

Astrid Chantelauze for the Helmholtz Alliance for Astroparticle Physics

Les pêcheurs de neutrinos

DISPOSITIF « VACANCES APPRENANTES »

PRÉSENTÉ PAR CÉLINE LAUGEL

Sommaire

1. Carte d'identité du neutrino

2. Détection des neutrinos

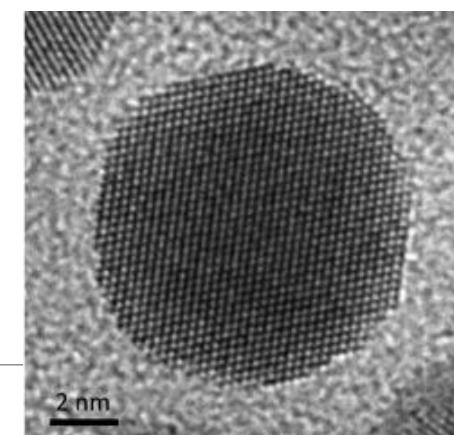
3. Pêcher des neutrinos dans les abysses de la mer Méditerranée

1. Carte d'identité du neutrino

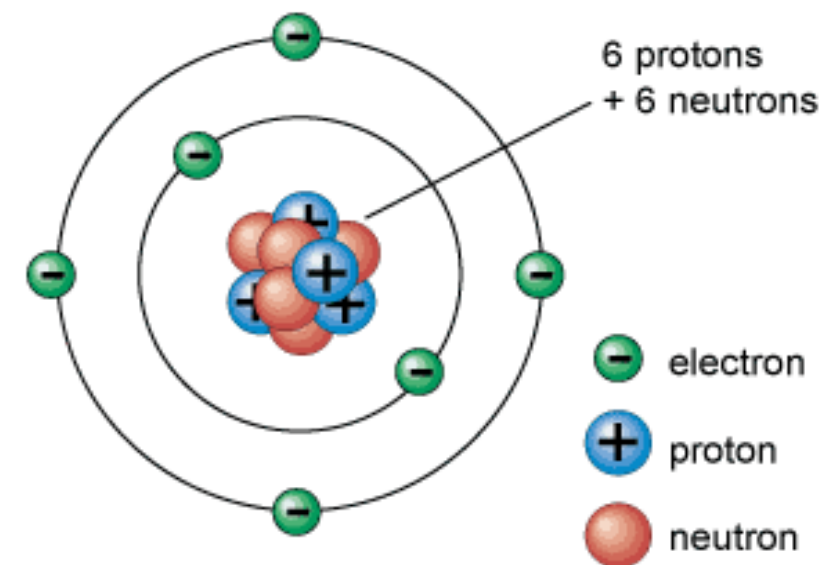
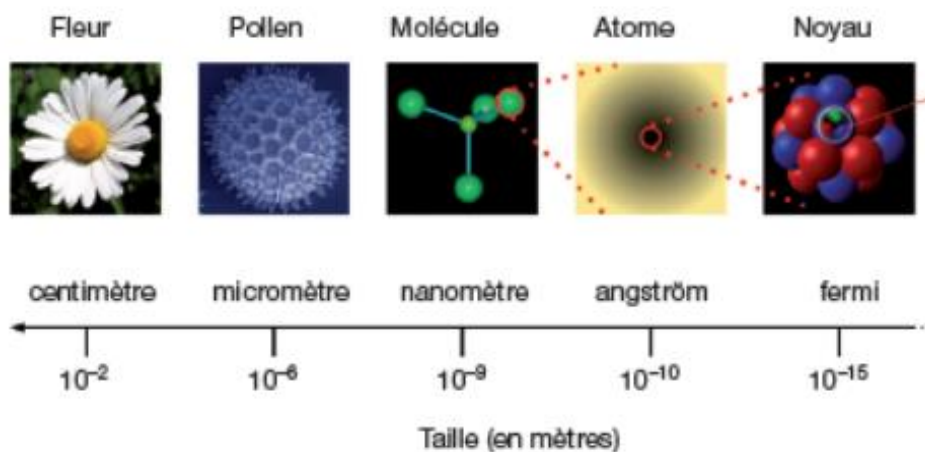
- Nom de famille : **Particule élémentaire**

