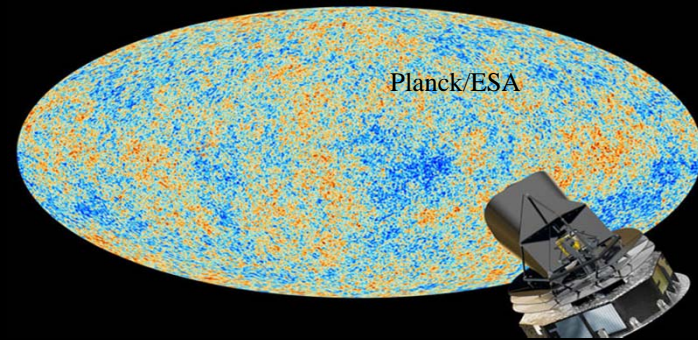
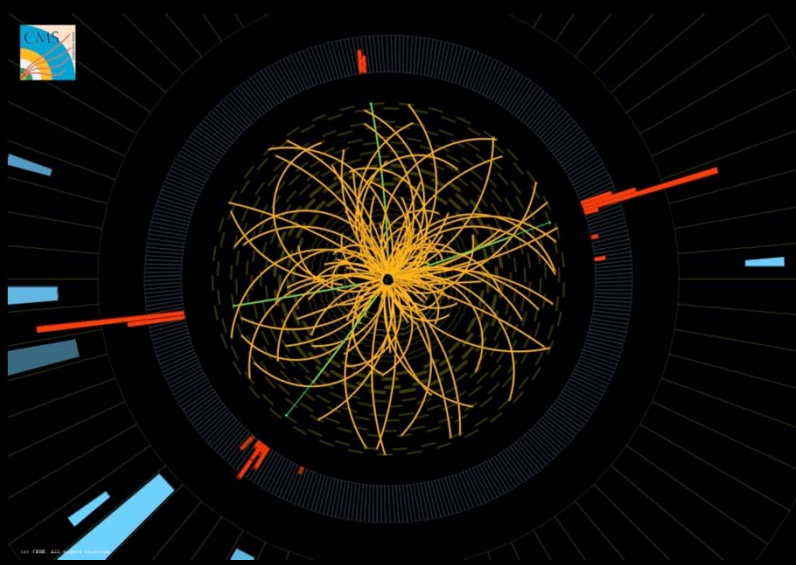
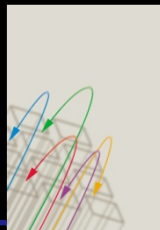


D'un boson à l'Univers, des particules aux satellites

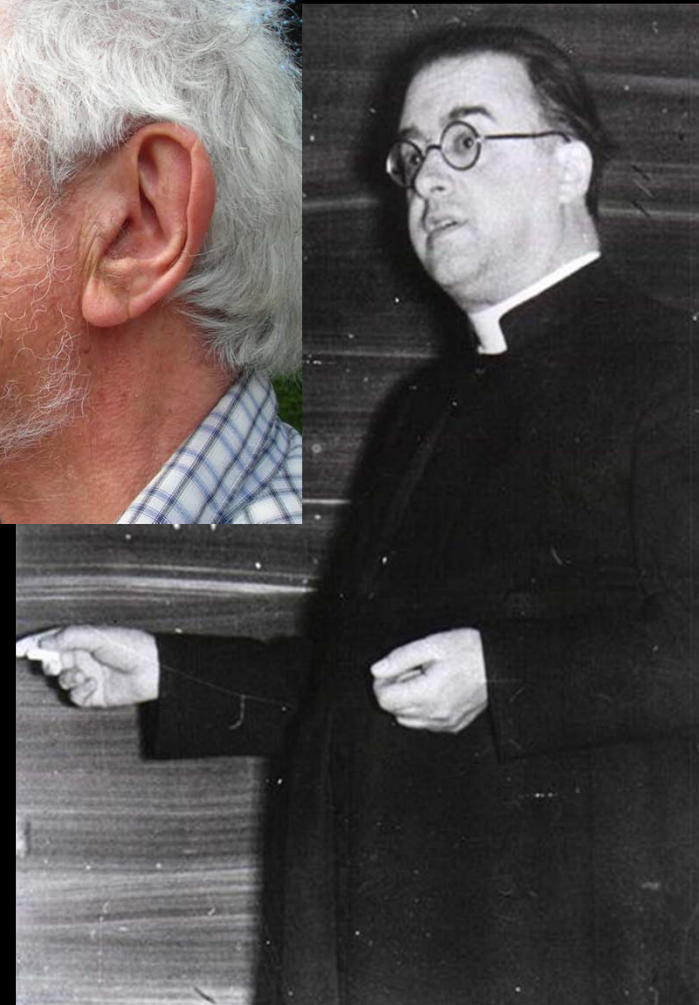
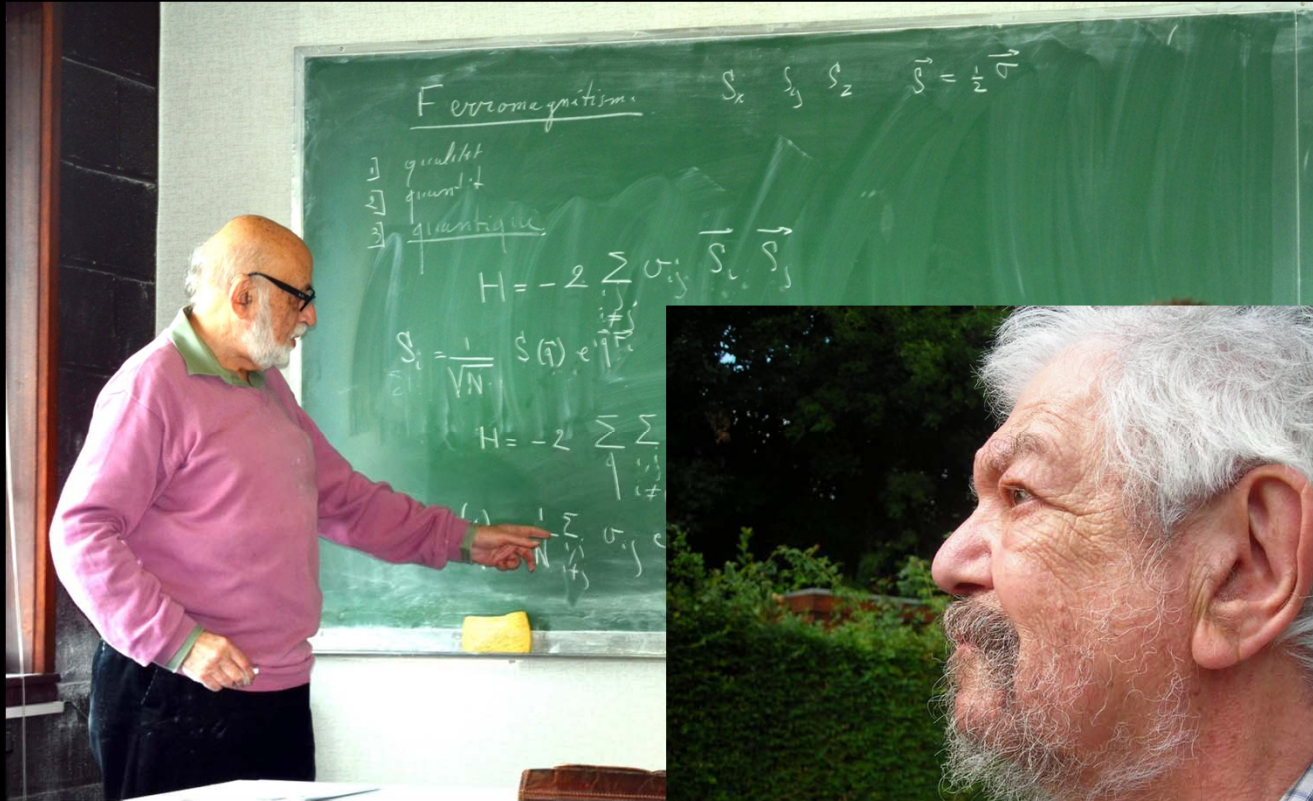


Jean-Marie Frère, ULB
coordinator, IAP VII/37

Fundamental



(Illustrations wikimedia commons, sauf autre crédit)

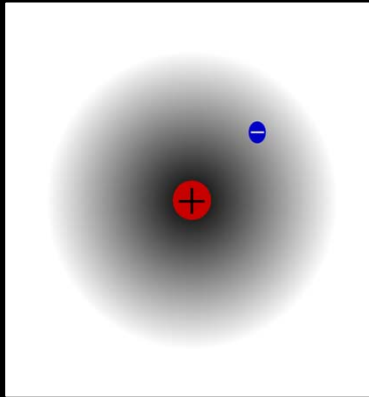


Robert Brout
François Englert,
Georges Lemaître :
Une incroyable aventure,
de l'infiniment petit à l'Univers

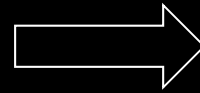
Au microscope, on voit des détails de 0,001 mm



