

Isabelle Ripp-Baudot

IPHC Strasbourg : <http://www.iphc.cnrs.fr/>

IN2P3 : www.in2p3.cnrs.fr

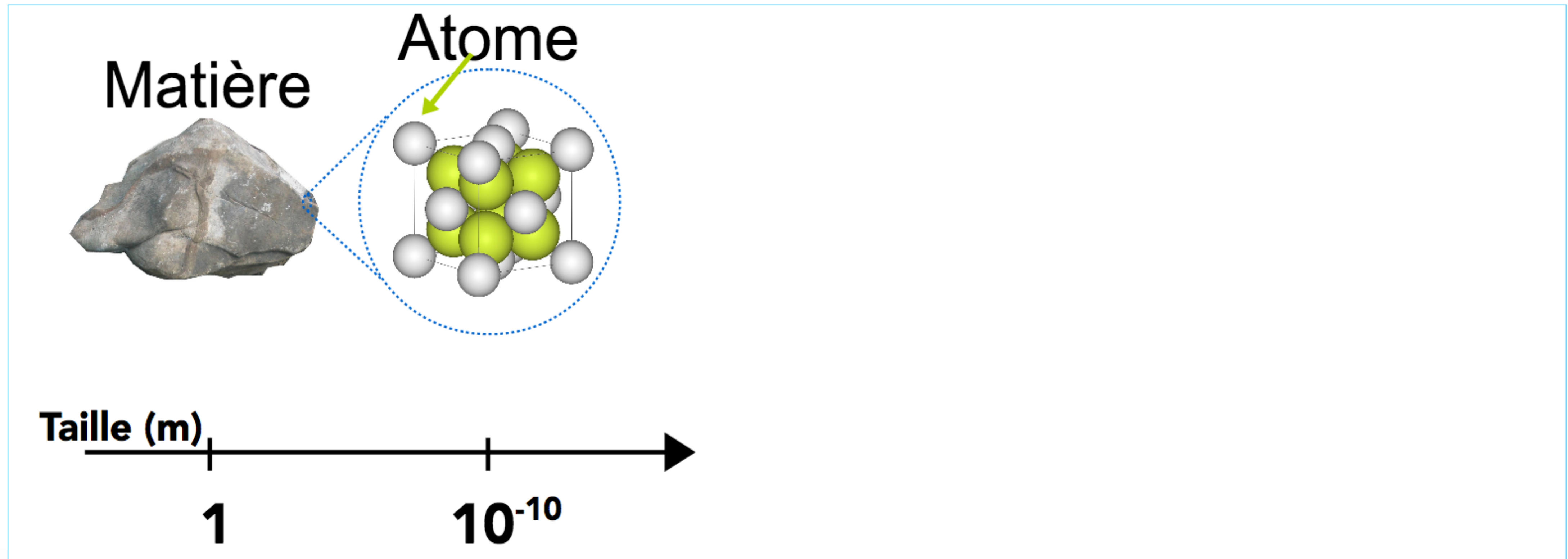
**Masterclasses de physique des particules :
l'expérience Belle II
Auprès du collisionneur SuperKEKB**

