

QUIZZZZZZZZZZ!

Le LHC au
CERN :
produire des
particules pour
les étudier

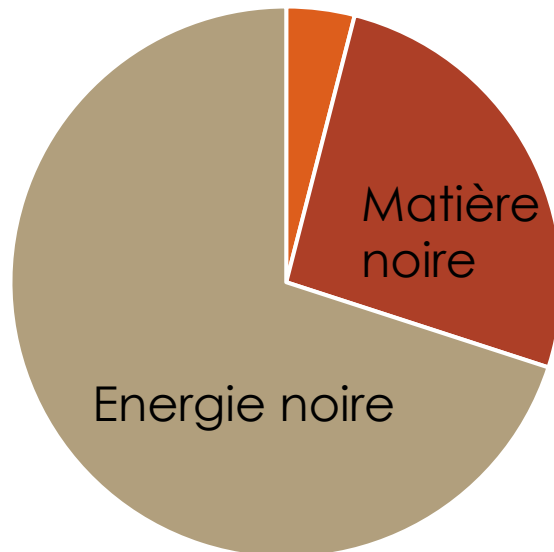
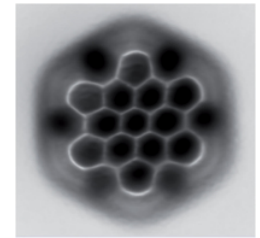
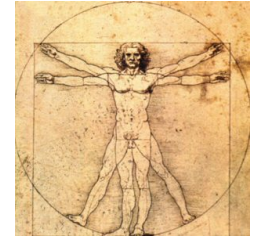


Rappel des épisodes précédents

particule élémentaire ?

Constituants **fondamentaux**.

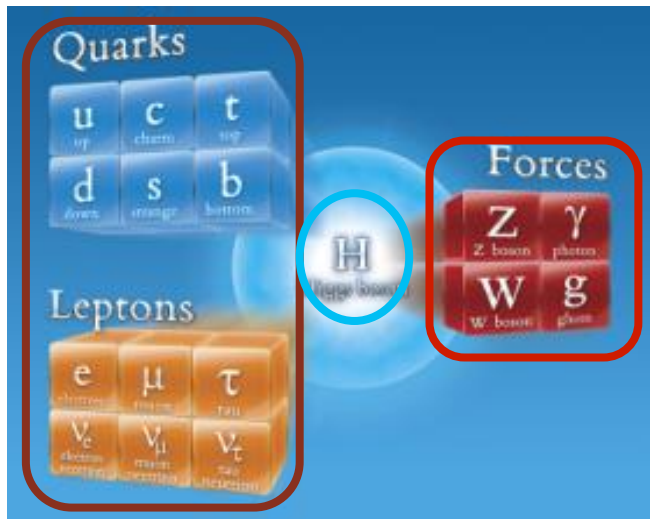
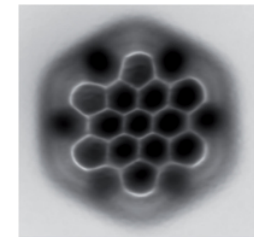
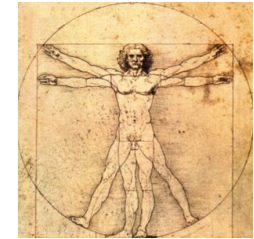
Pour expliquer **tout** l'Univers connu!!



Tout le reste ! Nous !!! 4% !!!

particule élémentaire ?

Pour expliquer tout l'Univers connu, seulement 18 particules !!



Trois catégories :

Brique élémentaire de matière

Médiateur d'interaction*

Masse inertielle

2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

François Englert
Peter W. Higgs



Le modèle standard

1968: SLAC u up quark	1974: Brookhaven & SLAC c charm quark	1995: Fermilab t top quark	1979: DESY g gluon
1968: SLAC d down quark	1977: Manchester University s strange quark	1977: Fermilab b bottom quark	1973: Washington University γ photon
1958: General Atomics ν_e electron neutrino	1962: Brookhaven ν_μ muon neutrino	2000: Fermilab ν_τ tau neutrino	1973: CERN W W boson
1959: Cavendish Laboratory e electron	1937: Caltech and Harvard μ muon	1976: SLAC τ tau	1973: CERN Z Z boson

H

Calculs versus mesures

$$\mathcal{L}_{\text{SM}} = \mathcal{L}_{\text{Dirac}} + \mathcal{L}_{\text{mass}} + \mathcal{L}_{\text{gauge}} + \mathcal{L}_{\text{gauge}/\psi} . \quad (1)$$

Here,

$$\mathcal{L}_{\text{Dirac}} = i\bar{e}_L^i \not{\partial} e_L^i + i\bar{\nu}_L^i \not{\partial} \nu_L^i + i\bar{e}_R^i \not{\partial} e_R^i + i\bar{u}_L^i \not{\partial} u_L^i + i\bar{d}_L^i \not{\partial} d_L^i + i\bar{u}_R^i \not{\partial} u_R^i + i\bar{d}_R^i \not{\partial} d_R^i ; \quad (2)$$

$$\mathcal{L}_{\text{mass}} = -v \left(\lambda_e^i \bar{e}_L^i e_R^i + \lambda_u^i \bar{u}_L^i u_R^i + \lambda_d^i \bar{d}_L^i d_R^i + \text{h.c.} \right) - M_W^2 W_\mu^+ W^{-\mu} - \frac{M_W^2}{2 \cos^2 \theta_W} Z_\mu Z^\mu ; \quad (3)$$

$$\mathcal{L}_{\text{gauge}} = -\frac{1}{4} (G_{\mu\nu}^a)^2 - \frac{1}{2} W_{\mu\nu}^+ W^{-\mu\nu} - \frac{1}{4} Z_{\mu\nu} Z^{\mu\nu} - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + \mathcal{L}_{WZA} , \quad (4)$$

