

Accélération de particule et production de gamma

Module Recherche en physique moderne RECH 601

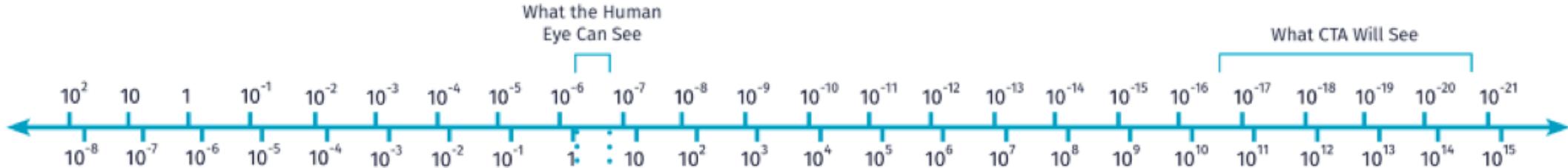
David Sanchez (david.sanchez@lapp.in2p3.fr)



cherenkov
telescope
array

The Electromagnetic Spectrum

**Wavelength
in Metres**



**Electron
Volts (eV)**



Building



Baseball



Cell



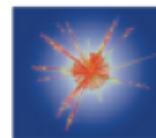
Viruses



Atom



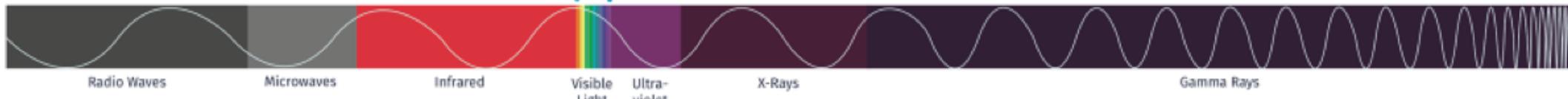
Atomic Nuclei



Smallest Size Resolvable by the Large Hadron Collider

**Relative
Wavelength
Size**

Spectrum



Sources



AM/FM
Radio



Microwave
Oven



People and
Other Living
Beings



The Sun



X-Ray Machines



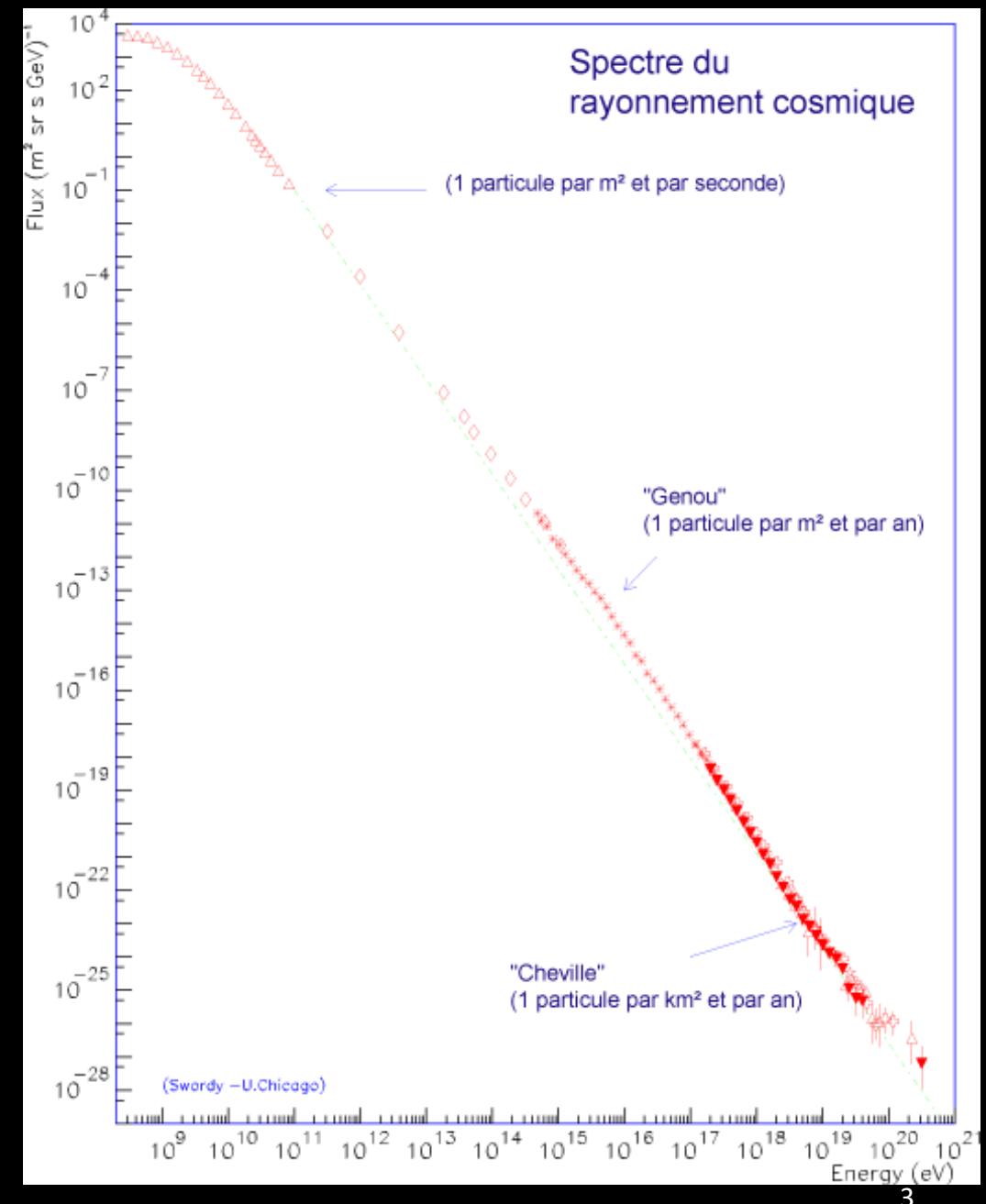
Radiotherapy
Machines



Very-High Energy Cosmic Source

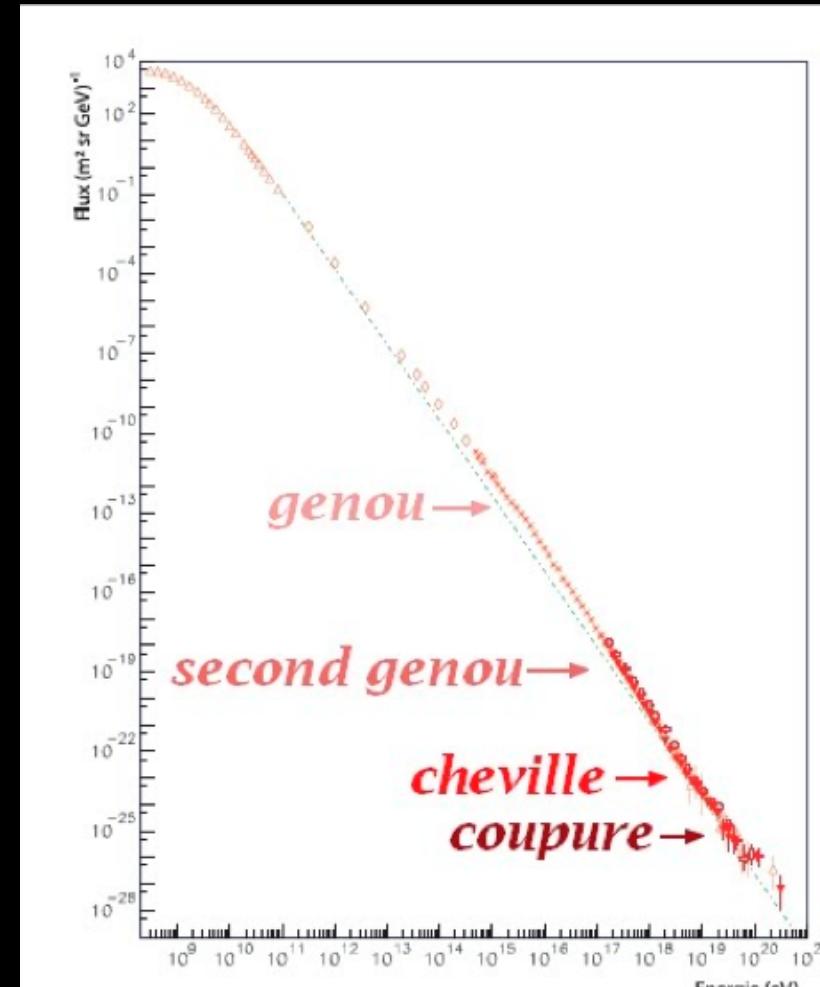
Rayons Cosmiques

- Presque linéarité sur 12 ordre de grandeur en énergie et 32 en flux
- Questions principales en astrophysique
 - Origine ?
 - Propagation?
 - Composition ?



