

Mesure du temps de vie du D^0 avec le détecteur LHCb

Masterclass @ LAL - 2016

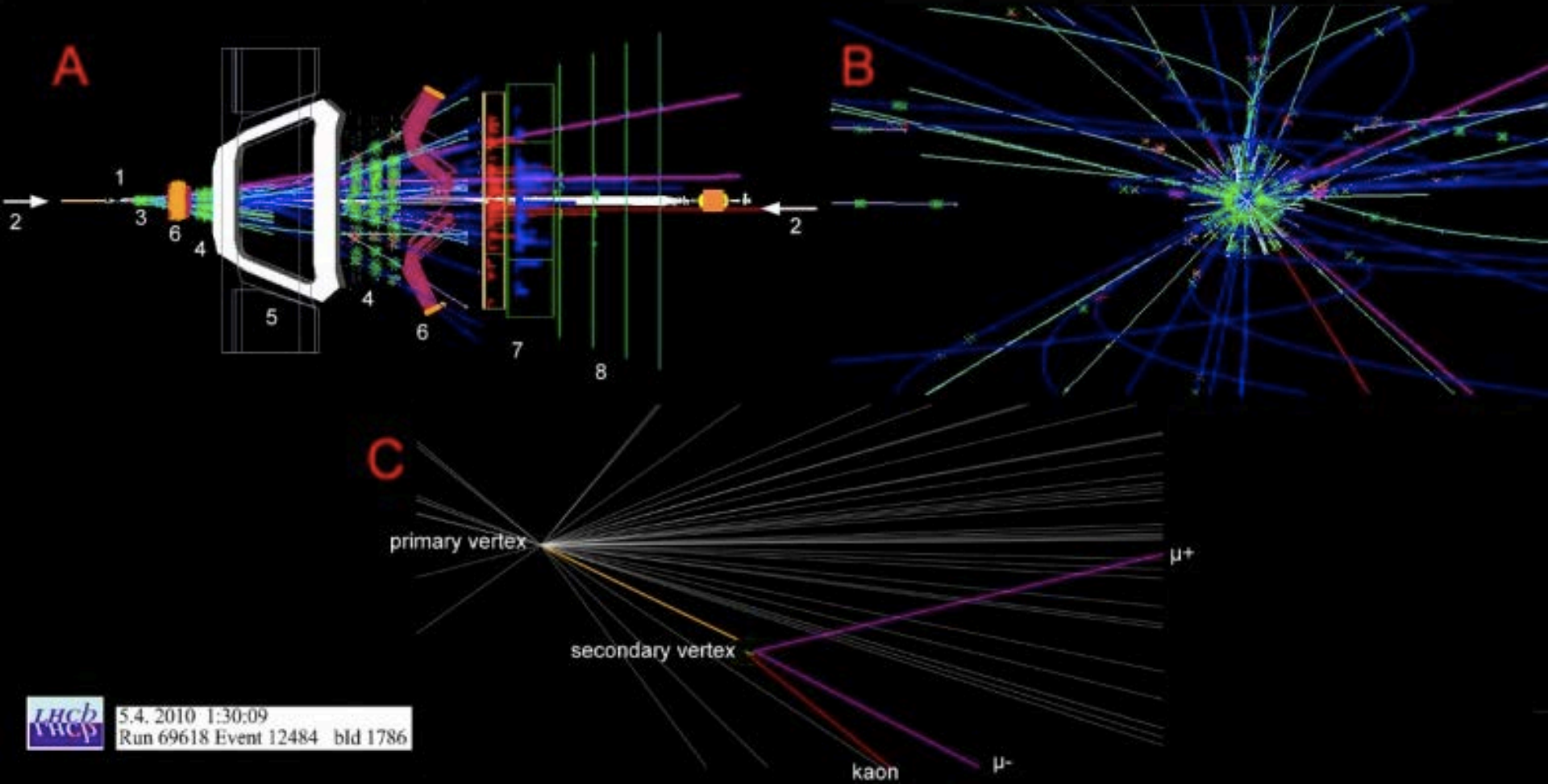
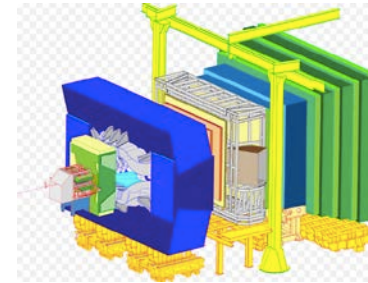
Victor Renaudin & Yasmine Amhis

Rappels au cas où ...

