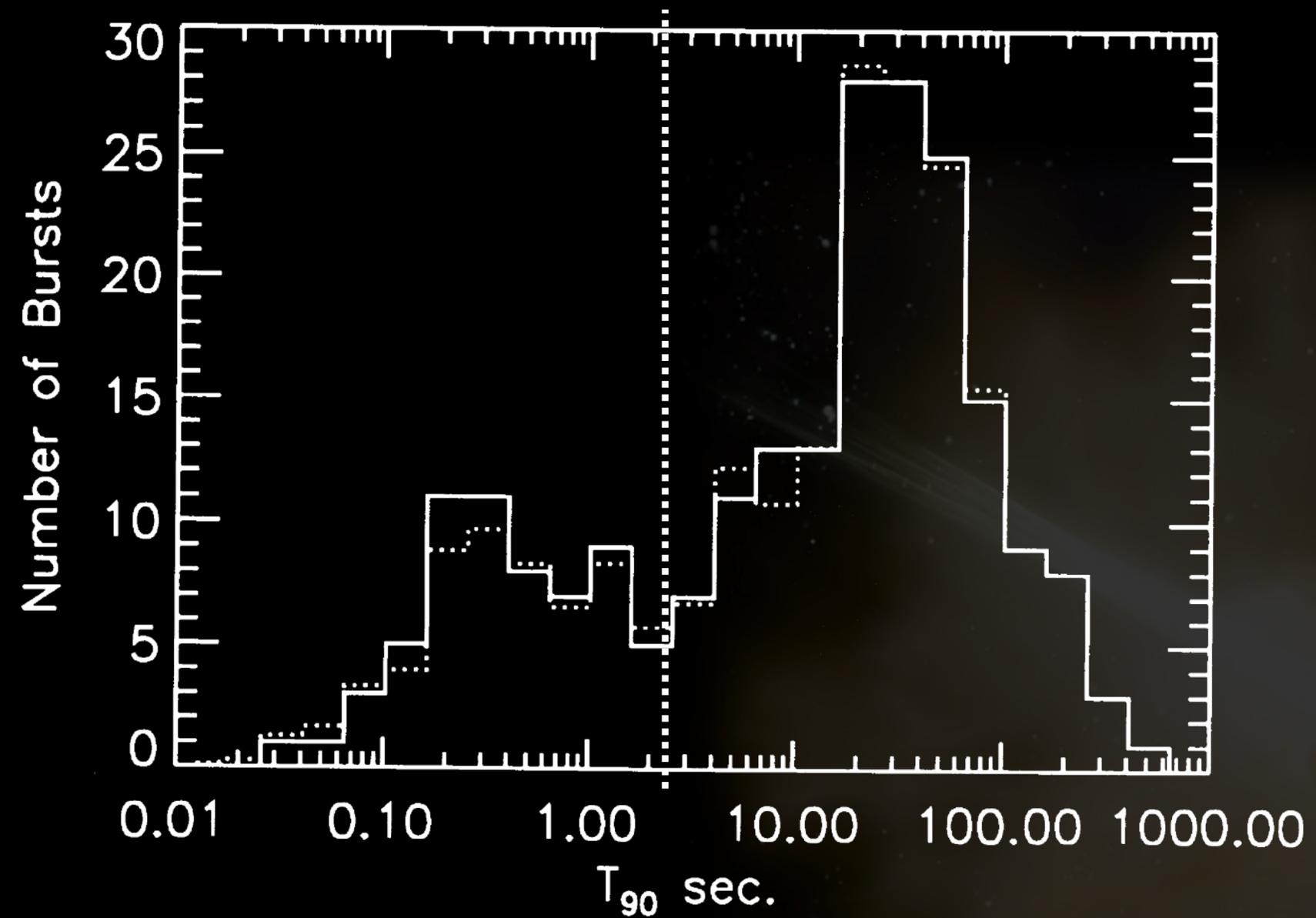
Sursauts gamma

Deux types de sursauts gamma



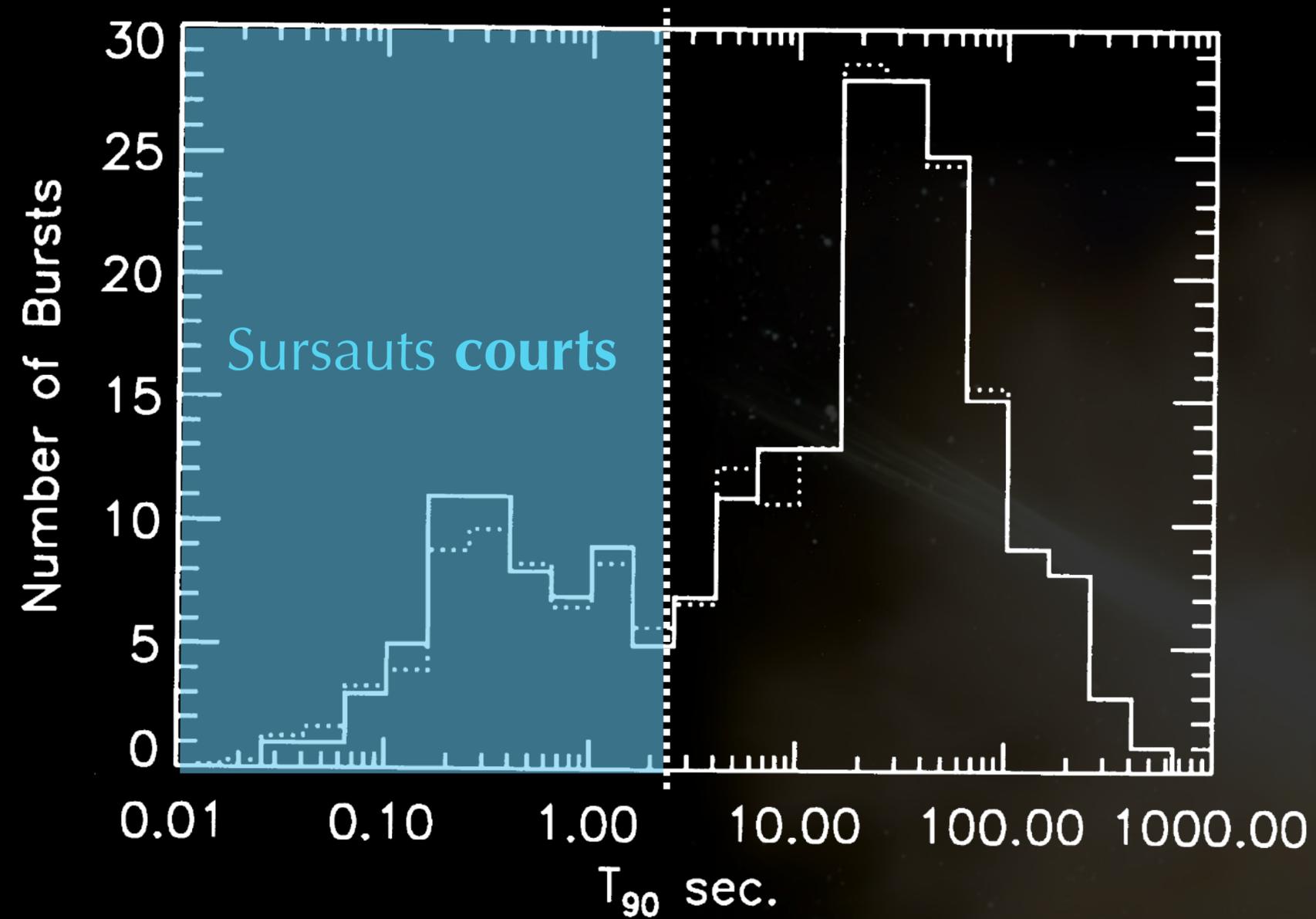
Sursauts gamma

Deux types de sursauts gamma



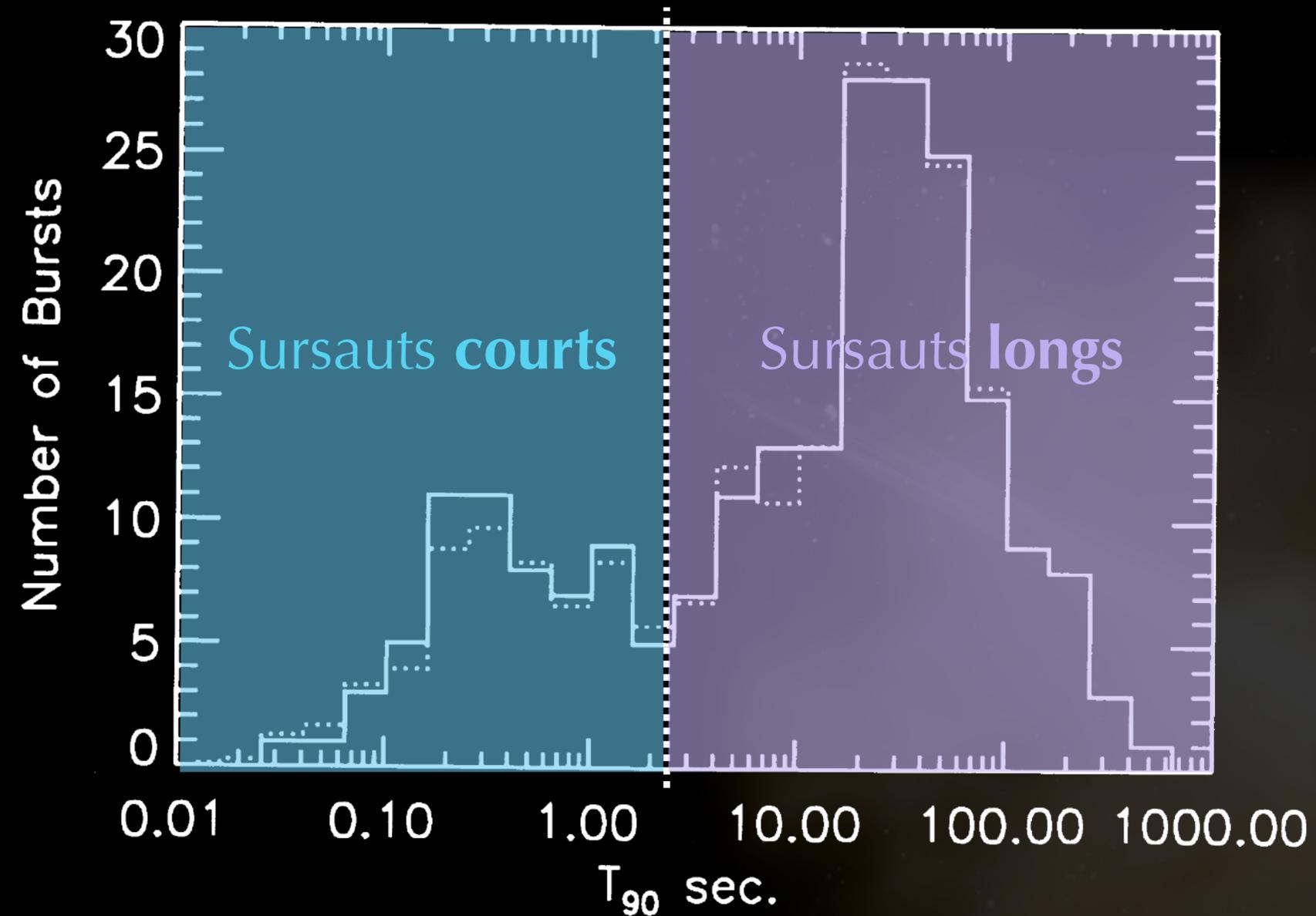
Sursauts gamma

Deux types de sursauts gamma



Sursauts gamma

Deux types de sursauts gamma

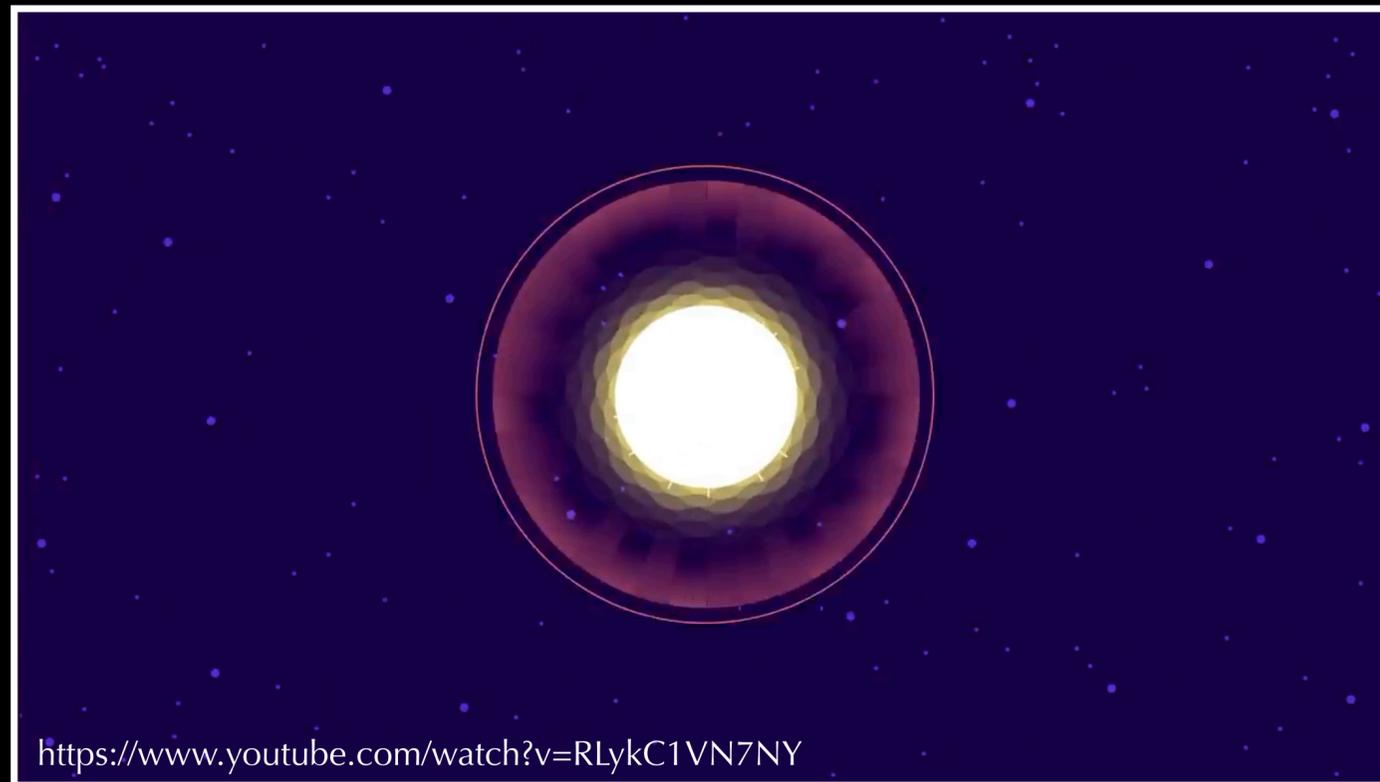


Sursauts gamma

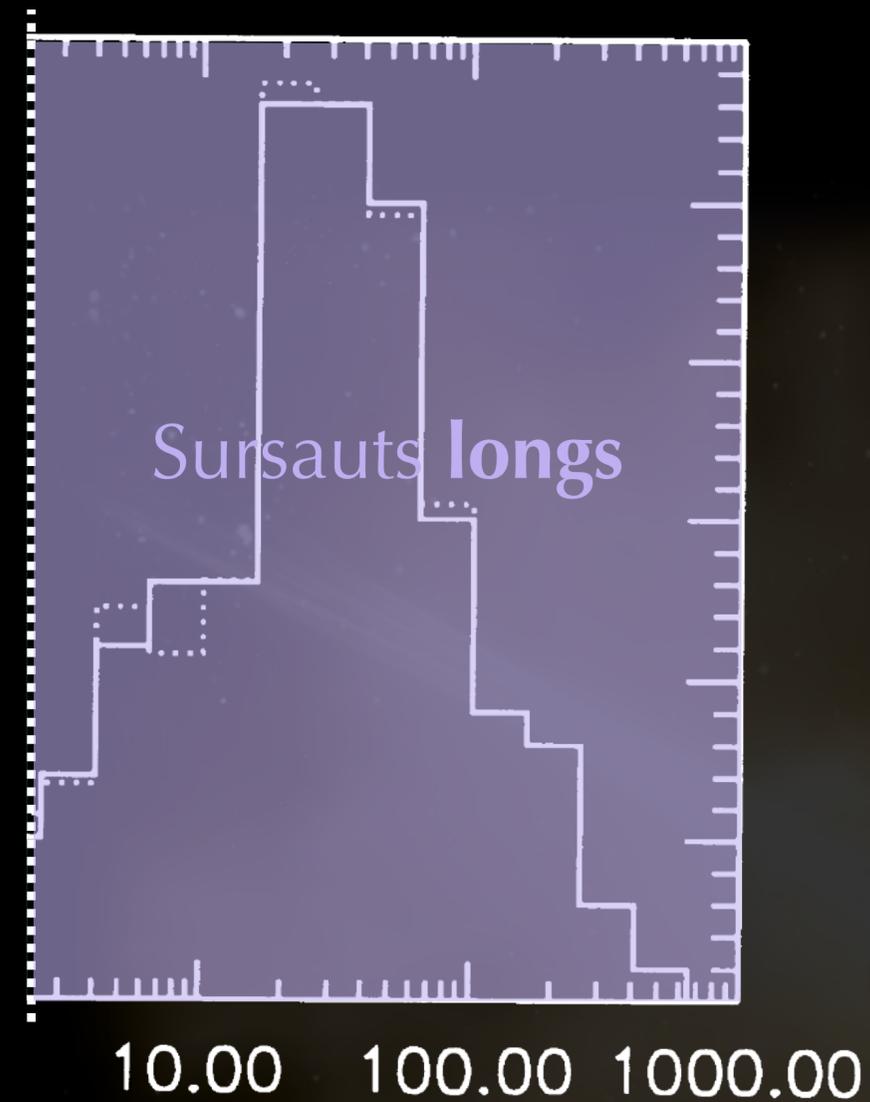
Deux types de sursauts gamma

Sursauts gamma longs

Provoqués par la mort d'une étoile massive



Durent quelques dizaines de secondes

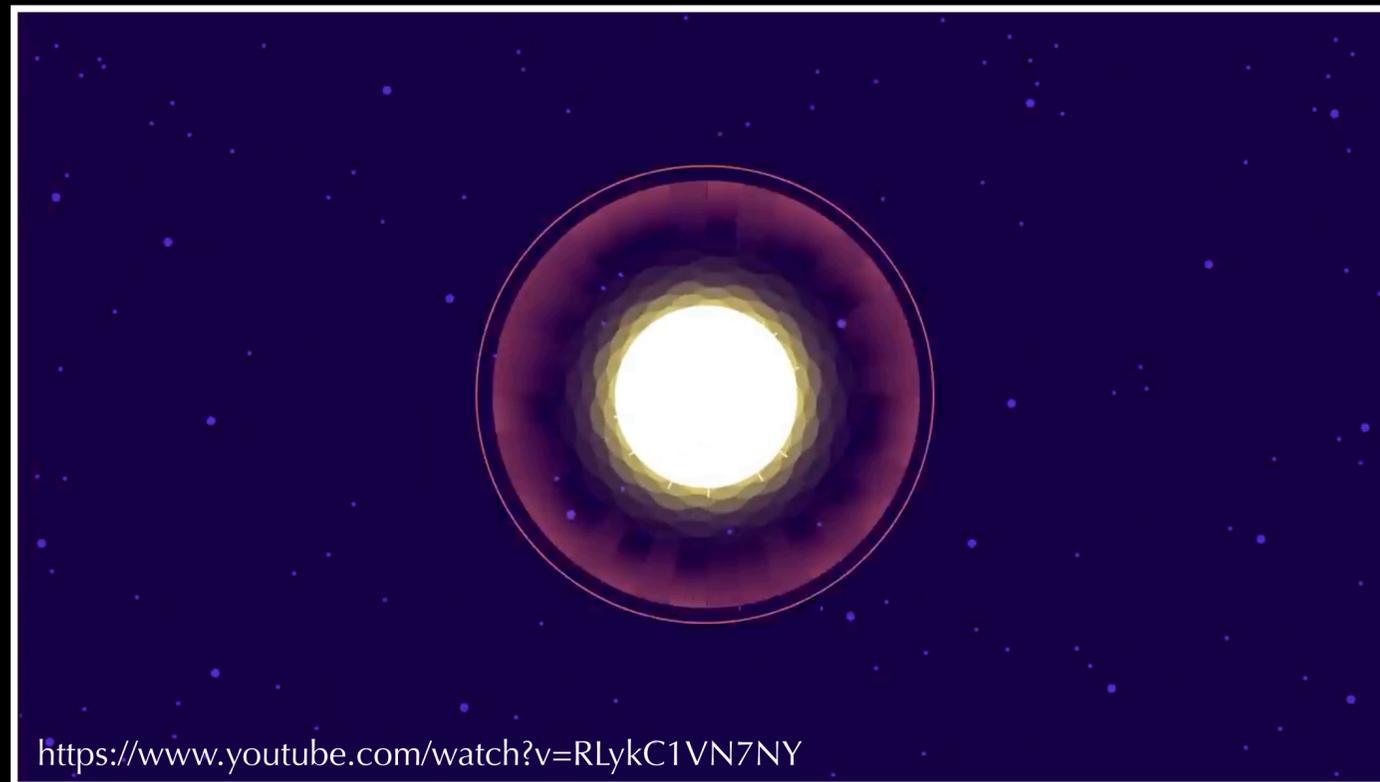


Sursauts gamma

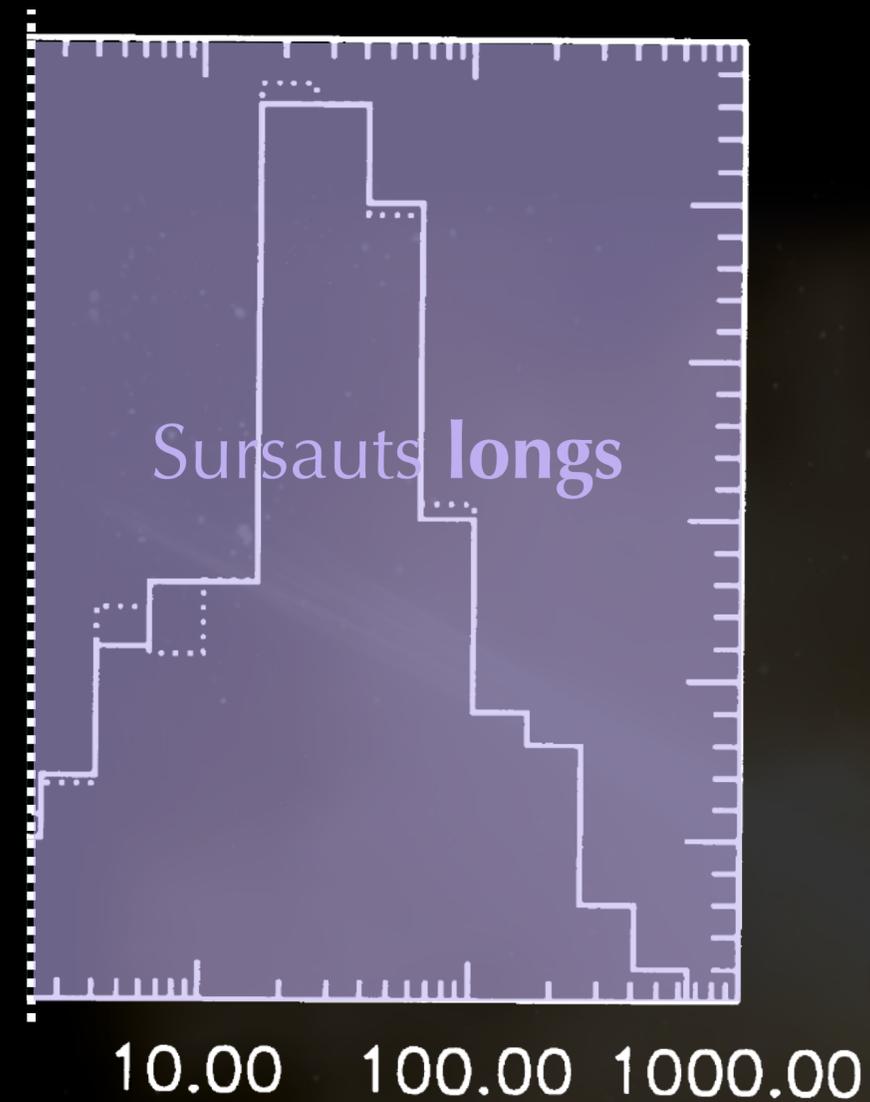
Deux types de sursauts gamma

Sursauts gamma longs

Provoqués par la mort d'une étoile massive

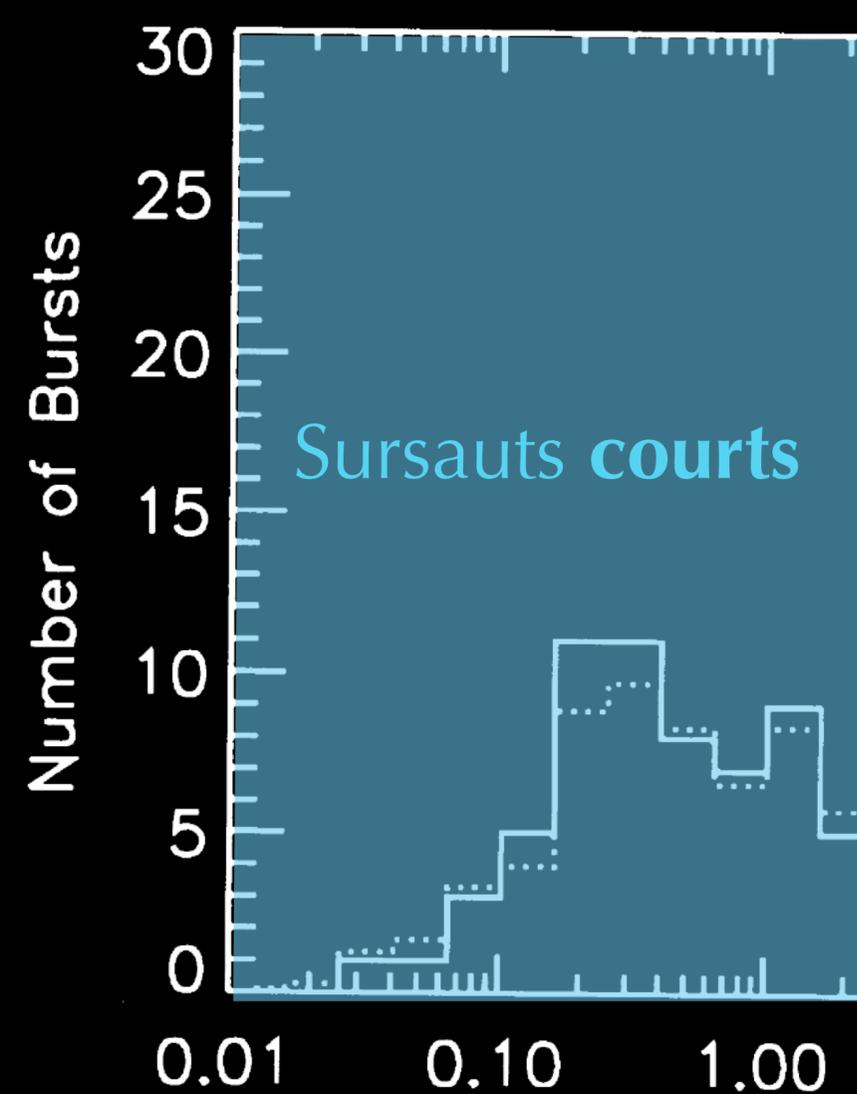


Durent quelques dizaines de secondes



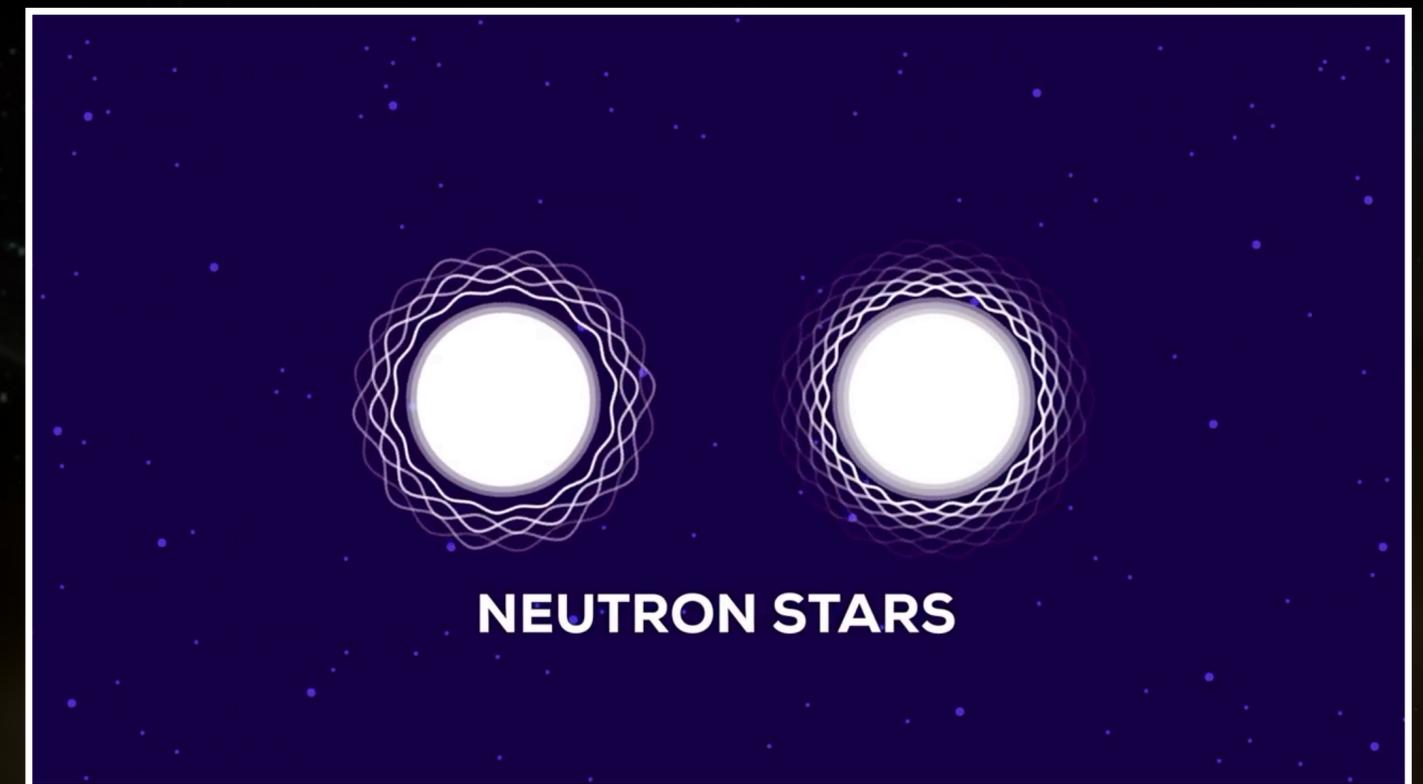
Sursauts gamma

Deux types de sursauts gamma



Sursauts gamma courts

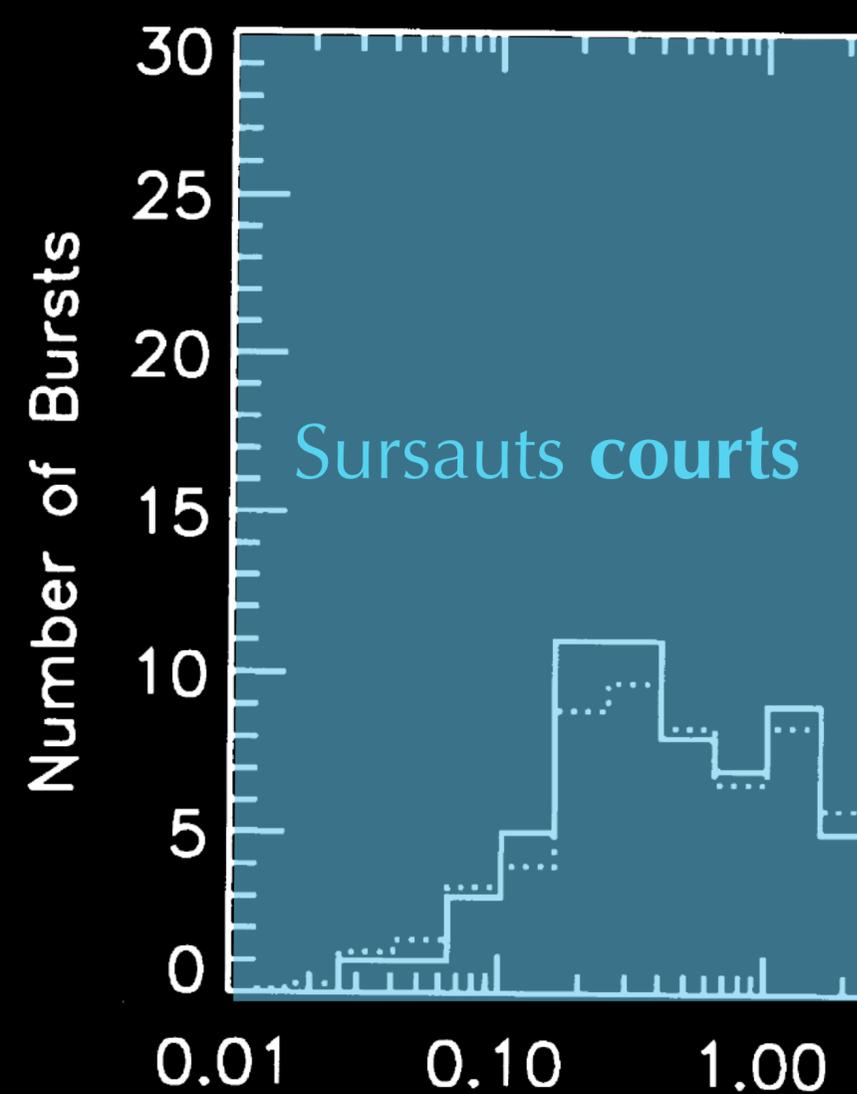
Provoqués par la fusion de deux étoiles à neutrons



Durent quelques fractions secondes

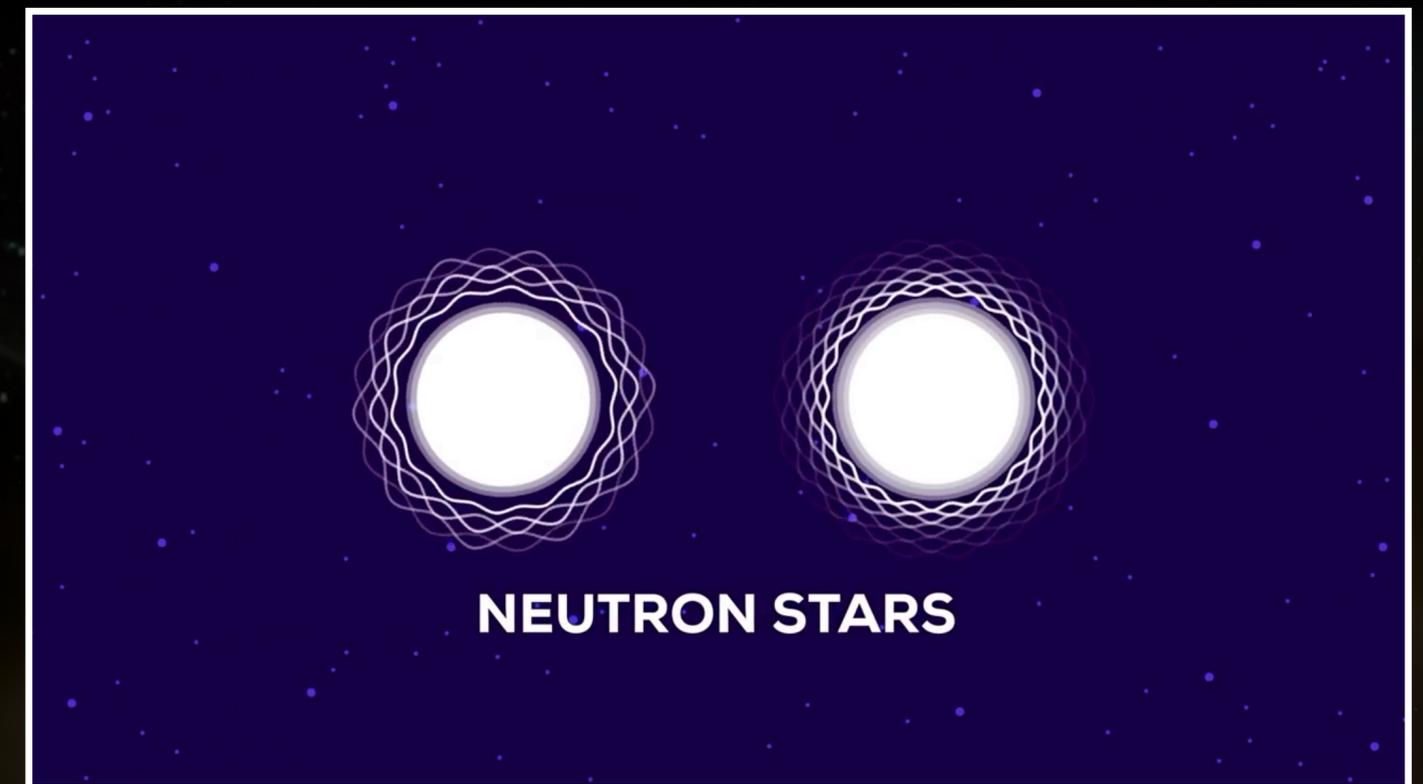
Sursauts gamma

Deux types de sursauts gamma



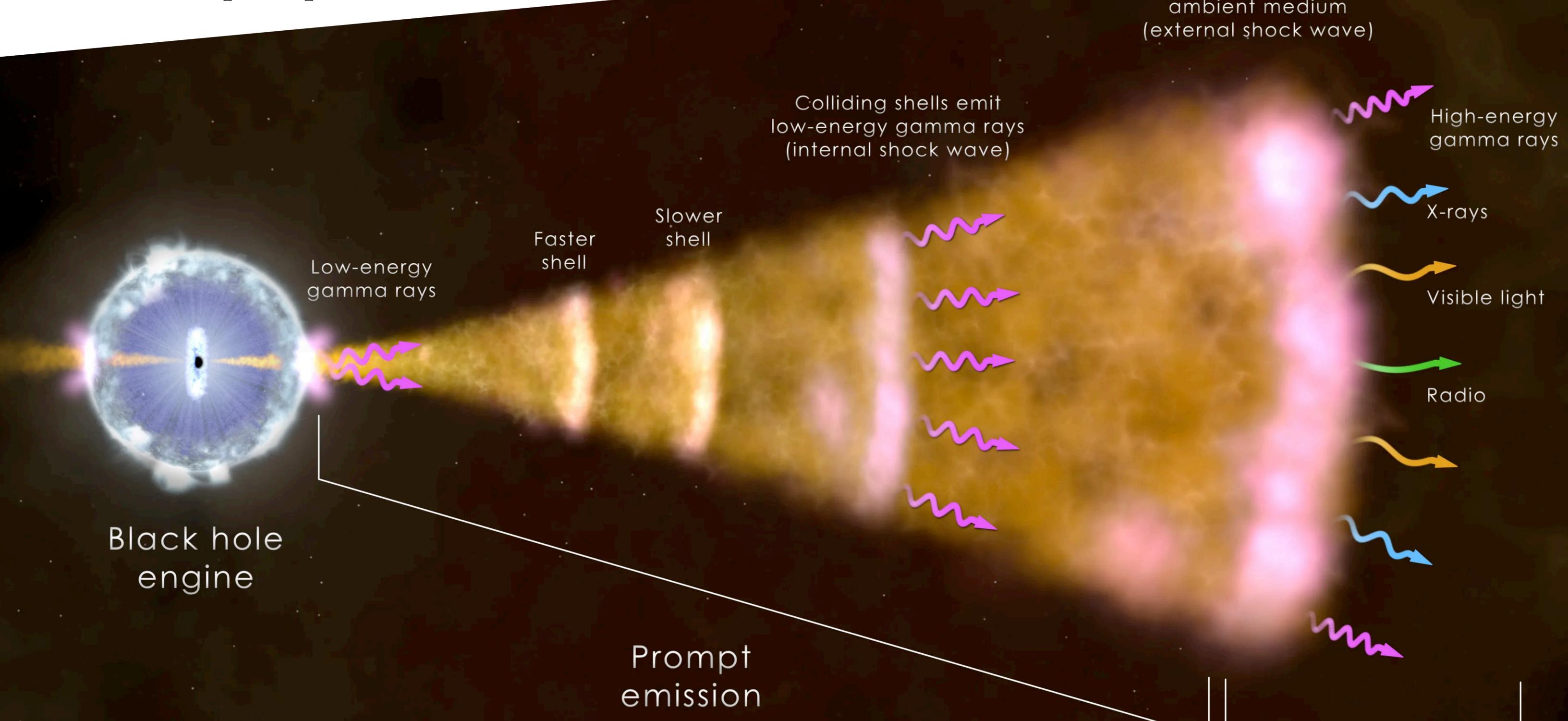
Sursauts gamma courts

Provoqués par la fusion de deux étoiles à neutrons



Durent quelques fractions secondes

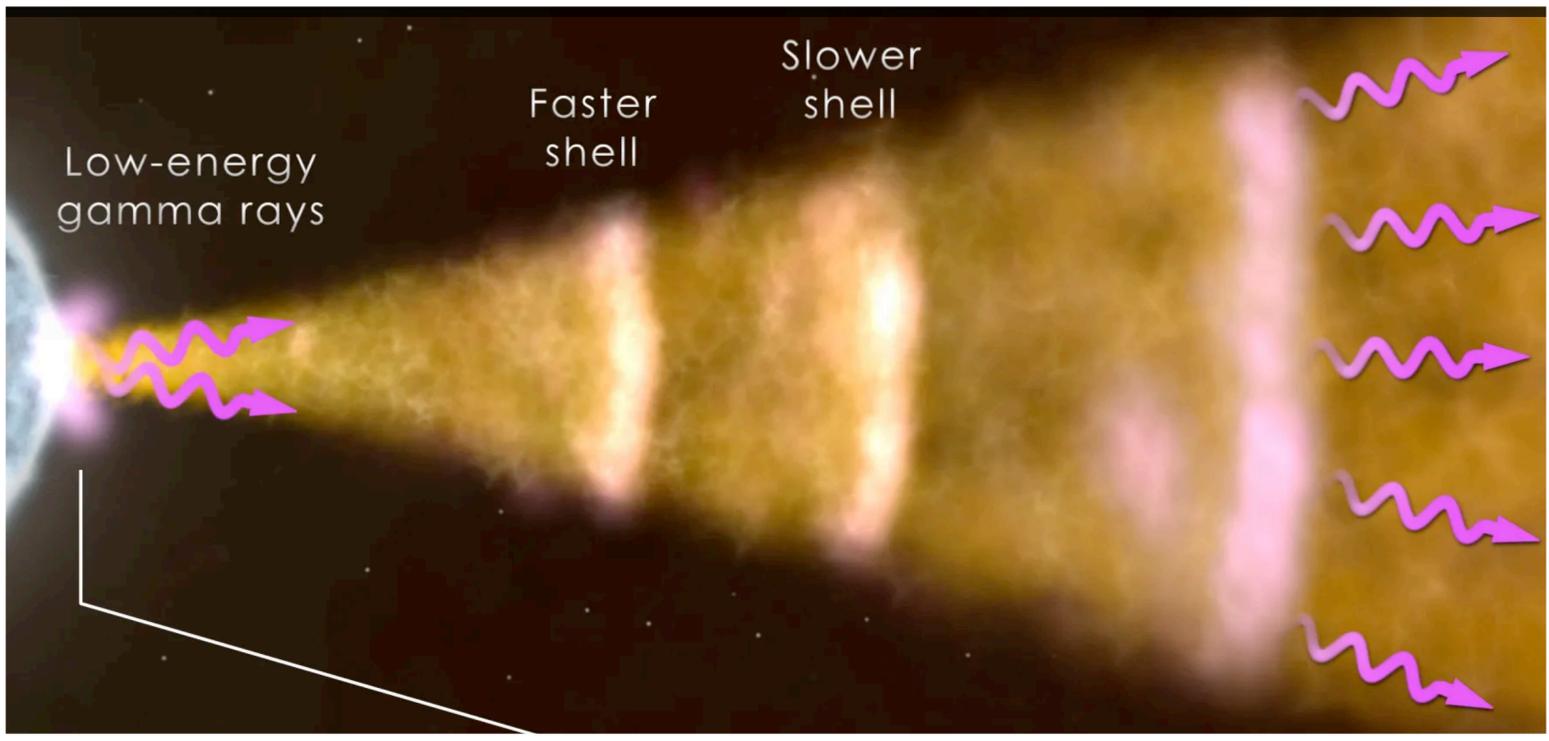
Scénario proposé



Plusieurs étapes expliquant l'apparition du sursaut

Scénario proposé

Paquets de particules éjectés dans une direction particulière



Jet collides with ambient medium (external shock wave)