Rayons Cosmiques

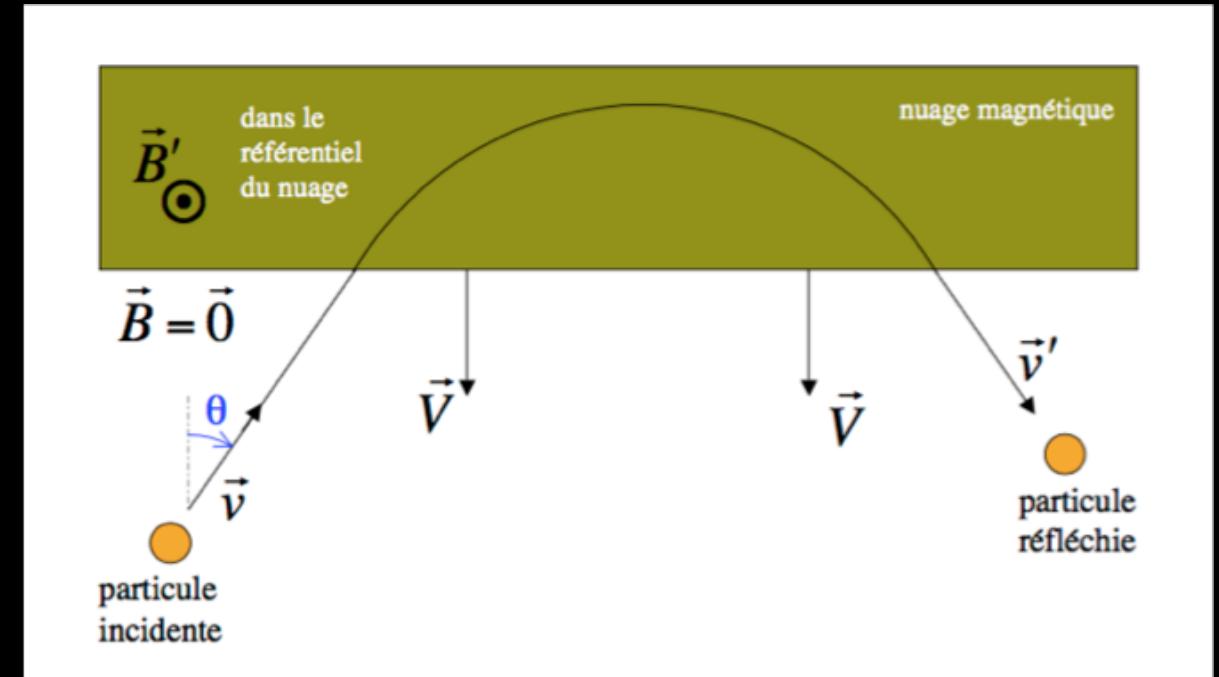
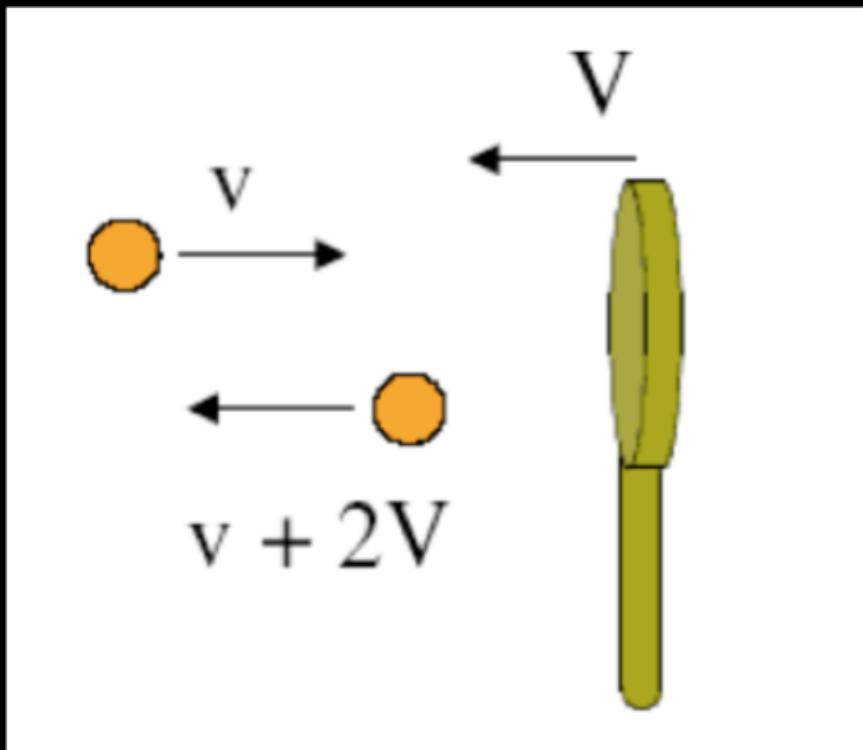
- Origine des particules chargés?
- Avant genou : origine galactique
- Cheville : extragalactique



· Spectre en énergie des rayons cosmiques.

Accélération des rayons cosmiques

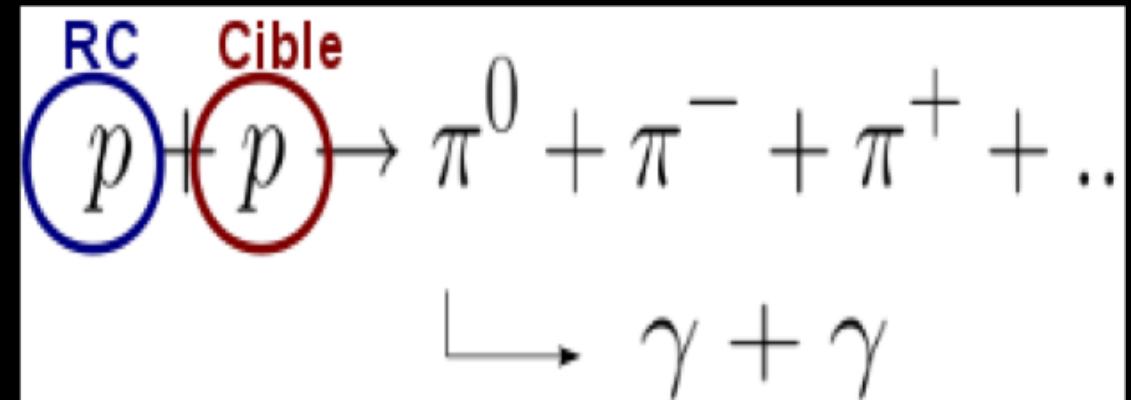
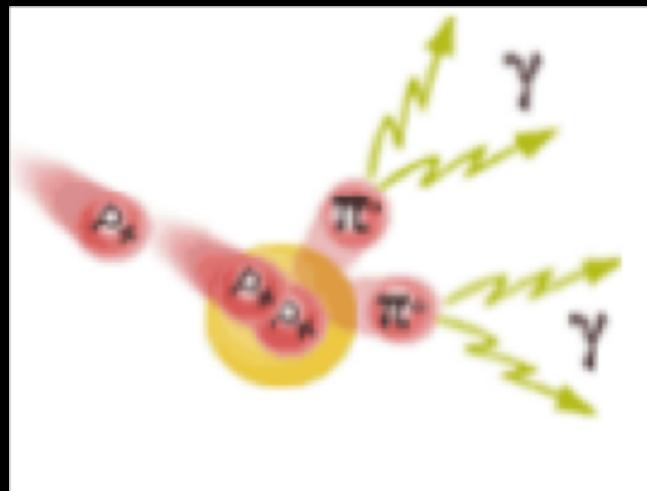
Accélération de Fermi du premier ordre



$$\frac{\Delta E}{E} = -2 \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{V}}{c^2}.$$