12 particules élémentaires : électron, muon, neutrino, quarks

Où les trouve-t-on ? Electrons et quarks (noyau) forment les atomes qui forment la matière : roche, êtres vivants, PARTOUT



Cristal d'or de 8 nanomètres observé par microscopie électronique à haute résolution.
© ERC/CNRS Photothèque / Marie-Paule PILENI, Nicolas GOUBET





Neutrino électron



Neutrino tau



Neutrino muon

- Prénom : **Neutrino**

parce que il n'a pas de charge électrique (neutre) et que le prénom « neutron » était déjà pris.

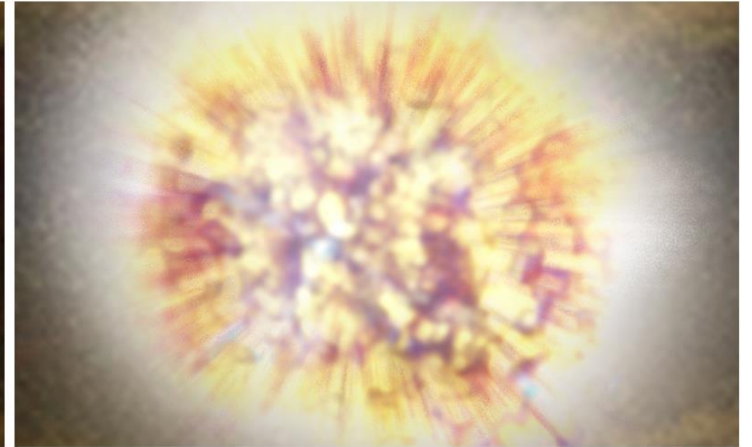
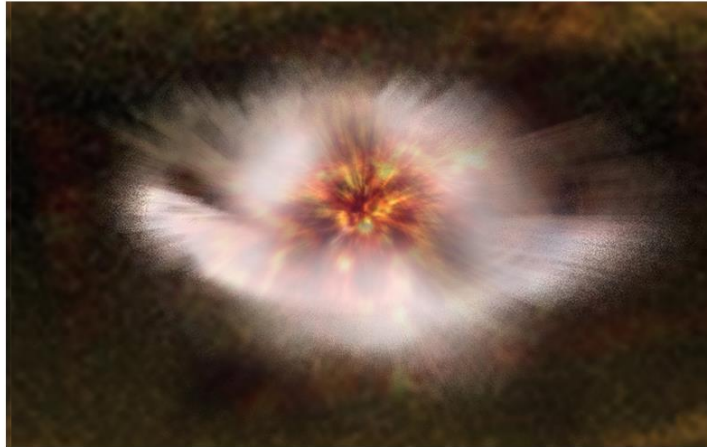
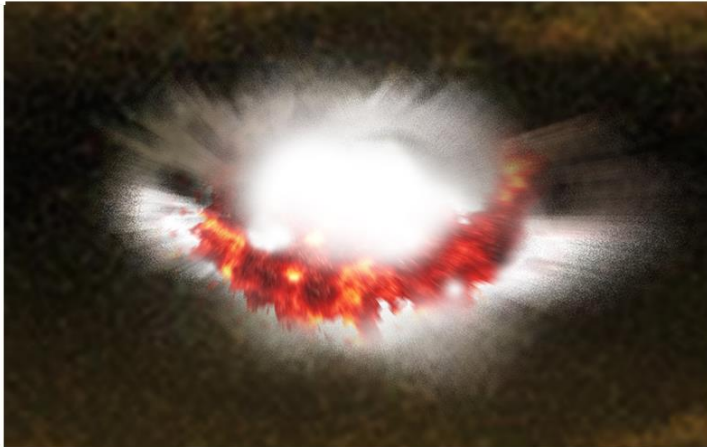
- Deuxième prénom (« saveur » pour les physiciens):

