



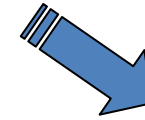
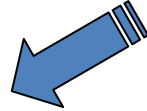
La physique au LHC au-delà du boson de Higgs

Fabienne Ledroit – LPSC Grenoble
Directrice de Recherche, CNRS

*Le boson de Higgs, la France et le LHC : 25 ans de collaboration et de partenariat
24 avril 2013 - Campus CNRS Gérard Mégie, Paris*

La physique des deux infinis

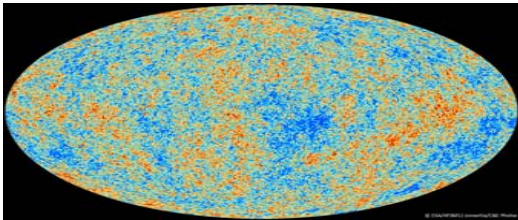
Comprendre l'univers dans son ensemble
du *cosmos* à *l'infiniment petit*



Cosmologie

modèle du Big-Bang

AMS, Planck, HESS, ...



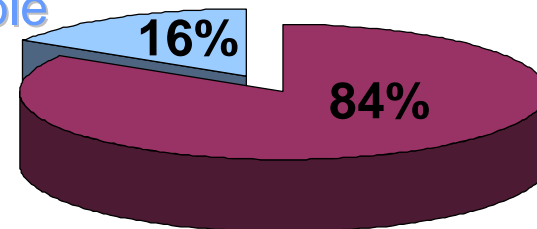
Futurs instruments :
EUCLID, LSST, ...

Physique des particules

la physique au LHC 

Contenu en matière de l'Univers

Univers visible



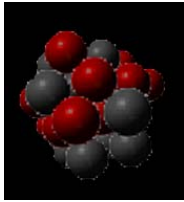
Matière
sombre

Une particule inconnue peuple l'Univers

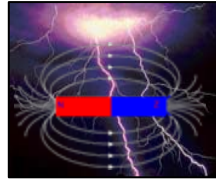
La physique au LHC

Modèle Standard de la physique des particules

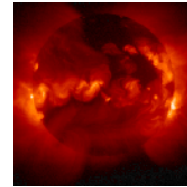
→ particules élémentaires, 4 interactions fondamentales :



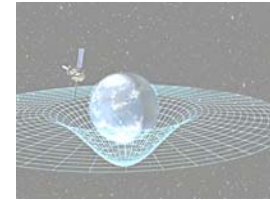
nucléaire forte



électromagnétique



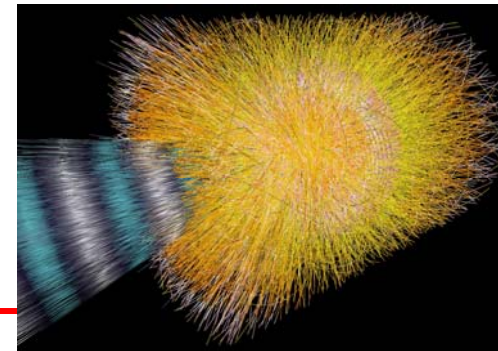
nucléaire faible



gravitationnelle

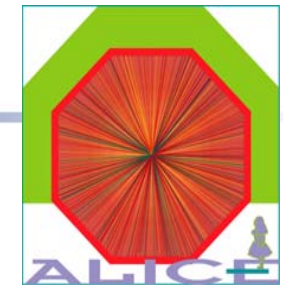


Collisions Pb-Pb à des énergies ultra-relativistes

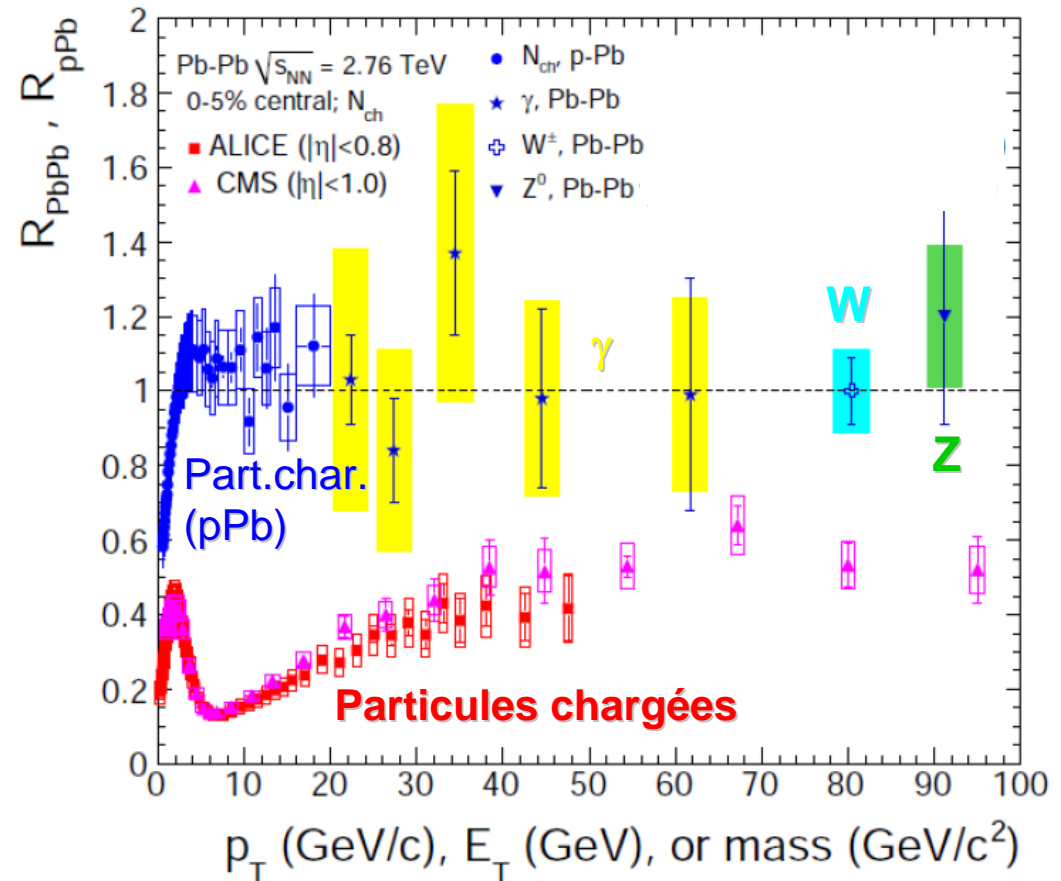
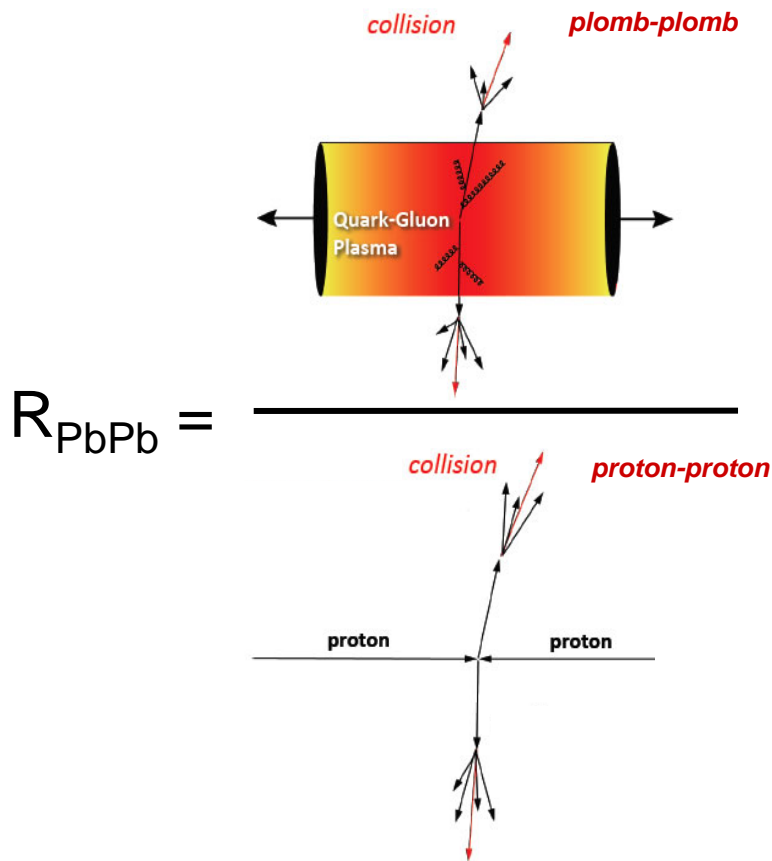


- Étudier le **plasma de quarks et de gluons**
- Étendre l'application du Modèle Standard à des systèmes complexes, dynamiques ; comprendre l'apparition des propriétés macroscopiques de la matière

Étude du plasma de quarks et de gluons

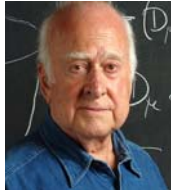


Utilisation de toutes les **sondes** possibles



La physique au LHC

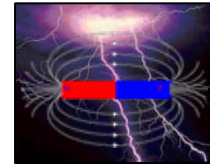
Théorie électrofaible



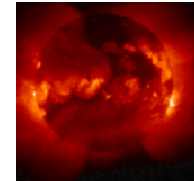
Higgs *standard*



Higgs *non standard*



&



électromagnétique nucléaire faible

Questions ouvertes :

- Nombre de familles
- Hiérarchies
- ...

