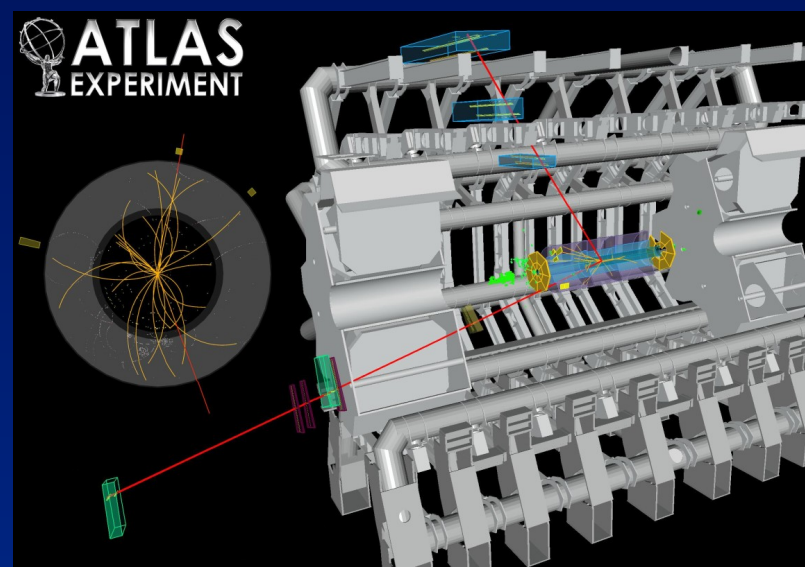


# Le parcours Z

## Masterclass au LPSC

2015

delsart@lpsc.in2p3.fr 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

Particules  
élémentaires

Interactions  
fondamentales

**“Modèle  
Standard”  
(MS)**

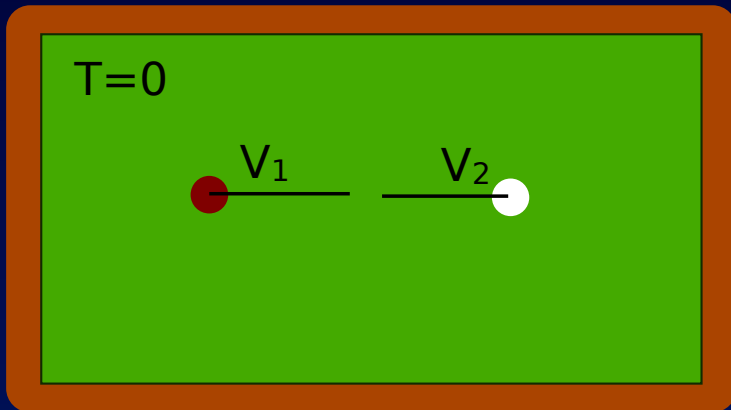
- Les détecteurs et accélérateurs

# La Physique Quantique

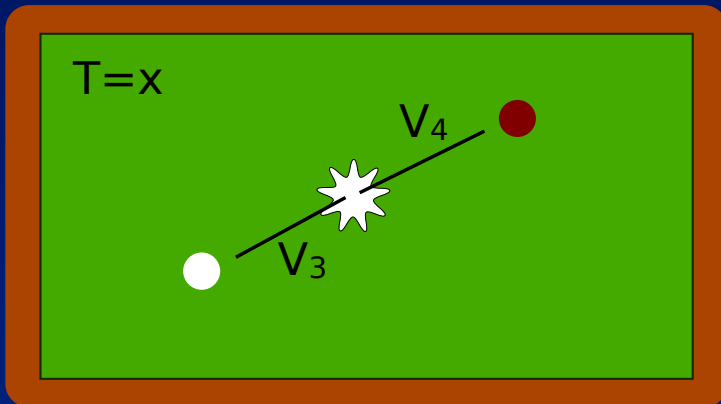
- Le Modèle Standard est une théorie Quantique
  - Issue de la Mécanique Quantique qui décrit les phénomènes microscopiques
- Les prédictions quantiques sont intrinsèquement aléatoires !
  - Contrairement à la physique classique/macroscopique

## Physique classique

billard

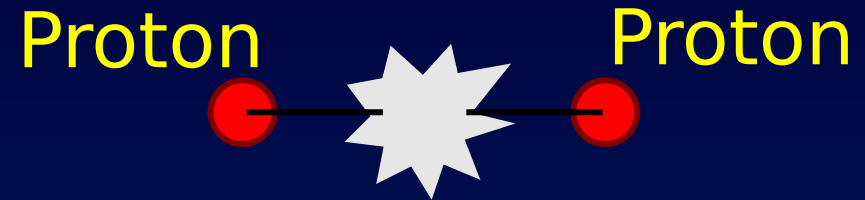


Prédiction classique :  
Une configuration unique,  
valeurs uniques  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $x...$



## Physique quantique

collision proton-proton



Prédiction quantique :  
???

déviations 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 ...

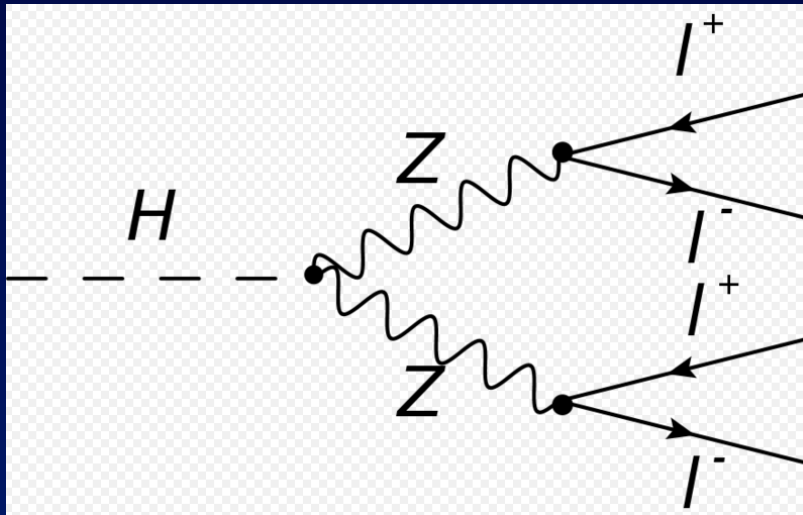
# La Physique Quantique

- 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 !