Processus d'émission des Gamma

- Décroissance de π^0

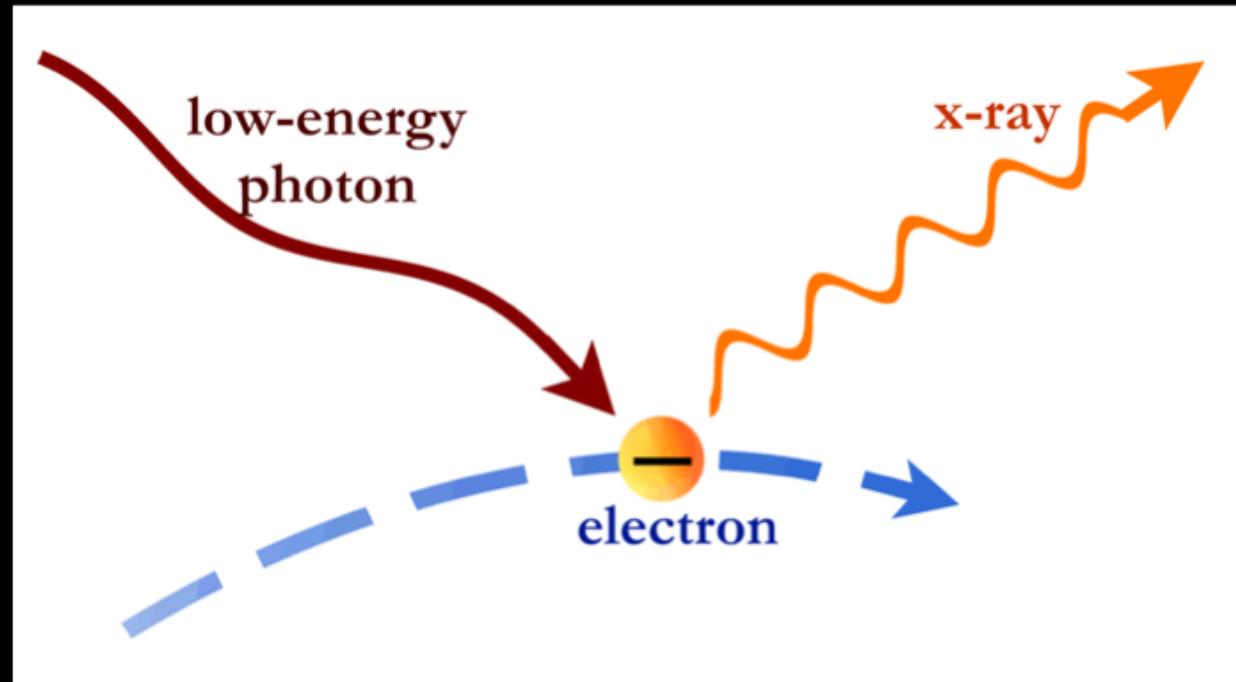


Des protons vont interagir et produire de nombreuses nouvelles particules

Processus d'émission

- Compton inverse

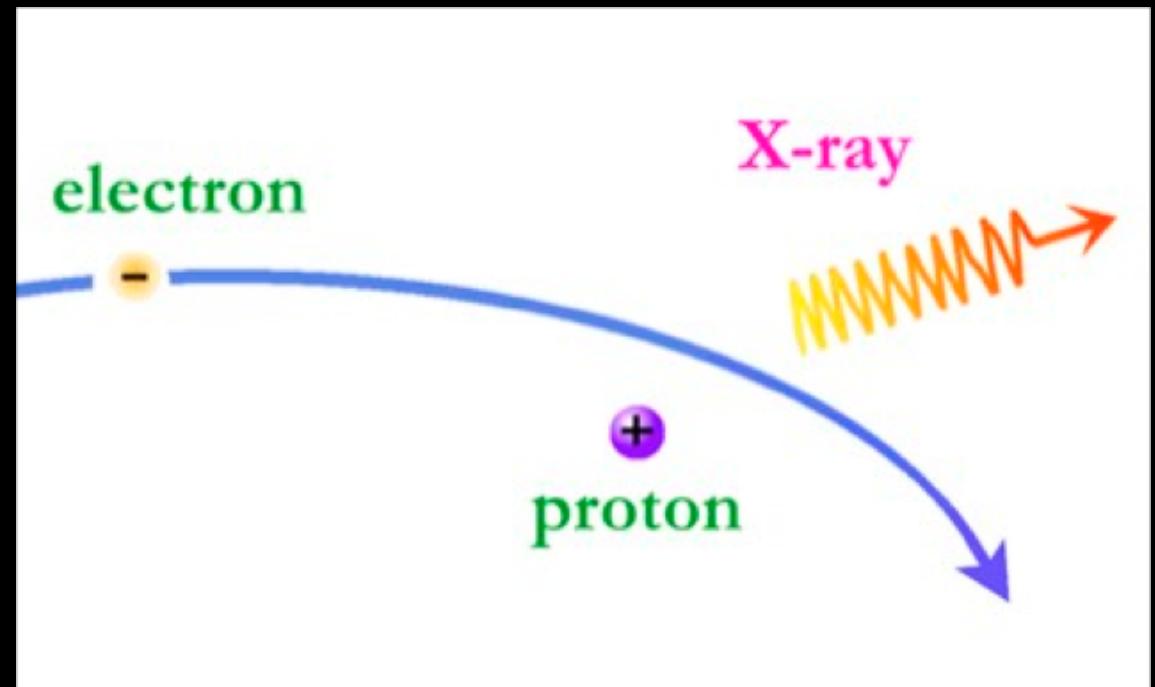
Photon va rentrer en contact avec un électron.
L'électron va lui transmettre une partie de son énergie et le photon devient plus énergétique



Processus d'émission

- Bremsstrahlung (ou rayonnement de freinage)

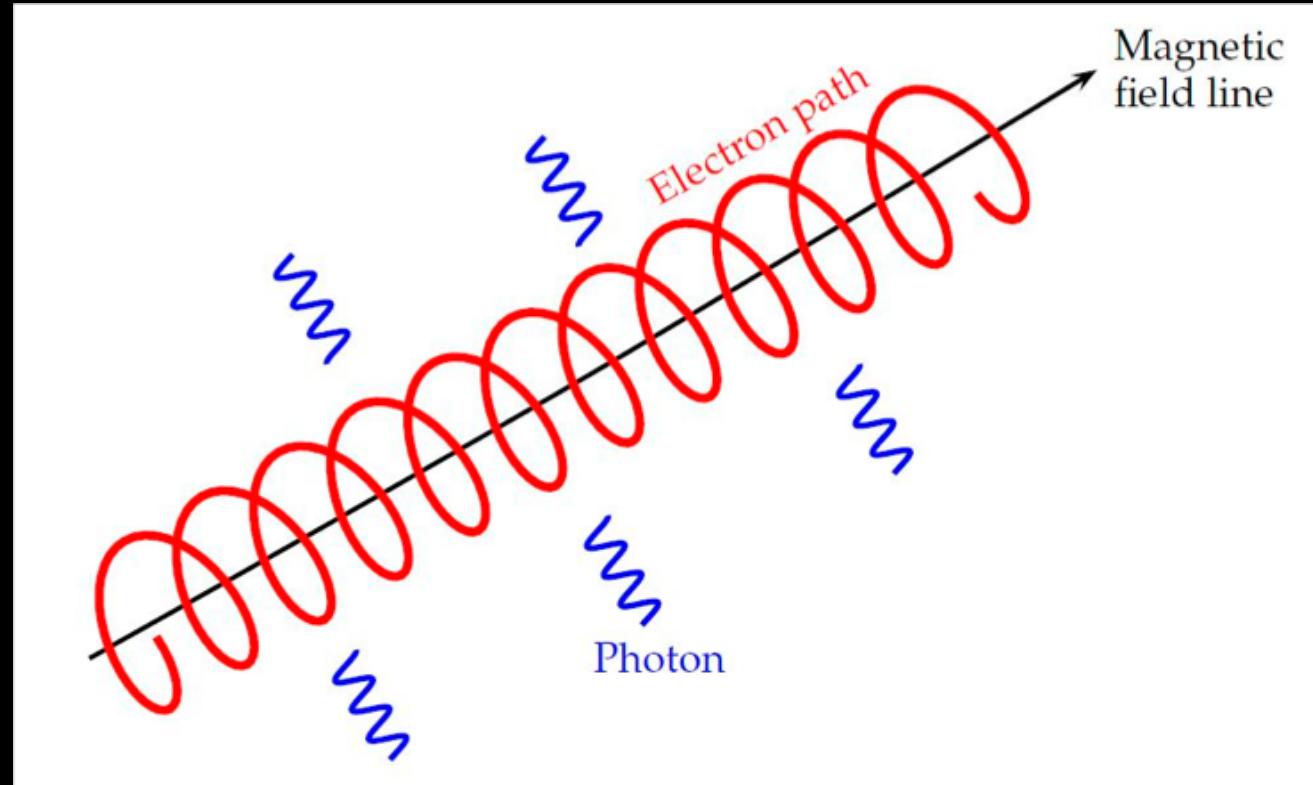
Une particule chargée qui bouge dans un champ électrique est ralentie. Cette perte d'énergie est émise sous forme de rayonnement



Processus d'émission

- Synchrotron

Une particule qui bouge dans un champs électromagnétique va voir sa trajectoire changer et émettre un rayonnement Synchrotron.



Sources émettrices de rayonnements gamma

Sources galactiques

- Restes de supernovae
- Pulsar
- Emission diffuse

...

Sources extra-galactiques

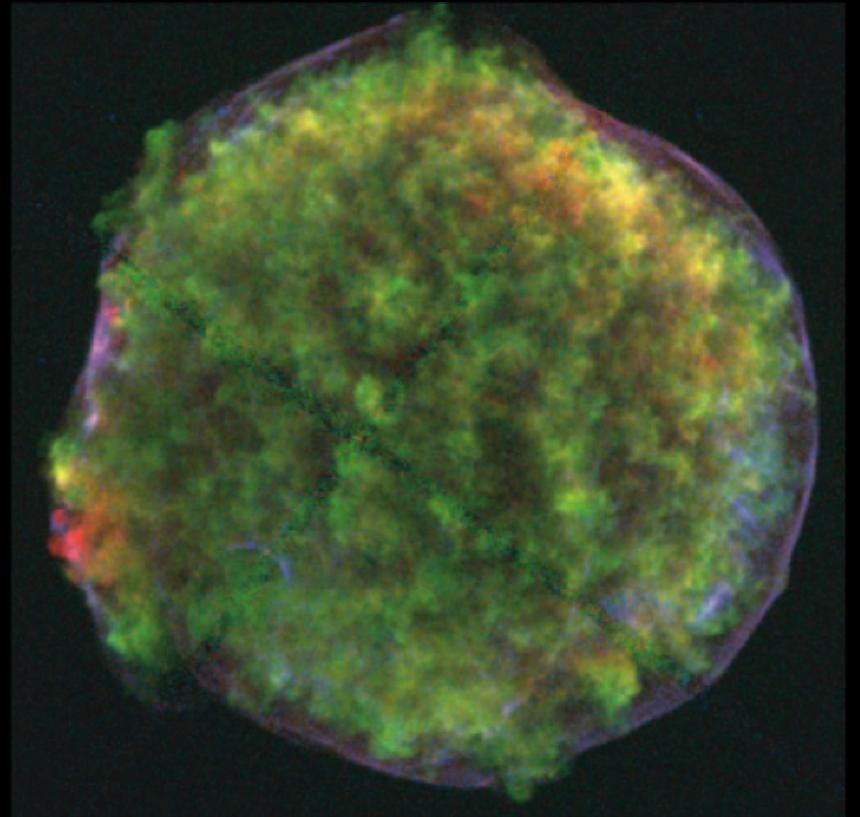
- Sursaut gamma
- Noyaux actifs de galaxie

...

- Matière noire ?

Les restes de supernovae

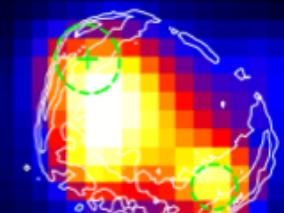
- Une à trois par siècle dans la Voie lactée.
- Tout ou partie de la matière stellaire (éjecta) est projetée à très grande vitesse (quelques 10 000 km/s) dans le milieu interstellaire.



