

SAF

# Les nouveaux messagers du Cosmos

Nathalie Palanque-Delabrouille  
CEA-Saclay  
20 septembre 2014

# Observations multi longueurs d'onde



1km

1m

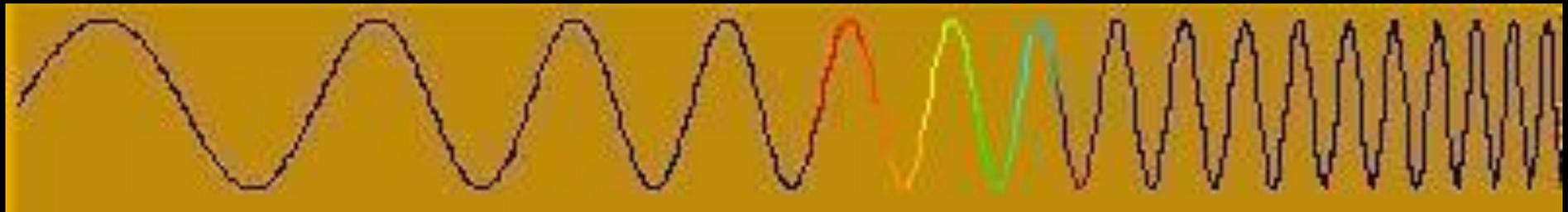
1mm

1 $\mu$ m

0,1 $\mu$ m

10nm

0,01nm



Radio

Micro-onde

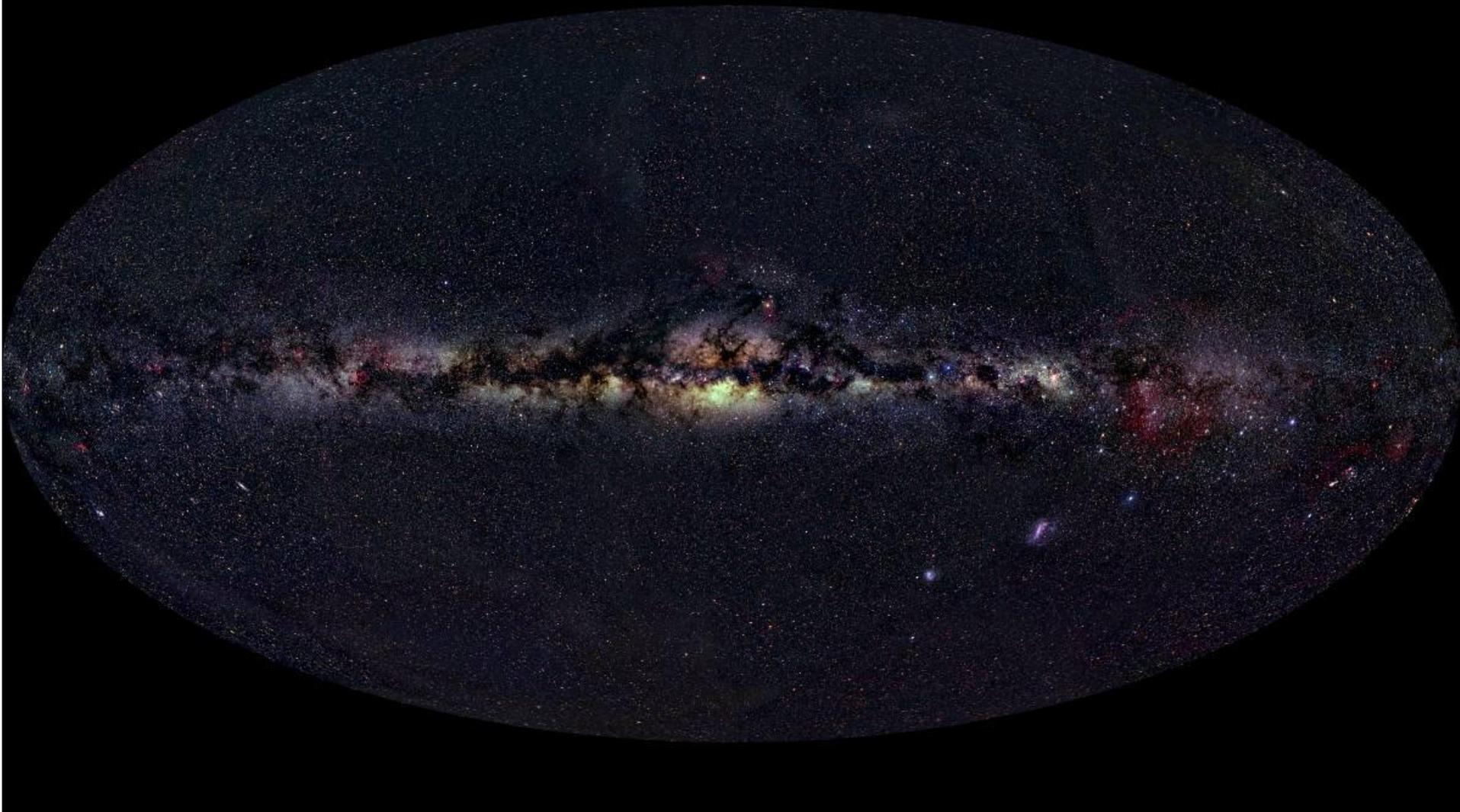
Infrarouge

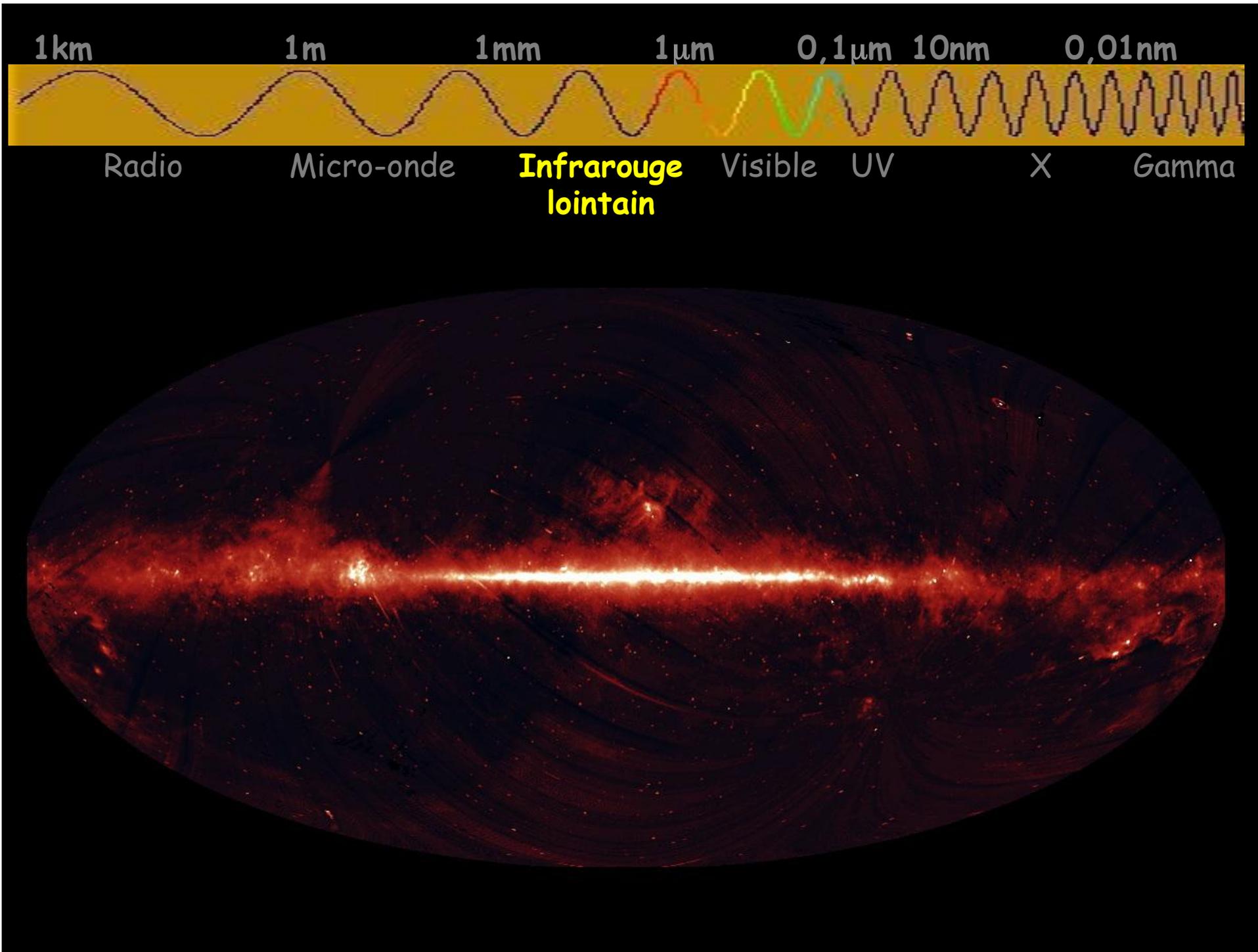
Visible

UV

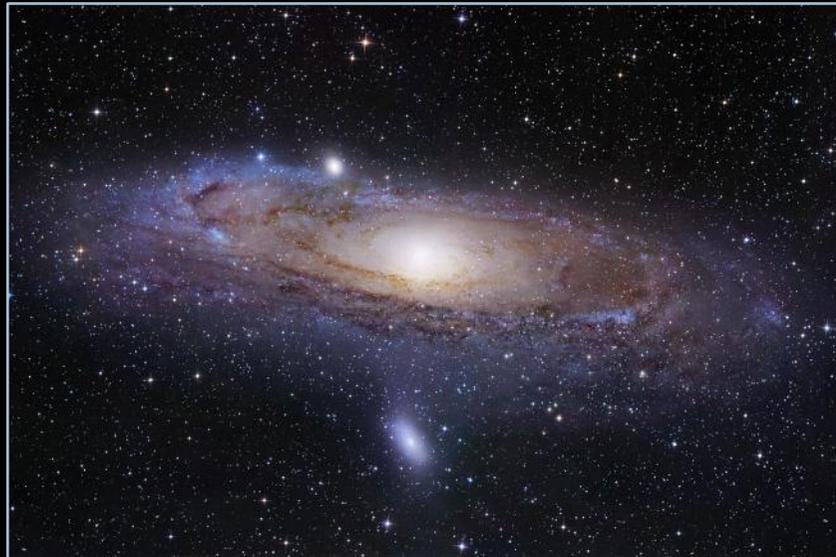
X

Gamma

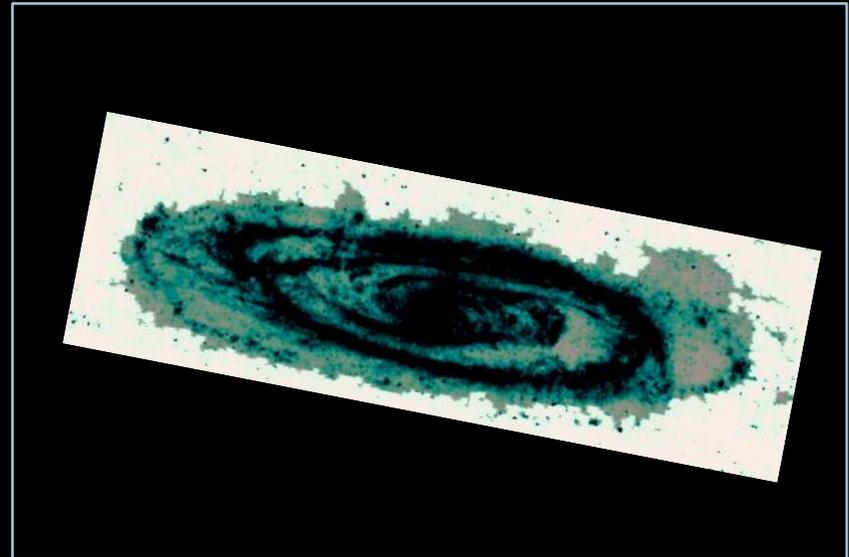




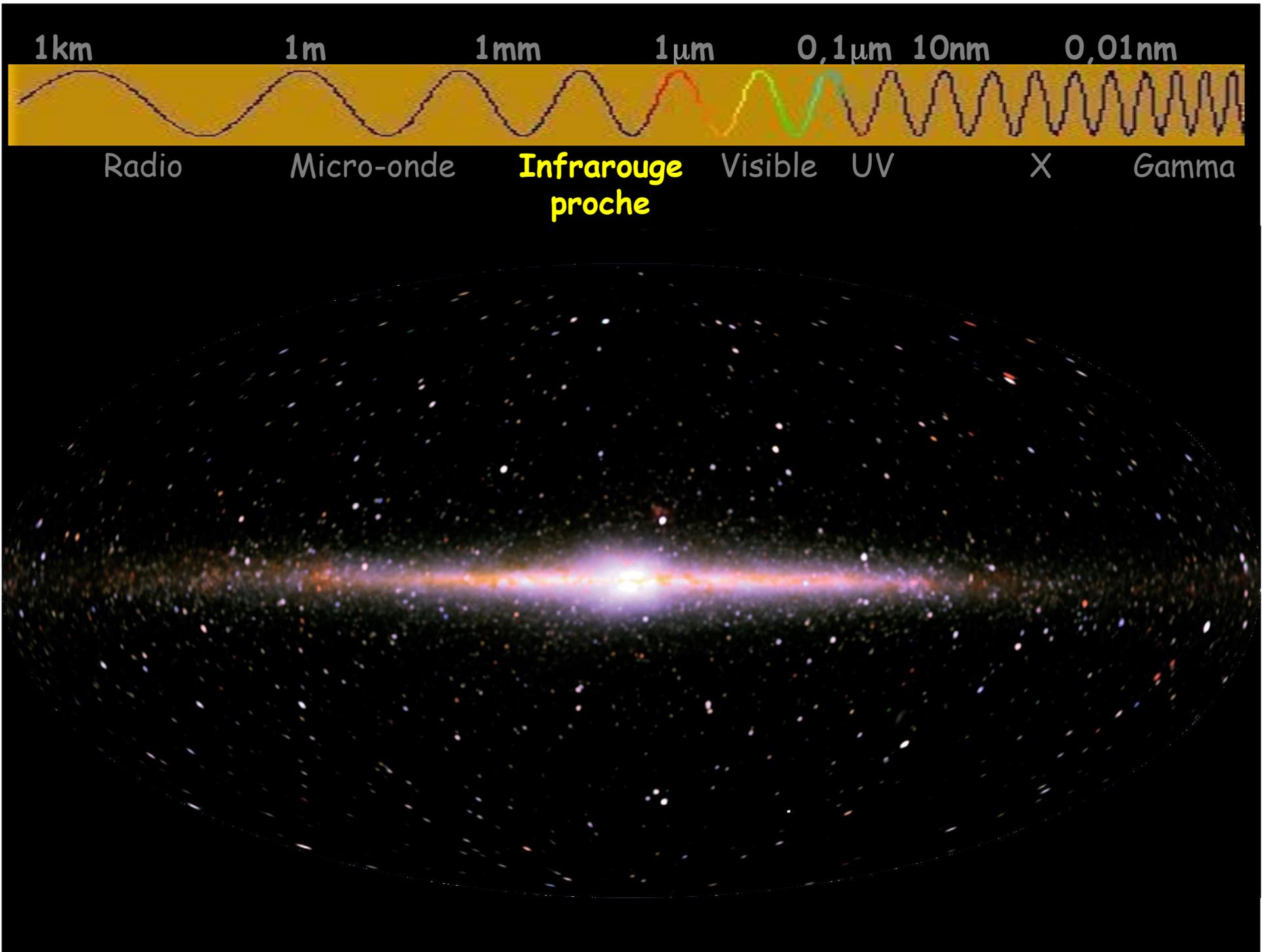
# Andromède

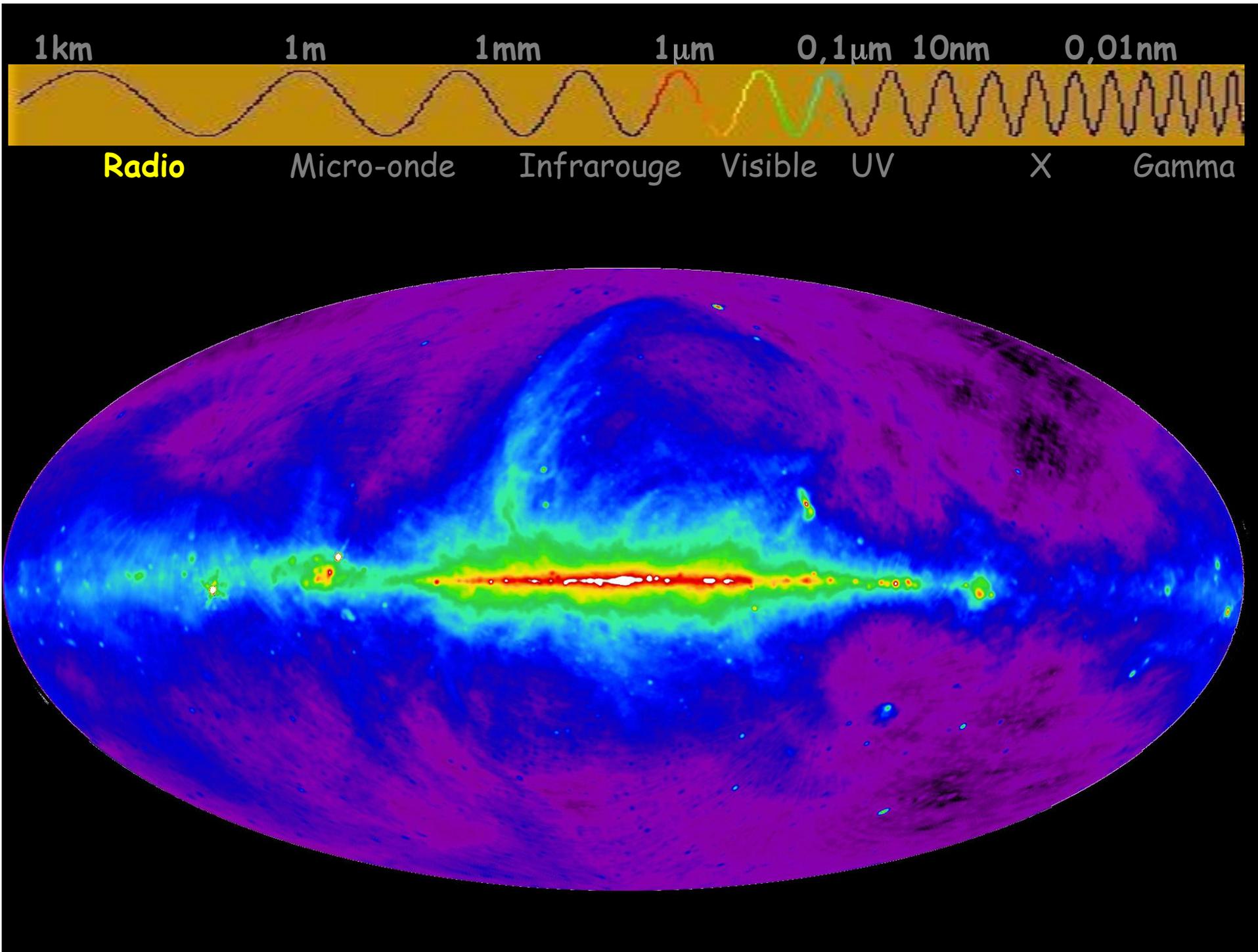


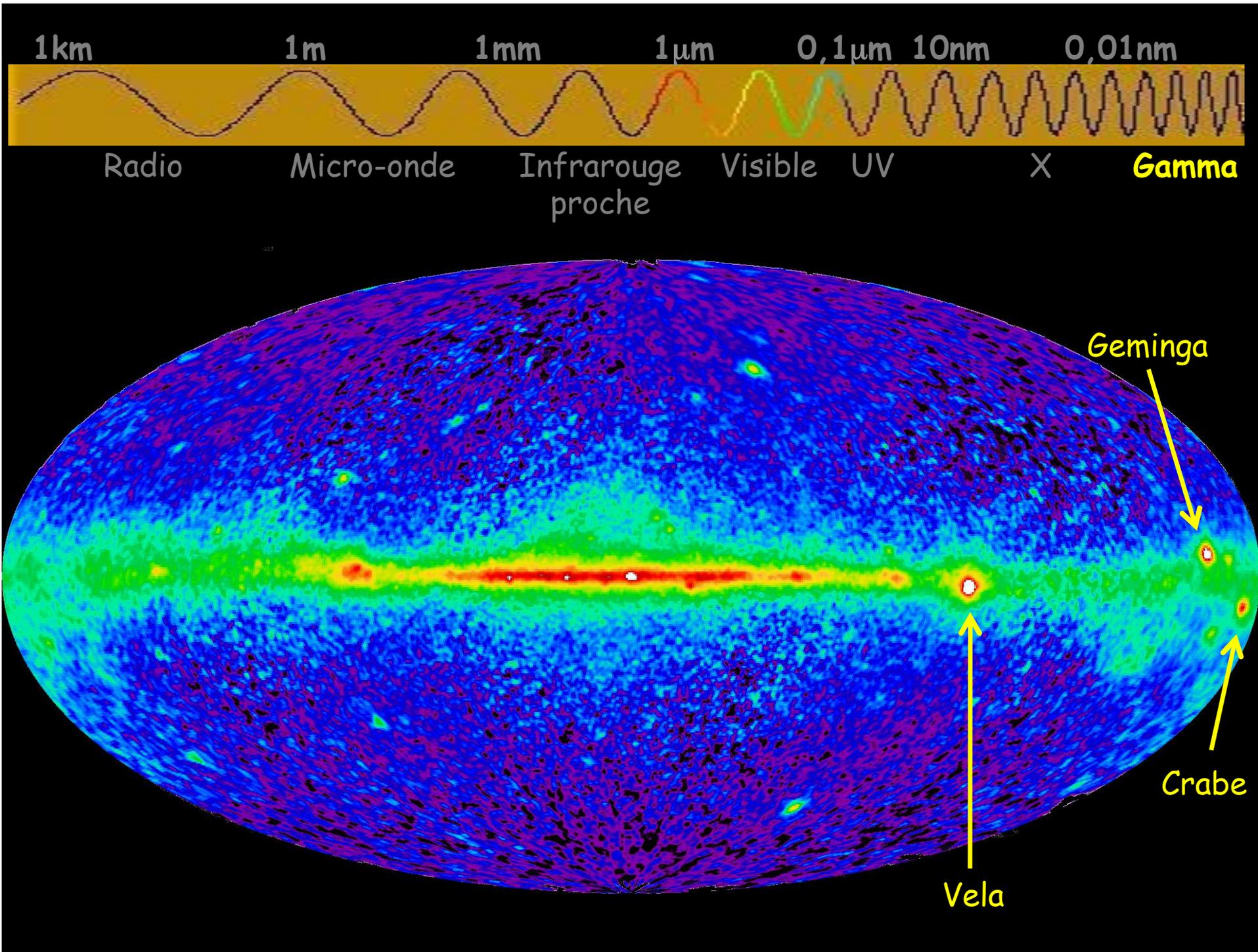
visible



infrarouge

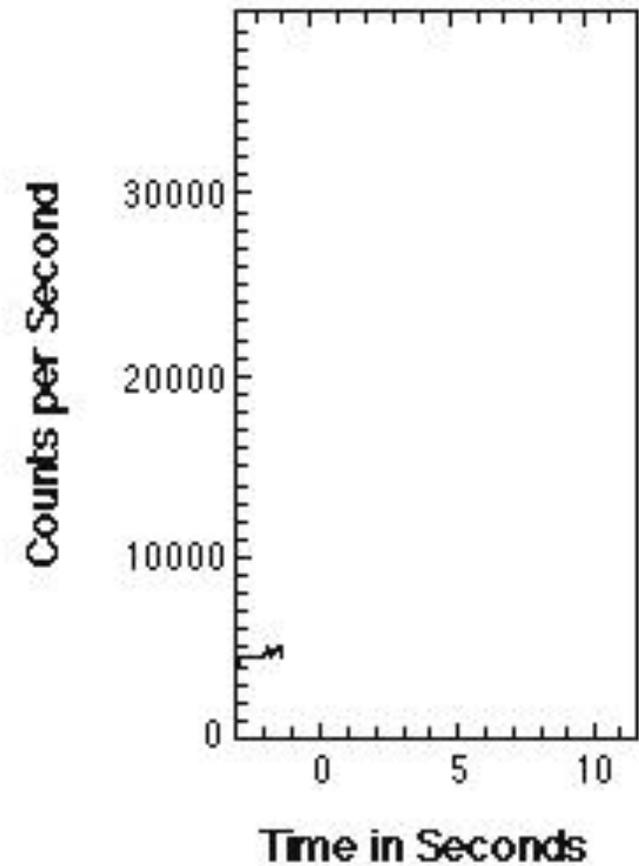
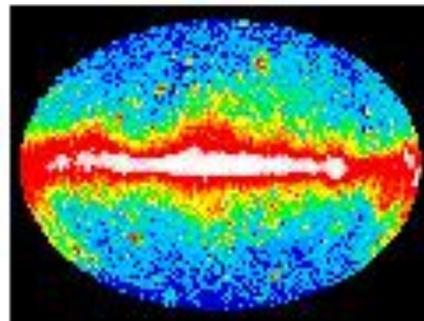






# Sursauts gamma

Satellites VELA  
(1967)



# Nouveaux messagers



Les rayons cosmiques  
découverte (sur 30 ans...)  
connaissances actuelles

Les neutrinos  