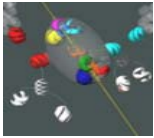
Quelle théorie plus large ?

Physique au-delà du
Modèle Standard

≡ « *nouvelle physique* »

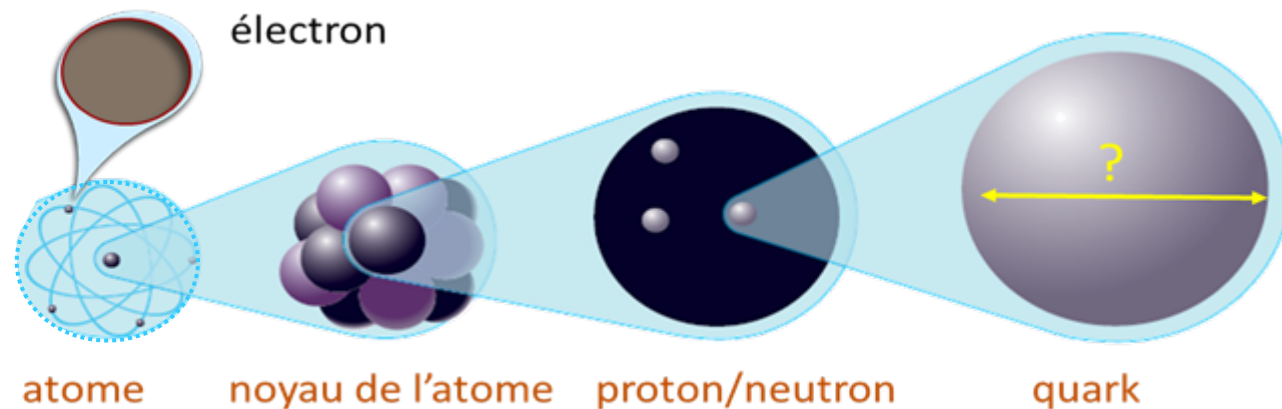
**Quelle que soit la nature du Higgs juste découvert,
il faut chercher *autre chose* !**

Quelle nouvelle physique ?



Particules composites

J. Pati, A. Salam 1974

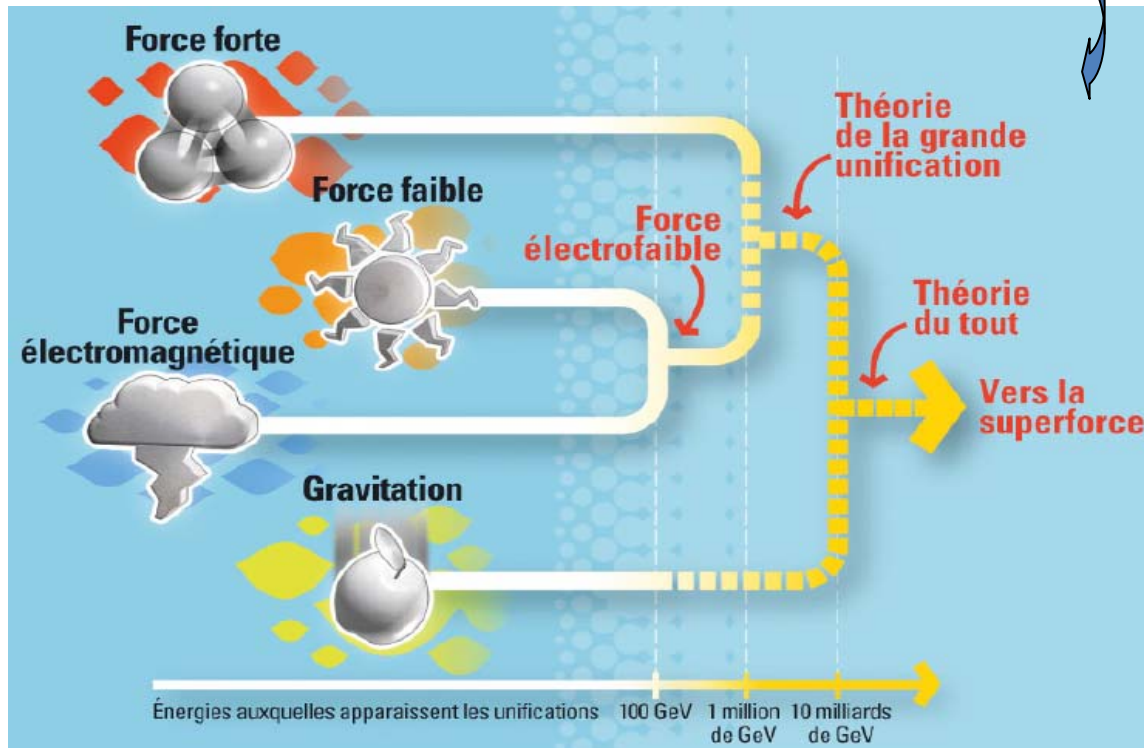


- Les particules standard ne seraient pas élémentaires mais auraient des **constituants** (appelés par ex. *préons*)
- Peut expliquer la réplication des familles et la quantification de la charge

Quelle nouvelle physique ?

Théorie de la Grande Unification

H. Georgi, S. Glashow 1974
J. Patti, A. Salam 1974



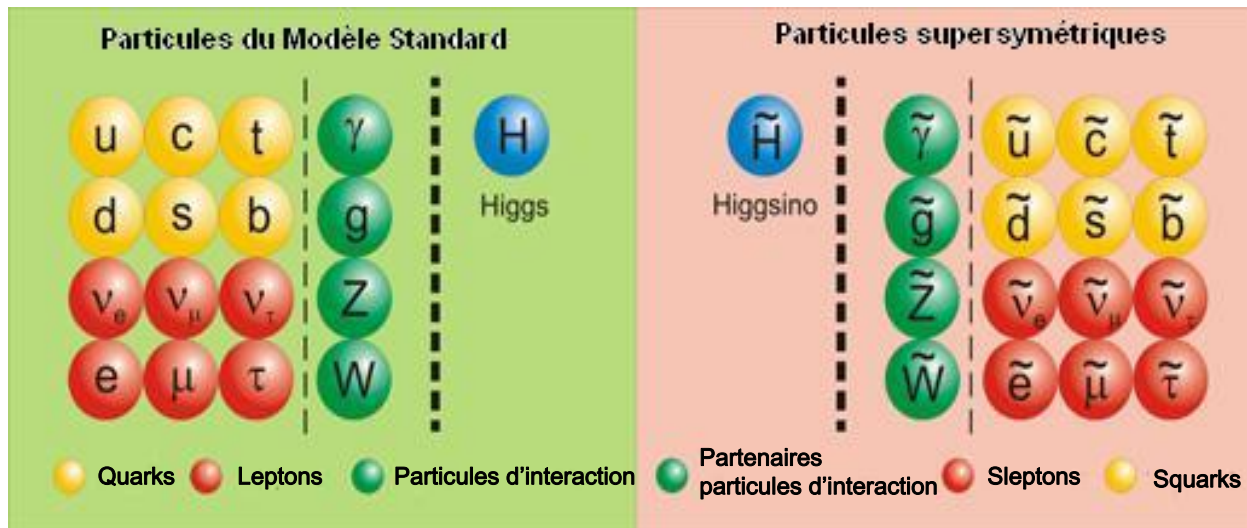
- Unifie les interactions
- Prédit de **nouvelles particules** : nouveaux bosons (Z' , W' , ...), nouveaux fermions, plusieurs bosons de Higgs, ...

Quelle nouvelle physique ?

