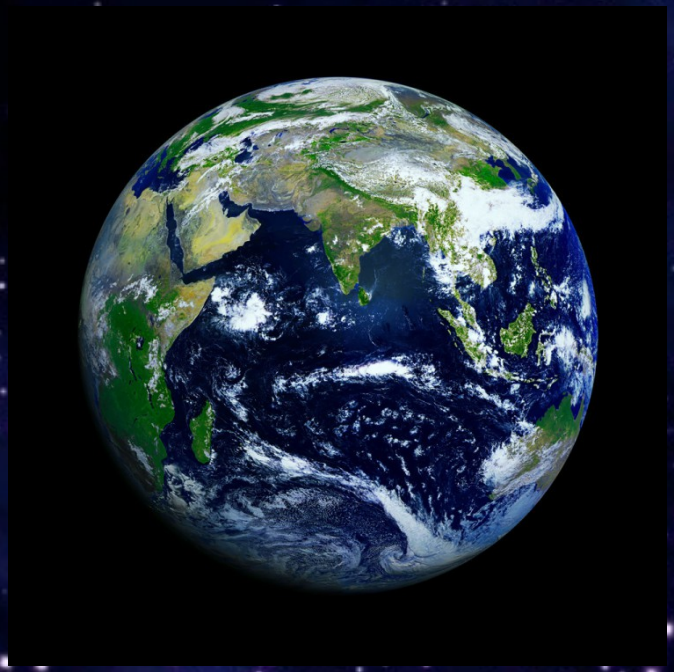
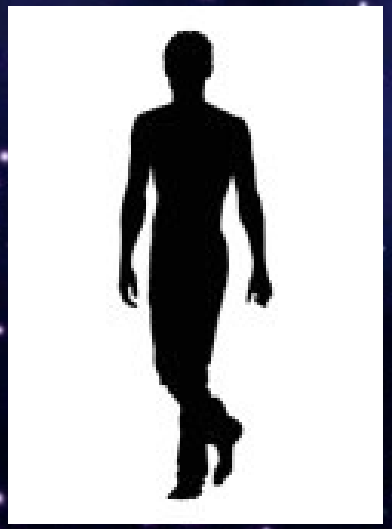
Introduction à la physique des particules

MasterClasses 2017 - Strasbourg

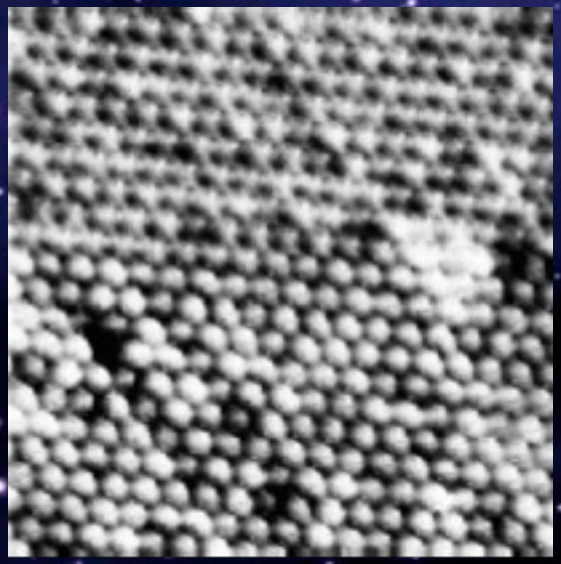
L'univers est fait de particules



Les planètes

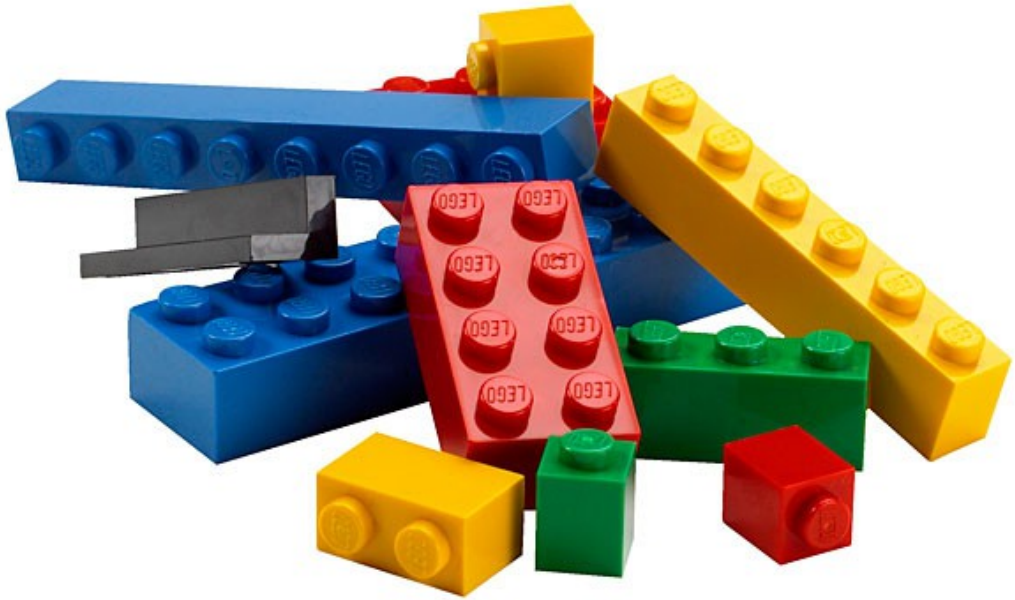


Les êtres vivants



Les atomes

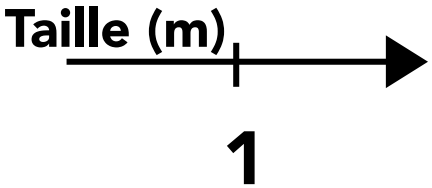
Les particules élémentaires



La « **boîte de Lego** » de l'Univers
qui compose toute la **matière** connue

Les particules élémentaires

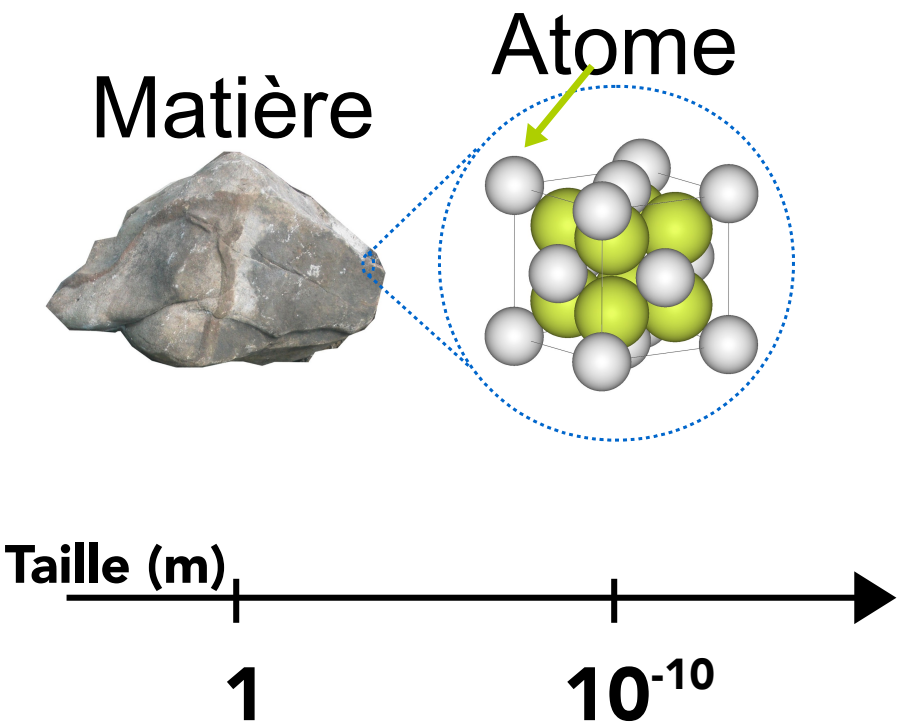
Matière



→ Des particules **sans sous-structure** !

