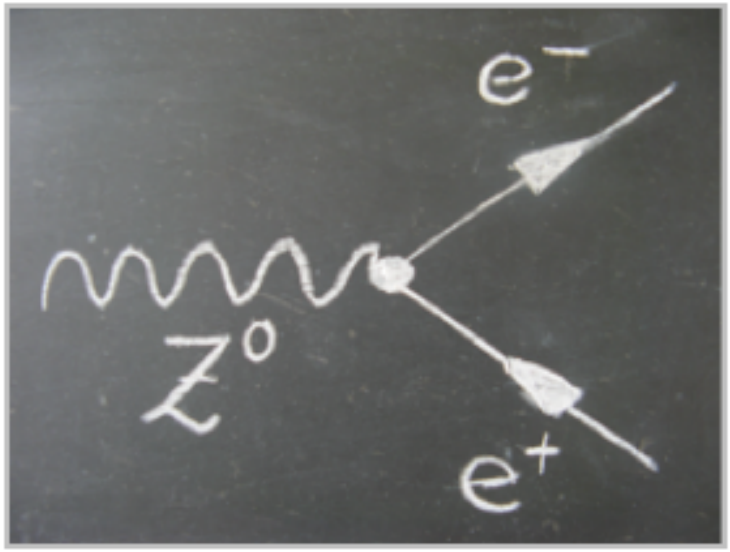
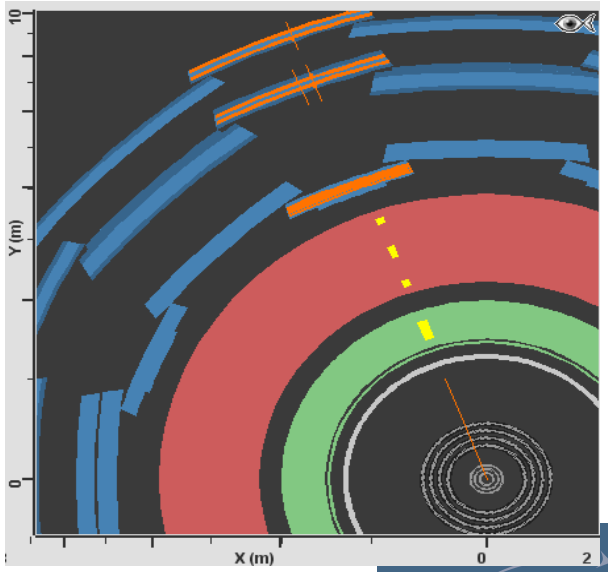
Présentation des exercices: étude des bosons Z et Higgs dans ATLAS





QU'EST CE QUE VOUS ALLEZ FAIRE?

Un binôme va analyser un lot de **50 événements** issus des collisions au LHC, contenant des particules neutres qui se désintègrent soit en :

- 2 leptons de signes opposés (e^+ e^-) ou (muon$^+$ muon$^-$): Z^0, J/psi …
- soit en 2 photons : Higgs → 2 photons, ou du bruit de fond
- soit en 4 leptons : Higgs → 4 leptons, très rares

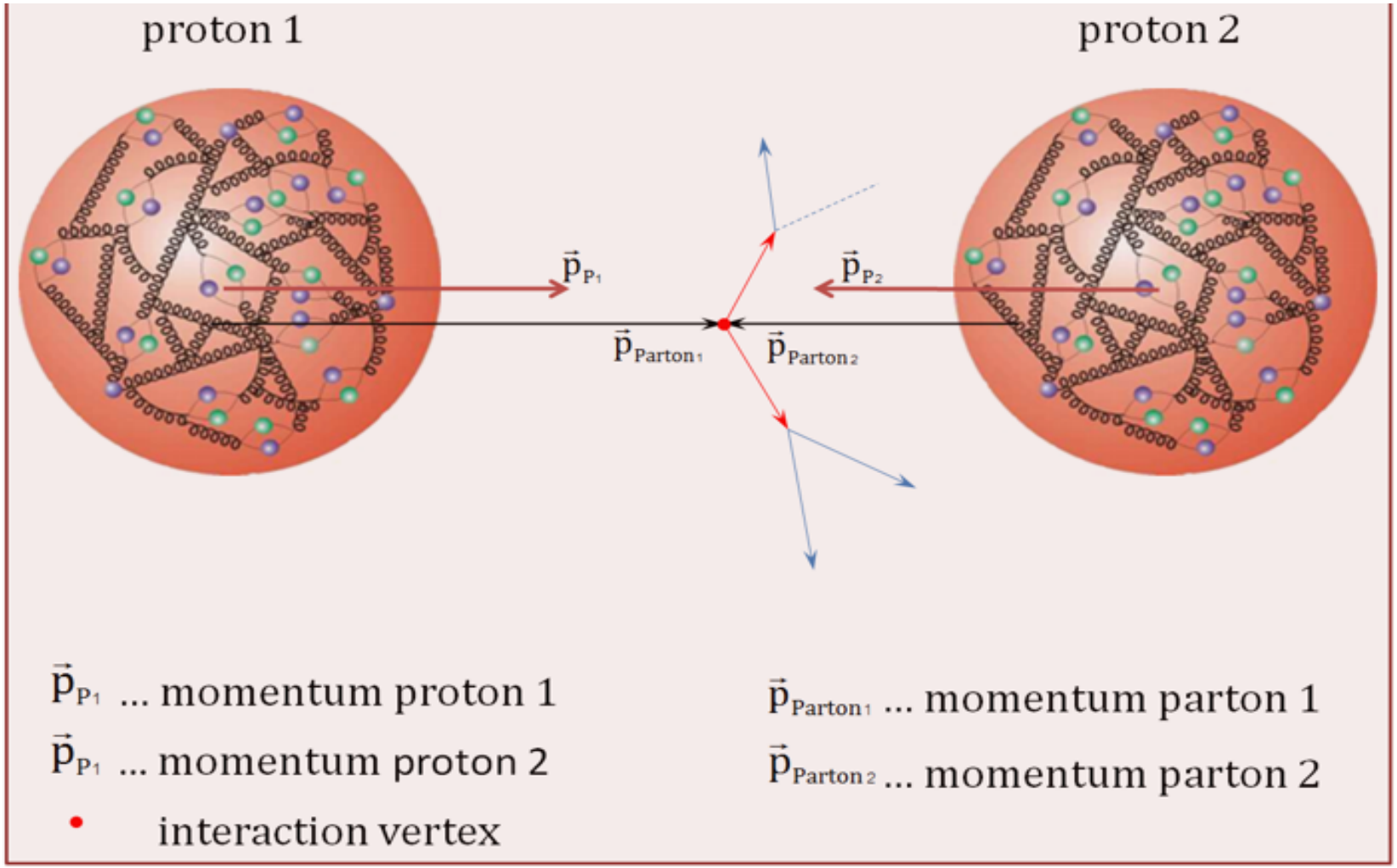
Les masses du Z^0, Higgs, … sont différentes.

Vous allez classifier les événements et déterminer les masses des particules (mères) qui se sont désintégrées et ont produit des particules (filles) que vous voyez dans le détecteur.

On ajoutera à la fin les résultats de chaque groupe, puis à ceux des autres pays, lors de la vidéo conférence à 16:00.

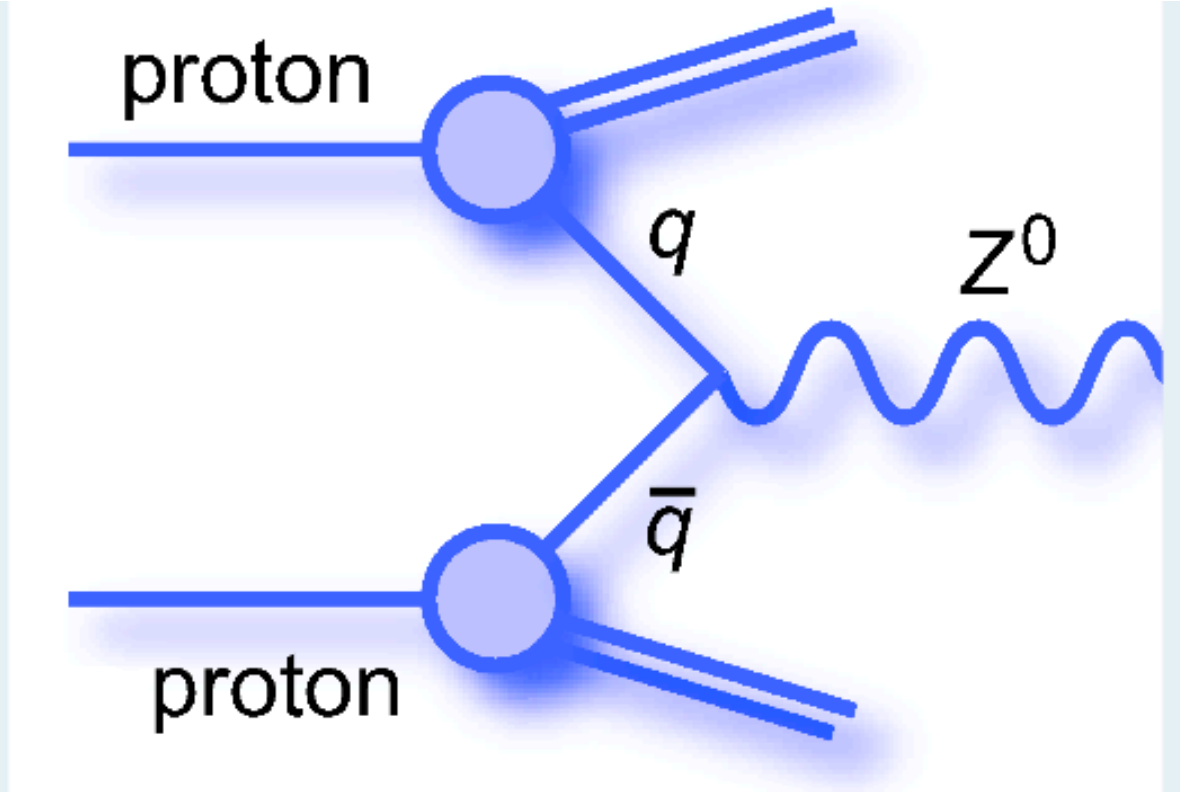
→ Intérêt de la combinaison et d'une plus grande statistique.

Collision au LHC: le proton est complexe



La production de Z^0 au LHC

- C'est une collision entre un quark d'un proton et un anti quark d'un autre proton.

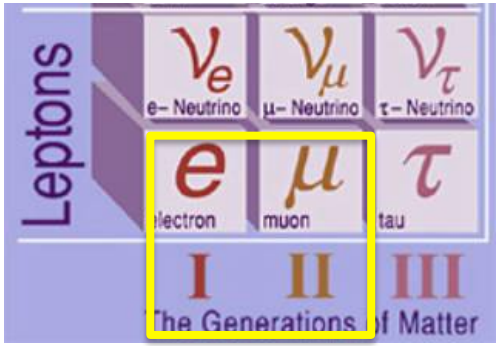


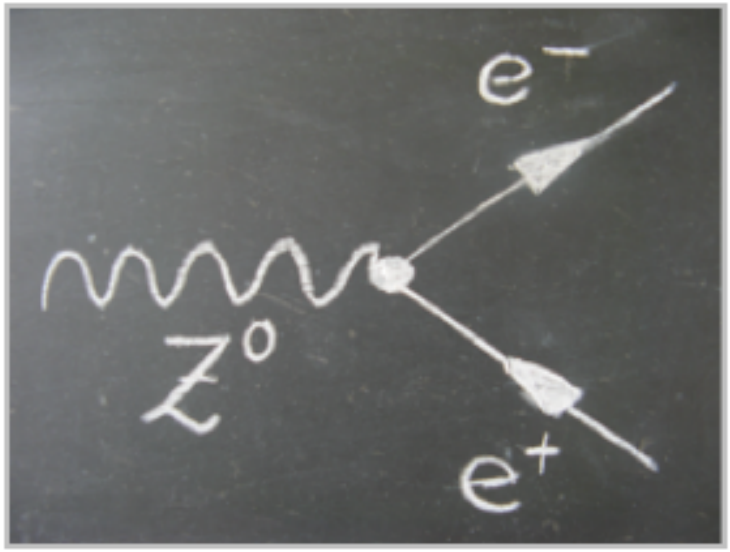
Les désintégrations du Z^0

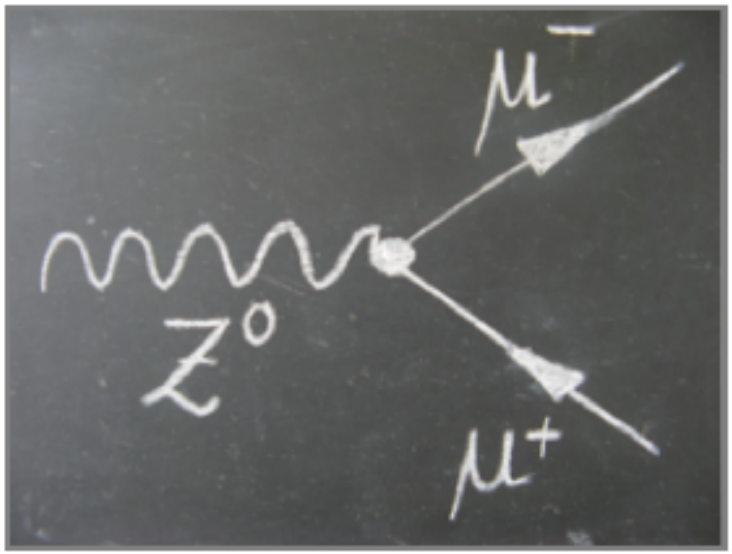
Le Z^0 se désintègre immédiatement (après 10^{-25} secondes) en

- une paire lepton chargé – anti lepton, de la même famille,

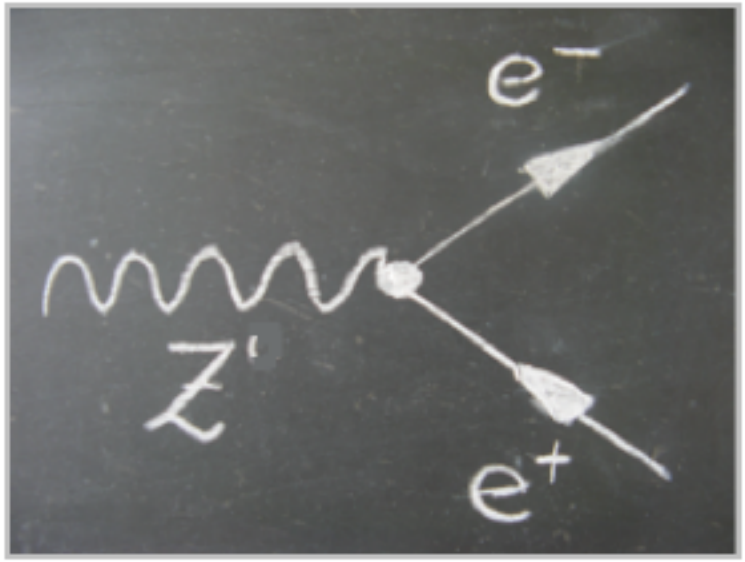
- e^+ e^- : OK
- μ^+ μ^- : OK
- e^- μ^+ : non !

