

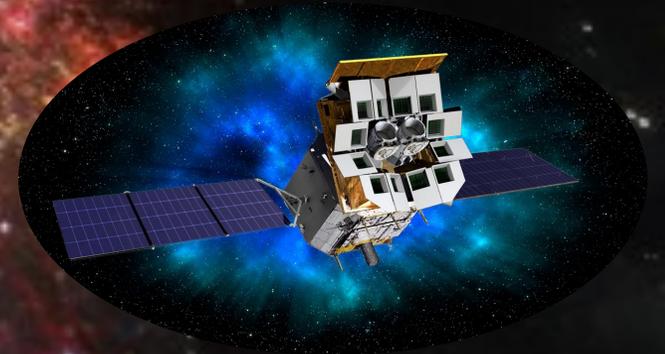
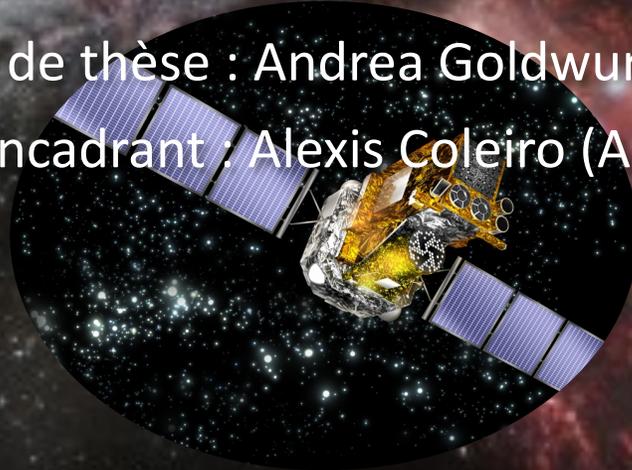
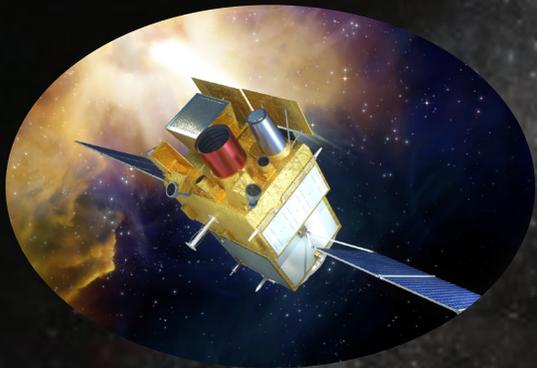


Etude des processus d'accrétion et d'éjection dans les trous noirs supermassifs

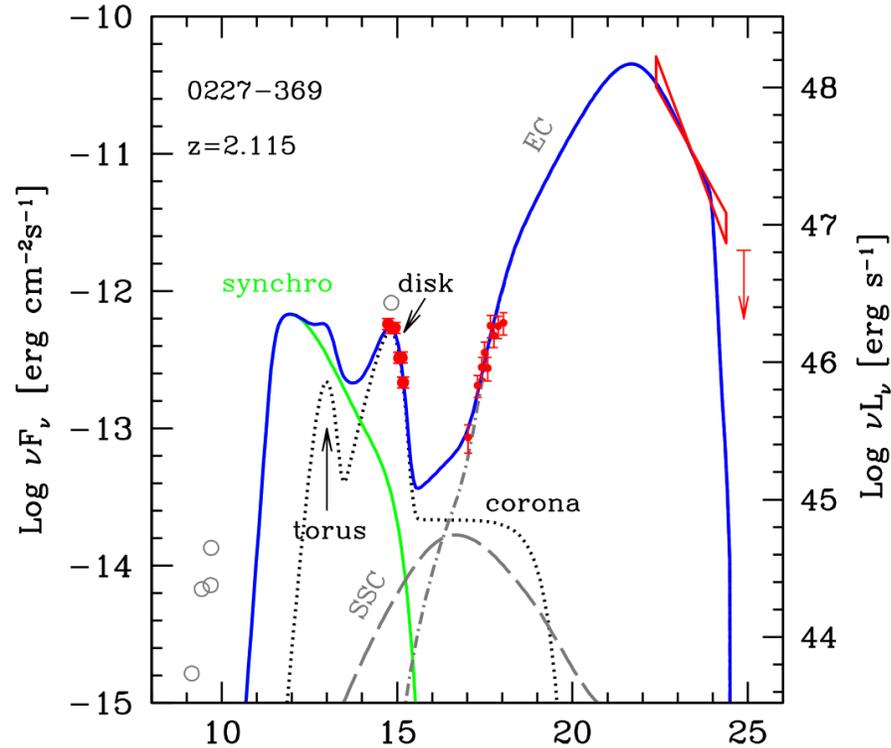
Par Antoine Foisseau, 2^{ème} année de doctorat

Directeur de thèse : Andrea Goldwurm (CEA/APC)

Co-encadrant : Alexis Coleiro (APC/UPC)



AGNs : Processus d'émissions



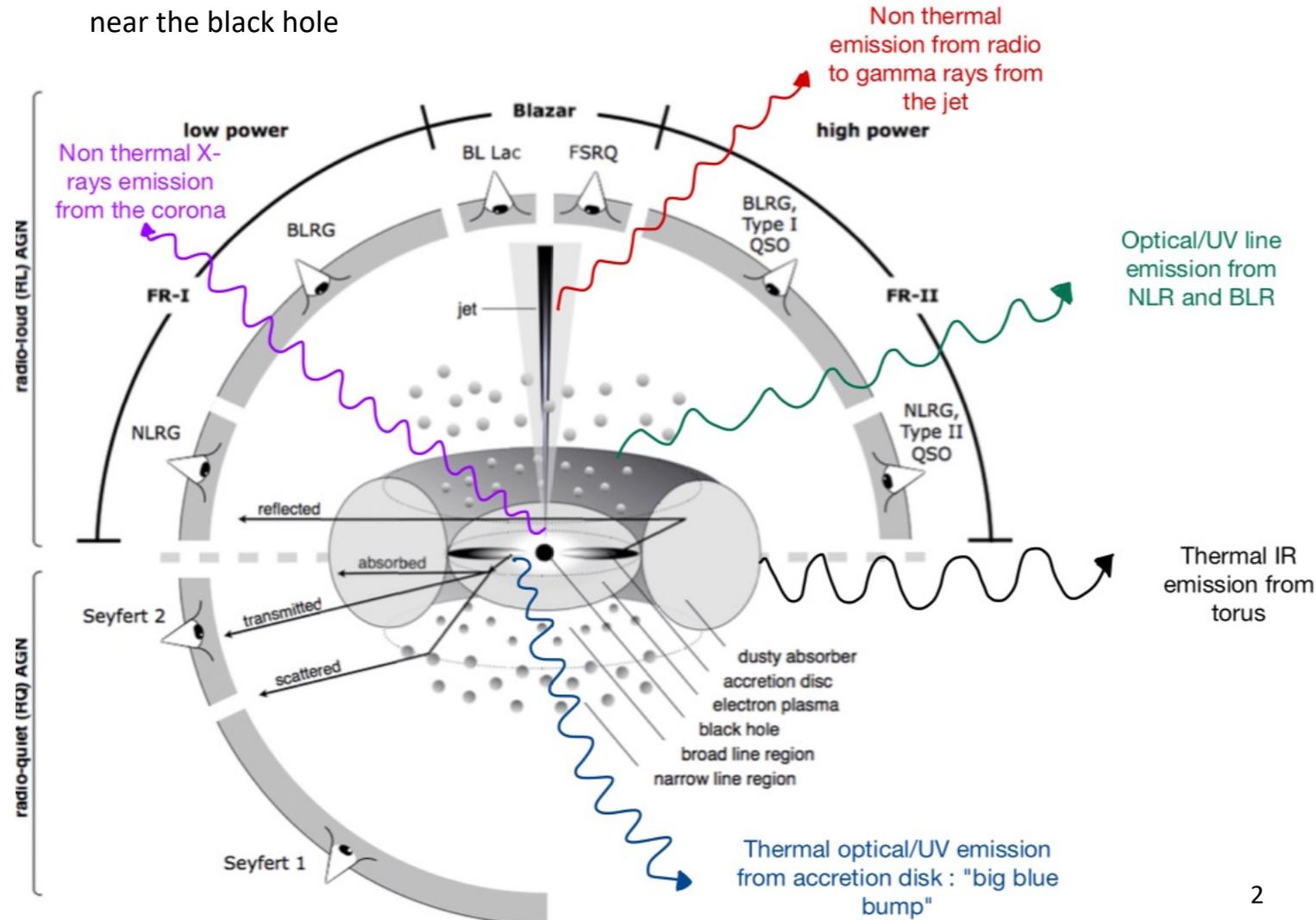
SED du blazar 0227-269.

