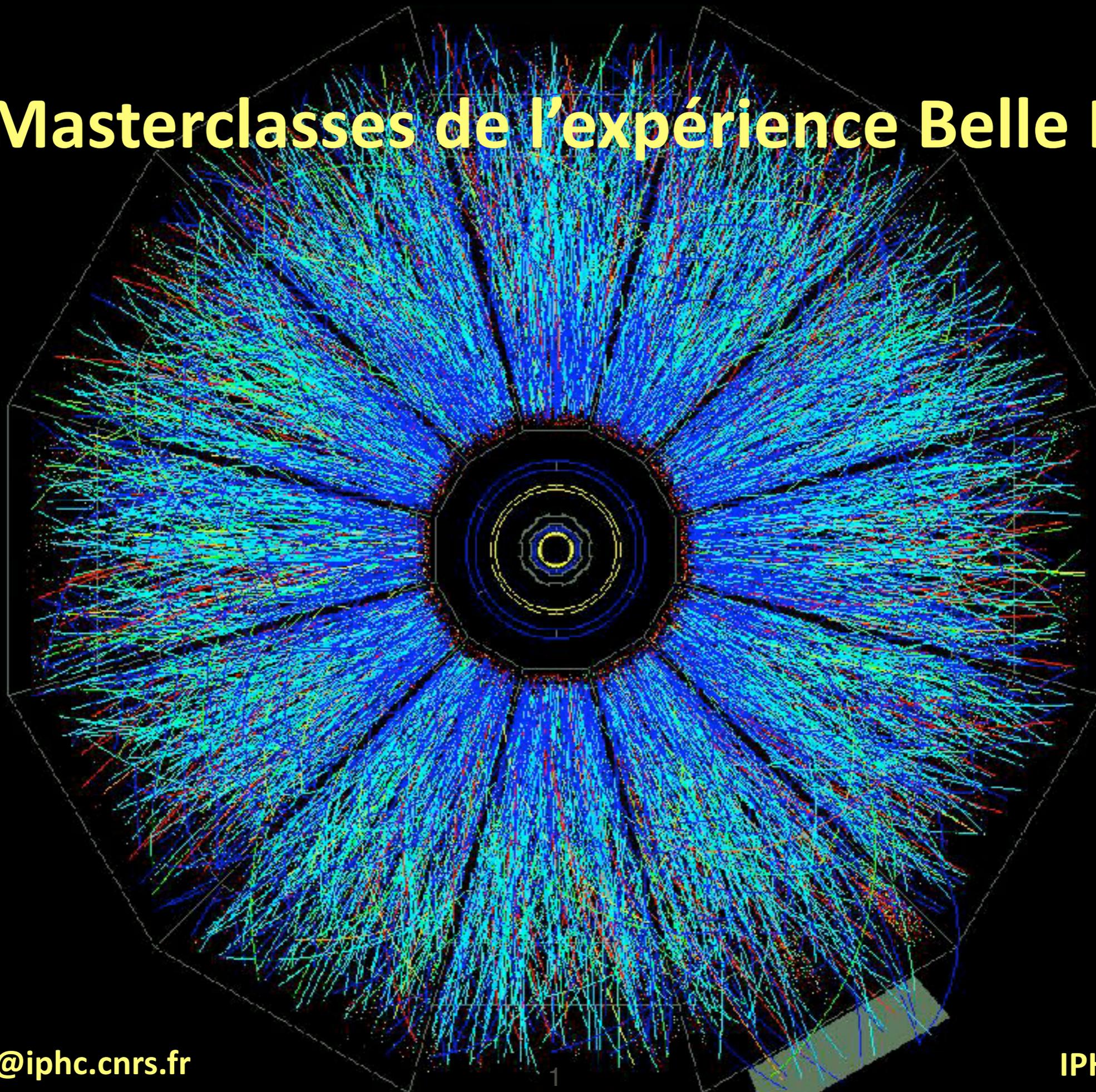


# Masterclasses de l'expérience Belle II

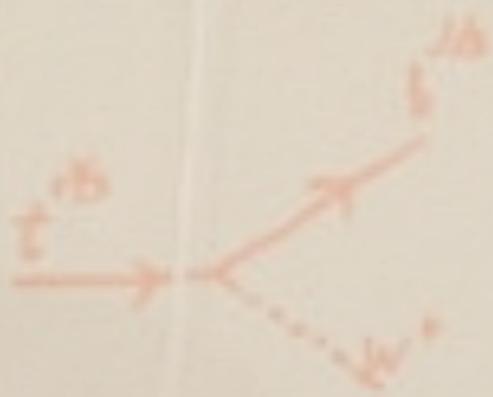


3 mars 2021

IPHC Strasbourg

$t \rightarrow W^+ b$

$$BR(t \rightarrow Wb) = \frac{\Gamma(t \rightarrow Wb)}{\Gamma(t \rightarrow Wb) + \Gamma(t \rightarrow Wc) + \Gamma(t \rightarrow Ws)}$$

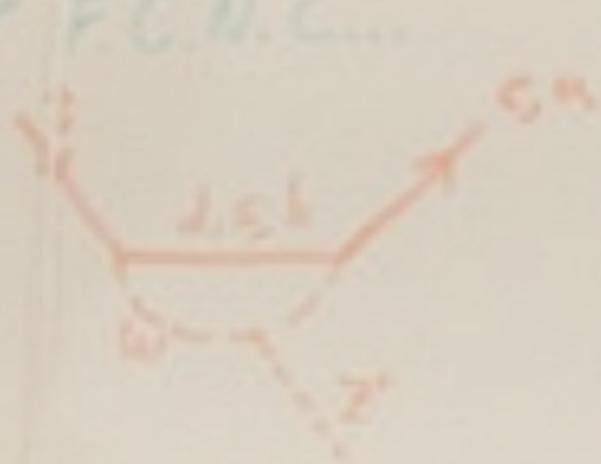


$$= \frac{|V_{tb}|^2}{|V_{tb}|^2 + |V_{ts}|^2 + |V_{td}|^2}$$

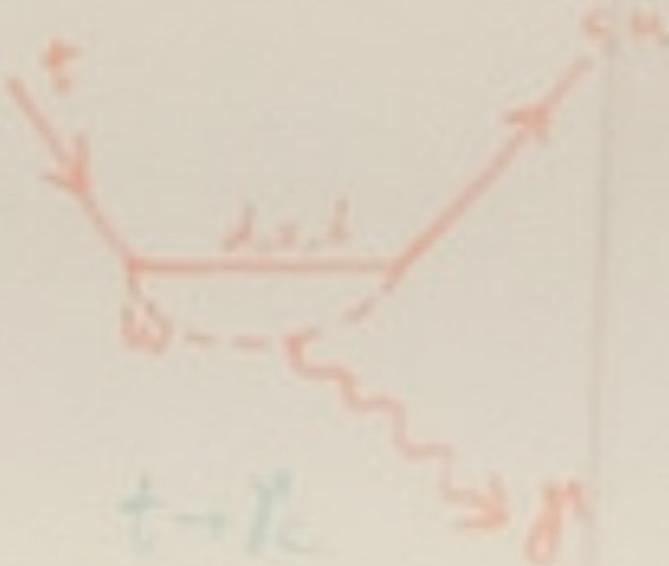
$$= \frac{(0.9945)^2}{(0.0094)^2 + (0.041)^2 + (0.9945)^2}$$

# Introduction à la physique des particules

but F.C.N.C...



