

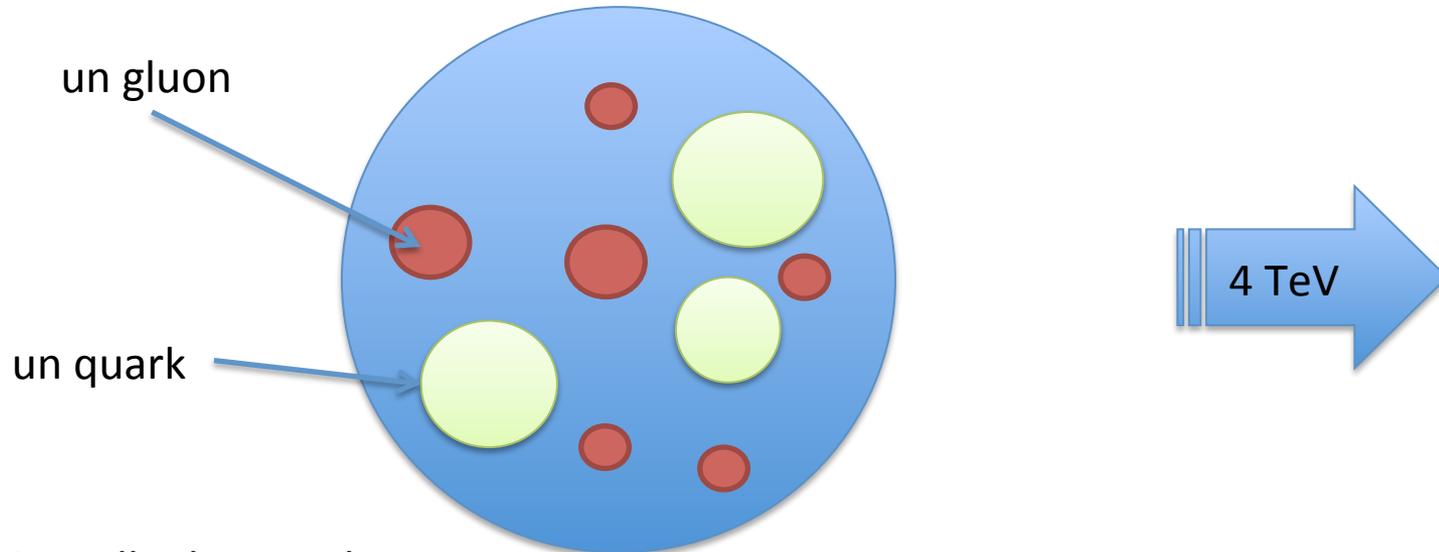
# Analyse de données

Masterclasses 2015  
IPNL

Colin Bernet

# LA COLLISION

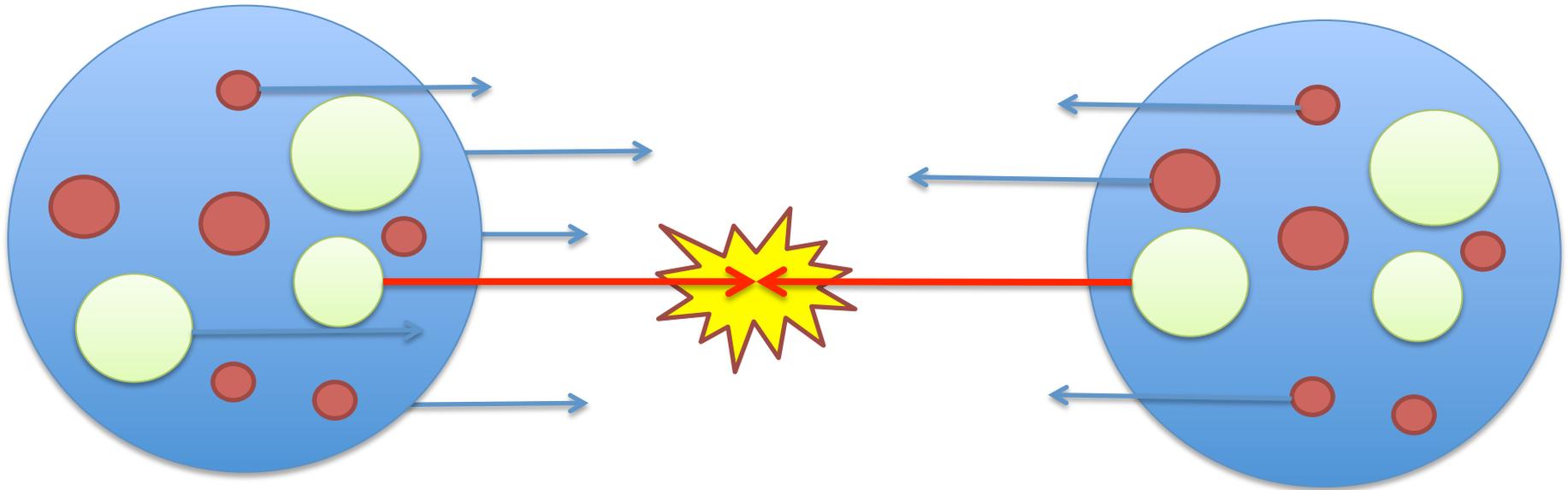
# Un proton dans le LHC



La taille des quarks et  
des gluons  
représente leur  
énergie.

$$E_{\text{proton}} = \sum_{\text{quarks}} E_{\text{quark}} + \sum_{\text{gluons}} E_{\text{gluon}} = 4 \text{ TeV}$$

# Une collision proton-proton



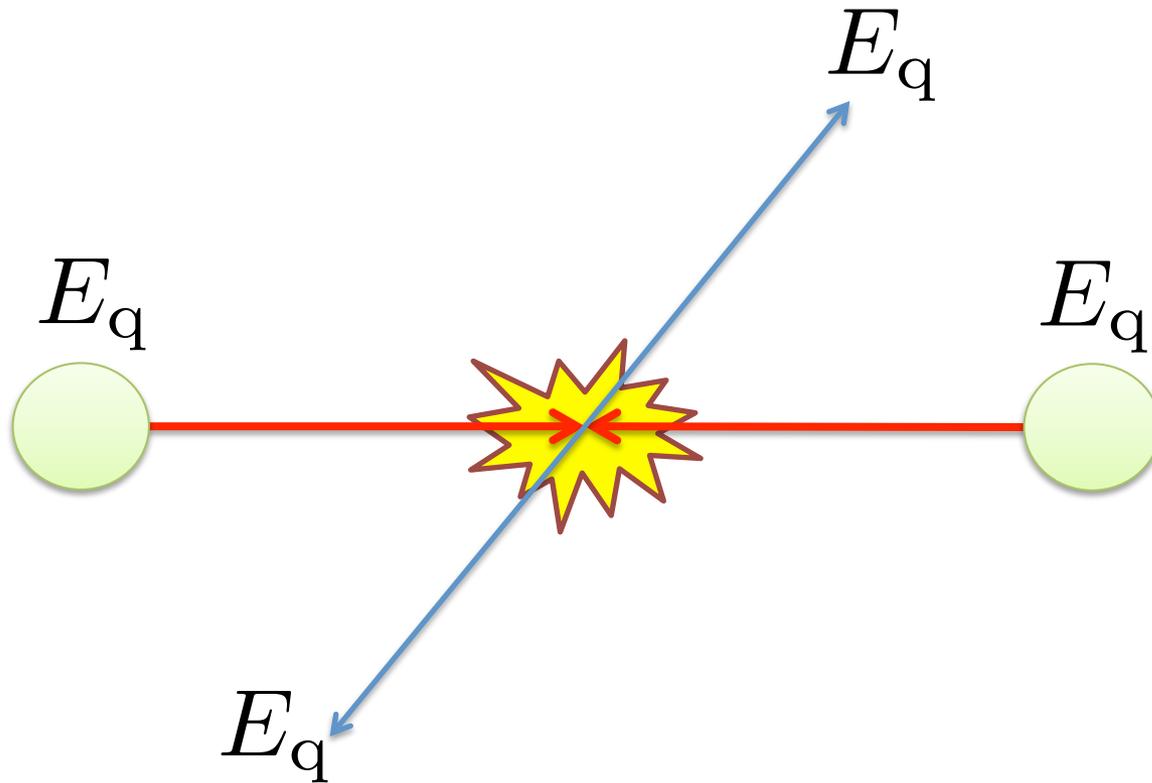
4 TeV

Seuls deux quarks entrent en collision,  
le reste continue tout droit.

