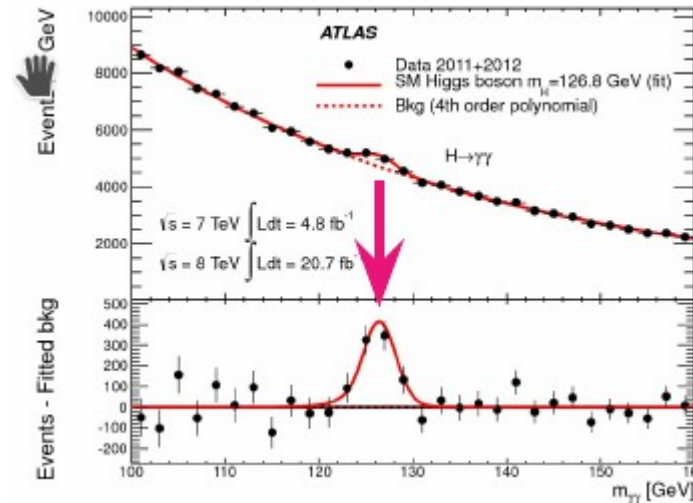
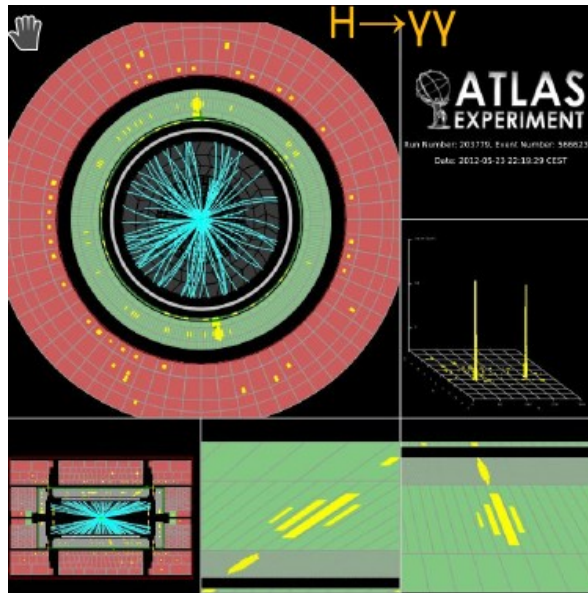


Recherche du boson de Z, du Higgs et de nouvelle physique

– exercice pratique –



Des données à analyser ?

des 0 et
des 1



Centre informatique

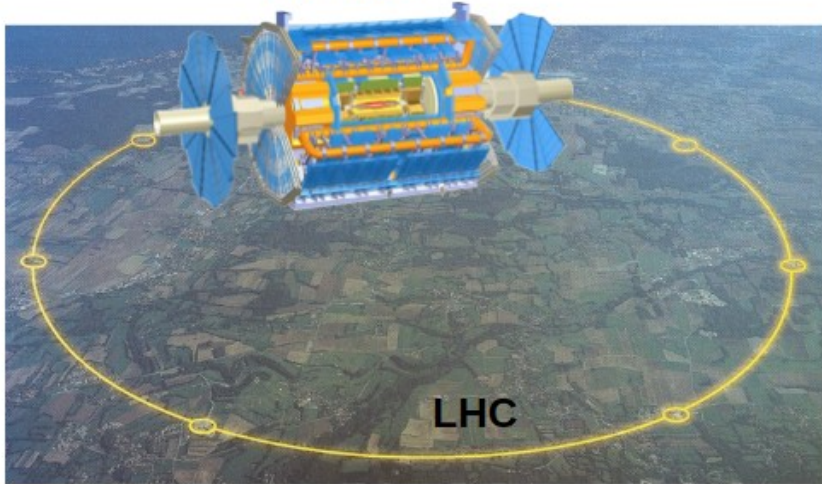


```
154  
155 function updatePhotoDescription() {  
156   if (descriptions.length > (page * 1) + (currentPage  
157     document.getElementById('bigImage').src  
158  
159  
160  
161 function updateAllImages() {  
162   var i = 1;  
163   while (i < 10) {  
164     var elementId = 'img' + i;  
165     var elementIdBig = 'bigimg' + i;  
166     if ((page * 1) + i - 1 < photos.length) {  
167       document.getElementById(elementId)
```

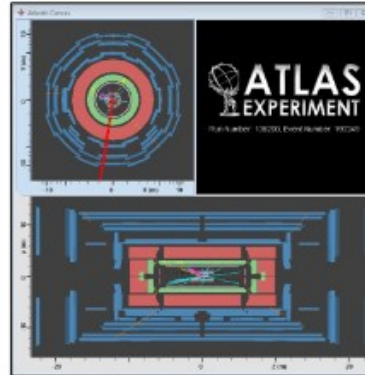
Données analysables par les
physiciens

▫ *Étude quantitative*

ATLAS



LHC



Données
analysables
par des
lycéens

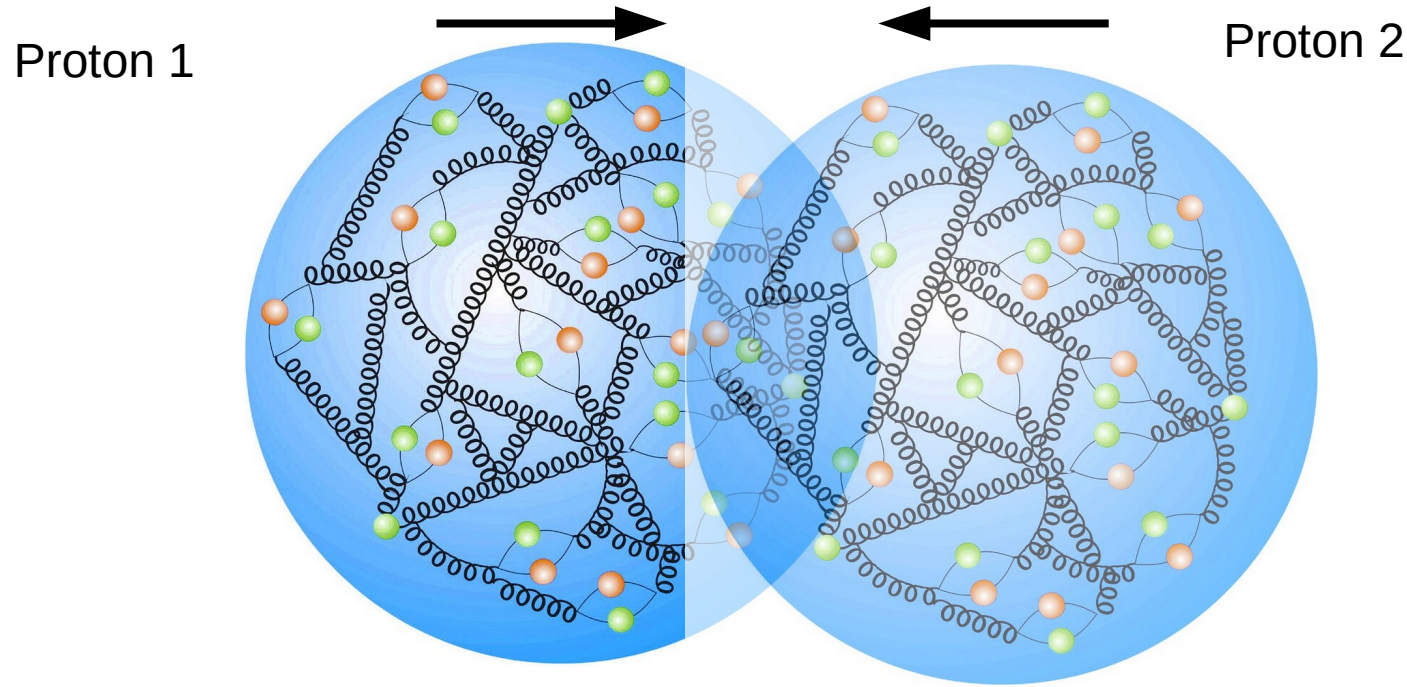
▫ *Étude
qualitative*

Très visuel

+ permet de bien comprendre
- on ne peut analyser qu'un
nombre limité d'événements

Ce qu'on cherche, et comment

Collision de protons – qu'est-ce que ça veut dire?

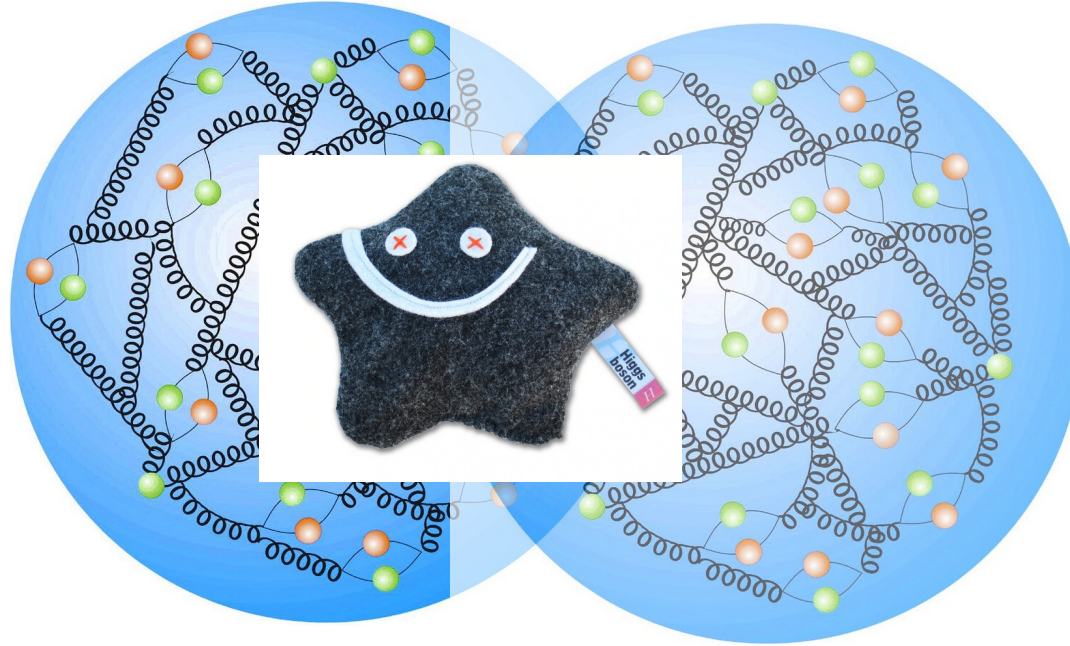


Création de nouvelles particules

- Plein de possibilités
- La plupart ne nous intéressent pas
- Mais...

Qu'est ce qu'on cherche?

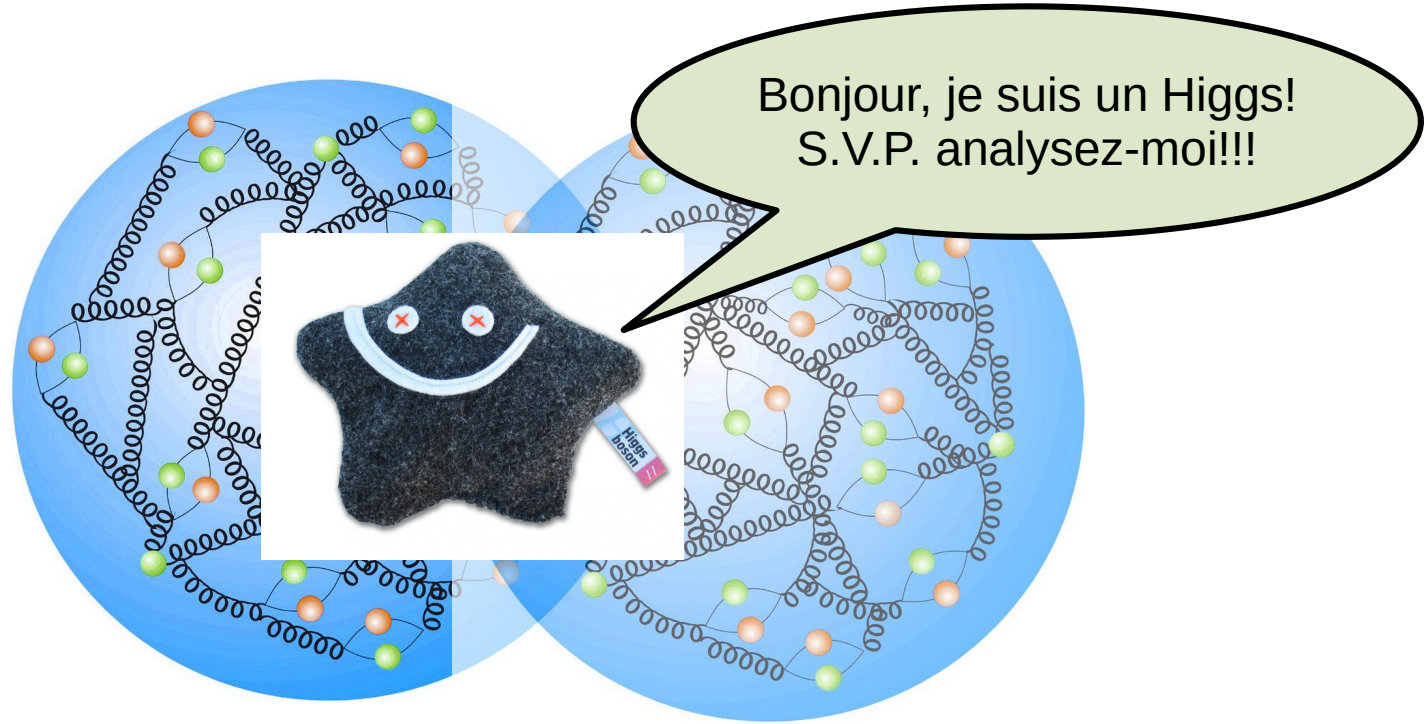
Réponse:
Pleins de choses!



