

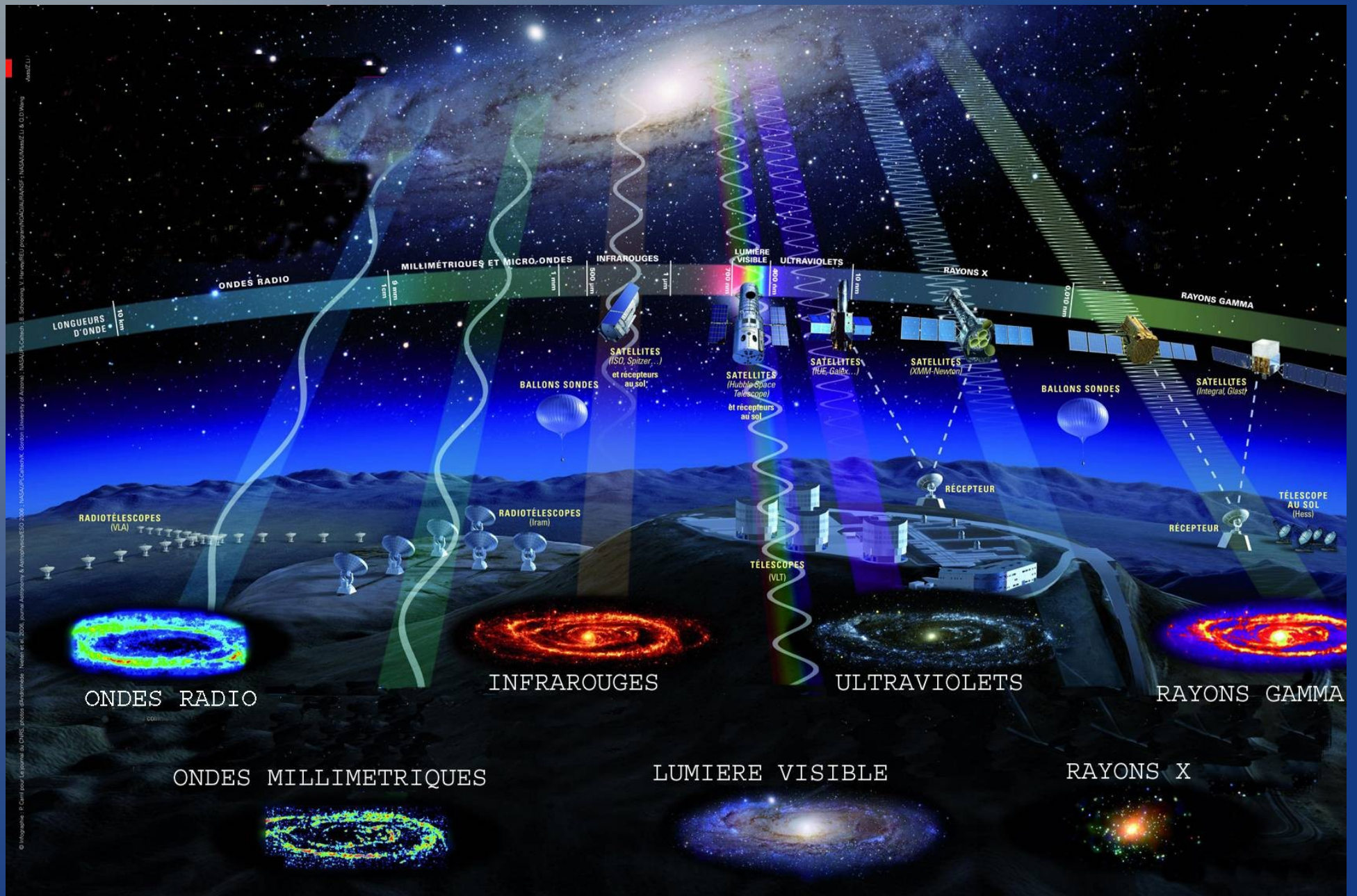


ANTARES

Un télescope à neutrinos au fond de la mer pour
étudier l'Univers

Aurore MATHIEU

Summer Camp 2014

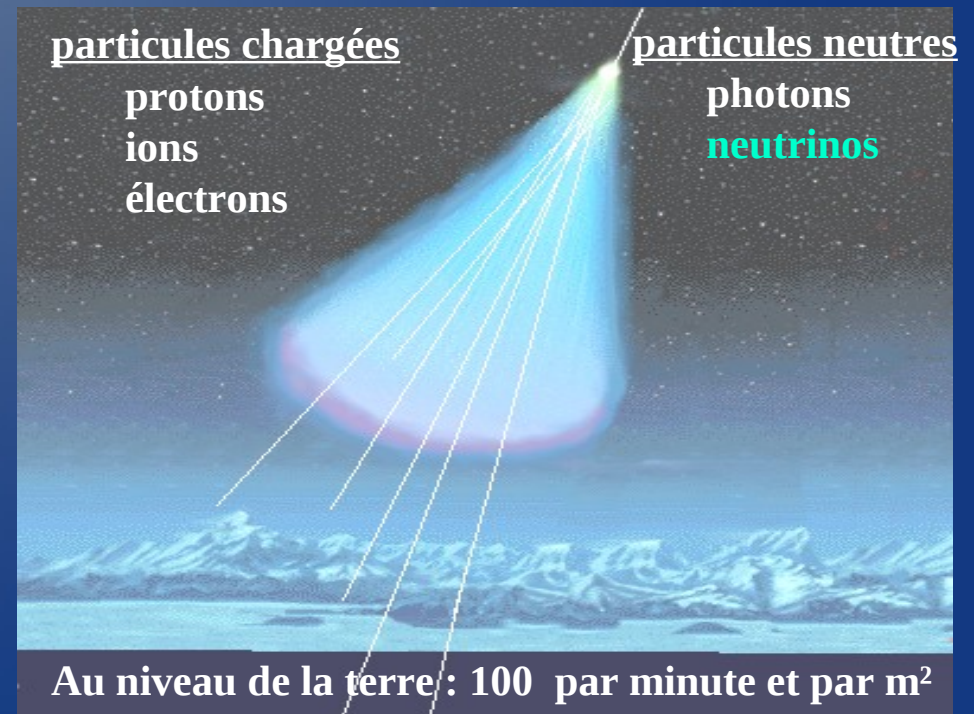
[illegible]

Les rayons cosmiques

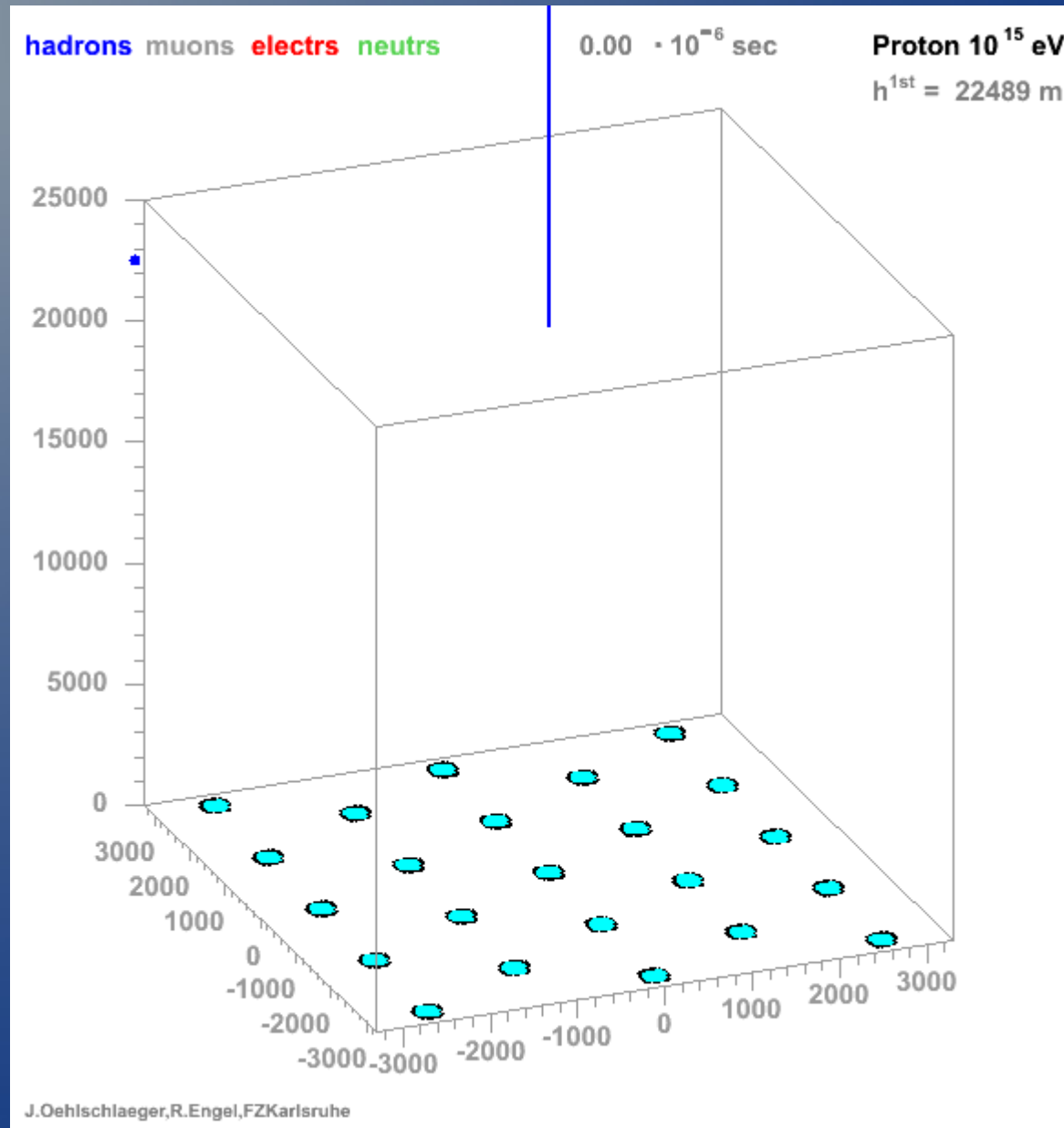


Les rayons cosmiques ont été découverts il y a un siècle par Victor Hess et on ne connaît toujours pas leur origine...

Les rayons cosmiques interagissent avec la haute atmosphère et produisent des grandes gerbes de particules...



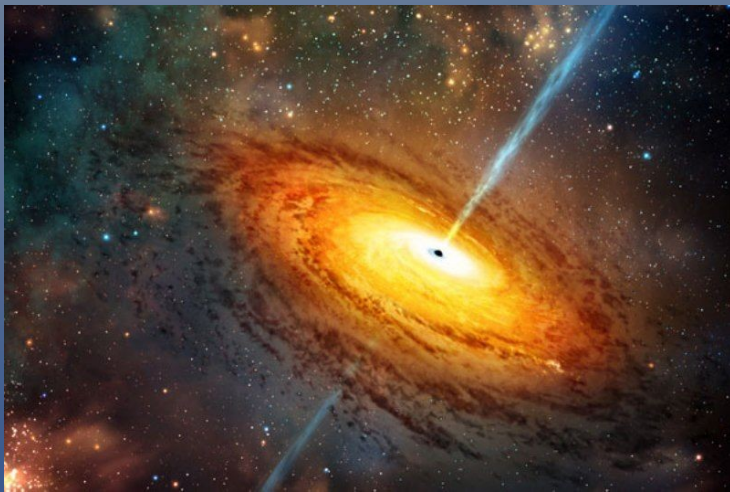
Les rayons cosmiques



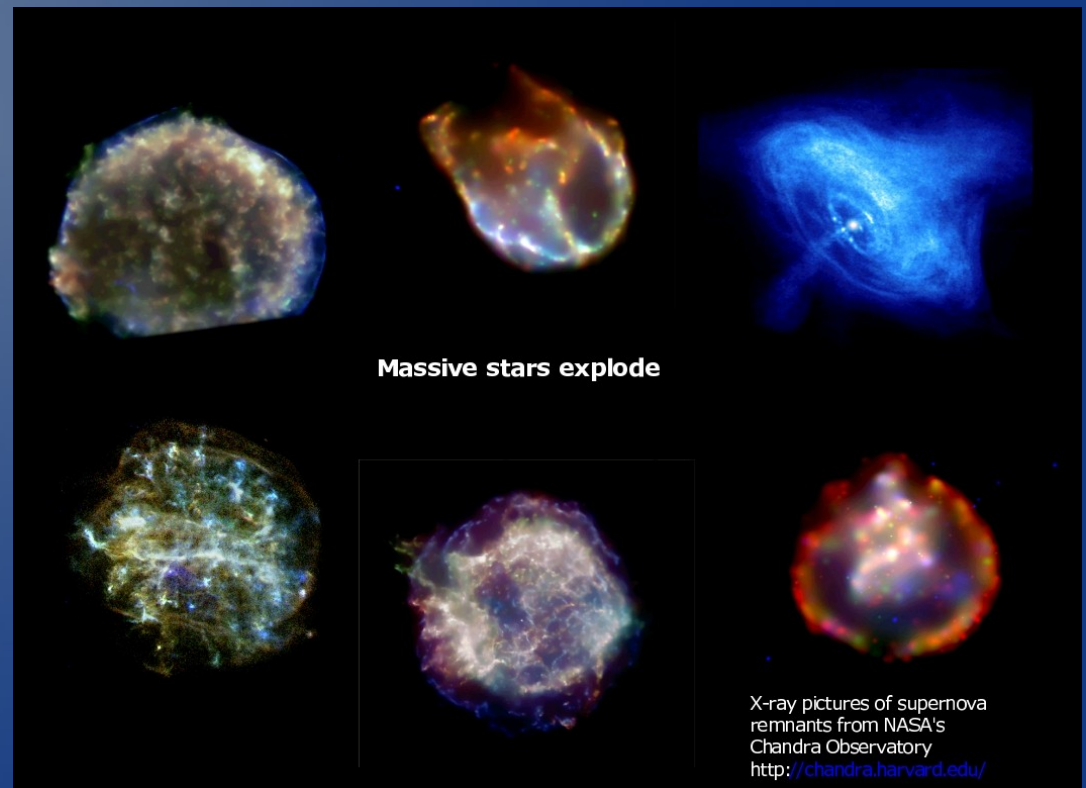
Sources potentielles

Les rayons cosmiques pourraient provenir des phénomènes violents de l'Univers...

