

Aide pour le TD

Mesure des bosons Z0 et Higgs

Avec HYPATHIA et OPlot

Vous allez maintenant analyser jusqu'à 50 collisions de particules (événements) en utilisant l'application de visualisation HYPATHIA. A partir de ces collisions, vous allez chercher à trouver les empreintes laissées par des particules neutres lourdes, par exemple le boson Z, ou le boson Higgs.

I. Objectif

Votre travail consiste à mesurer les masses de particules comme le boson Z0 et à chercher le boson de Higgs. Vos observations vous serviront à créer des histogrammes qui seront à la fin de l'exercice combinés avec ceux faits par les autres groupes participant à cette Masterclasse.

Les images de collisions (en anglais « event displays ») qui vous sont proposées dans l'exercice contiennent un mélange d'événements où un boson Z (ou d'autres particules) se désintègre en **une paire électron-positron** ou **muon-antimuon**, candidats pour une désintégration du boson de Higgs en **deux photons**, ou en **quatre leptons**, ainsi que des produits de collision complètement différents (**bruit de fond**), comme des quarks, des gluons, et des bosons W.

Vous devrez utiliser ce que vous savez sur l'identification des particules et l'outil de calcul de masse invariante (masse au repos) fourni par HYPATHIA pour **déterminer si un boson Z a été ou non produit**.

II. Procédure du travail

1. Dans HYPATHIA, pour chaque collision, essayez de trouver les indices de l'existence de particules comme
 - a. **un boson Z0, en cherchant une paire électron-positron ou muon-antimuon**
 - b. **un boson de Higgs, en cherchant une paire de photons**
 - c. **un boson de Higgs là encore, en cherchant deux paires de leptons ($e^+e^-e^+e^-$, $e^+e^-\mu^+\mu^-$, $\mu^+\mu^-$)**Si vous ne trouvez pas de telles paires, l'événement pourrait être un événement dit de "**bruit de fond**". Utilisez les outils de pointage et l'information sur les particules de HYPATHIA pour prendre votre décision.
2. Si vous pensez avoir trouvé les produits de désintégration d'une de ces particules, choisissez les traces ou les objets correspondants et **insérez-les dans le tableau d'HYPATHIA servant au calcul des masses invariantes**.
 - a. Si vous avez trouvé une paire de traces chargées de type « électron » ou « muon », vous avez peut-être observé un boson Z0 ou une particule J/ψ ou encore un Upsilon (Y) – des particules bien plus légères.
 - b. Si vous avez la chance d'avoir trouvé deux paires de leptons dans le même événement, **insérez les toutes les deux dans le tableau de calcul de la masse invariante** : il s'agit peut-être d'un candidat boson de Higgs qui se serait désintégré en quatre leptons !
 - c. Si vous pensez avoir vu un candidat boson de Higgs qui se serait désintégré en une paire de photons, **sélectionnez ces deux particules et ajoutez-les dans le tableau de calcul des masses invariantes** d'HYPATHIA.
3. Si vous pensez que la collision étudiée n'est que du bruit de fond (pas de paire de leptons avec des charges de signes opposées, ni de paire de photons), **ignorez cet événement et passez au suivant**.
4. Une fois tous les événements analysés, exportez la table de masses invariantes du logiciel HYPATHIA en choisissant "File" puis "Export Invariant Masses". Le fichier s'appellera **Invariant_Masses.txt**. Déposez le fichier sur le bureau de votre ordinateur pour que vous puissiez facilement le retrouver plus tard.
5. Allez sur la page web de soumission des résultats et chargez-y le fichier de masses invariantes que vous venez de créer.

III. Liens internet

Tous ce dont vous aurez besoin se trouve ici

http://atlas.physicsmasterclasses.org/fr/zpath_measurement.htm

Vous trouverez

1. Les instructions de l'application HYPATIA
2. Des rappels pour identifier les évènements si nécessaire (mais le rappel des exemples dans les documents devrait être suffisant)
2. La page internet pour soumettre vos OPloT: <http://cernmasterclass.uio.no/OPloT/>
 - username: ippog
 - password: mc13

