

Astro

Aimie CLEMENT (Doct. LAB-LP2I, 2022-2025)

Amélie CLEMENT (Doct., 2025-2028)

Denis DUMORA

Paul FAUVERGE (Doct., 2023-2026)

Marie-Hélène GRONDIN

Armelle JARDIN-BLICQ

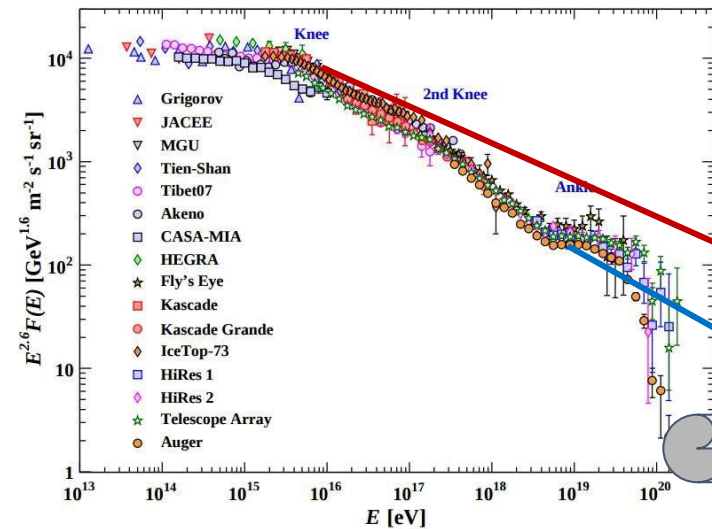
Marianne LEMOINE-GOUMARD

Benoit LOTT

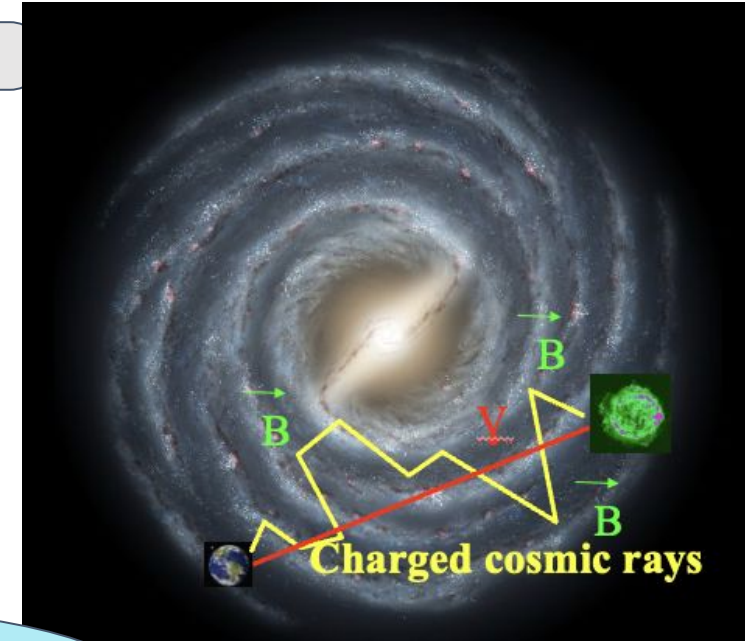
Thierry REPOSEUR

Les grandes questions scientifiques

Les rayons cosmiques (RC)



Quelles sont les
sources
accélératrices
dans la Galaxie
et hors de la
Galaxie ?



Y-a-t'il une seule
source ou plusieurs ?

Quelle est l'énergie
maximale atteinte ?

Quel est le mécanisme
d'accélération des RCs ?

Comment les RCs s'
échappent-ils de la source ?

Comment les RCs se propagent
dans la Galaxie et hors de la
Galaxie ?

Comment les RCs
impactent-ils l'évolution de la
Galaxie et la formation des
étoiles ?

Les rayons gamma: la clé pour comprendre les RCs



Rayons cosmiques :

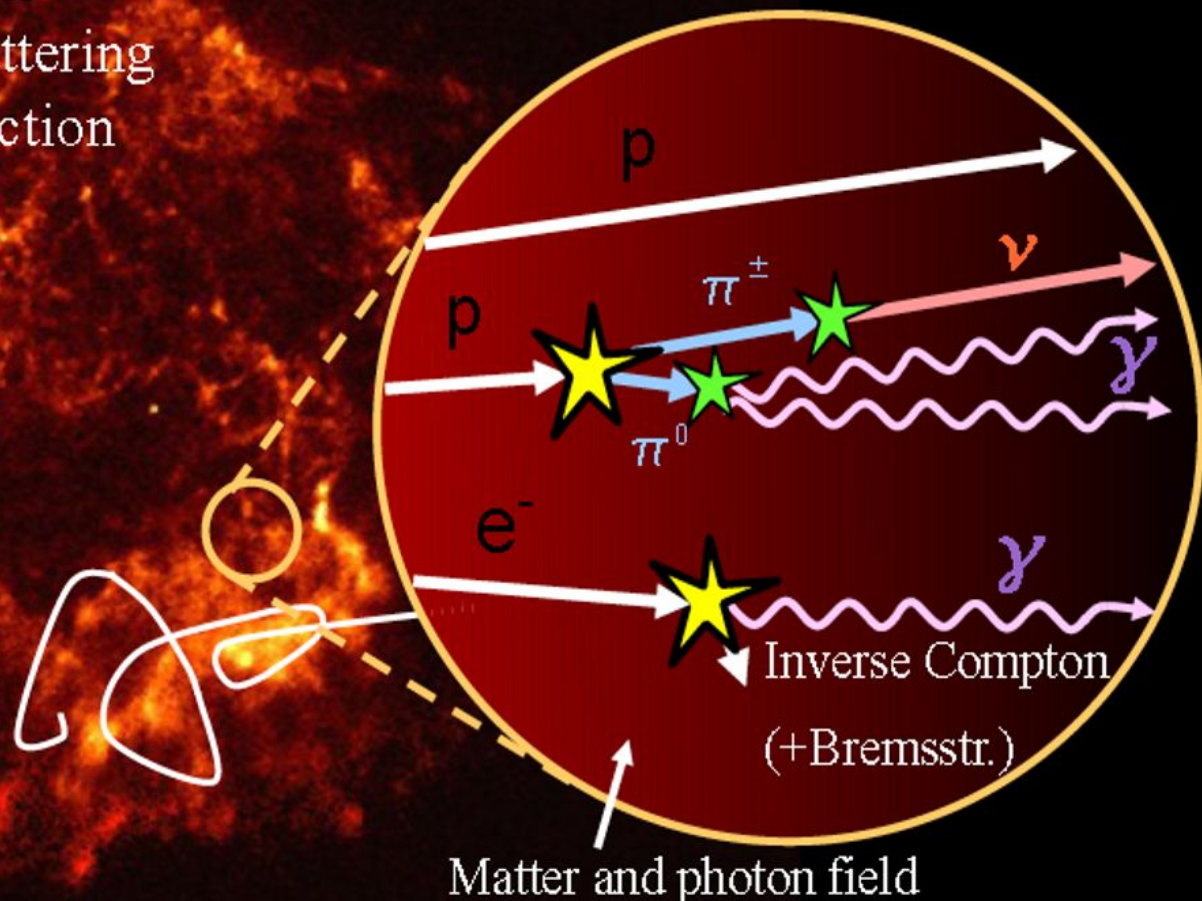
- ❖ 99% de noyaux atomiques (dont 90% de p ; $\sim 10\%$ d'He)
- ❖ 1% d' e^-

