

Equipe Astronomie gamma

Bilan 2018-2024



Composition actuelle de l'équipe

- 5 permanents :
 - **Denis Bernard** (DR)
 - **Philippe Bruel** (CR)
 - **Stephen Fegan** (CR)
 - **Deirdre Horan** (CR)
 - **Mathieu de Naurois** (DR)
 - + **Gérard Fontaine** (Émérite)
- 4 doctorants :
 - **Julia de Assis Scarpin** (de Naurois, soutenance 2026)
 - radio galaxies (incl. M87) with H.E.S.S.
 - **Samantha López Perez** (Horan & de Naurois, soutenance 2026)
 - transients with Fermi
 - **Wassim Si Said** (de Naurois, soutenance 2026)
 - analyses de données avec HESS2/NamCam, sources transitoires
 - **Jimmy Shapopi** (Backes & de Naurois, soutenance 2026)
 - analyses de données avec HESS2/NamCam, Centaurus A
- 2 postdocs :
 - **Halim Ashkar** (depuis nov. 2021, IN2P3 → LLR → ACME)
 - transients with HESS and preparation of CTA
 - **Adrien Laviron** (depuis sept. 2022, IN2P3 → LLR)
 - Vela polarization with Fermi-LAT

Evolutions récentes :

- **Départ d'un chercheur permanent :**
 - **Rémi Adam** (CR) 11/2018-01/2023
 - → Observatoire de la Côte d'Azur, Lab. Lagrange, INSU
- **2 thèses soutenues :**
 - **Janeth Valverde** (soutenance 2020, Bernard & Horan)
 - Blazars with Fermi
 - → postdoc NASA → postdoc IceCube
 - **Jacques Muller** (soutenance 2021, de Naurois)
 - Diffuse emission in LMC
 - → professeur au lycée (Luxembourg)
- **1 HDR soutenue :**
 - **Rémi Adam** (soutenance 2022)
 - Properties of the diffuse plasma in galaxy clusters
- **Départ de 2 postdocs :**
 - **Sami Caroff** (P2IO & IN2P3, 2017-2018)
 - NectarCAM+HESS
 - → postdoc LPNHE → chercheur CNRS au LAPP
 - **Cyril Trichard** (IN2P3, 2017-2019)
 - NectarCAM + HESS
 - → data scientist en entreprise

Astronomie gamma au LLR

- **FERMI-LAT** (2008 → ?)
 - Télescope spatial >30 MeV
 - le LLR a réalisé la structure du calorimètre en fibre de carbone
 - **D. Bernard, P. Bruel, S. Fegan, D. Horan**, A. Lavenir, S. Lopez, J. Valverde
- **HESS** (2002/2004/2012 → ?)
 - Observatoire de 5 télescopes Cherenkov >10 GeV (Namibie)
 - le LLR a réalisé la structure mécanique des 5 caméras
 - **M. de Naurois, S. Fegan, G. Fontaine**, H. Ashkar, S. Caroff, C. Trichard, J. Müller, J. Scarpin, W. Si Said
- **CTA** (en construction)
 - Observatoire Cherenkov > 10 GeV (Nord=La Palma + Sud=Chili)
 - le LLR réalise la structure des caméras NectarCAM pour les télescopes de taille moyenne MST, financement TGIR
 - **S. Fegan, D. Horan, G. Fontaine**, H. Ashkar, S. Caroff, C. Trichard
- **TeVCat** : catalogue des sources au TeV, **D. Horan**

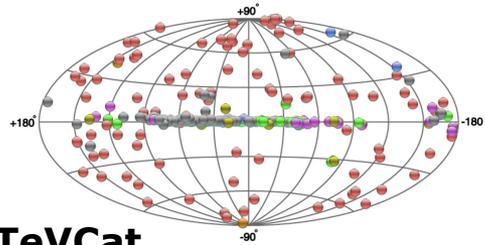
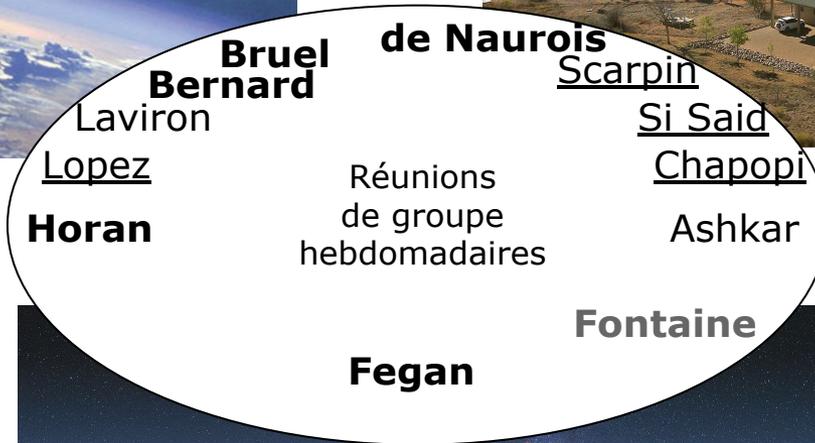
Responsable, Permanents, Emérites, Postdocs, Doctorants

Organisation-fonctionnement du groupe

FERMI (> 30 MeV)

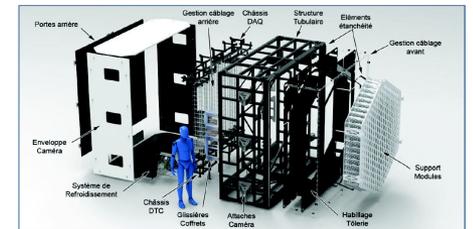
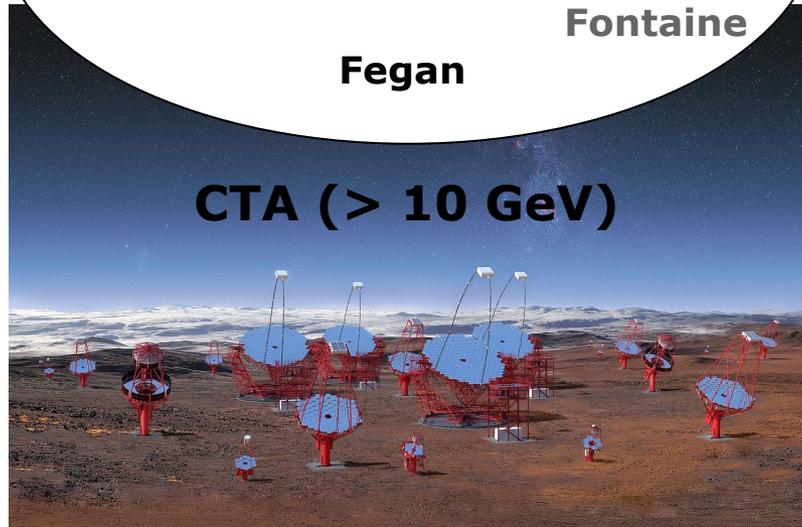


HESS (> 10 GeV)



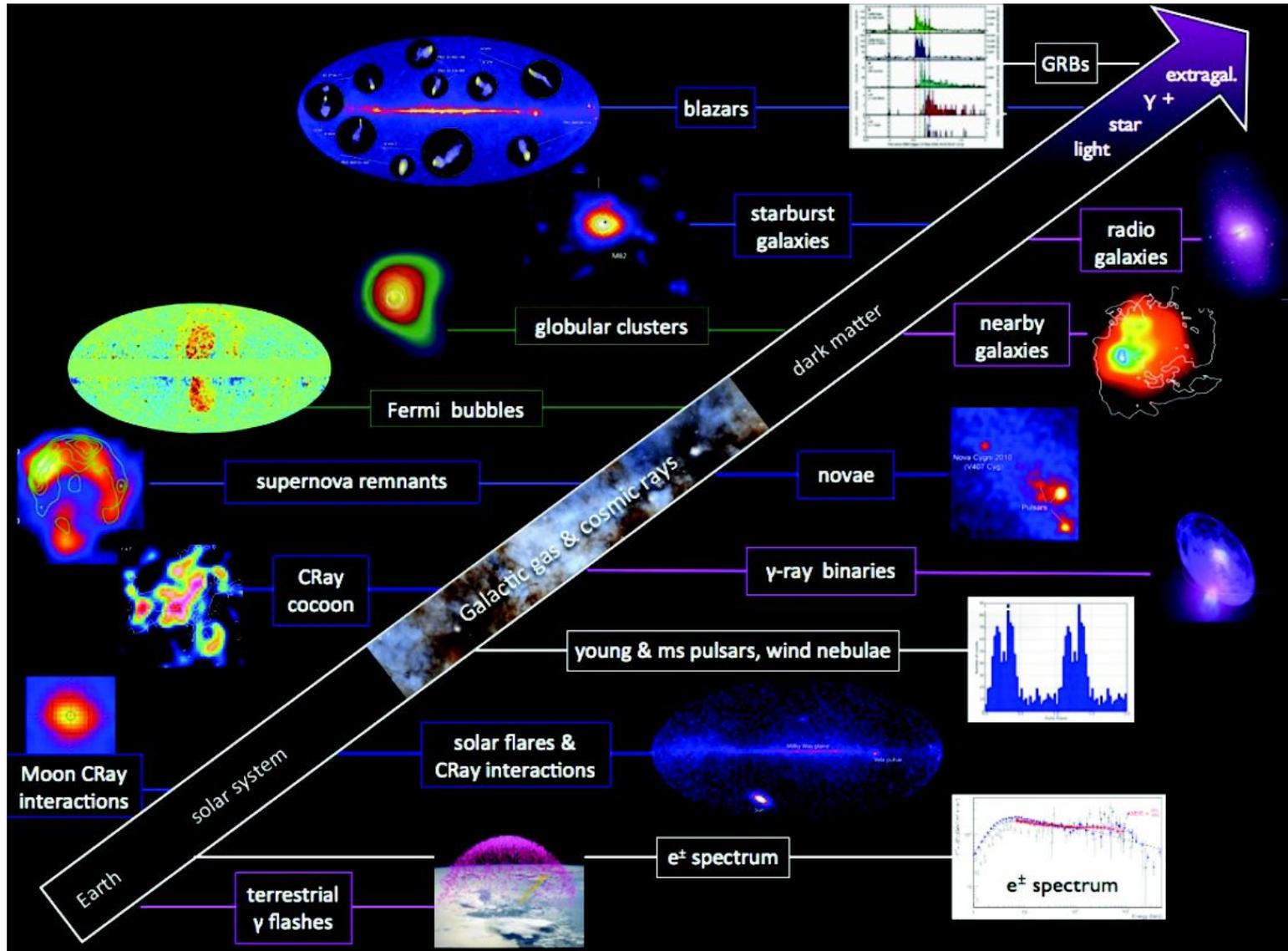
TeVcat

CTA (> 10 GeV)



NectarCam avec le groupe mécanique

Astronomie gamma



Activités du groupe d'astronomie gamma

- Fermi
- H.E.S.S.
- Etudes multi-longueurs d'onde / multi-messagers
- Polarimétrie
- Catalogue TeVCat
- CTA