Supersymétrie

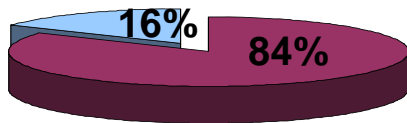
Y. Golfand, E. Likhtman 1971

À chaque **fermion** standard est associé un **boson**, et inversement



Univers visible

Matière sombre

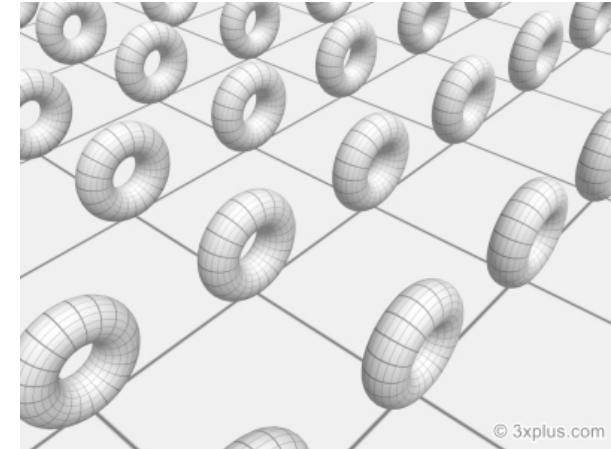
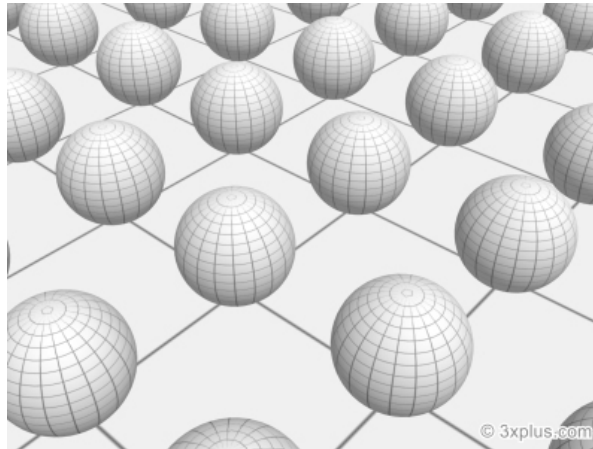
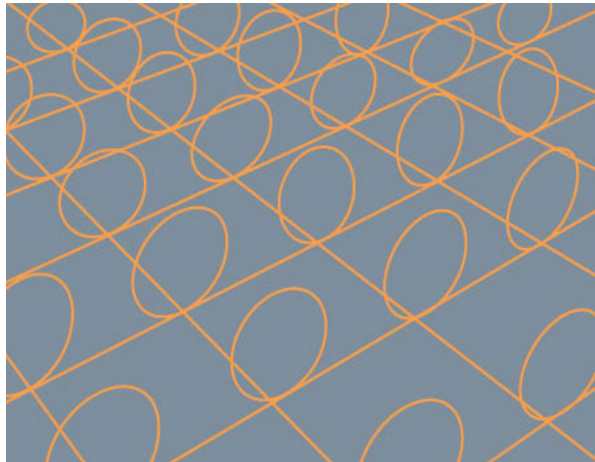


- Peut résoudre le problème de hiérarchie
- Permet d'unifier les intensités des interactions
- Prédit un candidat crédible de **matière sombre**

Quelle nouvelle physique ?

Dimensions supplémentaires

T. Kaluza, O. Klein 1921

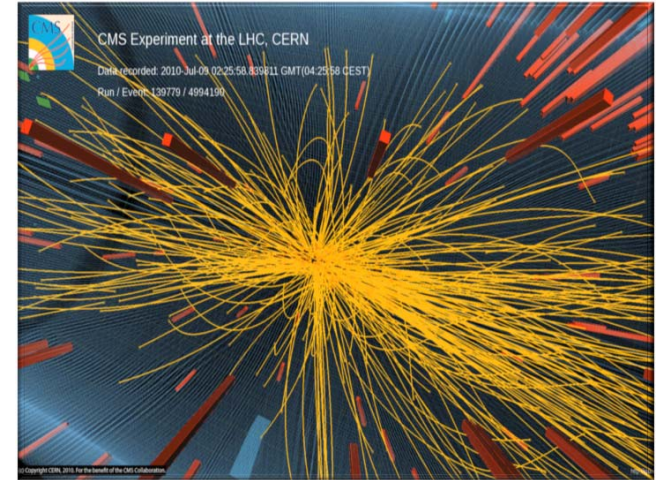
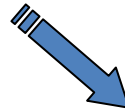


- Gravitation « diluée » dans un espace plus grand
- Résout le problème de hiérarchie
- Peut fournir des candidats de **matière sombre**

Comment rechercher la nouvelle physique

Collisions proton-proton
à très haute énergie
(7 TeV, 8 TeV, ...)

2 méthodes



Indirecte

Mesures précision,
tests de cohérence

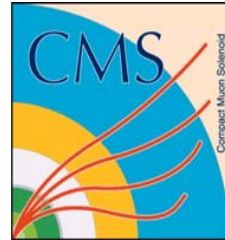
👉 « **luminosité** »

Directe

Recherche de nouvelles
particules *lourdes*, réelles

👉 **énergie**

Les résultats scientifiques



~380 notes d'analyse, ~260 publiées
(90 en 2012) dont 21 sur le boson de Higgs



~60 publications



~100 publications,
~75 notes de conférence



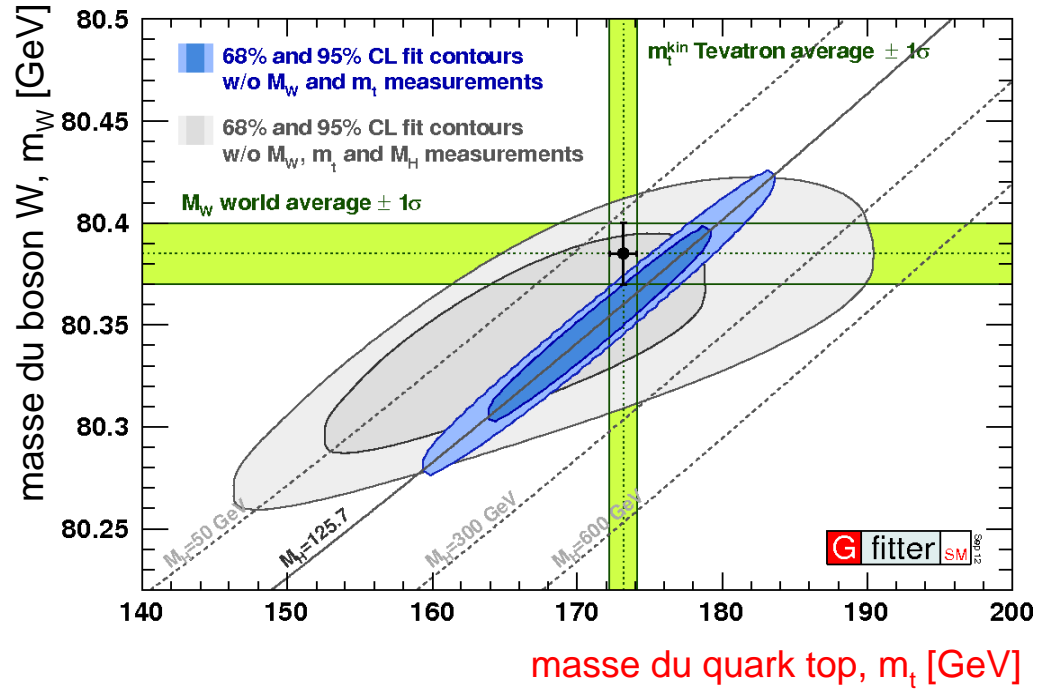
~480 notes de conférence, ~240 publications
(123 en 2012), dont 25 sur le boson de Higgs

Le quark top



Le LHC : une "usine" à quarks top !

	fermions (3 générations de la matière)			bosons (forces)	
	I	II	III		
masse →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0	électromagnétisme
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
nom →	u up	c charm	t top	γ photon	
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0	interaction forte
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	d down	s strange	b bottom	g gluon	
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV	interaction faible
	0	0	0	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	ν_e neutrino électronique	ν_μ neutrino muonique	ν_τ neutrino tauique	Z^0 boson Z^0	
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV	interaction faible
	-1	-1	-1	± 1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	e électron	μ muon	τ tau	W^\pm boson W	



Nombre multiplié par >100

Cohérence du Modèle Standard !

