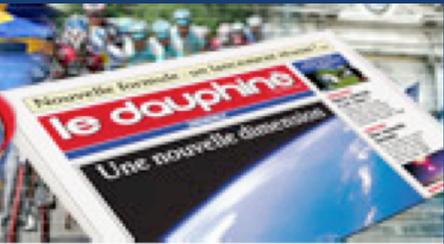


# Un géant pour sonder l'infiniment petit

# 10 septembre 2008 : le démarrage !



# CERN Vers les mystères de l'Univers

par La Rédaction du DL | le 10/09/08 à 08h15

★★★★★ 2 votes | 218 vues | 0 commentaire



© www.ledauphine.com



Vendredi 26 septembre 2008

Découverte

Environnement

Espace

Histoire

Recherche



Première visualisation du faisceau de particules au sein de l'accélérateur LHC du Cern, le 10 septembre 2008 au matin. Crédit Photo : Cern

- **En direct - Avec l'accélérateur de particules LHC, les scientifiques mènent depuis 9 heures l'expérience la plus exceptionnelle de ces dernières années.**
- **Interviews, reportages, directs : Suivez jusqu'à 18h le démarrage du LHC, l'accélérateur de particules du CERN.**

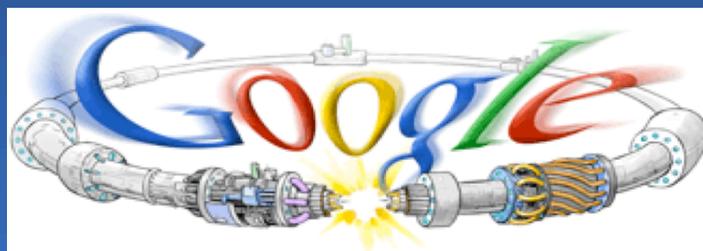
Matthieu DURAND - le 11/09/2008 - 10h51



Partager sur facebook

Partager sur viadeo

# Exclusif/Direct - L'incroyable retour aux origines de l'Univers



# Un géant pour sonder l'infiniment petit

- Le LHC est un collisionneur de protons
- Il y a 4 grandes expériences de physique des particules auprès du LHC
- Objectifs :
  - Comprendre les éléments fondamentaux qui constituent notre univers
  - Comprendre les forces qui régissent leurs interactions

# Un géant pour sonder l'infiniment petit

Le LHC et ses détecteurs sont un microscope géant et aussi  
une machine à remonter le temps

Il s'agit aussi d'une très belle aventure

- Scientifique
- Technologique
- Humaine

# Plan

- Le monde des particules élémentaires  
Ou de quoi sommes nous fait ?
  - Ce que nous avons compris
  - Les nouvelles énigmes
- Les instruments pour l'observer
  - Les collisionneurs, le LHC
  - Les détecteurs, ATLAS
  - La communauté scientifique

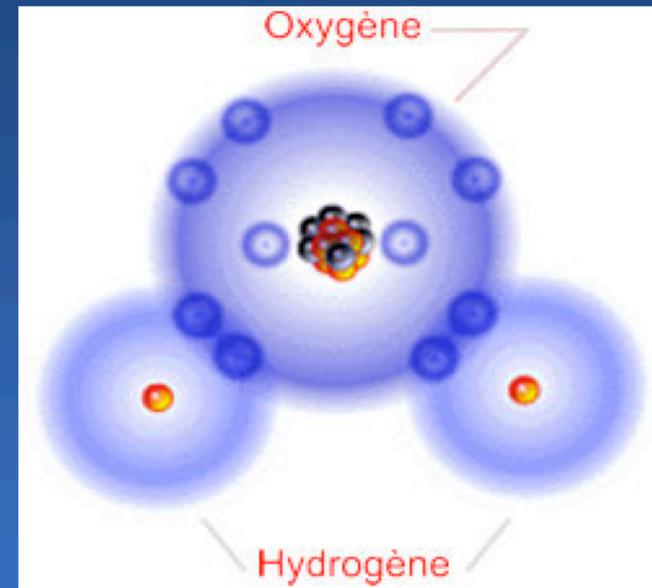
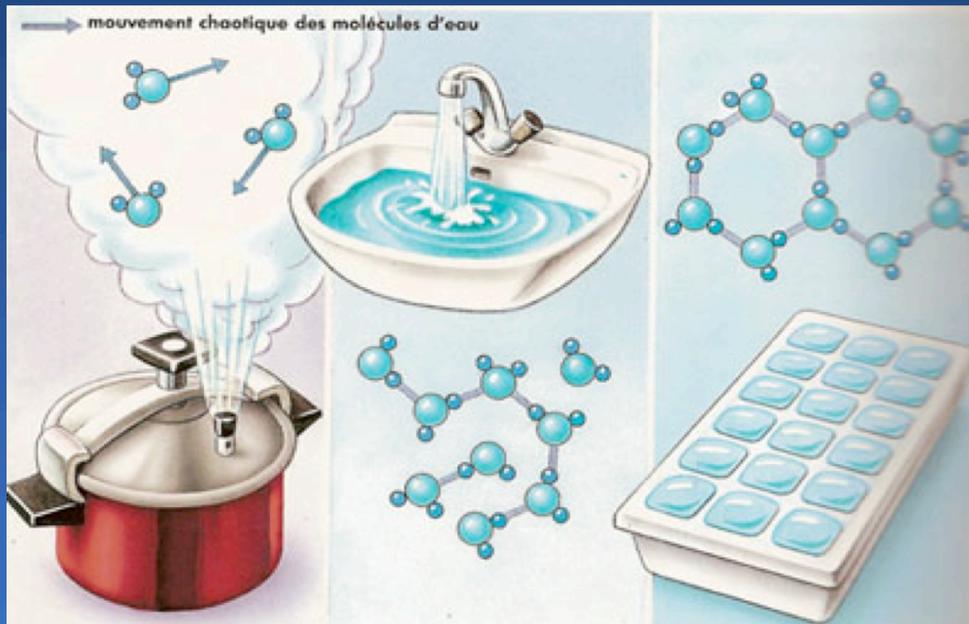
# Que savons-nous de la matière ?

- Une vieille idée : l'atome
  - Leucippe puis Démocrite au 5<sup>ème</sup> siècle avant JC (!) pensaient que la matière était faite de grains indivisibles « atomes » placés dans le vide
- Puis cette idée a été oubliée :
  - Aristote (4<sup>ème</sup> siècle avant JC) pensait que la matière était un mélange continu des 4 éléments : terre, eau, air et feu



# L'atome

- La matière est composée d'atomes

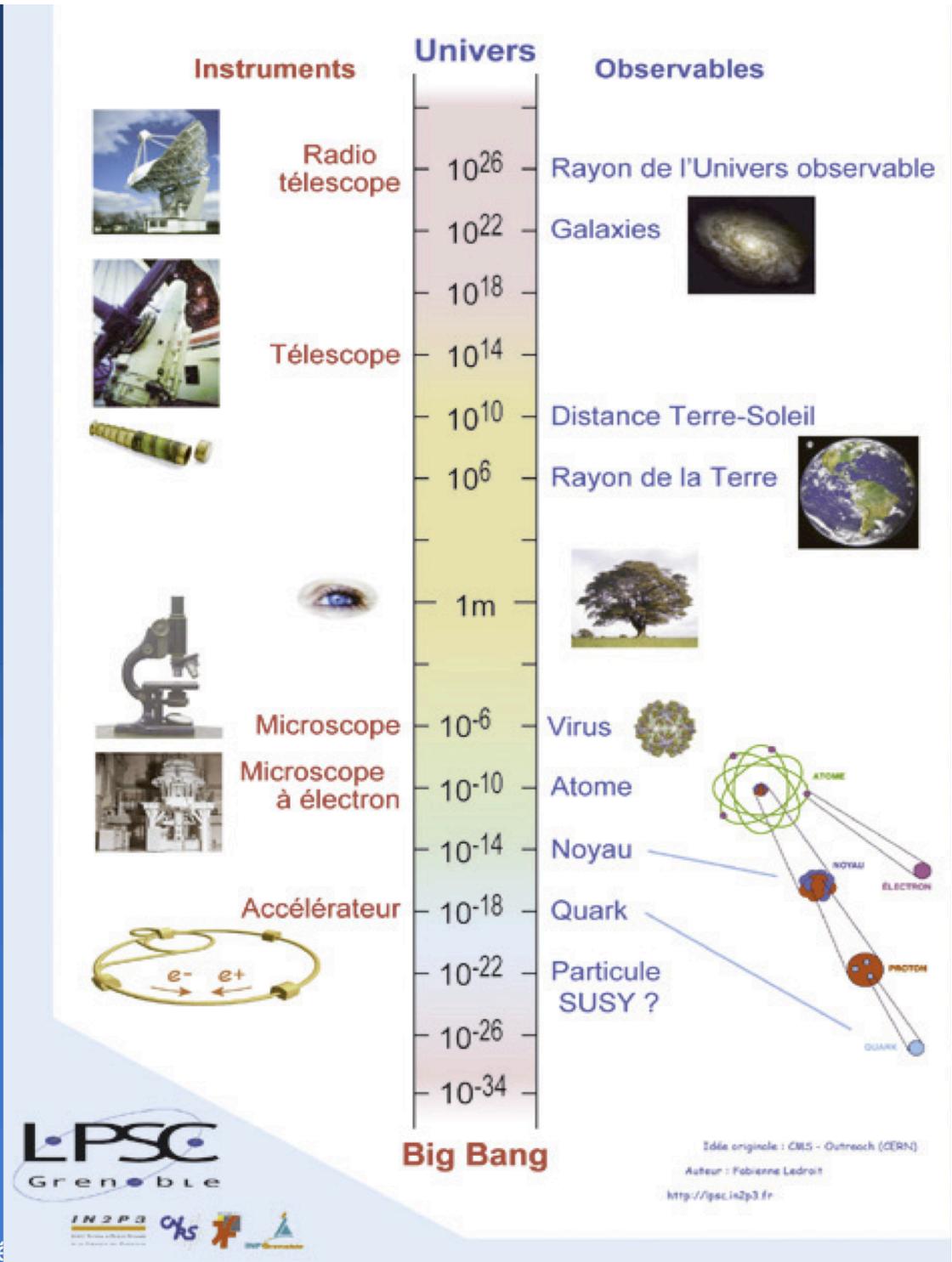


Ex : molécule d'eau = 1 atome d'oxygène et 2 atomes d'hydrogène

- Mais l'atome n'est pas la plus petite brique de matière : il n'est pas insécable ...