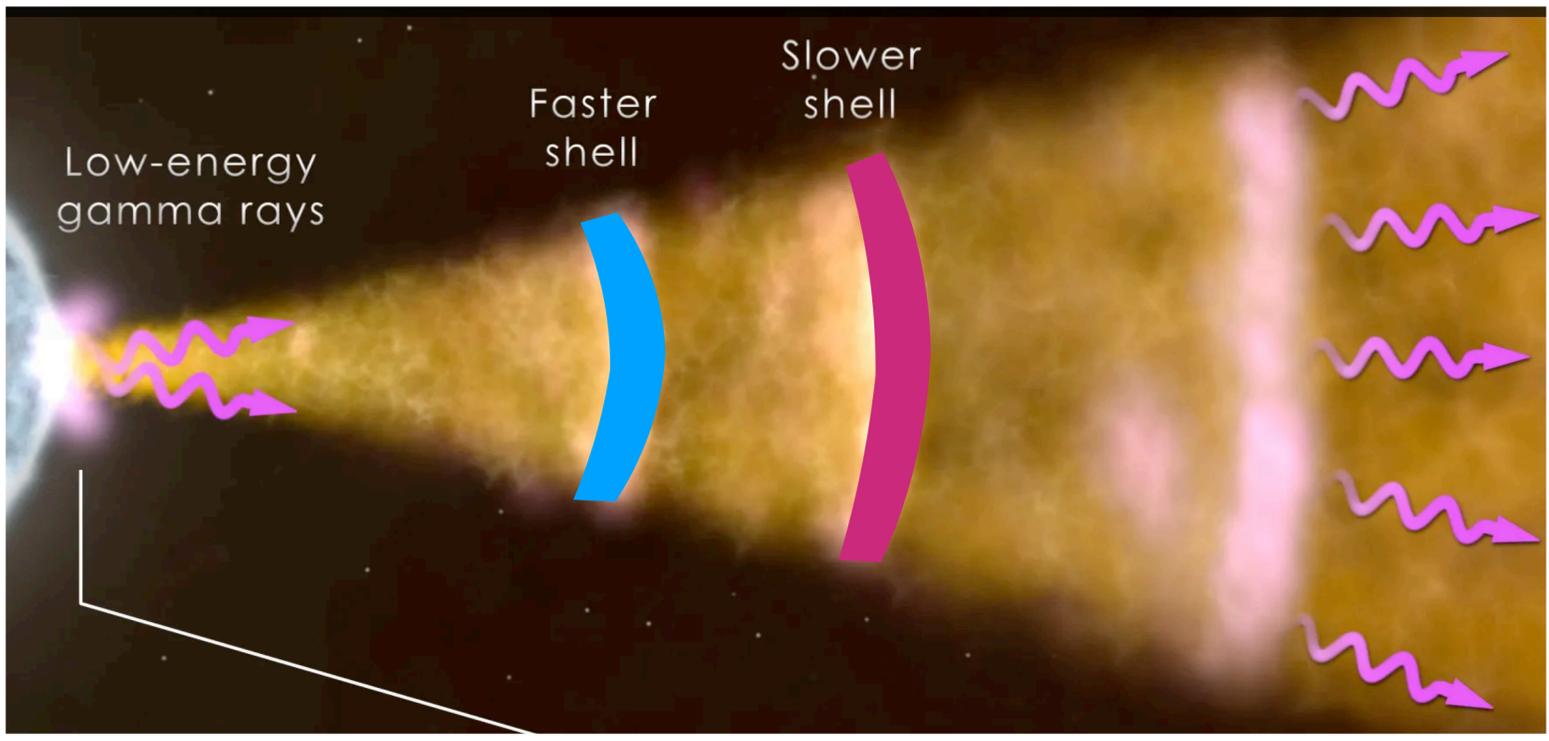


Prompt emission

1. Production de jets ultra-relativistes (distance Terre-Jupiter en 40 minutes)

Scénario proposé

Couches de matière expulsées à des vitesses différentes



Colliding shells emit low-energy gamma rays (internal shock wave)

Jet collides with ambient medium (external shock wave)



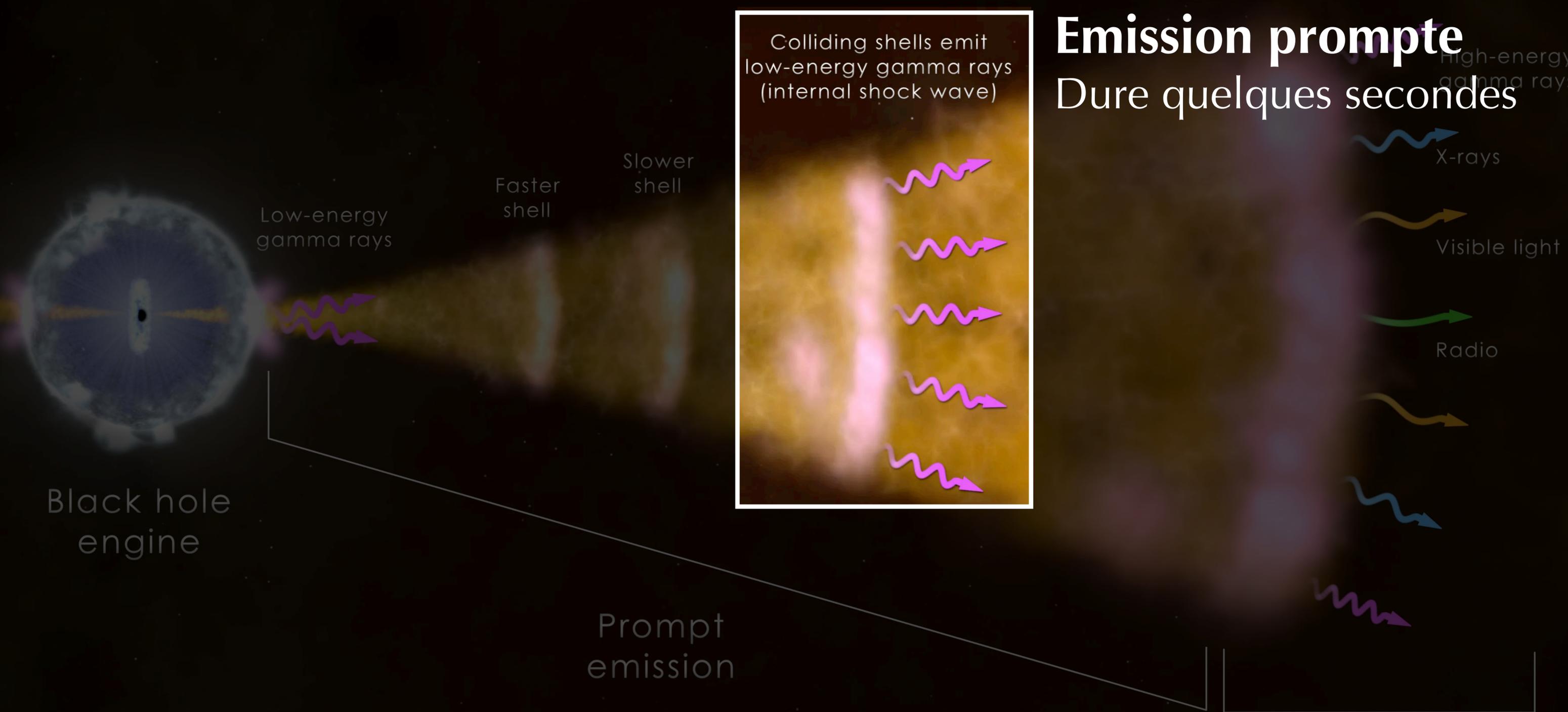
Afterglow

Black hole engine

Prompt emission

2. Chocs violents entre différentes couches de matières

Scénario proposé



Emission prompt
Dure quelques secondes

3. Front de chocs engendre engendre la production de rayons gammas Afterglow

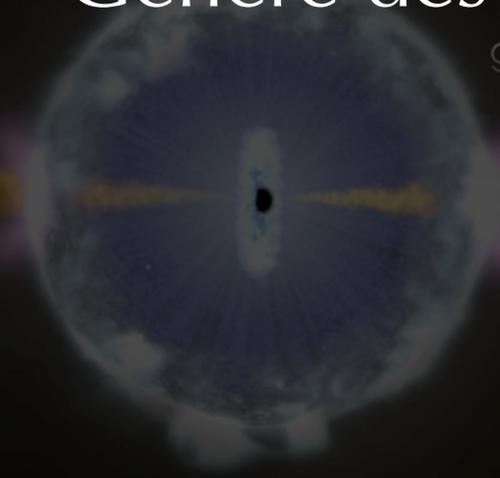
Scénario proposé

Emission rémanente

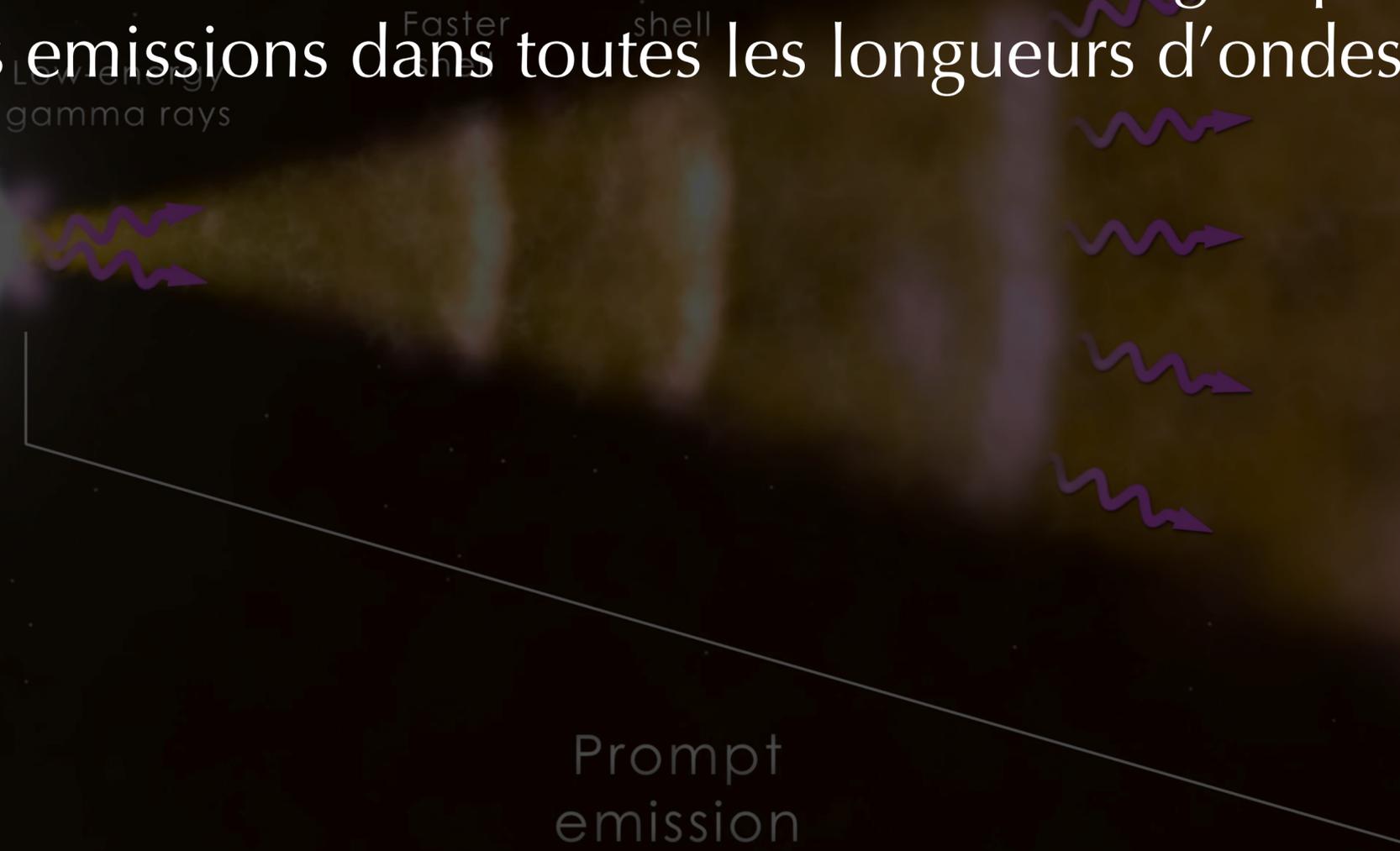
Dure plusieurs heures, jours voire mois

Moins énergétique

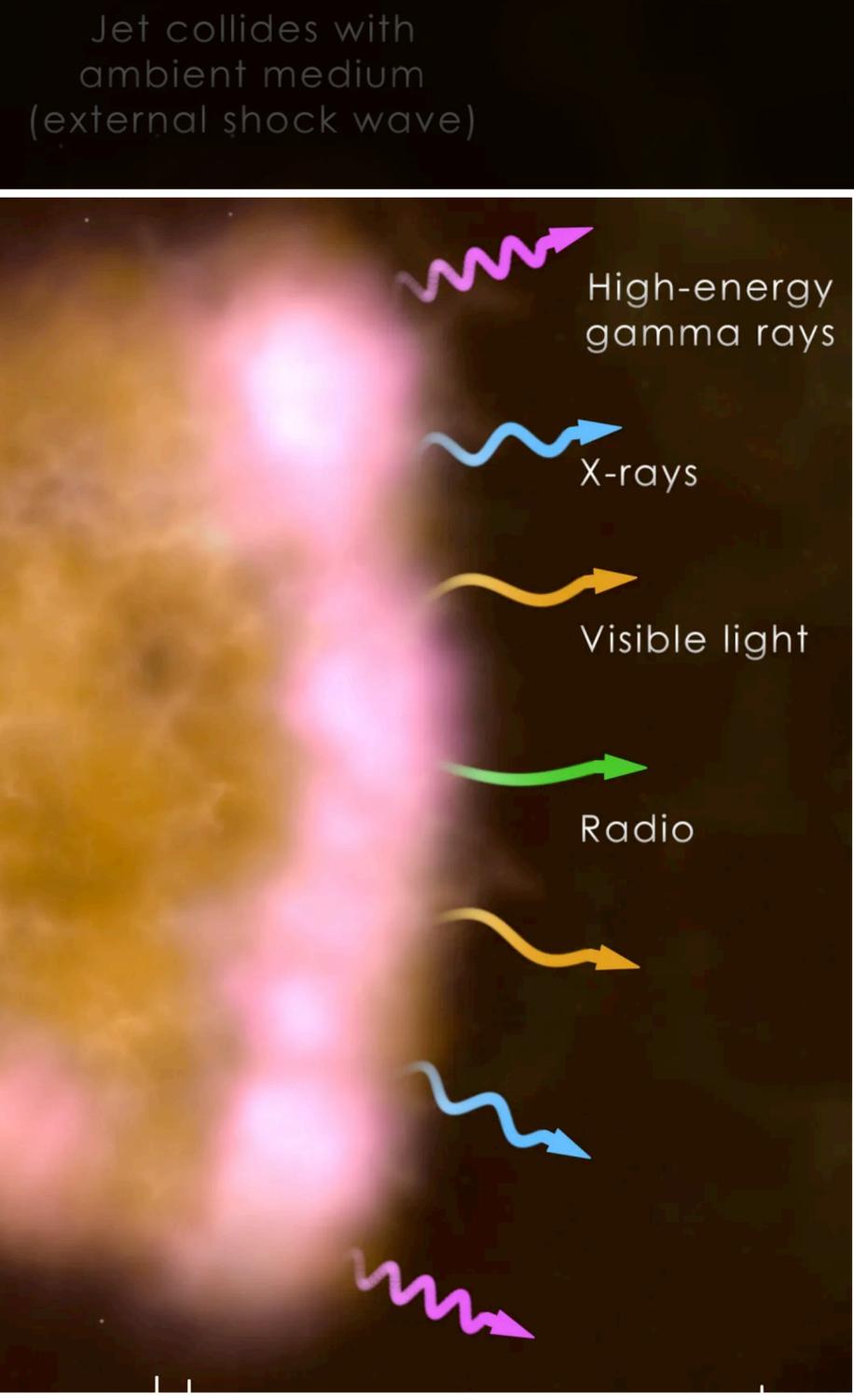
Génère des émissions dans toutes les longueurs d'ondes



Black hole engine



Prompt emission



Jet collides with ambient medium (external shock wave)

High-energy gamma rays

X-rays

Visible light

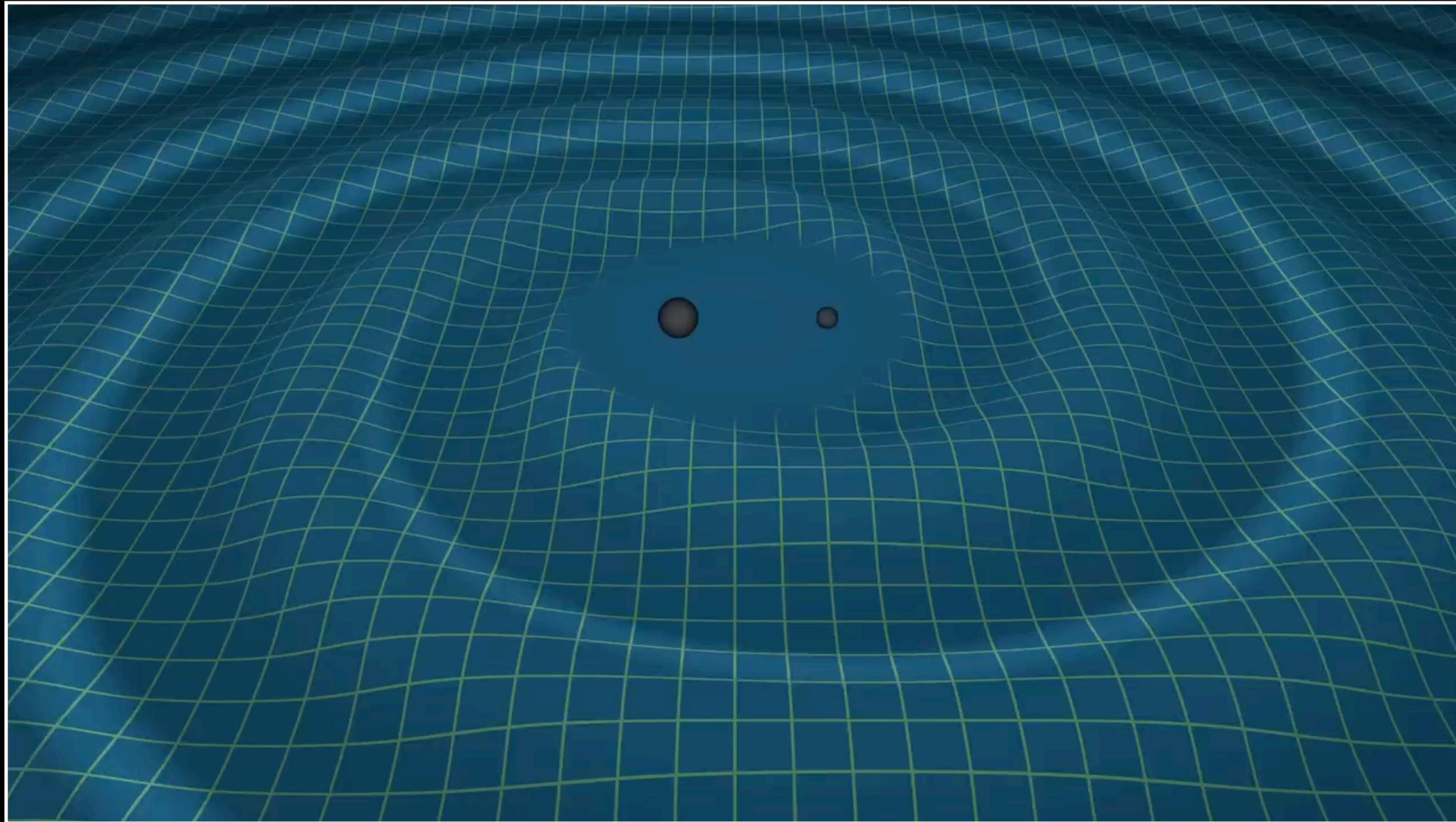
Radio

Afterglow

4. Les couches de matière interagissent avec le milieu extérieur

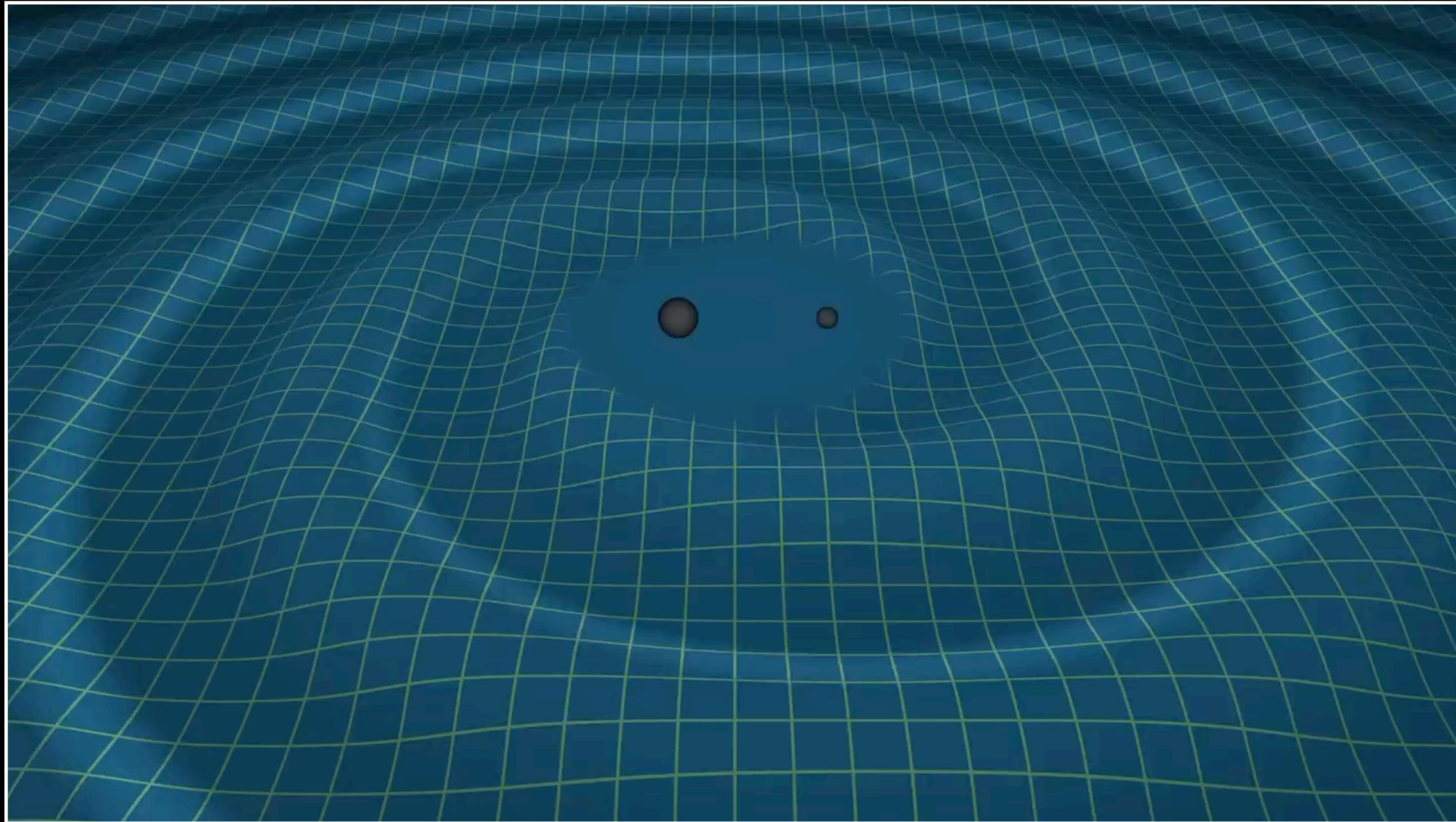
Les ondes gravitationnelles

Ondulation de l'espace-temps

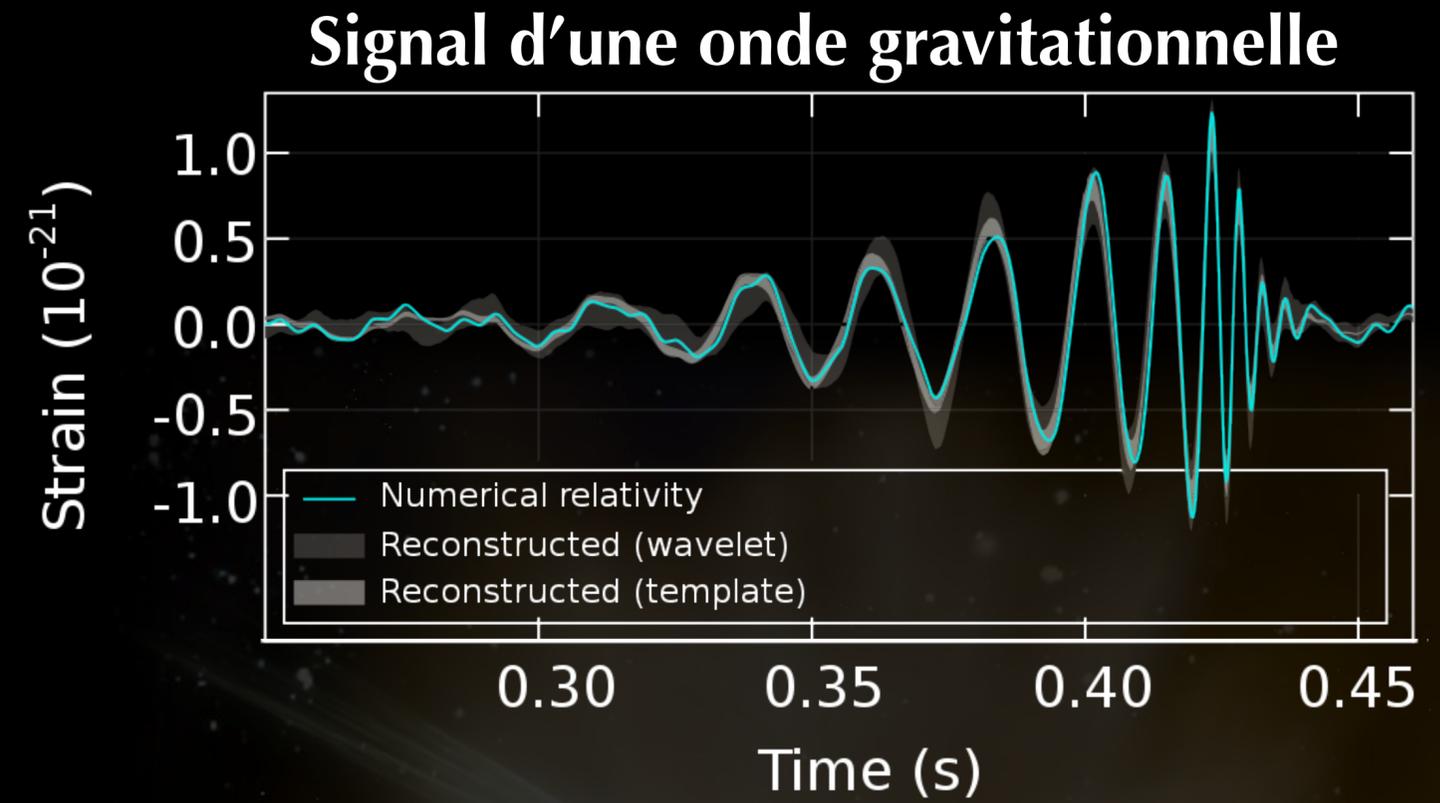
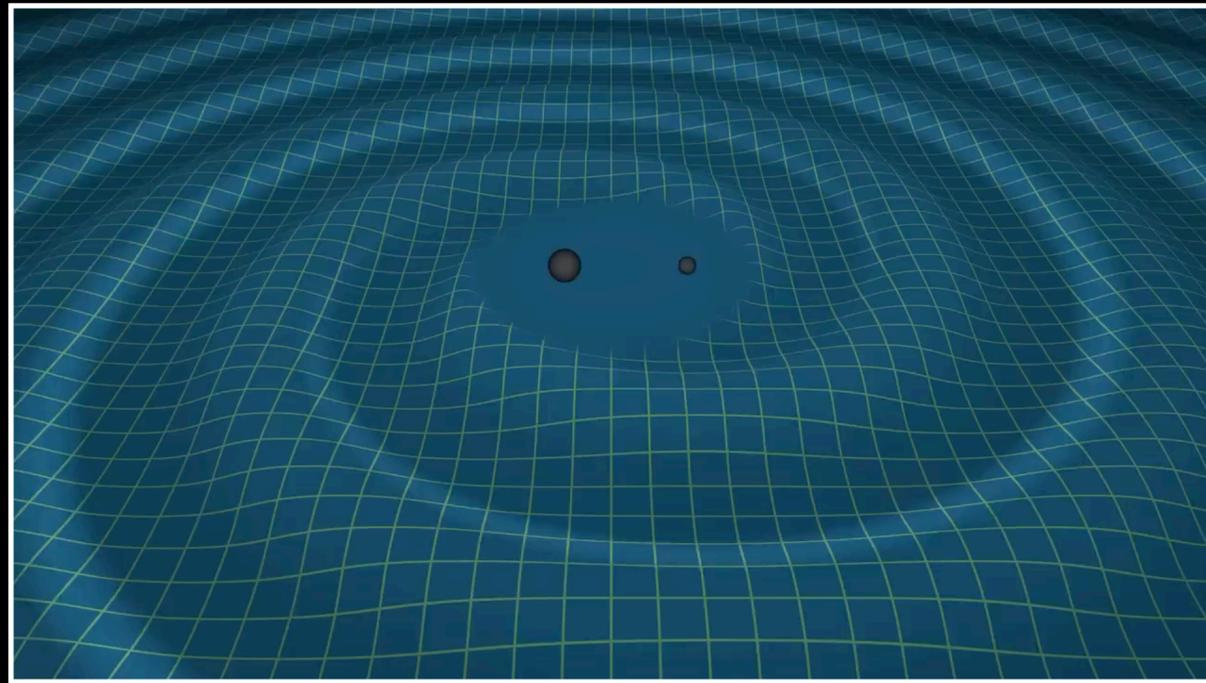


Les ondes gravitationnelles

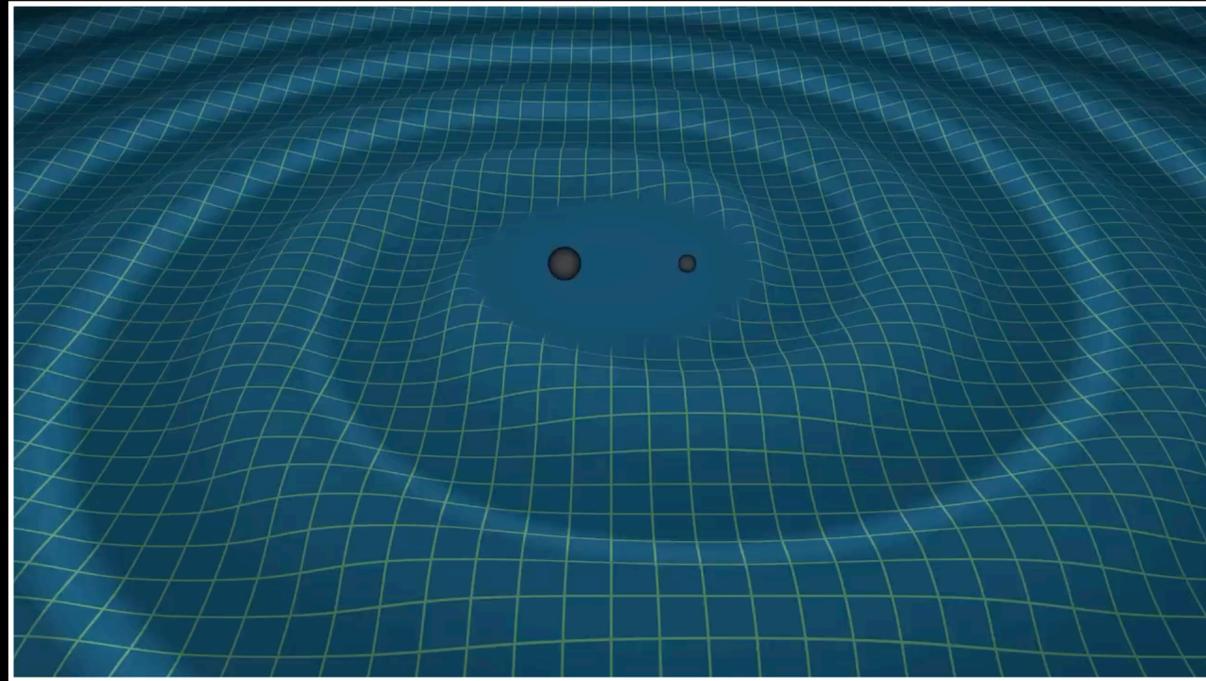
Ondulation de l'espace-temps



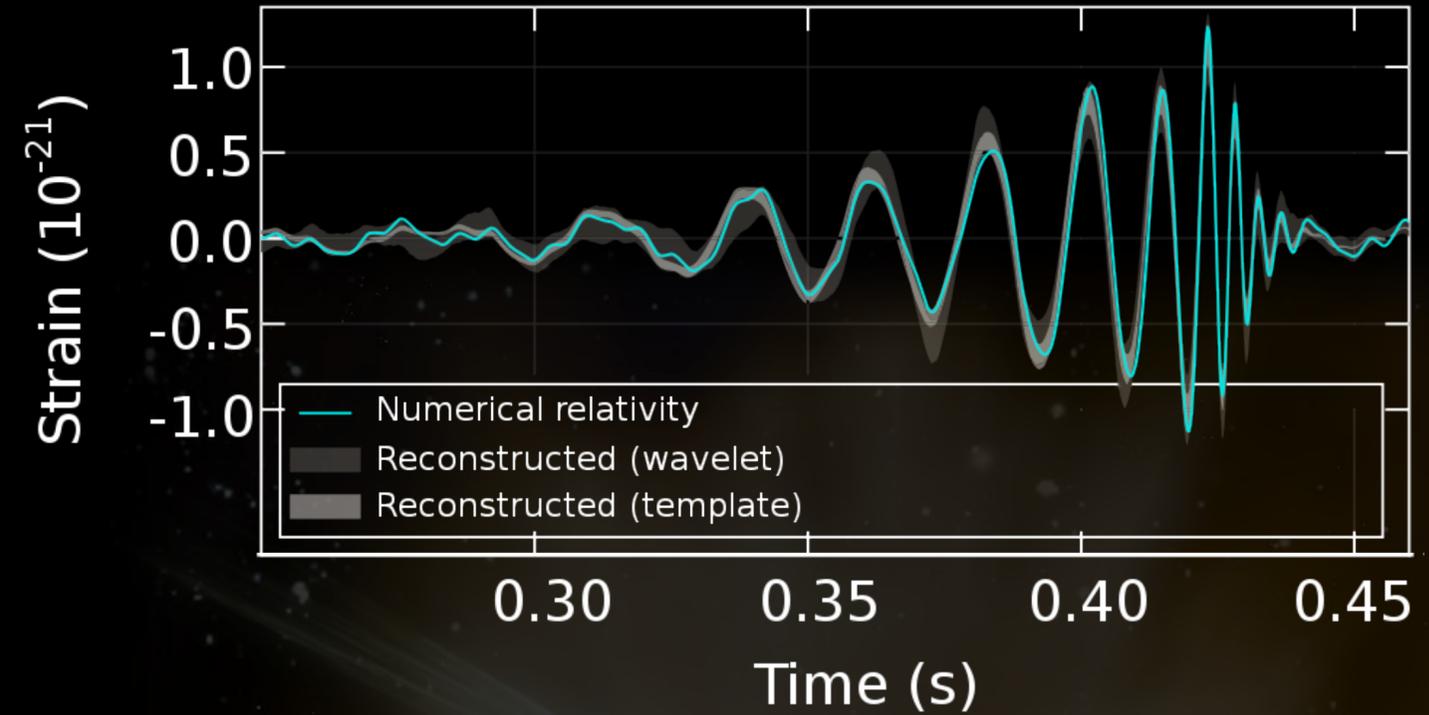
Les ondes gravitationnelles



Les ondes gravitationnelles



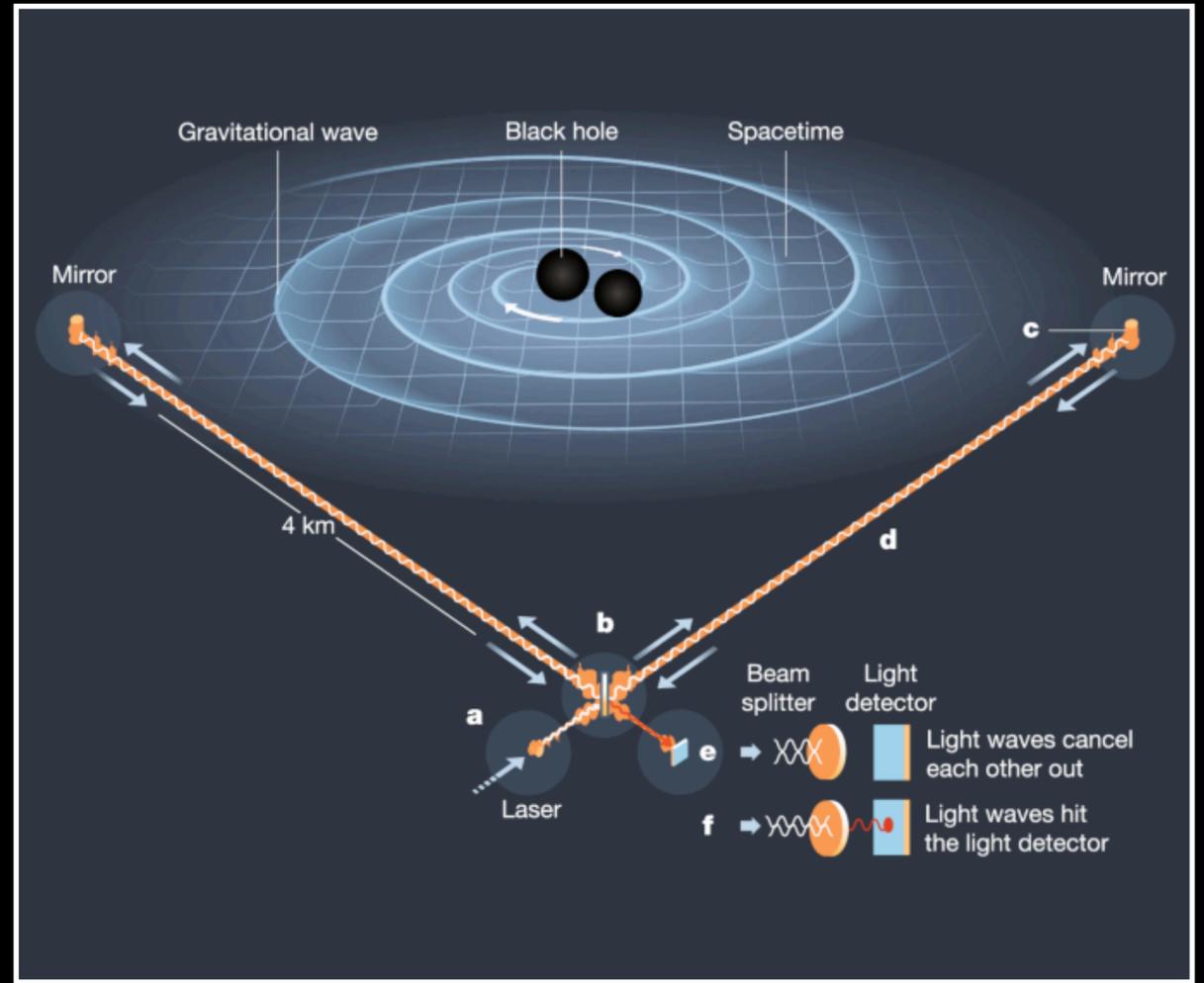
Signal d'une onde gravitationnelle



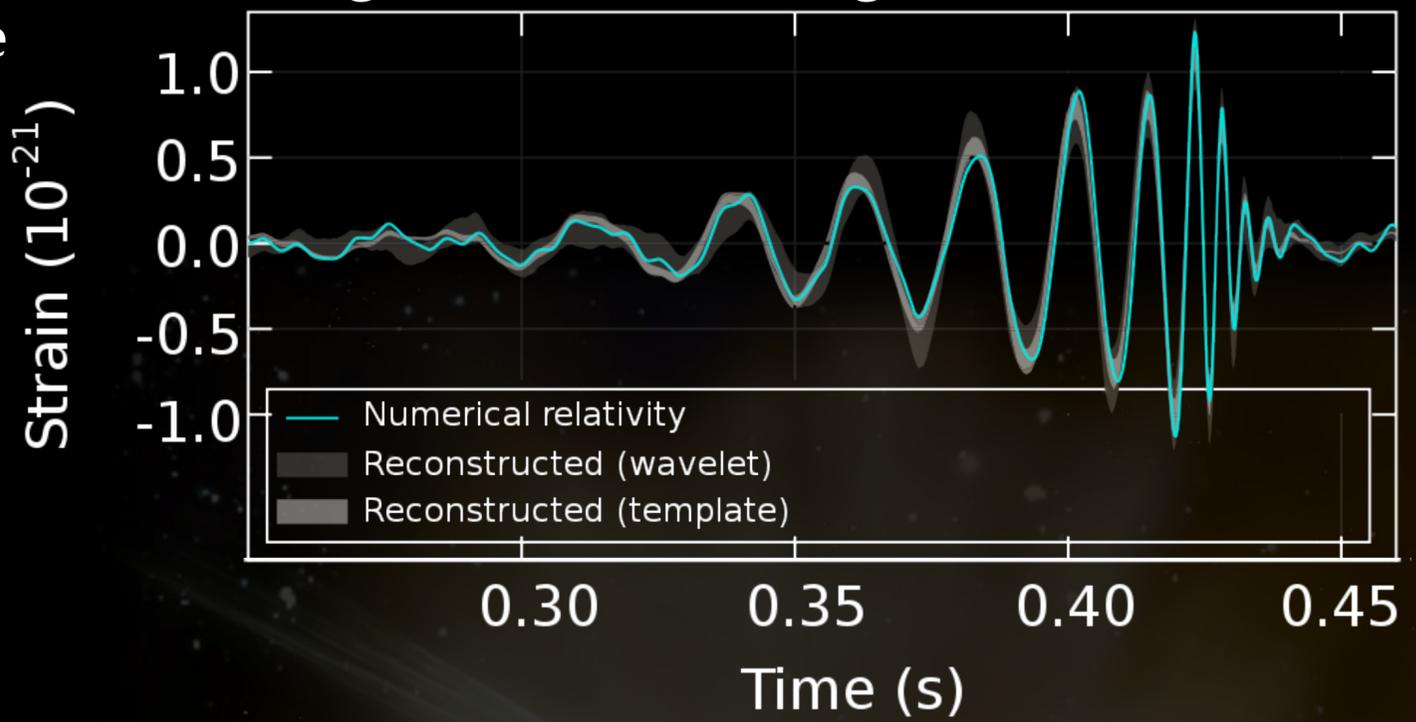
Les ondes gravitationnelles

Complémentaires au rayonnement électromagnétique

- fournissent des informations sur la dynamique et la masse des objets en fusion
- compréhension plus complète de l'événement



Signal d'une onde gravitationnelle



Pourquoi les étudie-t-on ?

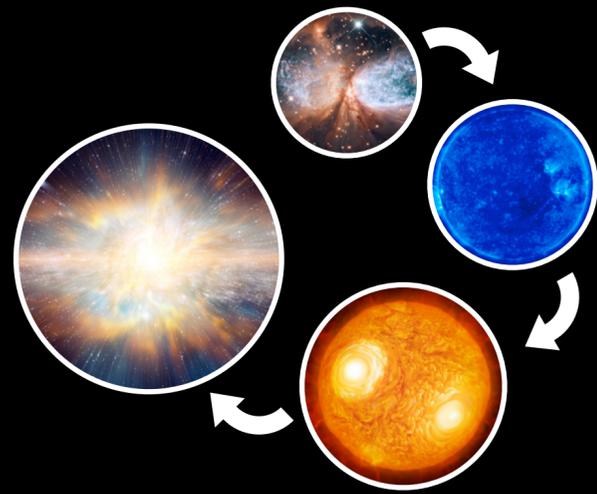
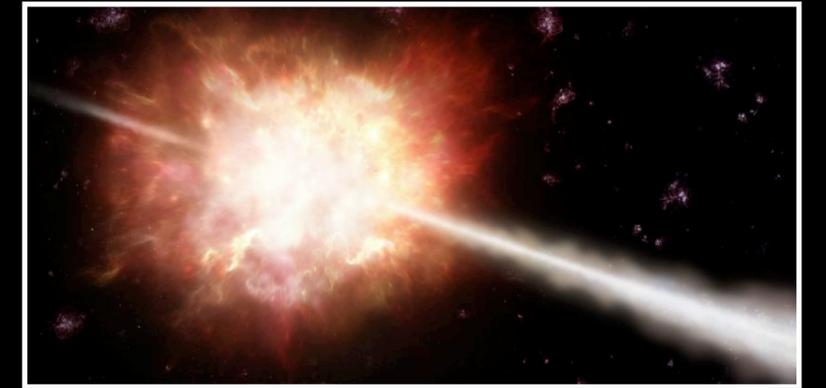
Pourquoi les étudie-t-on ?

- * Approfondir notre **compréhension des phénomènes astrophysiques extrêmes**
→ comment peut-on libérer ces énormes quantités d'énergie sur des temps si courts ?



Pourquoi les étudie-t-on ?

- * Approfondir notre **compréhension des phénomènes astrophysiques extrêmes**
→ comment peut-on libérer ces énormes quantités d'énergie sur des temps si courts ?

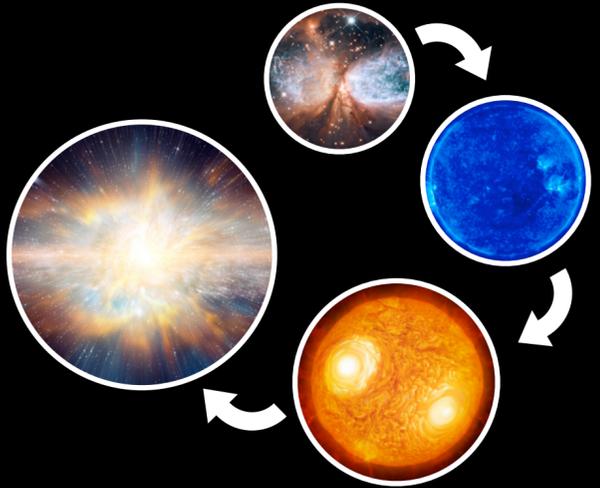


- * Comprendre le cycle de vie des étoiles et en particulier les **mécanismes d'explosion stellaires**

Pourquoi les étudie-t-on ?

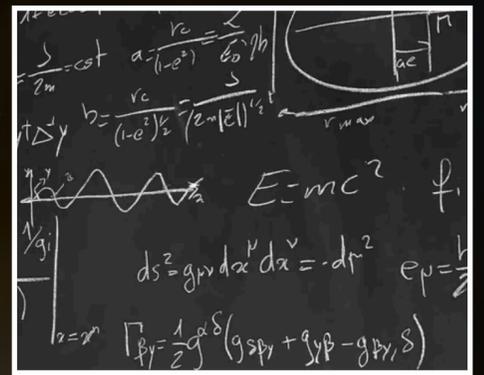


* Approfondir notre **compréhension des phénomènes astrophysiques extrêmes**
→ comment peut-on libérer ces énormes quantités d'énergie sur des temps si courts ?



