

Equipe Astrophysique & Cosmochimie

vincent.tatischeff@ijclab.in2p3.fr



Astrophysique & Cosmochimie

Thèmes de recherche

- Nucléosynthèse
- Origine des rayons cosmiques
- Astrochimie du milieu interstellaire
- Formation du système solaire
- **Physique des sursauts gamma**

M. Chabot

A. Coc

L. Delauche

C. Engrand

C. Hamadache

G. Slodzian

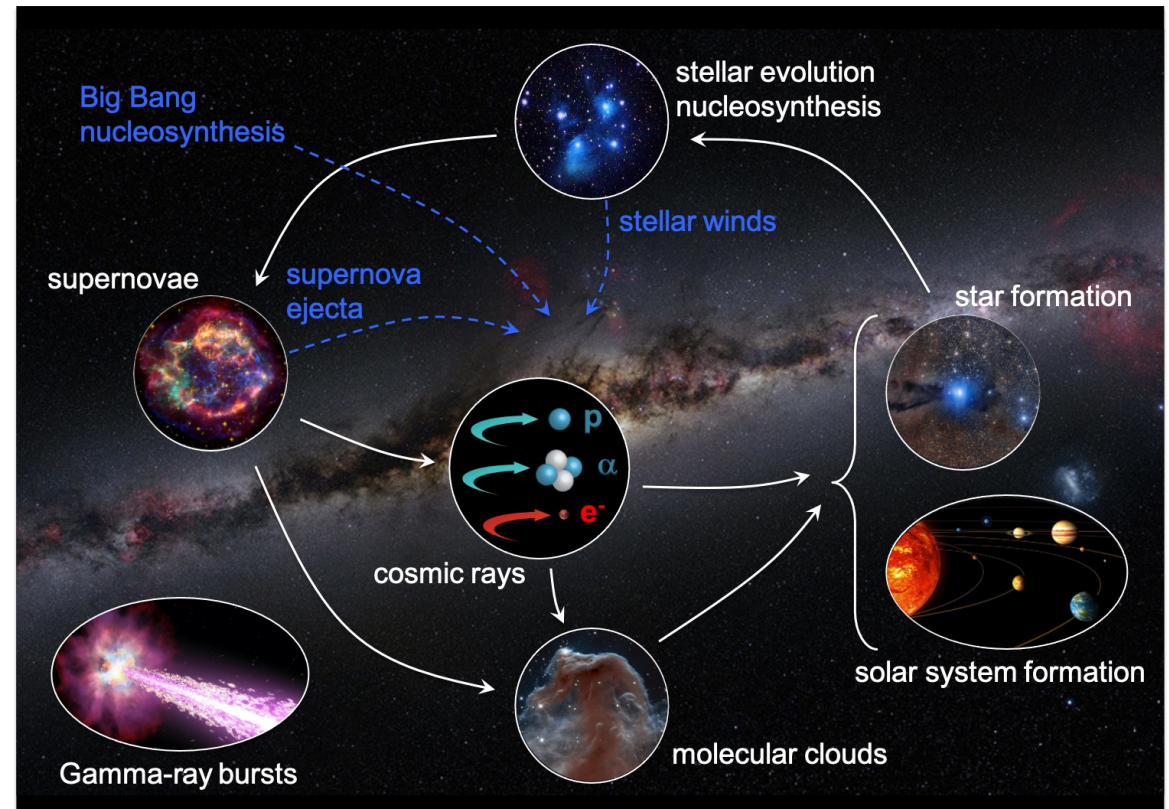
V. Tatischeff

L. Bejach (doc., 2021-2024)

N. Franel (doc., 2022-2025)

J. Mangan (post-doc., 2024-2026)

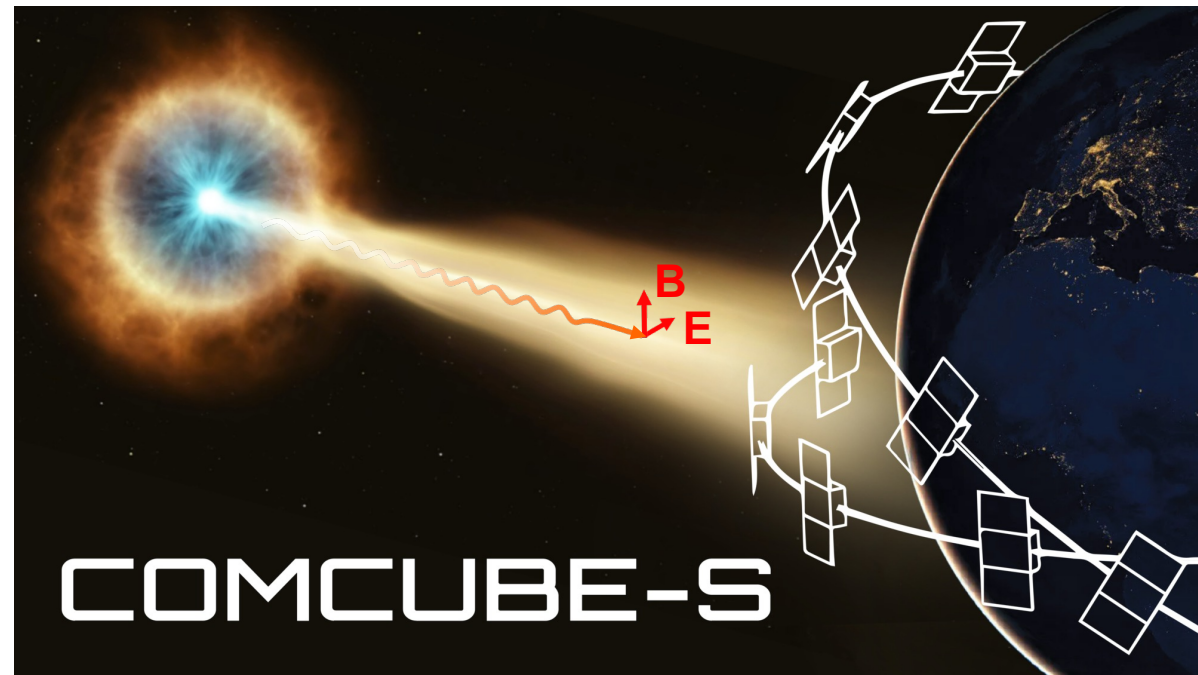
T. Nguyen Trun (doc., 2022-2025)





COMCUBE-S : un essaim de nanosatellites pour la polarimétrie des sursauts gamma et l'astronomie multi-messagers

- Proposée à l'ESA en 2023 en réponse à un appel à idées pour des **concepts de missions innovantes rendues possibles par des essaims de CubeSats**
- **Sélectionnée** en avril 2024 (parmi 74 idées initialement reçues par l'ESA)
- Phase d'étude au **Concurrent Design Facility** de l'ESA en juin 2024
- **Phase A** de 9 mois à partir de décembre 2024
- Mission de **démonstration en orbite de 2+ CubeSats en 2027**
- **Lancement de la constellation complète de 27 nanosatellites** avant la fin de la décennie

