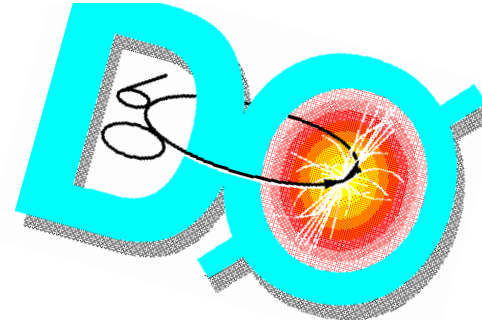
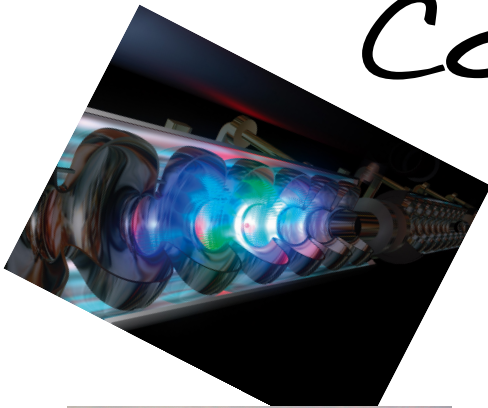
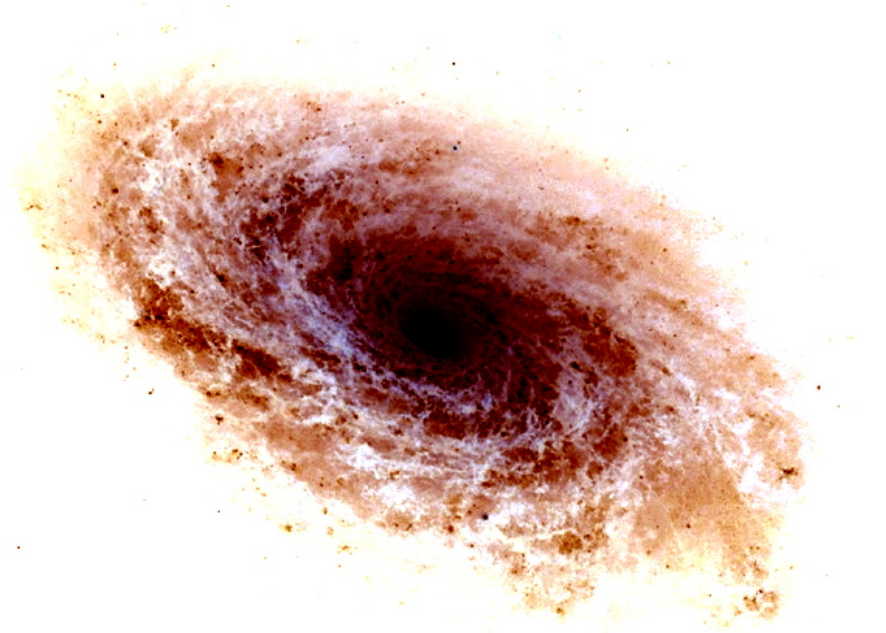
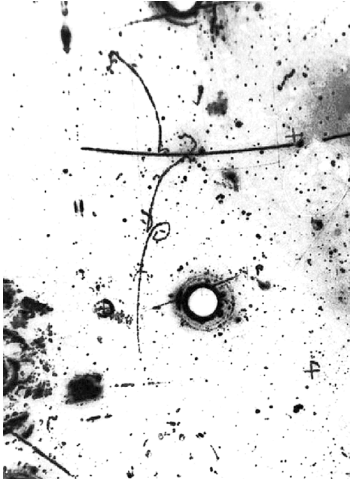


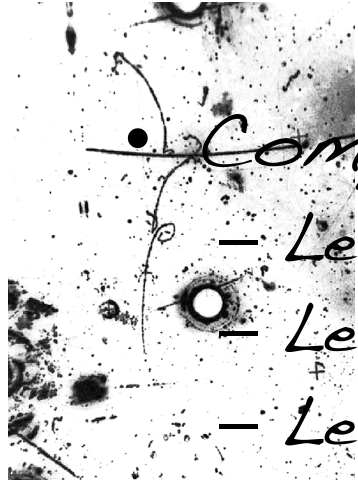
# La Physique des Particules & Astroparticules & la Cosmologie au LAL



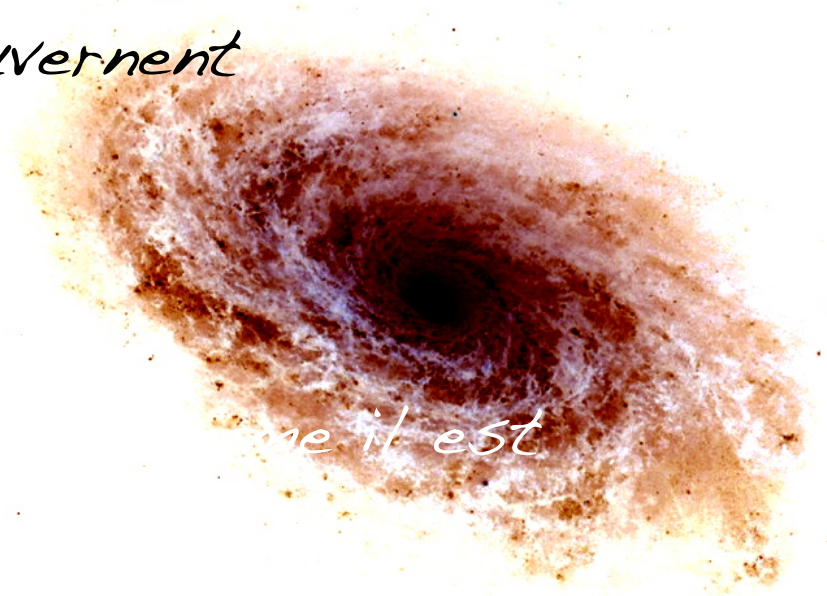
*Pourquoi étudier les (astro)  
particules & la cosmologie ?*



# Pourquoi étudier les (astro) particules & la cosmologie ?

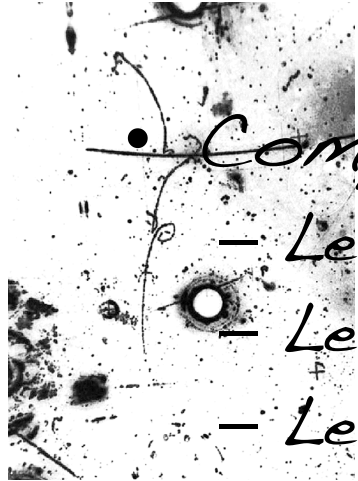


- Compréhension de la matière
  - Les particules élémentaires
  - Leurs propriétés
  - Les forces qui les gouvernent



me il est

# Pourquoi étudier les (astro) particules & la cosmologie ?



- Compréhension de la matière
  - Les particules élémentaires
  - Leurs propriétés
  - Les forces qui les gouvernent

- Histoire de l'Univers
  - Composition de l'Univers
  - Pourquoi l'Univers est-il comme il est actuellement ?

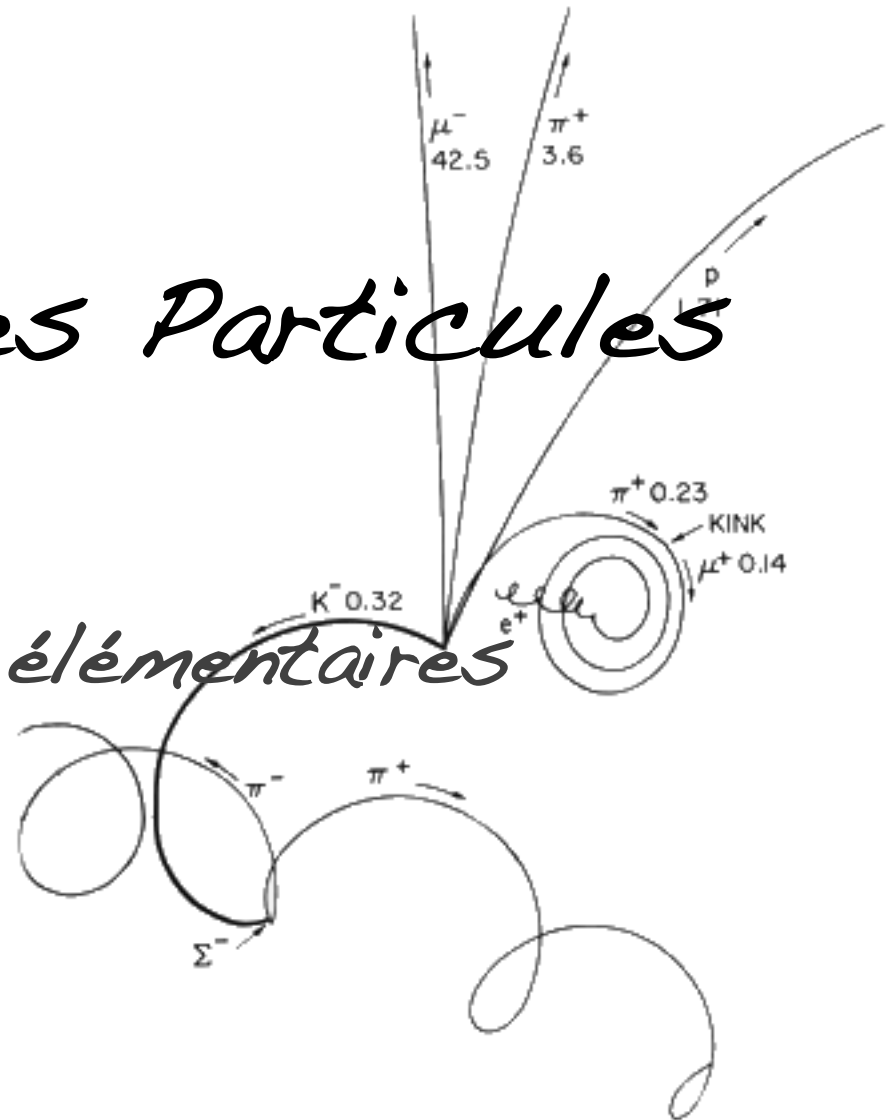


# Plan de l'exposé

- Un peu de Physique des Particules
  - Les particules
  - Les 4 ? interactions
- Une Histoire de l'Univers
  - Résumé en 1 min
  - Ses débuts
- Les questions ouvertes ...

