

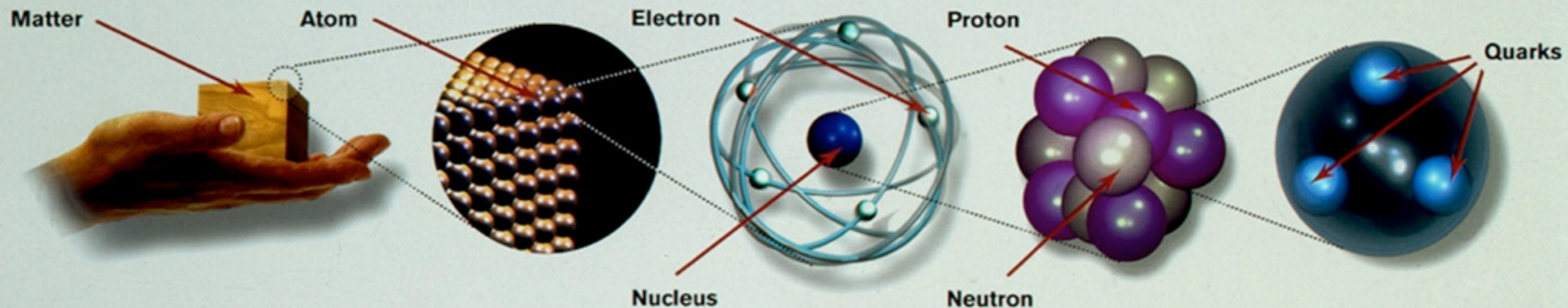
# introduction à la physique des particules

**masterclasses de Strasbourg**  
février 2010





# les particules élémentaires... c'est quoi ?



← taille (mètre)

$10^{-10}$

$10^{-12}$

$10^{-15}$

$10^{-18}$

- dépend des moyens expérimentaux pour les regarder.
- donc c'est une notion qui varie avec l'époque.
- créer des nouvelles particules en faisant des **collisions** de particules :  **$E = mc^2$**
- objets non composites à l'échelle de  **$10^{-18}$  m**. Masses de l'ordre de  $10^{-30}$  kg.
- les électrons et quarks sont des particules élémentaires.



