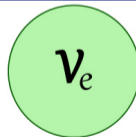
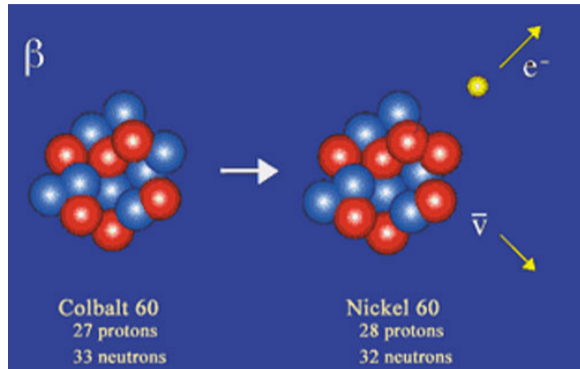
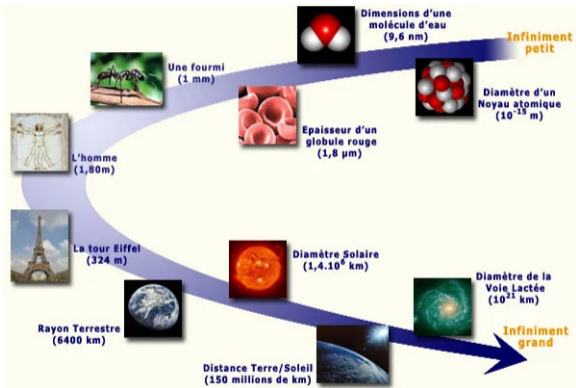


Les neutrinos: fantômes de l'Univers

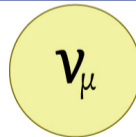
João Pedro Athayde Marcondes de André

Juin 25, 2026

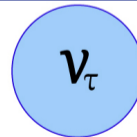
Un Neutrino – qu'est-ce que c'est ?



1
Electron
neutrino



2
Muon
neutrino

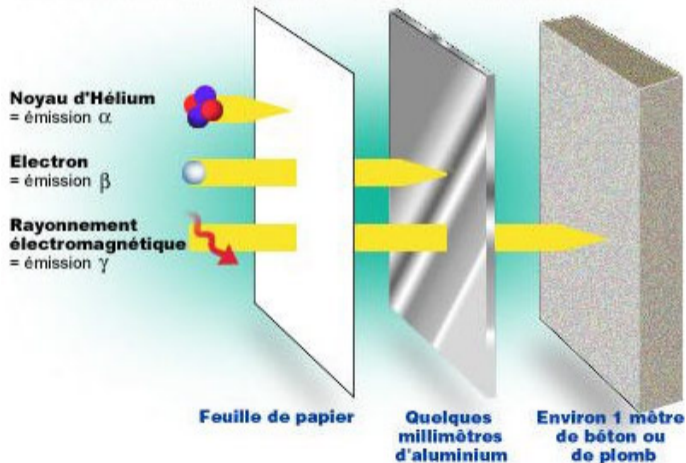


3
Tau
neutrino

En parlant de rayonnements...

Rayonnements 'classiques' : α , β , γ

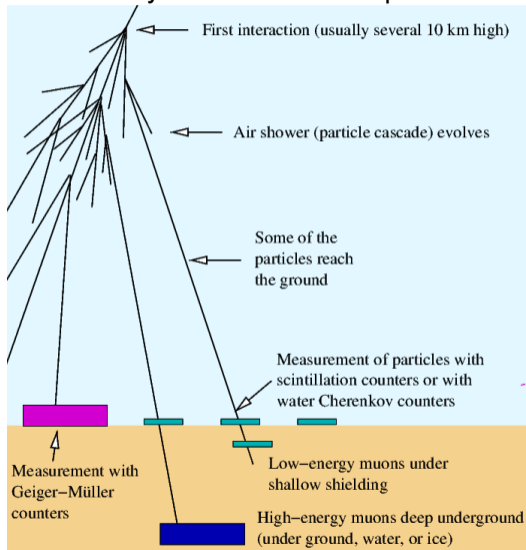
Le pouvoir de pénétration des différents rayonnements