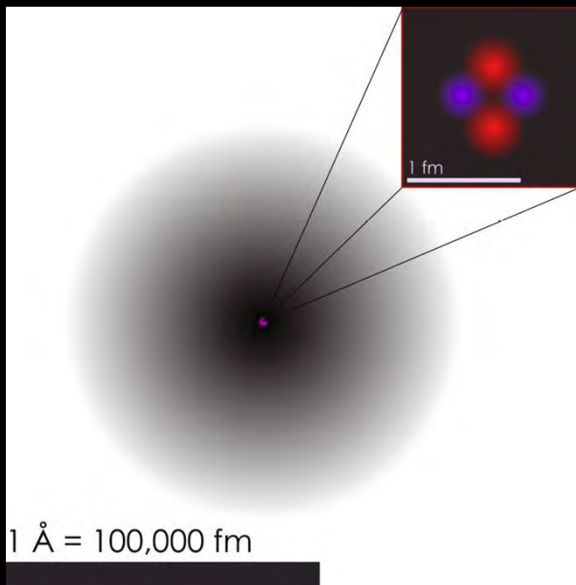
Cellules de ma langue



10000 fois plus petit, l'atome



Toute la chimie

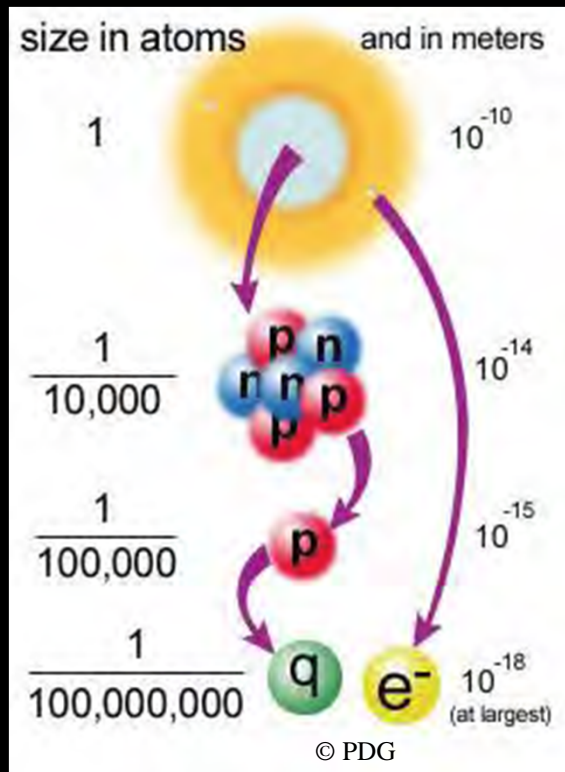


100 000 fois plus petit, le noyau ,
composé de **protons** et **neutrons**



L'énergie,
la médecine nucléaires





Aujourd'hui nous regardons des distances 100 à 1000 fois plus petites ,

Le proton et le neutron sont composés des quarks « u » et « d »

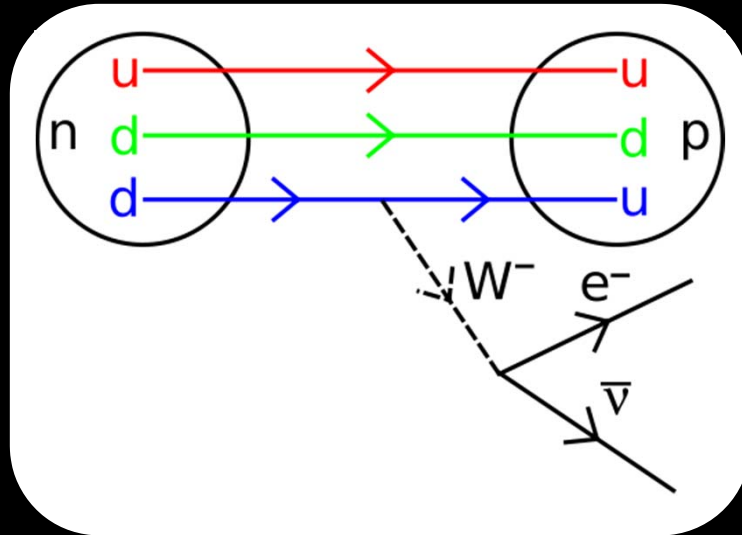
Beaucoup d'autres particules ont été découvertes.

A notre échelle , nous ne voyons pas les forces, les interactions entre ces particules...

on parle d'interactions à (TRES) courte portée ..

Et jusqu'en 1964 elles étaient très mal comprises

Le proton et le neutron sont composés des quarks « u » et « d »

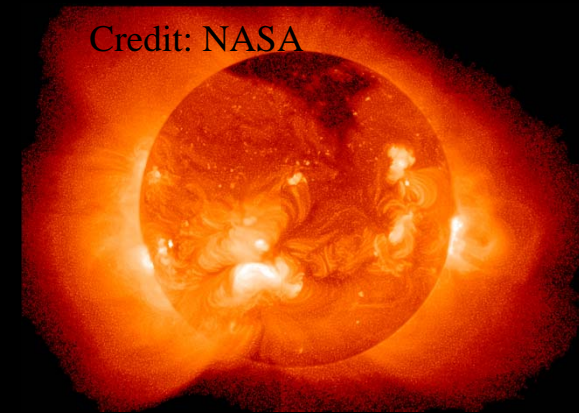


Et se désintègrent l'un dans l'autre par les interactions faibles .

Les interactions faibles changent la nature chimique par exemple, du Cobalt se transforme en Nickel, (mais pas le plomb en or...)

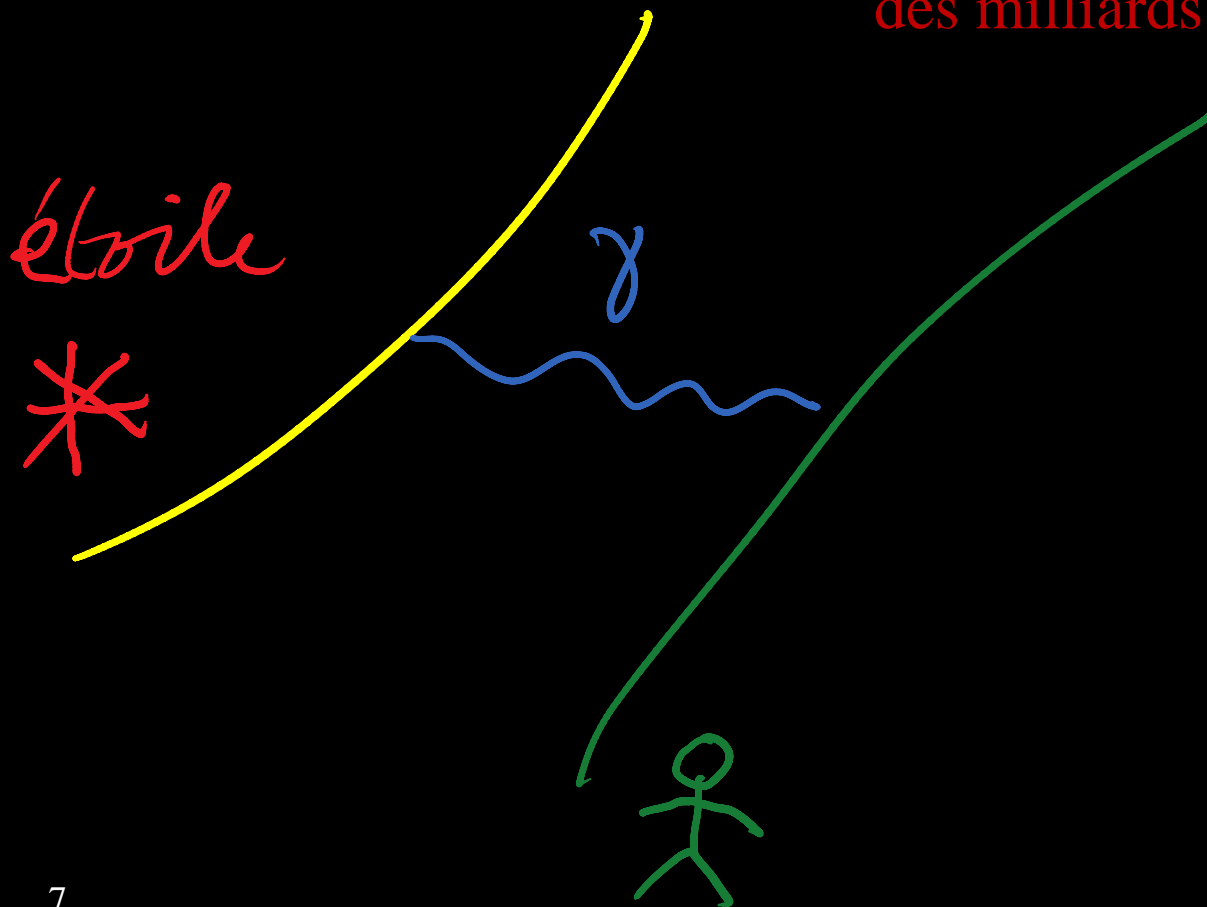
Elles sont très discrètes ... mais responsables de l'énergie du Soleil ... et donc de toutes les énergies renouvelables ..