# des particules élémentaires vous traversent !

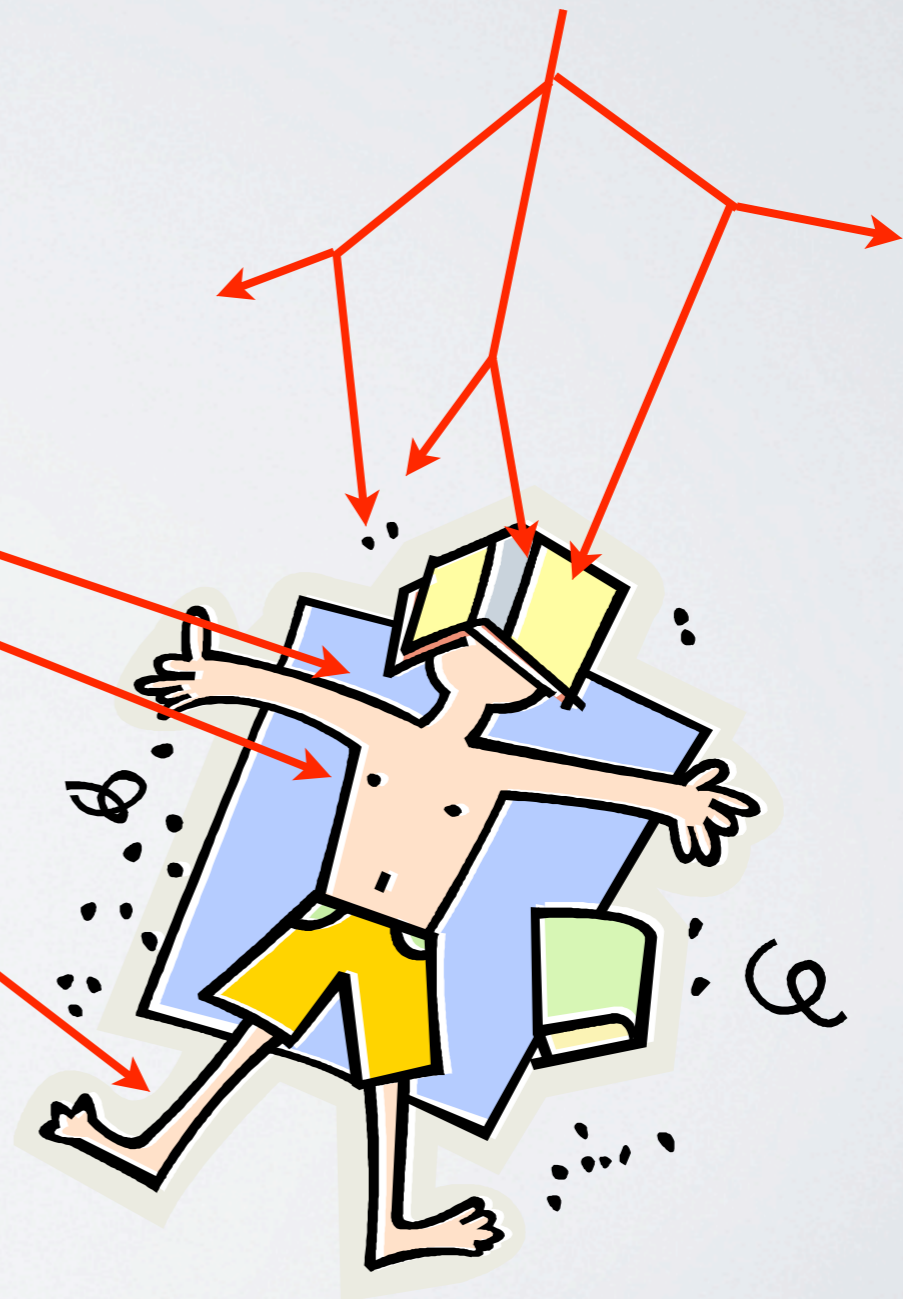
**Des neutrinos  $\nu$**



**$10^{14}$  neutrinos du soleil**  
vous traversent chaque seconde !

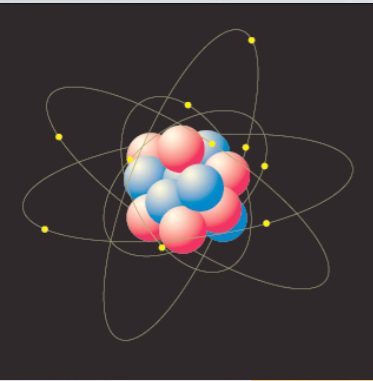
**Des muons  $\mu$**

ainsi qu'environ **100 muons** produits  
par des rayons cosmiques





# les particules de matière



les particules élémentaires se désintègrent en des particules élémentaires plus légères



