

SAF

Les nouveaux messagers du Cosmos

Nathalie Palanque-Delabrouille
CEA-Saclay
20 septembre 2014

Observations multi longueurs d'onde



1km

1m

1mm

1 μ m

0,1 μ m

10nm

0,01nm



Radio

Micro-ondes

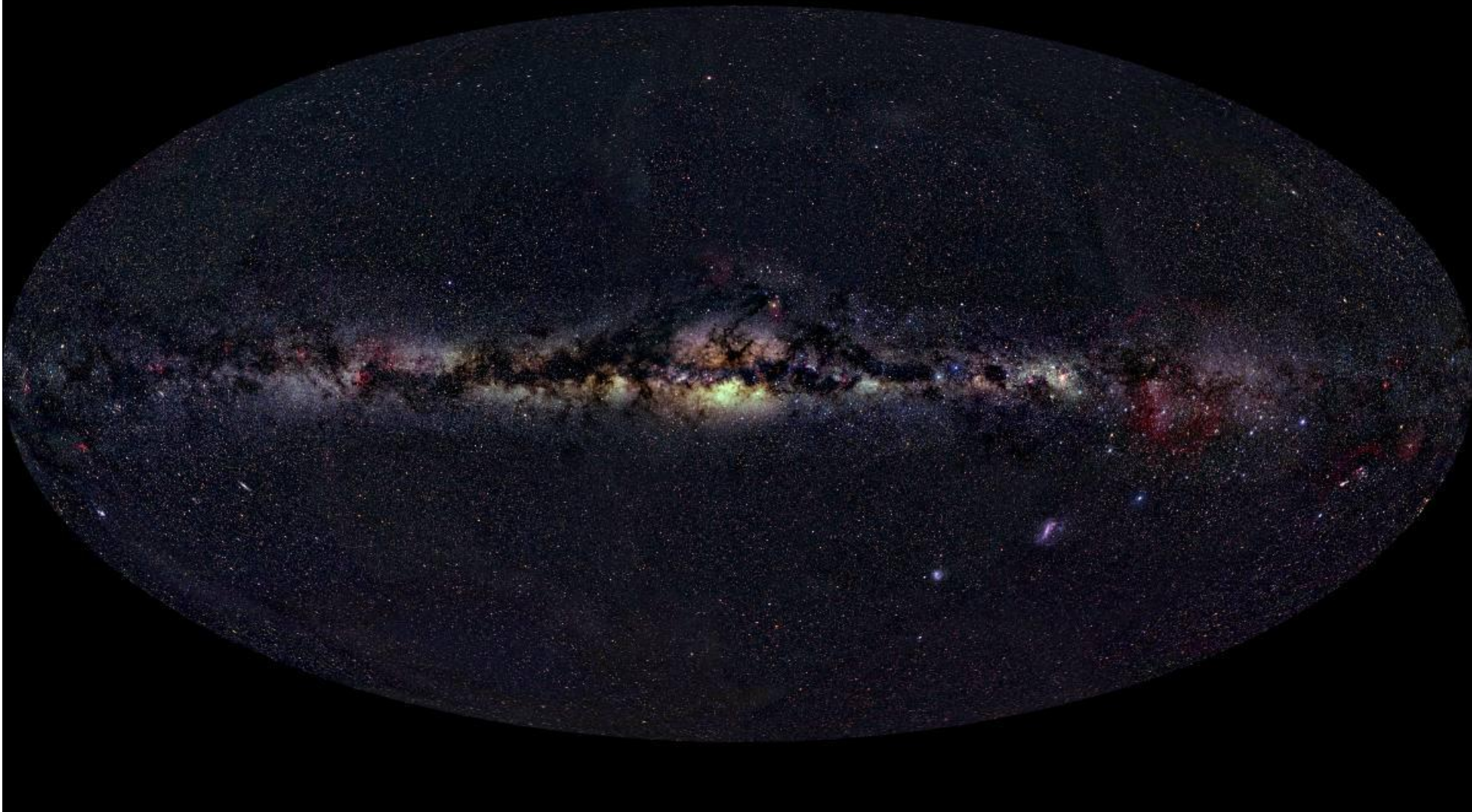
Infrarouge

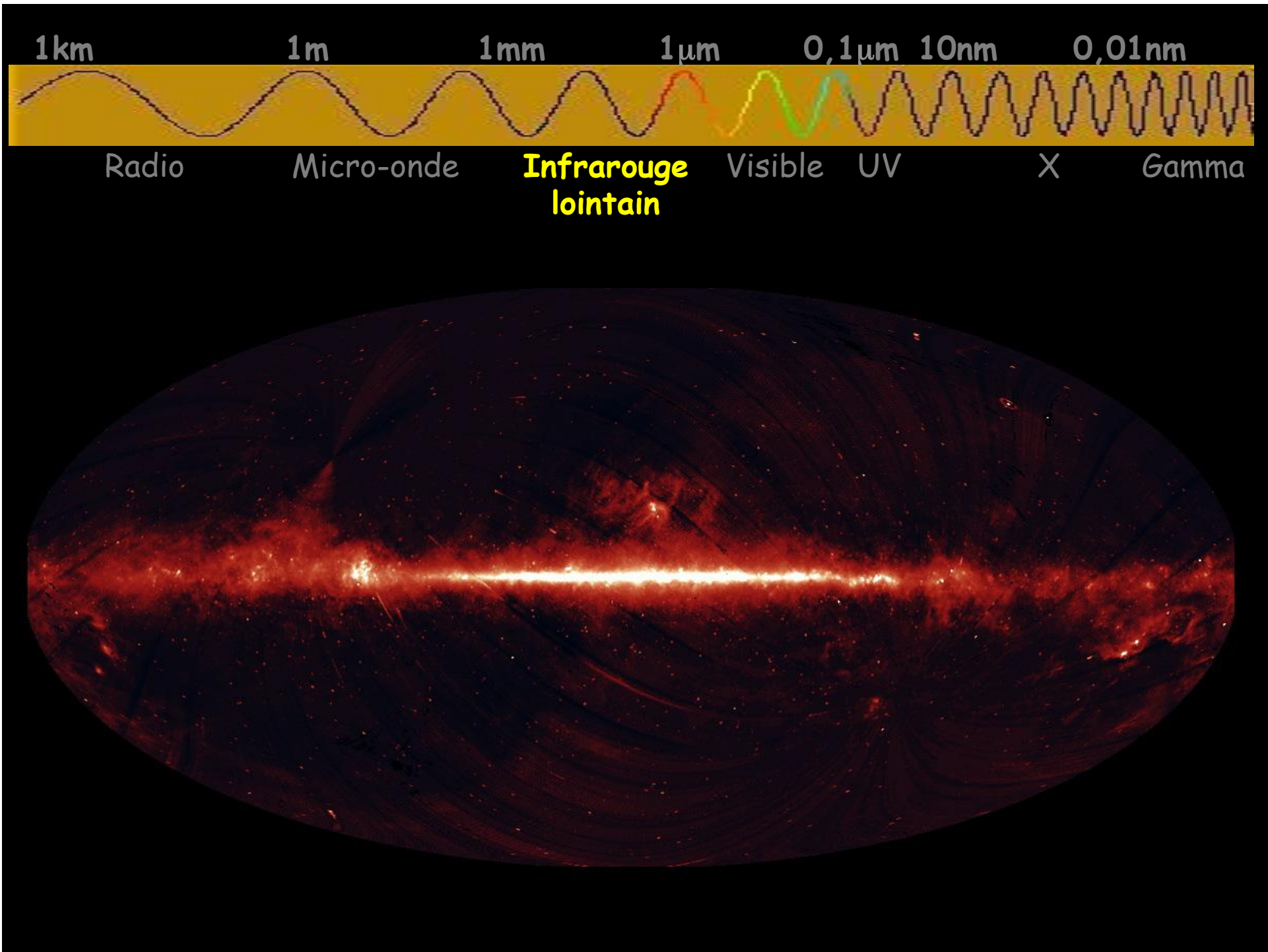
Visible

UV

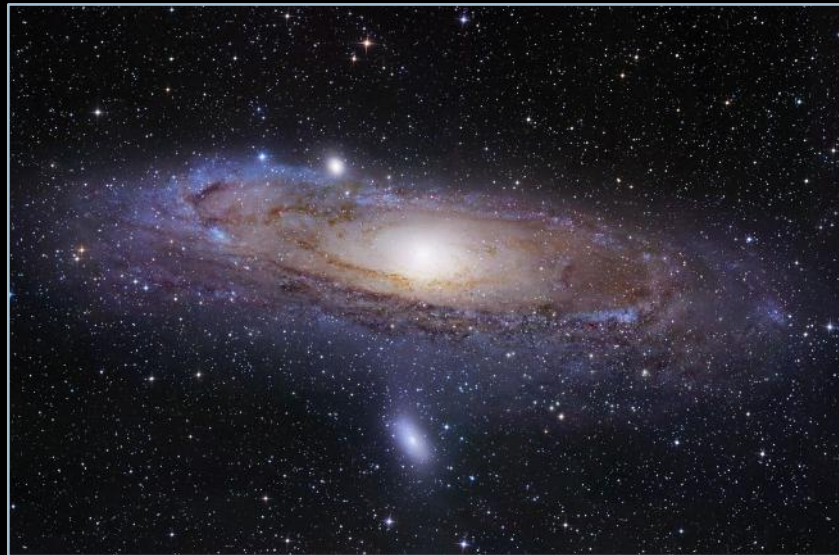
X

Gamma

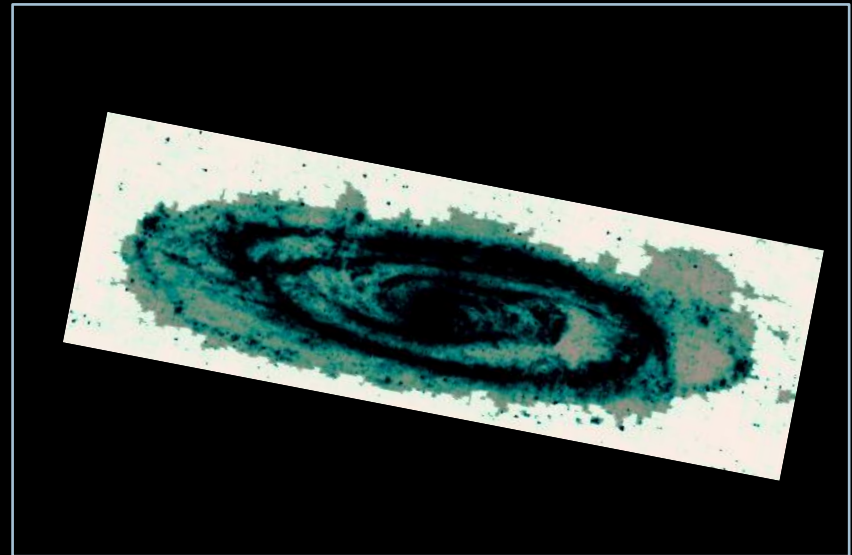




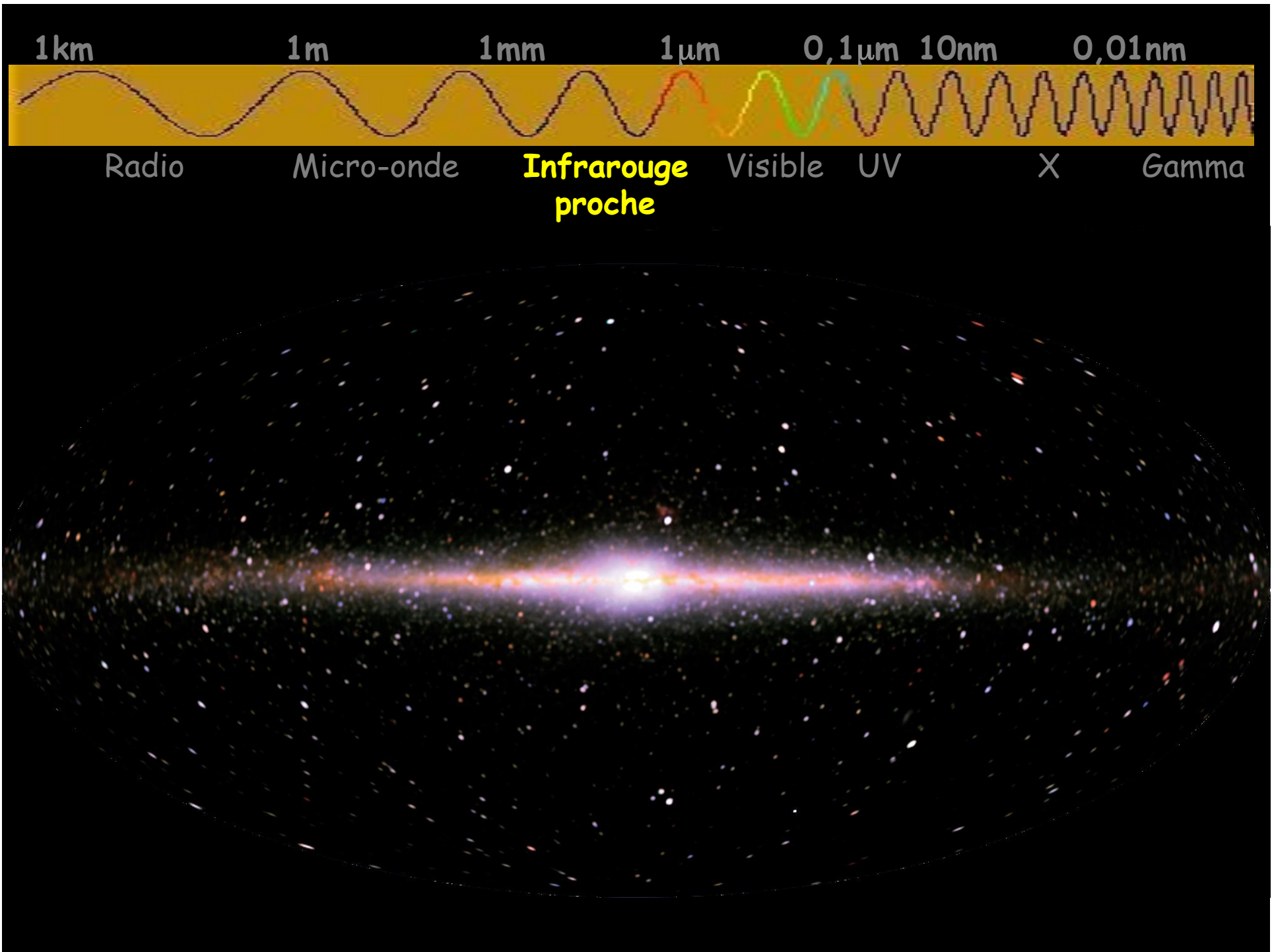
Andromède

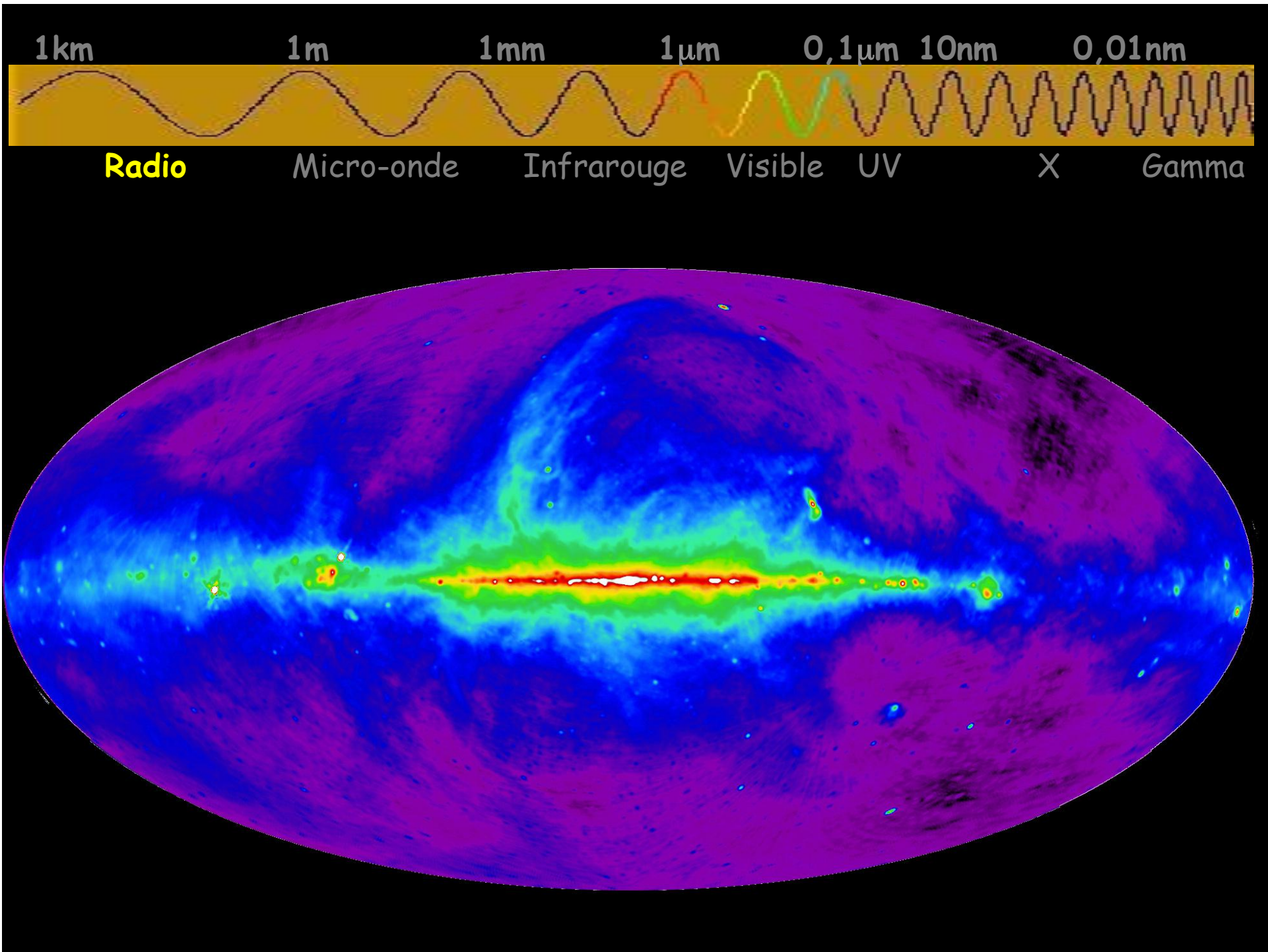


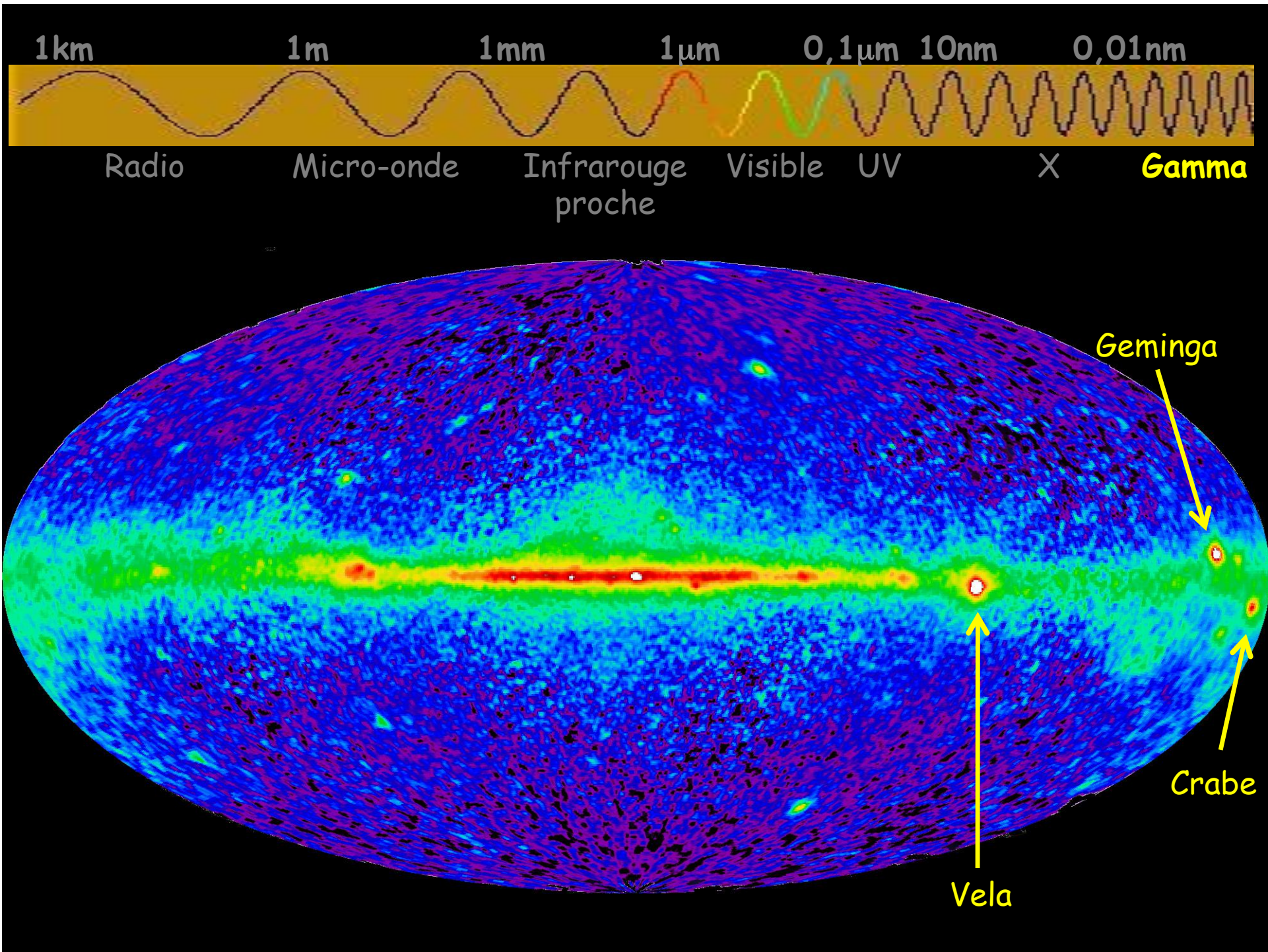
visible



infrarouge

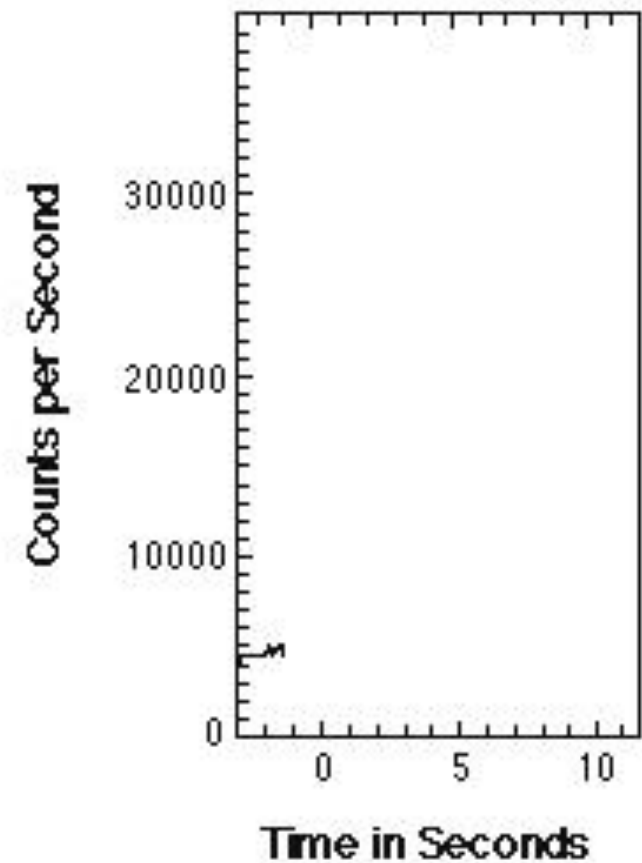
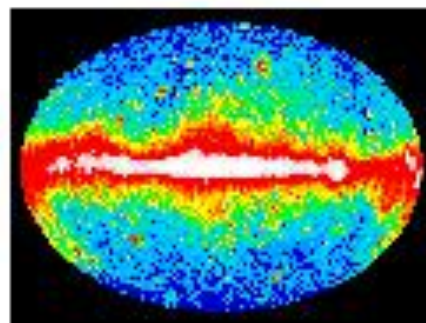