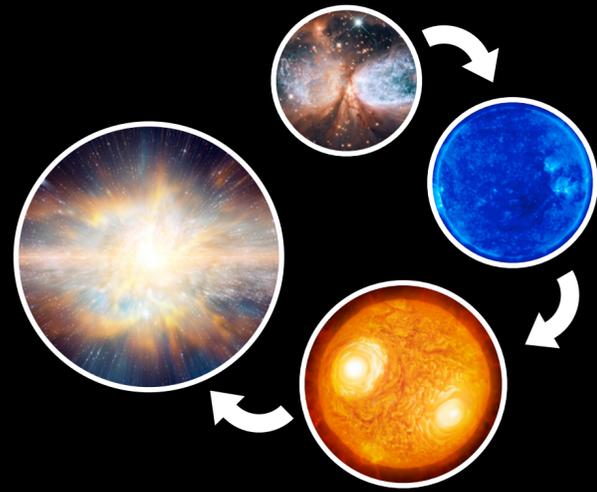
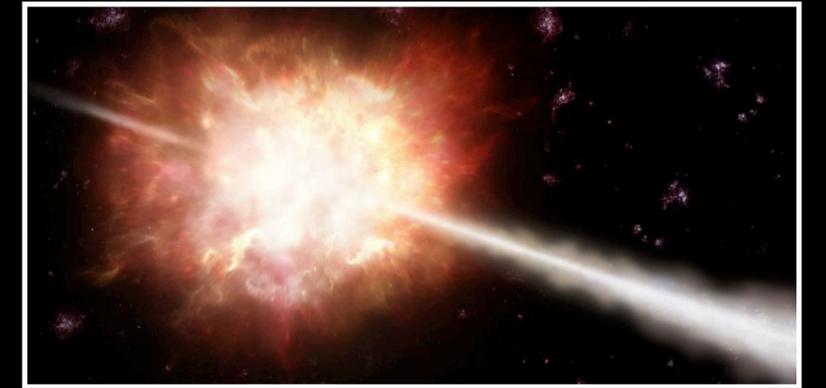
* Comprendre le cycle de vie des étoiles et en particulier les **mécanismes d'explosion stellaires**

* Utiles pour tester les **théories de physique fondamentales**
(par exemple la Relativité Générale)



Pourquoi les étudie-t-on ?

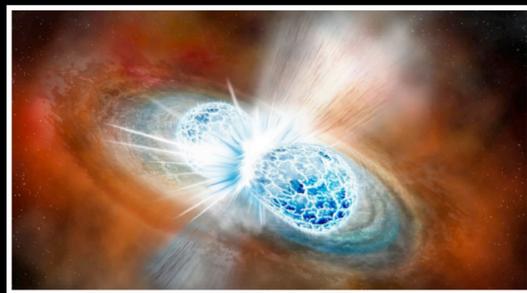
- * Approfondir notre **compréhension des phénomènes astrophysiques extrêmes**
→ comment peut-on libérer ces énormes quantités d'énergie sur des temps si courts ?



- * Comprendre le cycle de vie des étoiles et en particulier les **mécanismes d'explosion stellaires**

- * Utiles pour tester les **théories de physique fondamentales**
(par exemple la Relativité Générale)

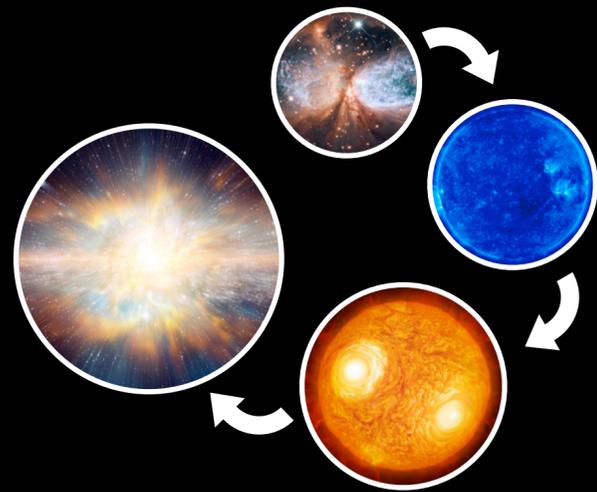
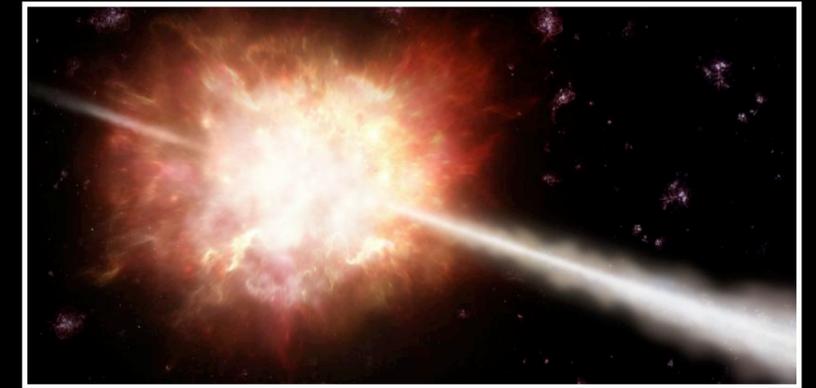
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
$$E = mc^2$$
$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu = -dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$$
$$\Gamma_{\beta\gamma}^\alpha = \frac{1}{2} g^{\alpha\delta} (g_{\delta\beta} g_{\gamma\delta} + g_{\delta\gamma} g_{\beta\delta} - g_{\delta\delta} g_{\beta\gamma})$$



- * Explorer la **formation d'éléments lourds** (comme l'or par exemple)

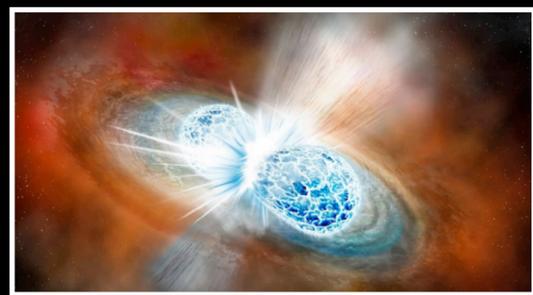
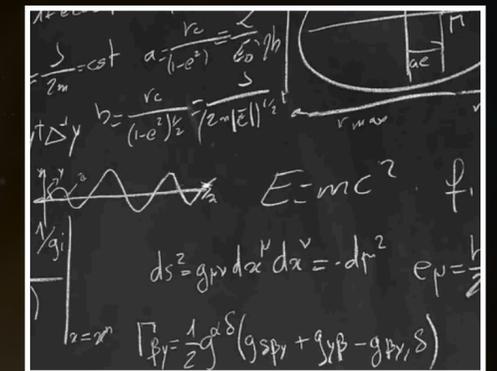
Pourquoi les étudie-t-on ?

- * Approfondir notre **compréhension des phénomènes astrophysiques extrêmes**
→ comment peut-on libérer ces énormes quantités d'énergie sur des temps si courts ?

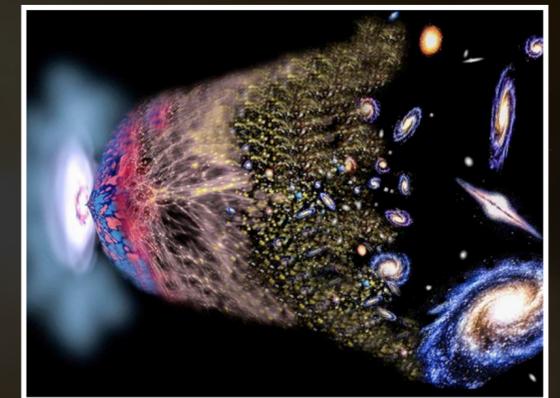


- * Comprendre le cycle de vie des étoiles et en particulier les **mécanismes d'explosion stellaires**

- * Utiles pour tester les **théories de physique fondamentales** (par exemple la Relativité Générale)



- * Explorer la **formation d'éléments lourds** (comme l'or par exemple)



- * Sondes pour étudier l'Univers lointain, mesurer des **distances cosmologiques** et étudier l'**expansion de l'Univers**

Conclusion

En quoi SVOM va être crucial pour la détection de ces événements transitoires ?



Conclusion

En quoi SVOM va être crucial pour la détection de ces événements transitoires ?

Enjeux

- Détection de ces événements en temps réel
- Diffusion efficace des alertes à la communauté scientifique



Conclusion

En quoi SVOM va être crucial pour la détection de ces événements transitoires ?

Enjeux

- Détection de ces événements en temps réel
- Diffusion efficace des alertes à la communauté scientifique



SVOM

- Localisation rapide de ces sources
- Alertes envoyées immédiatement à la Terre
- coordination internationale de plusieurs télescopes + détecteur d'onde gravitationnelles
- maximiser la collecte de données pendant les phases initiales des événements transitoires

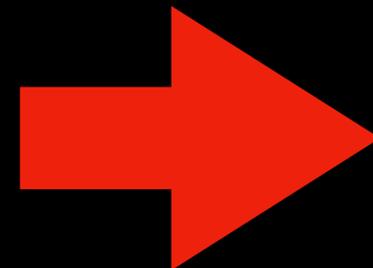
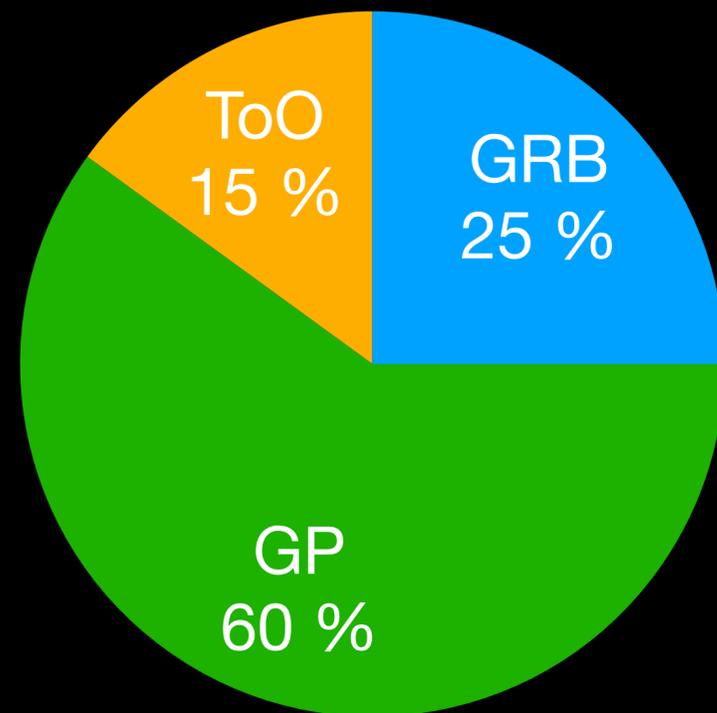
Les programmes de SVOM

Alexis Coleiro

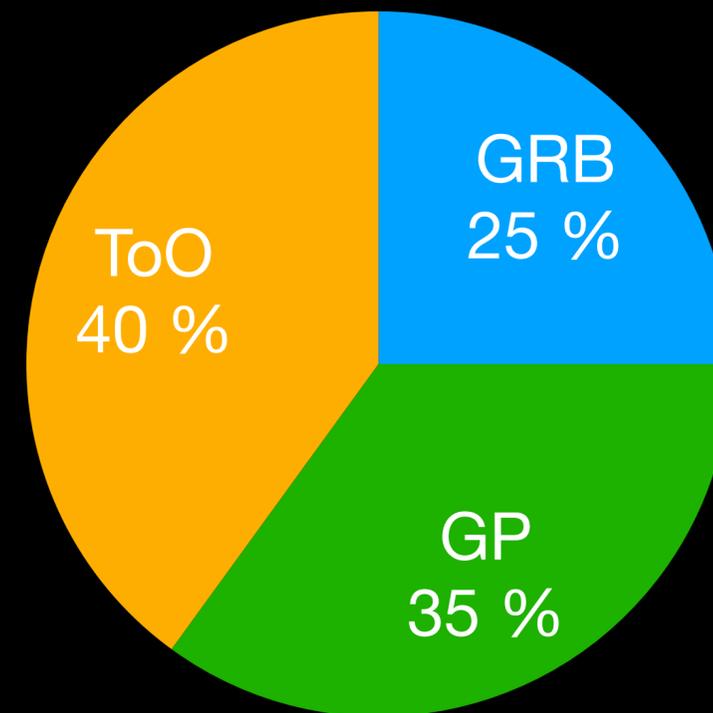
Les programmes scientifiques

- **Core program (CP):** focalisé sur les GRB (25% du temps, coeur de la mission SVOM).
- **Programme Général (GP):** catalogue de sources défini pour la première année en fonction des contraintes orbitales. Observatoire ouvert à la communauté à partir de la seconde année.
- **Cibles d'opportunités (ToO):** observations déclenchées depuis le sol suite à la détection d'une (nouvelle) source transitoire par d'autres instruments.

Mission nominale (3 ans)



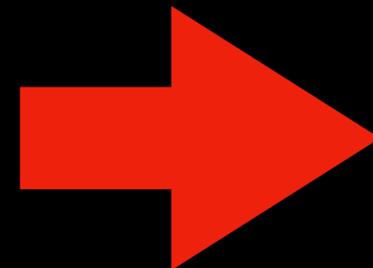
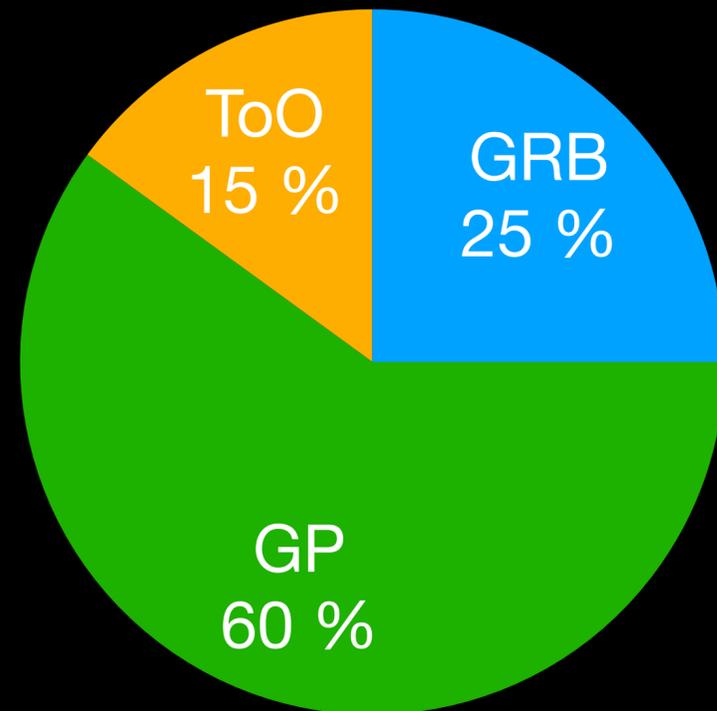
Mission étendue



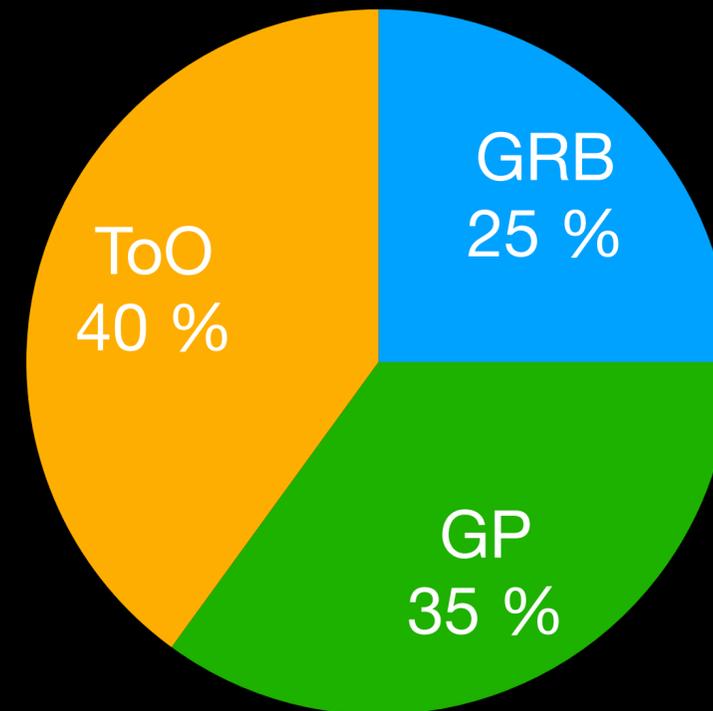
Les programmes scientifiques

- **Core program (CP):** focalisé sur les GRB (25% du temps, coeur de la mission SVOM).
- **Programme Général (GP):** catalogue de sources défini pour la première année en fonction des contraintes orbitales. Observatoire ouvert à la communauté à partir de la seconde année.
- **Cibles d'opportunités (ToO):** observations déclenchées depuis le sol suite à la détection d'une (nouvelle) source transitoire par d'autres instruments.

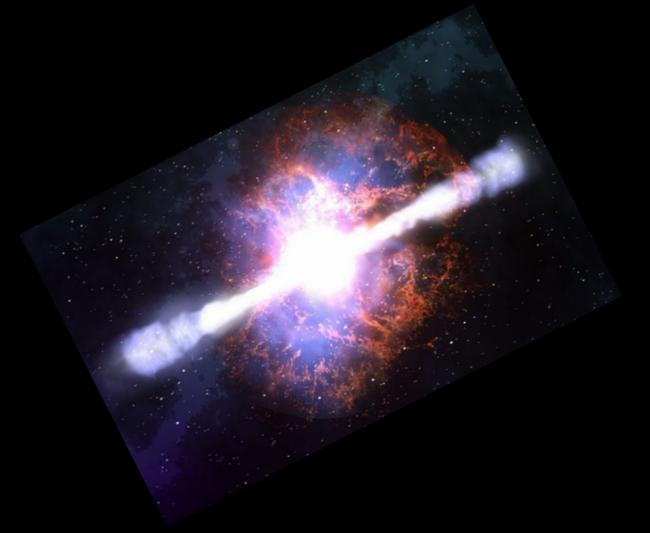
Mission nominale (3 ans)



Mission étendue

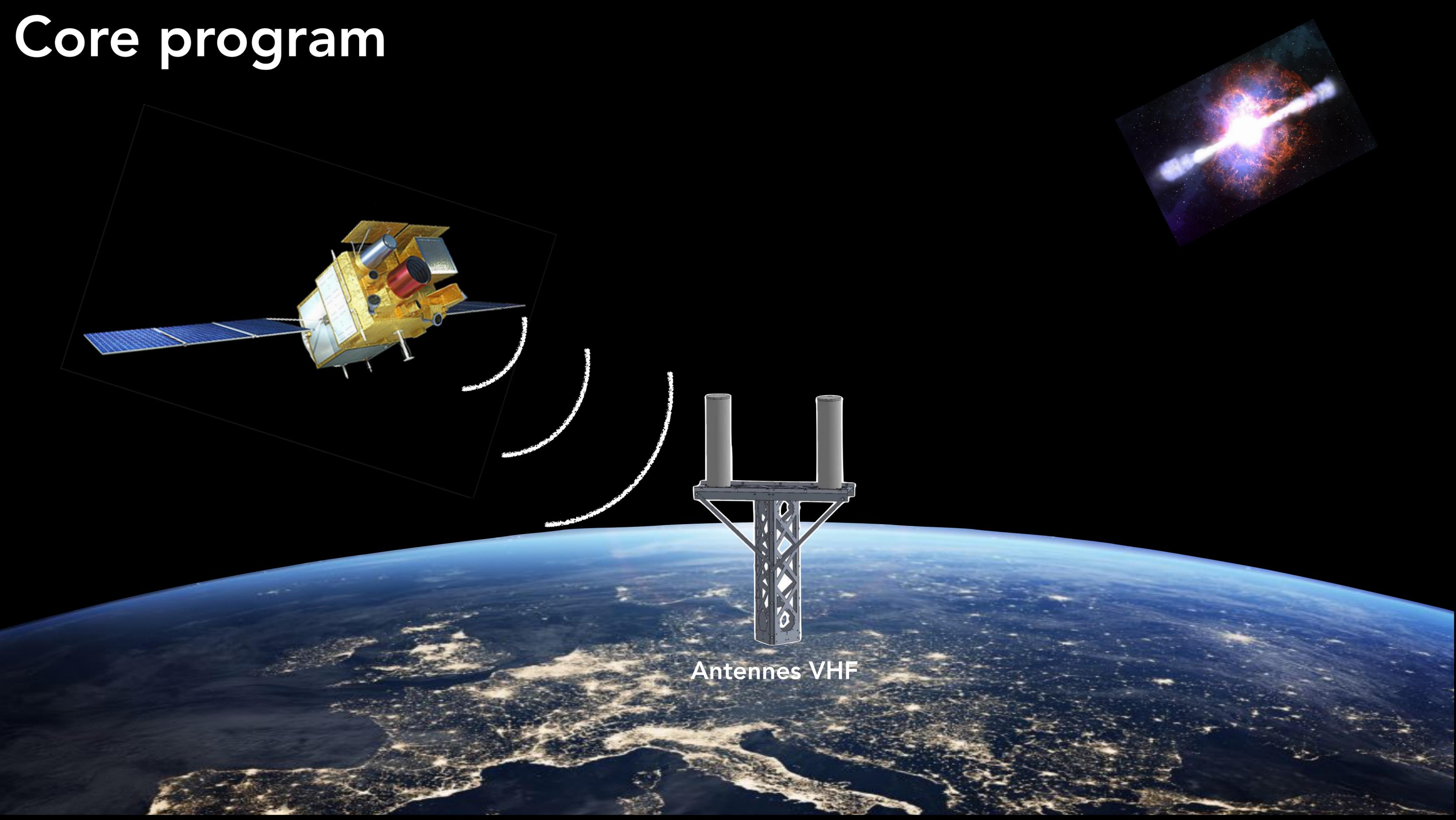


Core program



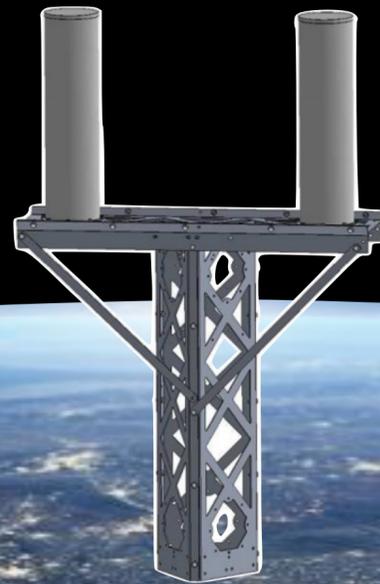
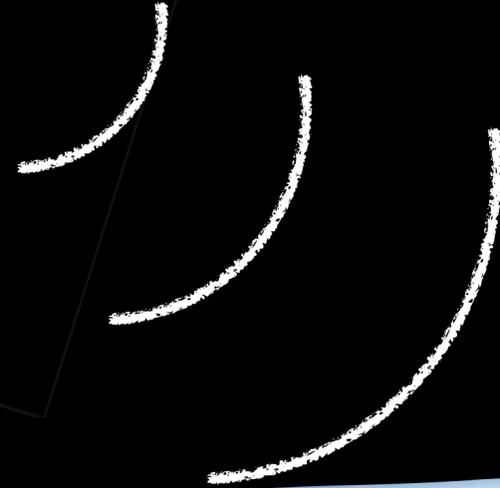
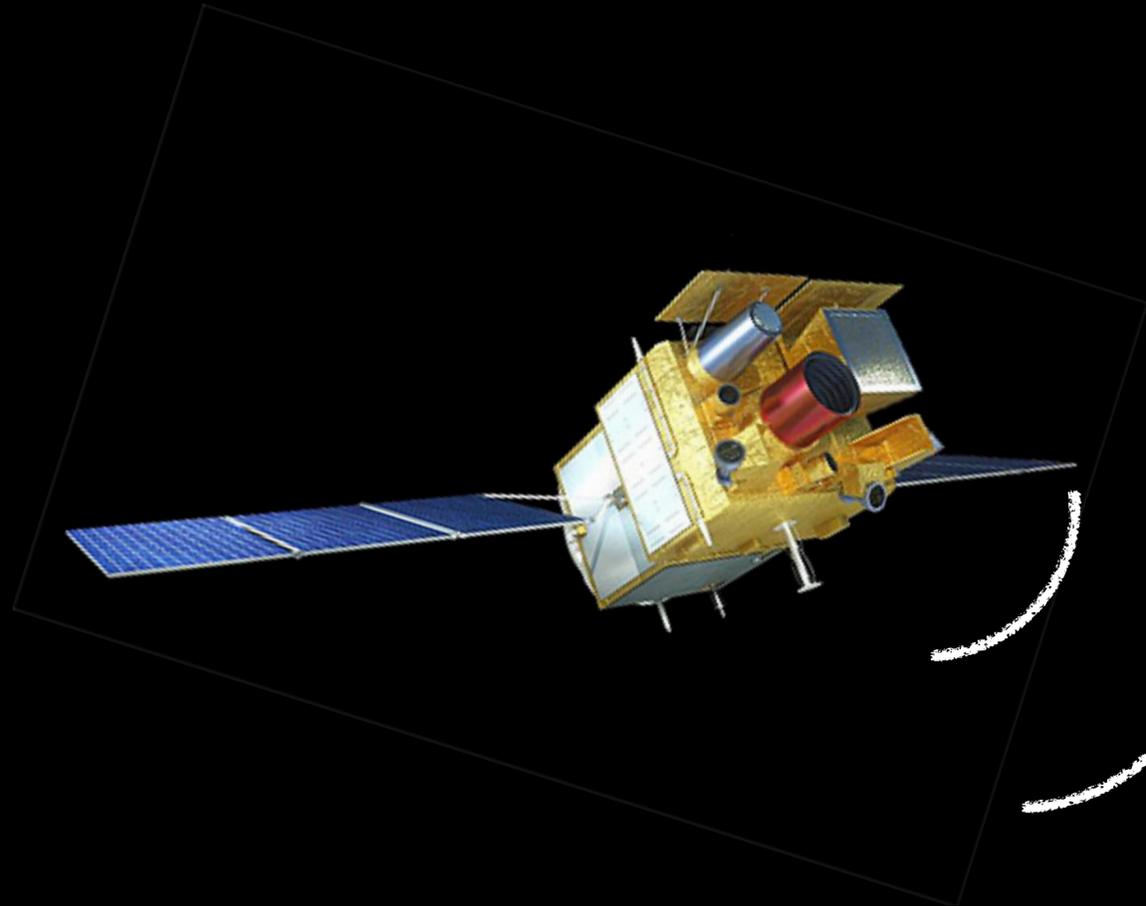
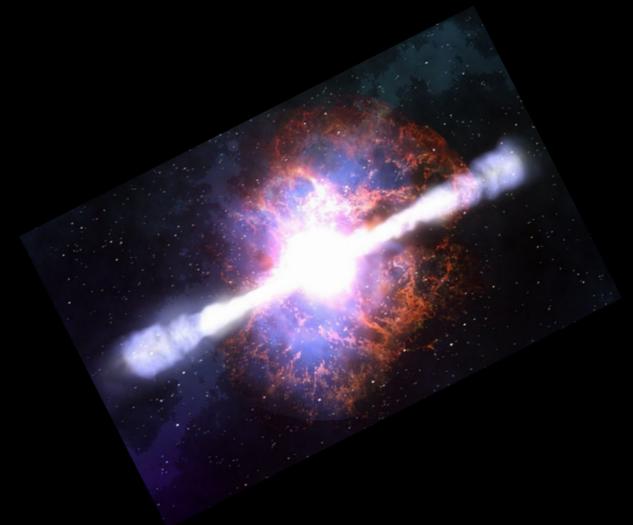
Antennes VHF

Core program



Antennes VHF

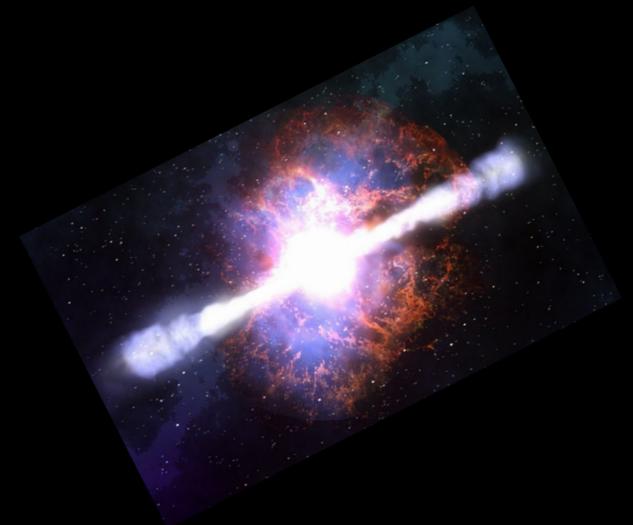
Core program



Antennes VHF



Core program



Antennes VHF



- **ECLAIRs** sera sensible à toutes les classes de GRB (~65 GRB / an (incluant 3-4 GRB / an à $z > 5$))
- Localisation < 12'
- **GRM** dispose d'un champ de vue plus large qu'ECLAIRs
- ~90 GRB / an
- Localisation ~5-10 deg

Core program

- Un échantillon unique de ~35 GRB / an avec:
 - Une émission prompte sur trois décades en énergie (+ flux ou limite sup. en optique: 16%);
 - Une détection de la rémanence en X et en optique;
 - Une mesure du redshift.

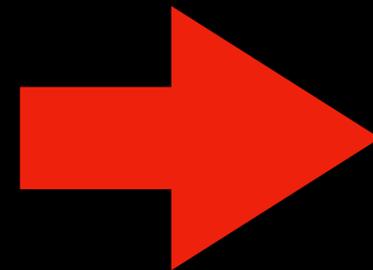
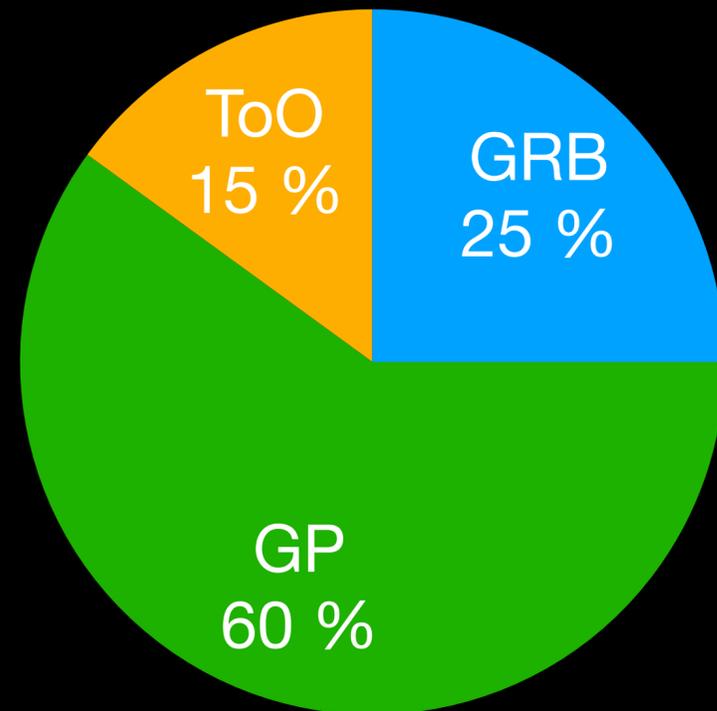
	Swift	Fermi	SVOM
Emission prompte	Faible	Excellente (8 keV - 100 GeV)	Très bonne (4 keV - 5 MeV)
Rémanence	Excellente	>100 MeV	Excellente
Mesure du redshift	~1/3	Faible fraction	~2/3

- **Etude des mécanismes physiques à l'oeuvre dans les GRB:**
 - Nature du progéniteur et du moteur central;
 - Accélération, composition, processus d'émission de l'éjecta relativiste.
- **Diversité des GRB:**
 - GRB faiblement lumineux / enrichis en X / Flashs X;
 - Connexion GRB / supernovae.
- **GRB courts et mergers:**
 - Détection conjointe multi-messenger (ondes gravitationnelles)
- **Etude de l'univers à haut redshift**

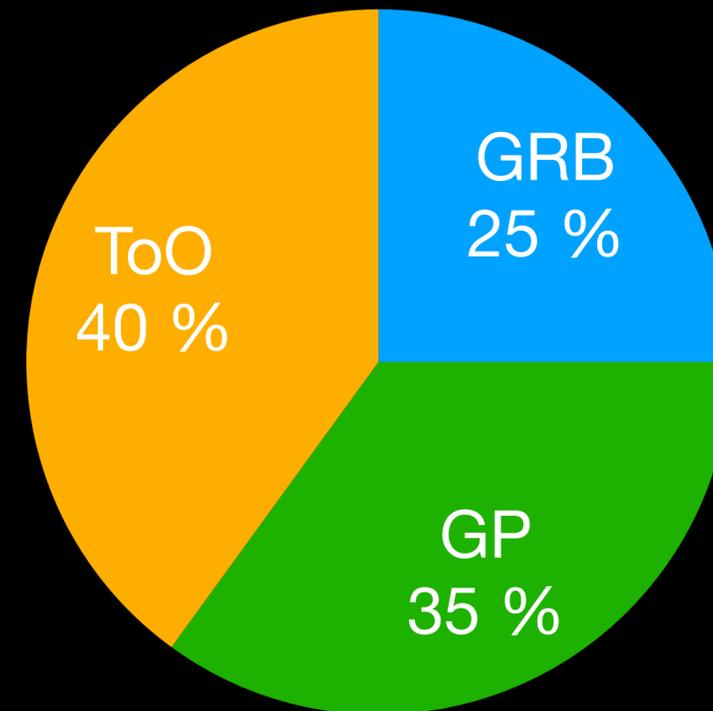
Les programmes scientifiques

- **Core program (CP):** focalisé sur les GRB (25% du temps, coeur de la mission SVOM).
- **Programme Général (GP):** catalogue de sources défini pour la première année en fonction des contraintes orbitales. Observatoire ouvert à la communauté à partir de la seconde année.
- **Cibles d'opportunités (ToO):** observations déclenchées depuis le sol suite à la détection d'une (nouvelle) source transitoire par d'autres instruments.

Mission nominale (3 ans)



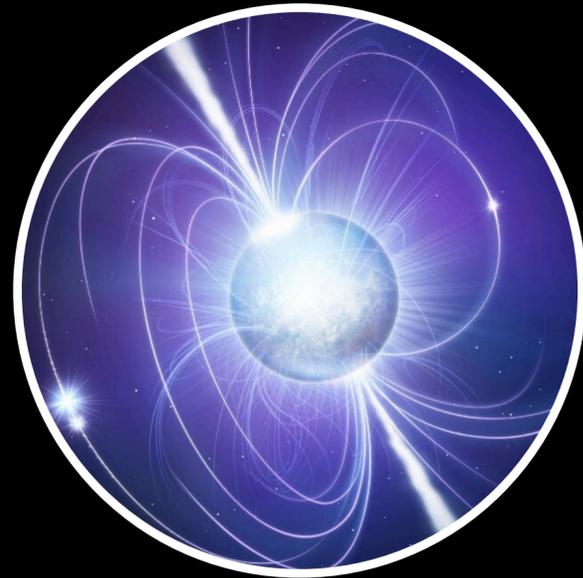
Mission étendue



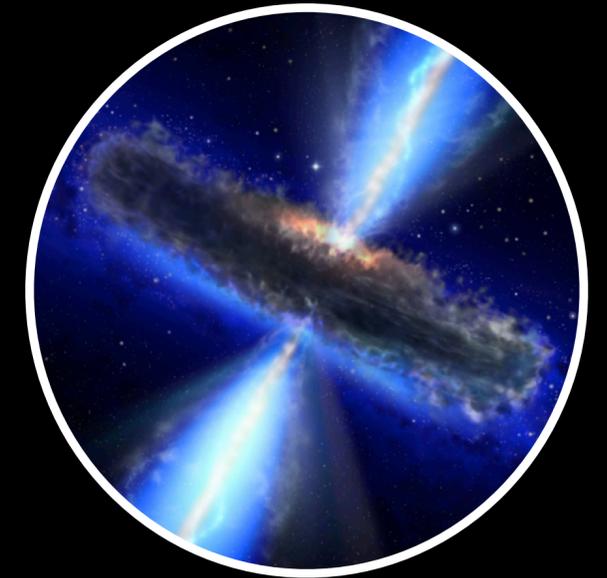
Programme général



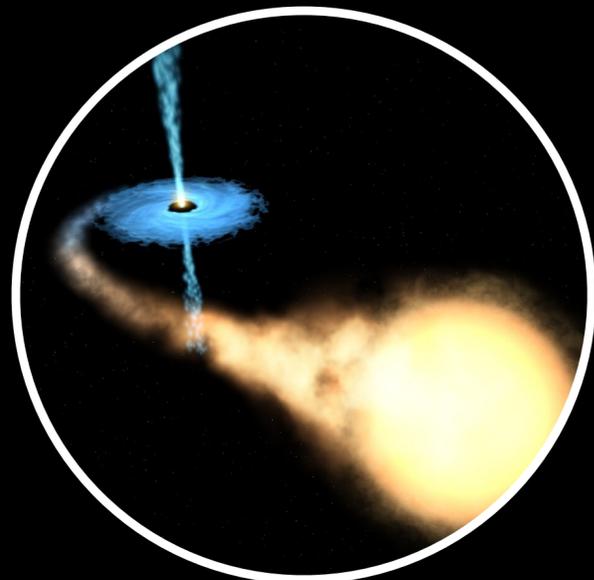
Evénements de rupture par effets de marée



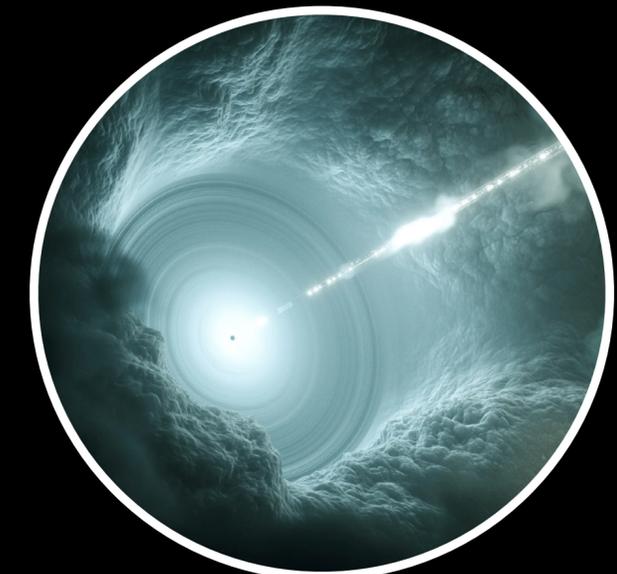
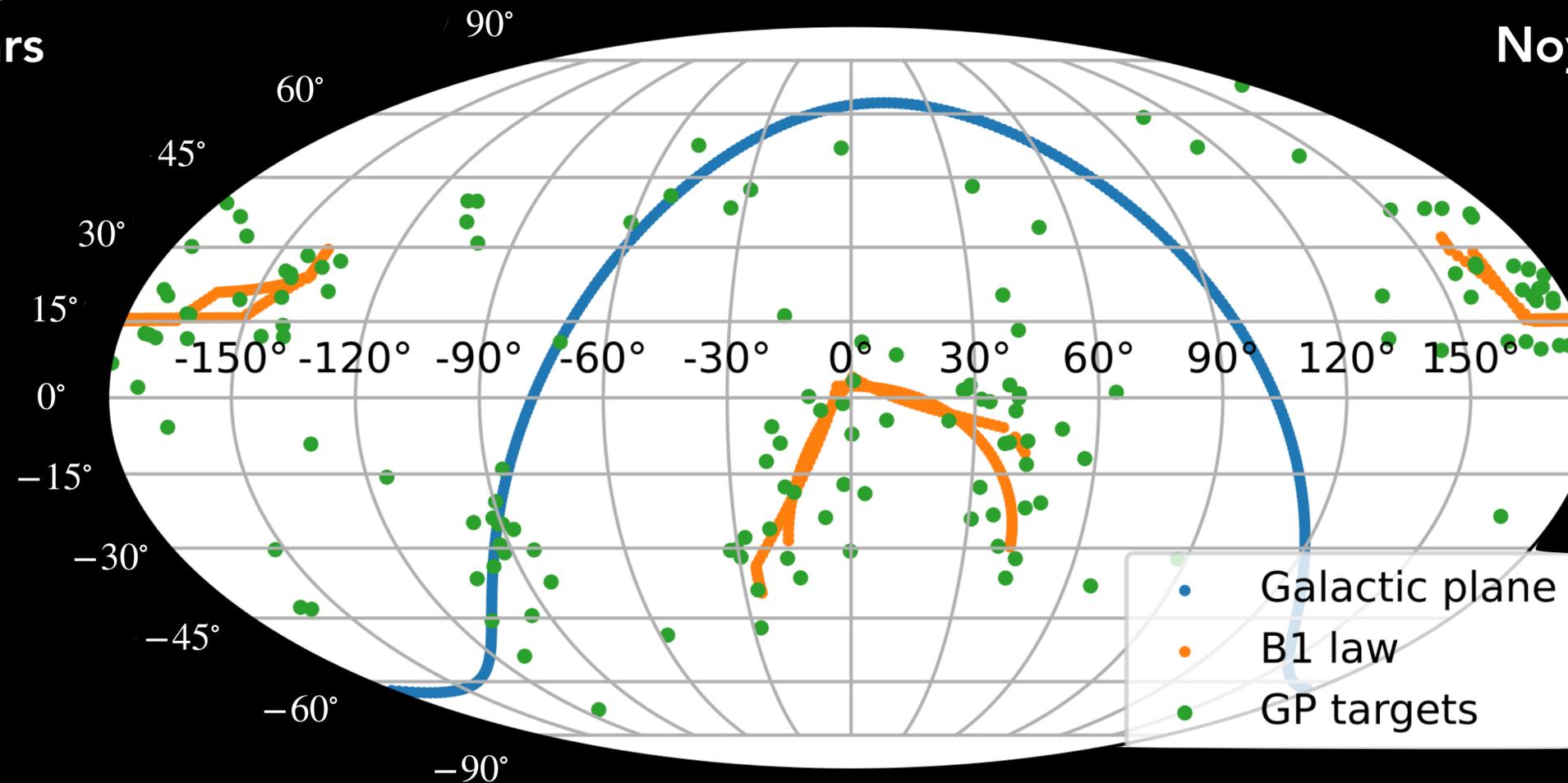
Magnetars



Noyaux actifs de galaxies



Microquasars

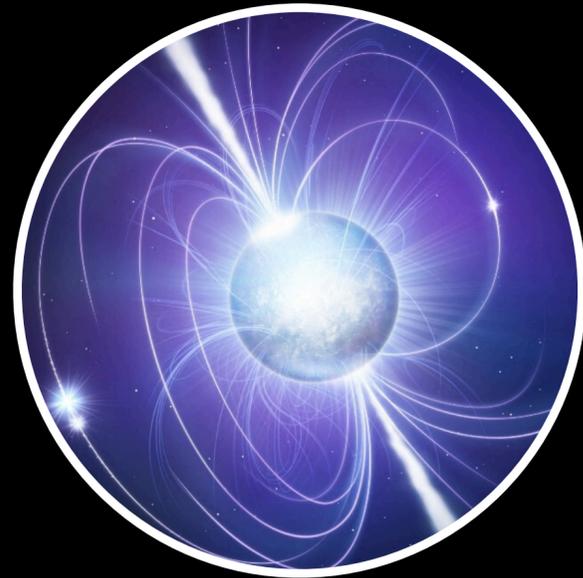


Blazars

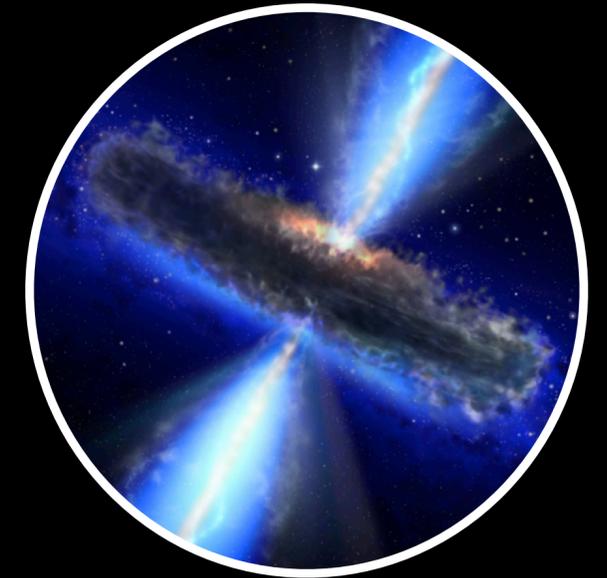
Programme général



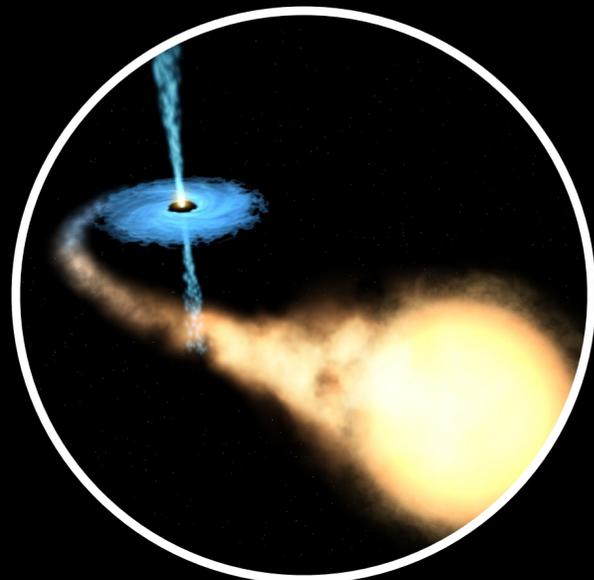
Evénements de rupture par effets de marée