where

$$\begin{aligned} G_{\mu\nu}^a &= \partial_\mu A_\nu^a - \partial_\nu A_\mu^a - g_3 f^{abc} A_\mu^b A_\nu^c \\ W_{\mu\nu}^\pm &= \partial_\mu W_\nu^\pm - \partial_\nu W_\mu^\pm \\ Z_{\mu\nu} &= \partial_\mu Z_\nu - \partial_\nu Z_\mu \\ F_{\mu\nu} &= \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu , \end{aligned} \quad (5)$$

and

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{WZA} &= ig_2 \cos \theta_W \left[(W_\mu^- W_\nu^+ - W_\nu^- W_\mu^+) \partial^\mu Z^\nu + W_\mu^+ W_\nu^- Z^\nu - W_\mu^- W_\nu^+ Z^\nu \right] \\ &+ ie \left[(W_\mu^- W_\nu^+ - W_\nu^- W_\mu^+) \partial^\mu A^\nu + W_\mu^+ W_\nu^- A^\nu - W_\mu^- W_\nu^+ A^\nu \right] \\ &+ g_2^2 \cos^2 \theta_W (W_\mu^+ W_\nu^- Z^\mu Z^\nu - W_\mu^- W_\nu^+ Z^\mu Z^\nu) \\ &+ g_2^2 (W_\mu^+ W_\nu^- A^\mu A^\nu - W_\mu^- W_\nu^+ A^\mu A^\nu) \\ &+ g_2 e \cos \theta_W [W_\mu^+ W_\nu^- (Z^\mu A^\nu + Z^\nu A^\mu) - 2W_\mu^+ W_\nu^- Z^\mu A^\nu] \\ &+ \frac{1}{2} g_2^2 (W_\mu^+ W_\nu^-) (W^{+\mu} W^{-\nu} - W^{+\nu} W^{-\mu}) ; \end{aligned} \quad (6)$$

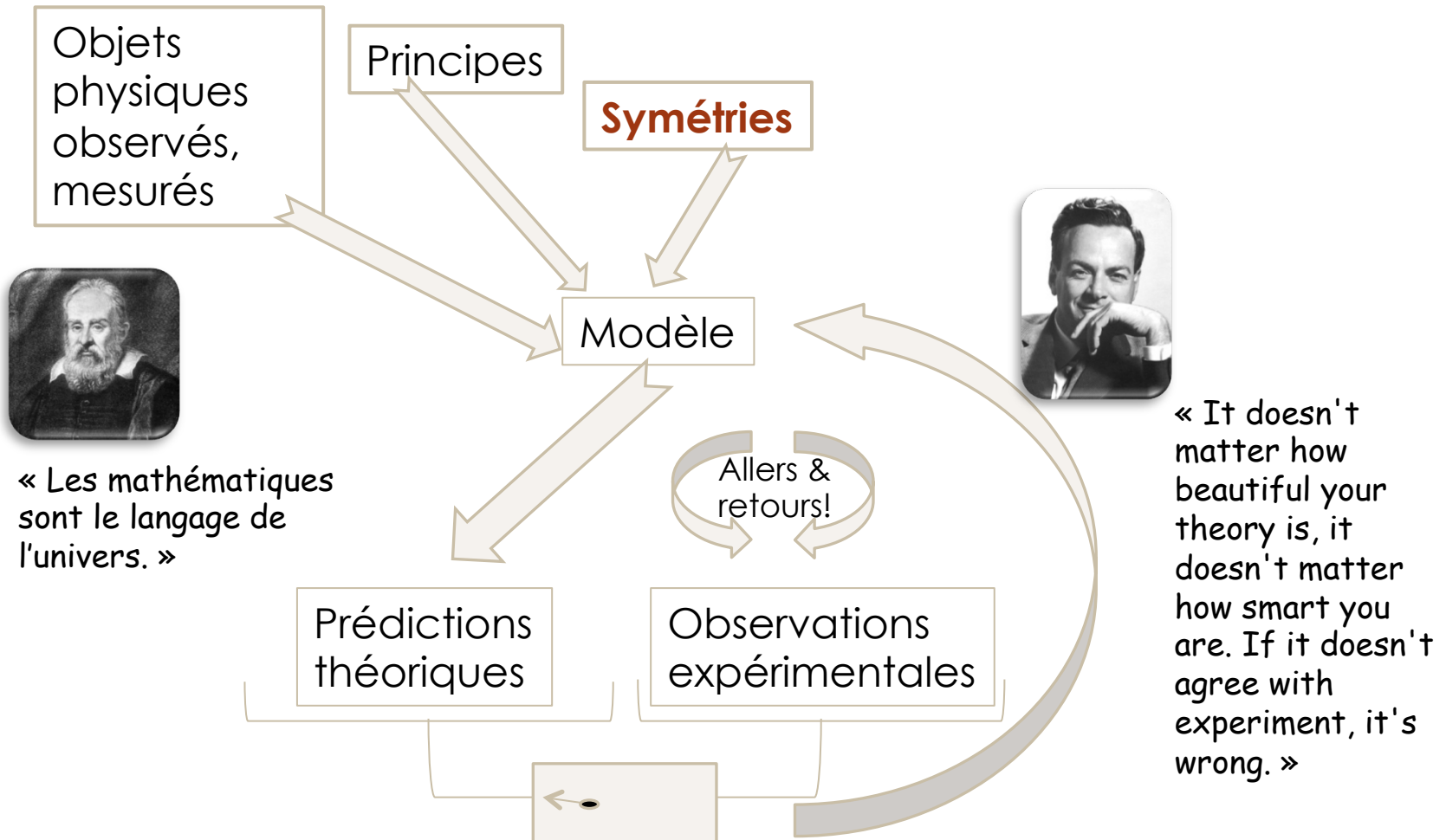
and

$$\mathcal{L}_{\text{gauge}/\psi} = -g_3 A_\mu^a J_{(3)}^{\mu a} - g_2 (W_\mu^+ J_{W^+}^\mu + W_\mu^- J_{W^-}^\mu + Z_\mu J_Z^\mu) - e A_\mu J_A^\mu , \quad (7)$$