Exemple d'interactions intéressantes (qu'on verra aujourd'hui):

- Création d'un **boson Z**
- Création d'un **boson de Higgs**
- Des **particules nouvelles** (qu'on n'a jamais vues)

Comment identifier les particules?

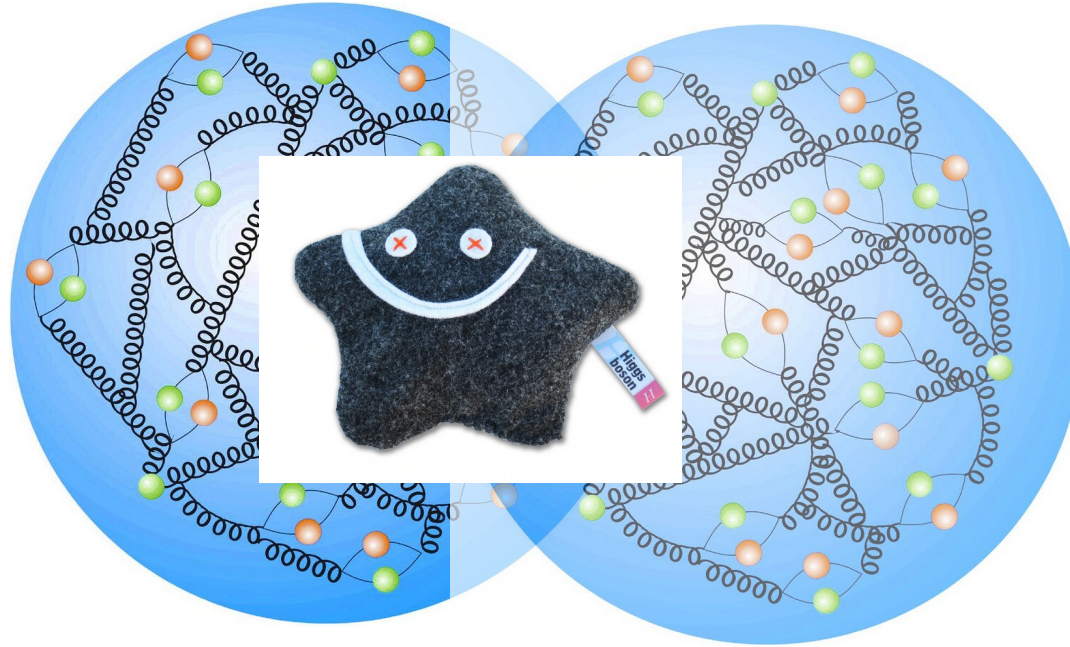


Comment identifier les particules?

“Problème”:

Ces particules se désintègrent quasiment tout de suite

→ on ne les voit pas

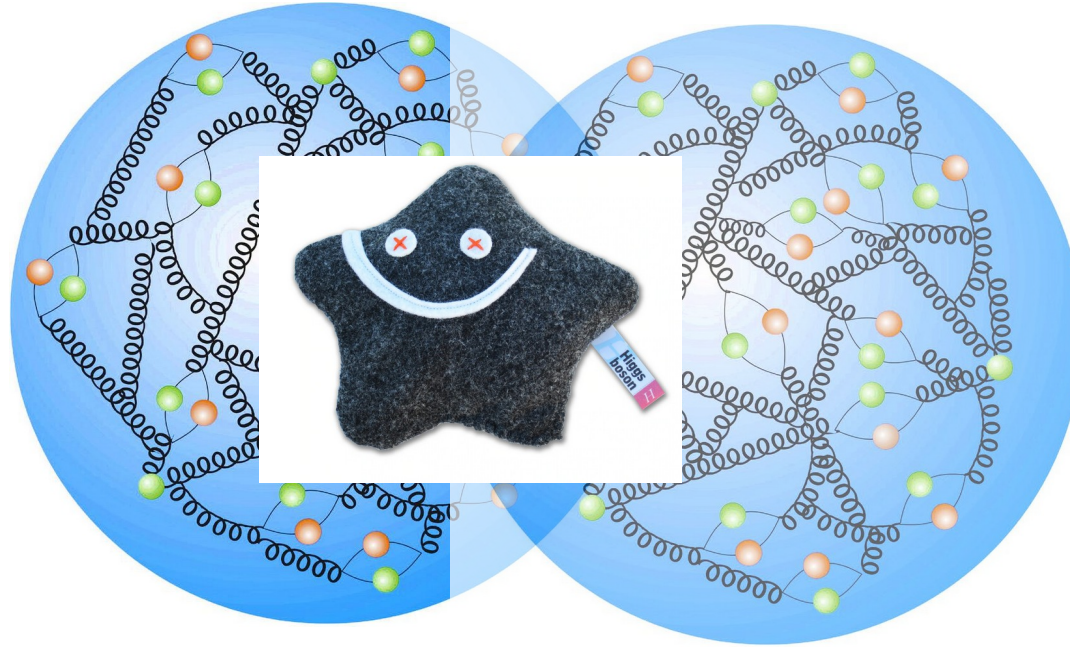


Comment identifier les particules?

“Problème”:

Ces particules se désintègrent quasiment tout de suite

→ on ne les voit pas



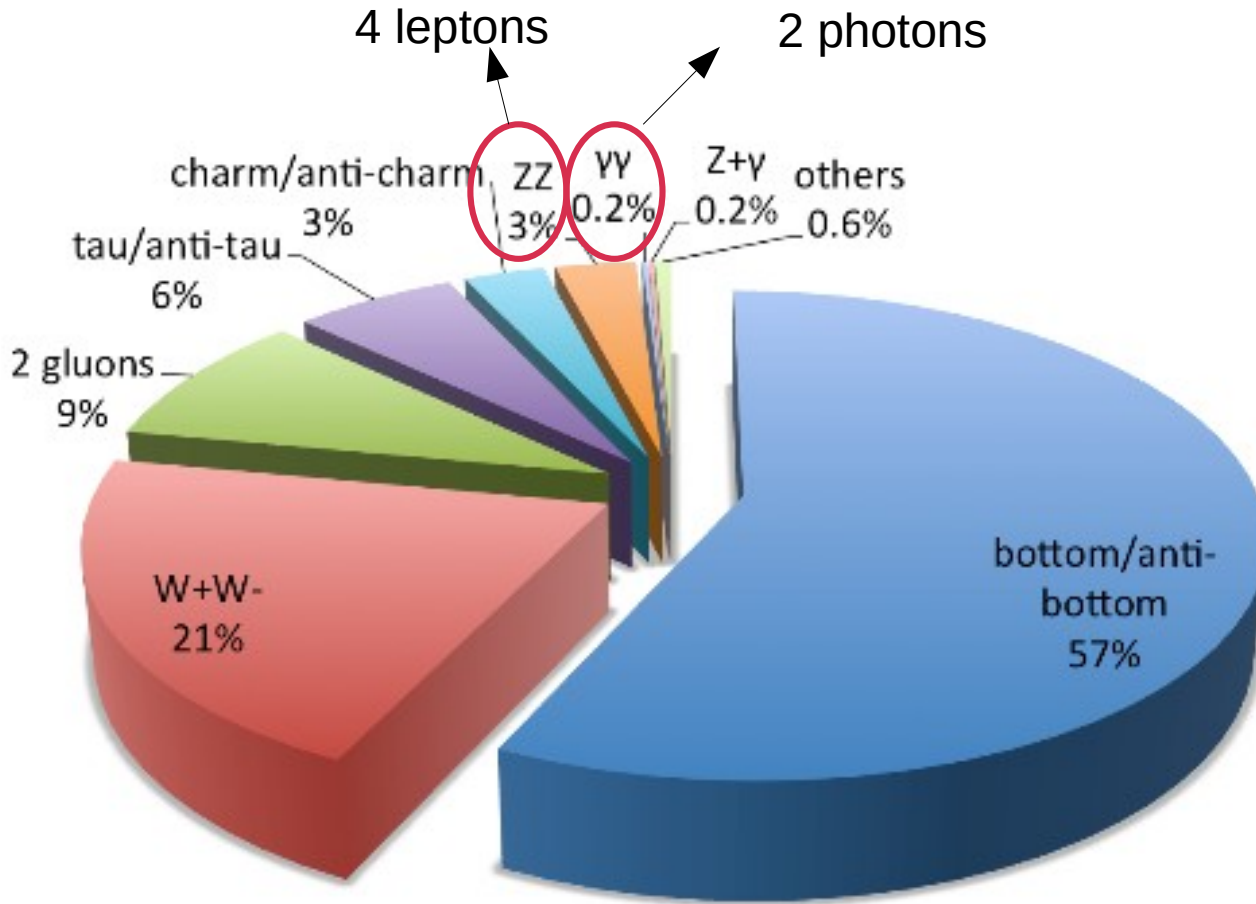
Solution:

- › On sait comment elles se désintègrent
- › Les particules qui en sortent sont détectables

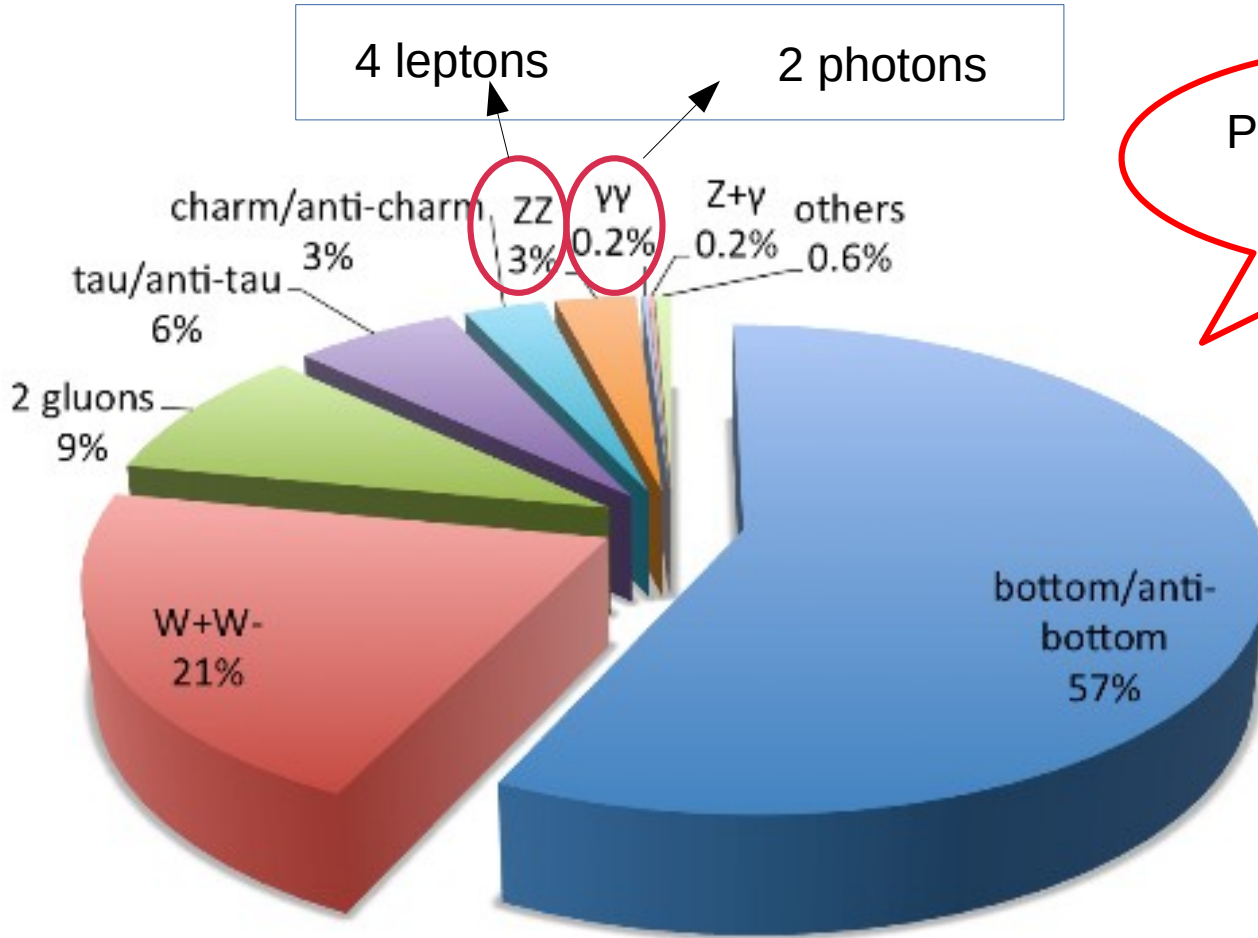


Il suffit de les reconstruire

Découverte du boson de Higgs



Découverte du boson de Higgs



Pourquoi chercher les plus rares?

