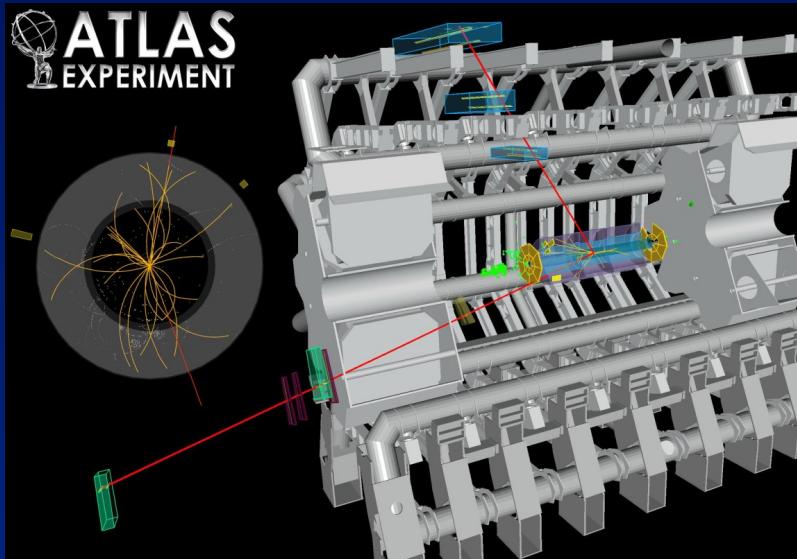


Le parcours Z

Masterclass au LPSC

2017

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



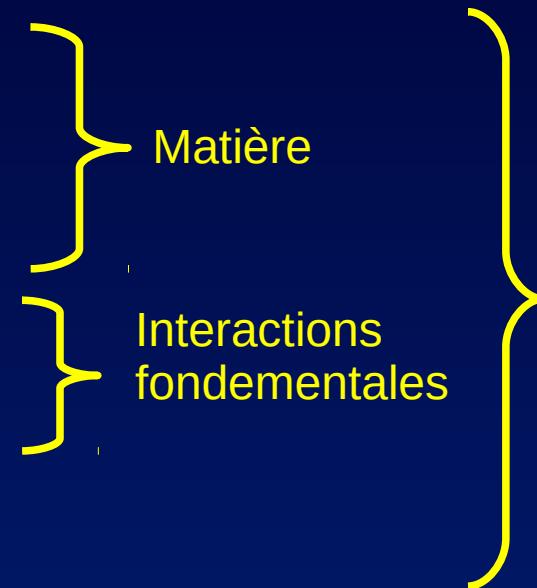
Plan

- 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



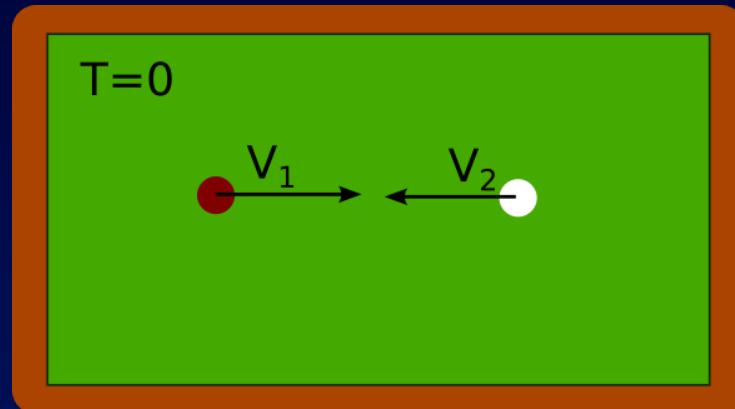
- Les détecteurs et accélérateurs

La Physique Quantique

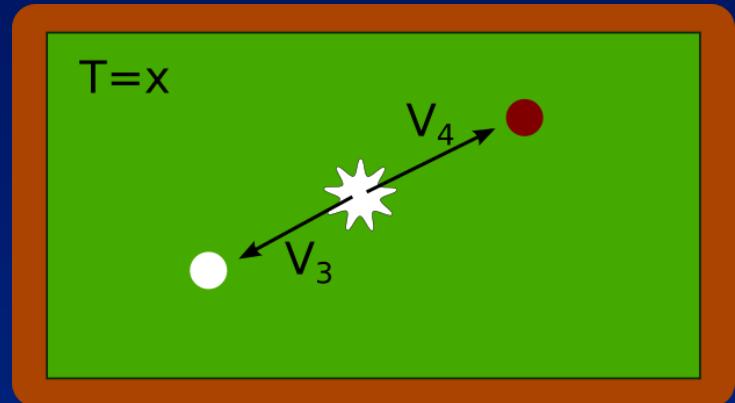
- Le Modèle Standard est une théorie Quantique
 - Issue de la Mécanique Quantique qui décrit les phénomènes microscopiques
- Les prédictions quantiques sont intrinsèquement **aléatoires** !
 - Contrairement à la physique classique/macroscopique

Physique classique

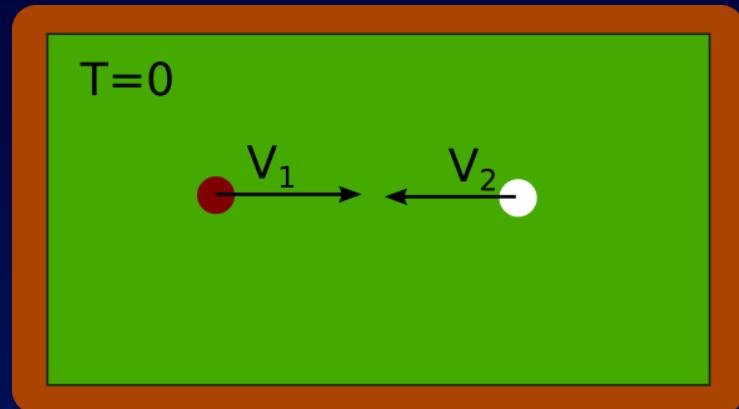
billard



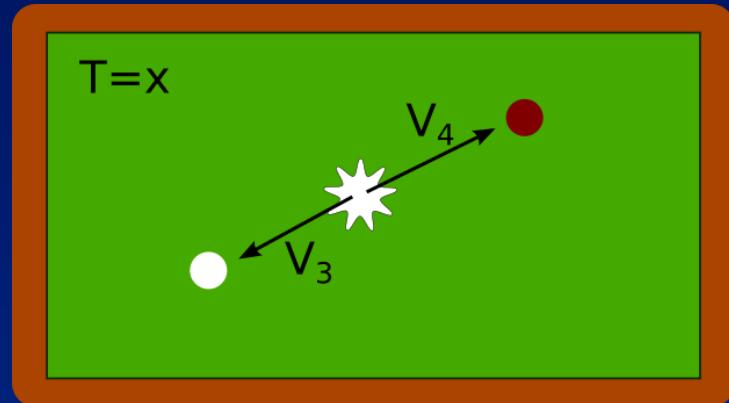
Prédiction classique :
Une configuration unique,
valeurs uniques V_3 , V_4 , x...



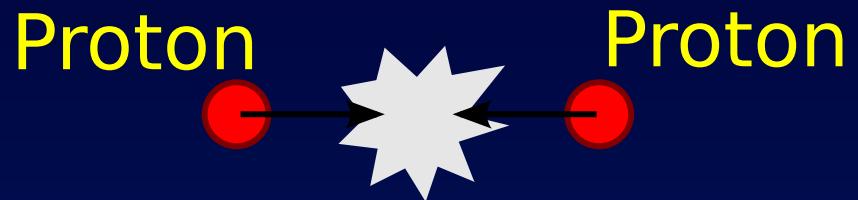
Physique classique billard



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



Physique quantique collision proton-proton



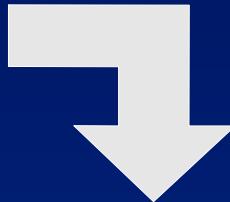
Prédiction quantique :
???