et les « télescopes » à neutrinos

Les ondes gravitationnelles

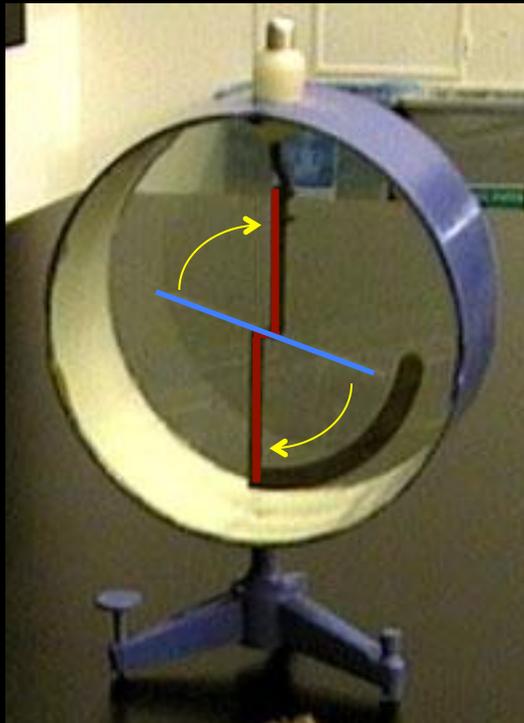


# Découverte des rayons cosmiques

# Découverte des rayons cosmiques

1901

Découverte d'un **rayonnement ionisant** à la surface de la terre  
(décharge spontanée des électroscopes)



air ionisé par un rayonnement intense?  
des particules chargées naturellement dans l'air?

→ **radioactivité naturelle** des roches (Rutherford)

# Découverte des rayons cosmiques

1909

Mesure en haut de la tour Eiffel  
(père Théodor Wulf)

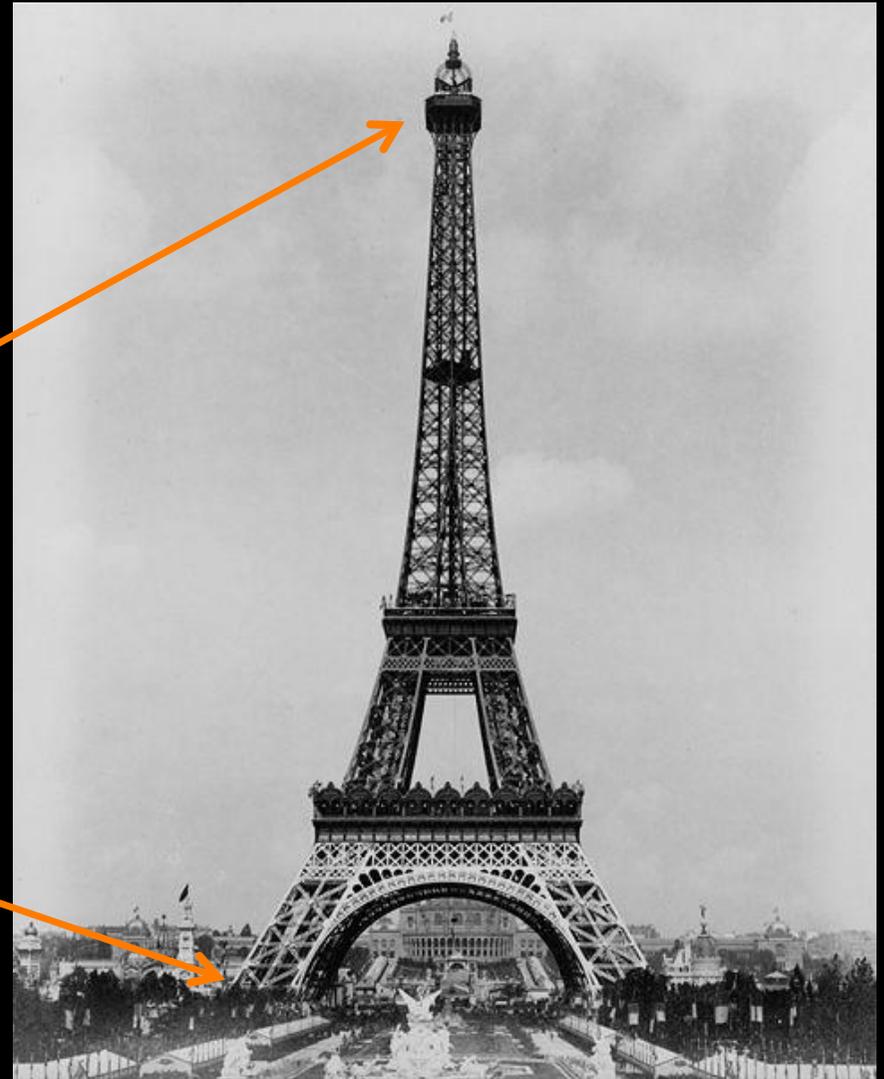
en haut

prédiction 0,4 ions / cm<sup>3</sup>/s

mesure 3,5 ions / cm<sup>3</sup>/s

au sol

mesure 6 ions / cm<sup>3</sup>/s



# Découverte des rayons cosmiques

1911-1913

Victor Hess  
à l'assaut du ciel

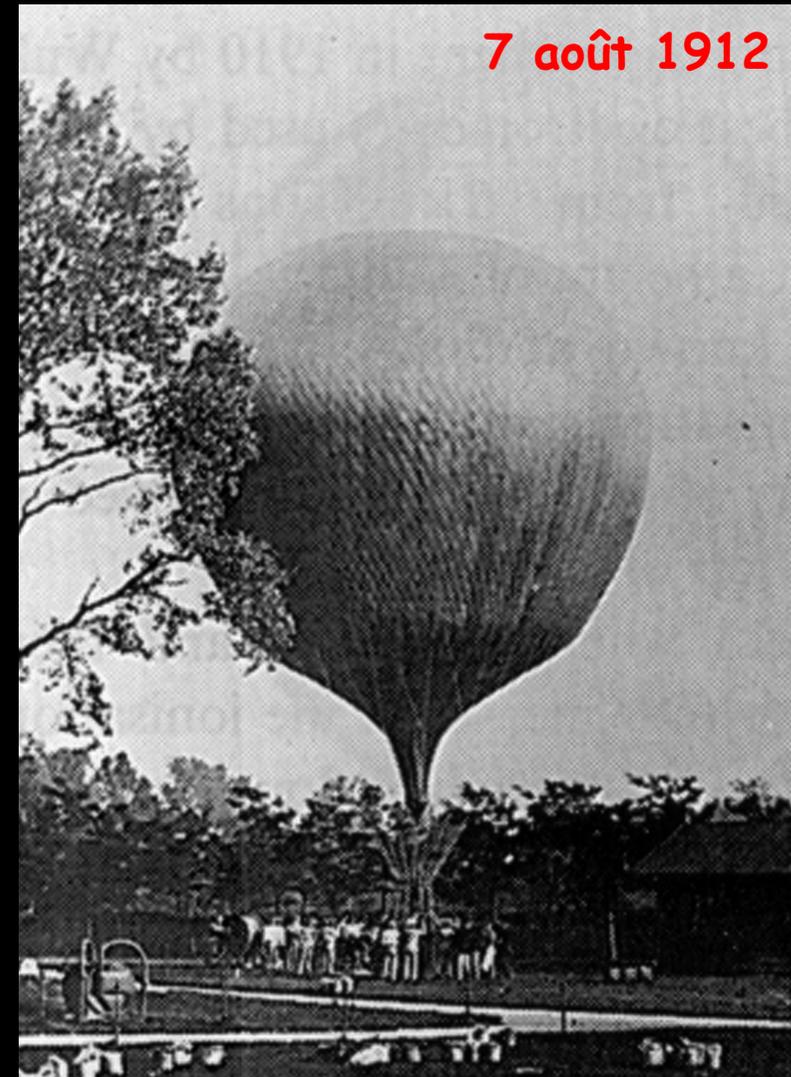
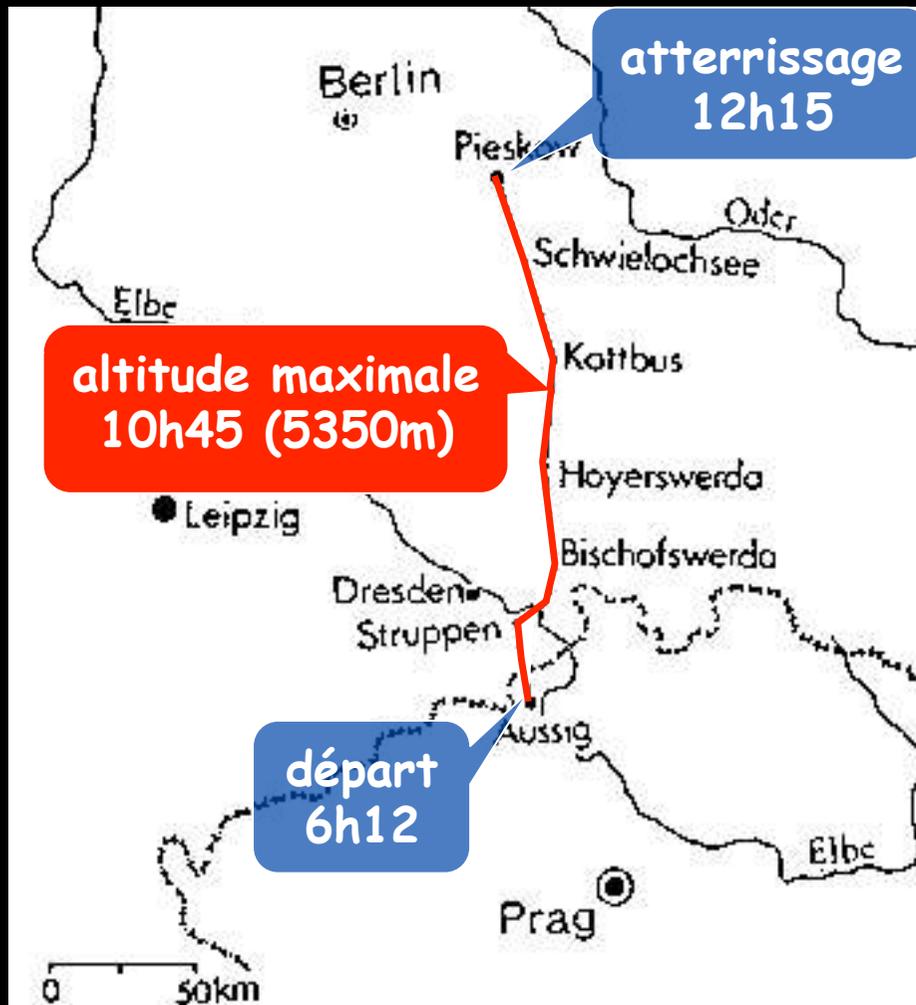
10 vols en ballon

