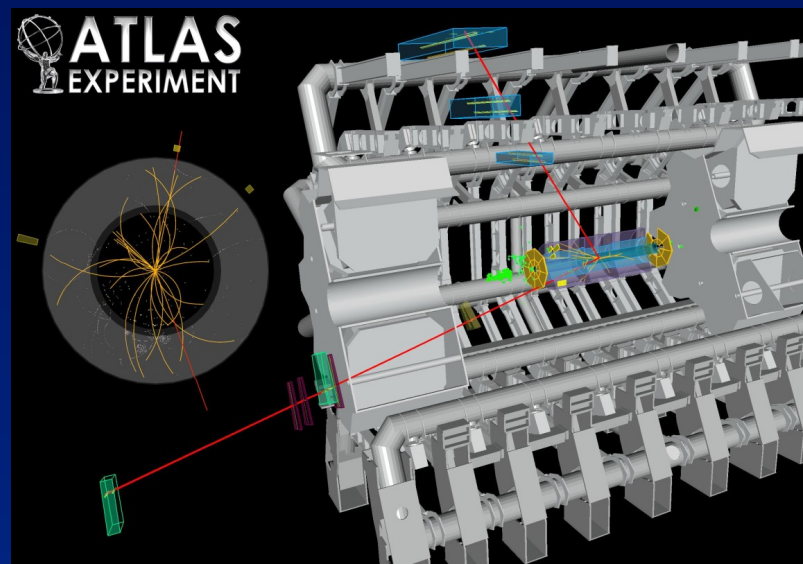


# Le parcours Z

## Masterclass au LPSC 2015

delsart@lpsc.in2p3.fr  
genest@lpsc.in2p3.fr



# Rappel de la matinée

- La physique des particules

- Les quarks (up, down,...)

- Les leptons (electron,...)

- Les bosons de jauge

- Le boson de Higgs

Particules  
élémentaires

Interactions  
fondamentales

**“Modèle  
Standard”  
(MS)**

- Les détecteurs et accélérateurs

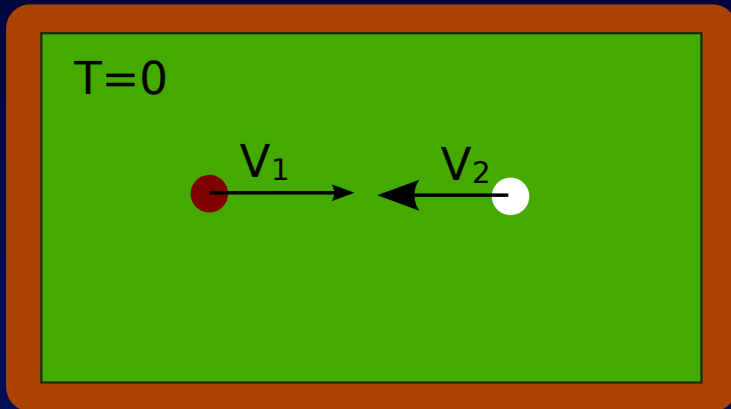
# Plan

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

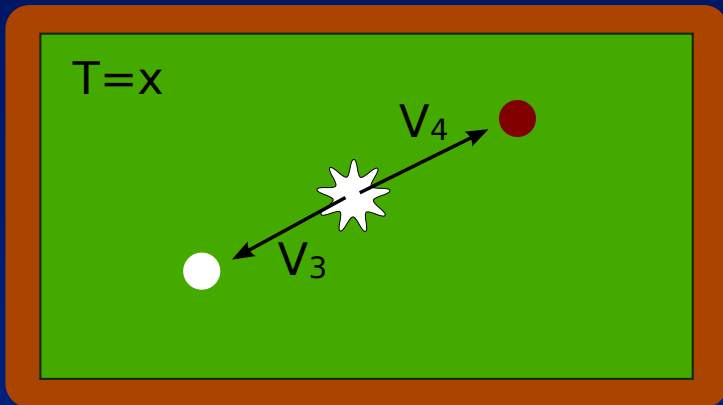
# La Physique Quantique

- 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

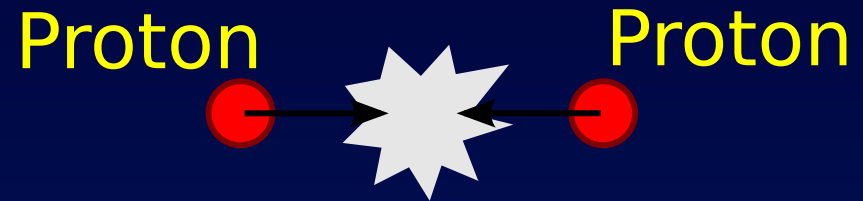
## Physique classique billard



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



## Physique quantique collision proton-proton



Prédiction quantique :  
???

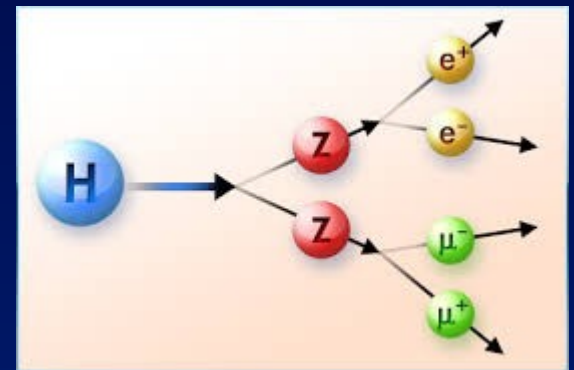
déviaton protons :  $X_1$  % de chances  
création quark tops :  $X_2$  % de chances  
création boson W :  $X_3$  % de chances  
création boson H :  $X_4$  % de chances  
... etc ...

# 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

# Temps de vie

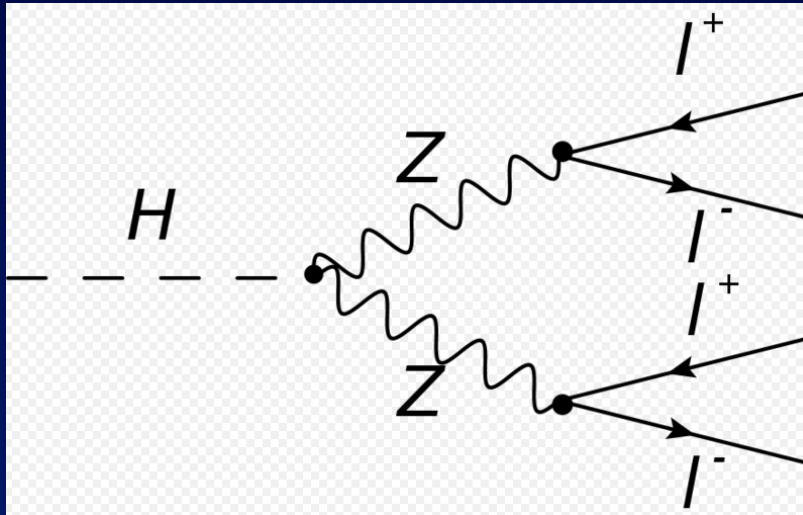
- Les particules élémentaires massives sont **instables**
  - Bosons Z, W, Higgs, quark top, etc...
  - Se désintègrent immédiatement en des particules moins massives
- On détecte uniquement :
  - électrons & positrons :  $e^-$ ,  $e^+$
  - muons ( $\mu^-$ ,  $\mu^+$ )
  - photons ( $\gamma$ )
  - (jets hadroniques == particules résultantes des quarks & gluons)