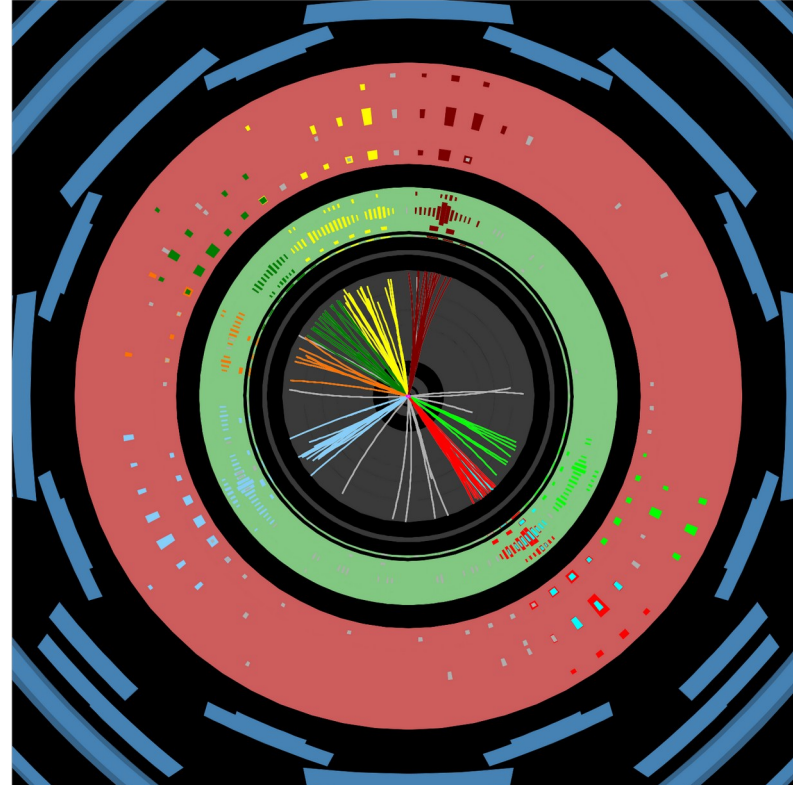
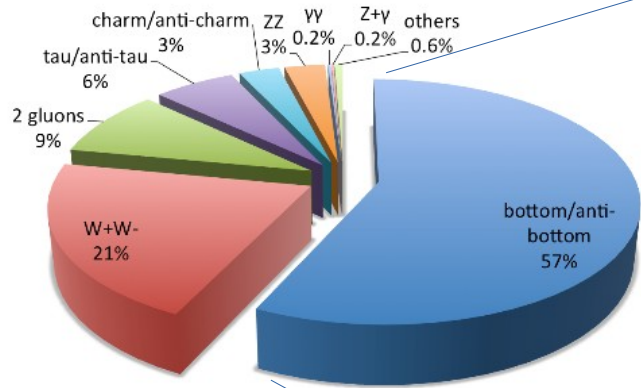
Identifier les produits de désintégration

Exemple:

Higgs \rightarrow quark b + anti-quark b

Quarks b sous forme de “jets de particules”

\rightarrow qui trouve les 2 jets b la-dedans?

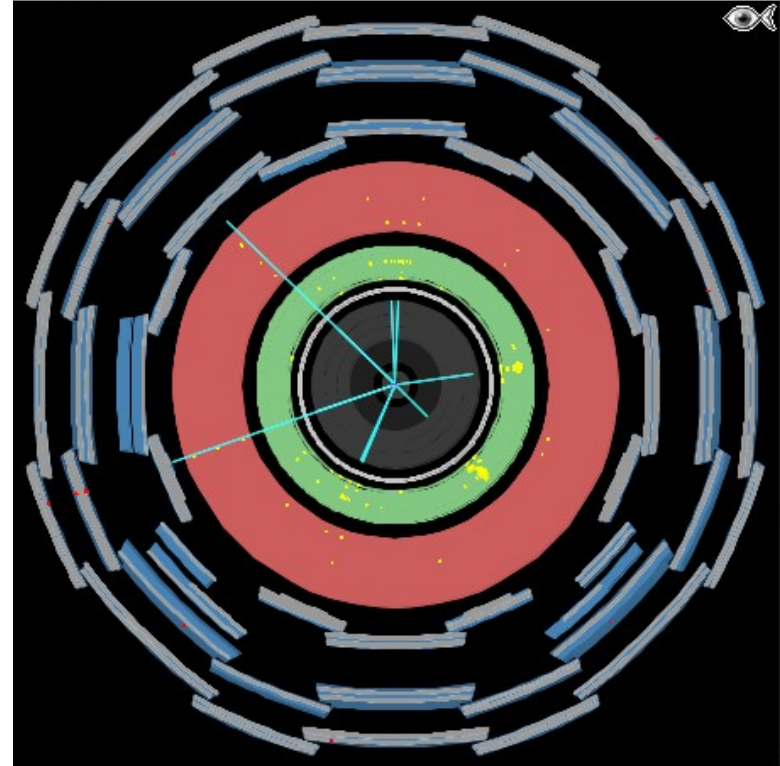
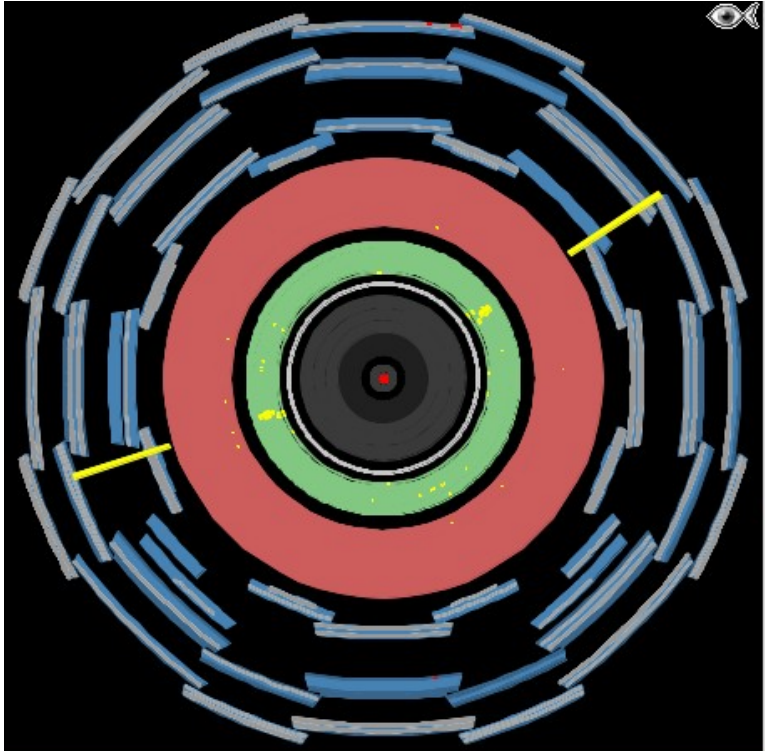


Difficile à reconstruire et de mesurer l'énergie;
On le fait... mais pas aujourd'hui ;-)

Identifier les produits de désintégration

Higgs \rightarrow 2 photons

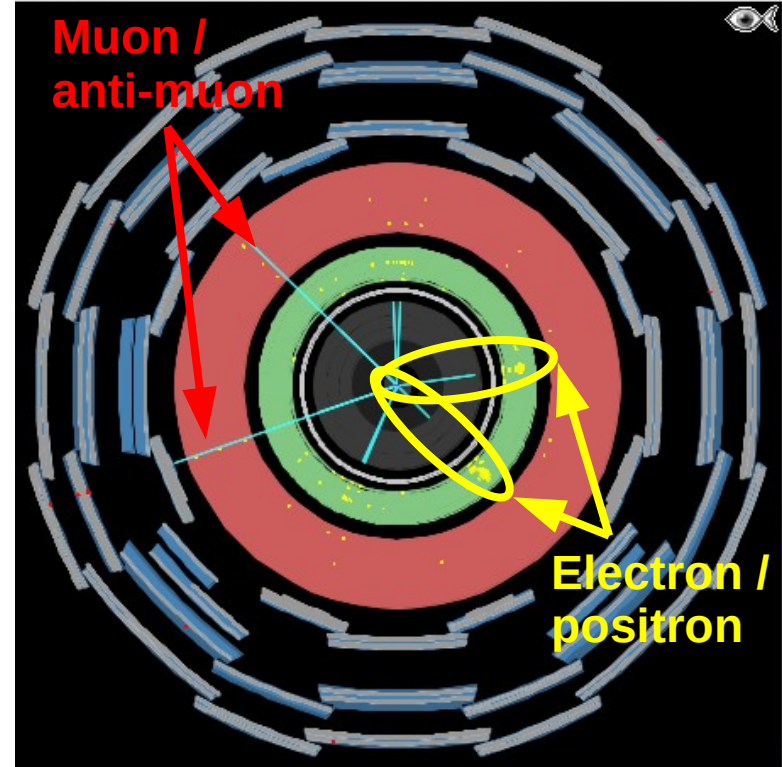
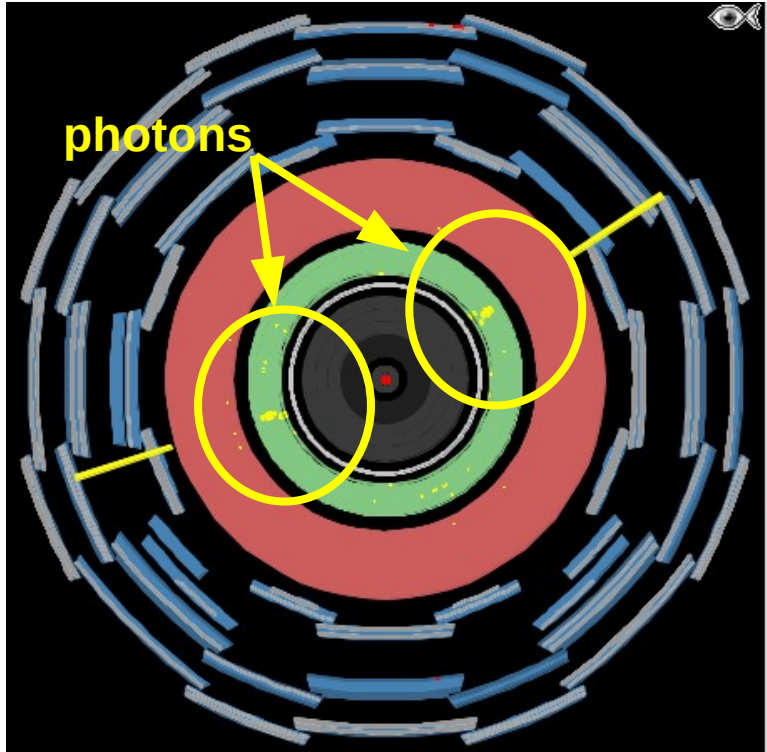
Higgs \rightarrow muon+anti-muon & electron+positron



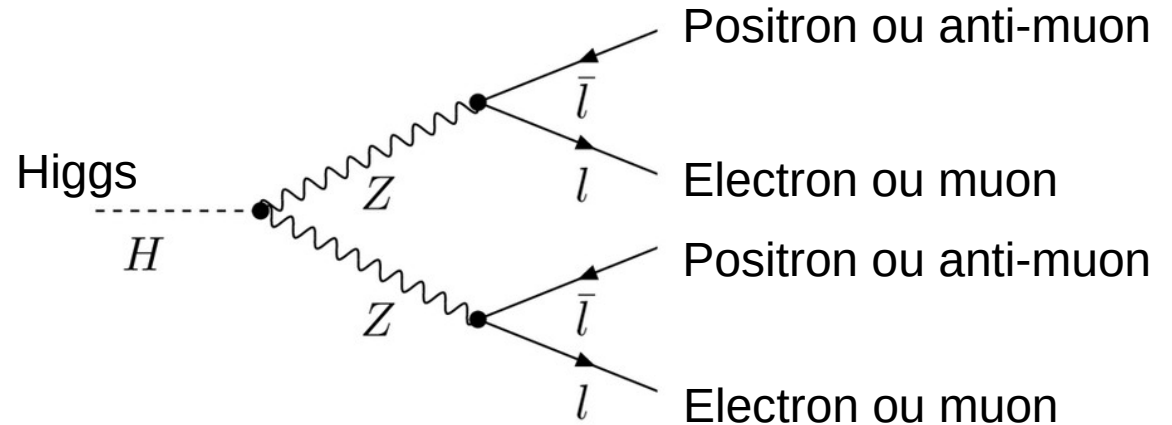
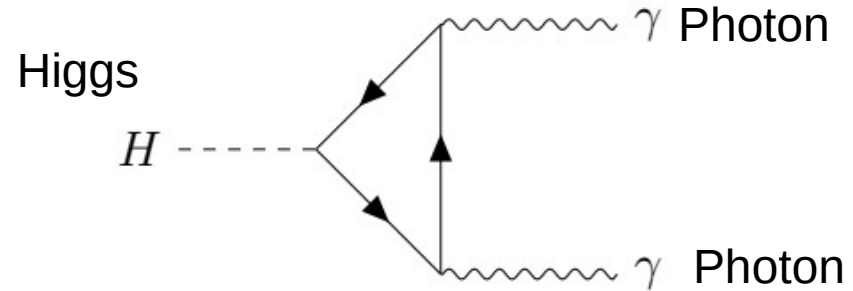
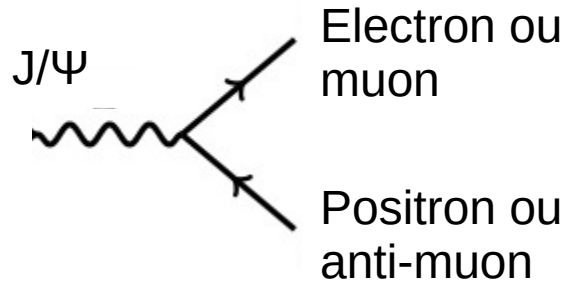
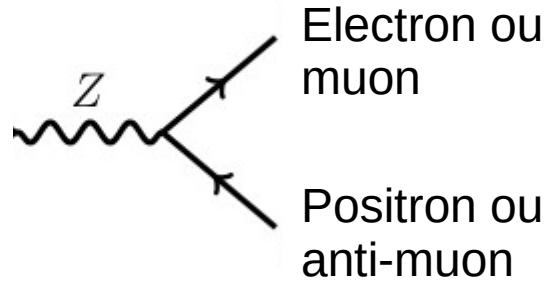
Identifier les produits de désintégration