→ Notion qui **varie avec l'époque** et les moyens expérimentaux

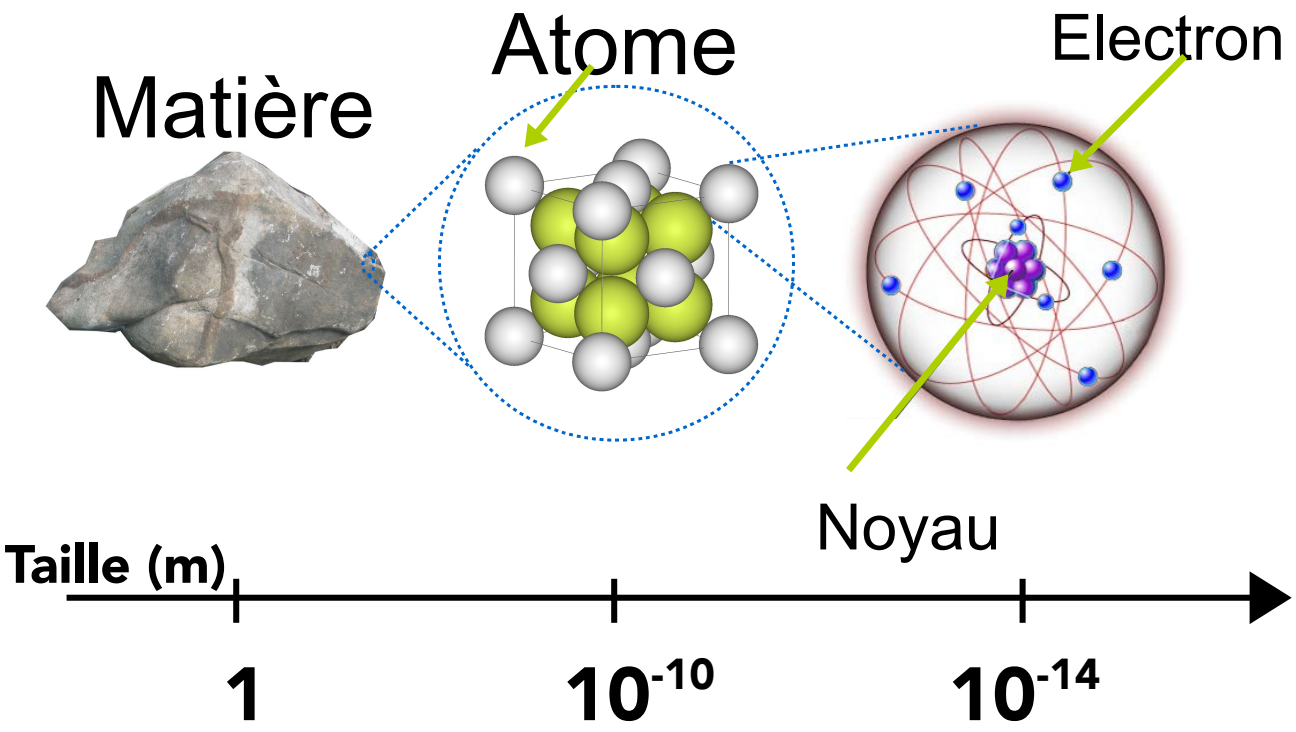
Les particules élémentaires



→ **Atomes** : notion inventée dès l'antiquité. Composant indivisible de la matière.