IV. Au travail – pas à pas

Allez sur la page de l'exercice :

http://atlas.physicsmasterclasses.org/en/zpath_measurement.htm

1. Les instructions sont rappelées dans le sous menu “**Au travail !**”
 - **Au travail** → Echantillons de données et outils
Avec notamment le lien pour ouvrir la page internet afin de soumettre vos résultats
 - **Au travail** → C'est parti !
Protocol d'analyse
 - **Au travail** → Analyser vos résultats (classe entière)
Discussion autour des résultats obtenus par la classe
2. Chargez votre échantillon
 - Ouvrir HYPATIA
 - Charger les évènements contenus dans ~/Desktop/MasterClasses2013/Z/ dans HYPATIA via File→Read Events Locally
3. De l'aide pour utiliser HYPATIA, et identifier les particules ou évènements sont ici :
 - Comment utiliser HYPATIA: Identifier des particules→Visualisation avec HYPATIA
 - Comment identifier les particules: Identifier des particules→Visualisation des traces laissées par les particules
 - Comment identifier les →Visualisation
4. Une fois l'analyse de vos évènements terminée, exportez la table de masse invariante
 - File→Export Invariant Masses
 - La placer sur le bureau ~/Desktop/
5. Charger le fichier produit (Invariant_Masses.txt) dans OPloT
 - <http://cernmasterclass.uio.no/OPloT/>
 - Choisir: Student → Year(2013) → Month(03) → Date(xx) → Institute(LPSC)
 - Choisir le groupe correspondant à la description OPloT
 - Charger votre fichier Invariant_Masses.txt.
6. Félicitation ! Vous avez soumis vos résultats !

Recommandation pour mener à bien le travail de detective sous HYPATIA

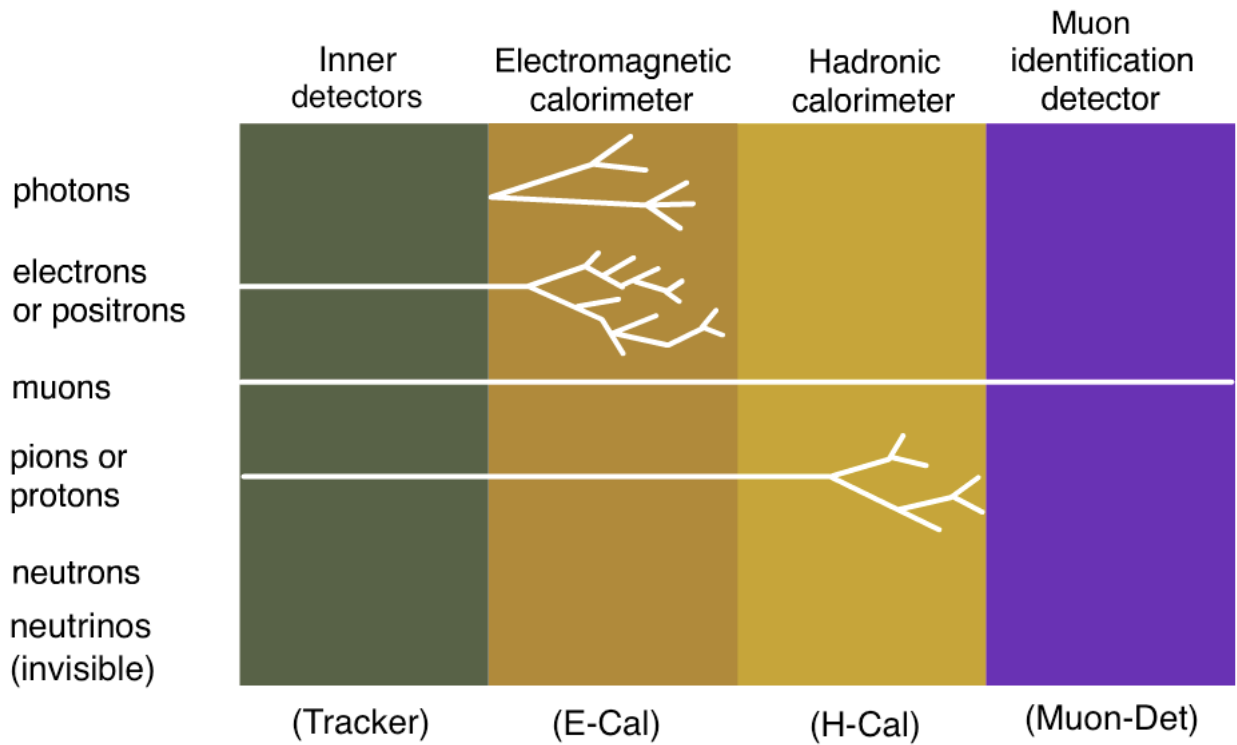
Résumé:

1. Choisir une coupure sur l'impulsion transverse de **5-10 GeV** pour s'assurer d'avoir des particules énergétiques.
2. Étudier les traces restantes et/ou les objets physiques et les classer dans les catégories muon, électron ou photon.
3. Zoomer sur les 2 vues pour vérifier si il s'agit d'une ou de deux traces.
4. Vérifier si la masse invariante d'une trace double est compatible avec un photon de conversion.
5. Si besoin, ajouter la condition d'au moins **2 hits dans les pixels** pour s'assurer que la ou les traces proviennent bien du vertex primaire et "**Number of SCT hits**" ≥ 7 pour s'assurer que la trace est suffisamment longue.

En détail:

- **Choisir une coupure en p_T pour les traces dans la fenêtre de contrôle d'HYPATIA ("control window" : cuts, InDet):** typiquement >10 GeV/c
 - Un coupure plus basse à 5 GeV peut être utile afin de ne pas rater les événements à 4-lepton.
- **S'il y a des coups dans le détecteur interne de traces ("inner detector (ID) tracker") et dans les détecteurs à muons (MS),**
 - Entrez les particules comme des muons si elles ont des charges électriques de signe opposé.
 - Si il n'y a pas d'autres paires de leptons, continuer au prochain événement. Si une paire additionnelle de leptons est trouvé (muons ou électrons – voir l'identification d'électron ci dessous) l'événement contient peut être 4 leptons et devra être catégorise comme tel.
- **Pour trouver les électrons ou photons, partir des traces dans l'onglet "Tracks" ou objets physique dans l'onglet "Physics Objects" (fenêtre HYPATIA – track momenta window)**
 - **A partir de l'onglet "Tracks"**
 - Si il y a des coups dans le ID et pas dans le MS, vérifier qu'il y a au moins 2 dépôts d'énergie importants dans le calorimètre électromagnétique (ECAL)
 - Si 2 traces simples de signe opposé sont trouvées et qu'elles pointent clairement vers un dépôt d'énergie de l'ECAL, **enregistrez chaque trace comme un électron**. *Idéalement, ces électrons devraient avoir un objet physique correspondant dans l'onglet "physics objects". Il se peut cependant que la procédure d'affectation d'un objet physique à un électron raté.*
 - **A partir de l'onglet "Physics Objects"**
 - Si au moins 2 objets correspondant à un dépôt d'énergie dans l'ECAL sont trouvés, ils proviennent probablement d'électrons ou photons.
 - Vérifier les traces – **zoomer pour voir si les traces sont simples ou doubles (traces très proches)** – une trace peut avoir l'air de pointer vers un dépôt d'énergie sur la vue de côté, mais pas sur la vue de face (ou vice-versa), et donc **il est important de vérifier les 2 vues avant de classer les particules comme électron ou:**
 - Si 2 traces simples de charge opposée pointe vers un dépôt d'énergie chacune de l'ECAL, **entrez chacune comme un électron** (cas idéal comme lorsque l'on commence par l'onglet "Tracks" ci-dessus)
 - Si aucune trace ne pointe vers 2 dépôts d'énergie de l'ECAL, retournez à l'onglet "Physics Objects" et renseigner ces traces comme **des photons**.
 - **Les photons de conversion laissent des traces proches et de charges ayant une masse invariante très petite (compatible avec la masse du photon de 0)**
 - 2 traces très proches pointant vers un dépôt d'énergie de l'ECAL peuvent venir d'un photon de ($\gamma \rightarrow e^+e^-$). Pour vérifier cela, entrez les 2 traces comme des électrons et lisez la masse invariante résultante.
 - Dans la majeure partie des cas, $M(ee)$ sera très proche de 0, et donc vous pourrez retourner à "Physics Object" et renseigner l'objet comme un photon. Quelques fois, les traces disparaissent lorsque 2 coups dans le détecteur à pixel sont demandés, voir ci dessous, et alors il ne reste plus que 2 photons isolés dans l'événement.