Higgs \rightarrow 2 photons

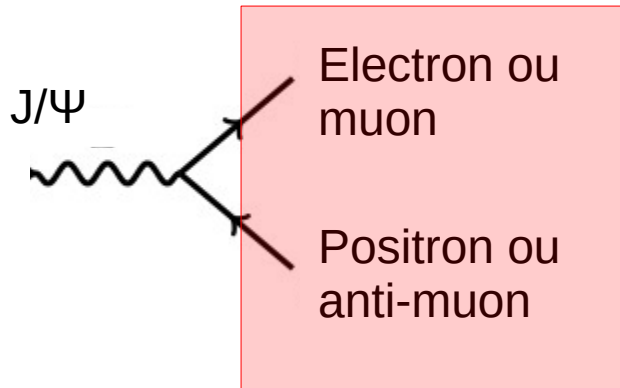
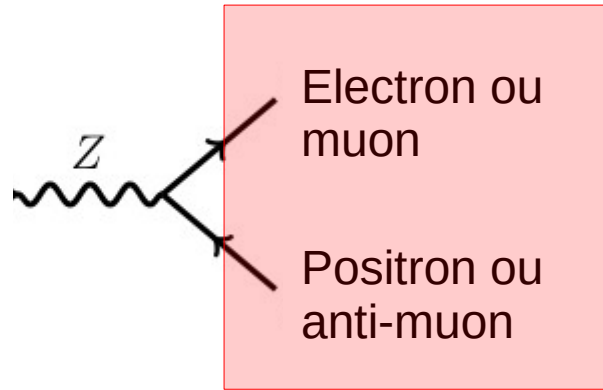
Higgs \rightarrow muon+anti-muon & electron+positron



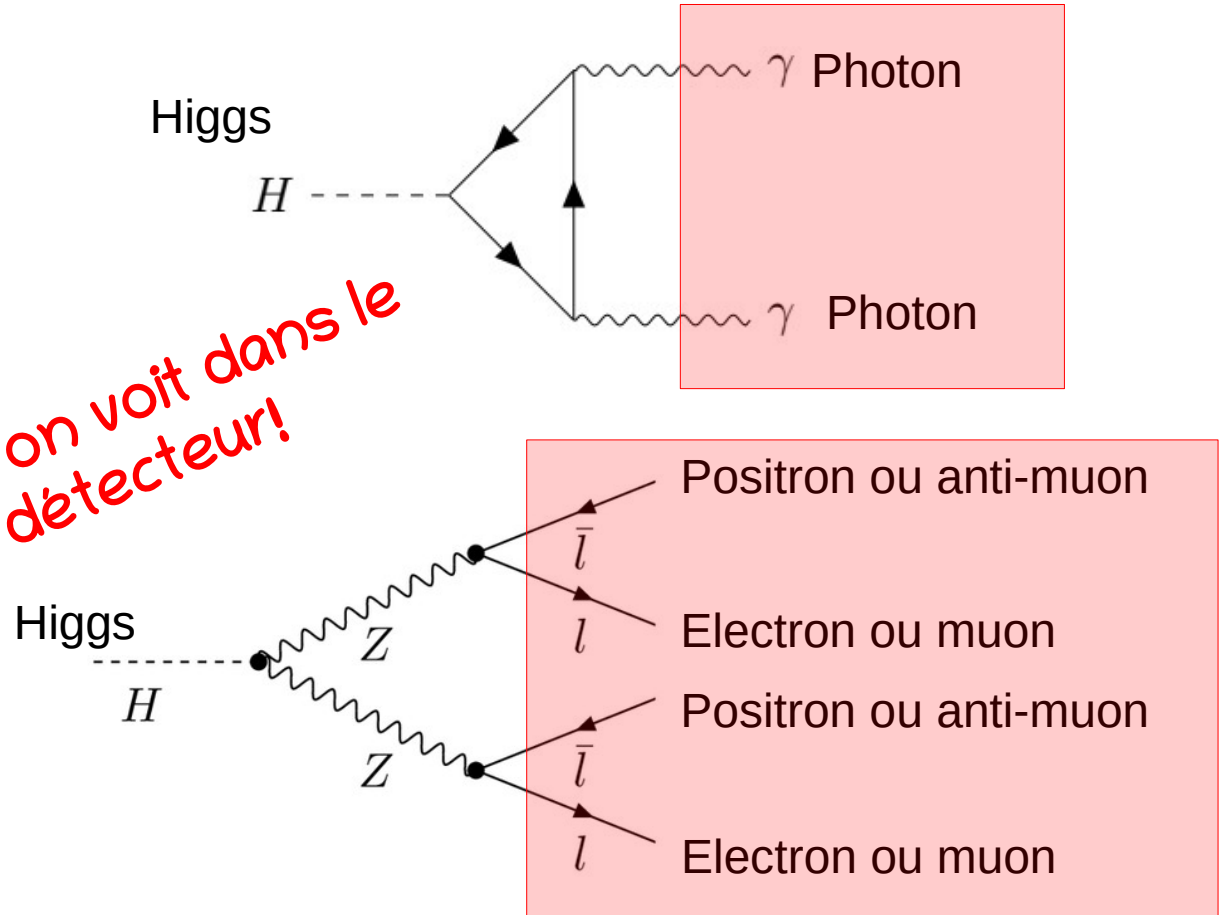
Ce qu'on cherche aujourd'hui



Ce qu'on cherche aujourd'hui

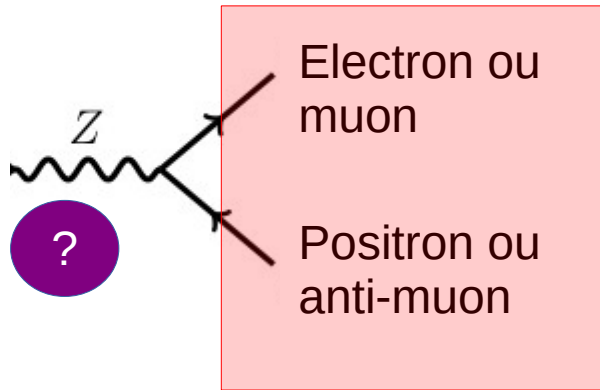


Ce qu'on voit dans le détecteur!

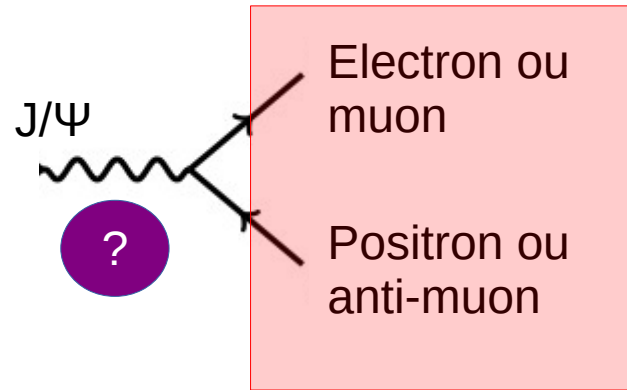


Et comment on peut être certain?

Il y a plusieurs particules ou processus qui resultent en 2 photons, ou une paire d'électron / positron etc. → comment différencier?



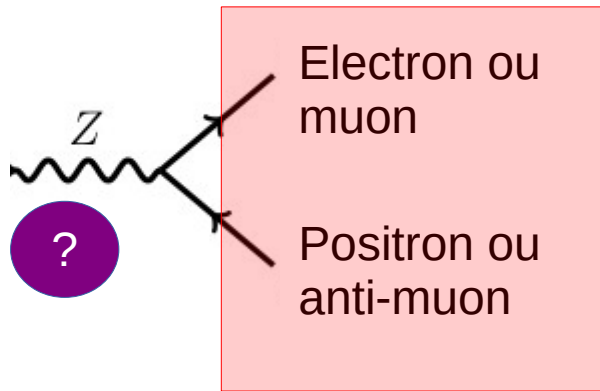
OU



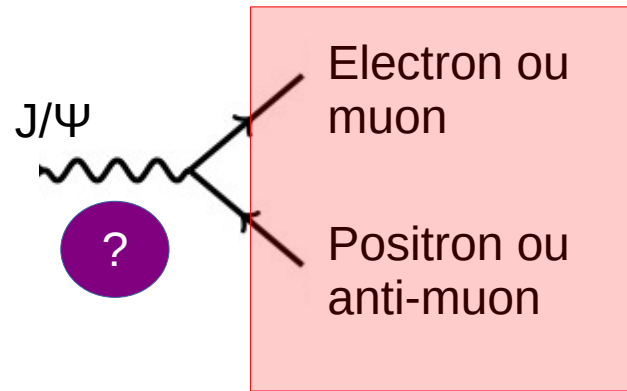
?

Et comment on peut être certain?

Il y a plusieurs particules ou processus qui résultent en 2 photons, ou une paire d'électron / positron etc. → comment différencier?



OU

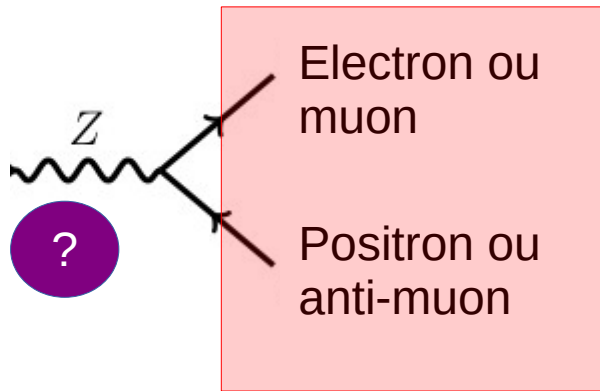


$$E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$$

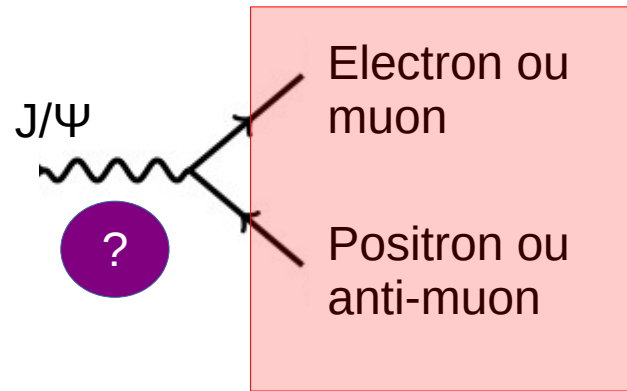
Energie ↔ Masse & Mouvement

Et comment on peut être certain?

Il y a plusieurs particules ou processus qui résultent en 2 photons, ou une paire d'électron / positron etc. → comment différencier?



