

Le LHC, ATLAS & le Higgs

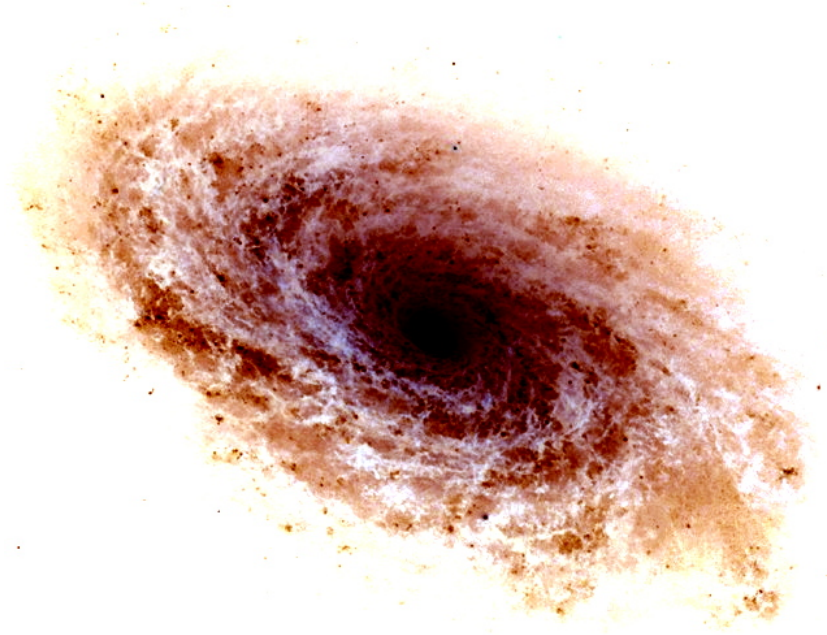
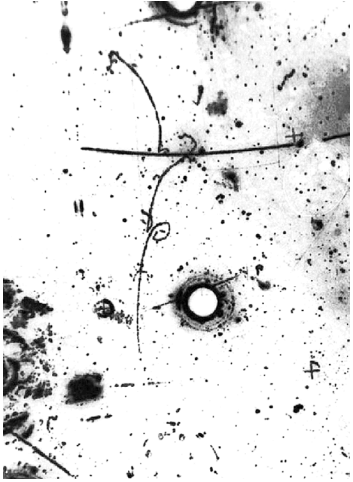
Festival des deux Infinis

LAL, 2 octobre 2011

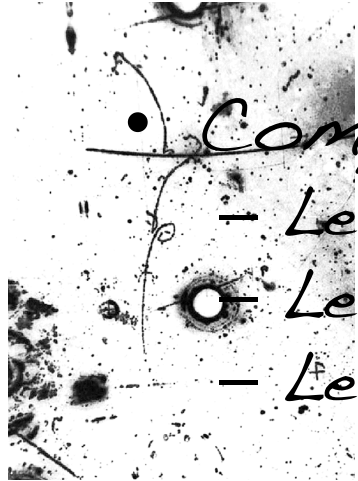
Marthe Teinturier



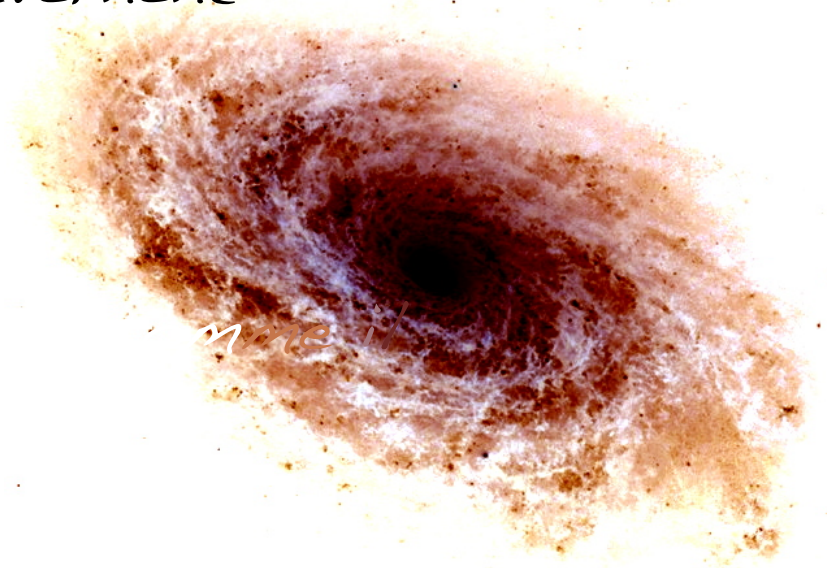
Pourquoi faire de la physique des particules ?



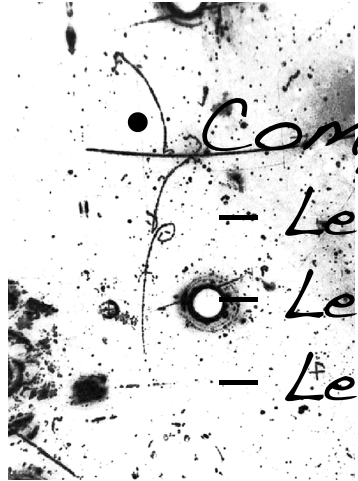
Pourquoi faire de la physique des particules ?



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

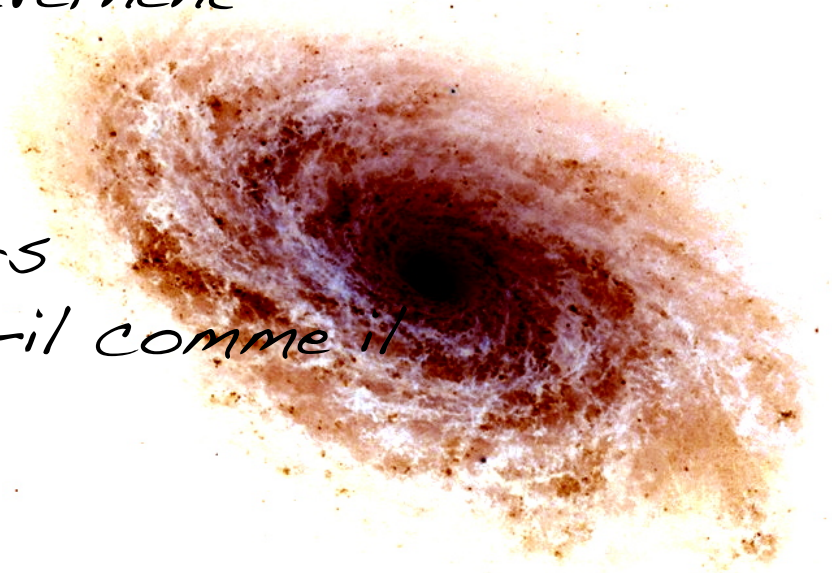


Pourquoi faire de la physique des particules ?



- 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 ?



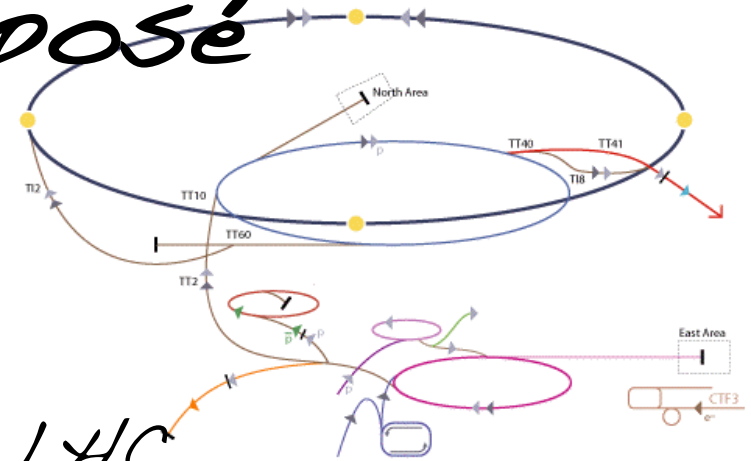
Plan de l'exposé

- Un peu de Physique des Particules

- Le hic de la masse : et le Higgs fut !

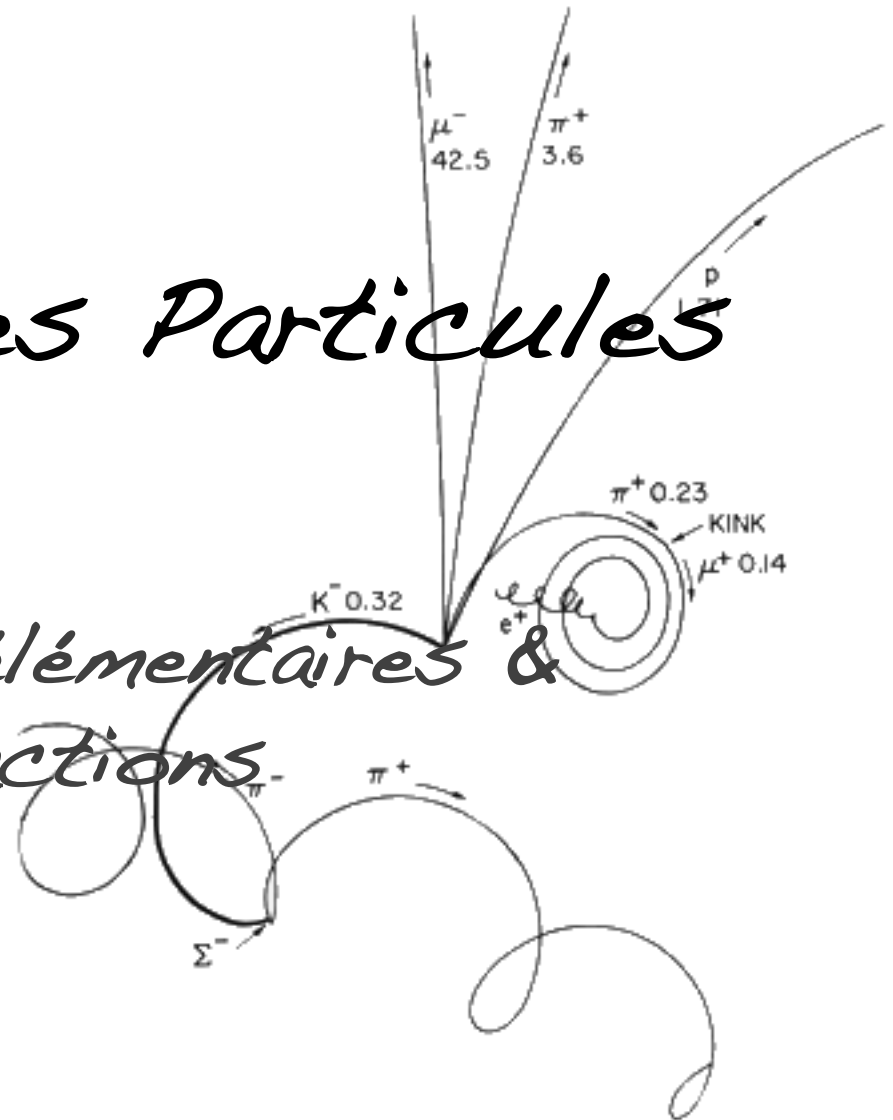
- Le LHC

- ATLAS



La Physique des Particules

Les particules élémentaires &
les interactions



Les atomes

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

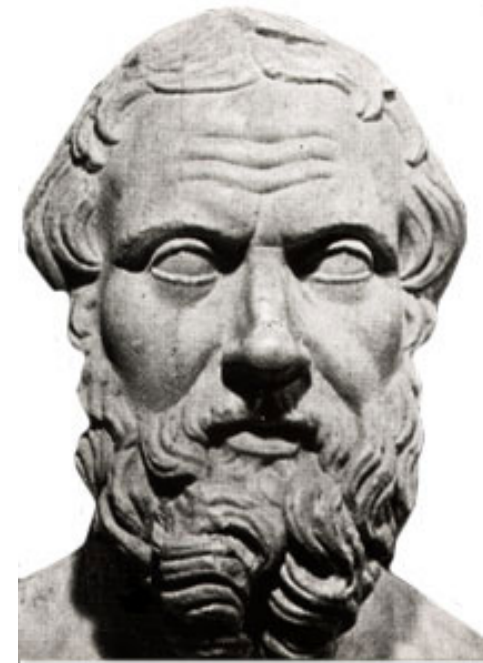


Tableau Périodique des Éléments

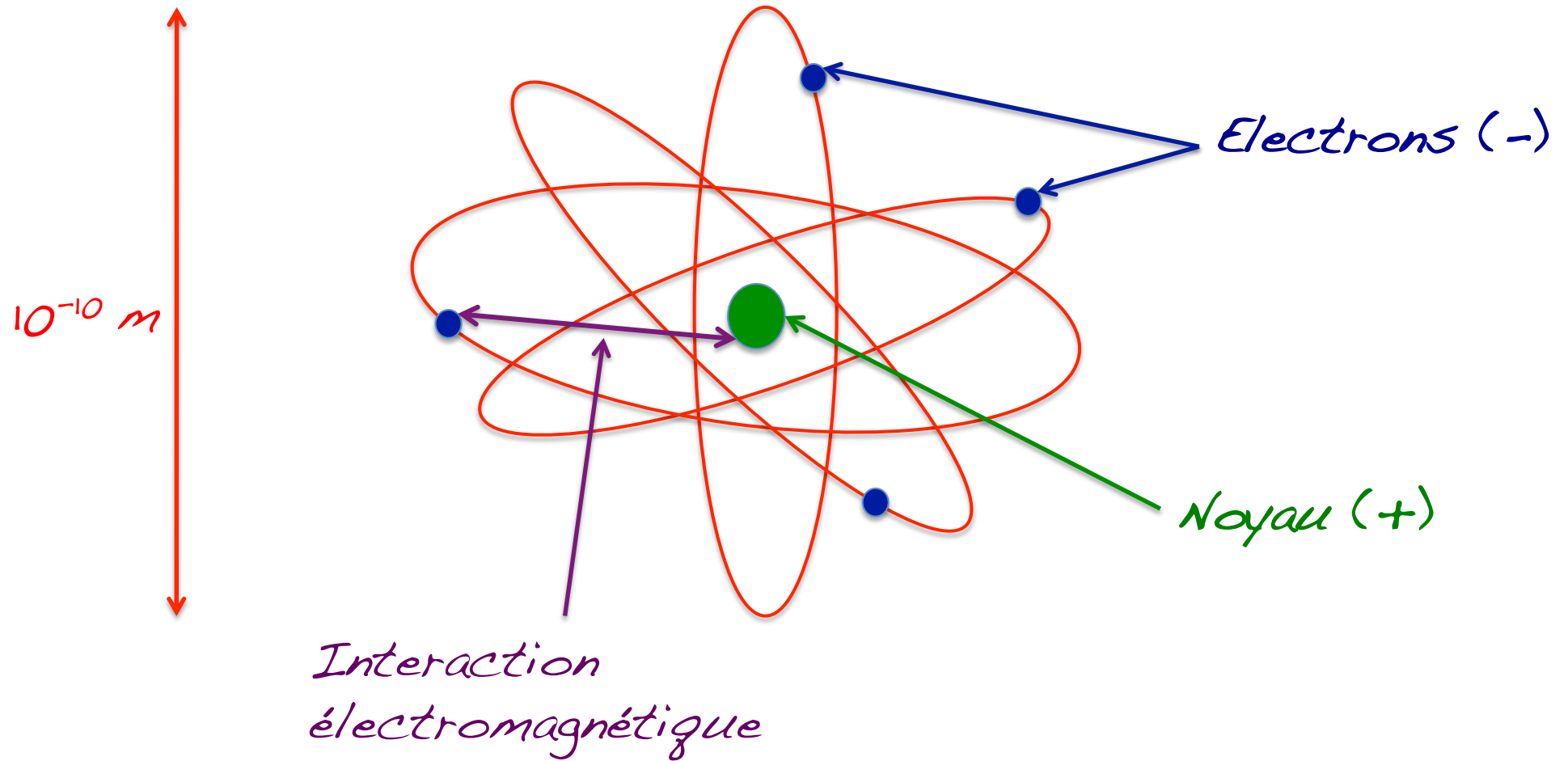
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	VIB	VIB	VIB	IB	IB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIA	VIA
1 H Hydrogène 1.00794	2 He Hélium 4.002602											3 B Bore 10.811	4 C Carbone 12.011	5 N Azote 14.00644	6 O Oxygène 15.999	7 F Fluore 18.9984032	8 Ne Néon 20.1797
3 Li Lithium 6.941	4 Be Béryllium 9.0122											9 Al Aluminium 26.9815385	10 Si Silicium 28.0855	11 P Phosphore 30.973762	12 S Soufre 32.06	13 Cl Chlore 35.453	14 Ar Argon 39.948
5 Na Sodium 22.98976928	6 Mg Magnésium 24.304											15 Ga Gallium 69.723	16 Ge Germanium 72.630	17 As Arsenic 74.92160	18 Se Sélénium 78.96	19 Br Brome 79.904	20 Kr Krypton 83.80
7 K Potassium 39.0983	8 Ca Calcium 40.078	9 Sc Scandium 44.955912	10 Ti Titane 47.88	11 V Vanadium 50.9415	12 Cr Chrome 51.9961	13 Mn Manganèse 54.938044	14 Fe Fer 55.845	15 Co Cobalt 58.933195	16 Ni Nickel 58.6934	17 Cu Cuivre 63.546	18 Zn Zinc 65.38	19 Ga Gallium 69.723	20 Ge Germanium 72.630	21 As Arsenic 74.92160	22 Se Sélénium 78.96	23 Br Brome 79.904	24 Kr Krypton 83.80
8 Rb Rubidium 85.4678	9 Sr Strontium 87.62	10 Y Yttrium 88.90584	11 Zr Zirconium 91.224	12 Nb Niobium 92.90638	13 Mo Molybdène 95.94	14 Tc Technetium 98	15 Ru Ruthénium 101.07	16 Rh Rhodium 102.90550	17 Pd Paladium 106.42	18 Ag Argent 107.8682	19 Cd Cadmium 112.411	20 In Indium 114.818	21 Sn Étain 118.710	22 Sb Antimoine 121.757	23 Te Tellure 127.4	24 Xe Xénon 131.29	25 Rn Radon 222
9 Cs Césium 132.90545196	10 Ba Baryum 137.327	11 La Lanthane 138.90547	12 Hf Hafnium 178.49	13 Ta Tungstène 180.94788	14 W Wolfram 183.84	15 Re Rhenium 186.207	16 Os Osmium 190.23	17 Ir Iridium 192.222	18 Pt Platine 195.084	19 Au Or 196.966569	20 Hg Mercure 200.59	21 Tl Thallium 204.3833	22 Pb Plomb 207.2	23 Bi Bismuth 208.9804	24 Po Polonium 209	25 At Astatine 210	26 Rn Radon 222
10 Fr Francium 223	11 Ra Radium 226	12 Ac Actinium 227	13 Rf Rutherfordium 261	14 Db Dubnium 262	15 Sg Seaborgium 266	16 Bh Bohrium 264	17 Hs Hassium 277	18 Mt Meitnerium 268	19 Ds Darmstadtium 271	20 Rg Roentgenium 272	21 Uub Ununbium 285	22 Uut Ununtrium 288	23 Uuq Ununquadium 289	24 Uup Ununpentium 288	25 Uuh Ununhexium 289	26 Uus Ununseptium 288	27 Uuo Ununoctium 289

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

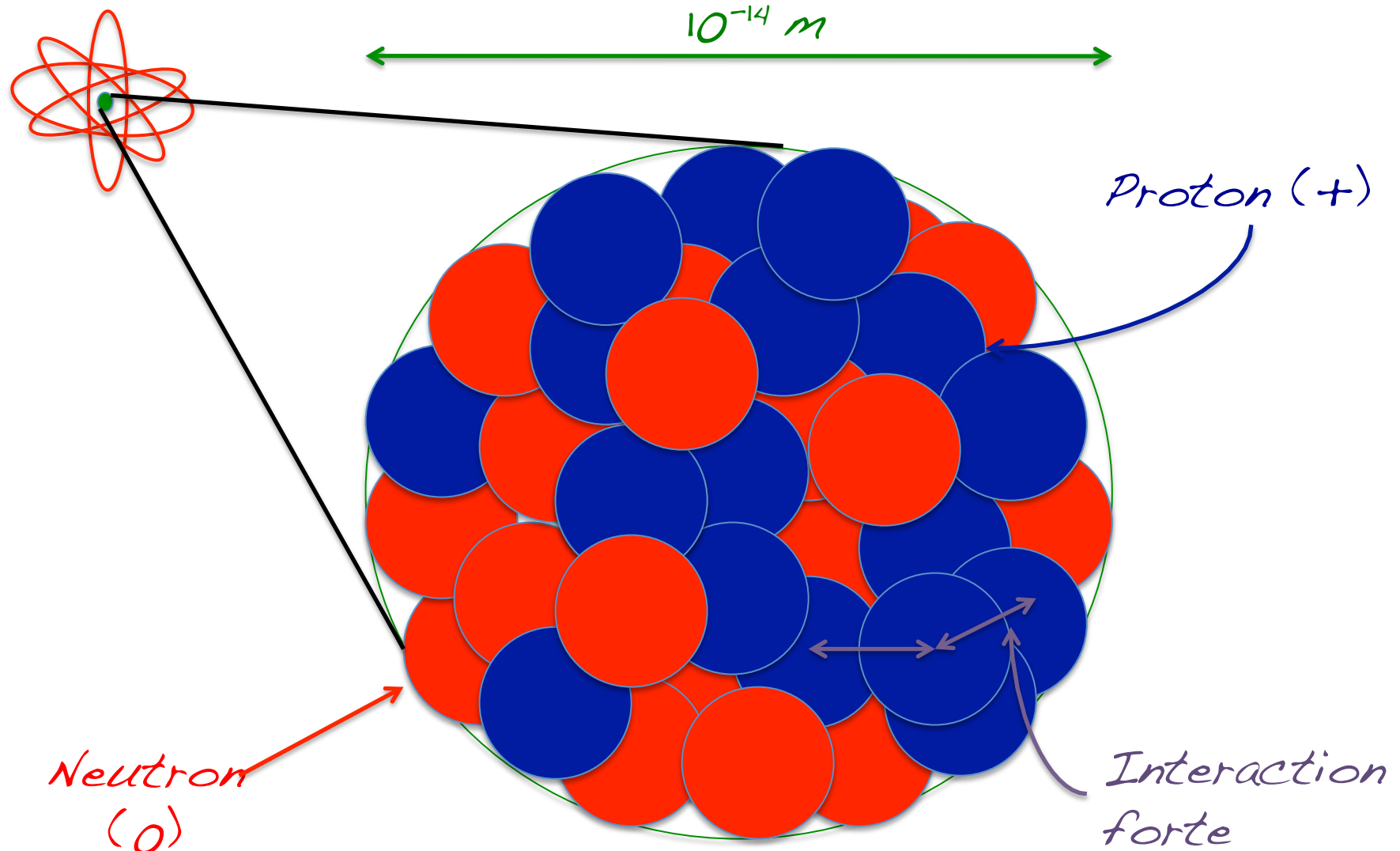
Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The values of elements 112-118 are the IUPAC equivalent of those numbers.