Activités du groupe d'astronomie gamma

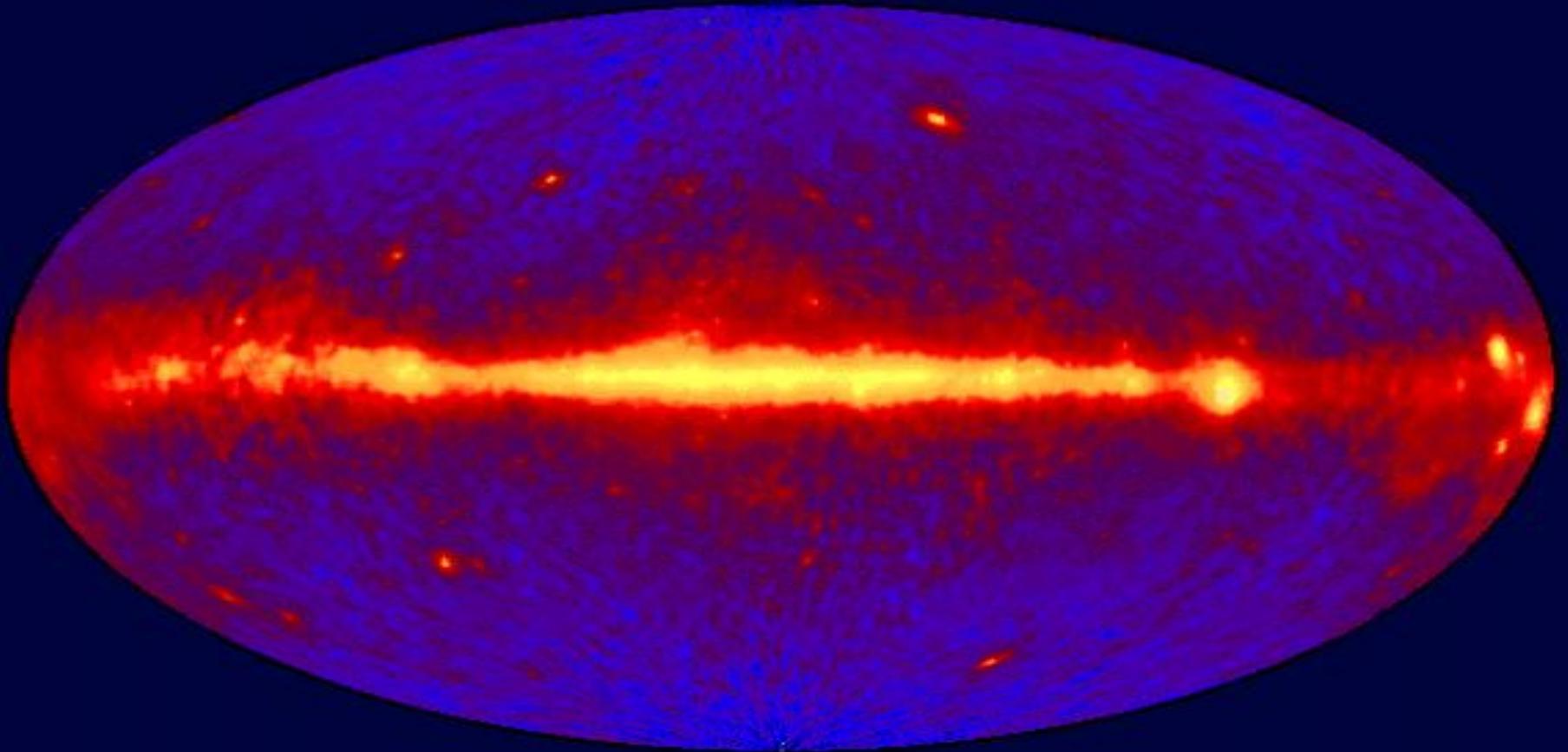
FERMI

- **Optimisation instrumentale et outils d'analyse**
 - Optimisation de l'instrument et des données
 - Données Pass8-R3 (meilleure réjection du bruit de fond, 2018)
 - Instrument Response Functions update (2020)
 - Informations sur le fichier du satellite update (2021)
 - Outil de comparaison données/modèles : PS map
 - Outil de recherche de pulsars gamma
- **Analyses**
 - Catalogue général des sources de Fermi
 - 4FGL-DR1 (8 ans de données, 2019), 4FGL-DR2 (10 ans, 2020), 4FGL-DR3 (12 ans, 2022), 4FGL-DR4 (14 ans, 2023)
 - Développement d'un catalogue de sources transitoires (bin temporel d'un mois)
 - Troisième catalogue de pulsars 3PC
 - Analyse dédiée de la partie très brillante du GRB le plus brillant jamais observé (GRB 221009A) : l'émission <10 MeV du GRB a produit un bruit très important dans l'instrument qui a empêché d'appliquer l'analyse standard