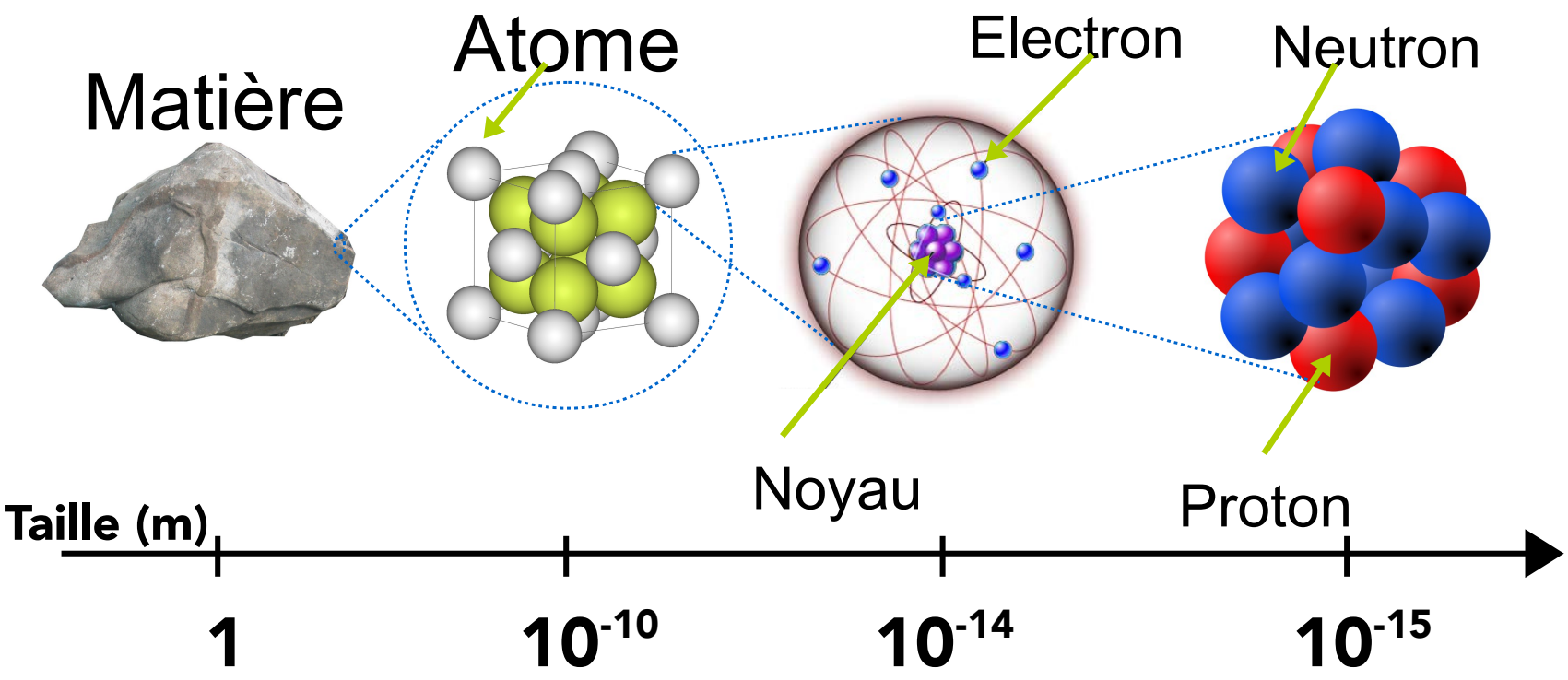
→ Atomes au sens moderne : XIXe siècle

Les particules élémentaires



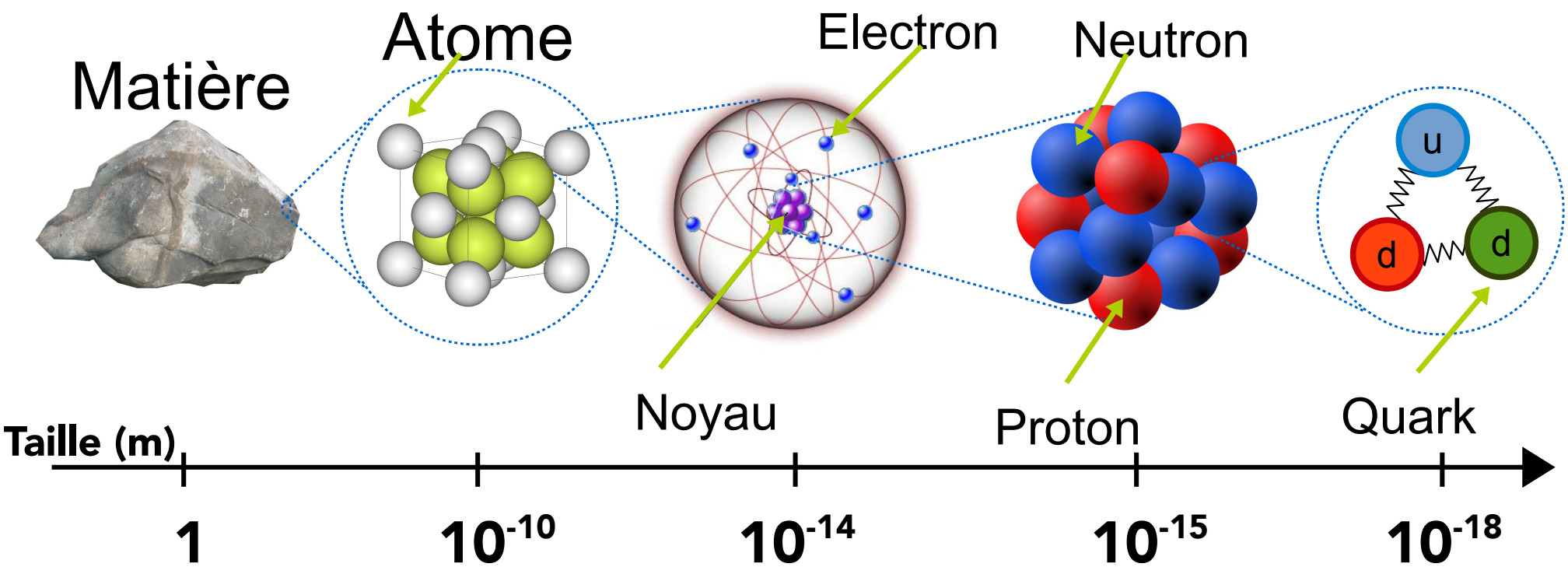
→ Découverte du **noyau et de l'électron** : fin XIXe, début XXe

Les particules élémentaires



→ Les noyaux sont fait de **protons et neutrons** (neutron découvert dans les années 1930)

