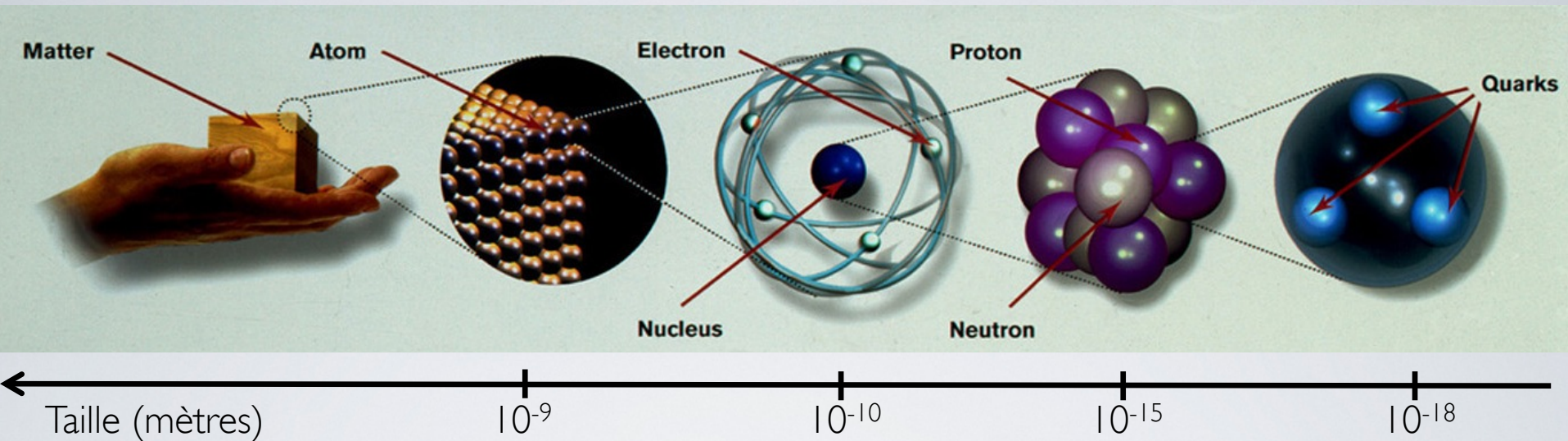


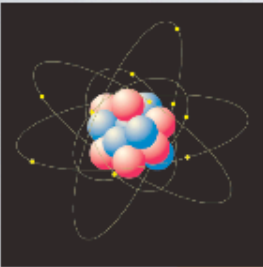
Le modèle standard de la physique des particules et au delà ...

Des particules élémentaires ?



- ✦ Notion qui varie avec l'époque (Dépend des moyens expérimentaux pour les regarder)
- ✦ Création de 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.

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



up (1968)



charm (1974)



top (1995)

-1/3



down (1968)



strange (1968)



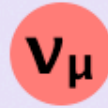
beauty (1977)

leptons

0



neutrino "e"
(1956)



neutrino "μ"
(1962)



neutrino "τ"
(2000)

-1



électron (1897)



muon (1936)



tau (1974)