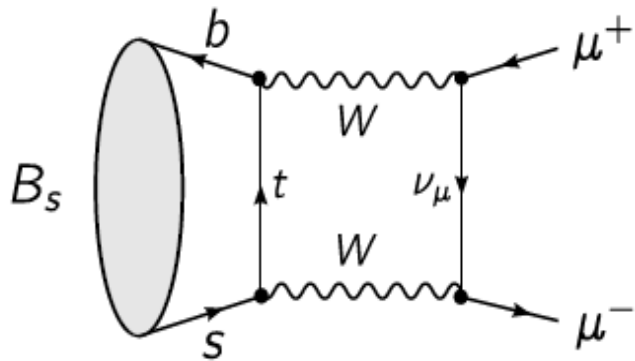


$$B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

Désintégration très rare

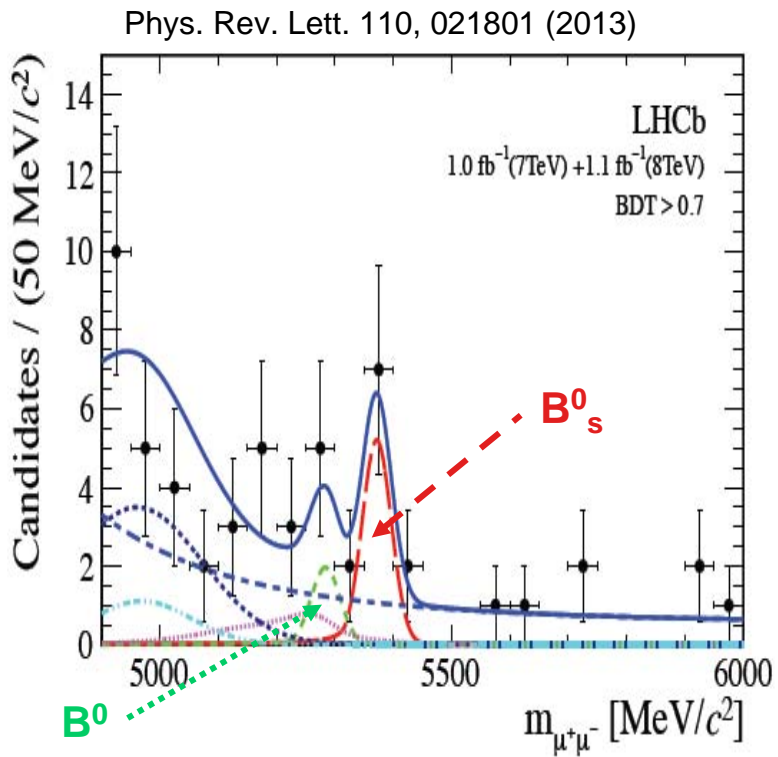
Taux de désintégration prédit par le Modèle Standard :

$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3,2 \pm 0,3) \times 10^{-9}$$



Désintégration observée en novembre 2012 !

$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3,2 \pm 1,5) \times 10^{-9}$$

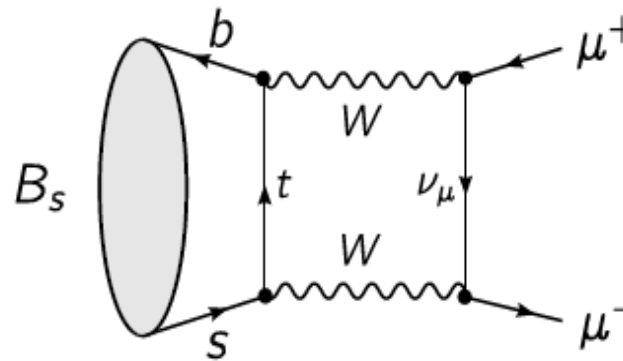


$$B^0_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

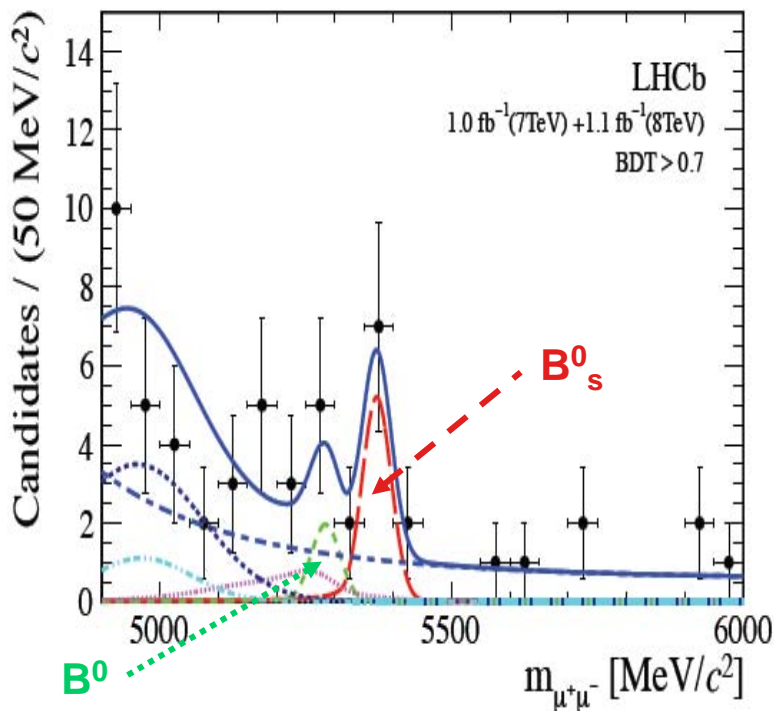
Désintégration très rare

Taux de désintégration prédit par le Modèle Standard :

$$\mathcal{B}(B^0_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3,2 \pm 0,3) \times 10^{-9}$$



Phys. Rev. Lett. 110, 021801 (2013)



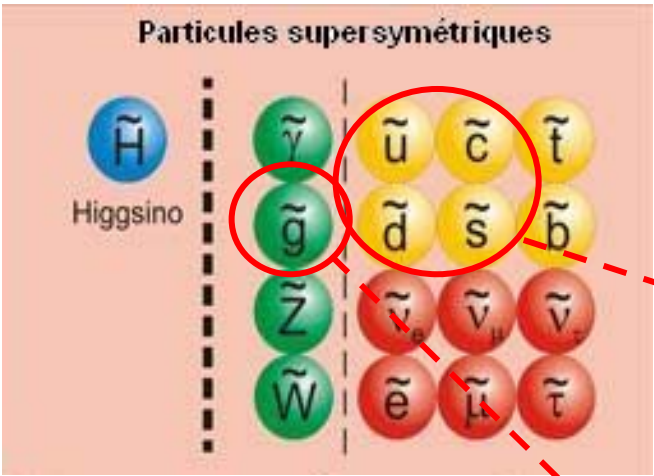
Désintégration observée en novembre 2012 !

$$\mathcal{B}(B^0_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3,2 \pm 1,5) \times 10^{-9}$$

