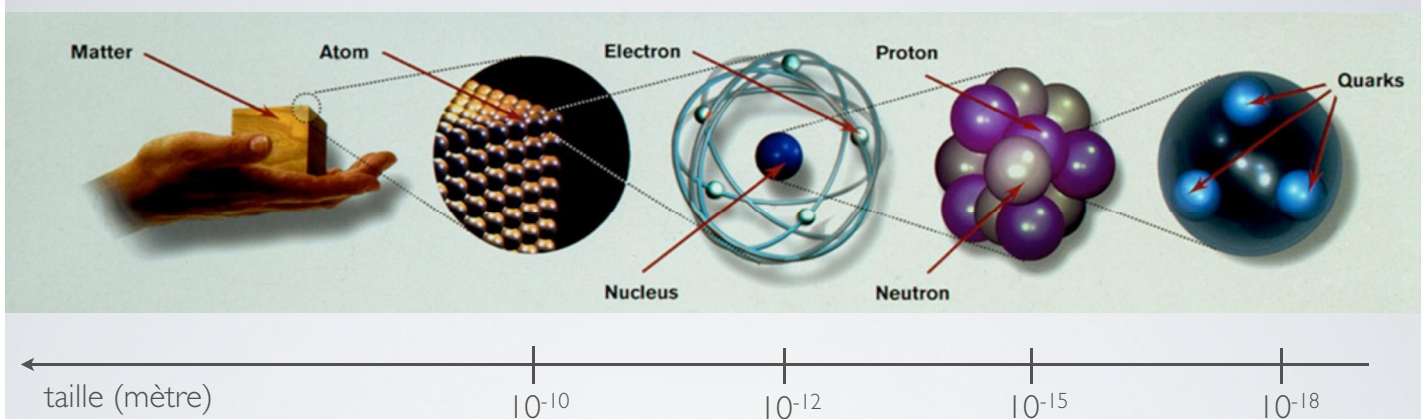


# introduction à la physique des particules

masterclasses de Strasbourg  
février 2010



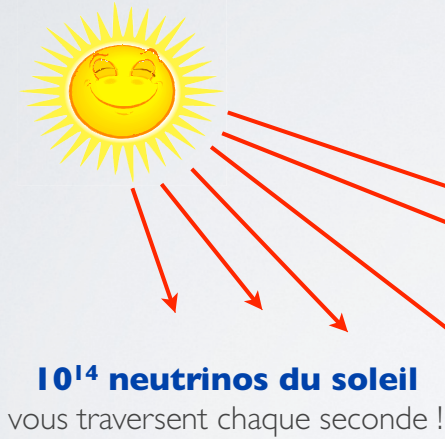
## les particules élémentaires... c'est quoi ?



- 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.

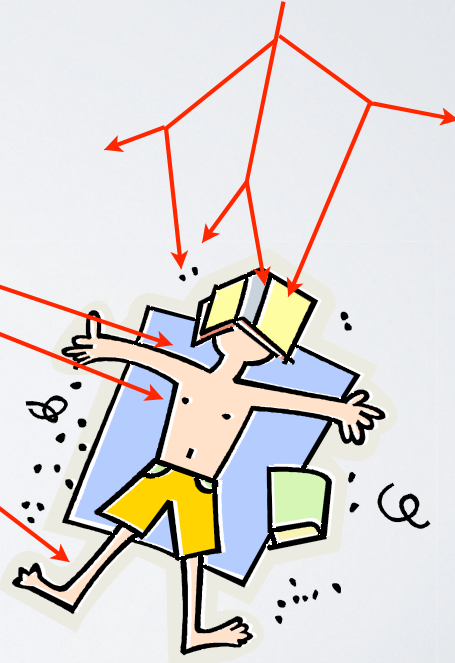
# des particules élémentaires vous traversent !