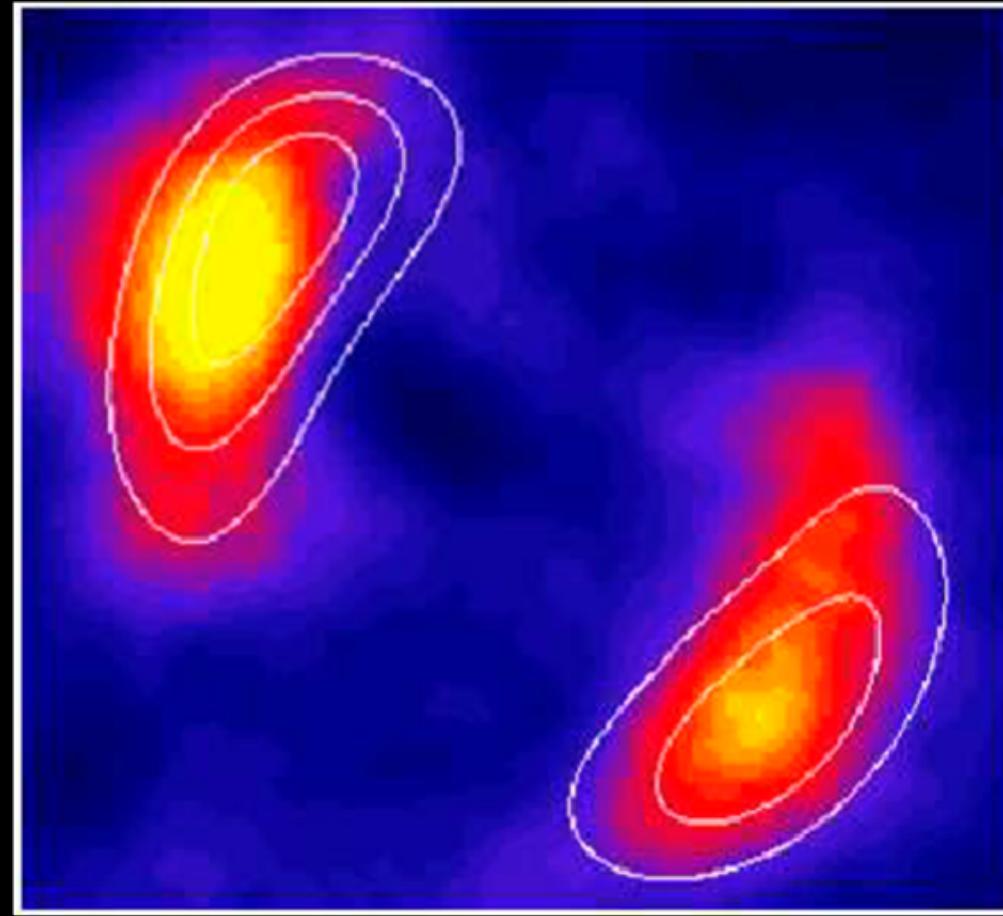
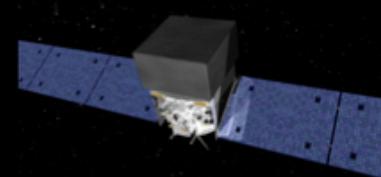
Un exemple: SN 1006



SN 1006 observé en
rayons X par
Chandra.



SN 1006 observé
en rayon gamma
par Fermi



SN 1006 observé en rayon gamma par HESS

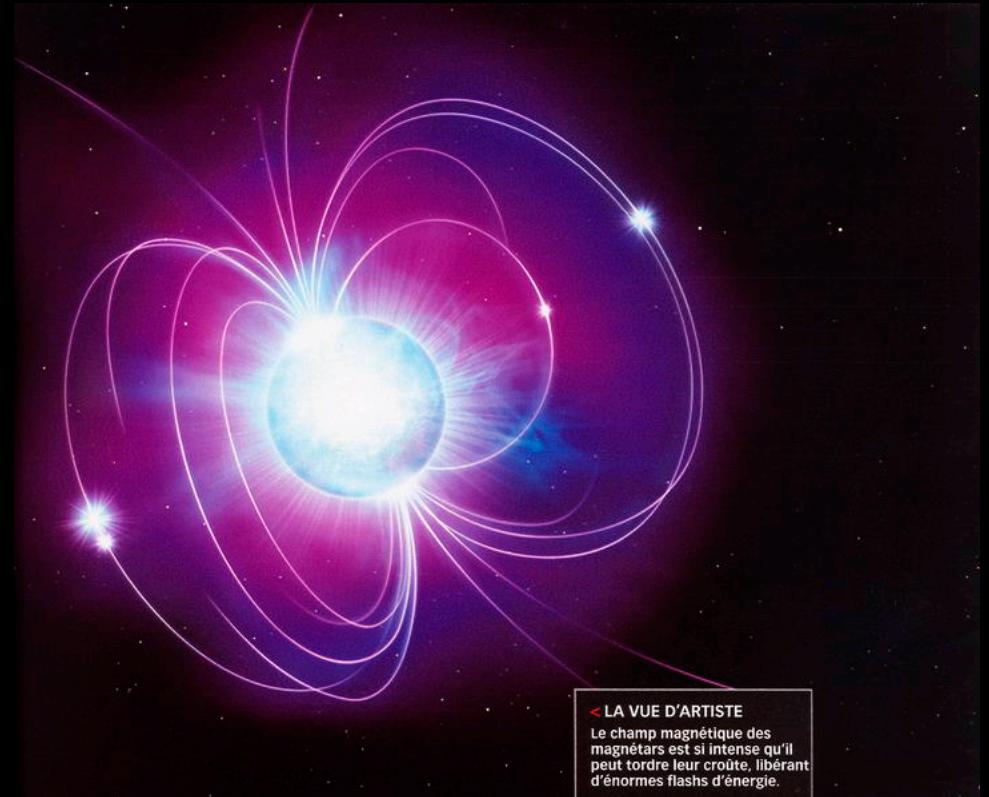


Les pulsars

- Etoile à neutron (cadavre d'étoile) en rotation rapide qui émet de la matière à ses pôles magnétique.
 - Conservation du moment cinétique et flux magnétique
- Les périodes des pulsars sont très brèves : la plus longue est de 4s, et la plus courte est celle du pulsar du Crabe : 0,033s.
- Fort champ magnétique

Emission collimée le long de l'axe des poles

Effet de Phare



Vue d'artiste

< LA VUE D'ARTISTE
Le champ magnétique des magnétars est si intense qu'il peut torder leur croute, libérant d'énormes flashes d'énergie.

Les pulsars: découverte

1967 : découverte des pulsars par Hewish & Bell



1968 : identification des pulsars comme des étoiles à neutrons en rotation rapide et fortement magnétisée (Gold)

1968 : découverte des pulsars du Crabe et de Vela : lien avec les supernovae



Jocelyn Bell

Vents de pulsar

Particules accélérées dans leur voisinage

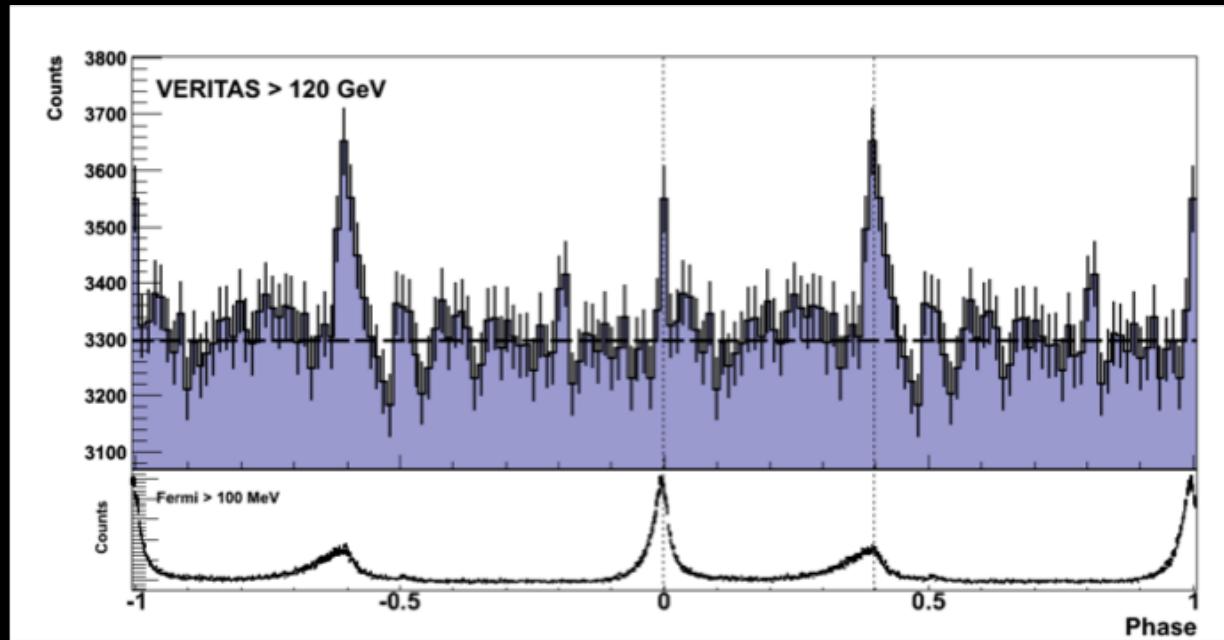
Puissance perdue par le pulsar -> particules chargées

