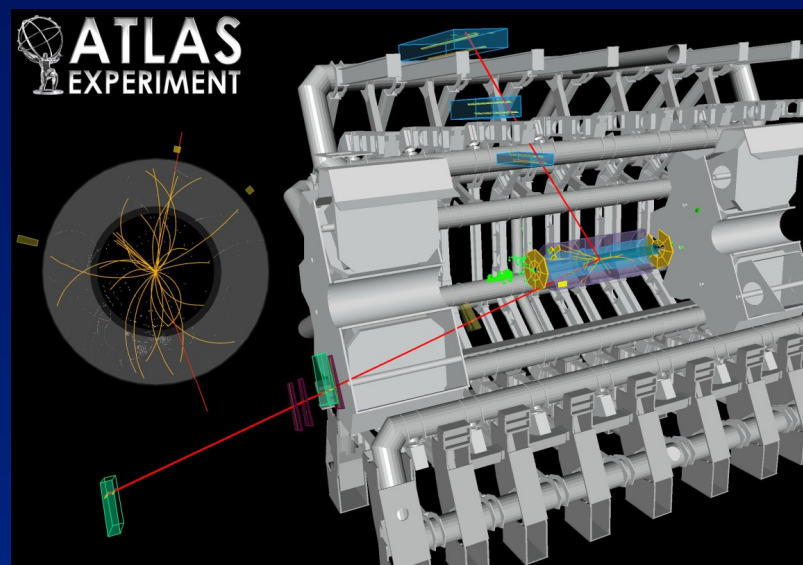


Le parcours Z

Masterclass au LPSC

2017

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

- quarks (up, down,...)

- leptons (electron,...)

- bosons de jauge
(photon, Z ...)

- boson de Higgs

Matière

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

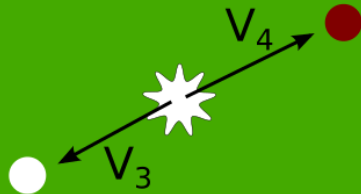
billard

$T=0$



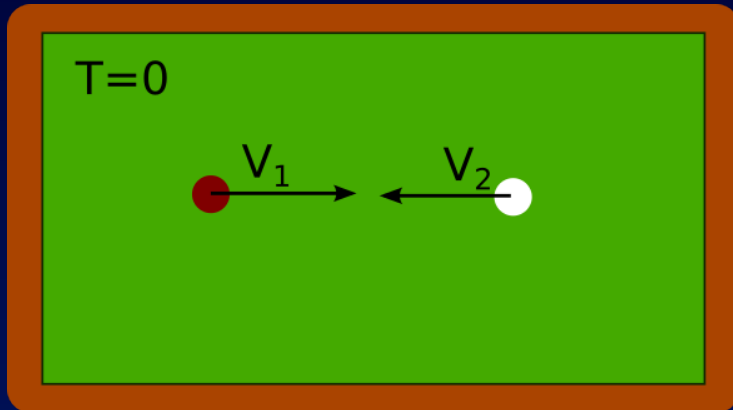
Prédiction classique :
Une configuration unique,
valeurs uniques V_3 , V_4 , $x...$

$T=x$

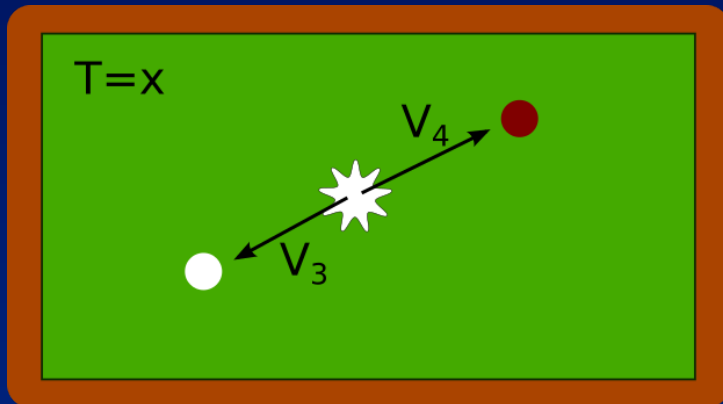


Physique classique

billard

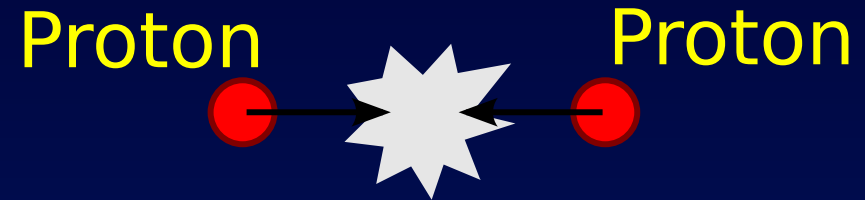


Prédiction classique :
Une configuration unique,
valeurs uniques V_3 , V_4 , $x...$



Physique quantique

collision proton-proton



Prédiction quantique :
???

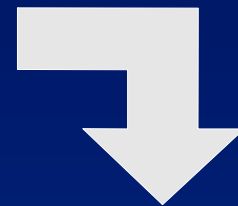
déviations des protons : $X_1\%$ de chances
création de quarks tops : $X_2\%$ de chances
création de boson W : $X_3\%$ de chances
création de boson H : $X_4\%$ de chances
... etc ...

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

Désintégrations

- Les particules intéressantes (H,Z, ...) sont **instables**
- Se désintègrent en particules plus légères :
 - électron
 - muons
 - photons
 - quarks → Jets hadroniques
 - neutrinos

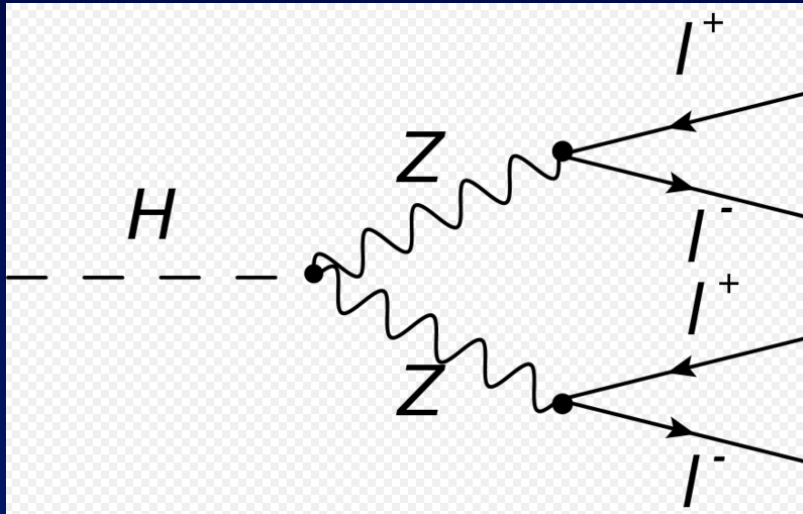


On ne peut observer qu'un état final composé de ces particules...

Principe d'une Analyse

1) On choisit quel processus on cherche !

