

Accélérateurs et détecteurs

Yann Coadou

Centre de physique des particules de Marseille

INTERNATIONAL

MASTERCLASSES

hands on particle physics Mars 2013



IN2P3
Les deux infinis

Centre
de Physique
des Particules
de Marseille

CPPM



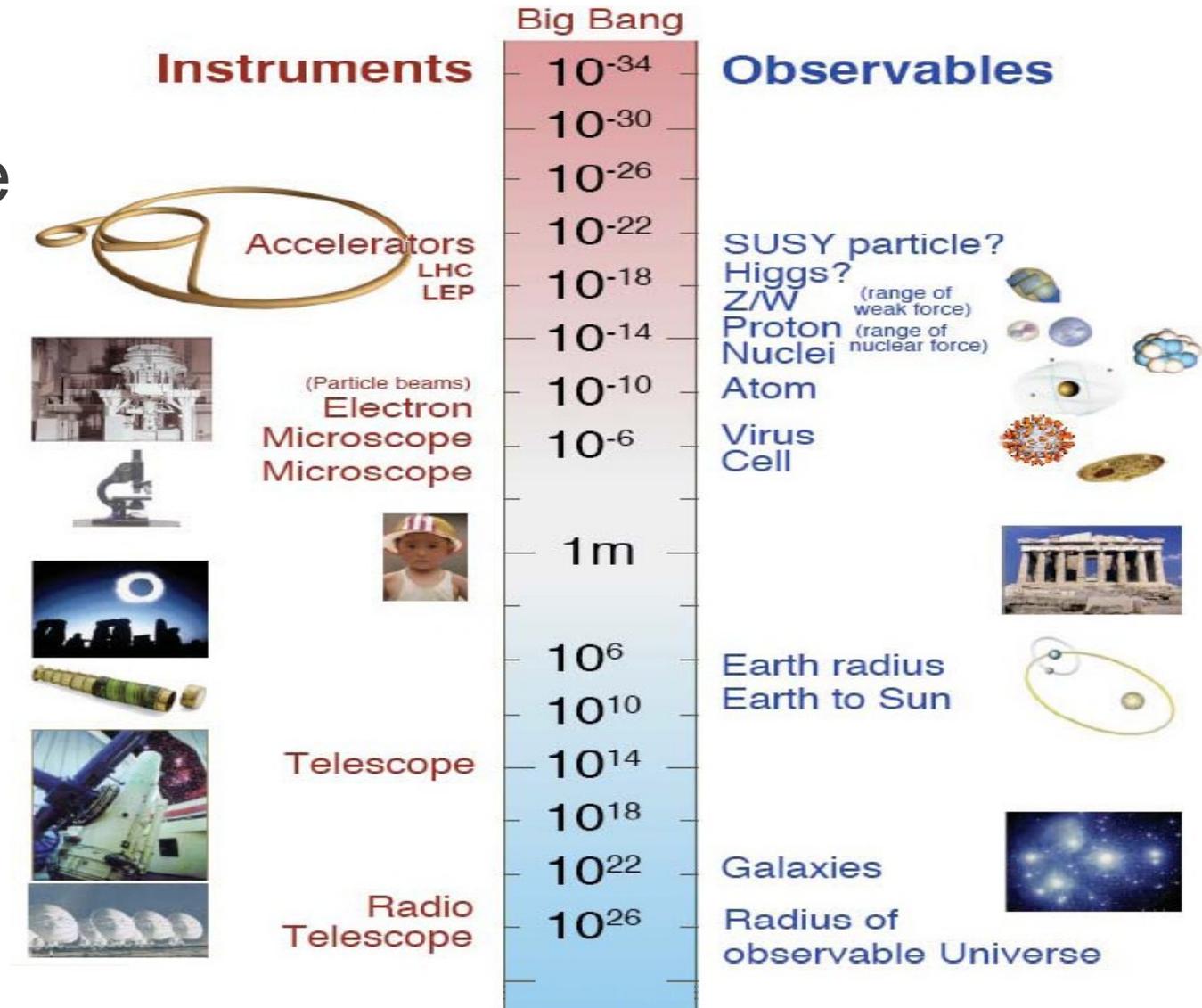
Pourquoi des accélérateurs de particules ?

- Pour voir des objets plus petits, il faut une énergie plus élevée :

- longueur d'onde associée $\lambda = h/p$

- Pour créer des particules plus lourdes

- $E = mc^2$

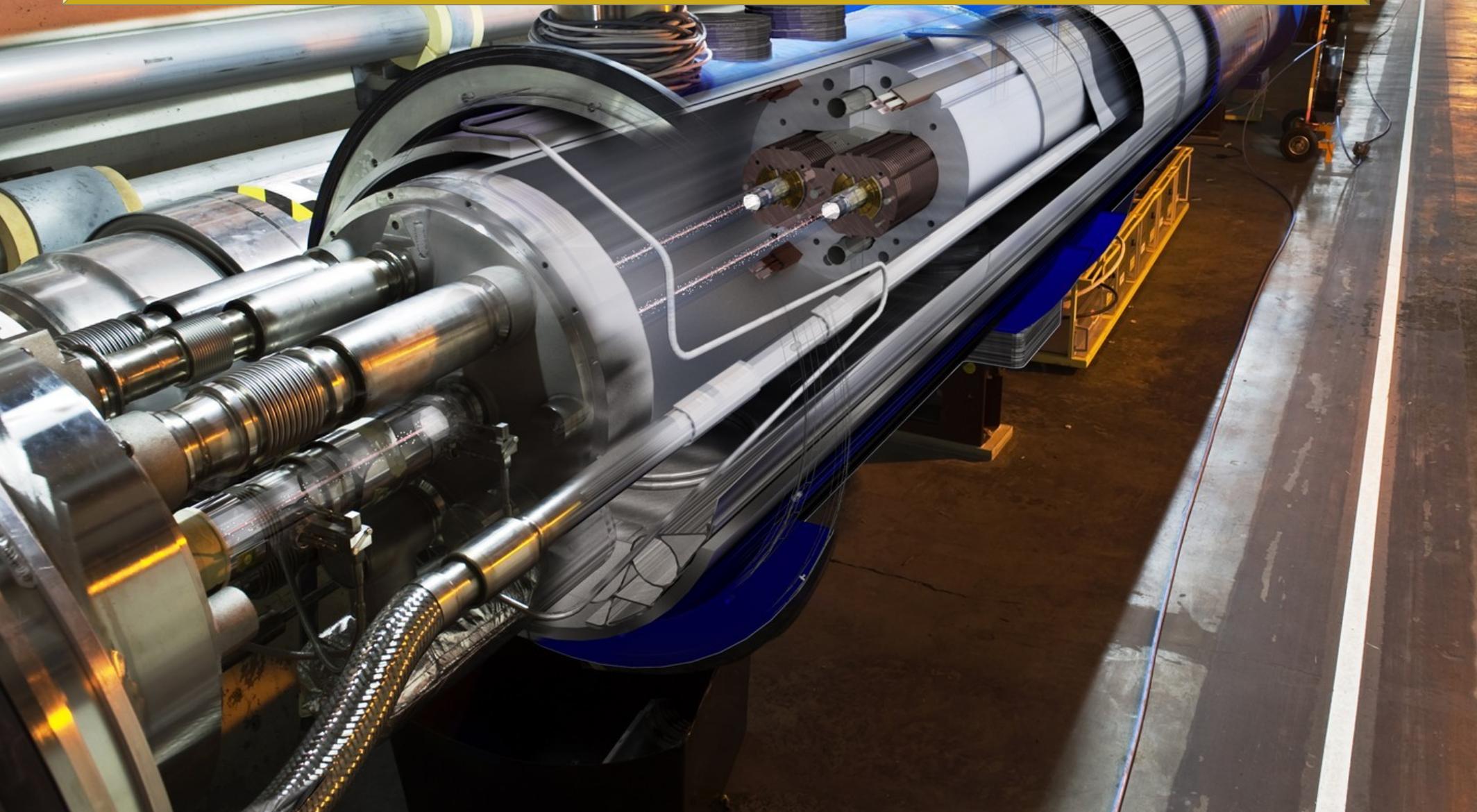


Le LHC : la machine à superlatifs



Le LHC : la machine à superlatifs

La plus grande et la plus complexe machine scientifique jamais construite

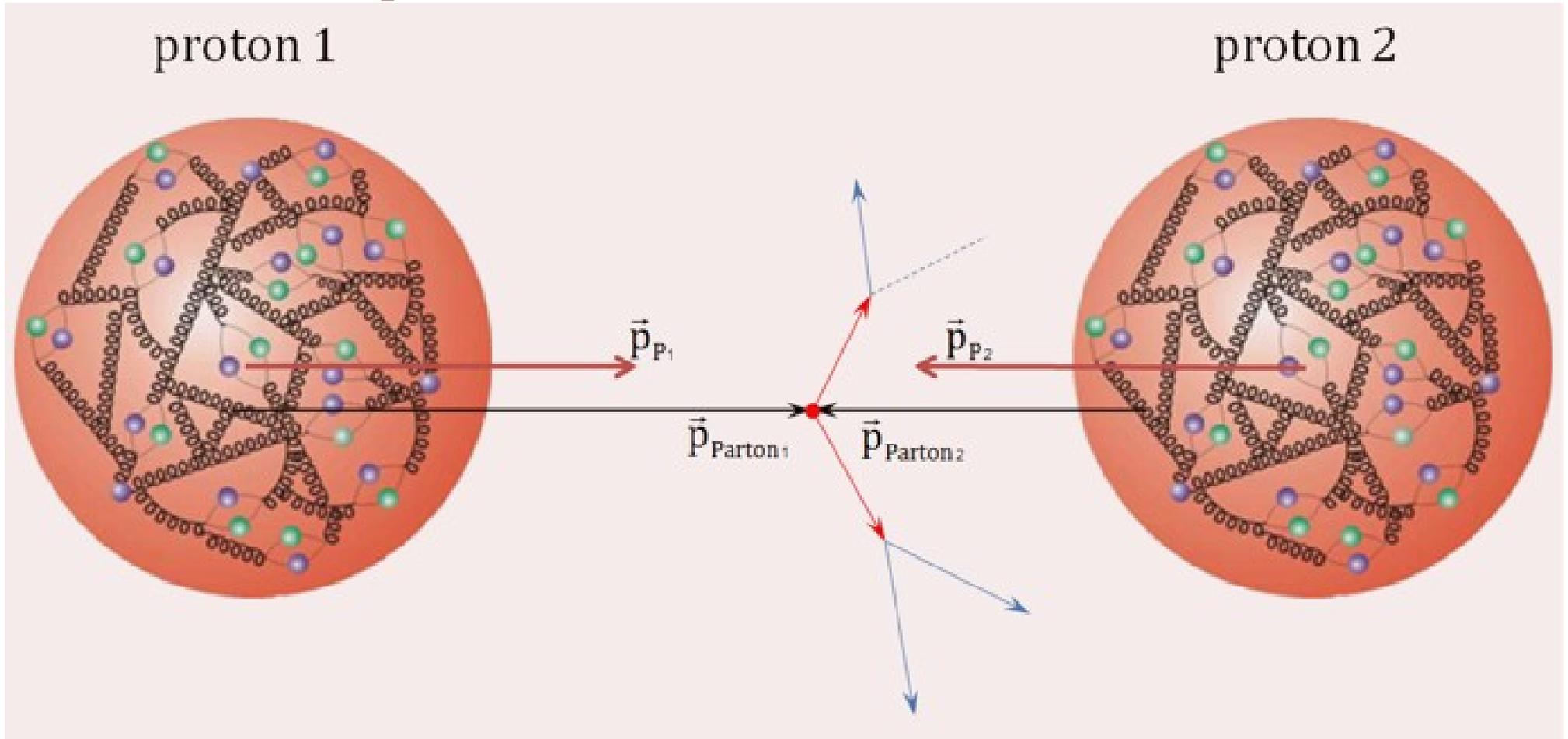


Le LHC : la machine à superlatifs



Énergie du faisceau : TGV à 150 km/h.
Chaque proton a l'énergie d'un moustique en vol,
mais il y en a 2800 paquets de 100 milliards !

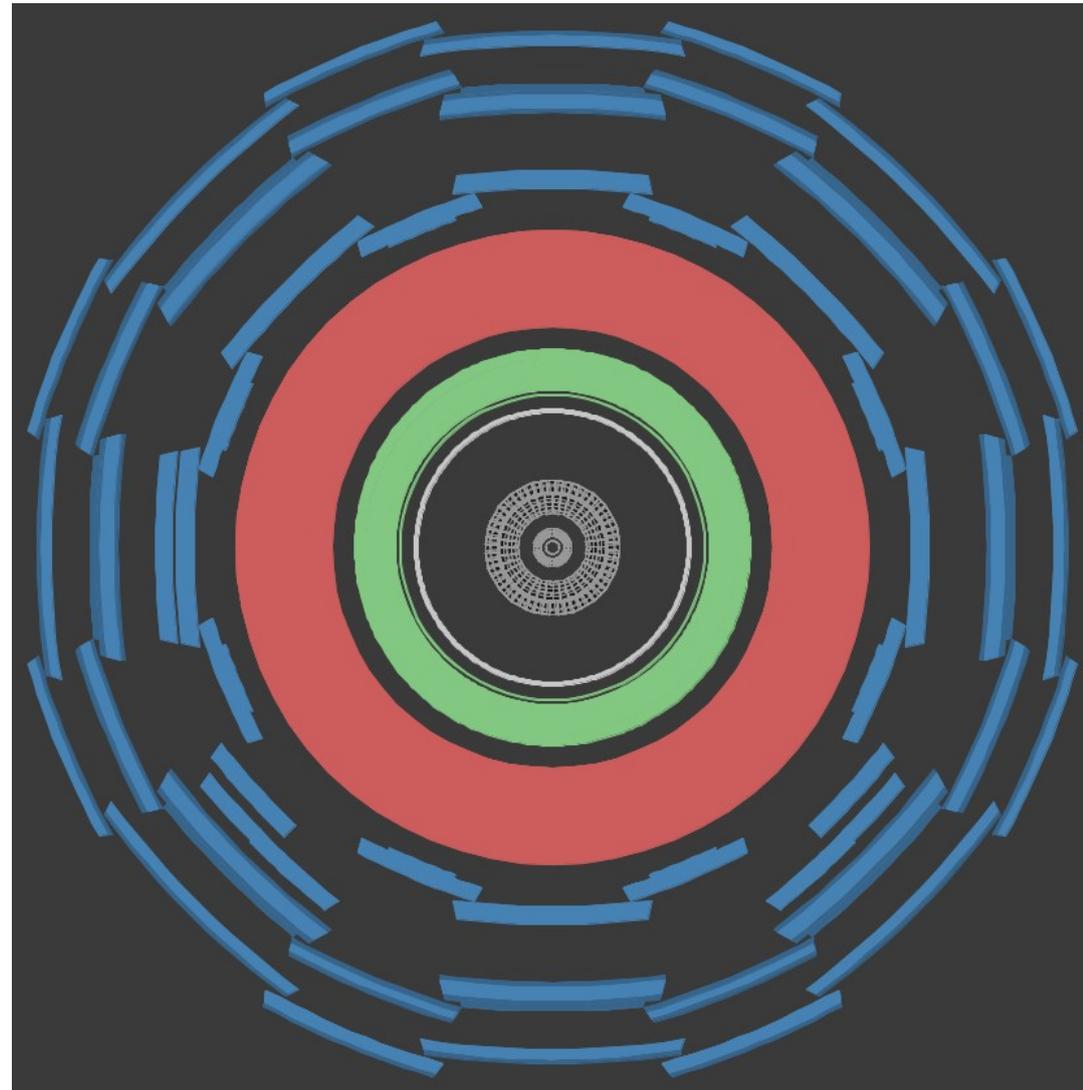
Deux protons se rencontrent...