17 avril 1912

éclipse de soleil  
→ ne vient pas du soleil

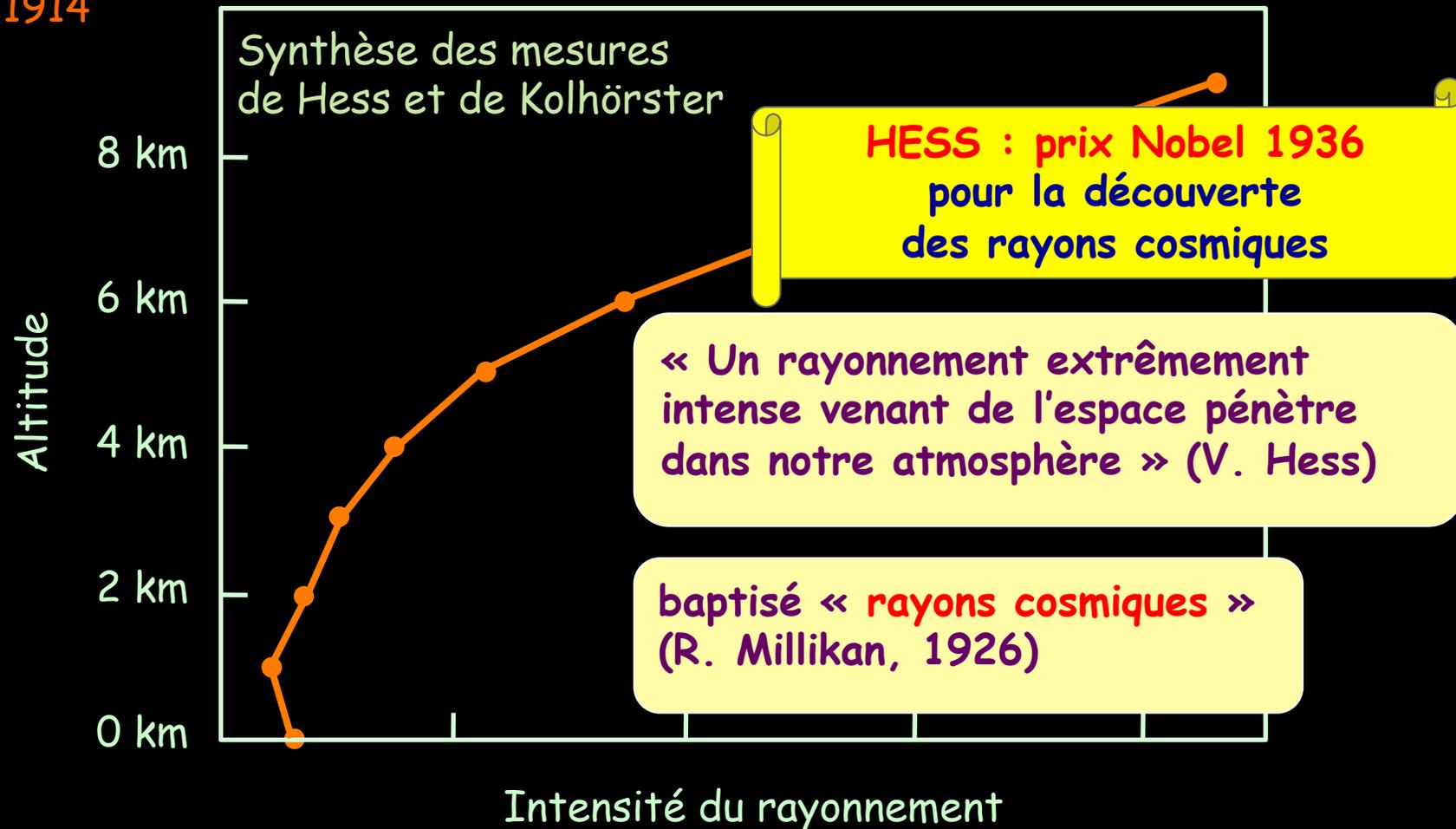


# Découverte des rayons cosmiques



# Découverte des rayons cosmiques

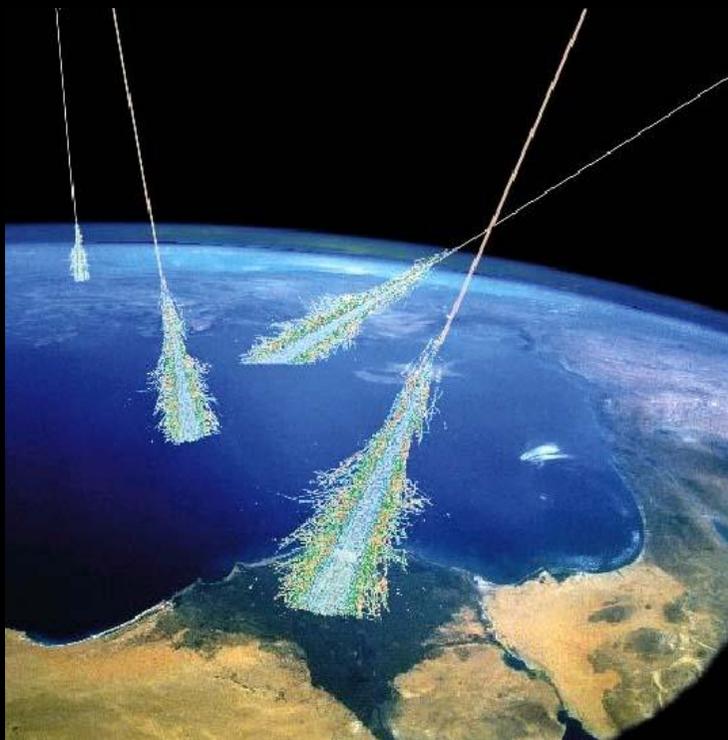
1914



# Gerbes atmosphériques

1938 Pierre AUGER

Simultanéité sur grandes distances  
⇒ Gerbes atmosphériques

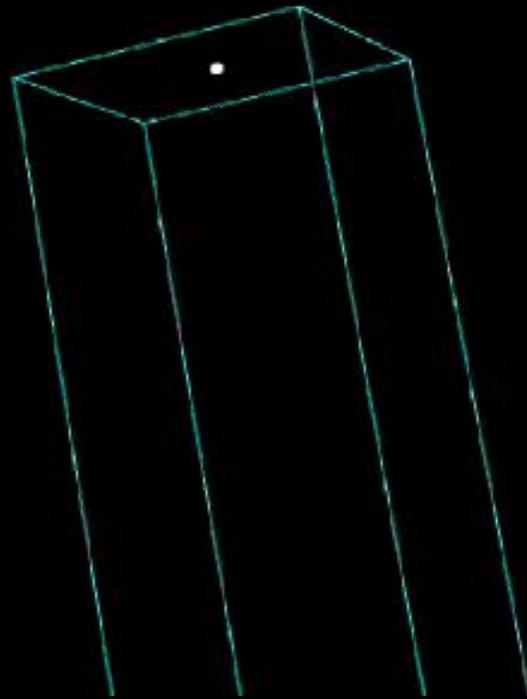


2000

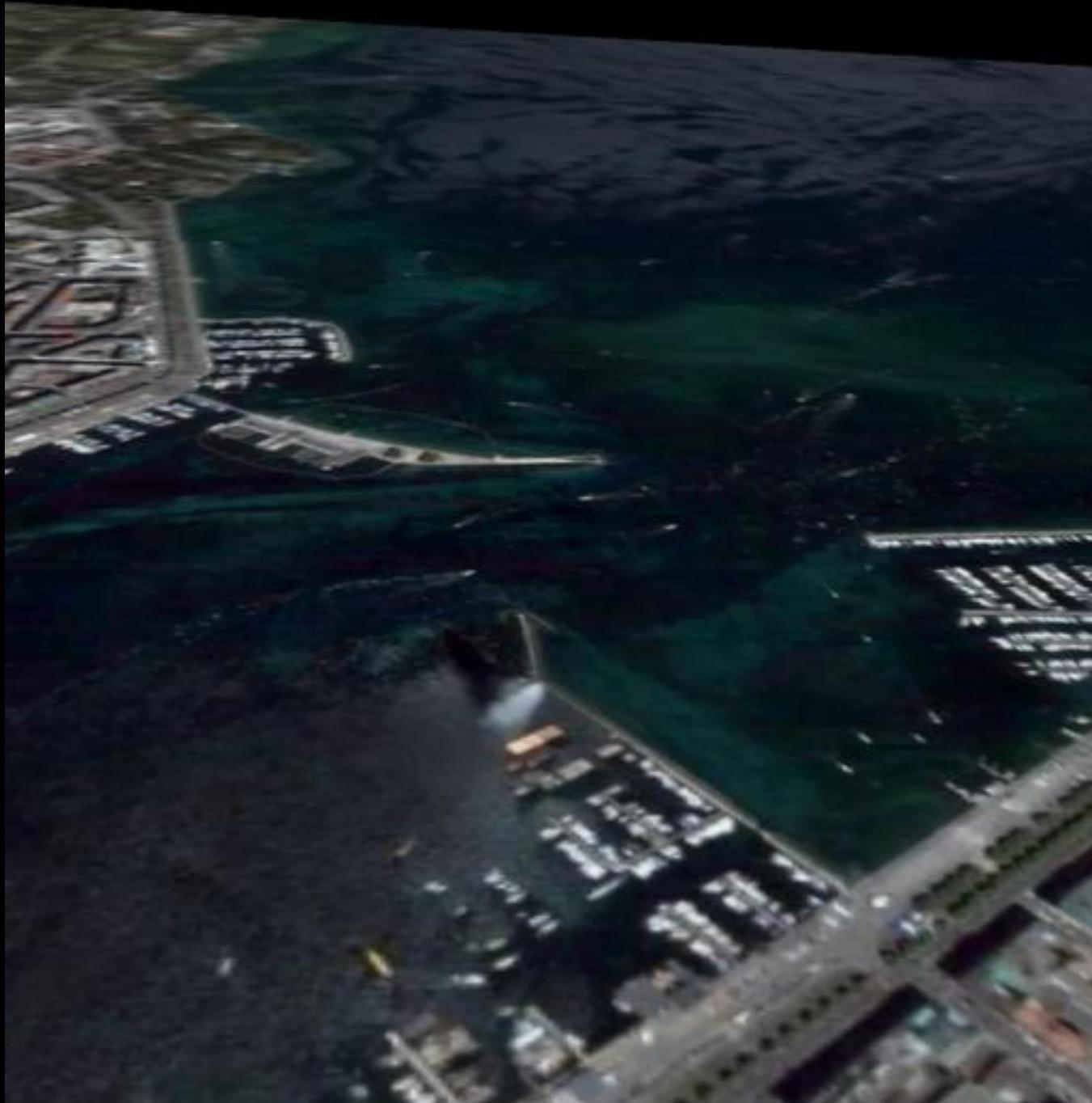
énergie colossale  
 $3 \times 10^{20} \text{ eV} = 50 \text{ J}$



# Gerbes atmosphériques



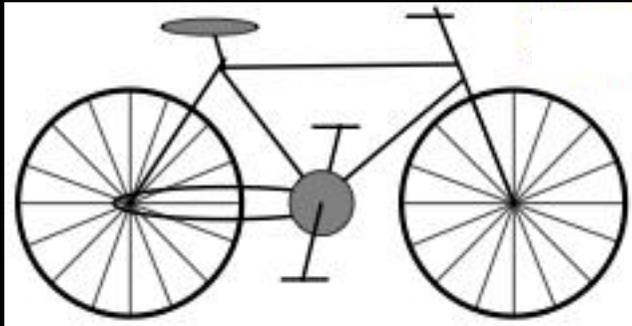
proton de  $10^{12}$  eV



proton  
 $10^{18}$  eV

# « Rayons » cosmiques ?

NON



Photons (lumière) = rayons

Rayons cosmiques  $\neq$  rayons

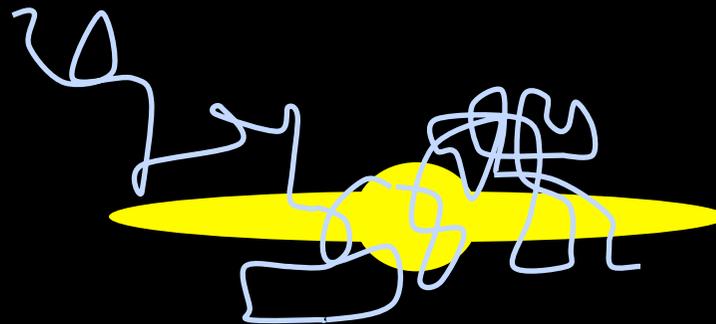
OUI  
(hors système  
solaire)



# « Rayons » cosmiques ?

rayons cosmiques = particules **chargées**

⇒ **déflexion** par les champs magnétiques  
(galactiques et intergalactiques)

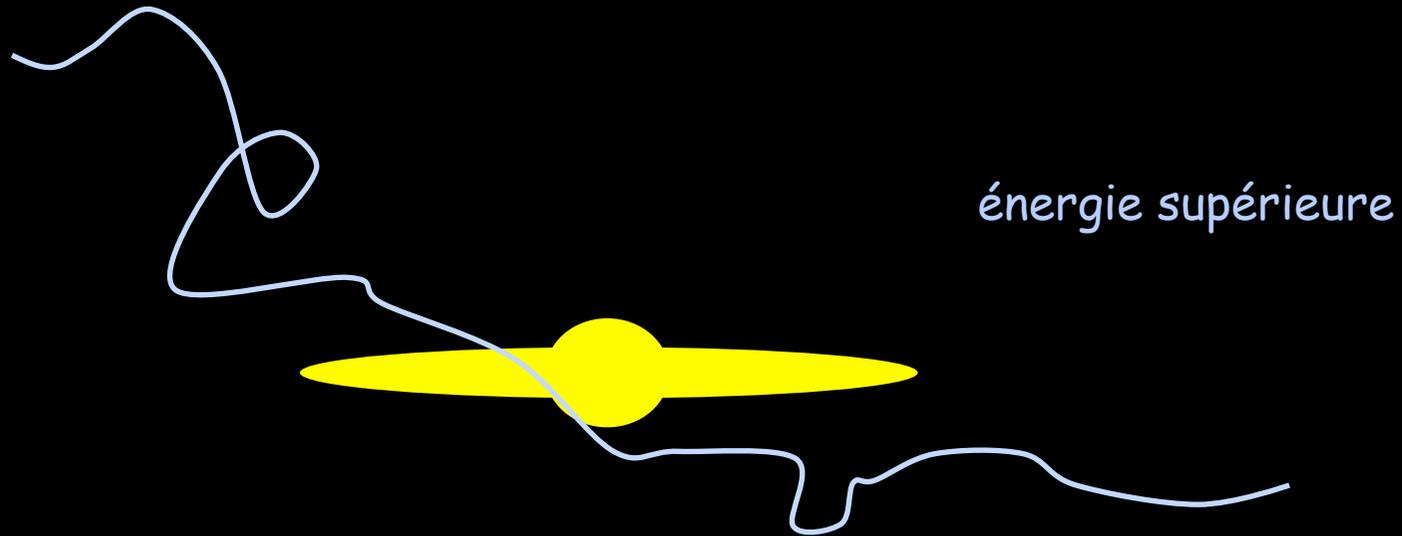


basse énergie

# « Rayons » cosmiques ?

rayons cosmiques = particules **chargées**

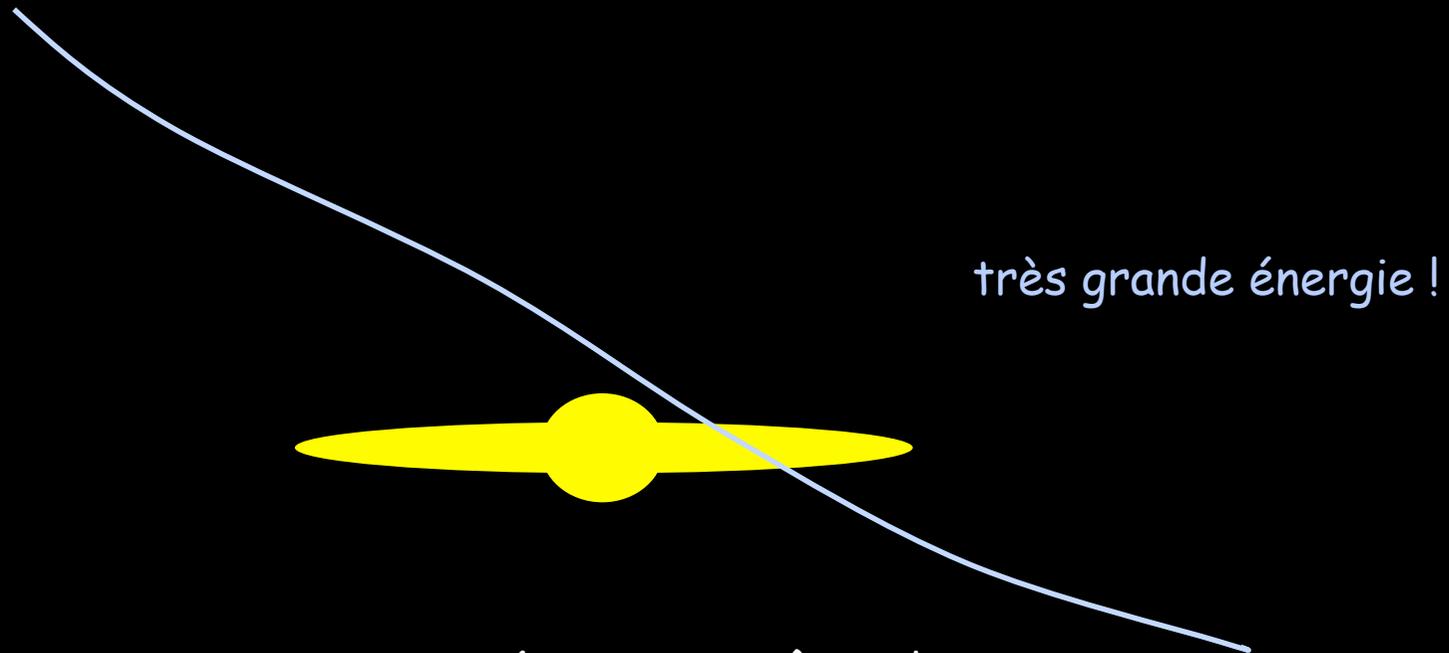
⇒ **déflexion** par les champs magnétiques  
(galactiques et intergalactiques)



# « Rayons » cosmiques ?

rayons cosmiques = particules **chargées**

⇒ **déflexion** par les champs magnétiques  
(galactiques et intergalactiques)



⇒ Astronomie uniquement aux énergies extrêmes !