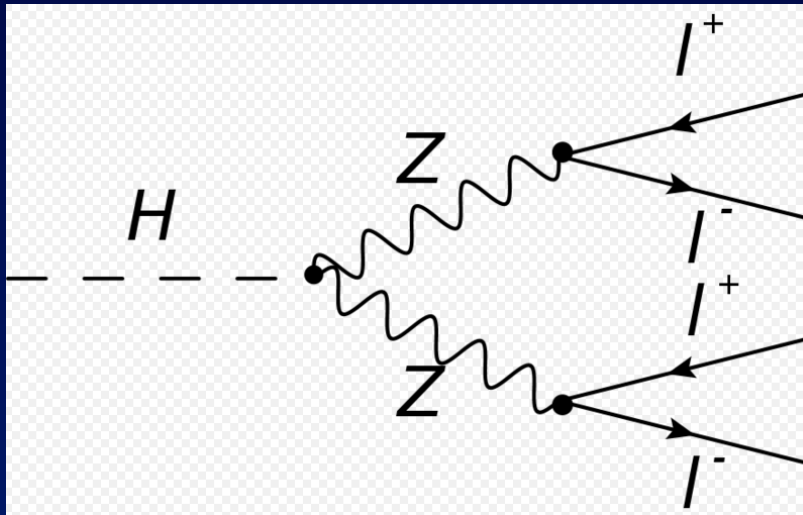
ex : Boson de Higgs en 4 leptons



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}

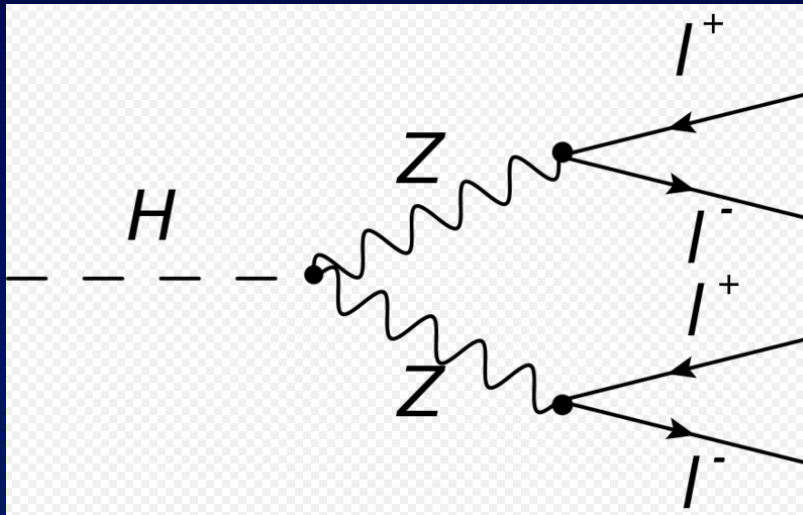
Dépend de

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

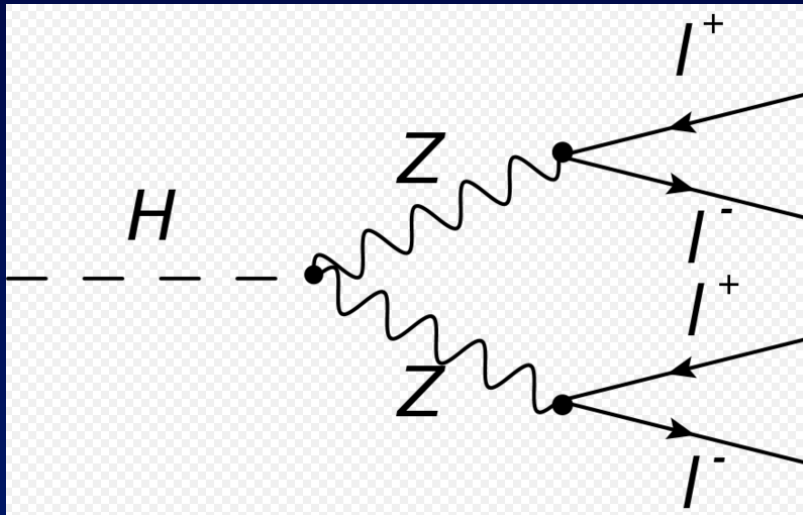
3) Experience !

- On produit N_{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) Experience !

- 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 **2 leptons**

$$Z \rightarrow m^+ m^-$$

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

- Observation du boson de Higgs

- Désintégration en **4 leptons**

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

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

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

- Désintégration en **2 photons**

$$H \rightarrow 2 \text{ photons}$$

Objectifs du TD

- Reconnaître les particules détectées par ATLAS

muons m , électrons e , photons g , 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 détectées

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

$\langle == \rangle$

la masse de la combinaison des leptons ou
des photons

$\langle == \rangle$

la masse de la particule mère
(si elle existe)

- Identifier

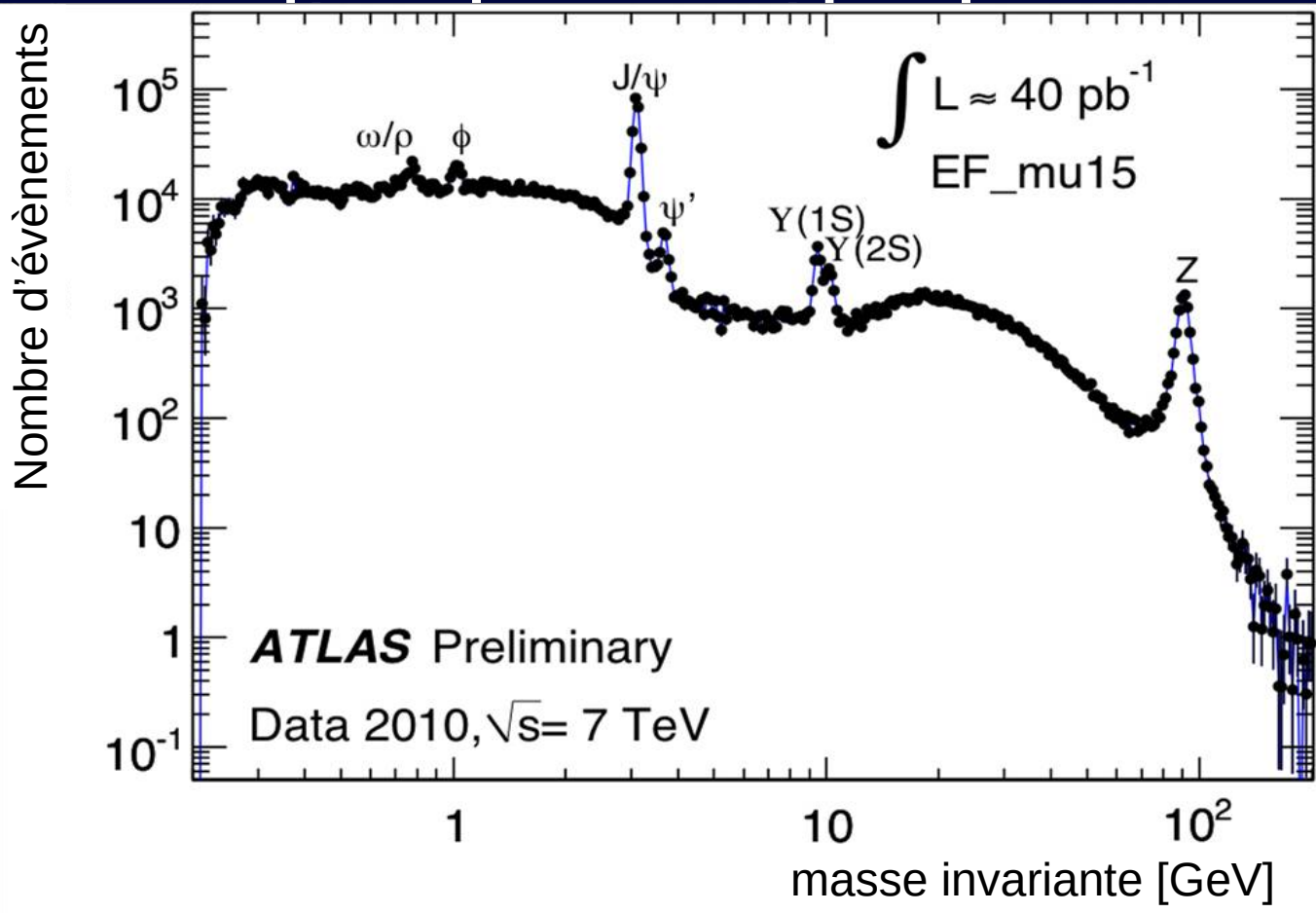
Les canaux

- 2 leptons (Z)
- 4 leptons (Higgs)
- 2 photons (Higgs)

et les compter !