Bremsstrahlung

Synchrotron emission

Inverse compton scattering

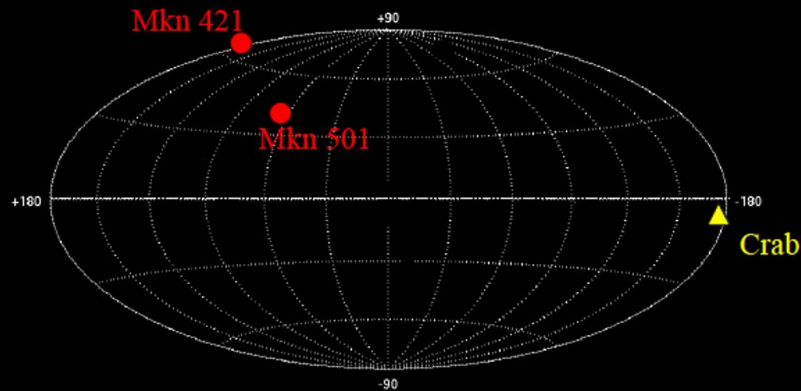
Proton-proton interaction



Pas si simple... petit exemple avec l'astronomie Tcherenkov

1995

3 sources

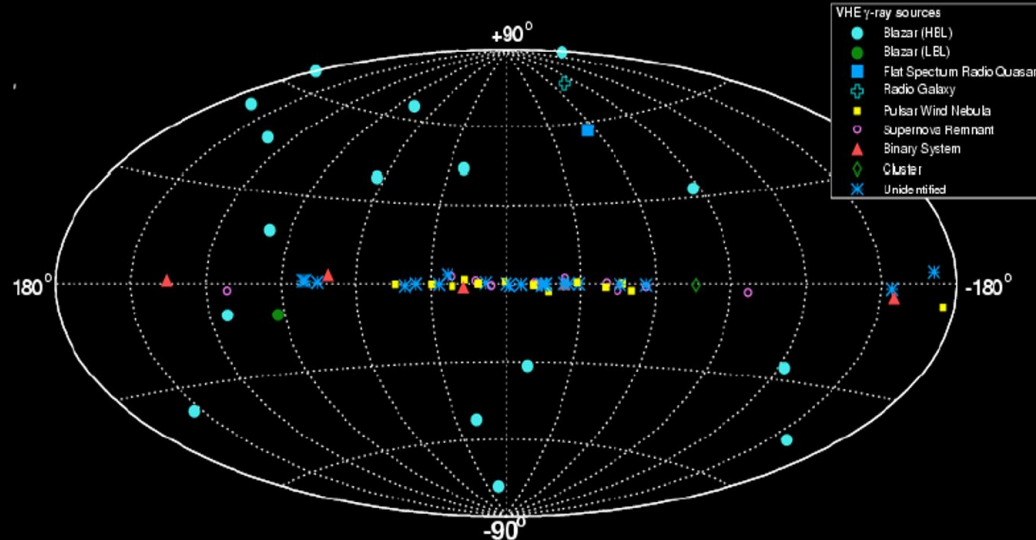


▲ Pulsar wind nebulae
● AGNs

◆ SNRs
■ UIDs

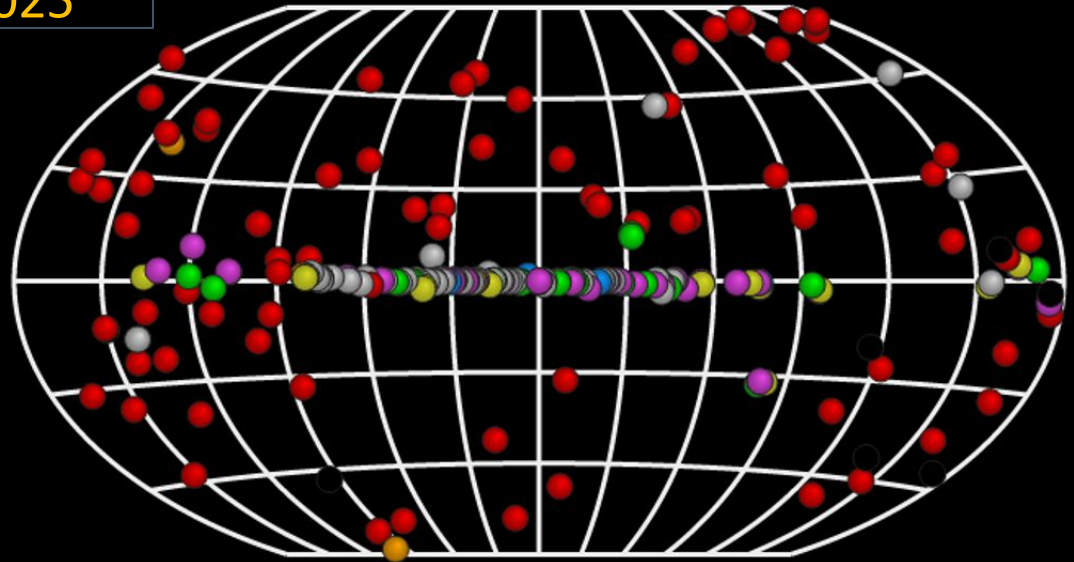
2008

> 70 Sources



2007-09-15 - Up-to-date plot available at <http://www.mppmu.mpg.de/~wagner/sources/>

2025



Actuellement, au TeV:

> 270 sources dont

96 non identifiées ≈ 35%,

comme dans le dernier catalogue Fermi (DR4)

Les grands instruments actuels



Fermi

Duty cycle	Field of view	Energy range	Energy resolution	Angular resolution
