

A la recherche du boson Z



Master Classes ATLAS

25 mars 2020



Votre mission

Retrouver les particules produites au LHC



Details de la mission

- ◆ Chaque groupe de 2 devra étudier un lot de 50 événements (collisions de proton) à télécharger sur un PC (nom du lot à côté du PC)
 - ◆ Rechercher des électrons (e), muons (μ) et photons (γ) dans le détecteur
 - ◆ Les assembler par paire et calculer la masse pour trouver des bosons Z (91 GeV), J/Ψ (3 GeV), Y (10 GeV) et H (125 GeV) et de nouvelles particules
 - + Quand 2 bosons Z dans même événement, calculer la masse des 2 Z qui pourrait venir d'un boson H
 - ❖ Ces informations seront reprises dans une feuille récapitulative à côté du PC
-
- Prenez 5-10 minutes pour comprendre l'exercice avec les premiers événements puis traiter un événement par minute
 - A la fin les résultats de tous les groupes seront combinés

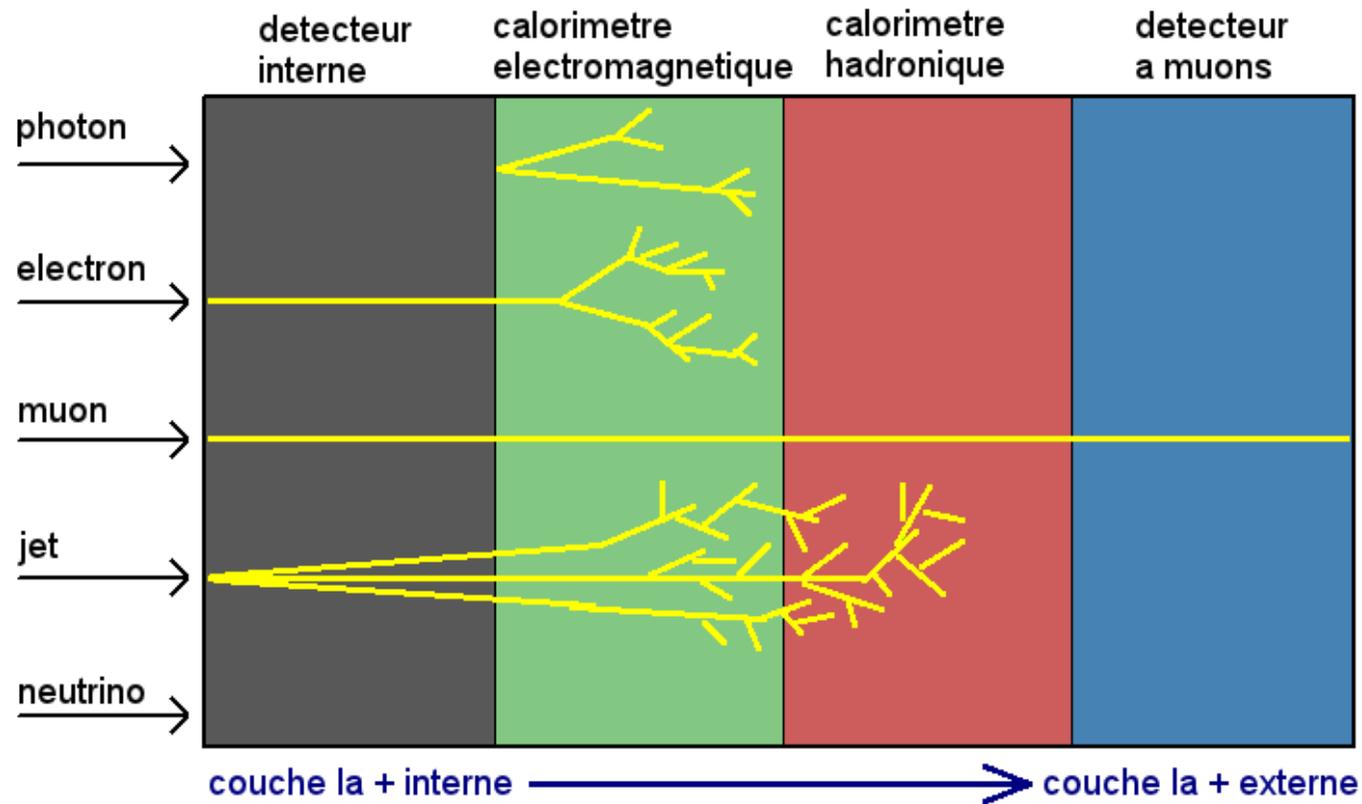
Le logiciel Hypatia

Le détecteur



Interaction particules-détecteur (1)

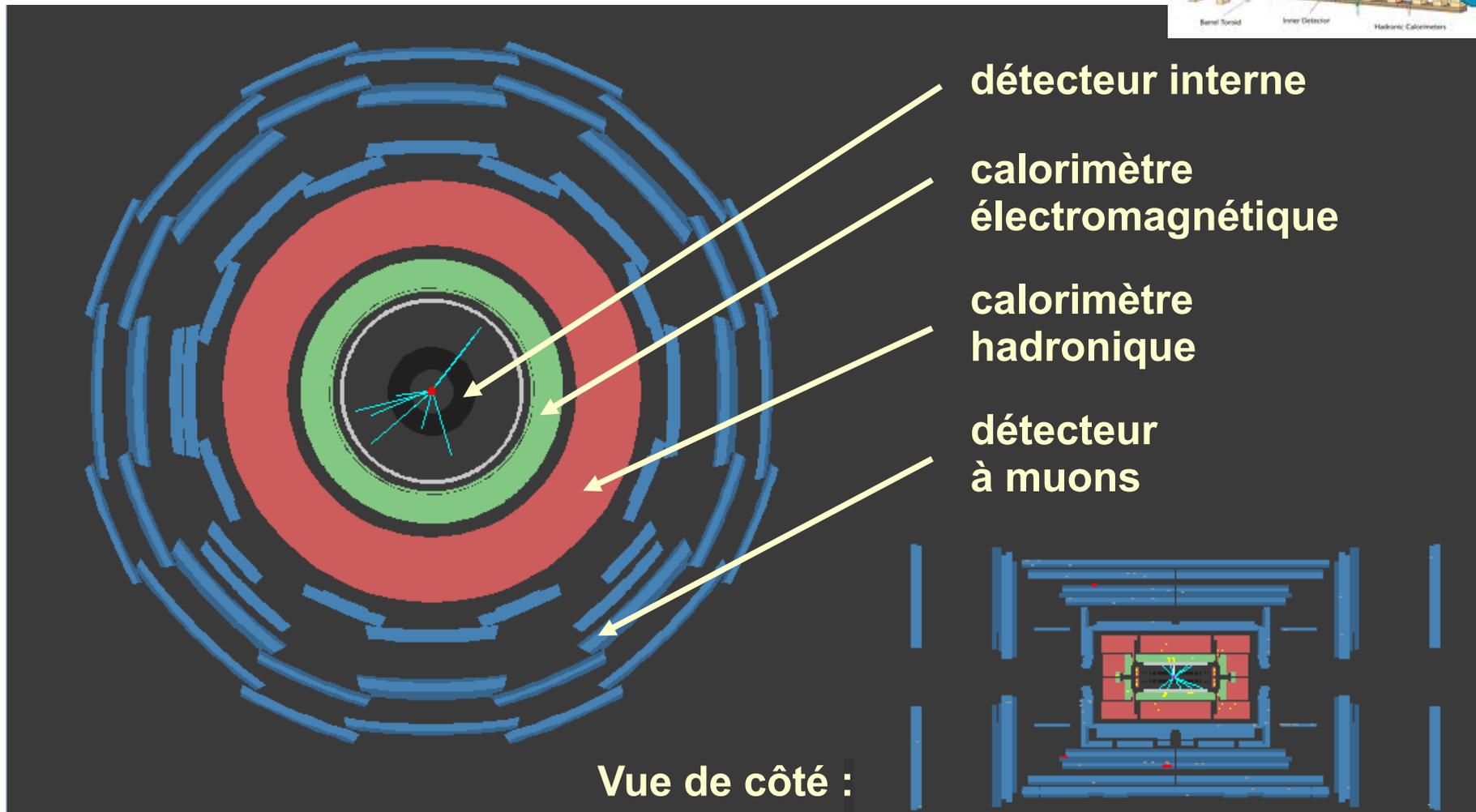
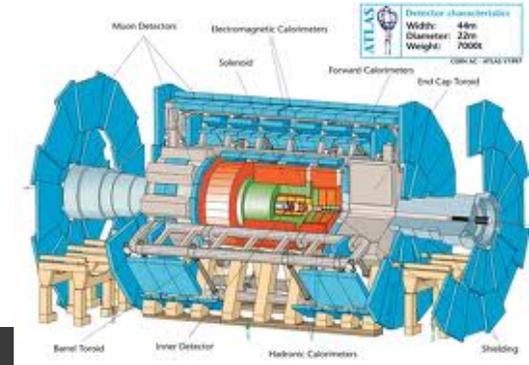
- ◆ Les différentes particules laissent des traces différentes suivant leur nature et suivant le type de détecteur





Interaction particules-détecteur (2)

- ◆ A quoi ça ressemble dans le logiciel Hypatia :



Le logiciel Hypatia

Reconnaître une particule



A quoi ressemble un événement quelconque

The screenshot displays the HYPATIA software interface for event reconstruction. The main window is divided into several panels:

- Top Left:** A top-down view of the detector showing tracks (red and blue lines) and energy deposits (yellow dots) within the detector's geometry (red and green rings).
- Top Right:** A 3D plot showing the event's energy distribution. The vertical axis is labeled "4 ET (GeV)" and ranges from 0 to 4. The horizontal axes are labeled "p_T" and "φ".
- Bottom Left:** A side-view reconstruction of the detector showing tracks and energy deposits within the detector's geometry.
- Right Panel (HYPATIA - Tracks):** A table listing track parameters. The table has columns for Track, +/-, and P [GeV].
- Bottom Right Panel (HYPATIA - Parameter Control):** A control panel for projection and data selection. It includes tabs for Projection, Data, Cuts, InDet, and Calo. The InDet section is expanded, showing a list of parameters with checkboxes.

Track	+/-	P [GeV]
Tracks 0	-	6,84
Tracks 4	+	195,47
Tracks 5	-	164,88
Tracks 6	-	7,05
Tracks 7	+	11,48
Tracks 8	-	1,13
Tracks 10	-	4,94
Tracks 11	+	5,08
Tracks 14	-	3,79
Tracks 15	-	15,66
Tracks 16	+	5,73
Tracks 18	-	2,88
Tracks 20	-	6,43
Tracks 21	-	6,40

The Parameter Control panel shows the following settings:

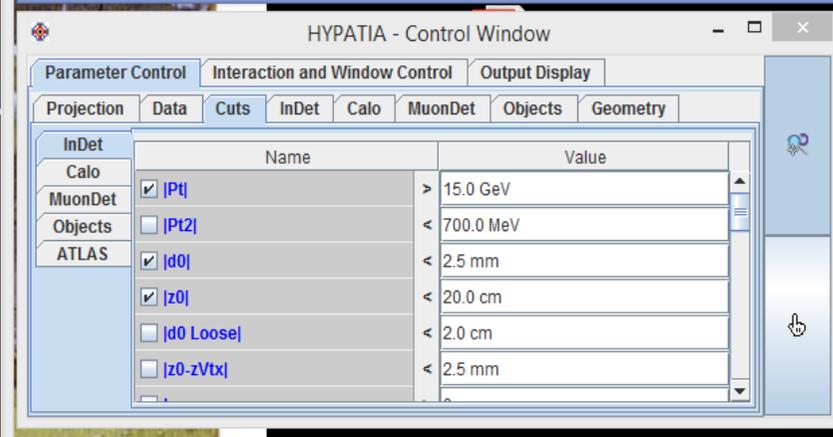
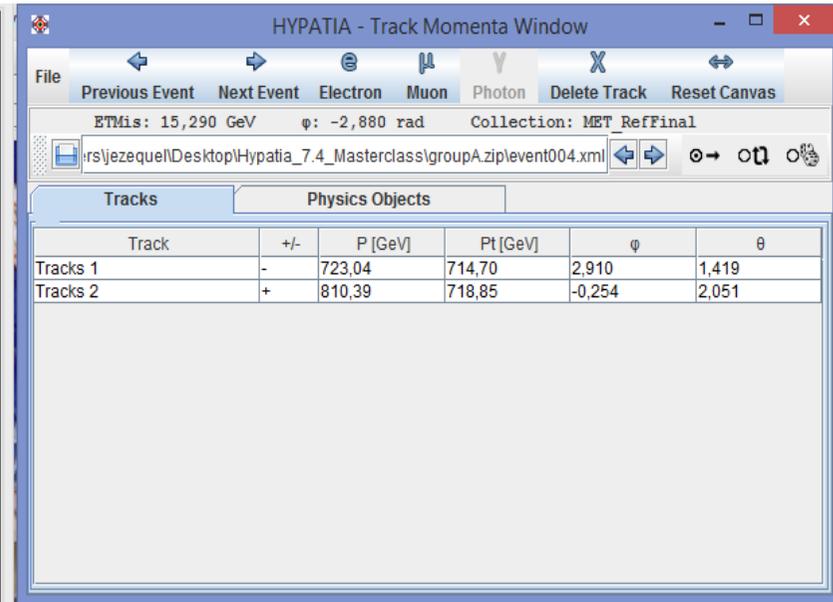
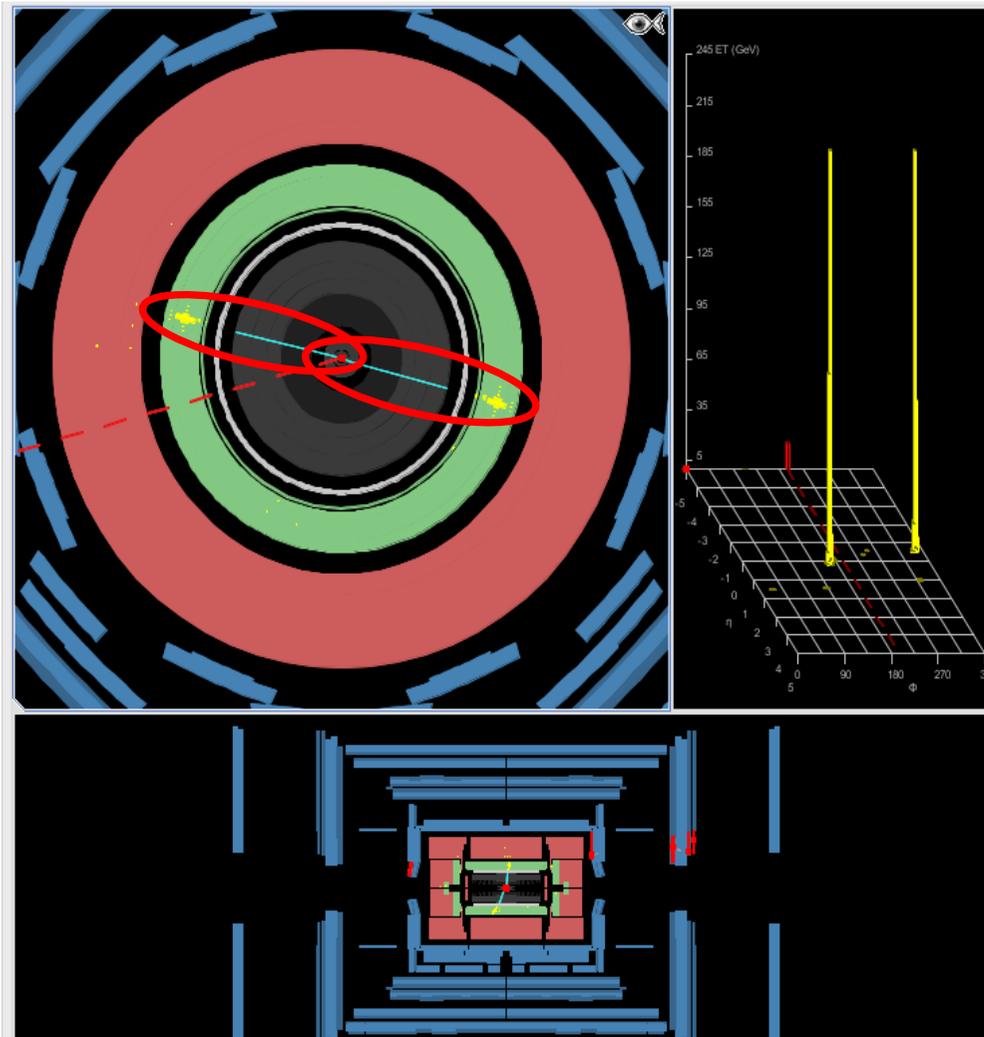
- InDet:** Calo, MuonDet, Objects, ATLAS
- Calo:** |Pt|, |Pt2|
- Objects:** |d0|, |z0|, |d0 Loose|, |z0-zVtx|



Reconnaitre un électron



- ◆ électron et positron = trace dans le détecteur interne + dépôt dans le calorimètre électromagnétique
- Faire correspondance géométrique à l'œil dans les 2 dimensions





Reconnaitre un photon

- ◆ photon = pas de trace dans le détecteur interne + dépôt dans le calorimètre électromagnétique

The screenshot displays the HYPATIA software interface for ATLAS data analysis. The main window is titled "HYbrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.3 - Invariant Mass Window". It features a menu bar (File, View, Histograms, Preferences, Help) and a toolbar with various analysis tools. The interface is divided into several panels:

- Top Left:** A 2D view of the ATLAS detector cross-section, showing the inner and outer calorimeters. Two red circles highlight specific regions in the electromagnetic calorimeter.
- Top Right:** A histogram showing the energy deposit (ET) in GeV. The y-axis ranges from 0 to 35 GeV, and the x-axis ranges from -5 to 5. Two prominent peaks are visible at approximately 108 GeV and 74 GeV.
- Bottom Left:** A 3D view of the detector, showing the calorimeter layers and the interaction point. Two red circles highlight the same regions as in the 2D view.
- Right Panel:** The "HYPATIA - Track Momenta Window" displays a table of physics objects. The table has columns for Track, P [GeV], Pt [GeV], ϕ , and θ . The "Physics Objects" tab is selected, and two objects are listed:

Track	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Object 0	108.45	65.07	0.773	2.498
Object 1	73.65	52.06	-2.193	2.356

The "HYPATIA - Control Window" at the bottom right shows the "Data" tab selected, with a table of parameters and their values:

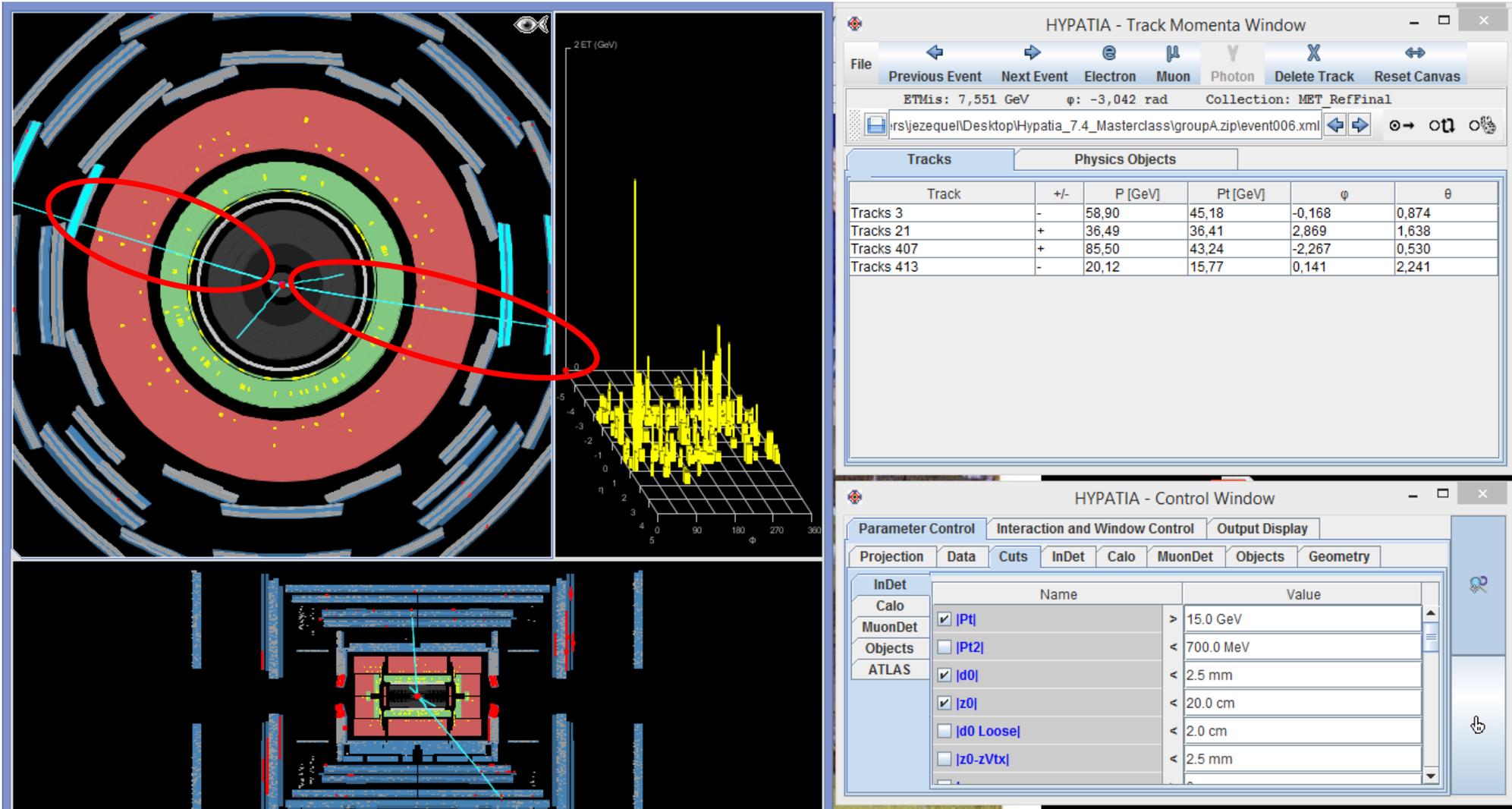
Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Status	
<input checked="" type="checkbox"/> InDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Calo	
<input checked="" type="checkbox"/> MuonDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Objects	



Reconnaitre un muon



- ◆ muon et anti-muon = trace dans le détecteur interne + trace dans le détecteur à muons