la matière ordinaire

matière plus lourde produite dans des collisions à haute énergie



quarks

+2/3

**u** up (1968)

**c** charm (1974)

**t** top (1995)

-1/3

**d** down (1968)

**s** strange (1968)

**b** beauty (1977)

leptons

0

**$\nu_e$**  neutrino "e" (1956)

**$\nu_\mu$**  neutrino "μ" (1962)

**$\nu_\tau$**  neutrino "τ" (2000)

-1

**$e^-$**  électron (1897)

**$\mu^-$**  muon (1936)

**$\tau^-$**  tau (1974)

charge électrique

**1<sup>ère</sup> famille**

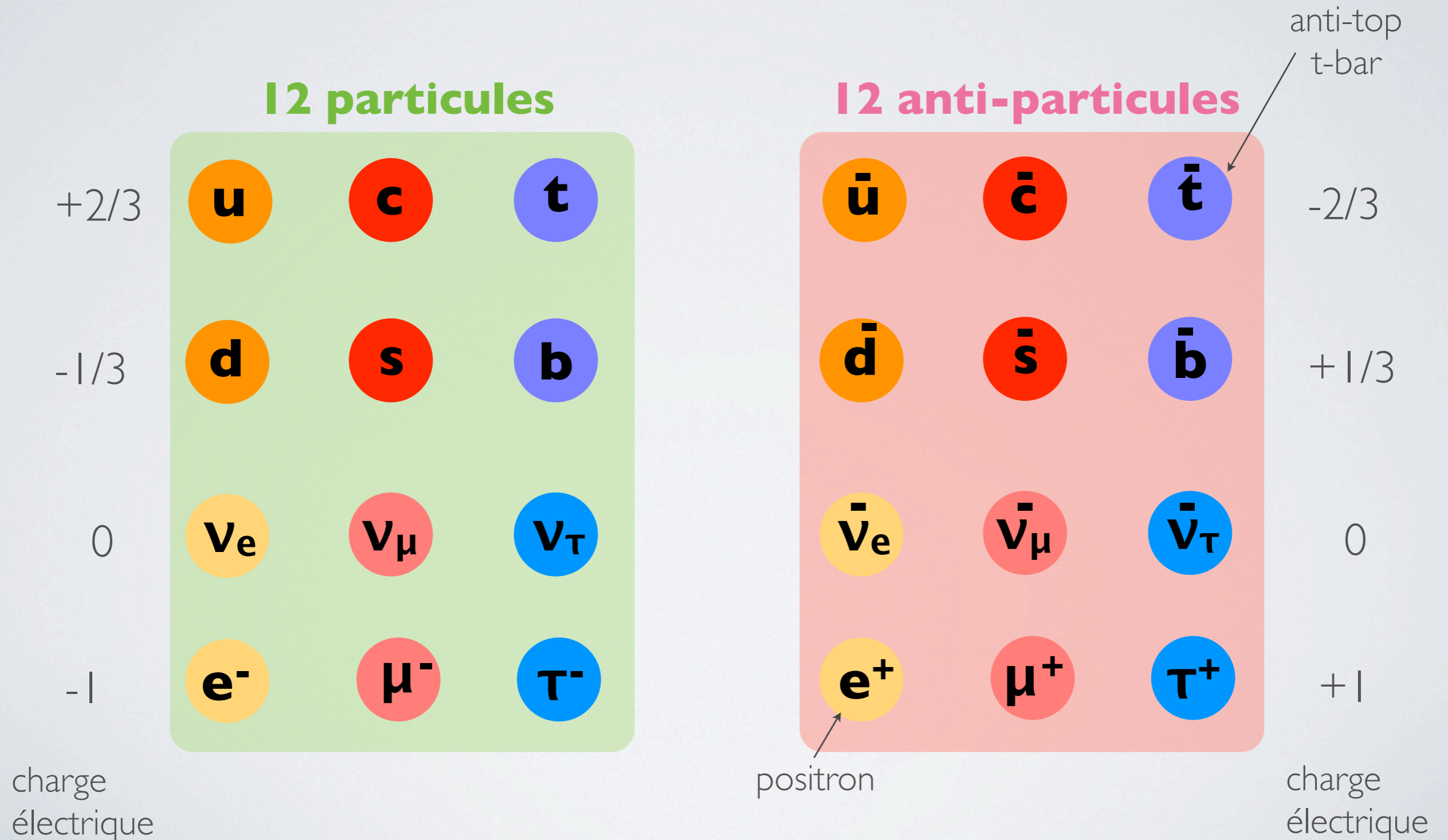
**2<sup>ème</sup> famille**

**3<sup>ème</sup> famille**



# et aussi les anti-particules

Pour chaque type de particule élémentaire il existe une particule qui possède les mêmes propriétés et la même masse mais dont la charge électrique est opposée.



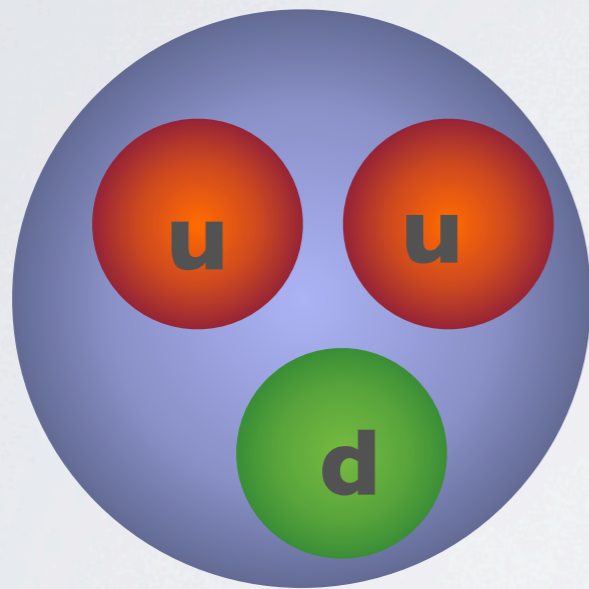
# les quarks forment des hadrons

Les quarks ne se promènent jamais seuls.

Ils sont confinés dans des particules, qui ont une charge électrique entière, appelées des **hadrons**.

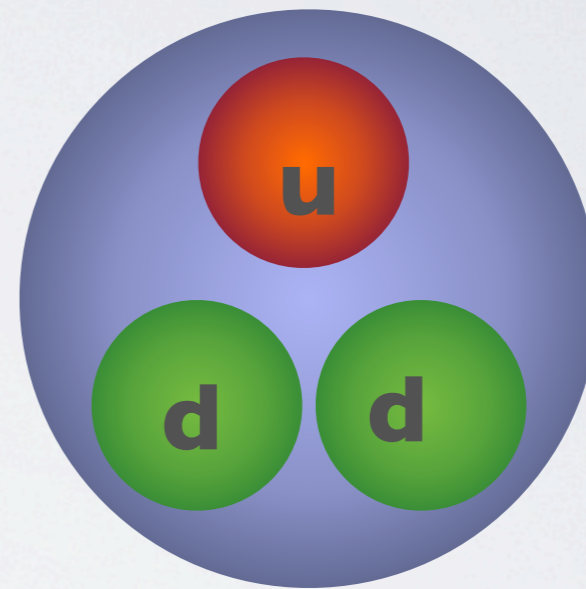
Deux exemples bien connus :

**proton** (charge +1)



$$u\left(+\frac{2}{3}\right)u\left(+\frac{2}{3}\right)d\left(-\frac{1}{3}\right) = p(+1)$$

**neutron** (charge 0)



$$u\left(+\frac{2}{3}\right)d\left(-\frac{1}{3}\right)d\left(-\frac{1}{3}\right) = n(0)$$

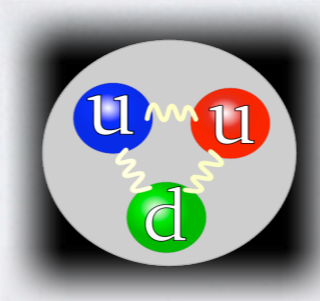
Ce qui colle les quarks ensemble : une **interaction** (une force).



# les interactions

Toutes les forces observées dans la nature sont dues à **4 interactions fondamentales**.