4 TeV

$$E_{\text{collision}} \ll 2E_{\text{proton}} = 8 \text{ TeV}$$

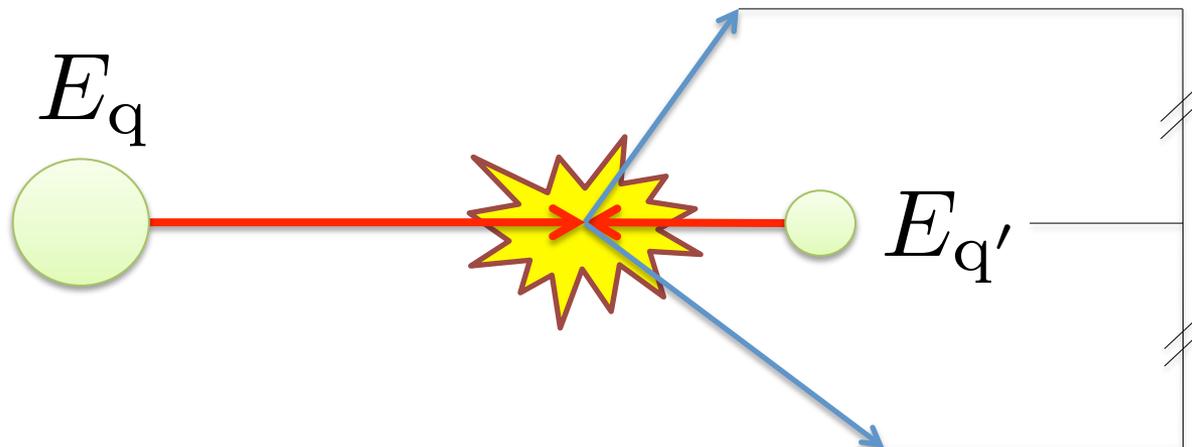
# Production de nouvelles particules



Production de deux particules de masse nulle.  
Les deux quarks ont la même énergie.

Conservation impulsion: les particules sont  
produites dos à dos

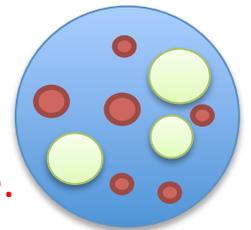
# Production de nouvelles particules



Production de deux particules de masse nulle.  
L'un des quarks a plus d'énergie

Conservation impulsion:

- les particules finales sont poussées vers la droite.
- même impulsion dans la direction verticale



# C'est comme le billard, mais...

Les particules ont:

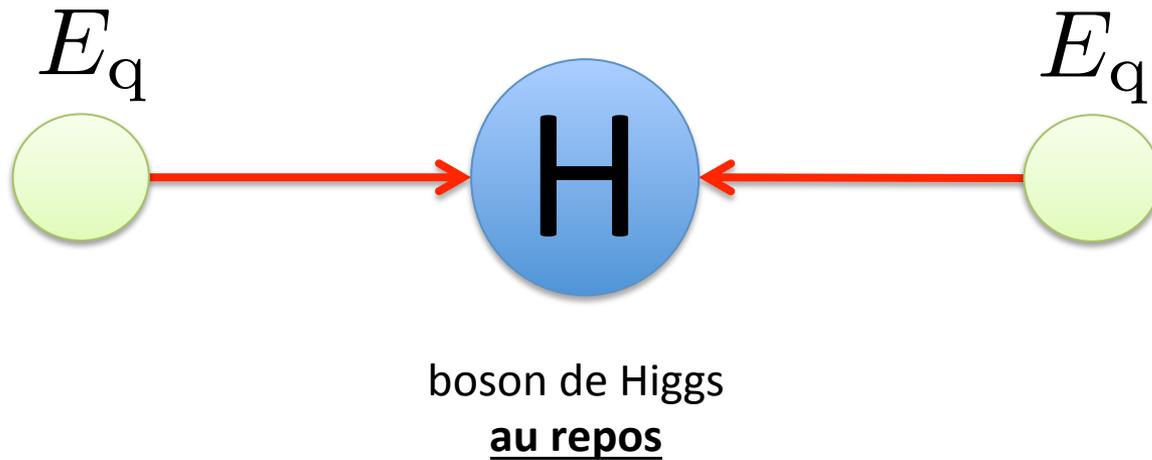
- une énergie cinétique (= 0 quand la particule est au repos)
- une **énergie de masse** (= 0 quand la particule est de masse nulle)

$$\text{énergie de masse} = \text{masse} \times (\text{vitesse lumière})^2$$



# Production d'un boson de Higgs

## Création



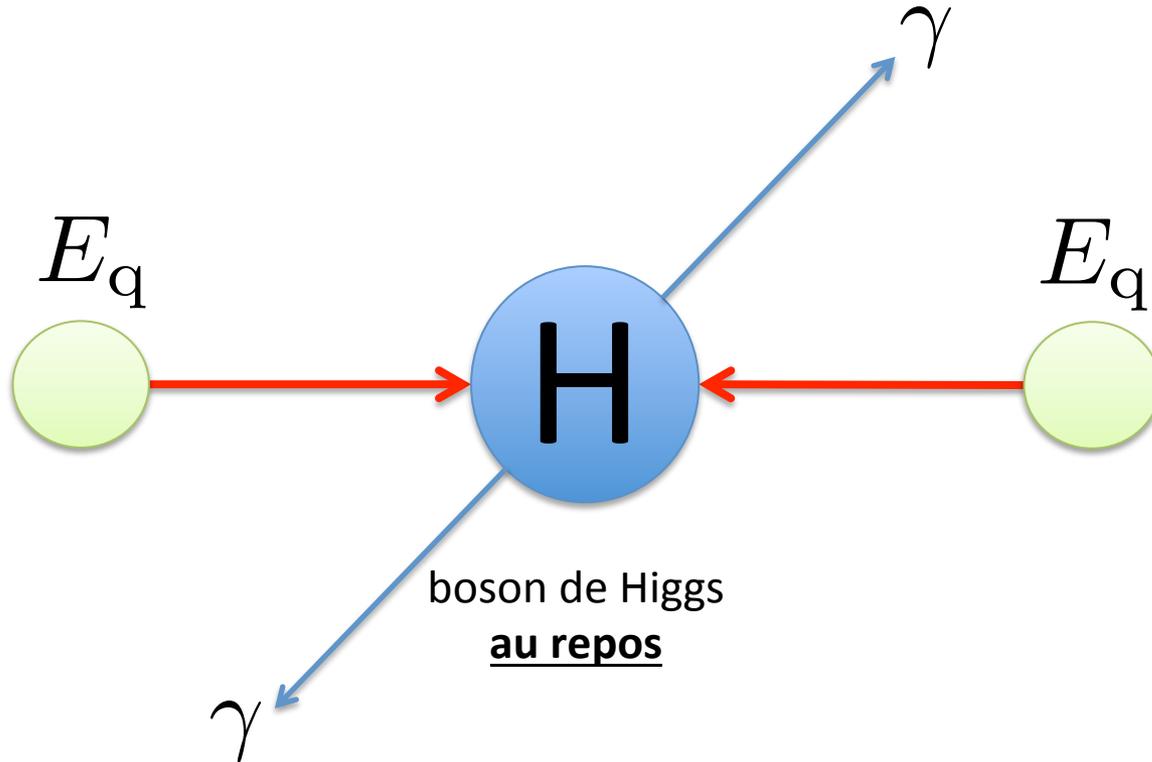
Conservation de l'énergie:

$$2E_q = m_H$$

$$E_q = 125 \text{ GeV} / 2 = 62.5 \text{ GeV}$$

# Production d'un boson de Higgs

## Désintégration immédiate



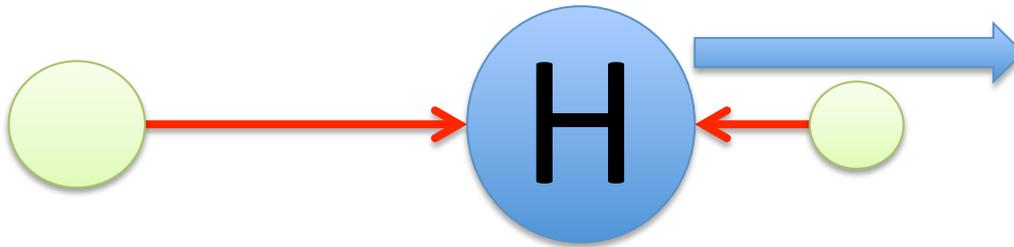
Conservation de l'énergie:

$$2E_\gamma = m_H$$

$$E_\gamma = 125 \text{ GeV} / 2 = 62.5 \text{ GeV}$$

# Production d'un boson de Higgs

## Création

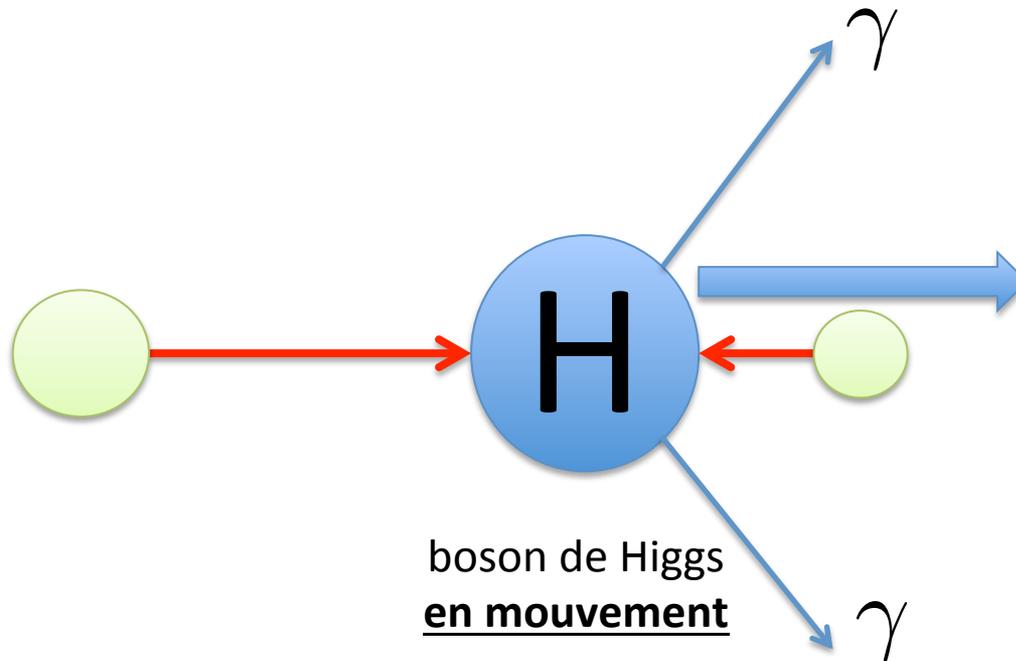


boson de Higgs  
en mouvement

Conservation de l'impulsion:  
Le boson de Higgs part vers la  
droite.