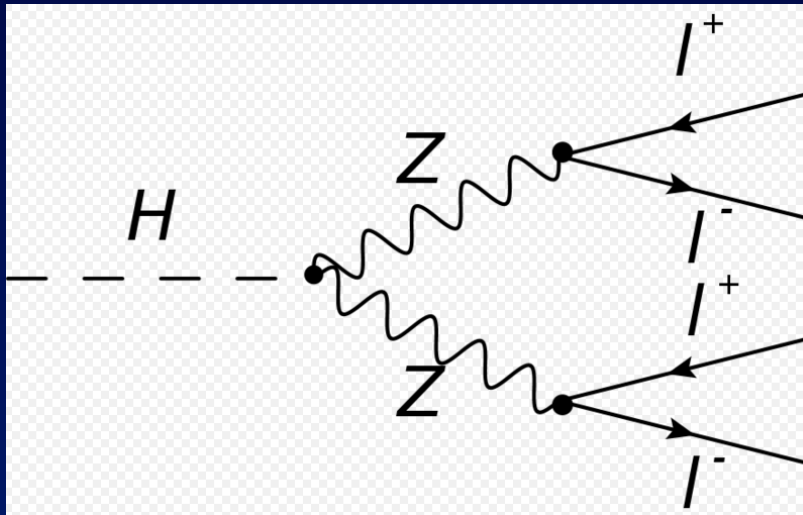
ex : Boson de Higgs en 4 leptons



# 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

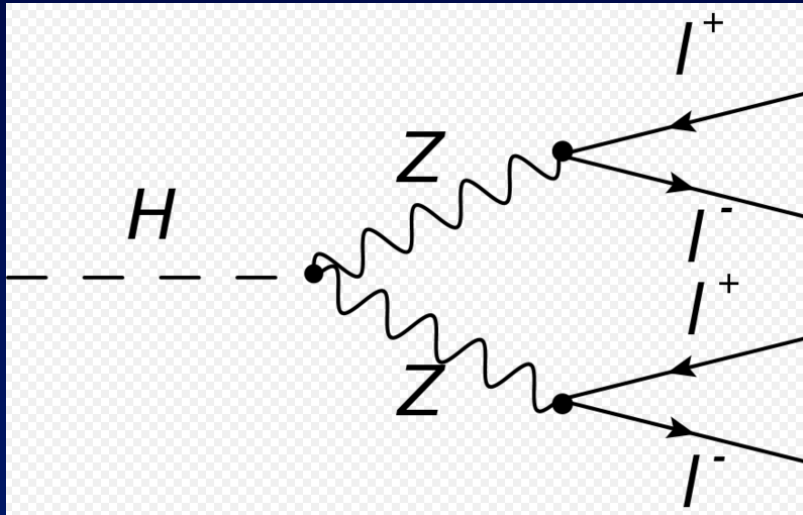
- Nombre total de collisions  $N_{\text{coll}}$
- Intensité/Energie du faisceau
- efficacité des détecteurs
- ...



# 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
- ...

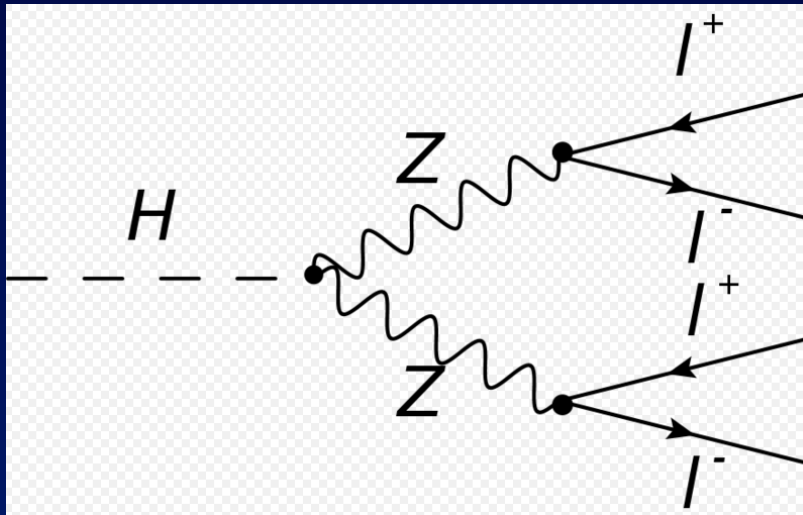
3) Experience !