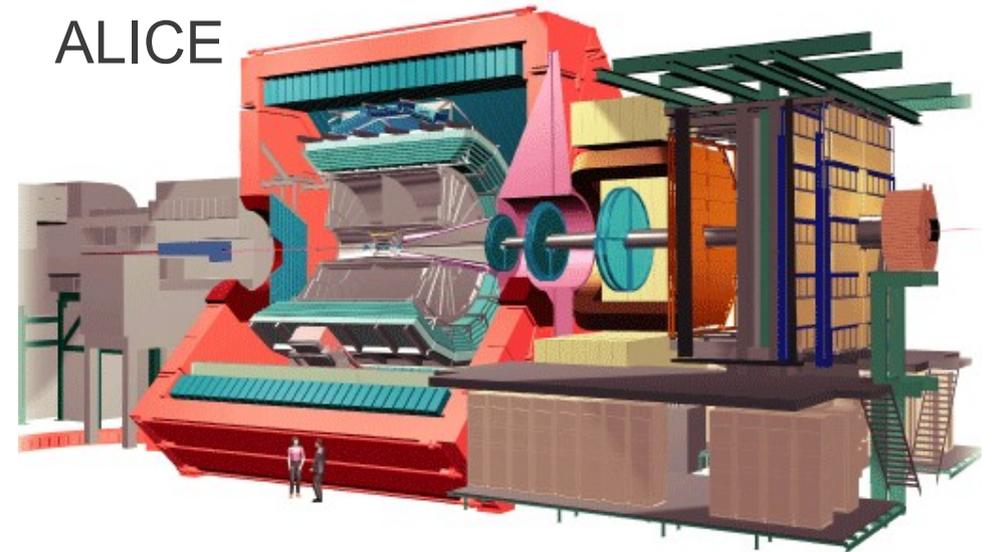
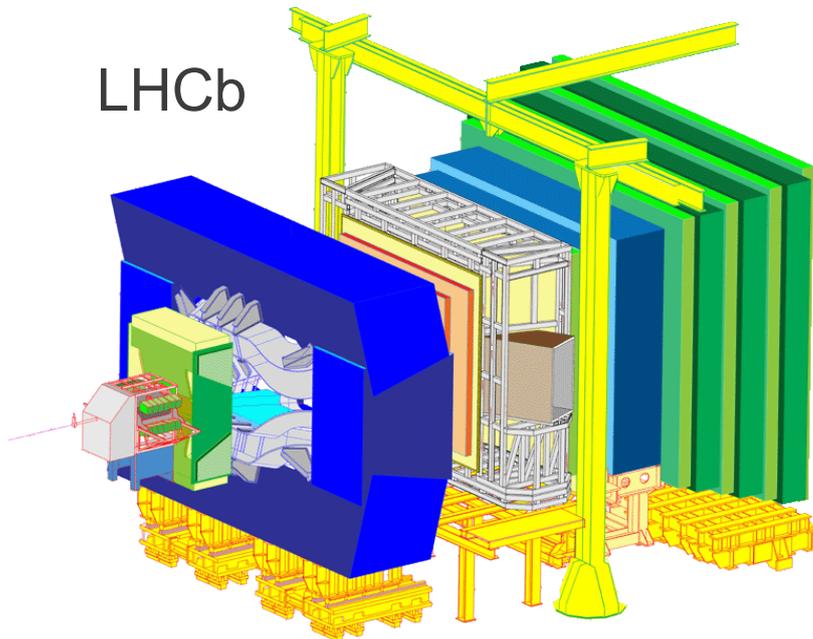
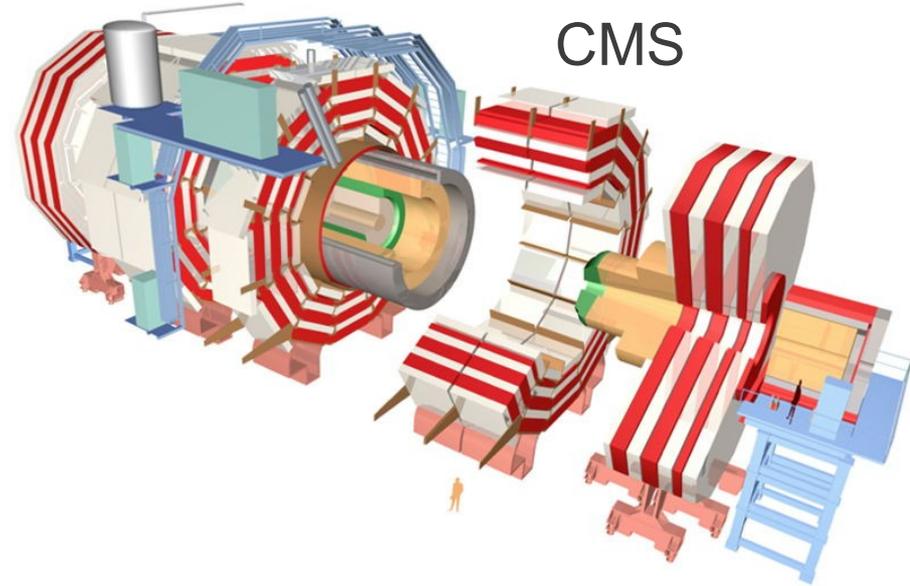
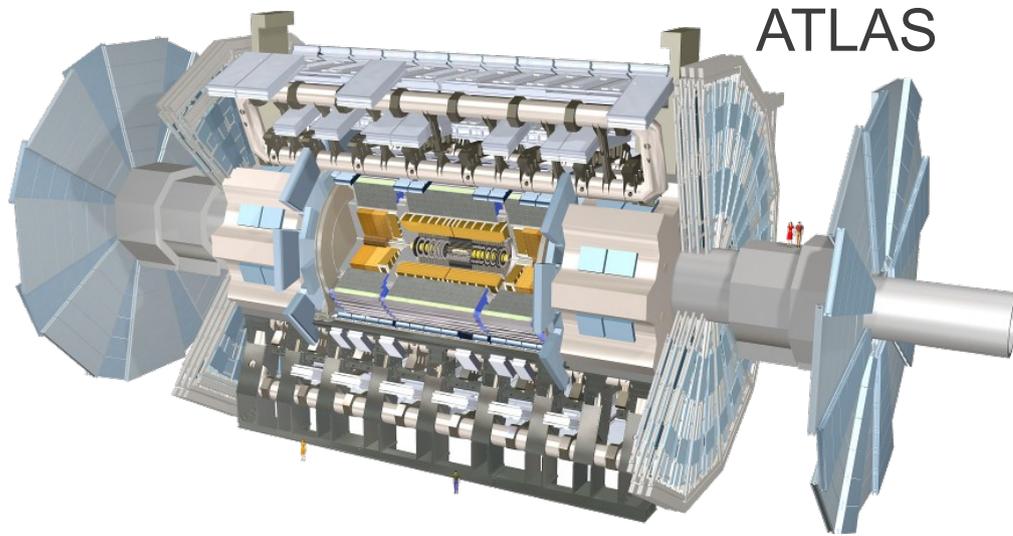
- Collision proton-proton = collision entre constituants (quarks et/ou gluons)
- Jamais deux fois la même collision → mesures statistiques
- Traces de la collision mesurées dans des détecteurs autour du point d'interaction

Un détecteur, qu'est-ce que c'est ?

- Détecteur interne (trajectographe)
 - Mesure charge et impulsion des particules chargées, dans un champ magnétique
- Calorimètre électromagnétique
 - Mesure l'énergie des électrons, positrons et photons
- Calorimètre hadronique
 - Mesure l'énergie des hadrons (particules contenant des quarks), comme les protons, neutrons, pions, etc.
- Détecteur à muons
 - Mesure la charge et l'impulsion des muons