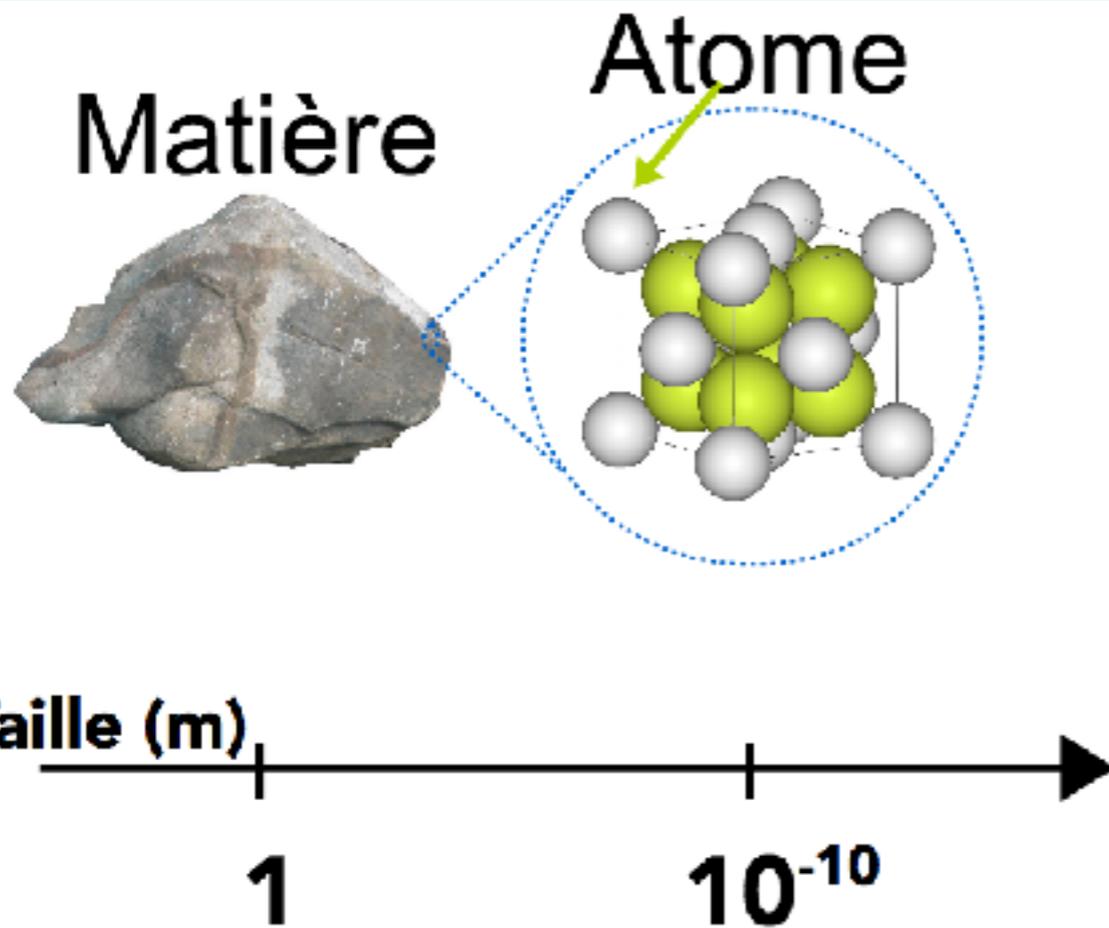
$t \rightarrow Zc$   
 $t \rightarrow Zs$



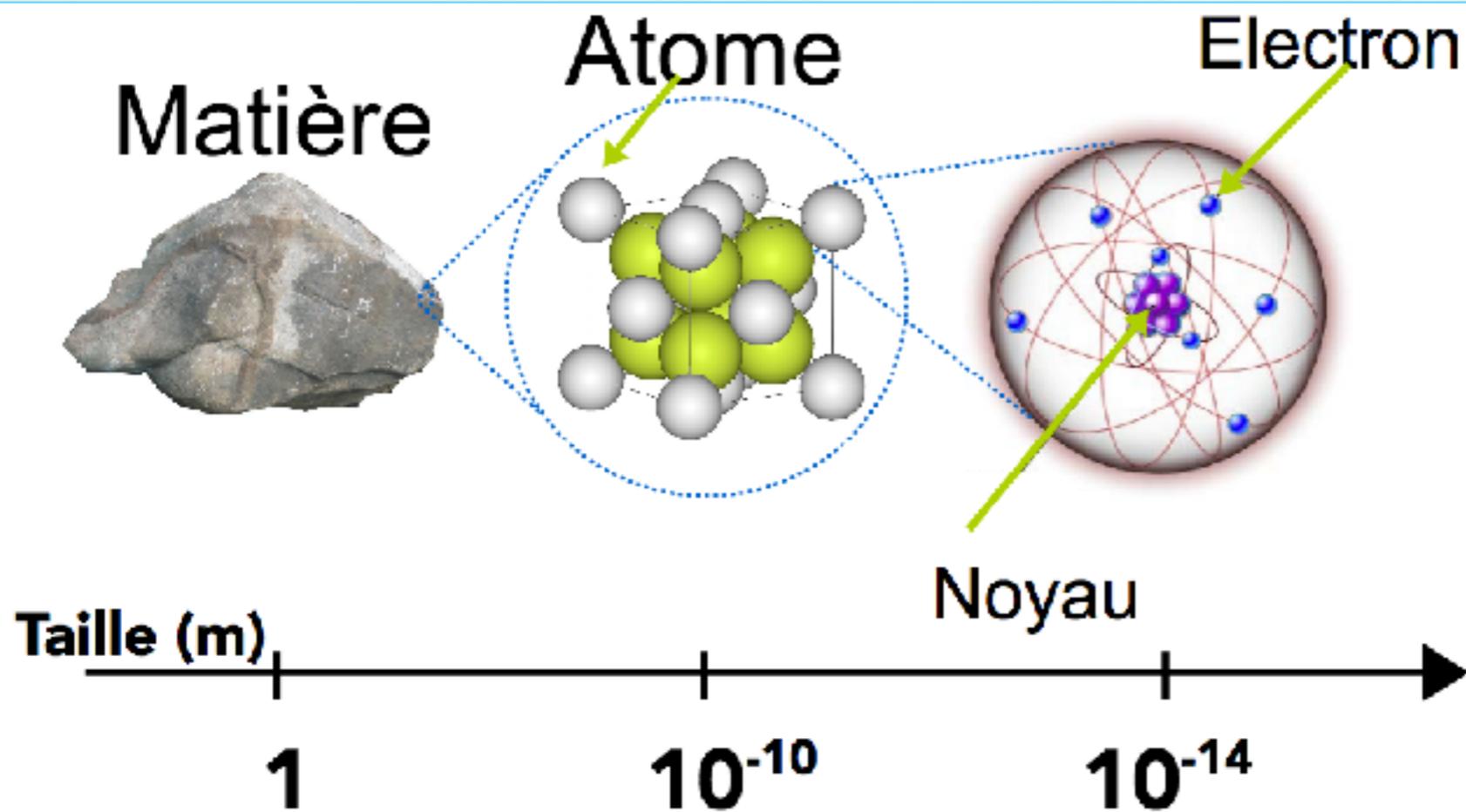
$t \rightarrow \gamma c$   
 $t \rightarrow \gamma s$

$G_{12} G_{13}$

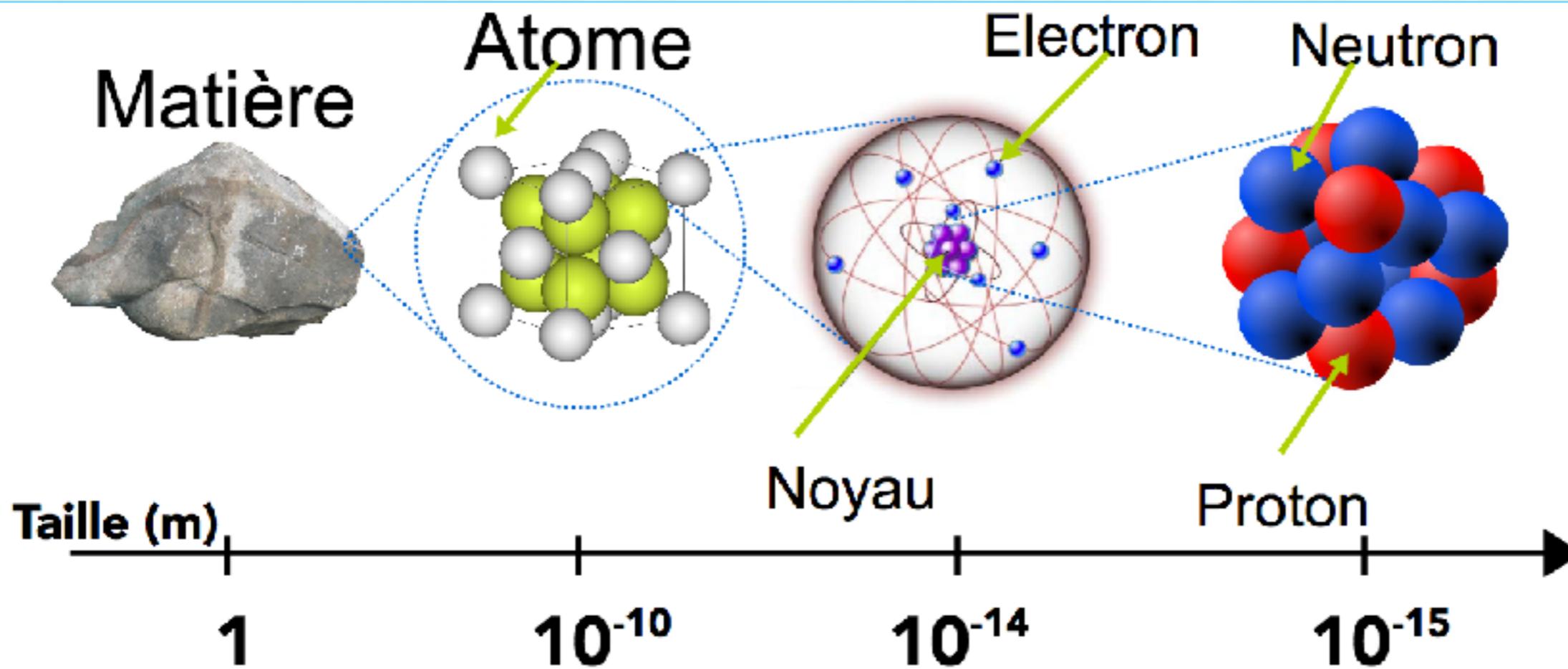
- ❖ Notion dépendant des moyens expérimentaux → varie avec l'époque.
- ❖ 19<sup>ème</sup> siècle : modèle atomique.