# Production d'un boson de Higgs

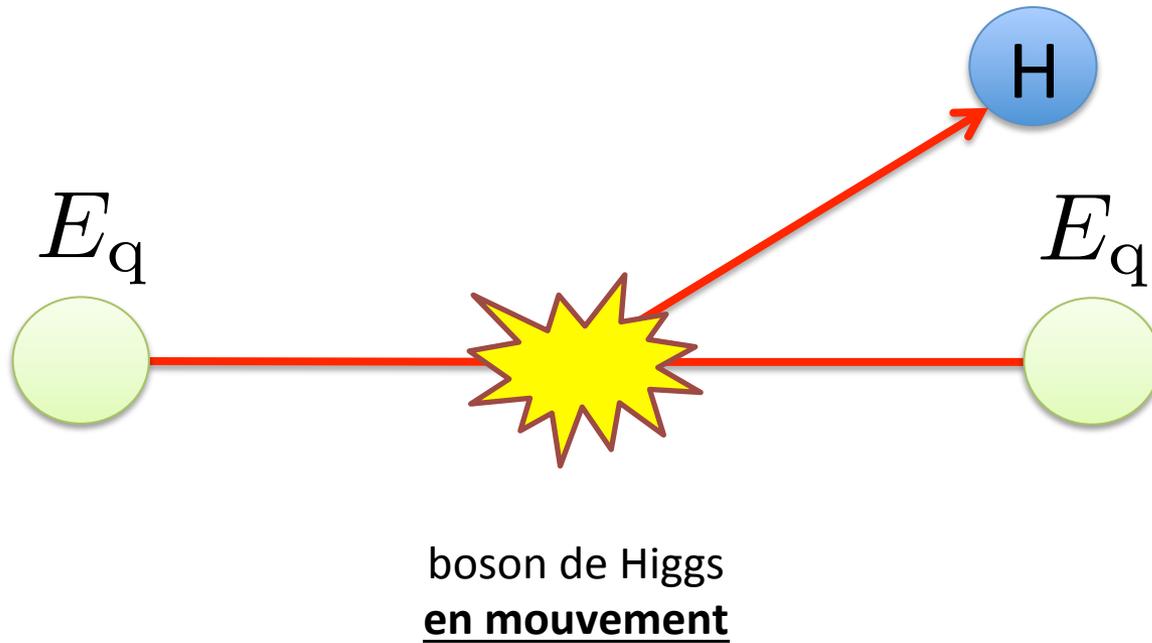
## Désintégration immédiate



Conservation de l'impulsion  
L'angle entre les deux photons  
est  $< \pi$

# Production d'un boson de Higgs

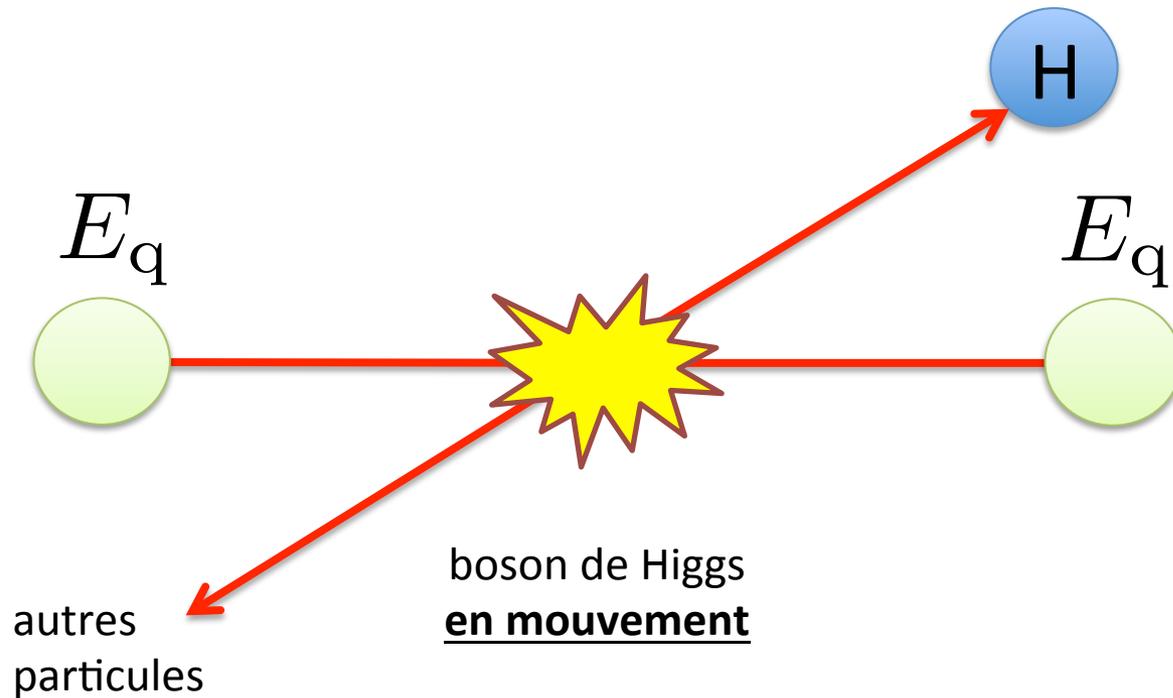
## Création



Conservation de l'impulsion:  
IMPOSSIBLE

# Production d'un boson de Higgs

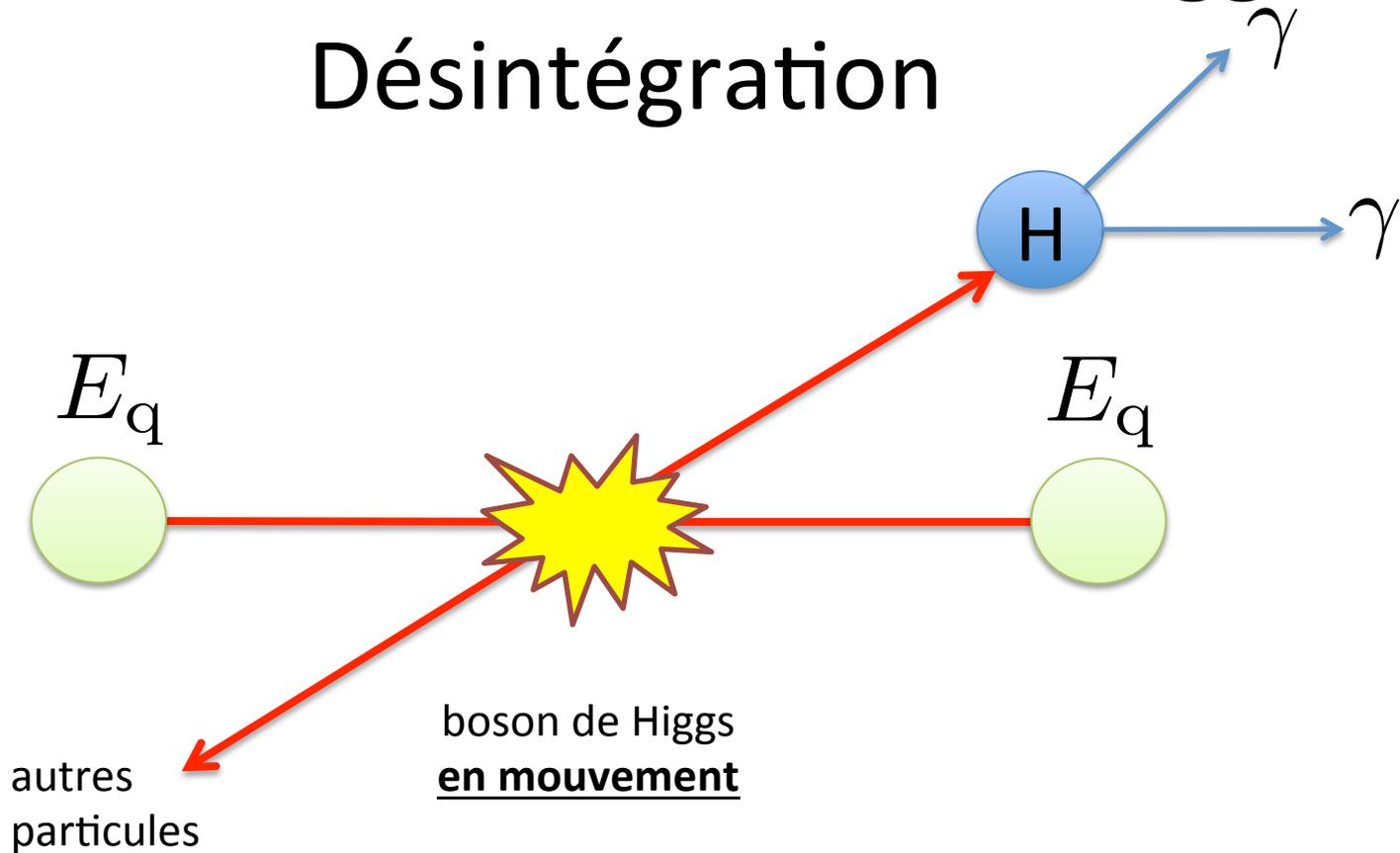
## Création



Conservation de l'impulsion:  
Ok! il suffit d'avoir d'autres  
particules de l'autre côté

# Production d'un boson de Higgs

## Désintégration



Conservation de l'impulsion:  
Ok! il suffit d'avoir d'autres  
particules de l'autre côté