- 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

$$Z \longrightarrow \mu^+ \mu^-$$

$$Z \longrightarrow e^+ e^-$$

- Observation du boson de Higgs

- Désintégration en 4 leptons

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

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

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

- Désintégration en 2 photons

$$H \longrightarrow 2\gamma$$

# Objectifs du TD

- Reconnaître les particules détecter par ATLAS

**muons  $\mu$ , électrons  $e$ , photons  $\gamma$ , jets hadroniques**  
(mesure de charge, masse, énergie)

- Identifier les événements

**Les classer**

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

# Objectifs du TD

- Reconnaître les particules détectées par ATLAS

**muons  $\mu$ , électrons  $e$ , photons  $\gamma$ , jets hadroniques**  
(mesure de charge, masse, énergie)

- Identifier les événements

## **Les classer**

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

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

$\langle == \rangle$

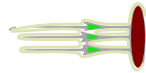
la masse de la combinaison des  
leptons ou des photons

$\langle == \rangle$

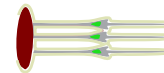
la masse de la particule mère  
(si elle existe)

# Une collision

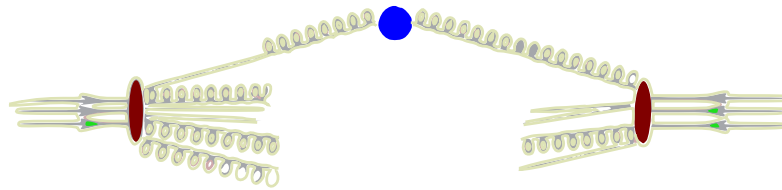
Proton



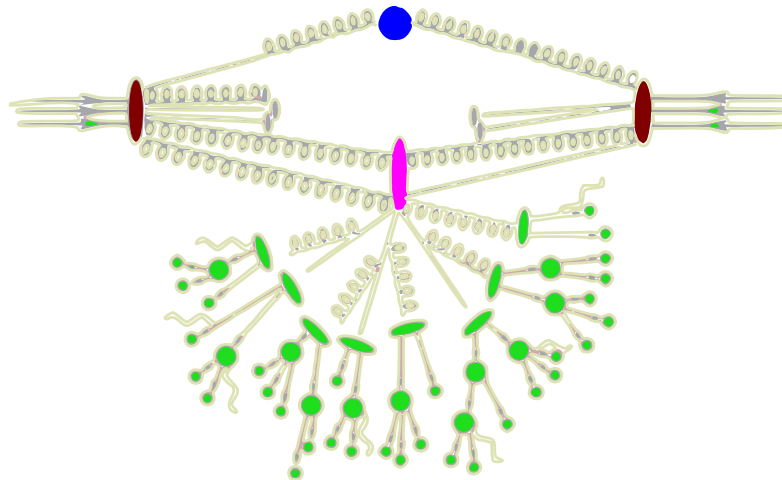
Proton



# Une collision

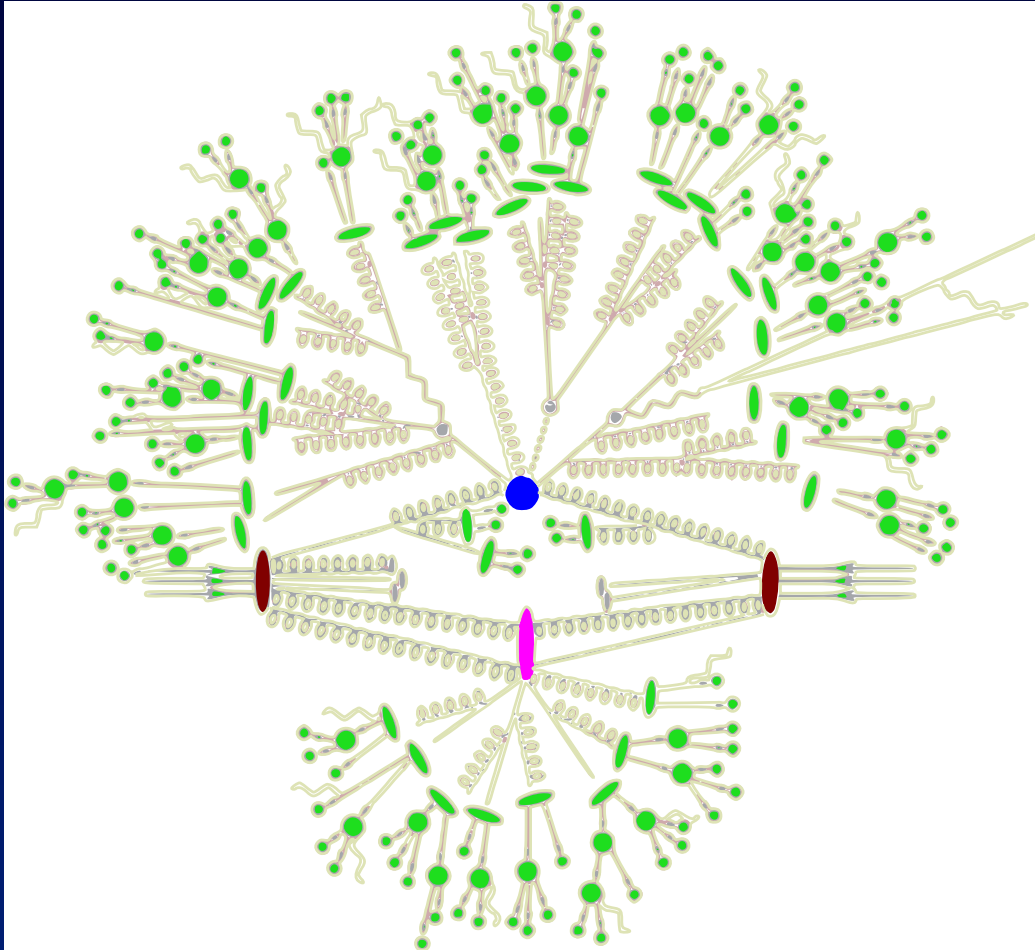


# Une collision





# Une collision

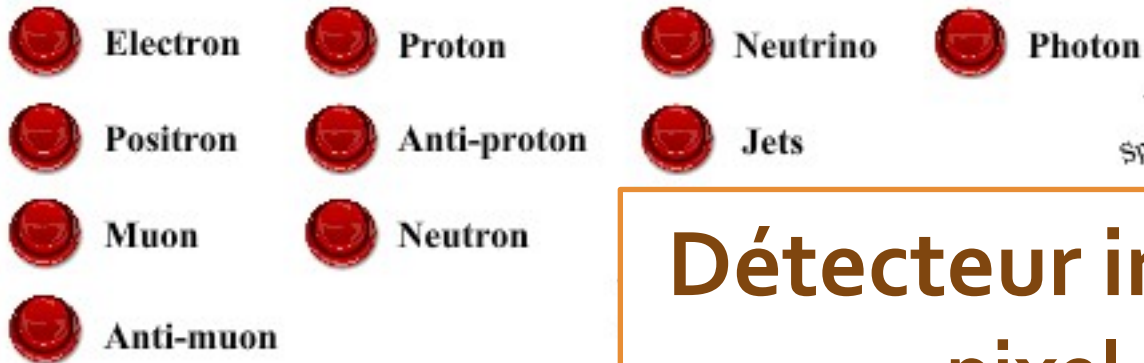


# ATLAS ([lien](#))

Quel detecteur pour quelle particule ?

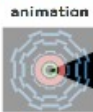
**Calorimetre  
hadronique**

**Chambres à muons**



**Calorimetre  
électromagnétique**

**Détecteur interne  
pixel  
trajectographe**



☒ display instantly

Energy [GeV]:

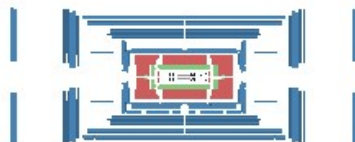
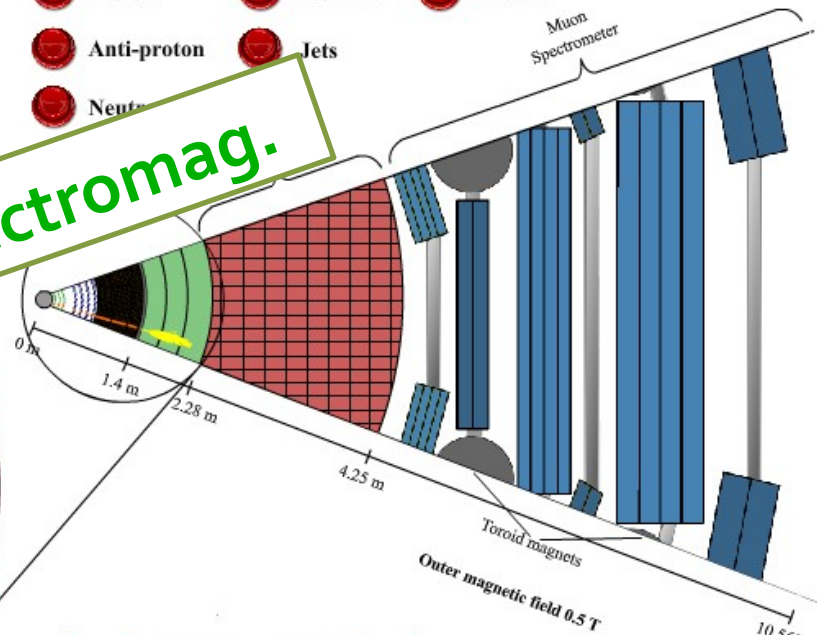
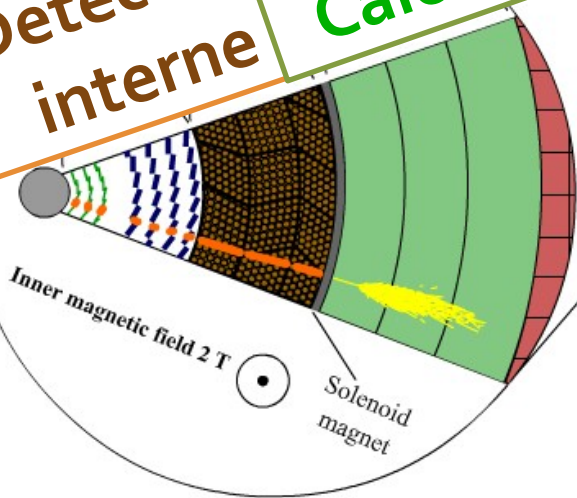
1 5 10 15 25

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

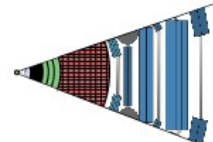
Magnification 3x

Detecteur interne

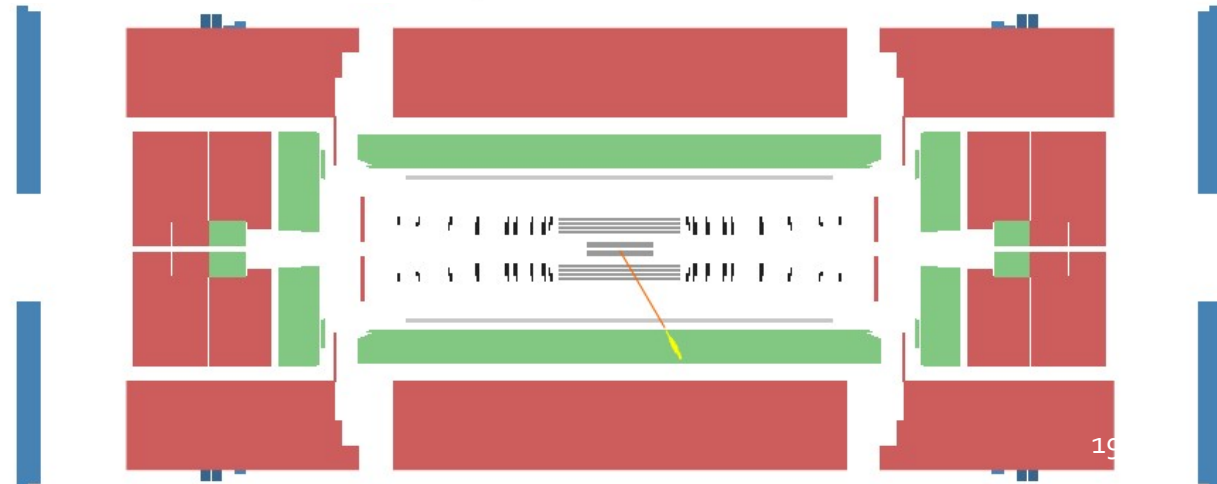
Calo. électromag.