électron ou **muon** ou **tau**

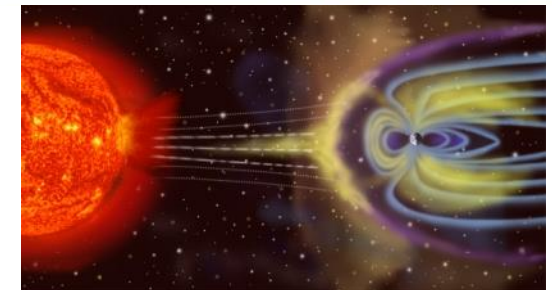
- Date de naissance : **ça dépend !**

➤ Les plus vieux et les plus nombreux : quand l'Univers s'est formé, au Big Bang, il y a 13,7 milliards d'années

➤ Très vieux : explosion de supernovae (rayons cosmiques)



➤ De tous les âges : vent solaire et matière (radioactivité naturelle)



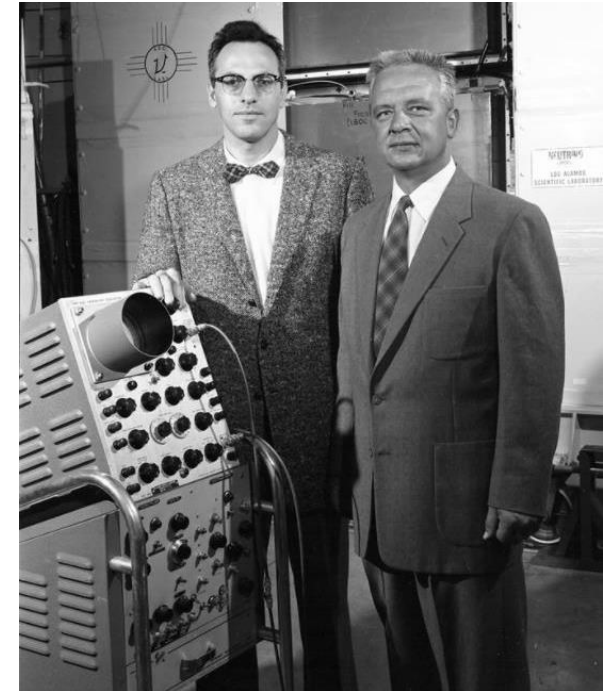
- Date de découverte :

➤ **En 1930** : imaginé par Wolfgang Pauli
(prix Nobel de physique en 1945)



➤ **En 1956** : détecté par les physiciens américains
Frederick Reines et Clyde Cowan

(prix Nobel de physique en 1995)



Taille : ??

*Personne ne m'a jamais vu,
même avec un super microscope!*

Masse : non connue précisément, extrêmement faible (10^{-27} kg)

Charge électrique : **nulle (neutrino)**

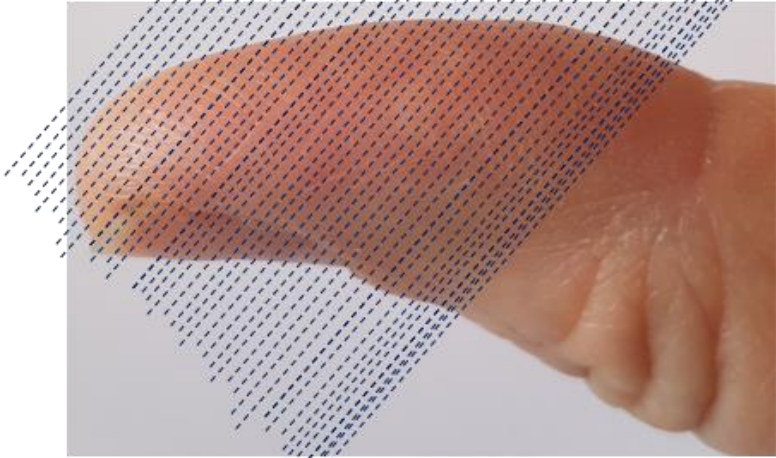


Recette : masse d'un neutrino

- Couper un petit pois en un million de tranches
- prendre un morceau
- Le couper en un million
- Renouveler l'opération encore 4 fois
- Peser !

