

Physique des 2 Infinis et des Origines

Symétries dans le monde subatomique

Abdelhak DJOUADI (LPT Paris-Sud)

- 1. Symétries dans la nature**
- 2. Brisure de la symétrie électrofaible**
- 3. Physique au delà du Modèle Standard**
- 4. Physique du B**
- 5. Physique des neutrinos**
- 6. Ions lourds, antimatière, QCD**
- 7. Moyens**

1. Les symétries

jouent un grand rôle dans la Nature...

- **Symétries d'espace temps**

symétrie de Lorentz \Rightarrow relativité

\Rightarrow conservation énergie/impulsion.

- **Symétries discrètes:**

P, C, T; CP, CPT; B, L ...

symétries d'isospin, chirale, ...

- **Symétries internes/jauge**

QED: U(1)

QCD: SU(3)_C

électrofaible: SU(2)_L \times U(1)_Y

\Rightarrow conservation de Q, C, ...

- **Supersymétrie**

– espace temps \oplus interne

– adoubée de \mathbb{R}_p discrète

1. Les symétries

jouent un grand rôle dans la Nature... ... et leur brisure encore plus

- **Symétries d'espace temps**

symétrie de Lorentz \Rightarrow relativité

\Rightarrow conservation énergie/impulsion

- **Symétries discrètes:**

P, C, T; CP, CPT; B, L,

symétries d'isospin, chirale, ...

- **Symétries internes/jauge**

QED: U(1)

QCD: SU(3)_C

électrofaible: SU(2)_L \times U(1)_Y

\Rightarrow conservation de Q, C, ...

- **Supersymétrie**

– espace temps \oplus interne

– adoubée de \mathbb{R}_p discrète

....

....

P,CP violées par interactions EF

Baryogénèse condts Sakaharov:

~~C~~ et ~~CP~~; ~~B~~; rupture d'équilibre...

photon non massif

gluons non massifs

W/Z et fermions massifs...

$m_{\text{SUSY}} \neq m_{\text{particules standard}}$

brisure effective (basse énergie?)

exacte: matière noire SUSY?

1. Les symétries

jouent un grand rôle dans la Nature... ... et leur brisure encore plus

- **Symétries d'espace temps**

symétrie de Lorentz \Rightarrow relativité

\Rightarrow conservation énergie/impulsion

- **Symétries discrètes:**

P, C, T; CP, CPT; B, L ...

symétries d'isospin, chirale, ...

- **Symétries internes/jauge**

QED: U(1)

QCD: SU(3)_C

électrofaible: SU(2)_L \times U(1)_Y

\Rightarrow conservation de Q, C, ...

- **Supersymétrie**

– espace temps \oplus interne

– adoubée de \mathbb{R}_p discrète

OPERA: ν s supralumineux?

... on ne respecte plus rien...

P, CP violées par interactions EF

Baryogénèse condts Sakharov:

~~C~~ et ~~CP~~; ~~B~~; rupture d'équilibre...

photon non massif

gluons non massifs

W/Z et fermions massifs...

$m_{\text{SUSY}} \neq m_{\text{particules standard}}$

brisure effective (basse énergie?)

exacte: matière noire SUSY?

2. Brisure de la symétrie électrofaible

Pour générer les masses de manière $SU(2) \times U(1)$ invariante dans le MS:

Introduire un doublet de champs scalaires $\Phi = \begin{pmatrix} \Phi^+ \\ \Phi^0 \end{pmatrix}$ avec $\langle 0 | \Phi^0 | 0 \rangle \neq 0$

$$\mathcal{L}_S = D_\mu \Phi^\dagger D^\mu \Phi - \mu^2 \Phi^\dagger \Phi - \lambda (\Phi^\dagger \Phi)^2$$

$$v = (-\mu^2 / \lambda)^{1/2} = 246 \text{ GeV}$$

\Rightarrow trois degrés pour M_{W^\pm}, Z

Pour les masses des fermions

utiliser le même champ Φ :

