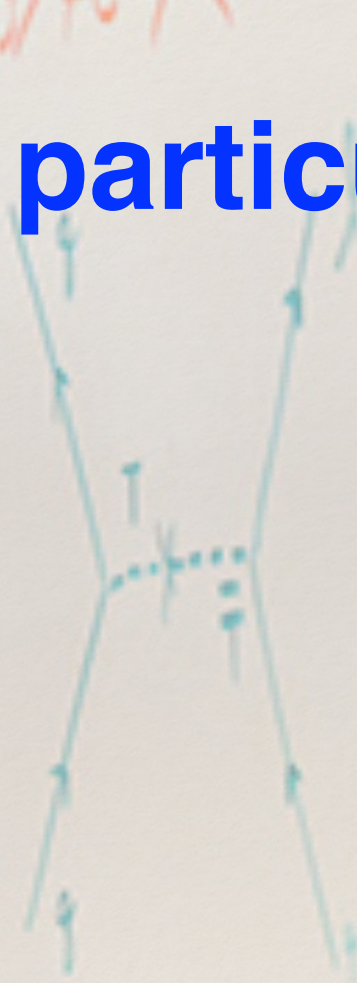


Masterclasses de physique des particules :
l'expérience Belle II
Auprès du collisionneur SuperKEKB

Introduction à la physique des particules

$$V_{S^2} = \frac{1}{2} \frac{1}{\omega} \left(|S^1|^2 + |S^2|^2 \right)$$
$$+ \frac{1}{2} \left(|S^1|^2 - |S^2|^2 \right)$$

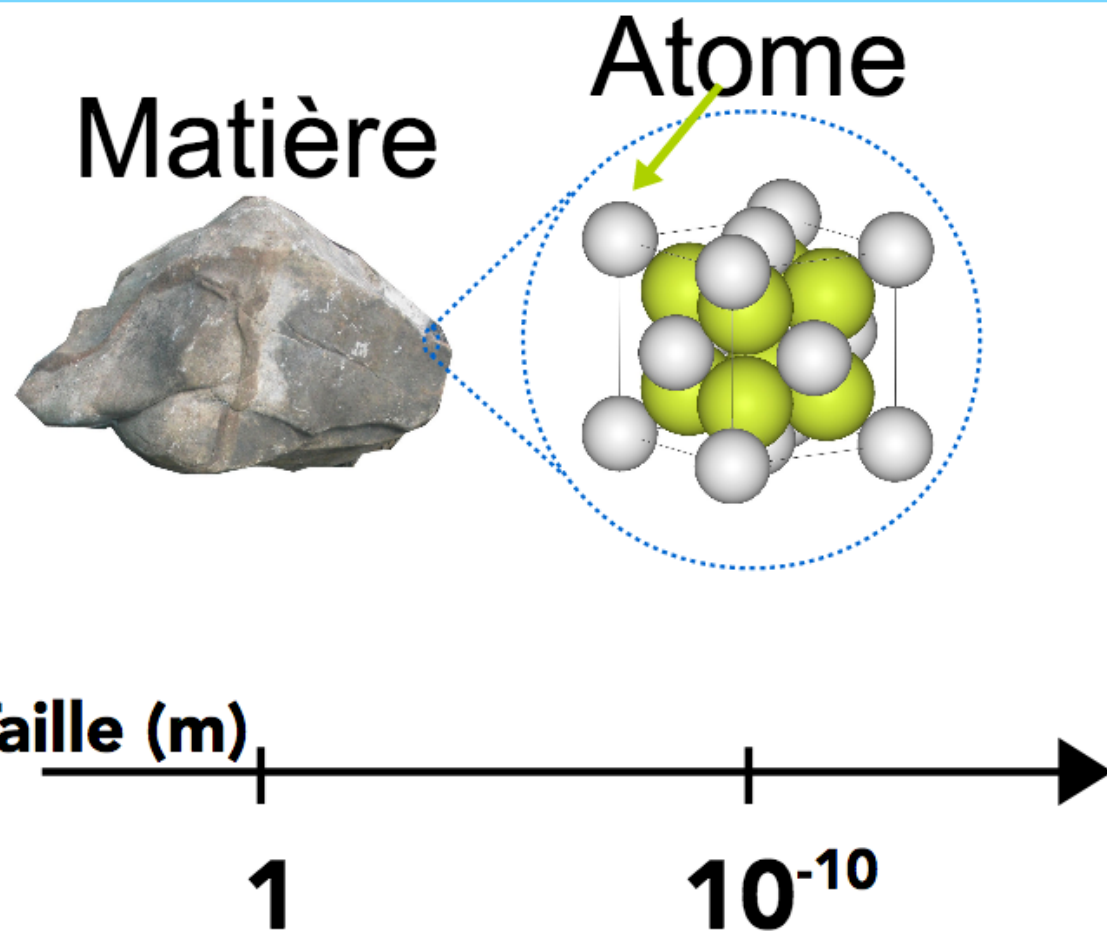
$$VEV \langle S \rangle \neq 0 \Rightarrow \langle v \rangle \neq 0$$



The whiteboard contains mathematical expressions and diagrams. The top part shows two equations for V_{S^2} in terms of $|S^1|^2$ and $|S^2|^2$. Below them is a red equation: $VEV \langle S \rangle \neq 0 \Rightarrow \langle v \rangle \neq 0$. At the bottom, there is a Feynman diagram with a central vertex connected to four external lines, and a loop structure above it. The diagram is drawn in blue and green ink.