# Rayons cosmiques

## Etat des lieux

# Rayon cosmique: un nouveau messenger

32 ordres de grandeur  
en flux

1 particule / m<sup>2</sup> / s

1 particule / m<sup>2</sup> / an

12 ordres de grandeur  
en énergie

LHC  
particule / km<sup>2</sup> / siècle

# Accélérateurs cosmiques ? Ondes de choc

Supernova

avant

après

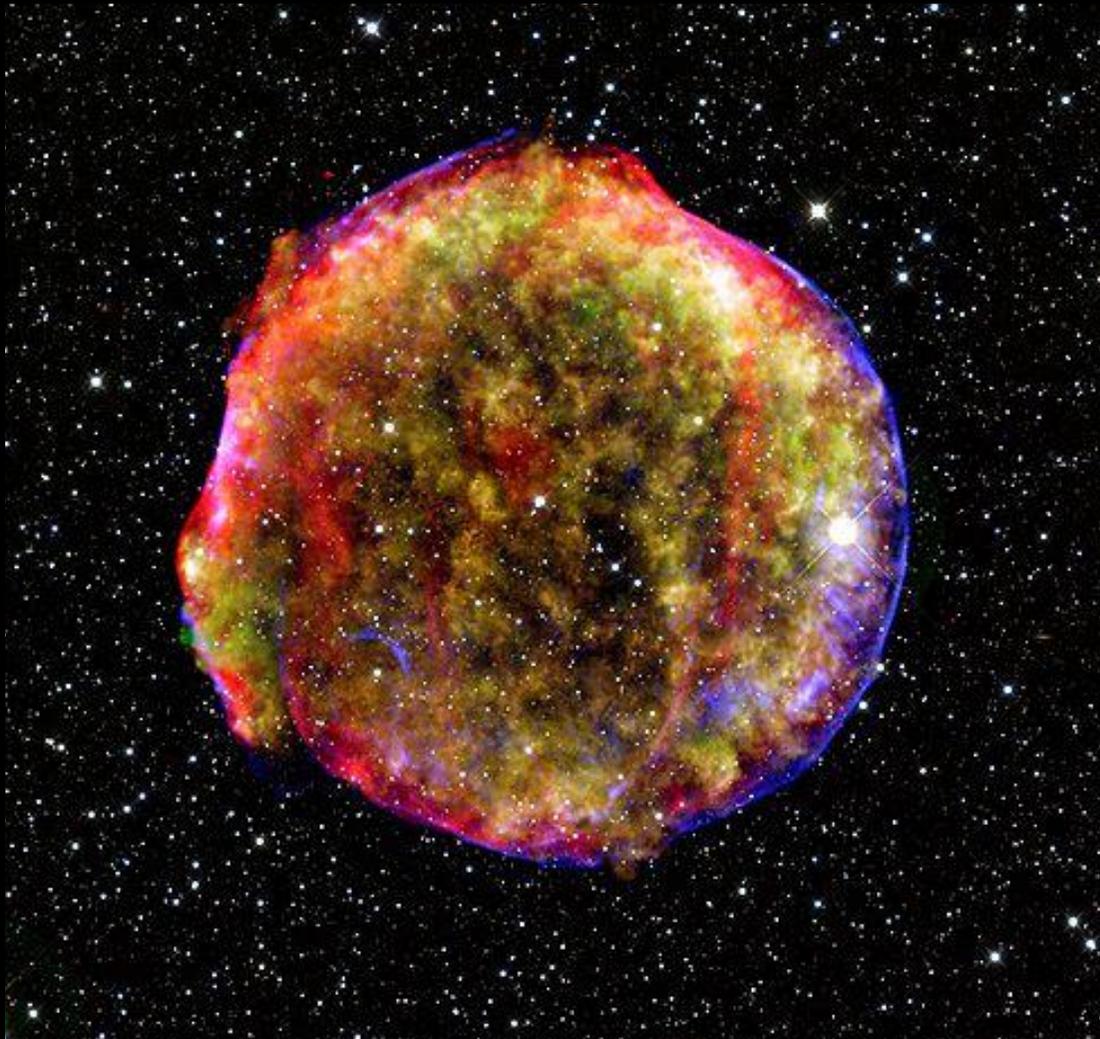


quelques  
siècles  
plus  
tard



1 SN II / 50 ans dans galaxie

# Restes de Supernovae

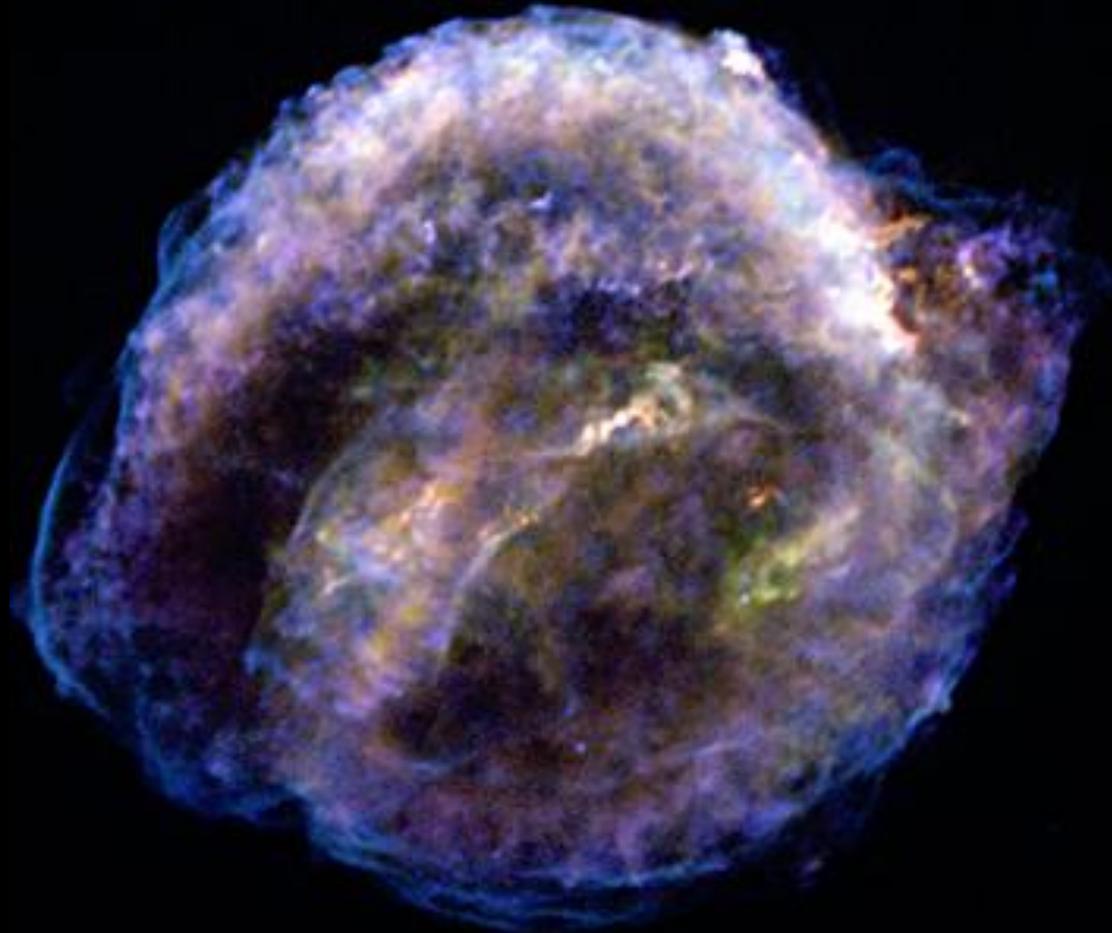


SN de Tycho Brahe  
(1572)



# Restes de Supernovae

SN de Kepler  
(1604)

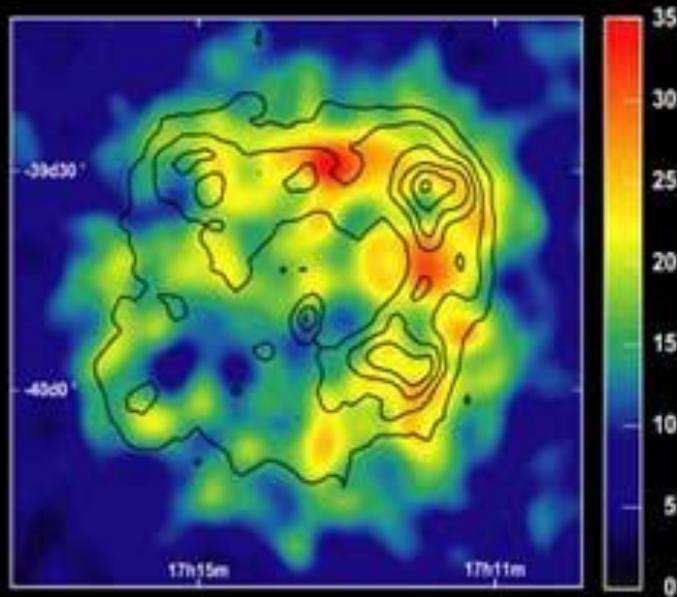


# Restes de Supernovae



# Restes de Supernovae

Restes de SN = accélérateurs haute énergie?  
**CONFIRMÉ !**



images en X (contours):  $E \sim 1 \text{ keV}$   
images en gamma (couleur):  $E \sim 1 \text{ milliard de keV}$

# Limite énergétique

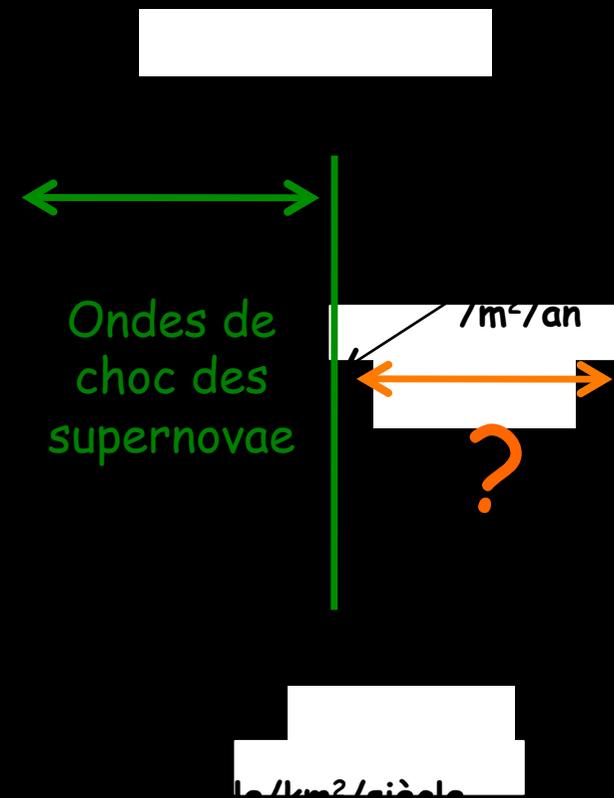
Énergie maximale  $\propto$   $\left[ \begin{array}{l} \text{champ magnétique} \\ \text{dimensions} \end{array} \right.$

Restes de supernovae  $\rightarrow 10^{15}$  eV

Au delà de  $10^{15}$  eV

- aucune source galactique connue
- énergie trop importante pour confinement galactique

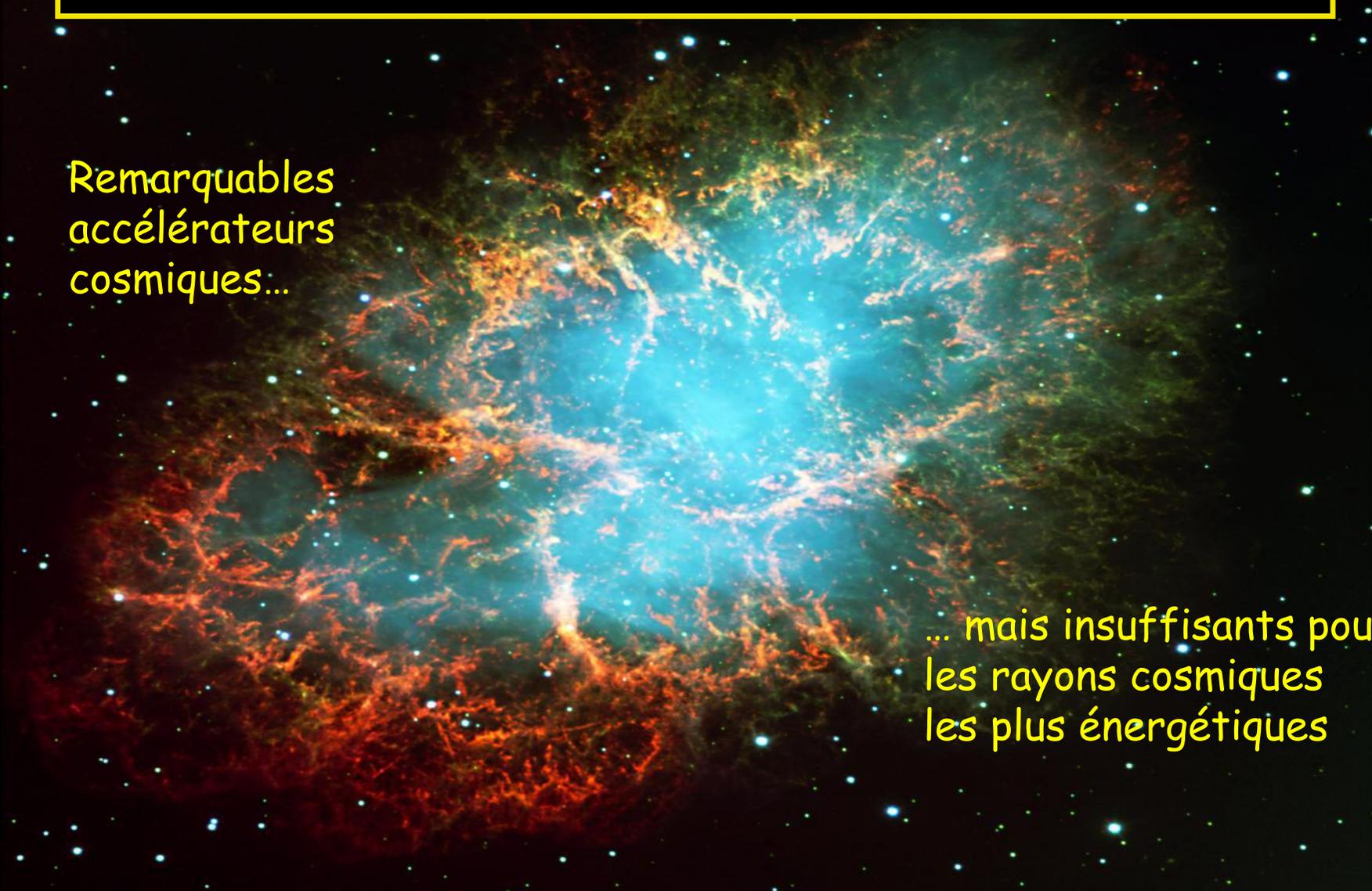
$\Rightarrow$  sources EXTRA-galactiques?



# Ondes de choc et Supernovae

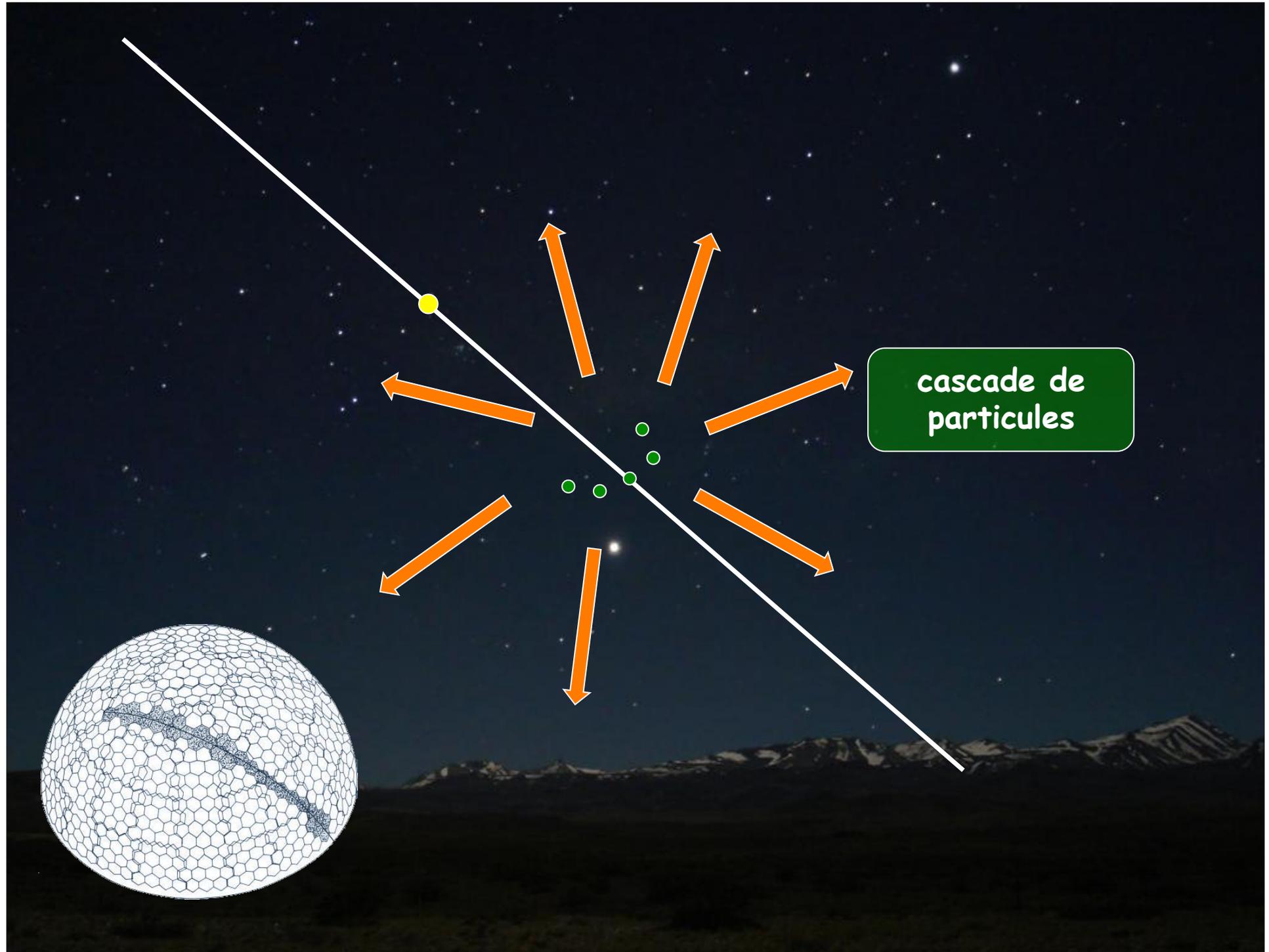
Remarquables  
accélérateurs  
cosmiques...