Des détecteurs géants



La collaboration ATLAS



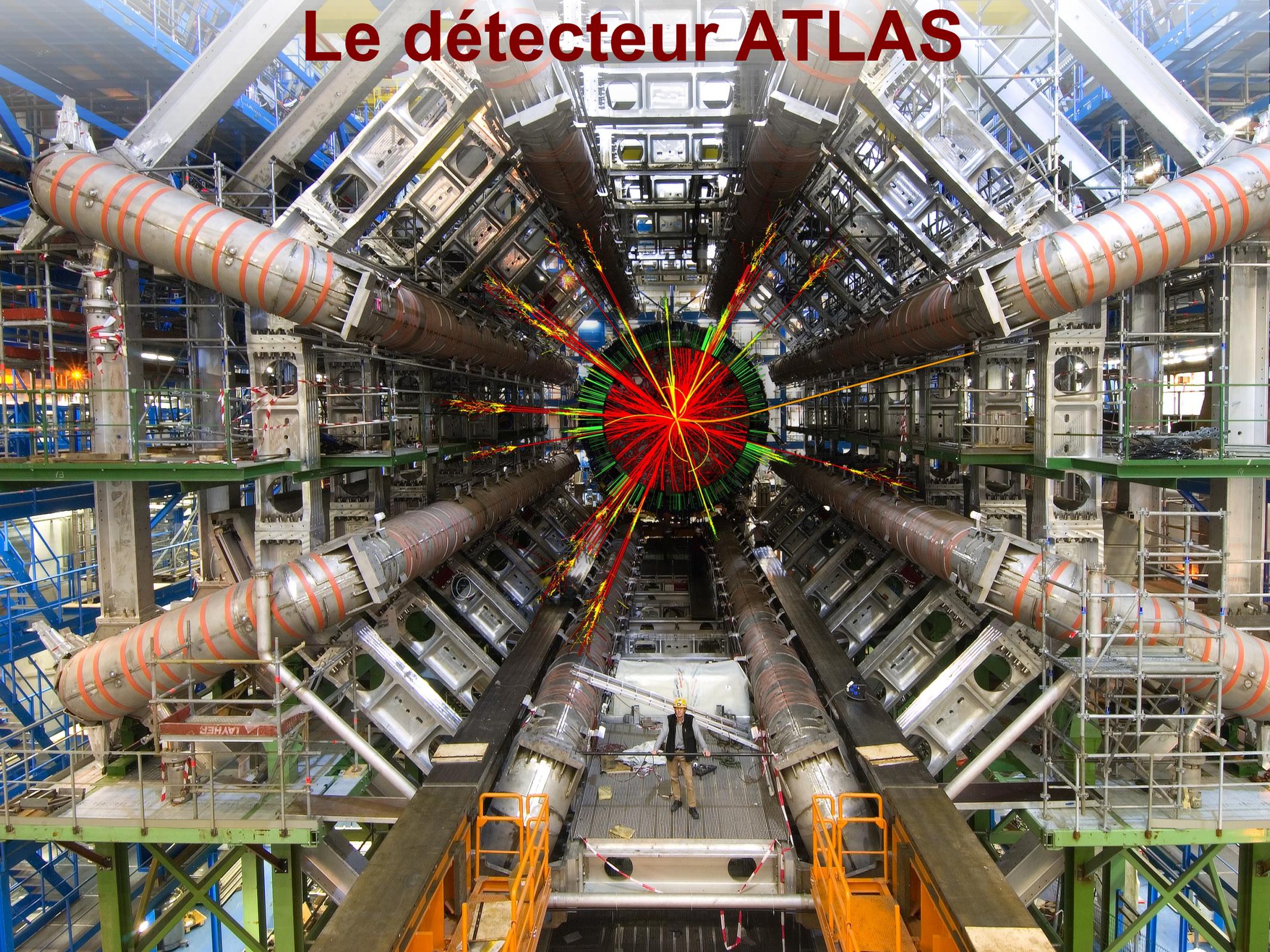
La collaboration ATLAS

38 pays
174 instituts
3000 scientifiques

<http://atlas.ch>

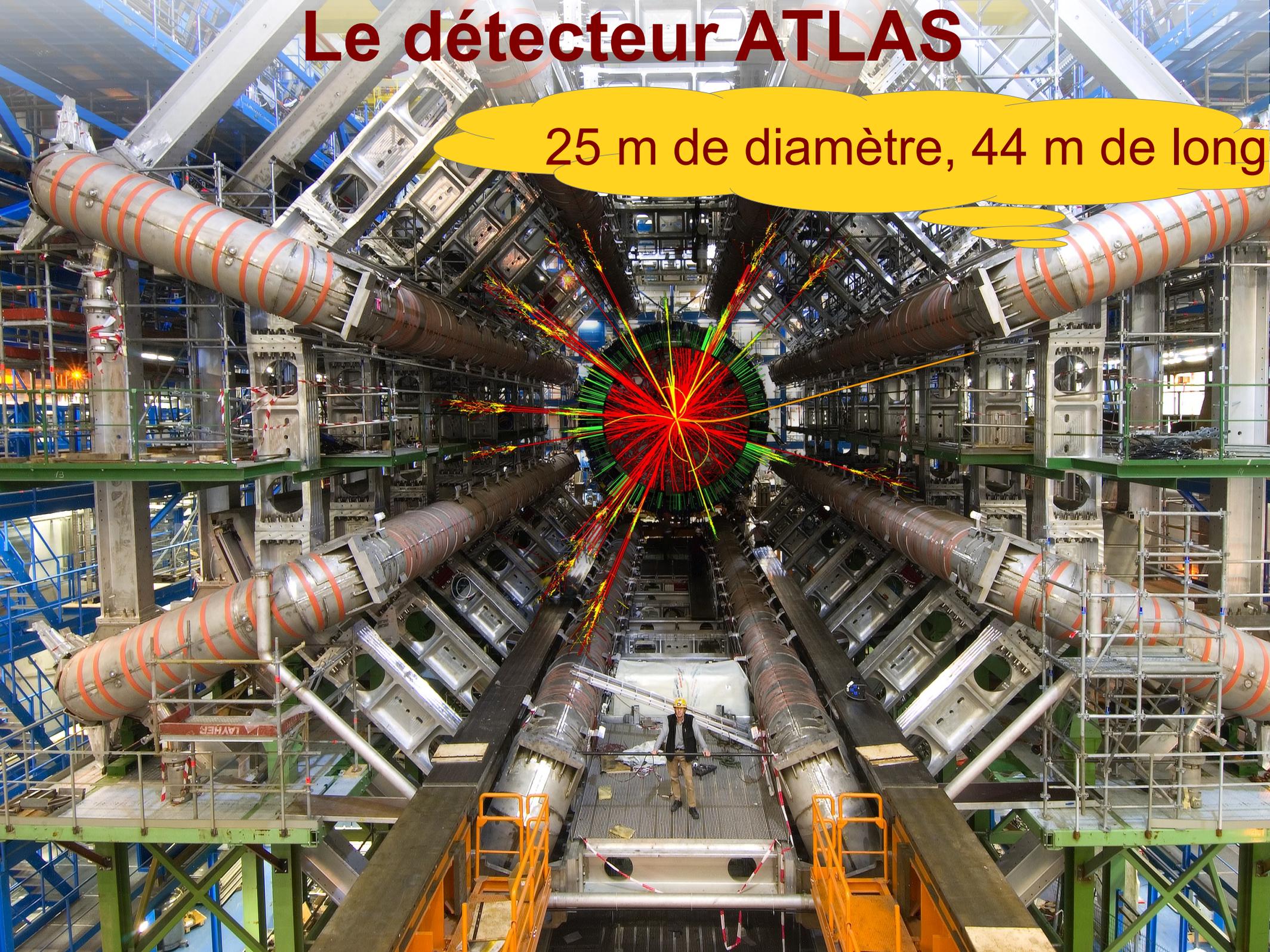


Le détecteur ATLAS



Le détecteur ATLAS

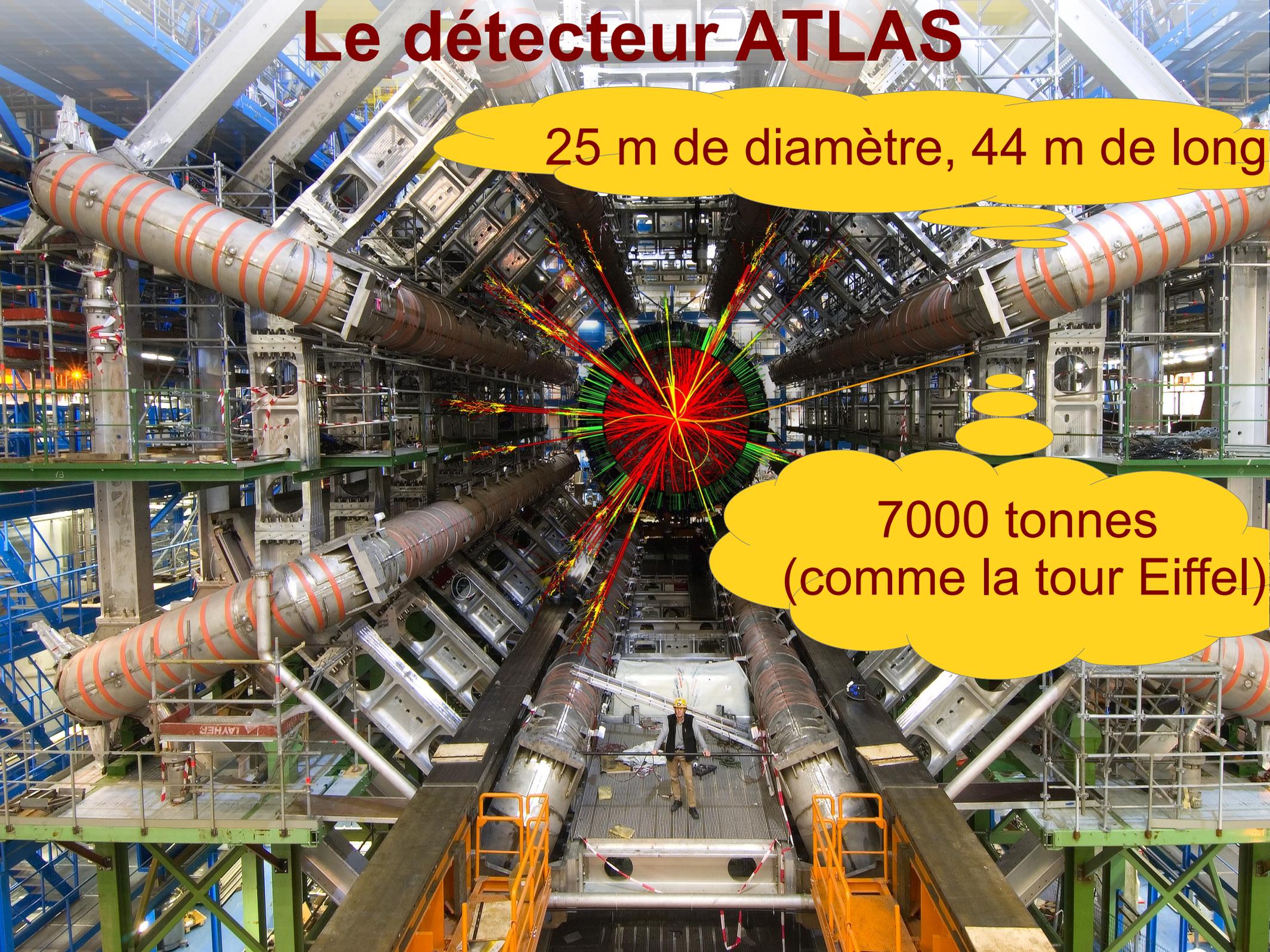
25 m de diamètre, 44 m de long



Le détecteur ATLAS

25 m de diamètre, 44 m de long

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

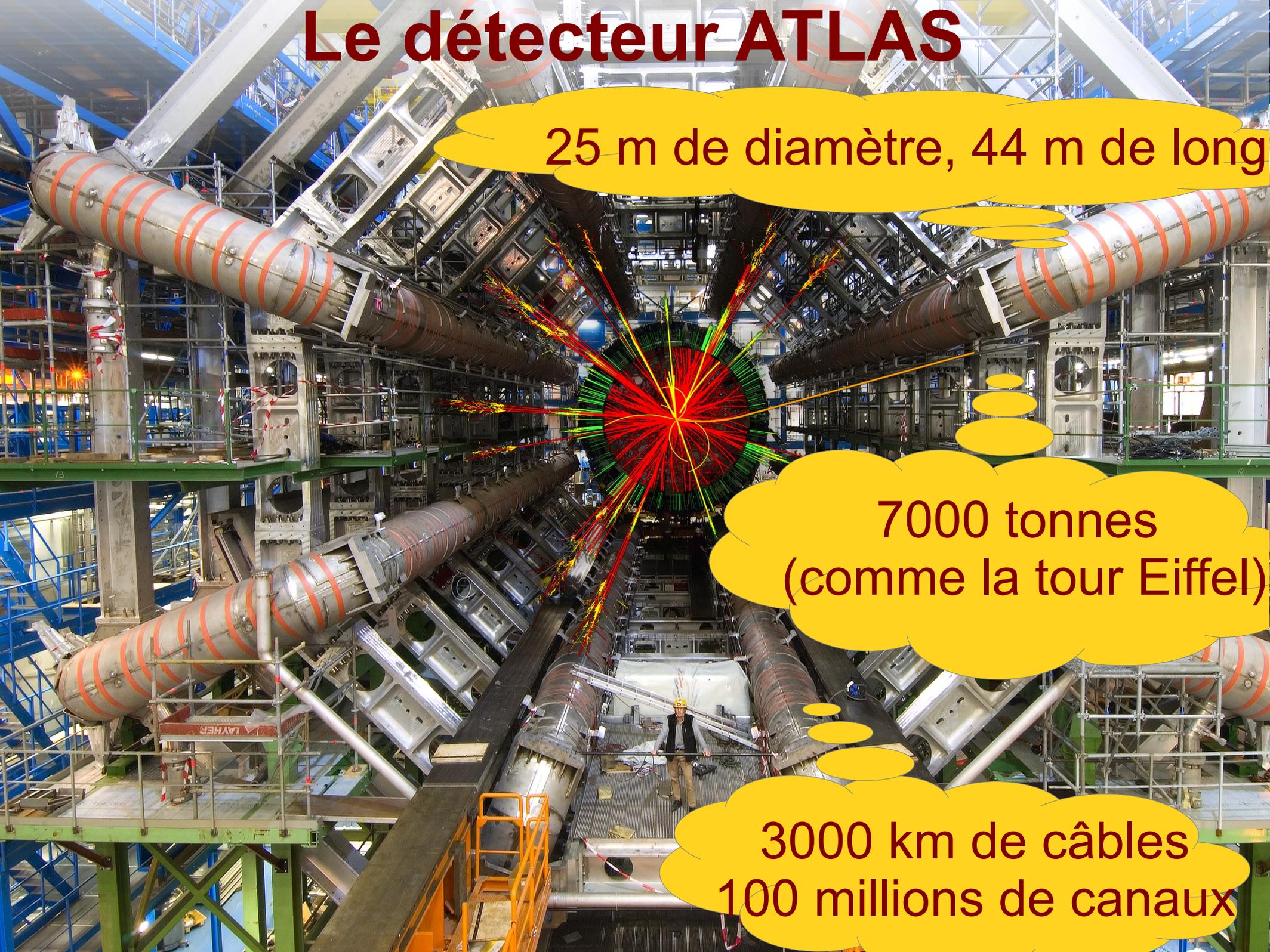


Le détecteur ATLAS

25 m de diamètre, 44 m de long

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

3000 km de câbles
100 millions de canaux



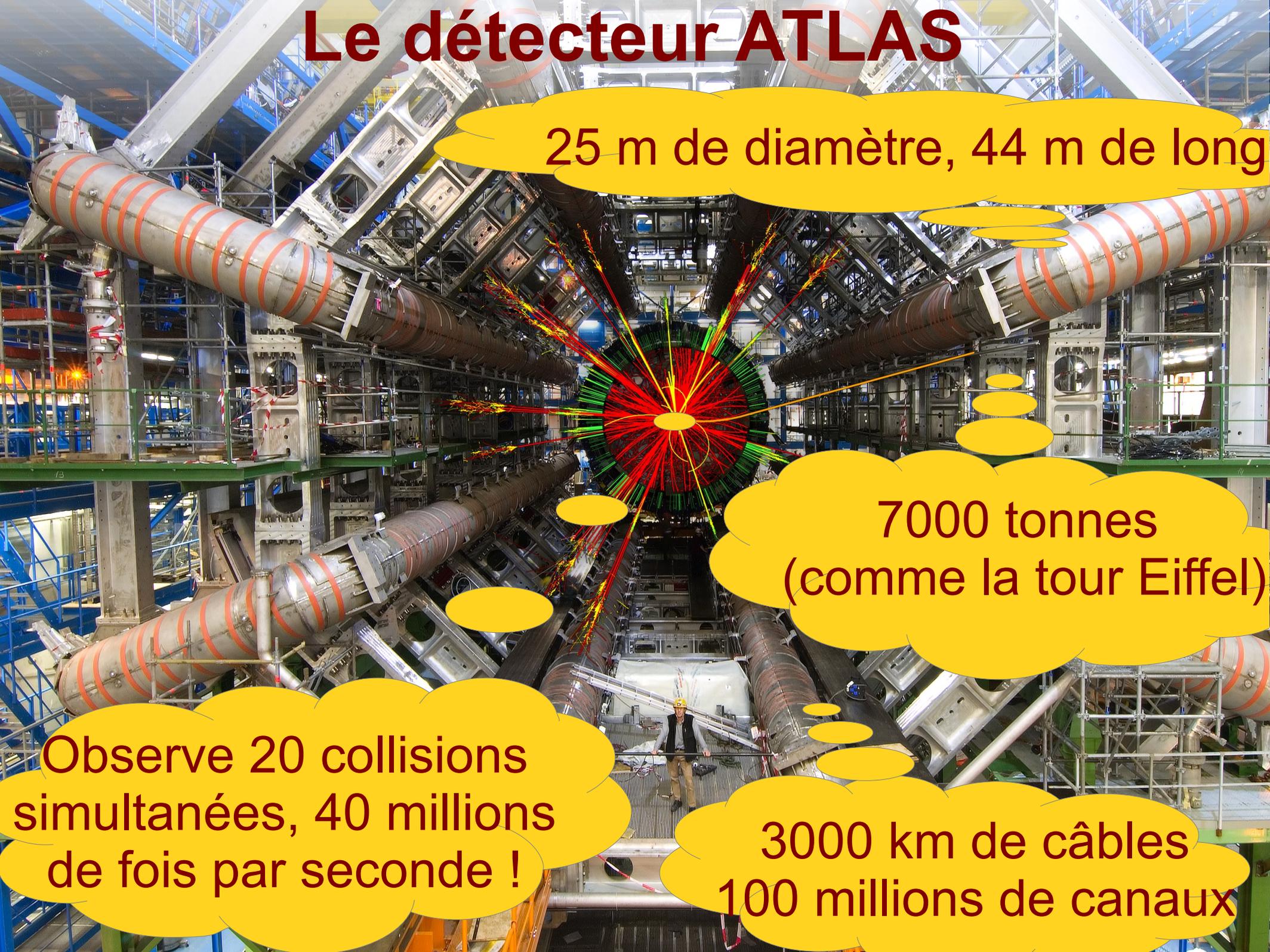
Le détecteur ATLAS

25 m de diamètre, 44 m de long

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

Observe 20 collisions
simultanées, 40 millions
de fois par seconde !

3000 km de câbles
100 millions de canaux



Le détecteur ATLAS

The image shows the interior of the ATLAS detector tunnel. The central feature is a large, circular calorimeter structure with a complex, multi-layered design. A person is standing on a walkway in the foreground, providing a sense of scale. The tunnel is filled with various pipes, cables, and structural elements, all illuminated by bright lights. The overall atmosphere is industrial and technical.

25 m de diamètre, 44 m de long

En France :
6 laboratoires CNRS,
1 CEA, 400 personnes
(physiciens, ingénieurs,
étudiants)

7000 tonnes
(comme la tour Eiffel)

Observe 20 collisions
simultanées, 40 millions
de fois par seconde !

3000 km de câbles
100 millions de canaux

Le détecteur ATLAS construit en 1 minute



Le détecteur ATLAS avec des explications



Interaction des particules avec le détecteur



Mesurer le passage des particules dans le détecteur à pixels



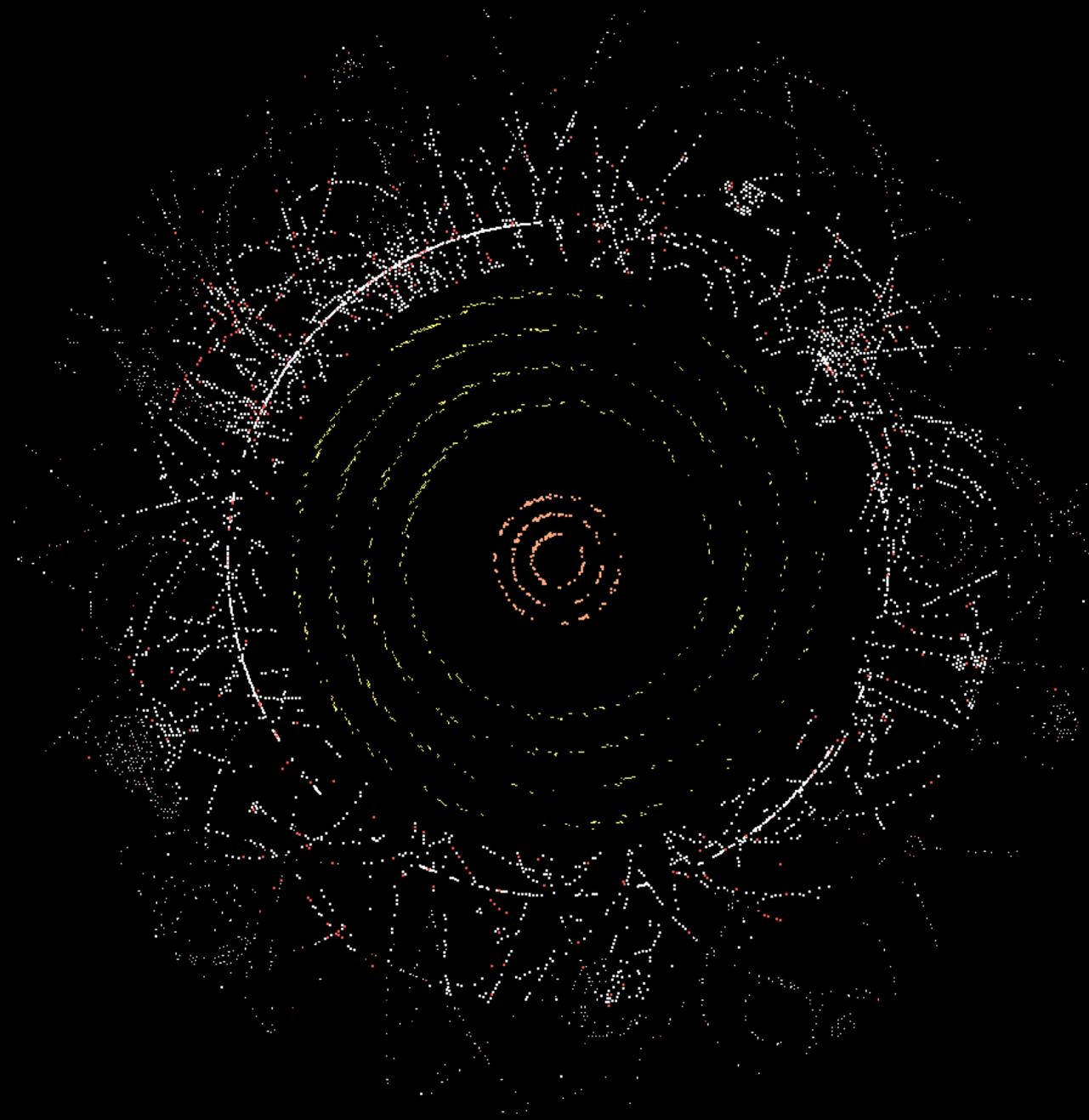
- 80 Mégapixels
- 40 millions d'images par seconde
- 1,7 m² de silicium

Mesurer l'énergie des particules dans le calorimètre électromagnétique

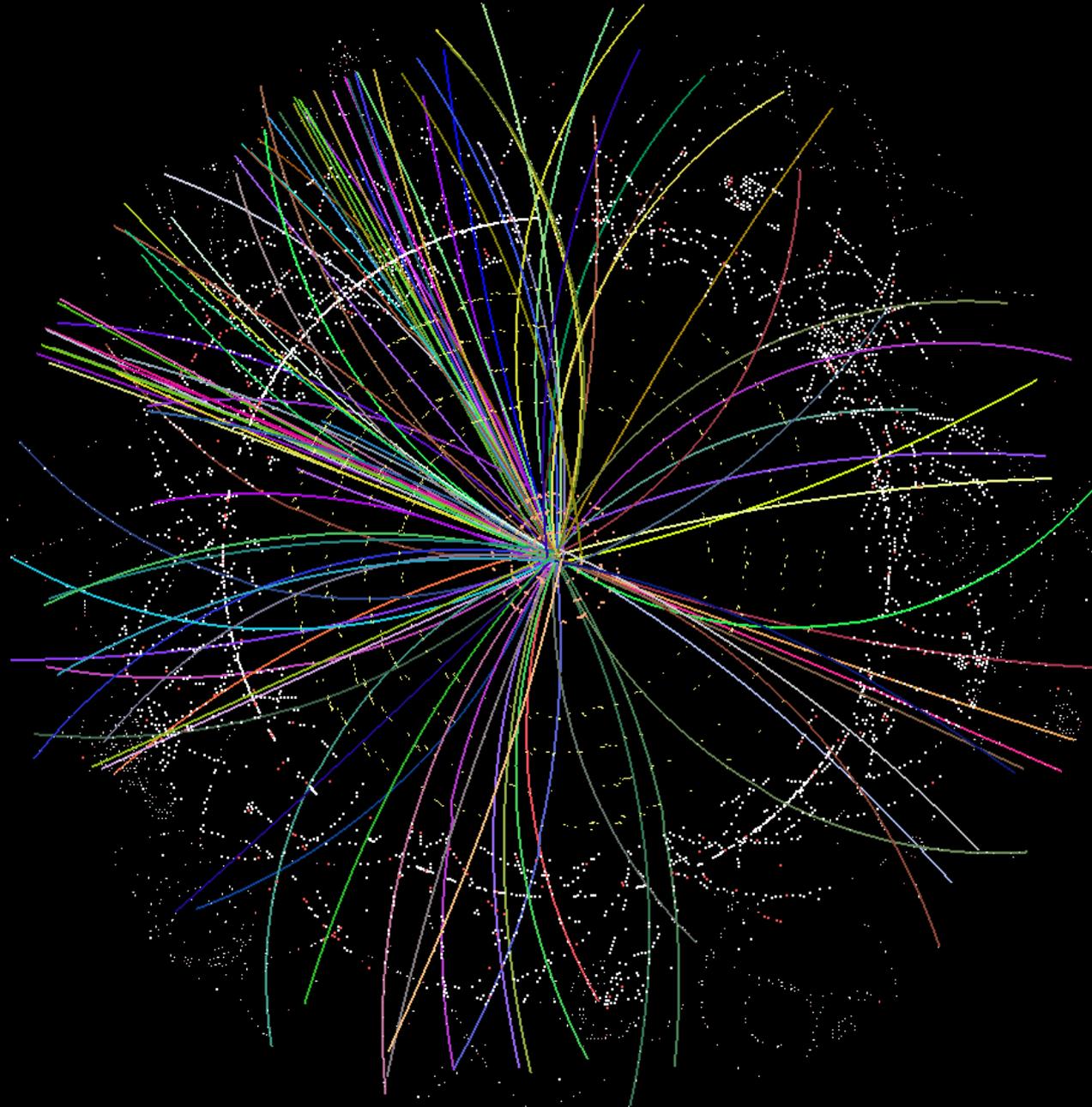


- Argon liquide à -183°C

Passage des particules

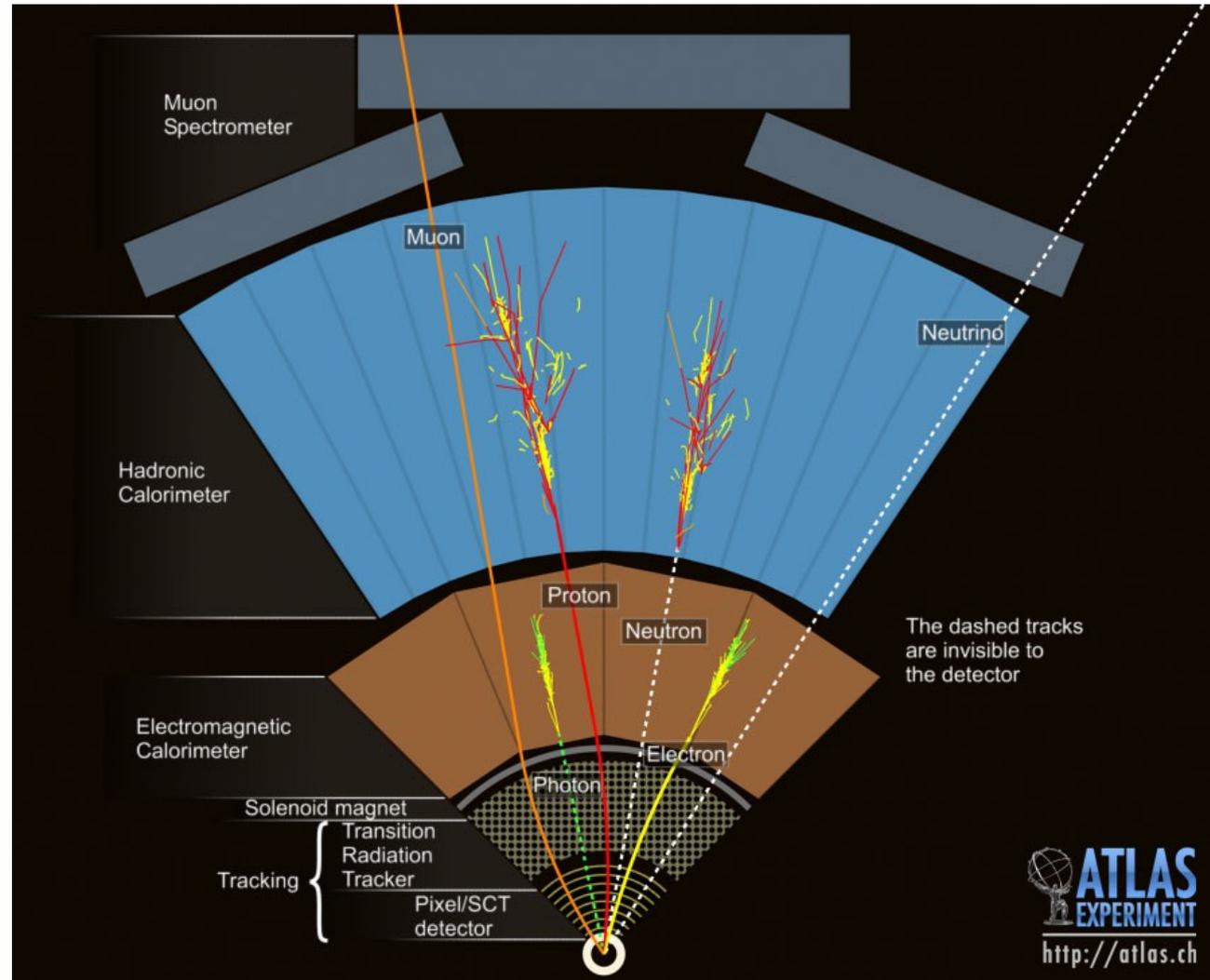
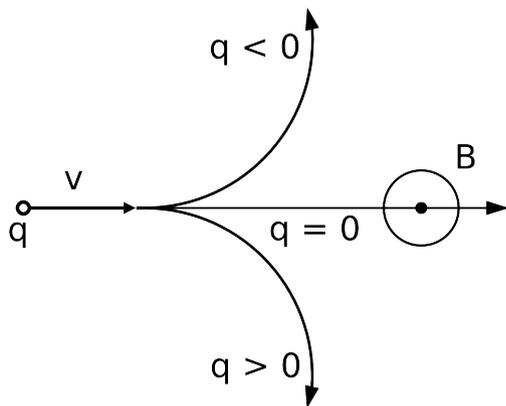