Credit : Gabriele Ghisellini. 2011. arXiv : 1104.0006

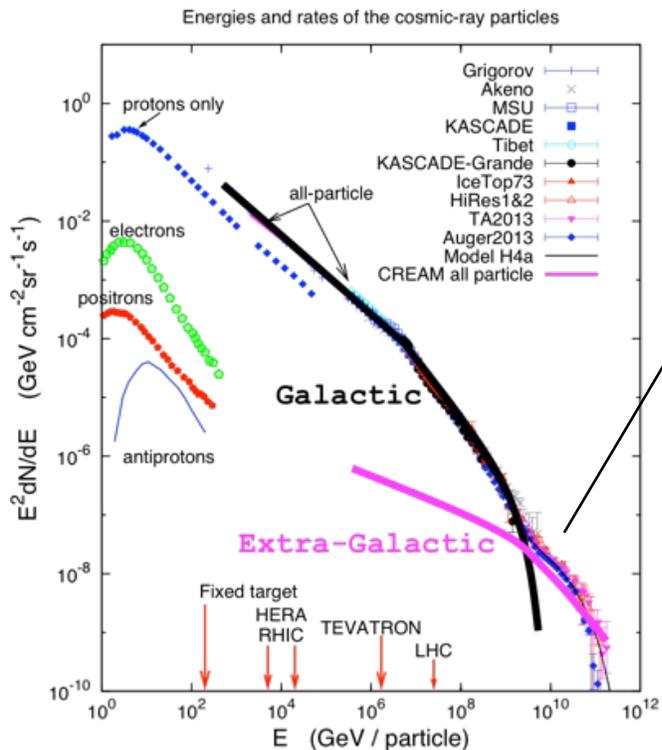
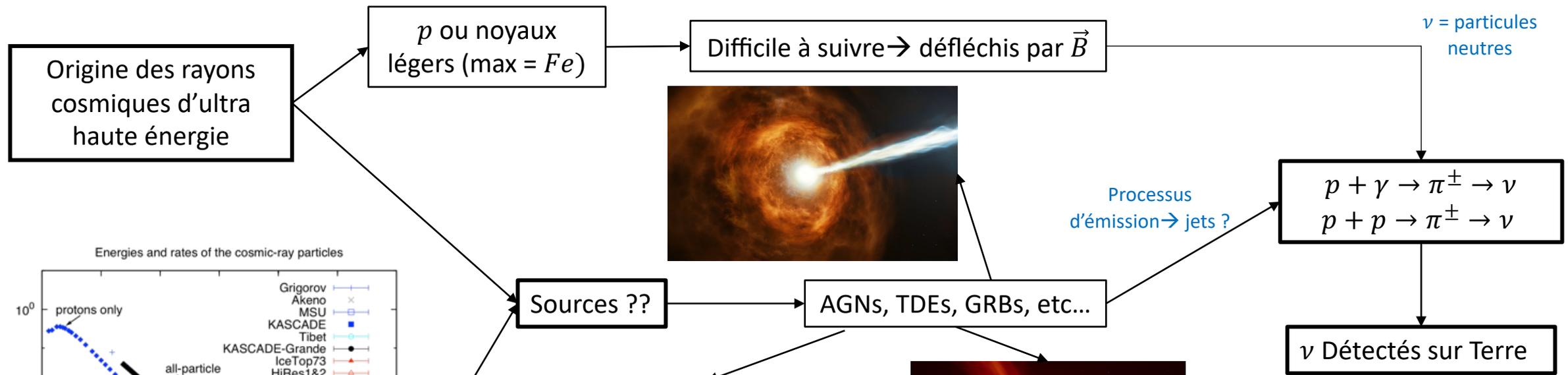
La recherche sur la physique des AGNs :

- Evolution des galaxies ?
- Ejection et accretion dans les trous noirs
- Rayons cosmiques / neutrinos ?

Corona ? → Hot layer of gas optically thin near the black hole



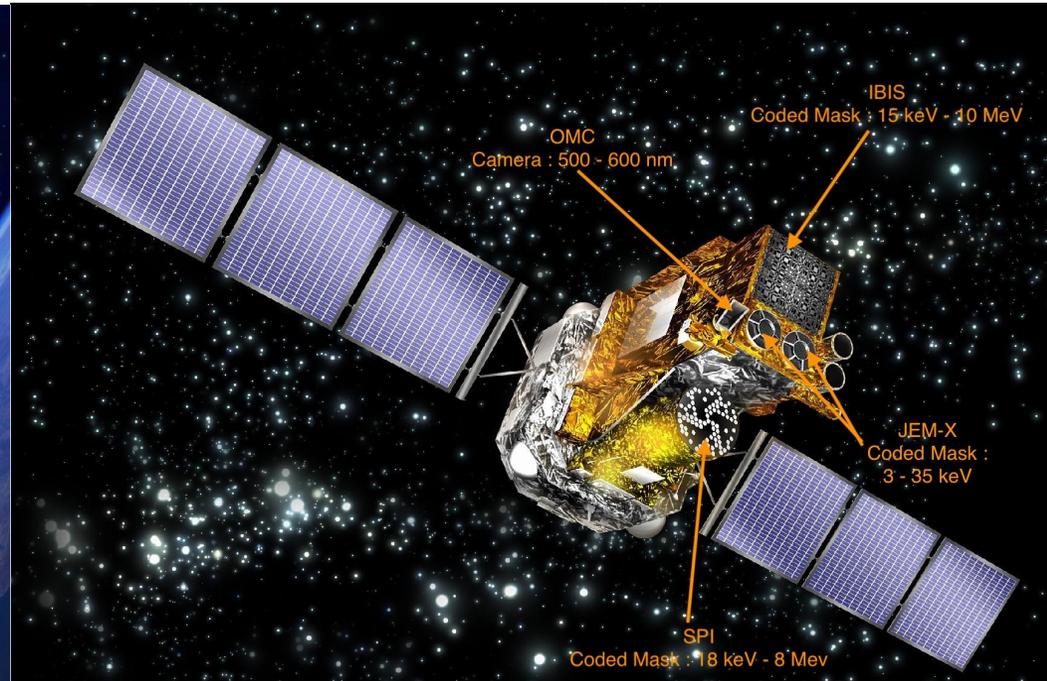
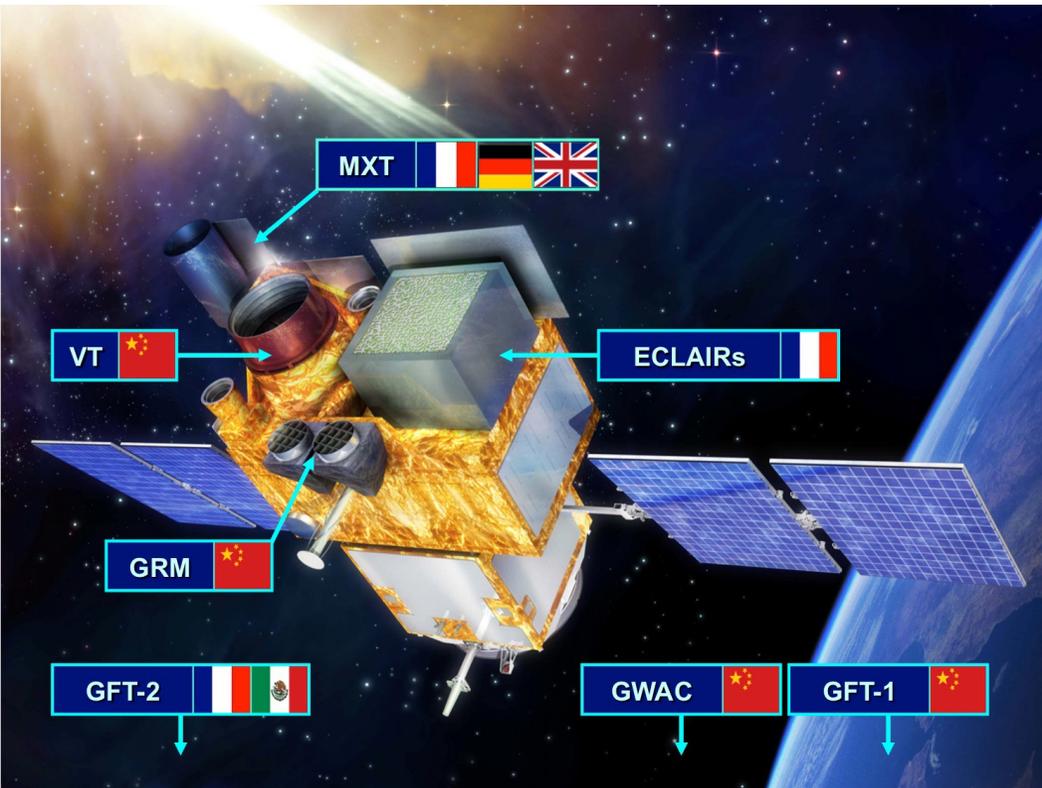
Origine des rayons cosmiques / neutrinos



IceCube MasterClass
 (<https://masterclass.icecube.wisc.edu/fr/analyses/le-spectre-denergie-des-rayons-cosmiques>)

- observer de nouvelles potentielles associations
- données multi-longueur d'ondes pour comprendre l'émission de ces sources

Missions : SVOM, INTEGRAL, Einstein Probe



Lancements :

INTEGRAL : lancé en 2002

Einstein Probe : lancé le 09/01/2024

SVOM : lancement prévu le 24/06/2024

Structure : 3 travaux majeurs

- 1) Préparation de la 1^{ère} année d'observation de la mission SVOM (General Program)
- 2) Développement d'un code de trigger ToO-MM relatif aux alertes neutrinos d'IceCube
- 3) Etude multi-longueur d'onde de NGC 1068

