



Session “Modèle Standard” aux JJC 2010

Lac de Maine / Angers – du 21 au 27/11 2010

Eric Chabert
Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien
Université de Strasbourg

Les acteurs de la session:

Ms. MARTELLI, Arabella	arabella.martelli@mib.infn.it
Mrs. NANSI, Andari	andari@lal.in2p3.fr
Mr. MORANGE, Nicolas	nicolas.morange@cea.fr
Mr. YOUSSEF, Khoulaki	khoulaki@lpsc.in2p3.fr
Ms. TSIONOU, Dimitra	Dimitra.Tsionou@cern.ch
Ms. BROUTIN, Clémentine	broutin@llr.in2p3.fr



Qu'y avait-il avant “Beyond the Standard Model” ??

Lac de Maine / Angers – du 21 au 27/11 2010

Eric Chabert
Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien
Université de Strasbourg

Les acteurs de la session:

Ms. MARTELLI, Arabella	arabella.martelli@mib.infn.it
Mrs. NANZI, Andari	andari@lal.in2p3.fr
Mr. MORANGE, Nicolas	nicolas.morange@cea.fr
Mr. YOUSSEF, Khoulaki	khoulaki@lpsc.in2p3.fr
Ms. TSIONOU, Dimitra	Dimitra.Tsionou@cern.ch
Ms. BROUTIN, Clémentine	broutin@llr.in2p3.fr

Le Modèle Standard: toute une histoire ...

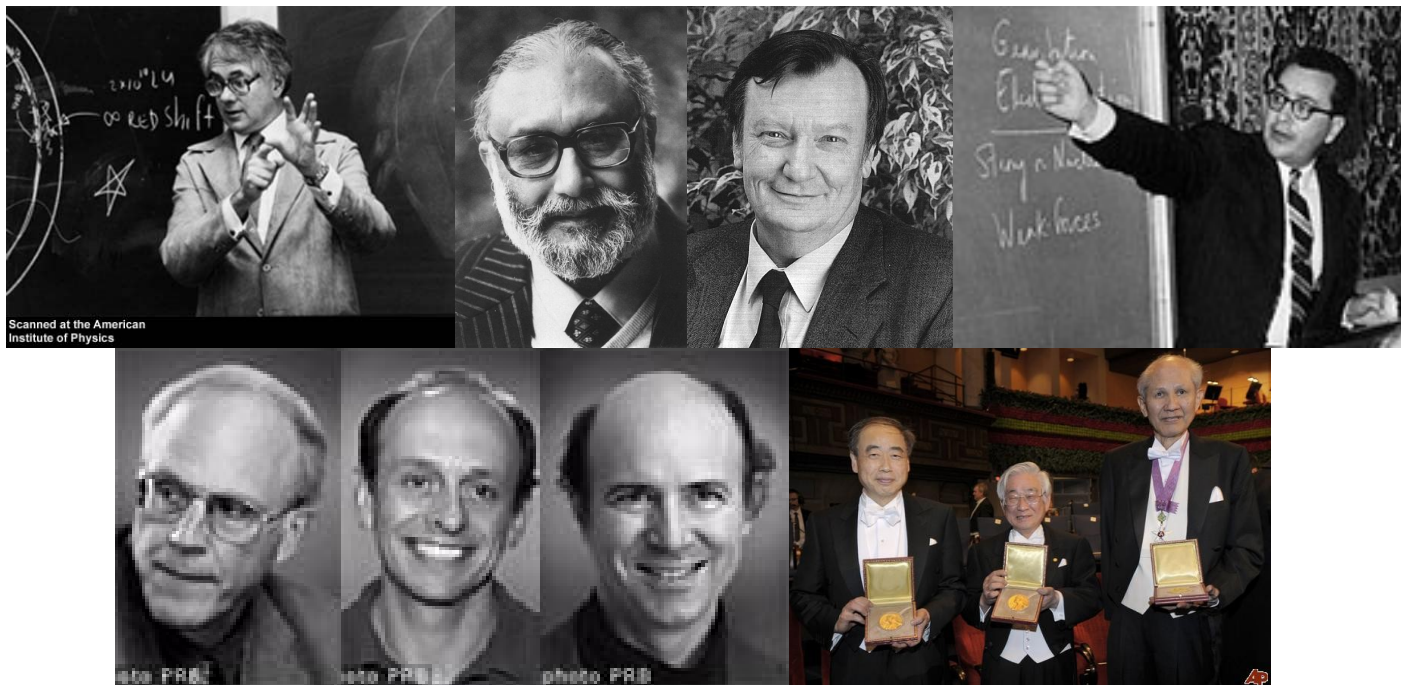
Une histoire qui dure: de 1964 (quarks) à nos jours ...

Une théorie qui prend une dizaine d'année à se construire ...

... et des expériences qui se succèdent pendant près de 40 ans

Allant de découvertes de nouvelles particules à des mesures d'extrême précision qui valident l'édifice théorique

Quelques un de ceux ont marqués l'histoire de la physique des particules ...



Who's who ?

une histoire ... d'actualité

Tous ont reçu un prix Nobel

u d s

Nobel work: discovering a large number of particles, achieved through the development of new detection and analysis tools
Laureate: Luis Alvarez
Discovery made: 1959–1964
Nobel awarded: 1968

u d s

Nobel work: classifying the experimentally observed particle zoo by introducing the concepts of strangeness and quarks
Laureate: Murray Gell-Mann
Discovery made: 1963, 1961, 1964
Nobel awarded: 1969

u d

Nobel work: finding the first evidence that protons and neutrons are made of smaller building blocks: quarks
Laureates: Jerome Friedman, Henry Kendall, and Richard Taylor
Discovery made: 1968
Nobel awarded: 1990

s

Nobel work: predicting that the weak nuclear force violates parity, or mirror symmetry, which leads to experimental signatures in beta decay as well as decay of strange particles
Laureates: Tsung-Dao Lee and Chen Ning Yang
Discovery made: 1956
Nobel awarded: 1957

s

Nobel work: discovering that neutral K mesons, which contain a strange quark, violate the fundamental matter-antimatter symmetry known as CP
Laureates: James Cronin and Val Fitch
Discovery made: 1964
Nobel awarded: 1980

c

Nobel work: pioneering work in the discovery of the charm quark, the fourth quark observed in experiments
Laureates: Burton Richter and Samuel Ting
Discovery made: 1974
Nobel awarded: 1976



t b

Nobel work: predicting the bottom and top quarks to explain the symmetry-violating behavior of particles containing a strange quark
Laureates: Makoto Kobayashi and Toshihide Maskawa (sharing the prize with Yoichiro Nambu)
Discovery made: 1973
Nobel awarded: 2008

ν_e

Nobel work: detecting the first neutrino
Laureate: Frederick Reines (sharing the prize with Martin Perl)
Discovery made: 1956
Nobel awarded: 1995

ν_e

Nobel work: detecting cosmic neutrinos, produced by the sun and by supernova explosions, thus starting the field of neutrino astronomy
Laureates: Raymond Davis and Masatoshi Koshiba (sharing the prize with Riccardo Giacconi)
Discovery made: 1980s
Nobel awarded: 2002



ν_μ

Nobel work: showing that there are at least two types of neutrinos, thereby discovering the muon neutrino
Laureates: Leon Lederman, Melvin Schwartz, and Jack Steinberger
Discovery made: 1962
Nobel awarded: 1988

τ

Nobel work: discovering the tau lepton, the first observation of a particle that belongs to the third generation of elementary particles
Laureate: Martin Perl (sharing the prize with Frederick Reines)
Discovery made: 1976
Nobel awarded: 1995

g

Nobel work: discovering that as two quarks move away from each other they remain tightly bound together due to the strong nuclear force, mediated by the exchange of gluons.
Laureates: David Gross, David Politzer, and Frank Wilczek
Discovery made: 1973
Nobel awarded: 2004

Nobel 2004:
 “for the discovery of asymptotic freedom in the theory of the strong interaction”

Nobel 2008:
 “for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature”

En tout 15 prix Nobel reliés au Modèle Standard ...

Dernières particules découvertes:

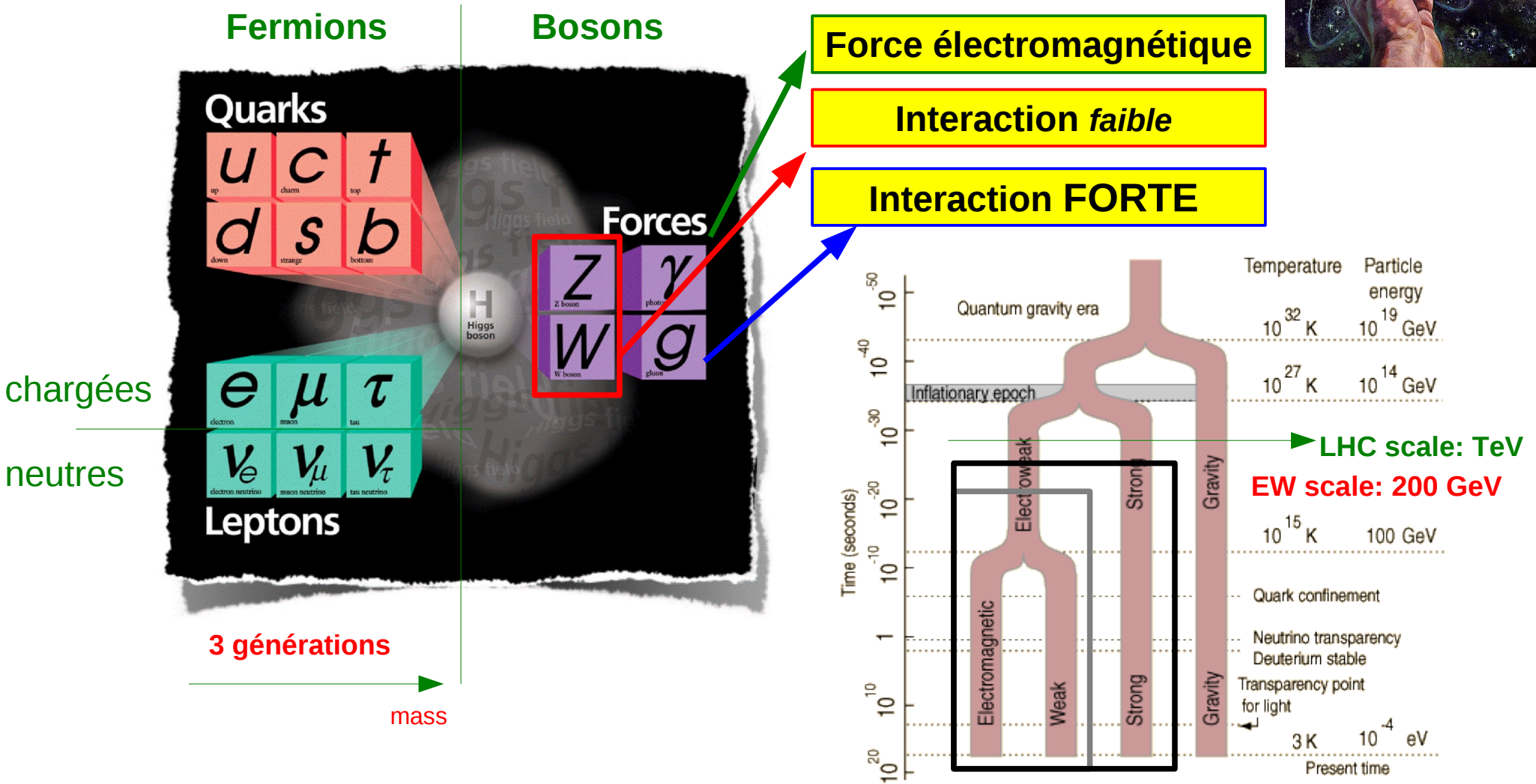
1995: quark top

2000: neutrino tauonique

Particules & interactions

Le **Modèle Standard**:

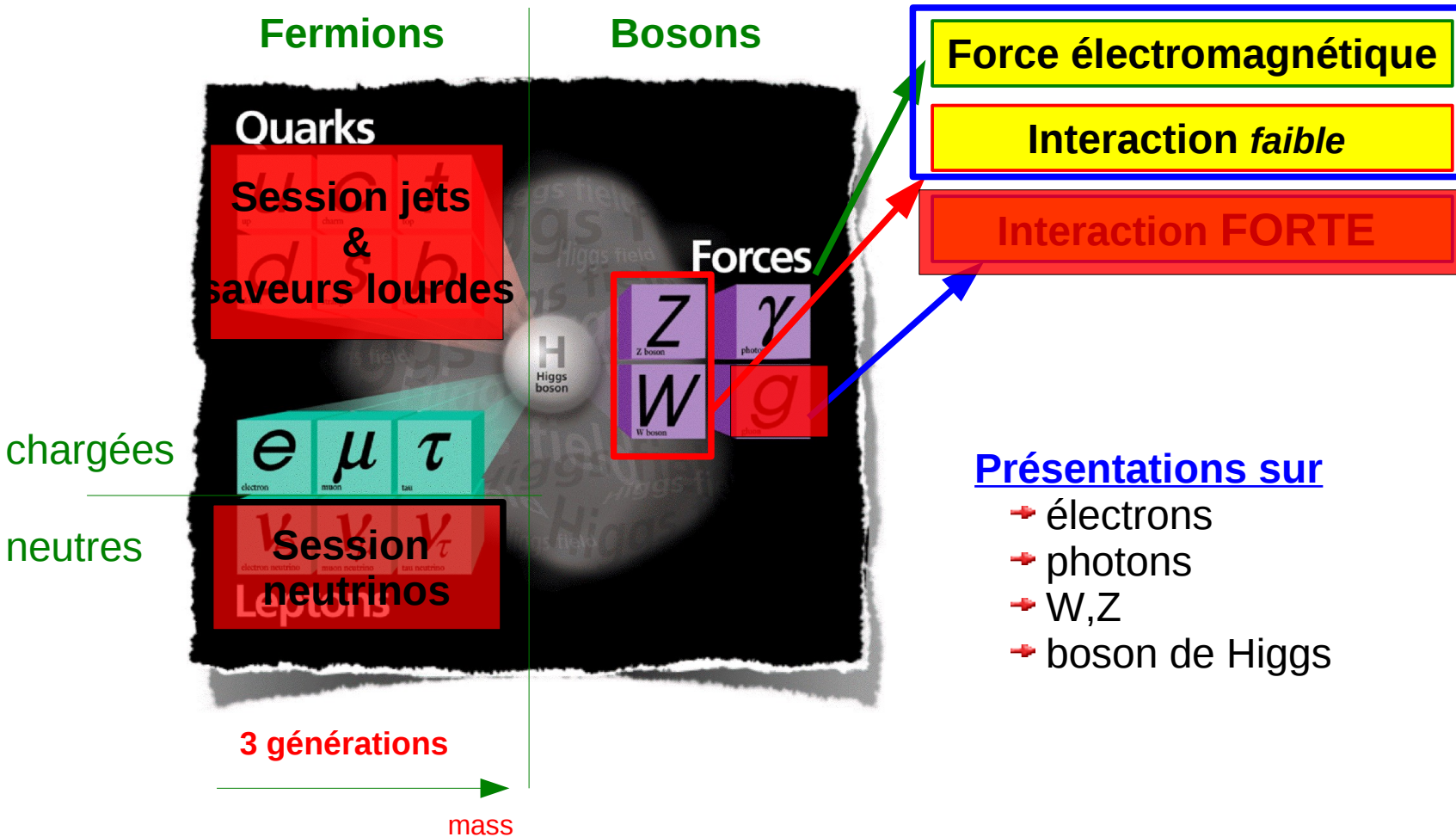
- recenser les particules élémentaires (brique de *matière*)
- décrire les interactions qui les régissent (*forces*)



Particules & interactions

Le **Modèle Standard**:

- recenser les particules élémentaires (brique de **matière**)
- décrire les interactions qui les régissent (**forces**)



Présentations sur

- électrons
- photons
- W,Z
- boson de Higgs

Le “formalisme”

Le Modèle Standard:

- Théorie quantique des champs
 - Quantique
 - Relativiste (relativité restreinte, RG non incluse)

■ Théorie de jauge: symétrie: $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$

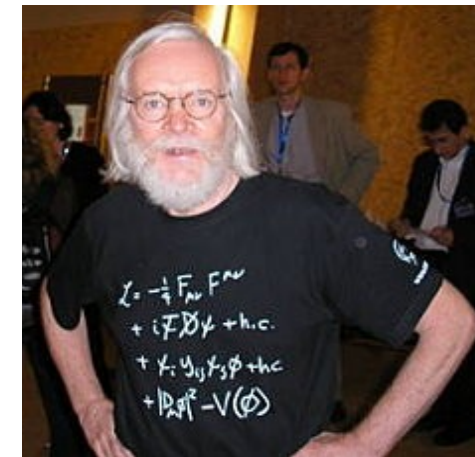
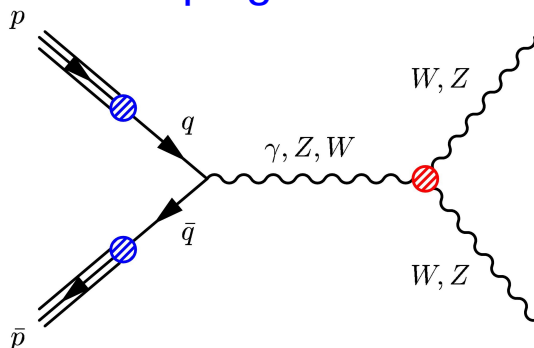
QCD
EW

- U(1): champ $B_{\mu\nu}$, coupage g' , Hypercharge
- SU(2): champ $W_{\mu\nu}$, coupage g , Isospin

- Théorie renormalisable

SU(2) non abélien

→ couplage trilineaire



John Ellis ou la simplicité d'un Lagrangien qui tient sur un tee-shirt...

<i>SU(2)xU(1) electroweak unification particles</i>		<i>Weak isotopic charge</i>	<i>Weak hypercharge</i>	<i>Electric charge</i>
Quark doublet	u_L	+1/2	+1/3	+2/3
	d_L	-1/2	+1/3	-1/3
Quark singlets	u_R	0	+4/3	+2/3
	d_R	0	+2/3	-1/3
Lepton doublet	$(\nu_e)_L$	+1/2	-1	0
	e_L	-1/2	-1	-1
Lepton singlet	e_R	0	-2	-1
Boson triplet	W_+	+1	0	+1
	W_0/Z_0	0	0	0
	W_-	-1	0	-1
Boson singlet	B	0	0	0

et les masses ...

Unification des interactions électromagnétiques et faibles

→ **Théorie électrofaible** (renormalisable):

- symétrie jauge électrofaible SU(2)xU(1)
- 4 bosons de jauge: W^+, W^-, Z, γ

Or expérimentalement les bosons W et Z sont massifs ...

L'addition de termes de masse ($m\Phi\Phi$) dans le Lagrangien

- Brisera l'invariance de jauge
- Rendrait la théorie non renormalisable

Comment générer des masses aux champs de jauge ?

En brisant "*spontanément*" la symétrie de jauge:

mécanisme de Brout-Englert-Higgs

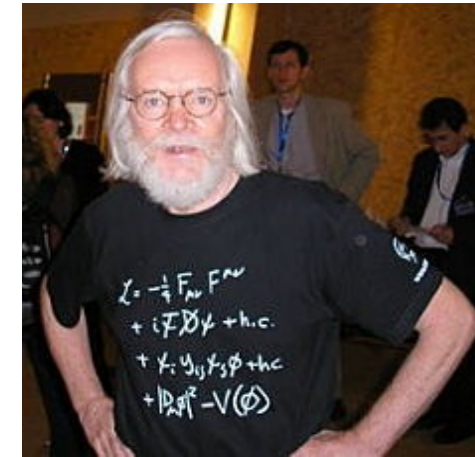
Introduction d'un doublet de Higgs

Choix d'un potentiel tel que le vide brise la symétrie

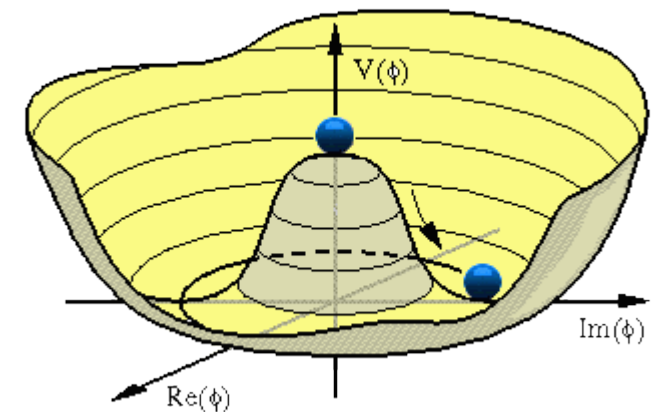
→ v.e.v $\neq 0$ (v.e.v = 246 GeV)

Conséquences:

- Génère les masses des bosons W et Z
- Génère les masses des fermions via le couplage de Yukawa
- Prédit l'existence d'un boson scalaire neutre:
le fameux "**bosons de Higgs**" ...



