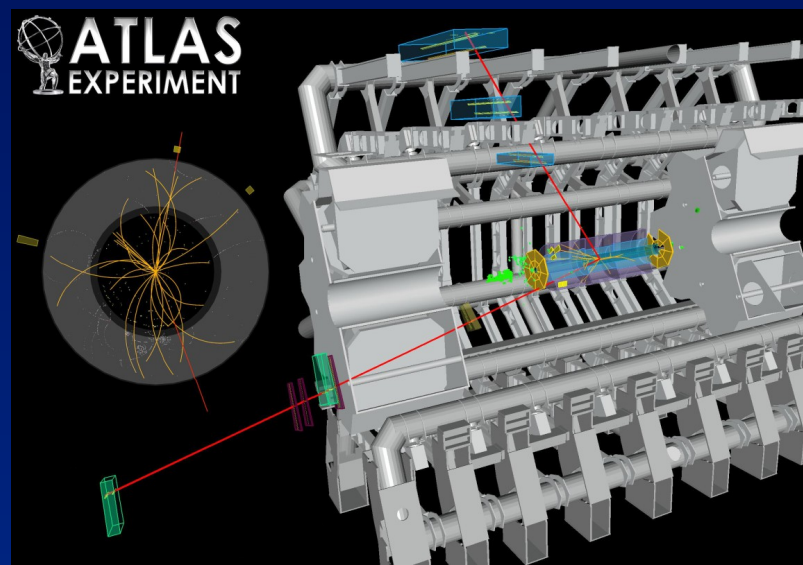


Le parcours Z

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)**

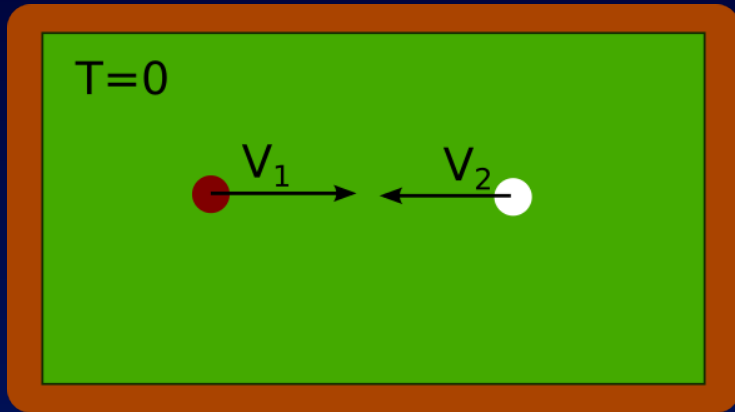
- Les détecteurs et accélérateurs

La Physique Quantique

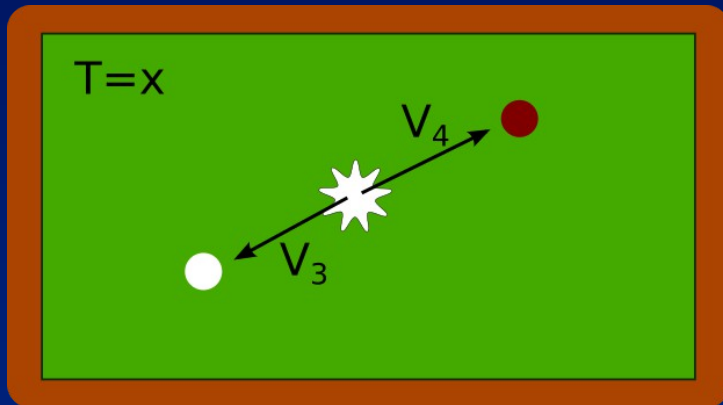
- Le Modèle Standard est une théorie Quantique
 - Issue de la Mécanique Quantique qui décrit les phénomènes microscopiques
- Les prédictions quantiques sont intrinsèquement aléatoires !
 - Contrairement à la physique classique/macroscopique

Physique classique

billard

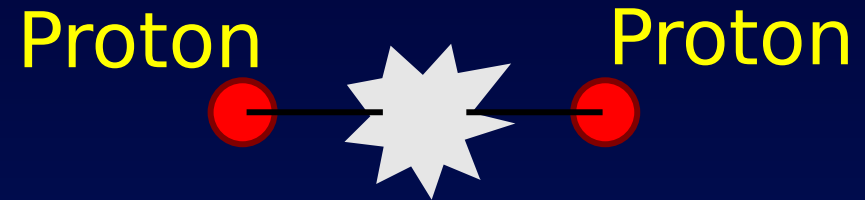


Prédiction classique :
Une configuration unique,
valeurs uniques V_3 , V_4 , $x...$



Physique quantique

collision proton-proton



Prédiction quantique :
???

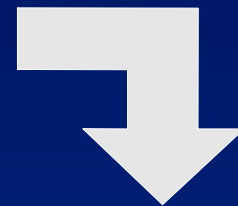
déviatiion protons : $X_1\%$ de chances
création quark tops : $X_2\%$ de chances
création boson W : $X_3\%$ de chances
création boson H : $X_4\%$ de chances
... etc ...

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

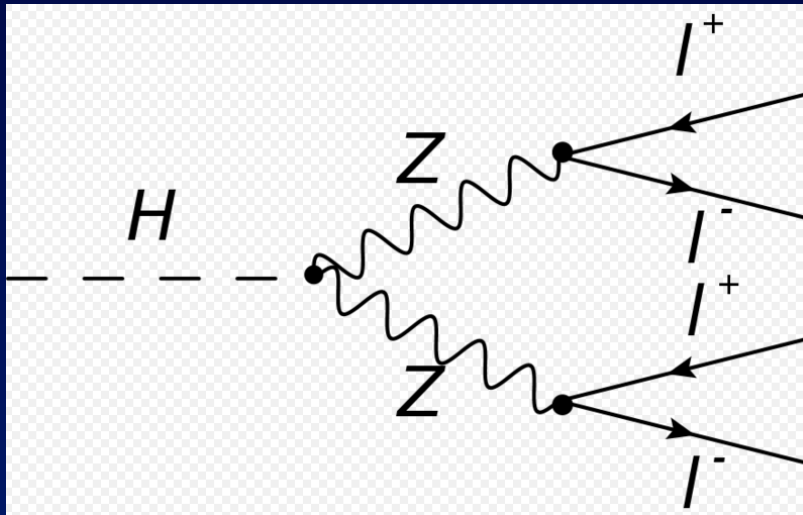


On ne peut observer qu'un état final composé de ces particules...

