

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

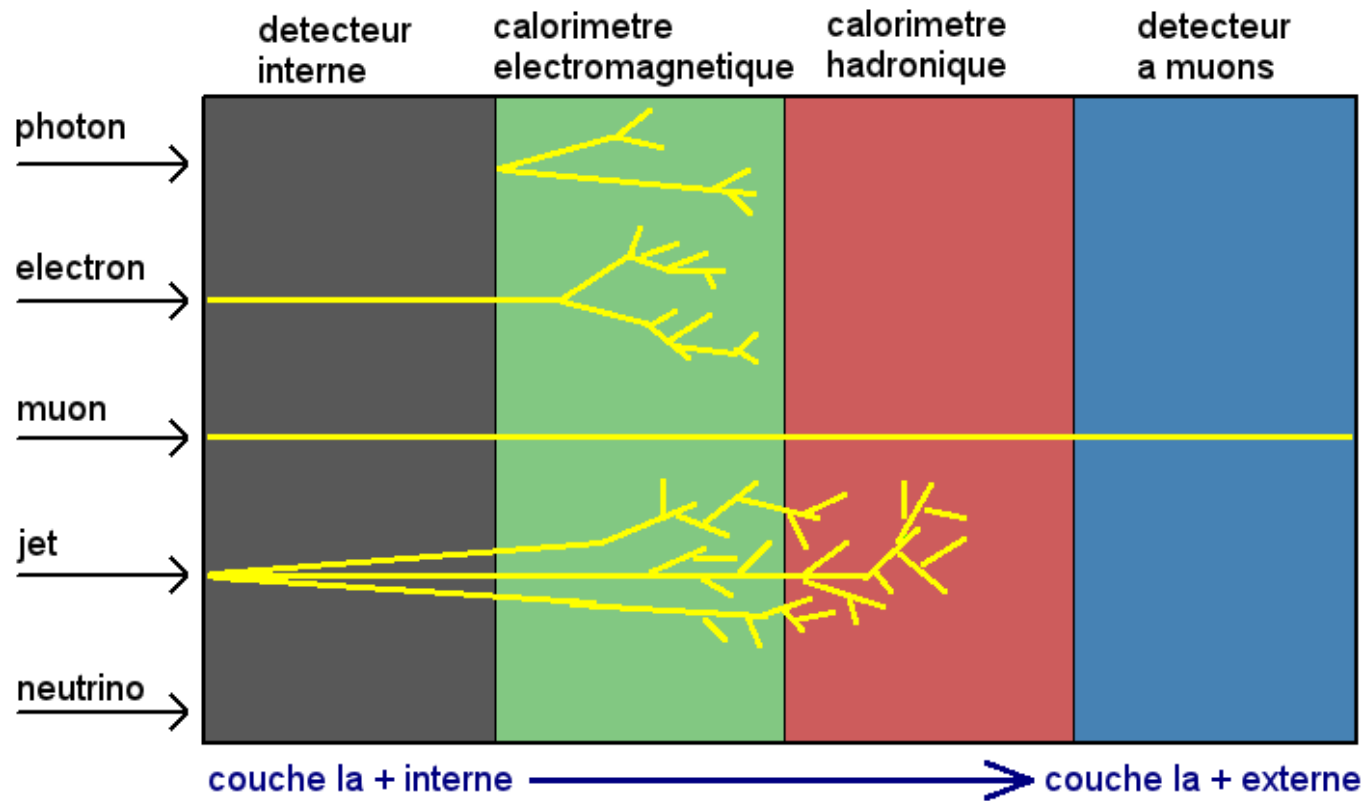
Le logiciel Hypatia

Le détecteur



Interaction particules-détecteur (1)

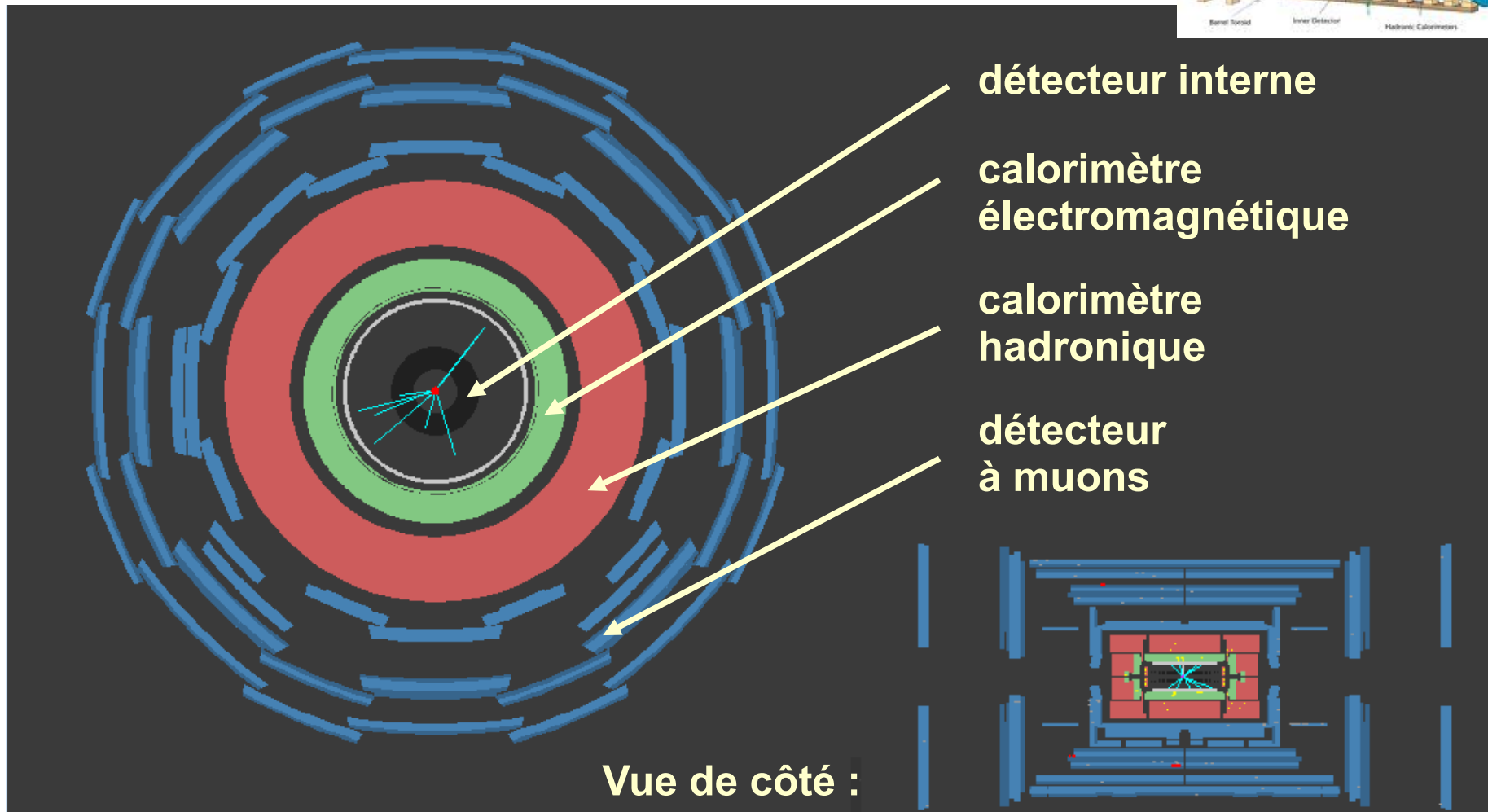
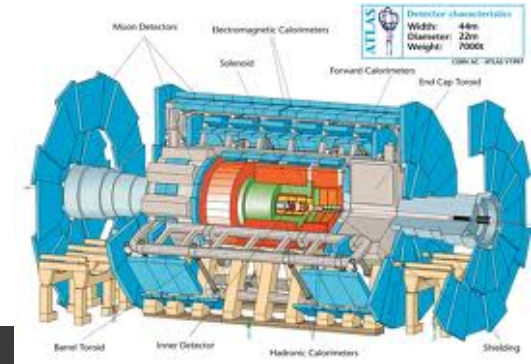
- ◆ Les différentes particules laissent des traces différentes suivant leur nature et suivant le type de détecteur





Interaction particules-détecteur (2)

- ◆ A quoi ça ressemble dans le logiciel Hypatia :