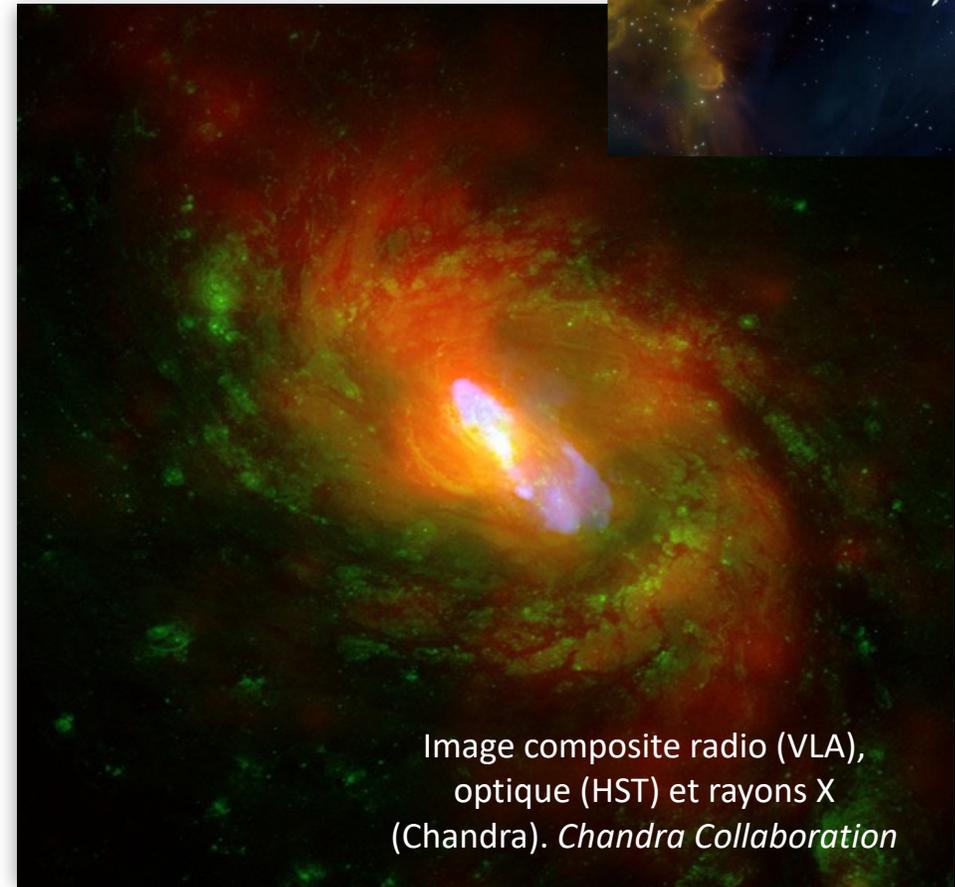


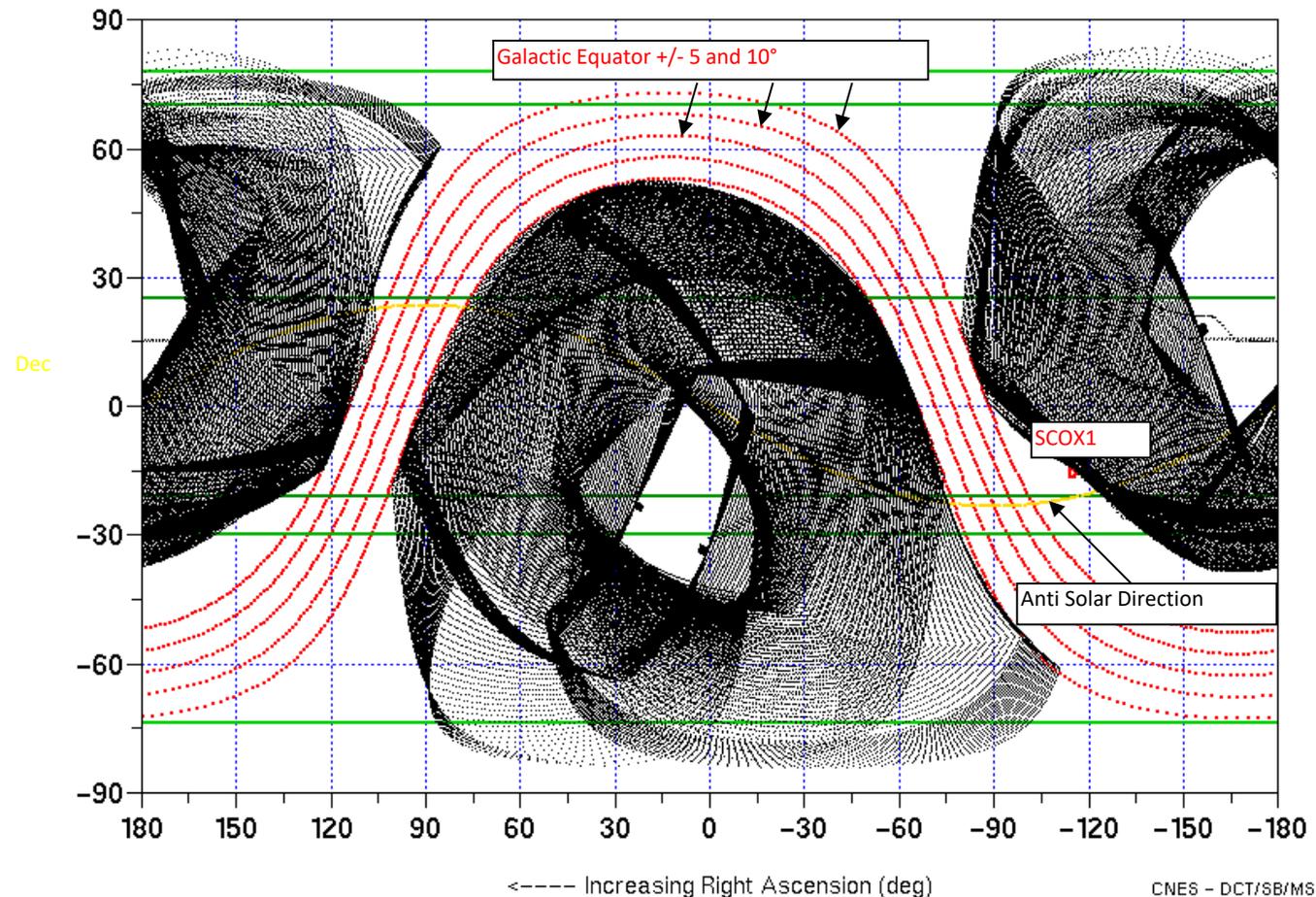
Image composite radio (VLA),
optique (HST) et rayons X
(Chandra). *Chandra Collaboration*

Programme général de la mission SVOM

Le programme général rassemble l'ensemble des **observations pointés de la mission SVOM**. Le but est donc de mettre au point une liste de sources (**AGN**) qui couvre l'ensemble de la **première année** de la mission.

SVOM – CXG Field of View, Attitude Law B1

- Critères de sélection :
 - Vérifier si la source est dans la loi B1 (loi d'attitude du satellite)
 - Loi d'attitude : direction de pointage des instruments.
 - Loi B1 : éviter le soleil, le plan galactique et Sco X-1.
 - Estimer le temps d'exposition nécessaire à l'observation de chaque source pour MXT et ECLAIRS
 - Vérifier si la source restera assez de temps dans le champ de vue d'ECLAIRS pour être détectée par ce dernier.

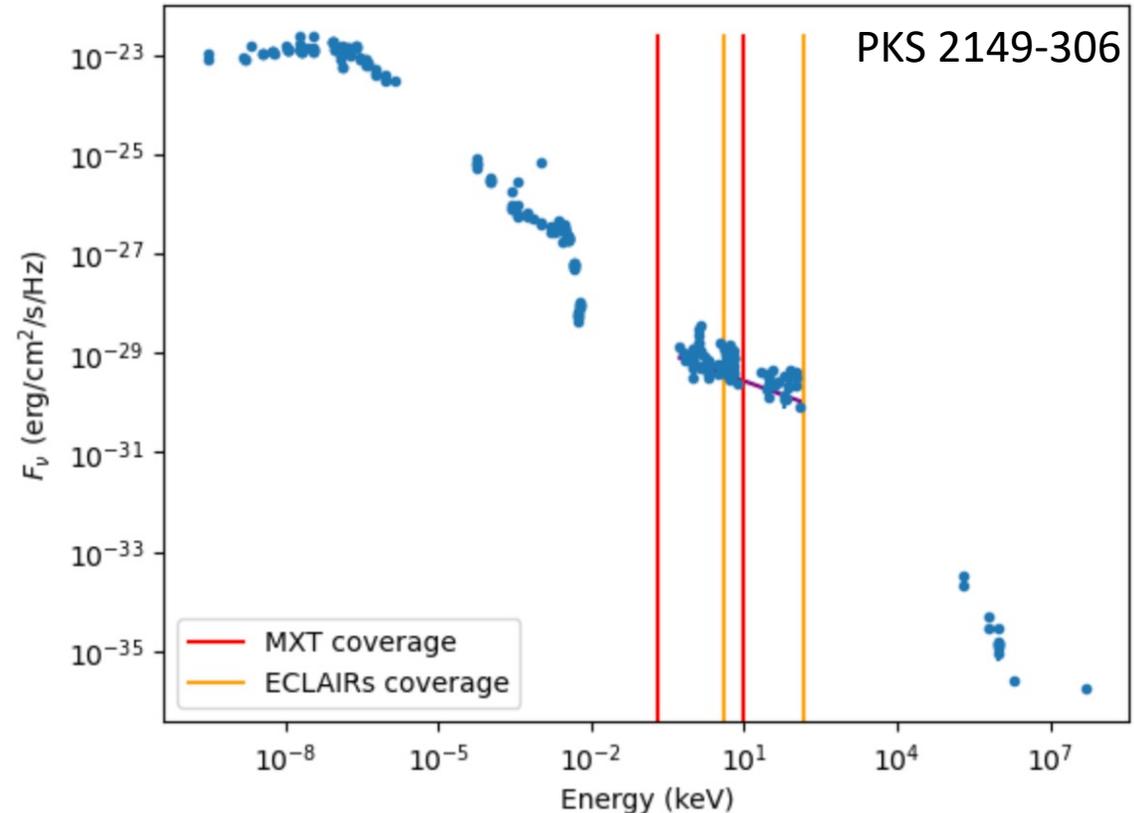
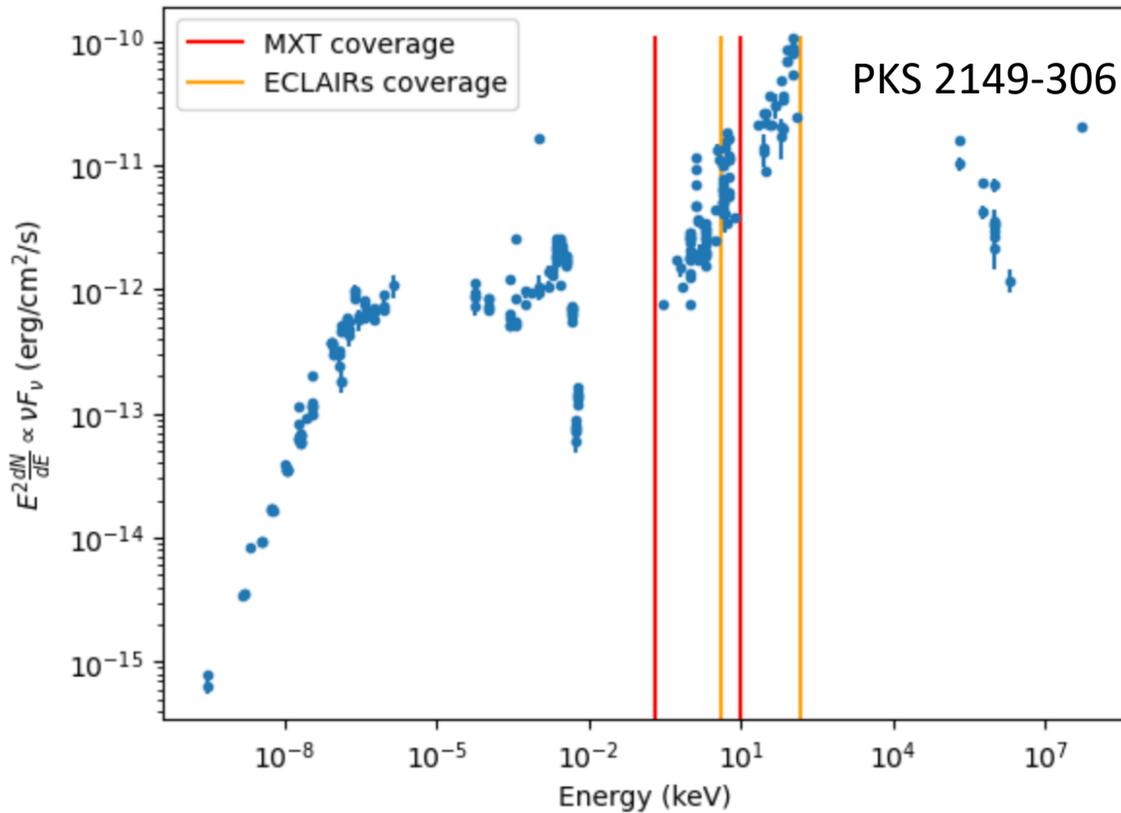