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

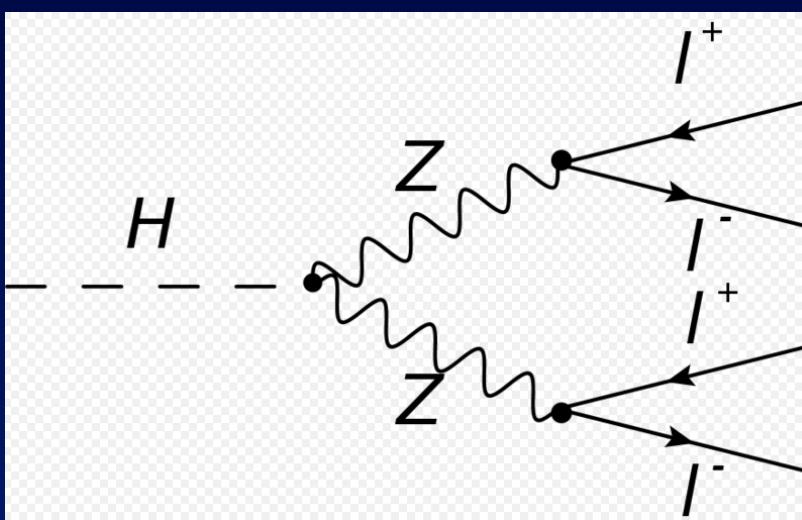
- Le Modèle Standard est une théorie Quantique
 - Issue de la “Mécanique Quantique” : décrit les phénomènes microscopiques
- Les prédictions quantiques sont intrinsèquement aléatoires !
 - Contrairement à la physique classique/macroscopique
- Le MS ne prédit que des probabilités d'occurrences
 - On mesure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

Désintégrations

- Les particules intéressantes (H, Z, \dots) sont **instables**
 - Se désintegrent en particules plus légères :
 - électron
 - muons
 - photons
 - quarks \rightarrow Jets hadroniques
 - neutrinos
- 
- On ne peut observer qu'un état final composé de ces particules...

Principe d'une Analyse

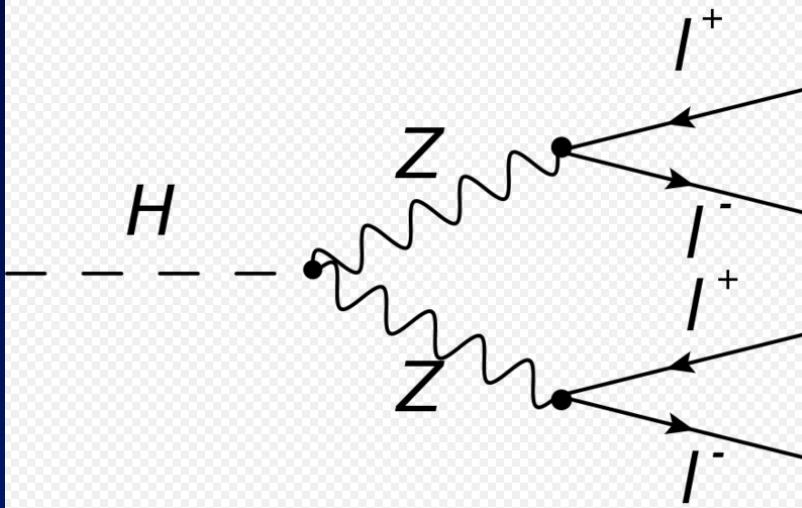
1) On choisit quel processus on cherche !
ex : Boson de Higgs en 4 leptons



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}

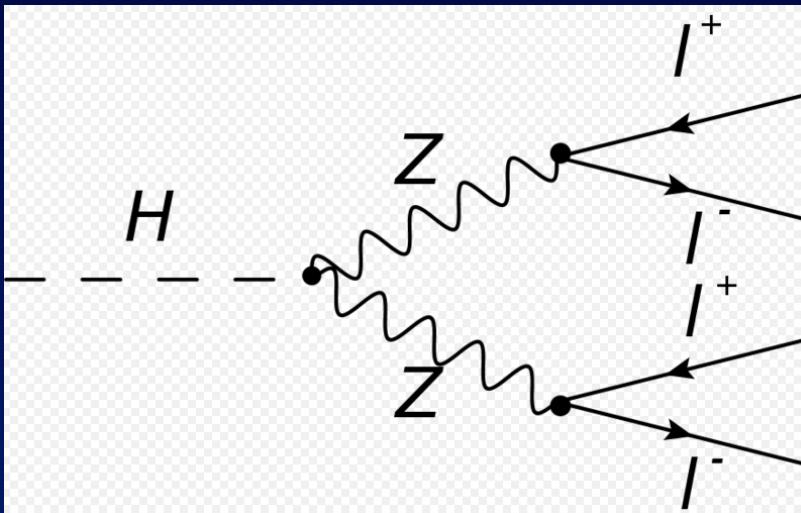
Dépend de

- 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
- ...

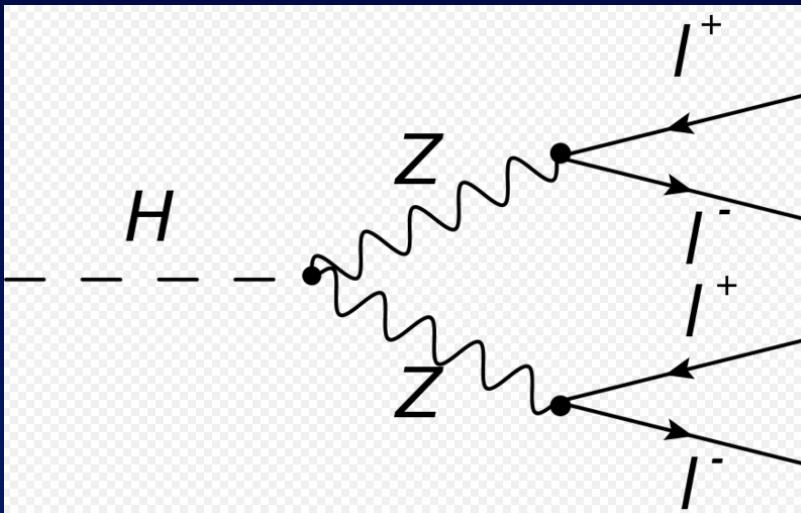
3) Expérience !

- 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) 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 **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

muons
hadrons
(m)

- Identifier

Les combinaisons

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

Calcul de la “masse invariante”
de l’évènement :

<==>

la masse de la combinaison des leptons ou
des photons

<==>

la masse de la particule mère
(si elle existe)

et les compter !

Objectifs du TD

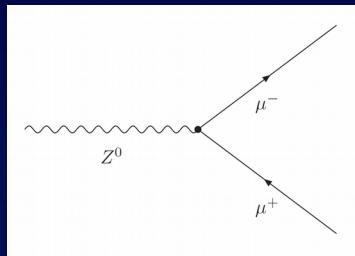
- Représenter les distributions de masse invariantes des différents bosons et higgs (réaliser une simulation)
 - Identifier les bosons et les higgs
 - Les détecter
 - 2 leptons (Higgs)
 - 4 leptons (Higgs)
 - 2 photons (Higgs)
-
- ATLAS Preliminary
Data 2010, $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$
- $\int L \approx 40 \text{ pb}^{-1}$
EF_mu15
- Nombre d'événements
- masse invariante [GeV]
- J/ψ
- ω/ρ
- φ
- ψ'
- $Y(1S)$
- $Y(2S)$
- Z

et les compter !

