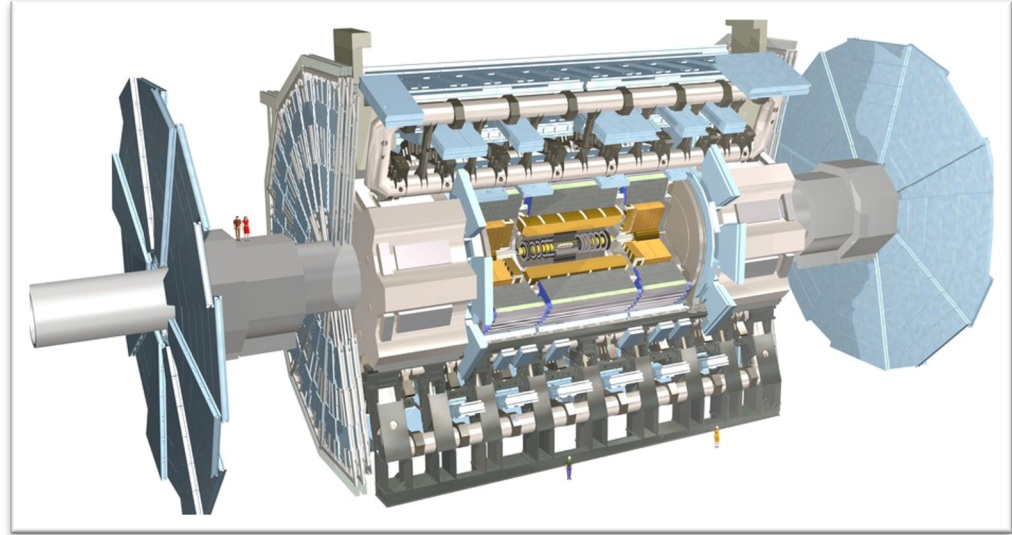


Création et Détection



Le LHC

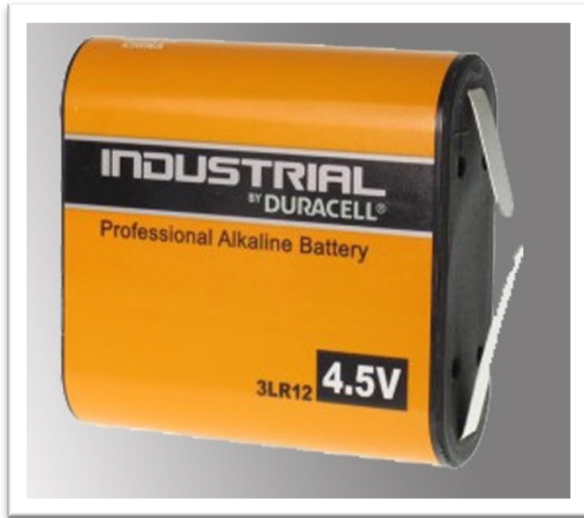
- Accélérer des protons ou des ions
- Les amener en collision
- $E = mc^2$



ATLAS

- Déterminer la trajectoire des particules
- Leurs énergies
- Comparer aux prédictions

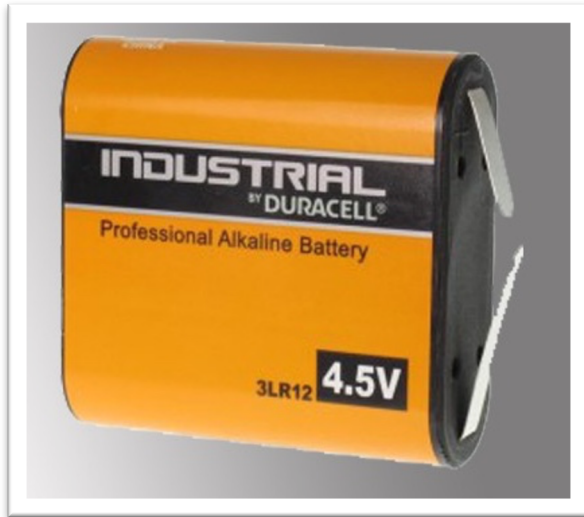
Unité d'énergie



Si un électron passe de la borne positive de la pile à la borne négative, quelle **énergie** gagne-t-il ?

- a) $7,2 \cdot 10^{-19}$ Joules
- b) 4,5 Watts
- c) Cela dépend du temps qu'il met pour passer d'une borne à l'autre

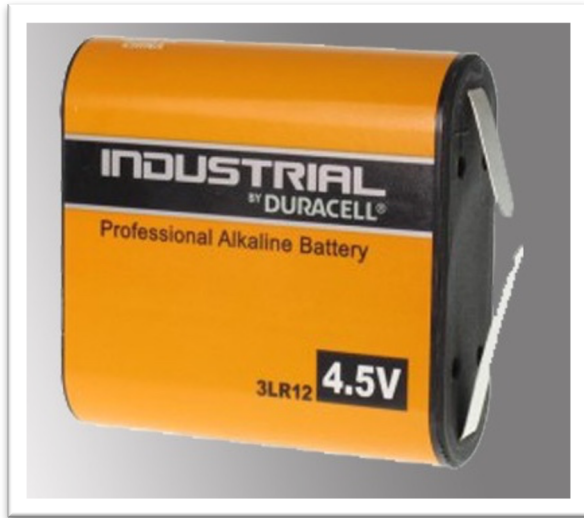
Unité d'énergie



Si un électron passe de la borne positive de la pile à la borne négative, quelle **énergie** gagne-t-il ?

- a) $7,2 \cdot 10^{-19}$ Joules
- b) 4,5 Watts
- c) ~~Cela dépend du temps qu'il met pour passer d'une borne à l'autre~~

Unité d'énergie



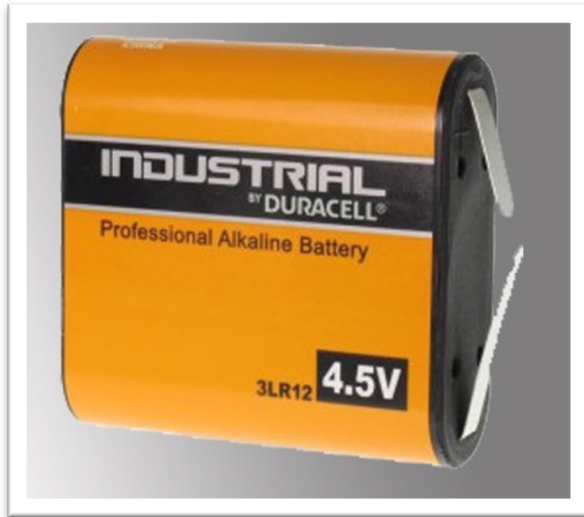
Si un électron passe de la borne positive de la pile à la borne négative, quelle **énergie** gagne-t-il ?

a) $7,2 \cdot 10^{-19}$ Joules

~~b) 4,5 Watts~~

~~c) Cela dépend du temps qu'il met pour passer d'une borne à l'autre~~

Unité d'énergie



Si un électron passe de la borne positive de la pile à la borne négative, quelle **énergie** gagne-t-il ?

a) $7,2 \cdot 10^{-19}$ Joules

~~b) 4,5 Watts~~

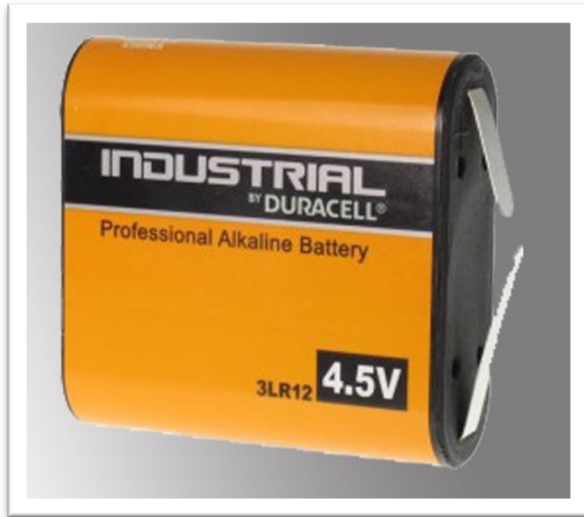
~~c) Cela dépend du temps qu'il met pour passer d'une borne à l'autre~~

E = charge de l'électron * différence de potentiel

= $1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb * 4,5 Volts

= $7,2 \cdot 10^{-19}$ Joules

Unité d'énergie



Si un électron passe de la borne positive de la pile à la borne négative, quelle **énergie** gagne-t-il ?

a) $7,2 \cdot 10^{-19}$ Joules

~~b) 4,5 Watts~~

~~c) Cela dépend du temps qu'il met pour passer d'une borne à l'autre~~

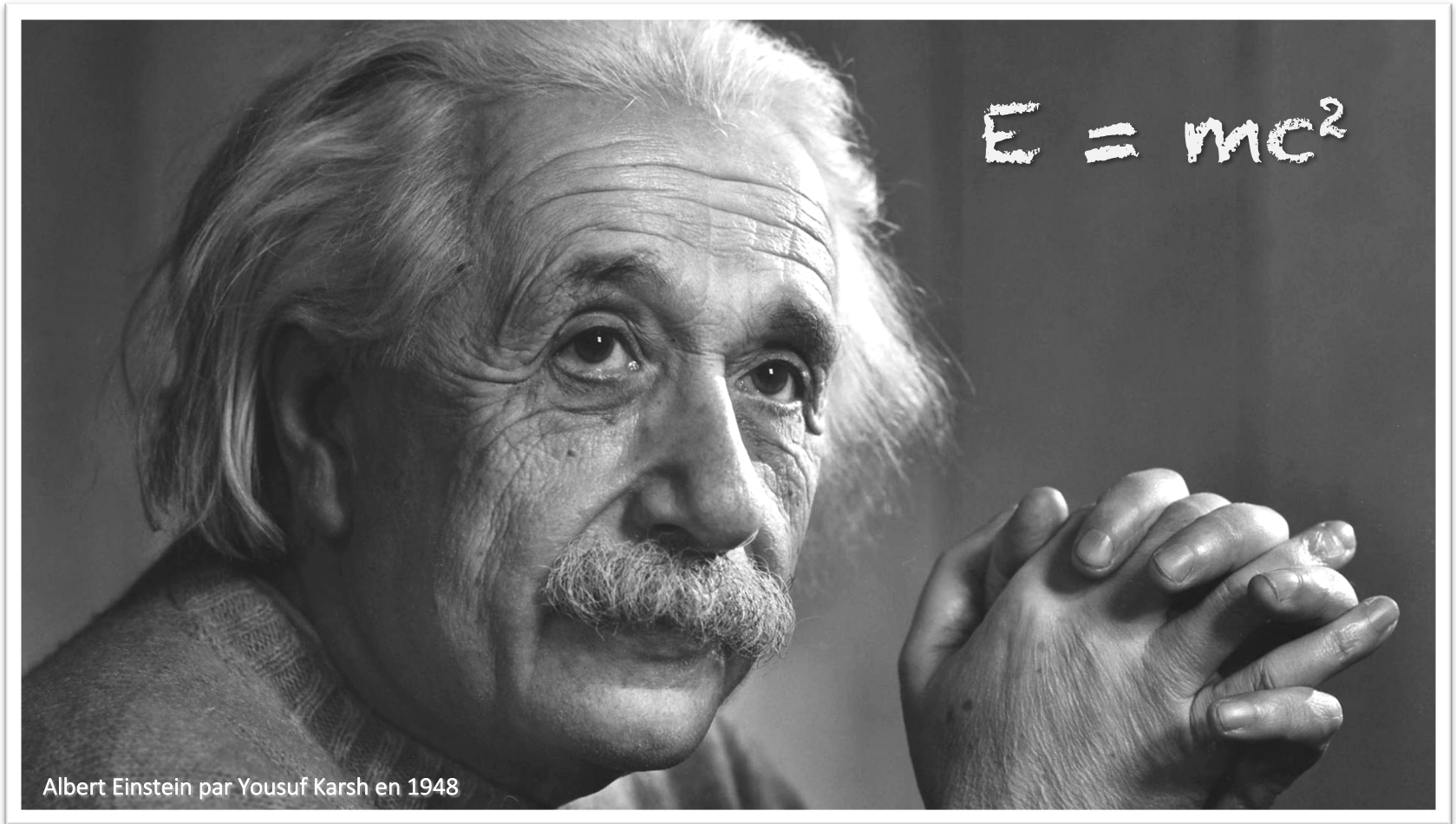
E = charge de l'électron * différence de potentiel

= $1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb * 4,5 Volts

= $7,2 \cdot 10^{-19}$ Joules

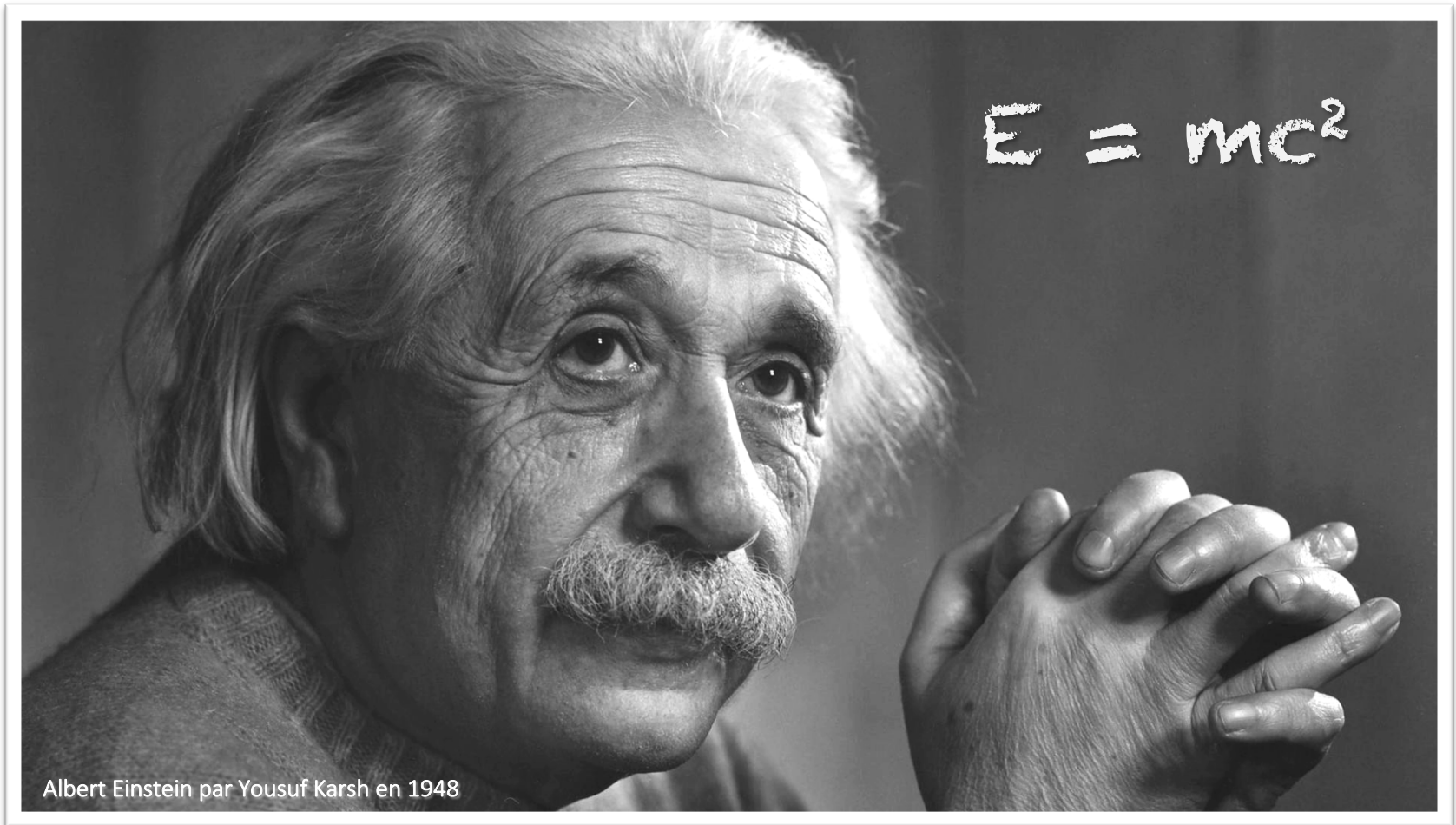
= **4,5 eV** → **Nouvelle unité d'énergie: l'électron Volt (eV)**

Energie et masse



Albert Einstein par Yousuf Karsh en 1948

Energie et masse

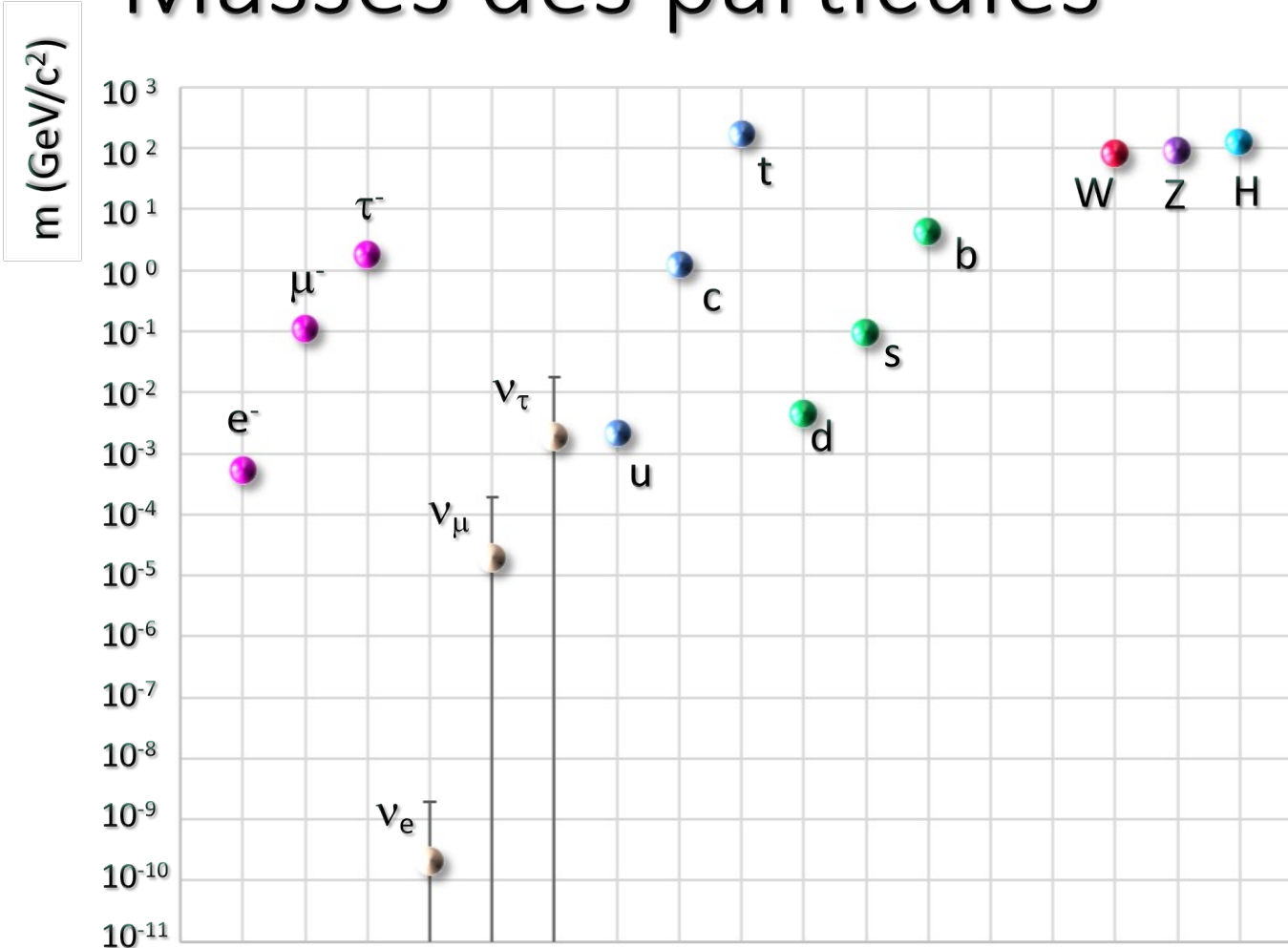


Albert Einstein par Yousuf Karsh en 1948

Unité d'énergie : eV (électron Volt)