ino Photon



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



L'électron  
 $e^-$

# ATLAS

animation



☒ display instantly

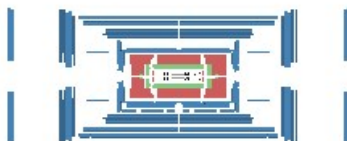
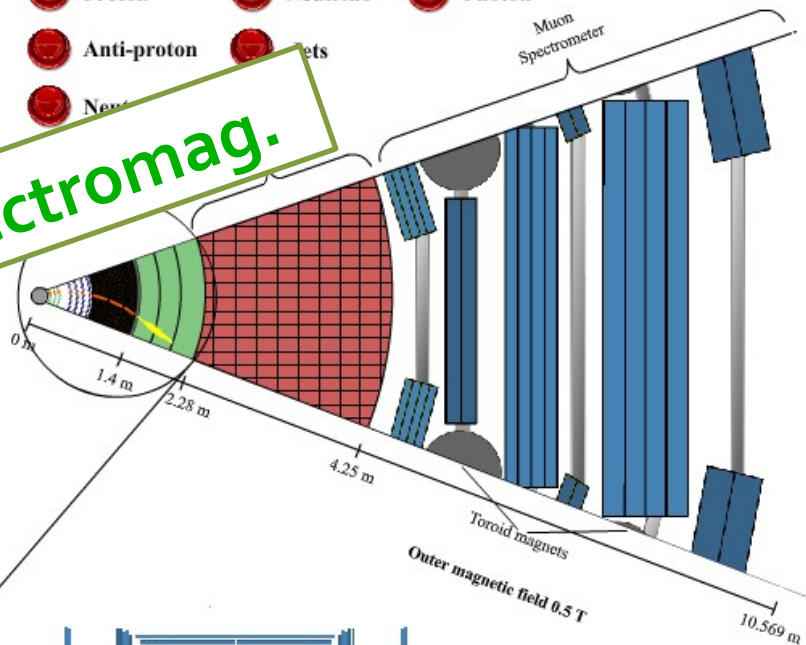
- Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- Positron
- Anti-proton
- Muon
- Neutrino
- Anti-neutrino

Magnification 3x

Detecteur interne

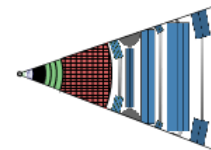
Calo. électromag.

Inner magnetic field 2 T  
Solenoid magnet

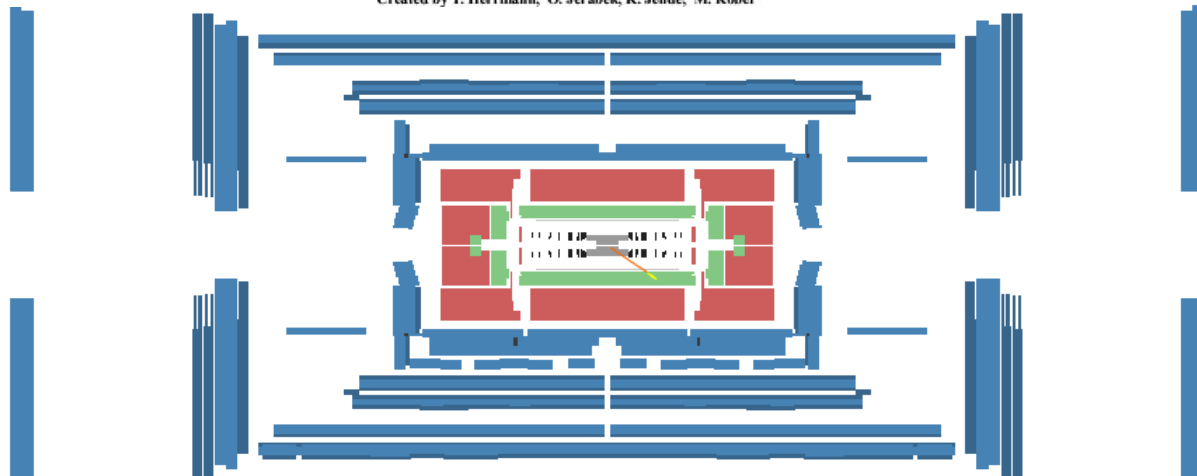


Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

Neutrino Photon



Le positron  
 $e^+$



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



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

Magnification 3x

Detecteur interne

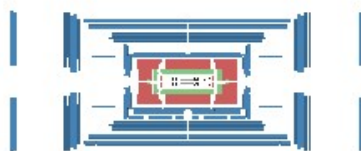
Calo. électromag.