charge électrique

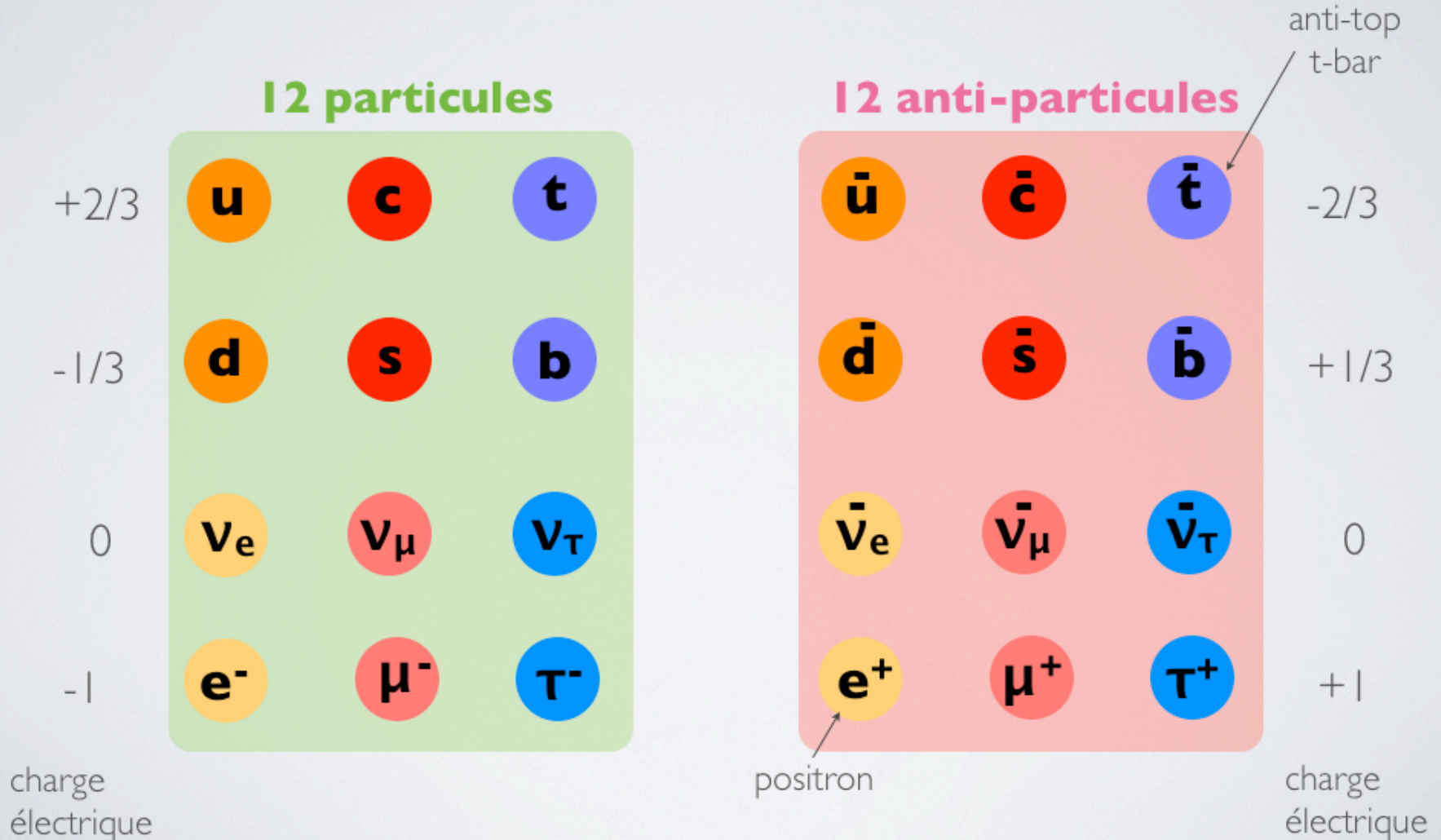
1^{ère} famille

2^{ème} famille

3^{ème} famille

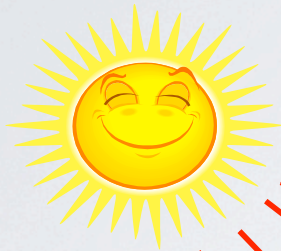
et aussi les anti-particules

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.



des particules élémentaires vous traversent !

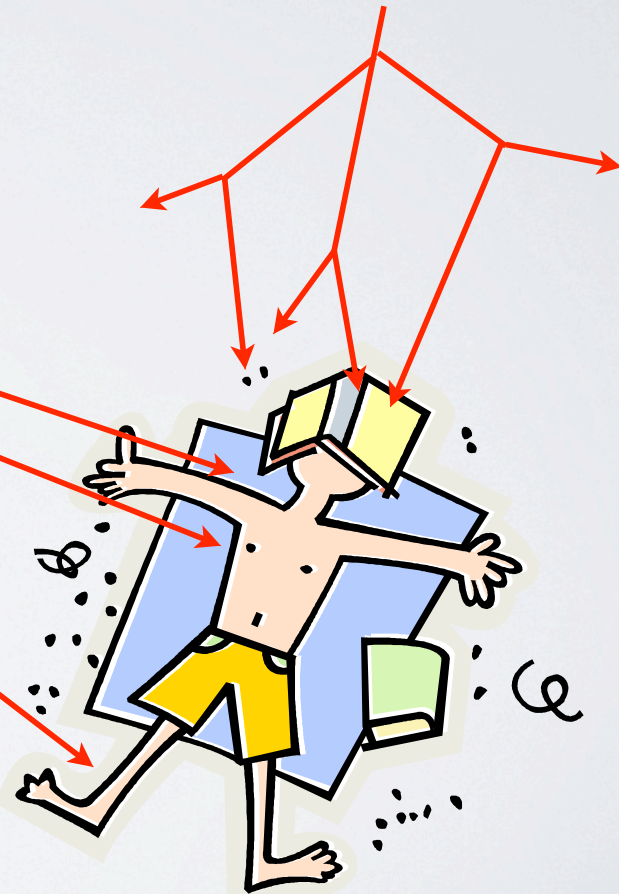
Des neutrinos ν



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

Des muons μ

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



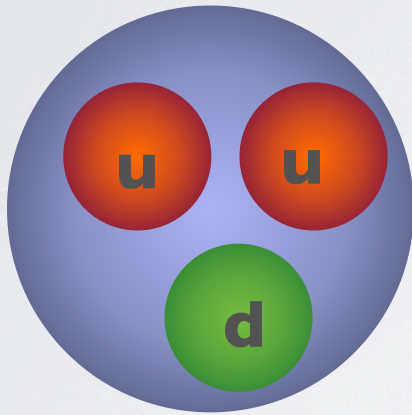
les quarks forment des hadrons

Les quarks ne se promènent jamais seuls.