... mais insuffisants pour  
les rayons cosmiques  
les plus énergétiques

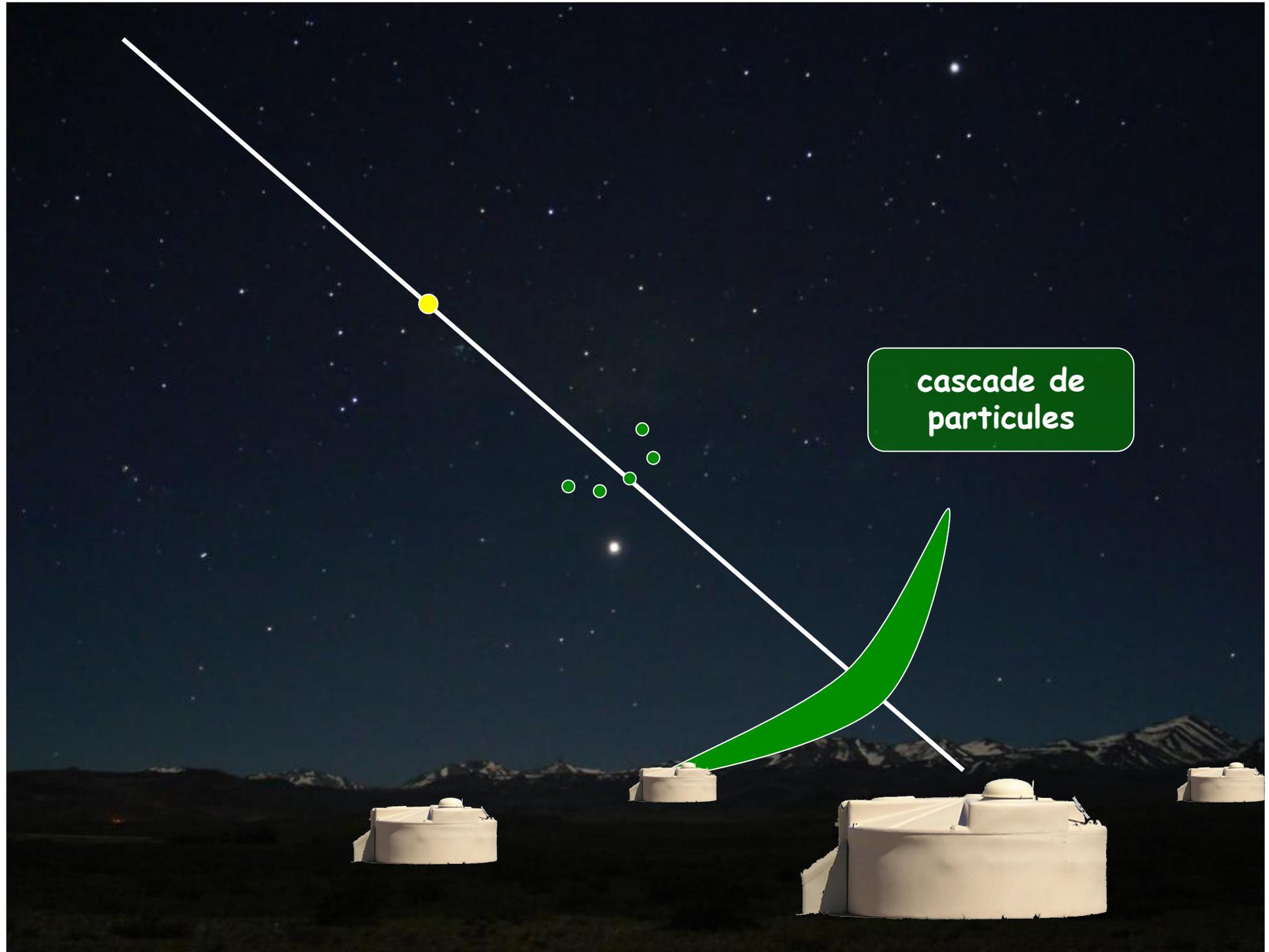




Aux plus hautes  
énergies

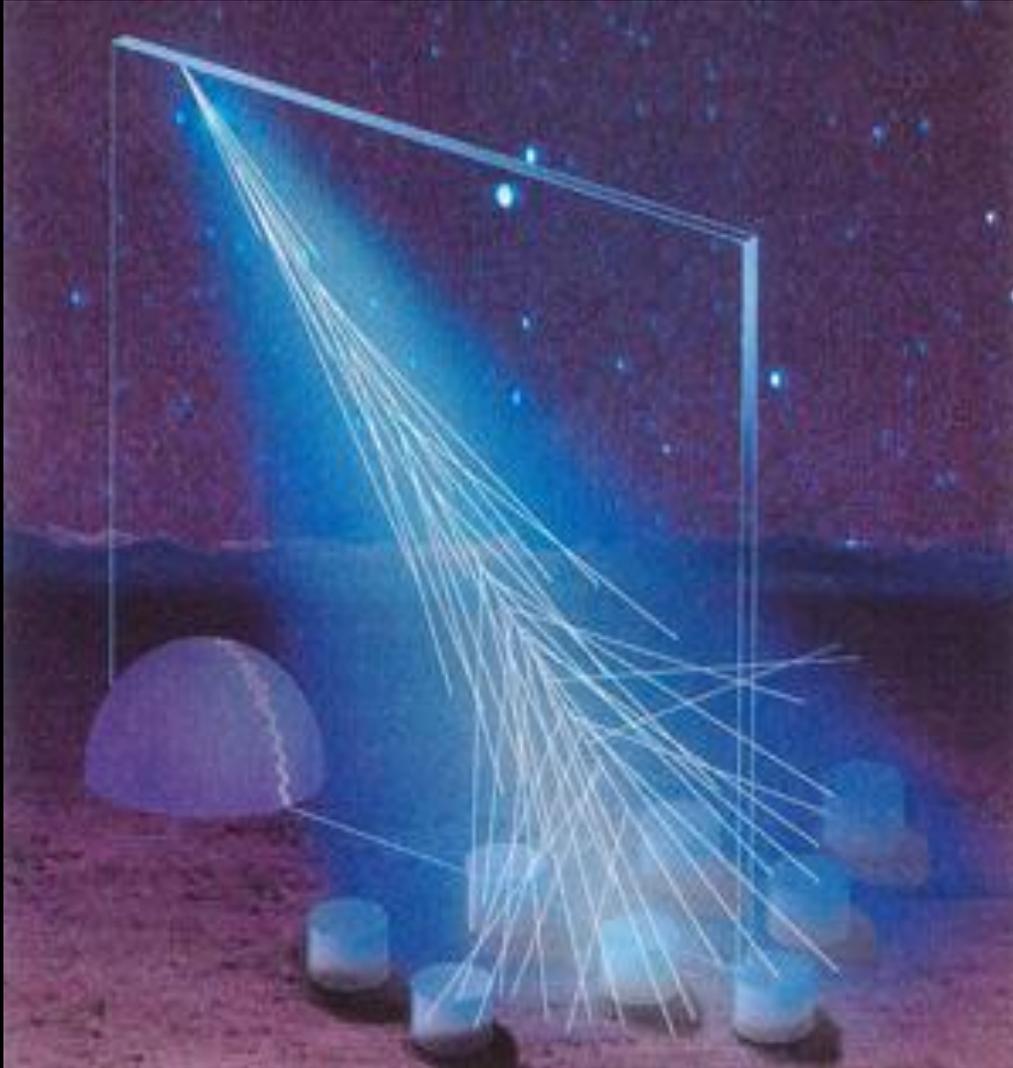


cascade de  
particules



**cascade de  
particules**

au delà de  $10^{15}$  eV



Expérience AUGER

Technique hybride

1600 détecteurs sol  
+ 4 télescopes pour fluorescence

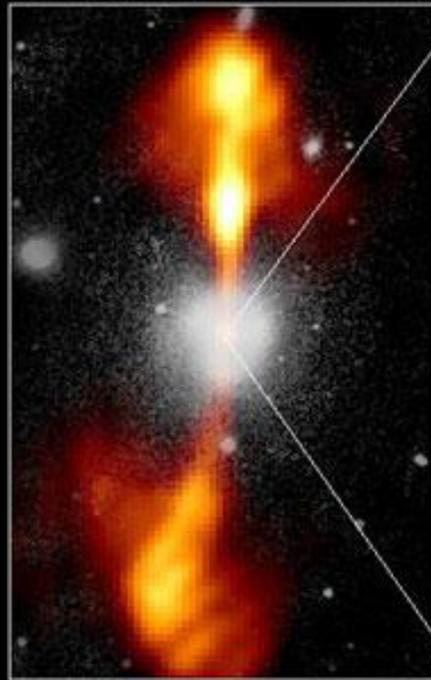
3000 km<sup>2</sup>

en Argentine

au delà de  $10^{15}$  eV

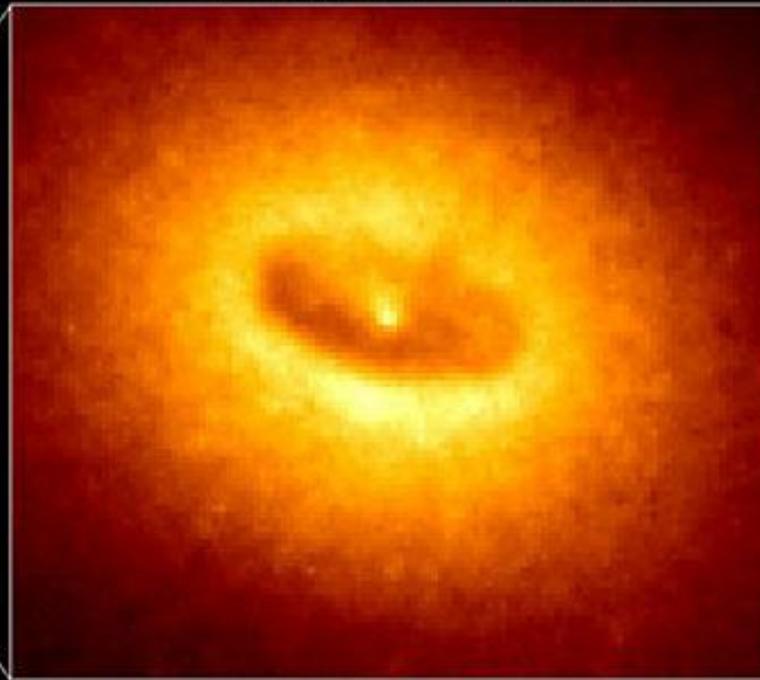
Quelles sources ?      Noyaux actifs de galaxie ?

Ground-Based Optical/Radio Image



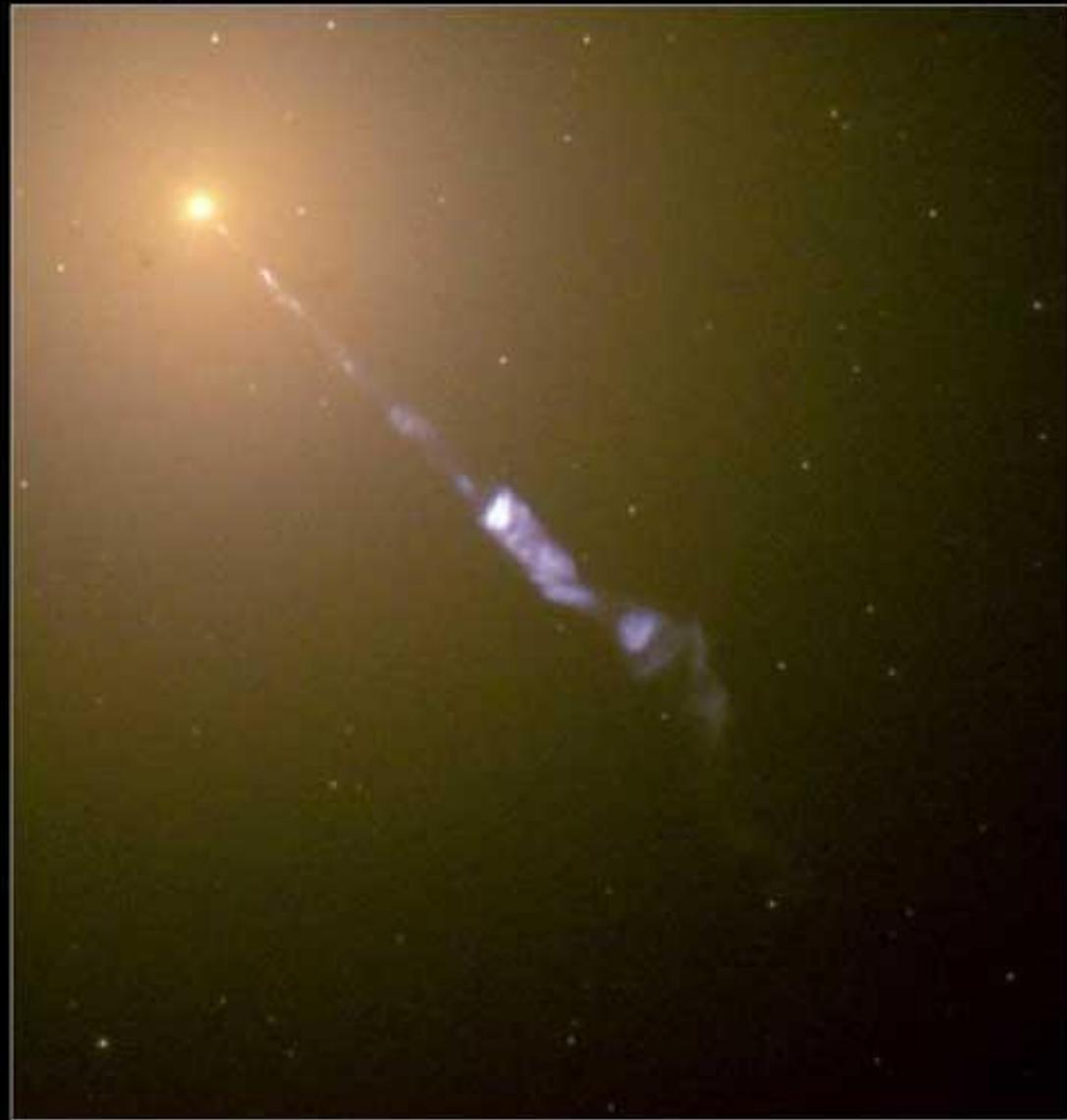
380 Arc Seconds  
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



