

Un boson nommé Higgs



Fête de la science
12 Octobre 2013
paul.sorba@lapth.cnrs.fr

PLAN

- Contexte : les particules élémentaires
- De quoi Higgs est-il le nom ?
- Les recherches du boson de Higgs

Physique des Particules

« La Physique des particules n'est que l'appellation moderne d'une activité entamée il y a plusieurs siècles pour comprendre les lois fondamentales de la nature »

E.Witten

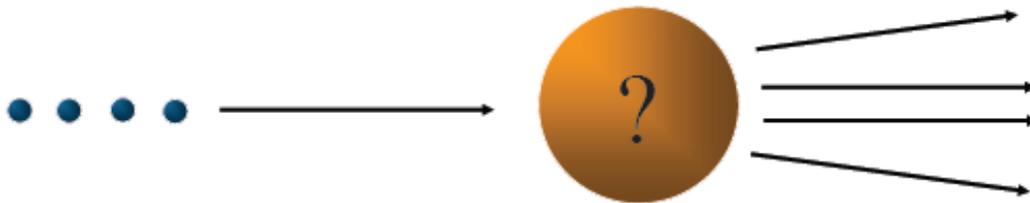
De quoi est formée la matière ?

1ere idée de base: de corpuscules ...

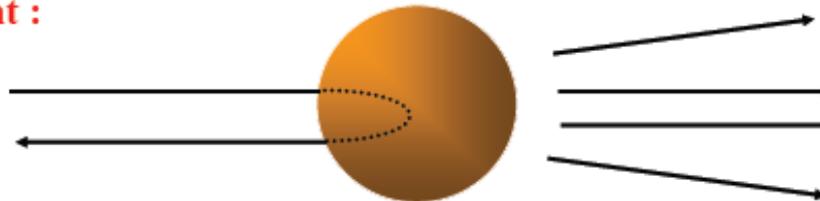
4 ^{ème} siècle av. JC	<i>Atome = qu'on ne peut diviser, couper</i>	<i>Démocrite</i>
19 ^{ème} siècle, début 20 ^{ème}	<i>Electricité : Lois de l'électromagnétisme</i>	<i>Faraday (1831) Maxwell (1862)</i>
	<i>Classification périodique des éléments</i>	<i>Mendeleïev (1871)</i>
	<i>Electron</i>	<i>Thomson (1904)</i>
	<i>L'atome est composé !</i>	<i>Rutherford (1912) Bohr (1913)</i>

L'expérience de Rutherford (1912)

Sonder l'atome

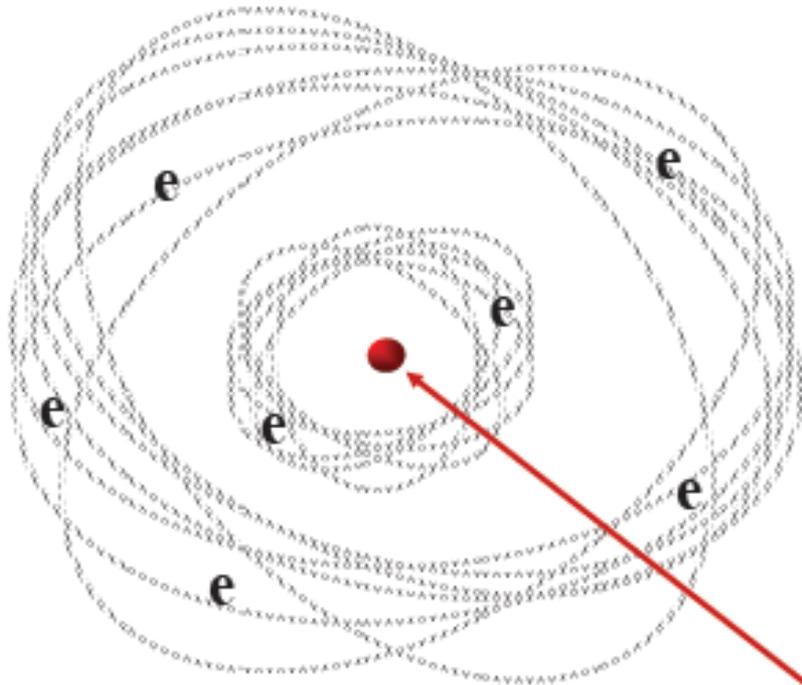


Résultat :



L'atome est composé

Bohr (1913)

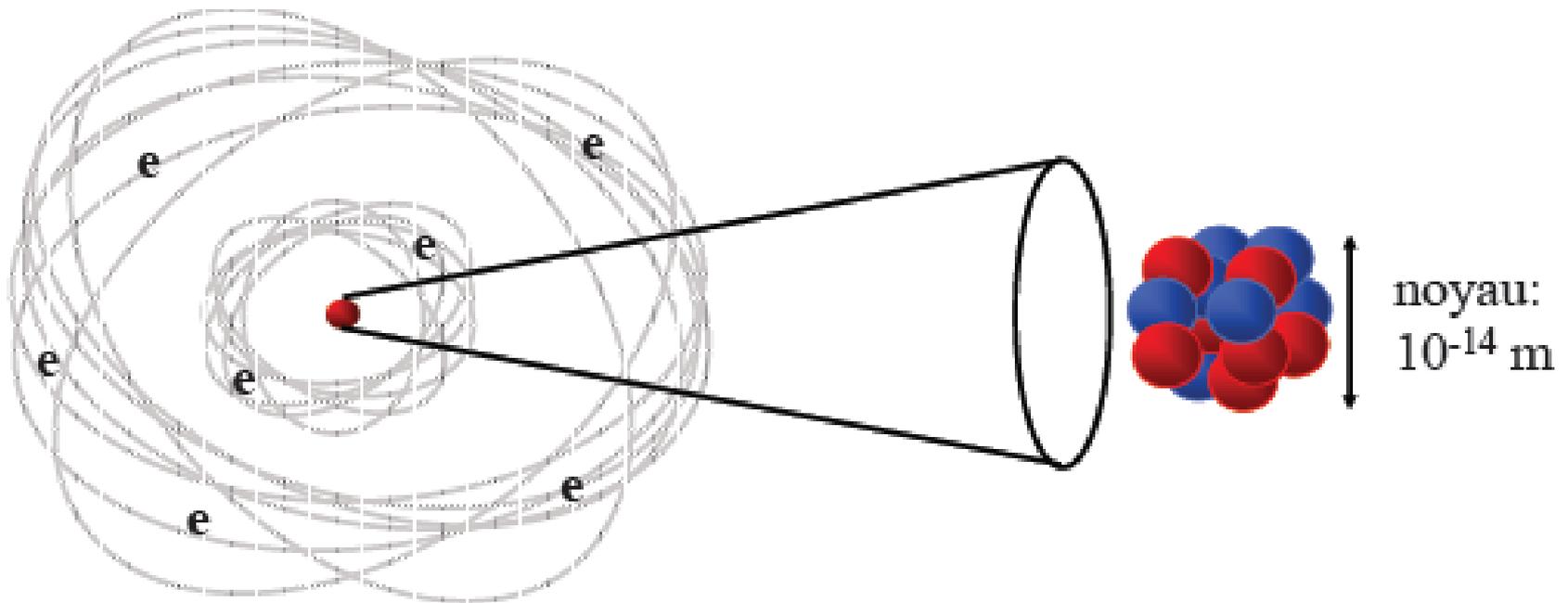


- Un noyau central (+)
- Des électrons (-1) répartis en couches
- Le tableau de Mendeleiev est expliqué (numéro atomique, propriétés chimiques, ...)

← atome : 10^{-10} m →

noyau : 10^{-14} m

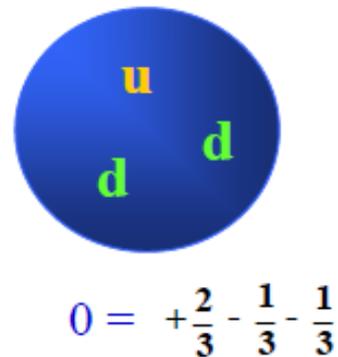
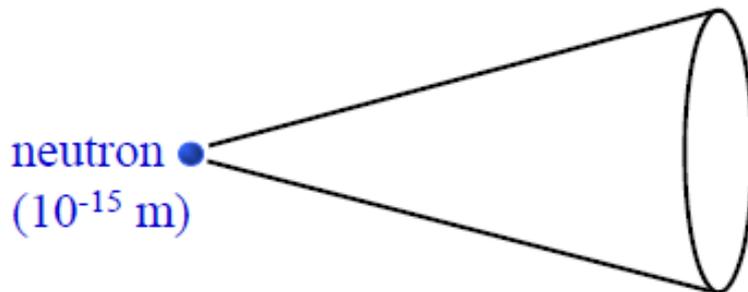
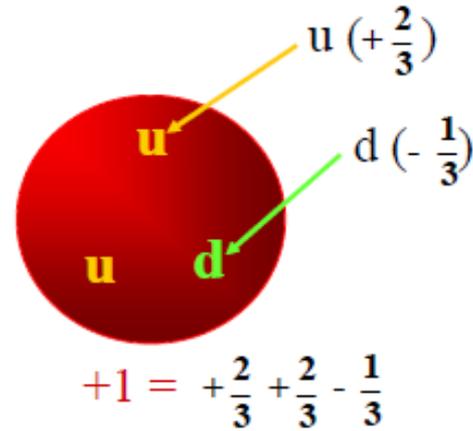
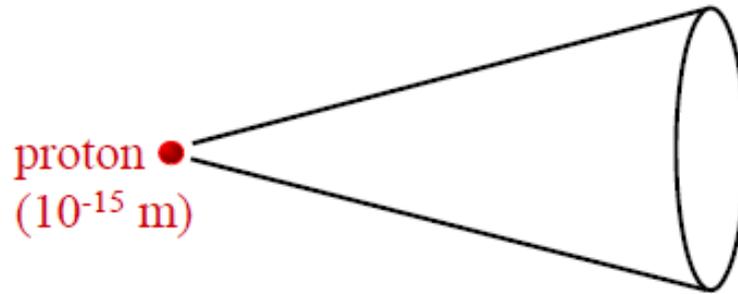
Le noyau aussi est composé



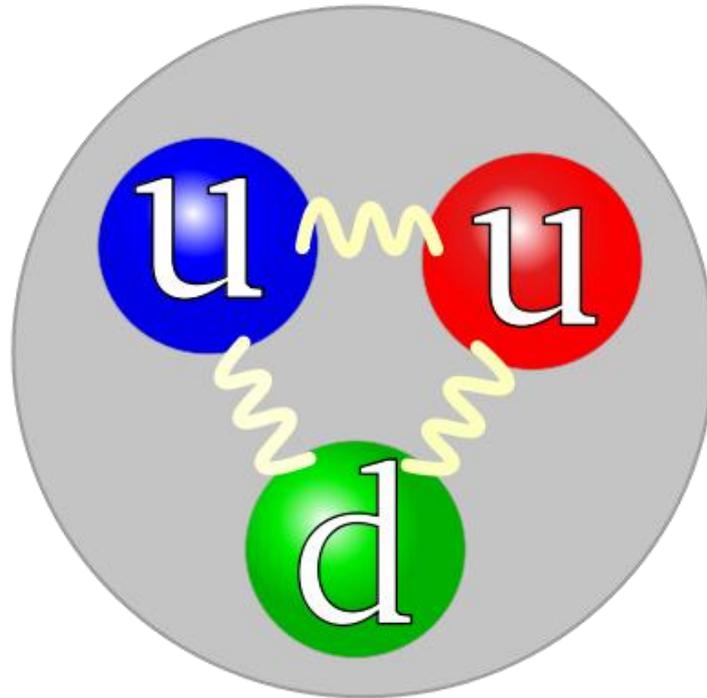
- Deux particules ingrédients : **le proton (+1)** et **le neutron (0)**
- Bonus : masses atomiques expliquées