Trous noirs



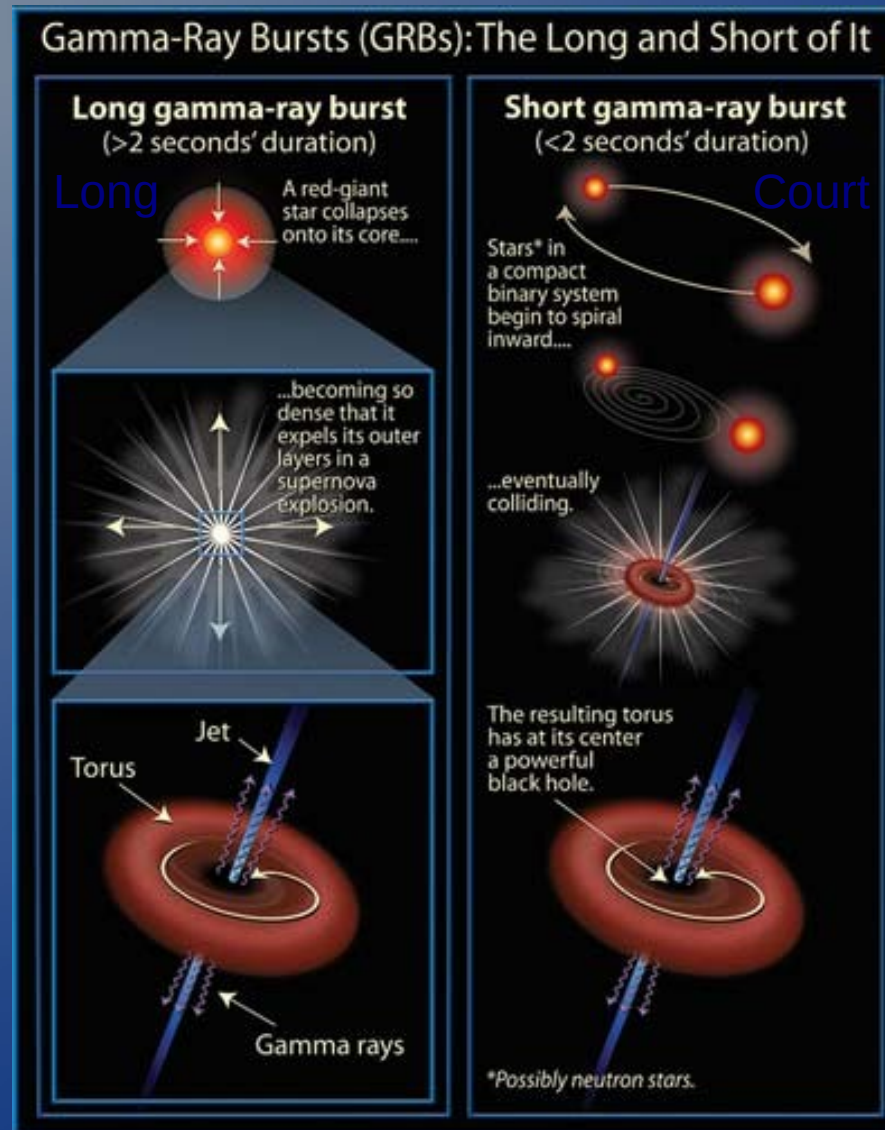
Explosions d'étoiles (Supernovae)



Sources potentielles

Les rayons cosmiques pourraient provenir des phénomènes violents de l'Univers...

Sursauts gamma

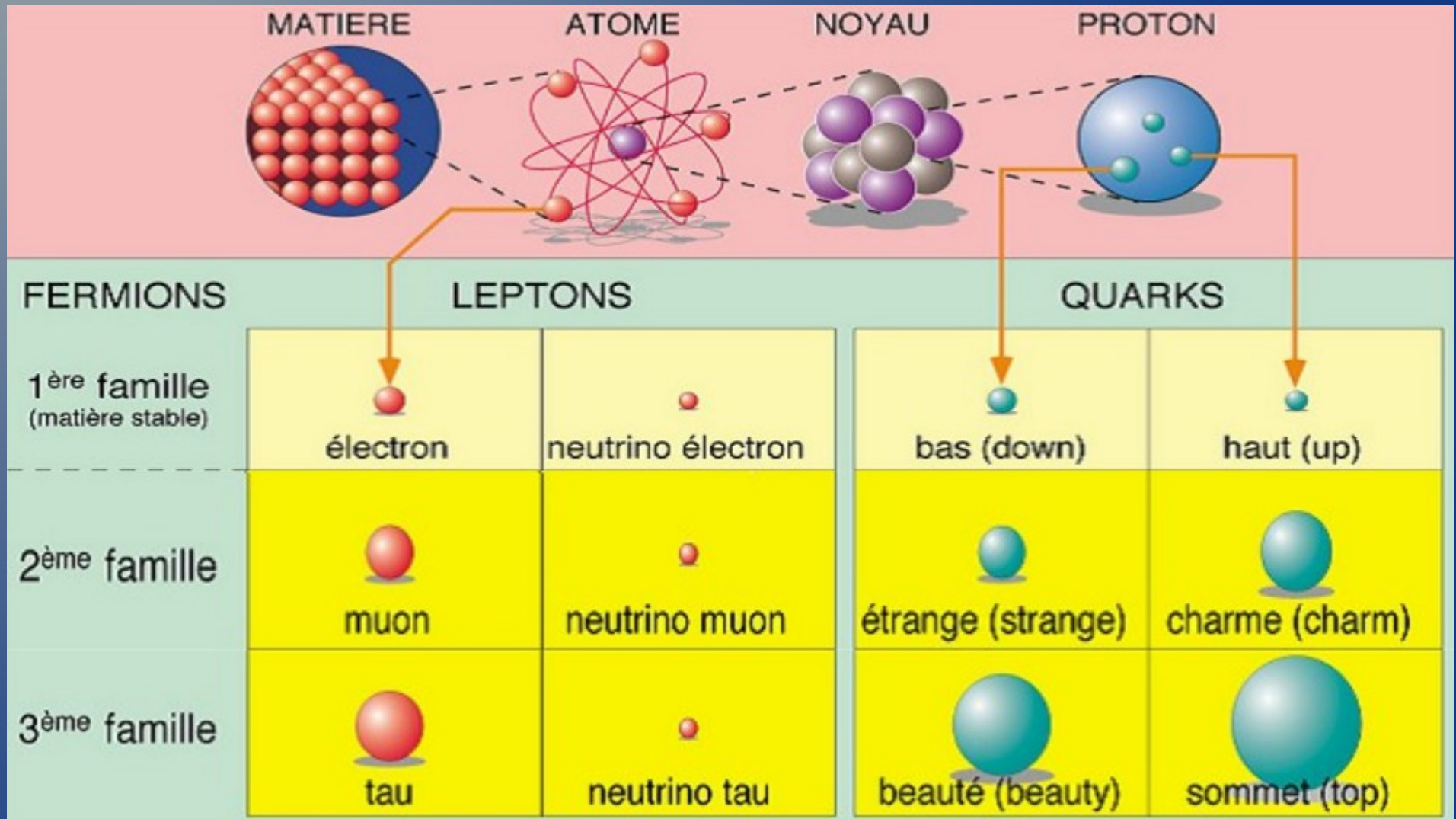


Les neutrinos

Dans ces sources, les protons peuvent interagir avec la matière et créer des **neutrinos**

Protons + matière
=
Neutrinos

Qu'est-ce que les neutrinos ?



12 particules de matière dont 3 neutrinos

Sources de neutrinos

sources of ν 's

The Sun

ν_e
 $\Phi_{\nu}^{Earth} = 6 \times 10^{10} \nu / \text{cm}^2\text{s}$
 $E_{\nu} \sim 0.1 - 20 \text{ MeV}$

Nuclear Reactors

$E_{\nu} \sim \text{few MeV}$



Human Body

$\Phi_{\nu} = 340 \times 10^6 \nu / \text{day}$



Earth's Radioactivity

$\Phi_{\nu} \sim 6 \times 10^6 \nu / \text{cm}^2\text{s}$

The Big Bang

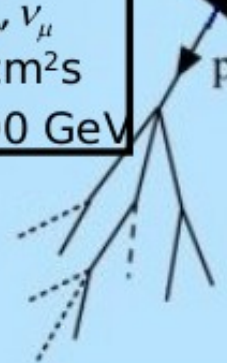
$\rho_{\nu} = 330 / \text{cm}^3$
 $E_{\nu} = 0.0004 \text{ eV}$
 $(1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ Joules})$

SN1987

$E_{\nu} \sim \text{MeV}$

Atmospheric ν 's

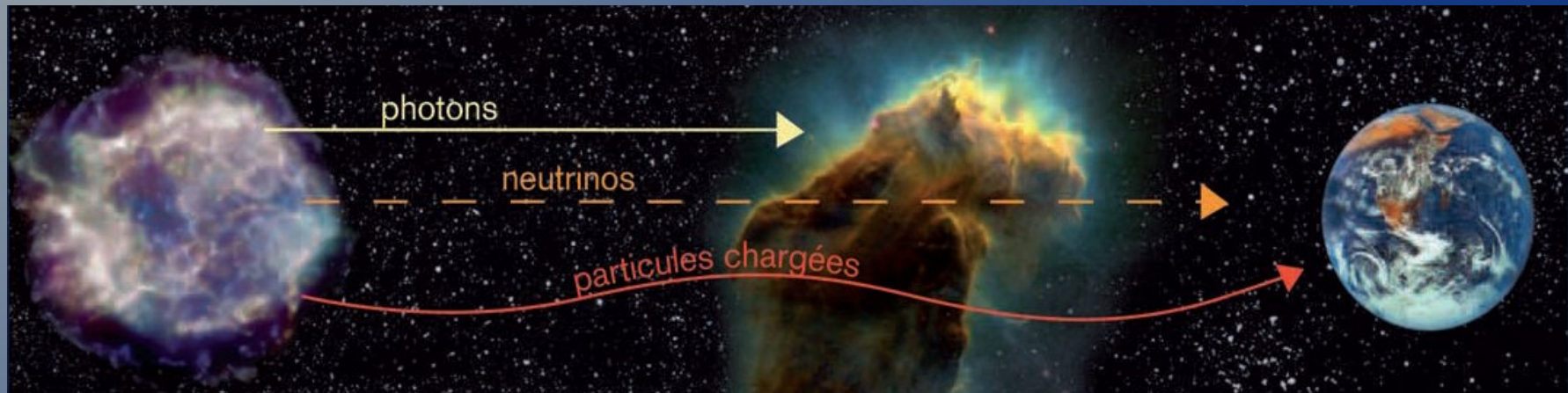
$\nu_e, \nu_{\mu}, \nu_{\tau}, \bar{\nu}_{\mu}$
 $\Phi_{\nu} \sim 1 \nu / \text{cm}^2\text{s}$
 $E_{\nu} \sim 0.1 - 100 \text{ GeV}$



Accelerators

$E_{\nu} \sim 0.3 - 30 \text{ GeV}$

Les neutrinos pour l'astronomie



Avantages du neutrino :

- Electriquement neutre, donc pas dévié par les champs magnétiques $\Rightarrow$ astronomie
- Pas d'absorption $\Rightarrow$ observation sur des distances cosmologiques
- Intéragit très faiblement $\Rightarrow$ s'échappe des régions denses de l'Univers

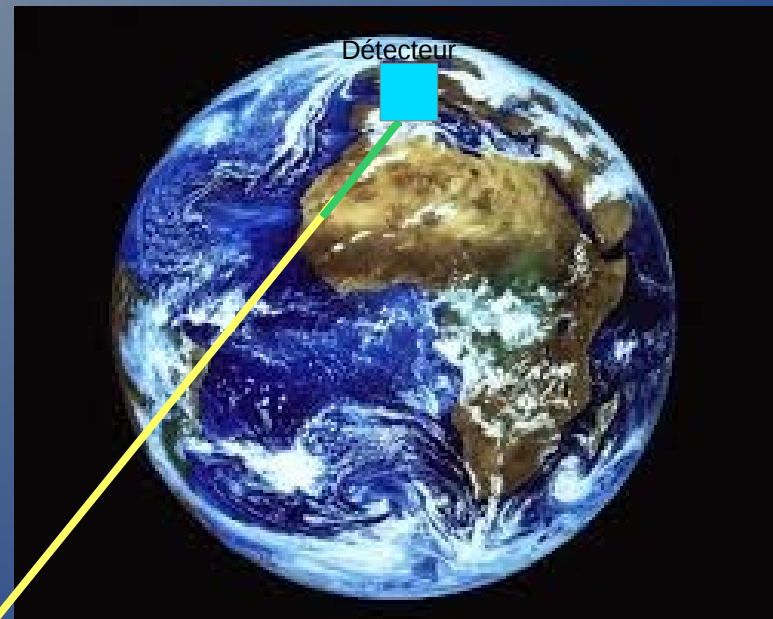
Inconvénient de l'avantage :

Sur 10 milliards de neutrinos provenant du Soleil et traversant la Terre, seul 1 va interagir !!!
 $\Rightarrow$ Nécessité d'un grand volume de détection

Pour arrêter les neutrinos...

... La Terre !

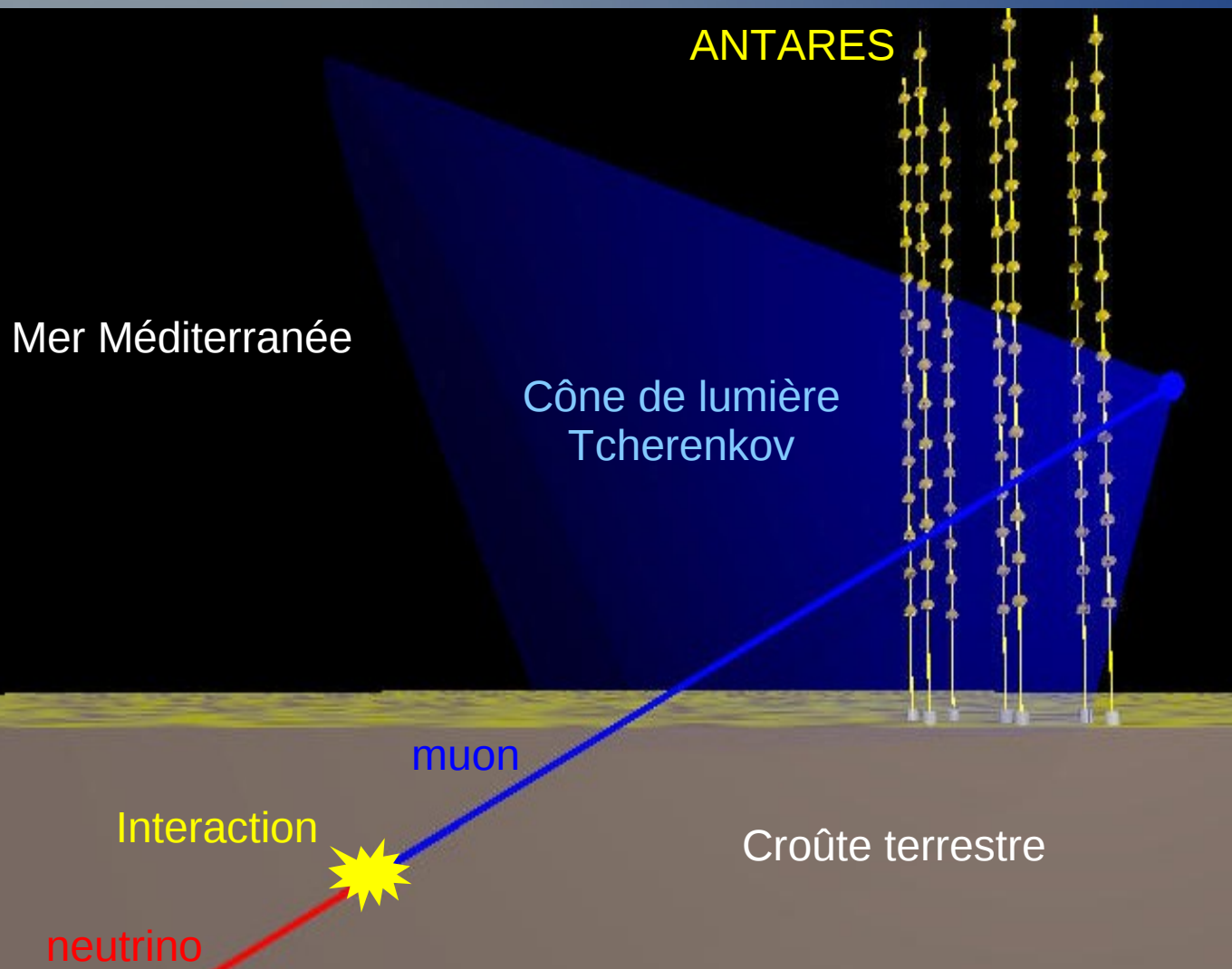
Un **neutrino** est parfois arrêté dans la croûte terrestre