- Mendeleïev (1870) :
classement des
différents éléments

Structure des atomes

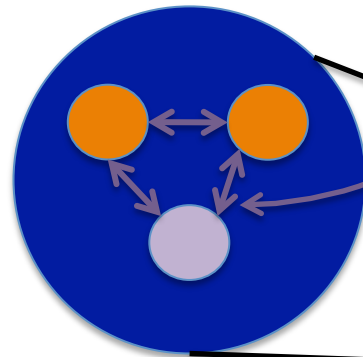


Structure des noyaux



Les protons & les neutrons

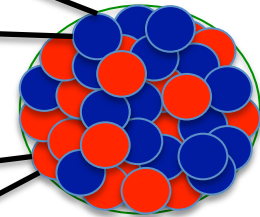
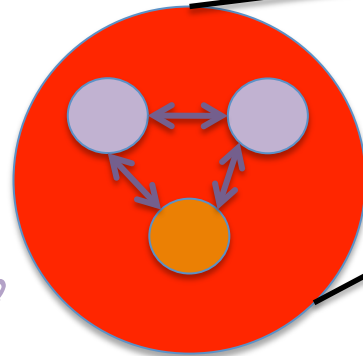
Proton :
2 quarks up
1 quark down



Interaction forte

10^{-15} 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

De plus en plus lourd

L'électron pèse donc :

0, 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 91 kg !!!!!
(il faut mettre 31 zéros ... normalement, il y a le compte !)

Pas très pratique, non ? donc on utilise une autre unité



Qu'est-ce une particule ?

- **Masse m**
 - En énergie via $E=mc^2$
- **Temps de vie τ**
 - 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

Plus c'est lourd, moins c'est stable

Qu'est-ce une particule ?

- **Masse m**
 - En énergie via $E=mc^2$
- **Temps de vie τ**
 - 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













Récapitulatif

FERMIONS

BOSONS

Matière de tous les jours : STABLE

INSTABLE

 up	 down	 electron	 neutrino e
 charm	 strange	 muon	 neutrino μ
 top	 beauty	 tau	 neutrino τ

 photon
 gluon
 $Z^0 W^\pm$
 Higgs

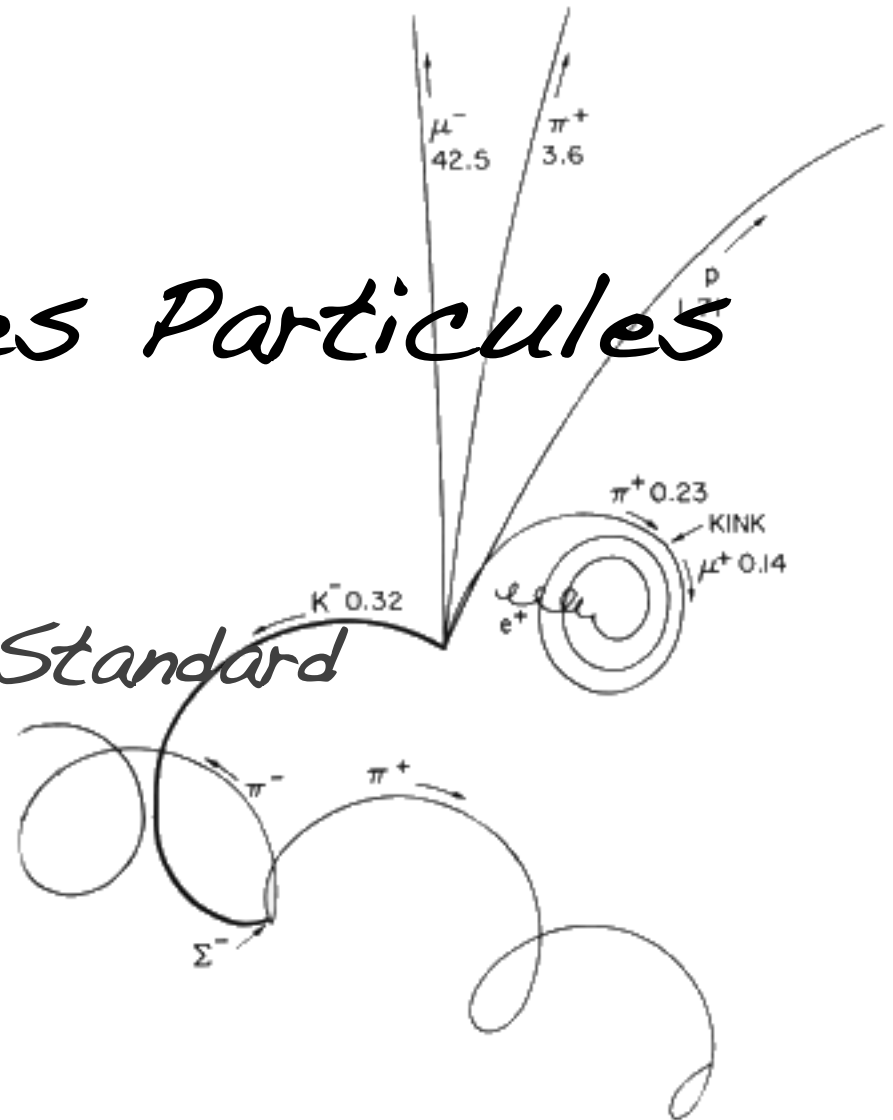
Quarks

Marthe

Leptons

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_\nu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\nu^+ 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}$$

$$\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_\mu^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^2} (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^+)) - \frac{1}{2}g \frac{M}{c_w^2} 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^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + g^2 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2}ig_s A_\mu^\alpha (\bar{q}_i^\alpha \gamma^\mu q_j^\alpha) q_\mu^\alpha - \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{\nu}^\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) + (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}$$

Mais dans ce modèle les particules sont ...

SANS MASSES!!!



Le hic de la masse ...

Et le Higgs fut !

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 créé un boson de Higgs

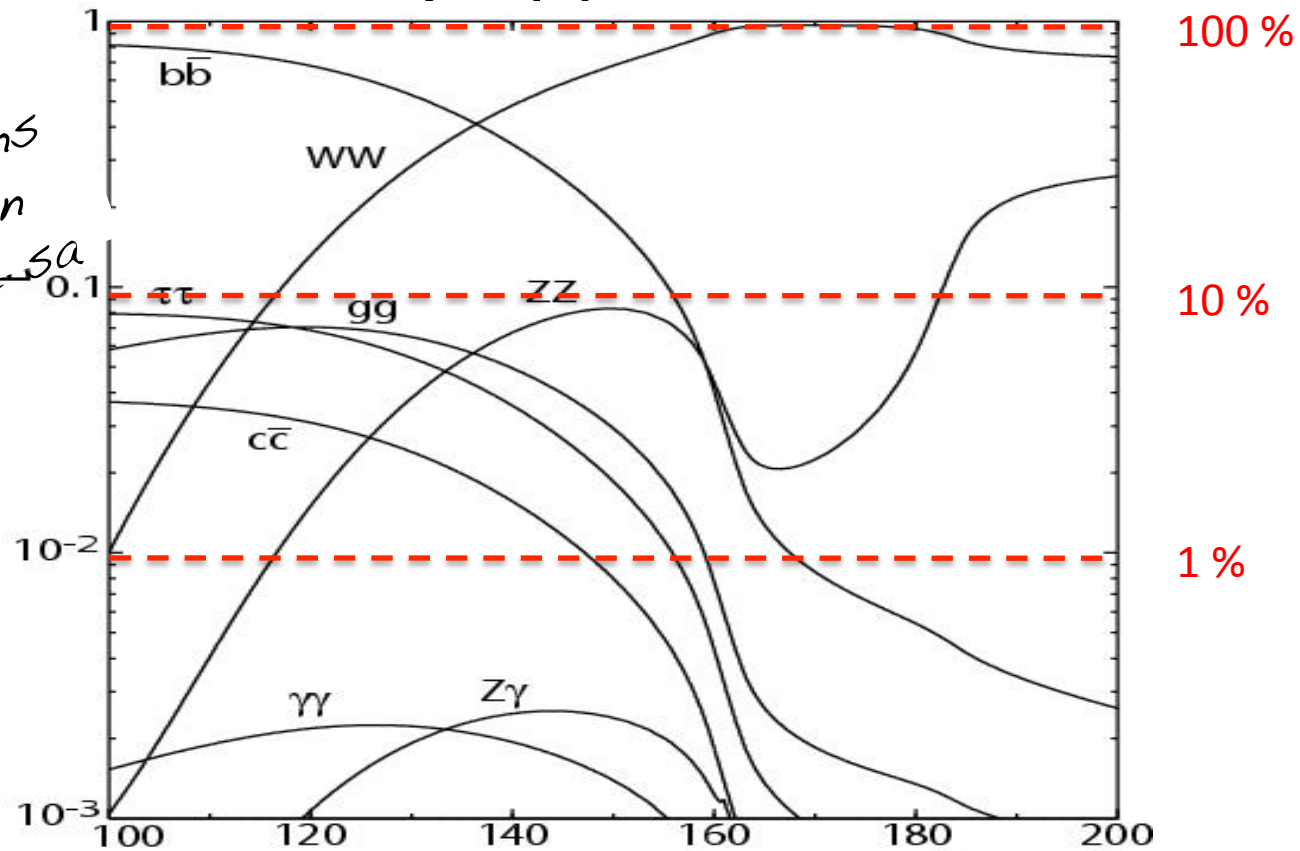


Mais comment le chercher ?

- Quelle est la masse du Higgs ?
INCONNUE
- Quelles sont ses désintégrations ?
CONNUES
- Donc on cherche partout ... Mais pas
totalement au hasard ...

Les canaux de désintégration du Higgs

Donne la probabilité que le Higgs se désintègre dans un canal, en fonction de sa masse

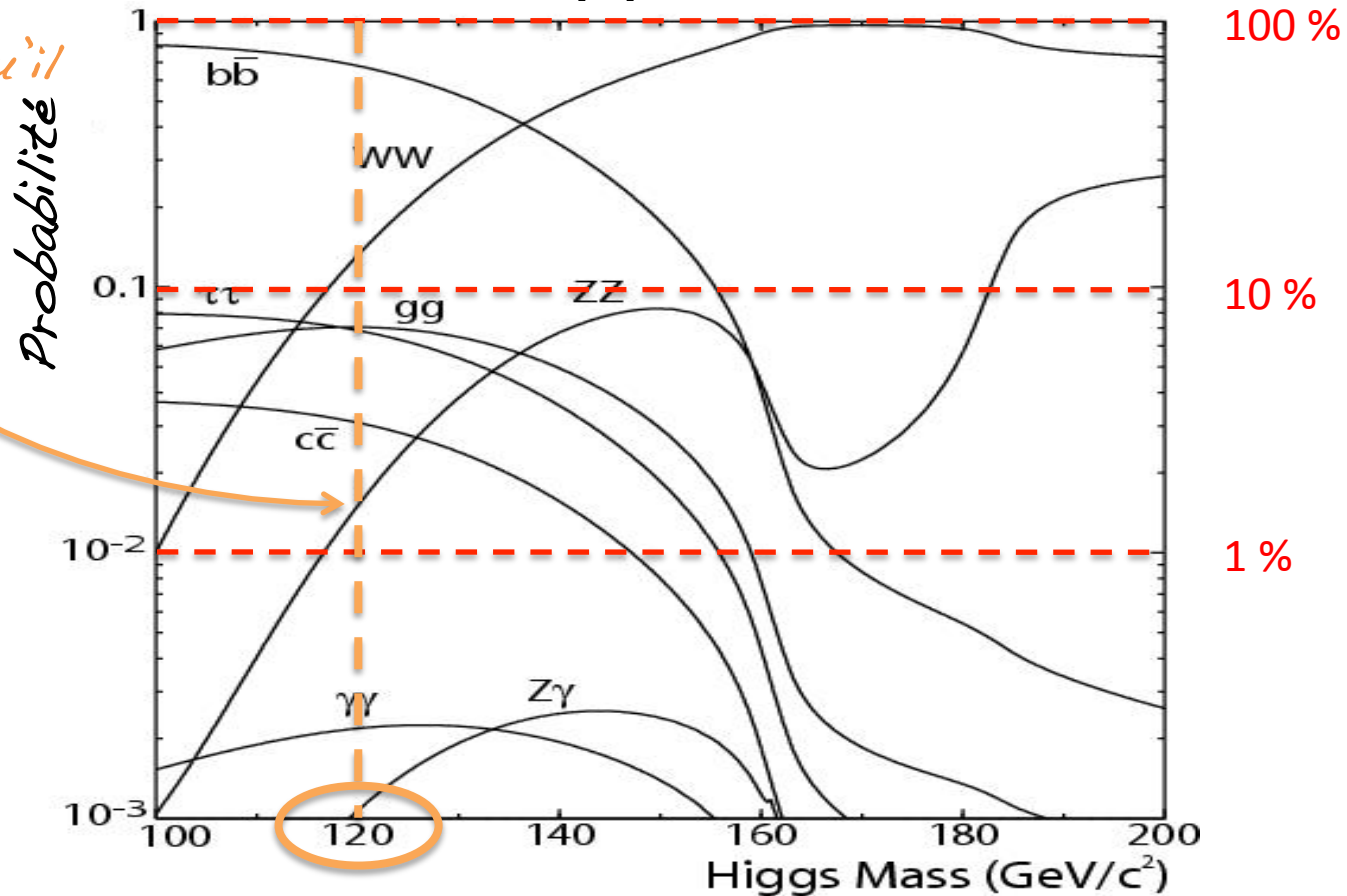


masse du Higgs (paramètre inconnu)