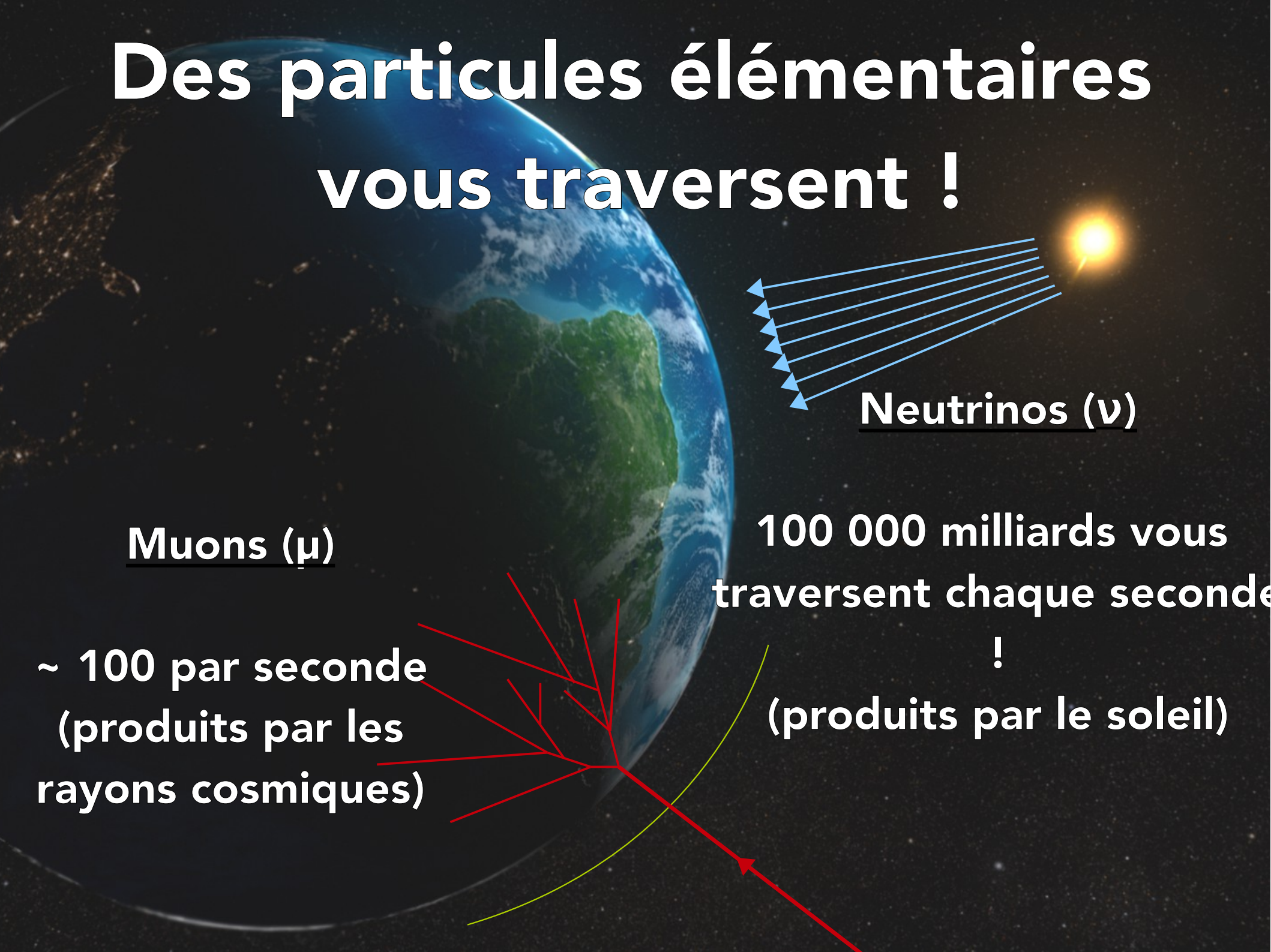
Les particules élémentaires



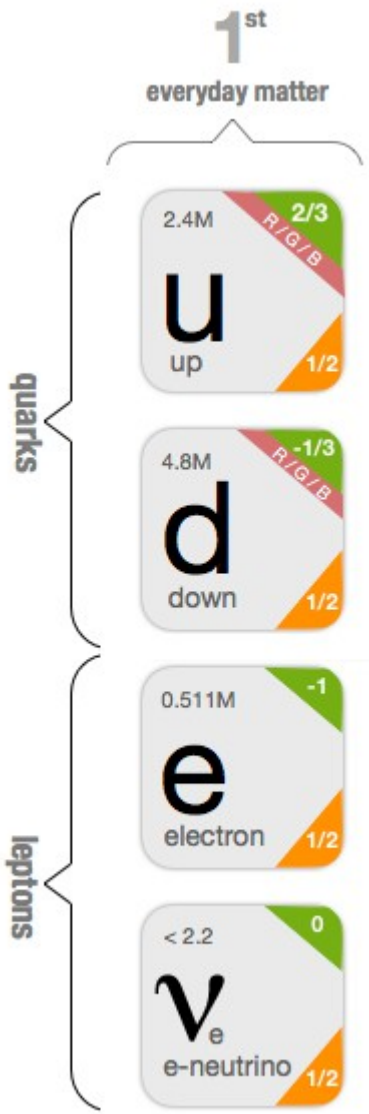
→ Les **électrons** et **quarks** (années 1960) sont des particules élémentaires : **sans sous-structure**

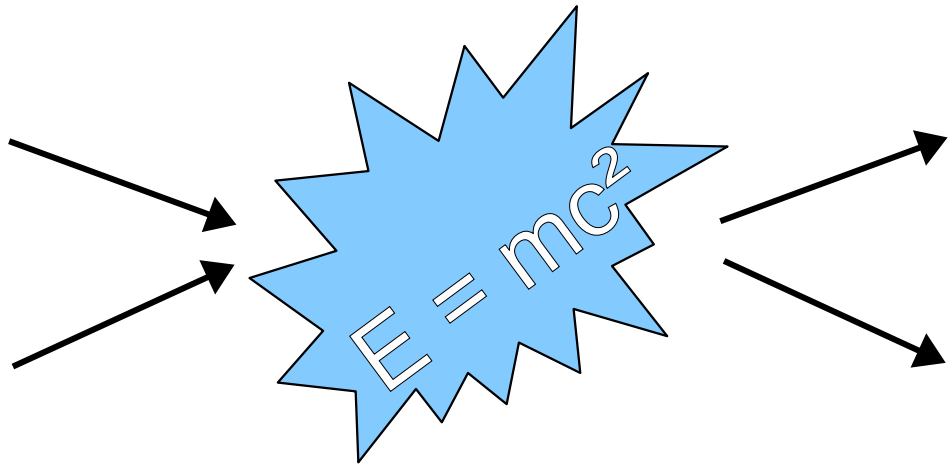
→ Masse ~ 10^{-30} kg, taille < 10^{-18} m !

Des particules élémentaires vous traversent !



Les particules de matière





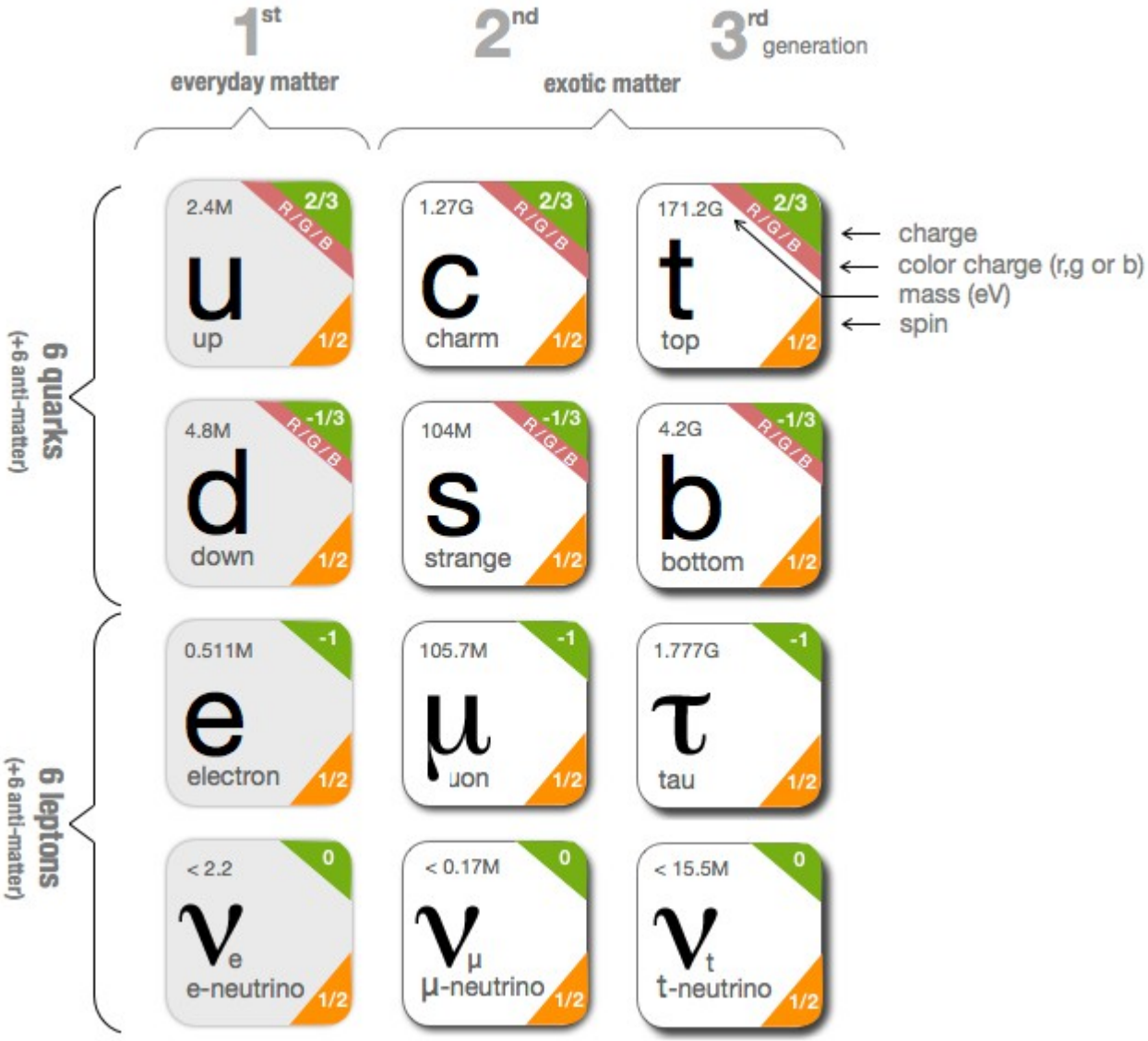
Nouvelles particules

Collisions à haute énergie

(ex : accélérateur de particules)