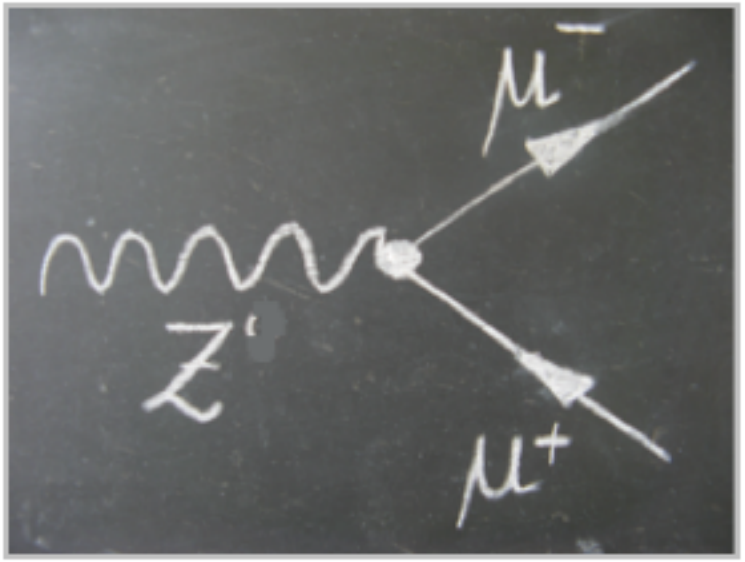






Le Z' (pas encore découvert), comme un Z^0, mais plus lourd





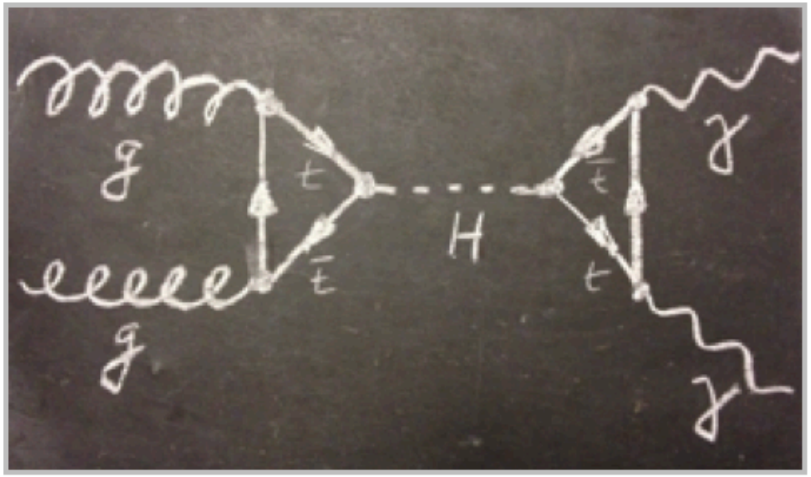
Les désintégrations du Higgs

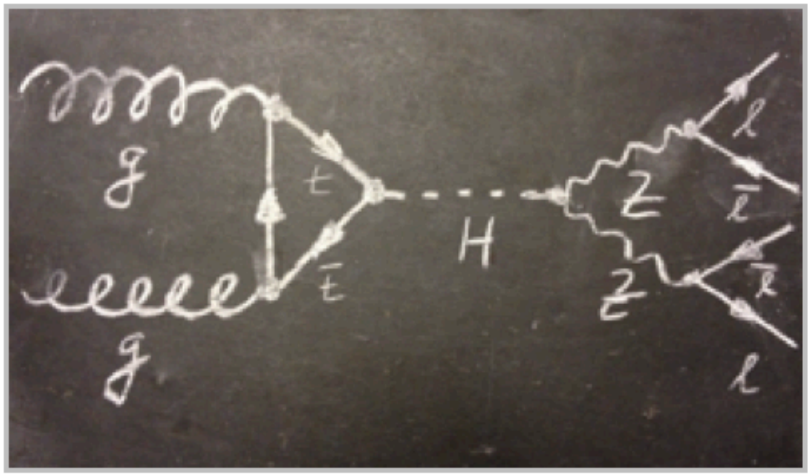
Le H^0 se désintègre presque immédiatement (après 10^{-25} secondes).

Il y a plusieurs possibilités de désintégration. Les plus faciles à détecter sont celles où le Higgs donne :

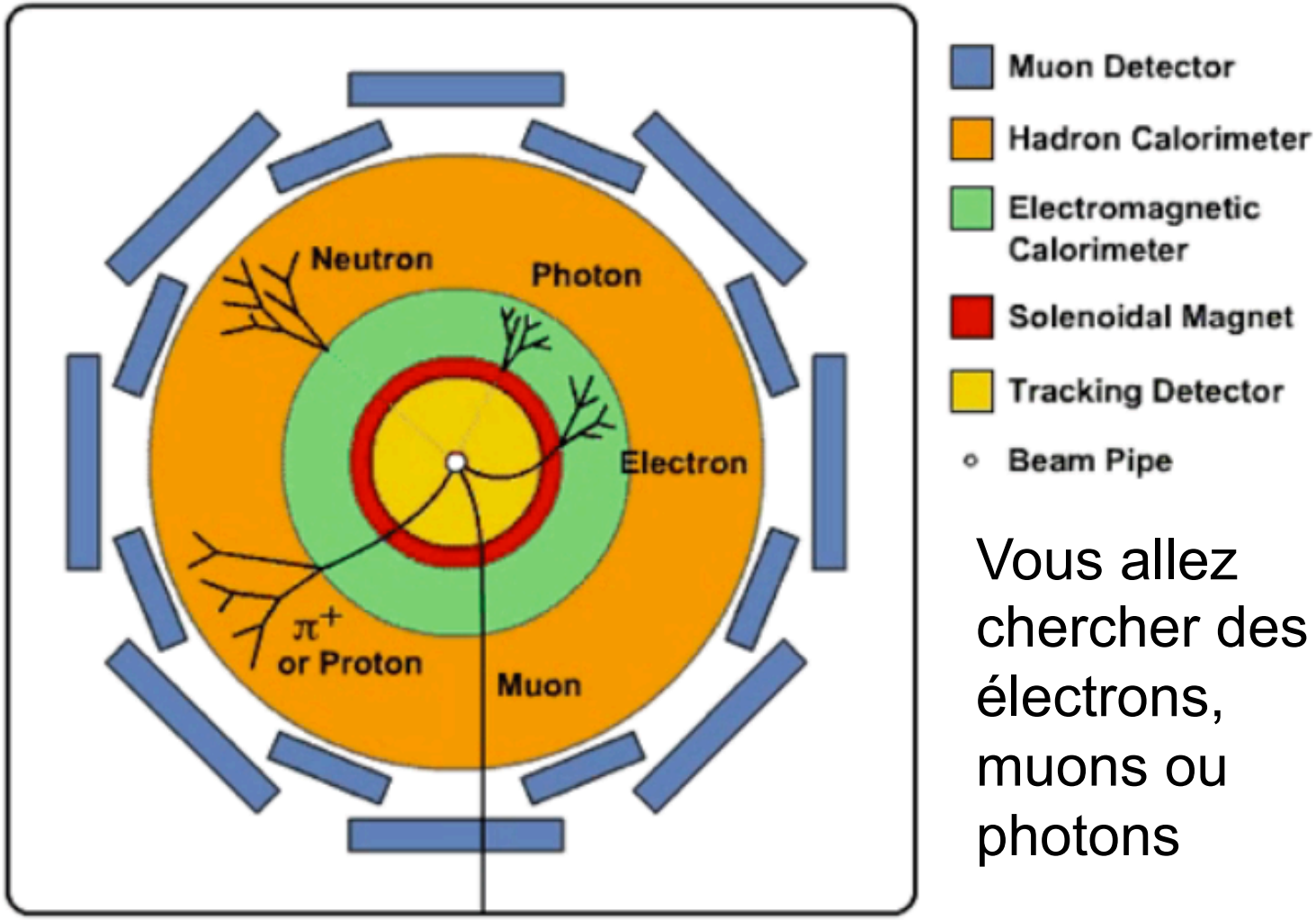
- une paire de deux photons ($\gamma\,\gamma$)
- ou 2 Z^0, ce qui donne dans l'état final:

$e^+e^-\ e^+e^-$, $\mu^+\mu^-\ \mu^+\mu^-$ ou $e^+e^-\ \mu^+\mu^-$





Signatures dans le détecteur des différentes particules

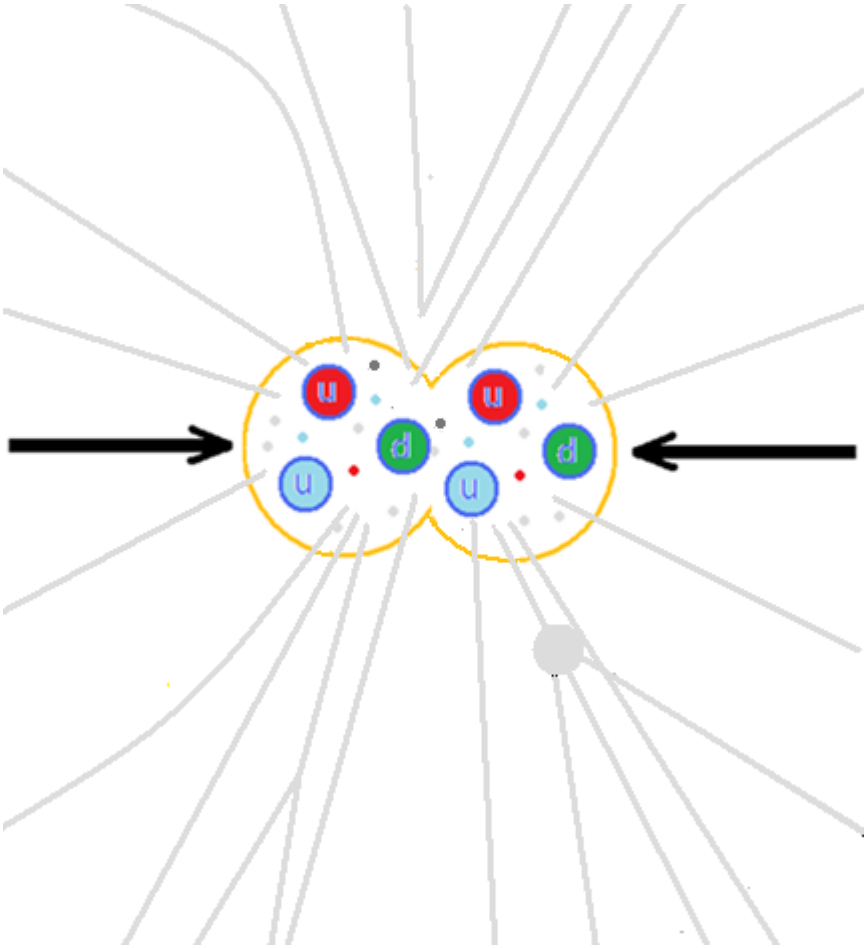


Vous allez chercher des électrons, muons ou photons

Désintégration des particules Z^0

Un événement Z^0-> e- e+ peut se trouver dans cette désintégration.

Pour le trouver, on va éliminer les traces de plus basse énergie.



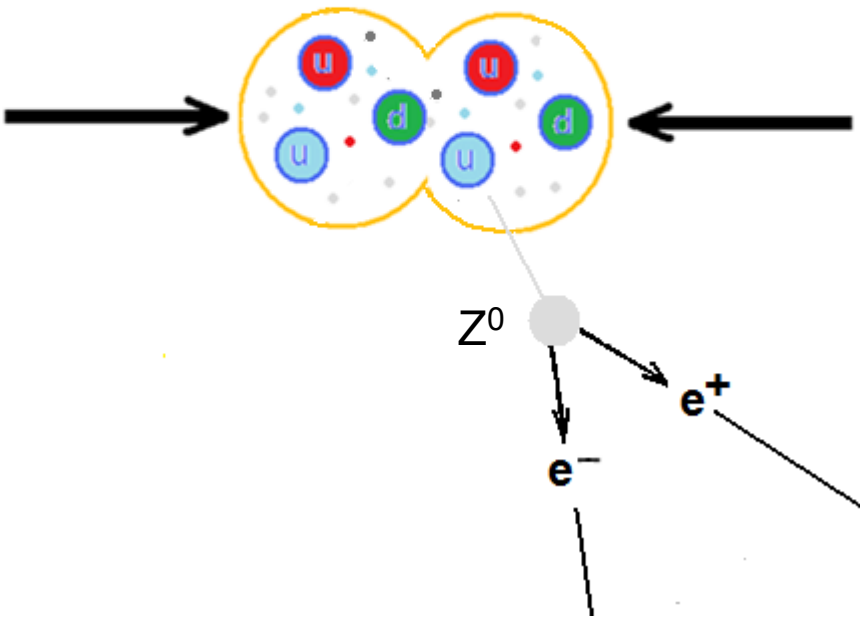
Désintégration de particules Z^0

Variable Pt: liée à l'impulsion (donc à la vitesse, donc à l'énergie) des traces.