Principe d'une Analyse

1) On choisit quel processus on cherche !

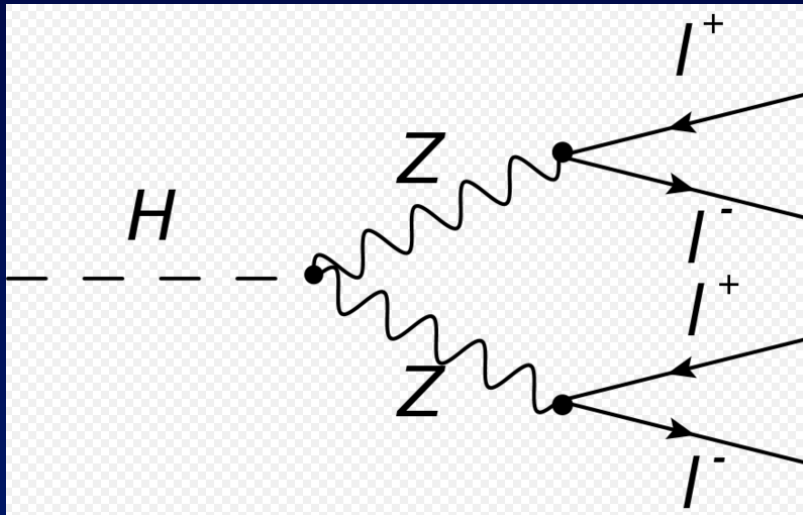
ex : Boson de Higgs en 4 leptons



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}

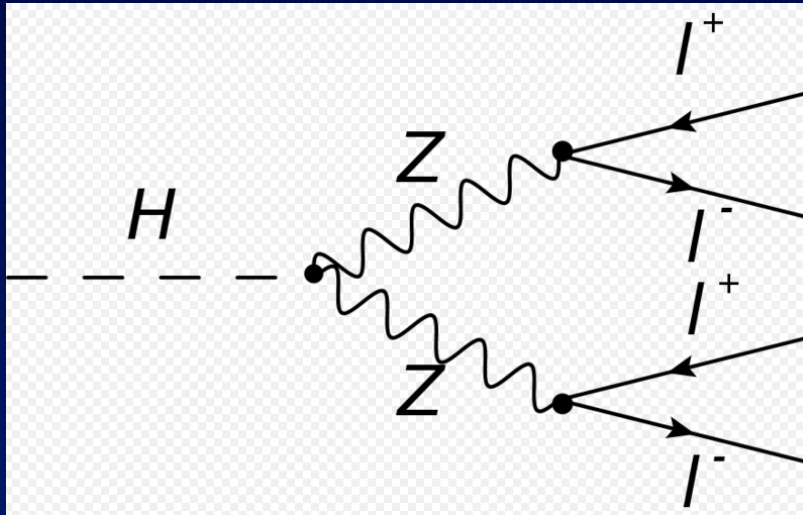
Dépend de

- 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
- ...

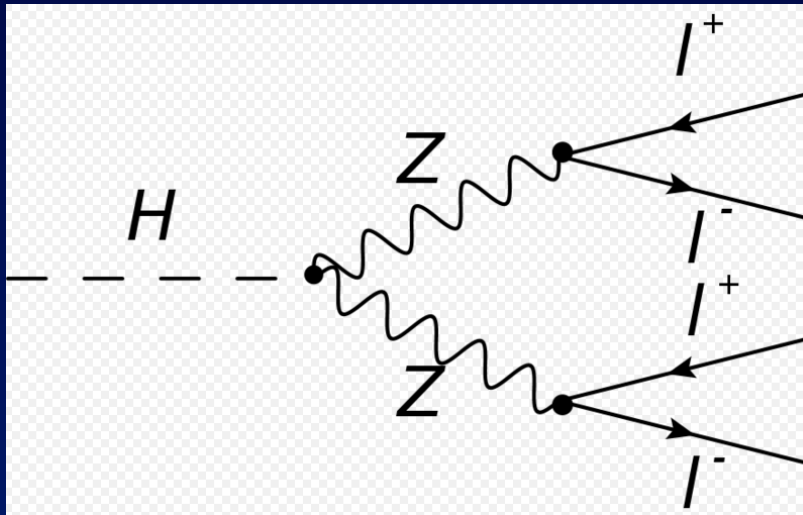
3) Experience !

- 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 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 détectée par ATLAS

muons μ , électrons e , photons γ , 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)