where

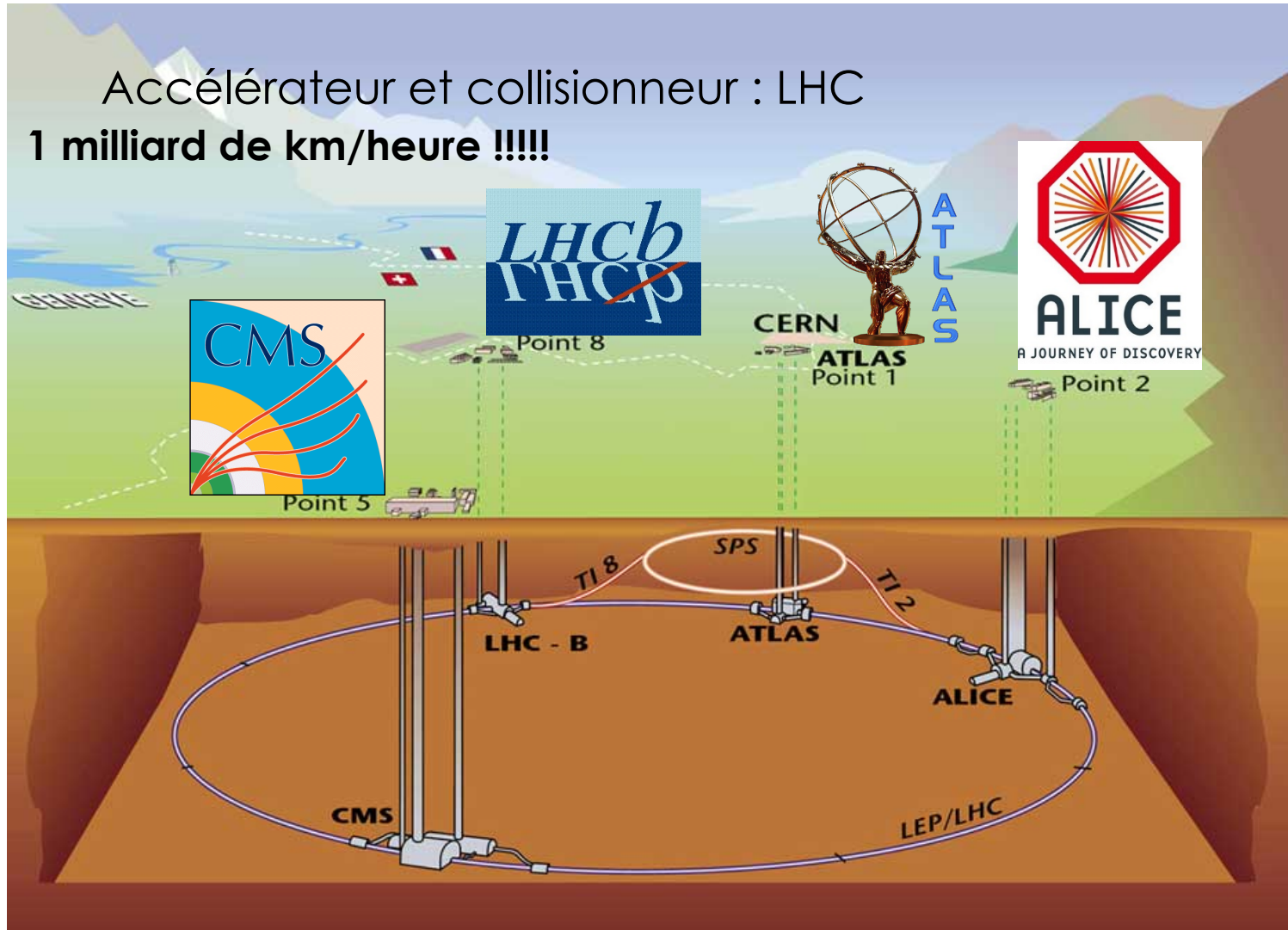
$$\begin{aligned} J_{(3)}^{\mu a} &= \bar{u}^i \gamma^\mu T_{(3)}^a u^i + \bar{d}^i \gamma^\mu T_{(3)}^a d^i \\ J_{W^+}^\mu &= \frac{1}{\sqrt{2}} (\bar{\nu}_L^i \gamma^\mu e_L^i + V^{ij} \bar{u}_L^i \gamma^\mu d_L^j) \\ J_{W^-}^\mu &= (J_{W^+}^\mu)^* \\ J_Z^\mu &= \frac{1}{\cos \theta_W} \left[\frac{1}{2} \bar{\nu}_L^i \gamma^\mu \nu_L^i + \left(-\frac{1}{2} + \sin^2 \theta_W \right) \bar{e}_L^i \gamma^\mu e_L^i + (\sin^2 \theta_W) \bar{e}_R^i \gamma^\mu e_R^i \right. \\ &\quad + \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3} \sin^2 \theta_W \right) \bar{u}_L^i \gamma^\mu u_L^i + \left(-\frac{2}{3} \sin^2 \theta_W \right) \bar{u}_R^i \gamma^\mu u_R^i \\ &\quad \left. + \left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \sin^2 \theta_W \right) \bar{d}_L^i \gamma^\mu d_L^i + \left(\frac{1}{3} \sin^2 \theta_W \right) \bar{d}_R^i \gamma^\mu d_R^i \right] \\ J_A^\mu &= (-1) \bar{e}^i \gamma^\mu e^i + \left(\frac{2}{3} \right) \bar{u}^i \gamma^\mu u^i + \left(-\frac{1}{3} \right) \bar{d}^i \gamma^\mu d^i . \end{aligned} \quad (8)$$