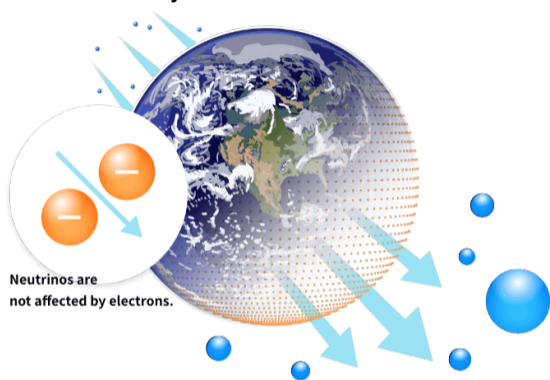
Est-ce qu'il peut avoir autres types de rayonnement ?

En parlant de rayonnements...

Rayonnement cosmique

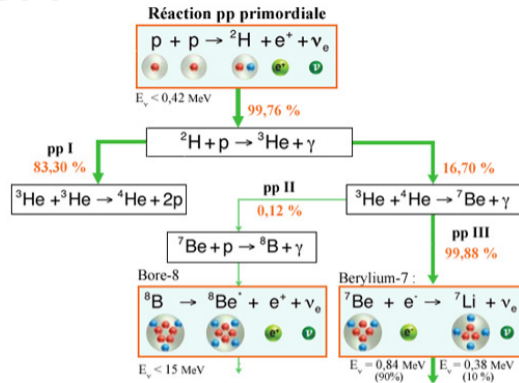
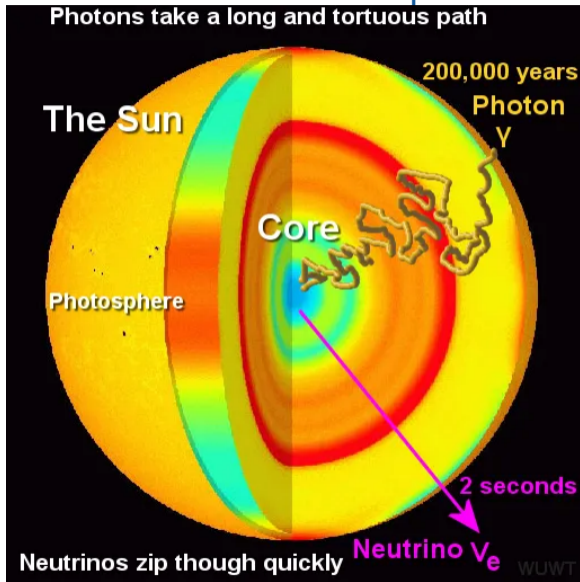


'Rayonnement' neutrino

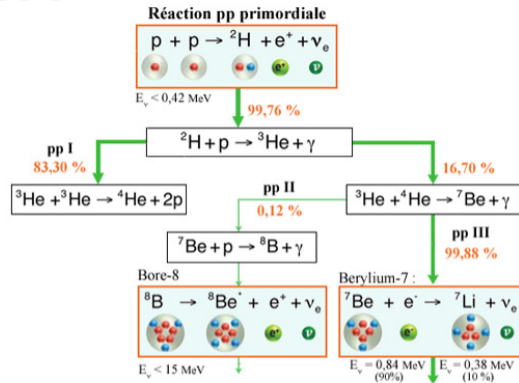
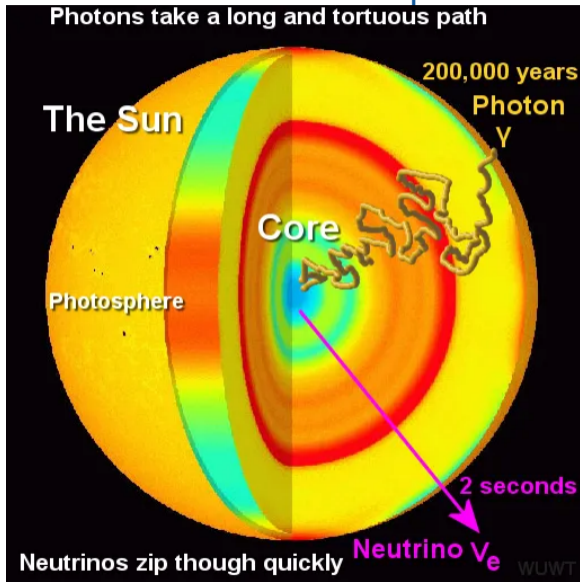