# L'échelle des grandeurs

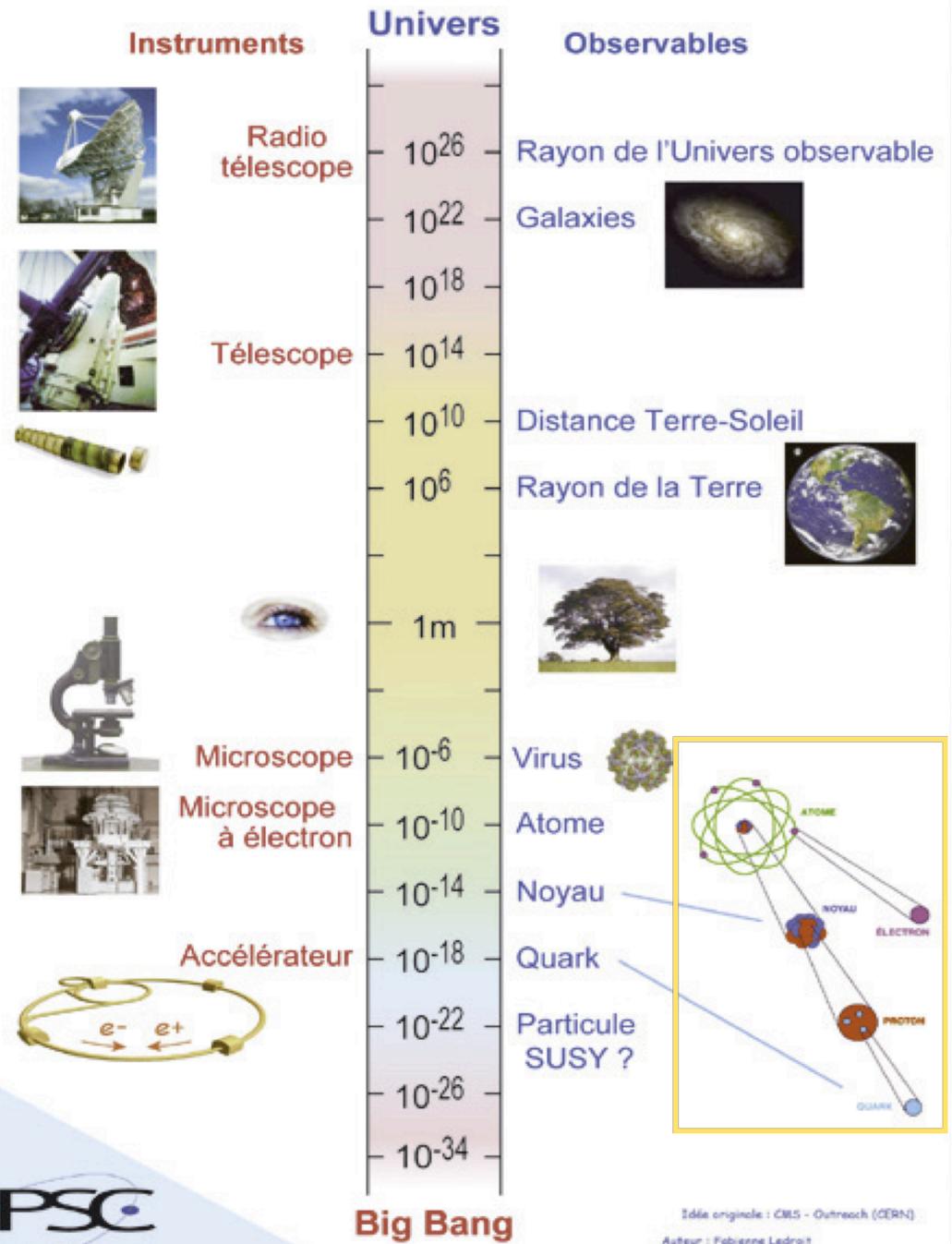
De l'« infiniment » grand à l'« infiniment » petit ...



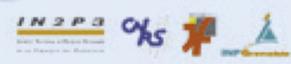
# L'échelle des grandeurs



Cartoon de Nicolas, L'ÉCOLE

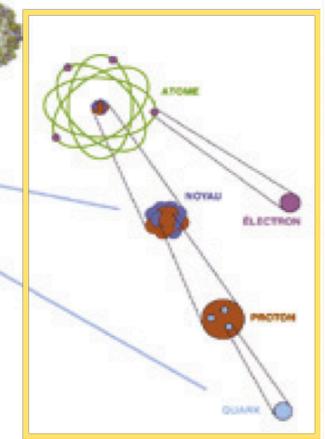
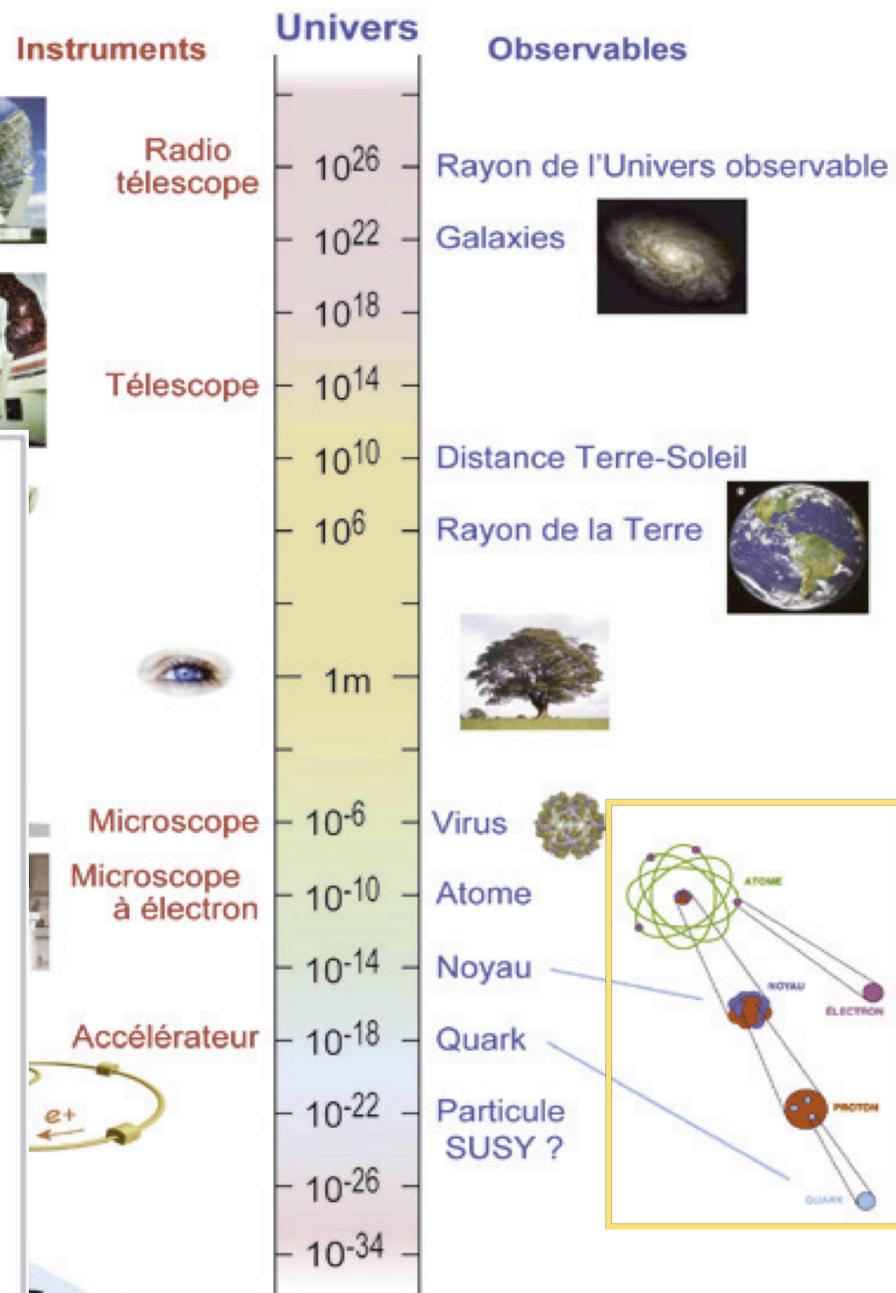
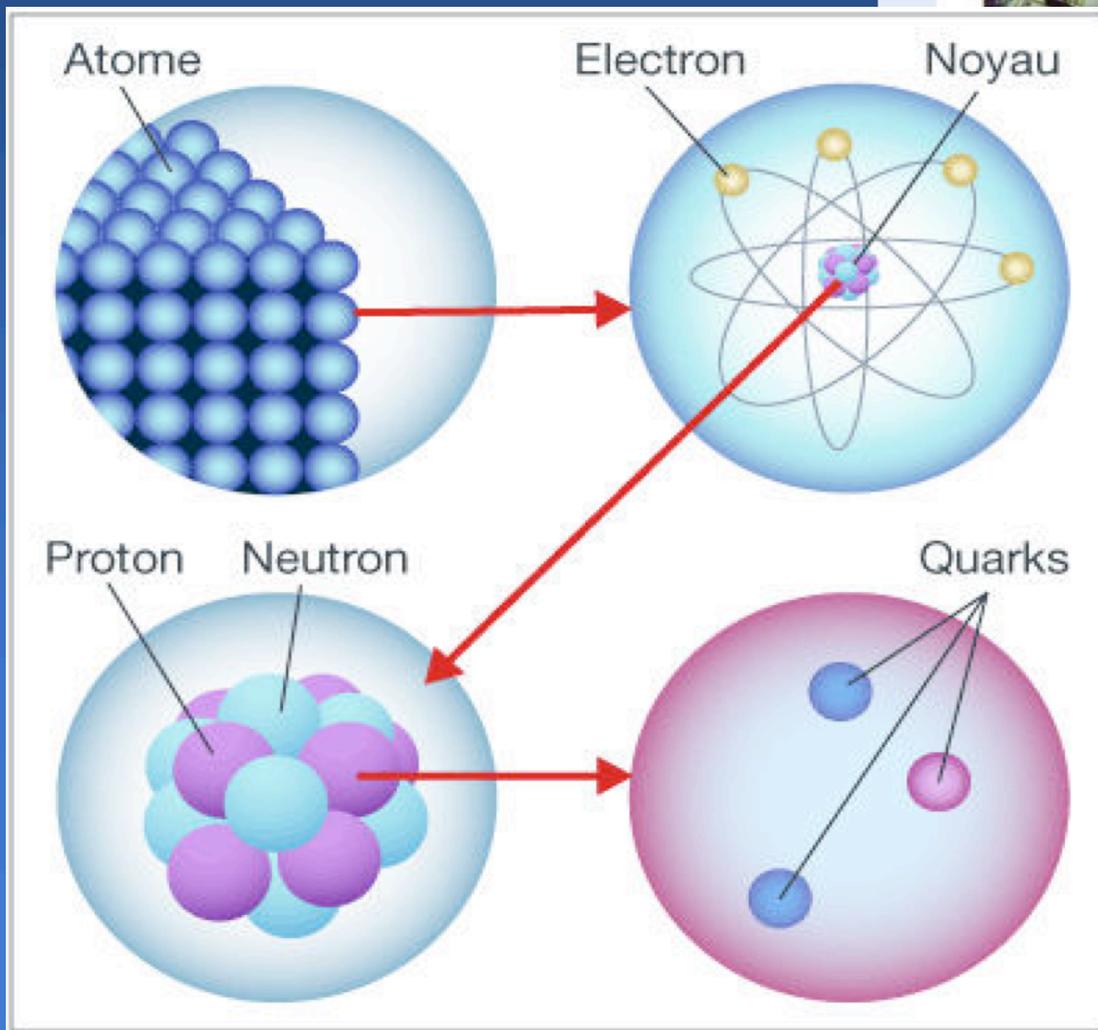