MeV-GeV gamma-ray sky

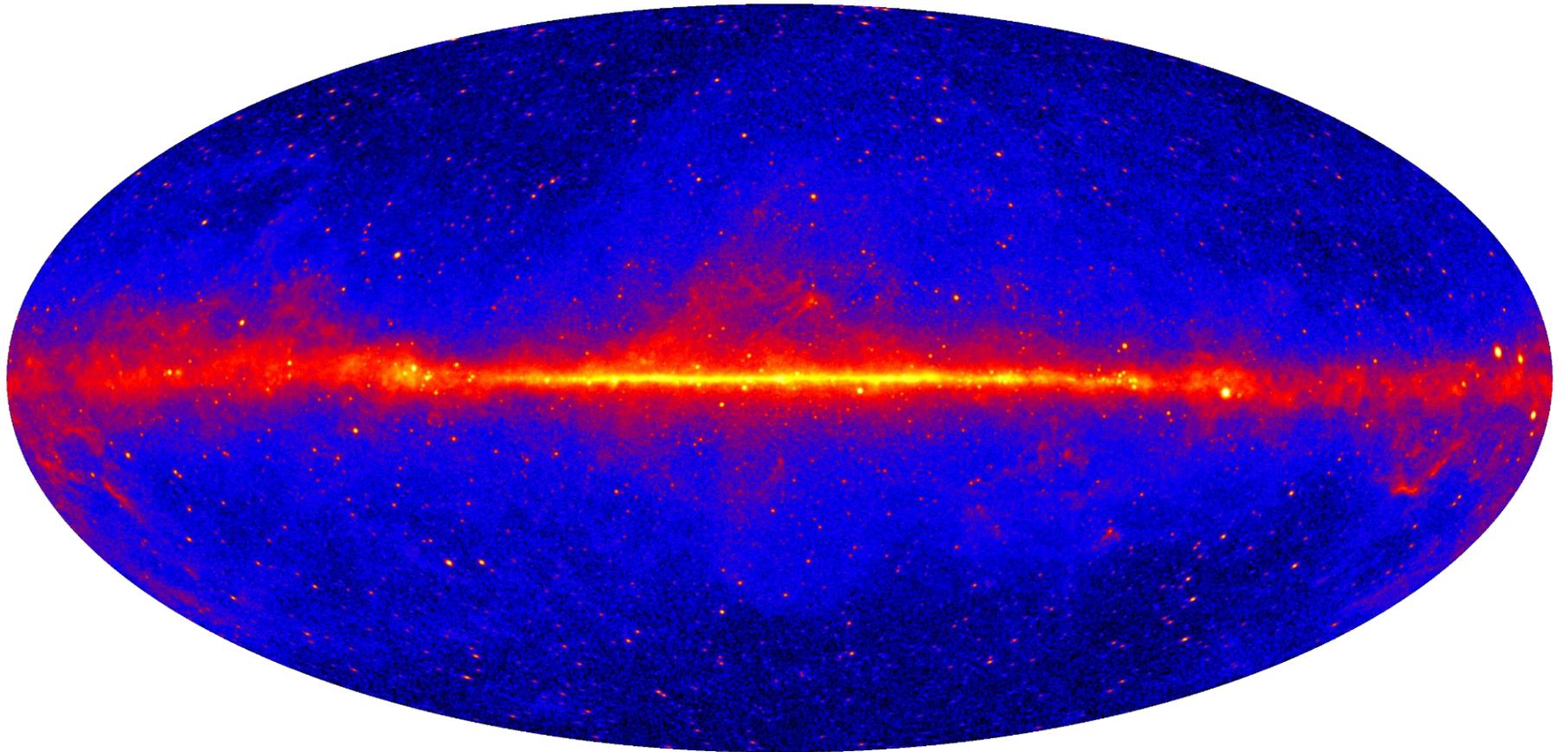
EGRET (1991-2000) 9yr, ~270 sources

EGRET All-Sky Map Above 100 MeV



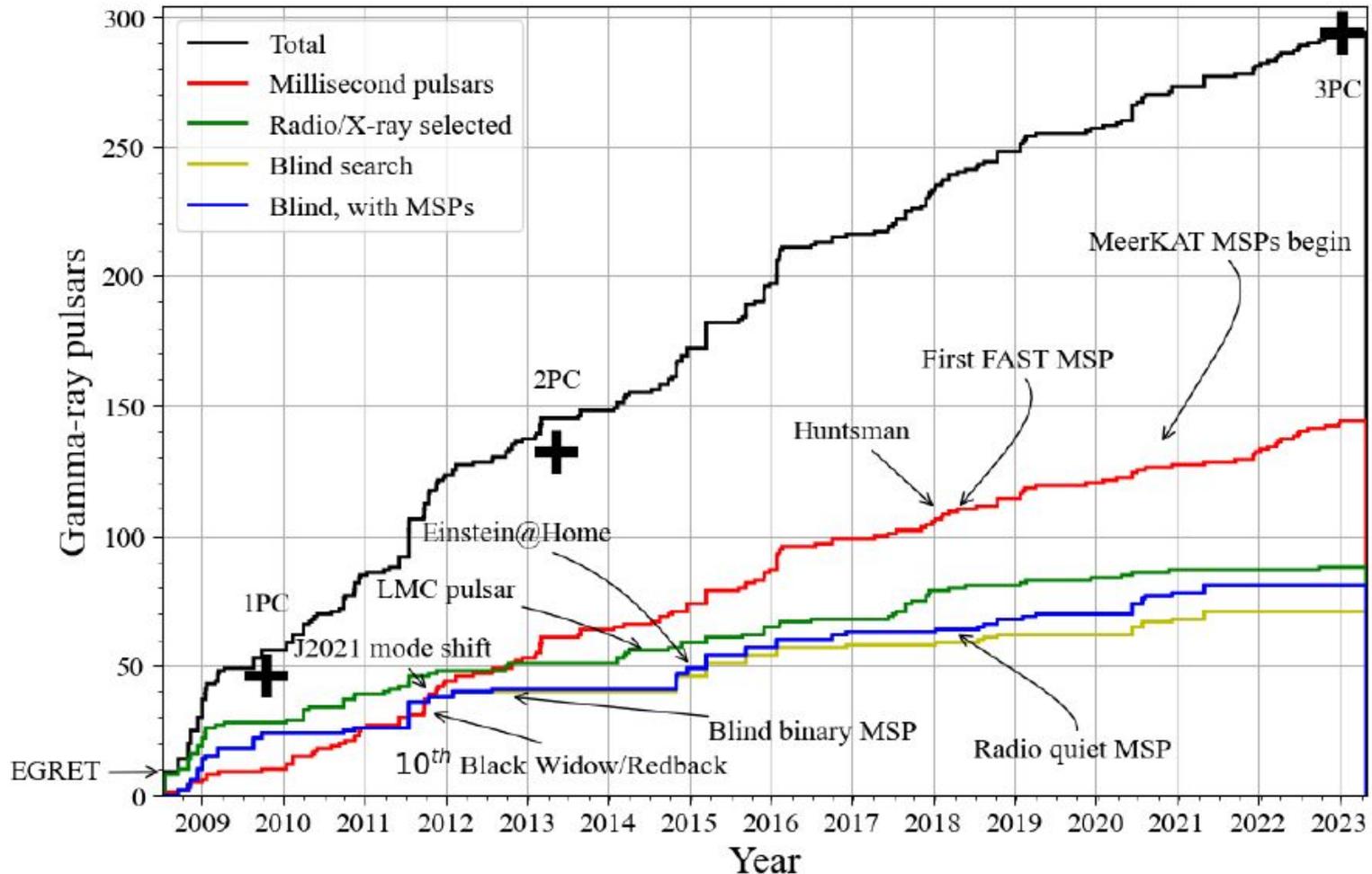
MeV-GeV gamma-ray sky

FERMI-LAT, 14yr, ~7200 sources



Pulsars avec Fermi

~10 pulsars vus par EGRET → ~300 vus par Fermi

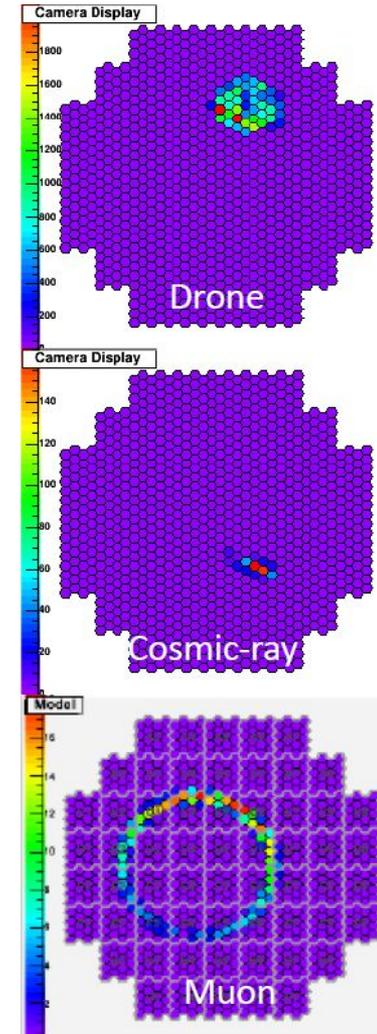
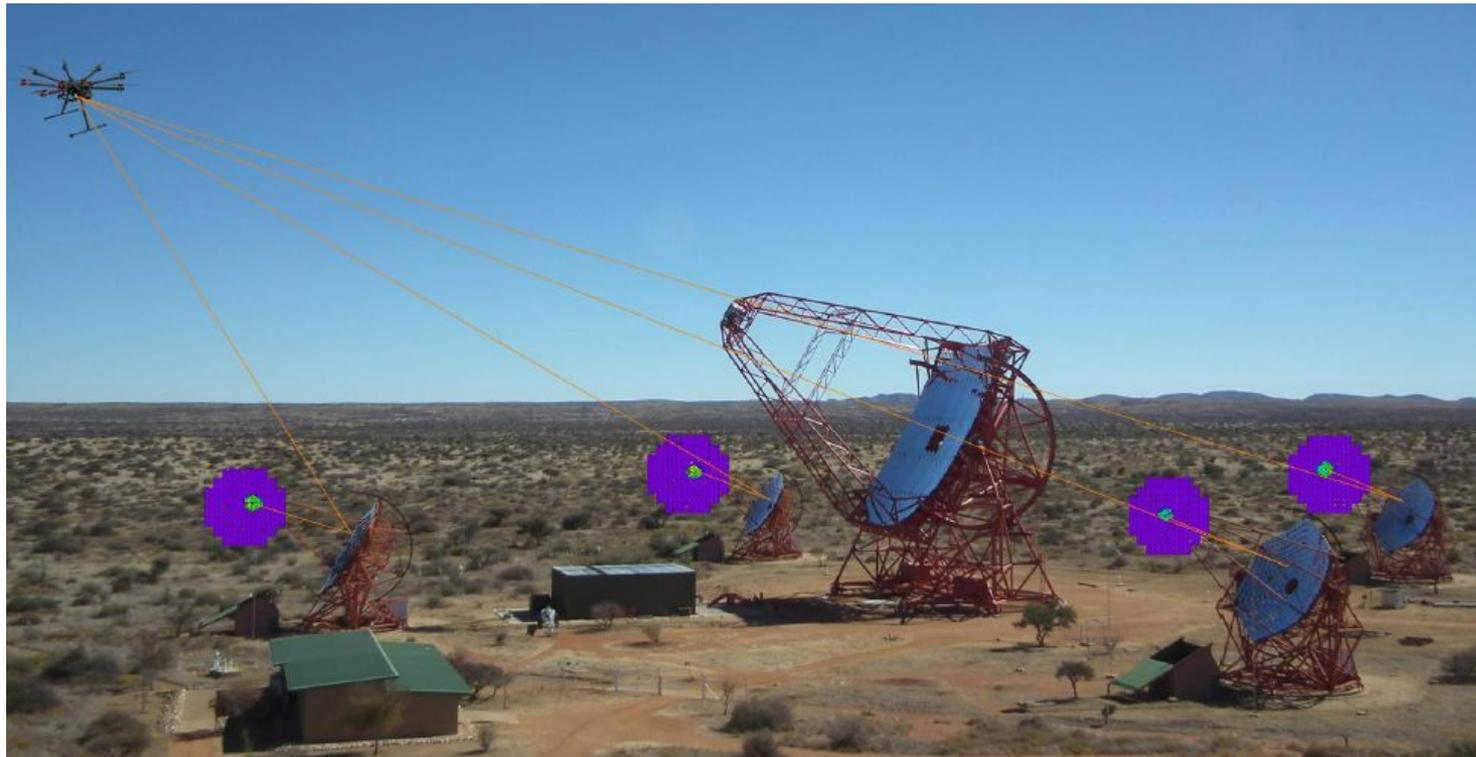


Activités du groupe d'astronomie gamma

H.E.S.S.

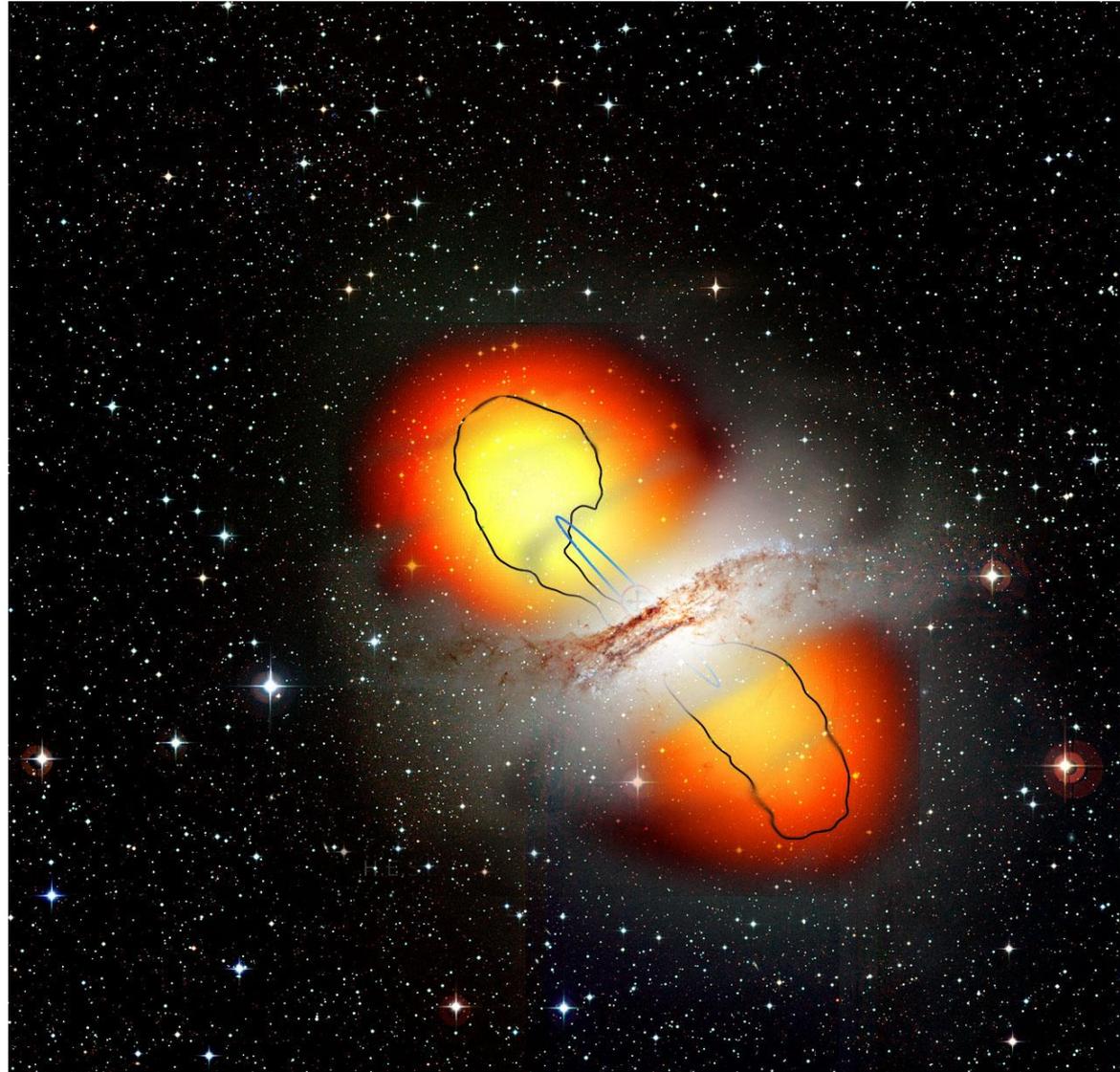
- **Optimisation instrumentale et outils d'analyse**
 - amélioration de l'intercalibration des télescopes grâce à un drone équipé de diodes LED
 - mise en oeuvre d'un nouveau paradigme de simulation (RunWise) : simulation réaliste de chacune des observations individuelles effectuées par le réseau de télescopes (meilleure précision et moins de ressources de calcul et de stockage)
- **Analyses**
 - Mesure de l'émission diffuse galactique (ANR avec U. Innsbrück)
 - Mise en évidence de l'émission gamma des jets de la radio-galaxie Centaurus A
 - Détection de l'émission diffuse du Grand Nuage de Magellan
 - Mesure du spectre des électrons entre 0.3 et 40 TeV

Drone de calibration !