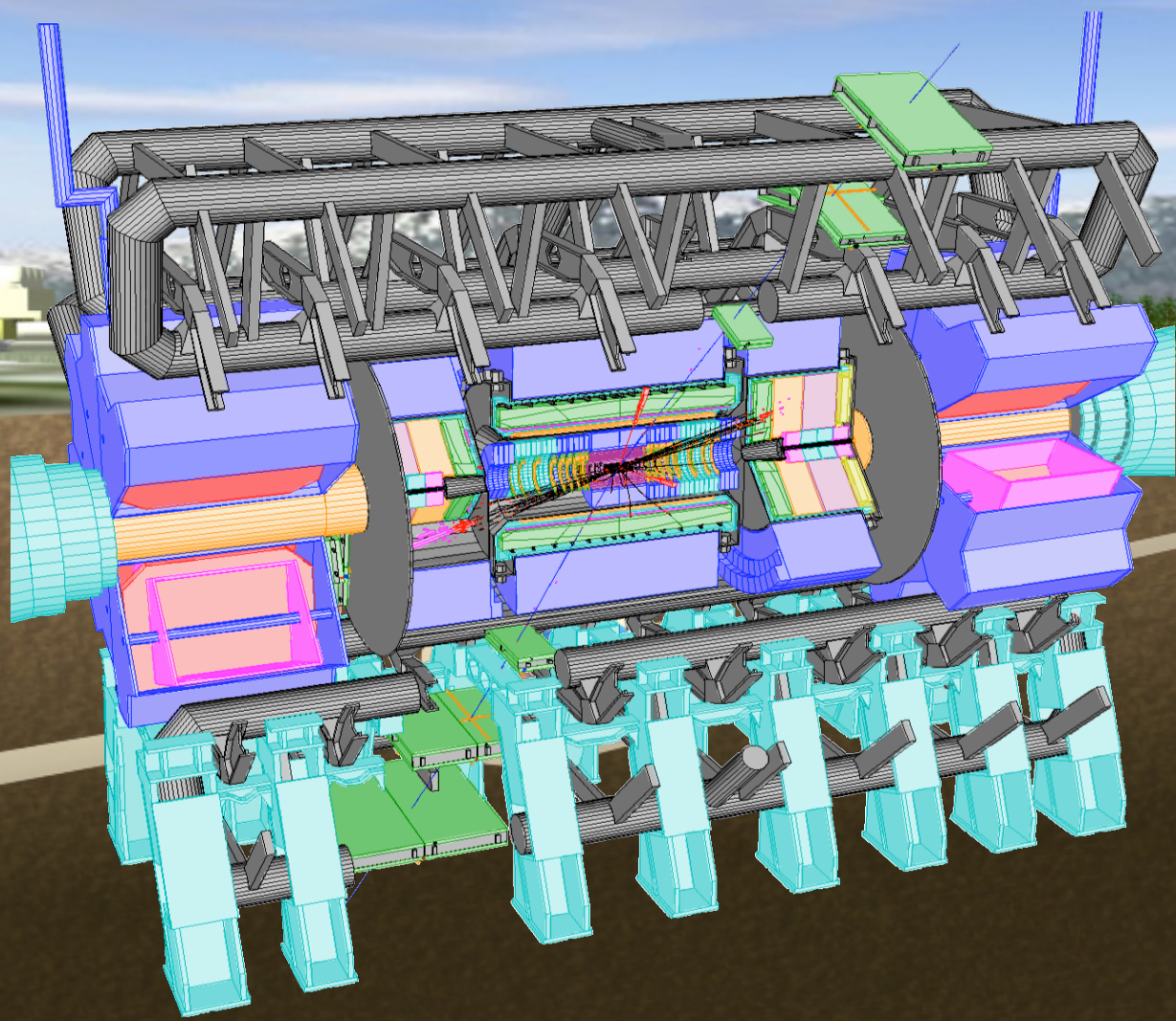
Construction des modèles



Produire des particules

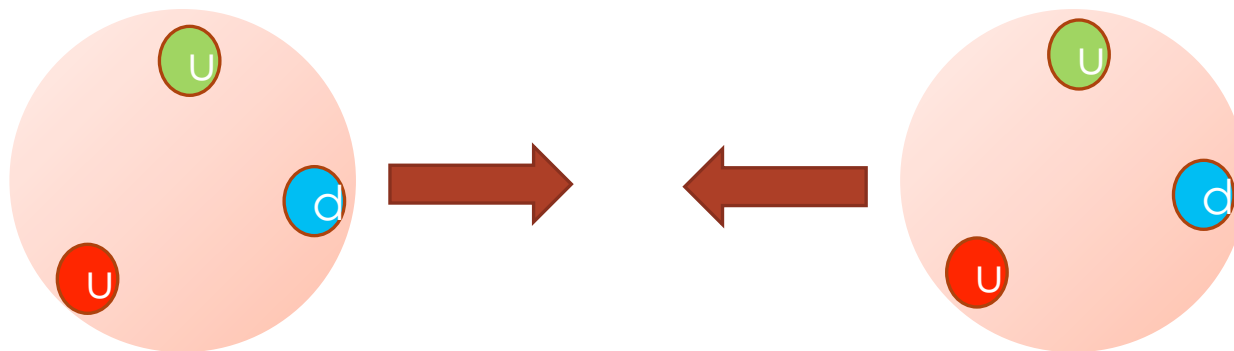
Accélérateur et collisionneur : LHC
1 milliard de km/heure !!!!