$E = mc^2 \rightarrow m = E/c^2 \rightarrow$ **Unité de masse : eV/c²**

Masses des particules

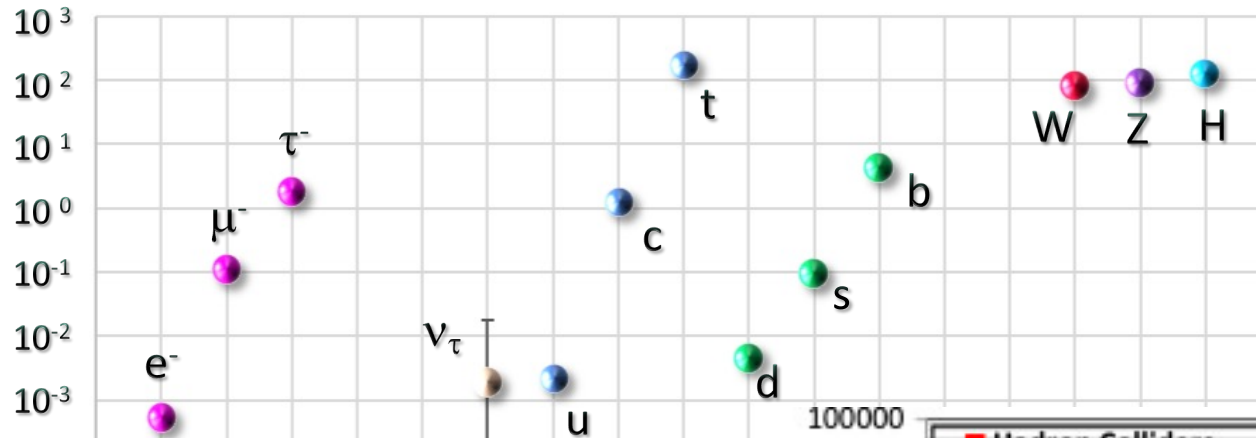


Plus la masse est élevée, plus l'énergie nécessaire pour produire la particule est importante

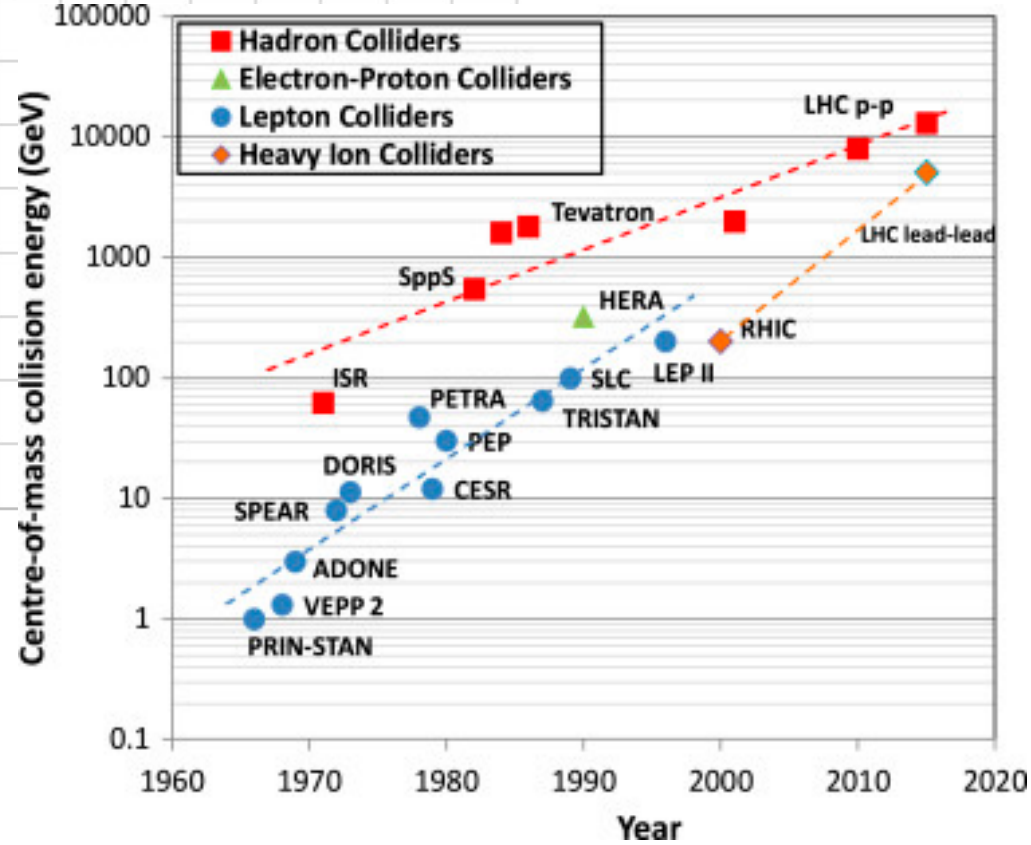
A titre d'exemple, $m_{\text{Higgs}} = 125,18 \pm 0,16 \text{ GeV}/c^2$

Masses des particules

m (GeV/c²)



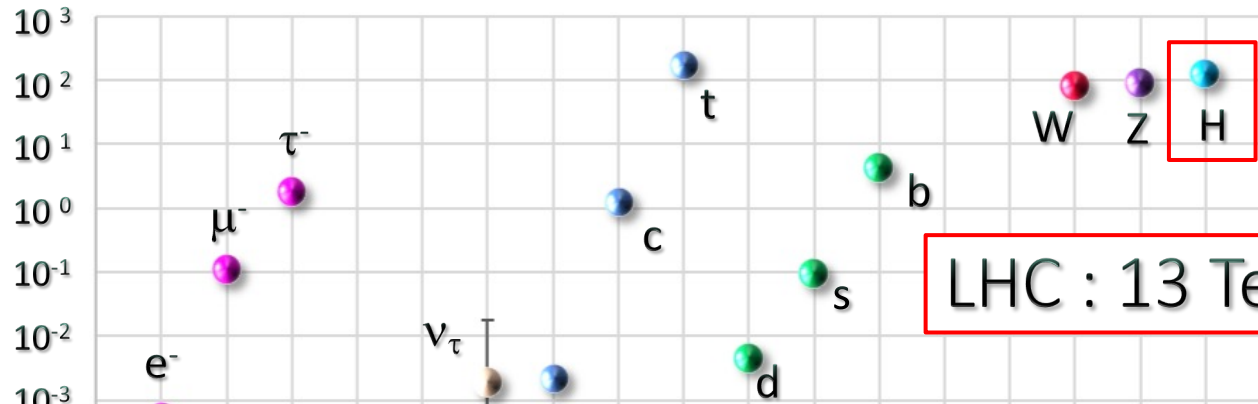
$m_{\text{Higgs}} = 125,18 \pm 0,16 \text{ GeV}/c^2$



Masses des particules

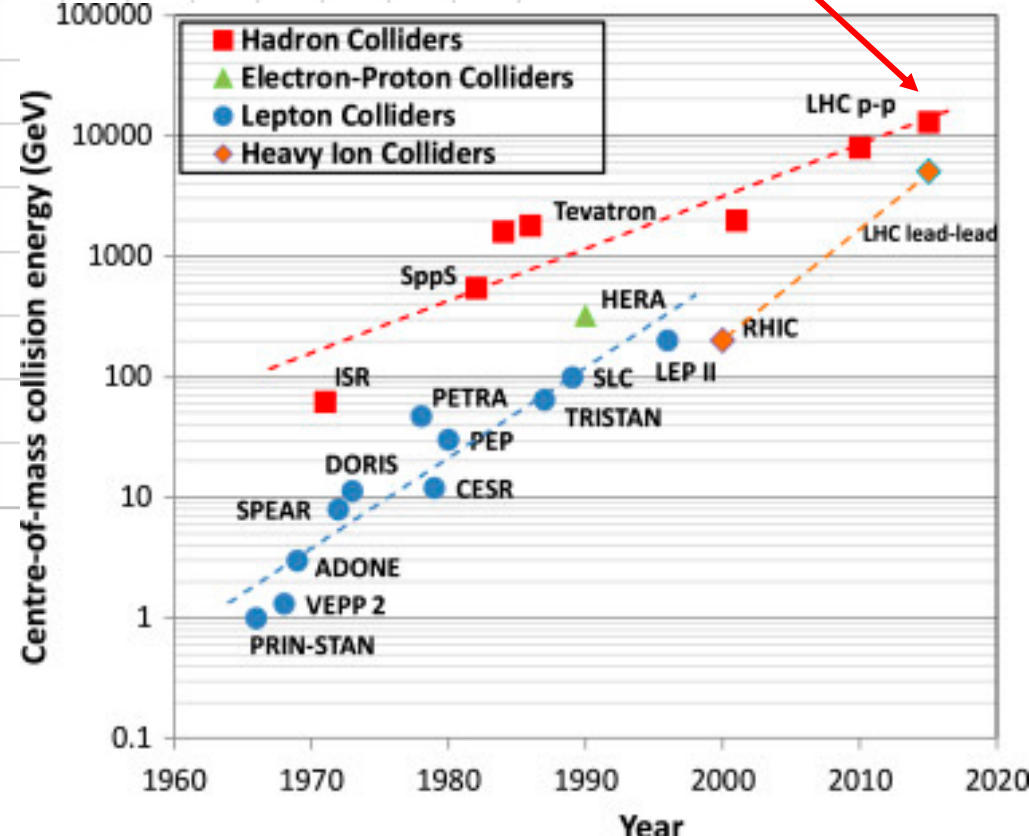


m (GeV/c²)

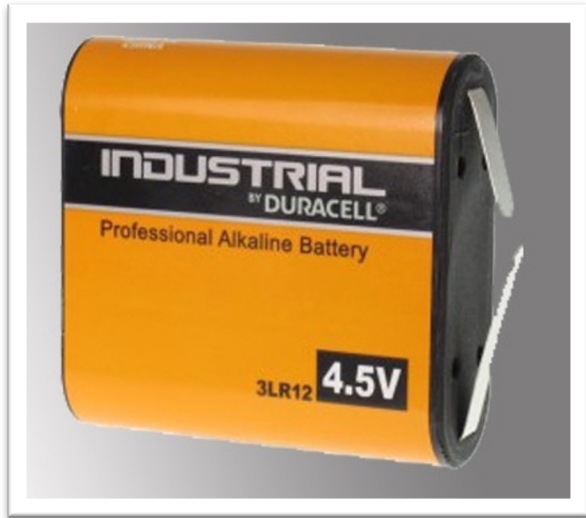


LHC : 13 TeV = 13 000 GeV

$m_{\text{Higgs}} = 125,18 \pm 0,16 \text{ GeV}/c^2$



13 TeV = 13 000 GeV = 13 10^6 MeV ?



4,5 V



4,5 eV

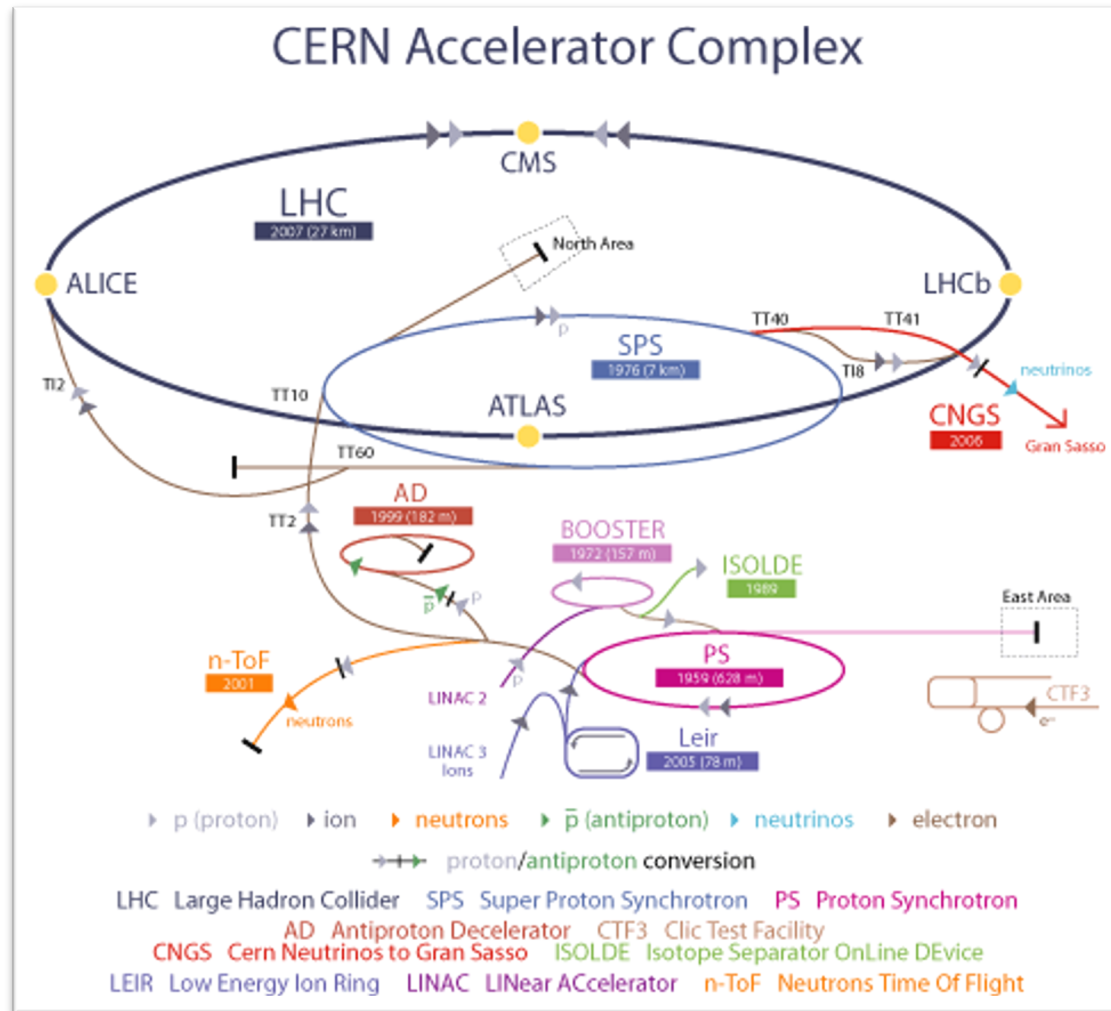


~ 20 MV



~ 20 MeV

LHC : accélération

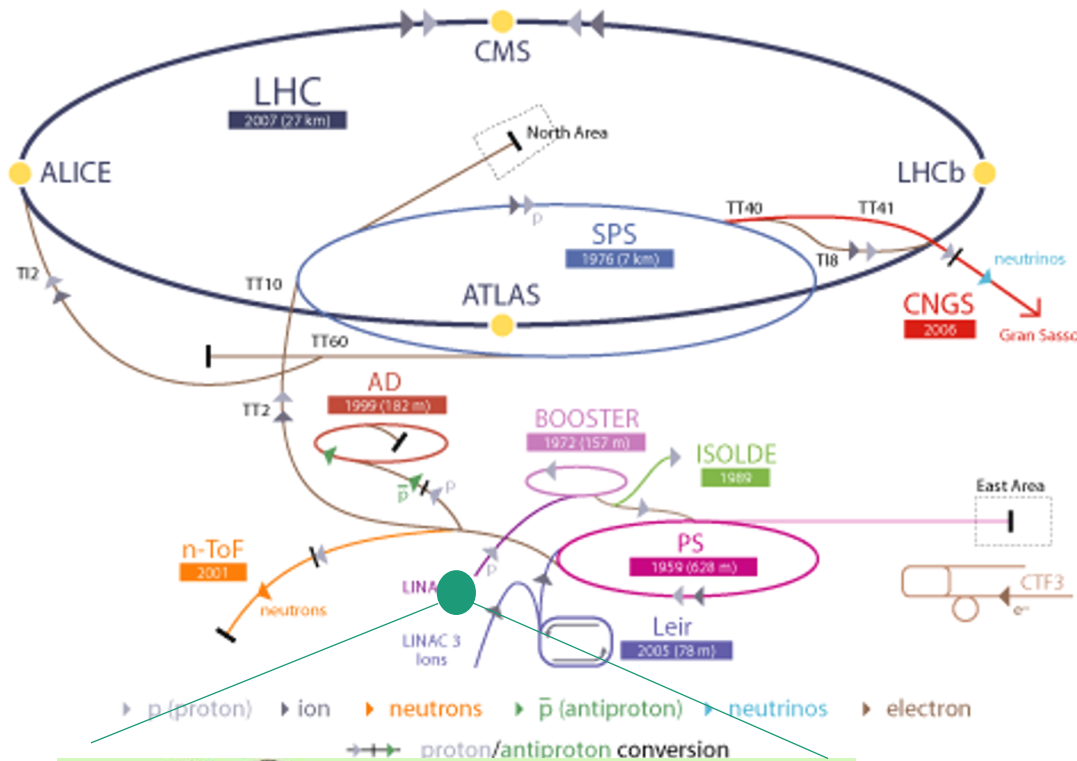


Accélération par palier successifs

- Ionisation de l'hydrogène
- Accélération linéaire
 - LINAC → 50 MeV
- Accélération circulaire
 - Proton synchrotron
Booster → 1,4 GeV
 - Proton synchrotron
→ 26 GeV
 - Super Proton Synchrotron
→ 450 GeV
 - LHC
→ 13 TeV

LHC : accélération

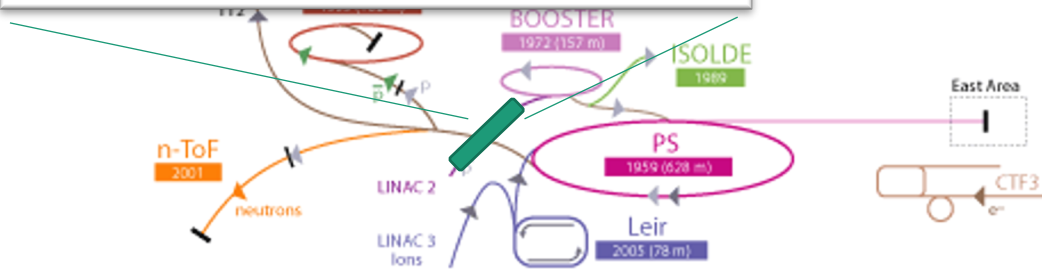
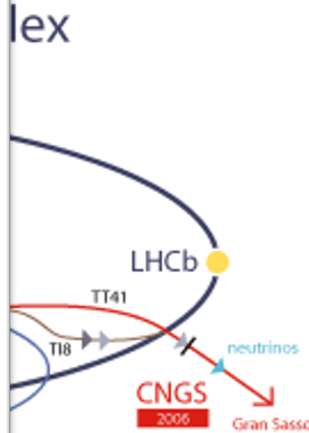
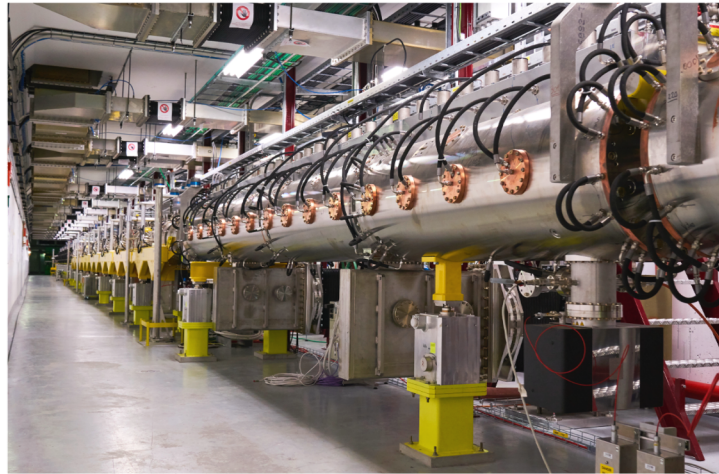
CERN Accelerator Complex



Accélération par palier successifs

- Ionisation de l'hydrogène
- Accélération linéaire
 - LINAC → 50 MeV
- Accélération circulaire
 - Proton synchrotron Booster → 1,4 GeV
 - Proton synchrotron → 26 GeV
 - Super Proton Synchrotron → 450 GeV
 - LHC → 13 TeV

LHC : accélération



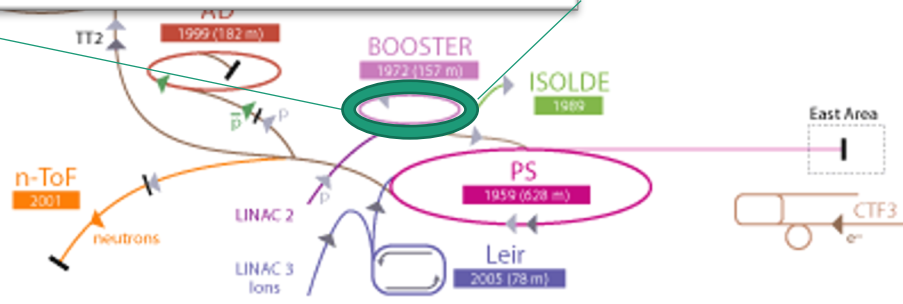
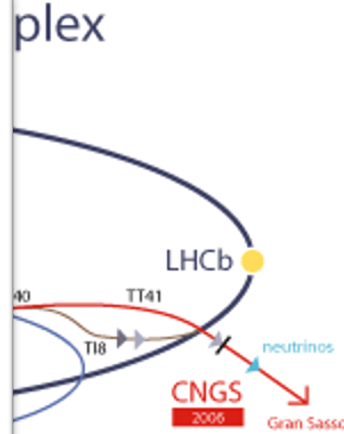
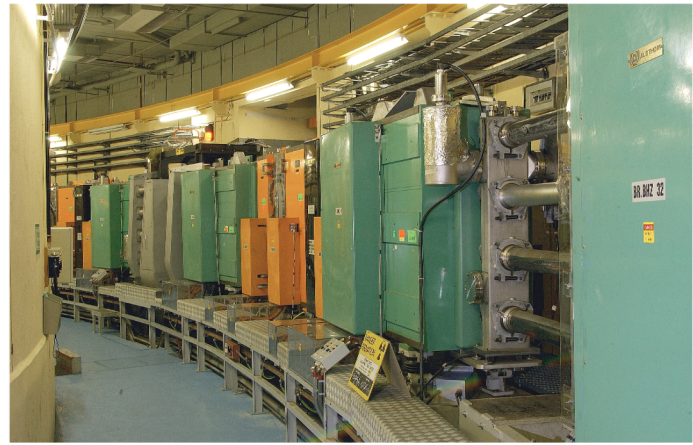
▶ p (proton) ▶ ion ▶ neutrons ▶ \bar{p} (antiproton) ▶ neutrinos ▶ electron
 ↔↔↔ proton/antiproton conversion