- Pour arrêter 50% des neutrinos produits au Soleil il faudrait ~ 1 année lumière de plomb...

Plein de neutrinos sont produits au Soleil...

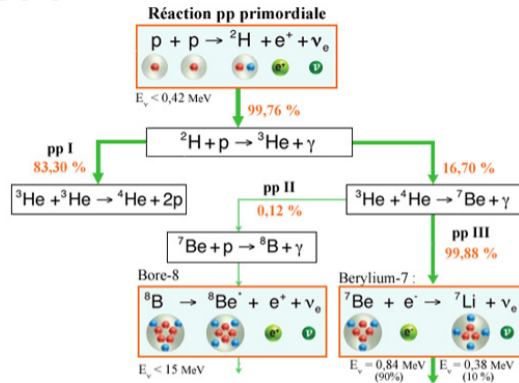
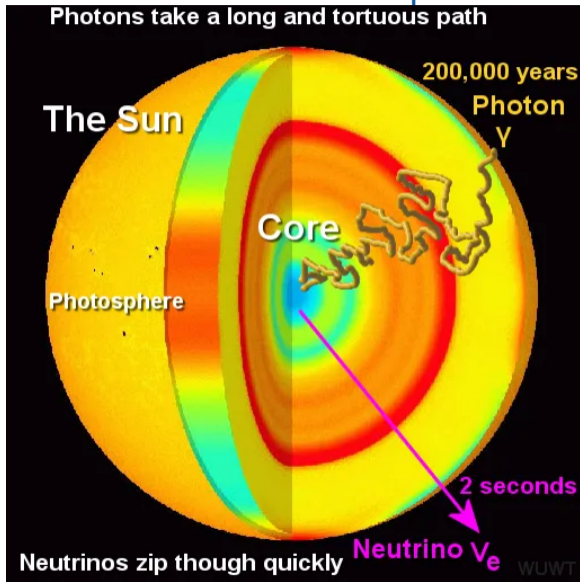


Plein de neutrinos sont produits au Soleil...



- 65 000 000 000 neutrinos solaires traversent 1 cm^2 chaque seconde

Plein de neutrinos sont produits au Soleil...



- 65 000 000 000 neutrinos solaires traversent 1 cm^2 chaque seconde
- 1–5 ${}^7\text{Be}-\nu$ vont interagir avec vous (30 kg) tous les ans
- Chacune de ces interactions ${}^7\text{Be}-\nu$ va vous 'chauffer' au plus $0.000\,000\,000\,000\,000\,001^\circ\text{C}$

Plein de neutrinos sont produits au Soleil...

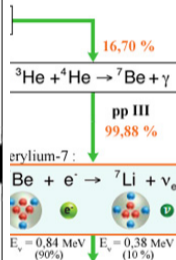
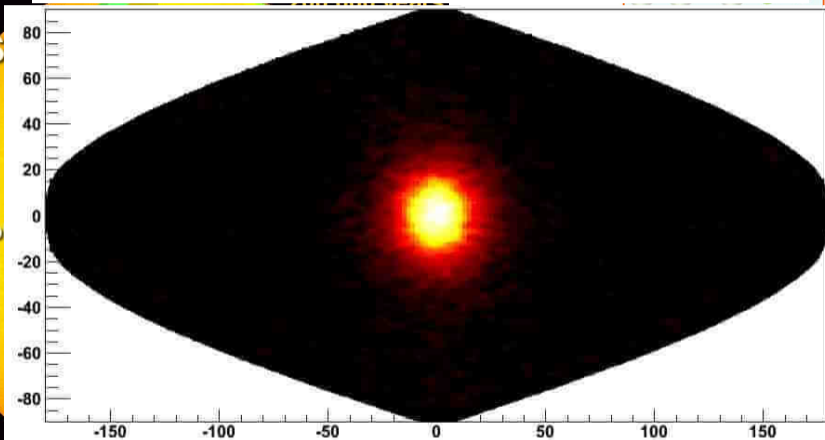
Photons take a long and tortuous path

