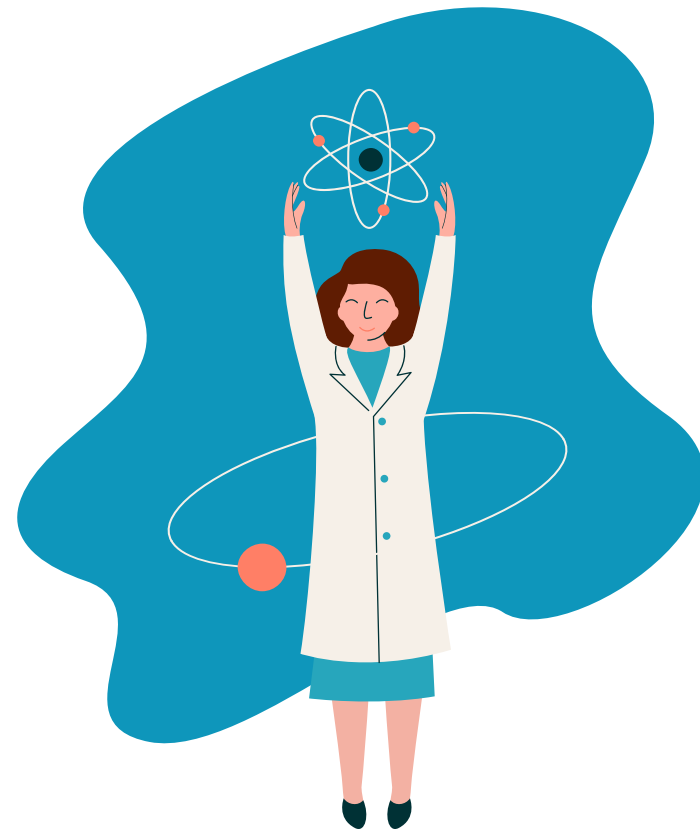


Le monde fascinant des particules élémentaires

Inès COMBES
Doctorante de l'expérience ATLAS à l'IJCLab

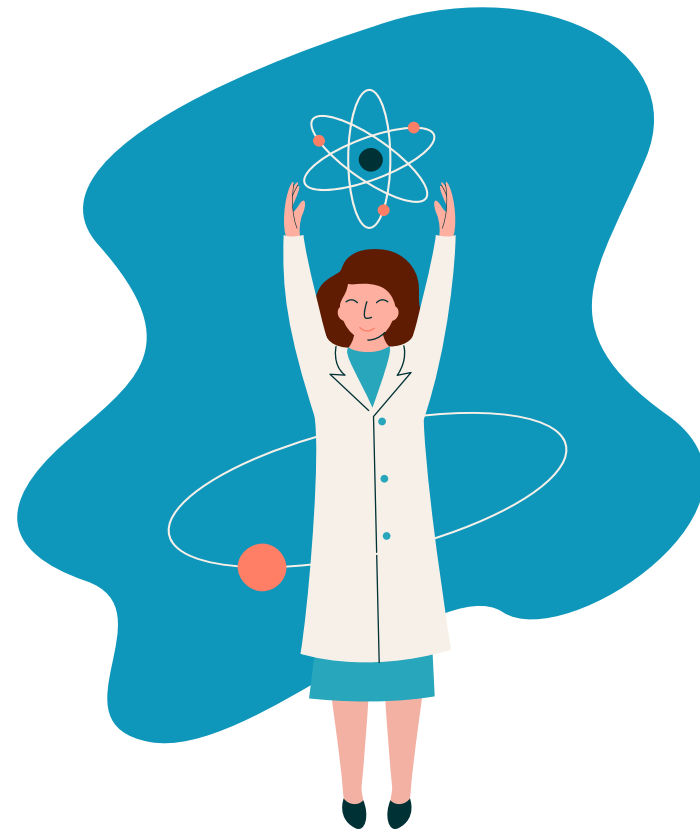
Masterclasses 2026

Physicien.ne



Comment fonctionne l'univers ?

Physicien.ne des particules



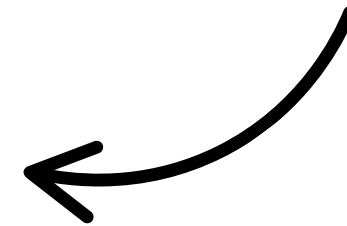
***De quoi est fait notre univers à la
plus petite échelle ?***

De quoi est fait notre univers ?

~ 1m



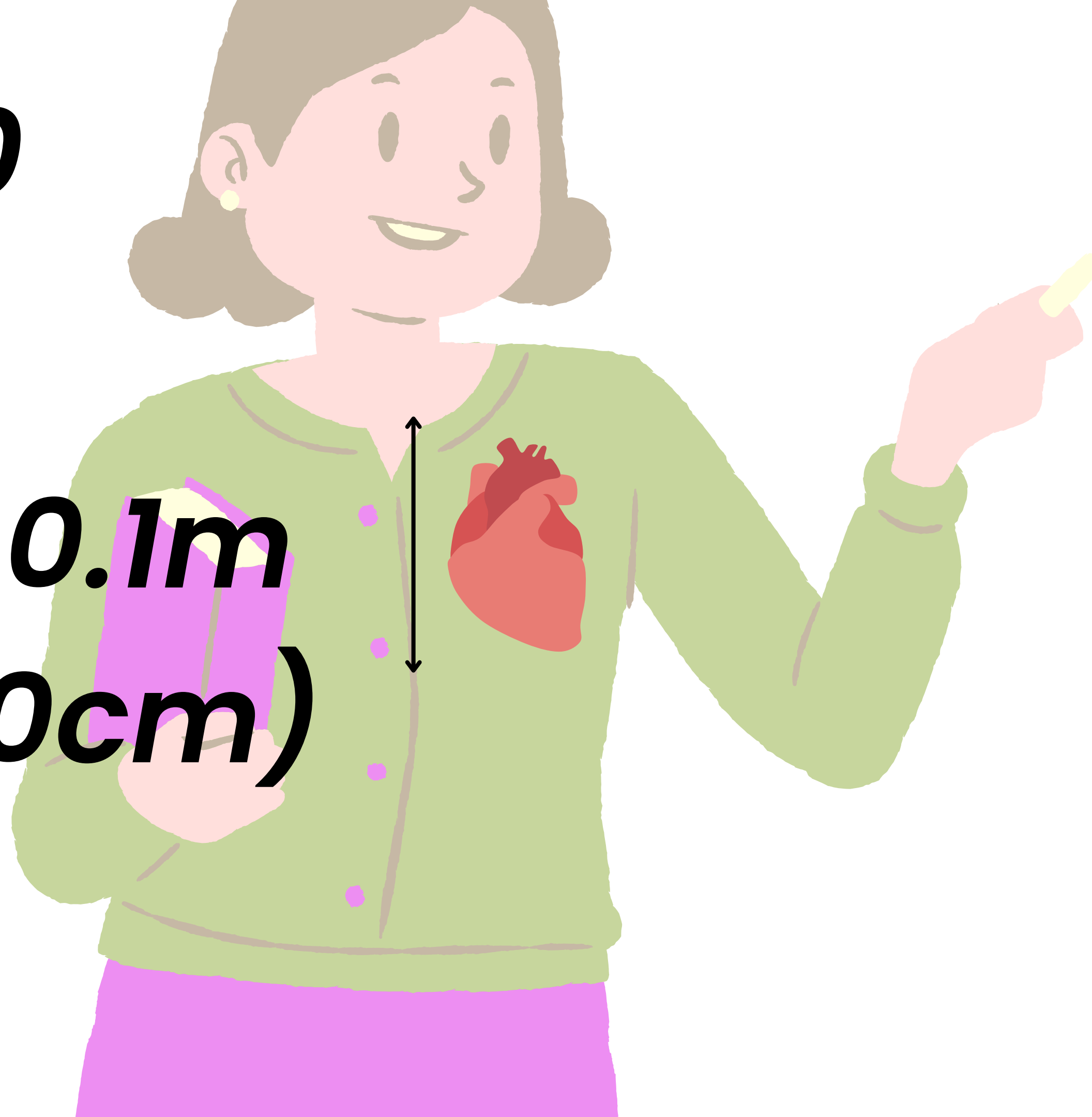
Inès (ou vous)

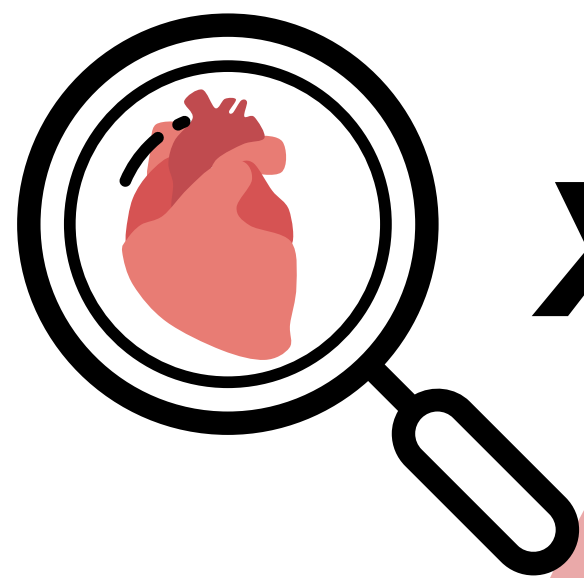




x10

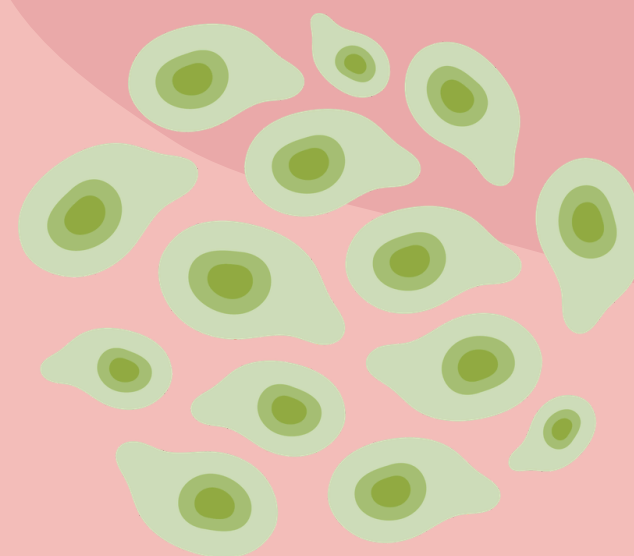
***~ 0.1m
(10cm)***

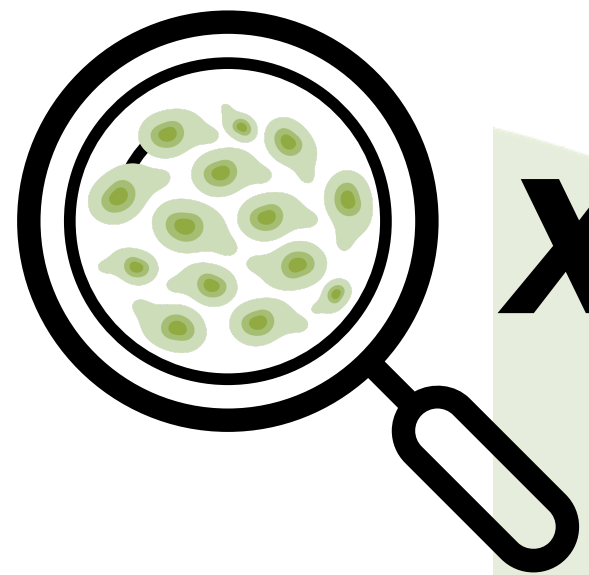




x10 000

~ 0.0000001 m





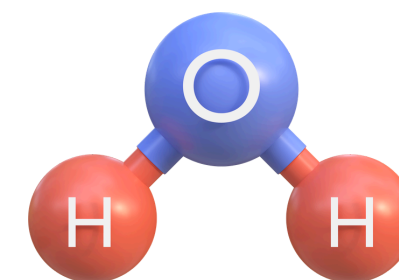
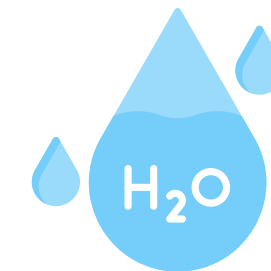
$\times 100\ 000$