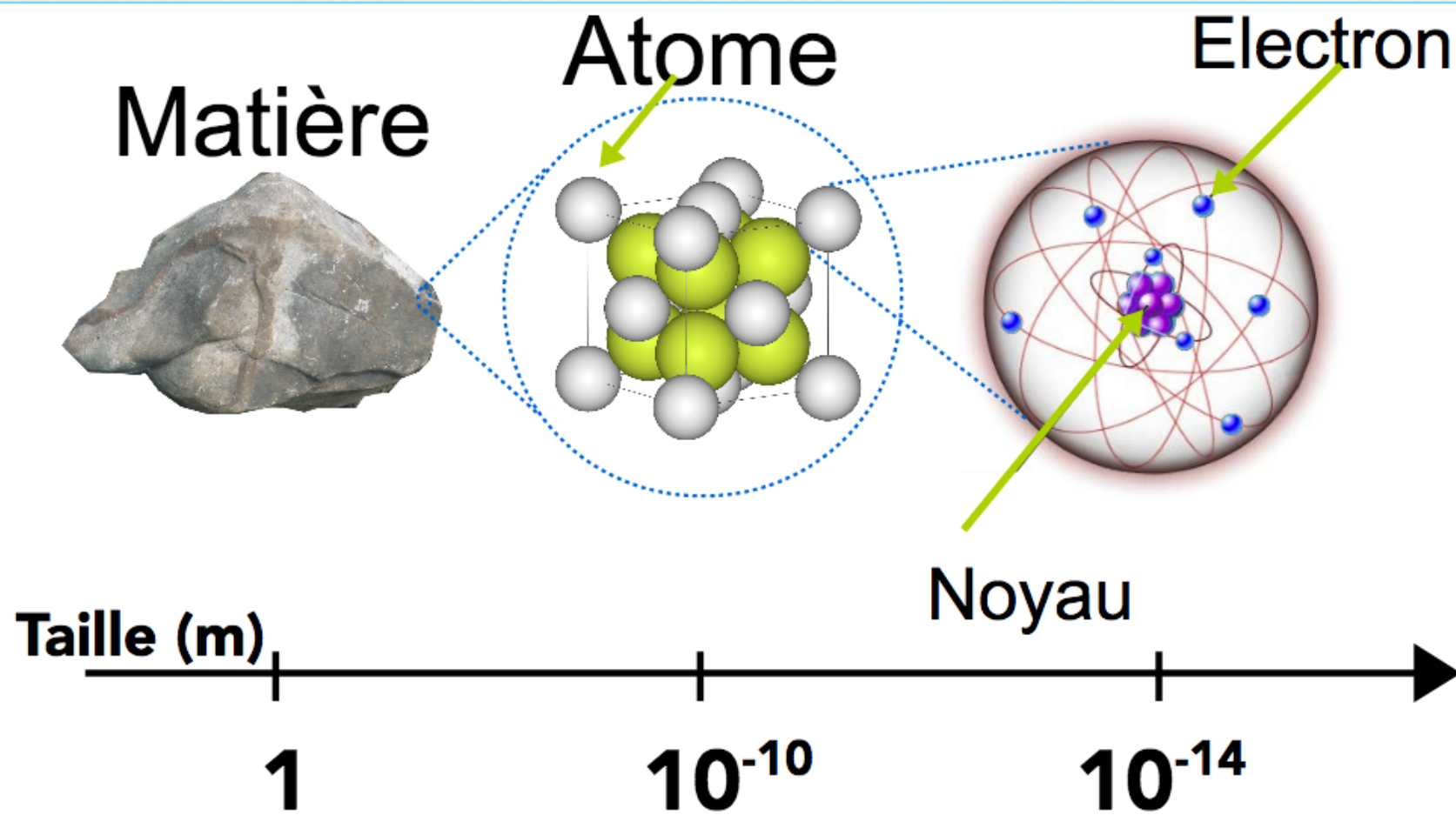
L'élémentarité

- ❖ Notion dépendant des moyens expérimentaux → varie avec l'époque.
- ❖ 19^{ème} siècle : modèle atomique.



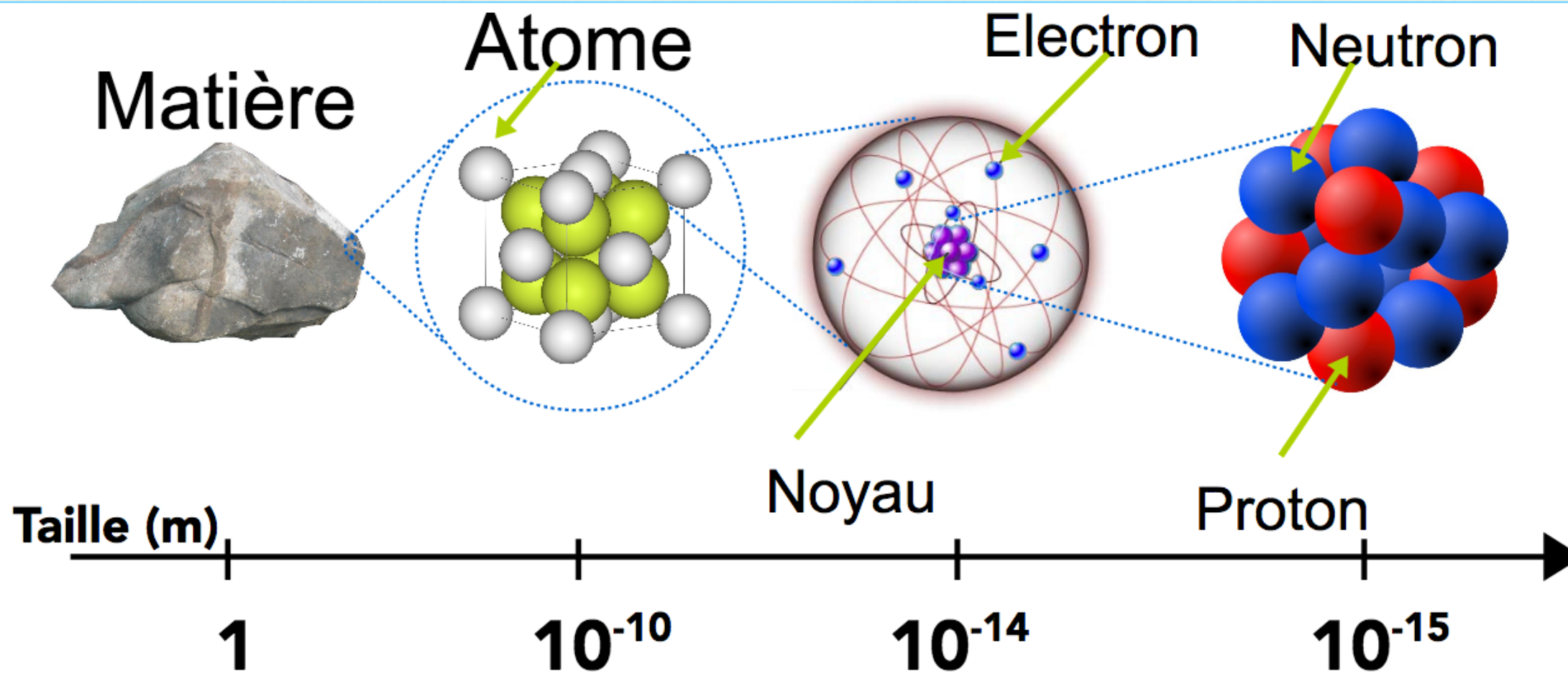
L'élémentarité

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



L'élémentarité

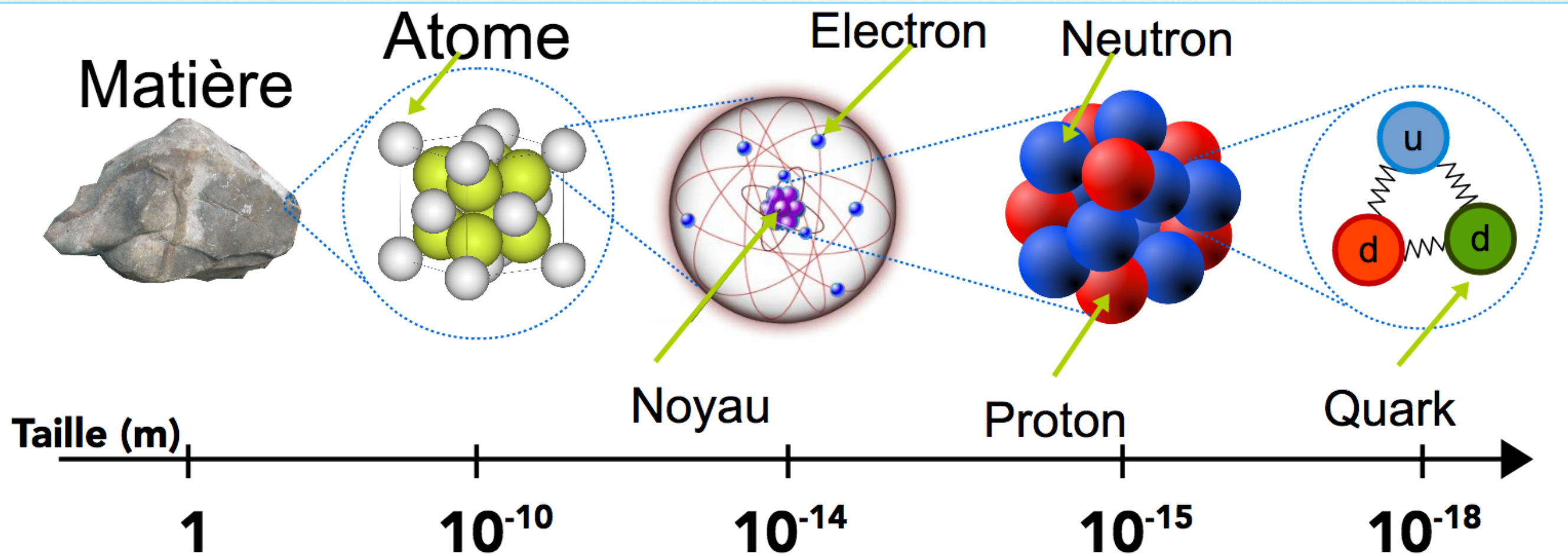
- ❖ Découverte du proton (1913) et neutron (1932).