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron
 AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility
 CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice
 LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINEar ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

Accélération par palier successifs

- Ionisation de l'hydrogène
- **Accélération linéaire**
 - LINAC → 50 MeV
- Accélération circulaire
 - Proton synchrotron
Booster → 1,4 GeV
 - Proton synchrotron
→ 26 GeV
 - Super Proton Synchrotron
→ 450 GeV
 - LHC
→ 13 TeV

LHC : accélération



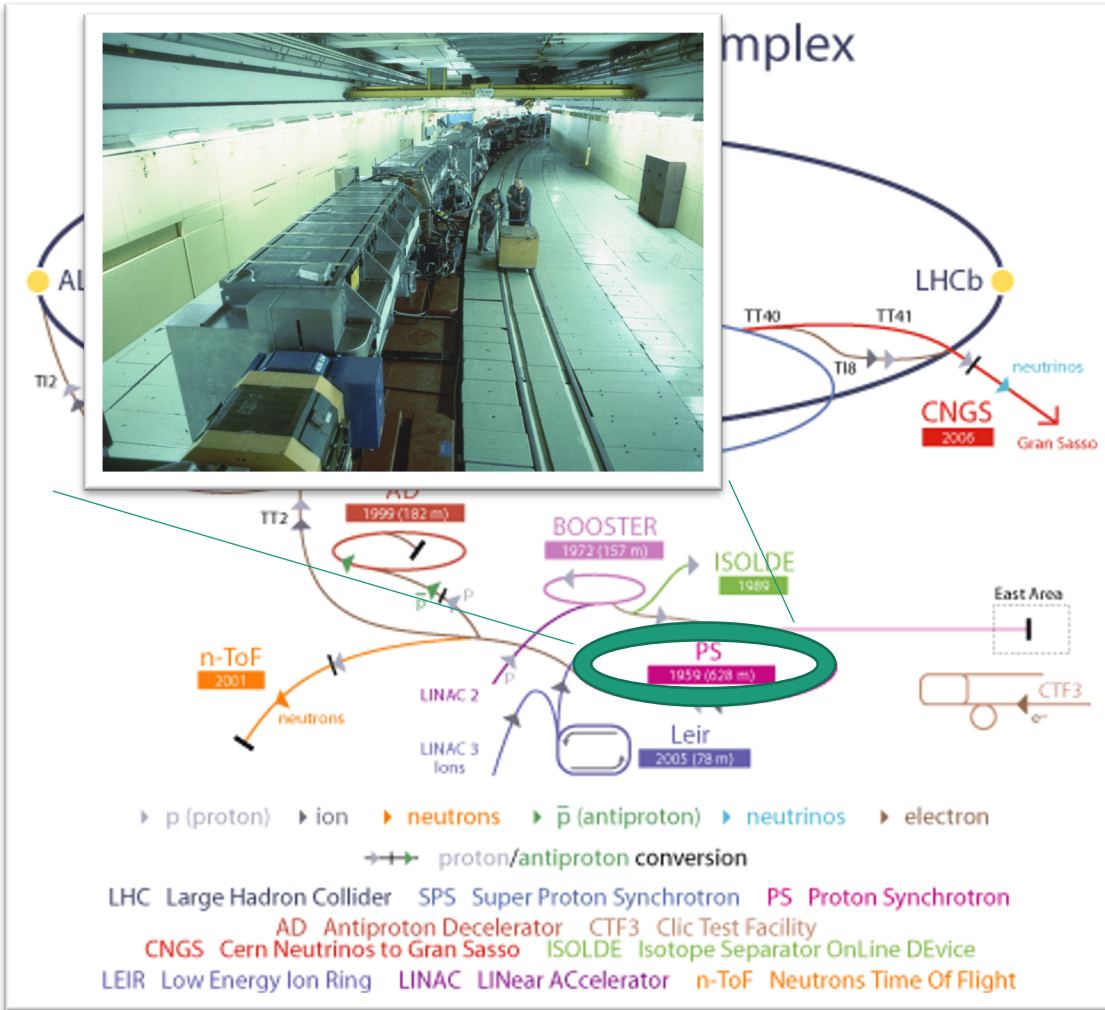
▶ p (proton) ▶ ion ▶ neutrons ▶ \bar{p} (antiproton) ▶ neutrinos ▶ electron
 ↔↔↔ proton/antiproton conversion

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron
 AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility
 CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice
 LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINEar ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

Accélération par palier successifs

- Ionisation de l'hydrogène
- Accélération linéaire
 - LINAC → 50 MeV
- Accélération circulaire
 - Proton synchrotron
Booster → 1,4 GeV
 - Proton synchrotron
→ 26 GeV
 - Super Proton Synchrotron
→ 450 GeV
 - LHC
→ 13 TeV

LHC : accélération

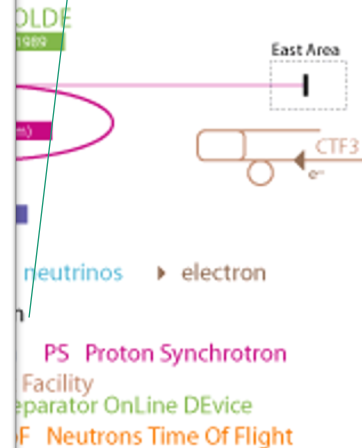
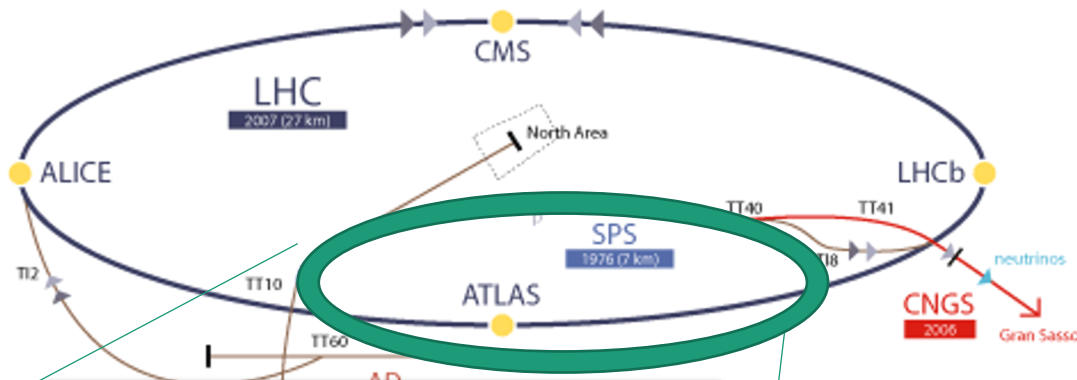


Accélération par palier successifs

- Ionisation de l'hydrogène
- Accélération linéaire
 - LINAC → 50 MeV
- Accélération circulaire
 - Proton synchrotron
Booster → 1,4 GeV
 - Proton synchrotron
→ 26 GeV
 - Super Proton Synchrotron
→ 450 GeV
 - LHC
→ 13 TeV

LHC : accélération

CERN Accelerator Complex

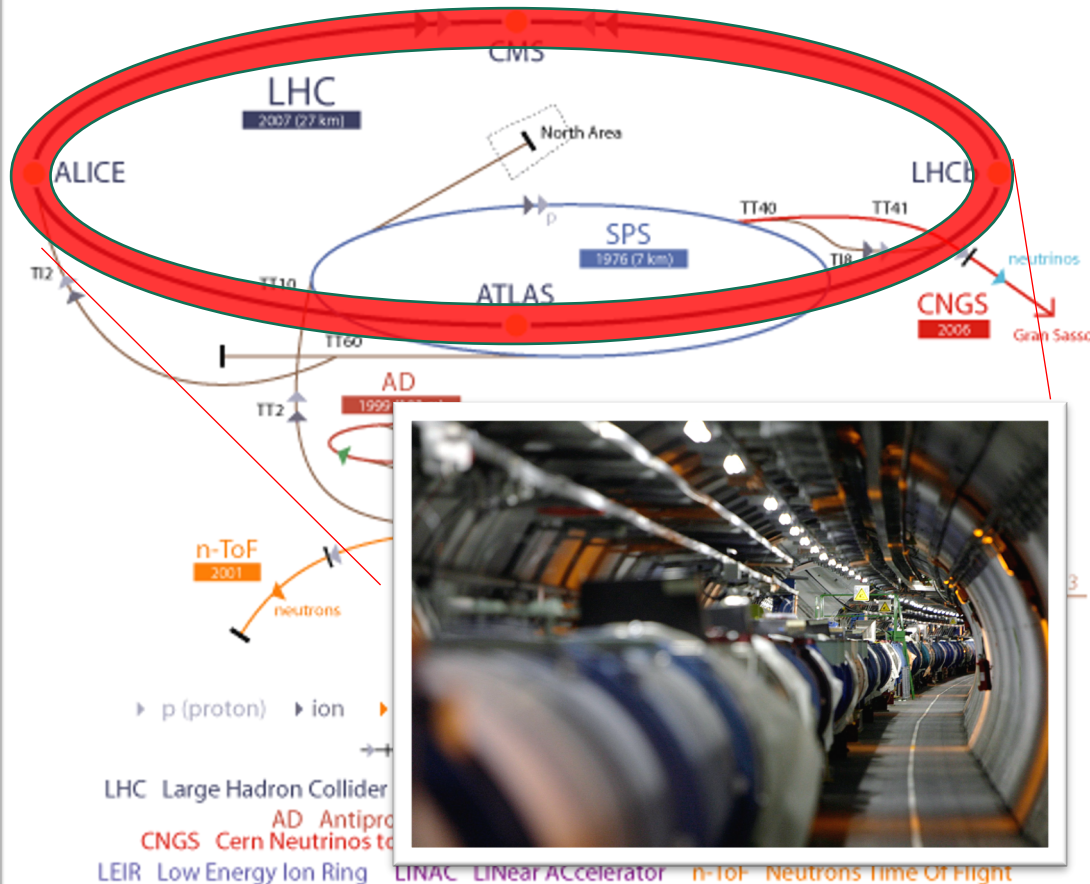


Accélération par palier successifs

- Ionisation de l'hydrogène
- Accélération linéaire
 - LINAC → 50 MeV
- Accélération circulaire
 - Proton synchrotron Booster → 1,4 GeV
 - Proton synchrotron → 26 GeV
 - Super Proton Synchrotron → 450 GeV
 - LHC → 13 TeV

LHC : accélération

CERN Accelerator Complex

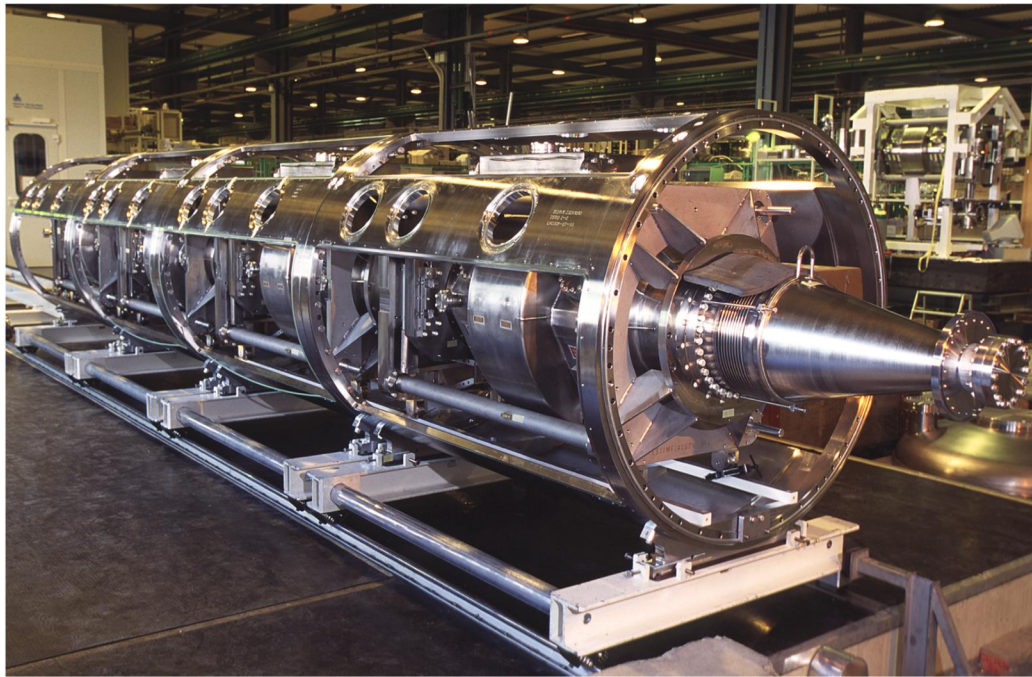
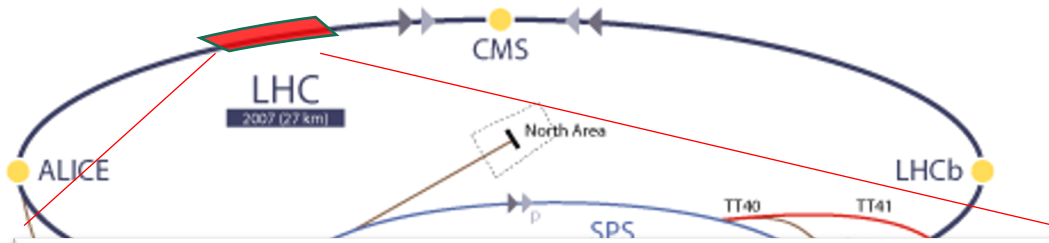


Accélération par palier successifs

- Ionisation de l'hydrogène
- Accélération linéaire
 - LINAC → 50 MeV
- Accélération circulaire
 - Proton synchrotron Booster → 1,4 GeV
 - Proton synchrotron → 26 GeV
 - Super Proton Synchrotron → 450 GeV
 - **LHC → 13 TeV**

LHC : Cavités radio-fréquence

CERN Accelerator Complex



**8 cavités radiofréquence
par faisceau**

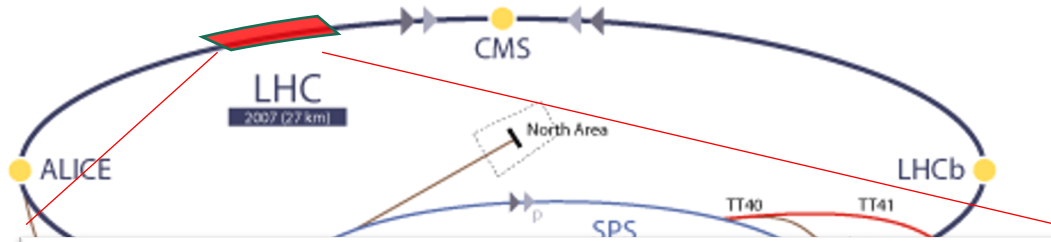
**Chaque cavité fourni 2 MV
à 400 MHz**

**A chaque tour, un proton
gagne 16 MeV**

**Les protons font environ
11000 tours par seconde.**

LHC : Cavités radio-fréquence

CERN Accelerator Complex



**8 cavités radiofréquence
par faisceau**

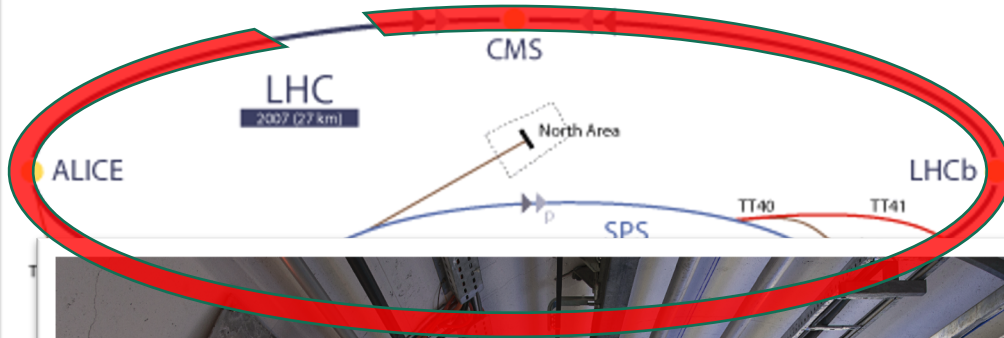
**Chaque cavité fourni 2 MV
à 400 MHz**

**A chaque tour, un proton
gagne 16 MeV**

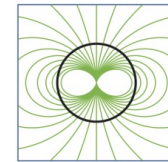
**Les protons font environ
11000 tours par seconde.**

LHC : Dipôles, quadripôles...

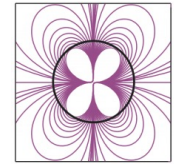
CERN Accelerator Complex



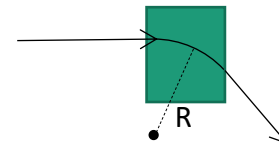
Le reste du tunnel contient des dipôles, quadripôles... qui permettent de maintenir la taille du faisceau et de le faire tourner



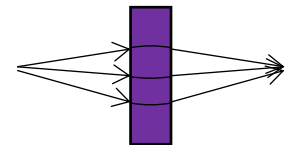
dipôle



quadripôle

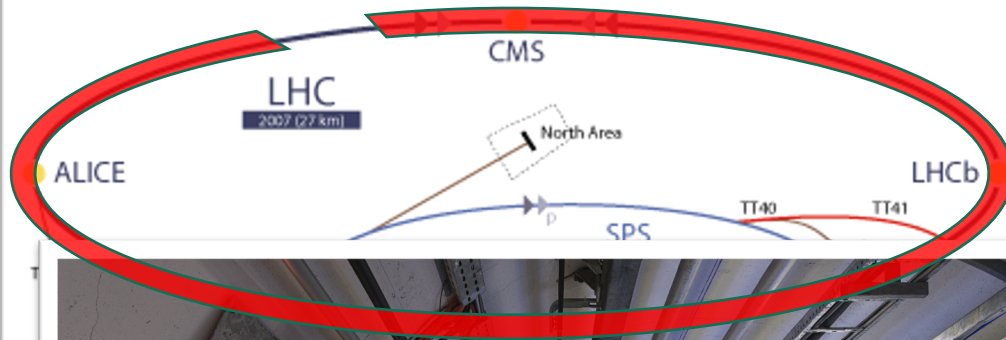


$$R = p/qB$$

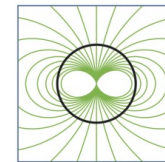


LHC : Dipôles, quadripôles...