Ces interactions résultent de l'échange de **particules d'interaction**.



interaction	<b>électromagnétique</b>	<b>forte</b>	<b>faible</b>	<b>gravitationnelle</b>
particule médiatrice	photon (1905) $\gamma$	8 gluons (1979) $g$	3 bosons (1983) $W^+$ $W^-$ $Z$	graviton ? $g_{\mu\nu}$
amplitude relative (au niveau des particules)	$10^{-2}$	1	$10^{-14}$	$10^{-40}$

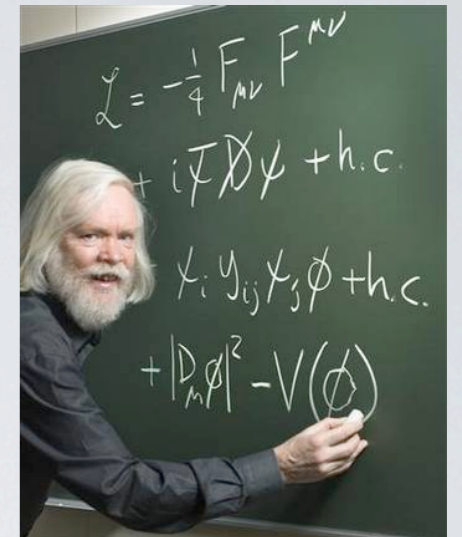
non décrite au niveau des particules

hypothétique



# l'expérience et la théorie

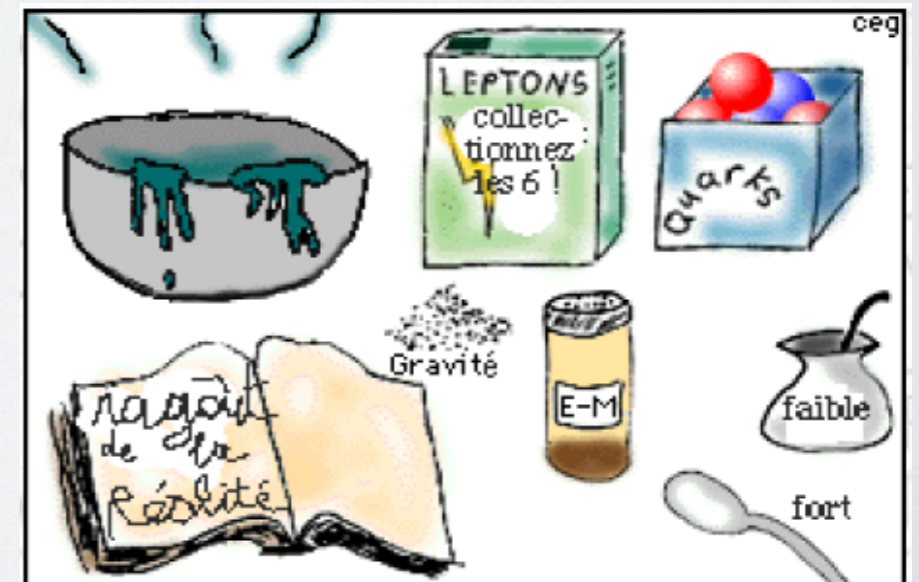
Différents processus décrits par une loi commune : une **théorie**.  
→ **explication** et **prédiction**.



Il faut **tester** les théories par l'**expérience**. On peut démontrer qu'une théorie est fausse, c'est beaucoup plus difficile de montrer qu'elle est vraie !

Théorie actuelle de la physique des particules : le **modèle standard**. Elle est basée sur :

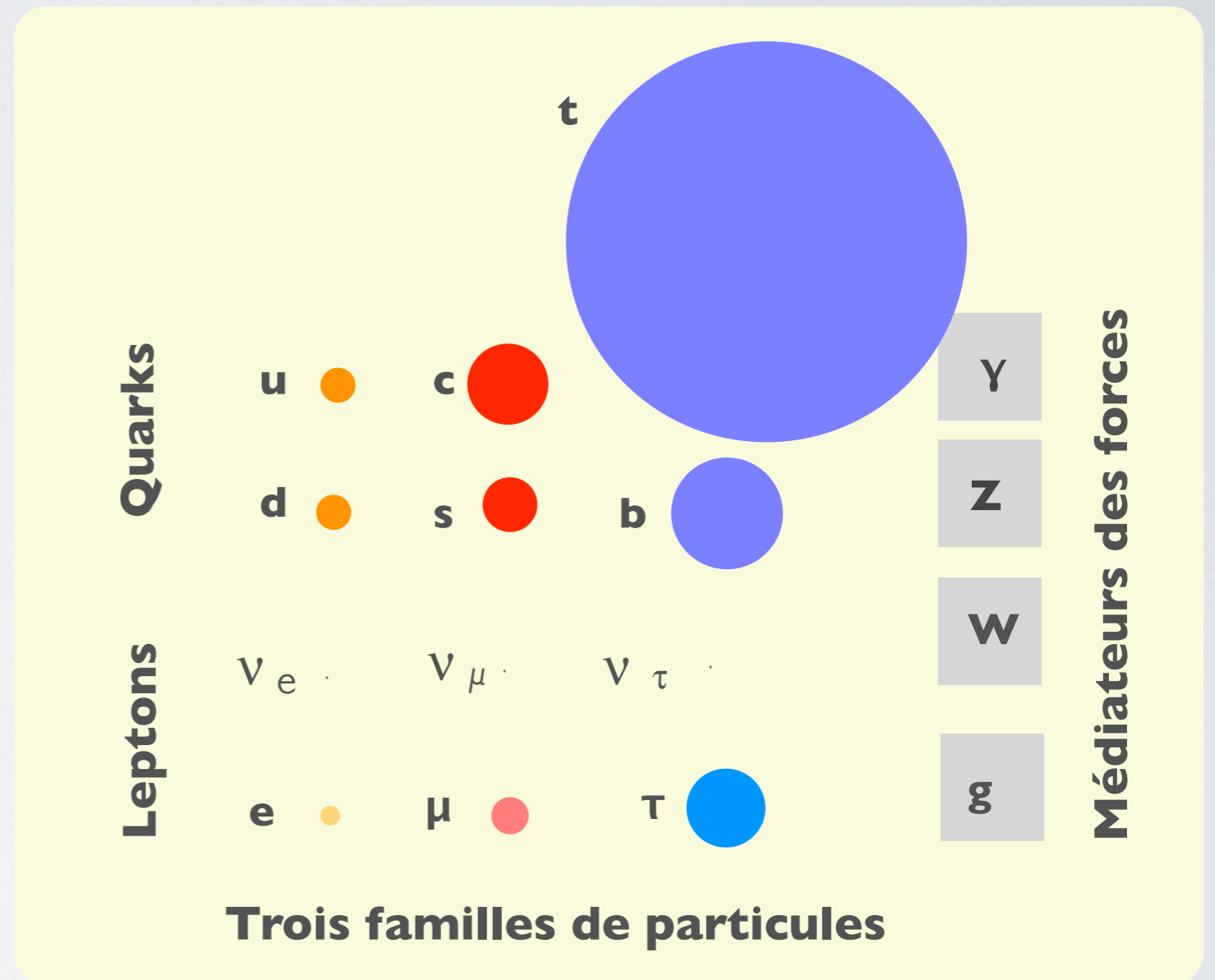
- la **mécanique quantique** (infiniment petit)
- la **relativité restreinte** (vitesses  $\sim c$ , hautes énergies)