En coupant sur Pt >5 GeV il ne reste que la paire électron-positron.

Vous allez analyser des collisions pour chercher

$Z^0 \rightarrow ee$, $Z^0 \rightarrow \mu\,\mu$



Cet après-midi: rechercher des <u>paires</u> de particules

- Il faut chercher des paires de particules et les identifier comme :

- deux photons ($\gamma\gamma$) : Higgs, bruit de fond
- $e^+ e^-$
- $\mu^+ \mu^-$
- Evénements avec 4 leptons (Higgs, rares) :
  $e^+ e^- e^+ e^-$, $\mu^+\mu^- \mu^+ \mu^-$ ou $e^+e^- \mu^+ \mu^-$

<u>Noter le numéro de l'événement sur feuille de comptage</u> avec son type ($\gamma\gamma$, $e^+ e^-$, ...)

- Puis faire calculer la masse invariante des 2 ou des 4 particules retenues (tableau dans Hypatia)

Calcul de masse invariante: la théorie (pas besoin de tout comprendre)

$$E_0 = m_0 c^2$$

E_0 : énergie au repos des particules

E : énergie d'un système de particules en mouvement

$$E = \sqrt{(\vec{p} \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2}$$

$\vec{P} = \gamma(v)\, m\, \vec{v}$: impulsion

Ayant E et P, on peut en déduire la masse m_0, qui est indépendante de la vitesse des particules.

$$(m_0^{(Z)})^2 = \left(\frac{E_1}{c^2} + \frac{E_2}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}_1}{c} + \frac{\vec{p}_2}{c}\right)^2$$

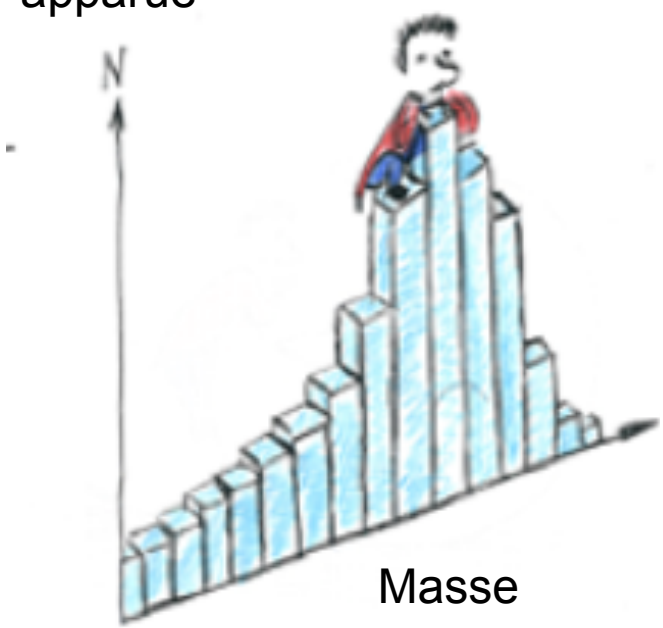
avec 2 particules filles dans l'état final

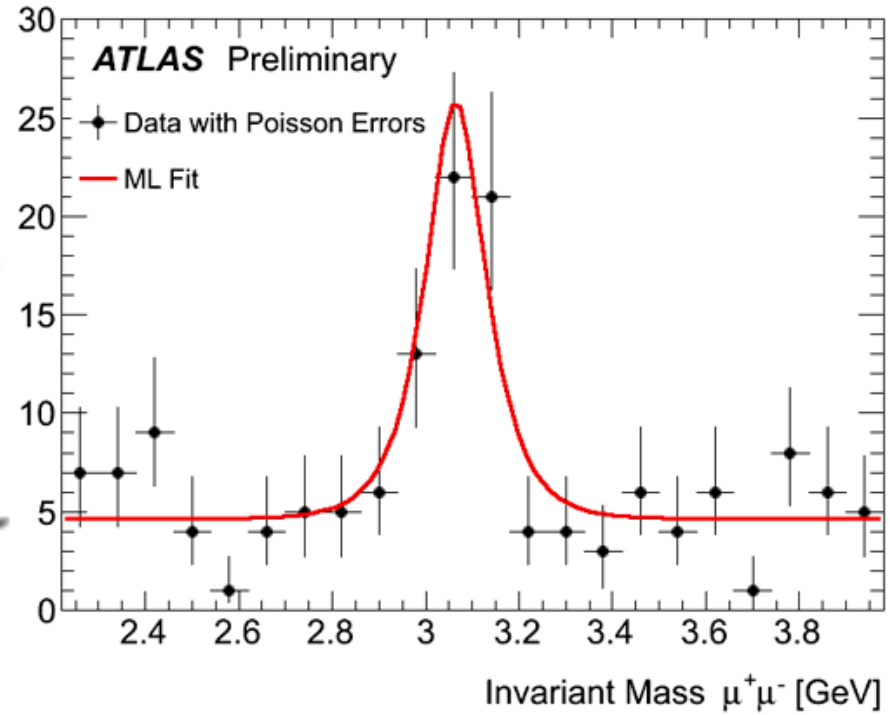
Pas de panique : le logiciel Hypatia fait le calcul de m_0 pour nous.
Il suffit de choisir les particules 1 et 2 supposées provenir de la même particule mère.

Calcul de masse invariante (suite)

Hypatia fait plus que cela : elle fait un « histogramme » des masses invariantes.

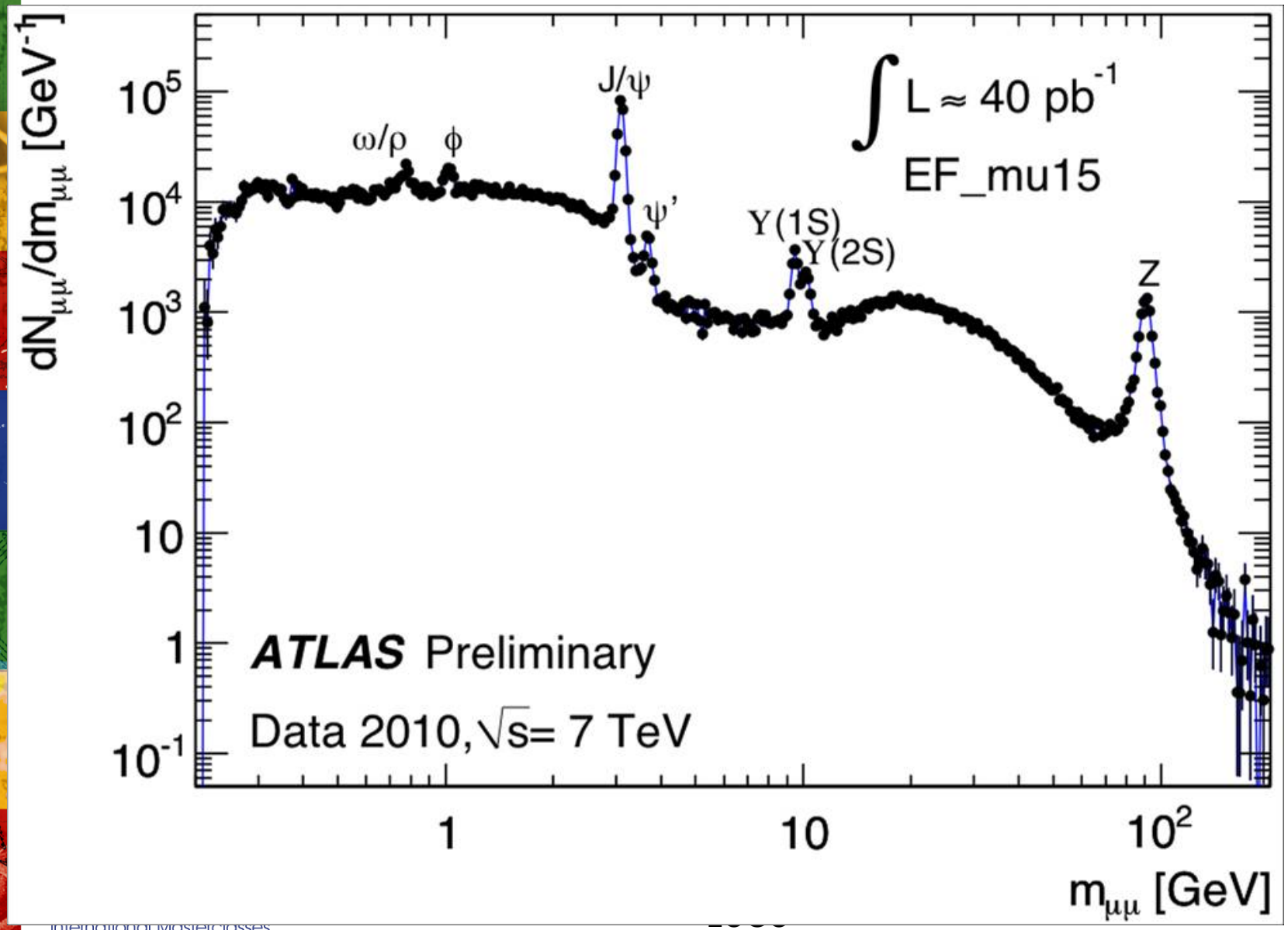
Nombre de fois où cette masse est apparue





La position du pic donne la masse de la particule qui s'est désintégrée.

Masse Invariante (paires de muons)



- Le reste sera expliqué après la pause déjeuner.
- Pensez aux questions que vous voulez poser en anglais lors de la vidéoconférence.
- Choisissez celle/celui qui va présenter vos résultats lors de la vidéoconférence
- Bon appétit !!!

Partie de l’après-midi

Bertrand Laforge

Irena Nikolic

Vous allez rechercher des <u>paires</u> de particules

• Il faut chercher des paires de particules et les identifier comme :

- deux photons ($\gamma\gamma$) : certains proviennent du Higgs
- $e^+ e^-$: Z^0, d'autres particules neutres
- $\mu^+ \mu^-$: Z^0 , …
- Evénements avec 4 leptons (Higgs, très rares) :

$e^+ e^- e^+ e^-$, $\mu^+\mu^- \mu^+ \mu^-$ ou $e^+e^- \mu^+ \mu^-$

<u>Noter le numéro de l'événement sur feuille de comptage</u> avec son type ($\gamma\gamma$, $e^+ e^-$, ...)

• Puis faire calculer la masse invariante des 2 (ou 4 particules) particules sélectionnées par le logiciel Hypatia.

Sortir les 2 feuilles d'aide: texte + schéma

Comment va-t-on procéder?

- Démarrer Bureau LUTES (sous Windows)
- Se connecter avec votre login attribué **lutes01, … lutes31..**
- Mot de passe **identique au login**

- Lancer Firefox ou Internet Explorer et aller à la page http://atlas.physicsmasterclasses.org/fr/zpath.htm

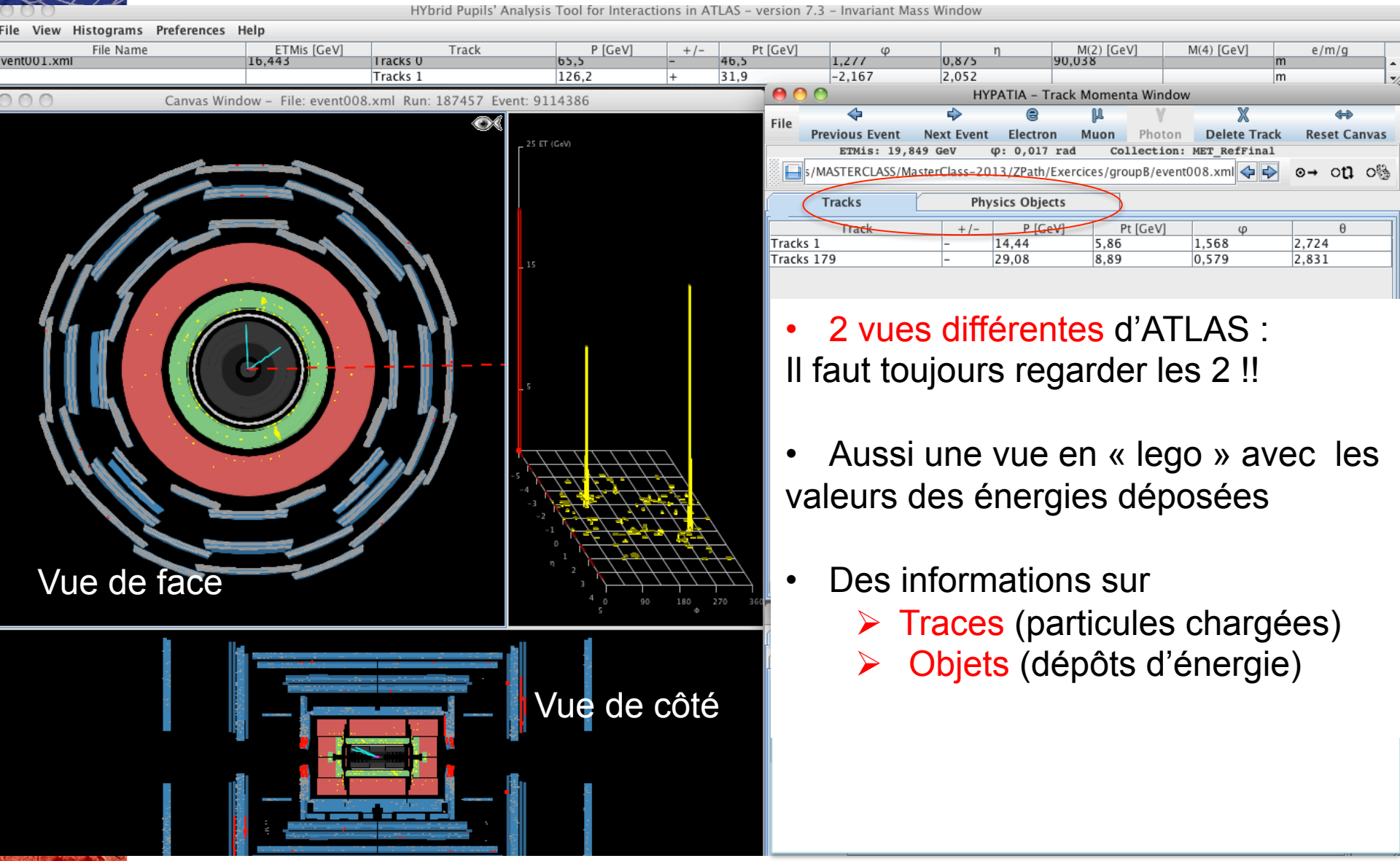
Les parties qui sont à faire sont indiquées sur la feuille.