Credit :
Cordier-AMT.
2010

Programme général de la mission SVOM

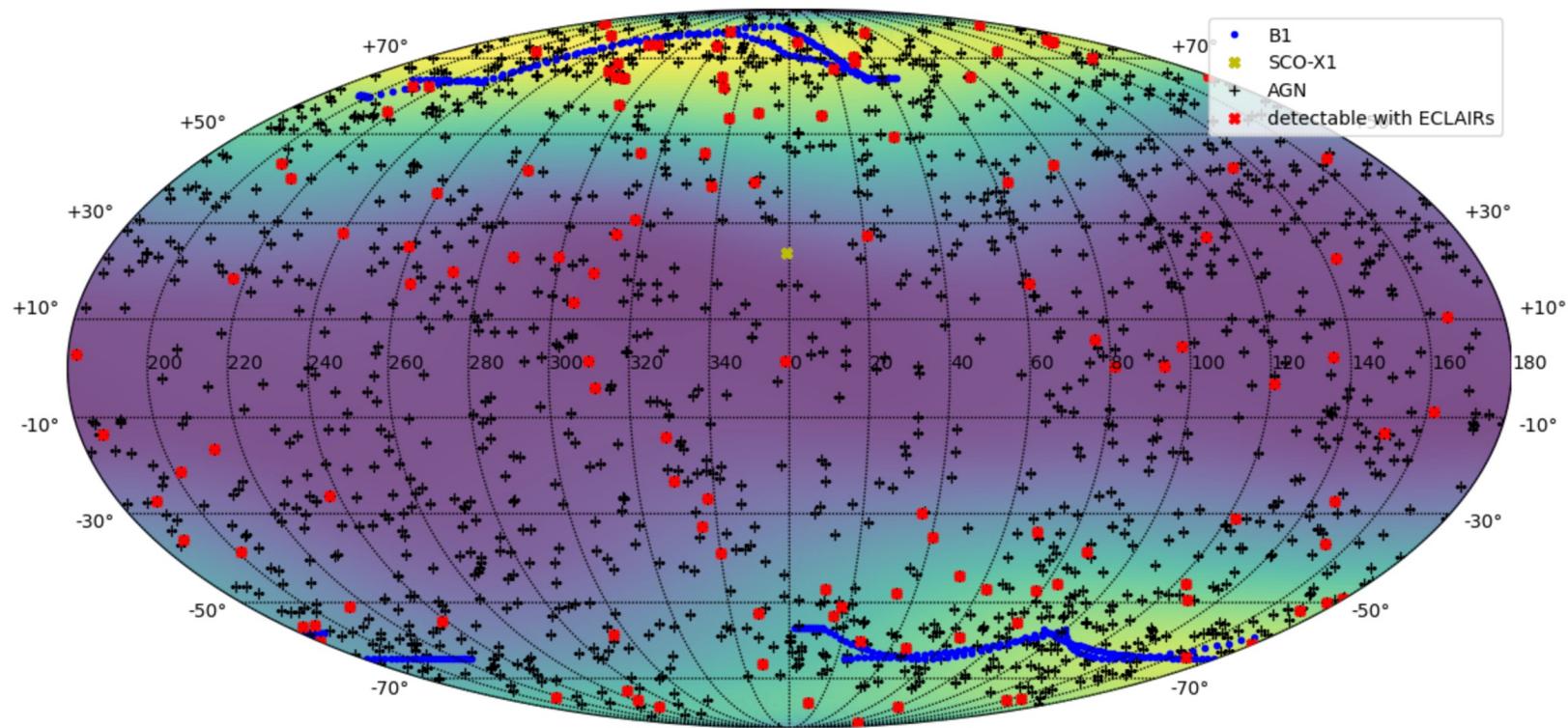
Blazar : Crossmatch entre le catalogue des alertes IceCube et les catalogues RFC et 5BZCAT (Plavin et al. 2020 et Buson et al. 2022).

AGNs : sources du SWIFT BAT 157-Month Hard X-ray Survey.



Programme général de la mission SVOM

Total number of sources	1503
Total number of AGNs	1099
Total number of blazars	404
Blazars potentially related to neutrinos	104
Blazars (neutrinos) located in B1 law ($\pm 10^\circ$)	15
AGNs detectable with ECLAIRs without repointing (stacking)	132

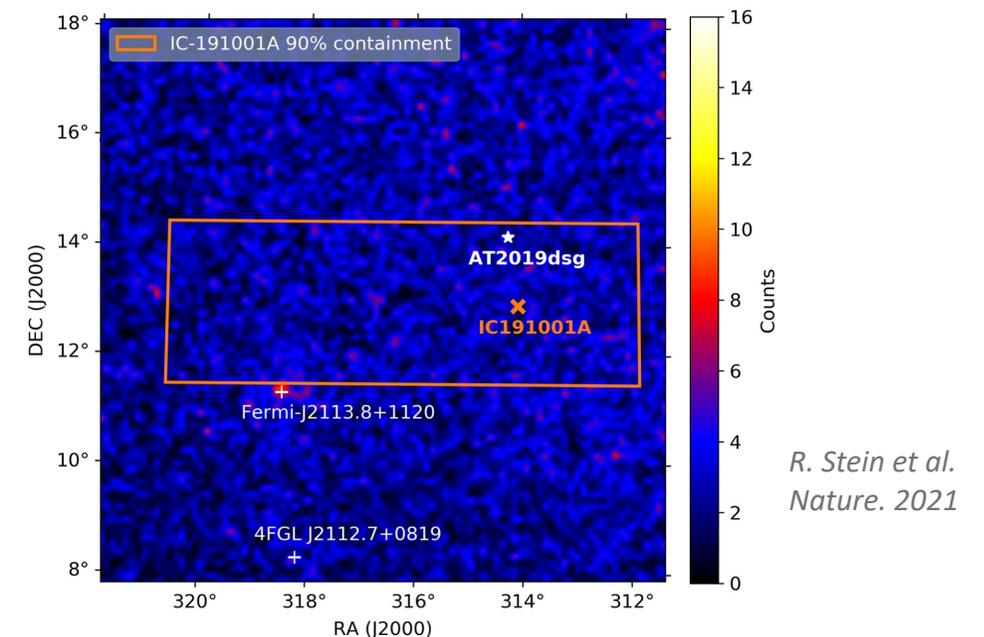
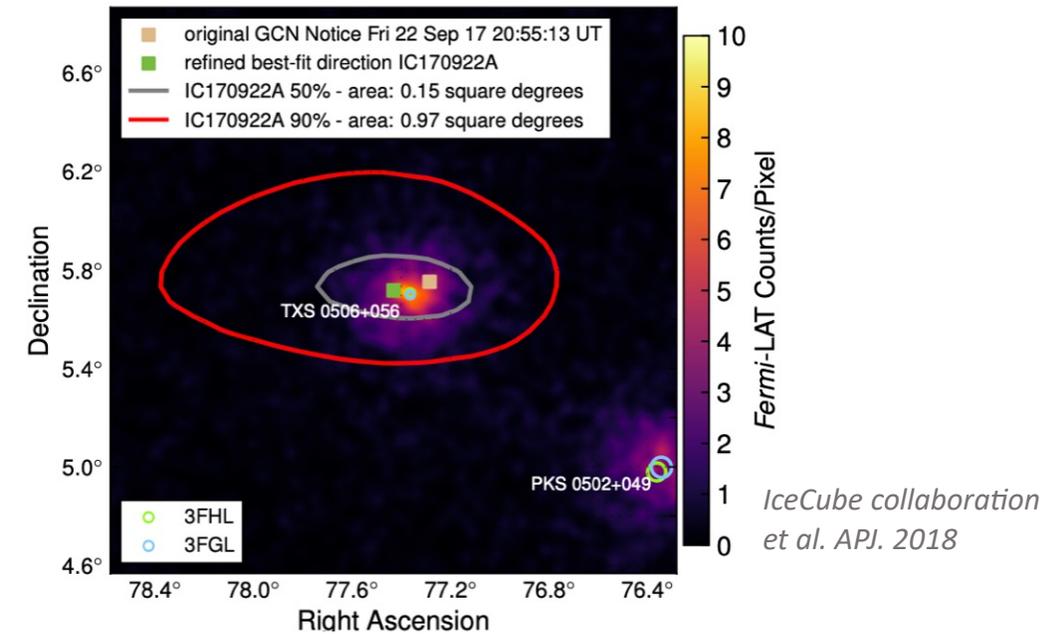


Code de trigger de ToO-MM avec des alertes neutrinos IceCube.