## Des neutrinos $\nu$

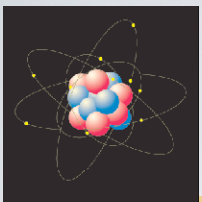


## Des muons $\mu$

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



# les particules de matière



la matière ordinaire

les particules élémentaires se désintègrent en des particules élémentaires plus légères



matière plus lourde produite dans des collisions à haute énergie

	1 <sup>ère</sup> famille			2 <sup>ème</sup> famille			3 <sup>ème</sup> famille		
<b>quarks</b>	+2/3	<b>u</b>	up (1968)	<b>c</b>	charm (1974)	<b>t</b>	top (1995)		
	-1/3	<b>d</b>	down (1968)	<b>s</b>	strange (1968)	<b>b</b>	beauty (1977)		
<b>leptons</b>	0	<b><math>\nu_e</math></b>	neutrino "e" (1956)	<b><math>\nu_\mu</math></b>	neutrino "μ" (1962)	<b><math>\nu_\tau</math></b>	neutrino "τ" (2000)		
	-1	<b><math>e^-</math></b>	électron (1897)	<b><math>\mu^-</math></b>	muon (1936)	<b><math>\tau^-</math></b>	tau (1974)		
charge électrique									

# 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.

	12 particules			12 anti-particules			
+2/3	<b>u</b>	<b>c</b>	<b>t</b>	<b>ū</b>	<b>c̄</b>	<b>t̄</b>	-2/3
-1/3	<b>d</b>	<b>s</b>	<b>b</b>	<b>d̄</b>	<b>s̄</b>	<b>b̄</b>	+1/3
0	<b>ν<sub>e</sub></b>	<b>ν<sub>μ</sub></b>	<b>ν<sub>τ</sub></b>	<b>ν̄<sub>e</sub></b>	<b>ν̄<sub>μ</sub></b>	<b>ν̄<sub>τ</sub></b>	0
-1	<b>e<sup>-</sup></b>	<b>μ<sup>-</sup></b>	<b>τ<sup>-</sup></b>	<b>e<sup>+</sup></b>	<b>μ<sup>+</sup></b>	<b>τ<sup>+</sup></b>	+1
charge électrique				positron	charge électrique		

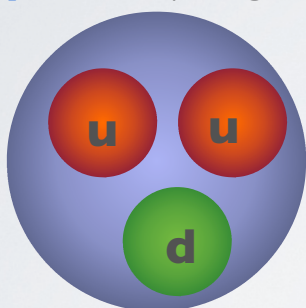
# les quarks forment des hadrons

Les quarks ne se promènent jamais seuls.

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

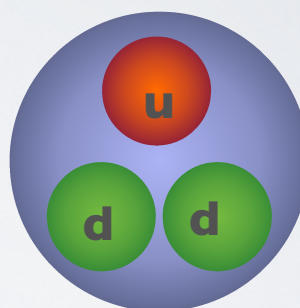
Deux exemples bien connus :

**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)



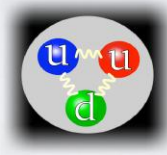
$$u\left(+\frac{2}{3}\right)d\left(-\frac{1}{3}\right)d\left(-\frac{1}{3}\right) = n(0)$$

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**.



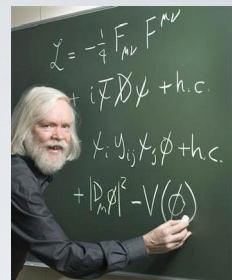
interaction	<b>électromagnétique</b>	<b>forte</b>	<b>faible</b>	<b>gravitationnelle</b>
particule médiatrice	photon (1905) $\gamma$	8 gluons (1979) $g$	3 bosons (1983) $W^+$ $W^-$ $Z$	graviton ? $g_{\mu\nu}$
amplitude relative (au niveau des particules)	$10^{-2}$	1	$10^{-14}$	$10^{-40}$

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 fautive, c'est beaucoup plus difficile de montrer qu'elle est vraie !