Vitesse : environ **300 000 km/s**, très proche de celle de la lumière

60 000 000 000 de neutrinos
en 1 seconde



*Je suis asocial, je n'aime
pas rencontrer les autres
particules élémentaires !*

- Signes particuliers :

➤ *Neutrino : « Le monde me semble vide .»*

Un neutrino ne réagit que TRES peu avec la matière.

On peut dire que le neutrino « voit le monde » comme si tout était presque vide. Pour lui, la matière est transparente, il traverse le plomb, les montagnes et même la Terre en étant extrêmement peu perturbé.

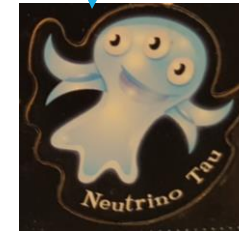
Malgré les milliards de milliards de neutrinos qui nous traversent en une semaine, seulement un neutrino va réagir avec une particule de notre corps.

- Neutrino : « *Je me métamorphose en voyageant* »
(métamorphoses appelées « oscillations »)

« *Je prends une forme des trois saveurs, puis je peux apparaître dans une saveur différente lorsqu'on me détecte !* »

Phénomène mis en évidence la première fois en 1998 dans un observatoire de neutrinos japonais (prix Nobel de physique en 2015)

*Je me métamorphose, j'oscille,
donc j'ai une masse !*



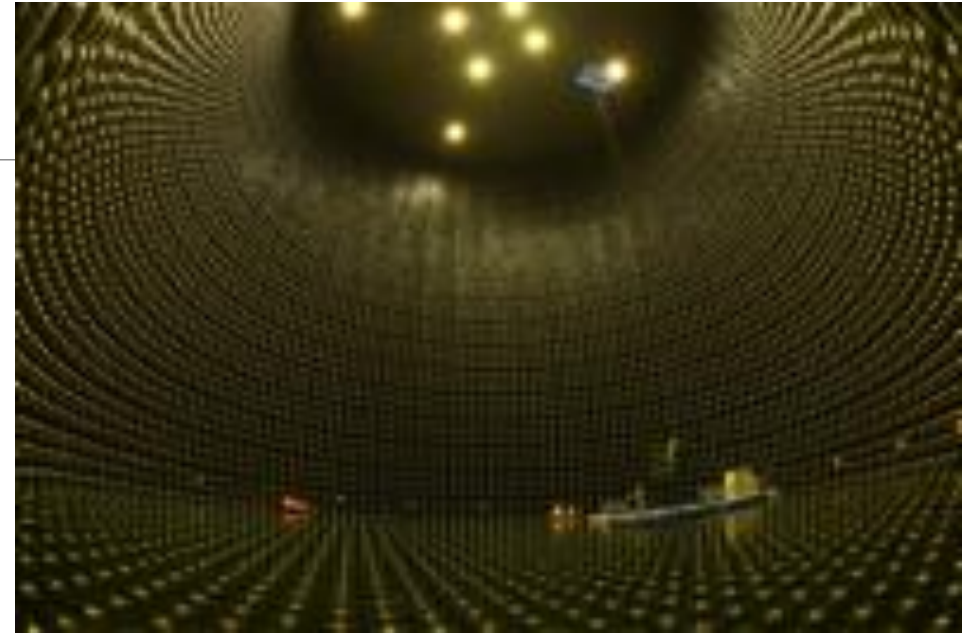
2. Principe de détection

Idée : lorsqu'un neutrino réagit avec la matière (eau par exemple), il émet une lumière bleue : cette lumière est très courte, comme un flash mais en beaucoup moins intense. C'est cette lumière qu'on cherche à enregistrer.

Bonne nouvelle : énormément de neutrinos sont produits.

Mauvaise nouvelle : très peu de neutrinos réagissent !

Il faut donc des **détecteurs gigantesques**, contenant beaucoup de matière (eau liquide, glace, ...) avec des milliers de capteurs.