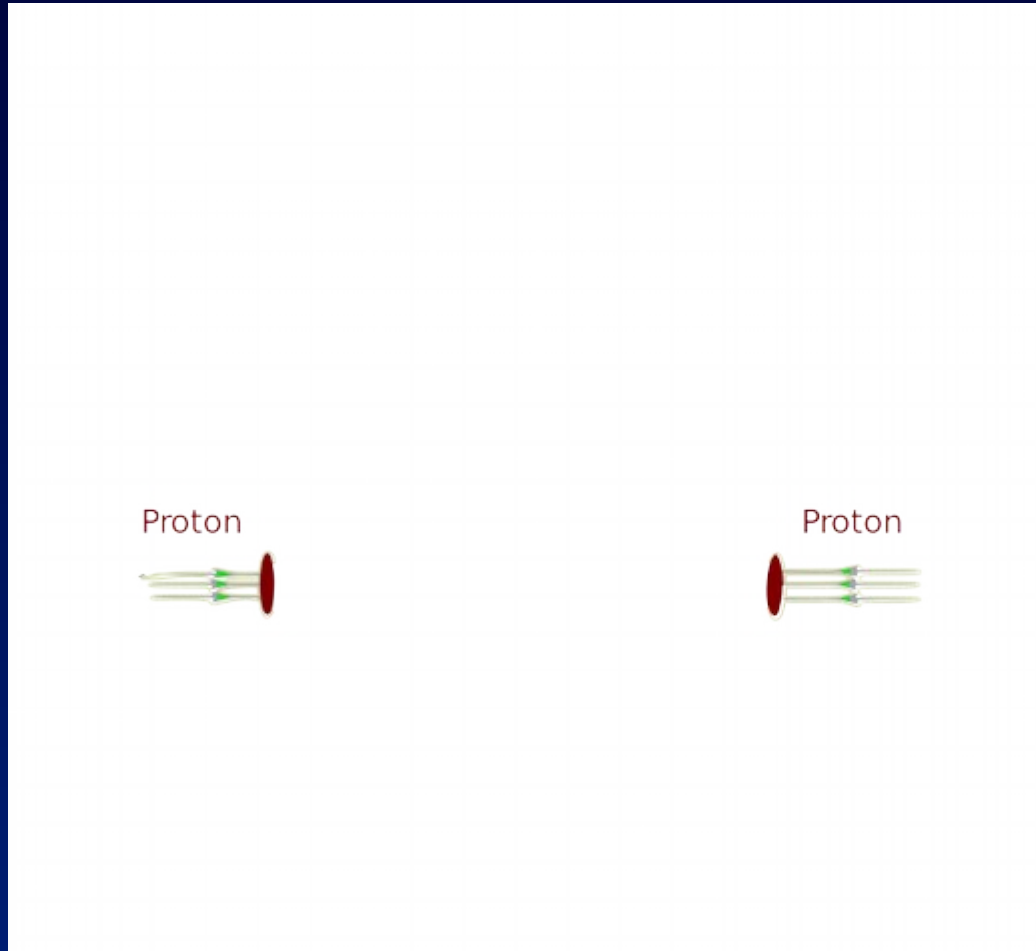
- Identifier

Les combinaisons

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

et les compter !