L'élémentarité



- ❖ Découverte des quarks (1960s) : sans sous-structure observée jusqu'à présent.



masse $\sim 10^{-25}$ - 10^{-30} kg

Standard Model of Elementary Particles

three generations of matter
(fermions) + 12 anti-particles)

I

II

III

mass
charge
spin

QUARKS

LEPTONS

GAUGE BOSONS

SCALAR BOSONS

$\approx 2.4 \text{ MeV}/c^2$
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

$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$
-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
 γ
photon

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

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

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

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

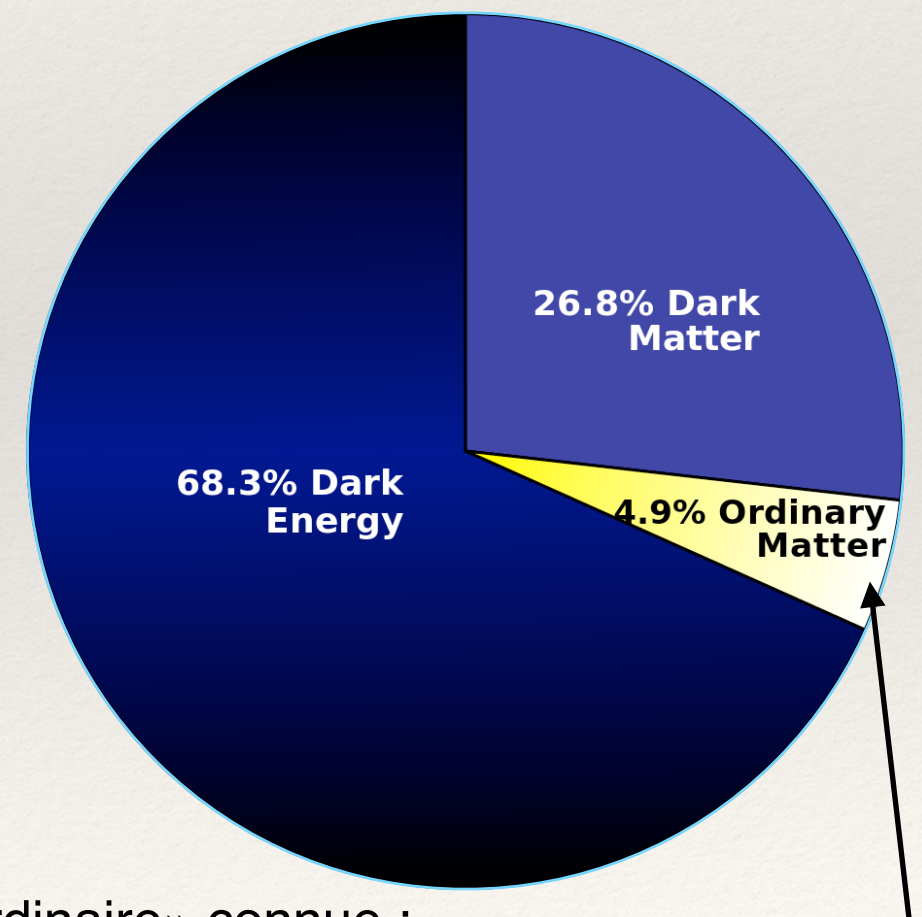
$< 2.2 \text{ eV}/c^2$
0
1/2
 ν_e
electron neutrino

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

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

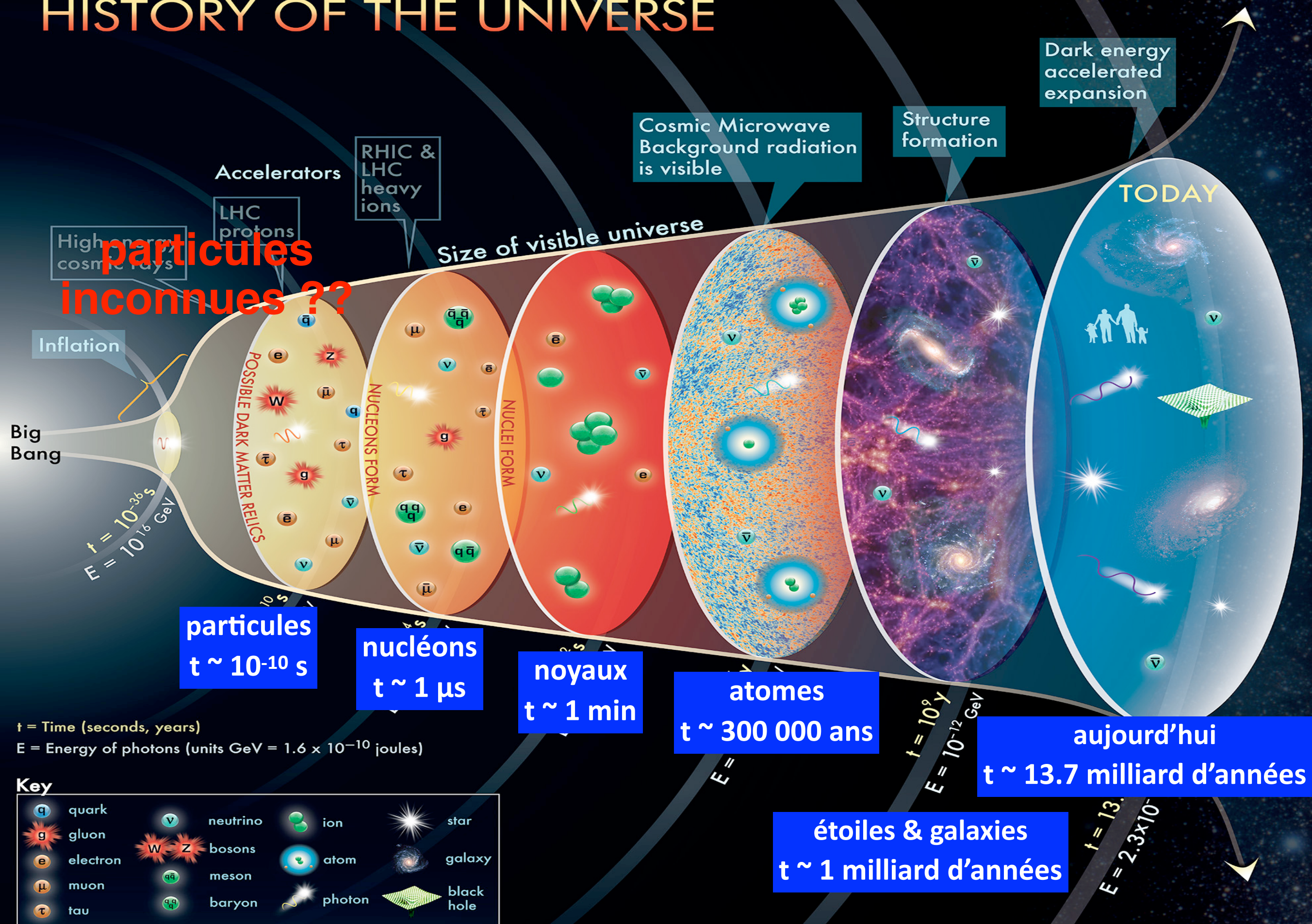
$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$
 ± 1
1
W
W boson

- ❖ Description des particules élémentaires de matière et de leurs interactions : théorie **quantique** et **relativiste**.
 - ❖ Testée avec une **grande précision**.
 - ❖ Très nombreux prix Nobel.
 - ❖ Mais ce n'est pas la « théorie du tout », par exemple elle n'explique pas :
 - ❖ Pourquoi l'anti-matière a disparu ?
 - ❖ Pourquoi 3 familles de particules de matière ?
 - ❖ Nature de la matière noire ?
 - ❖ Nature de l'énergie noire ?
- recherche d'une **nouvelle physique** au-delà du modèle standard.