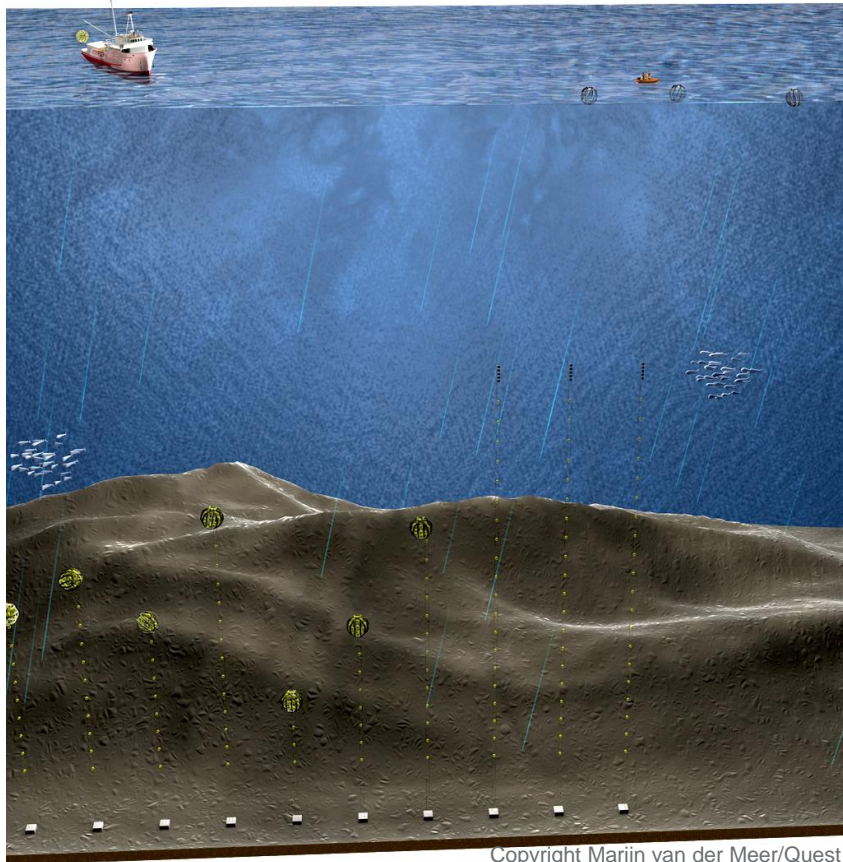


Exemple : « Super-Kamiokande » au Japon, le plus grand au monde actuellement.

Il mesure 40 mètres de haut pour 40 mètres de diamètre : un immeuble de quinze étages pourrait s'y loger.

Il contient 50 000 tonnes d'eau purifiée, soit sept fois le poids de la Tour Eiffel.





3. Pêcher des neutrinos dans les abysses de la mer Méditerranée

Idée : lorsqu'un neutrino réagit avec la matière (eau par exemple), il émet une lumière bleue : cette lumière est très rapide, comme un flash mais beaucoup moins intense.

2^e idée : on peut reconstituer le chemin parcouru, l'énergie et la nature du neutrino original si plusieurs capteurs sont touchés.

3^e idée : **KM3NeT** = « Cubic Kilometre Neutrino Telescope »

Qu'est-ce que c'est ? Un réseau d'observatoires de neutrinos situés en eau profonde

Depuis quand ? en construction depuis 2013, mise en service prévue en 2026

Où ? à environ 40 km au large de Toulon, France, à une profondeur d'environ 2500 m

Pourquoi ? Pour traquer les neutrinos de basse énergie en provenance du Soleil et de l'atmosphère terrestre et étudier certaines de leurs propriétés, comme leurs oscillations et leurs masses.



Un module optique :

- Une sphère de 47 cm de diamètre
- 31 détecteurs en surface (appelés photomultiplicateurs)
- Signe particulier : 2 centimètres d'épaisseur pour résister à des pressions de 350 fois la pression atmosphérique !