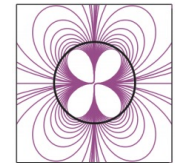
CERN Accelerator Complex



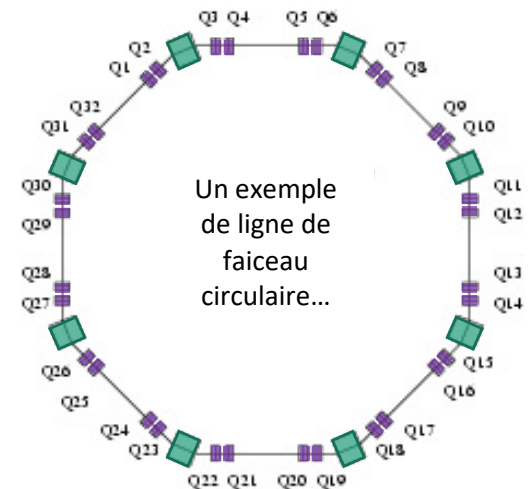
Le reste du tunnel contient des dipôles, quadripôles... qui permettent de maintenir la taille du faisceau et de le faire tourner



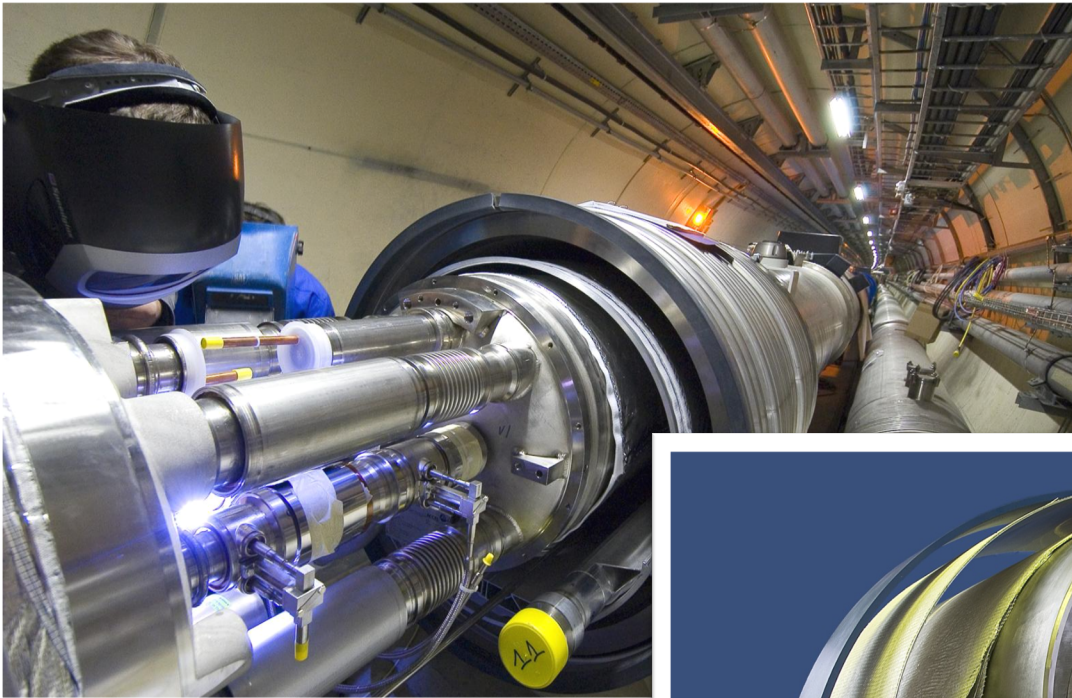
dipôle



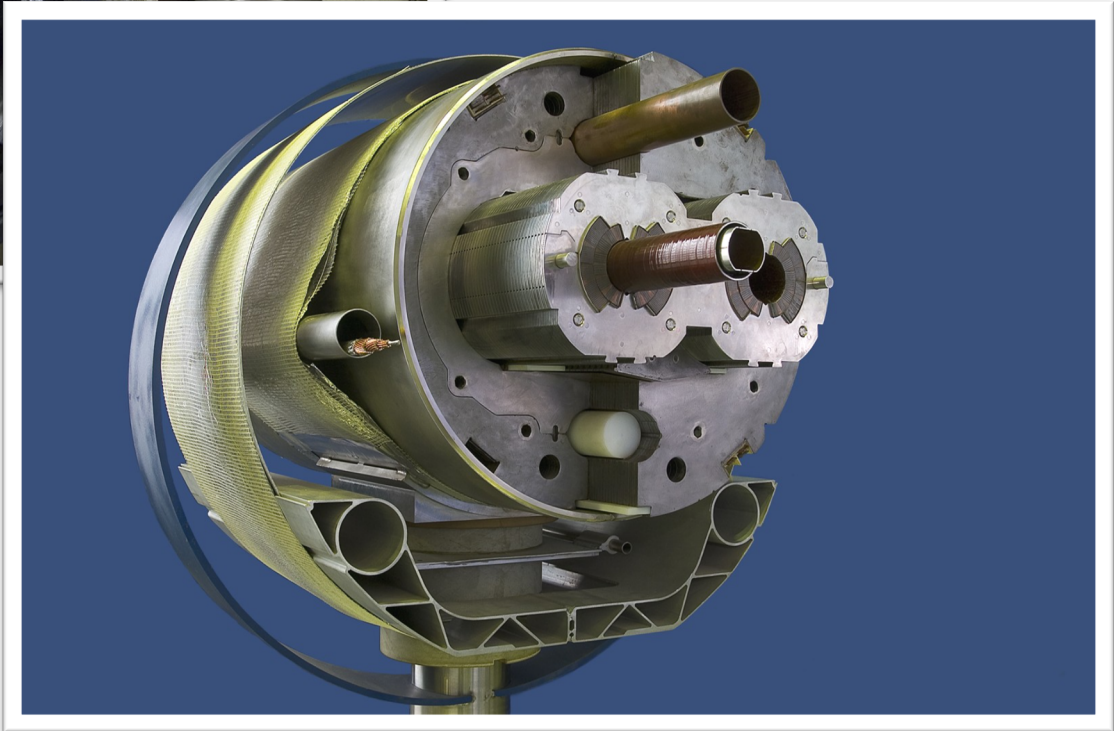
quadripôle



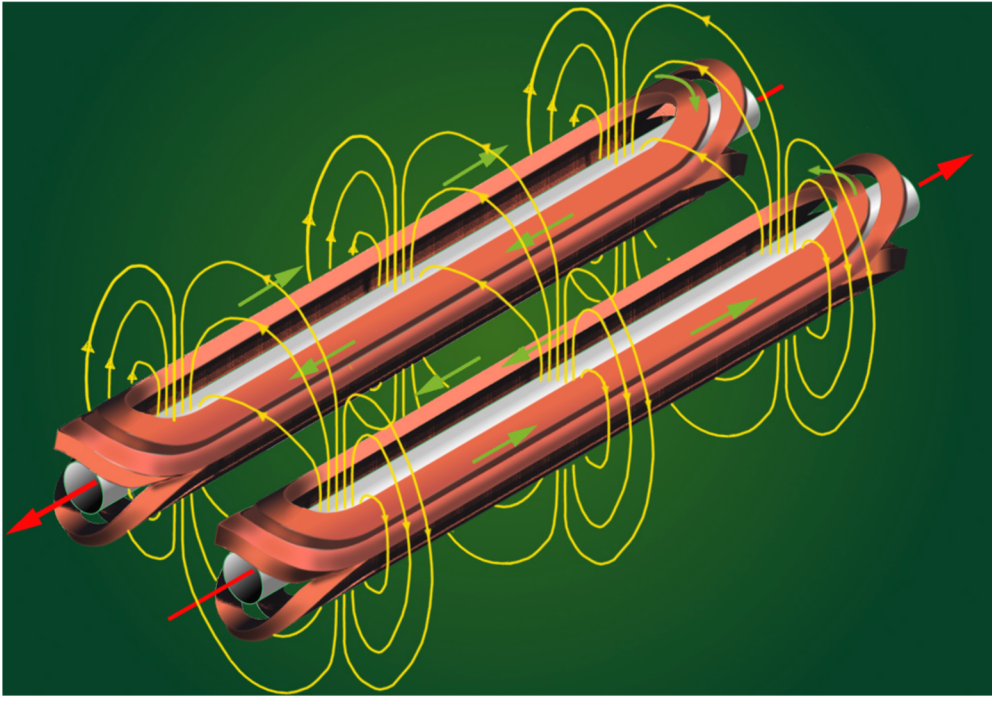
1232 Dipôles



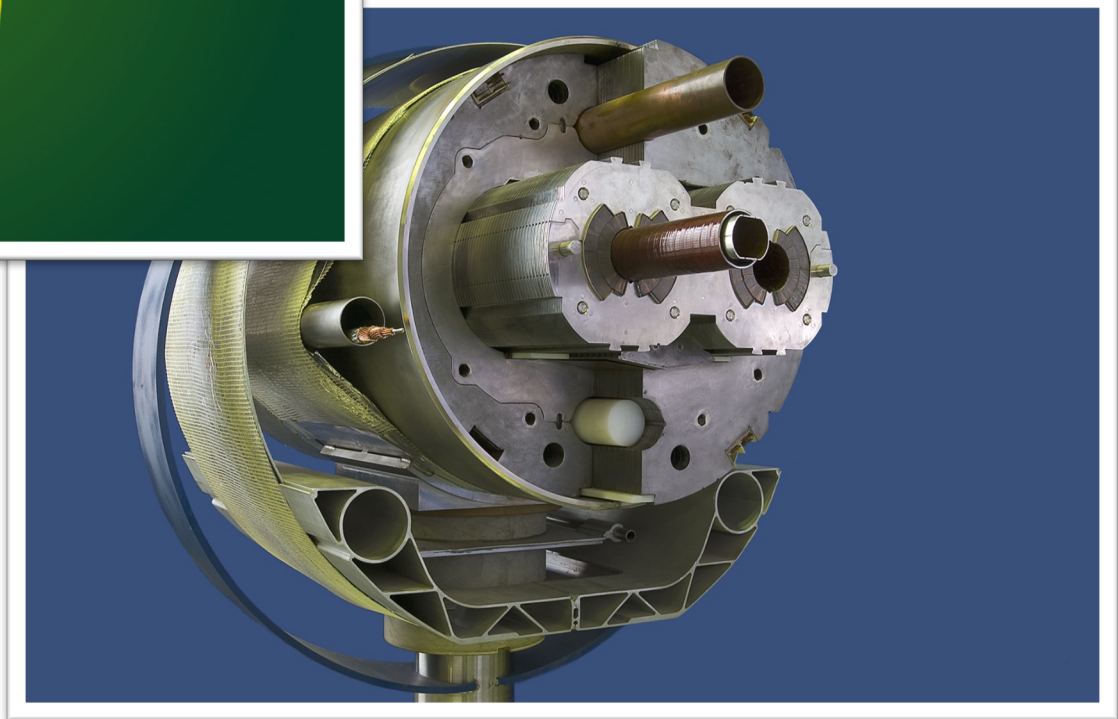
Le reste du tunnel contient des dipôles, quadripôles... qui permettent de maintenir la taille du faisceau et de le faire tourner



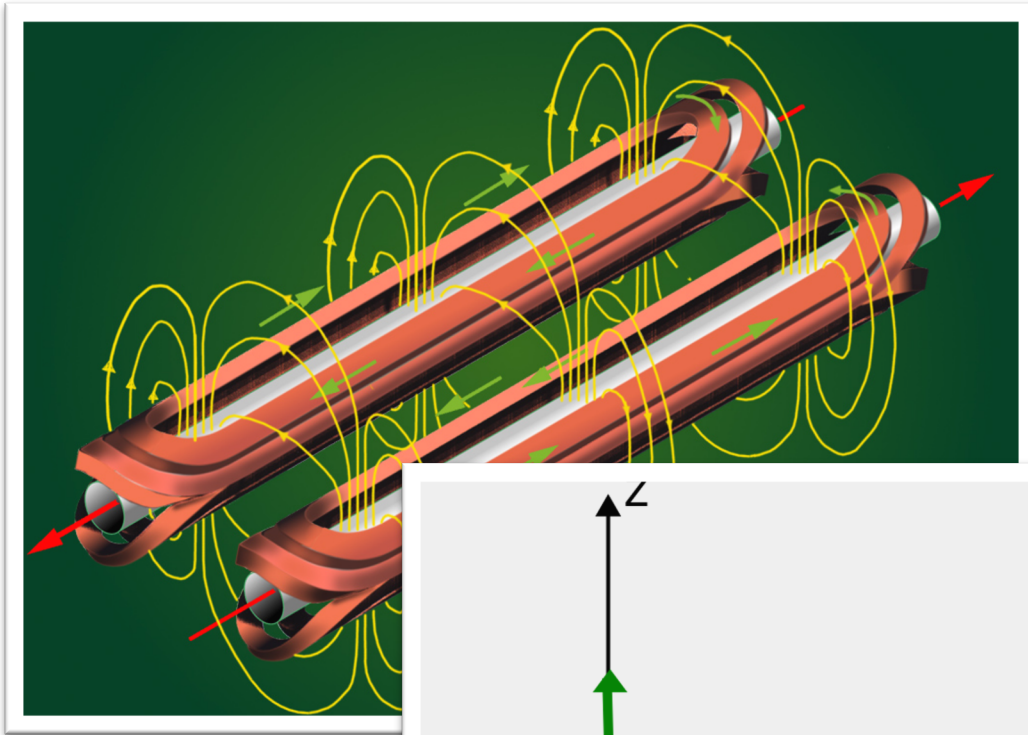
1232 Dipôles



**Le reste du tunnel contient
des dipôles, quadripôles...
qui permettent de
maintenir la taille du
faisceau et de le faire
tourner**