Matière «ordinaire» connue :

HISTORY OF THE UNIVERSE



t = Time (seconds, years)
E = Energy of photons (units GeV = 1.6×10^{-10} joules)

Key

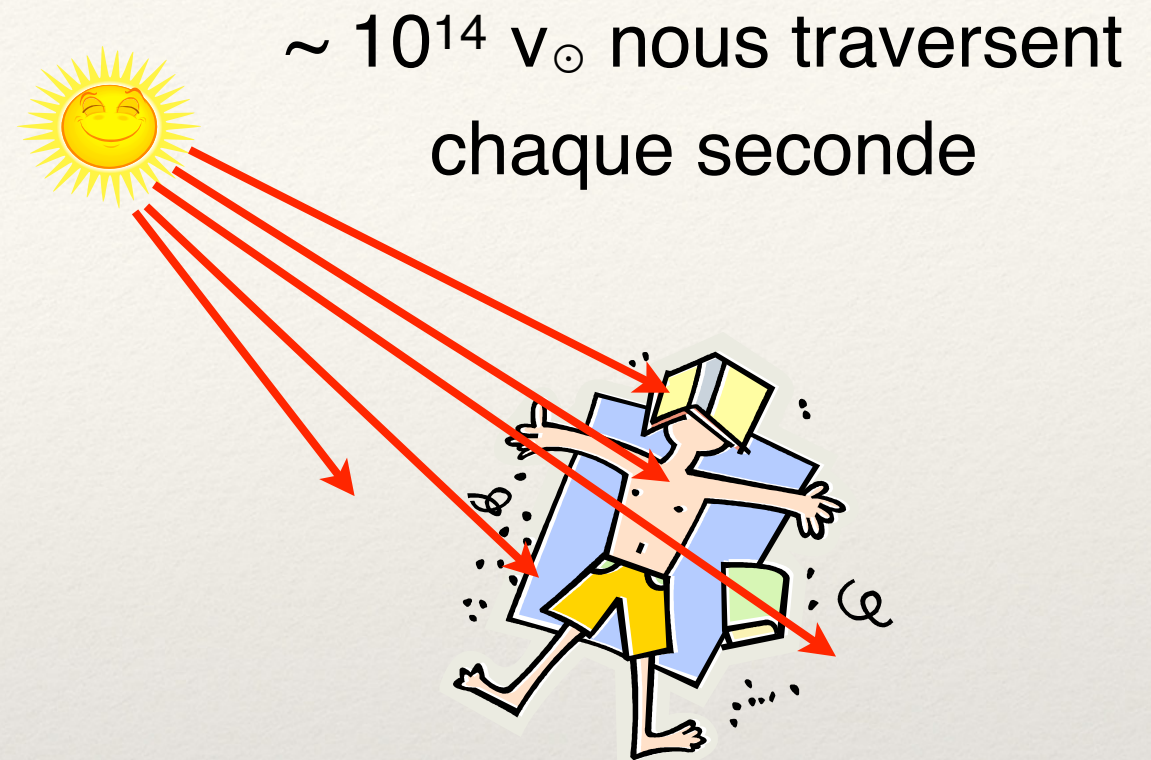
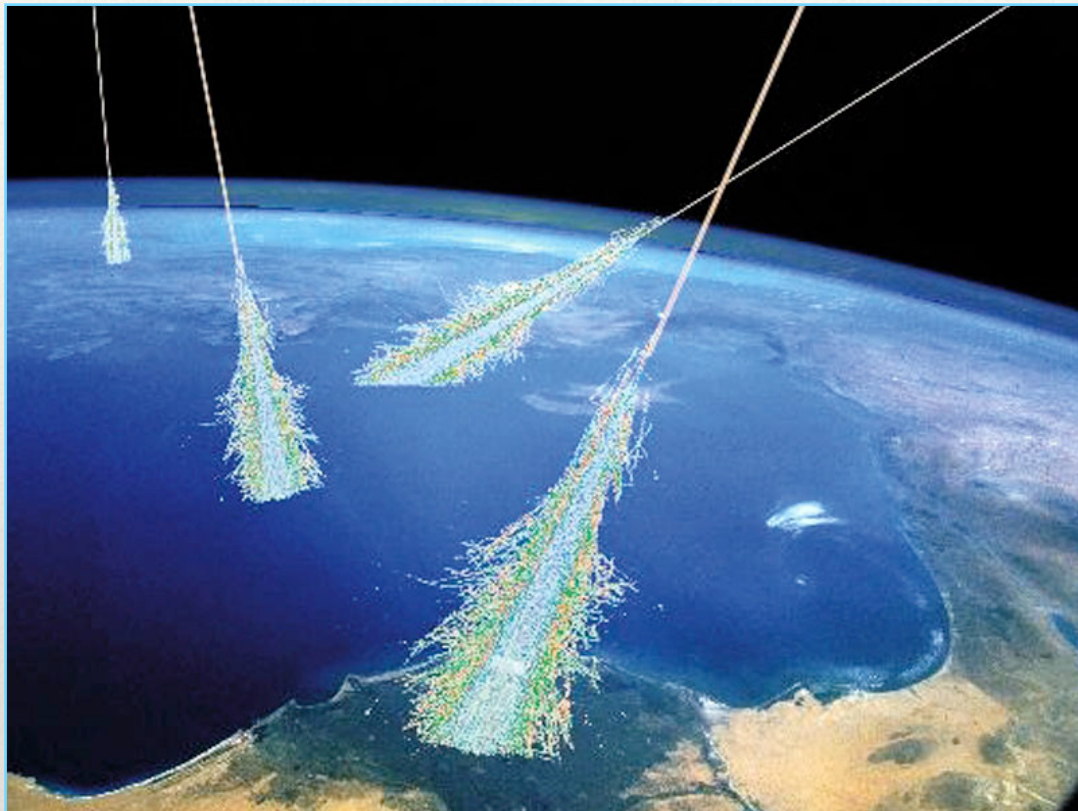
quark	neutrino	ion	star
gluon	bosons	atom	galaxy
electron	meson	photon	black hole
muon	baryon		
tau			

The concept for the above figure originated in a 1986 paper by Michael Turner.