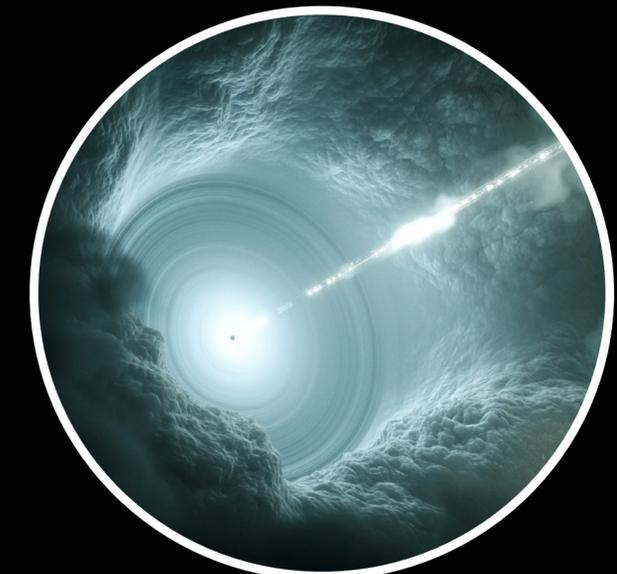
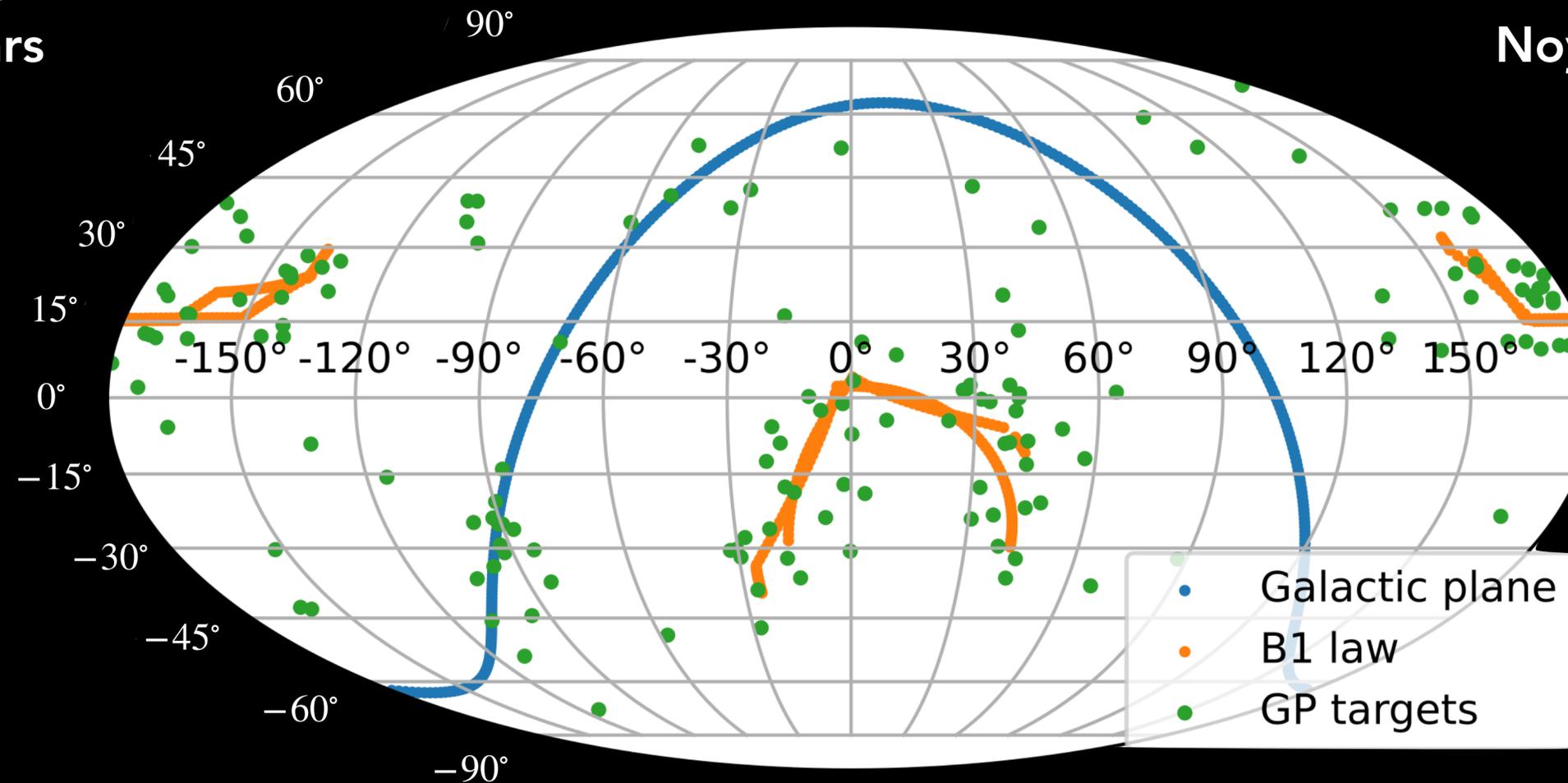
Magnetars



Noyaux actifs de galaxies



Microquasars

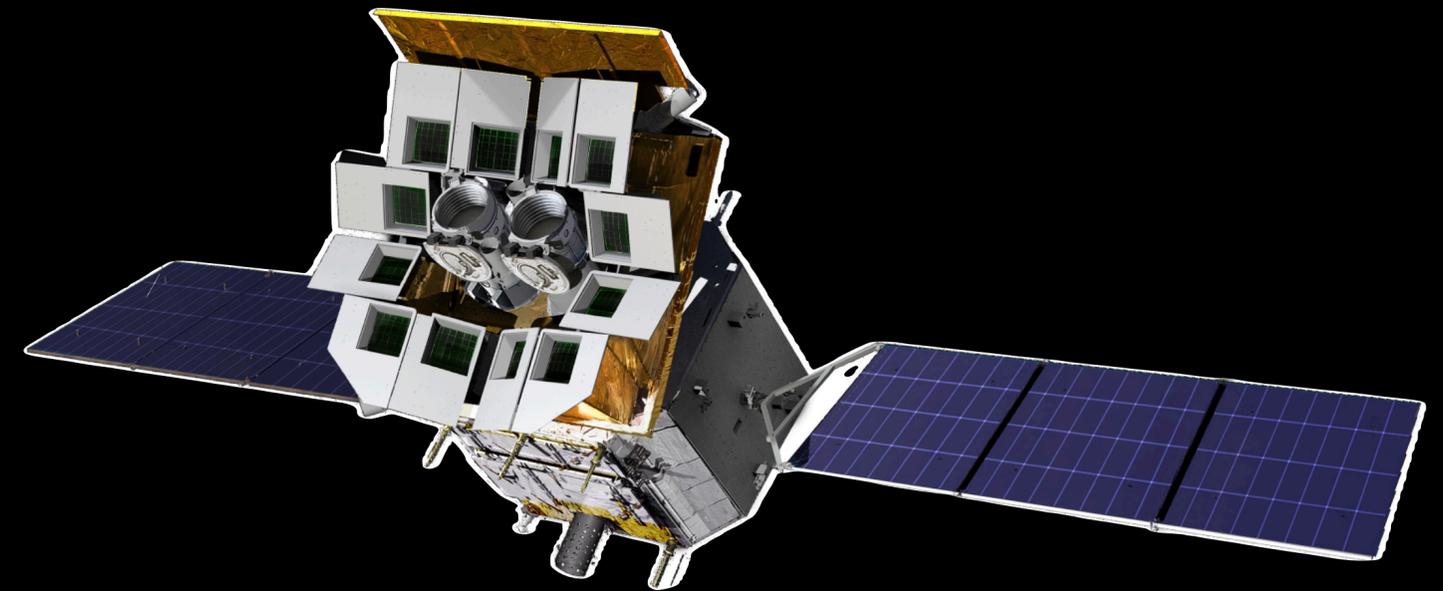


Blazars

Programme général - synergies multi-longueur d'onde



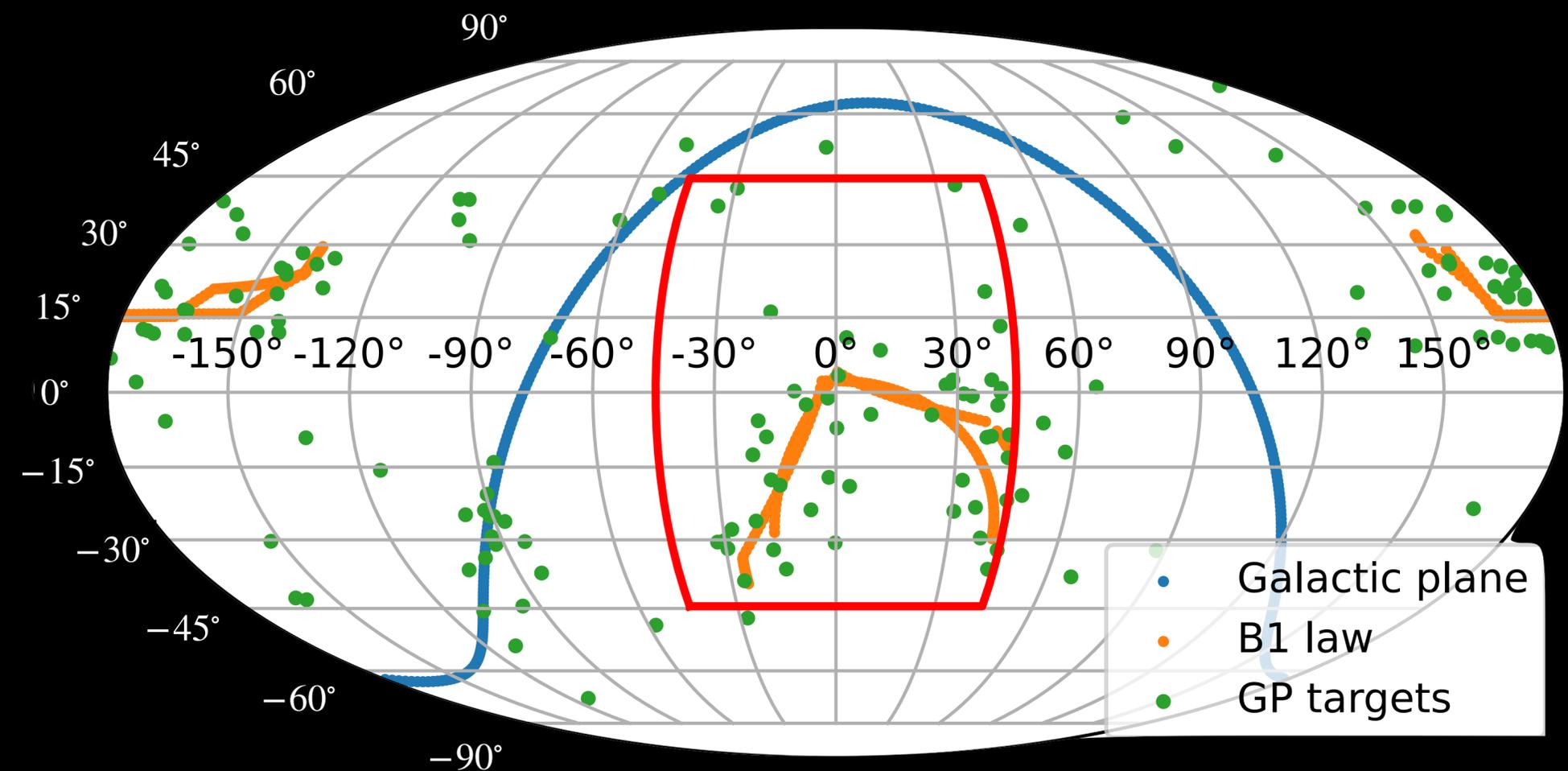
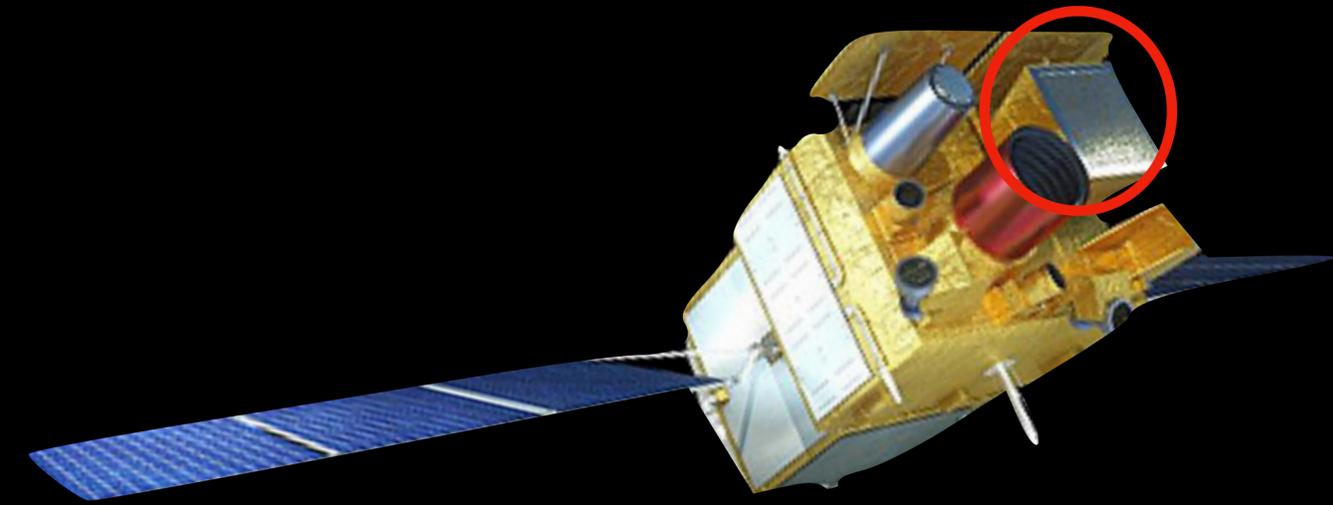
Télescopes Cherenkov (MAGIC + HESS)



Einstein Probe

Programme général

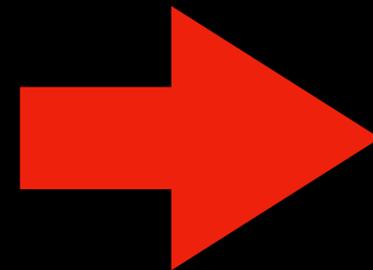
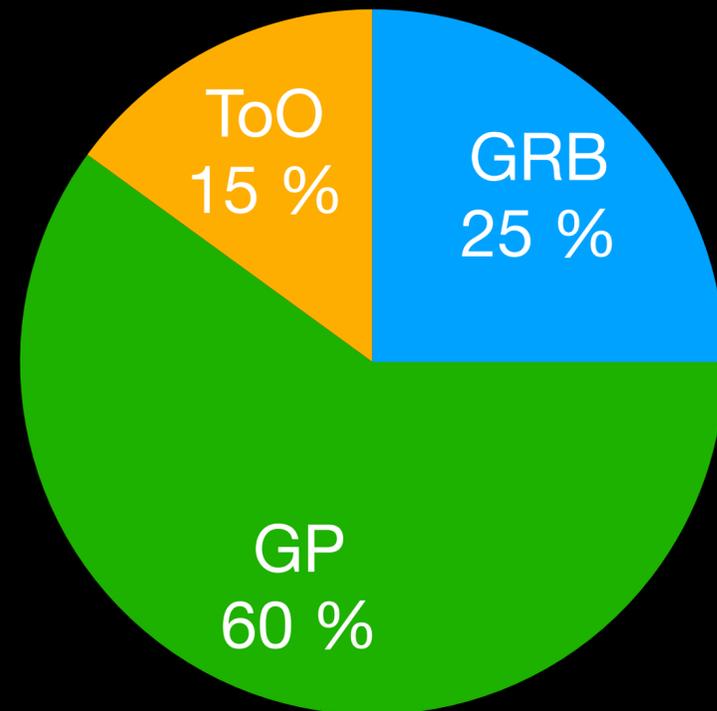
- Champs de vue d'ECLAIRs:
 $89^\circ \times 89^\circ$
- Détection « par hasard »
de nombreuses sources
transitoires ou variables
- Outil d'analyse des
données et d'identification
rapide des sources
développés à l'APC



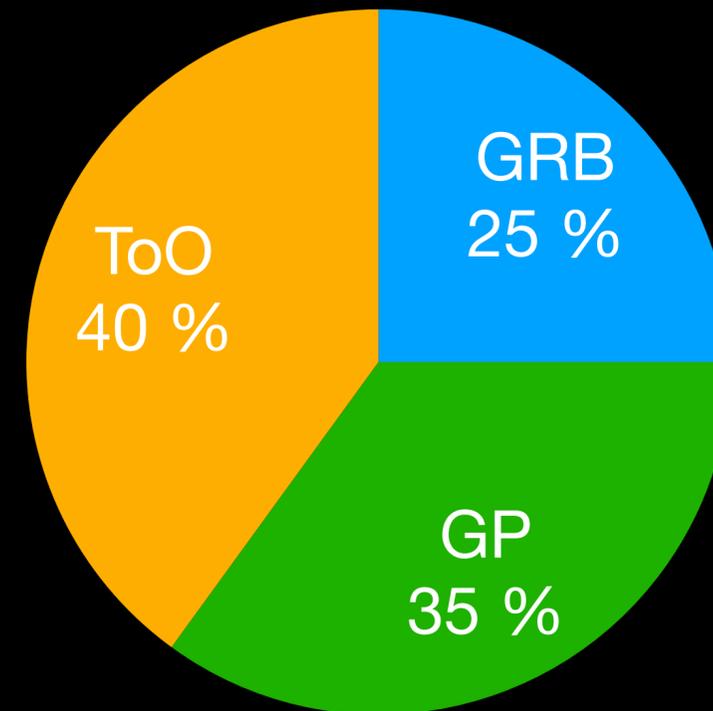
Les programmes scientifiques

- **Core program (CP):** focalisé sur les GRB (25% du temps, coeur de la mission SVOM).
- **Programme Général (GP):** catalogue de sources défini pour la première année en fonction des contraintes orbitales. Observatoire ouvert à la communauté à partir de la seconde année.
- **Cibles d'opportunités (ToO):** observations déclenchées depuis le sol suite à la détection d'une (nouvelle) source transitoire par d'autres instruments.

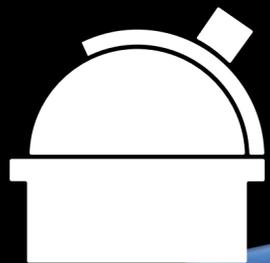
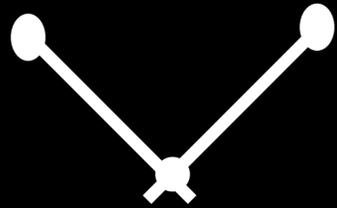
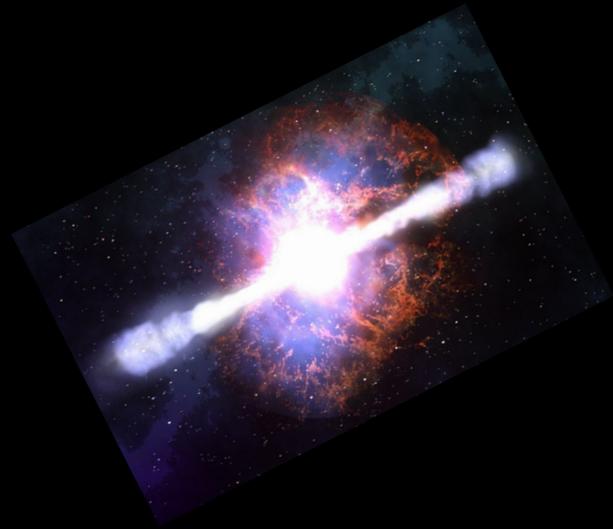
Mission nominale (3 ans)



Mission étendue

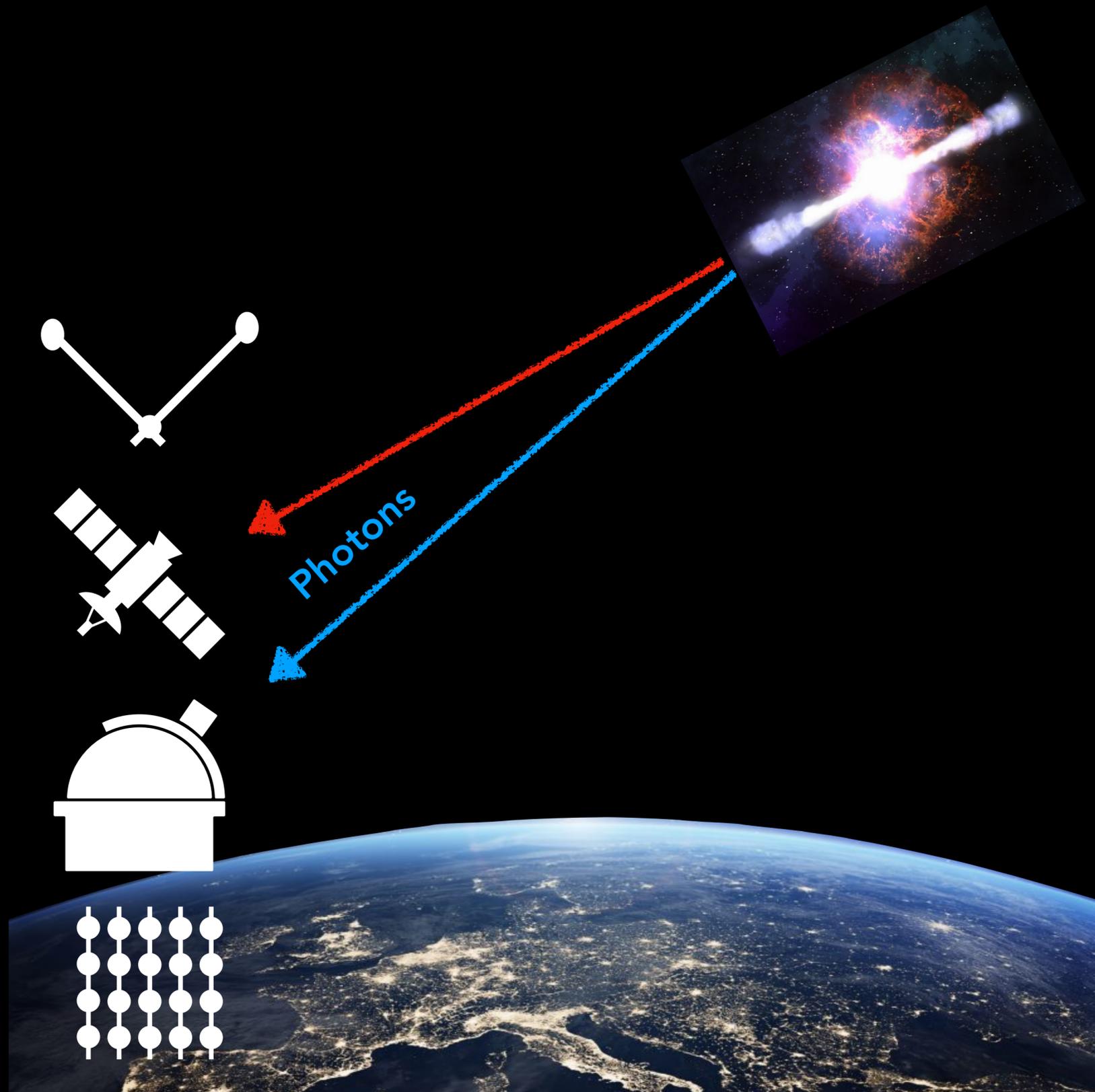


Cibles d'opportunité



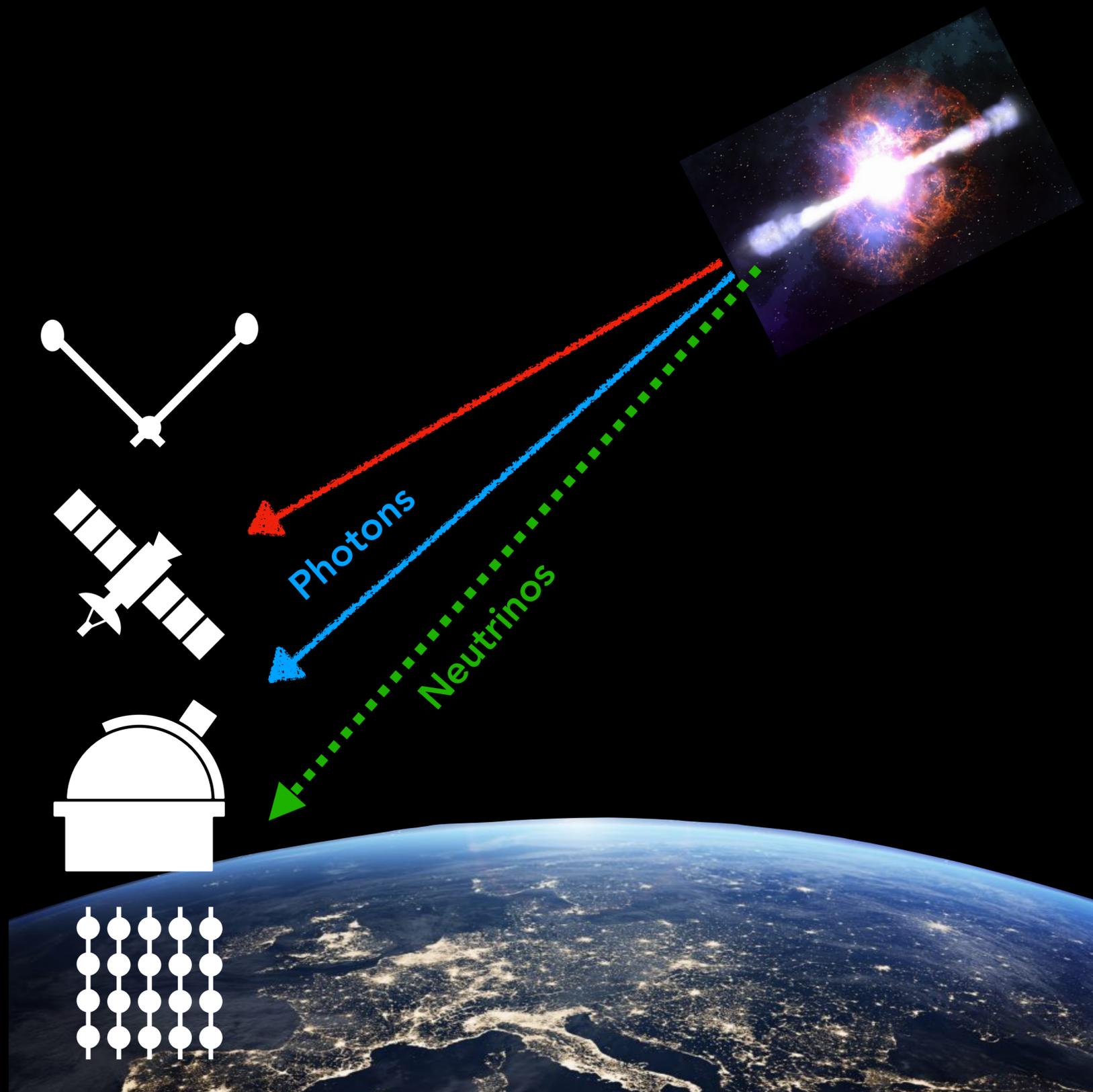
- **ToO nominaux (1/jour):** concernent les observations « courantes » nécessitant un pointage rapide suite à une alerte (suivi de GRB, sources (extra-)galactiques en activité, nouvelle source transitoire, ...).
~24/48h de délai à prévoir.
- **ToO exceptionnels:** couvrent le besoins en suivi rapide dans le cas d'un événement astrophysique exceptionnel. Délai: <3h.
- **ToO multi-messenger (1/semaine):** dédiés à la recherche de contrepartie électromagnétique aux alertes multi-messenger (ondes gravitationnelles, neutrinos, ...).
Délai: <3h

Cibles d'opportunité



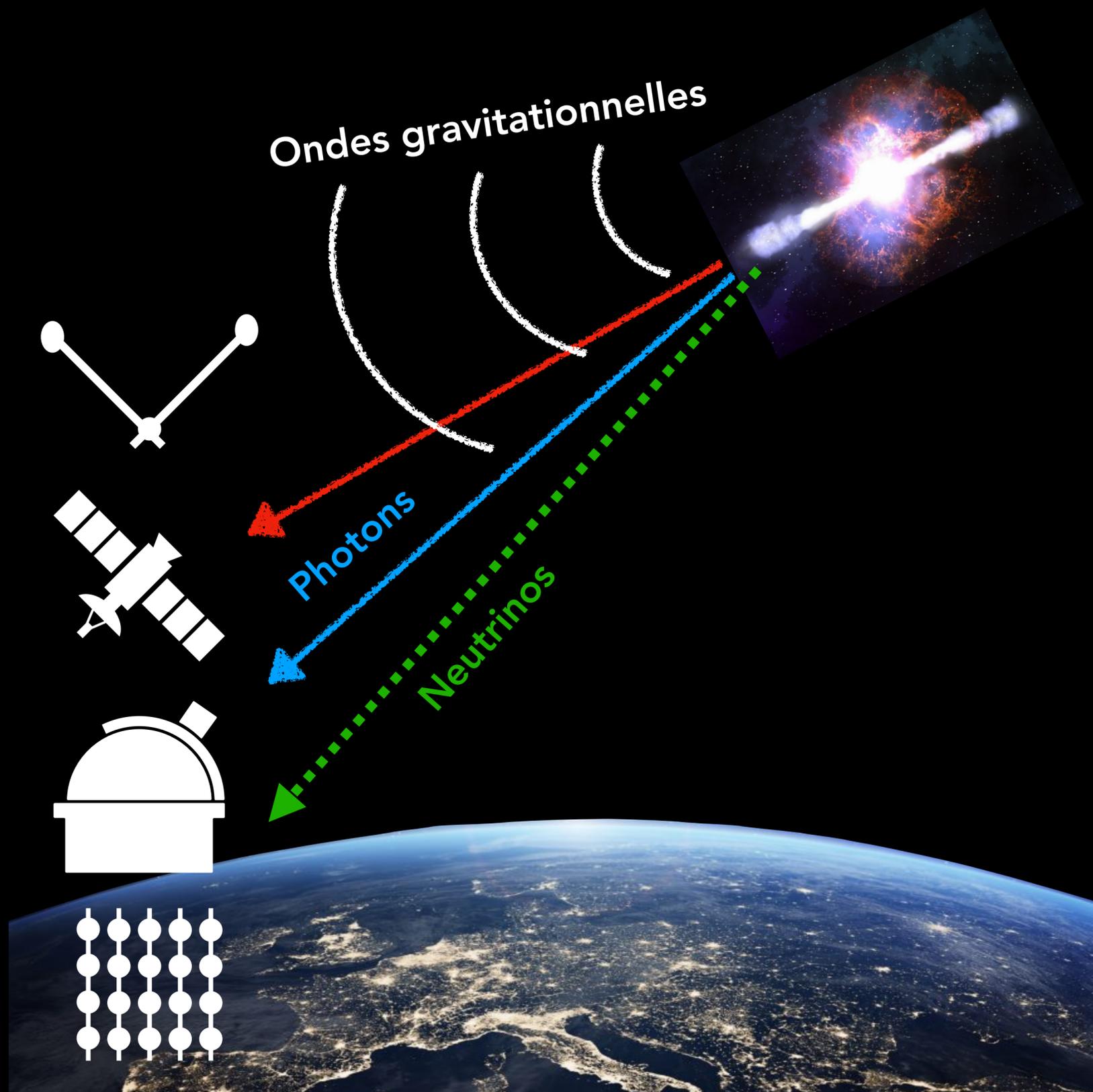
- **ToO nominaux (1/jour):** concernent les observations « courantes » nécessitant un pointage rapide suite à une alerte (suivi de GRB, sources (extra-)galactiques en activité, nouvelle source transitoire, ...).
~24/48h de délai à prévoir.
- **ToO exceptionnels:** couvrent le besoins en suivi rapide dans le cas d'un événement astrophysique exceptionnel. Délai: <3h.
- **ToO multi-messenger (1/semaine):** dédiés à la recherche de contrepartie électromagnétique aux alertes multi-messenger (ondes gravitationnelles, neutrinos, ...).
Délai: <3h

Cibles d'opportunité



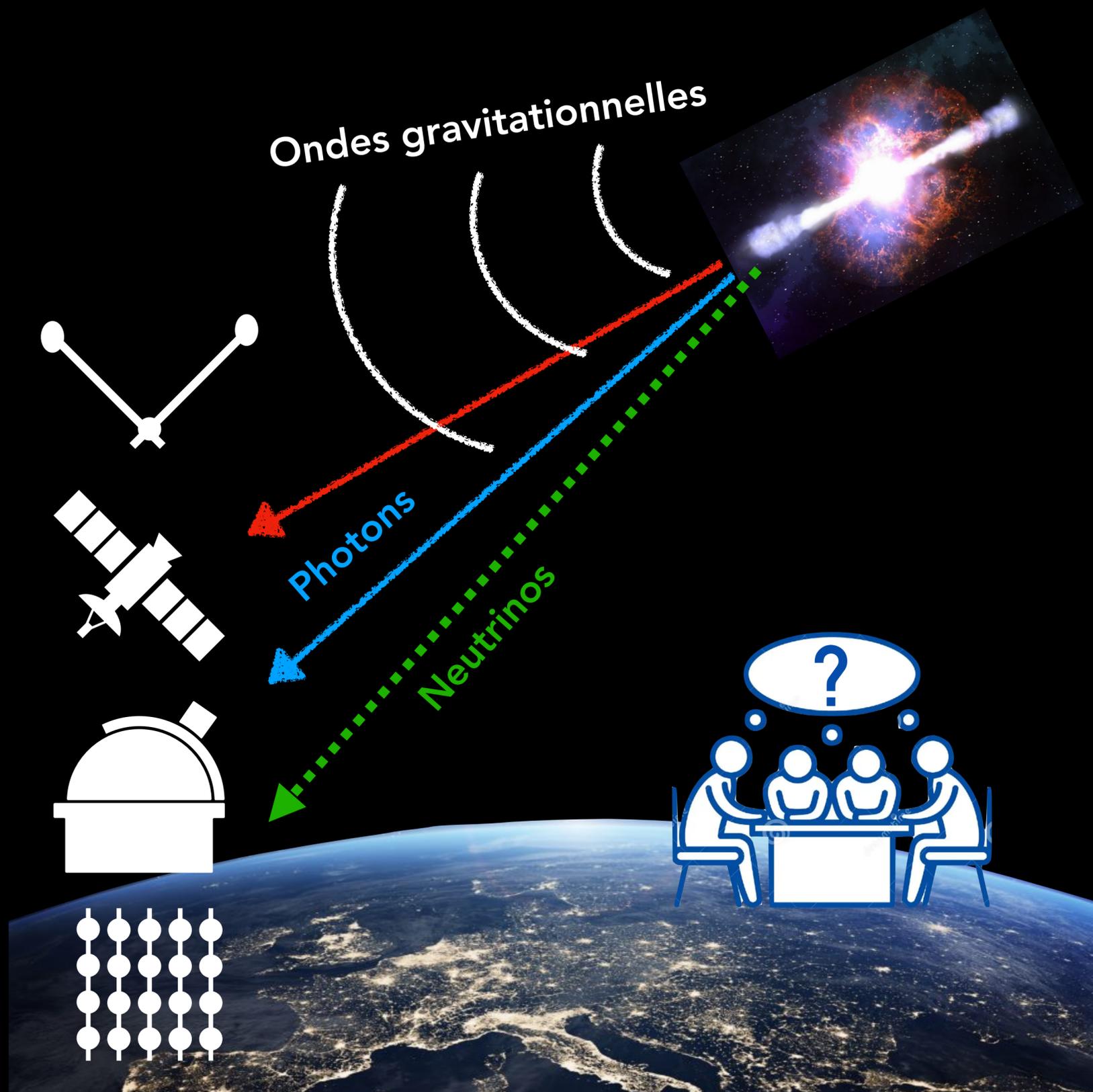
- **ToO nominaux (1/jour):** concernent les observations « courantes » nécessitant un pointage rapide suite à une alerte (suivi de GRB, sources (extra-)galactiques en activité, nouvelle source transitoire, ...).
~24/48h de délai à prévoir.
- **ToO exceptionnels:** couvrent le besoins en suivi rapide dans le cas d'un événement astrophysique exceptionnel. Délai: <3h.
- **ToO multi-messenger (1/semaine):** dédiés à la recherche de contrepartie électromagnétique aux alertes multi-messenger (ondes gravitationnelles, neutrinos, ...).
Délai: <3h

Cibles d'opportunité



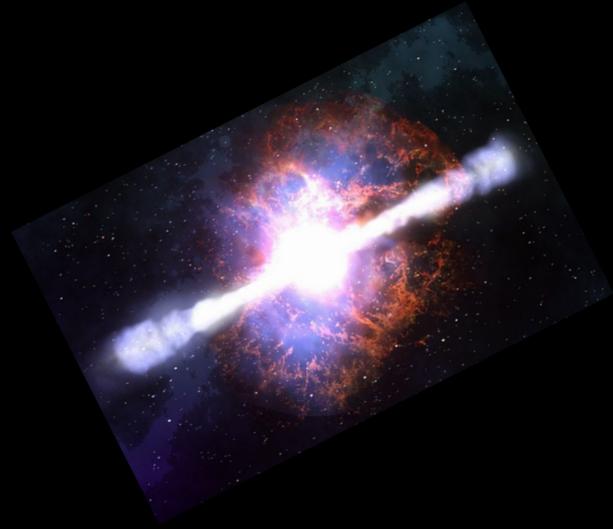
- **ToO nominaux (1/jour):** concernent les observations « courantes » nécessitant un pointage rapide suite à une alerte (suivi de GRB, sources (extra-)galactiques en activité, nouvelle source transitoire, ...).
~24/48h de délai à prévoir.
- **ToO exceptionnels:** couvrent le besoins en suivi rapide dans le cas d'un événement astrophysique exceptionnel. Délai: <3h.
- **ToO multi-messenger (1/semaine):** dédiés à la recherche de contrepartie électromagnétique aux alertes multi-messenger (ondes gravitationnelles, neutrinos, ...).
Délai: <3h

Cibles d'opportunité



- **ToO nominaux (1/jour):** concernent les observations « courantes » nécessitant un pointage rapide suite à une alerte (suivi de GRB, sources (extra-)galactiques en activité, nouvelle source transitoire, ...).
~24/48h de délai à prévoir.
- **ToO exceptionnels:** couvrent le besoins en suivi rapide dans le cas d'un événement astrophysique exceptionnel. Délai: <3h.
- **ToO multi-messenger (1/semaine):** dédiés à la recherche de contrepartie électromagnétique aux alertes multi-messenger (ondes gravitationnelles, neutrinos, ...).
Délai: <3h

Cibles d'opportunité

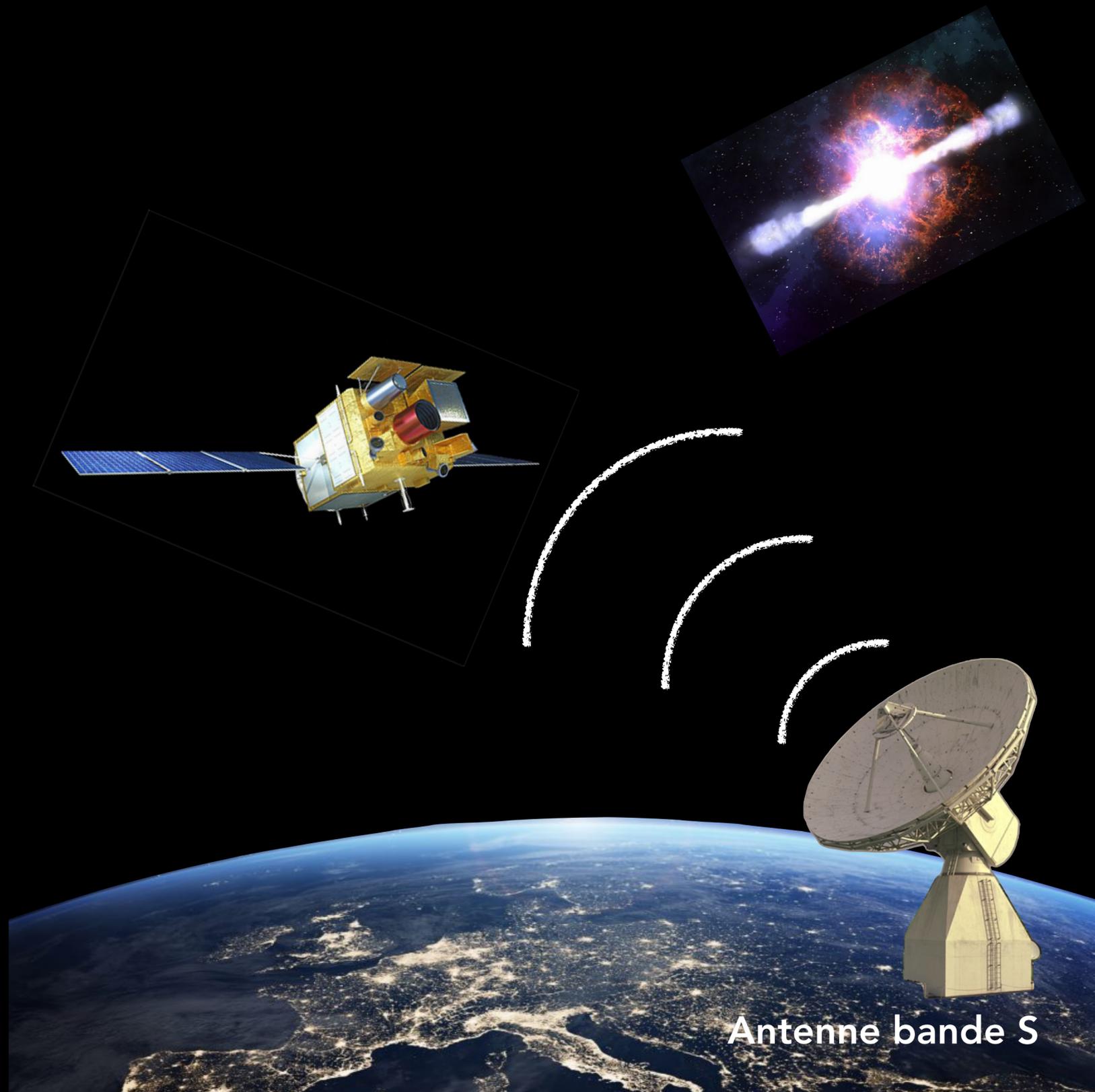


- **ToO nominaux (1/jour):** concernent les observations « courantes » nécessitant un pointage rapide suite à une alerte (suivi de GRB, sources (extra-)galactiques en activité, nouvelle source transitoire, ...).
~24/48h de délai à prévoir.
- **ToO exceptionnels:** couvrent le besoins en suivi rapide dans le cas d'un événement astrophysique exceptionnel. Délai: <3h.
- **ToO multi-messenger (1/semaine):** dédiés à la recherche de contrepartie électromagnétique aux alertes multi-messenger (ondes gravitationnelles, neutrinos, ...).
Délai: <3h



Antenne bande S

Cibles d'opportunité

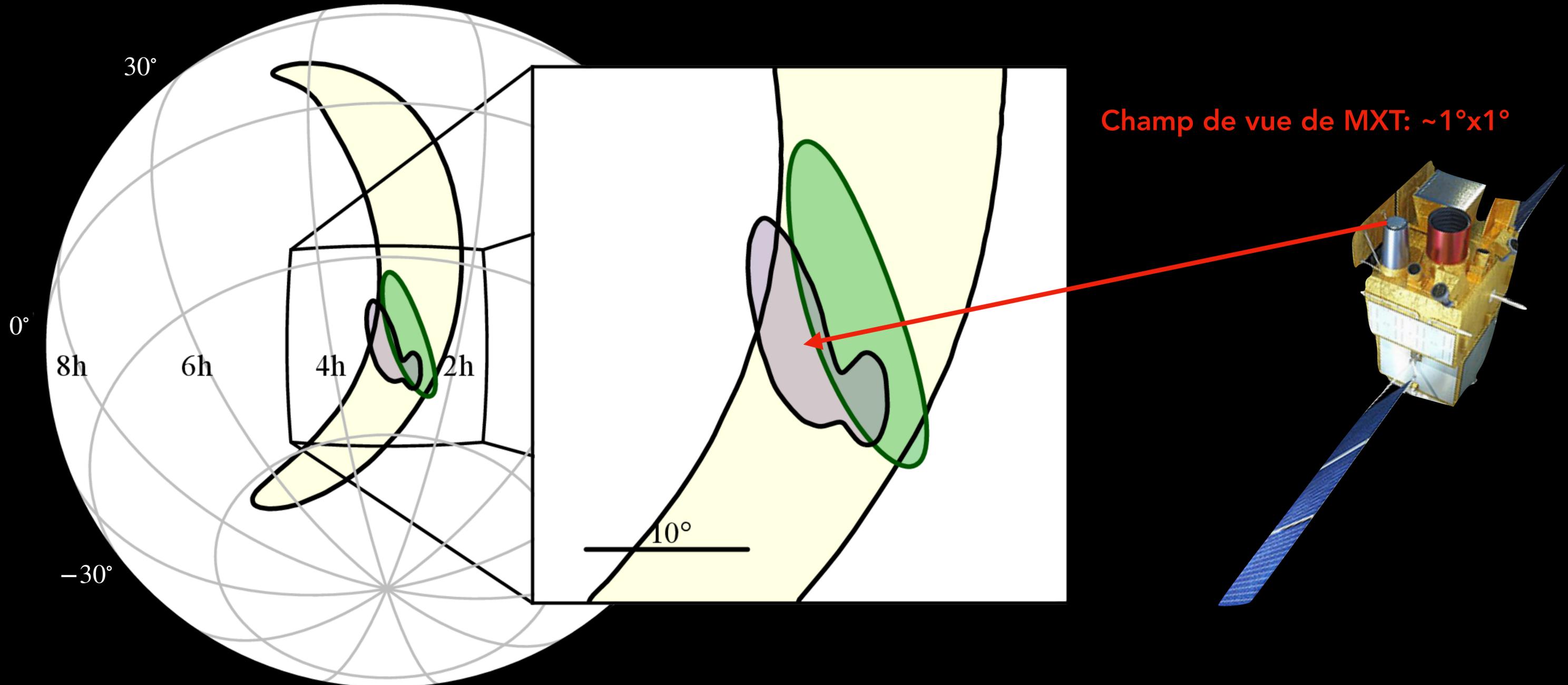


Antenne bande S

- **ToO nominaux (1/jour):** concernent les observations « courantes » nécessitant un pointage rapide suite à une alerte (suivi de GRB, sources (extra-)galactiques en activité, nouvelle source transitoire, ...).
~24/48h de délai à prévoir.
- **ToO exceptionnels:** couvrent le besoins en suivi rapide dans le cas d'un événement astrophysique exceptionnel. Délai: <3h.
- **ToO multi-messenger (1/semaine):** dédiés à la recherche de contrepartie électromagnétique aux alertes multi-messenger (ondes gravitationnelles, neutrinos, ...).
Délai: <3h