Champ magnétique et courant

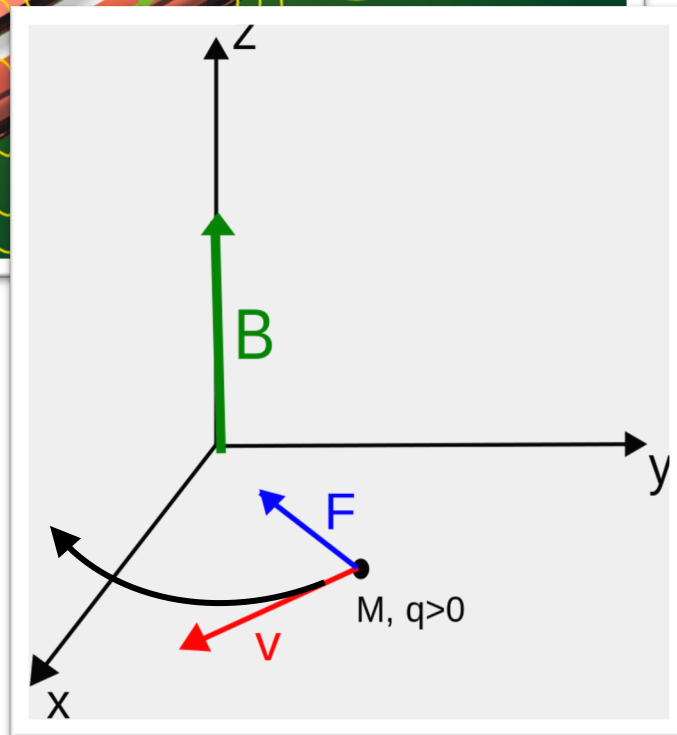


$$B = p/qR$$

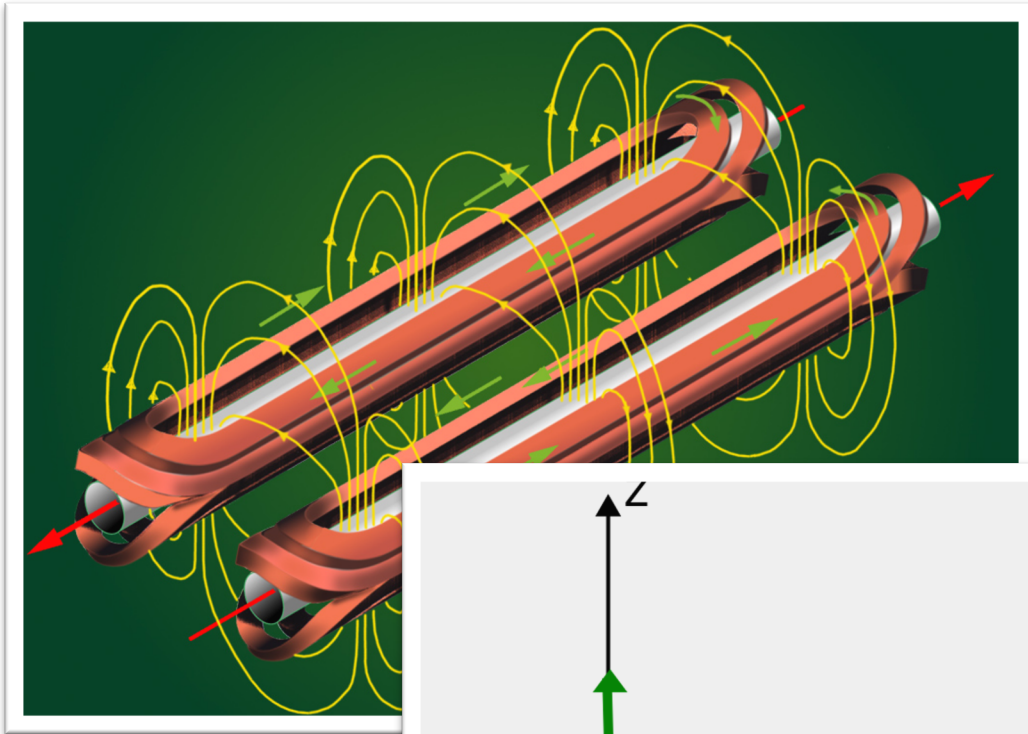
$$p = 6,5 \text{ TeV}/c$$

$$R = 27 \text{ km}/2\pi$$

$$\rightarrow B \sim 5,5 \text{ Tesla}$$



Champ magnétique et courant

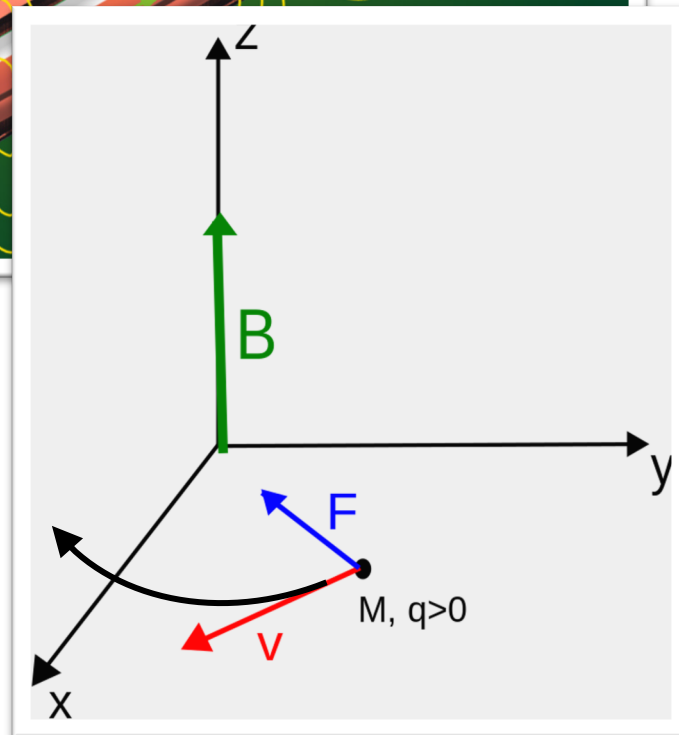


$$B = p/qr$$

$$p = 6,5 \text{ TeV}/c$$

$$r = 27 \text{ km}/2\pi$$

$$\rightarrow B \sim 5,5 \text{ Tesla}$$



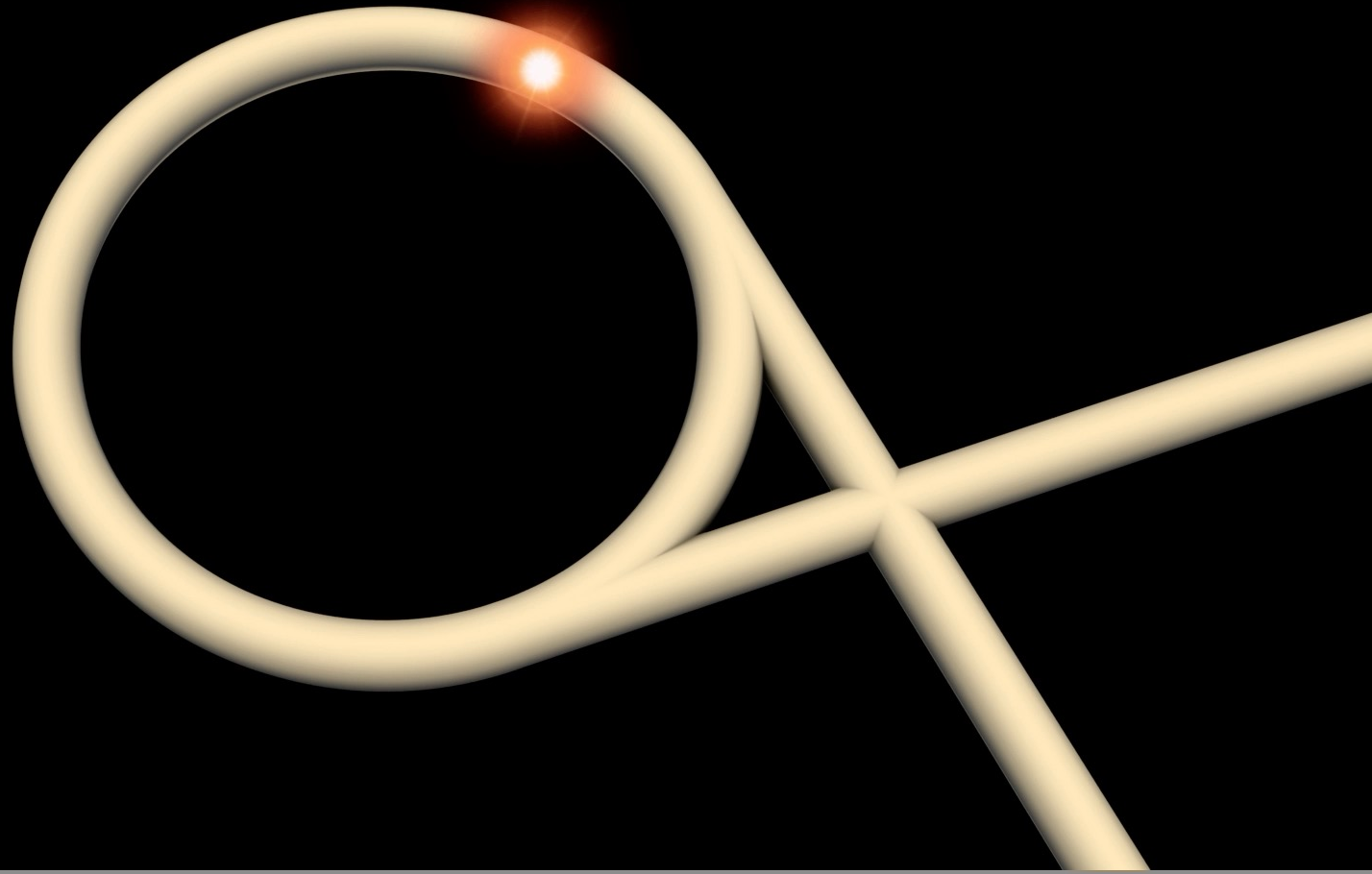
En fait

$$B = 8.4 \text{ Tesla}$$

$$I = 11\,700 \text{ ampères}$$

$$\text{Température} = 1,9 \text{ K} = -271,25^\circ\text{C}$$

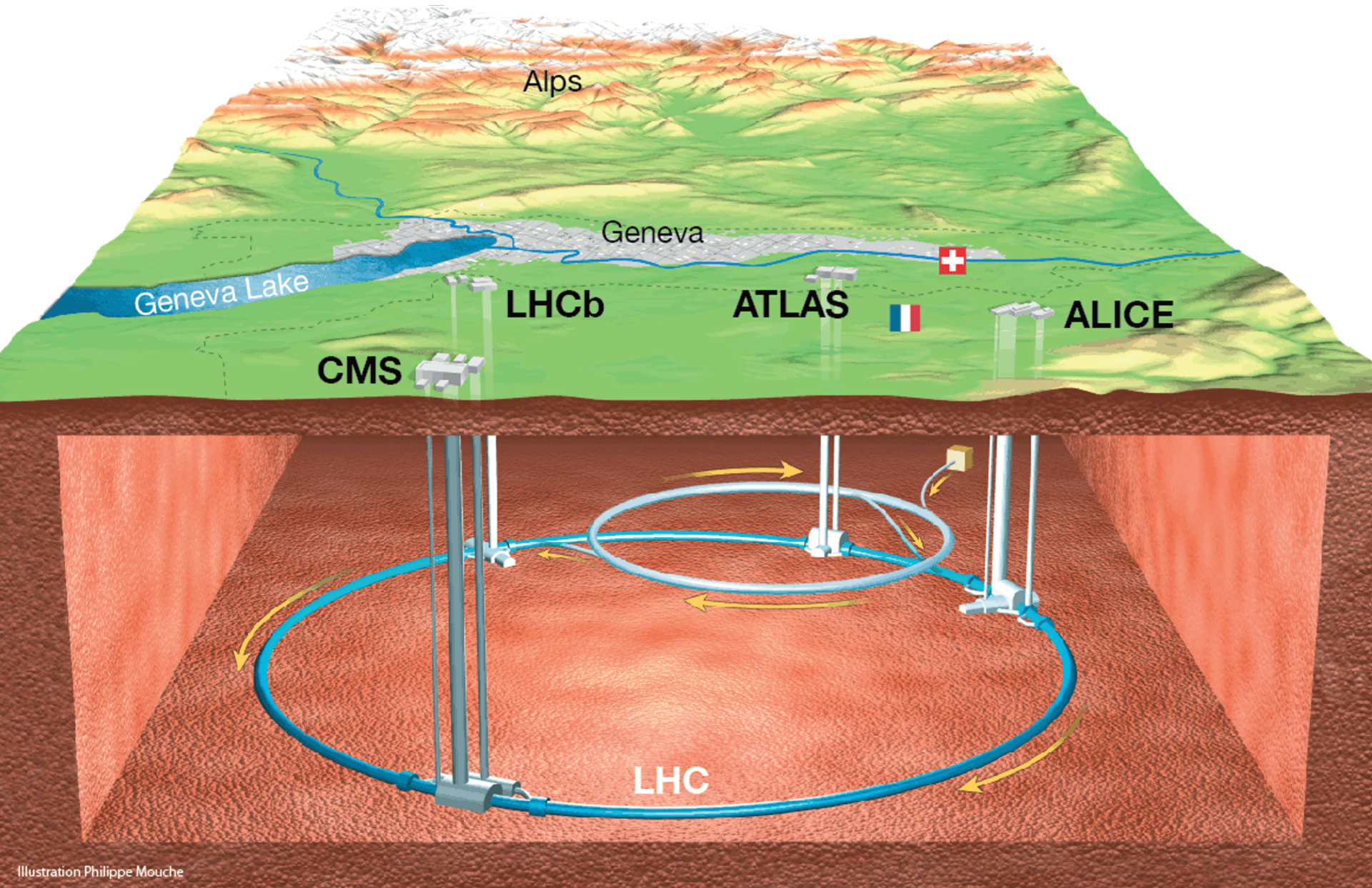
Création en mouvement...



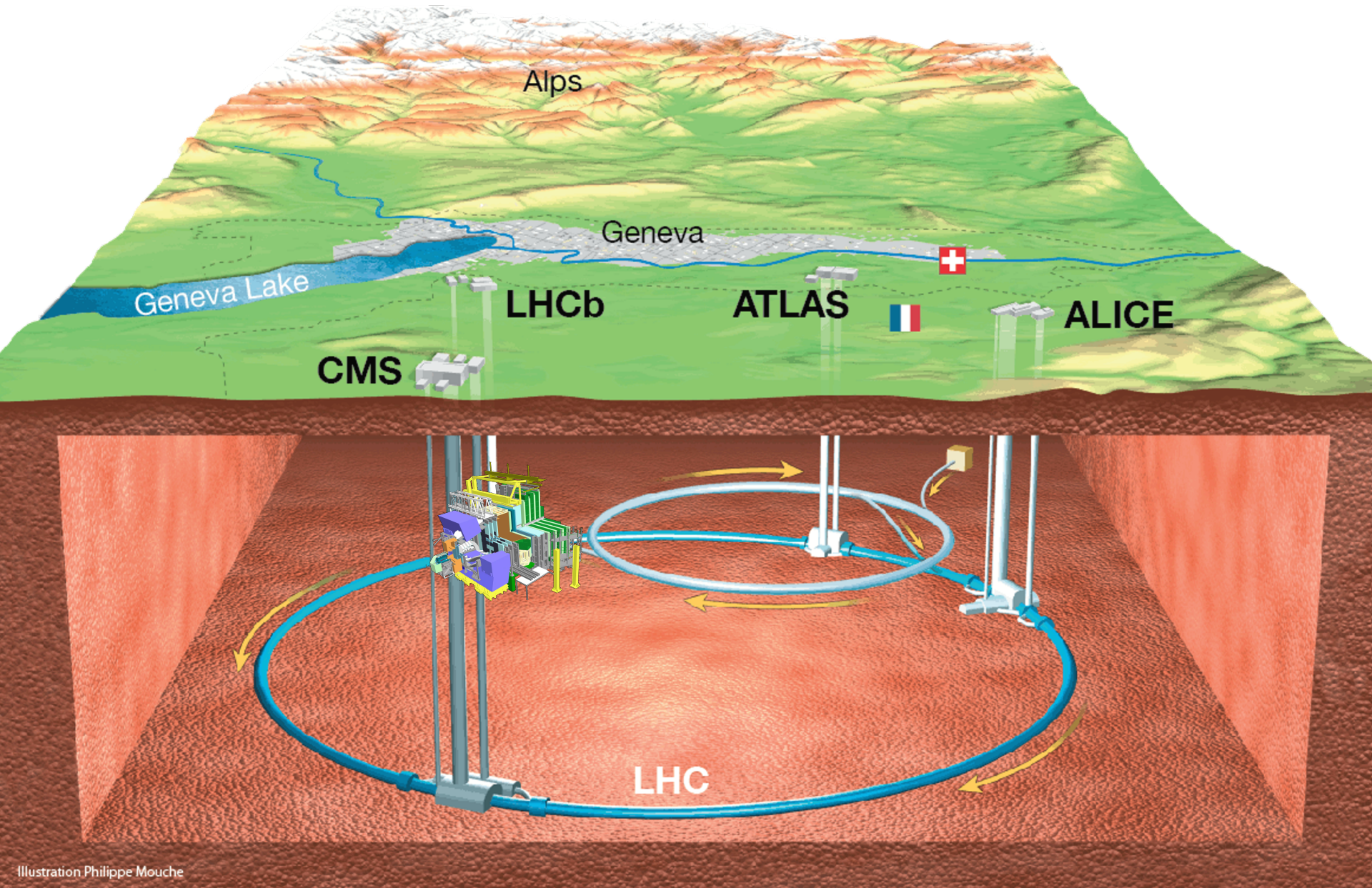


Après la création, la détection..

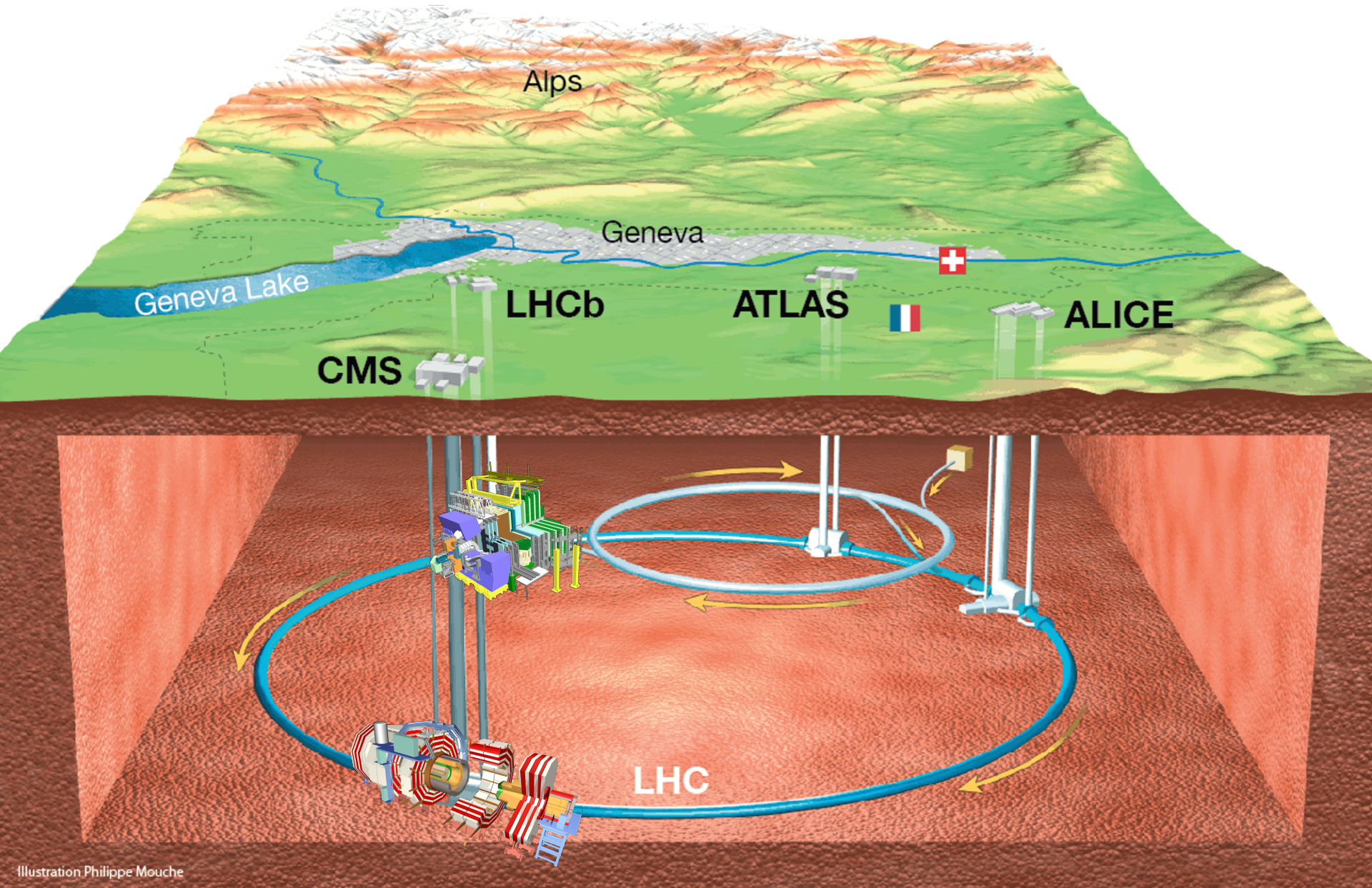
Détecter les particules créées par le LHC



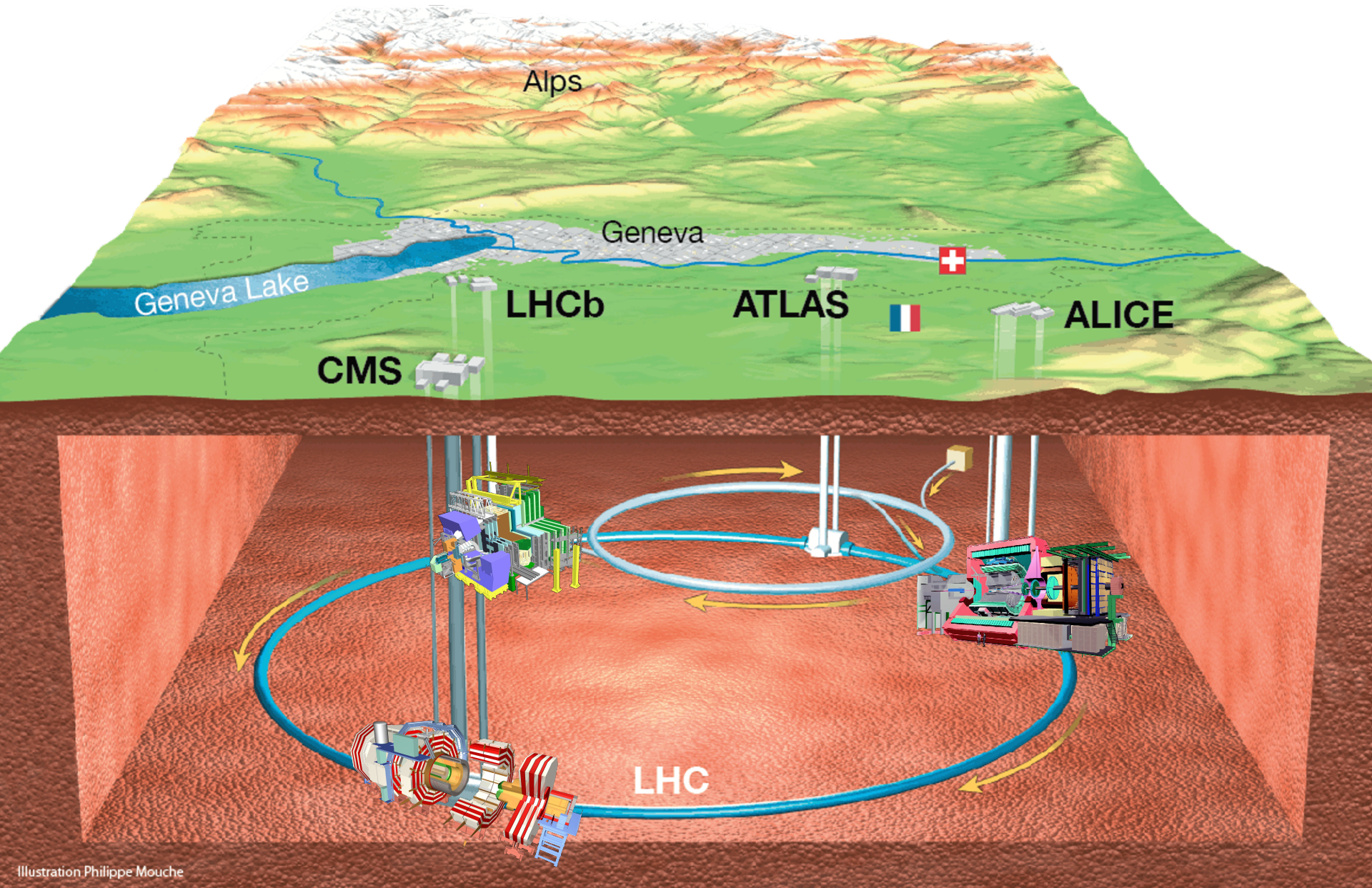
Détecter les particules créées par le LHC



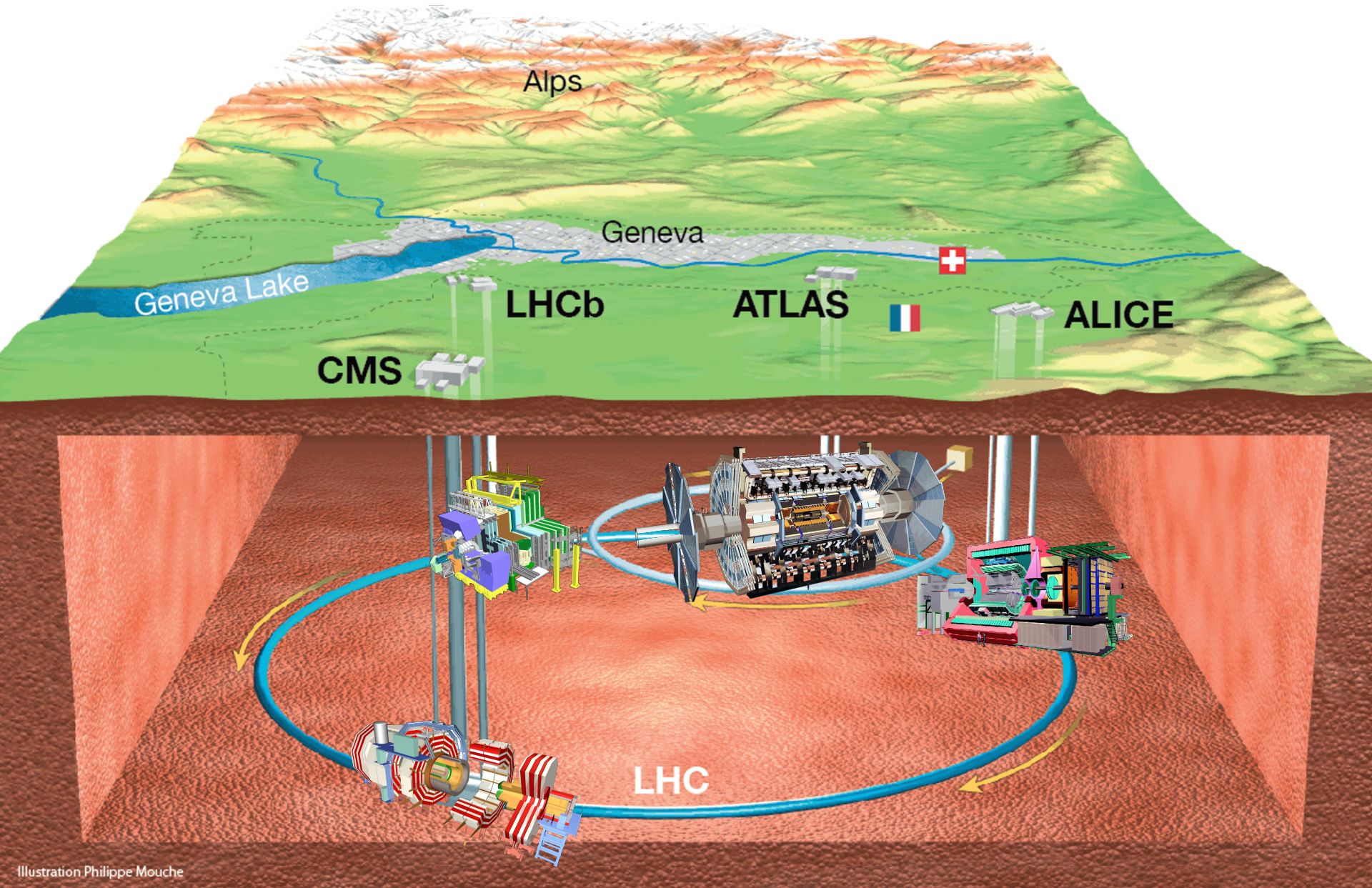
Détecter les particules créées par le LHC