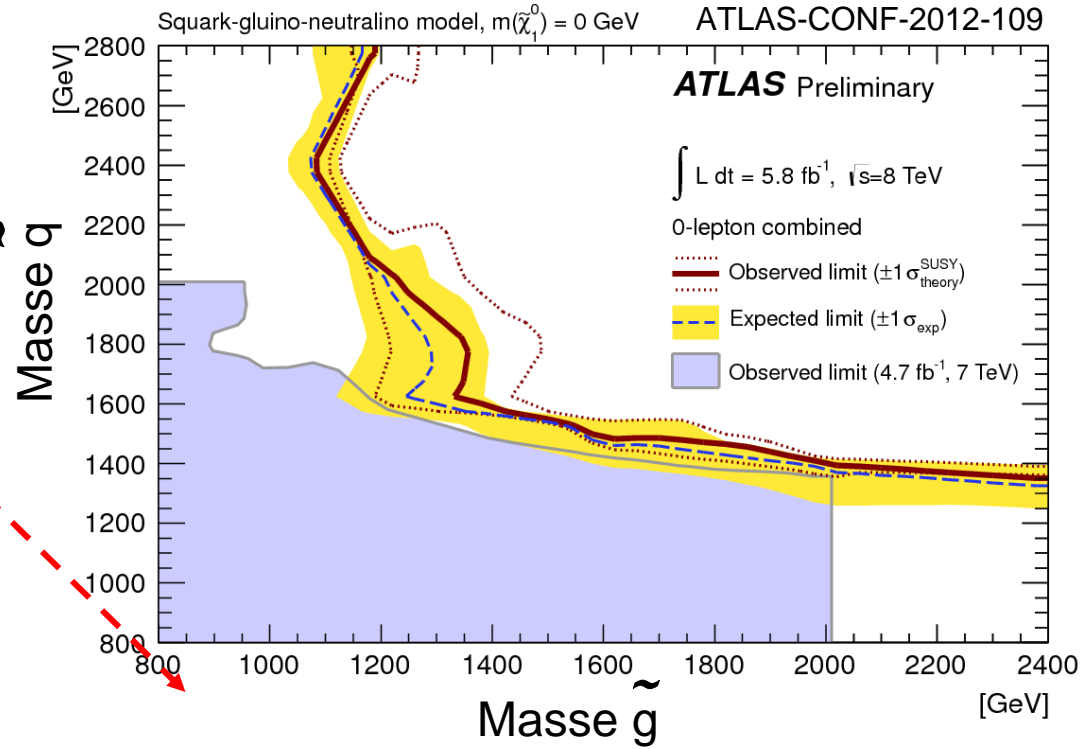


Stephen Martin

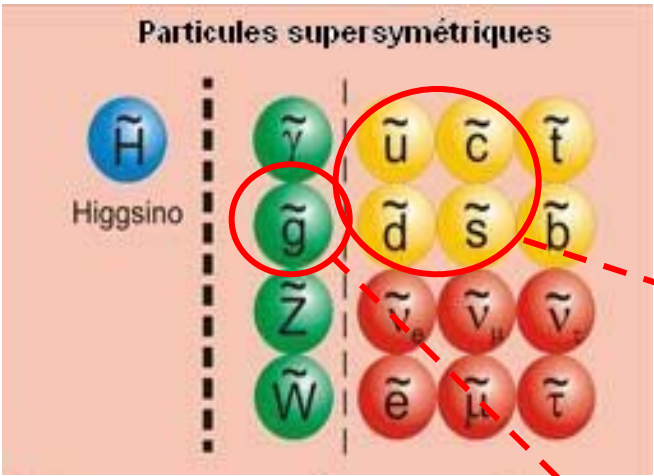
Recherche directe de la supersymétrie



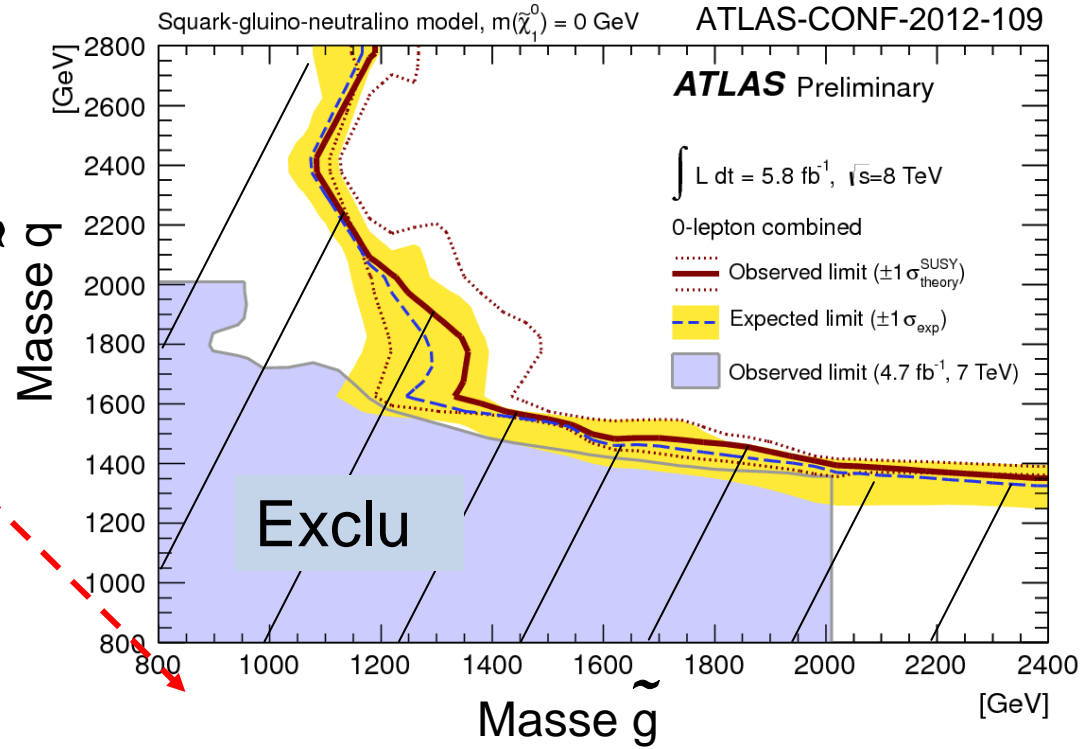
Production forte



Recherche directe de la supersymétrie



Production forte



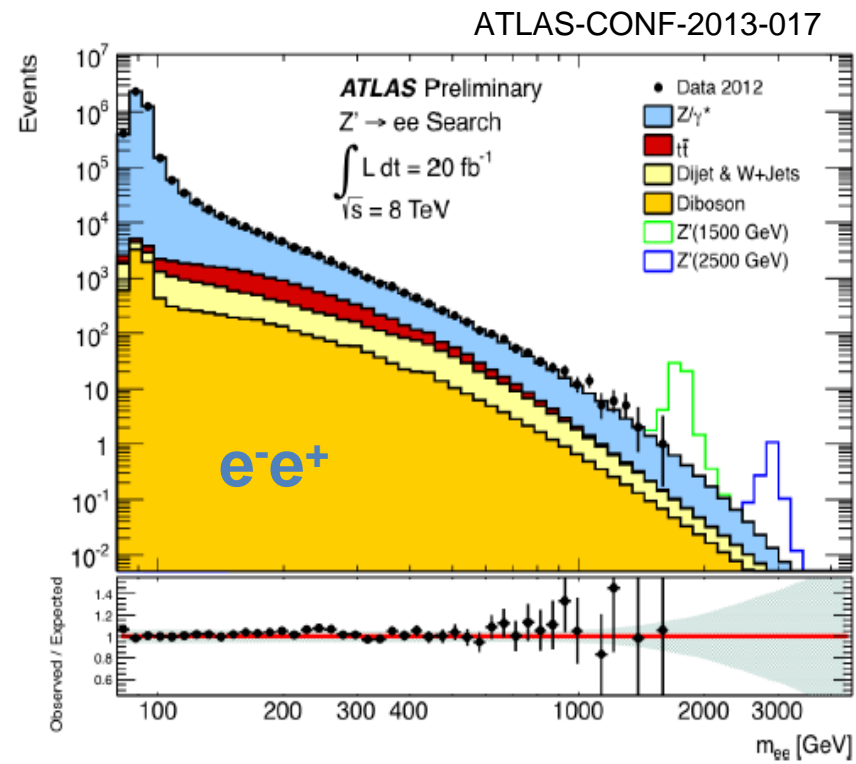
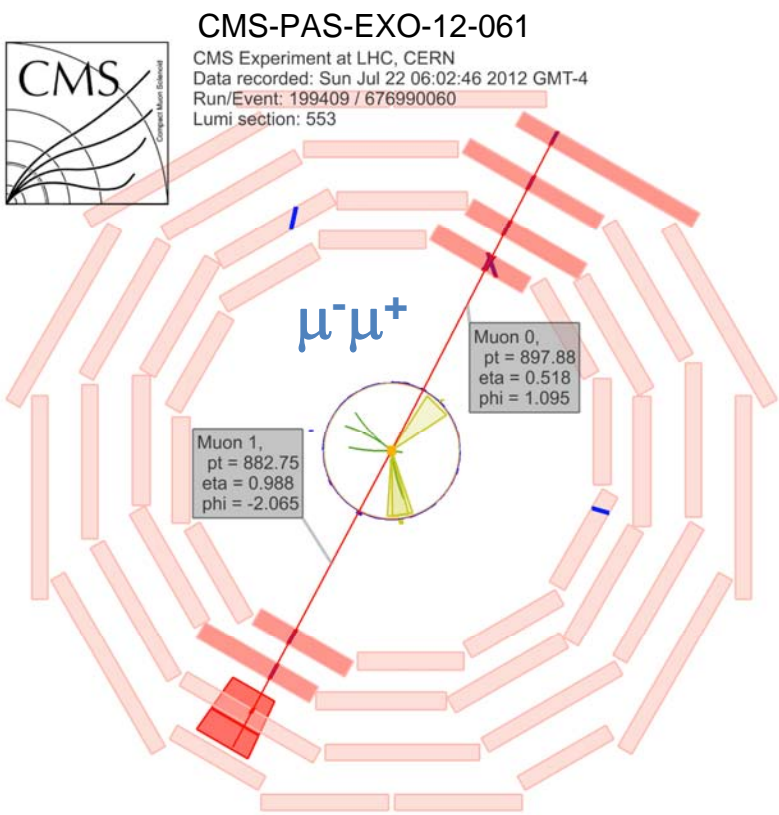
Stephen Martin



Autres recherches directes



Boson Z' → électron-antiélectron (e^-e^+) ou muon-antimuon ($\mu^-\mu^+$)