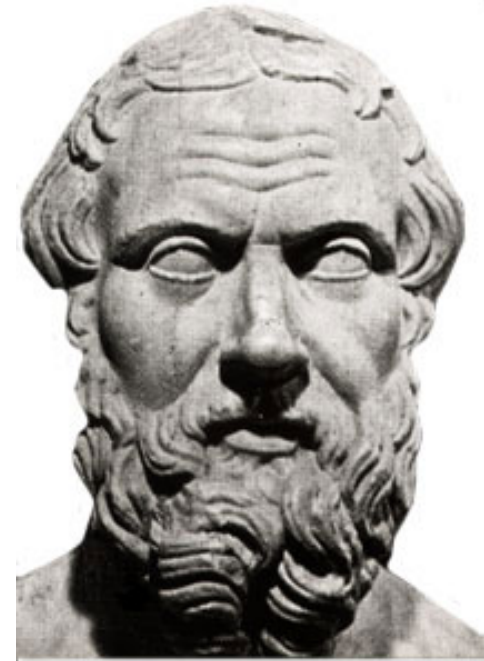
# La Physique des Particules

Les particules élémentaires



# Les atomes

- Démocrite (-500 av. JC) : tout est décrit par des grains incassables : atomos



## Tableau Périodique des Éléments

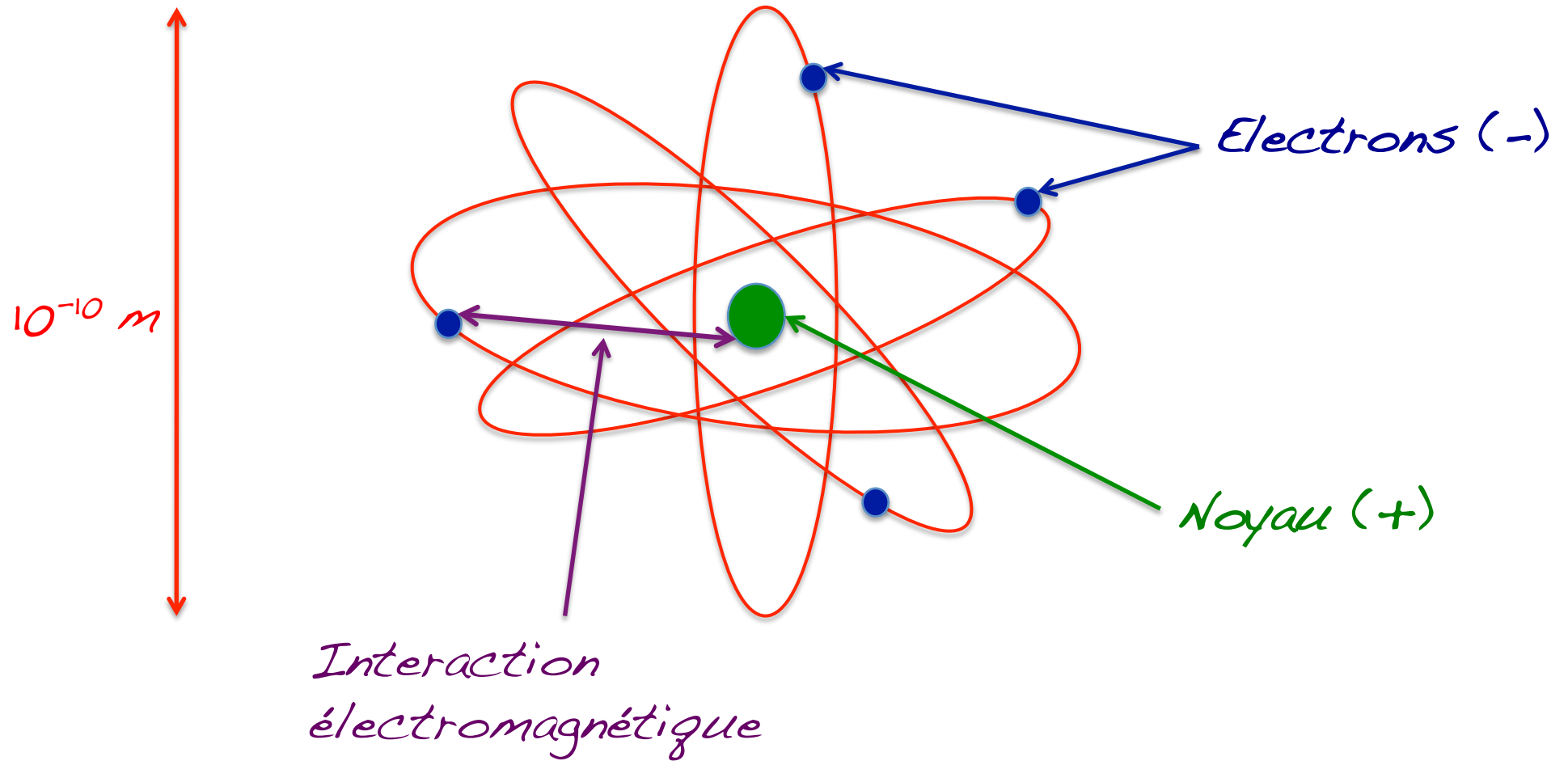
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	VIB	VIB	IB	IB	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIA	VIA
1 H Hydrogène 1,00794	2 He Hélium 4,002602	3 Li Lithium 6,941	4 Be Béryllium 9,01224	5 B Bore 10,811	6 C Carbone 12,011	7 N Azote 14,00644	8 O Oxygène 15,999	9 F Fluore 18,9984032	10 Ne Néon 20,1797	11 Na Sodium 22,98976928	12 Mg Magnésium 24,304	13 Al Aluminium 26,9815386	14 Si Silicium 28,0855	15 P Phosphore 30,973762	16 S Soufre 32,06	17 Cl Chlore 35,45	18 Ar Argon 39,948
19 K Potassium 39,0983	20 Ca Calcium 40,078	21 Sc Scandium 44,9559122	22 Ti Titane 47,88	23 V Vanadium 50,9415	24 Cr Chrome 51,9961	25 Mn Manganèse 54,938044	26 Fe Fer 55,845	27 Co Cobalt 58,933194	28 Ni Nickel 58,6934	29 Cu Cuivre 63,546	30 Zn Zinc 65,38	31 Ga Gallium 69,723	32 Ge Germanium 72,630	33 As Arsenic 74,9216	34 Se Sélénium 78,96	35 Br Brome 79,904	36 Kr Krypton 83,798
37 Rb Rubidium 85,4678	38 Sr Strontium 87,62	39 Y Yttrium 88,90584	40 Zr Zirconium 91,224	41 Nb Niobium 92,90638	42 Mo Molybdène 95,94	43 Tc Technetium 98	44 Ru Ruthénium 101,072	45 Rh Rhodium 102,9055	46 Pd Paladium 106,3676	47 Ag Argent 107,8682	48 Cd Cadmium 112,411	49 In Indium 114,818	50 Sn Étain 118,710	51 Sb Antimoine 121,757	52 Te Tellure 127,6	53 I Iode 126,90549	54 Xe Xénon 131,29
55 Cs Césium 132,90545196	56 Ba Baryum 137,327	57 to 71 Lanthanides	72 Hf Hafnium 178,49	73 Ta Tungstène 180,9479	74 W Wolfram 183,84	75 Re Rhenium 186,207	76 Os Osmium 190,23	77 Ir Iridium 192,222	78 Pt Platine 195,084	79 Au Or 196,966569	80 Hg Mercure 200,59	81 Tl Thallium 204,3833	82 Pb Plomb 207,2	83 Bi Bismuth 208,9804	84 Po Polonium 209	85 At Astatine 210	86 Rn Radon 222
87 Fr Francium 223	88 Ra Radium 226	89 to 103 Actinides	104 Rf Rutherfordium 261	105 Db Dubnium 262	106 Sg Seaborgium 266	107 Bh Bohrium 264	108 Hs Hassium 277	109 Mt Meitnerium 268	110 Ds Darmstadtium 271	111 Rg Roentgenium 272	112 Uub Ununbium 285	113 Uut Ununtrium 284	114 Uuq Ununquadium 289	115 Uup Ununpentium 288	116 Uuh Ununhexium 289	117 Uus Ununseptium 289	118 Uuo Ununoctium 294

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

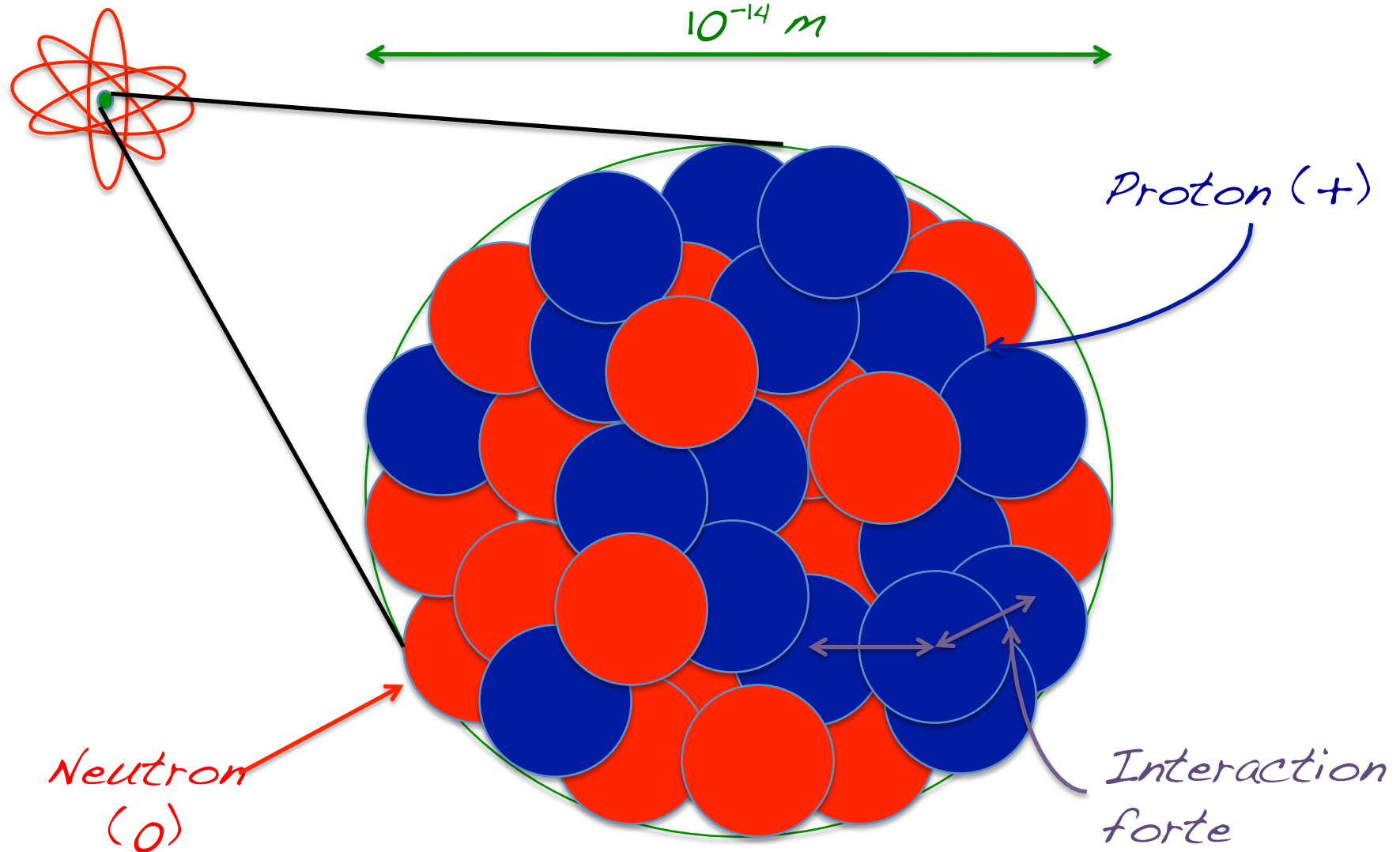
- Mendeleïev (1870) : classement des différents éléments

# Structure des atomes



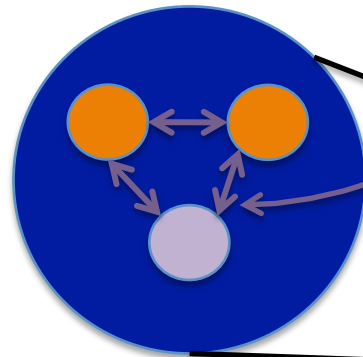


# Structure des noyaux



# Les protons & les neutrons

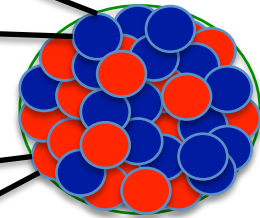
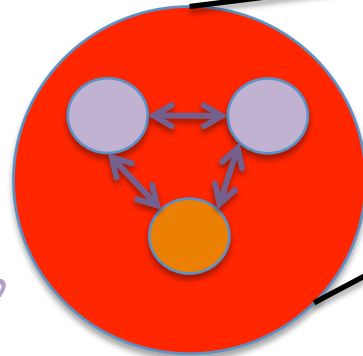
Proton :  
2 quarks up  
1 quark down



Interaction forte

$10^{-15} \text{ m}$

Neutron :  
1 quark up  
2 quarks down



# Qu'est-ce une particule ?

Electron



Muon



Tau



# Qu'est-ce une particule ?

- Masse  $m$

– En énergie via  $E=mc^2$

Electron



$9,1 \cdot 10^{-31}$  kg  
0,511 MeV

Muon



$1,9 \cdot 10^{-28}$  kg  
105 MeV

Tau



$3,2 \cdot 10^{-27}$  kg  
1776 MeV

# Qu'est-ce une particule ?

- **Masse  $m$** 
  - En énergie via  $E=mc^2$
- **Temps de vie  $\tau$** 
  - Particules stables
  - Particules instables
  - Largeur de désintégration  
 $\Gamma = \hbar / \tau$

Electron



$9,1 \cdot 10^{-31}$  kg  
0,511 MeV

Stable

Muon



$1,9 \cdot 10^{-28}$  kg  
105 MeV

$2,2 \cdot 10^{-6}$  s

Tau



$3,2 \cdot 10^{-27}$  kg  
1776 MeV

$290 \cdot 10^{-15}$  s

# Qu'est-ce une particule ?

- **Masse  $m$** 
  - En énergie via  $E=mc^2$
- **Temps de vie  $\tau$** 
  - Particules stables
  - Particules instables
  - Largeur de désintégration  
 $\Gamma = \hbar / \tau$
- **Nombres quantiques**
  - Spin
  - Charge électrique
  - ...