Les canaux de désintégration du Higgs

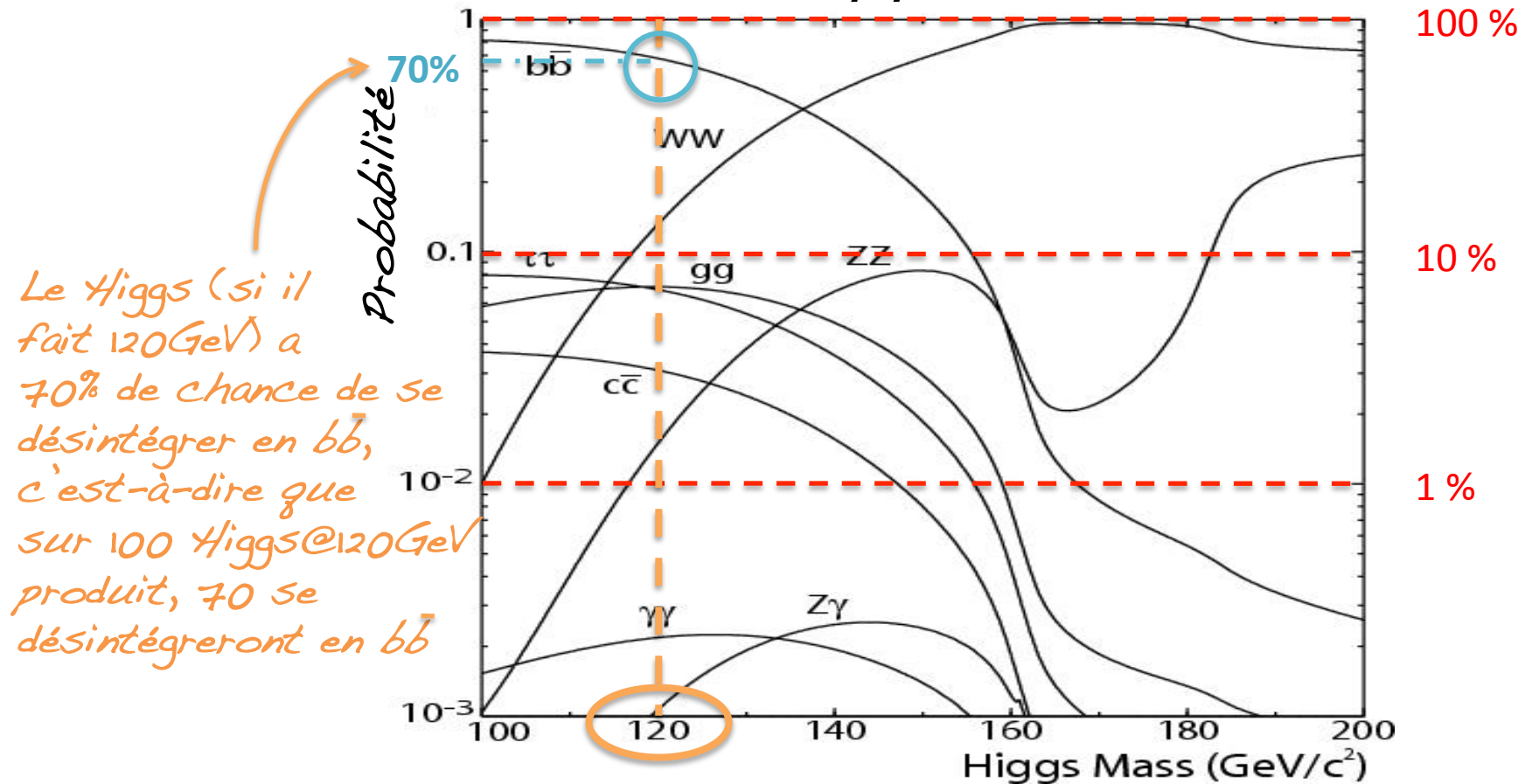
EXEMPLES

Regardons ce qu'il se passe pour un Higgs de 120 GeV



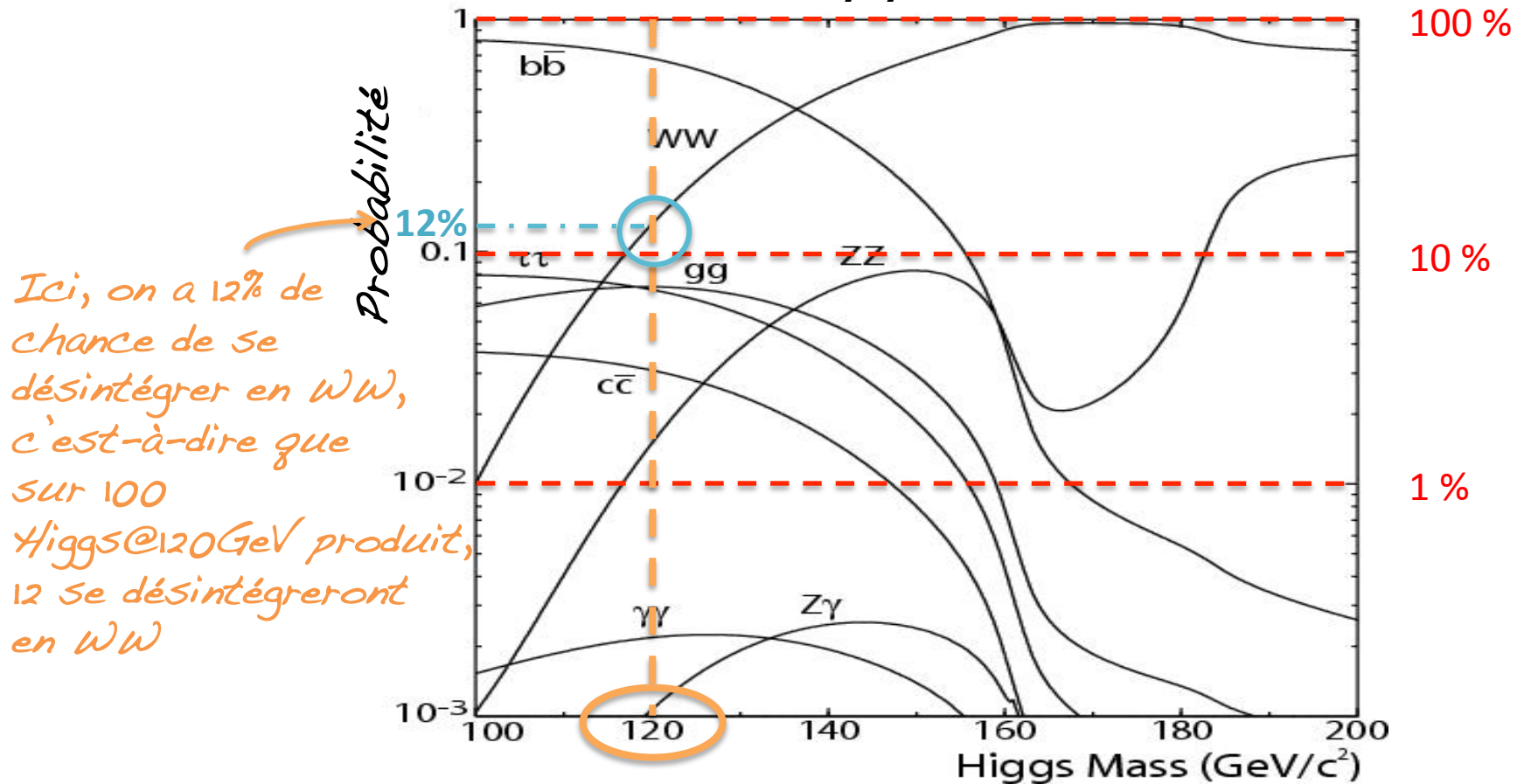
Les canaux de désintégration du Higgs

EXEMPLES



Les canaux de désintégration du Higgs

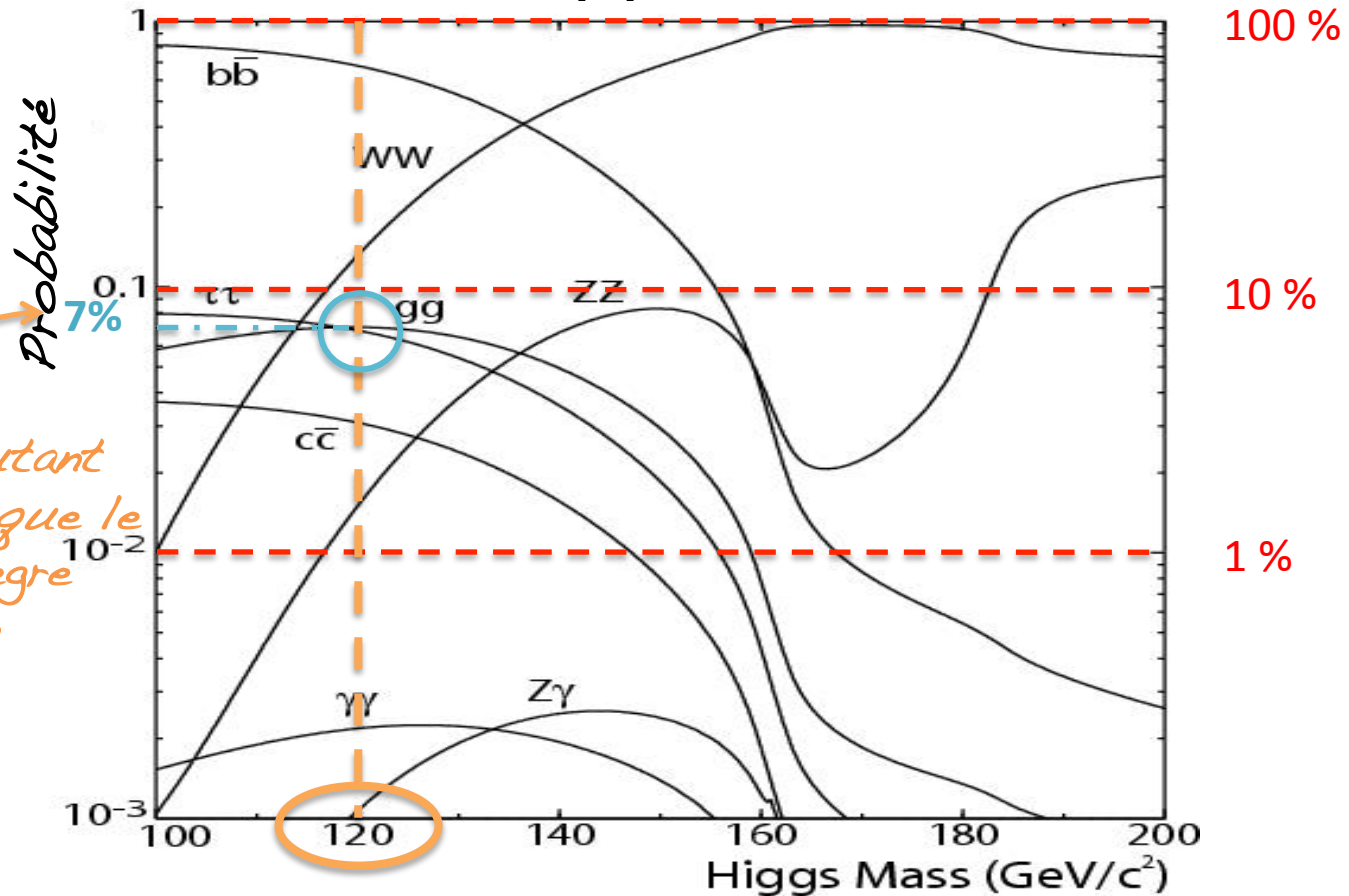
EXEMPLES



Ici, on a 12% de chance de se désintégrer en WW , c'est-à-dire que sur 100 Higgs @ 120 GeV produit, 12 se désintégreront en WW

Les canaux de désintégration du Higgs

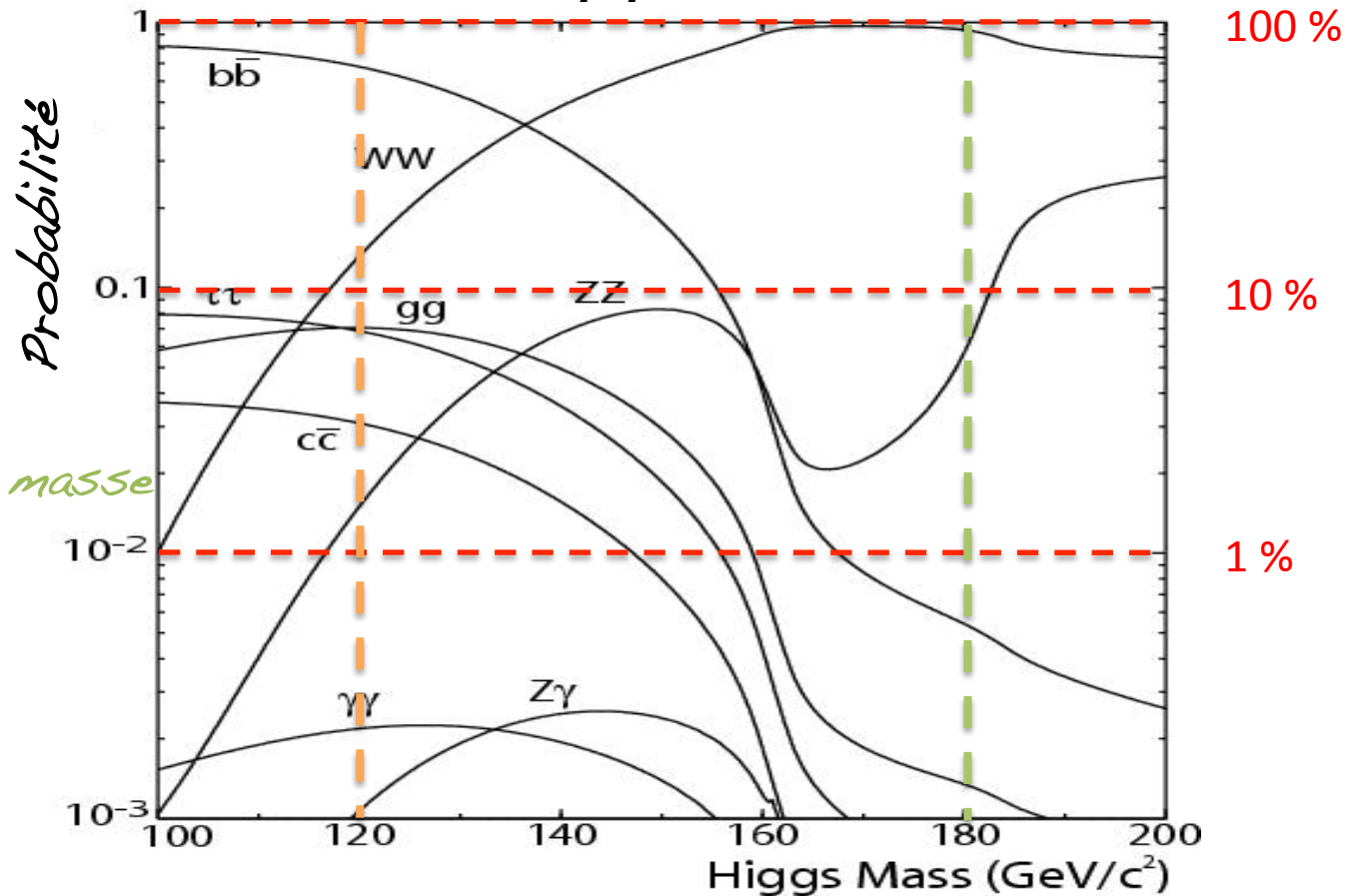
EXEMPLES



Hasard, il y a autant de chance (7%) que le Higgs se désintègre en $\tau\bar{\tau}$ qu'en gg

Les canaux de désintégration du Higgs

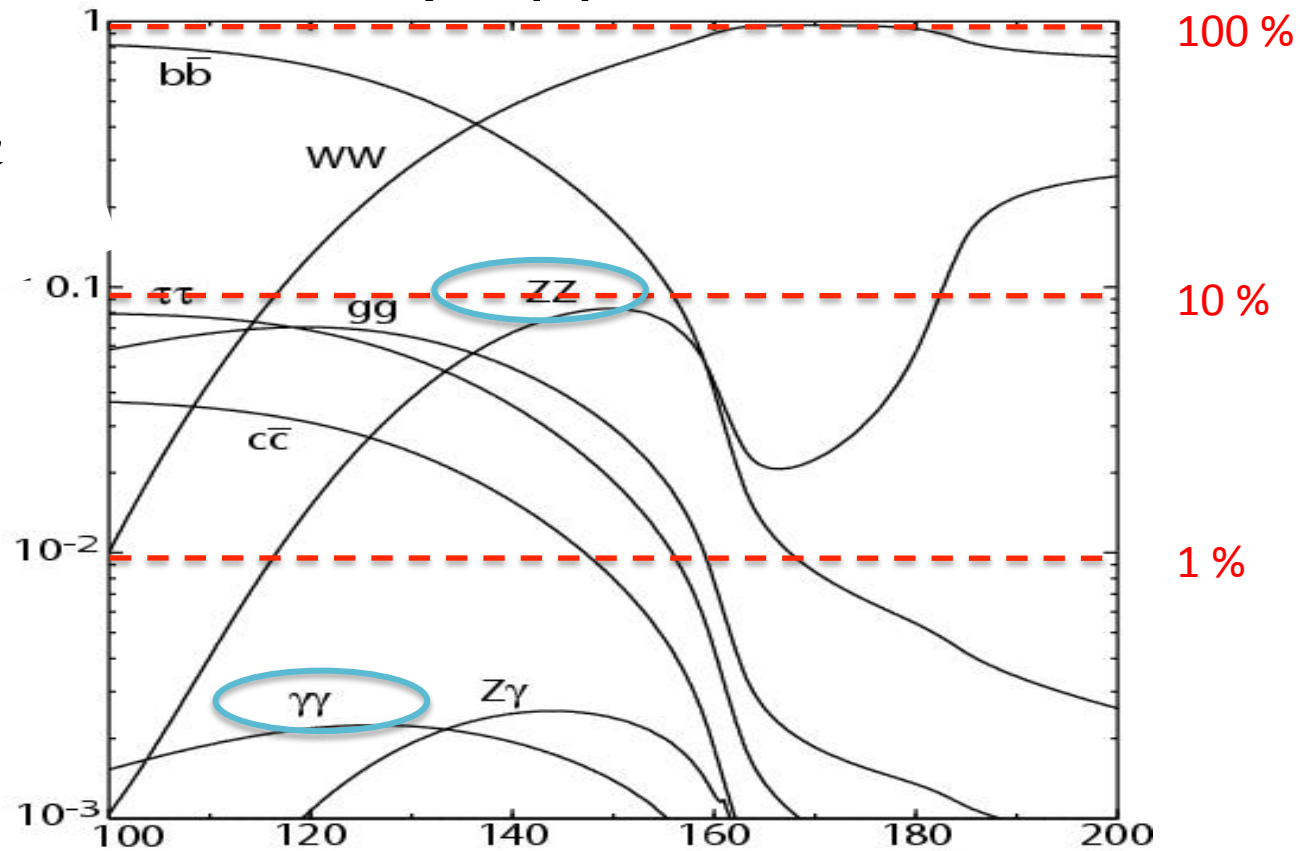
EXEMPLES



Pour une autre masse
 (180 GeV), on a :
 $WW = 90 \%$
 $ZZ = 7 \%$
 $bb = 0.5 \%$
 $gg = 0.01 \%$

Les canaux de désintégration du Higgs

Les 2 canaux en \llcorner ou \lrcorner du Higgs ...



Higgs \rightarrow 2 photons

Higgs \rightarrow ZZ \rightarrow 4 leptons

masse du Higgs (paramètre inconnu)

La recherche du Higgs avant le LHC

- LEP
 - Accélérateur au CERN avant le LHC
 - Collision d'électrons & d'anti-électrons
- Tevatron
 - Accélérateur au Fermilab près de Chicago
 - Collision de proton & d'anti-proton
 - Arrêté depuis vendredi dernier !

Ce qu'on voyait vendredi au
CERN ...

LHC Page1 Fill: 2174 E: 233 GeV 30-09-2011 21:36:41

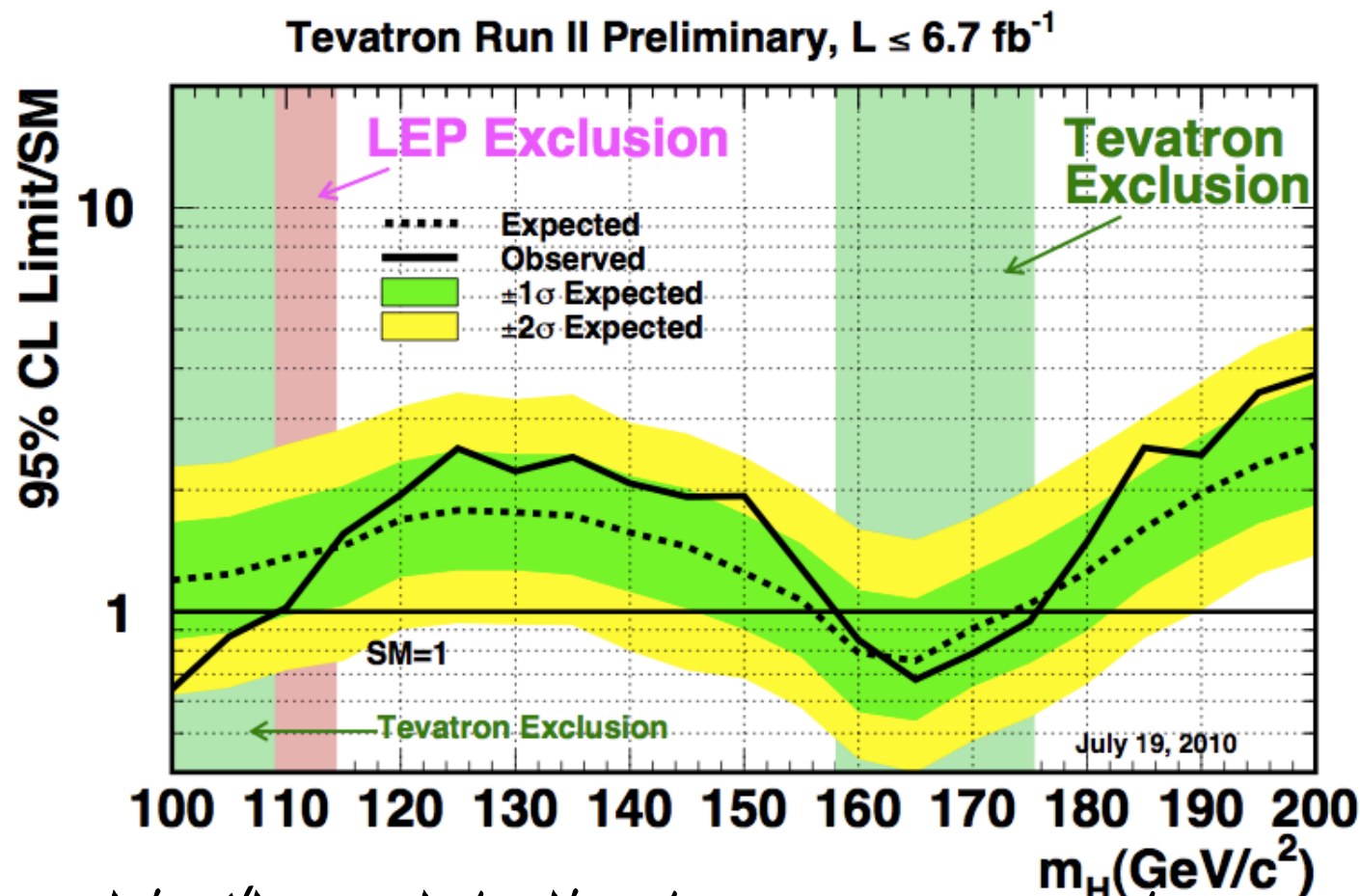
PROTON PHYSICS: SETUP

BCT T12: 0.00e+00	I(B1): 0.00e+00	BCT T18: 0.00e+00	I(B2): 0.00e+00
TED T12 position:	BEAM	TDI P2 gaps/mm	up: 10.91 down: 8.62
TED T18 position:	BEAM	TDI P8 gaps/mm	up: 9.58 down: 8.91