Reconstruction des trajectoires

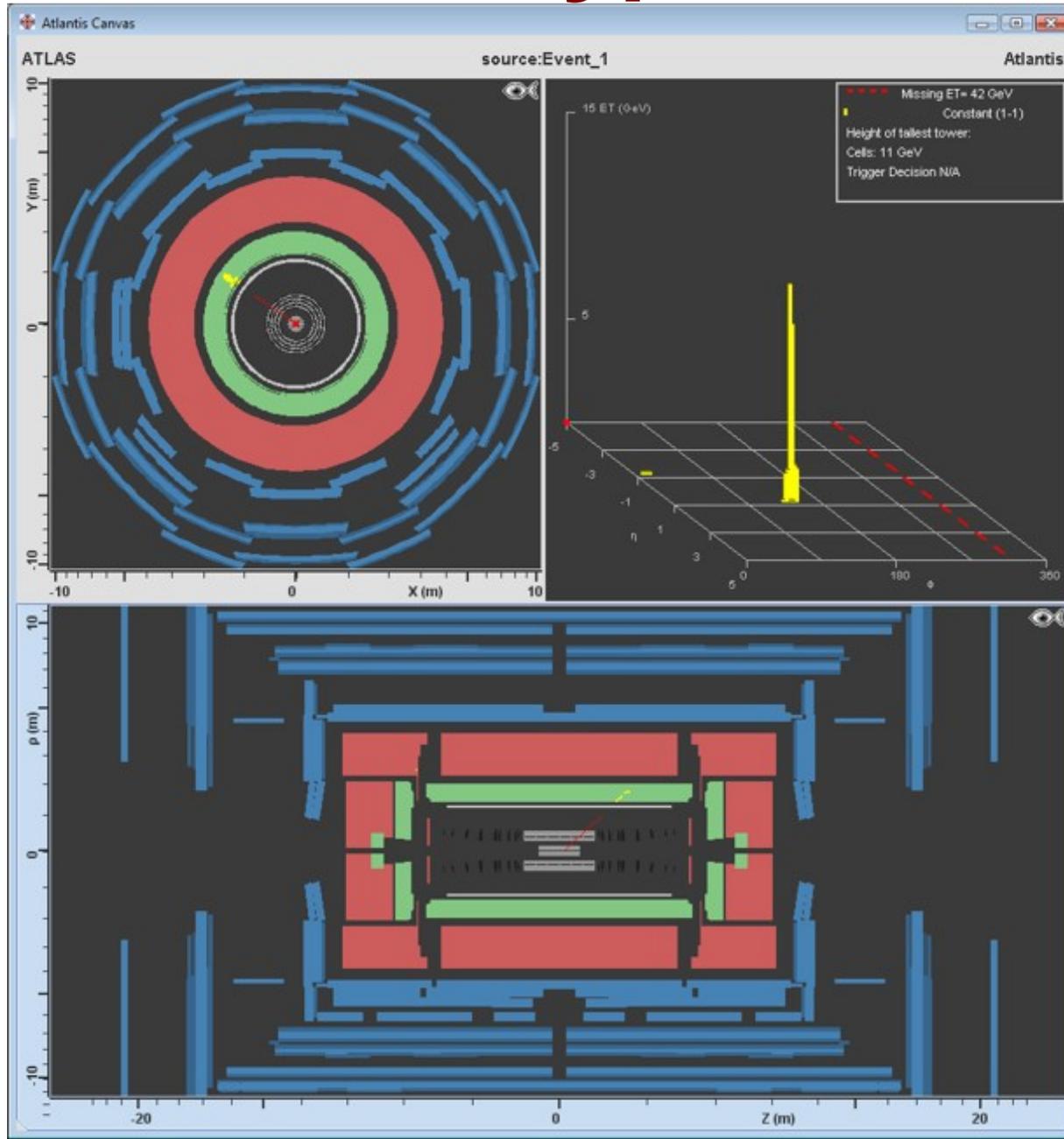


Identifier les électrons/positrons et photons

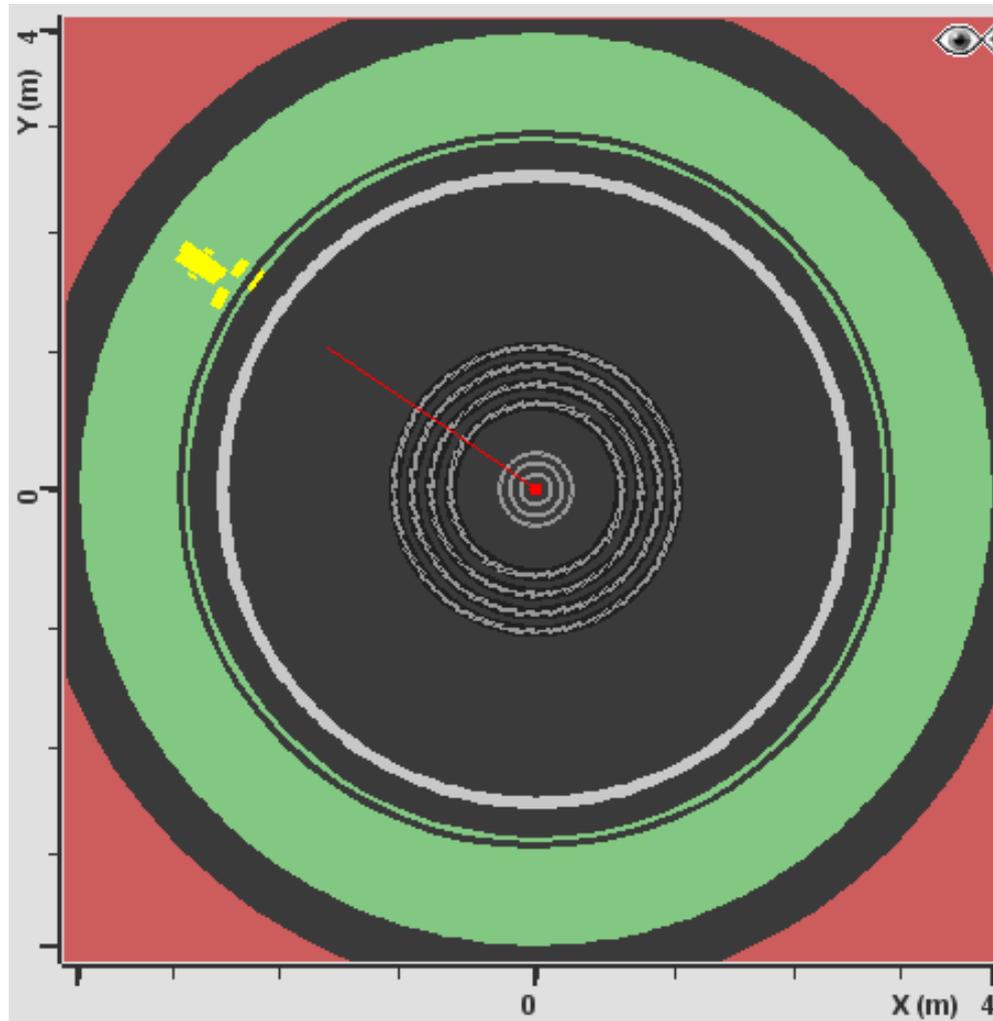
- Gerbe dans le calorimètre EM
- e^+/e^- : particule chargée, trace dans le trajectographe
- Courbure de la trace \rightarrow signe de la charge électrique



Identifier les électrons/positrons avec Hypatia

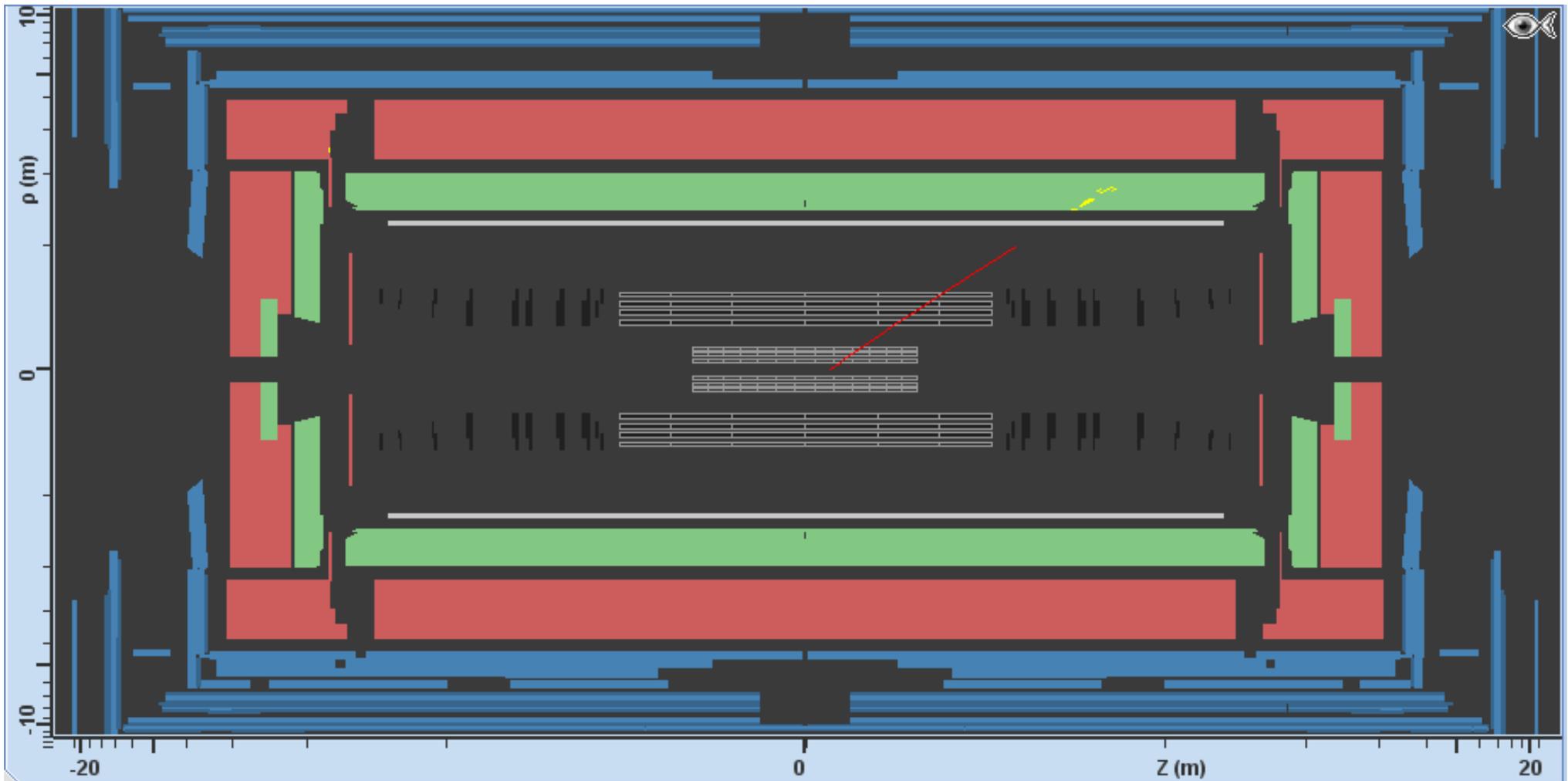


Identifier les électrons/positrons avec Hypatia



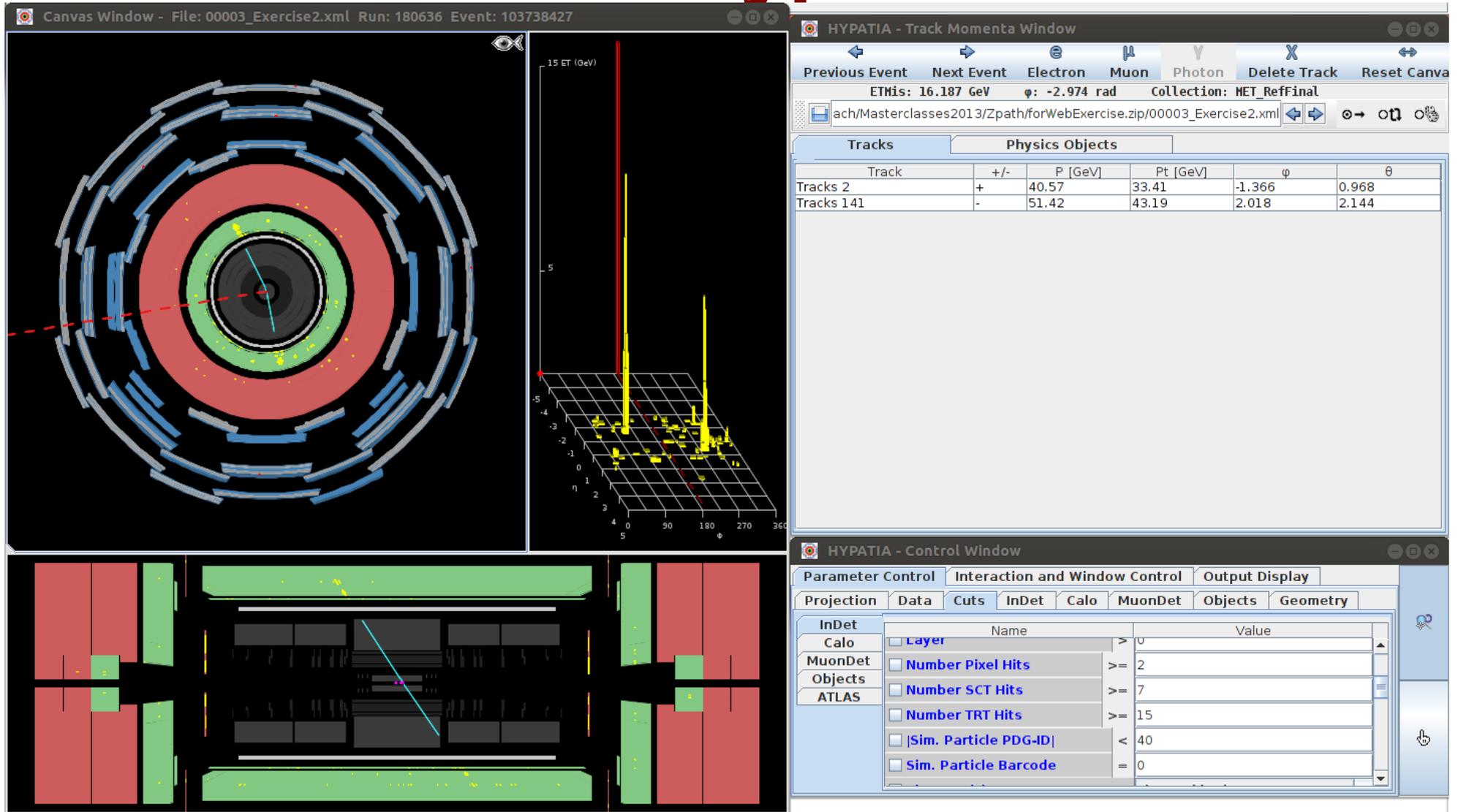
- Trace dans le trajectographe
- Énergie dans le calorimètre

Identifier les électrons/positrons avec Hypatia



- Trace dans le trajectographe
- Énergie dans le calorimètre

Identifier les électrons/positrons avec Hypatia



- Choisir la main et cliquer sur la trace
- La ligne correspondante est surlignée en haut à droite₃₇

Identifier les électrons/positrons avec Hypatia

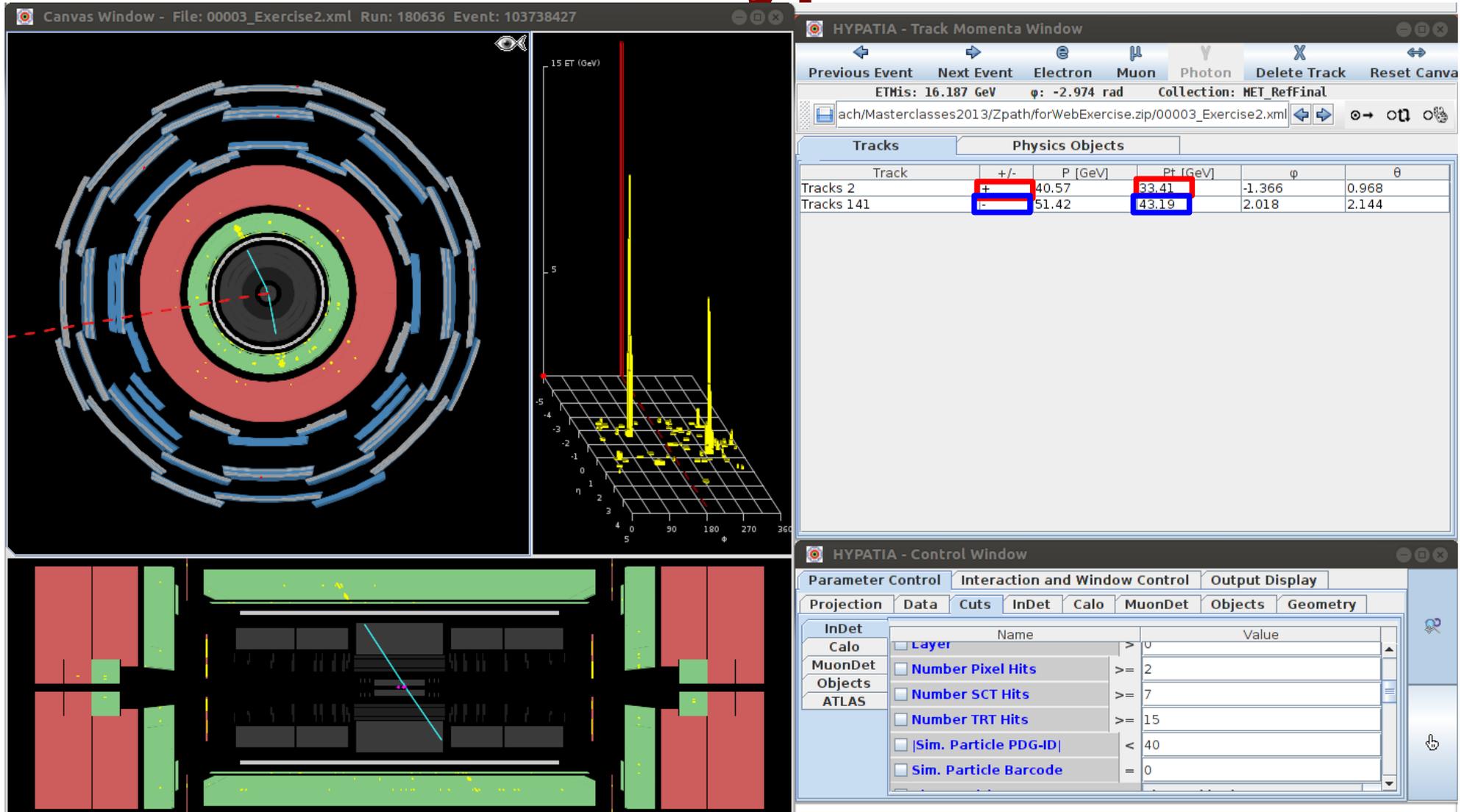
The screenshot displays the Hypatia software interface with three main windows:

- Canvas Window:** Shows a top-down view of the detector with tracks and a 3D plot of track momenta.
- HYPATIA - Track Momenta Window:** Contains a table of track parameters. The table is as follows:

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 2	+	40.57	33.41	-1.366	0.968
Tracks 141	-	51.42	43.19	2.018	2.144
- HYPATIA - Control Window:** Shows parameter control settings for the InDet detector. A red circle highlights the mouse cursor icon in the bottom right corner.

