

Le démarrage du LHC

Aperçu du potentiel de
découvertes

À la frontière franco-suisse



Près du Lac Léman



À 100 m sous terre



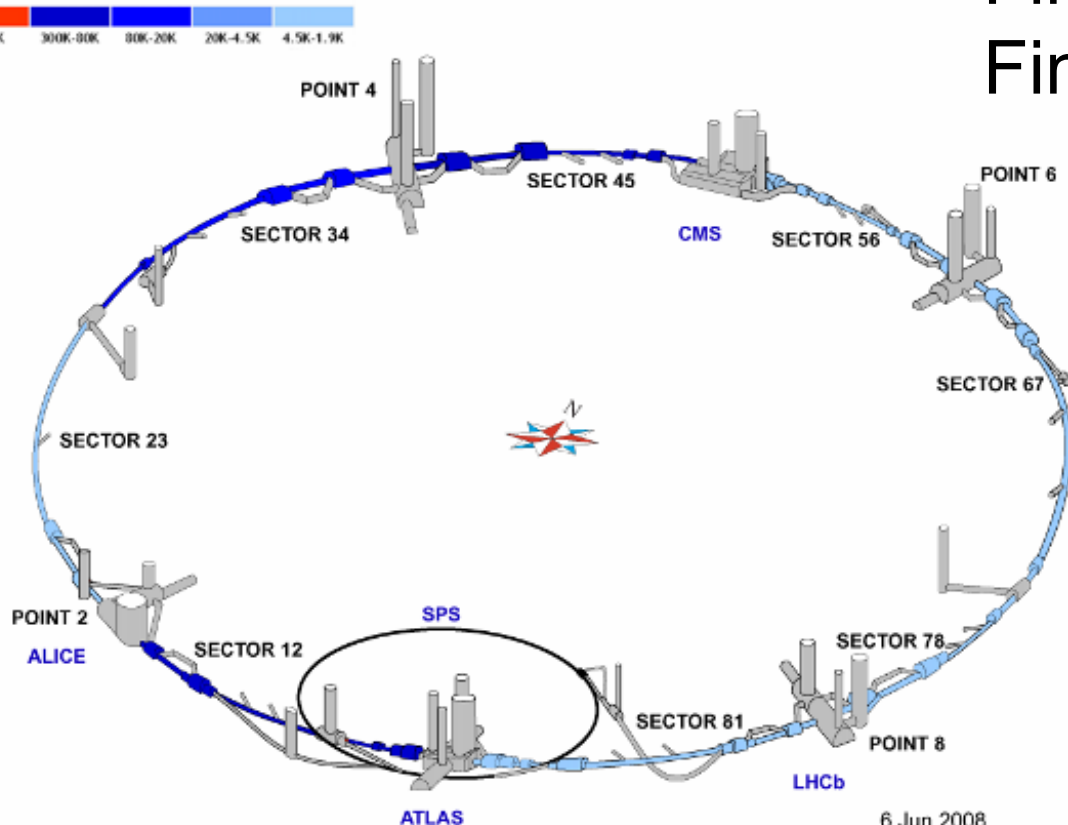
Le LHC va démarrer...

9 juin 2008: Refroidissement du dernier secteur

7 semaines → 1.9 K

Fin juillet: faisceau

Fin septembre: collisions

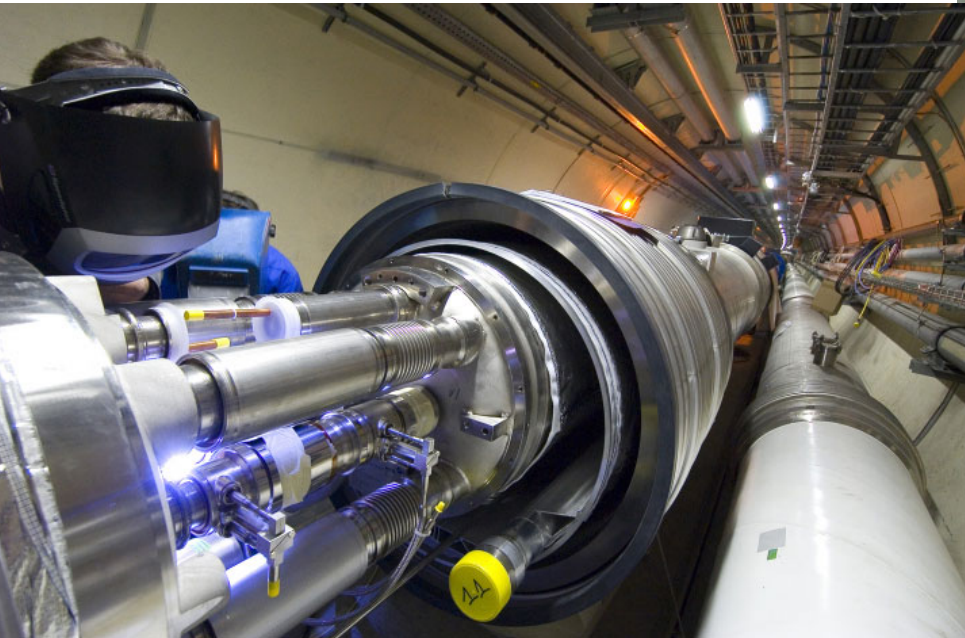


Premières idées
en **1984**

6 Jun 2008

Le LHC... C'est quoi ?

Un tunnel circulaire de
27 km
de circonférence à
1.9 Kelvin
avec un vide de
 10^{-13} atmosphère



Dans lequel des protons ou
des ions de plomb sont
accélérés presque à la vitesse
de la lumière avant d'entrer en
collision frontale !

Le LHC... C'est quoi ?

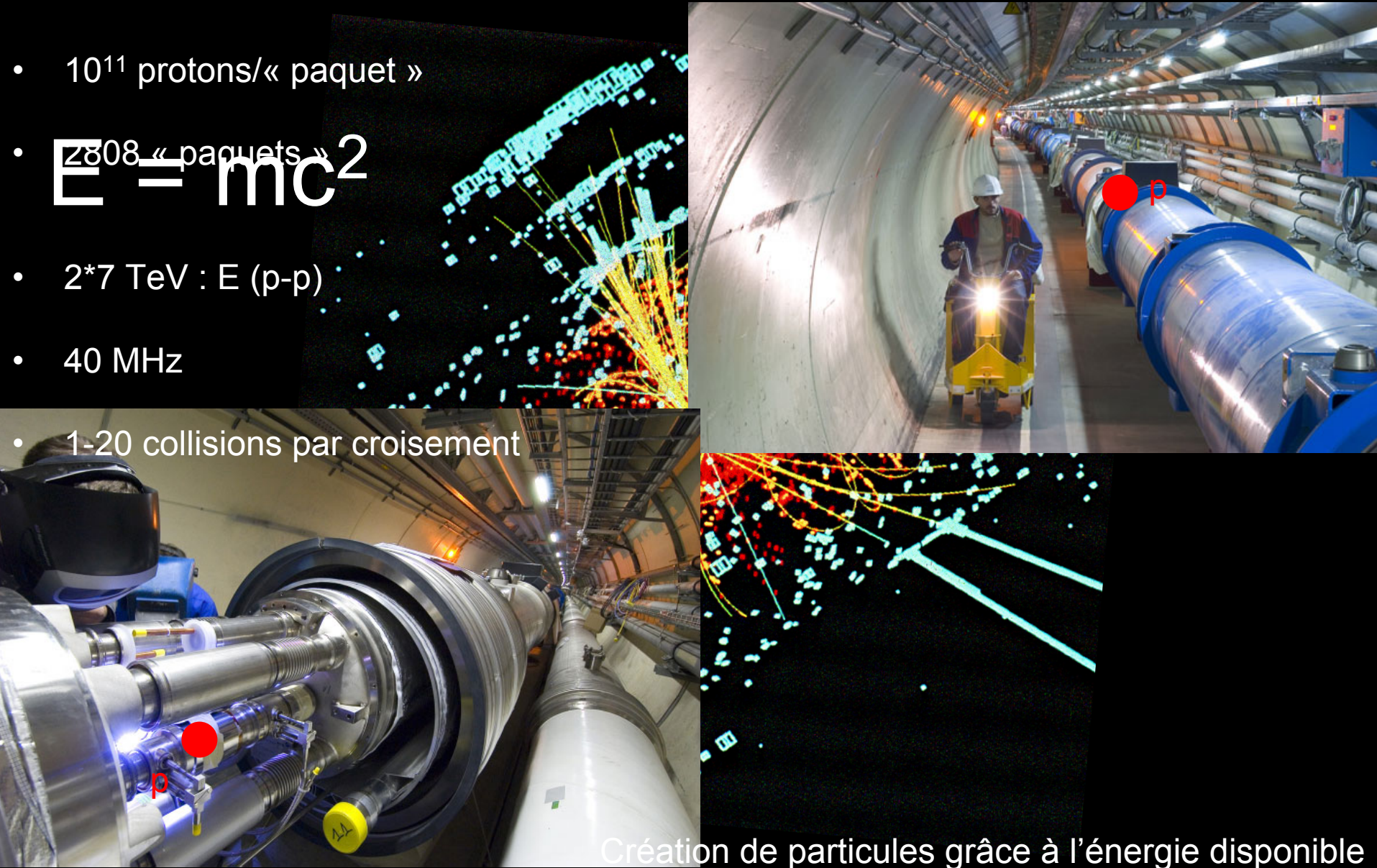
- 10^{11} protons/« paquet »