Sursauts gamma

Satellites VELA
(1967)



Nouveaux messagers



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

Les neutrinos
et les « télescopes » à neutrinos

Les ondes gravitationnelles

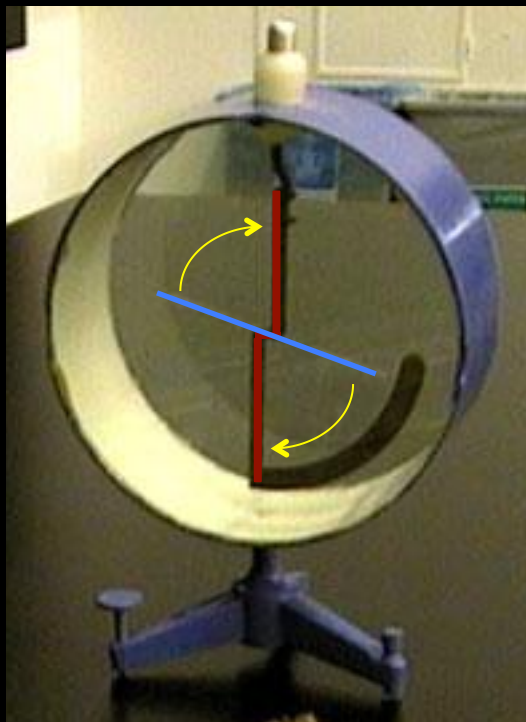


Découverte des rayons cosmiques

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)

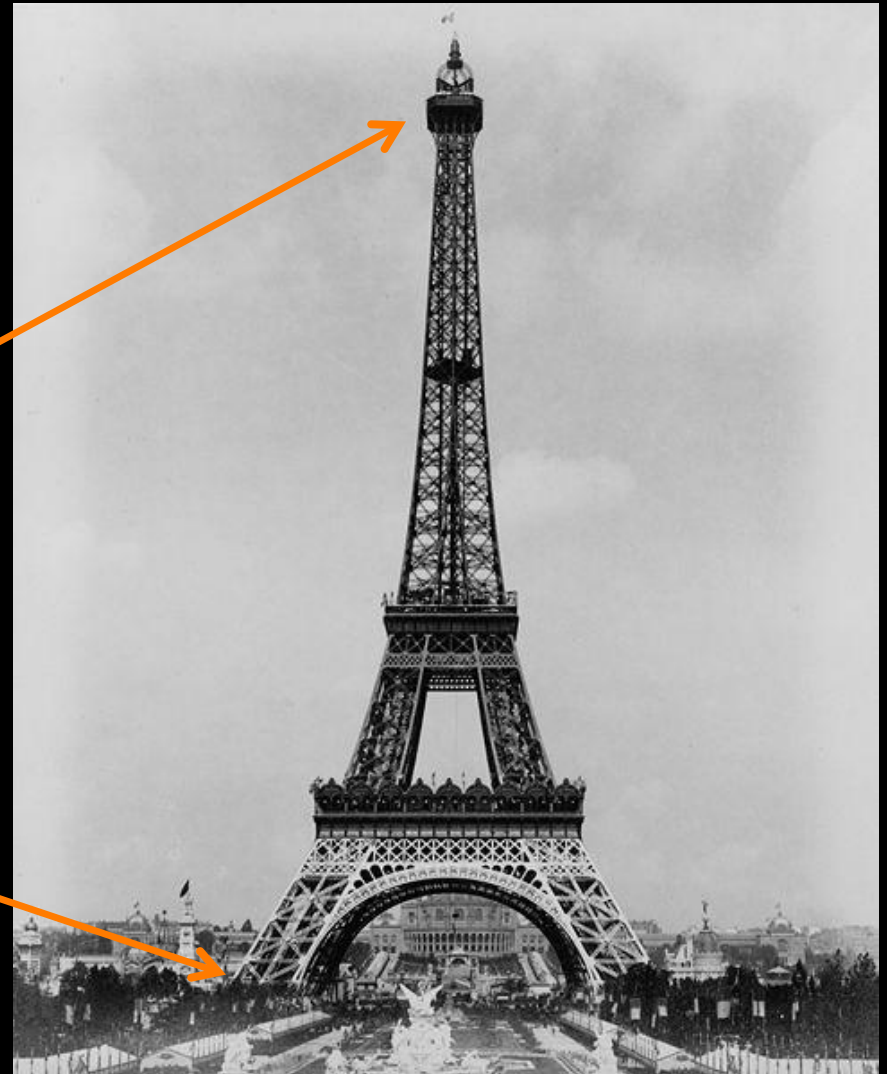
en haut

prédiction 0,4 ions / cm³/s

mesure 3,5 ions / cm³/s

au sol

mesure 6 ions / cm³/s



Découverte des rayons cosmiques

1911-1913

Victor Hess
à l'assaut du ciel

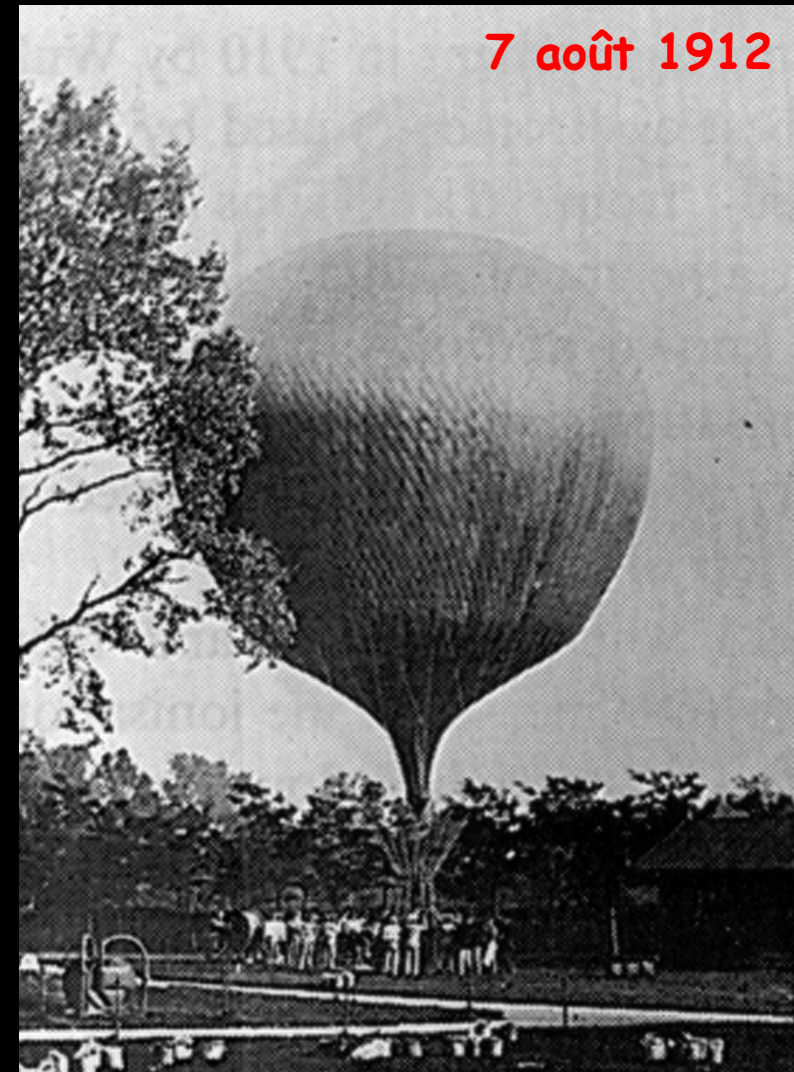
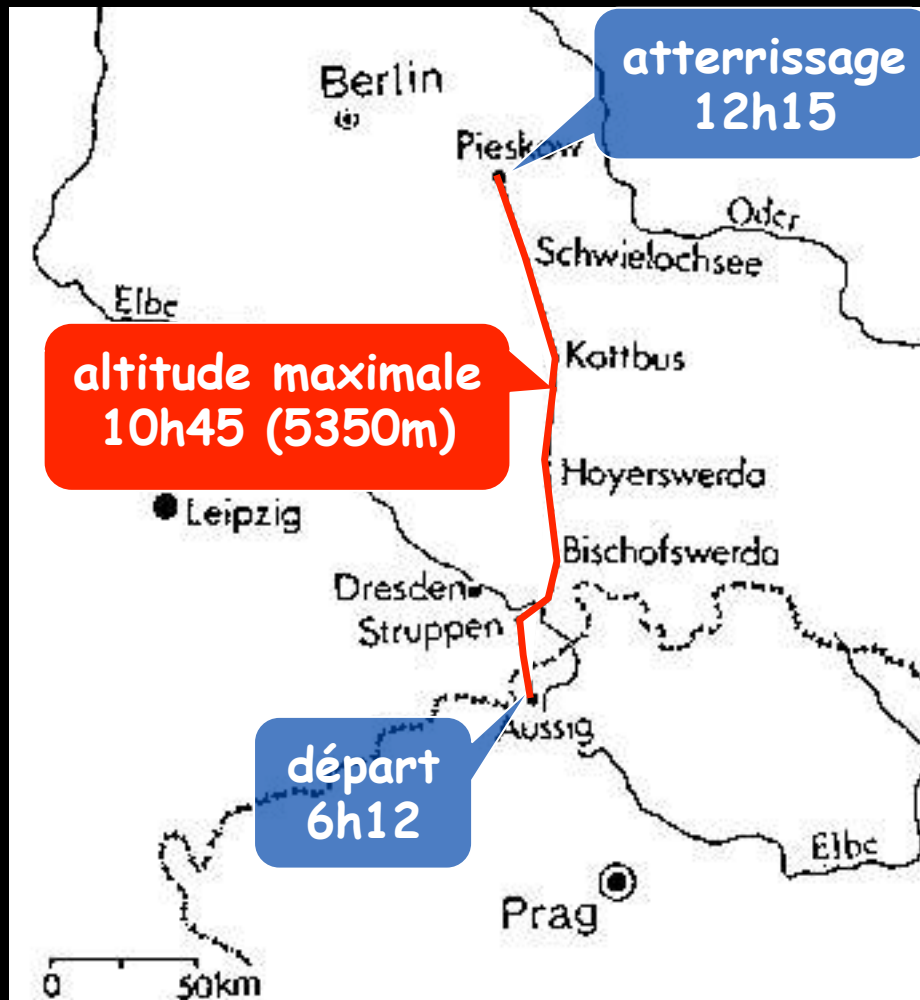
10 vols en ballon