Le logiciel Hypatia

Reconnaître une particule



A quoi ressemble un événement quelconque

HYPATIA - Tracks

File Previous Event Next Event Electron

ETMis: 18,313 GeV ϕ : -1,288

rs\jezequel\Desktop\Hypatia_7.4_Mastercla

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

HYPATIA -

Parameter Control Interaction and Window C

Projection Data Cuts InDet Calo

InDet

Calo

MuonDet |Pt|

Objects |Pt2|

ATLAS |d0|

|z0|

|d0 Loose|

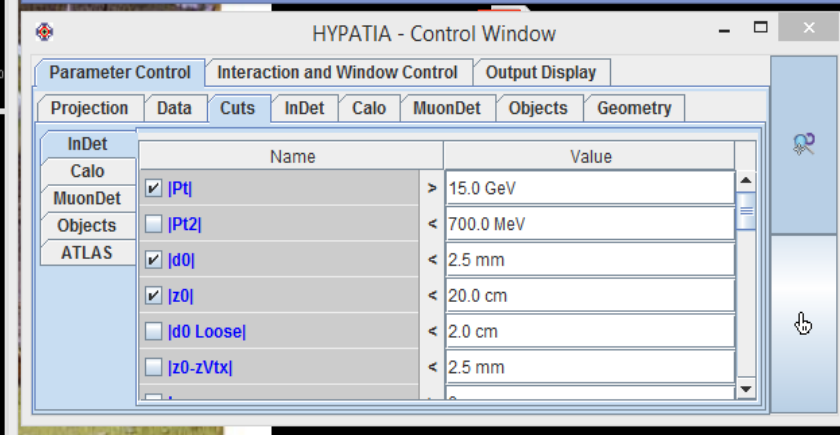
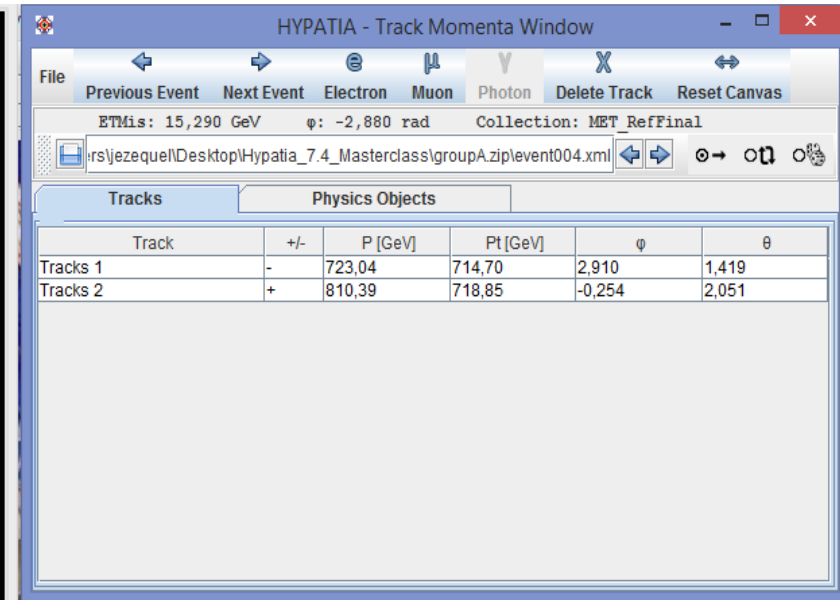
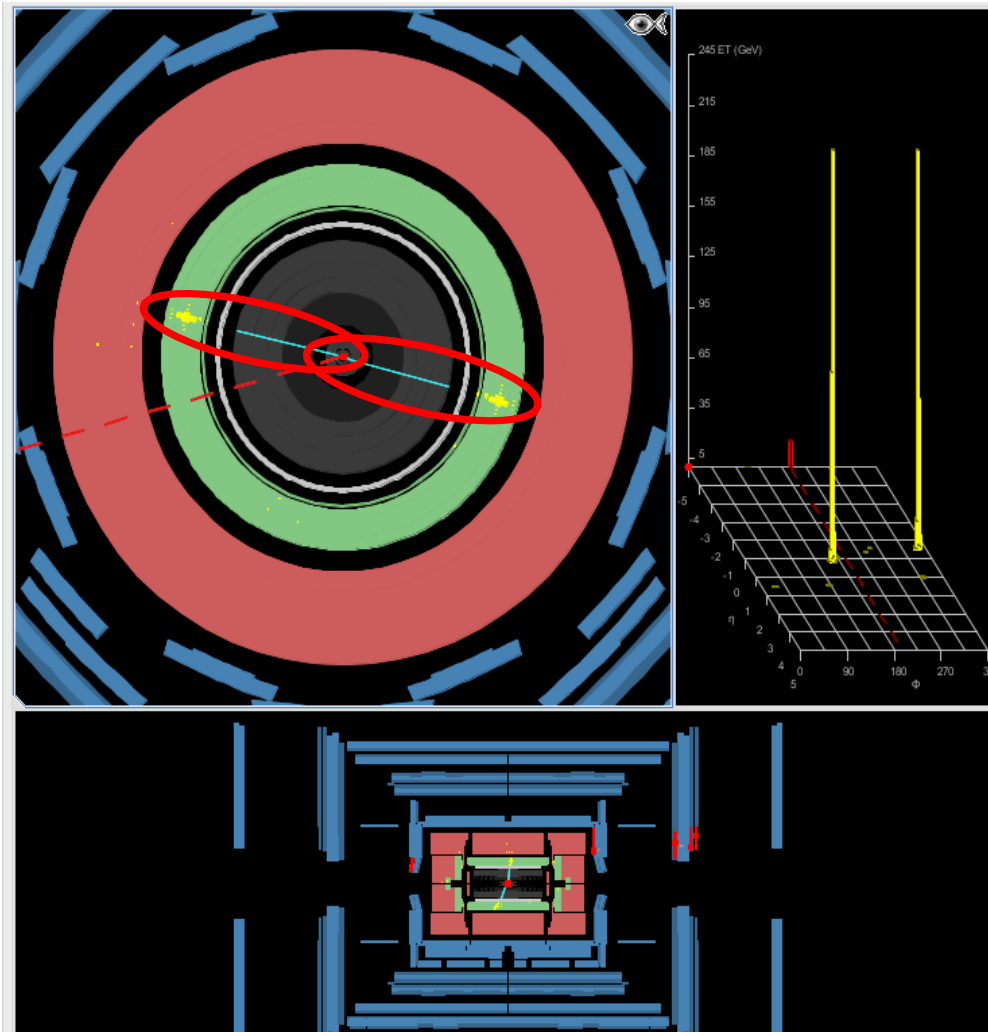
|z0-zVtx|



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

HYBRID PUPILS' ANALYSIS TOOL FOR INTERACTIONS IN ATLAS - version 7.3 - INVARIANT MASS WINDOW

Canvas Window - File: event005.xml Run: 186965 Event: 205028470

HYPATIA - Track Momenta Window

ETMis: 18.785 GeV ϕ : -2.722 rad Collection: MET_Reffinal

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

HYPATIA - Control Window

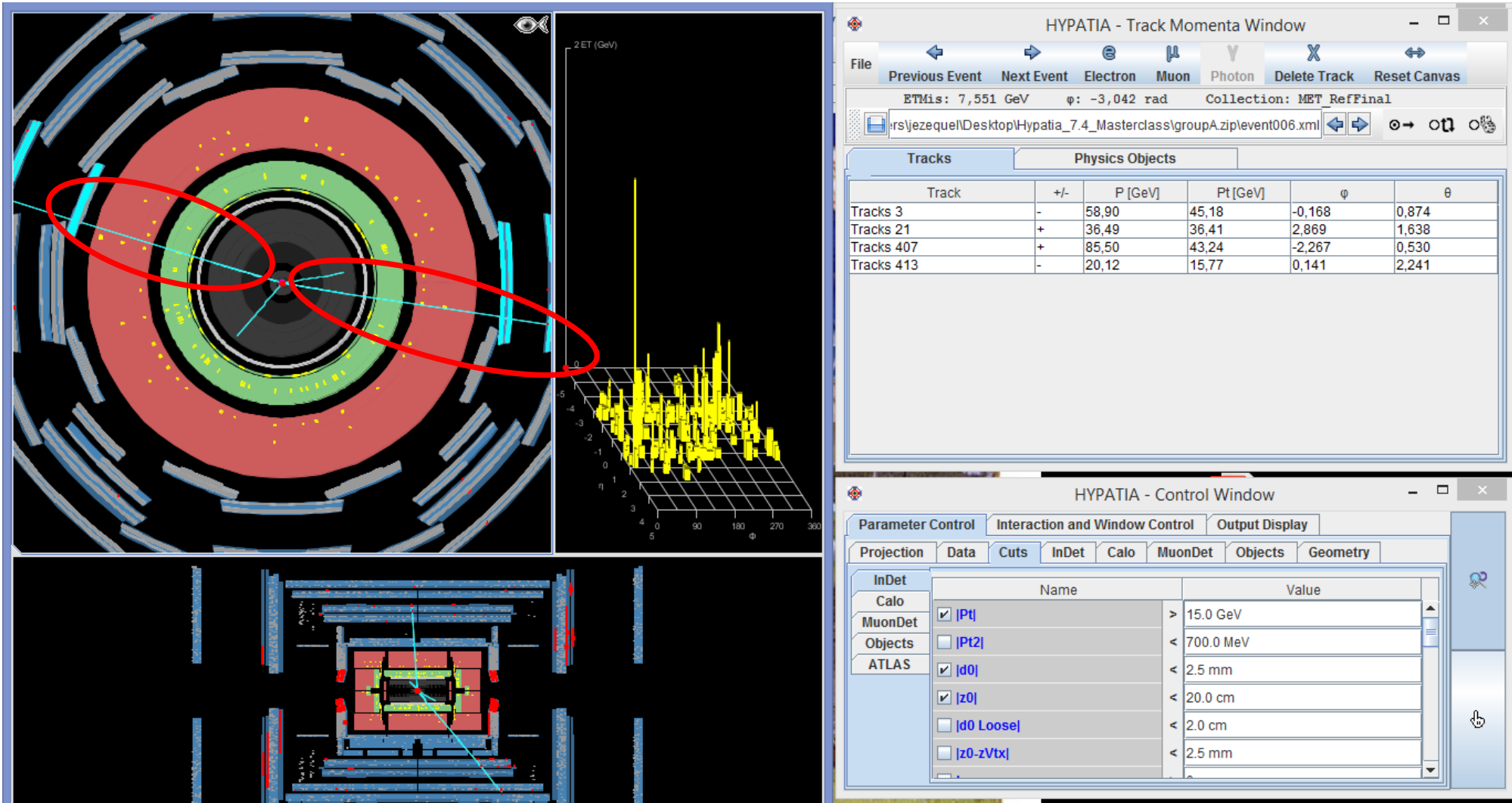
Name	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Status	
<input checked="" type="checkbox"/> InDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Calo	
<input checked="" type="checkbox"/> MuonDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Objects	