12 mars 2026

Introduction à la physique des particules

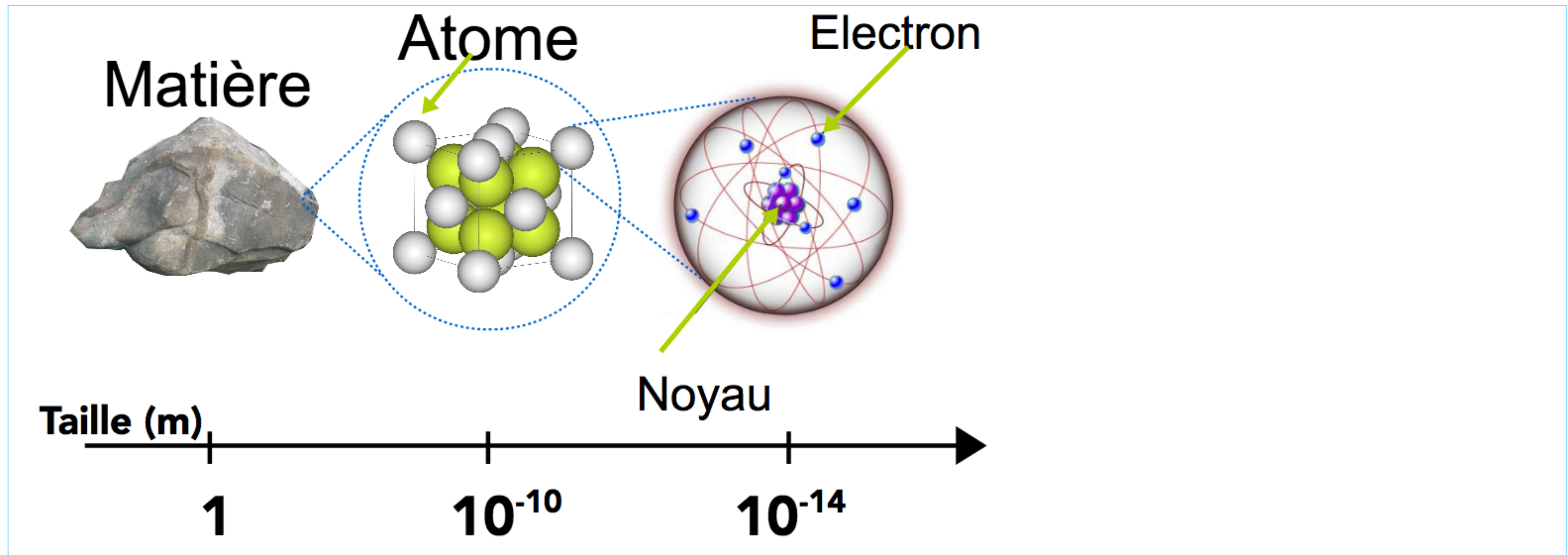
L'élémentarité

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



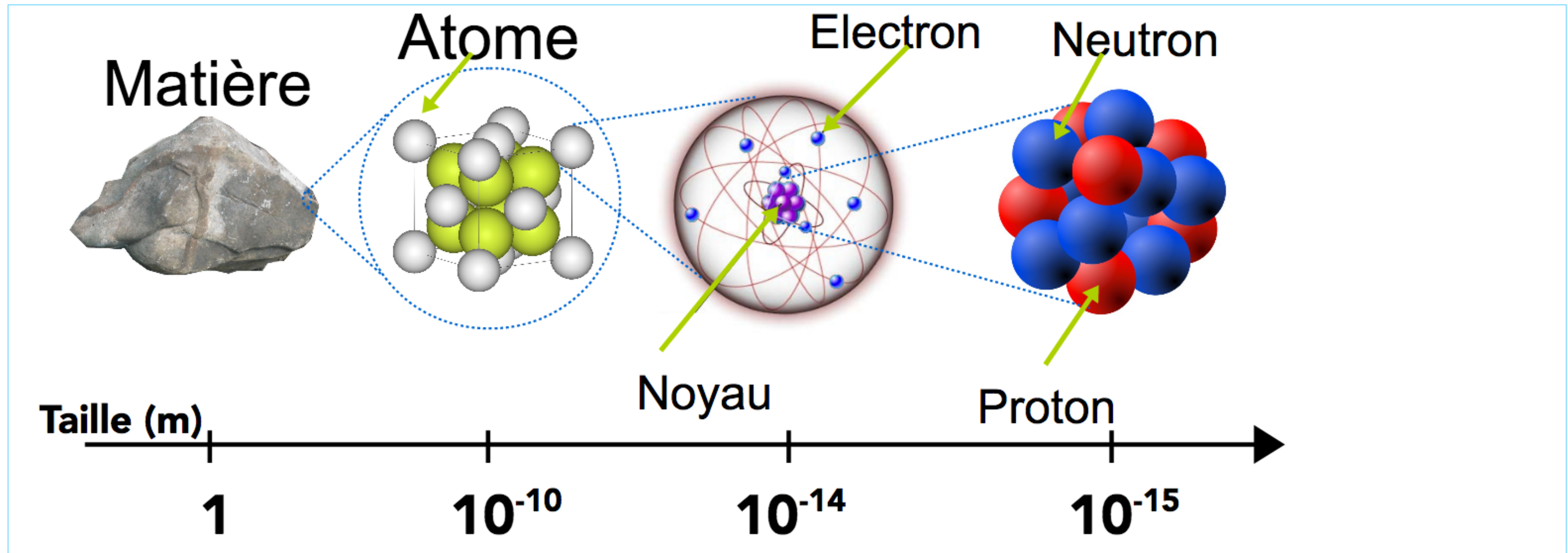
L'élémentarité

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



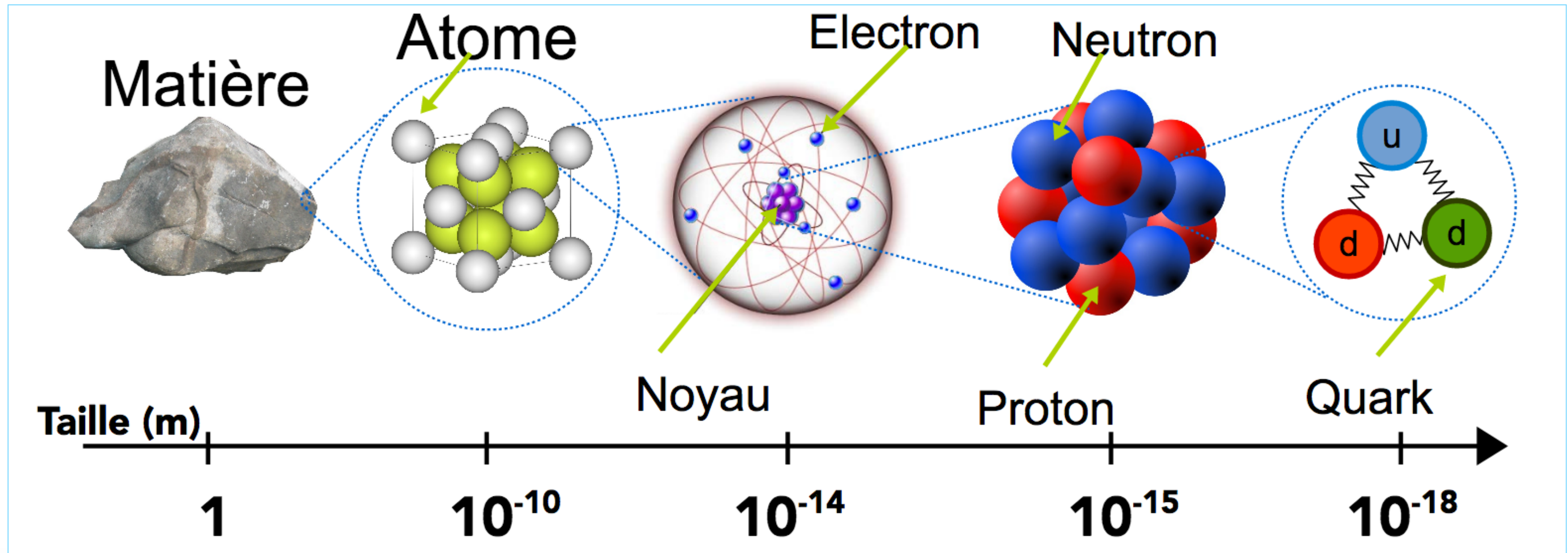
L'élémentarité

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



L'élémentarité

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



Standard Model of Elementary Particles

three generations of matter
(fermions)