- ❖ Découverte de l'électron (1897) et du noyau (1911).



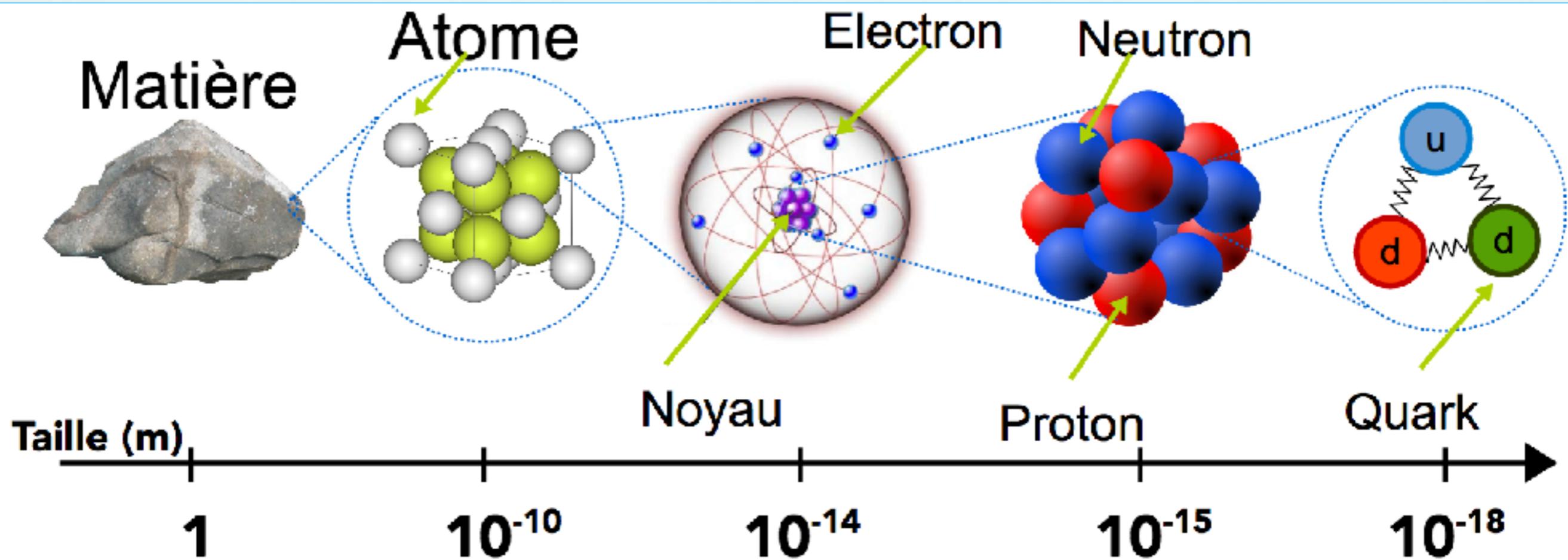
- ❖ Découverte du proton (1913) et neutron (1932).



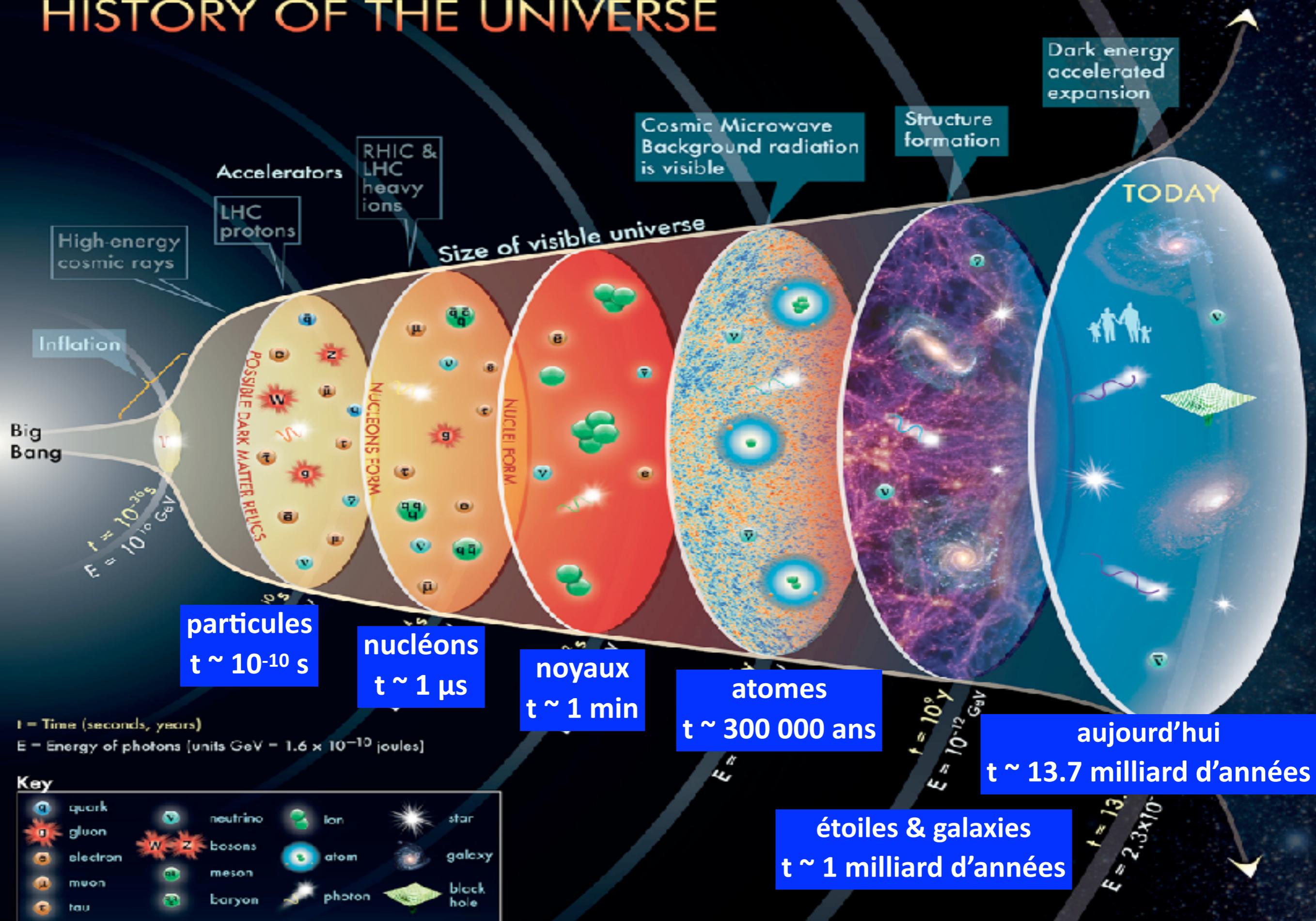
# L'élémentarité



- ❖ Découverte des quarks (1960s) : sans sous-structure observée jusqu'à présent.  
Masse  $\sim 10^{-25}$ - $10^{-30}$  kg.