Reconnaitre un muon



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



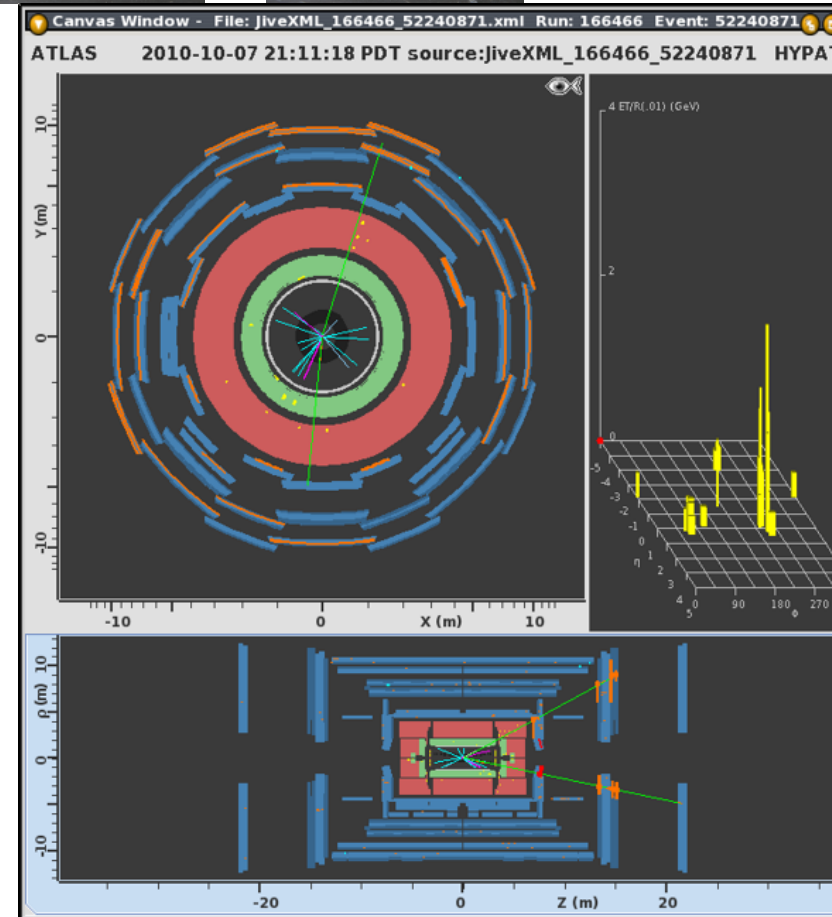
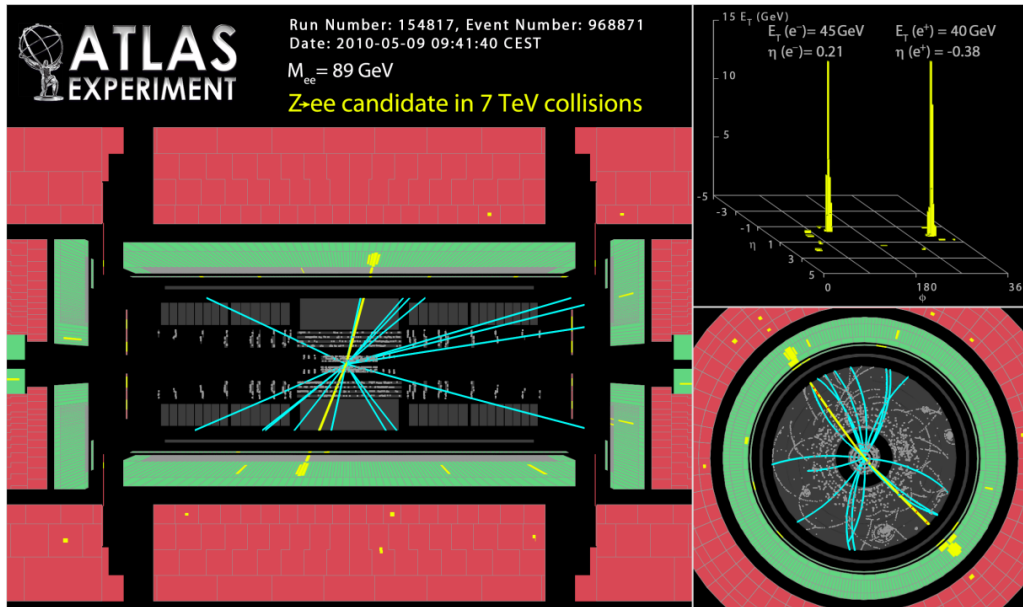
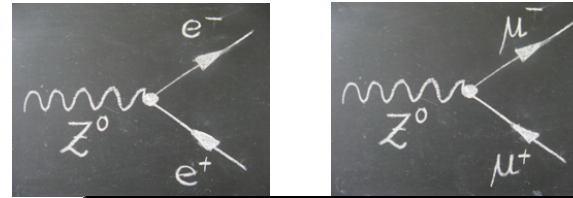
Le logiciel Hypatia

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 ψ : -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

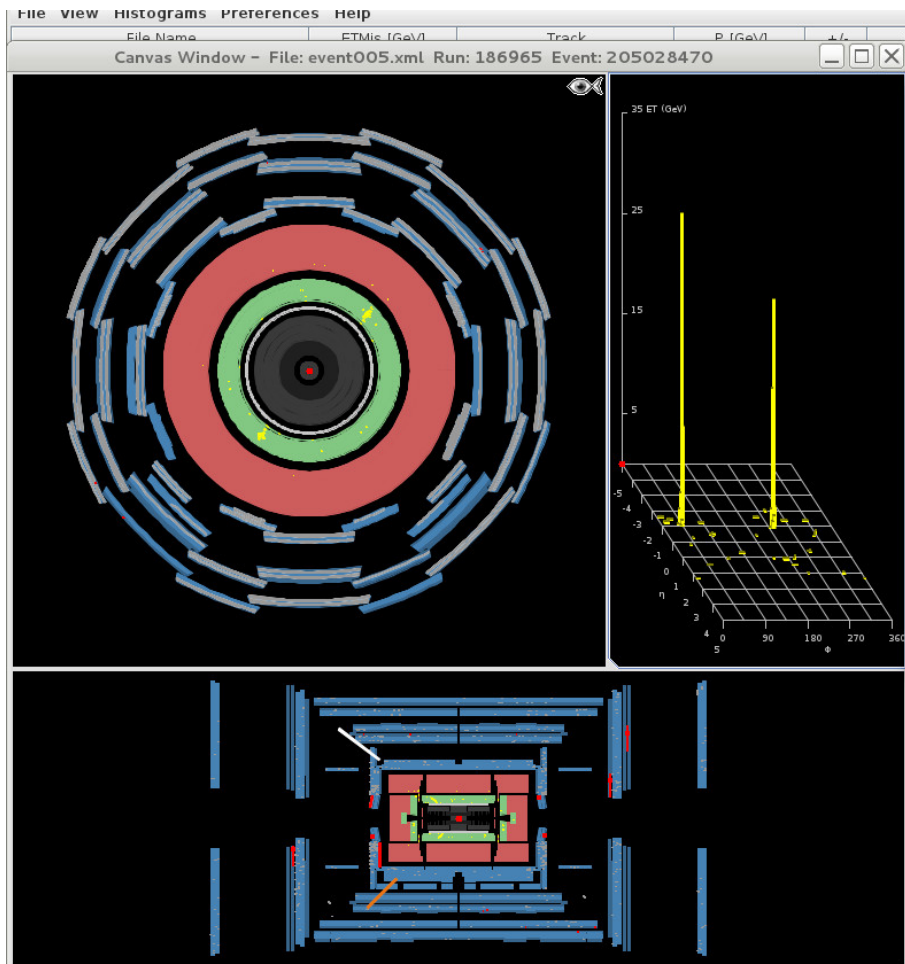
File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	ϕ	η	M(2l) [GeV]	M(4l) [GeV]	e/ μ
00002_Exercise2.xml	6,709	Tracks 1	55,2	+	50,4	-1,163	-0,433	90,864		e
		Tracks 3	39,0	-	39,0	1,951	0,009			e



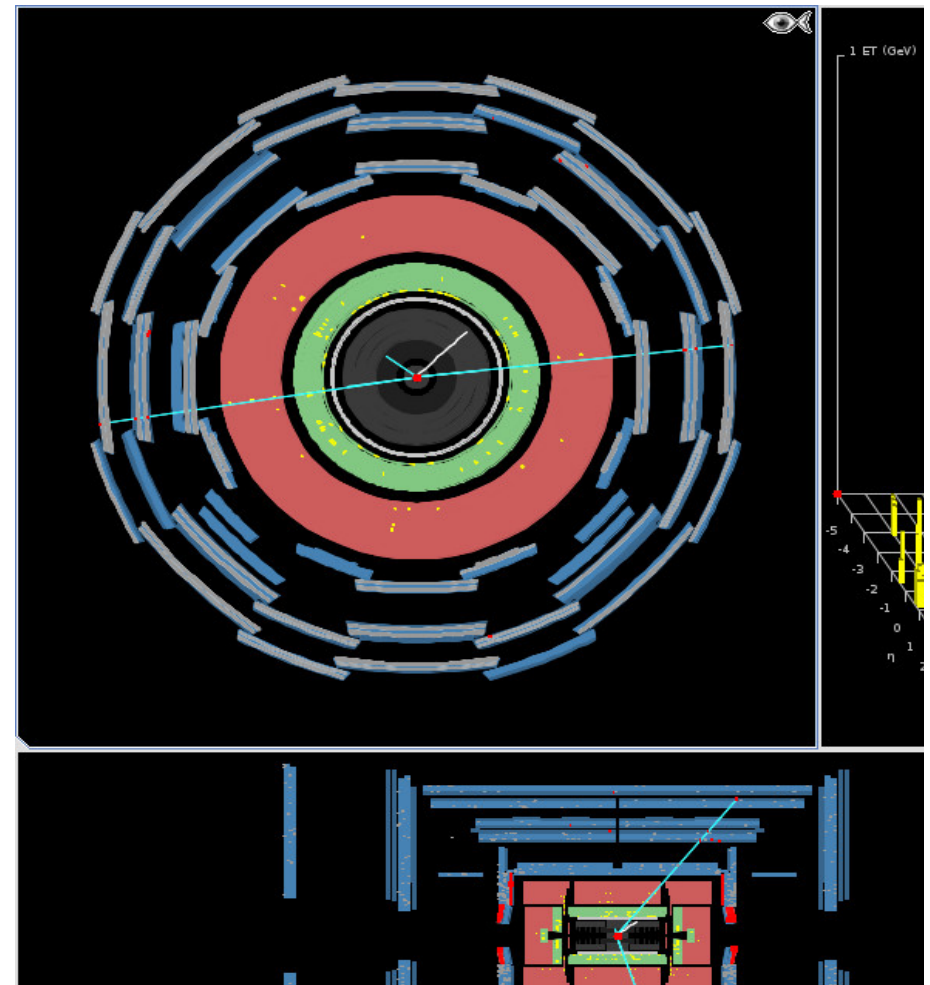
Reconnaitre un événement Higgs

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 panels:

- Top Left:** A 2D projection of the detector geometry showing tracks (red and blue lines) and interaction points (yellow dots).
- Top Right:** A 3D plot of the detector geometry with tracks and interaction points.
- Bottom Left:** A 3D plot of the detector geometry with tracks and interaction points.
- Top Right Panel (HYPATIA - Track Momenta Window):** A window showing track data. It includes a menu bar with options like "Previous Event", "Next Event", "Electron", "Muon", "Photon", "Delete Track", and "Reset Canvas". Below the menu bar, there are fields for "ETMis: 7,551 GeV", " ϕ : -3,042 rad", and "Collection: MET_RefFinal". A table lists tracks with their properties:

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

- Bottom Right Panel (HYPATIA - Control Window):** A window for controlling the simulation. It has tabs for "Parameter Control", "Interaction and Window Control", and "Output Display". Under "Parameter Control", there are sub-tabs for "Projection", "Data", "Cuts", "InDet", "Calo", "MuonDet", "Objects", and "Geometry". The "Cuts" tab is active, showing a table of parameters and their values:

Category	Name	Value
InDet		
Calo		
MuonDet	<input checked="" type="checkbox"/> Pt	> 15.0 GeV
Objects	<input type="checkbox"/> Pt2	< 700.0 MeV
ATLAS	<input checked="" type="checkbox"/> d0	< 2.5 mm
	<input checked="" type="checkbox"/> z0	< 20.0 cm
	<input type="checkbox"/> d0 Loose	< 2.0 cm
	<input type="checkbox"/> z0-zVtx	< 2.5 mm

A red circle highlights a small hand icon in the bottom right corner of the "HYPATIA - Control Window" panel, indicating the location where the user should click.