- $E = mc^2$

- $2 \times 7 \text{ TeV} : E(p-p)$

- 40 MHz

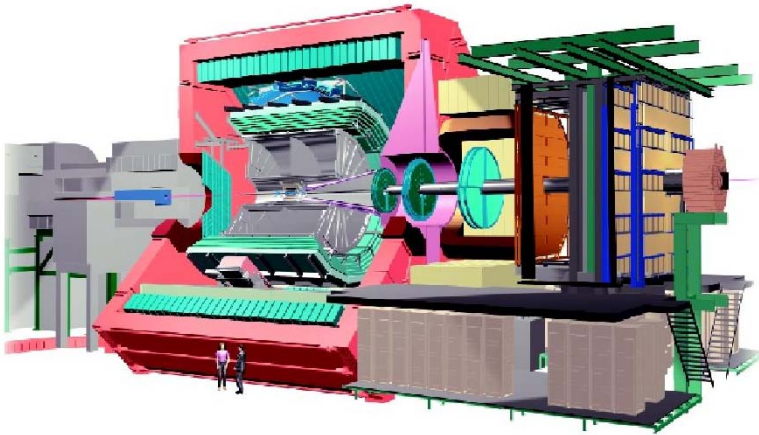
- 1-20 collisions par croisement



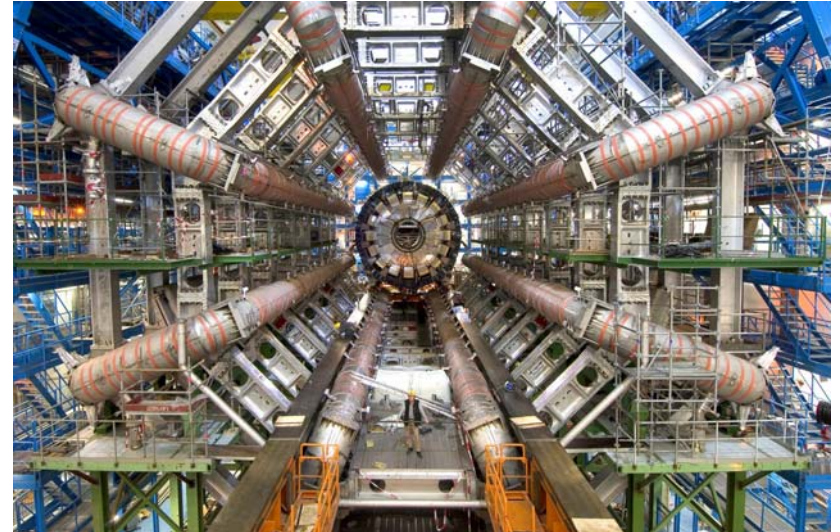
Création de particules grâce à l'énergie disponible

