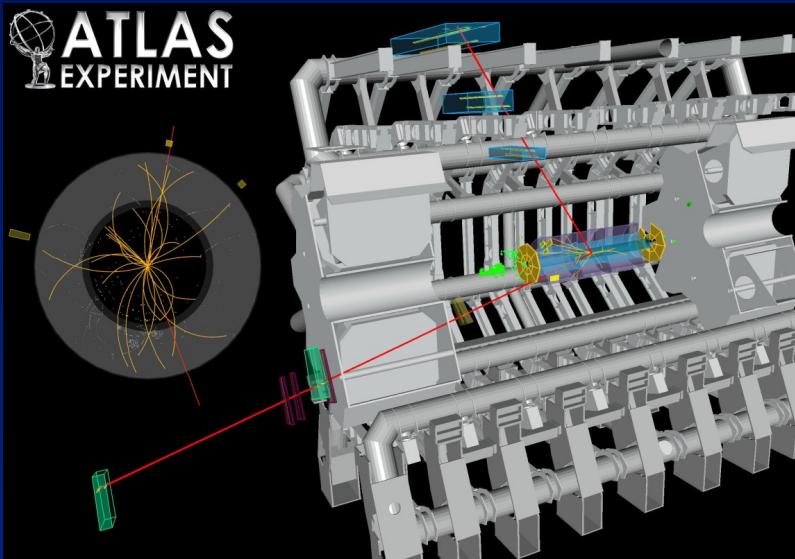
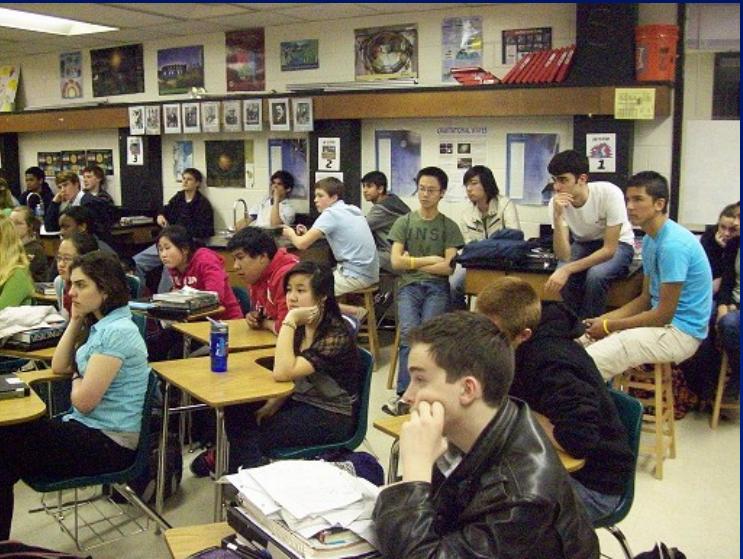


# Le parcours Z

## Masterclass au LPSC

2015

[delsart@lpsc.in2p3.fr](mailto:delsart@lpsc.in2p3.fr) [genest@lpsc.in2p3.fr](mailto:genest@lpsc.in2p3.fr)



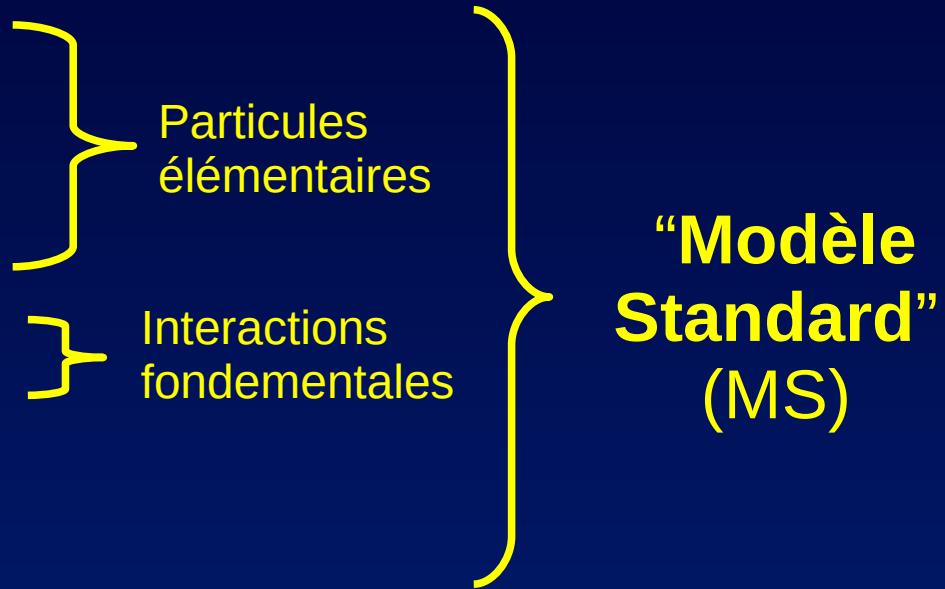
# Plan

- Expériences en Physique des Particules
  - Principes
  - identifier les particules
- Utilisation du logiciel d'analyse
  - HYPATHIA

# Rappel de la matinée

- La physique des particules

- Les quarks (up, down,...)
- Les leptons (electron,...)
- Les bosons de jauge
- Le boson de Higgs

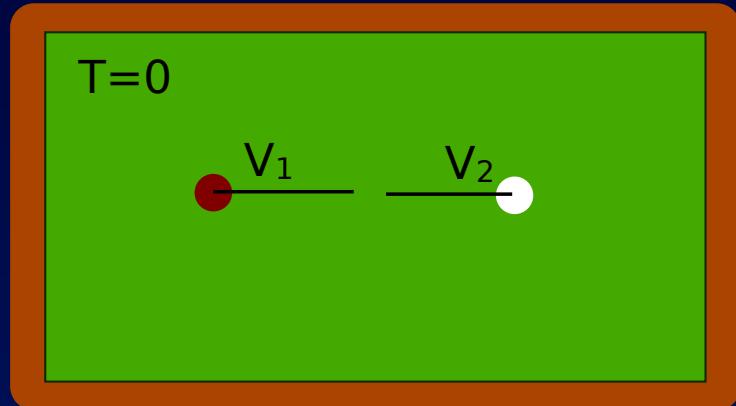


- Les détecteurs et accélérateurs

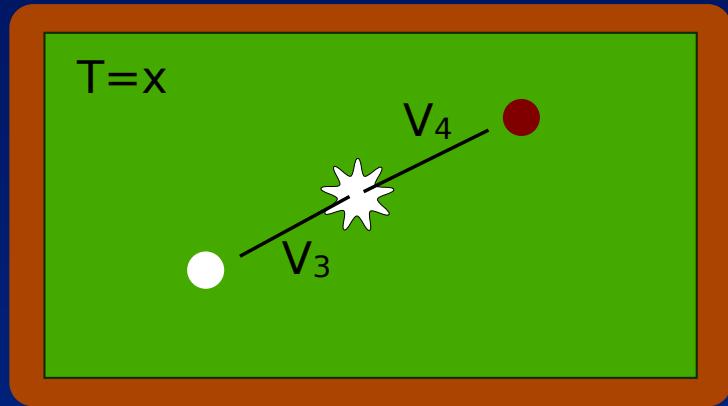
# La Physique Quantique

- Le Modèle Standard est une théorie Quantique
  - Issue de la Mécanique Quantique qui décrit les phénomènes microscopiques
- Les prédictions quantiques sont intrinsèquement aléatoires !
  - Contrairement à la physique classique/macroscopique