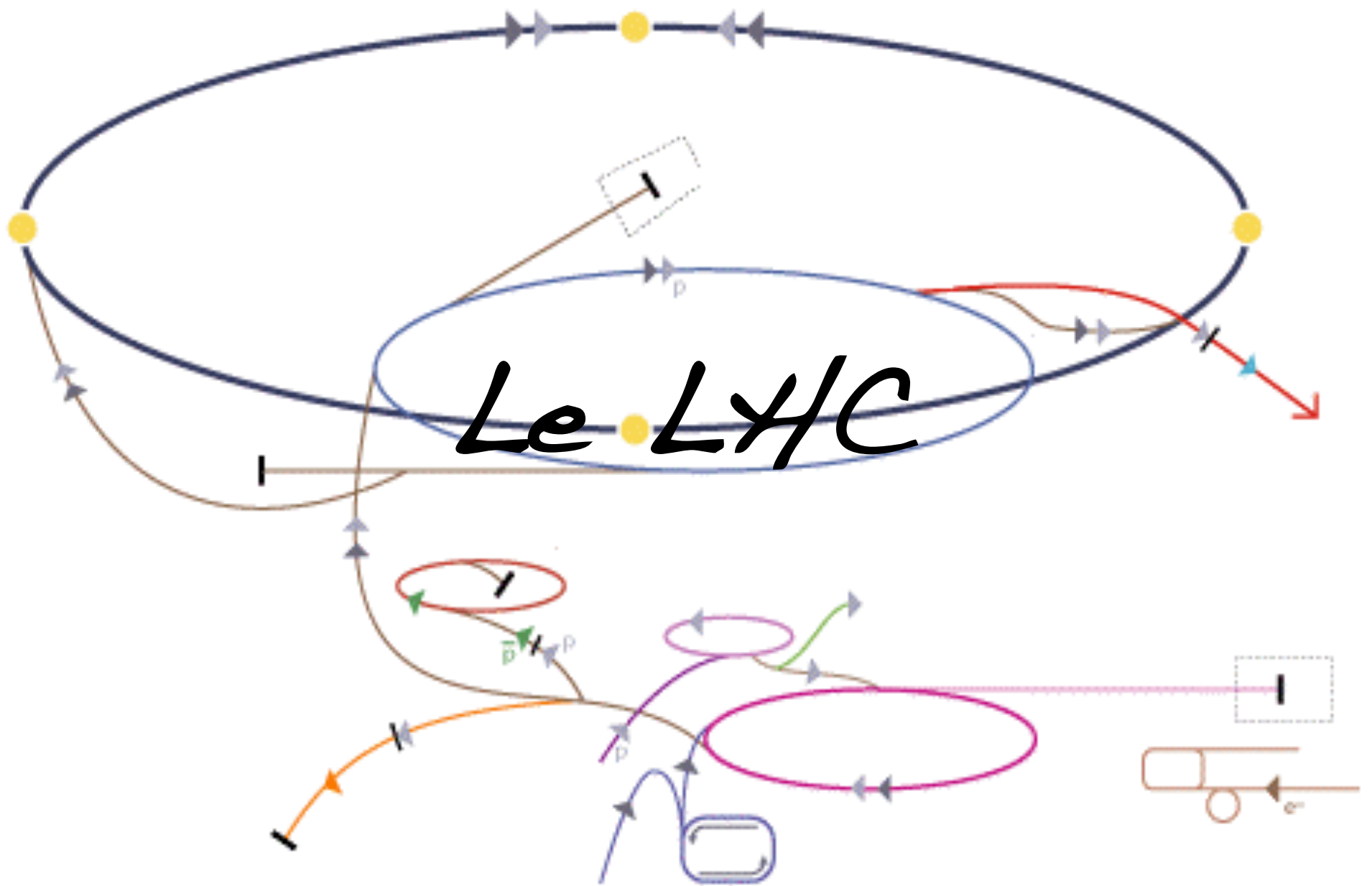
<p>Comments 30-09-2011 21:04:44 :</p> <p style="text-align: center;">So long Tevatron. We'll miss you. Thanks for everything.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">BIS status and SMP flags</th> <th style="text-align: center;">B1</th> <th style="text-align: center;">B2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Link Status of Beam Permits</td> <td style="text-align: center;">false</td> <td style="text-align: center;">false</td> </tr> <tr> <td>Global Beam Permit</td> <td style="text-align: center;">false</td> <td style="text-align: center;">false</td> </tr> <tr> <td>Setup Beam</td> <td style="text-align: center;">true</td> <td style="text-align: center;">true</td> </tr> <tr> <td>Beam Presence</td> <td style="text-align: center;">false</td> <td style="text-align: center;">false</td> </tr> <tr> <td>Moveable Devices Allowed In</td> <td style="text-align: center;">false</td> <td style="text-align: center;">false</td> </tr> <tr> <td>Stable Beams</td> <td style="text-align: center;">false</td> <td style="text-align: center;">false</td> </tr> </tbody> </table>	BIS status and SMP flags	B1	B2	Link Status of Beam Permits	false	false	Global Beam Permit	false	false	Setup Beam	true	true	Beam Presence	false	false	Moveable Devices Allowed In	false	false	Stable Beams	false	false
BIS status and SMP flags	B1	B2																				
Link Status of Beam Permits	false	false																				
Global Beam Permit	false	false																				
Setup Beam	true	true																				
Beam Presence	false	false																				
Moveable Devices Allowed In	false	false																				
Stable Beams	false	false																				

AFS: Single_2b+12small_13_1_1_1bpi14inj PM Status B1 ENABLED PM Status B2 ENABLED

La recherche du Higgs avant le LHC

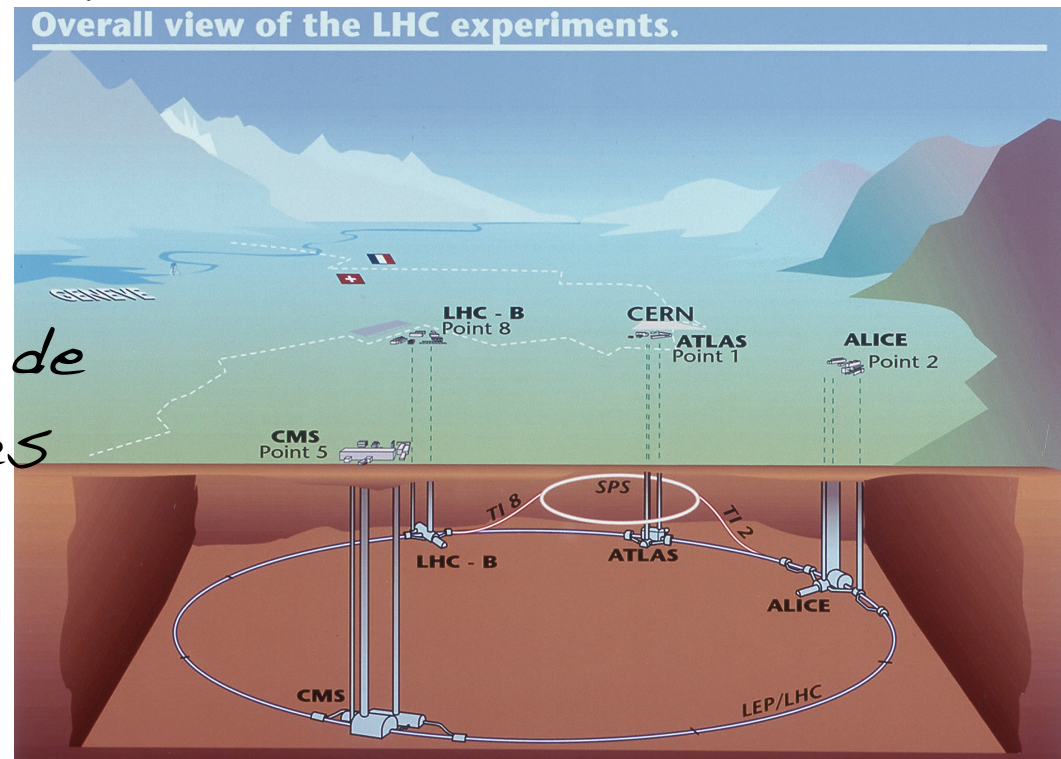


Donc si le Higgs existe, il est pour une masse de 114-158 GeV ou supérieure à 176 GeV ...



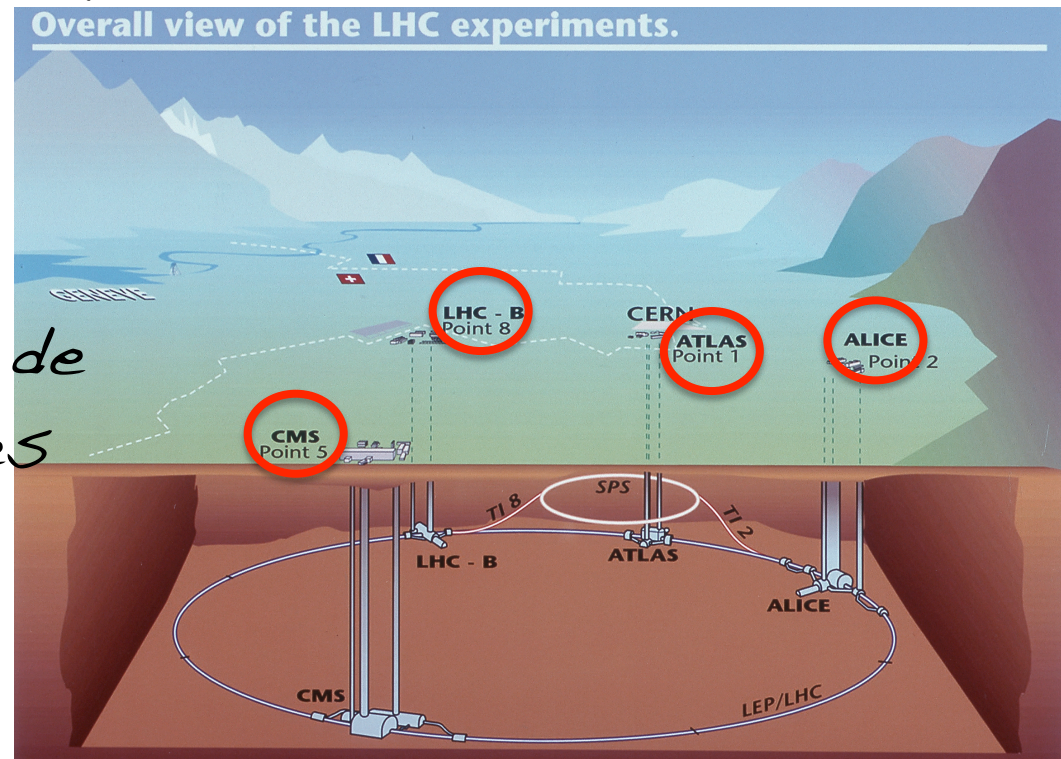
LHC : Késako ?

- LHC = Large Hadron Collider (Grand Collisionneur de Hadrons)
- Anneau de 27 km de circonférence près de Genève



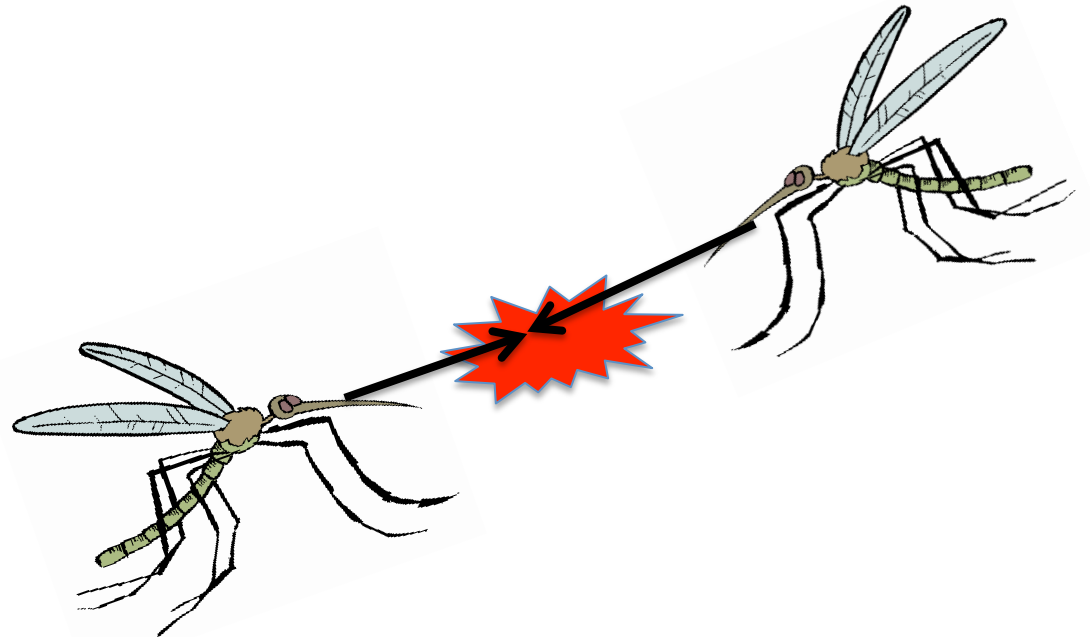
LHC : Késako ?

- LHC = Large Hadron Collider (Grand Collisionneur de Hadrons)
- Anneau de 27 km de circonférence près de Genève
- 4 points de collisions



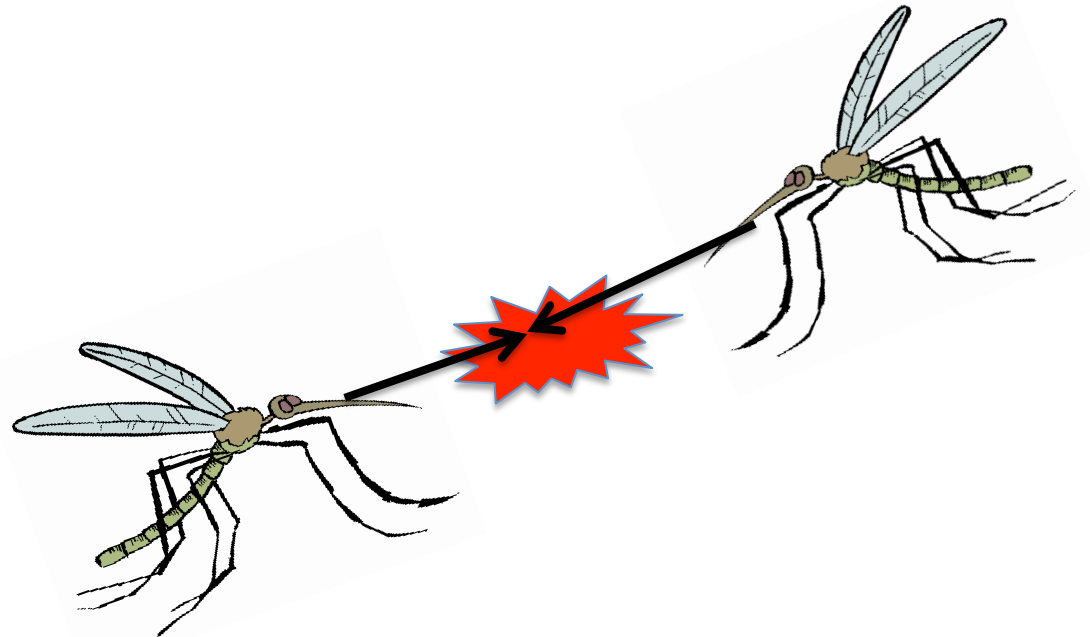
Une énergie exceptionnelle

- Collisions @ 7 TeV
= $11 \cdot 10^{-7}$ Joules
- Énergie jamais
attente auparavant



Une énergie exceptionnelle

- Collisions @ 7 TeV
= $11 \cdot 10^{-7}$ Joules
- Énergie jamais
attente auparavant
- Concentration de
l'énergie dans un
petit volume
- 1 TeV = un
moustique en vol ...



Mais comment le LHC fonctionne ?

- Un système accélérant
- Un système permettant de garder les protons sur leur trajectoire ...



Comme ACO, l'accélérateur que vous allez visiter !!!
mais en un «peu» plus grand et avec une technologie
différente ...

Le LHC en quelques propriétés remarquables

- Mis bout à bout, les filaments des aimants : 5 aller-retour Terre-Soleil + quelques voyages sur la Lune

Le LHC en quelques propriétés remarquables

- Mis bout à bout, les filaments des aimants : 5 aller-retour Terre-Soleil + quelques voyages sur la Lune
- Les protons iront à 99,9999991 % de la vitesse de la lumière (11 000 tours / seconde)

Le LHC en quelques propriétés remarquables

- Mis bout à bout, les filaments des aimants : 5 aller-retour Terre-Soleil + quelques voyages sur la Lune
- Les protons iront à 99,9999991 % de la vitesse de la lumière (11 000 tours / seconde)
- Le tube du faisceau est sous un vide 10 fois plus important que sur la Lune

Le LHC en quelques propriétés remarquables

- Mis bout à bout, les filaments des aimants : 5 aller-retour Terre-Soleil + quelques voyages sur la Lune
- Les protons iront à 99,9999991 % de la vitesse de la lumière (11 000 tours / seconde)
- Le tube du faisceau est sous un vide 10 fois plus important que sur la Lune
- CMS contient plus de fer que la Tour Eiffel (10 000 t)

Le LHC en quelques propriétés remarquables

- Mis bout à bout, les filaments des aimants : 5 aller-retour Terre-Soleil + quelques voyages sur la Lune
- Il faudrait 1 million d'années pour accélérer 1g d'hydrogène
- Les protons iront à 99,9999991 % de la vitesse de la lumière (11 000 tours / seconde)
- Le tube du faisceau est sous un vide 10 fois plus important que sur la Lune
- CMS contient plus de fer que la Tour Eiffel (10 000 t)