# HISTORY OF THE UNIVERSE



particules  
t ~ 10<sup>-10</sup> s

nucléons  
t ~ 1 μs

noyaux  
t ~ 1 min

atomes  
t ~ 300 000 ans

aujourd'hui  
t ~ 13.7 milliard d'années

étoiles & galaxies  
t ~ 1 milliard d'années

t = Time (seconds, years)  
E = Energy of photons [units GeV = 1.6 x 10<sup>-10</sup> joules]

Key

quark	neutrino	ion	star
gluon	bosons	atom	galaxy
electron	meson	photon	black hole
muon	baryon		
tau			

The concept for the above figure originated in a 1985 paper by Michael Turner.

# Standard Model of Elementary Particles

three generations of matter  
(fermions)

I

II

III

mass  
charge  
spin

$\approx 2.4 \text{ MeV}/c^2$   
2/3  
1/2  
**u**  
up

$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$   
2/3  
1/2  
**c**  
charm

$\approx 172.44 \text{ GeV}/c^2$   
2/3  
1/2  
**t**  
top

0  
0  
1  
**g**  
gluon

$\approx 125.09 \text{ GeV}/c^2$   
0  
0  
0  
**H**  
Higgs

QUARKS

$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$   
-1/3  
1/2  
**d**  
down

$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$   
-1/3  
1/2  
**s**  
strange

$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$   
-1/3  
1/2  
**b**  
bottom

0  
0  
1  
 **$\gamma$**   
photon

SCALAR BOSONS

LEPTONS

$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$   
-1  
1/2  
**e**  
electron

$\approx 105.67 \text{ MeV}/c^2$   
-1  
1/2  
 **$\mu$**   
muon

$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$   
-1  
1/2  
 **$\tau$**   
tau

$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$   
0  
1  
**Z**  
Z boson

GAUGE BOSONS

$< 2.2 \text{ eV}/c^2$   
0  
1/2  
 **$\nu_e$**   
electron  
neutrino

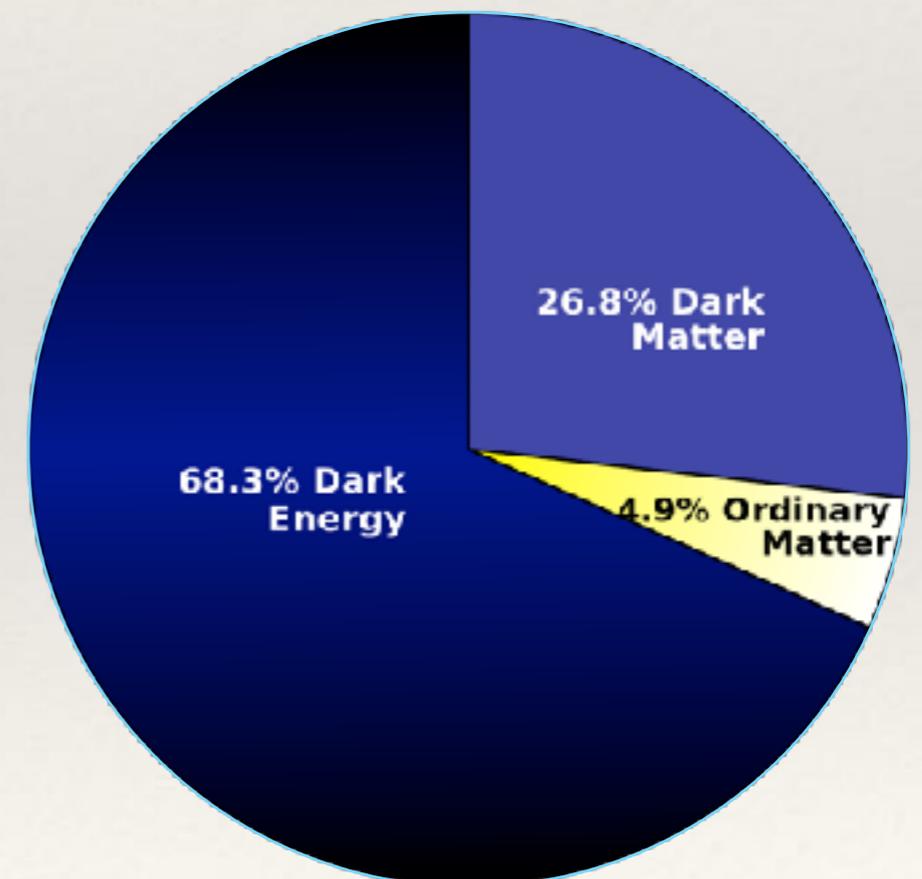
$< 1.7 \text{ MeV}/c^2$   
0  
1/2  
 **$\nu_\mu$**   
muon  
neutrino

$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$   
0  
1/2  
 **$\nu_\tau$**   
tau  
neutrino

$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$   
 $\pm 1$   
1  
**W**  
W boson

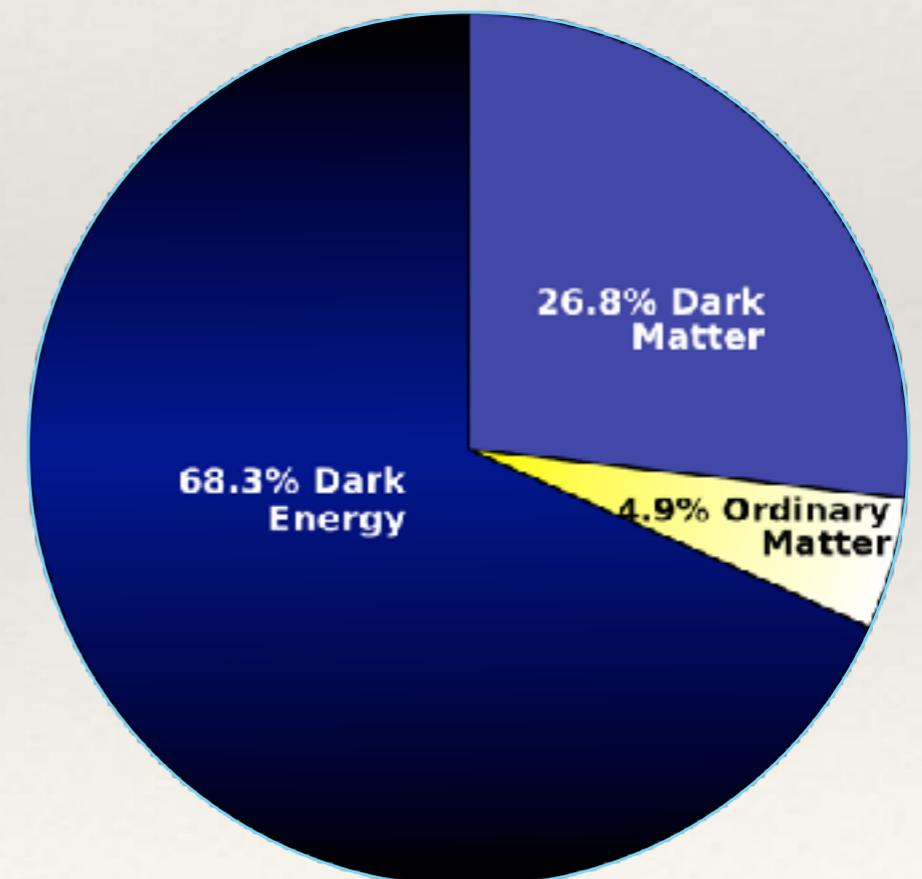
- ❖ Théorie **quantique** et **relativiste** décrivant les particules élémentaires de matière et leurs interactions.
- ❖ Testée avec une grande précision.
- ❖ Très nombreux prix Nobel.
- ❖ Mais cette théorie n'est pas la théorie du tout, elle n'explique pas tout, par exemple :
  - ❖ pourquoi l'anti-matière a disparu ?
  - ❖ pourquoi y a-t-il trois famille de particules ?
  - ❖ qu'est-ce que la matière noire ?
  - ❖ qu'est-ce que l'énergie noire ?