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 ATLAS detector cross-section with tracks. A red circle highlights a 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

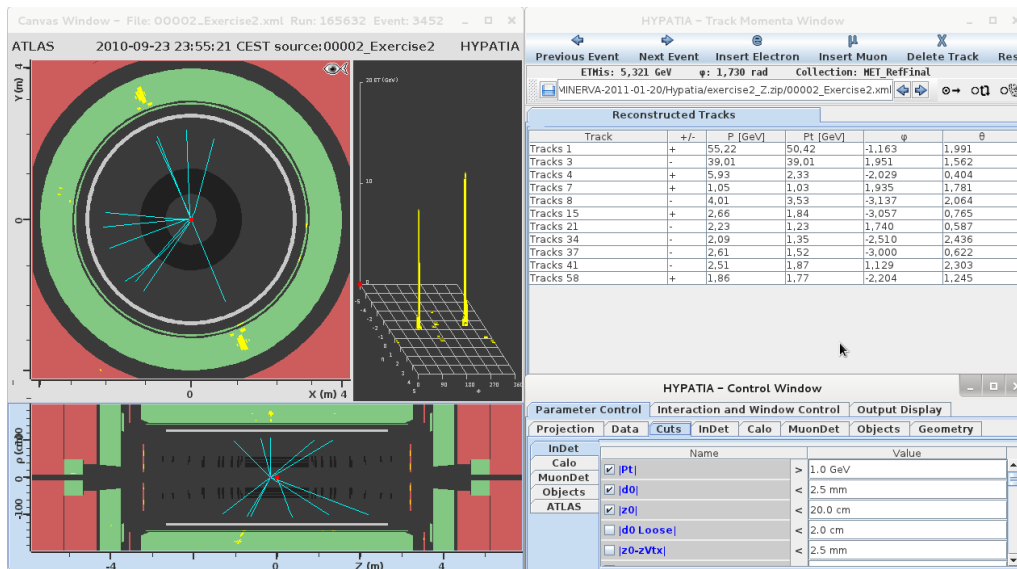
File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	ϕ	η	M(2l) [GeV]	M(4l) [GeV]	e/ μ
00002_Exercise2.xml	6,709	Tracks 1	55,2	+	50,4	-1,163	-0,433	90,864		e
		Tracks 3	39,0	-	39,0	1,951	0,009			e



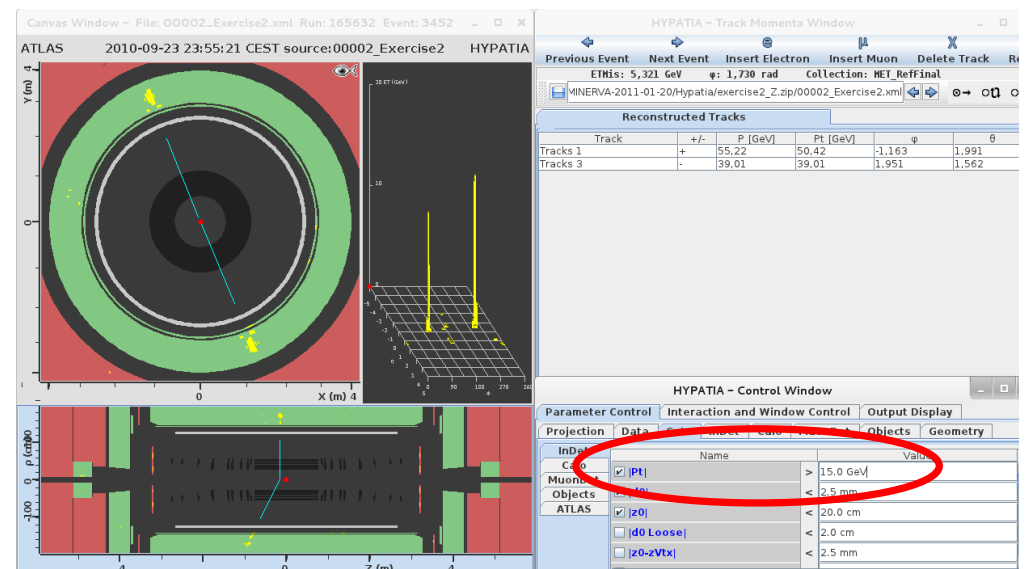
Astuce

- ◆ 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, there are status indicators: "ETHis: 13,877 GeV", " ϕ : 0,785 rad", and "Collection: MET_RefFinal". A file path is shown: "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 current directory as "Hypatia". The file list contains several files, with "groupA.zip" highlighted. The "Nom de fichier" field contains "groupA.zip" and the "Fichiers du type" field is set to ".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

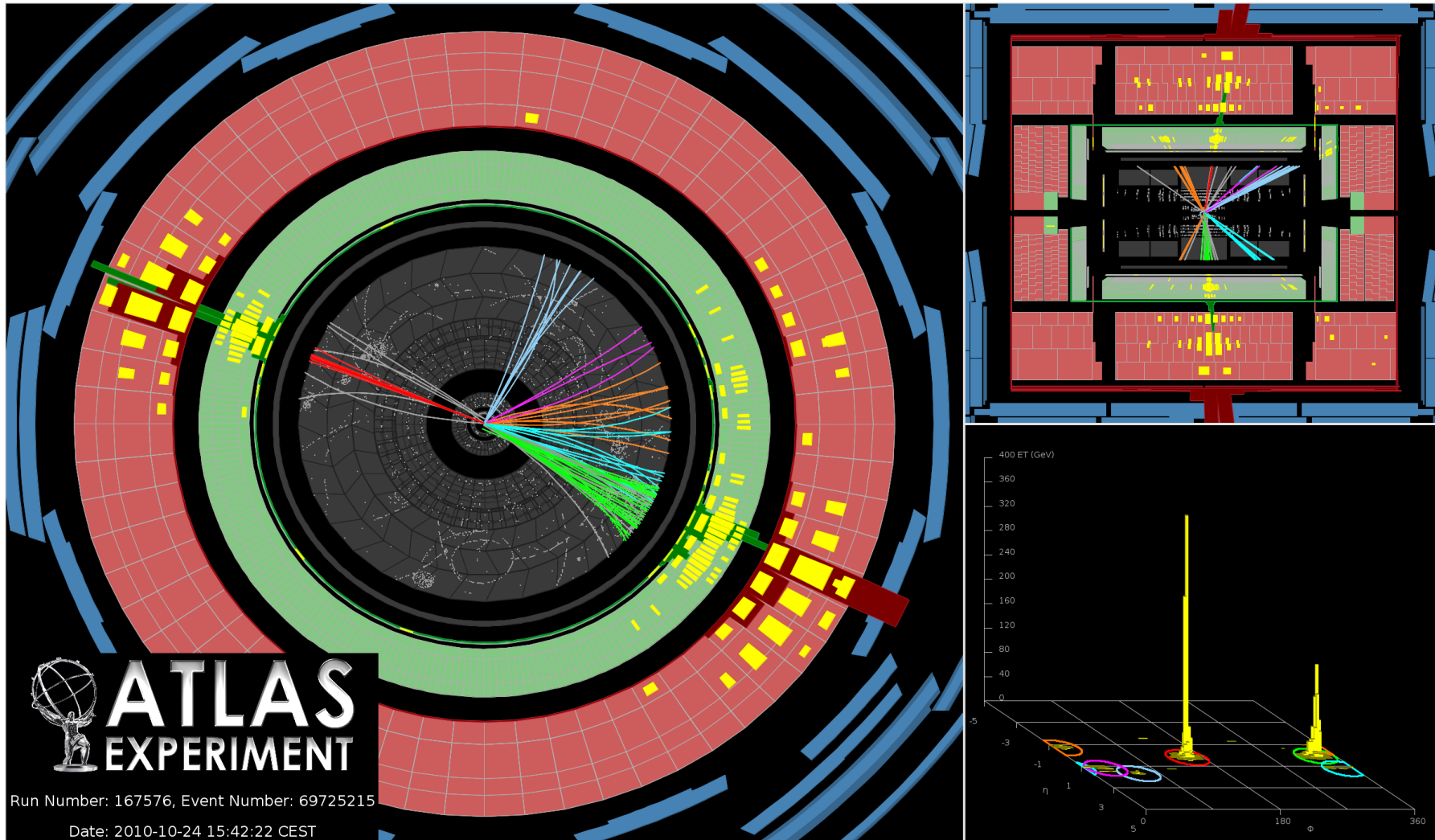
```
groupeA.txt - emacs@lappc-p403.in2p3.fr
File Edit Options Buffers Tools Help
89.2 e
90.3 e
100.9 m
40.2 e
-U:**- groupeA.txt All L5 (Text)
```

- ◆ 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

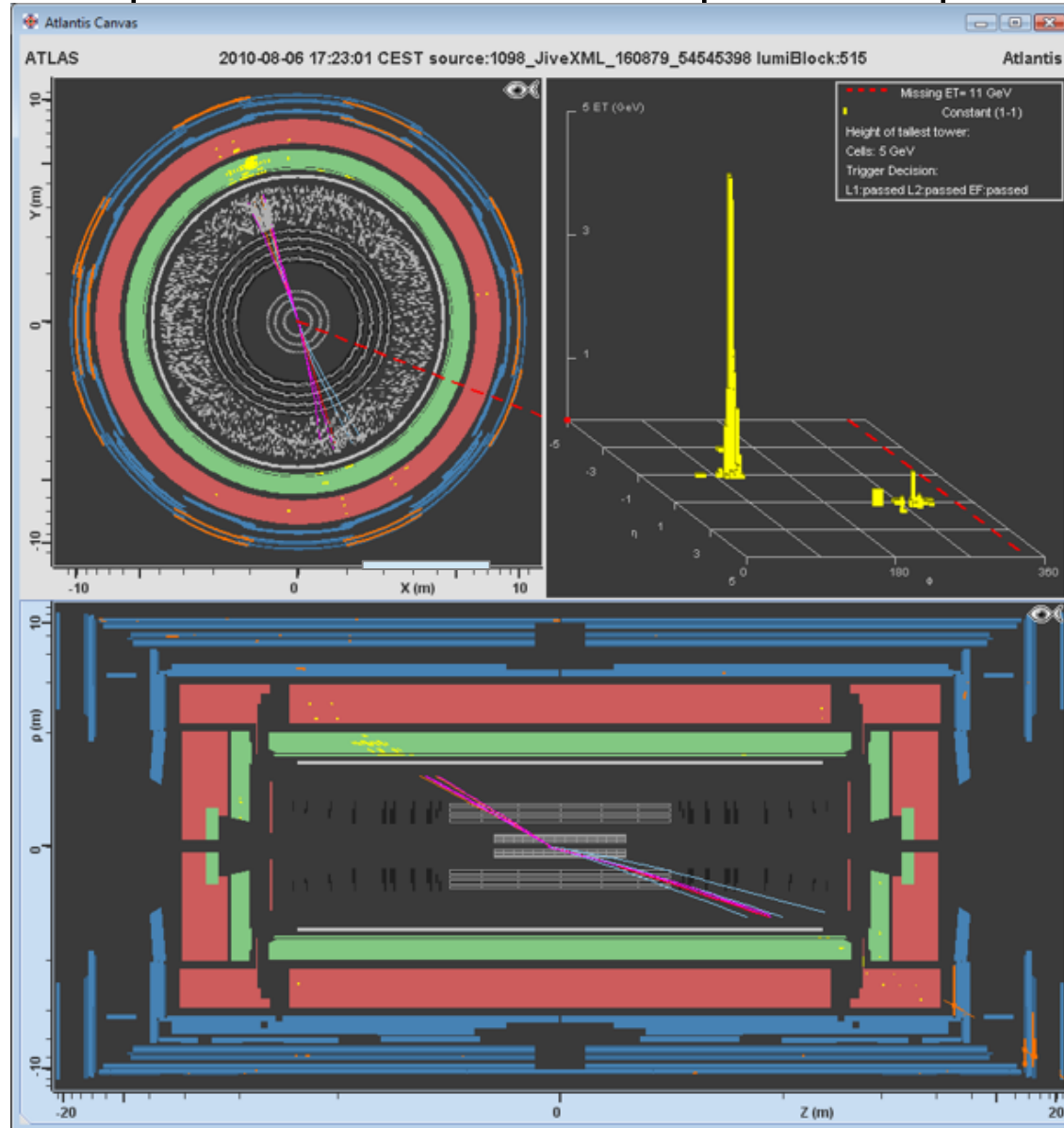
- ◆ Jet = plusieurs traces dans le détecteur interne + dépôts dans les calorimètres électromagnétique et hadronique