# les limites de la théorie : des questions ouvertes

- pourquoi **3 familles** de constituants élémentaires ?
- pourquoi existe-t-il une grande **disparité de masse** entre les particules ?
- quelle est l'**origine de la masse** ?  
Le **boson de Higgs** existe-t-il ?

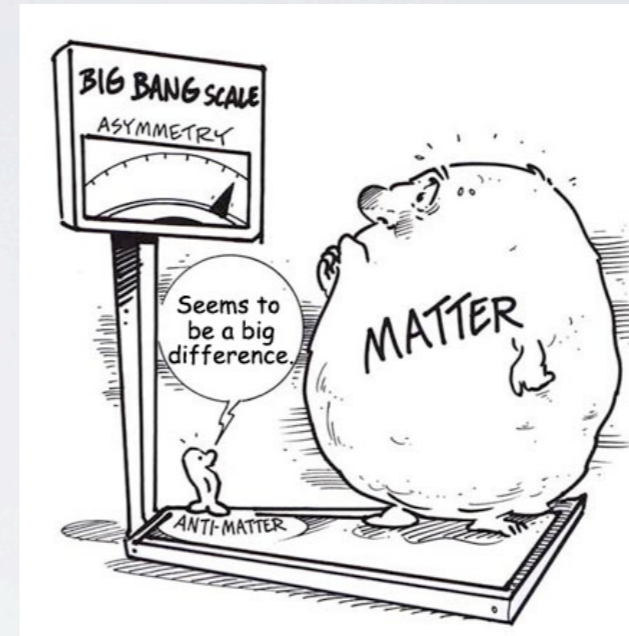


- comment peut-on inclure la **gravitation** dans le modèle ?
- comment peut-on **unifier** (décrire par une même loi) toutes les forces ?

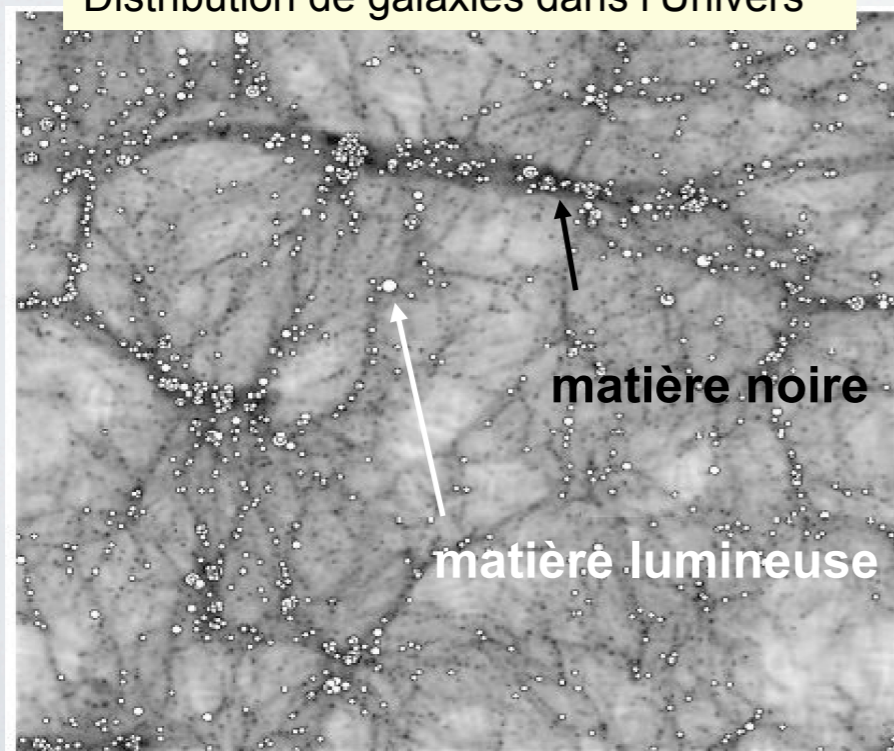


# les limites de la théorie : des indices expérimentaux venus de l'Univers

L'**anti-matière** a quasiment disparu de notre Univers actuel...