→ recherche d'une **nouvelle physique** au-delà du modèle standard.



- ❖ Théorie **quantique** et **relativiste** décrivant les particules élémentaires de matière et leurs interactions.
- ❖ Testée avec une grande précision.
- ❖ Très nombreux prix Nobel.
- ❖ Mais cette théorie n'est pas la théorie du tout, elle n'explique pas tout, par exemple :
  - ❖ pourquoi l'anti-matière a disparu ?
  - ❖ pourquoi y a-t-il trois famille de particules ?
  - ❖ qu'est-ce que la matière noire ?
  - ❖ qu'est-ce que l'énergie noire ?

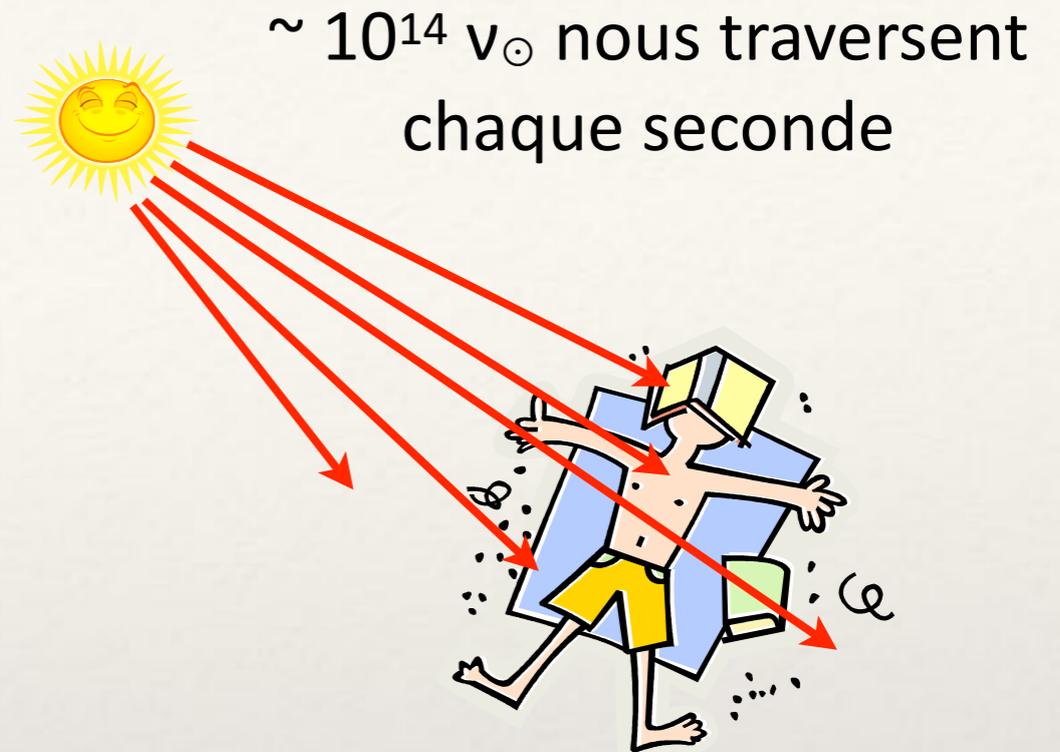
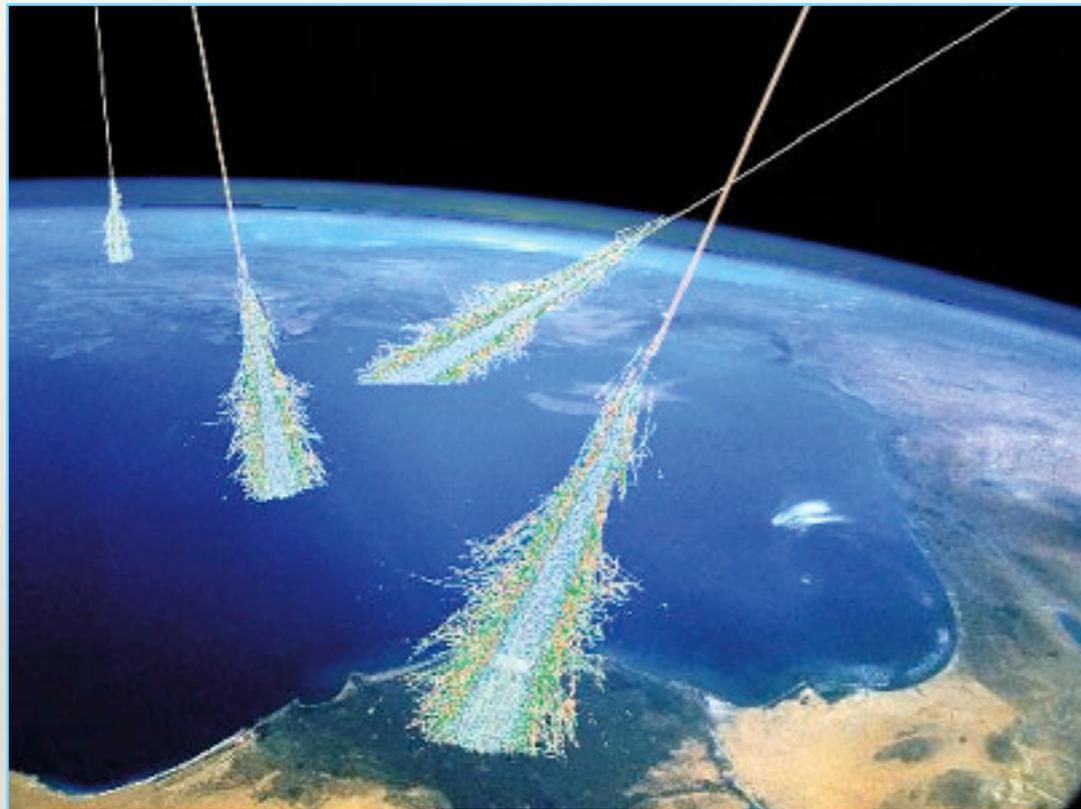
→ recherche d'une **nouvelle physique** au-delà du modèle standard.



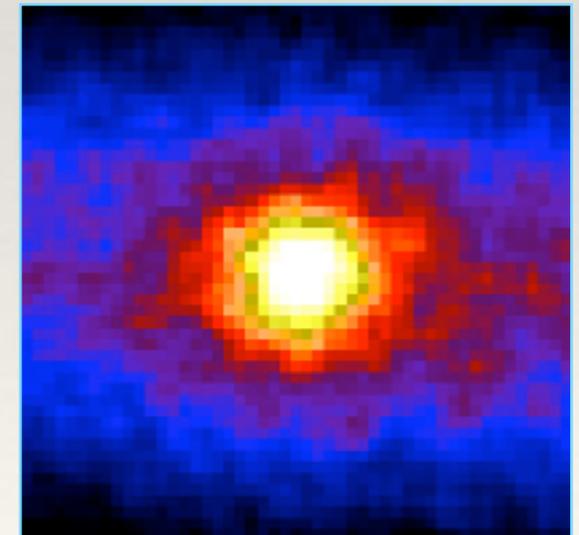
# Les particules élémentaires nous traversent



Des gerbes de  $\mu$ ,  $e$ ,  $\nu$ ,  $p$ , ...  
produites par des rayons cosmiques  
nous traversent :



Le soleil "vu en neutrinos"