17 avril 1912

éclipse de soleil
→ ne vient pas du soleil

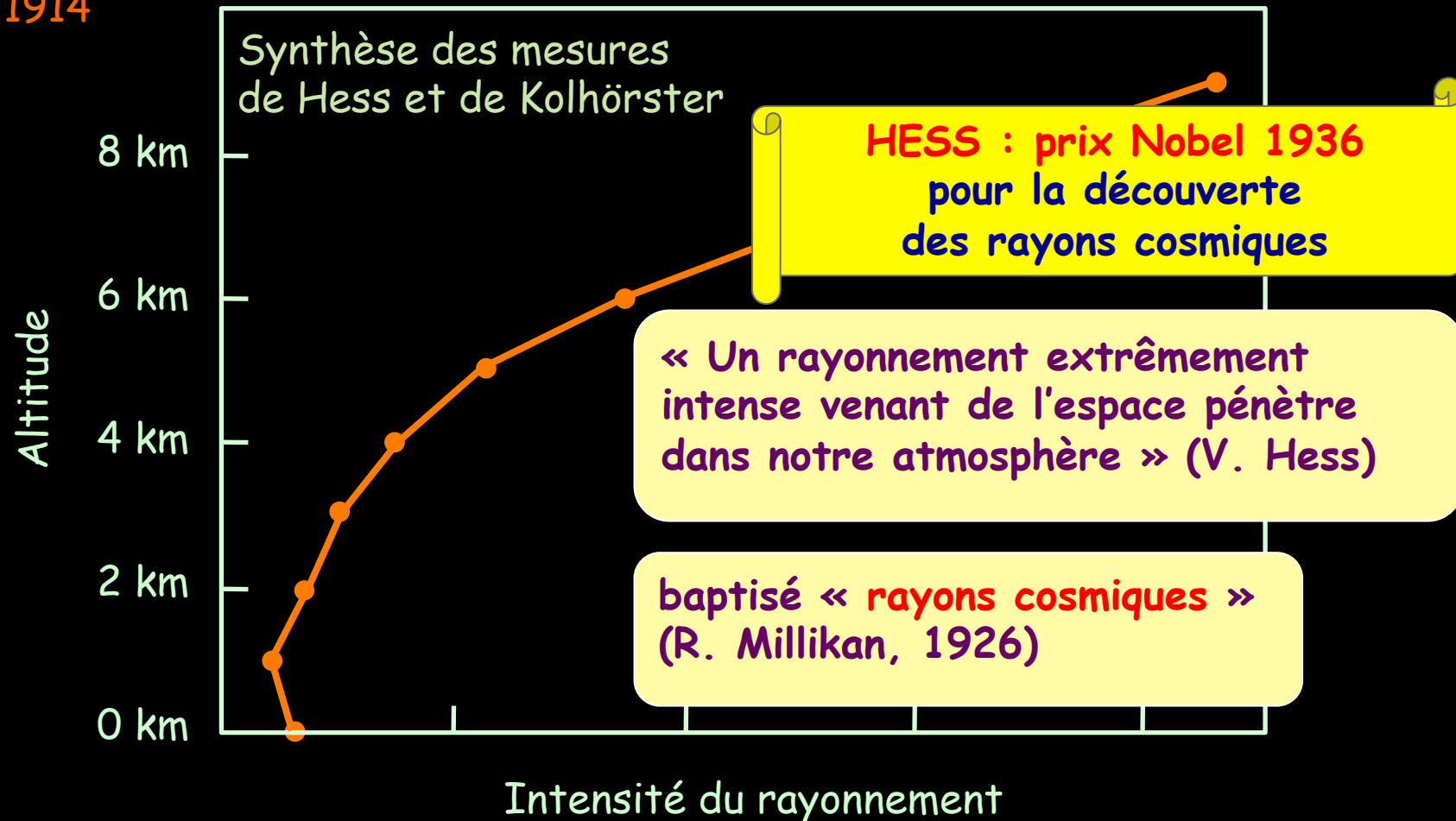


Découverte des rayons cosmiques



Découverte des rayons cosmiques

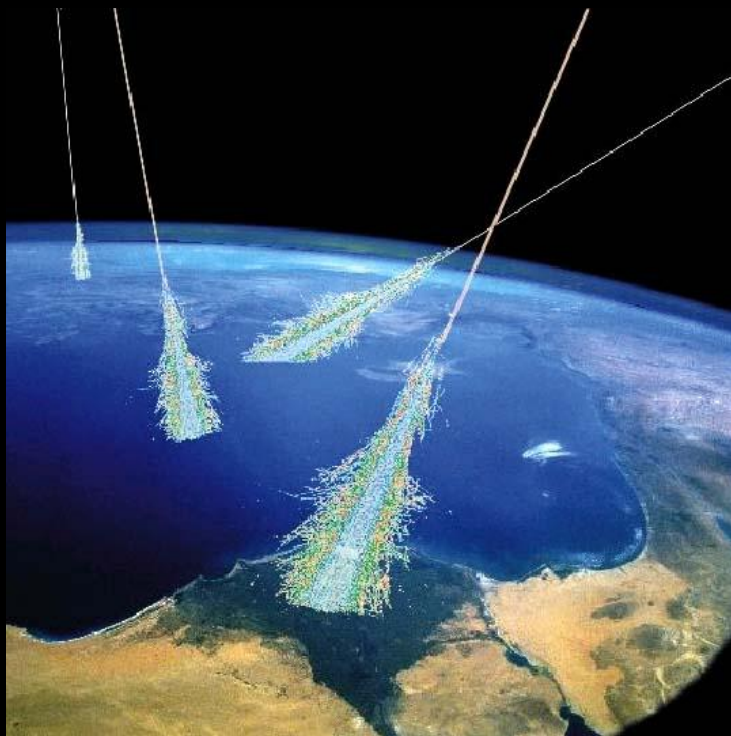
1914



Gerbes atmosphériques

1938 Pierre AUGER

Simultanéité sur grandes distances
⇒ Gerbes atmosphériques

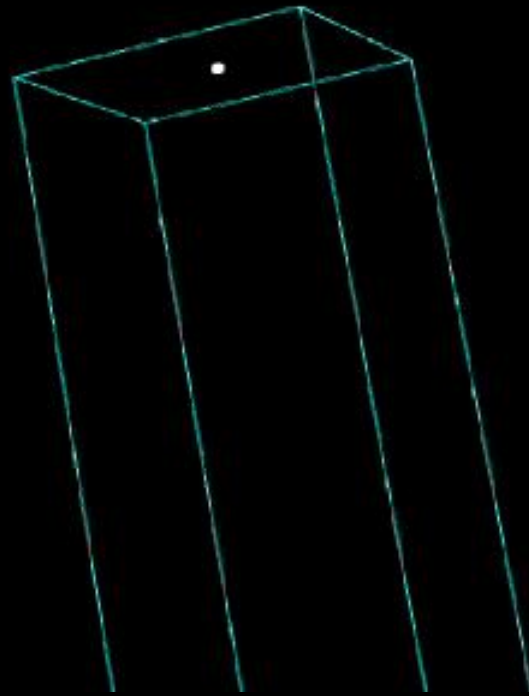


2000

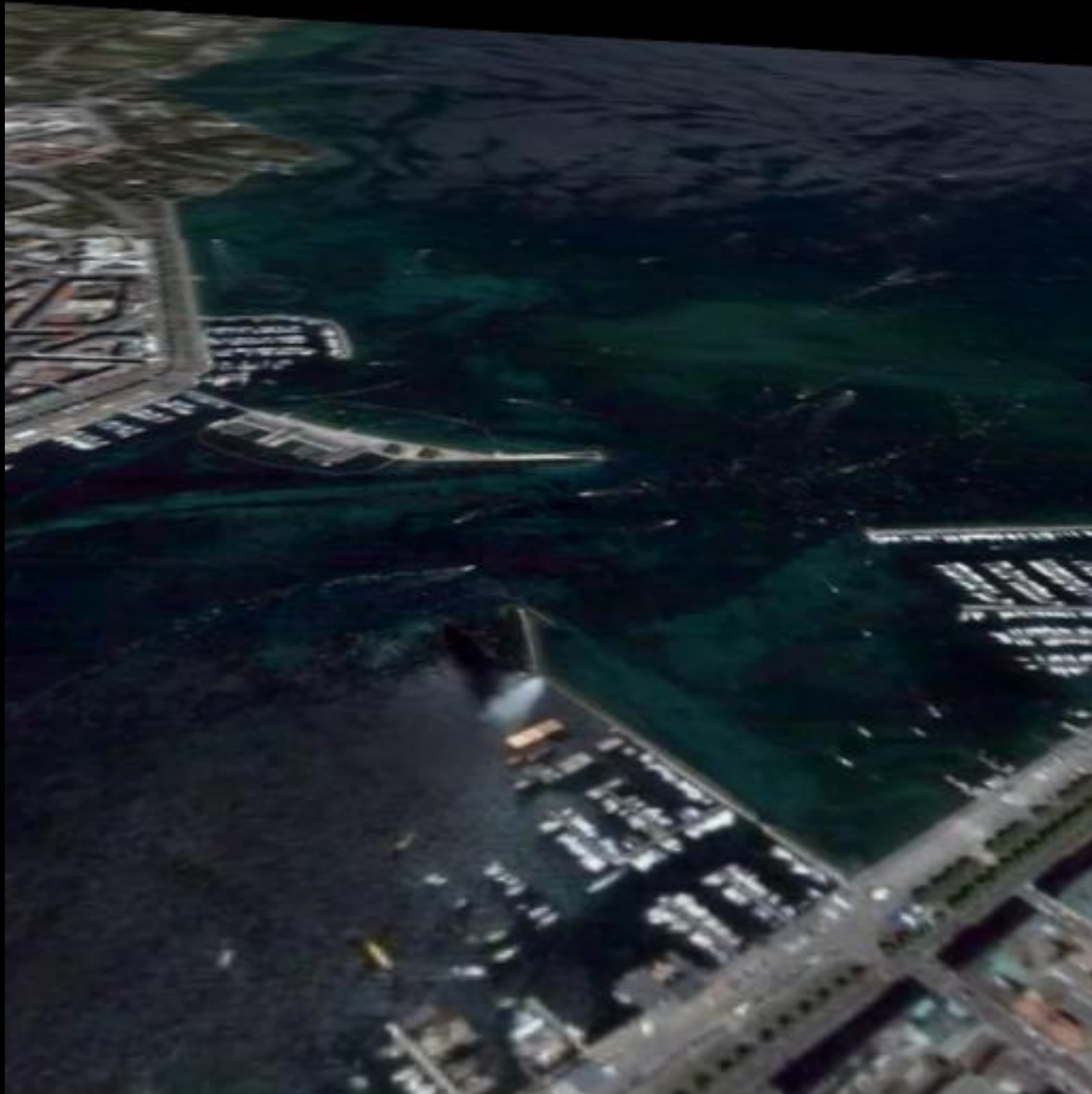
énergie colossale
 $3 \times 10^{20} \text{ eV} = 50 \text{ J}$



Gerbes atmosphériques



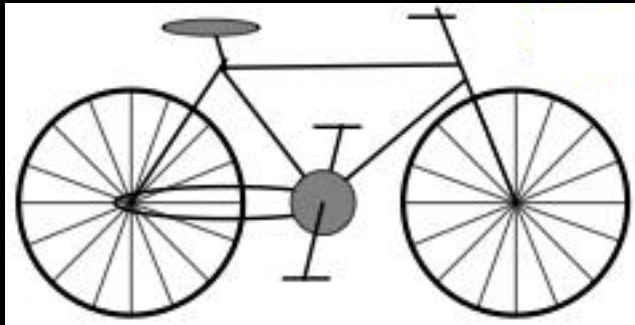
proton de 10^{12} eV



proton
 10^{18} eV

« Rayons » cosmiques ?

NON



Photons (lumière) = rayons

Rayons cosmiques \neq rayons

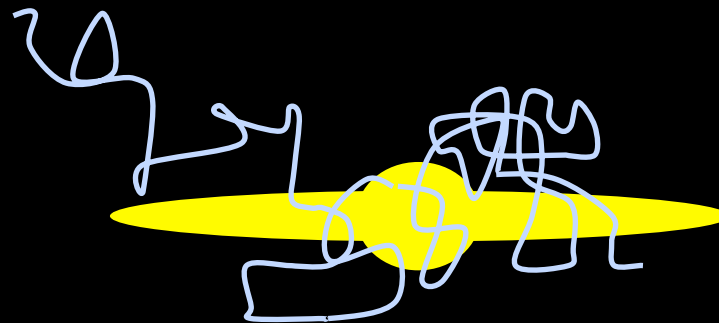
OUI
(hors système
solaire)



« Rayons » cosmiques ?

rayons cosmiques = particules **chargées**

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

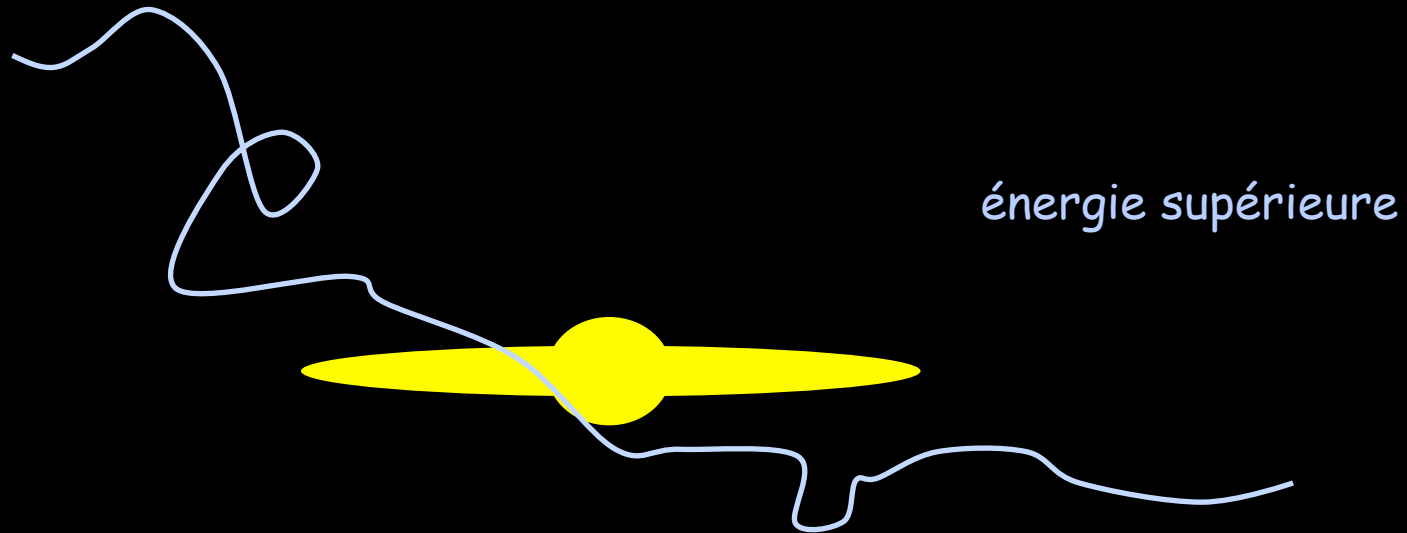


basse énergie

« Rayons » cosmiques ?

rayons cosmiques = particules **chargées**

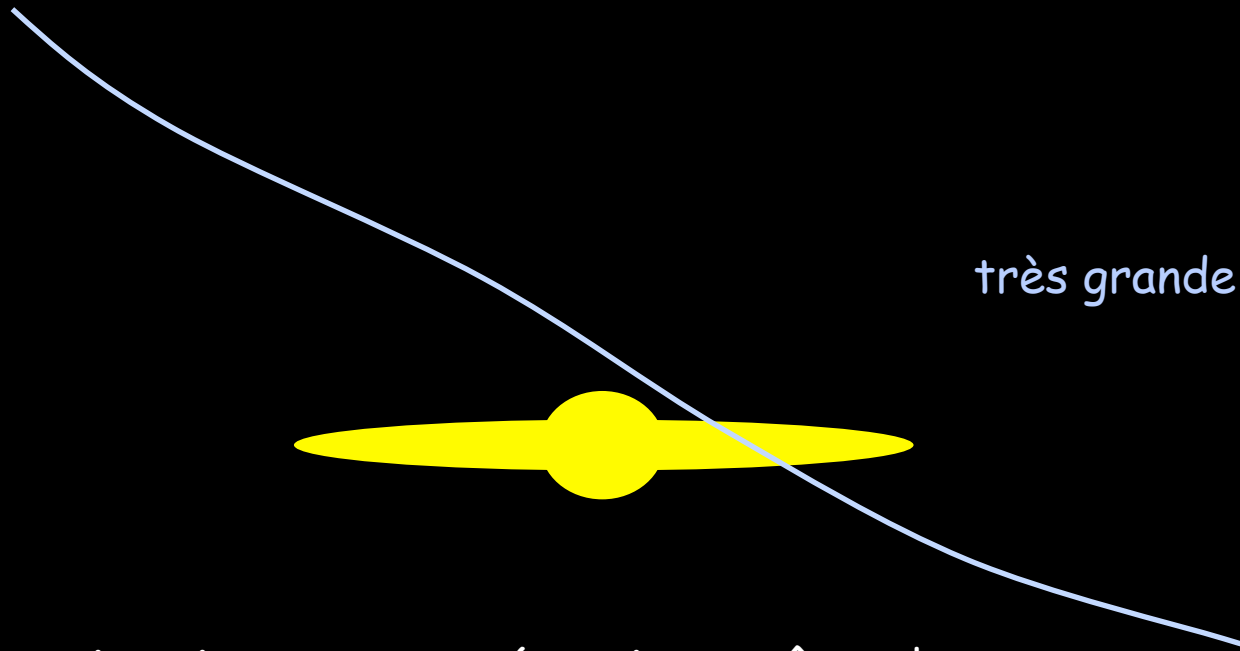
⇒ **déflexion** par les champs magnétiques
(galactiques et intergalactiques)



« Rayons » cosmiques ?

rayons cosmiques = particules **chargées**

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



très grande énergie !