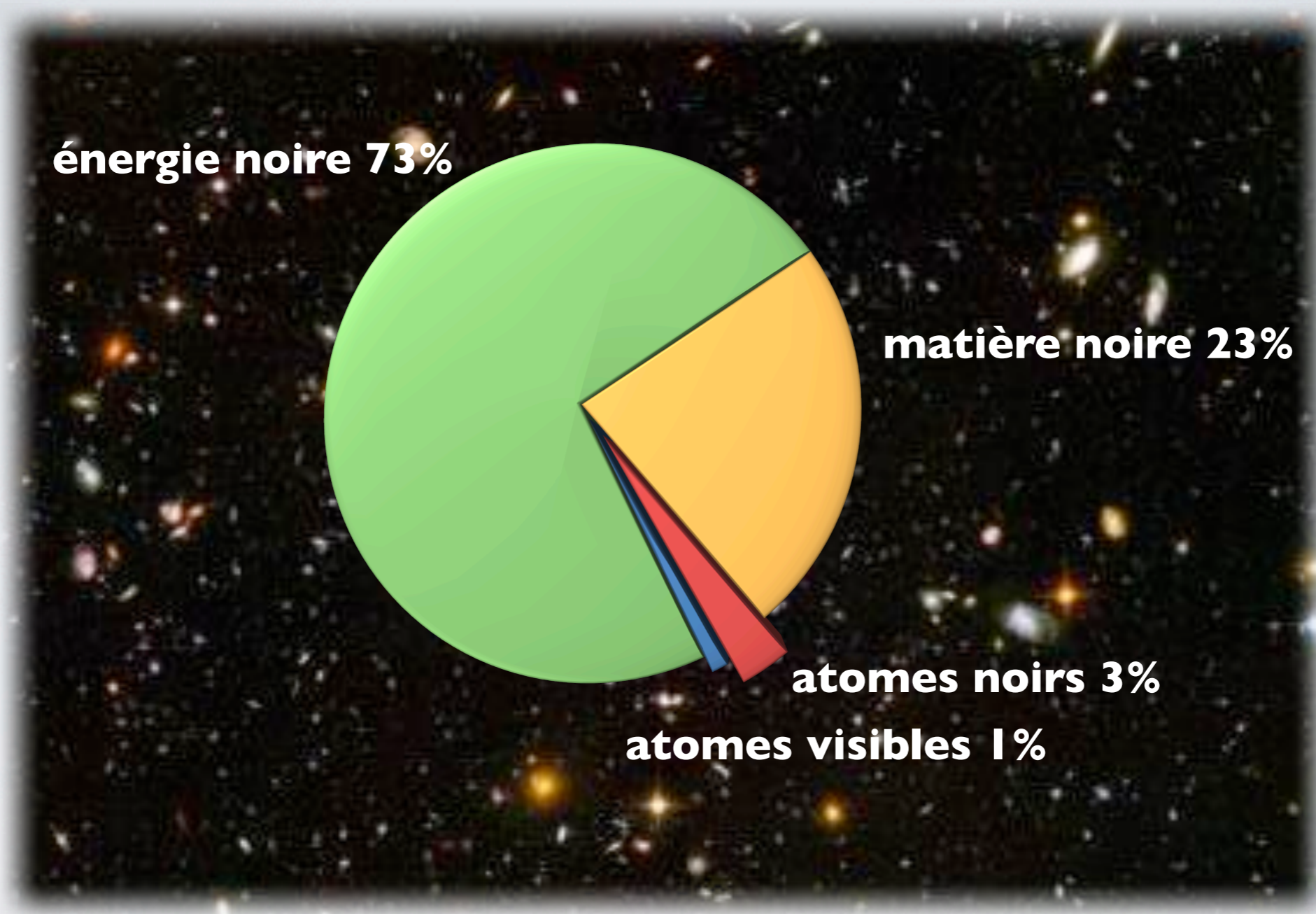
Distribution de galaxies dans l'Univers



La cinématique des galaxies ainsi que les caractéristiques de leur distribution filamentaire indiquent l'existence d'une matière supplémentaire, non lumineuse : la **matière noire**.