Pour « photographier » les collisions

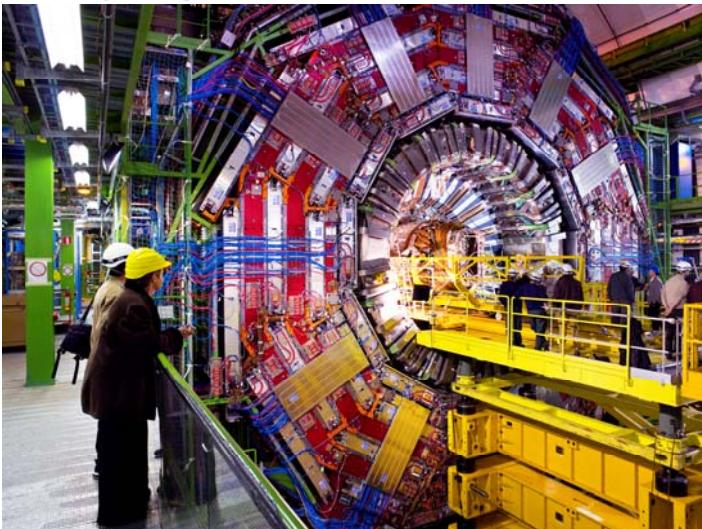
ALICE



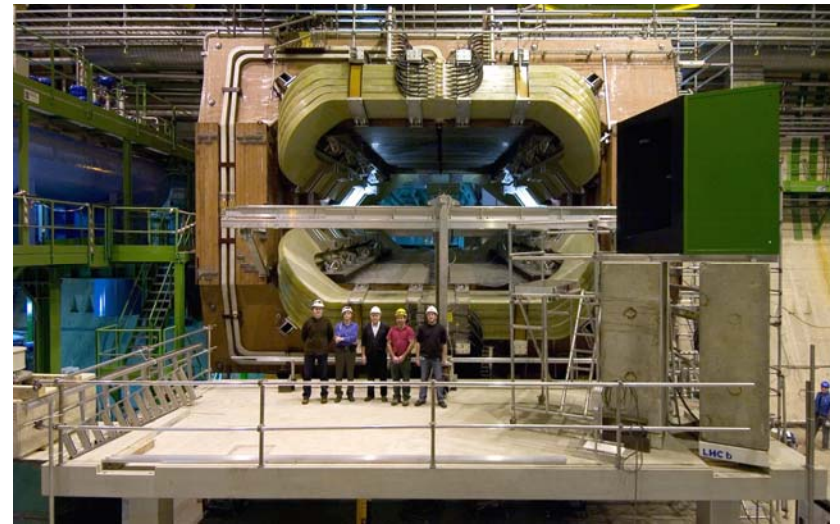
ATLAS



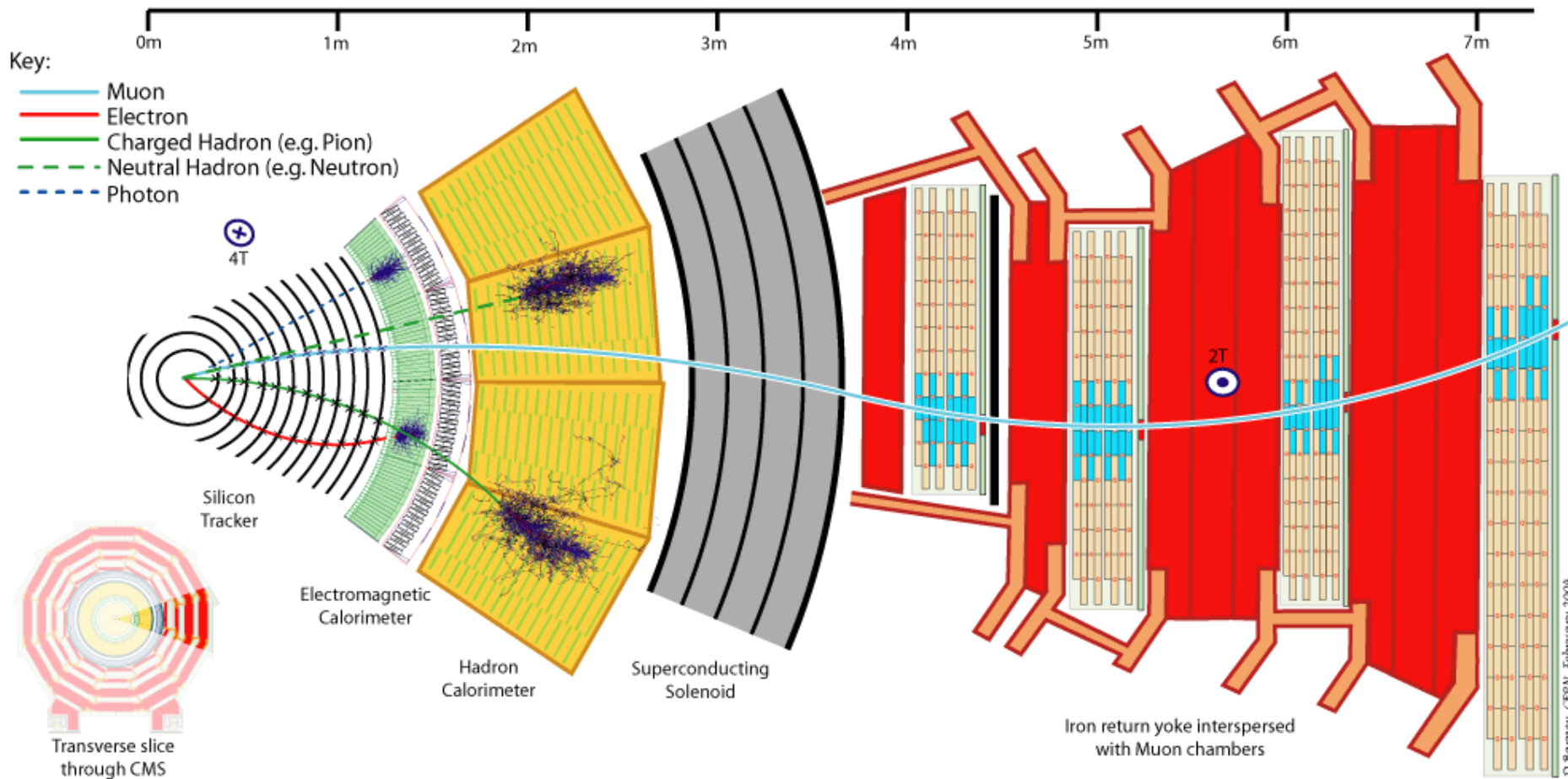
CMS

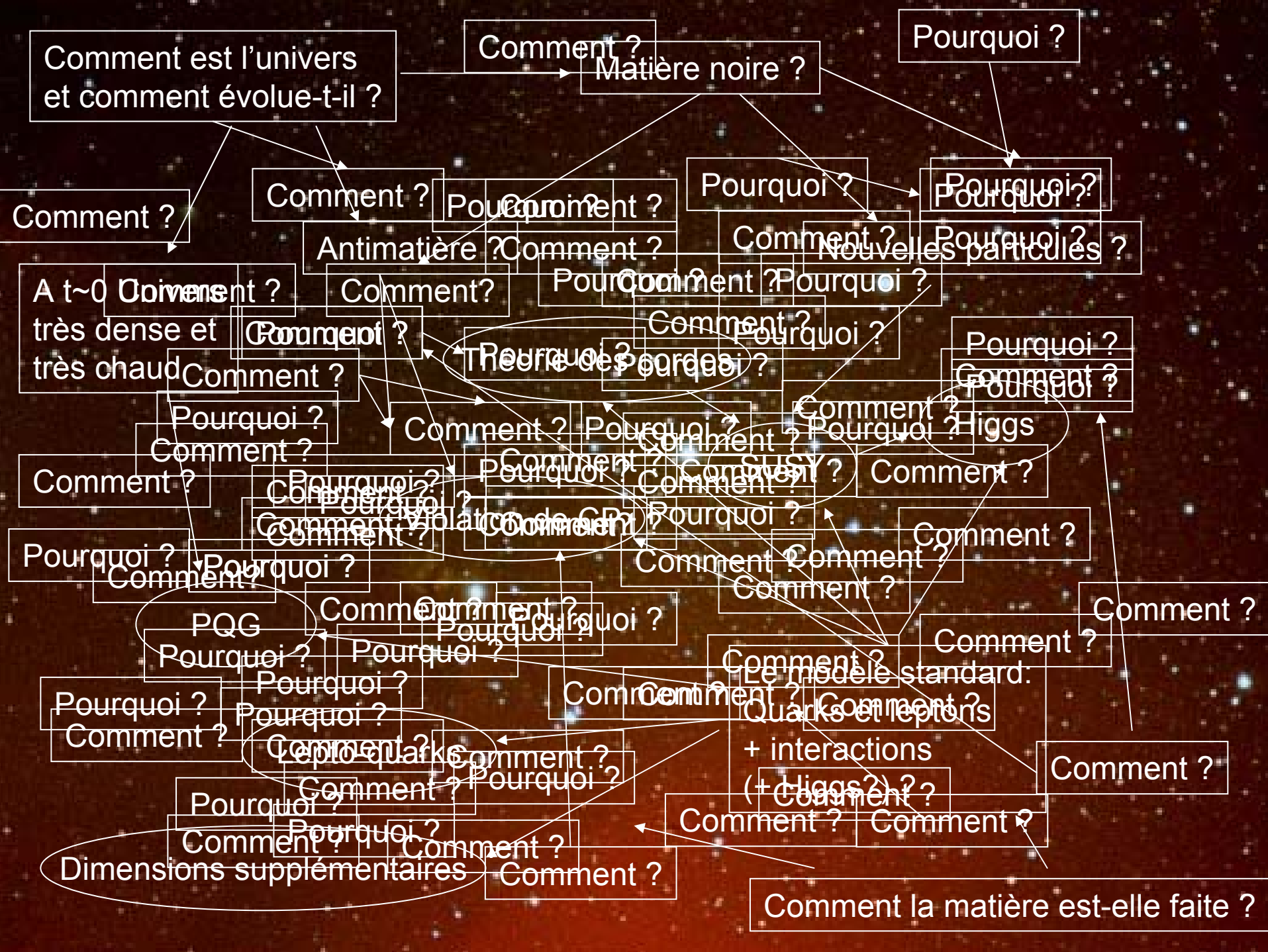


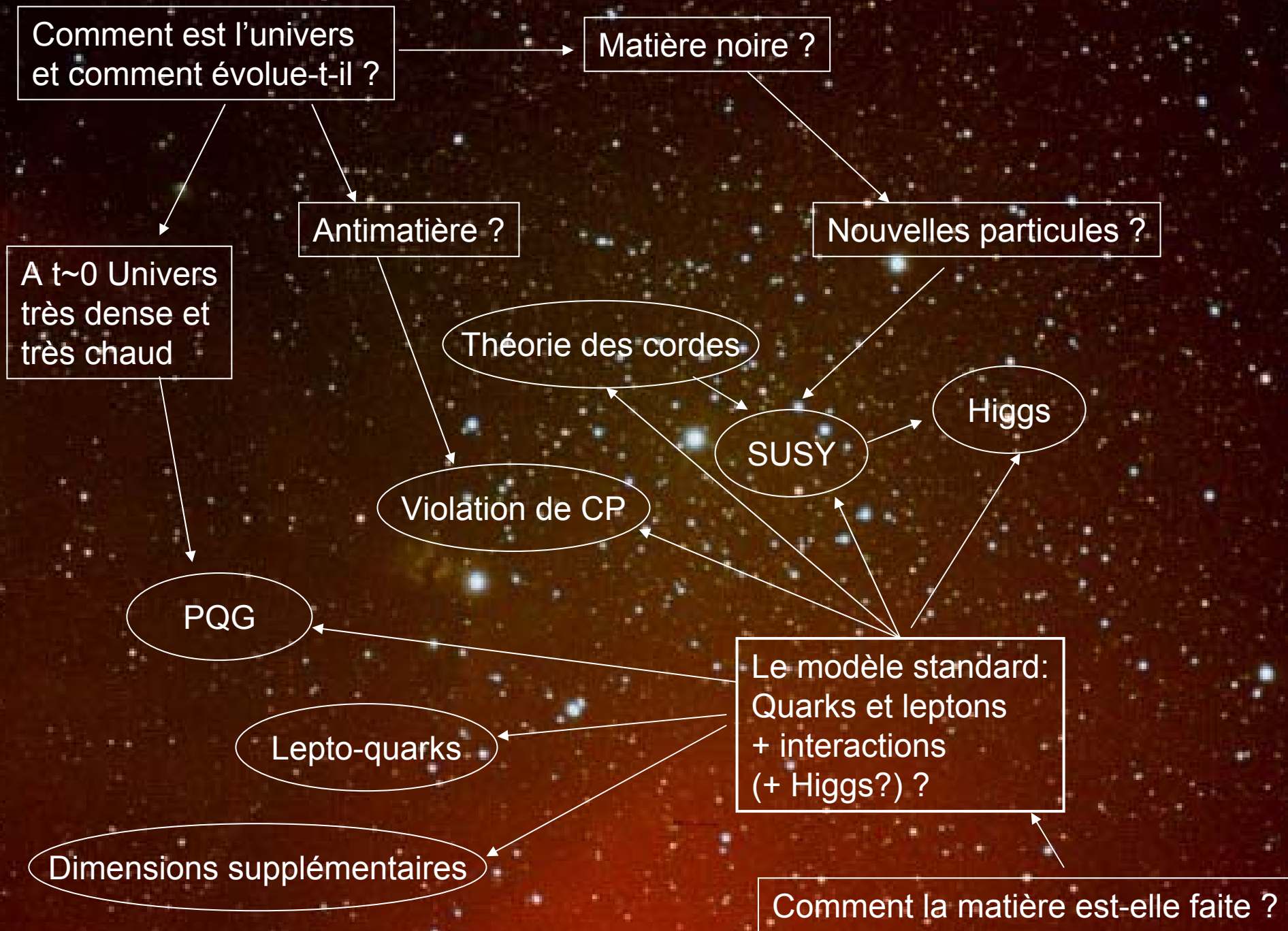
LHCb



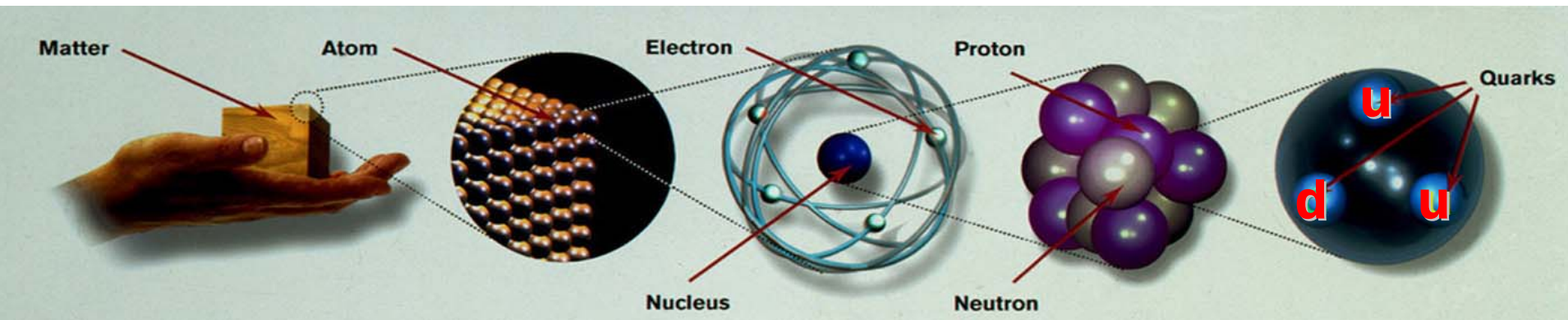
Principe des détecteurs (CMS)







Le modèle standard



Particules

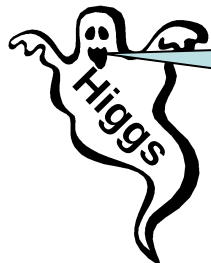
Bosons "Rayonnement"

gluons	W^+	Z^0	photon
	W^-		

Fermions "Matière"

Quarks	Anti-quarks	Leptons	Anti-leptons
d u	$\bar{d}$ $\bar{u}$	e^- ν_e	e^+ $\bar{\nu}_e$
s c	$\bar{s}$ $\bar{c}$	μ^- ν_μ	μ^+ $\bar{\nu}_\mu$
b t	$\bar{b}$ $\bar{t}$	τ^- ν_τ	τ^+ $\bar{\nu}_\tau$

Elémentaires



Vous serez lourds !

Mésons
(Quark-anti-quark)

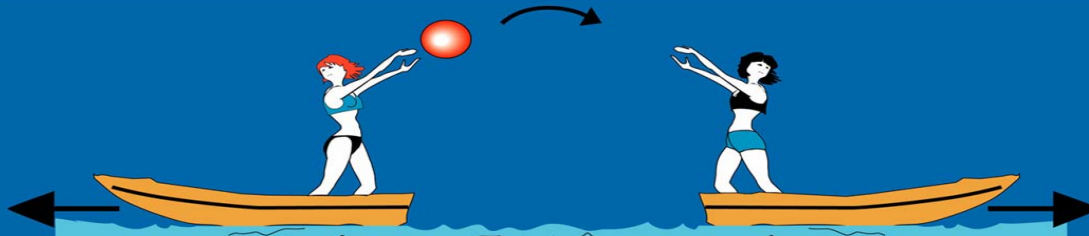
Baryons
(Trois quarks)

Anti-baryons
(Trois anti-quarks)

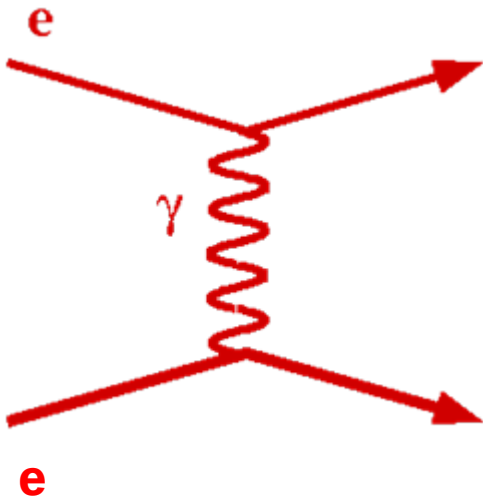
Composites

(Hadrons)

Le modèle standard



Diagrammes de Feynman



- Relativité restreinte et physique quantique
- Symétries
 - Translation, rotation,...
- Discrètes (C, P, T)
- Internes

Le modèle standard



Boson	interaction	portée	intensité	acteurs	charge sensible
graviton ?	gravitationnelle	infinie	10^{-38}	toutes les particules	masse, énergie
photon	Électro-magnétique	infinie	10^{-2}	fermions sauf neutrinos	charge Q électrique
8 gluons	forte	10^{-15} m.	1	quarks	charge de couleur
3 bosons: $W^+ W^- Z^0$	faible	10^{-18} m.	10^{-7}	fermions	charge faible

Le modèle standard

Modèle confirmé expérimentalement avec grande précision...

Mais



Le boson de Higgs n'est pas encore découvert



Il existe une instabilité intrinsèque au-delà de 1 TeV



La gravitation n'est pas décrite et les forces ne sont pas unifiées

Comment est l'univers
et comment évolue-t-il ?

Matière noire ?

Antimatière ?

Nouvelles particules ?

A $t \sim 0$ Univers
très dense et
très chaud

Violation de CP

SUSY

Higgs

PQG

Le modèle standard:
Quarks et leptons
+ interactions
(+ Higgs?) ?

Comment la matière est-elle faite ?