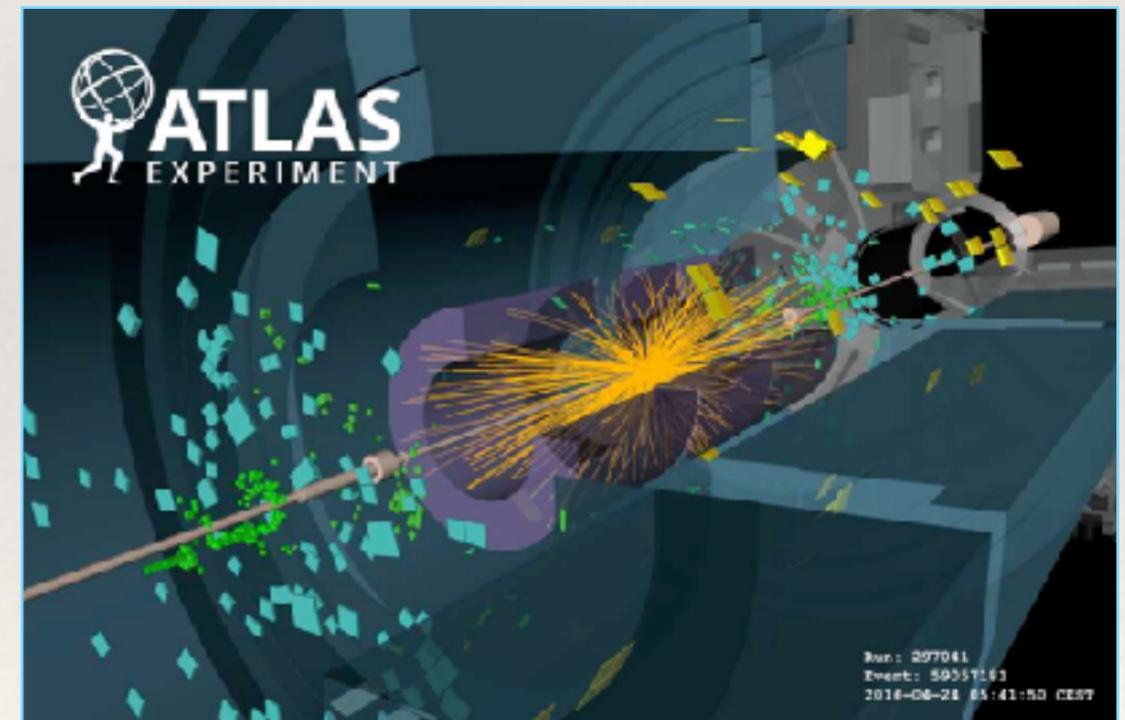
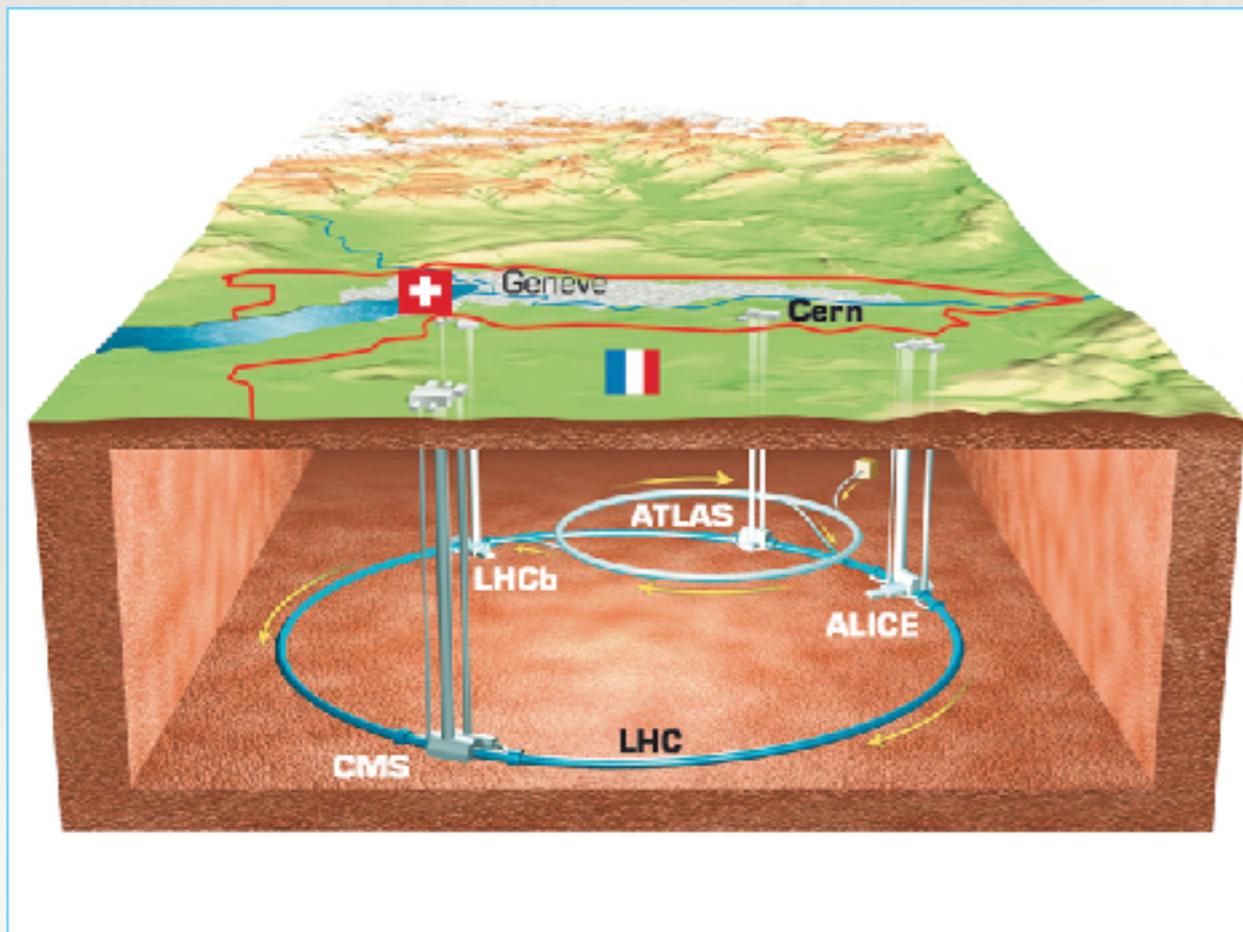


- ❖ Des neutrinos  $\nu$  sont produits par: le soleil, les supernovae, le big-bang, les gerbes de rayons cosmiques, les réacteurs nucléaires, des faisceaux dédiés.