Attention : Récupérer seulement le lot de données qui vous a été assigné (9A, 9B… 10A..) !!! depuis la page http://lpnhe.in2p3.fr/masterclasses/2015

Lancer le logiciel de visualisation **HYPATIA** à partir de PEDAGOGIE, puis LOGICIELS puis PHYSIQUE

A la fin, ne pas oublier d'exporter votre fichier de «Masses Invariantes », sinon vous perdez votre travail !

Hypatia: visualisation de l'événement

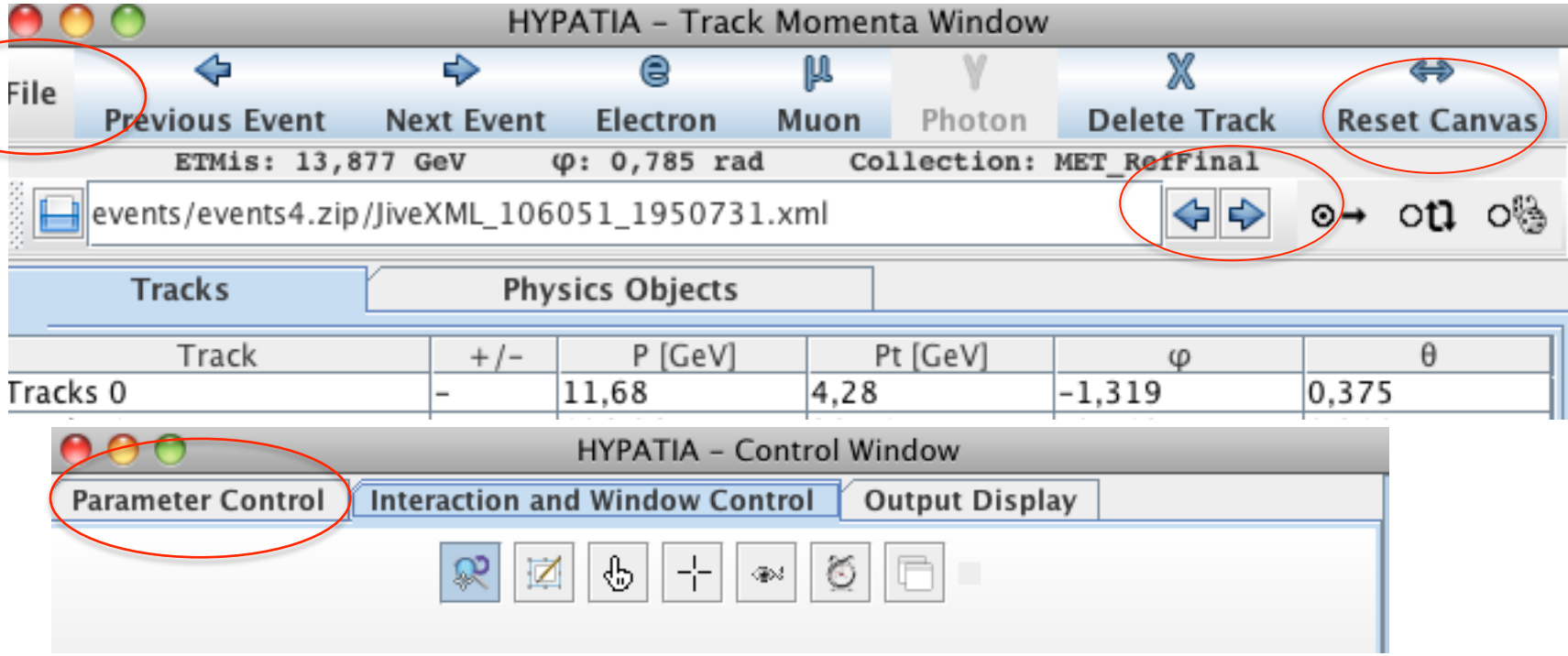


- 2 vues différentes d'ATLAS :
Il faut toujours regarder les 2 !!

- Aussi une vue en « lego » avec les valeurs des énergies déposées

- Des informations sur
  - Traces (particules chargées)
  - Objets (dépôts d'énergie)

Les menus du logiciel

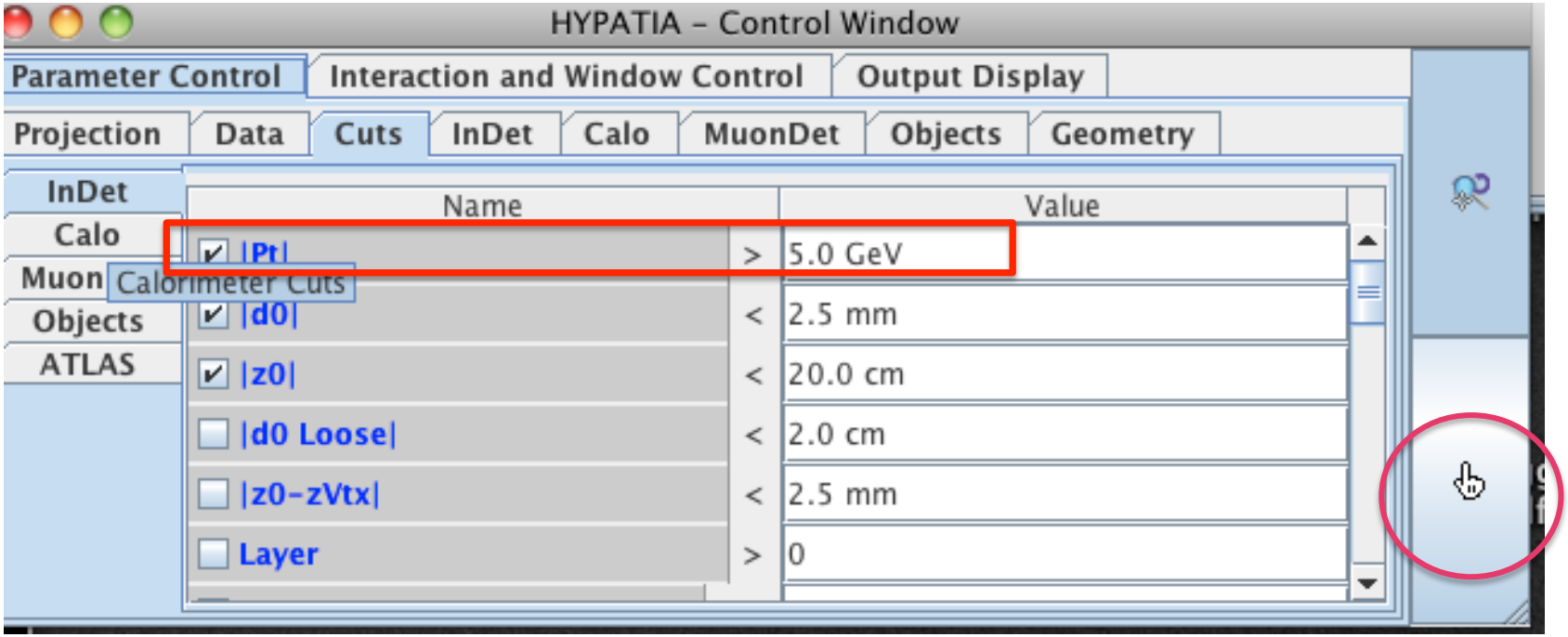


- Rentrer le fichier sous « File » puis « Read Event Locally »
- des flèches : aller à l'événement suivant
- Possibilité de zoomer (loupe), cliquer sur une trace (la main)

- Dans « Parameter control » puis « cuts » possibilité de <u>définir des critères de sélection (coupures)</u> pour les particules que vous voulez voir affichées

- Bouton « Reset Canvas » pour revenir à la vue de initiale

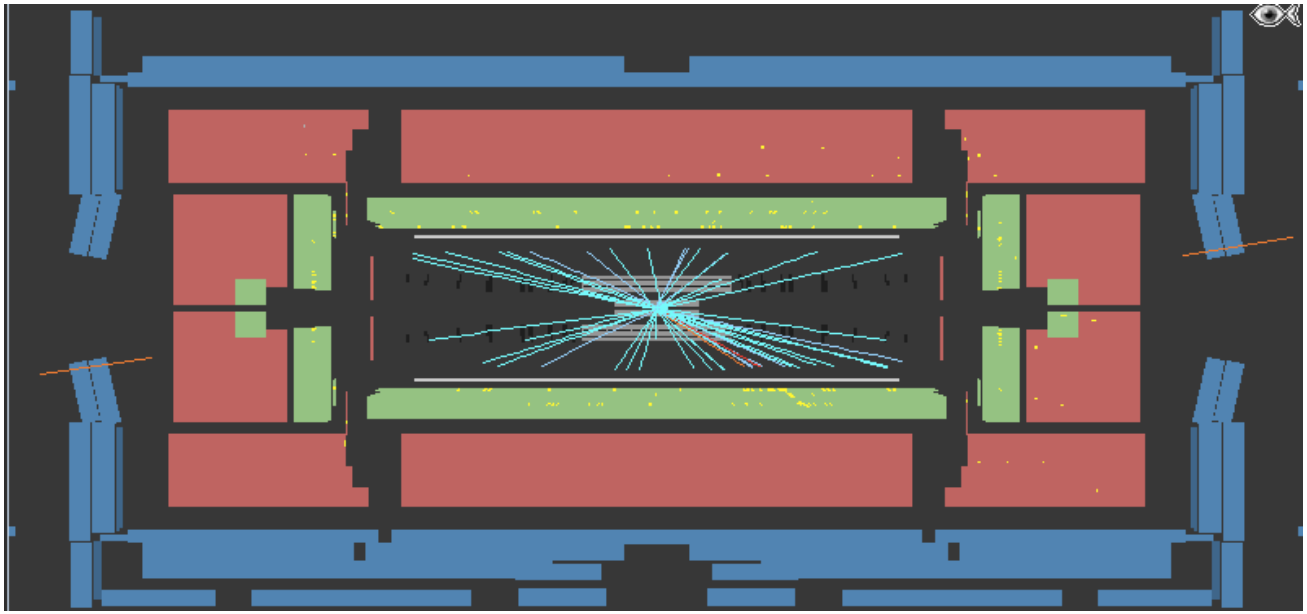
Faire une coupure: dans la fenêtre de contrôle



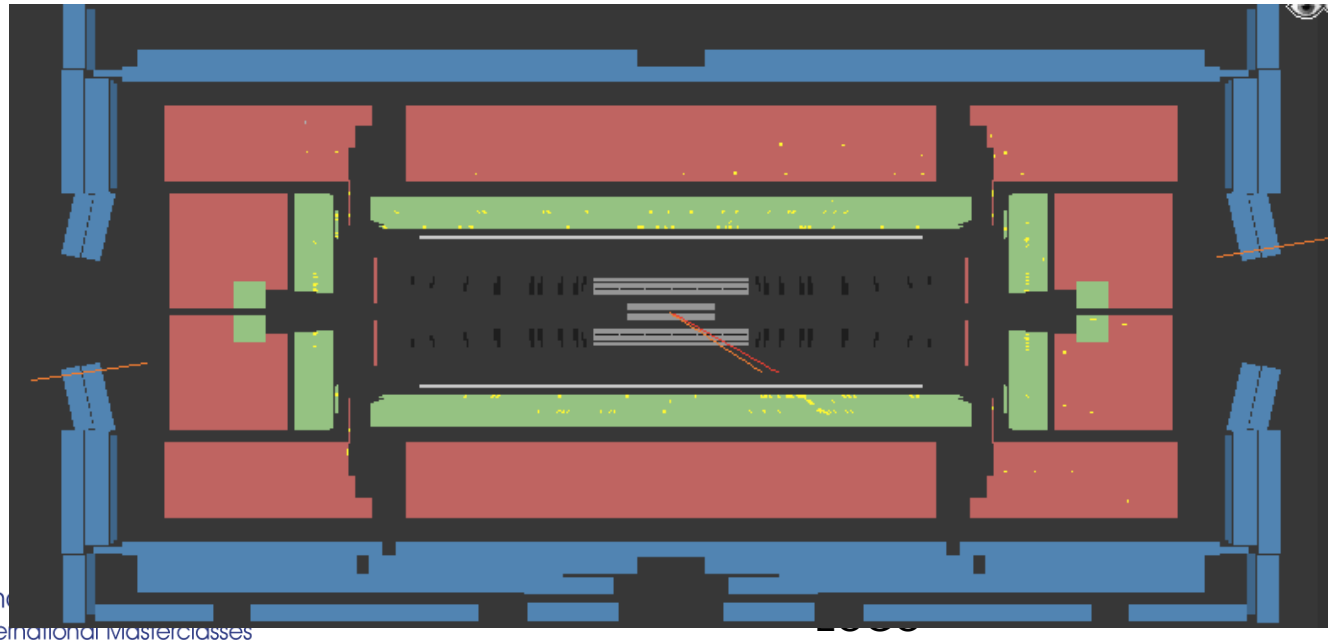
On coupe sur Pt > 5 GeV pour éliminer les traces de basse énergie
C'est à vous de la changer dès le 1er événement.