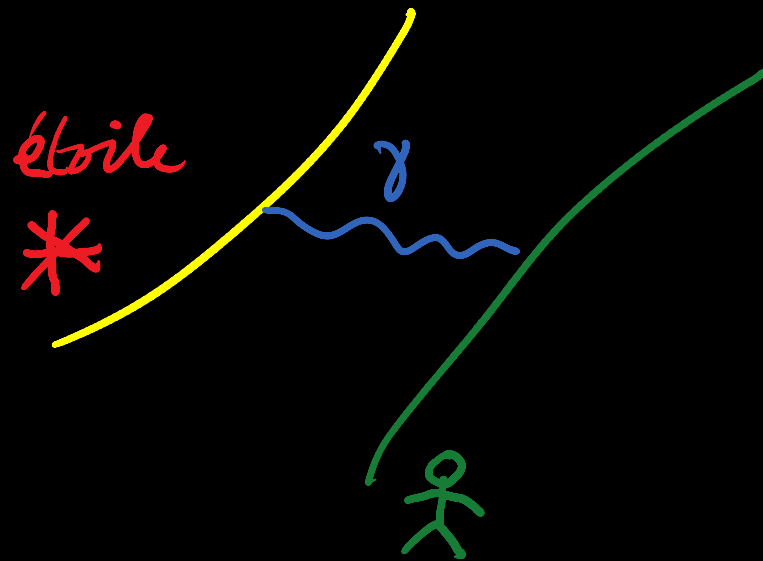
Et jusqu'en 1964 ces interactions à très courte portée étaient très mal comprises. On avait même un peu baissé les bras ...



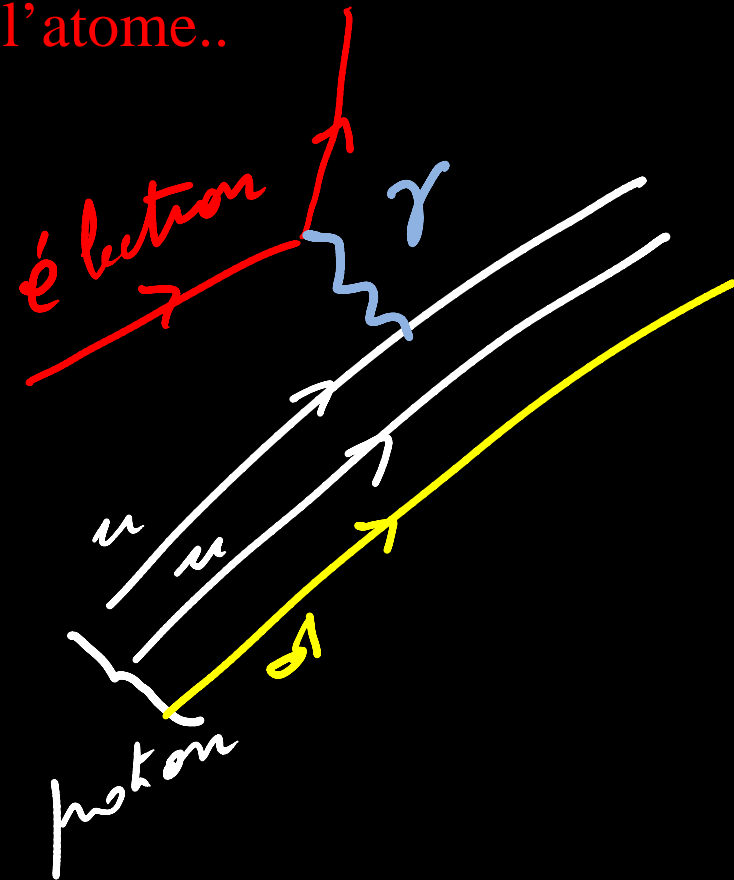
Le génie de Brout, Englert et Higgs fut de montrer que ces forces mal comprises, à portée microscopique, étaient en fait de même nature que quelque chose de très différent: la lumière... que l'on comprenait très bien ... et qui nous parvient de très loin :

des milliards d'années-lumière.





Les mêmes forces agissent dans l'atome..

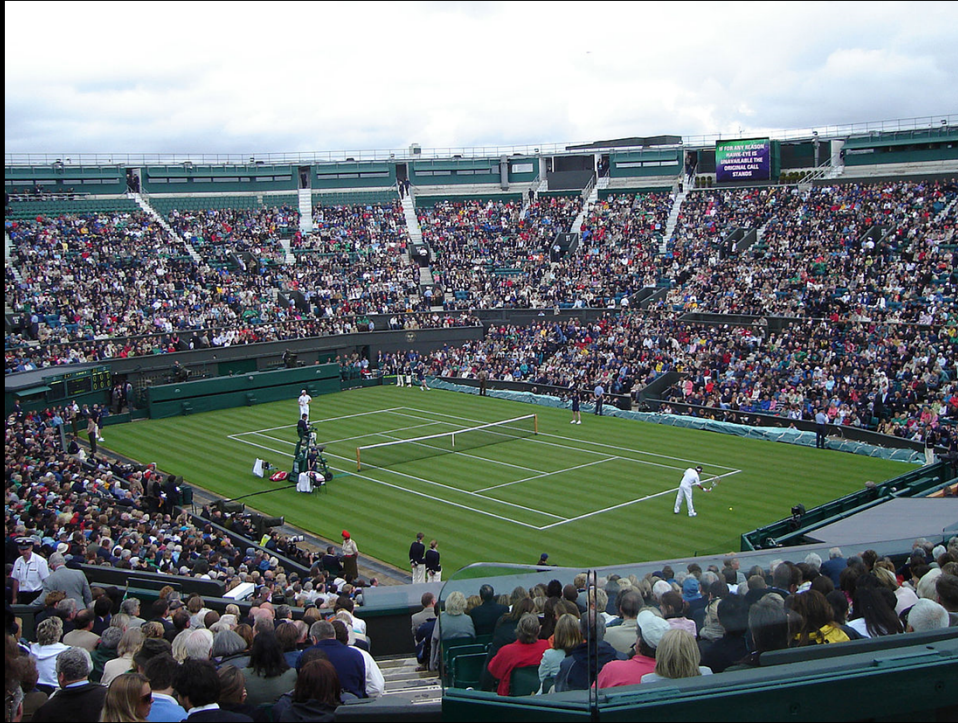


La lumière, associée à l'électricité et au magnétisme, est portée par des photons ..

La longue portée de l'interaction électro-magnétique est associée au fait que le photon n'a pas de masse.