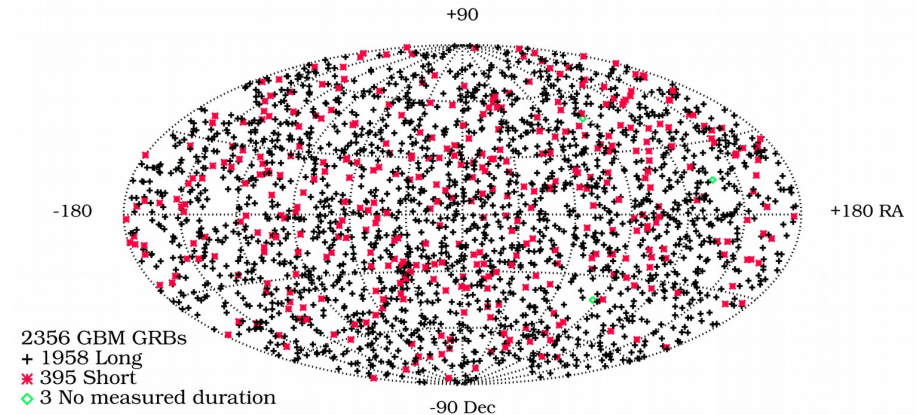




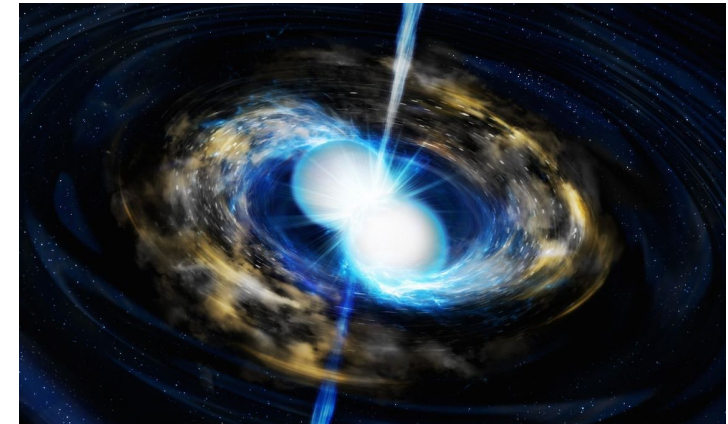
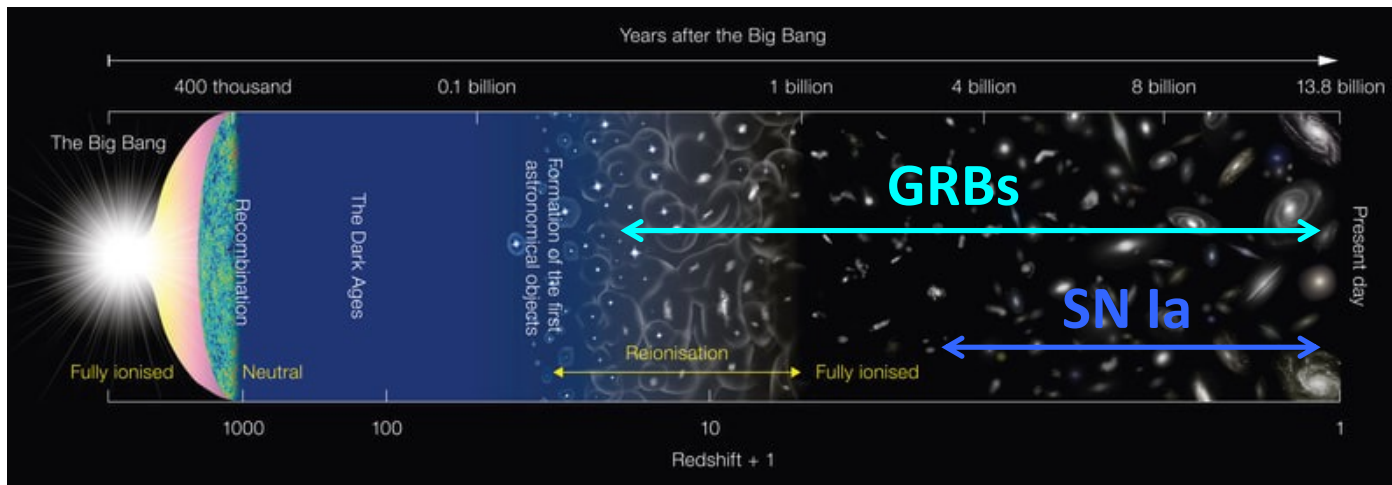
Sursauts gamma

- **Explosions les plus brillantes de l'Univers**
- Environ un sursaut détecté par jour, à des distances cosmologiques, jusqu'à des redshifts > 10
- Sursauts longs ($T_{90} > 2s$) : explosion d'étoiles très massives
sursauts courts : fusion d'objets compacts (NS-NS ou NH-BH)
- Pourraient devenir des **sondes cosmologiques uniques** si la physique impliquée dans leurs jets ultrarelativistes ($\Gamma > 100$) était mieux comprise.

Fermi-GBM 10-year catalogue

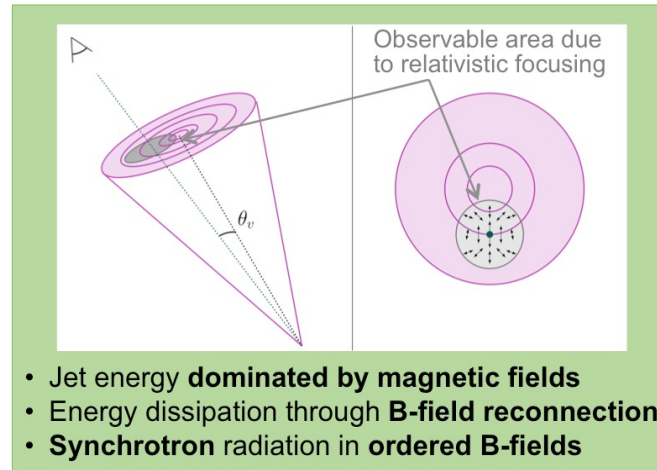


(von Kienin et al. 2020)