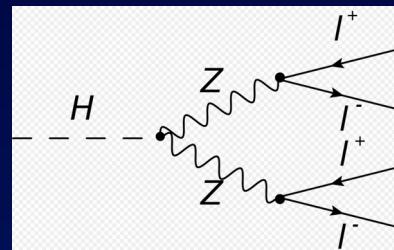
Résumé

On choisit les événements qui nous intéressent

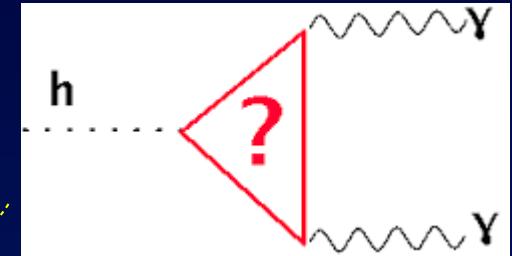
2 leptons



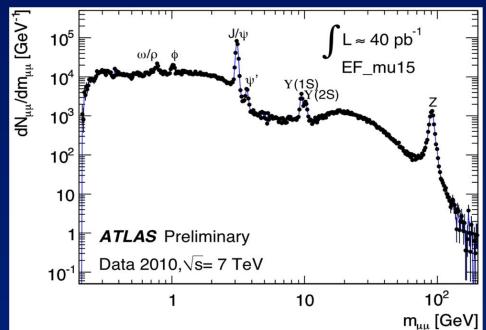
4 leptons



2 photons



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



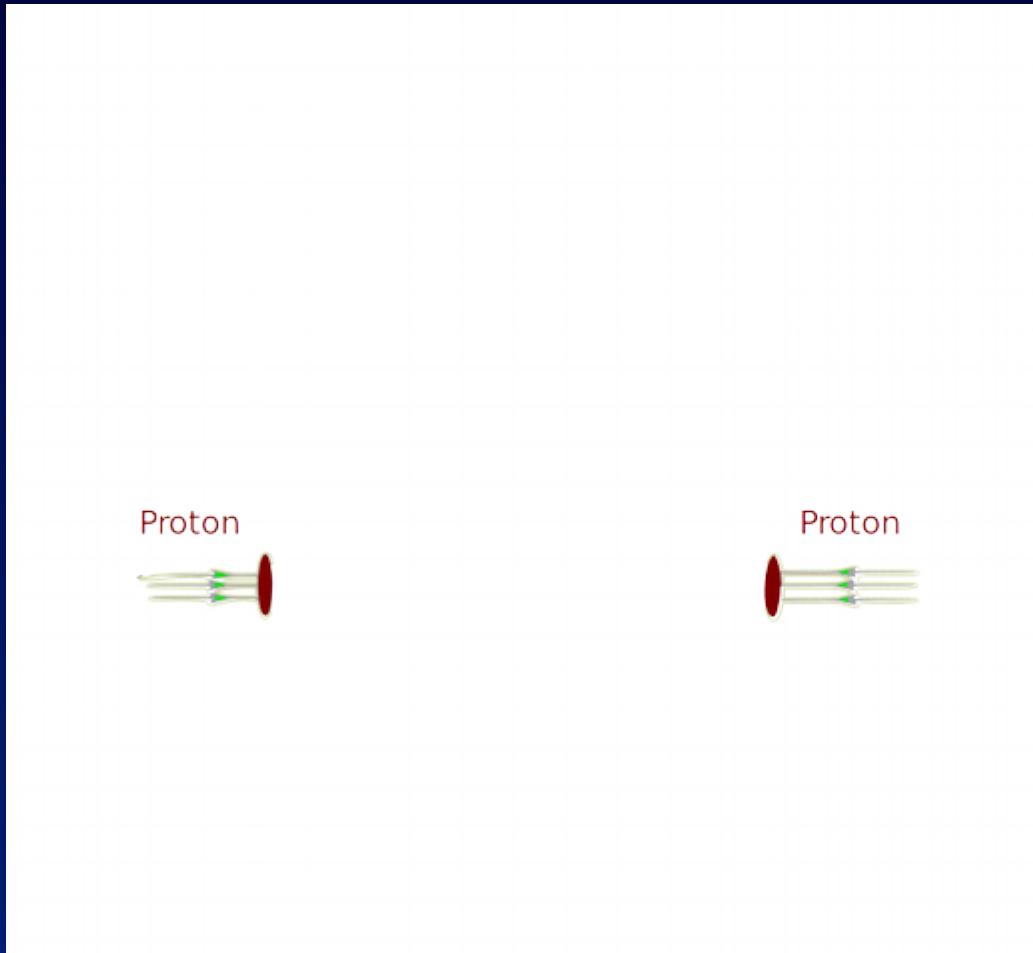
?

?

On compare à la théorie...

Comment identifier et classer
les événement ?