Proton et neutron sont formés de Quarks

Les quarks

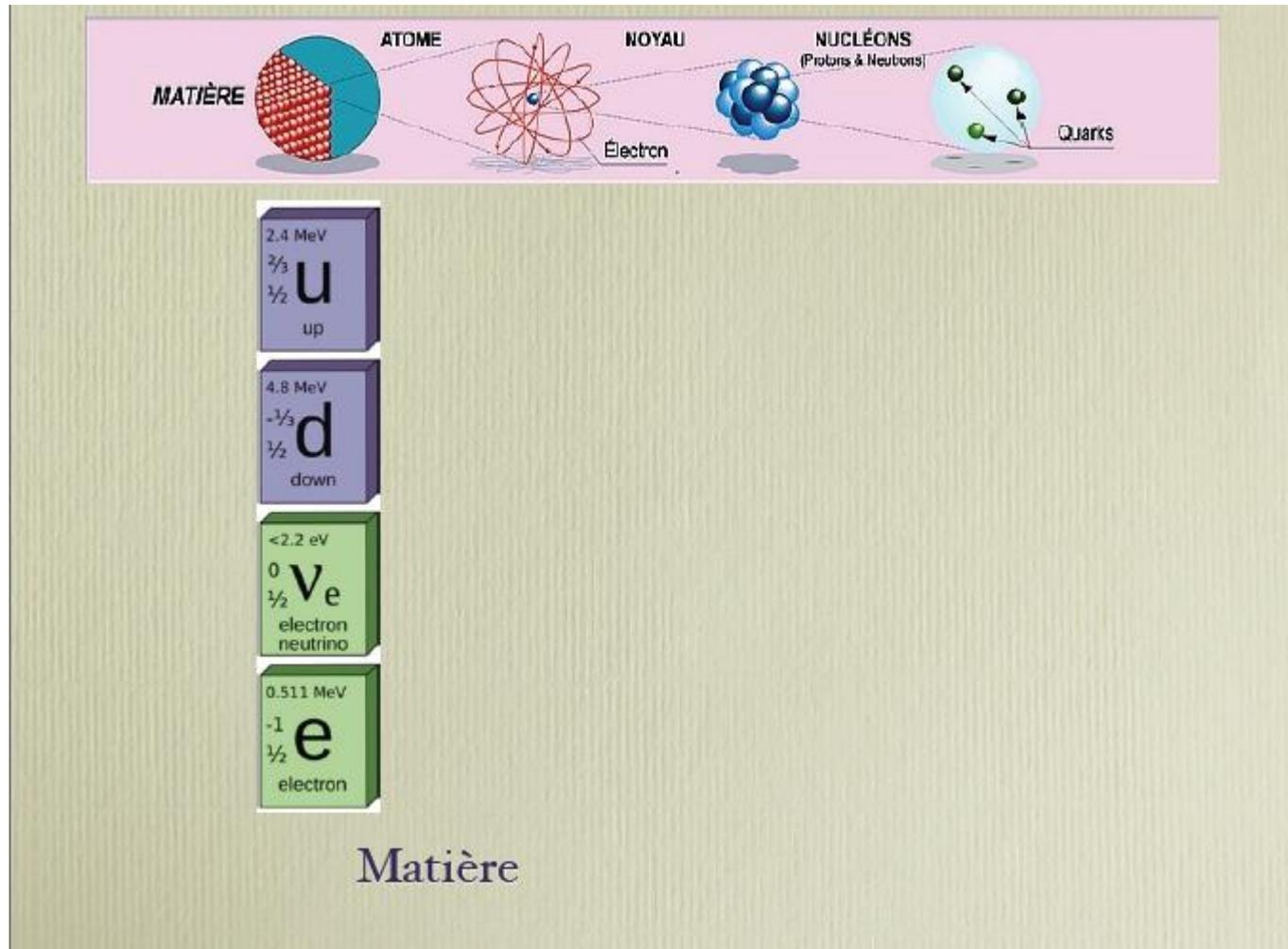


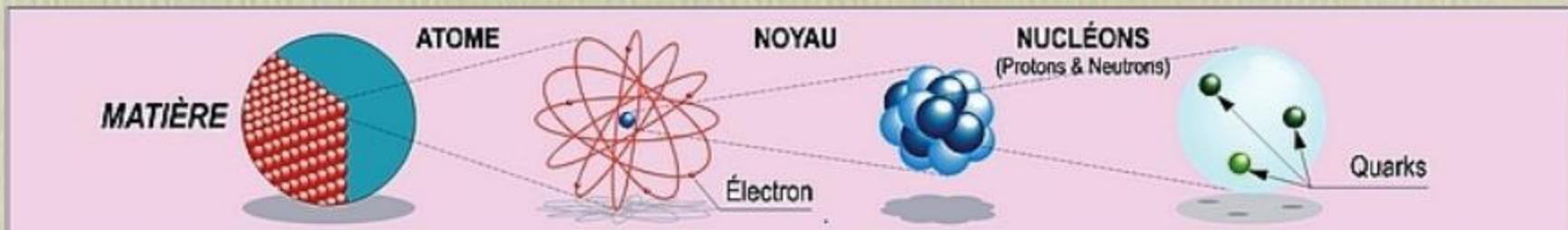
Un proton



Éléments de base:

« quarks » et « leptons » (e^- , ν_e : neutrino)

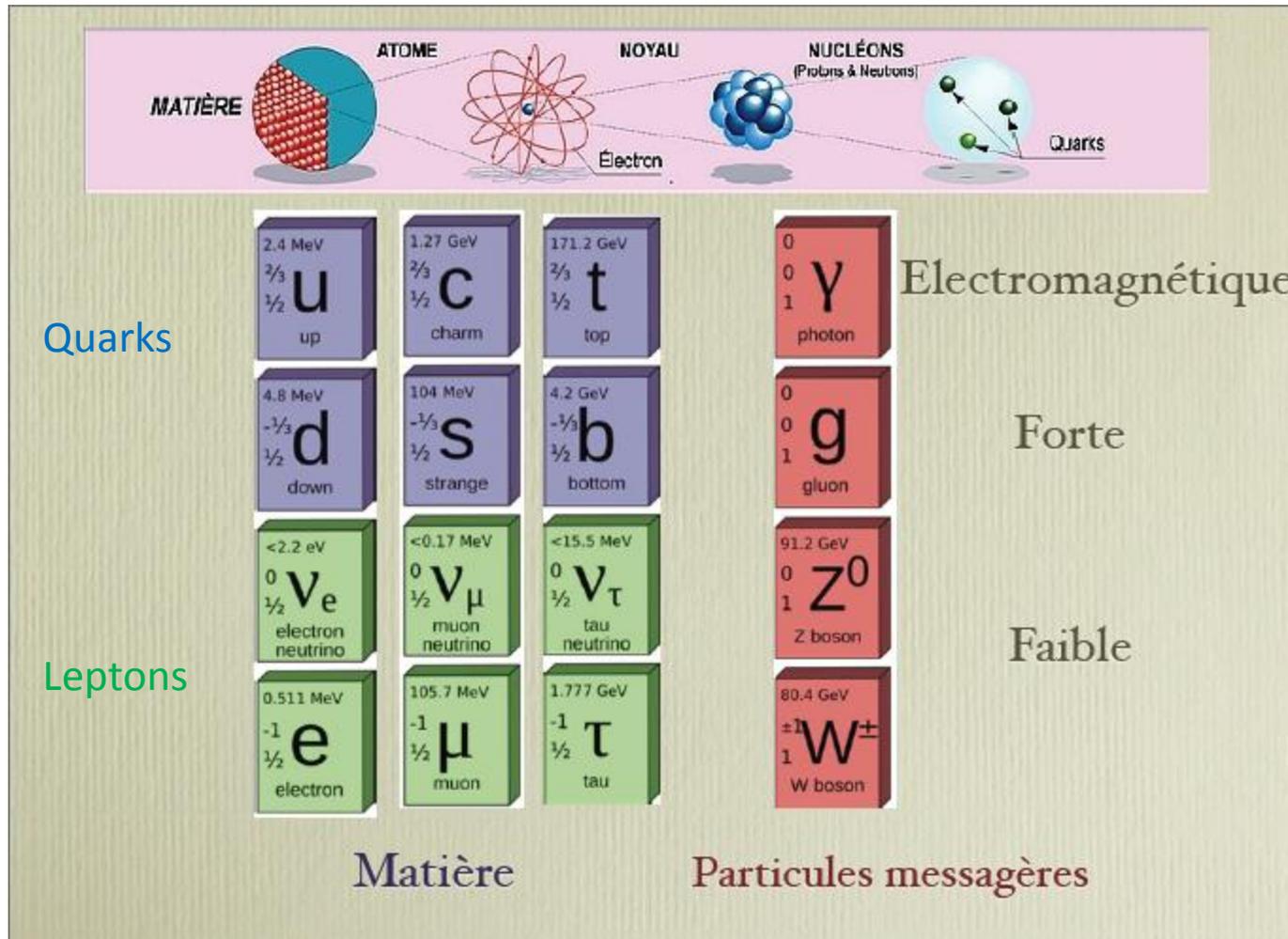




2.4 MeV $\frac{2}{3}$ u $\frac{1}{2}$ up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ c $\frac{1}{2}$ charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ t $\frac{1}{2}$ top
4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ d $\frac{1}{2}$ down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ s $\frac{1}{2}$ strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ b $\frac{1}{2}$ bottom
<2.2 eV 0 ν_e $\frac{1}{2}$ electron neutrino	<0.17 MeV 0 ν_μ $\frac{1}{2}$ muon neutrino	<15.5 MeV 0 ν_τ $\frac{1}{2}$ tau neutrino
0.511 MeV -1 e $\frac{1}{2}$ electron	105.7 MeV -1 μ $\frac{1}{2}$ muon	1.777 GeV -1 τ $\frac{1}{2}$ tau

Matière

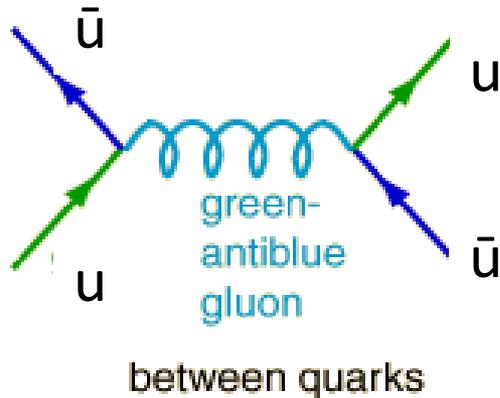
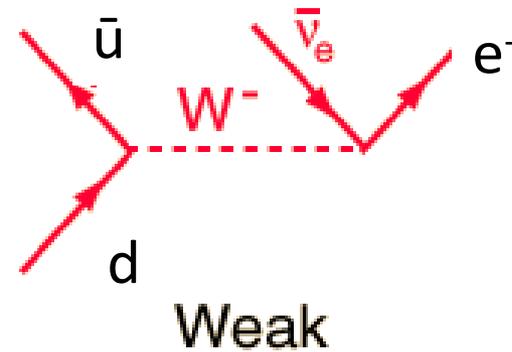
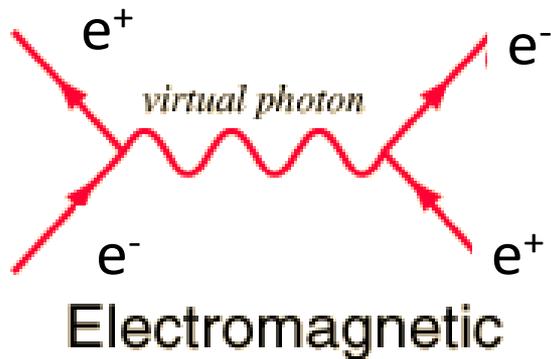
Et enfin les particules « messagères » des interactions



Les forces fondamentales et leurs « médiateurs »

- Quatre types d'interactions fondamentales:
 - électromagnétique: *photon*
 - faible: *W⁺, W⁻, Z⁰*
(réactions nucléaires)
 - forte: *gluons*
(maintient les quarks dans le proton)
 - gravitationnelle

Les médiateurs des interactions



Strong Interaction

Un peu de théorie...