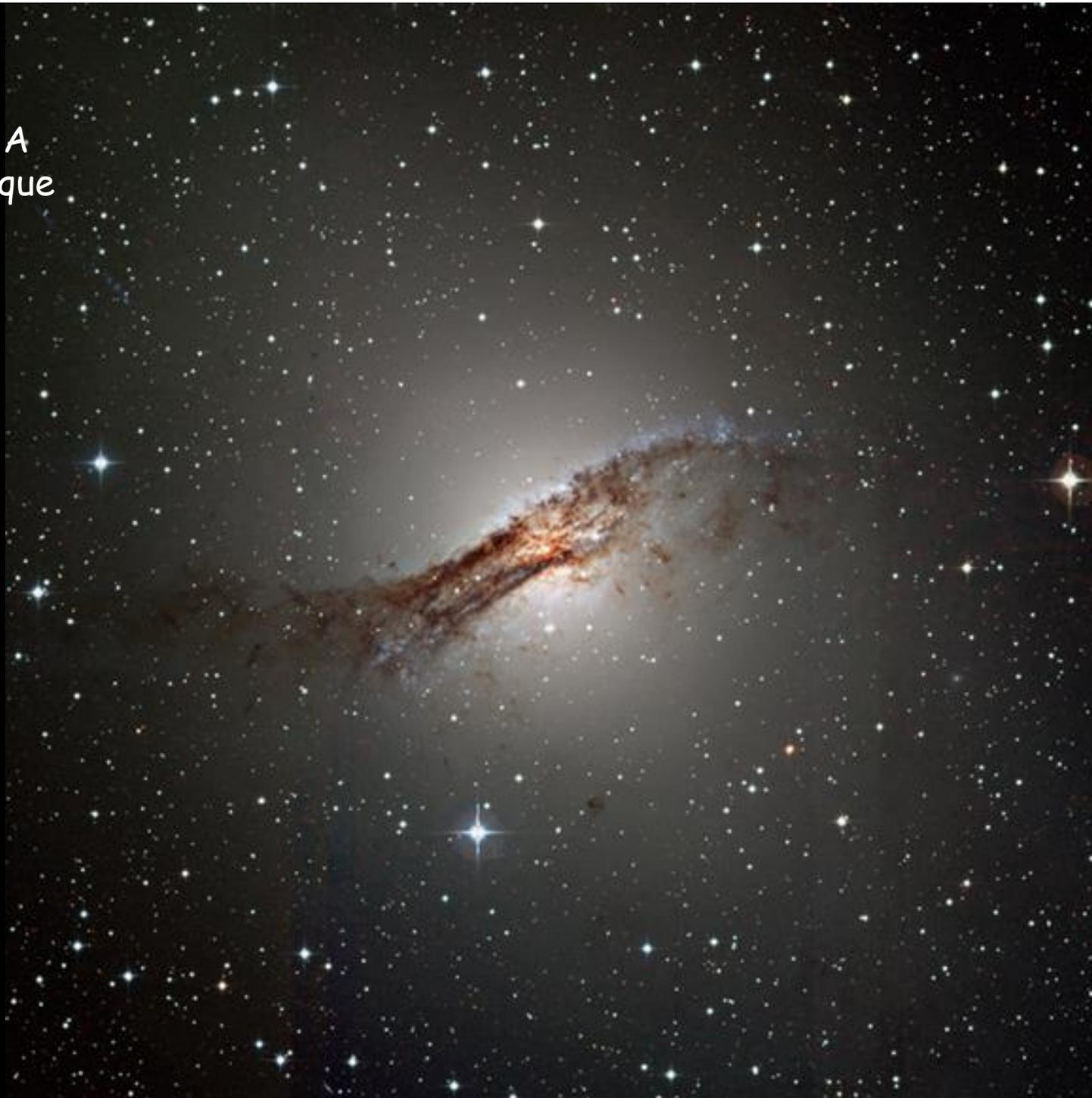
17 Arc Seconds  
400 LIGHTYEARS

The M87 Jet

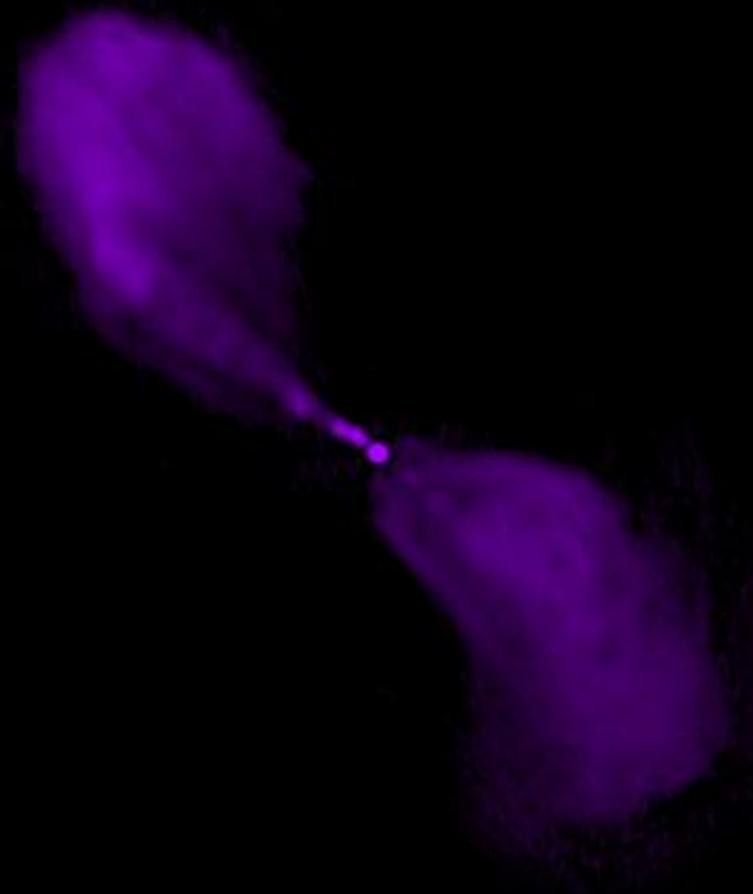


Hubble  
Heritage

Cen A  
optique



Cen A  
radio



Cen A  
rayons X

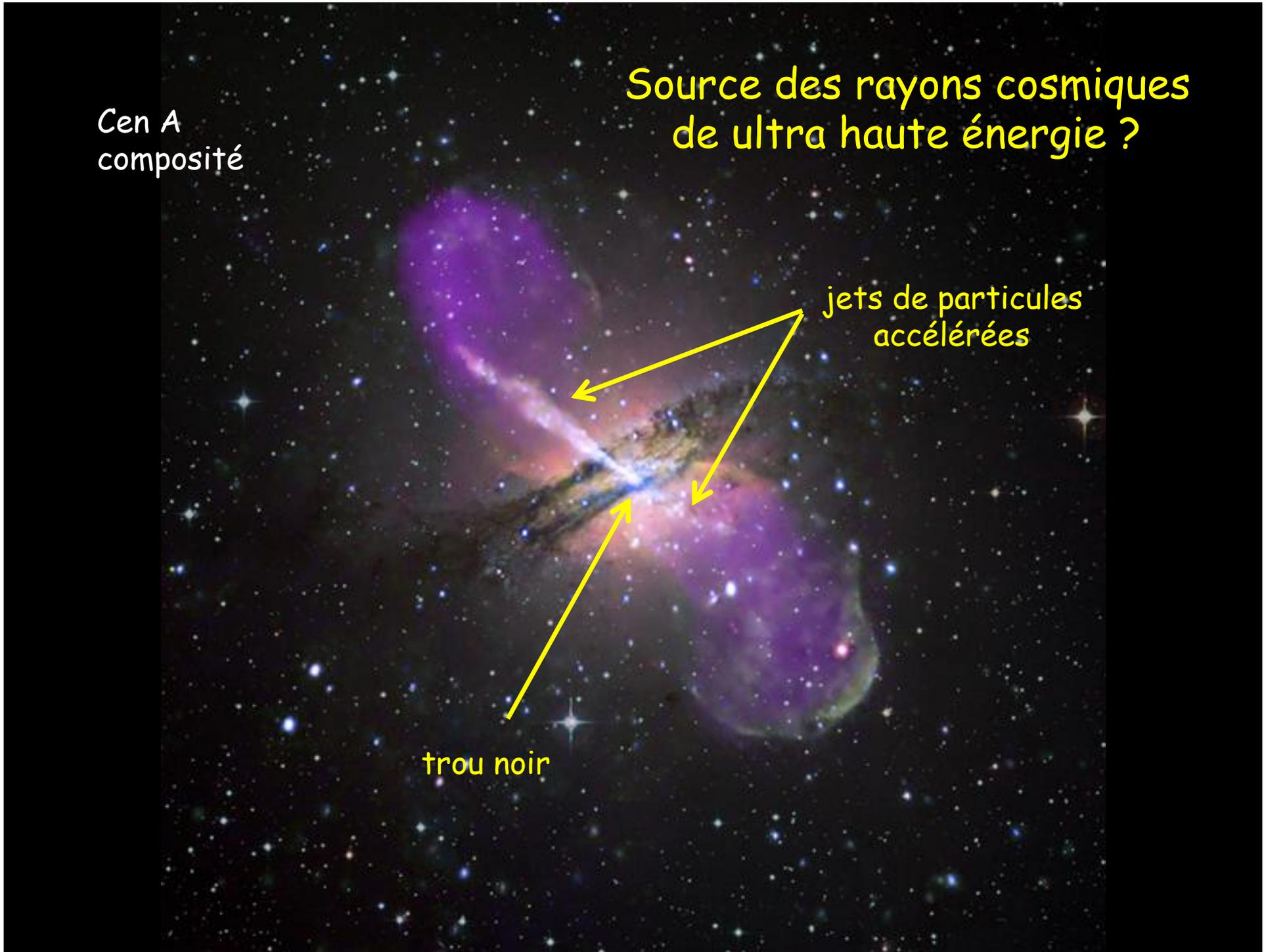


Cen A  
composité

Source des rayons cosmiques  
de ultra haute énergie ?

jets de particules  
accélérées

trou noir



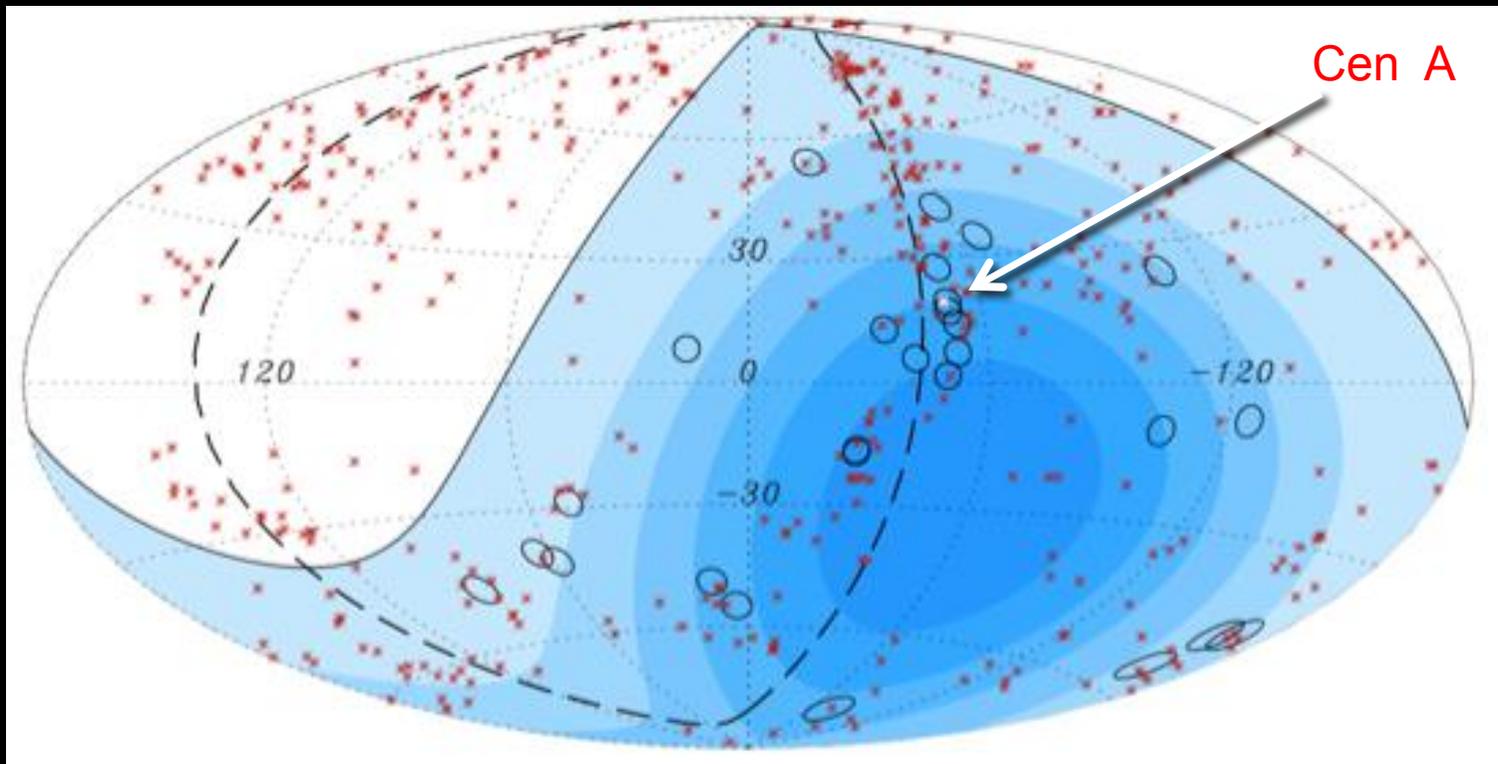
# au delà de $10^{15}$ eV

Quelles sources ?

Noyaux actifs de galaxie ?

premiers indices avec Auger

(à très haute énergie pour pointage)



# Astronomie multi-messagers

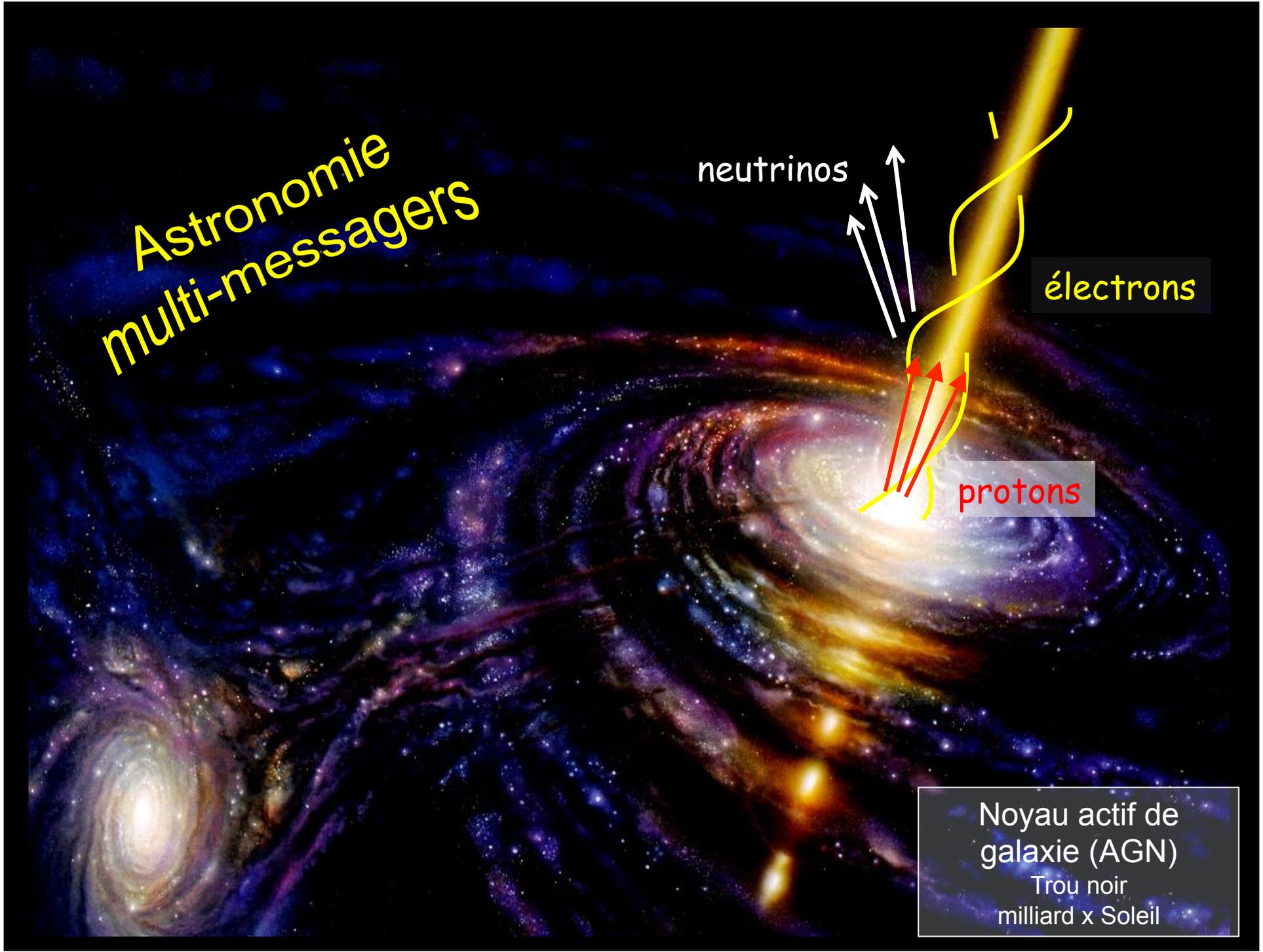
neutrinos

électrons

protons

Noyau actif de  
galaxie (AGN)