I

II

III

mass
charge
spin

QUARKS

LEPTONS

SCALAR BOSONS

GAUGE 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

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

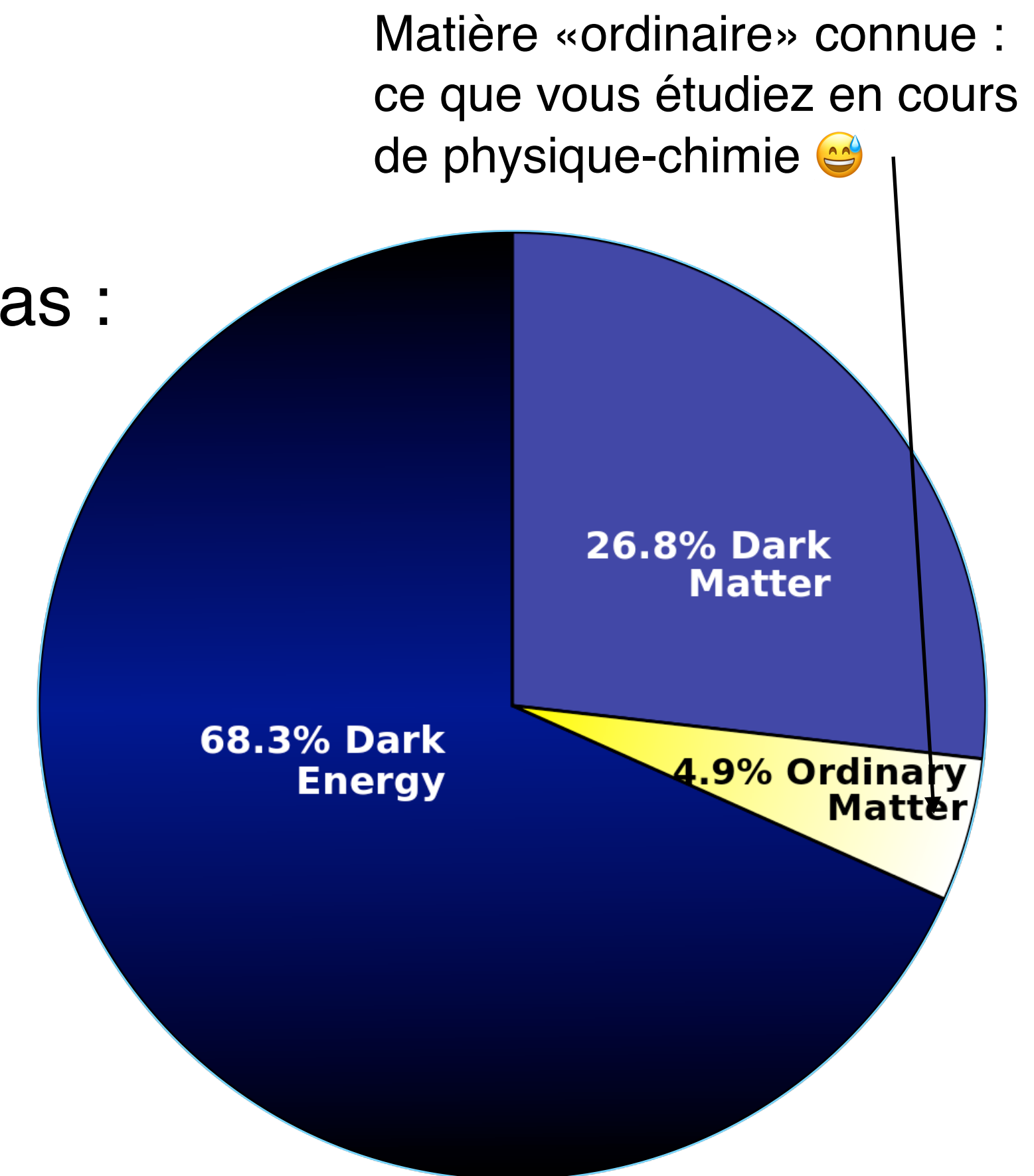
1

W

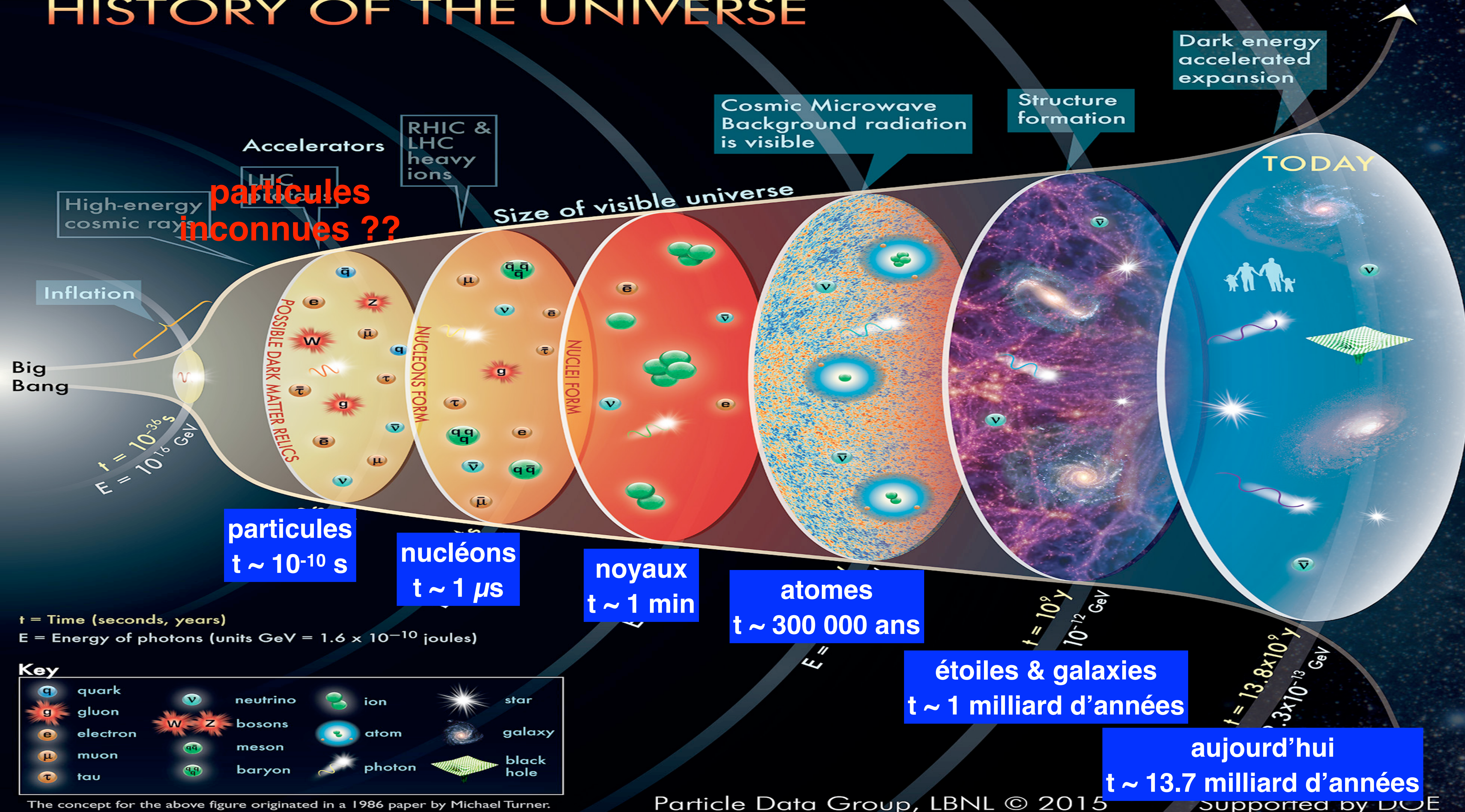
W boson

Le modèle standard de la physique des particules

- ▶ Description des particules élémentaires de matière et de leurs interactions : théorie **quantique** et **relativiste**.
 - ▶ Testée avec une **grande précision**.
 - ▶ 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.