# Principe d'une Analyse

1) On choisit quel processus on cherche !

ex : Boson de Higgs en 4 leptons

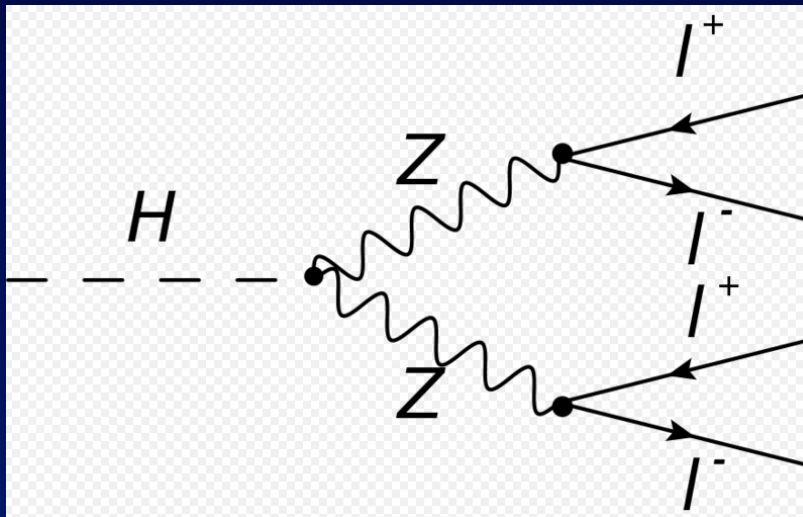




# Principe d'une Analyse

1) On choisit quel processus on cherche !

ex : Boson de Higgs en 4 leptons



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

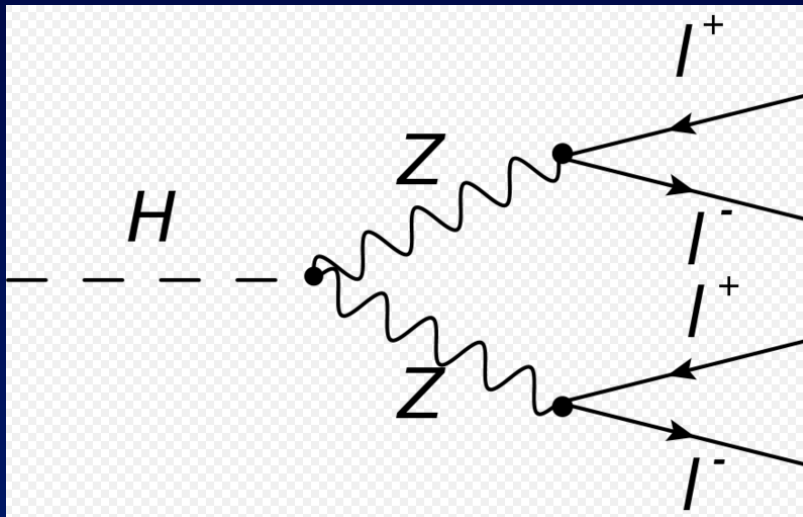
Dépend de

- 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
- ...

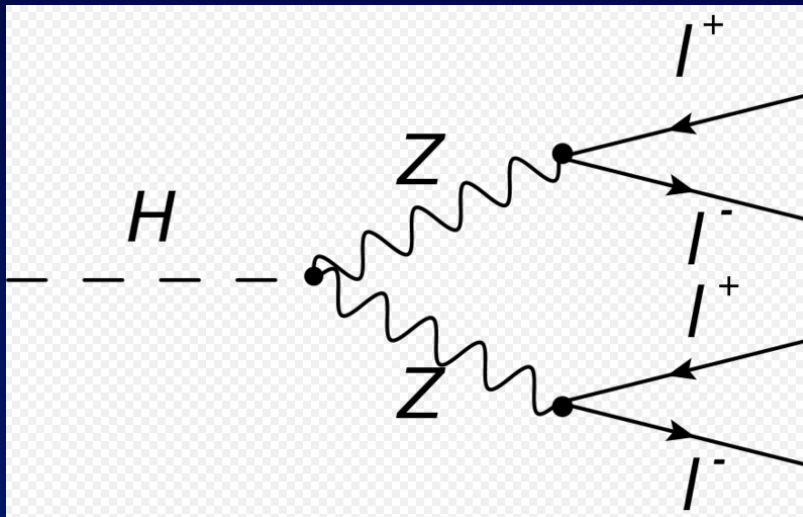
3) Experience !

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

3) Experience !

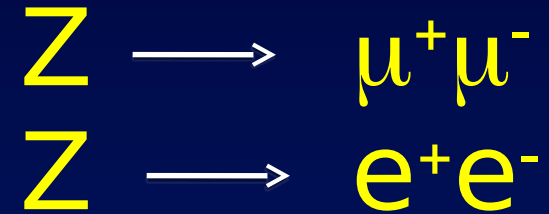
- On produit  $N_{\text{coll}}$  collisions
- On compte tous les événements 4 leptons
- On compare à  $N_{H4l}$

Ce que l'on va faire durant le TD !

# Objectifs du TD

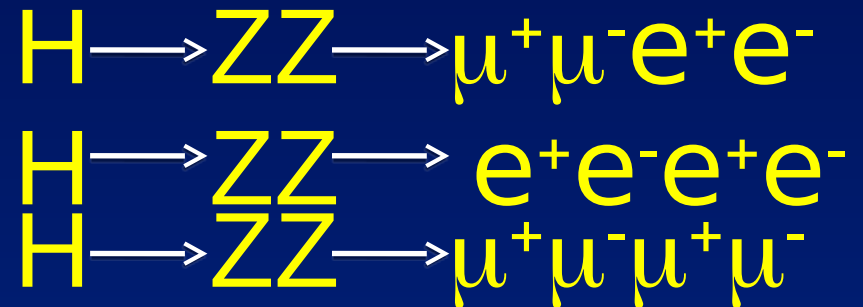
- Observation du boson Z

- On va rechercher processus de désintégration en leptons



- Observation du boson de Higgs

- Désintégration en 4 leptons



- Désintégration en 2 photons



# Objectifs du TD

- Détecter les états finaux  $2\ell$ ,  $4\ell$ ,  $2\gamma$ 
  - correspondant au Z ou Higgs
- **Problème** : d'autres processus sans Z ou Higgs produisent  $2\ell$ ,  $4\ell$ ,  $2\gamma$

Comment savoir si un Z ou Higgs est  
apparu ?