- *Il se peut qu'une trace double, provenant d'une conversion, n'ai pas d'objet correspondant, si par exemple l'algorithme de reconnaissance n'a pas convergé. Comment procéder alors ? La version actuelle HYPATIA ne mélange pas les traces et les objets pour construire la masse invariante des objets. Vous ne pourrez donc pas utiliser cet événement et serez contraint de l'ignorer pour l'exercice*
- **Une coupure sur le nombre de coup dans le détecteur à pixel supérieur à 2, "Number of Pixel Hits" ≥ 2** peut aider à enlever des traces simples ou doubles (d'un photon de conversion) qui ne proviennent pas du vertex primaire (point d'interaction principal).
- **Une coupure sur le nombre de coup dans le SCT "Number of SCT hits" ≥ 7** peut aider à avoir une bonne trace de longueur suffisante.



Electrons et photons:

- Déposent de l'énergie dans l'ECAL
 - S'arrêtent dans l'ECAL
- Electrons:
- Laissent une trace dans le Tracker
- Photons:
- Ne laissent **aucune** trace dans le Tracker

Protons et neutrons:

- Déposent de l'énergie dans H-Cal (et peut être un peu aussi dans l'ECAL)
 - S'arrêtent dans l'H-Cal
- Protons:
- Laisse une trace dans le Tracker
- Neutrons:
- **Ne** laissent pas de traces dans le Tracker

Muons:

- Laissent une trace dans le Tracker
- Atteignent les détecteurs à MuonDet
- Déposent un peu d'énergie dans l'ECAL et le H-Cal (hadronique)

Jets (non montrés ici):

- Sont des gerbes de particules, par exemple gerbes de neutrons, protons et autres hadrons
- Laissent beaucoup de traces dans le Tracker
- Déposent de l'énergie dans l'H-Cal (et sûrement aussi un peu dans l'ECAL)
- S'arrêtent dans l'H-Cal

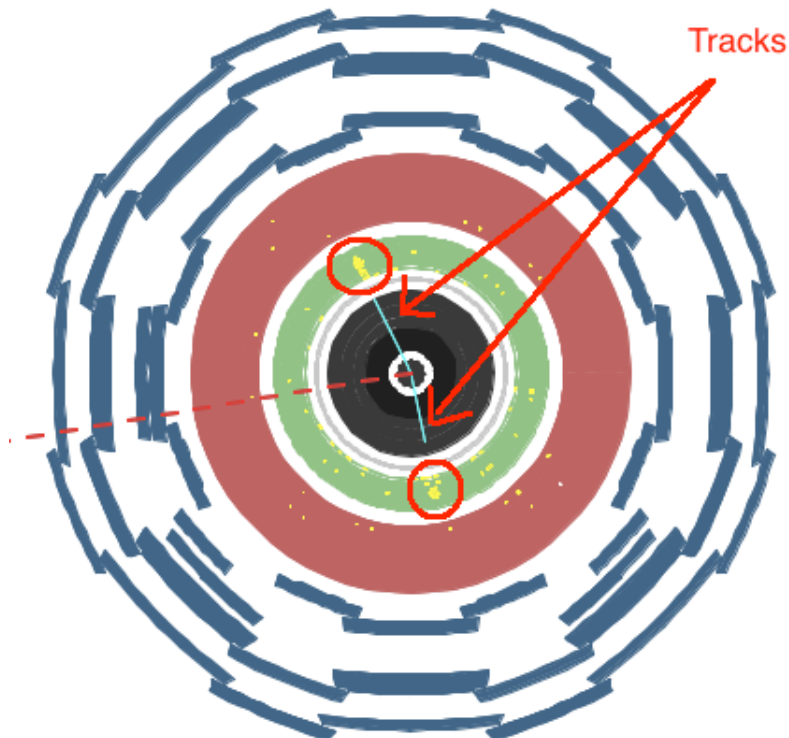
Neutrinos:

- Ne laissent pas de trace, dans aucun détecteurs
- Ne peuvent être vu qu'en estimant l'énergie manquante (ETMis) en faisant le bilan énergétique de la collisions
- Sont indiqués par des lignes rouges pointillées dans HYPATIA