Réaction pp primordiale

Coeur du Soleil vu depuis l'intérieur d'une montagne (et pendant la nuit)

The S

Photosp



neutrinos traversent

la Terre en 30 ns

Neutrinos zip through quickly

Neutrino ν_e

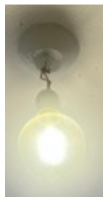
WUWT

- Chacune de ces interactions ${}^7\text{Be}-\nu$ va vous 'chauffer' au plus 0.000 000 000 000 000 001°C

Comment 'voir' des neutrinos ?

Pour 'voir' des objets qui nous entourent

- On les voit dans plusieurs cas. . .
- On peut aussi les toucher
 - ▶ Atomes restent regroupés
- Si des charges transitent → courant électrique → on peut allumer une lampe !



Est-ce que ça marche pour des neutrinos ?

Comment 'voir' des neutrinos ?

Pour 'voir' des objets qui nous entourent

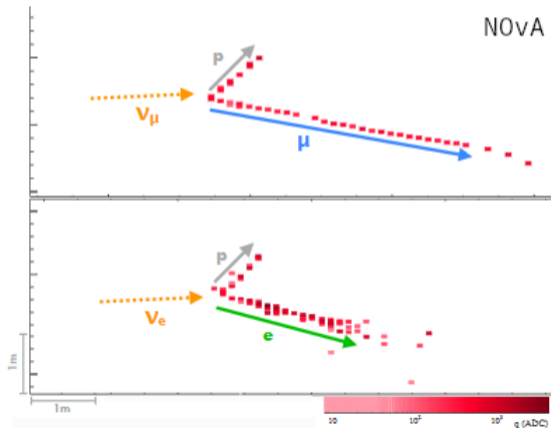
- On les voit dans plusieurs cas...
- On peut aussi les toucher
 - ▶ Atomes restent regroupés
- Si des charges transitent → courant électrique → on peut allumer une lampe !



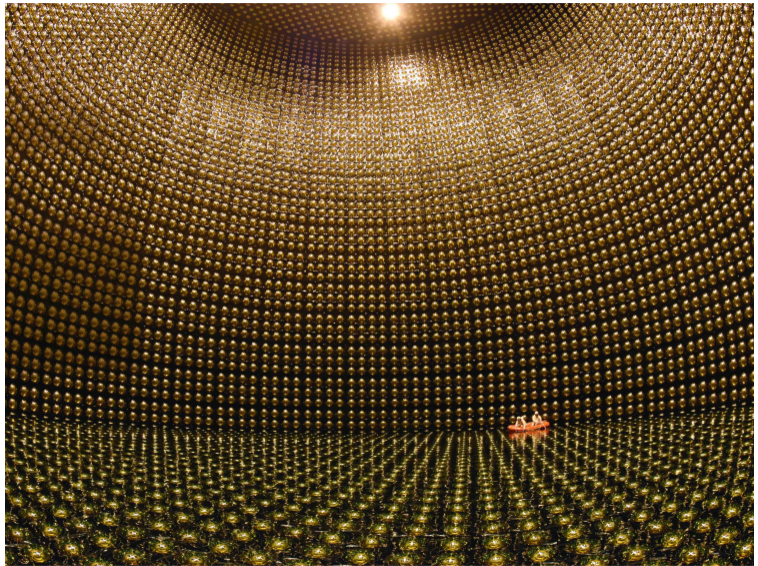
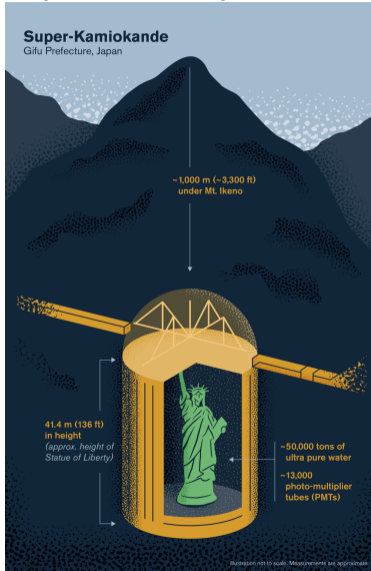
Est-ce que ça marche pour des neutrinos ?