Bruit de fond (2)

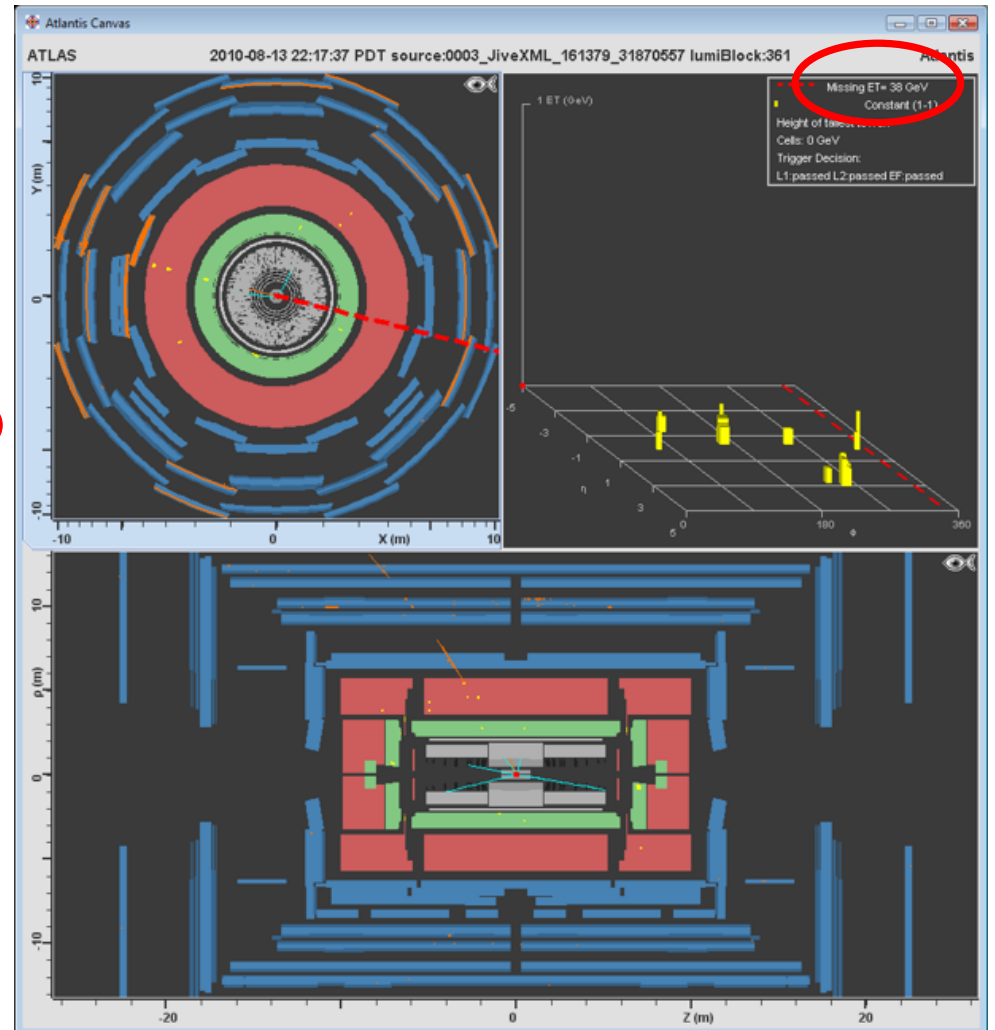
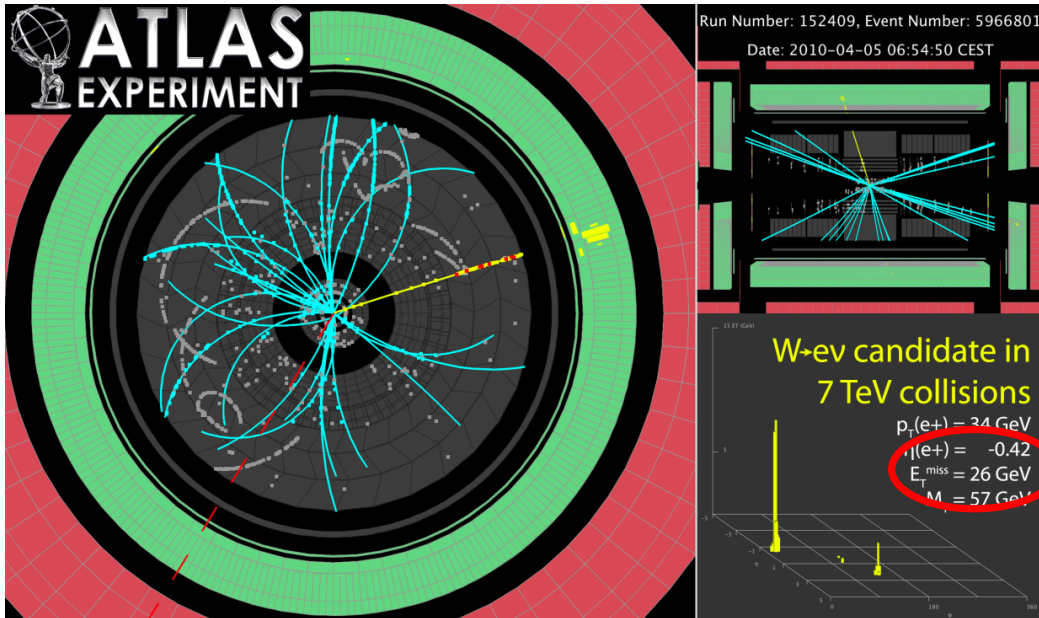
- ◆ Bruit de fond = événement qui ressemble a un Z mais qui n'en est pas un
- ◆ Exemple 2 : 2 jets



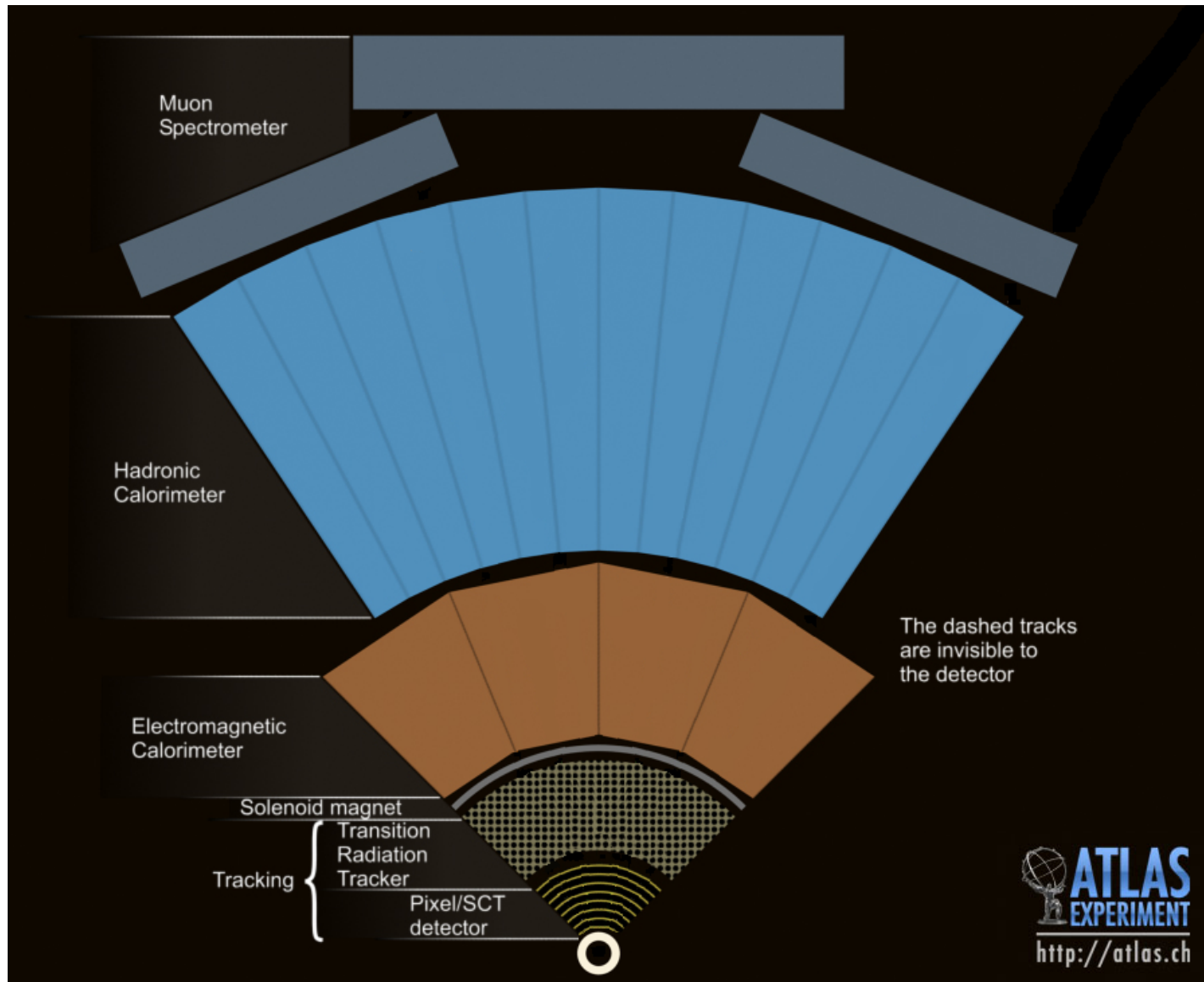


Bruit de fond (1)