Il crée alors une autre particule : un **muon**



Effet Tcherenkov



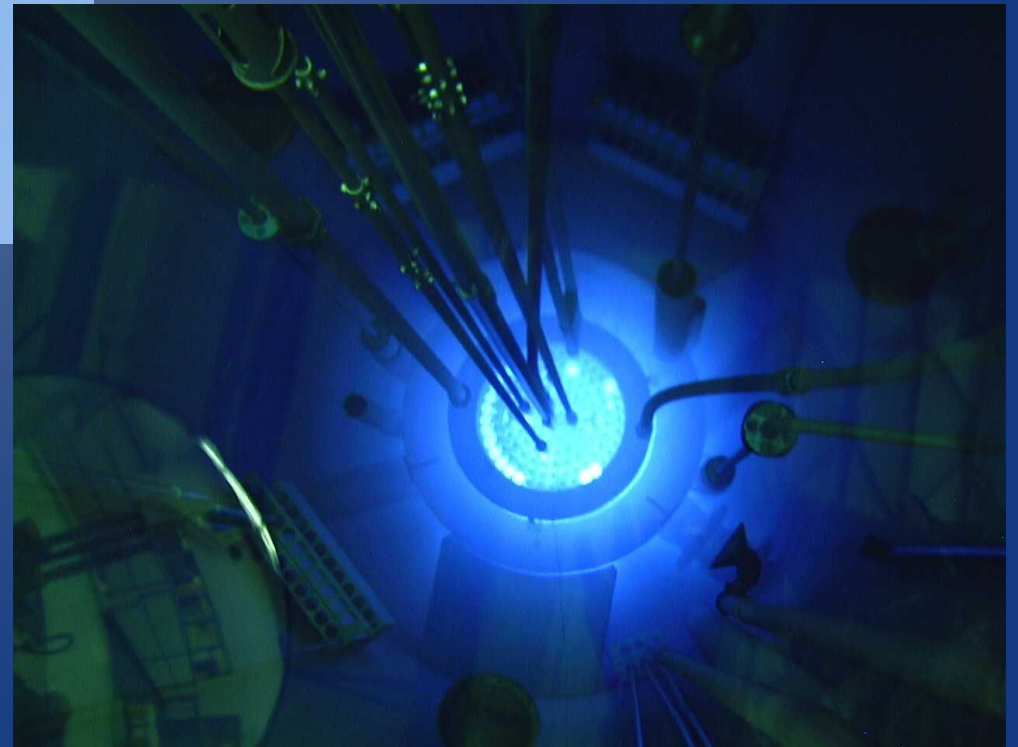
Dans les profondeurs de la mer, le muon crée alors un cône de lumière bleutée

Effet Tcherenkov

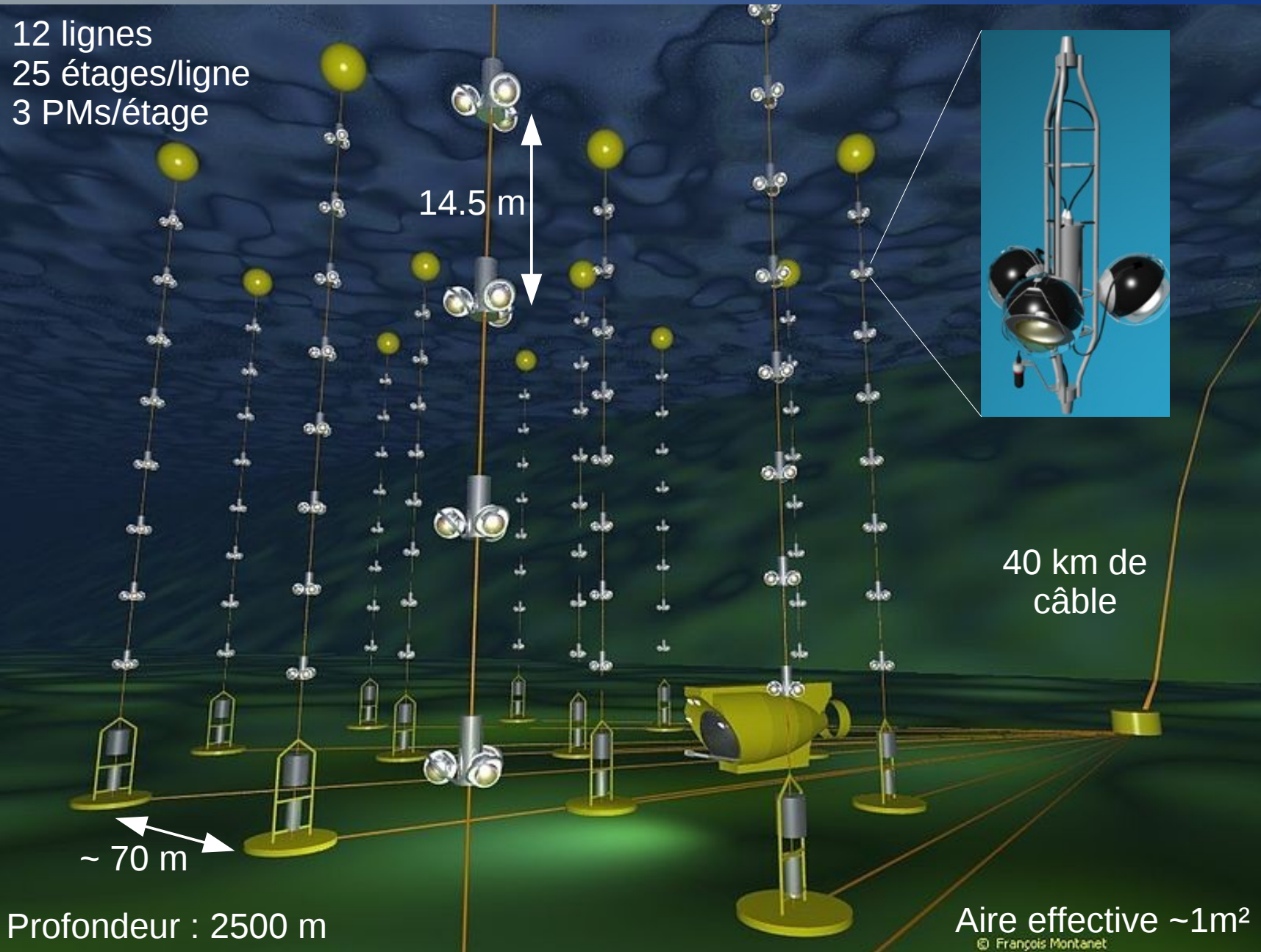


Equivalent du “mur du son” pour la lumière

Quand une particule chargée va plus vite que la lumière dans un milieu :
émission d'une lumière bleue



Le télescope ANTARES



Le télescope ANTARES

12 lignes
25 étages/ligne
3 PMS/étage

450 m

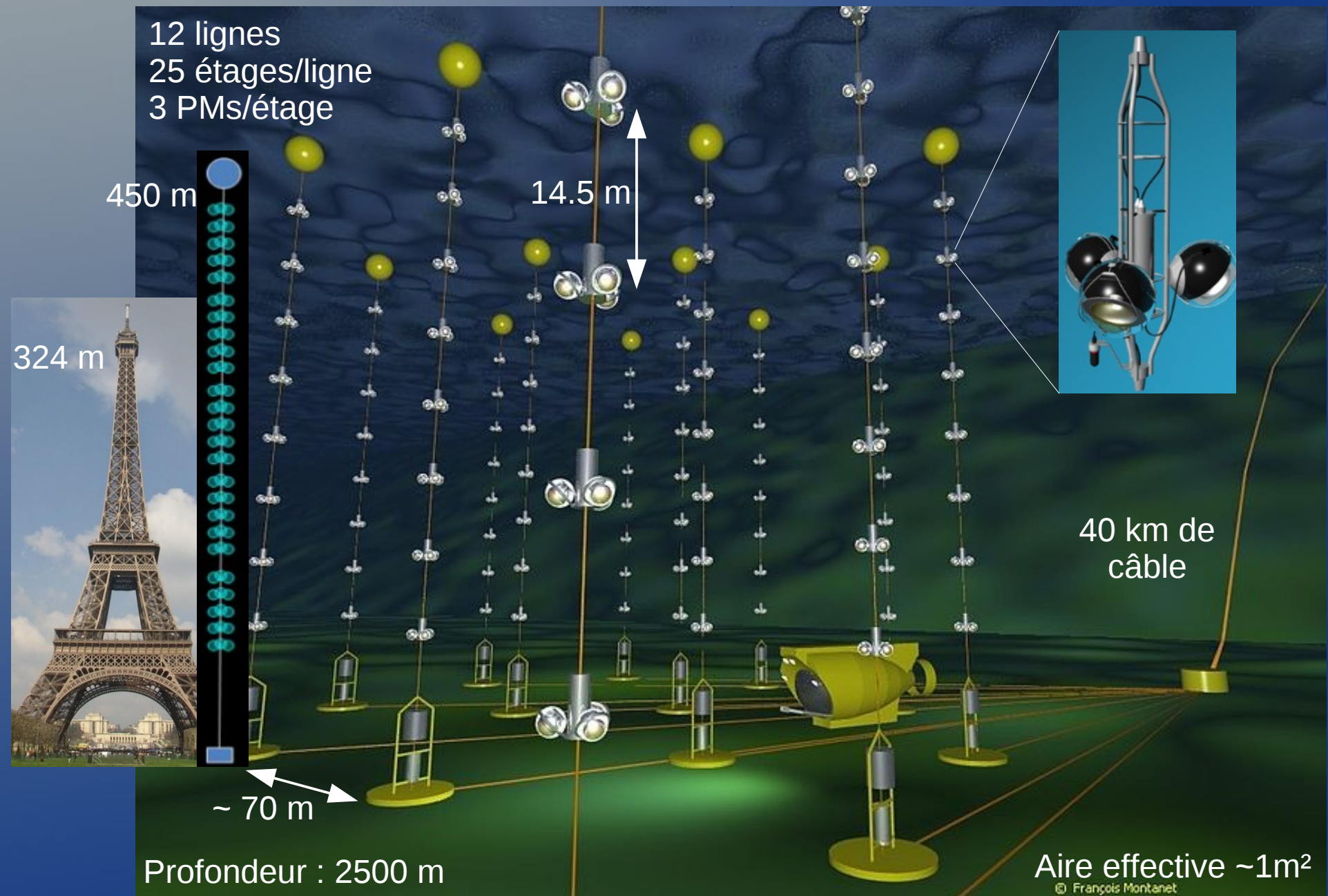
14.5 m

40 km de
câble

Profondeur : 2500 m

Aire effective $\sim 1\text{m}^2$

© François Montanet



Le télescope ANTARES

Un **neutrino** venu des confins du cosmos se transforme en **muon** à proximité du détecteur.