Le LHC en quelques propriétés remarquables

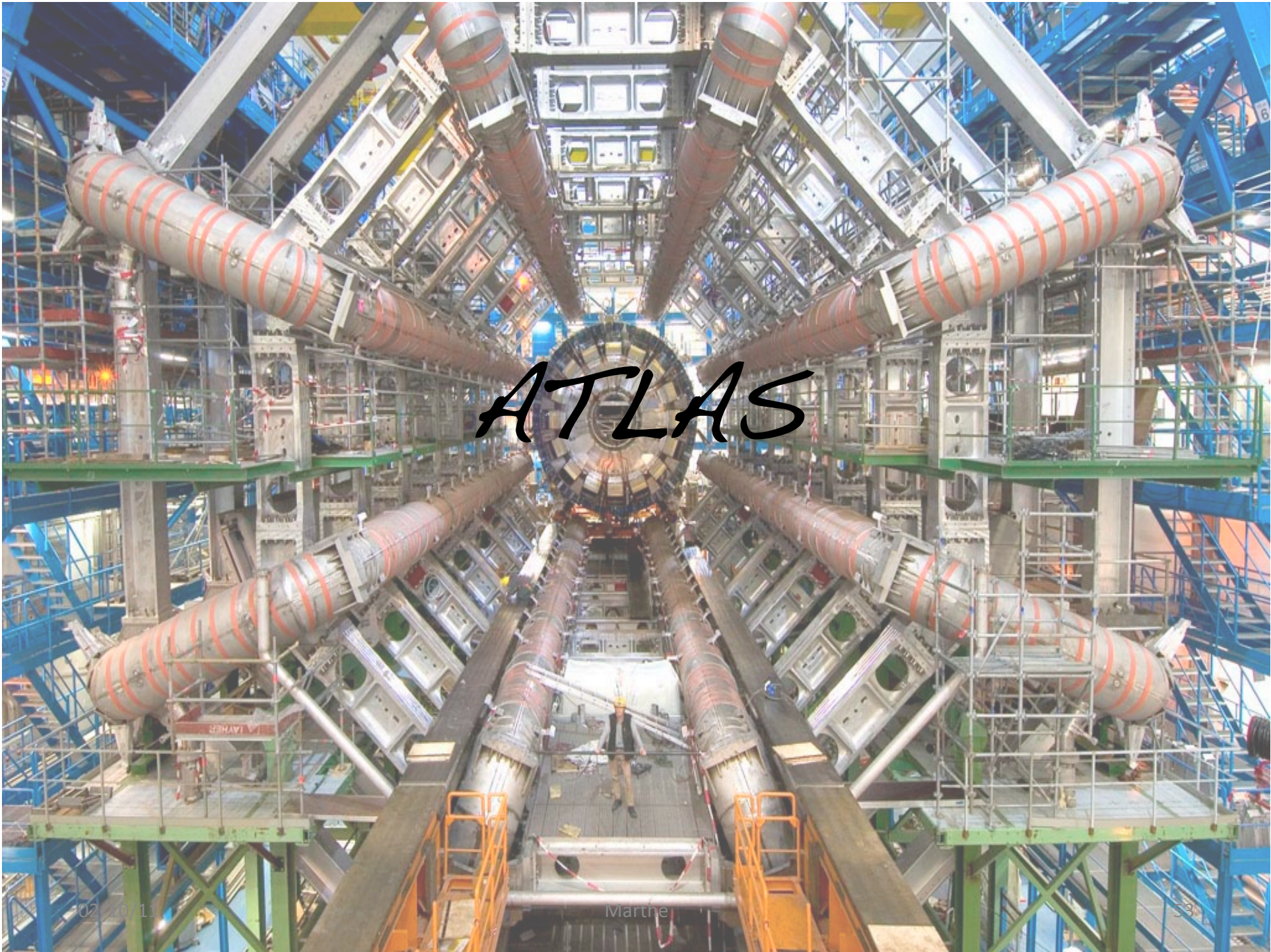
- Mis bout à bout, les filaments des aimants : 5 aller-retour Terre-Soleil + quelques voyages sur la Lune
- Il faudrait 1 million d'années pour accélérer 1g d'hydrogène
- Les protons iront à 99,9999991 % de la vitesse de la lumière (11 000 tours / seconde)
- Les données enregistrés : 100 000 DVD doubles couches / an
- Le tube du faisceau est sous un vide 10 fois plus important que sur la Lune
- CMS contient plus de fer que la Tour Eiffel (10 000 t)

Le LHC en quelques propriétés remarquables

- Mis bout à bout, les filaments des aimants : 5 aller-retour Terre-Soleil + quelques voyages sur la Lune
- Il faudrait 1 million d'années pour accélérer 1g d'hydrogène
- Les protons iront à 99,9999991 % de la vitesse de la lumière (11 000 tours / seconde)
- Les données enregistrés : 100 000 DVD doubles couches / an
- Le LHC est plus froid que l'espace sidéral, mais les collisions sont plus chaudes que le centre du Soleil
- Le tube du faisceau est sous un vide 10 fois plus important que sur la Lune
- CMS contient plus de fer que la Tour Eiffel (10 000 t)

Le LHC en quelques propriétés remarquables

- Mis bout à bout, les filaments des aimants : 5 aller-retour Terre-Soleil + quelques voyages sur la Lune
- Il faudrait 1 million d'années pour accélérer 1g d'hydrogène
- Les protons iront à 99,9999991 % de la vitesse de la lumière (11 000 tours / seconde)
- Les données enregistrés : 100 000 DVD doubles couches / an
- Le LHC est plus froid que l'espace sidéral, mais les collisions sont plus chaudes que le centre du Soleil
- Le tube du faisceau est sous un vide 10 fois plus important que sur la Lune
- Énergie stockée : un TGV lancé à 150 km
- CMS contient plus de fer que la Tour Eiffel (10 000 t)



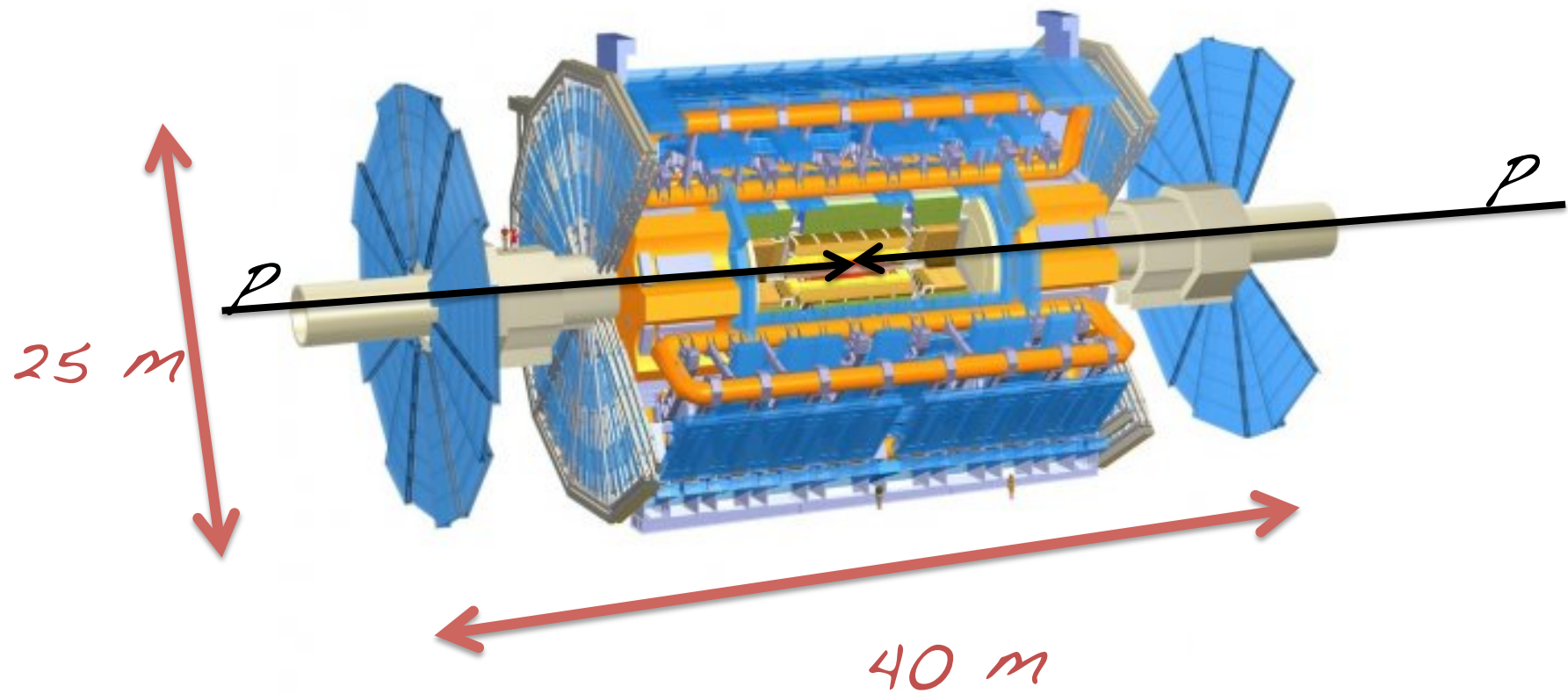
ATLAS

ATLAS en bref

- ATLAS = **A** Toroidal **LHC** **A**pparatus **S**
(= dispositif instrumental toroïdal pour le LHC)
- Plus de 2300 physiciens de 35 pays
- Le plus gros détecteur pour la physique des collision jamais construit !

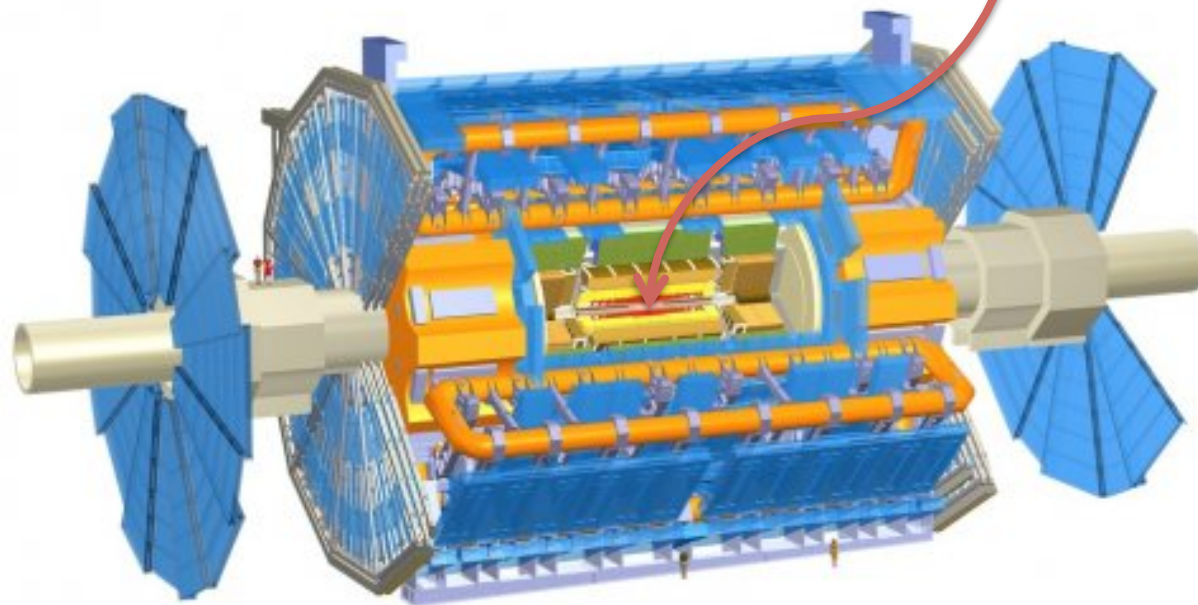


Anatomie d'un monstre



Anatomie d'un monstre

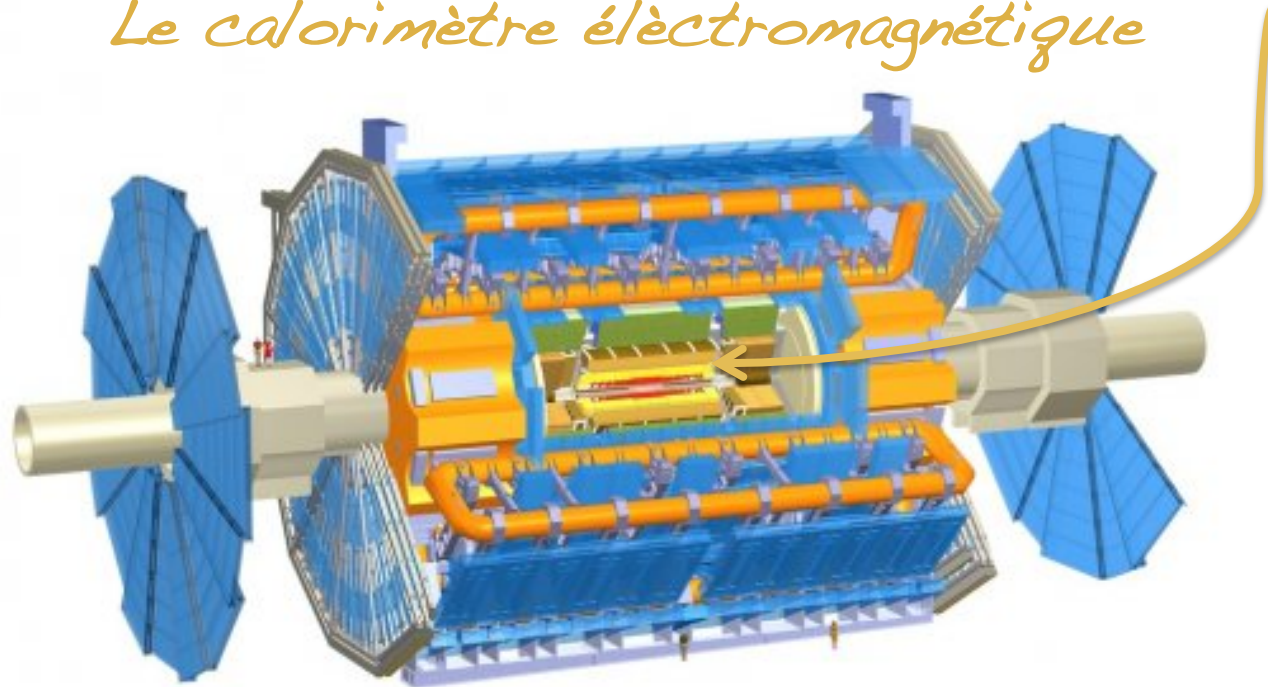
*Détecteur le plus proche de la collision :
le détecteur interne*



*Il permet de reconstruire le passage
de toutes les particules chargées*

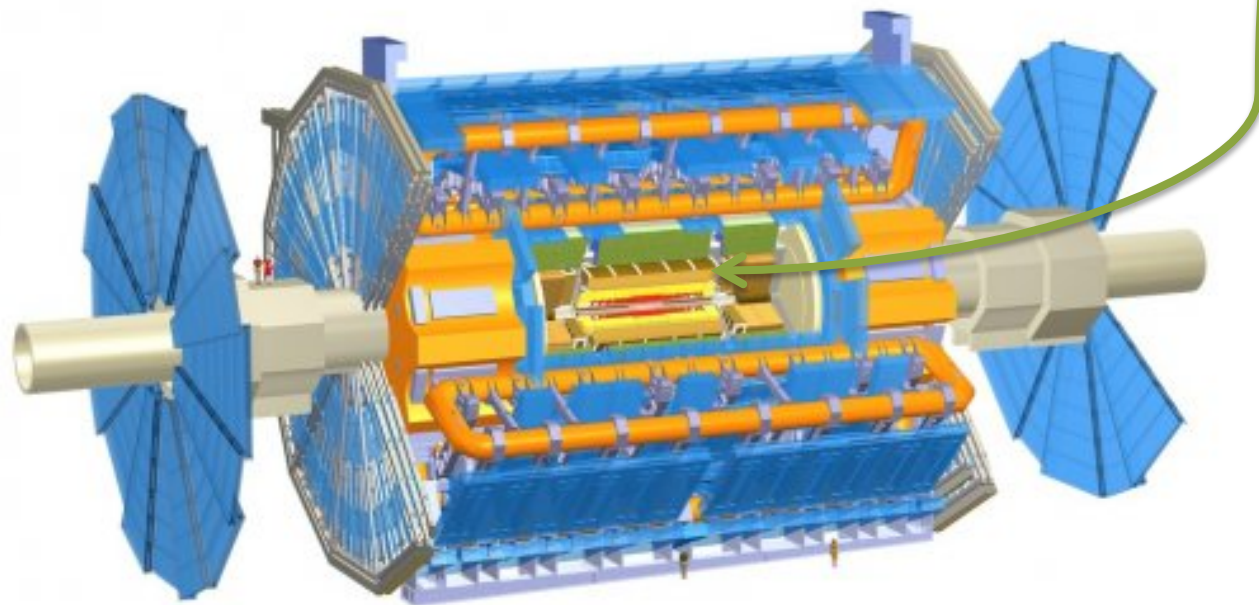
Anatomie d'un monstre

*Pour collecter l'énergie des photons et des électrons :
Le calorimètre électromagnétique*