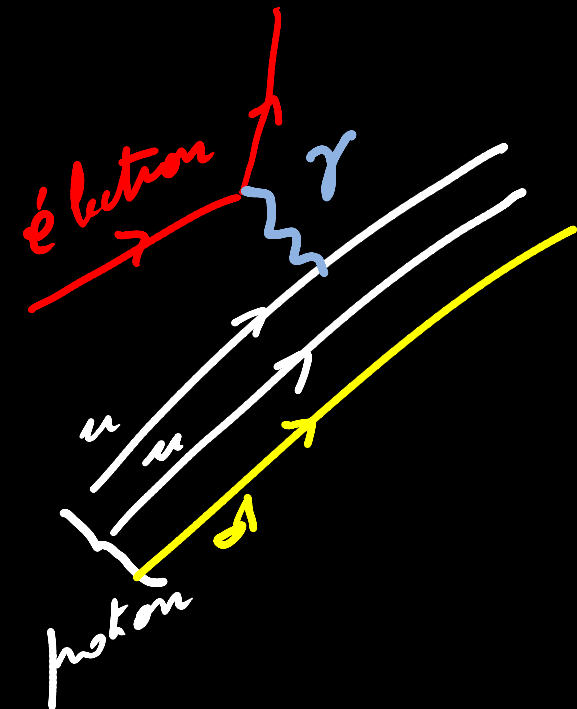
Et à notre échelle





Comme des joueurs de tennis interagissent entre eux en échangeant des balles,

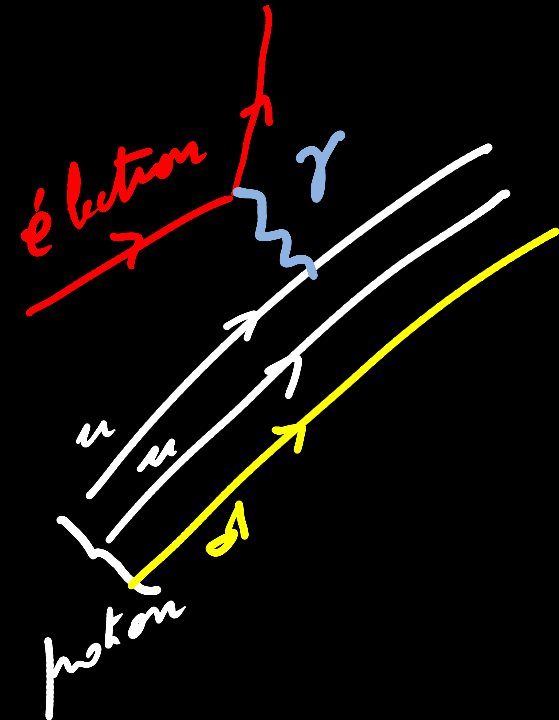
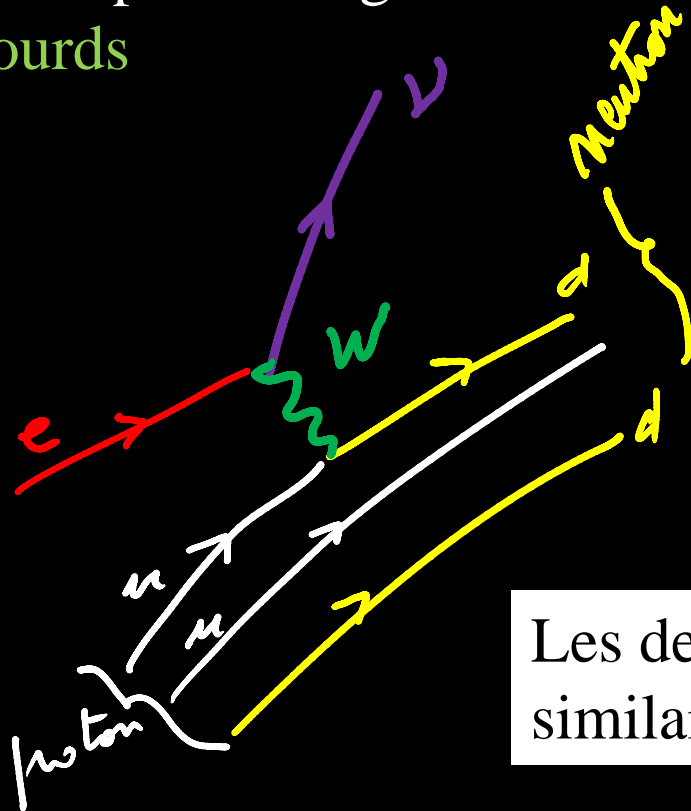
L'électron et le proton interagissent en échangeant des photons



L'électron et le proton échangent des photons ou des W

l'interaction faible est à très courte portée, elle procède par échange de W lourds

L'interaction électromagnétique traverse l'Univers



Les dessins sont similaires???

Masse(W) = 80 * masse du proton ↔ Masse du photon (γ) = 0

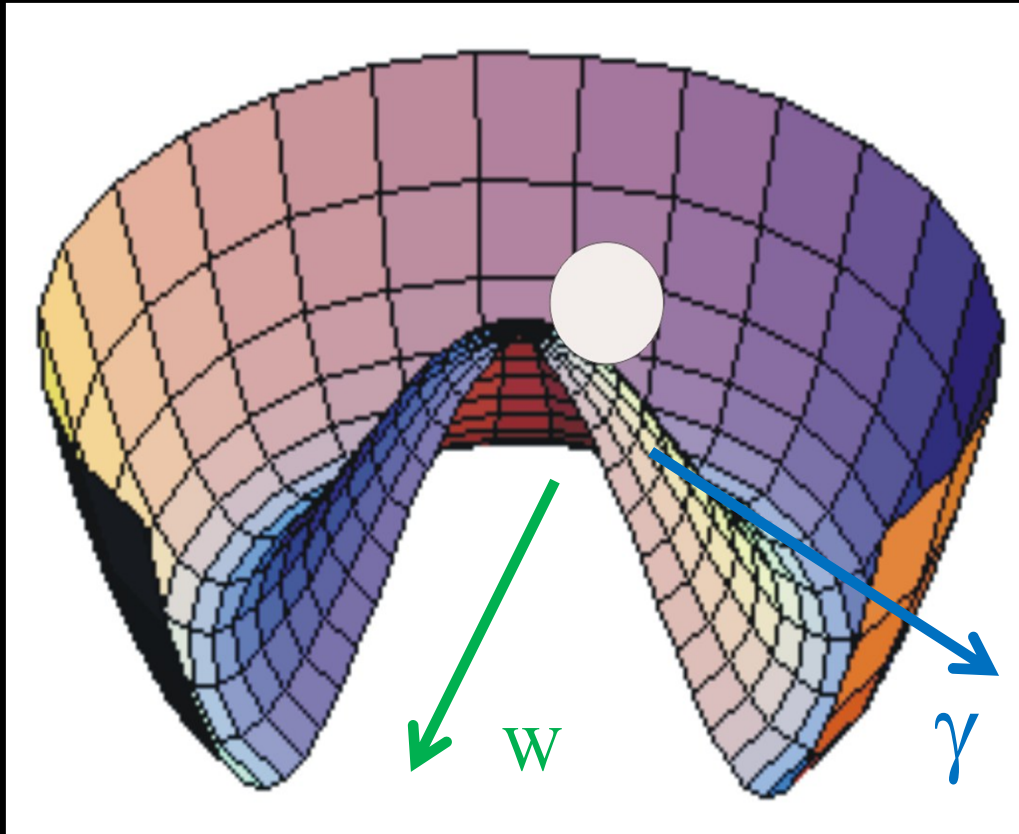
L'importance des travaux de Brout, Englert et Higgs, c'est de montrer que toutes les interactions sont de même nature, mais ne diffèrent que parce que certains des intermédiaires acquièrent de la masse, et d'autres pas

Le vecteur de l'interaction faible W et le photon γ sont diverses manifestations des mêmes forces ...

*Il y a une symétrie entre eux,
Mais cette symétrie est brisée,
car l'un acquiert une masse,
et l'autre pas ...*

A cette roulette, le photon a gagné!



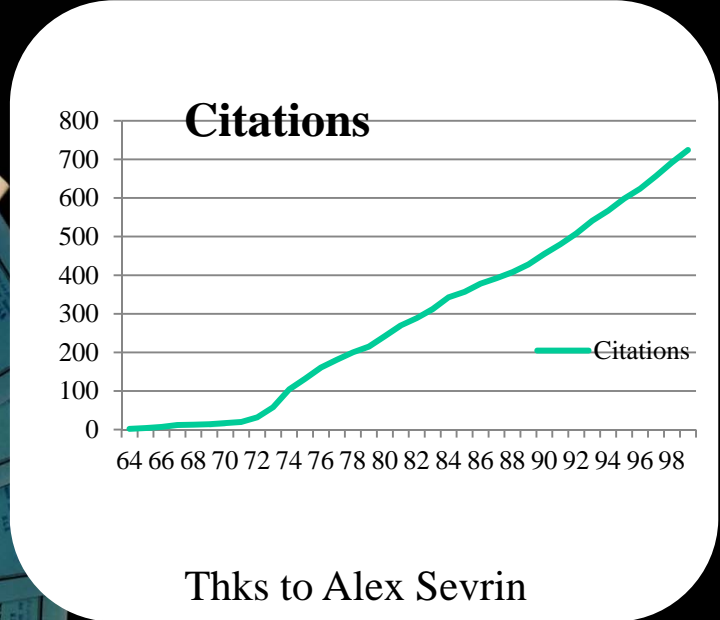


Il y a une symétrie entre les forces, mais elle est instable, La bille ci-contre finira par tomber, désignant une direction favorisée, qui n'aura pas de masse (le photon est le grand gagnant) .

Mais qui joue le rôle du « Sombrero » ?

C'est le champ de Brout-Englert-Higgs, et une nouvelle particule qui lui est associée, le boson scalaire... découvert en 2012

En 1964, les articles historiques....



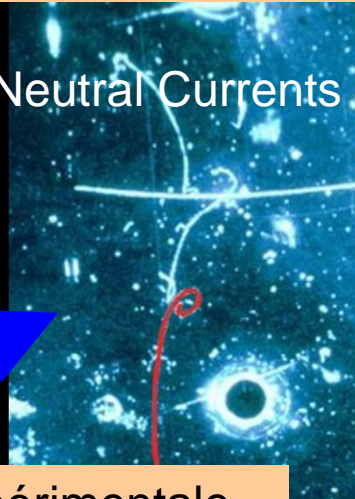
Attirent peu d'attention !

1964 brisure spontanée de la symétrie

...1967 Modèle unifié des interactions électromagnétiques et faibles

1971 Cohérence mathématique

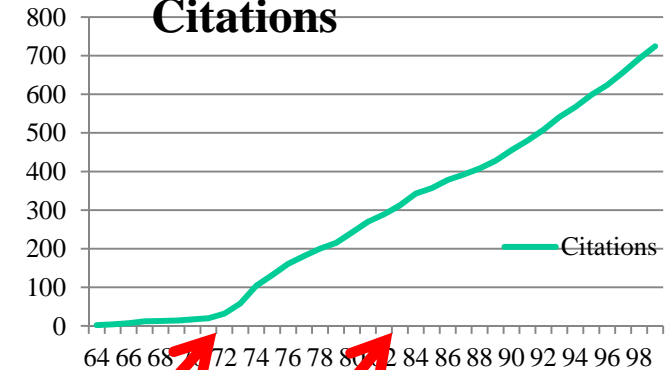
Neutral Currents



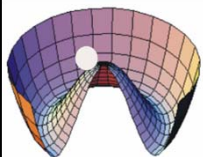
1973 Première confirmation expérimentale (courants neutres) (les exp belges y sont associés)

1983 Découverte des bosons W et Z (CERN)

Citations



Pourquoi allez-vous travailler chez eux?