Détection

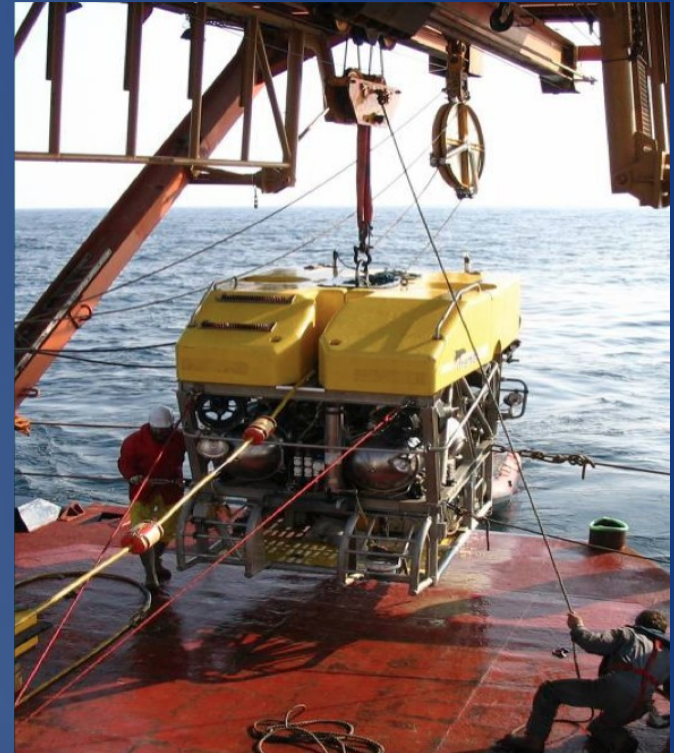
Le site ANTARES



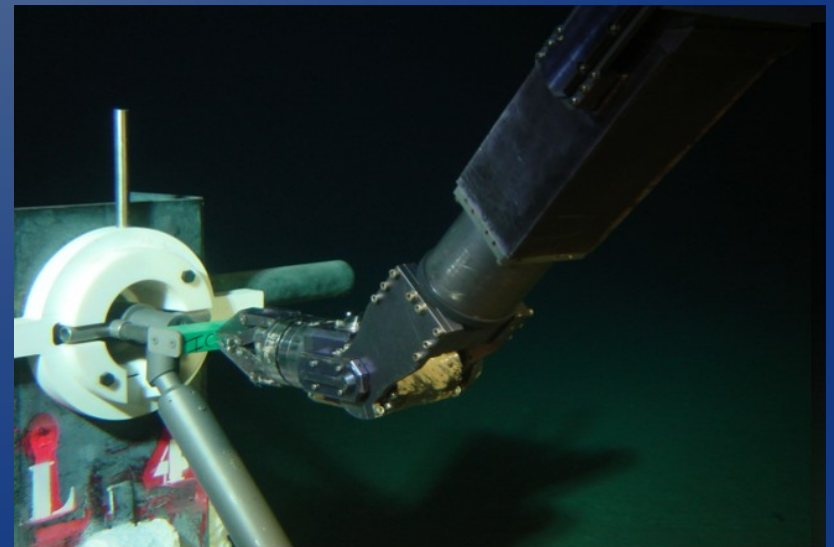
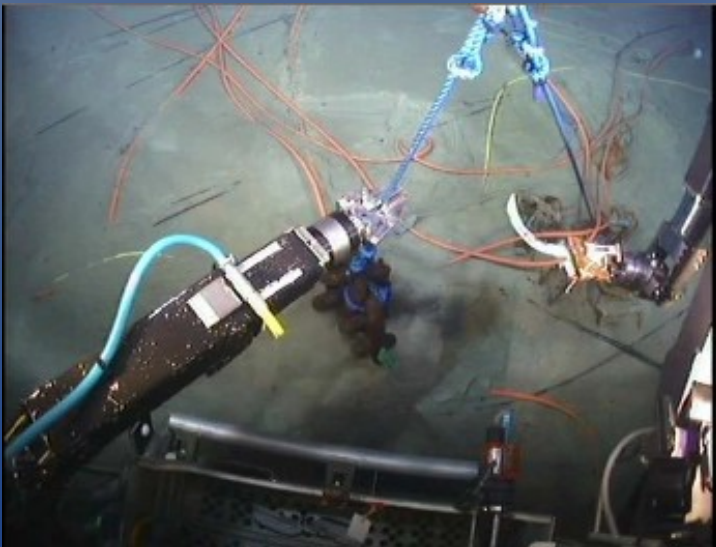
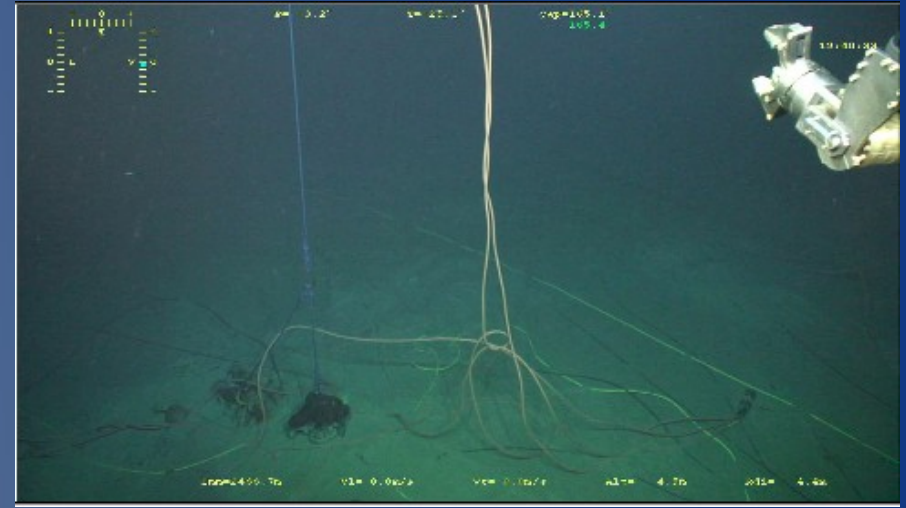
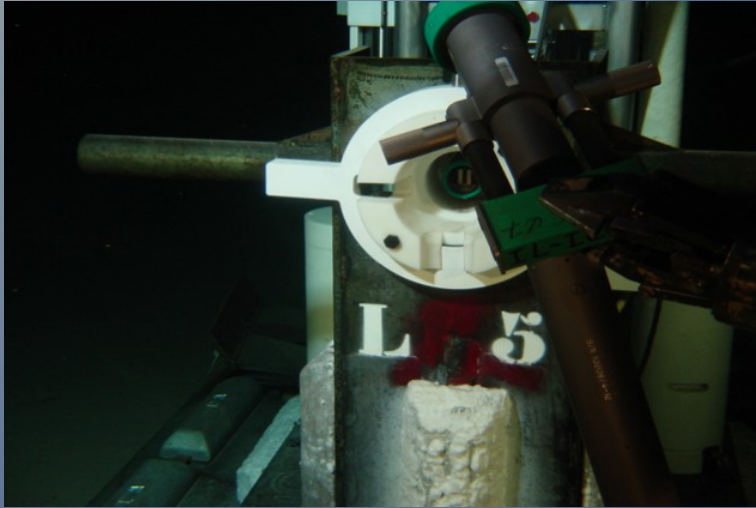
Travailler au fond de la mer



Travailler au fond de la mer



Travailler au fond de la mer



Travailler au fond de la mer

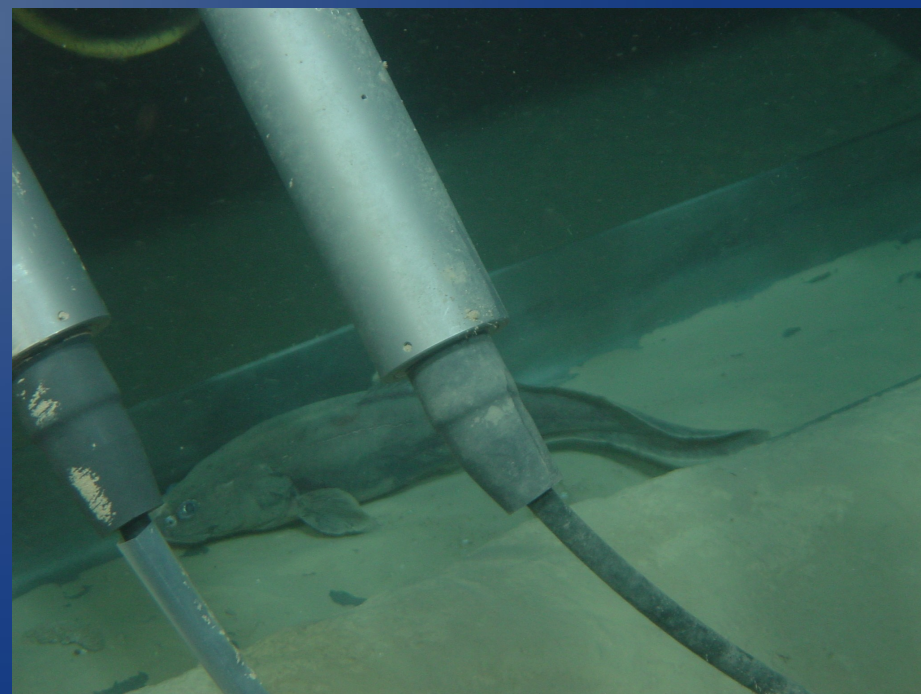


Dauphins

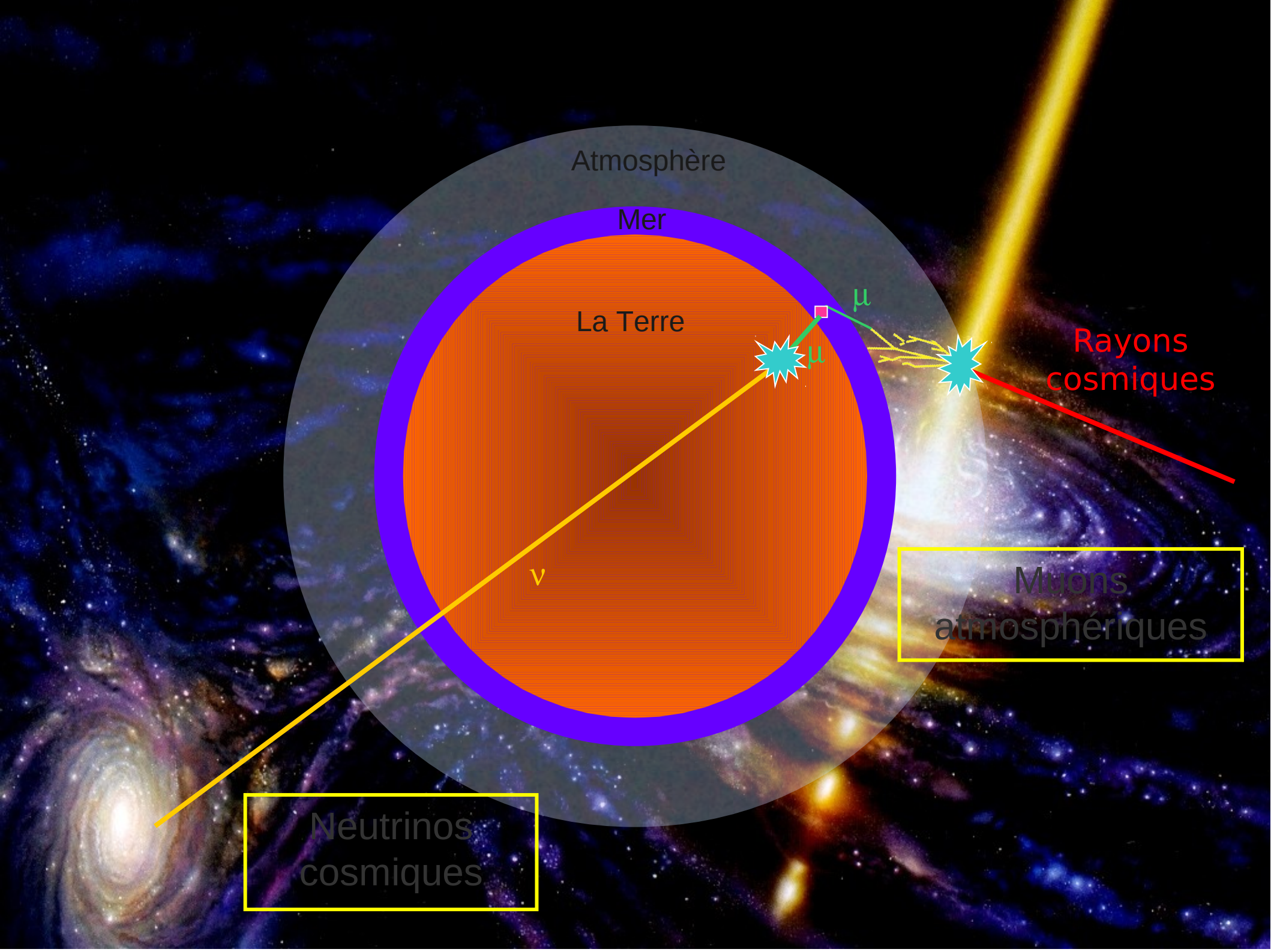
clip panier

Touret

Déploiement



Pourquoi au fond de la mer ?



Atmosphère

Mer

La Terre

Rayons
cosmiques

Muons
atmosphériques

Neutrinos
cosmiques

ν

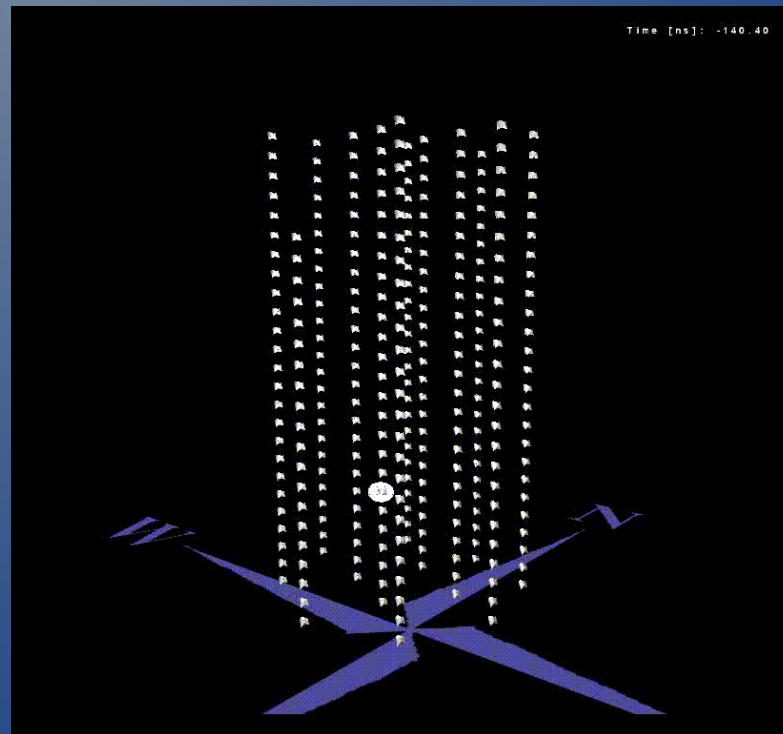
μ

μ

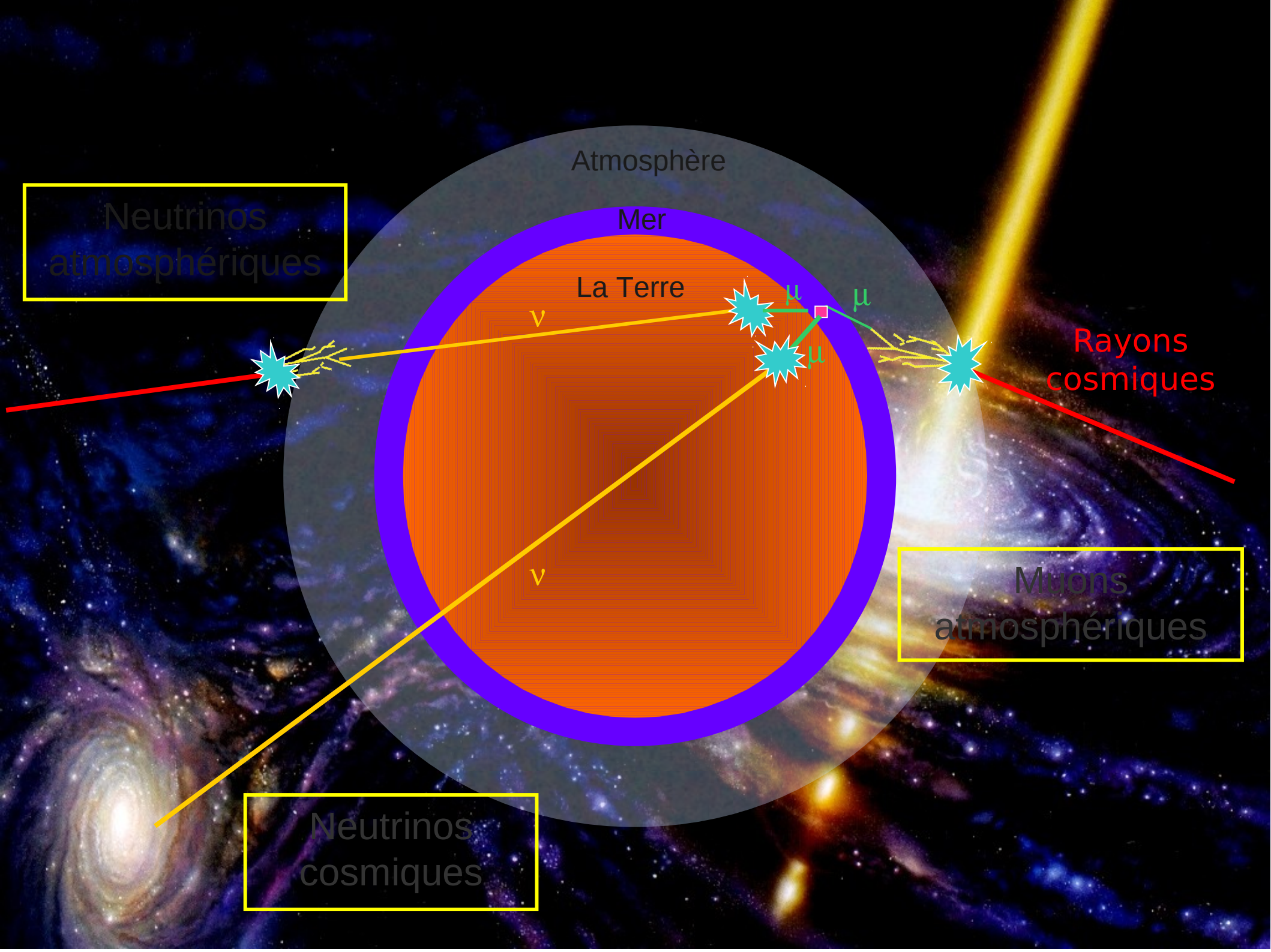
Pourquoi au fond de la mer ?