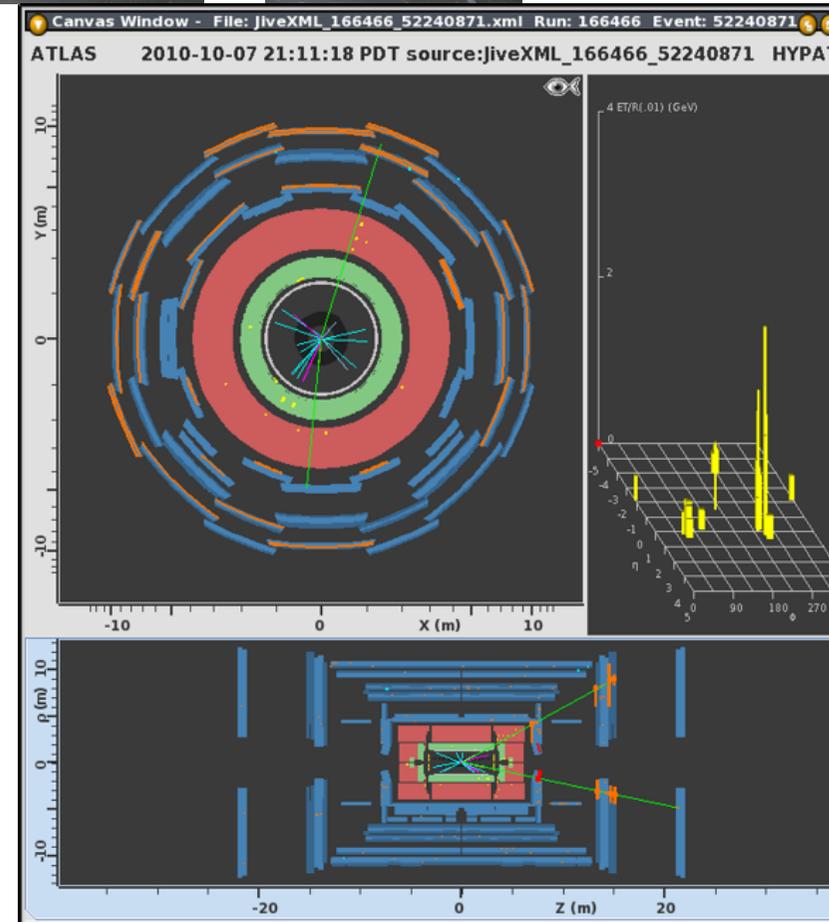
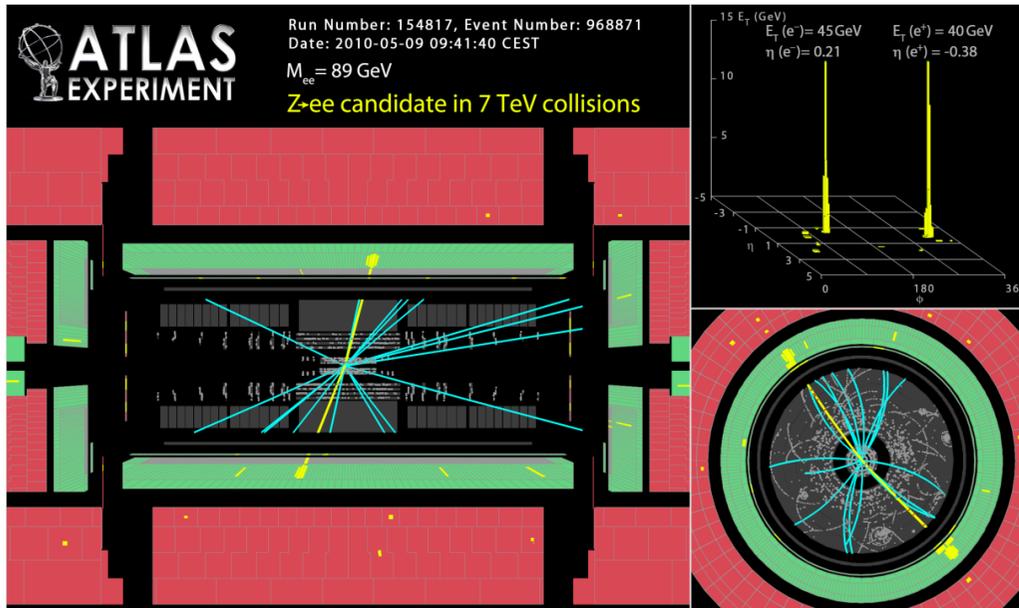
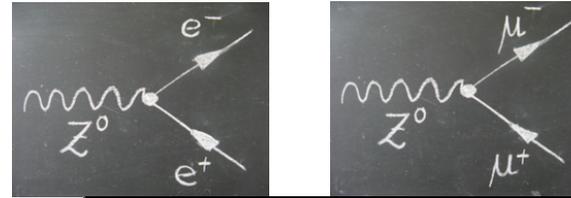
Le logiciel Hypatia

Reconnaître un événement



Reconnaitre un événement Z

- ◆ boson Z se désintègre en :
 - un électron + un positron
 - un muon + un antimuon



HYPATIA - Track Momenta Window

File Previous Event Next Event Insert Electron Insert Muon Delete Track Reset Canvas

ETHis: 16,187 GeV φ : -2,974 rad Collection: MET_Reffinal

/home/elisabeth/MINERVA-2011-01-20/Hypatia/groupA.zip/event001.xml

Reconstructed Tracks							
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		

Hybrid pupils' analysis tool for interactions in ATLAS - version 7.1 - Invariant Mass Window

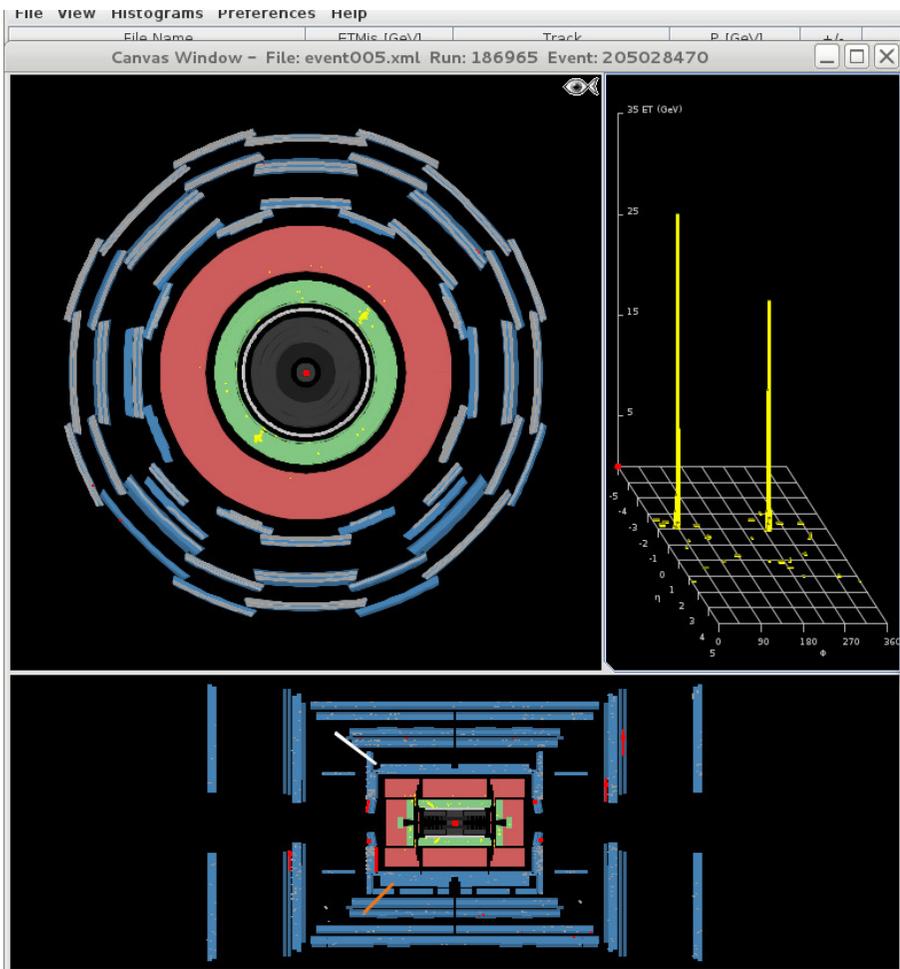
File Name	ETHis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	φ	η	M(2l) [GeV]	M(4l) [GeV]	e/ μ
00002_Exercise2.xml	6,709	Tracks 1	55,2	+	50,4	-1,163	-0,433	90,864		e
		Tracks 3	39,0	-	39,0	1,951	0,009			e



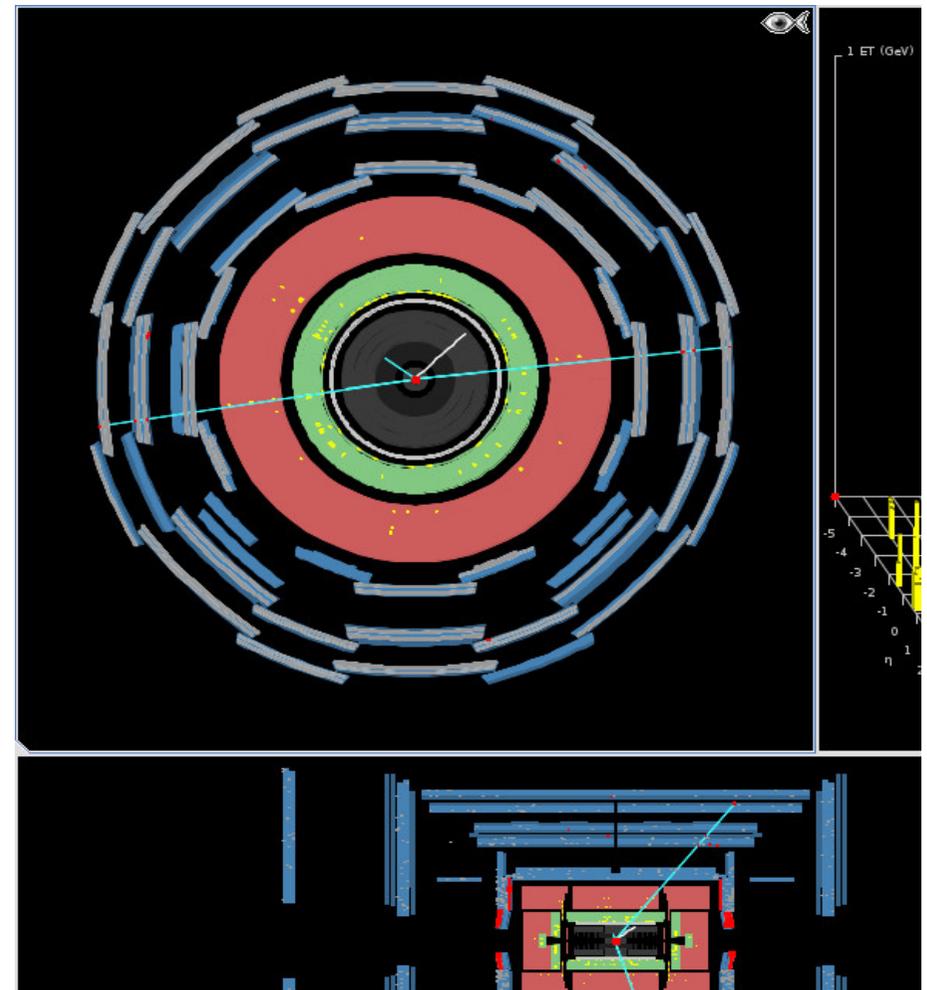
Reconnaitre un événement Higgs

Le Higgs peut se désintégrer en

2 photons



2 bosons Z
se désintégrant à leur tour
en électron/positron et/ou muon/antimuon



Le logiciel Hypatia

Reconstruire la masse invariante



Reconstruire la masse invariante (1)

- ◆ Dans "HYPATIA – Control Window", cliquer sur la petite main

The image displays the HYPATIA software interface, which is used for track reconstruction and analysis. It consists of several windows:

- HYPATIA - Track Momenta Window:** This window shows a top-down view of the detector's inner layers (red and green) with tracks (cyan lines) and a 3D histogram of track momenta (yellow bars) on the right. The histogram axes are labeled with $2 ET$ (GeV) and ϕ .
- HYPATIA - Control Window:** This window contains a table of track parameters and a control panel. The table lists tracks with their respective P [GeV], Pt [GeV], ϕ , and θ .
- Parameter Control Panel:** This panel allows users to adjust various parameters for different detector components. A red circle highlights a small hand icon on the right side of the panel, which is used to interact with the controls.

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 3	-	58,90	45,18	-0,168	0,874
Tracks 21	+	36,49	36,41	2,869	1,638
Tracks 407	+	85,50	43,24	-2,267	0,530
Tracks 413	-	20,12	15,77	0,141	2,241



Reconstruire la masse invariante (2)

- ◆ Cliquer sur la trace qui nous intéresse
- ◆ Puis sur "insert electron" (ou "insert muon" si c'est un muon)
- ◆ Faire pareil avec la deuxième trace (de charge électrique opposée)
- ◆ Procédure similaire pour 2 photons ('Aller dans Physics Object')

The screenshot displays the HYPATIA software interface. On the left, a 2D plot shows the detector's cross-section with tracks. A red circle highlights a specific track. On the right, the 'Reconstructed Tracks' table is visible, with the 'Insert Electron' button circled in red.