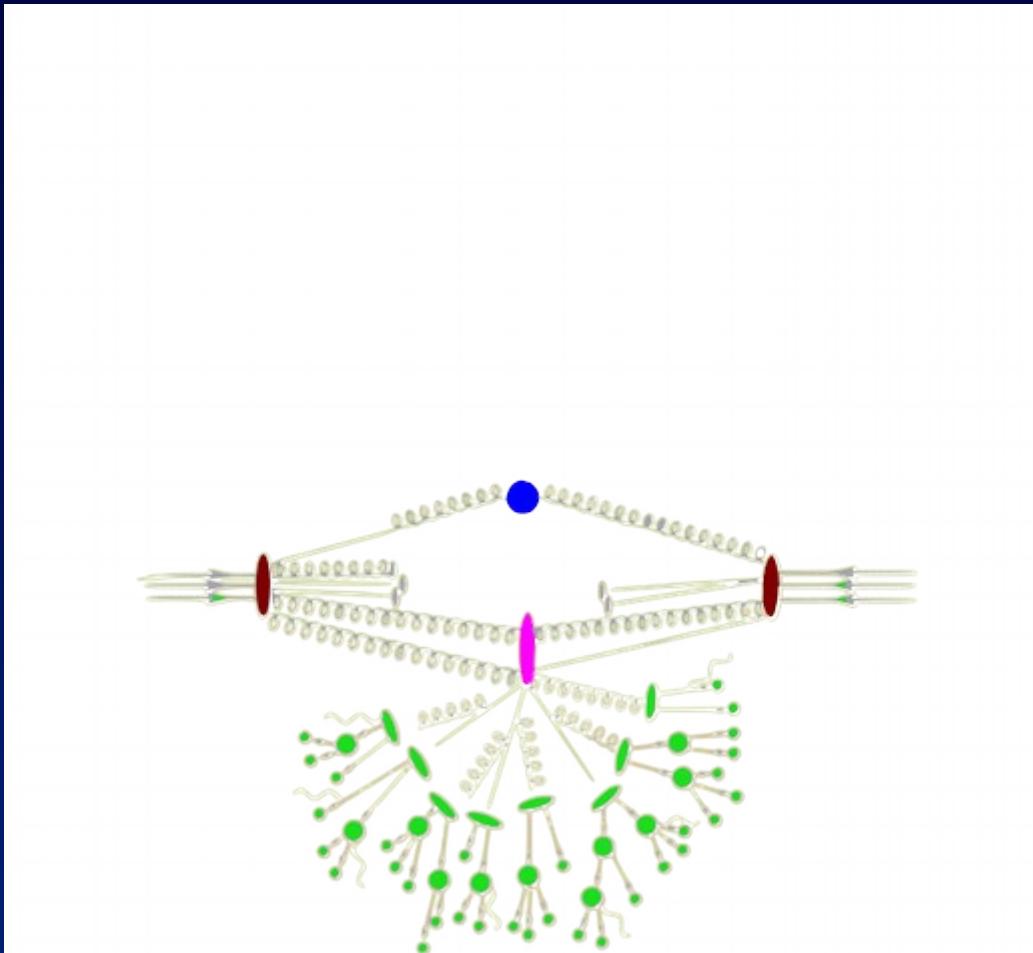
Une collision



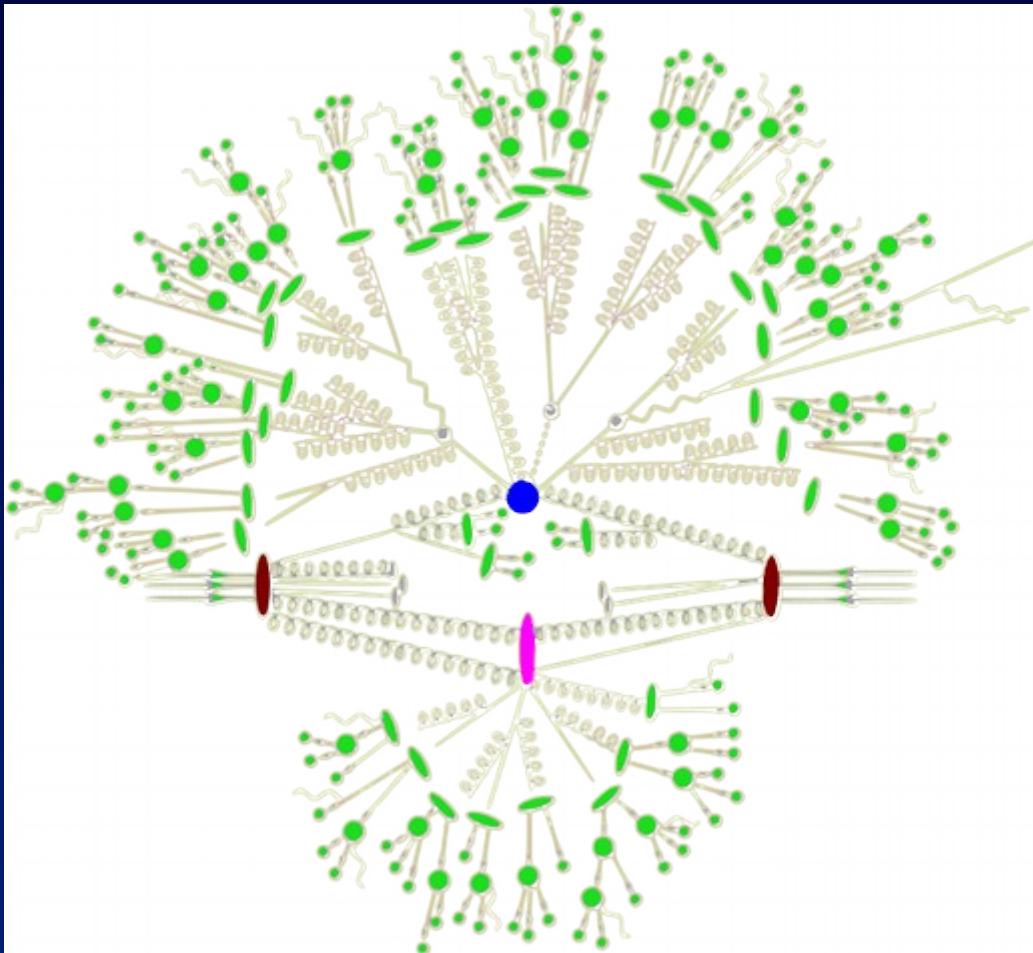
Une collision



Une collision

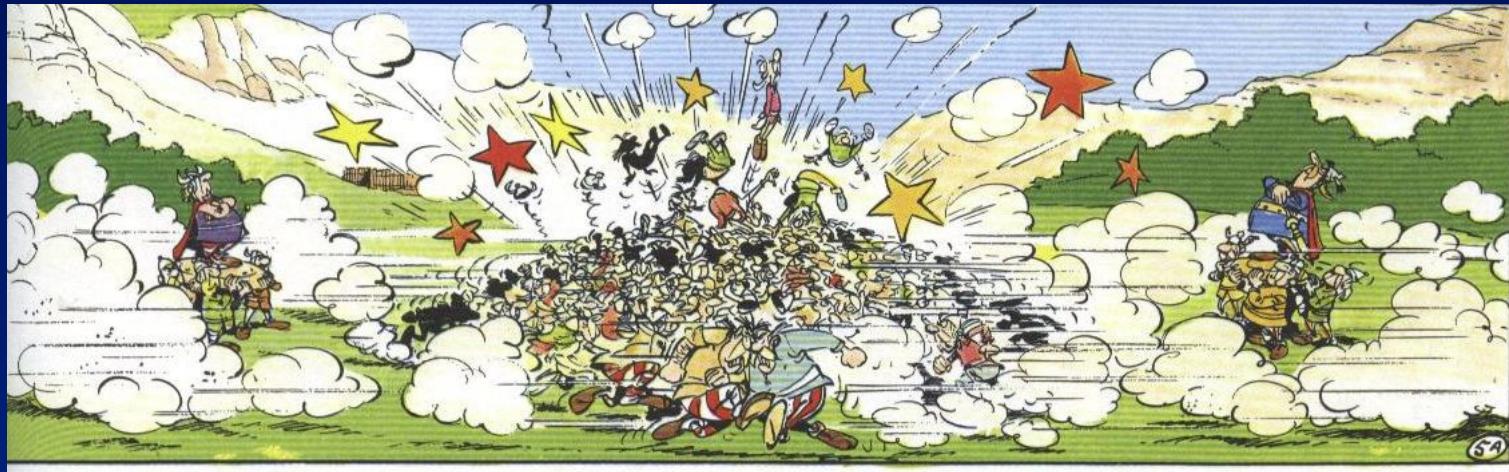


Une collision



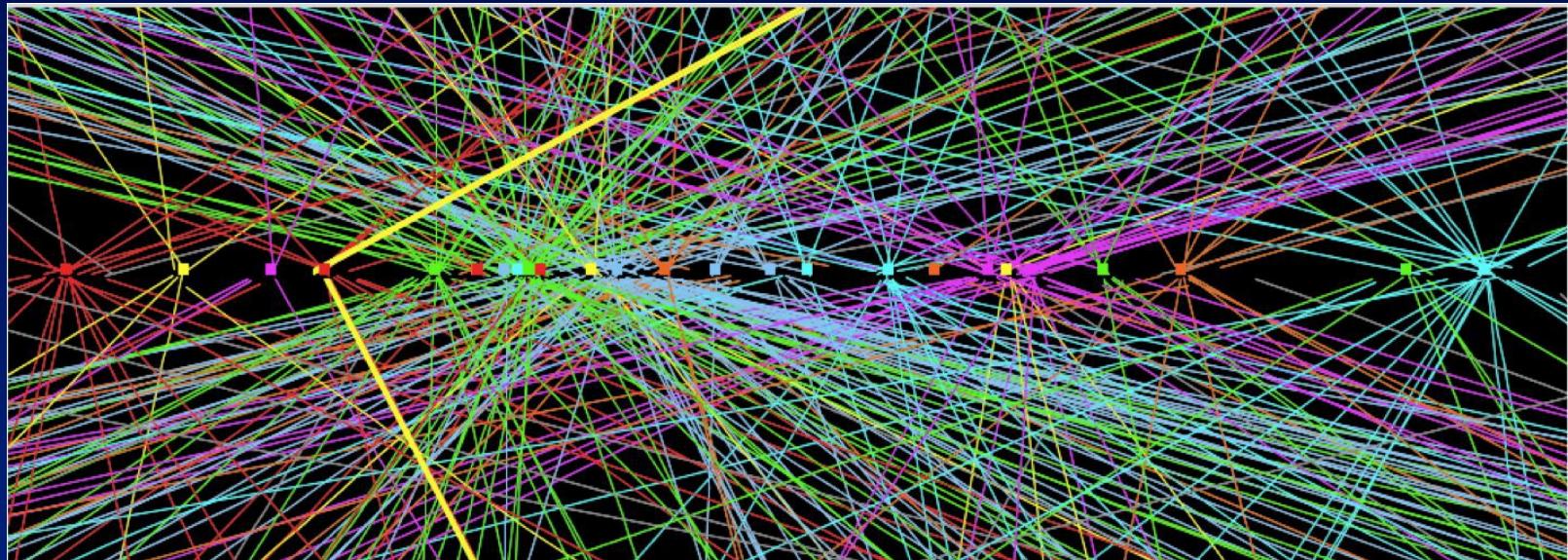
Collisions

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 détecteur pour quelle particule ?