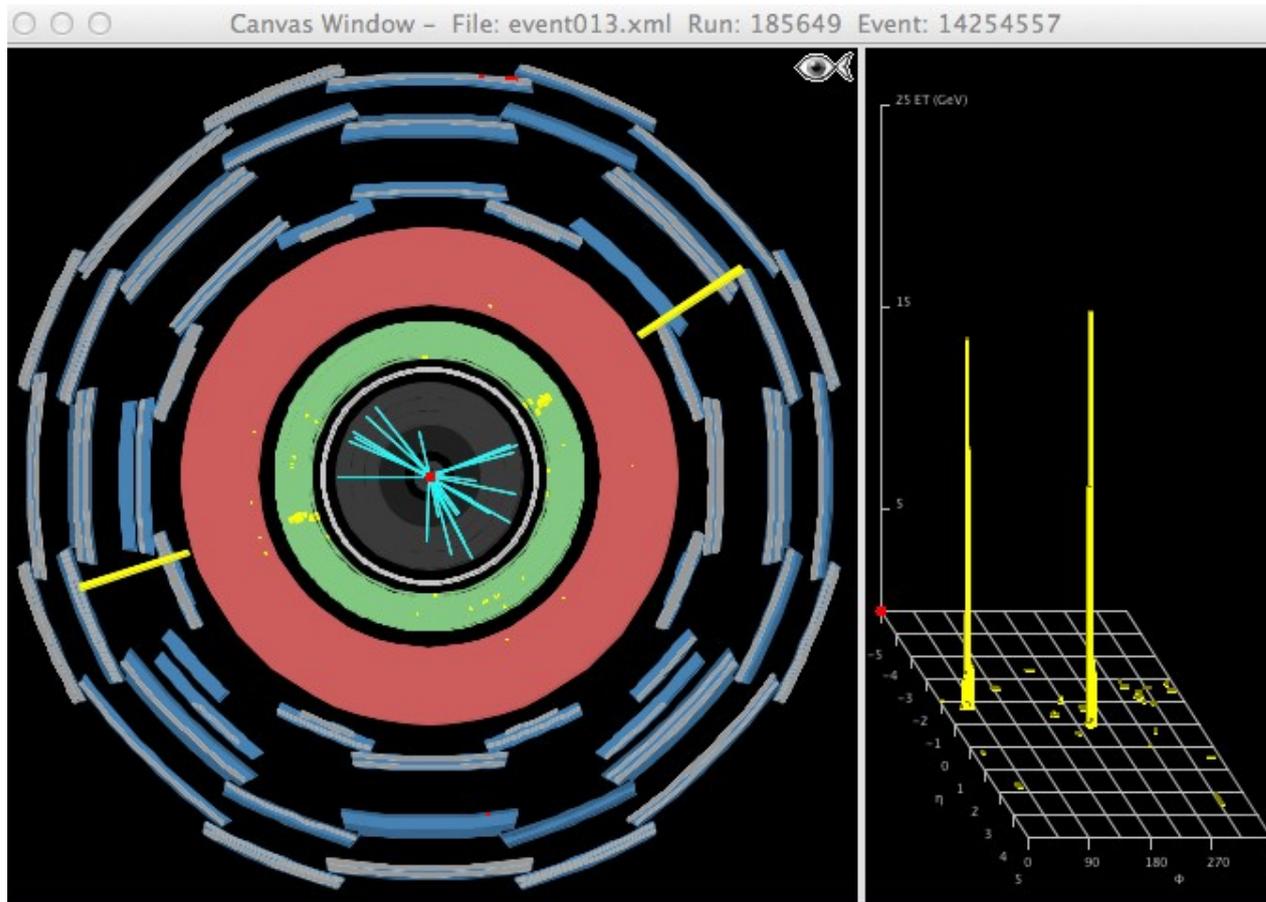
- Choisir la main et cliquer sur la trace
- La ligne correspondante est surlignée en haut à droite₃₈

Identifier les électrons/positrons avec Hypatia

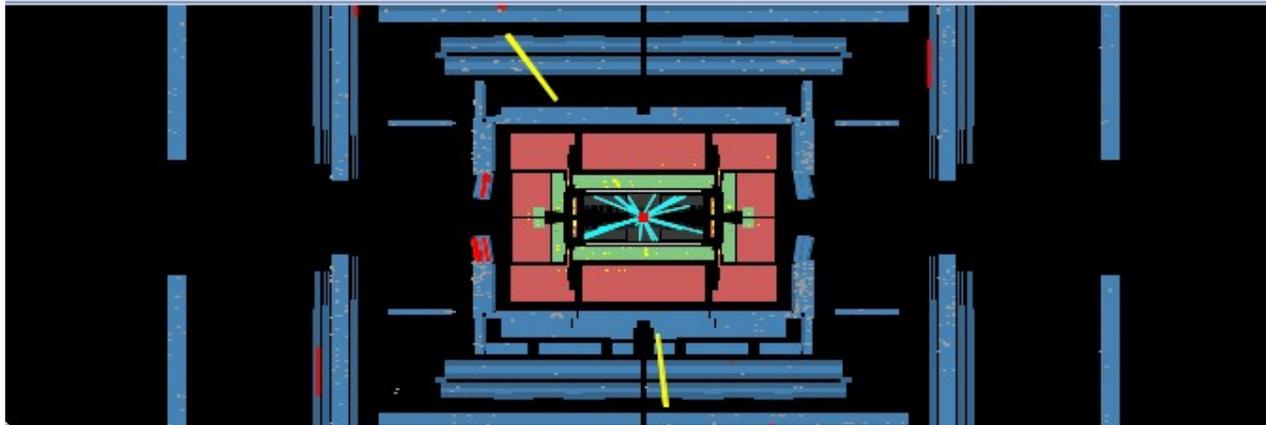


- Pt = impulsion transverse
- Ici charge **négative** → électron, **positive** → positron

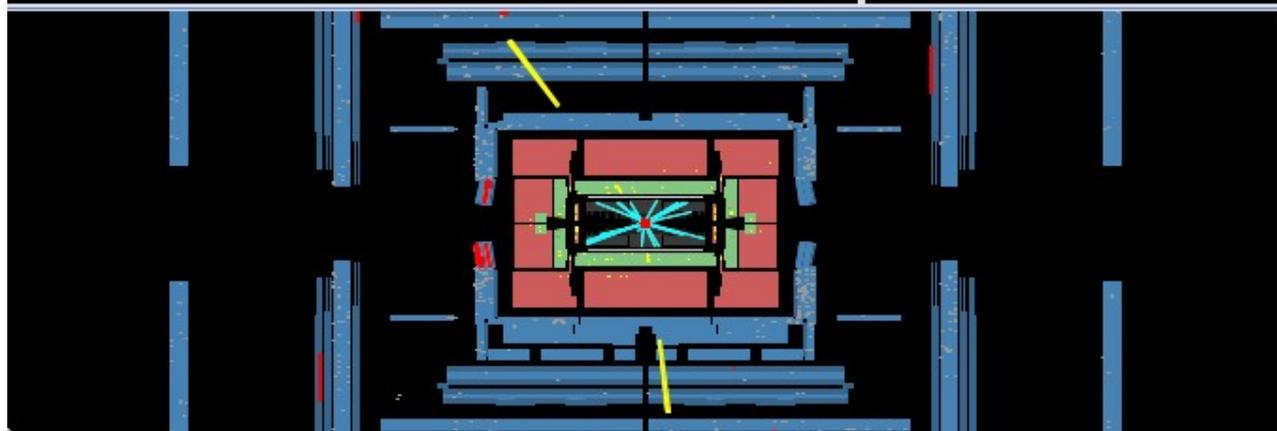
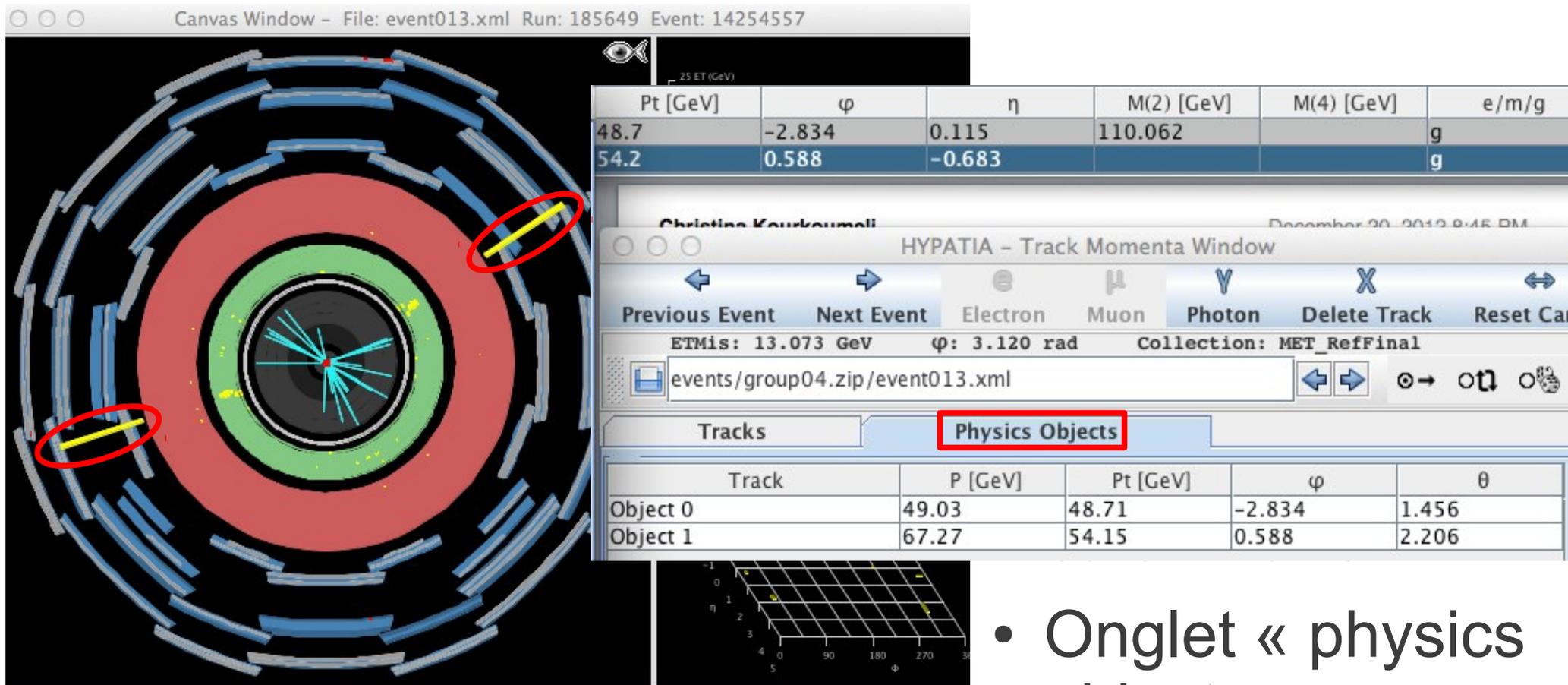
Identifier les photons avec Hypatia



- Ressemble à un électron
- Pas de trace dans le trajectographe
- Énergie dans le calorimètre

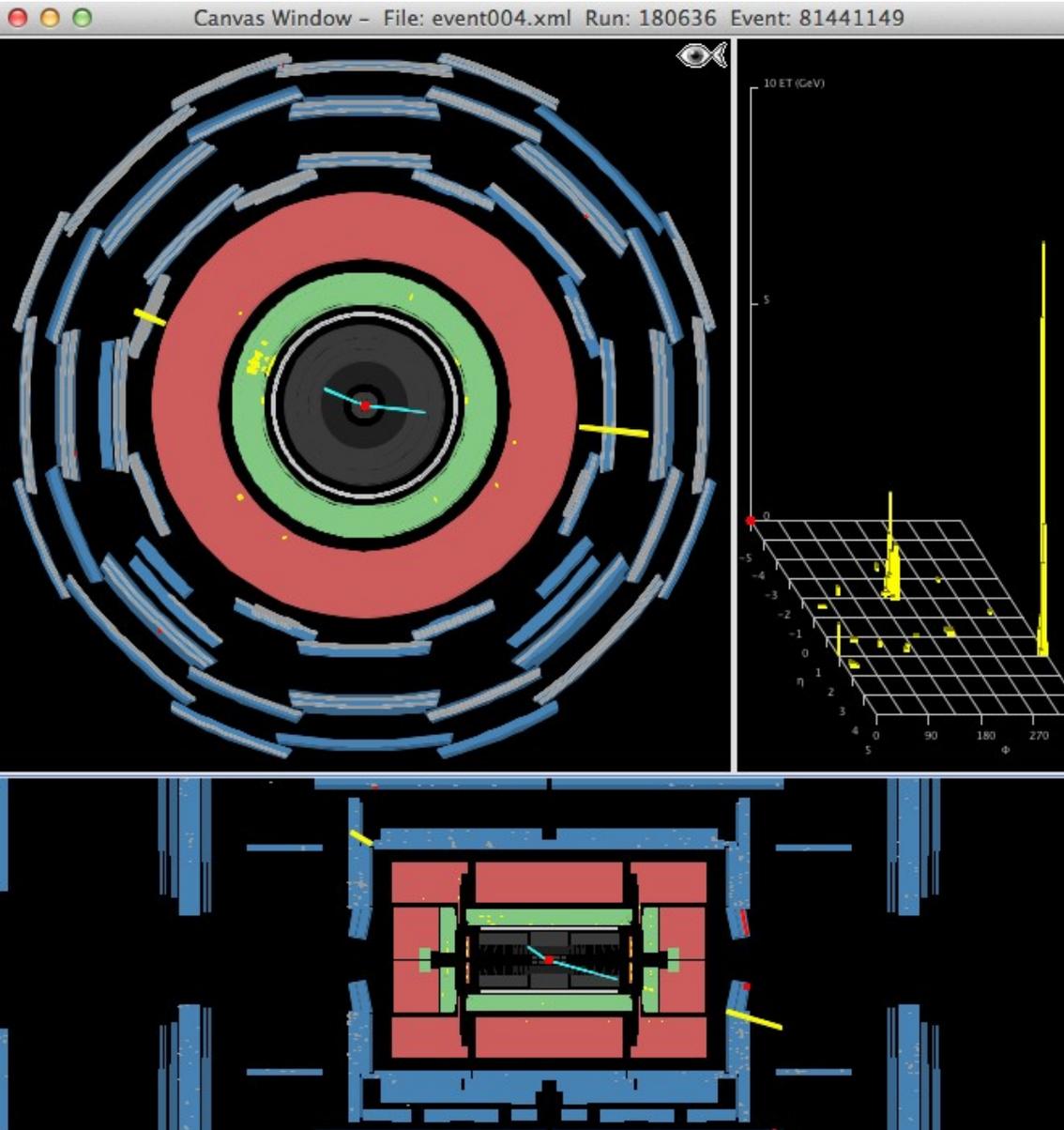


Identifier les photons avec Hypatia



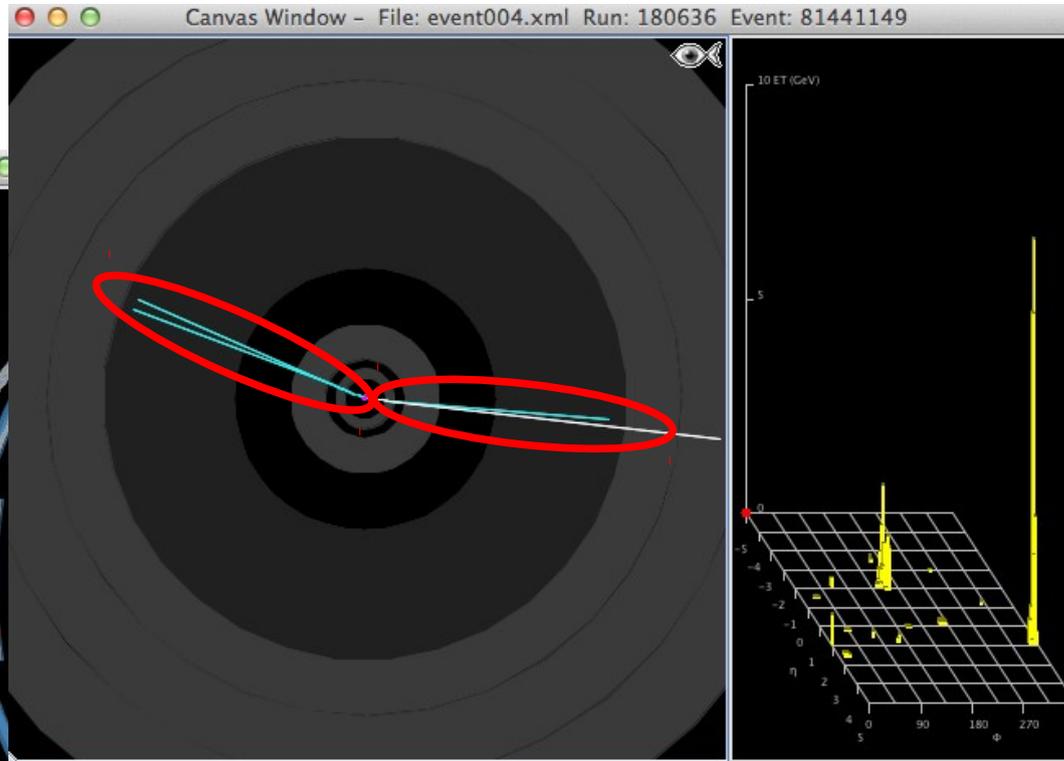
- Onglet « physics objects »
- Énergie dans le calorimètre
- Facile...