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 1	+	55,22	50,42	-1,163	1,991
Tracks 3	-	39,01	39,01	1,951	1,562
Tracks 4	+	5,93	2,33	-2,029	0,404
Tracks 7	+	1,05	1,03	1,935	1,781
Tracks 8	-	4,01	3,53	-3,137	2,064
Tracks 15	+	2,66	1,84	-3,057	0,765
Tracks 21	-	2,23	1,23	1,740	0,587
Tracks 34	-	2,09	1,35	-2,510	2,436
Tracks 37	-	2,61	1,52	-3,000	0,622
Tracks 41	-	2,51	1,87	1,129	2,303
Tracks 58	+	1,86	1,77	-2,204	1,245



Reconstruire la masse invariante (3)

- ◆ Aller dans la fenêtre "Hybrid pupils' analysis tool for interactions in ATLAS – Invariant mass windows"
- ◆ Visualiser la masse invariante dans la colonne M(2l) [GeV]

Hybrid pupils' analysis tool for interactions in ATLAS – version 7.1 – Invariant Mass Window

File View Histograms Preferences Help

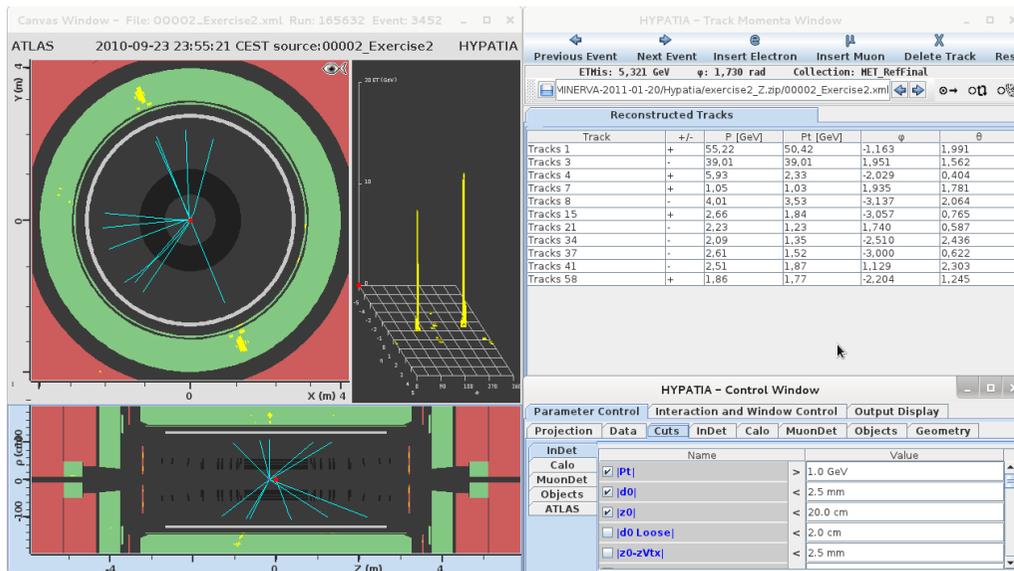
File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	ϕ	η	M(2l) [GeV]	M(4l) [GeV]	e/ μ
00002_Exercise2.xml	6,709	Tracks 1	55,2	+	50,4	-1,163	-0,433	90,864		e
		Tracks 3	39,0	-	39,0	1,951	0,009			e



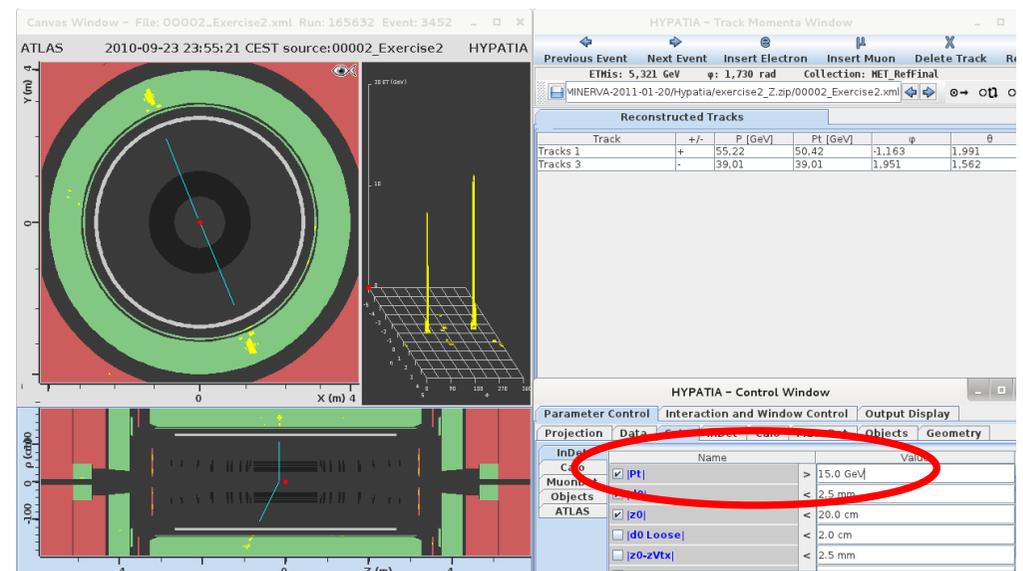
Astuce

- ◆ On ne s'intéresse qu'aux traces qui ont une grande quantité de mouvement (notée p_T)
- ◆ On peut mettre une coupure (fenêtre "Control Window", onglets "Parameter control" -> "Cuts") sur $|p_T|$ à 15 GeV pour ne garder que les traces intéressantes
- ◆ On peut aussi rajouter une coupure à 2 GeV sur 'Tile Et' (pour experts)

Avant



Après





Combinatoire

Si on peut faire plusieurs paires de particules identiques de charges opposées

- ◆ prendre la masse reconstruite la plus élevée

Le logiciel Hypatia

A vous de jouer...

Transparents supplémentaires



A vous de jouer (1)

◆ 50 événements / binôme

The screenshot shows the HYPATIA software interface. The main window is titled "HYPATIA - Track Momenta Window". It has a menu bar with "Previous Event", "Next Event", "Insert Electron", "Insert Muon", "Delete Track", and "Reset". Below the menu bar, it displays event information: "ETHis: 13,877 GeV", " φ : 0,785 rad", and "Collection: MET_RefFinal". A file path is shown in the address bar: "events/events4.zip/jiveXML_106051_1950731.xml". Below this is a table titled "Reconstructed Tracks".

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	φ	θ
Tracks 0	-	11,68	4,28	-1,319	0,375
Tracks 1	+	126,06	39,41	-2,413	0,318
Tracks 2	+	4,57	4,56	-2,783	1,649
Tracks 3	-	167,90	53,01		
Tracks 4	-	1,34	1,33		
Tracks 5	-	1,75	1,74		
Tracks 6	+	18,61	3,94		

An "Ouvrir" (Open) dialog box is overlaid on the bottom right. It shows the search path "Hypatia" and a list of files. The file "groupA.zip" is selected and circled in red. The dialog also shows the file name "groupA.zip" and the file type ".xml, .zip, .gzip, .gz".



A vous de jouer (2)

◆ Pour chaque événement:

- reconnaître si c'est un événement Z ou un bruit de fond
- si c'est un Z, reconstruire la masse invariante
- ouvrir le bloc-note et enregistrer le fichier sous le titre groupeX.txt (X = lettre le votre groupe, noté sur la feuille)
- noter sur chaque ligne la masse invariante et "e" si ce sont des électrons et "m" si ce sont des muons

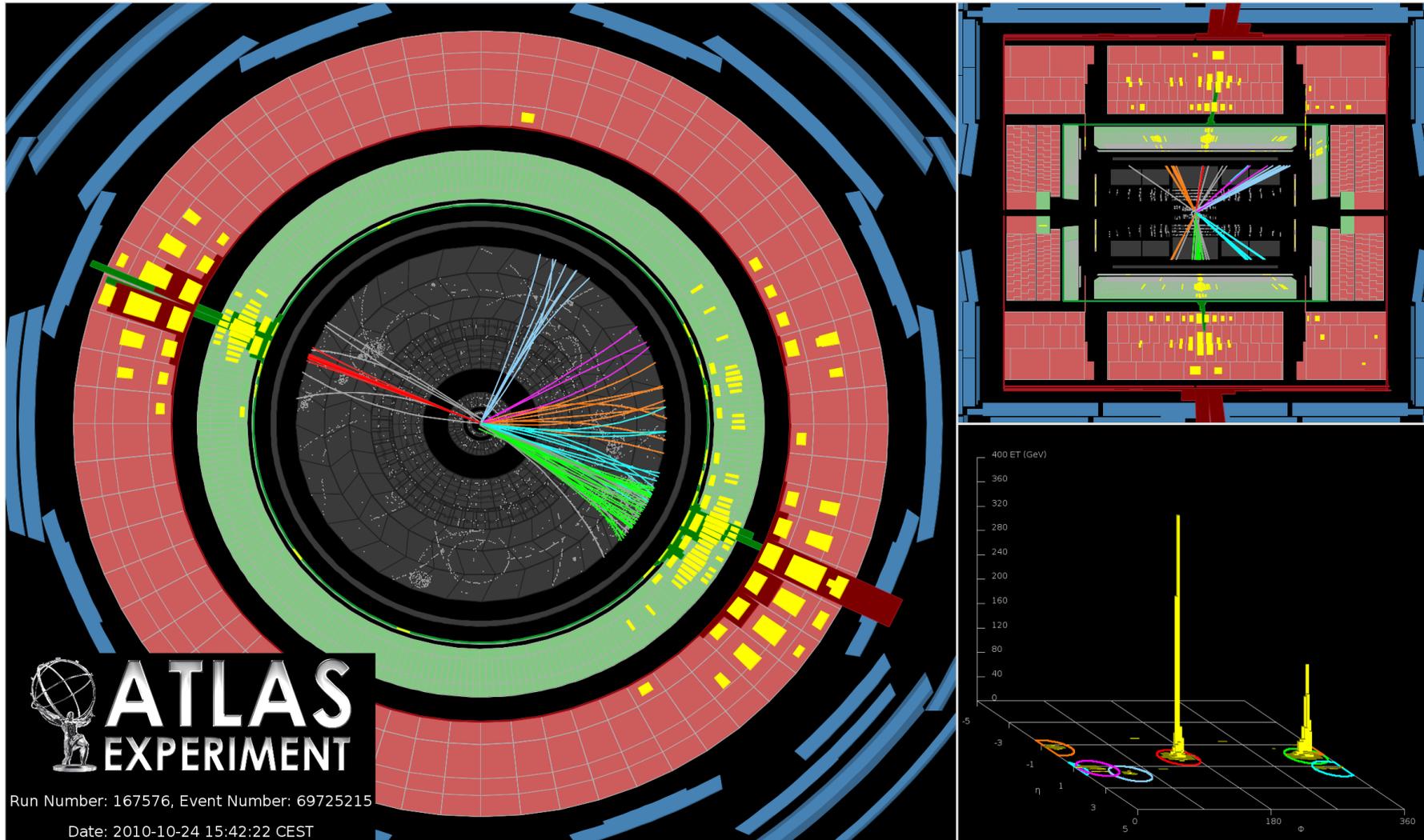
```
groupeA.txt - emacs@lappc-p403.in2p3.fr
File Edit Options Buffers Tools Help
89.2 e
90.3 e
100.9 m
40.2 e
-U:**- groupeA.txt All L5 (Text)
```

- ◆ Nota Bene : Les événements avec une masse invariante > 200 GeV proviennent peut-être d'une nouvelle particule qui ressemble au boson Z !