Pour 'voir' les neutrinos il faut qu'ils interagissent :

- Autant de masse que possible
- Détecteur très sensibles pour distinguer les 'petits' signaux produits



Expériences pour 'voir' des neutrinos : Super-Kamiokande

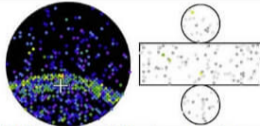


Expériences pour 'voir' des neutrinos : Super-Kamiokande

Super-Kamiokande
Gifu Prefecture, Japan

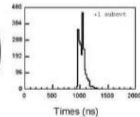
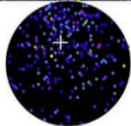
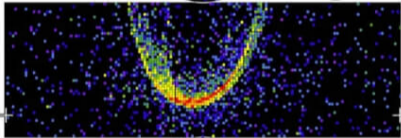
Super-Kamiokande I

Run 1728 Sub 4 Ev 25171
94-06-29:09:01:03
Tower: 3254 bits, 7668 pE
Camera: 4 bits, 52 pE (16-bit)
Trigger ID: 0x03
D wall: 452.9 cm
FC no-link, $p = 1012.9$ MeV/c



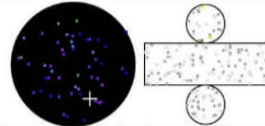
Charge (pe)

- >26.7
- 23.3-24.7
- 20.0-21.3
- 17.5-20.0
- 14.7-17.5
- 12.0-14.7
- 9.0-12.0
- 6.2-9.0
- 4.7-6.2
- 3.2-4.7
- 2.2-3.3
- 1.3-2.2
- 0.7-1.3
- 0.2-0.7
- <0.2



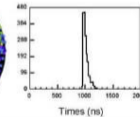
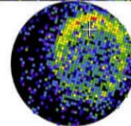
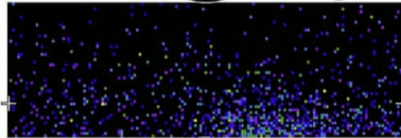
Super-Kamiokande I

Run 1757 Sub 4 Ev 25716
94-06-03:07:51:37
Tower: 1945 bits, 5263 pE
Camera: 4 bits, 50 pE (16-bit)
Trigger ID: 0x03
D wall: 471.4 cm
FC no-link, $p = 418.1$ MeV/c



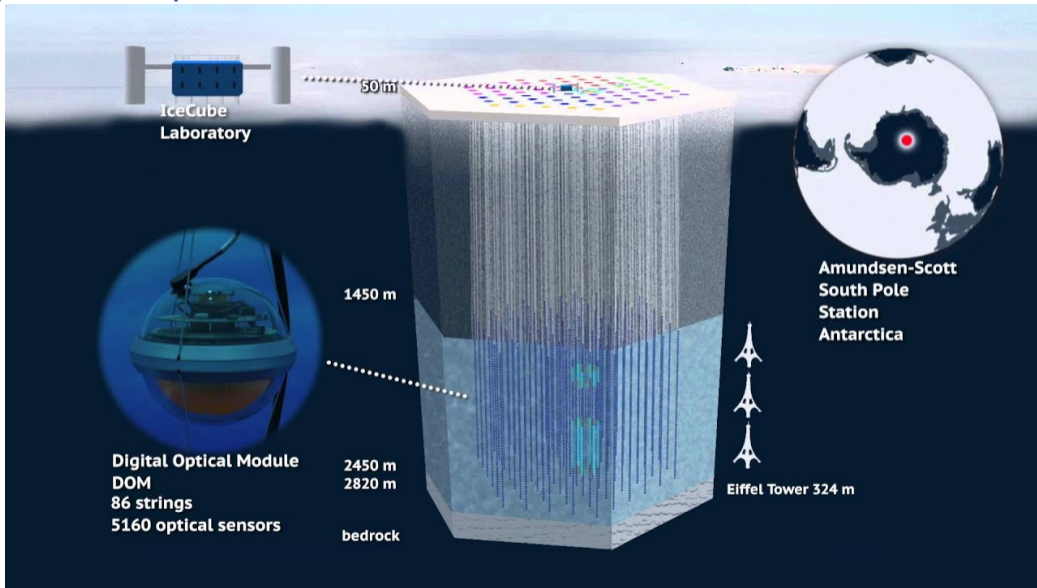
Charge (pe)

