

# Le ciel en rayons gamma de hautes et très hautes énergies

Lyon, 15 janvier 2011

Guillaume Dubus

Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble

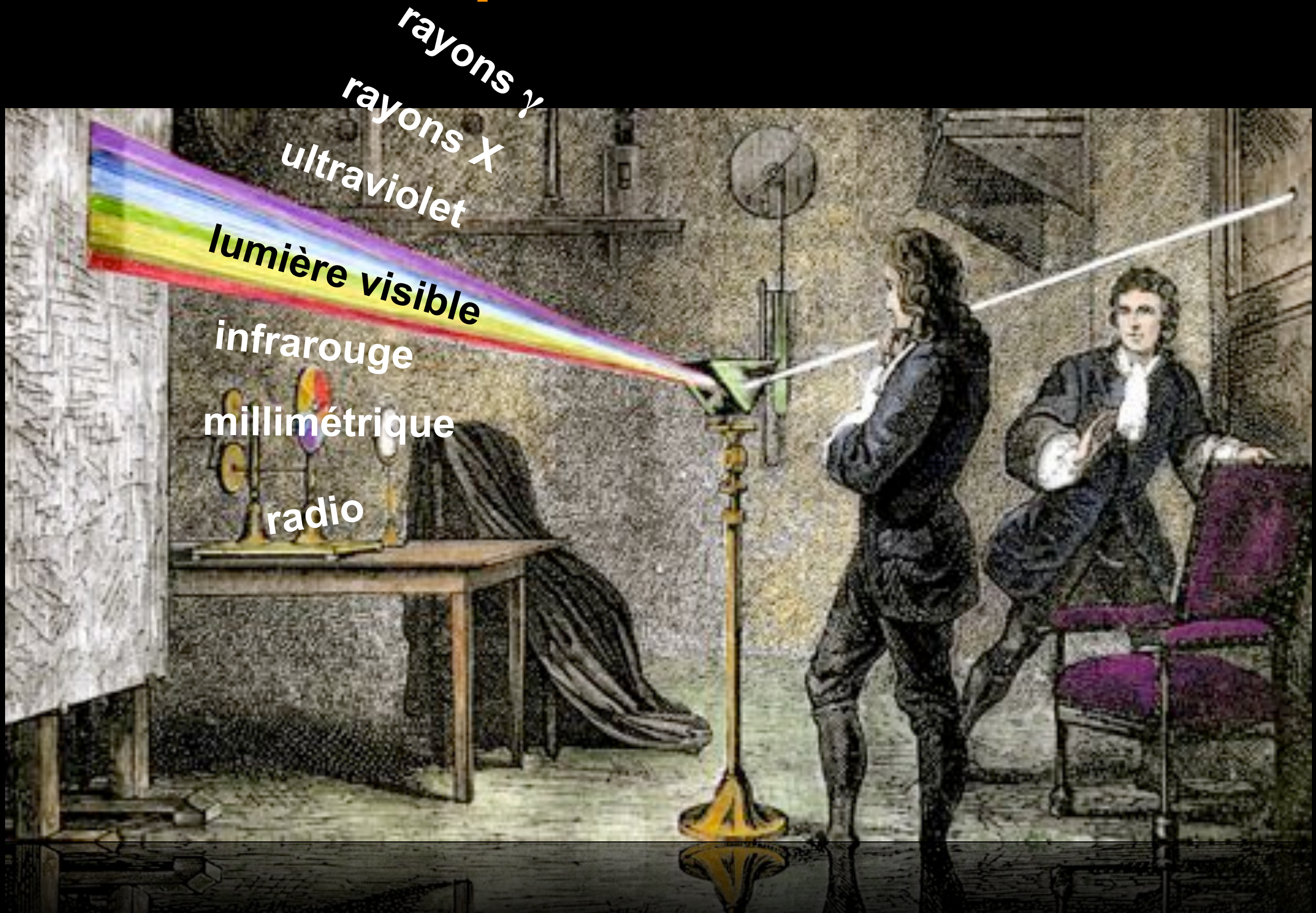


# Le ciel en lumière visible





# Newton le spectre de la lumière





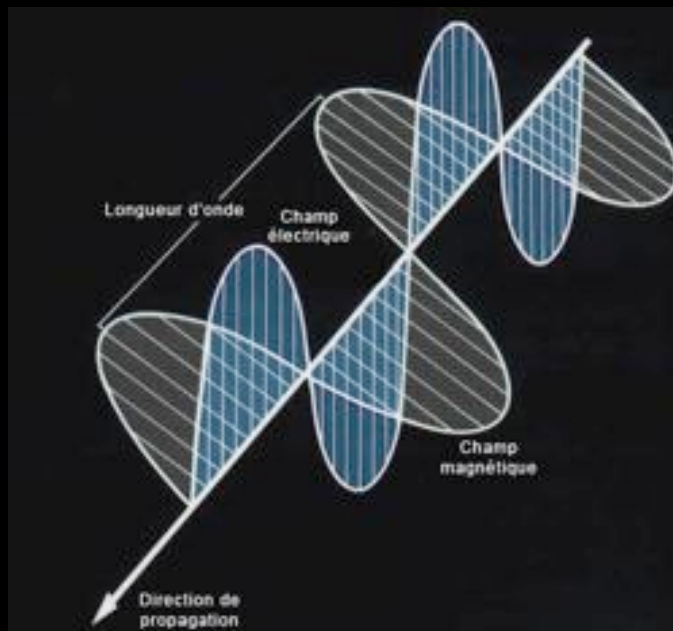
# La lumière

lumière visible

rayons gamma

radio	mm	IR		UV	rayons X	$\gamma$	$\gamma$ HE	$\gamma$ THE
1 m	longueur d'onde		$10^{-6}$ m	$10^{-9}$ m	$10^{-12}$ m	$10^{-14}$ m	$10^{-17}$ m	$10^{-20}$ m
100 MHz	fréquence		$10^{14}$ Hz	$10^{17}$ Hz	$10^{20}$ Hz	$10^{22}$ Hz	$10^{25}$ Hz	$10^{28}$ Hz
$10^{-6}$ eV	énergie		1 eV	$10^3$ eV	$10^6$ eV	$10^8$ eV	$10^{11}$ eV	$10^{14}$ eV

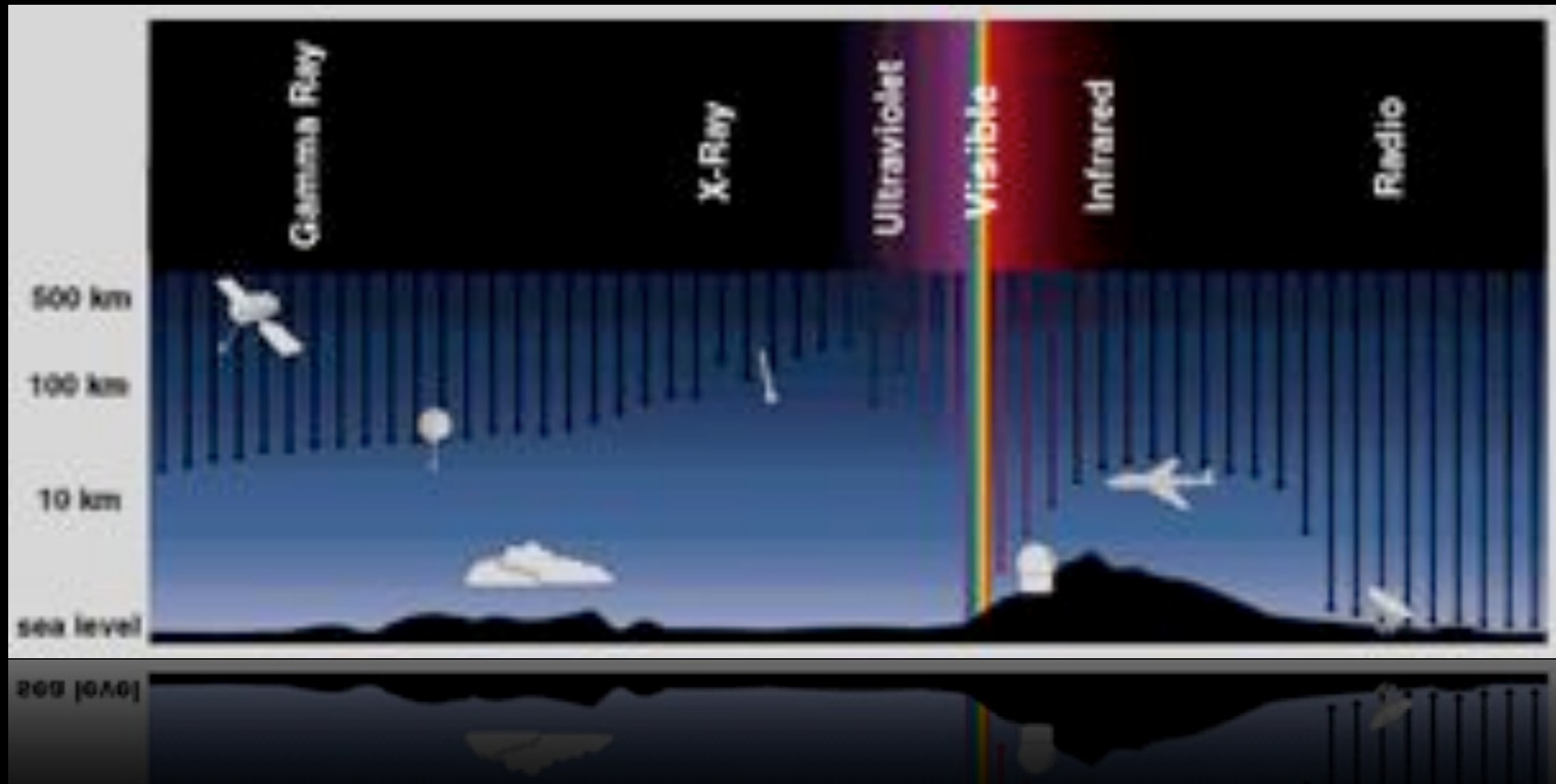
« onde »



« particule » : le photon

				bosons (forces)	
Quarks	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	173.2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 $\gamma$ photon	
	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluon	
	< 2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ $\nu_e$ neutrino électronique	< 0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ $\nu_\mu$ neutrino muonique	< 15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ $\nu_\tau$ neutrino tauique	91.2 GeV 0 1 $Z^0$ boson $Z^0$	interaction forte
Leptons	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ $\mu$ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ $\tau$ tau	80.4 GeV -1 1 $W^\pm$ boson W	interaction faible