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

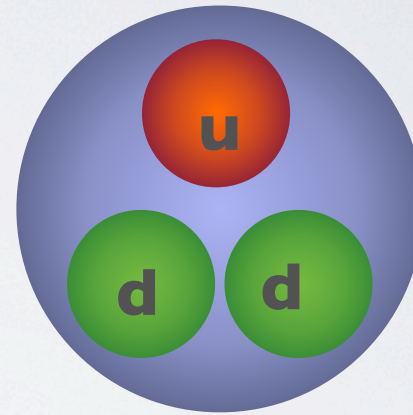
Deux exemples bien connus :

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)



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

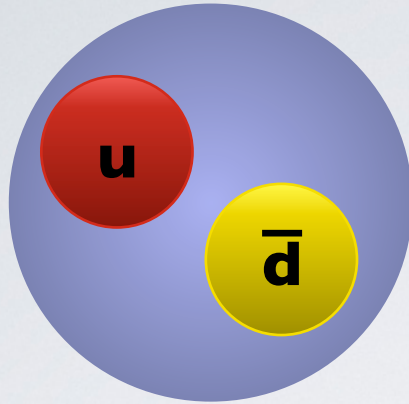
baryons

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

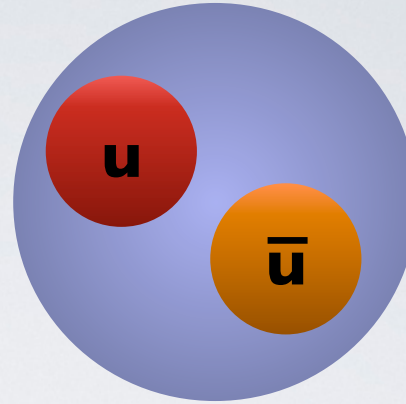
D'autres exemples de Hadrons

Les mésons : paires quarks/antiquarks

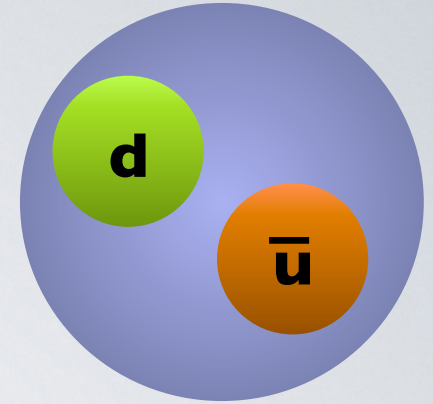
Les pions



π^+

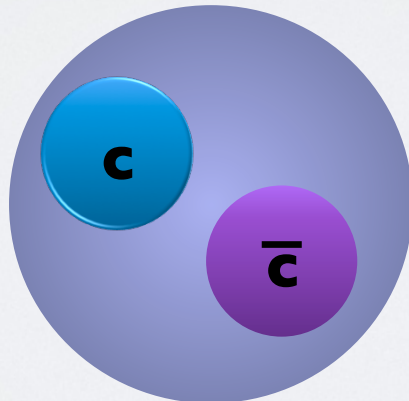