Détecter les particules créées par le LHC

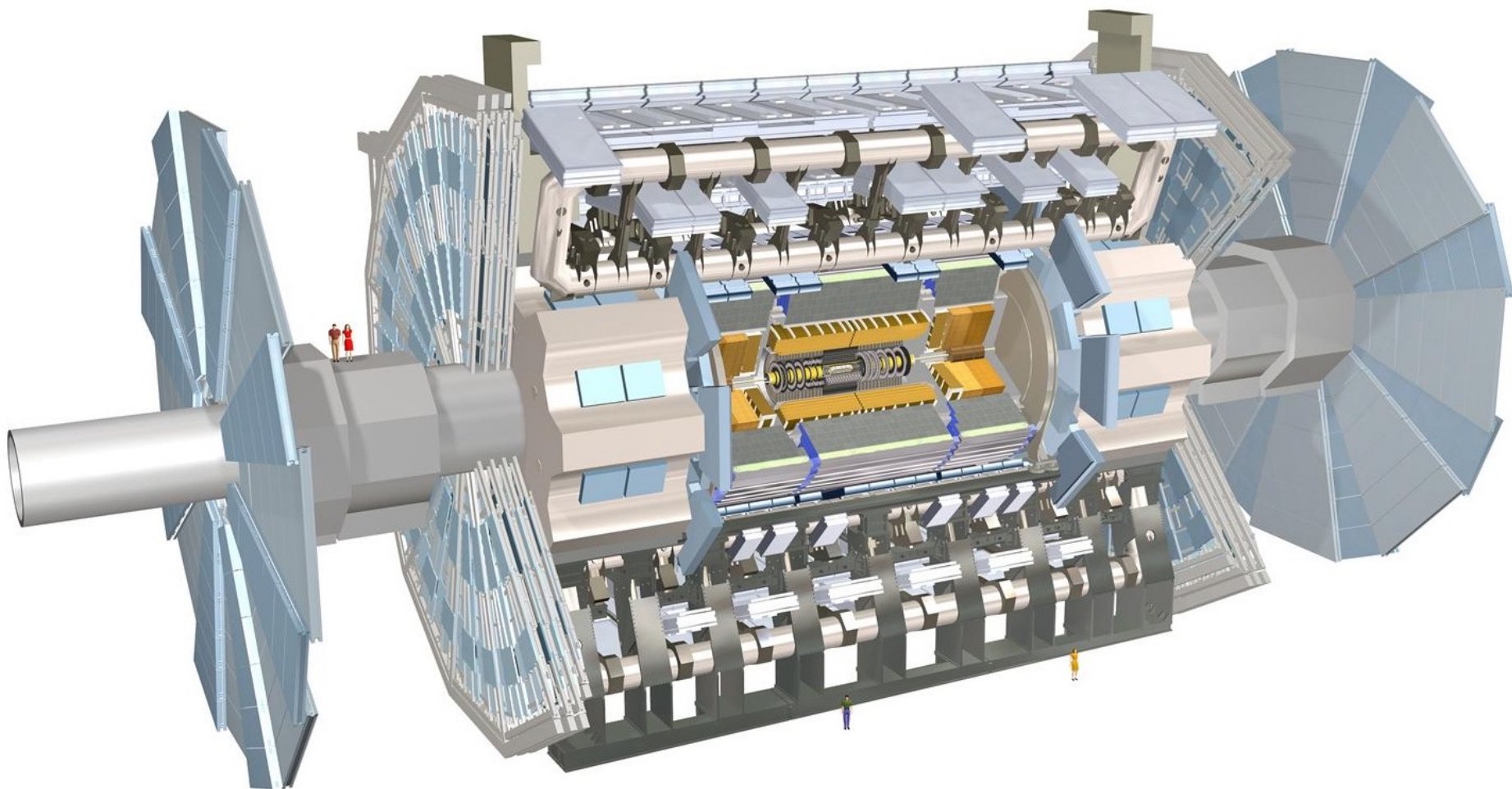


Détecter les particules créées par le LHC



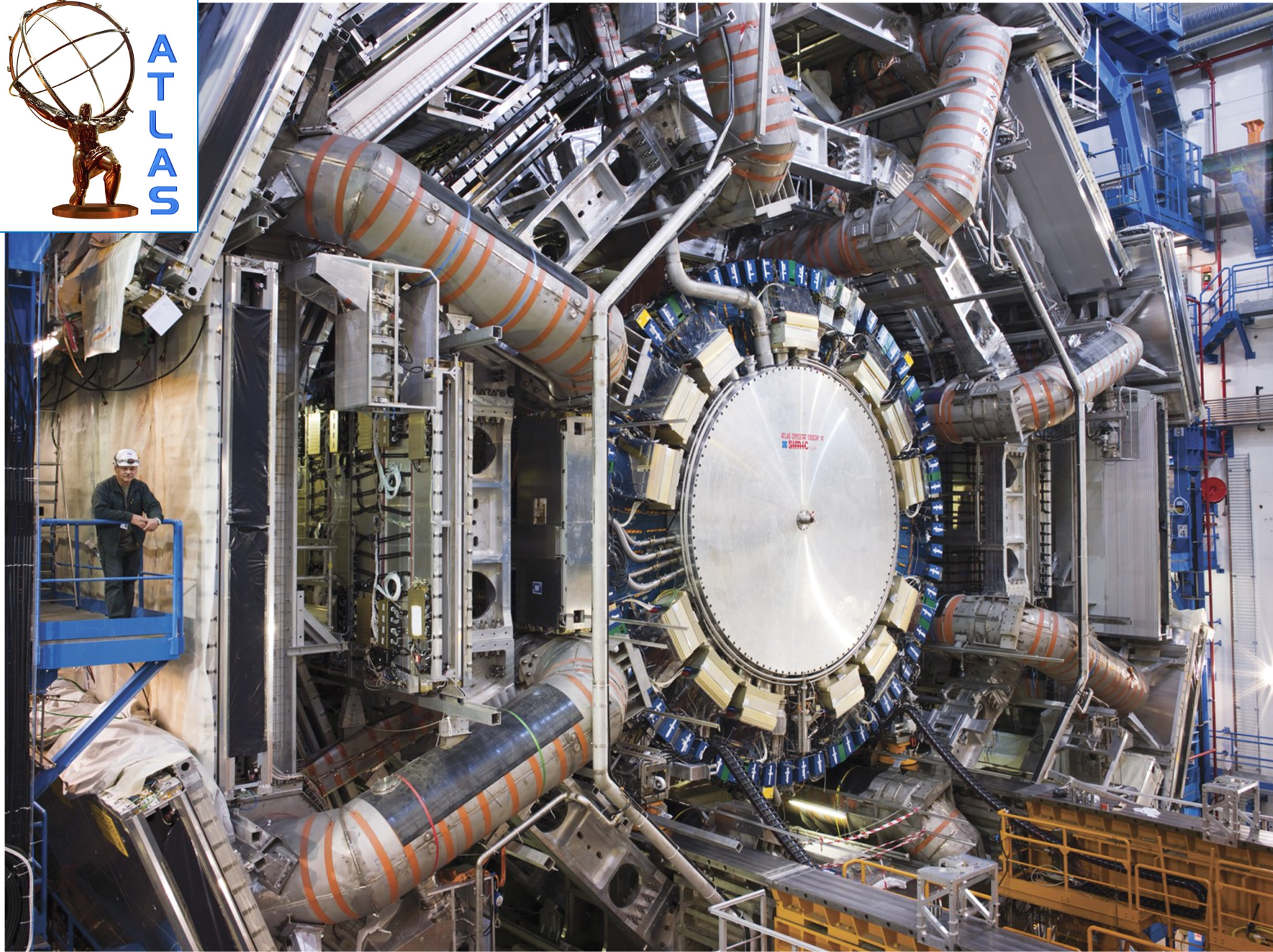


Longueur : 44 mètres
Diamètre : 25 mètres
Poids : 7000 tonnes

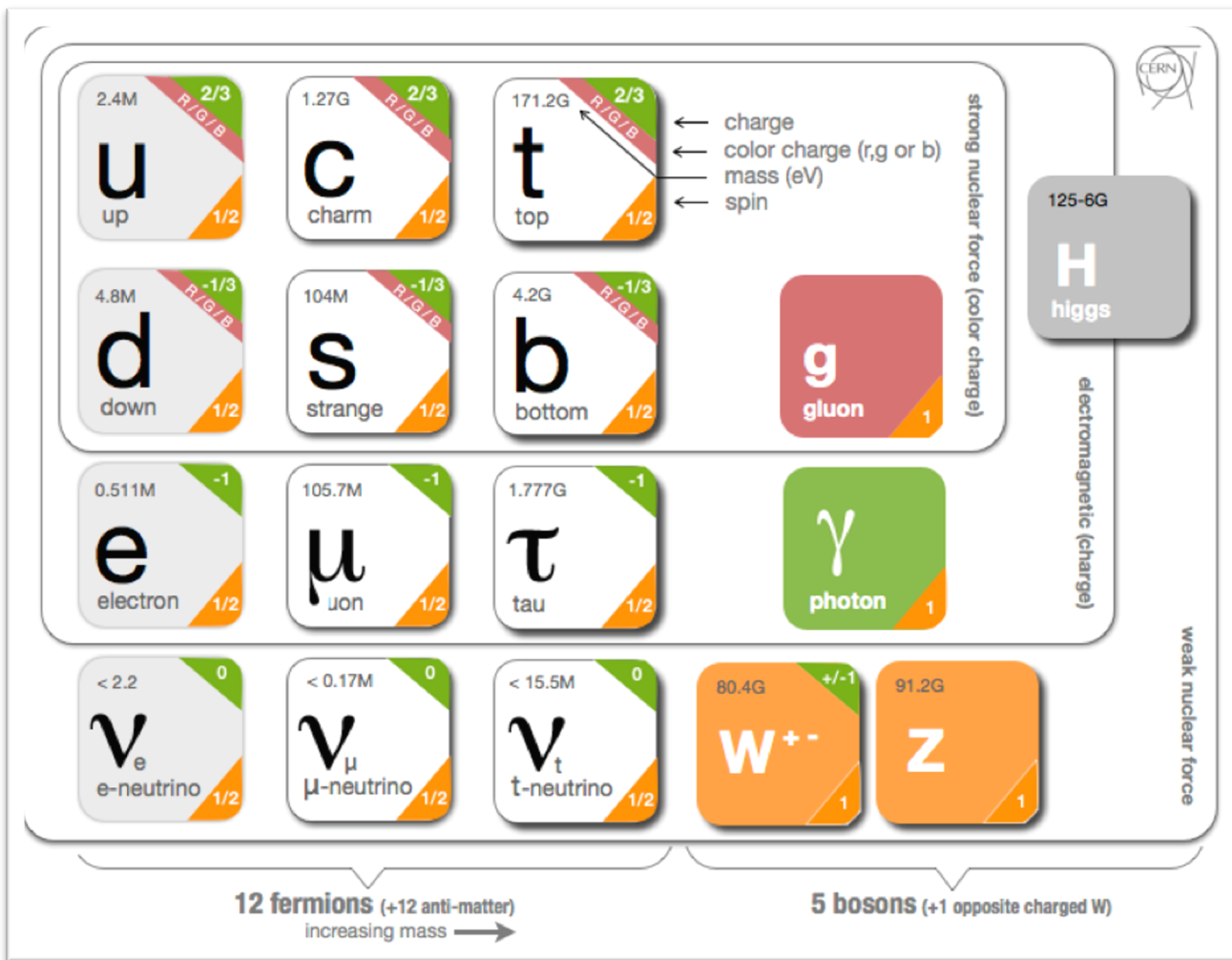




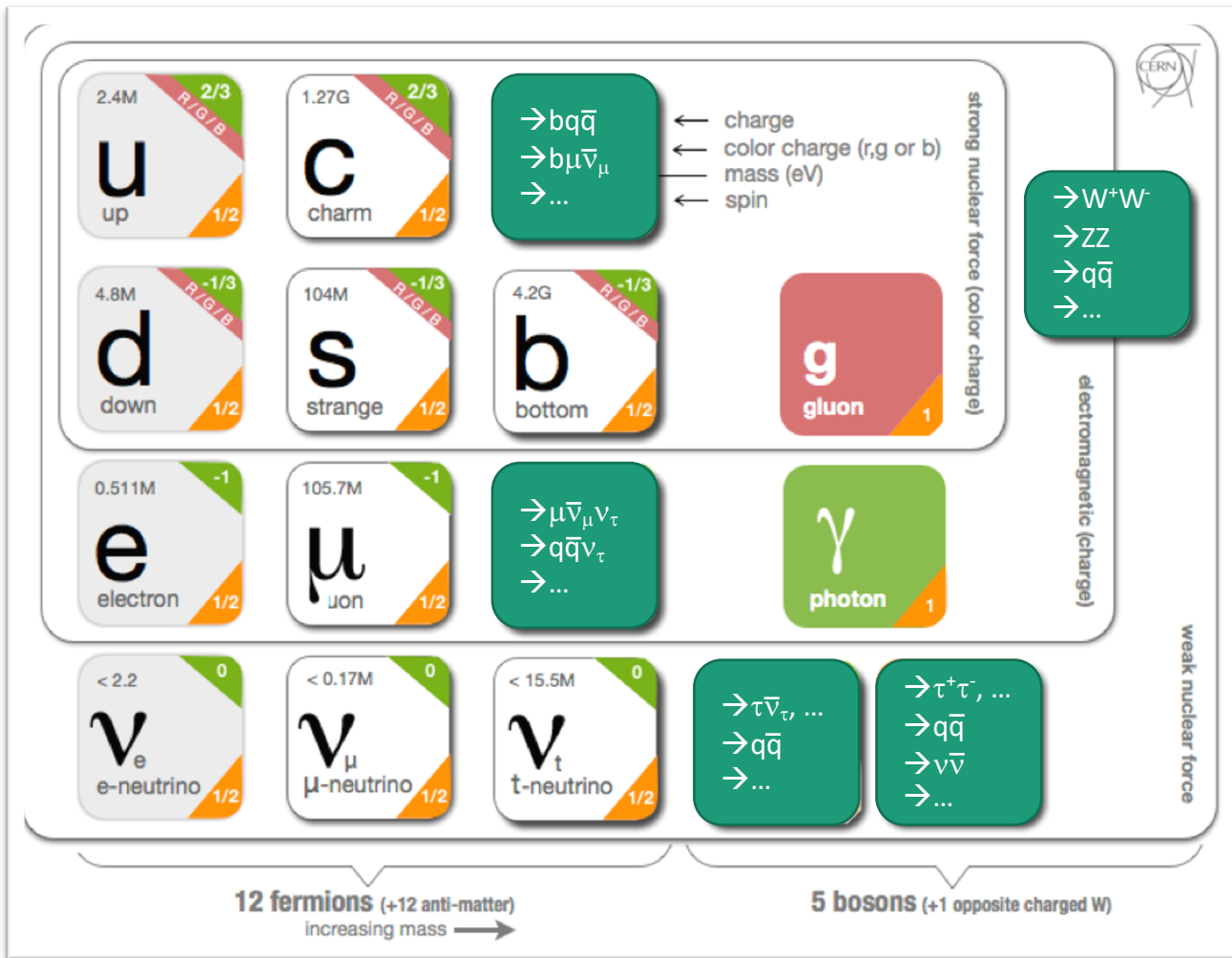
ATLAS



Que détecter ?

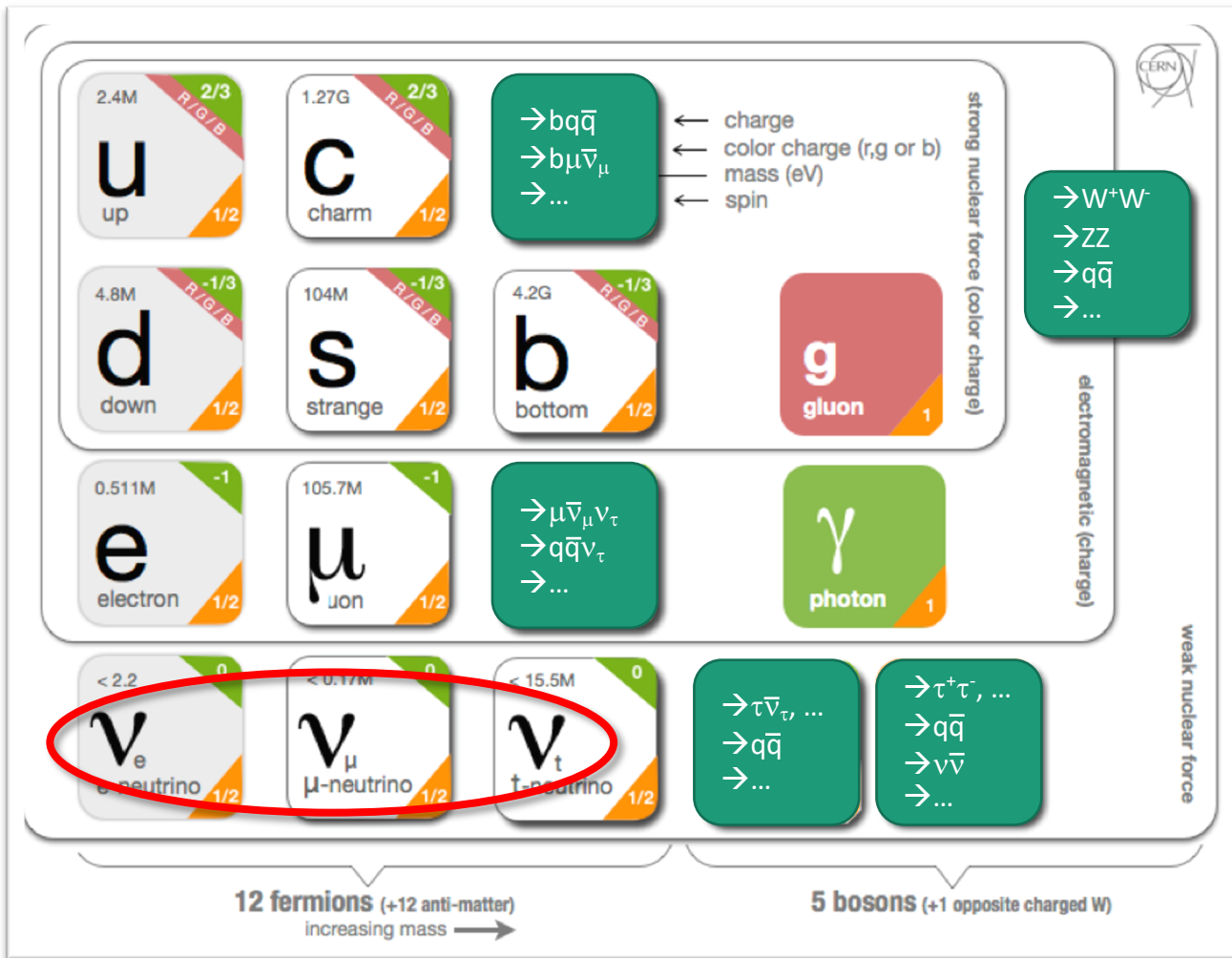


Que détecter ?



Certaines particules se désintègrent très rapidement:
 τ , Z,W,H, le quark t

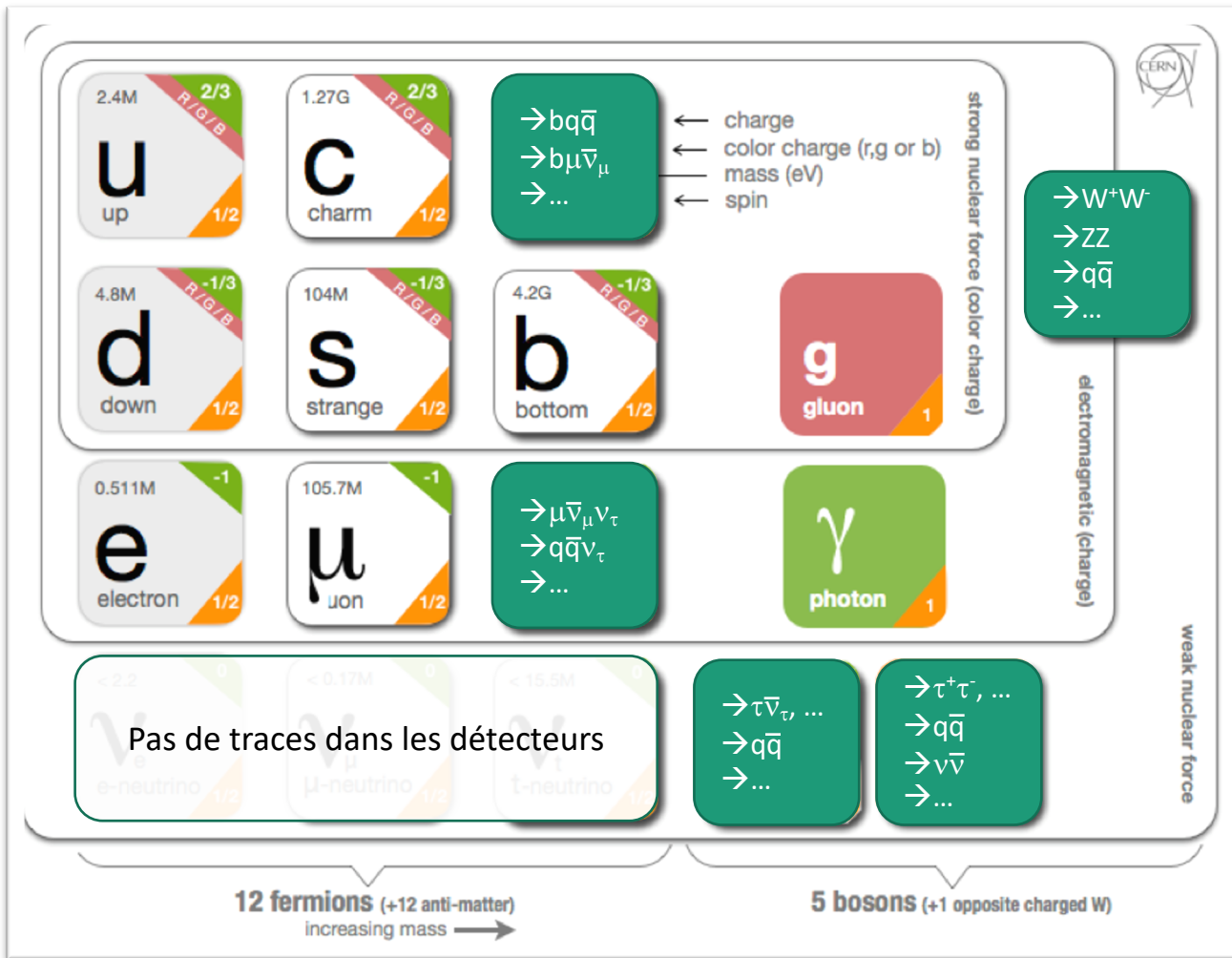
Que détecter ?