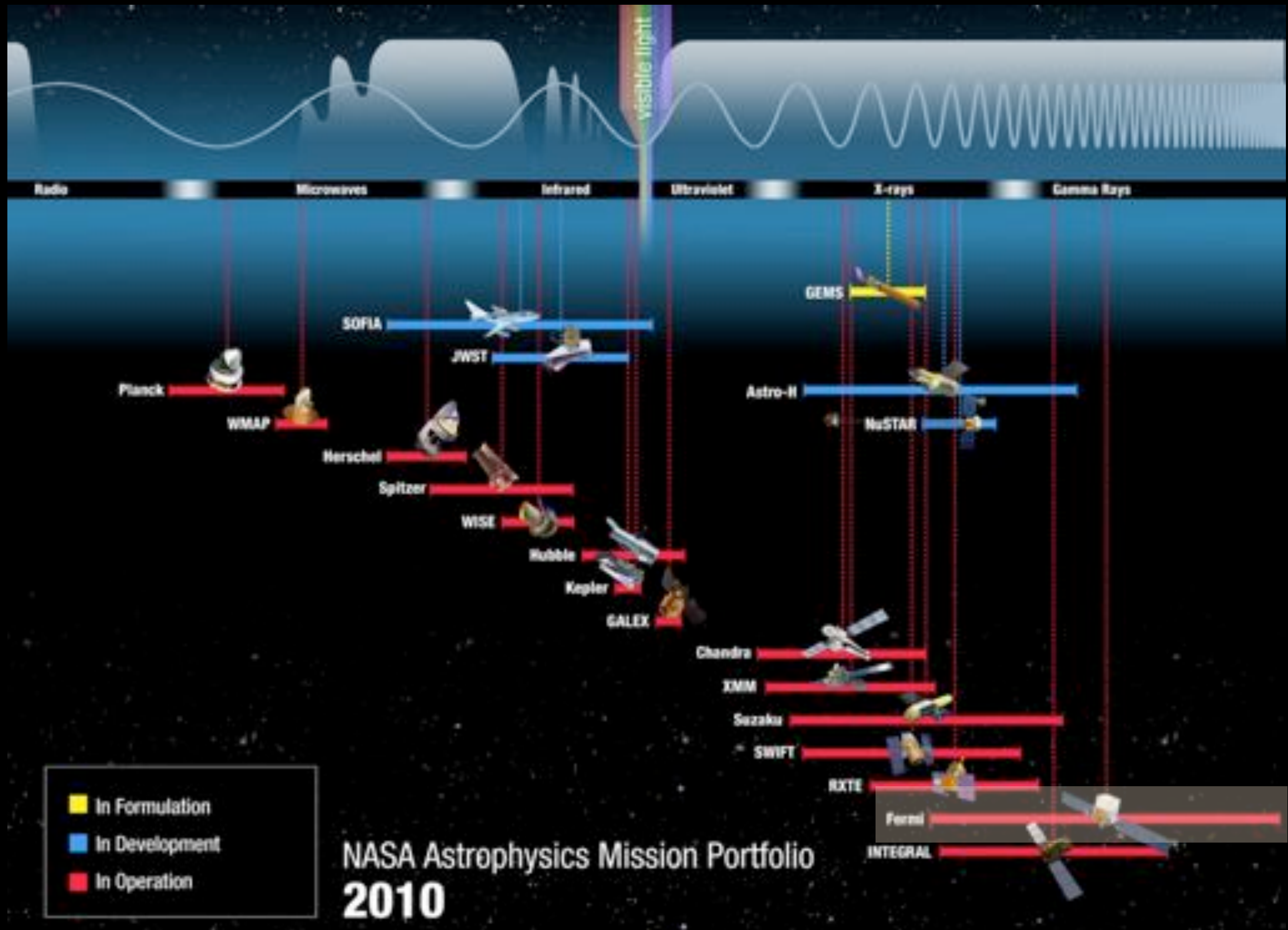
# L'atmosphère: un filtre



Ouverture de nouvelles “fenêtres” d’observation après 1945: développement spectaculaire de l’astrophysique.

*astronomie multi-longueur d’onde.*

# Observatoires spatiaux





# Observatoires gamma: Fermi

(Enrico FERMI, prix Nobel 1938)

Satellite lancé en juin 2008



*Fermi*

radio

mm

IR

UV

rayons X

$\gamma$

$\gamma$  HE

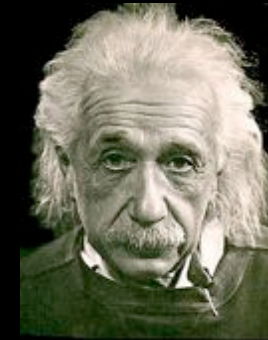
$\gamma$  THE

$10^8$  eV

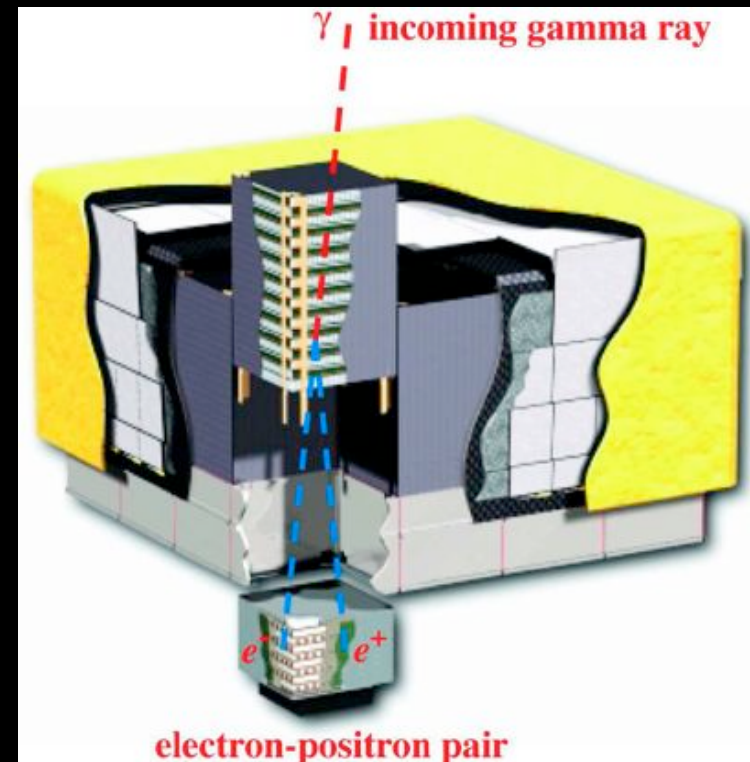
$10^{11}$  eV

# Observatoires gamma: Fermi

Principe de détection:  $E=mc^2$



rayon gamma (photon) + matière  $\rightarrow$  électron + positron



*Fermi*

radio

mm

IR

UV

rayons X

$\gamma$

$\gamma$  HE

$\gamma$  THE

$10^8$  eV

$10^{11}$  eV



# Observatoires gamma: Fermi



coll. Etats-Unis, France, Japon, Italie... environ 300 pers.  
données et outils d'analyse sont publics



*Fermi*

radio

mm

IR

UV

rayons X

$\gamma$

$\gamma$  HE

$\gamma$  THE

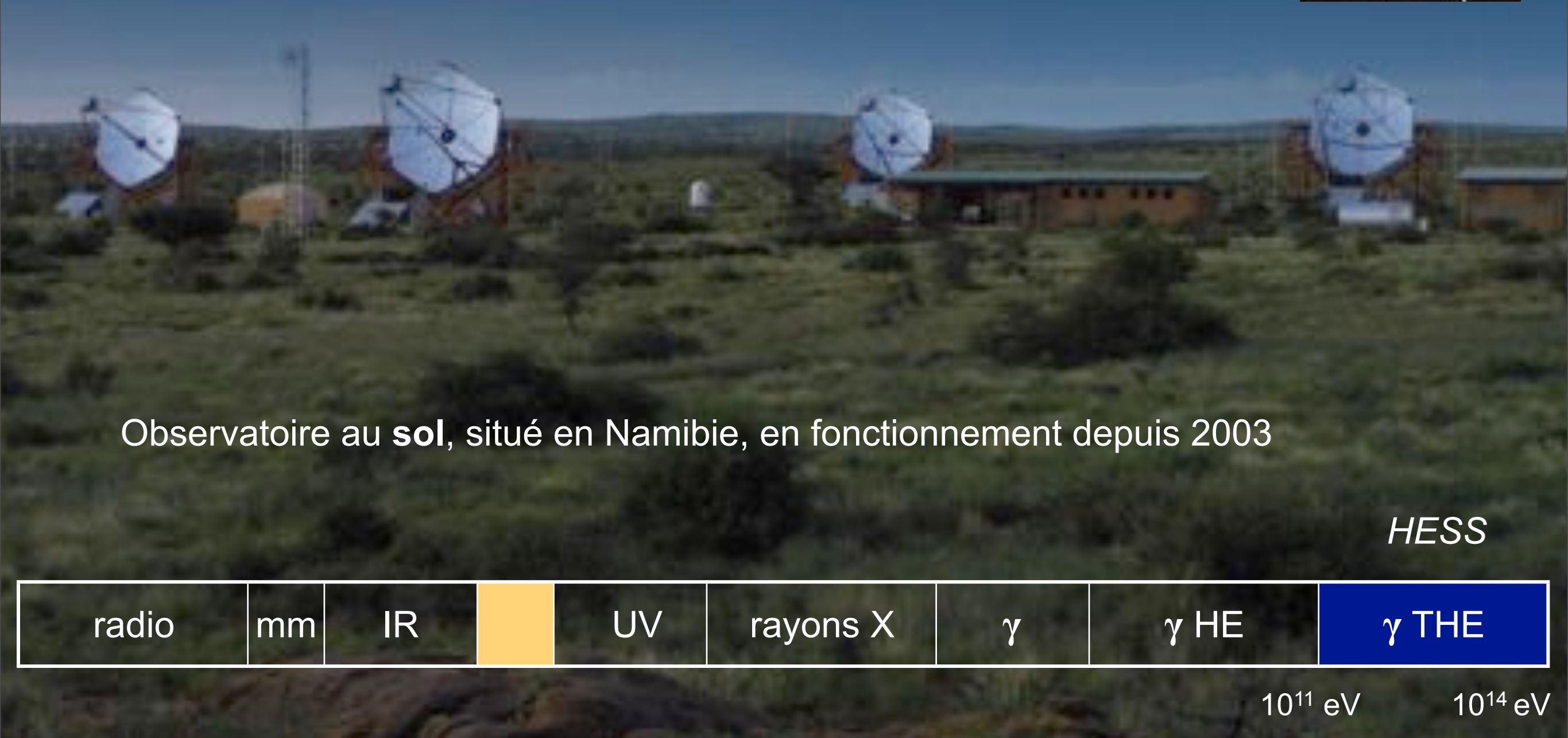
$10^8$  eV

$10^{11}$  eV

# Observatoires gamma: HESS

High Energy Stereoscopic System (*Victor HESS, prix Nobel 1936*)

collaboration France, Allemagne... 150 pers.