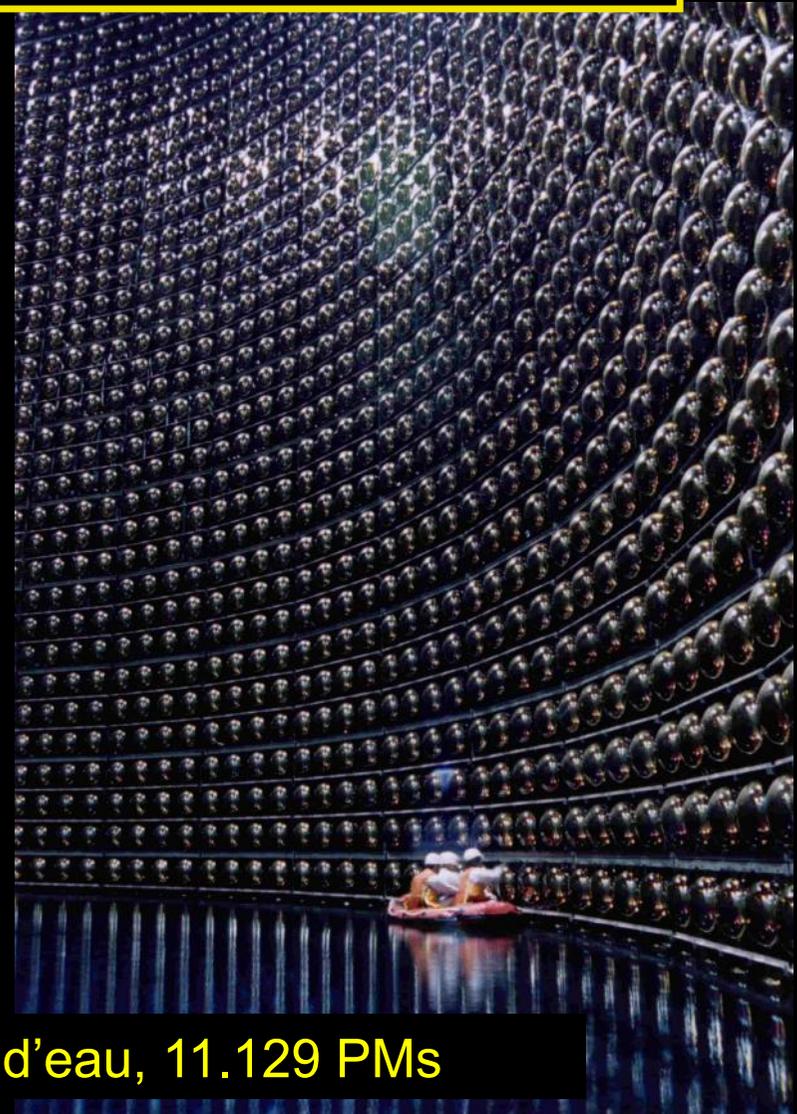
Trou noir  
milliard x Soleil





# Les neutrinos cosmiques

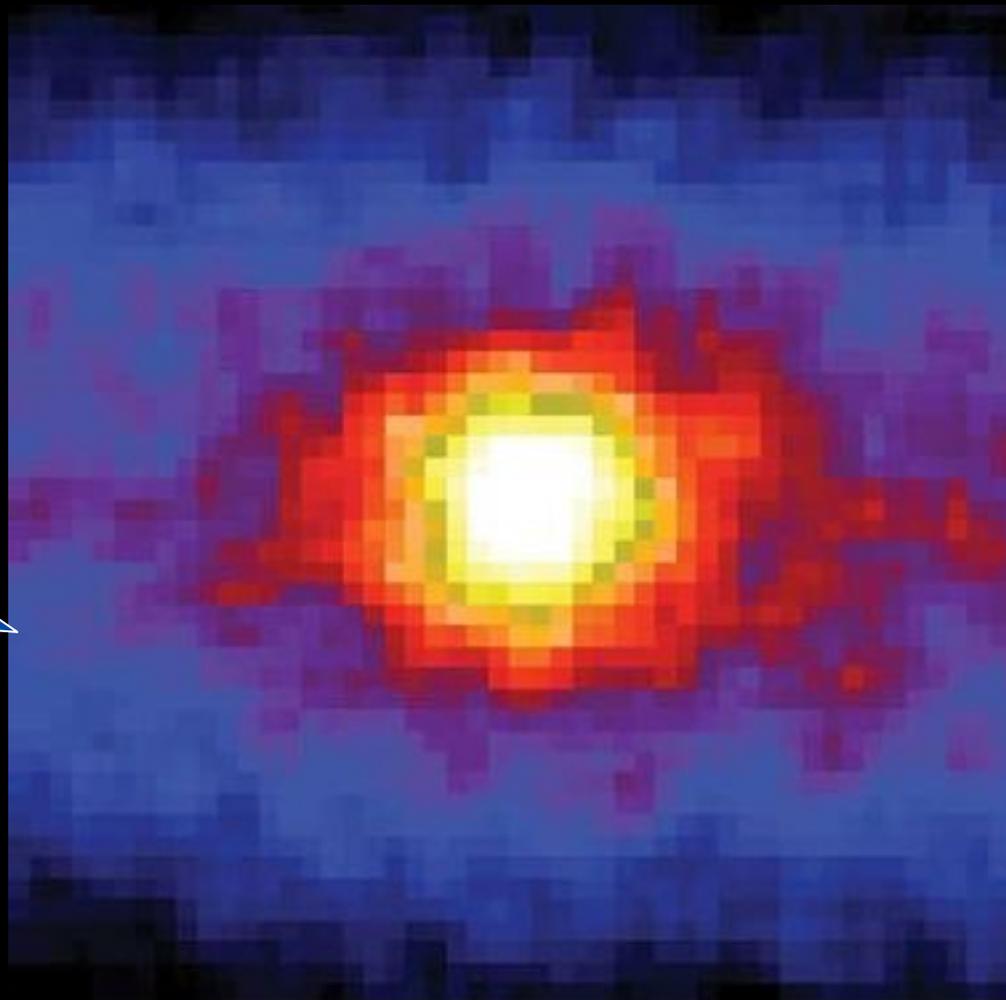
# Astronomie neutrinos



SuperKamiokande: 50.000 tonnes d'eau, 11.129 PMs

Photo du Soleil  
prise

DE NUIT !



# « Telescope » à neutrinos

Pas (ou presque) d'interaction

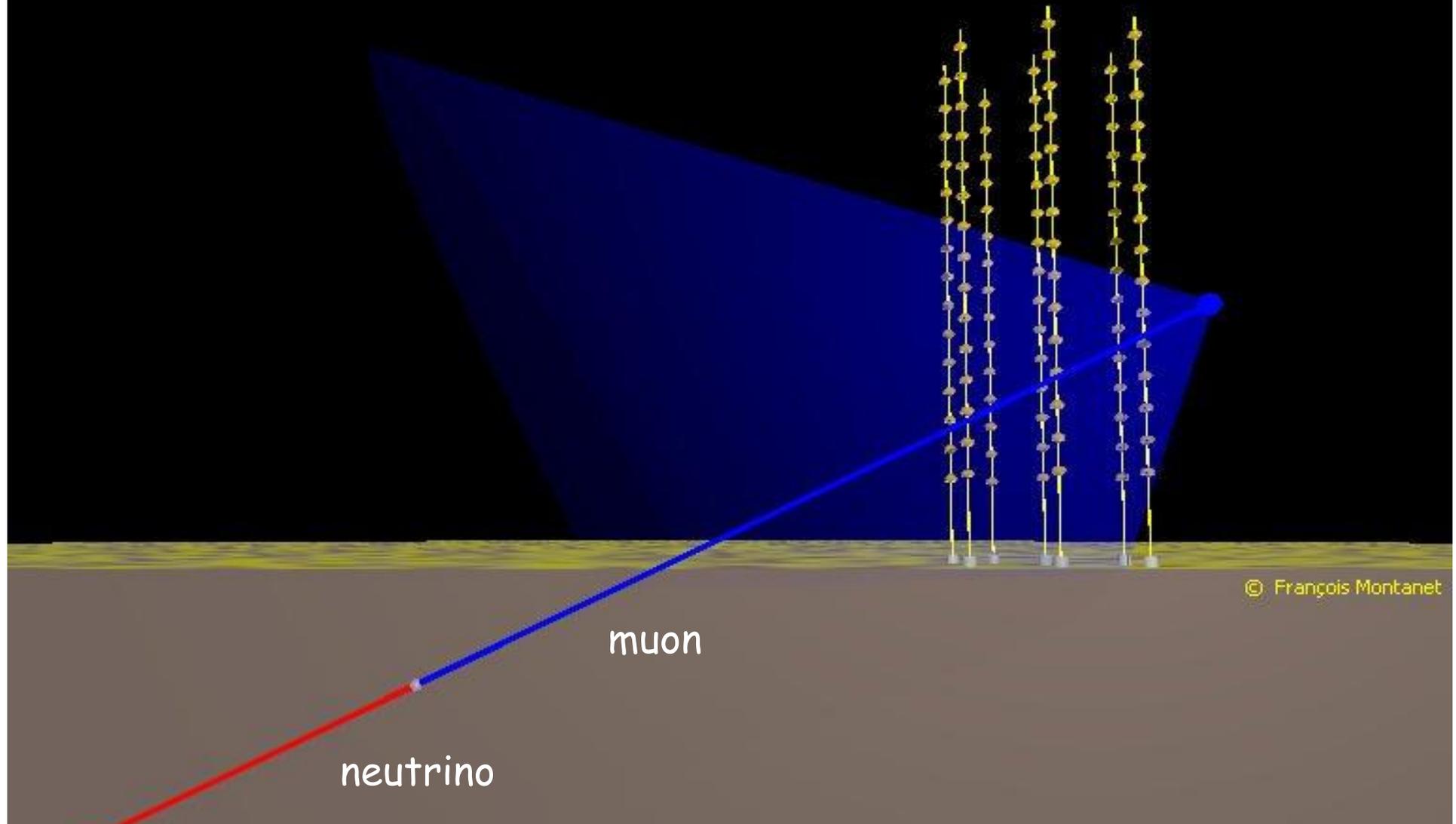
⇒ Comment détecter les neutrinos ?

⇒ Des détecteurs immenses !





# « Telescope » à neutrinos



# Effet Cerenkov

à l'arrêt



# Effet Cerenkov

progression  
lente

(effet  
Doppler)



# Effet Cerenkov

progression  
rapide

(onde de  
choc)