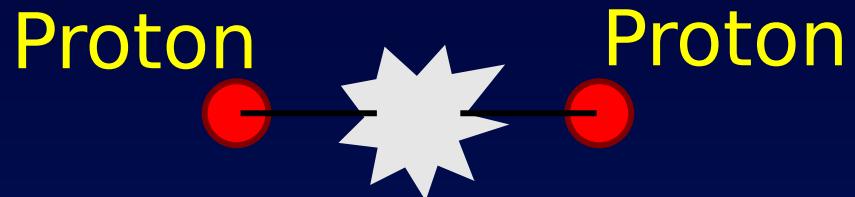
## Physique classique billard



Prédiction classique :  
Une configuration unique,  
valeurs uniques  $V_3, V_4, x\dots$



## Physique quantique collision proton-proton



Prédiction quantique :  
???

déviation protons :  $X_1\%$  de chances  
création quark tops :  $X_2\%$  de chances  
création boson  $W$  :  $X_3\%$  de chances  
création boson  $H$  :  $X_4\%$  de chances  
... etc ...

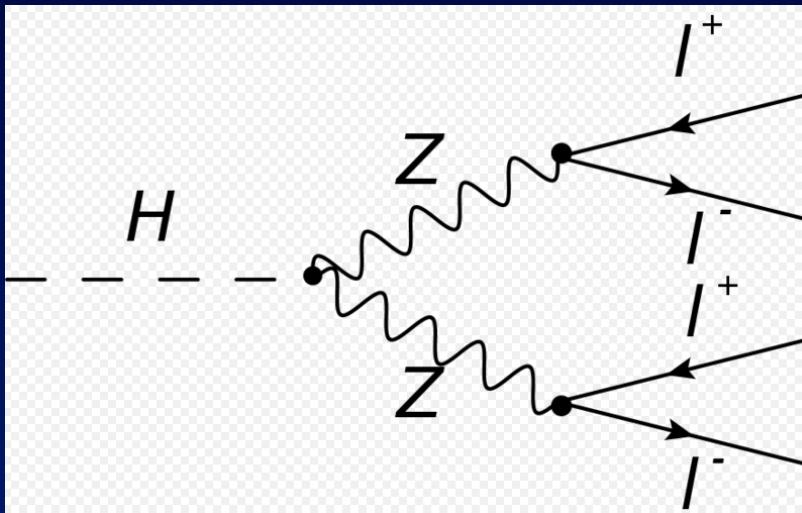
# La Physique Quantique

- Le Modèle Standard est une théorie Quantique
  - Issue de la “Mécanique Quantique” : décrit les phénomènes microscopiques
- Les prédictions quantiques sont intrinsèquement aléatoires !
  - Contrairement à la physique classique/macroscopique
- Le MS ne prédit que des probabilités d'occurrences
  - On mesure des nombres moyens d'occurrences pour vérifier le MS

# Principe d'une Analyse

1) On choisit quel processus on cherche !

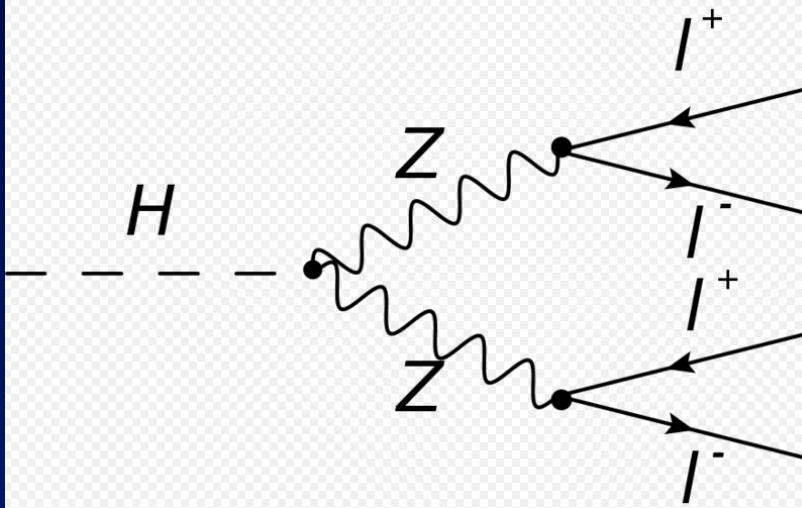
ex : Boson de Higgs en 4 leptons



# Principe d'une Analyse

1) On choisit quel processus on cherche !

ex : Boson de Higgs en 4 leptons



2) La théorie prédit un nombre d'événements :  $N_{H4l}$

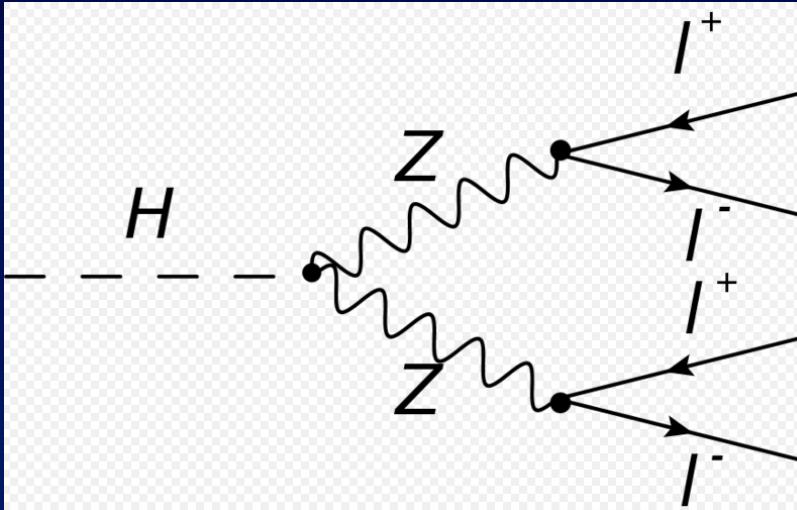
Dépend de

- Nombre total de collisions  $N_{\text{coll}}$
- Intensité/Energie du faisceau
- efficacité des détecteurs
- ...