------------	---------------	--------------	-------------------	--------------------



100%



2.4sr



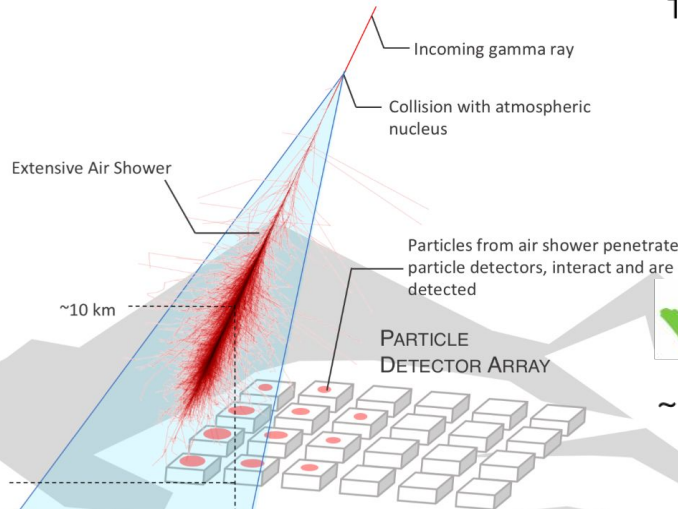
0.05 - 100
GeV



20 - 10%



6° - 0.1°



~95%



90°



0.5 - 100
TeV



20% at 1 TeV
10% at 100 TeV
(on-array events)



0.8 - 0.1°



~10%
~1000 h/y



5°



0.03 - 100
TeV



< 10%
for E > 1 TeV



0.1 - 0.05°

HESS



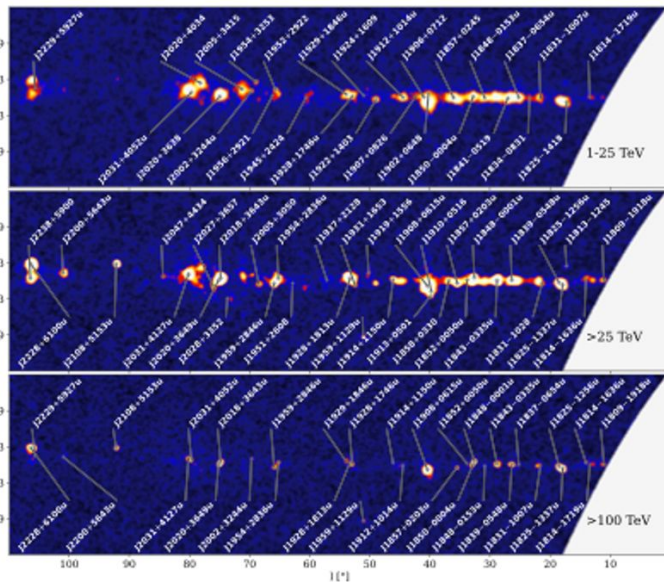
Not to scale

De nouvelles avancées

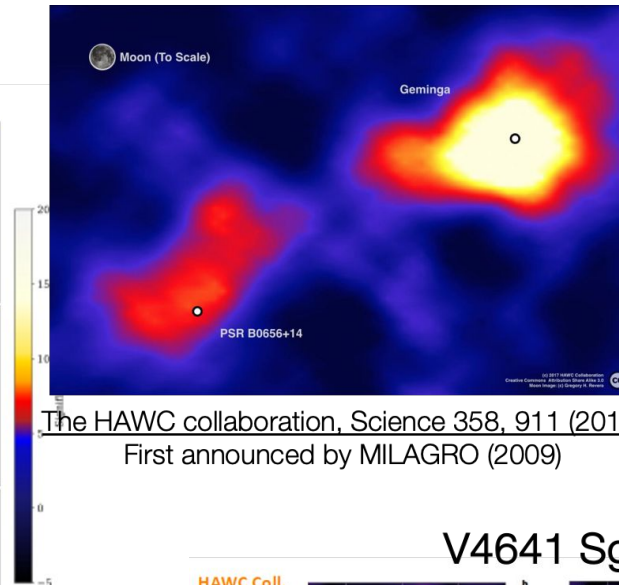


- Plusieurs sources au PeV
 - Des microquasars détectés au PeV !
 - Des halos gamma de plusieurs degrés d'extension
 - Des traces d'échappement de rayons cosmiques
- => Thématique de sources étendues devenue cruciale