LPSC  
Grenoble



Idée originale : CMS - Outreach (CERN)  
Auteur : Fabienne Ledroit  
<http://ipsc.in2p3.fr>

# L'échelle des grandeurs



Idée originale : CMS - Outreach (CERN)  
 Auteur : Fabienne Ledroit  
<http://qpc.in2p3.fr>

# L'échelle des grandeurs (II)

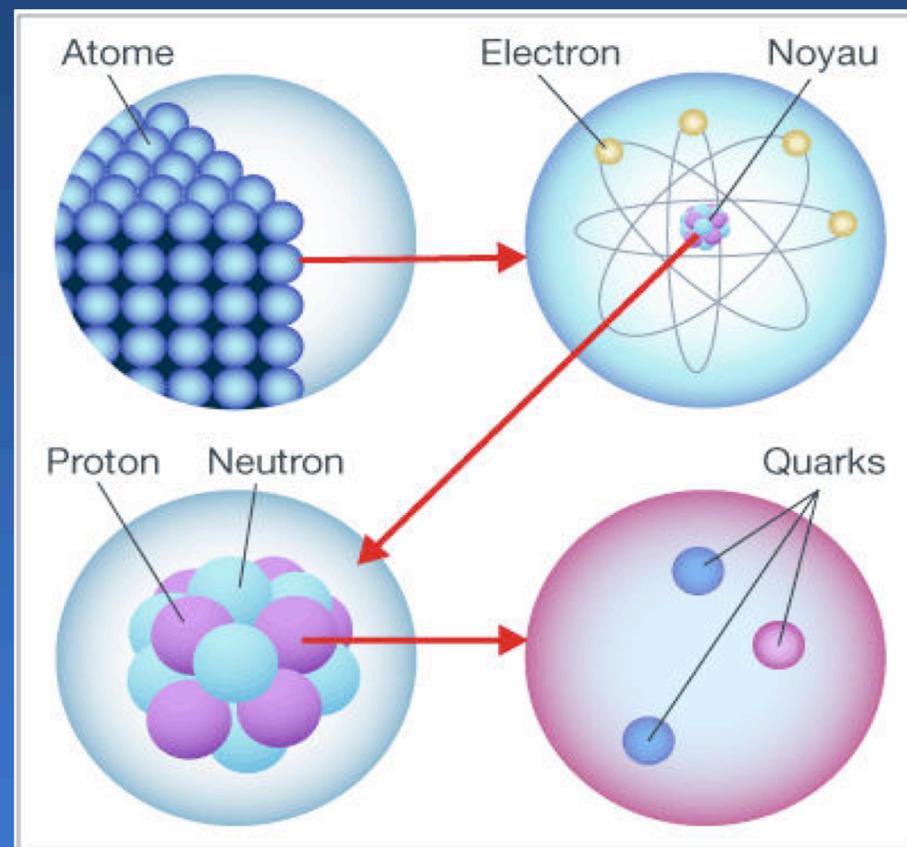


Si on grossissait  
mille milliards de  
fois un atome  
d'hydrogène ...

Nous sommes composés  
d'au moins  
99,9999999999999999%  
de vide !

# Plus petit que l'atome ?

- L'atome n'est pas « indivisible »
- Il est composé d'un noyau et d'**électrons**
  - Le noyau est lui même composé de protons et de neutrons
    - Les protons et les neutrons sont composés de **quarks** et de **gluons** : particules élémentaires
  - Les électrons sont des particules élémentaires