# Principe d'une Analyse

1) On choisit quel processus on cherche !

ex : Boson de Higgs en 4 leptons



2) La théorie prédit un nombre d'événements :  **$N_{H4l}$**

Dépend de

- Nombre total de collisions  $N_{\text{coll}}$
- Intensité/Energie du faisceau
- efficacité des détecteurs
- ...

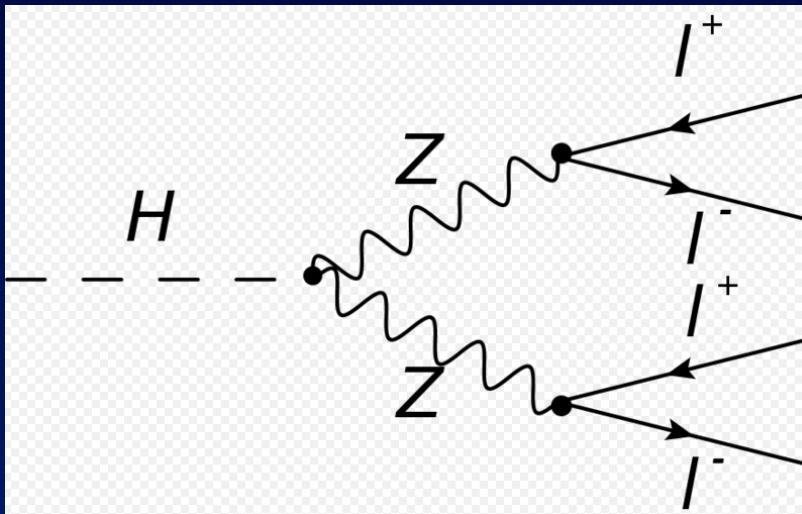
3) Expérience !

- On produit  $N_{\text{coll}}$  collisions
- On compte tous les événements 4 leptons
- On compare à  **$N_{H4l}$**

# Principe d'une Analyse

1) On choisit quel processus on cherche !

ex : Boson de Higgs en 4 leptons



2) La théorie prédit un nombre d'événements :  $N_{H4l}$

Dépend de

- Nombre total de collisions  $N_{coll}$
- Intensité/Energie du faisceau
- efficacité des détecteurs
- ...

3) Expérience !

- On produit  $N_{coll}$  collisions
- On compte tous les événements 4 leptons
- On compare à  $N_{H4l}$

Ce que l'on va faire durant le TD !

# Objectifs du TD

- Observation du boson Z

- On va rechercher processus de désintégration en leptons

$$Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

$$Z \rightarrow e^+ e^-$$

- Observation du boson de Higgs

- Désintégration en 4 leptons

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+ \mu^- e^+ e^-$$

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$$

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$$

- Désintégration en 2 photons

$$H \rightarrow 2\gamma$$

# Objectifs du TD

- Reconnaître les particules détecter par ATLAS  
**muons  $\mu$ , électrons  $e$ , photons  $\gamma$ , jets hadroniques**  
(mesure de charge, masse, energie)
- Identifier les évènements  
**Les classer**
  - 2 leptons (Z)
  - 4 leptons (Higgs)
  - 2 photons (Higgs)**et les compter !**

# Objectifs du TD

- Reconnaître les particules détecter par ATLAS  
**muons  $\mu$ , électrons  $e$ , photons  $\gamma$ , jets hadroniques**  
(mesure de charge, masse, energie)
- Identifier les évènements

## Les classer

- **2 leptons (Z)**
  - **4 leptons (Higgs)**
  - **2 photons (Higgs)**
- et les compter !**

Calcul de la **“masse invariante”**  
de l'évènement :

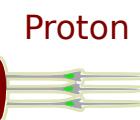
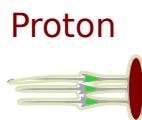
$\Leftrightarrow$

la masse de la combinaison des  
leptons ou des photons

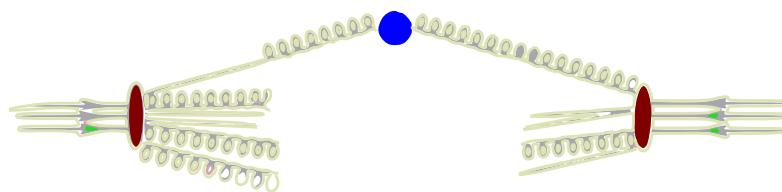
$\Leftrightarrow$

la masse de la particule mère  
(si elle existe)