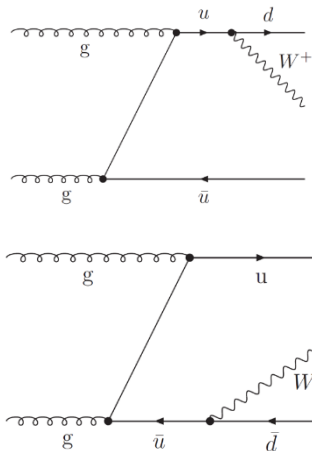
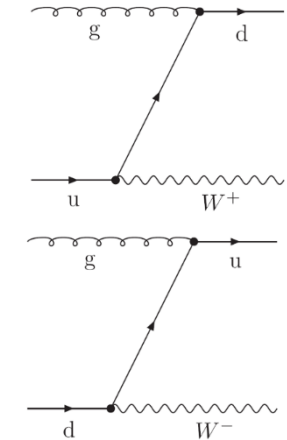


Choisir une mesure

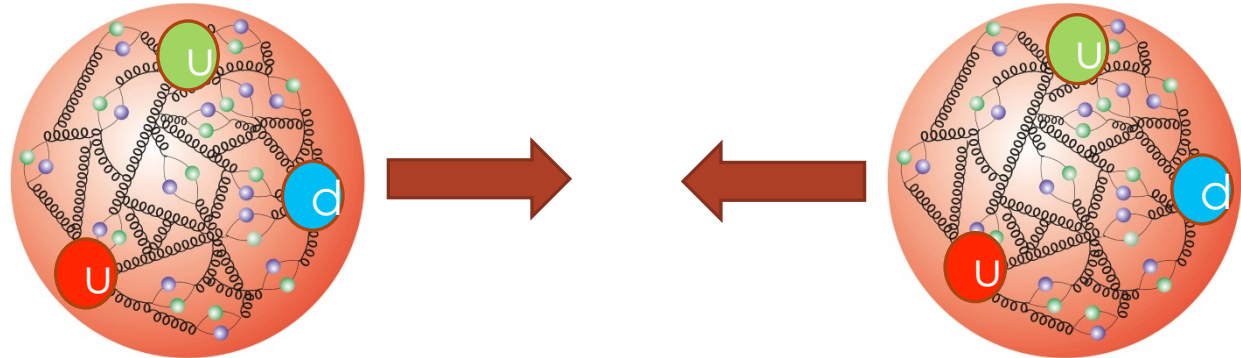
- De nombreuses mesures pour tester le modèle dont
le rapport W^+/W^-
- On a :
 - Gluons de charge 0, quark u de charge $2/3$, quark d de charge $-1/3$
 - $g + u \rightarrow d + W^+$
 - $g + d \rightarrow u + W^-$
 - Sachant que les protons sont composés essentiellement de 2 quarks u et d'un quark d, quel rapport W^+/W^- on attend naïvement 2



Plus compliqué !



Etc...



Description du contenu en quarks et gluons des protons :

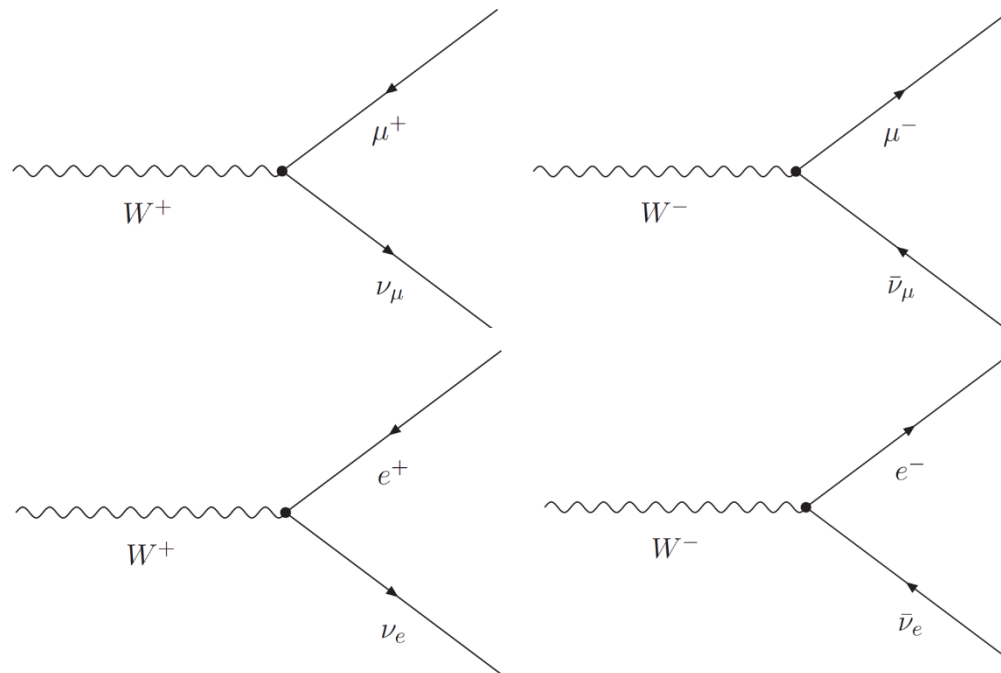
Grandes incertitudes

On mesure W^+ / W^- , on doit trouver un nombre positif, de l'ordre de 1,5 qui teste le modèle et éventuellement le contraint

Bien sûr pour ça il faut reconnaître les W^+ et les W^- produits...