⇒ Astronomie uniquement aux énergies extrêmes !



Rayons cosmiques

Etat des lieux

Rayon cosmique: un nouveau messenger

32 ordres de grandeur
en flux



1 particule / m² / s

1 particule / m² / an

12 ordres de grandeur
en énergie



LHC

particule / km² / siècle

Accélérateurs cosmiques ? Ondes de choc

Supernova

avant

après

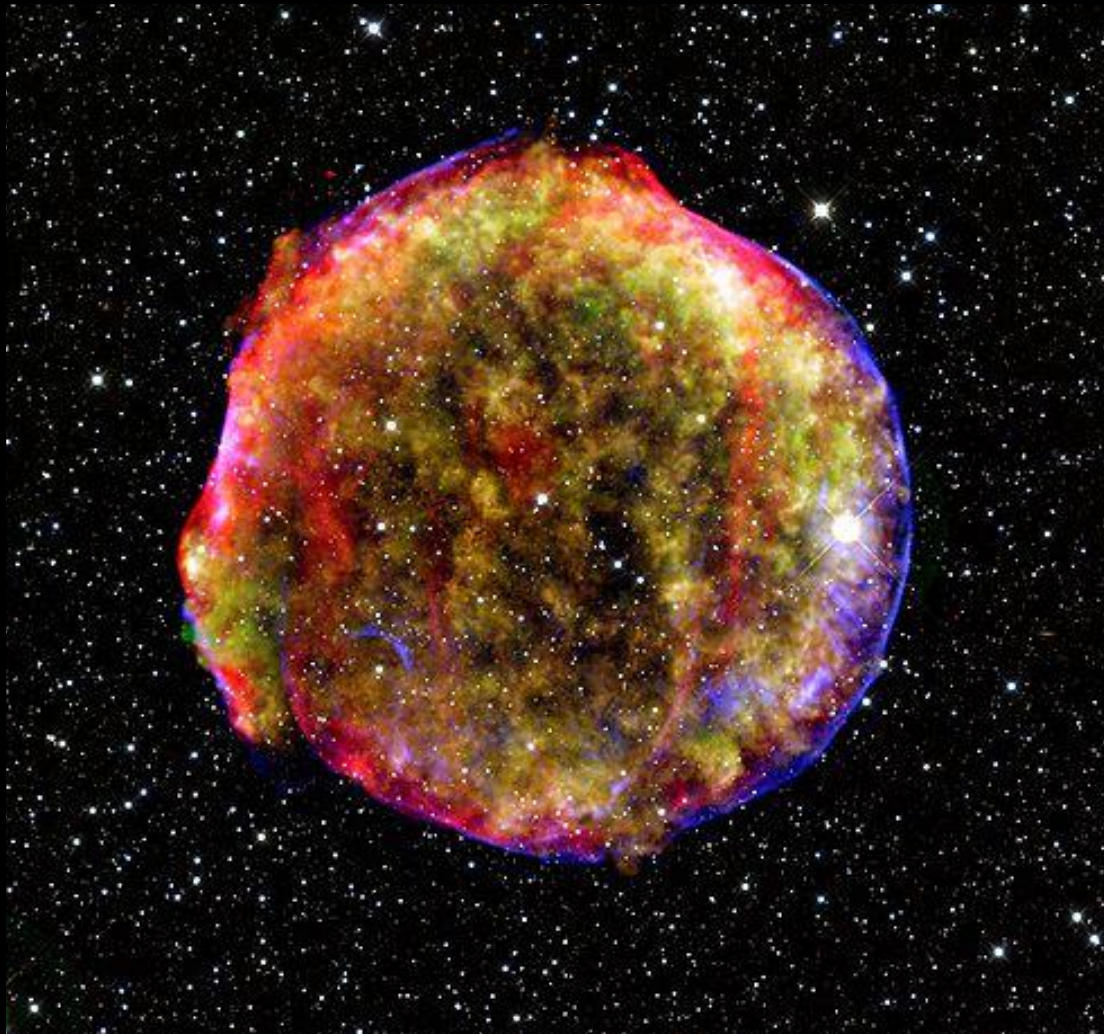


quelques
siècles
plus
tard



1 SN II / 50 ans dans galaxie

Restes de Supernovae



SN de Tycho Brahe
(1572)



Restes de Supernovae

SN de Kepler
(1604)

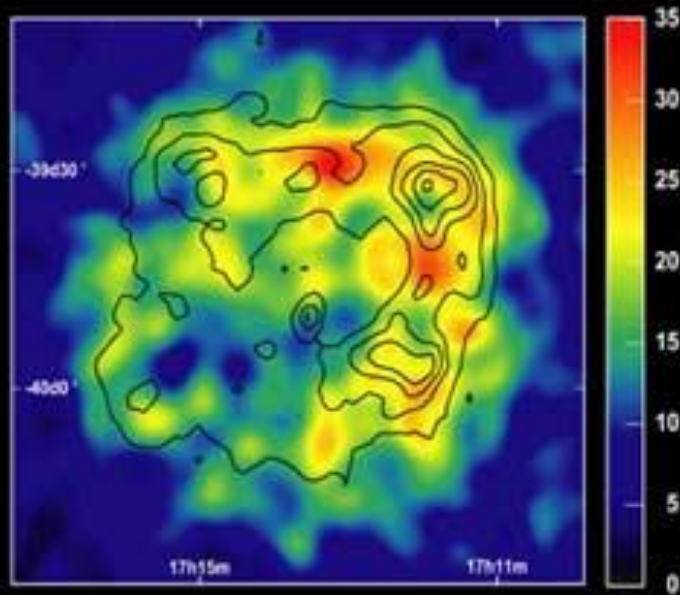


Restes de Supernovae



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

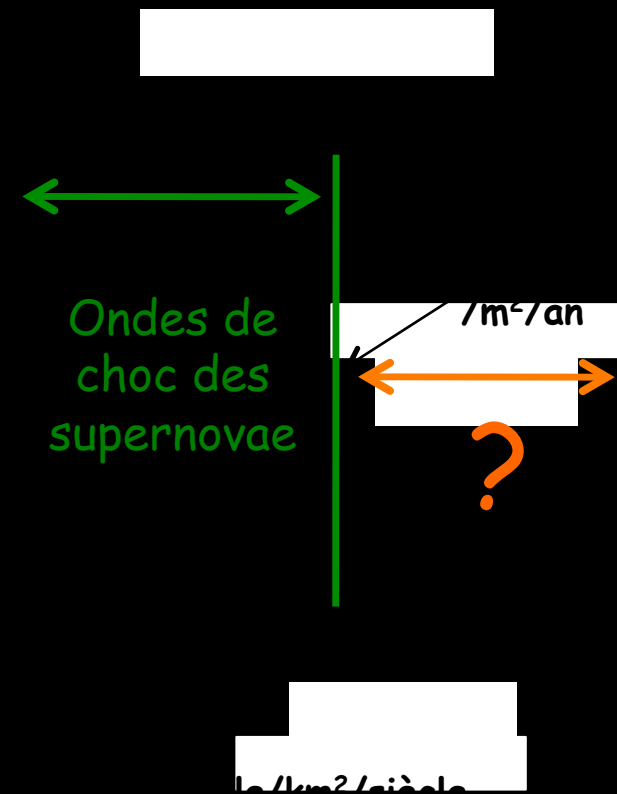
Énergie maximale \propto $\left[\begin{array}{l} \text{champ magnétique} \\ \text{dimensions} \end{array} \right.$

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

Au delà de 10^{15} eV

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

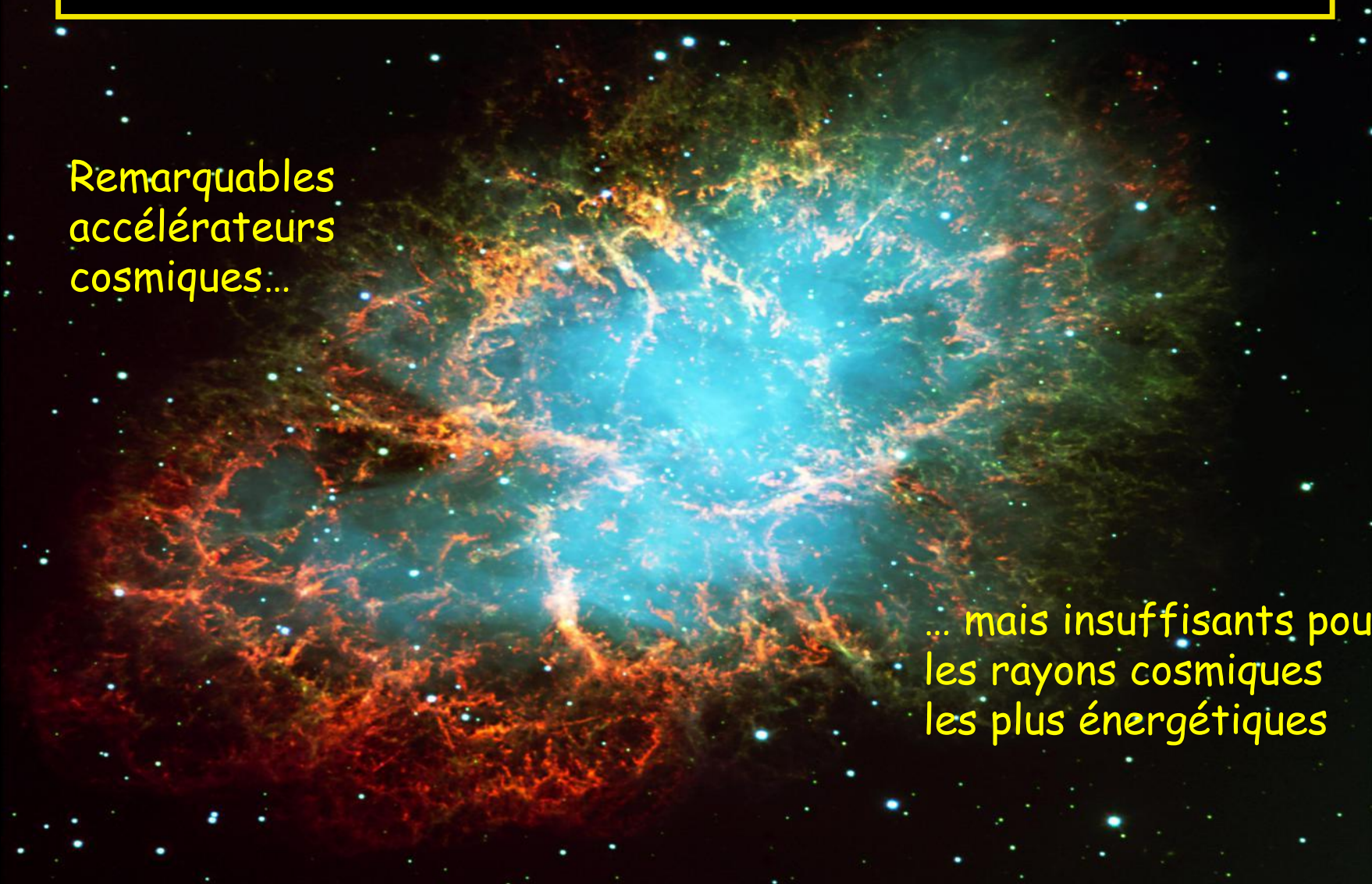
\Rightarrow sources EXTRA-galactiques?



Ondes de choc et Supernovae

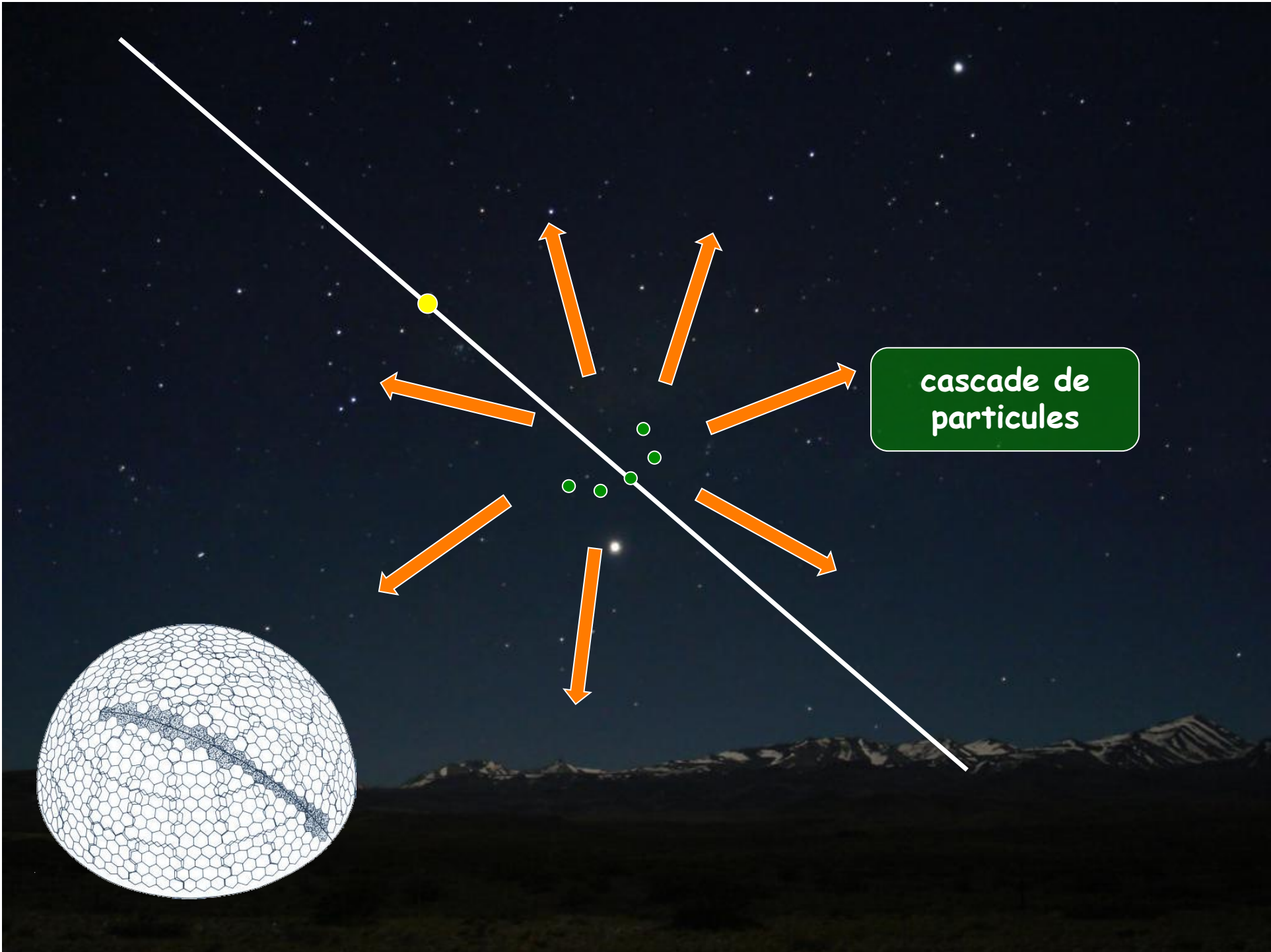
Remarquables
accélérateurs
cosmiques...