John Ellis ou la simplicité d'un Lagrangien qui tient sur un tee-shirt...



$$V(\Phi^+\Phi) = \mu^2 \Phi^+\Phi + \frac{\lambda}{2} (\Phi^+\Phi)^2$$
$$v = \sqrt{\frac{-\mu^2}{\lambda}}$$

et les masses ...



$$\rightarrow (\mathcal{D}_\mu \phi)^\dagger \mathcal{D}^\mu \phi - \mathcal{V}(\phi) - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

$$\mathcal{D}_\mu \phi = \partial_\mu \phi - ie A_\mu \phi$$

$$F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$$

$$\mathcal{V}(\phi) = \chi \phi^\dagger \phi + \beta (\phi^\dagger \phi)^2$$

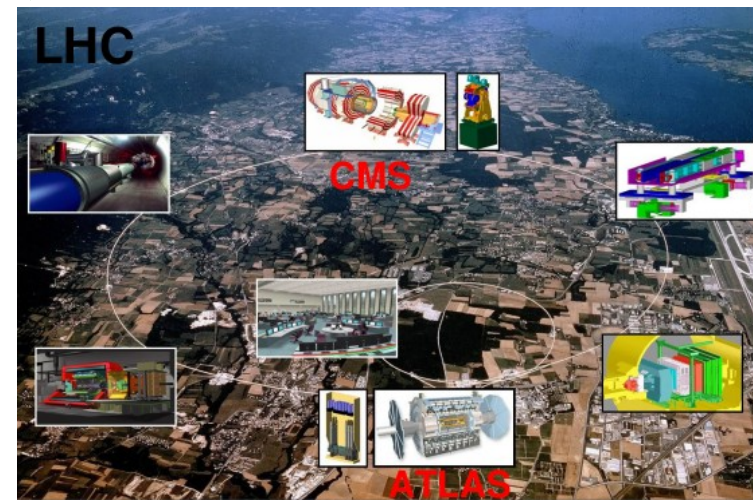
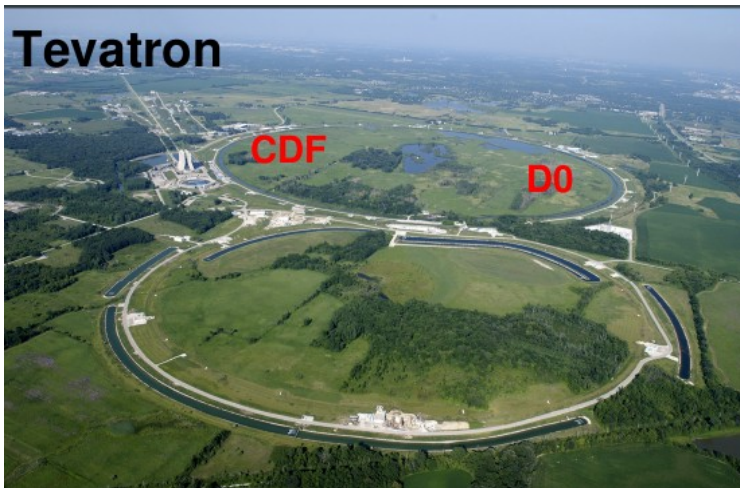
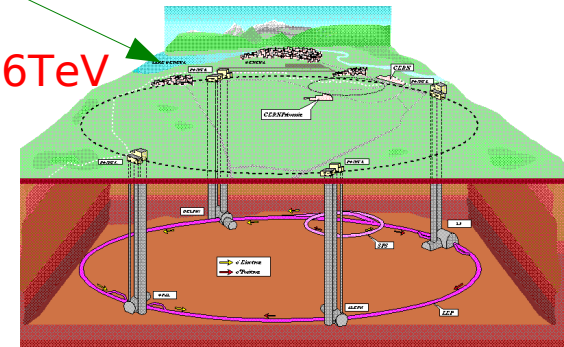
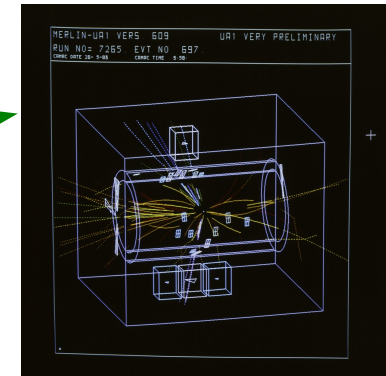
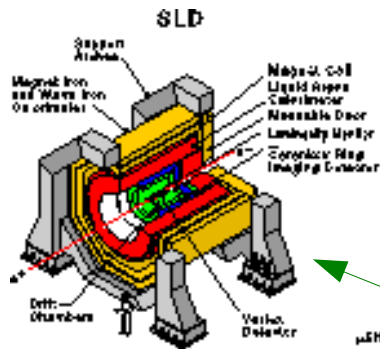
$$\chi < 0, \beta > 0$$

Les tests expérimentaux ...

Parmi les expériences qui ont le plus contribué au secteur électrofaible

- **SPS**, dès 1981 – $p\bar{p}$ @ 540 GeV
 - ➔ Exp: UA1/2
 - ➔ Découverte du W/Z en 1983
 - ➔ Prix Nobel à Carlo Rubbia
- **LEP**: [1989,2000] – e^+e^- @ < 209 GeV
 - Exp: ALEPH, DELPHI, L3, OPAL
- **Tevatron**: I(92-96),II(>2001) $p\bar{p}$ @ 1.96TeV
 - Exp: D0, CDF
- **LHC**: (2009,...) pp @ 7-14 TeV
 - Exp: ATLAS, CMS, LCHb

sans oublier SLD, HERA, Babar, Belle ..



EW analysis

Une analyse électrofaible de précision c'est:

- Travailler sur un **détecteur** avec d'excellentes performances (R&D) et dont le fonctionnement est bien connu (calibration)
 - **session instrumentation**
- Avoir une **simulation** réaliste (théorie & les générateurs LO/NLO)
Dans le cas des collisionneurs hadroniques: connaître QCD & les pdfs
 - **session jets & saveurs lourdes**
- Avoir une **statistique** suffisamment importante (accélérateur, luminosité)
- Faire un **traitement** souvent complexe de données pour obtenir la meilleure précision...
 - Prise en compte de tous les effets systématiques
trigger – reconstruction – eff selection – taux de faux ...
 - Des techniques statistiques sophistiquées

Pour:

- Battre des “records du monde” ...
- Tester la validité de la théorie
- Mettre des contraintes fortes sur des extensions du Modèle Standard
 - **session “Au delà du Modèle Standard”**

EW analysis

Une analyse électrofaible de précision c'est:

- Travailler sur un **détecteur** avec d'excellentes performances (R&D) et dont le fonctionnement est bien connu (calibration)
→ **session instrumentation**
- Avoir une **simulation** réaliste (théorie & les générateurs LO/NLO)
Dans le cas des collisionneurs hadroniques: connaître QCD & les pdfs
→ **session jets & saveurs lourdes**
- Avoir une **statistique** suffisamment importante (accélérateur, luminosité)
- Faire un **traitement** souvent complexe de données pour obtenir la meilleure précision...
 - Prise en compte de tous les effets systématiques
trigger – reconstruction – eff selection – taux de faux ...
 - Des techniques statistiques sophistiquées

Pour:

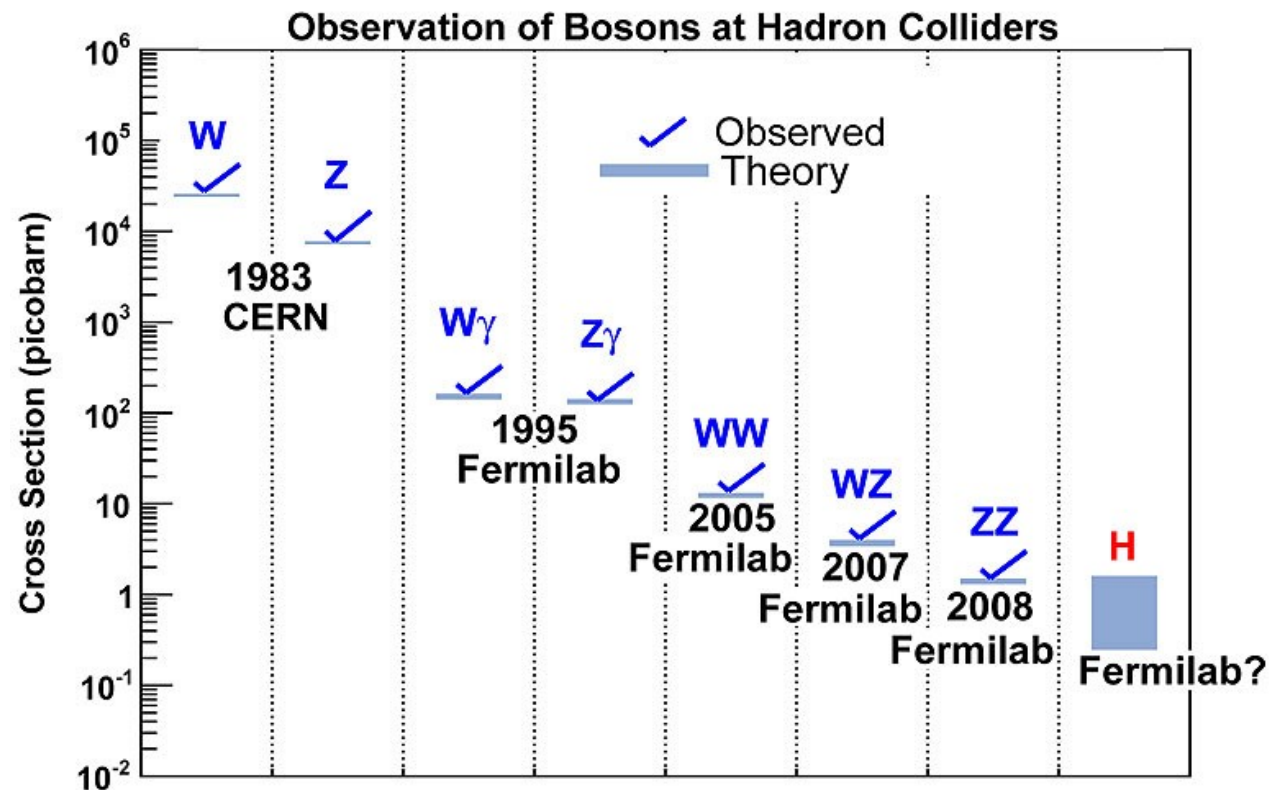
- Battre des “records du monde” ...
- Tester la validité de la théorie
- Mettre des contraintes fortes sur des extensions du Modèle Standard
→ **session “Au delà du Modèle Standard”**