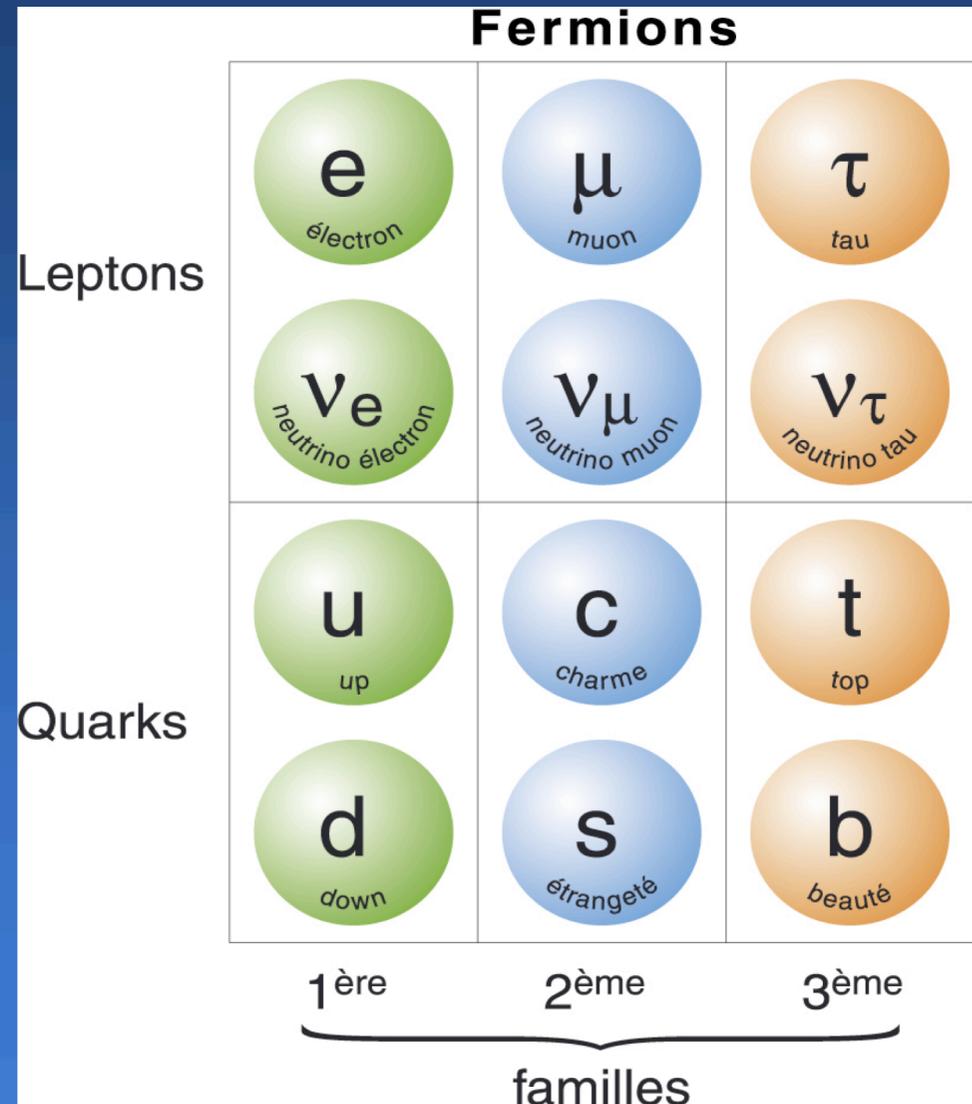


# Les particules élémentaires photo de famille



# Les particules élémentaires

- Matière ordinaire
  - 1ère famille :
    - proton  $\approx$  uud
    - neutron  $\approx$  udd
    - électron  $e^-$
- Rayons cosmiques
  - Muons, neutrinos, ...
- Collisionneurs
  - Toutes ces particules ont été observées



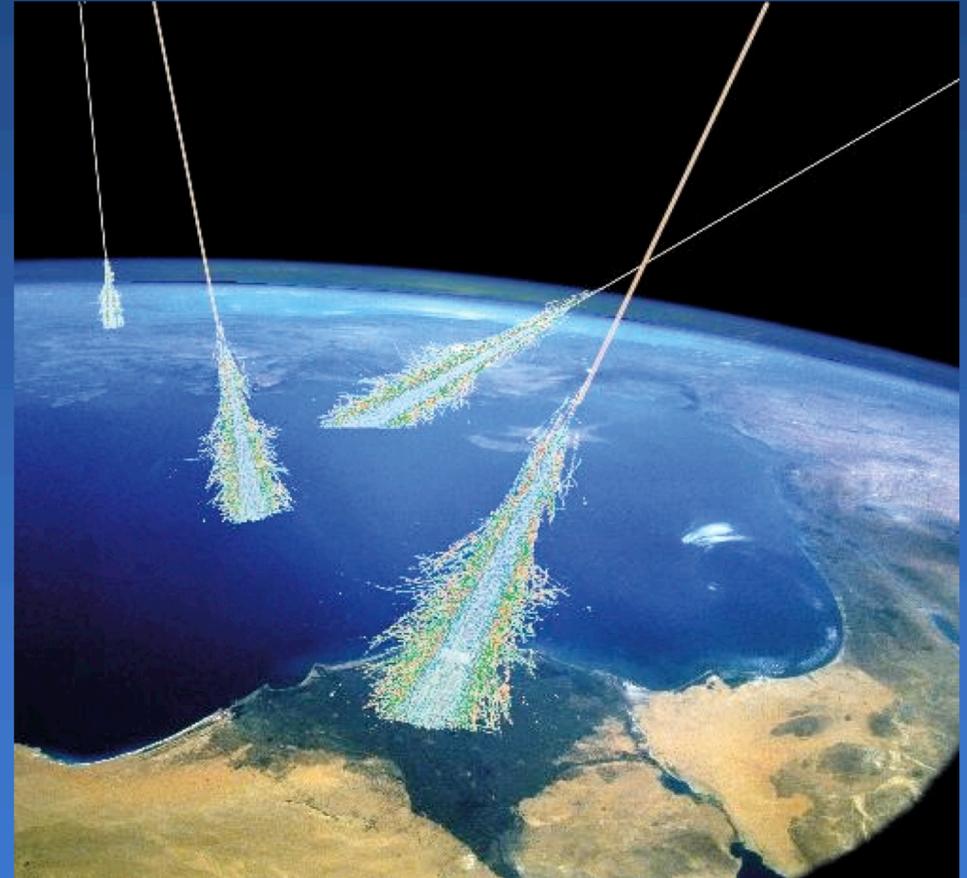
# Neutrinos et rayons cosmiques

## Neutrinos

- Nous baignons dans une nuée de particules : pour **1 électron**, l'univers contient **mille milliards de neutrinos**
- Ils peuvent traverser 100 000 000 de terres alignées sans interactions
- vous êtes traversés par 100 000 000 000 000  $\nu$  provenant du soleil par seconde

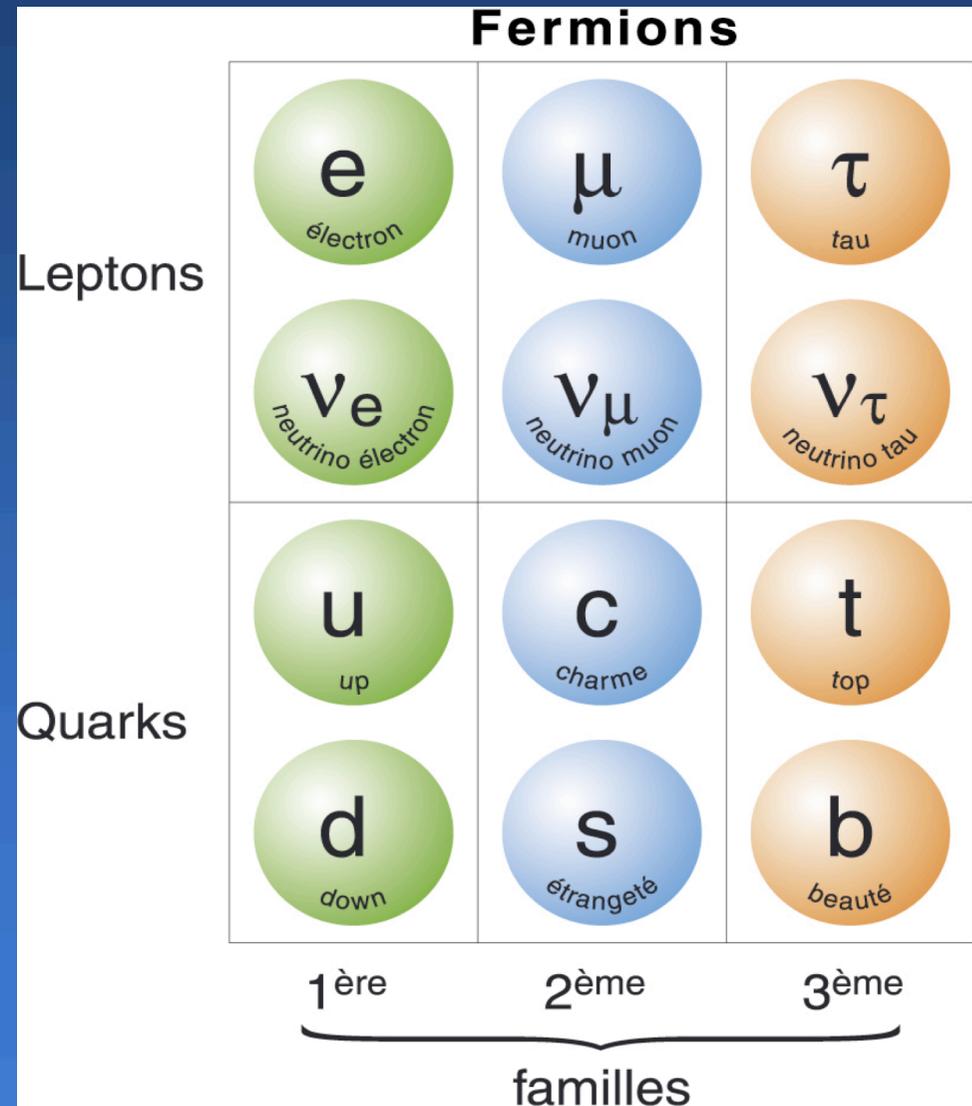
## Rayons cosmiques

- 89% protons et 10% noyaux d'hélium (explosion d'étoiles)
- Interaction avec l'atmosphère  $\rightarrow$  muons
- vous êtes traversés par 200  $\mu$  par seconde et par  $m^2$



# Les particules élémentaires

- Matière ordinaire
  - 1ère famille :
    - proton  $\approx$  uud
    - neutron  $\approx$  udd
    - électron  $e^-$
- Rayons cosmiques
  - Muons, neutrinos, ...
- Collisionneurs
  - Toutes ces particules ont été observées