- Ces « objets » sont *petits*...

un million de milliards de milliards d'e- pourraient tenir dans un seul atome (10^{24})

...et soumis à des lois particulières, mariage de:

{ *la Mécanique Quantique*
la Relativité restreinte Einstein(1905)

Parmi d'autres, une conséquence:

- *certaines particules (ex. photon) peuvent occuper le même état quantique: **Bosons***
- *d'autres (ex. électron) se repoussent : **Fermions***

2^{ème} idée de base:

- L'électromagnétisme relie électricité et magnétisme et lumière (photon) ...
- La force faible *aussi* sera « véhiculée » par des médiateurs (W^+ , W^- , Z^0)
- forces faible et électromag. dans un même modèle, appelé le *Modèle Standard des interactions e.m. et faible*

→ Théorie *unifiée* des forces électromagnétiques et faible

Q: *Vers l'unification des 4 forces fondamentales?*

L'outil de base

« Le livre de la nature est écrit en langage mathématique »
Galilée (1564-1642)

En particulier, la notion de « **Symétrie** » s'est imposée en physique des particules, et représente en même temps un secteur important des mathématiques.

La nature est pleine de symétries ...et de brisures de symétrie

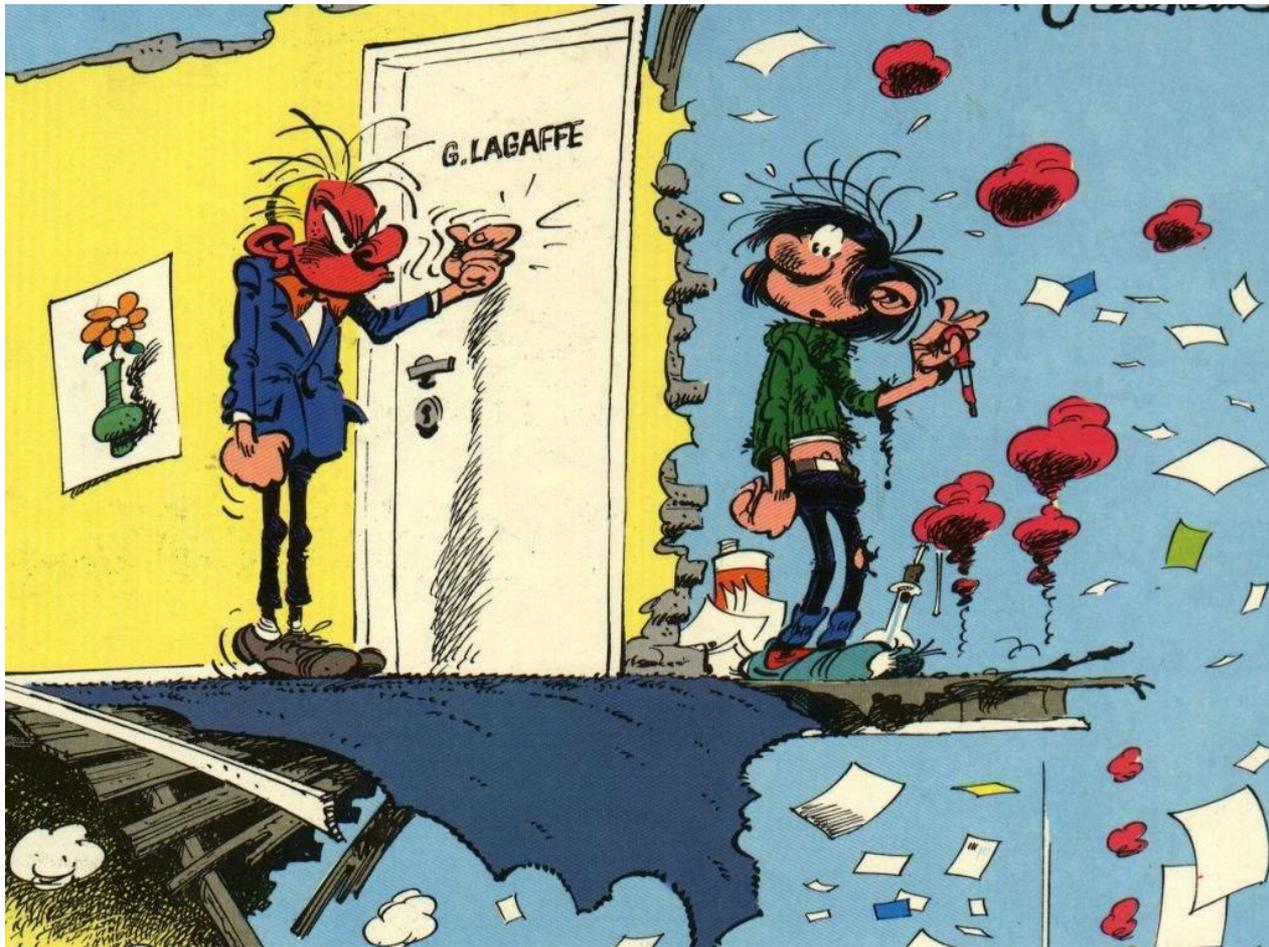
A noter, l'année 2013 déclarée « Année des Mathématiques de la Planète Terre » par l'Unesco.

Les Physiciens des particules: il y a les théoriciens...

NE PAS DÉRANGER, JE BOSSE ...



et les expérimentateurs...



Et le boson de Higgs dans tout cela?

Masse

- *les particules de matière et les médiateurs de l'interaction faible ont une masse!*
- *dans le **Modèle Standard**, élaboré dans les années 1968-70, **difficulté** d'introduire une masse pour ces particules*
- *Le « **mécanisme de Brout-Englert-Higgs** » (1964) : l'interaction avec le champ dit de Higgs fournira une masse à ces particules.*

Les particules de matière sont ralenties par le Champ de Higgs analogue à un milieu visqueux, et acquièrent une masse



← des électrons très légers



un quark léger →



← un quark très lourd

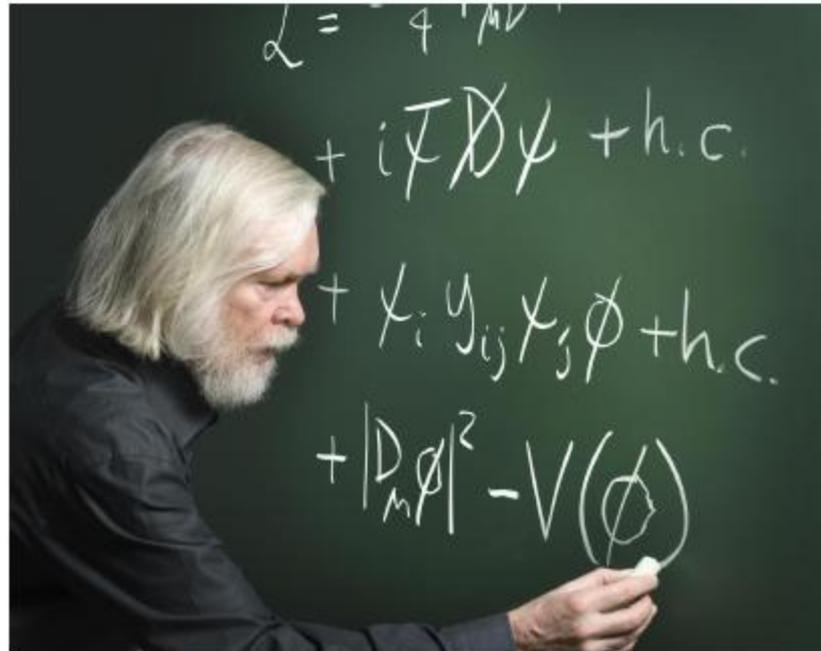
U
n
e

a
n
a
l
o
g
i
e



Dessine-moi un boson de Higgs

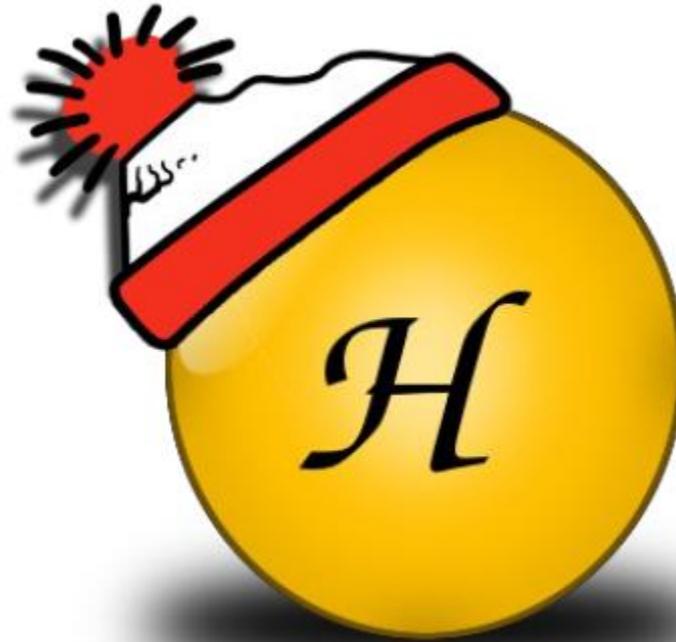
- ◆ Comment un théoricien le voit :





Dessine-moi un boson de Higgs

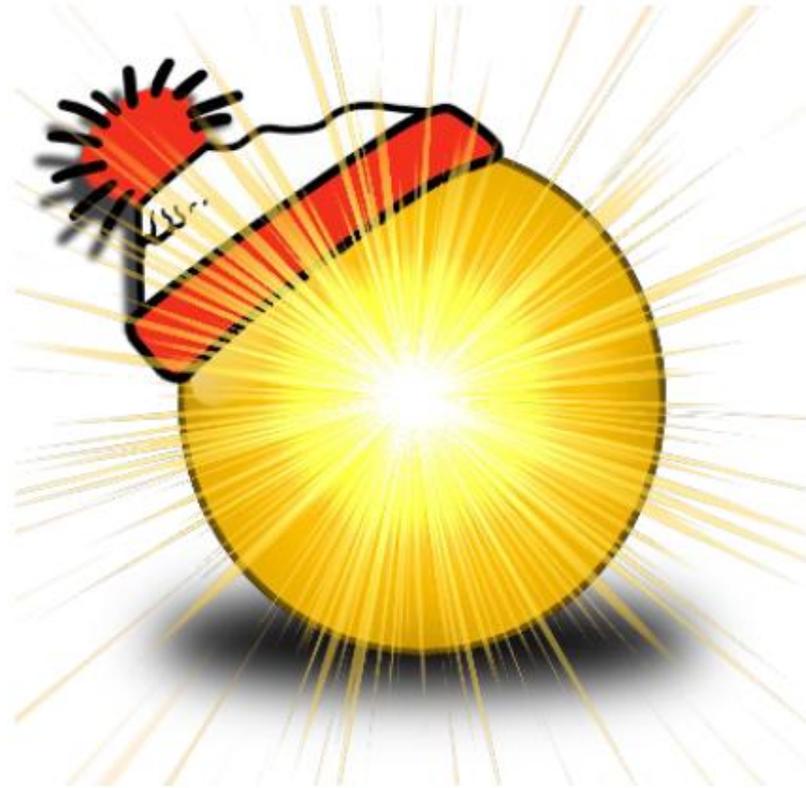
- ◆ Comment le voit Anatole, 3 ans et demi :