Observation de processus rares

Les expériences se succèdent ...

... la **luminosité** augmente ...

... des processus de plus en rare deviennent accessibles ...



Test de consistance du Modèle Standard

	Measurement with Total Error	Systematic Error	Standard Model fit	Pull
$\Delta\alpha_{\text{had}}^{(5)}(m_Z^2)$ [46]	0.02758 ± 0.00035	0.00034	0.02768	-0.3
a) <u>LEP-I</u> line-shape and lepton asymmetries:				
m_Z [GeV]	91.1875 ± 0.0021	^(a) 0.0017	91.1874	0.0
Γ_Z [GeV]	2.4952 ± 0.0023	^(a) 0.0012	2.4959	-0.3
σ_{had}^0 [nb]	41.540 ± 0.037	^(b) 0.028	41.478	1.7
R_ℓ^0	20.767 ± 0.025	^(b) 0.007	20.742	1.0
$A_{\text{FB}}^{0,\ell}$ + correlation matrix [1]	0.0171 ± 0.0010	^(b) 0.0003	0.0165	0.7
τ polarisation: $\mathcal{A}_\ell(\mathcal{P}_\tau)$	0.1465 ± 0.0033	0.0016	0.1481	-0.5
q \bar{q} charge asymmetry: $\sin^2\theta_{\text{eff}}^{\text{lep,t}}(Q_{\text{FB}}^{\text{had}})$	0.2324 ± 0.0012	0.0010	0.23138	0.8
b) <u>SLD</u> \mathcal{A}_ℓ (SLD)	0.1513 ± 0.0021	0.0010	0.1481	1.5
c) <u>LEP-I/SLD Heavy Flavour</u>				
R_b^0	0.21629 ± 0.00066	0.00050	0.21579	0.8
R_c^0	0.1721 ± 0.0030	0.0019	0.1723	-0.1
$A_{\text{FB}}^{0,b}$	0.0992 ± 0.0016	0.0007	0.1038	-2.9
$A_{\text{FB}}^{0,c}$	0.0707 ± 0.0035	0.0017	0.0742	-1.0
\mathcal{A}_b	0.923 ± 0.020	0.013	0.935	-0.6
\mathcal{A}_c + correlation matrix [1]	0.670 ± 0.027	0.015	0.668	0.1
d) <u>LEP-II and Tevatron</u>				
m_W [GeV] (LEP-II, Tevatron)	80.399 ± 0.023		80.379	0.9
Γ_W [GeV] (LEP-II, Tevatron)	2.098 ± 0.048		2.092	0.1
m_t [GeV] (Tevatron [21])	173.1 ± 1.3	1.1	173.2	-0.1

Les paramètres libres du Modèle Standard:

- g, g', α_s les trois constantes de couplages:
- $m(H), v_{\text{ev}}$
- les masses des neuf fermions:
 - ➔ six pour les quarks
 - ➔ trois pour les leptons
 - ➔ + neutrinos
- 4 paramètres pour la matrice de mélange des quarks matrice de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa

Les observables:

- masses/largeur des bosons W/Z
- masse du top
- Asymétries
- ...

$$m_W = g \frac{v}{2}$$

$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2} \frac{v}{2}$$

Test de consistance du Modèle Standard

Le "fit" électrofaible



Excellent accord entre mesures expérimentales et prédictions théoriques

Pourquoi doit-on continuer ?

- Le boson de Higgs n'a pas été trouvé
- Des processus sont encore peu connus (VV)
- Le secteur du quark top peut nous révéler des informations ..
- Au LHC on va pouvoir le tester à l'échelle du TeV

Explique-t-il tout ?

- Les résultats expérimentaux en collisionneurs: **OUI**
- Les résultats astrophysique: **NON**
- Matière & Energie noire
- Asymétrie matière/antimatière

August 2009

Les analyses @Tevatron/LHC

Les analyses électrofaibles:

■ Section efficaces:

→ W/Z

→ W/Z+ γ

→ dibosons: WW, WZ, ZZ

■ Mesures d'asymétries

■ Propriétés:

→ masse

→ largeur

→ désintégrations

Dimitra Tsionou: W \rightarrow eu dans ATLAS

Arabella Martelli: WZ dans CMS

Les recherches de boson de Higgs

■ A basse masse

→ H $\rightarrow\gamma\gamma$

→ H $\rightarrow b\bar{b}$

→ dibosons: WW, WZ, ZZ

■ A haute masse

→ H $\rightarrow WW/ZZ$

Clémentine Broutin: reconstruction des électrons dans CMS

Morange Nicolas: fond Zbb dans ATLAS

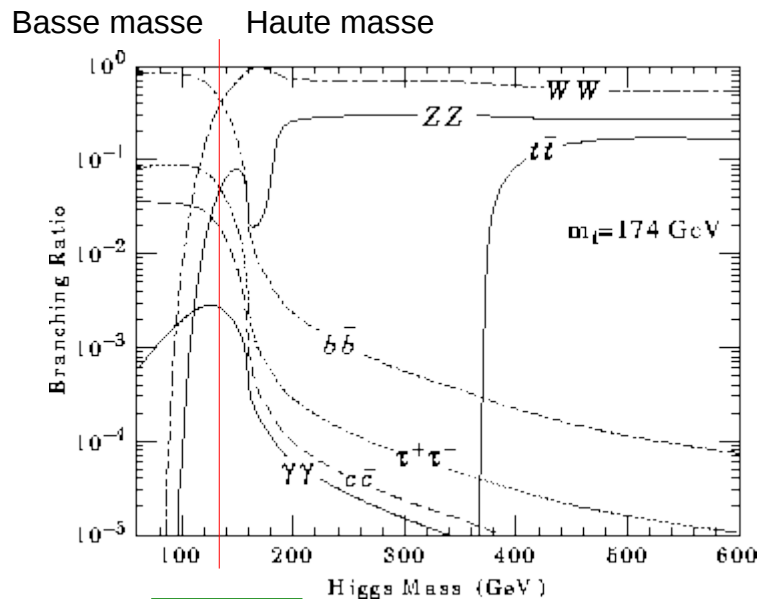
■ Productions associées

→ ee \rightarrow HZ

→ ...

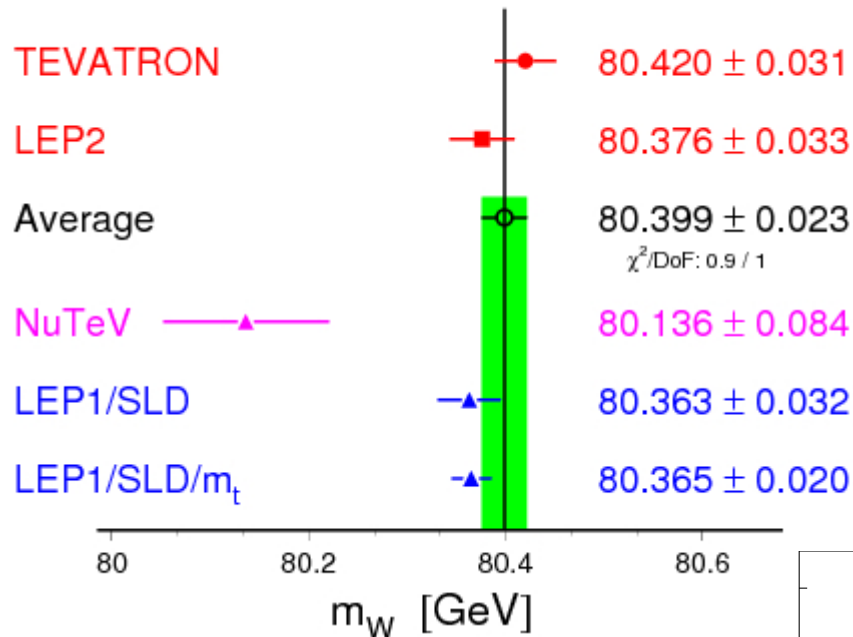
Khoulaki Youssef: mesure de la masse du Higgs