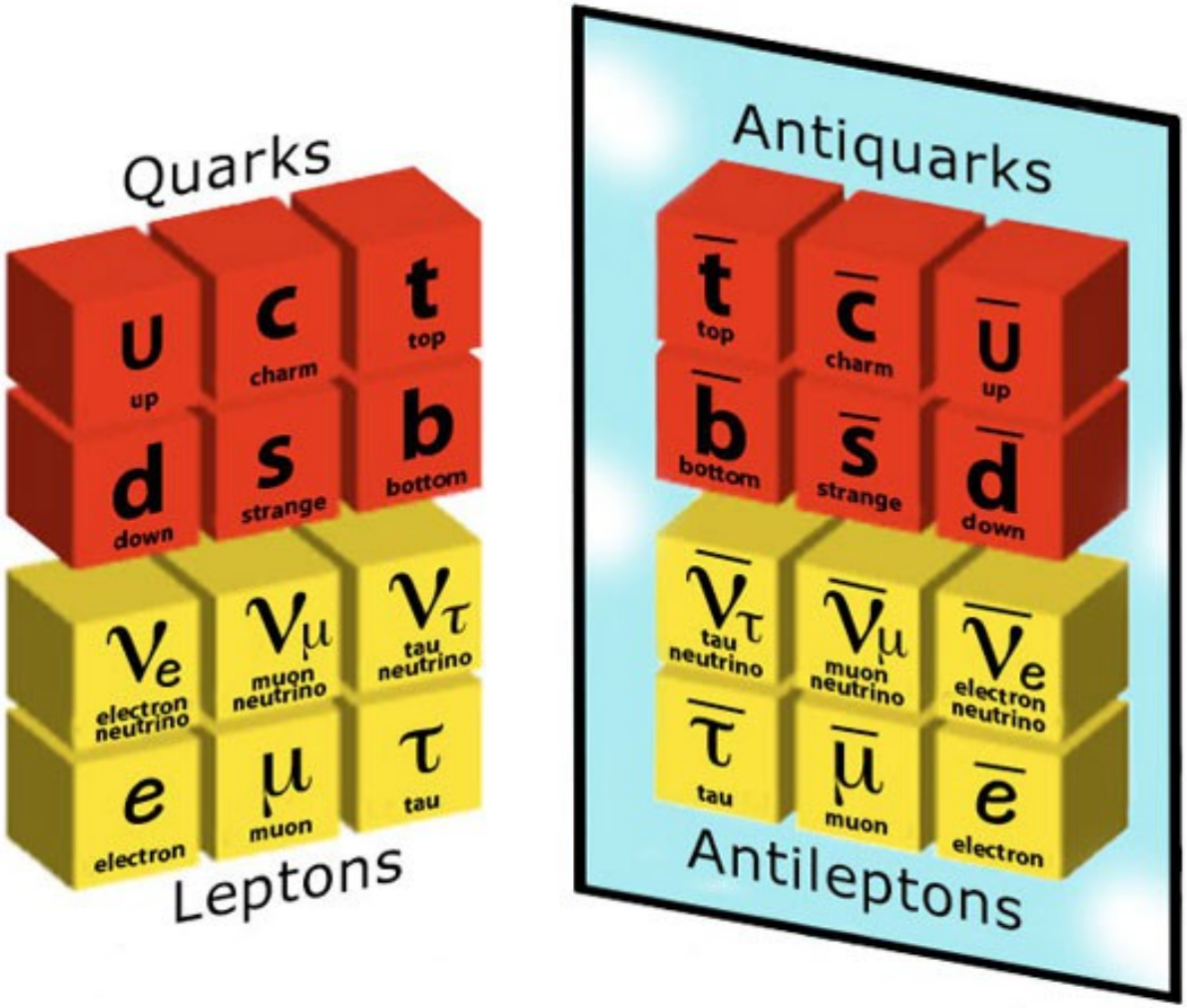
Matière ordinaire

Les particules de matière



Matière **ordinaire** ← Désintégration — Matière « **exotique** »

et leurs antiparticules



Pour chaque **particule**, il existe une **anti-particule** associée,
avec les même propriétés et la même masse,
mais une **charge électrique opposée**.

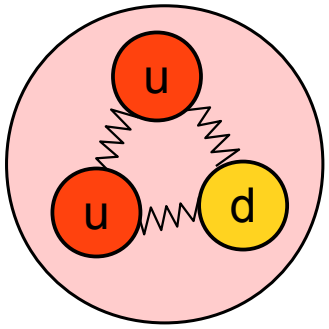
Les quarks forment des hadrons

Les **quarks** ne sont jamais isolés. Ils se regroupent en objets de charge électriques entière : les **hadrons.**

Matière ordinaire

Proton

(charge +1)

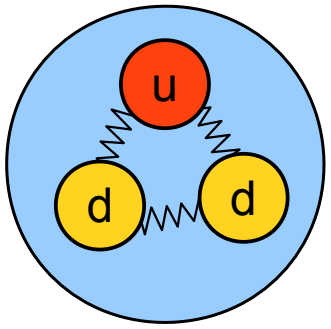


$\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$

u u d

Neutron

(charge 0)



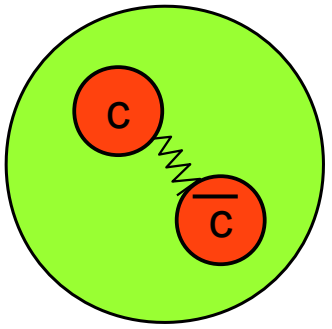
$\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$

u d d

Et exotique (exemple)

J/ Psi

(charge 0)



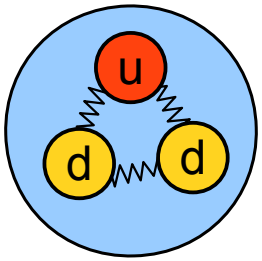
$\frac{2}{3} - \frac{2}{3} = 0$

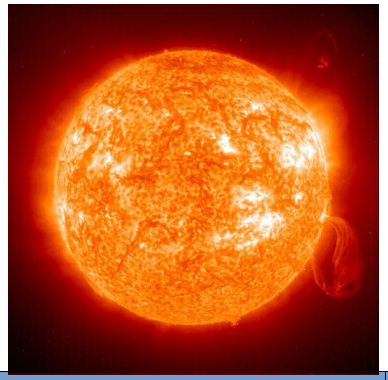
c $\bar{c}$

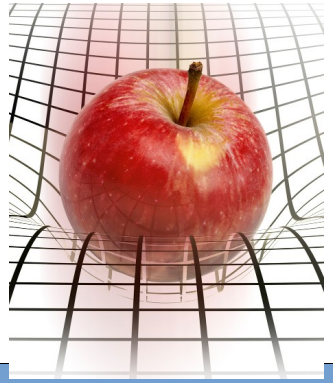
La cohésion des quarks provient d'une **force** (ou **interaction**)

Les interactions

Nous décrivons la nature par **4 interactions fondamentales,** qui résultent de l'échange de **particules médiatrices**