Electron



$9,1 \cdot 10^{-31}$  kg  
0,511 MeV

Stable

1/2

-1

Muon



$1,9 \cdot 10^{-28}$  kg  
105 MeV

$2,2 \cdot 10^{-6}$  s

1/2

-1

Tau



$3,2 \cdot 10^{-27}$  kg  
1776 MeV

$290 \cdot 10^{-15}$  s

1/2

-1

# Et alors, l'antimatière ?



$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$   
 $0,511 \text{ MeV}$

Stable

$1/2$

- Masse : identique
- Temps de vie : identique
- Spin : identique
- Autre nombres quantiques :  
opposés

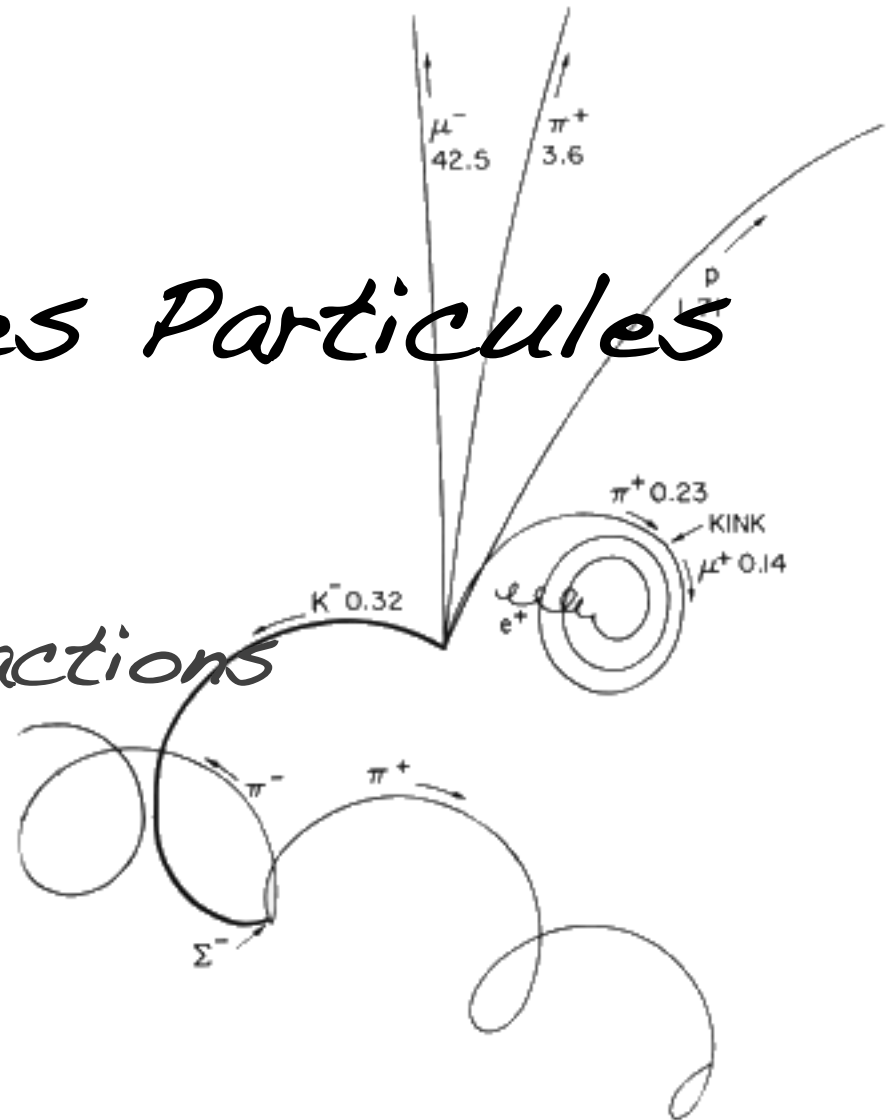
-1

Charge

+1

# La Physique des Particules

Les interactions





# L'interaction : une vision ... bien étrange

- Échange d'une particule dite « boson médiateur »



- Elle est limitée par la masse du médiateur

# L'interaction : une vision ... bien étrange

- Échange d'une particule dite « boson médiateur »
- L'interaction n'est plus instantanée
- Elle est limitée par la masse du médiateur »



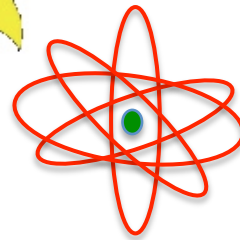
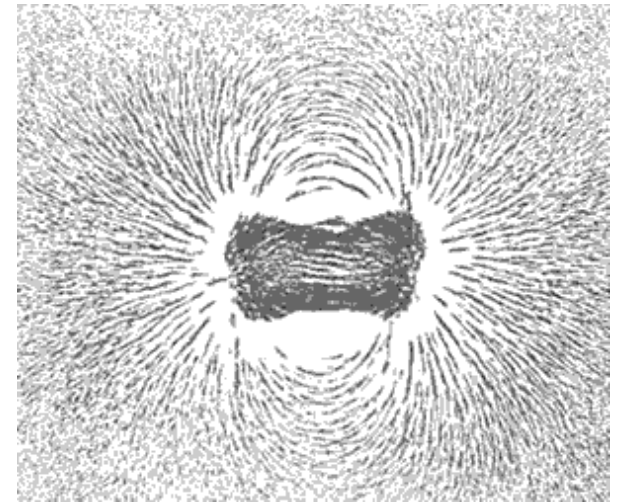
# L'interaction : une vision ... bien étrange

- Échange d'une particule dite « boson médiateur »
- L'interaction n'est plus instantanée
- Elle est limitée par la masse du « boson médiateur »



# L'interaction électromagnétique

- Regroupe les phénomènes électriques et magnétiques
  - Aimants
  - Lumière
  - Cohésion des atomes

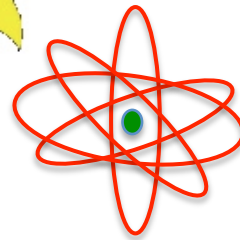
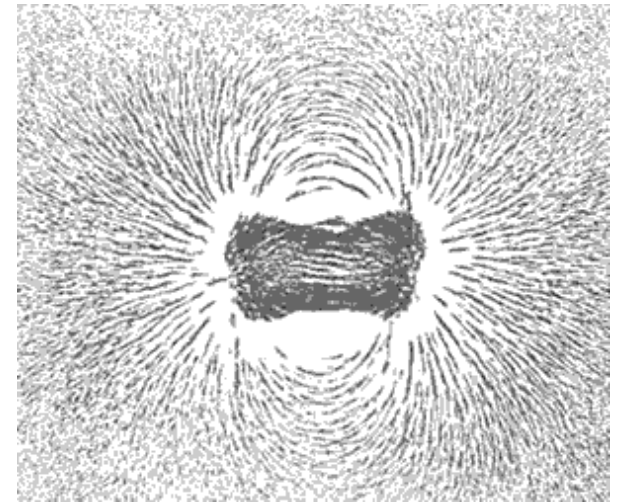


# L'interaction électromagnétique

- Regroupe les phénomènes électriques et magnétiques

- Aimants
- Lumière
- Cohésion des atomes

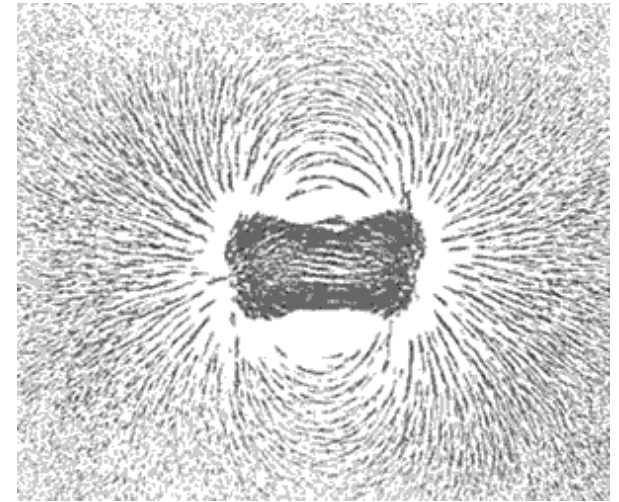
- Objets chargés
- Même charges : répulsion
- Charges opposées : attraction



# L'interaction électromagnétique

- Regroupe les phénomènes électriques et magnétiques

- Aimants
- Lumière
- Cohésion des atomes



- Objets chargés
- Même charges : répulsion
- Charges opposées : attraction

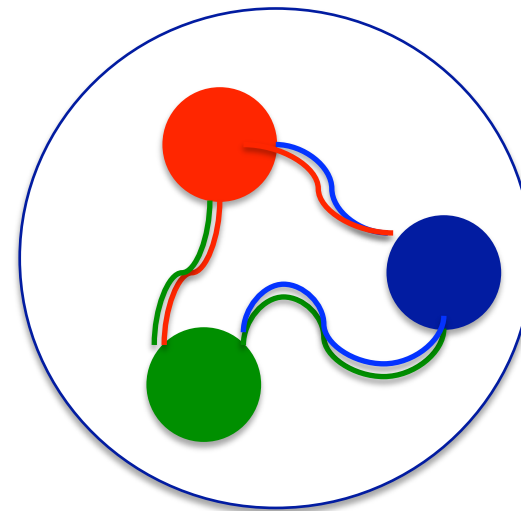
- Boson médiateur : le PHOTON



# L'interaction forte



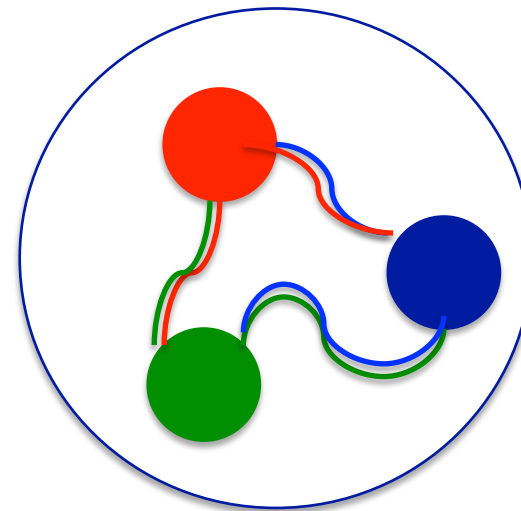
- Bosons médiateurs :  
les **GLUONS**



# L'interaction forte



- *Bosons médiateurs :  
les GLUONS*
- *Collent les quarks  
entre eux ;  
confinement à  
l'intérieur des  
hadrons*