OU



$$E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$$

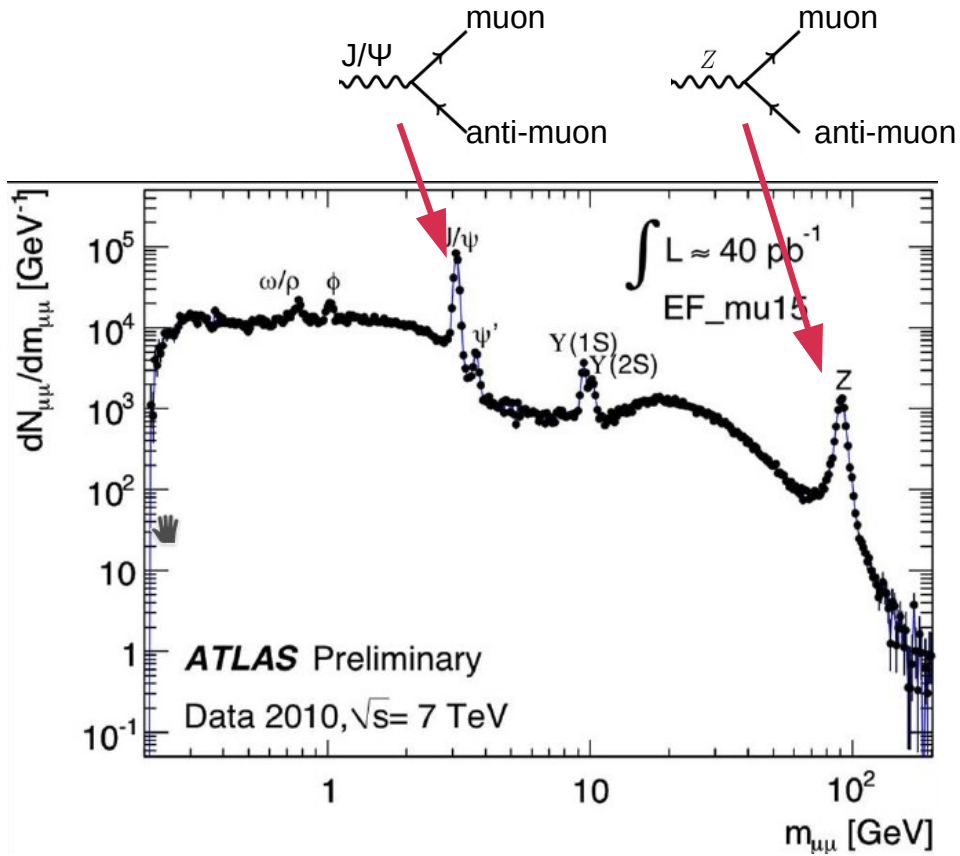
Energie ↔ Masse & Mouvement

Energie conservée
dans la désintégration

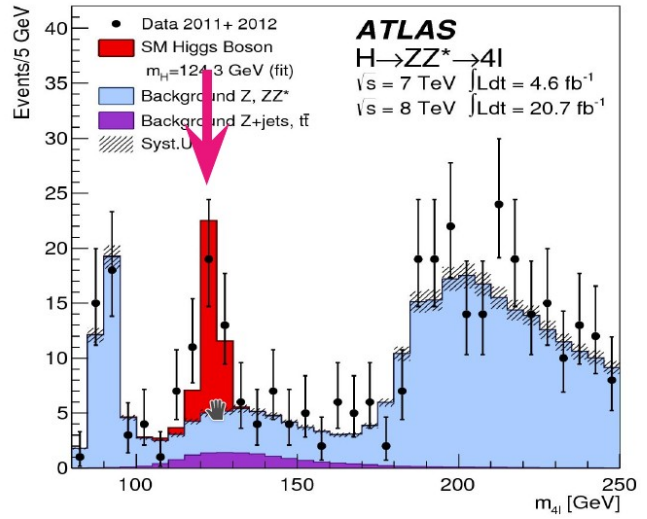
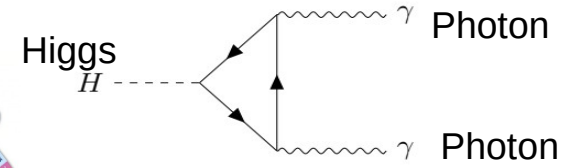
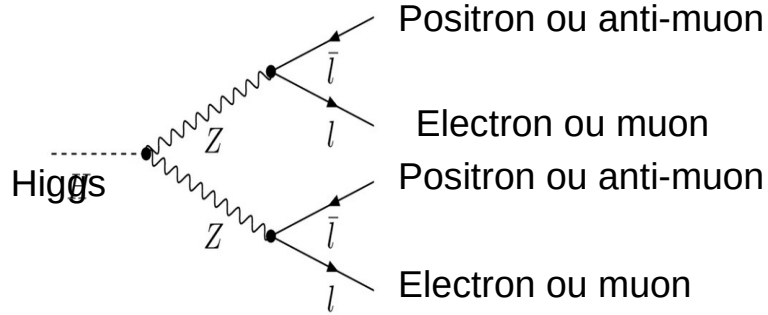


$$M_{\gamma\gamma} = \sqrt{\{(E_{\text{electron}} + E_{\text{positron}})^2 - [(\mathbf{p}_{\text{electron}} + \mathbf{p}_{\text{positron}})c]^2\}}$$

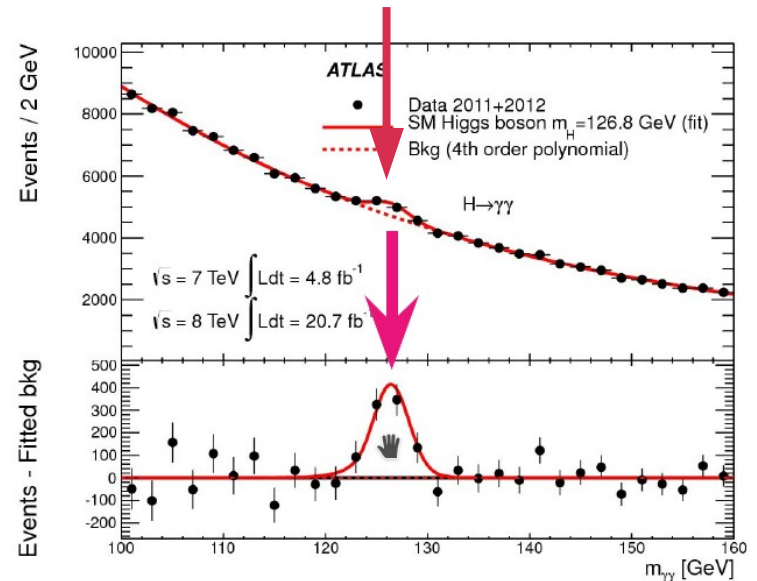
Qu'est-ce qu'on voit?



Qu'est-ce qu'on voit?

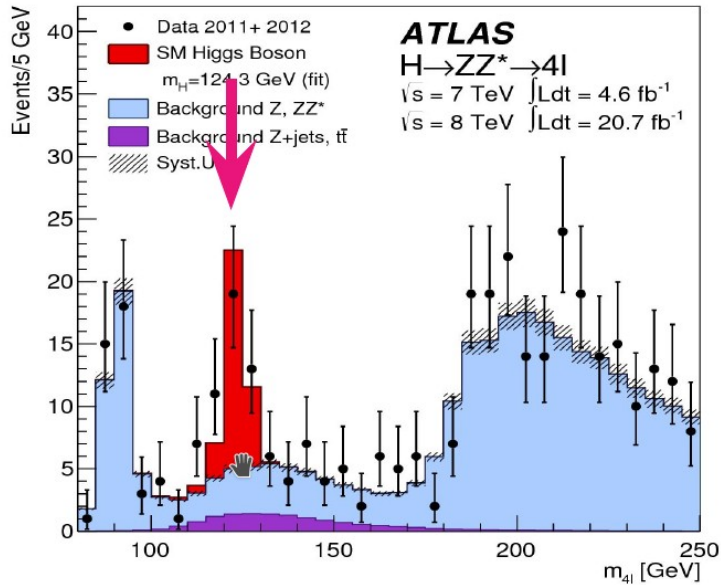


Masse invariante



Masse invariante

Qu'est-ce qu'on voit?

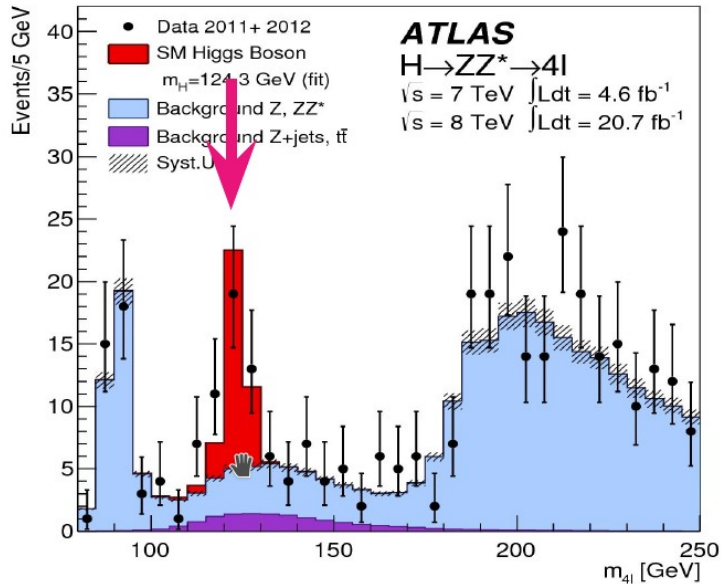


Bruit de fond – quand on se trompe:

- Mal identifié la particule (peut-être pas vraiment un électron, ou un muon?)
- Peut-être l'électron ou le muon vient d'autre part?
- Peut-être on n'a trouvé qu'une partie des particules?

→ La masse ne sera pas toujours celle de la particule qu'on pense reconstruire!

Qu'est-ce qu'on voit?



Bruit de fond – quand on se trompe:

- Mal identifie la particule (peut-etre pas vraiment un electron, ou un muon?)
- Peut-etre l'electron ou le muon vient d'autre part?
- Peut-etre on n'a trouve qu'une partie des particules?

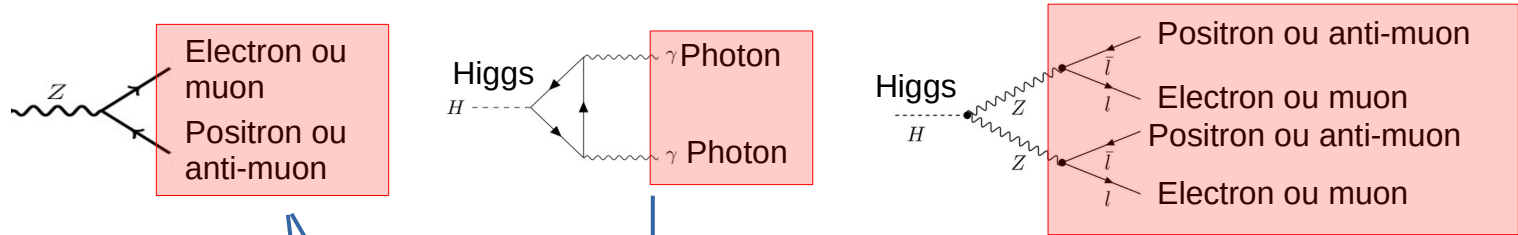
→ La masse ne sera pas toujours celle de la particule qu'on pense reconstruire!

Plus de détail dans la discussion de l'exercice, cet apres-midi avec Pierre!

L'exercice

Aujourd'hui, en pratique...

1) Identifier les événements



Un lot de données différent par binôme
→ combinaison à la fin

Utilisateur : forclas1
Mot de passe : MvgGE47r
Charger les données dans HYPATIA: File > Read Event Locally
→ choisir Documents/ATLASmasterclass/Groupe3/groupA.zip

Groupe 3A
- Salles linux -

N° événement	type d'événement					Commentaires
	e+e-	$\mu+\mu^-$	$\gamma\gamma$	l+l+l+l-	Autre	
1						
2						
3						
4						
5						
6						

2) Calculer la masse invariante et remplir un histogramme comme montré avant

↗ Répartition internationale

2 autres classes dans le monde effectuent l'exercice en même temps que vous.

Chaque classe analyse environ **1000** événements.



↗ Répartition locale

Chaque binôme analyse **50** événements.

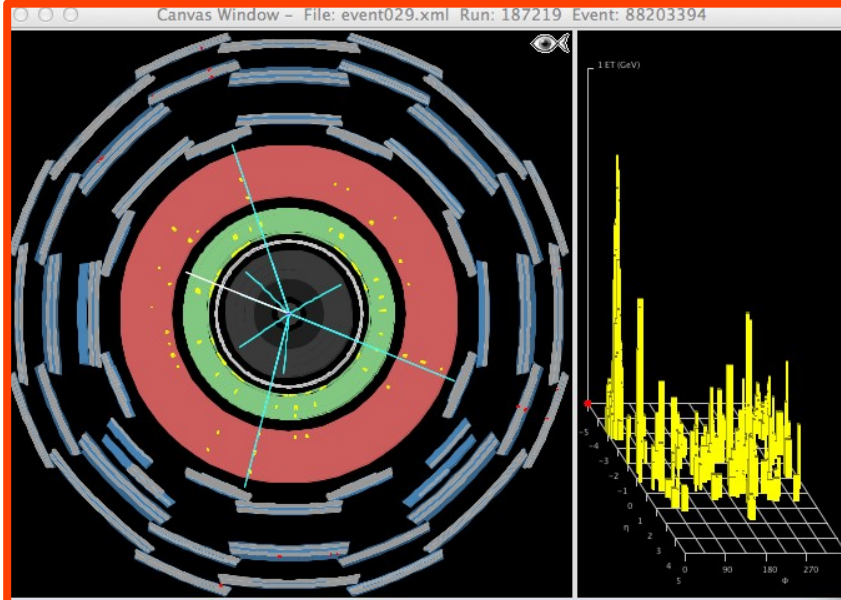


Combinaison
à la fin!