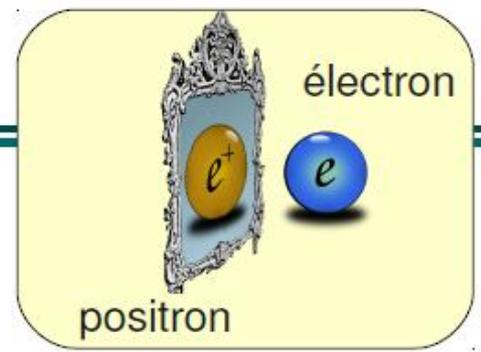
Dessine-moi un boson de Higgs

- ◆ On ne le voit pas directement, car il se désintègre:

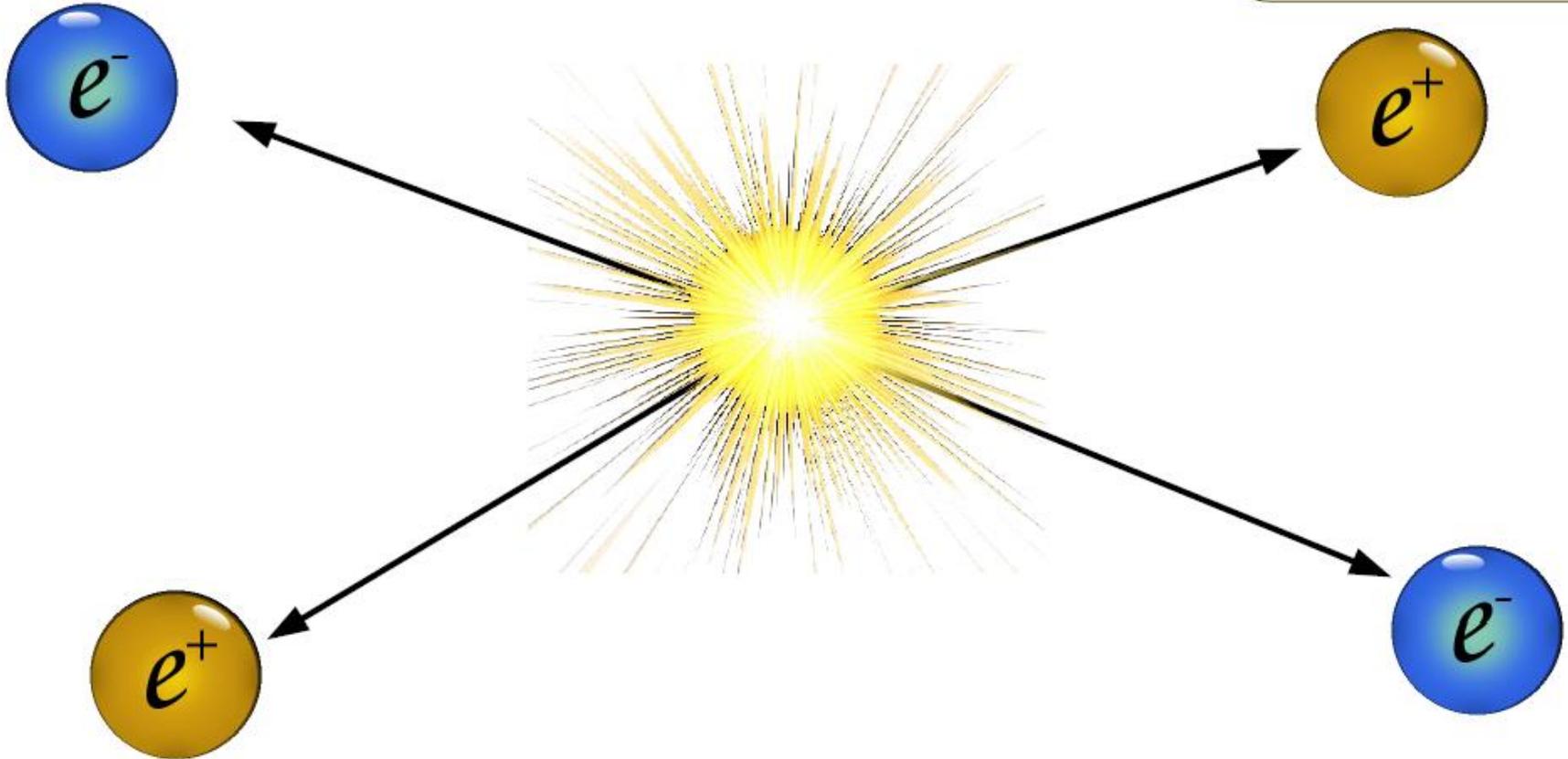




Dessine-moi un boson de Higgs



◆ On ne le voit pas directement, car il se désintègre:



◆ Conclusion : on ne voit **jamais** le boson de Higgs, mais ses produits de désintégration



Créer des particules (1)

- ◆ Augmenter énergie = accélérer



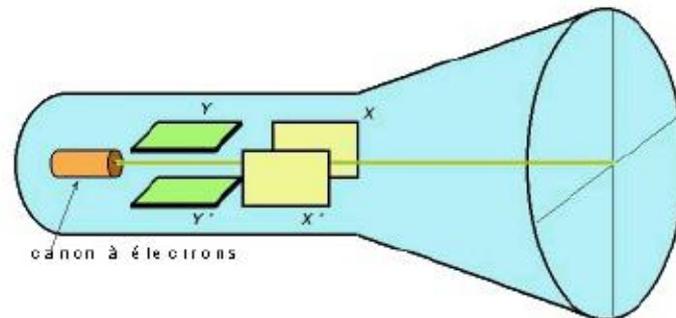
30 km/h

≠



150 km/h

- ◆ Accélérateur de particules chez soi





Créer des particules (2)

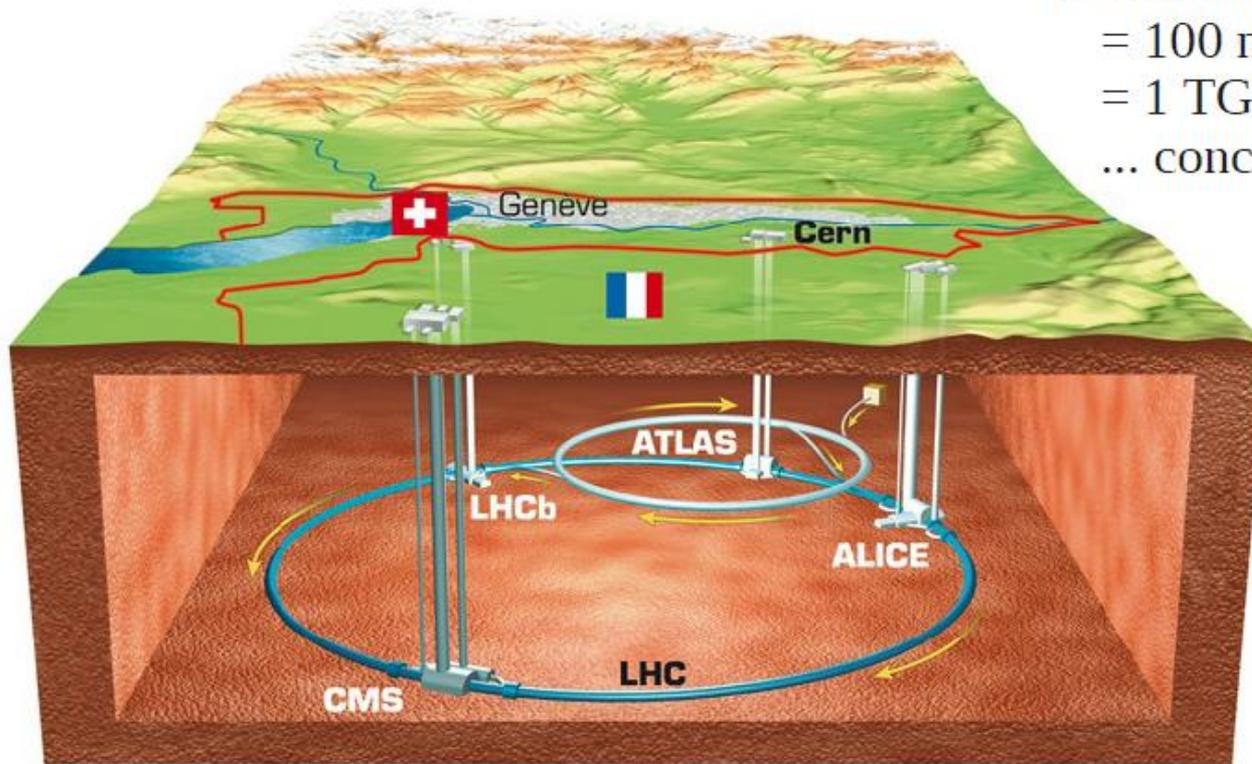
◆ Le LHC:

- Large = grand (27 km de long)
- Hadrons = protons ou noyaux de plomb
- Collider = collisionneur

◆ protons accélérés à 99.9999993% de la vitesse de la lumière

◆ Energie d'un proton = 7 TeV
= énergie d'un moustique en vol

◆ 100 milliards de protons
= 100 milliards de moustiques
= 1 TGV à 150 km/h
... concentré dans une tête d'épingle



Le CERN

Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire:

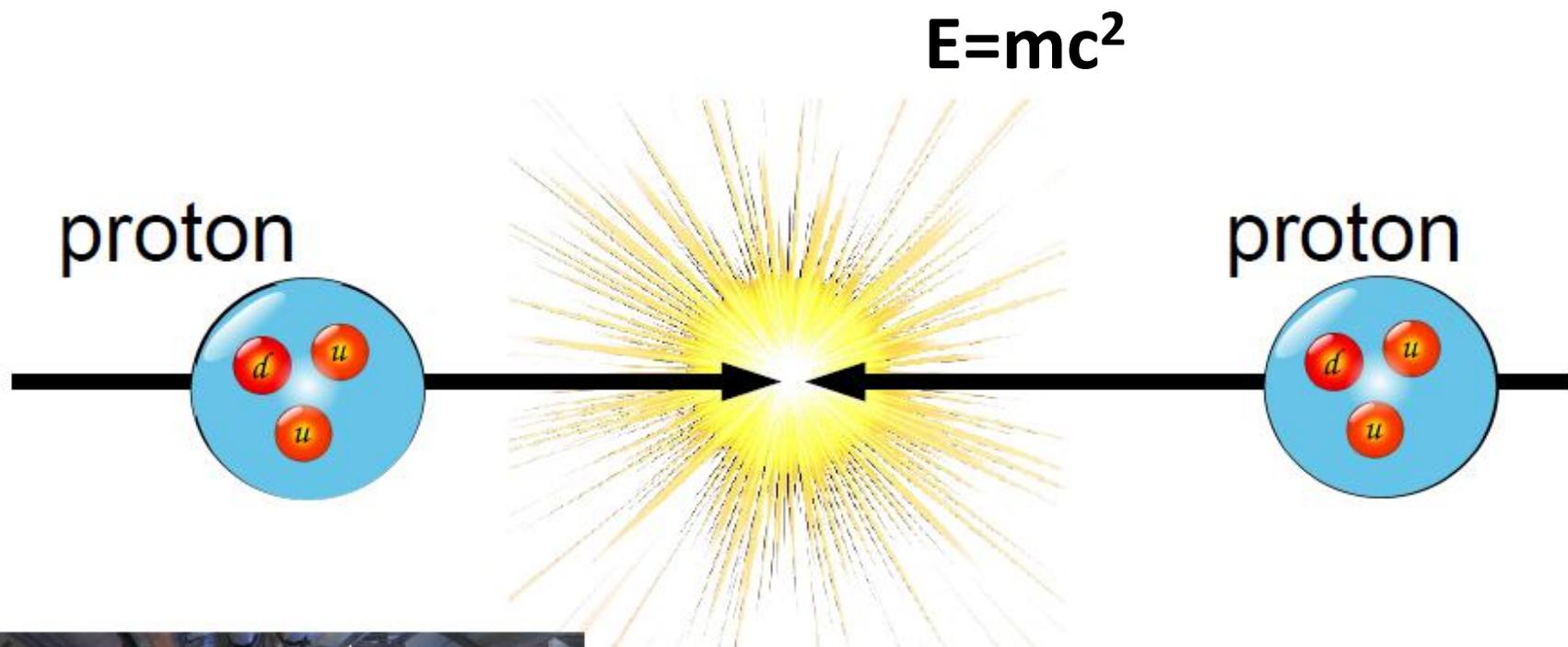
- créé en 1954
- 20 Etats Membres
- 3 Etats Associés; 7 Etats Observateurs (Russie, USA...)
- 25 autres pays participant aux recherches du Cern.
- *Personnel*: 2500 personnes.
- plus de 10.000 physiciens du monde entier participant.
- budget annuel: environ 800 millions d'Euros.