Symmetry breaking and Standard Model

1963 Quark mixing

1964 Spontaneous symmetry breaking

1967 Standard Model (Electro-Weak),

1970 The need for a 4th Quark:
STRANGENESS → CHARM

1971 Mathematical consistency

1973 Direct experimental confirmation of
SM – neutral currents

1973 The need for 6 quarks

1974 Discovery of the 4th quark (Charm)

1983 Découverte des bosons W et Z
(CERN)

N. Cabibbo

Wolf Prize 2004

R. Brout, F. Englert, P. Higgs

Nobel 1979

S. Weinberg, S. Glashow, A. Salam

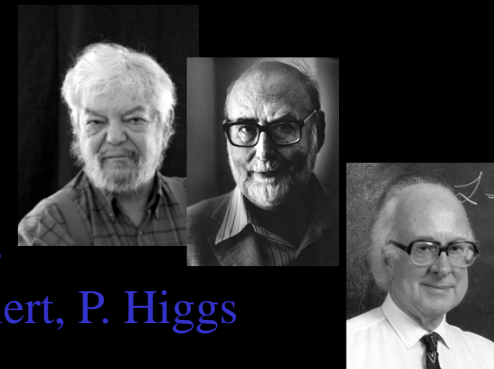
S. Glashow, J Iliopoulos, L. Maiani

Nobel 1999 M. Veltman G 't Hooft

Nobel 2008 M Kobayashi, T Maskawa

Nobel 1976 B Richter, S Ting

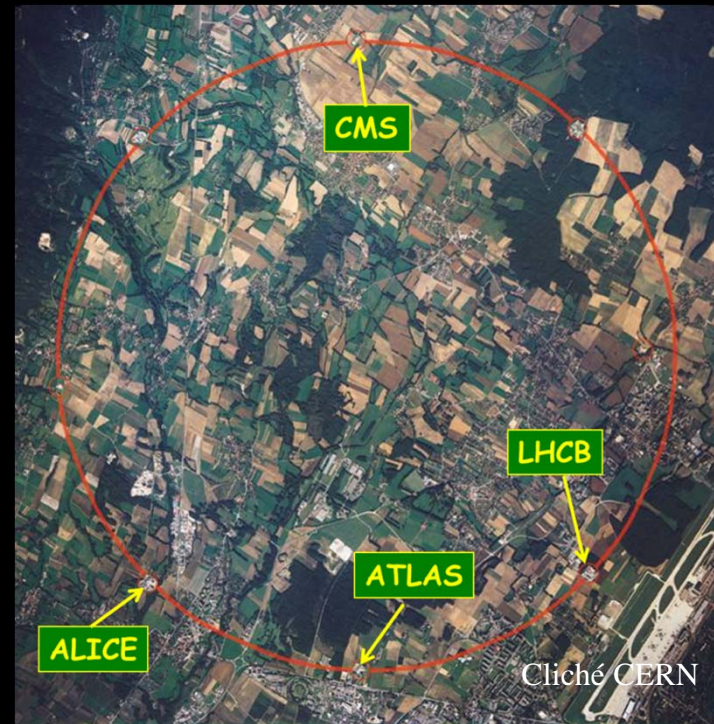
Nobel 1984 C. Rubbia-S. van der Meer

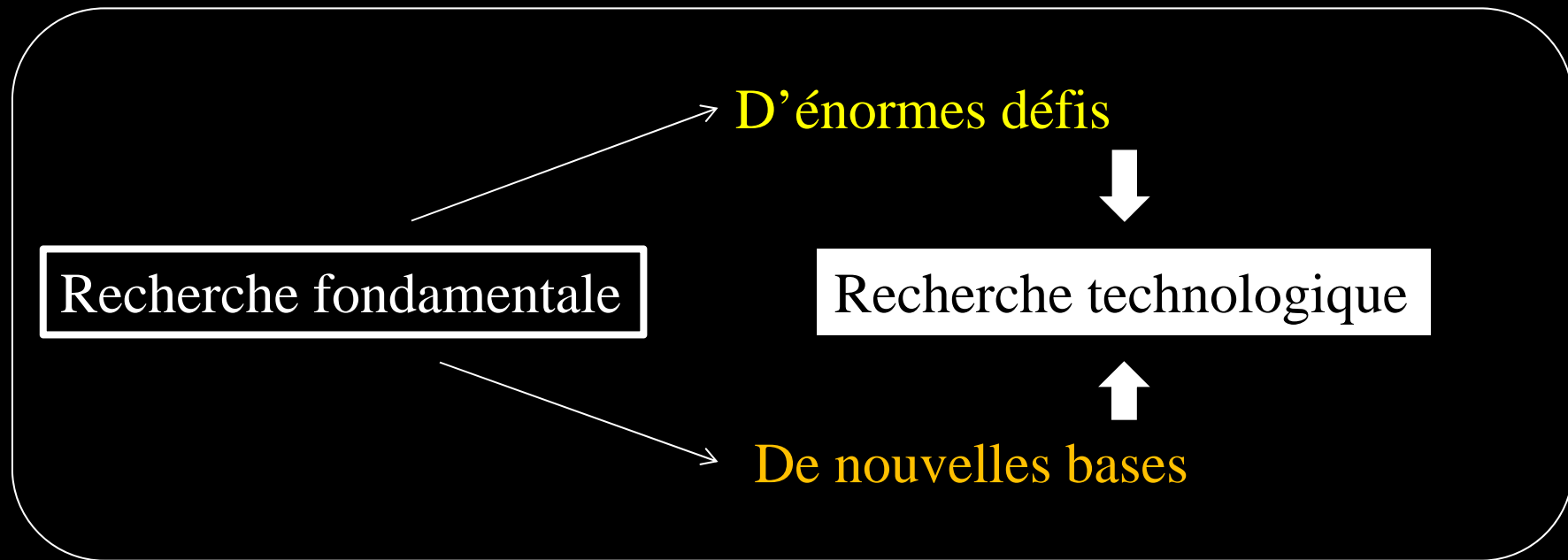


*Mais il manque toujours une particule,
le boson de Brout-Englert-Higgs, responsable de la brisure
de symétrie (et du Sombrero)*

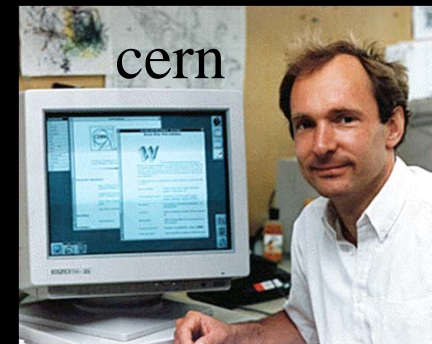
Pour pénétrer de si petites distances , il faut des appareils énormes
et de grandes collaborations internationale .. Ici au CERN

26.7 km LEP/LHC tunnel



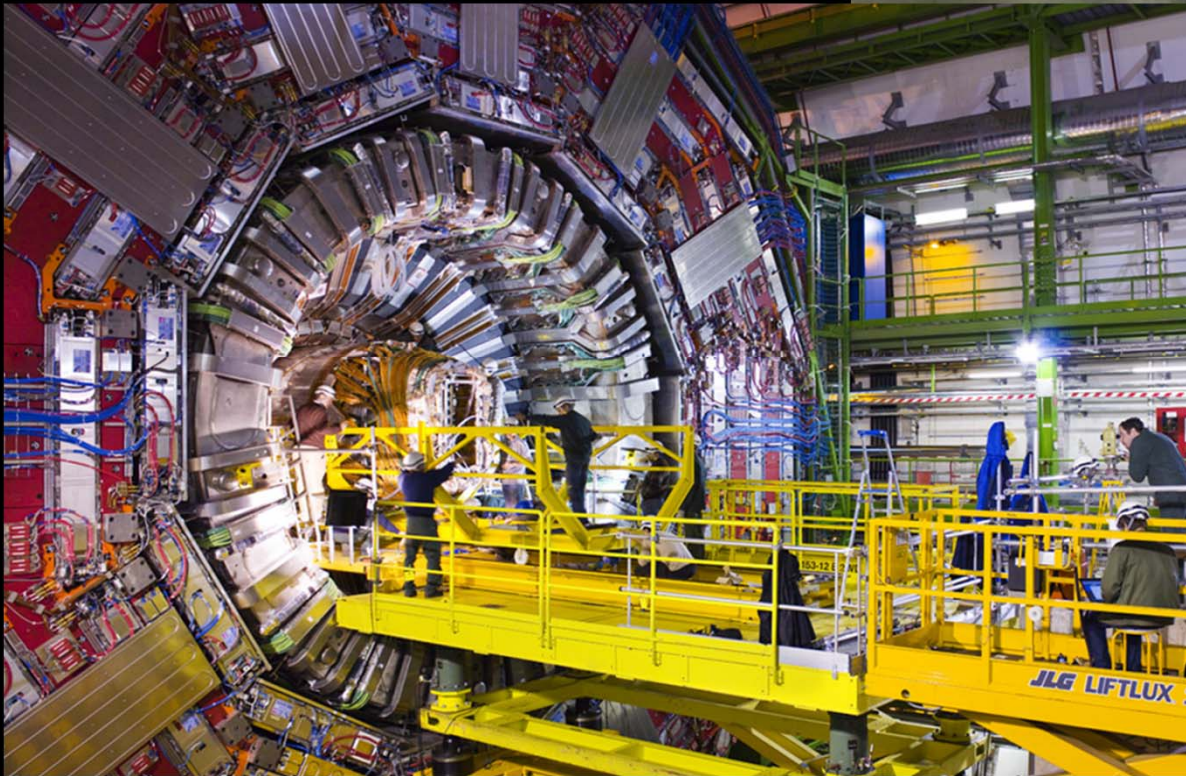


*Les retombées sont qualitatives, souvent imprévisibles
Financer la recherche fondamentale sur base des
retombées attendues serait contre-productif ...*