$$\mathcal{L}_{\text{Yuk}} = -f_e (\bar{e}, \bar{\nu})_L \Phi e_R + \dots$$

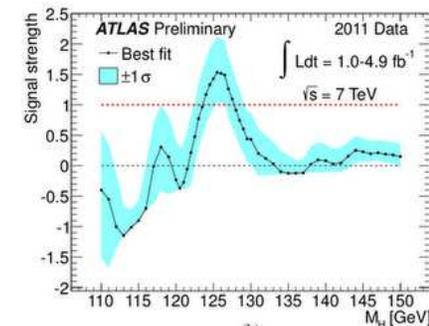
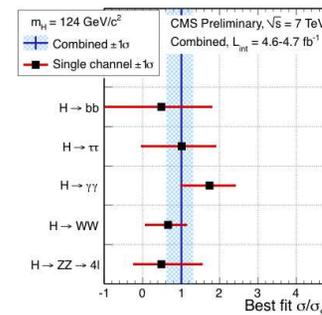
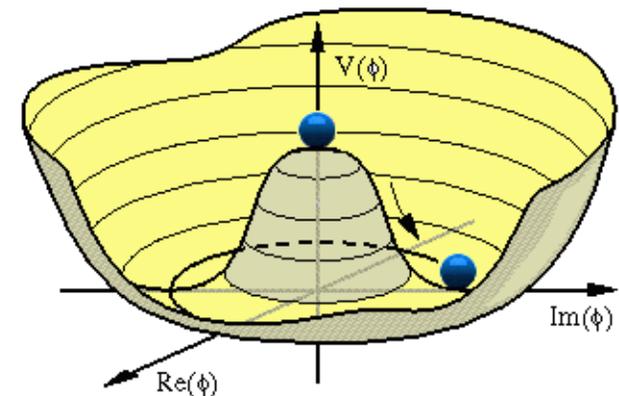
Degré de liberté résiduel \Rightarrow

boson de Higgs de spin-0

C'est l'objet de tous nos désirs....

cible majeure de ATLAS+CMS@LHC!

Aux dernières nouvelles (12/11), on commence à voir le bout de son nez!



voir Yves Sirois

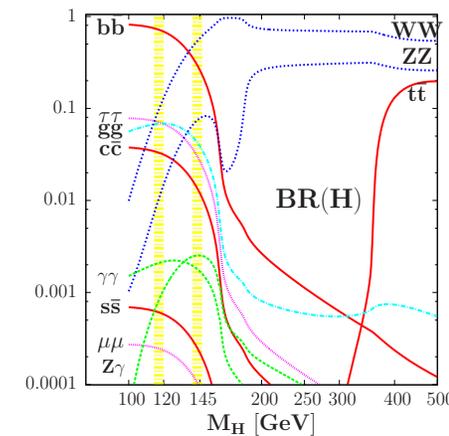
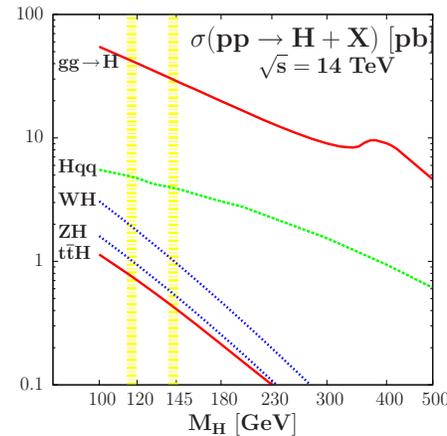
2. Brisure de la symétrie électrofaible

L'année 2012 sera probablement Higgsstorique! Le début de la fin?

Non, plutôt le début d'une ère: vérifier EWSB et disséquer le Higgs!

- masse, largeur totale
- nombres quantiques de spin...
- couplages aux particules
- auto-couplage du Higgs!

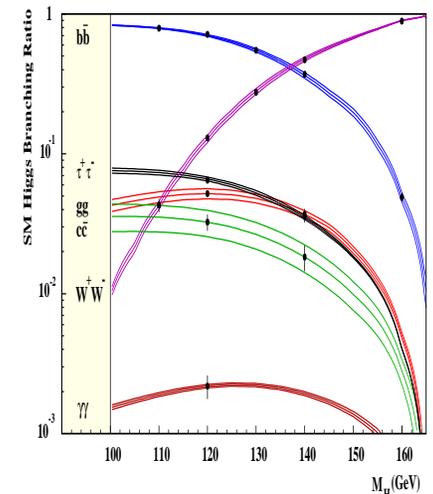
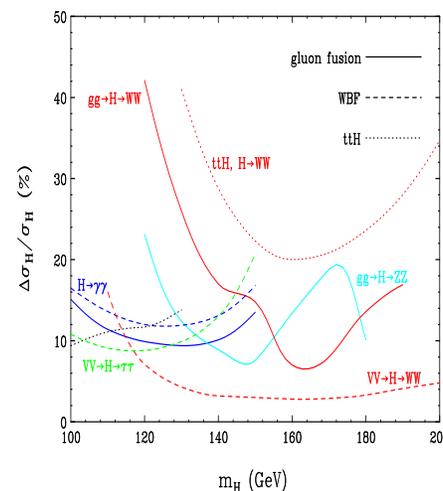
Si $M_H=125$ GeV, ca tombe bien:
tous les canaux sont accessibles!