π^0



π^-

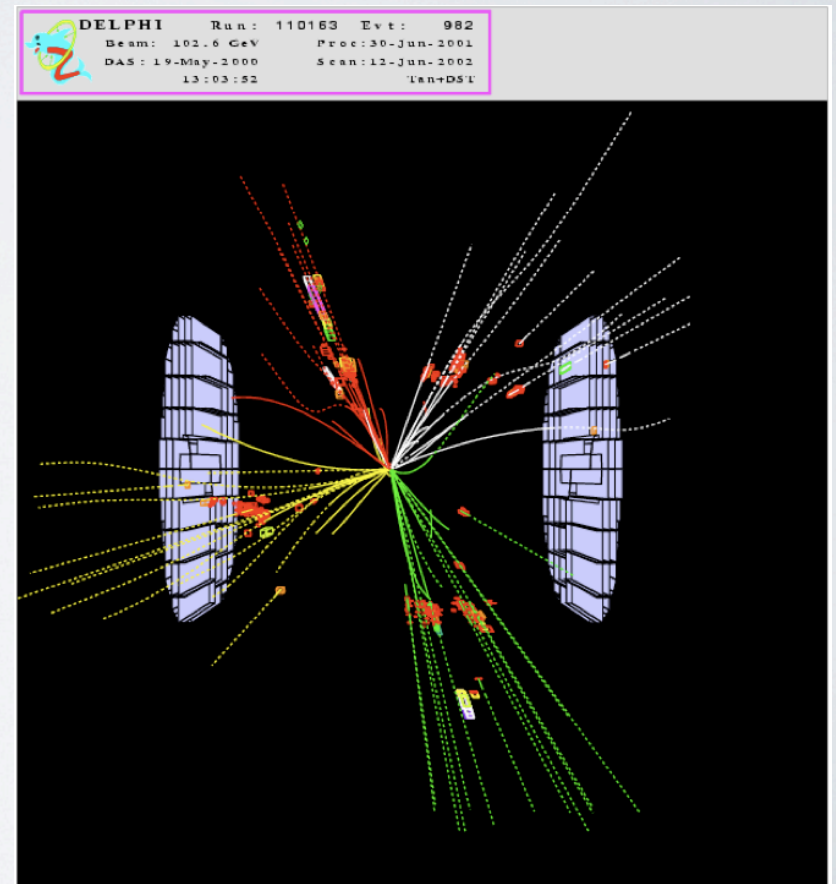
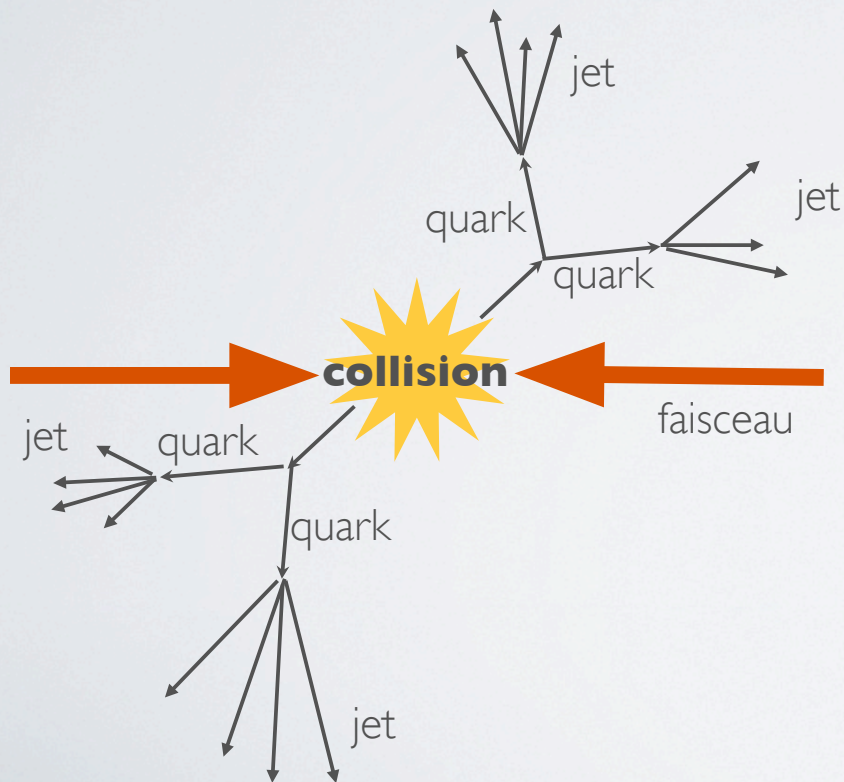
Le J/ψ



La particule que vous
rechercherez cet après-midi

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**.



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**.



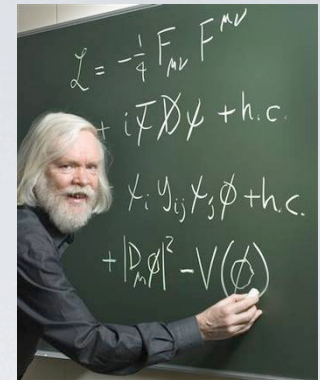
interaction	électromagnétique	forte	faible	gravitationnelle
particule médiatrice	photon (1905) γ	8 gluons (1979) g	3 bosons (1983) W^+ W^- Z	graviton ? $g_{\mu\nu}$
amplitude relative (au niveau des particules)	10^{-2}	1	10^{-14}	10^{-40}