e⁺e⁻ \rightarrow HZ \rightarrow e⁺e⁻+X

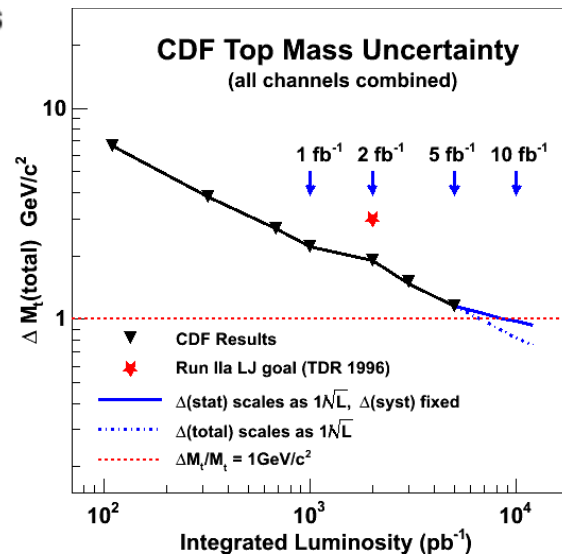
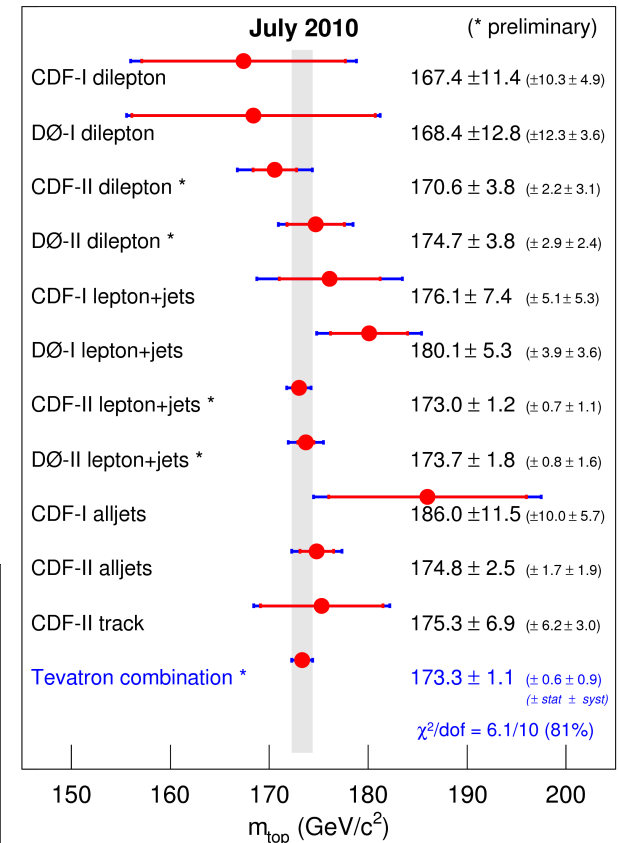


Des mesures de précisions

W-Boson Mass [GeV]



Mass of the Top Quark



Des mesures importantes pour le secteur du Higgs

Boson de Higgs: limites "actuelles" ...

Jusqu'à il y a pas si longtemps (Juillet 2008)

Fit électrofaible:

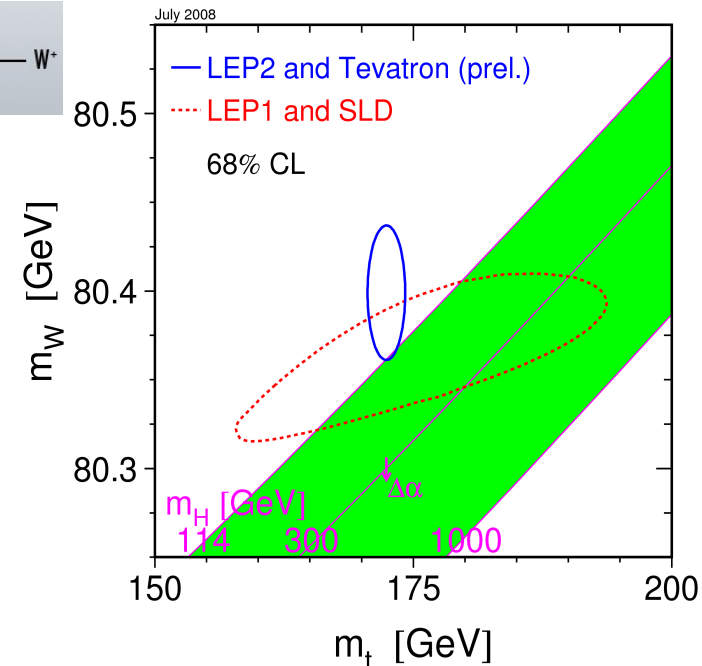
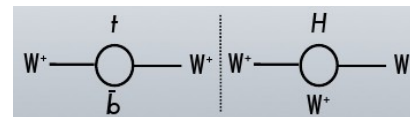
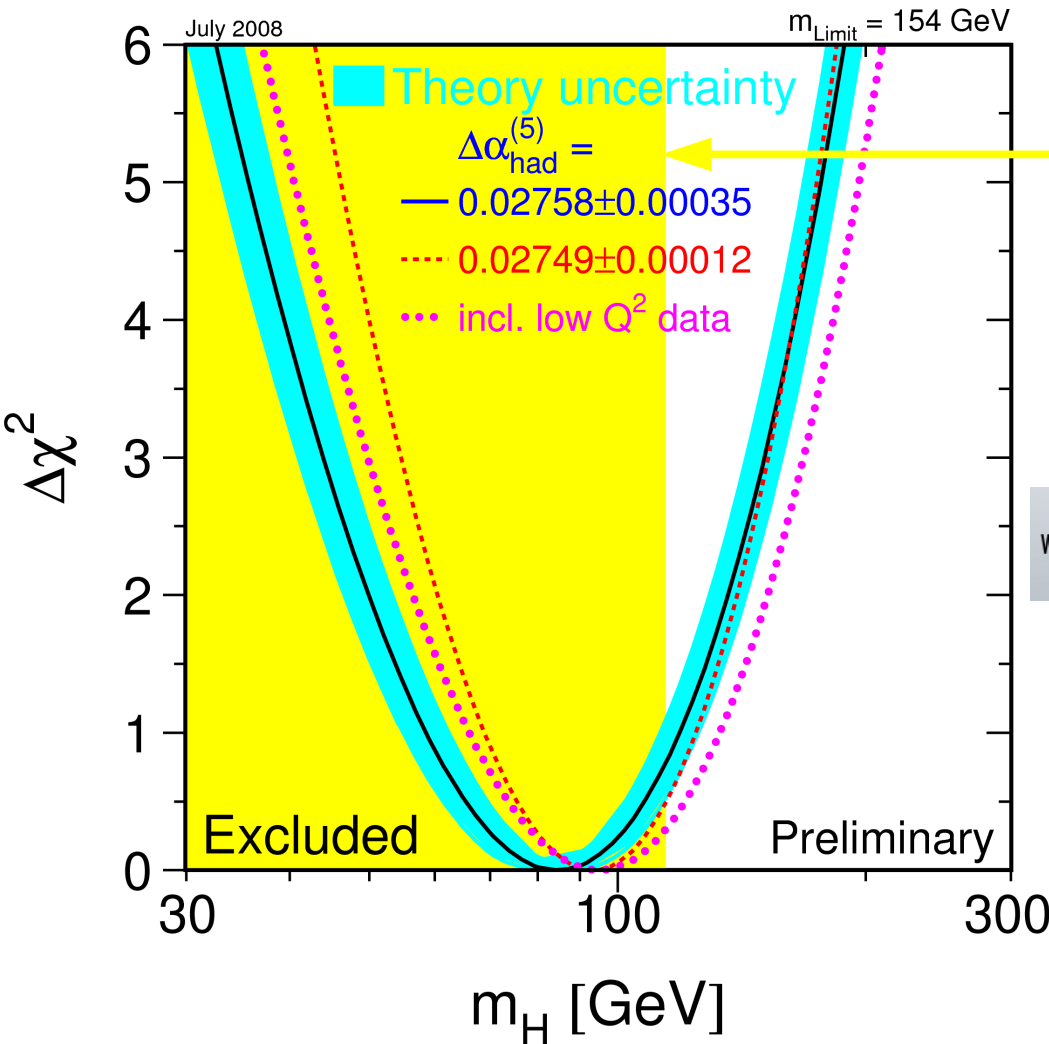
Valeur la plus probable: 84_{-26}^{+34} GeV
 $m(H) < 154$ GeV à 95 CL

Recherche directe à LEP:

$m(H) > 114.4$ GeV

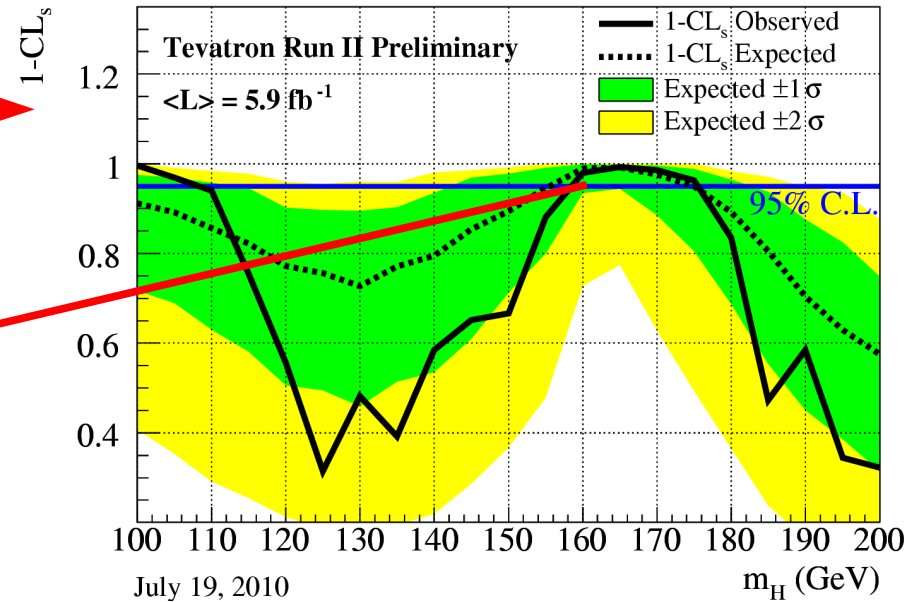
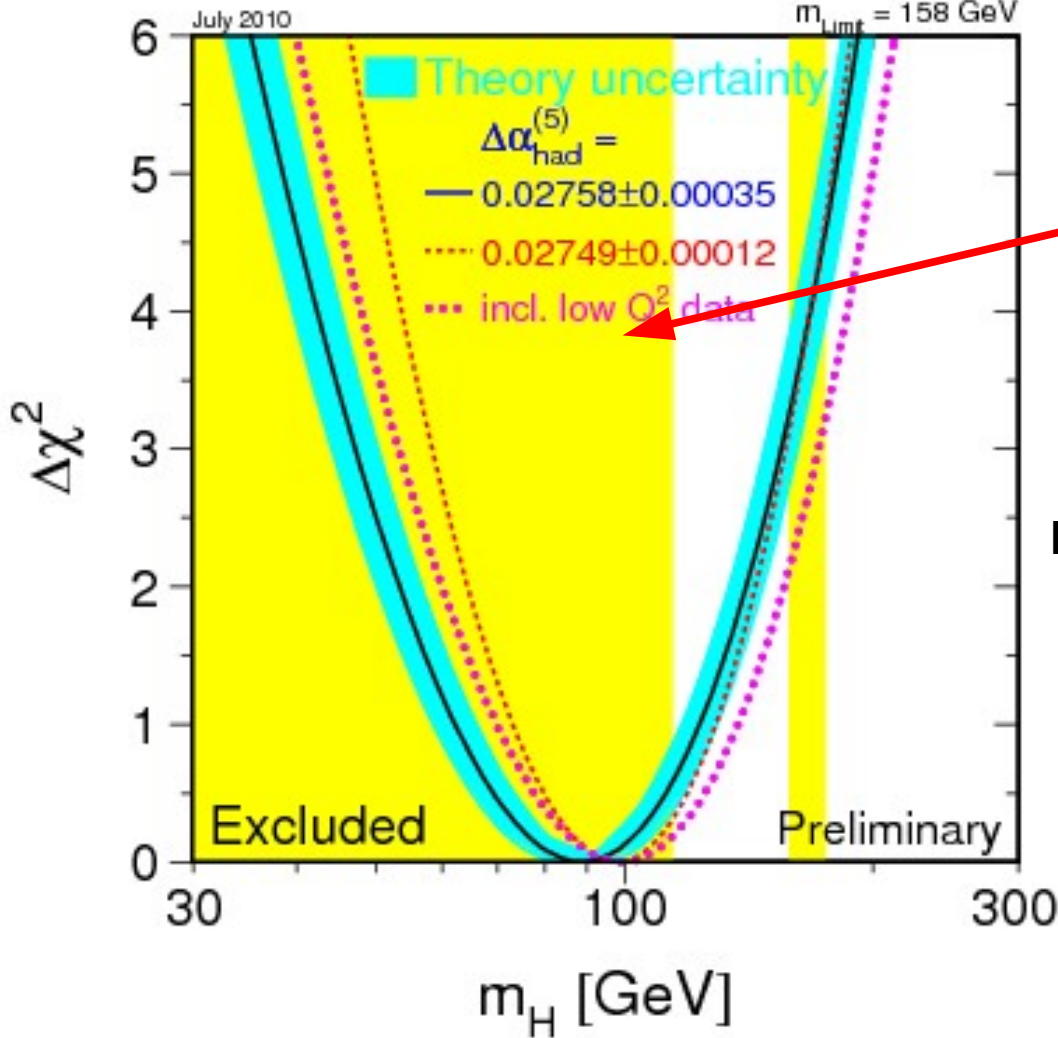
Recherche indirecte:

Les masses du W et du top contraignent la masse du Higgs ... (dominent les corrections radiatives)



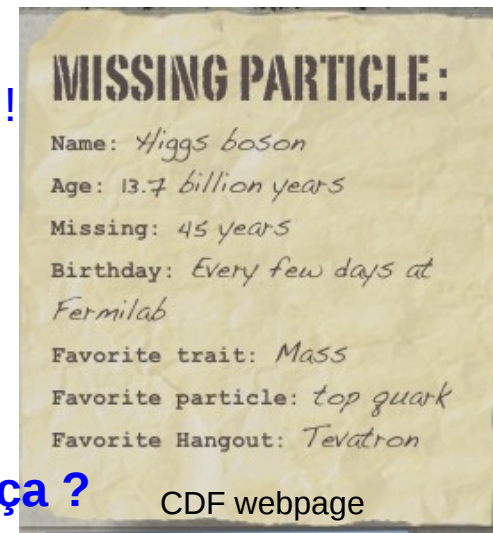
Boson de Higgs: limites **actuelles** ...

Mais il y a eu la "percée" du Tevatron à "haute masse" ...



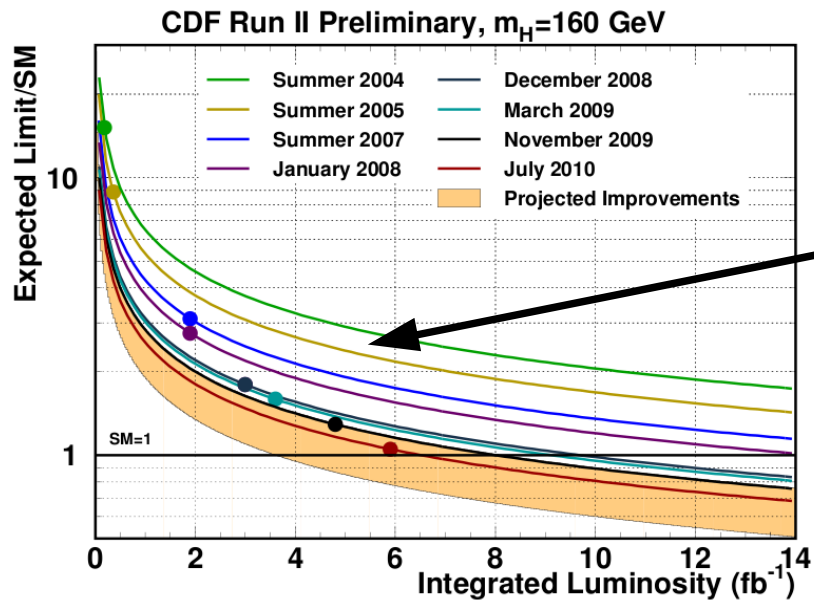
Exclusion $m(H)$ entre [158-175] GeV à 95% CL

Le boson de Higgs ... activement recherché !



Et quelles sont les perspectives pour le futur ? Et le LHC dans tout ça ?

La compétition: Tevatron vs LHC



Une sensibilité d'au moins 2σ sur toute la région **non exclue**

Avantages:

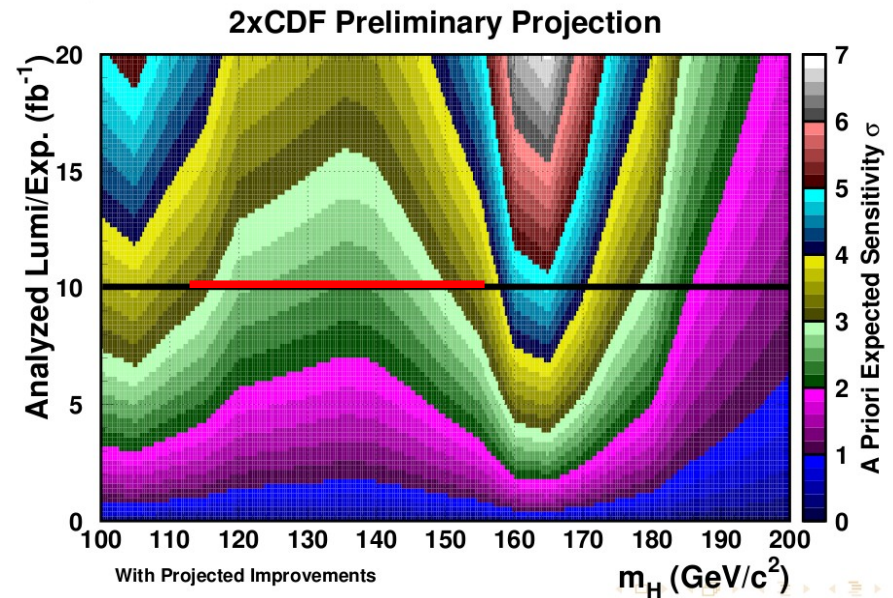
Expérience qui accumule de la statistique

- $5/6\text{pb}^{-1}$ analysés
- $\sim 10\text{pb}^{-1}$ enregistrés

Une expérience accumulée qui paie

- Compréhension du détecteur
- Amélioration de la reconstruction
- Amélioration de la sensibilité

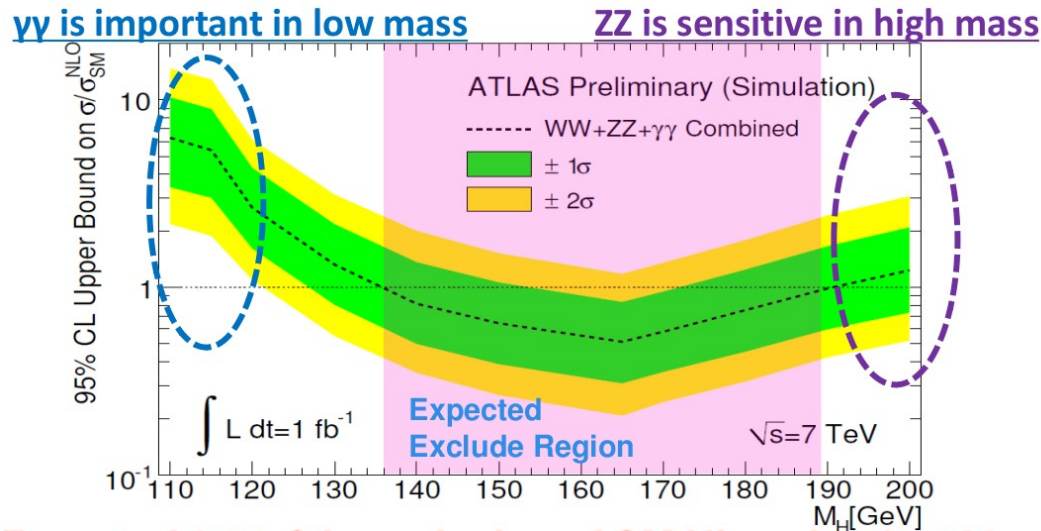
Leurs projections (ICHEP 2010)