90 sources reported by LHAASO,
43 of them detected at UHE (> 100 TeV)



Cao et al. 2023

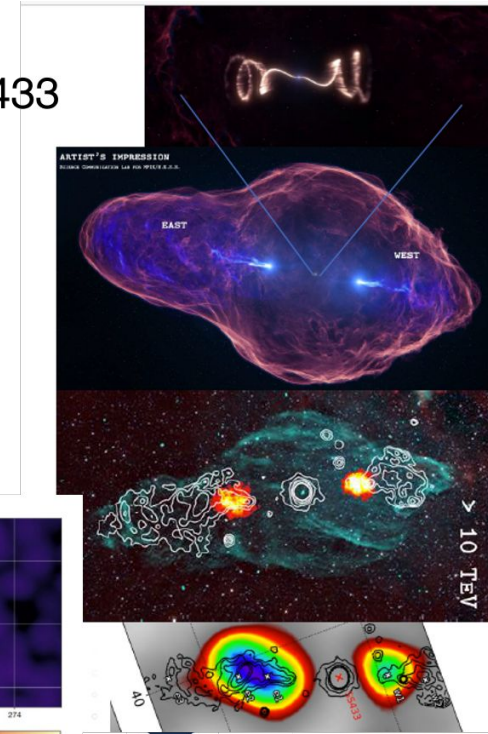
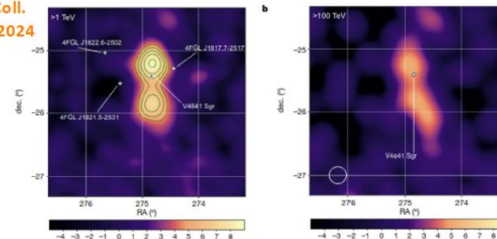


The HAWC collaboration, Science 358, 911 (2017)
First announced by MILAGRO (2009)

SS 433

V4641 Sgr

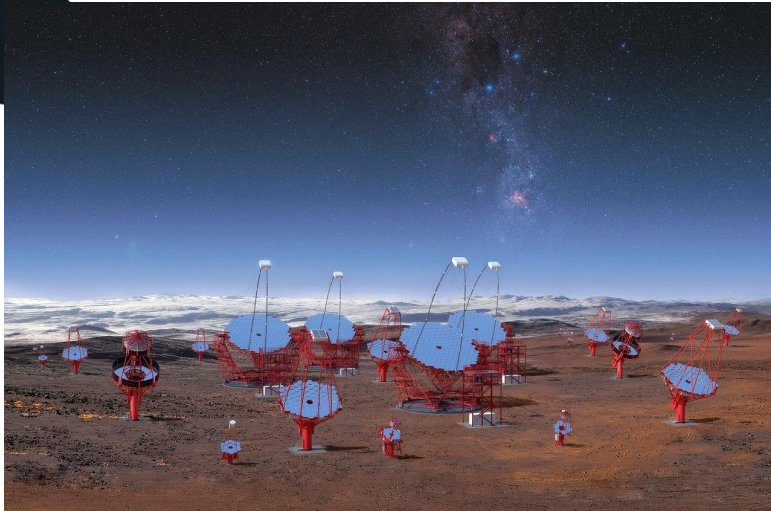
HAWC Coll.
Nature 2024





Objectifs:

- Améliorer la sensibilité d'un facteur 10
- Améliorer la résolution angulaire jusqu'à 1 arcmin à 1 TeV (3' à 6' pour HESS*)
- Abaisser le seuil en énergie à 10 GeV (~30 GeV sur HESS*) ET garder une sensibilité à > 10 TeV
- Augmenter la taille du champ de vue (5° sur HESS)
- Grande rapidité de réaction aux événements transitoires



* selon les conditions d'observations, la position de la source, etc.

Objectifs?

- a) Production des 8 portes des caméras NectarCAM.
- b) Intégration et tests à l'Irfu des caméras
- c) Mise en service (~~installation~~) des caméras sur site
- d) Maintenance

Calendrier

- a) En cours. Les 8 portes seront livrées et montées sur les caméras fin 2026.
- b) Dépendra de l'intégration des caméras. Devraient s'échelonner jusqu'en 2028
- c) Pas de calendrier défini. Fin en 2028 ?
- d) Service après-vente 5 ans après mise en route des télescopes.

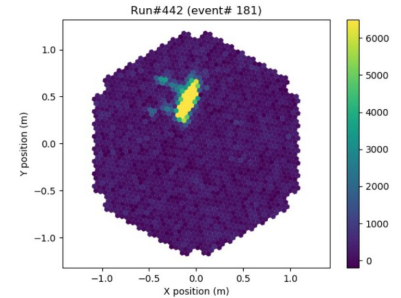
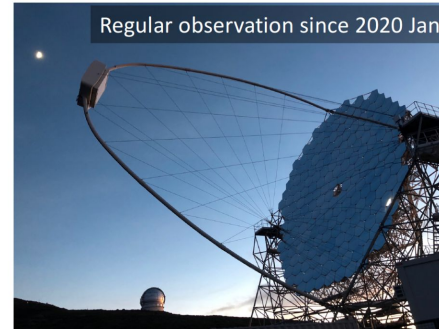
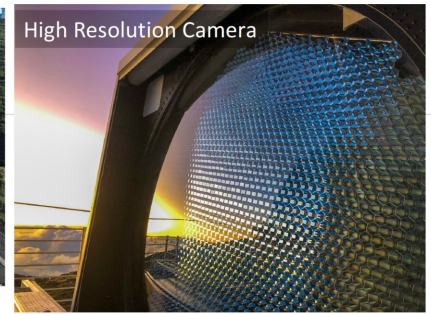
RH

- a) Mécanique essentiellement. Les fonctionnalités seront testées avant livraison.
- b) Physicien.
- c) Physicien.
- d) Pas de contrainte. Interventions ponctuelles sur panne exceptionnelle.