Suite à l'observation en 2017 d'une **corrélation à 3σ** entre le **blazar TXS 0506+056** (en flare dans le domaine gamma) et le **neutrino IC-170922A**, les blazars sont considérés comme l'une des sources prometteuses de neutrinos de haute énergie.

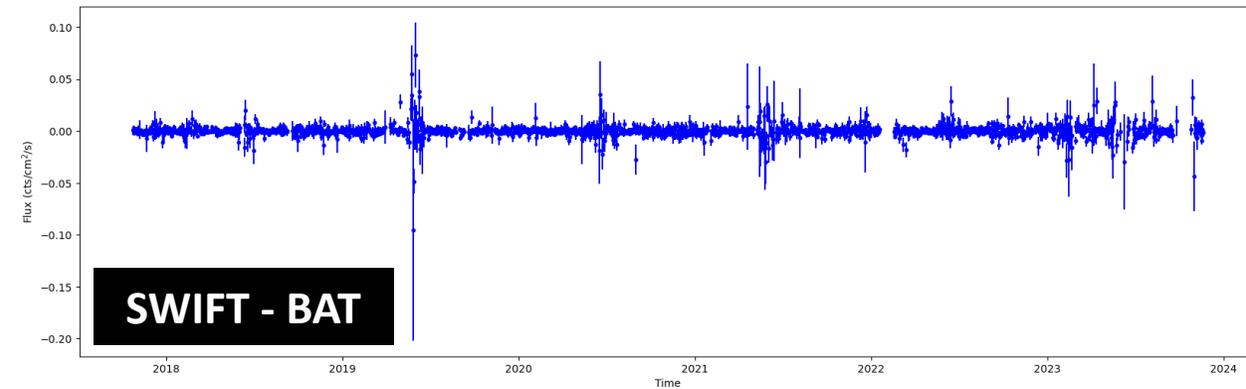
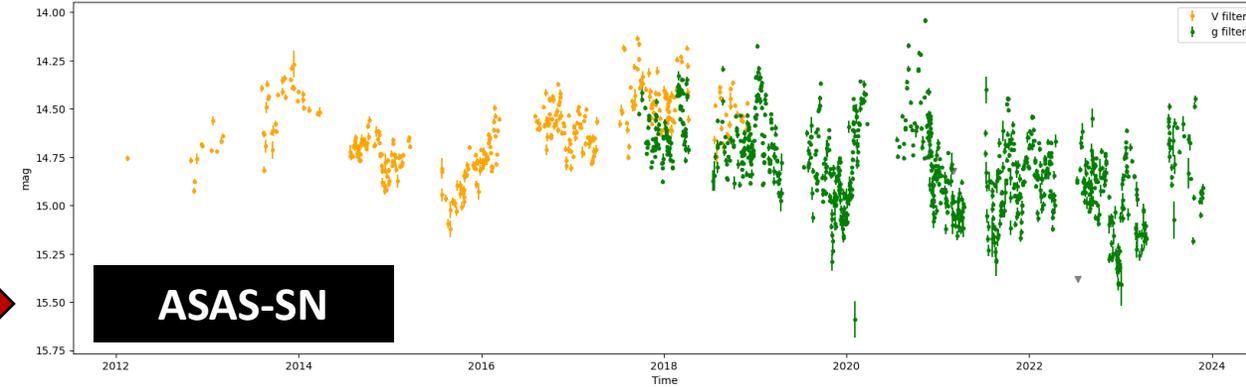
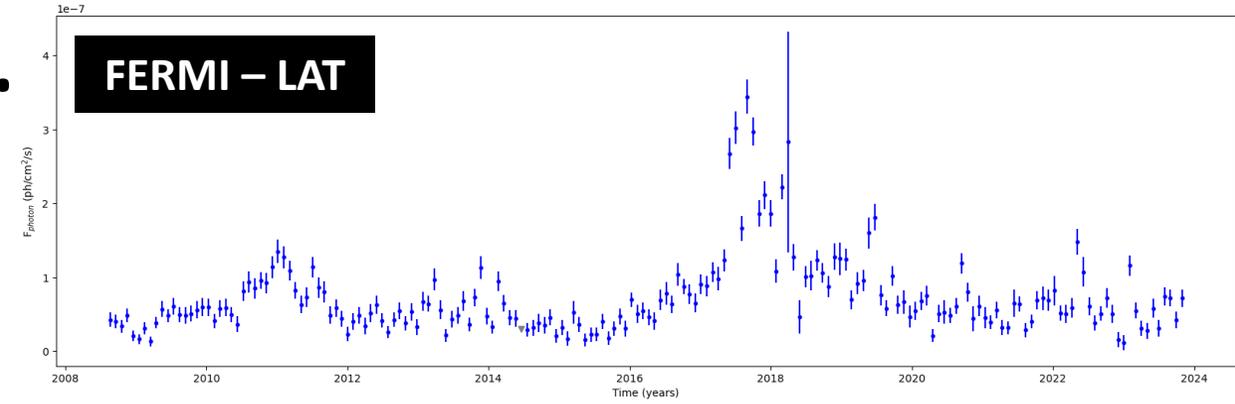
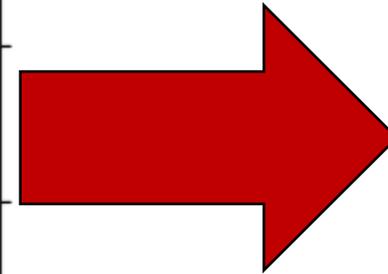
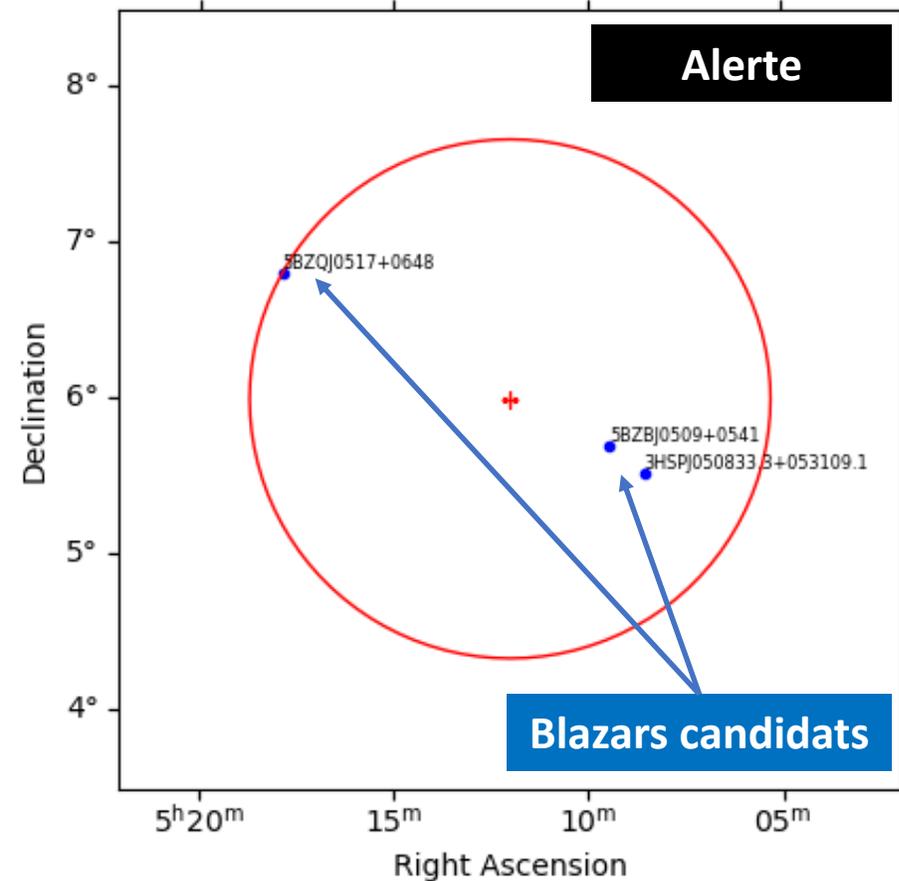
En 2019, une autre **association à 3σ** entre le **TDE AT2019dsg** (en flare) et le **neutrino IC-191001A** est observée, faisant des TDE un type de source intéressant pour l'émission de neutrinos de haute énergie.

→ Les sources extragalactiques avec une **forte variabilité temporelle et spectrale**, comme les **blazars** ou les **TDE**, et qui sont en phase de **flare**, sont susceptibles d'émettre des **neutrinos** et demandent donc à être observés rapidement après la détection d'un neutrino sur Terre.



Code de trigger de ToO-MM avec des alertes neutrinos IceCube.

Développement d'un programme automatique qui va rechercher les courbes de lumière disponibles afin de proposer une stratégie d'observation.



NGC 1068 : AGN de type Seyfert 2

IceCube Collaboration et al. 2022 :

Etude **intégrée en temps** à permis de mettre en évidence **un excès de neutrinos** en corrélation avec NGC 1068 à **4.2σ** .