Calorimètre hadronique



Calorimètre électromagnétique

Chambres à muons



Détecteur interne pixel trajectographe



animation

display instantly

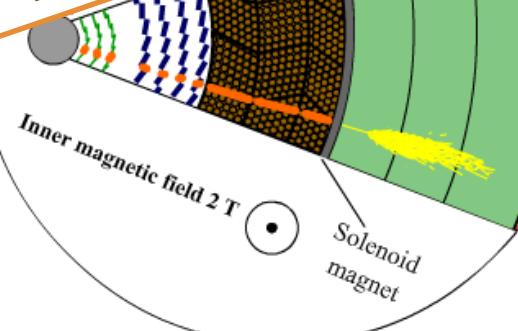
Energy [GeV]:

1 5 10 15 25

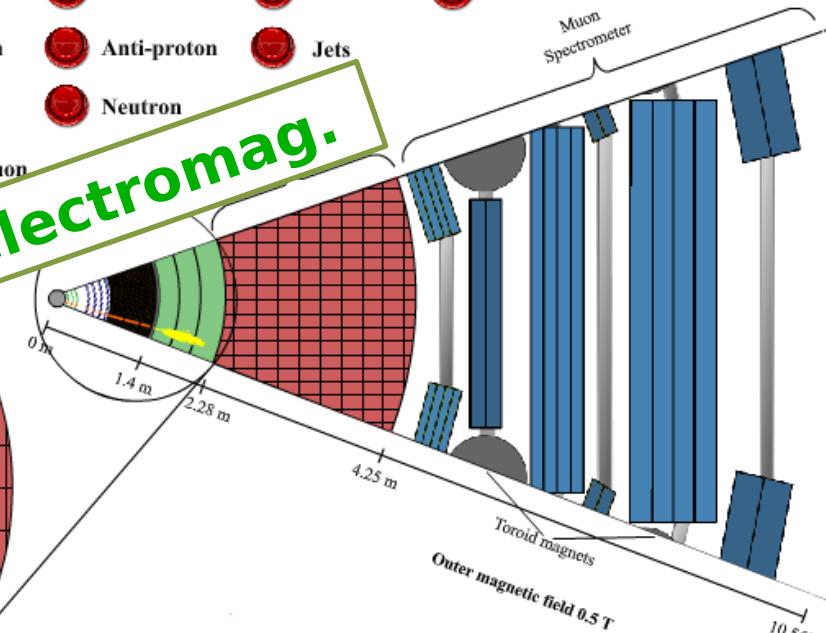
Magnification 3x

Detecteur interne

electromagnetic



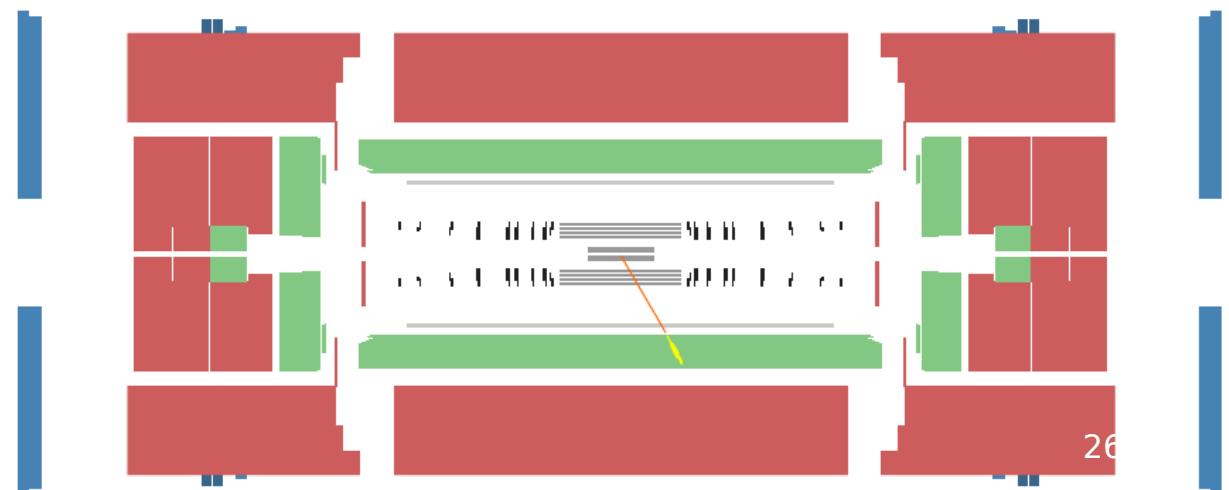
- ▶ Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- Positron
- Anti-proton
- Jets
- Muon
- Neutron
- Anti-muon



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

L'electron

e^-





animation

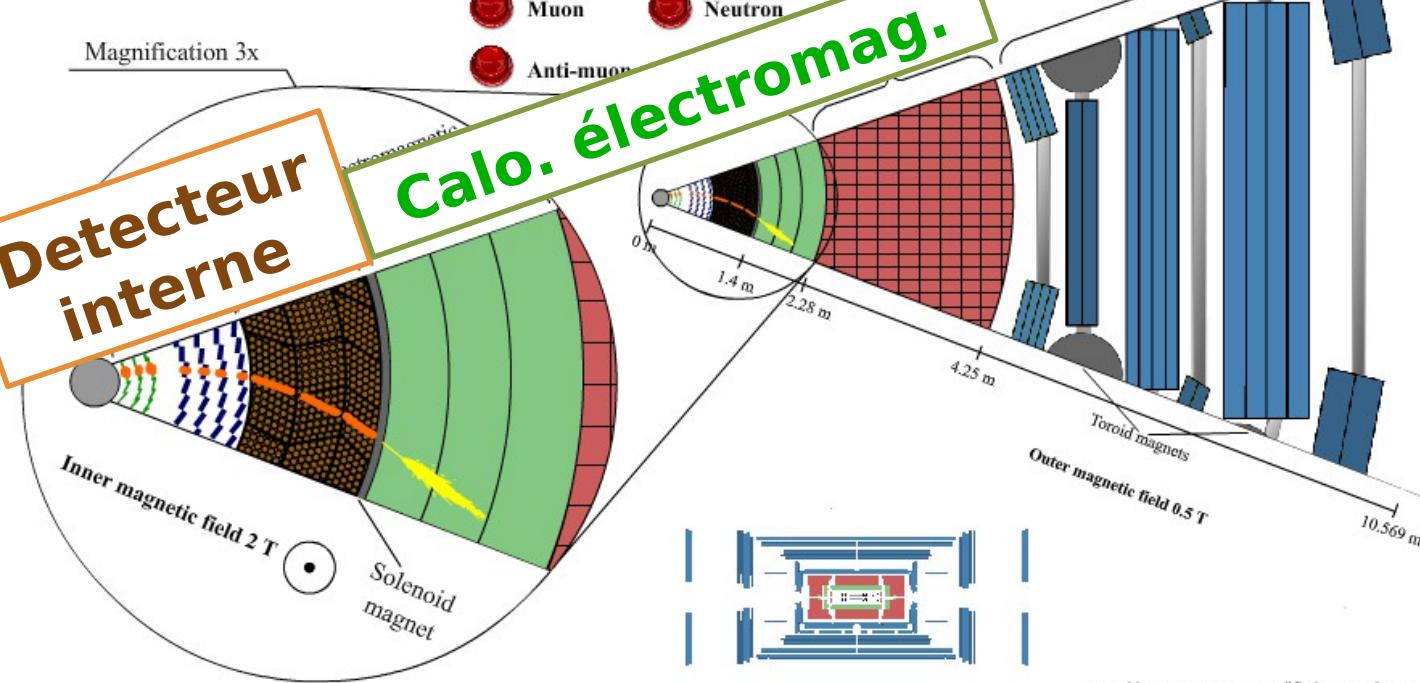
display instantly

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

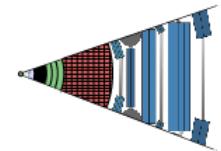
Magnification 3x

Detecteur interne

Calo. électromag.