- >26.7
- 23.3-24.7
- 20.0-21.3
- 17.5-20.0
- 14.7-17.5
- 12.0-14.7
- 9.0-12.0
- 6.2-9.0
- 4.7-6.2
- 3.2-4.7
- 2.2-3.3
- 1.3-2.2
- 0.7-1.3
- 0.2-0.7
- <0.2

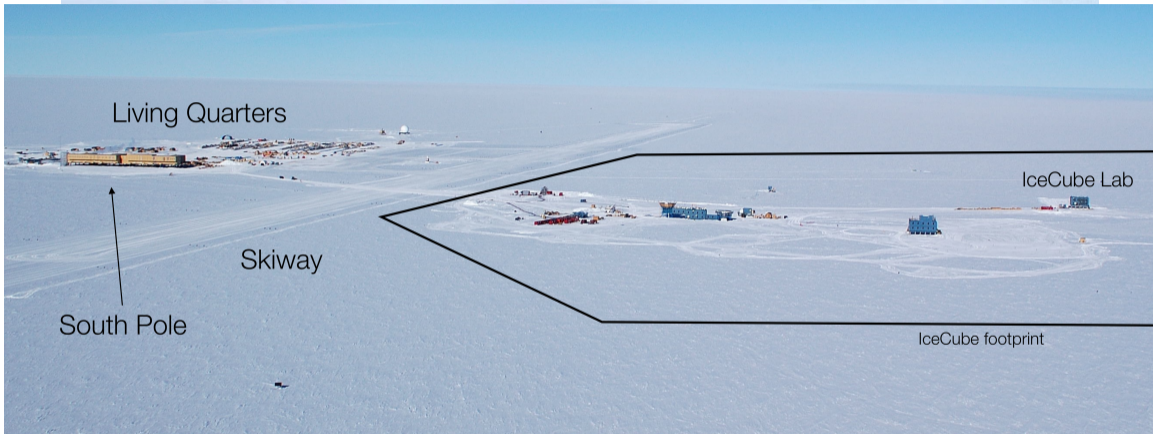


(Illustration not to scale. Measurements are approximate.)