La science avec CTAO: c'est demain !

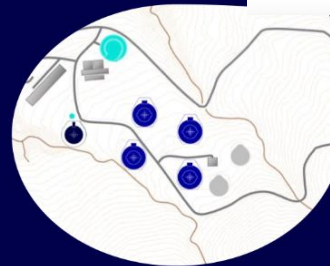


- LST prend des données depuis Janvier 2020
- 4 LSTs en 2026;
- MST au Nord & Sud d'ici fin 2027

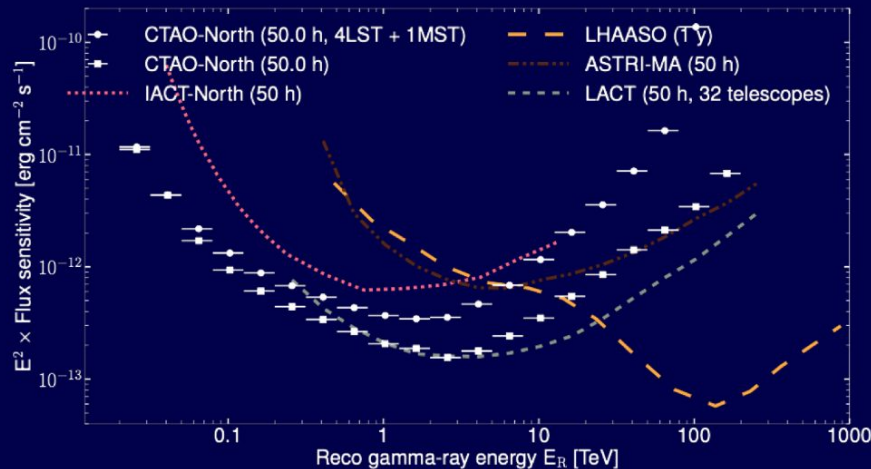


May 2019, first images of cosmic rays

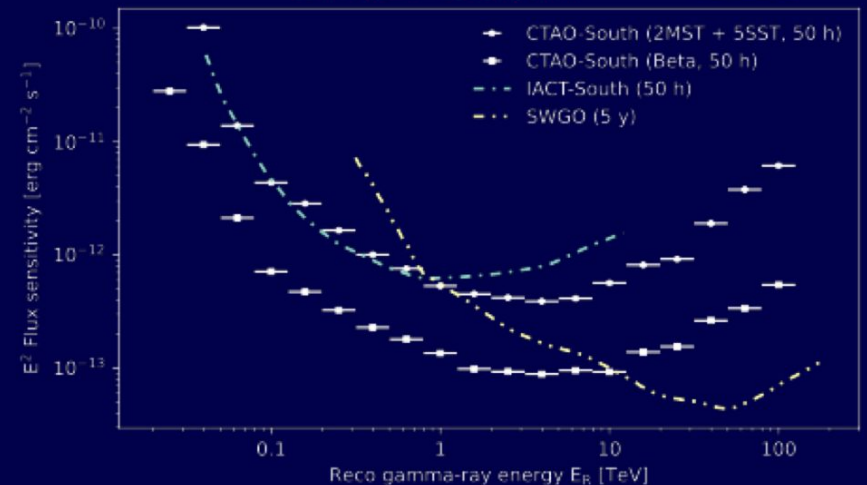
2.5 years from today



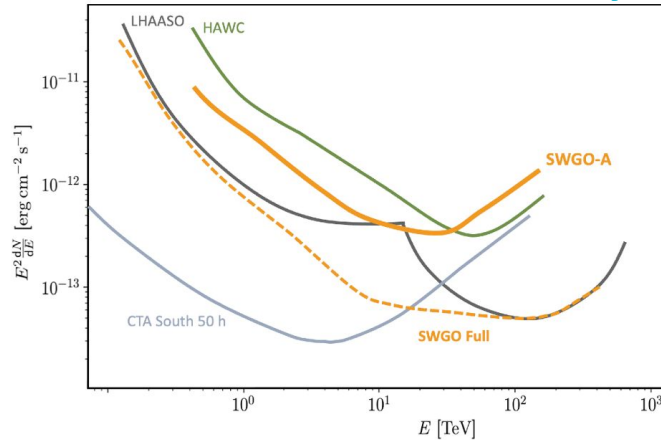
CTAO-North



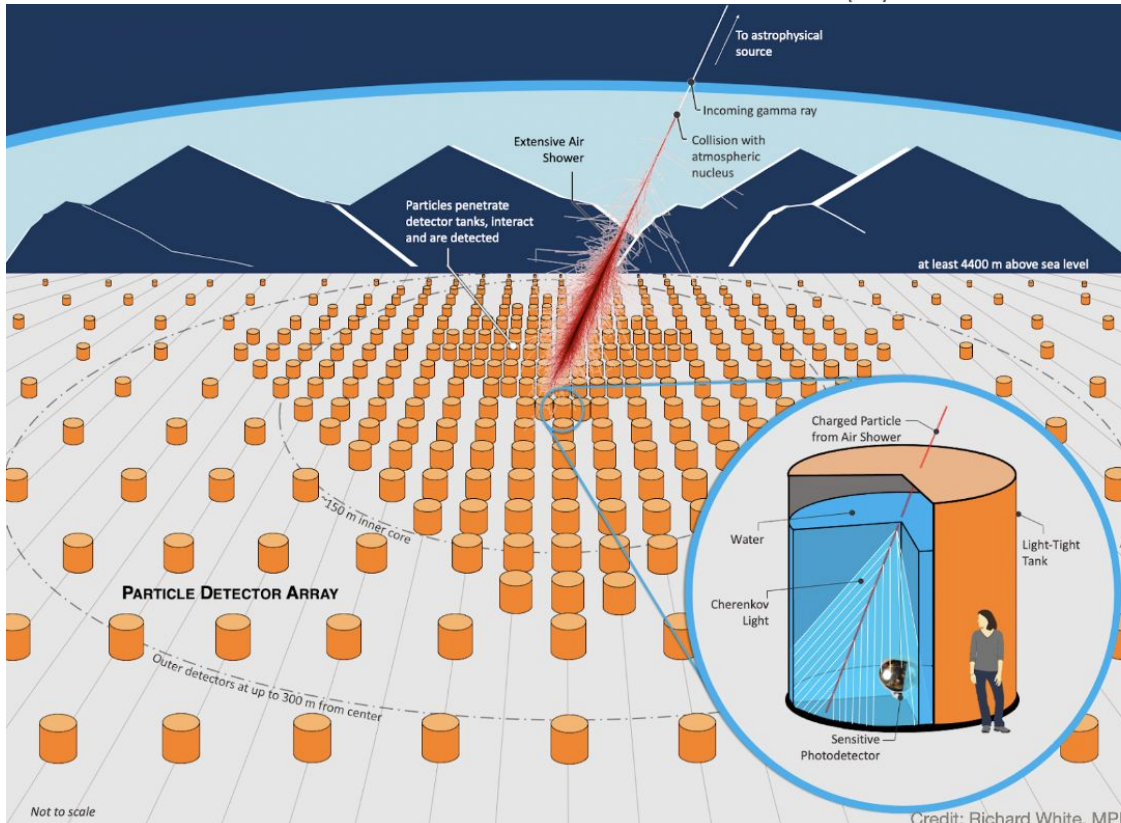
CTAO-South



Le Southern Wide-field Gamma-ray Observatory



Très grand champ de vue ET
grande surface de collection
à > 10 TeV

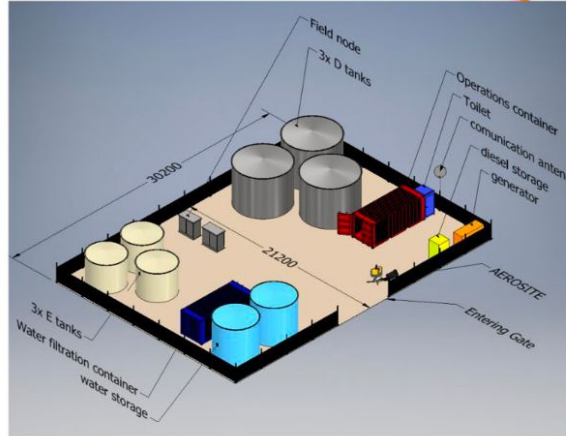


- **Ground-level particle detection**
- **~100% duty cycle**
- **~sr wide field of view**
- **In: Atacama Astronomical Park, Chile**
- **Altitude: 4770 m.**
- **Energy: 100s GeV - ~PeV**