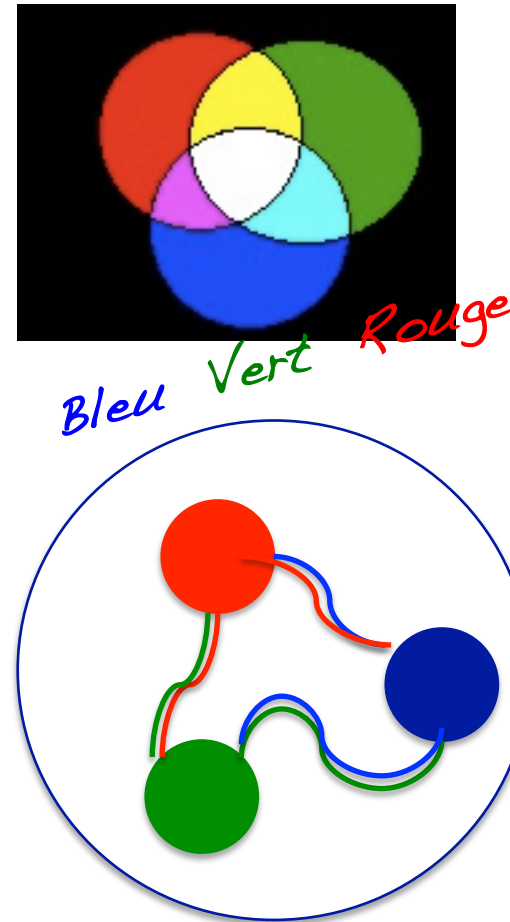




# L'interaction forte



- Bosons médiateurs : les **GLUONS**
- Collent les quarks entre eux ; confinement à l'intérieur des hadrons
- Responsable de la cohésion des noyaux

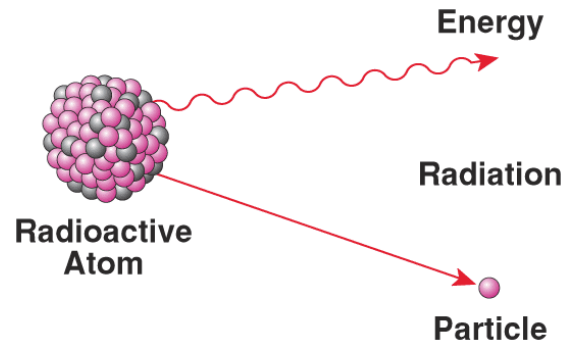


# L'interaction faible



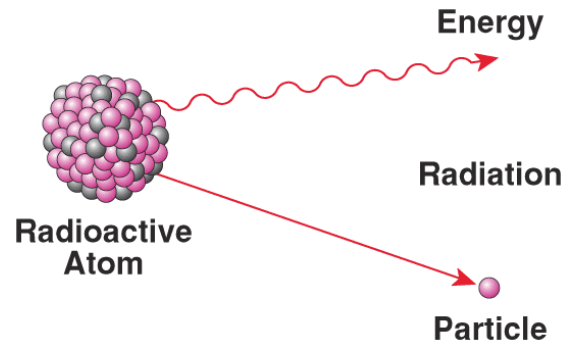
- Les 3 bosons médiateurs :  $W^+$ ,  $W^-$  et  $Z$

# L'interaction faible

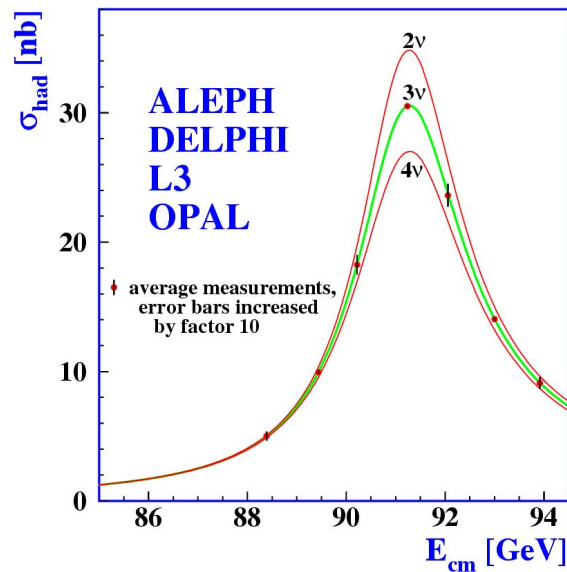


- Les 3 bosons médiateurs :  $W^+$ ,  $W^-$  et  $Z$
- Responsable de la radioactivité  $\beta$

# L'interaction faible

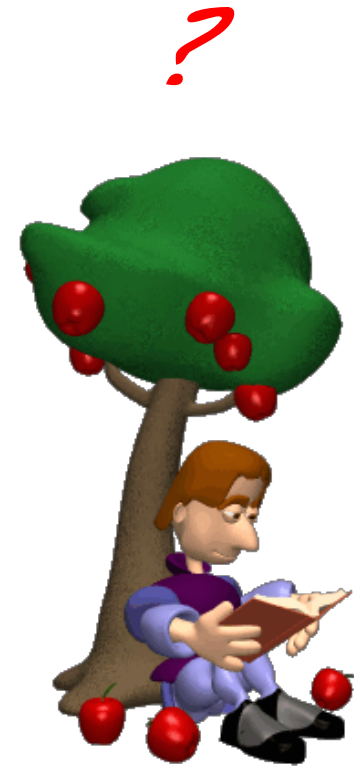


- Les 3 bosons médiateurs :  $W^+$ ,  $W^-$  et  $Z$
- Responsable de la radioactivité  $\beta$
- Découverte expérimentale de ces 3 bosons, dans les années 80



# Et la gravitation ?

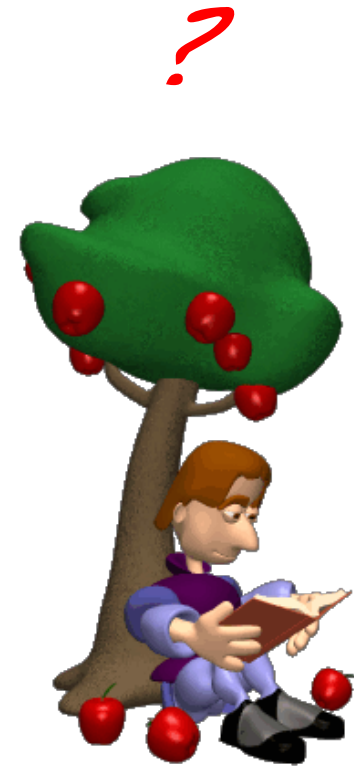
- *Attire les corps massif entre eux*



# Et la gravitation ?

- Attire les corps massif entre eux
- Boson médiateur (non découvert) : le **GRAVITON**

?

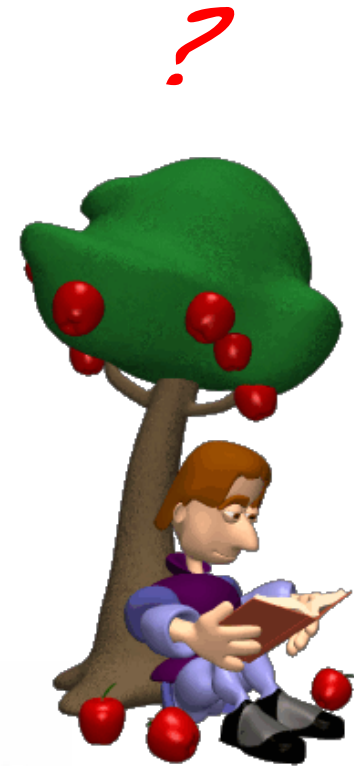


# Et la gravitation ?

- Attire les corps massif entre eux
- Boson médiateur (non découvert) : le **GRAVITON**
- **MAIS ... pas vraiment compatible avec la mécanique quantique**

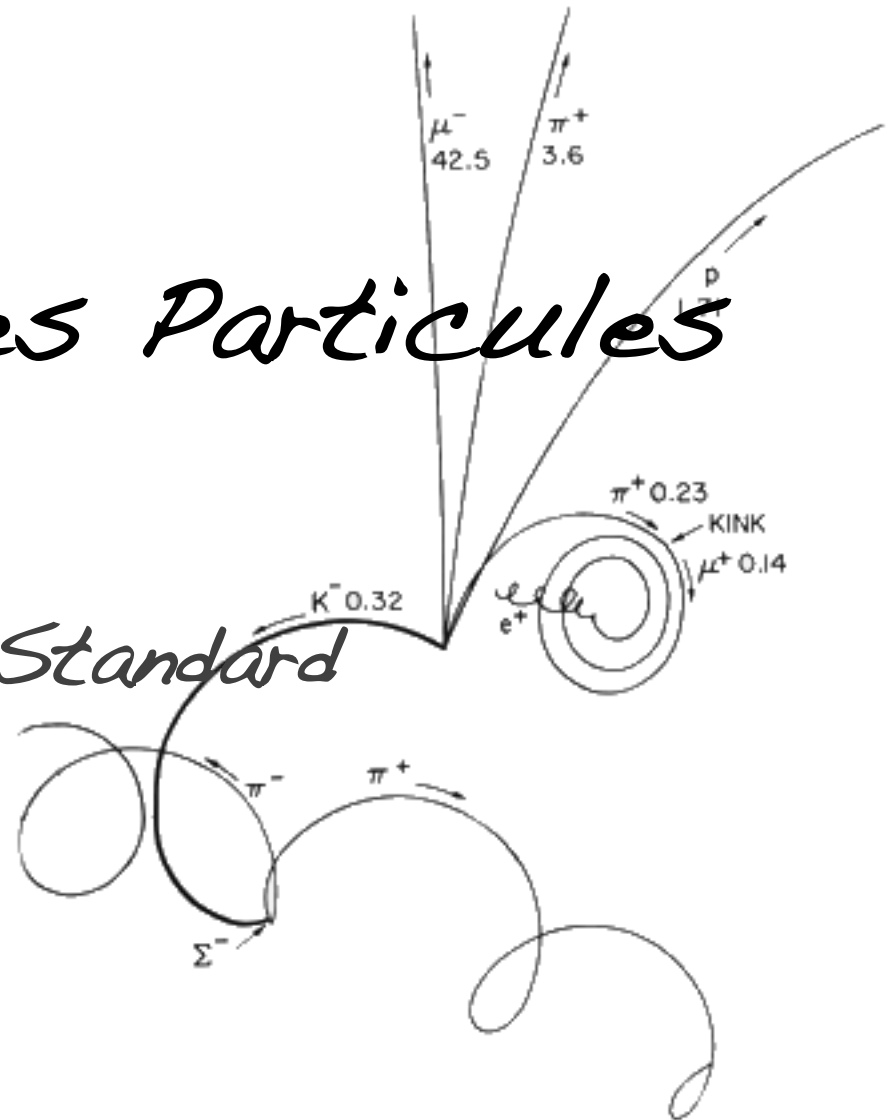
?

- That's my cat, Schrödinger...  
- Is he alive in that lead box?  
- Well, yes and no...