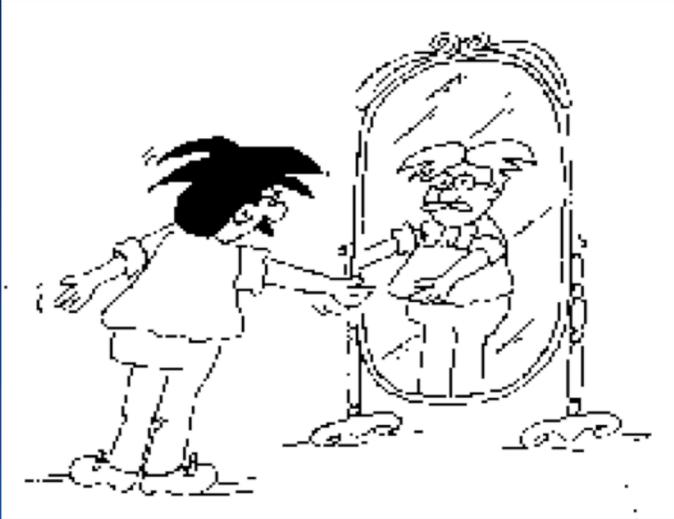


# Les particules élémentaires

		Fermions		
Leptons		$\bar{e}$ électron	$\bar{\mu}$ muon	$\bar{\tau}$ tau
		$\bar{\nu}_e$ neutrino électron	$\bar{\nu}_\mu$ neutrino muon	$\bar{\nu}_\tau$ neutrino tau
Quarks		$\bar{u}$ up	$\bar{c}$ charme	$\bar{t}$ top
		$\bar{d}$ down	$\bar{s}$ étrangeté	$\bar{b}$ beauté
		1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>
		families		

		Fermions		
Leptons		$e$ électron	$\mu$ muon	$\tau$ tau
		$\nu_e$ neutrino électron	$\nu_\mu$ neutrino muon	$\nu_\tau$ neutrino tau
Quarks		$u$ up	$c$ charme	$t$ top
		$d$ down	$s$ étrangeté	$b$ beauté
		1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>
		families		

# Mais où est passée l'antimatière ?

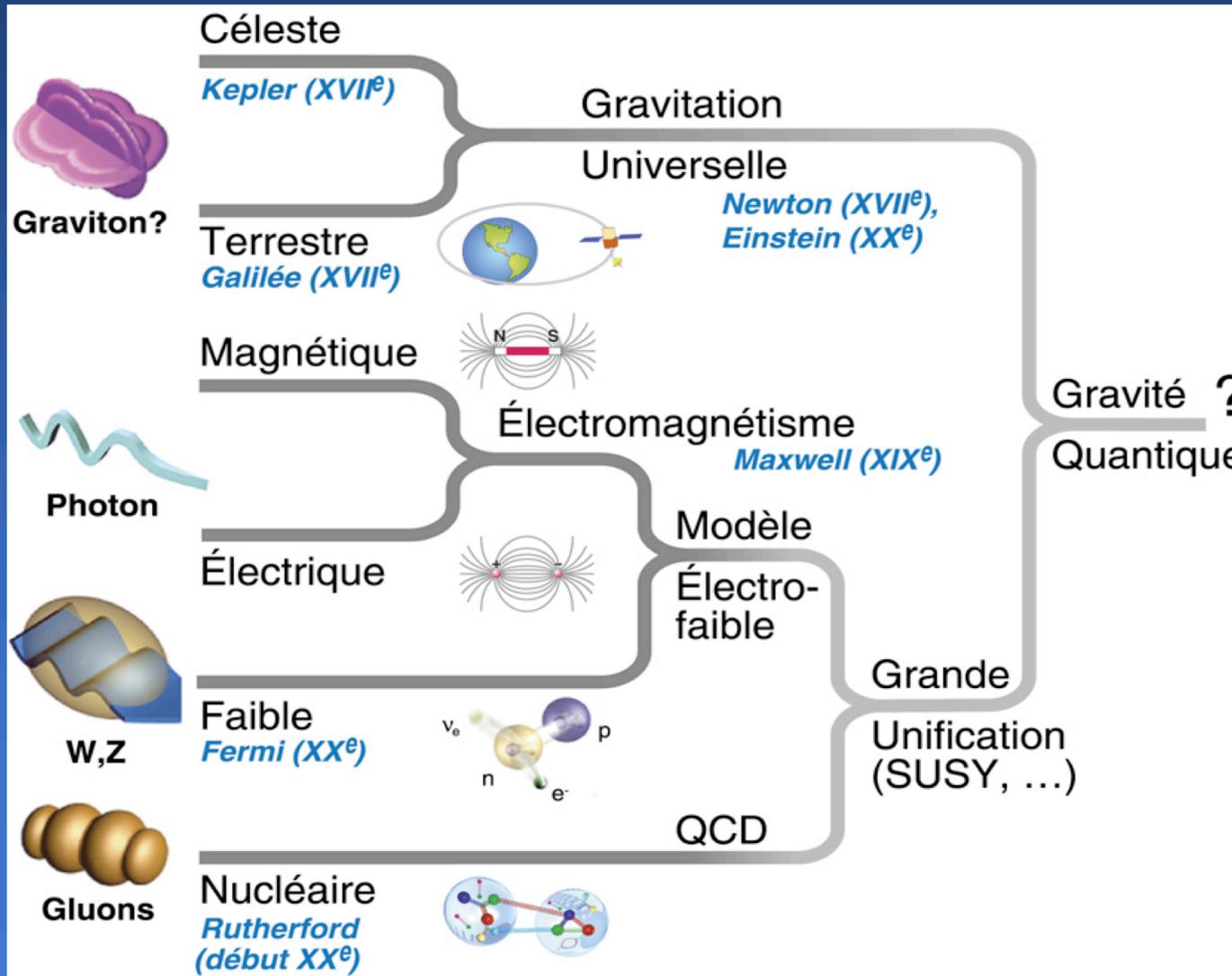
- À chaque particule de matière correspond une particule jumelle d'antimatière : mêmes caractéristiques (ex: même masse, même durée de vie) mais nombres quantiques opposés (ex: charge opposée)
- 
- Lorsque une particule de matière rencontre une particule d'antimatière, elles s'annihilent : se transforment en énergie
  - À l'époque du Big Bang, quantité de matière = quantité d'antimatière ... aujourd'hui aucune grande quantité d'antimatière détectée dans l'univers ?????
    - Une question fondamentale qui n'a pas de réponse aujourd'hui

# Mais où est passée l'antimatière ?

- À chaque particule de matière correspond une particule jumelle d'antimatière : mêmes caractéristiques (ex: même masse, même durée de vie) mais nombres quantiques opposés (ex: charge opposée)
- Lorsque une particule de matière rencontre une particule d'antimatière, elles s'annihilent : se transforment en énergie
- À l'époque du Big Bang, quantité de matière = quantité d'antimatière ... aujourd'hui aucune grande quantité d'antimatière détectée dans l'univers ?????
  - Une question fondamentale qui n'a pas de réponse aujourd'hui

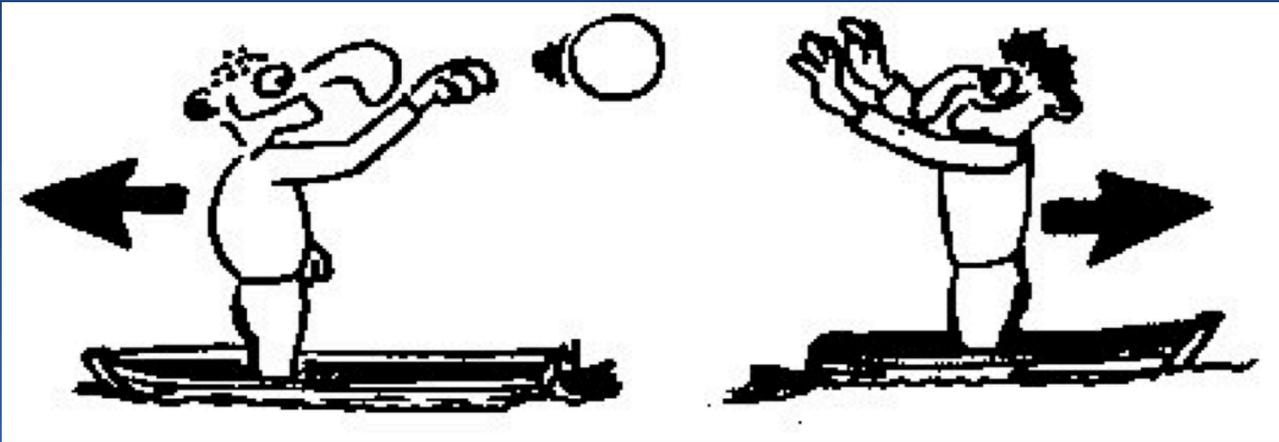


# Les interactions



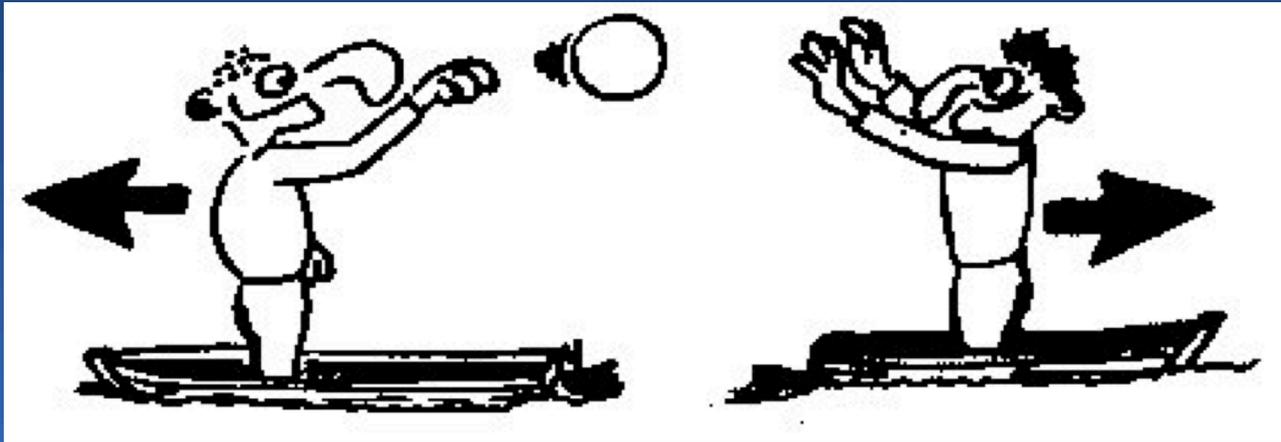
→ Vers une interaction unique ?