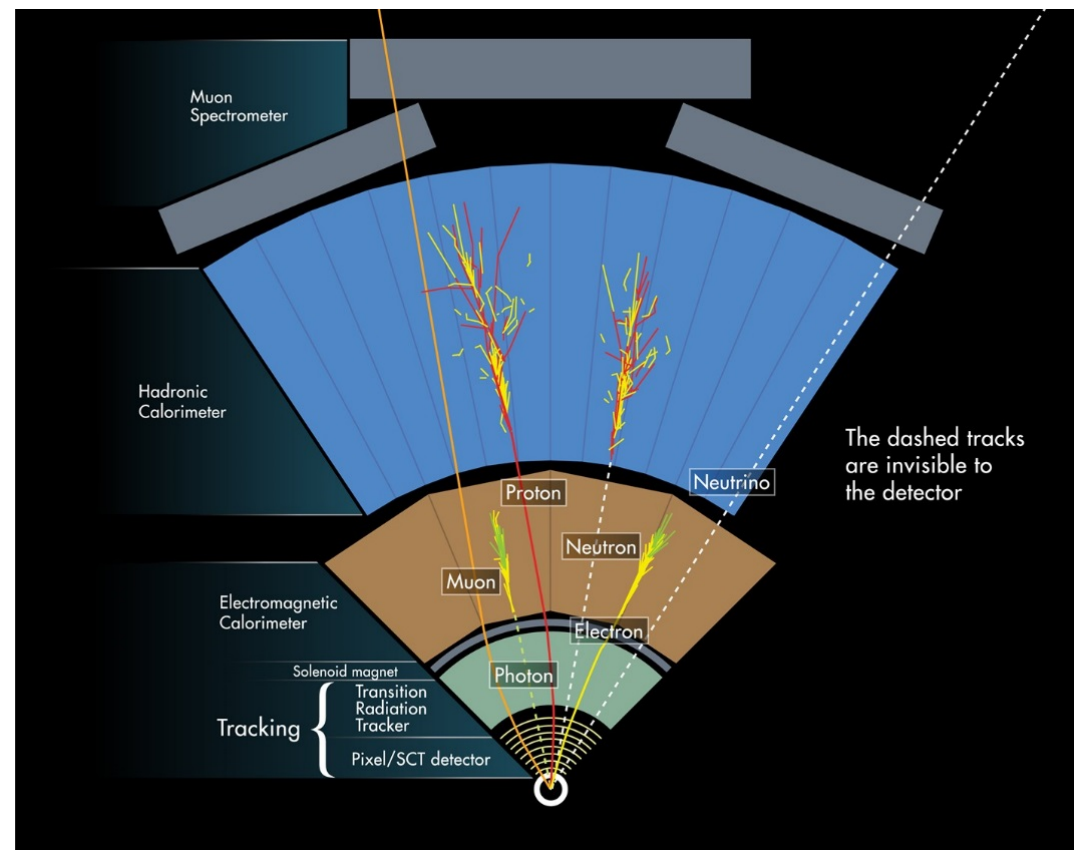
Reconnaître des W

- Les W sont **instables** :
 - Les **produire** pour les étudier
 - Les étudier **via leurs produits de désintégration**
- Désintégrations leptoniques des bosons W^+ et W^-



Donc, le but du jeu

- Reconnaître des électrons, des muons et des neutrinos



1. Le modèle théorique qui décrit la physique des particules s'appelle

- Le modèle bêta
- Le modèle habituel
- Le modèle standard

1968 SLAC u up quark	1972 Brookhaven & SLAC c charm quark	1995 Fermilab t top quark	1979 DESY g gluon
1968 SLAC d down quark	1947 Manchester University s strange quark	1977 Fermilab b bottom quark	1973 Washington University γ photon
1968 Savannah River Plant ν_e electron neutrino	1962 Brookhaven ν_μ muon neutrino	2000 Fermilab ν_τ tau neutrino	1983 CERN W W boson
1957 Cavendish Laboratory e electron	1977 CERN and Harvard μ muon	1975 SLAC τ tau	1983 CERN Z Z boson



$$\mathcal{L}_{EW} = \sum_{\psi} \bar{\psi} \gamma^{\mu} \left(i \partial_{\mu} - g' \frac{1}{2} Y_W B_{\mu} - g \frac{1}{2} \vec{\tau}_L \vec{W}_{\mu} \right) \psi$$

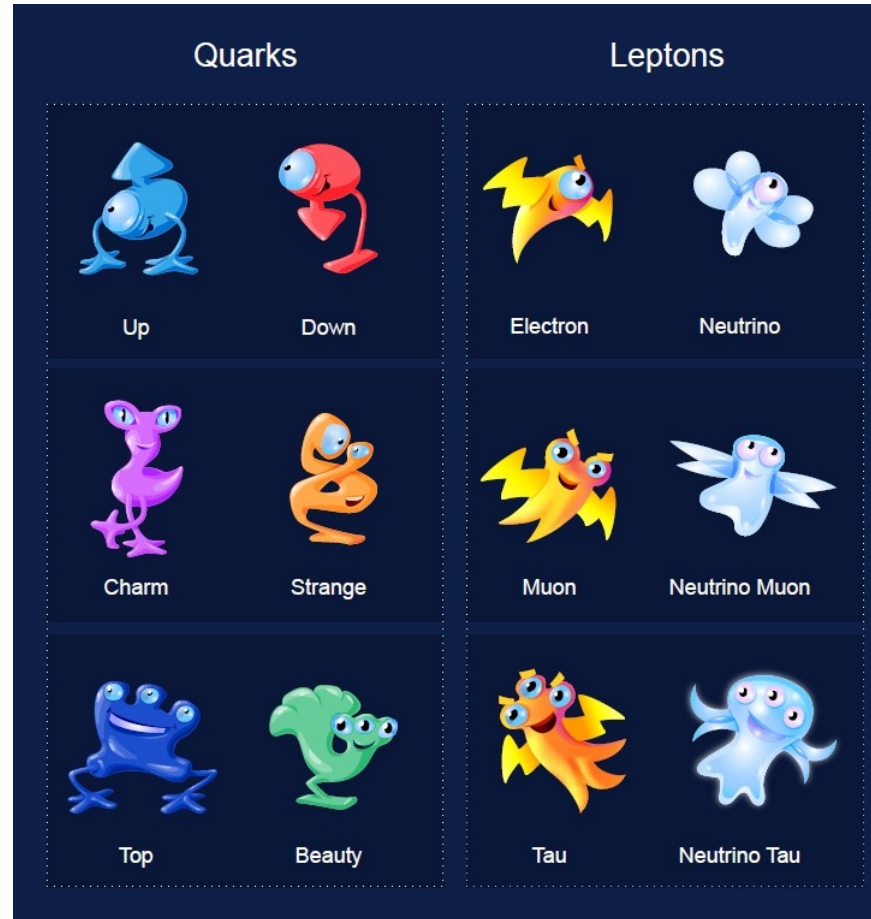
$$\mathcal{L}_{QCD} = i \bar{U} (\partial_{\mu} - i g_s G_{\mu}^a T^a) \gamma^{\mu} U + i \bar{D} (\partial_{\mu} - i g_s G_{\mu}^a T^a) \gamma^{\mu} D.$$