# La Physique des Particules

## Le Modèle Standard





# Késako ?

- *Modèle qui décrit les particules élémentaires & les interactions en UNE équation*

$$\begin{aligned}
\mathcal{L}_{SM} = & -\frac{1}{2}\partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\nu^b g_\nu^c - \frac{1}{4}g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \\
& \frac{1}{2}\partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2c_w^2} M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - igc_w (\partial_\nu Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
& W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + Z_\mu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)) - igs_w (\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - A_\nu (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
& W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + A_\mu (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)) - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- W_\nu^+ W_\nu^- + \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^+ W_\nu^- + \\
& g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\mu^+ Z_\nu^0 W_\nu^- - Z_\mu^0 Z_\nu^0 W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w (A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
& W_\nu^+ W_\mu^-) - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-) - \frac{1}{2}\partial_\mu H \partial_\mu H - 2M^2 \alpha_h H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - \frac{1}{2}\partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \\
& \beta_h \left( \frac{2M^2}{g^2} + \frac{2M}{g} H + \frac{1}{2}(H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) \right) + \frac{2M^4}{g^2} \alpha_h - g\alpha_h M (H^3 + H\phi^0 \phi^0 + 2H\phi^+ \phi^-) - \\
& \frac{1}{8}g^2 \alpha_h (H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2 \phi^+ \phi^- + 4H^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^0)^2 H^2) - gM W_\mu^+ W_\mu^- H - \\
& \frac{1}{2}g \frac{M}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 H - \frac{1}{2}ig (W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^0) - W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0)) + \\
& \frac{1}{2}g (W_\mu^+ (H \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) + W_\mu^- (H \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu H)) + \frac{1}{2}g \frac{1}{c_w} (Z_\mu^0 (H \partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H) + \\
& M (\frac{1}{c_w} Z_\mu^0 \partial_\mu \phi^0 + W_\mu^+ \partial_\mu \phi^- + W_\mu^- \partial_\mu \phi^+) - ig \frac{s_w^2}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + igs_w M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - \\
& ig \frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + igs_w A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \frac{1}{4}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- (H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-) - \\
& \frac{1}{8}g^2 \frac{1}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 (H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \phi^+ \phi^-) - \frac{1}{2}g^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + W_\mu^- \phi^+) - \\
& \frac{1}{2}ig^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}g^2 s_w A_\mu \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}ig^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - \\
& g^2 \frac{s_w}{c_w} (2c_w^2 - 1) Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - g^2 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- + \frac{1}{2}ig_s \lambda_{ij}^a (\bar{q}_i^\sigma \gamma^\mu q_j^\sigma) g_\mu^a - \bar{e}^\lambda (\gamma \partial + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda (\gamma \partial + \\
& m_\nu^\lambda) \nu^\lambda - \bar{u}_j^\lambda (\gamma \partial + m_u^\lambda) u_j^\lambda - \bar{d}_j^\lambda (\gamma \partial + m_d^\lambda) d_j^\lambda + igs_w A_\mu (-\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \frac{2}{3}(\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_j^\lambda) - \frac{1}{3}(\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda) + \\
& \frac{ig}{4c_w} Z_\mu^0 \{(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{4}{3}s_w^2 - 1 - \gamma^5) d_j^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3}s_w^2 + \\
& \gamma^5) u_j^\lambda)\} + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ ((\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) U^{lep})_{\lambda\kappa} e^\kappa) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\kappa) + \\
& \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- ((\bar{e}^\kappa U^{lep})_{\kappa\lambda}^\dagger \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\kappa C_{\kappa\lambda}^\dagger \gamma^\mu (1 + \gamma^5) u_j^\lambda) + \\
& \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ (-m_e^\kappa (\bar{\nu}^\lambda U^{lep})_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) e^\kappa) + m_\nu^\lambda (\bar{\nu}^\lambda U^{lep})_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) e^\kappa) + \\
& \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- (m_e^\lambda (\bar{e}^\lambda U^{lep})_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) \nu^\kappa) - m_\nu^\kappa (\bar{e}^\lambda U^{lep})_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \gamma^5) \nu^\kappa) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda}{M} H (\bar{\nu}^\lambda \nu^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda}{M} H (\bar{e}^\lambda e^\lambda) + \\
& \frac{ig}{2} \frac{m_\lambda}{M} \phi^0 (\bar{\nu}^\lambda \gamma^5 \nu^\lambda) - \frac{ig}{2} \frac{m_\lambda}{M} \phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda) - \frac{1}{4} \bar{\nu}_\lambda M_{\lambda\kappa}^R (1 - \gamma_5) \hat{\nu}_\kappa - \frac{1}{4} \bar{\nu}_\lambda \overline{M_{\lambda\kappa}^R} (1 - \gamma_5) \hat{\nu}_\kappa + \\
& \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ (-m_d^\kappa (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\kappa) + m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_j^\kappa) + \\
& \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- (m_d^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\kappa) - m_u^\kappa (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \gamma^5) u_j^\kappa) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda}{M} H (\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda}{M} H (\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \\
& \frac{ig}{2} \frac{m_\lambda}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \frac{ig}{2} \frac{m_\lambda}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda)
\end{aligned}$$













# Récapitulatif

## FERMIONS

## BOSONS

Matière de tous les jours : STABLE

INSTABLE

 up	 down	 electron	 neutrino $e$
 charm	 strange	 muon	 neutrino $\mu$
 top	 beauty	 tau	 neutrino $\tau$

Quarks

Leptons



photon



gluon



$Z^0 W^\pm$



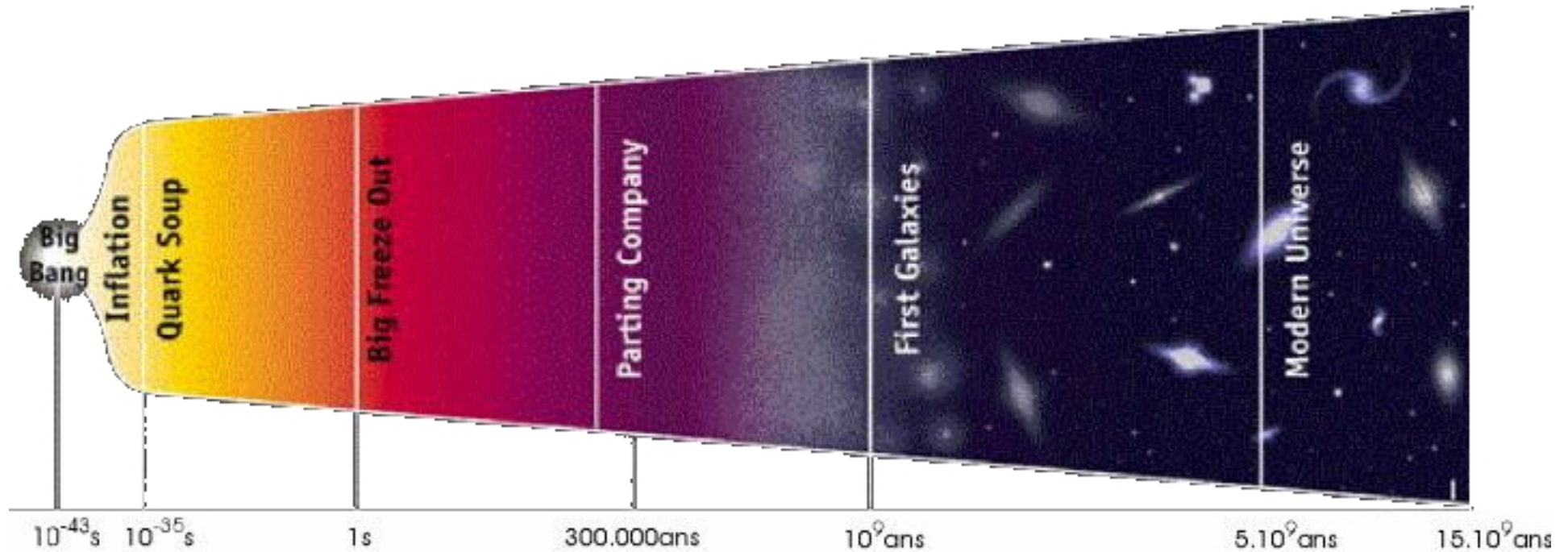
Higgs



# *Une Histoire de l'Univers*

*En 1 minute*

*Un Univers pas si jeune : 13,7  
Milliards d'années*



*Époque que l'on étudie  
avec la physique des  
Particules*

*Règne de la Gravitation*



# *Une Histoire de l'Univers*

*Ses débuts*

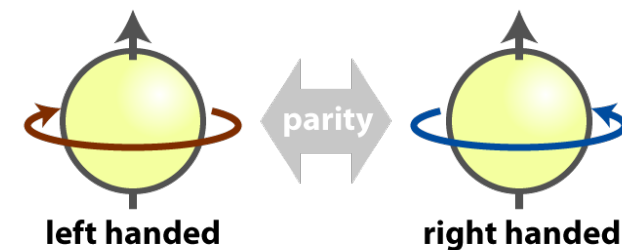
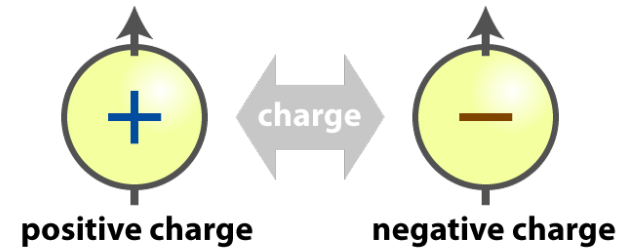


# Le Big Bang = temps 0

- Création des 4 dimensions
- Température supérieure à  $10^{32}$  K
- Autant de matière que d'antimatière
  - alors il ne devrait plus rien rester ...
  - nécessité de la «violation de CP»

# La symétrie de CP ...

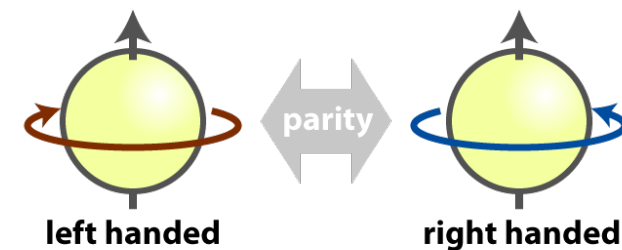
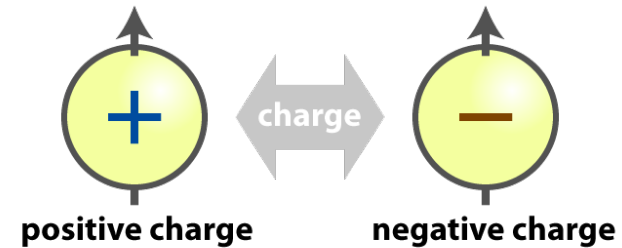
- La symétrie de «Charge-Parité»
  - Inversion des charges
  - Inversion des axes + nombres quantiques, comme dans un miroir





# La symétrie de CP ...

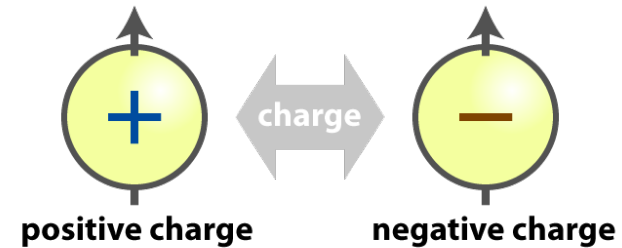
- La symétrie de «Charge-Parité»
  - Inversion des charges
  - Inversion des axes + nombres quantiques, comme dans un miroir
- CP (particule) = antiparticule



# La symétrie de CP ...

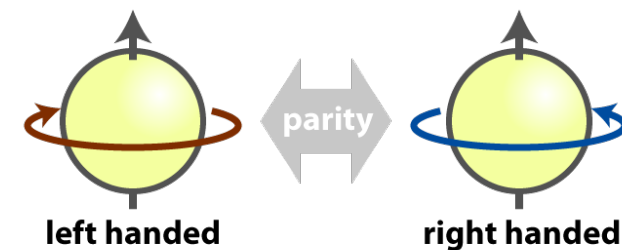
- La symétrie de «Charge-Parité»

- Inversion des charges
- Inversion des axes + nombres quantiques, comme dans un miroir



- CP (particule) = antiparticule

- Il y a symétrie si la matière et l'antimatière ont le même comportement

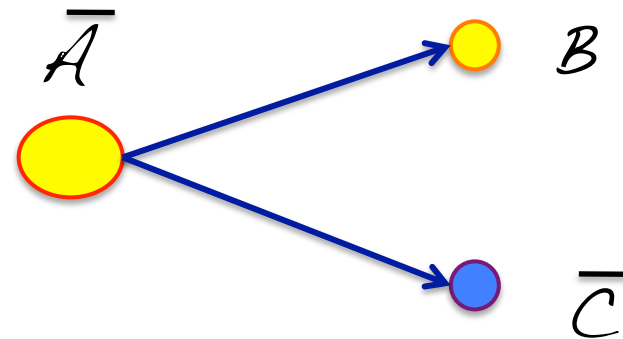
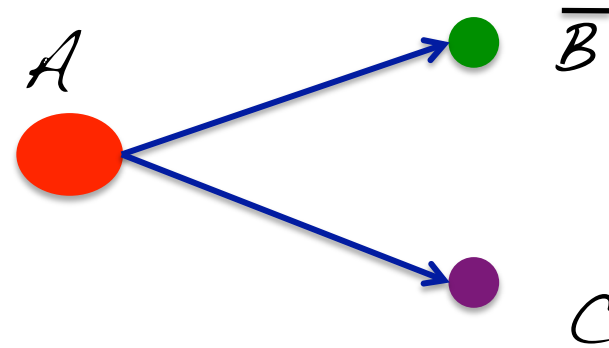