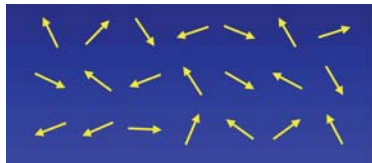


Le boson de Higgs

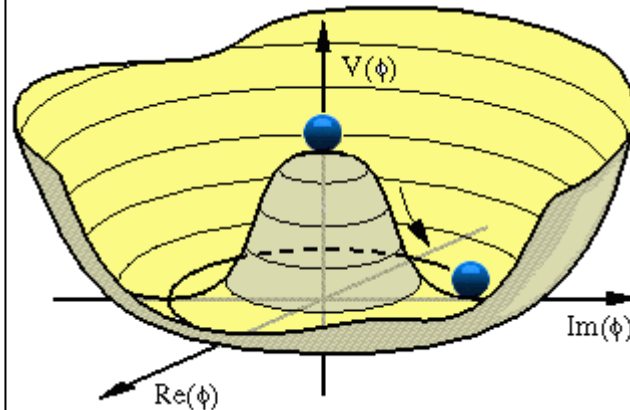
- Symétries du MS $\rightarrow$ Masses nulle 🤪
- Solution: le boson de Higgs (champ ϕ)

Ferromagnétisme

$T > T_c$



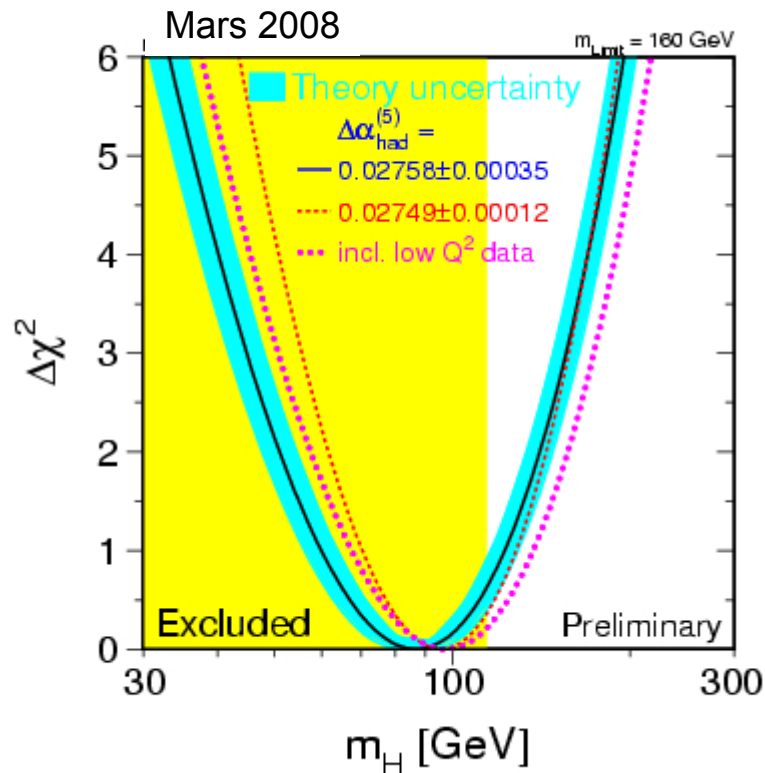
$T < T_c$



Les particules
acquièrent
de la masse
en interagissant
avec le boson de Higgs

Le boson de Higgs

- Le boson de Higgs n'est pas encore observé mais...



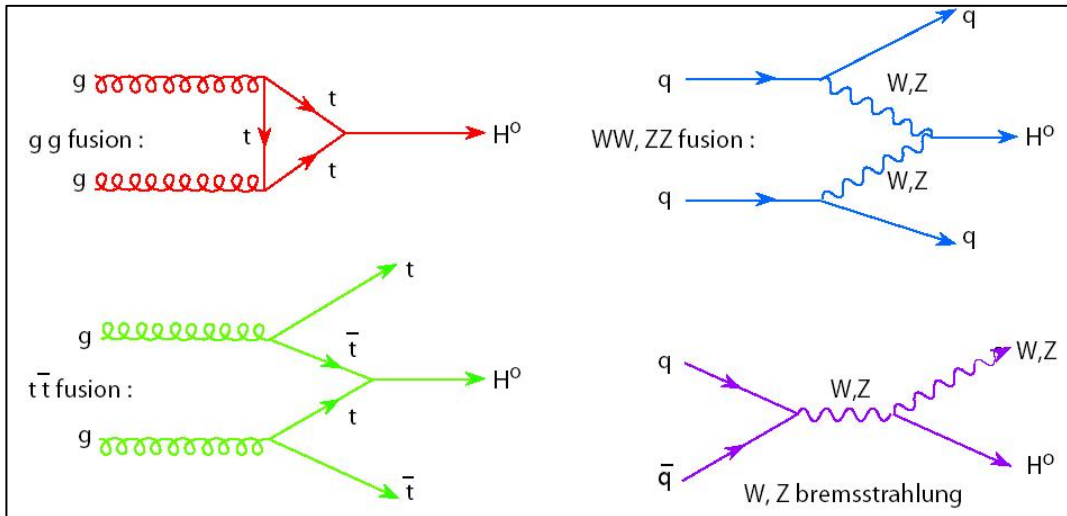
$$M(\text{Higgs SM}) = 87^{+36}_{-27} \text{ GeV}/c^2$$

$$M(\text{Higgs SM}) < 160 \text{ GeV}/c^2 \text{ (95\% C.L.)}$$

$$M(\text{Higgs}) > 114.4 \text{ GeV}/c^2 \text{ (recherche directe)}$$

Le boson de Higgs

Future production de Higgs au LHC ?!

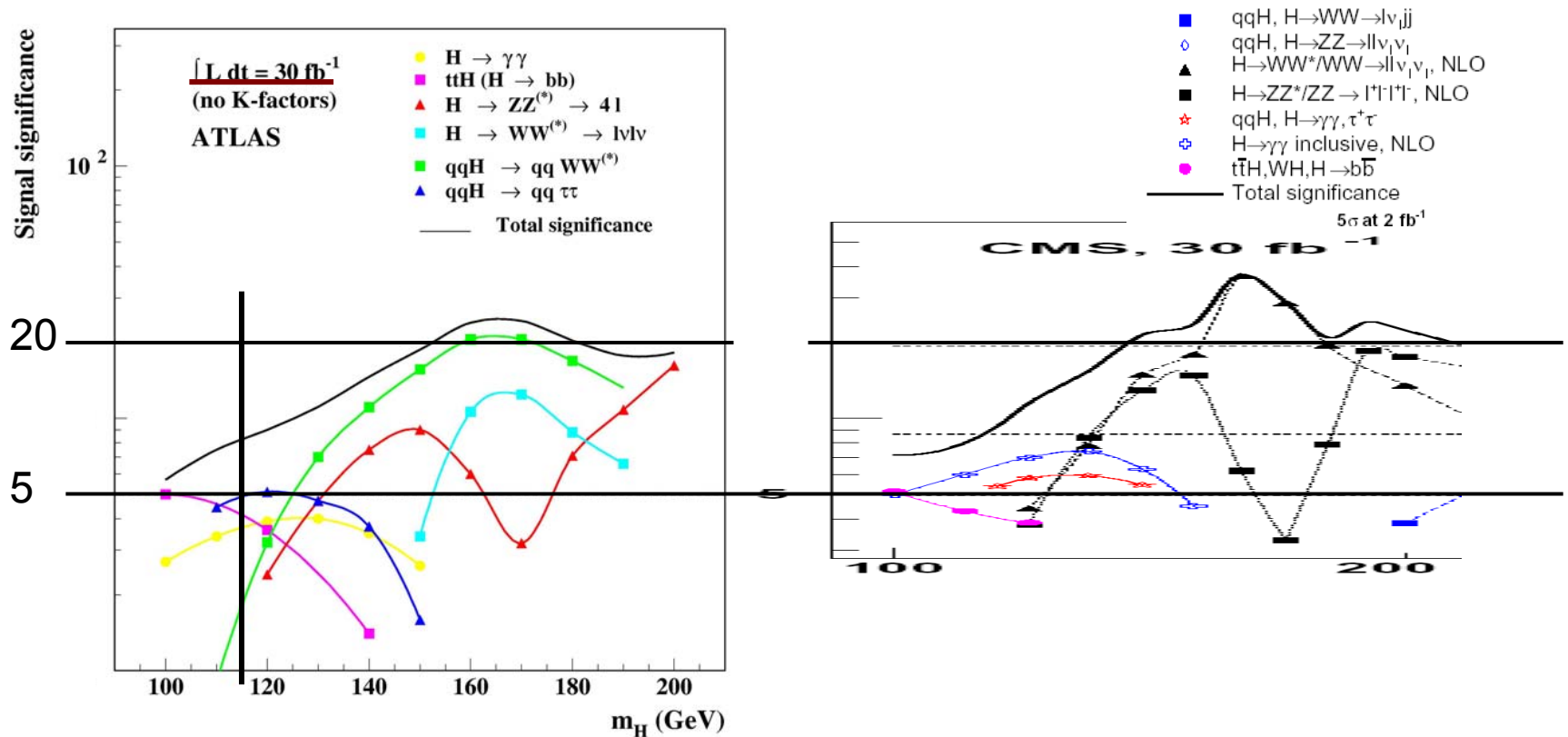


Quelques canaux de désintégration du Higgs

$H \rightarrow \gamma\gamma$
 $ttH (H \rightarrow b\bar{b})$
 $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$
 $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l\nu l\nu$
 $qqH \rightarrow qq WW^{(*)}$
 $qqH \rightarrow qq \tau\tau$