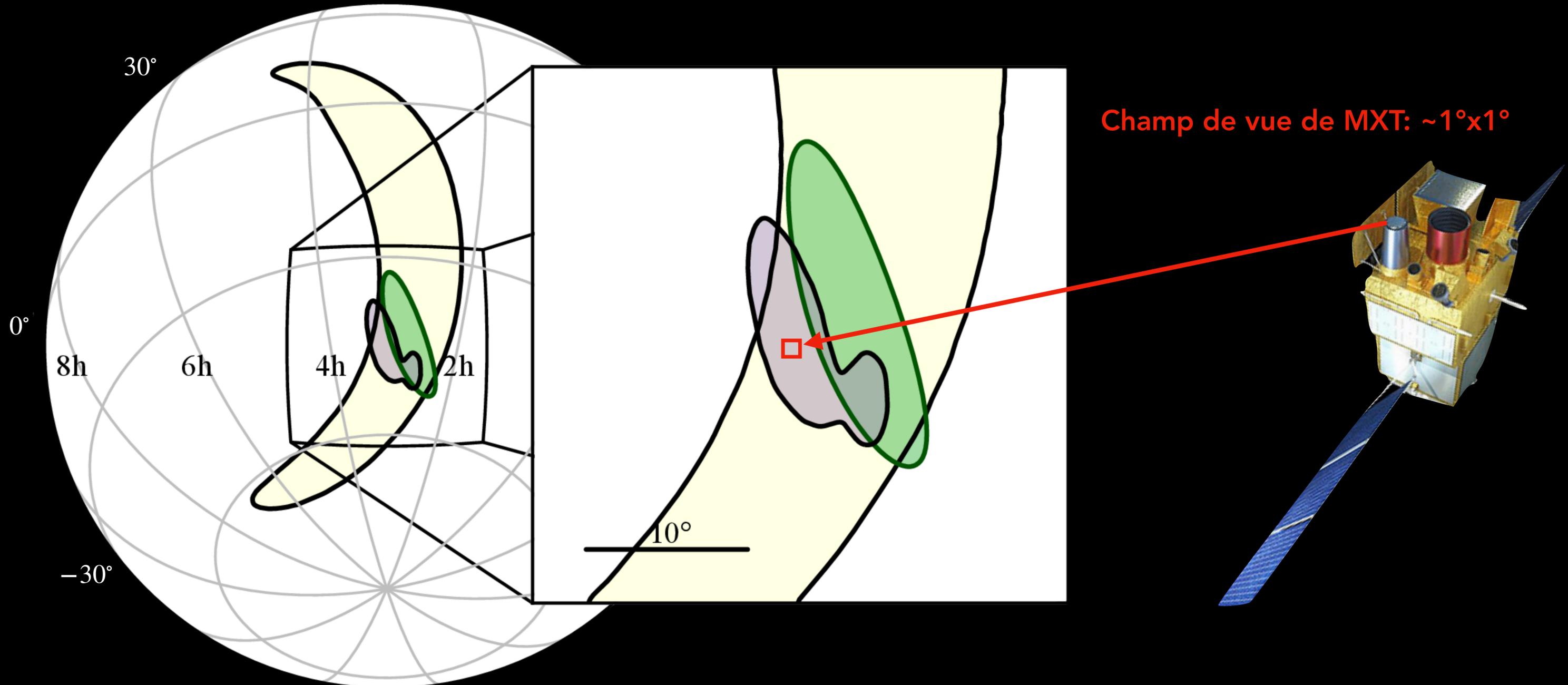
Synergies multi-messenger

- Recherche de contreparties X et visible aux événements multi-messagers (ondes gravitationnelles et neutrinos de haute énergie)



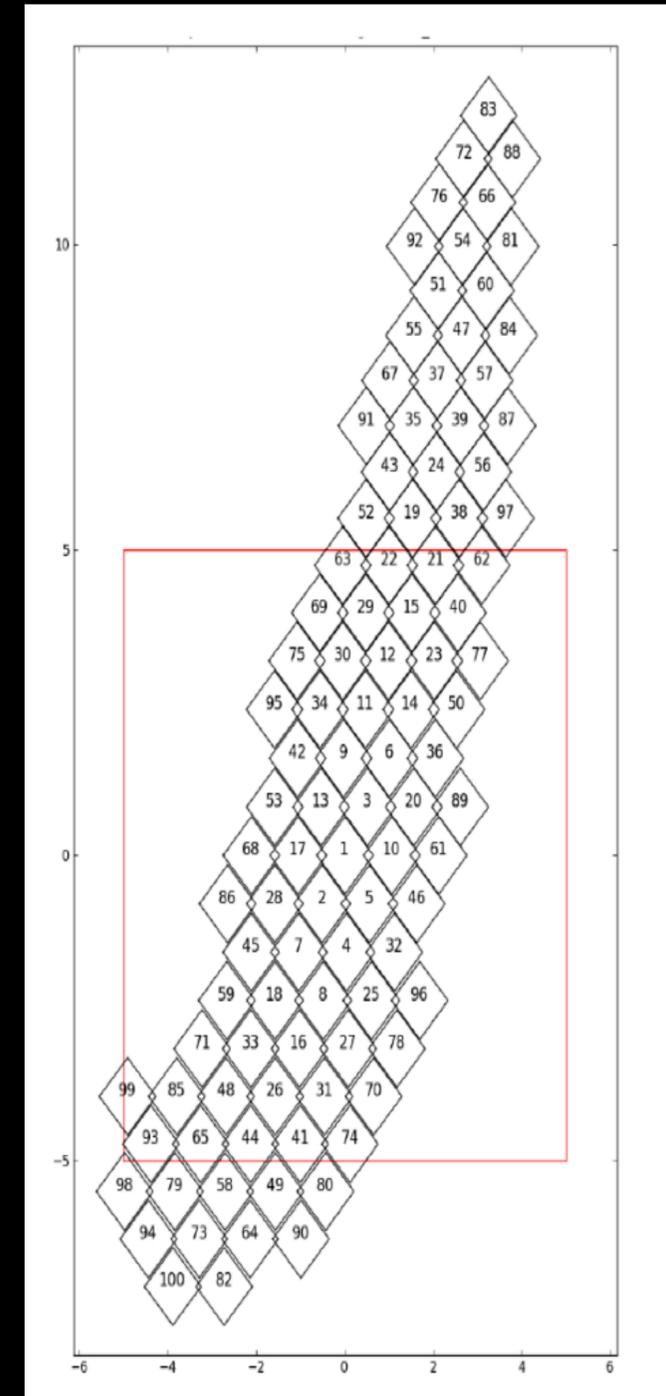
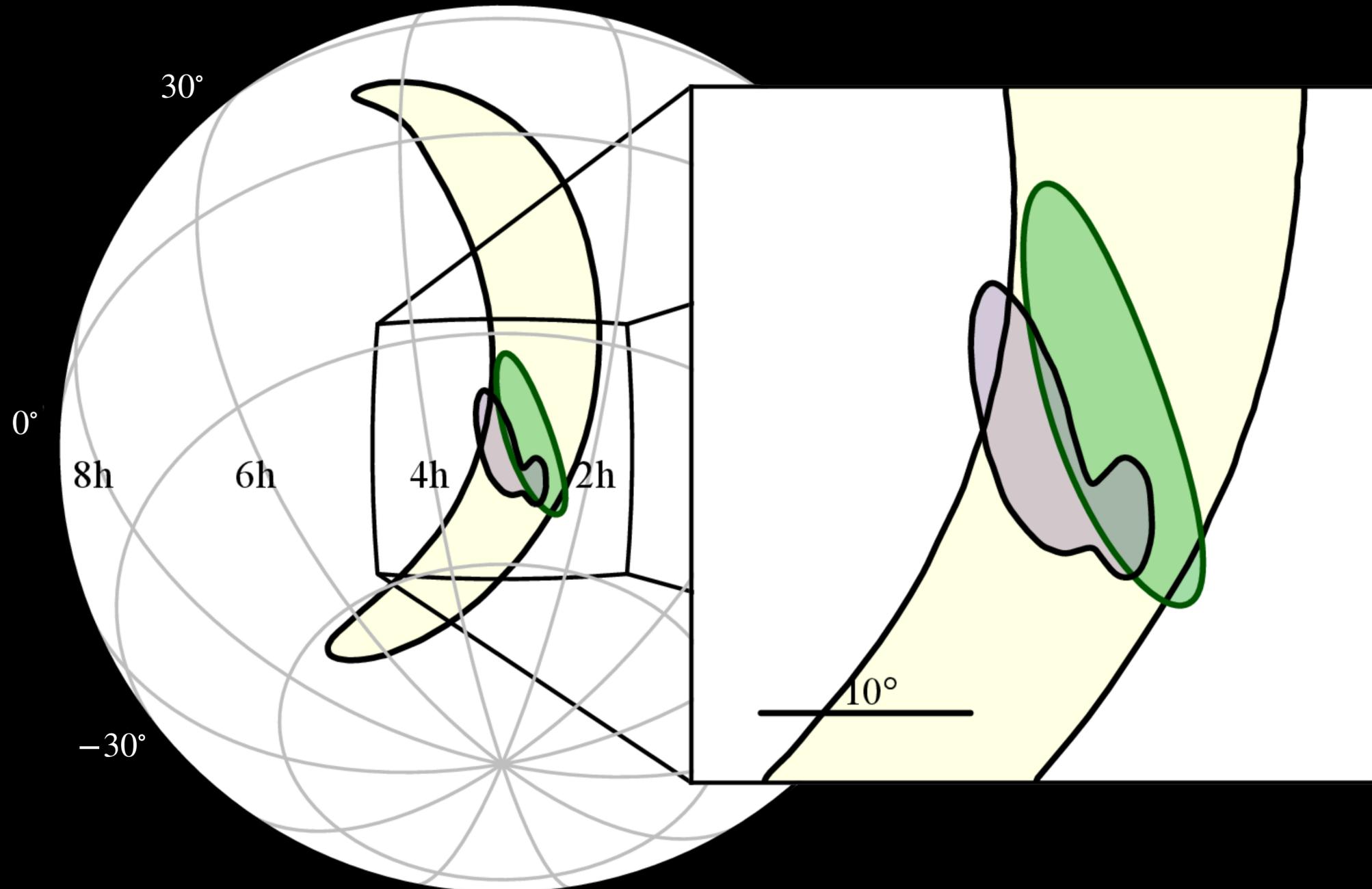
Synergies multi-messenger

- Recherche de contreparties X et visible aux événements multi-messagers (ondes gravitationnelles et neutrinos de haute énergie)



Synergies multi-messenger

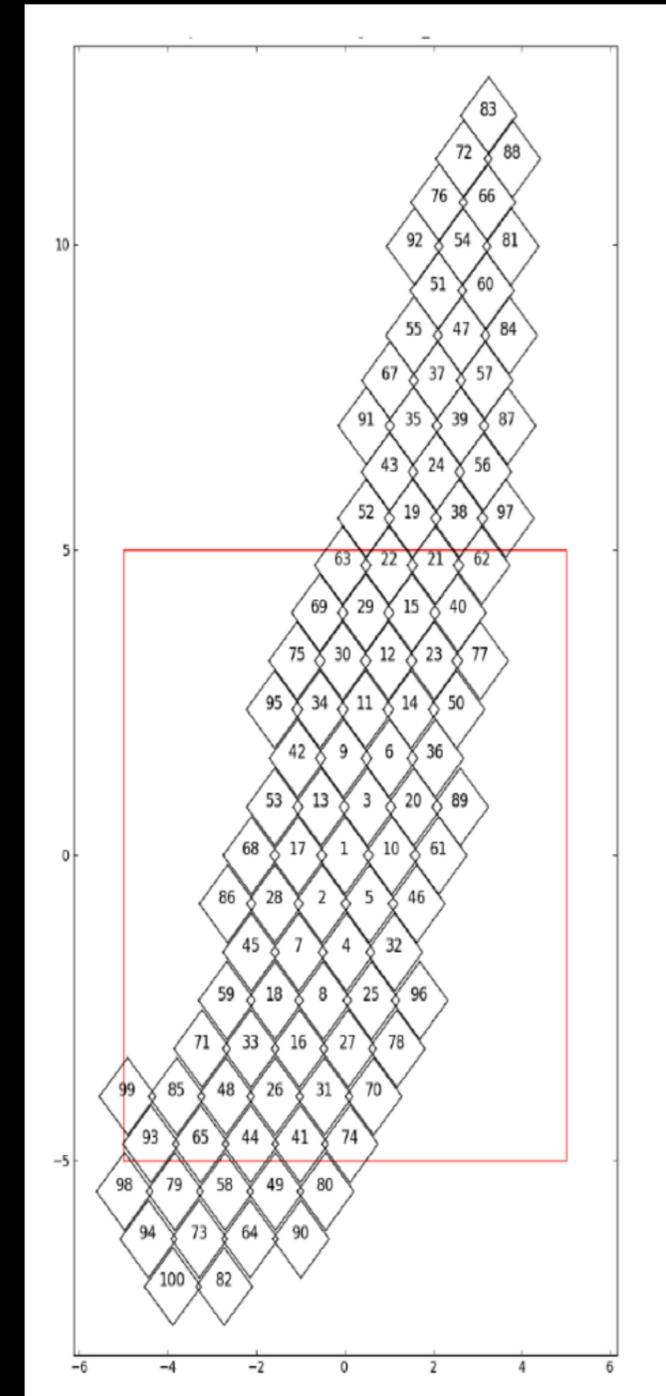
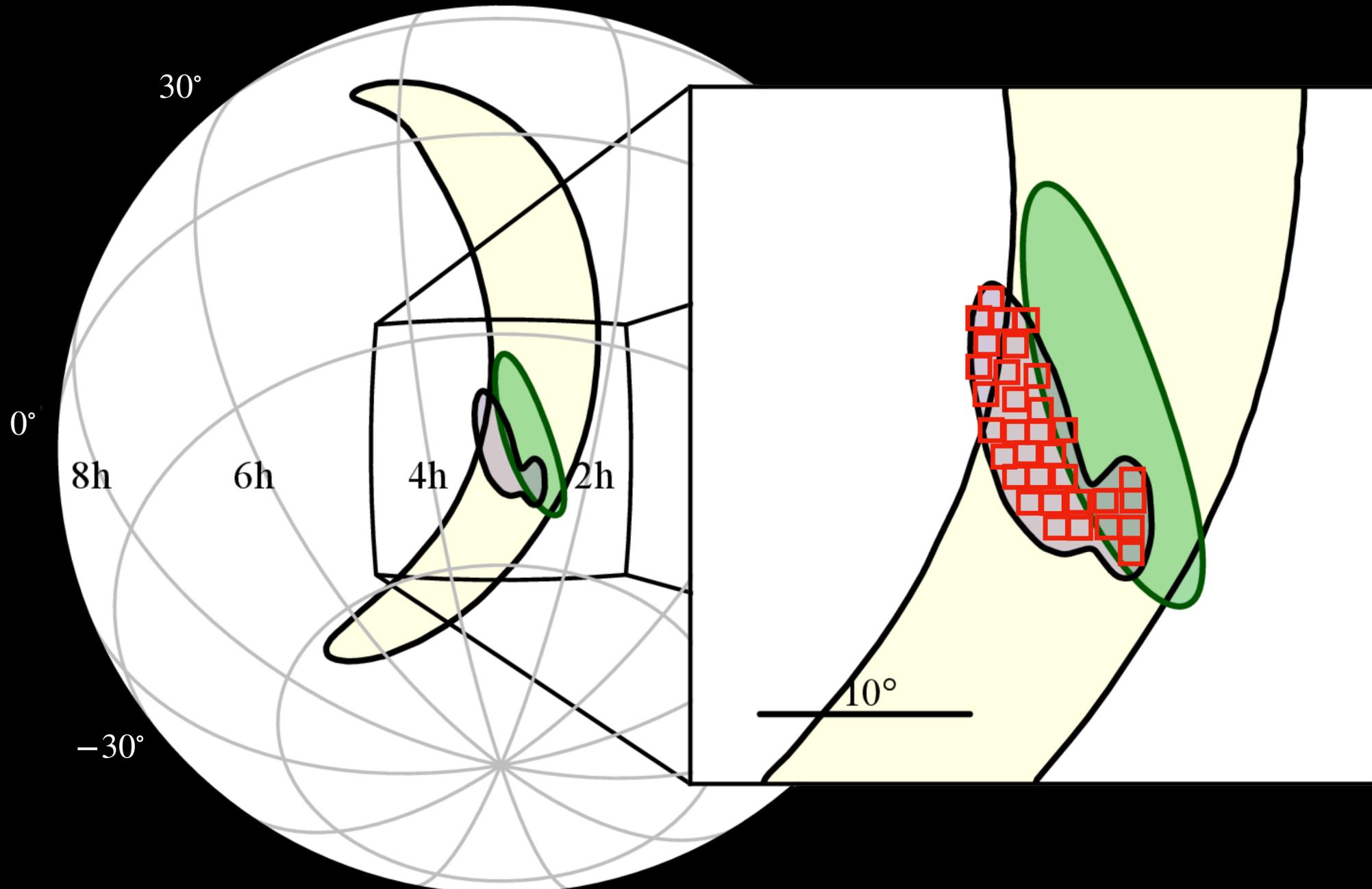
- Recherche de contreparties X et visible aux événements multi-messagers (ondes gravitationnelles et neutrinos de haute énergie)



MXT pourra couvrir 5 tuiles / orbite et 15 orbites / jour ou galaxy targeting

Synergies multi-messenger

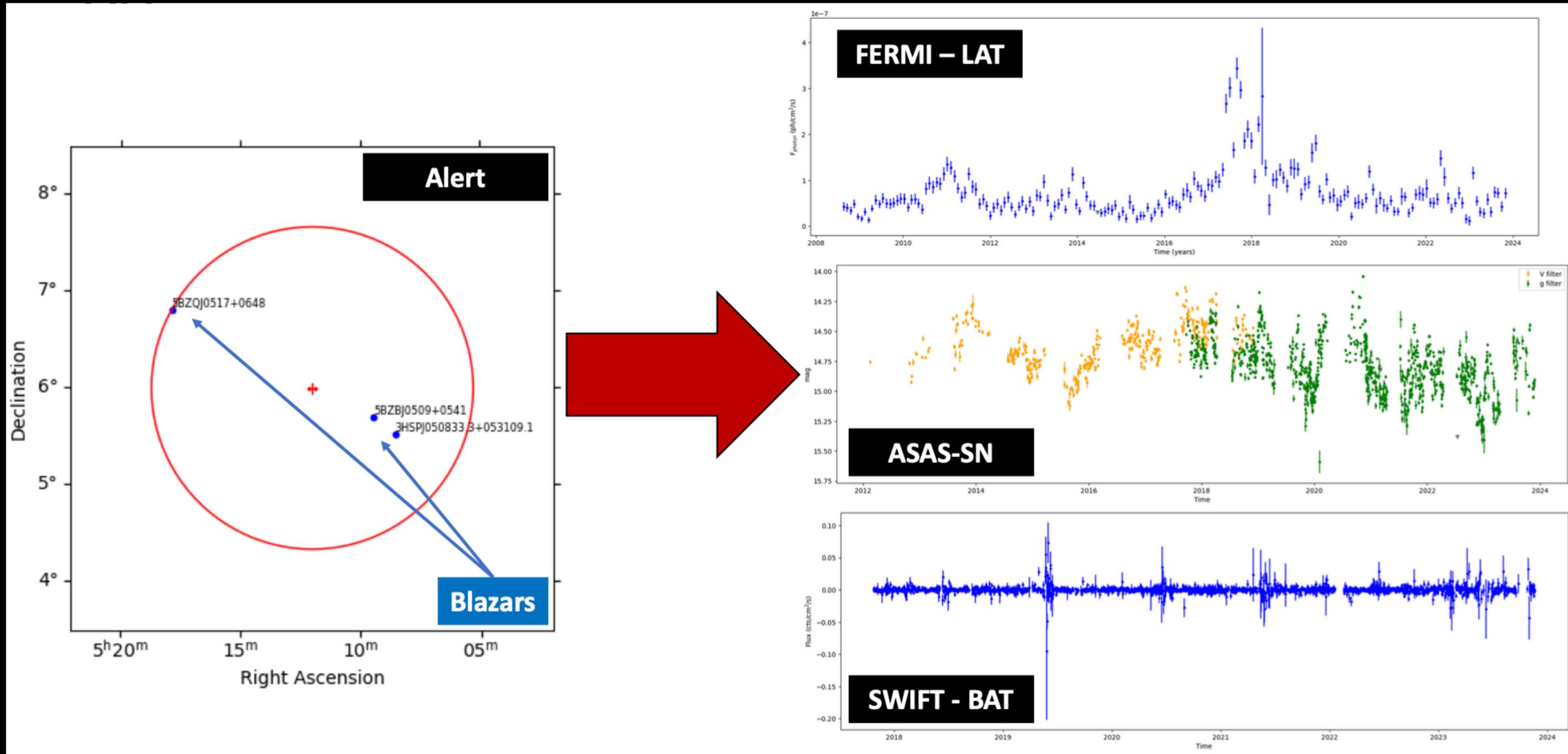
- Recherche de contreparties X et visible aux événements multi-messagers (ondes gravitationnelles et neutrinos de haute énergie)



MXT pourra couvrir 5 tuiles / orbite et 15 orbites / jour ou galaxy targeting

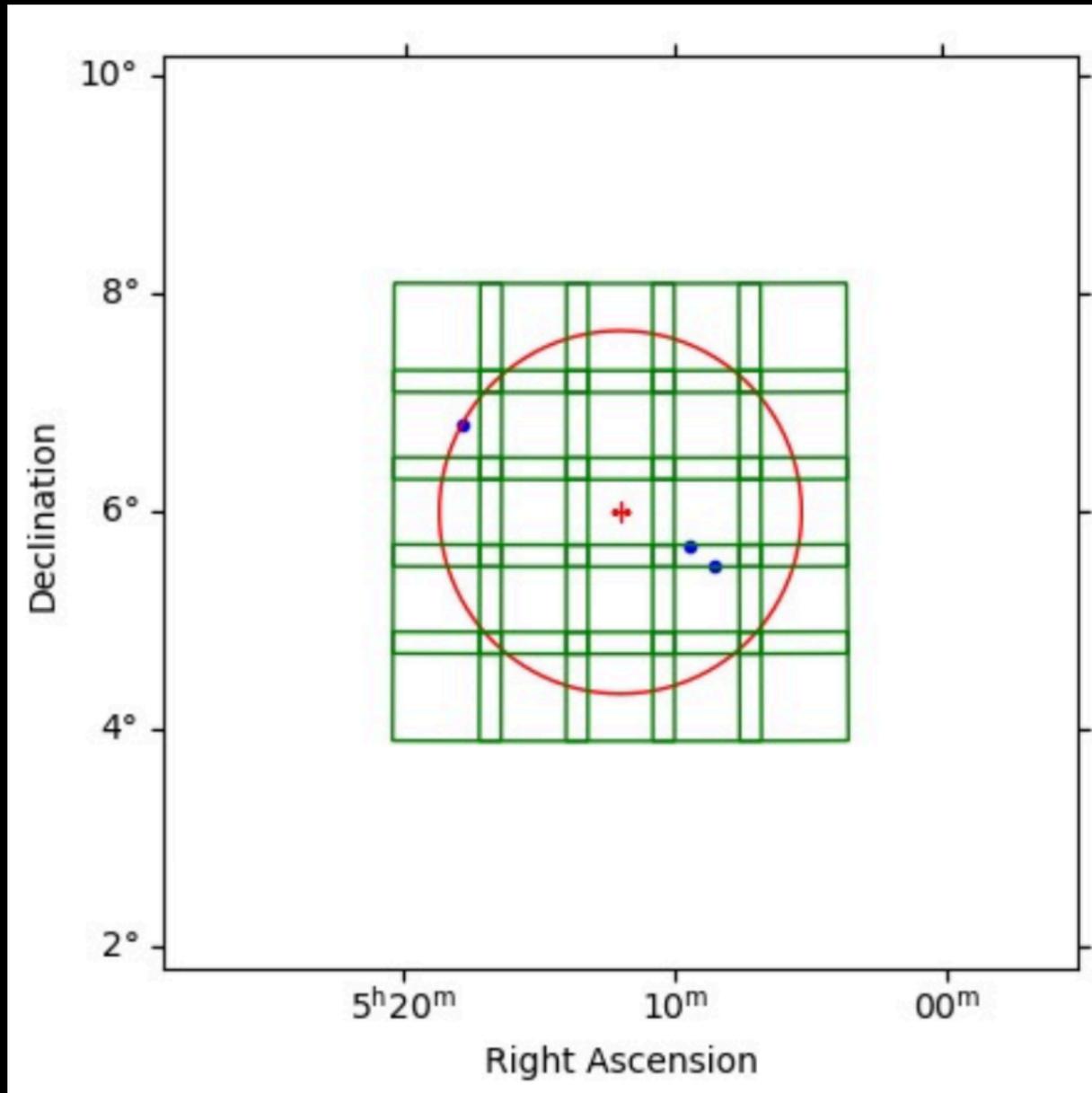
Synergies multi-messenger

- Recherche de contreparties X et visible aux événements multi-messagers (ondes gravitationnelles et neutrinos de haute énergie)



Synergies multi-messenger

- Recherche de contreparties X et visible aux événements multi-messagers (ondes gravitationnelles et neutrinos de haute énergie)



- Définition d'une stratégie de taillage de la boîte d'erreur
- Identification des sources à suivre en priorité (blazars en activité, TDE, ...)
- Calcul du temps d'exposition nécessaire avec MXT

ECLAIRS

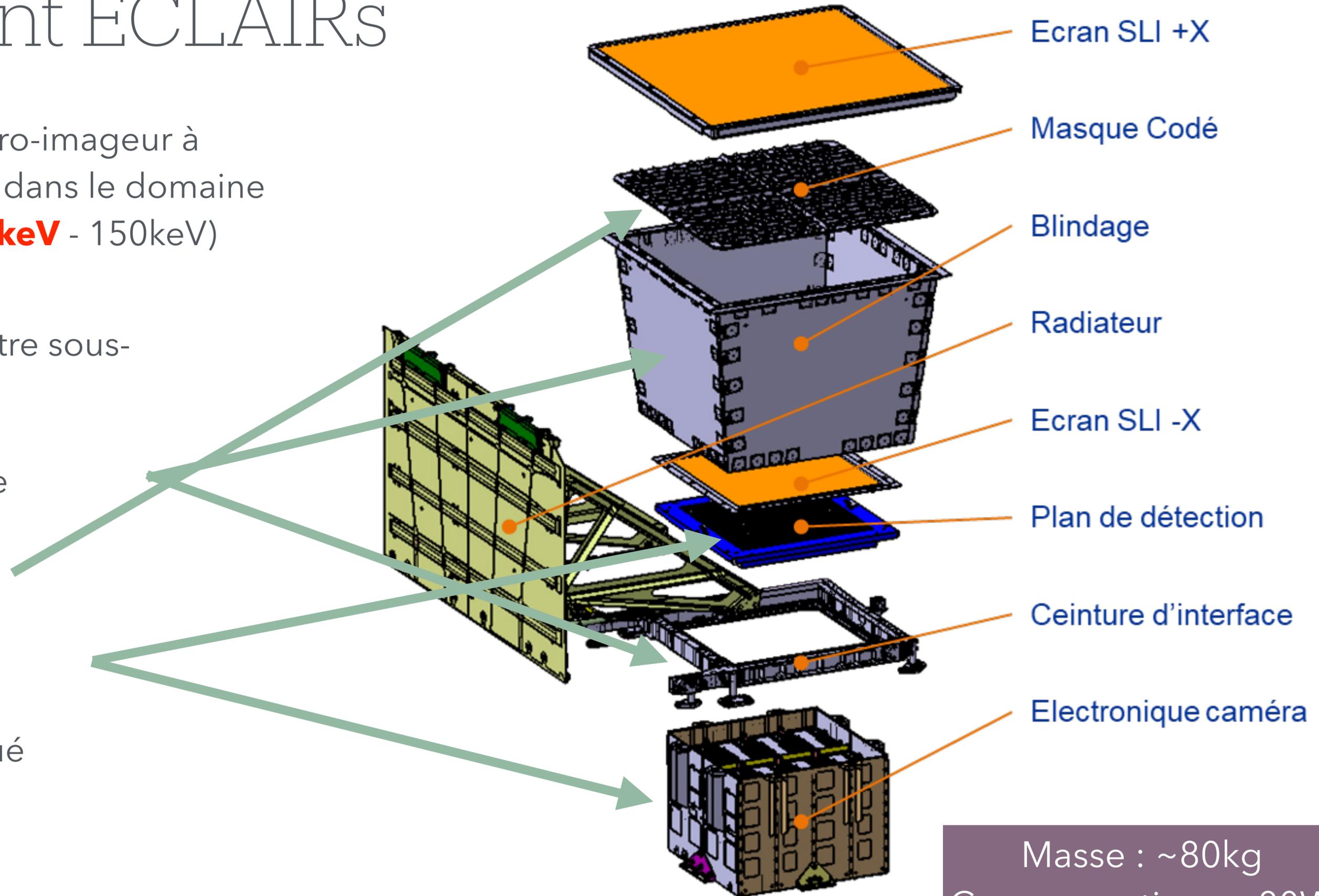
Cyril Lachaud

L'instrument ECLAIRs

ECLAIRs est un spectro-imageur à grand champ de vue dans le domaine des rayons X durs (**4keV** - 150keV)

Il est composé de quatre sous-systèmes :

- structure et blindage
- masque codé
- unité de détection
- calculateur embarqué



Masse : ~80kg
Consommation : ~80W

Objectifs d'ECLAIRS

Cahier des charges scientifique

Surveillance d'une grande partie du ciel

- champ de vue de $89 \times 89 \text{ deg}^2$ ($\sim 1/6$ du ciel total)
- enregistrement de tous les photons par la caméra avec datation, position (imagerie) et mesure de l'énergie (spectroscopie)

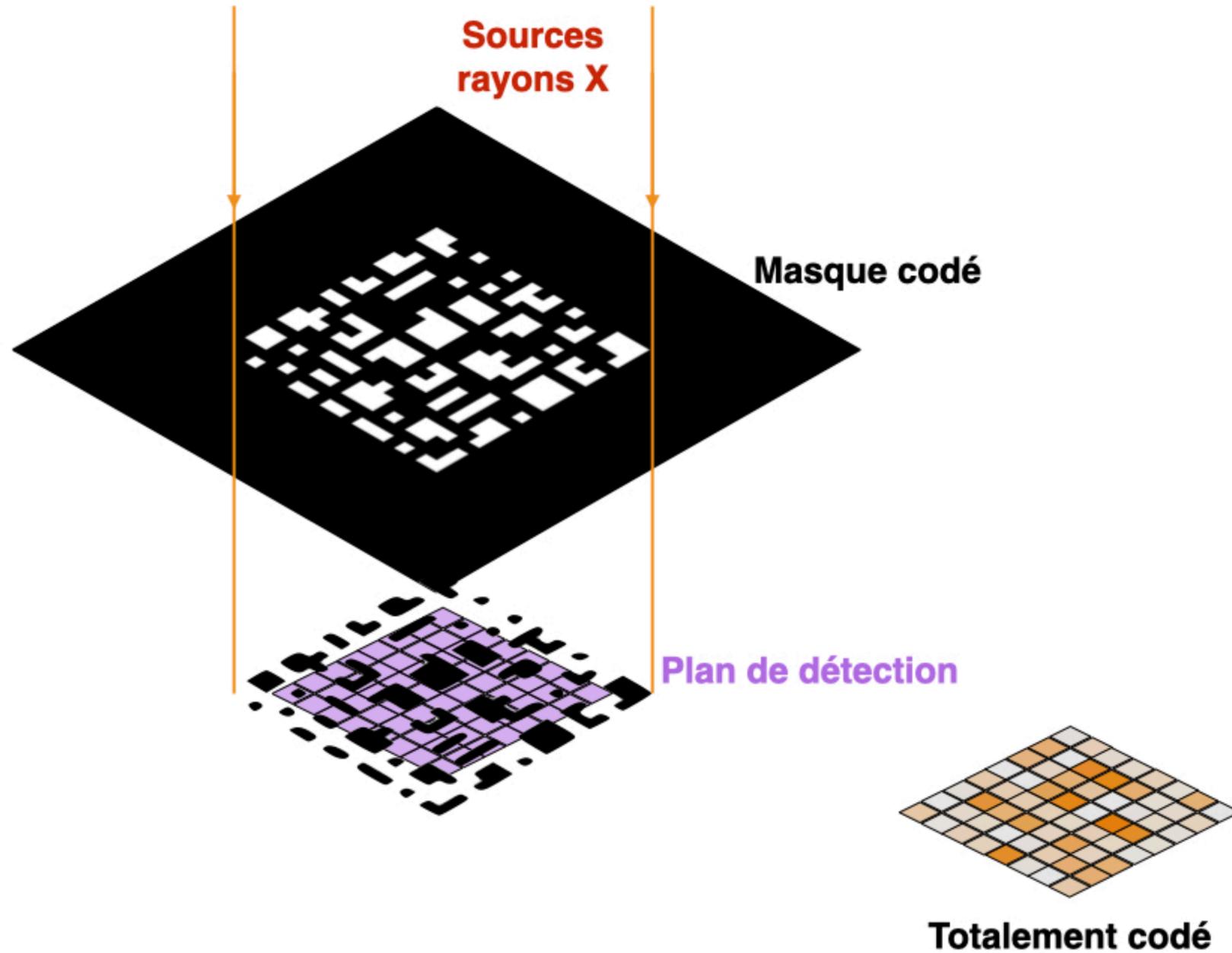
Détection et localisation à bord

- détection des événements transitoires à haute énergie
- estimation de la position de l'événement sur le ciel
- envoi de l'alerte au sol et au satellite pour rotation et alignement de la source avec les instruments à petits champ de vue (MXT, VT)

L'imagerie à masque codé...