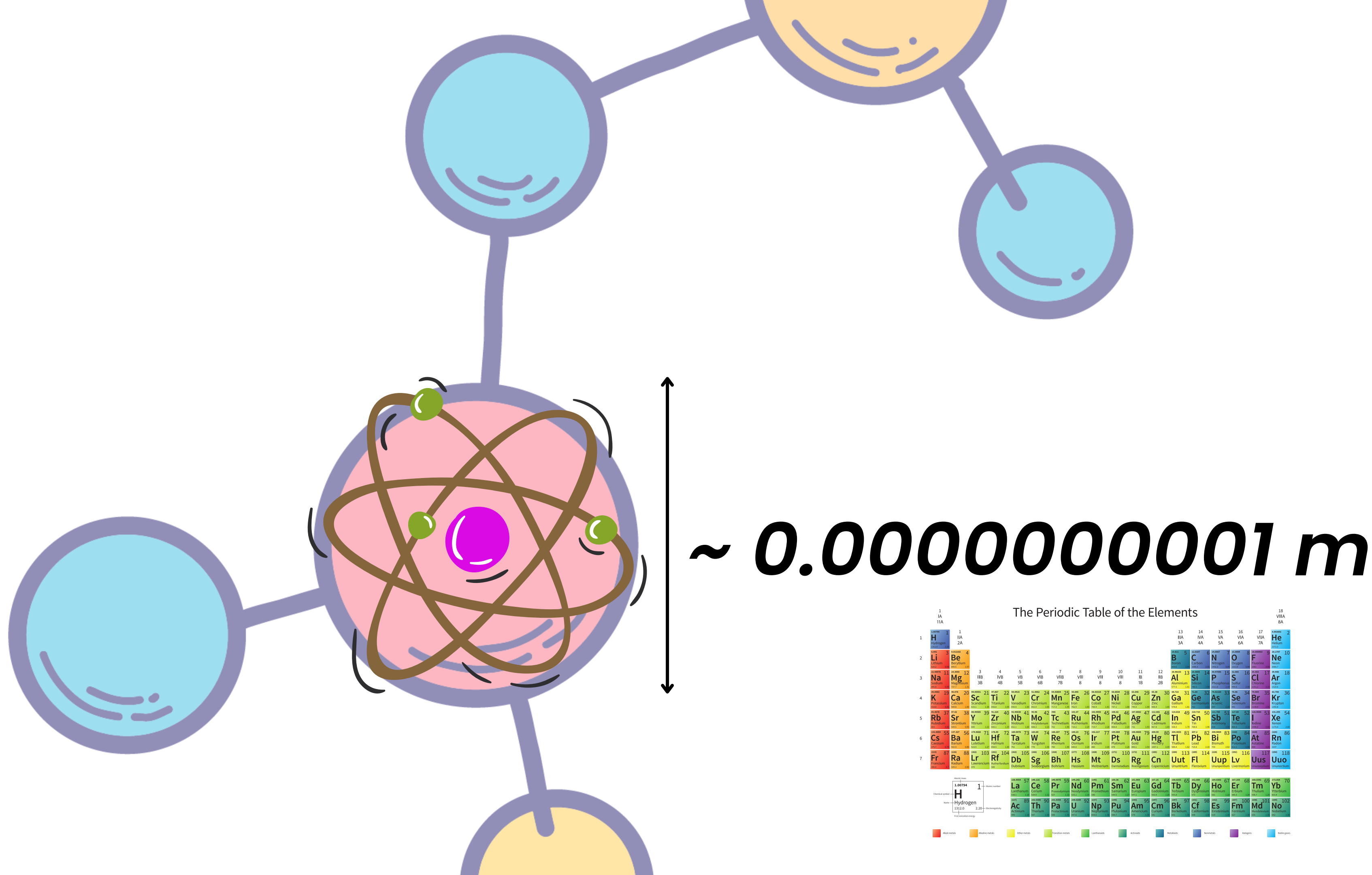
$\sim 0.00000000001\ m$

10 zéros



exemple :





The Periodic Table of the Elements

1

1A

H

Hydrogen

1.00794

2

8A

He

Helium

4.002602

3

1A

Li

Lithium

6.941

4

2A

Be

Beryllium

9.012182

5

3

Na

Sodium

22.989769

6

4

Mg

Magnesium

24.304

7

5

K

Potassium

39.0983

8

6

Ca

Calcium

40.078

9

7

Rb

Rubidium

85.4678

10

8

Sr

Strontium

87.62

11

9

Fr

Francium

223

12

10

Ra

Radium

226

13

3A

B

Boron

10.811

14

4A

C

Carbon

12.011

15

5A

N

Nitrogen

14.00643

16

6A

O

Oxygen

15.999

17

7A

F

Fluorine

18.998403

18

8A

Ne

Neon

20.1797

19

9A

Al

Aluminum

26.981538

20

10A

Si

Silicon

28.08558

21

11A

P

Phosphorus

30.973762

22

12A

S

Sulfur

32.06

23

13A

Cl

Chlorine

35.453

24

14A

Ar

Argon

39.948

25

15A

As

Arsenic

74.9216

26

16A

Se

Selenium

78.96

27

17A

Br

Bromine

79.904

28

18A

Kr

Krypton

83.798

29

15A

Fe

Iron

55.845

30

16A

Co

Cobalt

58.933195

31

17A

Ni

Nickel

58.6934

32

18A

Cu

Copper

63.546

33

19A

Zn

Zinc

65.38

34

20A

Ga

Gallium

69.723

35

21A

Ge

Germanium

72.630

36

22A

As

Arsenic

74.9216

37

23A

Se

Selenium

78.96

38

24A

Br

Bromine

79.904

39

25A

Kr

Krypton

83.798

41

27A

Ru

Ruthenium

101.07

42

28A

Rh

Rhodium

102.9055

43

29A

Pd

Palladium

106.42

44

30A

Ag

Silver

107.8682

45

31A

Cd

Cadmium

112.4144

46

32A

In

Indium

114.818

47

33A

Sn

Tin

118.710

48

34A

Sb

Antimony

121.757

49

35A

Te

Tellurium

127.6

50

36A

I

Iodine

126.90547

51

37A

Xe

Xenon

131.29

53

39A

La

Lanthanum

138.90547

54

40A

Ce

Cerium

140.12

55

41A

Pr

Praseodymium

140.90765

56

42A

Nd

Neodymium

144.242

57

43A

Pm

Promethium

145

58

44A

Sm

Samarium

150.36

59

45A

Eu

Europium

151.964

60

46A

Gd

Gadolinium

157.25

61

47A

Tb

Terbium

158.92532

62

48A

Dy

Dysprosium

162.5001

63

49A

Ho

Holmium

164.93032

64

50A

Er

Erbium

167.259

65

51A

Tm

Thulium

168.93032

66

52A

Yb

Ytterbium

173.05468

67

53A

Lu

Lutetium

174.967

68

54A

Hf

Hafnium

178.49

69

55A

Ta

Tantalum

180.94788

70

56A

W

Tungsten

183.84

71

57A

Re

Rhenium

186.207

72

58A

Os

Osmium

190.23

73

59A

Ir

Iridium

192.222

74

60A

Pt

Platinum

195.084

75

61A

Au

Gold

196.96657

76

62A

Hg

Mercury

200.59

77

63A

Tl

Thallium

204.3833

78

64A

Pb

Lead

207.2

79

65A

Bi

Bismuth

208.9804

80

66A

Po

Polonium

209

81

67A

At

Astatine

210

82

68A

Rn

Radon

222

83

69A

Ac

Actinium

227

84

70A

Th

Thorium

232.0377

85

71A

Pa

Protactinium

231.03688

86

72A

U

Uranium

238.02891

87

73A

Np

Neptunium

237

88

74A

Pu

Plutonium

244

89

75A

Am

Americium

243

90

76A

Cm

Curium

247

91

77A

Bk

Berkelium

247

92

78A

Cf

Californium

251

93

79A

Es

Einsteinium

252

94

80A

Fm

Fermium

257

95

81A

Md

Mendelevium

258

96

82A

No

Nobelium

259

97

83A

Lr

Lawrencium

262

98

84A

Uuo

Ununoctium

261

Other metals

Lanthanoids

Actinoids

Metals

Nonmetals

Halogens

Noble gases

1.00794

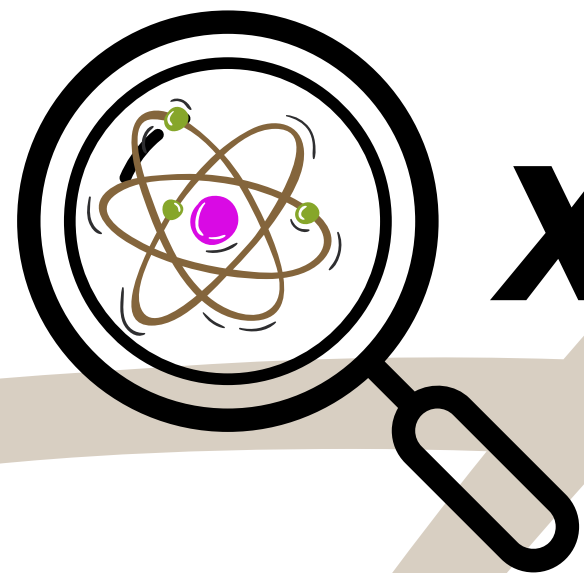
1

Hydrogen

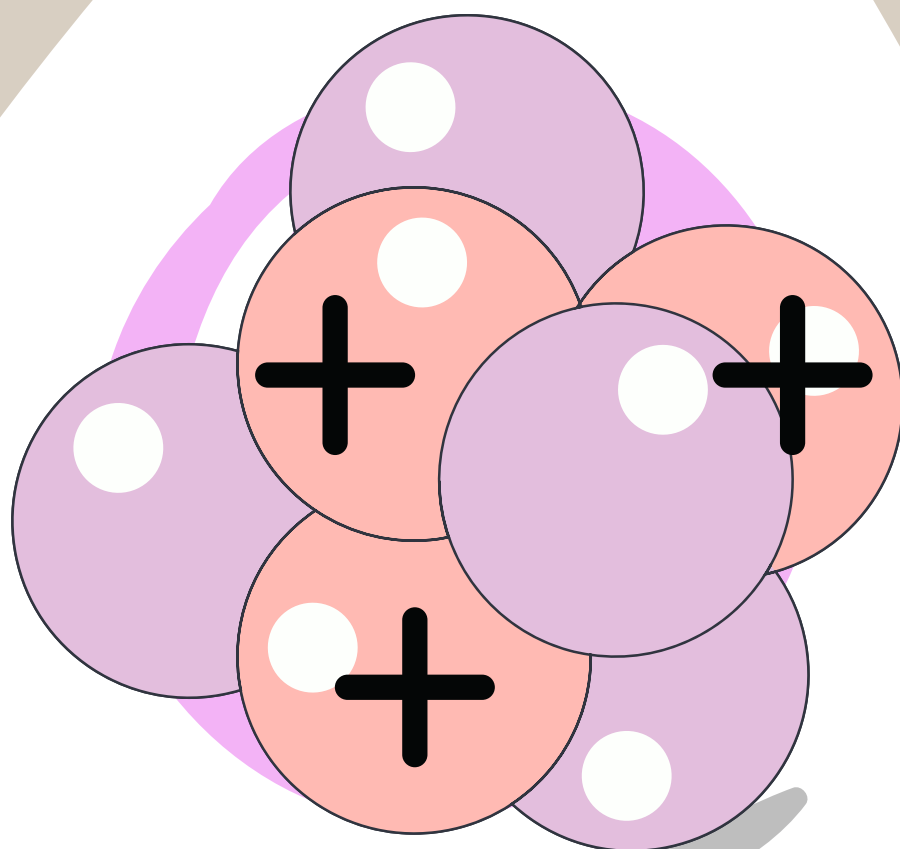
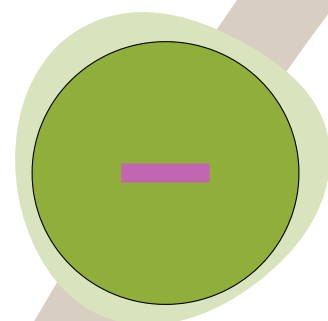
1312.0