Le boson de Higgs

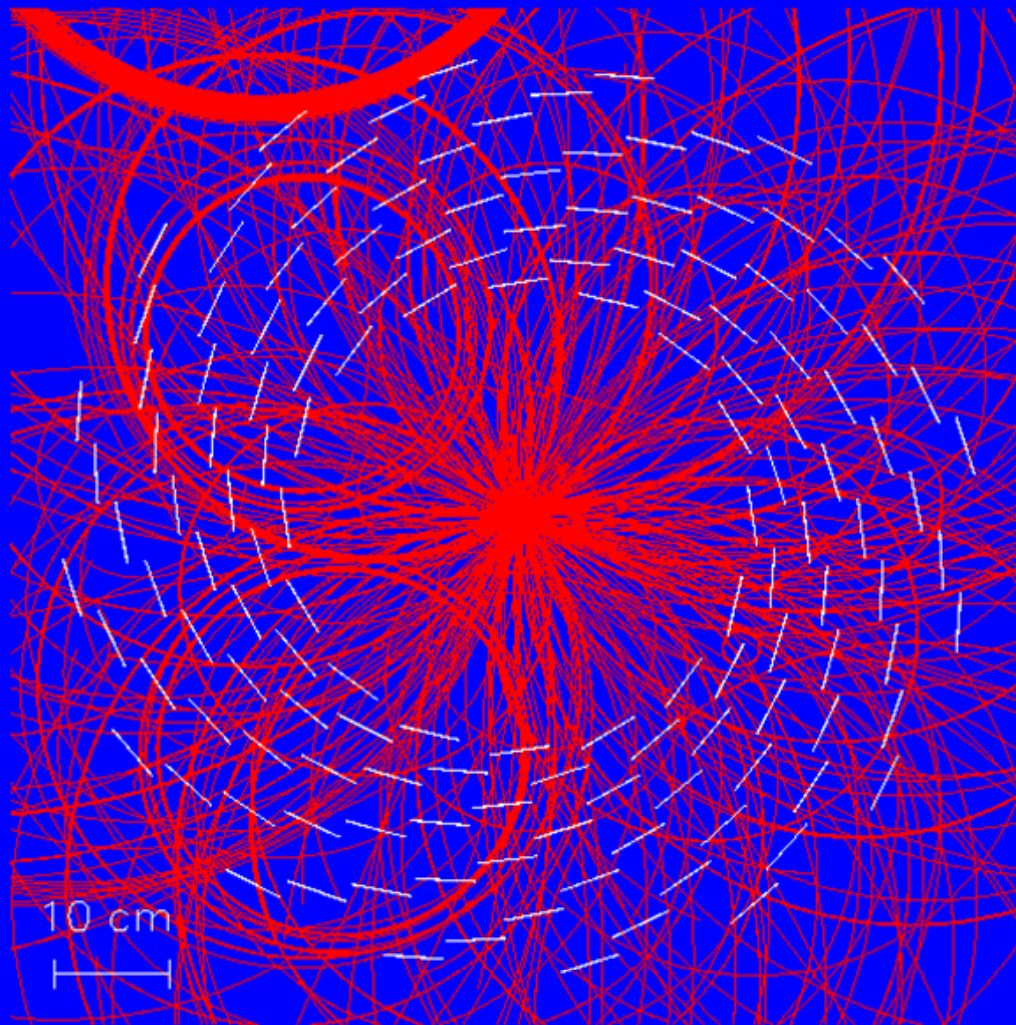
Détection du boson de Higgs... Prédiction pour Atlas et CMS



Le boson de Higgs

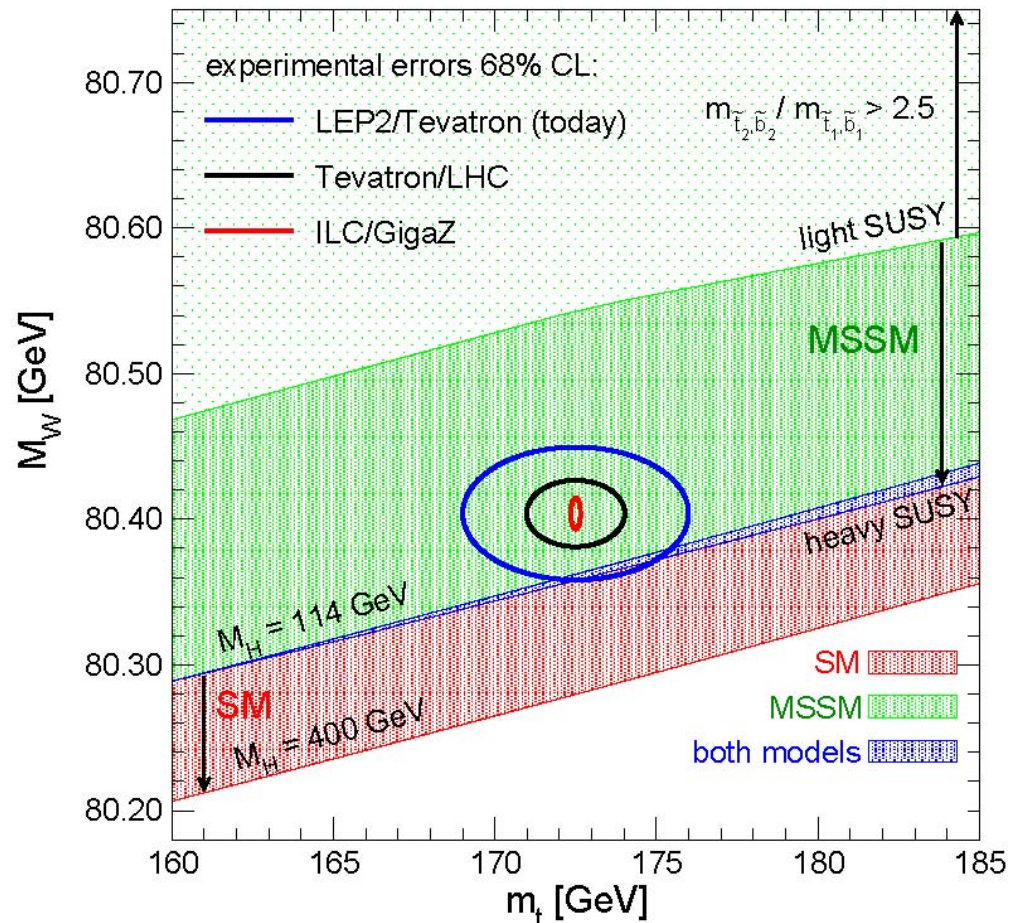
Find four straight tracks in the event below.

The event contains $H \rightarrow 4\mu + 17$ minimum bias pp collisions.



Le boson de Higgs

Le données actuelles sont en défaveur du MS...



Comment est l'univers
et comment évolue-t-il ?

Matière noire ?

Antimatière ?

Nouvelles particules ?

A $t \sim 0$ Univers
très dense et
très chaud

Violation de CP

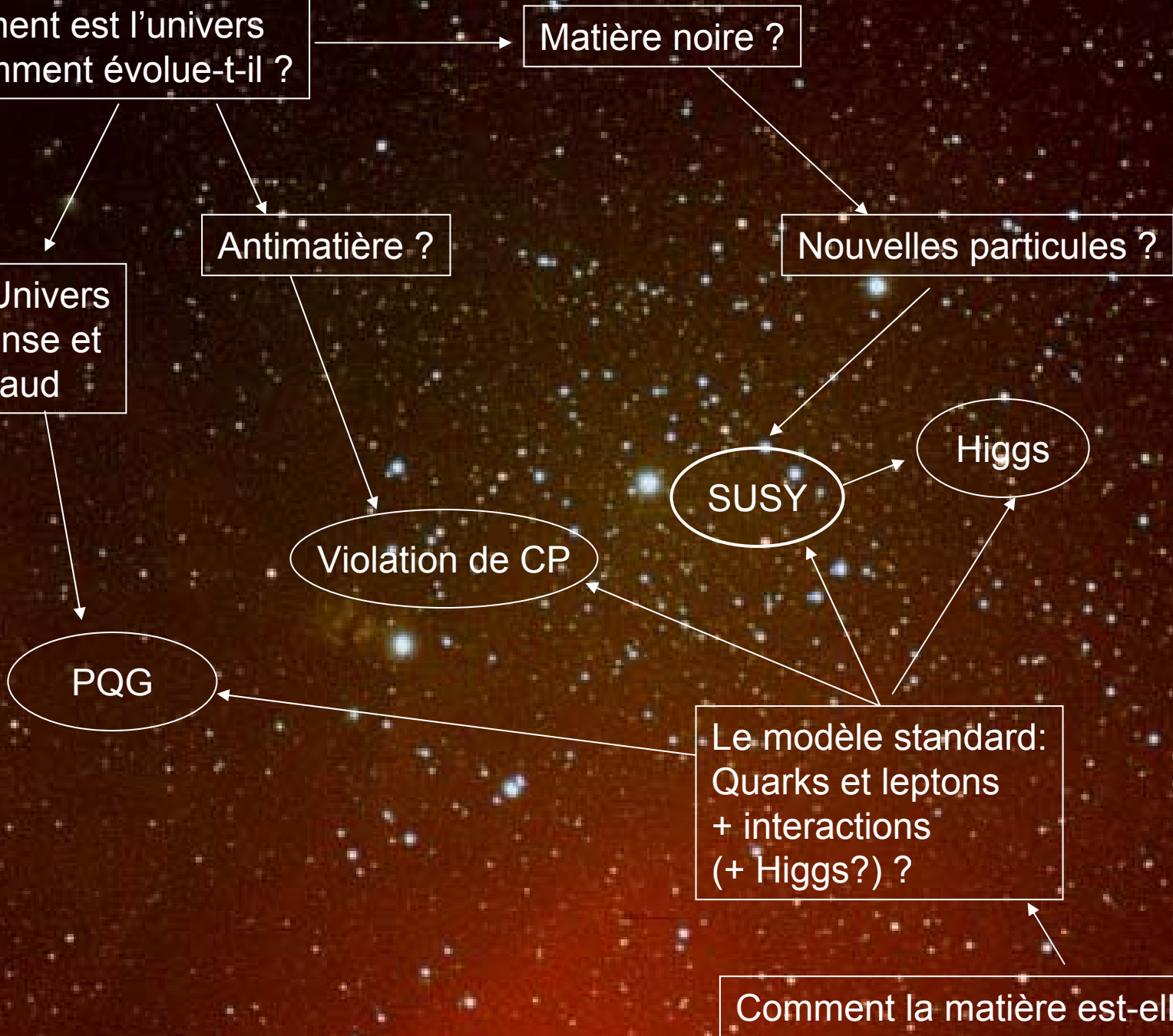
SUSY

Higgs

PQG

Le modèle standard:
Quarks et leptons
+ interactions
(+ Higgs?) ?

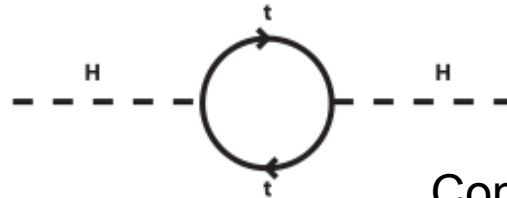
Comment la matière est-elle faite ?





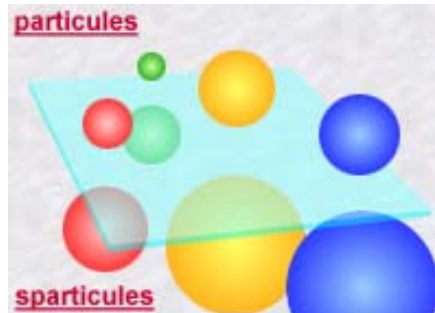
La super-symétrie

Dans le modèle standard, le calcul de la masse du Higgs

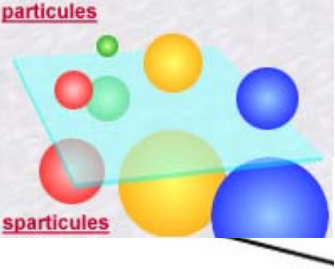


Conduit à des divergences...