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

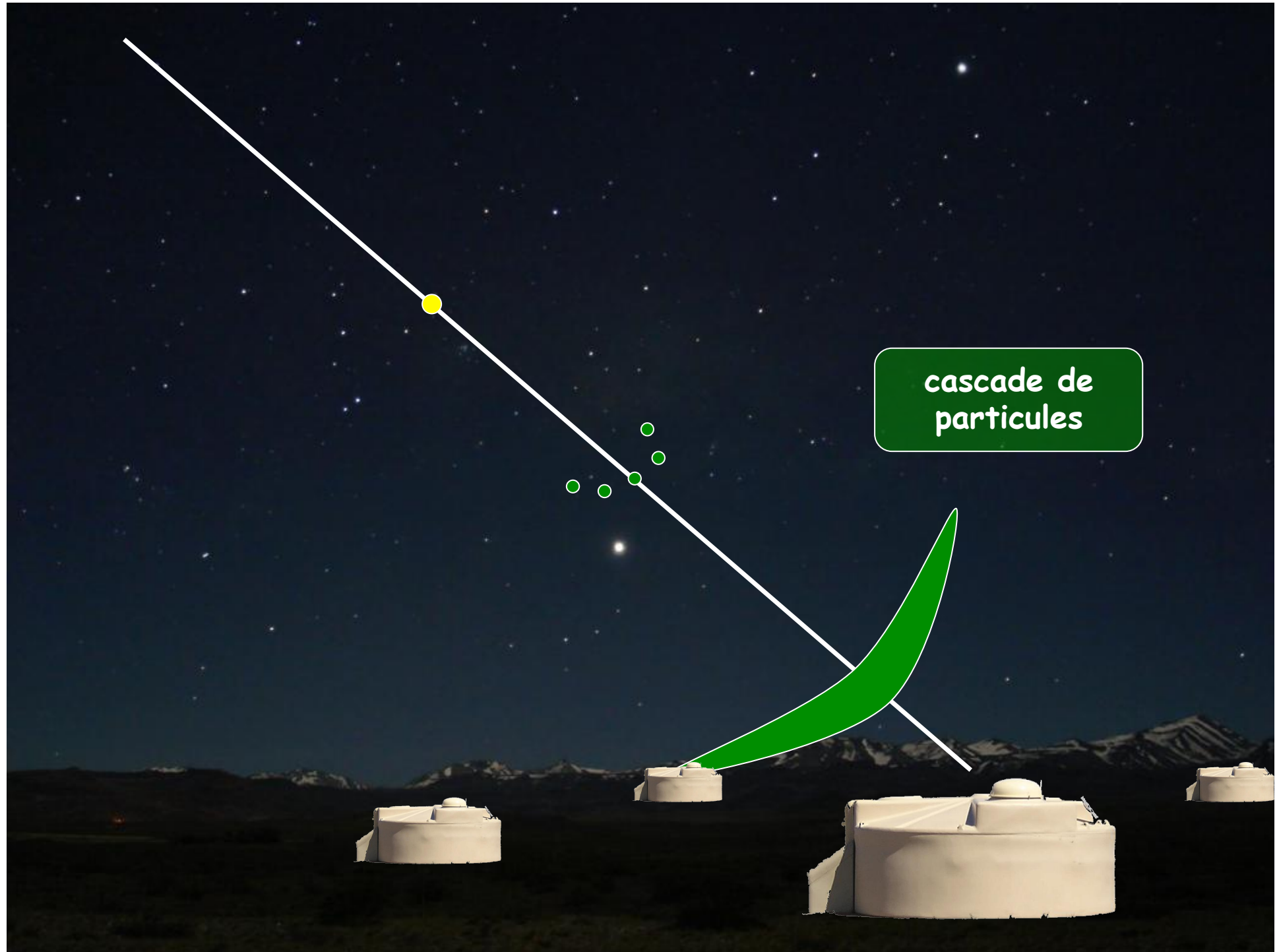




Aux plus hautes
énergies

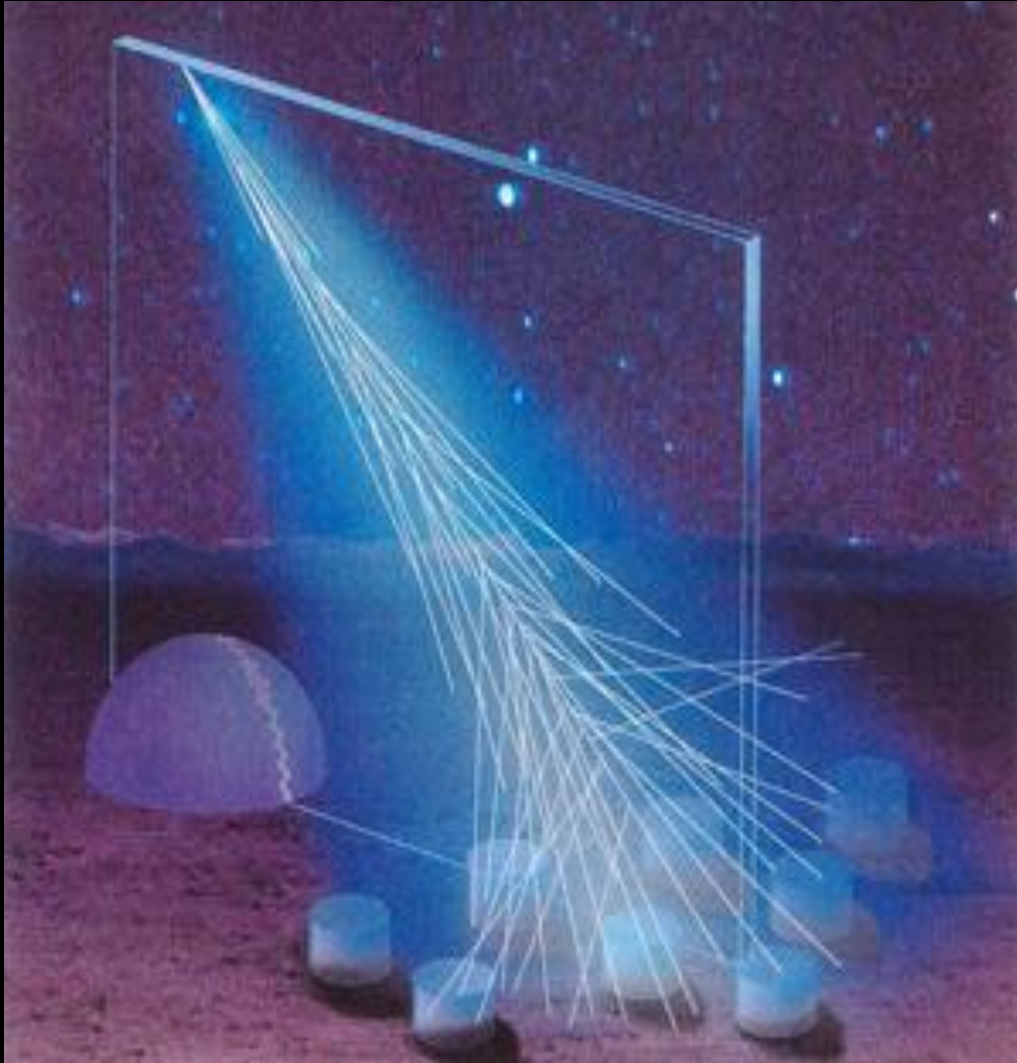


cascade de
particules



cascade de
particules

au delà de 10^{15} eV



Expérience AUGER

Technique hybride

1600 détecteurs sol
+ 4 télescopes pour fluorescence

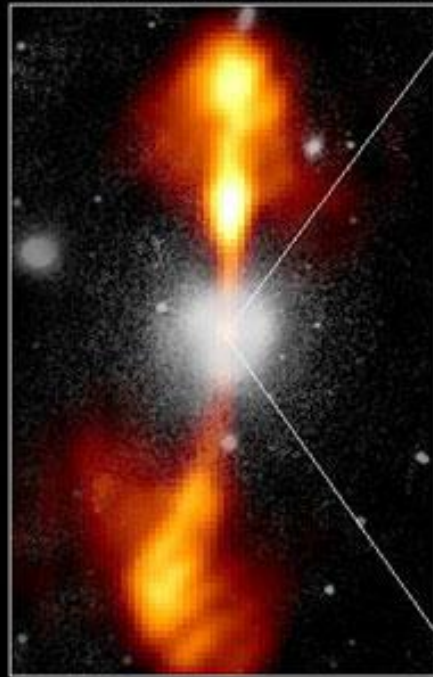
3000 km²

en Argentine

au delà de 10^{15} eV

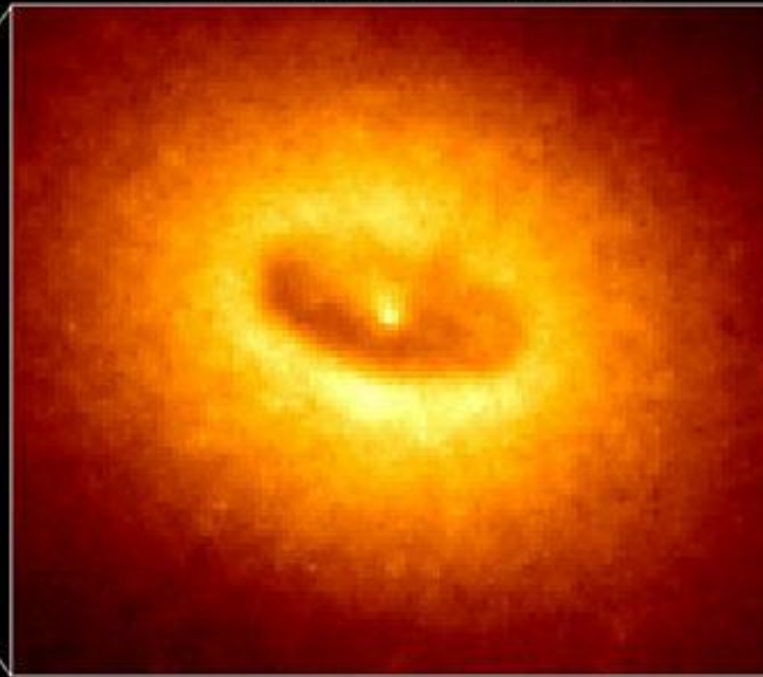
Quelles sources ? Noyaux actifs de galaxie ?

Ground-Based Optical/Radio Image



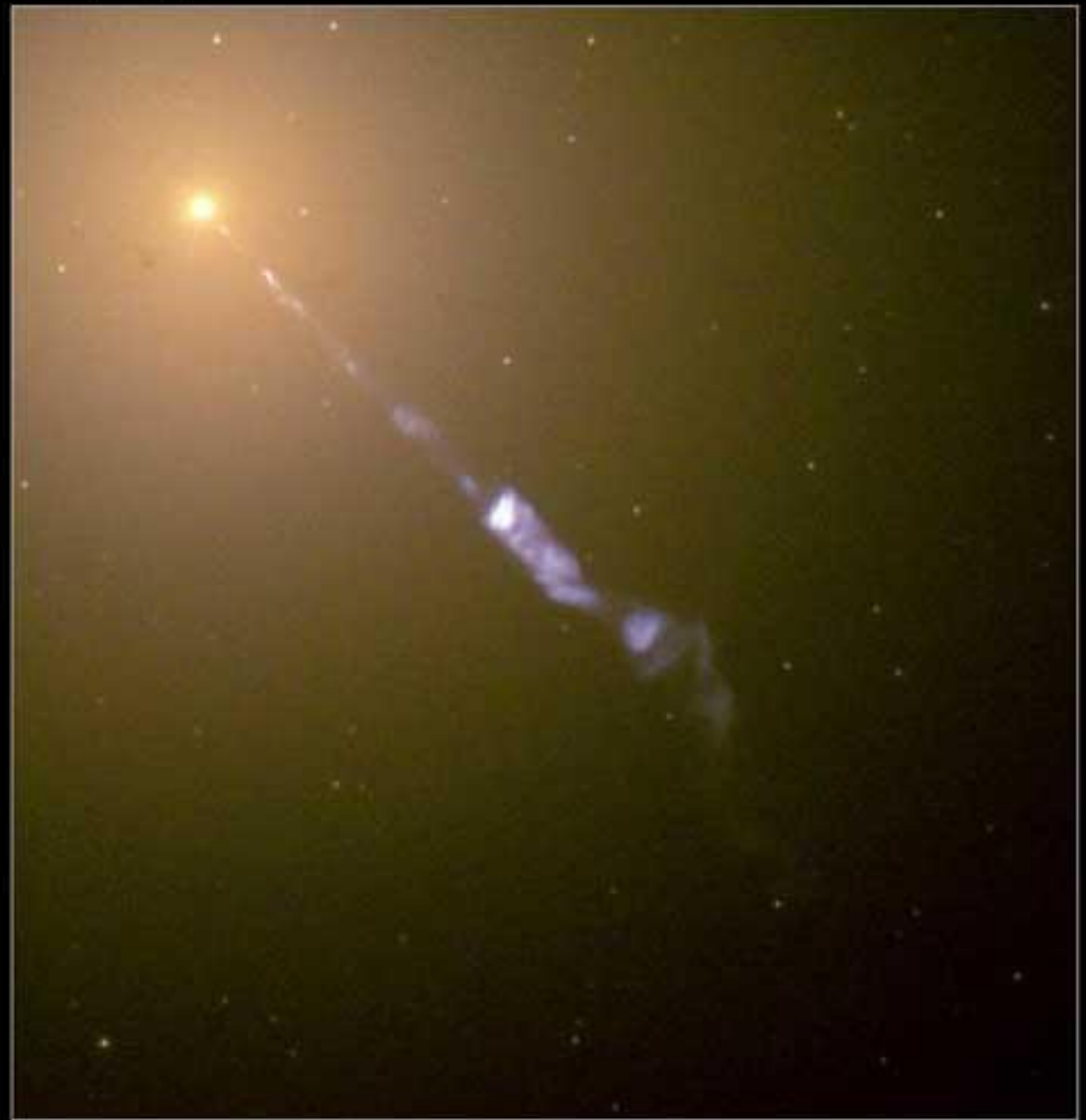
380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