non décrite au niveau des particules

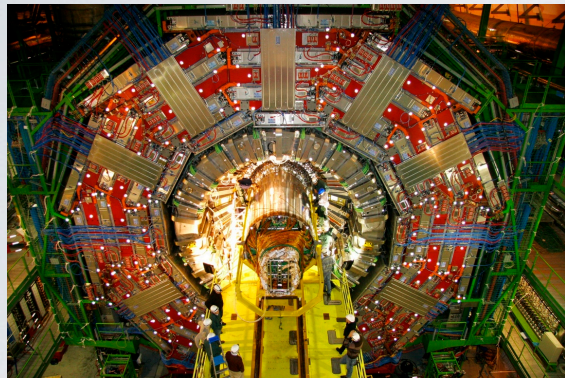
hypothétique

l'expérience et la théorie

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

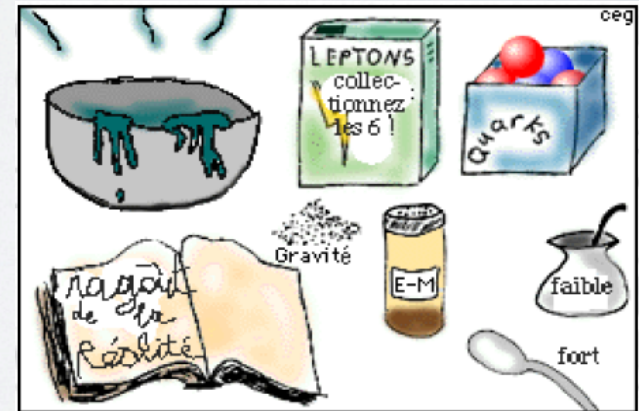


Il faut **tester** les théories par l'**expérience**. On peut démontrer qu'une théorie est fautive, c'est beaucoup plus difficile de montrer qu'elle est vraie !







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)



Le paradigme de l'unification

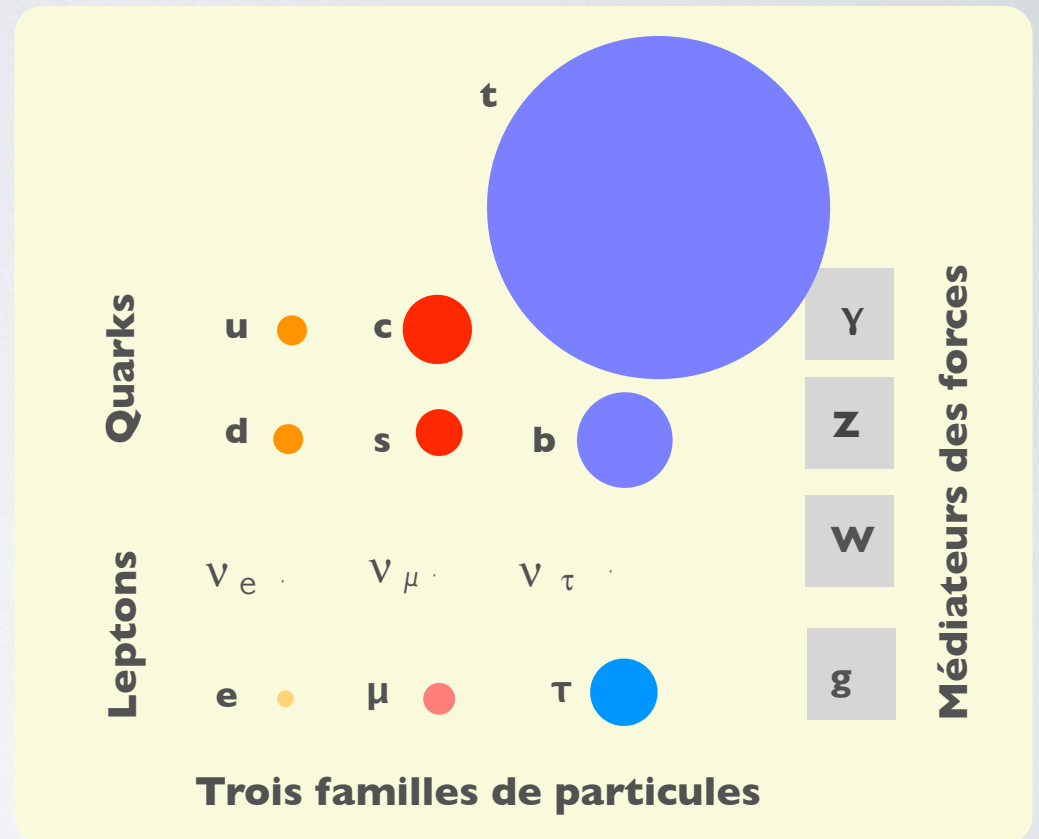
-  Newton (XVII^{ème} siècle) :
Unification de la mécanique terrestre et céleste
Théorie de la gravitation universelle
-  Maxwell (XIX^{ème} siècle) :
Unification de l'électricité et du magnétisme
Théorie de l'électromagnétisme
-  Glashow-Weinberg-Salam (vers 1970) :
Unification (partielle) de l'électromagnétisme et de la force faible
Théorie électrofaible
-  Prochaine étape ? Unification avec l'interaction forte ?
Théorie(s) de Grande Unification ?