Observatoire au **sol**, situé en Namibie, en fonctionnement depuis 2003

*HESS*

radio

mm

IR

UV

rayons X

$\gamma$

$\gamma$  HE

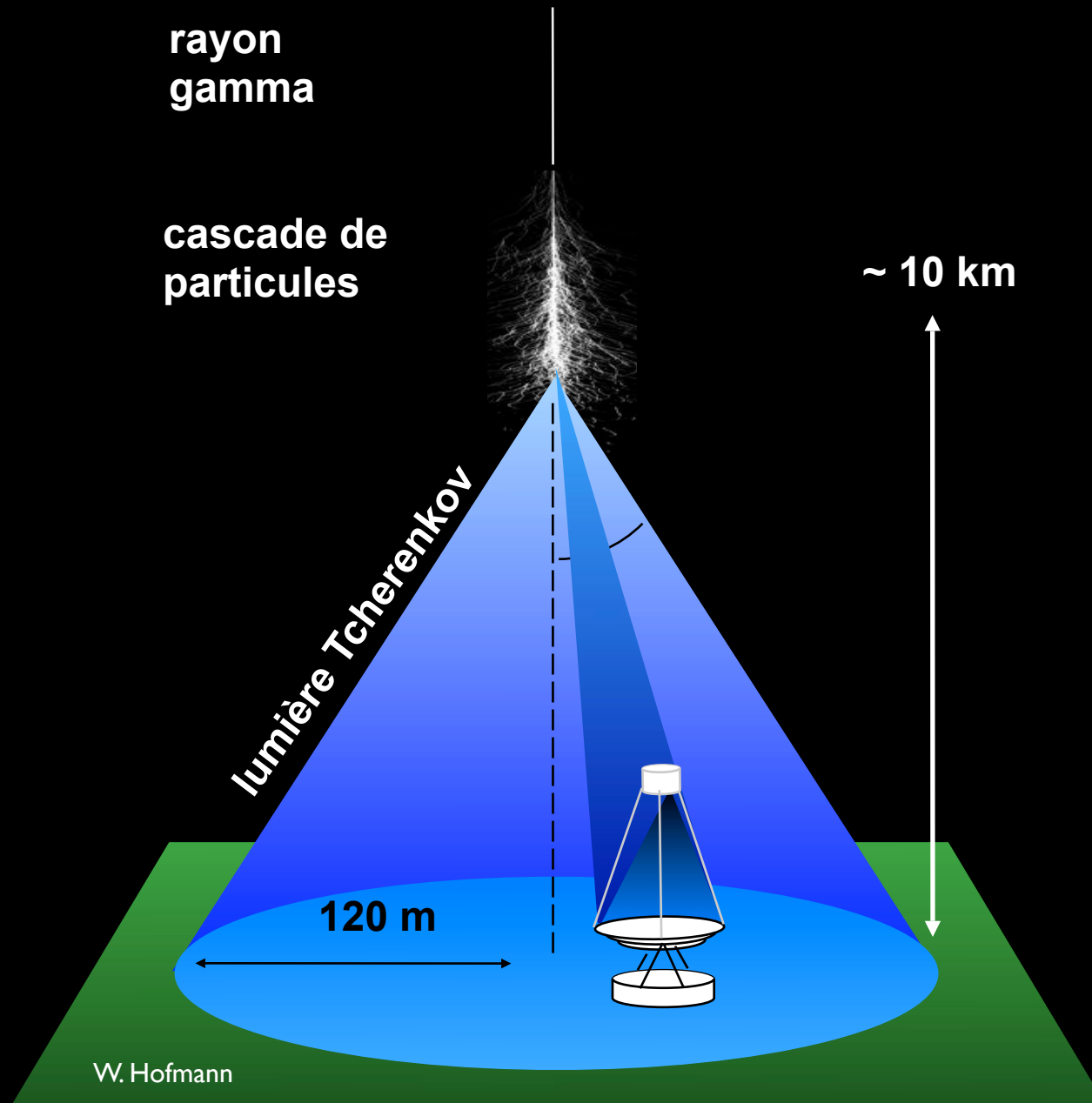
$\gamma$  THE

$10^{11}$  eV

$10^{14}$  eV



# Observatoires gamma: HESS



HESS

radio

mm

IR

UV

rayons X

$\gamma$

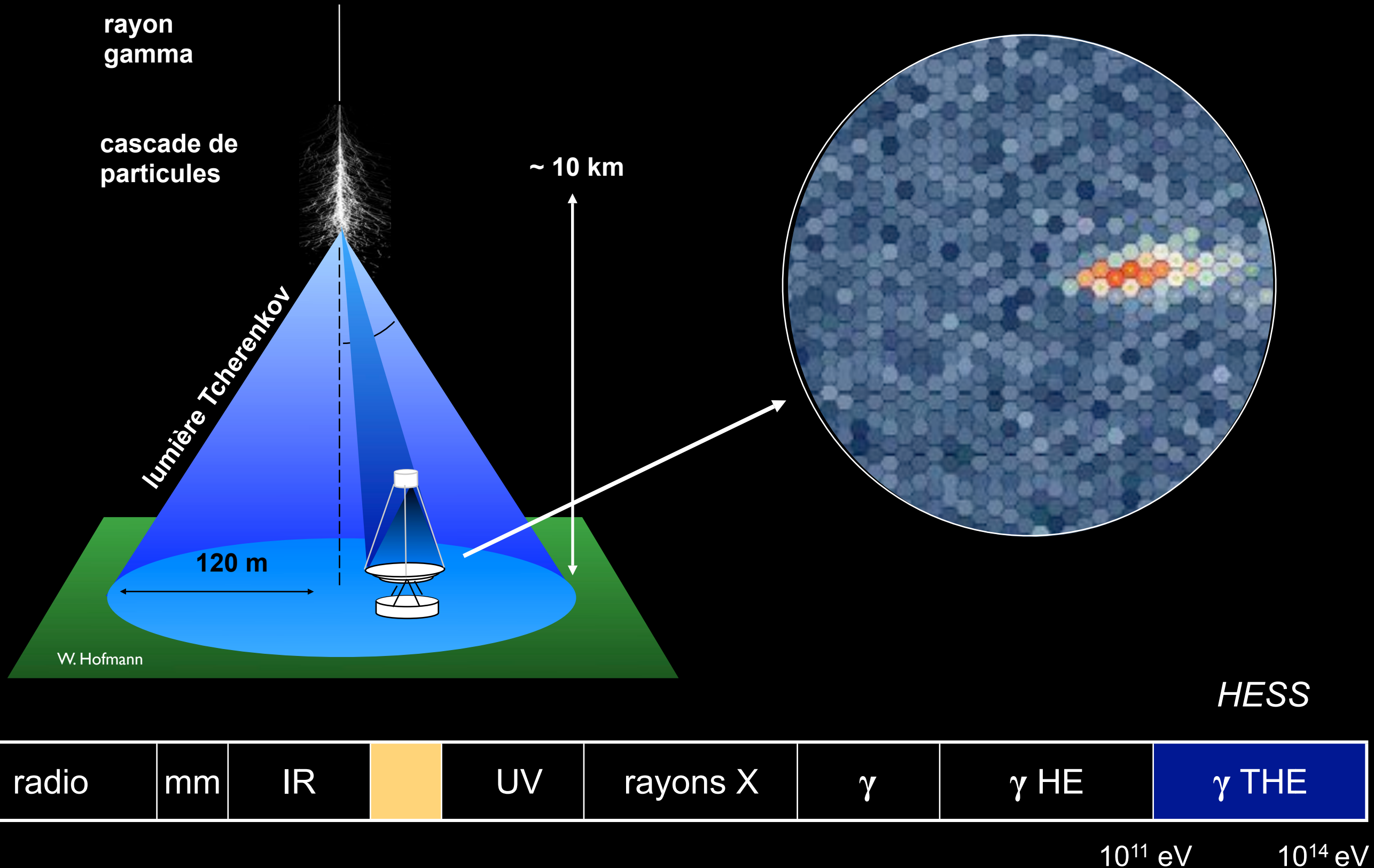
$\gamma$  HE

$\gamma$  THE

$10^{11}$  eV

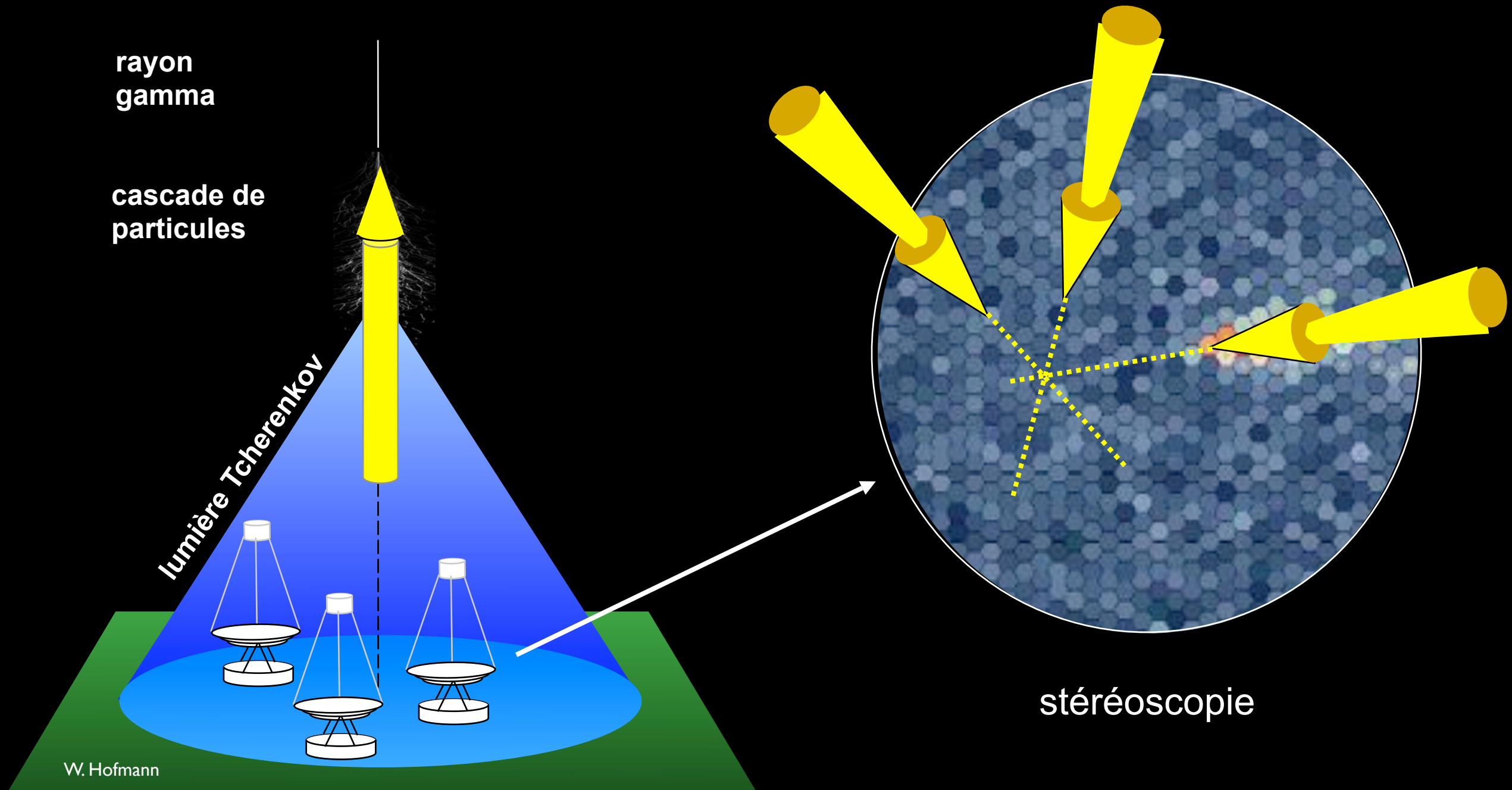
$10^{14}$  eV

# Observatoires gamma: HESS





# Observatoires gamma: HESS



radio

mm

IR

UV

rayons X

$\gamma$

$\gamma$  HE

$\gamma$  THE

$10^{11}$  eV

$10^{14}$  eV

# Astronomie gamma HE et THE

- ▶ liens forts avec la physique des particules
- ▶ domaine en évolution rapide
- ▶ sources et processus ?