Beaucoup de **muons** sont descendants... Ils sont créés dans l'atmosphère.

Les 2000 mètres d'eau au-dessus du télescope ANTARES sont un bouclier contre ces muons.



Malgré cette protection, il y a toujours environ 1 muon par seconde.



Atmosphère

Mer

La Terre

Neutrinos
atmosphériques

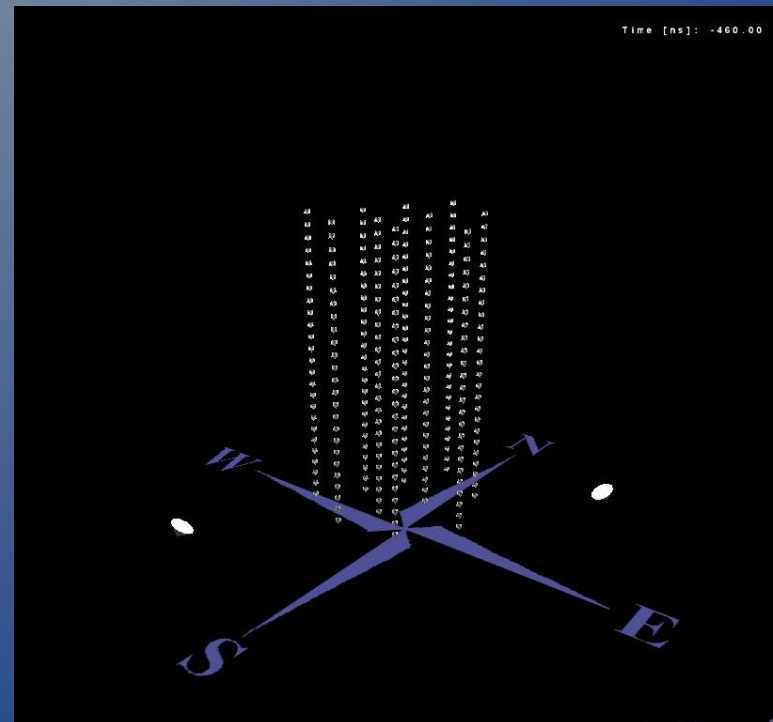
Rayons
cosmiques

Muons
atmosphériques

Neutrinos
cosmiques

Muons montants

Les **muons** montants sont surtout dus aux neutrinos produits dans l'atmosphère.

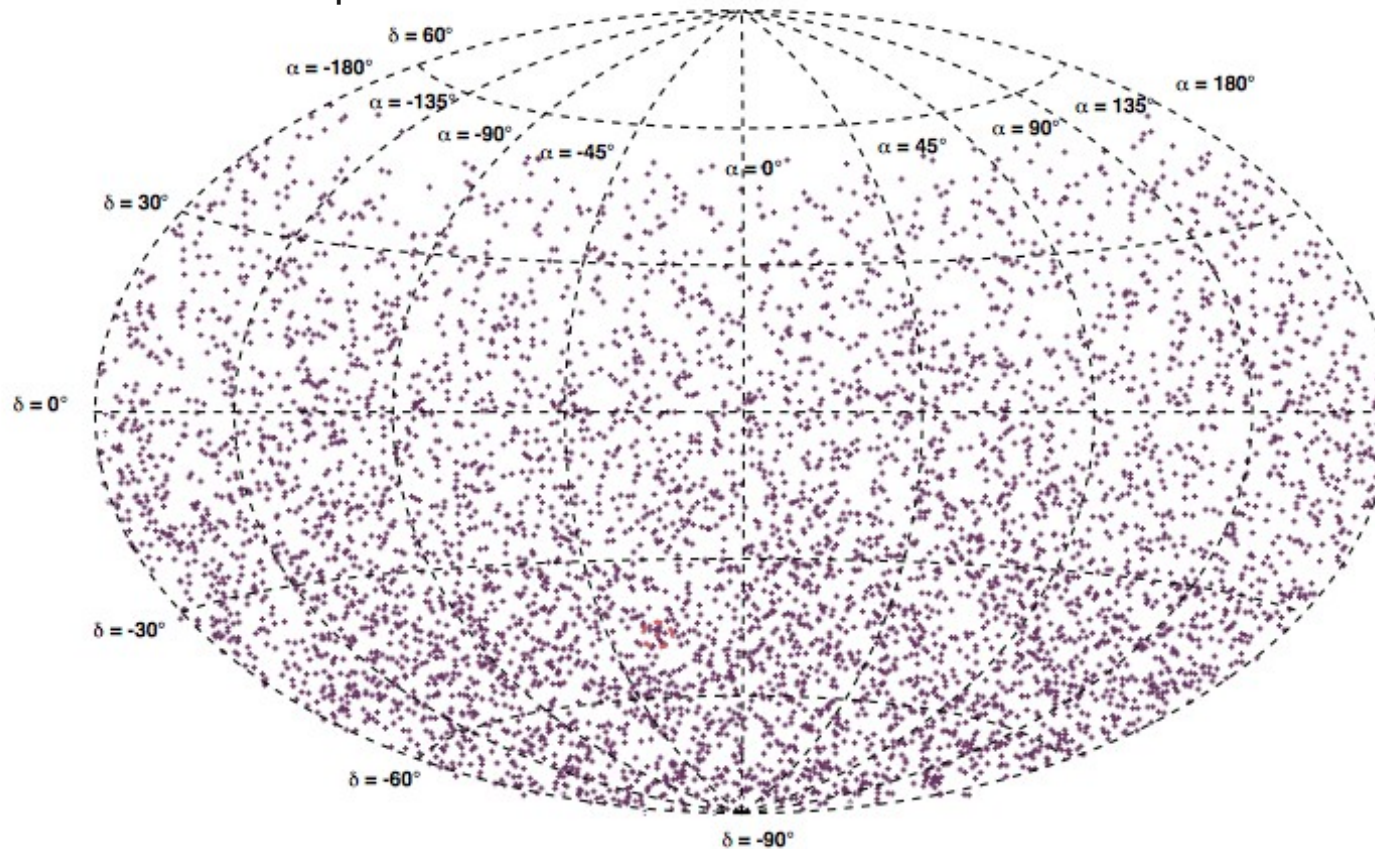


On en détecte quelques-uns par jour...

Neutrinos d'origine cosmique ?

Certains de ces **neutrinos** proviennent-ils de sources lointaines...
... à l'origine des rayons cosmiques ?

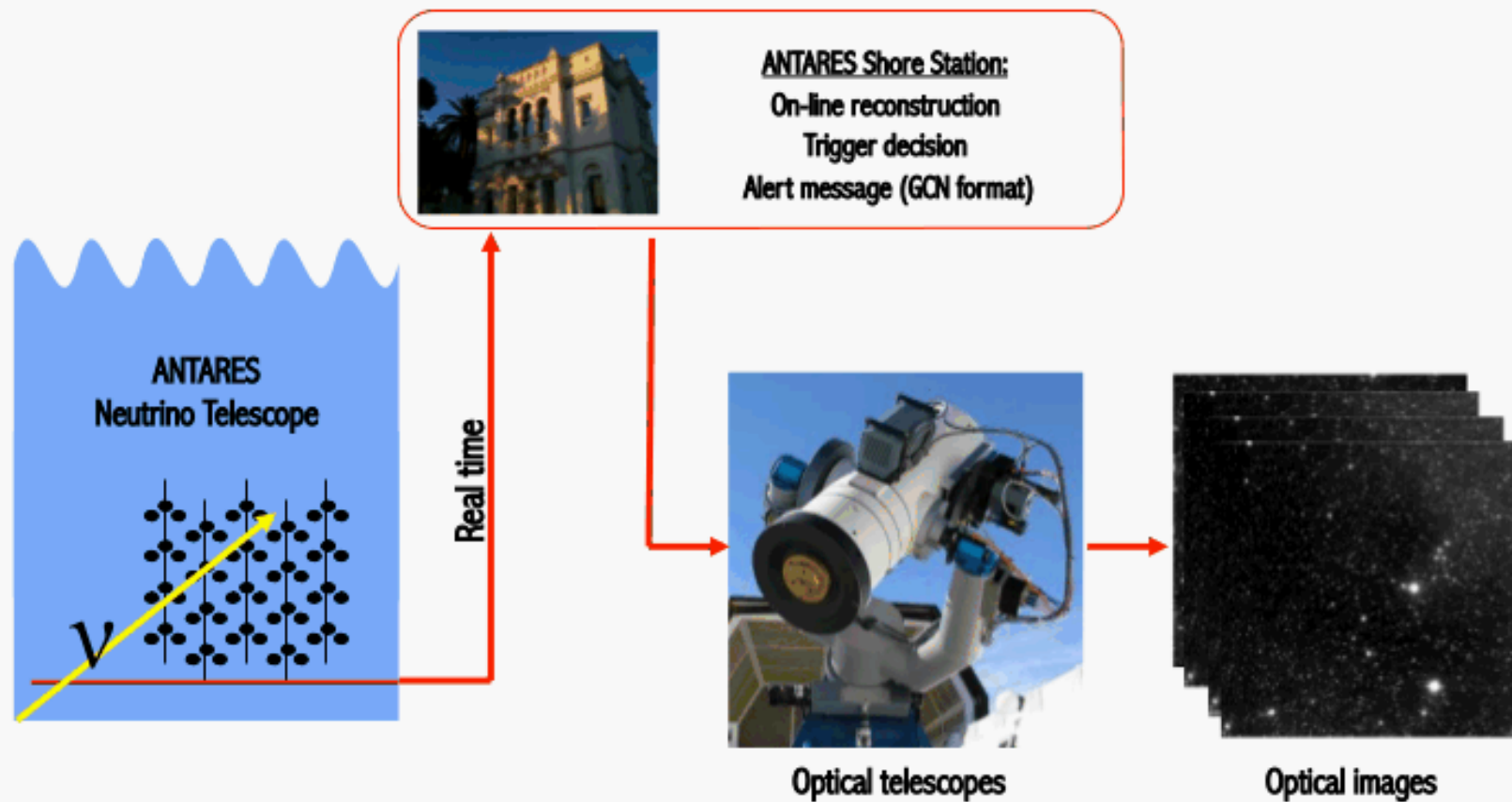
ANTARES : sources ponctuelles



→ 5516 neutrinos (Ang res. $< 1^\circ$) en 1340 jours (2007-2012)

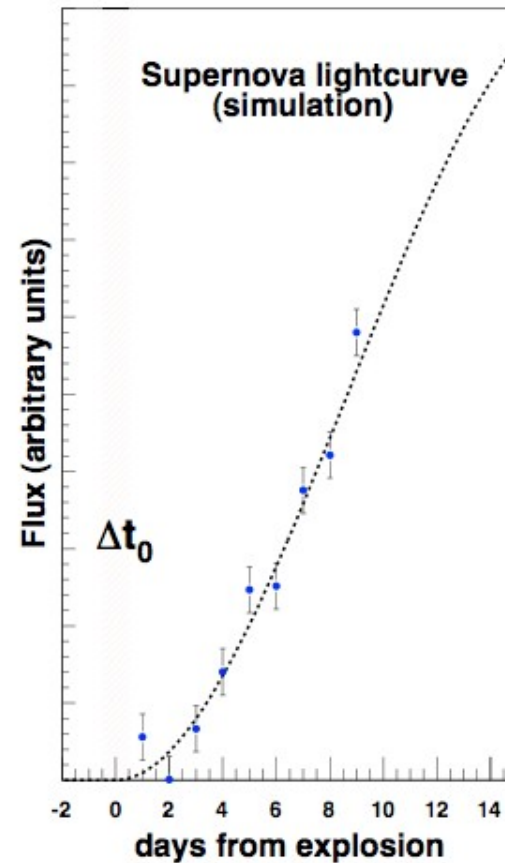
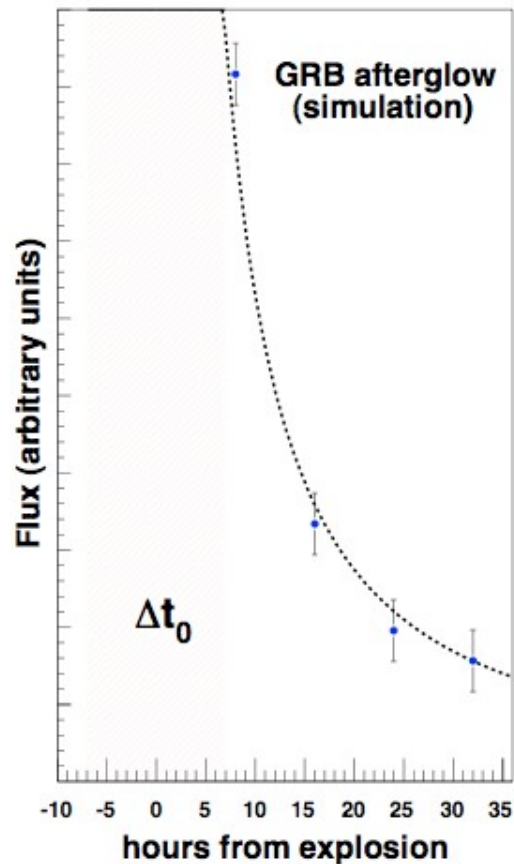
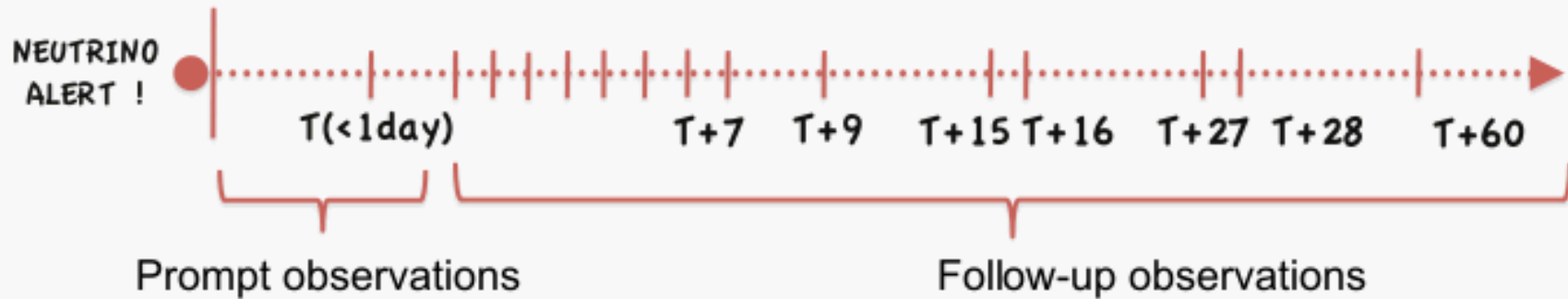
TAToO

Pour tenter de détecter une source de neutrinos cosmiques, une nouvelle méthode a été mise en place.