- **Water Cherenkov detector units.**

Le Southern Wide-field Gamma-ray Observatory

- Aucun budget CNRS
- 10 k€ : système électrique solaire à installer
- Discussion OMs ANTARES en cours
- Analyse de sources étendues

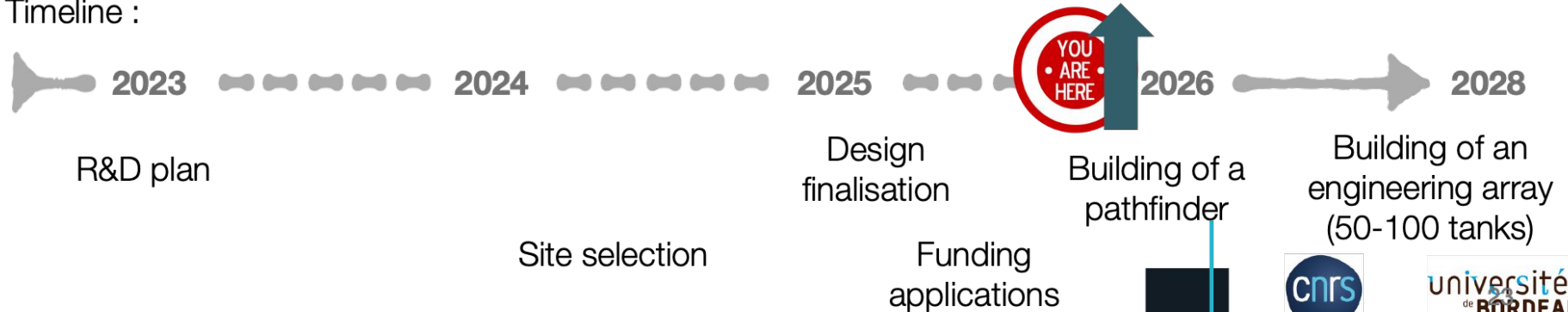
- 2x E tank + 2x D tank (+1 for each as expansion)
- 2x containers 20ft (water filtration + operations)
- 2x 50kl tank for dirty water (total of approx. 1x D-tank)
- 2x field node in MPIK version (1,8x1,2m concrete base)
- Toilet (1,4x1,2x2,5m)
- Generator (model to be defined actual 1x2,6x1,5m)
- Generator diesel tank (1,2x1,2x2m)
- Draft for antenna near operations container
- Fencing with entering gate 6m width (need to define specs of fencing)
- AEROSITE positioned far from metal (>2m) and no shadowing area
- Approx 30x21 area