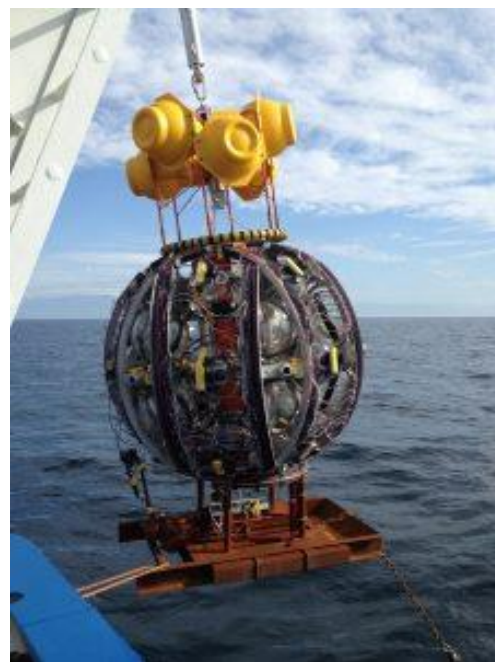
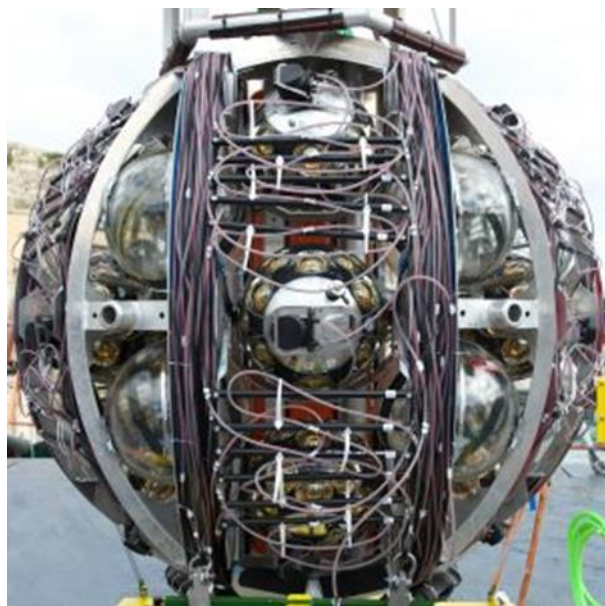
Copyright KM3NeT