# Exemple de mesure de la violation de CP

- Etude de la particule  $A$  et de son antiparticule  $\bar{A}$

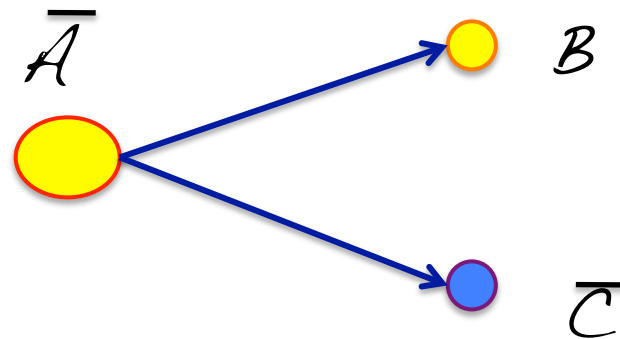
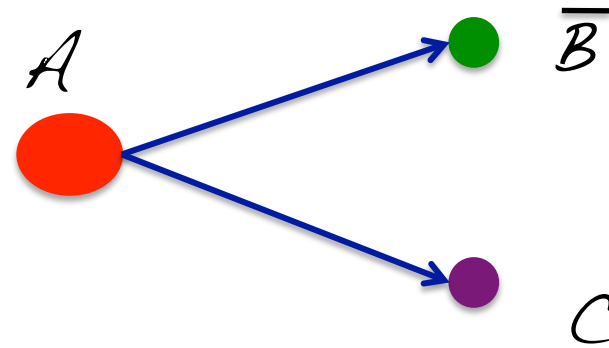
# Exemple de mesure de la violation de CP

- Etude de la particule  $A$  et de son antiparticule  $\bar{A}$



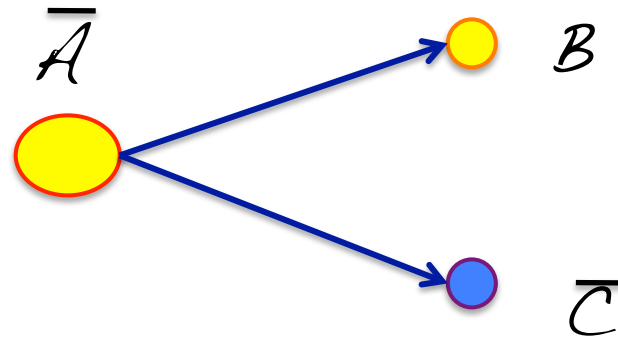
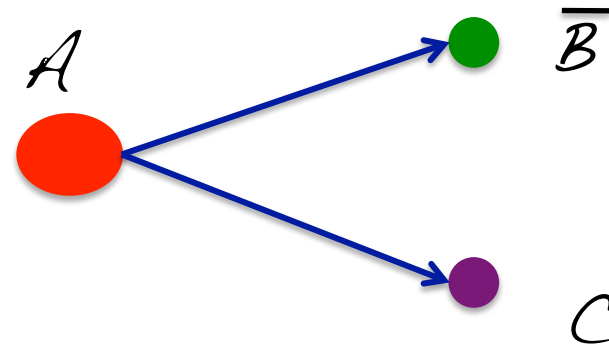
# Exemple de mesure de la violation de CP

- Etude de la particule  $A$  et de son antiparticule  $\bar{A}$
- Il y a symétrie de CP si
  - $A \rightarrow \bar{B} + C = \bar{A} \rightarrow B + \bar{C}$



# Exemple de mesure de la violation de CP

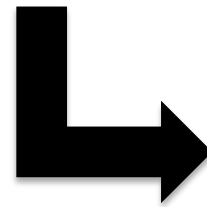
- Etude de la particule  $A$  et de son antiparticule  $\bar{A}$
- Il y a symétrie de CP si
  - $A \rightarrow \bar{B} + C = \bar{A} \rightarrow B + \bar{C}$
- Il y a violation de CP si
  - $A \rightarrow \bar{B} + C \neq \bar{A} \rightarrow B + \bar{C}$



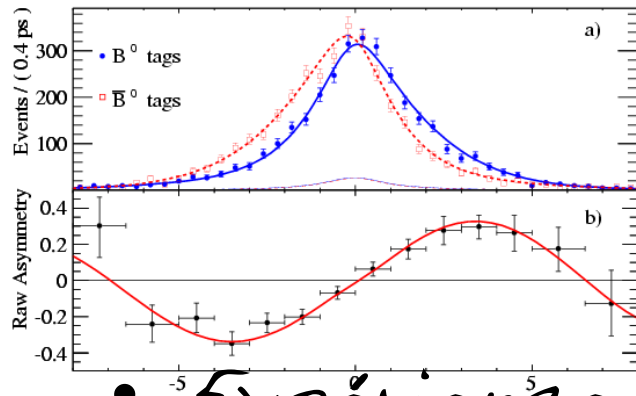
# Exemple de mesure de la violation de CP

- Etude de la particule  $A$  et de son antiparticule  $\bar{A}$
- Il y a symétrie de CP si
  - $A \rightarrow \bar{B} + C = \bar{A} \rightarrow B + \bar{C}$
  - $A \rightarrow \bar{D} + \bar{E} = \bar{A} \rightarrow \bar{D} + E$
- Il y a violation de CP si
  - $A \rightarrow \bar{B} + C \neq \bar{A} \rightarrow B + \bar{C}$
  - $A \rightarrow \bar{D} + \bar{E} \neq \bar{A} \rightarrow \bar{D} + E$

Il faut ensuite compter le nombre d'événement, et comparer !



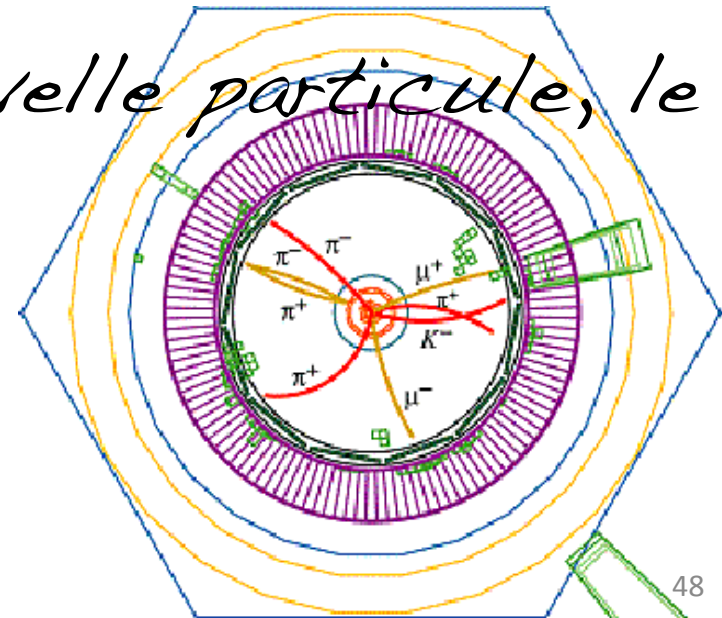
2 expériences  
au LAL :  
**BABAR et LHCb**



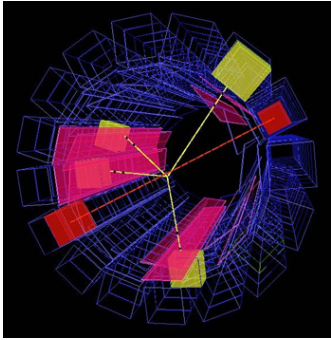
# BABAR



- Expérience au SLAC (Californie)
- Etudie le secteur de la «beauté»
- Mise en évidence de la violation de CP avec les  $B^0$  et les  $D^0$
- Découverte d'une nouvelle particule, le bottomonium



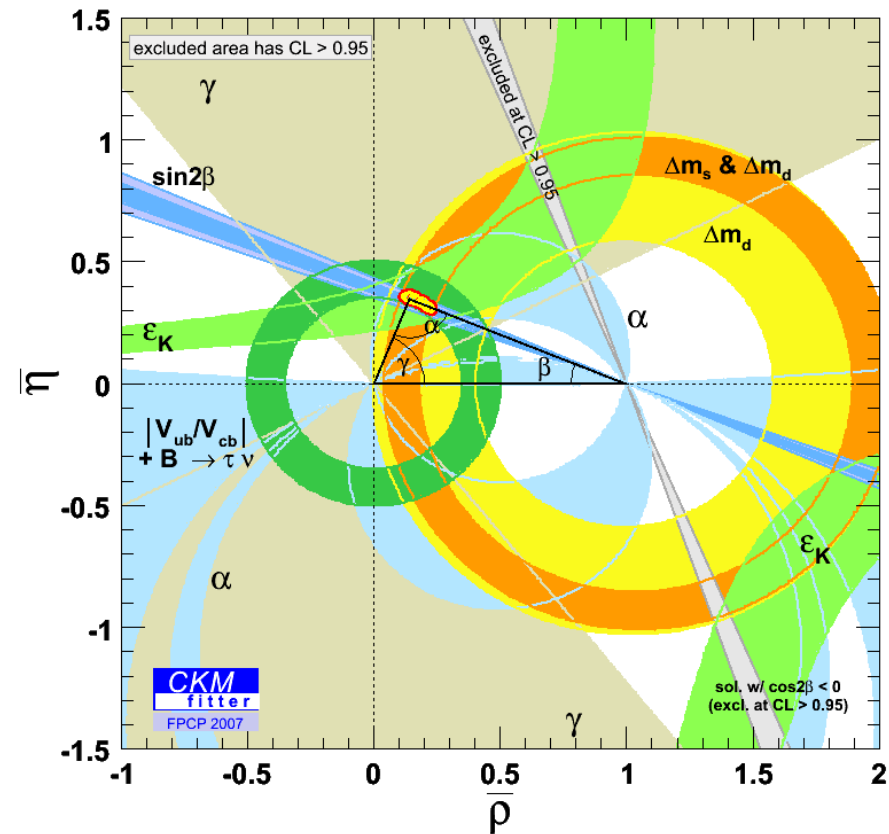




LHCb

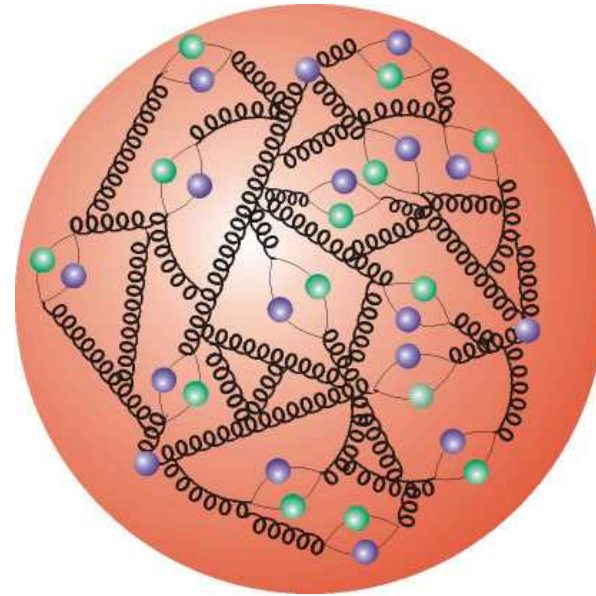


- Nouvelle expérience au LHC (CERN)
- Pas encore de données (simulations)
- Mesures de précisions sur la violation de CP dans le secteur de la «beauté»



# Temps $10^{-43}$ s

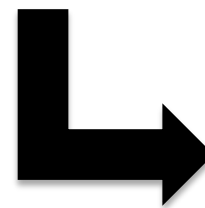
- Soupe de quarks, gluons, électrons, photons, etc.
- Toutes les particules & forces ont les même caractéristiques
- Taille :  $10^{-33}$  cm



# 0,00001 s : formation des protons et des neutrons

- Mise en route de l'Interaction forte
- Les quarks se lient 3 par 3 ...
- Mais ... le noyau est plus complexe ... Certaines propriétés ne sont toujours pas comprises ....