# Objectifs du TD

- Détecter les états finaux  $Z \rightarrow \ell\ell$

- c

Solution : calculer pour chaque interaction la

**Masse invariante de l'état final**

**$M_{\ell\ell}$**

- Pro

Hig

Predictions théoriques :

Co

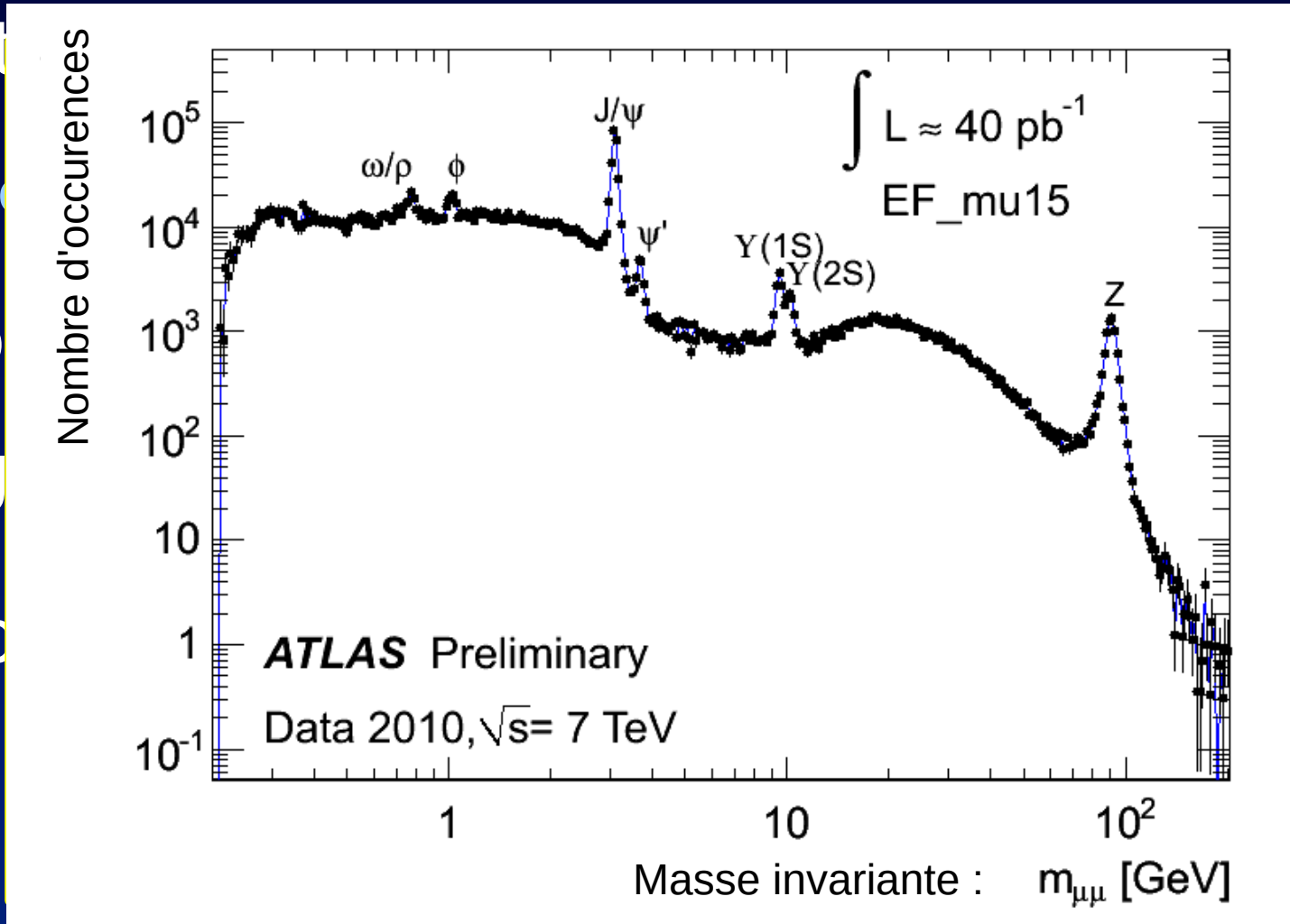
- Toutes valeurs de  $M_{\ell\ell}$  sont possibles
- Si  $Z \rightarrow \ell\ell$  alors  $M_{\ell\ell}$  est **plus probable** pres de  $M_Z$

OU

t

# Objectifs du TD

- Dét
- c
- Pro
- Hig
- Co



ou

t

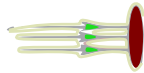
# Objectifs du TD

- Reconnaître les particules détectées par ATLAS
    - **muons  $\mu$ , électrons e, photons  $\gamma$ , jets hadroniques**
  - Identifier, classer les évènements
    - **2 leptons (Z)**
    - **4 leptons (Higgs)**
    - **2 photons (Higgs)**
- ... et les compter par Masse Invariante !