2.20

Electronegativity



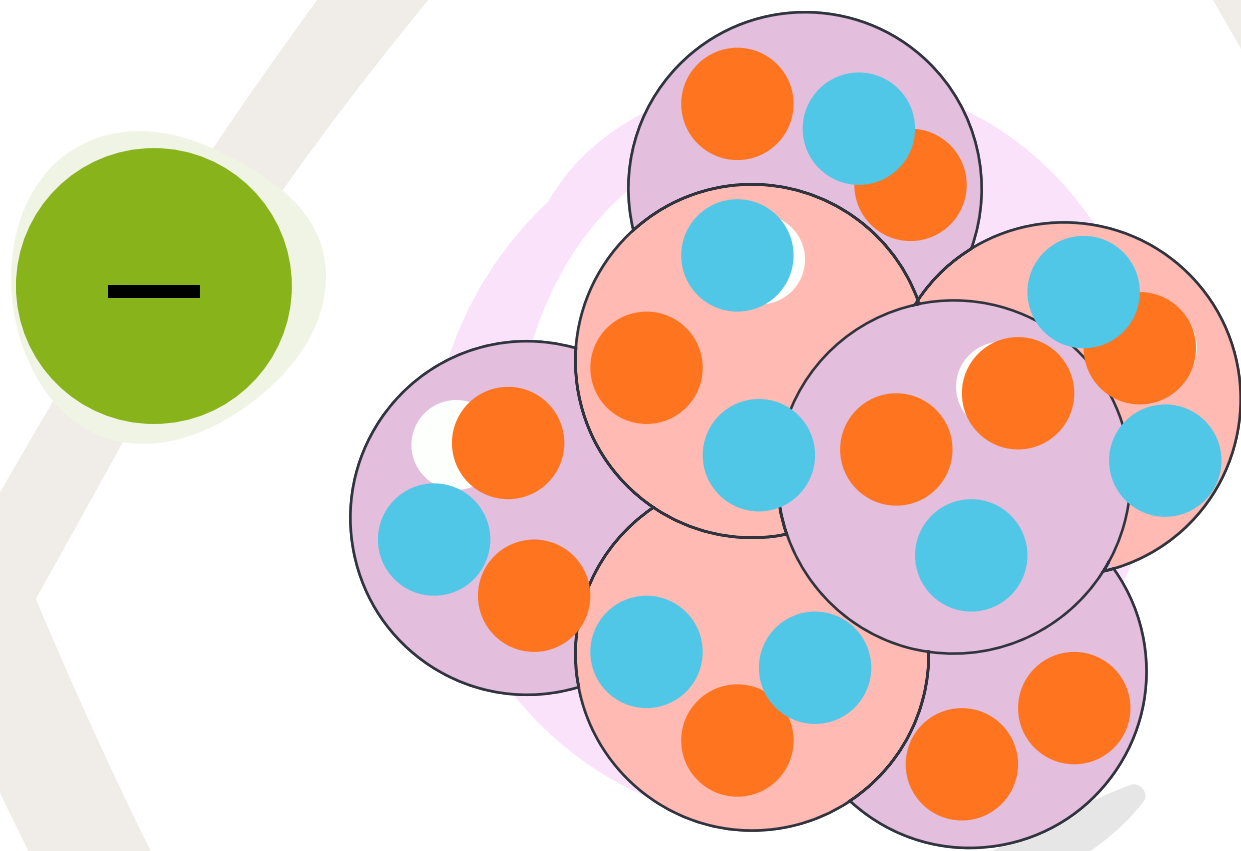
x100 000



~ 0.0000000000000001 m

15 zéros

Électrons...

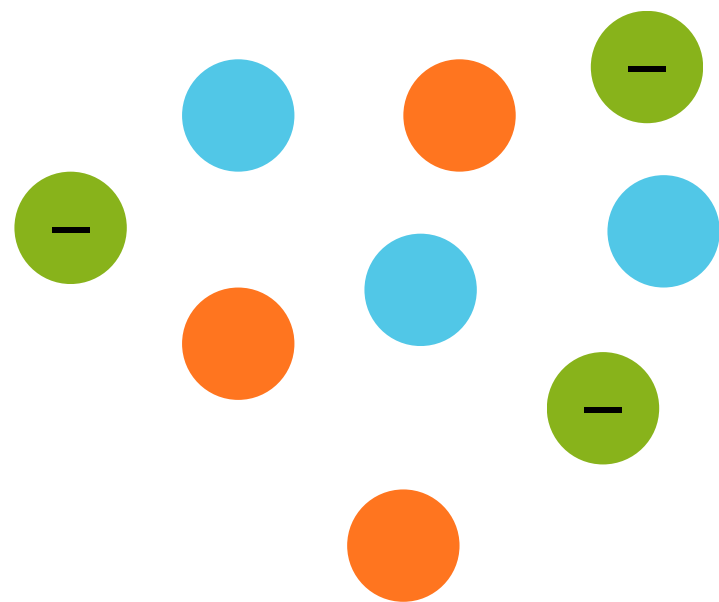
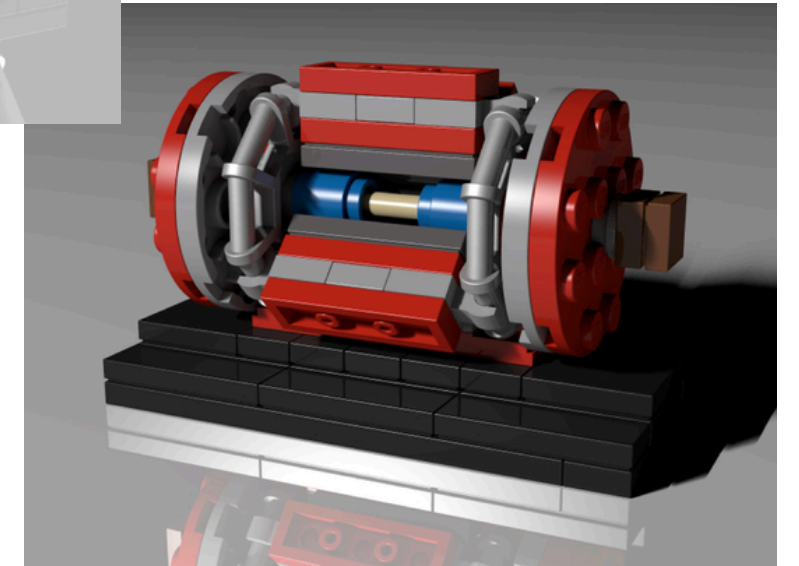
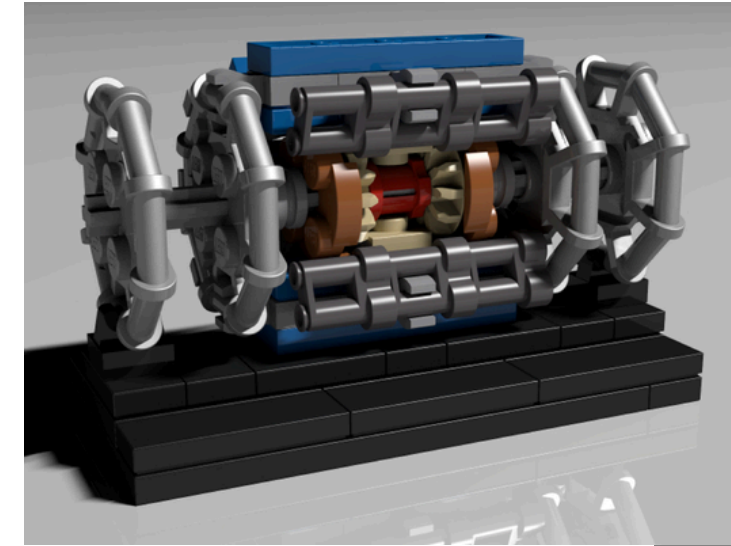
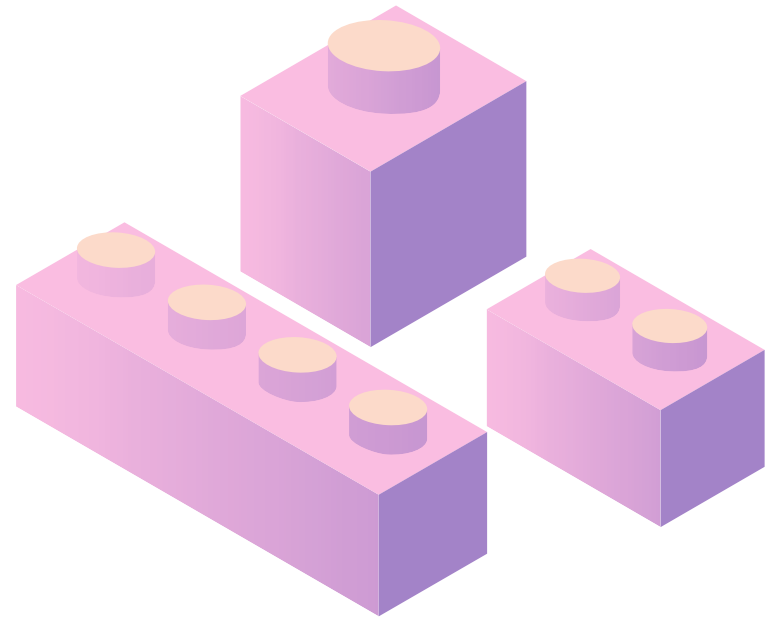


et quarks...

... sont des
particules
élémentaires

Plus petits
éléments connus
(à ce jour 😊)

Comprendre les « briques ou particules » élémentaires de la matière



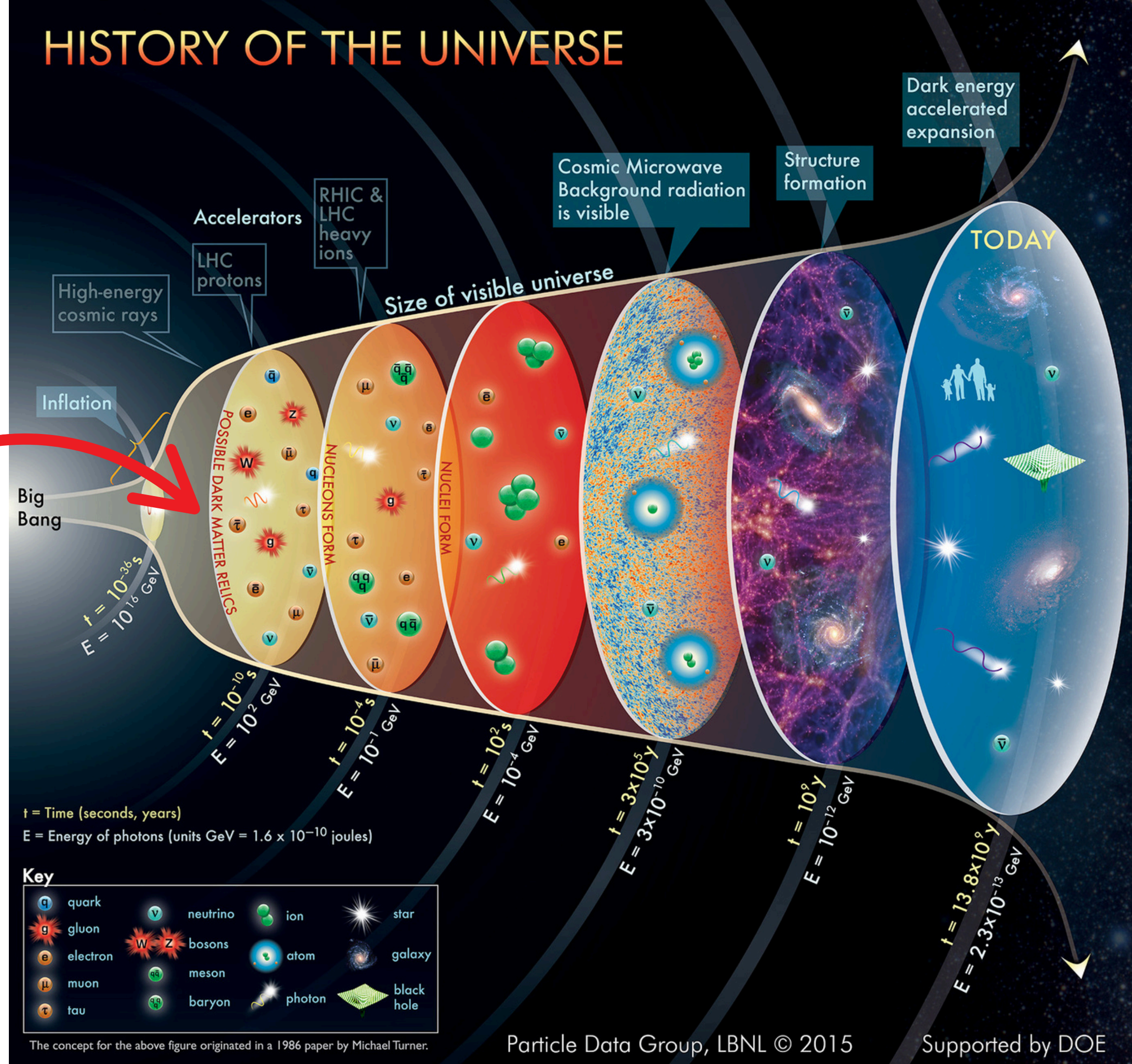
Permettre de comprendre de quoi est fait notre univers....