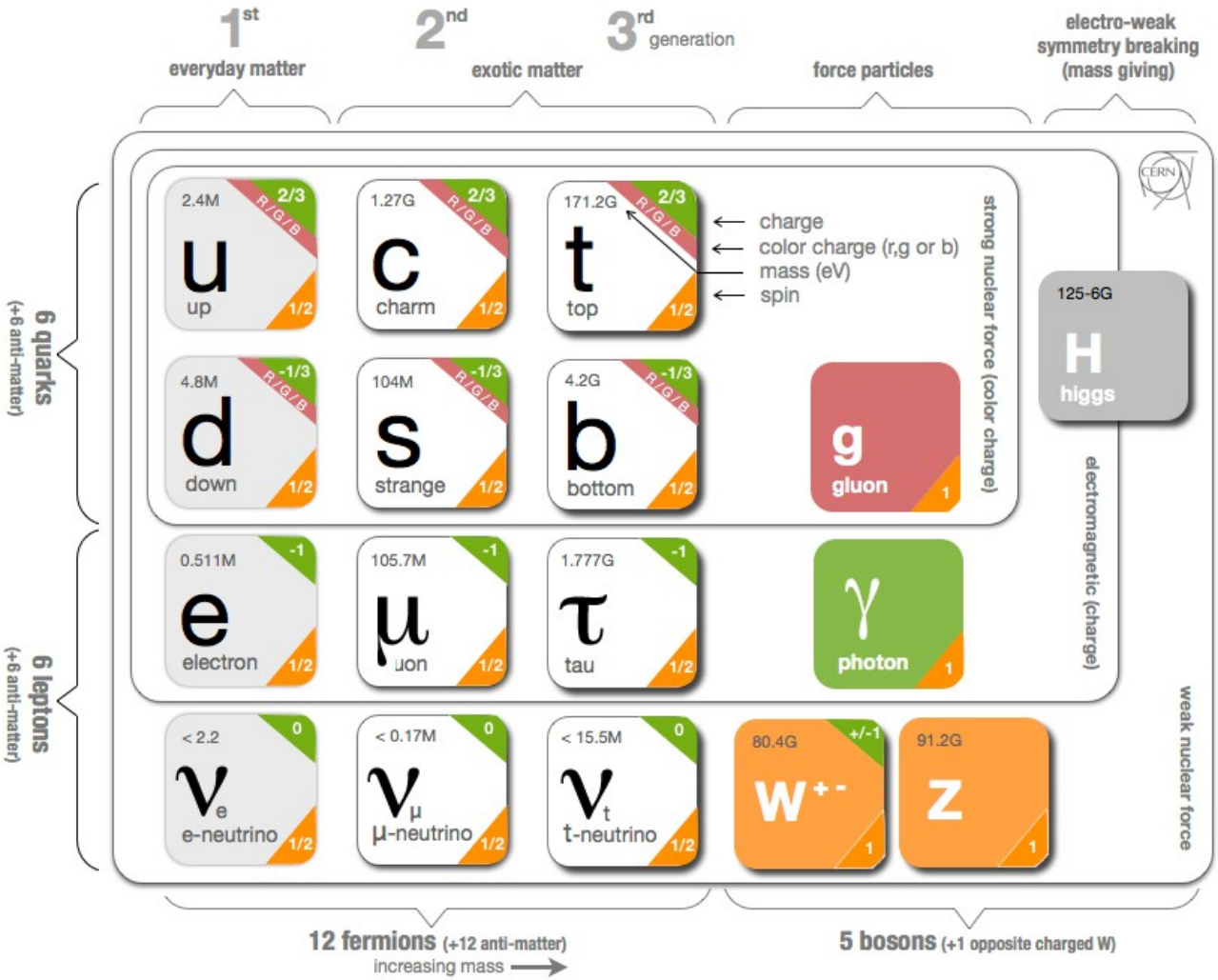






Interaction	**Electro magnétique**	**Forte**	**Faible**	Gravita-tionelle
Mediateur	Photon γ	Gluon g	3 bosons W^+, W^-, Z	(graviton ?)
Intensité relative	1	100	10^{-12}	10^{-38}

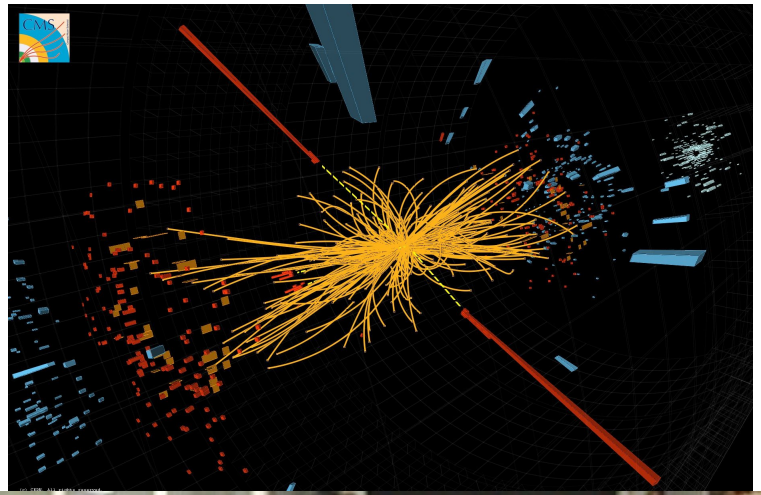
Le Modèle Standard



Le **Modèle Standard** est la théorie qui décrit les particules connues et leurs interactions.

Toutes ces particules avaient été observées avant le LHC, sauf une : le **boson de Higgs**, responsable de la masse des particules

Le boson de Higgs



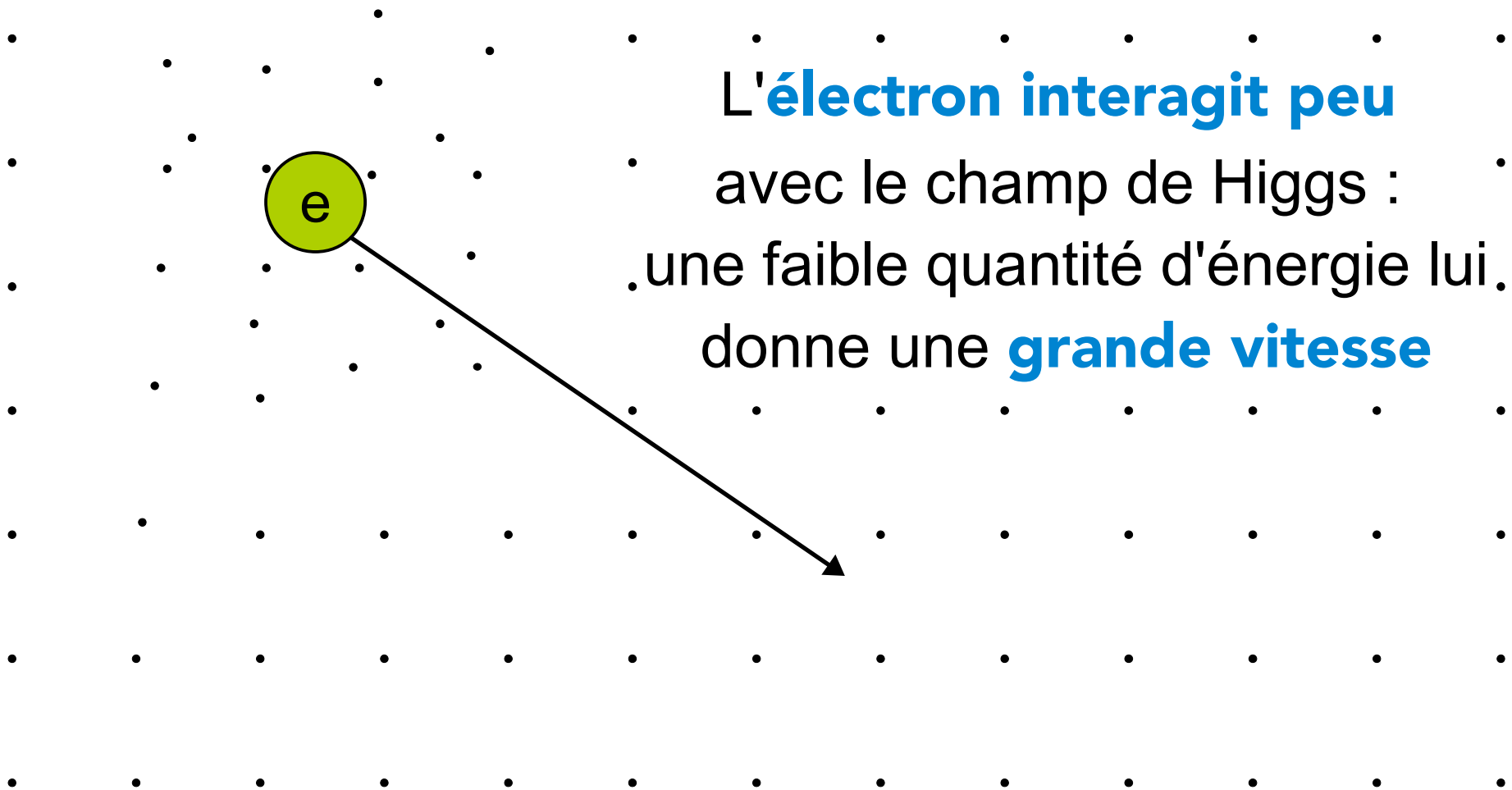
Observé en 2012,
48 ans après sa
prédiction !