Coût du LHC: 3 milliards d'Euros dont 1/5 pris en charge par états non membres.



Collision (1)

◆ Collision dans le LHC:



À l'intérieur du tunnel, 9600 électro-aimants entourent le tube à vide où circulent les protons



Collision (2)

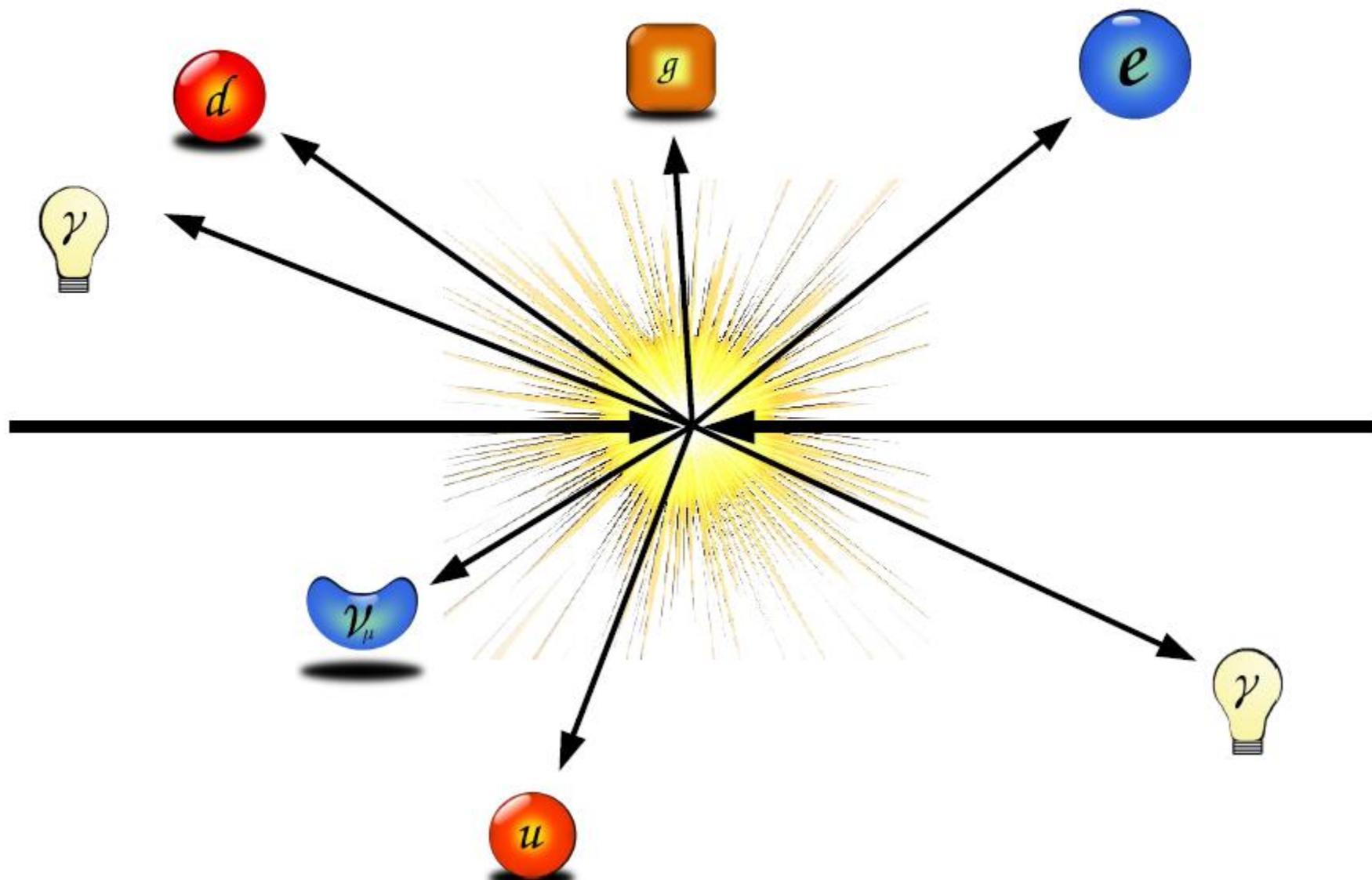
◆ Collision dans le LHC:





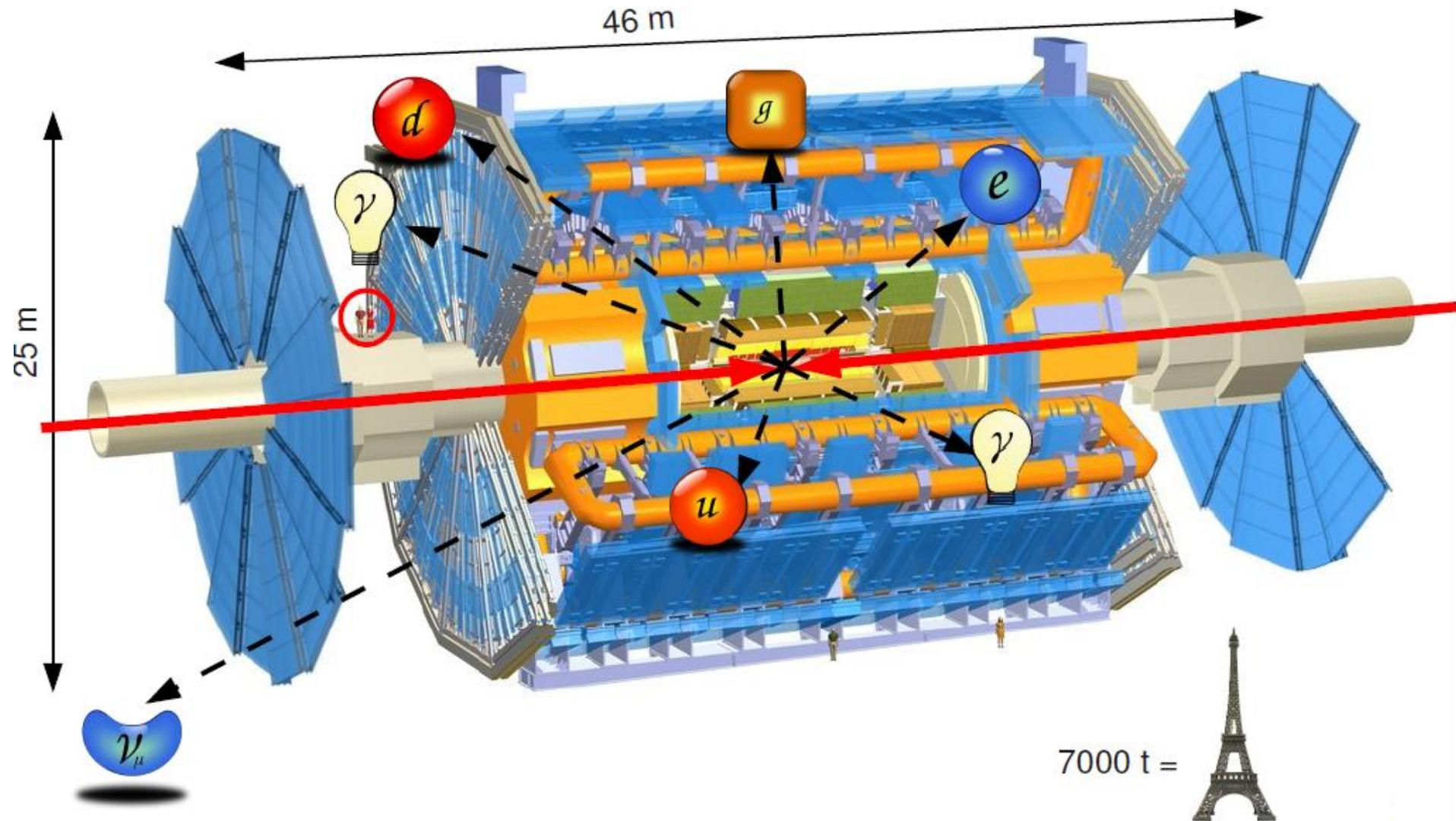
Collision (3)

◆ Collision dans le LHC:



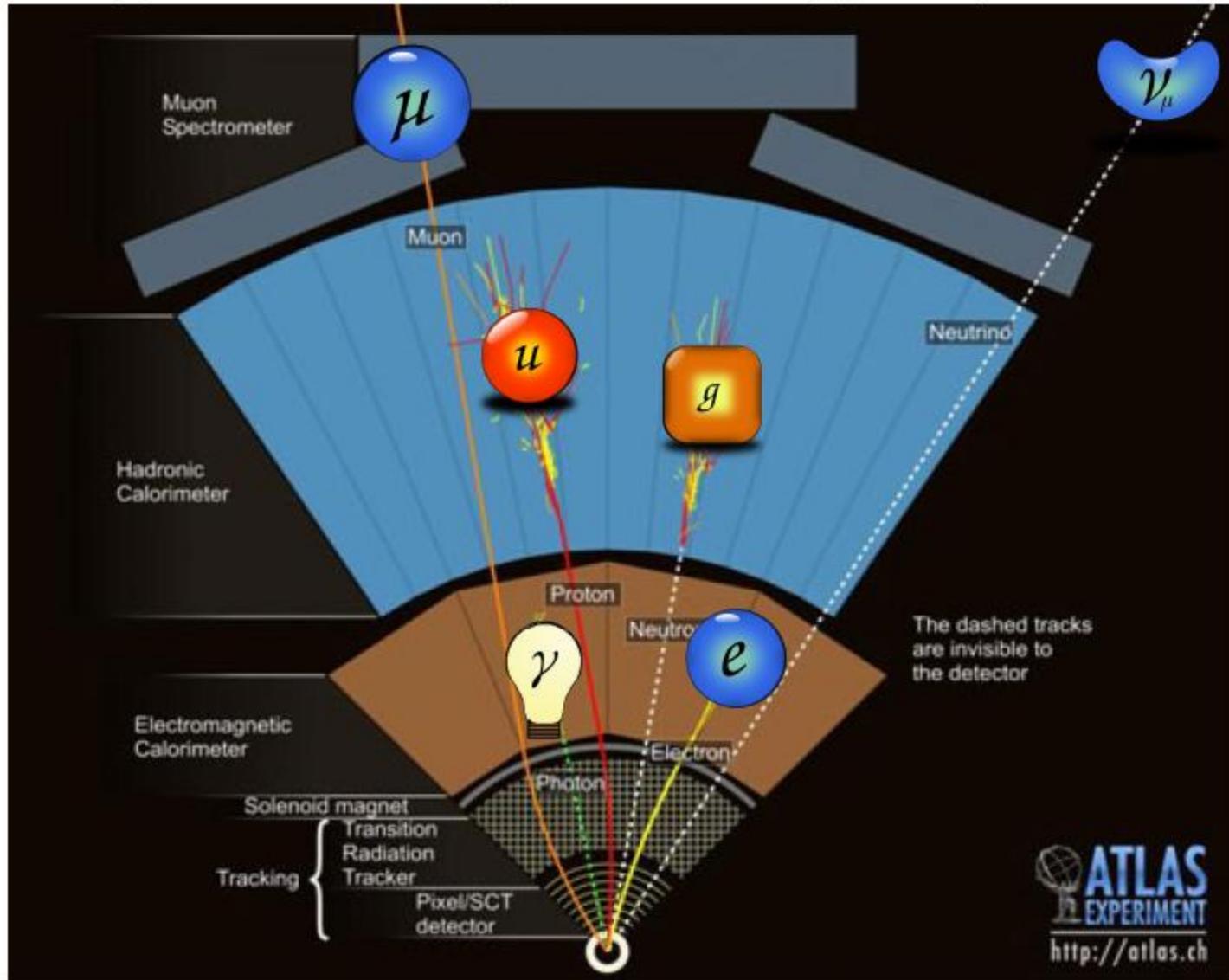
Détecter des particules (1)

- ◆ Différents types de détecteurs pour différents types de particules



Détecter des particules (2)

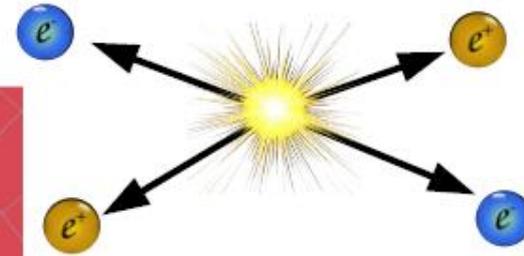
- ◆ Différents types de détecteurs pour différents types de particules





Trouver des événements intéressants

- ◆ On cherche un boson de Higgs qui se désintègre en 2 électrons et 2 positrons
- ◆ En est-ce un ?





Trouver des événements intéressants

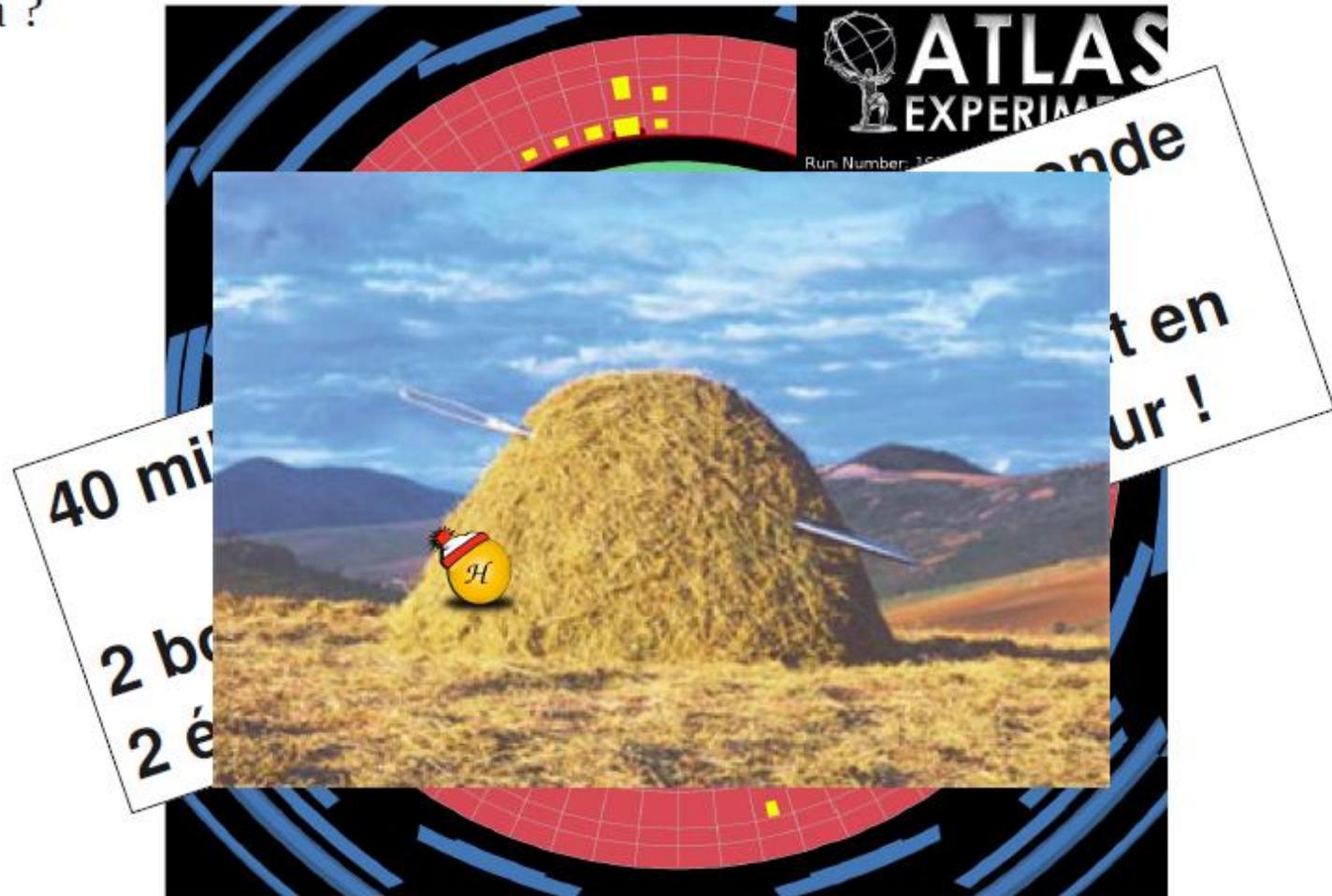
- ◆ On cherche un boson de Higgs qui se désintègre en 2 électrons et 2 positrons
- ◆ Ou là ?





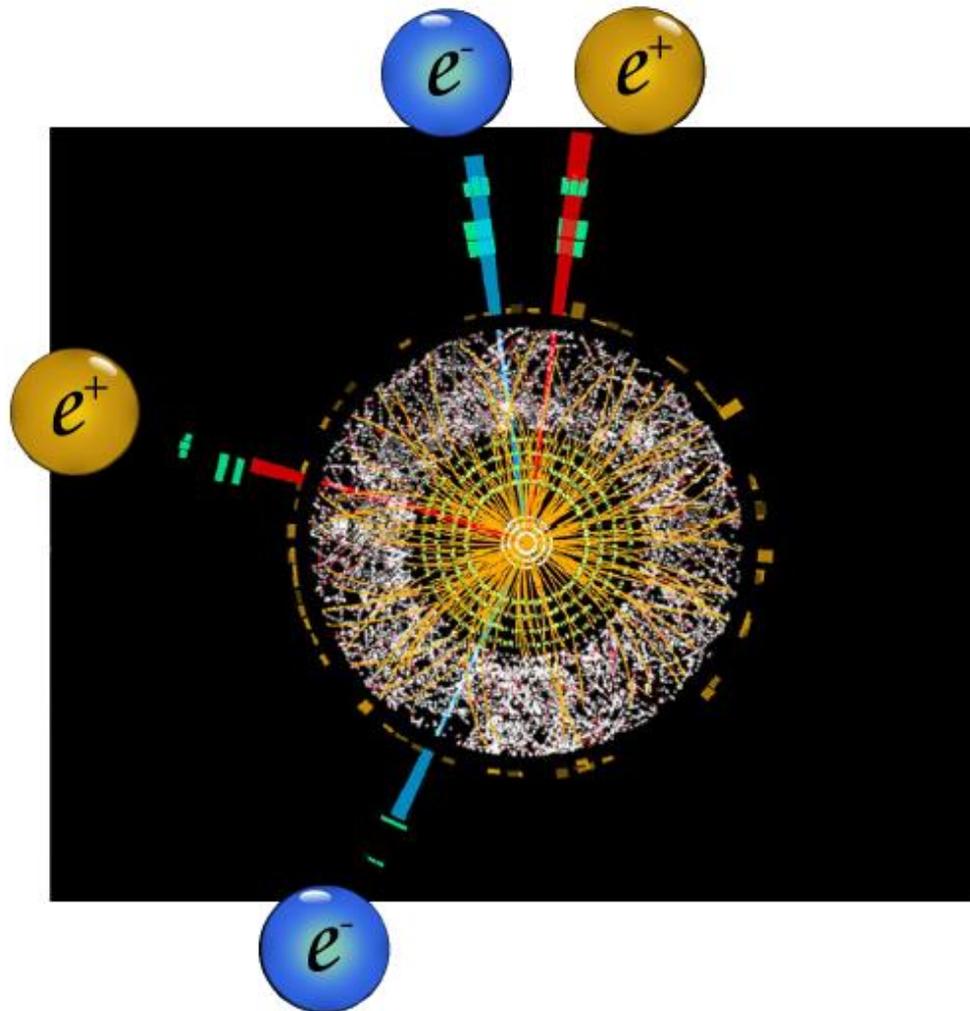
Trouver des événements intéressants

- ◆ On cherche un boson de Higgs qui se désintègre en 2 électrons et 2 positrons
- ◆ Ou là ?