Evènement TYPIQUE electron-positron

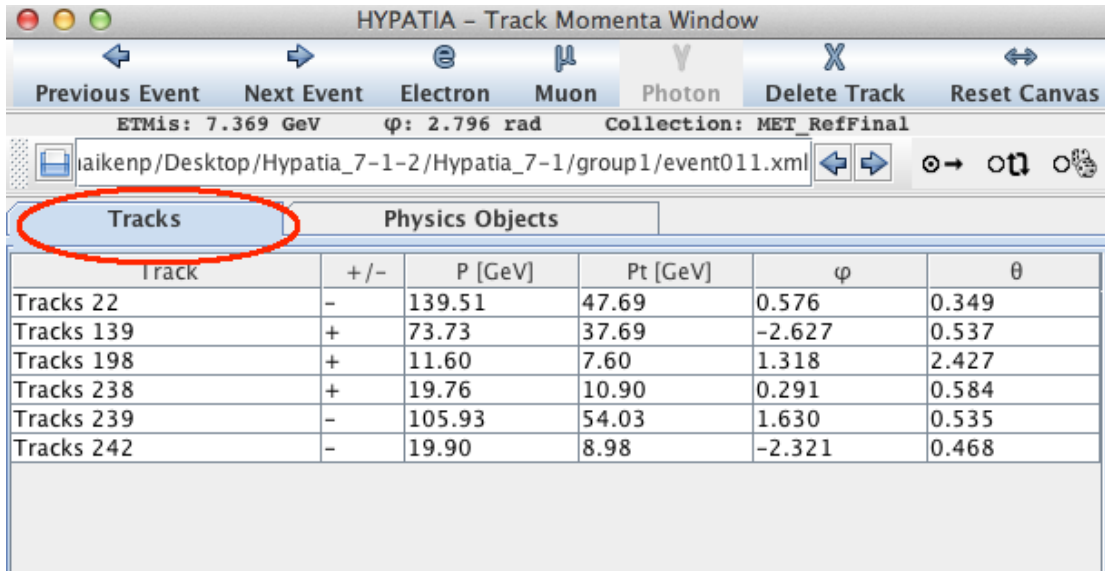
- Dépôt d'énergie dans le calorimètre électromagnétique (ECAL), entouré en rouge
- La trace s'arrête dans le ECAL
- Une particule de charge positive, l'autre de charge négative
- NB! Souvenez vous de toujours regarder dans les deux vues, pas seulement dans la vue transverse montrée ci dessous !

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

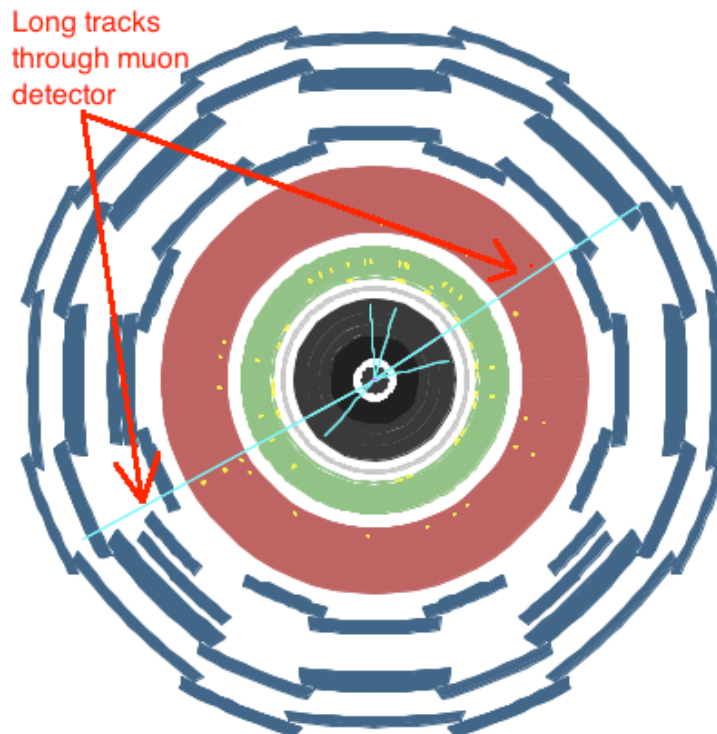


Evenement typique muon-antimuon

- Traces traversent tout le détecteur, y compris les chambres à muons.
- Une particule de charge positive, l'autre de charge négative
- NB! Souvenez vous de toujours regarder dans les deux vues, pas seulement dans la vue transverse montrée ci dessous !



Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 22	-	139.51	47.69	0.576	0.349
Tracks 139	+	73.73	37.69	-2.627	0.537
Tracks 198	+	11.60	7.60	1.318	2.427
Tracks 238	+	19.76	10.90	0.291	0.584
Tracks 239	-	105.93	54.03	1.630	0.535
Tracks 242	-	19.90	8.98	-2.321	0.468

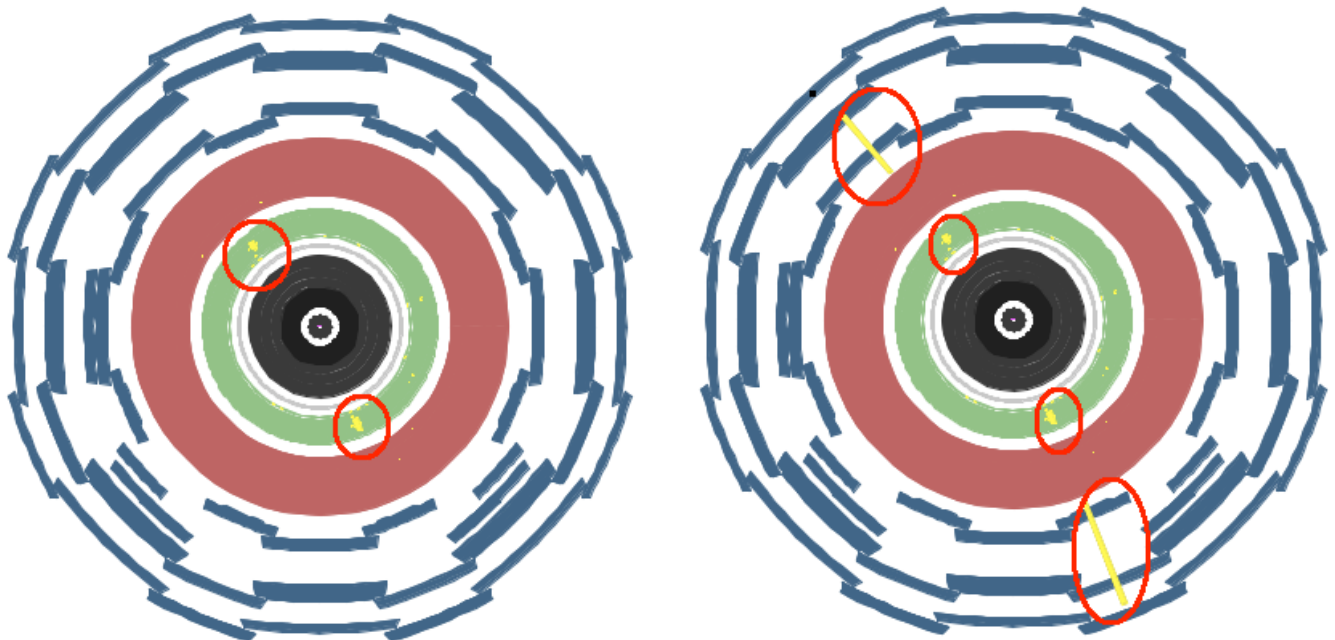


EXEMPLE d'un événement diphoton non converti

- Dépôt d'énergie dans le calorimètre électromagnétique (cercles rouges)
- Objets dans le onglet « Objects », et des tours jaunes (ellipse rouge sur la figure)
- Pas de traces dans le détecteur interne
- NB! Souvenez vous de toujours regarder dans les deux vues, pas seulement dans la vue transverse montrée ci dessous !

NB! Les photons peuvent aussi être convertis, et il y aura alors des traces dans le détecteur interne. Cela nécessite une analyse plus approfondie de votre part.