Mais aussi là où tout commence...

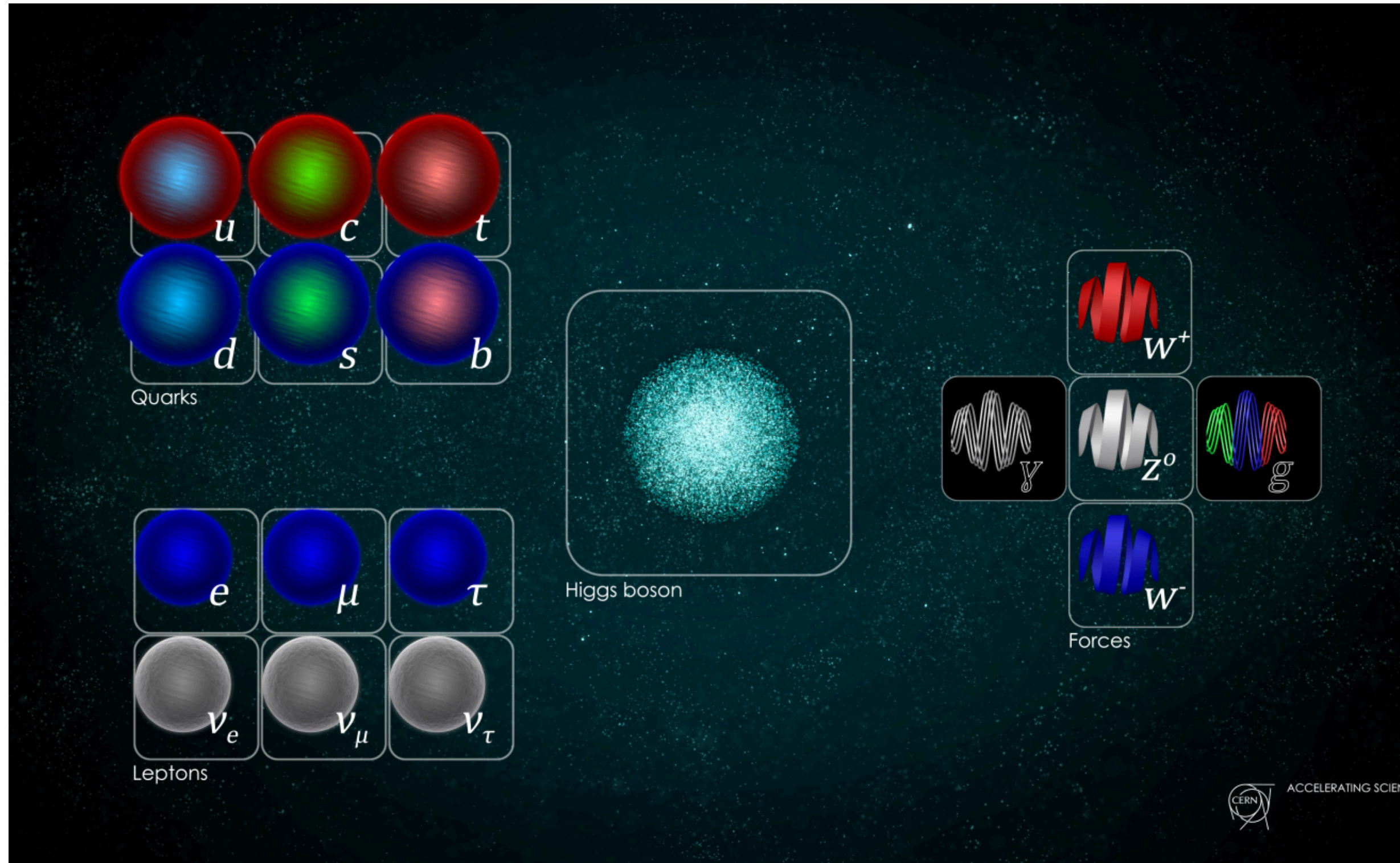
Chercher les briques les plus fondamentales de notre univers

=

remonter dans le temps, nous rapprocher du début de l'univers et comprendre ce qui s'y est passé ! 



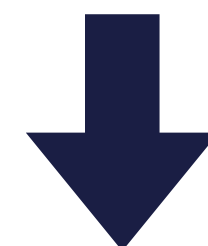
Le Modèle standard de la physique des particules



Regroupe toutes
les particules
élémentaires
connues !



Famille des fermions



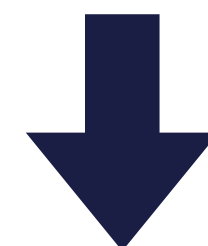
Particules de
matière

Matière stable
(nous !) : électron
et quarks up et
down

1ère génération
de particules



Famille des fermions



Particules de
matière

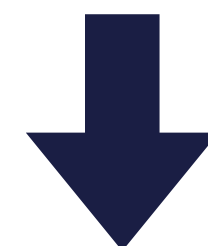
Matière stable
(nous !) : électron
et quarks up et
down

1ère génération
de particules

enfin presque 😊



Famille des fermions



Particules de
matière

Matière stable (nous !) :
électron et quarks up et
down

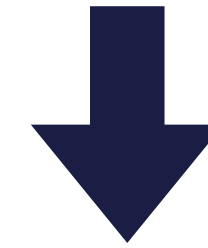
+ neutrino =

1ère
génération
de particules

particules de matière les + légères
de l'univers, environ 340/cm³
venant direct du Big Bang! 🌌

énergie manquante à la
désintégration beta: même Pauli
qui l'a postulé n'y croyait pas ! 🙄

Famille des fermions

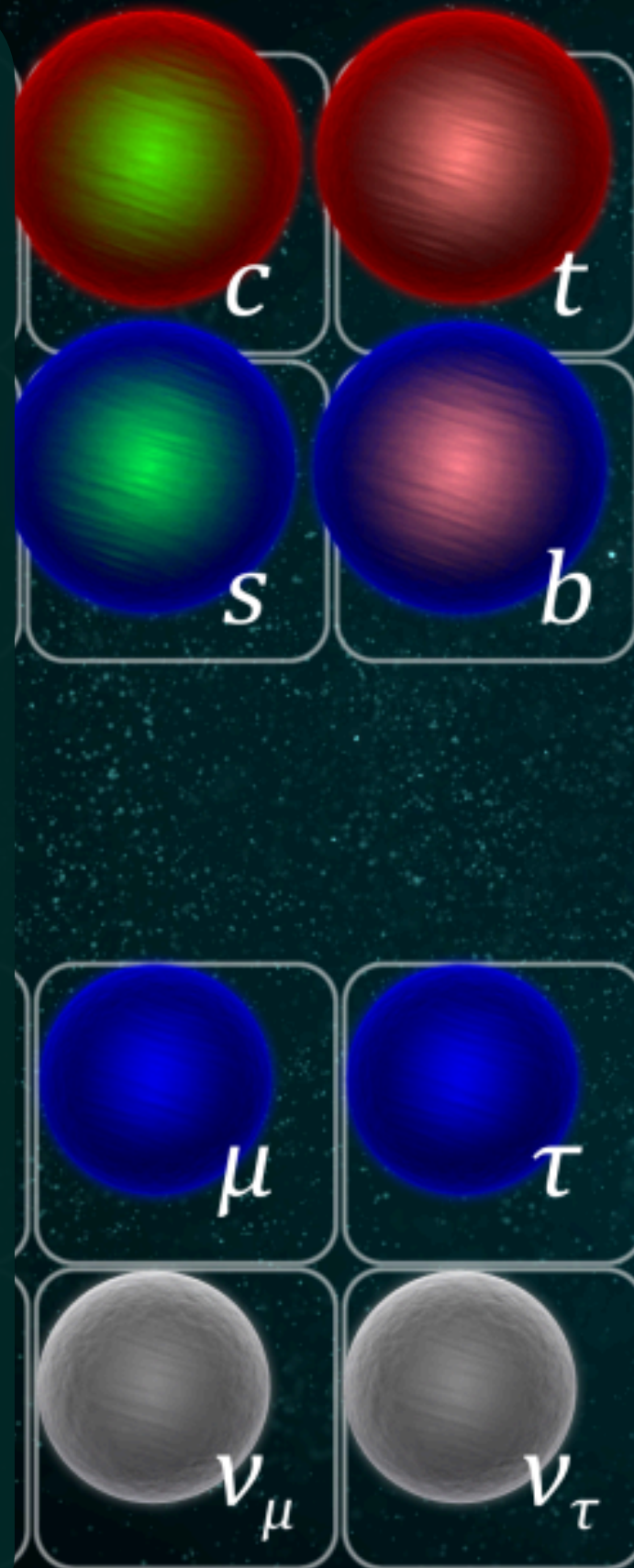


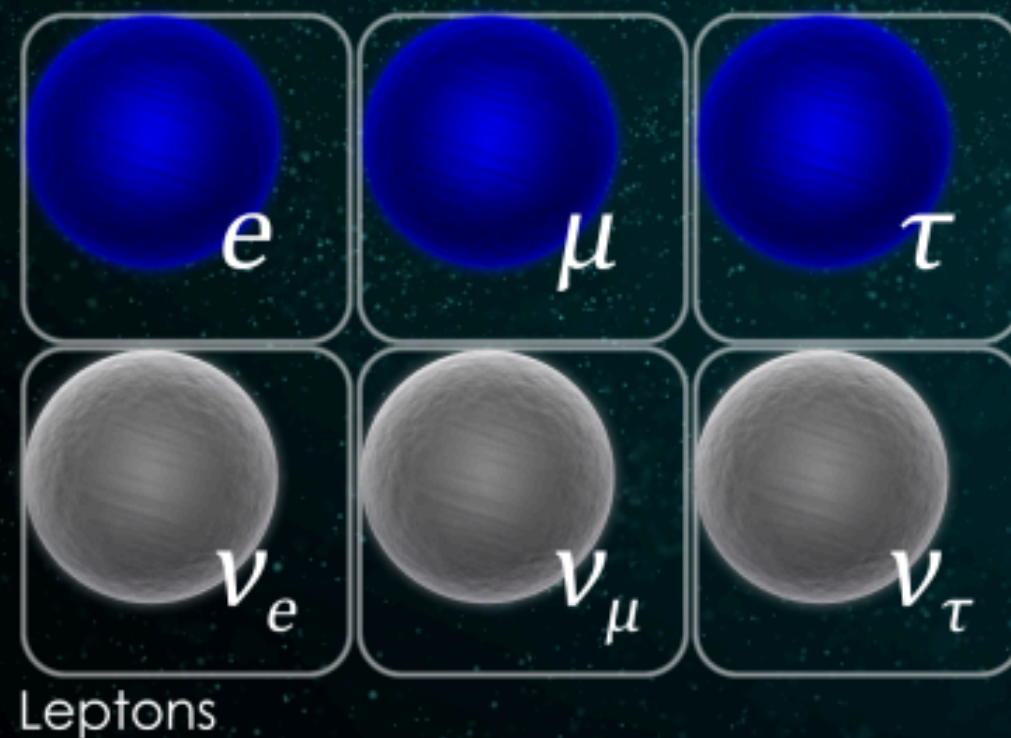
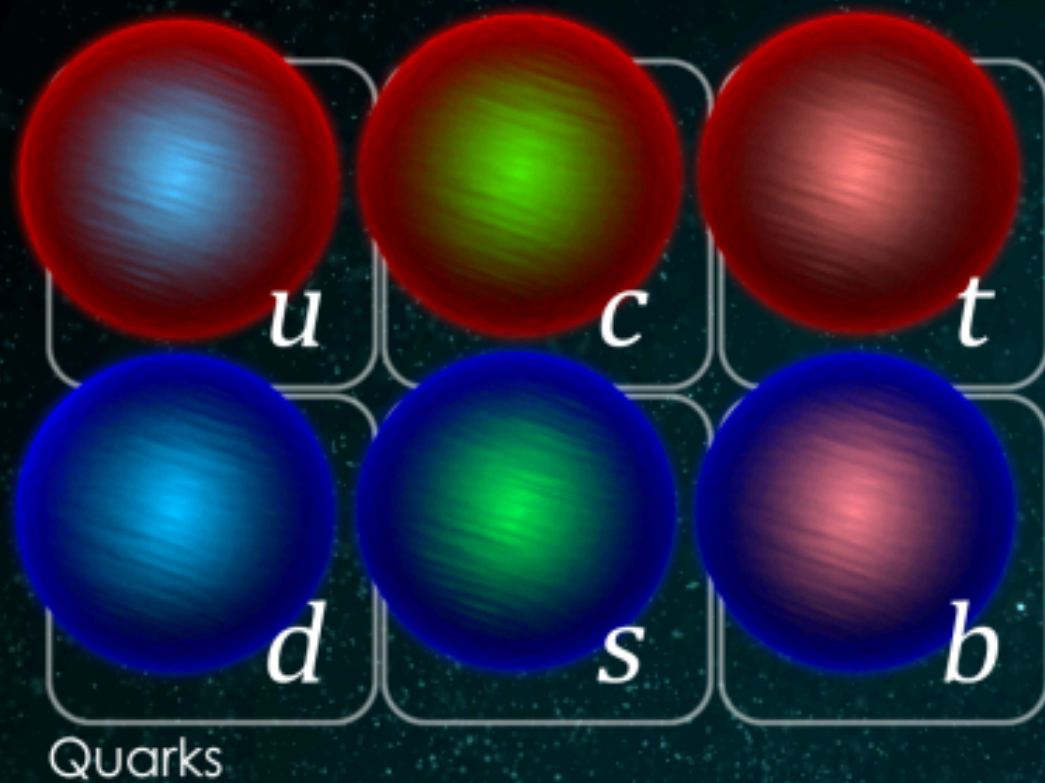
Particules de
matière