Bouton « main » pour cliquer sur la trace.

Effet de la coupure en Pt



Avant

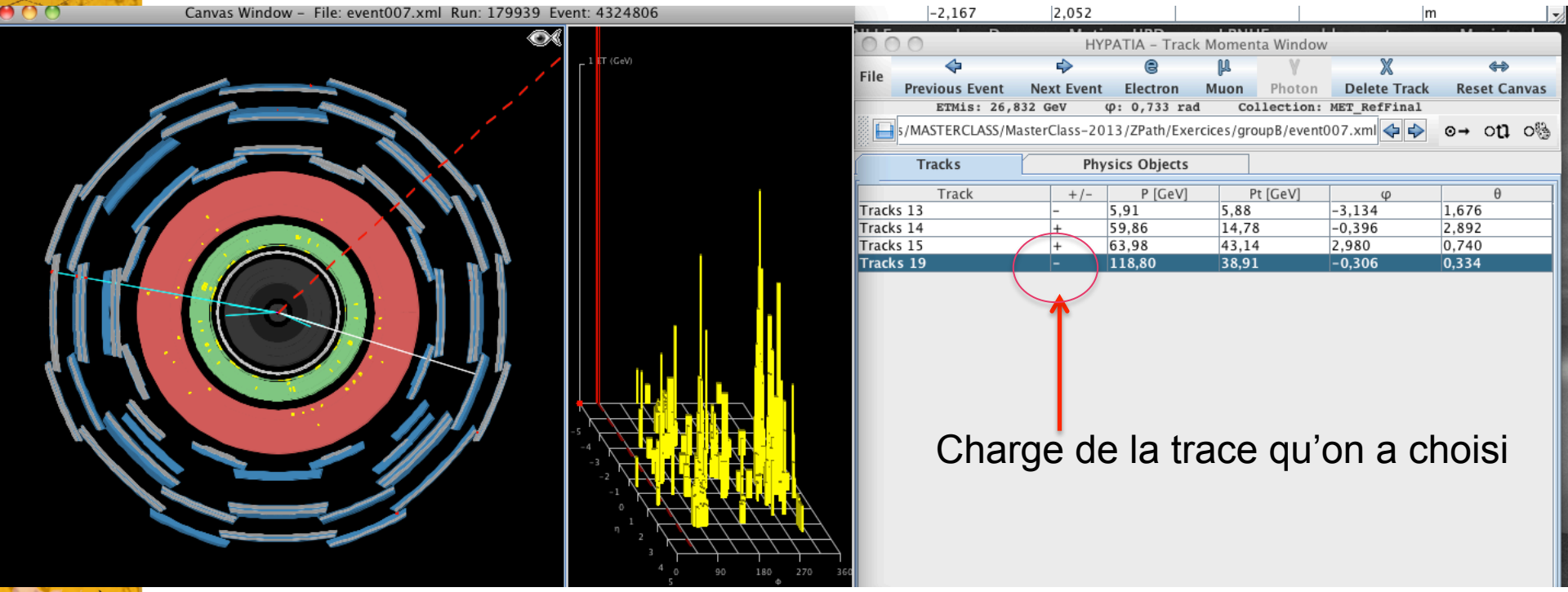


Après
Pt > 5 GeV

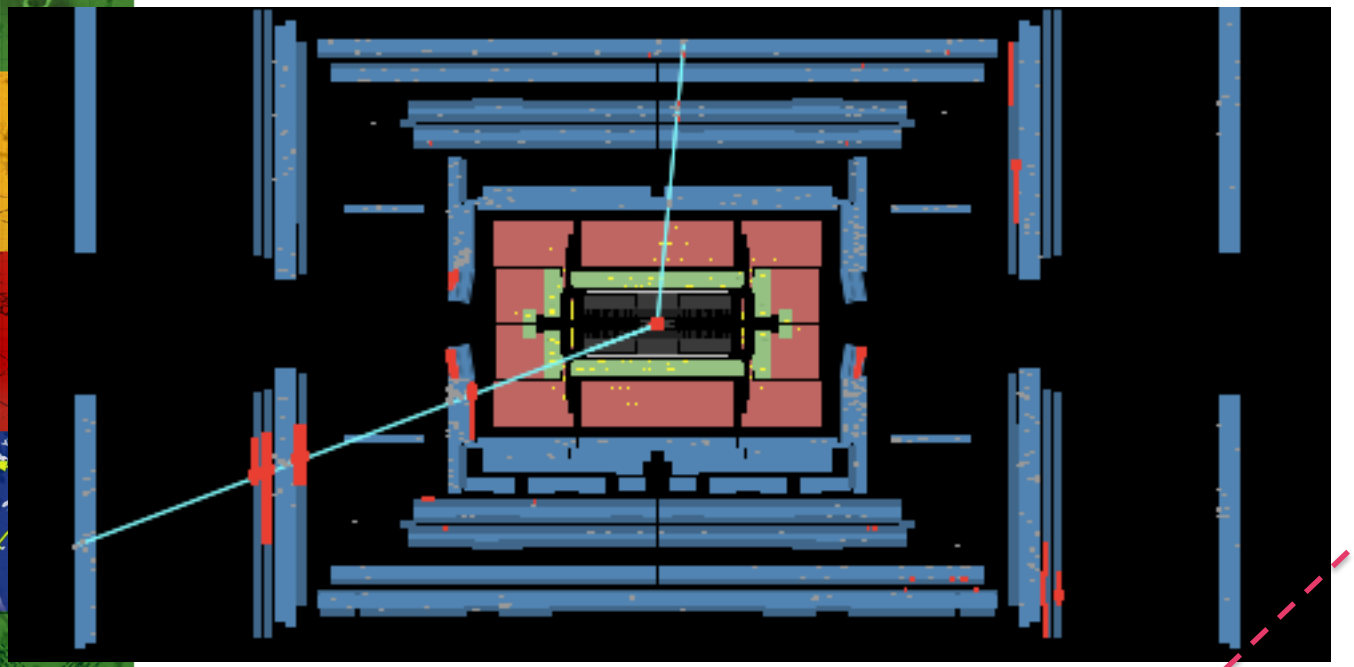
Comment trouver une trace et sa charge ?

<u>Cliquer sur une trace avec « la main »</u>: elle devient blanche dans les vues des détecteurs et grisée dans la fenêtre « Tracks ».

On voit le signe de la charge: + ou – dans « Tracks »

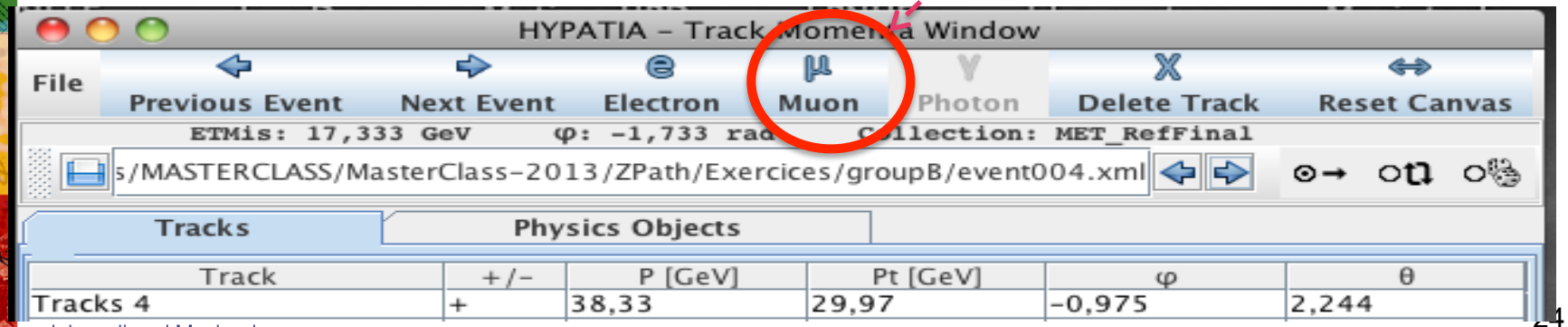


Comment trouver un muon (μ^-) ou anti-muon (μ^+) ?

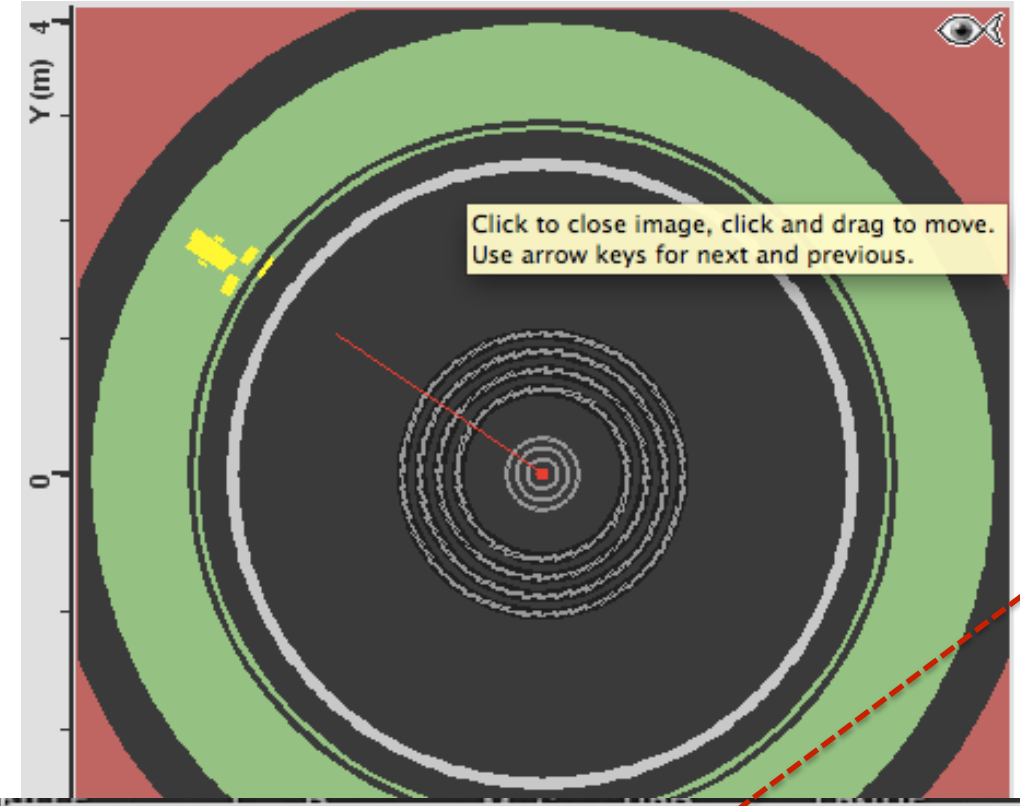


- Une trace chargée qui traverse tout le détecteur jusqu'aux détecteurs appelés **chambres à muons, en bleu.**

- Identifier les2 traces comme μ muons (si les signes sont opposés).

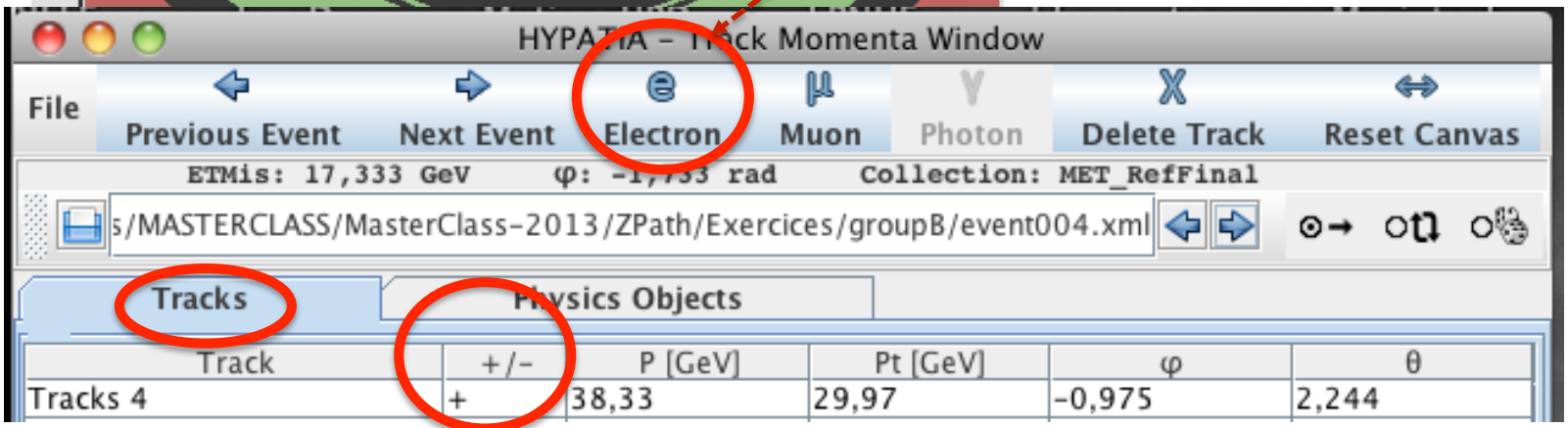


Trouver un électron ou positron ?