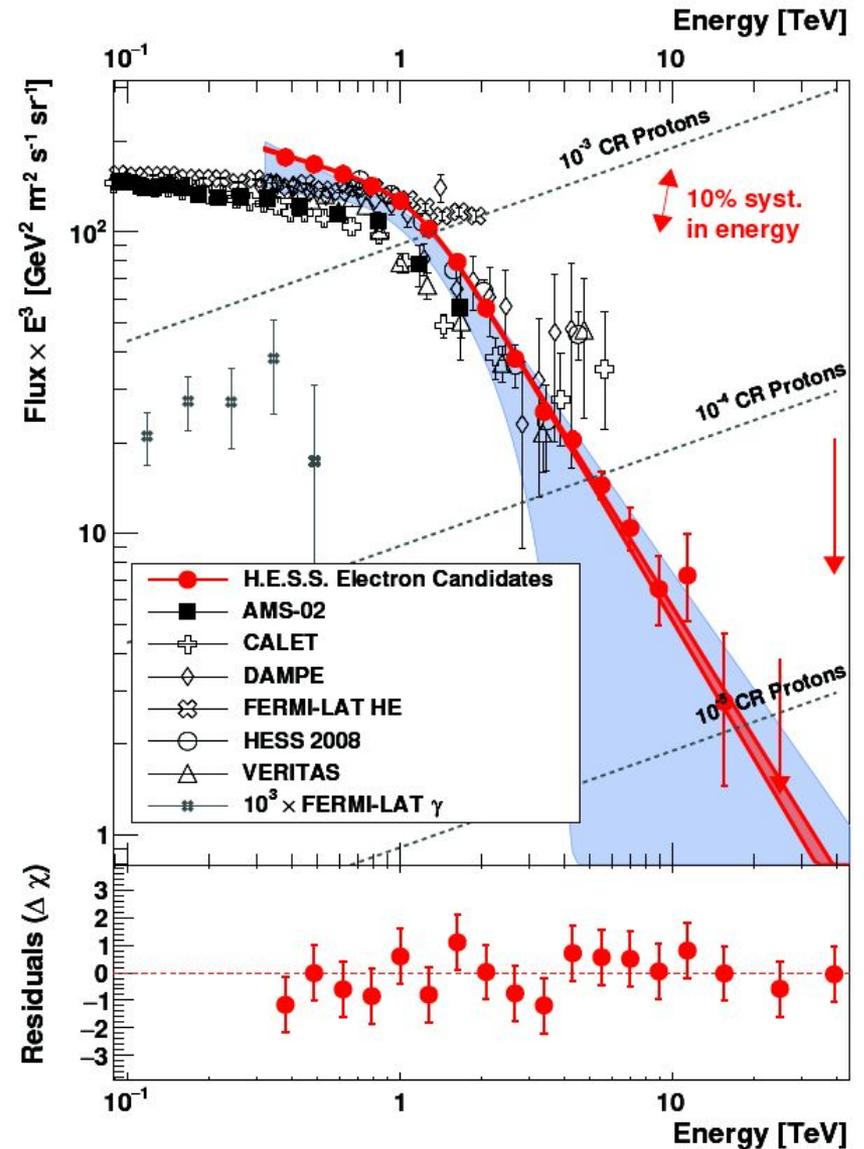
Radio-galaxie Centaurus A

Détection d'une émission gamma >100 GeV en provenance des jets émergeant du trou noir central



Electrons cosmiques

Mesure à haute statistique (12 ans de données) du spectre des électrons cosmiques entre 0.3 et 40 TeV : cassure spectrale à ~ 1 TeV



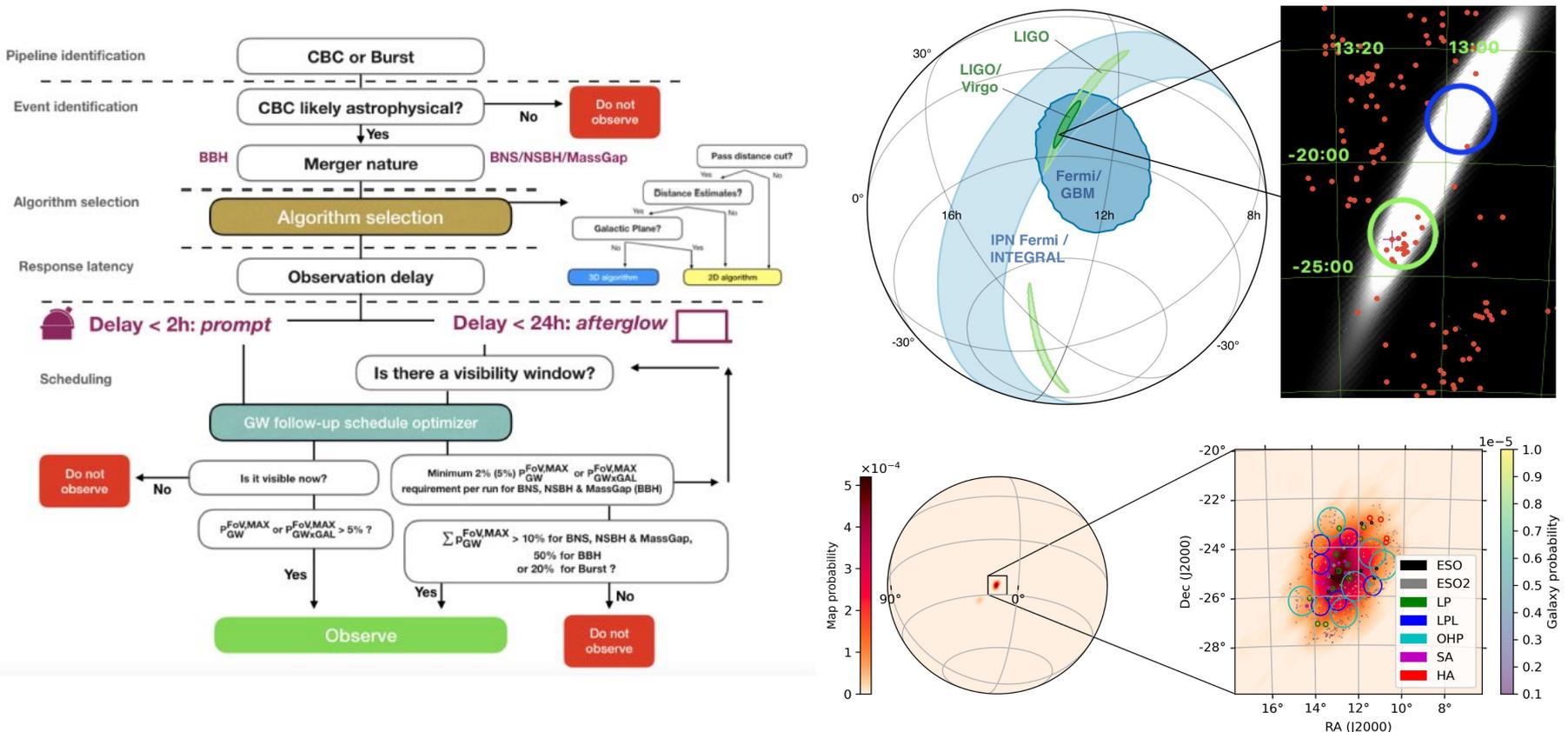
Activités du groupe d'astronomie gamma

Etudes multi-longueurs d'onde / multi-messagers

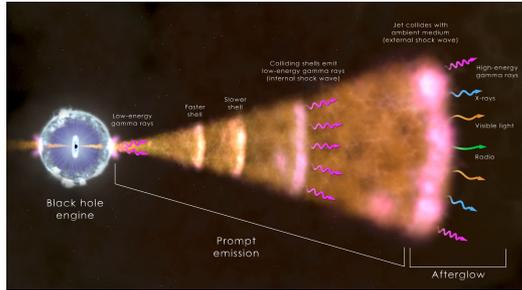
- **Observations**
 - Surveillance du ciel gamma avec Fermi : participation aux shifts Flare advocate et Burst advocate (analyse en direct des nouvelles données pour détecter des émissions transitoires et, le cas échéant, alerter la communauté via des “Gamma-ray Circulars” ou des “Astronomy Telegrams”)
 - Stratégie observationnelle des transients : développement de *tilepy*, un outil d'optimisation du suivi des sources détectées à plus basse énergie qui prend en compte la position des galaxies connues pour choisir les observations prioritaires (utilisé pour le suivi des alertes d'ondes gravitationnelles et des GRBs par HESS, LST et CTA)
- **Compréhension des mécanismes d'émission**
 - Noyaux actifs de galaxie : études multi-longueurs d'onde et modélisation spectrale, courbes de lumière sur de très longues périodes (Fermi, VERITAS)
 - GRBs avec les imageurs Cherenkov
 - Suivi des alertes d'ondes gravitationnelles avec HESS
 - Recherche de contreparties gamma des FRBs

Tilepy

- GRBs are fast transients → TeV observations are very challenging
- It's even worse for GW events: very large localization region (10-1000 deg²)
- tilepy = an on-line tool for optimizing/scheduling observations of poorly localized transients that takes into account galaxy distribution map + observation/visibility conditions



GRBs TeV observations

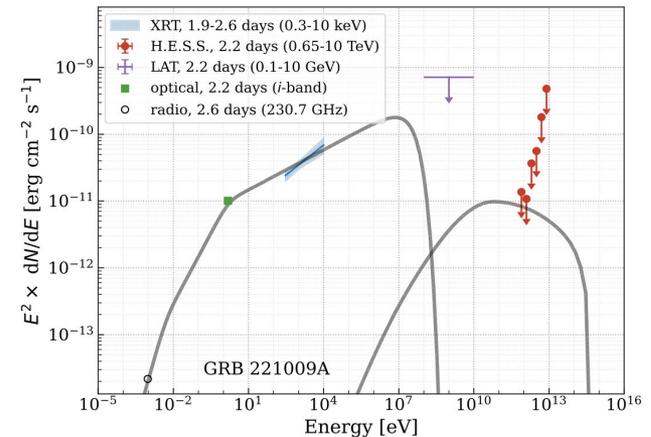
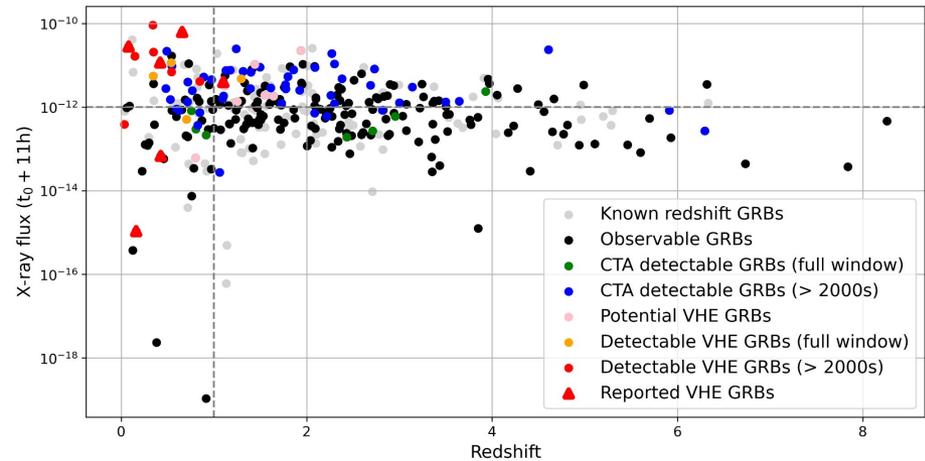