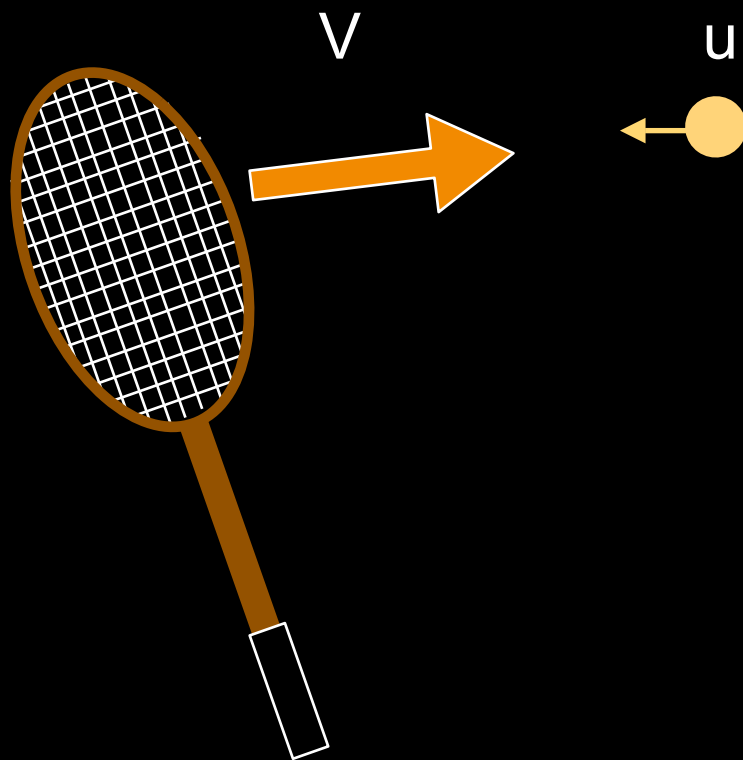
ciel vu par Fermi

sources HESS

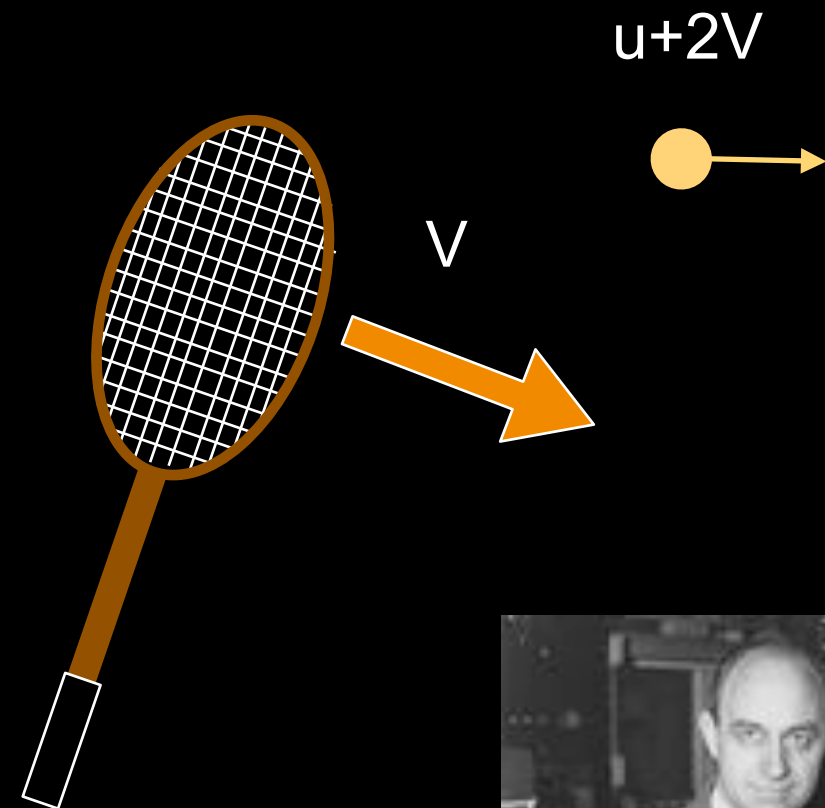


# Accélération de particules

1. balle de tennis arrive avec une vitesse  $u$  sur une raquette ayant une vitesse  $V$



2. la balle de tennis repart avec une vitesse  $u+2V$



3. La balle de tennis est accélérée à chaque fois que l'opération est répétée (son énergie augmente). **Accélération de Fermi.**

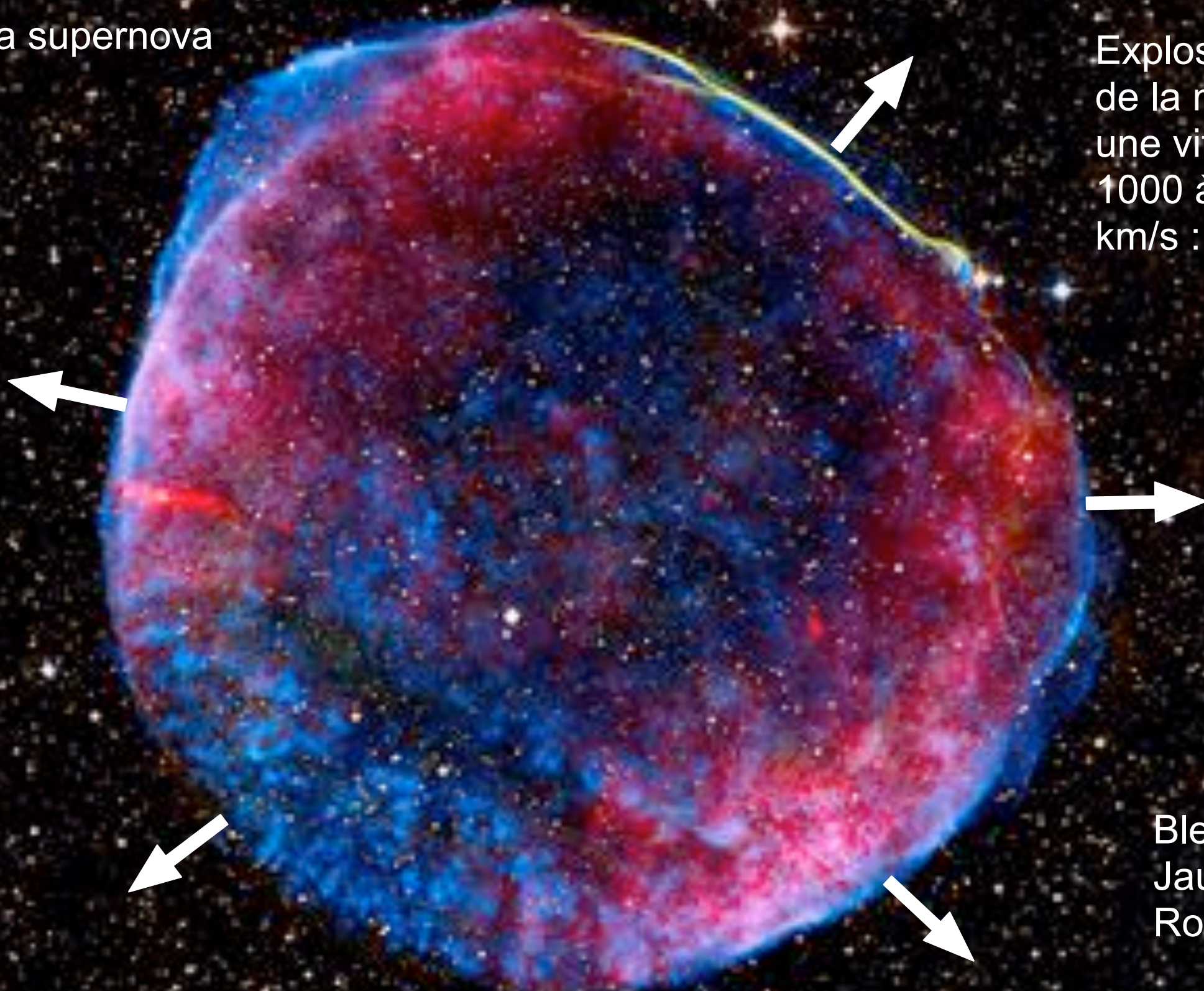




# Un accélérateur cosmique

Reste de la supernova  
SN 1006

Explosion éjecte  
de la matière à  
une vitesse de  
1000 à 10000  
km/s : choc



Bleu: rayons X  
Jaune: visible  
Rouge: radio



# Un accélérateur cosmique

Reste de la supernova  
SN 1006

accélération de particules au choc jusqu'à de très  
hautes énergies: le **rayonnement cosmique**