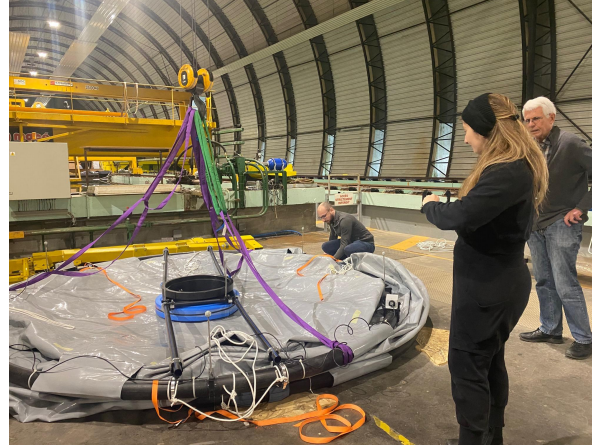


Sartirana Diego – INFN Turin – diego.sartirana@to.infn.it



Timeline :





- Idée @MPIK consacrer une **seconde phase au domaine du PeV** en utilisant un lac (naturel ou artificiel)
- Bladders (réservoirs souples) déployés près de la surface => nécessite de **tester les performance et la durabilité du dispositif** face aux vents et aux vagues potentielles.
- **Tests à Nantes** du 30 mars au 4 avril: Thierry & Marianne sur site (financement RRI origins)
- Tout a cassé ! Mais **nous avons appris beaucoup**.
- Pour le moment aucun lac n'a été trouvé; la priorité est donnée à SWGO au sol

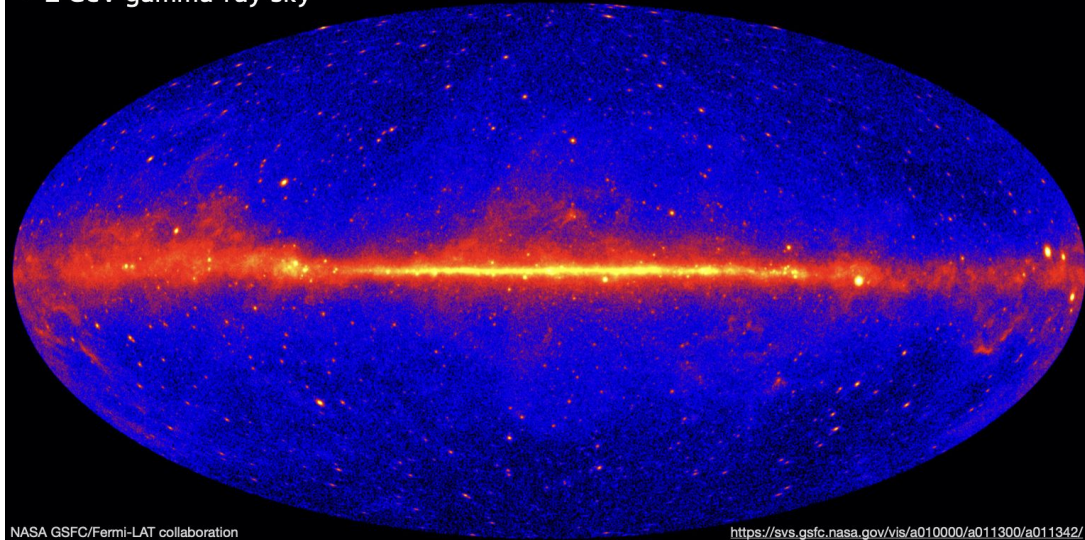


Le ciel au MeV - GeV

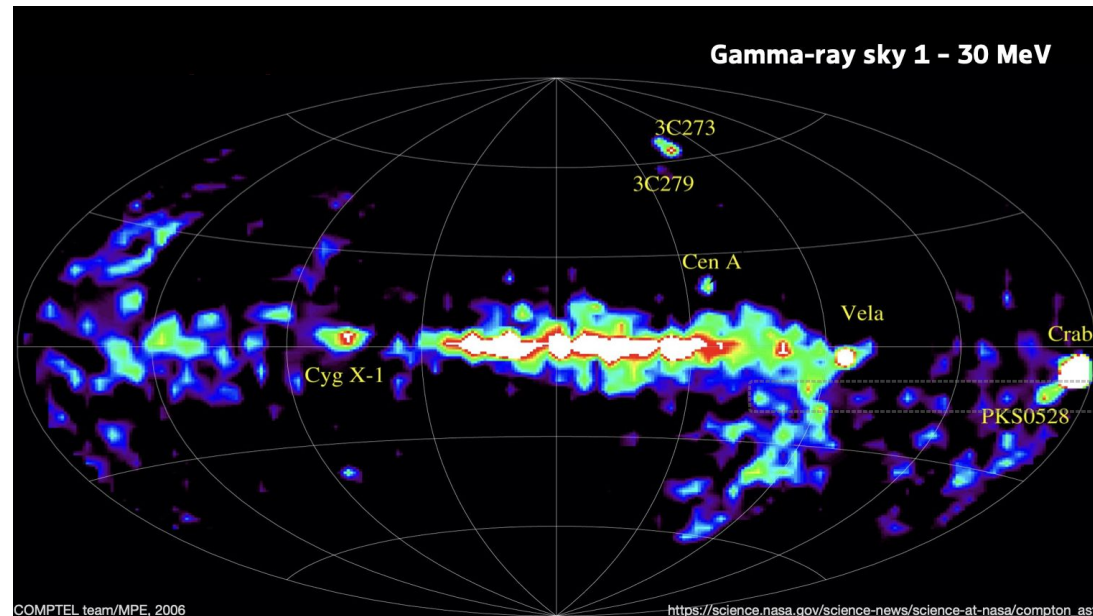


7194 sources de gamma entre
50 MeV and 1 TeV dans le
catalogue Fermi-LAT à 14 ans
(4FGL-DR4, Fermi-LAT
collaboration 2022)