Reconnaitre un jet

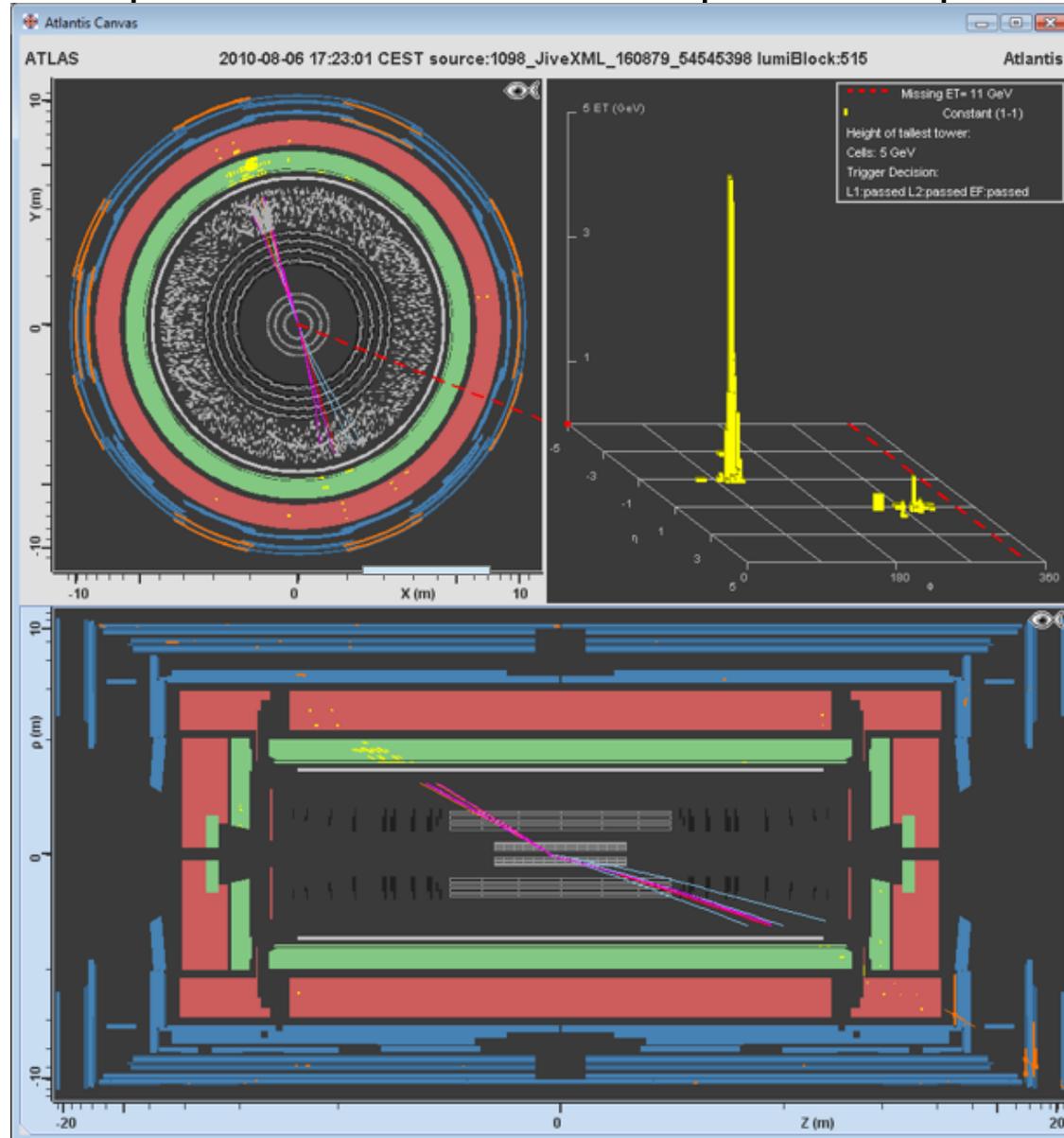
- ◆ Jet = plusieurs traces dans le détecteur interne + dépôts dans les calorimètres électromagnétique et hadronique





Bruit de fond (2)

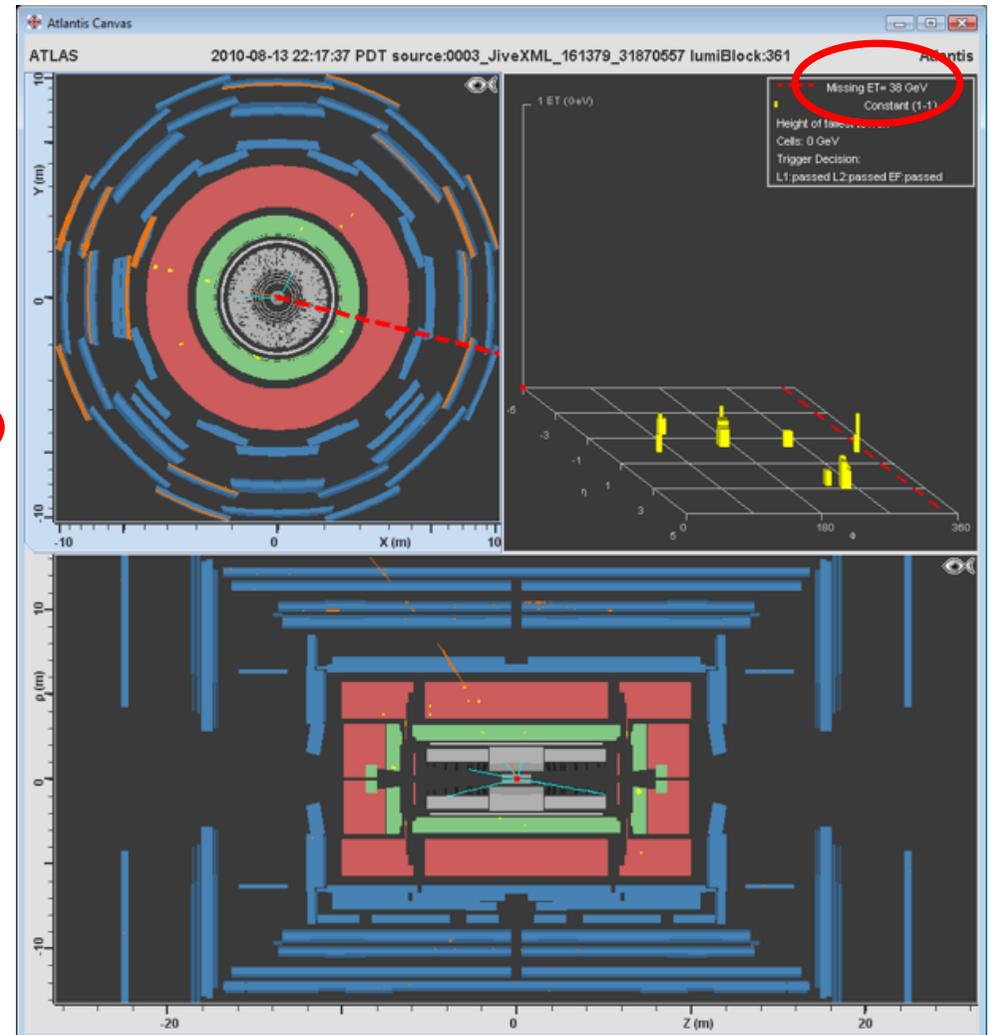
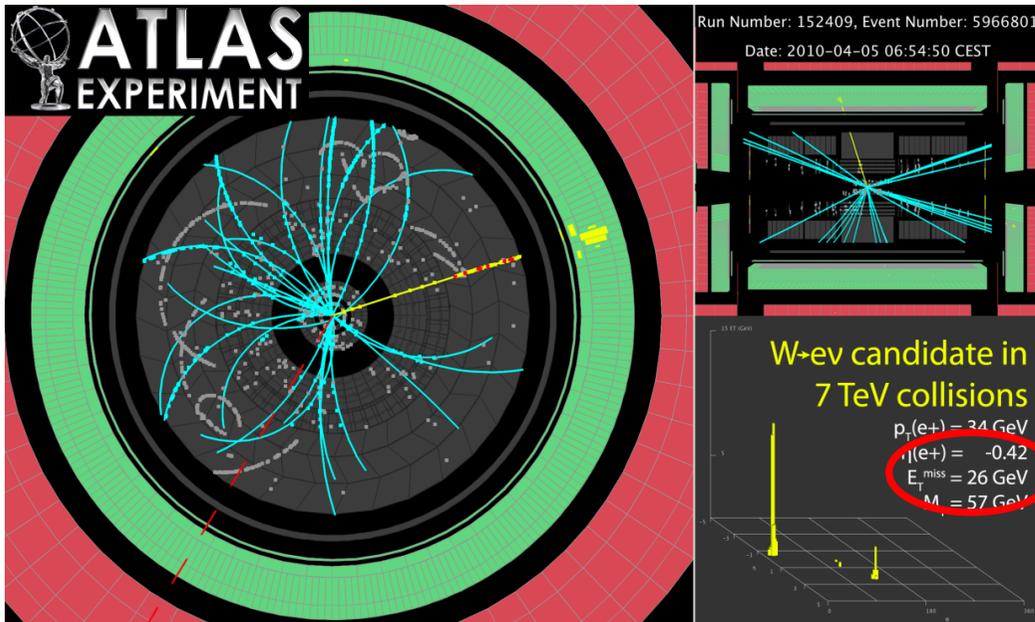
- ◆ Bruit de fond = événement qui ressemble a un Z mais qui n'en est pas un
- ◆ Exemple 2 : 2 jets



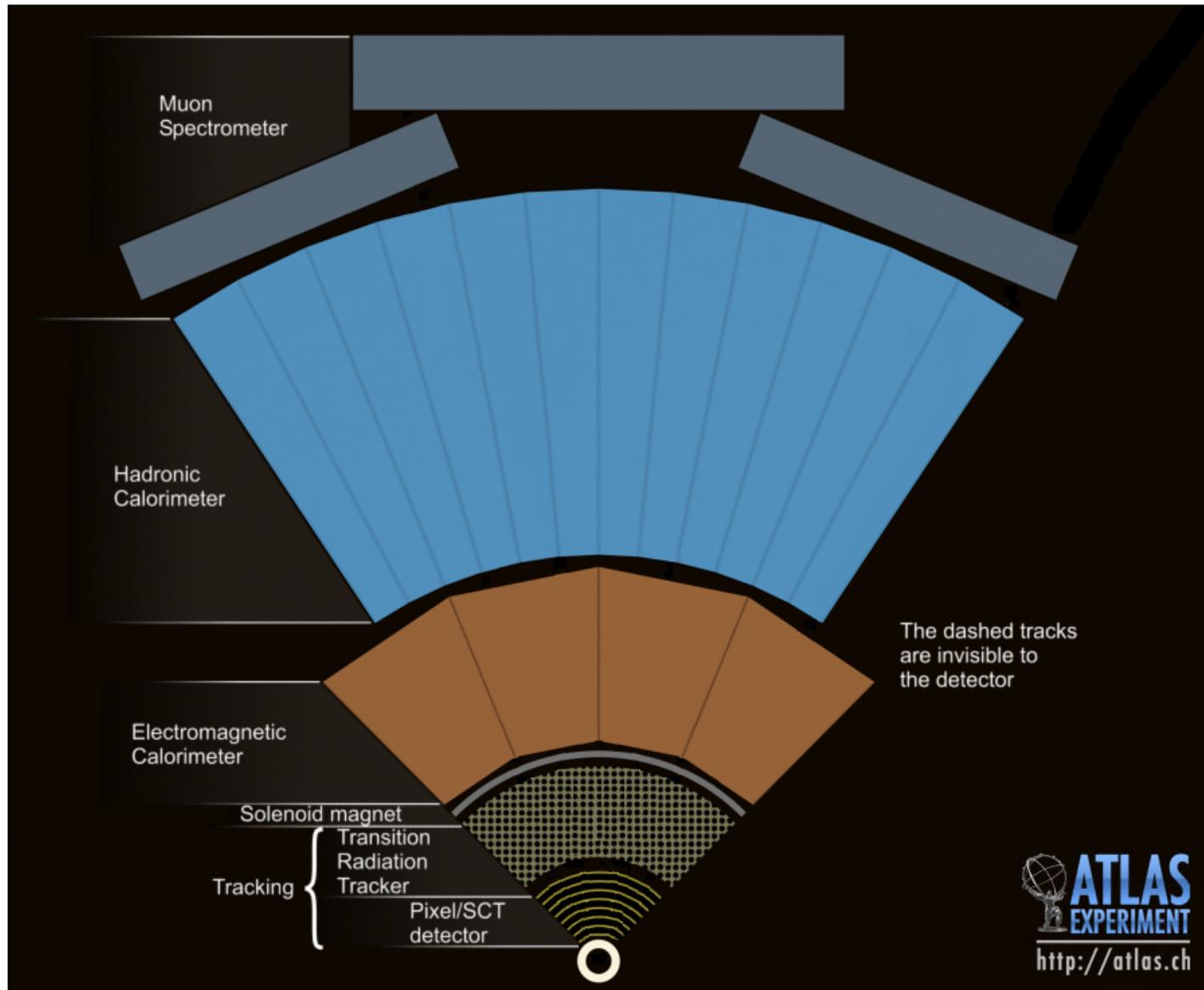


Bruit de fond (1)