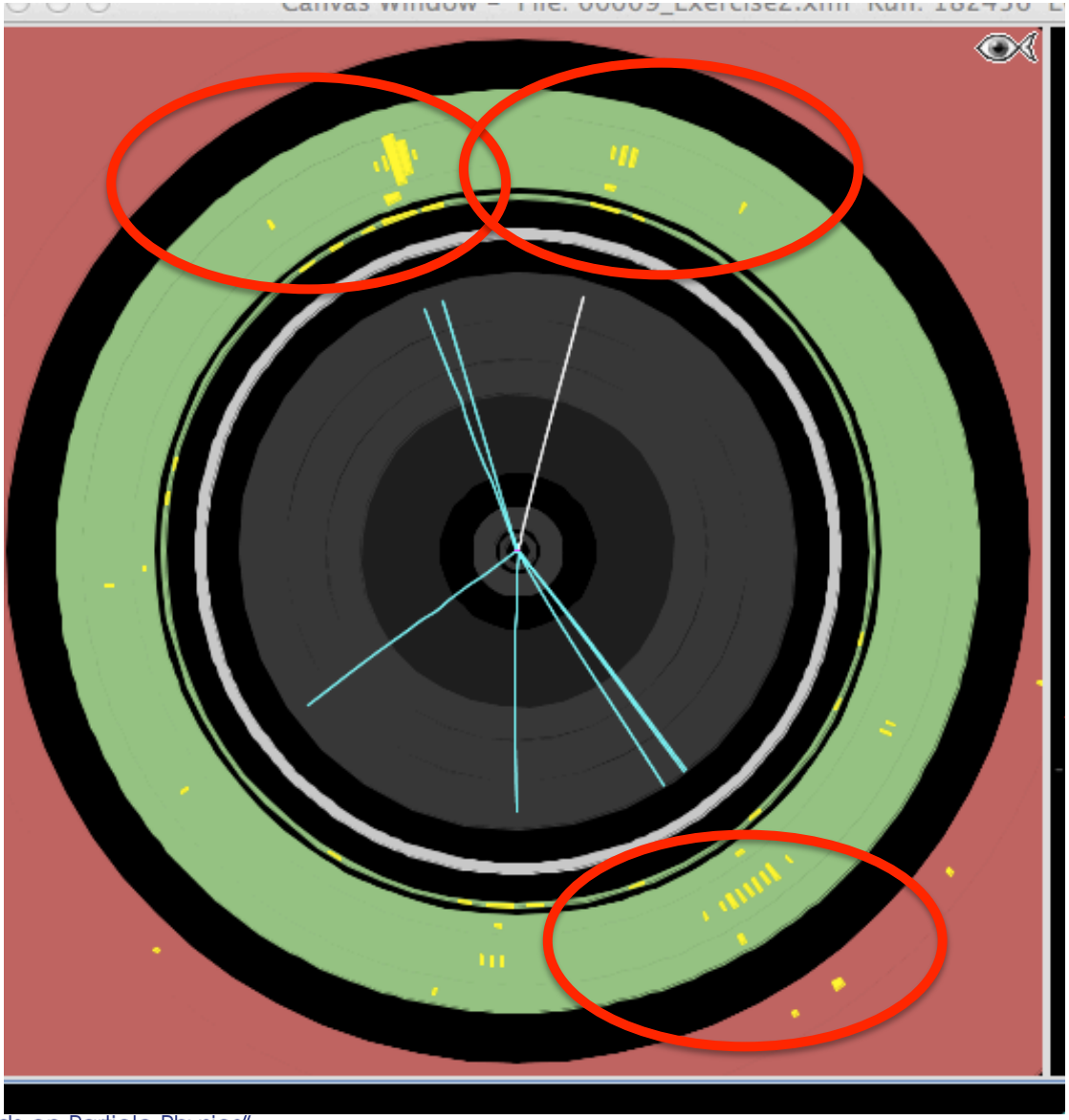
Une trace chargée qui laisse un signal dans le détecteur de traces (en noir)
et
qui laisse son énergie (ici en jaune) dans le calorimètre ECAL (représenté en vert).

On clique sur **e**: électron
Les infos sur particule vont dans la table des masses.



Charge + : positron, charge - : électron

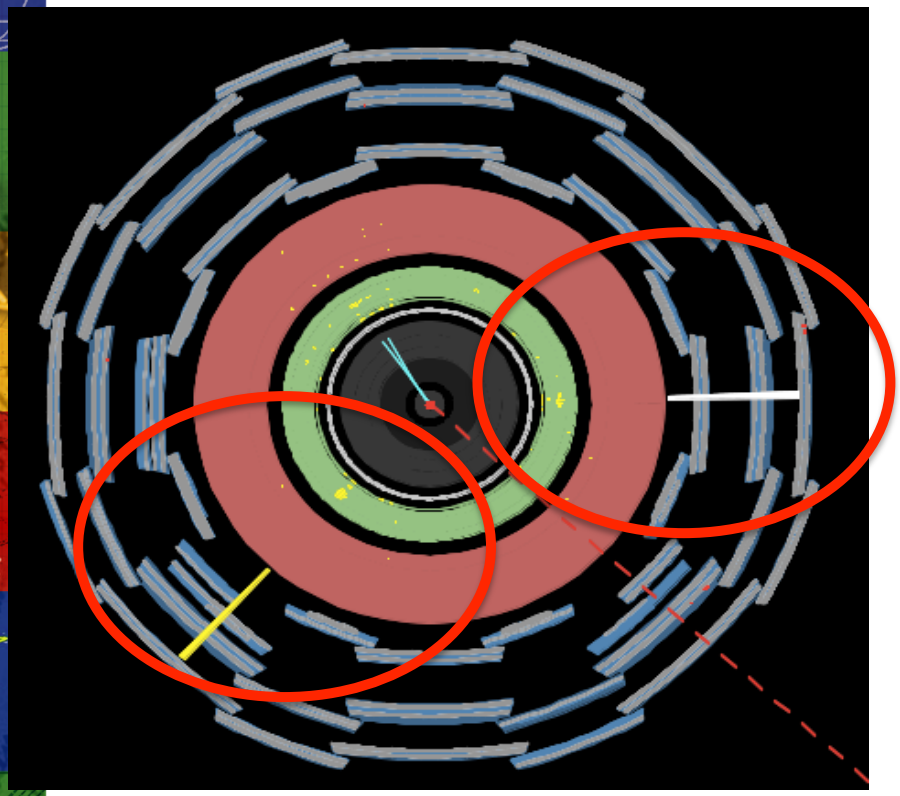
Mais tout dépôt dans ECAL n'est pas un forcement un électron !



Ceux-ci sont des électrons

Celui-ci non

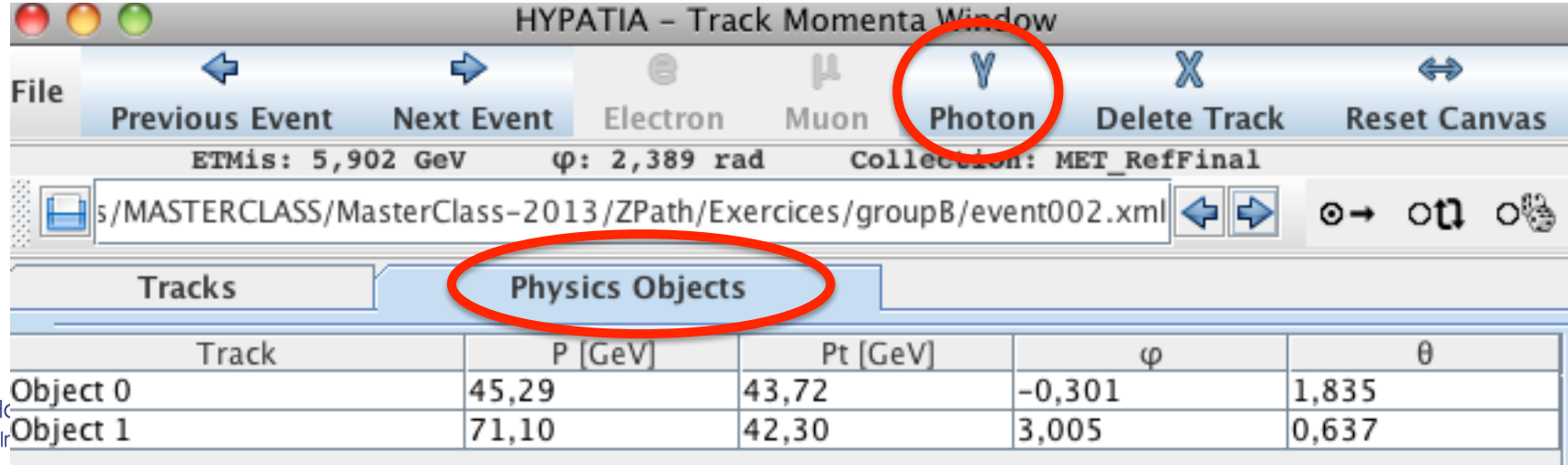
Comment trouver un photon γ?



Pas de signal dans le détecteur de traces (en noir).
Toute l'énergie (jaune) est déposée dans le calorimètre (détecteur représenté en vert).

On clique sur Physics objets: les tours apparaissent.

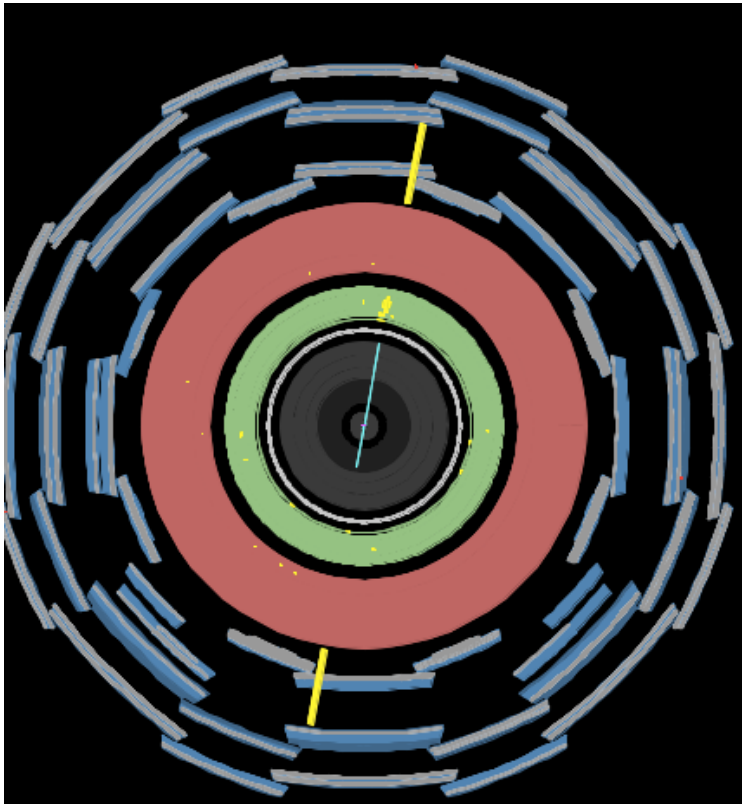
Identifier alors les objets comme Photons γ (s'il y en a 2).
Ils apparaissent dans la table des masses.

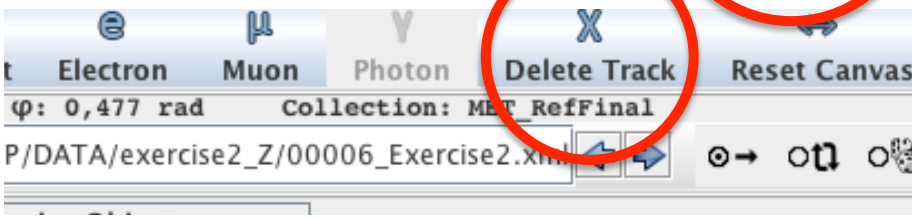


Track	P [GeV]	Pt [GeV]	φ	θ
Object 0	45,29	43,72	-0,301	1,835
Object 1	71,10	42,30	3,005	0,637

Calcul des masse invariante avec 2 (ou 4) particules

Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	φ	η	M(2) [GeV]
Tracks 2	84,2	-	42,2	-1,153	1,315	89,694
Tracks 43	53,1	+	43,1	2,075	0,668	





Si on se trompe: « Delete Track »

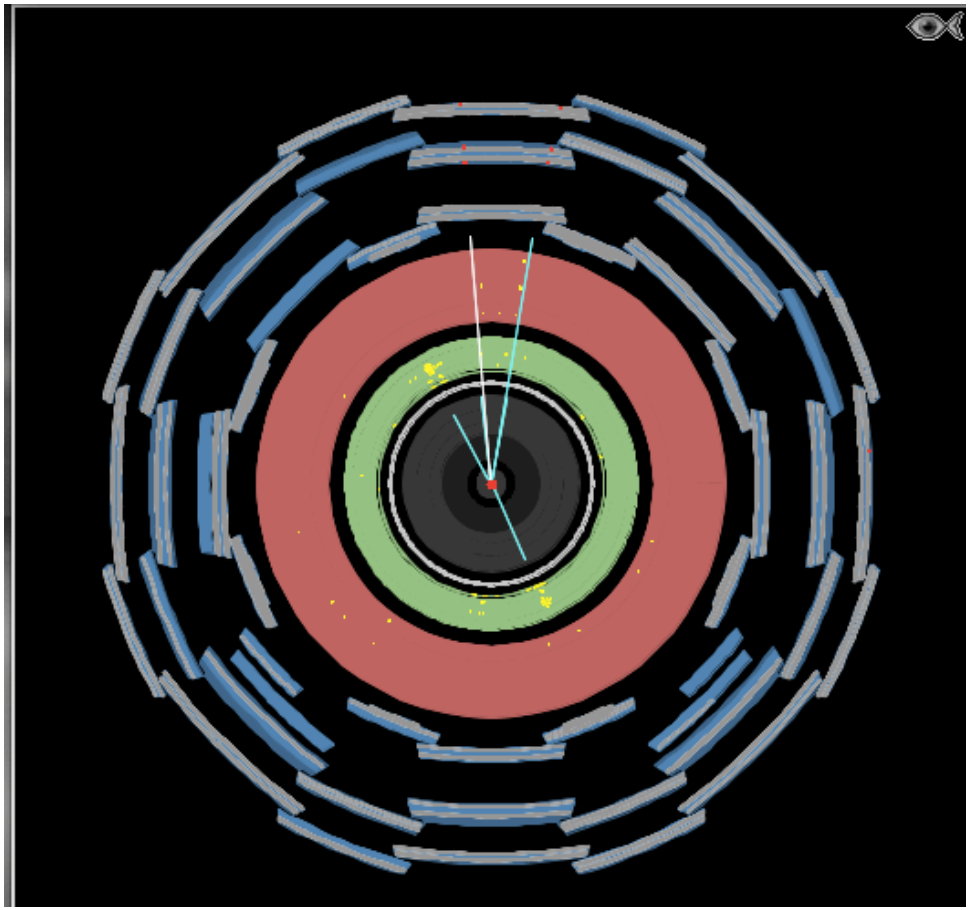
Après avoir identifié la paire particules comme paire de e, μ ou γ

les 2 (4) particules vont dans la fenêtre « Invariant Mass window »

La masse invariante M(2) est automatiquement calculée.