Expériences pour 'voir' des neutrinos : IceCube



Expériences pour 'voir' des neutrinos : IceCube

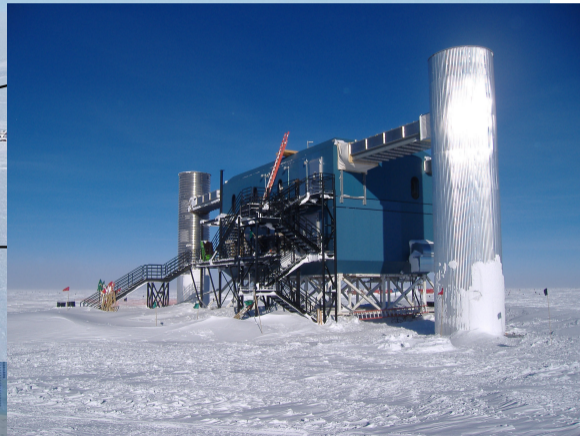
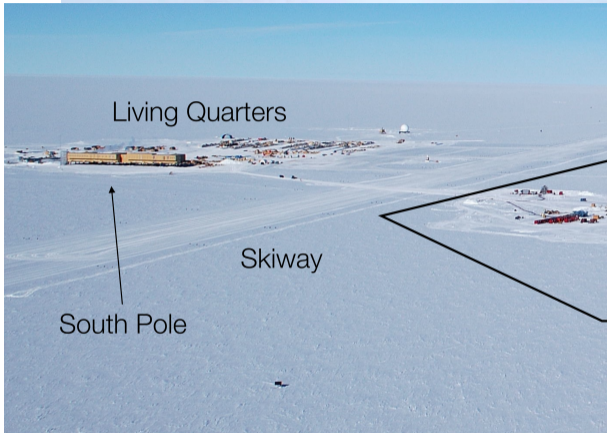


DOM
86 strings
5160 optical sensors

2130 m
2820 m
bedrock

Eiffel Tower 324 m

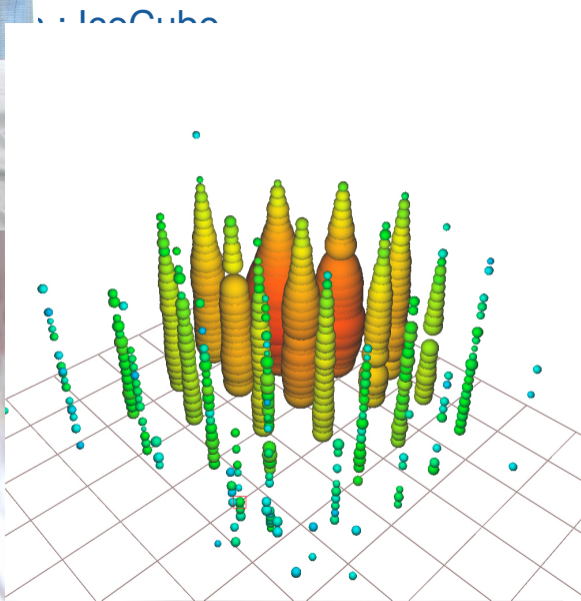
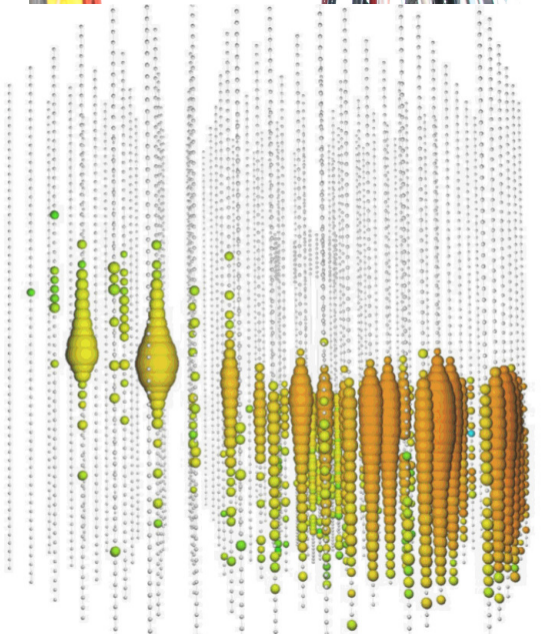
Expériences pour 'voir' des neutrinos : IceCube