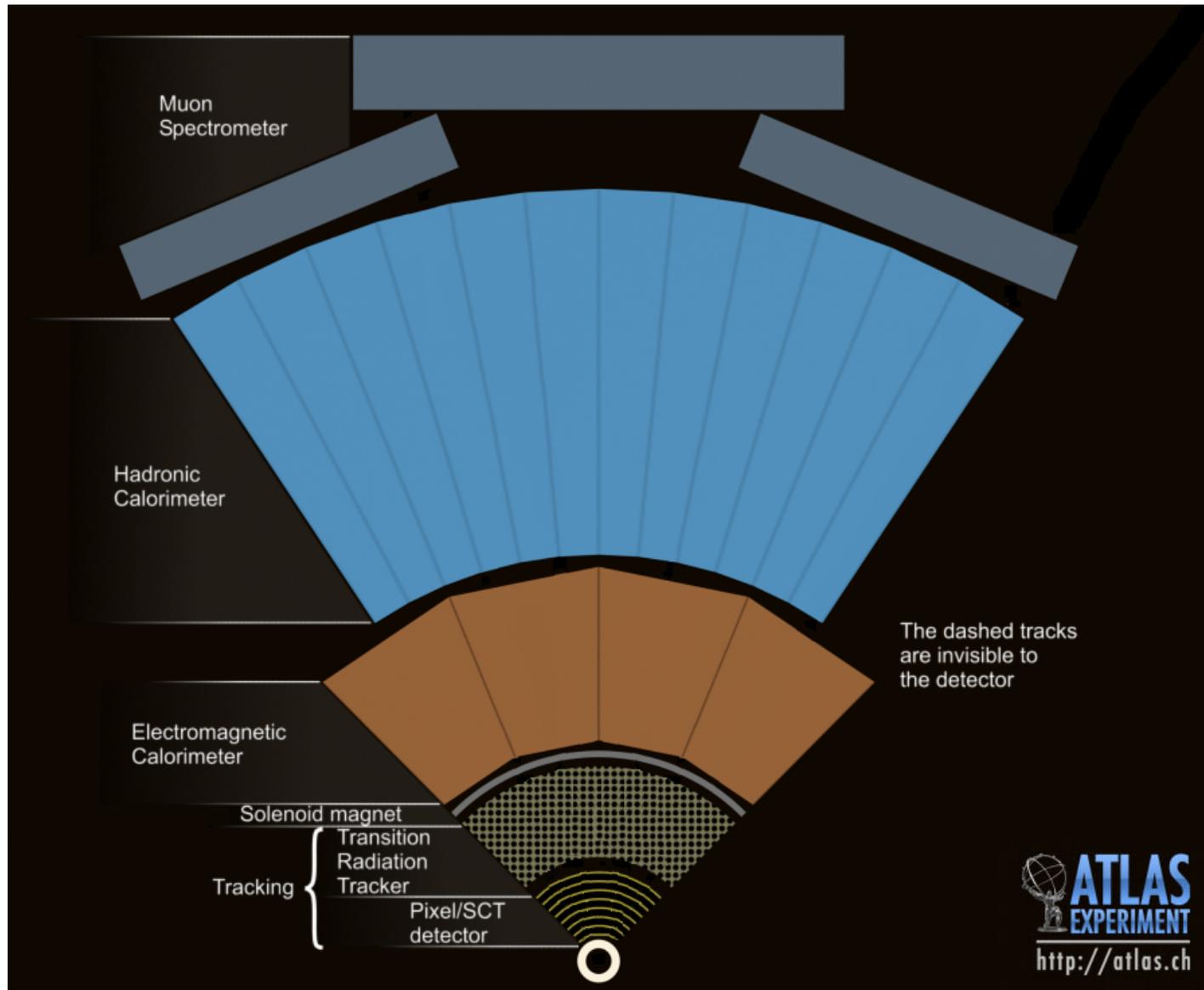
- ◆ Bruit de fond = événement qui ressemble à un Z mais qui n'en est pas un
- ◆ Exemple 1 : boson W se désintègre en un électron ou un muon + un neutrino