Vent de particules chargées -> émission de photons

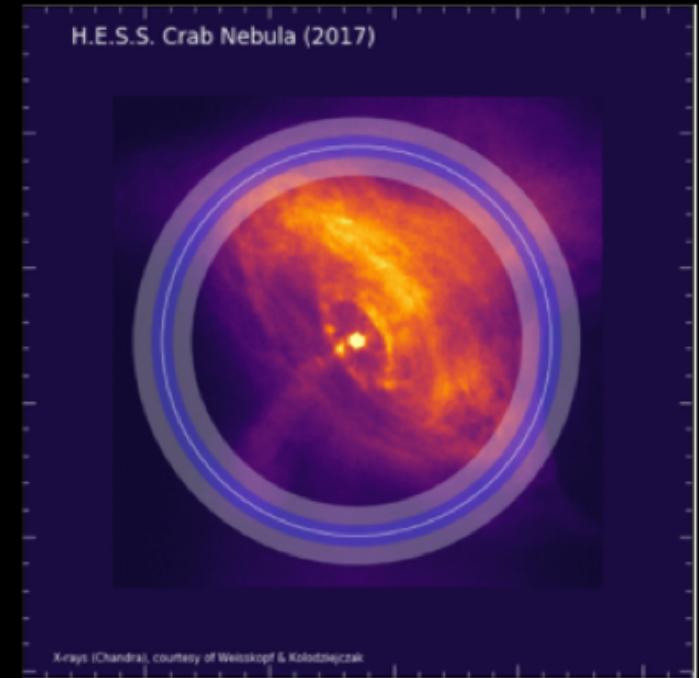


Pulsar du Crabe et sa nébuleuse

Les pulsars en gamma



Pulsations du Crabe par VERITAS



Cercle bleu
-> Emission Gamma du
Pulsar du Crabe par HESS

Les sursauts gamma

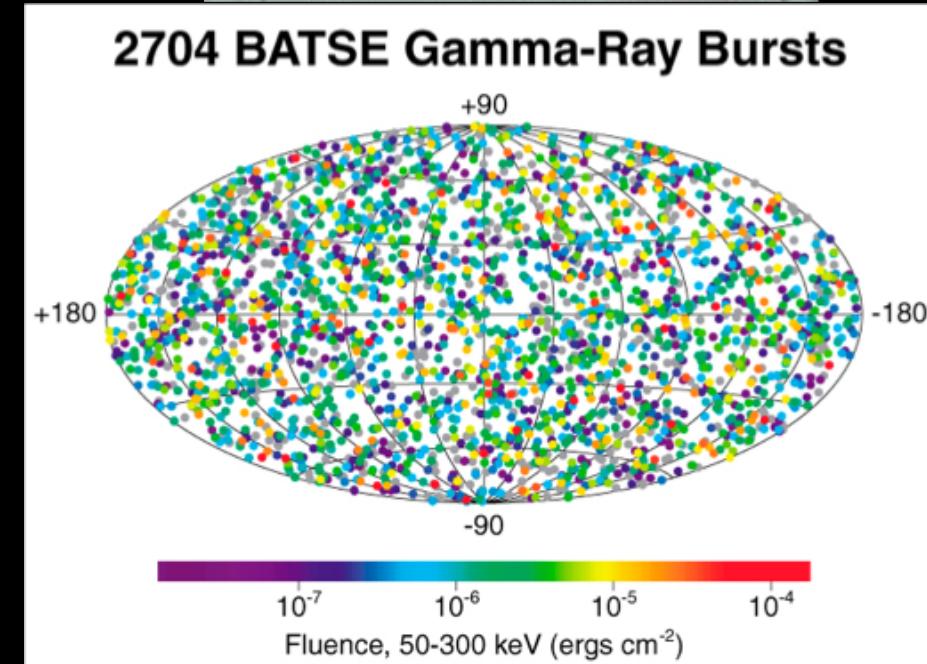
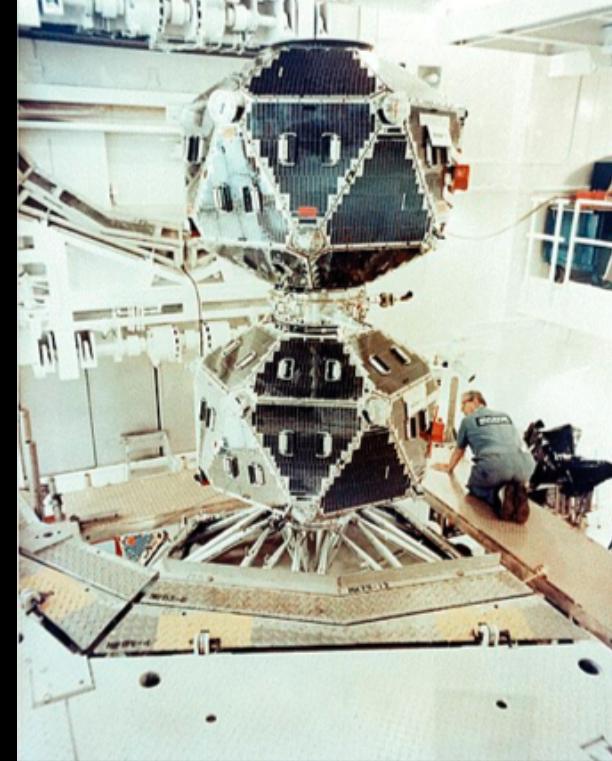
Découvert dans les Années 60 par les satellites VELA

But : surveiller l'émission gamma d'essais nucléaires

Les flash gamma proviennent de l'espace

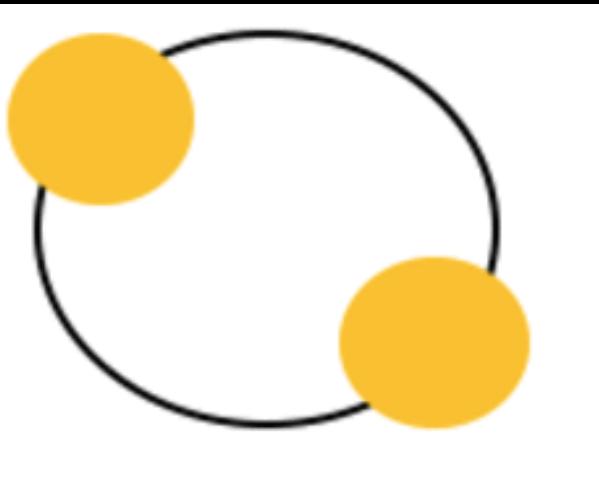
déclassifiées en 1973

- Processus encore mal connu
- Flash très bref et intense de rayonnement à toutes les longueur d'onde
- Emission très grande d'énergie