H.E.S.S., MAGIC & VERITAS have been observing GRBs since 2002, but first detection in 2018

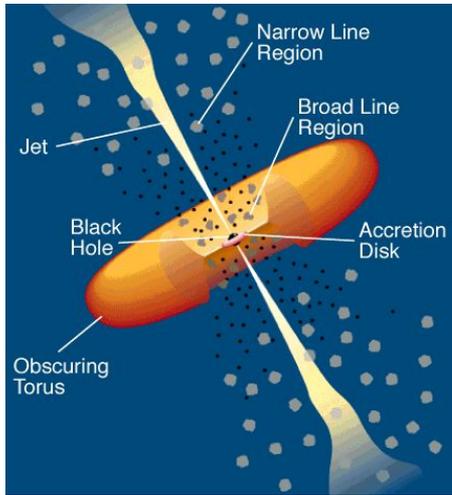
- global detection rate: <math><0.4/\text{year}</math>; positive fluctuation: 4-5 between 2018-2022
- Detection rate with CTA is expected to be 4/year

GRB 221009A (Brightest Of All Time)

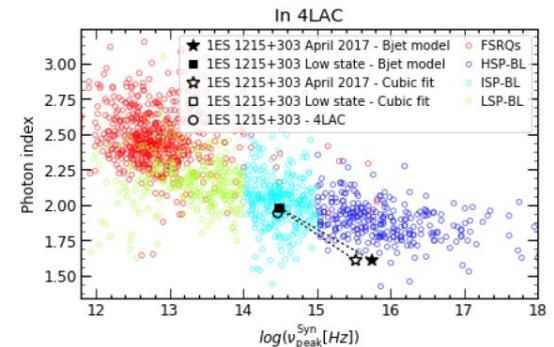
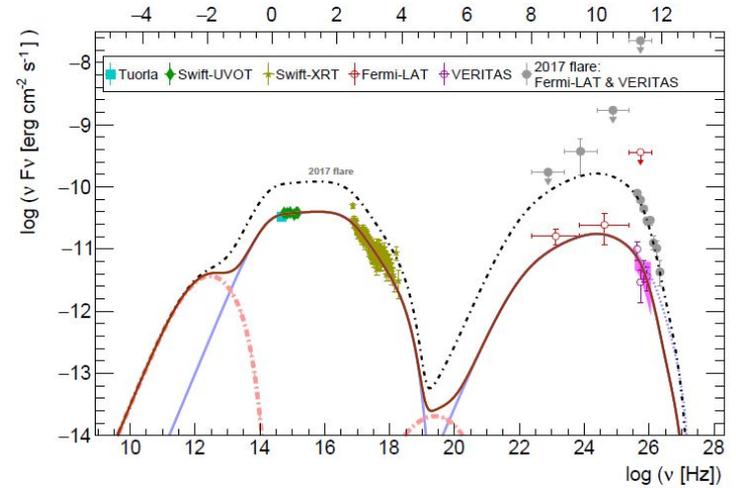
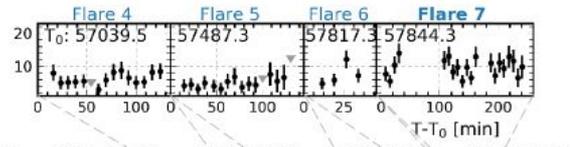
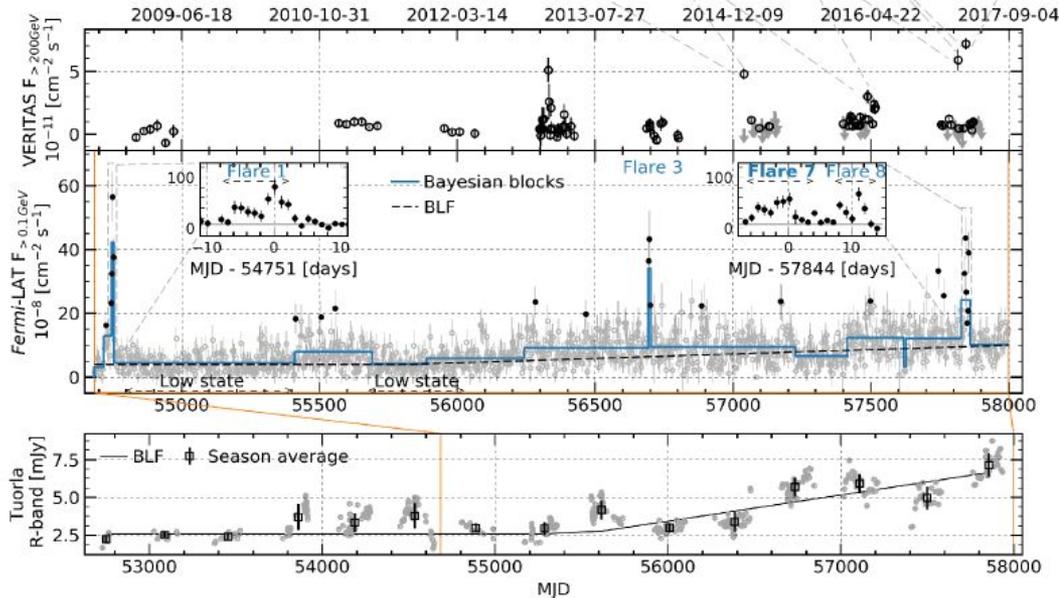
- Upper limits set by the H.E.S.S. observations implicate a lower expected VHE flux
- H.E.S.S. observations complement LHAASO's detection and exclude an inverse-Compton dominated scenario



GeV-TeV blazars



Multi-wavelength coverage
+ spectral modeling



Activités du groupe d'astronomie gamma

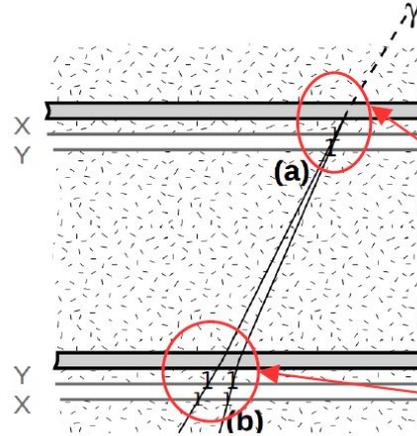
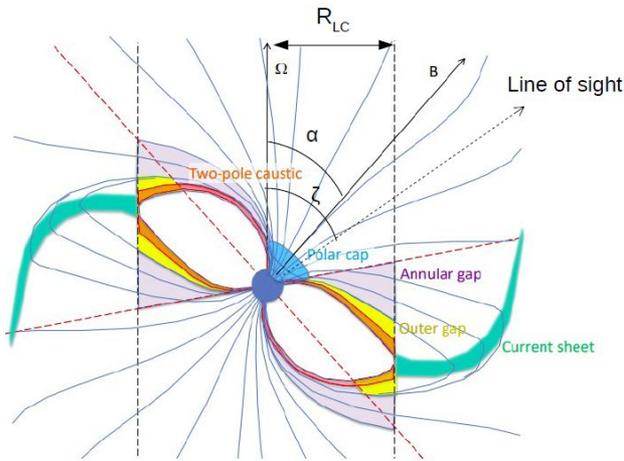
Polarimétrie

- après l'expérience HARPO : « Proof of concept » d'un instrument pour mesurer la polarisation des sources astrophysiques au MeV. Conçu, géré et réalisé par le LLR.
- mise au point de G4BetheHeitler5DModel pour Geant4 : un générateur d'événement 5D de la création de paire
- polarimétrie avec Fermi-LAT
 - implémentation de G4BetheHeitler5DModel dans le software de Fermi
 - reconstruction et sélection dédiées pour la polarimétrie
 - estimation de la sensibilité avec la simulation : ~18% sur la fraction de polarisation du pulsar Vela

TeVCat

- Catalogue des sources au TeV centralisant les informations de tous les imageurs Cherenkov : actuellement 307 sources et 766+ références dans la littérature

Polarimétrie avec Fermi



Analysis with only the first two layers

- Limits multiple scattering

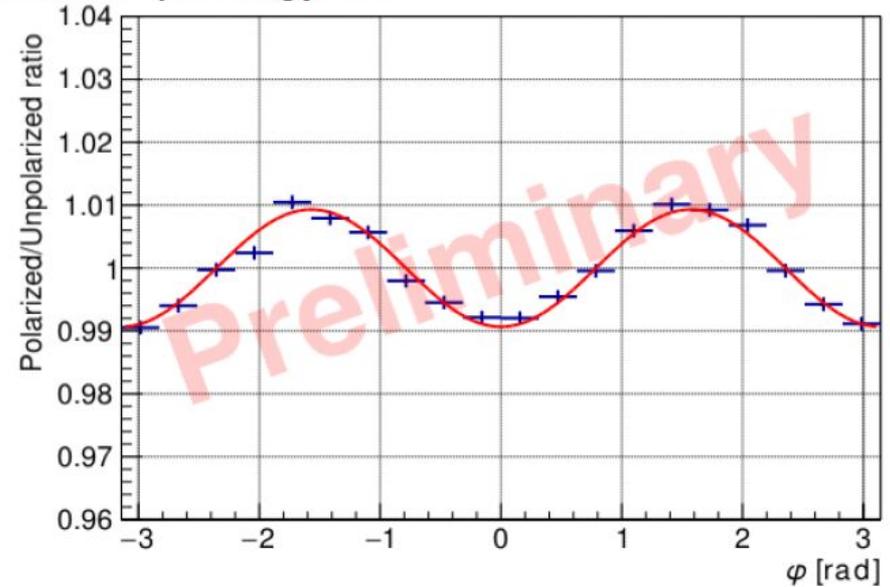
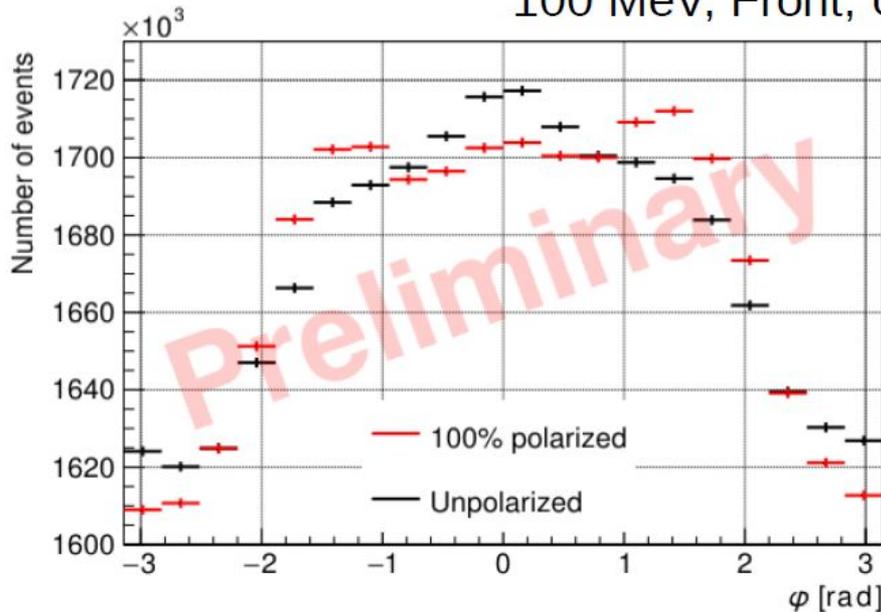
(a) Conversion layer