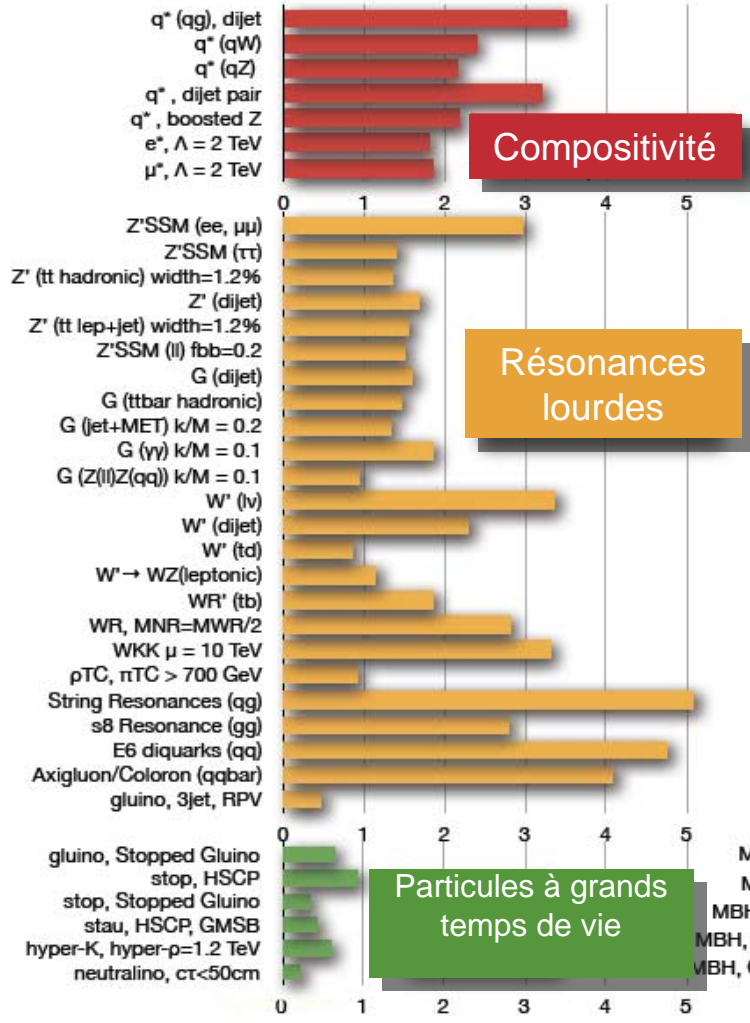
Masse (Z') > 2,9 TeV



Résumé des recherches directes



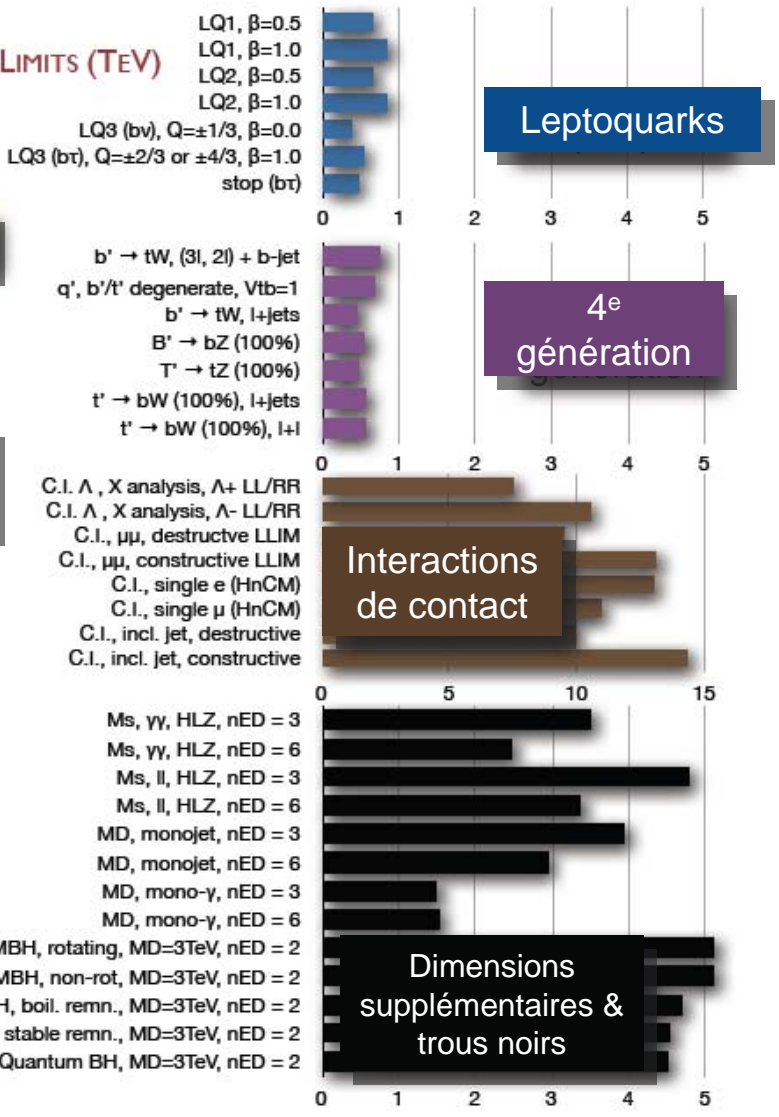
CMS EXOTICA 95% CL EXCLUSION LIMITS (TeV)



Compositivité

Résonances lourdes

Particules à grands temps de vie



Leptoquarks

4^e génération

Interactions de contact

Dimensions supplémentaires & trous noirs



Chronologie du LHC



2009

2013-
2014

2018/
2019

2023 ??



↑
Démarrage du LHC

«LHC Haute Luminosité»

	Énergie totale (TeV)	Nombre (x 10 ¹⁴) de collisions pp
Run 1	7 et 8	~25
Run 2	13 ou 14	~50
Run 3		200 à 500
Run 4		3000



luminosité et énergie x 2

luminosité x 5 à 10

luminosité x 10

Le boson de Higgs, la France et le LHC :

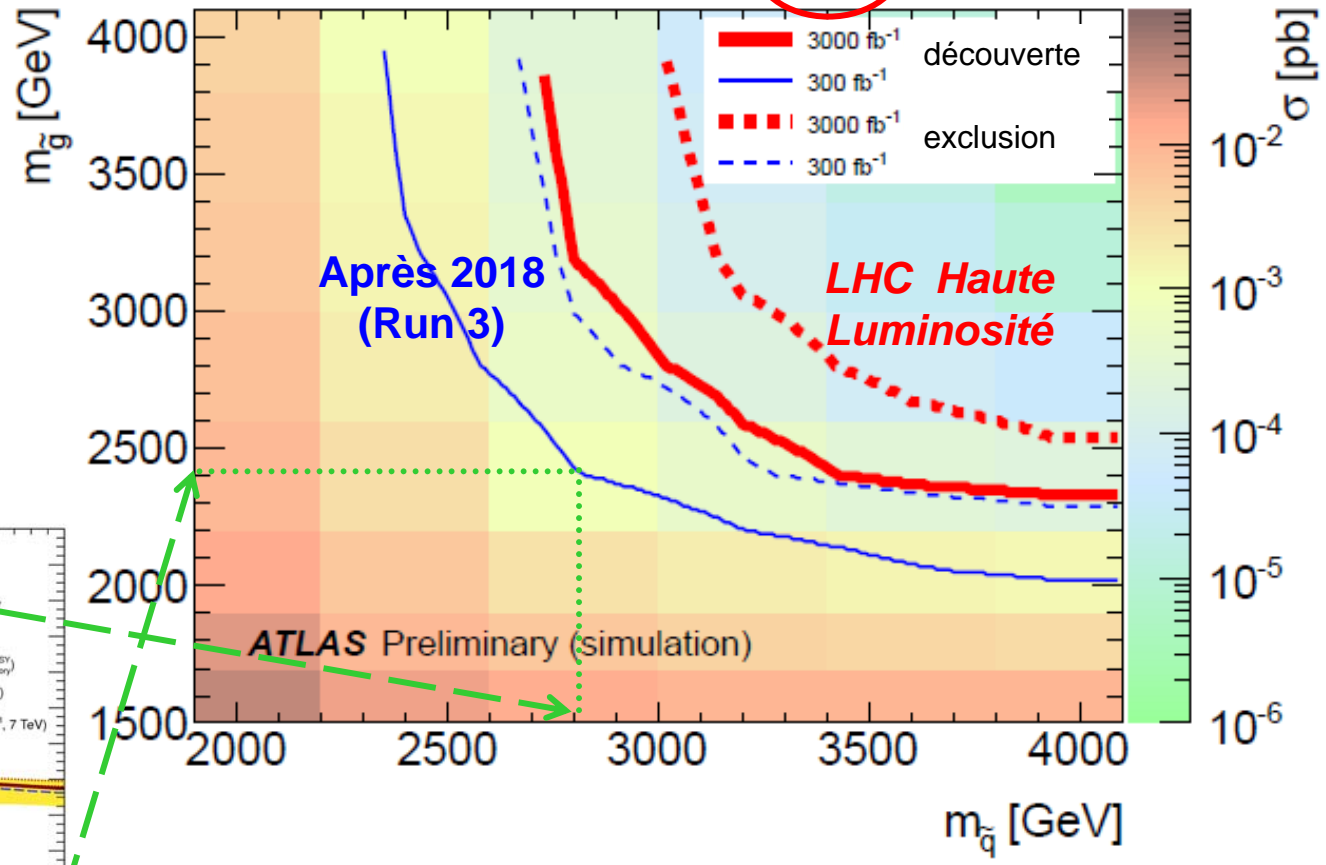
25 ans de collaboration et de partenariat - 24 avril 2013