Différents types de modèles sont débattus : **leptoniques, hadroniques ou lepto-hadroniques**. Afin de mieux contraindre ces modèles, une multitude de données sont nécessaires notamment dans les rayons X.

A ce titre nous effectuons une étude avec des données **INTEGRAL-IBIS, INTEGRAL-SPI, SWIFT-BAT et NuSTAR**.

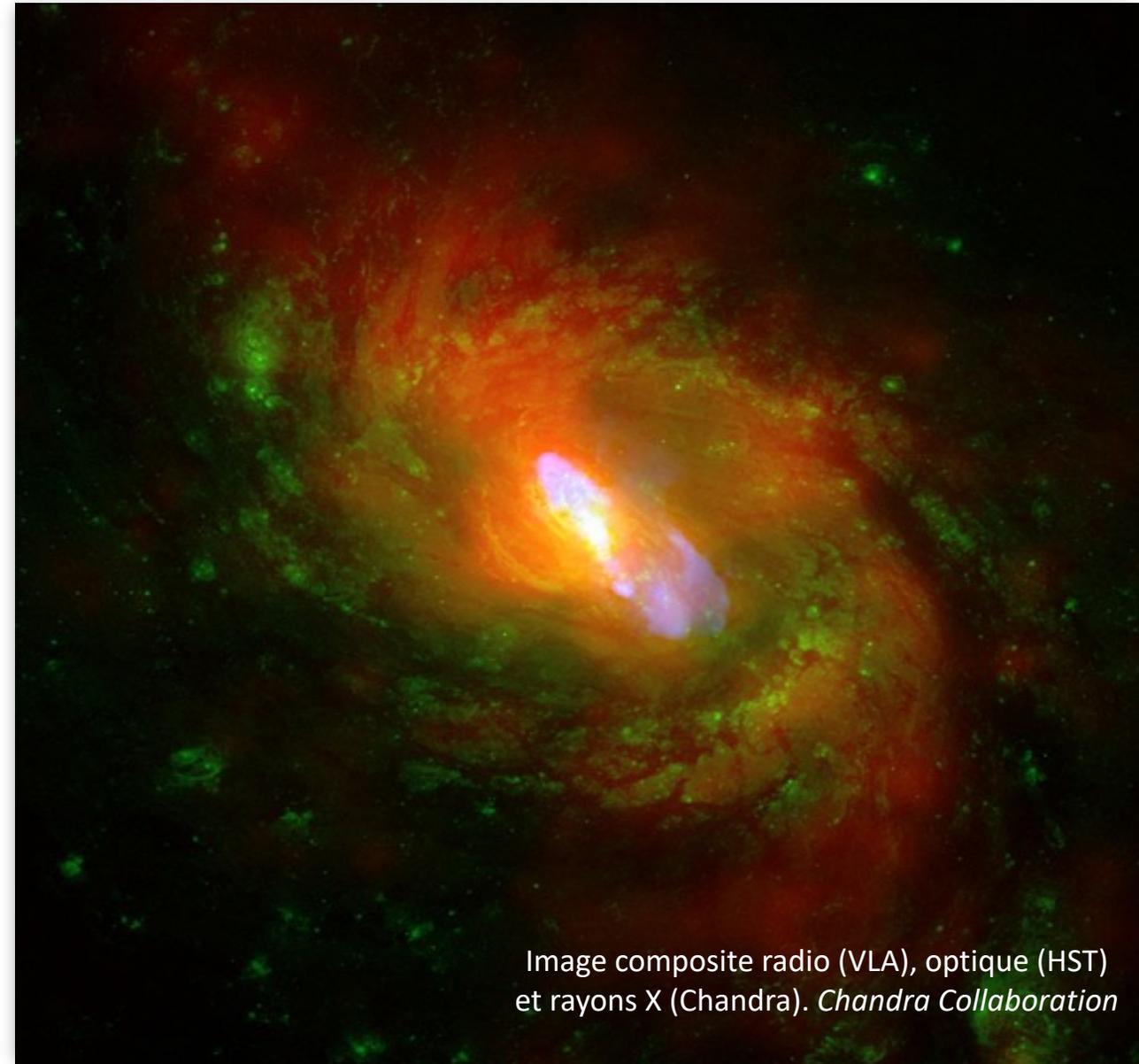


Image composite radio (VLA), optique (HST) et rayons X (Chandra). *Chandra Collaboration*

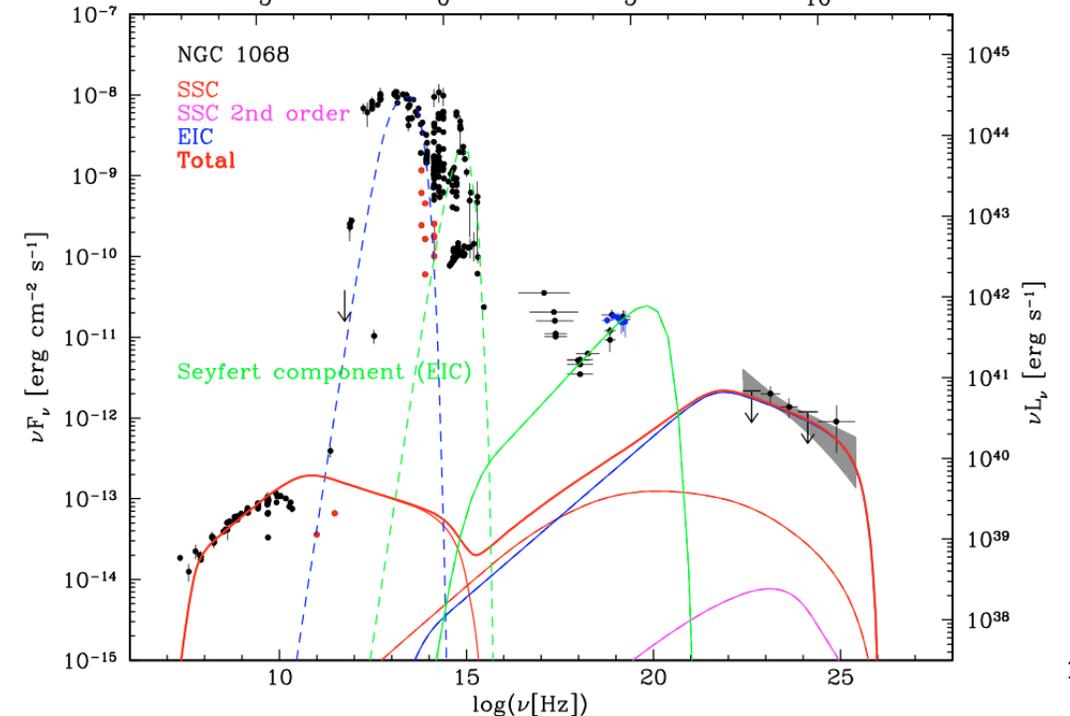
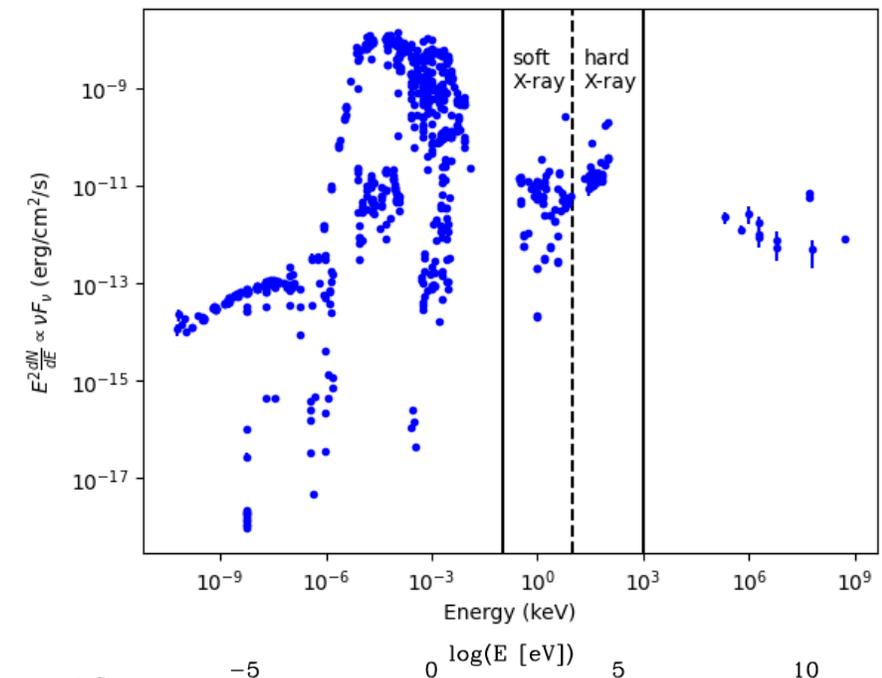
Pourquoi les données X sont-elles importantes ?

- Emission X est issue de processus physiques différents : émission thermique (tore de poussière, disque...), diffusion Compton inverse (différents photons cibles), rayonnement synchrotron etc...
- Recherche d'un potentiel **cutoff à haute énergie (> 100 keV)** dans les données X.

→ Si cutoff dans [100-500] keV : les émissions leptoniques devraient très fortement dominer.

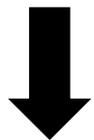
→ Si pas de cutoff dans [100-500] keV : les émissions hadroniques sont non négligeables. Un cutoff au MeV devrait donc être visible.

⚠ Nos données couvrent [3;195] keV. Une absence de cutoff dans nos données signifie simplement qu'il n'y a pas de cutoff en dessous de 195 keV.