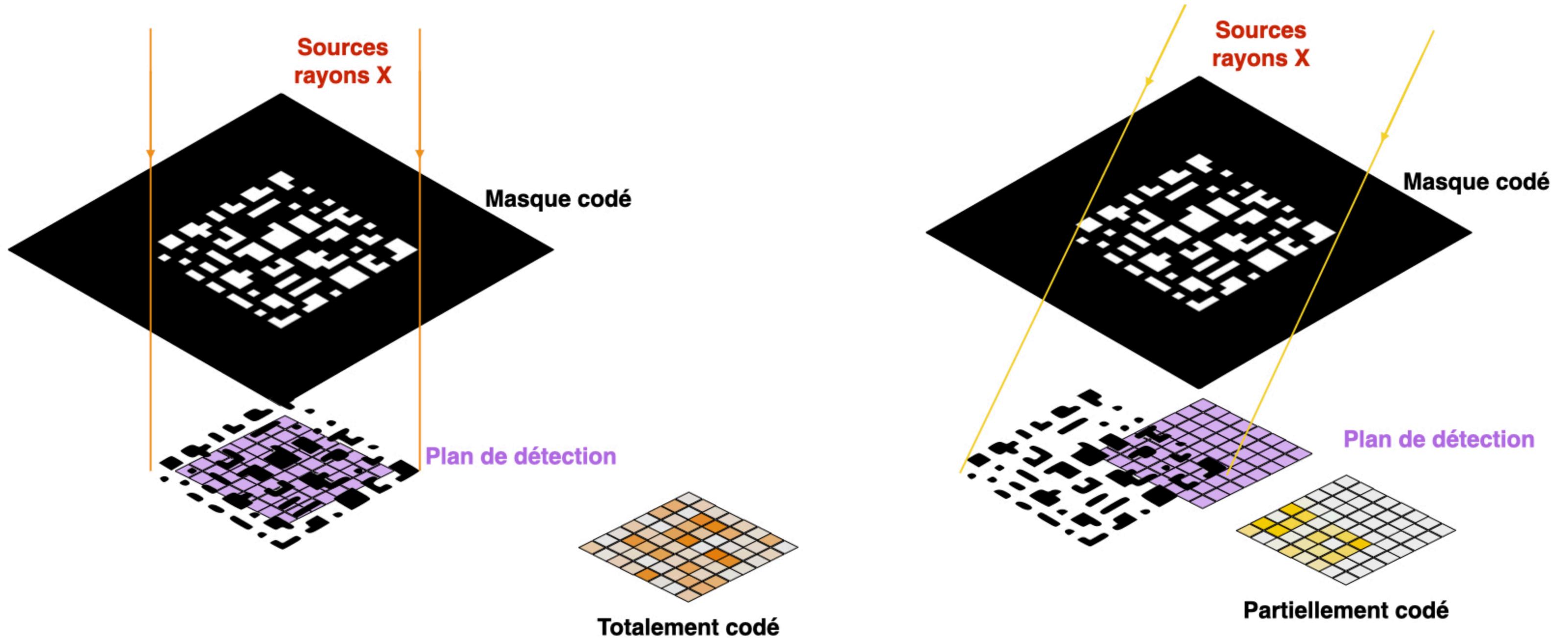
Principe de fonctionnement

Imagerie à masque codé



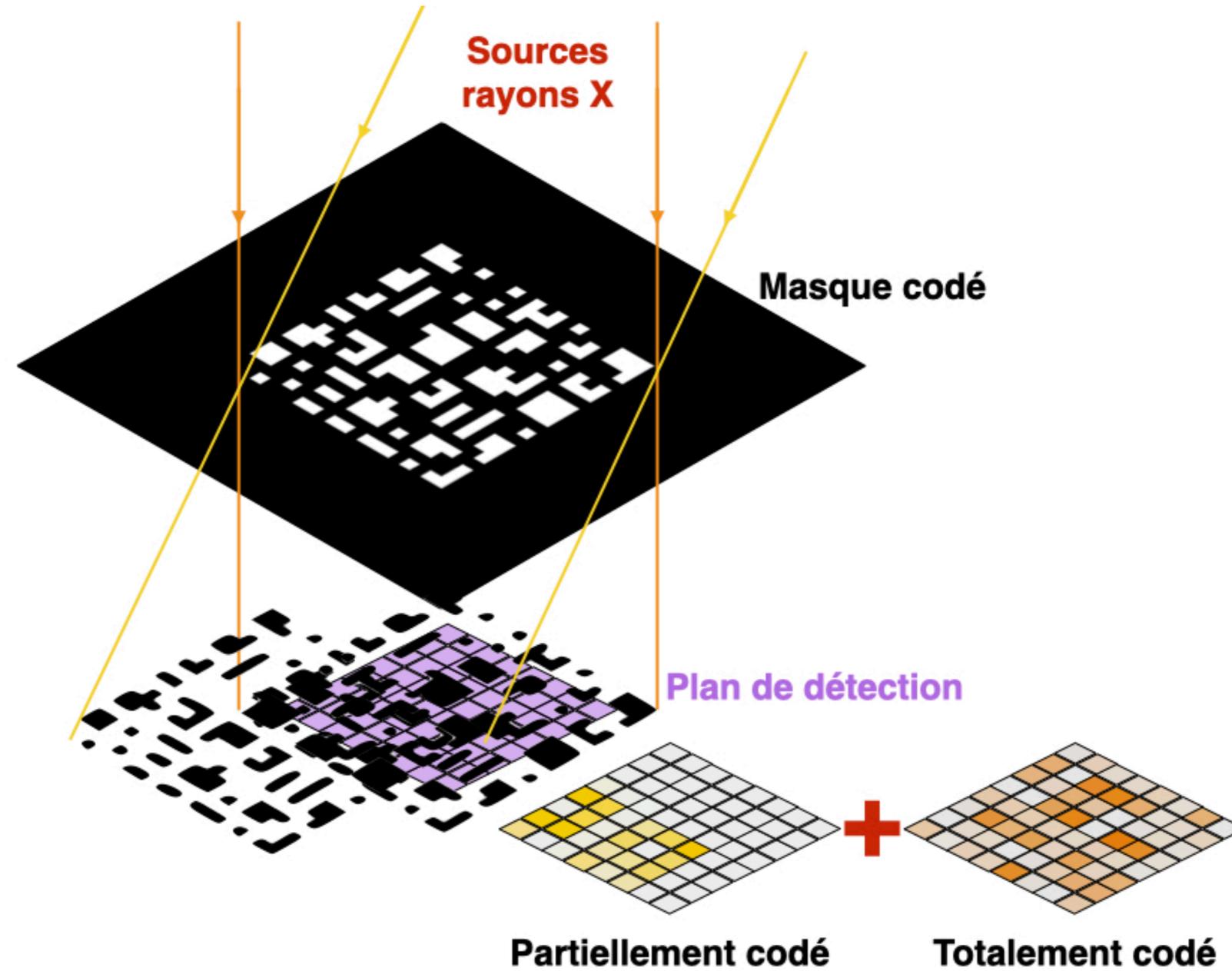
Principe de fonctionnement

Imagerie à masque codé



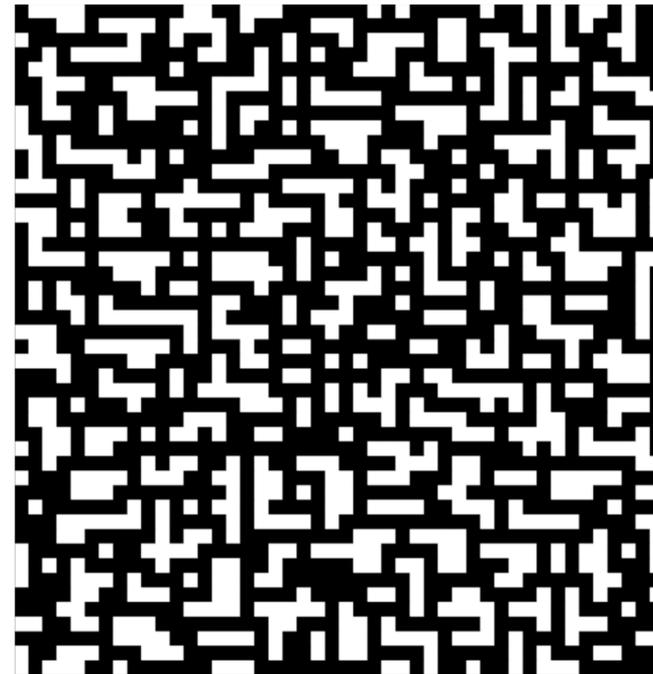
Principe de fonctionnement

Imagerie à masque codé



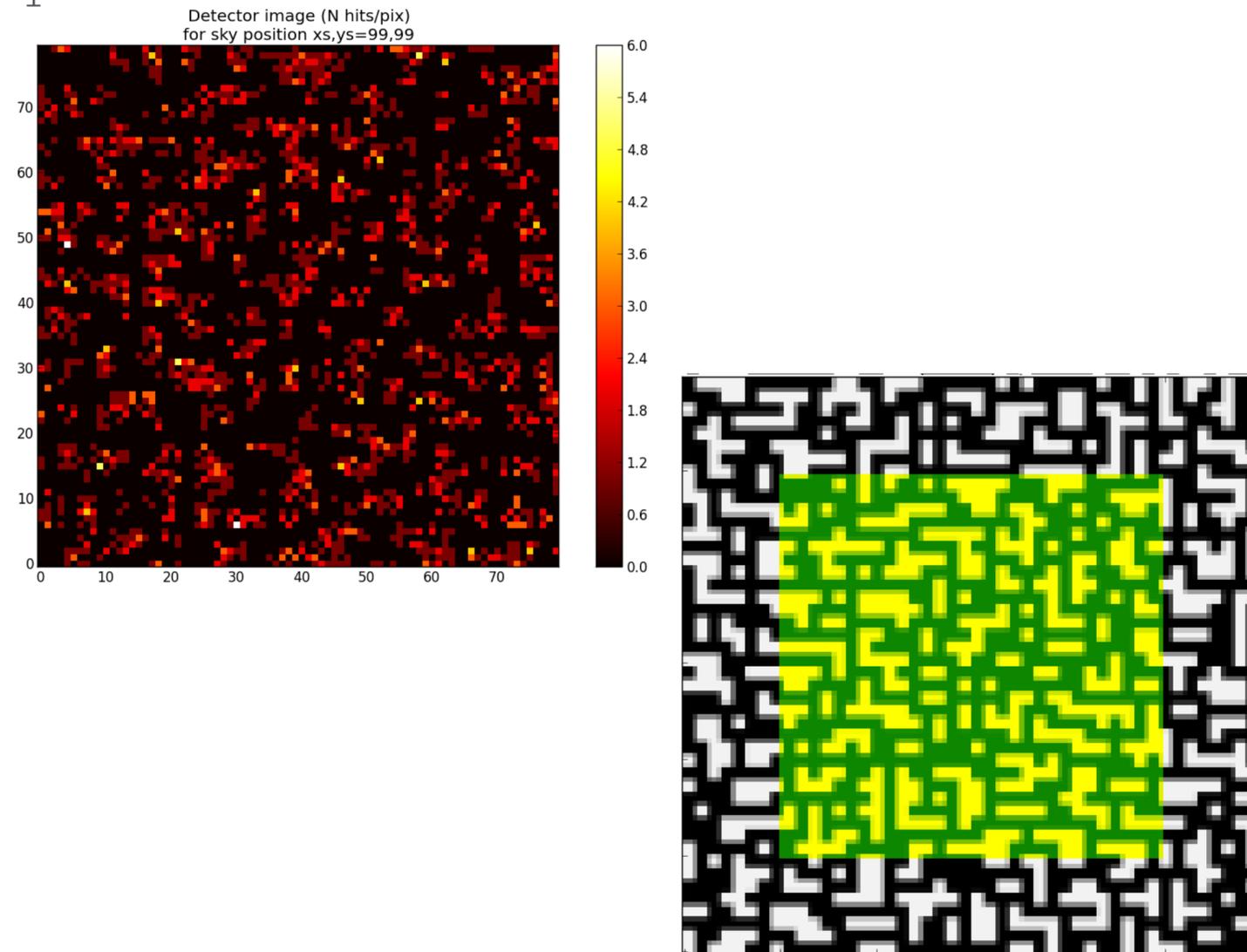
Principe de fonctionnement

Imagerie à masque codé



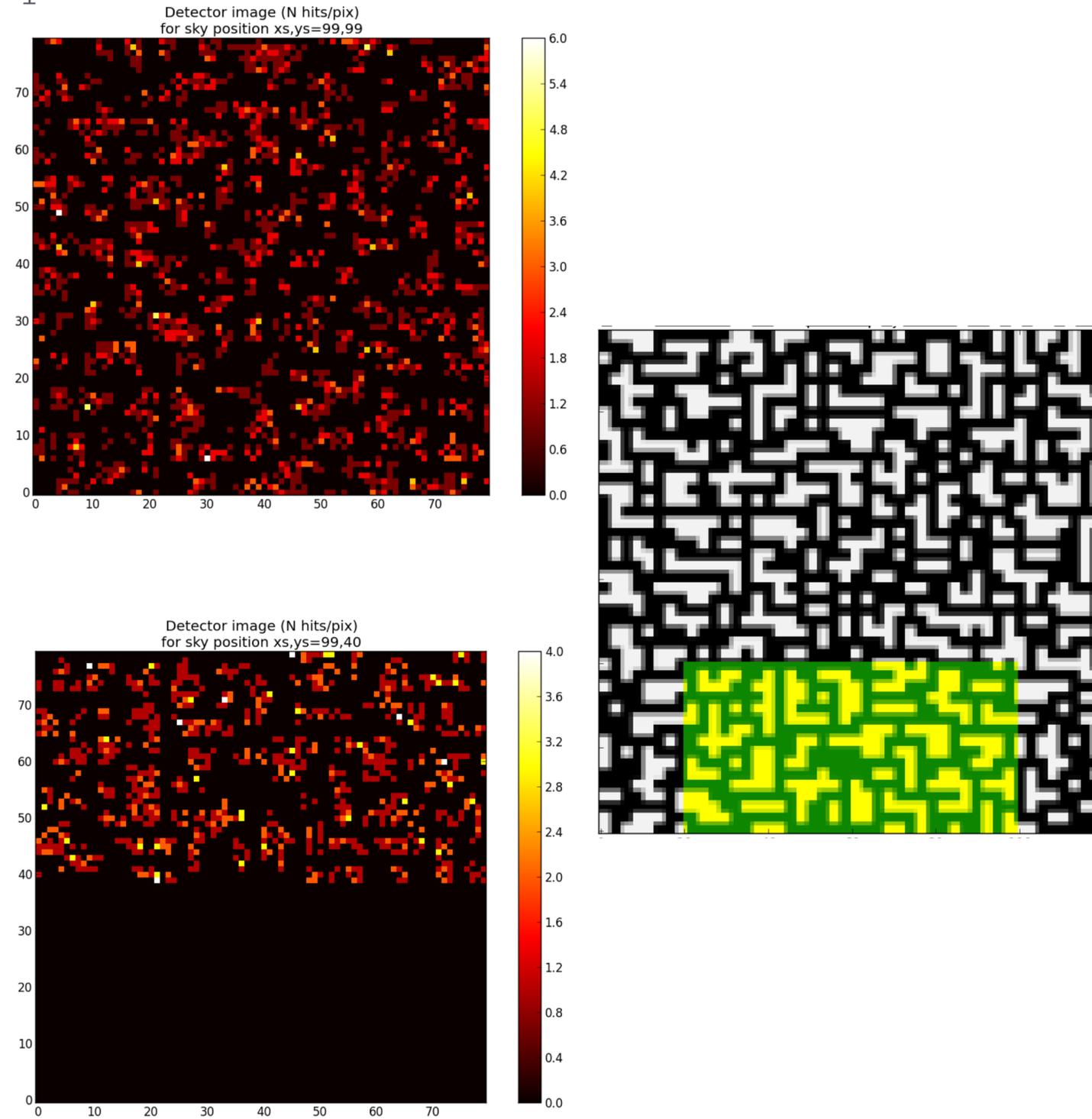
Principe de fonctionnement

Imagerie à masque codé



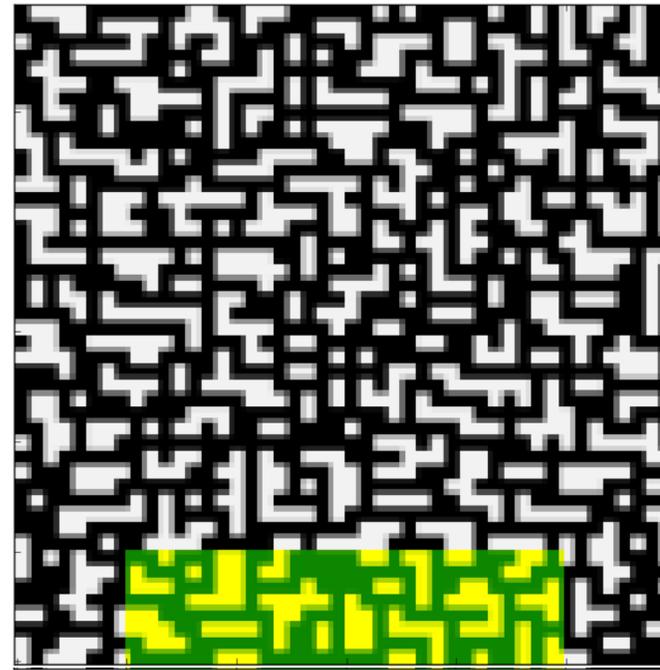
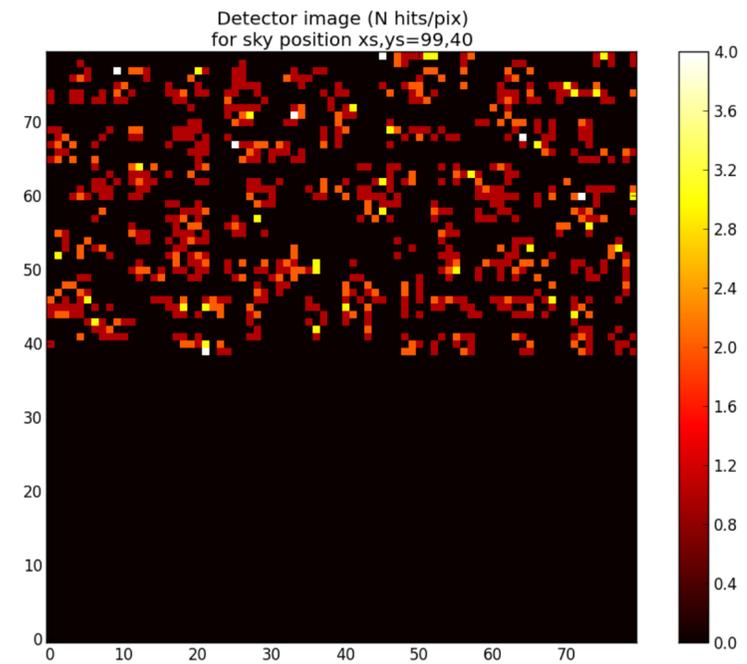
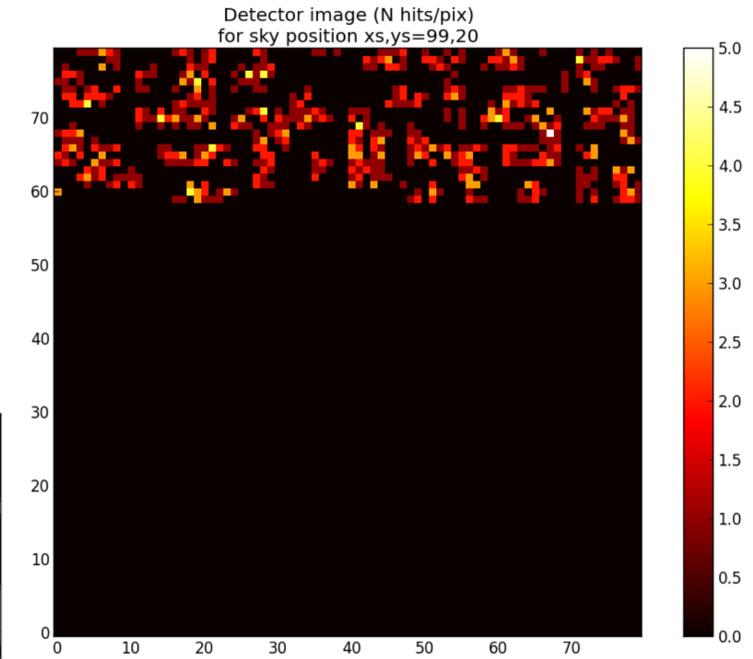
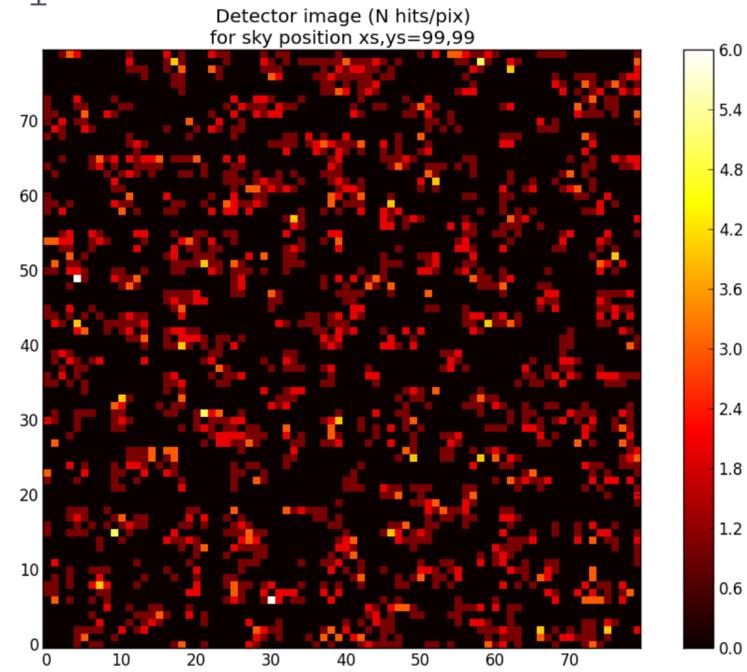
Principe de fonctionnement

Imagerie à masque codé



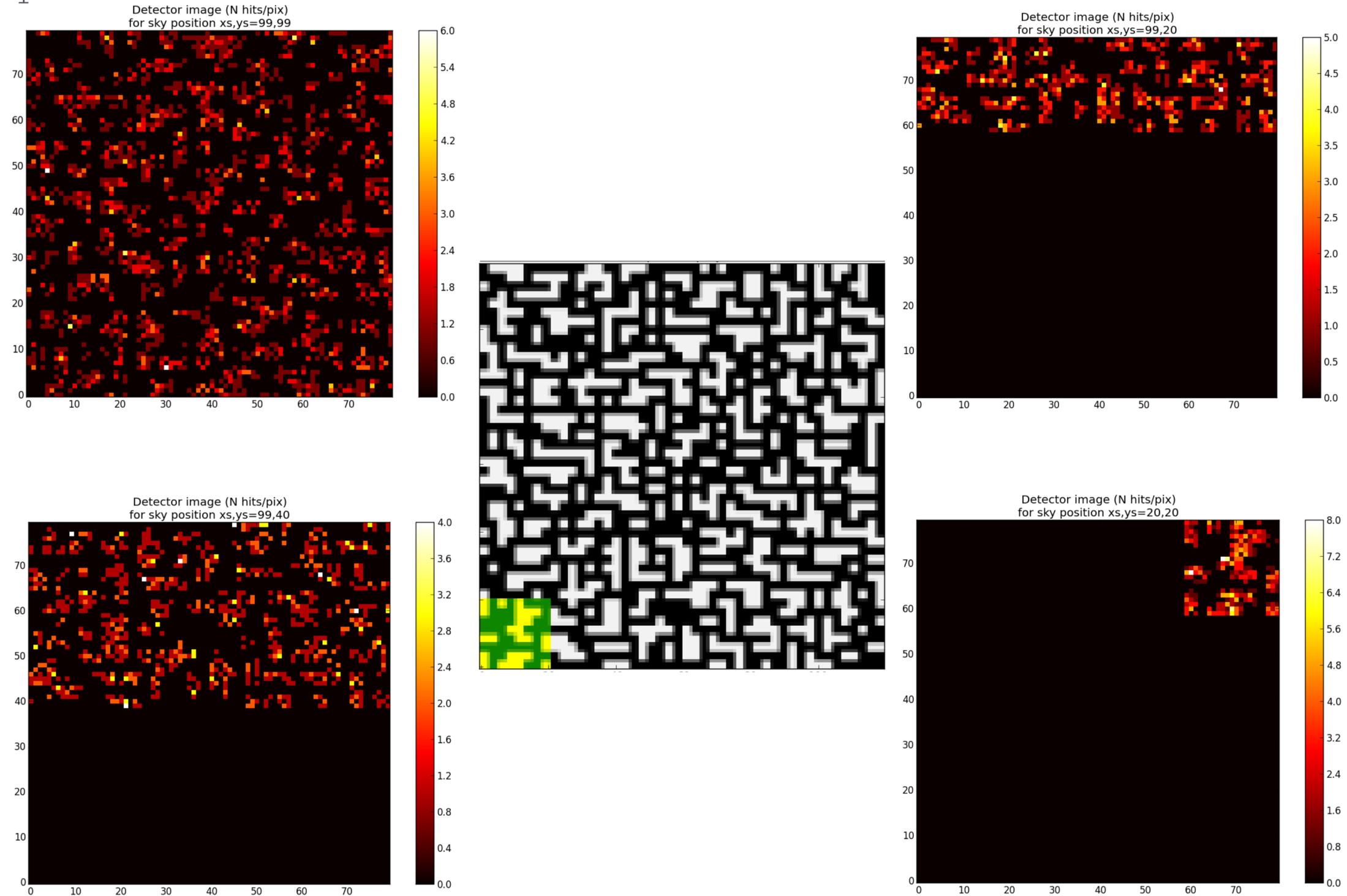
Principe de fonctionnement

Imagerie à masque codé



Principe de fonctionnement

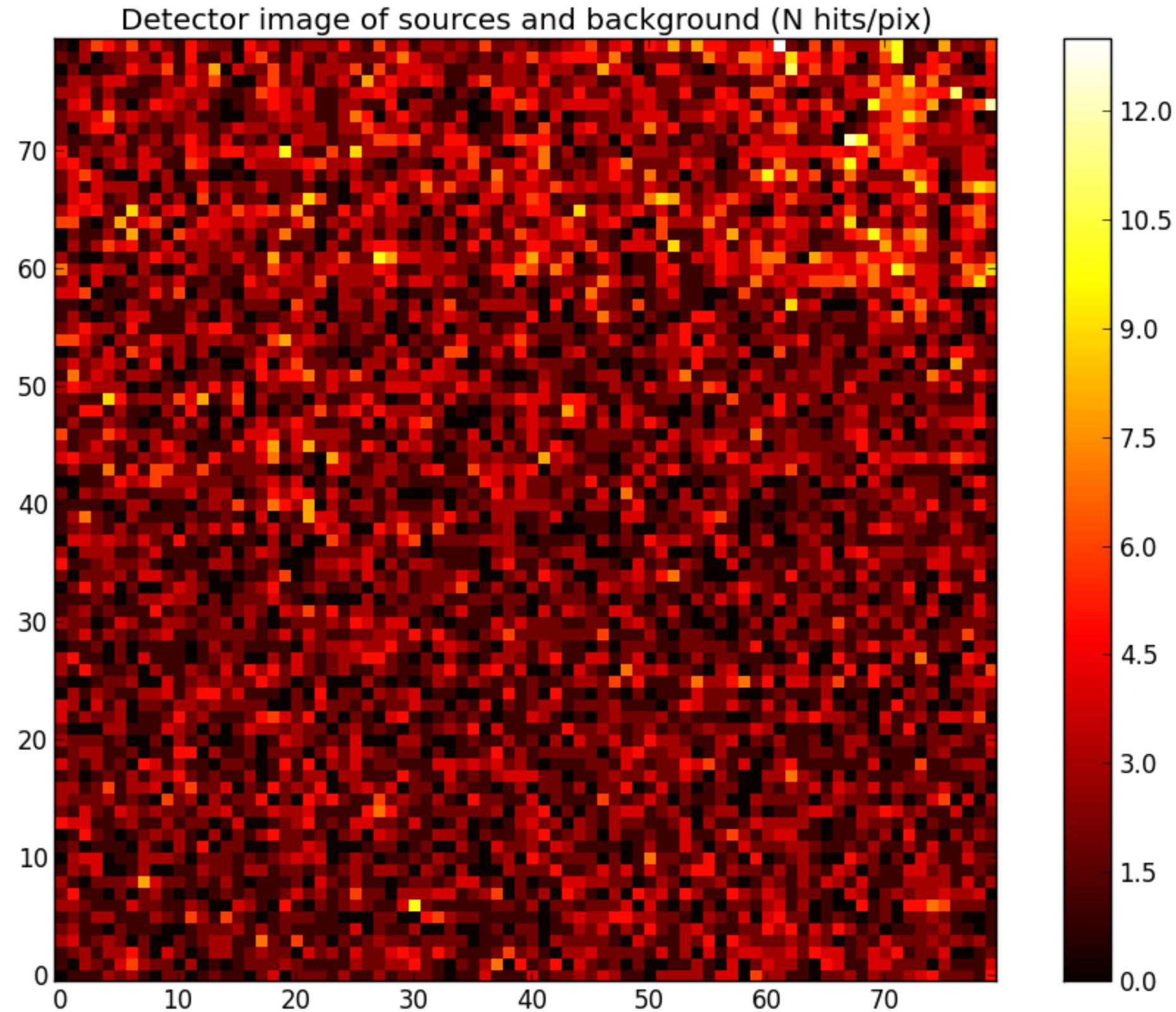
Imagerie à masque codé



Principe de fonctionnement

Imagerie à masque codé

On somme toutes les sources
dans une seule image et on
rajoute du bruit de fond
(fond diffus en rayons X)



Principe de fonctionnement

Imagerie à masque codé

On reconstruit l'image du ciel

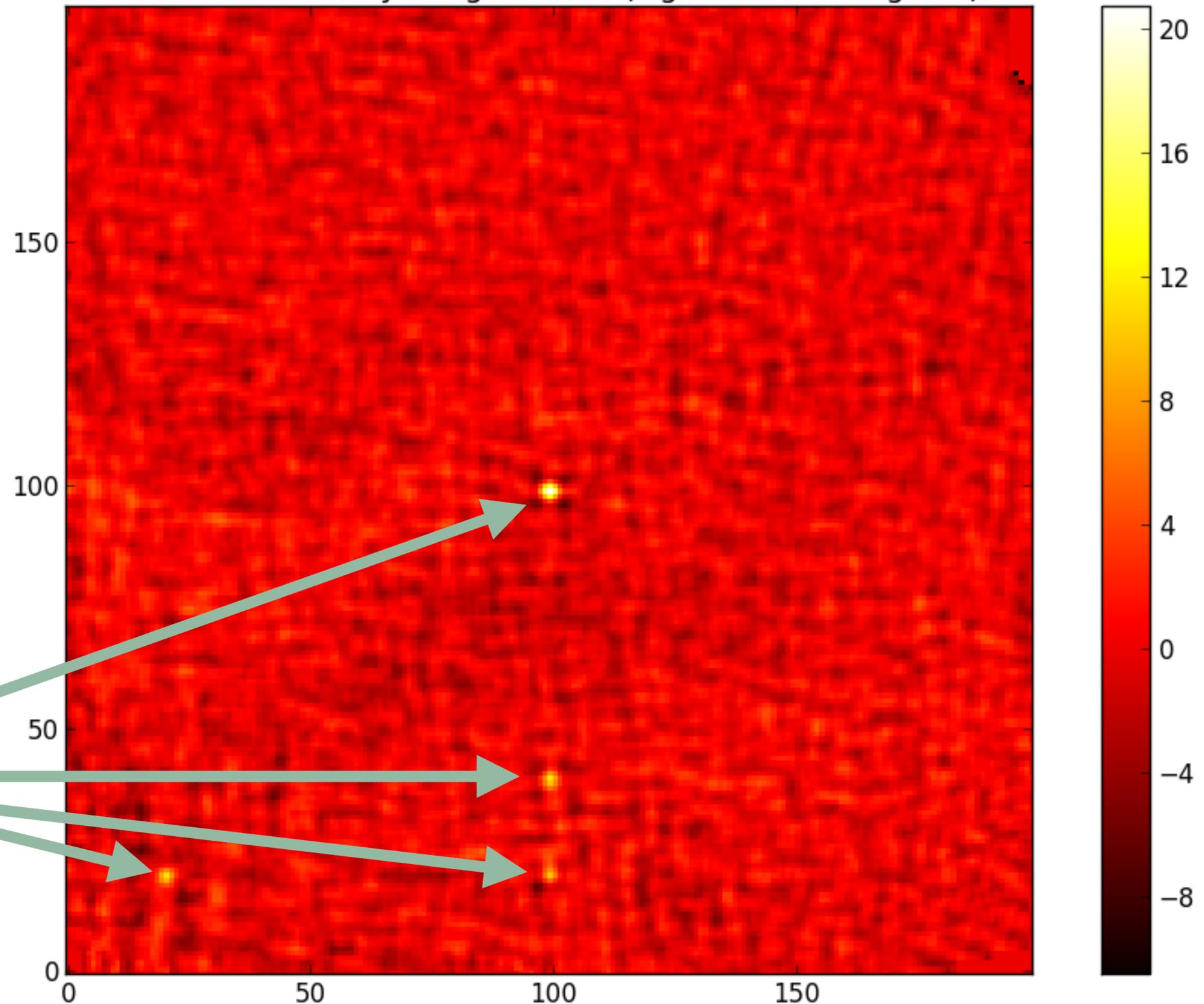
par "déconvolution"...

$$S_{ij} = \frac{\sum_{kl} G_{i+k,j+l}^+ W_{kl} D_{kl}}{\sum_{kl} G_{i+k,j+l}^+ W_{kl}} - \frac{\sum_{kl} G_{i+k,j+l}^- W_{kl} D_{kl}}{\sum_{kl} G_{i+k,j+l}^- W_{kl}}$$

$$V_{ij} = \frac{\sum_{kl} (G_{i+k,j+l}^+ W_{kl})^2 D_{kl}}{(\sum_{kl} G_{i+k,j+l}^+ W_{kl})^2} + \frac{\sum_{kl} (G_{i+k,j+l}^- W_{kl})^2 D_{kl}}{(\sum_{kl} G_{i+k,j+l}^- W_{kl})^2}$$

On retrouve bien
nos 4 sources !

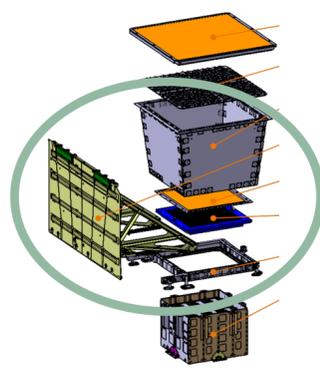
Reconstructed sky image of SNR (significance in sigmas)



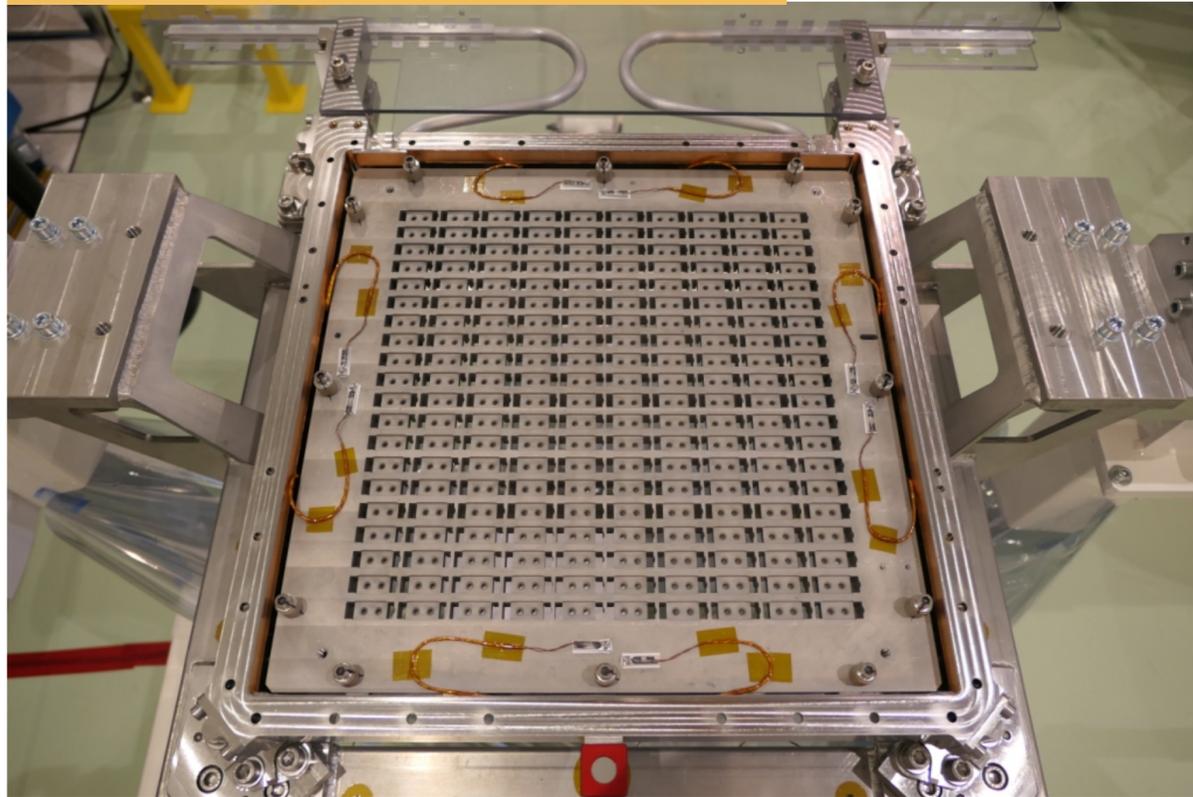
Les sous systèmes...

Structure, thermique et blindage

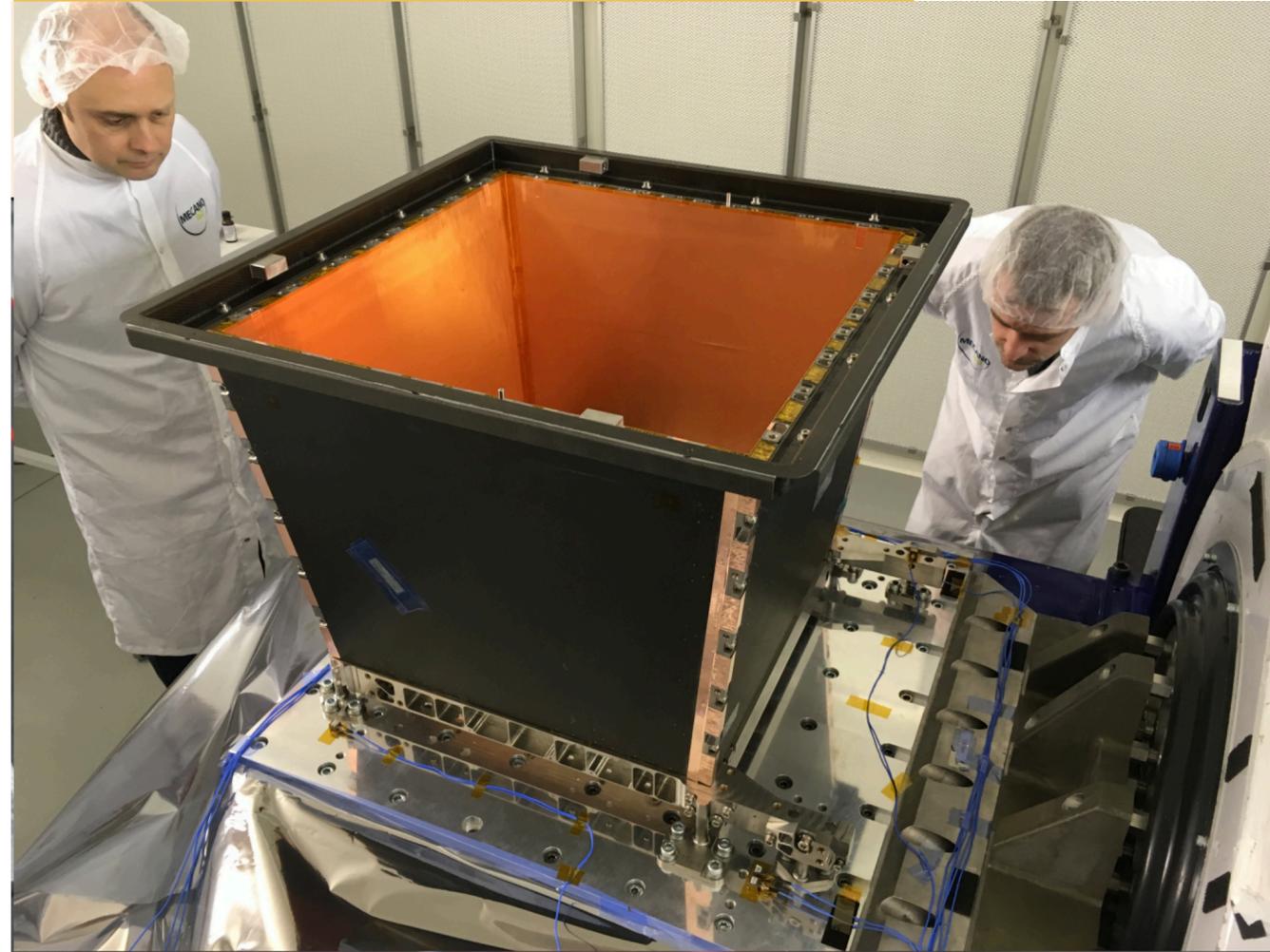
Contrôle thermique et du champ de vue



Ceinture et plateau froid (-20°C)



Blindage en plomb recouvert de cuivre



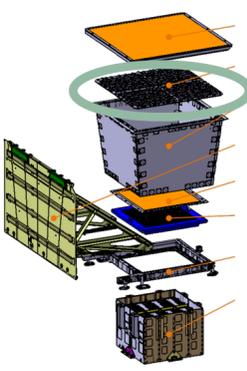
Radiateur



ECLAIRs est doté d'un système thermique pour maintenir les détecteurs à -20°C. Son blindage en plomb est recouvert de cuivre pour des besoins de calibration

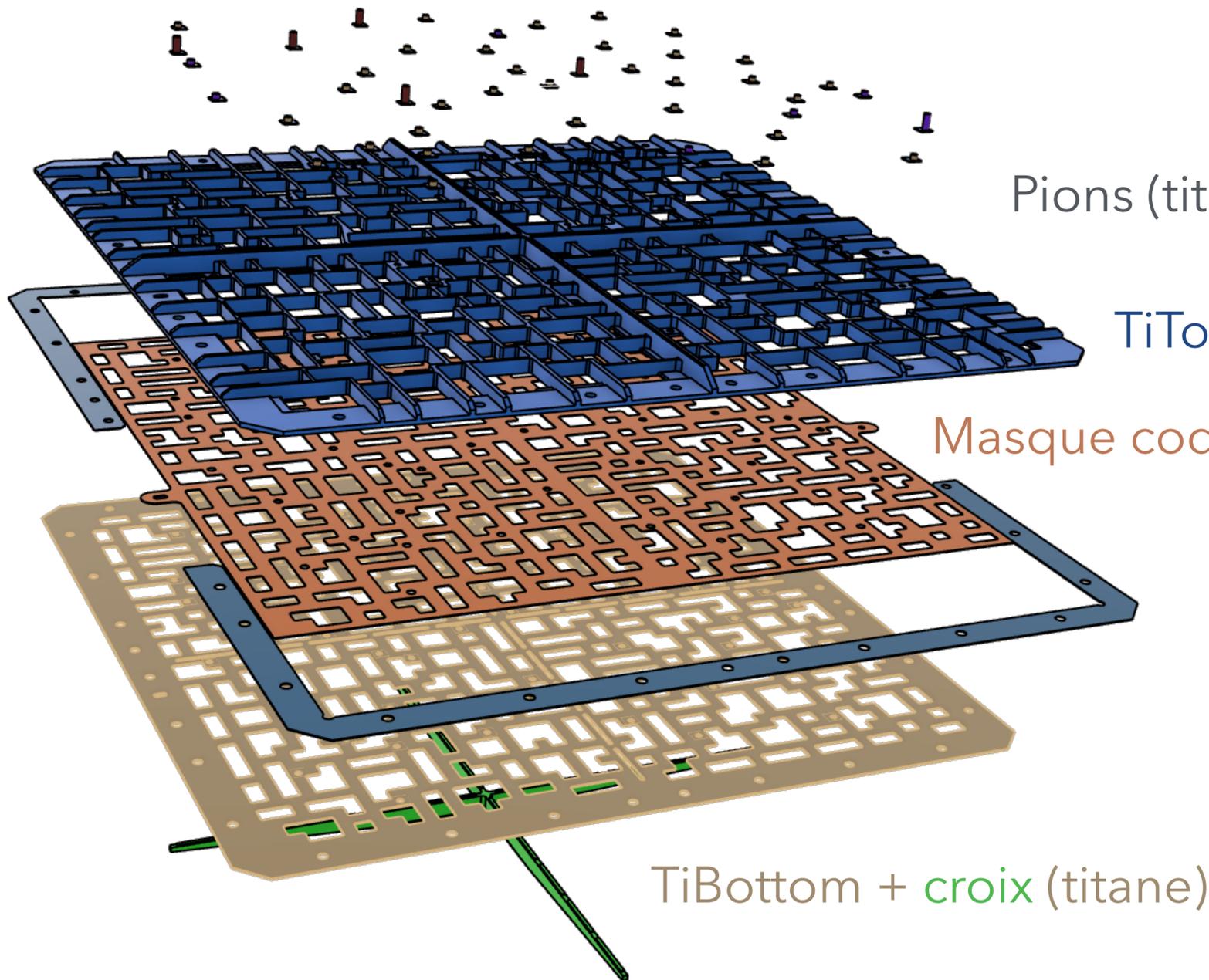
Le masque codé d'ECLAIRs

Faire des ombres en arrêtant une partie de la lumière



Le seuil bas à 4 keV, impose un masque autoporteur (que l'on peut percer dans une feuille).

Malheureusement, avec 40% d'ouverture, une telle feuille est très fragile... mais on a trouvé une solution !

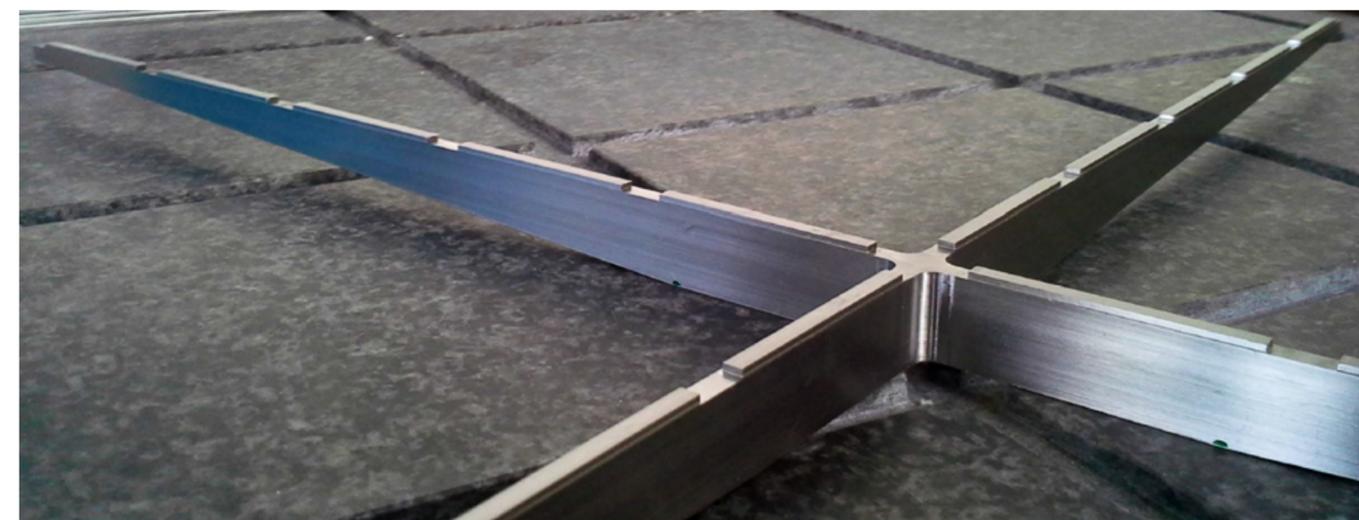
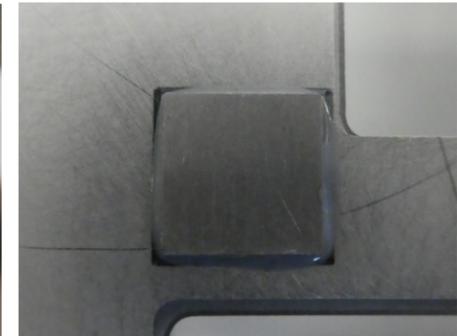
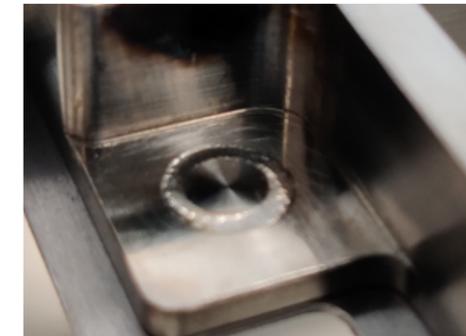


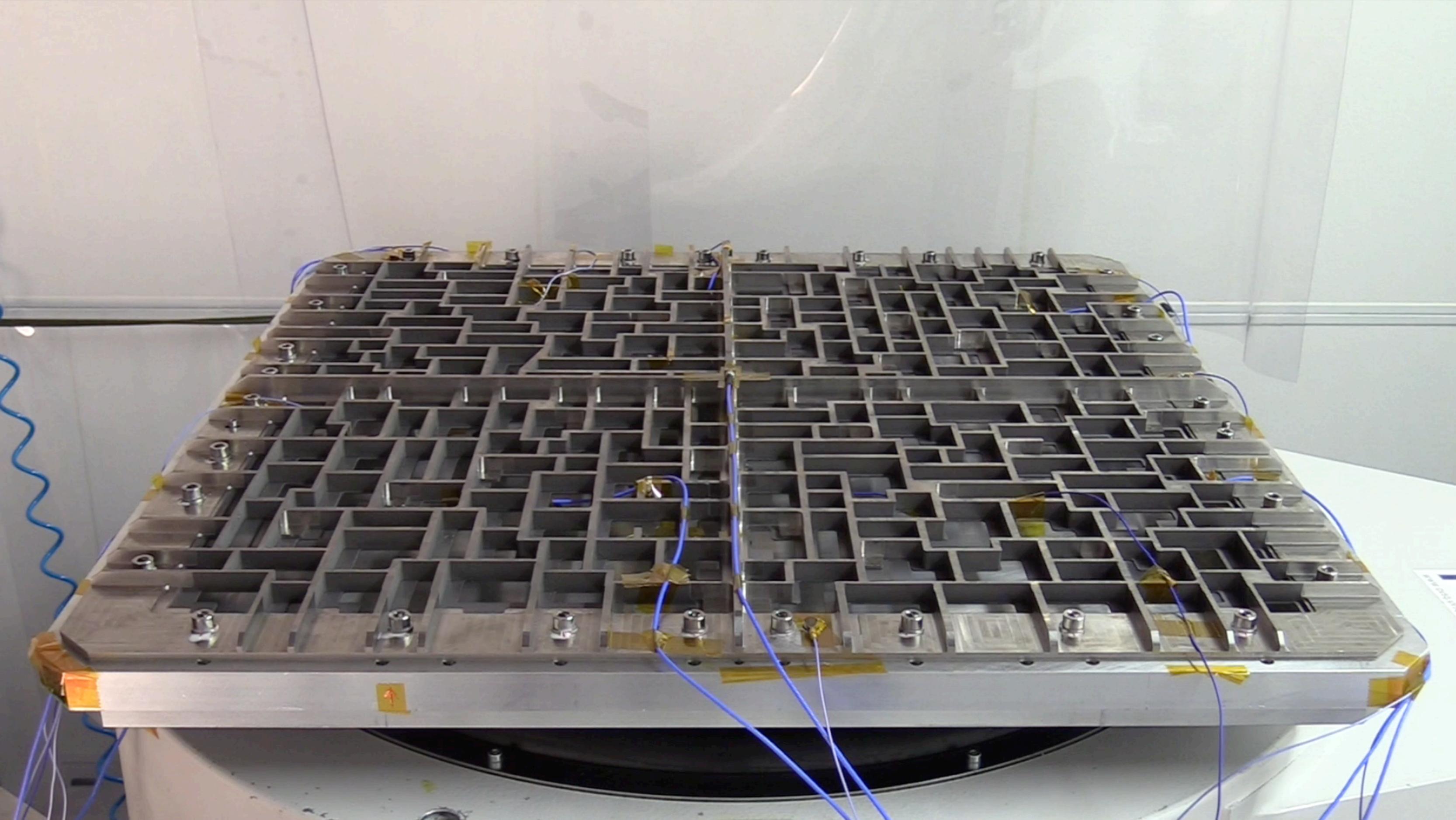
Pions (titane) et pastilles (tantale)

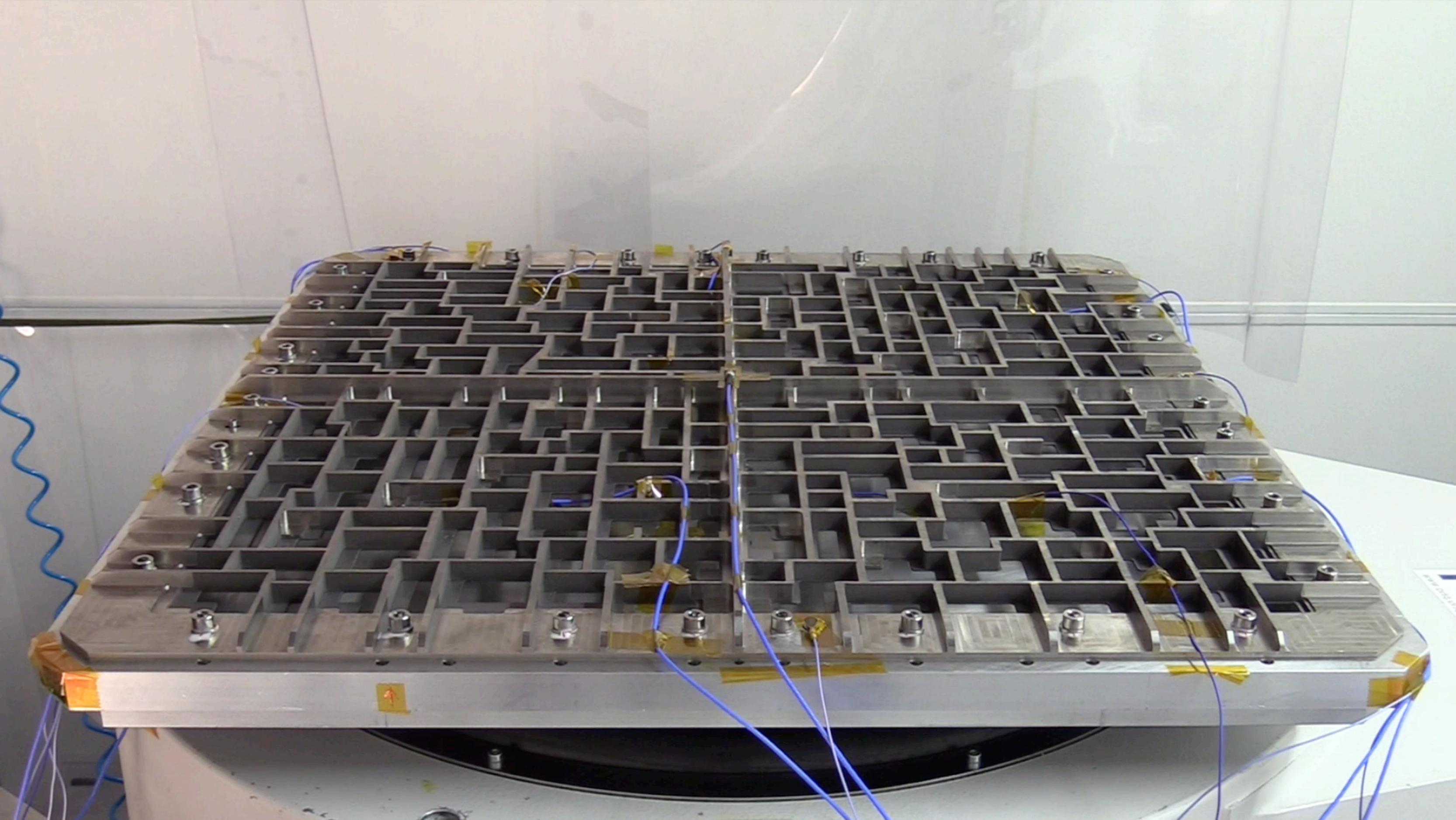
TiTop (titane)

Masque codé (tantale Ta2.5W, 0,6mm épaisseur)

TiBottom + croix (titane)

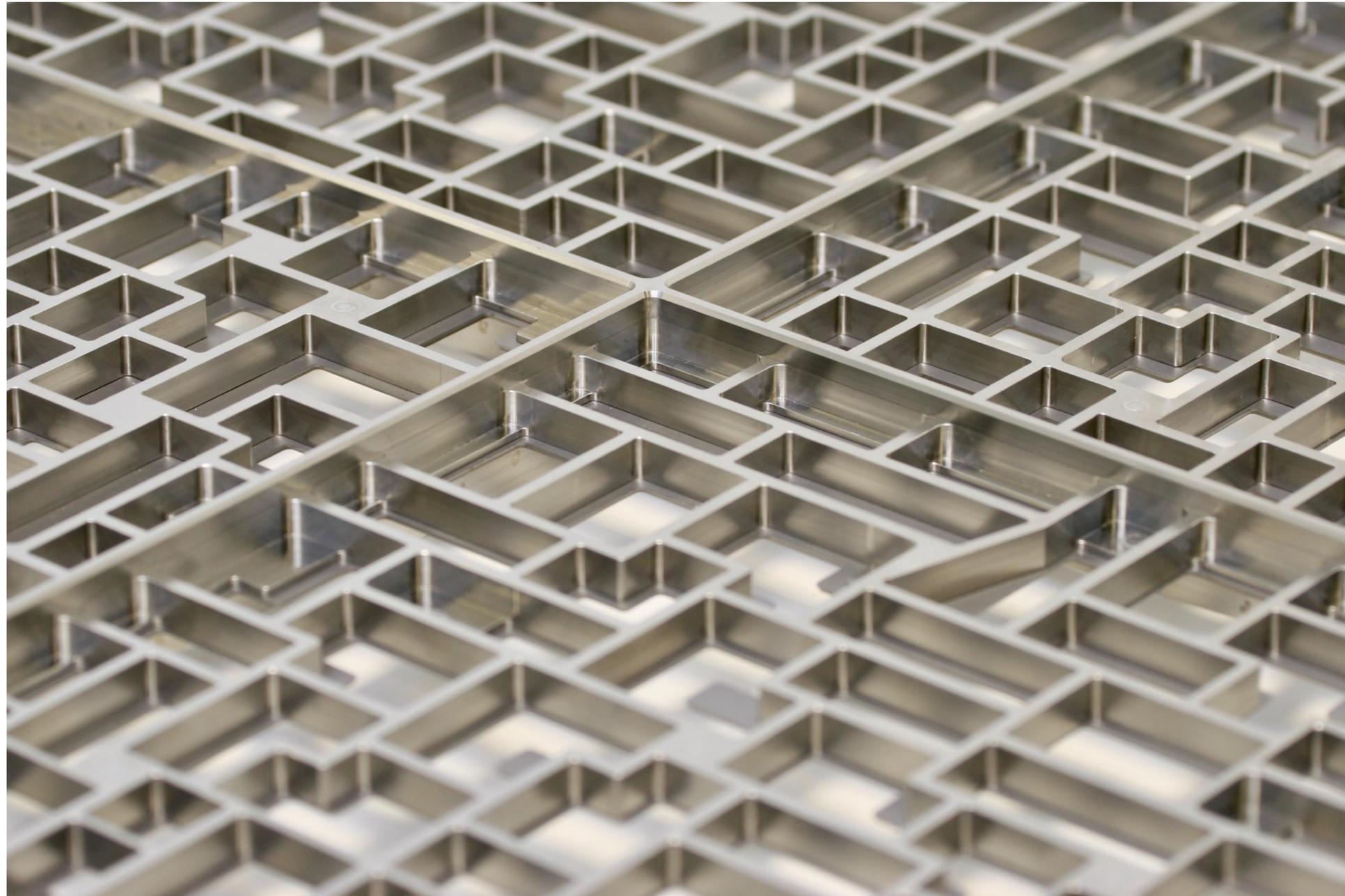
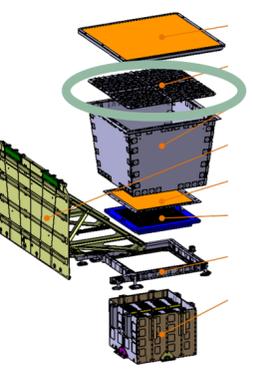






Le masque codé d'ECLAIRs

Faire des ombres en arrêtant une partie de la lumière



Le masque mesure **54 x 54 cm²** permettant un champ de vue de **2.05sr**.