# Comment les forces agissent-elles ?

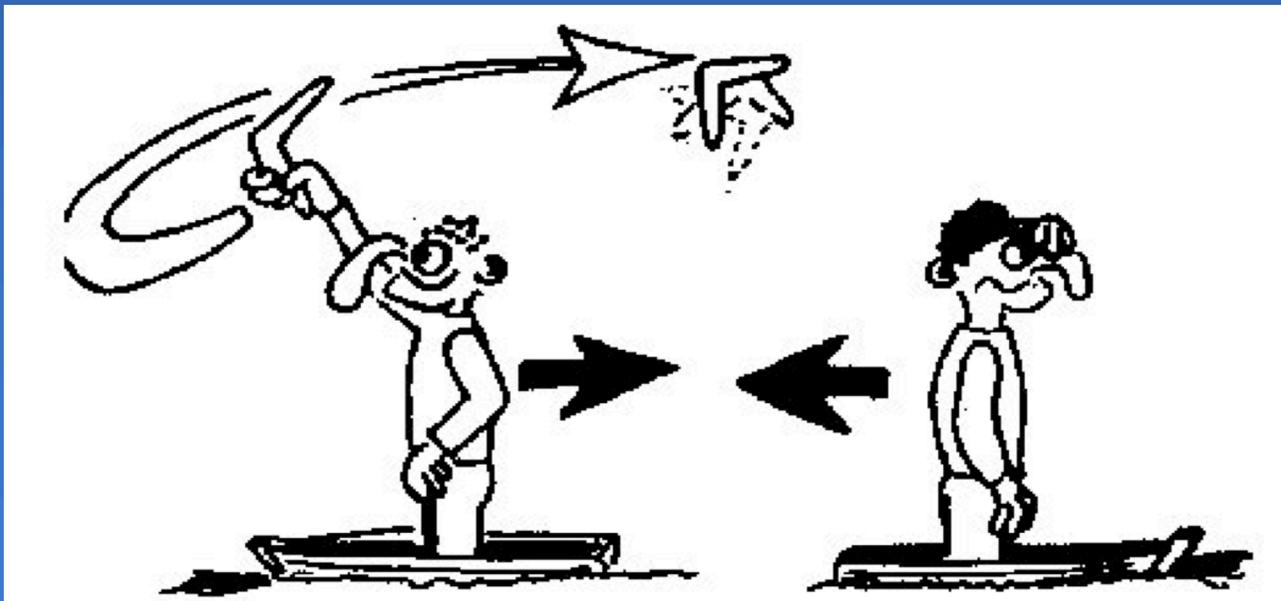


Force répulsive

# Comment les forces agissent-elles ?



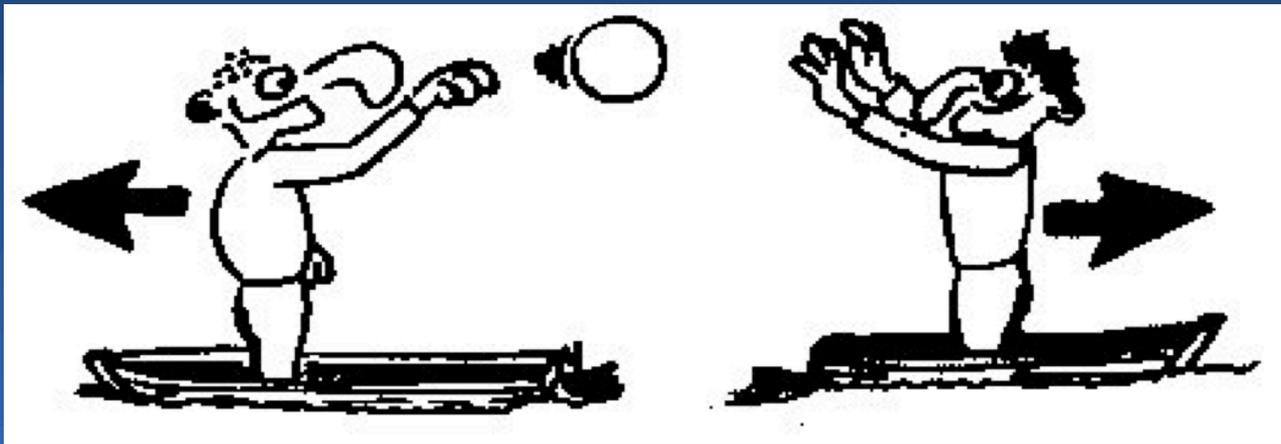
Force répulsive



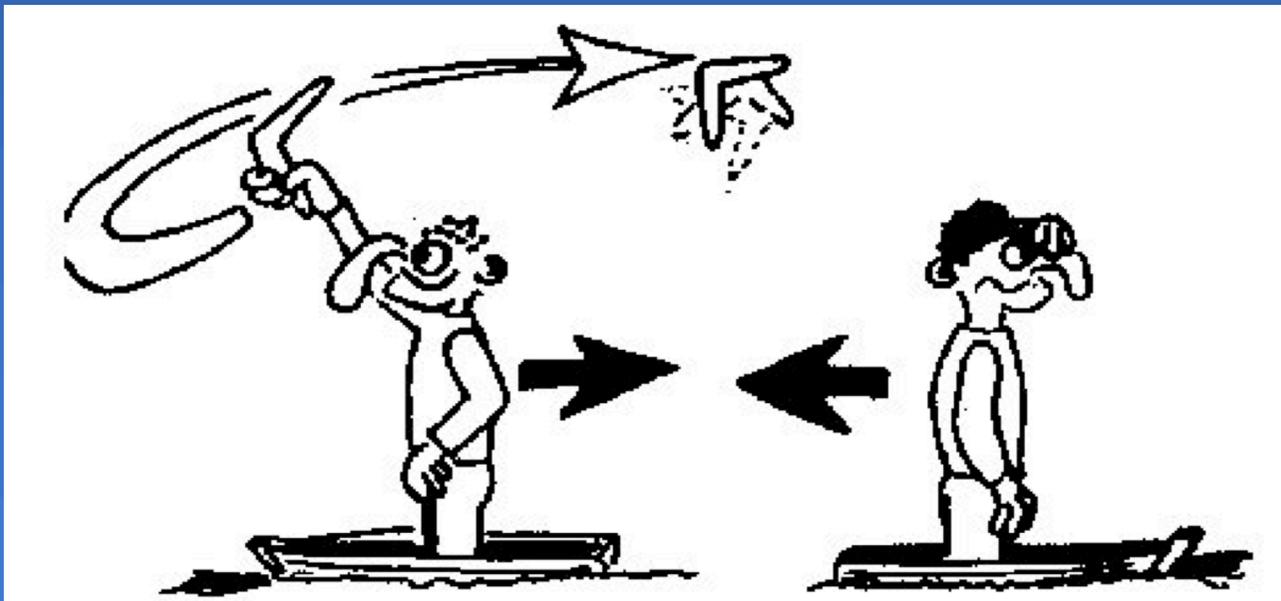
Force attractive

# Comment les forces agissent-elles ?

Les bosons : des particules associées aux interactions



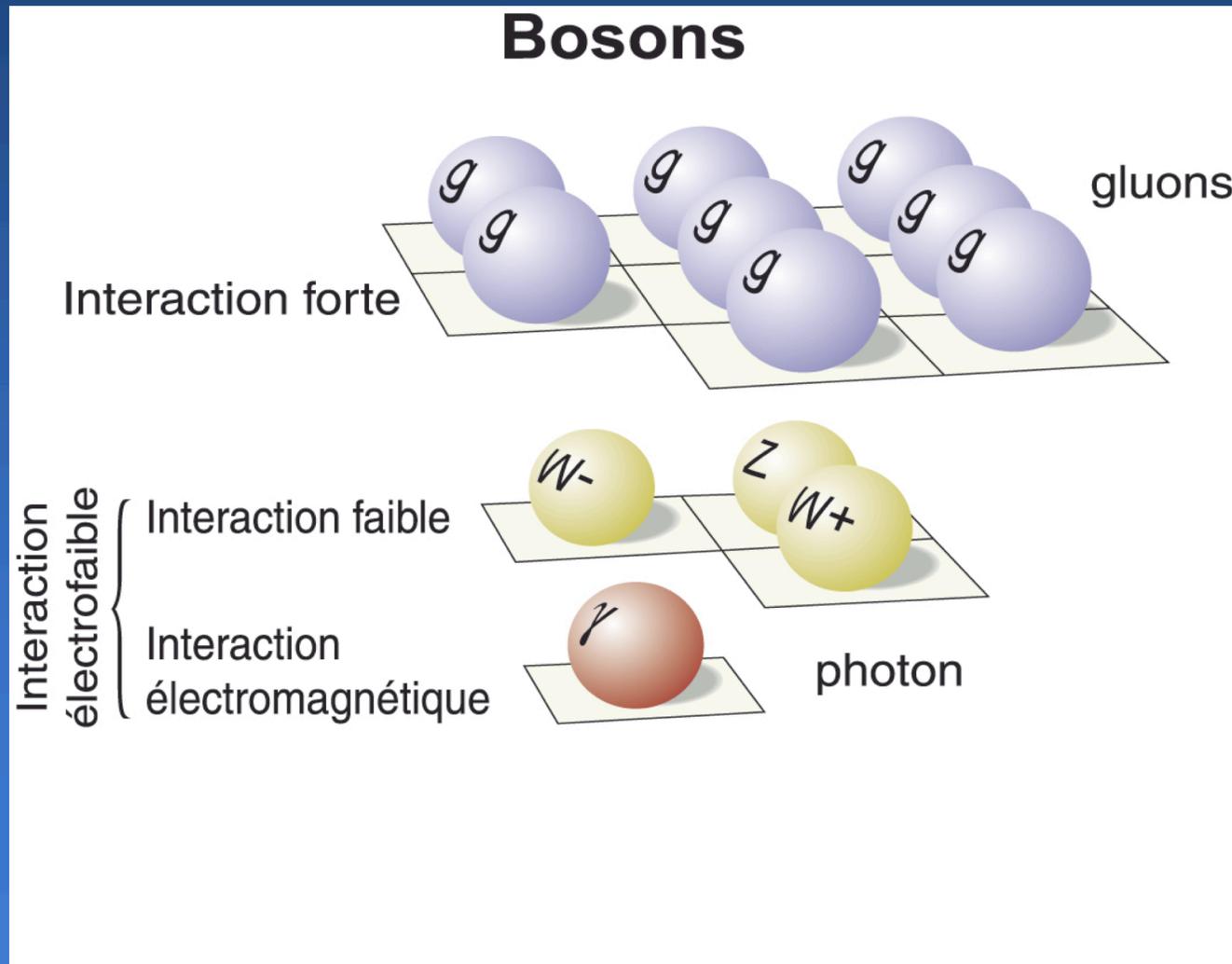
Force répulsive



Force attractive

# Comment les forces agissent-elles ?

Les bosons : des particules associées aux interactions

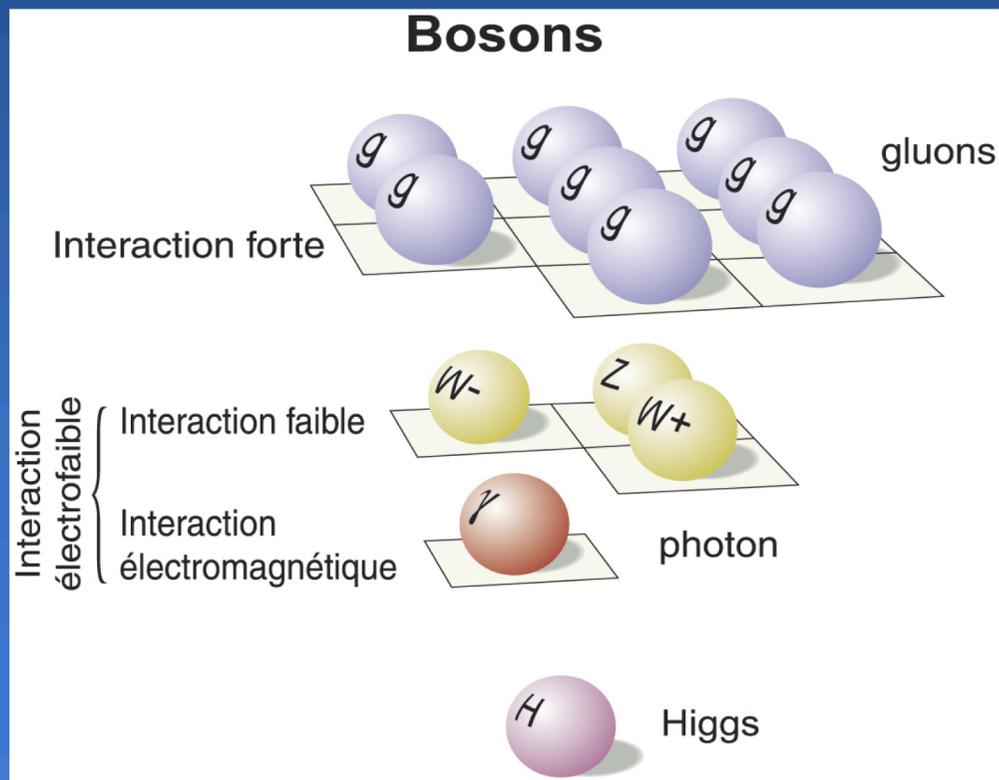