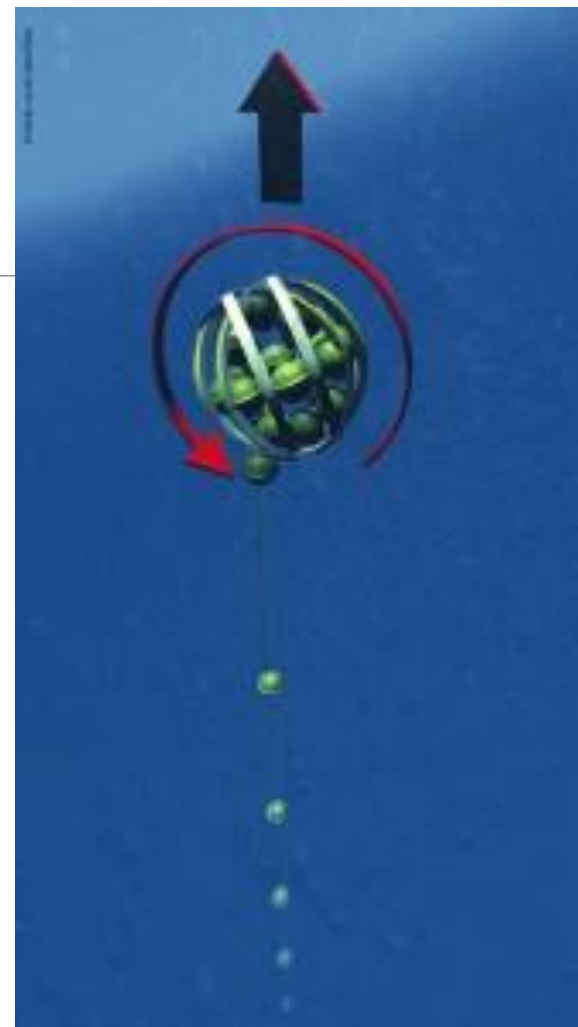
Copyright KM3NeT



Lanceur de modules, contenant 18 modules optiques



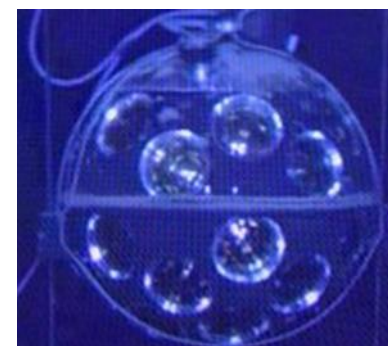
Copyright KM3NeT



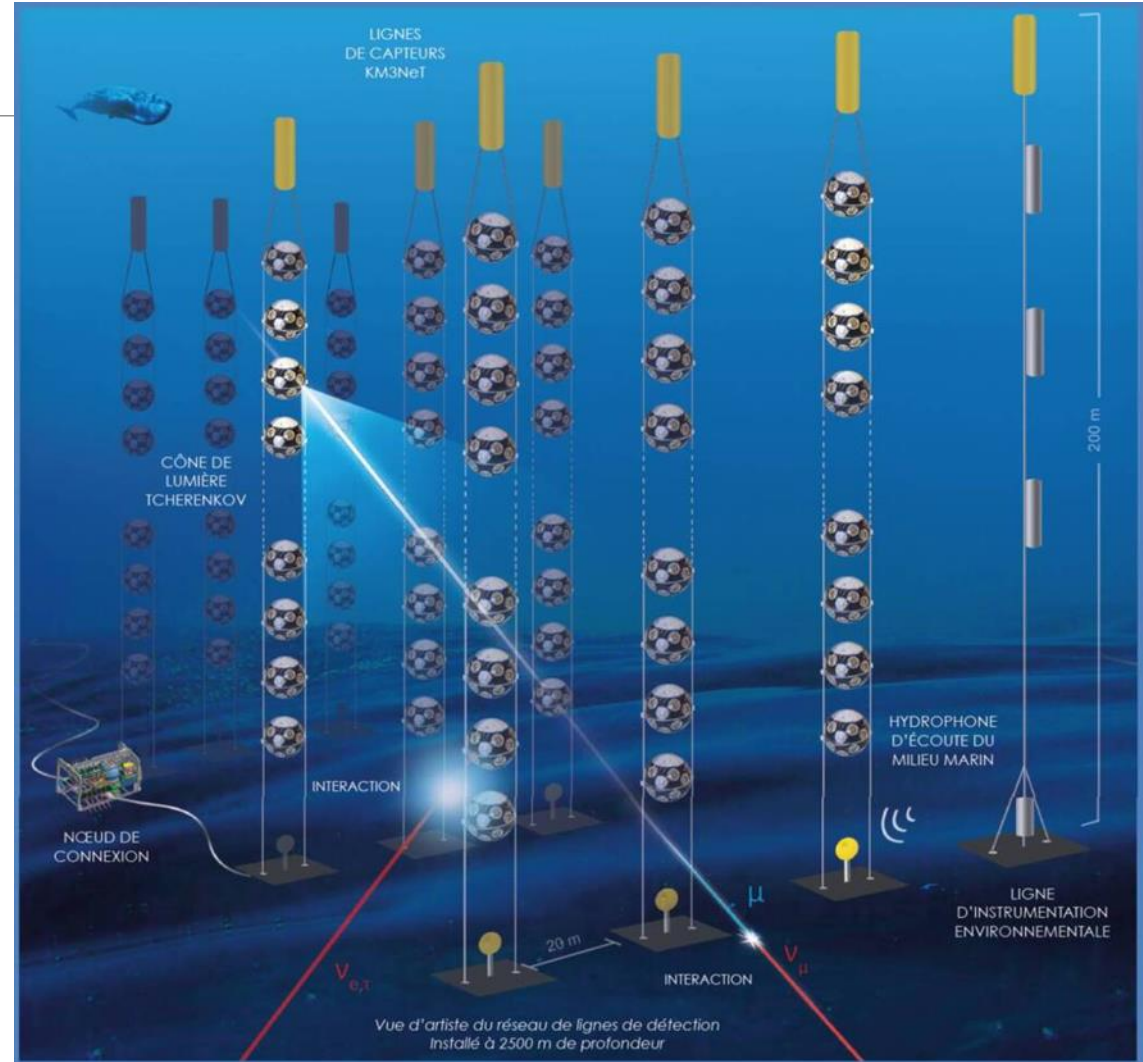
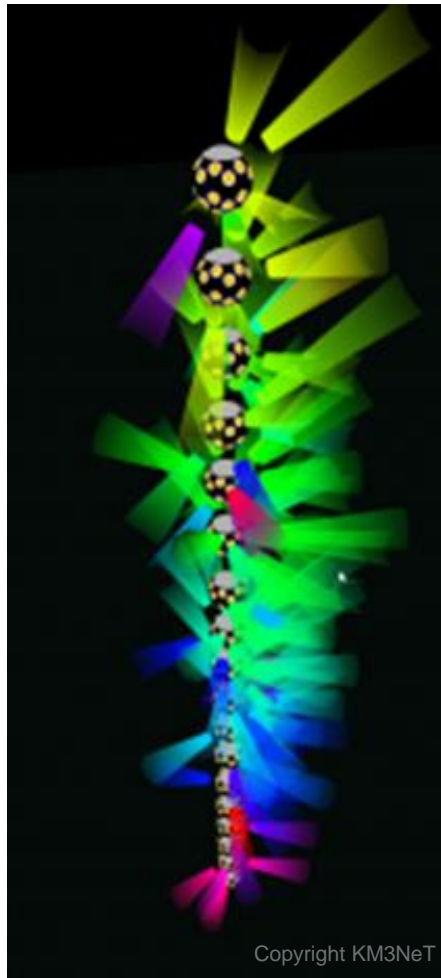
Copyright Marijn van der Meer/Quest