Calo. hadronique

Chambres à muons

Inner magnetic field 2 T

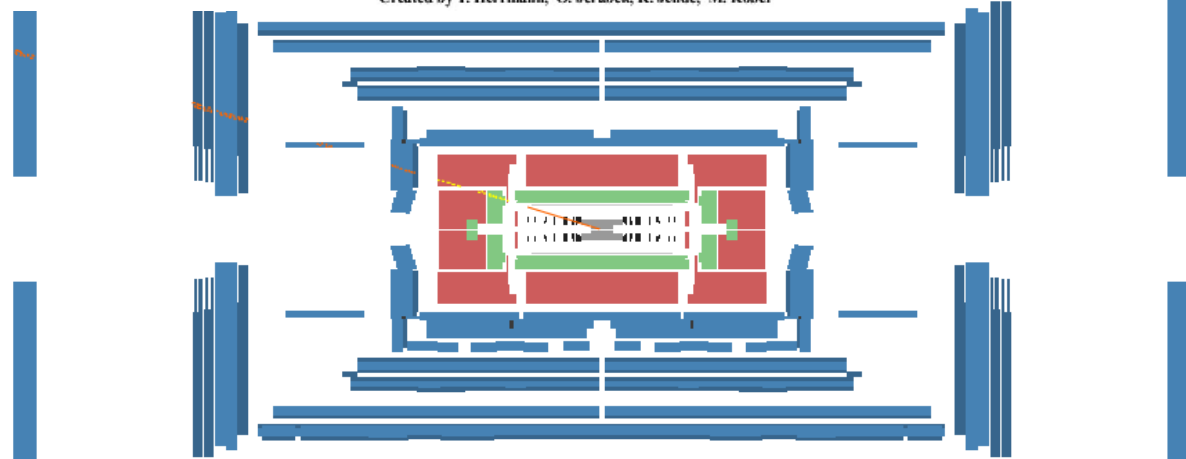
Solenoid magnet



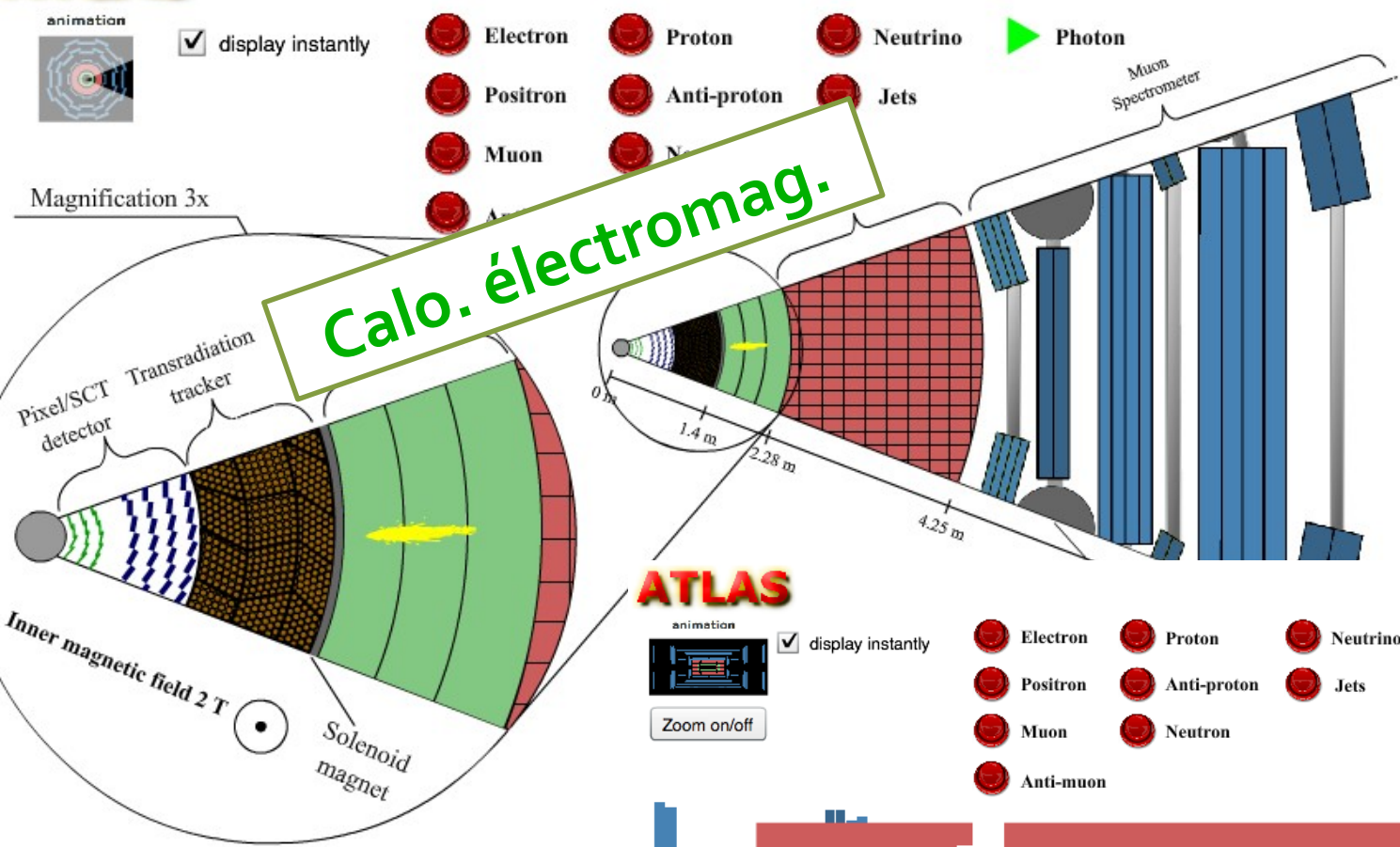
Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