Le mécanisme de Higgs

Ou comment la masse des particules
est la manifestation de leur interaction avec
le **champ de Higgs**

Le mécanisme de Higgs

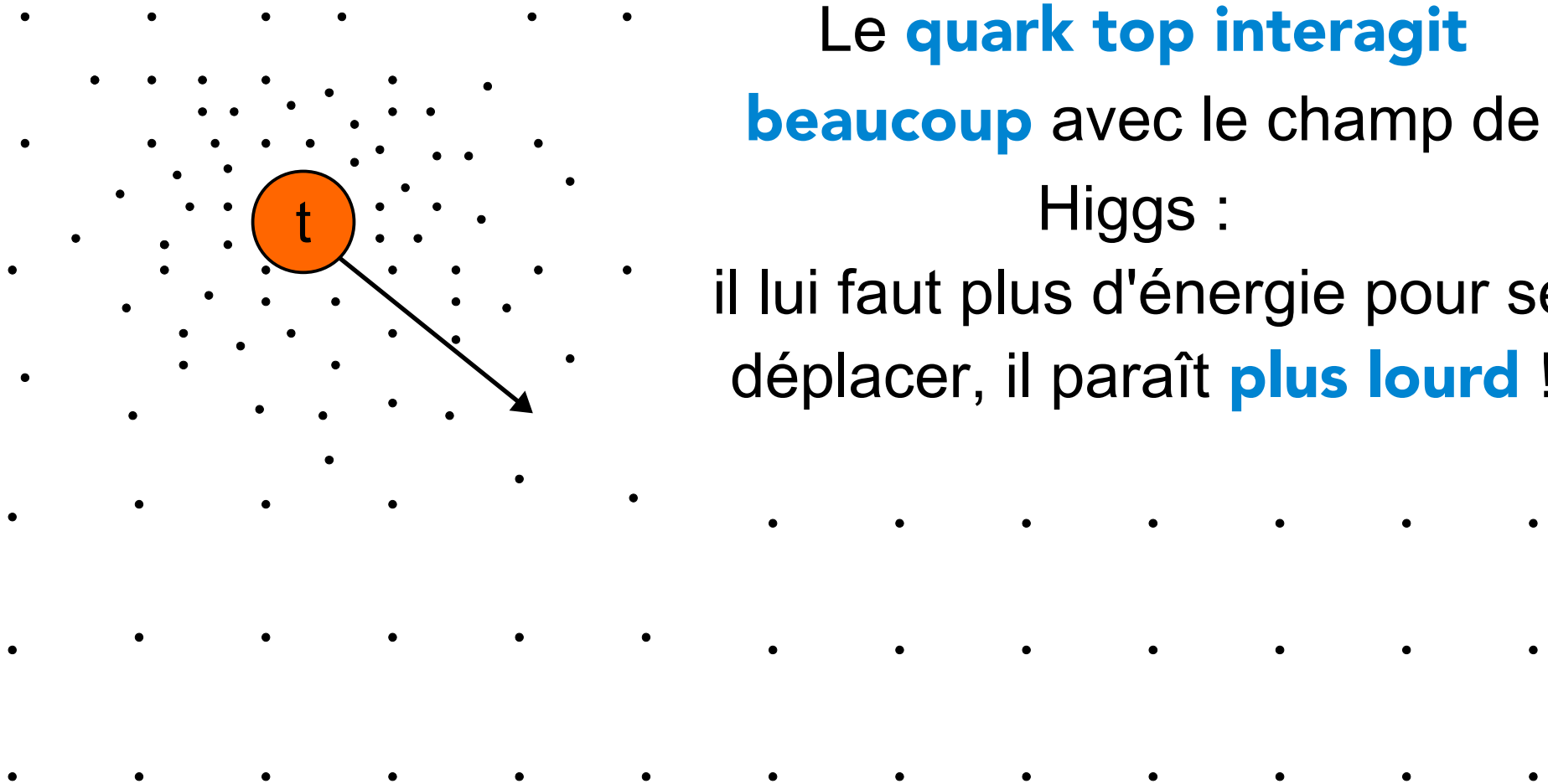
Ou comment la masse des particules
est la manifestation de leur interaction avec
le **champ de Higgs**



L'**électron interagit peu**
avec le champ de Higgs :
une faible quantité d'énergie lui
donne une **grande vitesse**

Le mécanisme de Higgs

Ou comment la masse des particules est la manifestation de leur interaction avec le **champ de Higgs**



Le **quark top interagit beaucoup** avec le champ de Higgs :
il lui faut plus d'énergie pour se déplacer, il paraît **plus lourd** !

Cependant, encore beaucoup de questions sans réponses...

→ Pourquoi y a-t-il **trois familles** de constituants ?

→ Pourquoi le **quark top** est-il si lourd ?