Techniquement ardu, plus compliqué que la découverte elle même!

- plus grands \sqrt{s} et \mathcal{L} @LHC
- peut être aller au SLHC...
- limité par théorie/systematique?
- certains aspects non-testables
- peut être ILC nécessaire?

Encore du boulot sur la planche!!!



3. Problèmes du MS et exemple de solution

- **Problème de hiérarchie/naturalité:** pas de symétrie stabilisant M_H
- **Unification des couplages:** dans le cadre de GUTs, SU(5), SO(10)...
- **Matière noire froide:** aucun candidat satisfaisant dans le MS...

Réglés d'un coup par Supersymétrie

- spectre de particules doublé
- secteur de Higgs élargi

Profusion de sparticules au LHC!

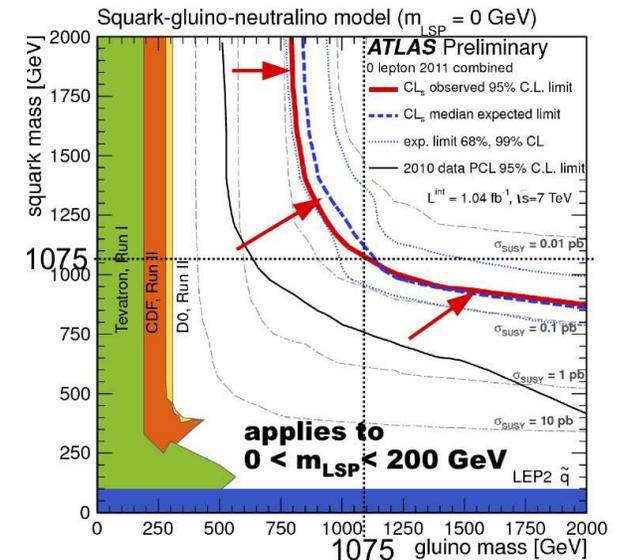
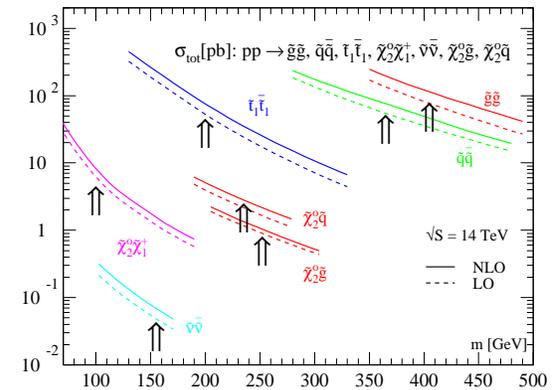
Mais d'autres solutions possibles

- dimensions supplémentaires....
- modèles d'interaction forte....

Le LHC doit faire le tri:

- ⇒ recherche de nouvelle physique
- ⇒ tests fins du Modèle Standard
- ex: physique du top, W/Z, b, ν , etc...

Mais apport: haute lumi, ILC, ...



4. Physique du B

Physique du b et de la matrice CKM:

- test de la QCD perturbative ou non: réseau, HQEFT, symétrie saveurs, etc..
- tests du Modèle Standard électrofaible: unitarité de matrice CKM, violation de CP.

Signaux (in)directs de nouvelle physique:

- contributions supersymétriques ou Higgs \tilde{t} , H^\pm dans boucles: $b \rightarrow s\gamma$
- SUSY H,A à l'arbre: $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$
- nouvelles sources de CPV dues à SUSY...

Enorme progrès depuis 1999!