# bilan : que connaissons-nous ?

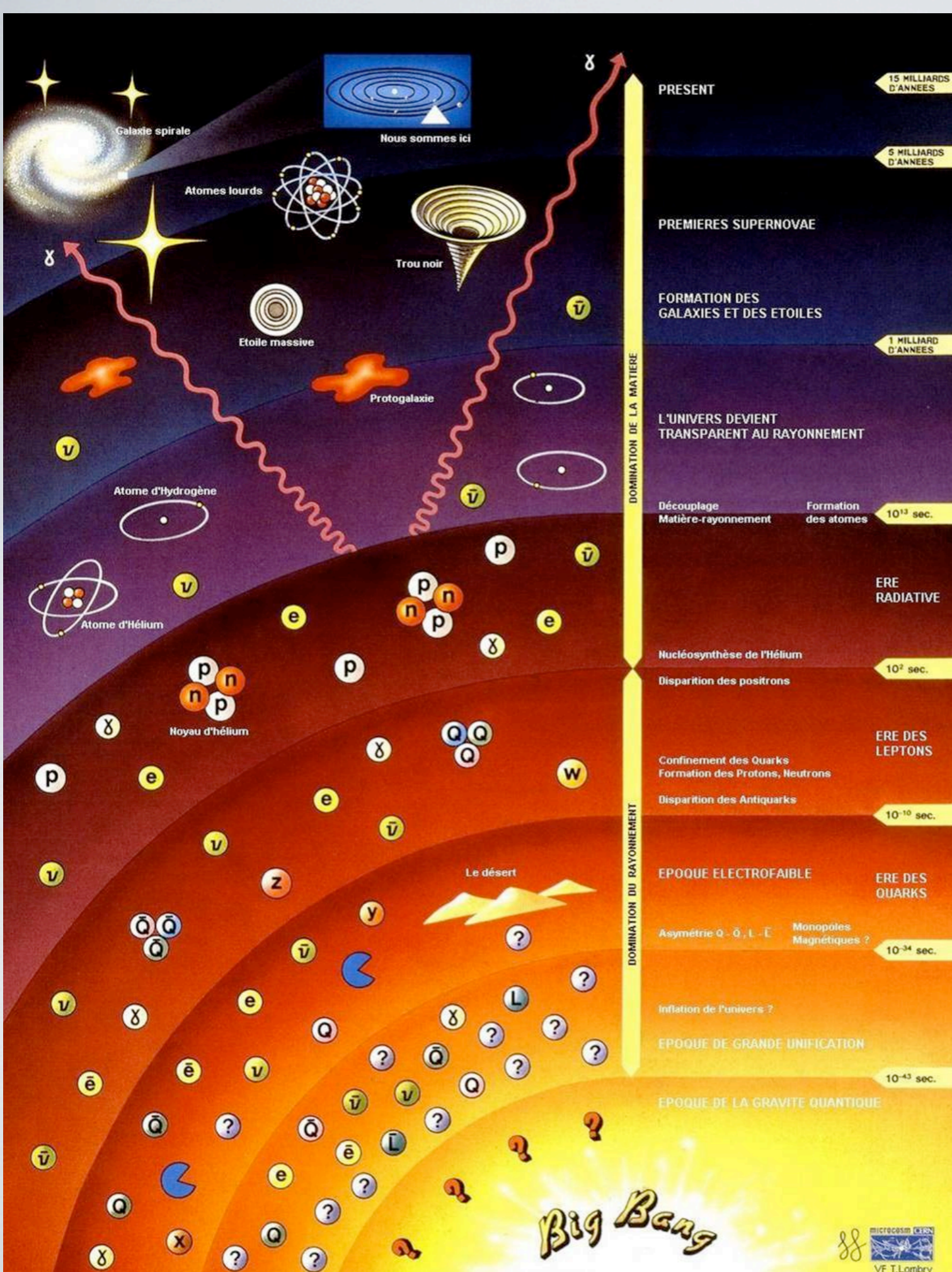


Energie noire + matière noire > 96 %.

**Nous ne comprenons que 4 % de l'Univers !**



# l'histoire de notre univers



$10^{13}$  s

premiers atomes

1 s

hadrons

$10^{-6}$  s

$10^{-10}$  s

quarks

leptons

$10^{-34}$  s

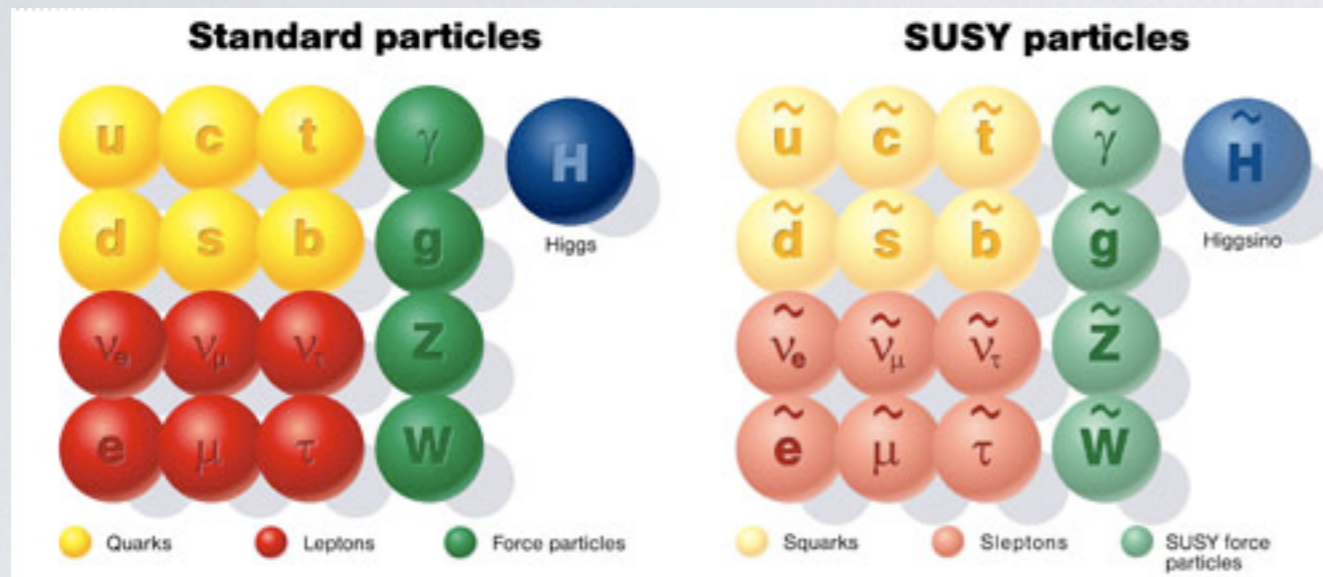
??