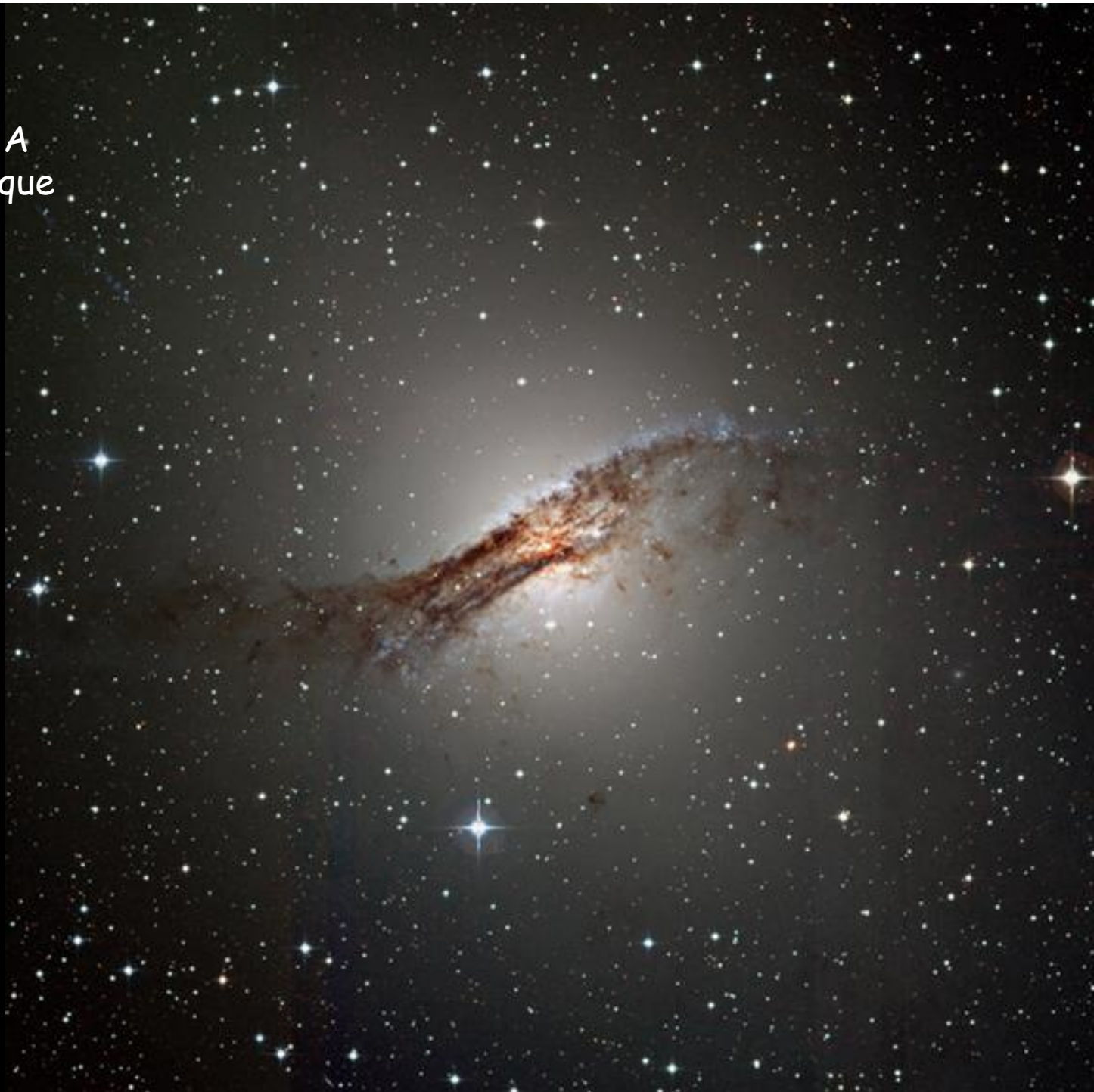
17 Arc Seconds
400 LIGHTYEARS

The M87 Jet

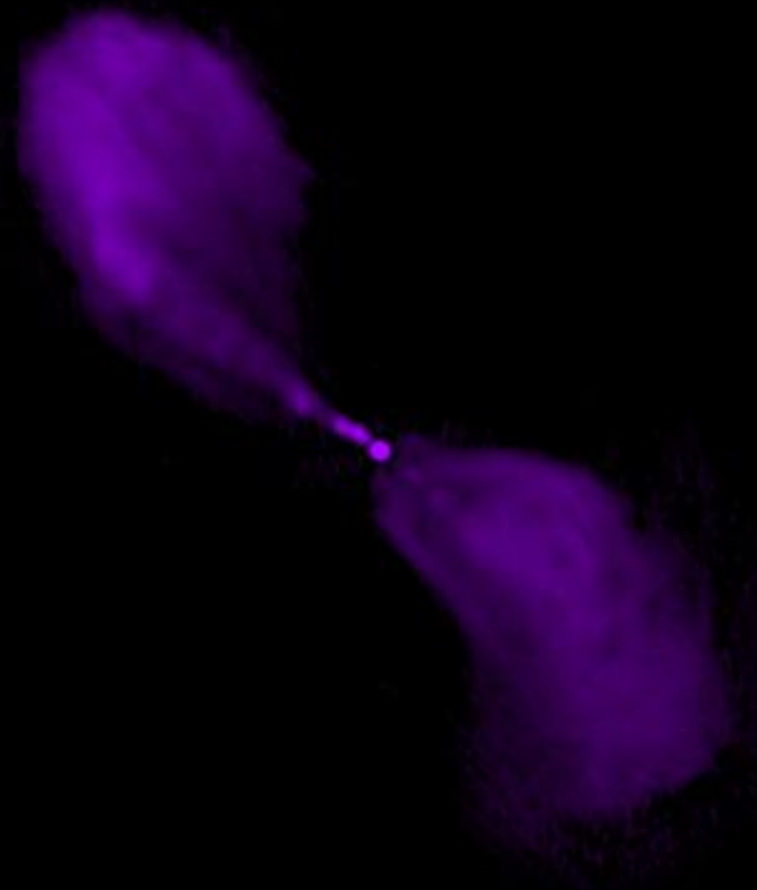


Hubble
Heritage

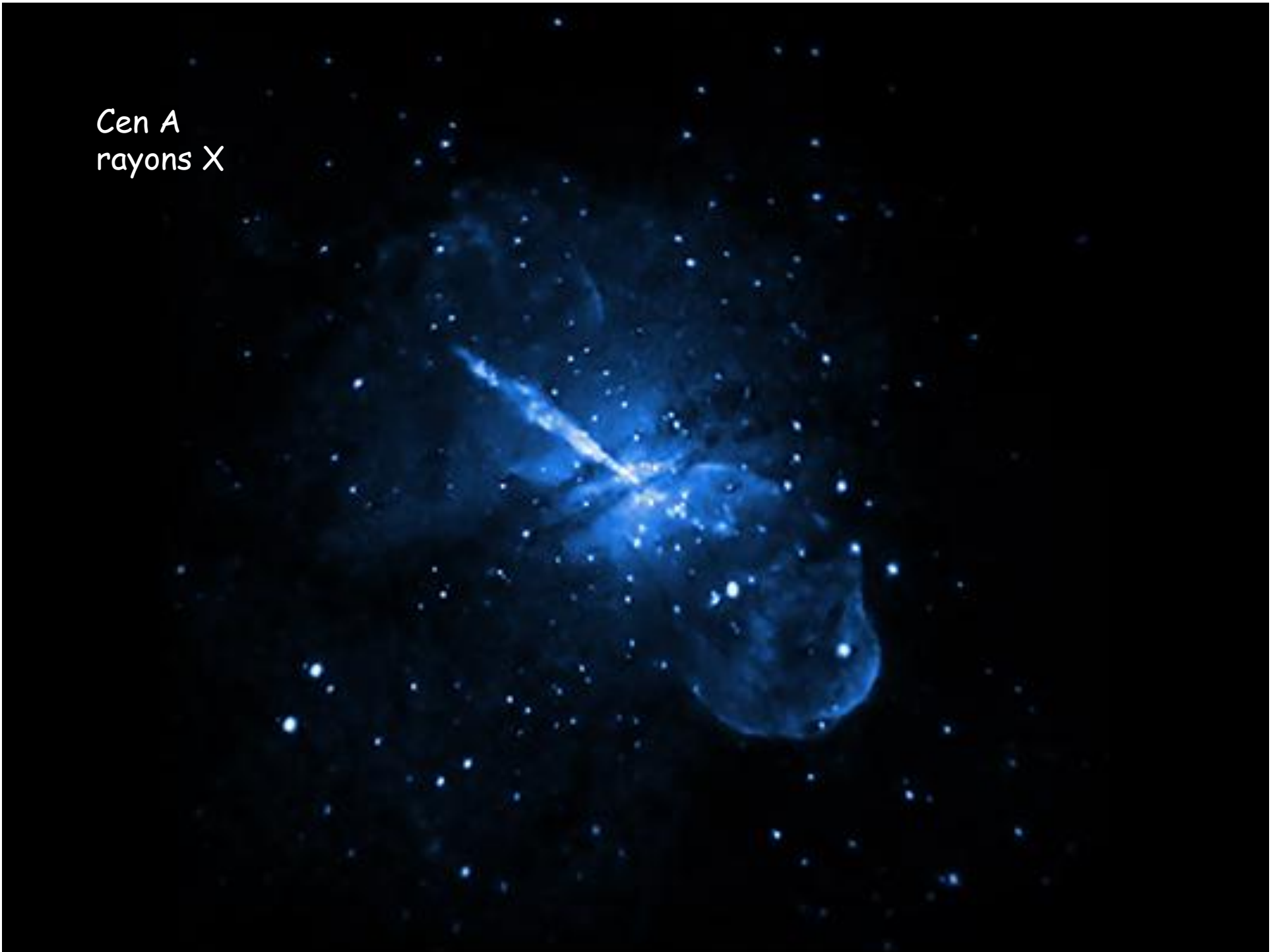
Cen A
optique



Cen A
radio



Cen A
rayons X

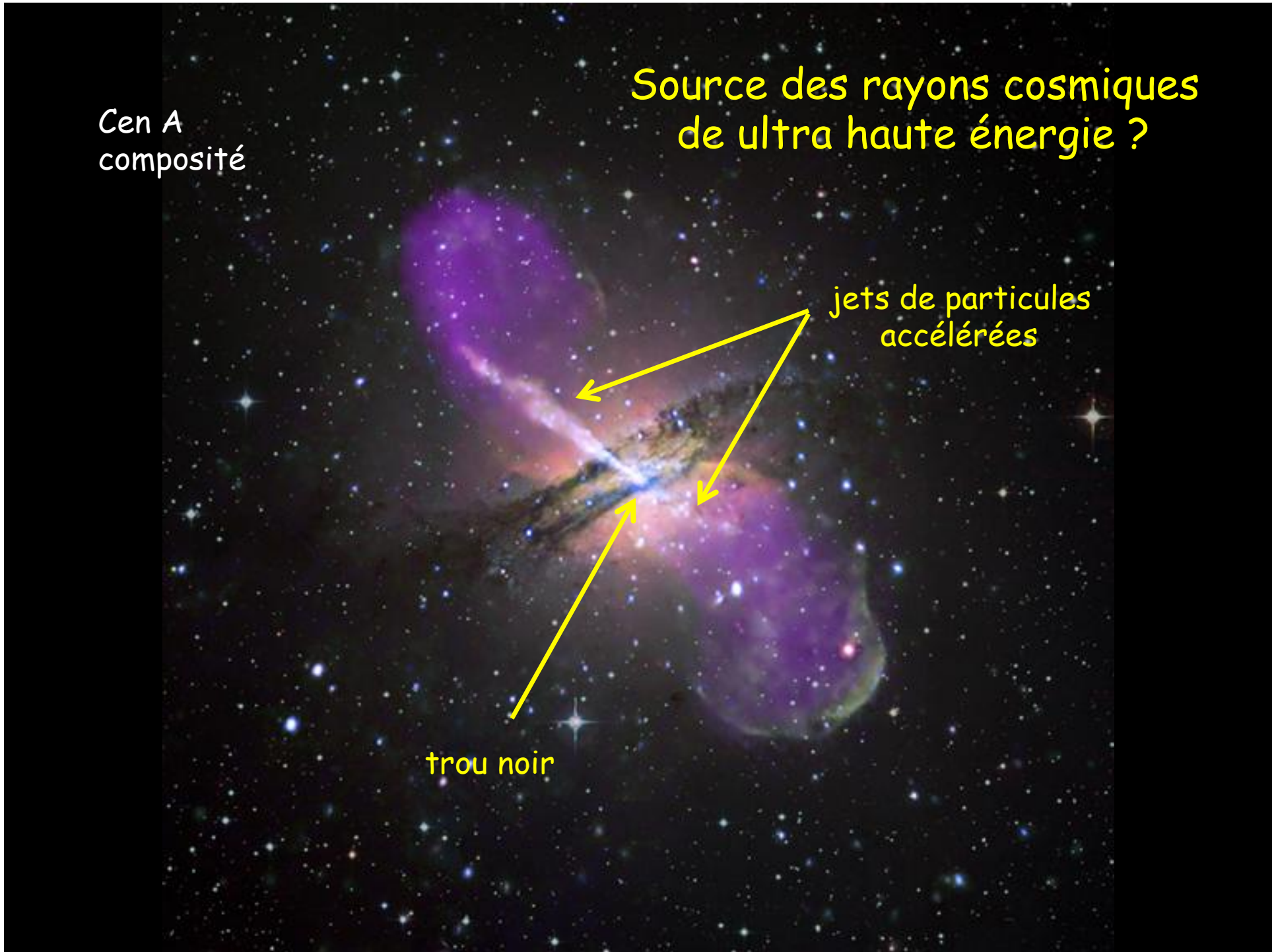


Cen A
composité

Source des rayons cosmiques
de ultra haute énergie ?

jets de particules
accélérées

trou noir



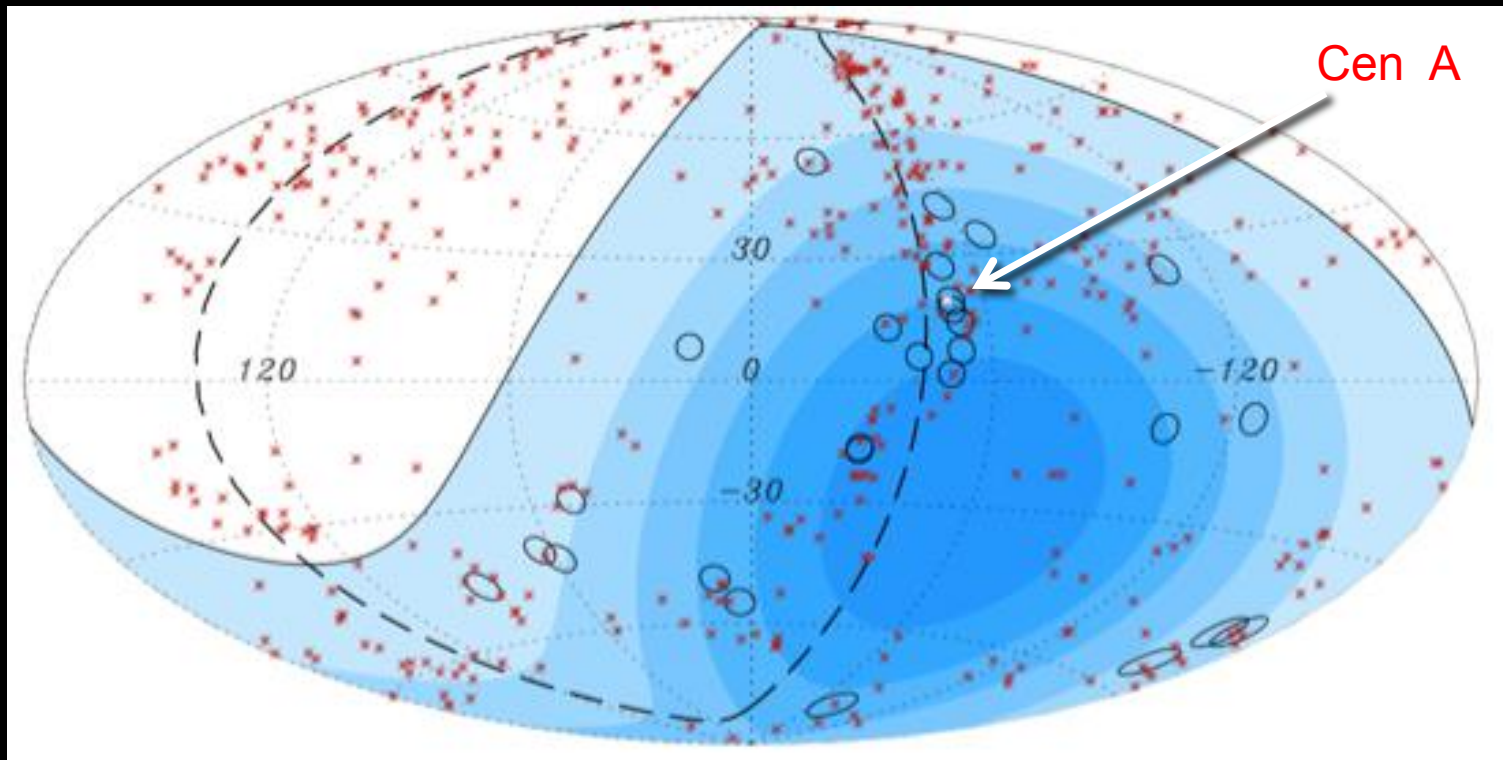
au delà de 10^{15} eV

Quelles sources ?

Noyaux actifs de galaxie ?

premiers indices avec Auger

(à très haute énergie pour pointage)



Astronomie multi-messagers

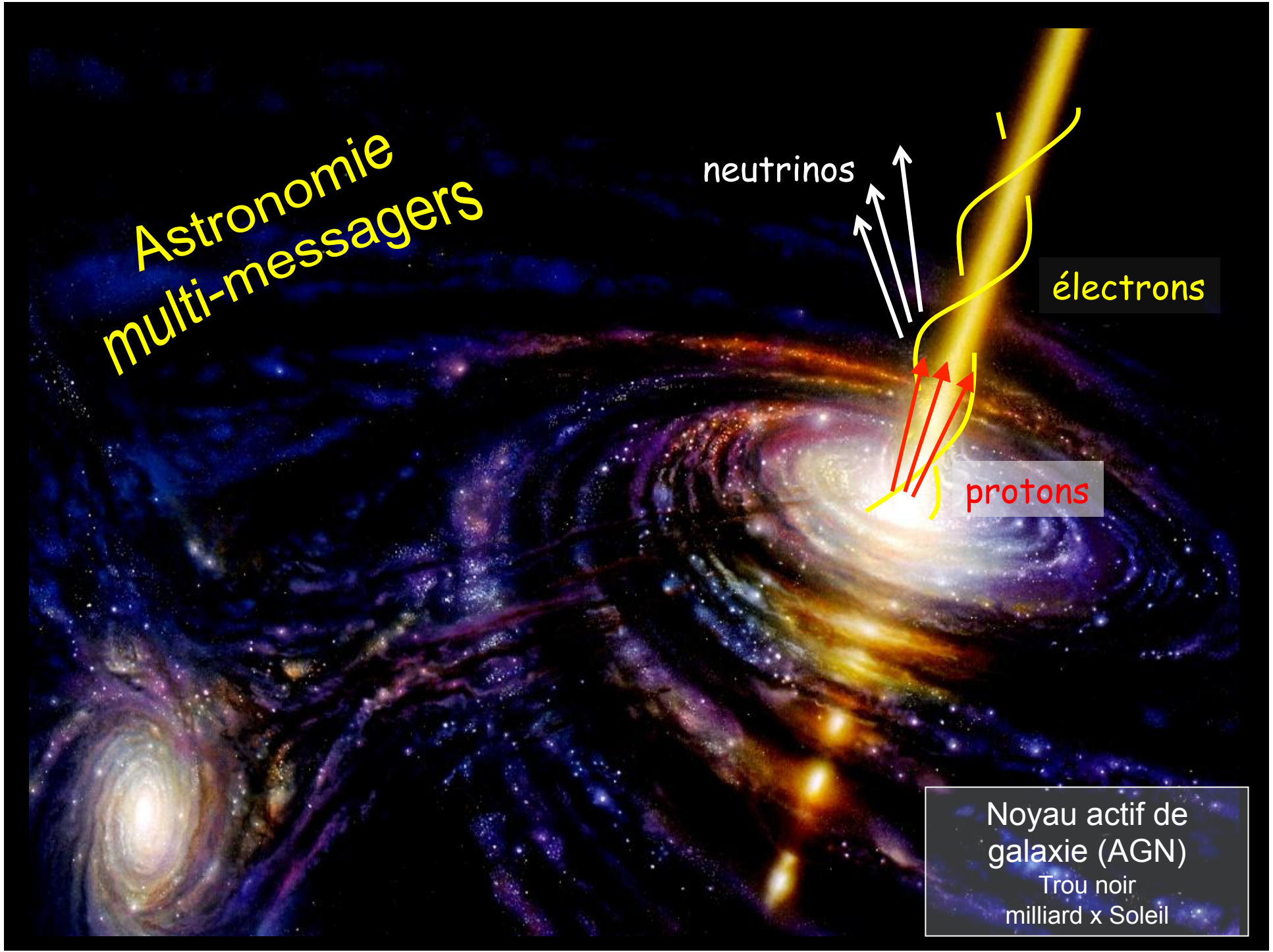
neutrinos

électrons

protons

Noyau actif de
galaxie (AGN)