Retrouver la particule initiale (1)

- ◆ Une fois que l'on a trouvé les événements avec 2 électrons et 2 positrons:

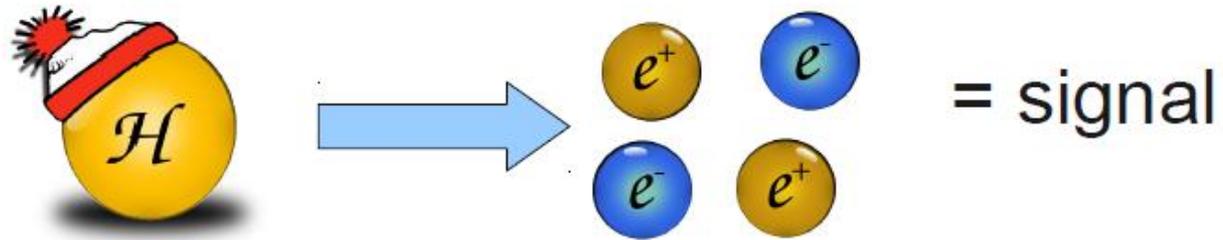




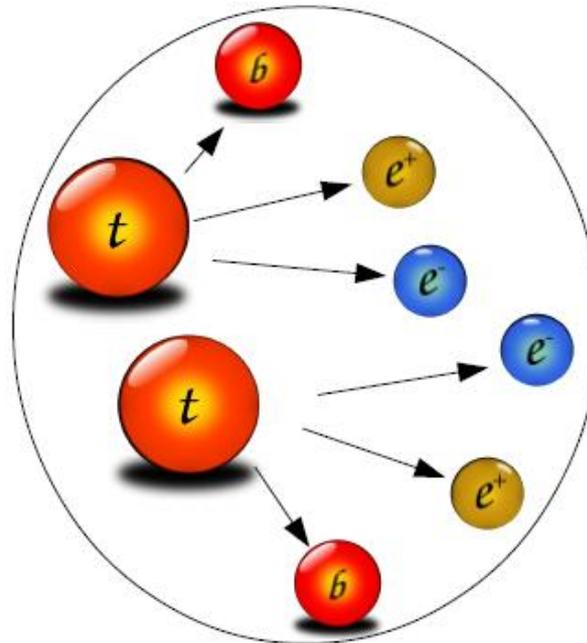
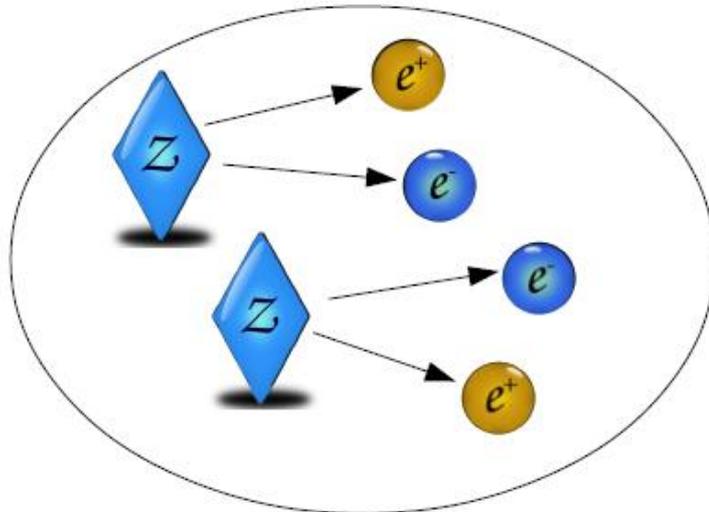
Retrouver la particule initiale (2)

◆ 2 électrons et 2 positrons = boson de Higgs?

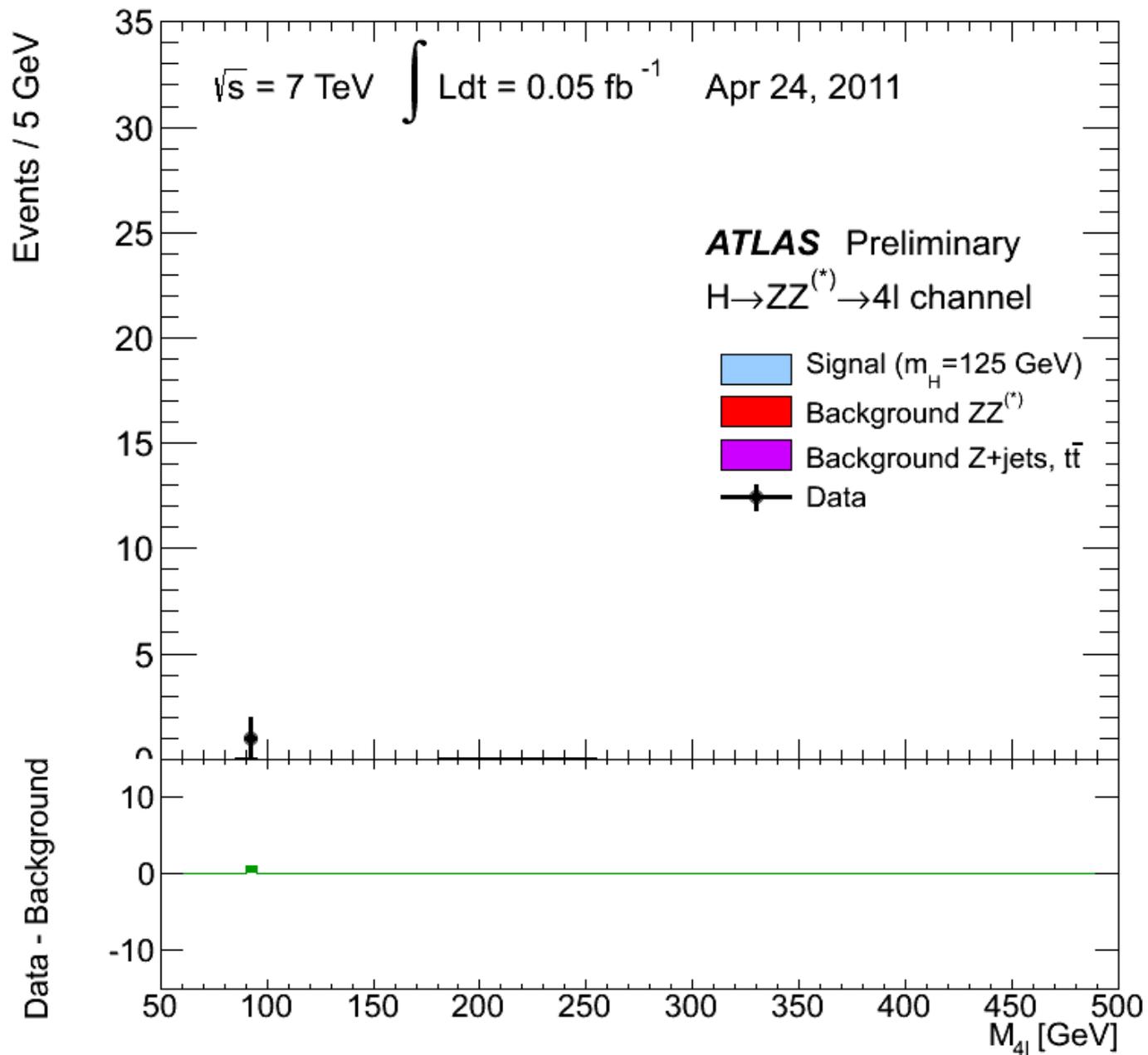
- peut-être...



- mais aussi:



= bruit de fond





Est-ce la fin ?

- ◆ Non !
- ◆ Il faut s'assurer que cette particule est bien le boson de Higgs
- ◆ Mesurer ses propriétés, sa masse, etc
- ◆ Beaucoup d'autres questions sans réponses

PAR CERTAINS ASPECTS, ELLE
RESSEMBLE FORTEMENT AU
BOSON DE HIGGS PRÉDIT
PAR LE MODÈLE STANDARD



MAIS LA VÉRIFICATION DE CE
PORTRAIT ROBOT N'EST PAS COMPLÈTE.
ON A BESOIN D'AMASSER D'AVANTAGE
DE DONNÉES DANS LES PLAINES DU LHC.



MthruF.com

Q: Mais à quoi sert un Boson de Higgs?
de façon pratique?
immédiatement ?

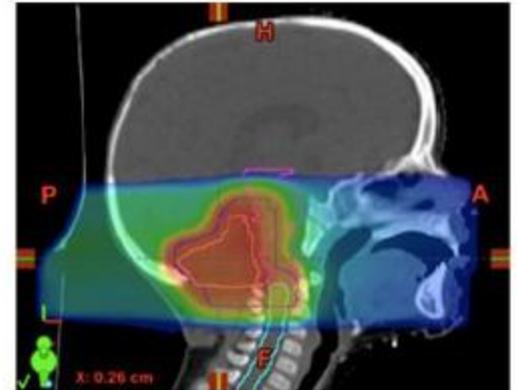
R: **A rien!**

mais.....



La hadron-thérapie

- ◆ ~ la moitié des accélérateurs de particules dans le monde pour la médecine
- ◆ Radiothérapie traditionnelle :



- ◆ Hadron-thérapie :



- ◆ ~100000 personnes traitées chaque année
- ◆ Traitement de cancers dans milieux sensibles (cerveau, oeil, etc)

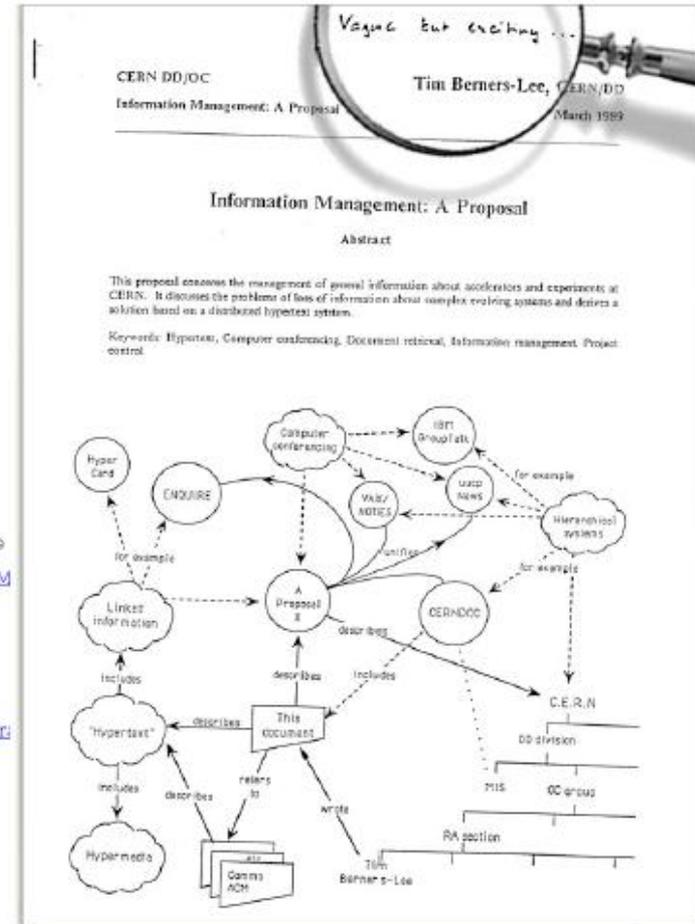


Le world wide web

- ◆ Inventé au CERN en 1989
- ◆ Projet initial de Tim Berners-Lee:
- ◆ Il invente aussi :
 - le http (HyperText Transfer Protocol)
 - le html
 - le premier navigateur web
 - le premier serveur web (<http://info.cern.ch>),



"Vague, mais excitant"



World Wide Web

The WorldWideWeb (W3) is a wide-area [hypermedia](#) information retrieval initiative aiming to give universal access to a large universe. Everything there is online about W3 is linked directly or indirectly to this document, including an [executive summary](#) of the project, [M](#) November's [W3 news](#), [Frequently Asked Questions](#).

What's out there?

Pointers to the world's online information, [subjects](#), [W3 servers](#), etc.

Help

on the browser you are using

Software Products

A list of W3 project components and their current state, (e.g. [Line Mode](#), [X11 Viola](#), [NeXTStep](#), [Servers](#), [Tools](#), [Mailrobot](#), [Libr](#)

Technical

Details of protocols, formats, program internals etc

Bibliography

Paper documentation on W3 and references.

People

A list of some people involved in the project.

History

A summary of the history of the project.

How can I help?