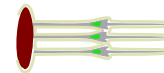


# Une collision

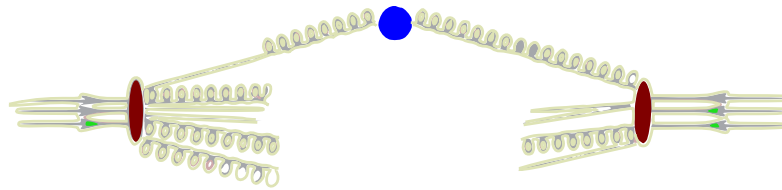
Proton



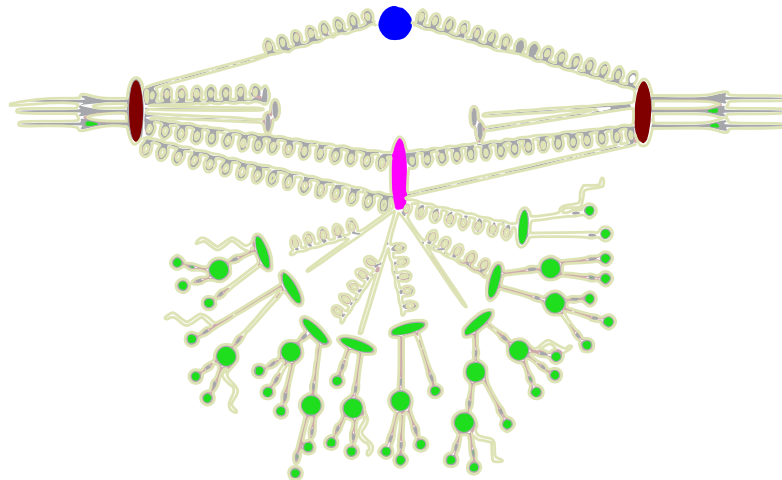
Proton



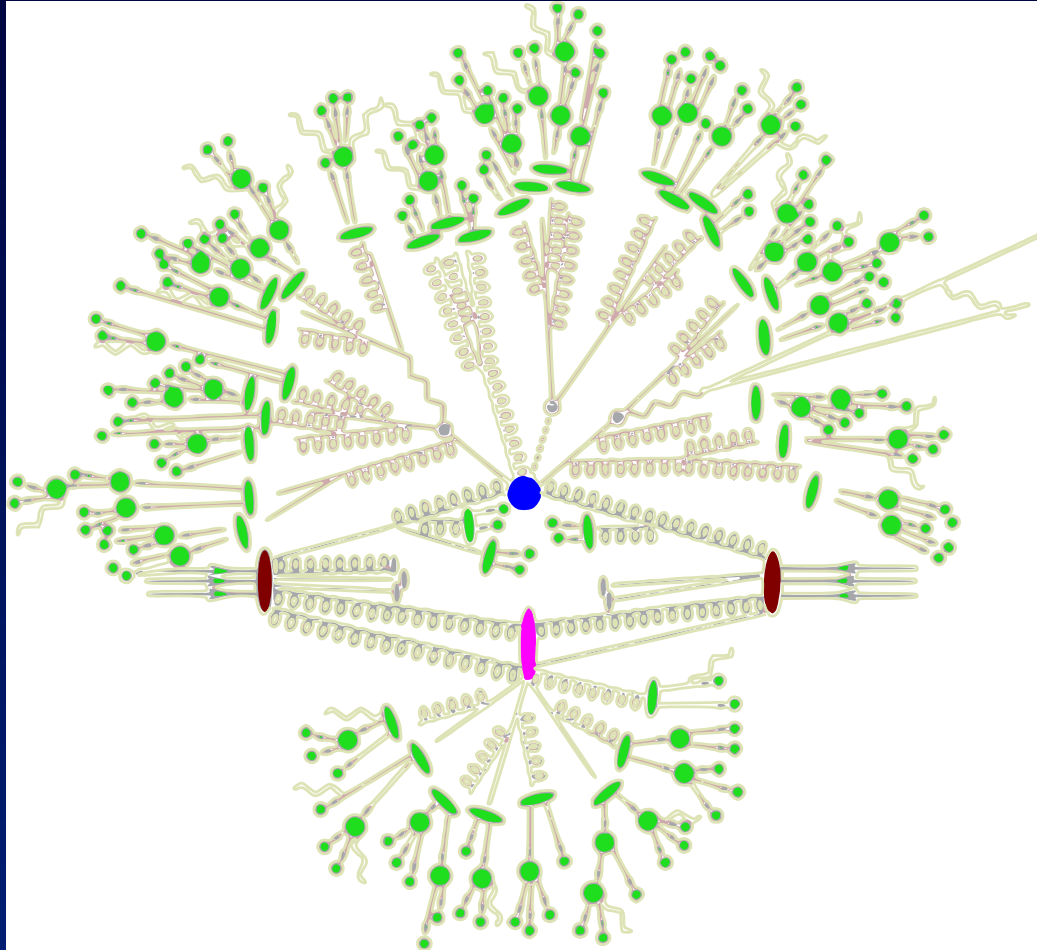
# Une collision



# Une collision



# Une collision



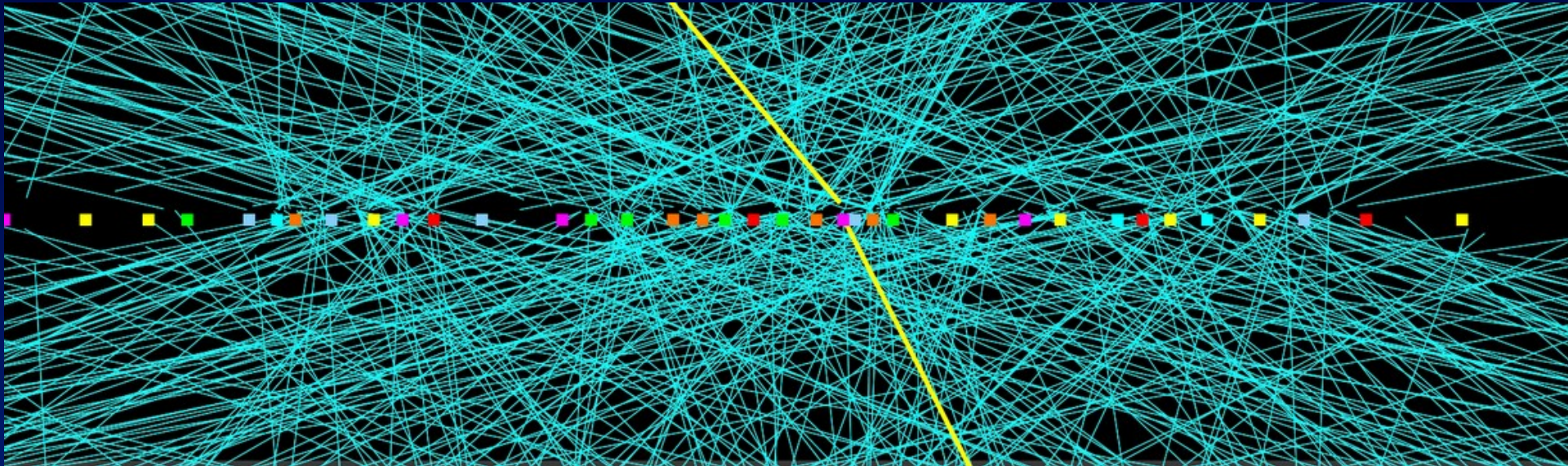
... de 2 protons parmi 2 paquets de  $10^{11}$  autres protons !

# Croisement de paquets



Les croisements de paquets donnent lieu à plusieurs collisions simultanées !

# Croisement de paquets



Les croisements de paquets donnent lieu à plusieurs collisions simultanées !

# ATLAS ([lien](#))

Le détecteur pour quelle particule

**Calorimètre  
hadronique**

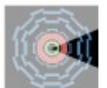
**Chambres à  
muons**

**Calorimètre  
électromagnétique**

**Détecteur  
interne  
trajectographe**

# ATLAS

animation



display instantly

Energy [GeV]:

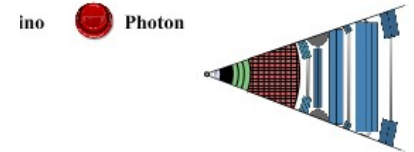
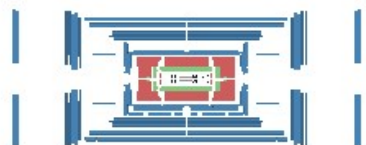
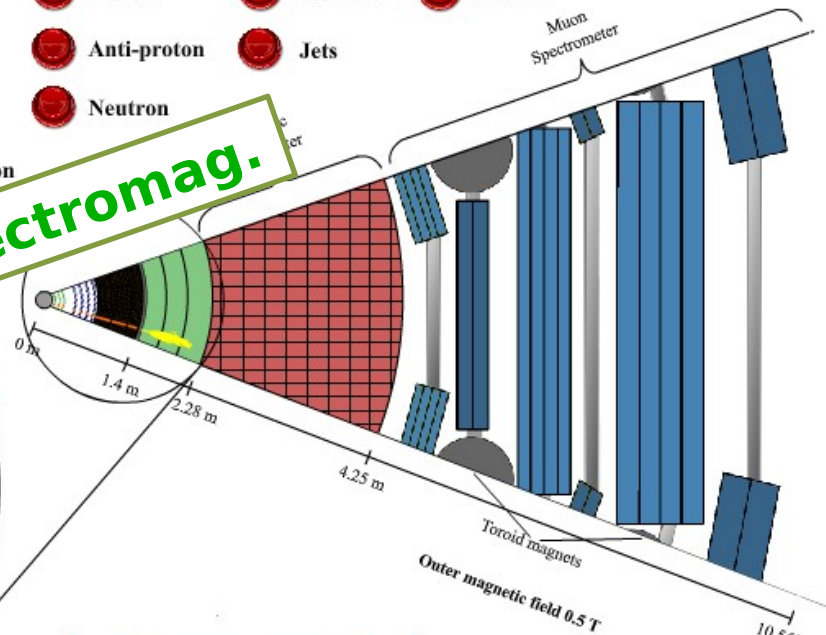
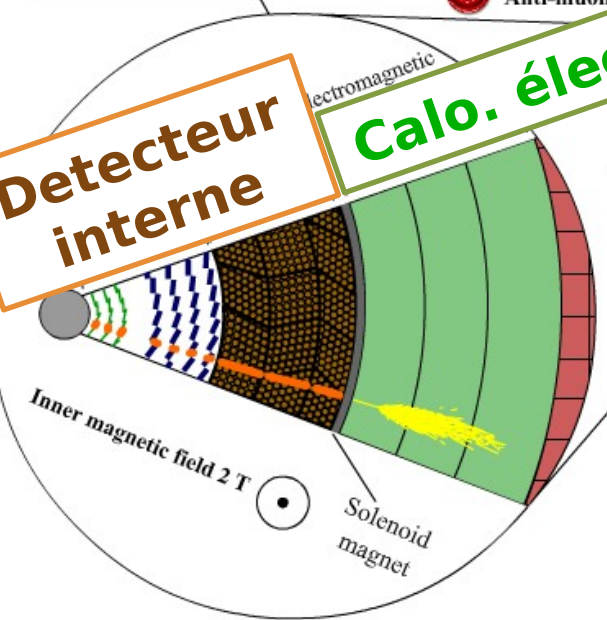
1 5 10 15 25

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

Magnification 3x

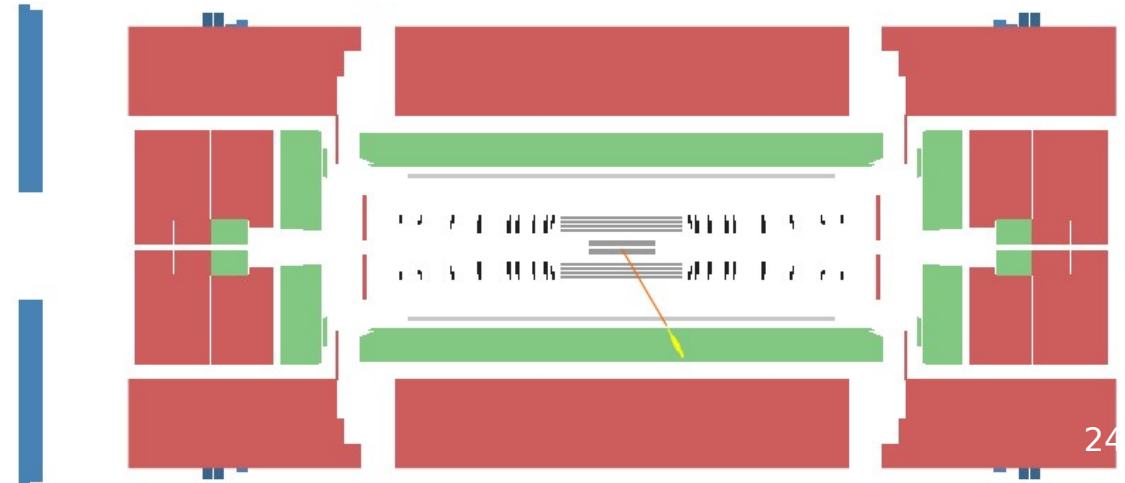
**Detecteur interne**

**Calo. électromag.**



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

electron  $e^-$   
positron  $e^+$





animation



display instantly

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

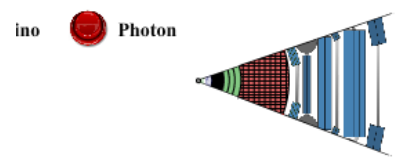
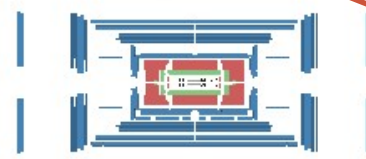
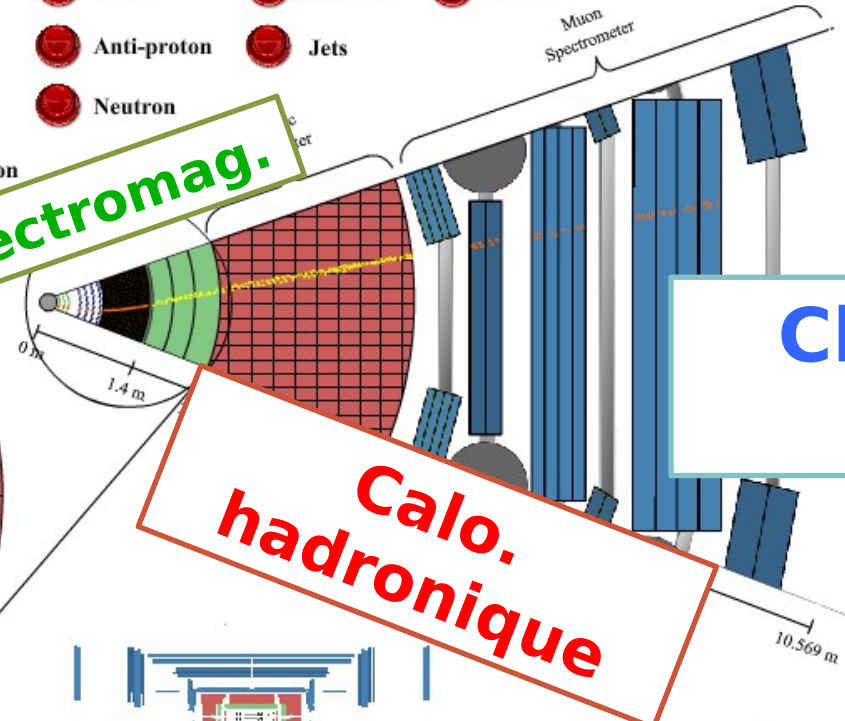
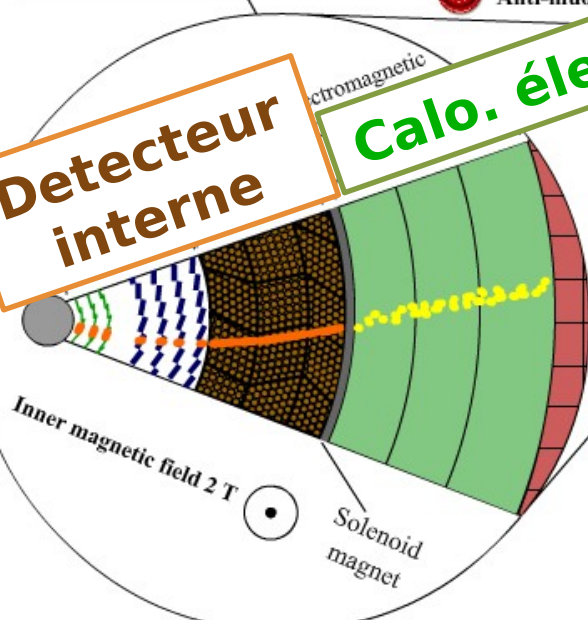
Magnification 3x