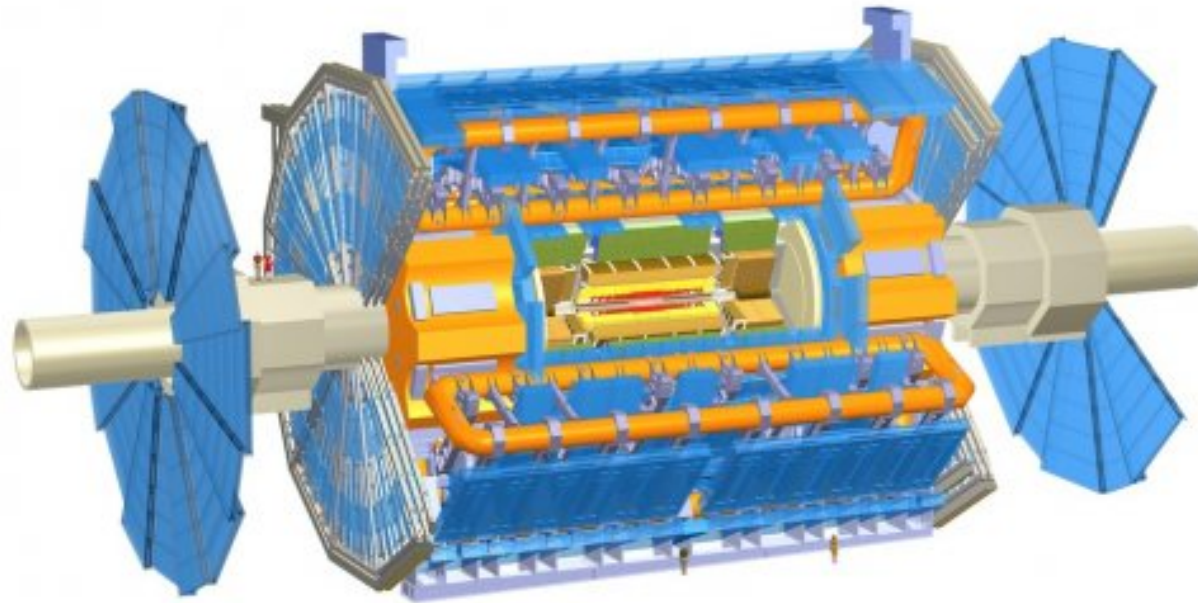
Anatomie d'un monstre

Pour collecter l'énergie des hadrons (protons, ...) :
Le calorimètre hadronique

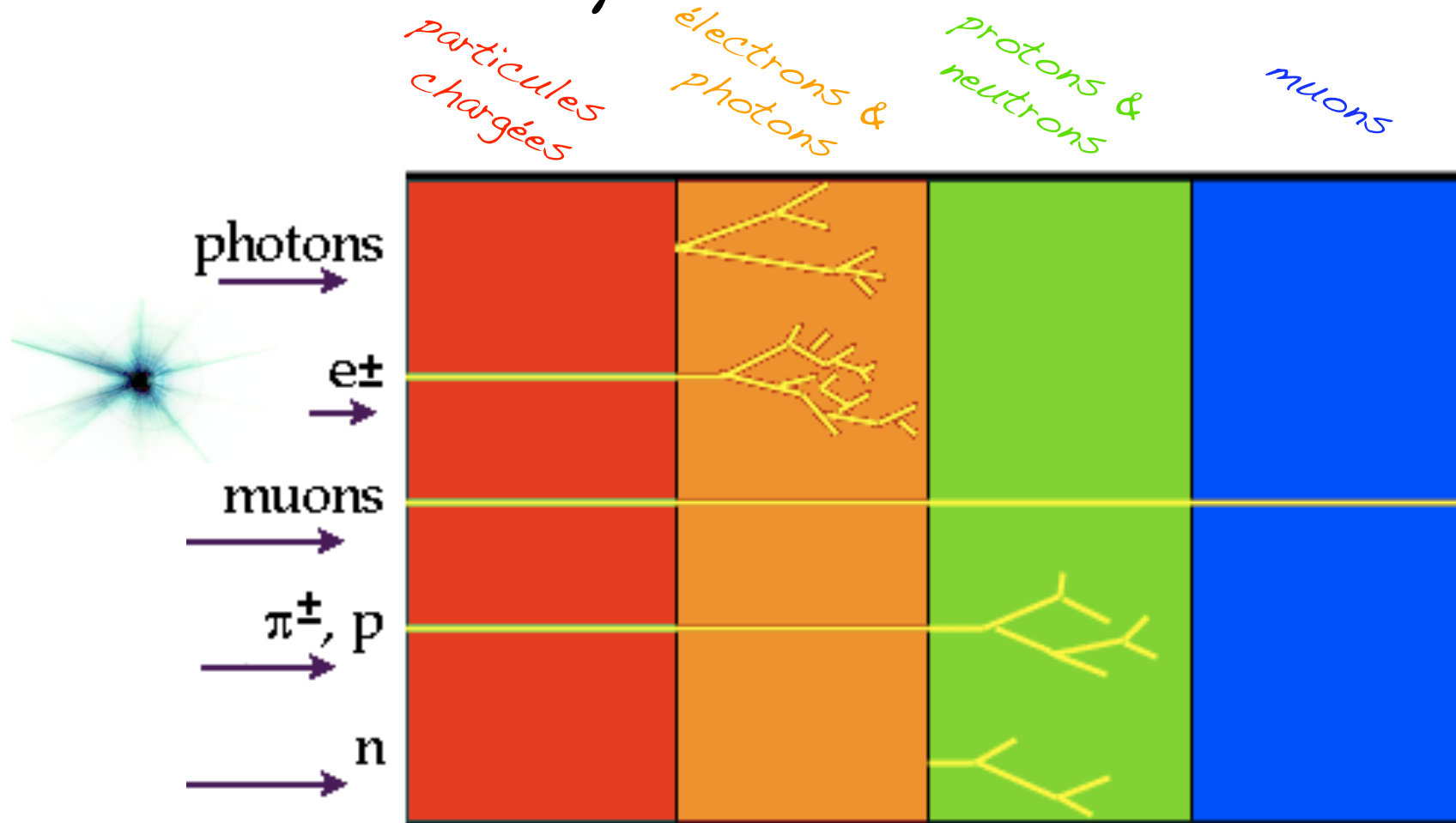


Anatomie d'un monstre

*Pour savoir où sont passés les muons,
on utilise un spectromètre à muon*

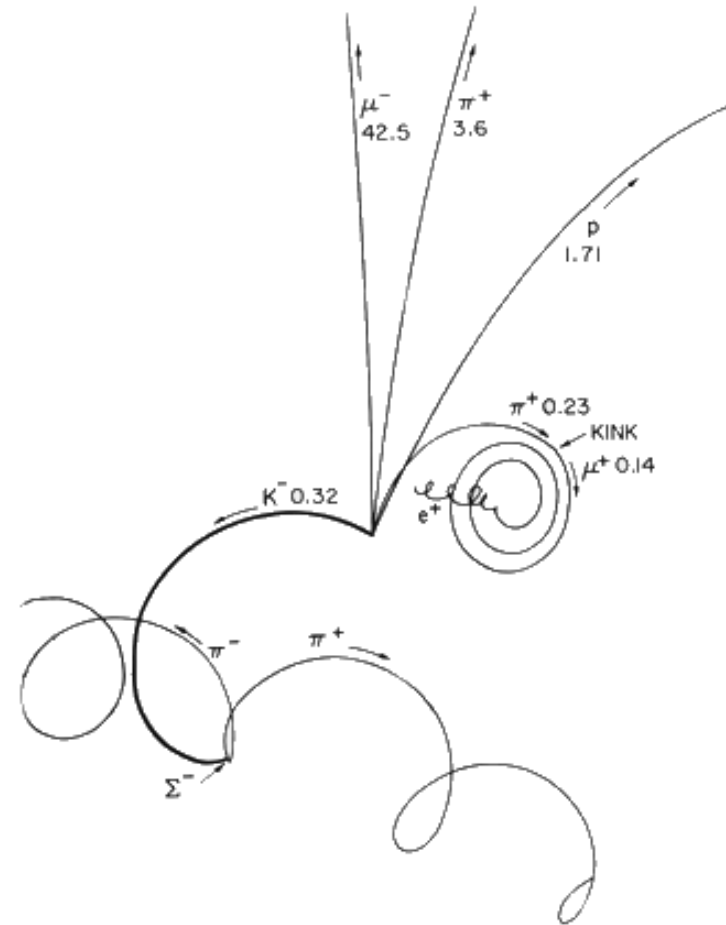


Comment on reconstruit les particules

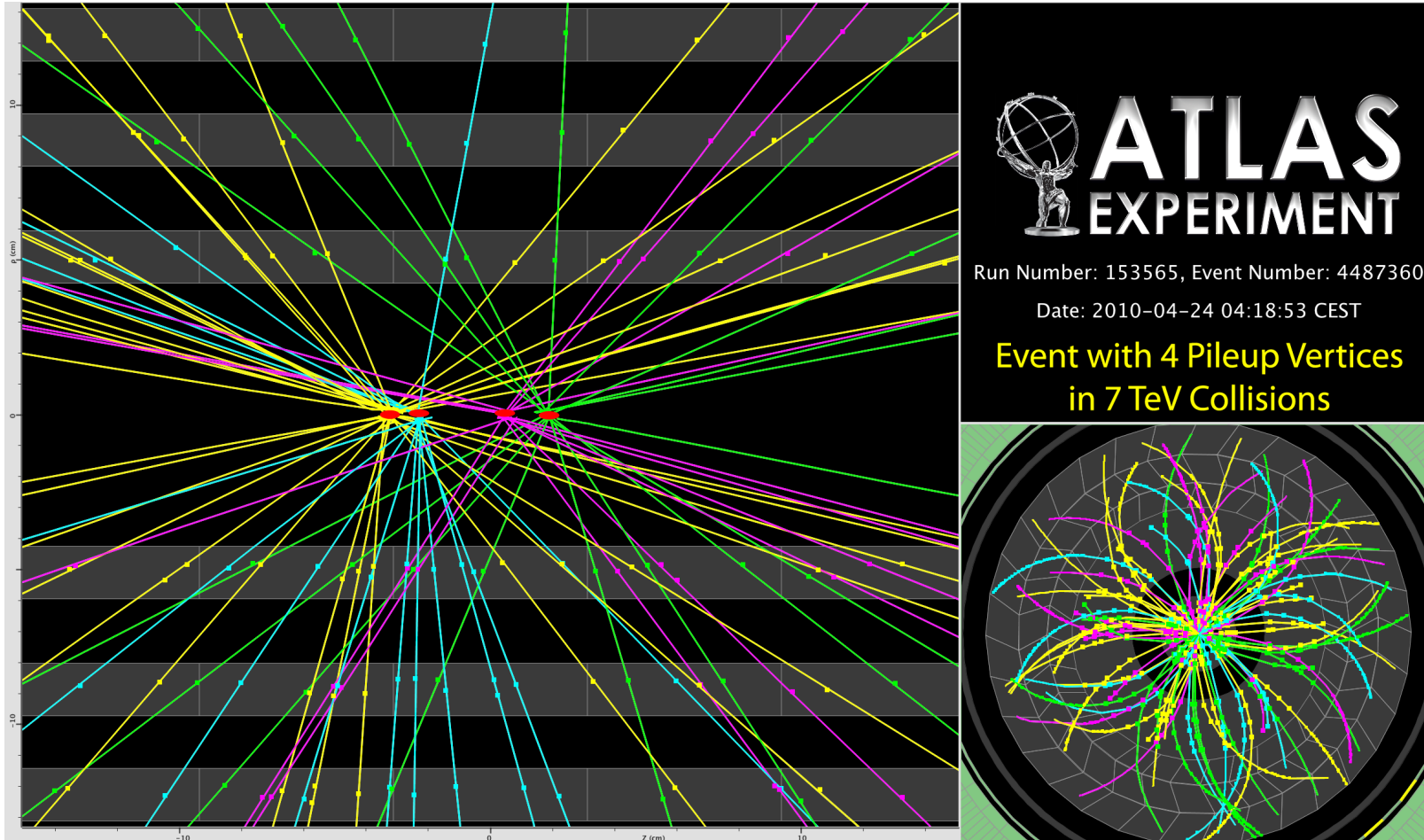


Comment on reconstruit un événement

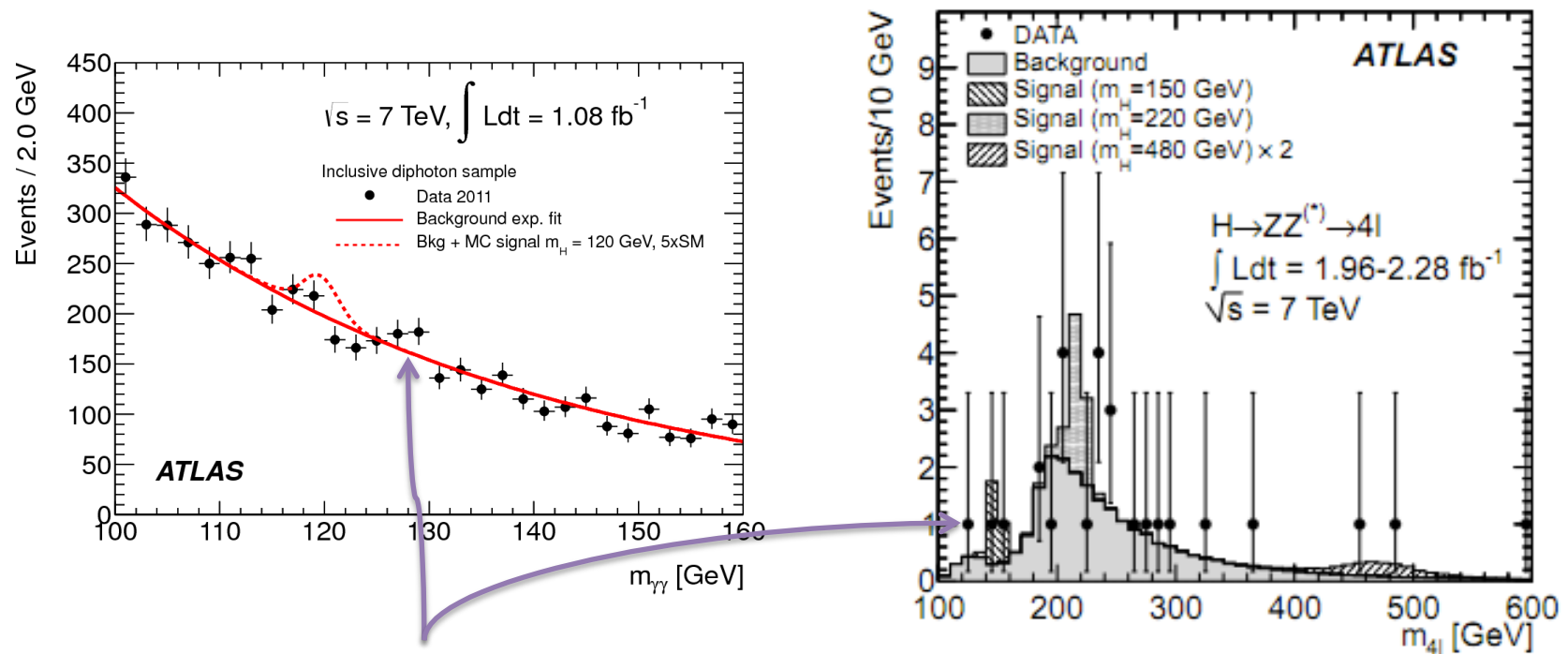
- Un événement :
toute la chaîne de la collision aux désintégrations
- Il faut comme dans un puzzle rassembler les bonnes particules ensembles ...



Comment on reconstruit un événement



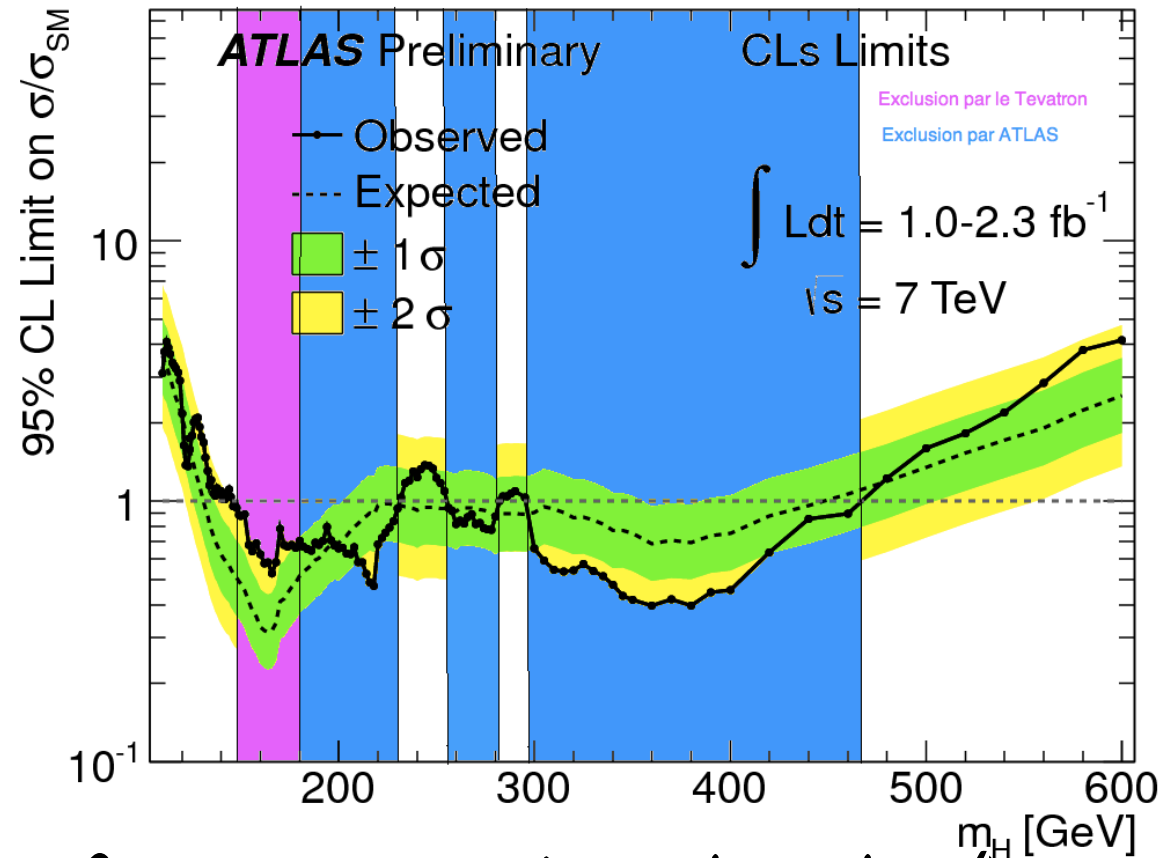
Résultat pour les deux «channels en or»



Les petits points sont les données ...

Et compare la simulation aux données ... Ici, pas de Higgs !

Resultat pour tous les canaux ...



On commence à exclure le Higgs pour beaucoup de masse ...

Et ce qui reste est le plus challenging !

Suite et fin ...

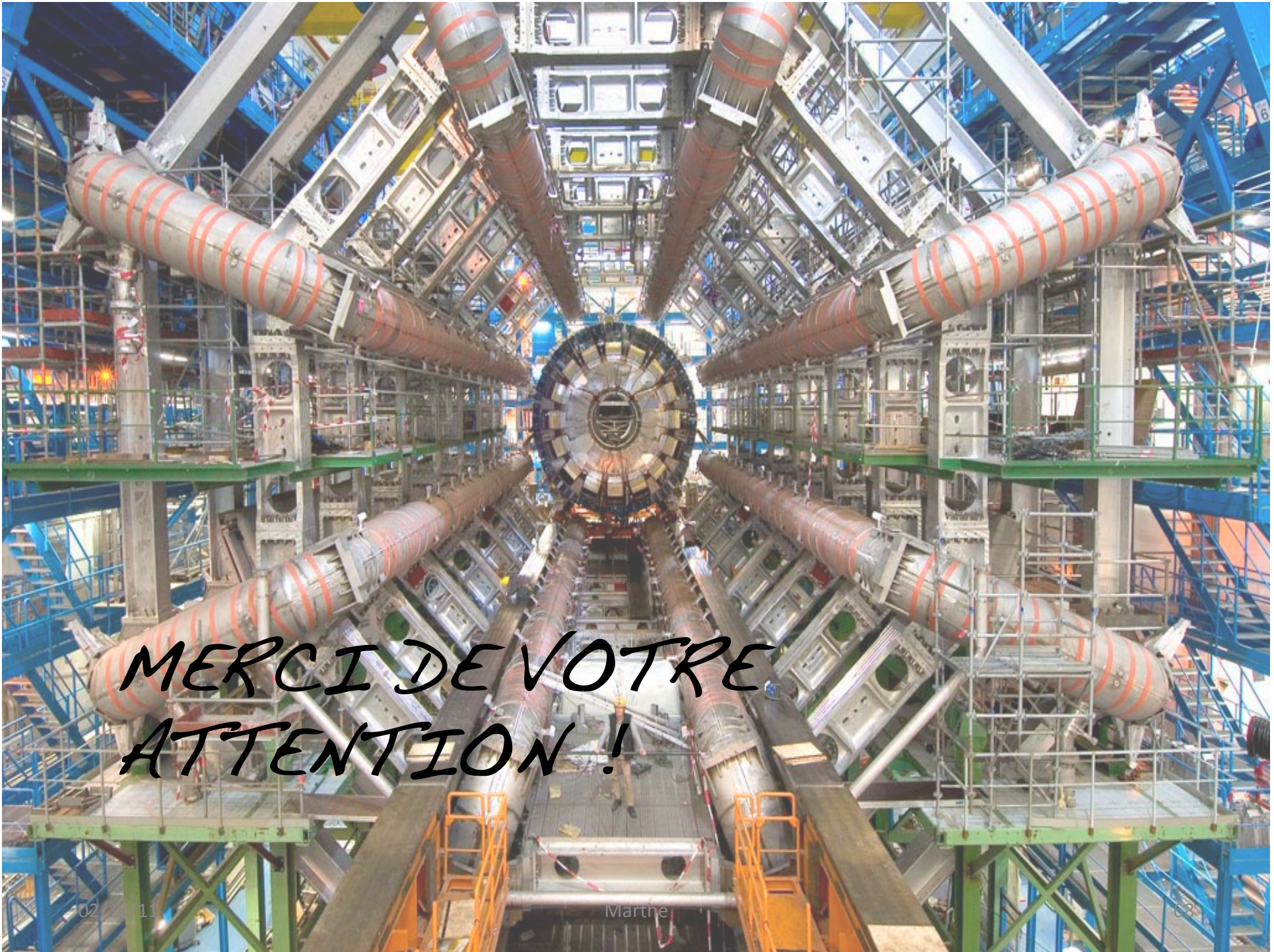
- *Le LHC va faire une pause dans 1 an pour pouvoir aller à une énergie encore plus faramineuse ! 14 TeV !*

Suite et fin ...

- Le LHC va faire une pause dans 1 an pour pouvoir aller à une énergie encore plus faramineuse ! 14 TeV !
- En attendant, nous petites fourmis, nous continuons à grapiller pour trouver ce Higgs

Suite et fin ...

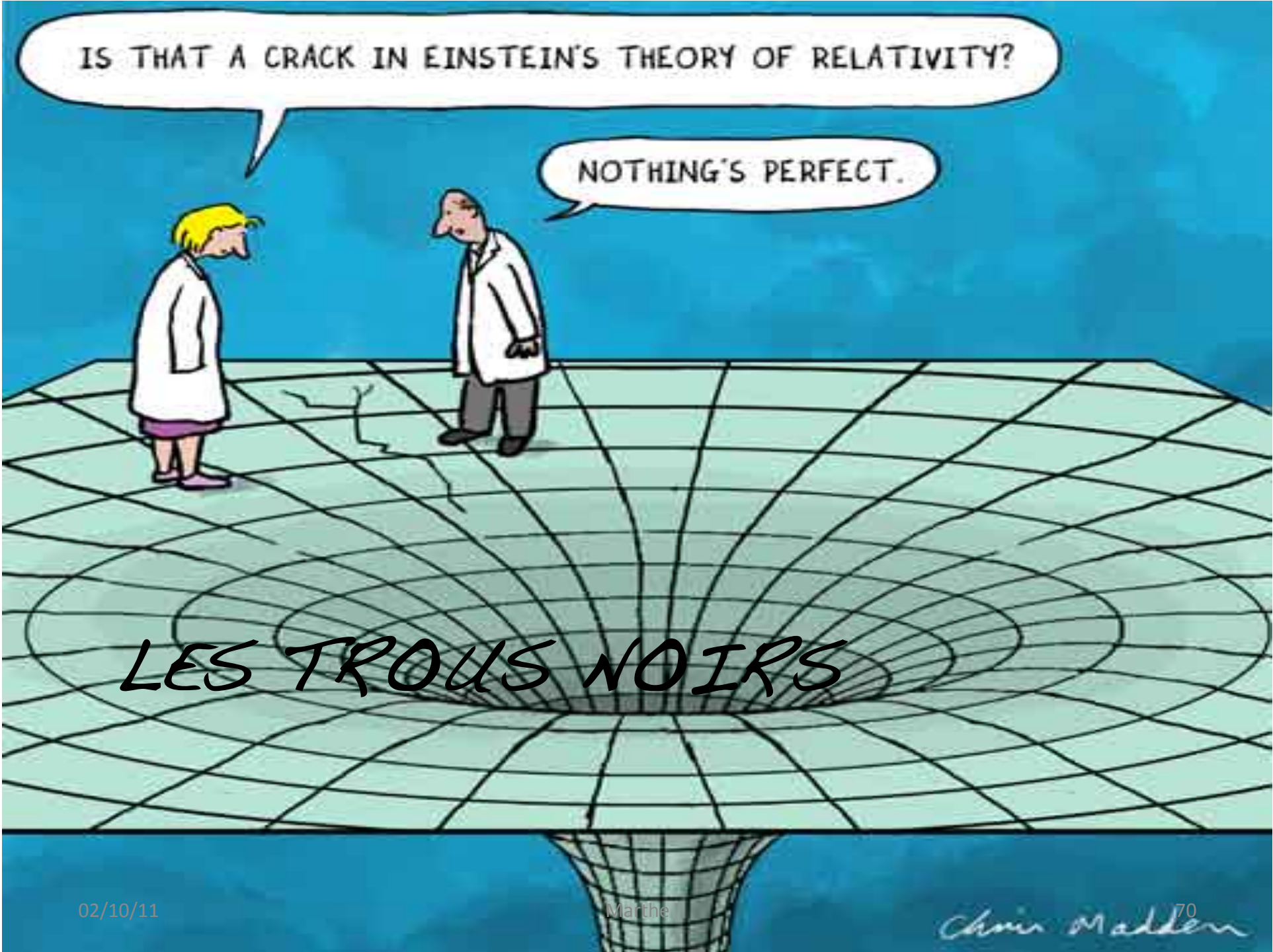
- Le LHC va faire une pause dans 1 an pour pouvoir aller à une énergie encore plus faramineuse ! 14 TeV !
- En attendant, nous petites fourmis, nous continuons à grapiller pour trouver ce Higgs
- Et si on ne le trouve pas ? Il existe d'autres théories, mais c'est une autre histoire ...