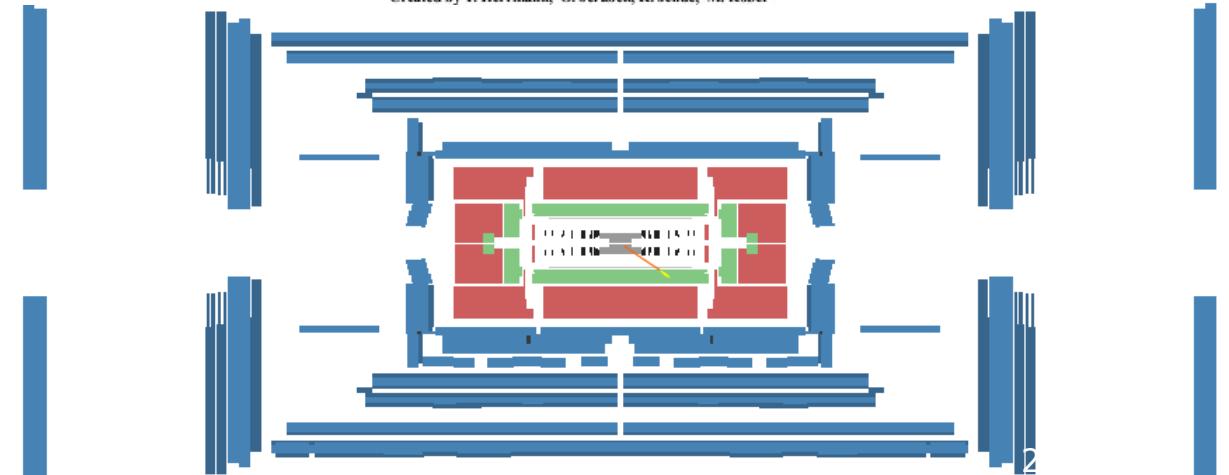


Photon



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

Le positron e⁺



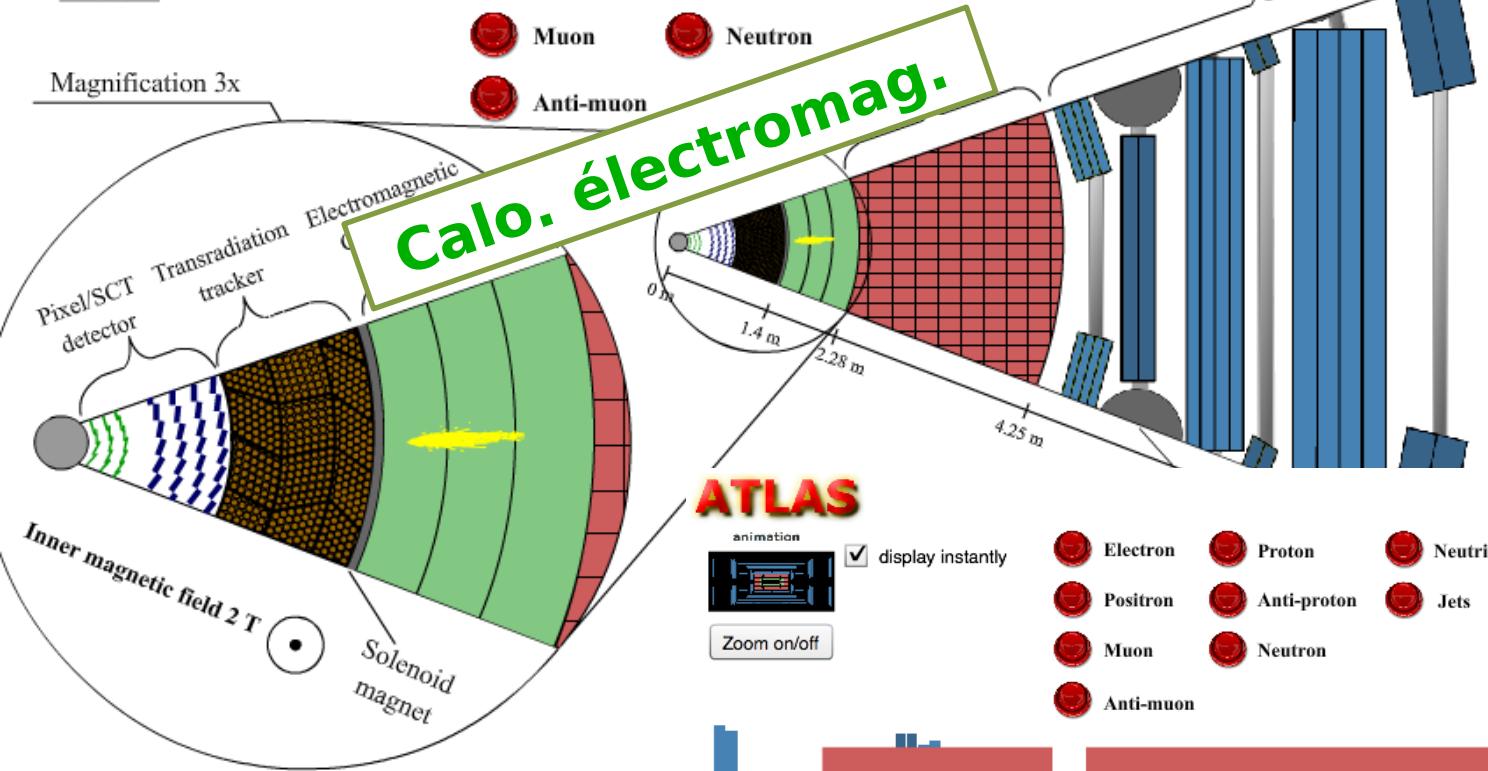


animation

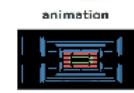
 display instantly

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

Magnification 3x

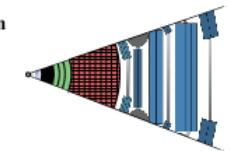


ATLAS


 display instantly

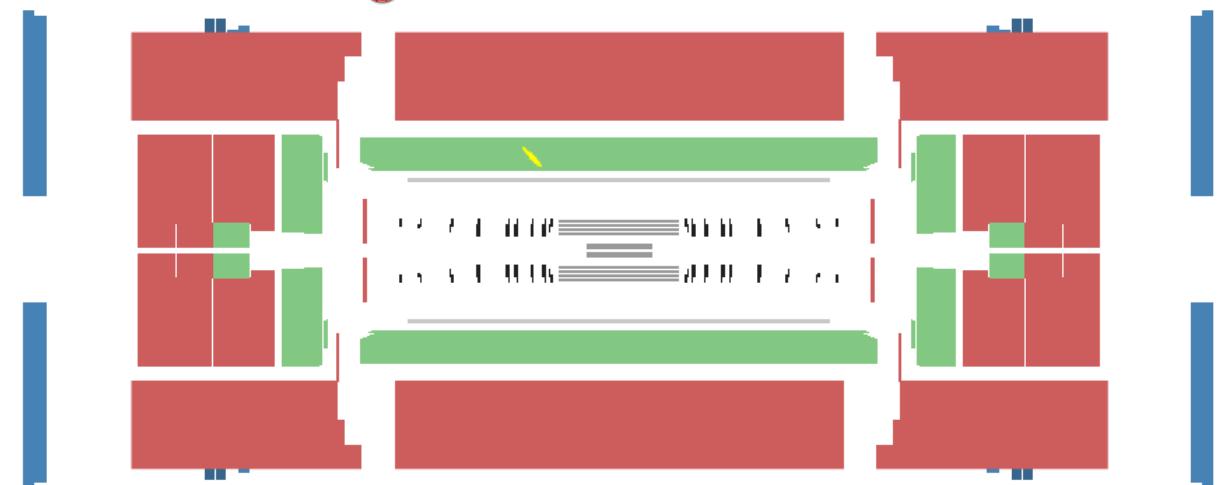
- Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- Positron
- Anti-proton
- Jets
- Muon
- Neutron
- Anti-muon

Zoom on/off



Le photon

g





animation

 display instantly

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

Magnification 3x

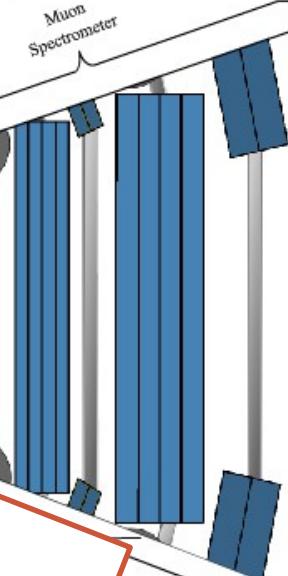
Detecteur
interne

Inner magnetic field 2 T

tromagnetic

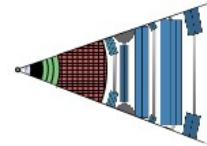
Calo. électromag.