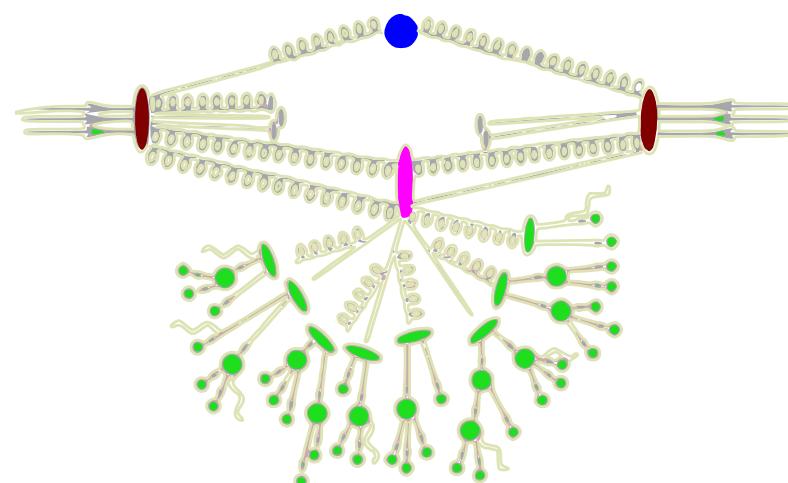
# Une collision



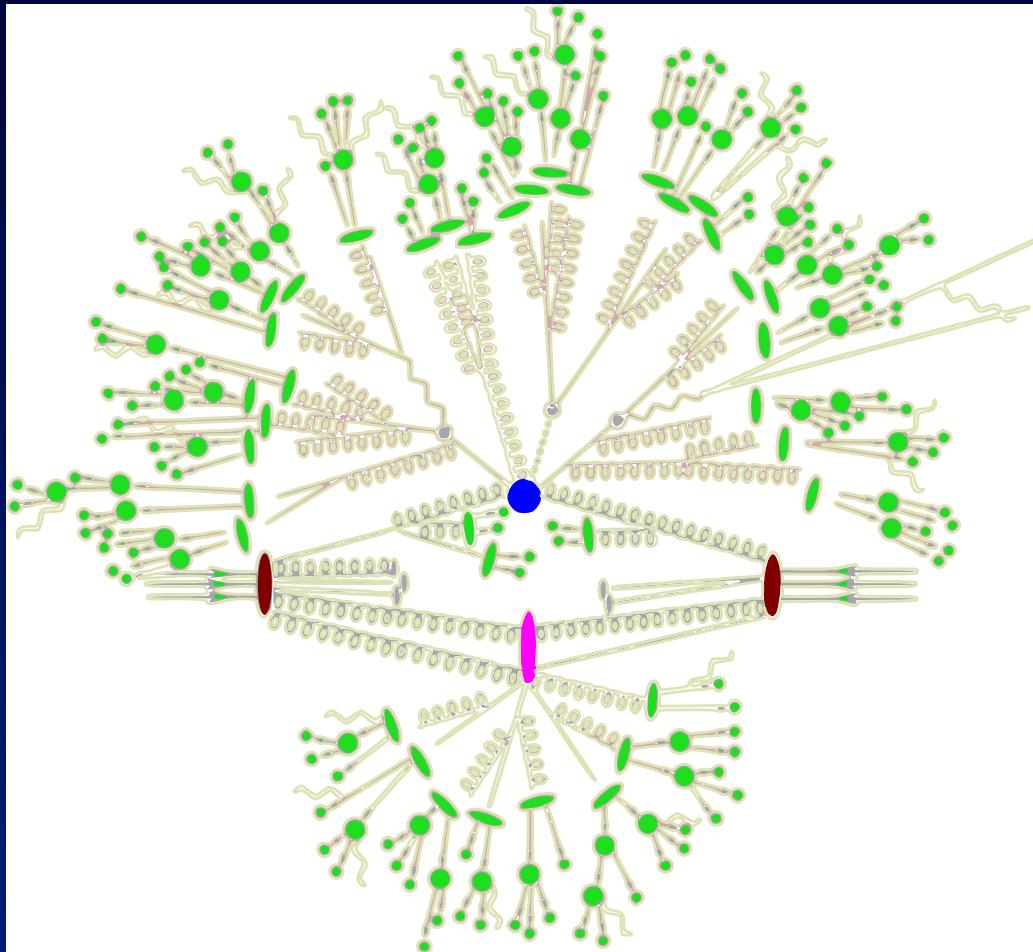
# Une collision



# Une collision



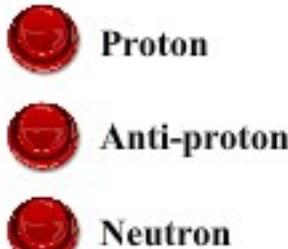
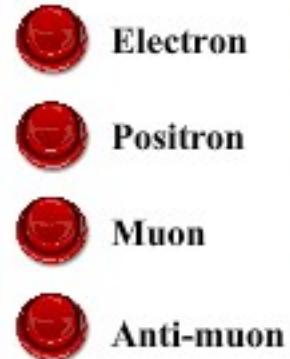
# Une collision



# ATLAS ([lien](#))

## Quel detecteur pour quelle particule ?

### Calorimetre hadronique



### Chambres à muons



SV

Photon

### Calorimetre électromagnétique

### Détecteur interne pixel trajectographe



animation

display instantly

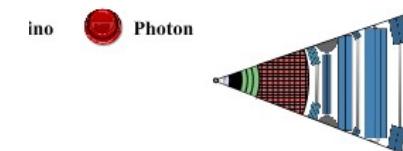
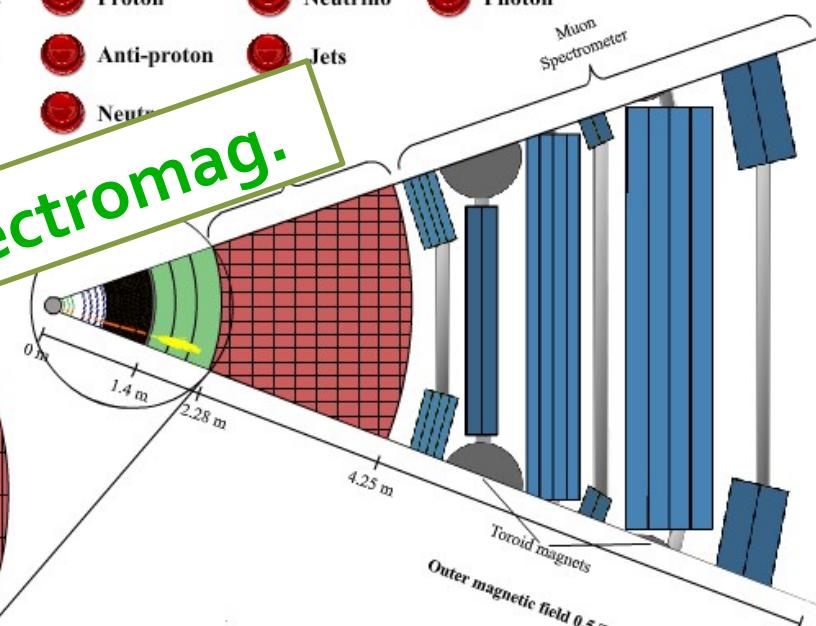
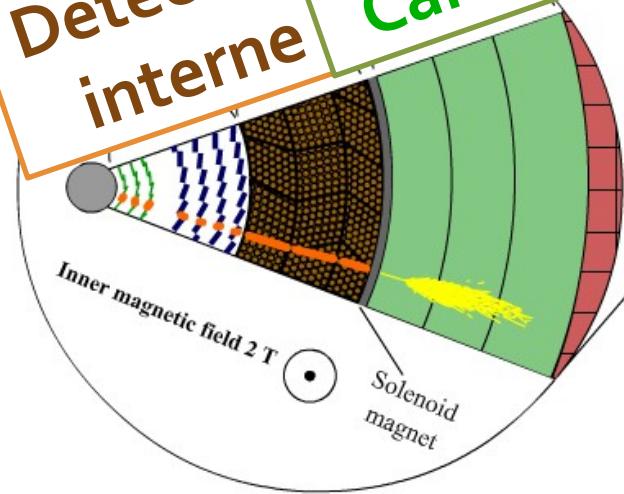
Energy [GeV]:

1 5 10 15 25

Magnification 3x

Detecteur interne

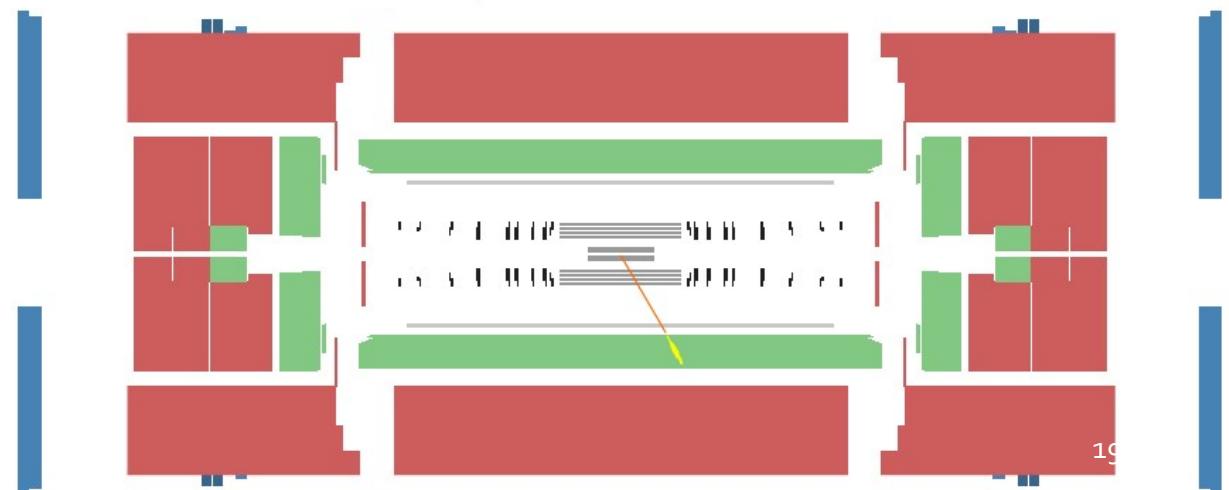
Calo. électromag.



Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

L'electron

$e^-$





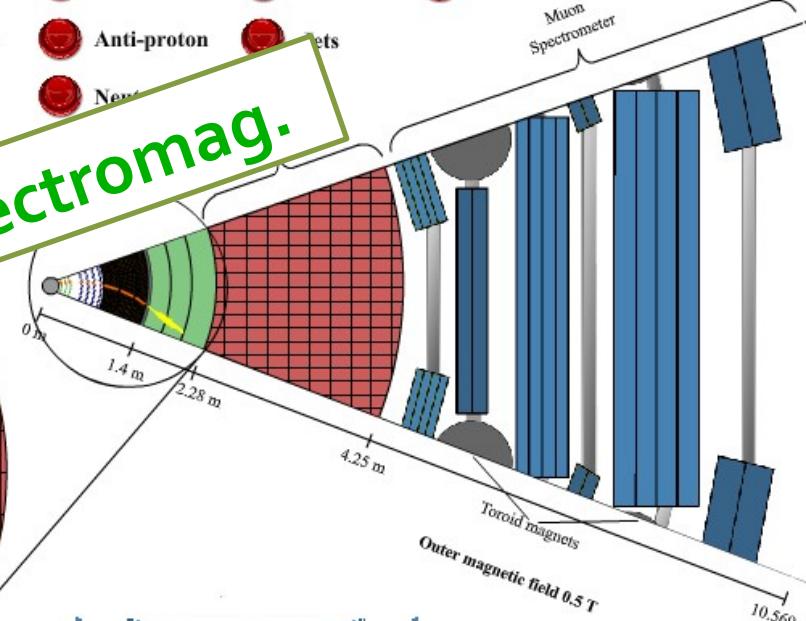
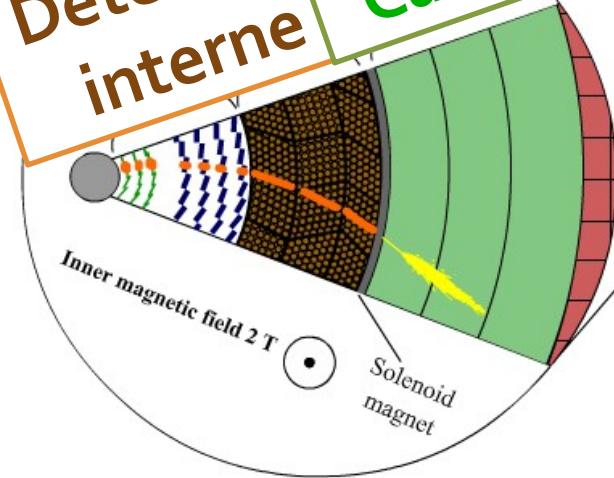
display instantly

- Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- Positron
- Anti-proton
- Muon
- Anti-
- Neutron
- Jets

Magnification 3x

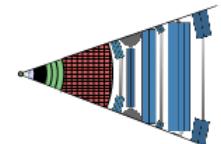
Detecteur interne

Calo. électromag.