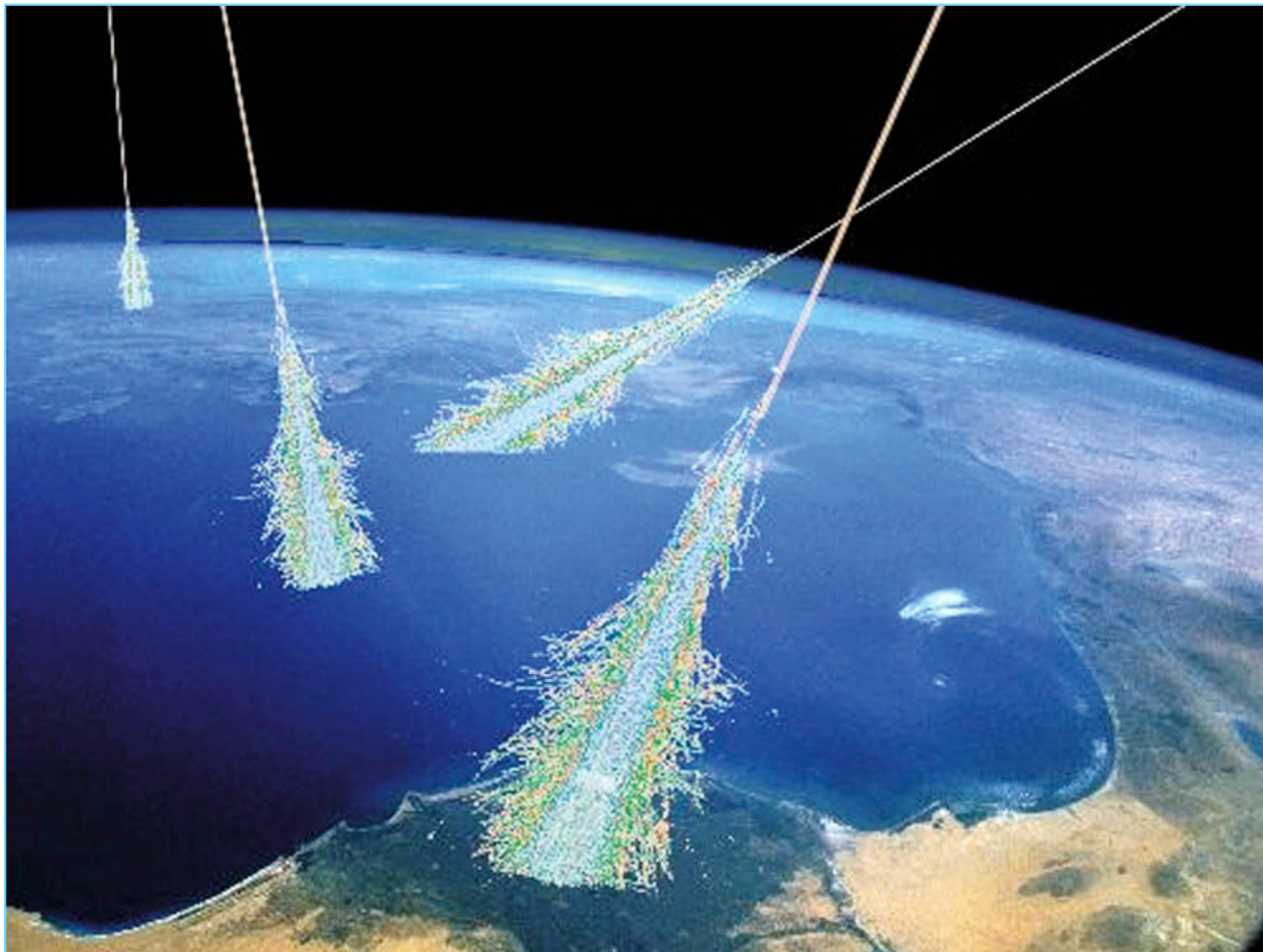


HISTORY OF THE UNIVERSE

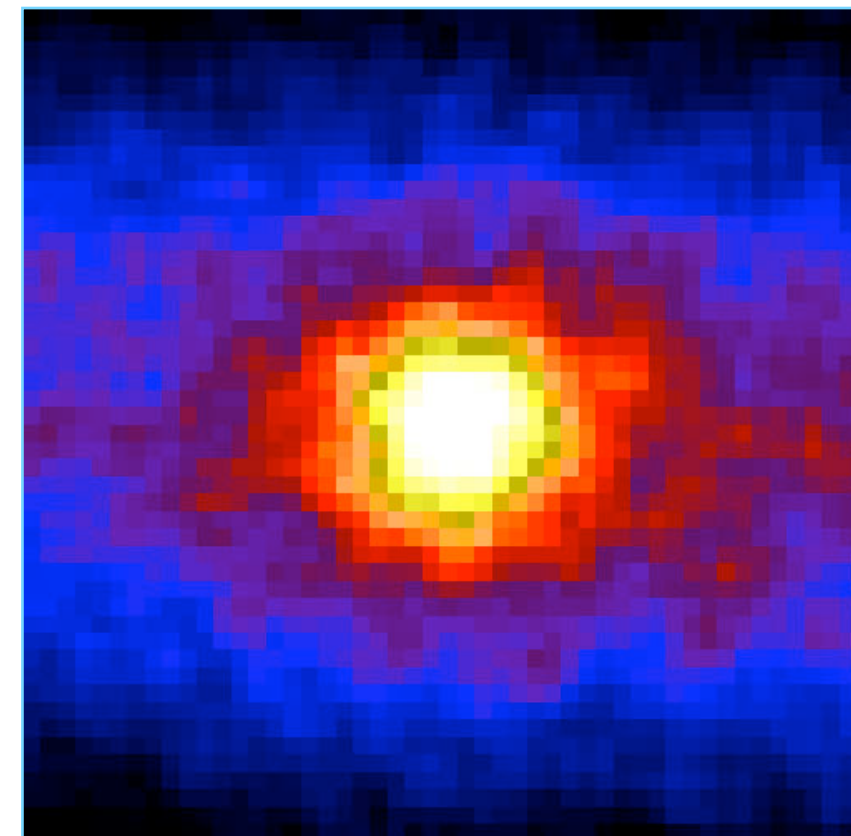


Les particules élémentaires produites dans l'univers

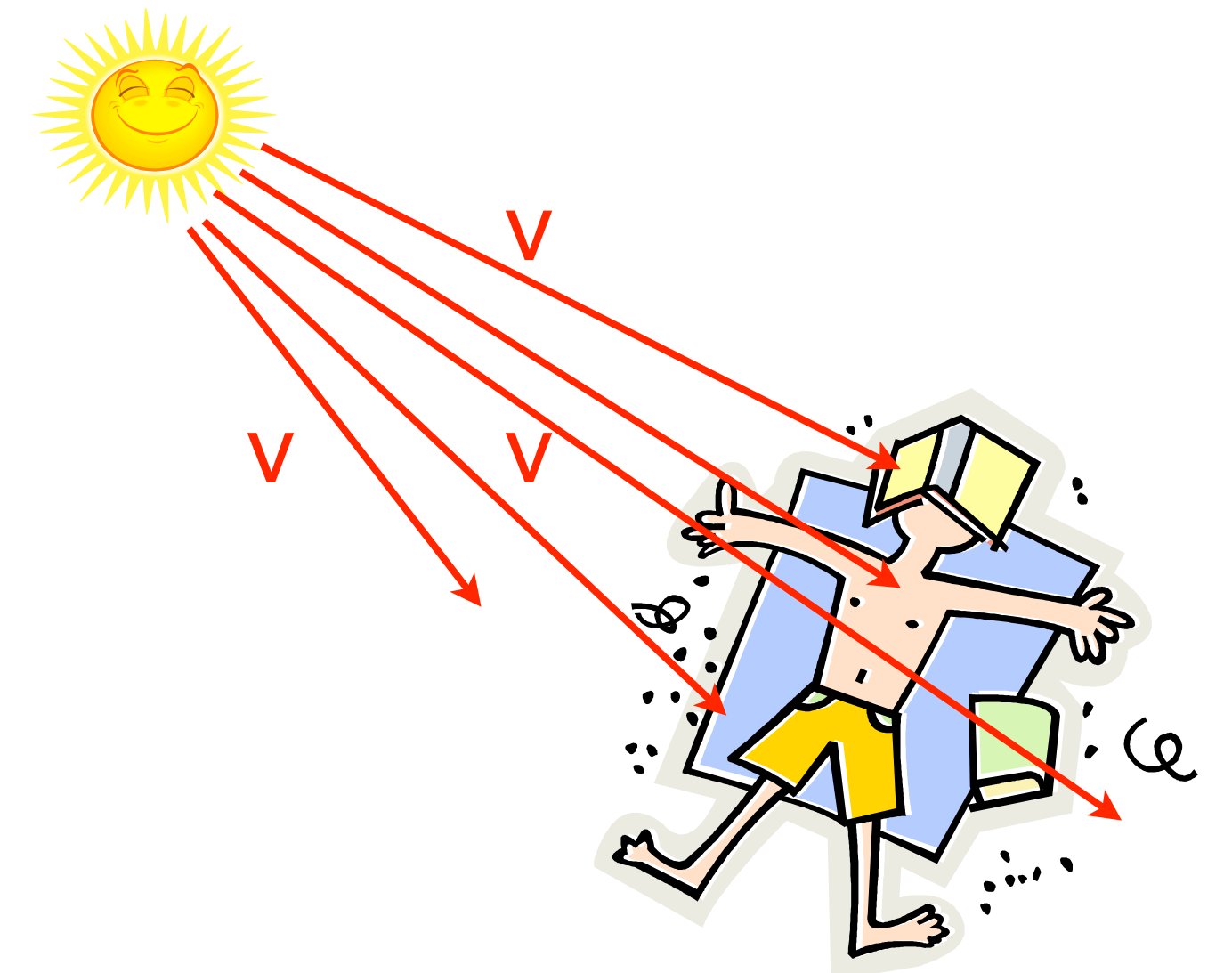
- Des gerbes de μ , e , ν , p , ... produites par des rayons cosmiques nous traversent :



Le soleil “vu en neutrinos”



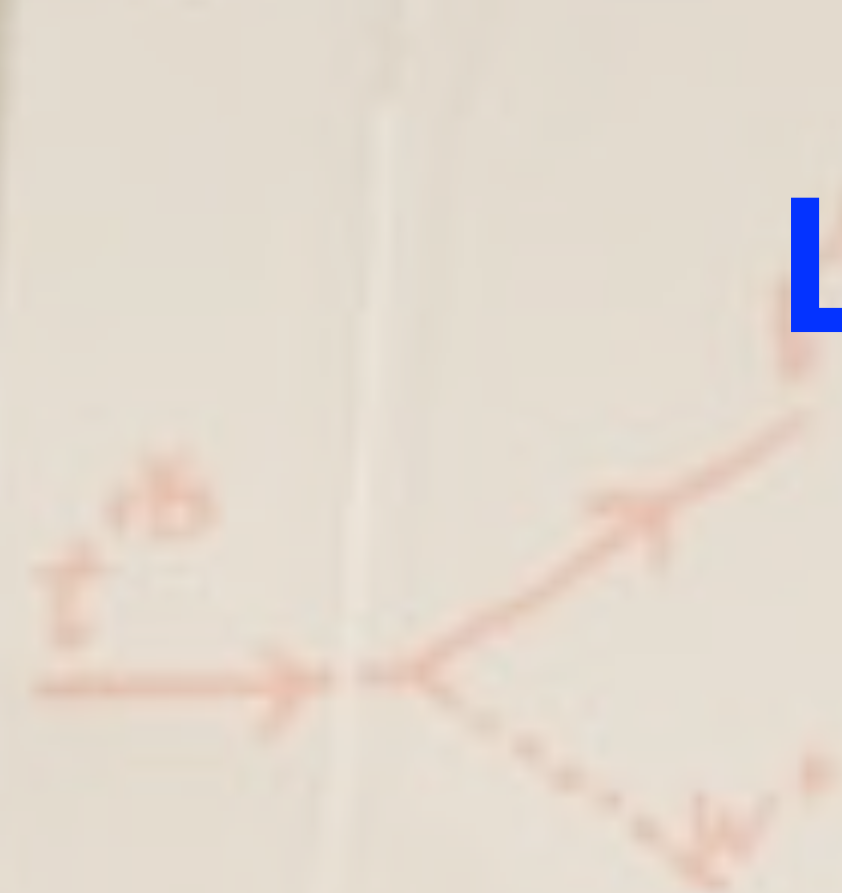
- Des neutrinos ν sont produits par: le soleil, les supernovae, le big-bang, les gerbes de rayons cosmiques, les réacteurs nucléaires, des faisceaux dédiés.
- $\sim 10^{14}$ $\nu_{\odot}$ nous traversent chaque seconde



Les collisionneurs de particules et l'expérience Belle II

$t \rightarrow W^+ b$

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



$$\approx \frac{(0.9745)^2}{(0.0094)^2 + (0.0418)^2 + (0.9745)^2} = 99.82\%$$

but F.C.N.C...