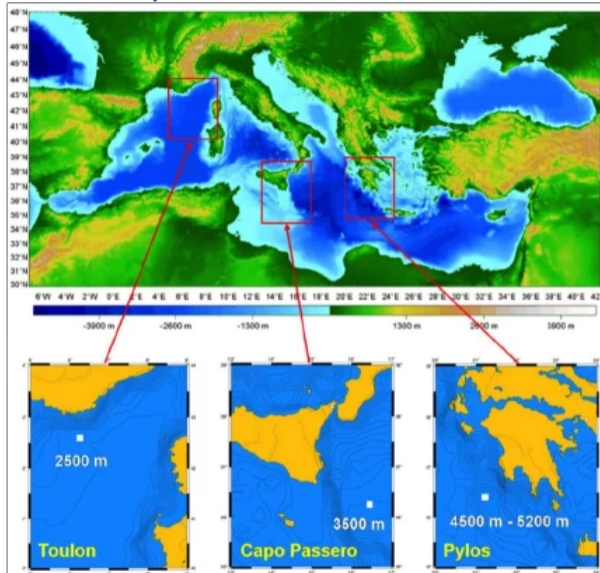
DOM 2450 m
86 strings 2820 m
5160 optical sensors
bedrock

Ex : IceCube



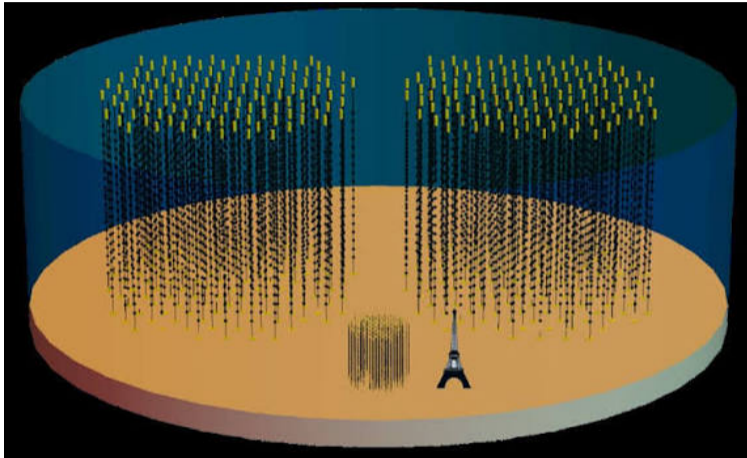


Expériences pour 'voir' des neutrinos : KM3NeT



- Une des visites l'après-midi sera où ces modules sont construits !

Expériences pour 'voir' des neutrinos : KM3NeT

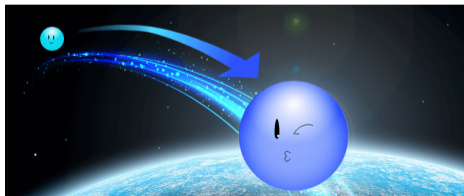
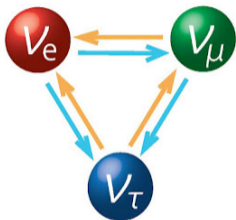


- Une des visites l'après-midi sera où ces modules sont construits !

'Oscillation' de neutrinos

- Les trois types de neutrinos peuvent se transformer l'un dans l'autre !
- Ce serait comme si on achetait un pack de jus de pomme au supermarché et arrivé à la maison on avait du jus d'orange dans le pack !

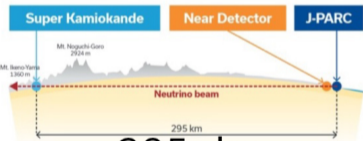
2015
Nobel
Laureates



'Oscillation' de neutrinos : source & détecteur pas au même endroit !



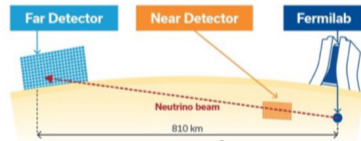
Japan



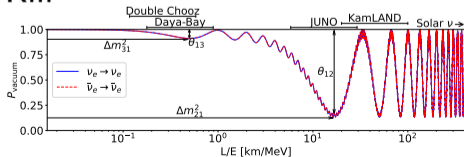
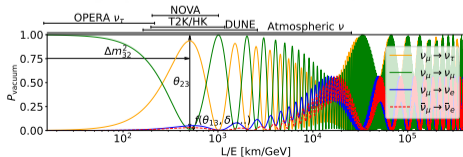
295 km



United States



810 km



Expériences pour 'voir' des neutrinos : JUNO



Expériences pour 'voir' des neutrinos : JUNO