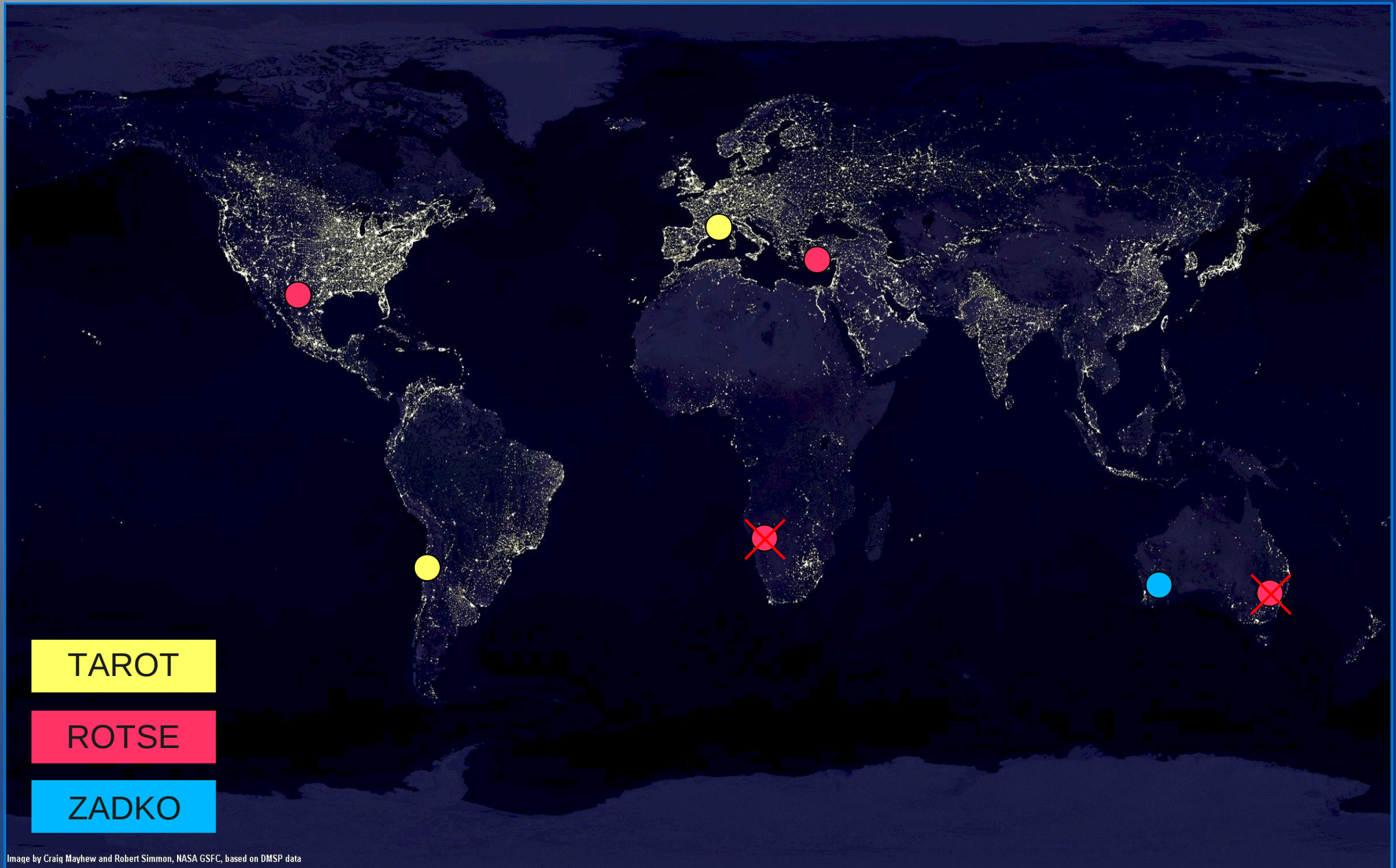


The ANTARES Telescope Neutrino Alert System
Astroparticle Physics 35 (2012) 530-536, arXiv:1103.4477

Stratégie d'observation



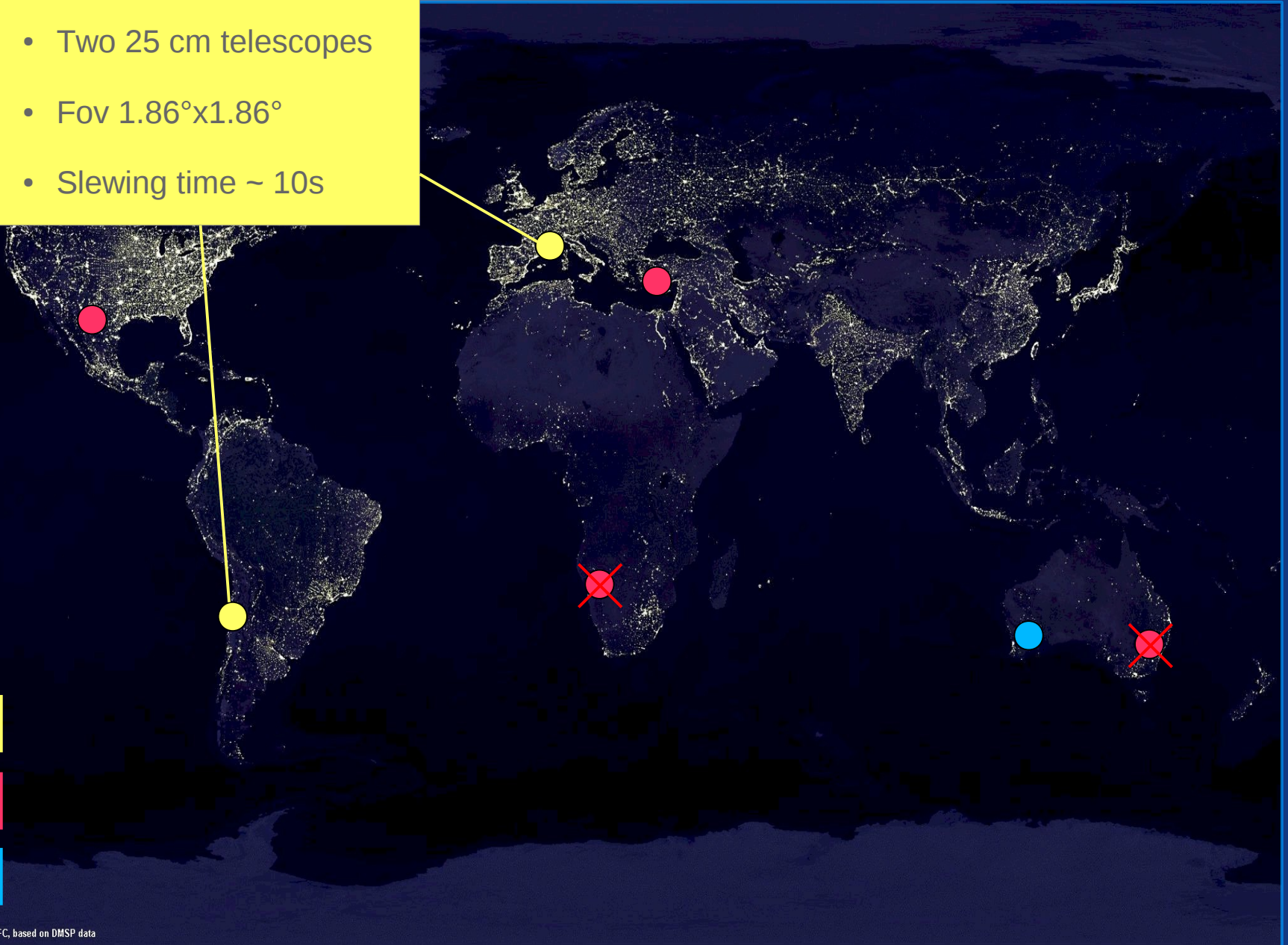
Follow-up with telescopes



Follow-up with telescopes

TAROT Calern

- Two 25 cm telescopes
- Fov $1.86^\circ \times 1.86^\circ$
- Slewing time $\sim 10\text{s}$



TAROT

ROTSE

ZADKO

Follow-up with telescopes

- Four 45 cm telescopes
- Fov $1.85^\circ \times 1.85^\circ$
- Slewing time $\sim 10\text{s}$



TAROT

ROTSE

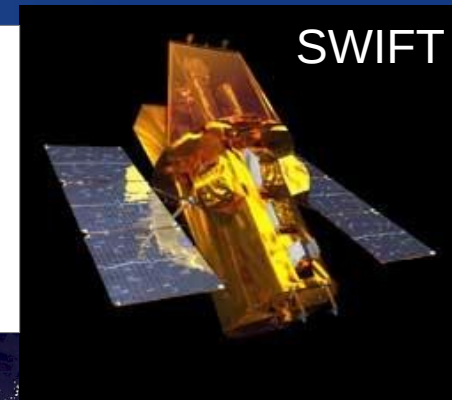
ZADKO

Follow-up with telescopes



Follow-up with telescopes

- X-ray follow-up
- Fov 23.6 x 23.6 arcmin
- 0.3-10 keV energy range



TAROT

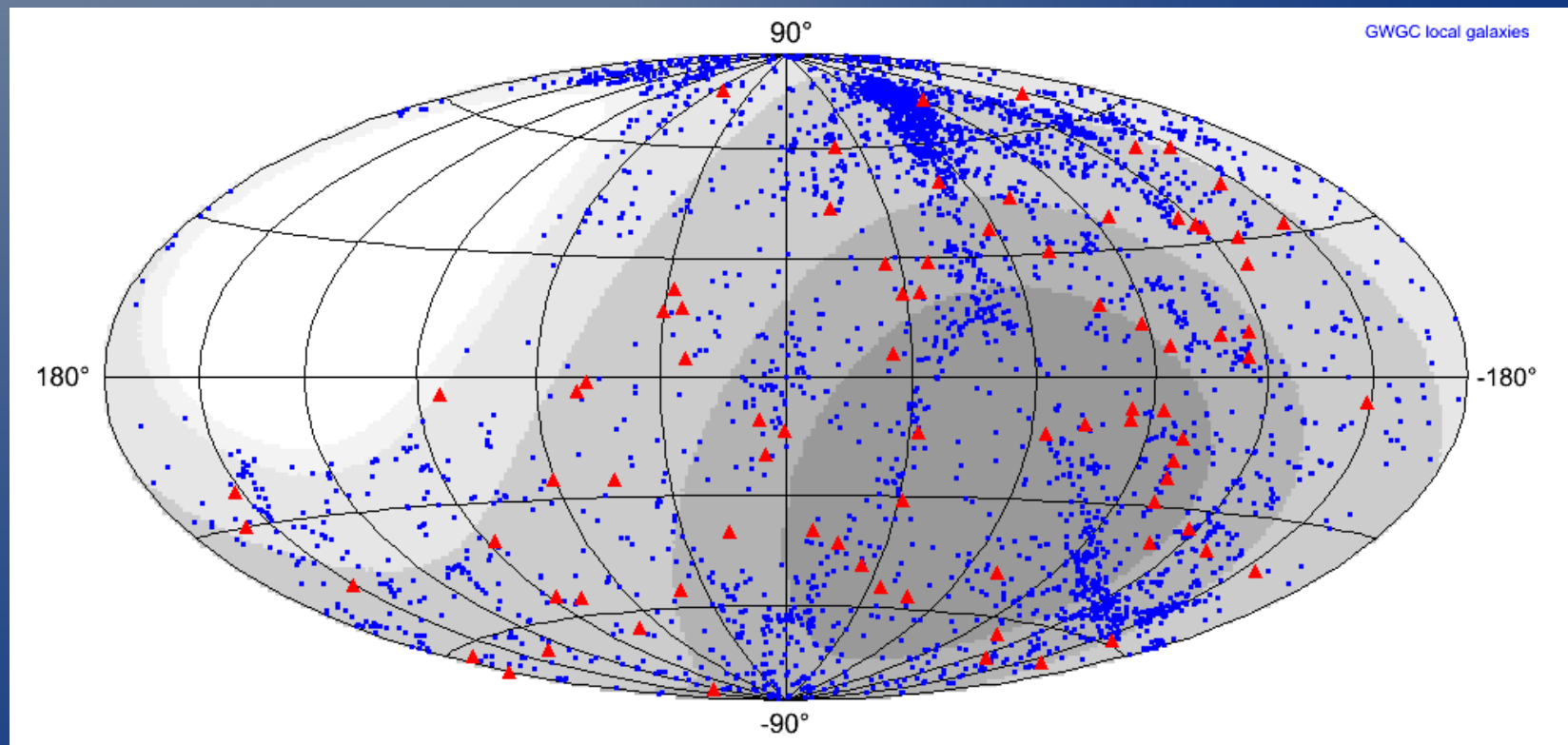
ROTSE

ZADKO

Alertes

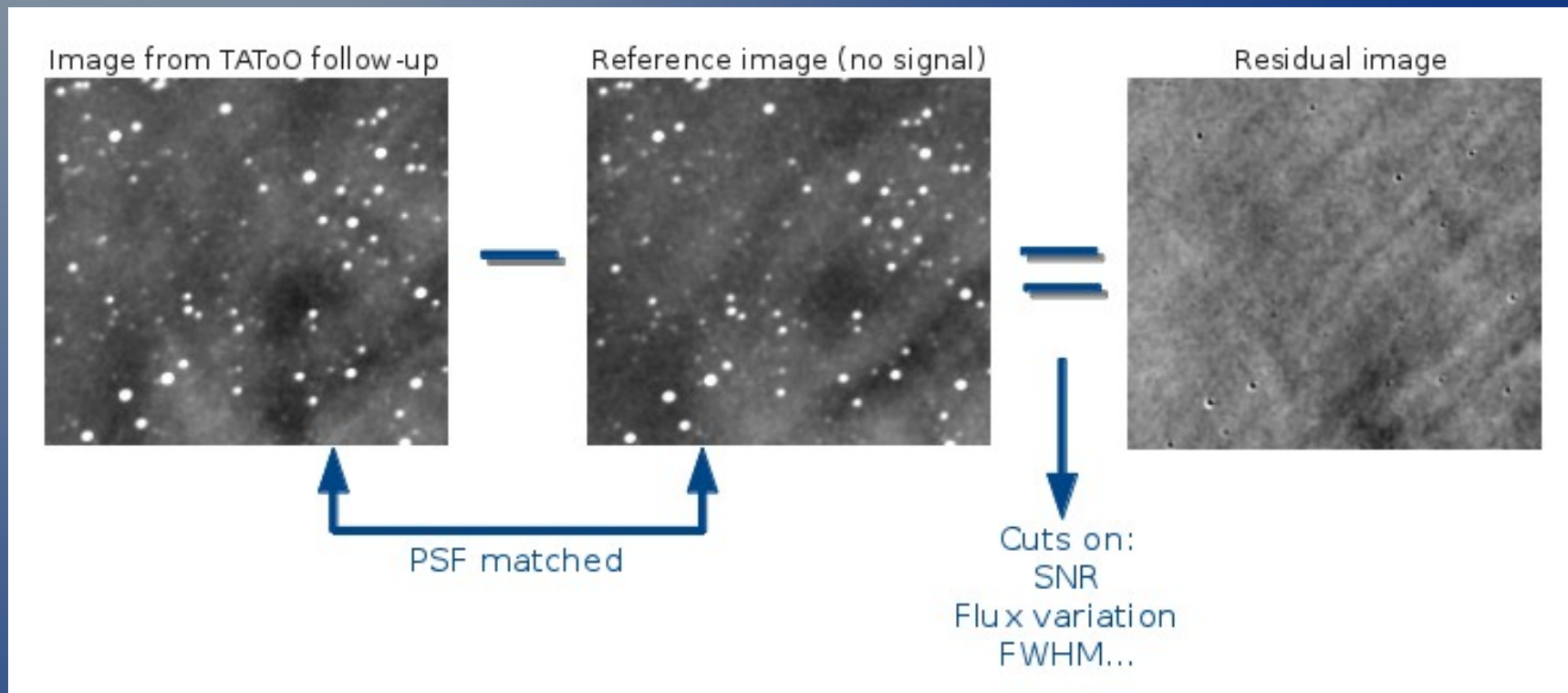
Depuis 2009 :