Objectifs du TD

- Re
dé



- Ide

Les

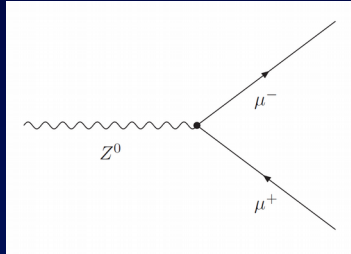
- 2
- 4 leptons (Higgs)
- 2 photons (Higgs)

et les compter !

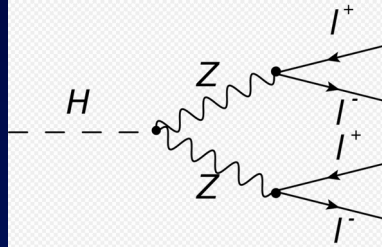
Résumé

On choisit les événements qui nous intéressent

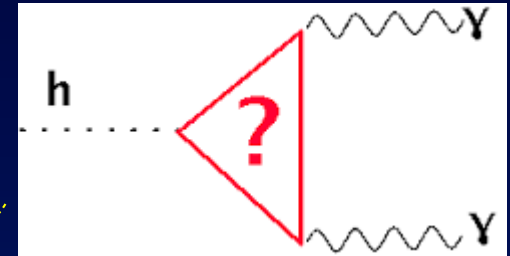
2 leptons



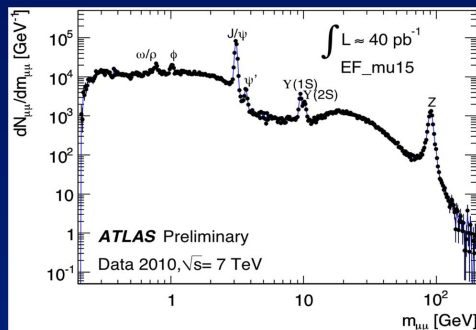
4 leptons



2 photons



On compte les événements en fonction de leur **masse invariante**



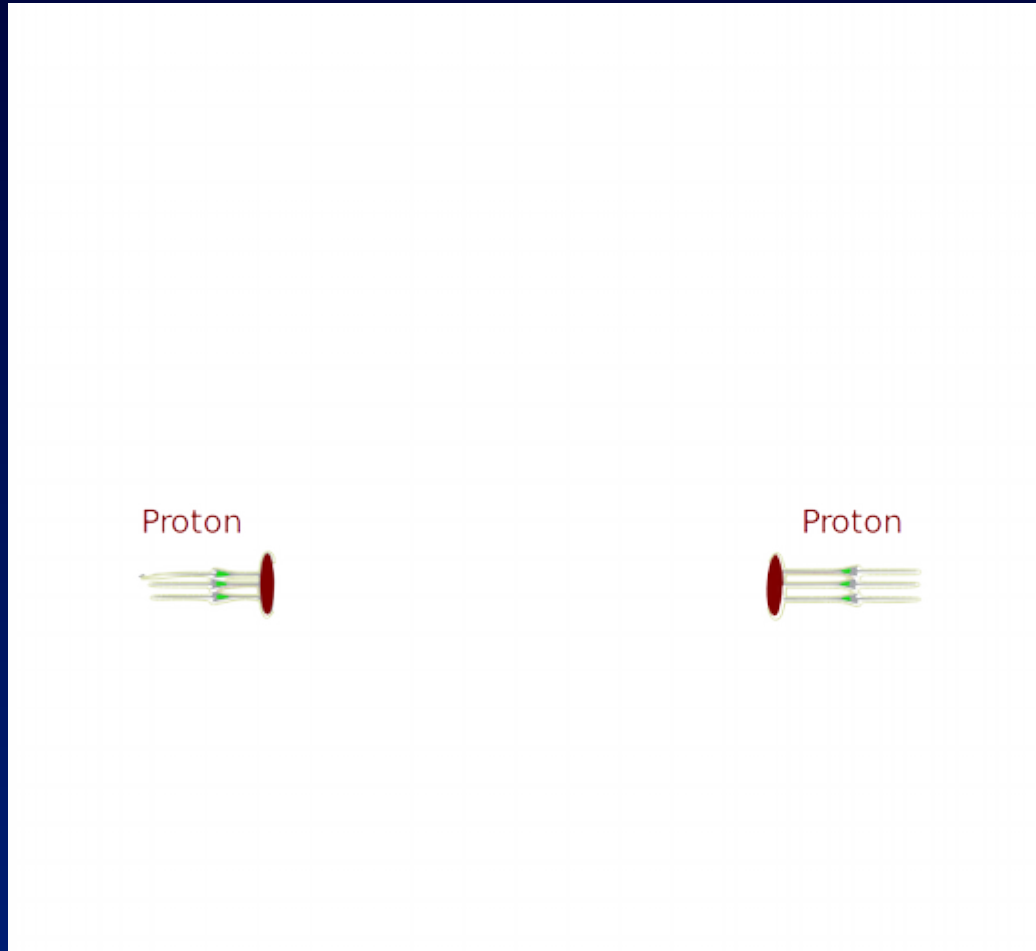
?

?

On compare à la théorie...

Comment identifier et classer
les événements ?