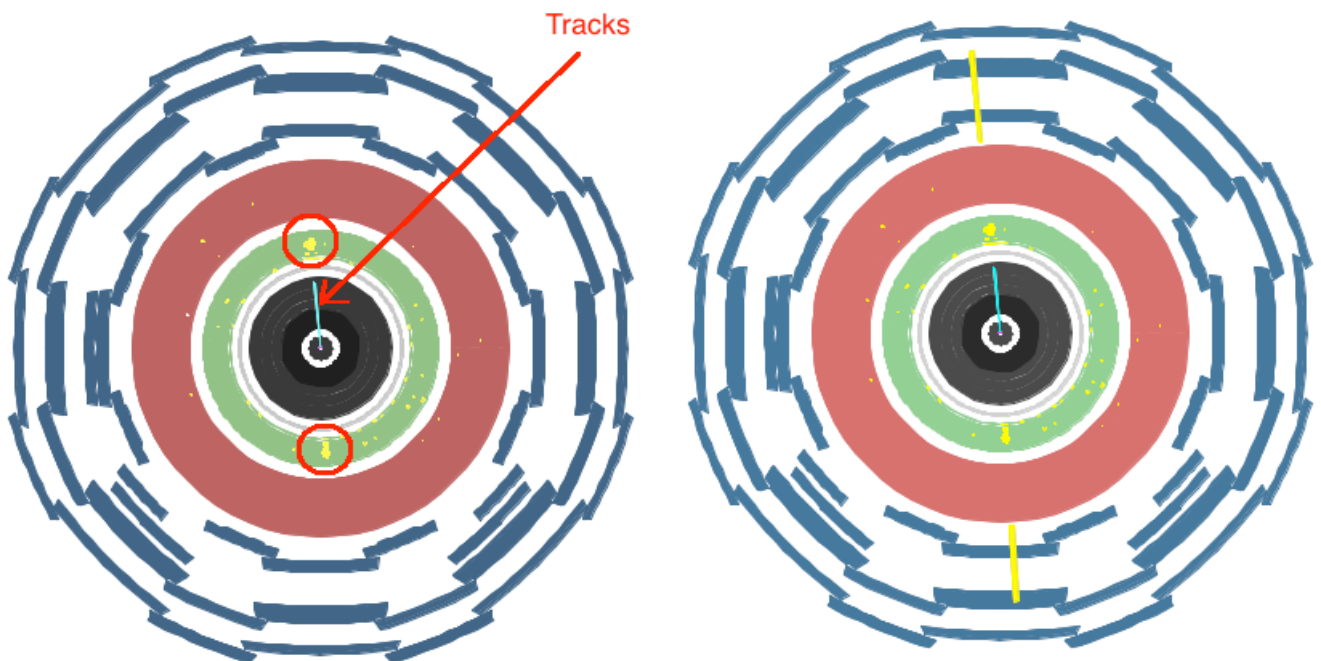
Track	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Object 0	98.35	71.73	-1.199	2.324
Object 1	50.96	38.60	2.265	0.859



EXEMPLE d'un événement diphoton converti

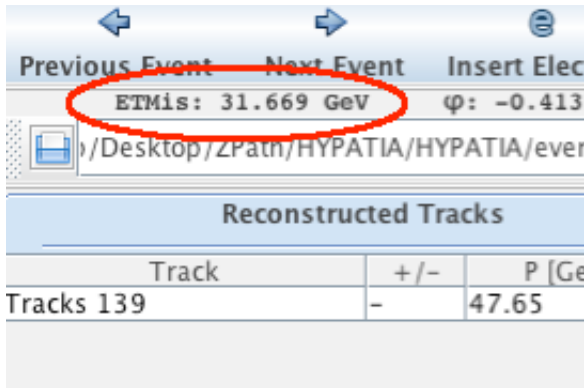
- Dépôt d'énergie dans le calorimètre électromagnétique (cercles rouges)
- Objets dans le onglet « Objects », et des tours jaunes (ellipse rouge sur la figure)
- Des traces dans le détecteur interne
- NB! Souvenez vous de toujours regarder dans les deux vues, pas seulement dans la vue transverse montrée ci dessous !

Track	P [GeV]	Pt [GeV]	φ	θ
Object 0	106.15	52.96	1.673	0.522
Object 1	53.31	41.32	-1.512	2.255



EXEMPLE d'un événement bruit de fond

- Grande énergie transverse manquante (ETMis) (ellipse rouge)
- Seulement un électron (cercle rouge)
- NB! Regarder aussi la vue longitudinale, pas seulement la vue transverse montrée ici !
- NB! Ce n'est qu'un exemple de bruit de fond. D'autres événements bruit de fond peuvent contenir des muons et/ou des jets également.



Previous Event Next Event Insert Elec

ETMis: 31.669 GeV φ : -0.413

/Desktop/ZPath/HYPATIA/HYPATIA/ever

Reconstructed Tracks		
Track	+/-	P [GeV]
Tracks 139	-	47.65