La masse des particules

- 🌐 Avec les ingrédients précédents, le modèle standard ne permet de décrire que des particules de masse nulle
- 🌐 Peter Higgs (et d'autres) ont postulé l'existence d'un nouveau champ de force (champ de Higgs) qui remplit tout l'espace. C'est l'interaction des particules élémentaires avec ce champ qui génère la masse
- 🌐 Ce champ de Higgs est associé à une particule, le **boson de Higgs** (dont la masse est un paramètre libre de la théorie).
- 🌐 Ce boson de Higgs n'a pas encore été observé, sa découverte est l'un des objectifs prioritaires du LHC.

les limites de la théorie : des questions ouvertes

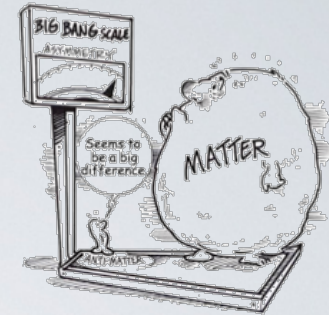
- pourquoi **3 familles** de constituants élémentaires ?
- pourquoi existe-t-il une grande **disparité de masse** entre les particules ?
- quelle est l'**origine de la masse** ?
Le **boson de Higgs** existe-t-il ?



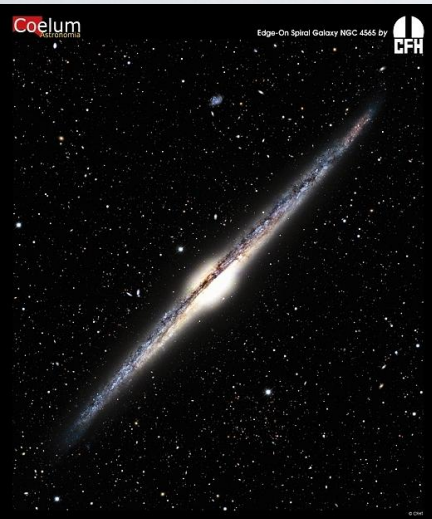
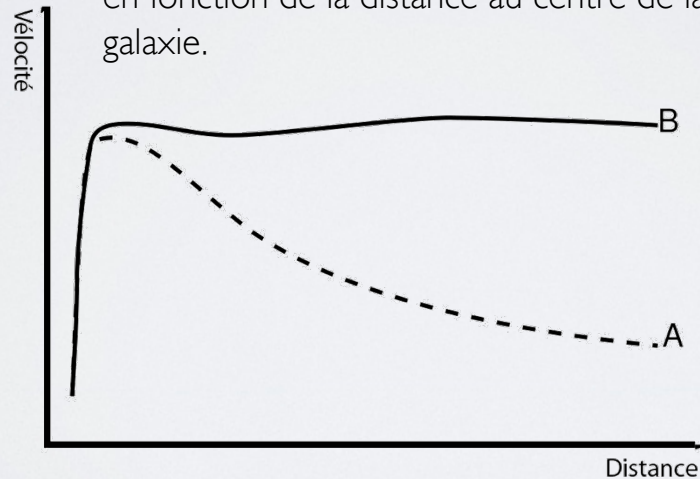
- comment peut-on inclure la **gravitation** dans le modèle ?
- comment peut-on **unifier** (décrire par une même loi) toutes les forces ?