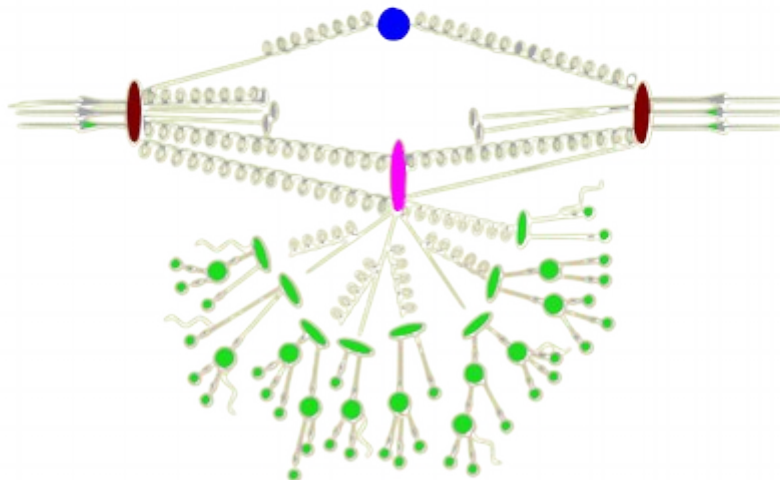
Une collision



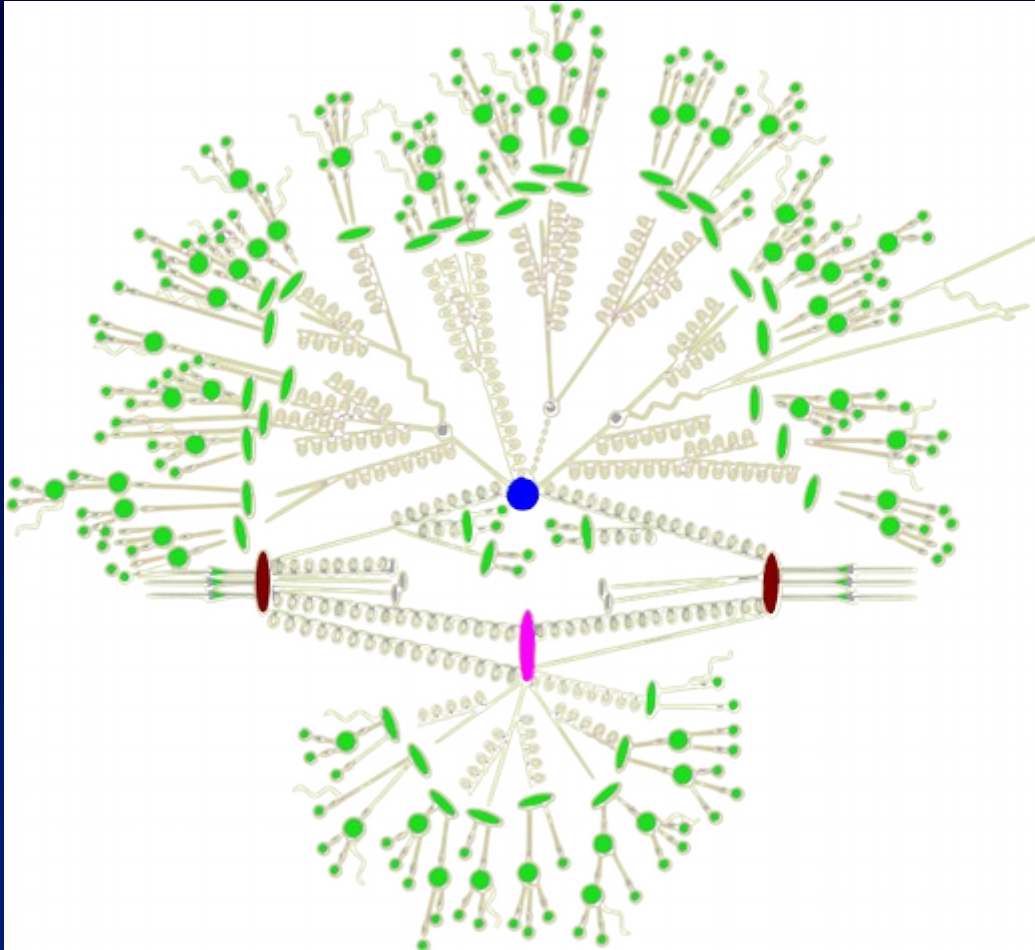
Une collision



Une collision



Une collision



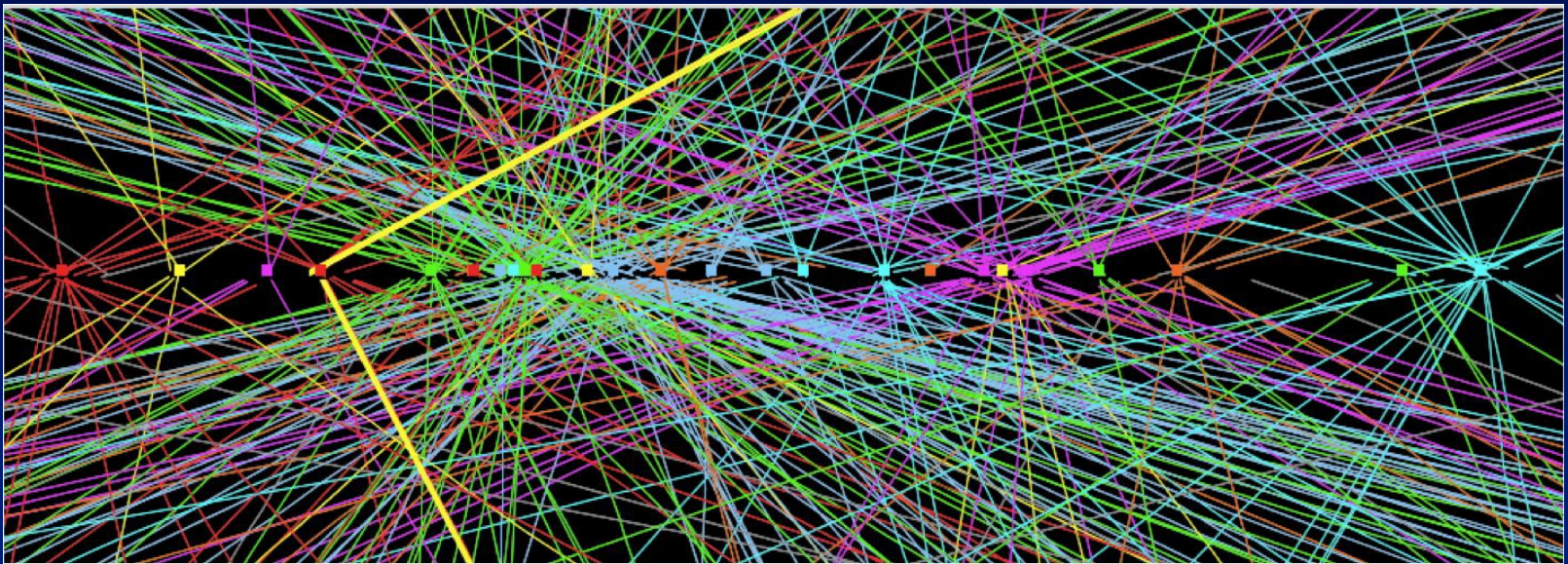
Collisions

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 ...

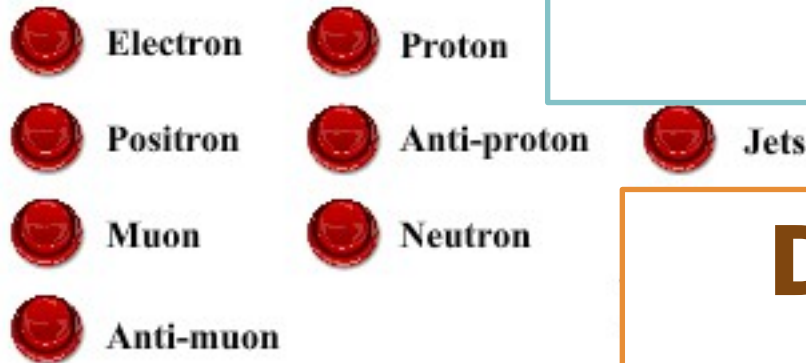


ATLAS ([lien](#))

Quel detecteur pour quelle
particule ?

**Calorimetre
hadronique**

**Chambres à
muons**



**Calorimetre
électromagnétique**

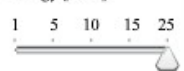
**Détecteur
interne
pixel
trajectographe**

animation



☒ display instantly

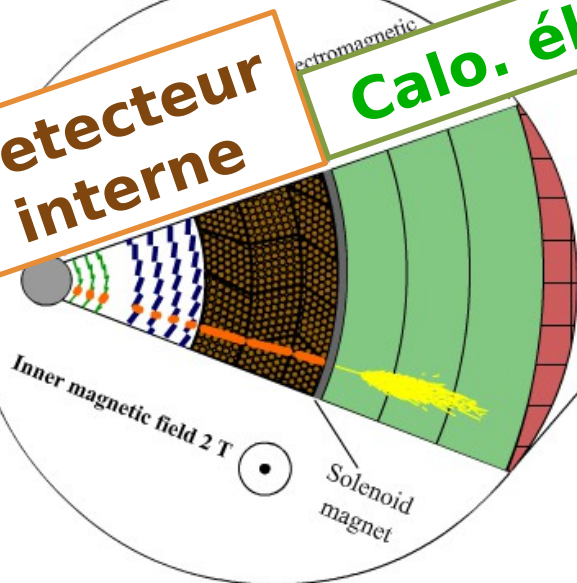
Energy [GeV]:



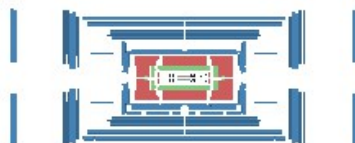
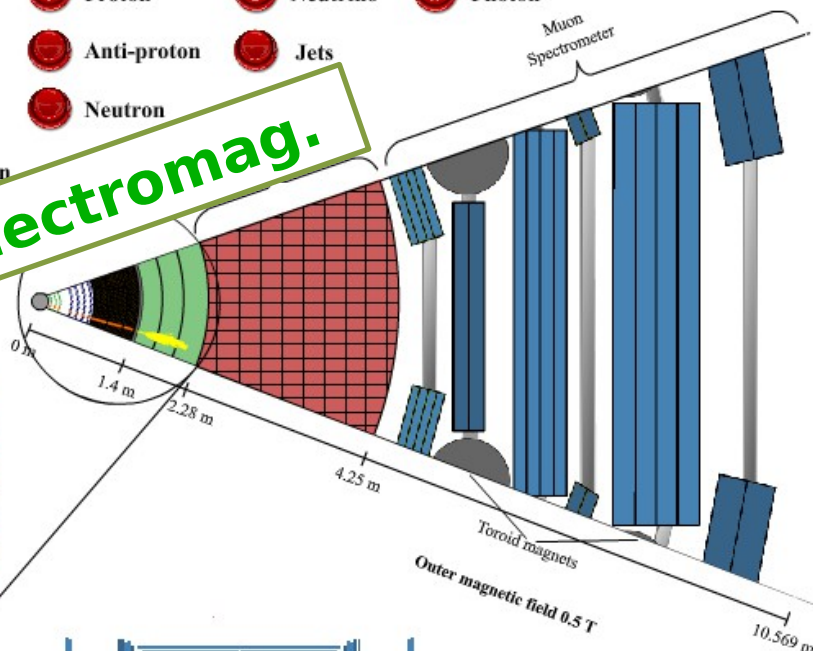
Magnification 3x

Detecteur interne

Calo. électromag.

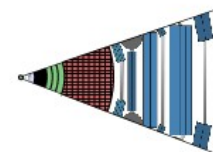


- Electron
- Positron
- Muon
- Anti-muon
- Proton
- Anti-proton
- Neutron
- Neutrino
- Jets
- Photon

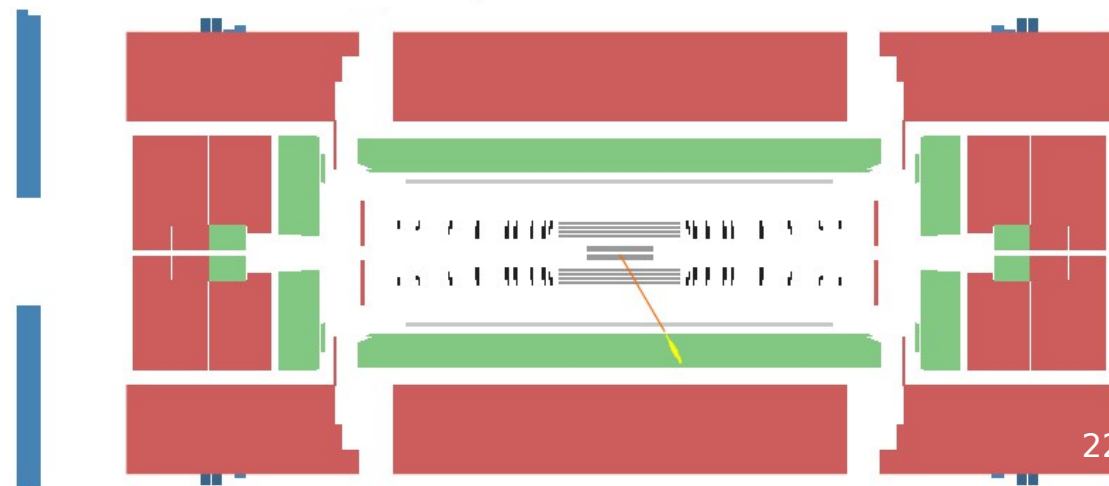


Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

ino Photon



L'électron
e⁻



ATLAS

animation



☒ display instantly

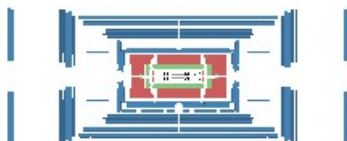
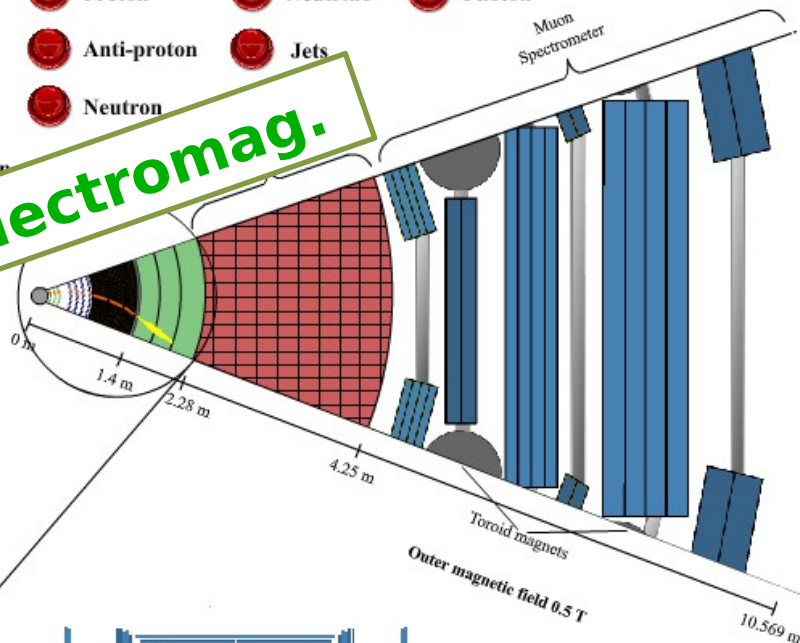
- | | | | |
|-----------|-------------|----------|--------|
| Electron | Proton | Neutrino | Photon |
| Positron | Anti-proton | Jets | |
| Muon | Neutron | | |
| Anti-muon | | | |

Magnification 3x

Detecteur interne

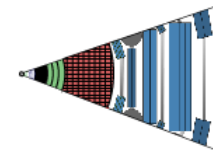
Calo. électromag.