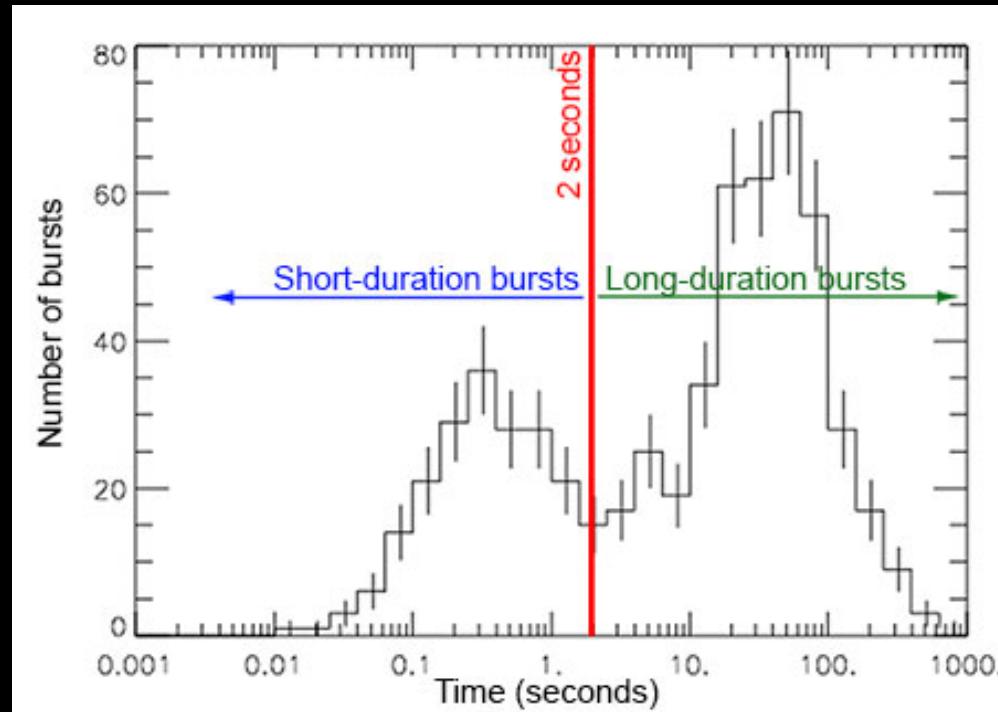


Les sursauts gamma

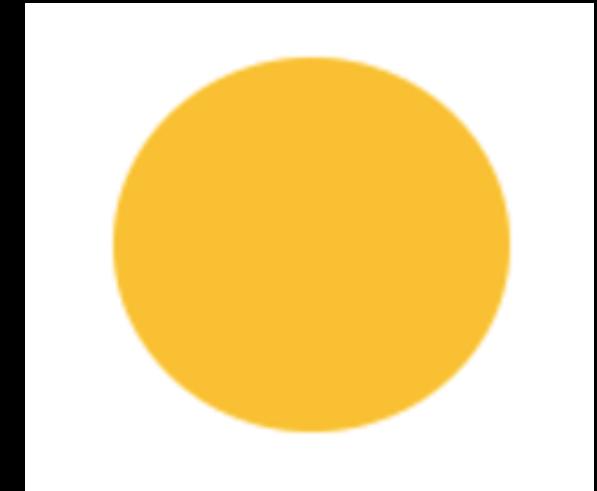
Fusion d'objets
compacts



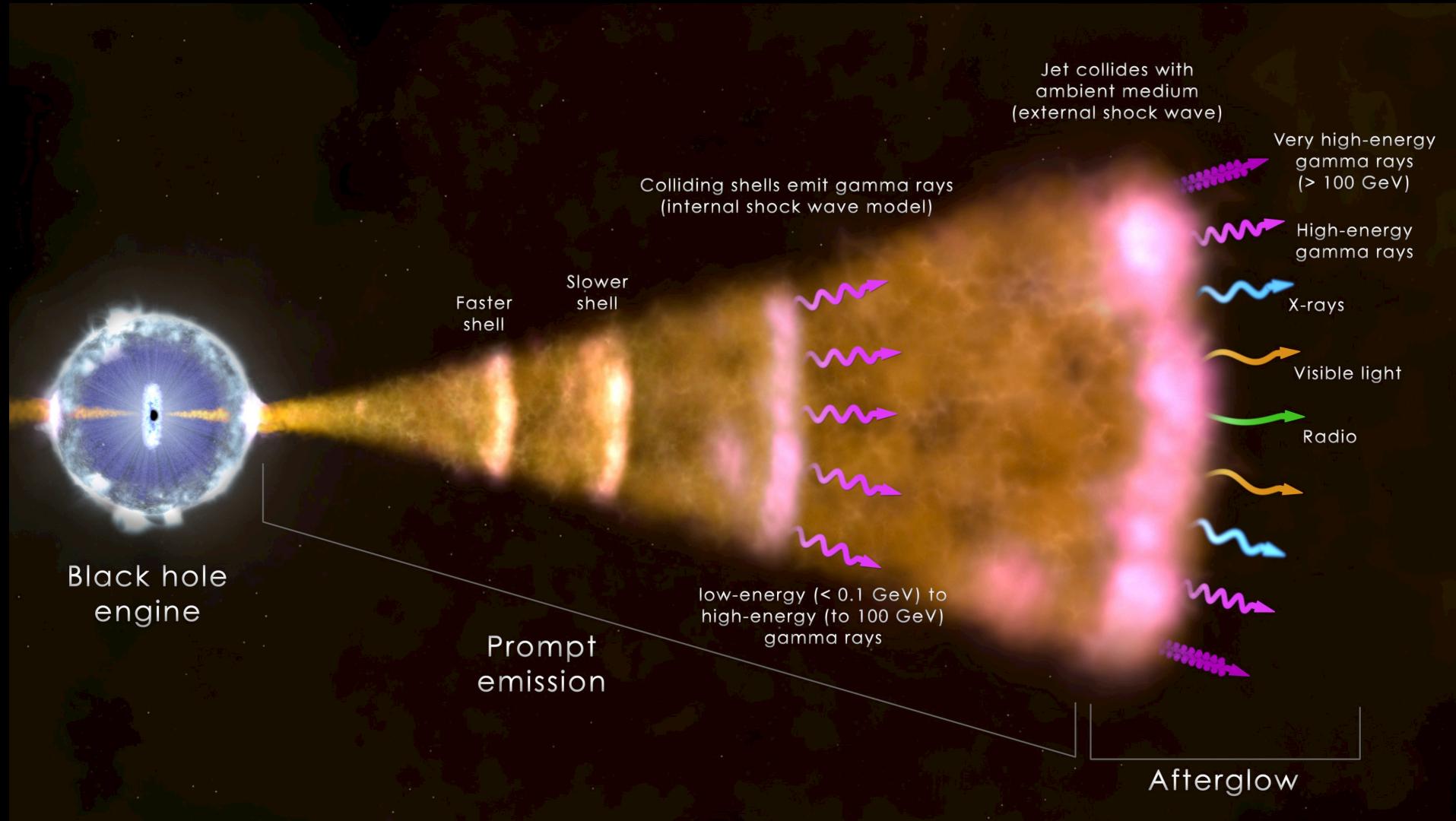
2 types de sursaut gamma



Effondrement
d'étoiles massives



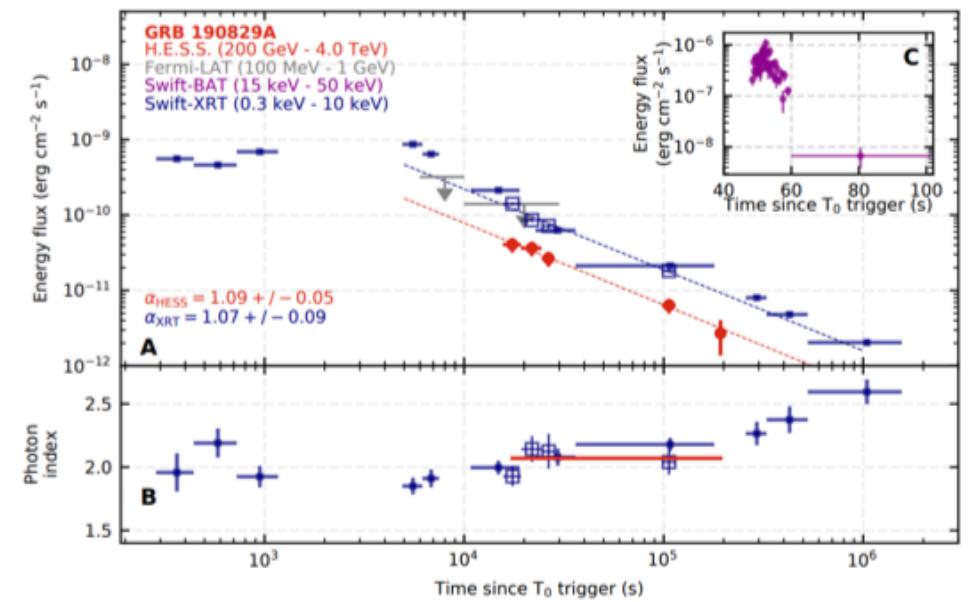
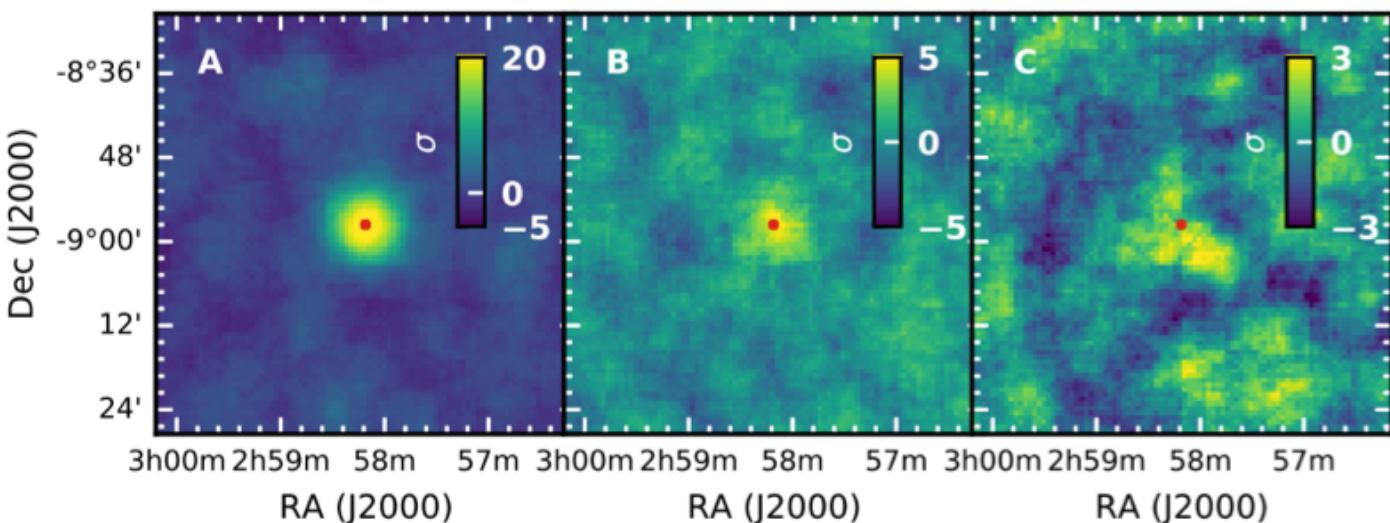
Les sursauts gamma