**MERCI DE VOTRE
ATTENTION !**



Backups



IS THAT A CRACK IN EINSTEIN'S THEORY OF RELATIVITY?

NOTHING'S PERFECT.

LES TROUS NOIRS

Un trou noir, c'est troublant ...

- C'est une prédiction de la Relativité d'Einstein
- On le trouve au centre des galaxies & après l'effondrement des étoiles très massives
- Ils sont noirs car ... rien n'en sort ! même pas la lumière !!!
- On les détecte par leurs interactions avec l'environnement

Des trous noirs au LHC ?

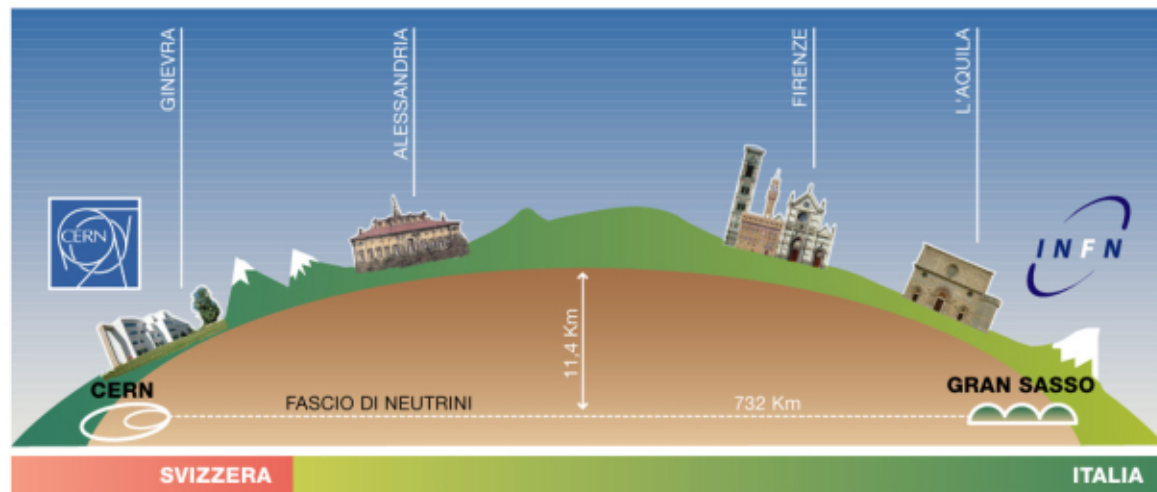
- Le LHC fait des collisions à des énergies énormes ... pour une expérience !
- Les rayons cosmiques sont bien plus énergétiques, et pourtant, ils ont jamais fait de trou noir !
- Et si jamais, un trou noir se forme, il serait tellement petit qu'il disparaîtrait avant d'avoir le temps de dire Quidditch !



LES NEUTRINOS : PLUS VITE QUE LA LUMIÈRE ???

L'expérience OPERA

- OPERA cherchait à mesurer l'oscillation des neutrinos
- Le CERN envoie un faisceau de neutrino à travers la Terre vers OPERA



La mesure

- Ils ont mesuré la vitesse des neutrinos, et ! ils arrivaient en avance !
- Il faut imaginer une course entre les neutrinos et les photons ...

*MAIS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! il faut valider
cette mesure par une autre expérience !!!!*

CERN

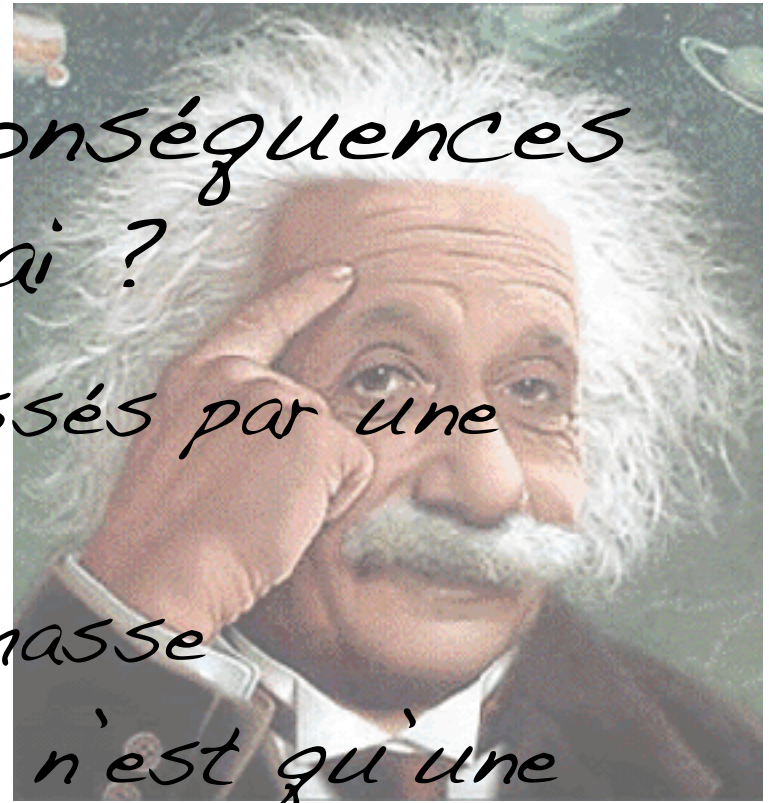


20 m

Quelles sont les conséquences
si c'est vrai ?

- Les neutrinos sont passés par une autre dimension
- Les photons ont une masse
- La Relativité Restreinte n'est qu'une approximation d'une théorie plus globale
-

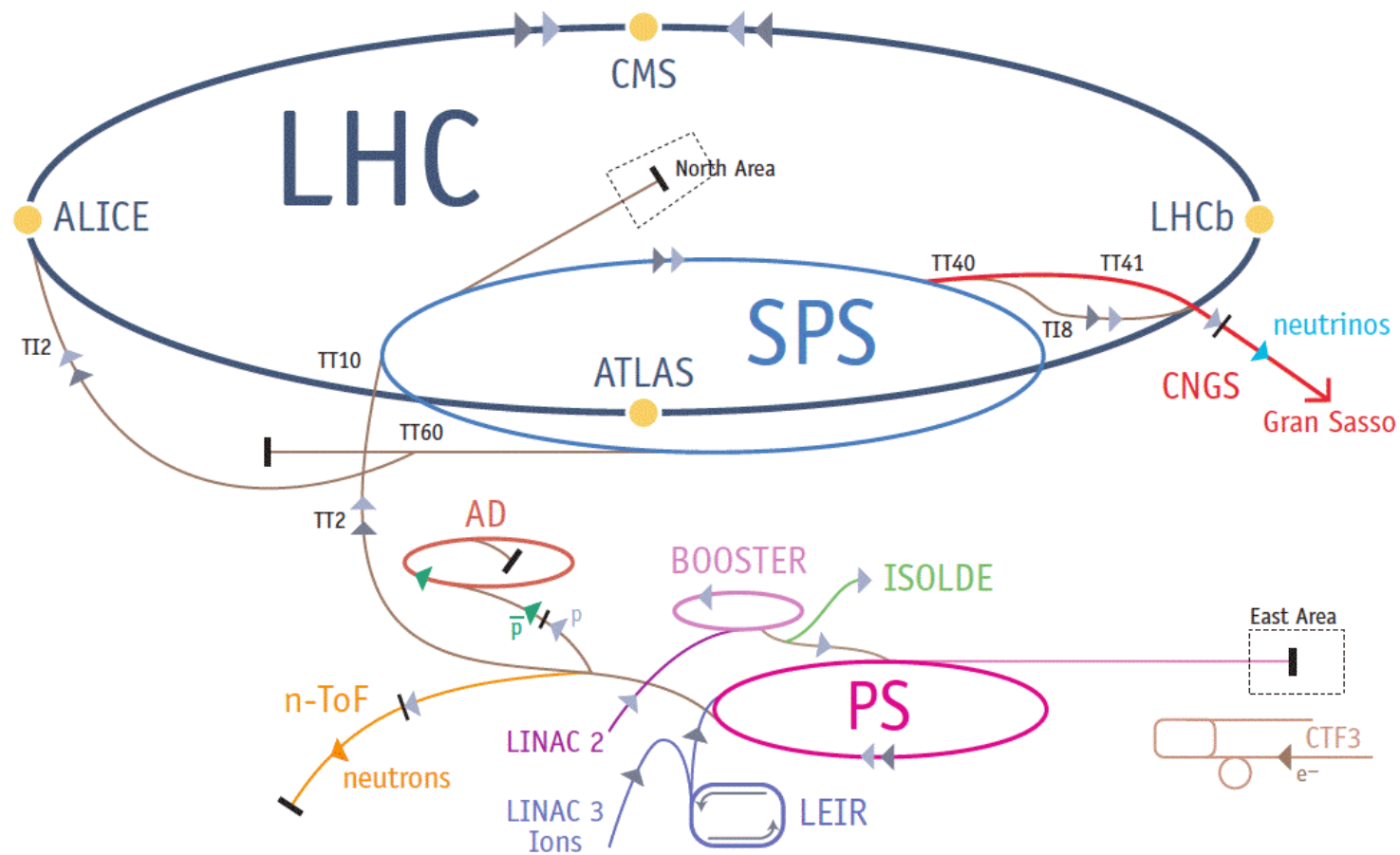
Mais dans tous les cas, cette mesure est excitante, mais à prendre avec des pincettes !

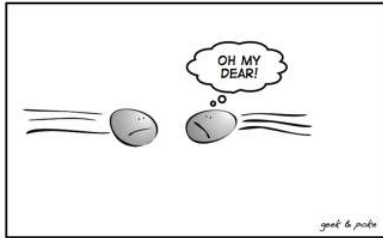




*LHC ET PLUS SI
AFFINITÉ ...*

Les différents accélérateurs du CERN

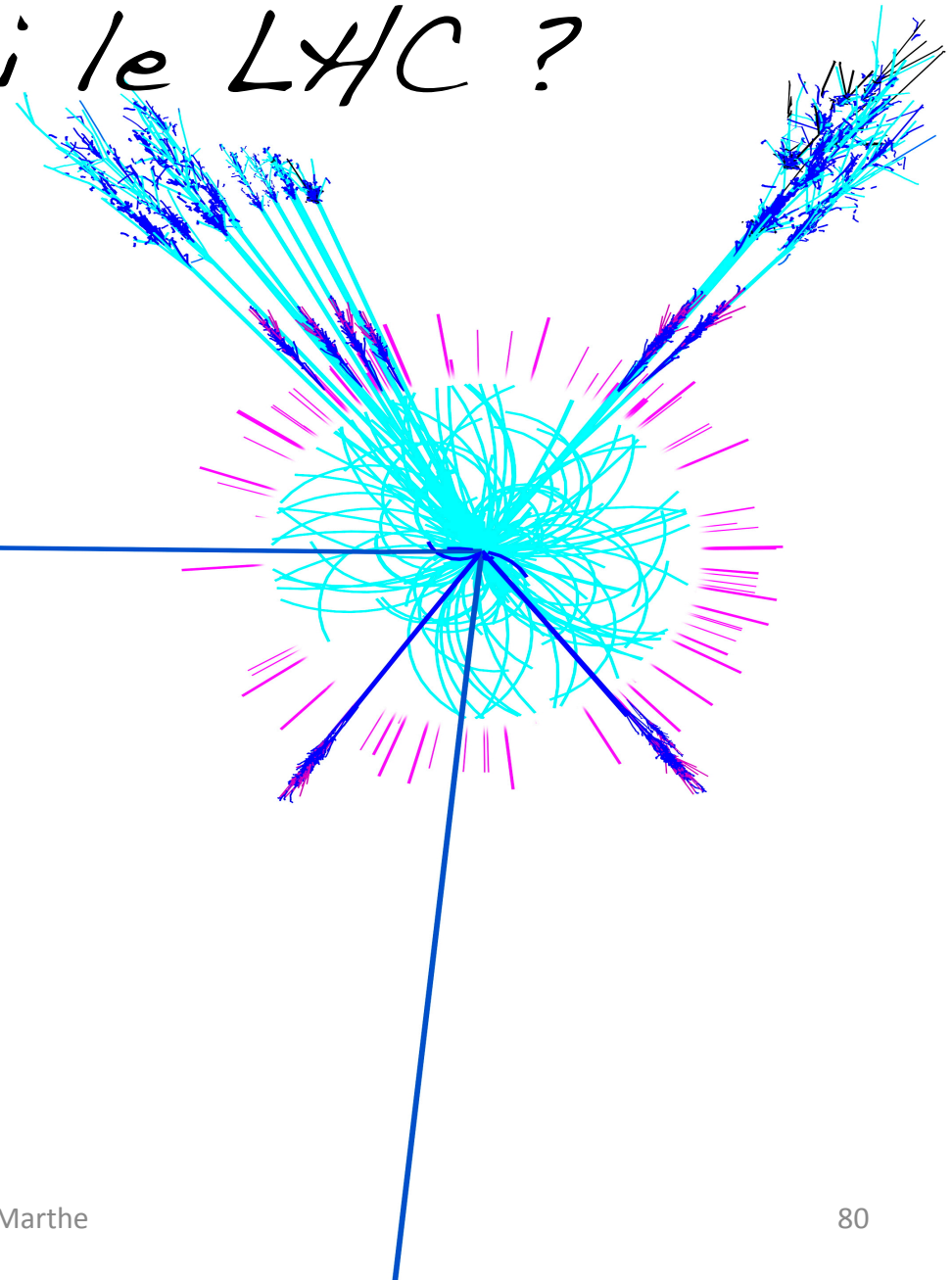




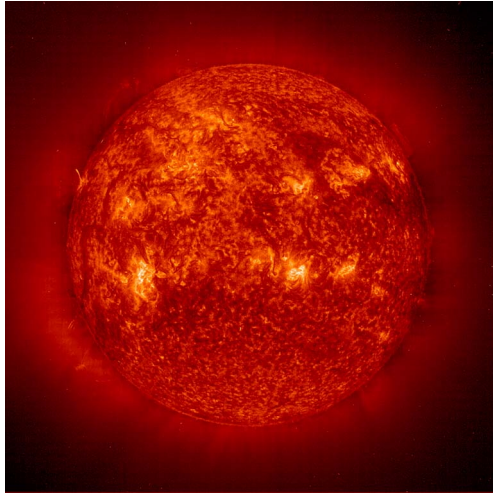
LATELY INSIDE THE LHC:
2 PROTONS 0.00000000000000000001 SEC BEFORE THE COLLISION

Pourquoi le LHC ?

- Buts physiques
 - La recherche du «Boson de Higgs» → explication de la masse
 - SUSY → insertion de la gravitation
 - La matière manquante
- Pourquoi cette machine
 - Energie \propto taille
 - Energie = Energie₁ + Energie₂
 - Hadron : machine découvreuse et économique



Une technologie ... à la pointe



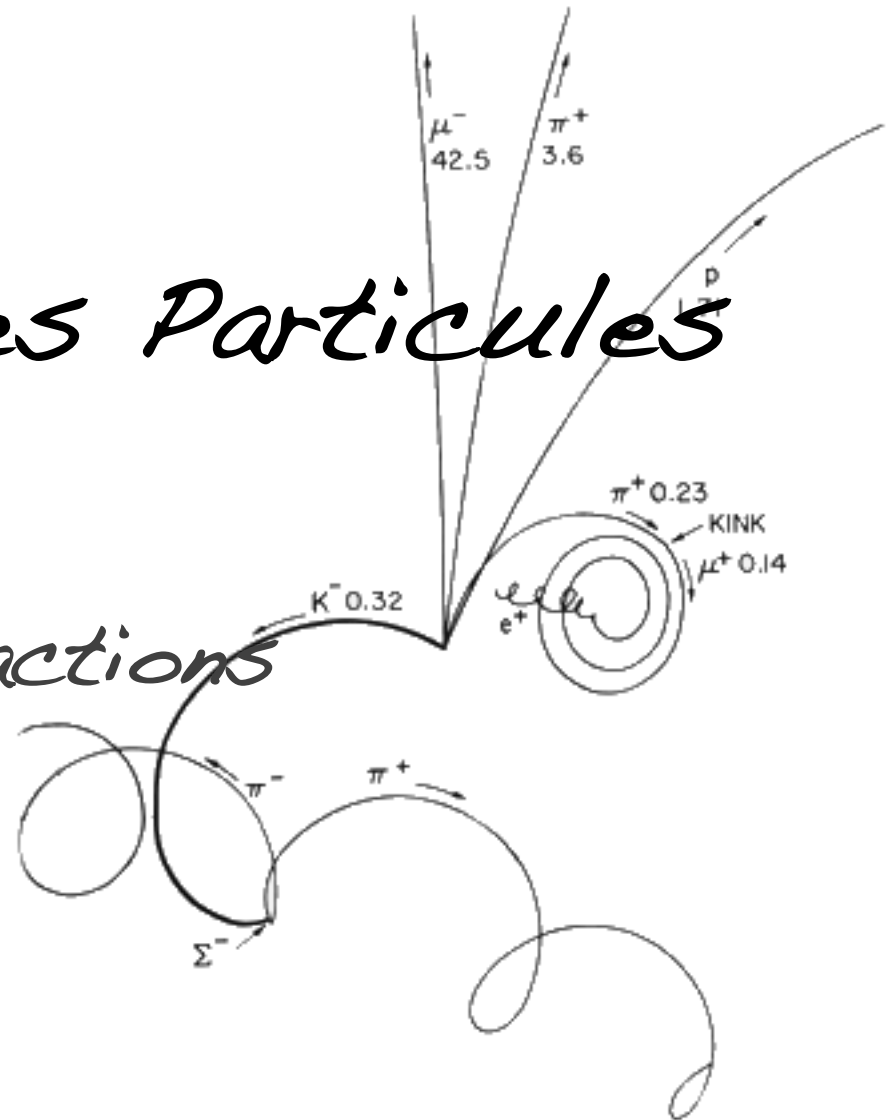
- Les 1232 dipôles à 1.9 K ($-271,3^{\circ}\text{C}$)
- Des collisions à 10^{15}°C (10 millions de milliards de degrés)

- Le plus grand appareil jamais construit
- 9593 aimants
- Mais soumis à la Lune ...