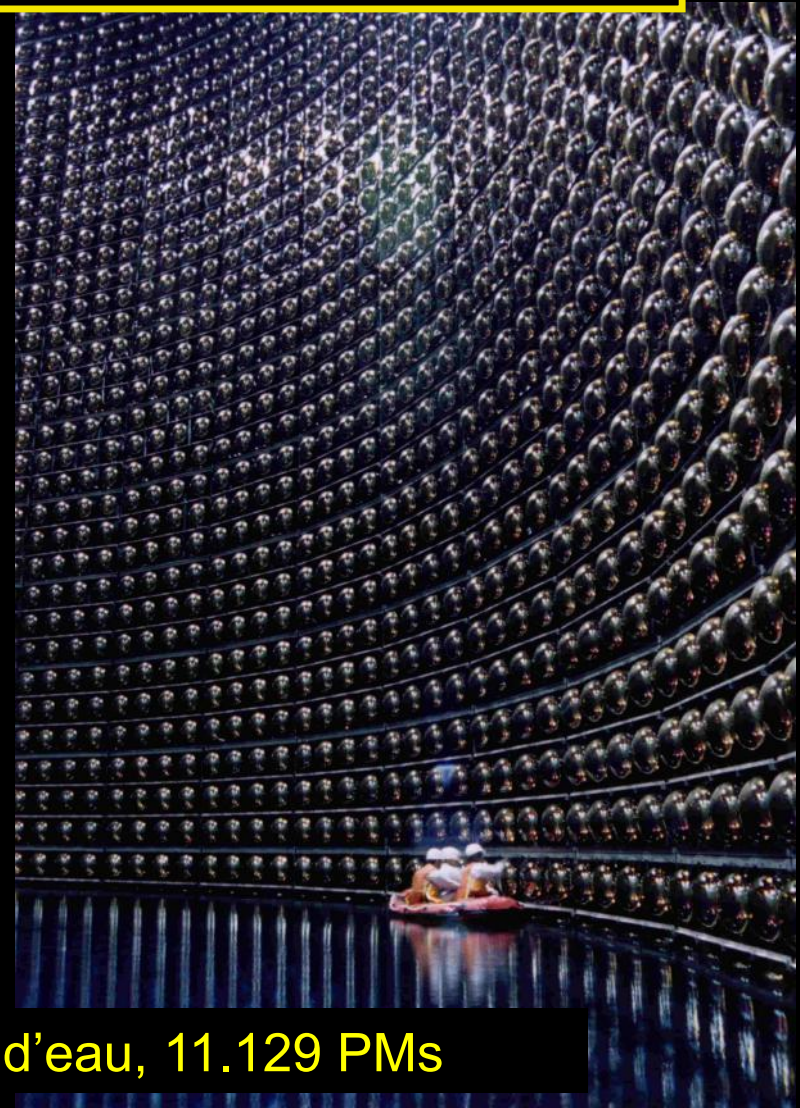
Trou noir
milliard x Soleil





Les neutrinos cosmiques

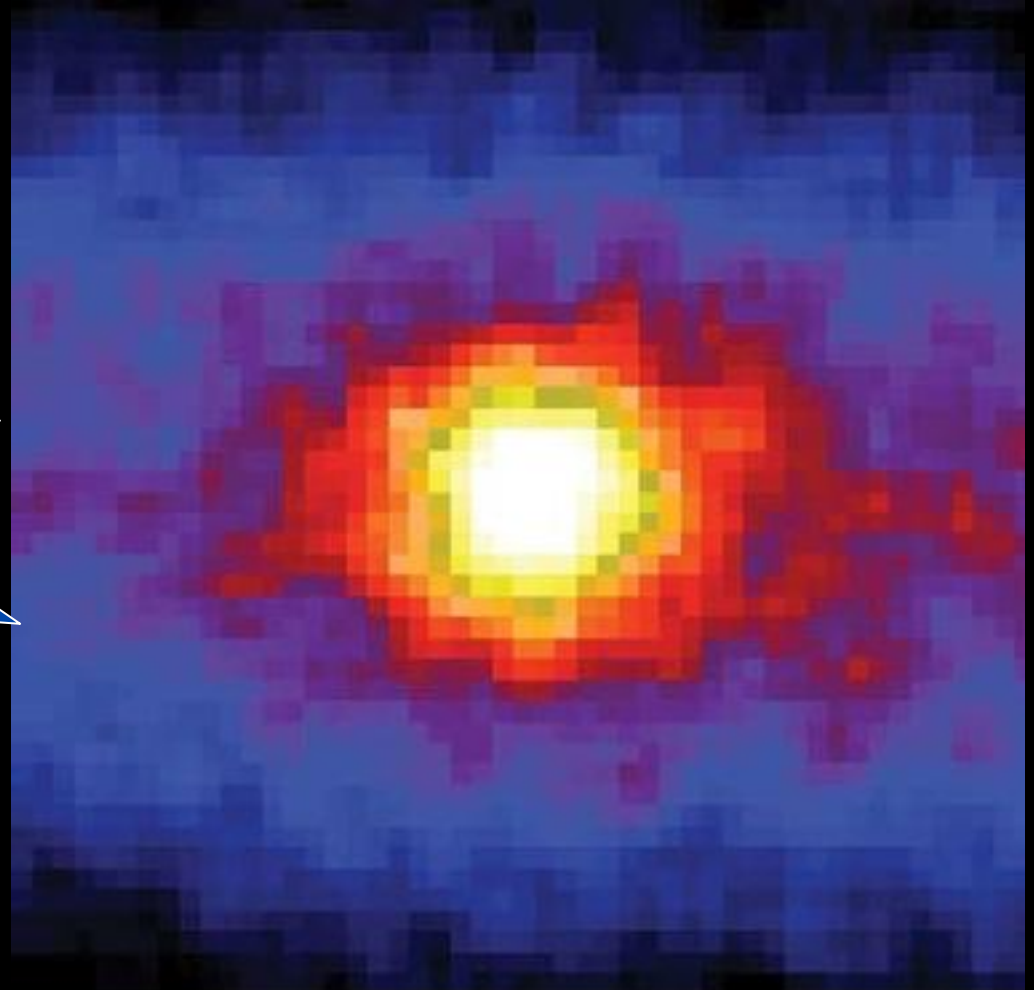
Astronomie neutrinos



SuperKamiokande: 50.000 tonnes d'eau, 11.129 PMs

Photo du Soleil
prise

DE NUIT !



« Telescope » à neutrinos

Pas (ou presque) d'interaction

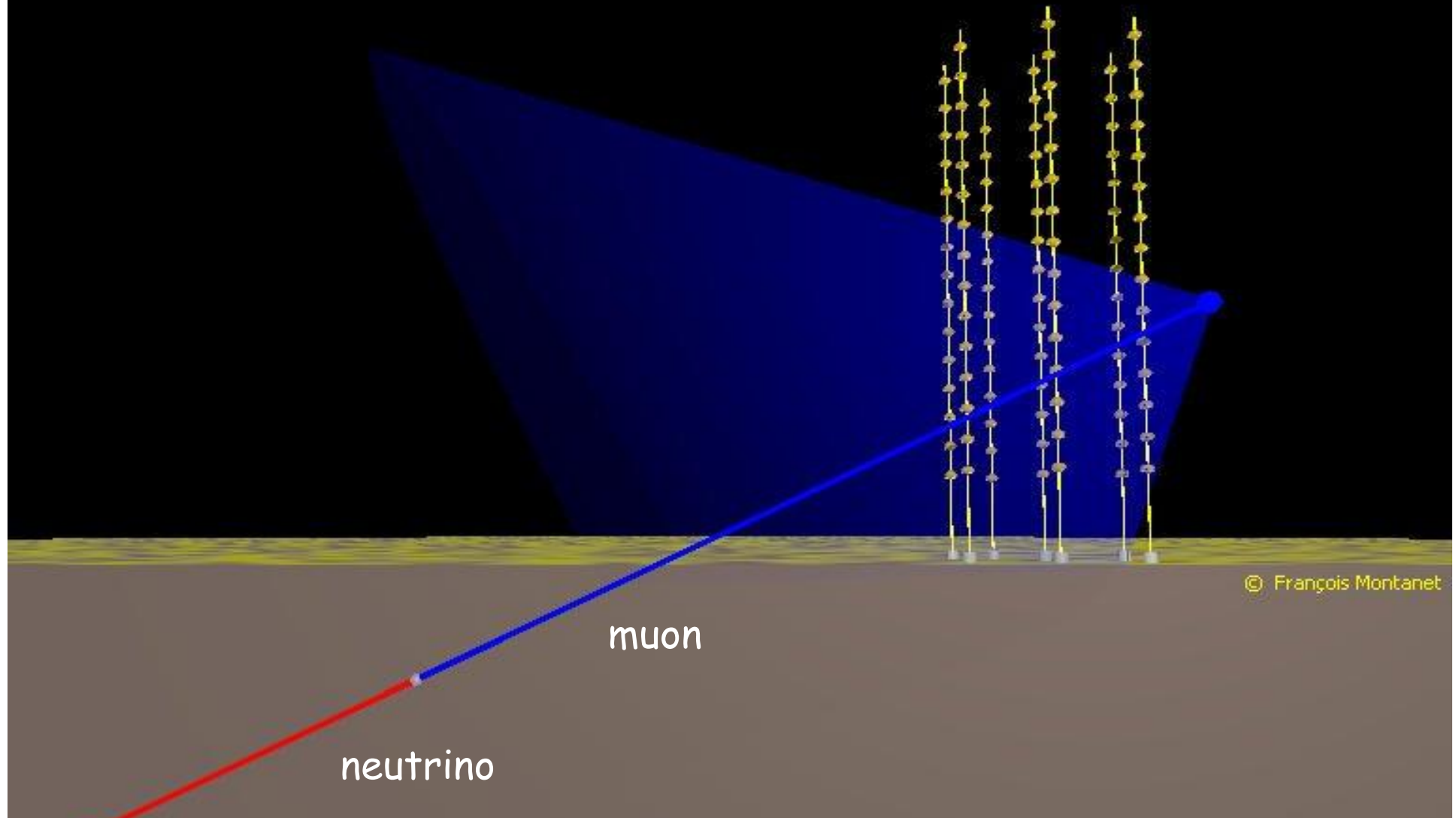
⇒ Comment détecter les neutrinos ?