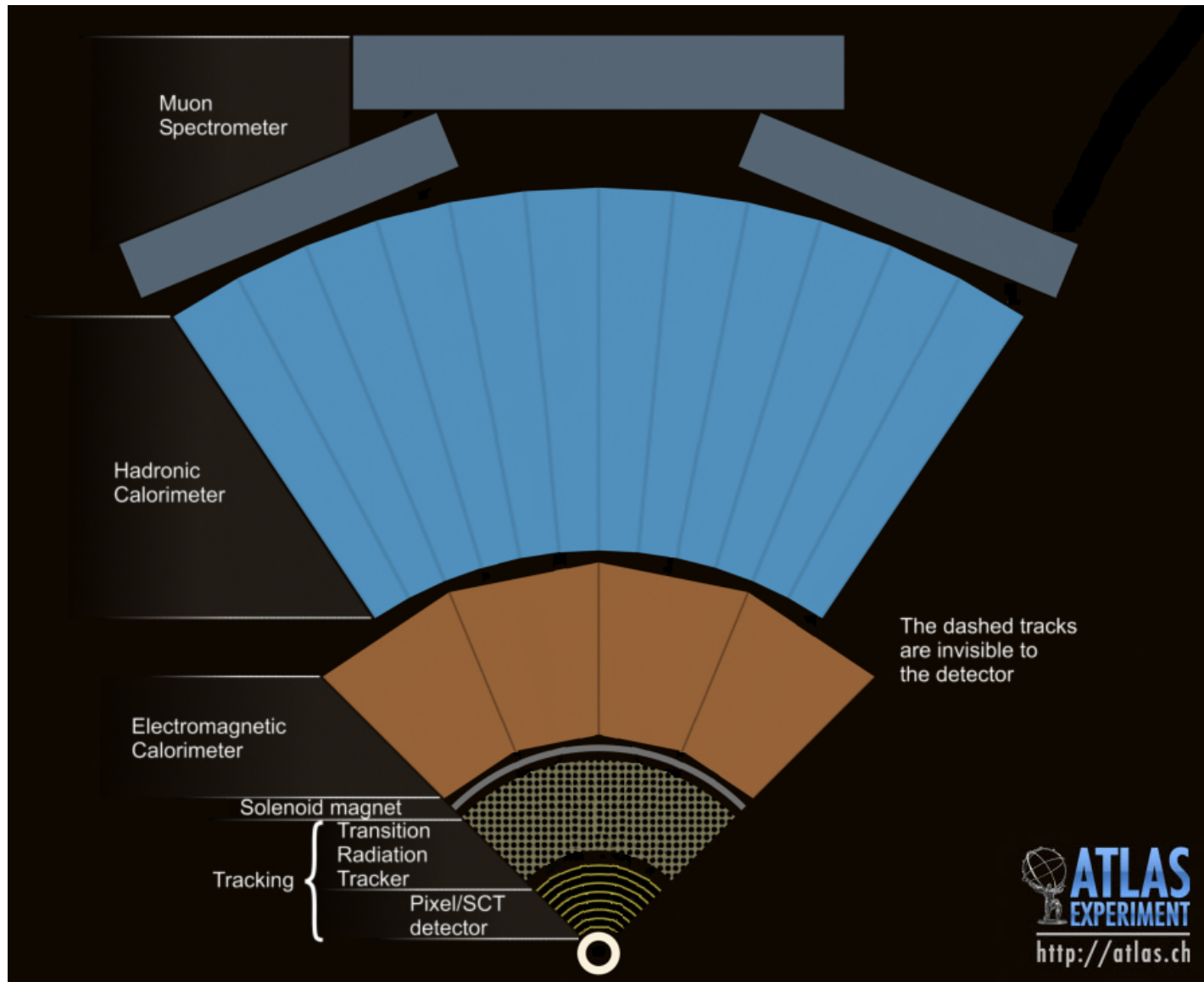
- ◆ Bruit de fond = événement qui ressemble à un Z mais qui n'en est pas un
- ◆ Exemple 1 : boson W se désintègre en un électron ou un muon + un neutrino