rino

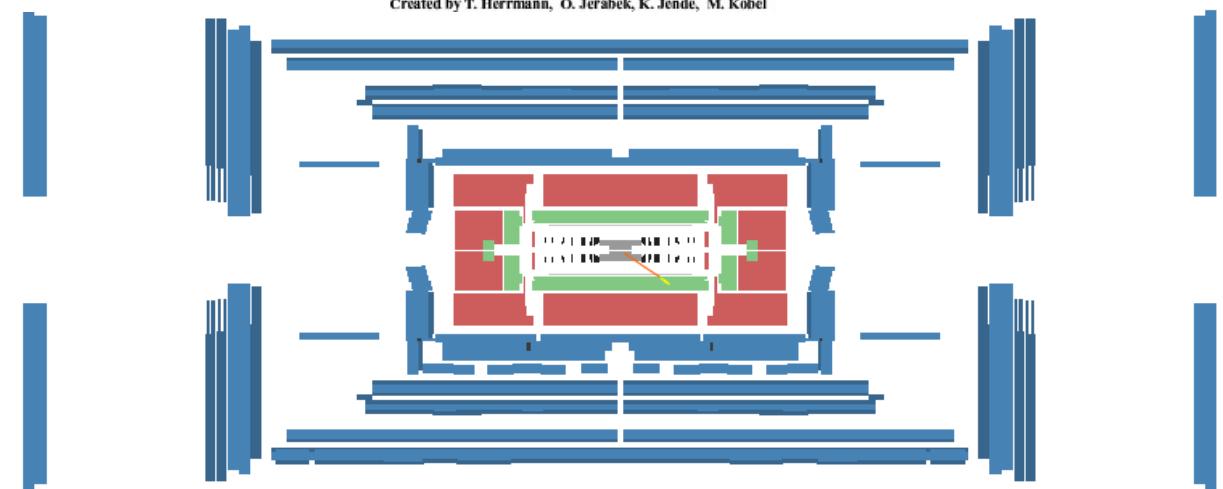
Photon



Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

Le positron

$e^+$



Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

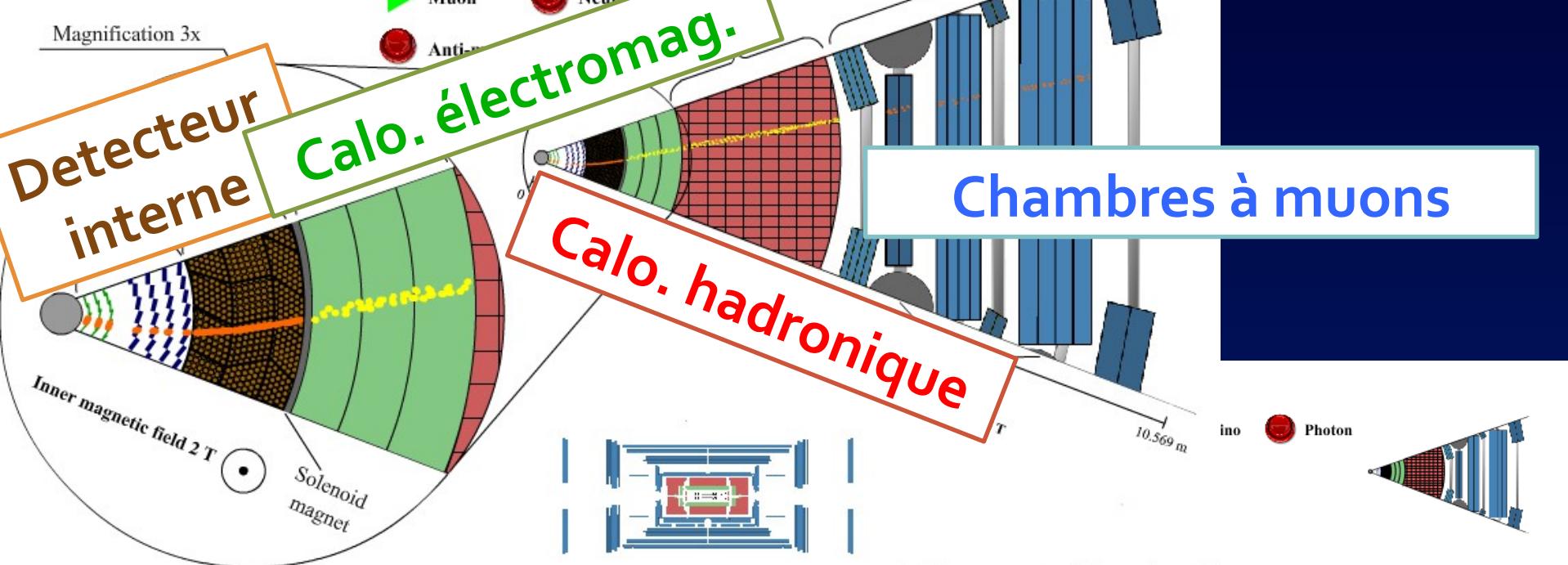


animation

 display instantly

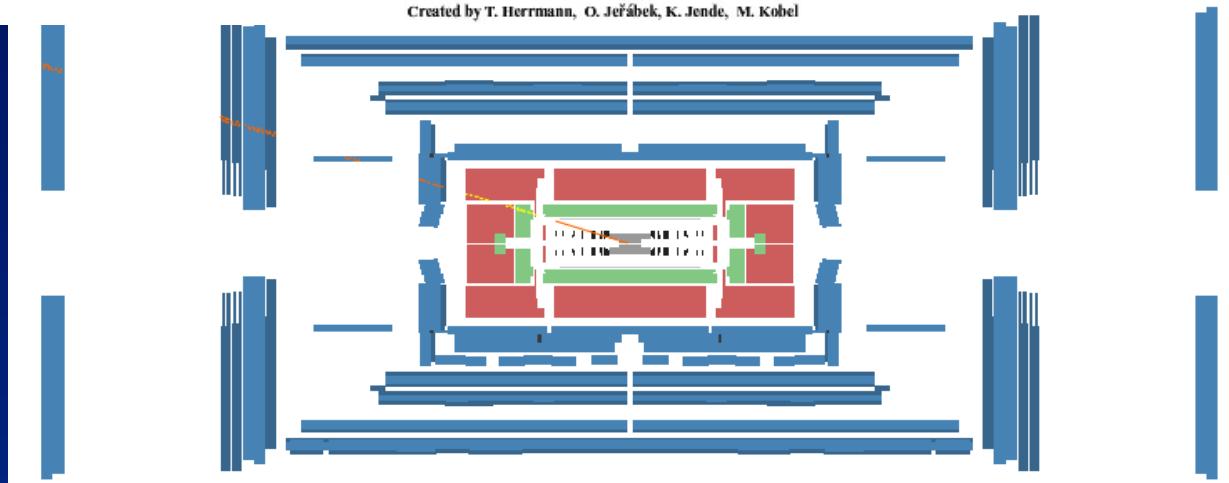
- Electron
- Positron
- Neutrino
- Photon
- Proton
- Anti-proton
- Jets
- Neuts
- Muon
- Anti- $\mu$

Magnification 3x



# Le muon

$\mu^+$



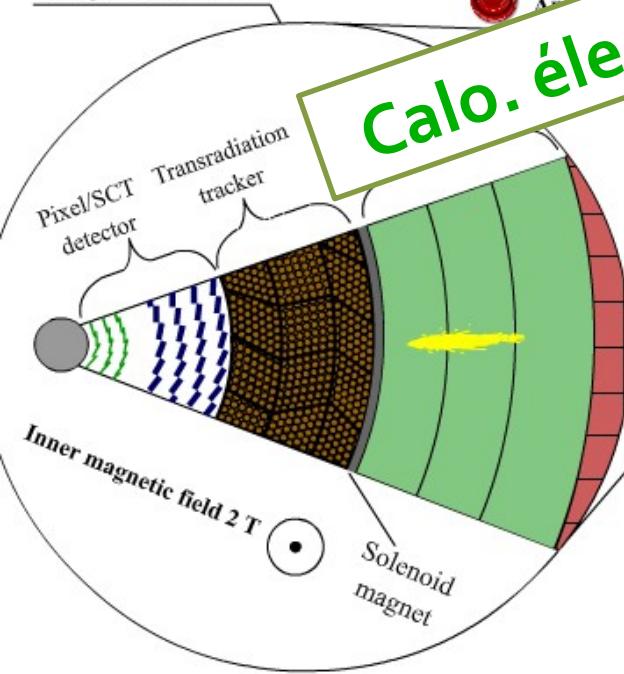


animation

 display instantly

- Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- Positron
- Anti-proton
- Jets
- Muon
- Neutron
- Anti-muon

Magnification 3x



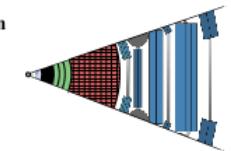
Calo. électromag.