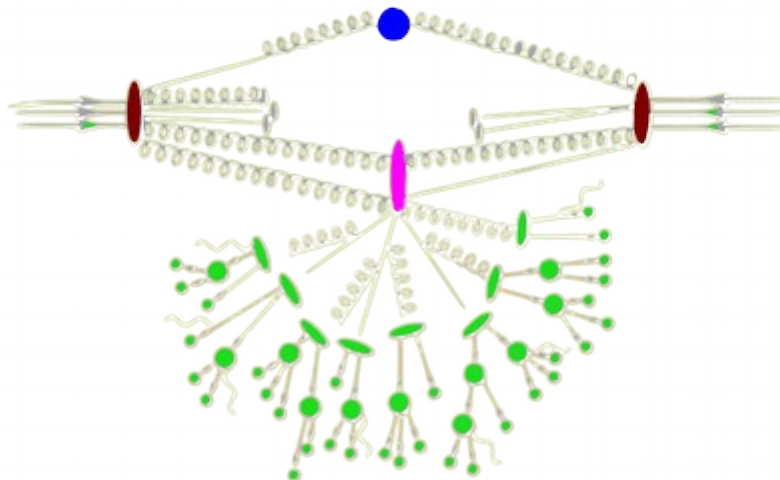
Une collision



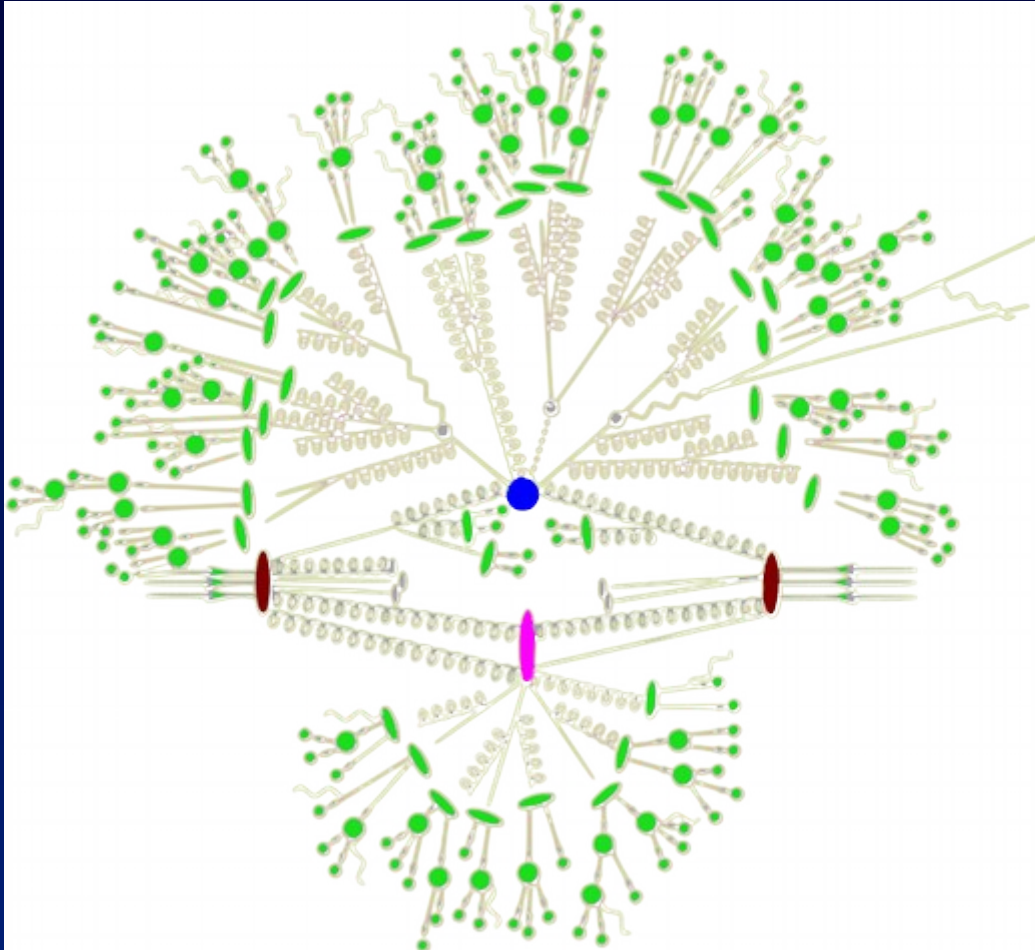
Une collision



Une collision



Une collision



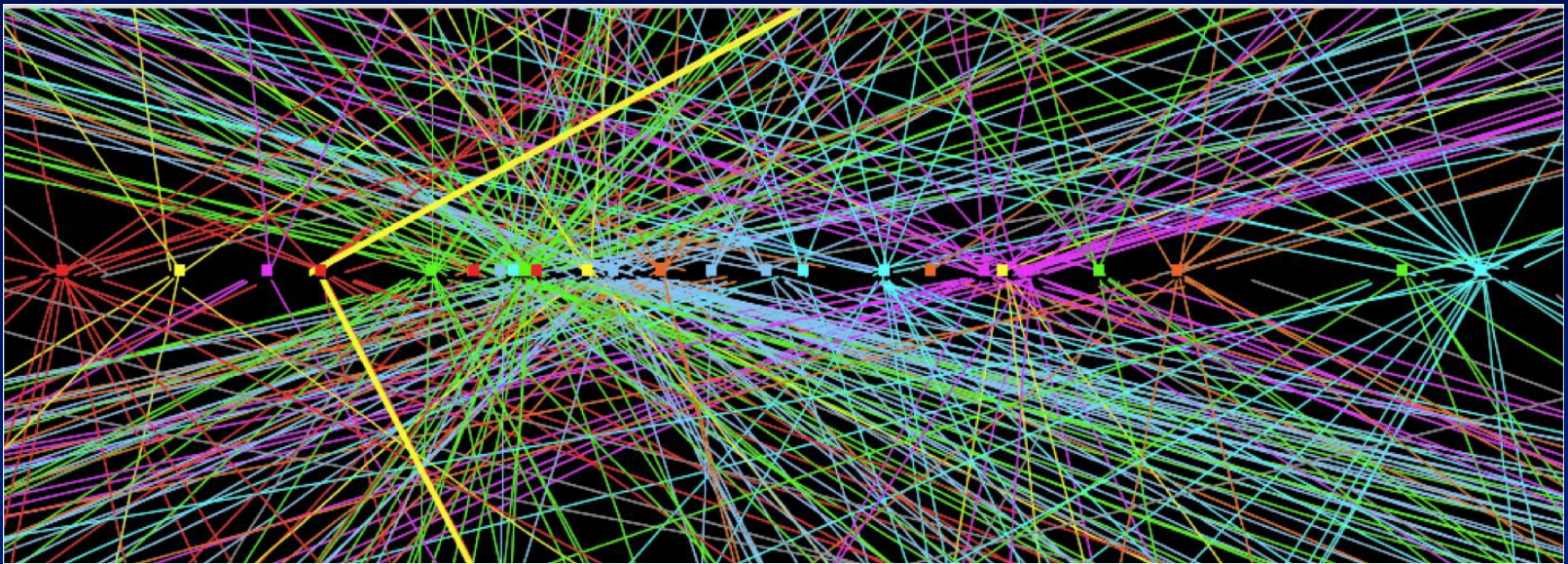
Collisions

À chaque croisement de paquet de protons, plusieurs dizaines de collisions ont lieu au même moment ...



Collisions

À chaque croisement de paquet de protons, plusieurs dizaines de collisions ont lieu au même moment ...

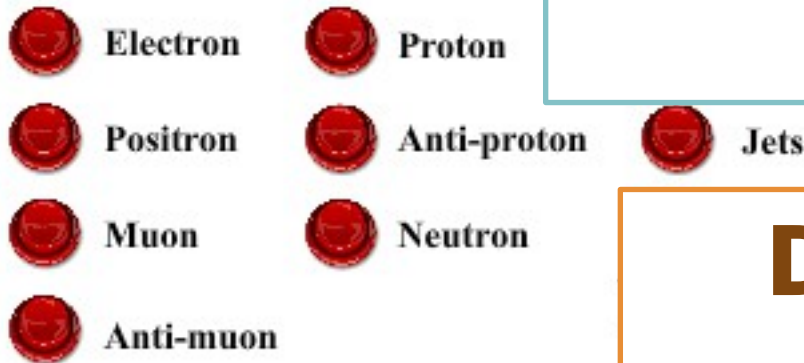


ATLAS ([lien](#))

Quel detecteur pour quelle
particule ?