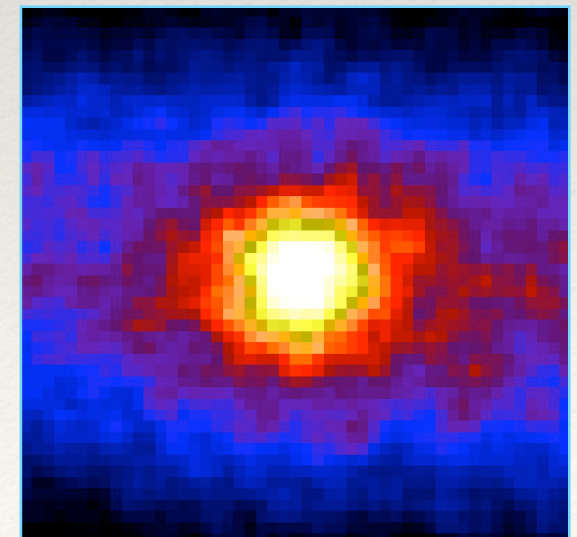
Les particules élémentaires nous traversent



Des gerbes de μ , e , ν , p , ...
produites par des rayons
cosmiques nous traversent :



Le soleil "vu en neutrinos"



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

$$t \rightarrow W^+ b$$

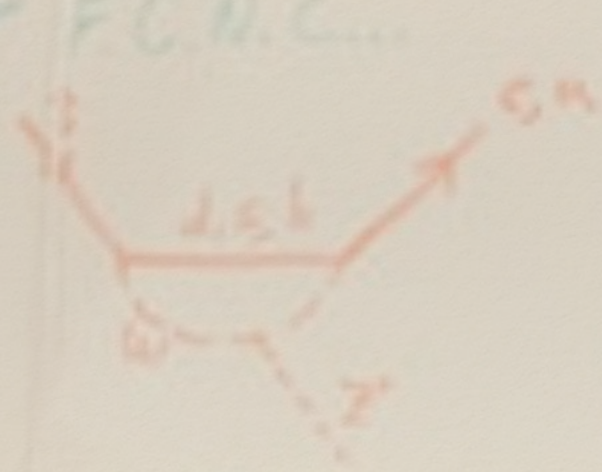
$$BR(t \rightarrow Wb) = \frac{\Gamma(t \rightarrow Wb)}{\Gamma(t \rightarrow Wq)}$$

$$= \frac{|V_{tb}|^2}{|V_{td}|^2 + |V_{ts}|^2 + |V_{tb}|^2}$$
$$= \frac{211}{(0.0094)^2 + (0.041)^2 + (0.9945)^2}$$

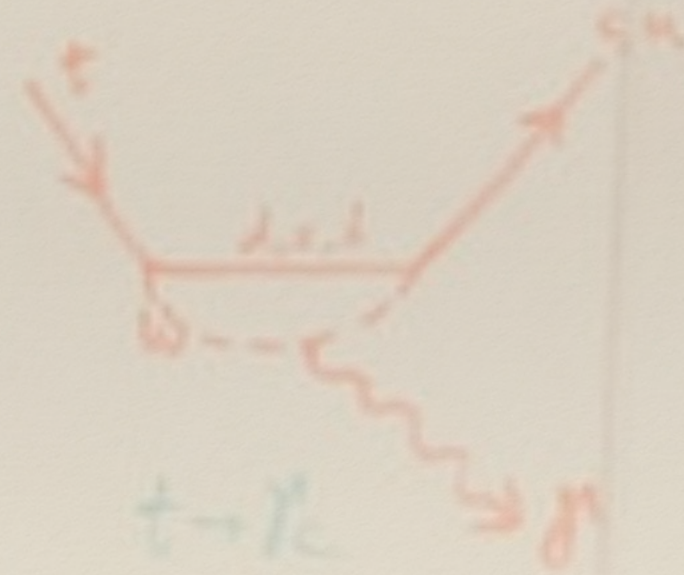


Les collisionneurs de particules et l'expérience Belle II

but F.C.N.C...



$$t \rightarrow Zc$$
$$t \rightarrow Zn$$



$$t \rightarrow \gamma c$$
$$t \rightarrow \gamma n$$

$G_{12} G_{13}$

Le collisionneur LHC (CERN, Europe)



- ❖ Collisions p-p, p-Pb, Pb-Pb à la plus haute énergie de collisions jamais produite : 13 TeV.
- ❖ Fonctionne depuis 2009.
- ❖ Plusieurs milliers de milliards de protons lancés à 99.9999991 % de la vitesse de la lumière. Chaque seconde, ils font 11 000 fois le tour des 27 km de l'anneau.
- ❖ 40 millions de collisions ont lieu chaque seconde.
- ❖ Tube de faisceau plus vide que le système solaire : 10^{-13} atm.
Plus froid que l'espace : 1.9 K = -271 °C.