En introduisant des particules super-symétriques
(boson $\leftrightarrow$ fermion)



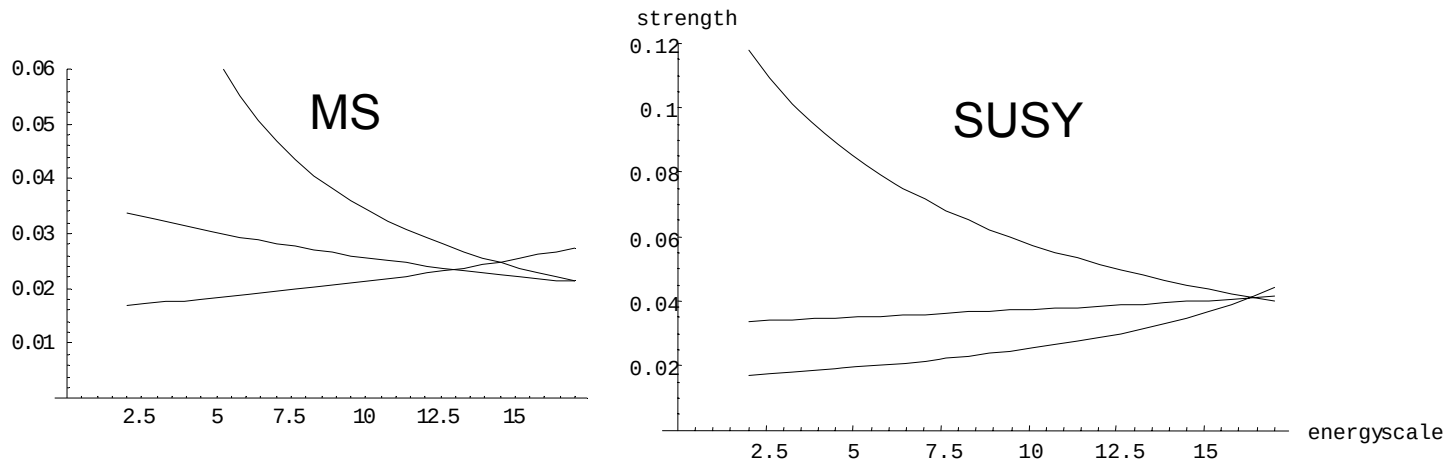
Ces divergences s'annulent



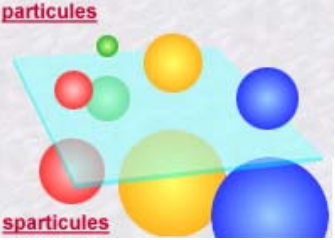
La super-symétrie

Quelques très bonnes nouvelles

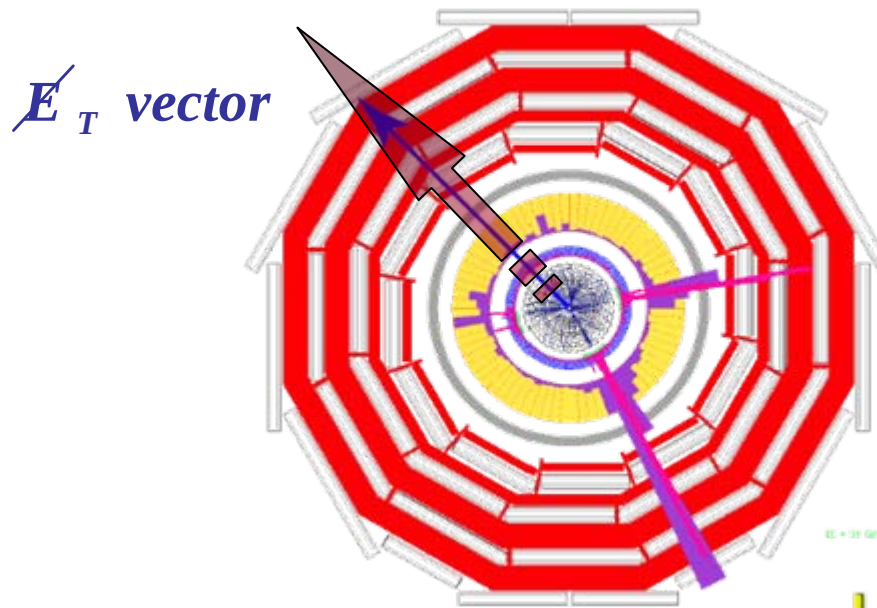
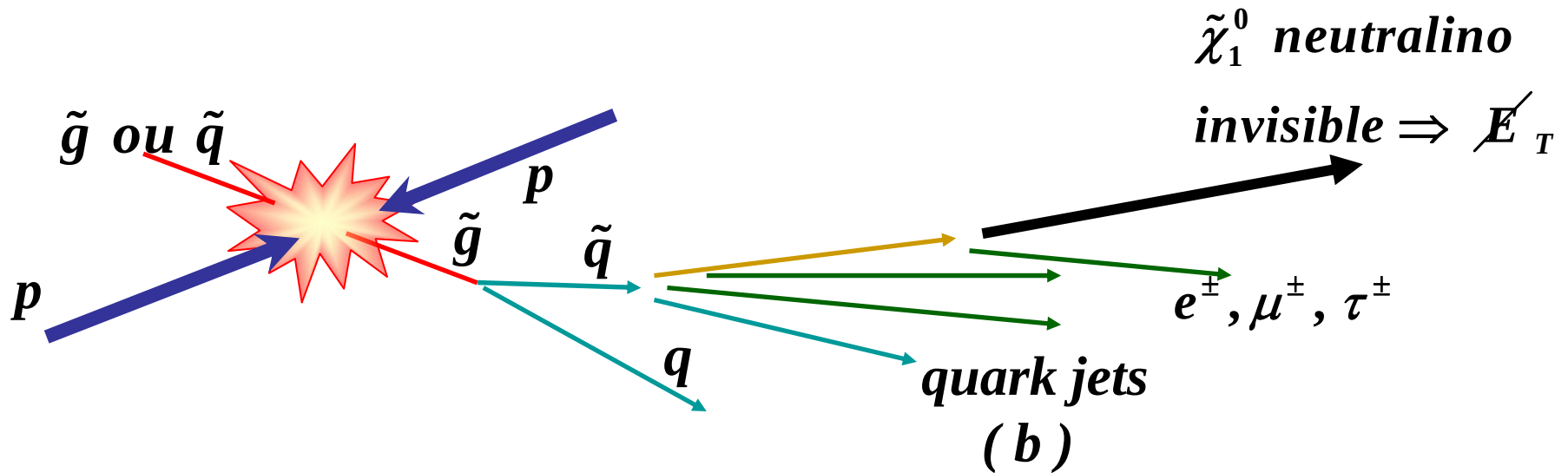
- Nouvelle particule stable $\rightarrow$ matière sombre ?
- Unification de 3 forces ?



- Premier pas vers la gravitation quantique



La super-symétrie



Comment est l'univers
et comment évolue-t-il ?

Matière noire ?

Antimatière ?

Nouvelles particules ?

A $t \sim 0$ Univers
très dense et
très chaud

Violation de CP

SUSY

Higgs

PQG

Le modèle standard:
Quarks et leptons
+ interactions
(+ Higgs?) ?

Comment la matière est-elle faite ?

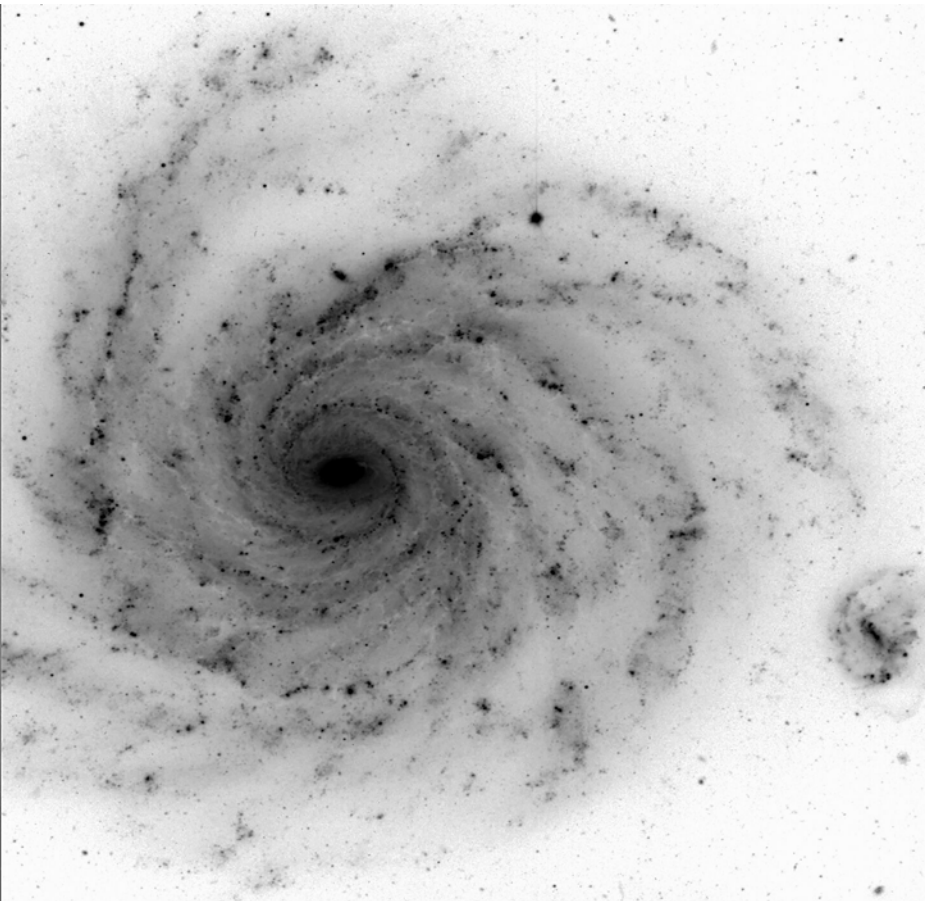


La violation de CP

Où est passé l'antimatière ?

La matière a été favorisée au cours des réactions entre 10^{-43} s et 10^{-34} s.

1 particule a survécu pour 1 milliard de particules s'annihilant avec l'antimatière.