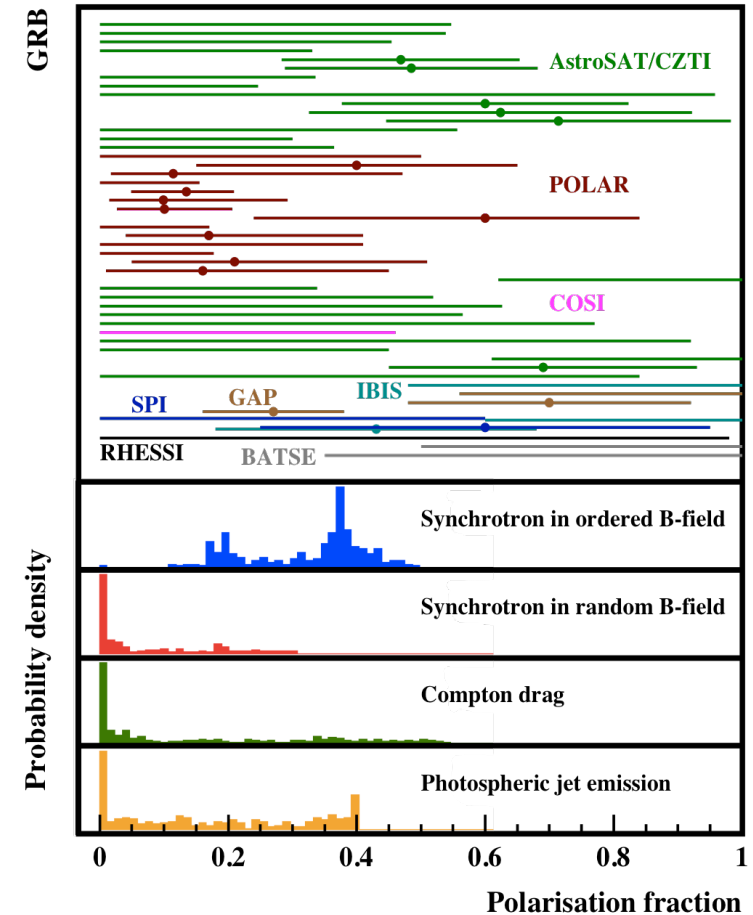




Polarisation des sursauts gamma

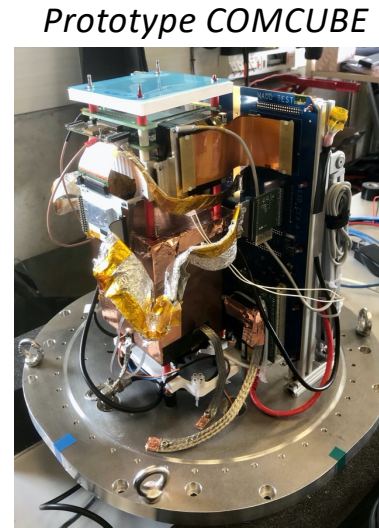
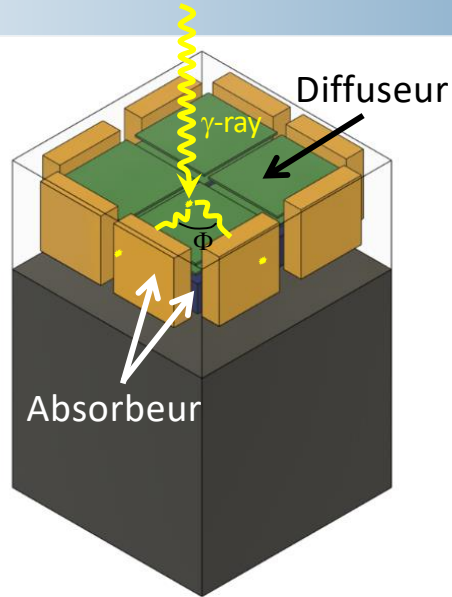
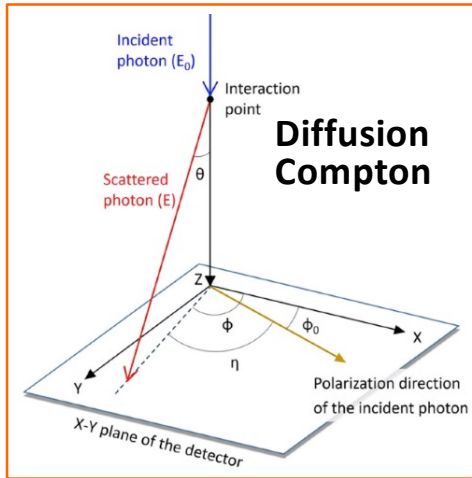