Calo.
hadronique



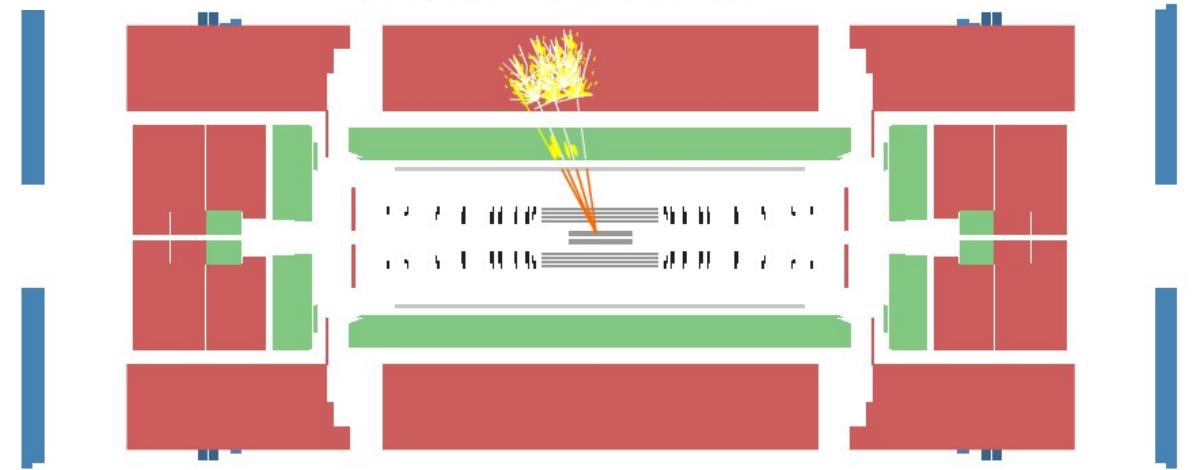
10.569 m

no Photon



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

les hadrons Jets



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

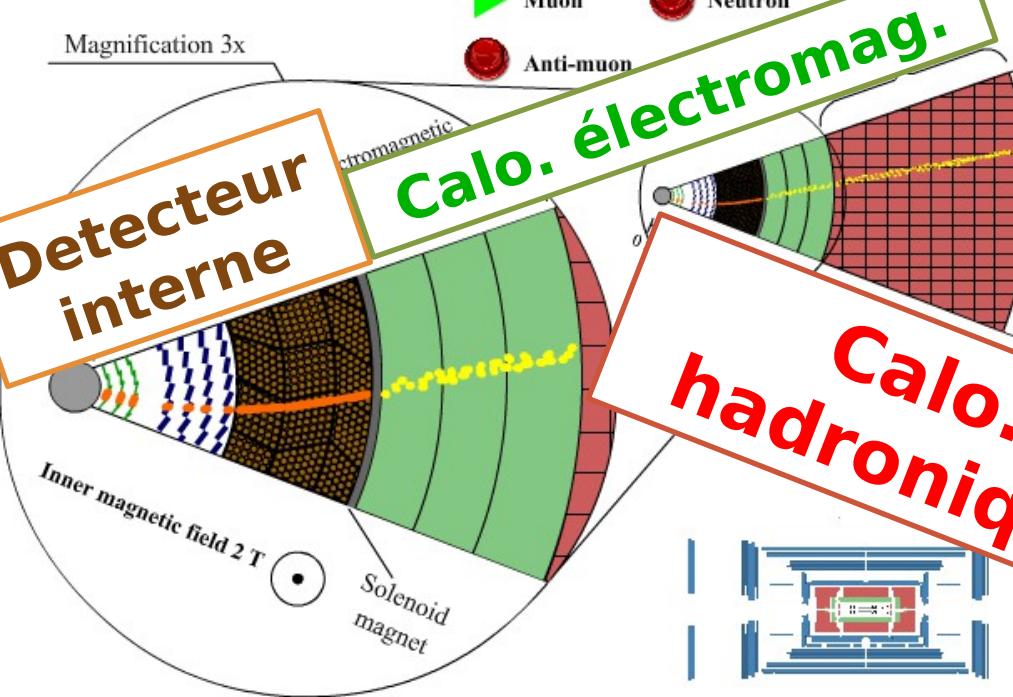


animation

 display instantly

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

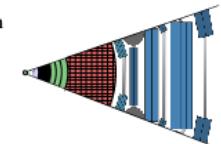
Magnification 3x



Chambres à muons

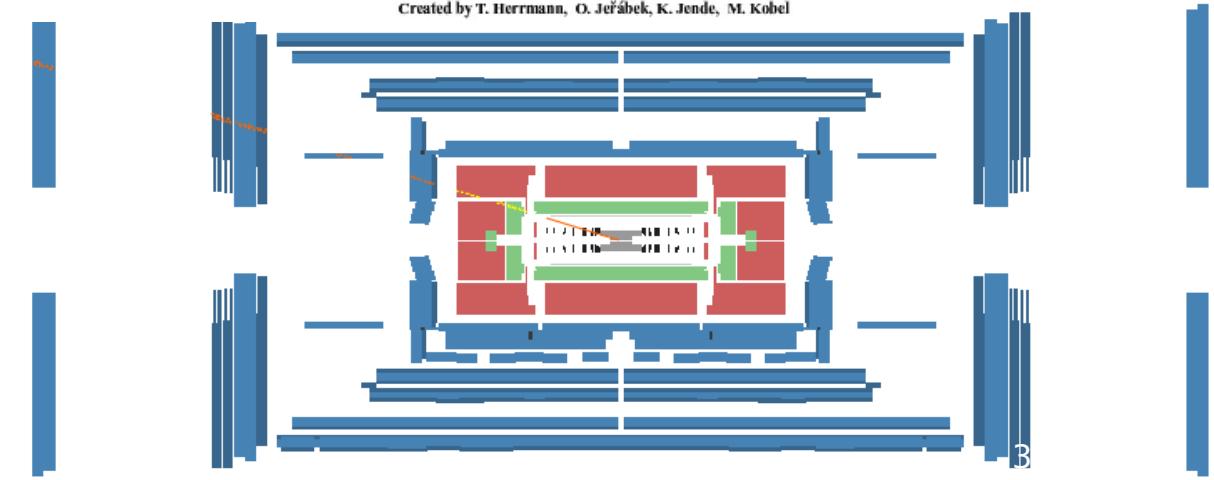
Calo.
hadronique

ino ● Photon



Le muon m^-

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





animation

 display instantly

Electron

Positron

Muon

Anti-muon

Proton

Anti-proton

Neutron

Neutrino

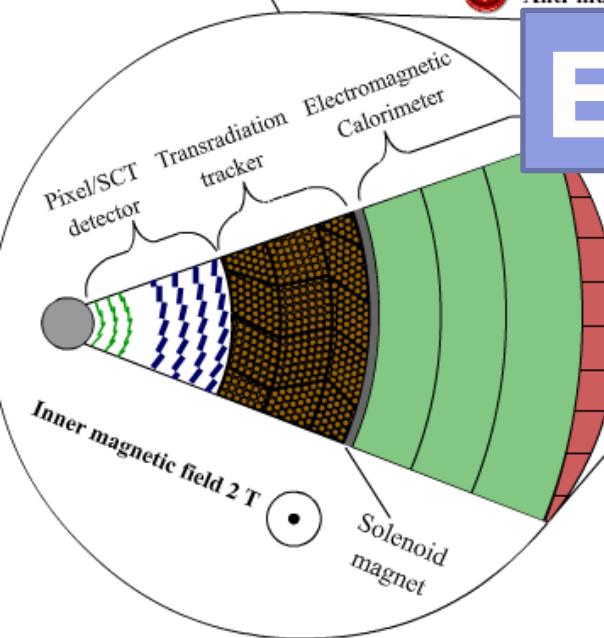
Jets

Photon