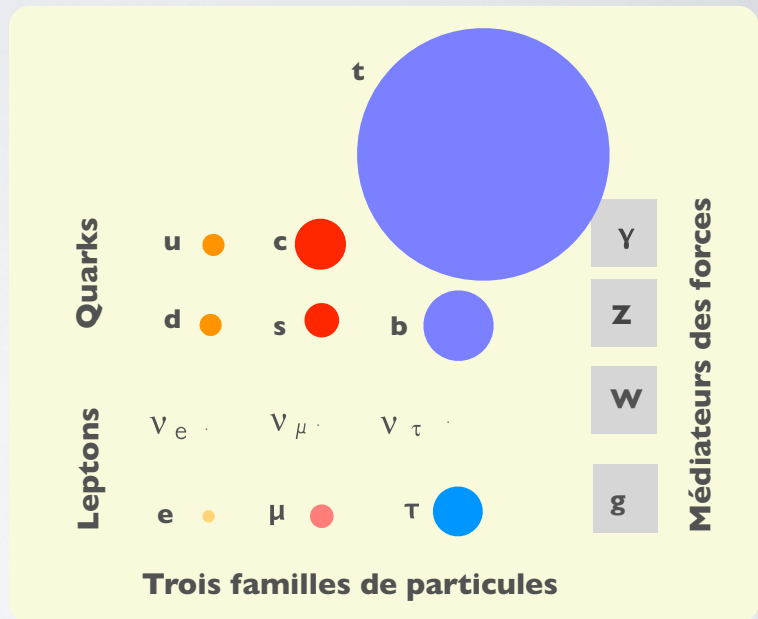
Théorie actuelle de la physique des particules : le **modèle standard**. Elle est basée sur :

- 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 ?



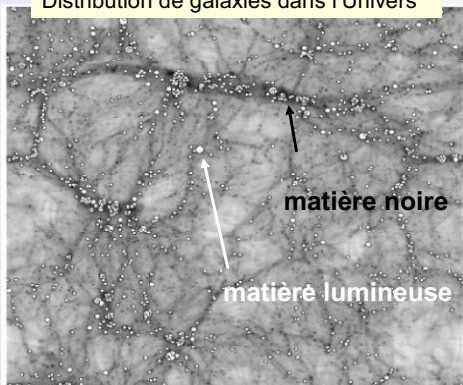
- comment peut-on inclure la **gravitation** dans le modèle ?
- comment peut-on **unifier** (décrire par une même loi) toutes les forces ?