Etude de la structure du noyau : Fonctions de Structures

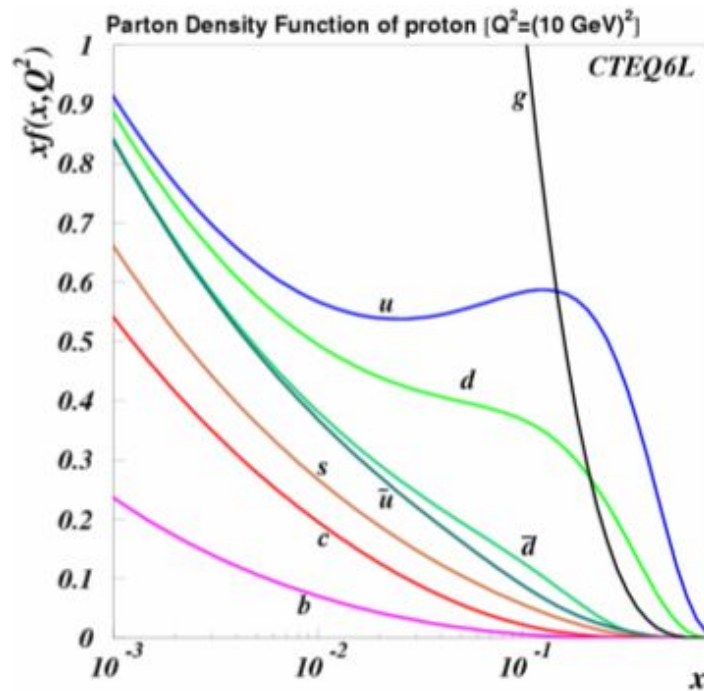


L'expérience  $\neq$



H/1

Installé à DESY  
(Hambourg)



- Quelle est la distribution des quarks ?
- Existence des quarks de «valence» et des quarks de la «mer»
- Mise en évidence d'une structure bien complexe ...

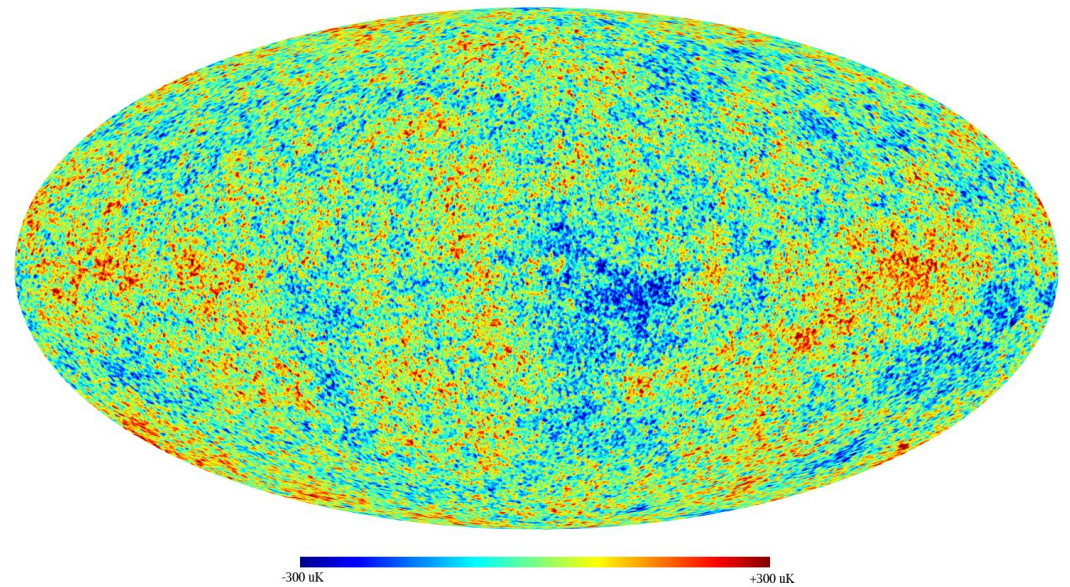
# 1 min : formation des premiers atomes

- Hydrogène et Hélium se forment ....
- Actuellement, l'hydrogène constitue encore 95% de la matière ....



# 300 000 ans : et la lumière fut

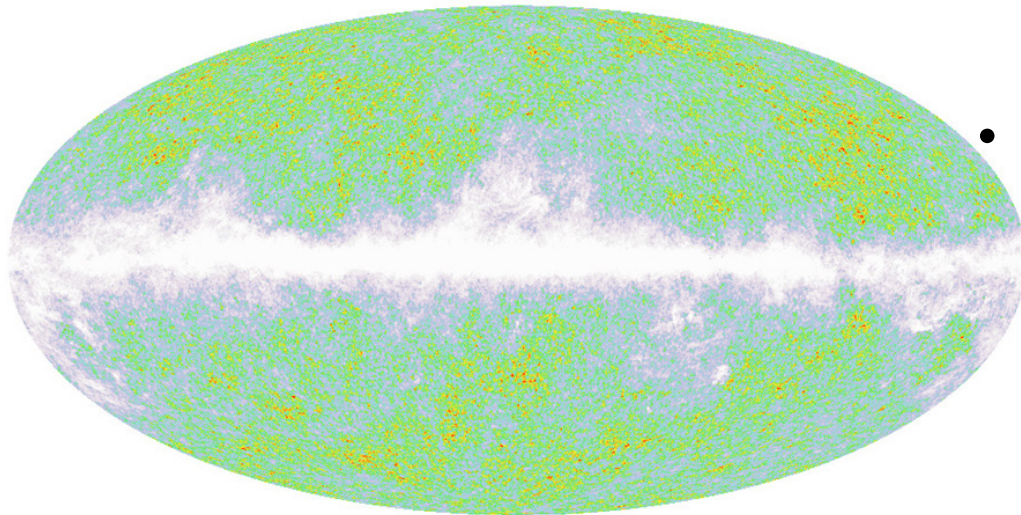
- La densité de matière devient plus faible
- Les photons sont enfin libres !
- L'Univers devient transparent
- Cette 1<sup>ère</sup> image est toujours visible : Le CMB





# Planck à la recherche du CMB

- CMB prédit puis découvert dans les années 60
- Carte des variations du jeune univers
- Planck cherche des variations plus fines pour répondre à des questions encore non résolues, comme l'avenir de l'Univers, etc ...

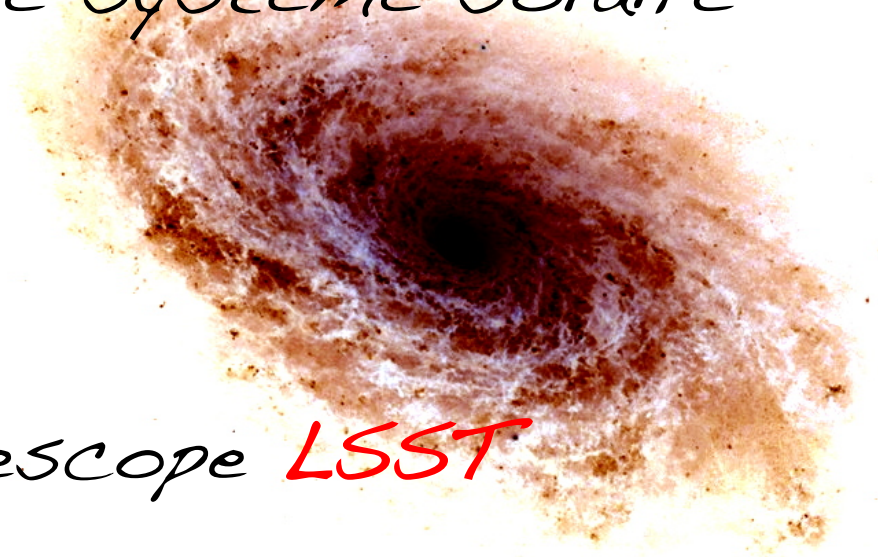


# Et après ?

- La Gravitation prend la relève ... et les premières étoiles et galaxies se forment ...
- Il faudra presque encore 9 milliards d'années avant que le système solaire ne se forme

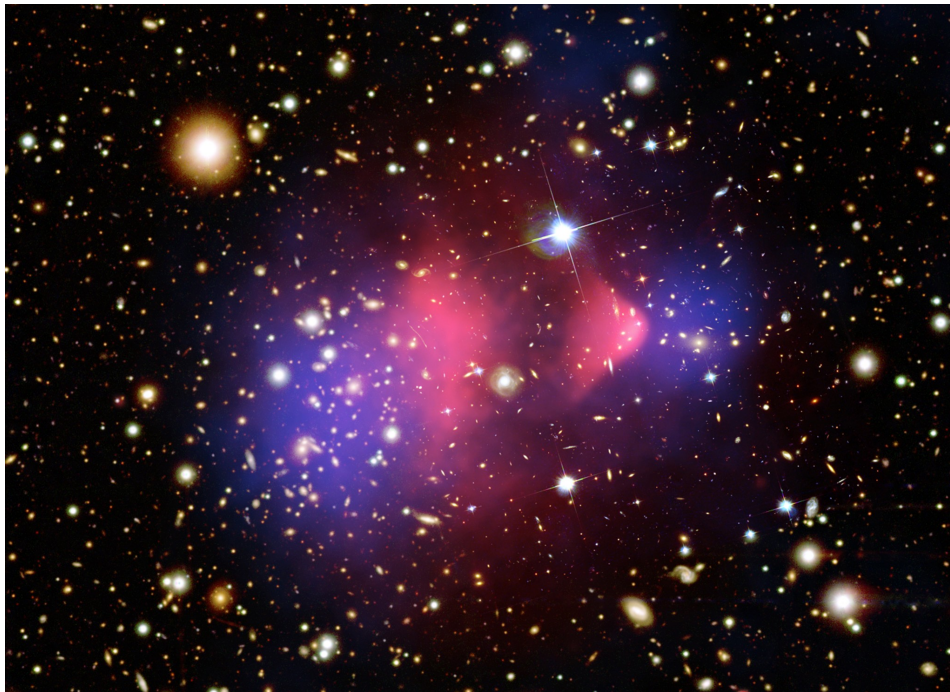


Le télescope **LSST**





# LSST : une carte de l'Univers



- Telescope installé au Chili
- Va filmer le ciel durant plusieurs années : création d'une carte évolutive de l'Univers
- Cartographie de la matière noire
- Suivi d'astéroïdes dangereux

*Les questions toujours  
ouvertes*



# L'origine de la masse

- D'où vient la masse ? : du boson de «Higgs»

*Le champ de Higgs remplit la pièce ...*



# L'origine de la masse

- D'où vient la masse ? : du boson de «Higgs»

*Une particule arrive ...*



# L'origine de la masse

- D'où vient la masse ? : du boson de «Higgs»  
Elle interagit avec le champ : hop, de la masse



# L'origine de la masse

- D'où vient la masse ? : du boson de «Higgs»

Ciel ! Elle arrive !