La violation de CP

Les conditions de Sakharov (1967)



3 conditions permettent d'expliquer la prédominance de la matière dans l'univers :

✚ *non conservation du nombre de quark et d'antiquark au cours des réactions*

✚ *violation de CP*

✚ *rupture de l'équilibre thermodynamique*

La violation de CP

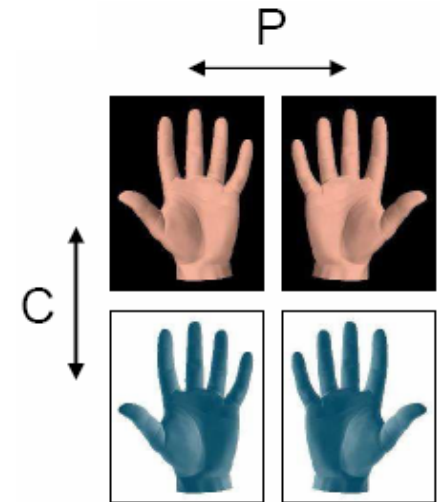
- Deux symétries en jeu

- Conjugaison de charge (**C**)

$$Q = +1 \quad \leftrightarrow \quad Q = -1$$

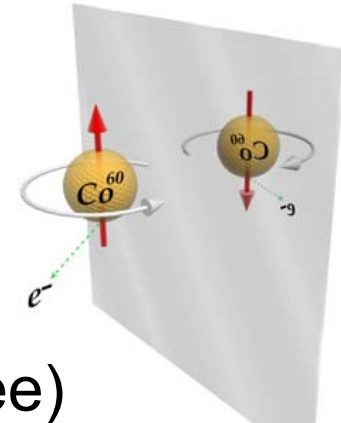
- Parité (**P**)

$$X, Y, Z \quad \leftrightarrow \quad -X, -Y, -Z$$



La violation de CP

- 1957
 - La parité est violée dans la désintégration faible du ^{60}Co
 - La conjugaison de C et P (CP) est proposée
- 1964
 - Symétrie CP est brisée ($\leftrightarrow$ T est brisée)



© 3xplus.com

$$K^0 (s\bar{d}) \longrightarrow \bar{K}^0 (\bar{s}d) \quad \neq \quad \bar{K}^0 (\bar{s}d) \longrightarrow K^0 (s\bar{d})$$

- 2001
 - Babar et Belle observent CP avec des mésons B

La violation de CP

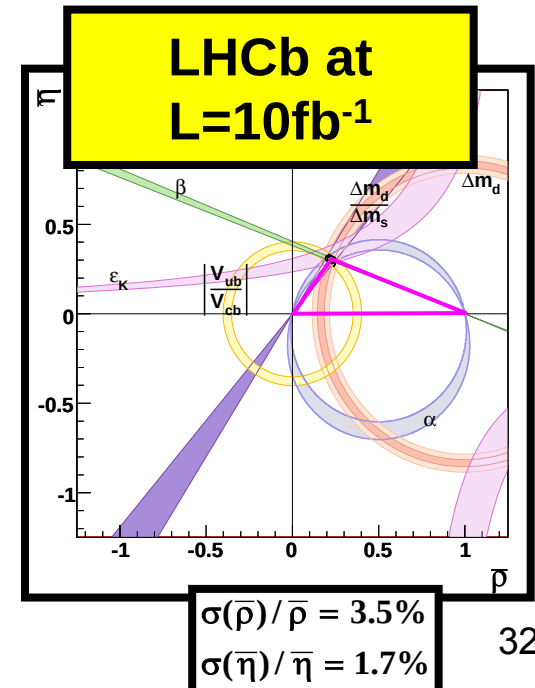
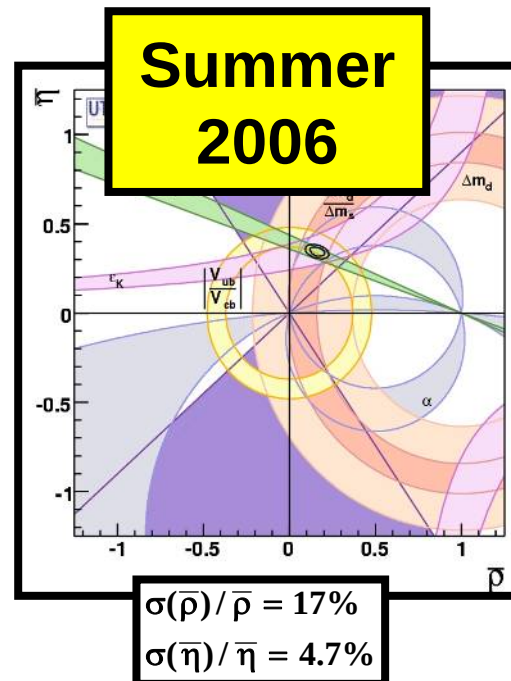
- La violation de CP observée ne peut expliquer qu'une quantité de matière équivalente à une seule galaxie dans l'univers connu
- Recherche de nouvelle physique avec le méson beaux

Matrice CKM unitaire

$$\begin{bmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |d\rangle \\ |s\rangle \\ |b\rangle \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |d'\rangle \\ |s'\rangle \\ |b'\rangle \end{bmatrix}$$



triangles d'unitarité



Comment est l'univers
et comment évolue-t-il ?

Matière noire ?

Antimatière ?

Nouvelles particules ?

A $t \sim 0$ Univers
très dense et
très chaud

Violation de CP

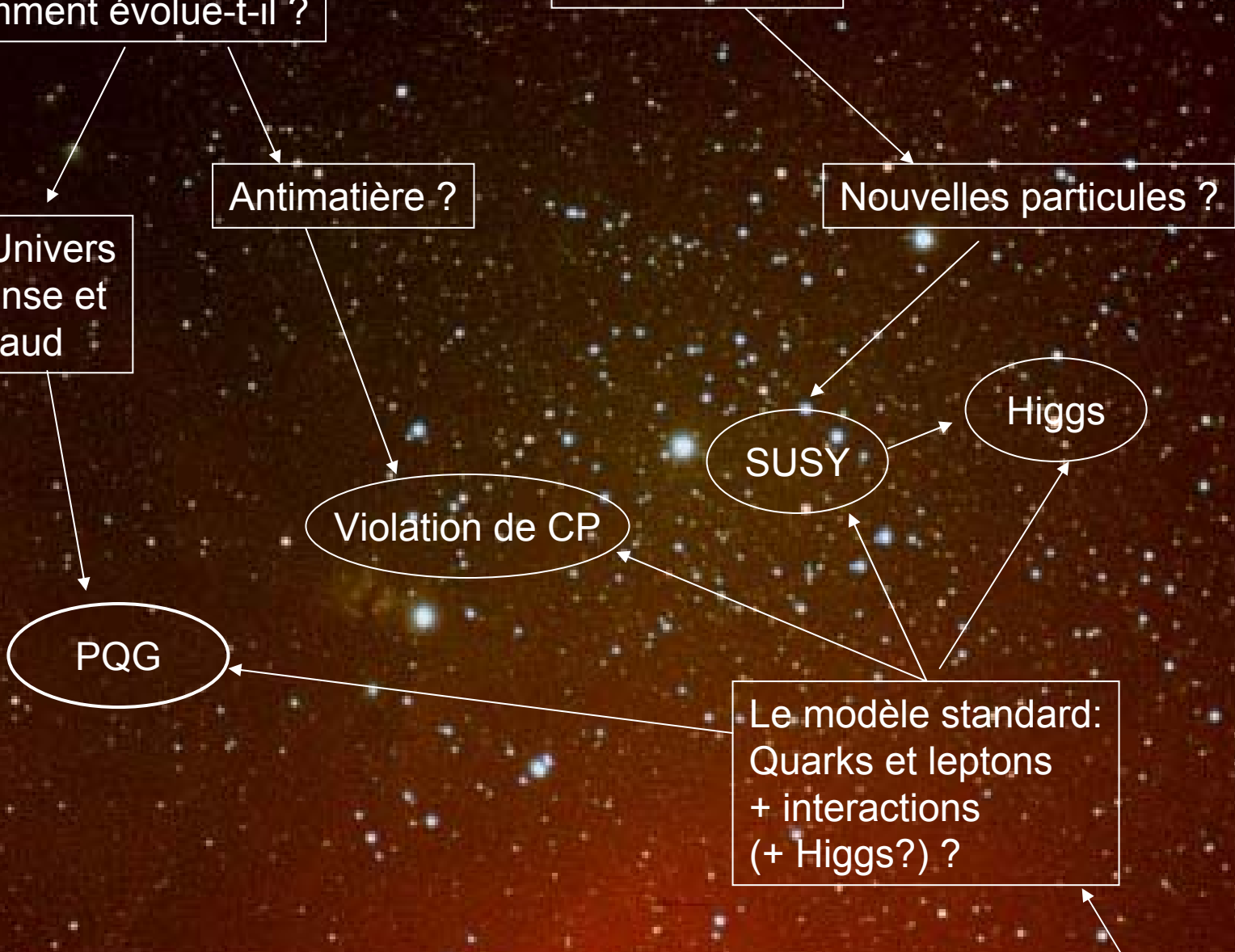
SUSY

Higgs

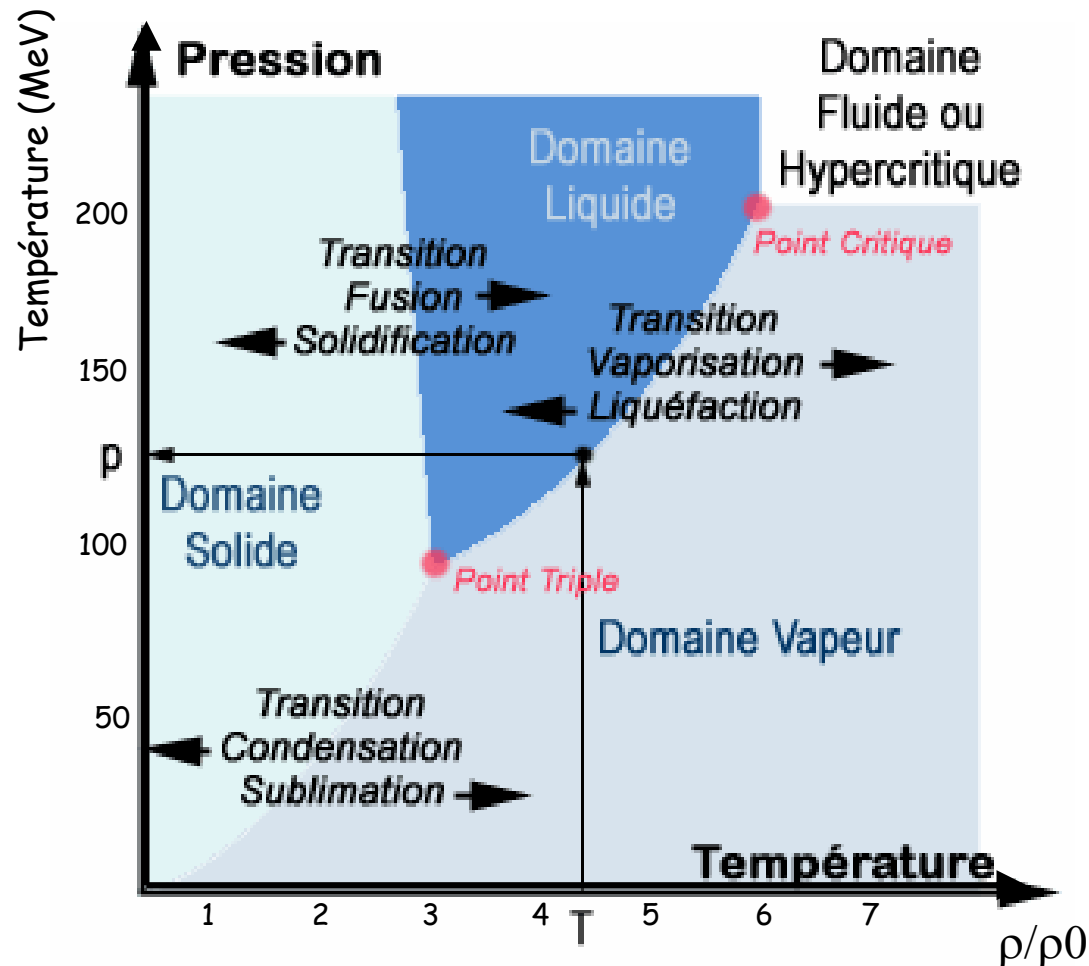
PQG

Le modèle standard:
Quarks et leptons
+ interactions
(+ Higgs?) ?