- Les mesures de spectre et de courbe de lumière n'ont pas permis de comprendre la **composition du plasma**, **l'origine du champ B** et le(s) processus de **dissipation d'énergie** dans les jets de sursauts gamma
- La **polarisation linéaire** peut révéler **l'intensité et la cohérence des champs magnétiques** transportés par le jet, ainsi que le(s) **mécanisme(s) de rayonnement** et la **géométrie d'observation**
- Mais la polarimétrie des rayons gamma est une mesure difficile, soumise à d'importantes **erreurs systématiques**





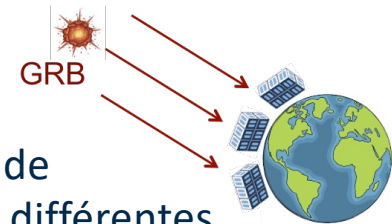
Polarimétrie des sursauts avec COMCUBE-S



Lancer du vol TRANSAT le 22/06/24 @ 18:57 UT



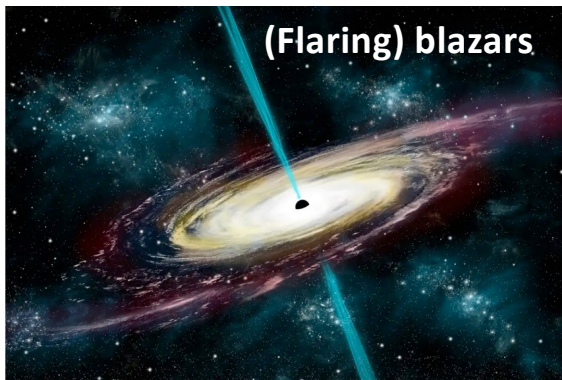
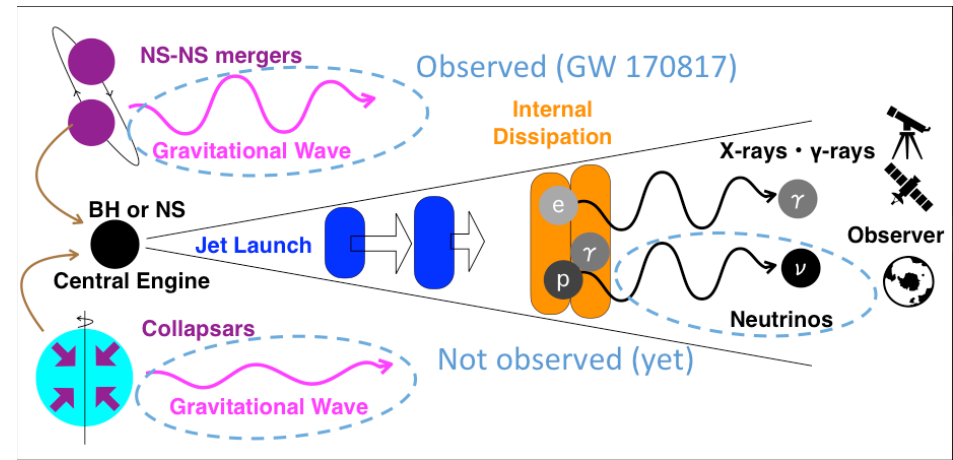
- Mesure de la polarisation linéaire en utilisant la **diffusion Compton** : $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{KN}} = \frac{r_e^2 \varepsilon^2}{2} (\varepsilon + \varepsilon^{-1} - 2 \sin^2 \theta \cos^2 \eta)$
- **Télescope Compton** constitué de détecteurs Si à pistes (diffuseur) et de scintillateurs (absorbeur)
- Test d'un prototype de polarimètre en **vol ballon stratosphérique** en juin 2024 – **1^{er} vol transatlantique** (Laponie Suédoise -> Ile de Baffin au Canada) opéré par le CNES
- **COMCUBE-S** minimisera les **erreurs systématiques** de mesure en détectant le même signal de polarisation avec un grand nombre d'instruments observant la source avec des orientations différentes