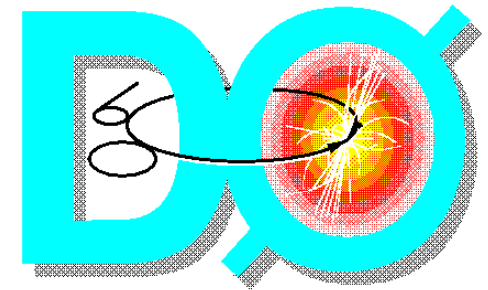
# L'origine de la masse

- D'où vient la masse ? : du boson de «Higgs»  
Et la rumeur crée un boson de Higgs

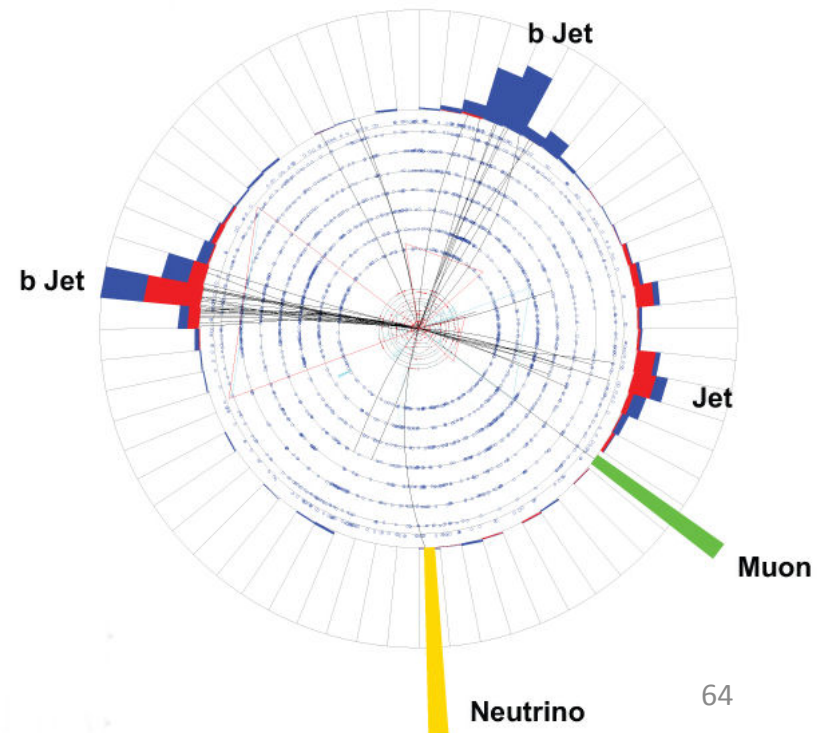
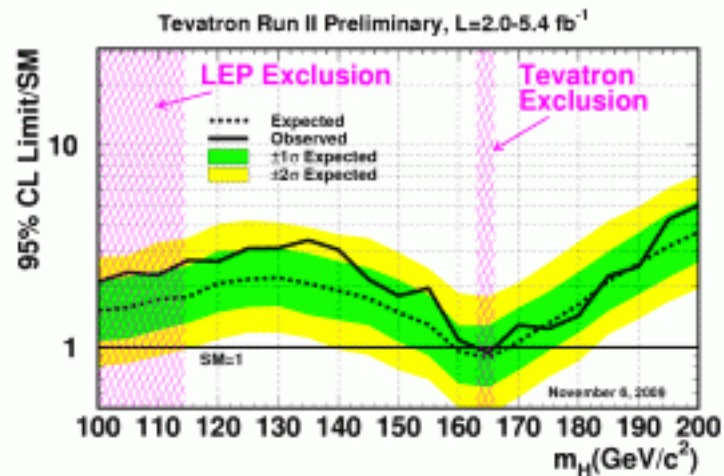


# A la recherche de la masse :

DO



- Située au Tévatron (Chicago)
- Production du quark top «isolé»
- Recherche du «Higgs»

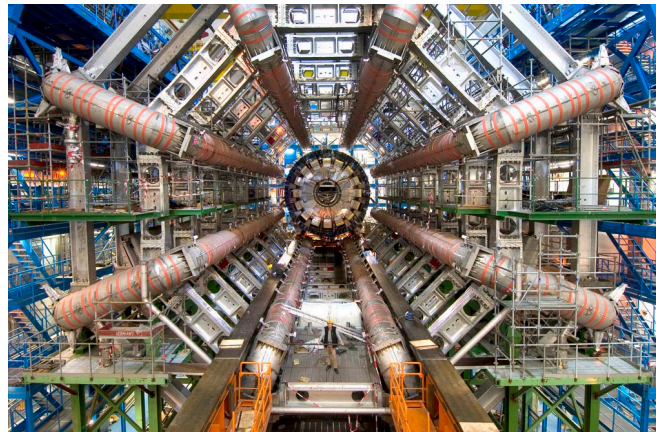
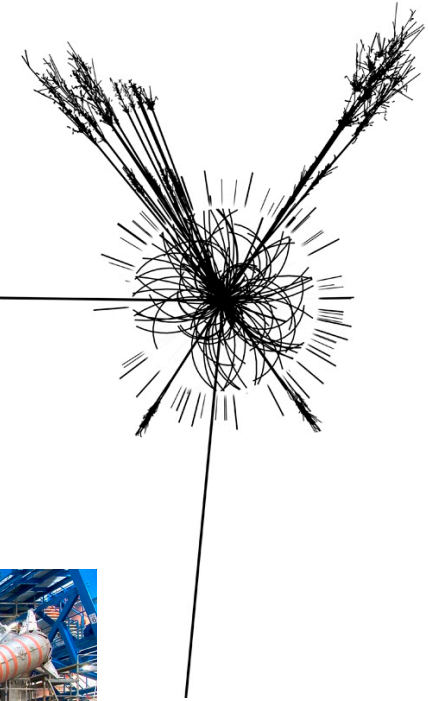




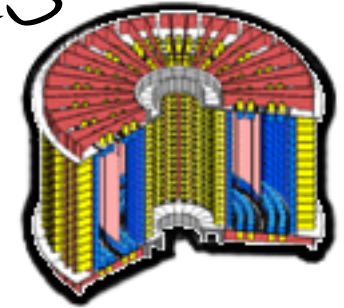
# Un petit jeune arrive : ATLAS



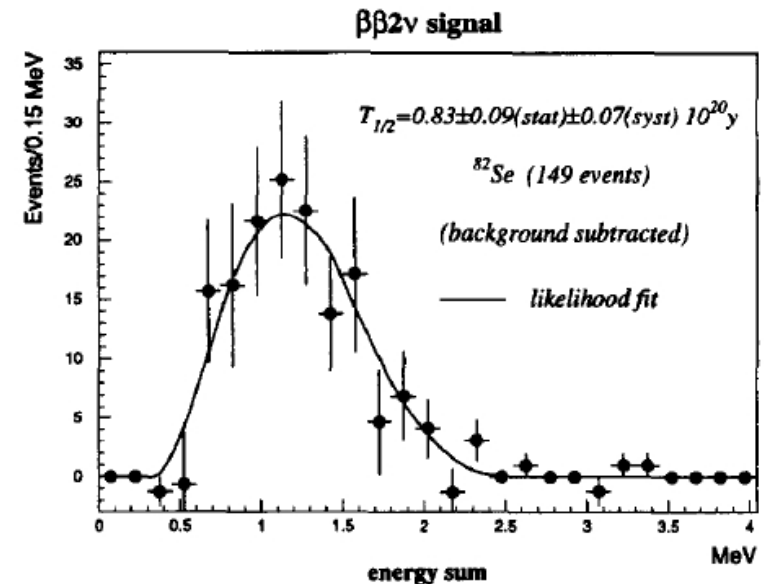
- La plus grosse expérience du LHC (CERN)
- Recherchera le Higgs, SUSY, ...



# Avec NEMO, la nature des neutrinos

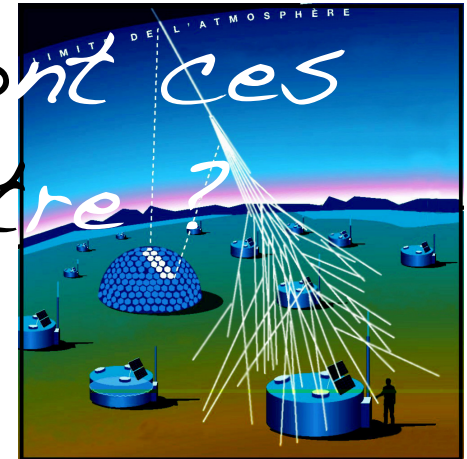


- Situé dans le tunnel du Fréjus
- Les neutrinos sont-ils de Dirac ou de Majorana ?
  - Dirac : neutrino  $\neq$  anti-neutrino
  - Majorana : neutrino = anti-neutrino
- Etude avec les désintégrations double  $\beta$

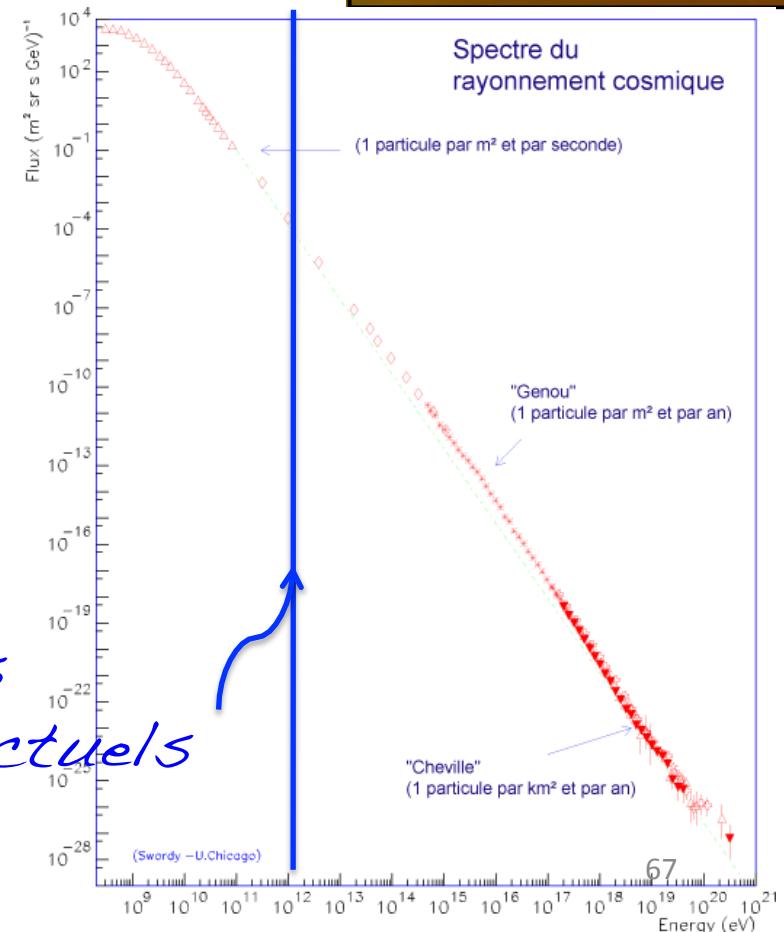


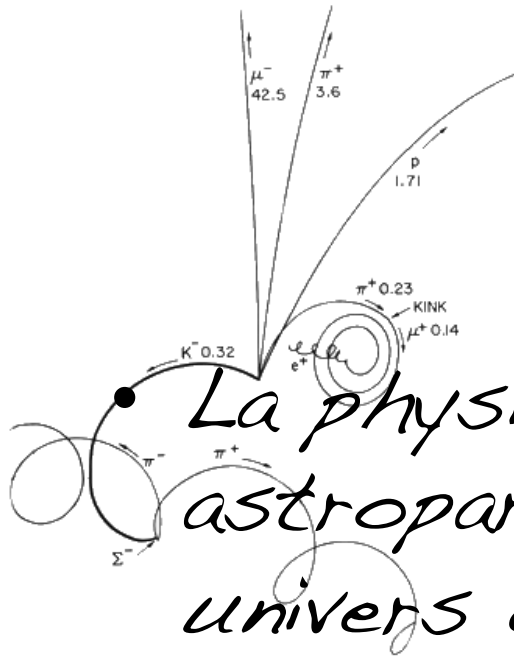
# AUGER : mais quelles sont ces particules extraterrestres ?

- 1500 détecteurs couvrant une surface de 3 000 km<sup>2</sup> en Argentine
- Détection des rayons cosmiques à hautes énergies



Limite des accélérateurs actuels





.....

• La physique des particules /  
astroparticules / cosmologie, un  
univers encore bien bouillant

- De plus en plus de questions ... sans réponses ...
- Et super passionnant !