Inner magnetic field 2 T
Solenoid magnet

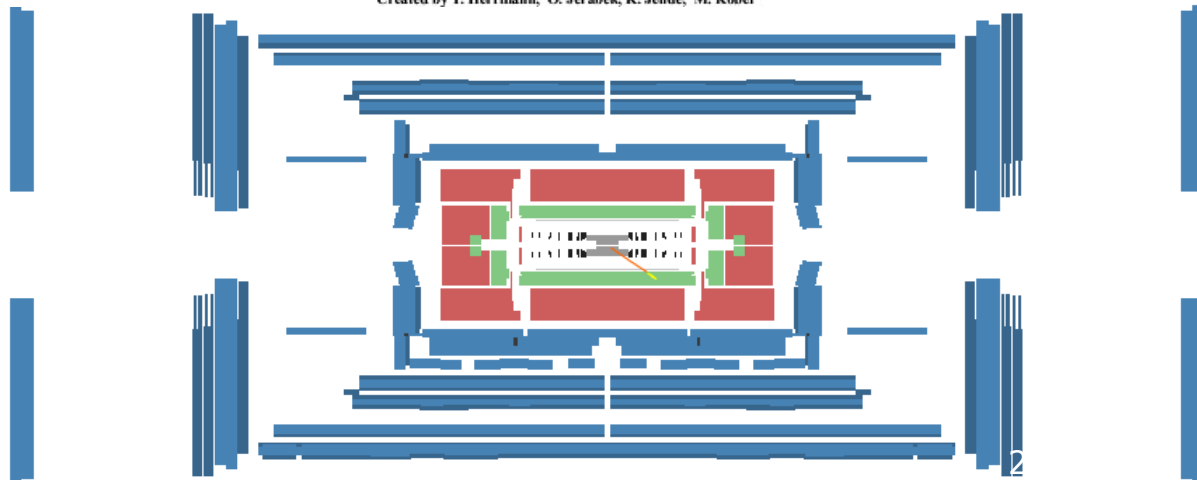


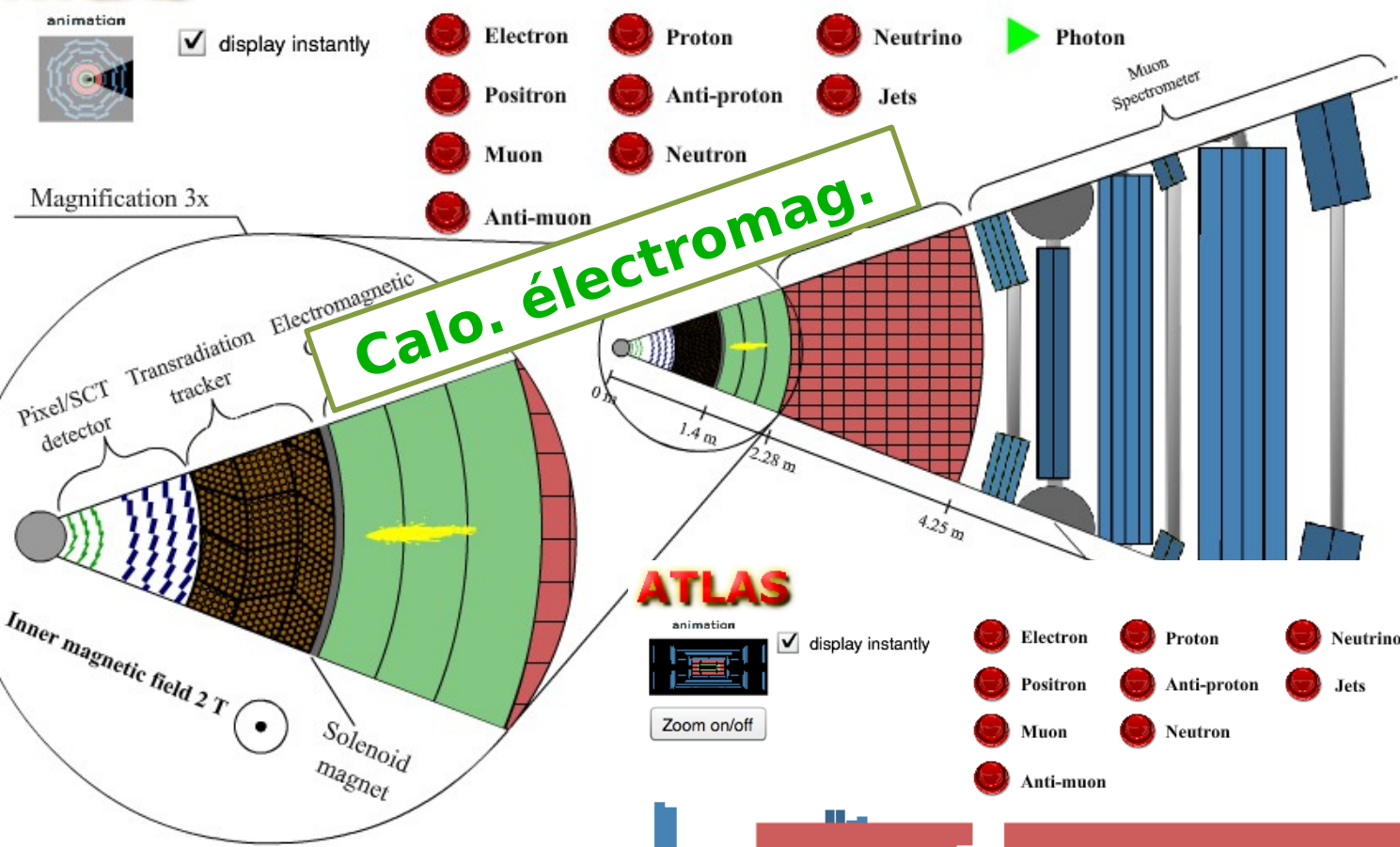
Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