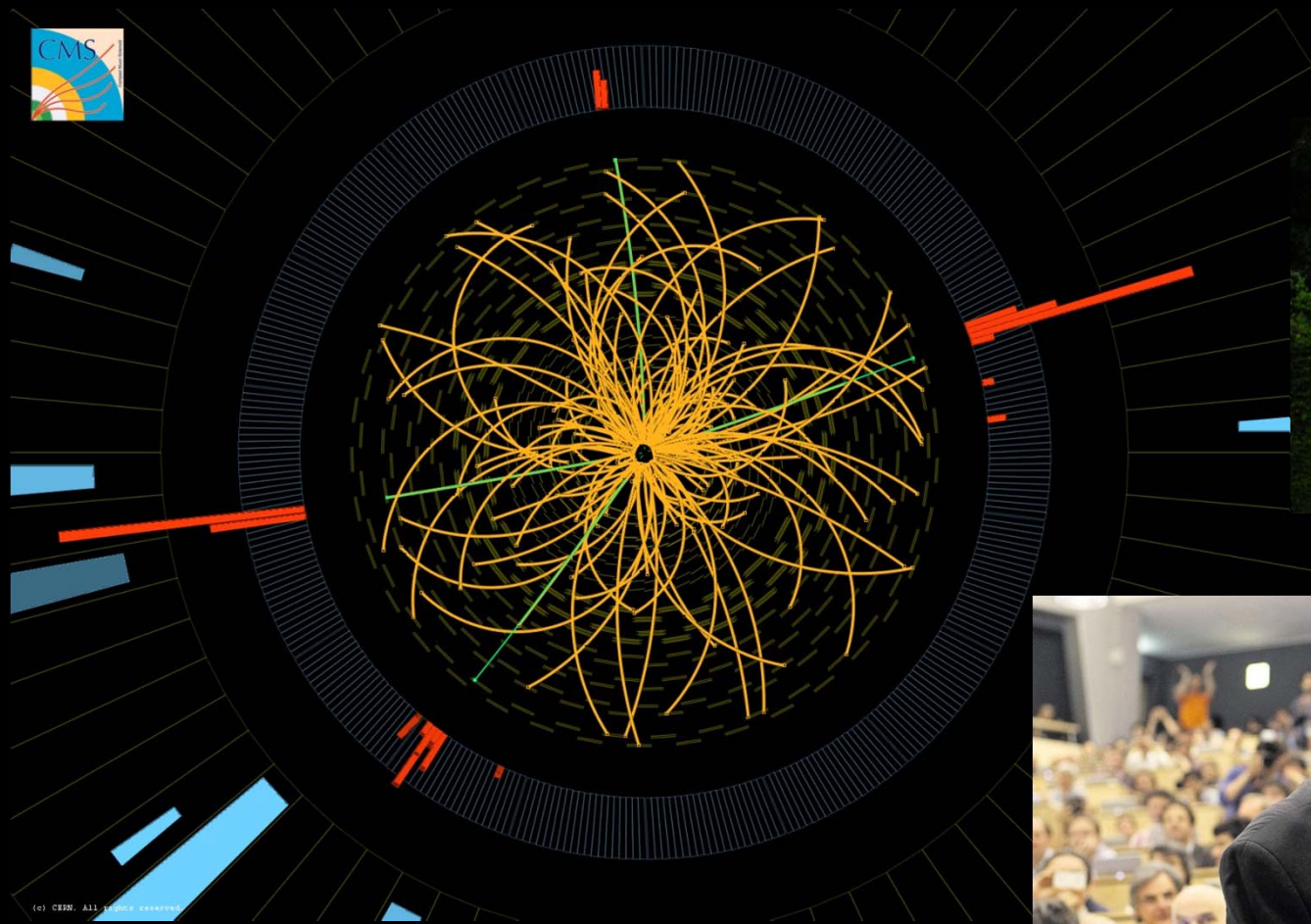


Le WEB fut inventé au CERN pour partager l'info entre membres de ces grandes collaborations (en fait, dès le LEP);
Aujourd'hui, l'initiative suivante est le GRID, qui partage le calcul

Aimants supraconducteurs
→ réduction de la consommation,
Mais aussi des mois de refroidissement/réchauffement
en cas d'intervention



CMS, l'expérience
à laquelle participent
les physiciens belges



Enfin, la découverte ...

Convaincant? .. Oui :.... Tant la masse (125 GeV) que les principaux modes de production et désintégration sont en accord/compabibles avec les prédictions (b-anti b, 2 photons, 2 gluons, ZZ*, WW*, ...) &²²²²²&

Et le droit à la « glace Nobel »



Les nouveaux défis

Comment est né l'Univers ?

Pourquoi la matière l'a-t-elle emporté sur l'antimatière?

De quoi sont faites la matière noire, l'énergie noire?

Pourquoi 3 familles de particules ?...

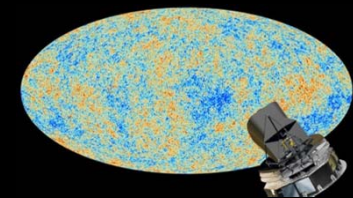
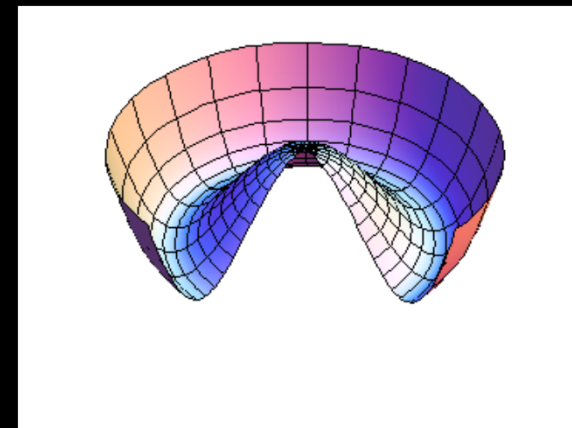
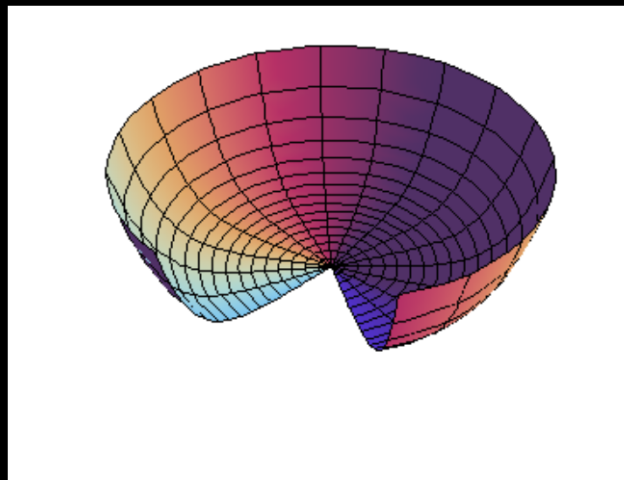
Pourquoi ces valeurs de masses si étranges?

Comment est né l'Univers ?

Les nouveaux défis

Lemaître : Big Bang -- >
haute température au début de l'Univers ...