**Calorimetre
hadronique**

**Chambres à
muons**



**Calorimetre
électromagnétique**

**Détecteur
interne
pixel
trajectographe**



☒ display instantly

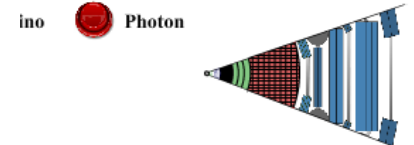
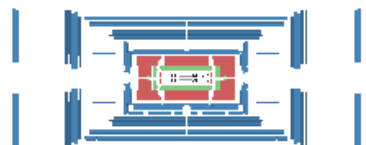
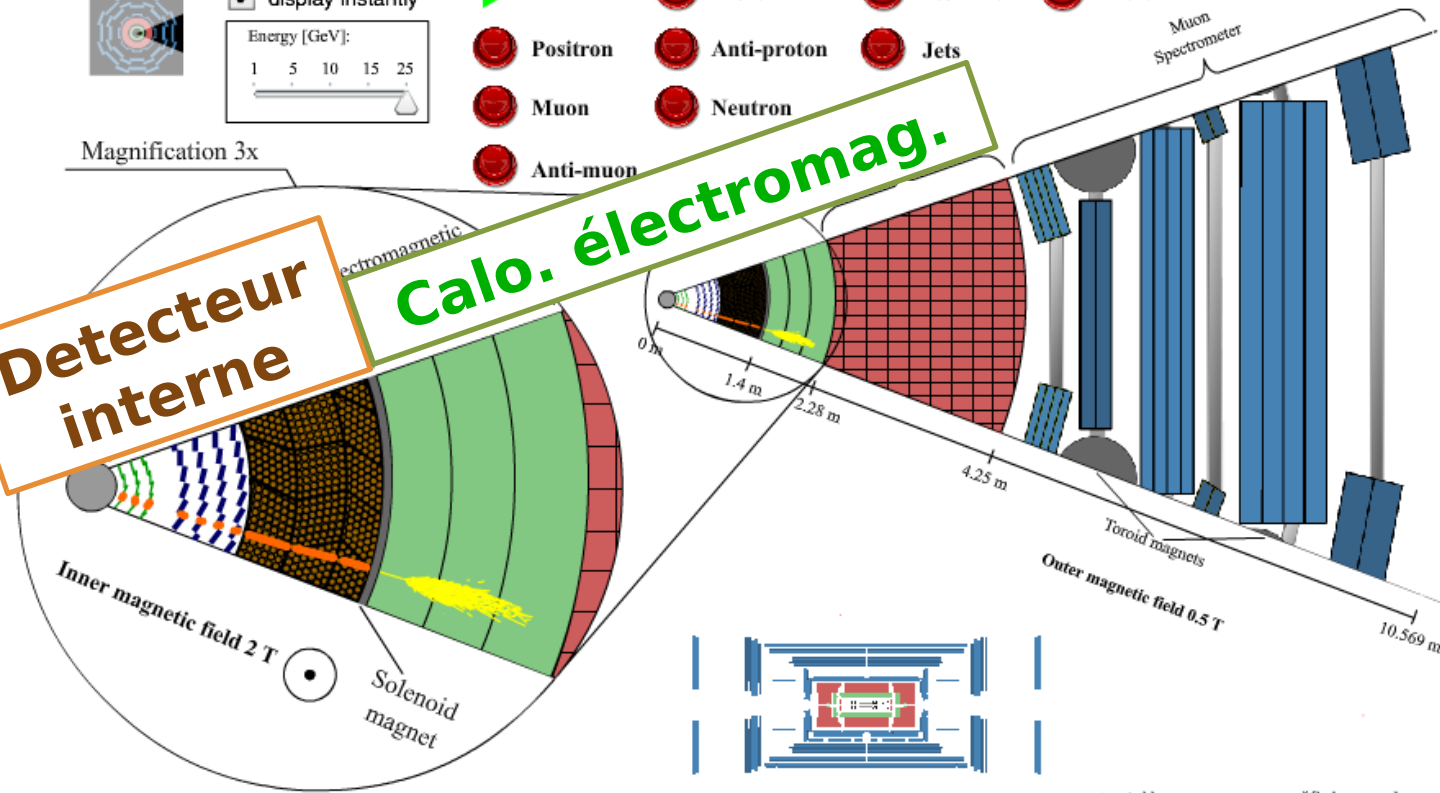
Energy [GeV]:

1 5 10 15 25

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

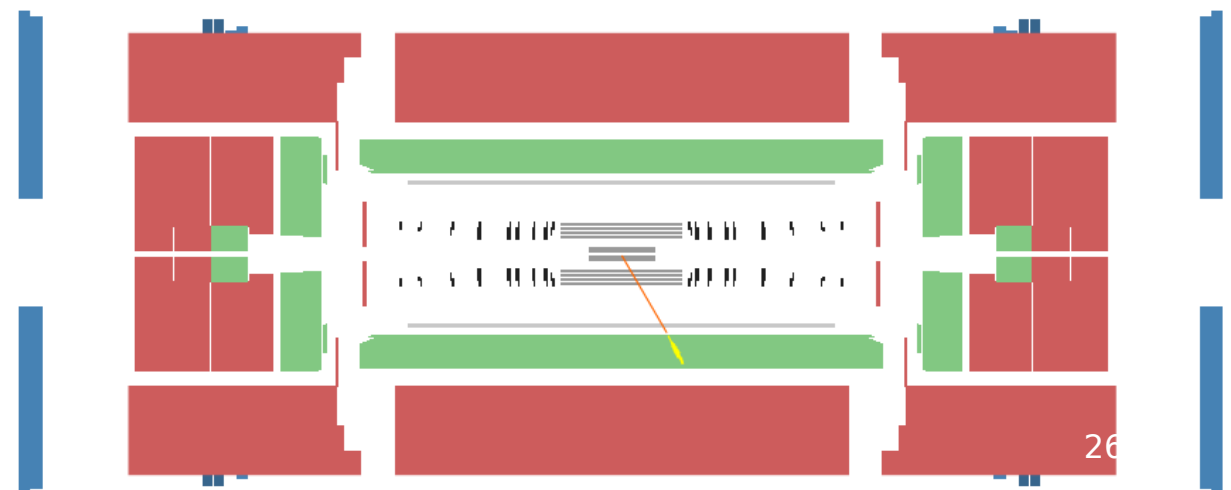
Detecteur interne

Calo. électromag.