2e et 3e
générations
de particules

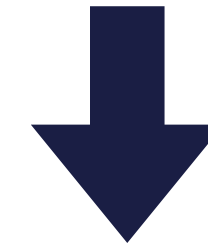
particules + instables et
massives

↪ Matière produite lors
d'évènements
particuliers dans
l'univers (Big Bang,
explosion d'étoile,
fission nucléaire, au
LHC...) : le reste !





Famille des fermions

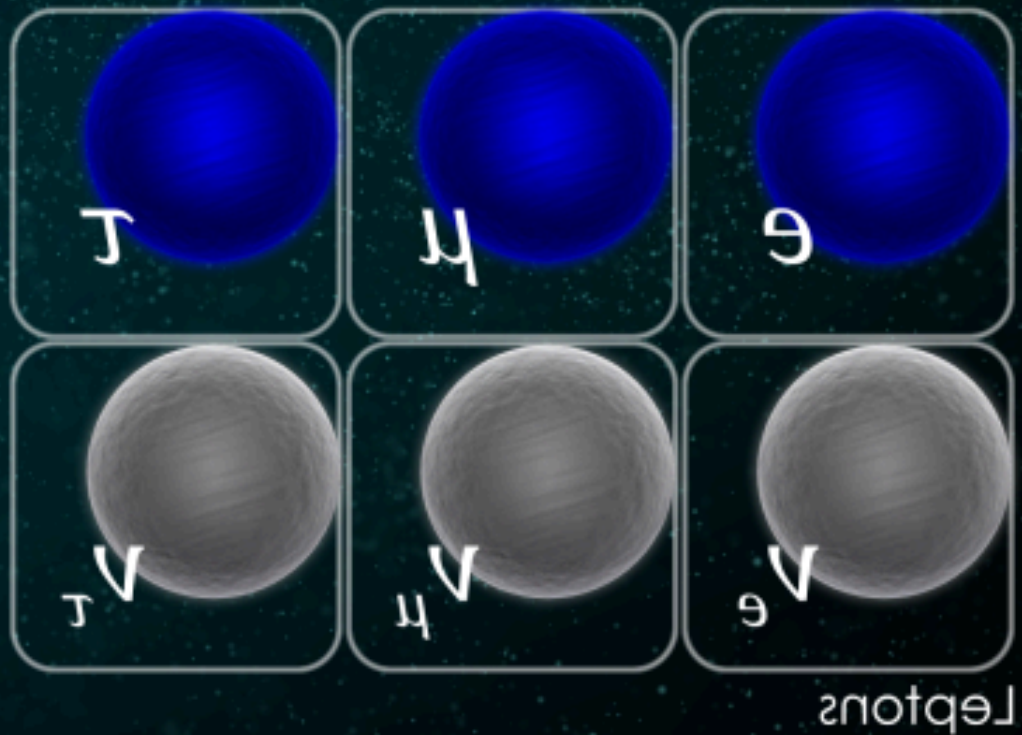
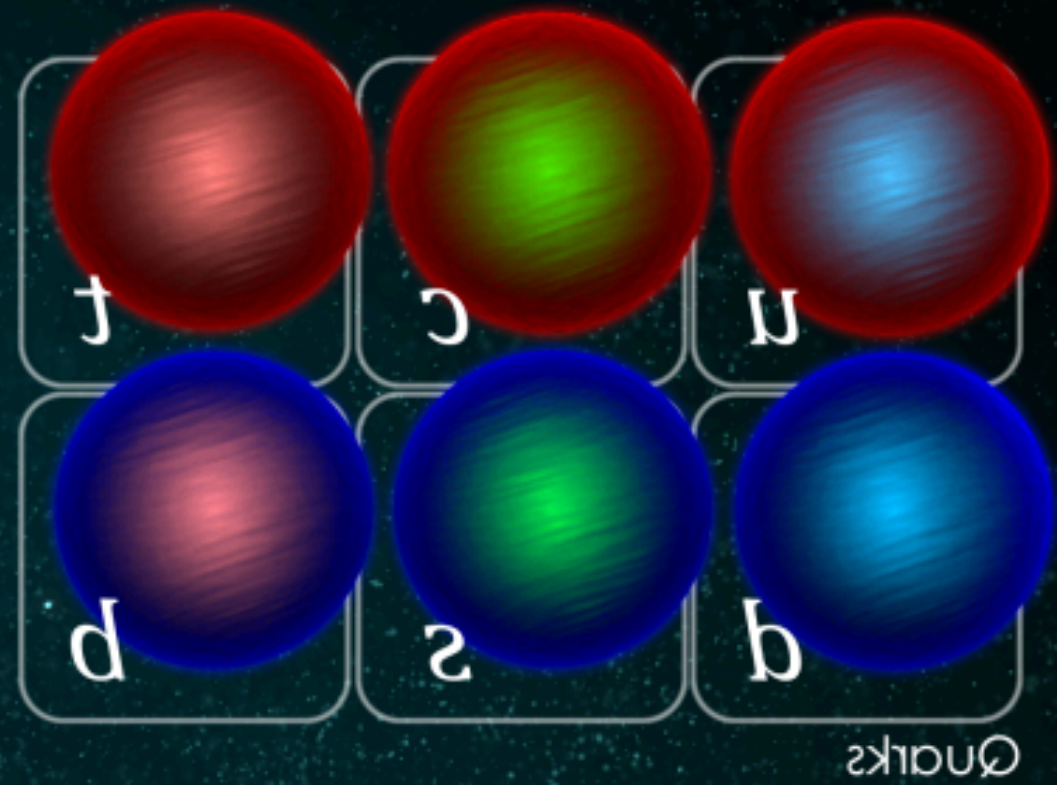


Particules de
matière

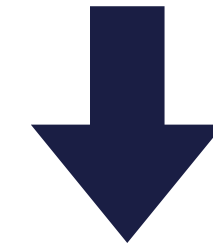


Matière stable
(nous !) : électron
et quarks up et
down

Matière produite lors
d'évènements
particuliers dans
l'univers (Big Bang,
explosion d'étoile,
fission nucléaire, au
LHC...) : le reste !



Famille des fermions

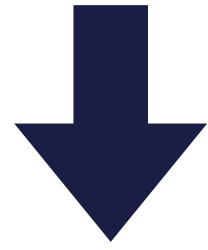


Particules
d'**antimatière**



même propriétés
sauf charges
opposées !

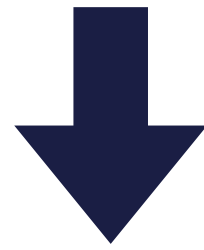
Famille des bosons



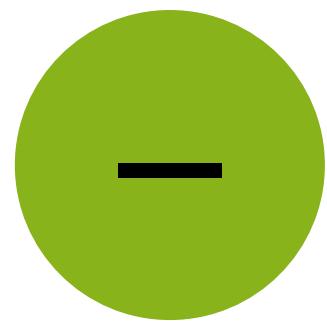
Particules
d'interactions



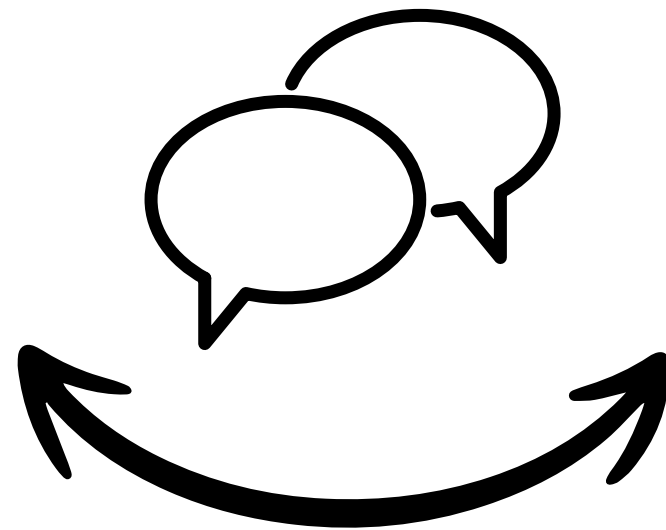
Famille des bosons



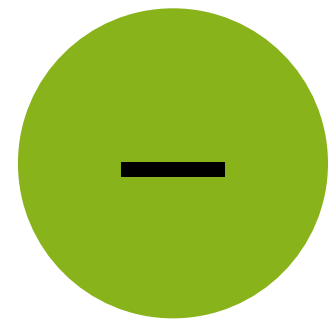
Particules
d'interactions



Electron 1
fermion



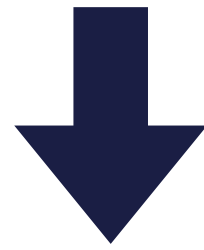
Photon
BOSON



Electron 2
fermion



Famille des bosons



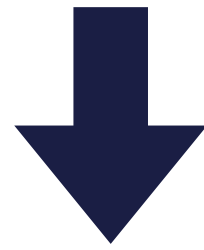
Particules d'interactions

4 interactions fondamentales :

- Electromagnétisme : photon => l'aimant sur votre frigo, la lumière autour de vous



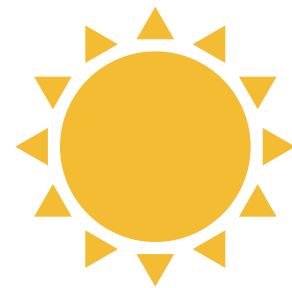
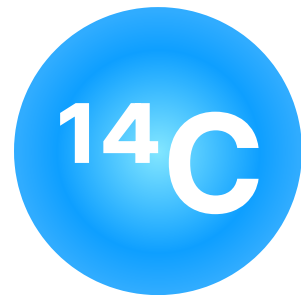
Famille des bosons



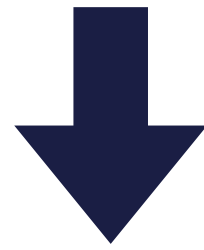
Particules d'interactions

4 interactions fondamentales :

- Electromagnétisme : photon => l'aimant sur votre frigo, la lumière autour de vous
- Interaction faible : Z/W => radioactivité



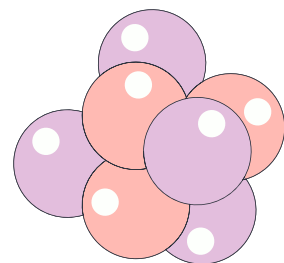
Famille des bosons



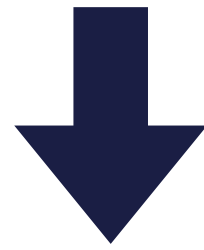
Particules d'interactions

4 interactions fondamentales :