Identifier les photons avec Hypatia



- Le piège : les photons peuvent être « convertis » : $\gamma \rightarrow e^+e^-$
- Présence de traces...
- Il faut zoomer pour comprendre

Identifier les photons avec Hypatia



Pt [GeV]	ϕ	η	M(2) [GeV]	M(4) [GeV]	e/m/g
31.5	-0.097	1.941	0.087	134.282	e
8.1	-0.103	1.941			e
5.3	2.762	-1.210	0.097		e
12.7	2.750	-1.209			e

HYPATIA - Track Momenta Window

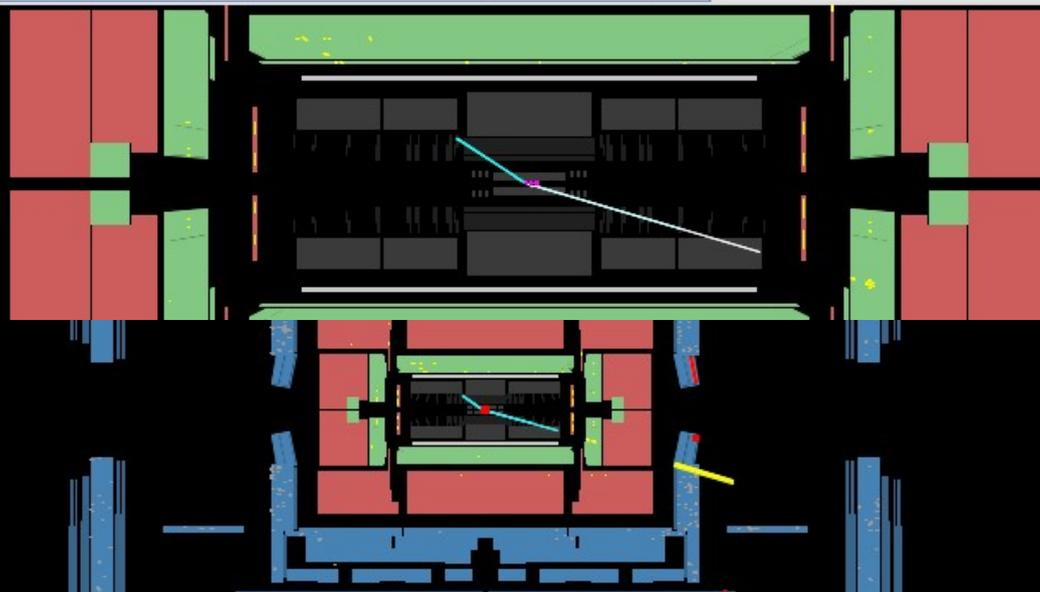
Previous Event Next Event Electron Muon Photon Delete Track Reset Can

ETMis: 13.100 GeV ϕ : 2.678 rad Collection: MET_Reffinal

events/group04.zip/event004.xml

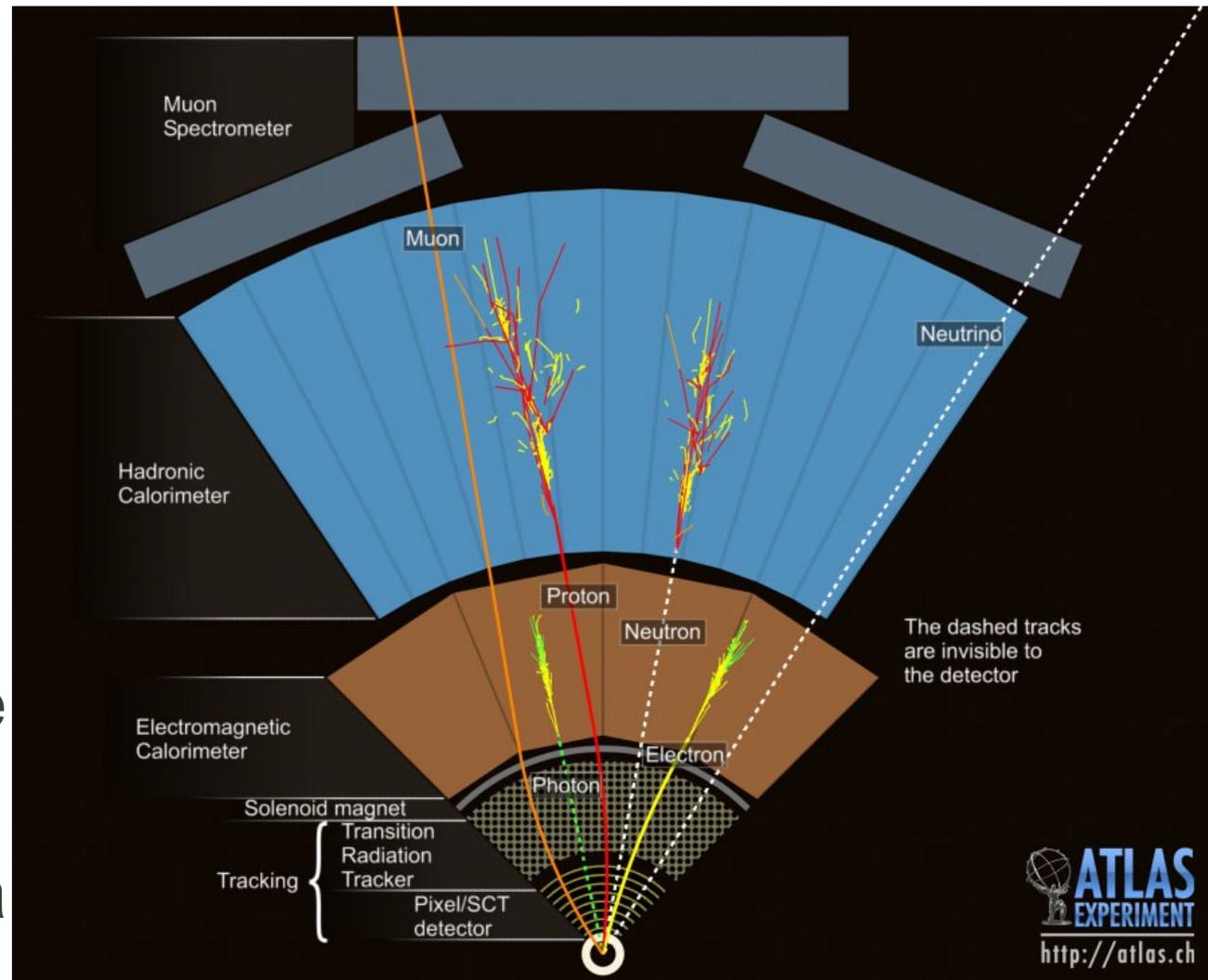
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 0	+	111.98	31.51	-0.097	0.285
Tracks 1	-	28.94	8.14	-0.103	0.285
Tracks 36	+	9.59	5.25	2.762	2.562
Tracks 38	-	23.21	12.72	2.750	2.562

- En fait 2 traces très proches, de charges opposées
- Masse des traces proche de 0 = masse du photon

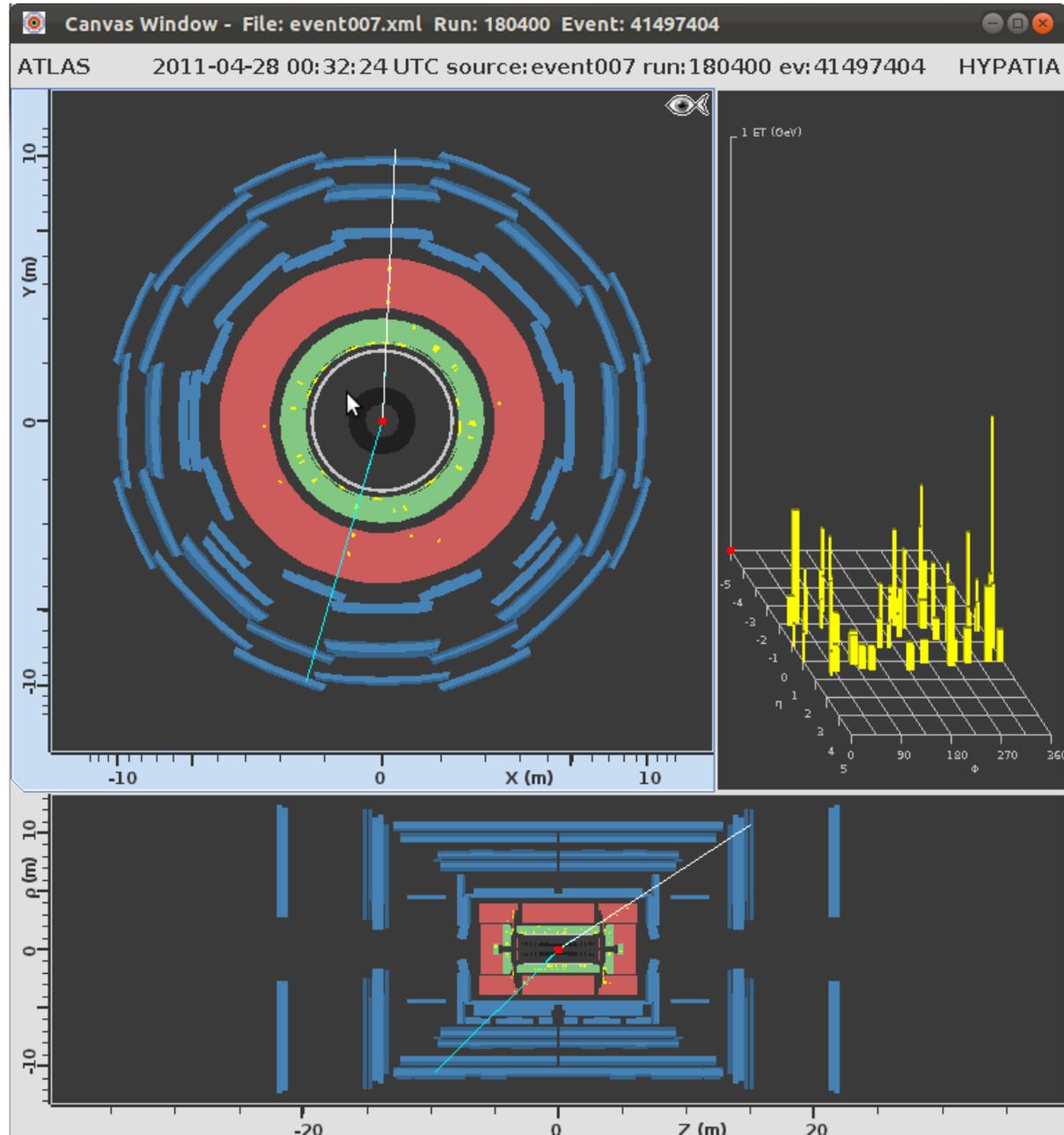


Identifier les muons et antimuons

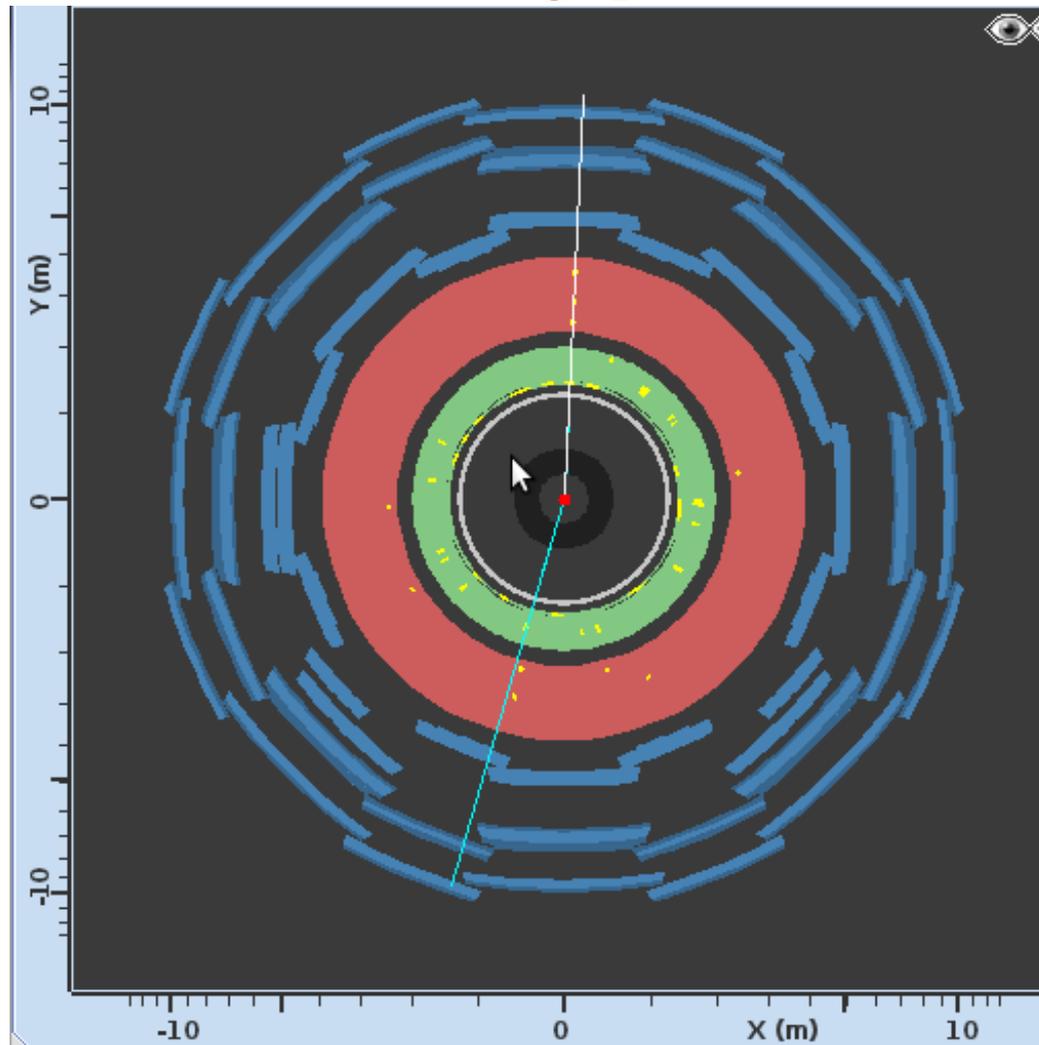
- Particule chargée, trace dans le trajectographe
- Un peu d'énergie dans le calorimètre
- Trace dans le détecteur à muons
- Courbure de la trace → signe de la charge électrique
- Continue sa course à l'extérieur d'ATLAS



Identifier les muons/antimuons avec Hypatia

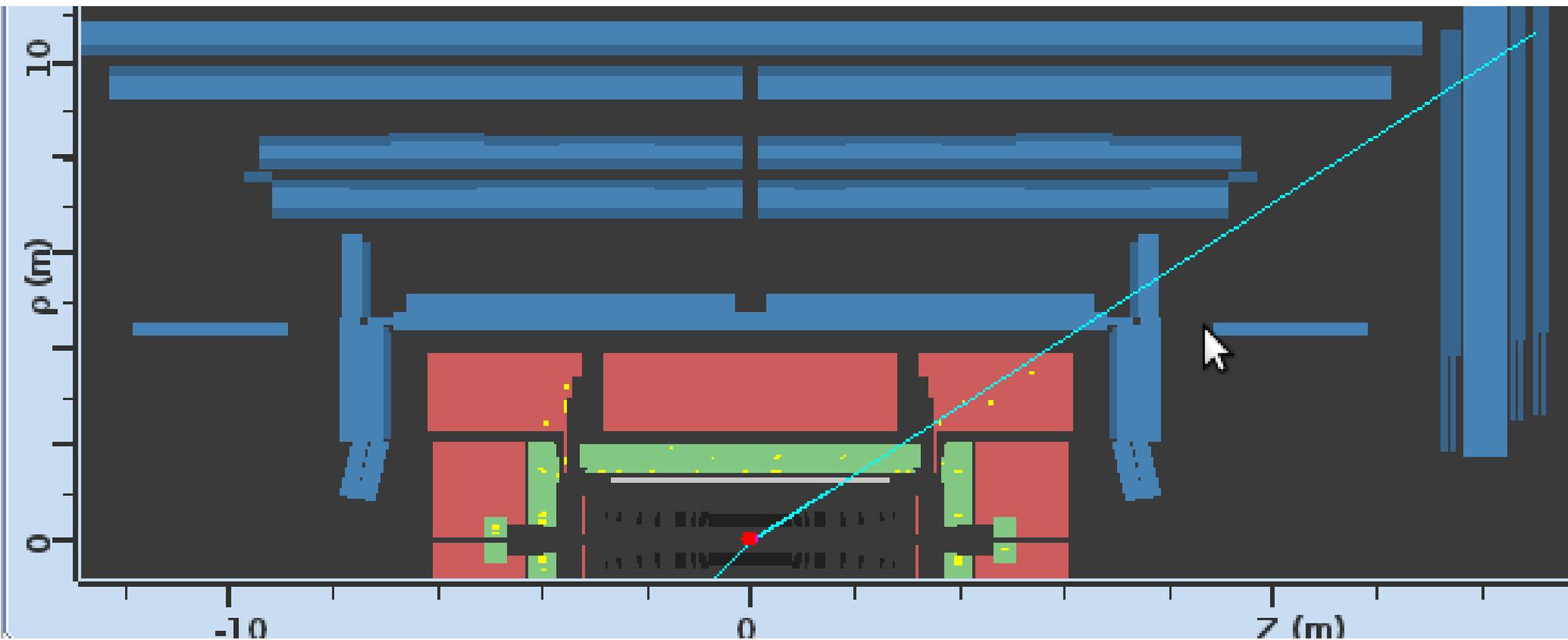


Identifier les muons/antimuons avec Hypatia



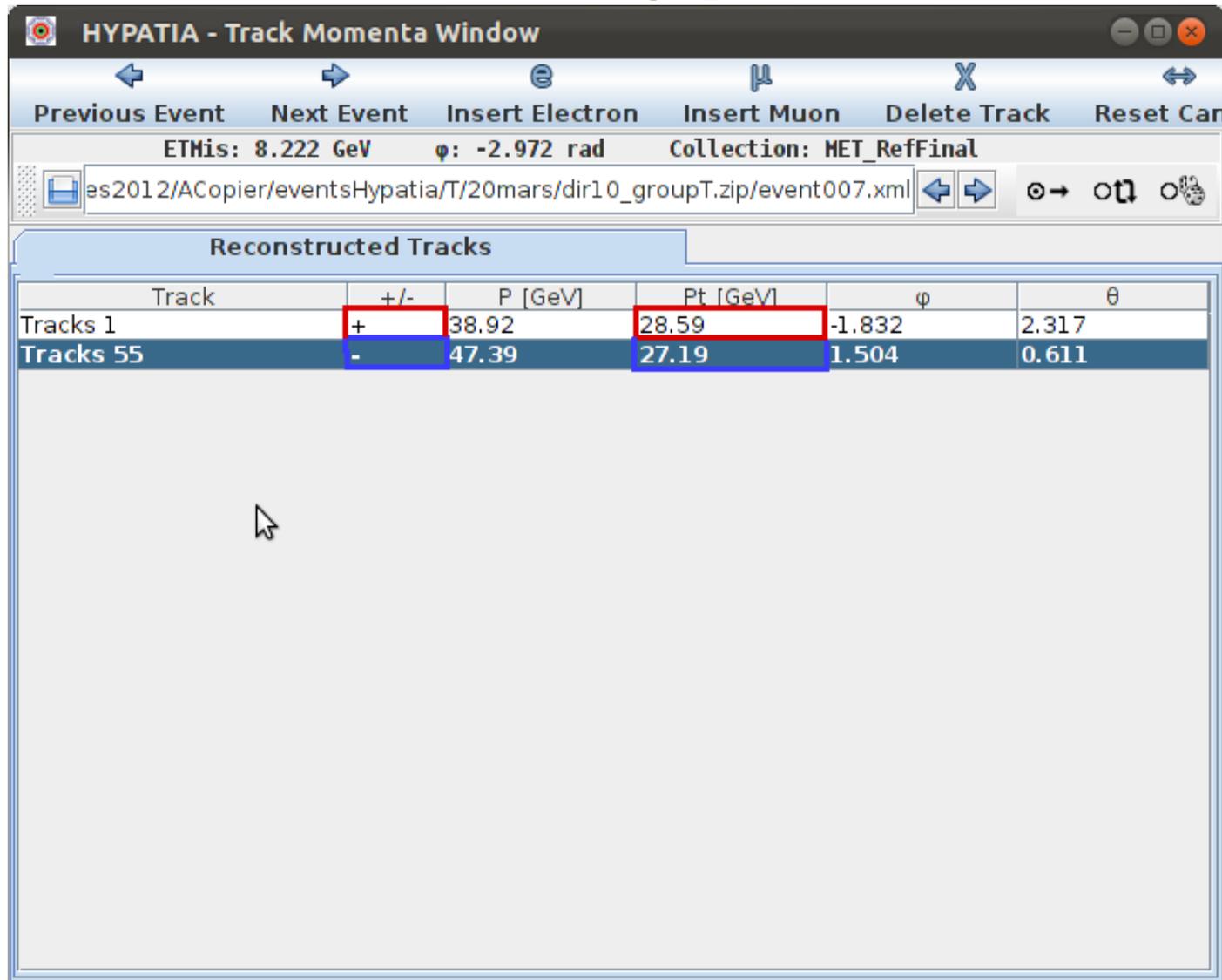
- Trace dans le trajectographe et le système des muons
- Un peu d'énergie dans les calorimètres