Le logiciel HYPATIA

Représentation visuelle
de l'événement

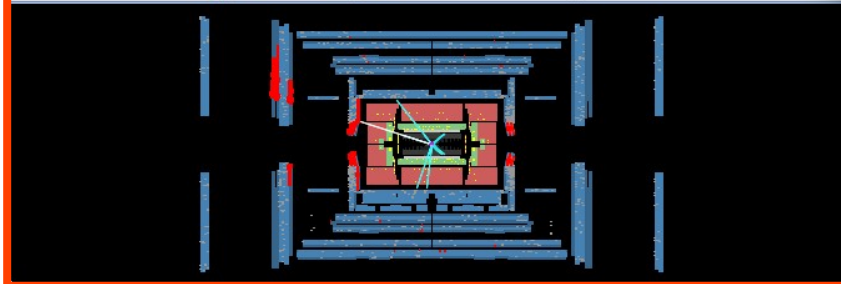
Liste des événements avec
les particules sélectionnées
– calcul des masses



Pt [GeV]	φ	η	M(2) [GeV]	M(4) [GeV]	e/m/g
100.8	-0.376	-0.116	94.145	373.542	m
48.4	-1.833	-0.329			m
37.9	1.906	-0.709	89.293		m
97.2	2.751	-1.865			m

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	φ	θ
Tracks 4	+	101.49	100.81	-0.376	1.686
Tracks 5	+	47.82	37.89	1.906	2.227
Tracks 15	-	51.00	48.36	-1.833	1.894
Tracks 107	-	321.31	97.24	2.751	2.834
Tracks 234	-	288.62	211.60	-1.664	0.823
Tracks 235	-	23.35	14.93	-2.571	0.694
Tracks 237	+	15.20	9.74	0.547	0.695
Tracks 239	-	8.94	5.79	2.318	0.704

Liste de toutes les
particules dans
chaque événement
– sélection de
celles qui nous
intéressent



HYPATIA - Control Window

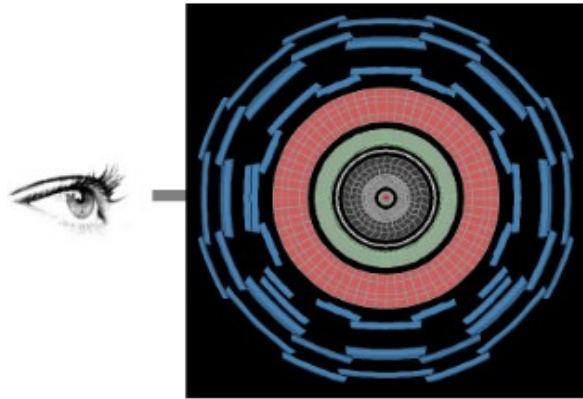
Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

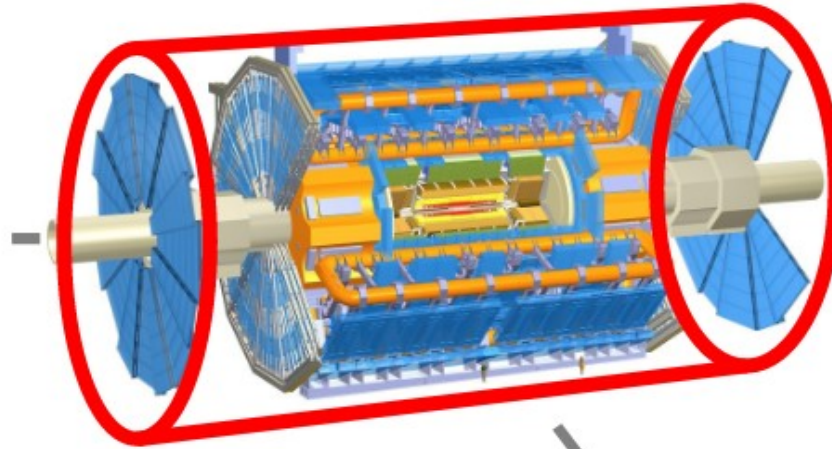
InDet	Name	Value
Calo		
MuonDet	<input checked="" type="checkbox"/> Pt	> 5.0 GeV
Objects	<input checked="" type="checkbox"/> d0	< 2.5 mm
ATLAS	<input checked="" type="checkbox"/> z0	< 20.0 cm
	<input type="checkbox"/> d0 Loose	< 2.0 cm
	<input type="checkbox"/> z0-zVtx	< 2.5 mm
	<input type="checkbox"/> Layer	> 0
	<input type="checkbox"/> Number Pixel Hits	>= 2

Réglages et
navigation

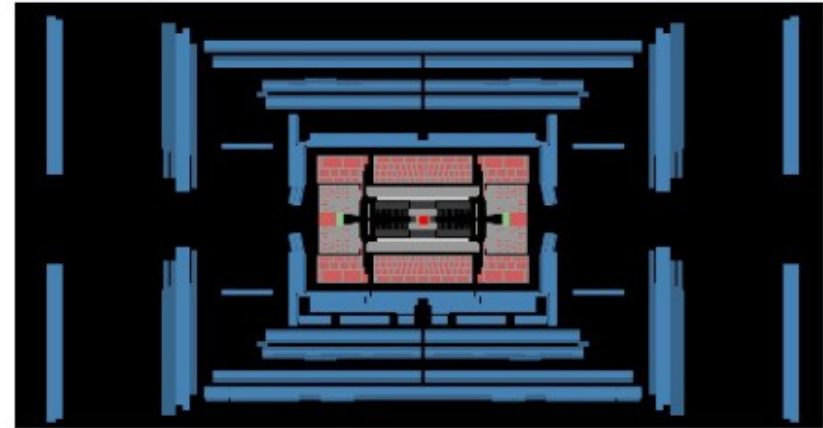
Visualisation du détecteur



Vue transversale du détecteur



Vue en 3D
du détecteur

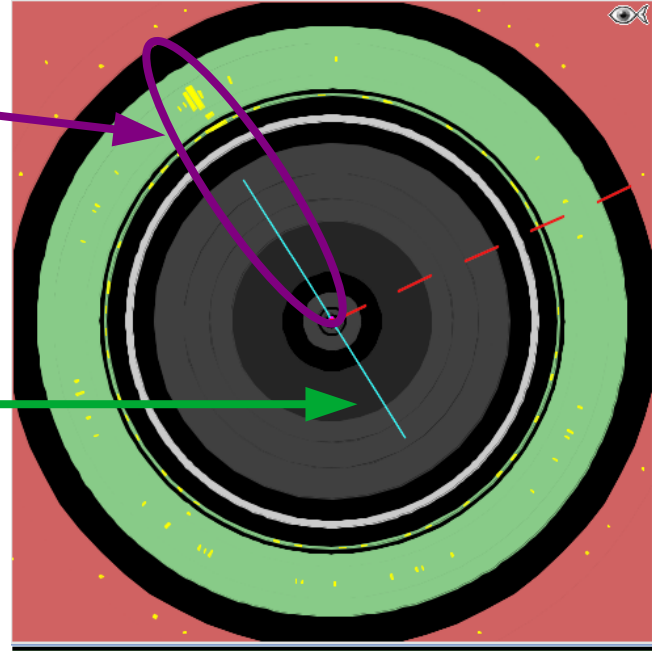


Vue longitudinale du
détecteur

Utilité des différentes perspectives

Electron ou positron (trace + gerbe dans le calorimètre)

Une trace sans gerbe
correspondante → pas intéressant?

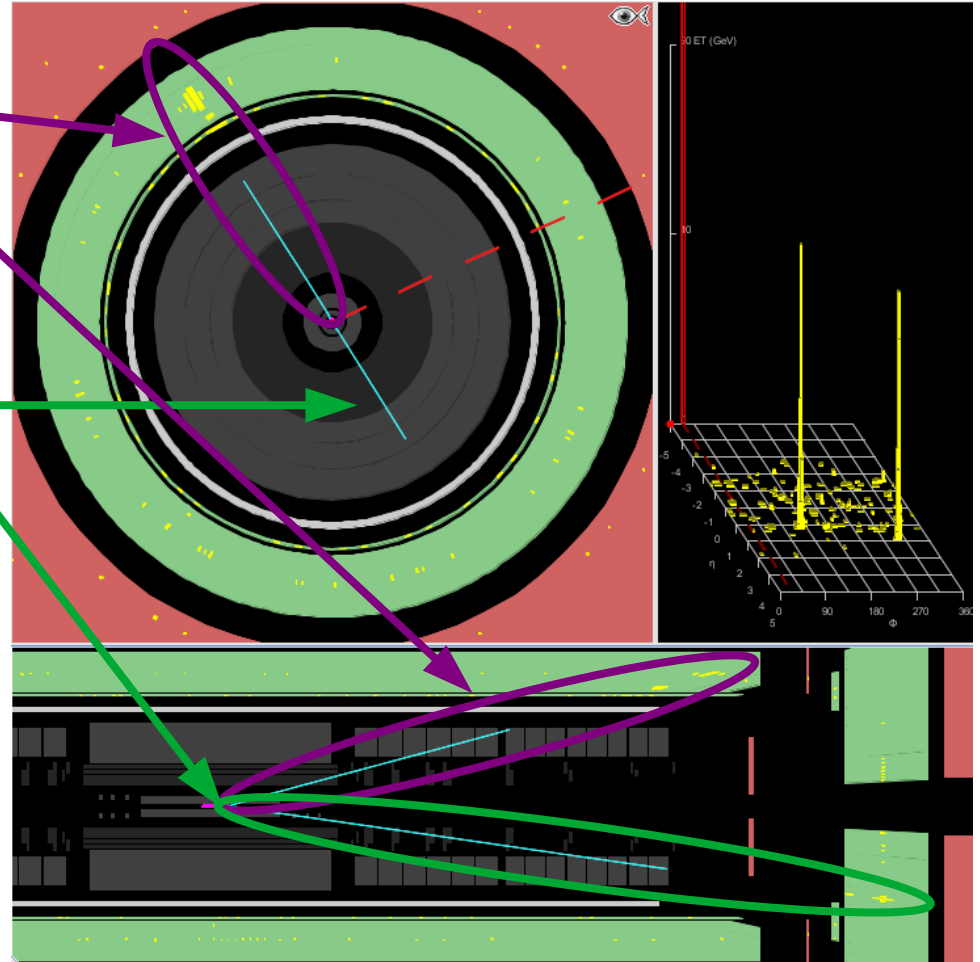


Utilité des différentes perspectives

Electron ou positron (trace + gerbe dans le calorimètre)

Une trace sans gerbe correspondante → pas intéressant?

Trace avec gerbe associée dans la partie avant du calorimètre



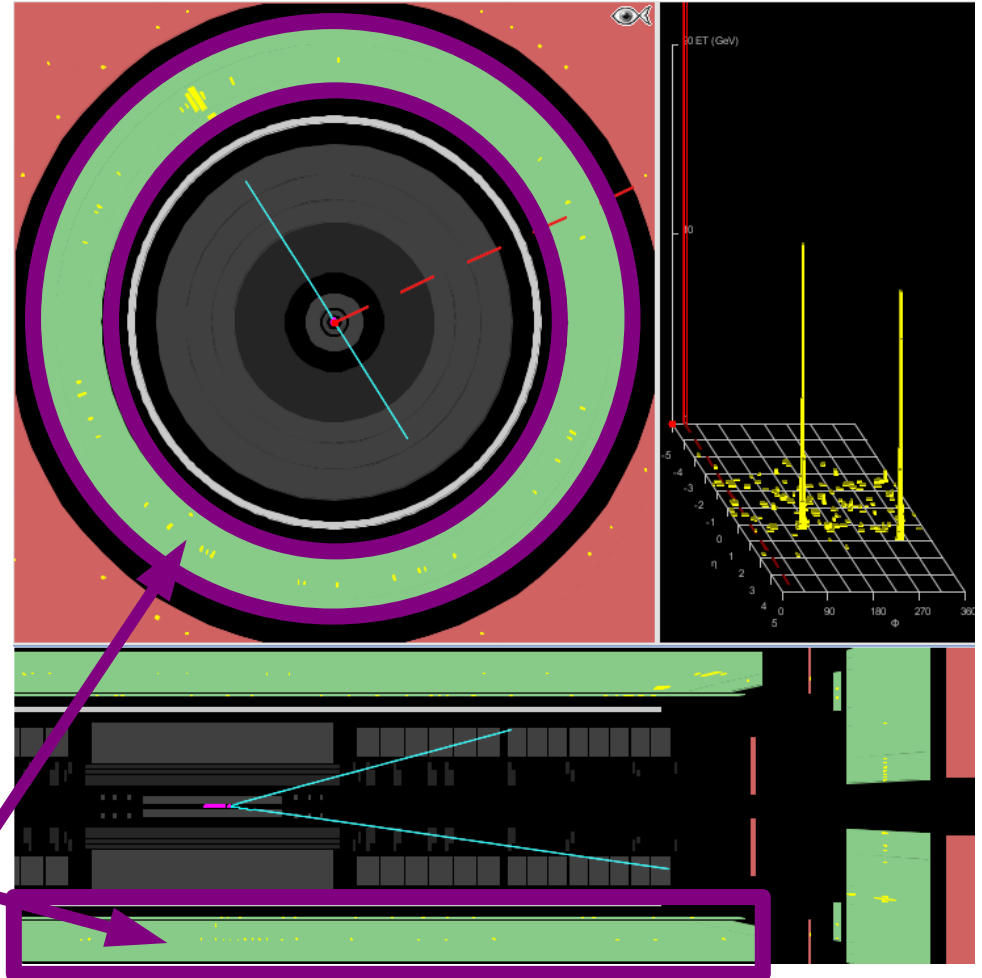
Utilité des différentes perspectives

Electron ou positron (trace + gerbe dans le calorimètre)

~~Une trace sans gerbe
correspondante~~ → pas intéressant?