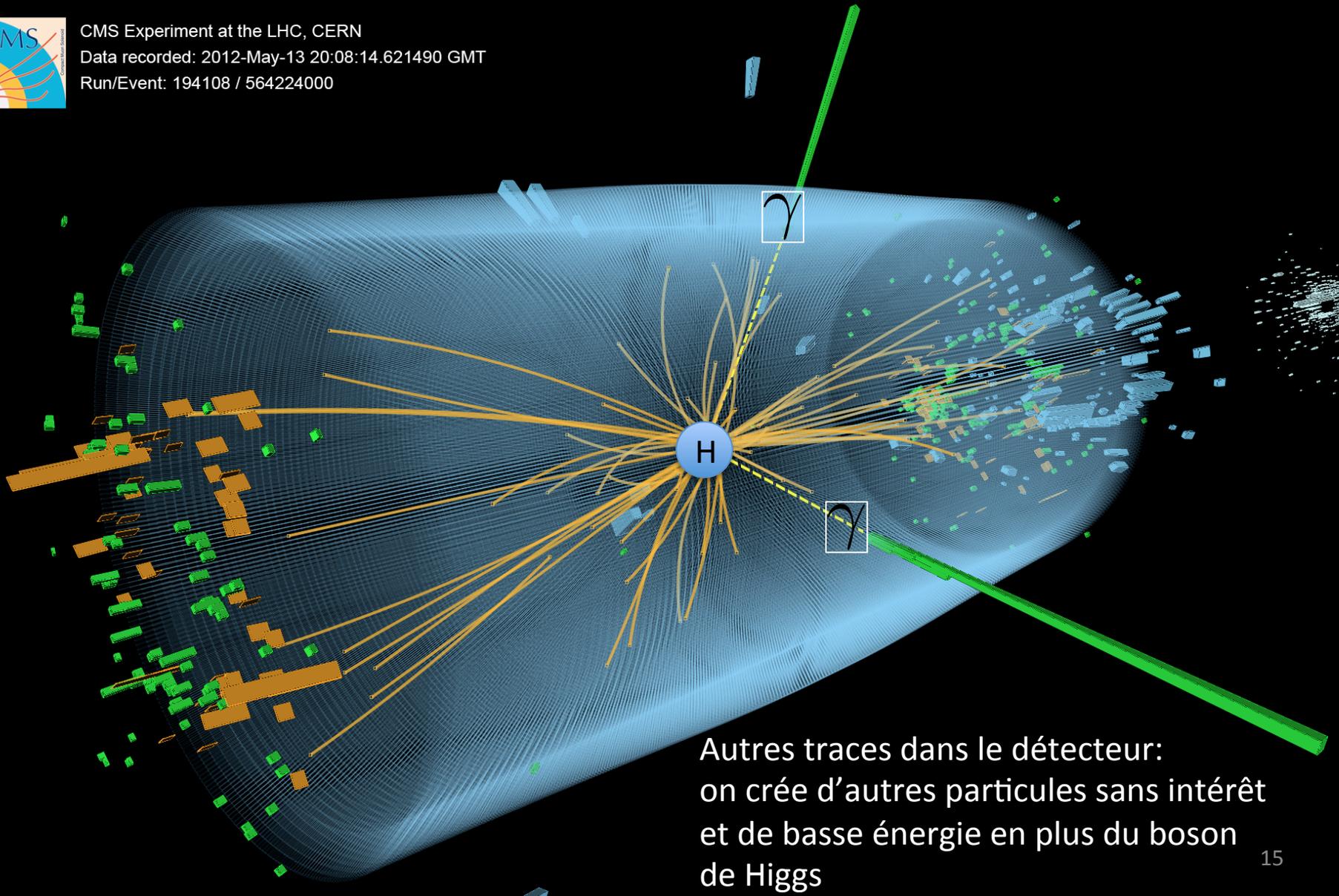
$$2E_q > m_H$$

$$E_\gamma > 125 \text{ GeV} / 2 = 62.5 \text{ GeV}$$

# Tout se passe immédiatement



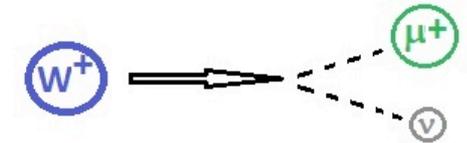
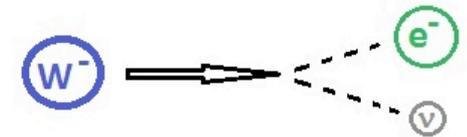
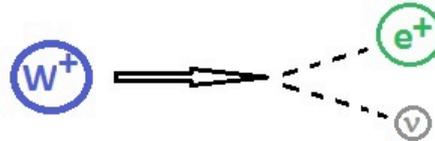
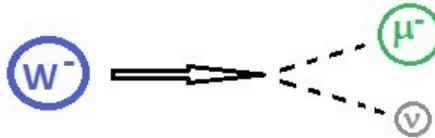
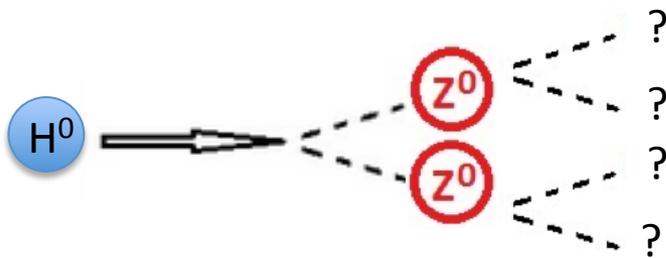
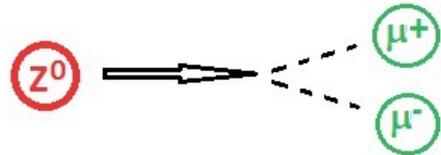
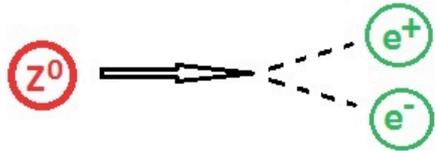
CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
Run/Event: 194108 / 564224000



Autres traces dans le détecteur:  
on crée d'autres particules sans intérêt  
et de basse énergie en plus du boson  
de Higgs

# RECONNAÎTRE LES PARTICULES

# Les « résonances »

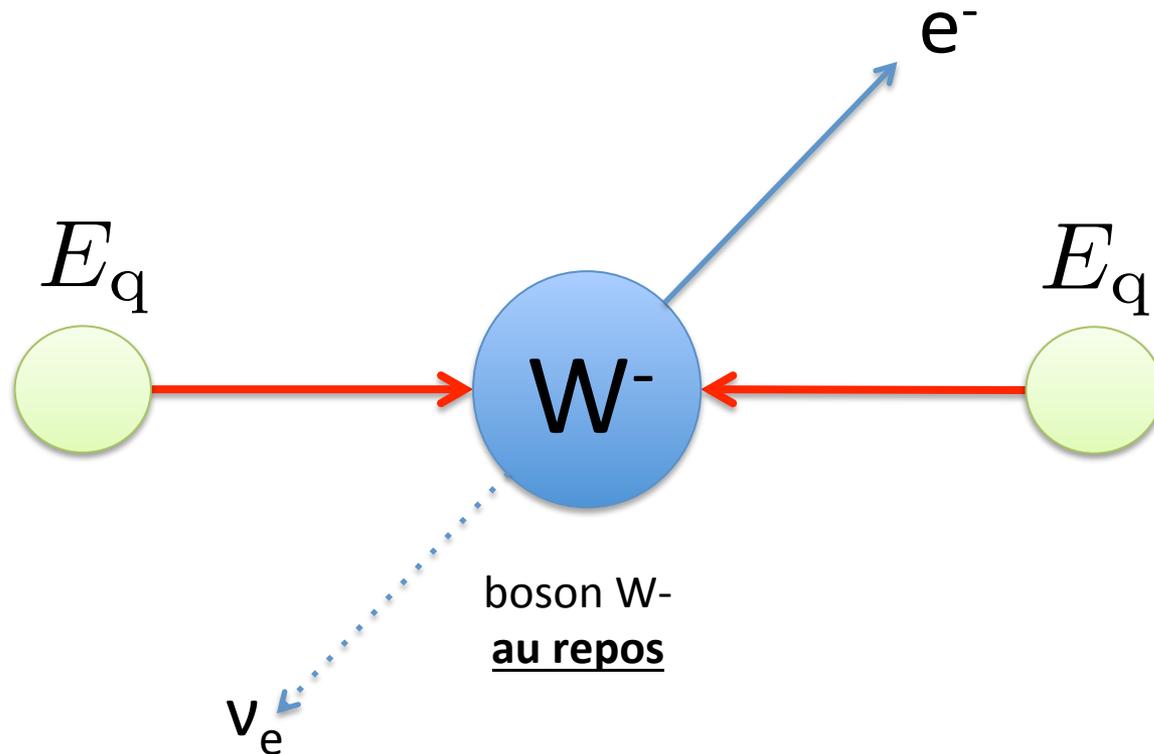


Lois de conservation

- énergie / impulsion
- saveur ( $e^+e^-$  ou  $\mu^+\mu^-$ , mais pas  $e^+\mu^-$ )
- charge