# Le muon

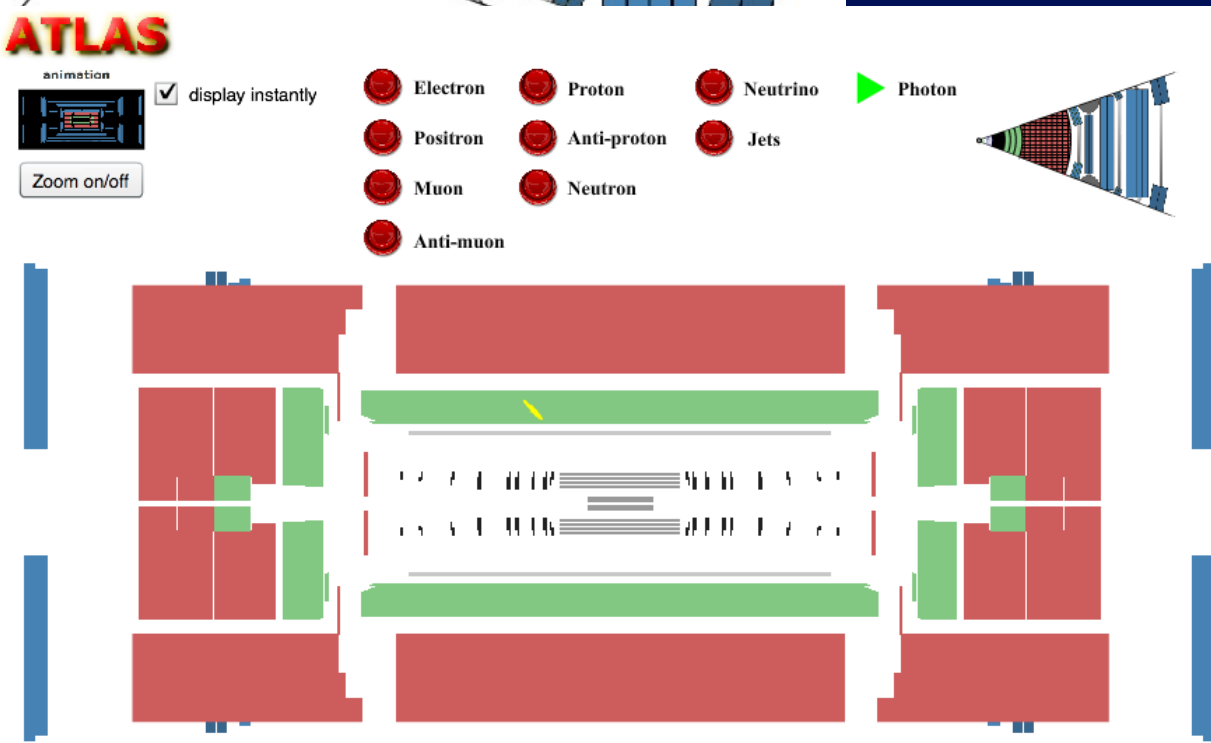
$\mu^+$







# Le photon $\gamma$





☒ display instantly

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

Magnification 3x

Detecteur interne

Calo. électromag.

Calo. hadronique

Inner magnetic field 2 T

Solenoid magnet

Muon Spectrometer

10.569 m

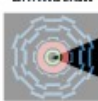
no Photon

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

# les hadrons

# Jets

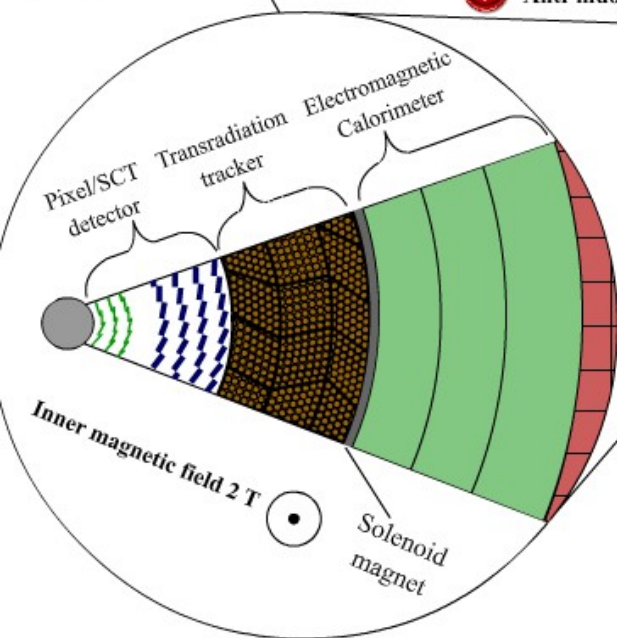
animation



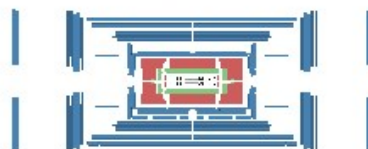
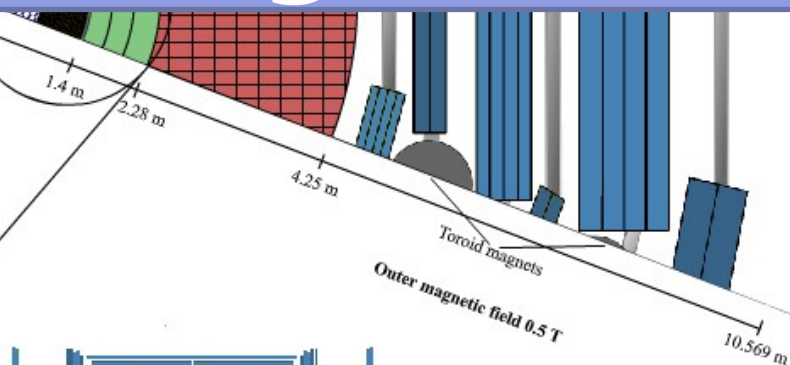
☒ display instantly