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

L'électron
e⁻



ATLAS

animation



☒ display instantly

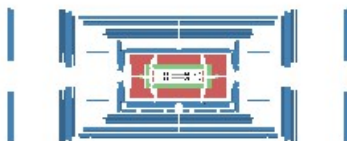
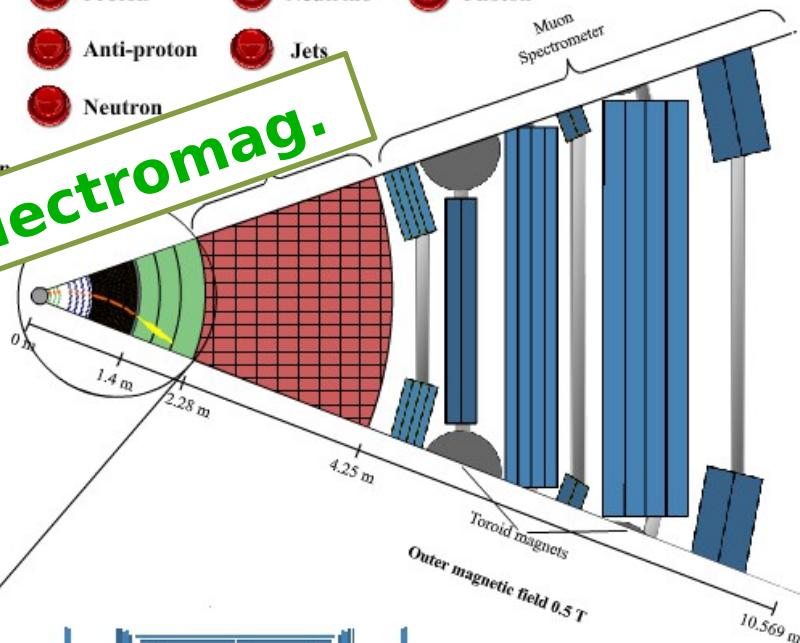
- | | | | |
|-----------|-------------|----------|--------|
| Electron | Proton | Neutrino | Photon |
| Positron | Anti-proton | Jets | |
| Muon | Neutron | | |
| Anti-muon | | | |

Magnification 3x

Detecteur interne

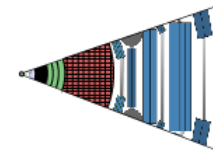
Calo. électromag.

Inner magnetic field 2 T
Solenoid magnet

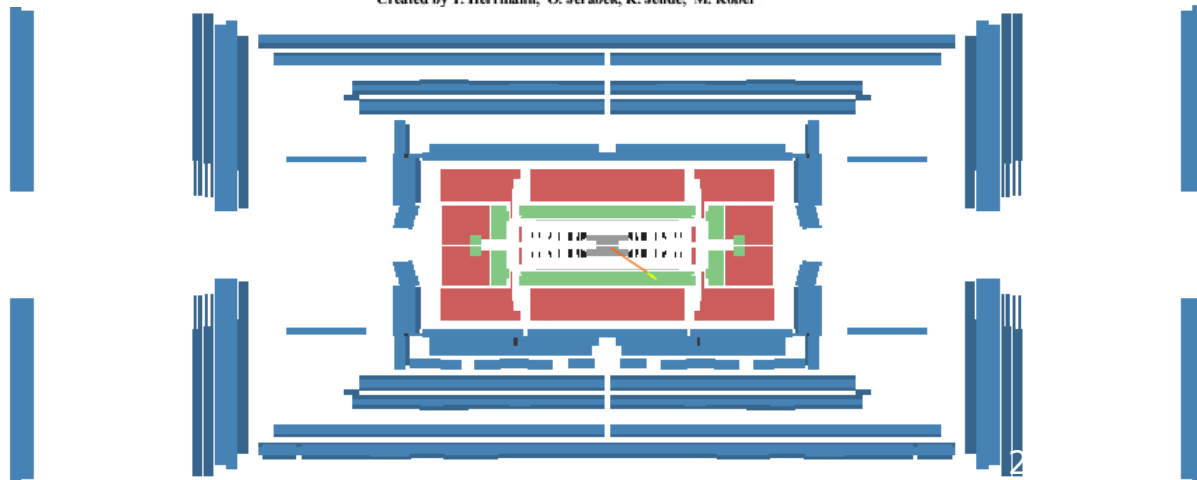


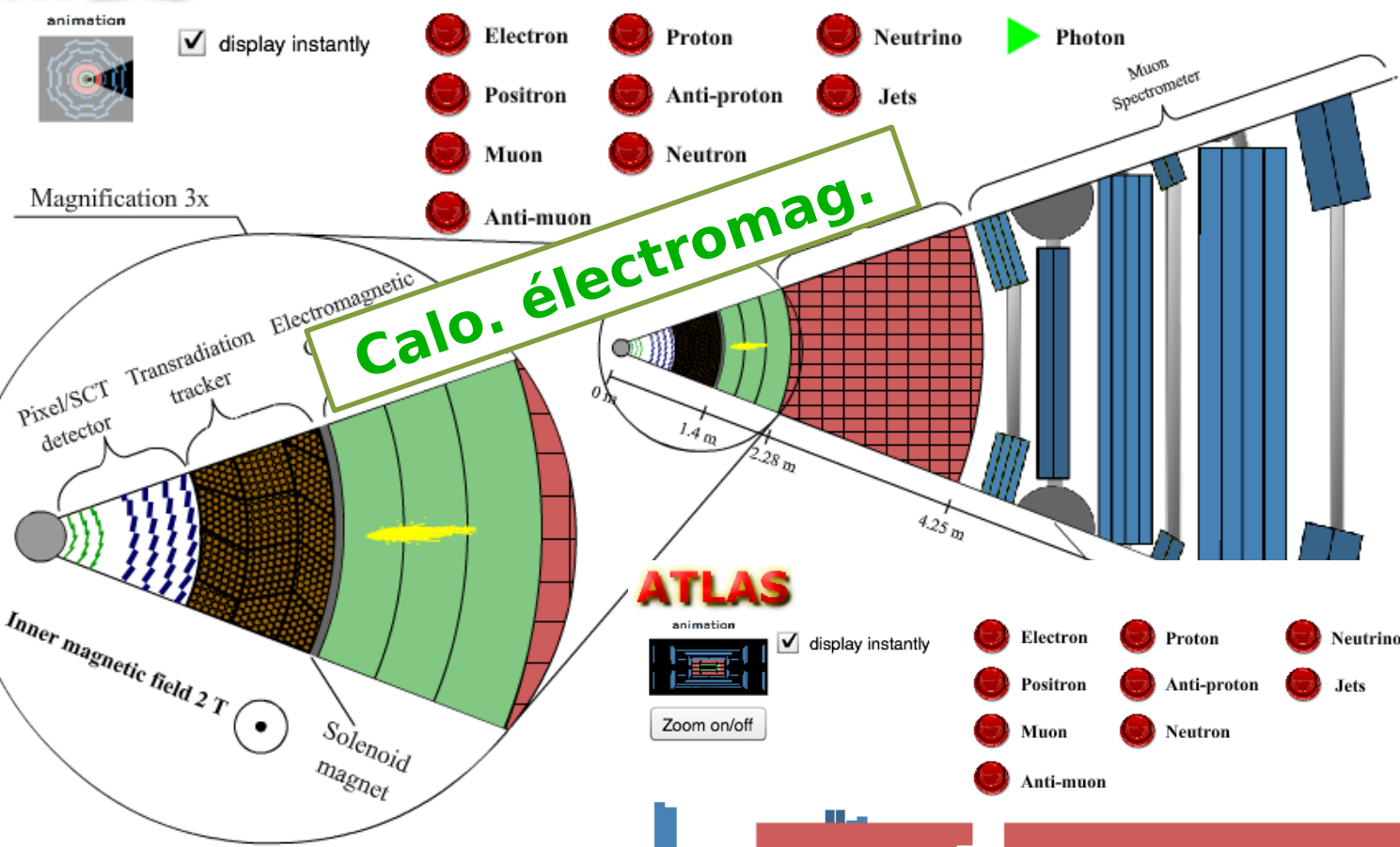
Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