On va l'utiliser à la fin de l'exercice.

Événements à 4 leptons: très rares



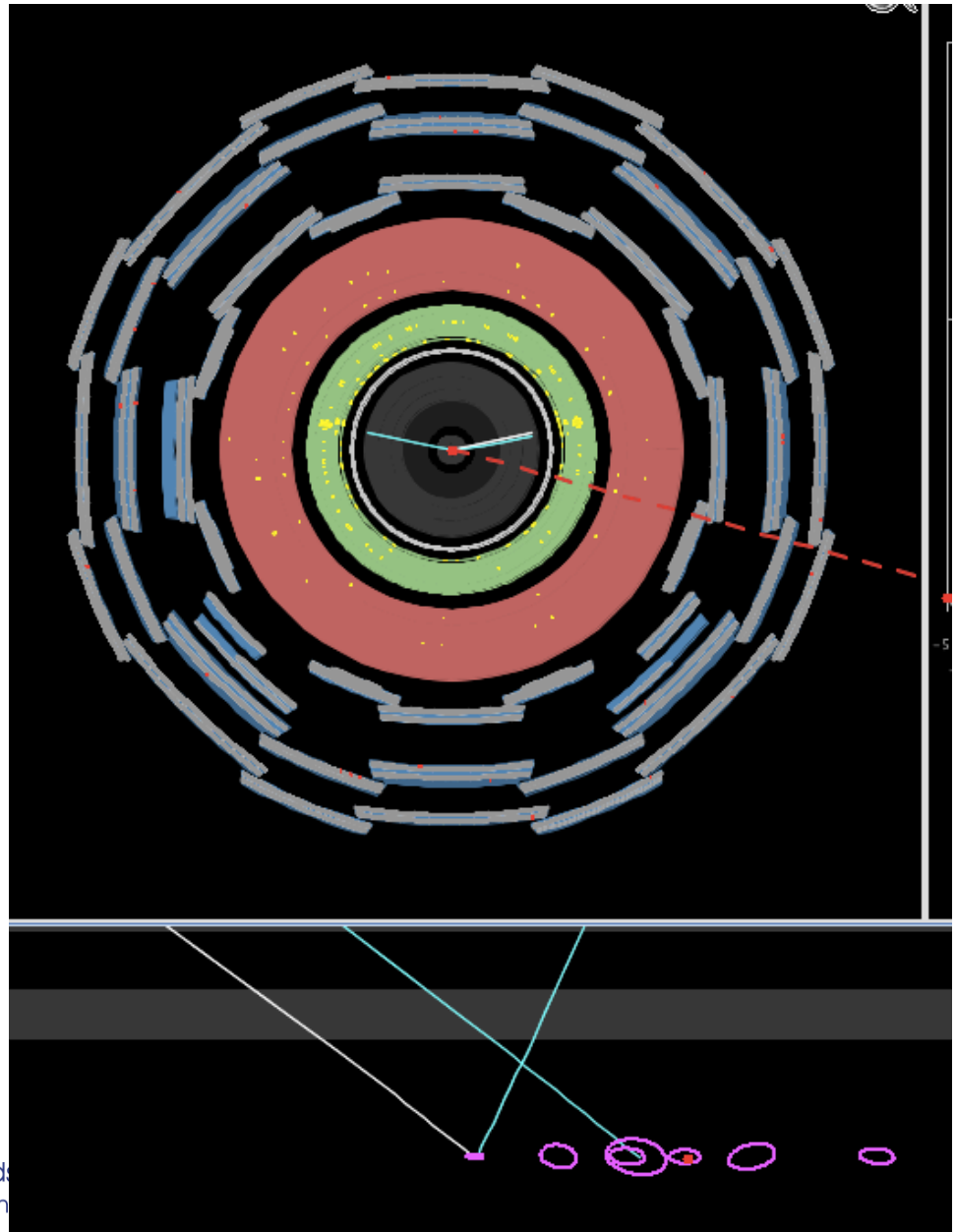
Etudier ces événements en détail. Pas plus de 2 ou 3 dans votre lot !

Faire calculer la masse invariante des 4 particules.

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	φ	θ
Tracks 2	-	84,16	42,17	-1,153	0,525
Tracks 6	+	9,91	8,11	1,725	2,184
Tracks 41	-	10,06	8,27	1,343	2,177
Tracks 43	+	53,10	43,11	2,075	0,947

La charge totale doit être nulle.

Traces avec origines (vertex) différents

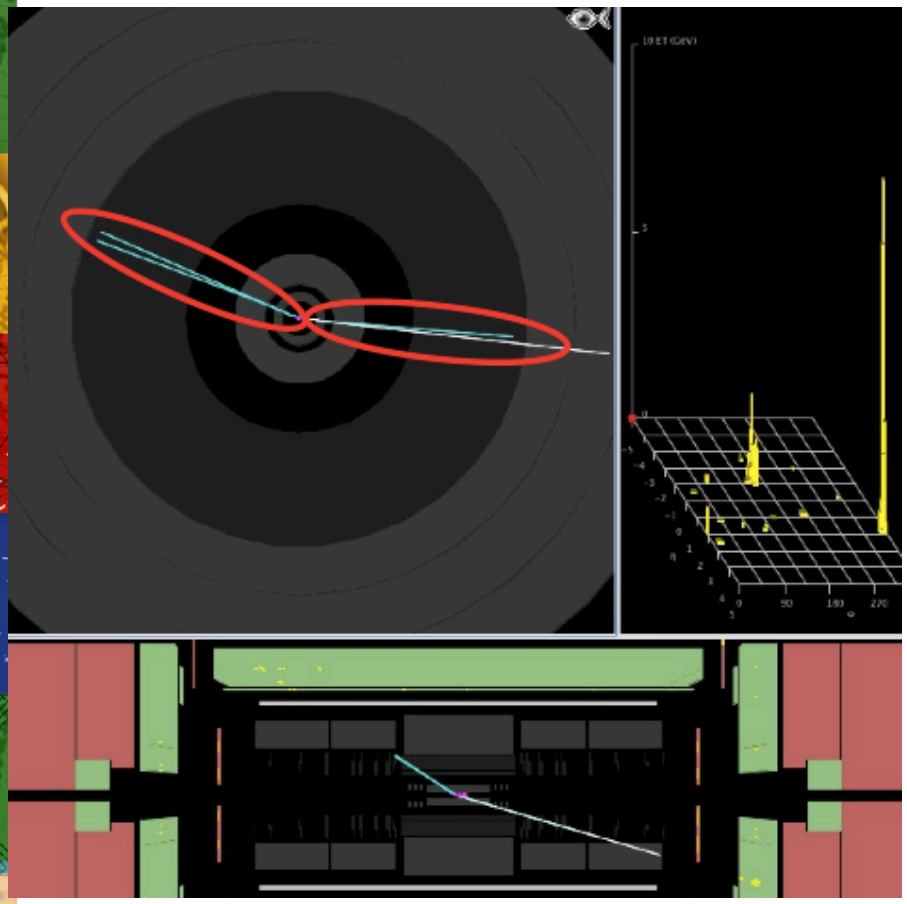


Faire un zoom sur la vue du bas.

Il faut que les 2 traces proviennent d'un même point de l'espace: d'une même ellipse violette.

Il ne restera que 2 électrons, l'autre trace n'est pas issue de la même collision.

Complication: Photons de Conversions



Parfois, un photon γ se convertit en un électron et un positron :

γ –> e- e+

2 traces très proches:

- de signes opposés,
- de masse compatible avec 0 (masse du γ).

Dans ce cas, identifier l'objet comme un Photon.

event030.xml	12,569	Tracks 141	135,1	-	54,8	1,363	-1,552	0,378
		Tracks 146	41,2	+	16,5	1,370	-1,563	

Quelques messages d'erreurs …

HYbrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS – version 7.3 – Invariant Mass Window

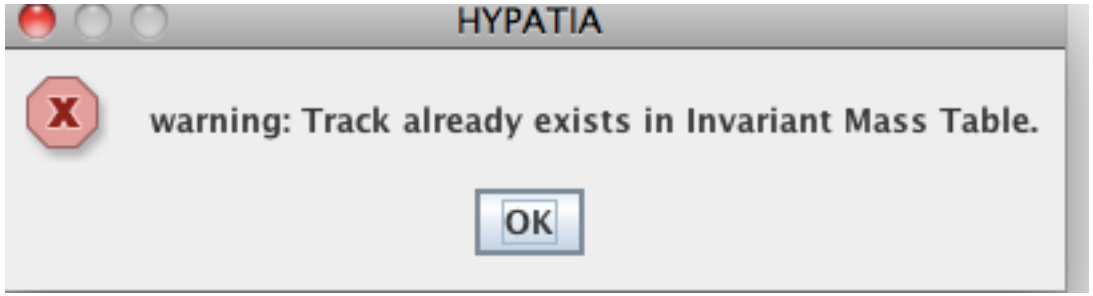
File View Histograms Preferences Help

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	...	Pt [GeV]	φ	η	M(2) [GeV]	M(4) [GeV]	e/m/g
00002_Exercise2.xml	29,666	Tracks 43	38,1	+	18,9	2,181	1,322	Incomp…		e
		Tracks 54	15,3	-	7,3	2,138	1,370			m
00001_Exercise2.xml	13,556	Tracks 255	1340,7	-	1081,5	-2,628	-0,679	Incomp…		e
		Tracks 256	67,4	-	639	2,975	-0,333			e

Si deux particules sont:

- de familles différentes (e,m), ou
- deux particules de même charge

message en rouge: impossible de calculer la masse invariante!



Une particule ne rentre qu'une fois dans le tableau !

Soumission des résultats: à 14:50

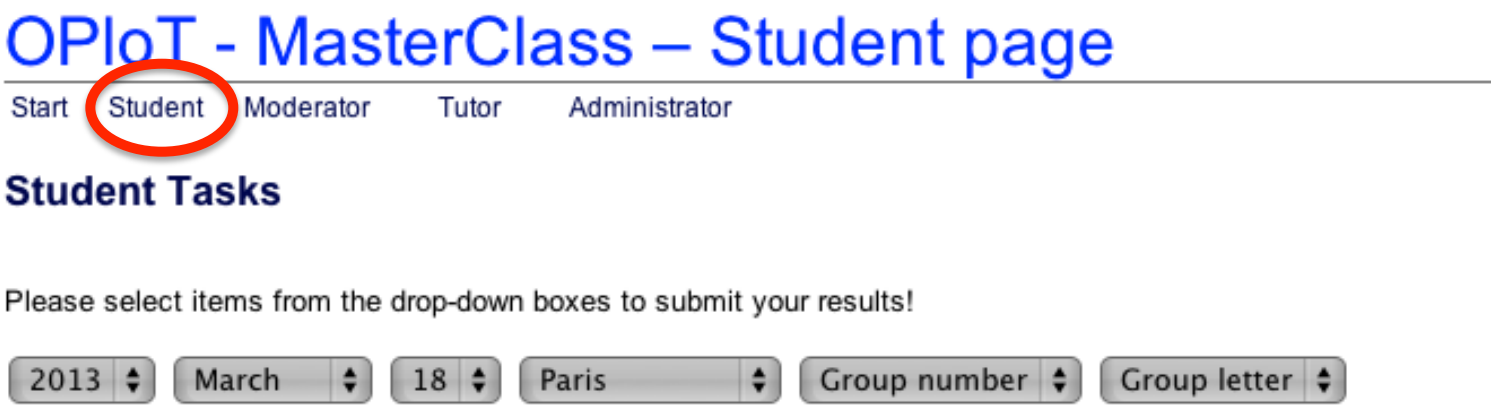
- File→ Export Invariant Masses !!! Sinon tout est perdu

Placer le fichier Invariant_mass.txt sur le bureau (NE PAS CHANGER LE NOM)

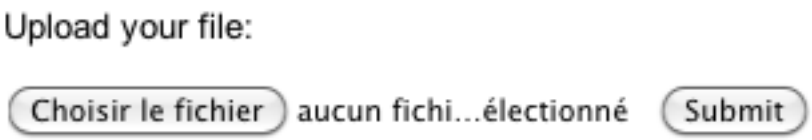
- http://cernmasterclass.uio.no/

Se connecter avec User: ippog , password: mc13

- dans OPloT , dans Student,



Choisir le groupe 9 (ou 10) et votre lettre A, B, …. K…T et récupérer votre fichier Invariant_mass.txt