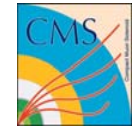
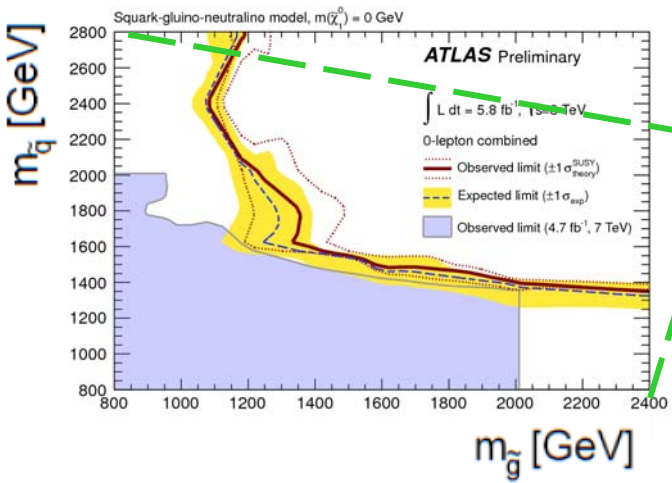
Perspectives pour la supersymétrie

ATL-PHYS-PUB-2012-001

Squark-gluino grid, $m_{LSP} = 0$. $\sqrt{s} = 14$ TeV



Production forte



Le boson de Higgs, la France et le LHC :

25 ans de collaboration et de partenariat - 24 avril 2013





Limites sur la **masse d'un boson Z'**



Limites sur la **masse d'un boson Z'**

1983



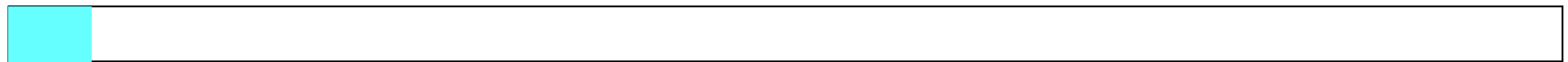
Masse du boson Z ($M \approx 0,1 \text{ TeV}$)