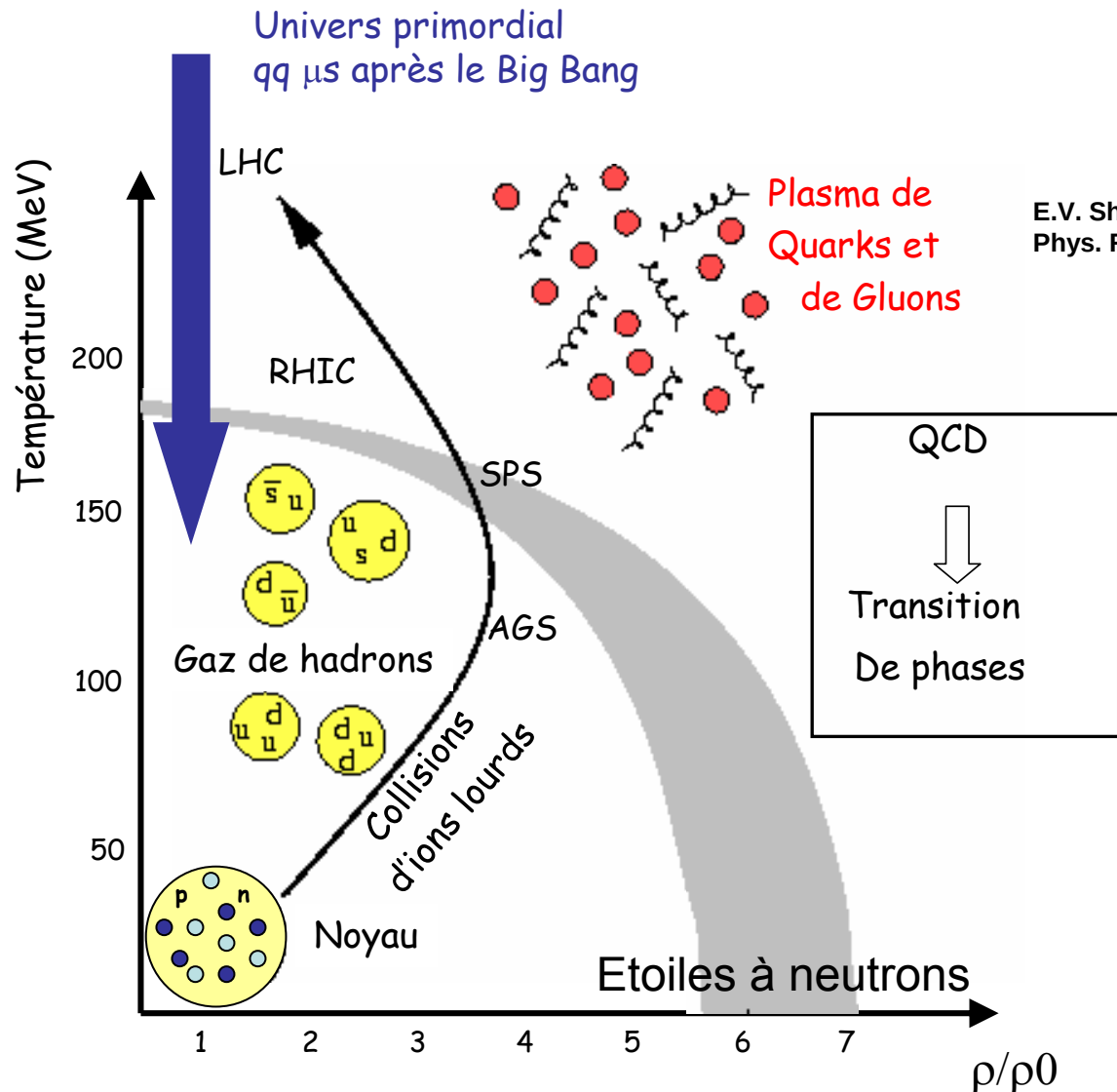
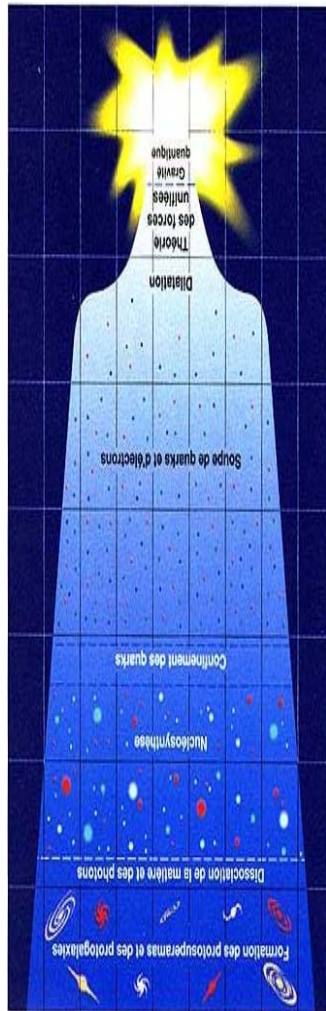
Comment la matière est-elle faite ?



Le Plasma de Quarks et de Gluons

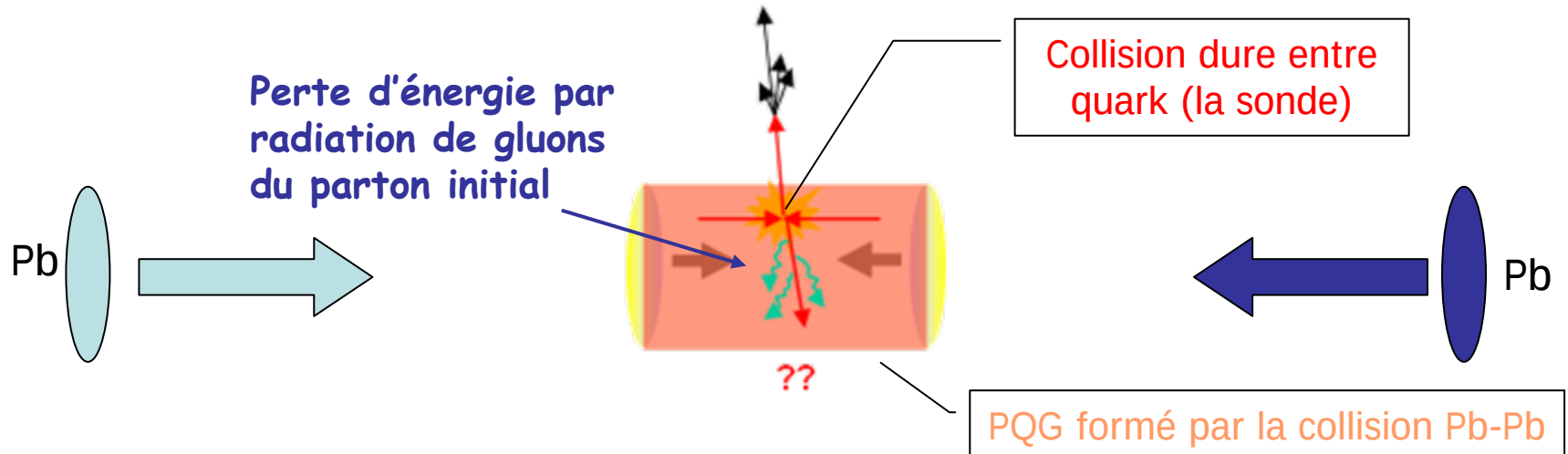


Le Plasma de Quarks et de Gluons

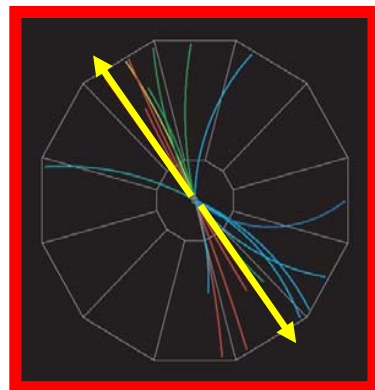


E.V. Shuryak,
Phys. Rept. 62 (1980) 71F.

Le Plasma de Quarks et de Gluons

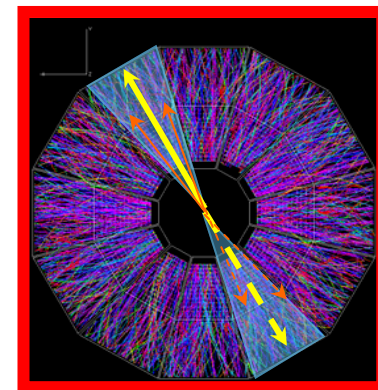


● Reconstruction des jets dans un environnement de grande multiplicité => un défi pour ALICE !



$p+p \rightarrow \text{Jet} + \text{Jet}$

Comparaisons



$\text{Pb}+\text{Pb} \rightarrow \text{Jet} + \text{Jet} + \text{bruit}$

Pour en savoir plus

- Expo sur le LHC du 11 au 26 octobre 2008 au palais universitaire de Strasbourg
- <http://lhc-france.fr> (à partir de juillet)
- <http://public.web.cern.ch/Public/Welcome.html>
- <http://www.interactions.org/LHC/>
- http://www.sfpnet.fr/front_office/index.php
- <http://quarks.lal.in2p3.fr/>
- <http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/>

Comment est l'univers
et comment évolue-t-il ?

Matière noire ?

Antimatière ?

Nouvelles particules ?

A $t \sim 0$ Univers
très dense et
très chaud

Violation de CP

SUSY

Higgs

PQG

Le modèle standard:
Quarks et leptons
+ interactions
(+ Higgs?) ?

Comment la matière est-elle faite ?