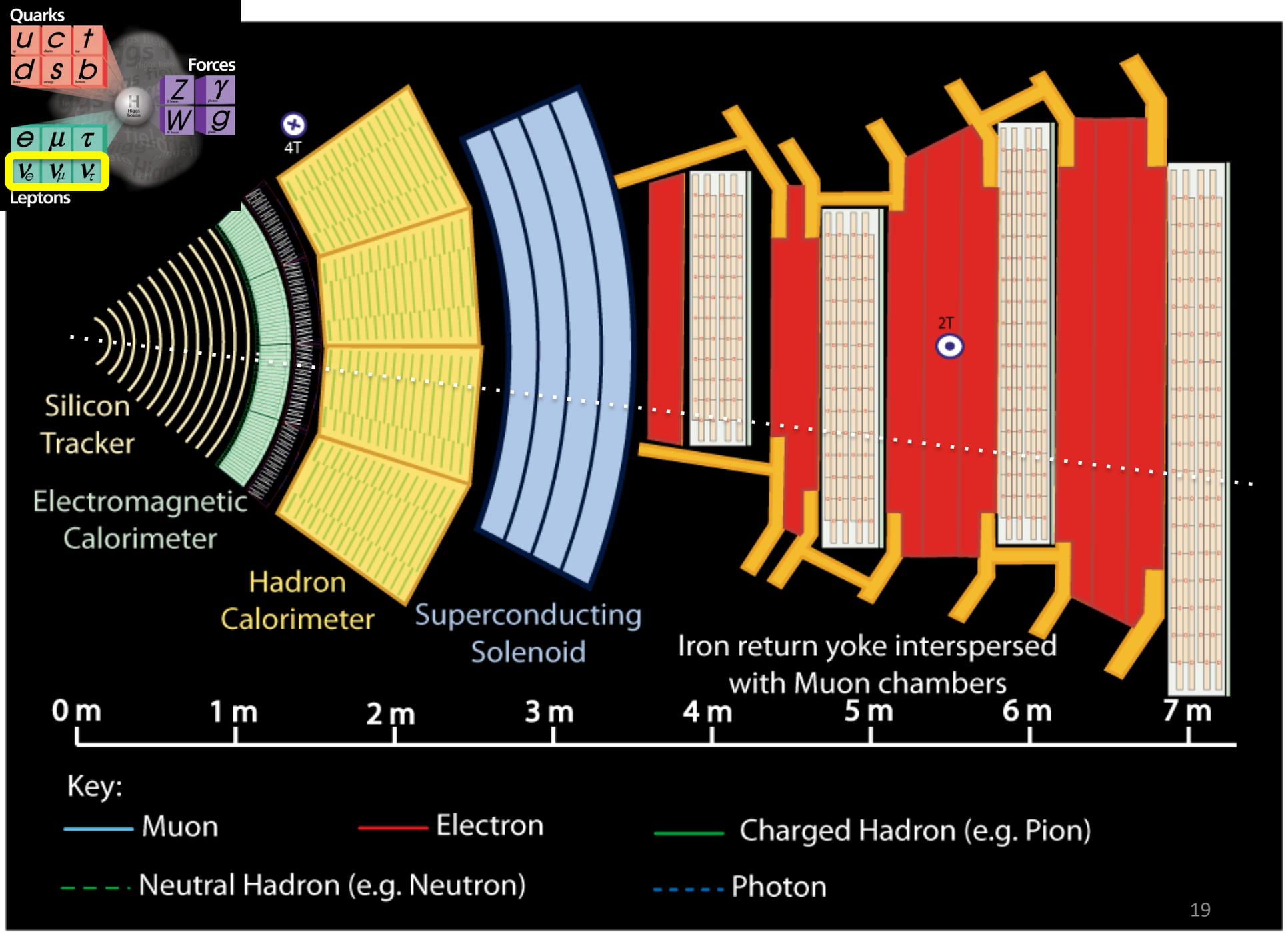
Les Z, W, H se désintègrent très rapidement  
Que voit-on dans le détecteur?

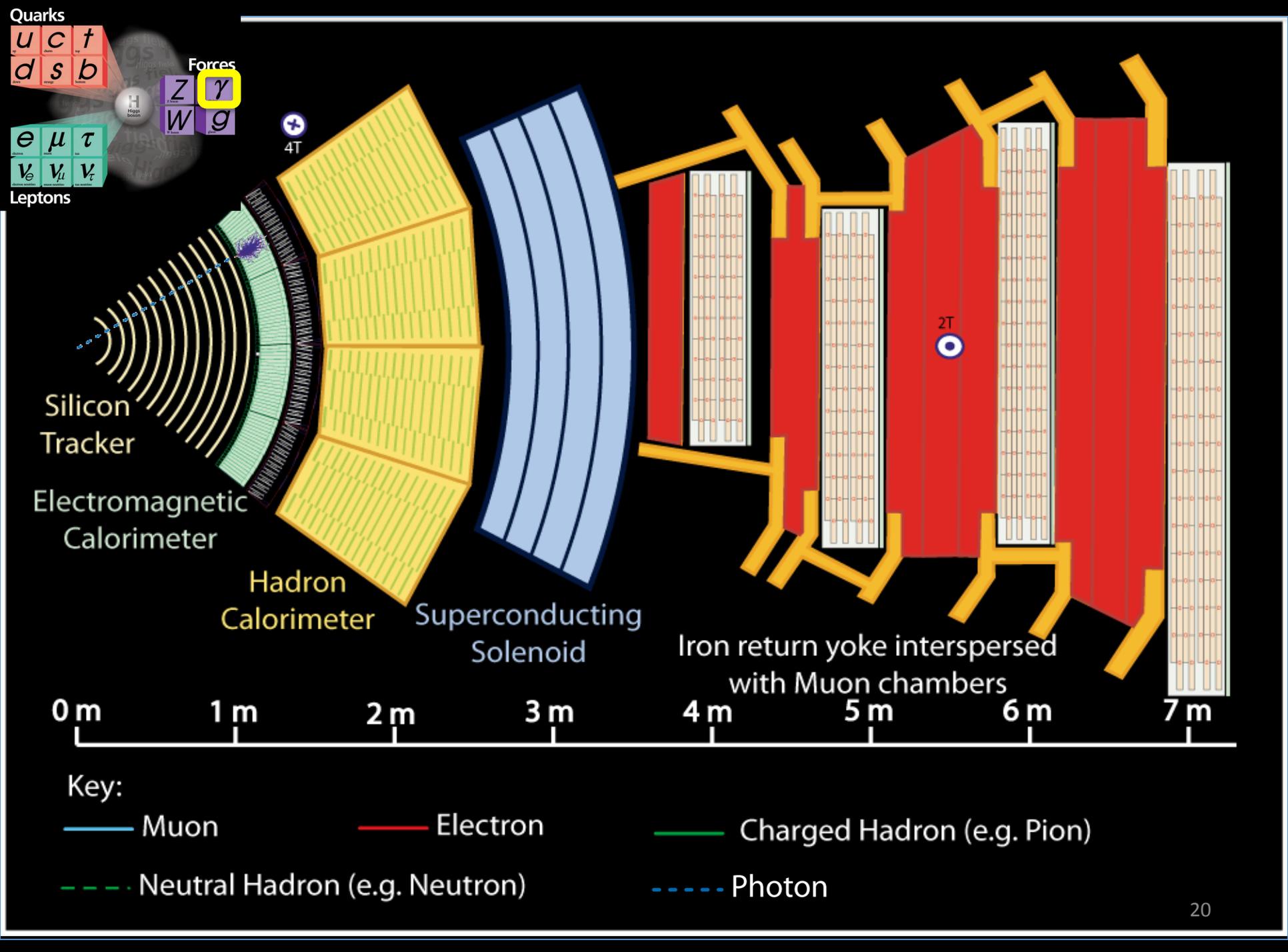
# Neutrinos → énergie manquante (MET)



Traverse le détecteur sans interagir! → invisible

Mais on peut calculer l'énergie manquante à partir des particules visibles.