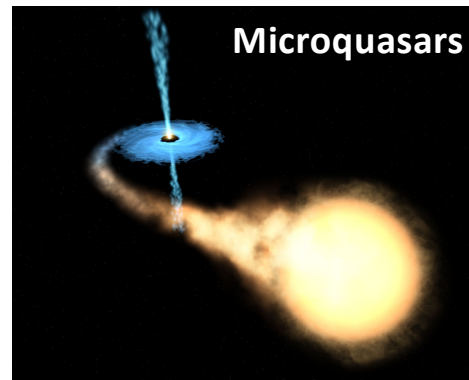


Astronomie multi-messagers et astronomie du domaine temporelle

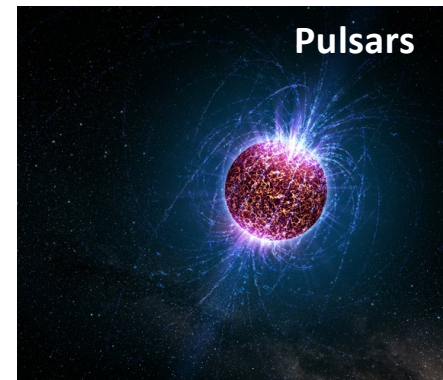
- **Localisation** rapide des sursauts et **notification d'alertes** :
 - Suivi multi-longueurs d'onde pour la détection de la galaxie hôte (=> **redshift**) et l'étude de la rémanence
- Recherche d'une contrepartie électromagnétique aux **ondes gravitationnelles** détectées avec LIGO/Virgo/KAGRA
- ... et aux **neutrinos de haute énergie** détectés avec IceCube & KM3NeT (=> rayonnement cosmique extra-galactique)
- Les études de nombreuses **sources transitoires** détectées par COMCUBE-S bénéficieront d'observations de suivi à d'autres longueurs d'onde : les noyaux actifs de galaxie, les microquasars, les binaires X, etc.