Neutrino Photon

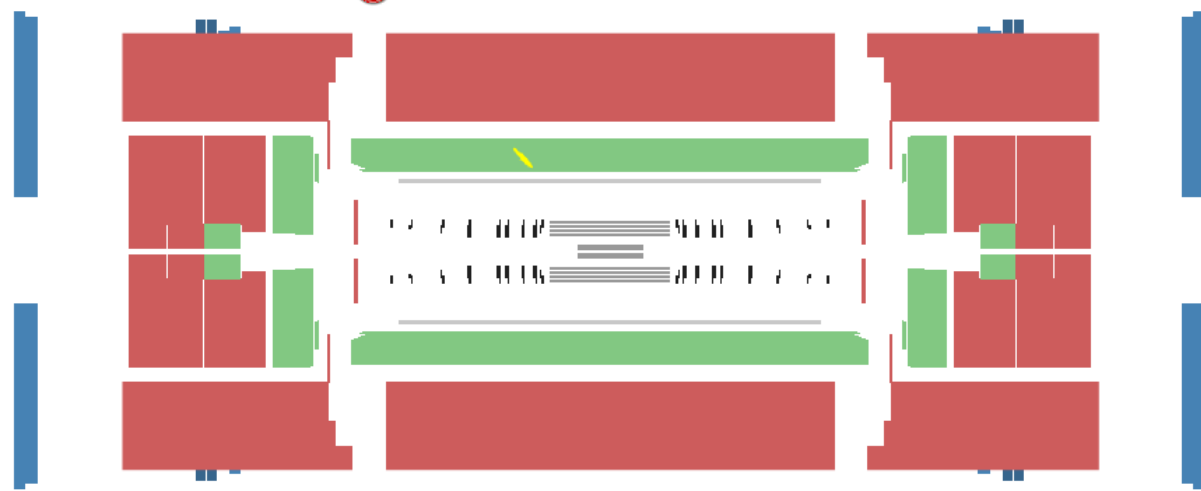


Le positron
 e^+





Le photon g





☒ 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

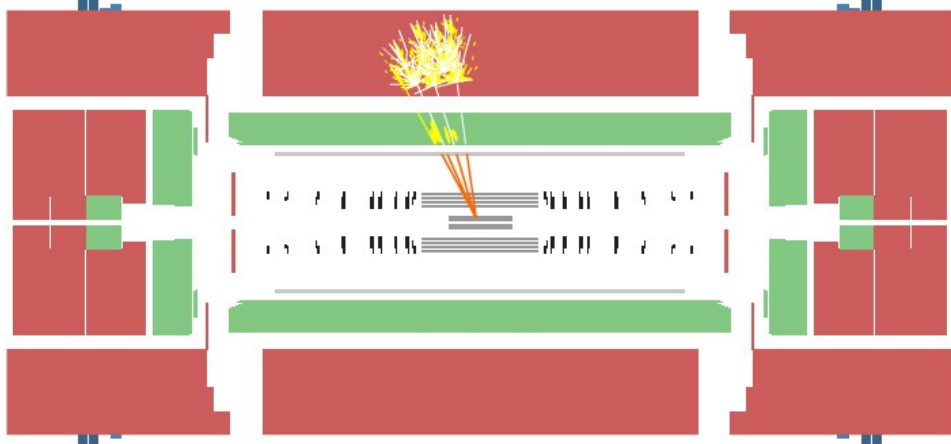
Muon Spectrometer

10.569 m

no Photon

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

les hadrons
Jets





☒ 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

Inner magnetic field 2 T

Solenoid magnet

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

Le muon m^-

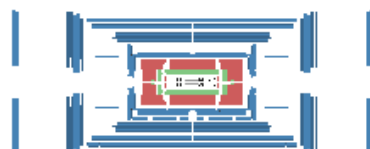
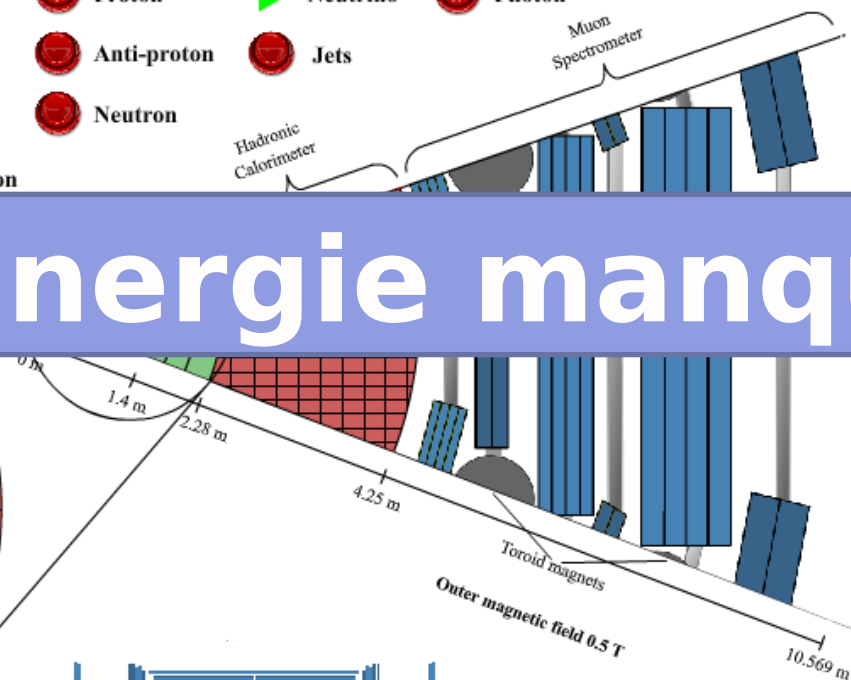
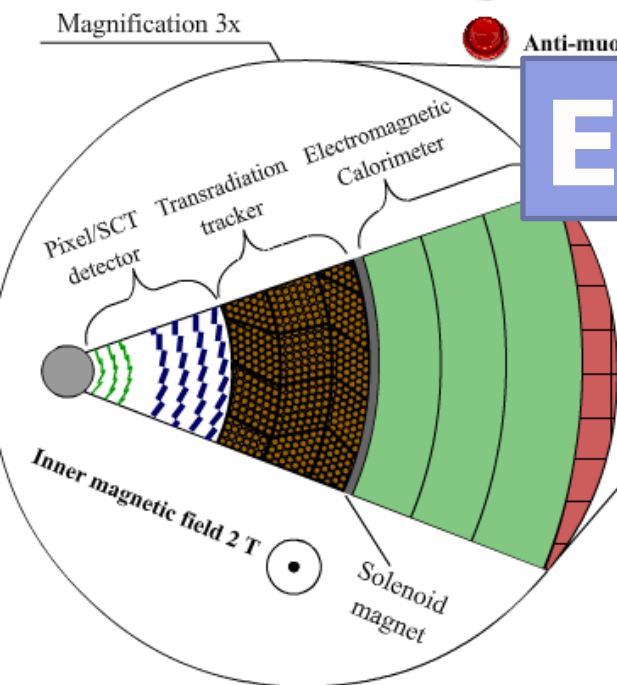
animation