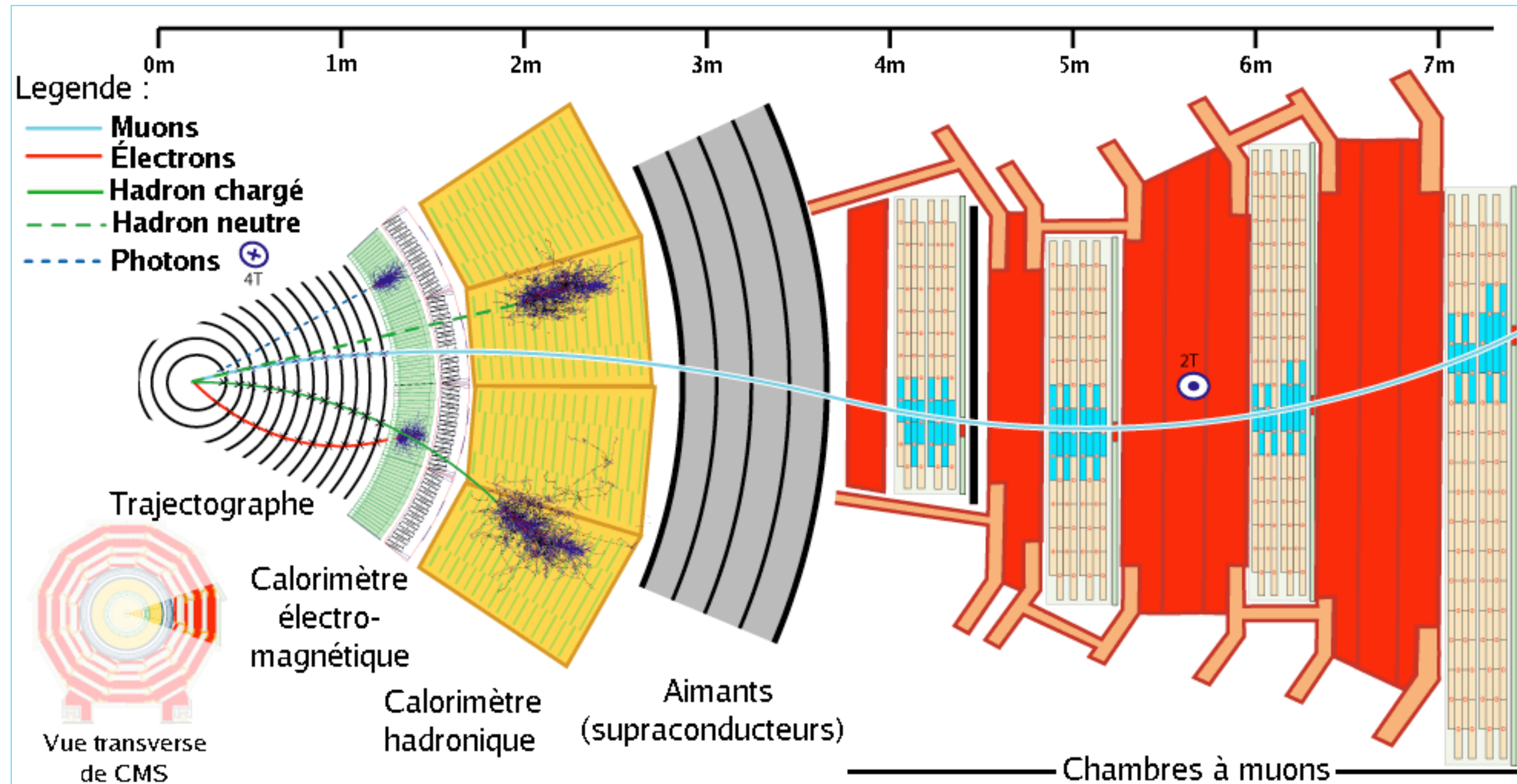
Le collisionneur LHC (CERN, Europe)

- ▶ Collisions p-p, p-Pb, Pb-Pb à la plus haute énergie de collisions jamais produite : 13 TeV.
- ▶ Fonctionne depuis 2009, à 100 m sous terre.
- ▶ 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.
- ▶ Quatre points de collisions au LHC, instrumentés par 4 très gros détecteurs : ALICE, ATLAS, CMS, LHCb.