**Detecteur interne**

**Calo. électromag.**

**Calo. hadronique**

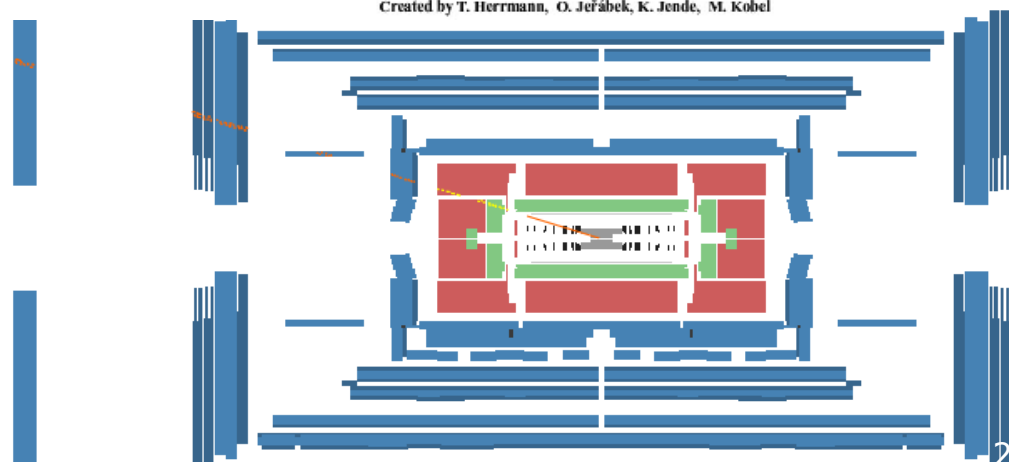
**Chambres à muons**



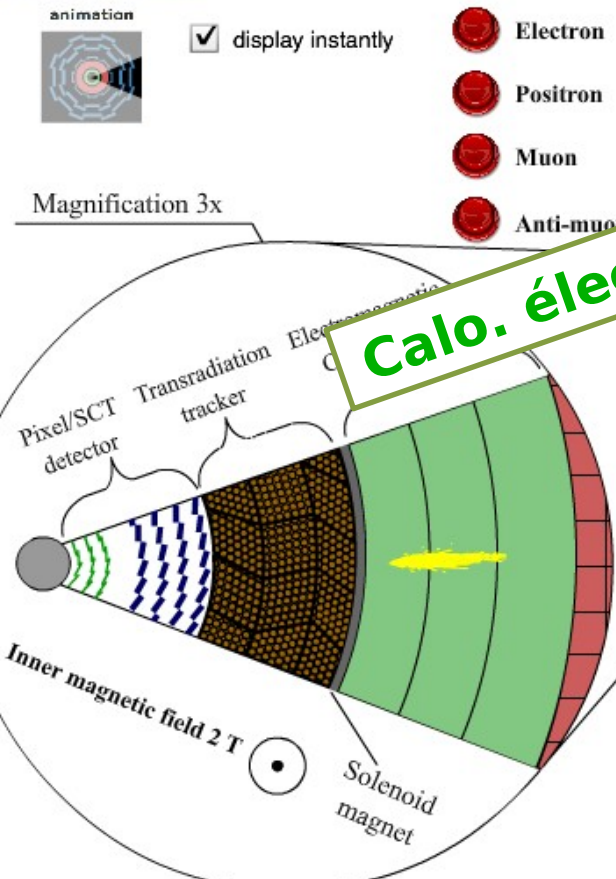
Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

# Le muon

# $\mu^+$

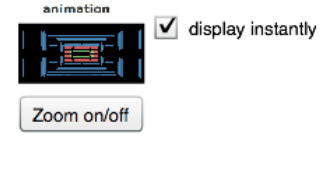


# ATLAS

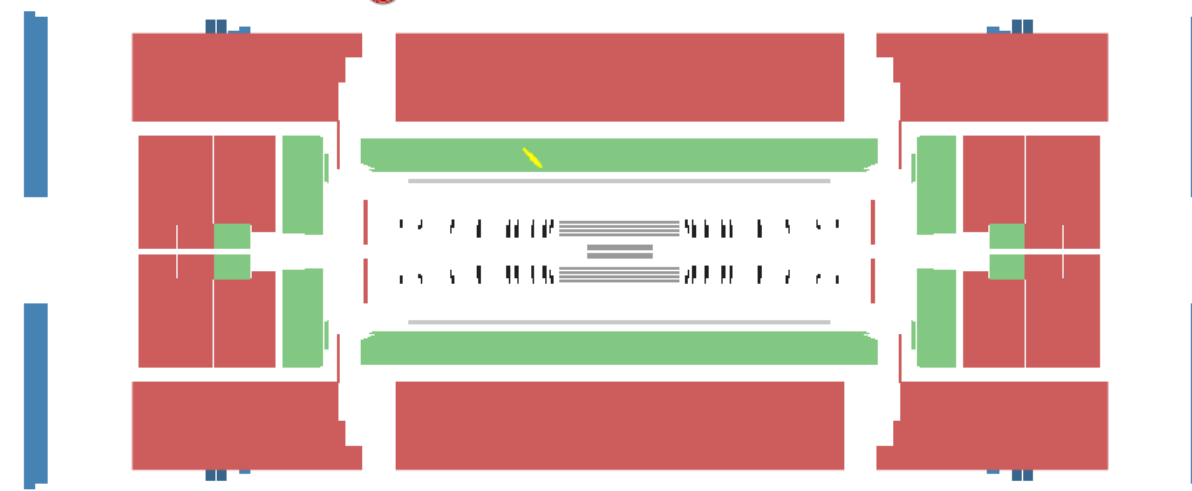
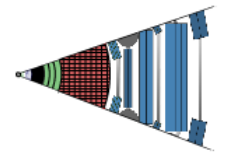


- Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- Positron
- Anti-proton
- Jets
- Muon
- Neutron
- Anti-muon