- Gives the conversion point
- Multiple scattering much larger in tungsten

(b) Gives the azimuthal information

- Only if the electron and positron are separated enough
- Different event morphologies

100 MeV, Front, Upper, Morphology 02



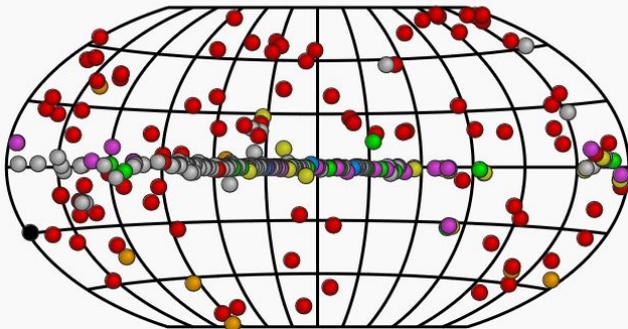
TeVCat

TeVCat
Settings Login

- Home
- Recently Viewed 0
- TeV Astrophysics
- Tools + 3FGL
- About TeVCat
- TeVCat Labs

Home

RESET
VIEW LEGEND



Source Name: CTA 1
 Source Type: Gal | SNR | PWN
 Distance: 1.4 kpc
 GLON: 119.6039
 GLAT: 10.4033

Select Catalogs
Map Projections
Map Tools

Filter by Type AND
 Filter by Observer AND

AND
 AND

Sync To Map
 Filter Selected

Reset
Table Columns

Name	RA	Dec	Type Tags	Distance	Catalog
GRB 180720B	00 02 06.87	-02 55 05.2	XGal,GRB,IGRB	z=0.654	Default Catalog
CTA 1	00 07 26	+72 59 01.0	Gal,SNR,PWN	1.4 kpc	Default Catalog
1LHAASO J0007+5659u	00 07 26.4	+57 00 00	Gal,UNID,PeV		Default Catalog
SHBL J001355.9-185406	00 13 52.0	-18 53 29	XGal,AGN,Bizr,BLL...	z=0.095	Default Catalog
Tycho	00 25 21.6	+64 07 48	Gal,SNR,Shell	3.5 kpc	Default Catalog
KUV 00311-1938	00 33 36	-19 21 00	XGal,AGN,Bizr,BLL...		Default Catalog
1ES 0033+595	00 35 16.8	+59 47 24.0	XGal,AGN,Bizr,BLL...	z=0.467	Default Catalog
NGC 253	00 47 32.54	-25 17 25.4	XGal,*Brst	2500.0 kpc	Default Catalog
1LHAASO J0056+6346u	00 56 24	+63 46 12	UNID,PeV		Default Catalog
GRB 201216C	01 05 28.88	+16 30 58.0	XGal,GRB,IGRB	z=1.1	Newly Announced
S2 0109+22	01 12 05.8	+22 44 39	XGal,AGN,Bizr,BLL...		Default Catalog
RGB J0136+391	01 36 32.5	+39 06 00	XGal,AGN,Bizr,BLL...		Newly Announced
RGB J0152+017	01 52 33.5	+01 46 40.3	XGal,AGN,Bizr,BLL...	z=0.08	Default Catalog
3C 58	02 05 31	+64 51 00	Gal,SNR,PWN	2.0 kpc	Default Catalog
1LHAASO J0206+4302u	02 06 48	+43 03 00	Gal,UNID,PeV		Default Catalog
1LHAASO J0212+4254u	02 12 02.4	+42 54 36	Gal,UNID,PeV		Default Catalog
TXS 0210+515	02 14 17.9	+51 44 52	XGal,AGN,Bizr,BLL...	z=0.049	Default Catalog
1LHAASO J0216+4237u	02 16 24	+42 37 48	Gal,UNID,PeV		Default Catalog
S3 0218+35	02 21 05.5	+35 56 14	XGal,AGN,Bizr,FSRQ	z=0.954	Default Catalog
3C 66A	02 22 41.6	+43 02 35.5	XGal,AGN,Bizr,BLL...	z=0.34	Default Catalog
MAGIC J0223+403	02 23 12	+43 00 42	UNID		Default Catalog
1ES 0229+200	02 32 53.2	+20 16 21	XGal,AGN,Bizr,BLL...	z=0.1396	Default Catalog
1RXS J023832.6-311658	02 38 32.5	-31 16 58	XGal,AGN,Bizr,BLL...	z=0.232	Newly Announced

Sources Listed: 307

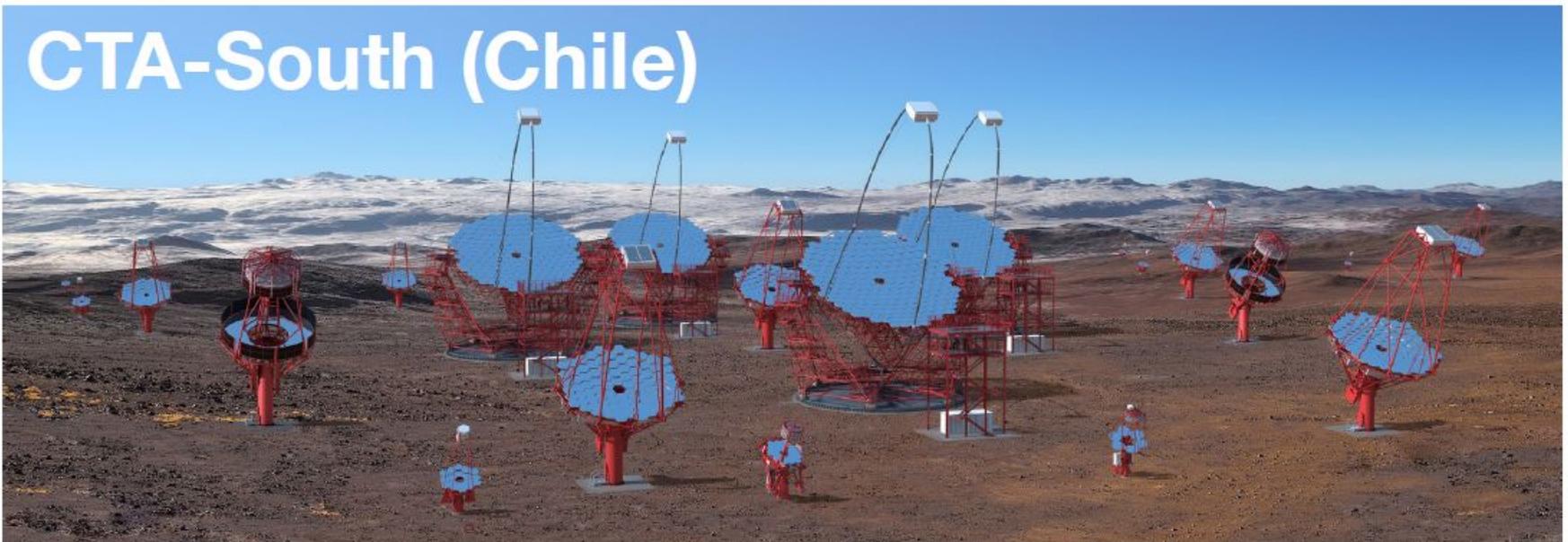
2014-2022 © Scott Wakely and Deirdre Horan

Activités du groupe d'astronomie gamma

CTA

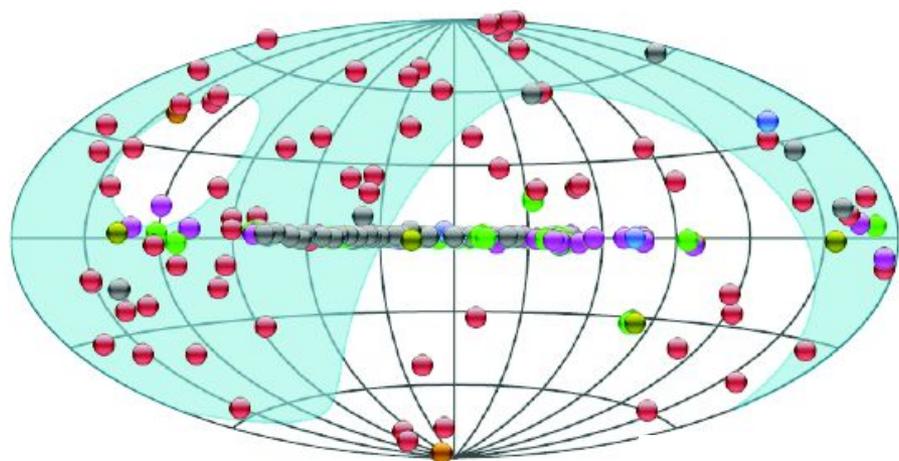
- **Optimisation instrumentale et outils d'analyse**
 - Mise en service et test de NectarCAM
 - tests sur le prototype de MST à Berlin en 2019 (→ amélioration des ASIC nectar)
 - tests thermiques dans la chambre noire du CEA Saclay (calibration des variations de piédestaux/gains avec la température)
 - Développement d'une source lumineuse pulsée à 256 LED permettant des tests réalistes
 - Logiciel de Data Quality Monitoring pour NectarCAM
 - Mise en place d'une plateforme de gestion des conférences/publications
- **Préparation du Key Science Project sur les amas de galaxie**
 - Outil de modélisation du signal (code publique *minot*)
 - Mesure des rayons cosmiques dans l'amas de Coma avec les données Fermi
 - Préparation du projet CTA (étude de la stratégie d'observation, prédiction du signal attendu via l'utilisation de données multi-longueurs d'onde, simulation et analyse des données)
 - Exploitation de CTA au-delà du KSP (développement d'une méthode d'empilement, étude prospective des mesures de l'interaction AGN-ICM)