Neutrino Photon



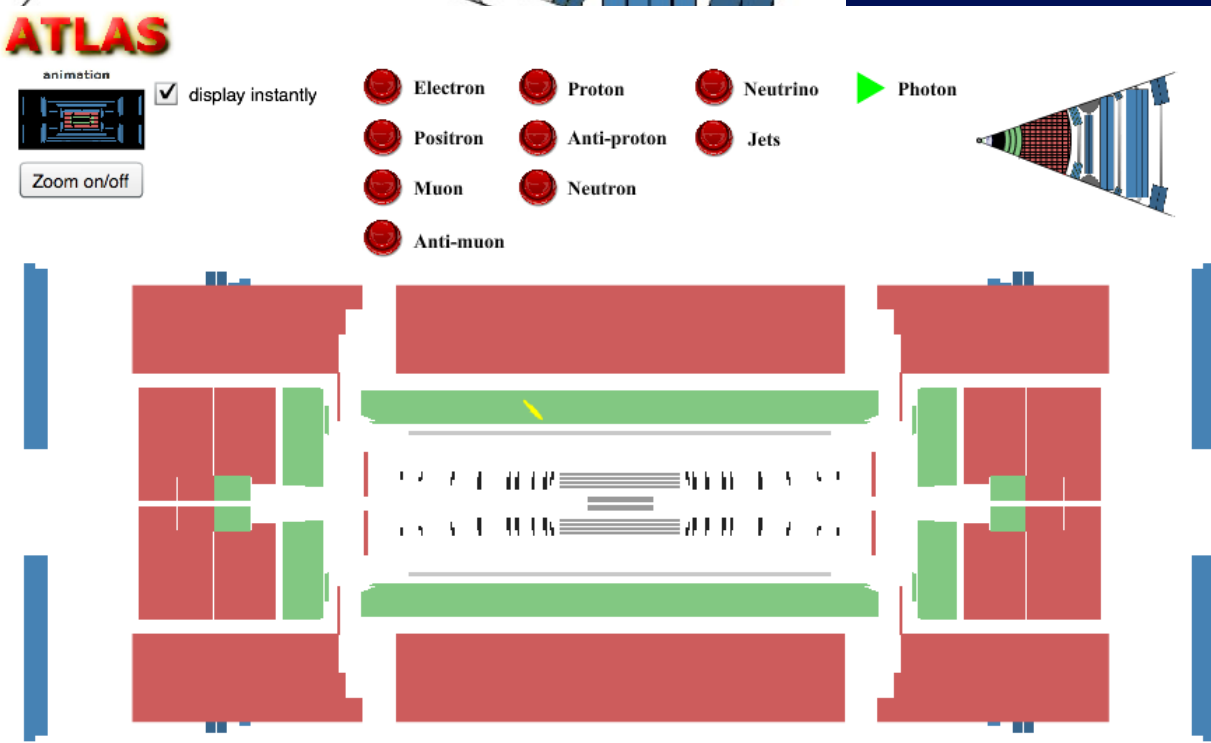
Le positron
 e^+





Le photon

γ





☒ 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

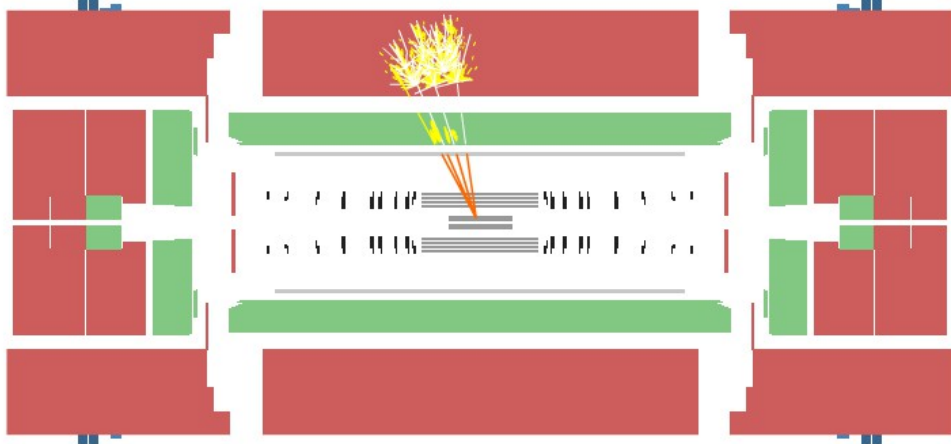
Muon Spectrometer

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

Muon Spectrometer

ino Photon

10.569 m

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

Le muon
 μ^-

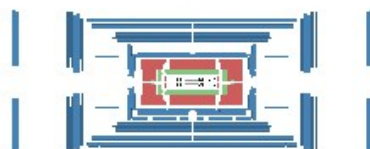
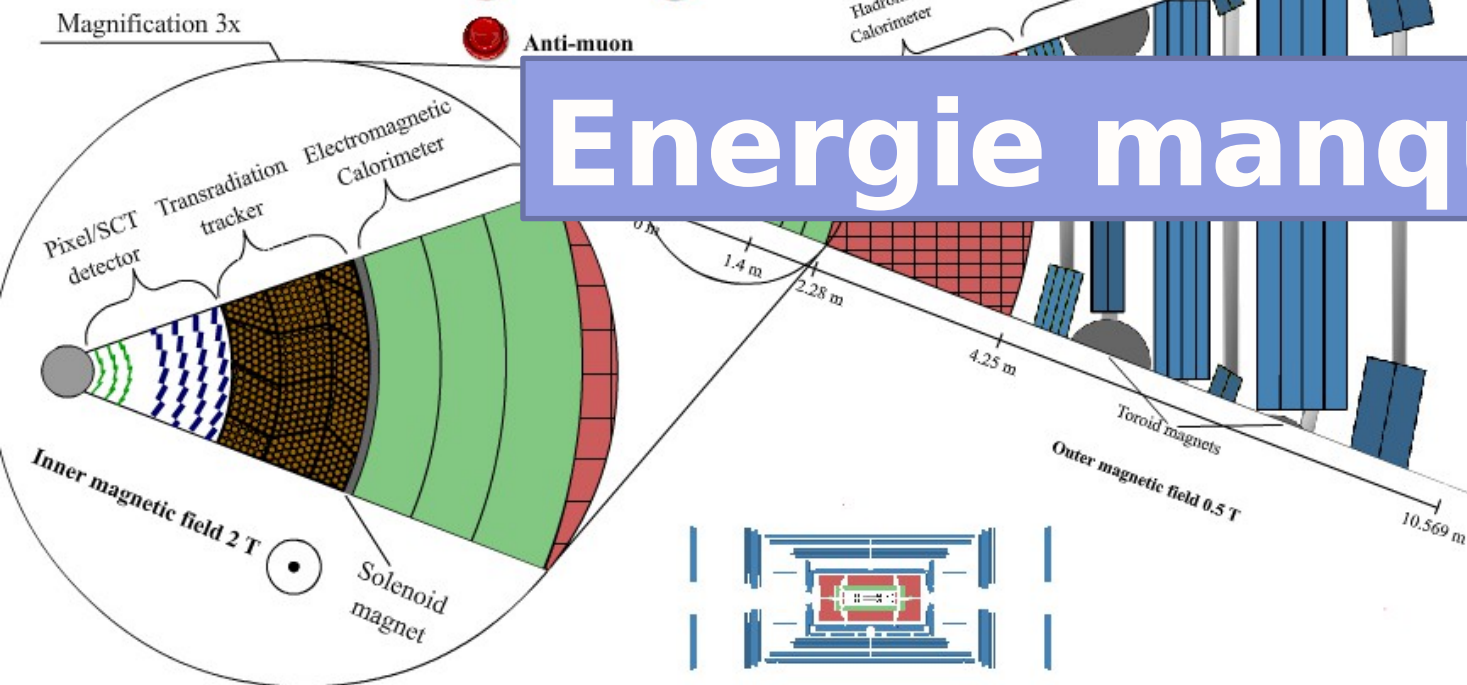
animation