- Electromagnétisme : photon => l'aimant sur votre frigo, la lumière autour de vous
- Interaction faible : Z/W => radioactivité
- Interaction forte : gluons => tient les quarks ensemble dans le proton (noyau atome)



Famille des bosons



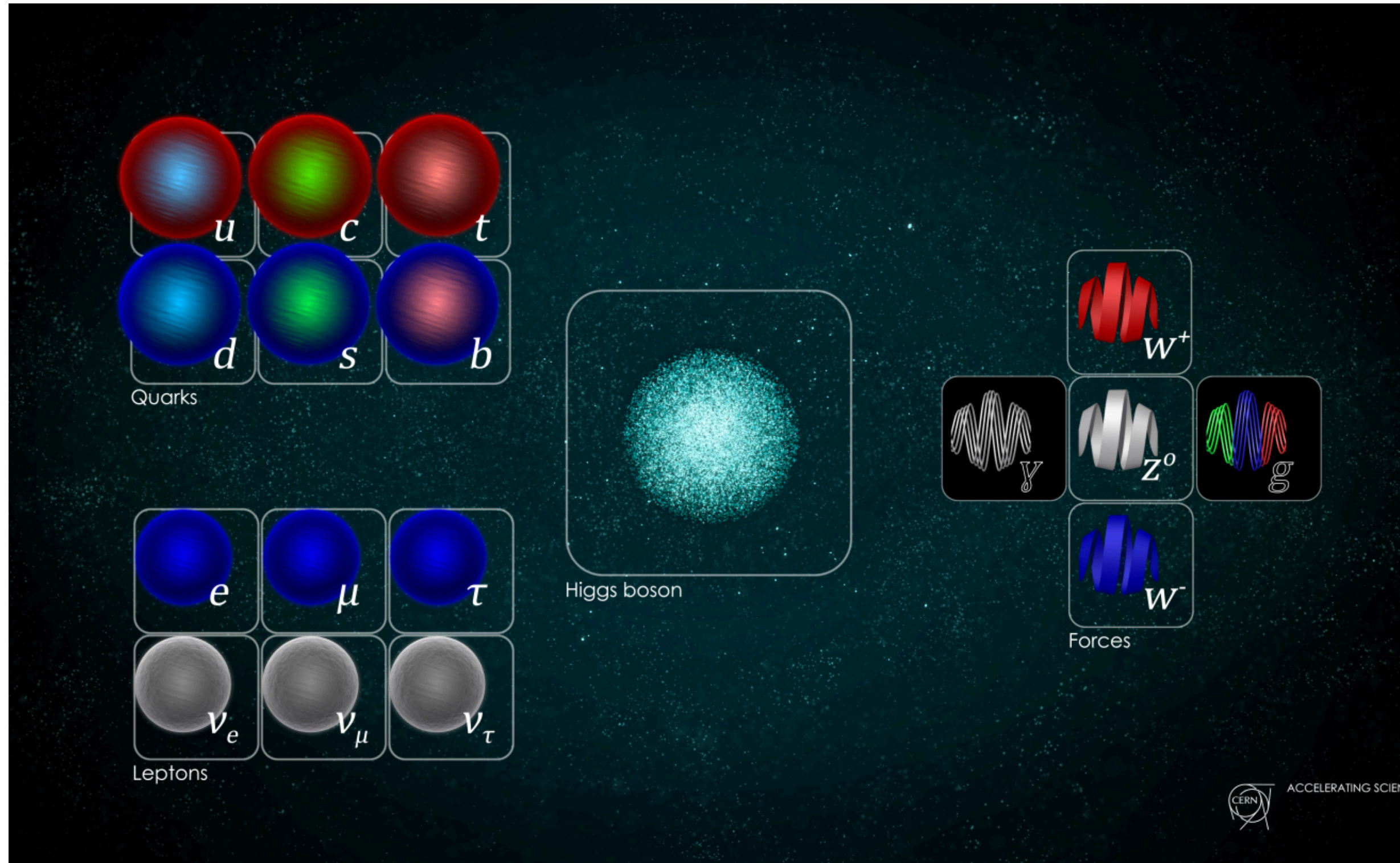
Particules d'interactions

4 interactions fondamentales :

- Electromagnétisme : photon => l'aimant sur votre frigo, la lumière autour de vous
- Interaction faible : Z/W => radioactivité
- Interaction forte : gluons => tient les quarks ensemble dans le proton (noyau atome)
- Gravitation => *PAS DE BOSON ASSOCIÉ*



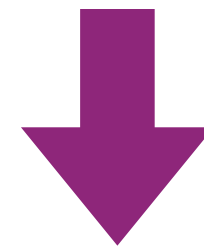
Le Modèle standard de la physique des particules



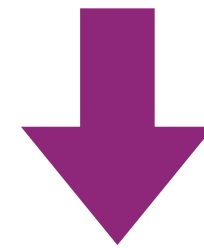
Quelle est la
particule au
centre ?

Le problème fascinant de la masse

Constat : nous sommes **massifs**, et les **particules** doivent l'être aussi !



Problème : Le **modèle standard** tel que présenté précédemment **ne permet pas** de prédire proprement leur **masse**



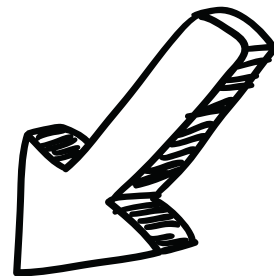
Quelle solution ?



L'hypothèse du boson de Higgs

En 1964...

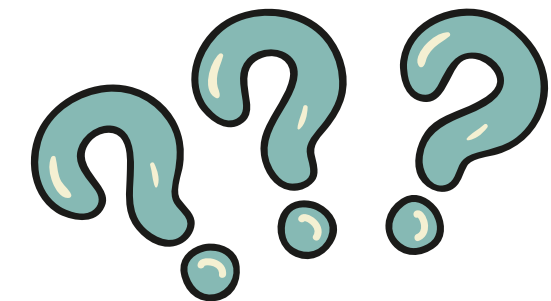
Théoriciens



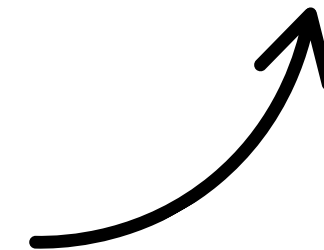
*Peter Higgs, Robert
Brout et François Englert*



Boson de Higgs pour
que les particules
massives du Modèle
Standard aient une
masse



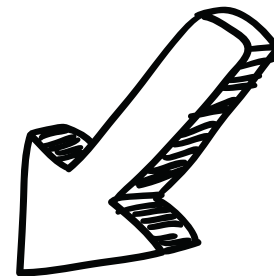
Est-ce qu'il existe ?



L'hypothèse du boson de Higgs

En 1964...

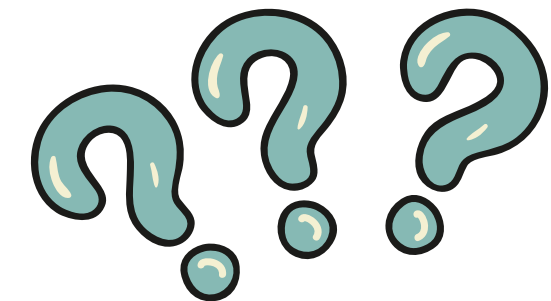
Théoriciens



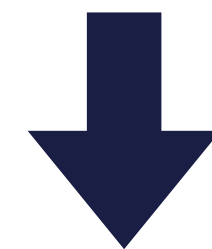
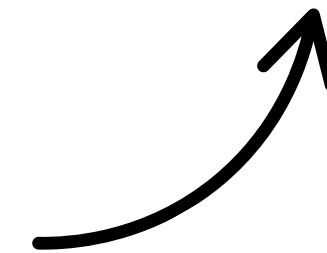
*Peter Higgs, Robert
Brout et François Englert*



Boson de Higgs pour
que les particules
massives du Modèle
Standard aient une
masse



Est-ce qu'il existe ?



travail des
expérimentateurs

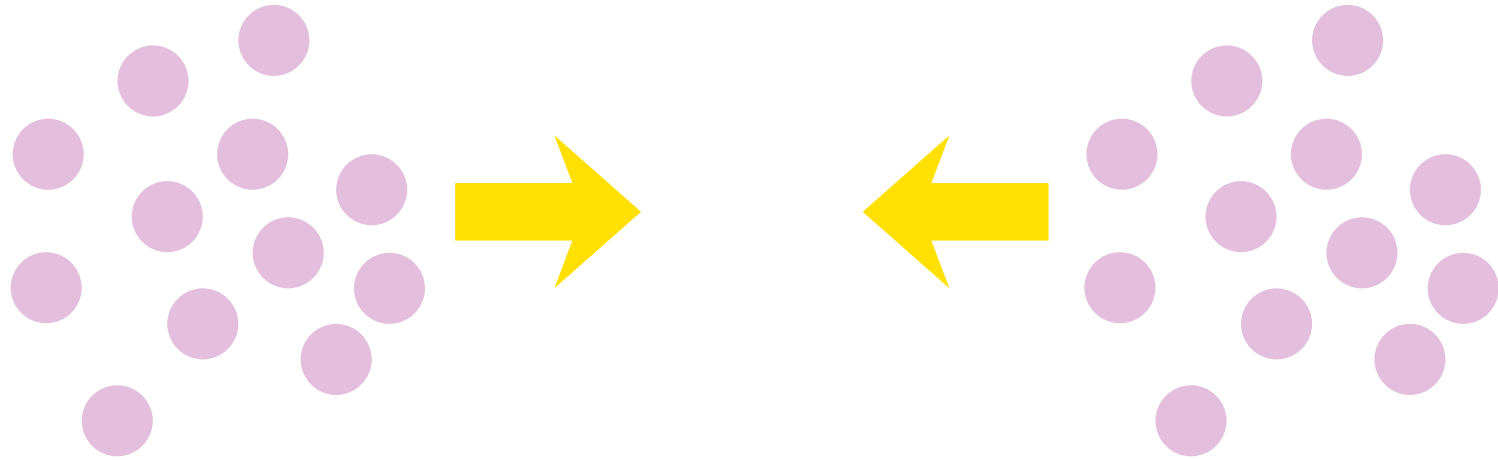
Le Grand collisionneur de hadrons (LHC)

- ★ Tunnel 100m sous terre de 27km de long !
- ★ L'un des endroits le plus froid et vide sur terre, plus grande installation supraconductrice (1700 aimants !)
- ★ Entre la France et la Suisse



Le Grand collisionneur de hadrons (LHC)

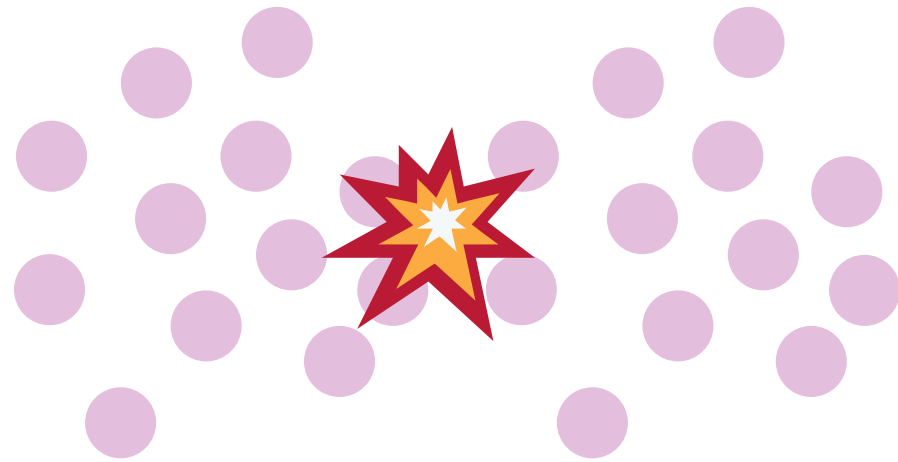
6.5 TeV presque à la vitesse de la lumière ! 6.5 TeV