Certaines particules se désintègrent très rapidement:
 τ , Z, W, H, le quark t

Les neutrinos ne laissent pas de traces

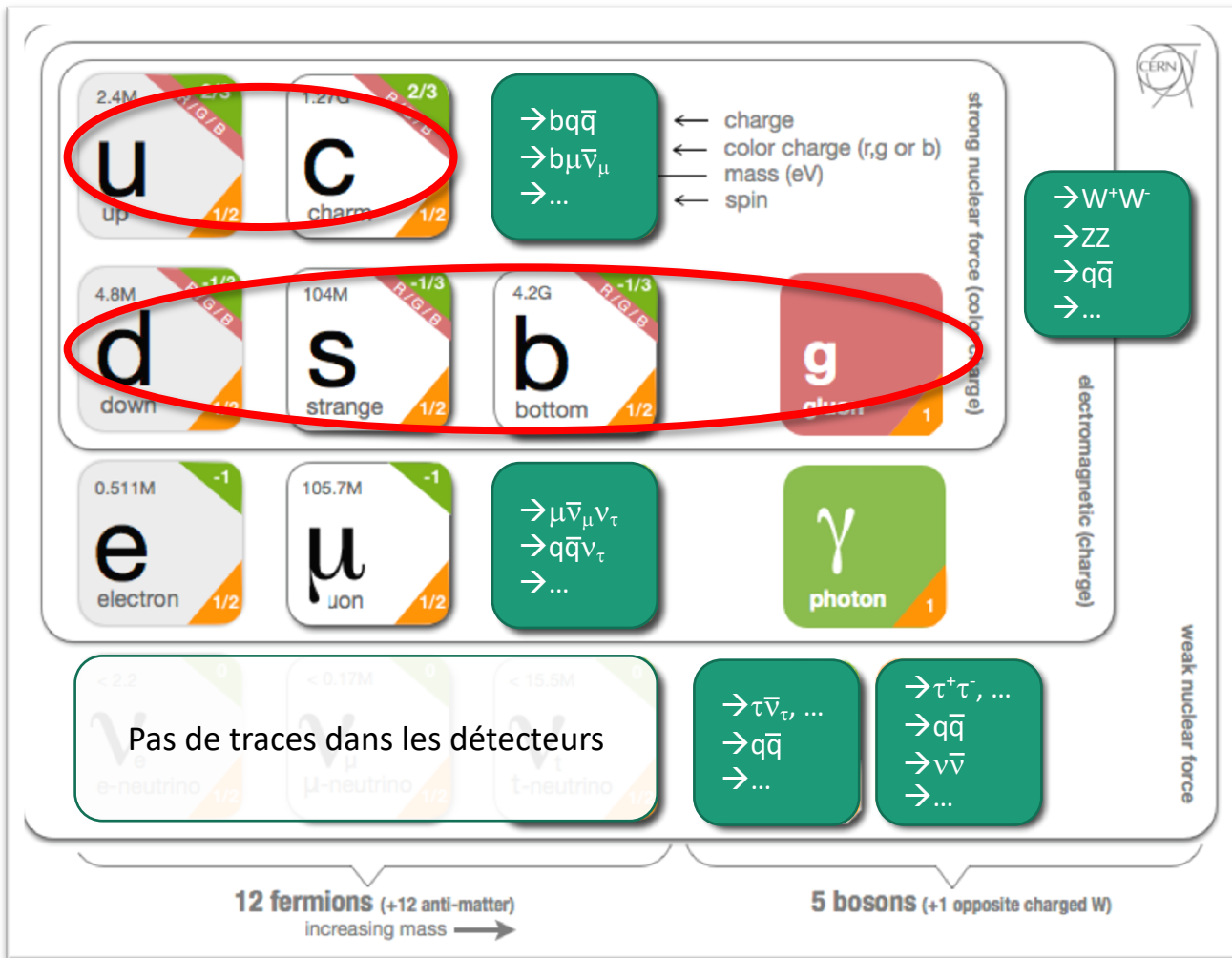
Que détecter ?



Certaines particules se désintègrent très rapidement:
 τ , Z,W,H, le quark t

Les neutrinos ne laissent pas de traces

Que détecter ?



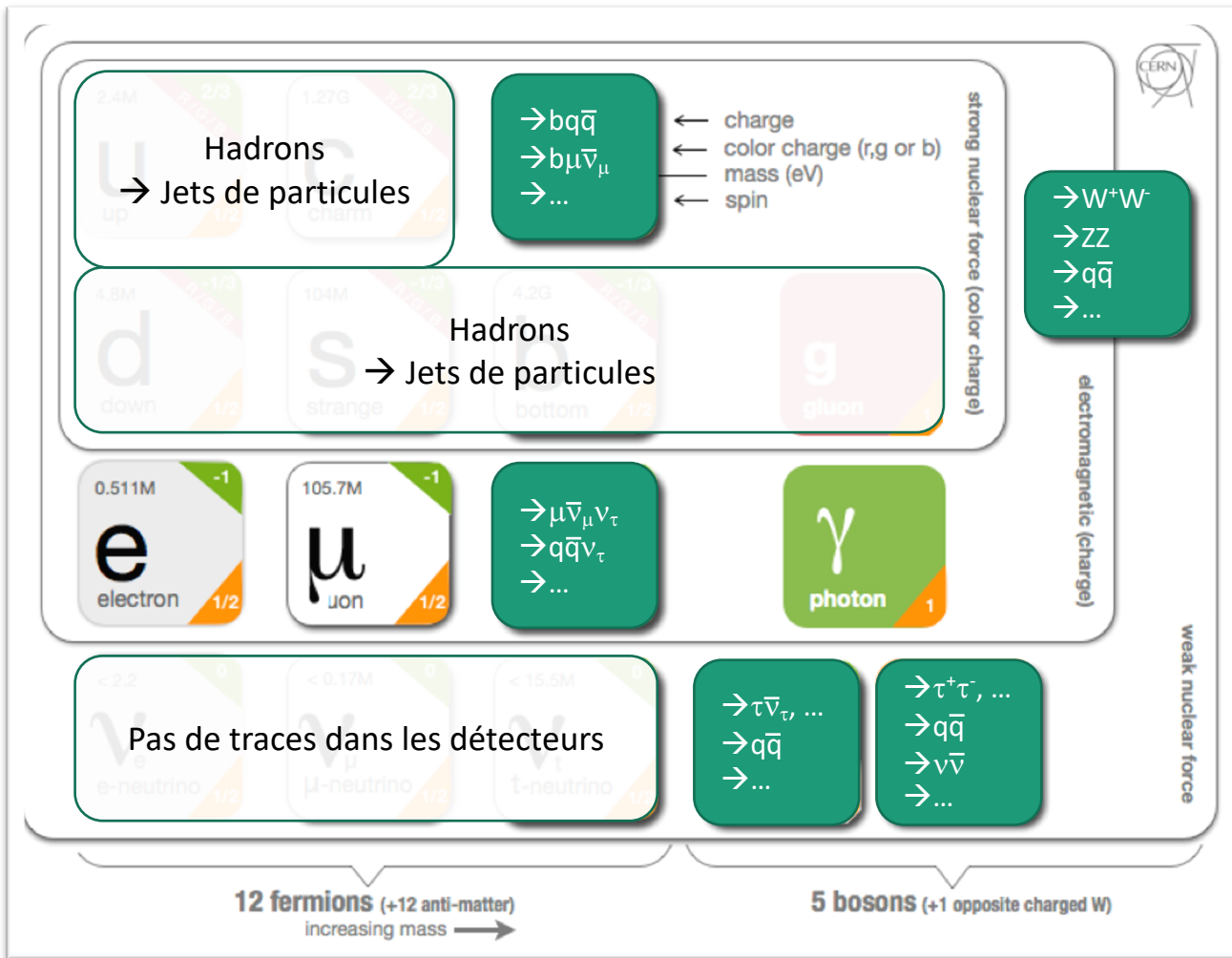
Certaines particules se désintègrent très rapidement:

τ , Z, W, H, le quark t

Les neutrinos ne laissent pas de traces

Les gluons (g) et les quarks s'hadronisent

Que détecter ?

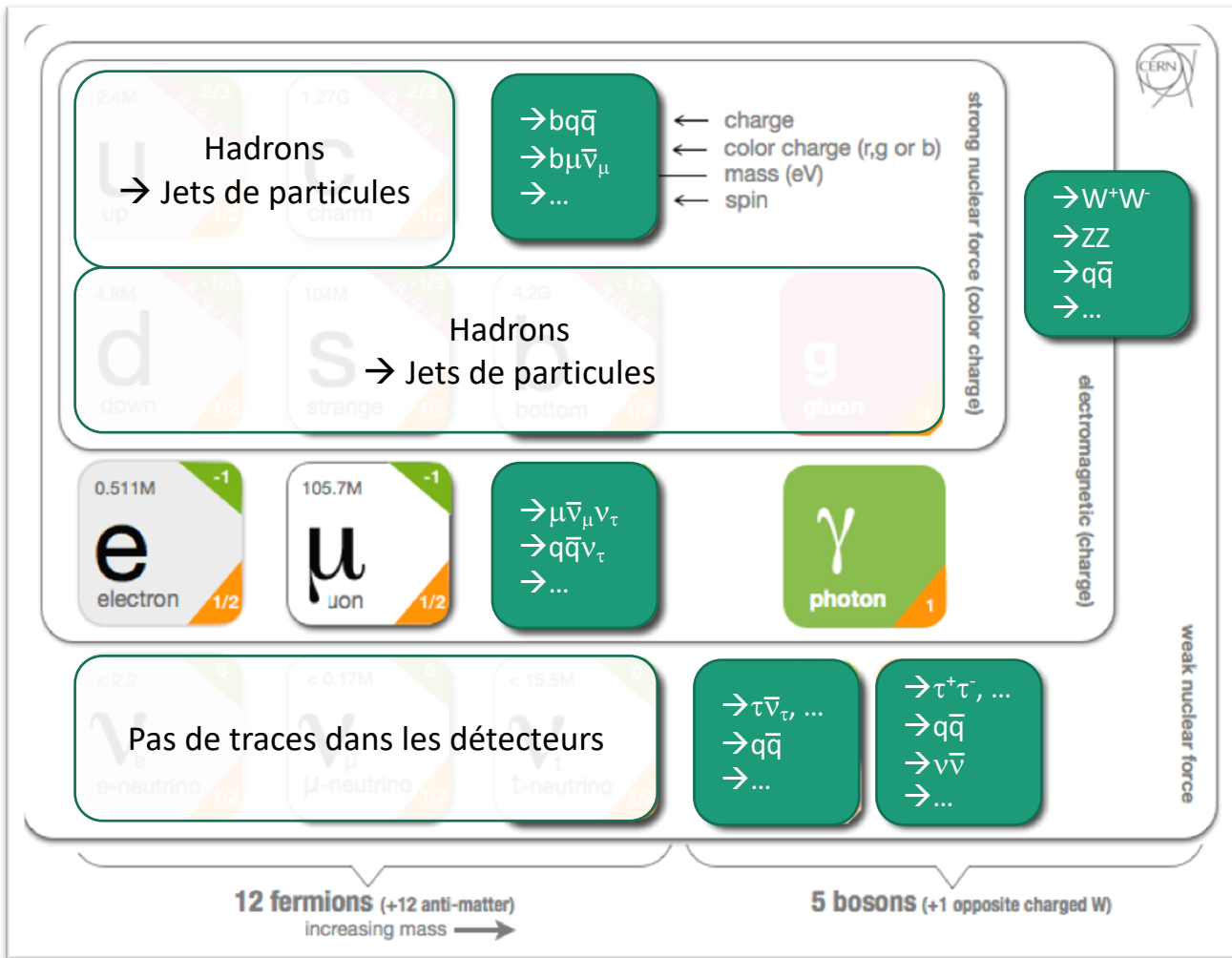


Certaines particules se désintègrent très rapidement:
 τ , Z,W,H, le quark t

Les neutrinos ne laissent pas de traces

Les gluons (g) et les quarks s'hadronisent

Que détecter ?



Certaines particules se désintègrent très rapidement:

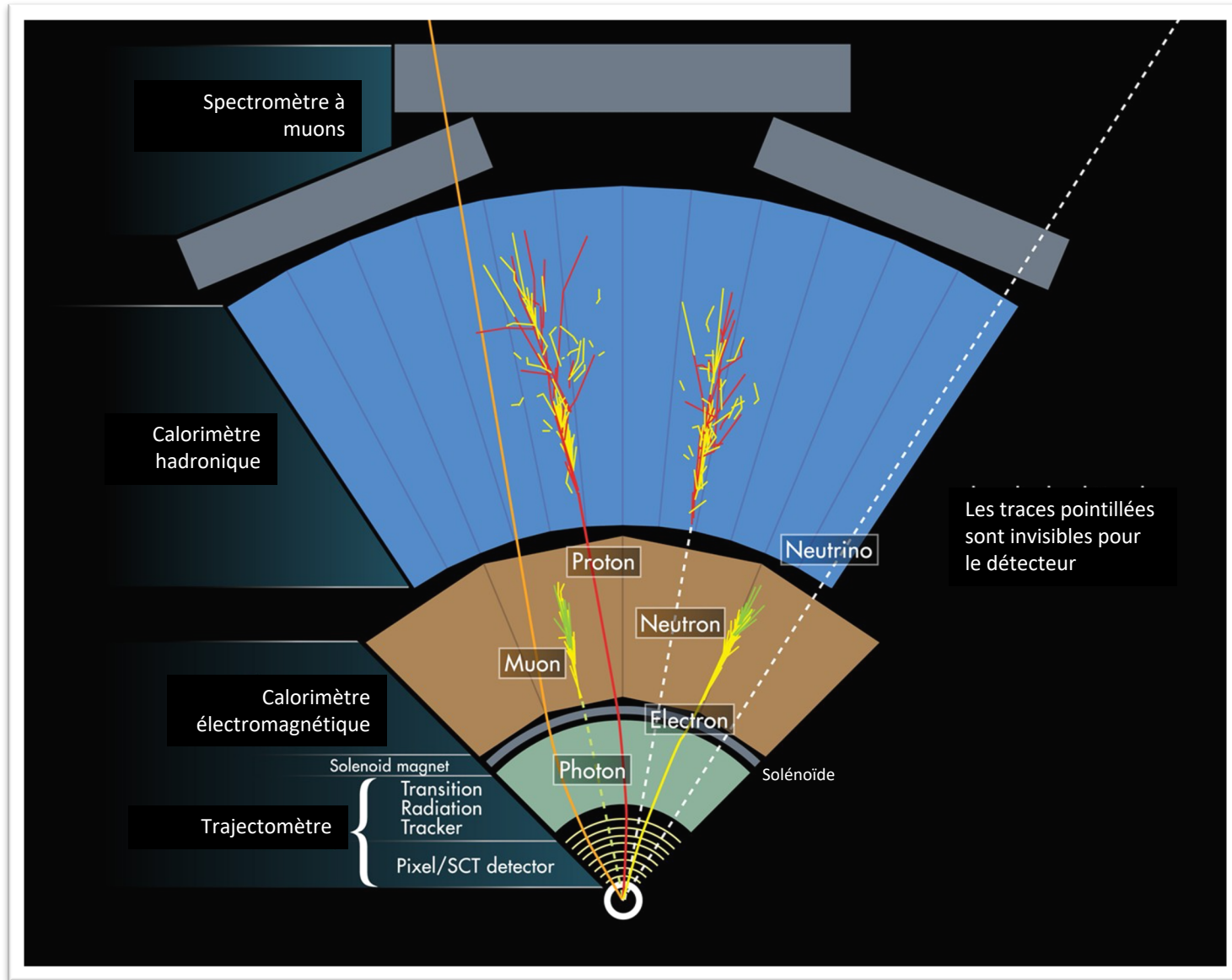
τ , Z,W,H, le quark t

Les neutrinos ne laissent pas de traces

Les gluons (g) et les quarks s'hadronisent

Les particules inconnues
???

Ce qu'on observera dans ATLAS



Ce qu'on observera dans ATLAS

L'électron et
le positron

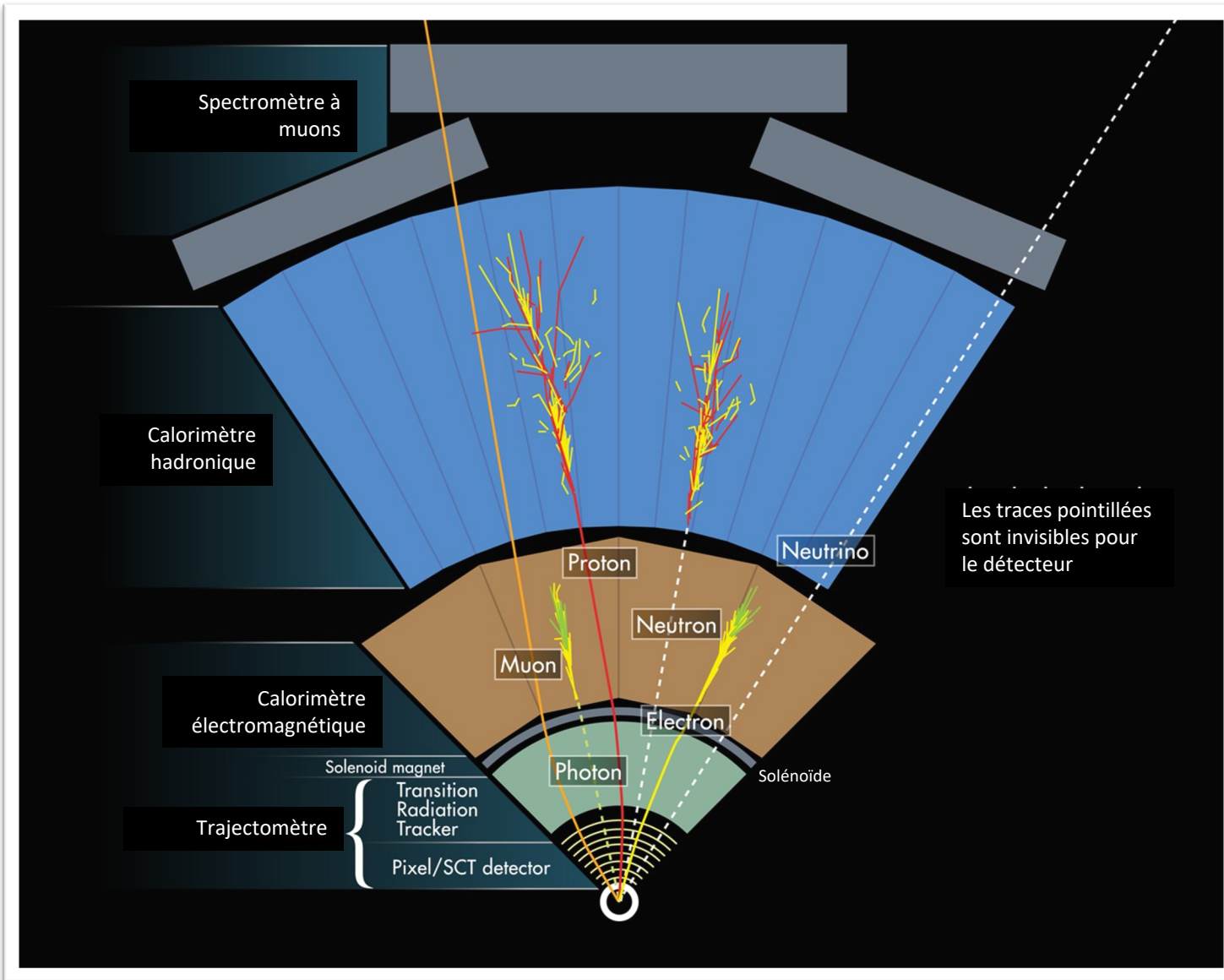
Le muon et
l'anti-muon

Le photon

Les hadrons chargés
(protons...)

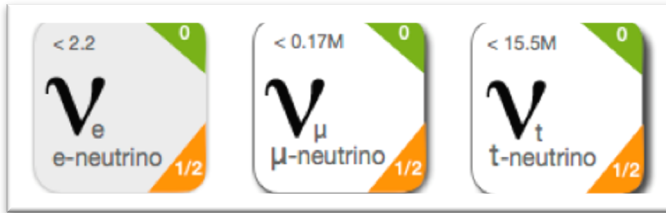
Les hadrons neutres
(neutrons...)

??
Des particules
inconnues
??



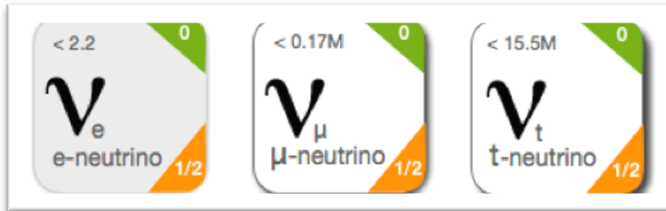
Limites de détection...

**Est-ce qu'une particule
qui n'interagit pas (ou très faiblement) avec la matière
est invisible pour le détecteur ATLAS ?**



Limites de détection...