Trace avec gerbe associée dans la
partie avant du calorimètre

Seulement partie centrale du
calorimètre visible dans coupe
transverse



Les parties du détecteur

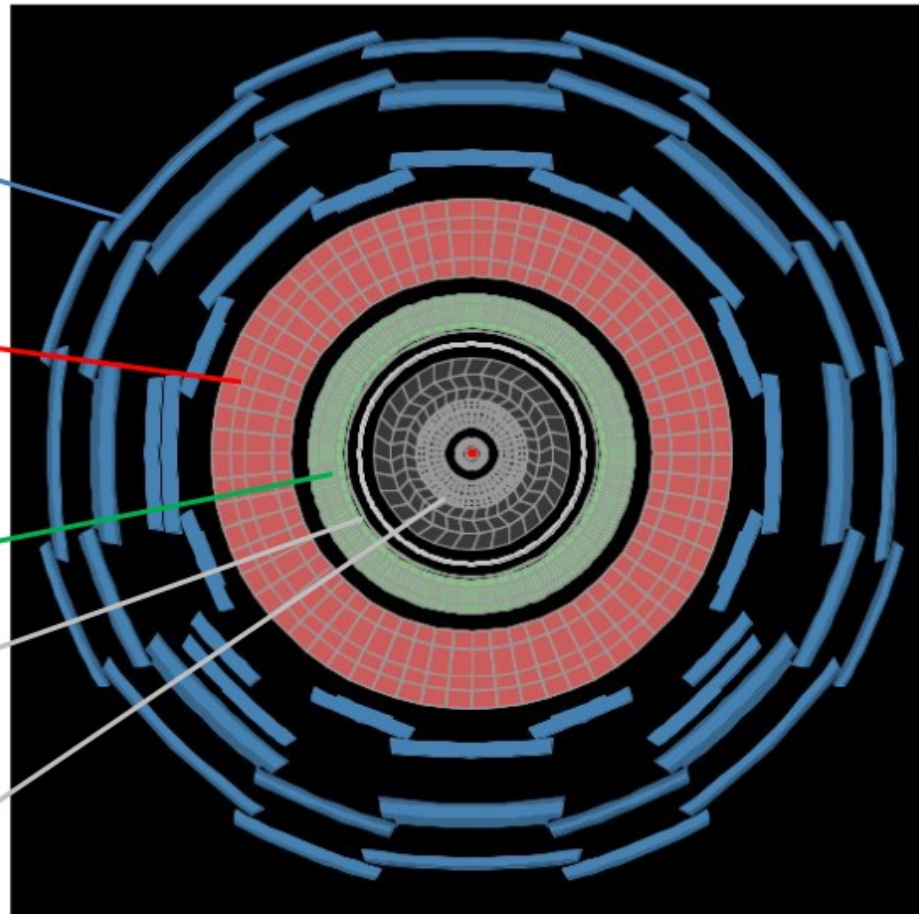
Détecteur de muons

Calorimètre hadronique

Calorimètre électromagnétique

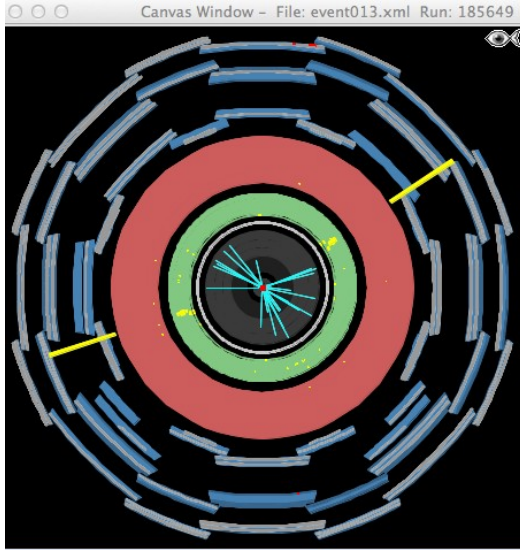
Aimant

Trajectographe



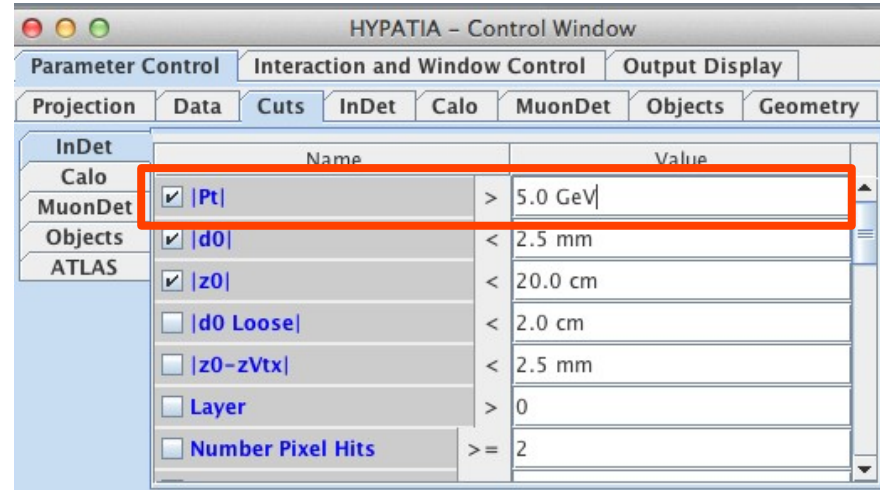
Vue transversale du détecteur

Appliquer une coupure



Demander un min. d'énergie pour les traces:

- Les autres ne nous intéressent pas
- Ca rend l'événement plus "propre"



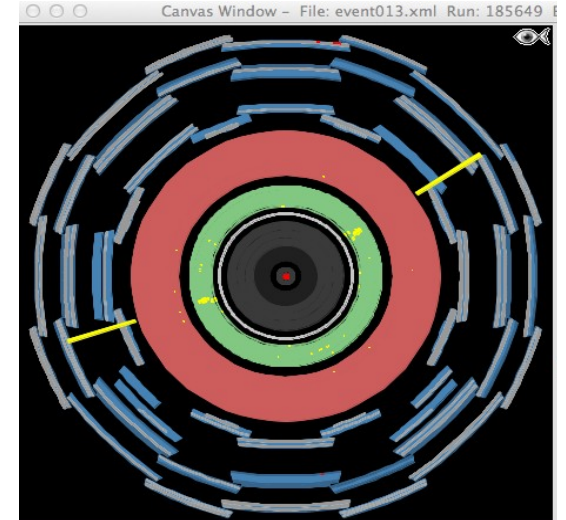
HYPATIA - Control Window

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

	Name	Value
InDet		
Calo		
MuonDet	<input checked="" type="checkbox"/> Pt	> 5.0 GeV
Objects	<input checked="" type="checkbox"/> d0	< 2.5 mm
ATLAS	<input checked="" type="checkbox"/> z0	< 20.0 cm
	<input type="checkbox"/> d0 Loose	< 2.0 cm
	<input type="checkbox"/> z0-zVtx	< 2.5 mm
	<input type="checkbox"/> Layer	> 0
	<input type="checkbox"/> Number Pixel Hits	>= 2

The screenshot shows the HYPATIA Control Window interface. The 'Cuts' tab is selected. A table lists various cuts for different detector components. The cut for MuonDet |Pt| is highlighted with a red box, showing a value of > 5.0 GeV. Other cuts include |d0| < 2.5 mm, |z0| < 20.0 cm, |d0 Loose| < 2.0 cm, |z0-zVtx| < 2.5 mm, Layer > 0, and Number Pixel Hits >= 2.



HYPATIA

– muons –

- Muon: trace qui traverse tout le détecteur
- Un muons + un anti-muon: charges opposées
- Une paire: candidat Z, J/ψ , nouvelle particule
- 2 paires ou une paire + une paire d'électrons: candidat Higgs

HYPATIA – Track Momenta Window

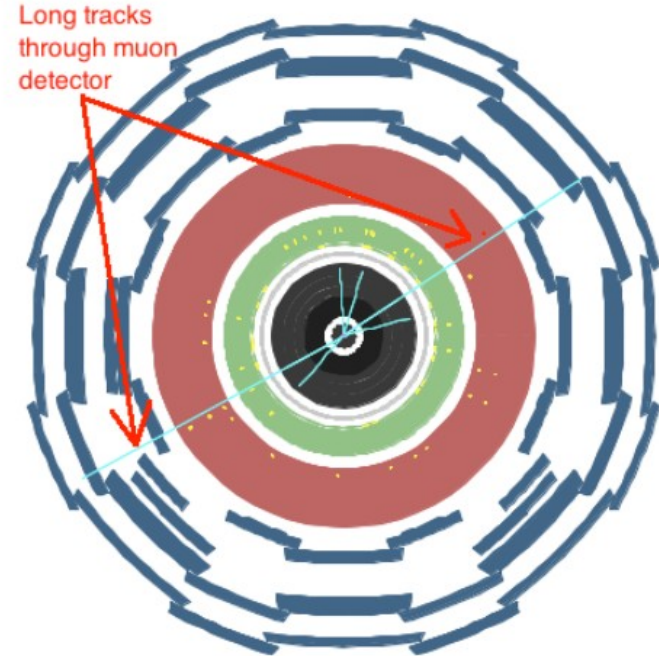
Previous Event Next Event Electron Muon Photon Delete Track Reset Canvas

ETMis: 7.369 GeV ϕ : 2.796 rad Collection: MET_RefFinal

haikenp/Desktop/Hypatia_7-1-2/Hypatia_7-1/group1/event011.xml

Tracks Physics Objects

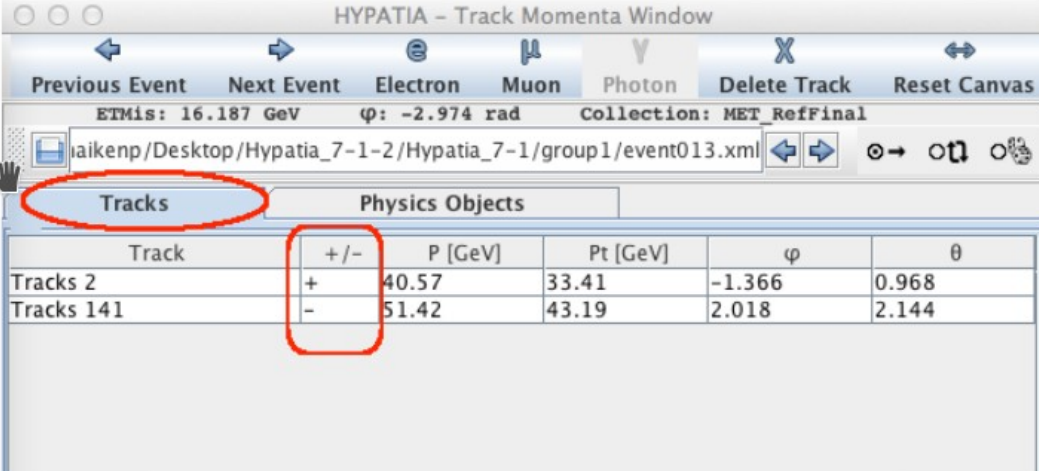
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 22	-	139.51	47.69	0.576	0.349
Tracks 139	+	73.73	37.69	-2.627	0.537
Tracks 198	+	11.60	7.60	1.318	2.427
Tracks 238	+	19.76	10.90	0.291	0.584
Tracks 239	-	105.93	54.03	1.630	0.535
Tracks 242	-	19.90	8.98	-2.321	0.468



HYPATIA

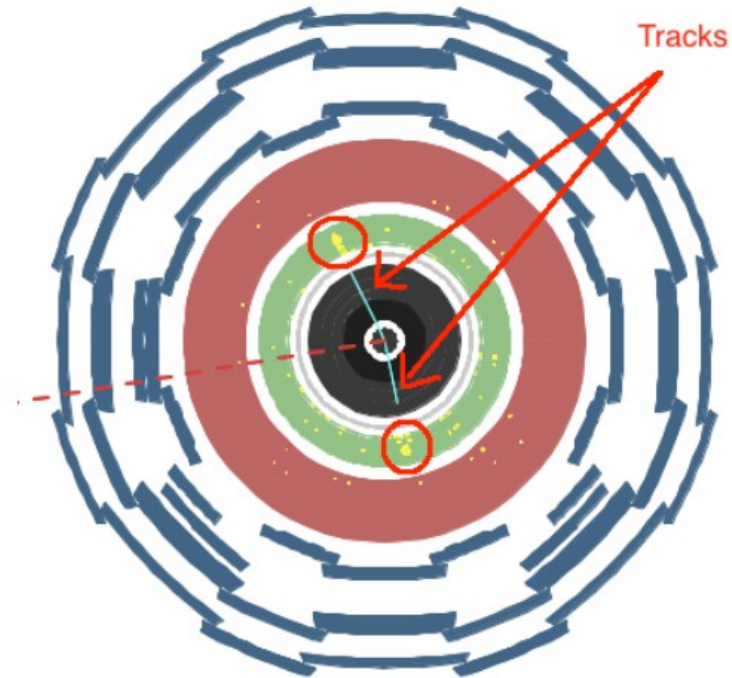
– électrons –

- Electron: trace qui dans la partie centrale, associée à une gerbe dans le calorimètre
- Comparer θ et φ entre “tracks” et “physics objects”
- Un électron + un positron: charges opposées
- Une paire: candidat Z, J/ψ , nouvelle particule
- 2 paires ou une paire + une paire de muons: candidat Higgs



The screenshot shows the HYPATIA software interface. At the top, there are navigation buttons: Previous Event, Next Event, Electron, Muon, Photon, Delete Track, and Reset Canvas. Below these, the event information is displayed: ETMIs: 16.187 GeV, φ : -2.974 rad, and Collection: MET_RefFinal. The file path is shown as /aikemp/Desktop/Hypatia_7-1-2/Hypatia_7-1/group1/event013.xml. The main window is divided into two tabs: Tracks and Physics Objects. The Tracks tab is active, and a table of tracks is displayed. The table has columns for Track, +/-, P [GeV], Pt [GeV], φ , and θ . Two tracks are listed: Tracks 2 and Tracks 141. The +/- column for both tracks is circled in red. The table data 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