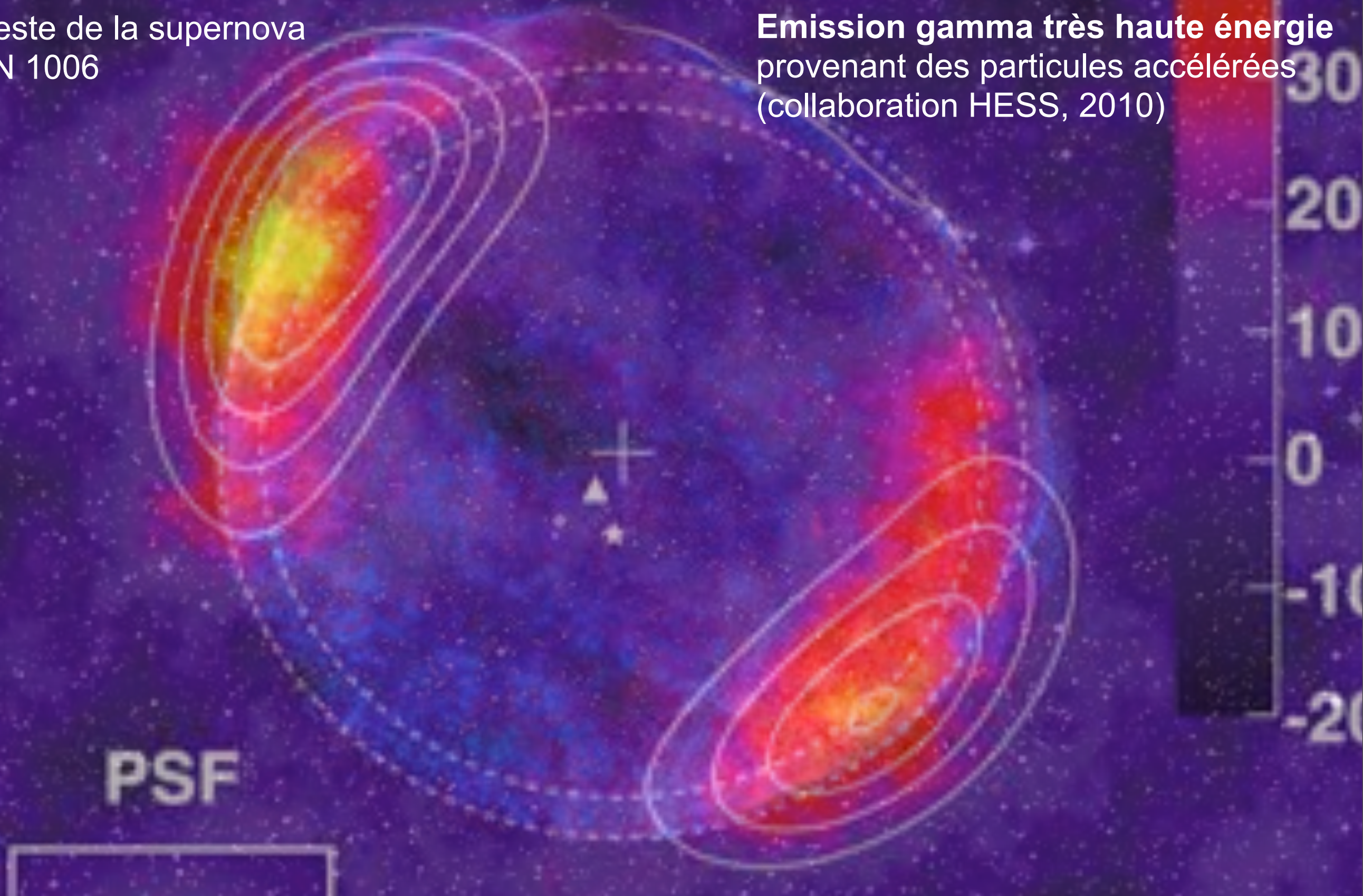




# Un accélérateur cosmique

Reste de la supernova  
SN 1006

**Emission gamma très haute énergie**  
provenant des particules accélérées  
(collaboration HESS, 2010)

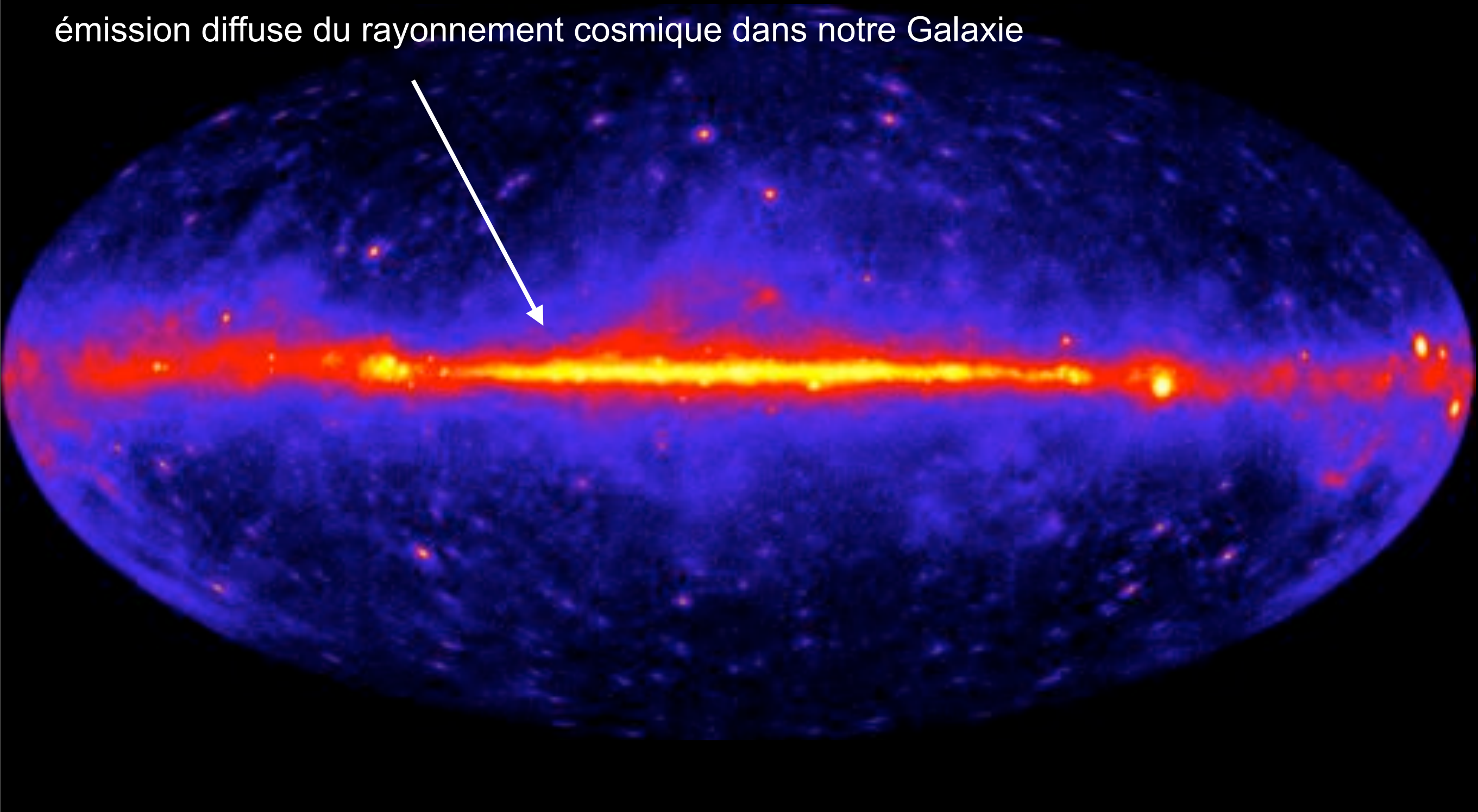




# Le ciel en gamma hautes énergies

émission des électrons et protons de haute et très haute énergie

émission diffuse du rayonnement cosmique dans notre Galaxie



# Le ciel en gamma hautes énergies

observations satellite Fermi après 1 an prise de données (fin 2009)