$10^{-44}$  s

gravitation quantique

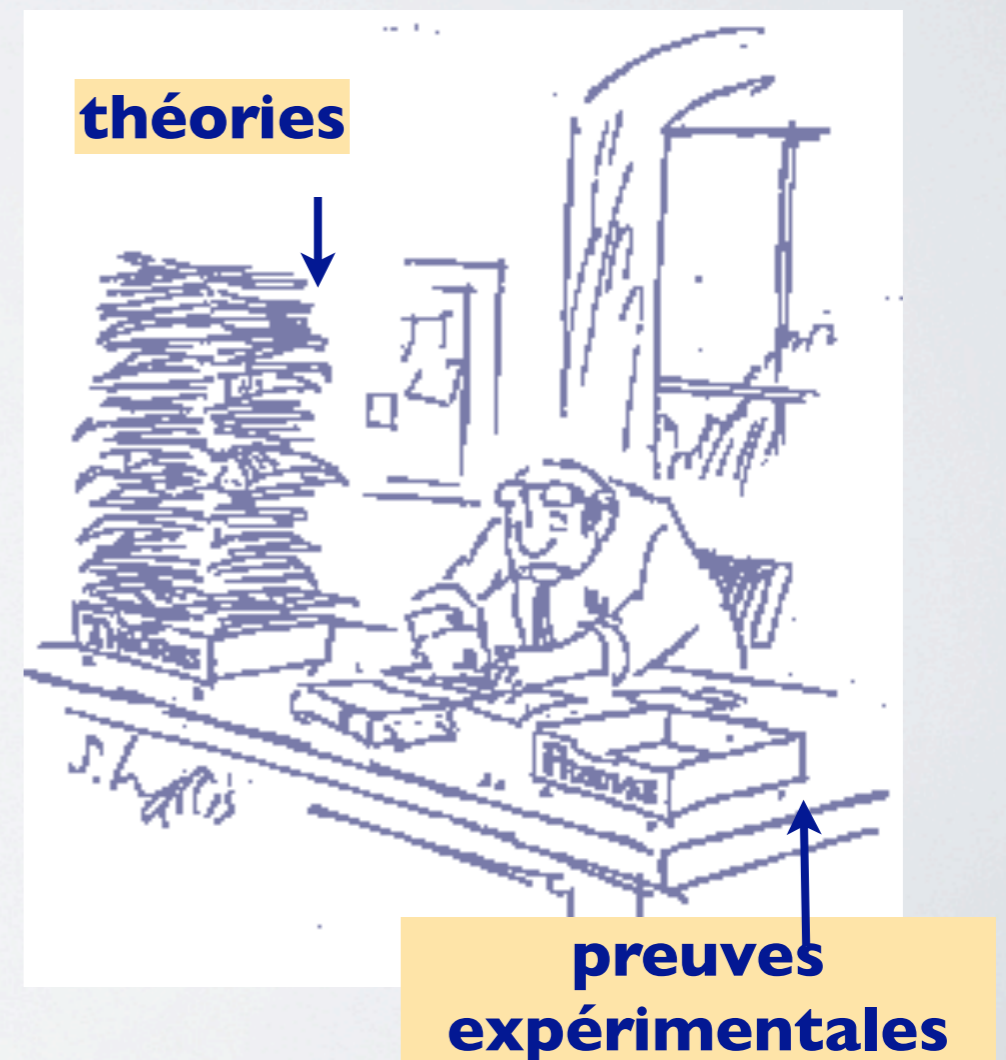


# la recherche en physique des particules aujourd'hui



Des nouvelles particules ?  
Le boson de Higgs ?

Le **LHC** va peut-être mettre en évidence des nouvelles particules !  
Et peut-être valider de nouvelles théories...





**backup**



# des quarks aux jets

Quand une particule se désintègre en deux quarks, ces quarks ne peuvent pas rester seuls. Il y a formation d'une multitude de hadrons dans la même direction que le quark de départ. On appelle ça **un jet de particule**.