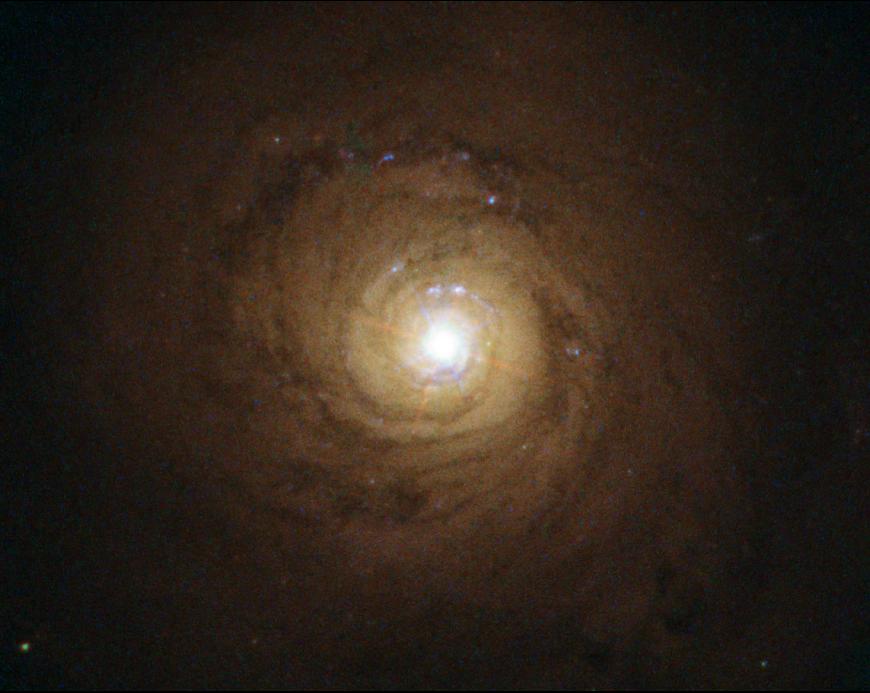
Vue d'artiste d'un sursaut gamma

Les sursauts gamma au TeV

GRB 190829A



Les noyaux actifs de galaxies



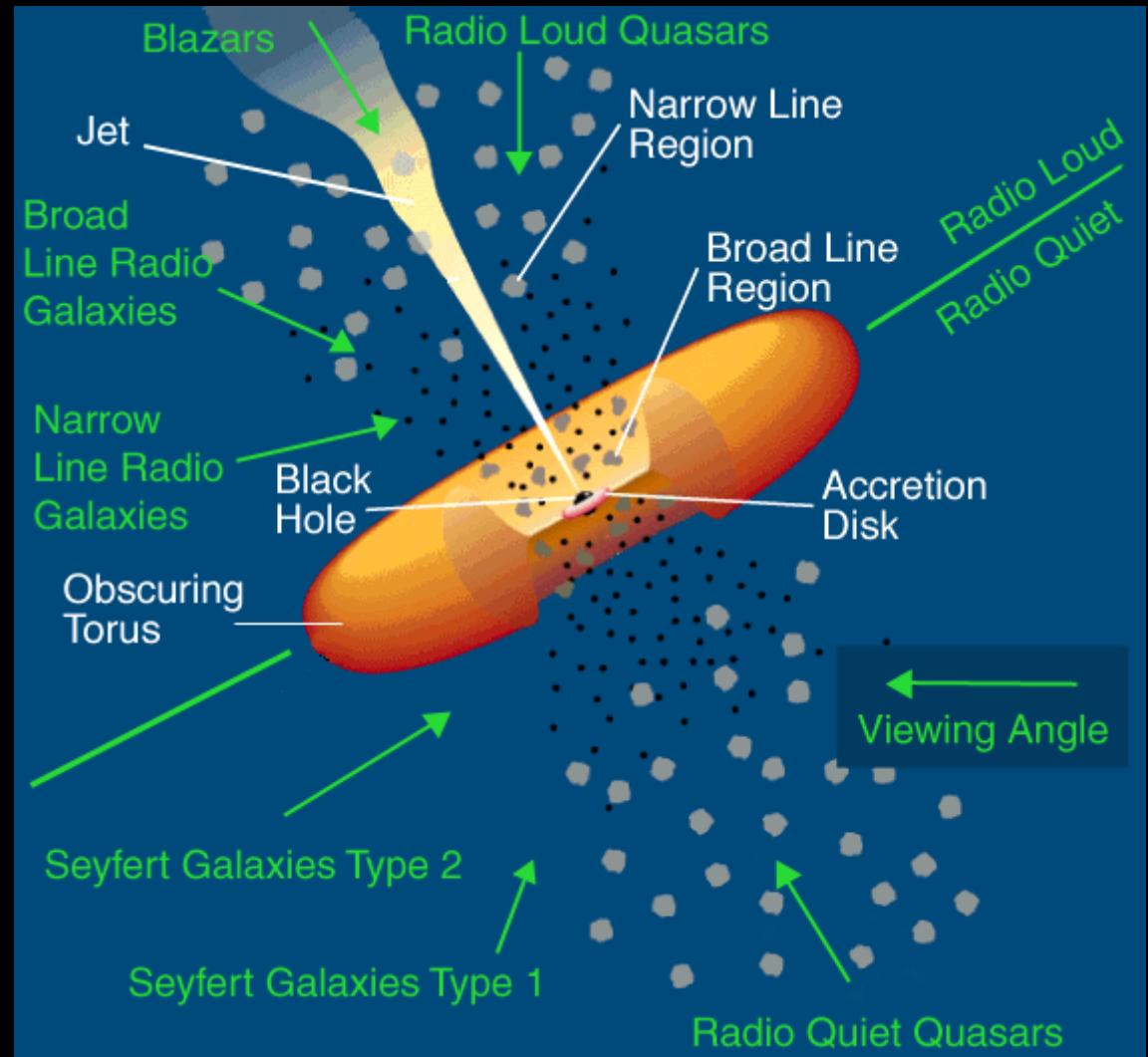
Seyfert, NGC 5548, bright core with artefact from the observations



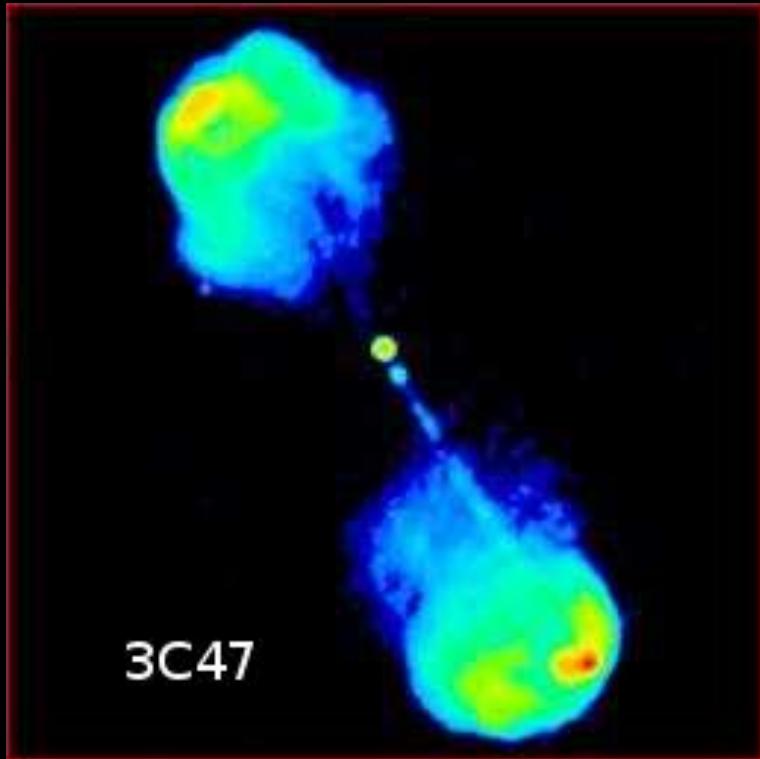
Non-active galaxy, NGC 3370. Core is less luminous

Les noyaux actifs de galaxies

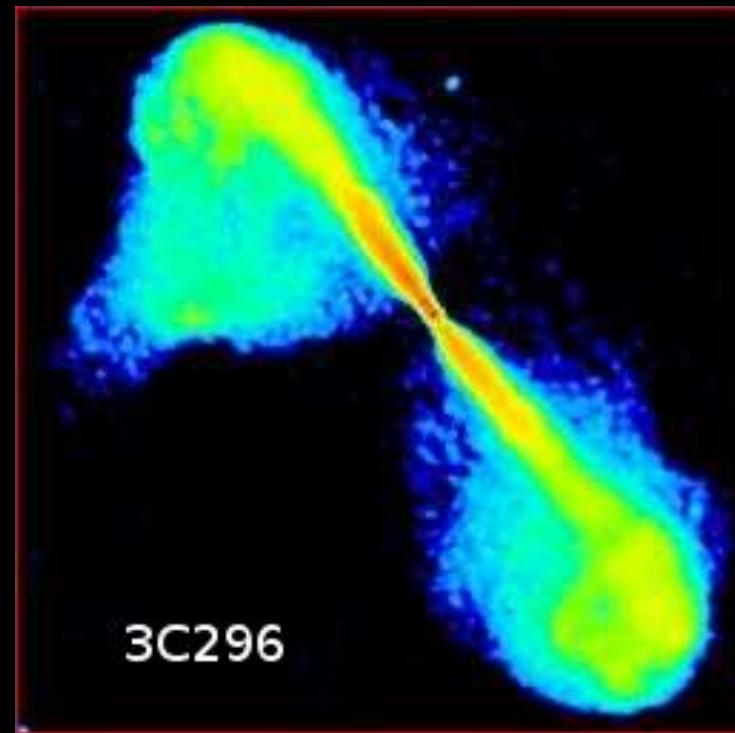
- 10% des galaxies sont dite actives
- Visible sur tout le spectre



Les noyaux actifs de galaxies



3C47

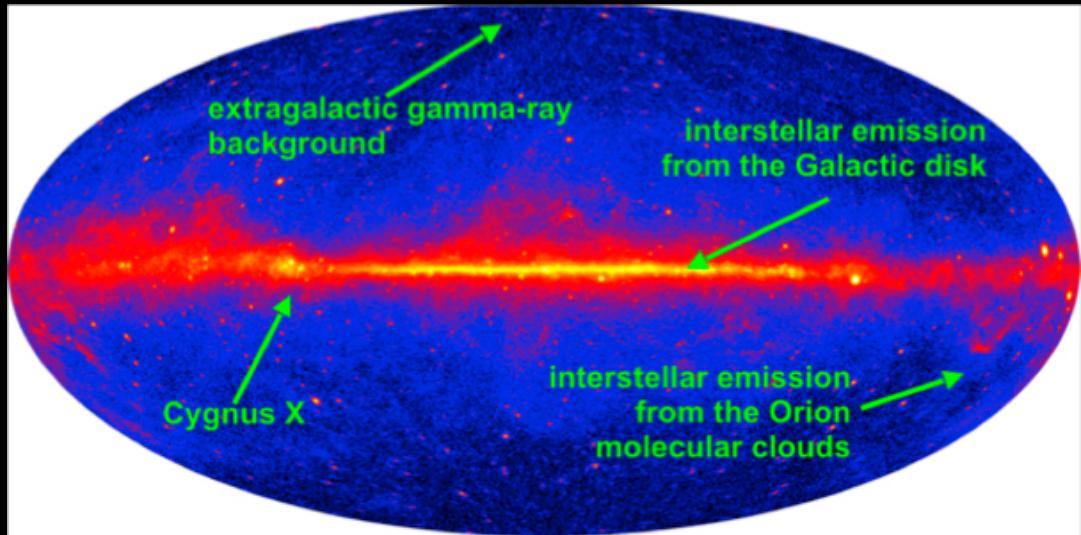


3C296

L'émission diffuse

80% des photons détectés par Fermi LAT proviennent de l'émission diffuse.