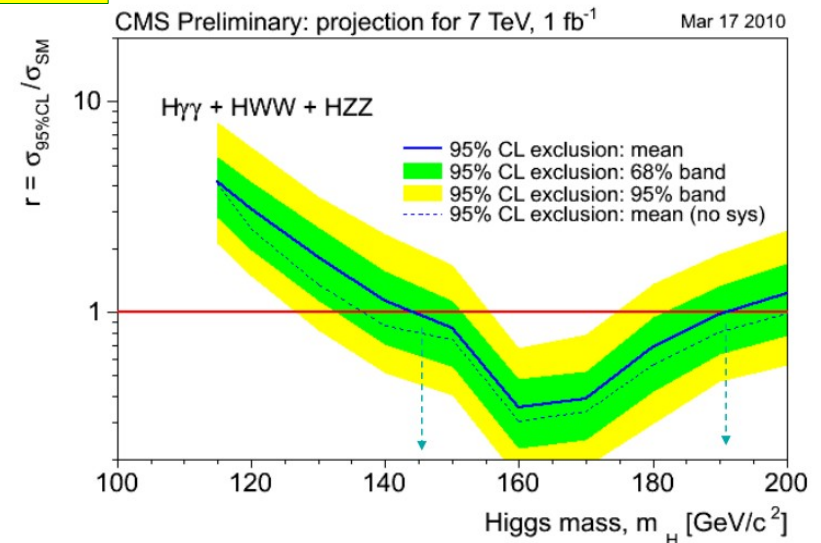
La compétition: Tevatron vs LHC

Projection (ICHEP 2010):
 $\sqrt{s}=7\text{TeV} - 1 \text{ fb}^{-1} - \text{end 2011}$

ATLAS



CMS



Avantages:

- Des sections efficaces plus importantes
- Des détecteurs “nouvelle génération” (trajectographe, ECAL)

L'avenir arbitrera cette compétition ... avec une découverte ou une exclusion !!
Ce qui sûr, c'est qu'on entendra parler du Higgs aux JJC 2011 !
Et pas seulement aux JJC ...

Higgsmania ...

Il va falloir s'habituer à avoir une “**actualité**” orientée Higgs ...

Un “Higgs” qui défraîit la chronique ...

Higgsmania ...

Il va falloir s'habituer à avoir une “**actualité**” orientée Higgs ...

Un “Higgs” qui défraîit la chronique ...

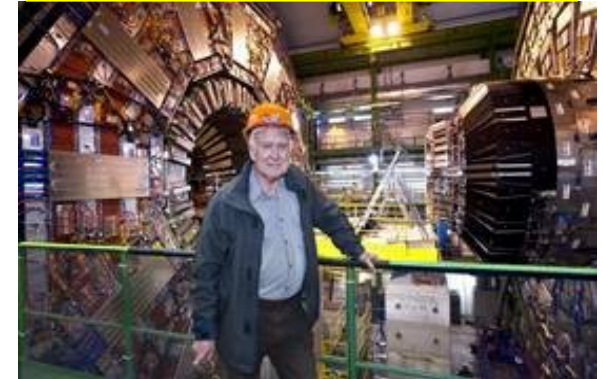
Au LHC



Dans ATLAS



Dans CMS



Le seul “Higgs” observé à ce jour par le programme du LHC ...

Higgsmania ...

Il va falloir s'habituer à avoir une “**actualité**” orientée Higgs ...

Un “Higgs” qui défraîit la chronique ...

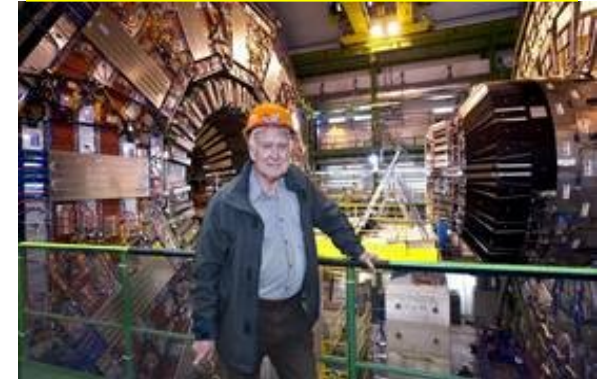
Au LHC



Dans ATLAS



Dans CMS

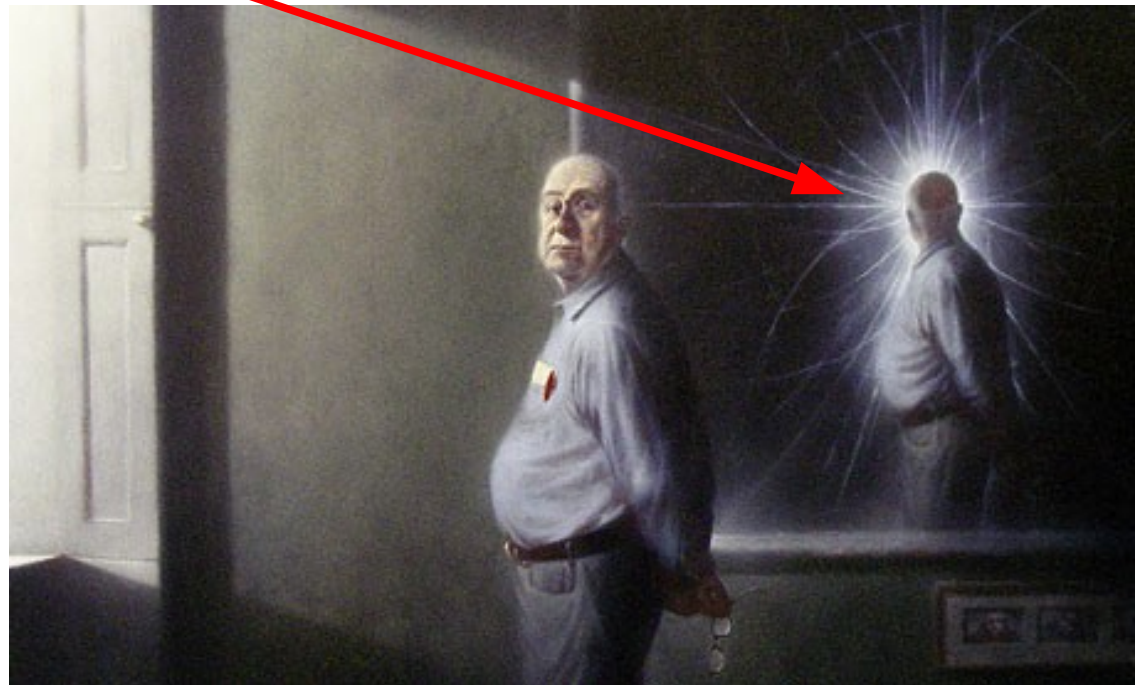


Le seul “Higgs” observé à ce jour par le programme du LHC ...

“Higgs” responsable de la brisure de symétrie électrofaible ... ??

Higgsmania ...

La preuve en image ...

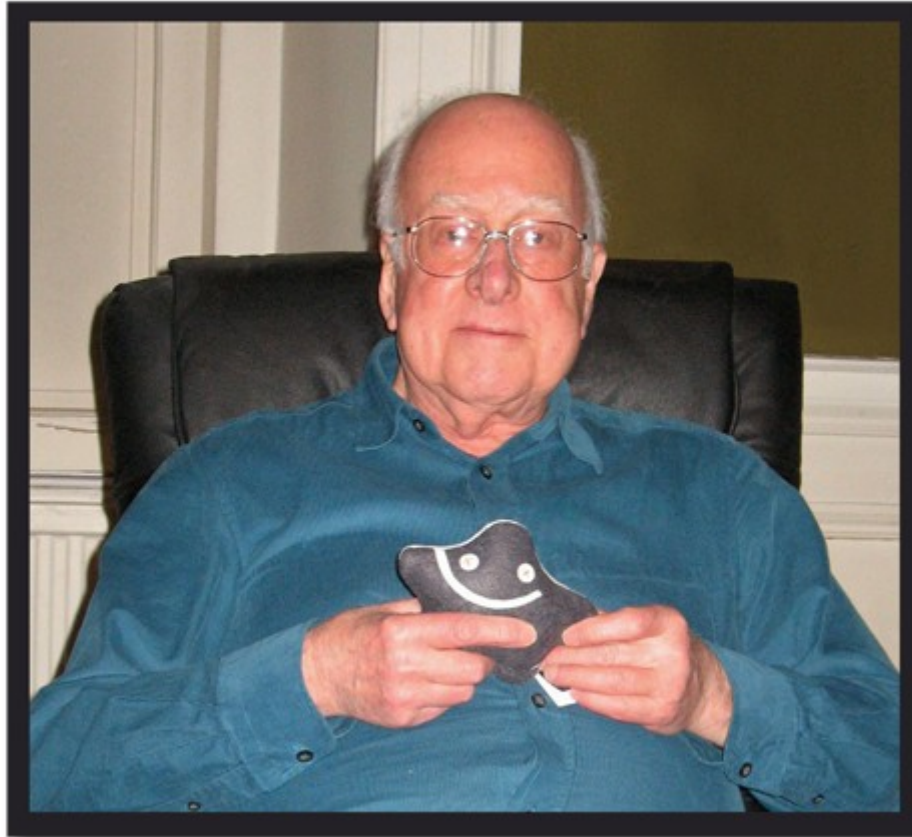


Mais serait-il supersymétrique ??

Higgsmania ...



Higgsmania ...