ATLAS

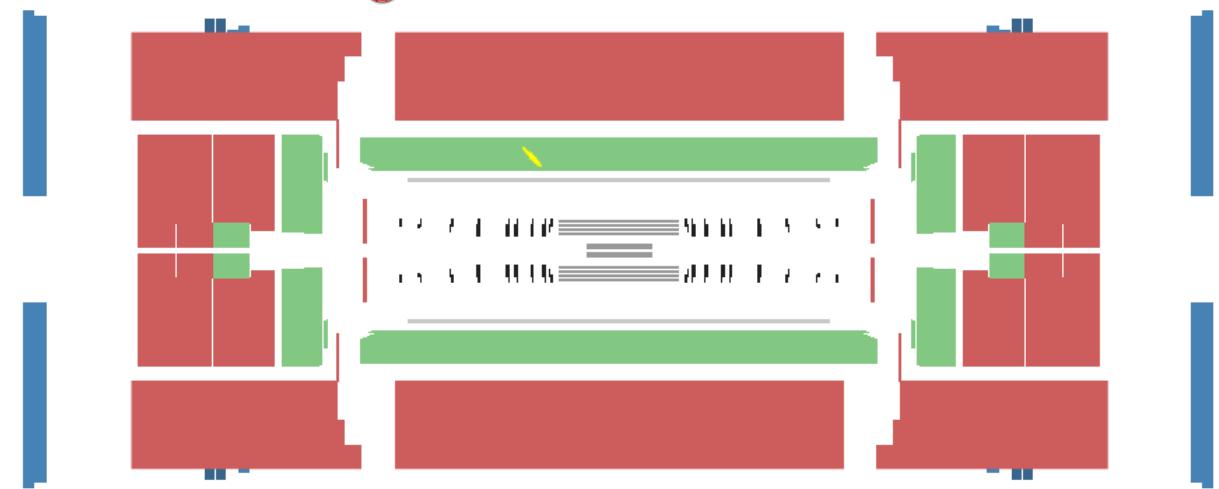

 display instantly

Zoom on/off

- Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- Positron
- Anti-proton
- Jets
- Muon
- Neutron
- Anti-muon



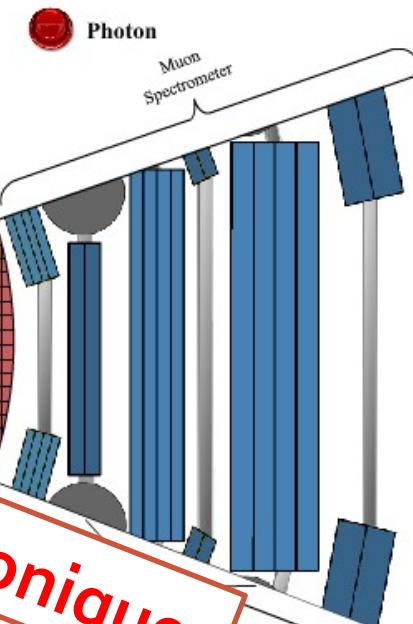
# Le photon

 $\gamma$ 




display instantly

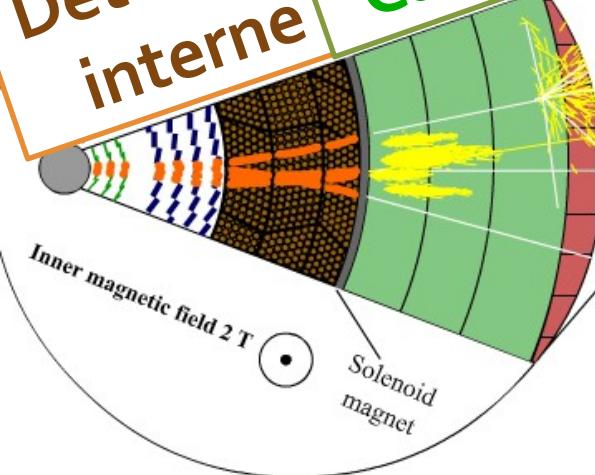
-  Electron
-  Positron
-  Muon
-  Anti-muon
-  Proton
-  Anti-proton
-  Neutron
-  Photon



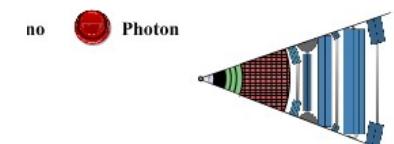
Detecteur interne

Calo. électromag.

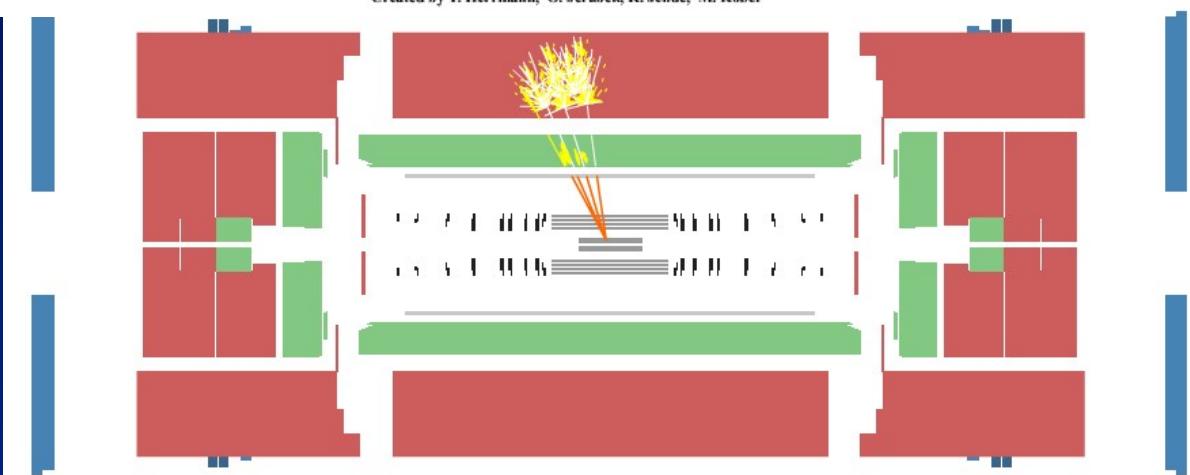
Calo. hadronique



les hadrons  
Jets



Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel



Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel



animation

 display instantly

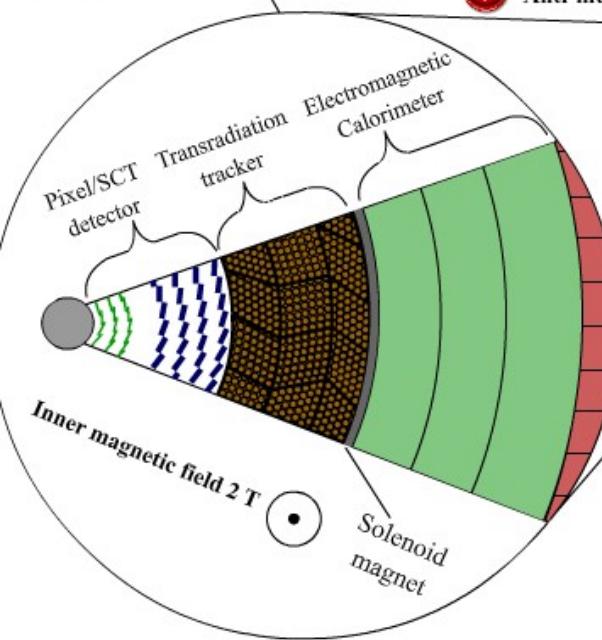
- Electron
- Positron
- Muon
- Anti-muon