# Effet Cerenkov

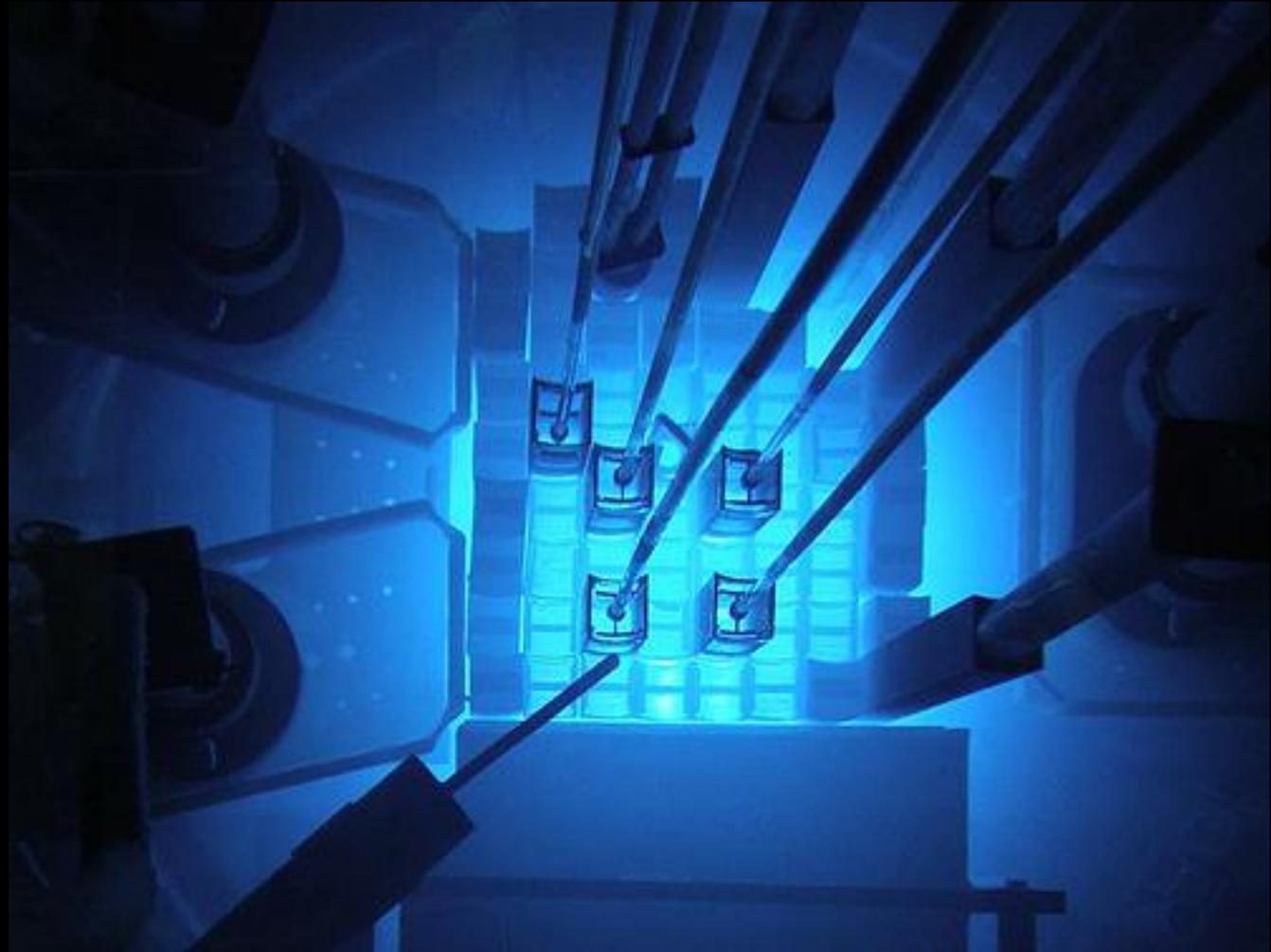
analogie sonore

Mur du son  
Bang supersonique

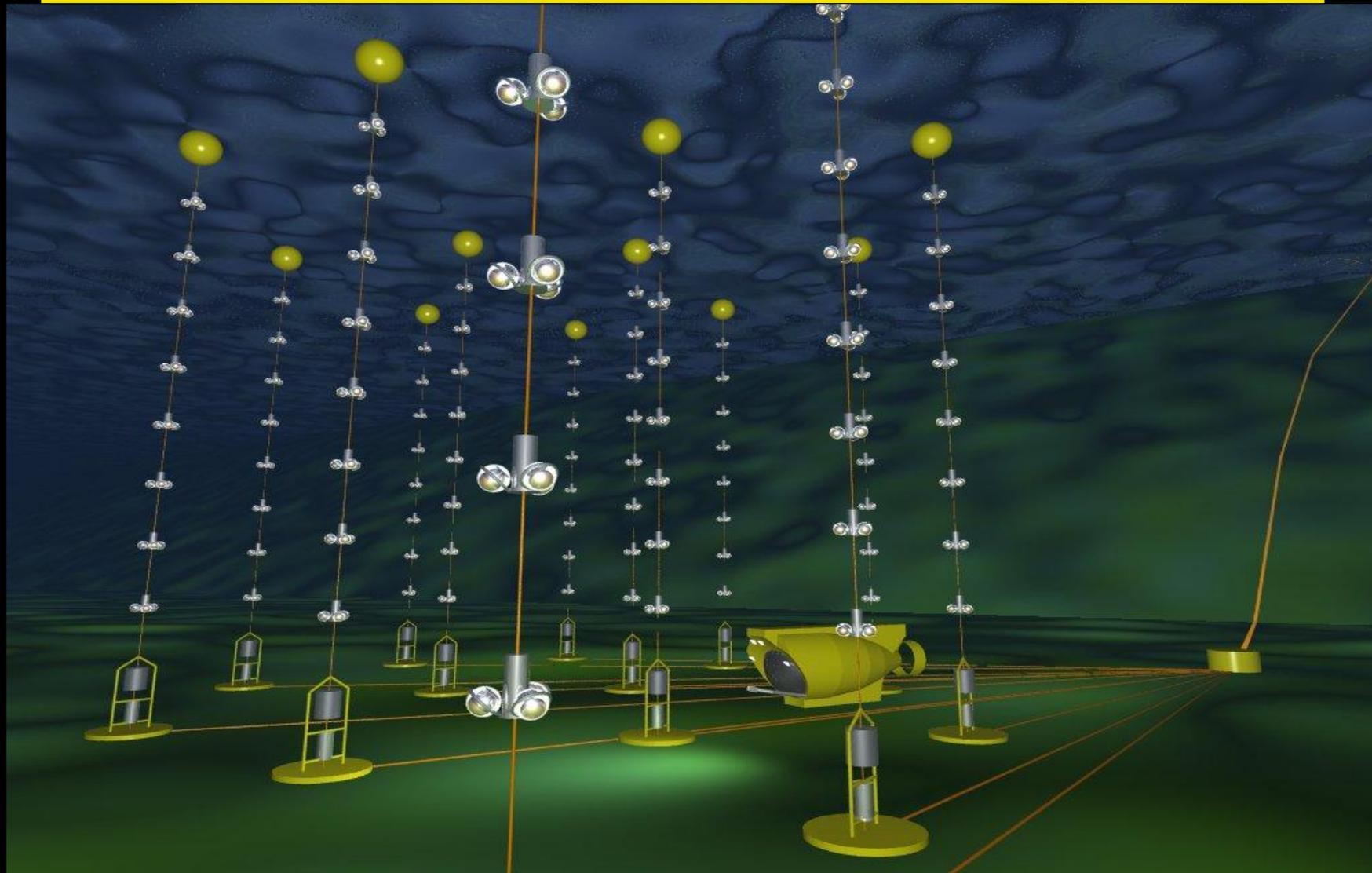


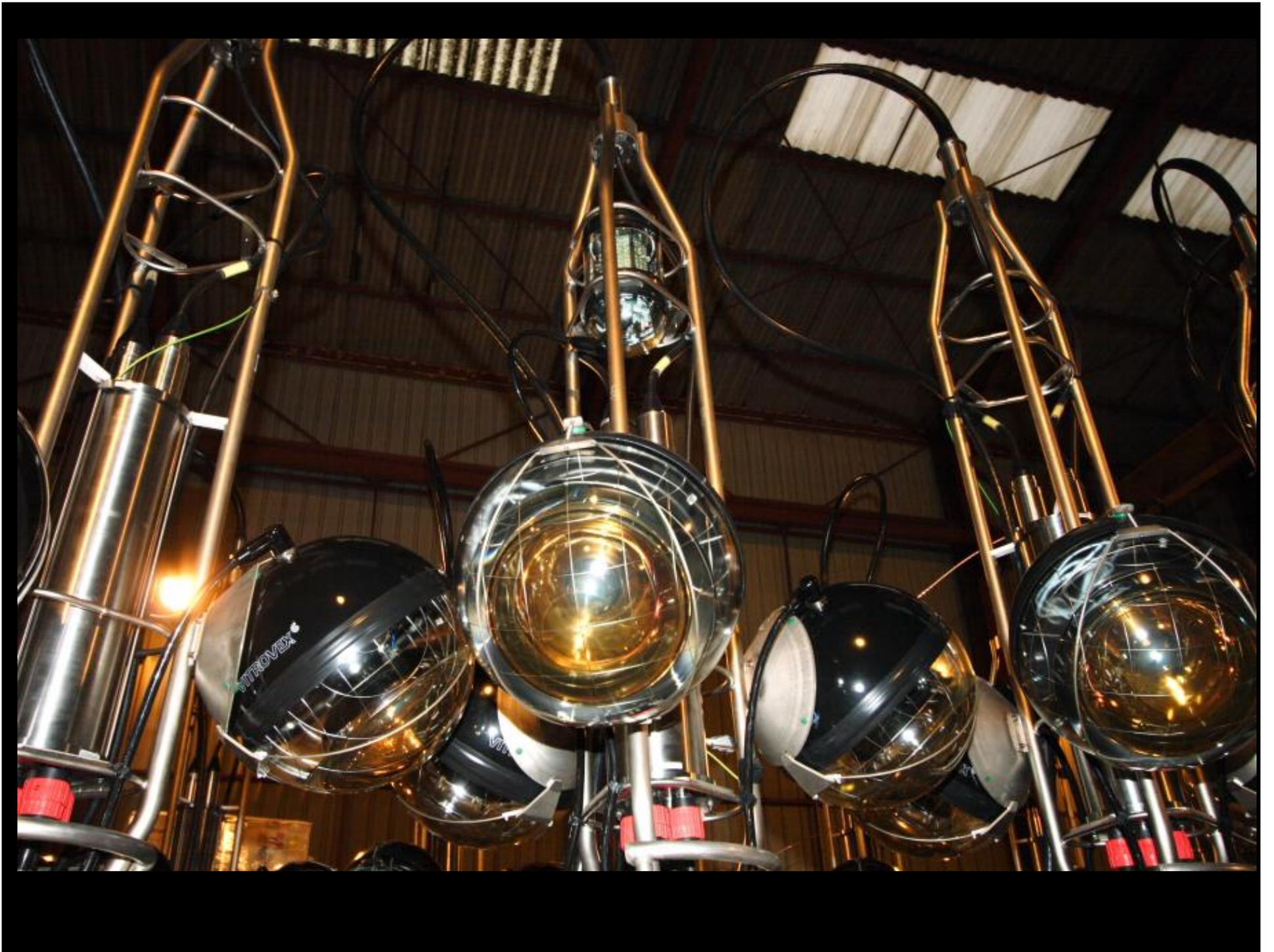
# Effet Cerenkov

Lumière bleue



# « Télescope » à neutrinos





# « Téléscopes » à neutrinos

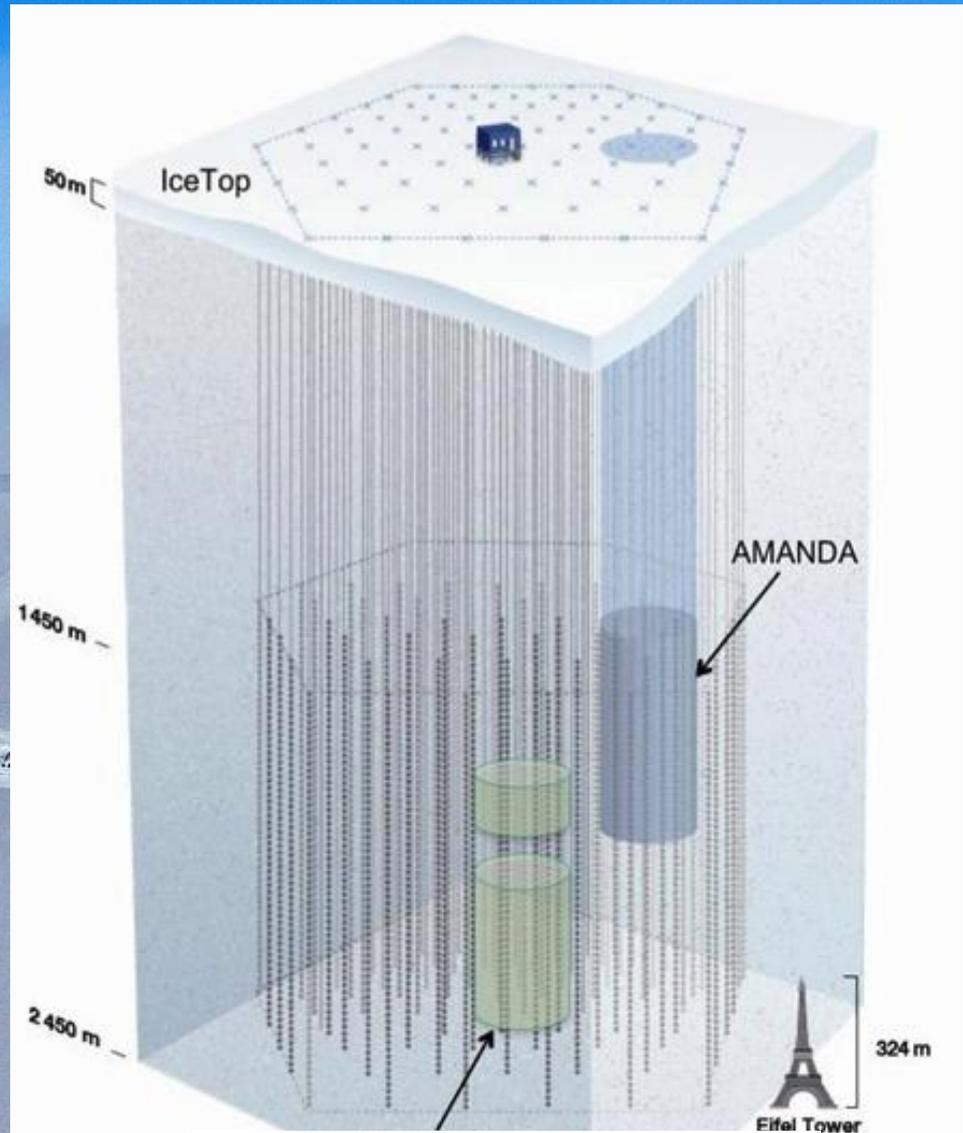


Antares  
0.1 km<sup>2</sup> x 400m

Ice Cube  
1 km<sup>2</sup> x 1 km

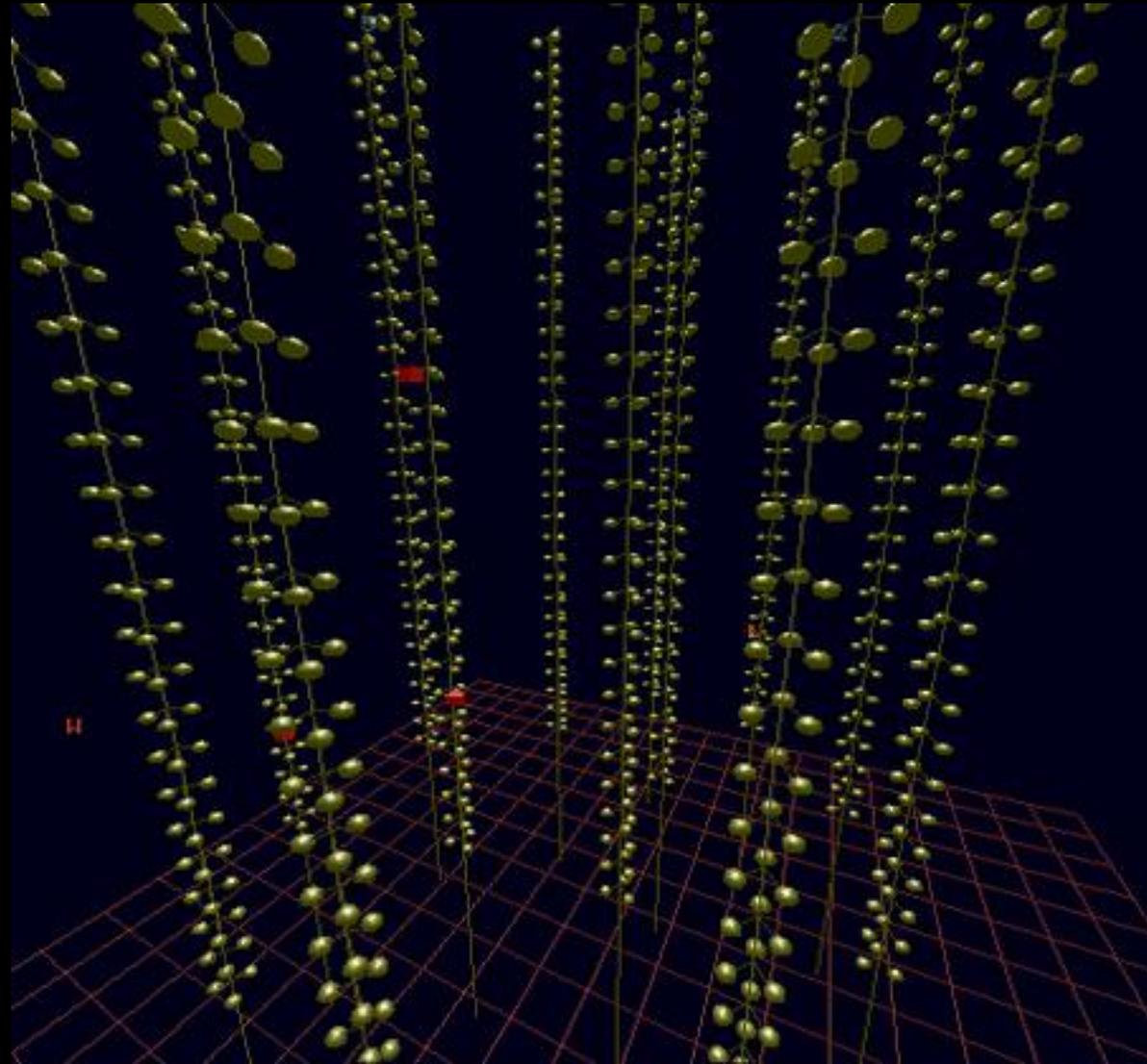






20.000 fois plus grand  
que Super-Kamiokande

# « Téléscopes » à neutrinos



# « Téléscopes » à neutrinos

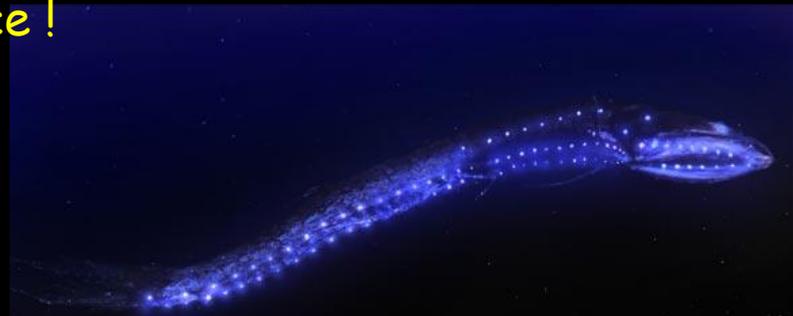
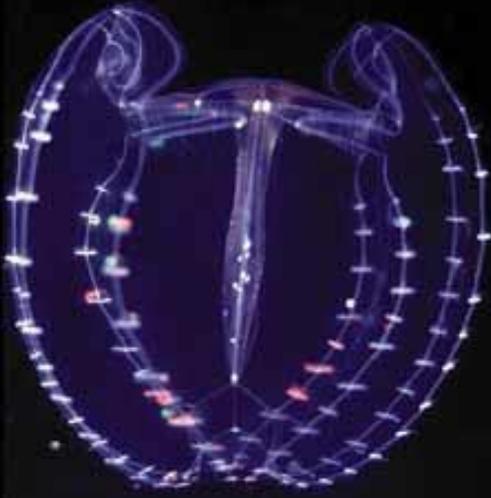
Scintillement du télescope :

radioactivité naturelle



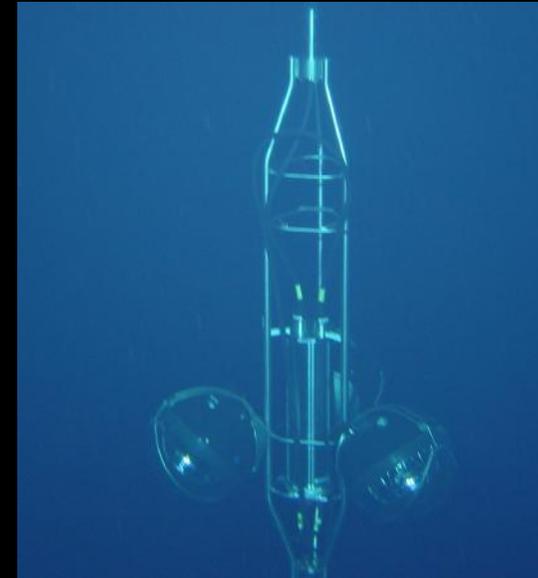
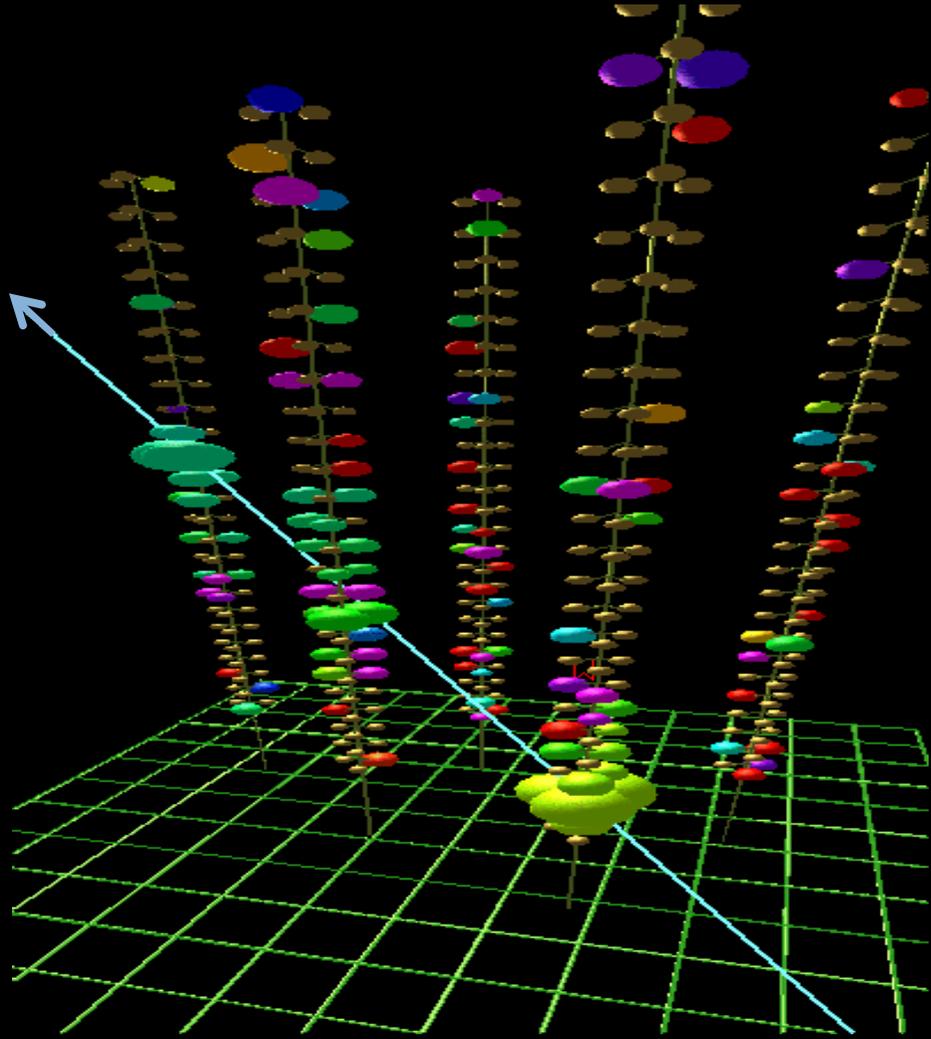
© DeepSeaPhotography.Com

bioluminescence !



© DeepSeaPhotography.Com

# « Téléscopes » à neutrinos



# Conclusion

Messenger historique : lumière

Approches nouvelles et informations complémentaires

rayons cosmiques

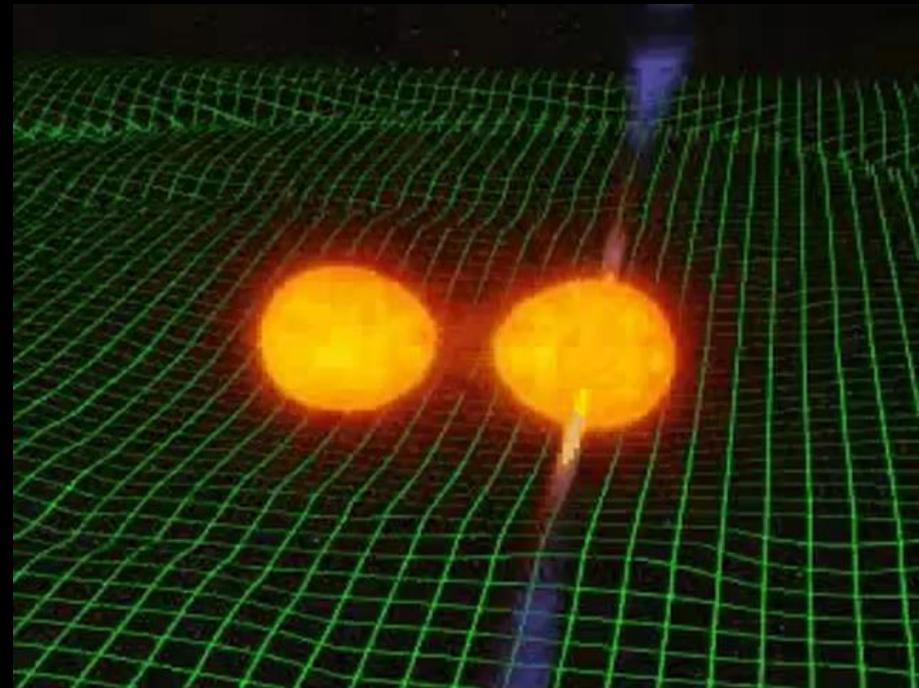
neutrinos

# Conclusion

Et pour aller plus loin ... ondes gravitationnelles

Événements ultra violents

Fusion de 2 étoiles à neutrons  
(Hulse et Taylor 1993)



SCIENCE  
OUVERTE

Seuil



Prix du livre  
d'astronomie  
2012

NATHALIE PALANQUE-DELABROUILLE  
JACQUES DELABROUILLE

# Les nouveaux messagers du cosmos