Limites sur la **masse d'un boson Z'**

1996

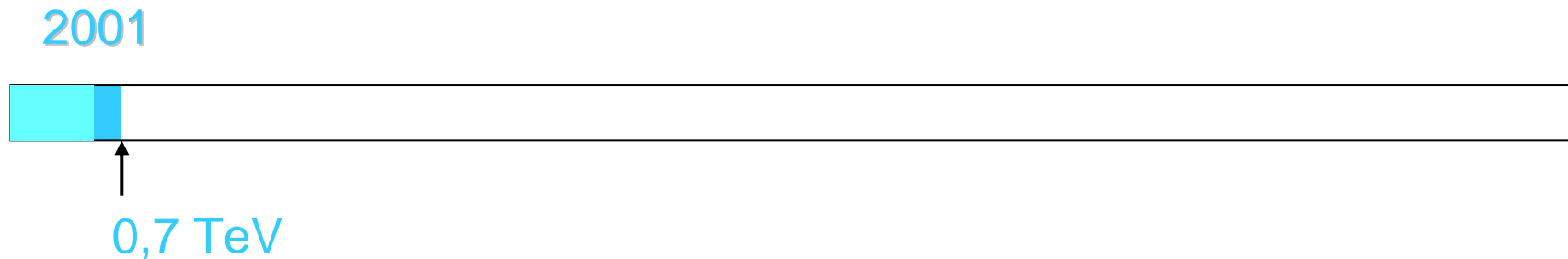


0,5 TeV



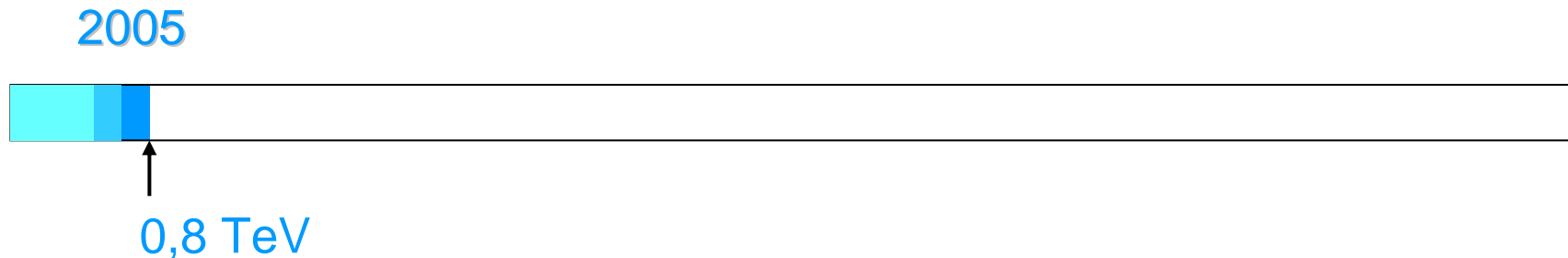


Limites sur la **masse d'un boson Z'**





Limites sur la **masse d'un boson Z'**

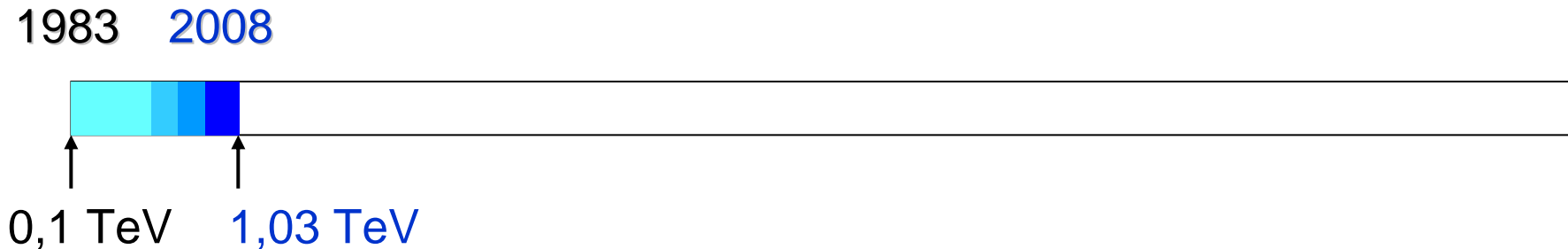


Perspectives autres recherches directes



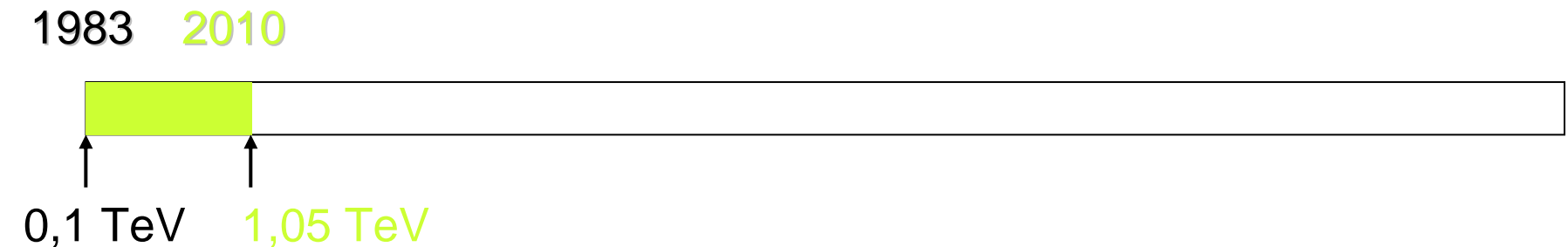
Limites sur la **masse d'un boson Z'**

limite à la fin des expériences précédentes



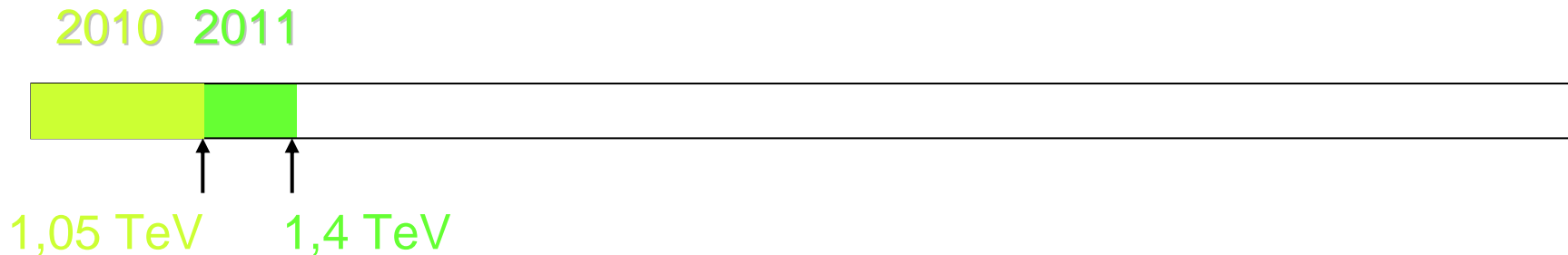


Limites sur la **masse d'un boson Z'**



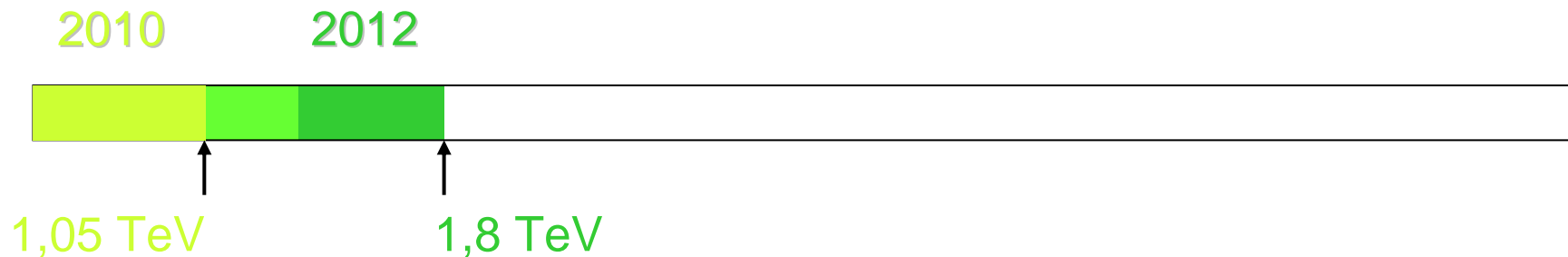


Limites sur la **masse d'un boson Z'**





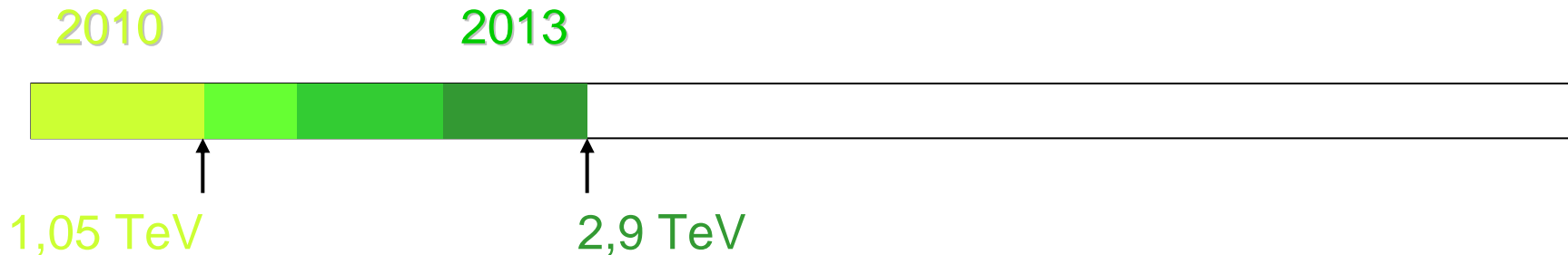
Limites sur la **masse d'un boson Z'**





Limites sur la **masse d'un boson Z'**

limite actuelle

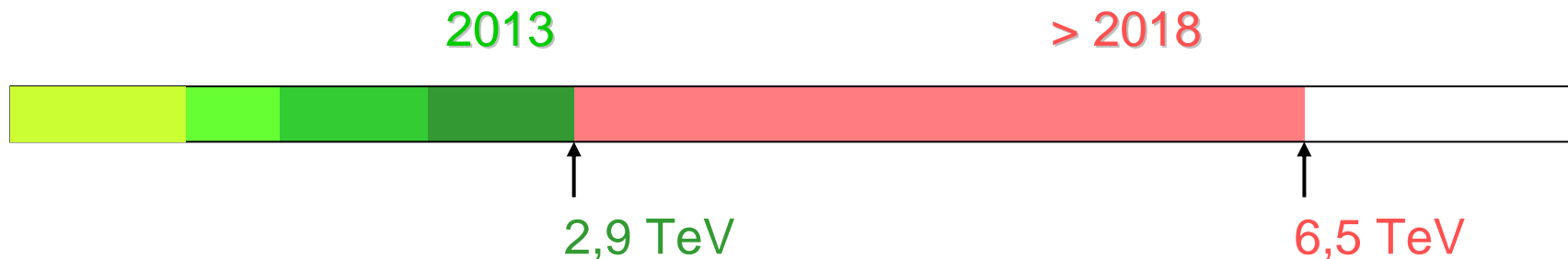


Perspectives autres recherches directes



Limites sur la **masse d'un boson Z'**... ou découverte !

limite attendue au Run 3 (14 TeV)



ATL-PHYS-PUB-2012-001

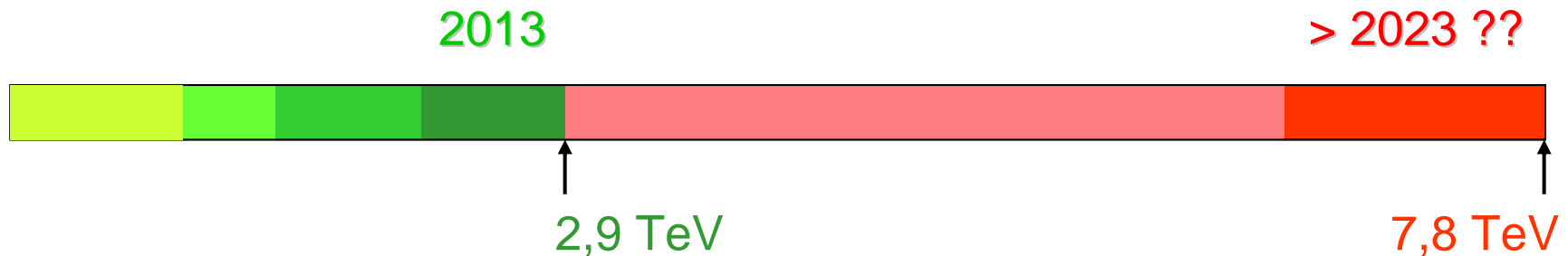


Perspectives autres recherches directes



Limites sur la **masse d'un boson Z'**... ou découverte !

**limite possible avec le
LHC Haute Luminosité**



ATL-PHYS-PUB-2012-001

Le boson de Higgs, la France et le LHC :

25 ans de collaboration et de partenariat - 24 avril 2013



Conclusion

Le **Modèle Standard** de la physique des particules est *consolidé*.



Cependant le Modèle Standard est insuffisant.
La recherche de **nouvelle physique** a démarré au **LHC** ;
pas de signal pour l'instant...

Le passage à **14 TeV** et
l'augmentation en *luminosité*
ouvrent de **nouvelles perspectives !**



Conclusion

Le **Modèle Standard** de la physique des particules est *consolidé*.



Cependant le Modèle Standard est insuffisant. La recherche de **nouvelle physique** a démarré au **LHC** ; pas de signal pour l'instant...

Le passage à **14 TeV** et l'augmentation en *luminosité* ouvrent de **nouvelles perspectives !**



Stephen Martin

Le boson de Higgs, la France et le LHC :

25 ans de collaboration et de partenariat - 24 avril 2013