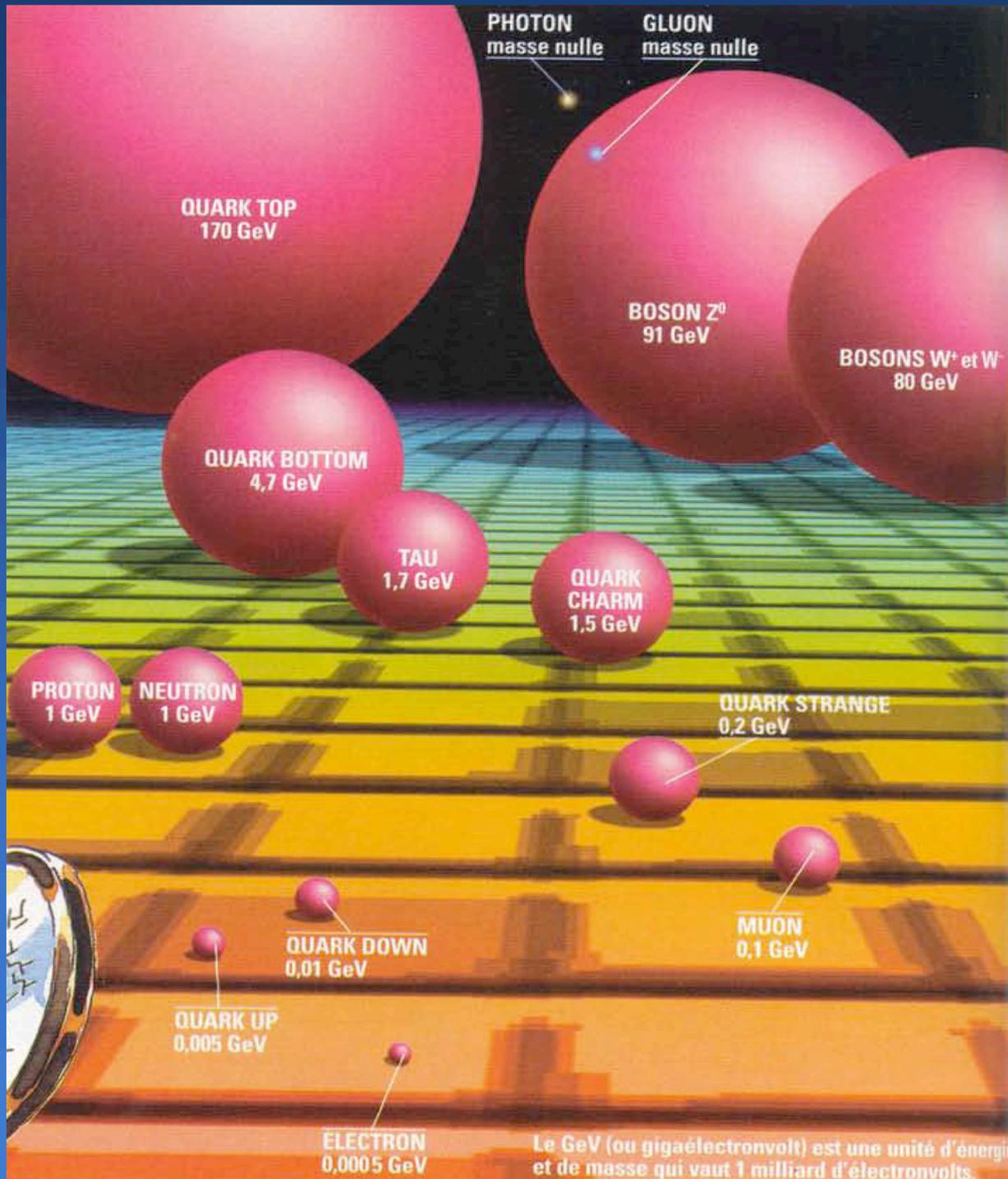
# Résumé : les particules du modèle standard

## Les particules de matière fermions

		Fermions		
Leptons		$e$ électron	$\mu$ muon	$\tau$ tau
		$\nu_e$ neutrino électron	$\nu_\mu$ neutrino muon	$\nu_\tau$ neutrino tau
Quarks		$u$ up	$c$ charme	$t$ top
		$d$ down	$s$ étrangeté	$b$ beauté
		1ère	2ème	3ème
		familles		

## Les particules des interactions bosons



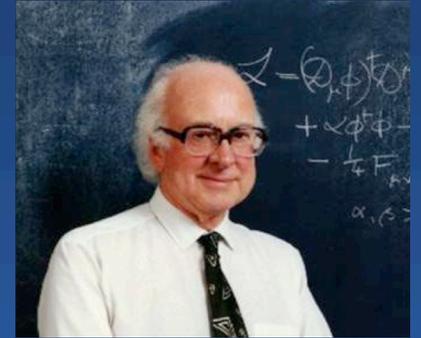


# L'énigme de la masse

- D'où vient la masse ?
- Boson et champ de Higgs  
(mécanisme de Brout, Englert et Higgs)
- Pourquoi une telle hiérarchie de masse ?