Idée

Etape 1 : Analyse des données ✓



Etape 2 : Analyse préliminaire (modèles simples)

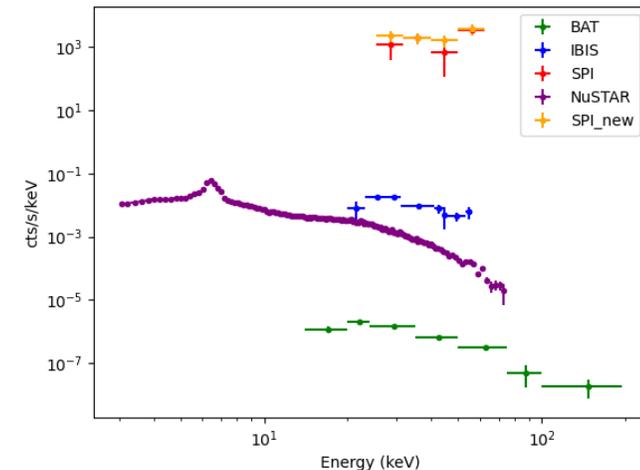


Etape 3 : Ajustement par des modèles plus complexes



Etape 4 : Ajustement de la SED sur toute la gamme électromagnétique

Données :
IBIS : [20;60] keV
SPI : [25;65] keV
BAT : [14;195] keV
NuSTAR : [3;79] keV



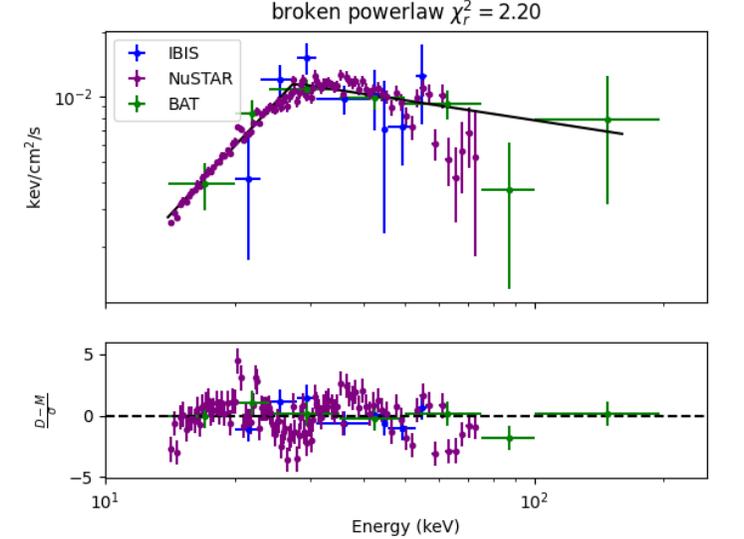
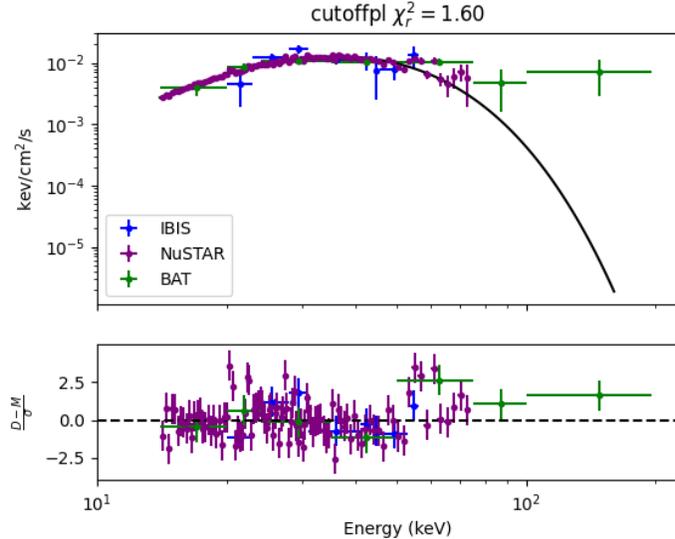
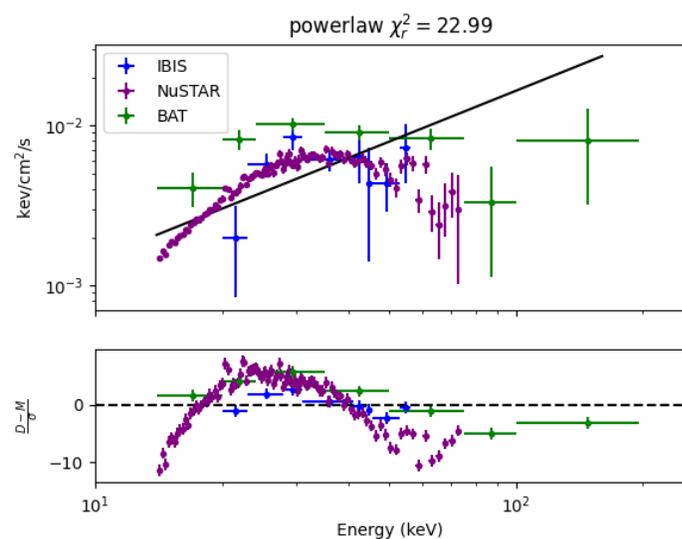
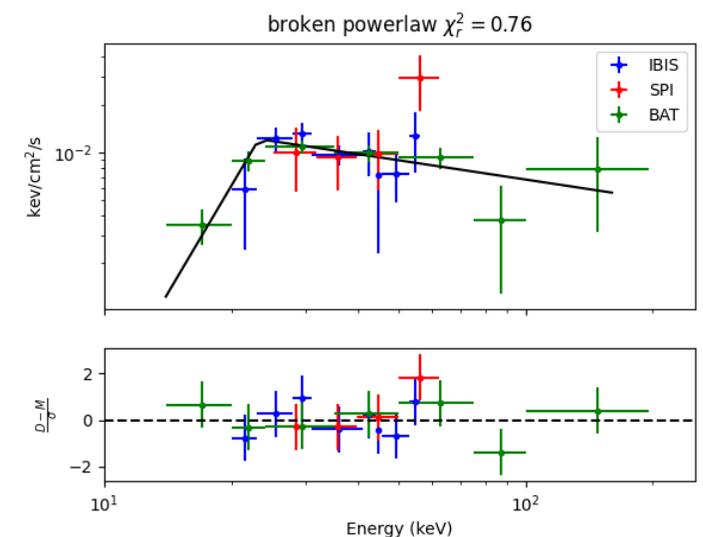
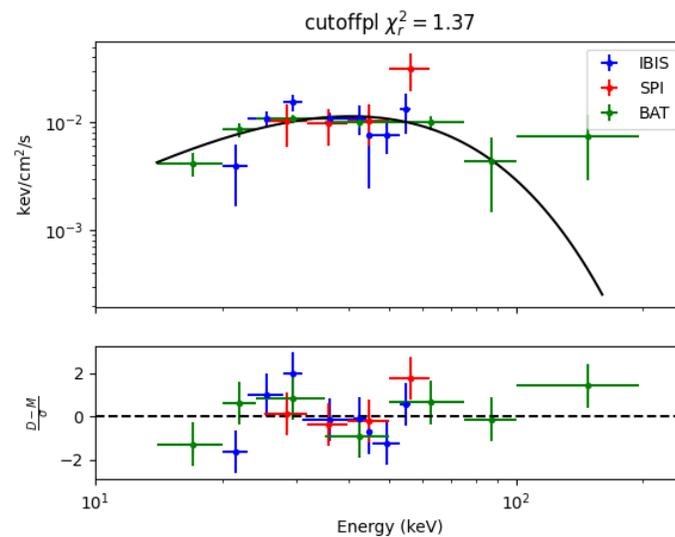
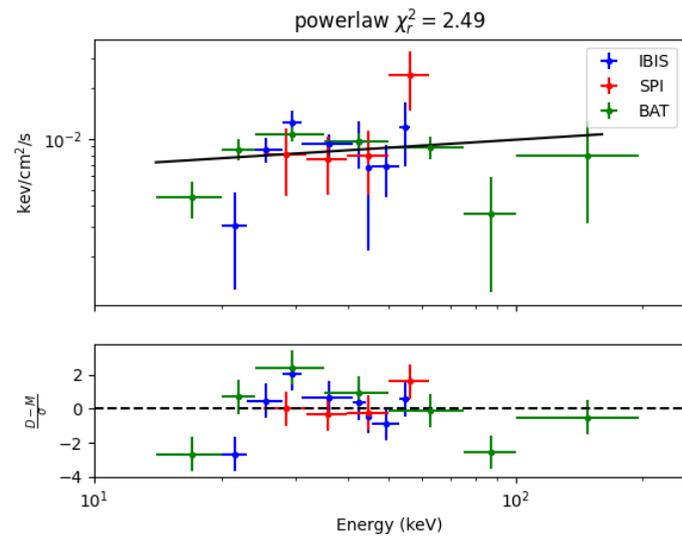
Ajustement par des modèles simples : powerlaw, cutoff-powerlaw, broken-powerlaw

Etude multi-longueur d'onde (*Bauer et al. 2015*) avec un modèle « MYTorus » qui donne $E_{cut} = 128^{+115}_{-44}$ keV

Lenain et al. 2010 : Modèle External Inverse Compton (EIC) avec des photons cibles provenant du disque d'accrétion