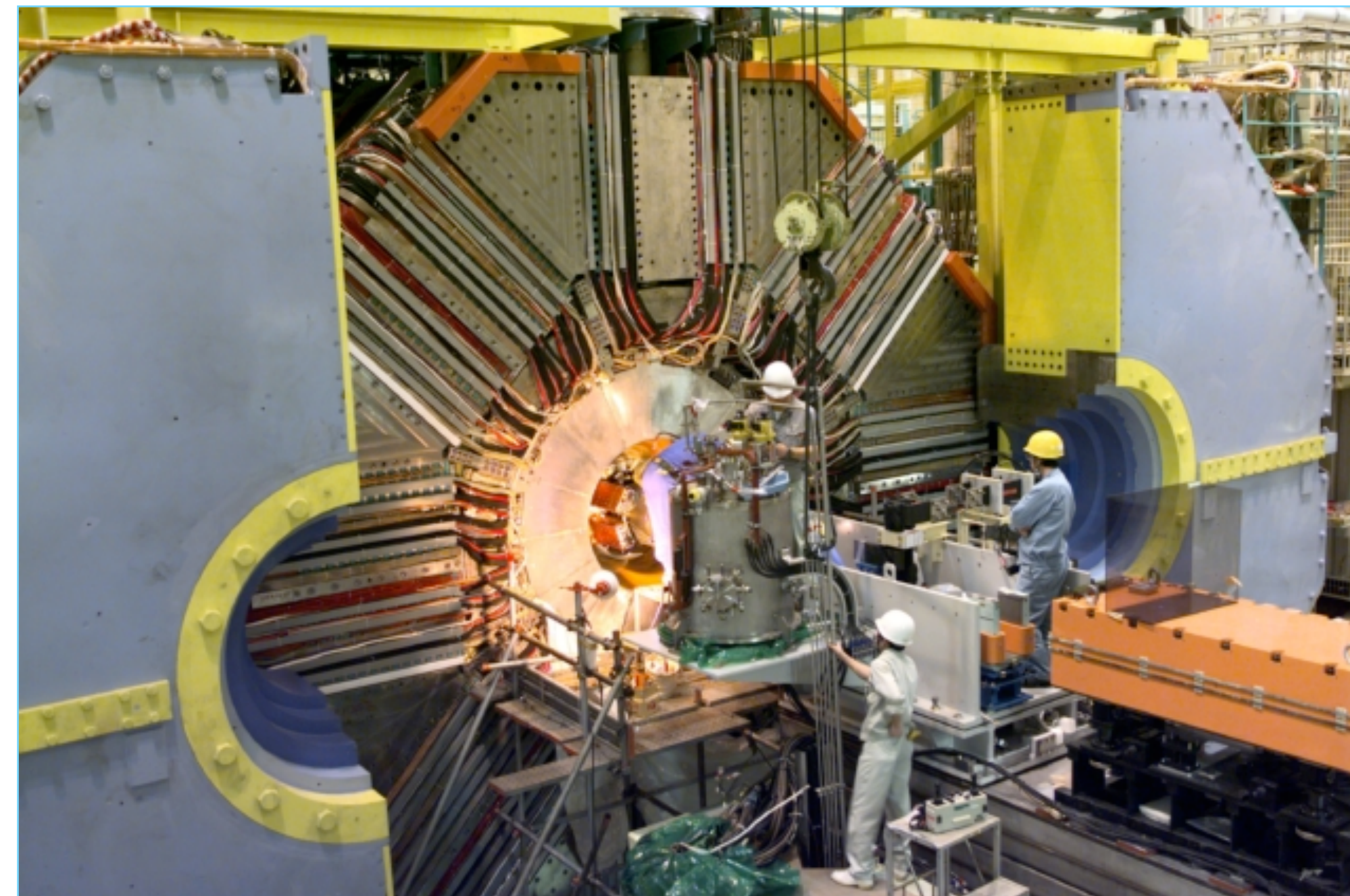
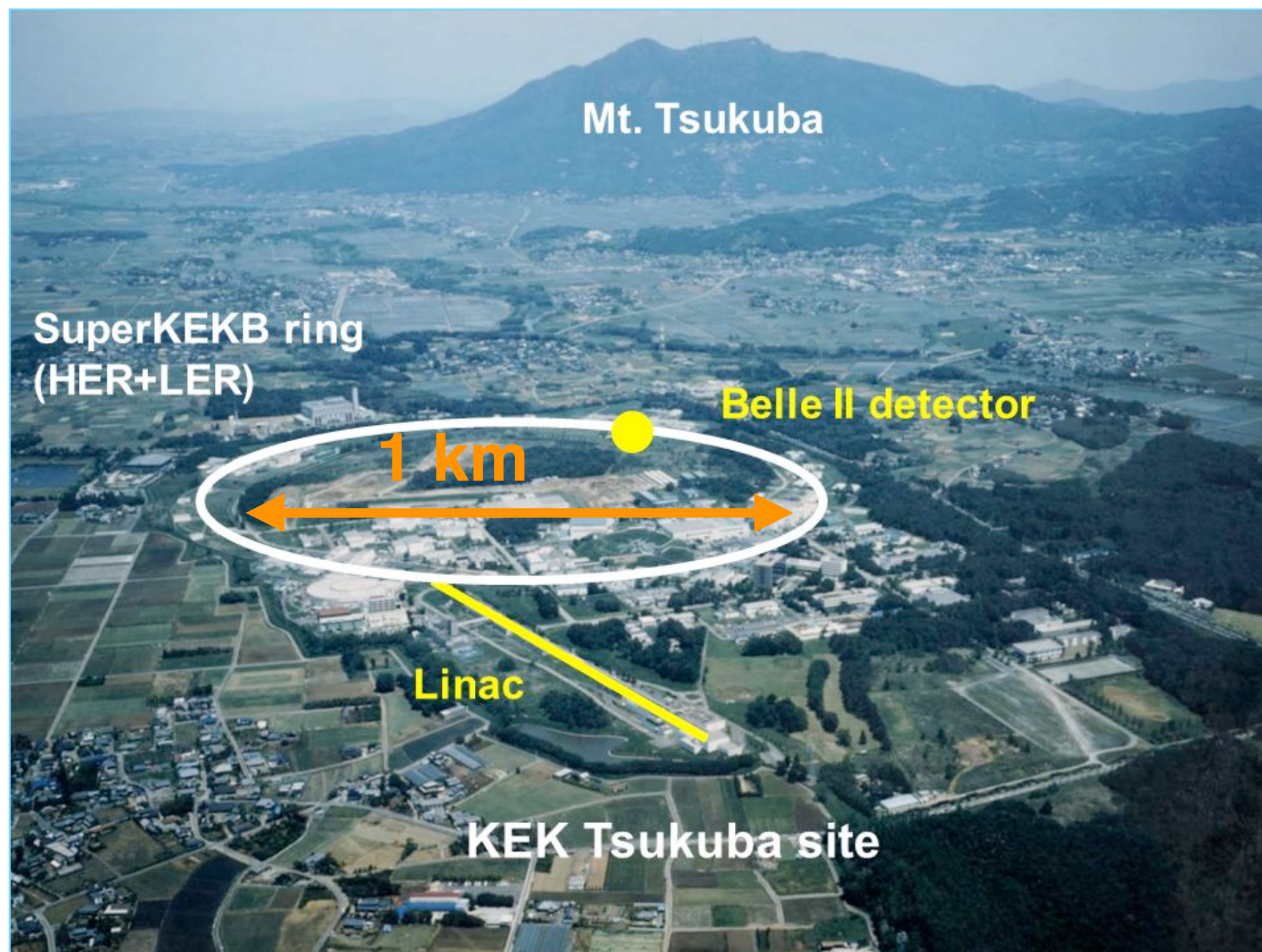
La détection des particules