☒ display instantly

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

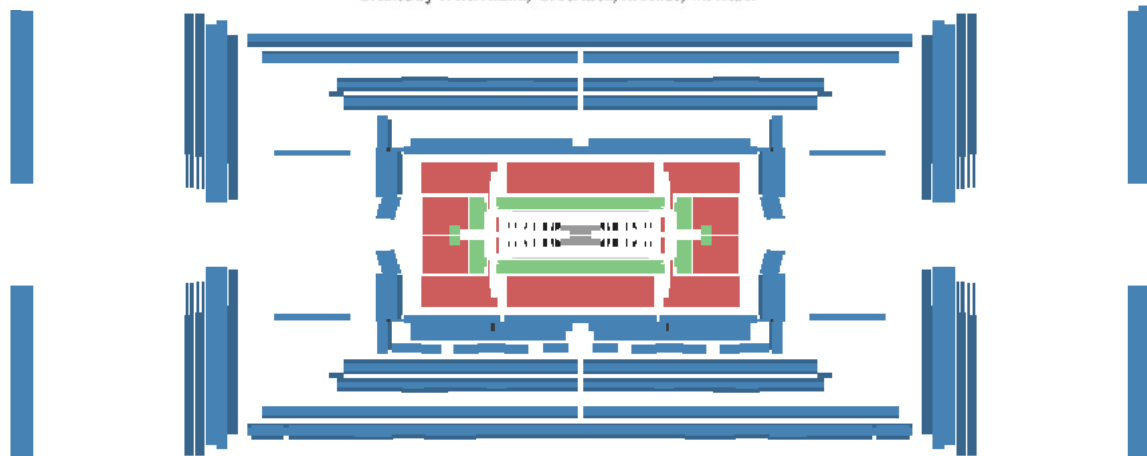
Energie manquante



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

Le neutrino

ν



HYPATIA POUR “VOIR” LES PARTICULES

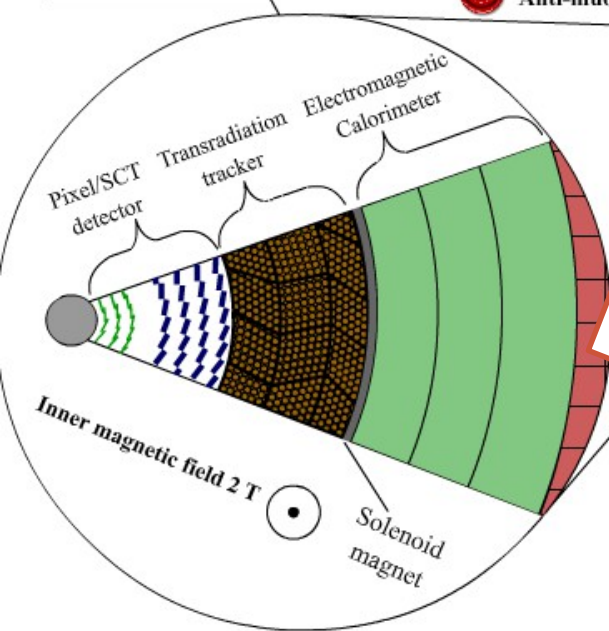
animation



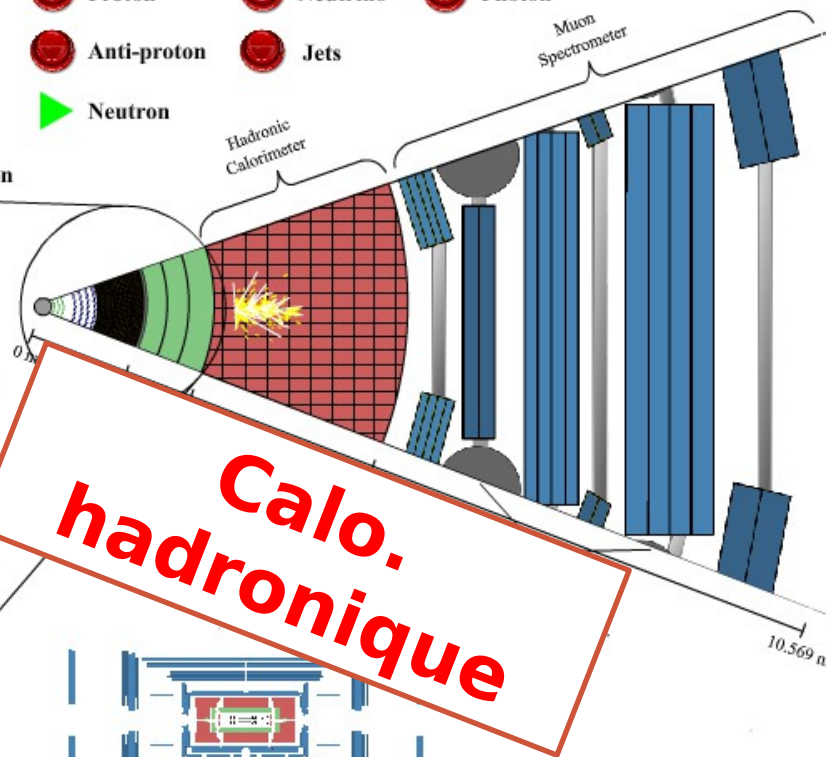
☒ display instantly

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

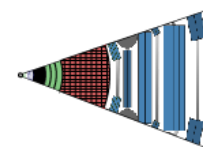
Magnification 3x



**Calo.
hadronique**



ino Photon



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

Le neutron