2. Il décrit des particules de matière. Il y en a

a. 8

b. 12

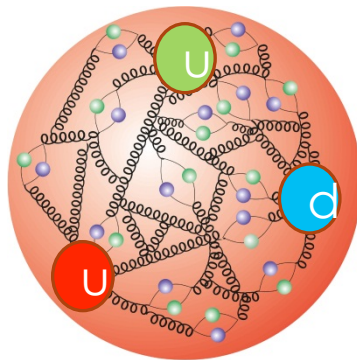
c. 3



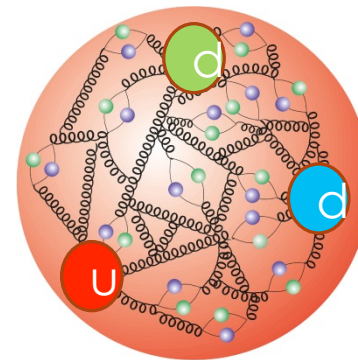
3. Parmi elles, il y en a qui constituent le proton et le neutron, ce sont

- a. Le quark up et le quark down
- b. Le quark charme et le quark beau
- c. L'électron et le neutrino électronique

Un proton :



Un neutron :



4. Combien y-a-t-il d'interactions fondamentales ?

a. 1

b. 2

c. 4

Quatre interactions :

○ **Electromagnétisme :**

○ phénomènes électrique et magnétique

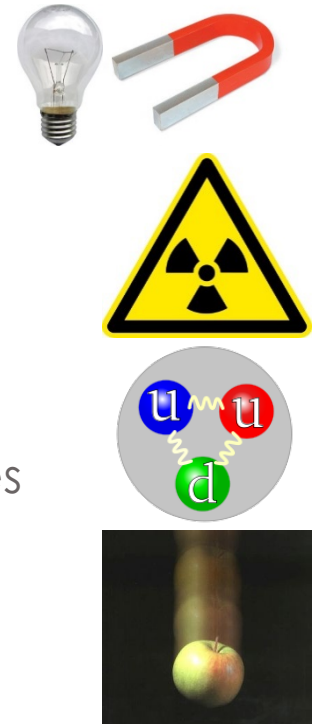
○ **Interaction faible :**

○ Désintégration β , radioactivités

○ **Interaction forte :**

○ Cohésion de la matière nucléaire dans les noyaux et des quarks dans les nucléons

○ **Interaction gravitationnelle**



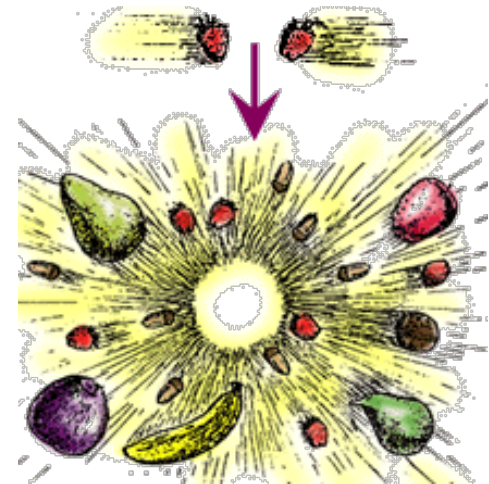
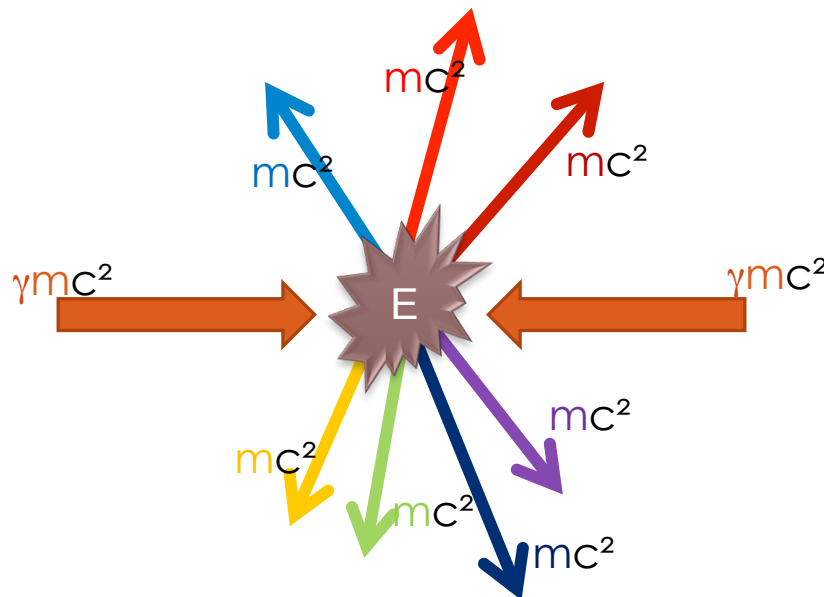
5. Une particule instable est une particule

- a. Qui ne tient pas en place
- b. Qui a un caractère changeant
- c. Qui se désintègre sitôt créée



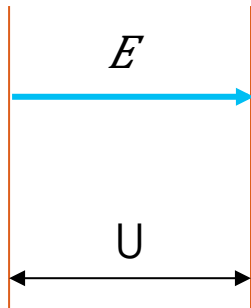
6. Pour créer des particules on fait des collisions de particules pour avoir

- De l'énergie et utiliser $E=mc^2$ et donc créer de la matière
- Des débris de particules à examiner
- Des particules aplaties



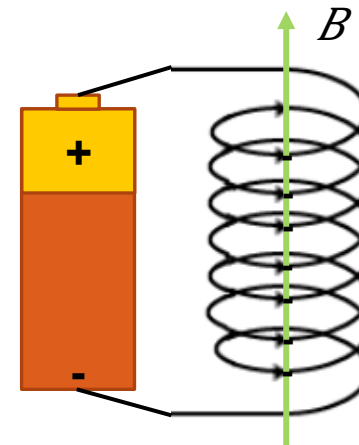
7. Pour donner de l'énergie à une particule, on l'accélère avec