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

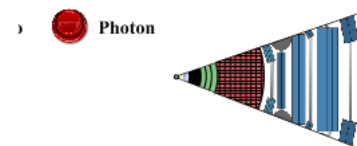
Magnification 3x



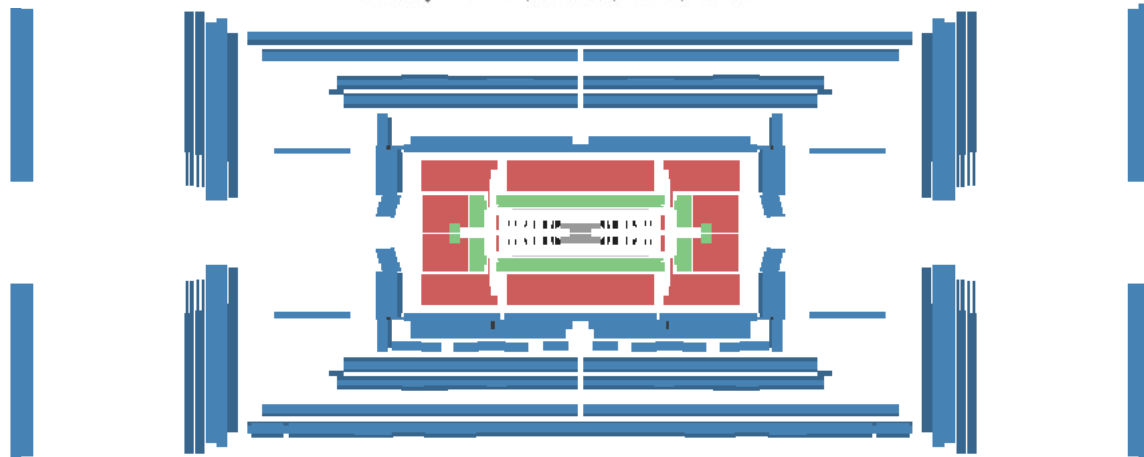
## Energie manquante



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



# Le neutrino $\nu$





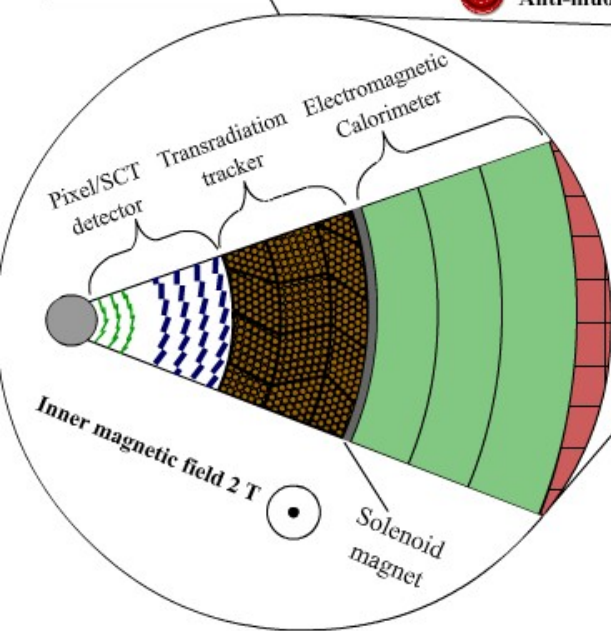
animation



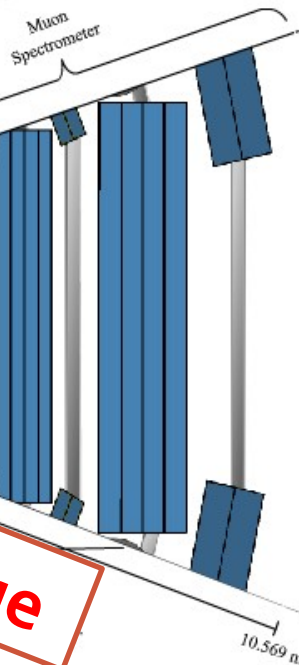
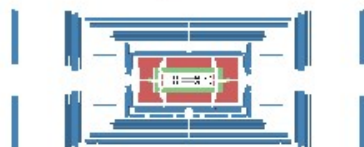
☒ display instantly

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

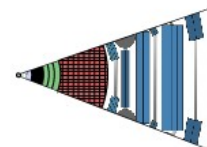
Magnification 3x



**Calo. hadronique**

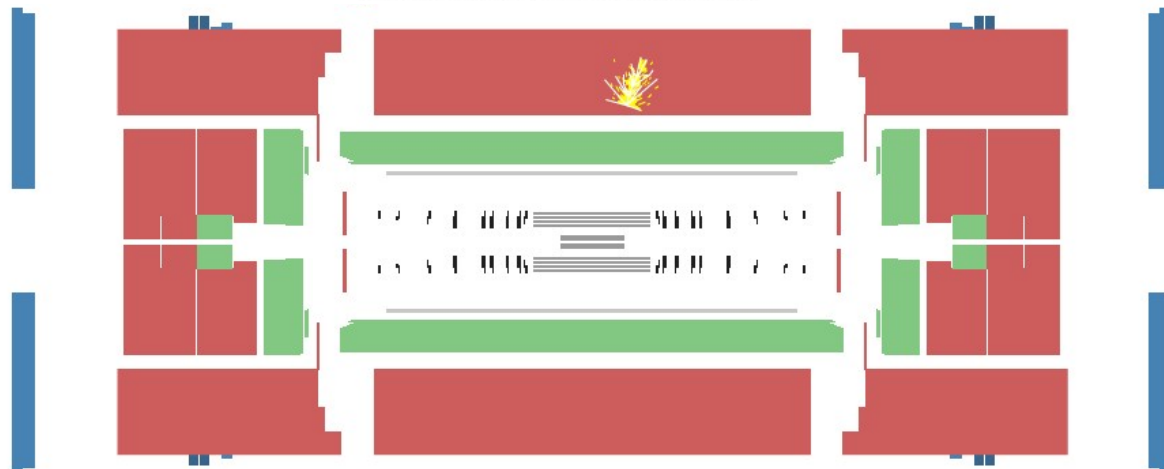


ino Photon



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

# Le neutron



# **HYPATIA POUR “VOIR” LES PARTICULES**