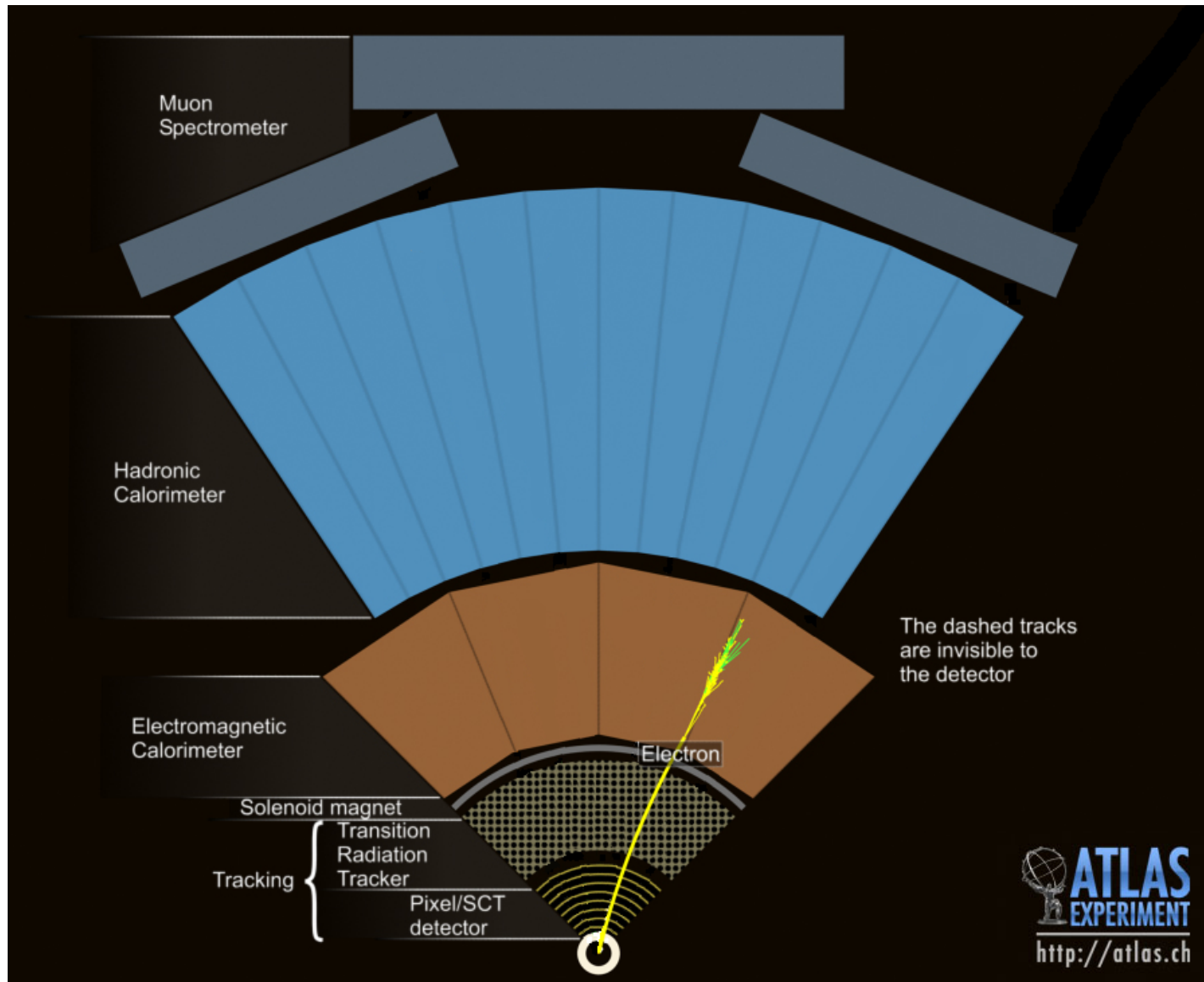
4 couches de détecteurs



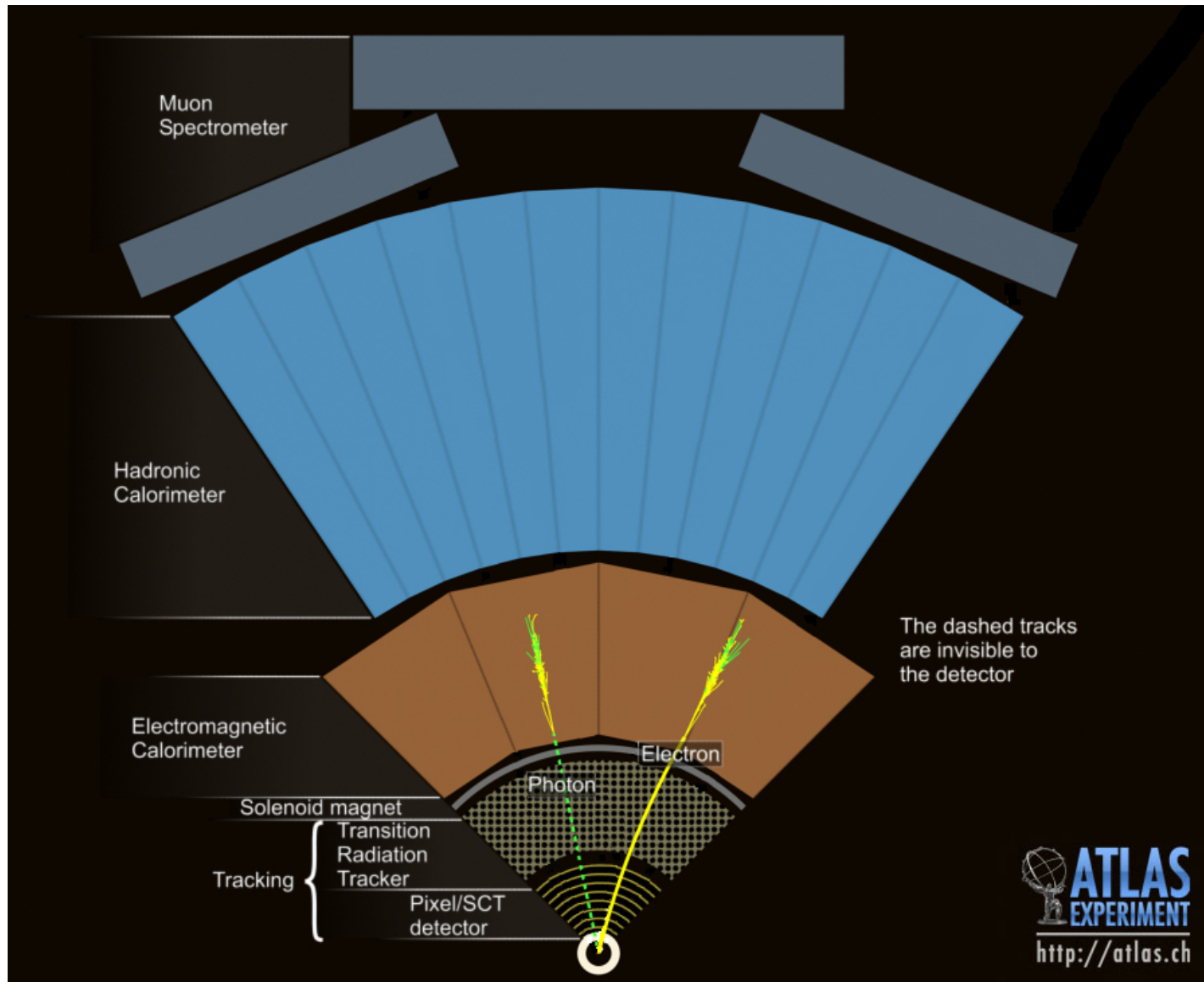
4 couches de détecteurs



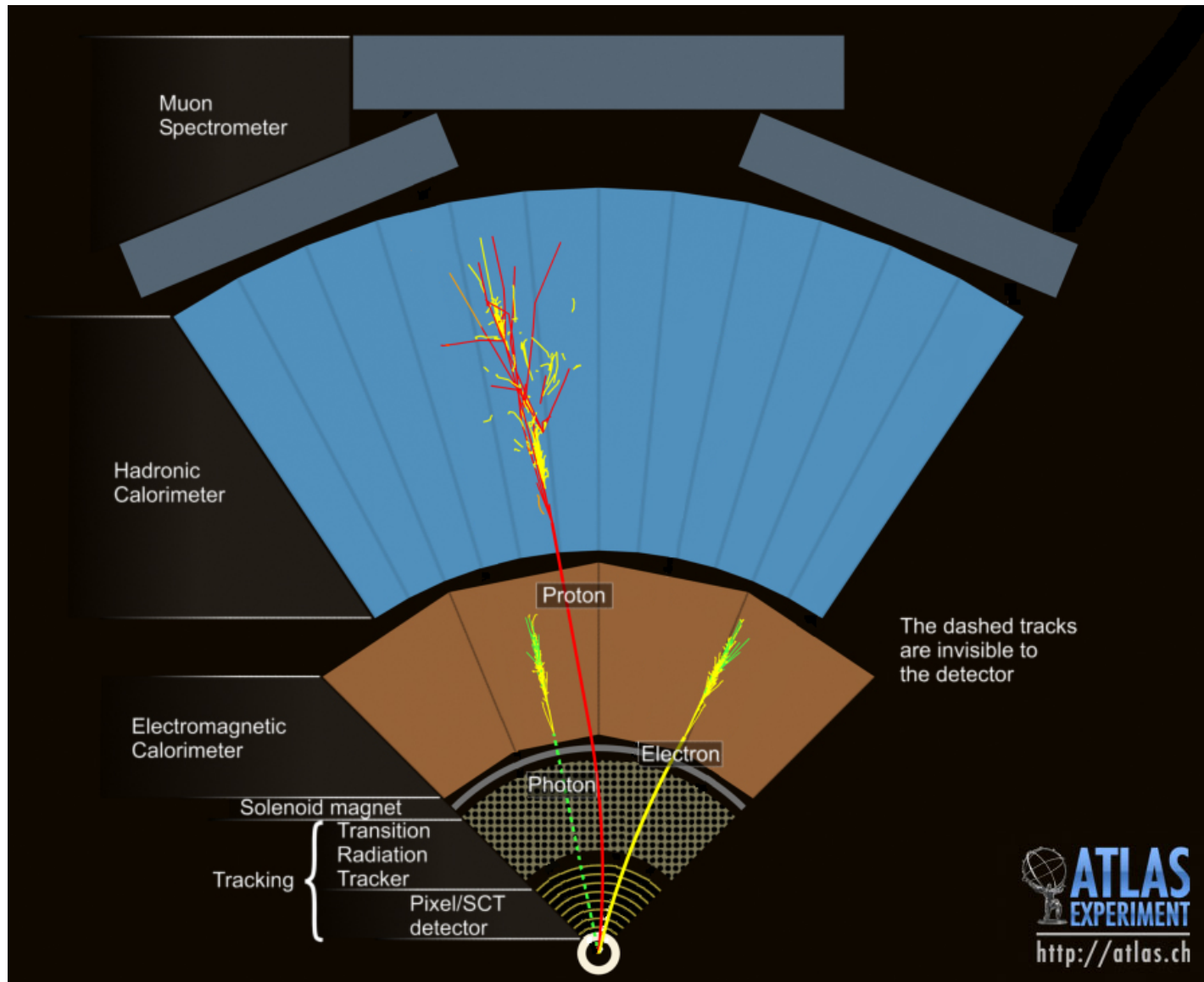
Identifier les électrons



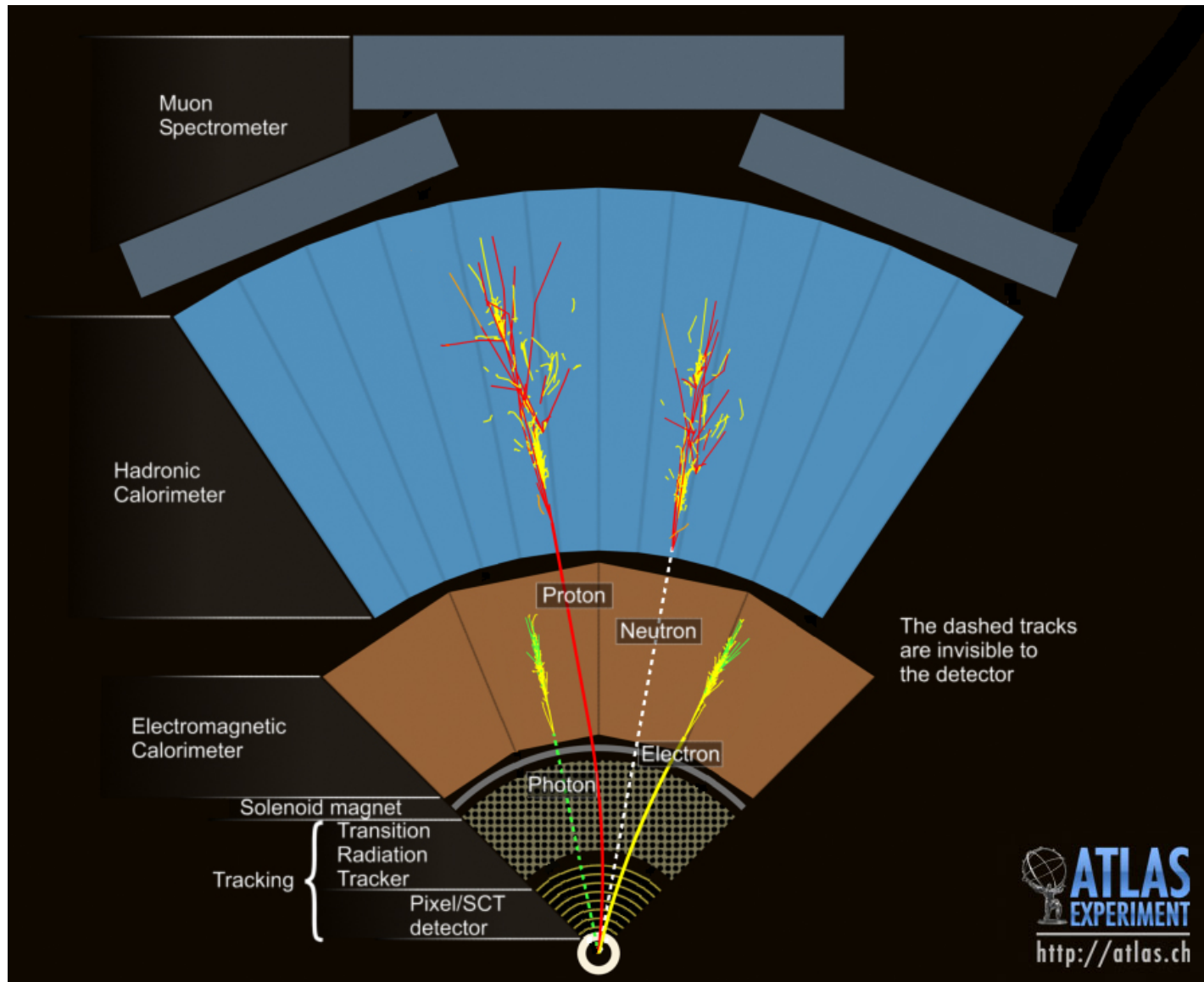
Identifier les photons



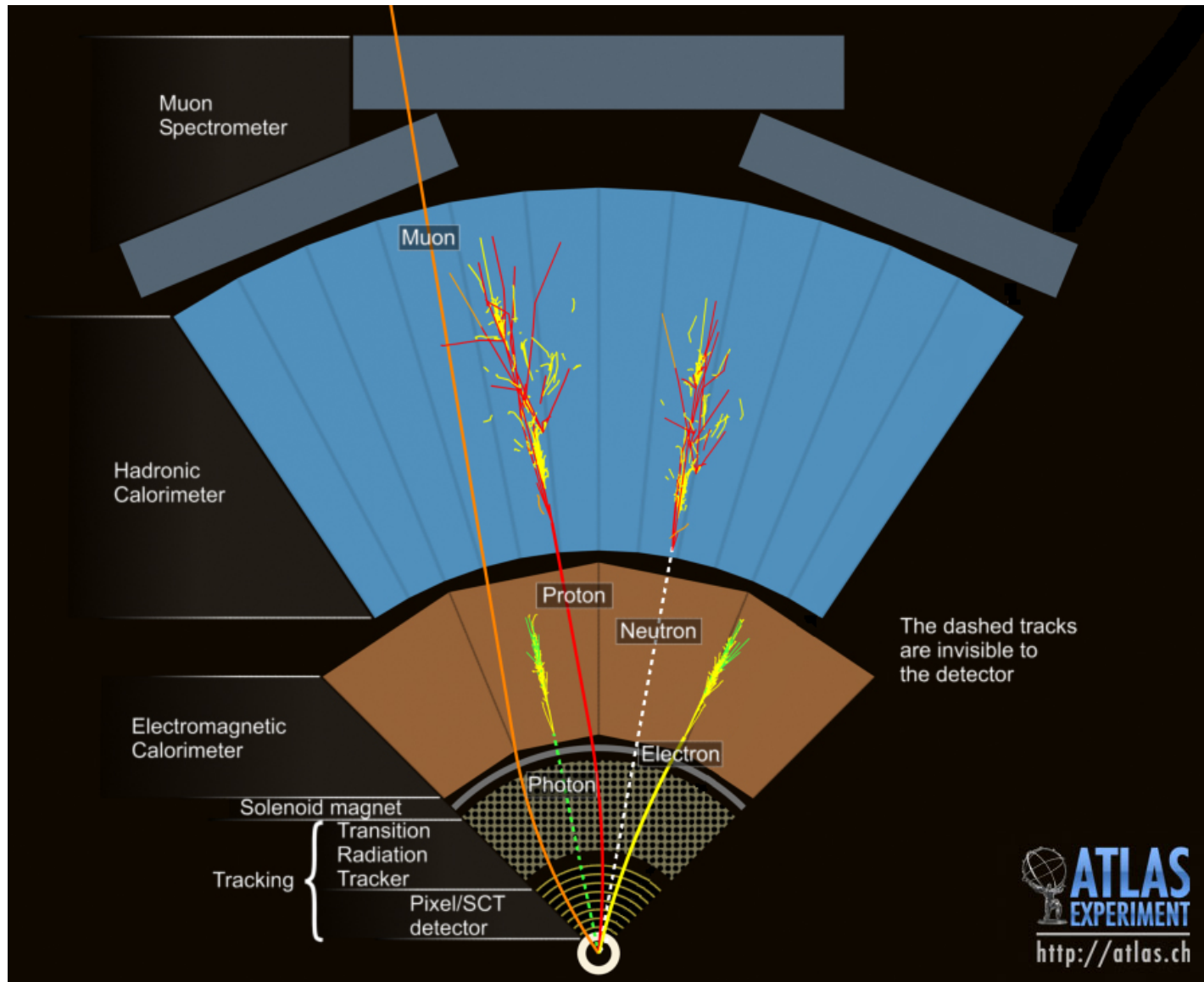
Identifier les protons



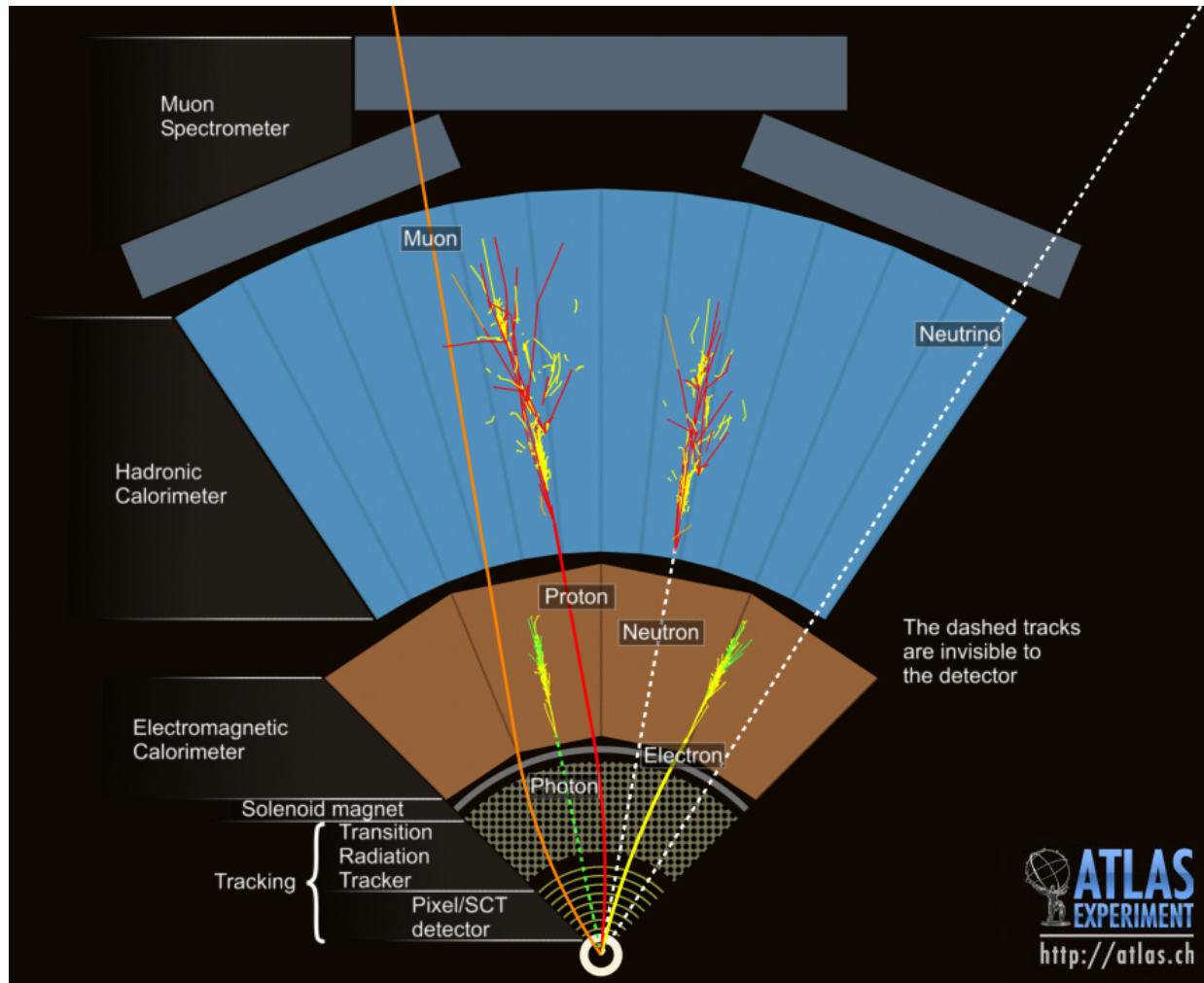
Identifier les neutrons