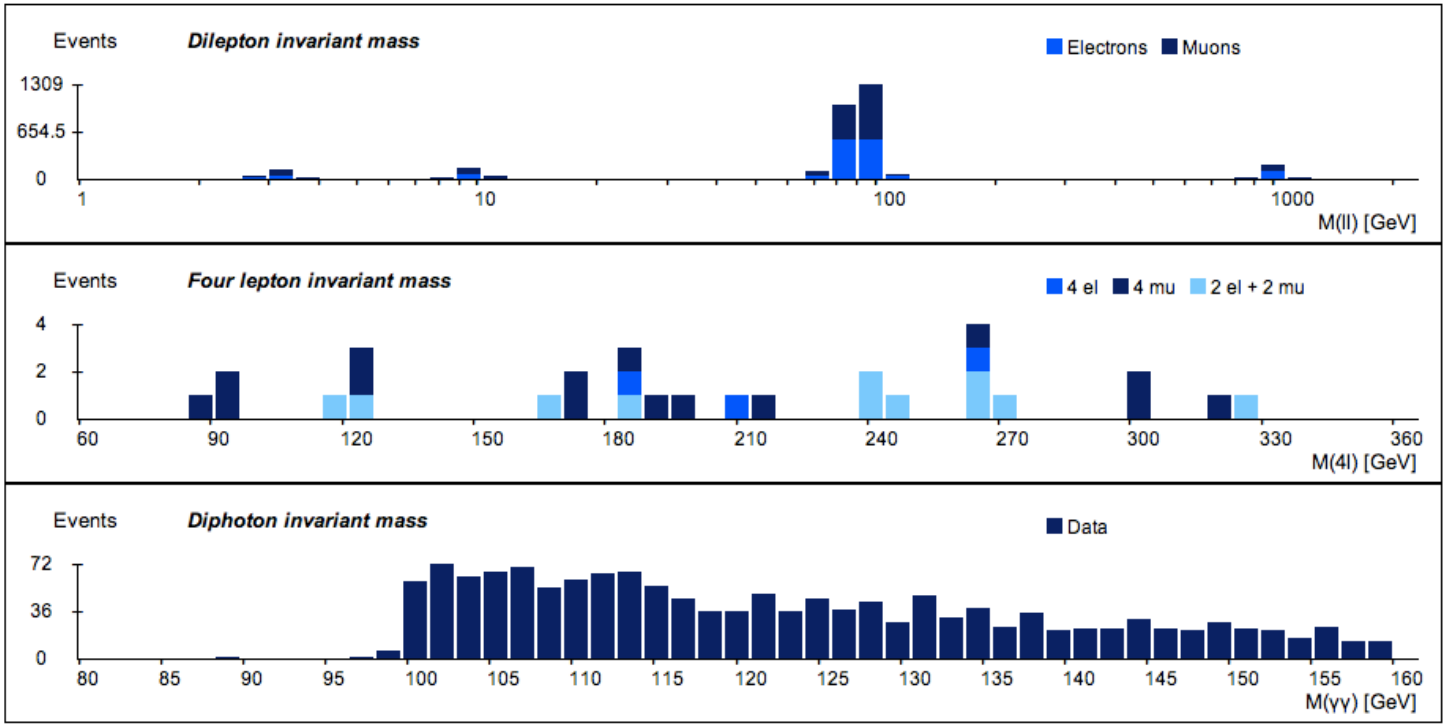


A la fin: Histogramme des résultats combinés

OPIoT – MasterClass –

Start Student Moderator Tutor Administrator

Saturday, March



Bins: 50

Default values

Plot type:

ll+4l+γγ overview

Dilepton statistics

	Electrons			
Region	R1	R2	R3	R4
Events	106	114	1074	127
Mean	3.11	9.62	89.72	991.52
Width	0.37	0.82	3.65	29.65

	Muons			
Region	R1	R2	R3	R4
Events	115	126	1175	98
Mean	3.05	9.71	90.59	994.24
Width	0.26	0.64	3.52	53.33

Number of events

	Student distribution	Expected
ll	3348	260
4l	35	20
γγ	1484	120
Sum	4863	400

A VOUS !!

Posez des questions et amusez vous!

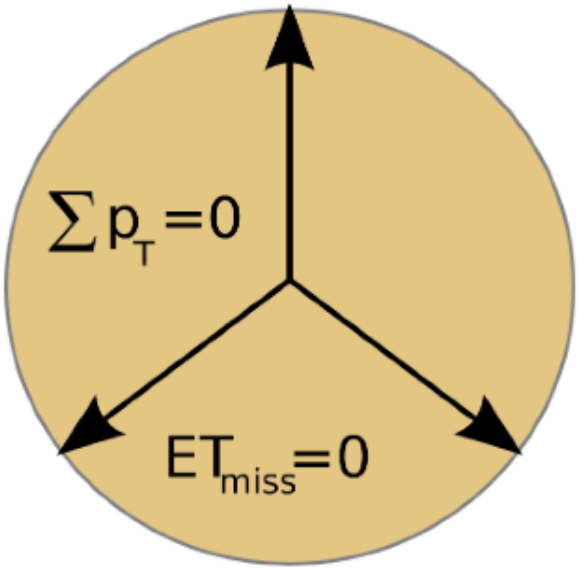
Privilégiez la qualité à la vitesse

Revenez aux événements difficiles si nécessaire

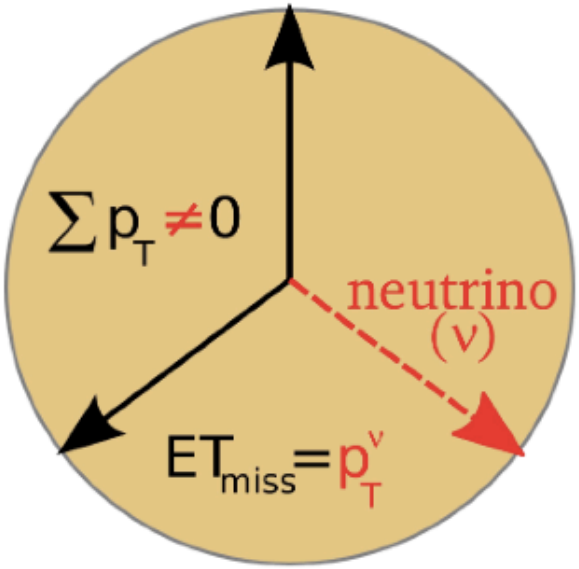
Fin des exercices à 14h50, soumission des résultats

Energie transverse manquante

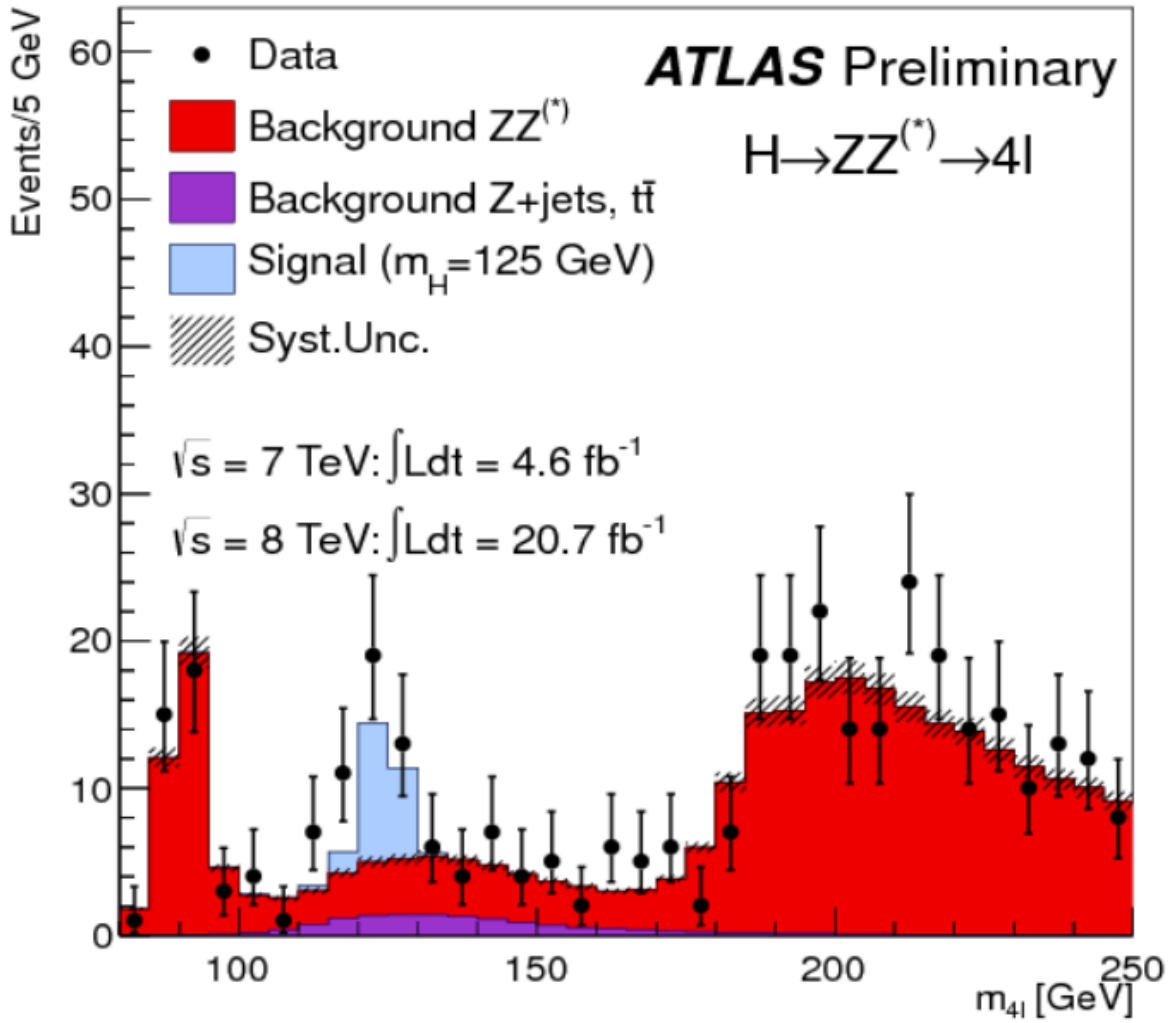
- Sans neutrino
  - 3 particules reconstruites
  - Somme des impulsions dans le plan transverse : 0
  - Donc $E_T^{miss} = 0$



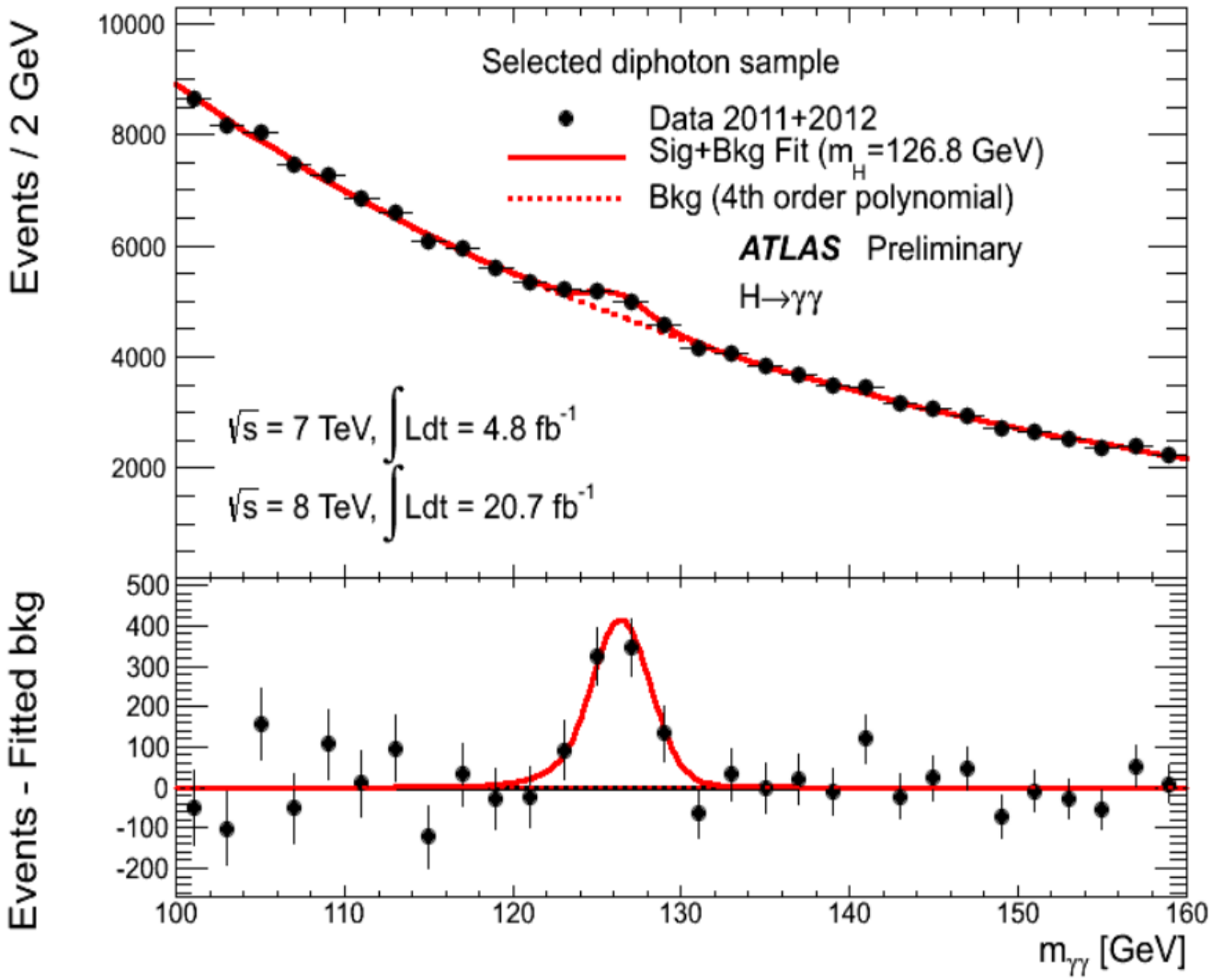
- Avec un neutrino
  - On « voit » seulement une partie de l'événement
  - La somme des impulsions n'est pas nulle
  - La différence est E_T^{miss}, associée au neutrino



Higgs en 4 leptons



Higgs en 2 photons



Carte d'identité du Z0

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

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

Couplings to leptons

$g_V^e = -0.03783 \pm 0.00041$
$g_V^\mu = 0.29^{+0.10}_{-0.06}$
$g_V^\tau = -0.33^{+0.05}_{-0.07}$
$g_A^e = -0.50123 \pm 0.00026$
$g_A^\mu = 0.50^{+0.04}_{-0.07}$
$g_A^\tau = -0.524^{+0.050}_{-0.030}$
$g^{\nu\ell} = 0.5008 \pm 0.0008$
$g^{\nu e} = 0.53 \pm 0.09$
$g^{\nu\mu} = 0.502 \pm 0.017$

Asymmetry parameters [a]

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

Charge asymmetry (%) at Z pole

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

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