Fermi-LAT
> 1 GeV gamma-ray sky

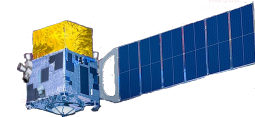


Gamma-ray sky 1 - 30 MeV

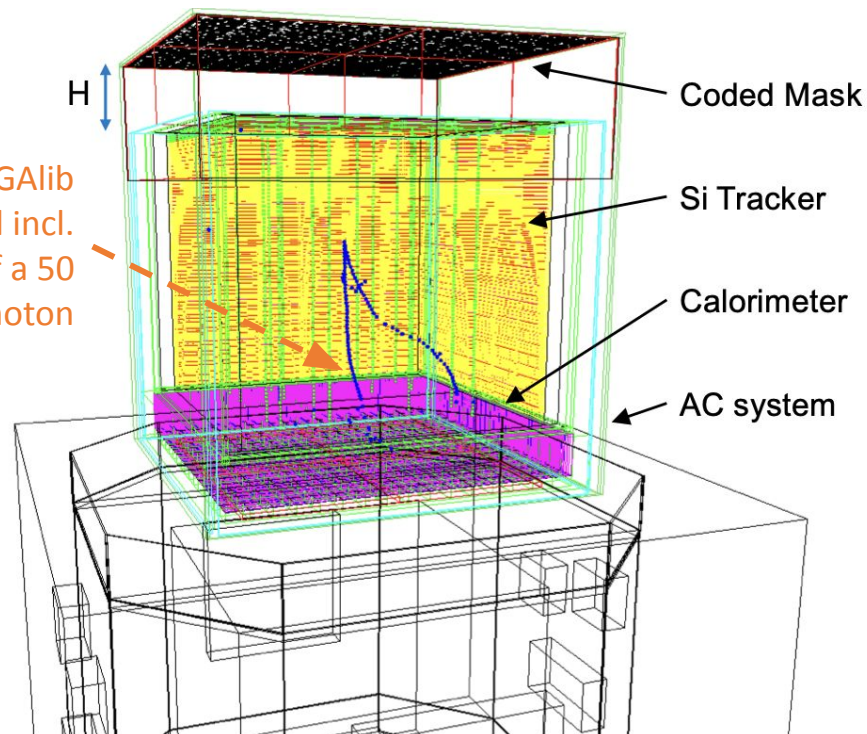
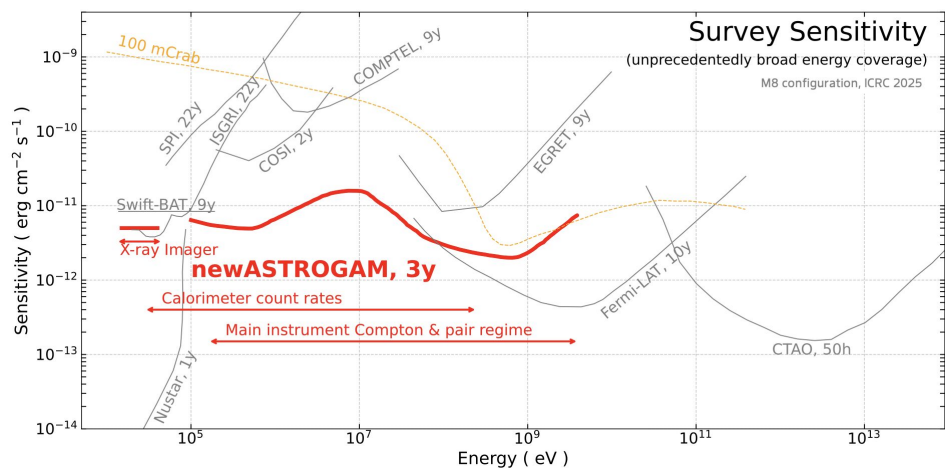


Quelques dizaines de sources
stables connues entre 1 et 30 MeV
(Schönfelder et al. 2000)
⇒ nouveau champ de découvertes!

newASTROGAM



- Proposition pour un observatoire de rupture **soumise à l'ESA** (M8 medium-sized mission call) pour un **lancement en 2041**
- **Large couverture spectrale** pour la première fois simultanément du keV au GeV => **plus de 5 ordre de magnitude**: imagerie, polarimétrie, spectroscopie (ligne et continuum)
- Nouvel imageur pour les rayons X dur => **excellente résolution angulaire** pour un suivi rapide multi-longueurs d'onde et multi-messenger **de transitoires**



Geant4MEGALib
mass model incl.
pair event of a 50
MeV photon

- **Si Tracker** – Double sided Si strips (DSSD) or Monolithic Active Pixels (MAPs) for excellent spectral resolution and fine 3-D position resolution
- **3D-imaging Calorimeter** – CsI(Tl) (or GAGG:Ce or CeBr₃) crystals readout by Si photo-detectors for efficient photon absorption
- **Anticoincidence detector** to veto charged-particle induced background => plastic scintillators read out by SiPMs
- **Light coded mask** – 120 μm tungsten sheet for hard X-ray monitoring and arcminute localisation of transient sources

Futur de l'activité du groupe



Priorités du groupe sur :

- ★ **Fermi (futur incertain...)**
- ★ **H.E.S.S. (=> 2028)**
- ★ **et surtout CTAO :**
 - commissioning de la **première NectarCAM fin 2026** (Chili ?)
 - **inauguration de CTAO à La Palma fin 2026**

SWGO et newASTROGAM pourraient révolutionner les domaines du TeV-PeV et du MeV-GeV... mais **pas de budget** pour le moment.

On reste en veille sachant que le **départ de T. Reposeur et B. Lott** va fortement impacter nos possibilités de réaction en cas d'évolution positive de SWGO ou newASTROGAM.

Merci pour votre attention !



Fermi
(2008-)

newASTROGAM
(~2041-)



VERITAS
(2007-)



MAGIC
(2005-)



CTA-N
(2019-)



LHAASO
(2021-)



HAWC
(2014-)



CTA-S
(2026-)



SWGO
(2026 ?-)



HESS

(2002-2028?)