CTA : un observatoire, deux sites

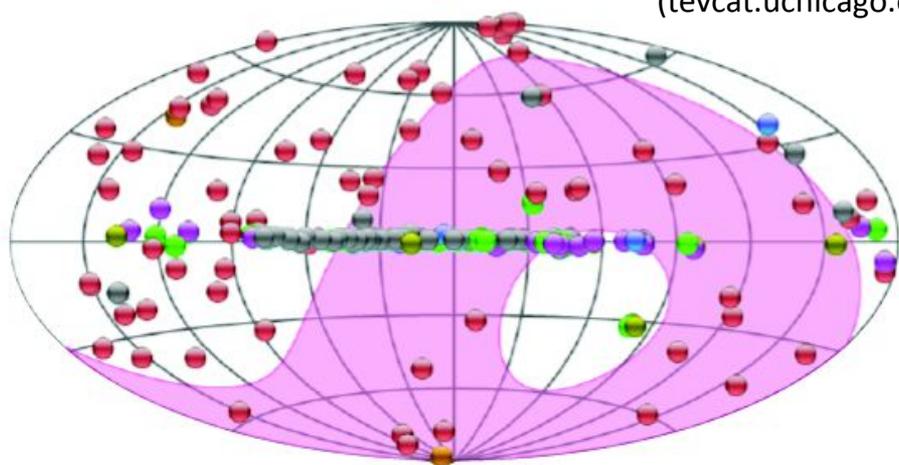


CTA : un observatoire, deux sites

CTA-N : 4 LST, 5–15 MST
Effective area @10TeV : $8 \times 10^5 \text{ m}^2$
Focus on extra-galactic sources

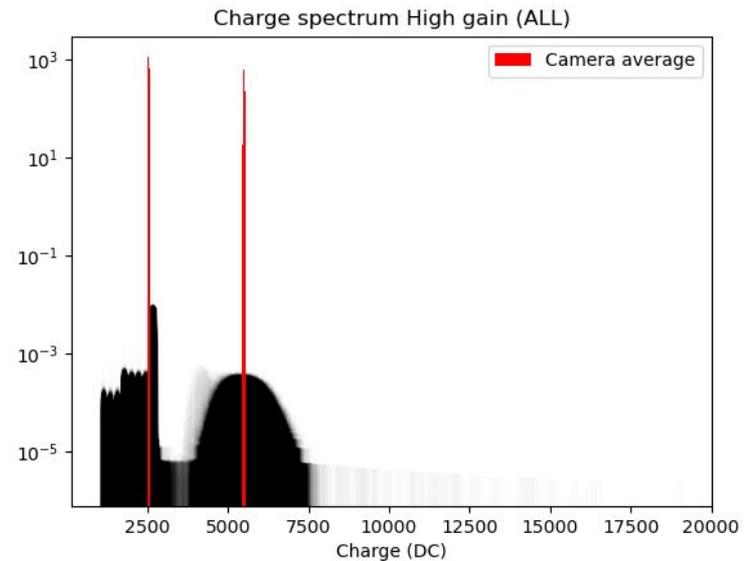
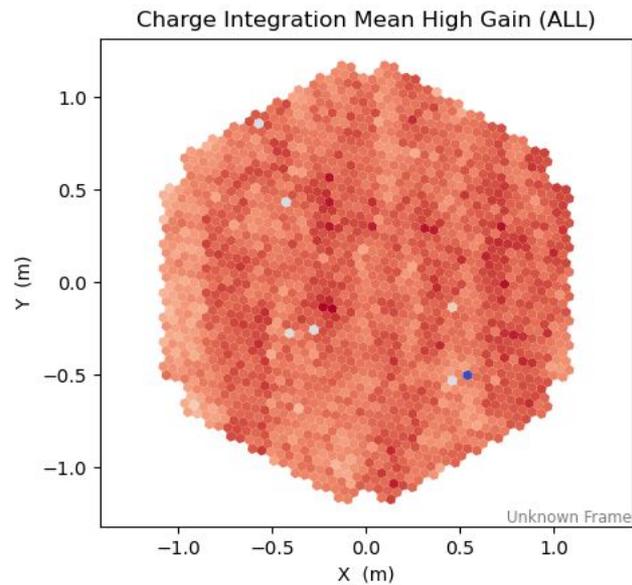
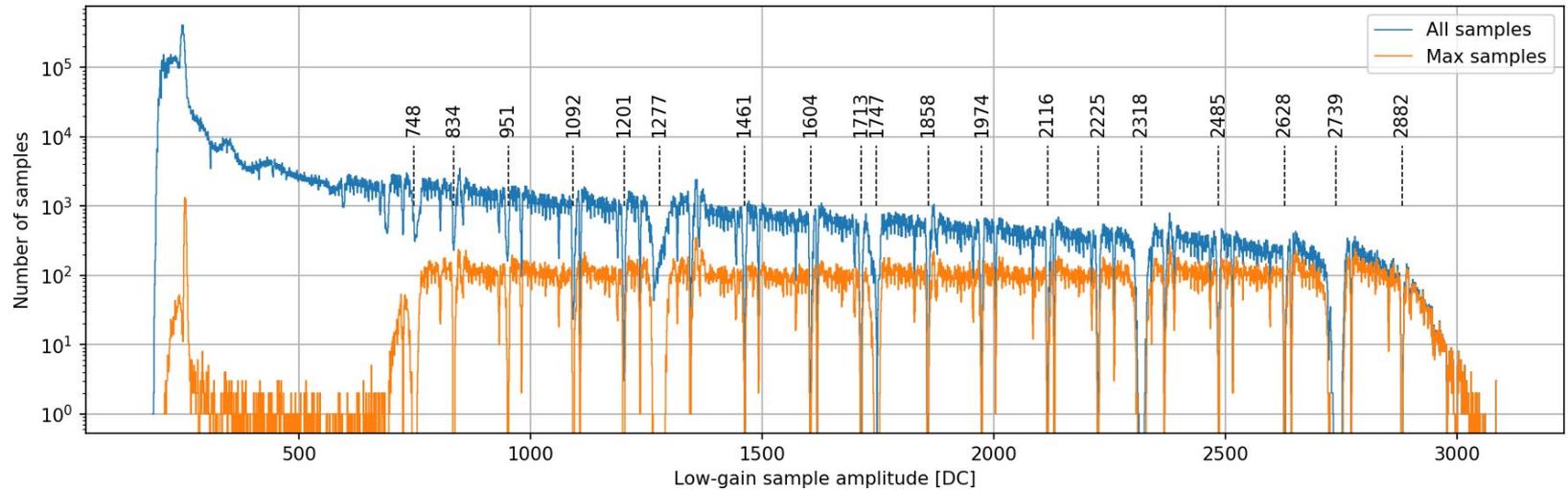


(tevcap.uchicago.edu)



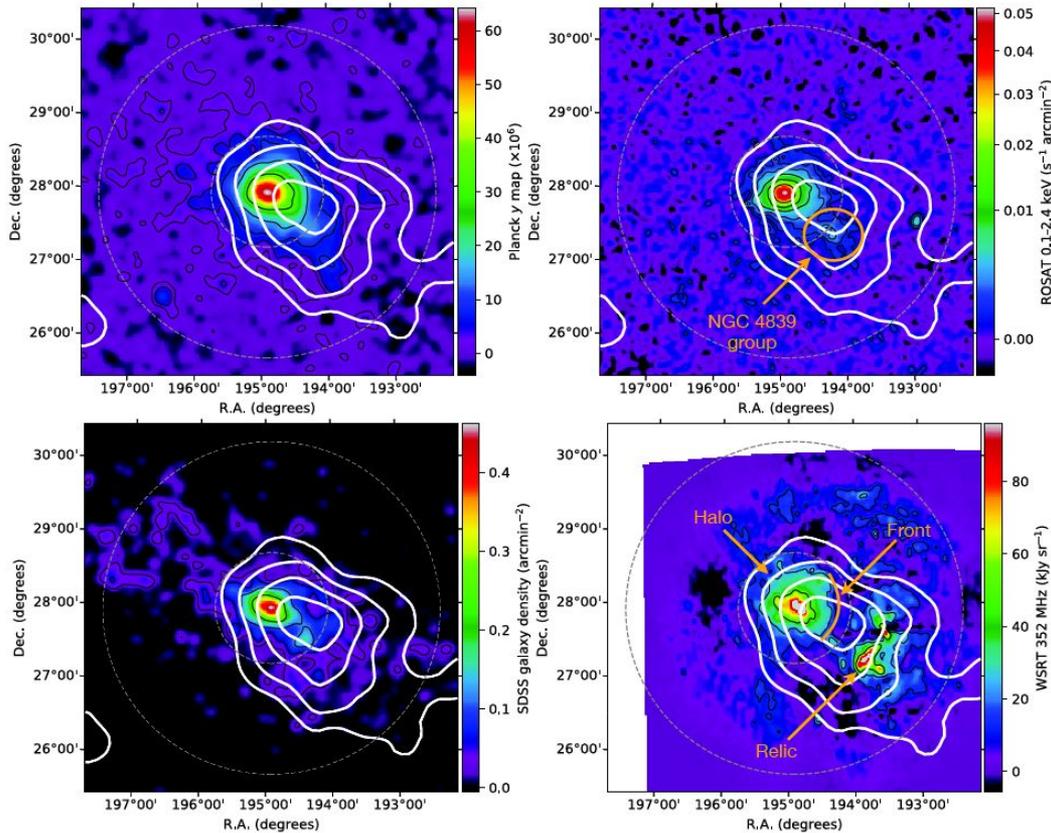
CTA-S : 0–4 LST, 15+ MST, 50 SST
Effective area @10TeV : $3 \times 10^6 \text{ m}^2$
Optimised for observation of Galaxy

Tests de NectarCam

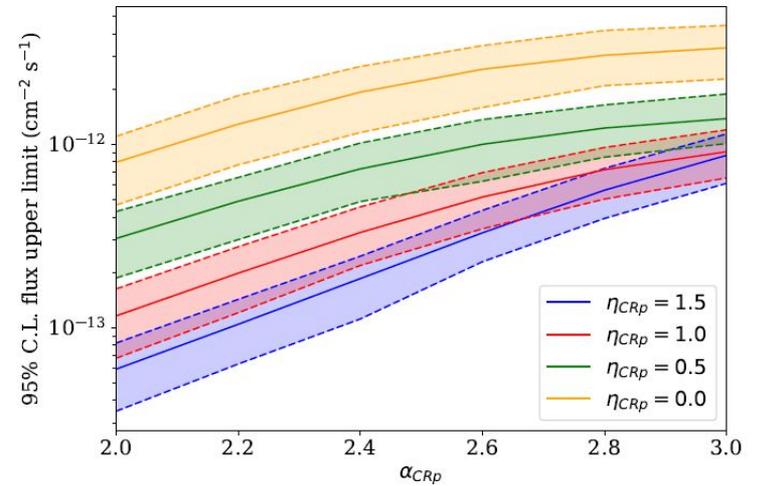


Clusters de galaxies

Coma cluster with Fermi



Perseus cluster with CTA



Responsabilités : recherche

- **FERMI**

- D. HORAN : deputy Analysis Coordinator (03/2022→03/2023) puis Analysis Coordinator (03/2023→03/2024); co-coordinatrice du groupe Extragalactic/Multimessenger (03/2020→03/2022); membre du Publication board depuis 2022; membre du comité d'organisation du programme de mentorat de Fermi depuis 2020;
- P. BRUEL : co-coordonateur du groupe Calibration and Analysis depuis 2019; membre du Publication board depuis 2014