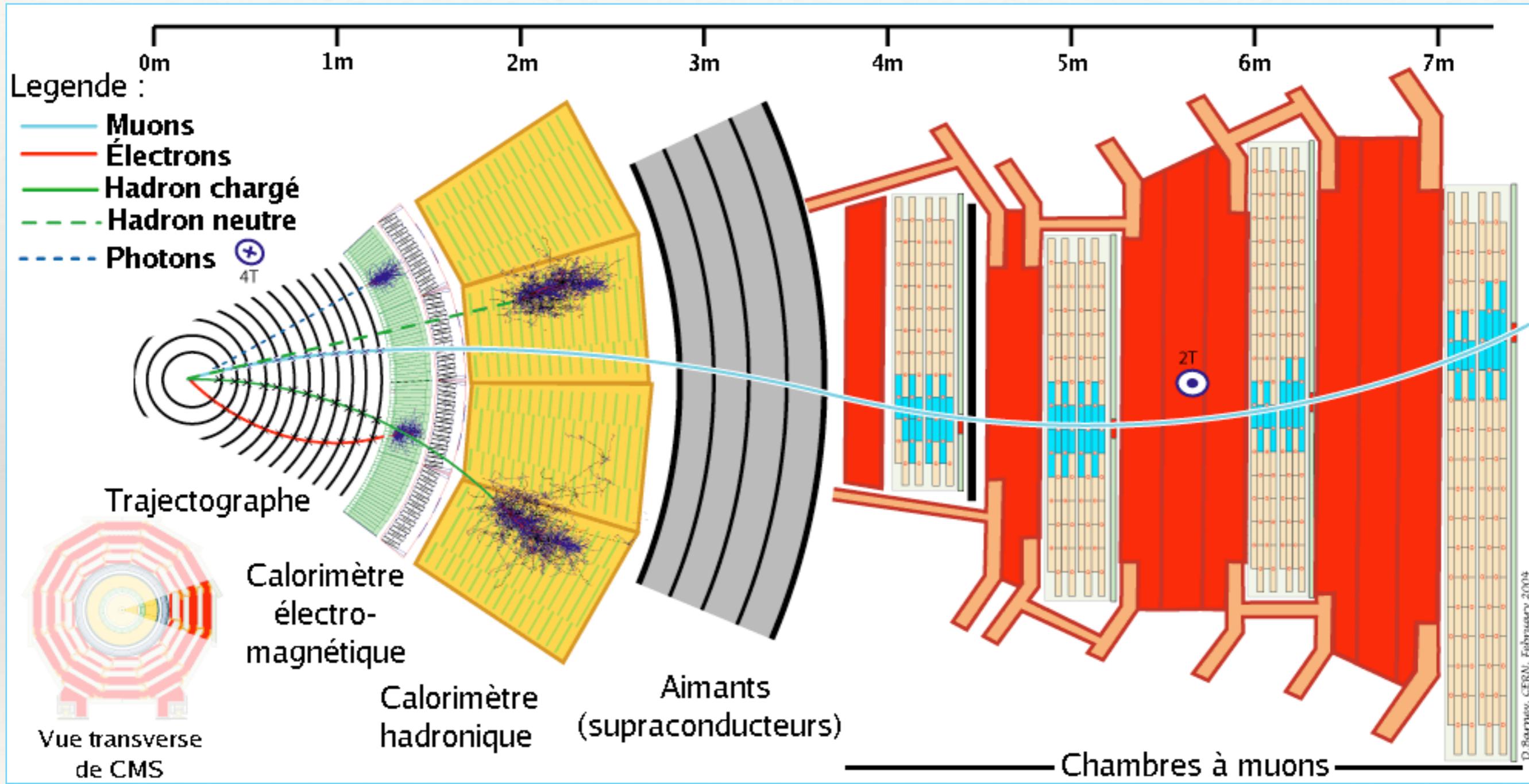
# Les collisionneurs de particules



- ❖ Large Hadron Collider LHC :
  - ❖ collisions p-p, p-Pb, Pb-Pb.
  - ❖ plus haute énergie de collision jamais atteinte.
- ❖ circonférence  $\sim 27$  km, au CERN (Genève).
- ❖ Fonctionne depuis 2009.



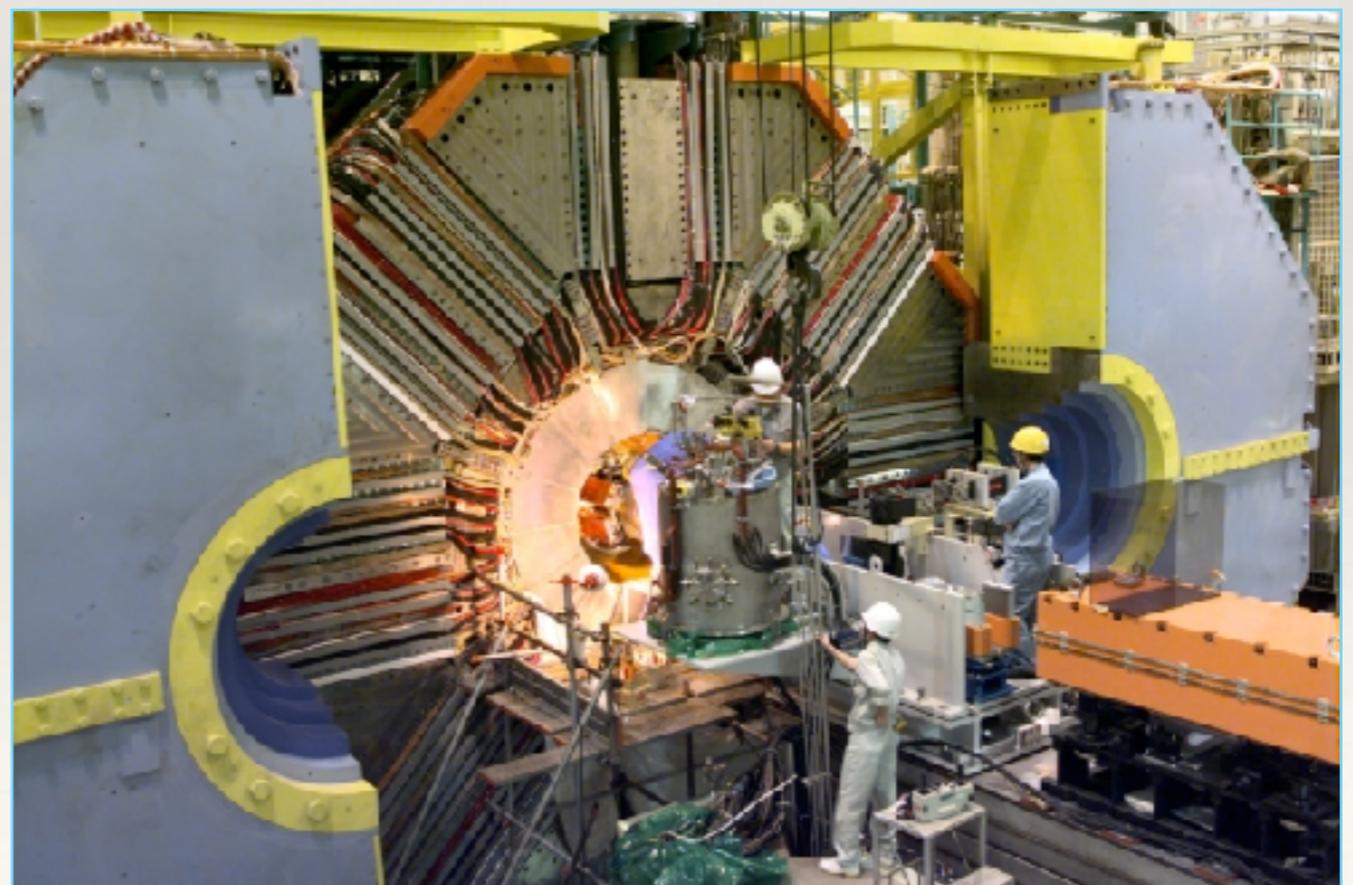
# La détection des particules



# L'expérience Belle II



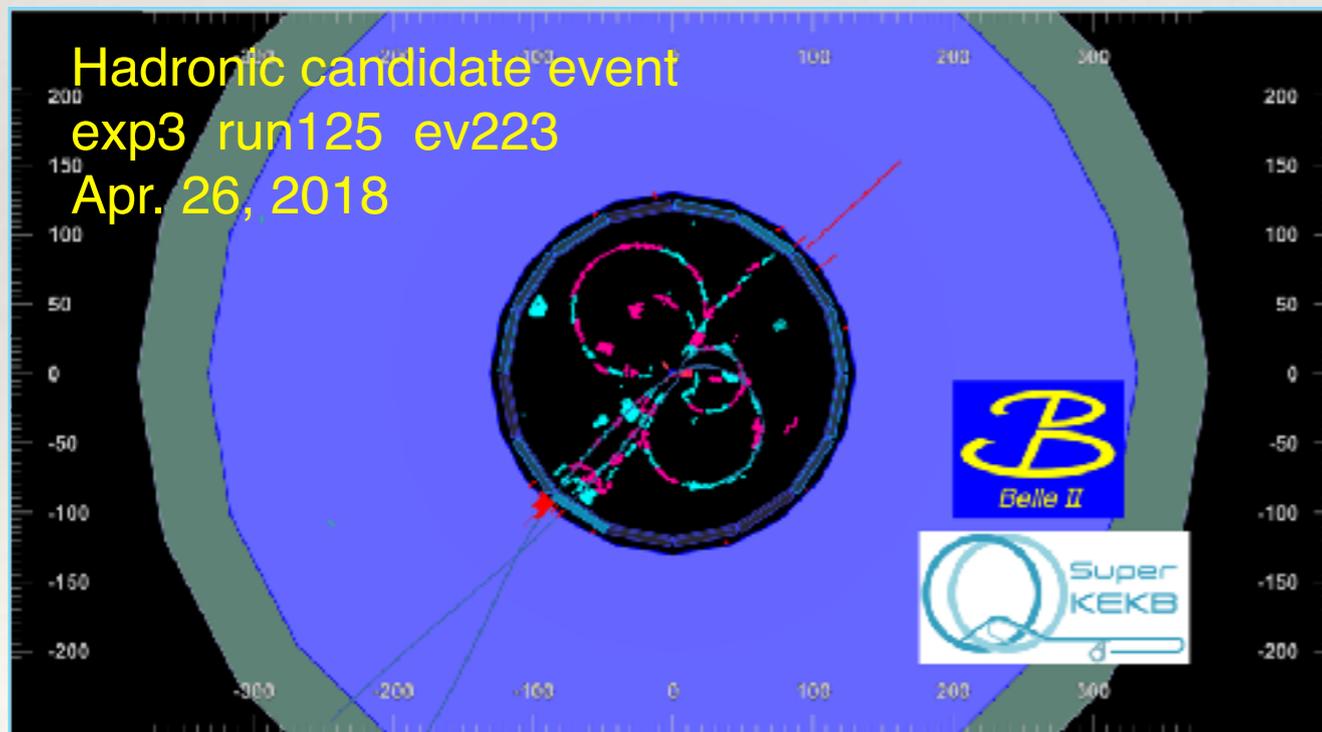
- ❖ Le détecteur Belle II enregistre les **collisions  $e^+ e^-$**  délivrées par le collisionneur SuperKEKB, au **Japon**.  
Le but de l'expérience est de **découvrir des manifestations quantiques de processus inconnus en physique** (au-delà du Modèle Standard).
- ❖ SuperKEKB est le **collisionneur le plus intense au monde** : il veut produire 40× plus de collisions par seconde que le record du monde.  
C'est un anneau de 3 km de circonférence.