# ATLAS



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



# Le photon $\gamma$

animation



display instantly

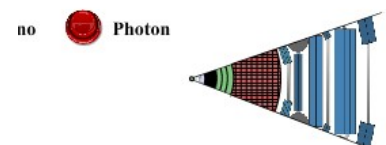
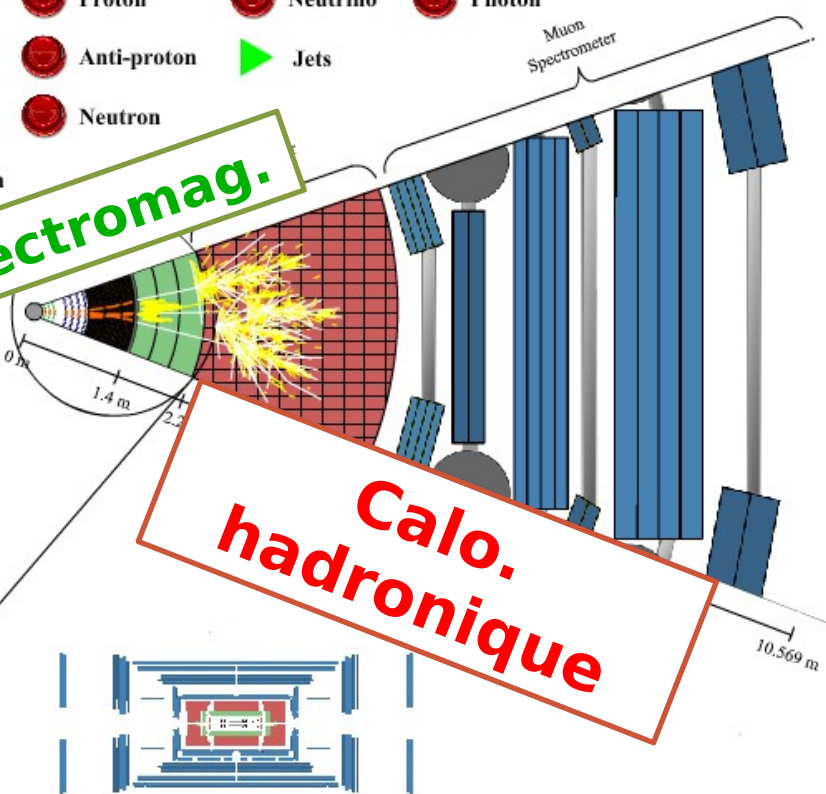
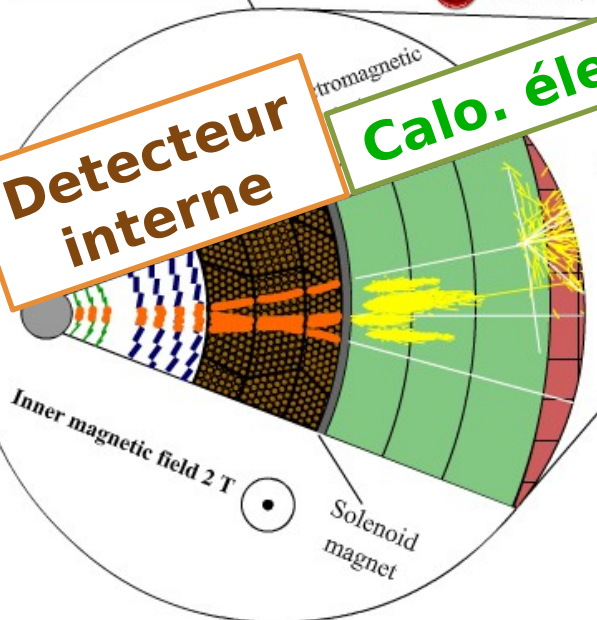
- Electron
- Positron
- Muon
- Anti-muon
- Proton
- Anti-proton
- Neutron
- Neutrino
- Photon
- ▶ Jets