Identifier les muons/antimuons avec Hypatia



- Trace dans le trajectographe et le système des muons
- Un peu d'énergie dans les calorimètres

Identifier les muons/antimuons avec Hypatia



HYPATIA - Track Momenta Window

Previous Event Next Event Insert Electron Insert Muon Delete Track Reset Car

ETHis: 8.222 GeV ψ : -2.972 rad Collection: MET_RefFinal

es2012/ACopier/eventsHypatia/T/20mars/dir10_groupT.zip/event007.xml

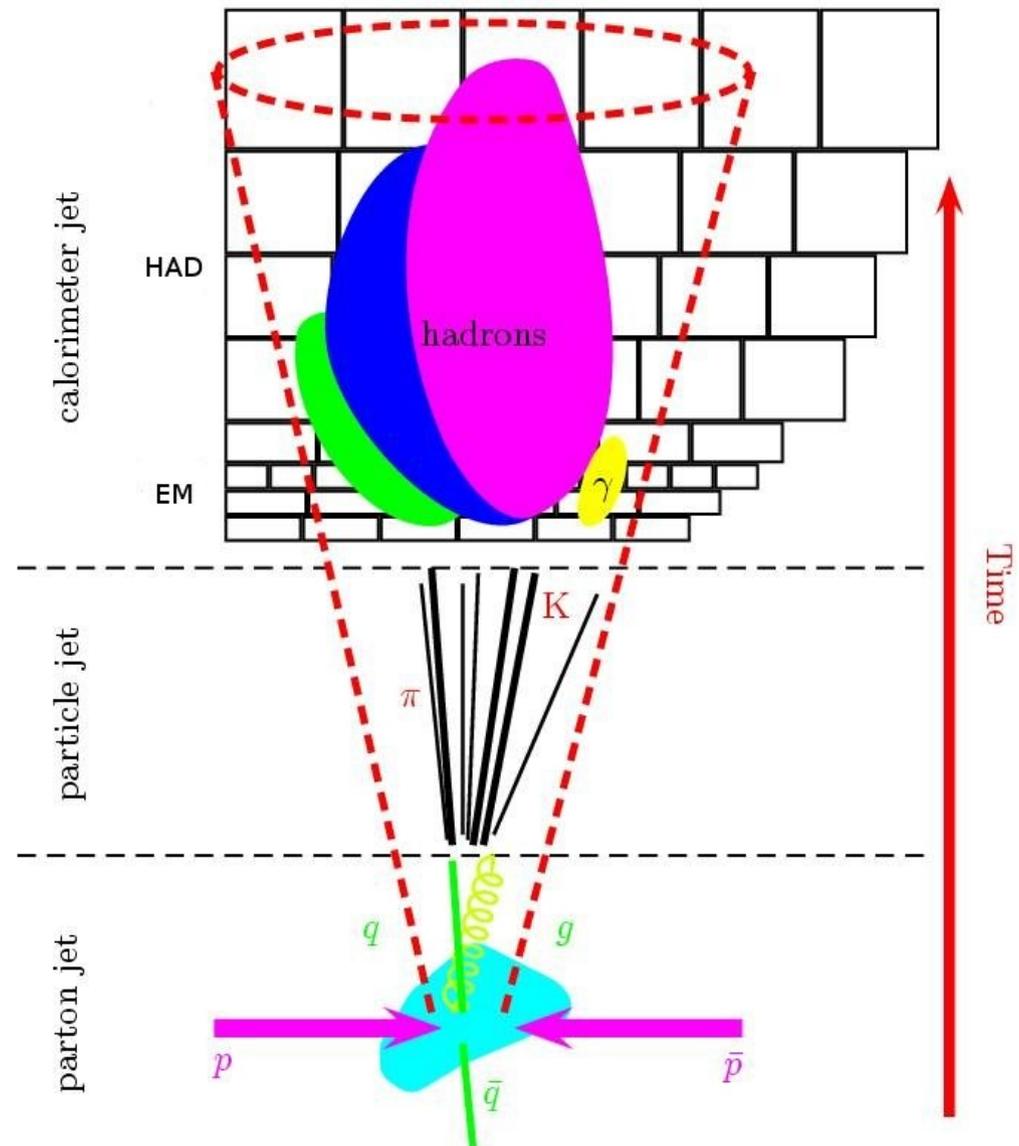
Reconstructed Tracks

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 1	+	38.92	28.59	-1.832	2.317
Tracks 55	-	47.39	27.19	1.504	0.611

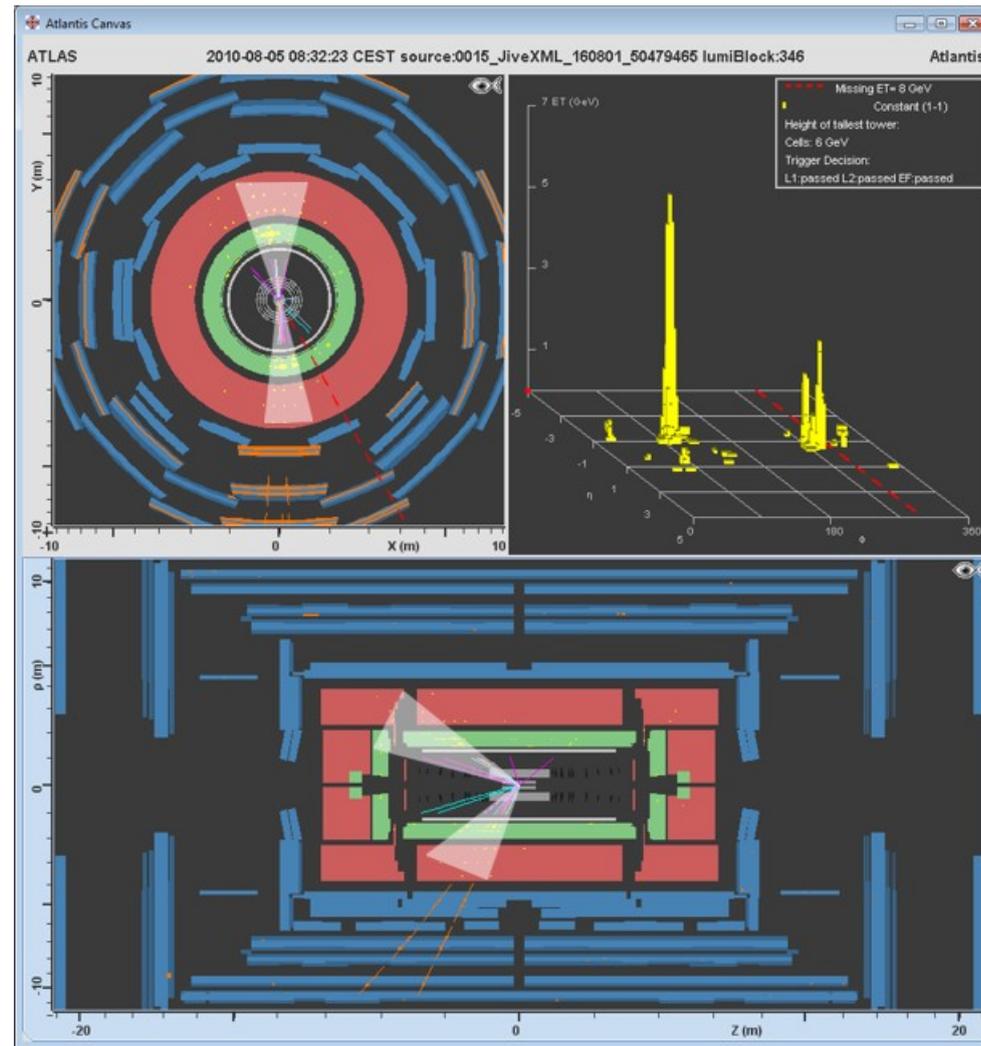
- charge **négative** → muon, **positive** → antimuon

Identifier les quarks/antiquarks et gluons

- Jamais seuls, forment des hadrons
- Gerbes dans le calorimètre EM et surtout hadronique
- Particules chargées, traces dans le trajectographe

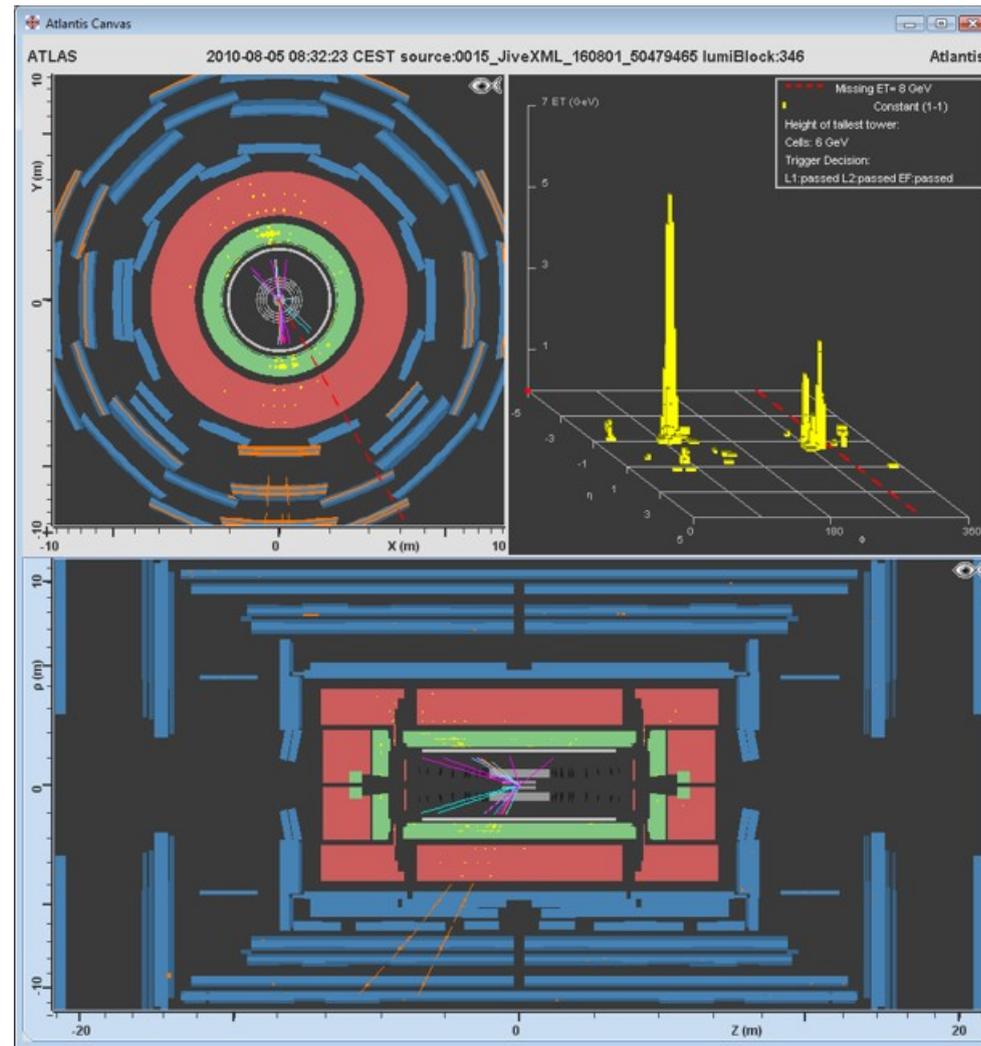


Identifier les jets avec Hypatia



- Nombreuses particules → nombreuses traces
- Dépôts d'énergie dans les calorimètres (surtout hadronique)

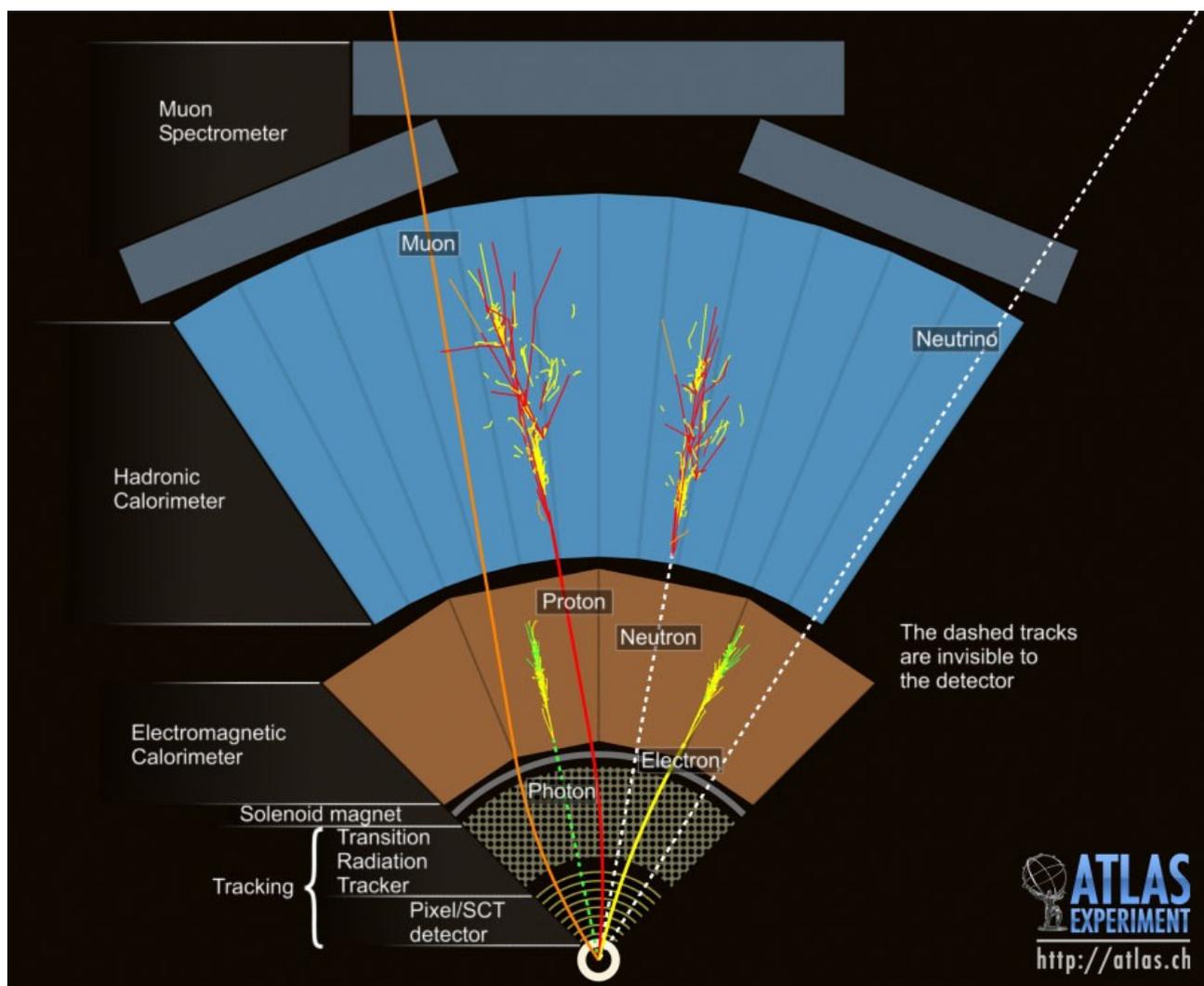
Identifier les jets avec Hypatia



- Nombreuses particules → nombreuses traces
- Dépôts d'énergie dans les calorimètres (surtout hadronique)

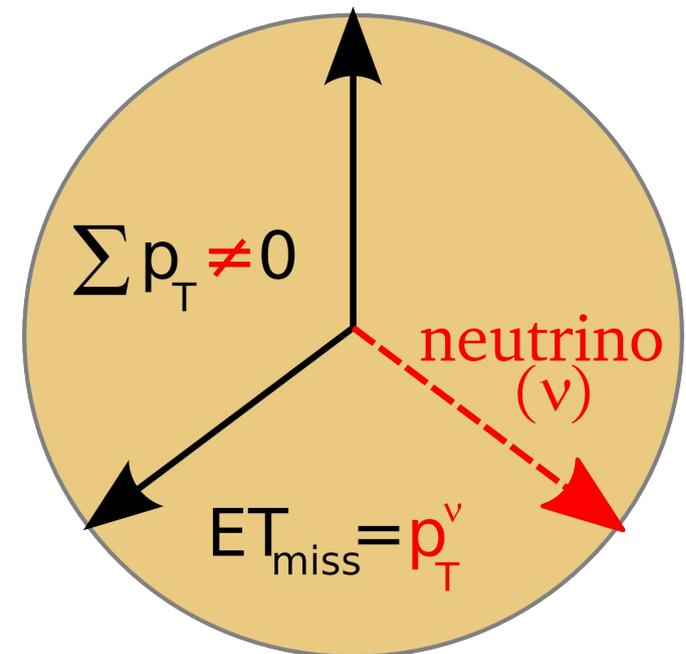
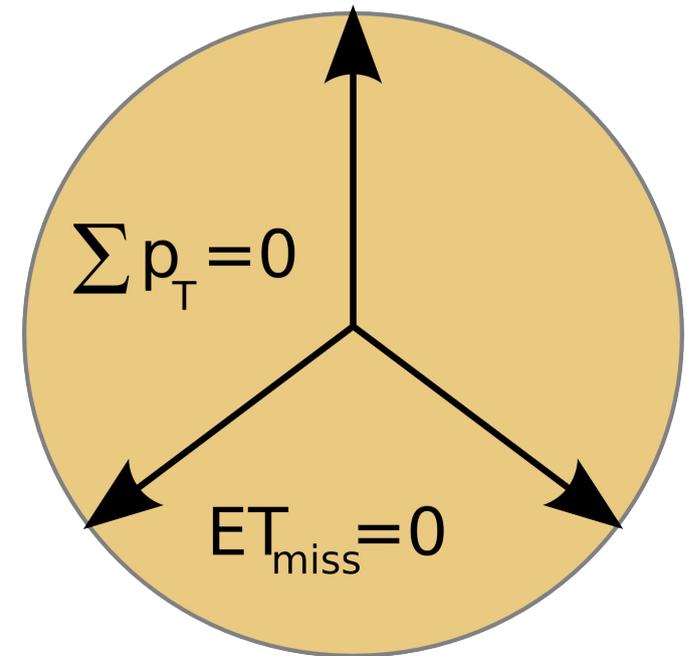
Identifier les neutrinos