L'erreur sur la localisation obtenue est de 11.5 arcmin (SNR=8), permettant ainsi de garantir le positionnement du sursaut dans le champ de vue du VT (et de MXT) !

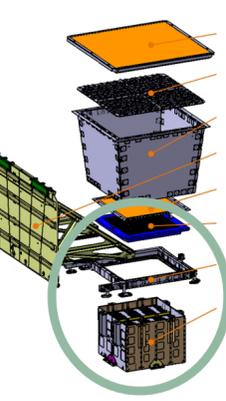
80kg de matériau entrent dans sa fabrication mais il ne pèse que 7,4 kg !

12 années ont été nécessaires à son développement.



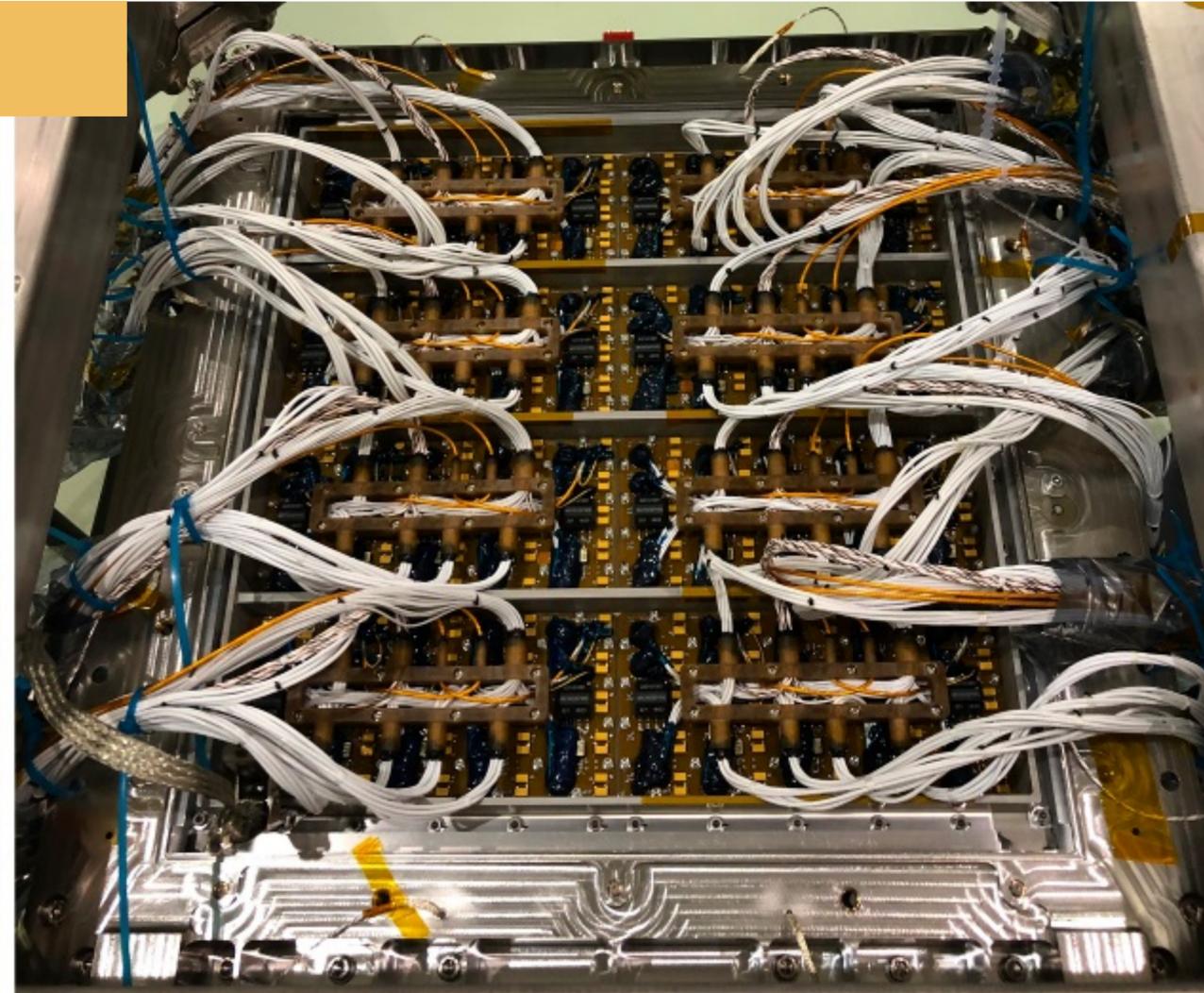
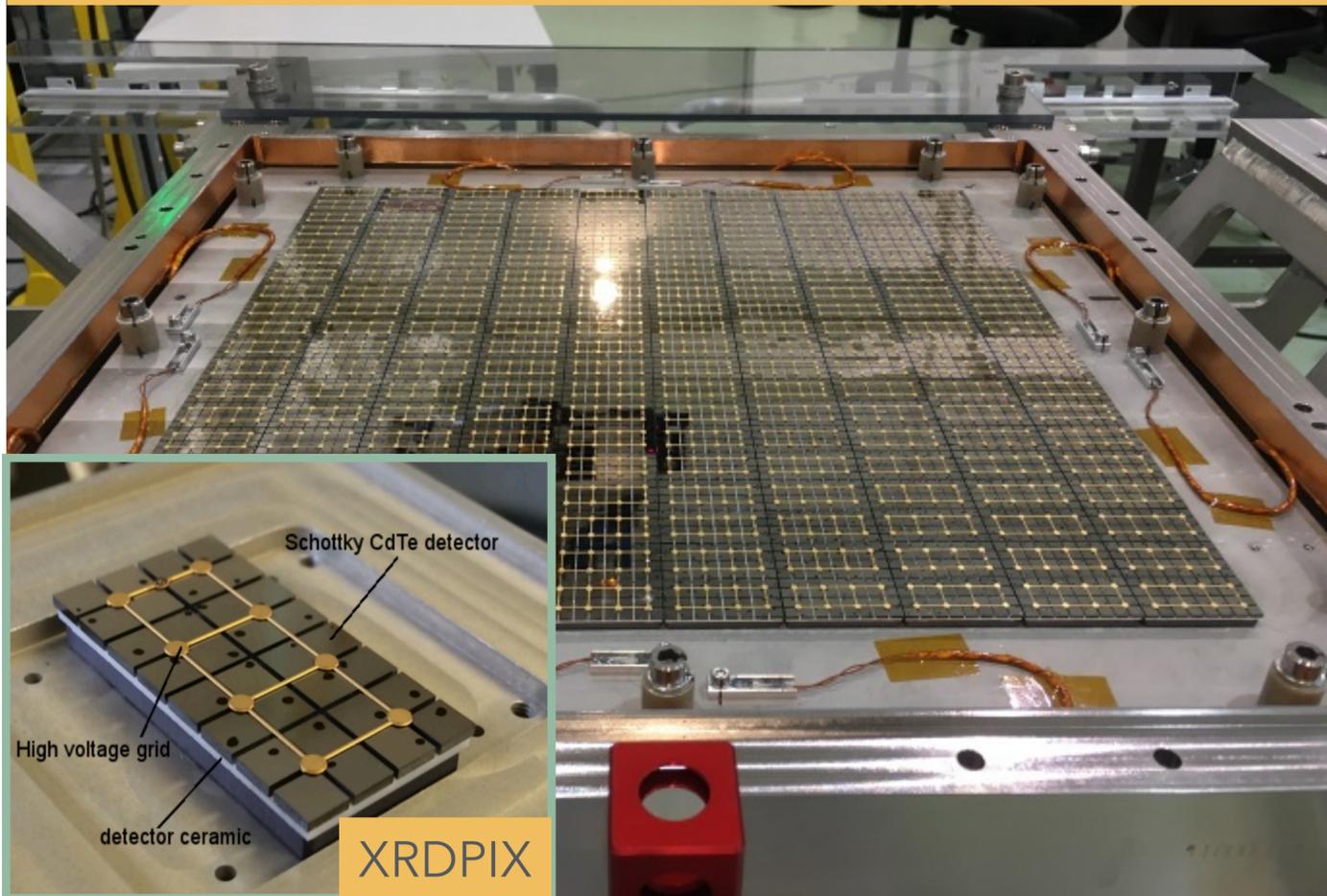
L'unité de détection

Mesurer les photons



Plan de détection : Recto - Verso !

Température de
fonctionnement :
-20°C



200 modules de 32 pixels de CdTe (Tellure de Cadmium) de $\sim 4 \times 4 \times 1 \text{ mm}^3$ formant une caméra de 80×80 pixels. Surface de détection : $\sim 950 \text{ cm}^2$.

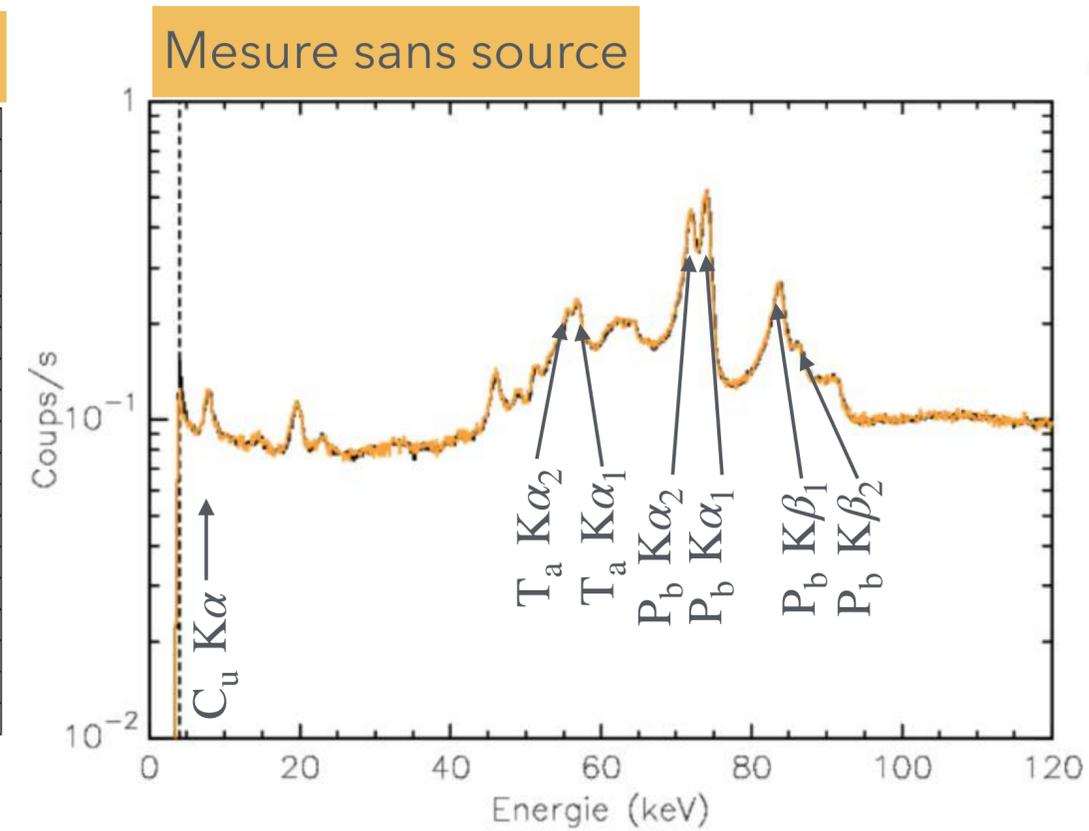
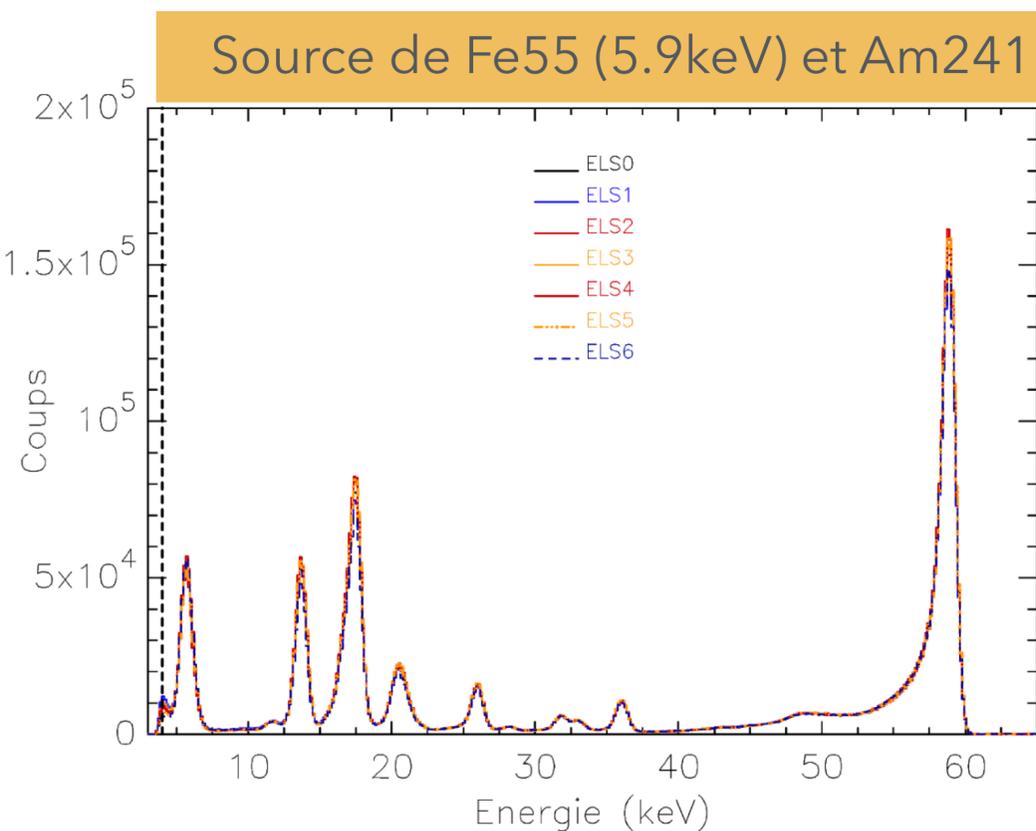
15 ans d'efforts pour sélectionner 6400 pixels parmi 14000 et procéder à l'assemblage de la caméra...

L'unité de détection

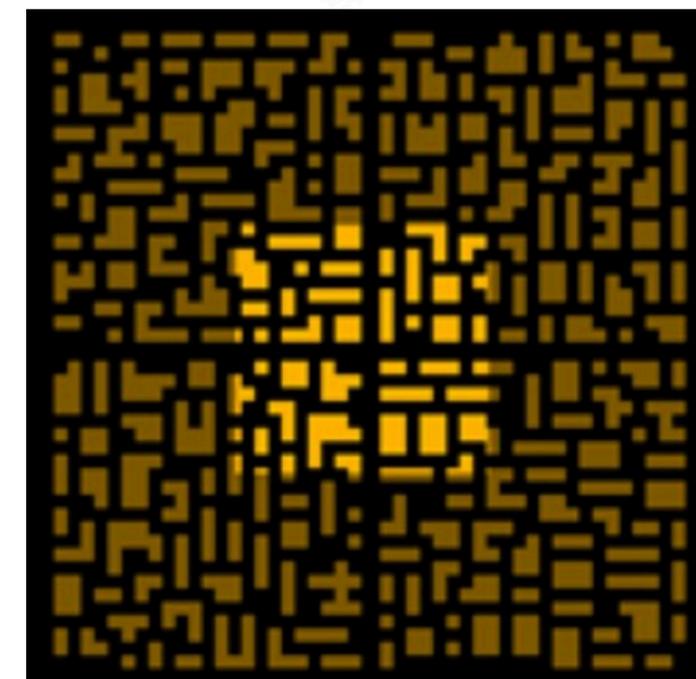
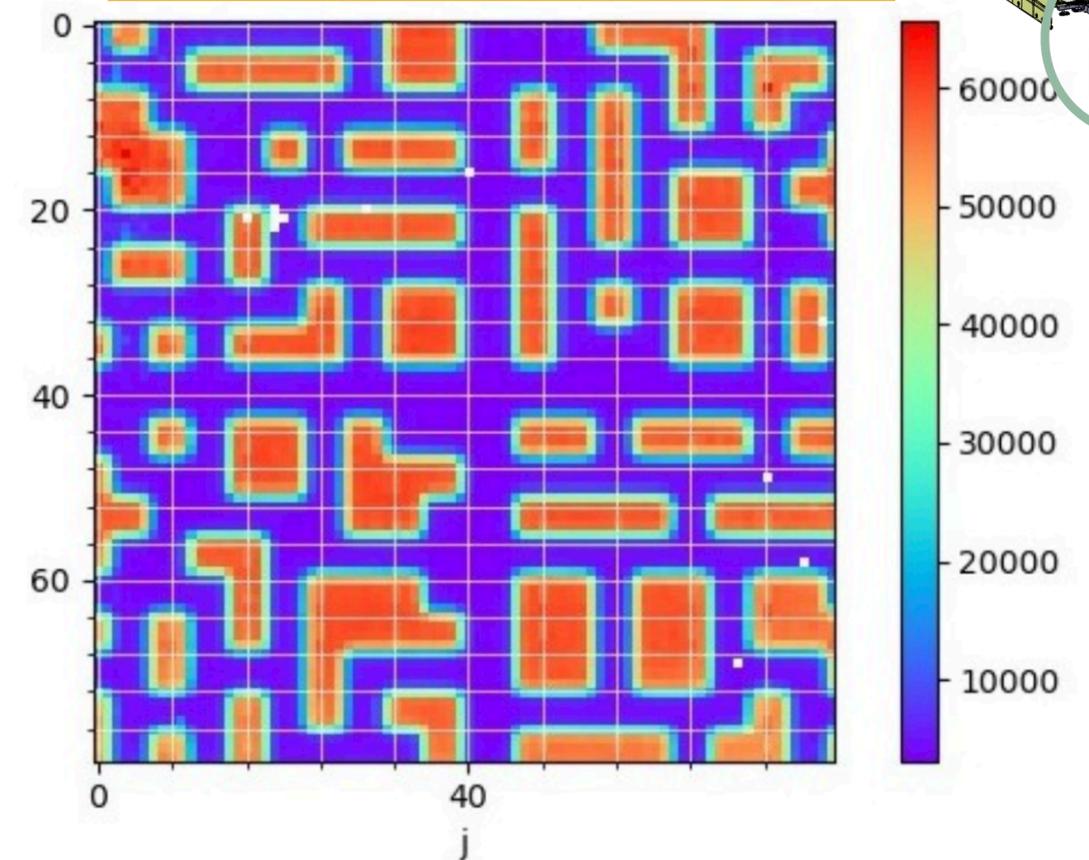
Mesurer les photons

Seuil en énergie : 4keV

Spectroscopie : résolution en énergie à 60keV inférieure à 1.6keV



Première image d'ECLAIRs
avec une source radioactive
Co57 et Am241

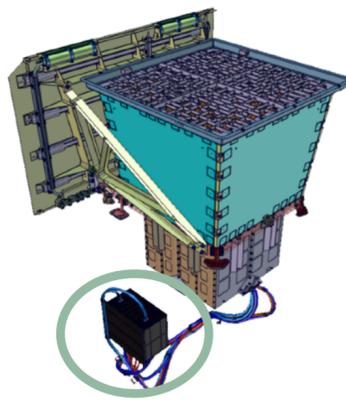


Résolution temporelle : 20 micro secondes

Temps mort : < 5% pour $5 \cdot 10^4$ coups/secondes

Le calculateur embarqué

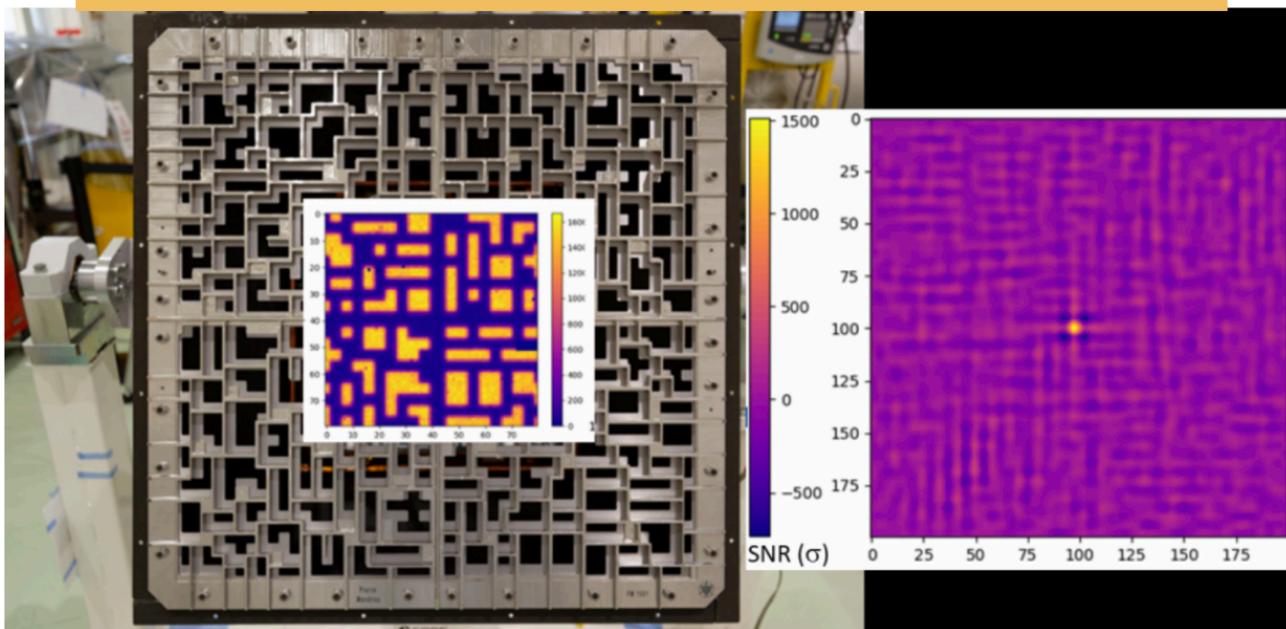
Détecter les sursauts à bord du satellite



UGTS : Unité de Gestion et de Traitements Scientifiques



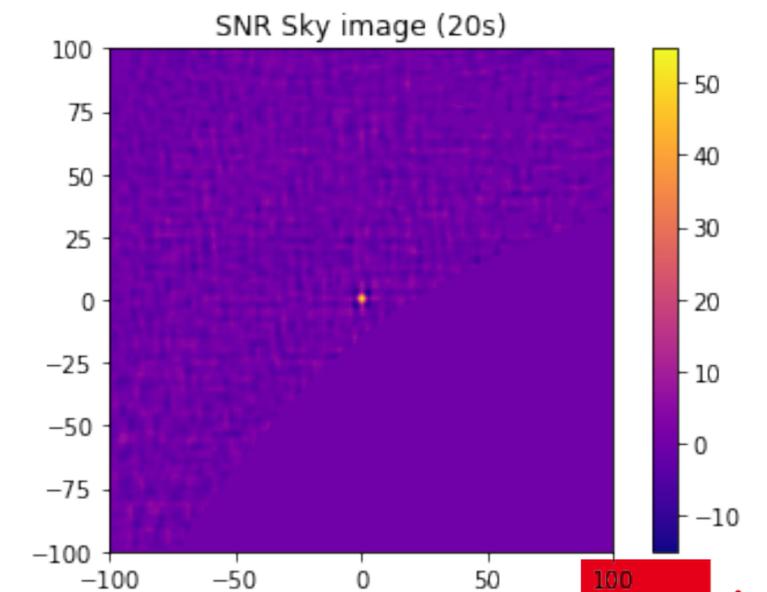
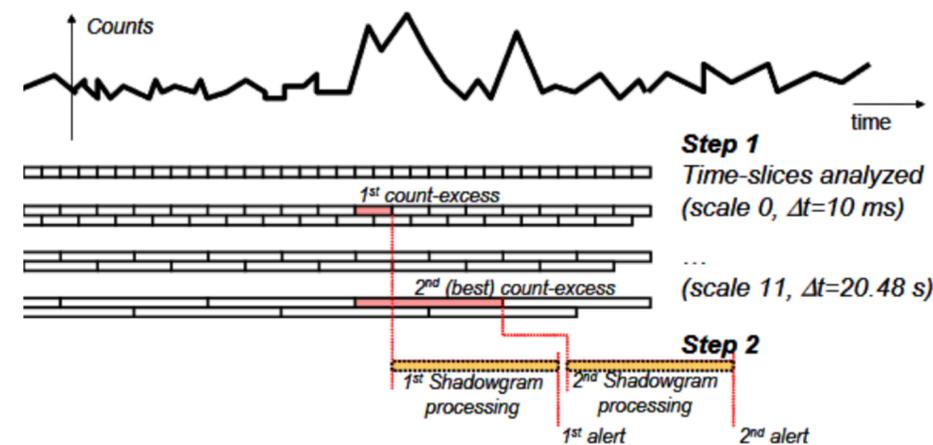
Reconstruction de la position de la source de la première image



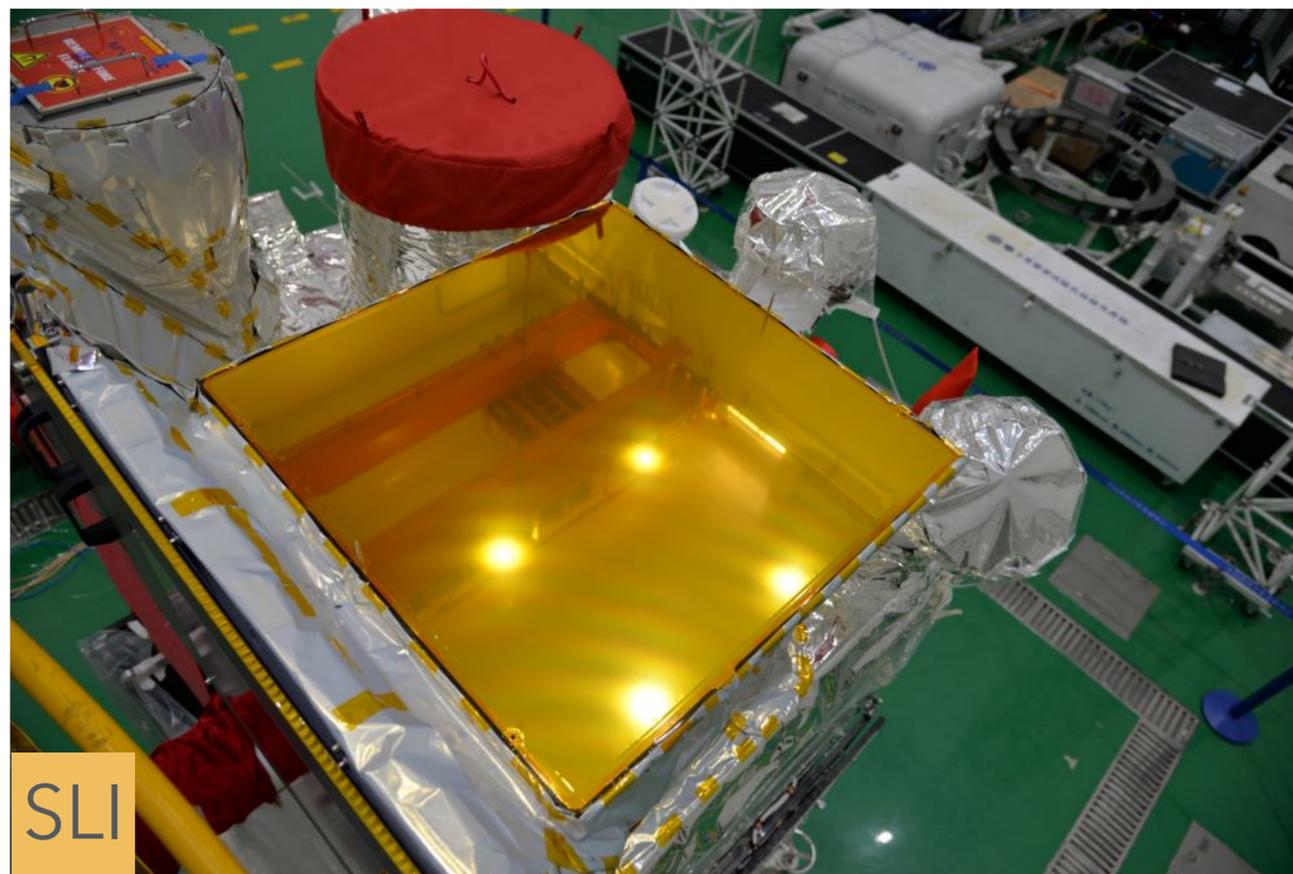
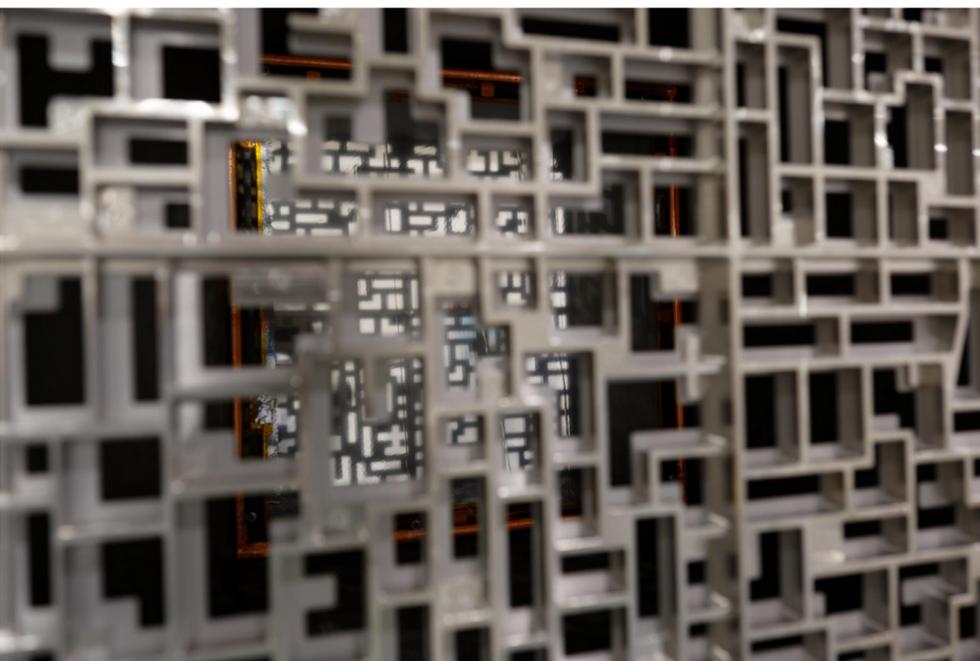
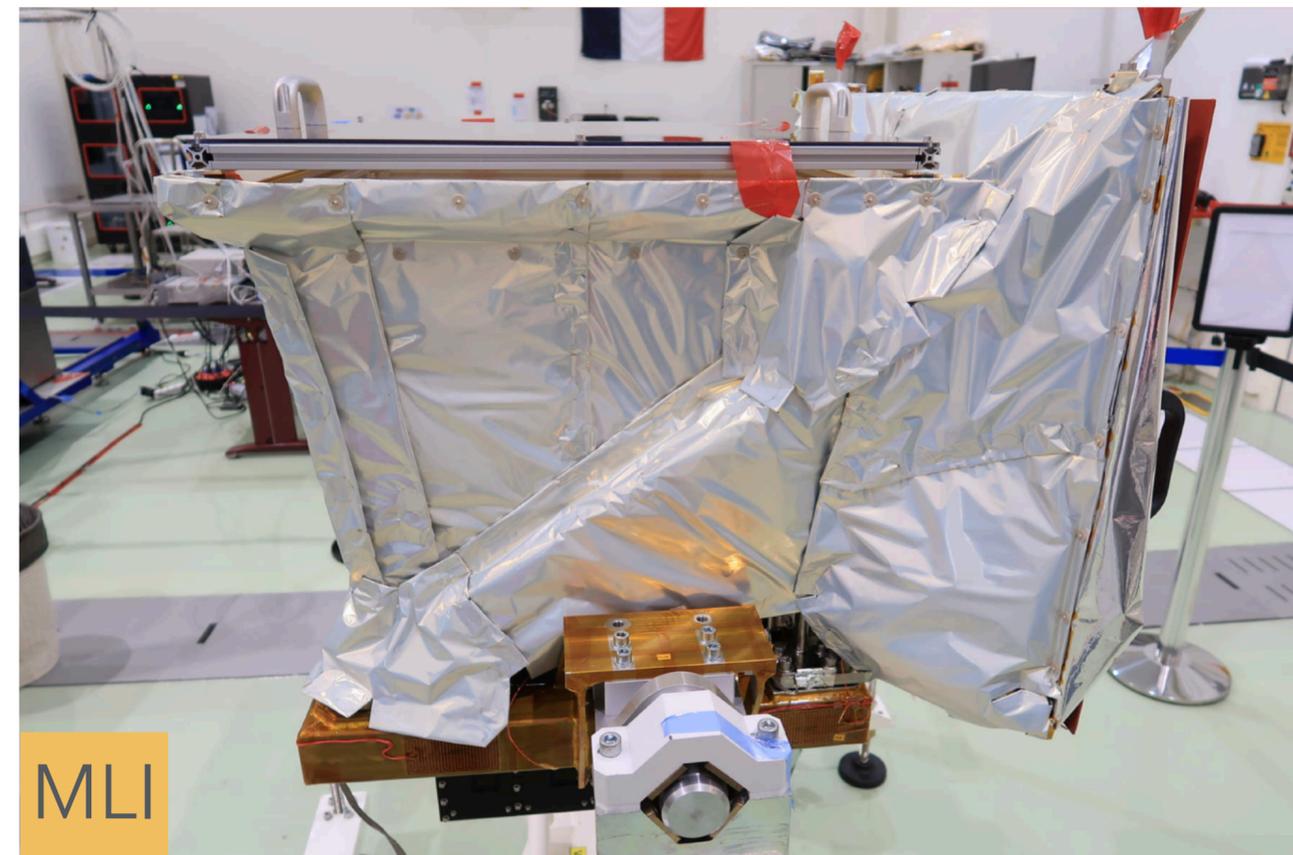
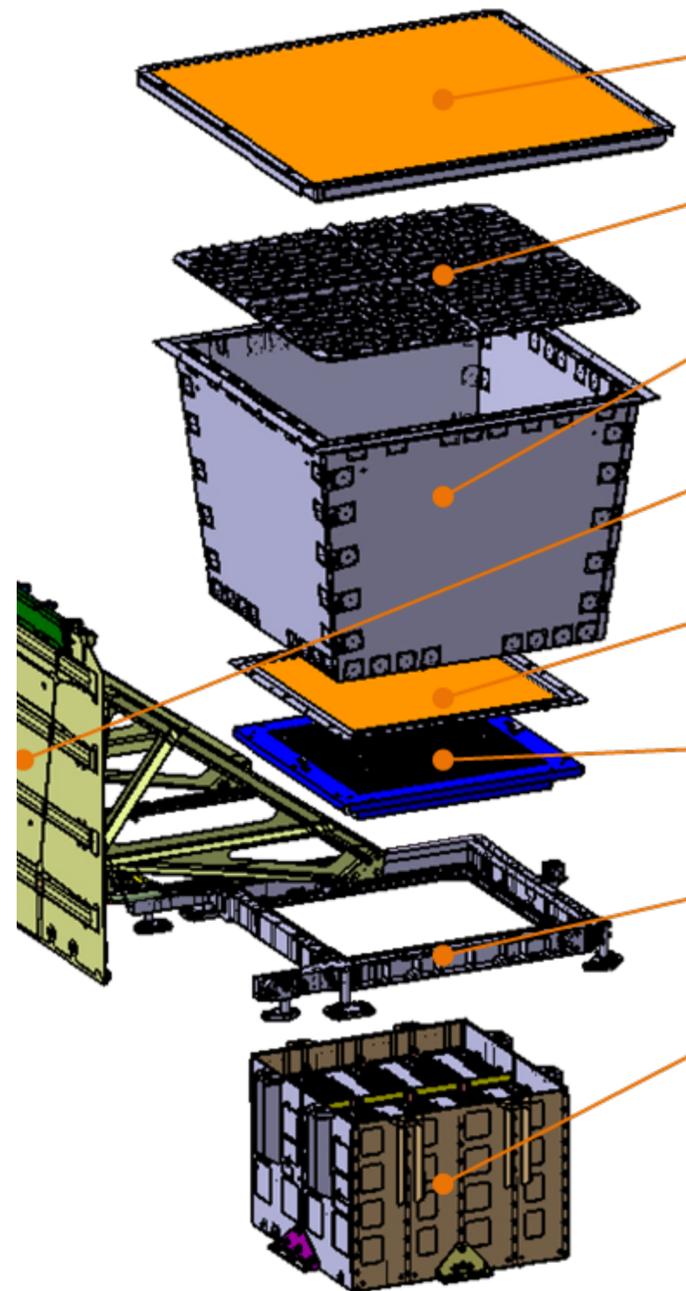
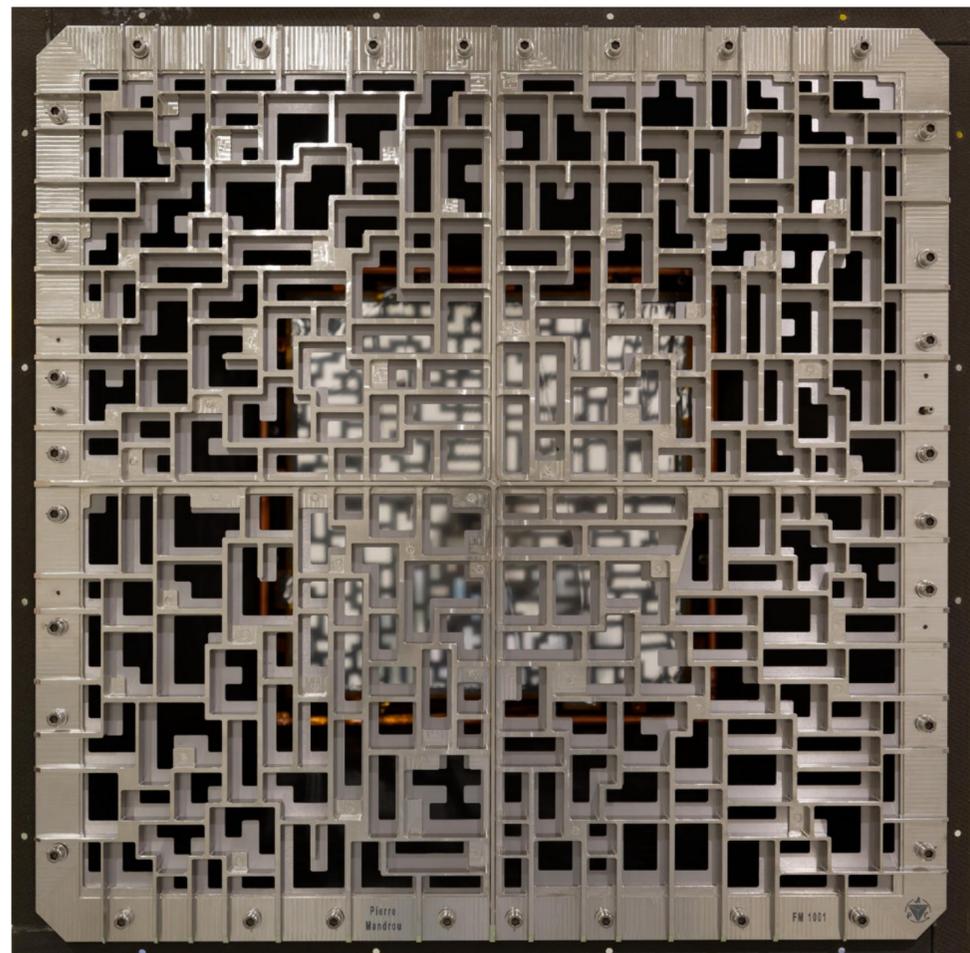
Le rôle premier de l'UGTS est la détection des sursauts gamma à bord du satellite

Deux méthodes sont utilisées :

- taux de comptage : détection d'un changement significatif dans le taux de comptage (suivi d'une image du ciel)
- imagerie : toutes les 20s on fait une image du ciel (que l'on somme avec les précédentes)

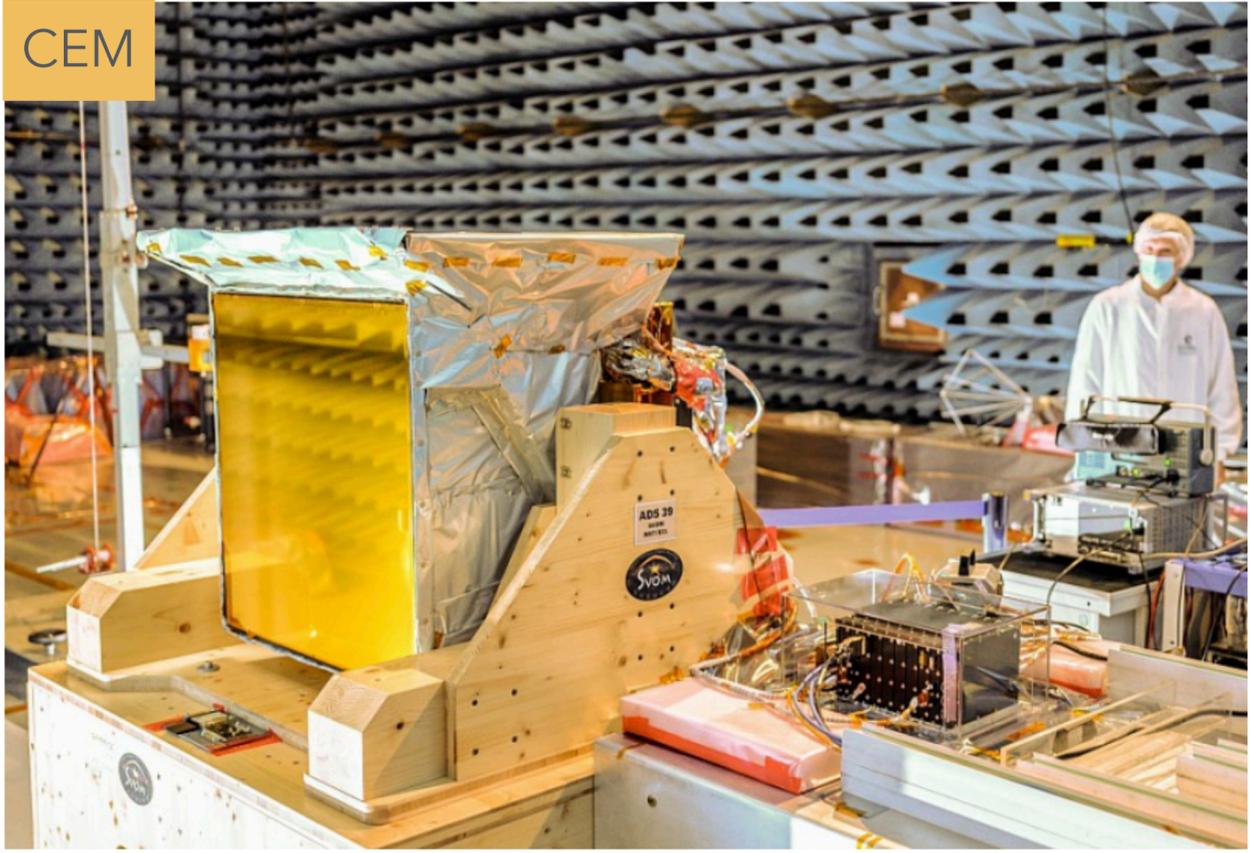


Assemblage

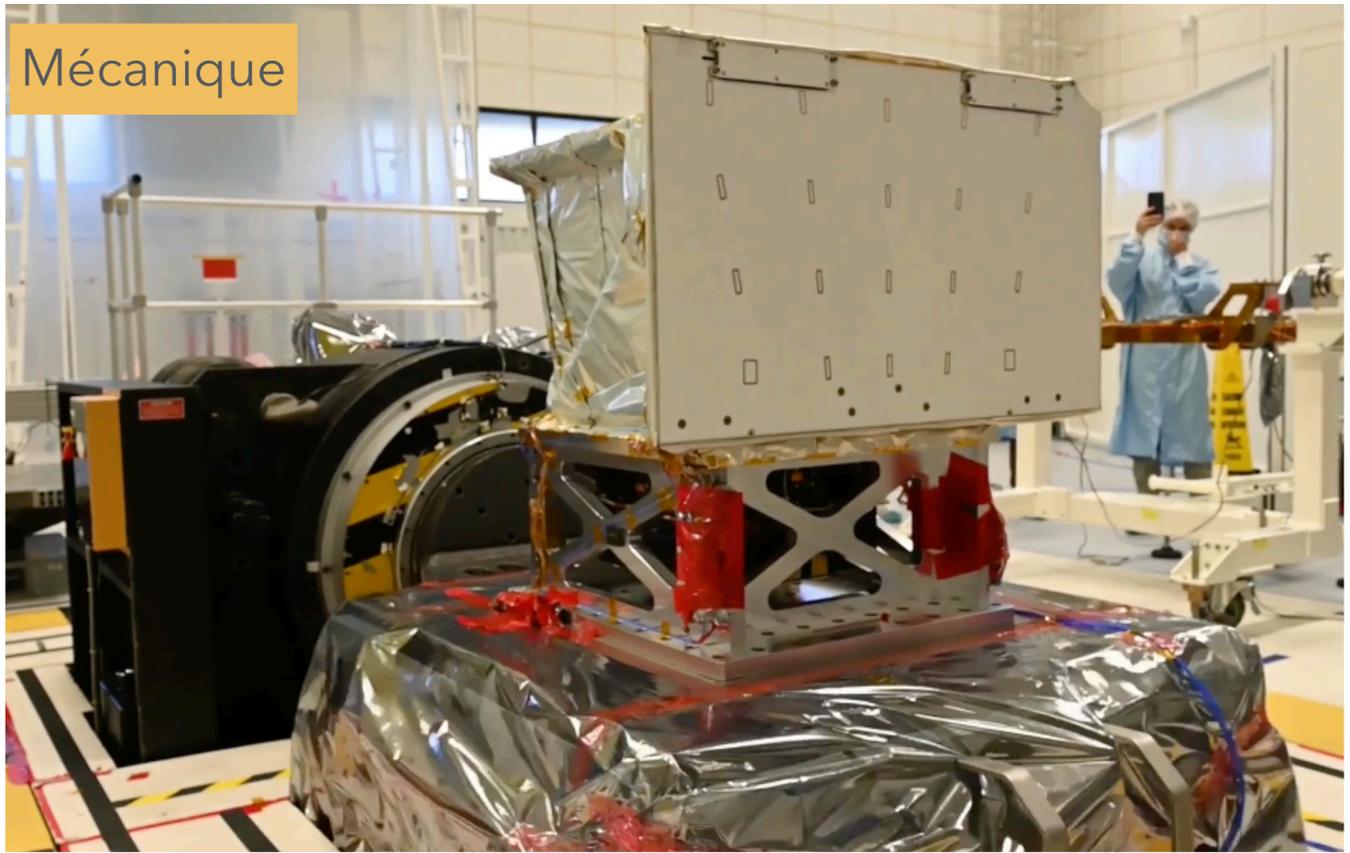


Les tests de qualification

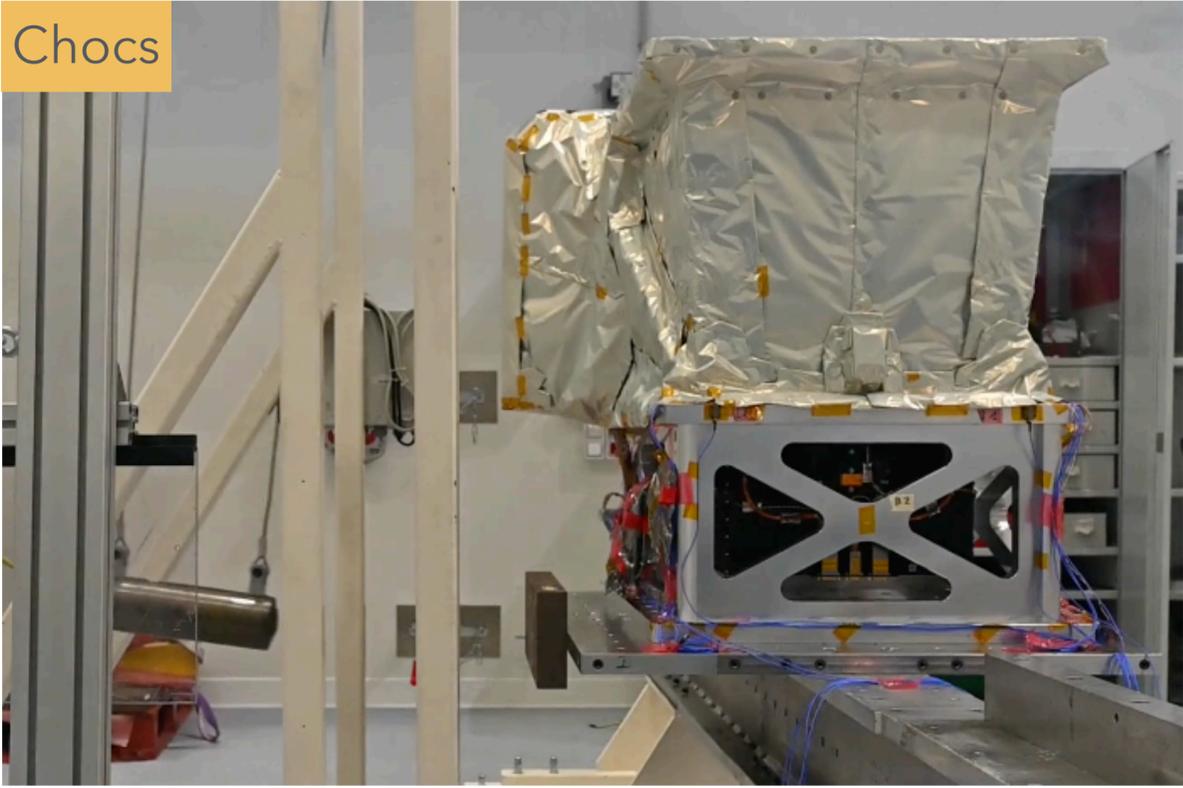
CEM



Mécanique



Chocs



Thermique



Performances scientifiques

Domaine en énergie	4 - 150 keV
Surface de détection	~950 cm ²
Détecteurs	6400 détecteurs en CdTe
Résolution en énergie à 60keV	< 1.6 keV
Résolution temporelle	20 microsecondes
Champ de vue (total)	2.05 sr (89x89 deg²)
Précision de localisation	11.5 arcmin (pour SNR = 8)
Volume de données	< 18 Gb / jour