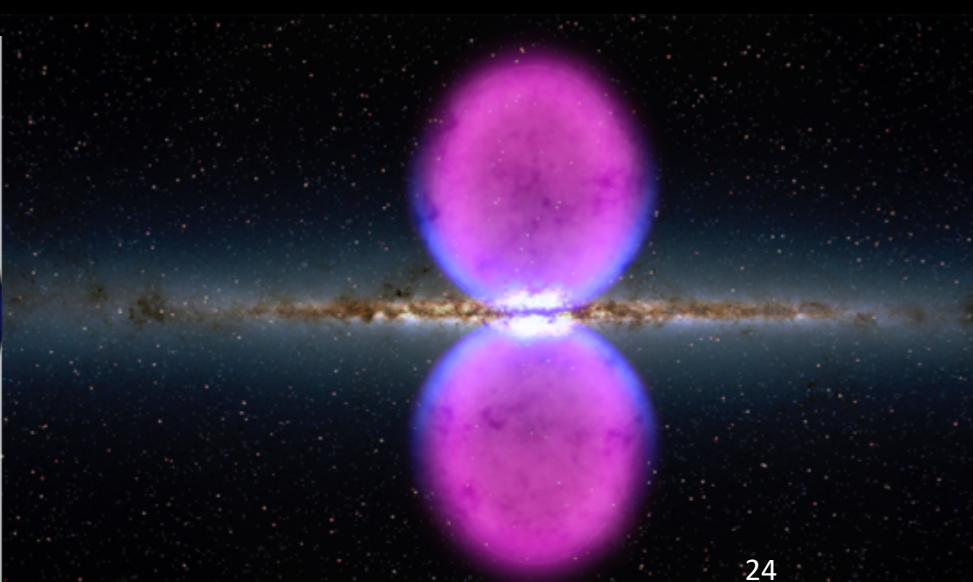
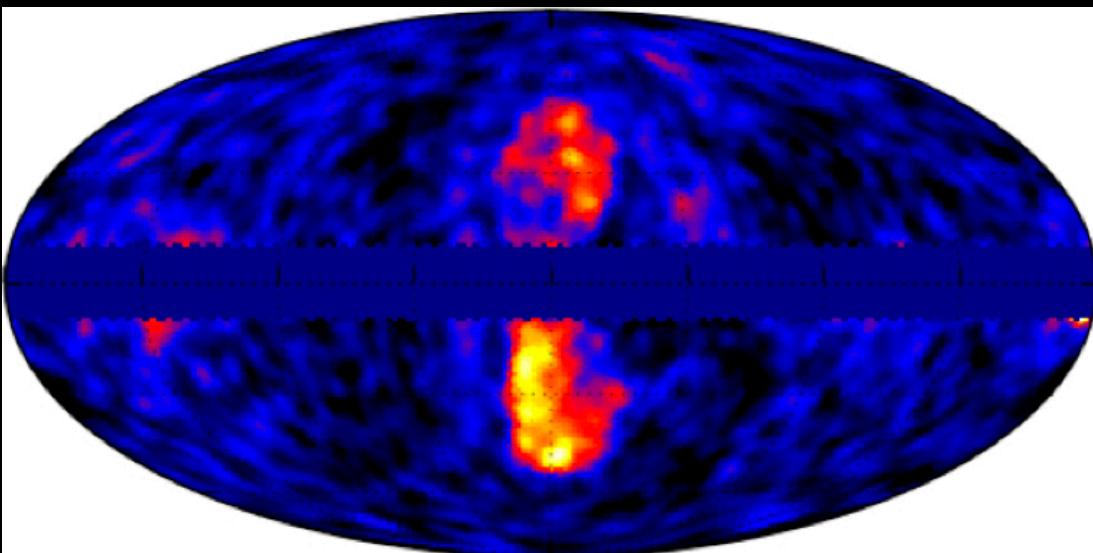
- Interaction RC+gaz
- Fond diffus extragalactique



Fermi bubbles

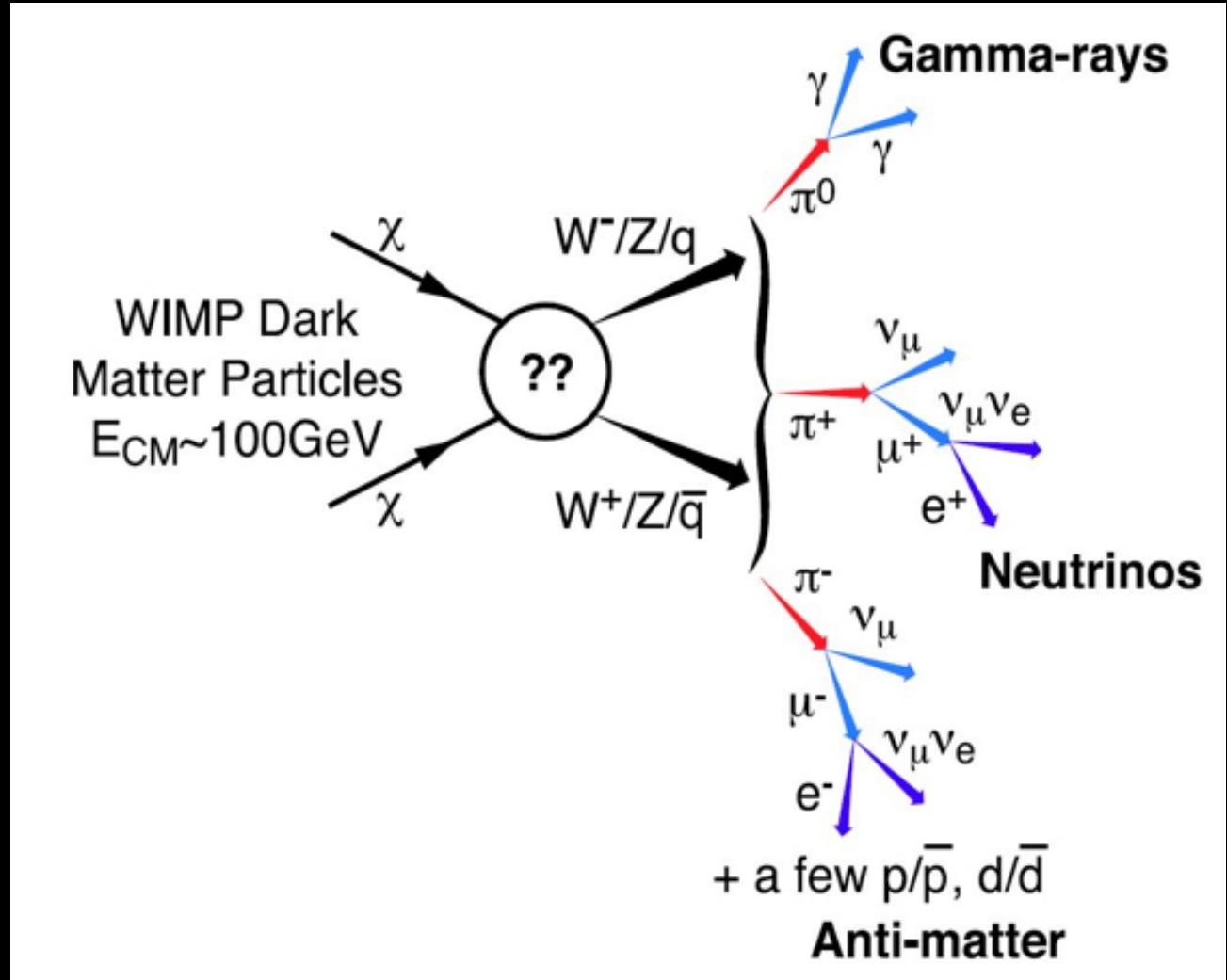
Connection avec le Centre Galactique

Reste d'activité?



La matière noire

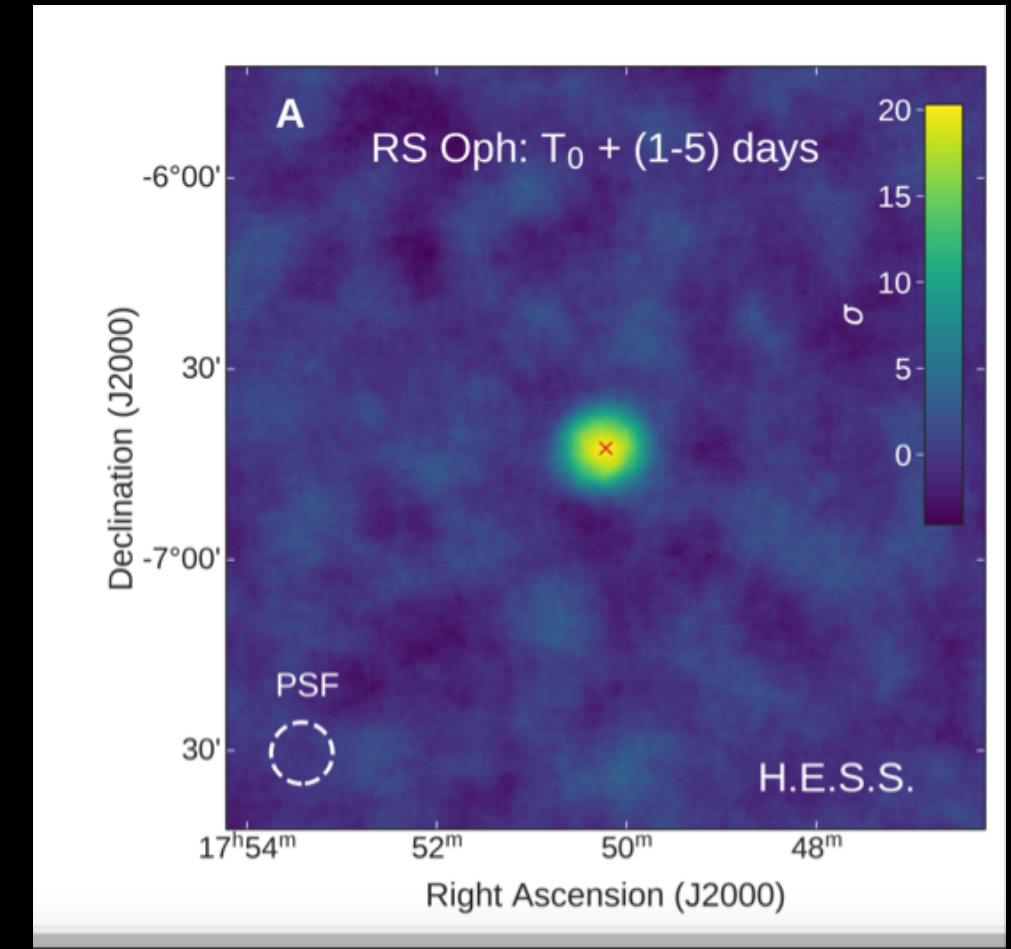
- Production de particules détectables par nos instruments (directement ou indirectement)



Annihilation de matière noire

Novae (2022)

Les novae sont de puissantes explosions à la surface d'une naine blanche dans un système à deux étoiles



énergies maximales prédites par les modèles théoriques

Autres sources

- Systèmes binaires : interaction entre les 2 astres -> accélération de particules
- Amas d'étoiles -> Vents de particules important
- Galaxies à Flambées d'étoiles -> nombre important de SN -> choc
- Micro-quazars -> trou noir de masse stellaire, jet -> gamma

Des questions ?