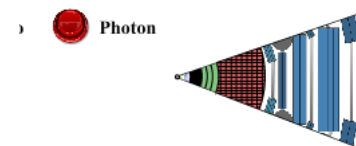
☒ display instantly

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

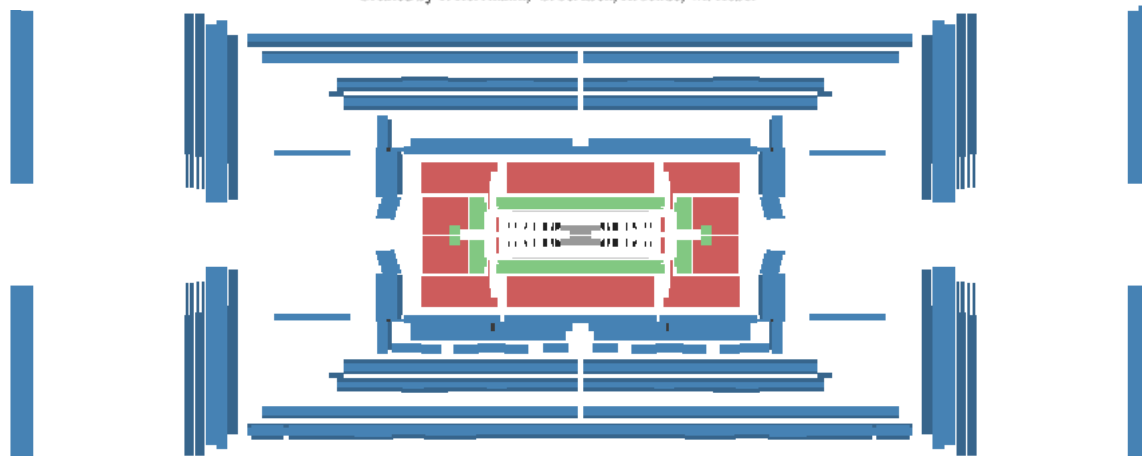
Energie manquante



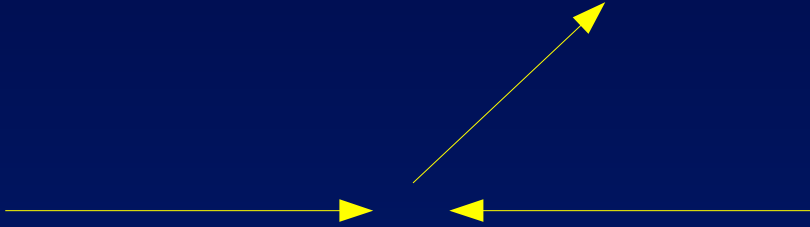
Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel



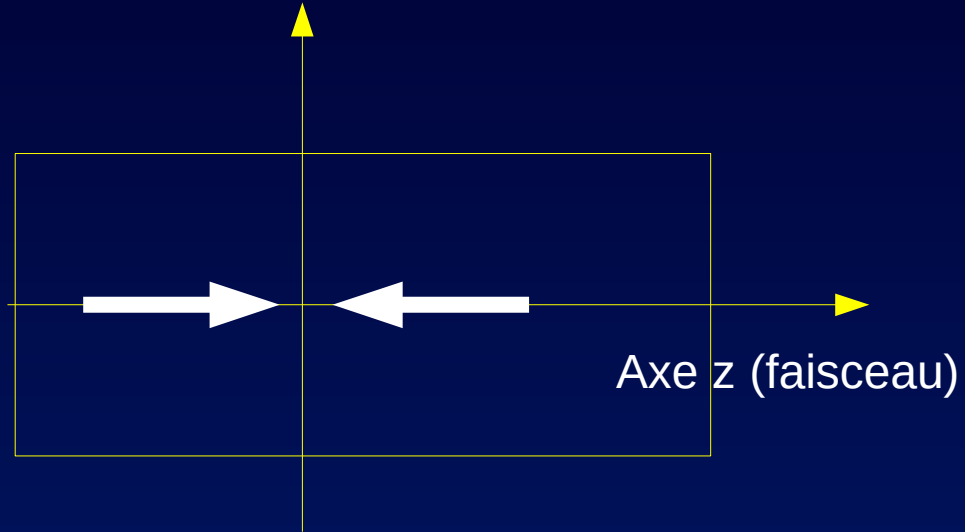
Le neutrino



Masse Invariante



Axe x ou y (transverse)



$k[p_o \rightarrow ; k_o \Rightarrow$

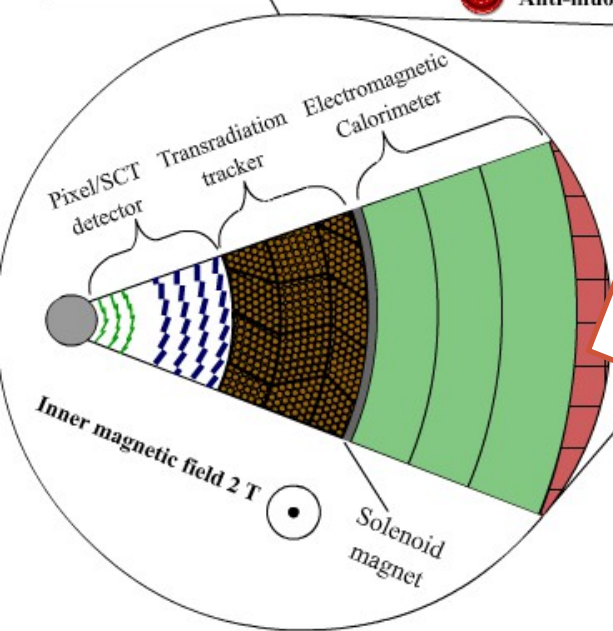
HYPATIA POUR “VOIR” LES PARTICULES



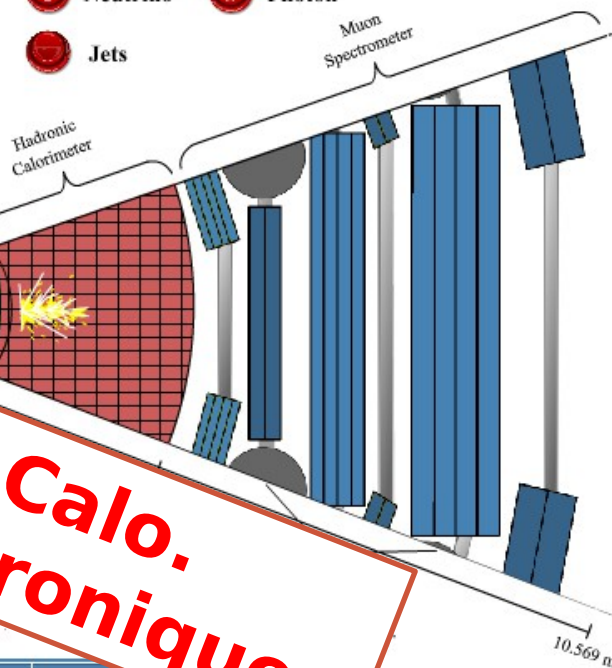
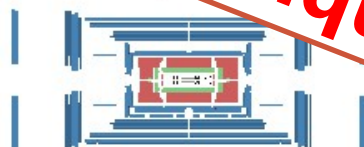
☒ display instantly

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

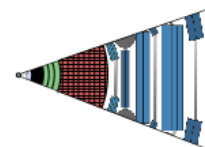
Magnification 3x



**Calo.
hadronique**



ino Photon



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

Le neutron