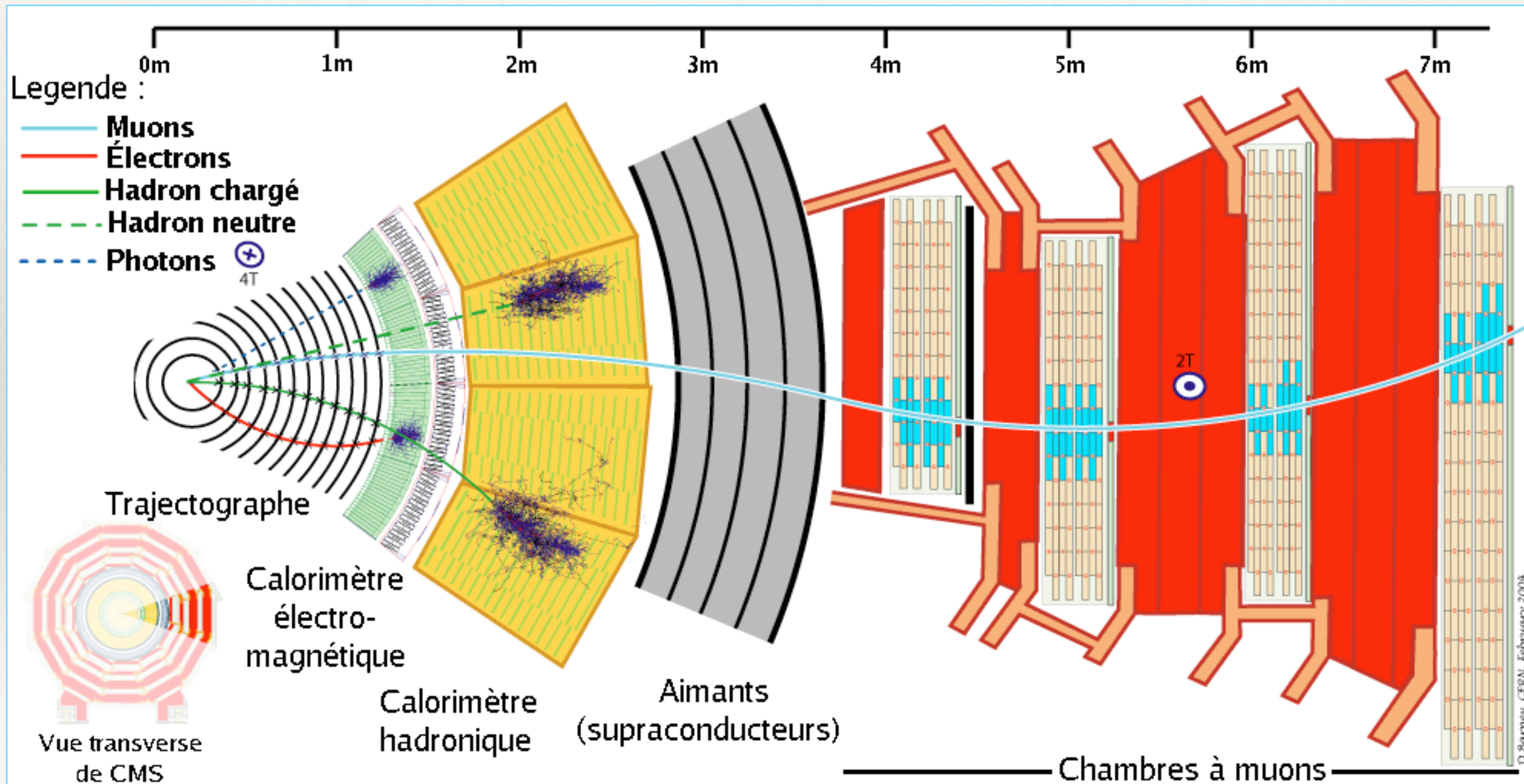


100 m sous terre

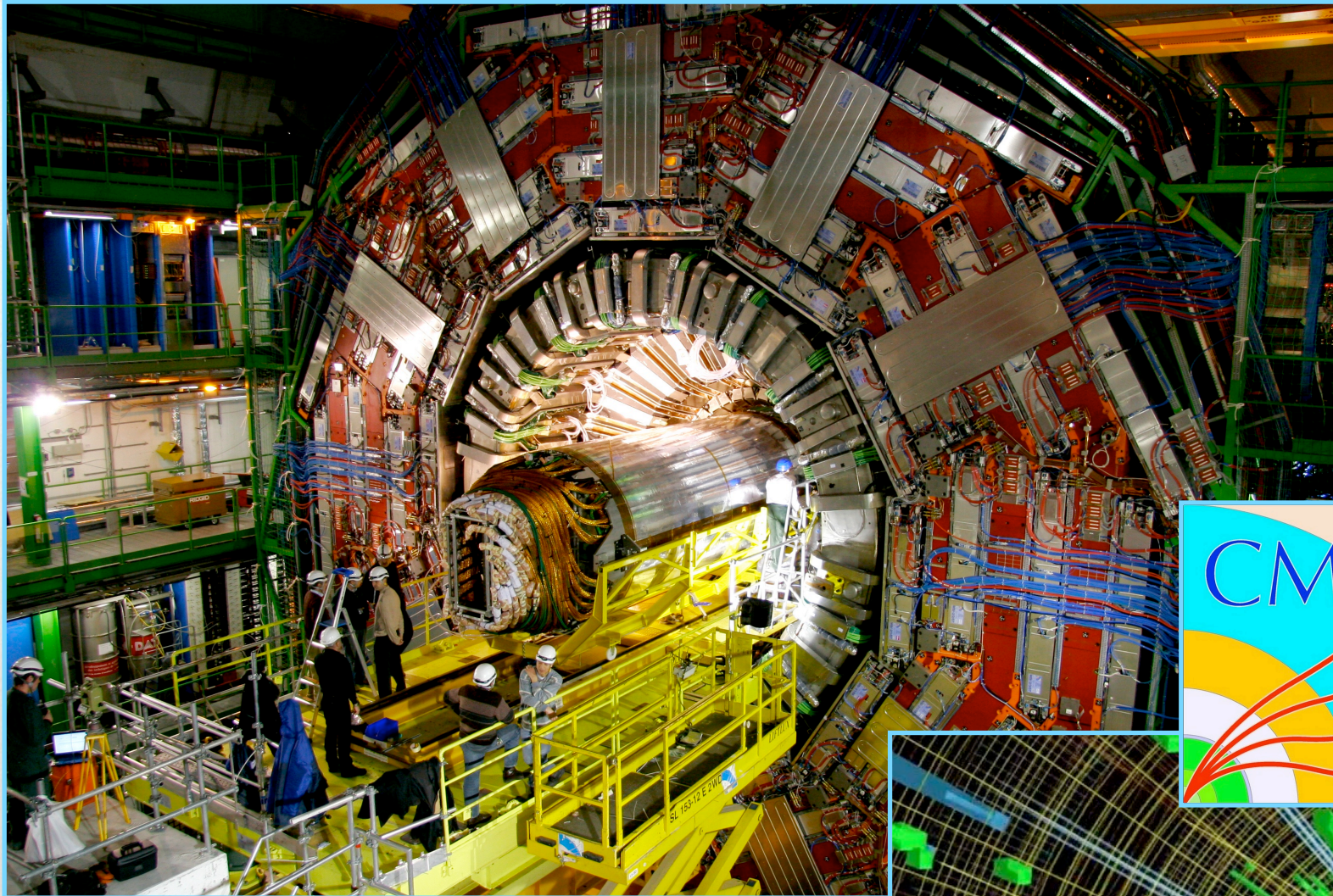
La détection des particules



- ❖ On veut reconstruire leur trajectoire, les identifier, mesurer leur énergie et leur quantité de mouvement, grâce à différentes techniques de détection, empilées en cylindres.