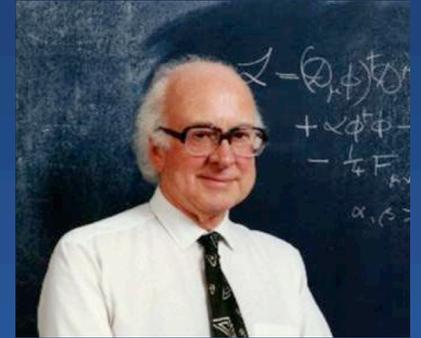
# Le mécanisme de Brout Eglert et Higgs

Pour expliquer les masses des particules, on a introduit un champ et une particule associée à ce champ :



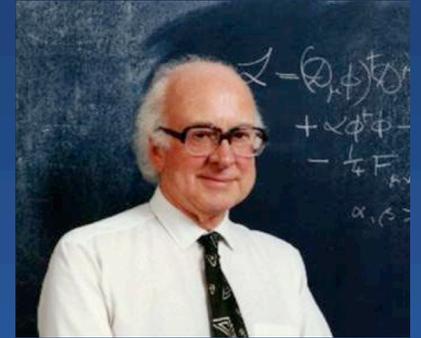
# Le mécanisme de Brout Eglert et Higgs

Pour expliquer les masses des particules, on a introduit un champ et une particule associée à ce champ :



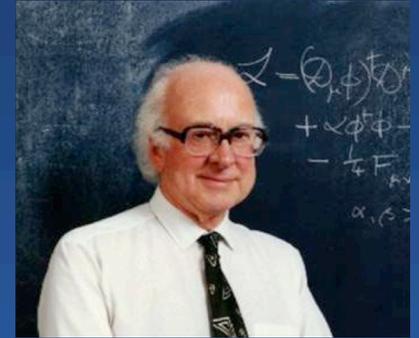
# Le mécanisme de Brout Englert et Higgs

Pour expliquer les masses des particules, on a introduit un champ et une particule associée à ce champ :



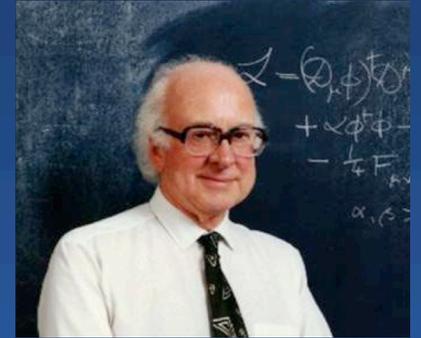
# Le mécanisme de Brout Englert et Higgs

Pour expliquer les masses des particules, on a introduit un champ et une particule associée à ce champ :



# Le mécanisme de Brout Eglert et Higgs

Pour expliquer les masses des particules, on a introduit un champ et une particule associée à ce champ :



# Où en sommes nous ?



**Le modèle standard est extrêmement bien vérifié par l'expérience :**

- accord jusqu'à  $0,00001$  près aux échelles d'énergie explorées jusqu'à aujourd'hui !!!



**Mais ... beaucoup de questions :**

- Pourquoi 3 familles ?
- D'où vient la masse des particules?
  - Higgs ?
- Comment poursuivre l'unification des forces ?
- Comment intégrer la gravité ?

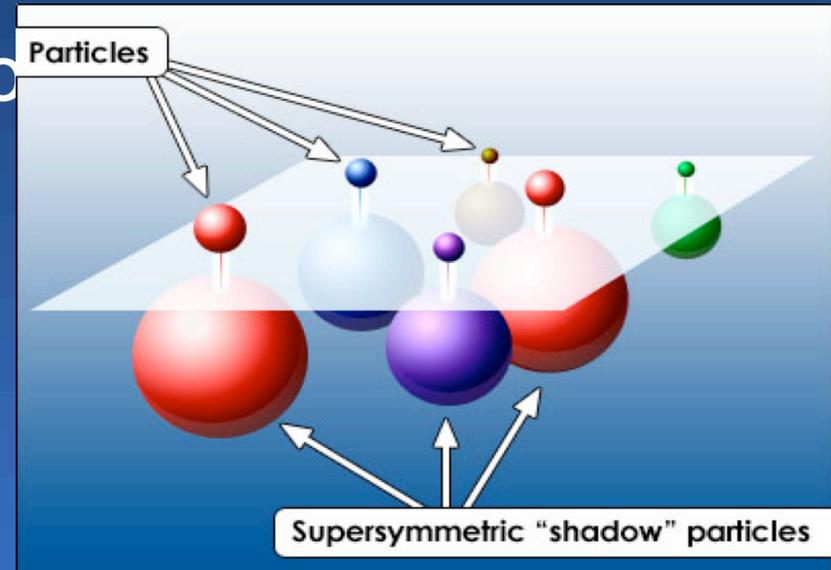
**Et : à très haute énergie le modèle standard n'est plus cohérent ...**

# Quels modèles, quelles théories ?

- Le modèle standard ne serait qu'une (très bonne) approximation à une certaine énergie d'une théorie plus complète
- Et les théoriciens ont beaucoup d'idées !
  - La supersymétrie
  - Les dimensions supplémentaires
  - Les théories des cordes
  - ....

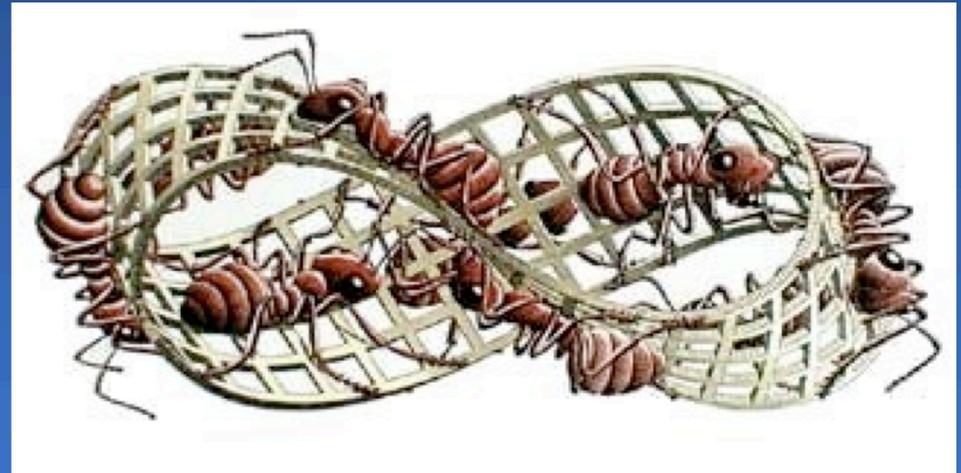
# Quels modèles, quelles théories ?

- Le modèle standard ne serait qu'une (très bonne) approximation à une certaine énergie d'une théorie plus complète
- Et les théoriciens ont beaucoup d'idées !
  - La supersymétrie
  - Les dimensions supplémentaires
  - Les théories des cordes
  - ....



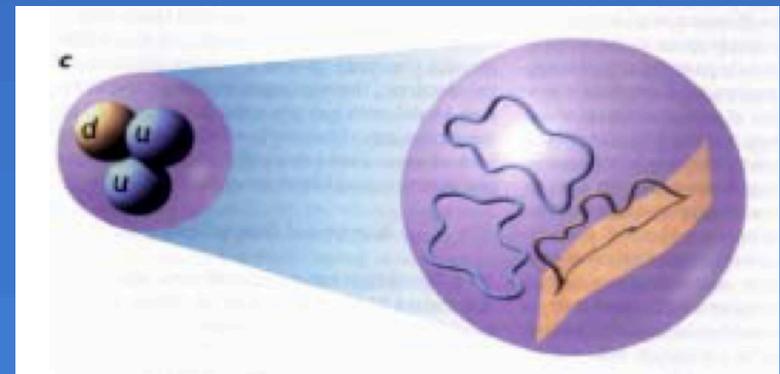
# Quels modèles, quelles théories ?

- Le modèle standard ne serait qu'une (très bonne) approximation à une certaine énergie d'une théorie plus complète
- Et les théoriciens ont beaucoup d'idées !
  - La supersymétrie
  - Les dimensions supplémentaires
  - Les théories des cordes
  - ....



# Quels modèles, quelles théories ?

- Le modèle standard ne serait qu'une (très bonne) approximation à une certaine énergie d'une théorie plus complète
- Et les théoriciens ont beaucoup d'idées !
  - La supersymétrie
  - Les dimensions supplémentaires
  - Les théories des cordes
  - ....



# Matière noire, énergie noire

- Connaissons nous vraiment bien notre univers ?
  - 4 % de matière baryonique « ordinaire »
  - 23 % de « matière noire »
  - 73 % d'énergie « noire »
- Nous ne connaissons véritablement que 4% de notre univers !!!
- L'intérêt de certaines nouvelles théories est qu'elles donnent des pistes pour comprendre ce que sont matière et énergie noires ...

# Quelles réponses apporter ? Quels outils ?

→ Le LHC et ses détecteurs