# Calendrier de Belle II



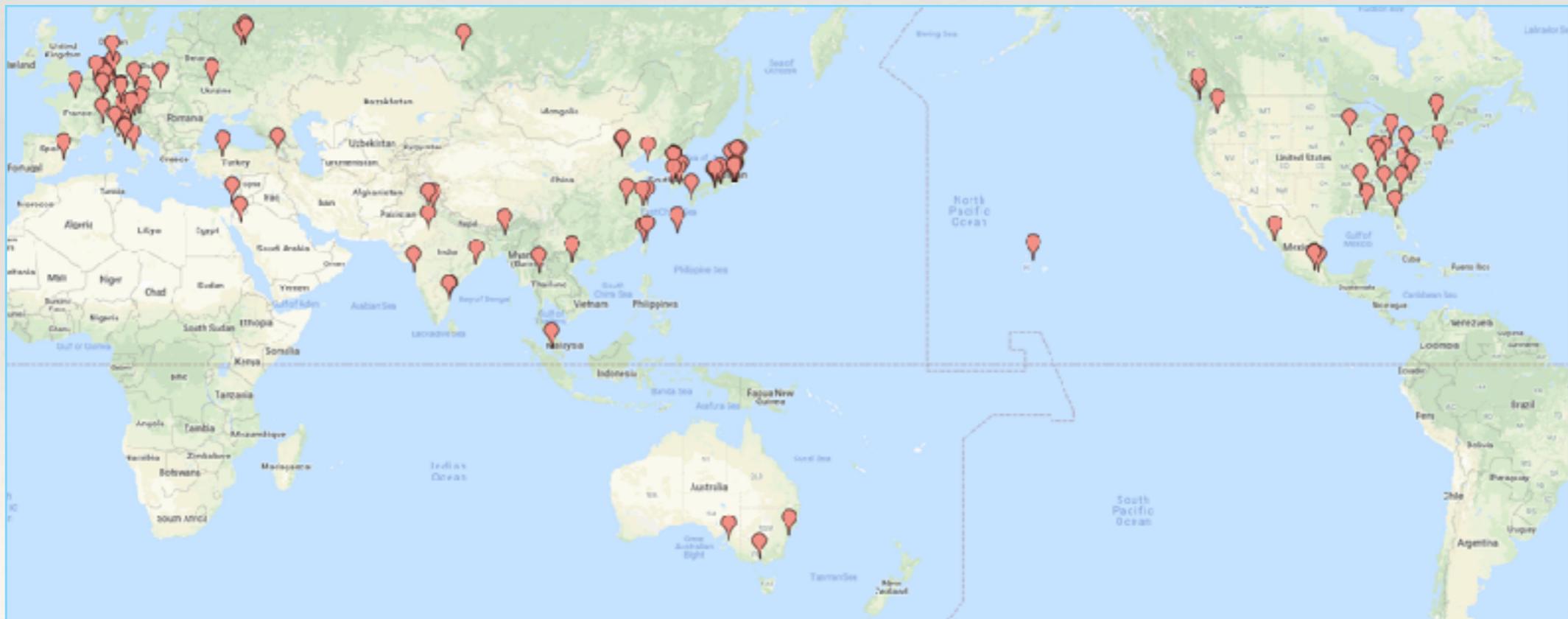
- ❖ La mise en route de Belle II a eu lieu en 2018 (*commissioning*), et le programme de physique a **démarré le 11 mars 2019**. Il va se poursuivre pendant près de 10 ans.
- ❖ L'expérience va permettre d'étudier plus de 50 milliards d'événements de chaque type de fermion-antifermion, dont ceux qui nous intéressent : b anti-b, c anti-c,  $\tau^+ \tau^-$ .



# La collaboration internationale Belle II



- ❖ ~ 800 membres de **27 pays** travaillent ensemble dans Belle II : chercheurs, post-doctorants, doctorants, étudiants de Master, ingénieurs et techniciens.
- ❖ 3 réunions communes par an au Japon, en plus de très nombreuses réunions par vidéo chaque semaine.
- ❖ La conception de l'expérience a commencé en 2008, puis la construction vers 2012, et enfin l'installation du détecteur complet au point d'interaction des collisions en 2018.



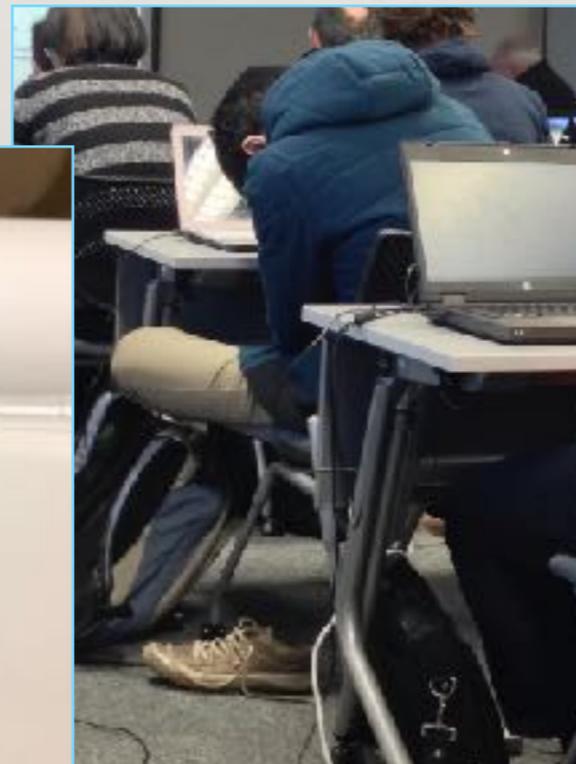
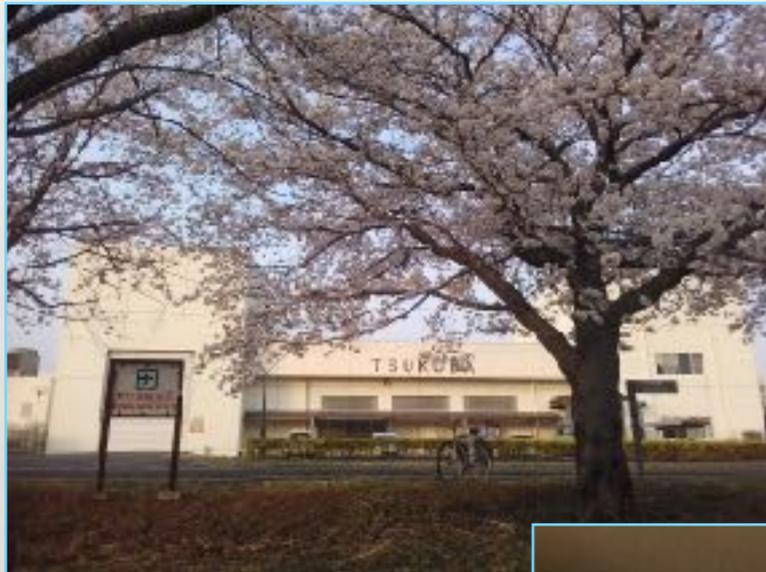
# La France dans Belle II



La France est devenue membre de la collaboration Belle II en 2017.



# Travailler dans Belle II c'est aussi ça :



ありがとうございます



Cosmology

DARK MATTER

Neutrino ~~C~~

PROTON DECAY

AXIONS