Les limites de la théorie : Des indices expérimentaux venus de l'univers

L'**anti-matière** a quasiment disparu de notre galaxie

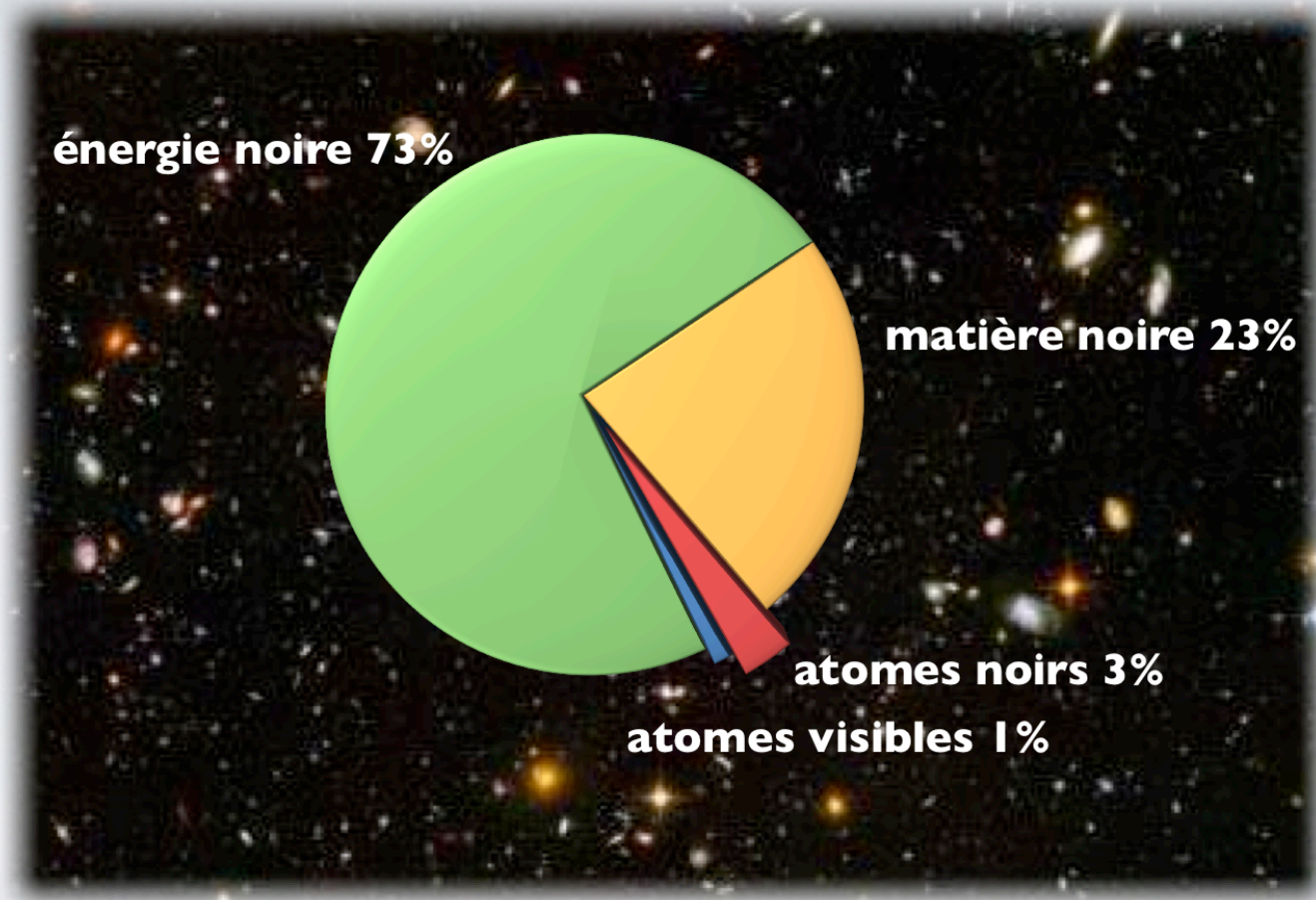


Courbe de rotation prévue par les équations de Newton (A) et la courbe observée (B), en fonction de la distance au centre de la galaxie.



La cinématique des galaxies indique l'existence d'une matière supplémentaire non lumineuse : **la matière noire**

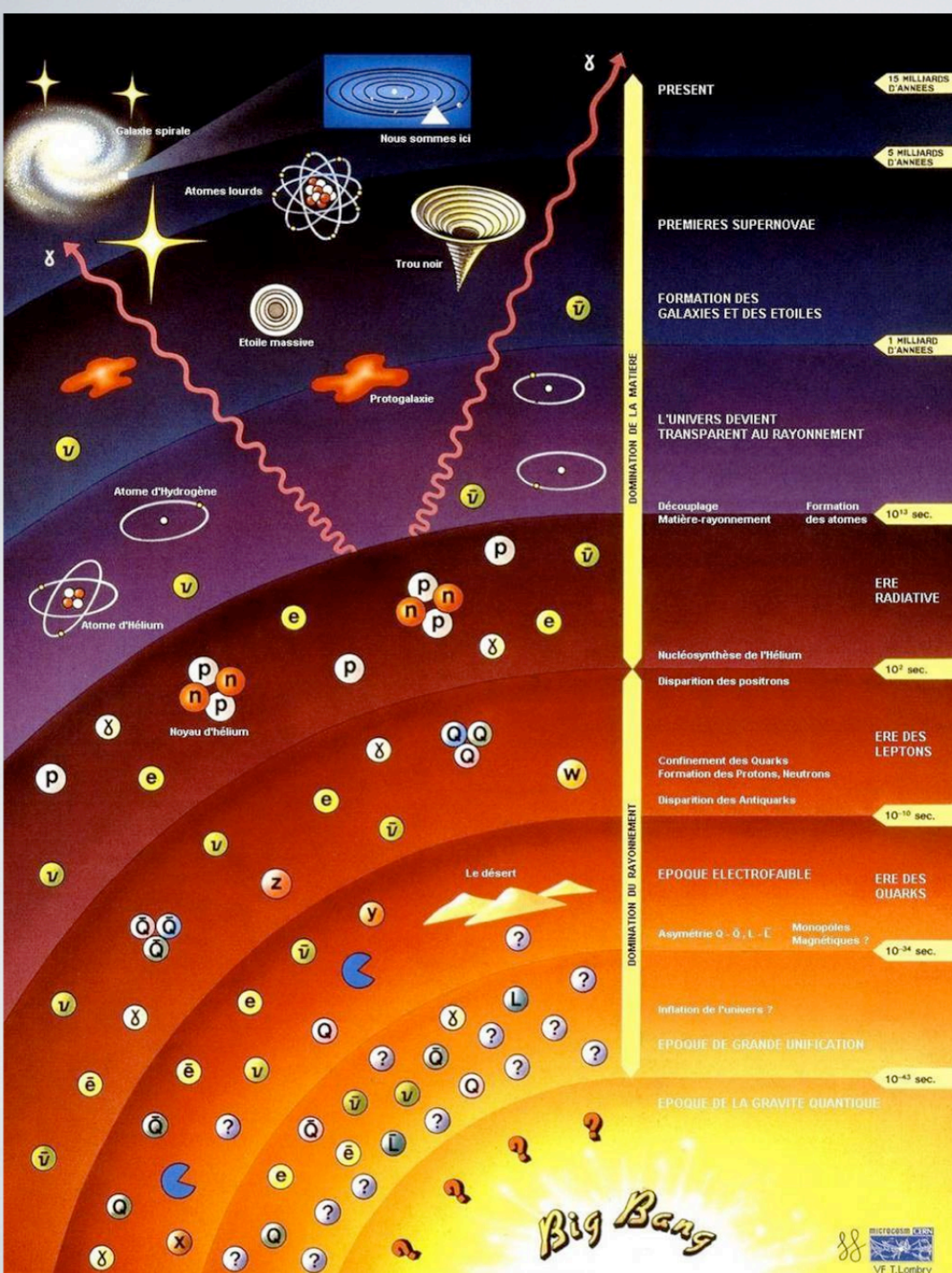
bilan : que connaissons-nous ?