⇒ 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

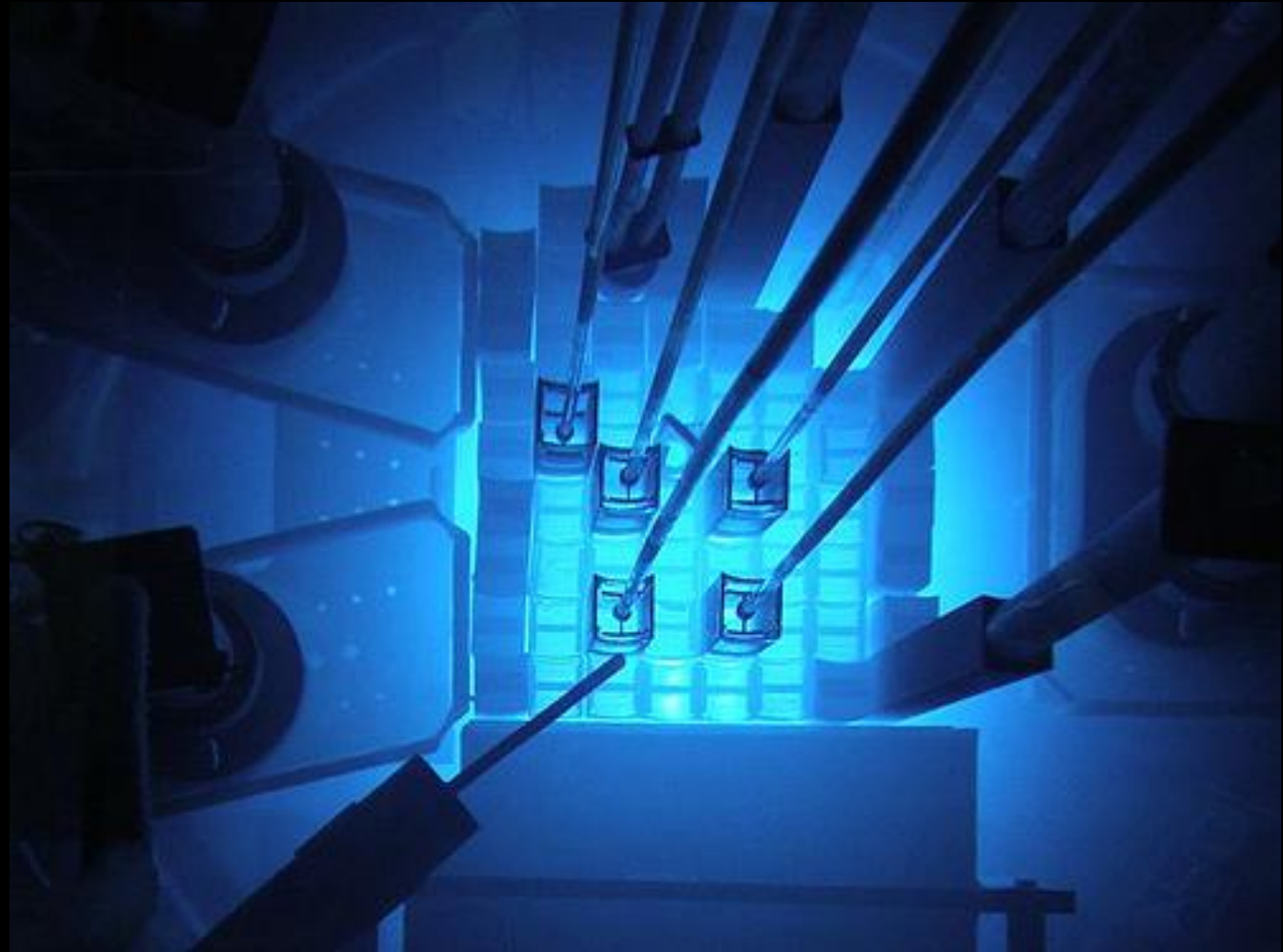
analogie sonore

Mur du son
Bang supersonique

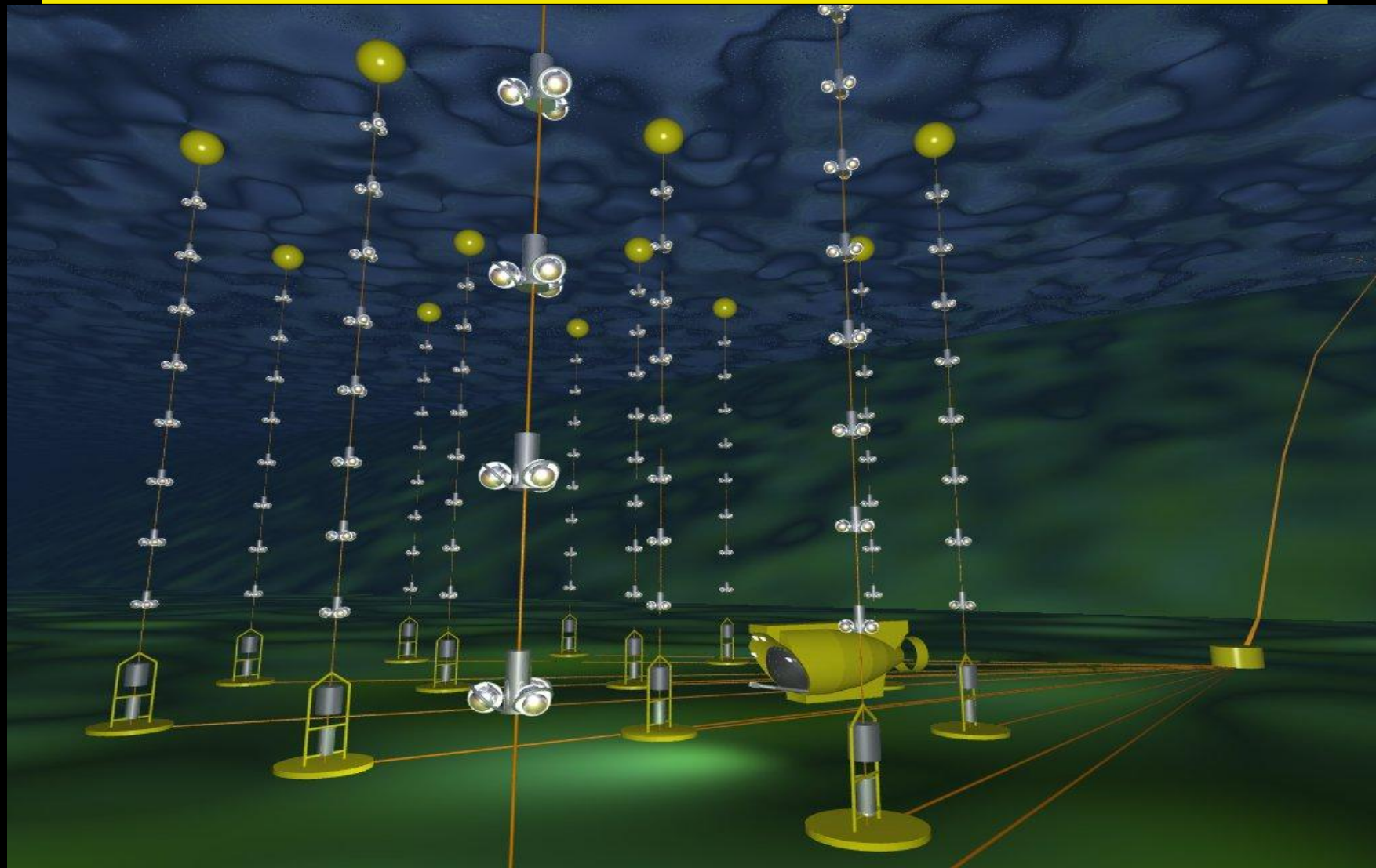


Effet Cerenkov

Lumière bleue



« Télescope » à neutrinos



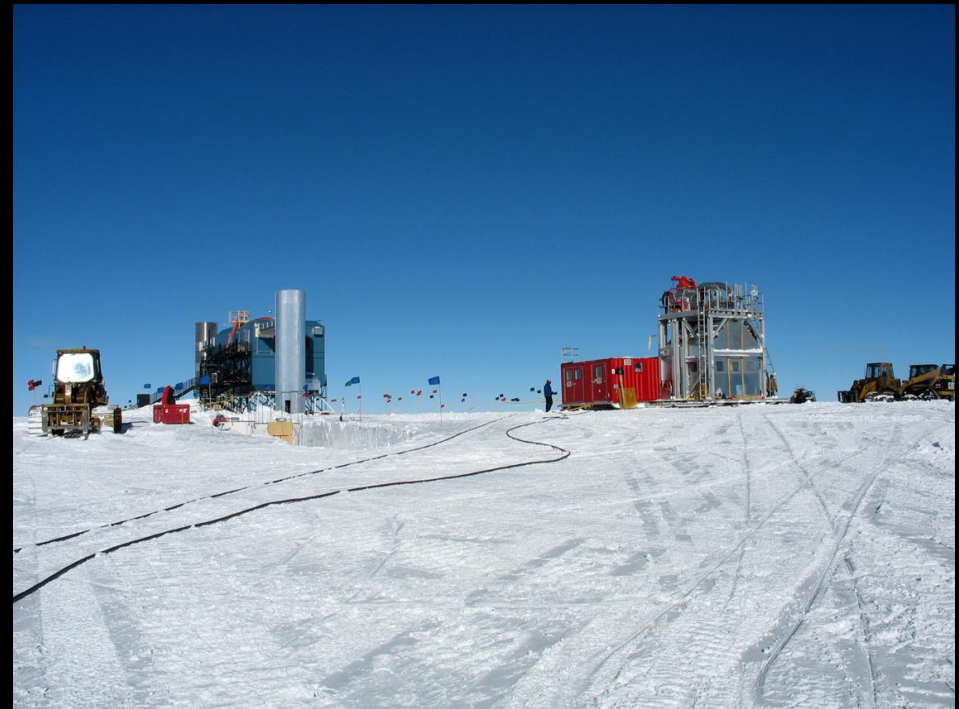


« Téléscopes » à neutrinos

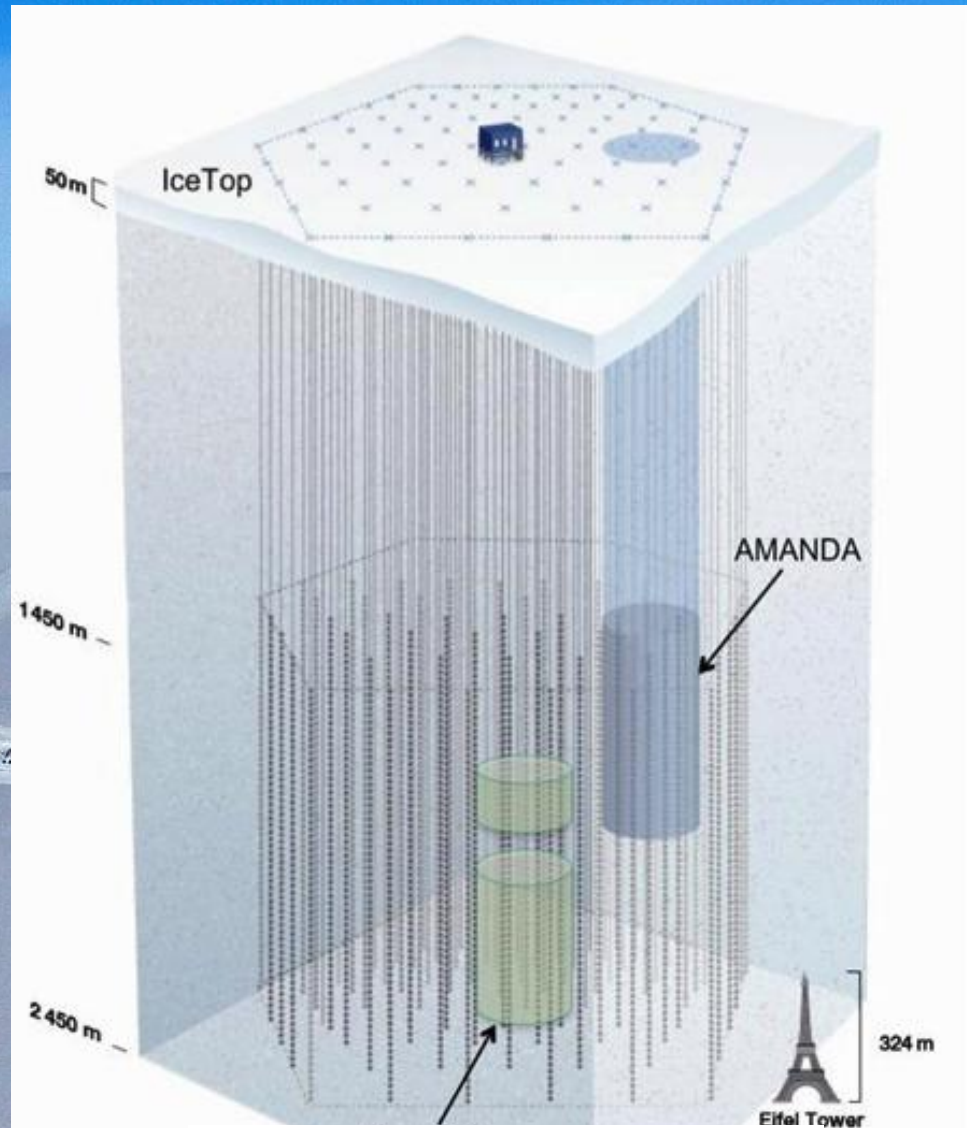


Antares
 $0.1 \text{ km}^2 \times 400\text{m}$

Ice Cube
 $1 \text{ km}^2 \times 1 \text{ km}$

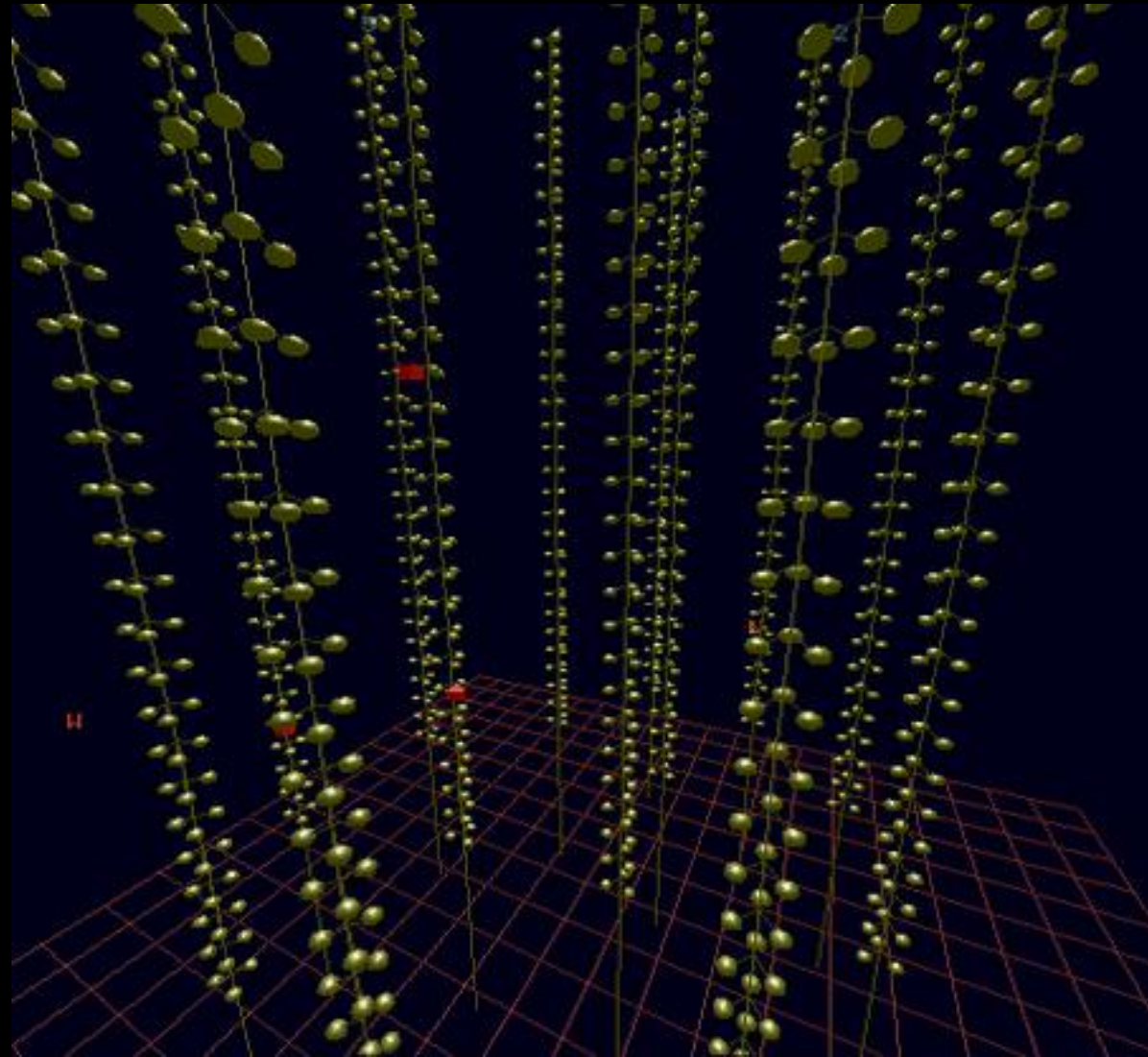






20.000 fois plus grand
que Super-Kamiokande

« Téléscopes » à neutrinos



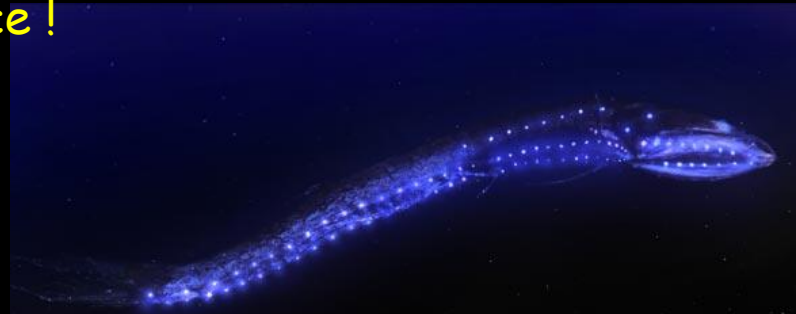
« Téléscopes » à neutrinos

Scintillement du télescope :
radioactivité naturelle



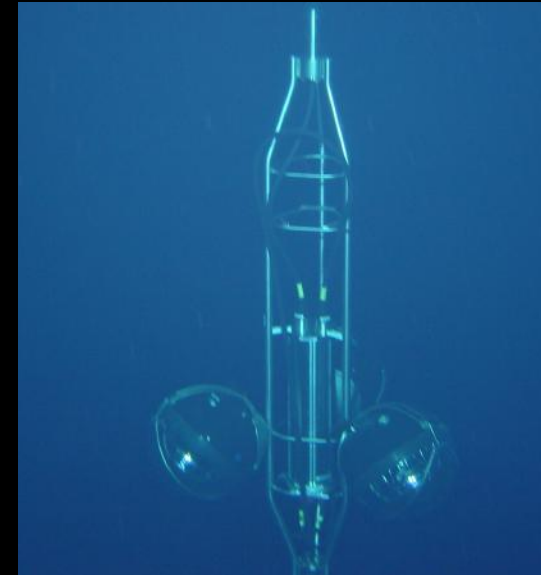
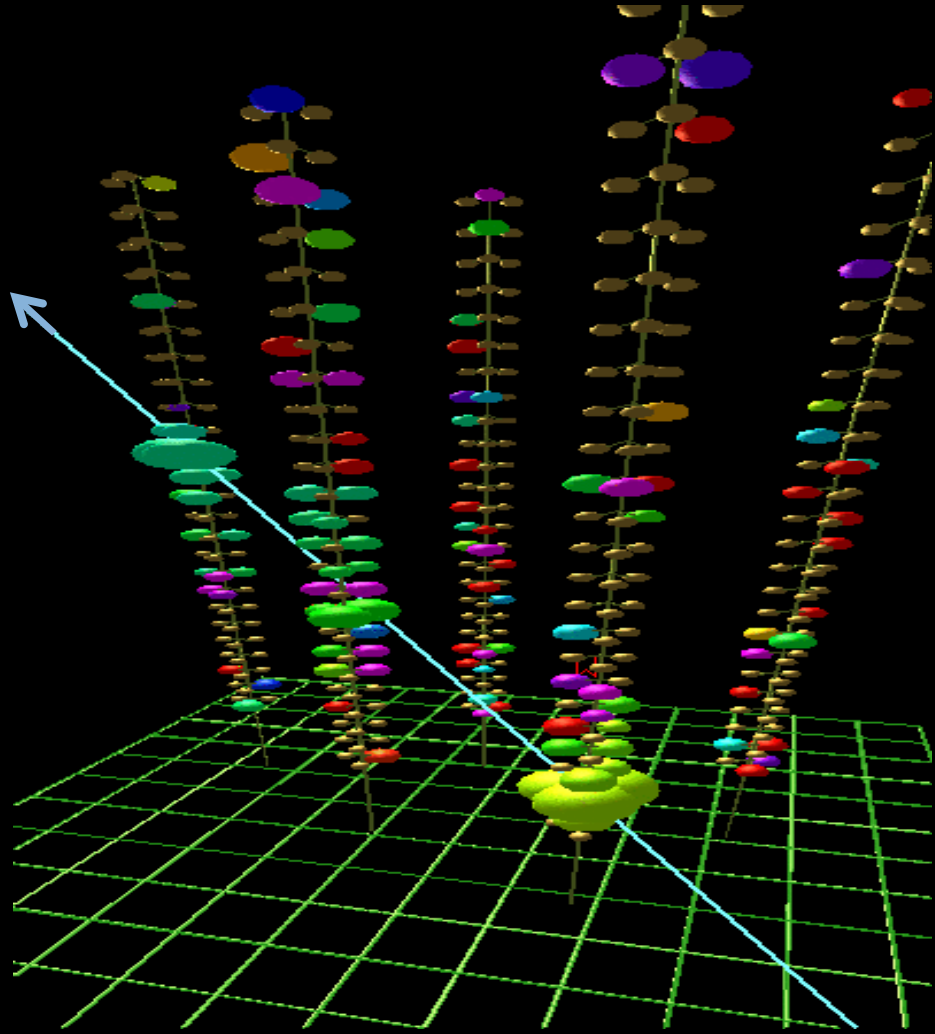
© DeepSeaPhotography.Com

bioluminescence !



© DeepSeaPhotography.Com

« Téléscopes » à neutrinos



Conclusion

Messenger historique : lumière

Approches nouvelles et informations complémentaires

rayons cosmiques

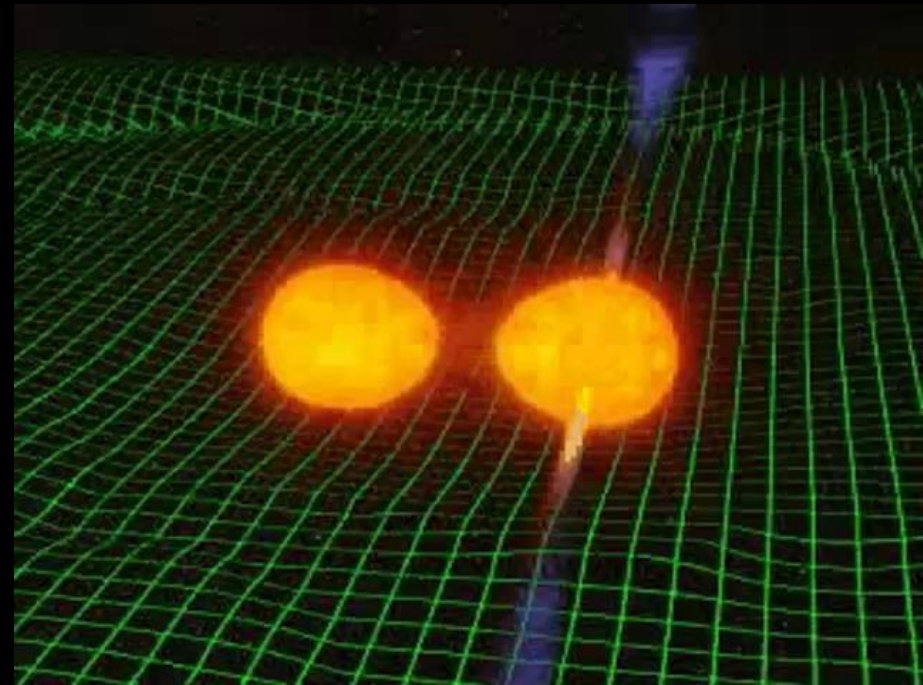
neutrinos

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