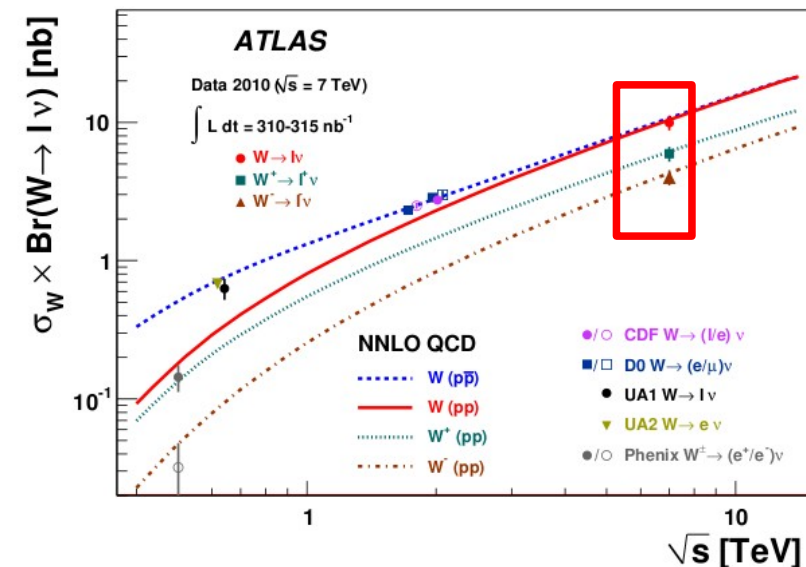
Pour vivre heureux, vivons caché

Les premiers résultats du LHC

Premiers résultats de physique avec des données présentés à ICHEP 2010

	ATLAS	CMS
Luminosity	320 nb ⁻¹	198 nb ⁻¹
$\sigma(W) \cdot \text{BR}(W \rightarrow \nu)$	$9.96 \pm 0.23(\text{stat}) \pm 0.50(\text{syst}) \pm 1.10(\text{lumi}) \text{ nb}$	$9.22 \pm 0.24(\text{stat.}) \pm 0.47(\text{syst.}) \pm 1.01(\text{lumi.}) \text{ nb}$
$\sigma(Z/\gamma)^{\text{tot}} \cdot \text{BR}(Z/\gamma^* \rightarrow \ell\ell)$	$0.82 \pm 0.06(\text{stat}) \pm 0.05(\text{syst}) \pm 0.09(\text{lumi}) \text{ nb}$ avec $m_{\ell\ell} \in [66, 116] \text{ GeV}$	$0.882 \pm 0.077(\text{stat.}) \pm 0.042(\text{syst.}) \pm 0.097(\text{lumi.}) \text{ nb}$ avec $m_{\ell\ell} \in [60, 120] \text{ GeV}$
$\sigma(W)/\sigma(Z)$	$11.7 \pm 0.9(\text{stat}) \pm 0.4(\text{syst})$	$10.46 \pm 0.99(\text{stat.}) \pm 0.65(\text{syst.})$

Bon accord avec les prédictions théoriques NNLO

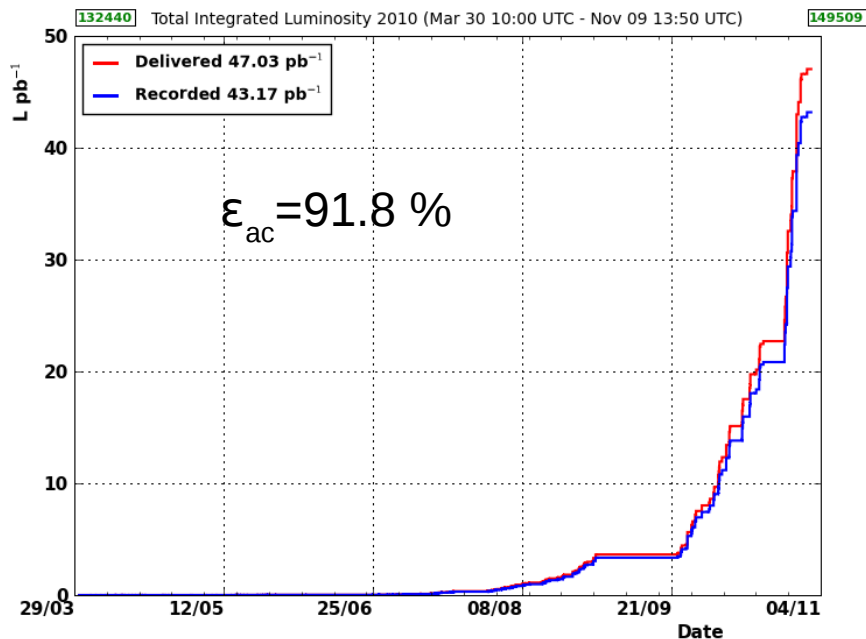


Et ceux à venir ...

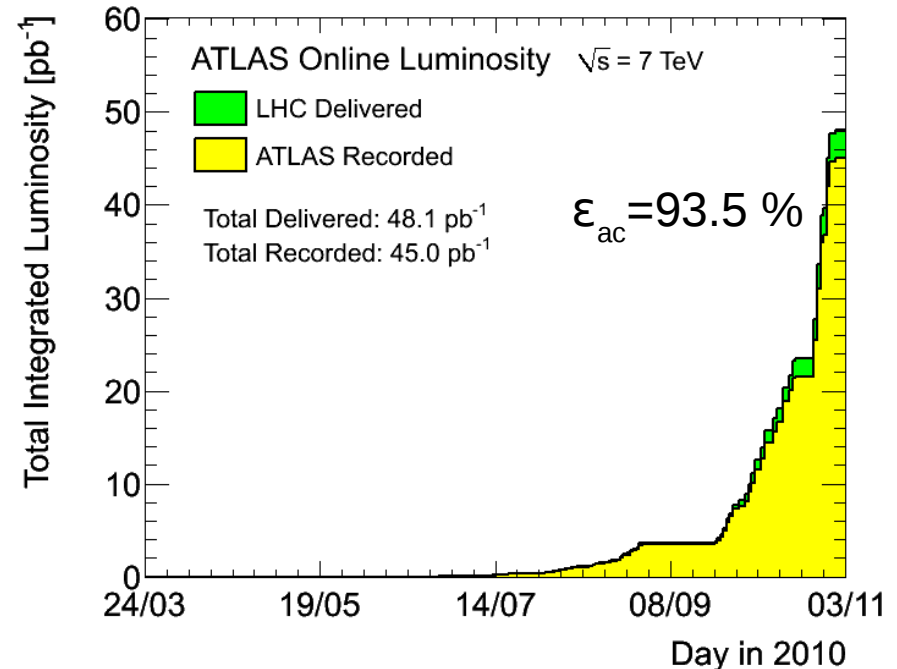
Le LHC a délivré 45-50 pb^{-1} aux expériences CMS & ATLAS ...

→ environ 35 pb^{-1} de “bonnes” données seront utilisées pour obtenir des résultats dans les semaines/mois à venir ...

CMS



ATLAS



Les conférences d'hiver (type Moriond) devraient être l'occasion pour ces expériences de présenter des résultats avec une luminosité de plusieurs dizaines de pb^{-1}

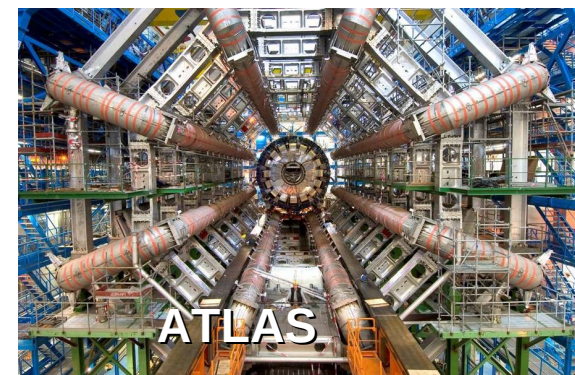
Affaire à suivre !!!

Au menu ..

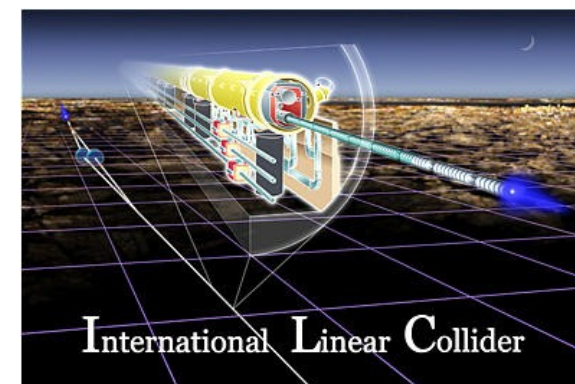
09:00	Introduction <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>CHABERT, Eric</i> 09:00 - 09:30
	WZ di-boson production at CMS <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>MARTELLI, Arabella</i> 09:30 - 10:00
10:00	Déclenchement et Mesures des Electrons dans CMS: sur la Piste du Higgs <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>BROUTIN, Clementine</i> 10:00 - 10:30



11:00	W to electron neutrino analysis using the ATLAS EM Calorimeter <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>TSIONOU, Dimitra</i> 11:00 - 11:30
	Fonds en Z+bbbar dans la recherche du boson de Higgs en 4 leptons dans l'expérience ATLAS <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>MORANGE, Nicolas</i> 11:30 - 12:00
12:00	Photons from 7 TeV Collisions in Atlas <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>NANSI, Andari</i> 12:00 - 12:30



13:00		
14:00	Mesure de la masse du boson de Higgs à partir du canal : $e^+e^- \rightarrow ZH \rightarrow e^+e^- + X$ et Reconstruction Digitale et Analogique de l'Energie dans un calorimètre EM Si-W	<i>KHOULAKI, Youssef</i>



Au menu ..

09:00	Introduction <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>CHABERT, Eric</i> 09:00 - 09:30
	WZ di-boson production at CMS <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>MARTELLI, Arabella</i> 09:30 - 10:00
10:00	Déclenchement et Mesures des Electrons dans CMS: sur la Piste du Higgs <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>BROUTIN, Clementine</i> 10:00 - 10:30

11:00	W to electron neutrino analysis using the ATLAS EM Calorimeter <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>TSIONOU, Dimitra</i> 11:00 - 11:30
	Fonds en Z+bbbar dans la recherche du boson de Higgs en 4 leptons dans l'expérience ATLAS <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>MORANGE, Nicolas</i> 11:30 - 12:00
12:00	Photons from 7 TeV Collisions in Atlas <i>éthic étapes Lac de Maine</i>	<i>NANSI, Andari</i> 12:00 - 12:30

13:00		
14:00	Mesure de la masse du boson de Higgs à partir du canal : $e^+e^- \rightarrow ZH \rightarrow e^+e^- + X$ et Reconstruction Digitale et Analogique de l'Energie dans un calorimètre EM Si-W	<i>KHOULAKI, Youssef</i>

15:00



Tous les ingrédients sont réunis pour une session disons **éclairante** !!