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



L'expérience Belle II

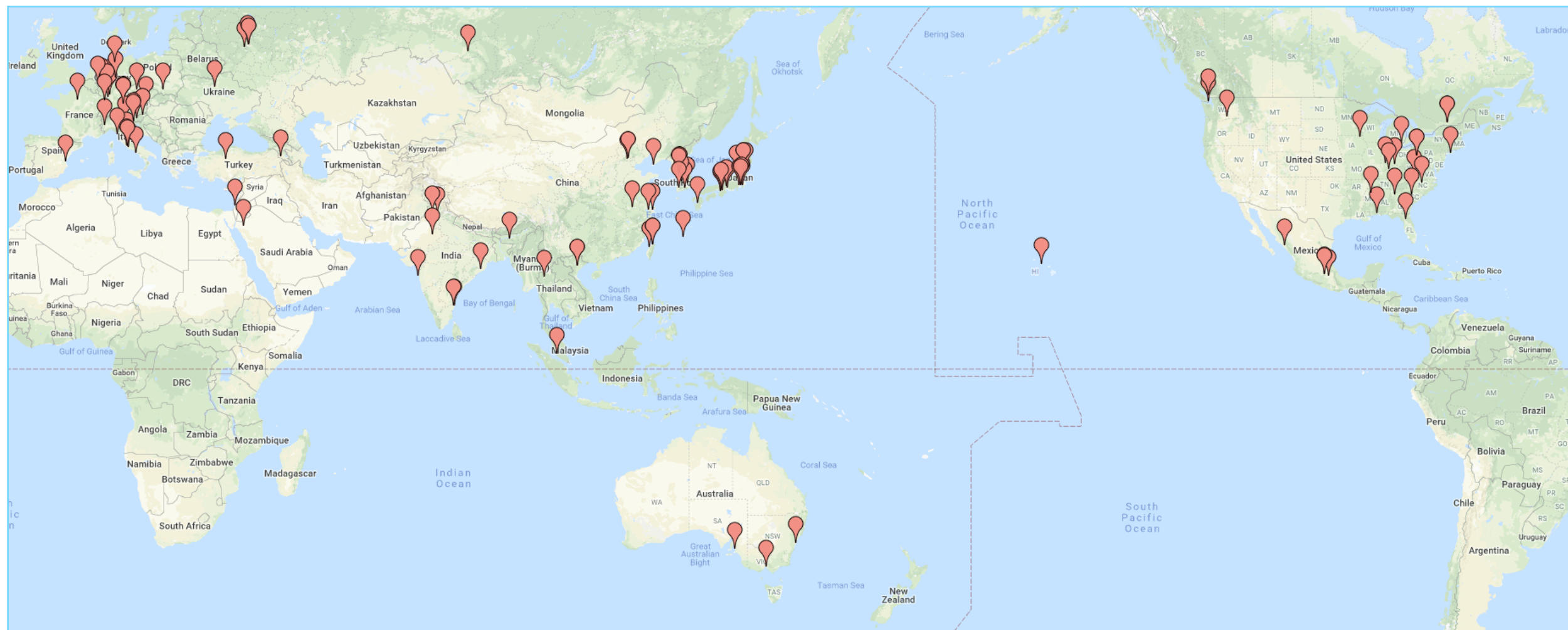
- ▶ Collisionneur $e^+ e^-$ SuperKEKB : le plus intense au monde, situé au Japon.
Ambition : produire 40x plus de collisions par seconde que LHC.
- ▶ Détecteur Belle II : enregistre les collisions de SuperKEKB depuis 2019.
- ▶ But de l'expérience : découvrir des manifestations quantiques de processus inconnus en physique.



Dimensions :
 $7 \times 7 \times 7.5 \text{ m}^3$

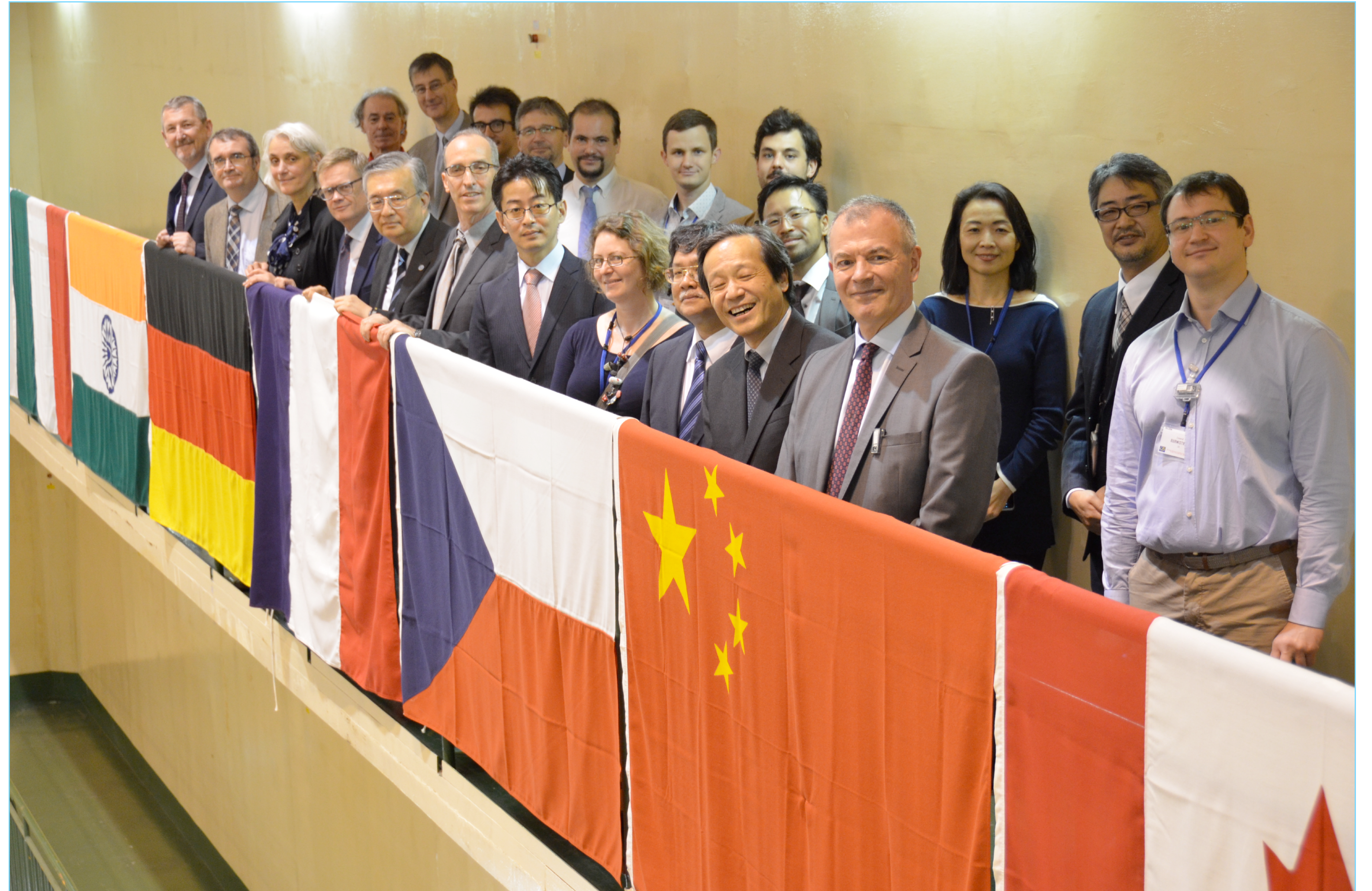
La collaboration internationale Belle II

- ▶ ~ 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.



Souvenirs de Belle II



ありがとうございます



Cosmology

DARK MATTER

Neutrino ~~CP~~

Proton Decay

AXIONS