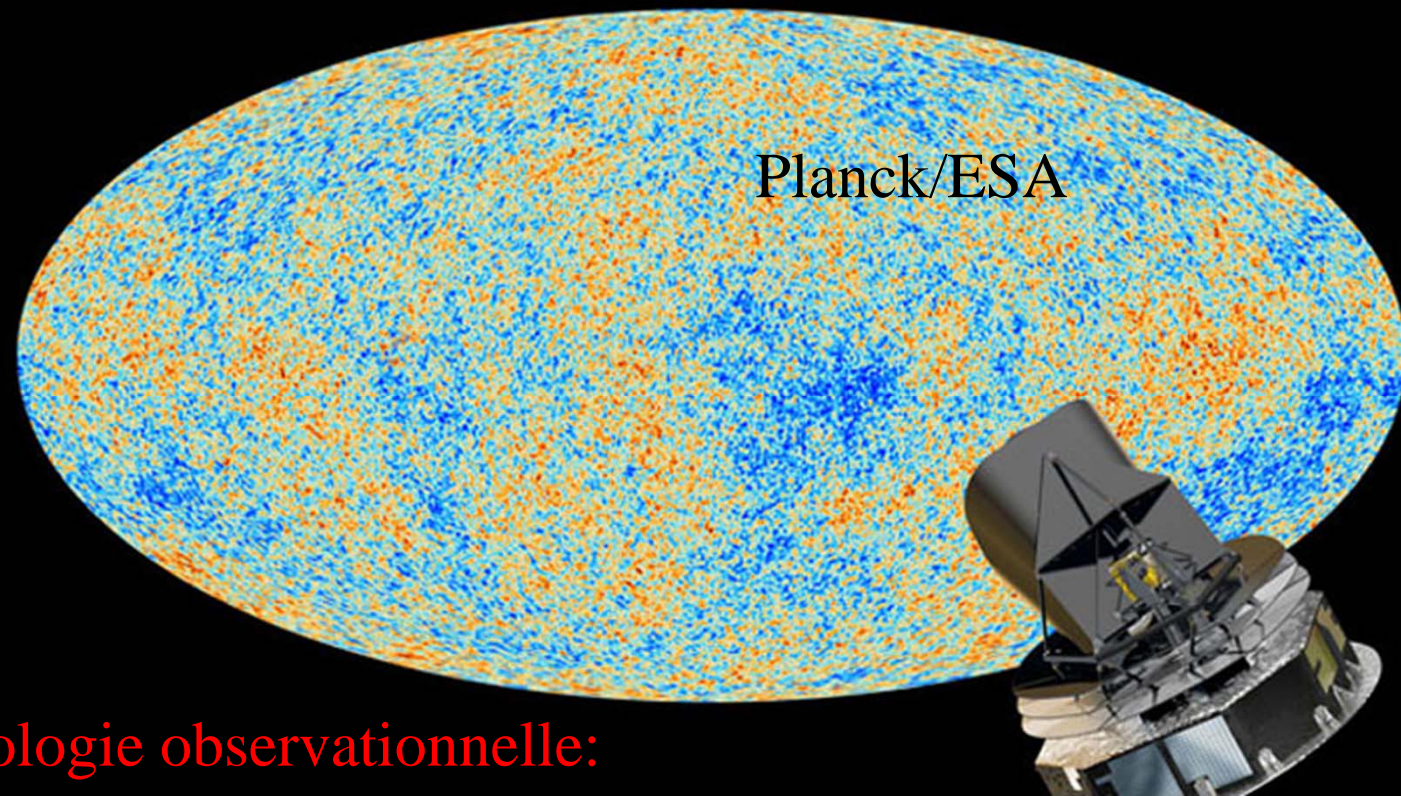
La symétrie n'est plus brisée .. Toutes les forces sont à longue portée ... la brisure de symétrie devient un des moteurs de l'Univers, son observation, un des meilleurs tests de nos théories ..



Nous pouvons mesurer aujourd'hui l'évolution de l'Univers depuis
> 10 milliards d'années ...

Et ceci nous fournit de nouvelles vérifications et de nouveaux défis
(voir exposés de Thomas Hertog, Christophe Ringeval)

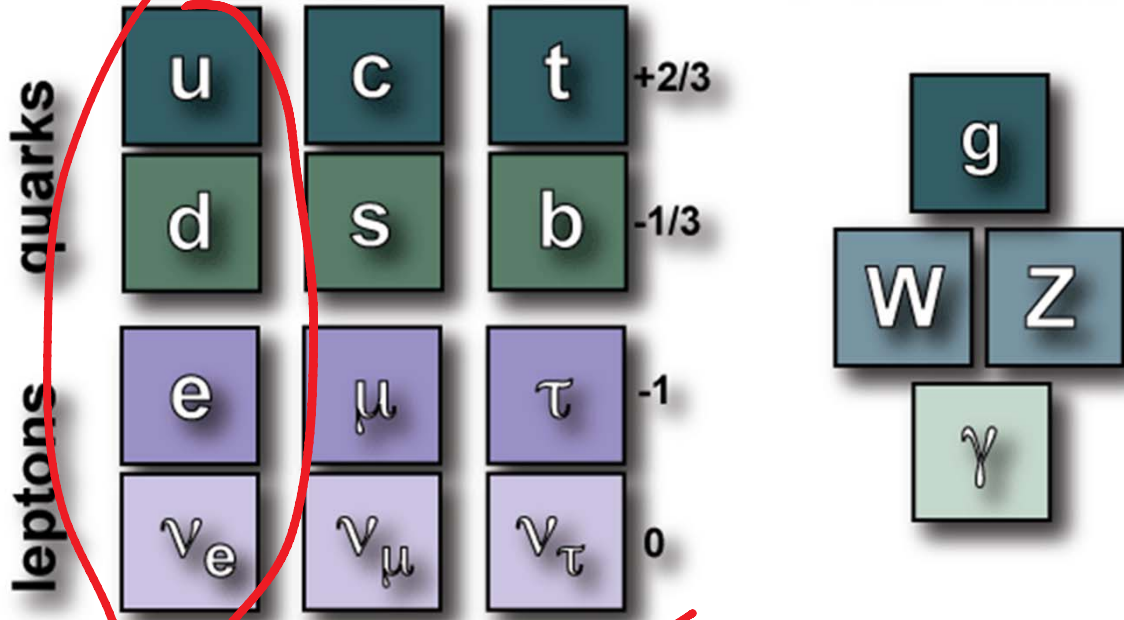
Le rayonnement fossile en garde les traces ..



**Cosmologie observationnelle:
une nouvelle discipline**

matter: fermions

forces: bosons



Pourquoi
3X trop
de particules?

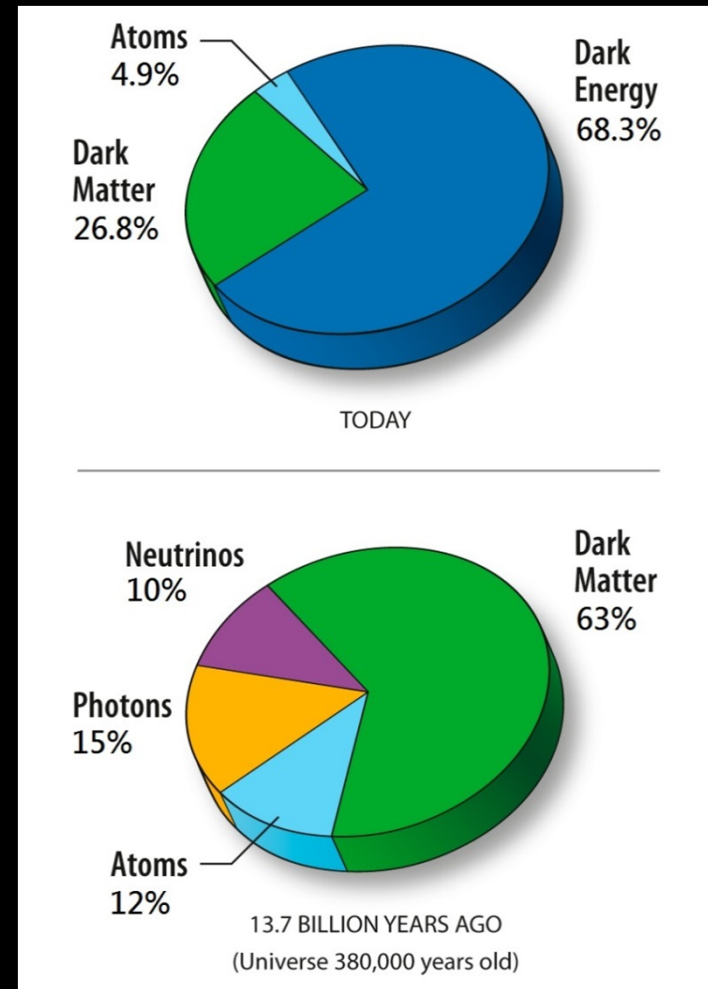
*Compte
la chimie*

*3x trop de
particules!*

*20
paramètres
arbitraires.*



Images Nasa/ESA



La cohésion des galaxies requiert de la **matière noire**,
L'accélération de l'Univers, de **l'énergie noire** ...
(données de Planck)

Les nouveaux défis

Comment est né l'Univers?

Pourquoi la matière l'a-t-elle emporté sur l'antimatière?

De quoi sont faites la matière noire, l'énergie noire?

Pourquoi 3 familles de particules ?...

Pourquoi ces valeurs de masses si étranges?

Nous savons qu'il y a de la nouvelle physique à trouver, mais nous ne savons pas à quelle énergie l'énergie ...

Les accélérateurs restent l'instrument idéal

mais ils sont limités dans les énergies qu'ils peuvent atteindre...

rien ne dit qu'un accélérateur 10 fois plus puissant (le max concevable aujourd'hui) suffira!

Nous devons utiliser **des tests indirects**,

l'observation du début de l'Univers ... qui est le plus grand laboratoire.

Recherche directe aux accélérateurs ✓

Recherche directe de matière noire ?

Recherche indirecte de matière noire

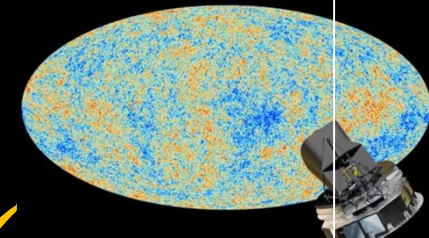
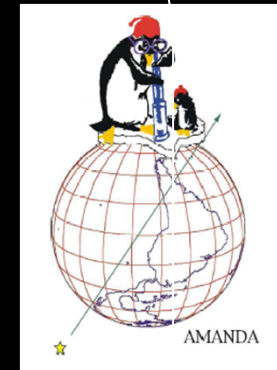
- Icecube (C. de Clerq talk) ✓
- Satellites

Etude de l'univers naissant -- (T. Hertog talk, C Ringeval)

observational cosmology ✓

Mesures de précision ✓

Asymétrie matière-antimatière , nature des neutrinos ?