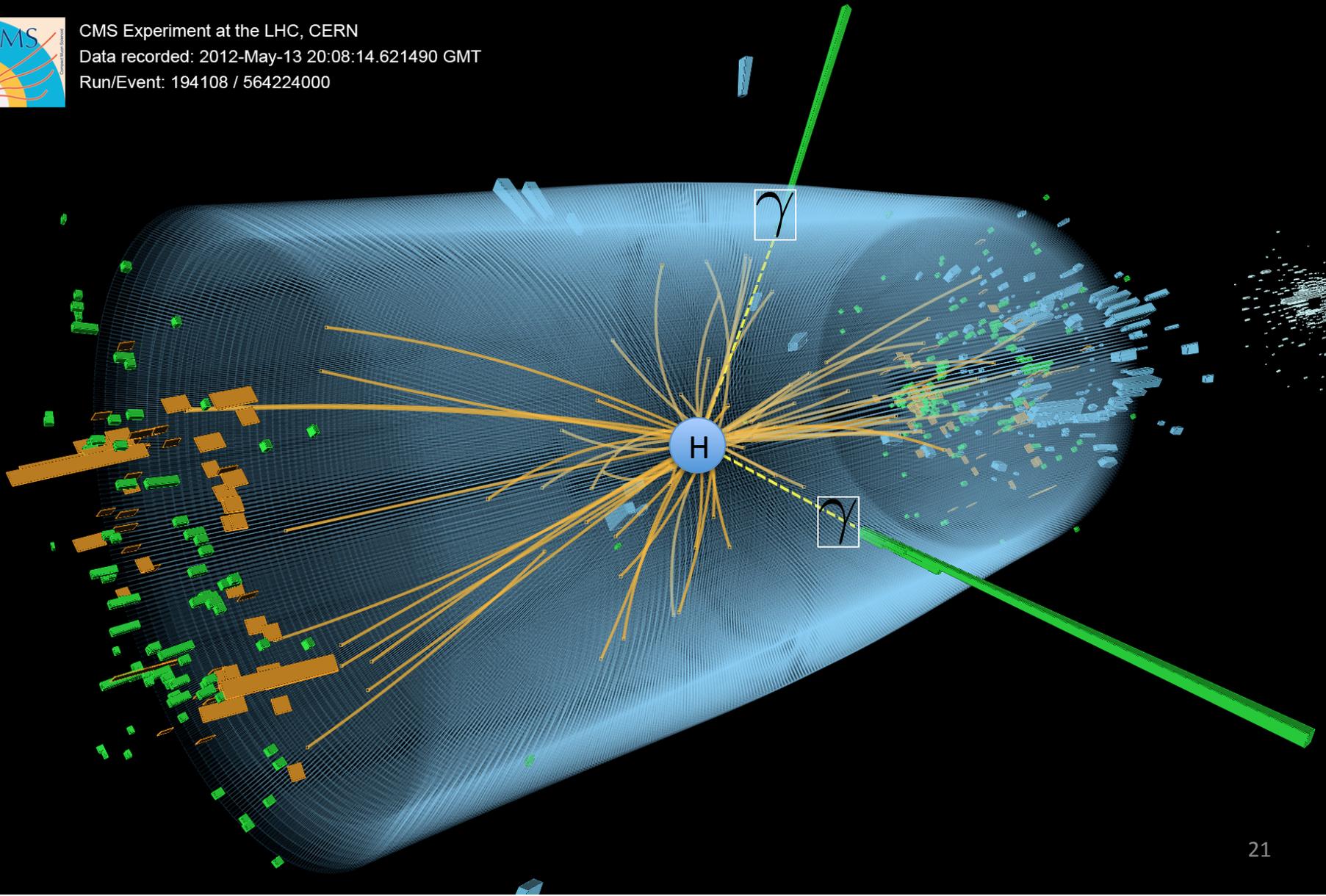


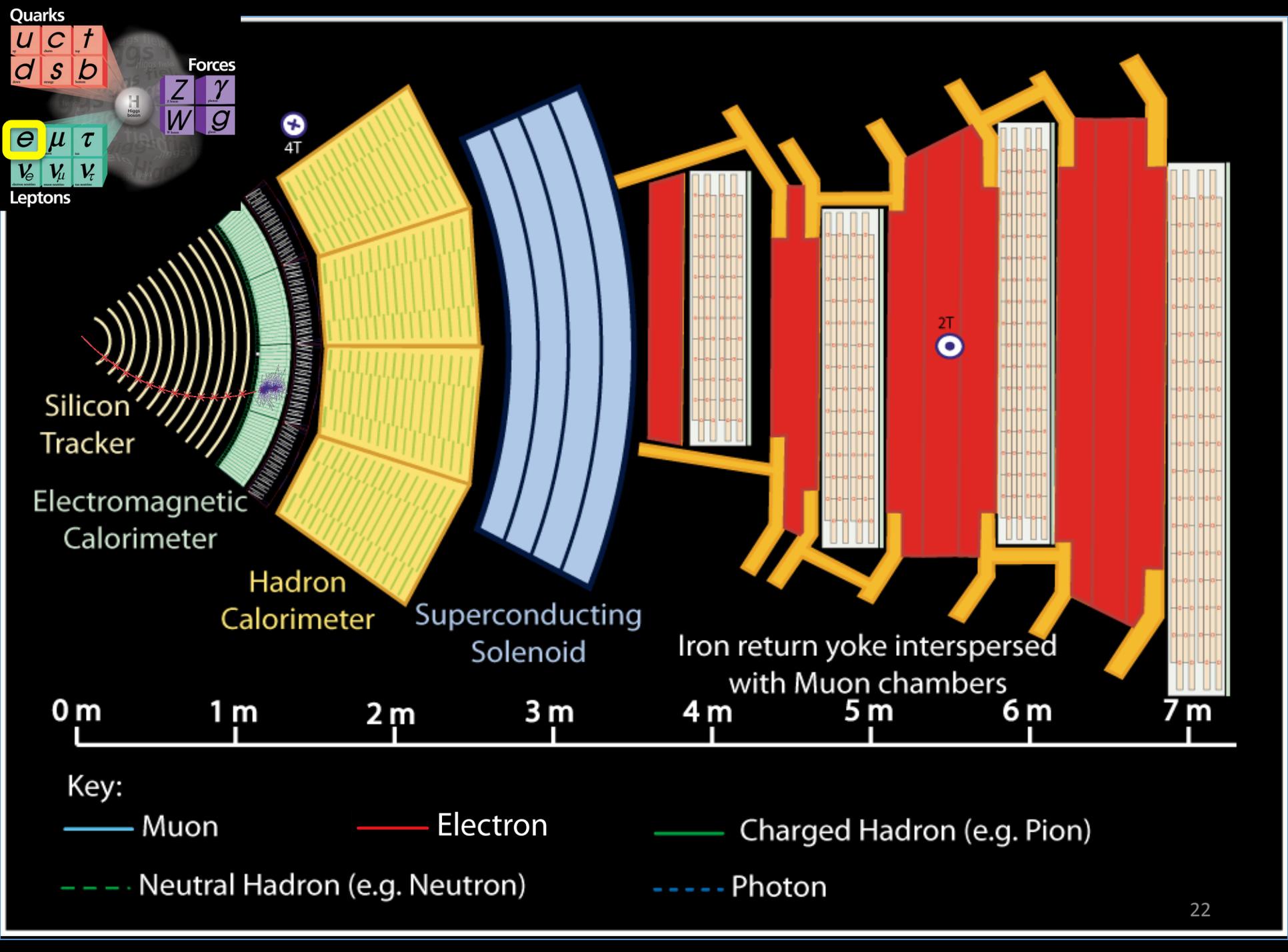


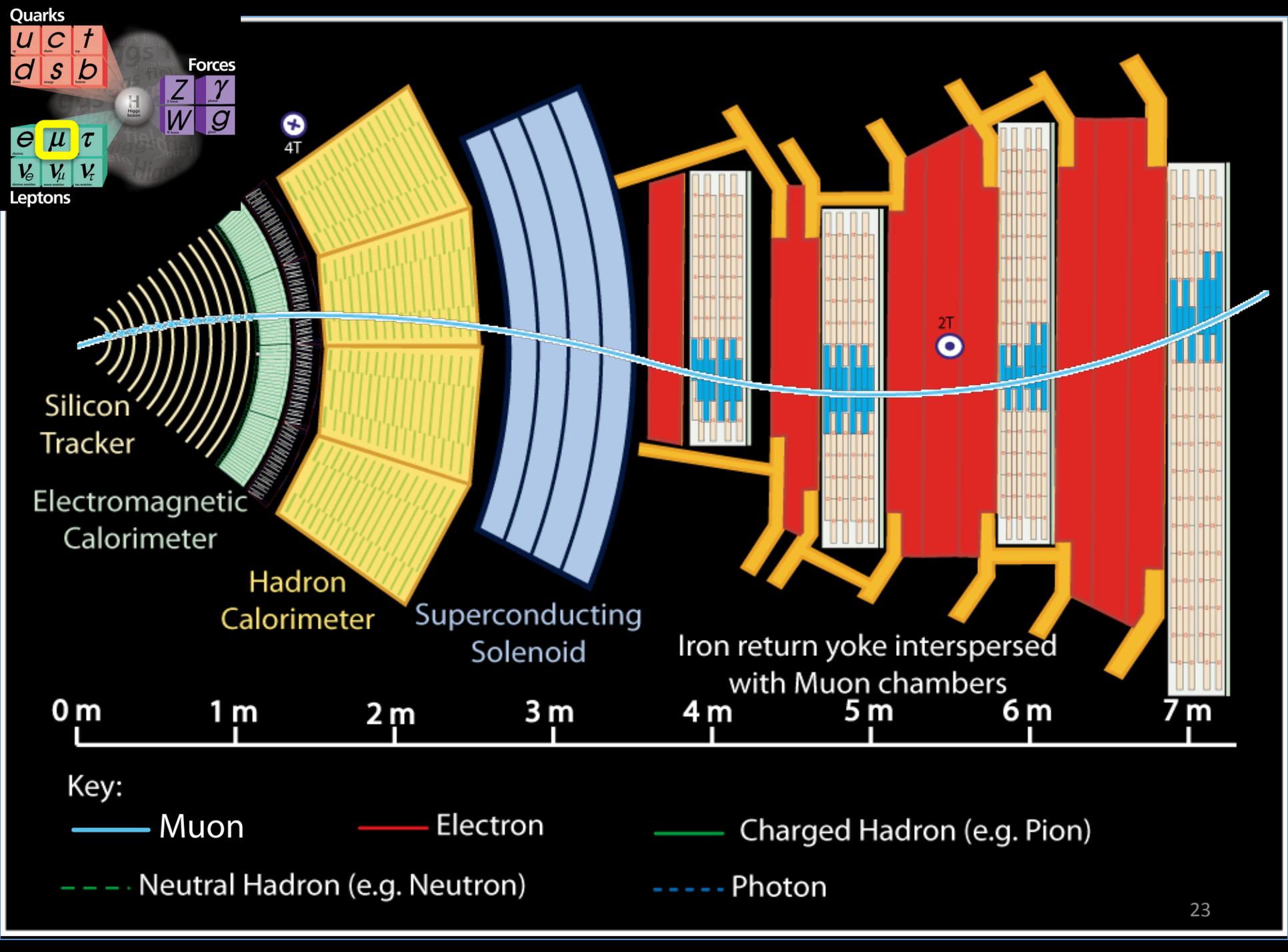
# 2 photons: boson de Higgs?



CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
Run/Event: 194108 / 564224000

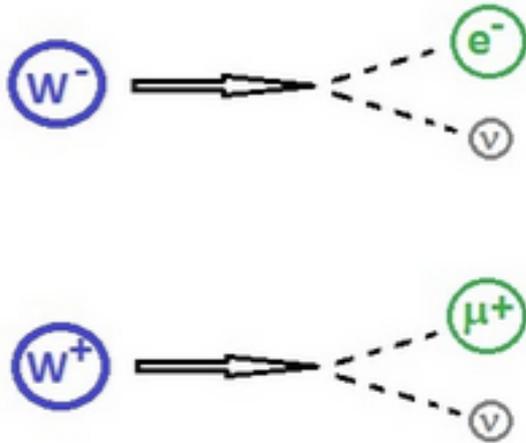






# Les incertitudes statistiques

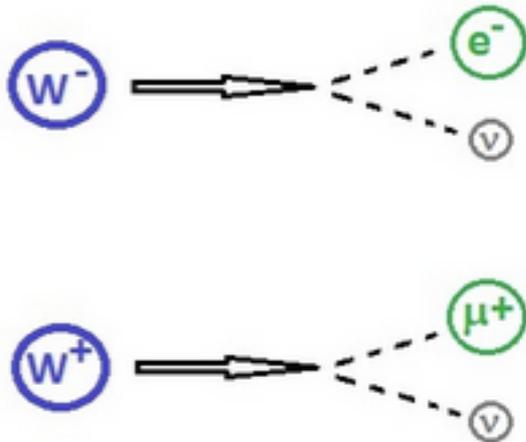
## rapport $W^+ / W^-$



- Signature:
  - un electron
  - énergie manquante (MET)
- Supposons  $R = W^+/W^- = 2$
- On voit:
  - 1 événements  $e^+$  et MET
  - 1 événements  $e^-$  et MET
- Rapport  $R = W^+/W^-?$ 
  - $R = 1/1 = 1$
  - Mais on n'a que 2 événements!

# Les incertitudes statistiques

## rapport $W^+ / W^-$



- Signature:
    - un electron
    - énergie manquante (MET)
  - Supposons  $R = W^+/W^- = 2$
  - On voit:
    - 21 événements  $e^+$  et MET
    - 9 événements  $e^-$  et MET
  - Rapport  $R = W^+/W^-?$ 
    - $R = 21/9 = 2.3$
    - Plus on a d'événements, plus notre mesure s'affine
- on va combiner les résultats de tous les groupes masterclasses

**QUESTIONS?**

**DÉMONSTRATION ET QUIZZ!**

**BACK-UP**