La Physique des Particules

Les interactions



L'interaction : une vision ... bien étrange

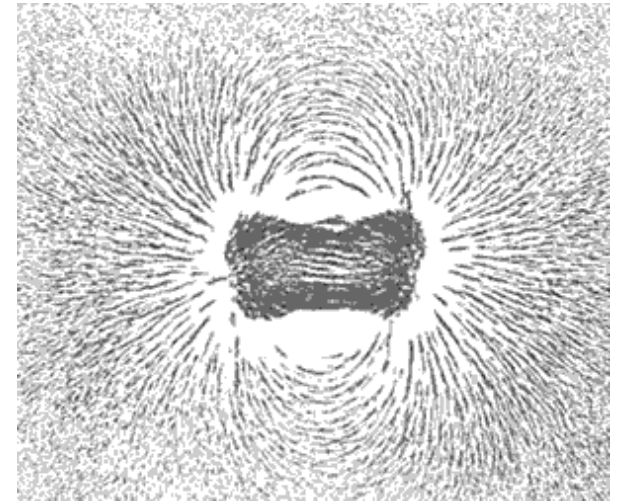
- Échange d'une particule dite « boson médiateur »
- L'interaction n'est plus instantanée
- Elle est limitée par la masse du « boson médiateur »



L'interaction électromagnétique

- Regroupe les phénomènes électriques et magnétiques

- Aimants
- Lumière
- Cohésion des atomes



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

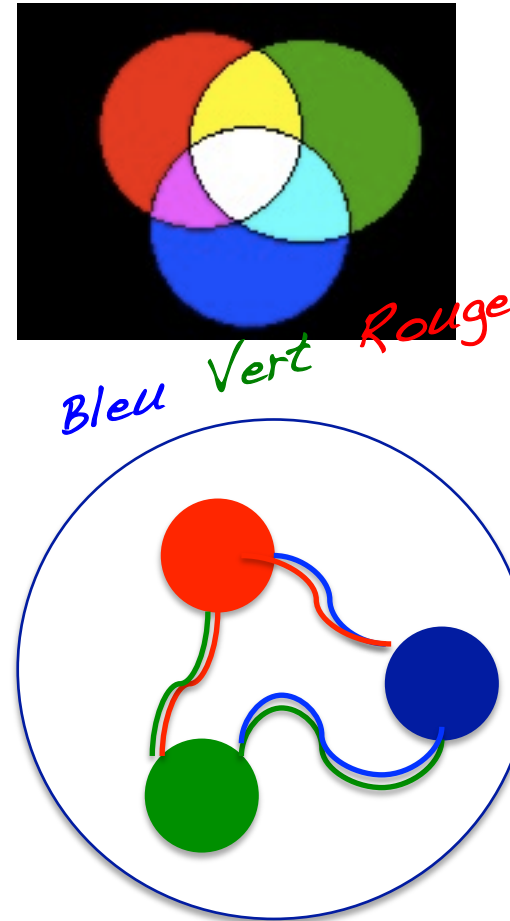
- Boson médiateur : le PHOTON



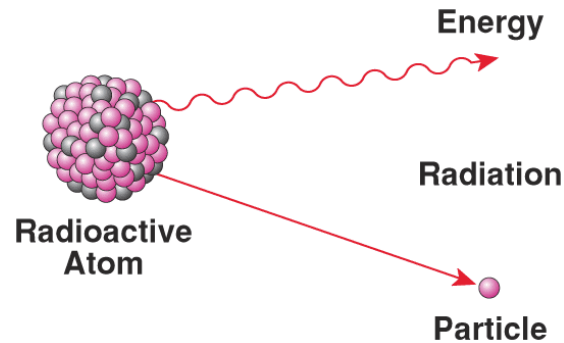
L'interaction forte



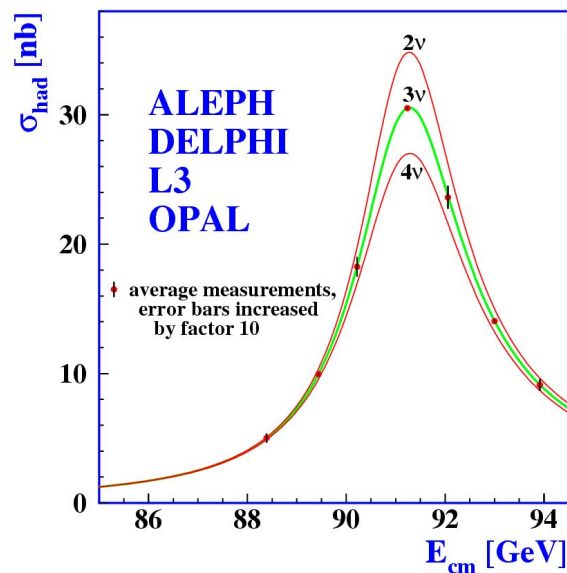
- *Bosons médiateurs : les GLUONS*
- *Collent les quarks entre eux ; confinement à l'intérieur des hadrons*
- *Responsable de la cohésion des noyaux*



L'interaction faible



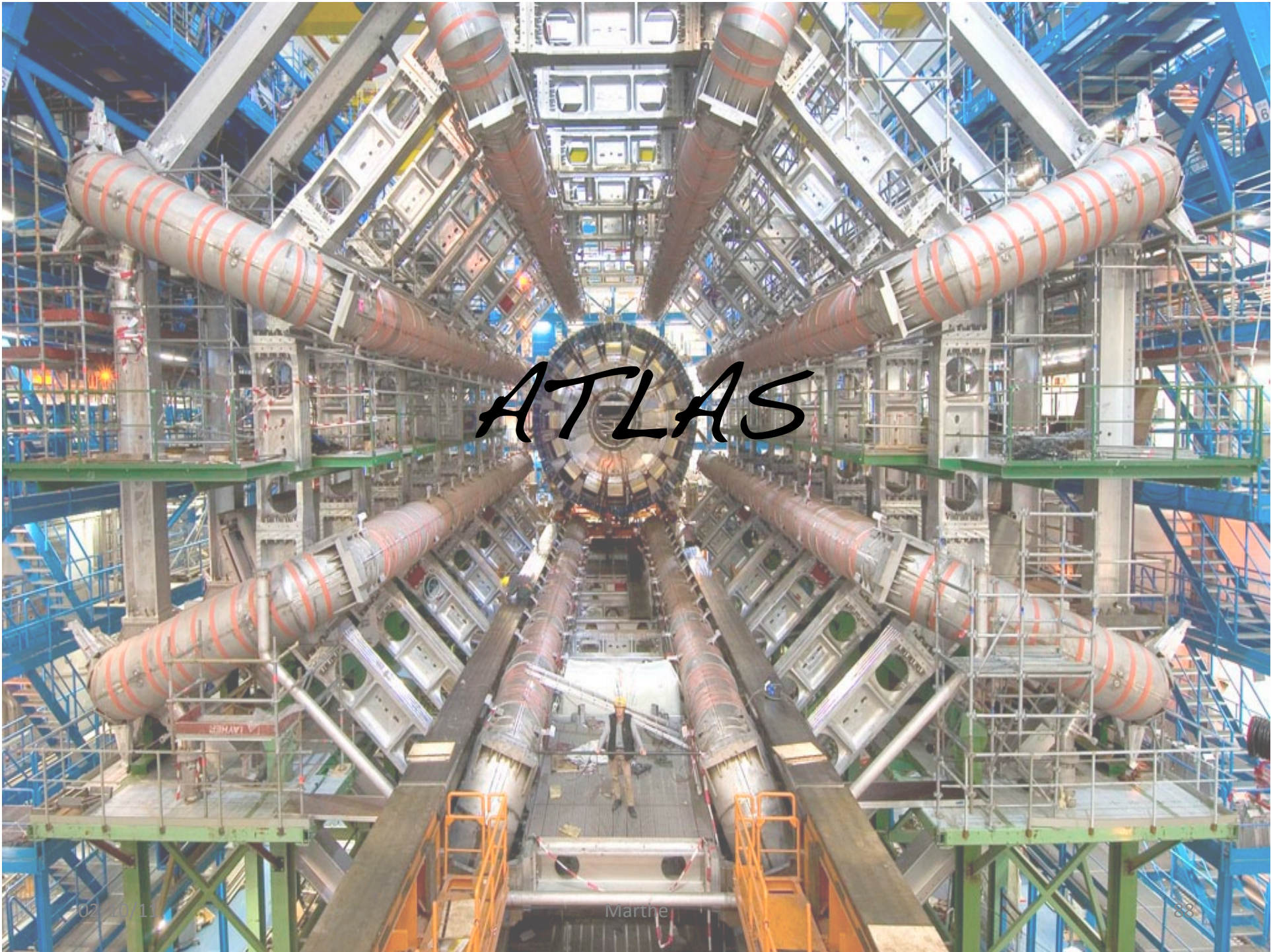
- Les 3 bosons médiateurs : W^+ , W^- et Z
- Responsable de la radioactivité β
- Découverte expérimentale de ces 3 bosons, dans les années 80



Et la gravitation ?

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





ATLAS

05/01/11

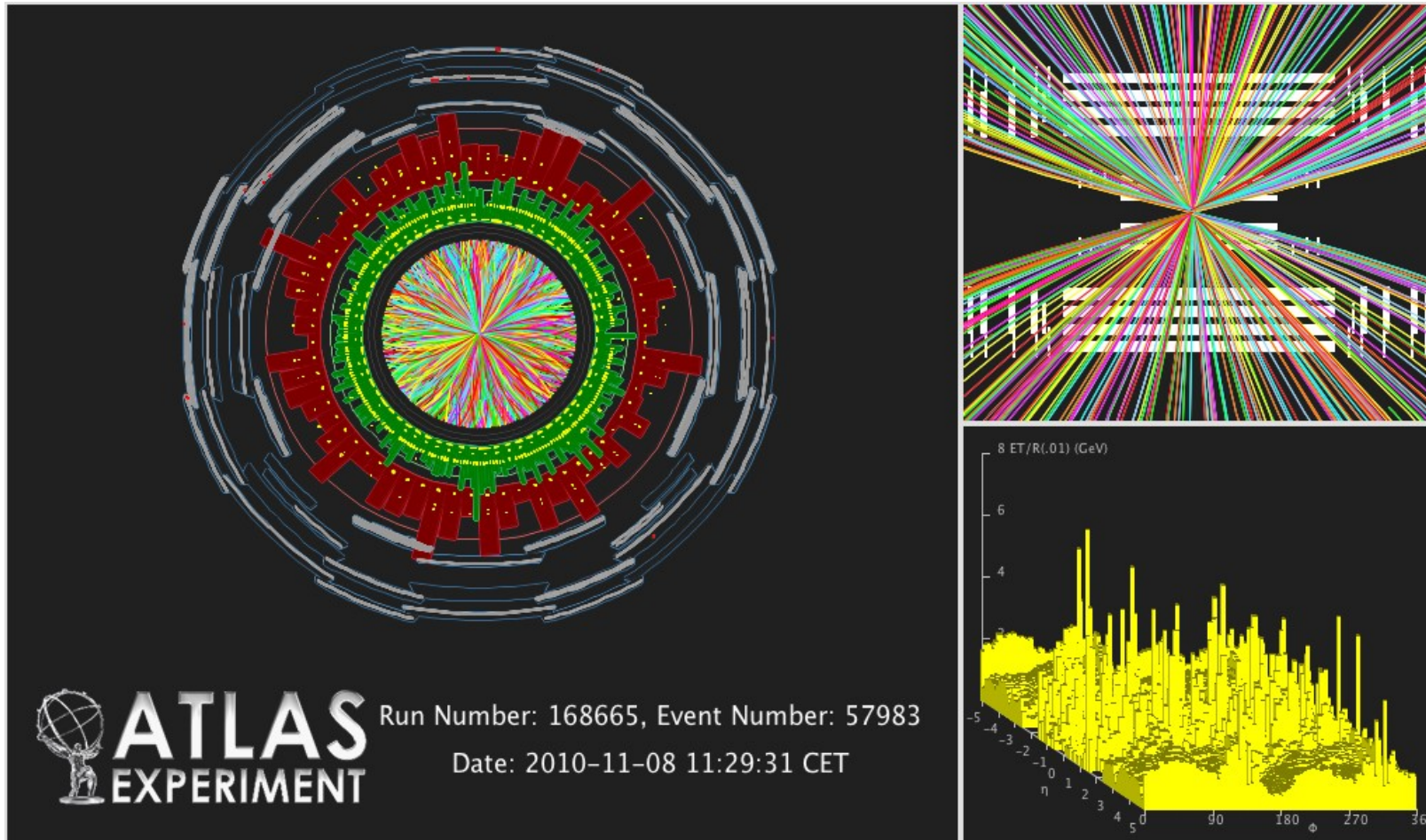
Marthe



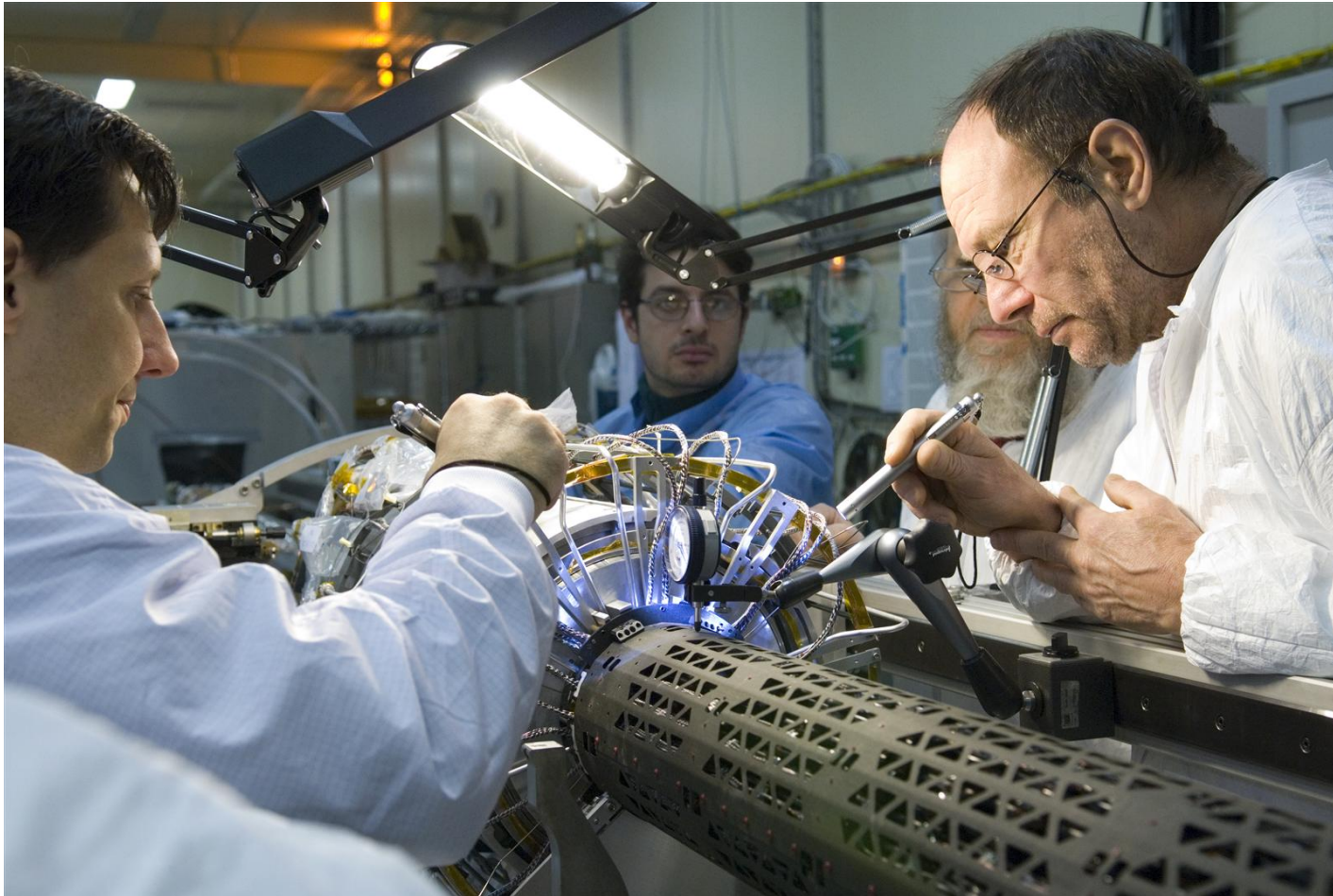
*L'excitation quand tout
fonctionne ...*



Des collisions d'ions lourds



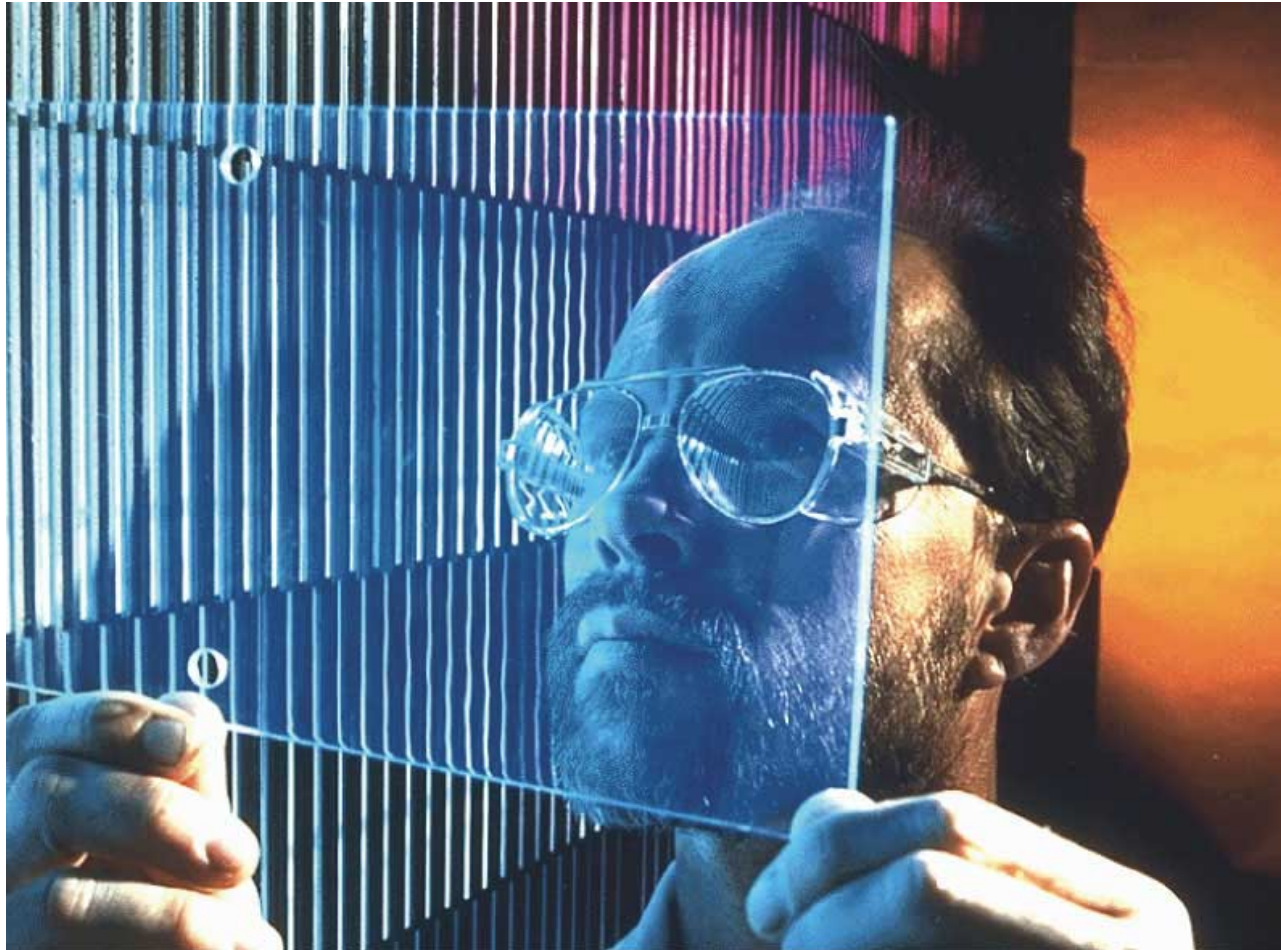
Le détecteur interne



Le calorimètre électromagnétique



Le calorimètre hadronique



Le spectromètre à muon