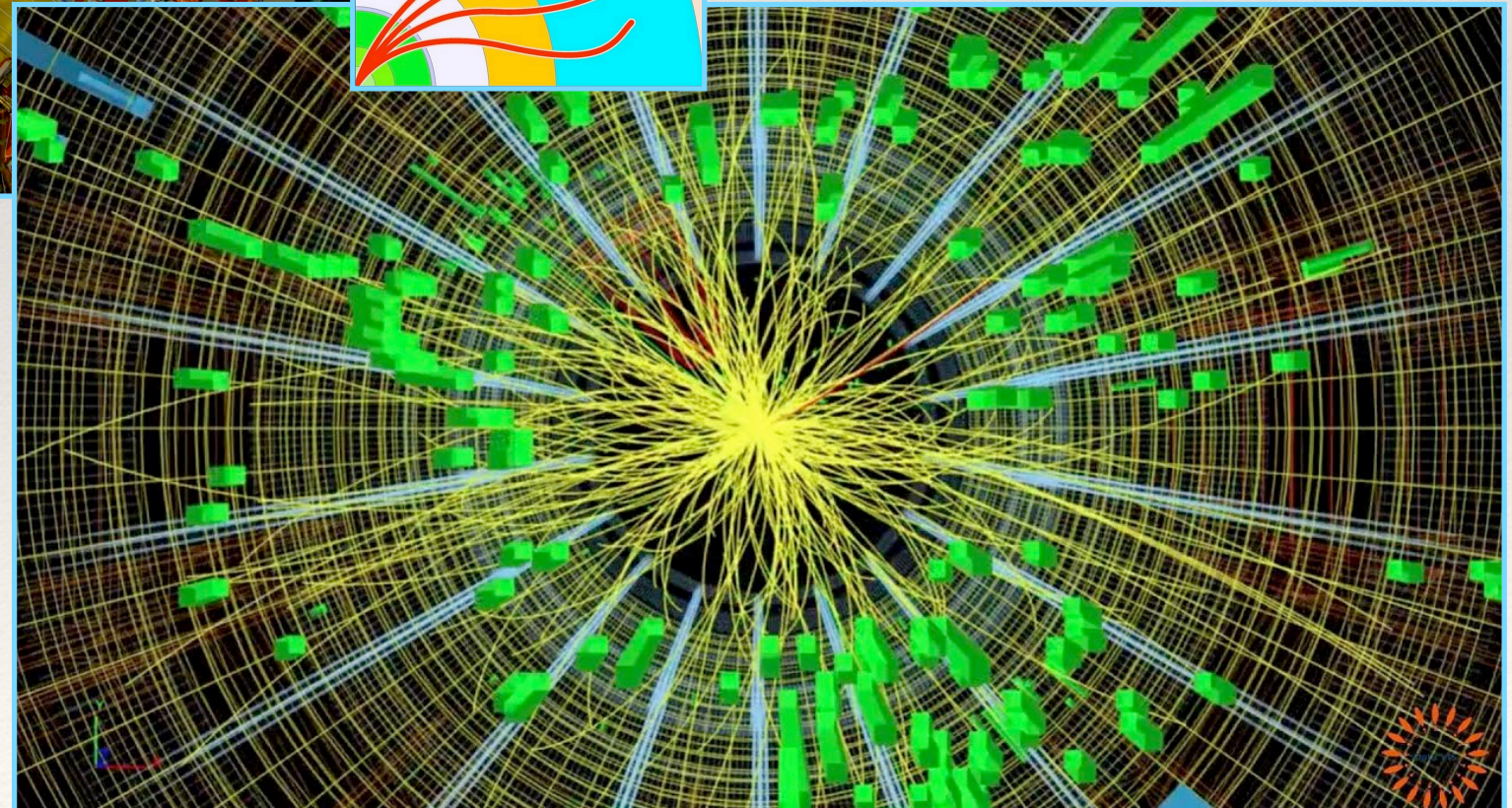


Le détecteur CMS au LHC



Dimensions : 21.5 x 15 x 15 m³

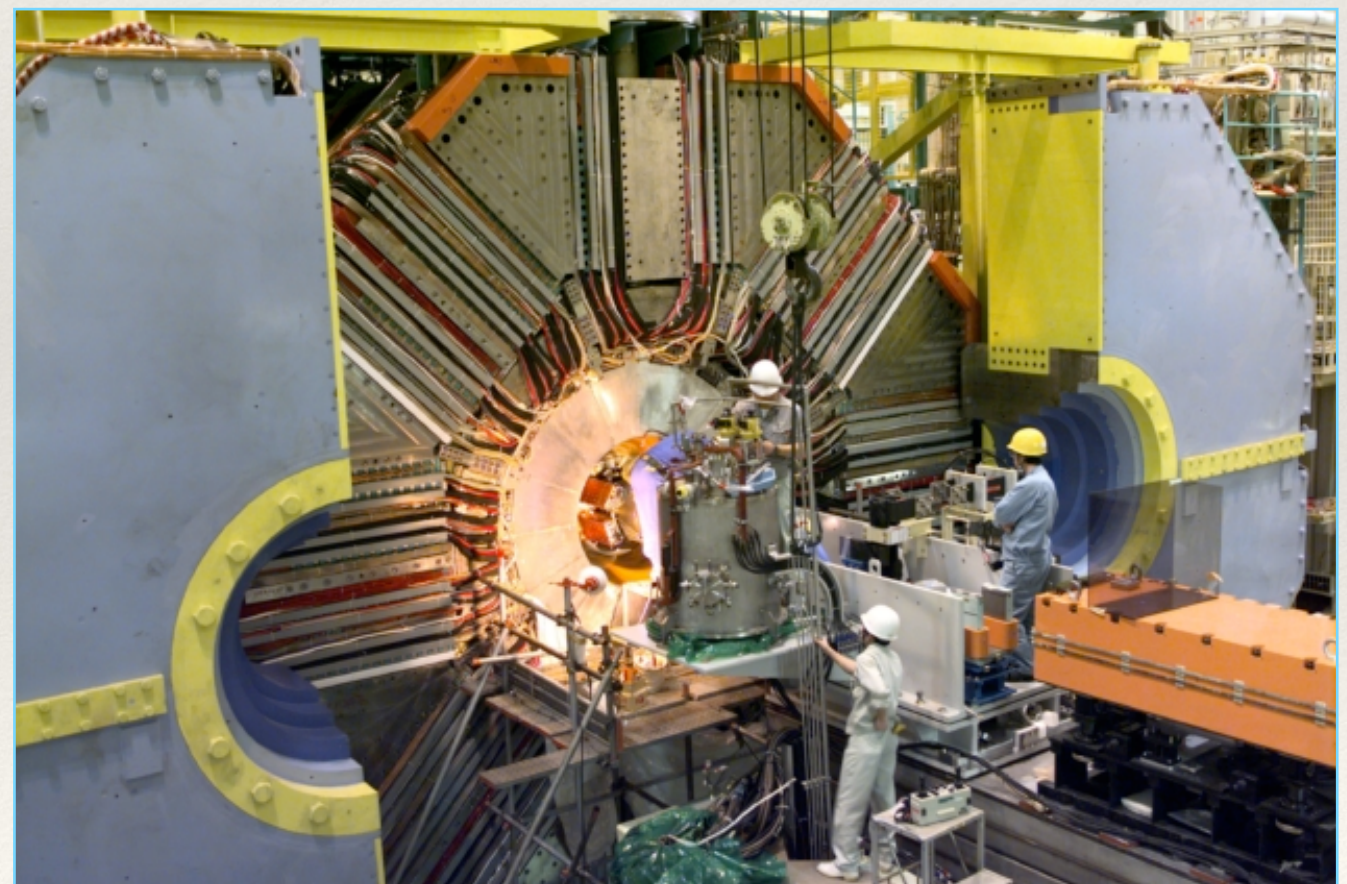
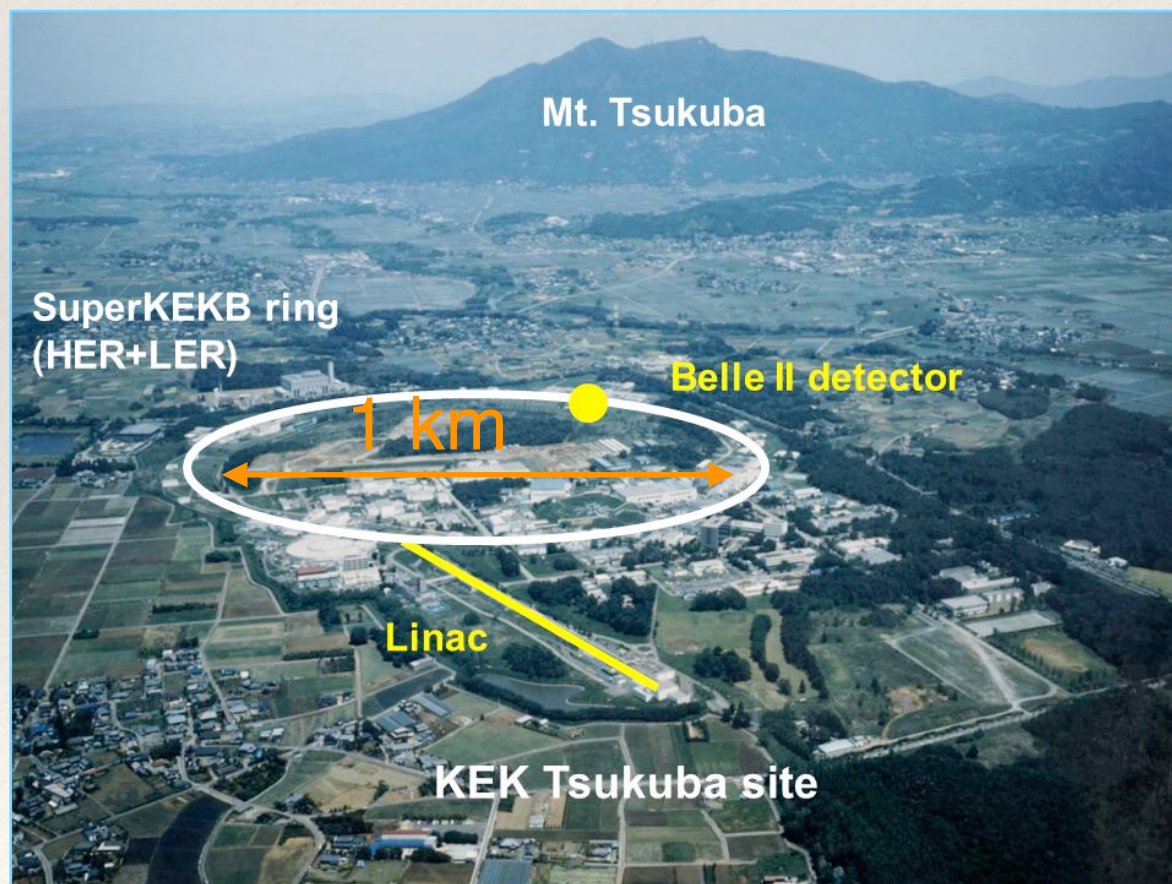
Poids : 12 500 tonnes



L'expérience Belle II



- ❖ **Collisionneur $e^+ e^-$ SuperKEKB** : le plus intense au monde.
But : produire 40× plus de collisions par seconde que LHC.
- ❖ **Détecteur Belle II** : enregistre les collisions de SuperKEKB, au Japon.
- ❖ But de l'expérience : **découvrir des manifestations quantiques de processus inconnus en physique** (au-delà du Modèle Standard).