Copyright KM3NeT



Des lignes de modules optiques, comme des perles sur un fil :
115 lignes de détection de 200 mètres de long, séparées de
20 mètres



Au total : **65 000** capteurs optiques

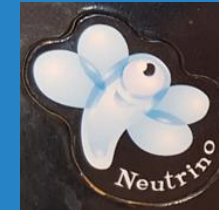
Objectifs

- Les neutrinos sont l'un des ingrédients pour comprendre la cohérence existant entre les particules, ils sont donc obligatoires pour **suivre les phases successives** qui se sont déroulées à la **naissance de notre Univers**.
- Les neutrinos pourraient aussi apporter l'explication à l'un des plus grands mystères qui soit : pourquoi l'Univers est-il fait **uniquement de matière**, et pas d'antimatière ?
- Existent-ils d'autres formes de neutrinos ? De tels objets sont proposés par certains théoriciens **pour expliquer la matière noire** à l'œuvre dans l'Univers.

Finalement, il reste encore beaucoup de travail pour les physiciens des neutrinos !



Neutrino, où es-tu ?



Neutrino, qui es-tu ?



Neutrino, que fais-tu ?





Regardez le reportage

Reportage CNRS : **les pêcheurs de neutrinos**

<https://www.youtube.com/watch?v=jv56nOURPVU&list=PL-GL80g2OIE1w2rkwkD1jUXYvCbwwCCuD&index=44>



Des questions ?

Sources

<https://www.km3net.org/>

http://www.lsm.in2p3.fr/activites/phys_fondam/phys_fondam3.htm

<https://popsciences.universite-lyon.fr/ressources/km3net-deux-observatoires-sous-marins-ouverts-sur-les-trois-infinis/>

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2014/08/Supernova_explosion

<https://theconversation.com/a-la-recherche-des-neutrinos-ces-particules-fantomes-97301>

Pour aller plus loin :

Différents points de vue : <https://www.youtube.com/watch?v=OfKBhvDjuy0>

Explosion d'un supernova : <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/supernova-supernova-premiere-lumiere-photographie-amateur-70272/>

Rayons cosmiques : <https://home.cern/fr/science/physics/cosmic-rays-particles-outer-space>

CNRS : <https://lejournel.cnrs.fr/articles/les-physiciens-a-lassaut-des-neutrinos#:~:text=La%20d%C3%A9tection%20se%20fait%20de,capteurs%20enregistrent%20dans%20le%20r%C3%A9servoir>