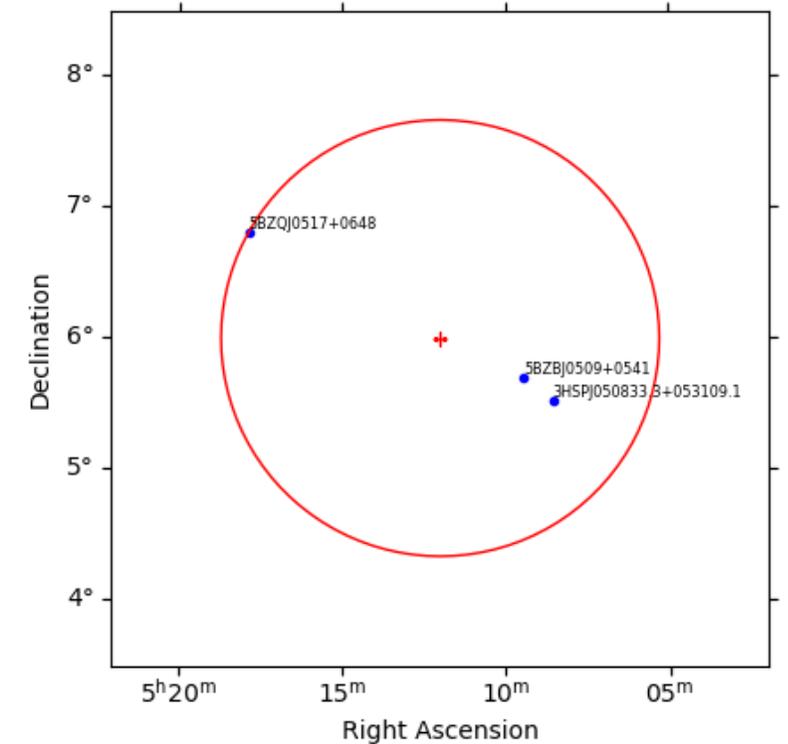
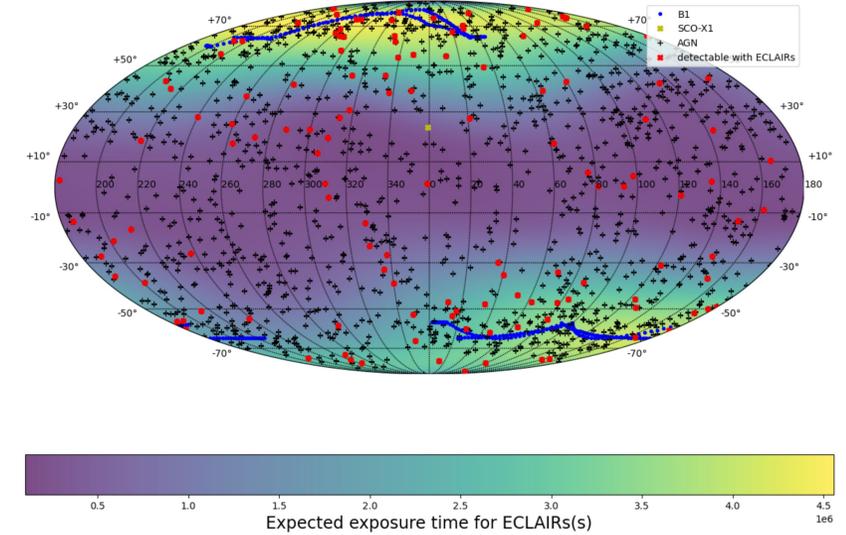
Inoue et al. 2022, Murase et al. 2022, Eichmann et al. 2022 : modèles leptohadroniques complexes et multi-longueurs d'onde

Ajustement des données X par des modèles simples



Conclusion

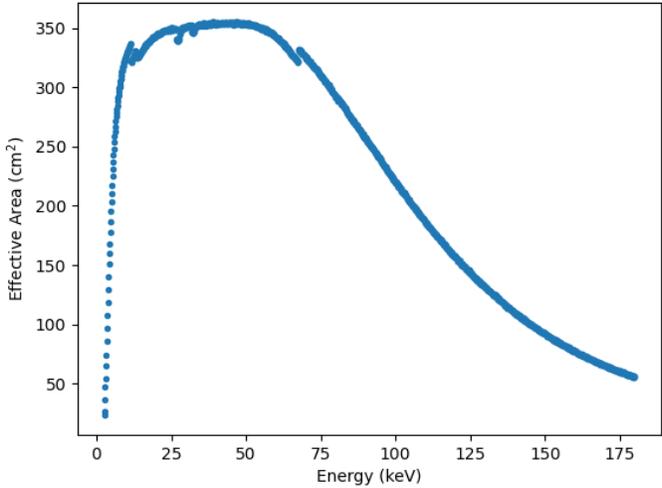
- 1) : Programme général de la missions SVOM
→ SED moyennée en temps
- 2) : Code de trigger de ToO-MM sur des alertes neutrinos → variabilité : « flaring blazar »
- 3) : Etude multi-longueur d'onde de NGC 1068



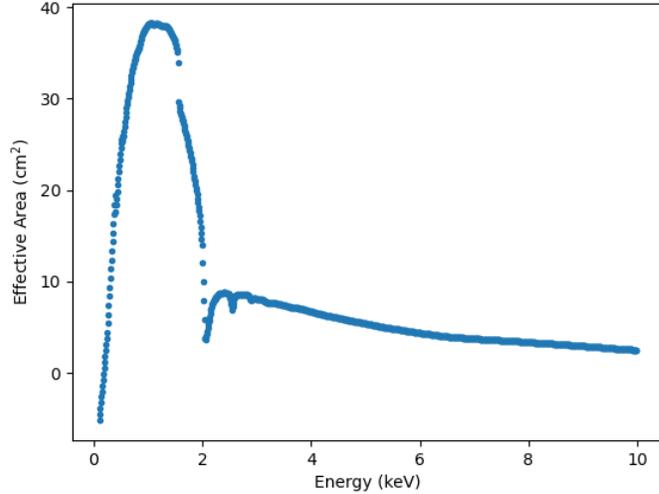
Backup : Missions SVOM, INTEGRAL, Einstein Probe

SVOM

ECLAIRs ARF

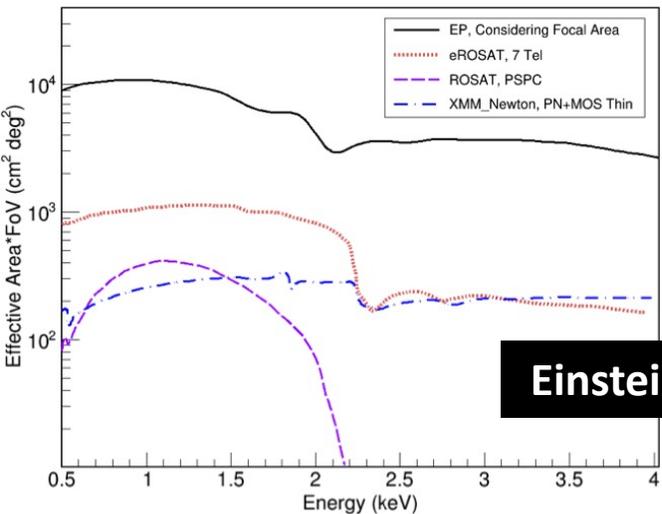
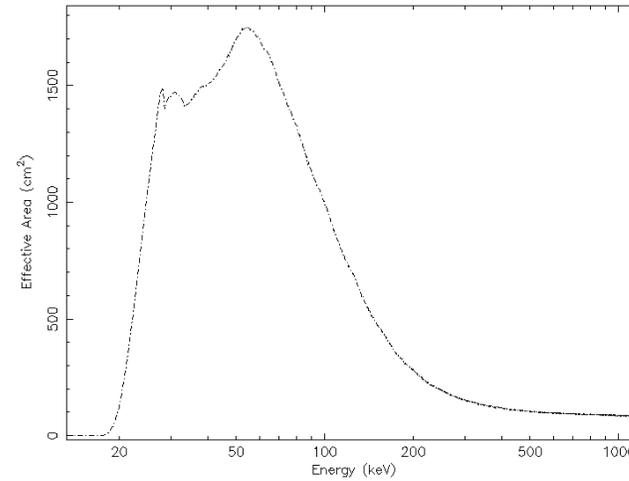


MXT ARF

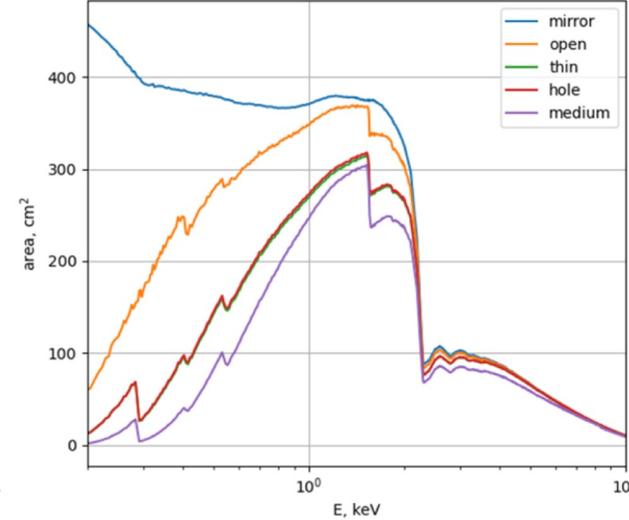
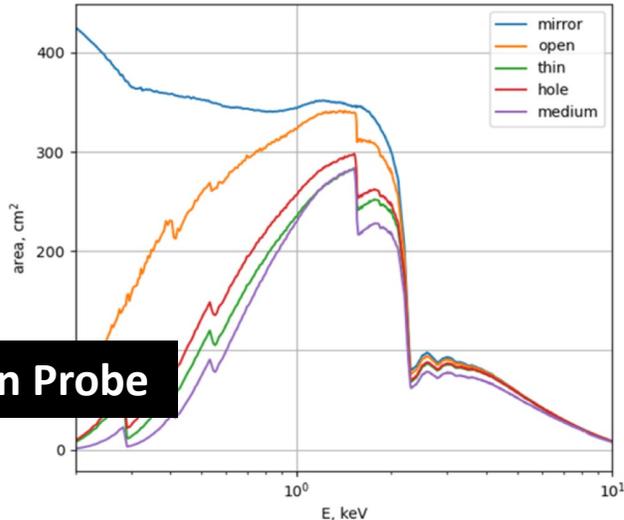


INTEGRAL

Total Efficiency



Einstein Probe



Credit :
 - Weimin Yuan et al. 2022, arXiv : 2209.09763
 - Einstein Probe technical handbook. 2023.