- a. Un champ magnétique
- b. Un champ électrique
- c. Un champ de fraises



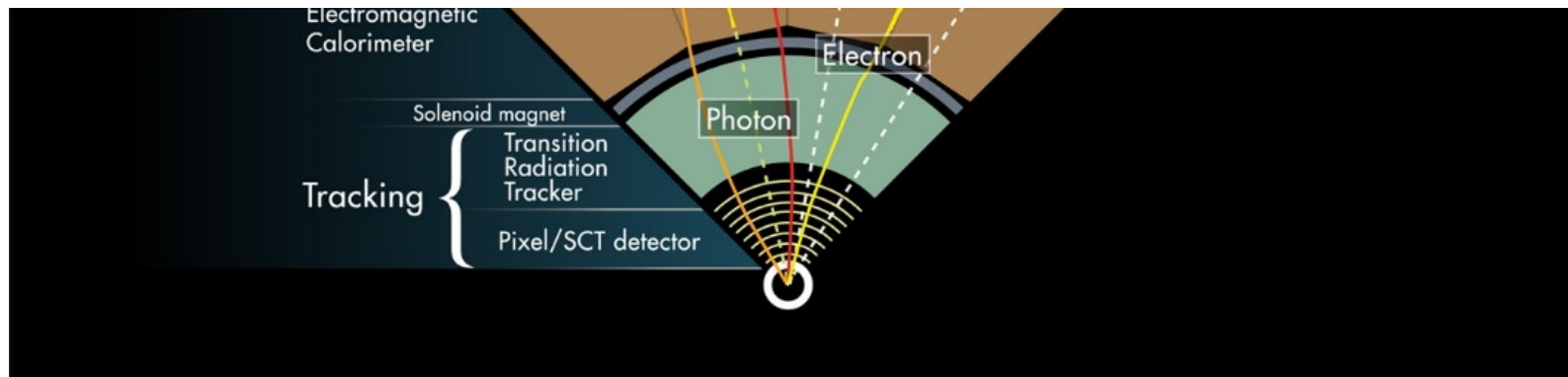
8. Les aimants principaux du LHC servent à

- a. Courber la trajectoire des particules
- b. Donner de l'énergie aux particules
- c. Faire joli dans le tunnel



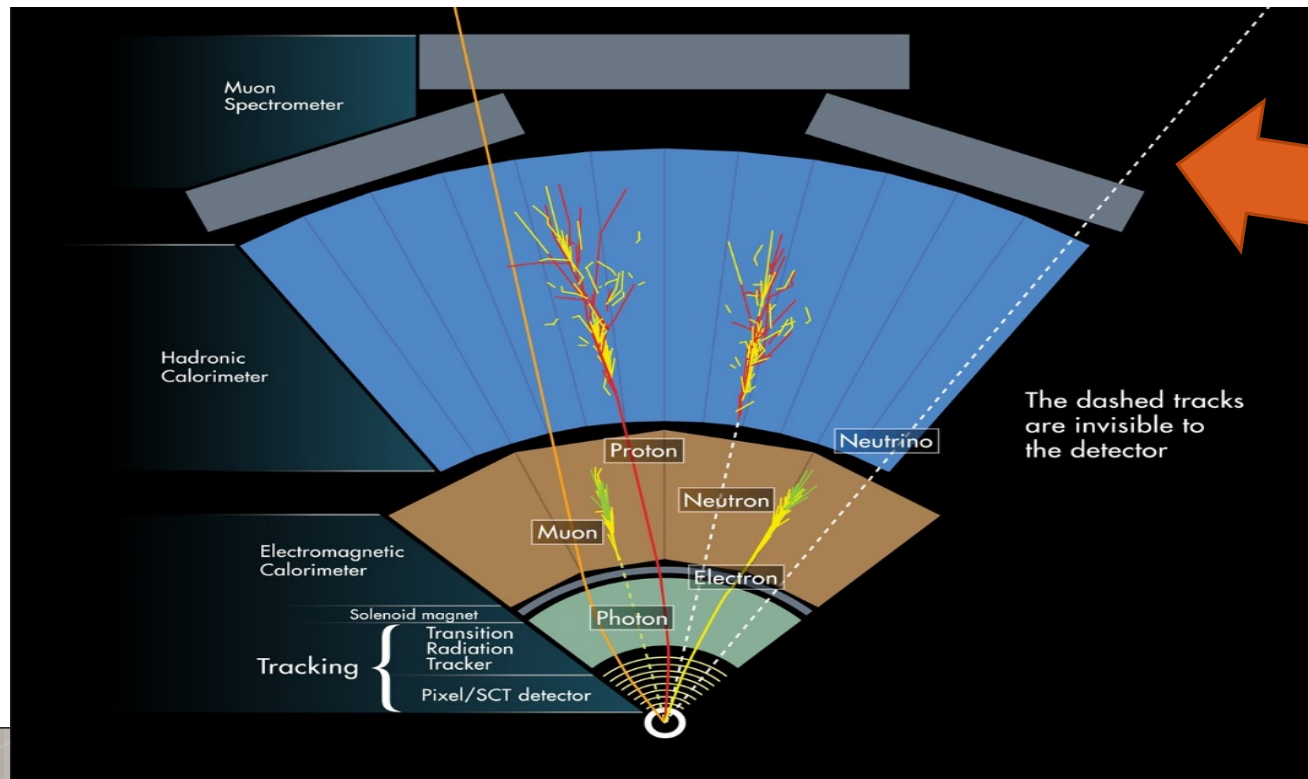
9. On détecte les particules parce qu'elles interagissent avec la matière du détecteur. Le détecteur interne permet de voir la trajectoire

- a. Des particules neutres
- b. Des particules instables
- c. Des particules chargées



10. Les neutrinos n'interagissent pas (ou très très peu) avec la matière dans le détecteur on voit

- Rien et on remonte au neutrino parce qu'il manque de l'énergie par rapport à l'énergie de départ
- Une belle trace dans le détecteur interne
- Une belle trace dans le détecteur à muons



Résumons

The LHC accelerator