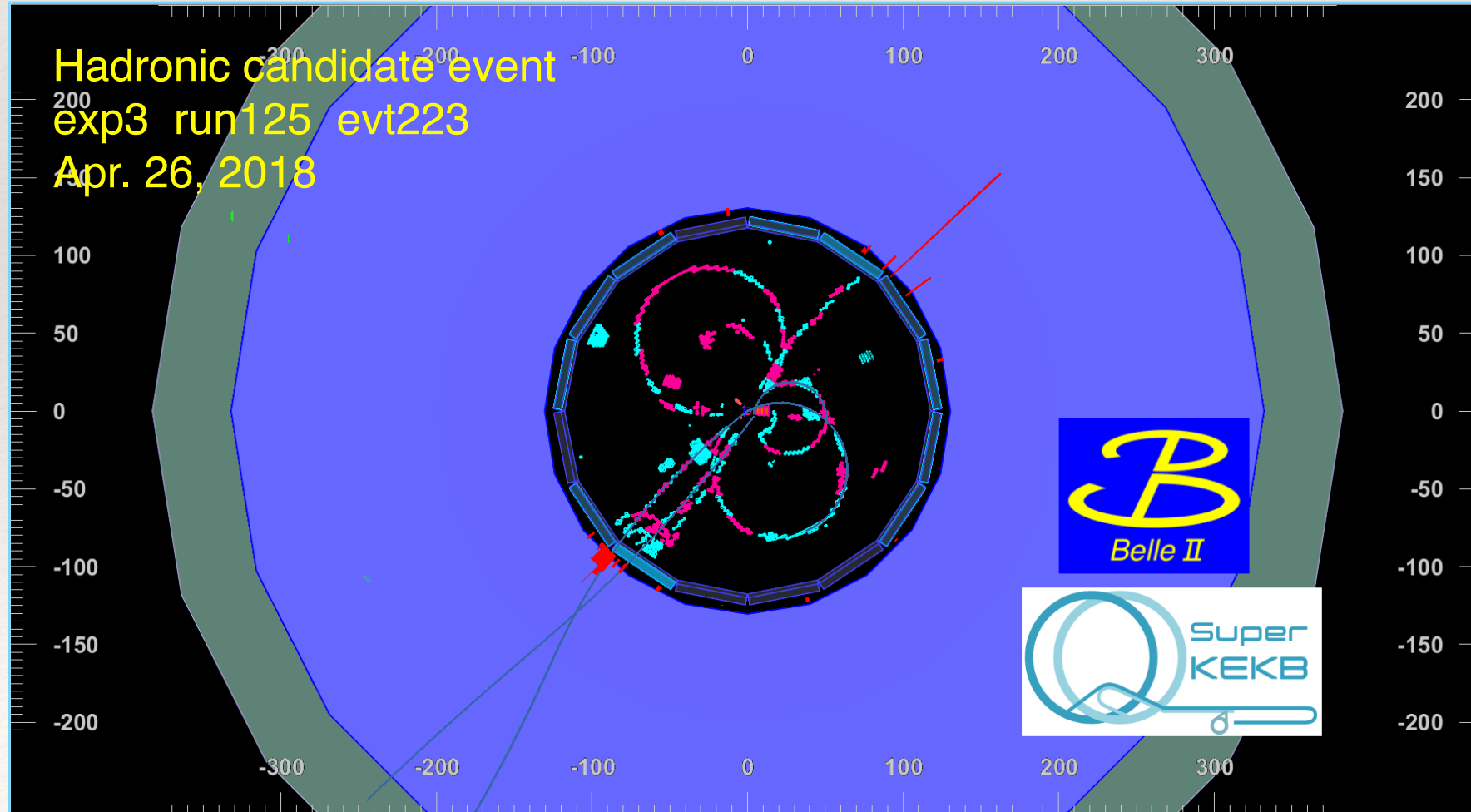


Dimensions : 7 x 7 x 7.5 m³

Calendrier de Belle II



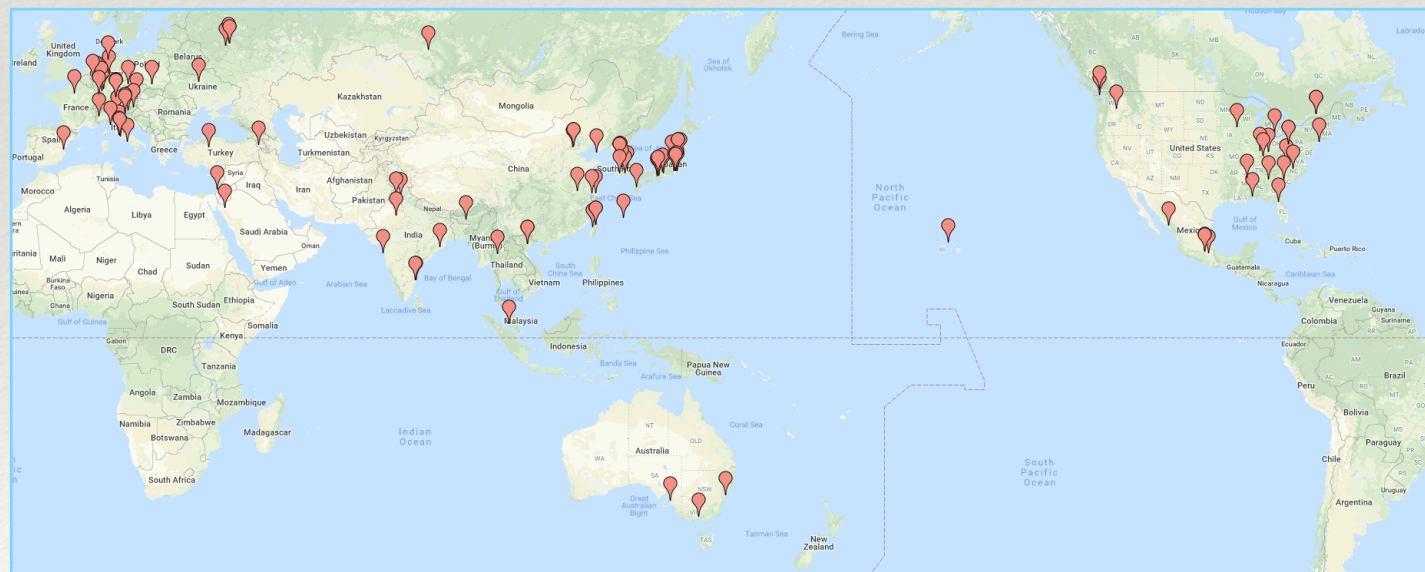
- ❖ La mise en route de Belle II a eu lieu en 2018 (*commissioning*).
Le programme de physique a **démarré en mars 2019**.
Il va se poursuivre pendant plus de 10 ans.
- ❖ L'expérience va permettre d'étudier **plus de 50 milliards d'événements de chaque type de fermion-antifermion**, dont ceux qui nous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



La collaboration internationale Belle II



- ❖ ~ 700 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 :



2018 © Benny Ph.



ありがとうございます



Cosmology

DARK MATTER

Neutrino ~~C~~

Proton Decay

AXIONS