- Proton
- Anti-proton
- Photon

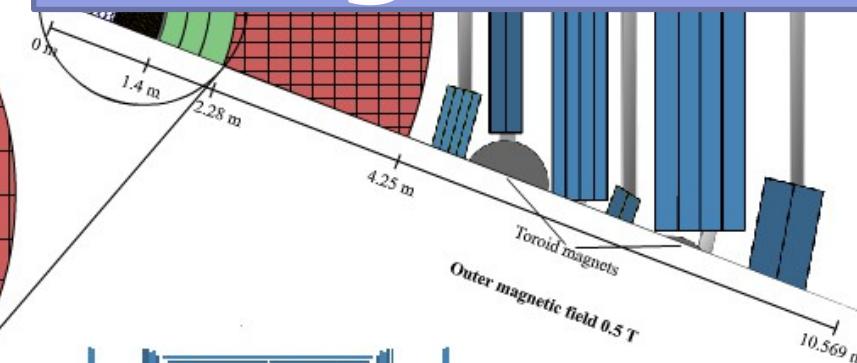
- Neutrino
- Jets

- Photon

Magnification 3x



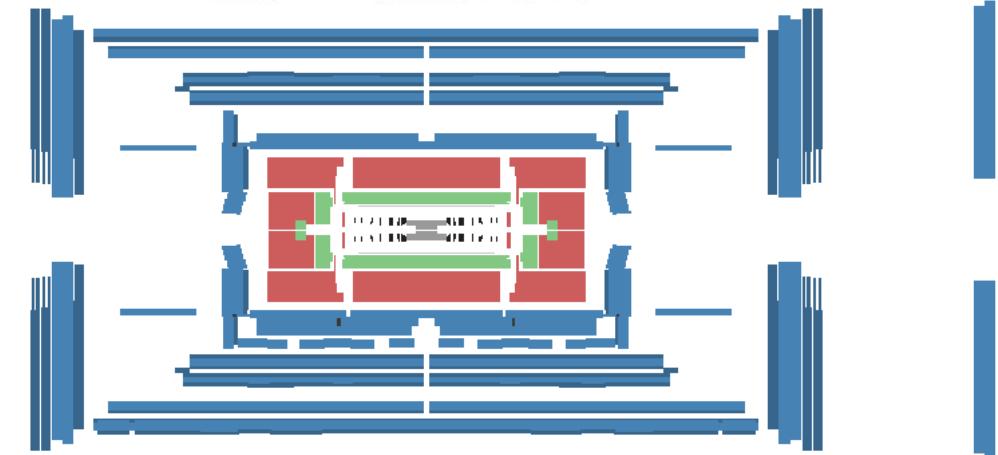
# Energie manquante



## Le neutrino

 $\nu$ 

Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel



Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel



animation

 display instantly

Electron  
Positron  
Muon  
Anti-muon

Proton  
Anti-proton  
Neutrino  
Jets

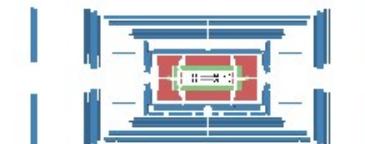
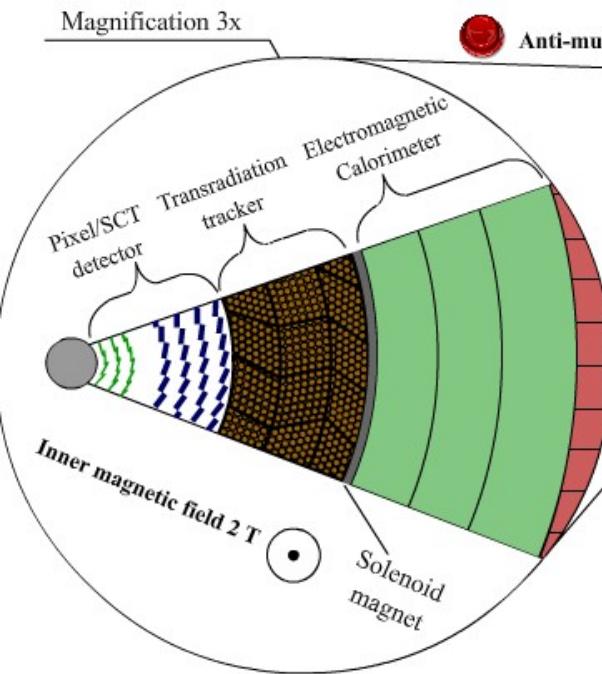
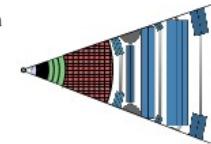
Photon

Muon  
SpectrometerHadronic  
Calorimeter

Calo. hadronique

10.569 m

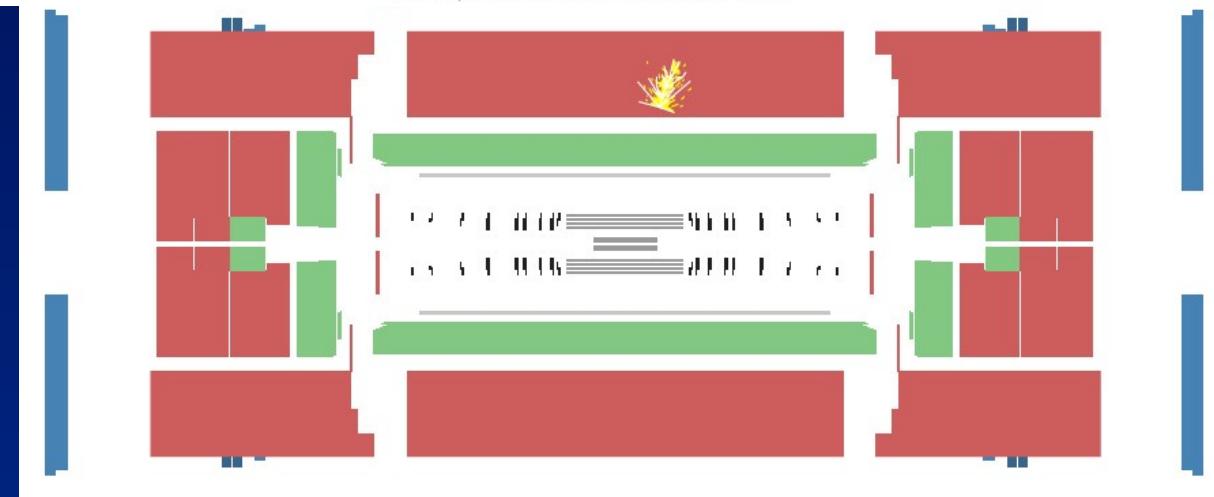
ino Photon



Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

# Le neutron

$n$



Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

**HYPATIA POUR “VOIR”  
LES PARTICULES**