– photons –

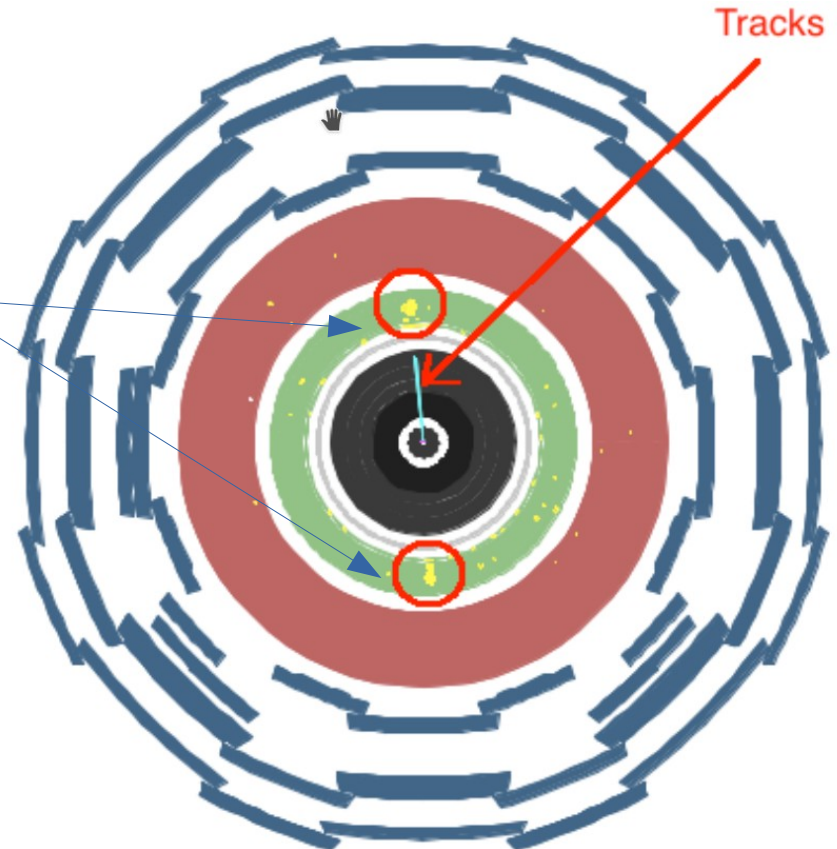
Option 1: photon non-converti

- Gerbe dans le calorimètre sans trace associée

Option 2: photon converti

Un photon interagit avec le détecteur et se converti en paire électron – positron

- 2 gerbes dans le calorimètre qui se voient comme une seule gerbe a l'oeuil
- 2 traces très proches, qui ne commencent pas forcément au point d'interaction



Déroulement en un transparent

The screenshot displays the HYPATIA software interface. At the top, the menu bar includes File, View, Histograms, Preferences, and Help. The main window is divided into several panels:

- Top Left:** A circular detector layout visualization with concentric rings and tracks.
- Top Right:** A table of event parameters. The first row is highlighted in orange.
- Middle Left:** A 3D histogram showing track distributions.
- Middle Right:** A table of track parameters. The first row is highlighted in orange.
- Bottom Left:** A top-down view of the detector layout.
- Bottom Right:** The "HYPATIA - Control Window" with various control panels. The "Cuts" panel is highlighted in green, showing a list of cuts with their values.

Annotations include a red arrow pointing to the "File" menu, a purple arrow pointing to the "Next Event" button, a blue arrow pointing to the "Tracks" and "Physics Objects" buttons, and a green circle around the "|Pt| > 5.0 GeV" cut in the control window.

Pt [GeV]	ϕ	η	M(2) [GeV]	M(4) [GeV]	e/m/g
100.8	-0.376	-0.116	94.145	373.542	m
48.4	-1.833	-0.329			m
37.9	1.906	-0.709	89.293		m
97.2	2.751	-1.865			m

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 4	+	100.81	100.81	-0.376	1.686
Tracks 5	+	47.82	37.89	1.906	2.227
Tracks 15	+	51.00	40.86	-1.833	1.894
Tracks 107	-	321.31	97.24	2.751	2.834
Tracks 234	-	288.62	211.60	-1.664	0.827
Tracks 235	-	23.35	14.93	-2.571	0.694
Tracks 237	+	15.20	9.74	0.547	0.695
Tracks 239	-	8.94	5.79	2.311	0.704

Parameter	Name	Value
InDet		
Calo		
MuonDet	<input checked="" type="checkbox"/> Pt	> 5.0 GeV
Objects	<input checked="" type="checkbox"/> d0	< 2.5 mm
ATLAS	<input checked="" type="checkbox"/> z0	< 20.0 cm
	<input type="checkbox"/> d0 Loose	< 2.0 cm
	<input type="checkbox"/> z0 - zVtx	< 2.5 mm
	<input type="checkbox"/> Layer	> 0
	<input type="checkbox"/> Number Pixel Hits	>= 2

1) Télécharger le lot de données “Read Event Locally” → fichier indiqué sur votre feuille

2) Ajuster les coupures

3) Sélectionner et attribuer les traces (électrons ou muons) et “physics objects” (photons)

4) Vérifier la (les) masse(s) invariante(s)

5) Passer au prochain événement (répéter 3-5 pour chaque événement)

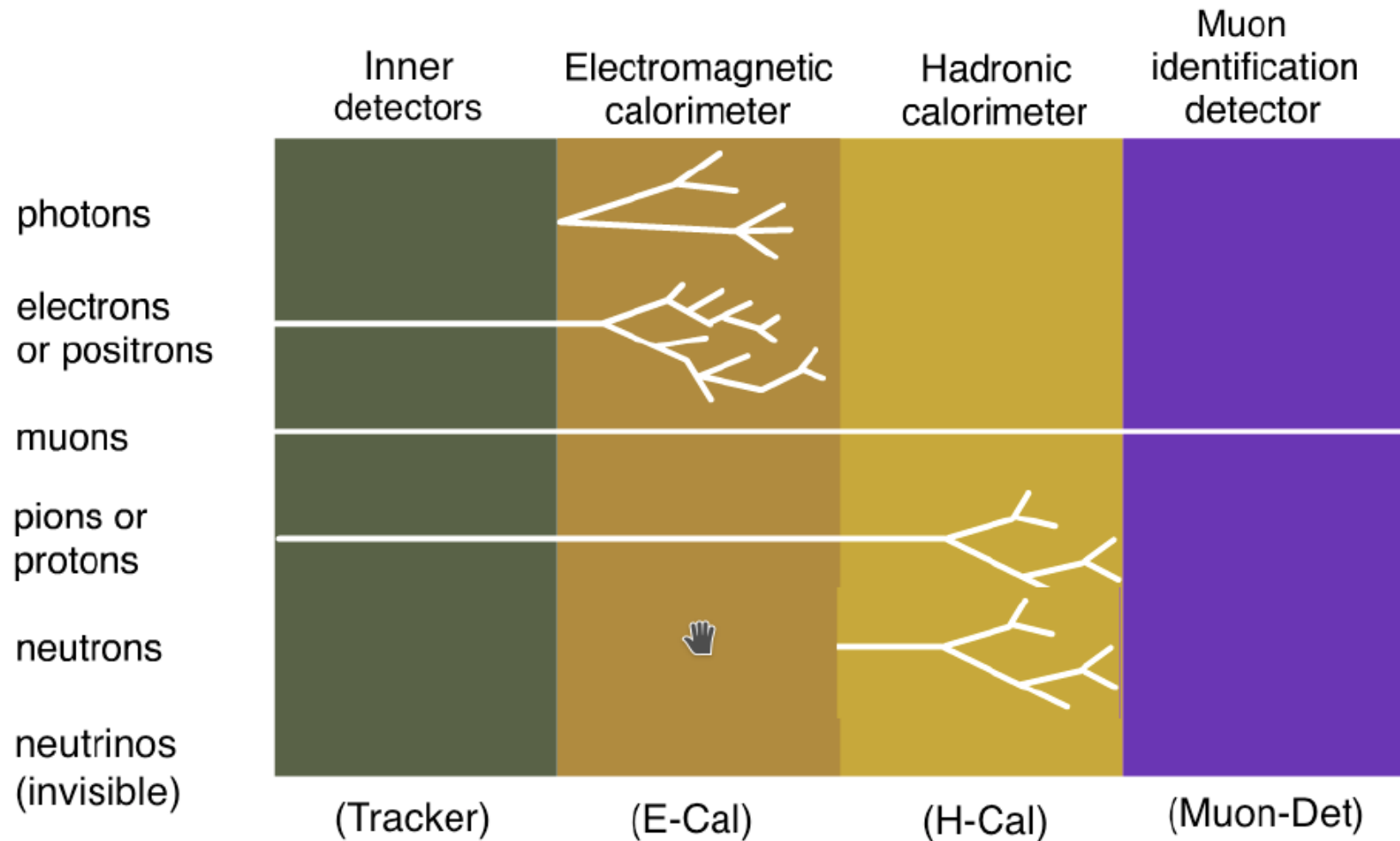
ATTENTION: Ne pas effacer les masses!

6) Attendre les consignes pour sauvegarder avant de fermer le logiciel!

Plus de détail dans la salle informatique...

BACKUP

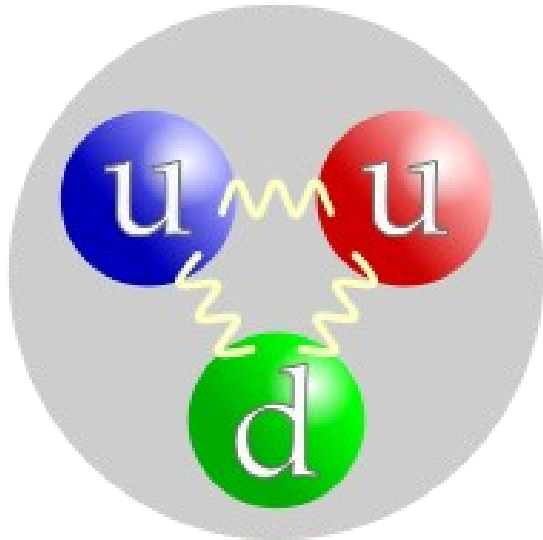
Identifier les particules dans le détecteur



Le proton – a hautes energies

Schema simplifie:

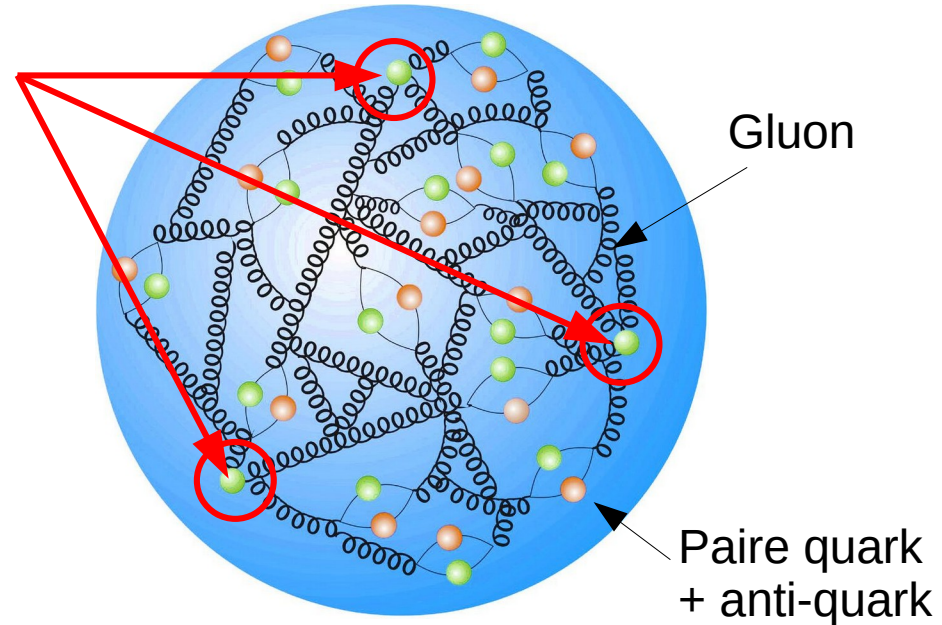
- 3 quarks (2 up + 1 down)
- Interagissent par echange de gluons



En realite:

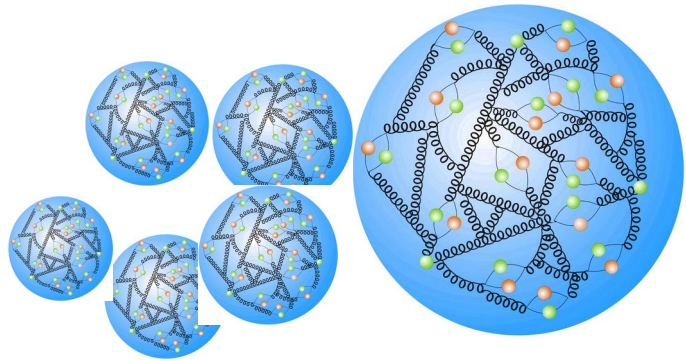
- 3 quarks principaux (2 up + 1 down)
- Interagissent par echange de gluons
- Gluon peuvent "fluctuer" pour donne 1 quark + 1 anti-quark

Quarks
"principaux"

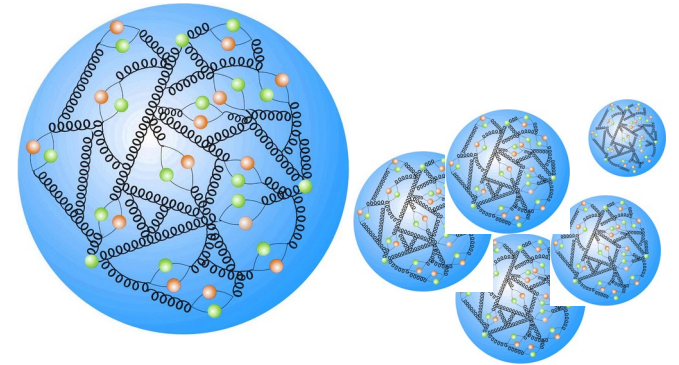


Collision de protons – qu'est-ce que ca veut dire?

Groupe de protons n°1



Groupe de protons n°2



Collision a TRES haute énergie!!!