trous noirs supermassifs

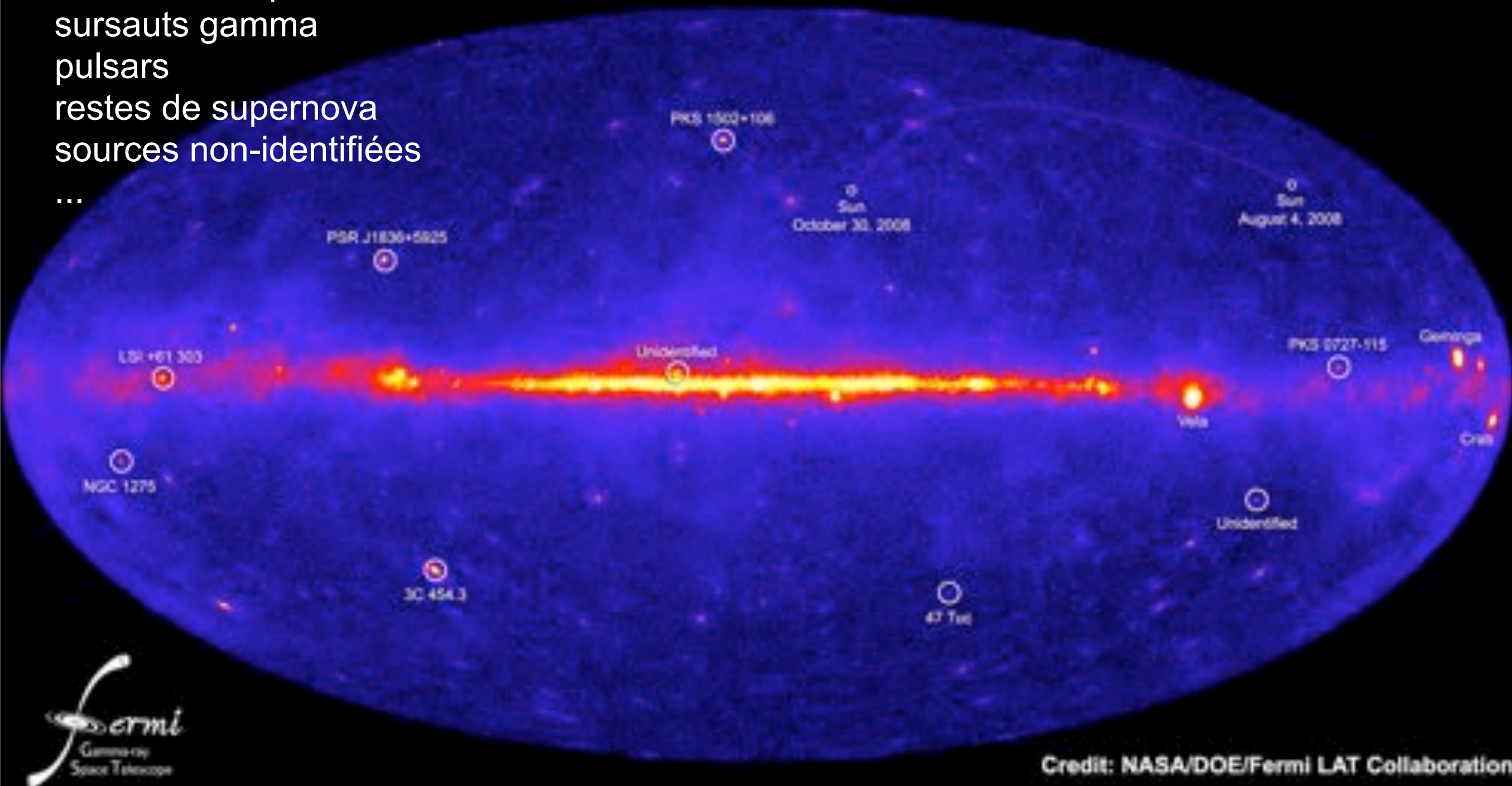
sursauts gamma

pulsars

restes de supernova

sources non-identifiées

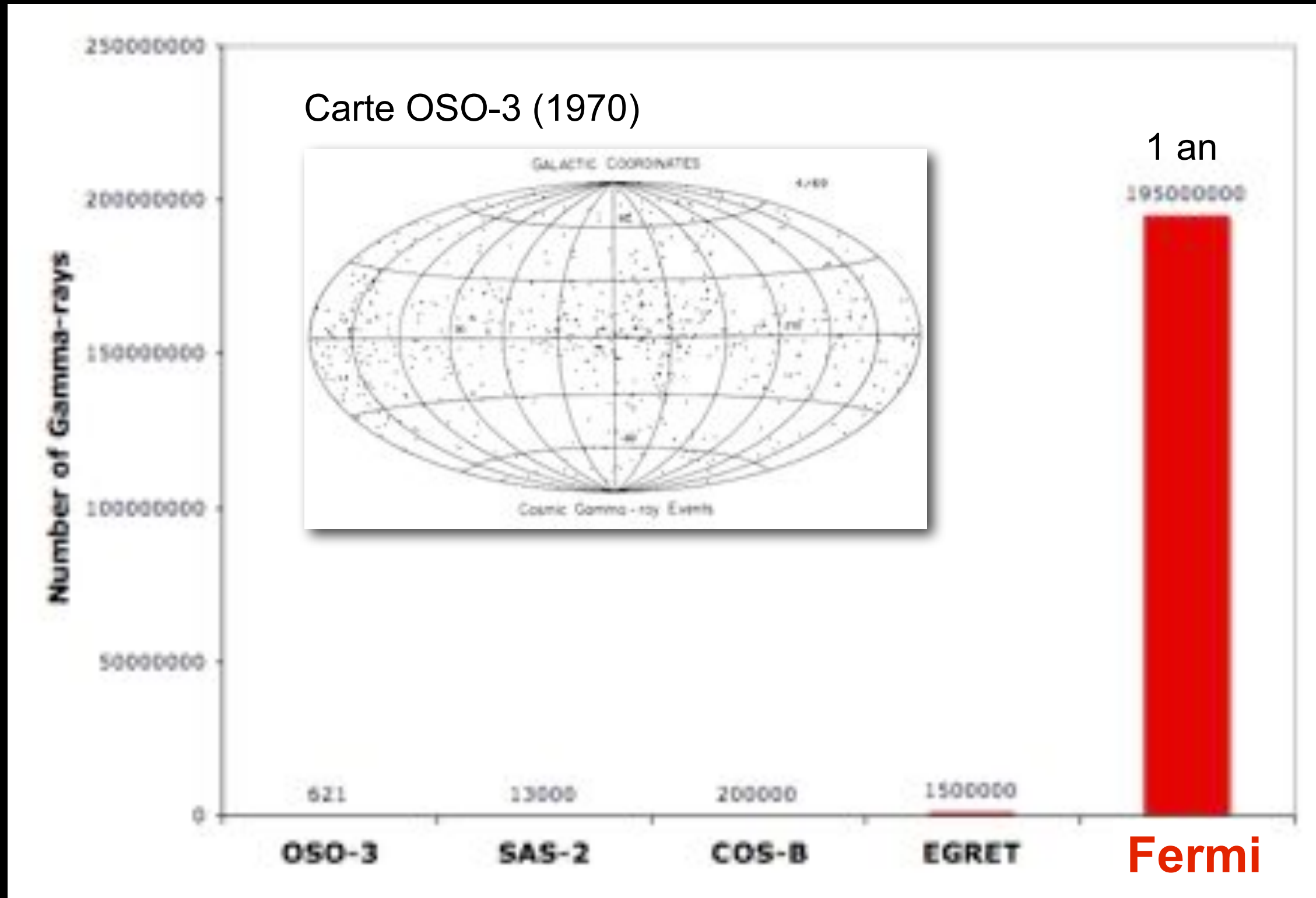
...



Credit: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration



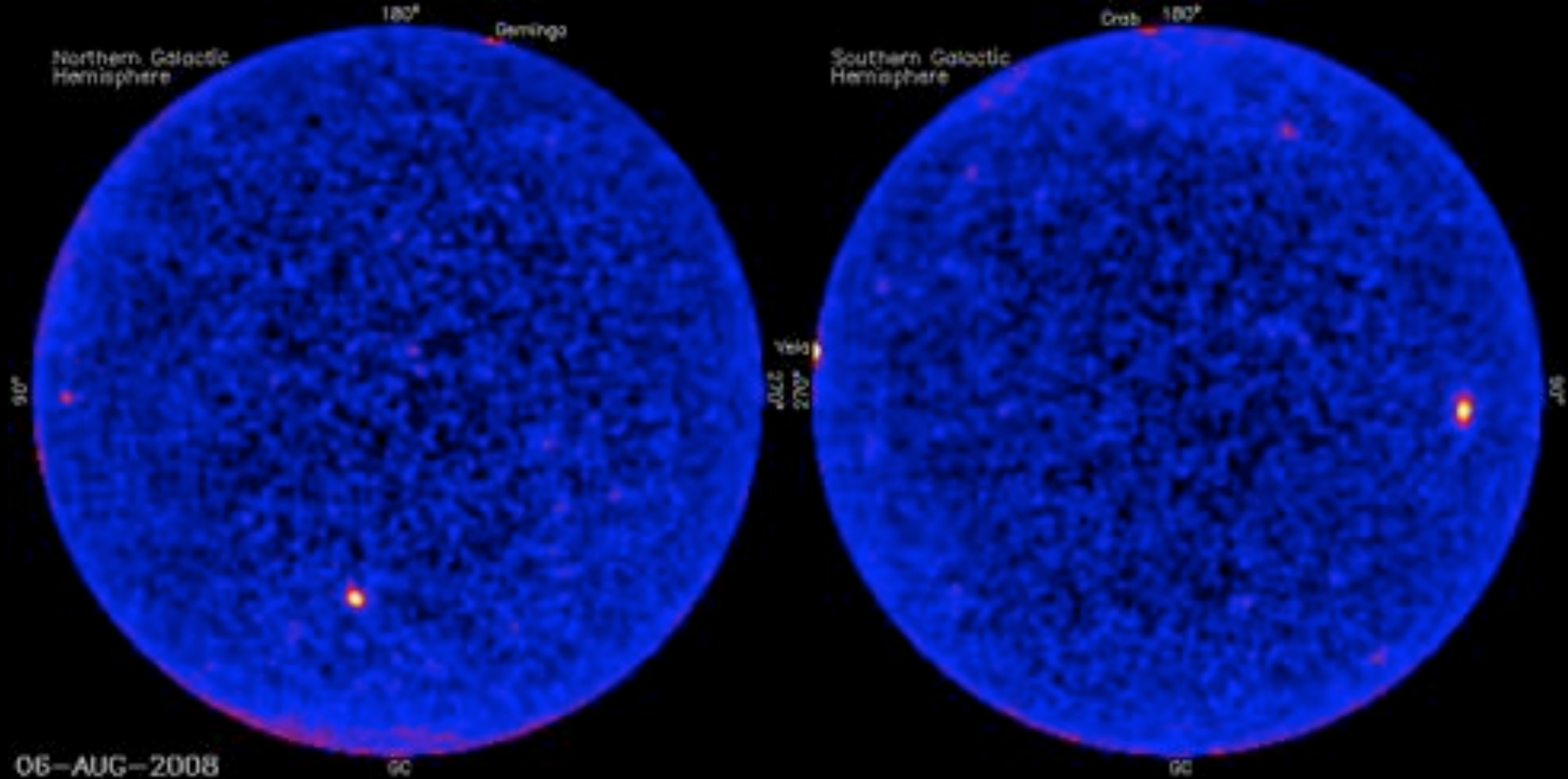
# Photons gamma détectés



*Fermi*  
détecte en  
moyenne  
6 photons  
gamma par  
seconde

nombre de sources ~ 20 ~ 270 ~ 1500

# Variabilité du ciel gamma (Fermi)



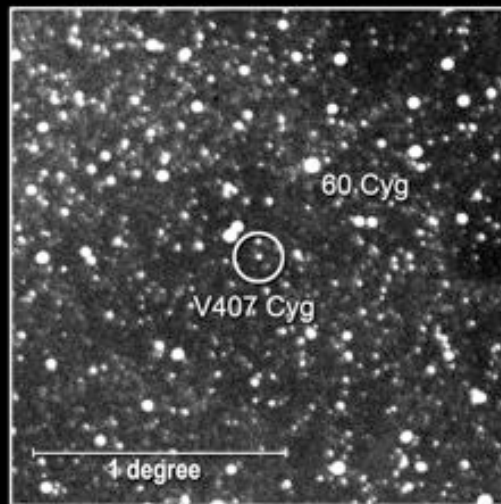


# Emission gamma d'une nova

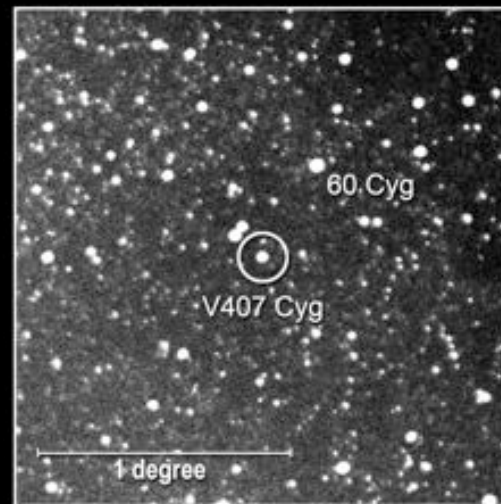
explosion thermonucléaire à la surface d'une naine blanche ds notre galaxie