- Particule neutre qui n'interagit presque pas avec la matière
- Aucune trace dans le détecteur
- Identifié par induction, en utilisant la conservation de l'impulsion

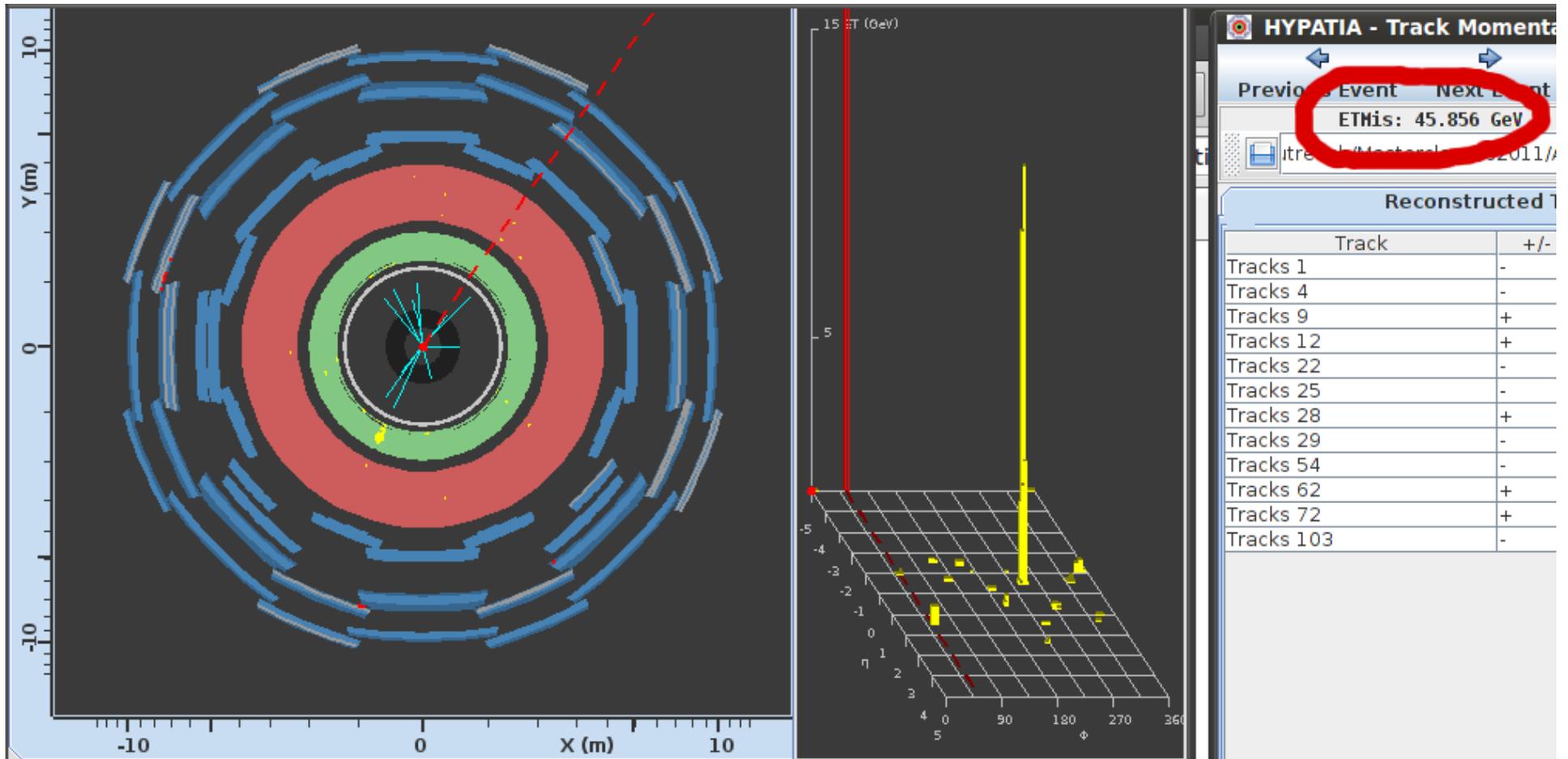


Energie transverse manquante

- Sans neutrino
 - 3 particules reconstruites
 - Somme des impulsions dans le plan transverse : 0
 - Donc $E_T^{\text{miss}} = 0$
- Avec un neutrino
 - On « voit » seulement une partie de l'événement
 - La somme des impulsions n'est pas nulle
 - La différence est E_T^{miss} , associée au neutrino



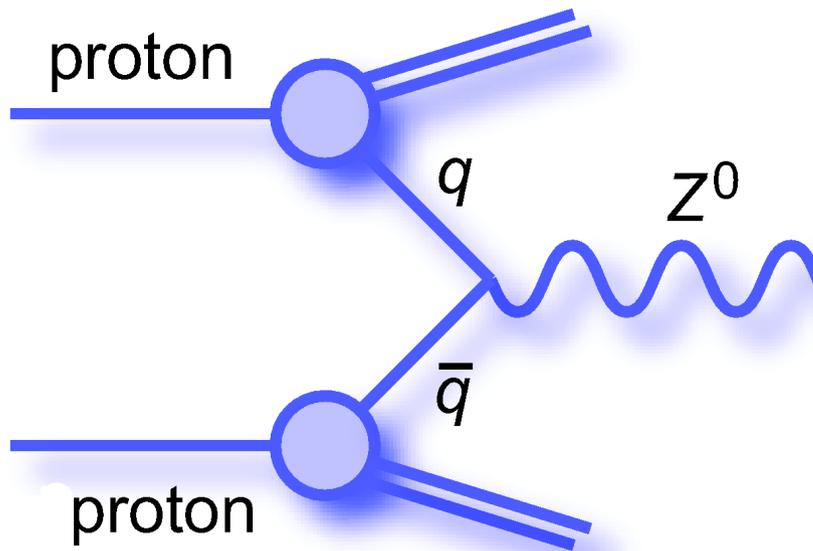
Identifier un neutrino avec Hypatia



- Par conservation, somme des impulsions dans le plan transverse = 0
- Sinon, « énergie transverse manquante (ETMis) » : particules indétectables (ex : neutrinos), non détectées ou mal mesurées
- Représenté par une ligne rouge pointillée, valeur en haut à droite

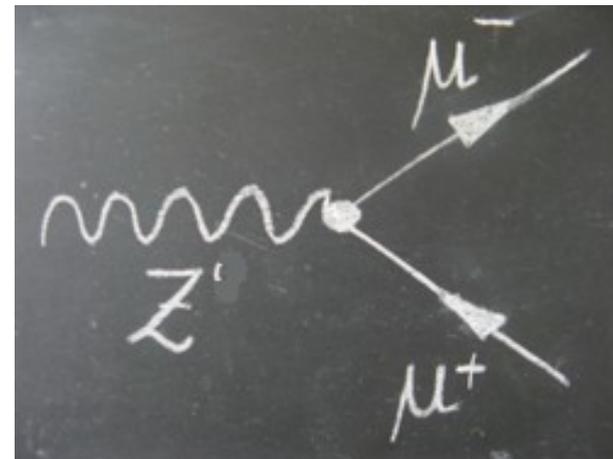
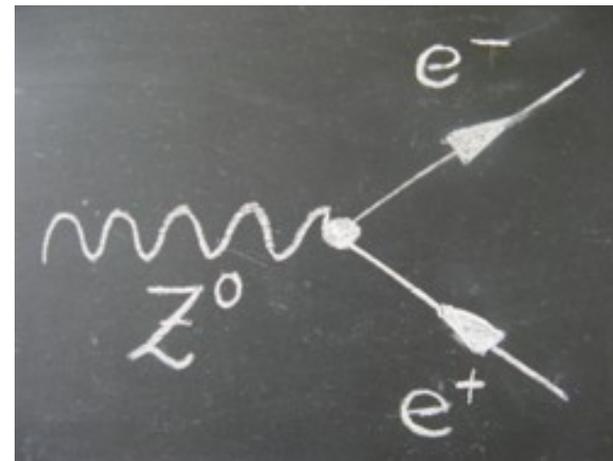
Analyse : observer des résonances, comme des bosons Z

Production



- Fusion d'un quark et d'un antiquark
- Antiquark dans la « soupe » à l'intérieur du proton

Désintégration



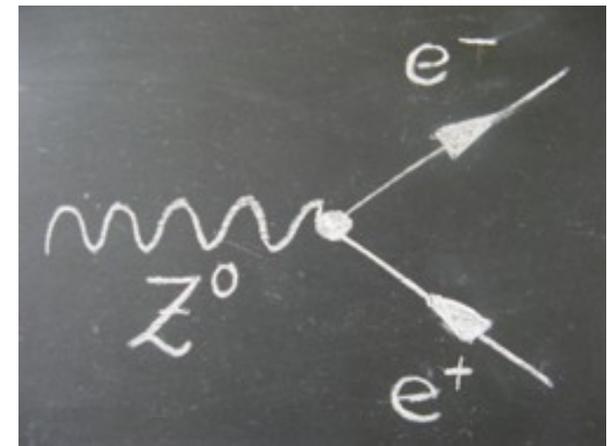
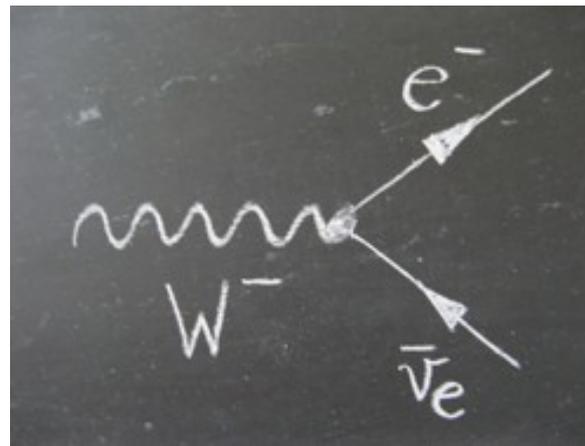
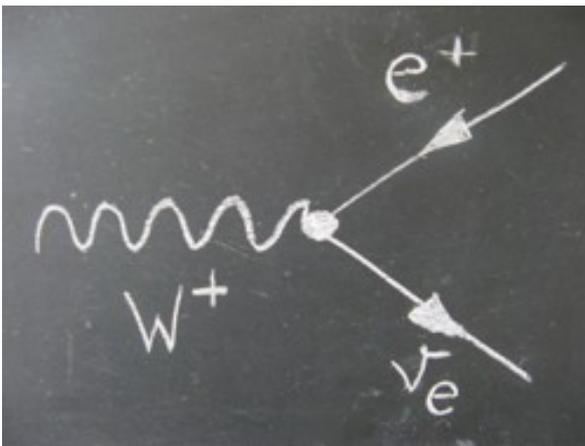
Difficulté : le bruit de fond

- Signature similaire à ce que l'on cherche, mais venant d'une source différente
- Peut être un vrai processus qui fournit le même état final
- Ou bien dû au fait qu'une particule n'est pas vue dans le détecteur
 - par exemple s'échappe le long du faisceau
- Ou bien à une mauvaise reconstruction dans le détecteur
 - il y a un jet et je crois que c'est un électron
- Ou encore à la présence d'autres particules dans l'événement
 - chaque événement contient plusieurs collisions

Exemple de signal et bruit de fond

- Bruit de fond : désintégration de bosons $W \rightarrow e\nu$
- Si un jet supplémentaire est pris pour un électron, cela peut ressembler à un Z

- Signal : $Z \rightarrow ee$



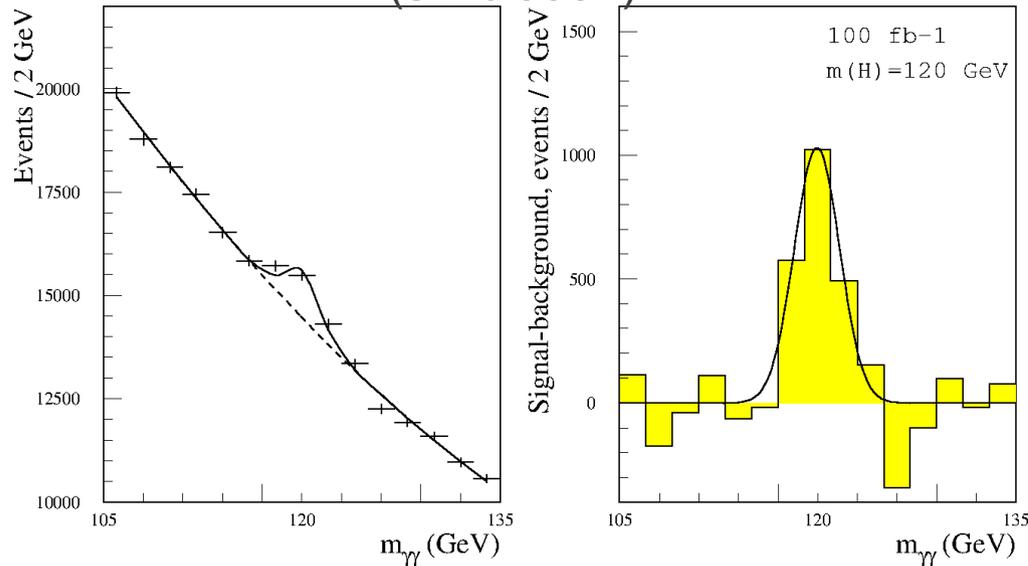
- Si on cherche des événements W , alors les Z peuvent être un bruit de fond !

Et vous ?

- Recherche de bosons Z
 - et d'autres résonances se désintégrant en deux leptons
- Recherche du boson de Higgs
 - $H \rightarrow ZZ \rightarrow e^+e^-e^+e^- / e^+e^-\mu^+\mu^- / \mu^+\mu^-\mu^+\mu^-$
 - $H \rightarrow \gamma\gamma$

Observer des bosons de Higgs

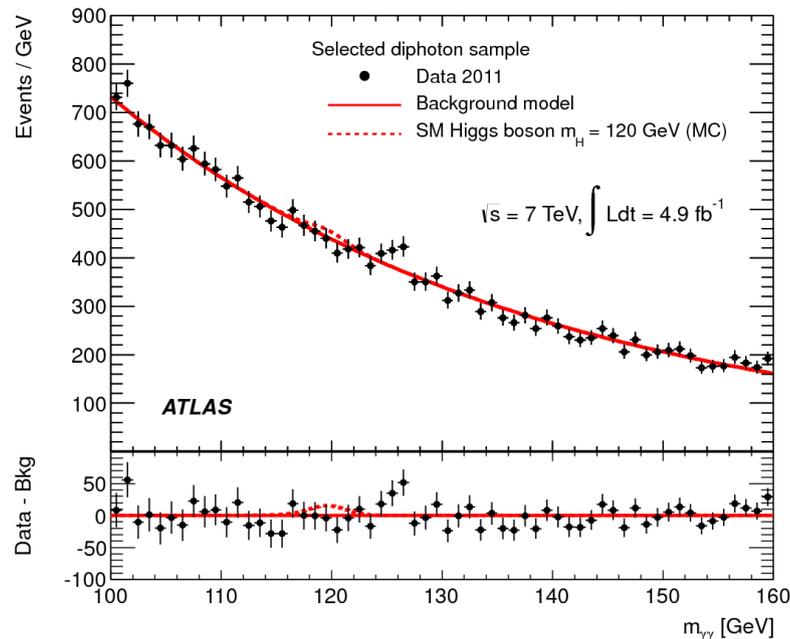
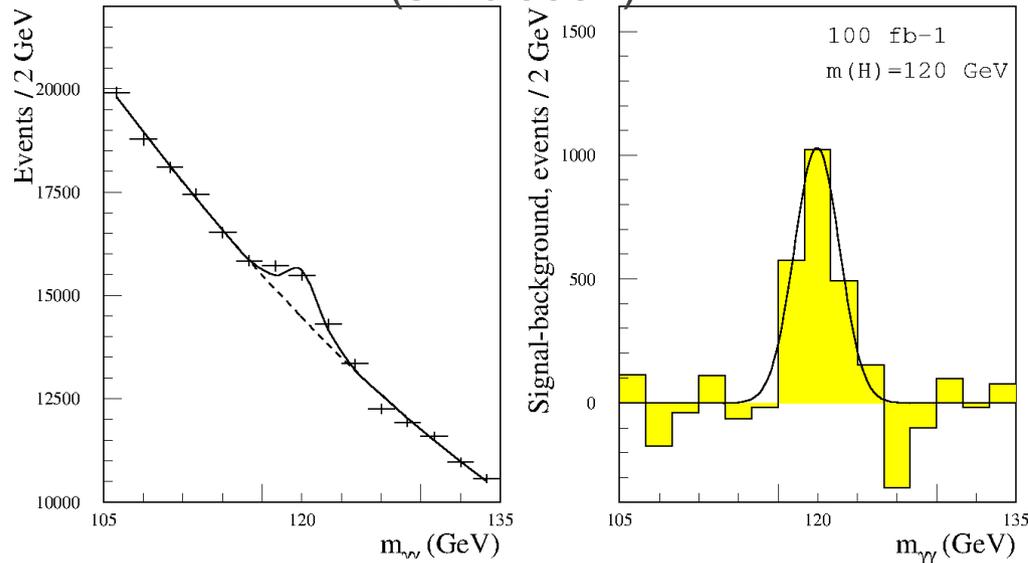
Masse invariante $\gamma\gamma$ avec beaucoup de données
(simulation)



- Si les deux photons (γ) proviennent de la désintégration d'une particule, on obtient la masse de cette particule
- Les mesures ne sont pas parfaites
 - petites variations autour d'une moyenne
- Ici : boson de Higgs de masse 120 GeV
- Le continuum sous le pic est dû au bruit de fond, où les deux particules combinées ne sont pas des paires $\gamma\gamma$ ou ne proviennent pas de la même désintégration

Observer des bosons de Higgs

Masse invariante $\gamma\gamma$ avec beaucoup de données (simulation)



$m_{\gamma\gamma}$ avec 20 fois moins de données (ATLAS, mars 2012)

- Si les deux photons (γ) proviennent de la désintégration d'une particule, on obtient la masse de cette particule
- Les mesures ne sont pas parfaites
 - petites variations autour d'une moyenne
- Ici : boson de Higgs de masse 120 GeV
- Le continuum sous le pic est dû au bruit de fond, où les deux particules combinées ne sont pas des paires $\gamma\gamma$ ou ne proviennent pas de la même désintégration

Liens

Nos présentations



Les Masterclasses



ATLAS grand public



ATLAS en direct

ATLAS sur



ATLAS sur



ATLAS sur



ATLAS sur



Site français du



Le CPPM



Le CERN



Le CERN sur



indico.in2p3.fr/event/Masterclasses2013

physicsmasterclasses.org

atlas.ch

atlas-live.cern.ch

twitter.com/ATLASexperiment

www.facebook.com/ATLASexperiment

www.google.com/+ATLASexperiment

www.youtube.com/theATLASExperiment

www.lhc-france.fr

marwww.in2p3.fr

cern.ch

twitter.com/cern