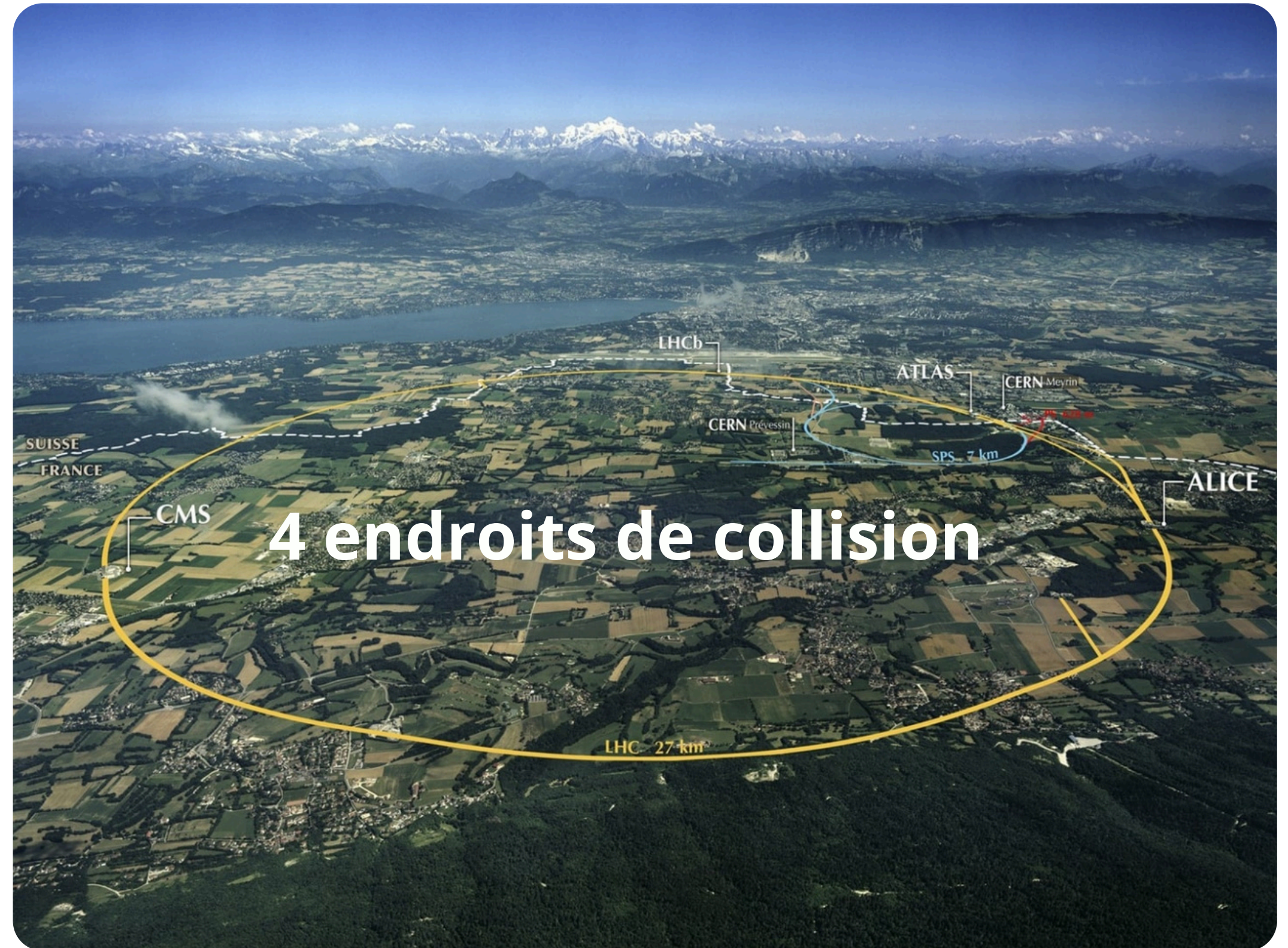
Accélérations de paquets de protons
~ 100 000 000 000 protons/paquet



Le Grand collisionneur de hadrons (LHC)



toutes les 25 ns
(~ milliardième de secondes)



Comment voir les collisions ?

Comment feriez-vous pour capturer des images de ce que vous voyez ?



Pour voir les particules...



Grosses "caméras" ou "microscopes",
appelés **détecteurs**

ALICE



LHCb



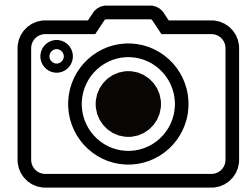
CMS



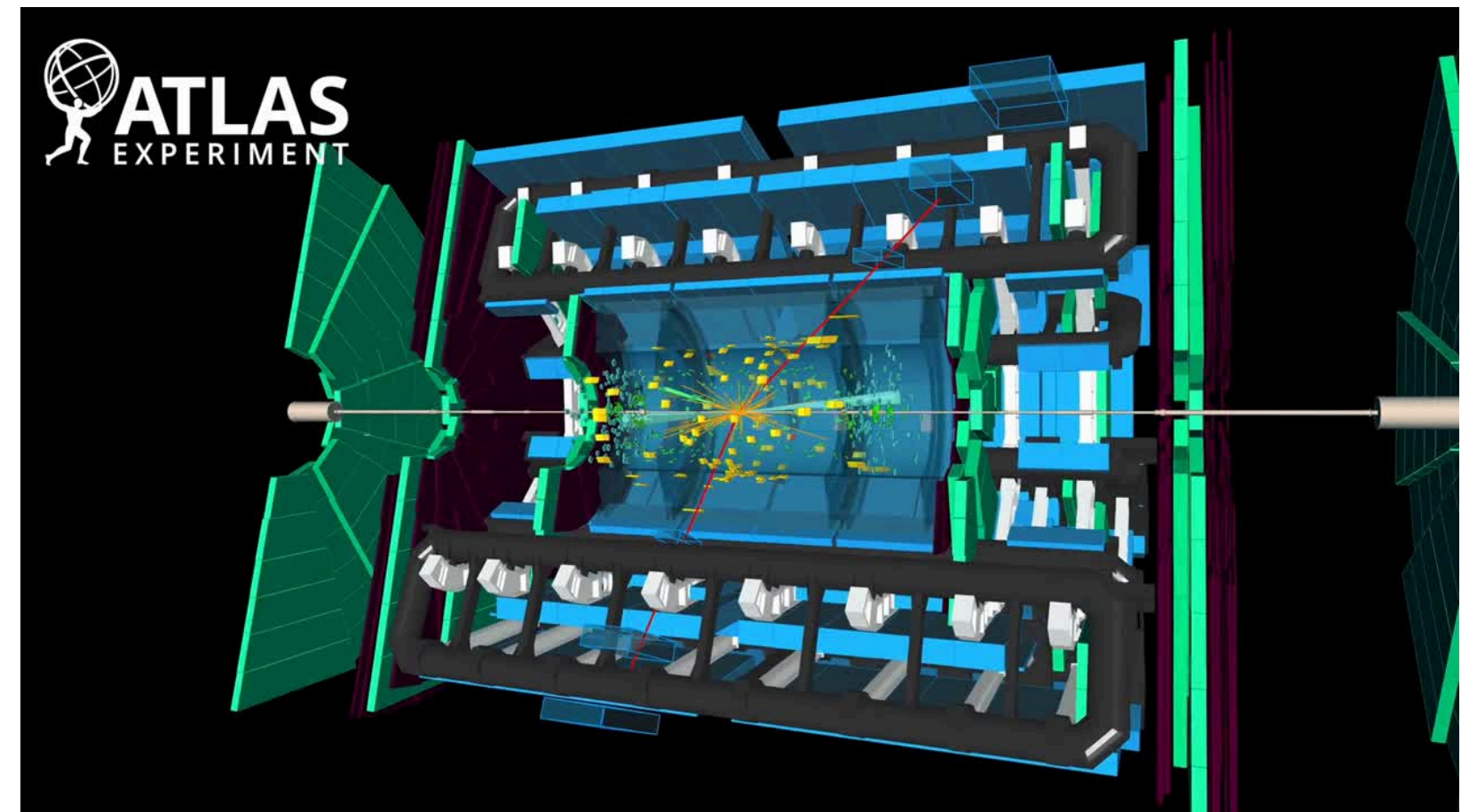
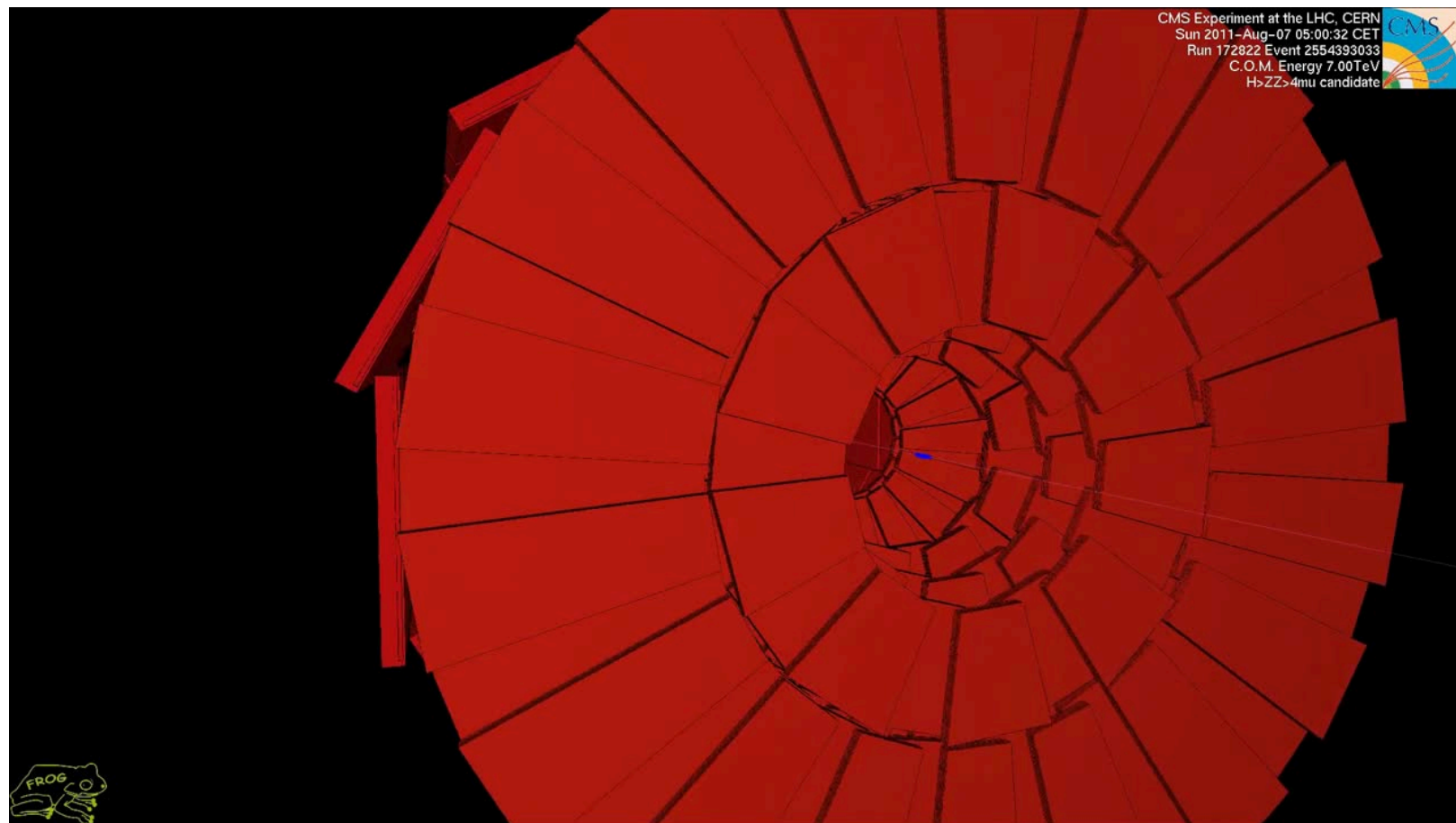
ATLAS



Et alors... le boson de Higgs existe-il ?