à développer



en cours



à développer

d'autres perspectives
de haute technologie



Relèverez-vous ces défis ?

Beaucoup de métiers différents (ingénierie, technique de précision, informatique, ...) techniques comme scientifiques doivent collaborer → pour tous les goûts !

Bac	3 ans
Master	2
Doctorat	3-4 ans



Obligation de voyager ...
Postdoc à l'étranger 2* 2 ans

Soit ..12-13 ans
avant le simple espoir
d'un poste académique

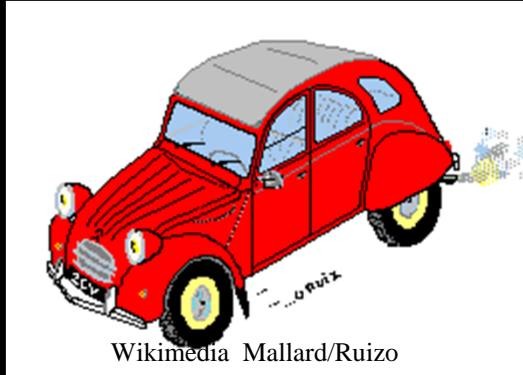
~~650 000 €~~

mais..

**La liberté
de comprendre**

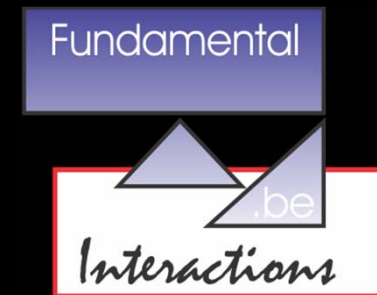
La collaboration entre les groupes de physique des Interactions fondamentales

De longue date, (Georges Lemaître),

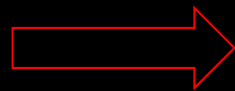


Renforcés par Brout et Englert dans les 70's,

Leuven -Bxl-- LLN express



➔ PAI « Fundamental Interactions » ➔ 2017



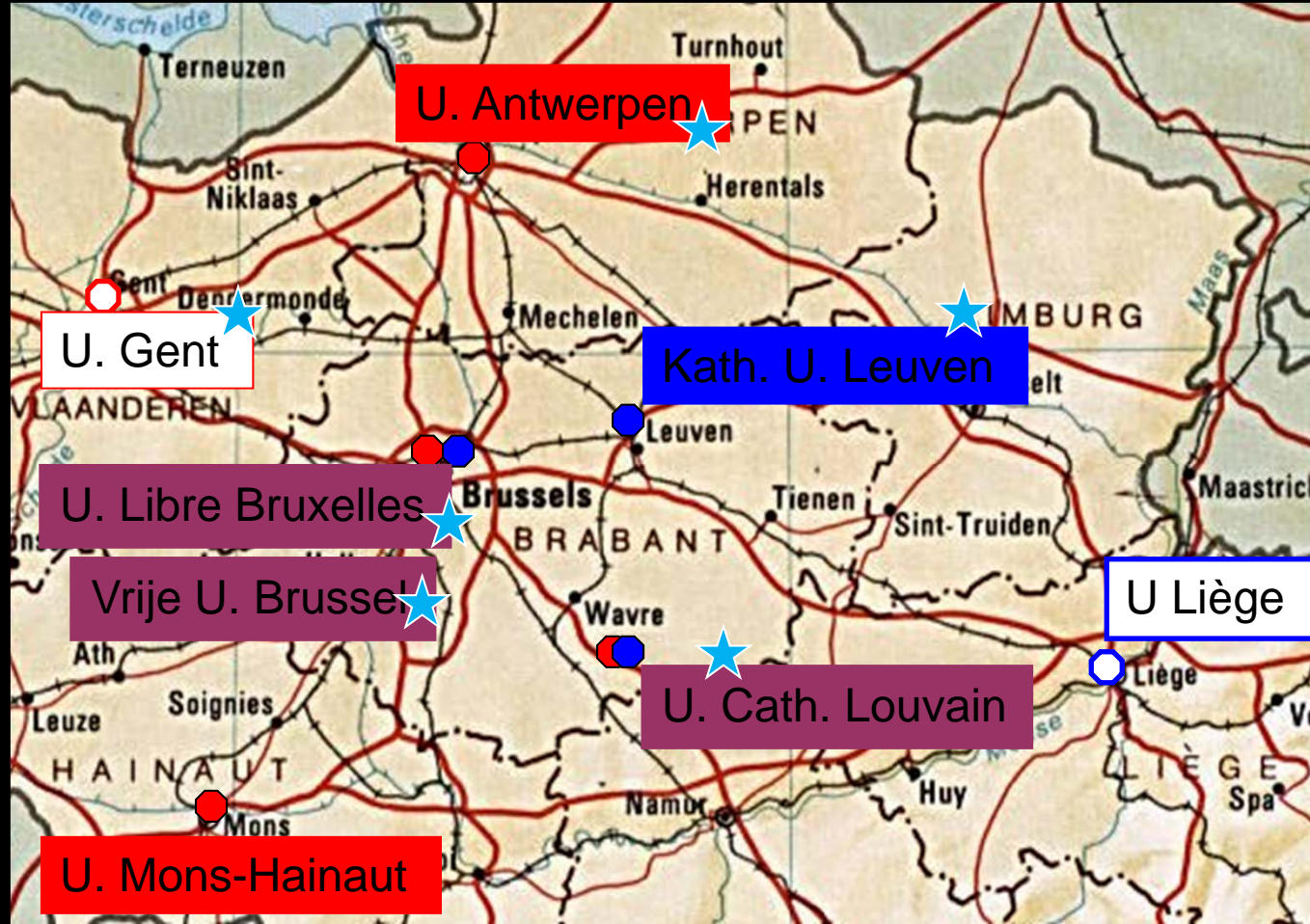
International

Brout

Englert

Lemaître Research Centre

PAI Fundamental Interactions (→ 2017)



TH
EXP
BOTH

IAP V

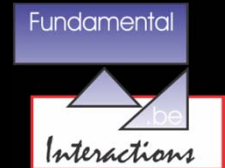
IAP VI

IAP VII



+ Orsay, Durham, NIKHEF, Moscow

La participation PAI de tous ces groupes de haut niveau varie selon les choix des universités, mais tous collaborent via



Une vision et un soutien
à long terme sont
essentiels

International

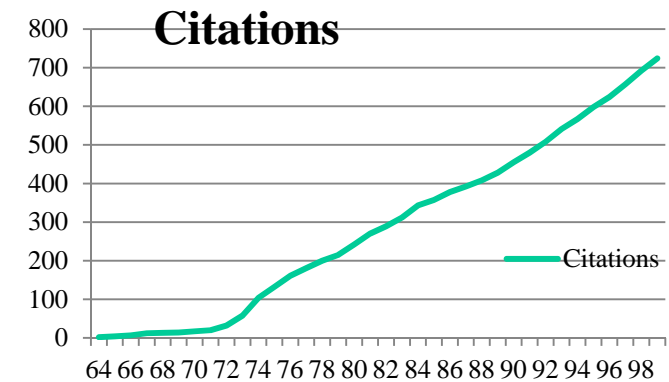
Brout

Englert

Lemaître

Research Centre

*alors que les politiques d'évaluation actuelles
poussent souvent les chercheurs à privilégier
le retour immédiat*



*The Centre will consolidate and strengthen the long-standing,
successful collaboration between prominent Belgian groups
active in fundamental physics and ensure that
Belgium remains an international top player in this field.*

1964: brisure spontanée (Brout-Englert-Higgs)
1964: découverte de la violation de CP (exp)
1967: modèle standard (Glashow Weinberg Salam)
1974: prédiction du 4^{ème} quark
1971: cohérence mathématique ('t Hooft- Veltman)
1973: découverte des courants neutres (confirmation du MS)
1973: prédiction des 6 quarks, pour rendre compte de CP
1974: découverte du 4^{ème} quark (c)
1975: découverte du 3^{ème} lepton (tau)
1977: découverte du quark b
1983: découverte des W, Z au CERN
1990: max 3 familles de fermions (conventionnels)
1995: quark top
Mi-1990 : évidence croissante pour l'énergie noire
1990-2000's détermination précise des fluctuations du rayonnement de fond,
étude intense des conséquences cosmologiques
2000: violation de CP dans les B (confirme la paramétrisation par les scalaires)
2001: preuve décisive des oscillations de neutrinos (soupçonnés depuis 1960
pour le Soleil et 1980 pour les atmosphériques)
2007: GZK cut-off (rayons cosmiques de haute énergie) observé
2012: Observation du Boson Scalaire (Brout-Englert-Higgs) au CERN

LA SUITE
Activité intense dans la recherche de
matière noire, de particules scalaires, de la
supersymétrie, de la masse des neutrinos,