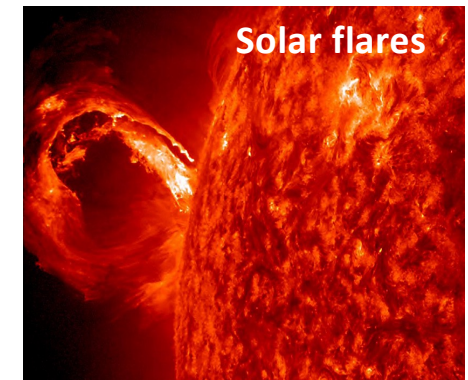
(Flaring) blazars



Microquasars



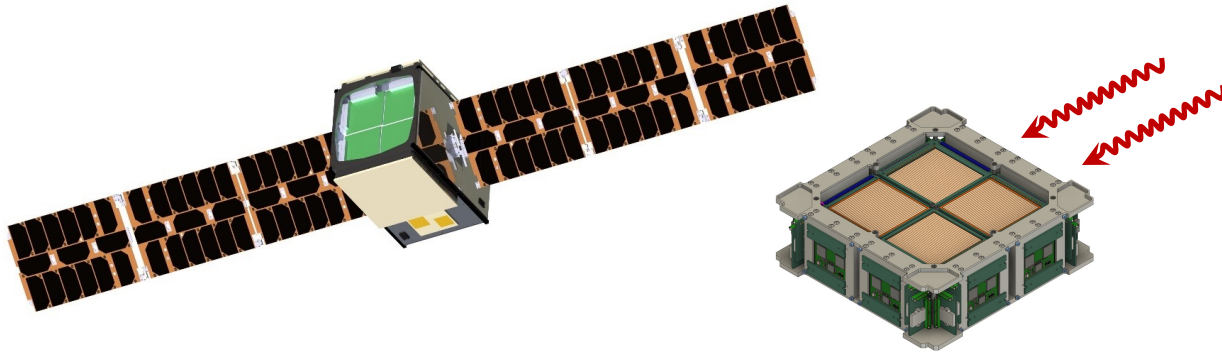
Pulsars



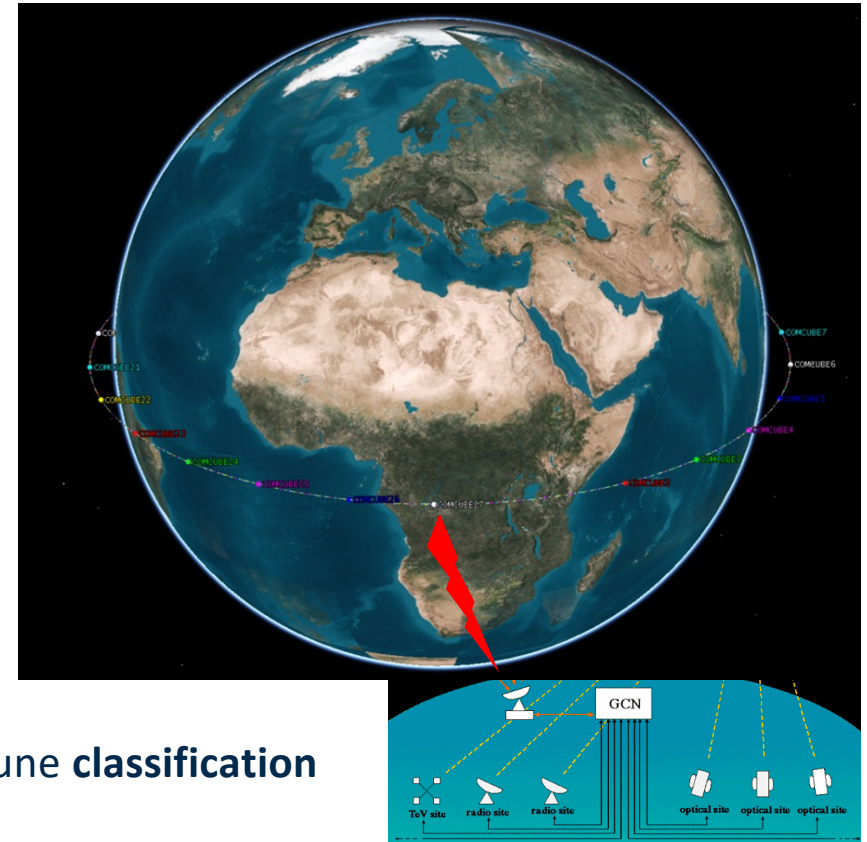
Solar flares



Notification d'alertes rapides avec localisation automatique des sources



- COMCUBE-S mettra en œuvre de nouveaux aspects des **liaisons inter-satellites** pour transmettre rapidement au sol les données de la constellation en cas d'événement déclencheur
- **Localisation automatique** à partir des taux de comptage de tous les détecteurs (32 par satellite), en utilisant la sensibilité des fonctions de réponse à la direction d'arrivée des rayons gamma
- Traitement automatique des alertes avec le « broker » **FINK** pour une **classification des sources transitoires en temps réel**
- Transmission automatique des alertes les plus prometteuses au réseau **GCN** (General Coordinates Network) pour des **observations de suivi multi-longueurs d'onde** (télescopes robotisés au sol etc..)





Proposition de thèse (2025 – 2028) et de stage de M2

- Titre : *Astronomie du domaine temporel avec la mission COMCUBE-S*
- Objectif principal : Participer au développement de la mission spatiale jusqu'à la démonstration en orbite en 2027 – 2028 (Phases B à E), en spécifiant les capacités de la mission pour l'astronomie du domaine temporel
- Programme de travail : (i) améliorer les capacités de **localisation** de la constellation grâce à **l'intelligence artificielle**, (ii) simuler la détection par COMCUBE-S des différentes sources transitoires en fonction de leurs **propriétés astrophysiques**, et (iii) développer des modules scientifiques dans **FINK** pour la gestion automatisée des alertes générées par la constellation
- Travail très formateur : astrophysique des sources de haute énergie, simulations numériques, instrumentation en laboratoire, analyse de données, développement d'une mission spatiale
- **Financement du CNES** (réponse à notre demande d'allocation doctorale en décembre)
- Travail en **collaboration avec l'ESA** (stage de M2 pendant la Phase A)