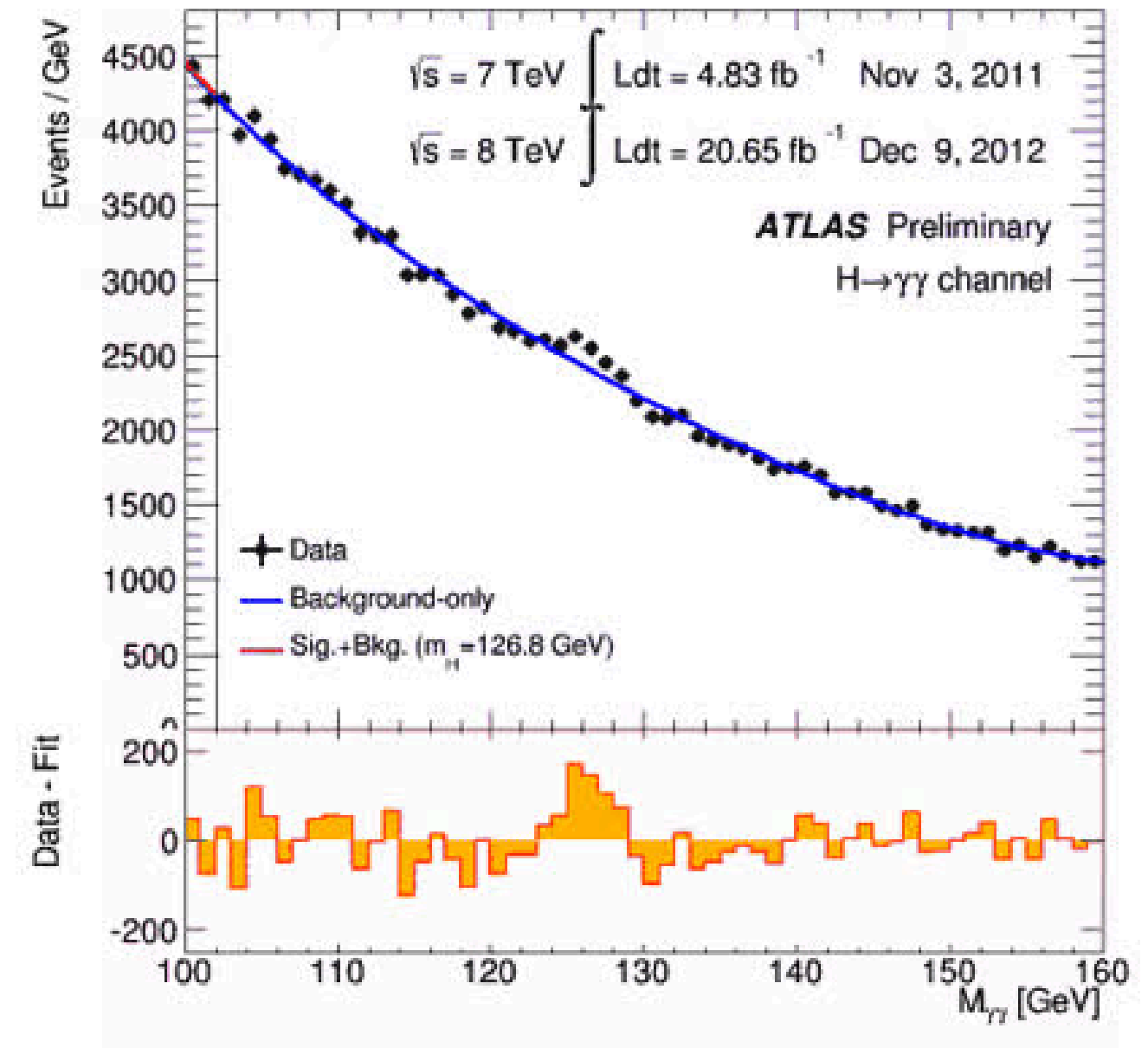
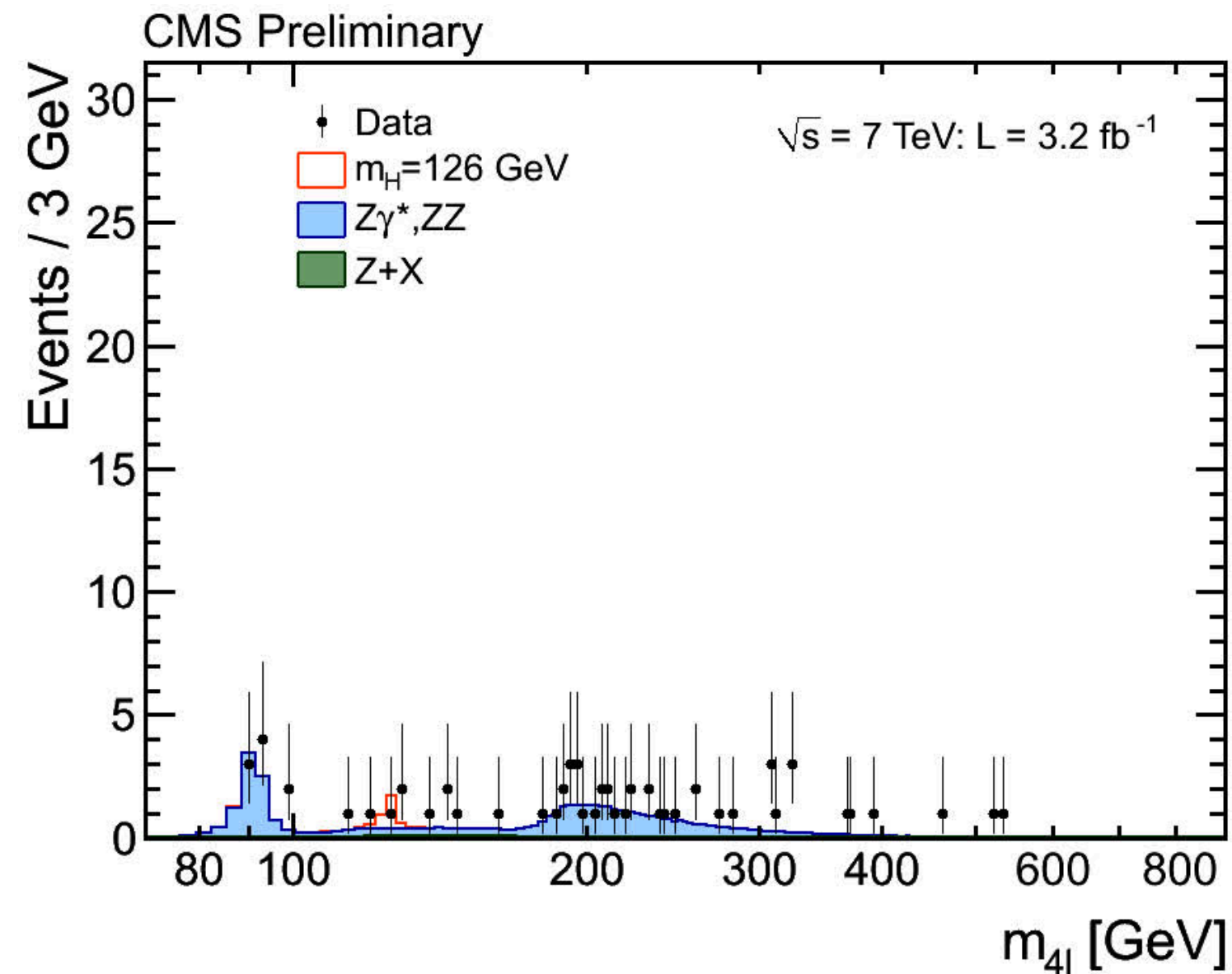


Exemples de photos de CMS (à gauche) et ATLAS (à droite) :



Et alors... le boson de Higgs existe-il ?

Après une quantité astronomique de collisions et de “photos” prises par ATLAS et CMS...



Le boson de Higgs a été observé ! 🎉

Le boson de Higgs existe !

*Le 4 juillet 2012, dans
l'auditorium du CERN...*



Présentation des résultats
par CMS et ATLAS



Peter Higgs



François Englert

Prix Nobel en 2013

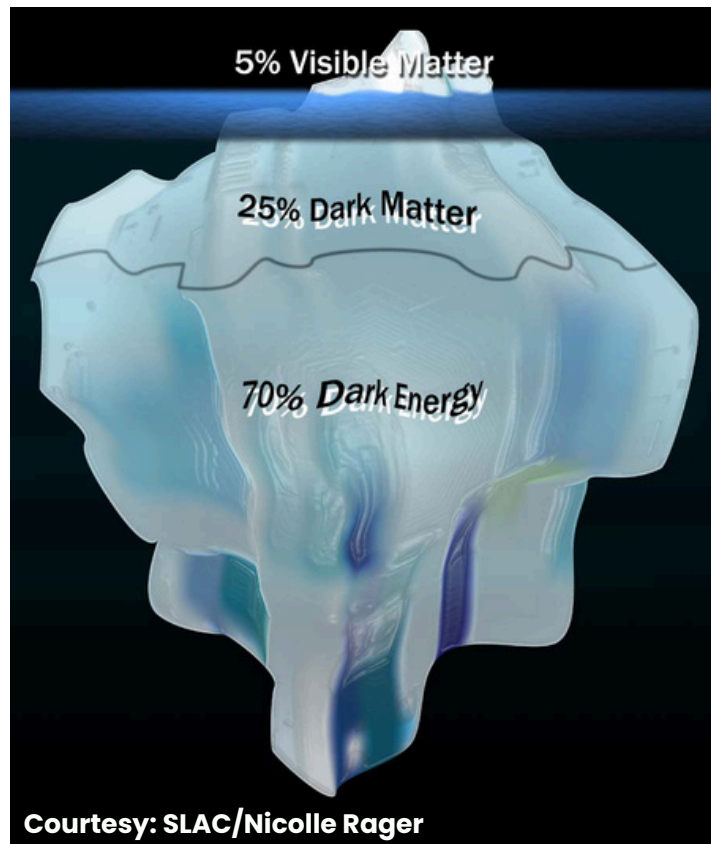
Et maintenant...?

★ Encore plein de choses à étudier sur les particules de notre univers !

😍 Et le modèle standard fonctionne très bien sur plein d'aspects...

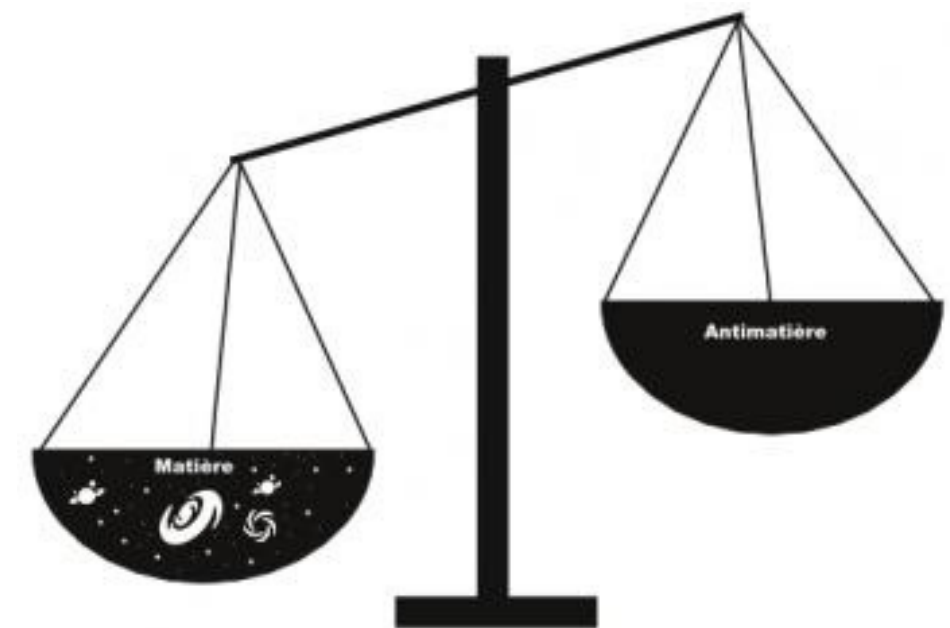
🧐 mais il y a beaucoup de questions auxquelles il n'apporte pas de réponse.

exemple : Qu'est-ce que la matière
noire ?



Histoire à suivre... 😊

exemple : Pourquoi y-a-t-il + de
matière que d'antimatière dans
l'univers ?

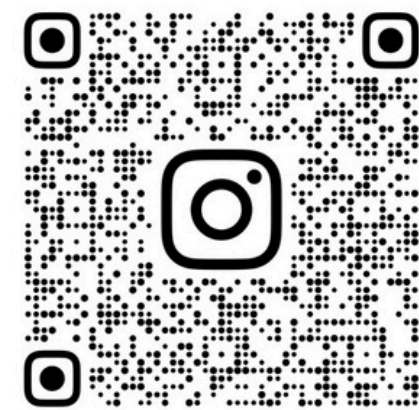


Credits: GANIL

Merci !

Si vous avez des questions, n'hésitez pas !

Si la physique des particules ça vous botte, nous avons une chaîne de médiation scientifique en français et espagnol, vous pouvez nous suivre en scannant ces QR codes :



@PARTIC_GIRLS



@PARTIC.GIRLS