- L'ordinateur sert uniquement à réaliser les exercices LHCb
- Pas de « surf » sur internet
- On ne lit pas sa messagerie
- On n'envoie pas d'e-mails
- On ne met pas sa page Facebook à jour
- On ne télécharge rien, ni chanson, ni film, ni ...
- Pas de jeu en ligne
- Etc. Etc. Etc.
- En fin de journée vous présenterez vos résultats à d'autres lycéens et à des chercheurs du LHC !
- A vous d'être scientifiques, productifs et ... rigoureux !!!!



Des événements dans



Est ce que tous les événements enregistrés par LHCb sont intéressants?

Signal

Bruit de fond

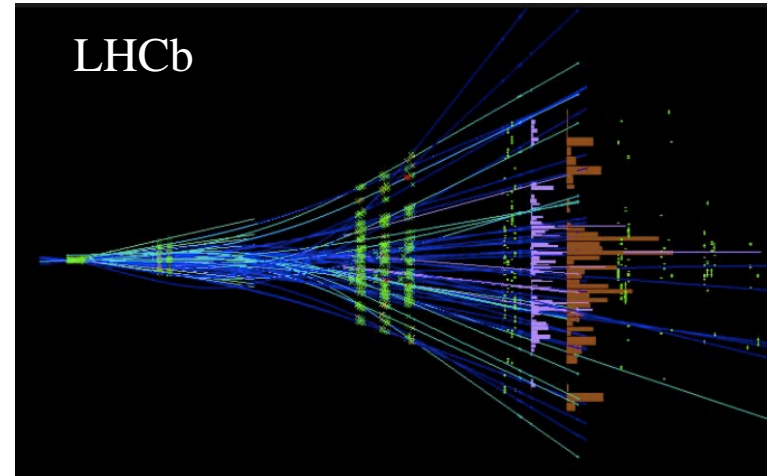
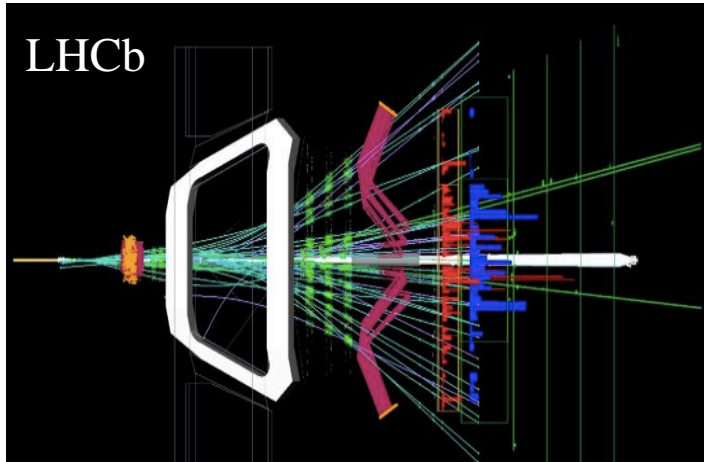
Tous les événements produits sont ils intéressants?

Signal

Bruit de fond



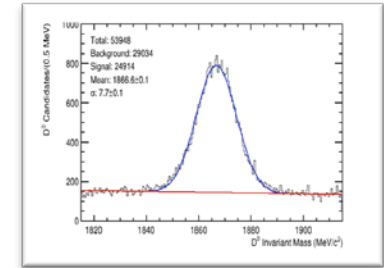
Comment isoler les événements de signal?



Comment isoler les événements de signal?

D^0

Variable
discriminante
?



Masse
invariante
du D^0

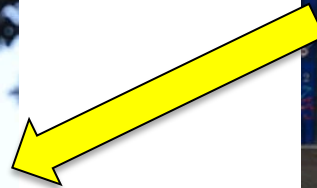
Séparation du
signal et du
bruit de fond

Mesure du
temps de
vie du D^0

Soyons précis



Soyons précis



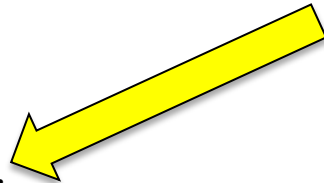
Quelle est la couleur
de la voiture ?

Soyons précis



Quelle est la couleur
de la voiture ?

Rouge, Verte, Jaune, Bleue etc...



Soyons précis



Rouge, Verte, Jaune, Bleue etc...

Quelle est la couleur
de la voiture ?

Plus le nombre de personnes a qui on
pose la question est grand

Plus on a de chance de s'approcher de la vérité !

Une mesure sans son incertitude?



Cela n'a pas de sens !

Quelle est la précision de ma mesure?

Il n'y a pas de règle absolue !

En l'absence de bruit de fond et pour un échantillon contenant N événements de signal, alors on peut mesurer les propriétés du signal, comme le temps de vie avec une précision relative de

$$(100/\sqrt{N})\%$$

Quelle est la précision de ma mesure?