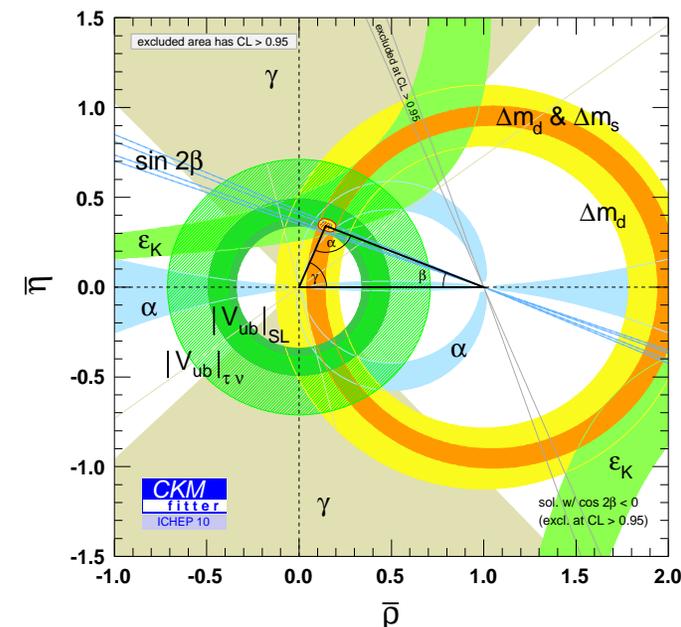
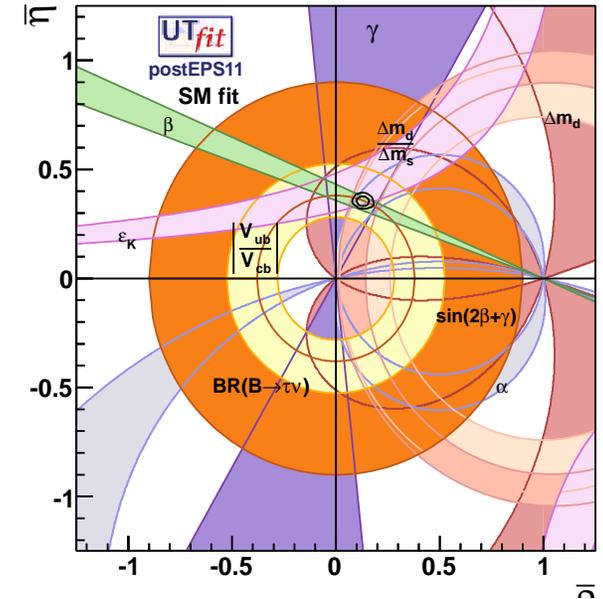
Passé: Babar, Belle, CDF, D0

Présent: LHCb, encore CDF/D0

Futur: Belle 2, Super B, ...?

Bonus: physique du c, τ , $e^+e^- \rightarrow \text{had}, ..$

(ex: impact sur $(g-2)_\mu$, M. Davier et al.)



5. Physique des neutrinos

Fin années 1990 à Super Kamiokande:

- oscillations de neutrinos solaires
- ⇒ neutrinos massifs ⇒ au delà du MS!

Questions théoriques:

- neutrino de Majorana ou Dirac?
- see saw? ν droit? ν sterile? etc...
- (SUSY, extra-dimensions, GUTs, ...)
- hiérarchie de masse (\gtrsim 12 ordres)
- hiérarchie normale? inversée?
- matrice PMNS de mélange?
- présence de CPV et leptogénèse?

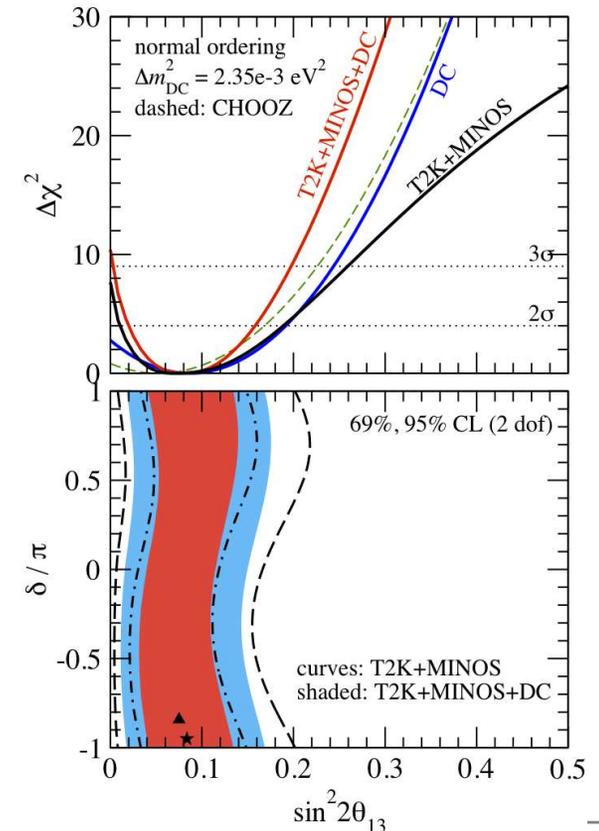
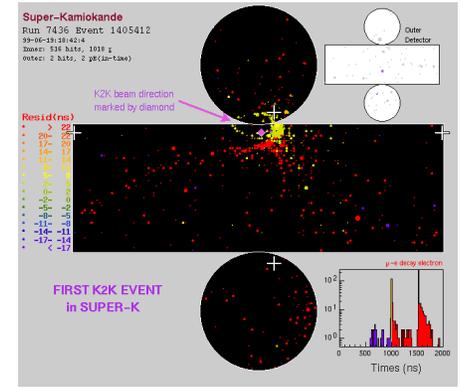
Défis expérimentaux:

Désintégration violant saveur lepton.

$\mu \rightarrow eee, \mu \rightarrow e\gamma, \text{ conversion } \mu \rightarrow e, \dots$

Mesure de l'angle de melange θ_{13}

⇒ **K2K, Double CHOOZ,**



6. Physique des ions lourds/antimatière/QCD

Collisions créant un nouveau medium de QCD, très dense et très chaud:

- comportement collectif (jet quenching)
- dynamique modifiée de QCD due à la présence du nouveau medium

Plasma de quarks et de gluons?

(en particulier suppression du J/Ψ ...)

Collisions Pb-Pb à $\sqrt{s}=2.7$ TeV/paire nucléon
plus grand saut d'énergie: RHIC $\sqrt{s}=200$ GeV

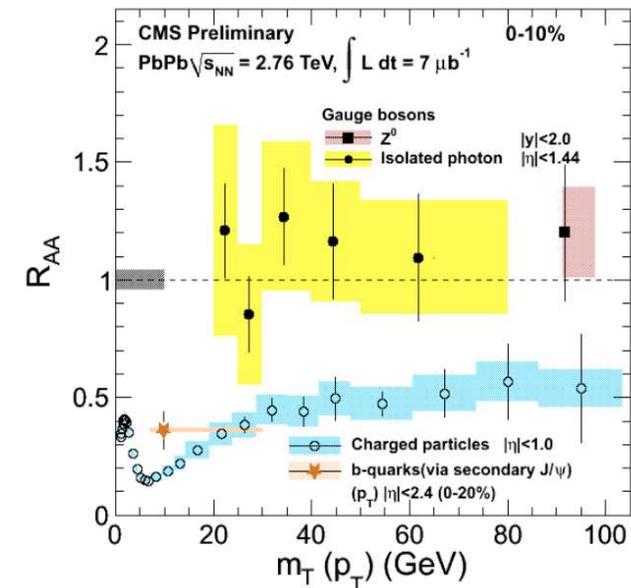
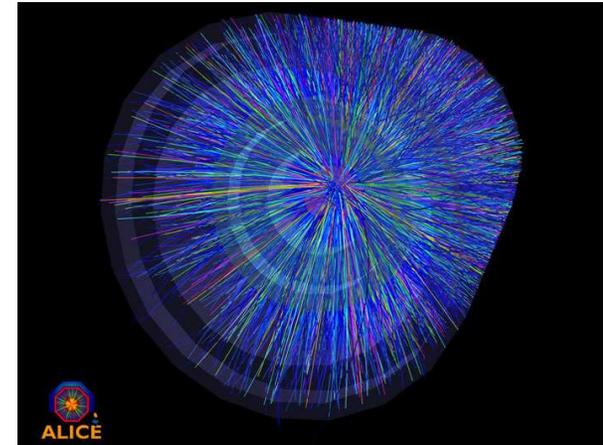
ALICE, ATLAS, CMS après PHENIX etc..

- accès à un régime cinématique +grand
- nouvelles observables à grand p_T

Antimatière: antiH...

QCD sous toutes ses couleurs:

- QCD perturbative
- QCD sur réseau
- symétrie chirale, etc...



7. Artillerie

Laboratoire	qqs thématiques	Effectif
LPT	TH: QCD/EF/BSM, ..	45
IPHT	TH: QCD/IL/BSM, ..	31
CPHT	TH: QCD/IL/BSM, ..	12
IRFU	ATLAS, CMS, ILC, DC, T2K, AntiH, ...	49
LAL	ATLAS, LHCb, ILC, B, NEMO, ...	66
IPN	ALICE, TH, ...	7
LLR	CMS, T2K, ILC, ...	30
CSNSM	Noyau ...	2
TOTAL	presque tout	242

au P2IO de fédérer/fluidifier cela et de fournir le nerf de la guerre....