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

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

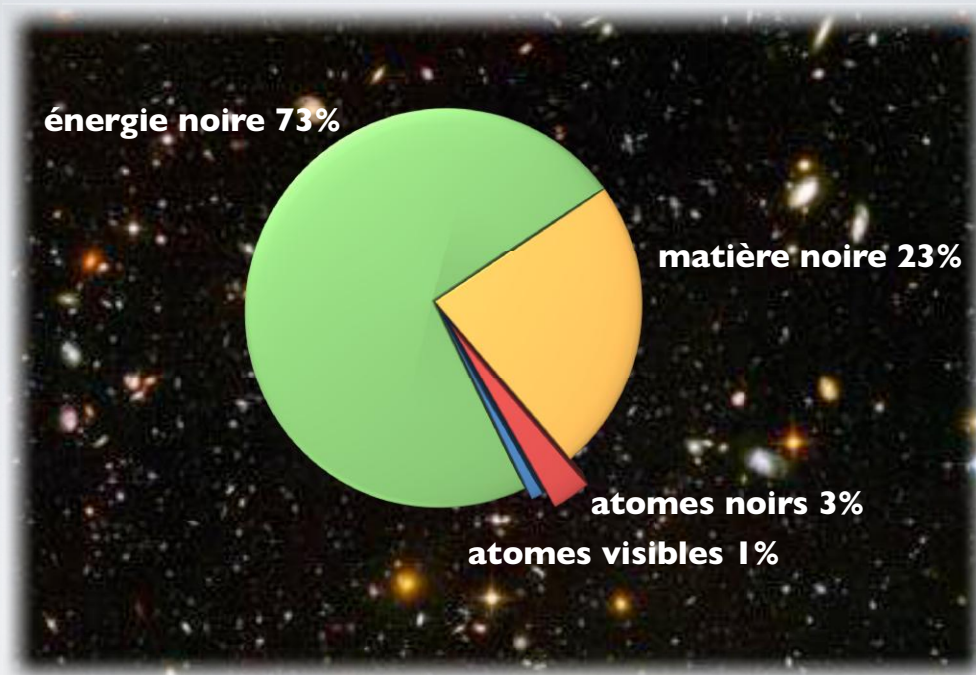


Distribution de galaxies dans l'Univers



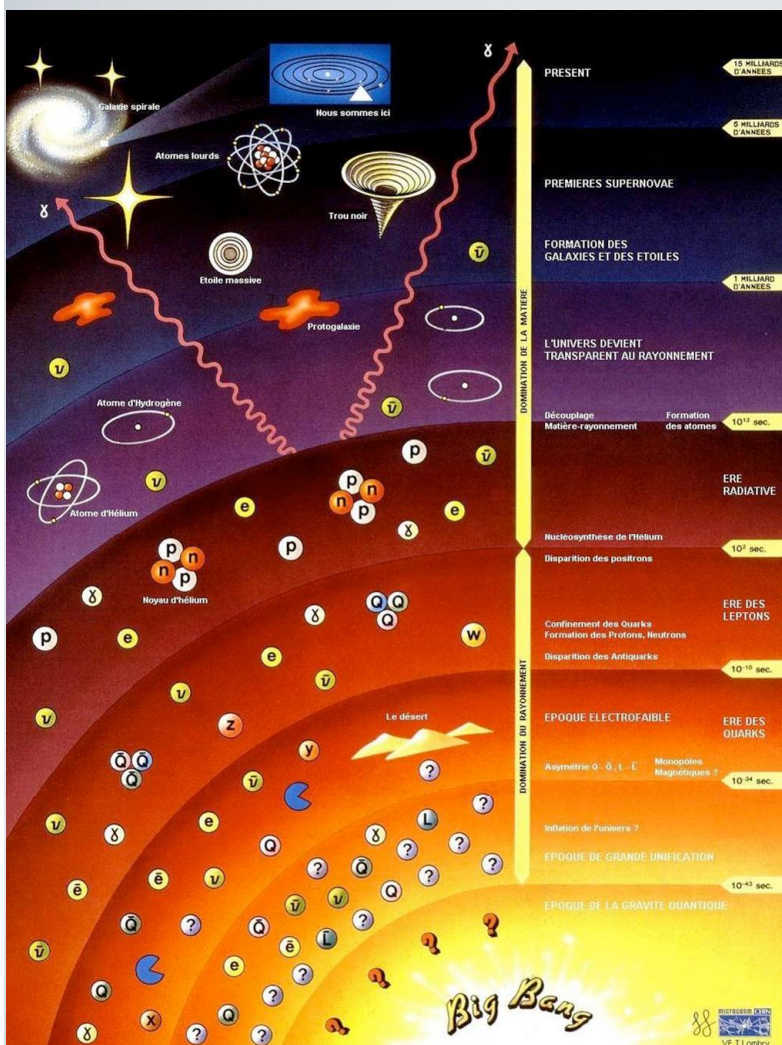
La cinématique des galaxies ainsi que les caractéristiques de leur distribution filamenteuse indiquent l'existence d'une matière supplémentaire, non lumineuse : la **matière noire**.

# 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

quarks  
leptons

$10^{-10}$  s

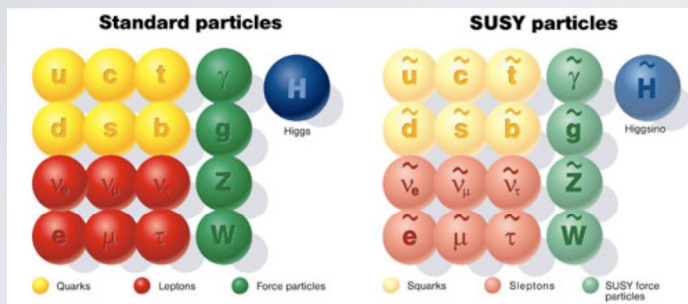
$10^{-34}$  s

??

$10^{-44}$  s

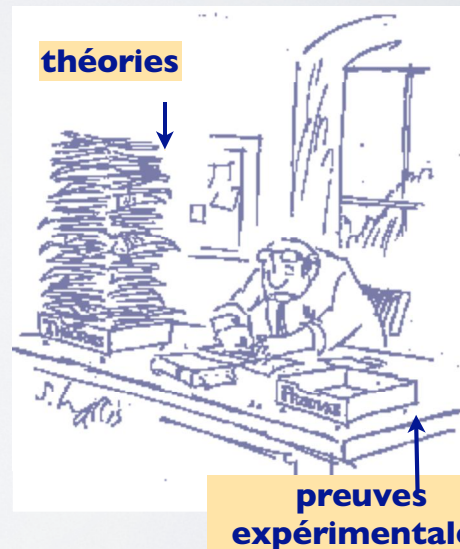
gravitation  
quantique

# 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**.