Il n'y a pas de règle absolue !

En l'absence de bruit de fond et pour un échantillon contenant N événements de signal, alors on peut mesurer les propriétés du signal, comme le temps de vie avec une précision relative de $(100/\sqrt{N})\%$

100 Événements \rightarrow précision de 10.0%

Quelle est la précision de ma mesure?

Il n'y a pas de règle absolue !

En l'absence de bruit de fond et pour un échantillon contenant N événements de signal, alors on peut mesurer les propriétés du signal, comme le temps de vie avec une précision relative de $(100/\sqrt{N})\%$

100 Événements \rightarrow précision de 10.0%

10000 Événements \rightarrow précision de 1.00%

Quelle est la précision de ma mesure?

Il n'y a pas de règle absolue !

En l'absence de bruit de fond et pour un échantillon contenant N événements de signal, alors on peut mesurer les propriétés du signal, comme le temps de vie avec une précision relative de $(100/\sqrt{N})\%$

100	Événements	→	précision de 10.0%
10000	Événements	→	précision de 1.00%
1000000	Événements	→	précision de 0.10%

Quelle est la précision de ma mesure?

Il n'y a pas de règle absolue !

En l'absence de bruit de fond et pour un échantillon contenant N événements de signal, alors on peut mesurer les propriétés du signal, comme le temps de vie avec une précision relative de $(100/\sqrt{N})\%$

100	Evénements	→	précision de 10.0%
10000	Evénements	→	précision de 1.00%
1000000	Evénements	→	précision de 0.10%
100000000	Evénements	→	précision de 0.01%

Quelle est la précision de ma mesure?

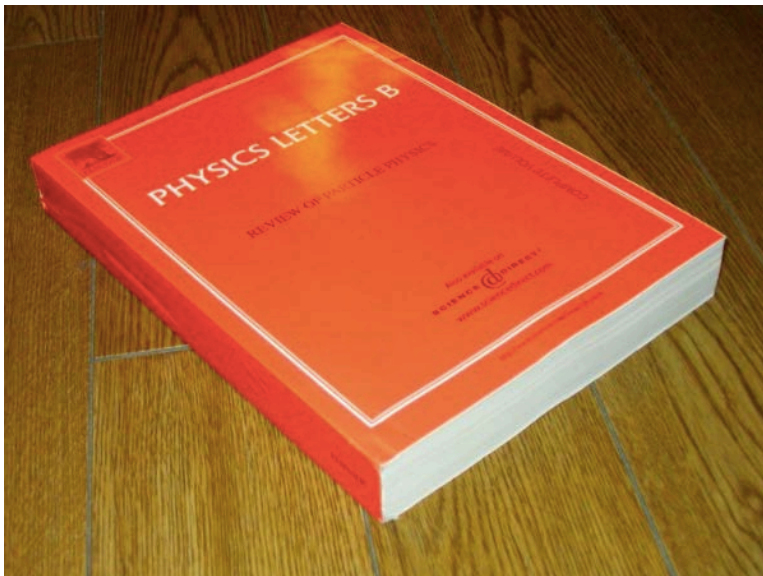
Il n'y a pas de règle absolue !

En l'absence de bruit de fond et pour un échantillon contenant N événements de signal, alors on peut mesurer les propriétés du signal, comme le temps de vie avec une précision relative de $(100/\sqrt{N})\%$

100	Evénements	→	précision de 10.0%
10000	Evénements	→	précision de 1.00%
1000000	Evénements	→	précision de 0.10%
100000000	Evénements	→	précision de 0.01%



Quelle est la précision atteinte par les autres expériences?



2013 Review of Particle Physics.
Please use this CITATION: J. Beringer *et al.* (Particle Data Group), Phys. Rev. D86, 010001 (2012) and 2013 partial update for the 2014 edition.

D^0 [INSPIRE search](#)

Mini Reviews

$D^0 - \bar{D}^0$ Mixing

D^0 MASS	1864.86 ± 0.13 MeV ($S = 1.0$)
$m_{D^+} - m_{D^0}$	4.76 ± 0.10 MeV ($S = 1.1$)
D^0 MEAN LIFE	$(4.101 \pm 0.015) \times 10^{-13}$ s
$ m_{D_1^0} - m_{D_2^0} = x \Gamma$	$(11.8^{+4.3}_{-4.7}) \times 10^9 \hbar \text{ s}^{-1}$
$(\Gamma_{D_1^0} - \Gamma_{D_2^0})/\Gamma = 2y$	$(1.43 \pm 0.19) \times 10^{-2}$
$ q/p $	$0.67^{+0.18}_{-0.14}$
A_Γ	$(-0.22 \pm 1.61) \times 10^{-3}$
$\cos \delta$	$0.81^{+0.23}_{-0.19}$

<http://pdg.lbl.gov>

On regarde dans le PDG qui répertorie toutes les mesures de physiques des particules !