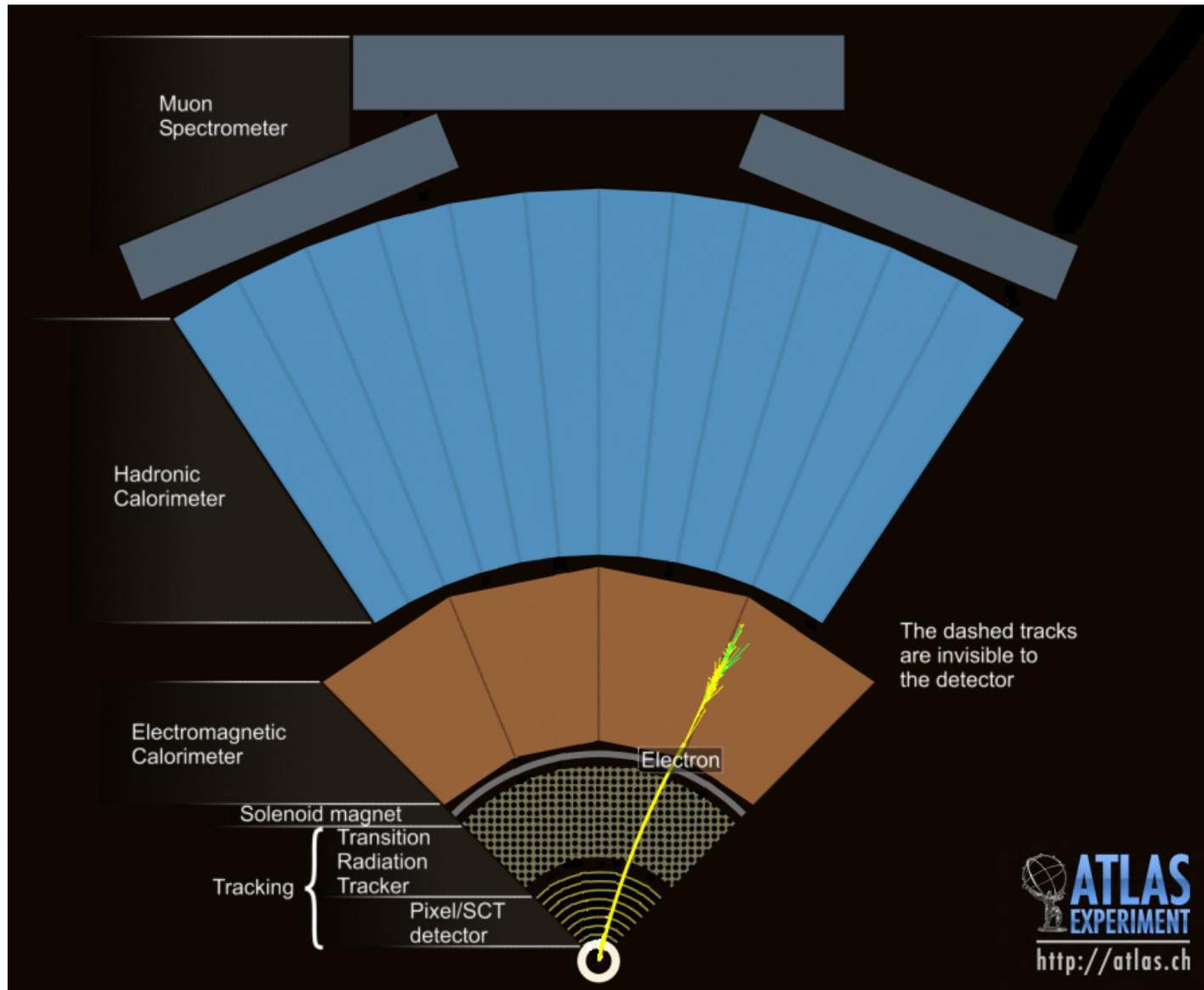
4 couches de détecteurs



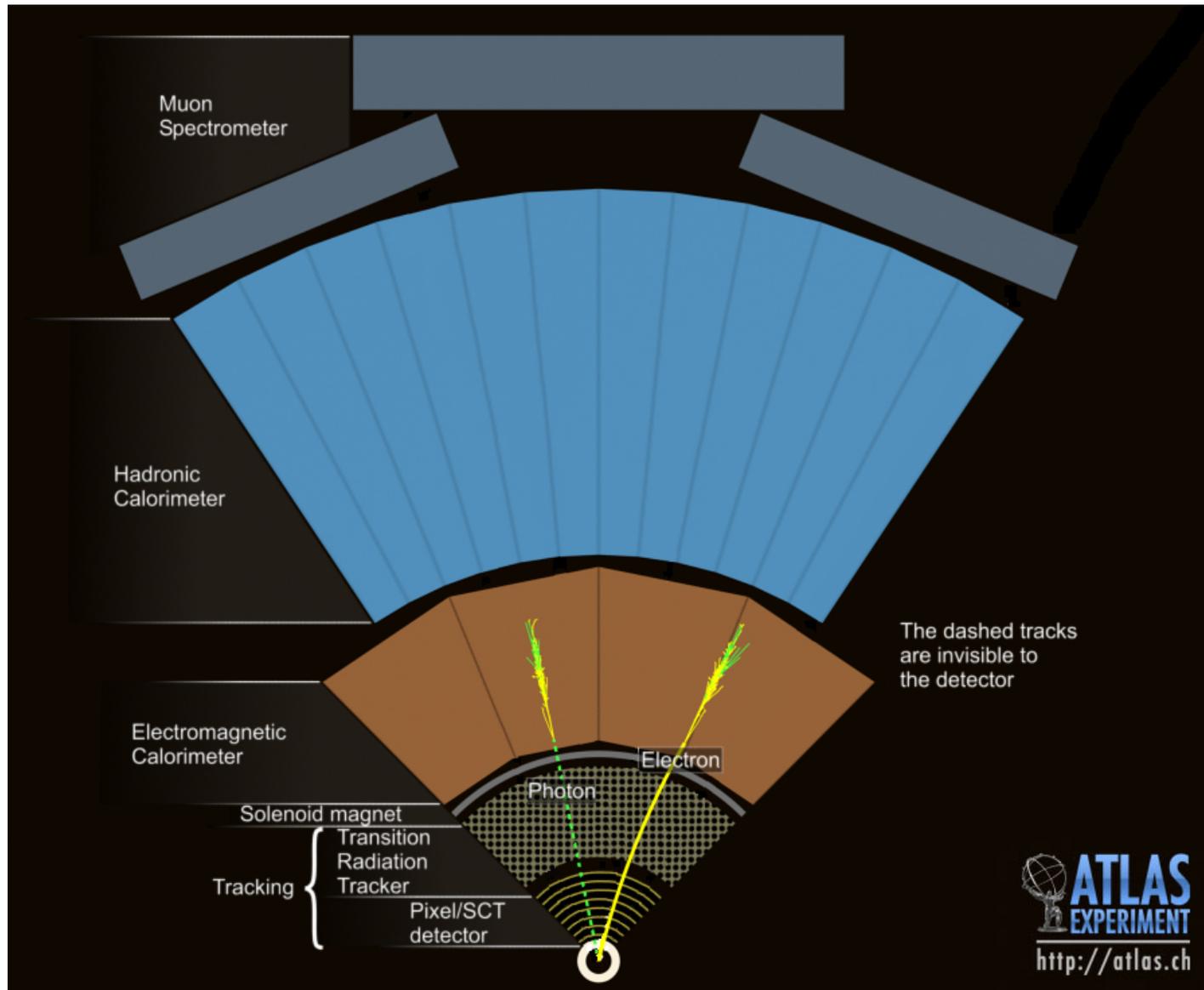
4 couches de détecteurs



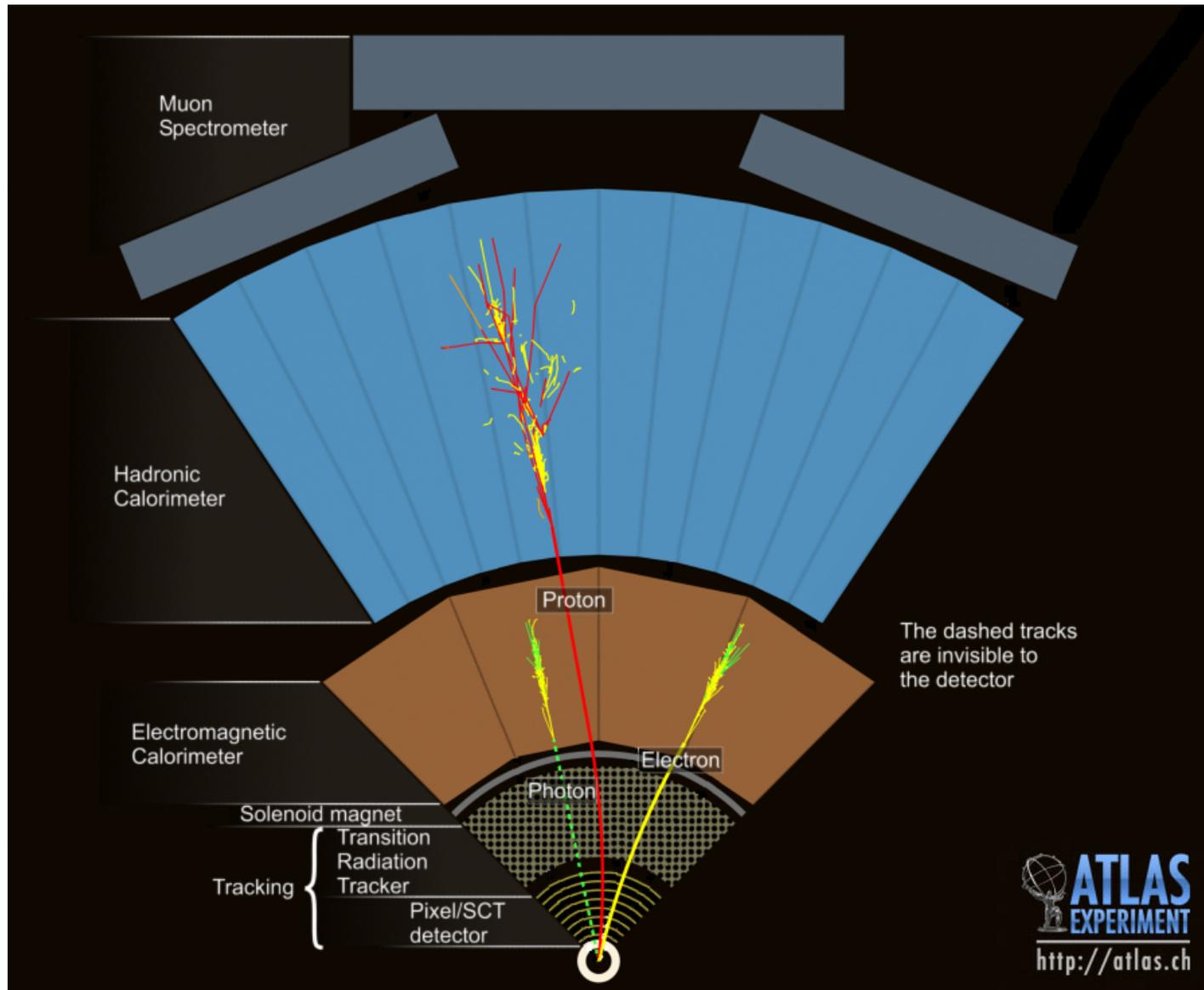
Identifier les électrons



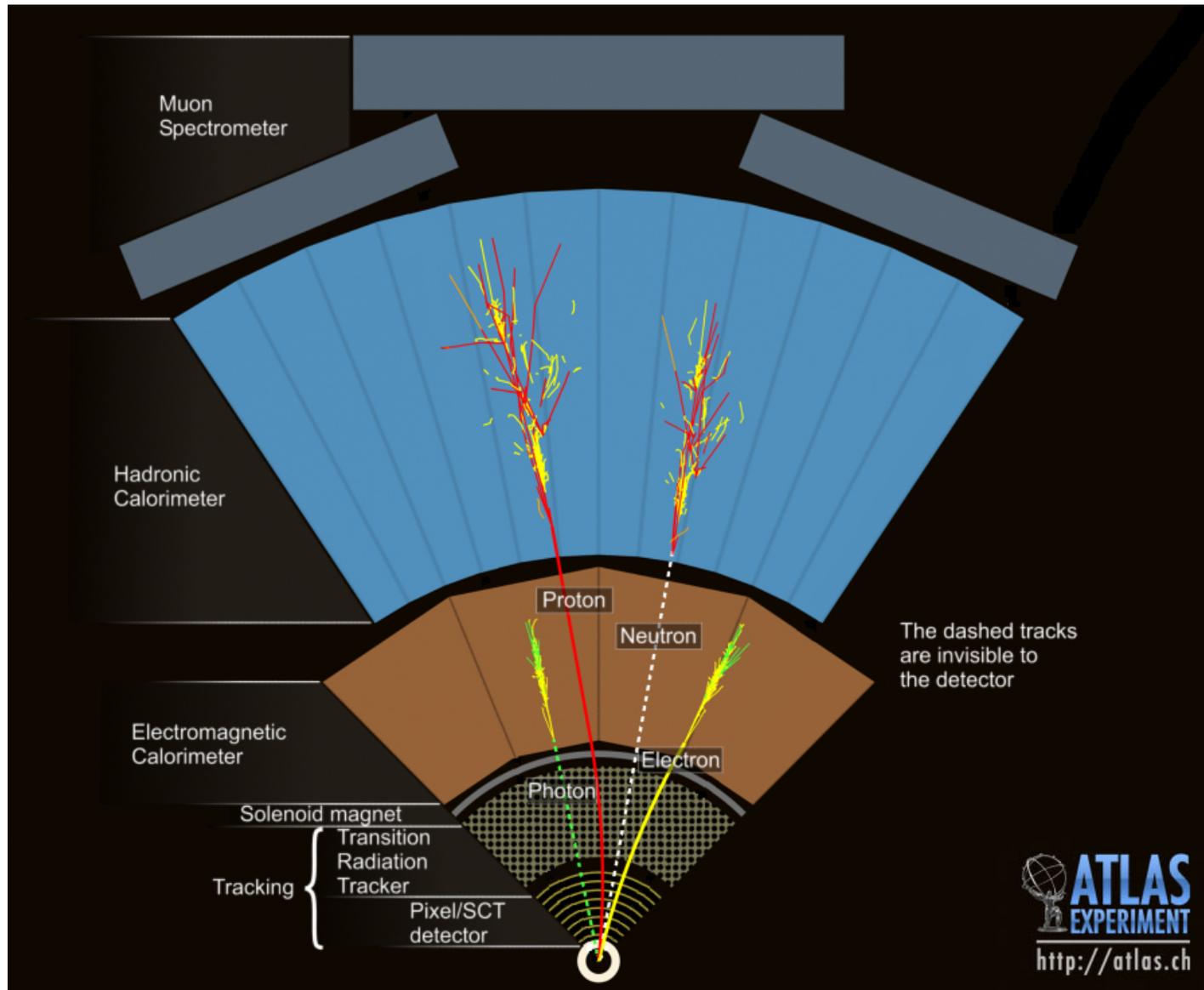
Identifier les photons



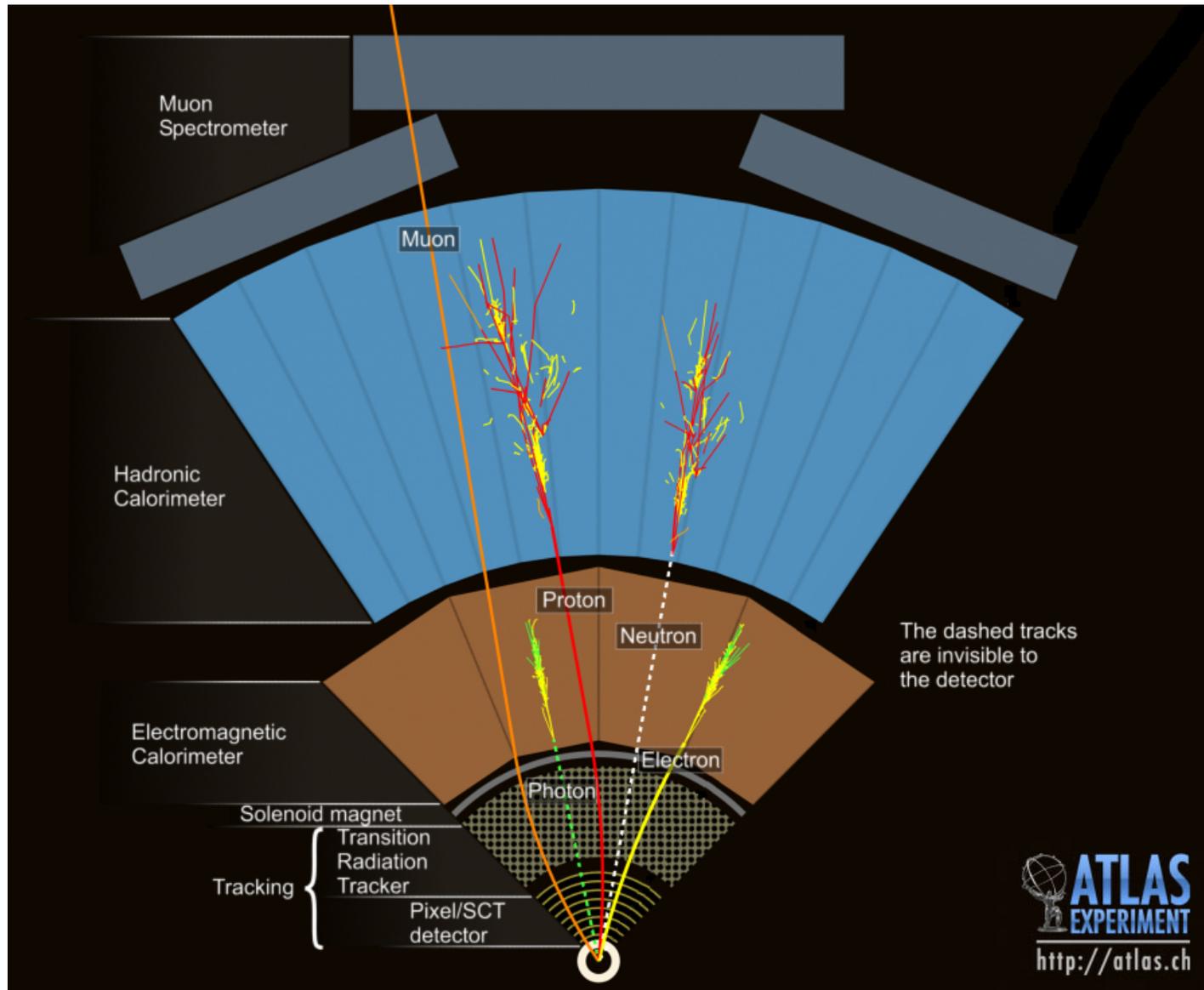
Identifier les protons



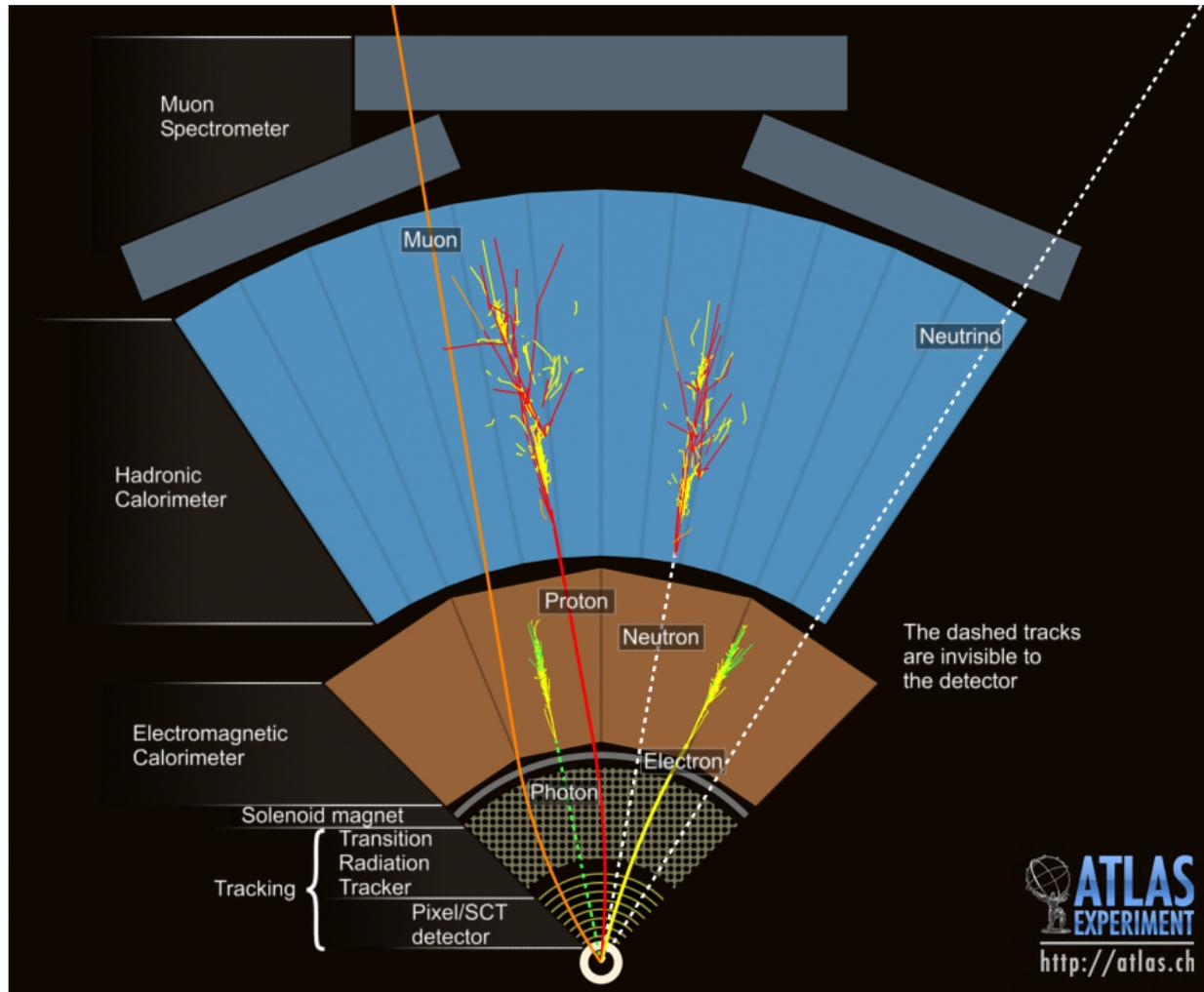
Identifier les neutrons



Identifier les muons

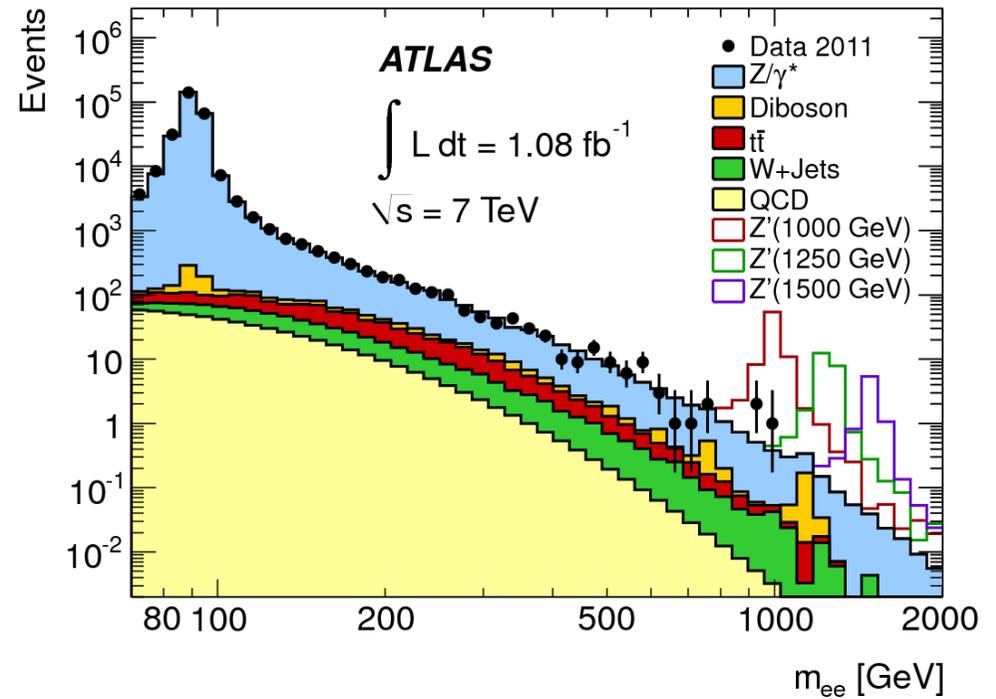
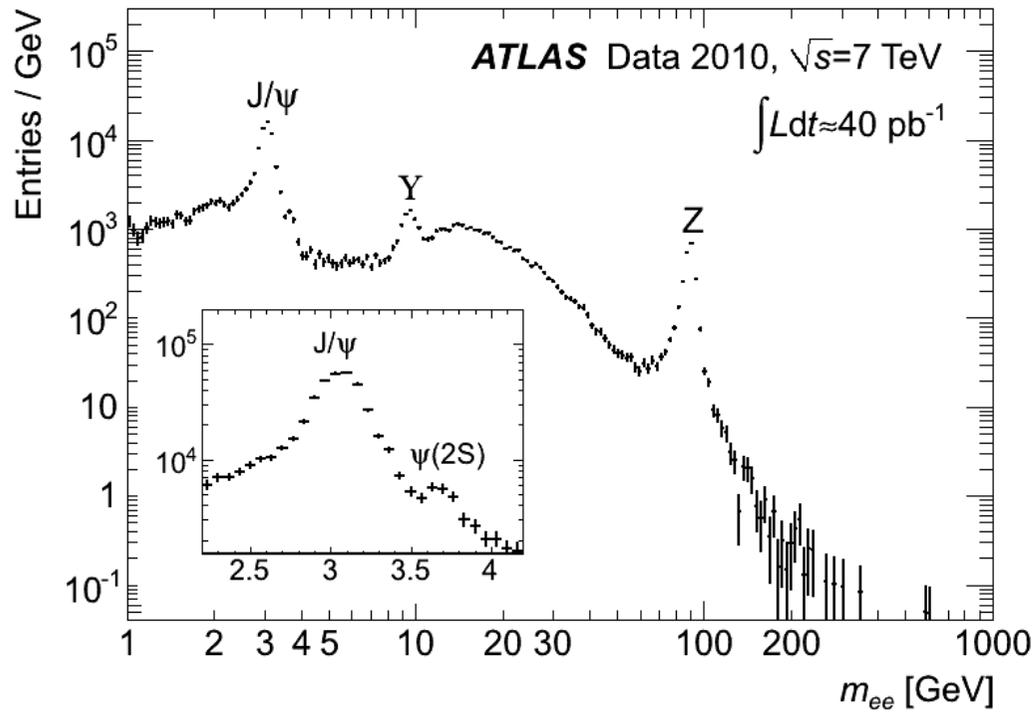


Identifier les neutrinos





Spectres de masse invariante m_{ee}





Valeurs "officielles"

Gauge & Higgs Boson Summary Table 9

Z $J = 1$

Charge = 0
 Mass $m = 91.1876 \pm 0.0021$ GeV ^[d]
 Full width $\Gamma = 2.4952 \pm 0.0023$ GeV
 $\Gamma(\ell^+ \ell^-) = 83.984 \pm 0.086$ MeV ^[b]
 $\Gamma(\text{invisible}) = 499.0 \pm 1.5$ MeV ^[e]
 $\Gamma(\text{hadrons}) = 1744.4 \pm 2.0$ MeV
 $\Gamma(\mu^+ \mu^-)/\Gamma(e^+ e^-) = 1.0009 \pm 0.0028$
 $\Gamma(\tau^+ \tau^-)/\Gamma(e^+ e^-) = 1.0019 \pm 0.0032$ ^[f]

Average charged multiplicity
 $\langle N_{\text{charged}} \rangle = 20.76 \pm 0.16$ ($S = 2.1$)

Couplings to leptons

$g_V^e = -0.03783 \pm 0.00041$
 $g_A^e = 0.29^{+0.10}_{-0.08}$
 $g_V^\mu = -0.33^{+0.05}_{-0.07}$
 $g_A^\mu = -0.50123 \pm 0.00026$
 $g_V^\tau = 0.50^{+0.04}_{-0.07}$
 $g_A^\tau = -0.524^{+0.050}_{-0.030}$
 $g_V^{\nu e} = 0.5008 \pm 0.0008$
 $g_A^{\nu e} = 0.53 \pm 0.09$
 $g_V^{\nu \mu} = 0.502 \pm 0.017$

Asymmetry parameters ^[s]

$A_e = 0.1515 \pm 0.0019$