- **HESS**

- M. de NAUROIS : directeur de la collaboration (01/2016→12/2019); directeur adjoint de la collaboration depuis 2019, et responsable du département IT (systèmes d'information); Coordinateur du développement et de la maintenance de l'un des deux logiciels de calibrage et d'analyse de données utilisés dans la collaboration
- G. FONTAINE : Vice-président du comité de pilotage (10/2019→09/2022)
- H. ASHKAR : Secrétaire pour les événements transitoires et responsable de la “task force” pour les alertes liées aux ondes gravitationnelles

- **CTA**

- S. FEGAN : co-coordonateur du groupe de travail Analysis and simulations (2024)
- D. HORAN : présidente du Publication Board (SAPO) 2023; vice-présidente de SAPO 2022; membre de SAPO (07/2019→12/2023)
- H. ASHKAR : co-coordonateur du groupe de travail NectarCAM scientific software
- R. ADAM : co-coordonateur du groupe de travail Amas de galaxies

Responsabilités : autres

- **Enseignement**
 - M. de NAUROIS : M2 PHE & cours de l'école polytechnique
 - R. ADAM, H. ASHKAR, S. FEGAN : M1 PHE & bachelor
- **Implications dans la vie de l'université/régionale**
 - M. de NAUROIS : comité de pilotage DIM Origines
- **Implications au niveau national**
 - P. BRUEL : responsable national Fermi-IN2P3
 - M. de NAUROIS : responsable national HESS-IN2P3; conseil scientifique de l'IN2P3
 - S. FEGAN : responsable national CTA-IN2P3; président CTA-France (2023)
 - D. HORAN : chargée de mission Égalité et Diversité à l'IN2P3 depuis 2023
- **Implications dans la vie du laboratoire**
 - M. de NAUROIS : directeur-adjoint du laboratoire
 - S. FEGAN : personne compétente en radio-protection
 - D. BERNARD, P. BRUEL : membres du conseil scientifique
 - R. ADAM : membre du Conseil de laboratoire; co-organisateur des séminaires
- **Demandes et gestion de supports financiers spécifiques**
 - D. HORAN : participation ANR MOTS
 - D. HORAN: Alliance Program (2024) - visite de Prof. R. MUKHERJEE de Columbia University
 - M. de NAUROIS : porteur d'un projet collaboratif sur financement de la MITI du CNRS avec l'Université de Namibie; participation au projet ACME financé par l'Europe

Projet scientifique, anticipation

Ressources disponibles :

- La mission FERMI est prolongée tous les 3 ans par la NASA (Senior Review) : des signes clairs que la NASA compte prolonger la mission pour de nombreuses années
- Prolongation de l'observatoire H.E.S.S. jusqu'en 2028
- Mise en opération progressive des télescopes MSTs sur le site CTA nord : début 2026

Projets

- Prolongation de Fermi (beaucoup) plus longue que prévue
 - prise en charge de la responsabilité du catalogue général de sources de Fermi
 - cela retarde d'autant la préparation des legacy papers (après la fin de la mission)
- Préparation de l'archive de données de HESS
- Exploitation des données de HESS : émission diffuse galactique, anisotropie des électrons, systèmes binaires
- Evolution du programme d'étude des blazars "GeV-TeV" (Fermi-LAT + VERITAS + CTA) dans le contexte multi-messager avec la collaboration de collègues avec expertise dans la domaine de neutrinos
- Continuation des activités sur les sources transitoires avec HESS/CTA : GRBs, GWs, ...
- Migration de TeVCat vers le cloud

Auto analyse du groupe

- **Points forts:**
 - Grande expérience dans la fabrication et l'exploitation des observatoires gamma spatiaux et terrestres du MeV au TeV
 - Expertise dans la connexion GeV-TeV et dans l'analyse des données X, UV
 - Expertise en polarimétrie au MeV
 - Une grande gamme d'intérêts scientifiques : instrumentation, sources galactiques, sources extragalactiques
- **Opportunités:**
 - Développement de l'astronomie multi-messagers (ondes gravitationnelles, neutrinos)
 - Mise en route de CTA
- **Points faibles:**
 - Travail en commun limité entre les membres du groupe (dû en partie aux intérêts scientifiques personnels et en partie à la structuration historique en expériences et les collaborations avec des collègues en France ou à l'étranger)
 - Manque de HDR
- **Risques:**
 - Régime Poissonien : départ d'une personne = perte d'une expertise

Evolution du groupe à venir

(FTE estimés)

- D. Bernard : départ à la retraite 04/2025
- A. Laviron : départ postdoc NASA 01/2025
- H. Ashkar : départ postdoc Barcelona automne 2025
- Démarrage de CTA : demande de CR et de postdoc

Aujourd'hui

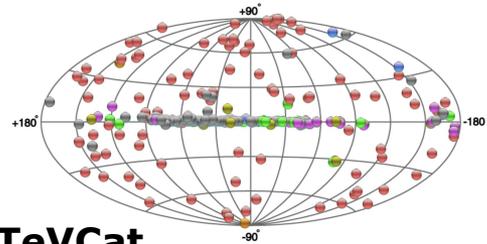
FERMI (> 30 MeV)



HESS (> 10 GeV)

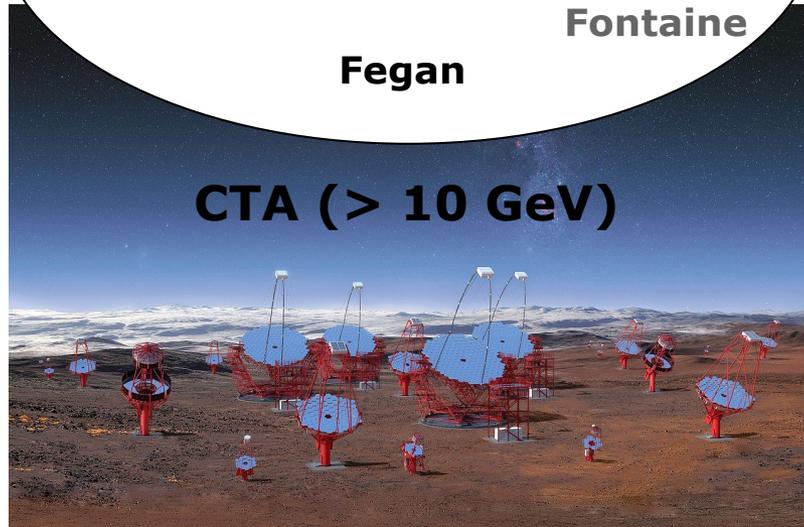


Bruel **de Naurois**
Bernard Scarpin
Laviron Si Said
Lopez Chapopi
Horan Ashkar
Fontaine
Fegan



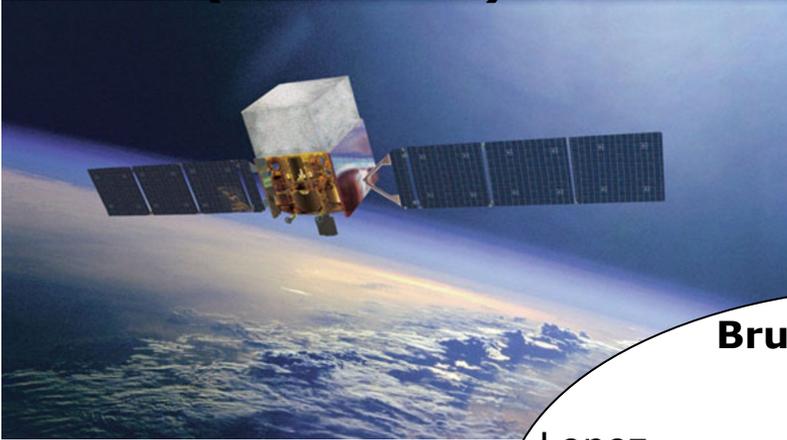
TeVCat

CTA (> 10 GeV)

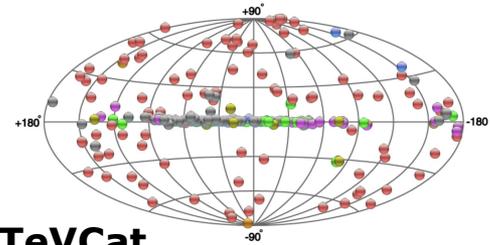


Demain

FERMI (> 30 MeV)



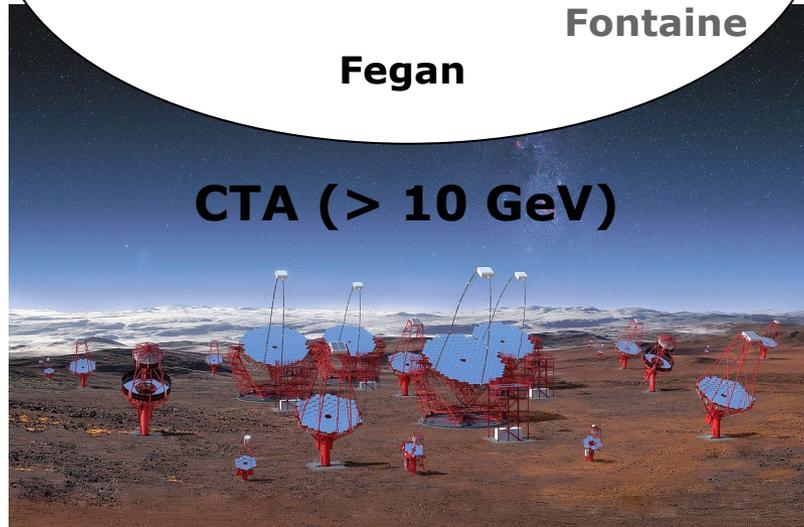
HESS (> 10 GeV)



TeVcat

Bruel de Naurois
Scarpin
Si Said
Chapopi
Lopez
Horan
Fontaine
Fegan

CTA (> 10 GeV)



Annexes

Production scientifique

- Bilan des Publications 2018-2023 du Groupe Astrogamma

- ~140 articles
 - 2 dans Nature, 5 dans Science

Visibilité et rayonnement

- ~40 présentations à des conférences et séminaires (membres et **doctorants**):
 - ICRC : 2019 (4 contr.), 2021 (3 contri.), 2023 (10 contr.)
 - H. Ashkar, “The H.E.S.S. Gravitational Wave Rapid Follow-up Program during O2 and O3”
 - Fermi symposium : 2018 (1), 2021 (1), 2022 (1), 2023 (2)
 - A. Laviron, “Polarimetry of the Vela pulsar with the Fermi-LAT”
- *Highlights récents*:
 - D. Horan, "Scientific achievements and prospects of science with Fermi-LAT", 20 MAGIC Years Conference & Symposium 2023
- **Organisation de colloques**
 - Rencontres du Vietnam (2020, 2023, 2023)
 - Rencontres de Blois (2022)
 - Ecole d'été P2IO
 - LOC Ecole de Gif
- **Accueil de la réunion annuelle de la Collaboration**
 - Fermi : mars 2023 (Ecole Polytechnique, Palaiseau)