Energie noire + matière noire > 96 %.

Nous ne comprenons que 4 % de l'Univers !

l'histoire de notre univers



10¹³ s

premiers atomes

1 s

hadrons

10⁻⁶ s

quarks
leptons

10⁻¹⁰ s

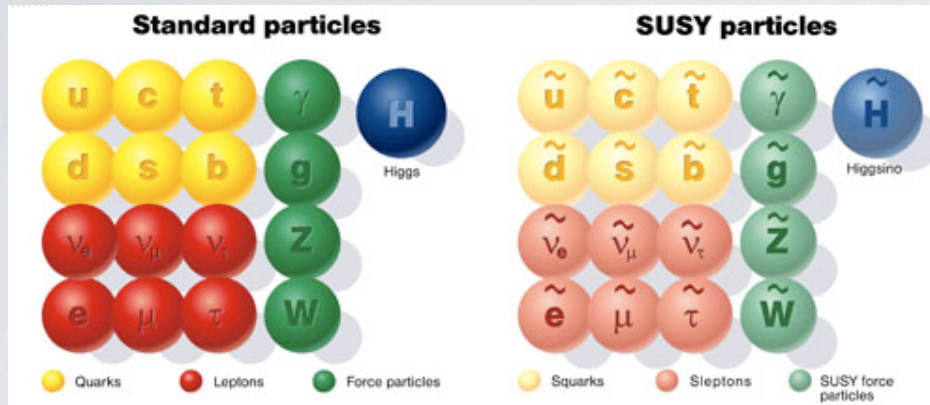
10⁻³⁴ s

??

10⁻⁴⁴ s

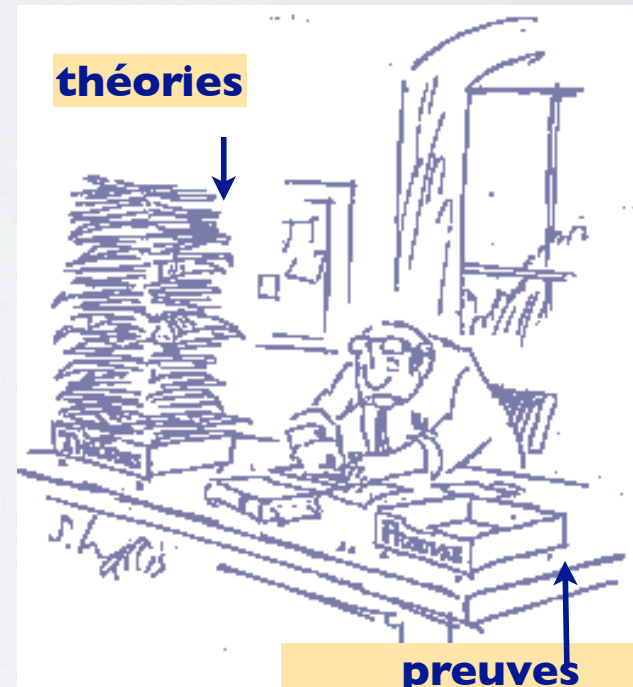
gravitation
quantique

la recherche en physique des particules aujourd'hui



Des nouvelles particules ?
Le boson de Higgs ?
Des dimensions supplémentaires ?

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



théories

preuves
expérimentales