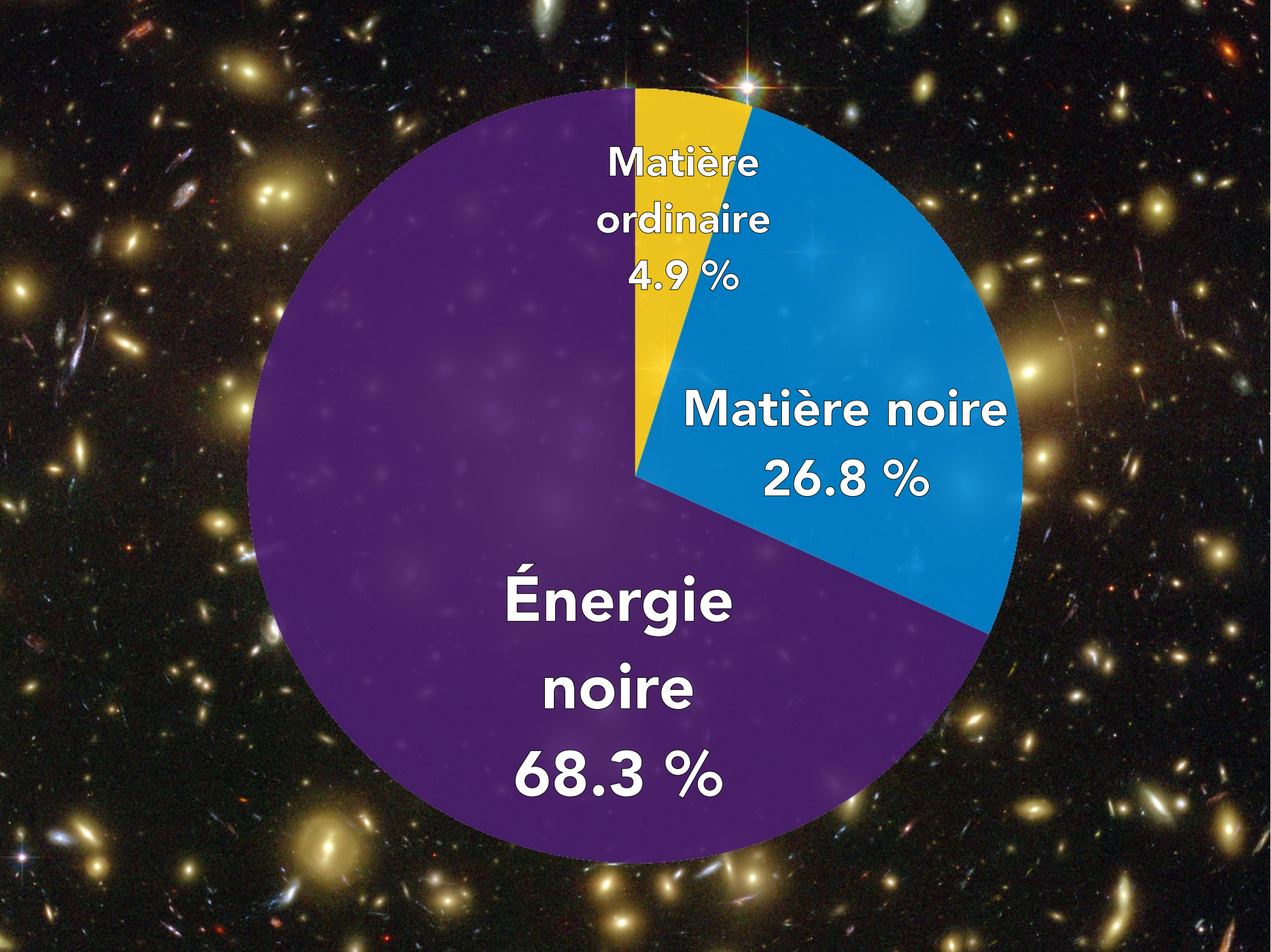
→ Où est passé l'**anti-matière** ? A l'origine, il y devait y avoir autant de matière que d'anti-matière.

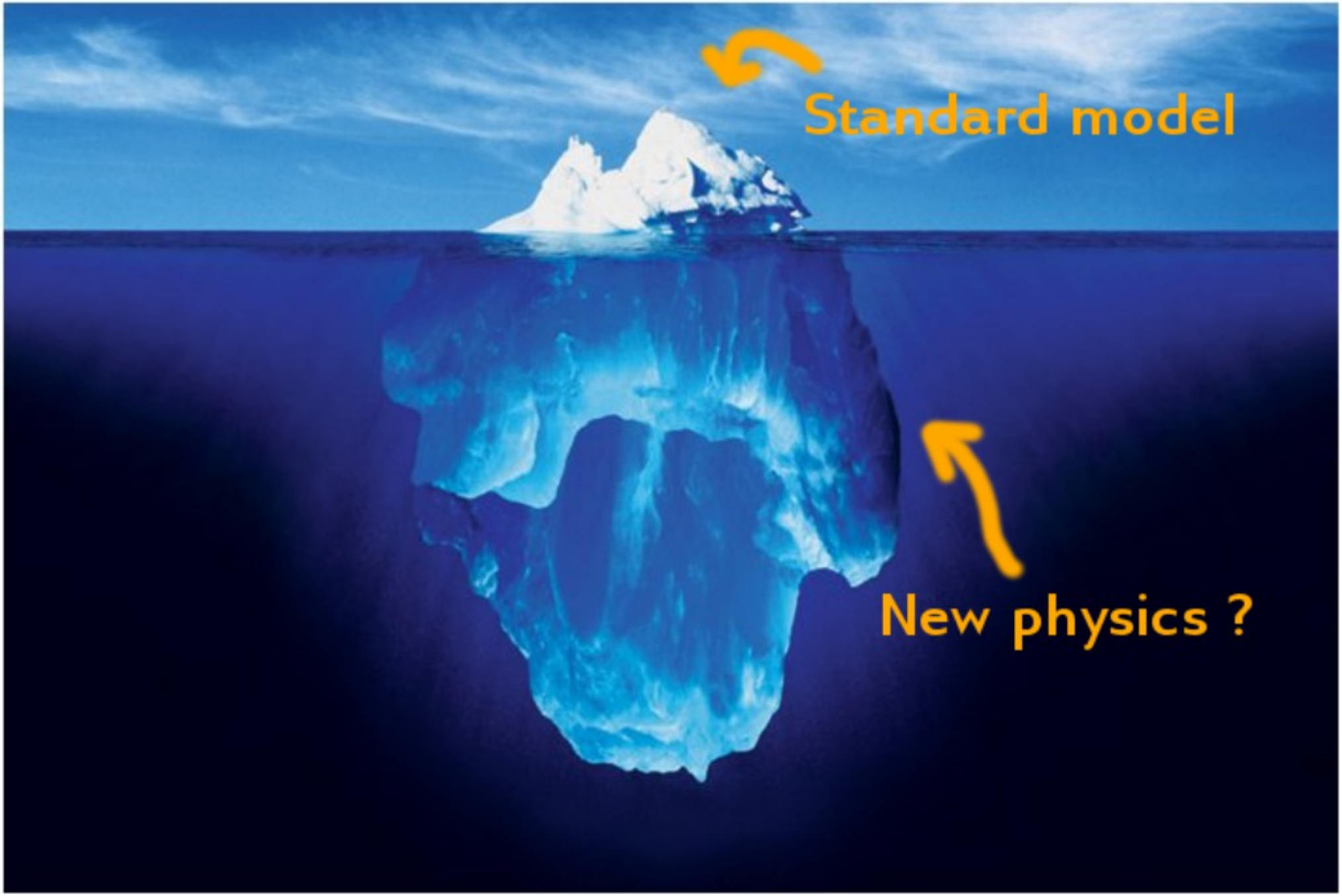
→ Qu'est-ce que la **matière noire** et l'**énergie noire** ?

→ Comment inclure la description de la **gravitation** ?

→ Existe-t-il d'**autres particules**, proposées par des théories qui résoudraient ces problèmes ?

Si les étoiles tournent
réellement à la vitesse
que l'on mesure ...
... il doit y avoir
de la masse en plus, mais
qu'on ne voit pas !
De la « matière noire »


Matière ordinaire 4.9 %
Matière noire 26.8 %
Énergie noire 68.3 %


Standard model
New physics ?