découverte par deux astronomes amateurs japonais

**Nova Cygni 2010 in Visible Light**



March 7, 20:36 UT



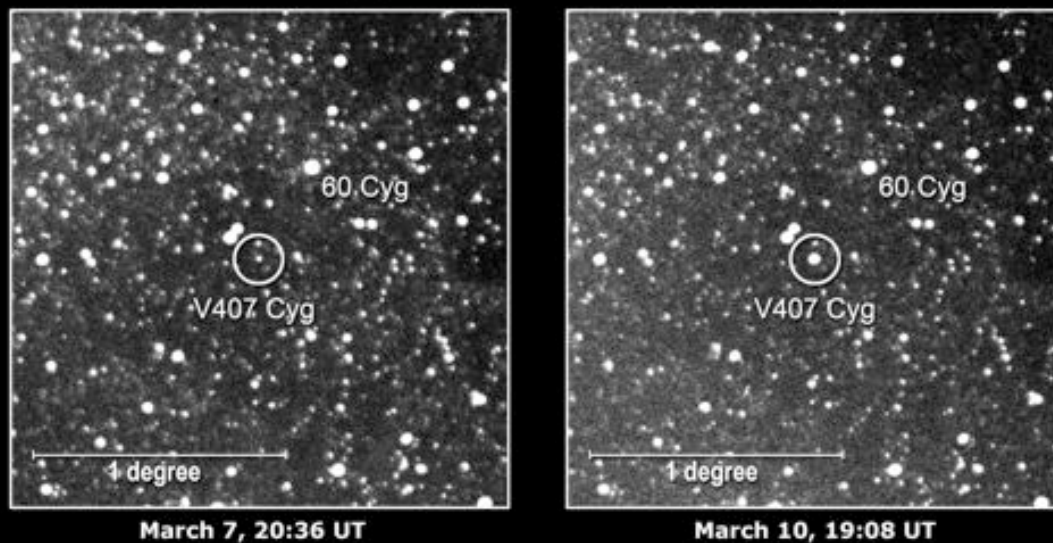
March 10, 19:08 UT



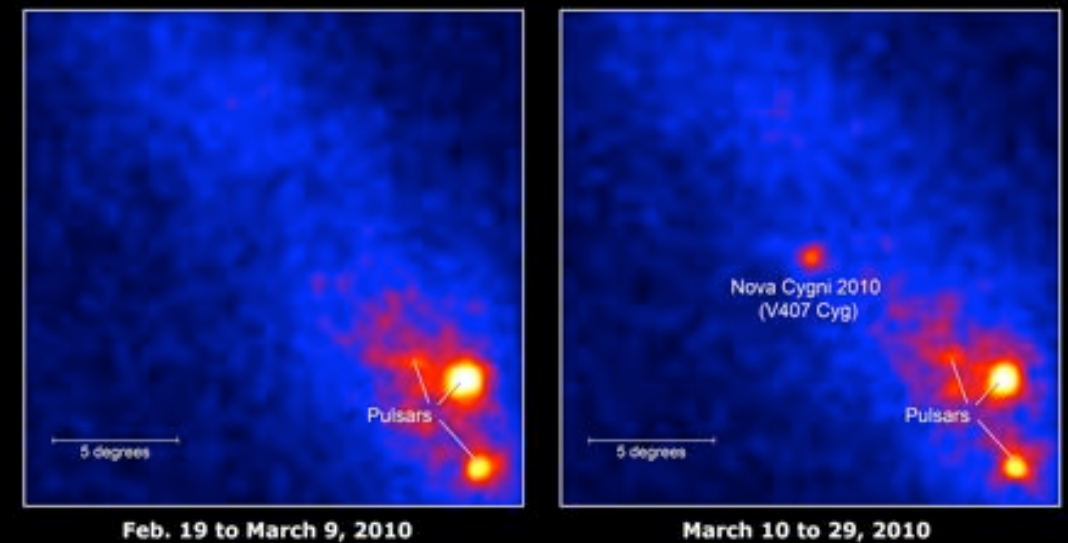
# Emission gamma d'une nova

explosion thermonucléaire à la surface d'une naine blanche ds notre galaxie

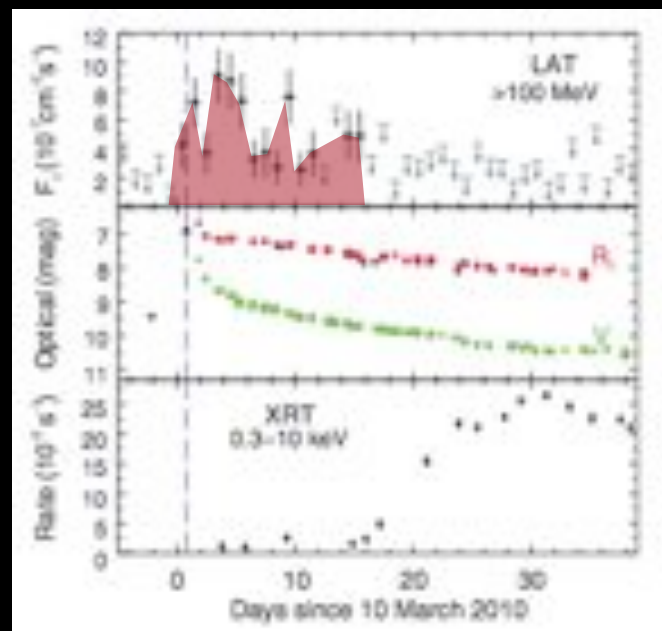
**Nova Cygni 2010 in Visible Light**



**Fermi Detects Gamma Rays from Nova Cygni 2010**



éjection de matière (mini supernova), interaction avec environnement génère  $\gamma$



gamma

visible

X

## Nova explosion in RS Ophiuchi

Rolf Walder,<sup>1,2,3</sup> Doris Folini,<sup>1</sup> Steven N. Shore<sup>3,4</sup>

1) Institute for Astronomy, ETH-Zurich

2) Observatoire de Genève, Université de Genève

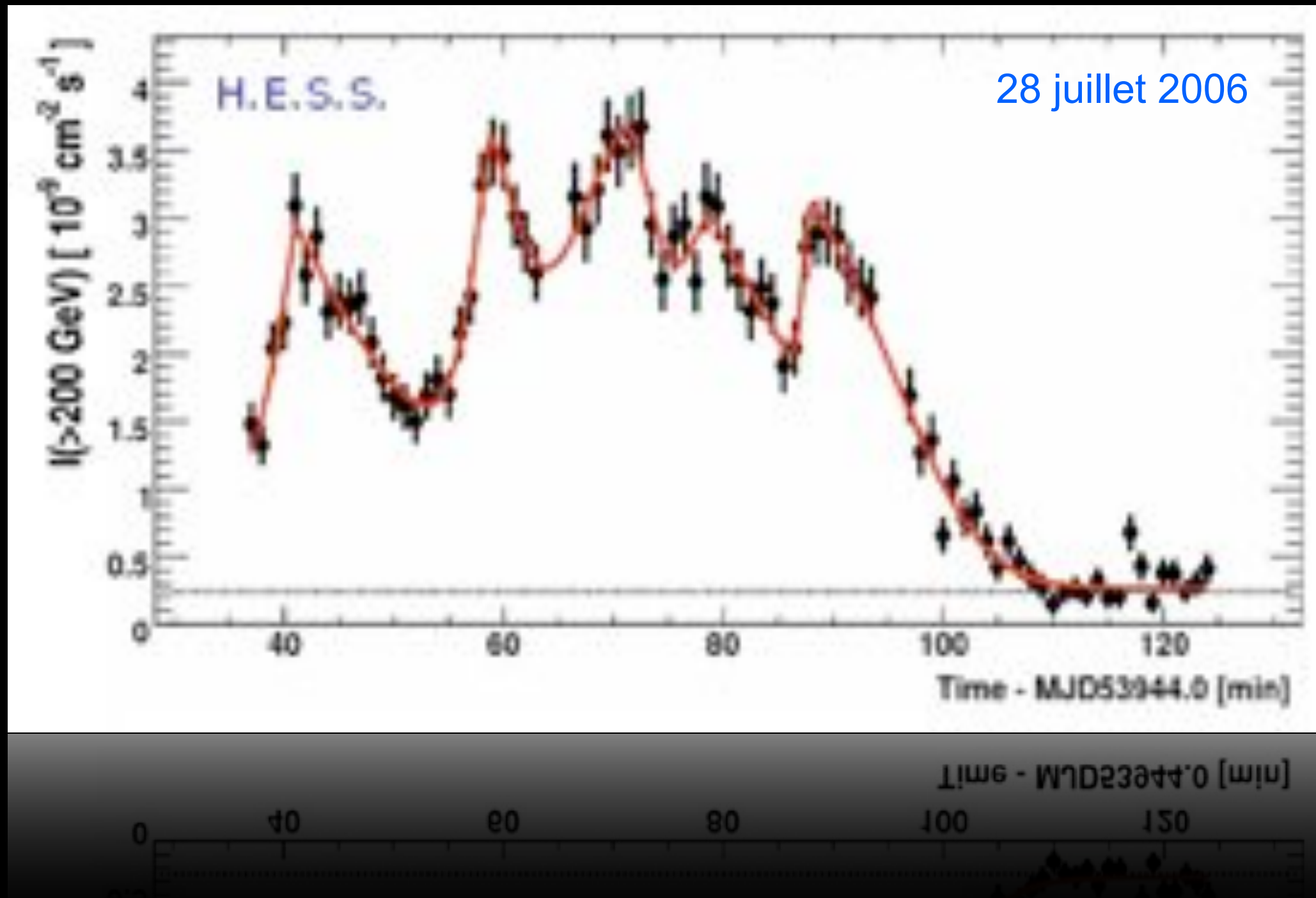
3) Dipartimento di Fisica 'Enrico Fermi', Università di Pisa

4) INFN/Pisa

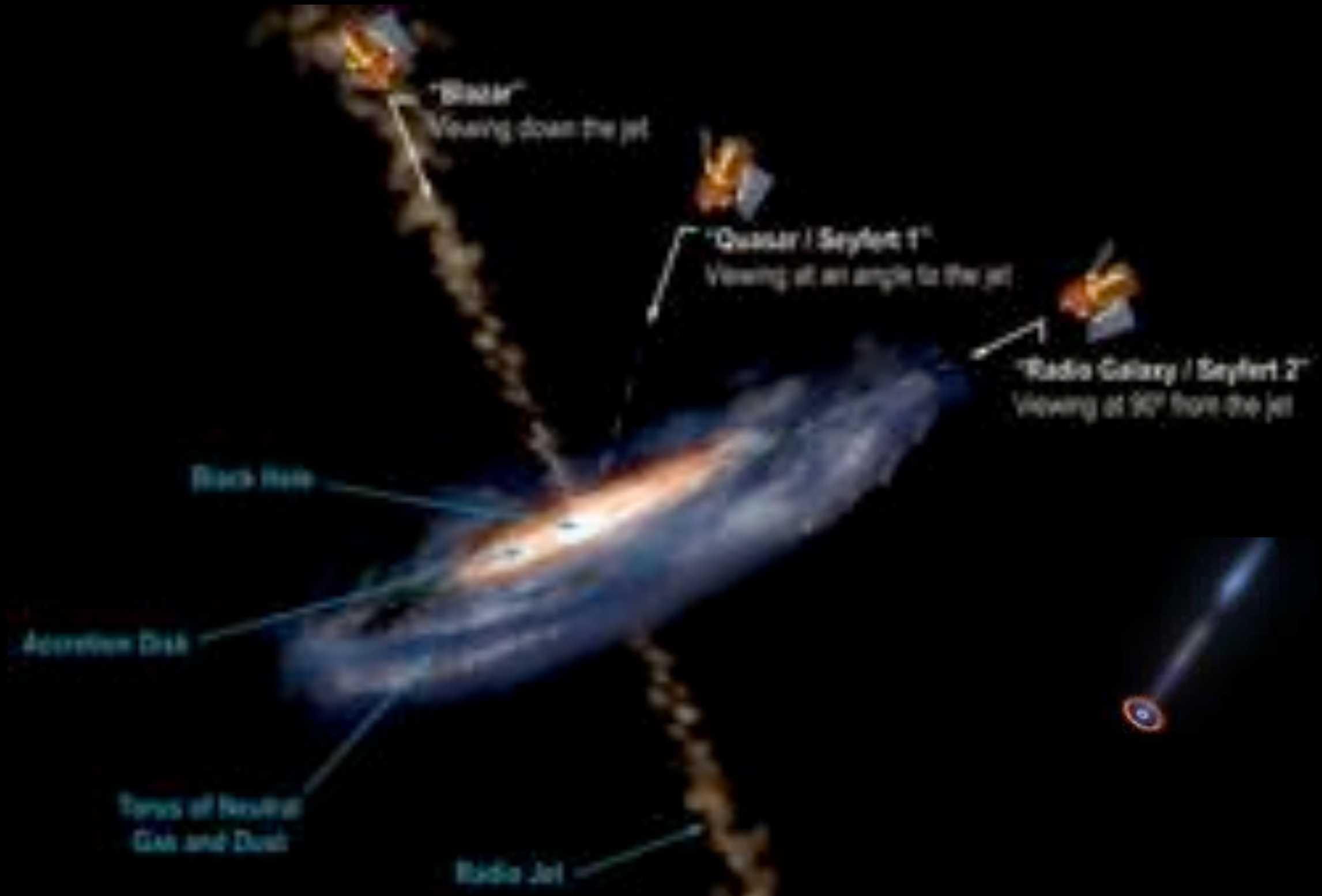


# Variabilité gamma très rapide !

Variabilité détectée jusqu'à des échelles de temps de quelques minutes dans des noyaux actifs de galaxies appelés *blazars*