- **108** alertes ont été envoyées :
 - **11** non suivies (maintenance télescope, trop près du Soleil...)
 - **97** suivies par au moins 1 télescope pendant au moins 1 nuit
 - **90** suivies par au moins 1 télescope pendant au moins 3 nuits



Analyse d'images

- Méthode basée sur la soustraction d'images :



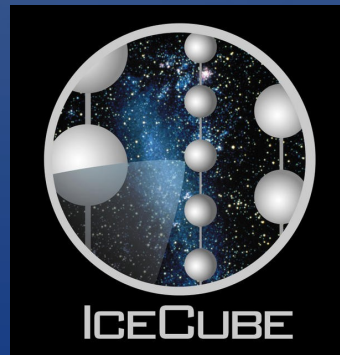
- Un nouveau programme a été développé pour analyser nos images

Télescopes à neutrinos dans le monde

ANTARES

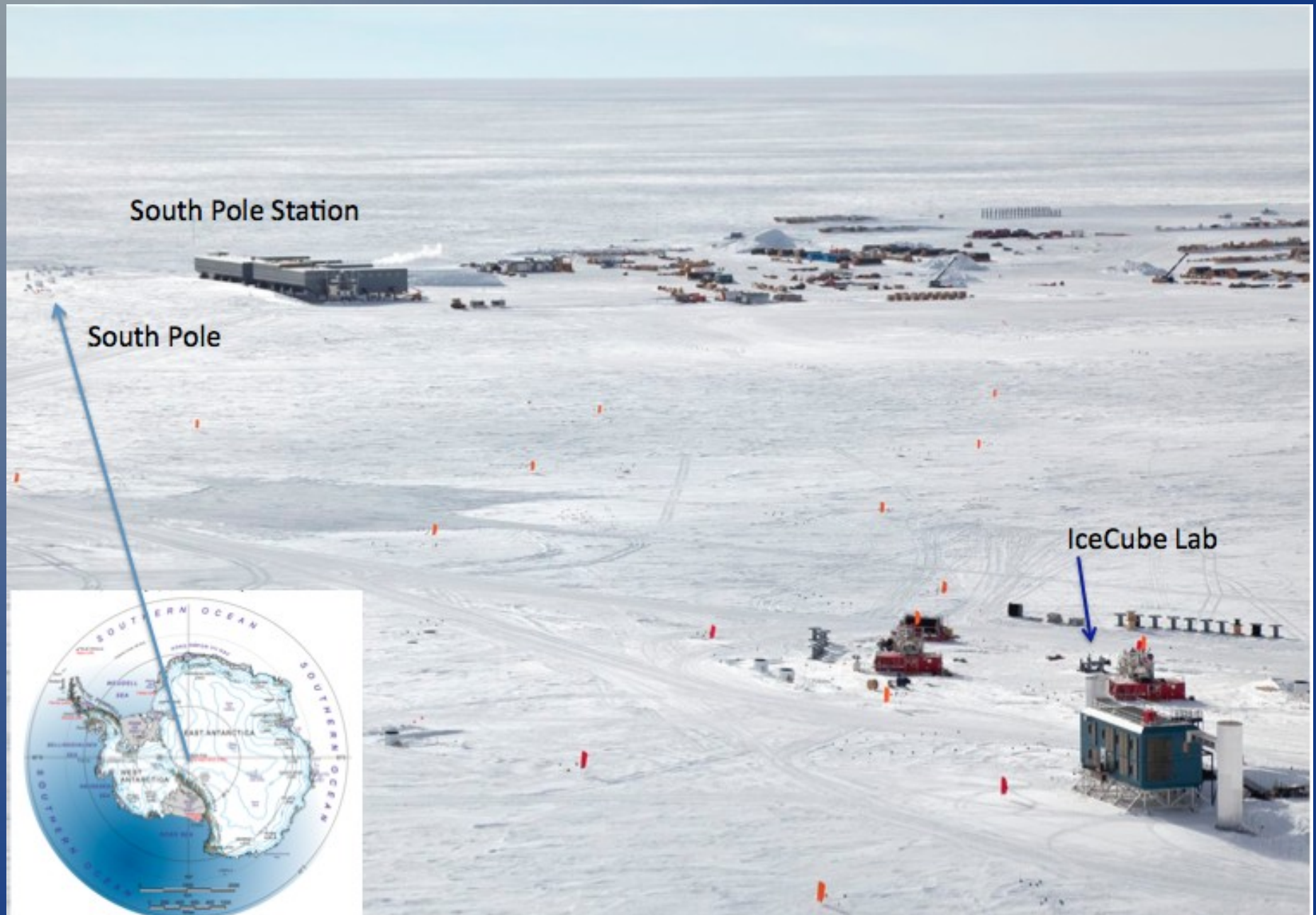


BAIKAL

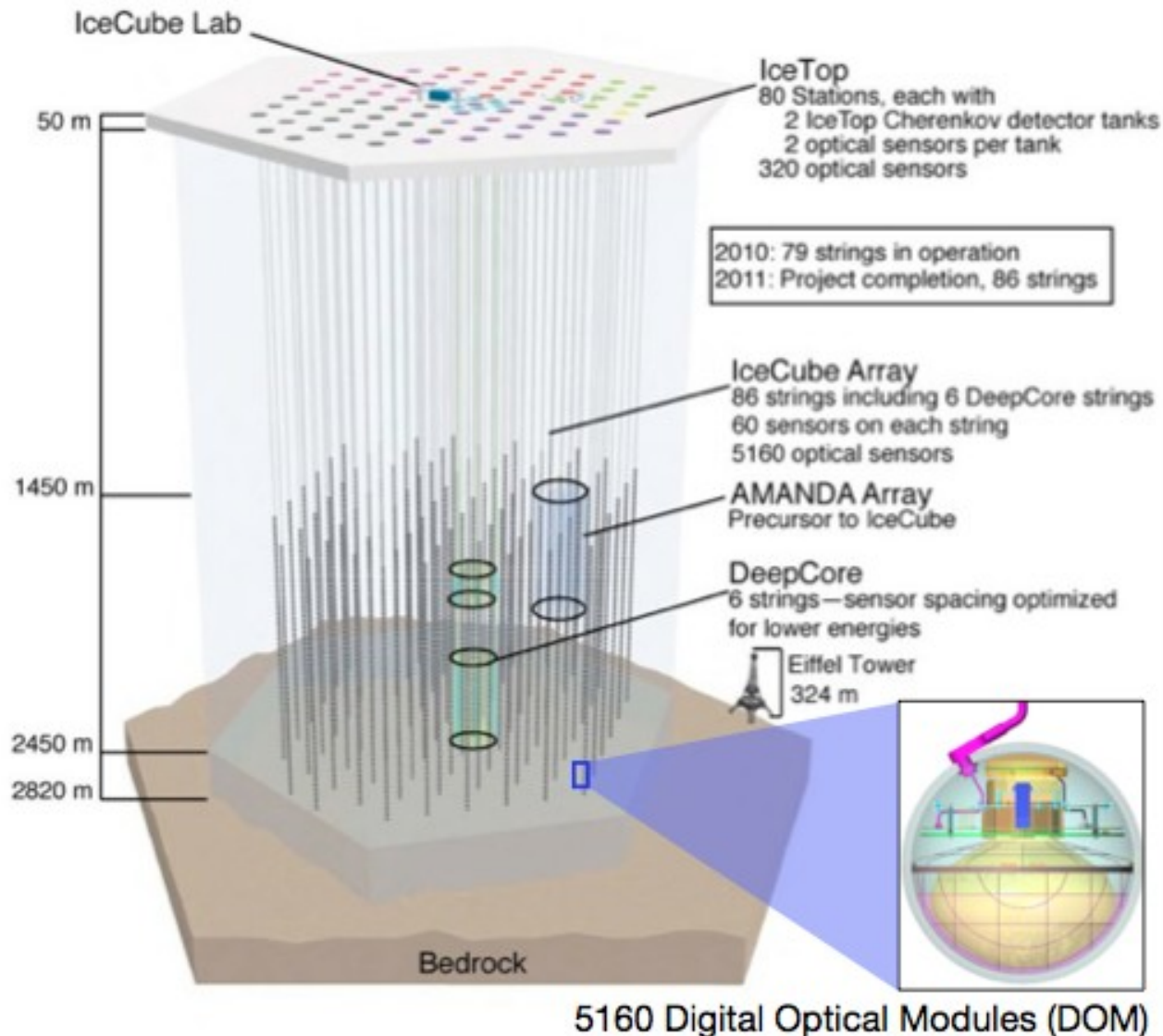


IceCube

IceCube : un géant sous la glace



IceCube : un géant sous la glace



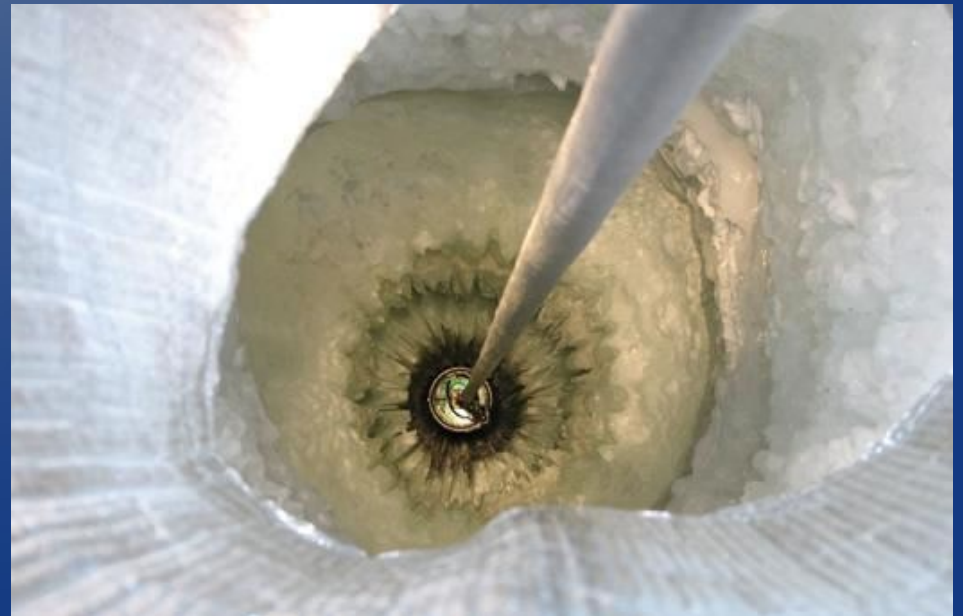
IceCube :

- 86 lignes
- 60 modules optiques par ligne
- 2500 m sous la glace
- Aire effective $\sim 50\text{m}^2$

Prototype: 1993-2005

Déploiement: 2004-2011

IceCube



ANTARES / IceCube

Eau

Milieu homogène avec une faible diffusion de la lumière
⇒ Très bonne résolution angulaire

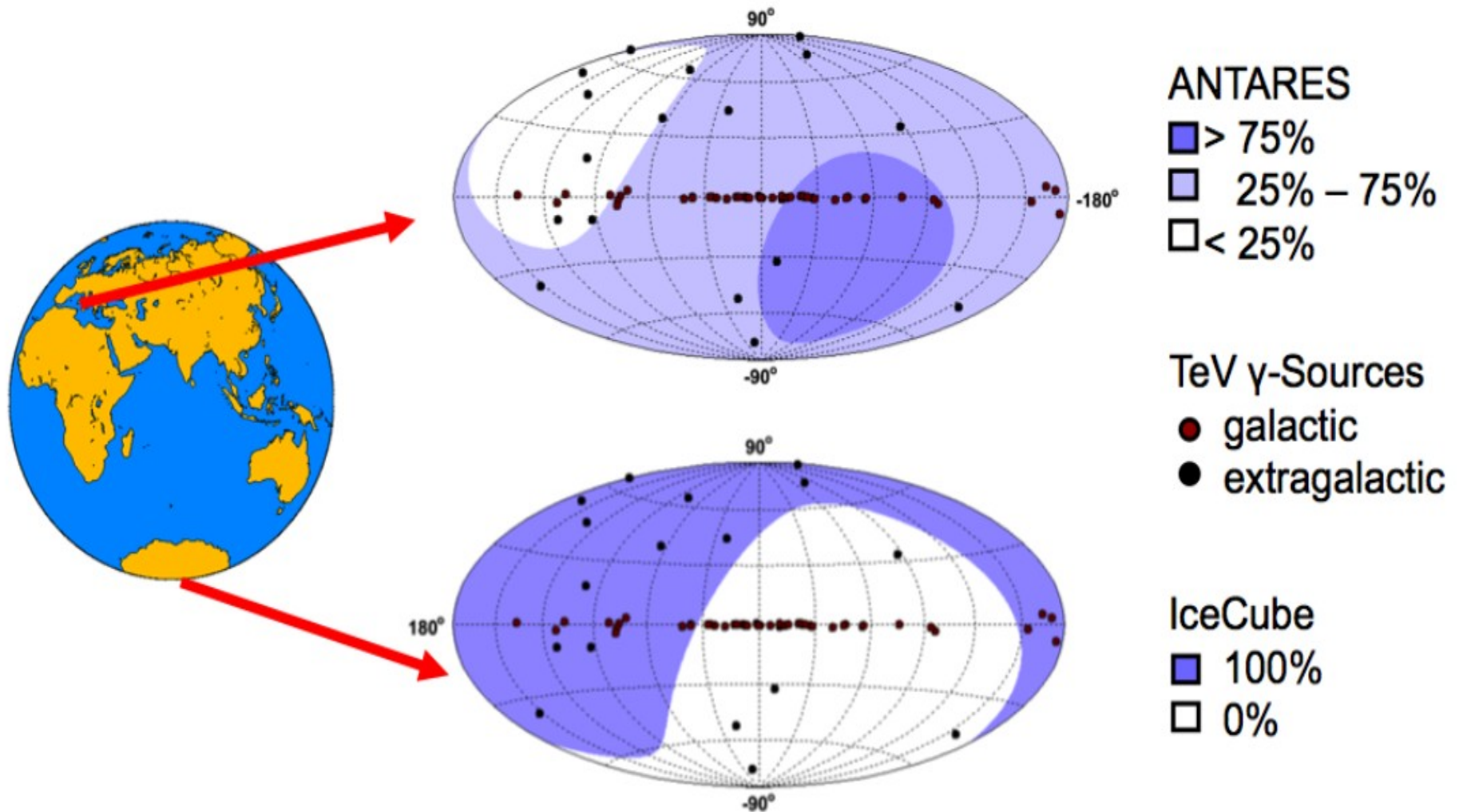
Mais milieu vivant
⇒ Bruit de fond optique important (bioluminescence + décroissance du K40)
⇒ Courants sous-marins