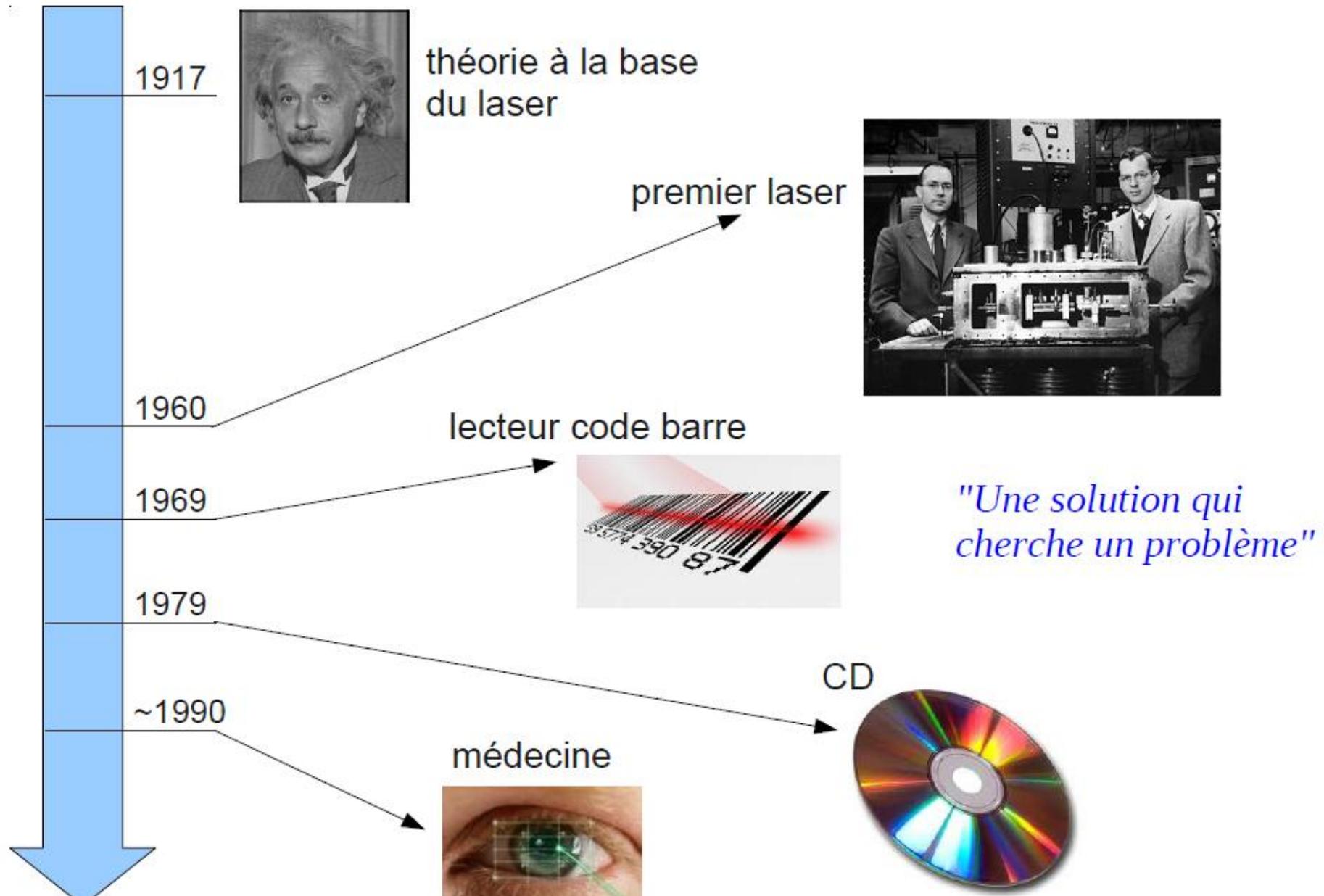
If you would like to support the web..

Getting code

Getting the code by [anonymous FTP](#), etc.



Le temps de la recherche : le laser

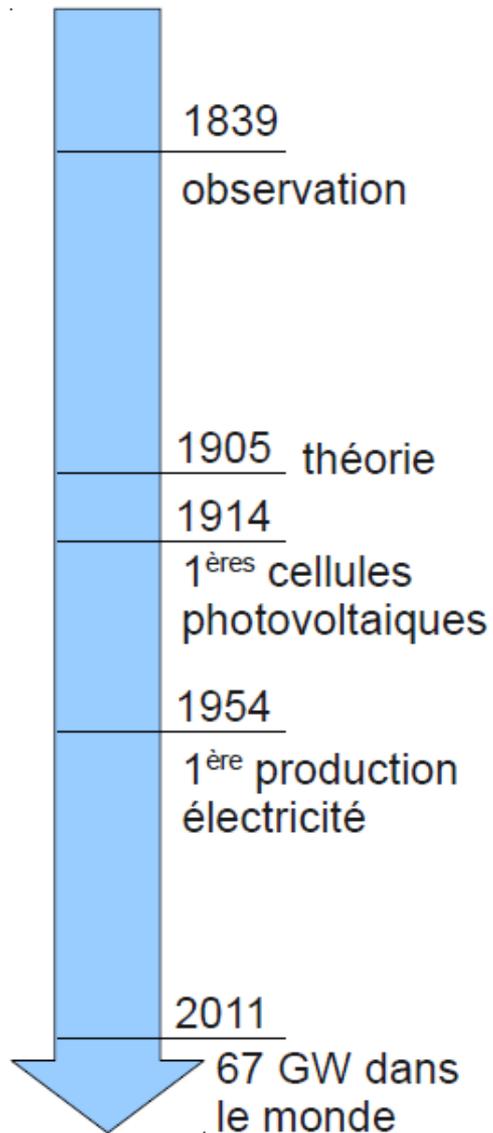


"Une solution qui cherche un problème"

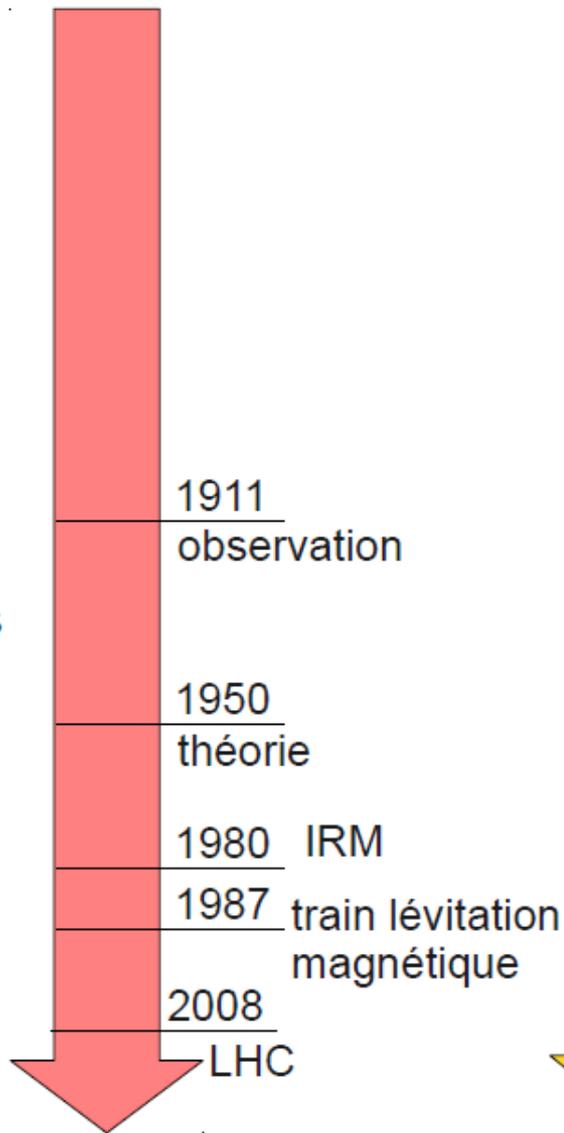


Le temps de la recherche

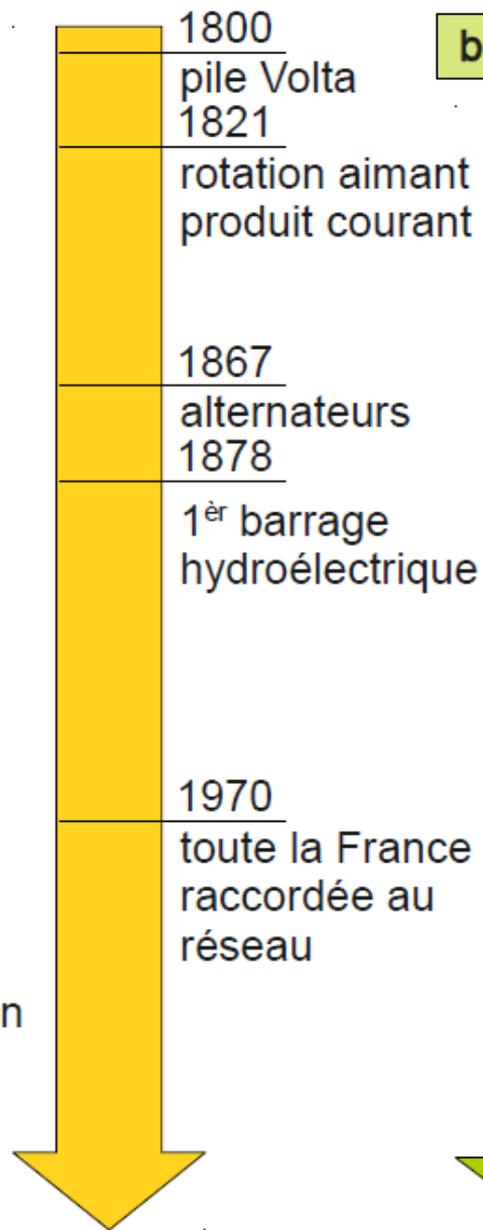
photovoltaïque



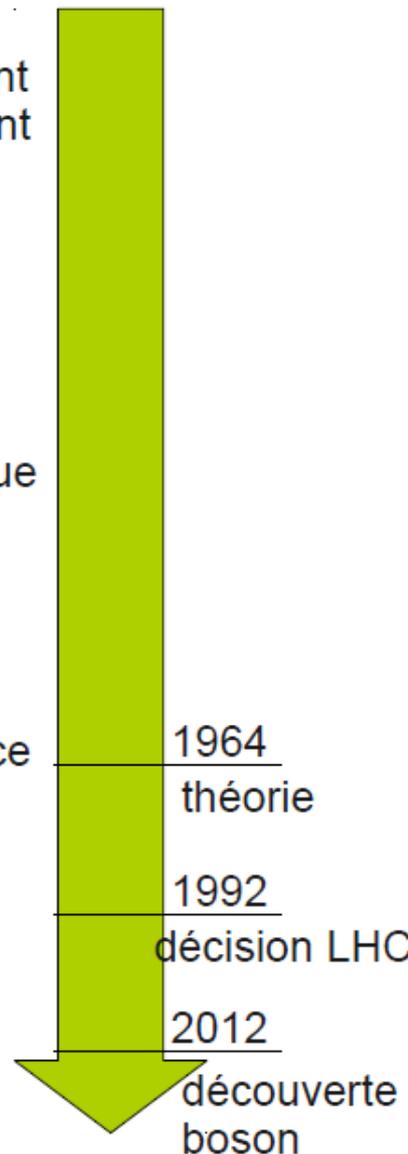
supraconduction



électricité



boson de Higgs





Un concentré de deux siècles de physique

- ◆ Un exemple de la vie de tous les jours :
chercher un restaurant à proximité avec son smartphone

semi-conducteurs
mécanique quantique
début XX^e

GPS
relativité générale
1915

web
CERN
1989

écran tournant
gyroscope
1852

téléphone
ondes électromagnétiques
1887

diode
effet tunnel
1927

écran tactile
effet capacitif
1933



et pour terminer

- ***Merci à Geneviève Bélanger** (physicienne théoricienne au LAPTH) et à **Elizabeth Petit** (physicienne expérimentatrice au LAPP) pour le temps qu'elles m'ont consacré et pour les diapositives qu'elles m'ont permis d'utiliser.*
- ***Merci à vous tous pour votre écoute attentive et amicale.***

Une évolution très schématique de l'Univers