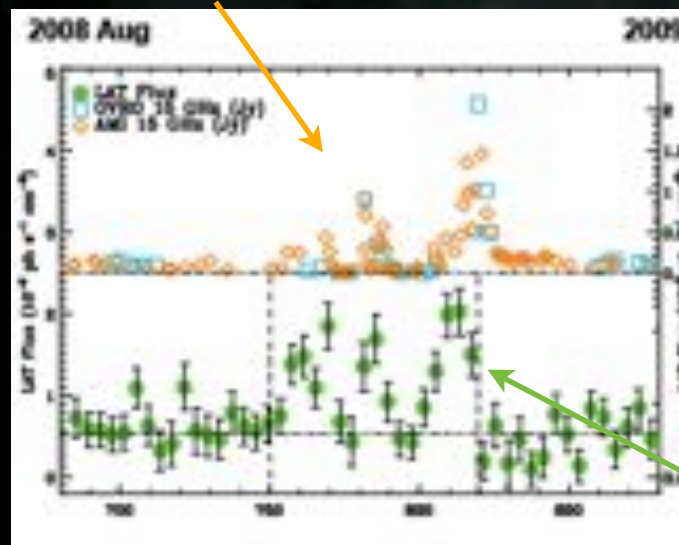
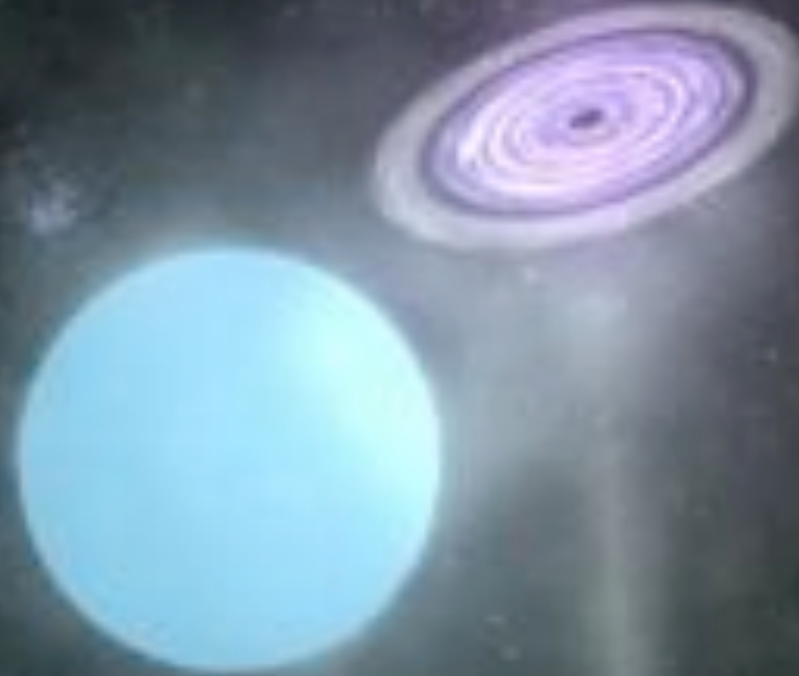


# Noyau actif de galaxie



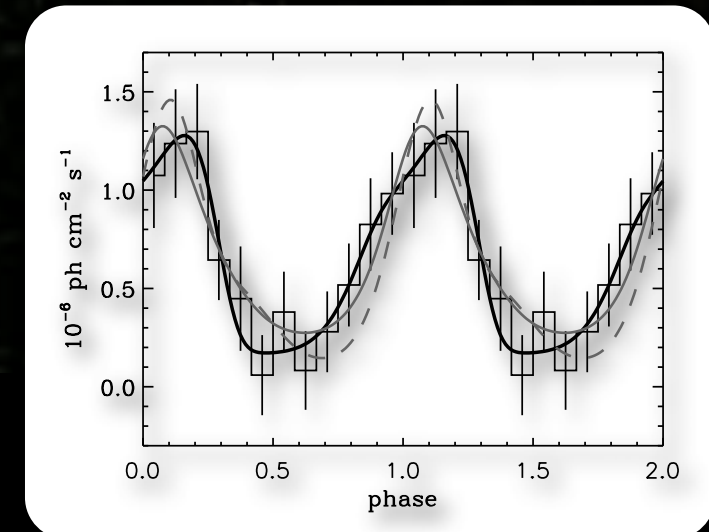


# Emission gamma des étoiles binaires



Cygnus X-3: étoile binaire.  
émission gamma liée aux  
éjections relativistes (radio)

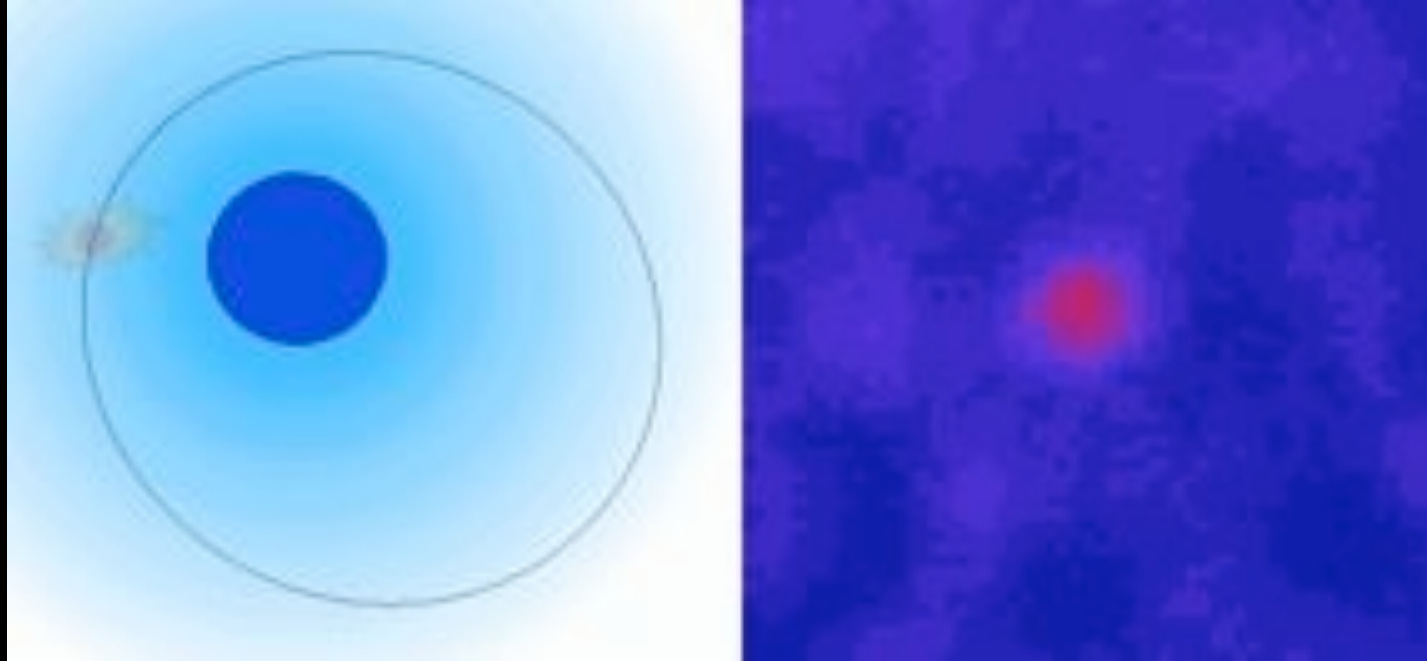
Fermi observe une modulation  
orbitale (5h) du flux de photons  $\gamma$  :  
contraint la localisation de  
l'émission dans la binaire.



# Emission gamma des étoiles binaires

binaire LS 5039

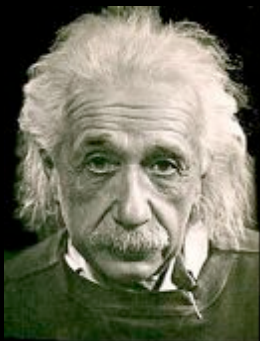
observations HESS (2003-2005)



Modulation orbitale du flux gamma très haute énergie

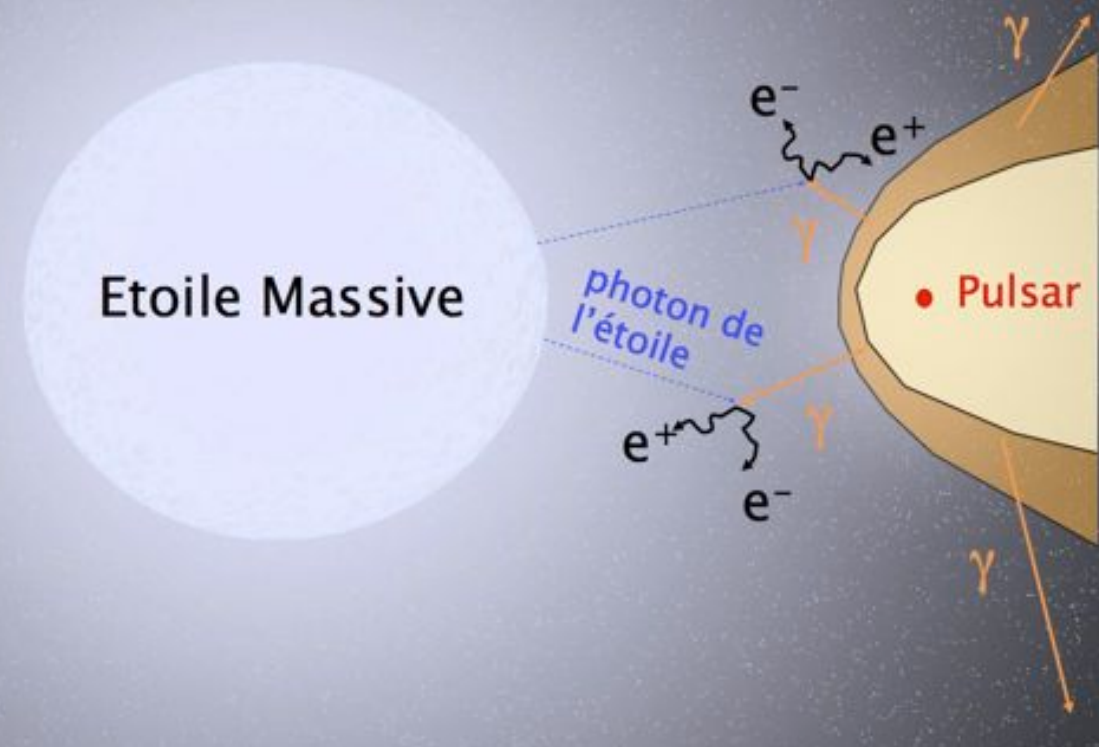
Annihilation photon photon

photon gamma + photon (étoile)  $\rightarrow$  électron + positron



$E=mc^2$  en action

LS 5039





# Résumé

- La lumière visible n'est qu'une petite partie de la lumière émise par des sources cosmiques.
- L'astronomie gamma est un domaine en plein essor.
- En gamma, on observe l'émission de particules de haute énergie (rayons cosmiques).
- Ces particules sont produites lors d'événements violents.