Traitement des données ECLAIRs

Andrea Goldwurm



SVOM GP ECLAIRs PIPELINE

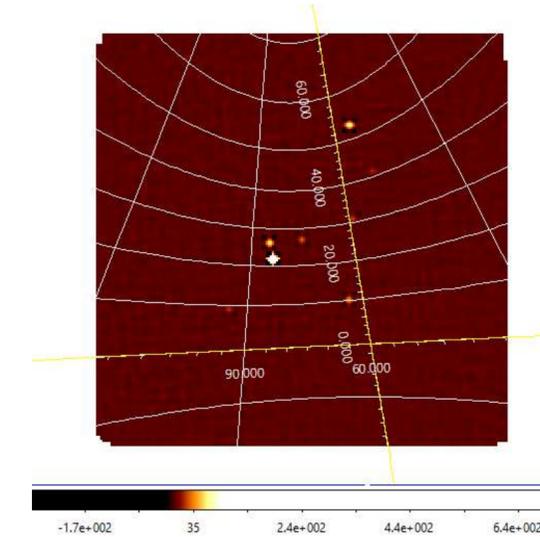


SVOM ECLAIRs Pipeline

Andrea Goldwurm

On behalf of

FSC ECLAIRs Pipeline Team (APC, CEA, IRAP)



APC-dev: Philippe Bacon, Nicolas Bellemont, Cécile Cavet, Fabrice Dodu, Hugo Jiménez-Pérez

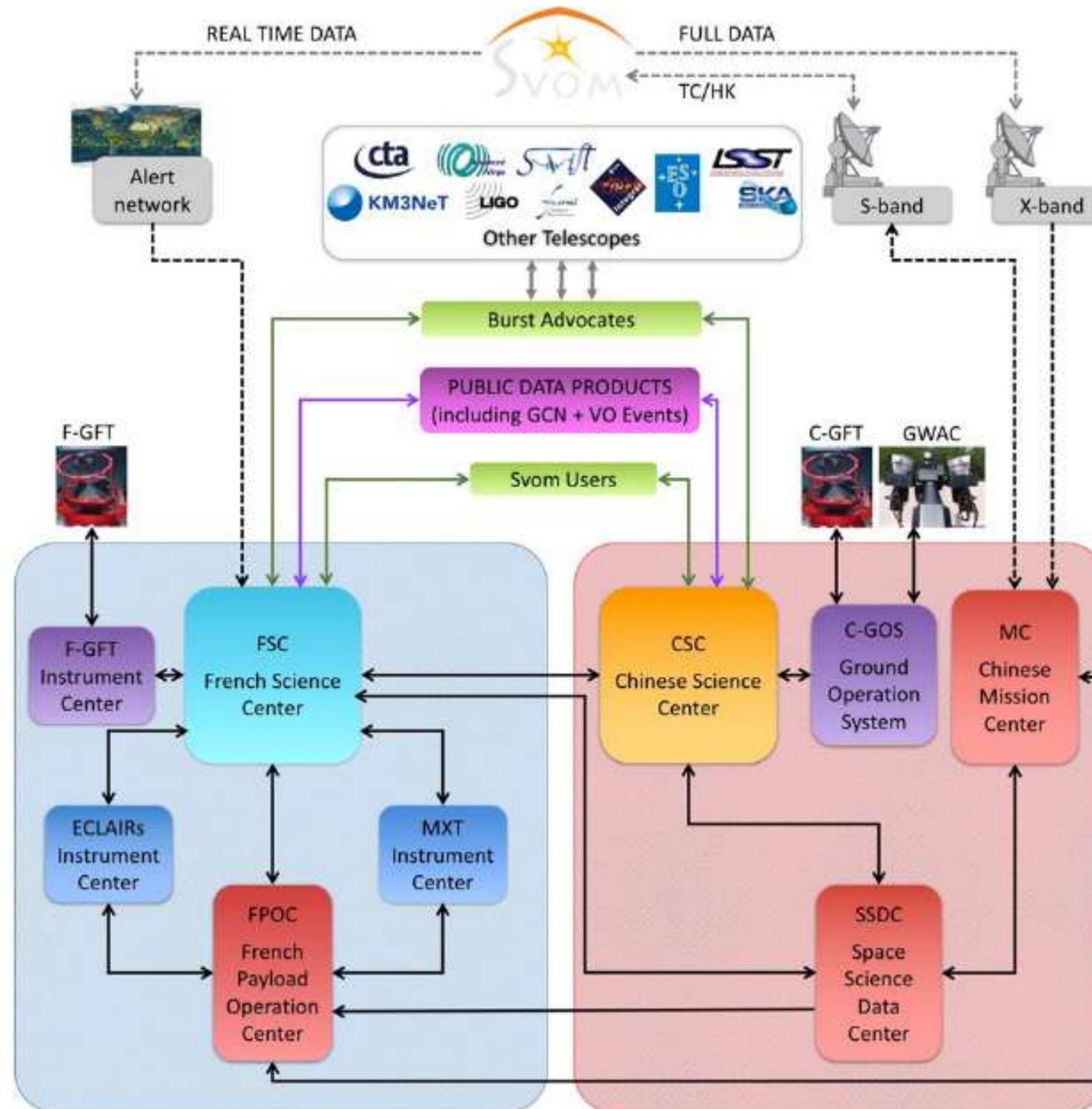
APC-science: Floriane Cangemi, Alexis Coleiro, Antoine Foisseau, Andrea Goldwurm, Cyril Lachaud

DAP/CEA: Aleksandra Gros, Jérôme Rodriguez

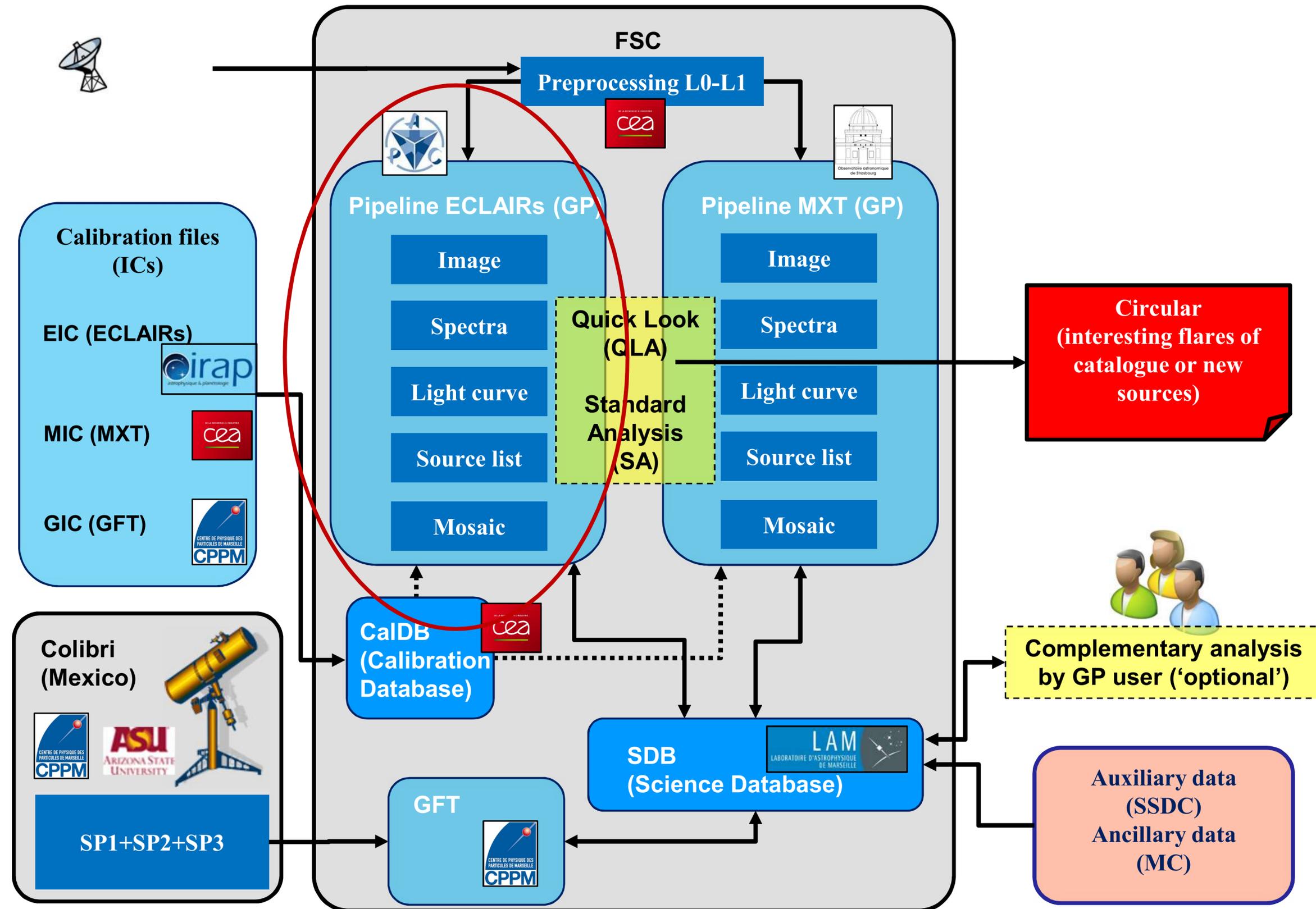
IRAP: Laurent Bouchet



SVOM Mission: Operational Phase

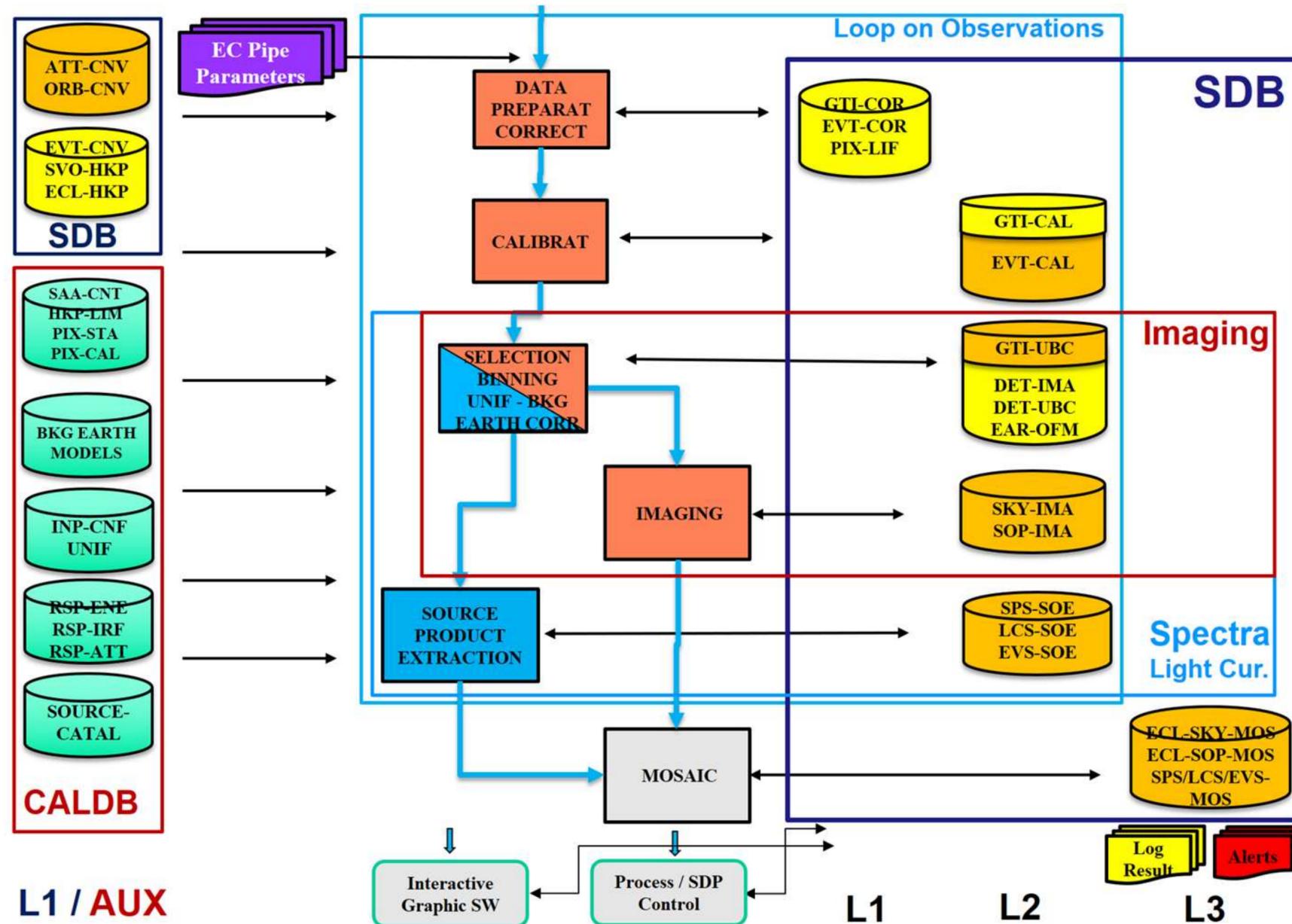


General Program (GP) + TO program (TO-MM excluded)





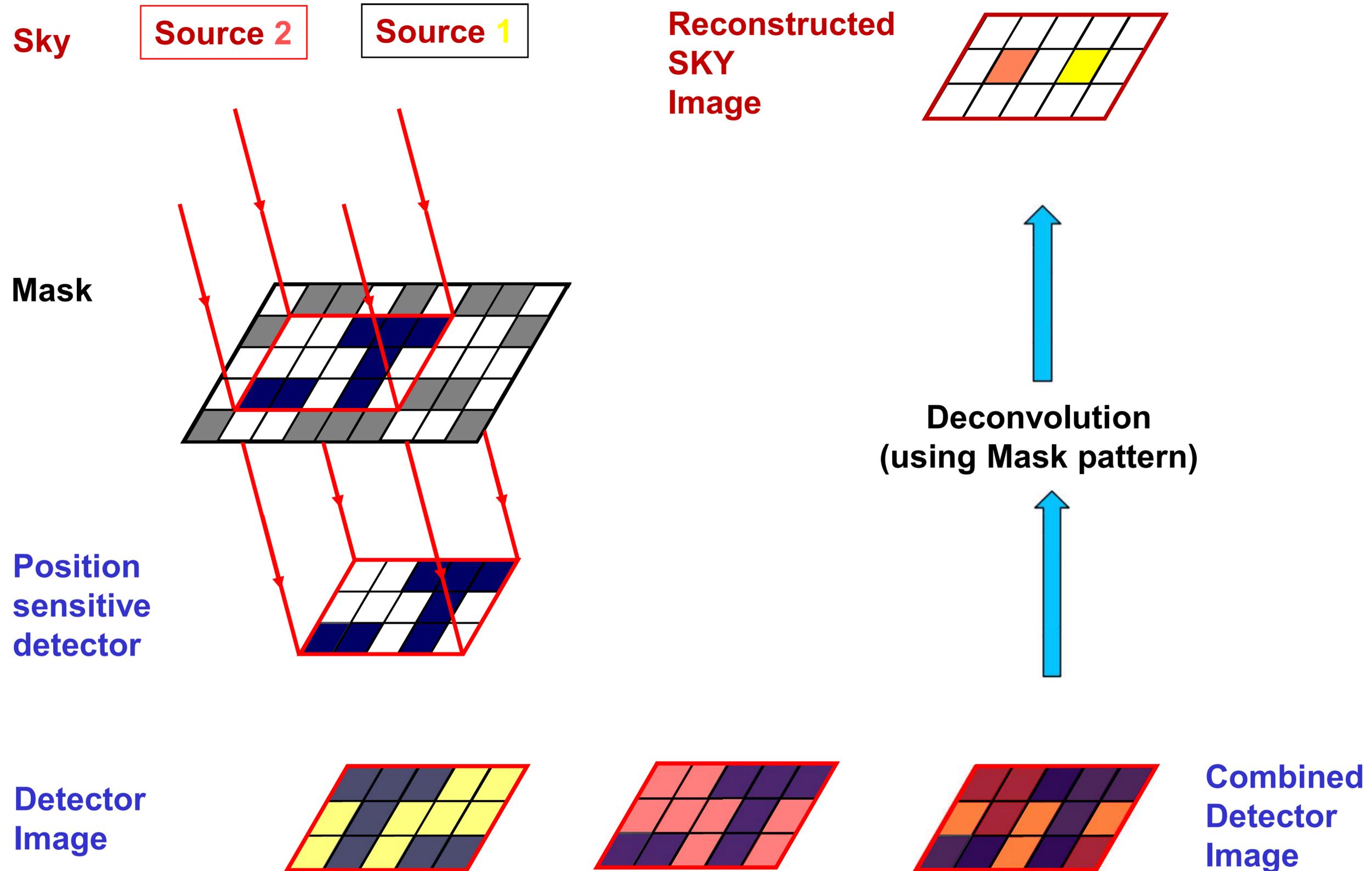
SVOM GP ECLAIRs PIPELINE



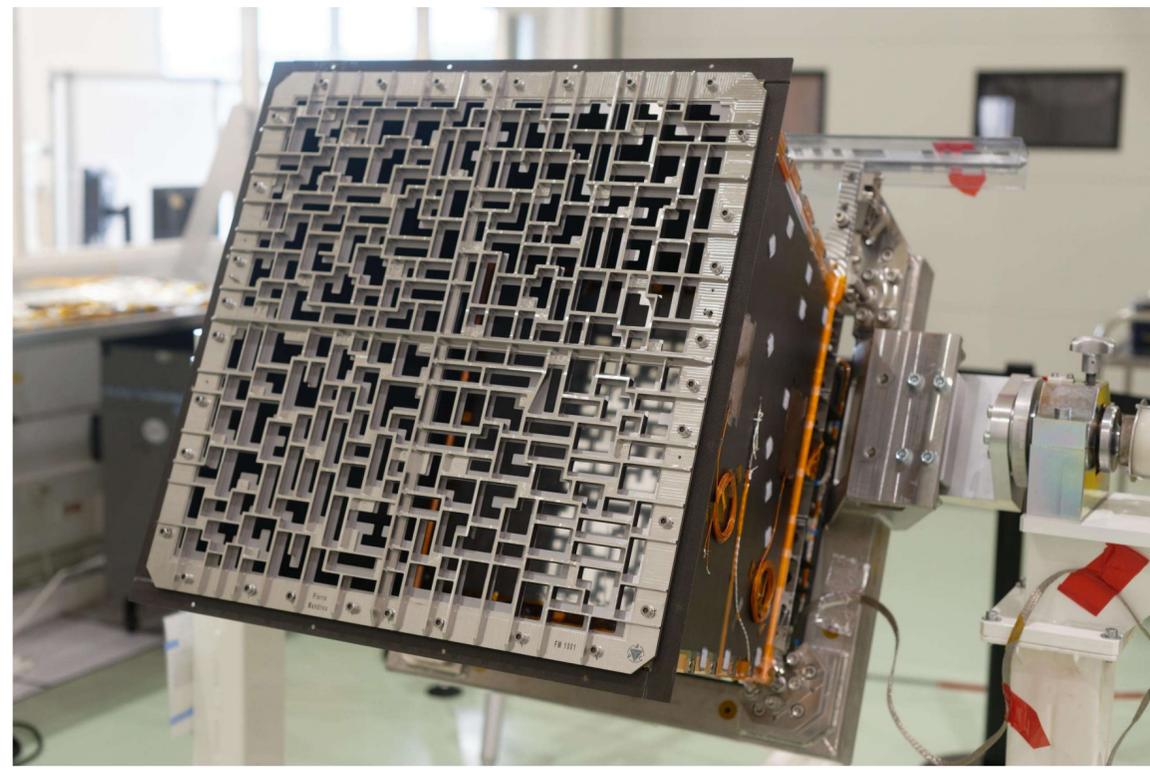
- A software pipeline integrated in the FSC structure but also to be used standalone
- For the Analysis of the ECLAIRs data of the General Program but also of the CP
- Input:
 - Preprocessed TLM
 - Calibration Data
 - Parameters
- Output:
 - Science Data Products (in SDB) in standard format
 - Results, Alerts



Coded Mask Imaging Principle

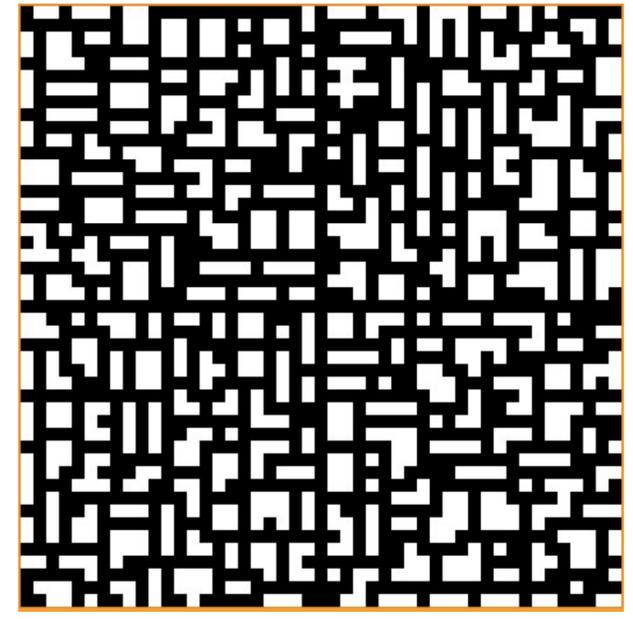


ECLAIRs CODED MASK IMAGING

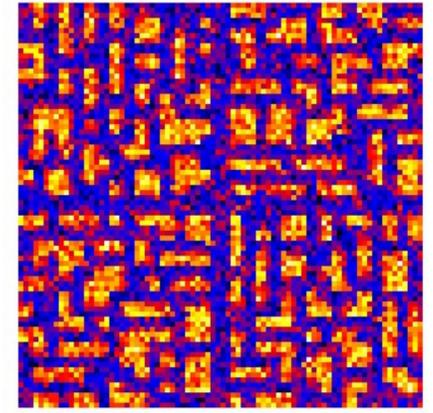


CNES

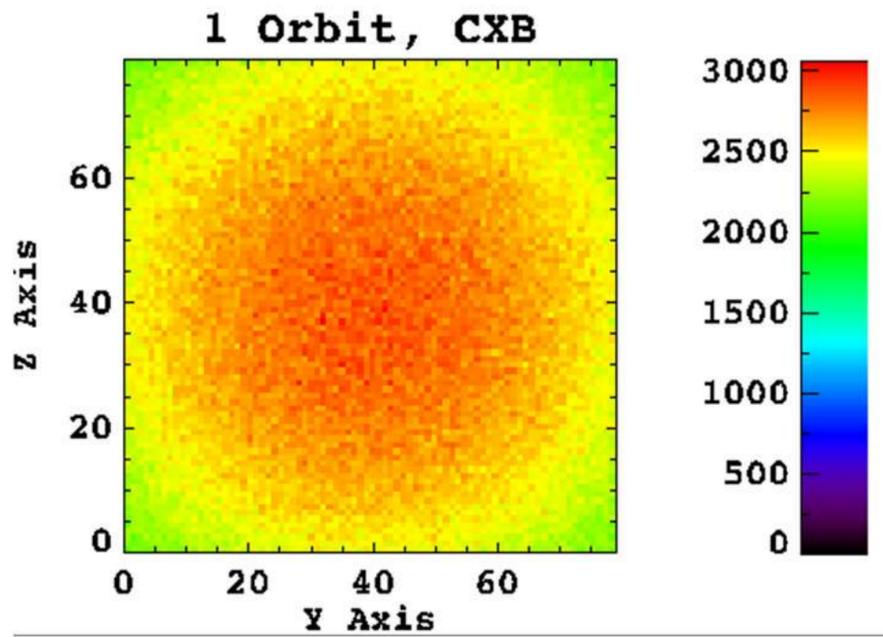
ECLAIRs/SVOM Mask Pattern



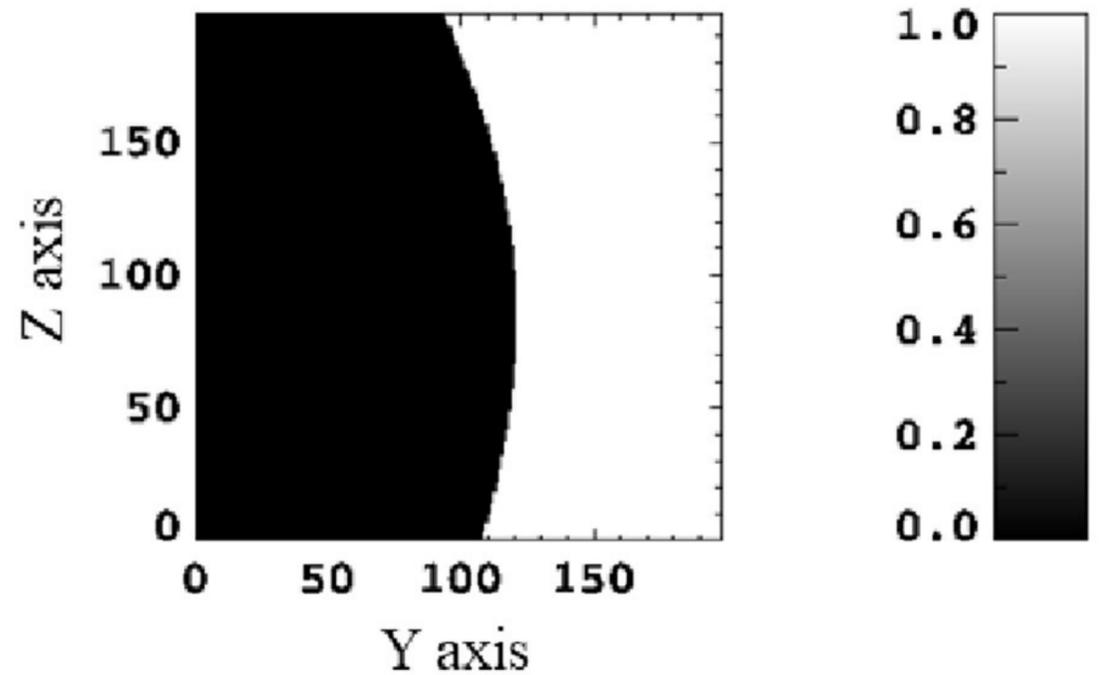
ECLAIRs Detector Plane



ECLAIRs Bkg

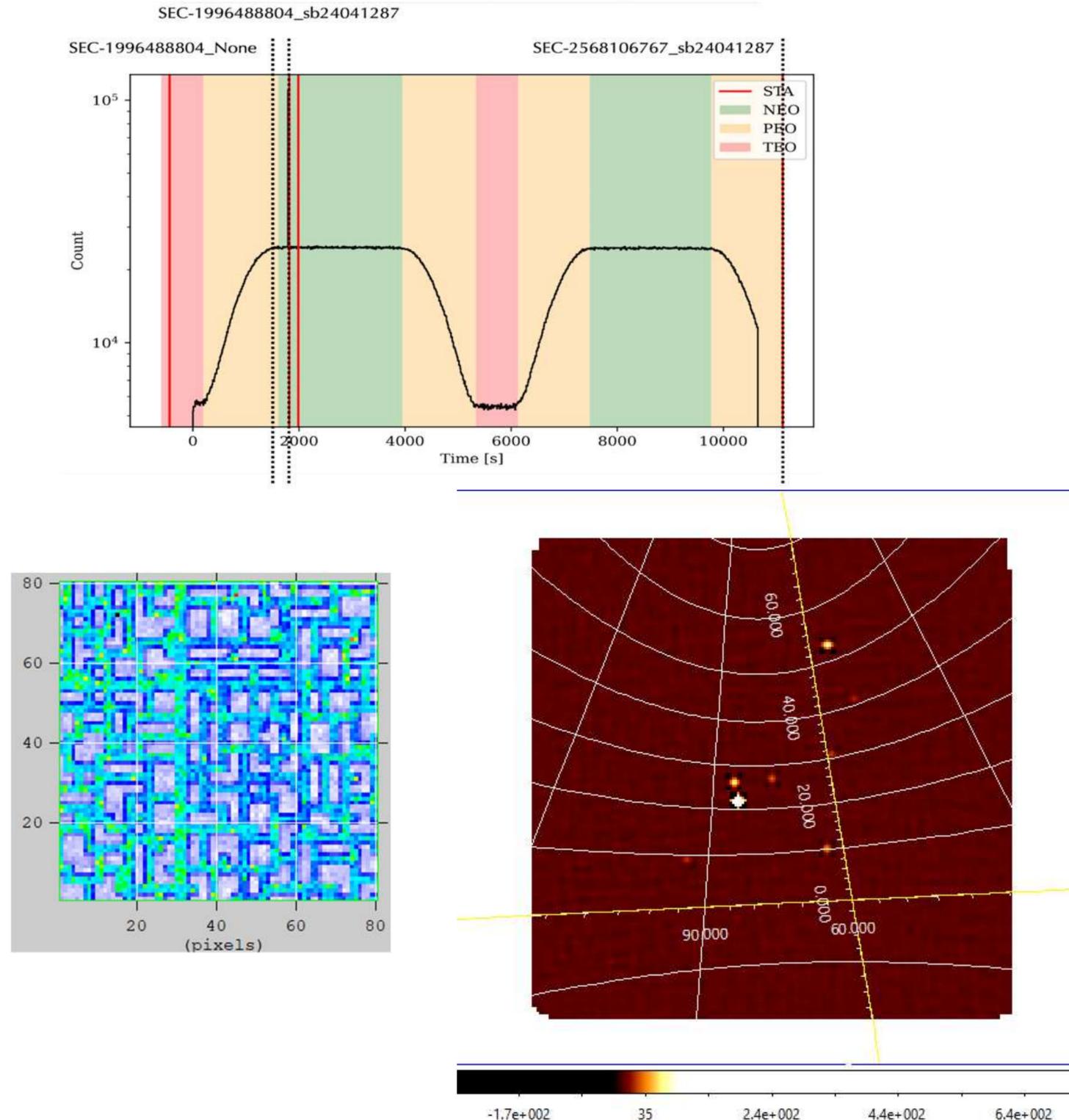


Modelling Earth Occultation



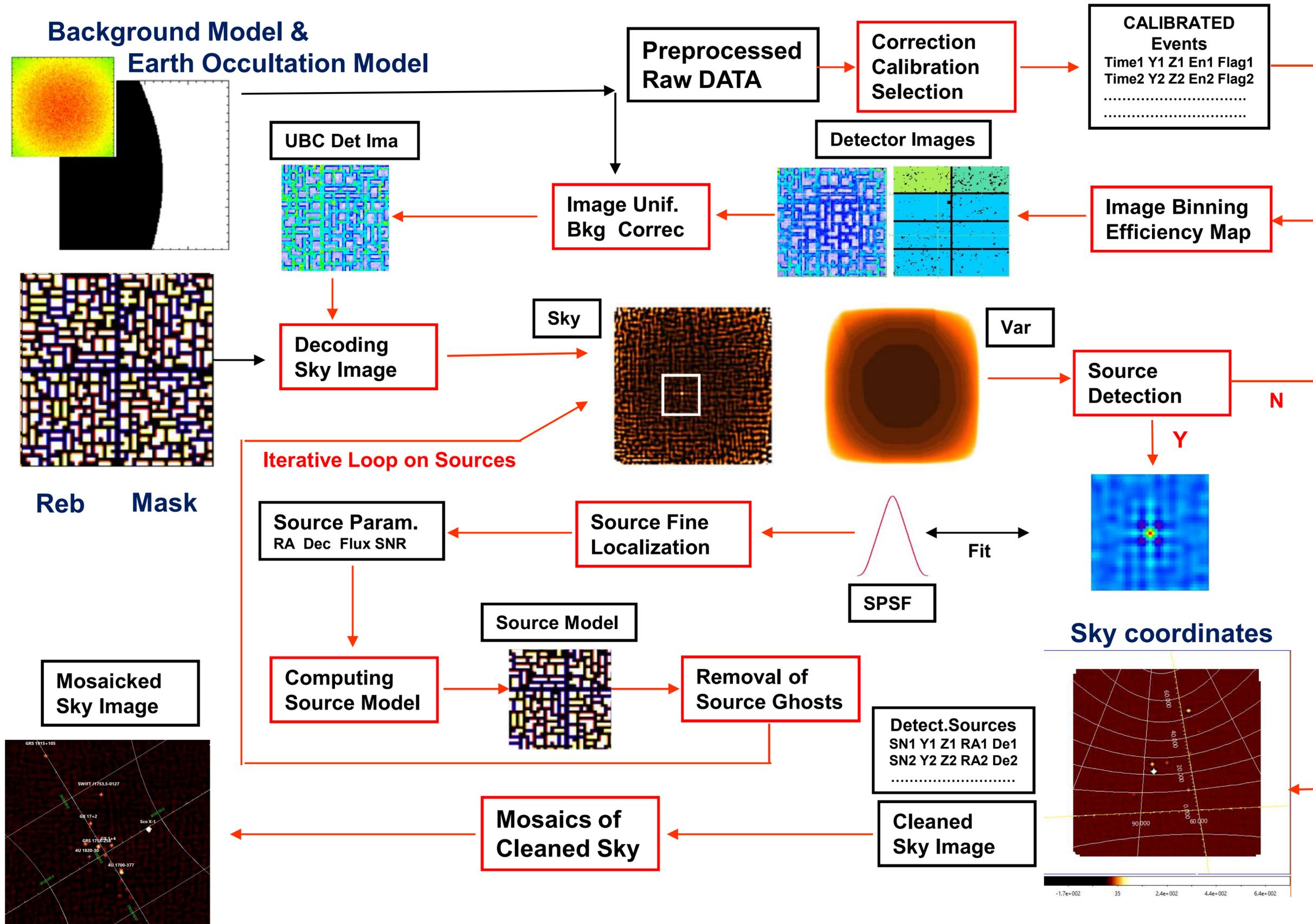


SVOM GP ECLAIRs PIPELINE



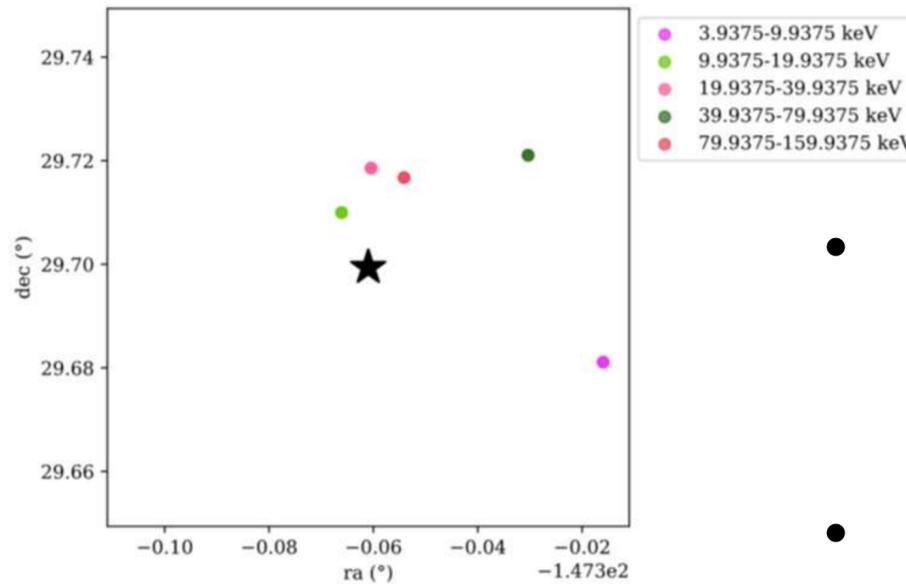
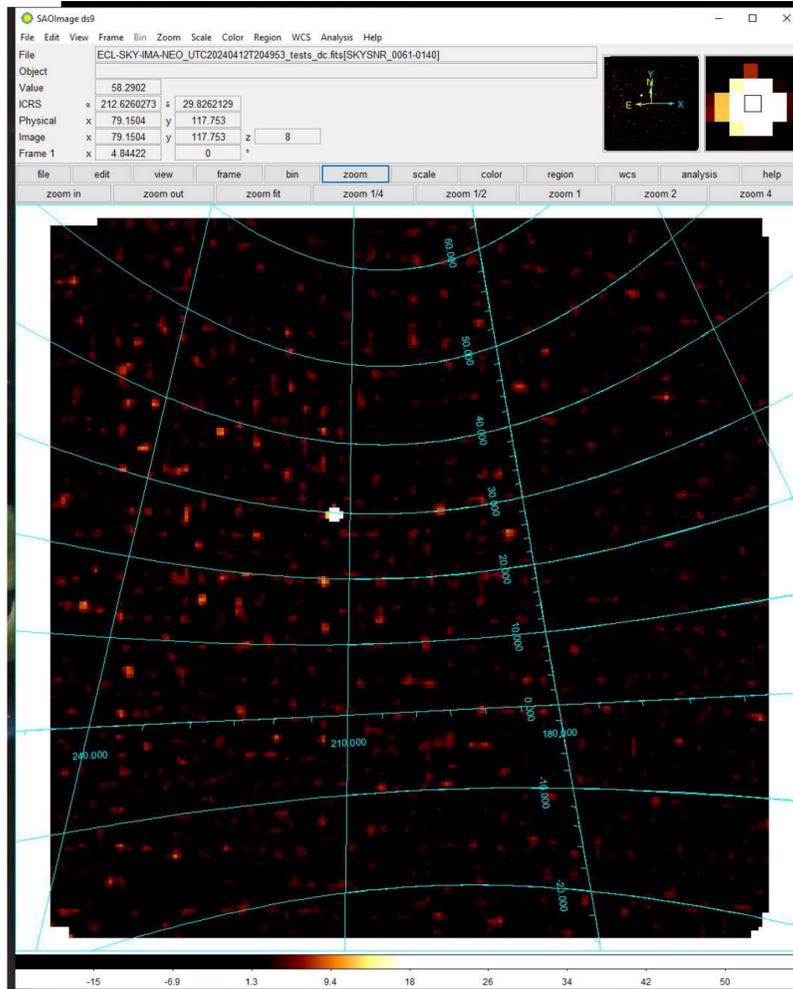
- Data preparation, define good time intervals, handle off/noisy pixels, efficiency computation ... etc.
- Calibration, Selection - Binning, Background computation/subtraction
- **Image Deconvolution and iterative cleaning of source coding noise**
- Spectral /timing analysis based on fitting procedures

Iterative imaging analysis of ECLAIRs data





SVOM GP ECLAIRs PIPELINE

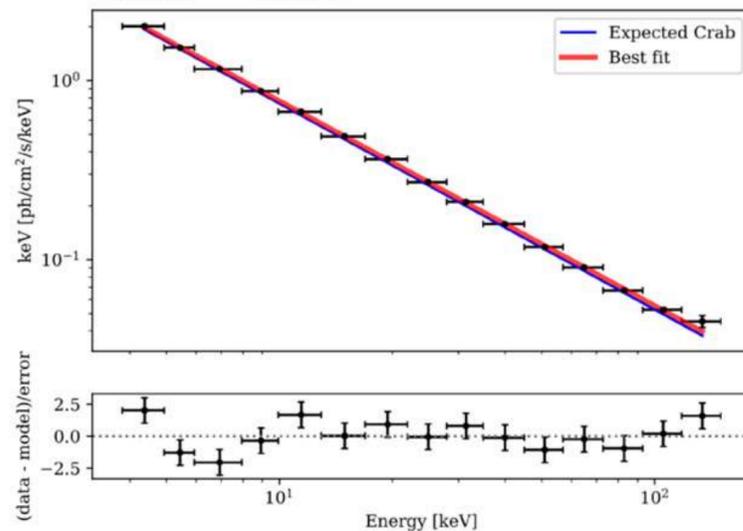


ECPI PERFS (June 2024)

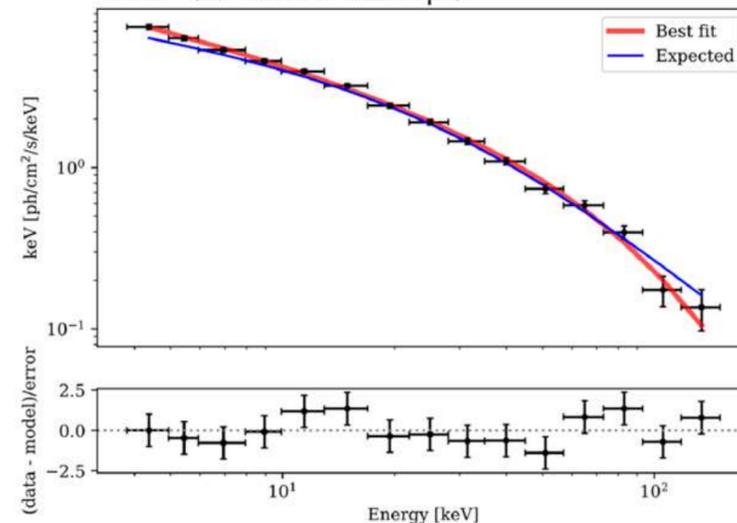
Select	NEW_SRC	OBJECTID	SOURCEID	RAWSNR	FITSNR	FLUX
Invert	11	25A	20A	1E	1E	1E
	Modify	Modify	Modify	Modify	Modify	Modify
1	0 Crab		id_1	6.677359E+002	6.470783E+002	1.323896E+000
2	0 BQ Cam		id_2	7.231512E+001	6.921423E+001	2.139827E-001
3	0 1A 0535+262		id_3	6.341130E+001	5.228244E+001	1.194817E-001
4	0 ABELL 478		id_4	4.503596E+001	4.385161E+001	9.742302E-002
5	0 4C +27.14		id_5	2.529743E+001	2.485489E+001	4.779935E-002
6	0 X Per		id_6	1.717433E+001	1.522095E+001	3.465552E-002
7	0 NGC 1275		id_7	1.447760E+001	1.426843E+001	3.613208E-002
8	0 4U 0614+091		id_8	1.404522E+001	1.320049E+001	3.562856E-002

- Present version implements required functionalities for commissioning phase
- Integrated and running in FSC
- It will be « calibrated » to the fly data during commissioning
- Additional functionalities to be developed and integrated in the next year/s
- APC responsible for maintenance / improvements along Oper. Phase
- Used by scientists to analyse the ECLAIRs / SVOM data

Crab — NEO



CXB (fit with a cutoffpl)





SVOM ECLAIRs PIPELINE



- APC project started ~ 2015 (launch in 2021 at the time!)
- Within FSC (CEA)
- Financed by CNES (1 CDD from 2018, then 2 from 2021)
- Team at FACE 2016-2019: AG., V. Beckmann, J.M. Colley, C. Catalano (CDD)

Today (2021-2024):

APC-dev : Philippe Bacon, Nicolas Bellemont, Cécile Cavet, Fabrice Dodu, Hugo Jiménez-Pérez

APC-science : Floriane Cangemi, Alexis Coleiro, Antoine Foisseau, Andrea Goldwurm, Cyril Lachaud, Sébastien Le Stum

DAp/CEA : Aleksandra Gros, Jérôme Rodriguez **IRAP** : Laurent Bouchet

FIN