Est-ce qu'une particule qui n'interagit pas (ou très faiblement) avec la matière est invisible pour le détecteur ATLAS ?



Oui MAIS il est possible de déduire indirectement sa présence :

conservation d'énergie



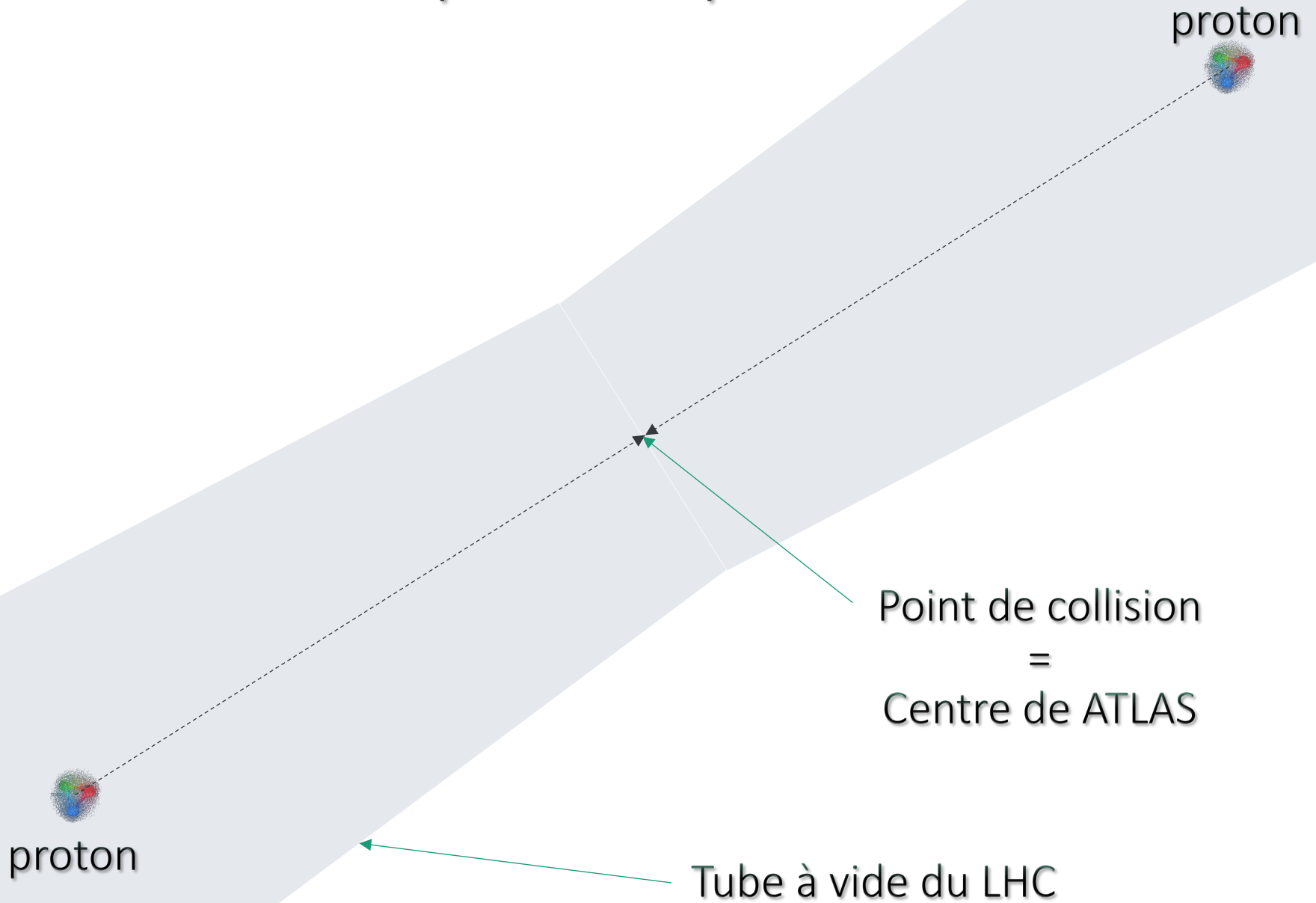
Énergie des protons incidents

Énergie mesurée des produits de collisions



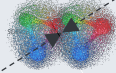
Énergie manquante
dans l'état final
=
somme des énergies
des particules invisibles

Et le boson Z par exemple ?



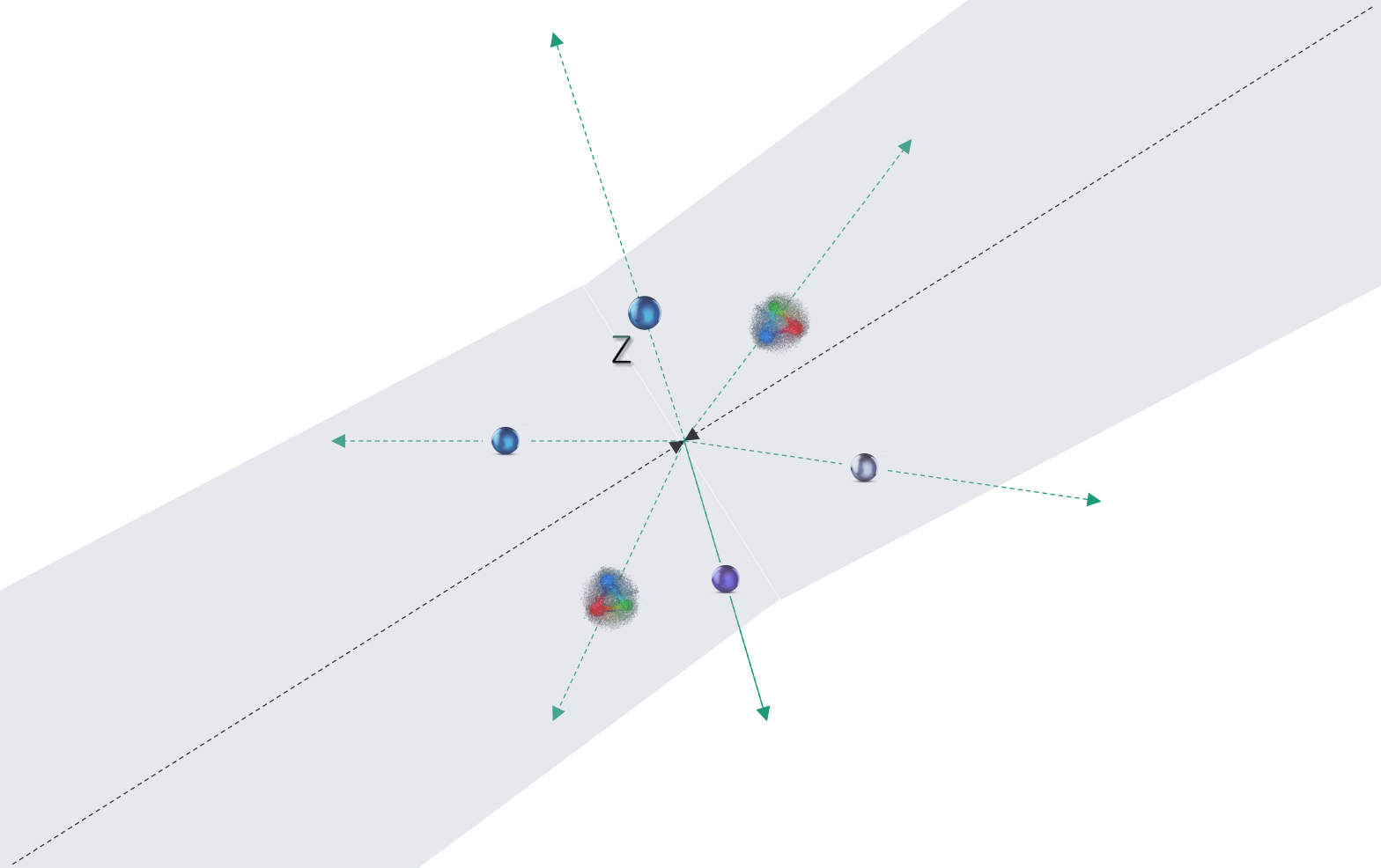
Echelle non respectée

Et le boson Z par exemple ?



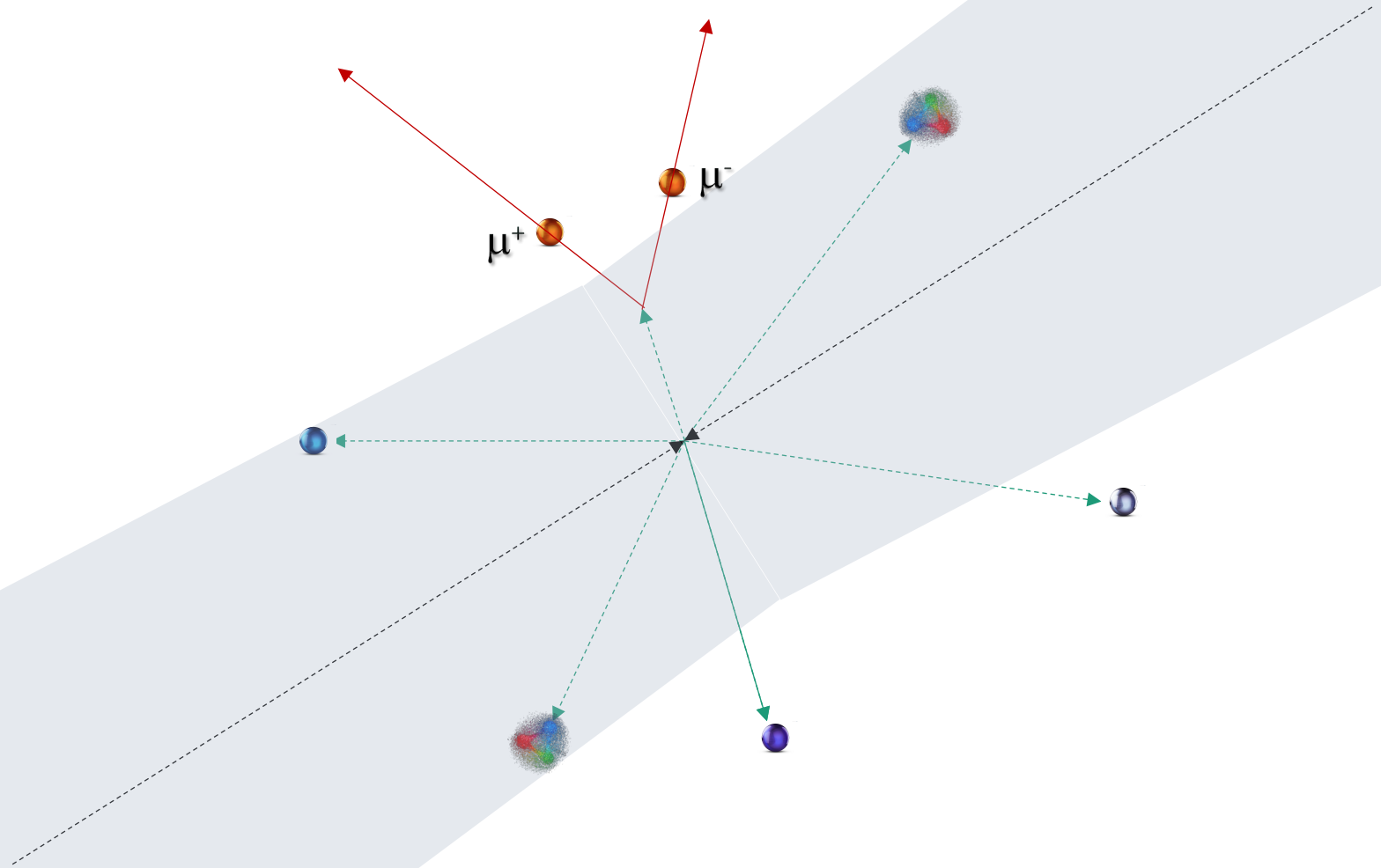
Echelle non respectée

Et le boson Z par exemple ?

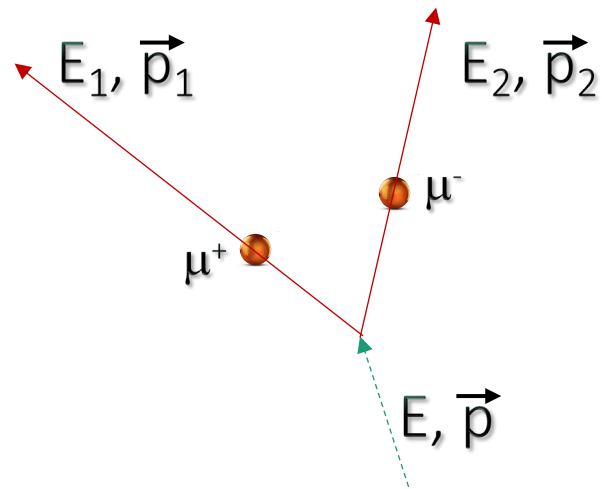


Echelle non respectée

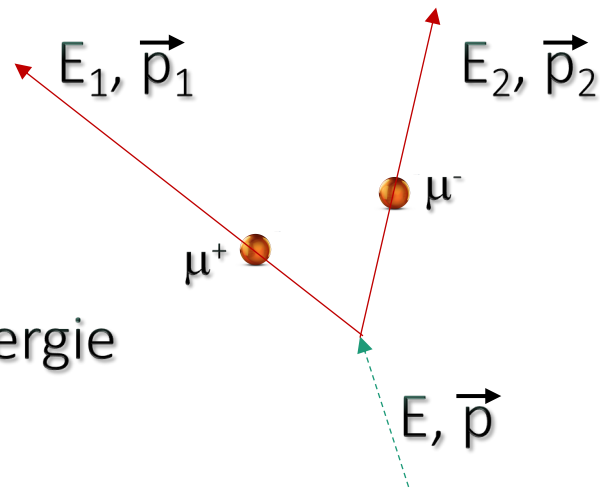
Et le boson Z par exemple ?



Et le boson Z par exemple ?



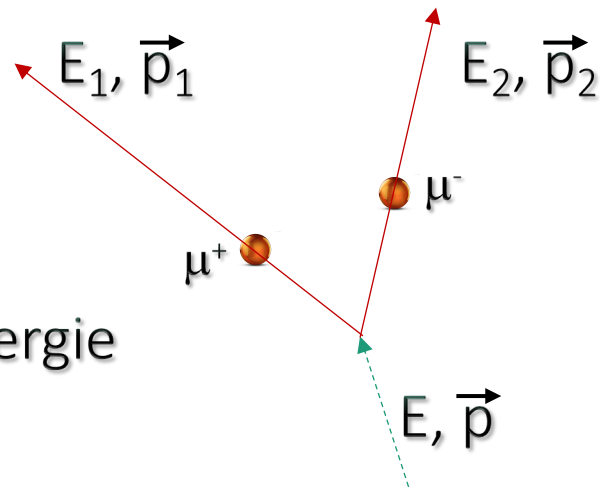
Et le boson Z par exemple ?



Conservation d'énergie
et de moment:

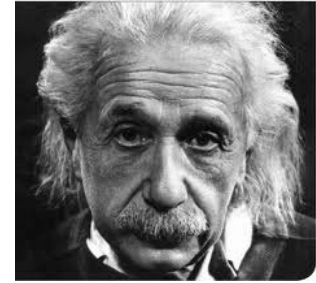
$$E = E_1 + E_2$$
$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

Et le boson Z par exemple ?



Conservation d'énergie
et de moment:

$$E = E_1 + E_2$$
$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$



$$E = mc^2$$

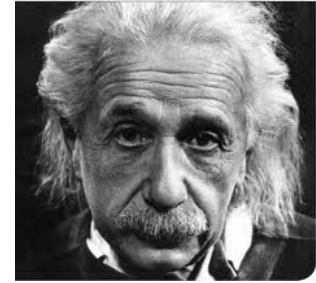


$$E^2 = m_0^2 c^4 + \vec{p}^2 c^2$$



$$m_Z^2 = (E/c^2)^2 - (\vec{p}/c)^2$$

Et le boson Z par exemple ?



$$E = mc^2$$



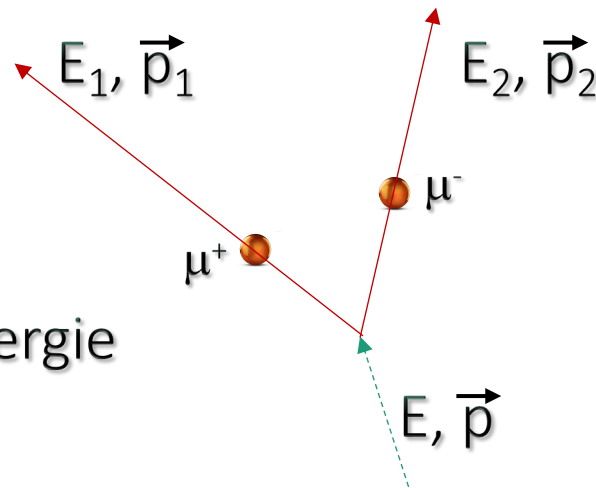
$$E^2 = m_0^2 c^4 + \vec{p}^2 c^2$$



$$m_Z^2 = (E/c^2)^2 - (\vec{p}/c)^2$$

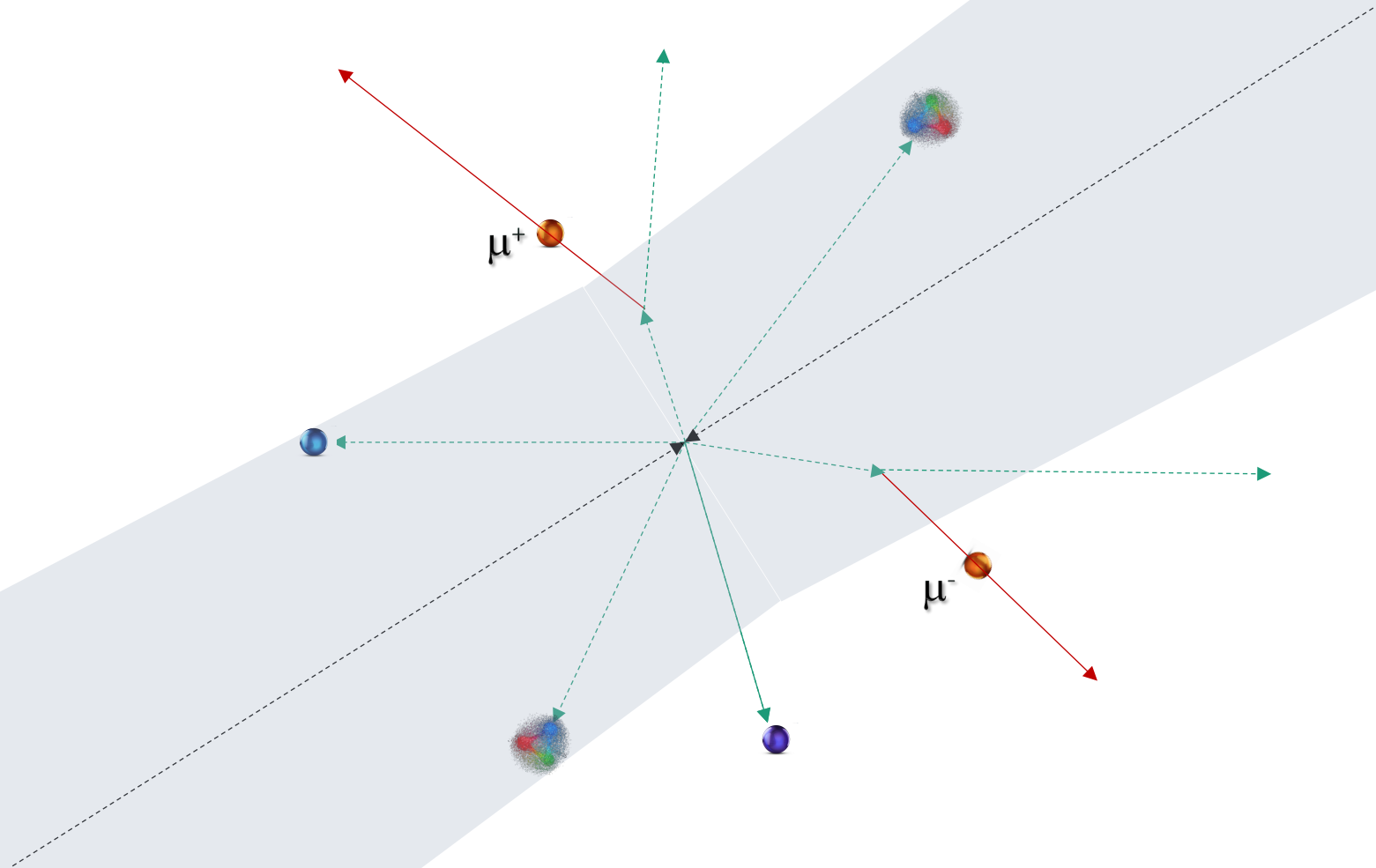
Conservation d'énergie
et de moment:

$$E = E_1 + E_2$$
$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$



$$m_Z^2 = \{ (E_1 + E_2)/c^2 \}^2 - \{ (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)/c \}^2$$

Attention.... Si on se trompe



La masse obtenue ne sera pas correcte

Echelle non respectée

A vous de jouer ...



A vous de jouer ...