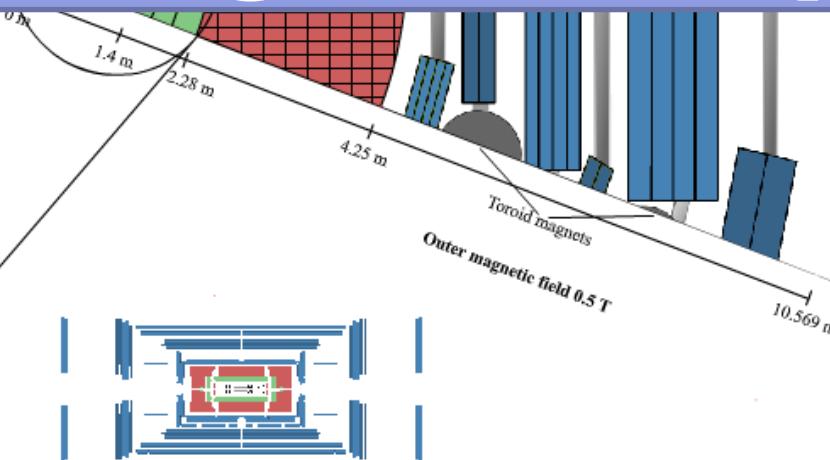
Muon Spectrometer

Hadronic Calorimeter

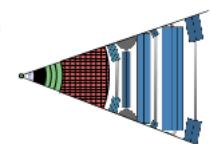
Magnification 3x



Energie manquante

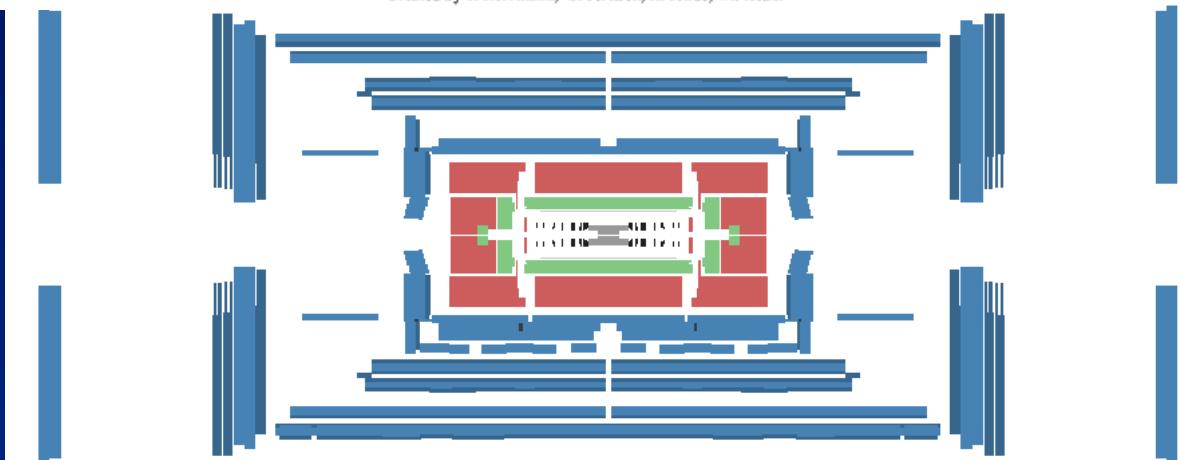


Photon



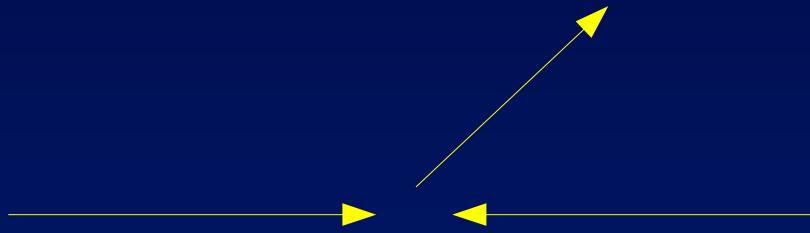
Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

Le neutrino n

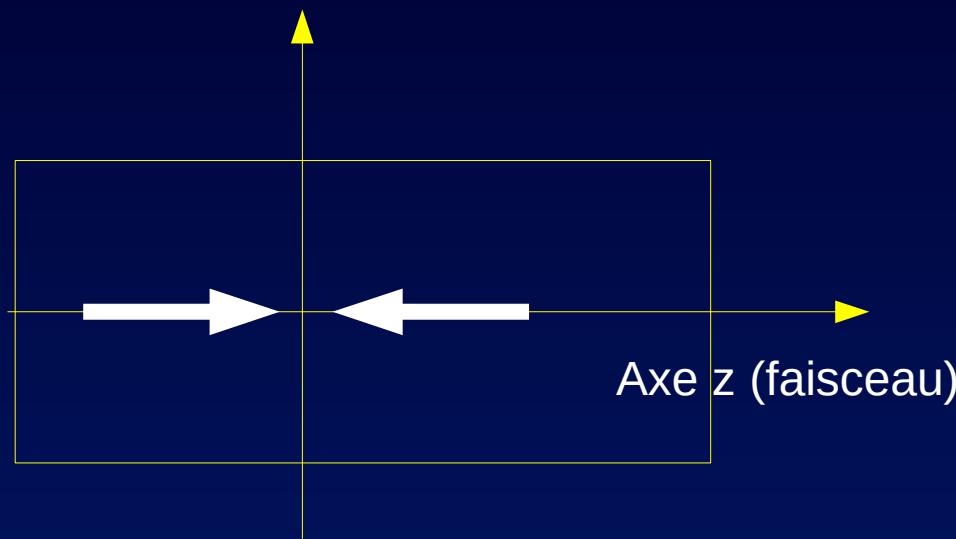


Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

Masse Invariante



Axe x ou y (transverse)



$k[po \rightarrow ;;kko \Rightarrow$

**HYPATIA POUR “VOIR”
LES PARTICULES**


 display instantly

Electron

Positron

Muon

Anti-muon

Proton

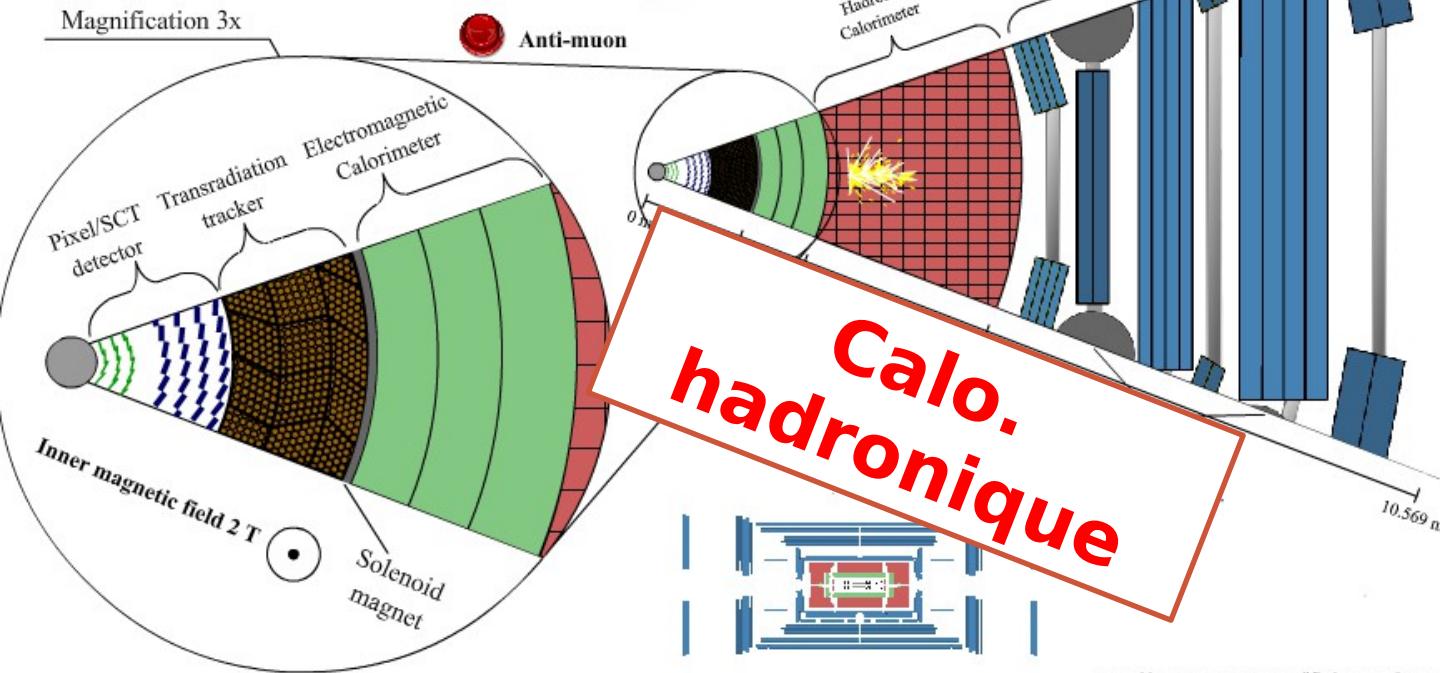
Anti-proton

Jets

Neutrino

Photon

Muons



ino Photon

Le neutron n