 $A_\mu = 0.142 \pm 0.015$
 $A_\tau = 0.143 \pm 0.004$
 $A_S = 0.90 \pm 0.09$
 $A_C = 0.670 \pm 0.027$
 $A_b = 0.923 \pm 0.020$

Charge asymmetry (%) at Z pole

$A_{FB}^{(0f)} = 1.71 \pm 0.10$
 $A_{FB}^{(0b)} = 4 \pm 7$
 $A_{FB}^{(0s)} = 9.8 \pm 1.1$
 $A_{FB}^{(0c)} = 7.07 \pm 0.35$
 $A_{FB}^{(0b)} = 9.92 \pm 0.16$

Z DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	Scale factor / Confidence level	p (MeV/c)
$e^+ e^-$	(3.363 \pm 0.004) %		45594
$\mu^+ \mu^-$	(3.366 \pm 0.007) %		45594
$\tau^+ \tau^-$	(3.367 \pm 0.008) %		45559
$\ell^+ \ell^-$	[b] (3.3658 \pm 0.0023) %		-
invisible	(20.00 \pm 0.06) %		-
hadrons	(69.91 \pm 0.06) %		-
$(u\bar{u} + c\bar{c})/2$	(11.6 \pm 0.6) %		-
$(d\bar{d} + s\bar{s} + b\bar{b})/3$	(15.6 \pm 0.4) %		-
$c\bar{c}$	(12.03 \pm 0.21) %		-
$b\bar{b}$	(15.12 \pm 0.05) %		-
$b\bar{b}b$	(3.6 \pm 1.3) $\times 10^{-4}$		-

Gauge & Higgs Boson Summary Table 9

Z $J = 1$

Charge = 0
 Mass $m = 91.1876 \pm 0.0021$ GeV ^[d]
 Full width $\Gamma = 2.4952 \pm 0.0023$ GeV
 $\Gamma(\ell^+ \ell^-) = 83.984 \pm 0.086$ MeV ^[b]
 $\Gamma(\text{invisible}) = 499.0 \pm 1.5$ MeV ^[e]
 $\Gamma(\text{hadrons}) = 1744.4 \pm 2.0$ MeV
 $\Gamma(\mu^+ \mu^-)/\Gamma(e^+ e^-) = 1.0009 \pm 0.0028$
 $\Gamma(\tau^+ \tau^-)/\Gamma(e^+ e^-) = 1.0019 \pm 0.0032$ ^[f]

Z DECAY MODES

Fraction (Γ_i/Γ)

$e^+ e^-$	(3.363 \pm 0.004) %
$\mu^+ \mu^-$	(3.366 \pm 0.007) %
$\tau^+ \tau^-$	(3.367 \pm 0.008) %
$\ell^+ \ell^-$	[b] (3.3658 \pm 0.0023) %
invisible	(20.00 \pm 0.06) %
hadrons	(69.91 \pm 0.06) %