Magnification 3x

**Detecteur interne**

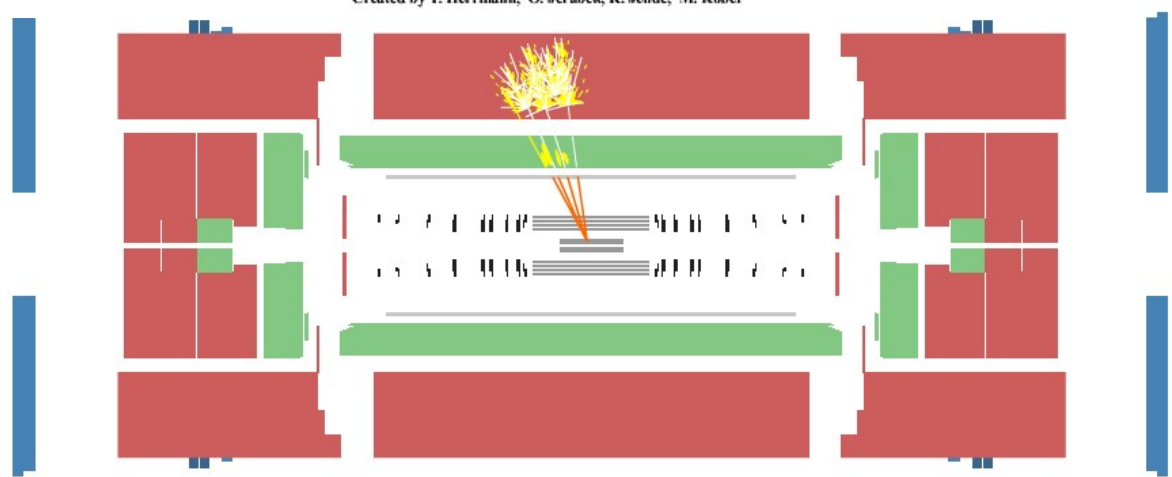
**Calo. électromag.**

**Calo. hadronique**

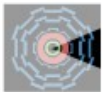


Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

# les Jets hadroniques



animation

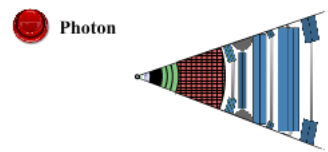
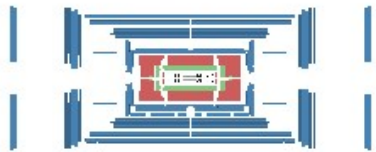
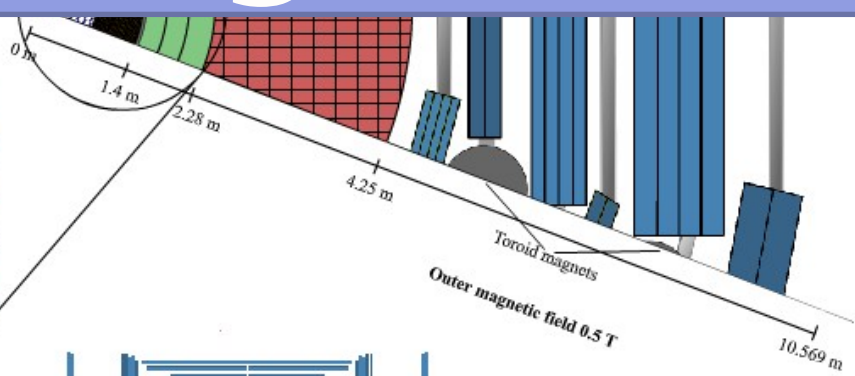
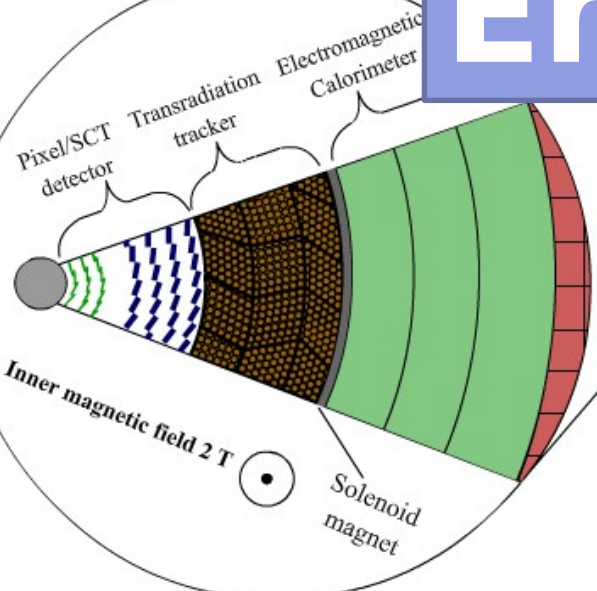


display instantly

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

# Energie manquant

Magnification 3x

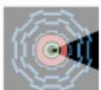


Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

# Le neutrino



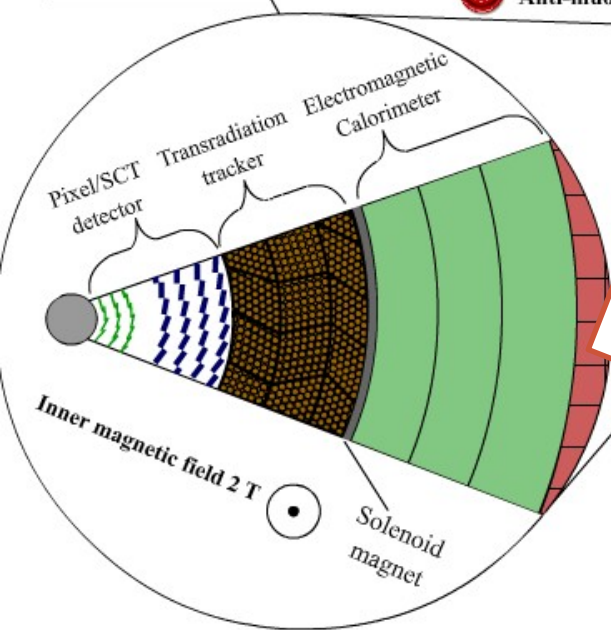
animation



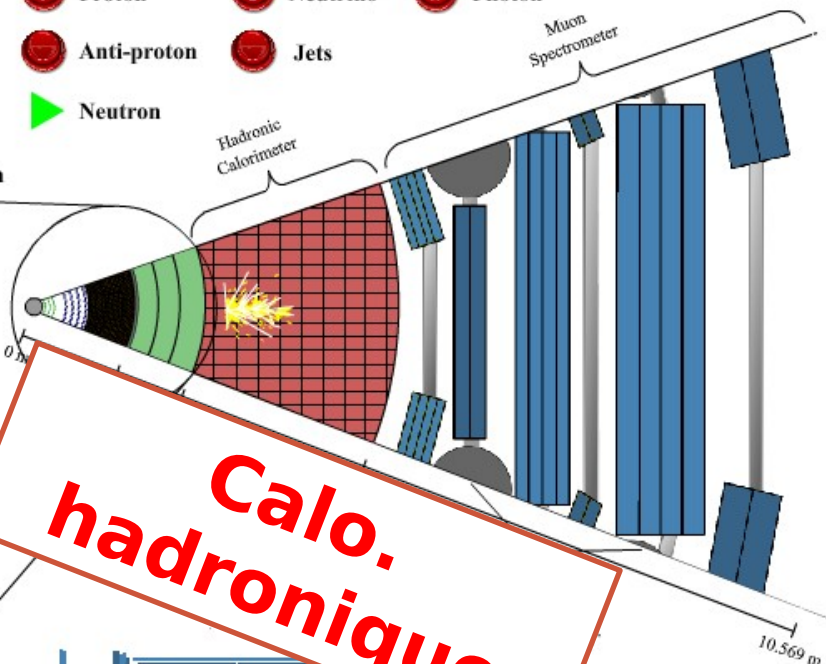
display instantly

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

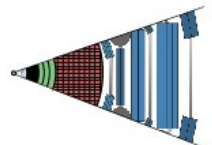
Magnification 3x



**Calo.  
hadronique**

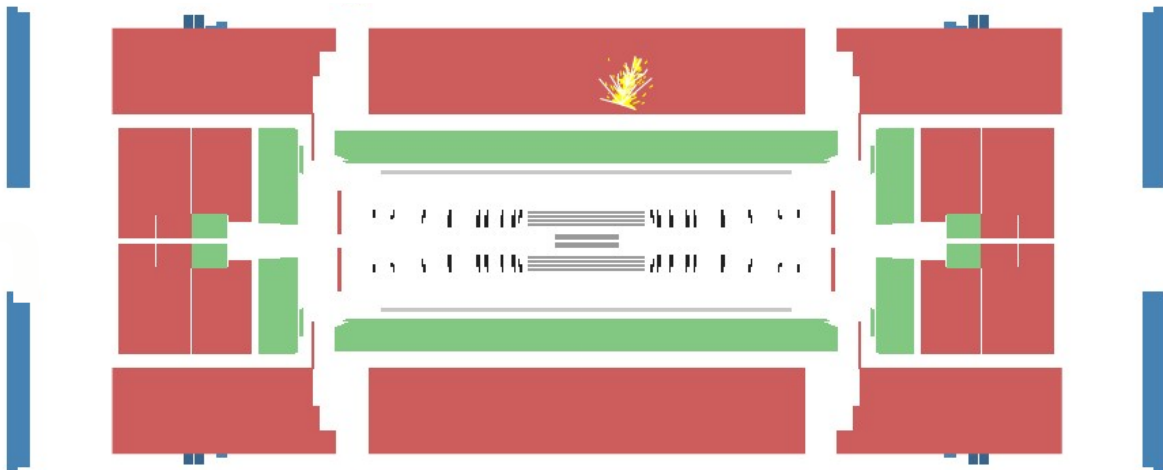


ino Photon



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

e neutron  
n



**HYPATIA POUR “VOIR”  
LES PARTICULES**