Glace

Milieu inhomogène avec des différences de densité et plus transparent
⇒ Moins bonne résolution angulaire

Mais milieu inerte et très basse température
⇒ Pas de bruit de fond

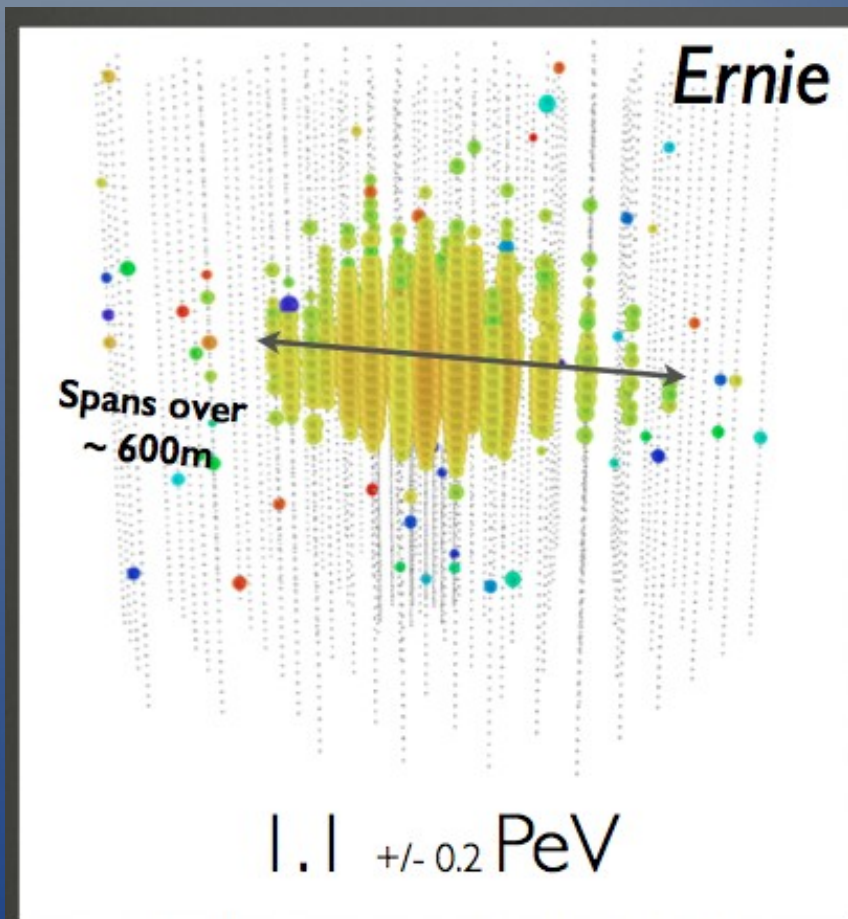
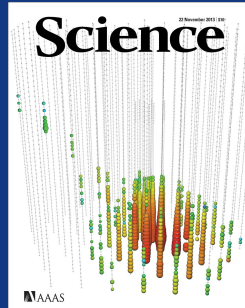
ANTARES / IceCube



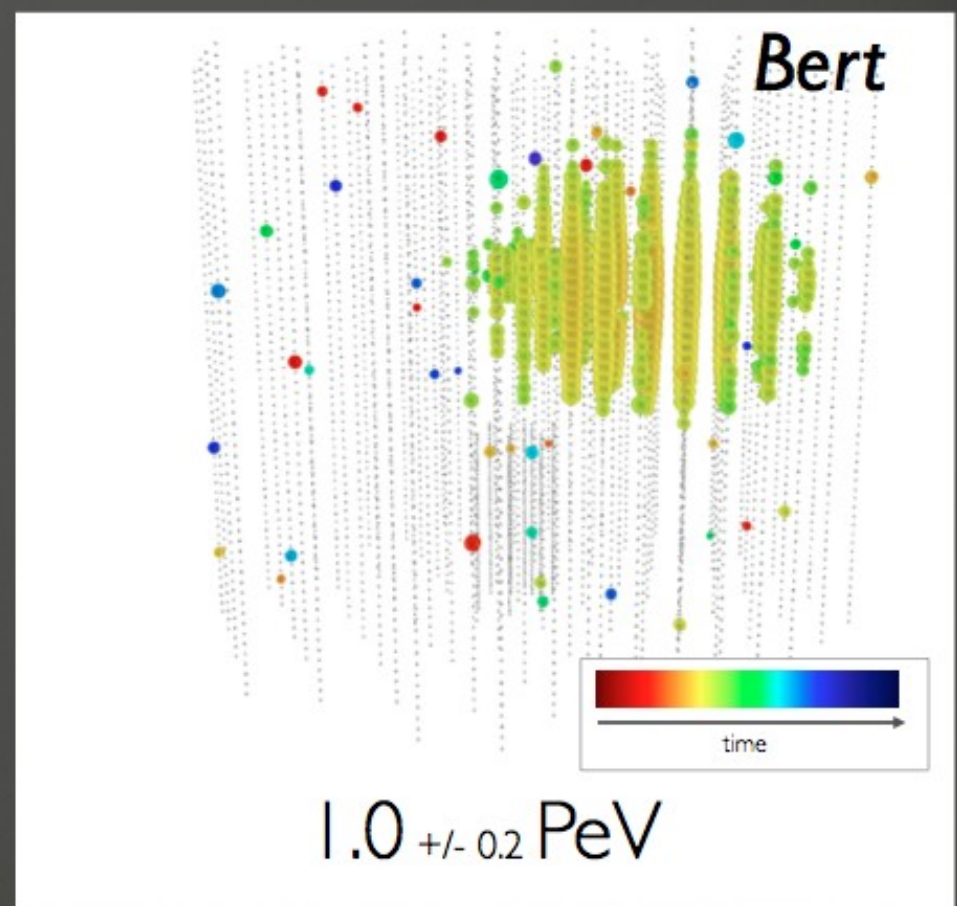
IceCube : un premier signal

En utilisant uniquement l'énergie des évènements :

- Attendus : $10.6^{+7.1}_{-4.6}$
- mesurés : 28 (dont 2 au-dessus de 1 PeV)



<http://www.youtube.com/watch?v=10Uv-gIXJrc>

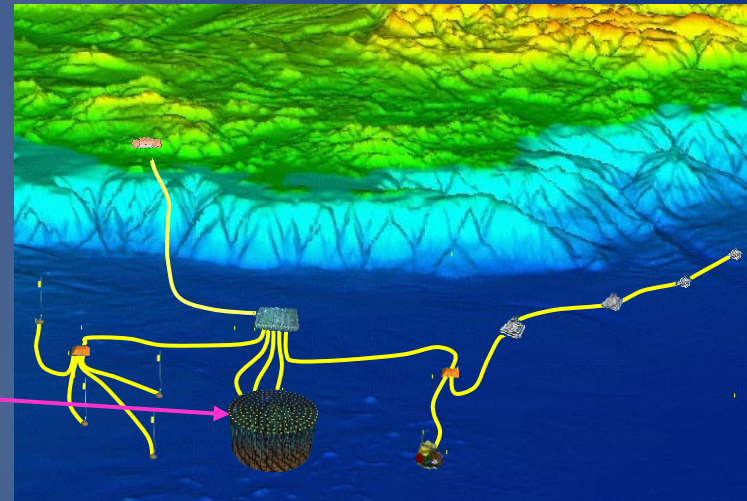
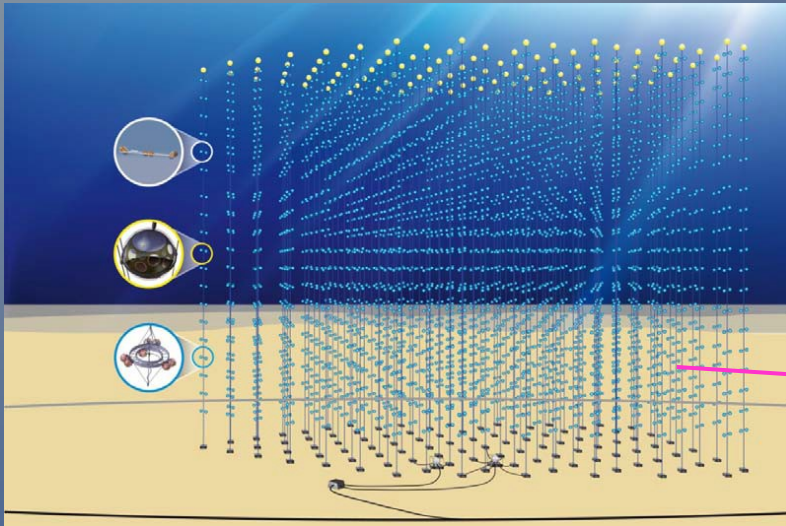


<http://www.youtube.com/watch?v=8AAEkOKLpaY>

Le projet européen KM3net

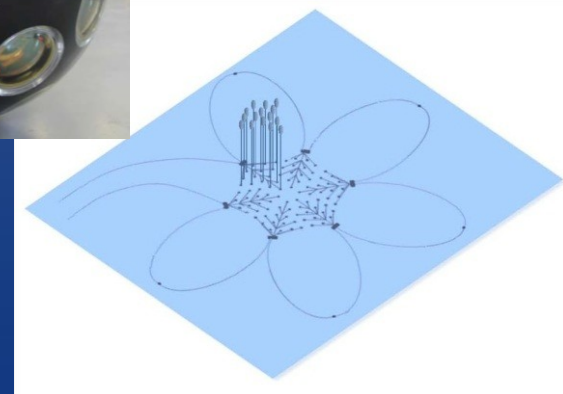
Un détecteur au moins
50 fois plus grand

Observatoire sous-marin permanent

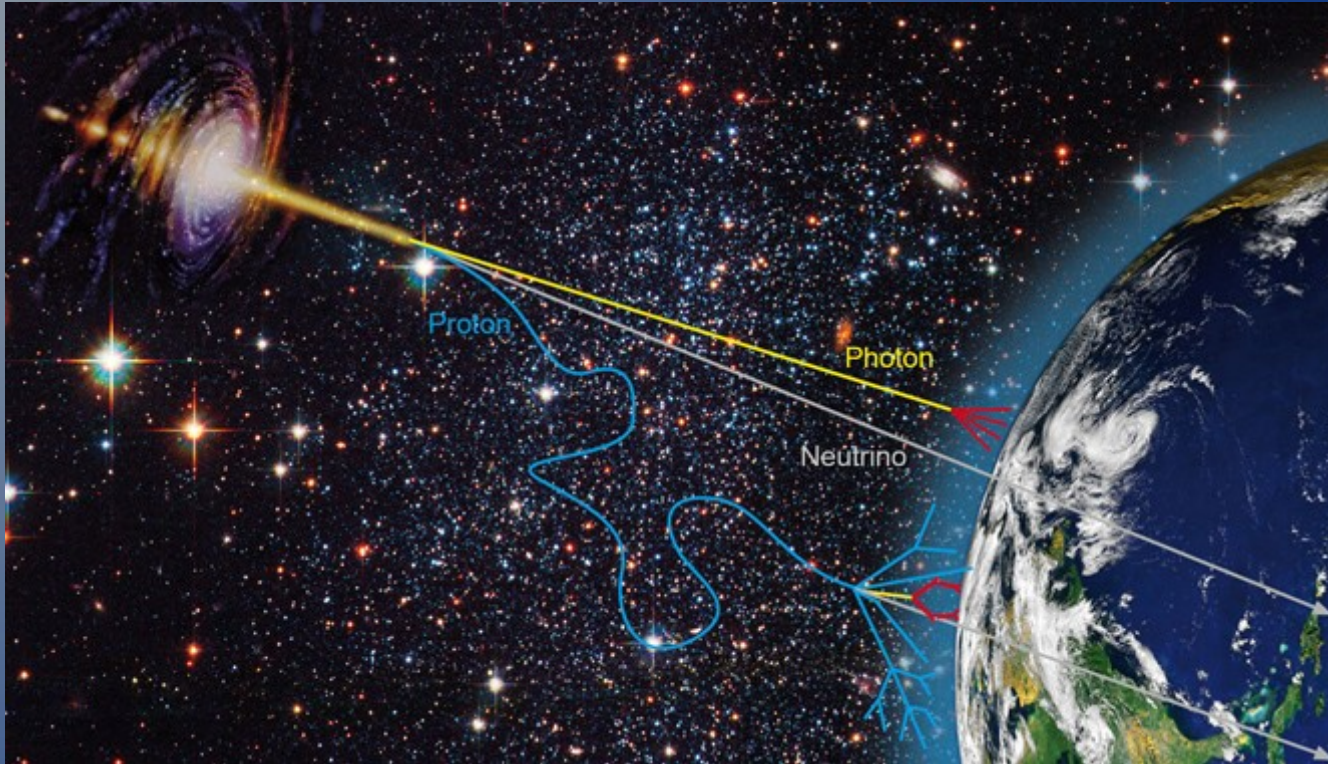


Phase R&D :

- Caractérisation des photodétecteurs (multi PMs, ...)
- Définition de la géométrie des lignes (espacement, densité, nb,...)
- Optimisation du déploiement
- Optimisation du cout.....
- Conception de l'infrastructure fond de mer



Résumé



- L'astronomie neutrino a vu le jour récemment et nous ouvre une nouvelle fenêtre sur l'Univers
- Le développement de télescopes à neutrinos nous permettra peut-être de répondre à une des plus grandes énigmes de la physique : l'origine des rayons cosmiques

Parcours

- **Bac S** (sciences de l'ingénieur), spécialité Physique, Lycée Pierre Bayle
- **Licence** “physique et sciences pour l'ingénieur”, parcours physique, Université de Strasbourg
 - Stage L2 : “Étude des distributions de rayons cosmiques détectés par le télescope ANTARES”, IPHC. (T. Pradier)
- **Master** recherche “Physique”, parcours astrophysique & physique des corpuscules, Université Bordeaux 1
 - Stage M1 : “Étude des distances des pulsars”, CENBG, équipe astroparticules. (D. Smith & D. Dumora)
 - Stage M2 : “Analyse d'observations Herschel de proto-étoiles massives”, LAB. (J. Braine)
- **Doctorat** en astroparticules (2ème année) :
“Analyse multi-messagers photon/neutrino avec le télescope ANTARES”