Identifier les muons

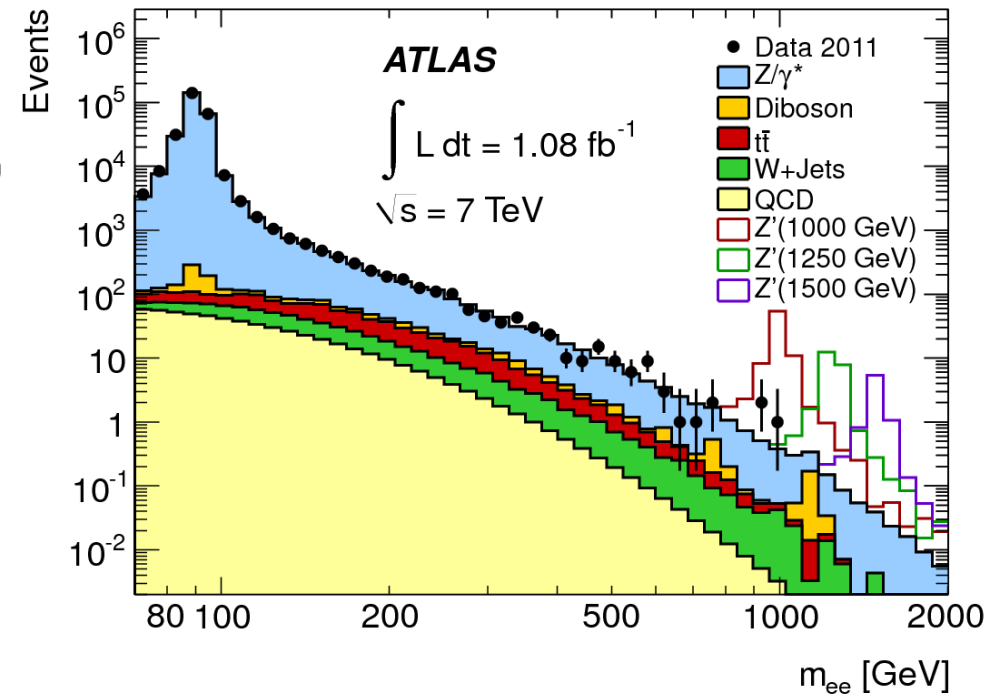
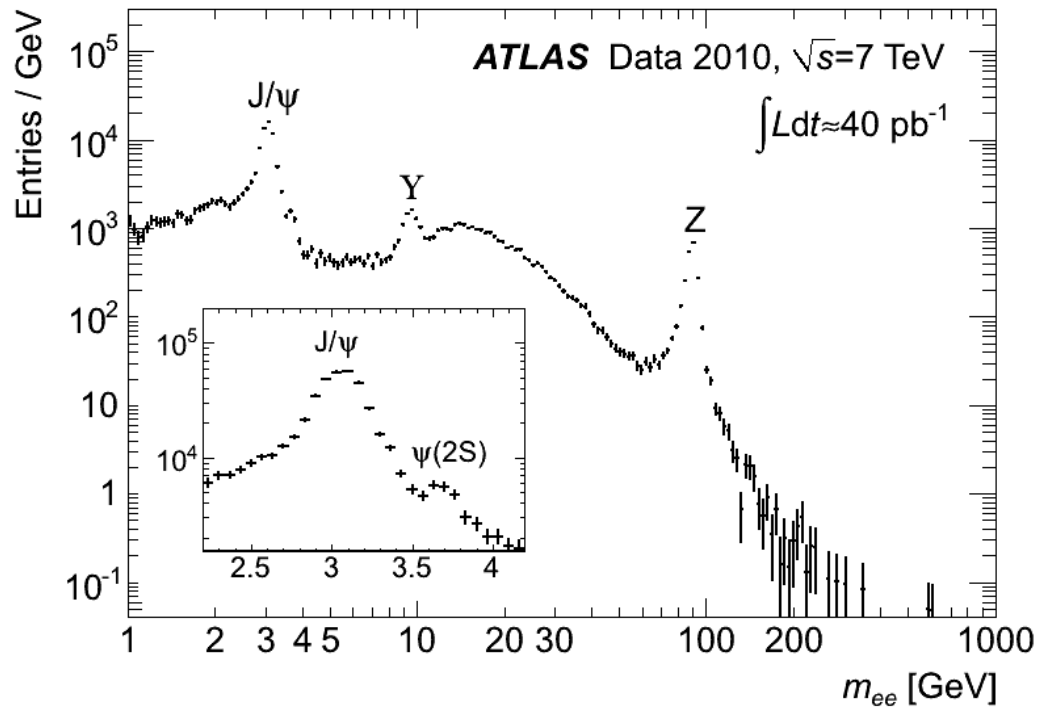


Identifier les neutrinos





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

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

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

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

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) %