Quelle est la précision de ma mesure?

Il n'y a pas de règle absolue !

En l'absence de bruit de fond et pour un échantillon contenant N événements de signal, alors on peut mesurer les propriétés du signal, comme le temps de vie avec une précision relative de $(100/\sqrt{N})\%$

100	Evénements	→	précision de 10.0%
10000	Evénements	→	précision de 1.00%
1000000	Evénements	→	précision de 0.10%
100000000	Evénements	→	précision de 0.01%



Quelle est la précision de ma mesure?

Il n'y a pas de règle absolue.

En l'absence de bruit de fond et pour un échantillon contenant N événements de signal, alors on peut mesurer les propriétés du signal, comme le temps de vie avec une précision relative de $(100/\sqrt{N})\%$

100	Evénements	→	précision de 10.0%
10000	Evénements	→	précision de 1.00%
1000000	Evénements	→	précision de 0.10%
100000000	Evénements	→	précision de 0.01%



D^0 Mean lifetime $(0.4101 \pm 0.0015) \times 10^{-12} s$



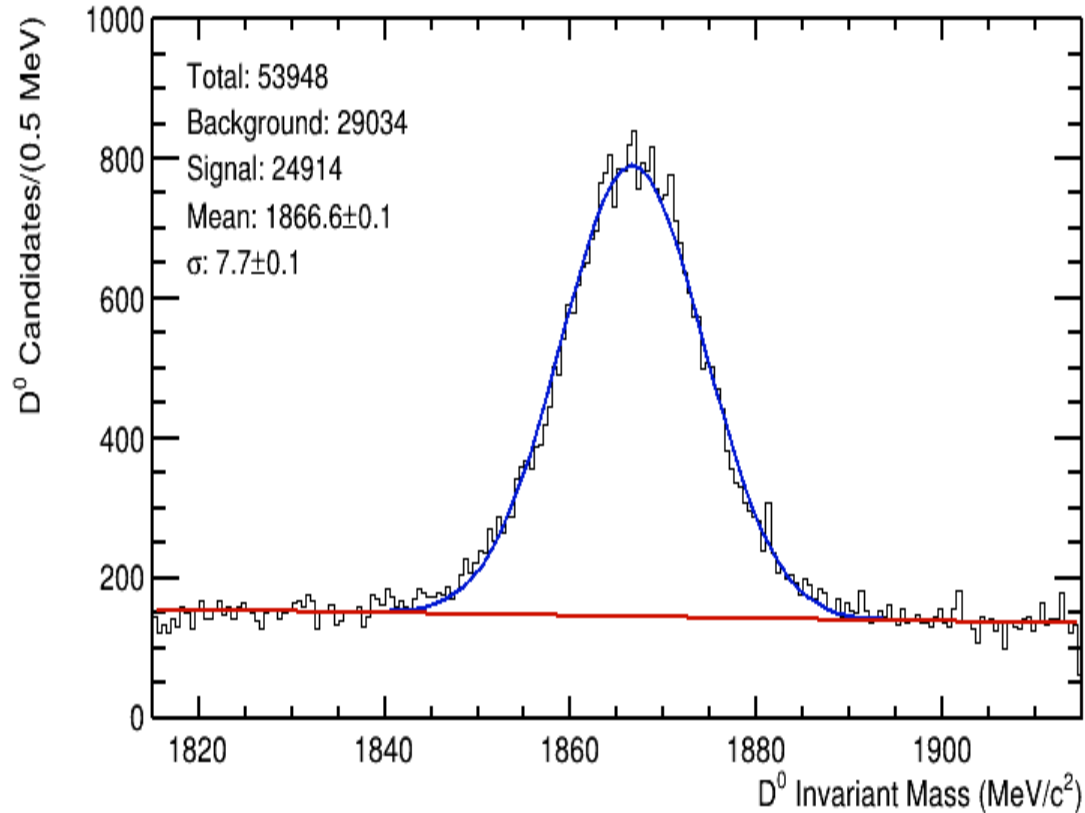
L'exercice – a vous de jouer !

Le but de l'exercice est :

- Vous donnez un aperçu des données du LHC.
- Vous apprenez à sélectionner des particules détectées par LHCb.
- Vous apprenez à “ajuster” les données pour mesurer des propriétés des particules.
- Vous apprenez ce que sont les effets systématiques dans une mesure.

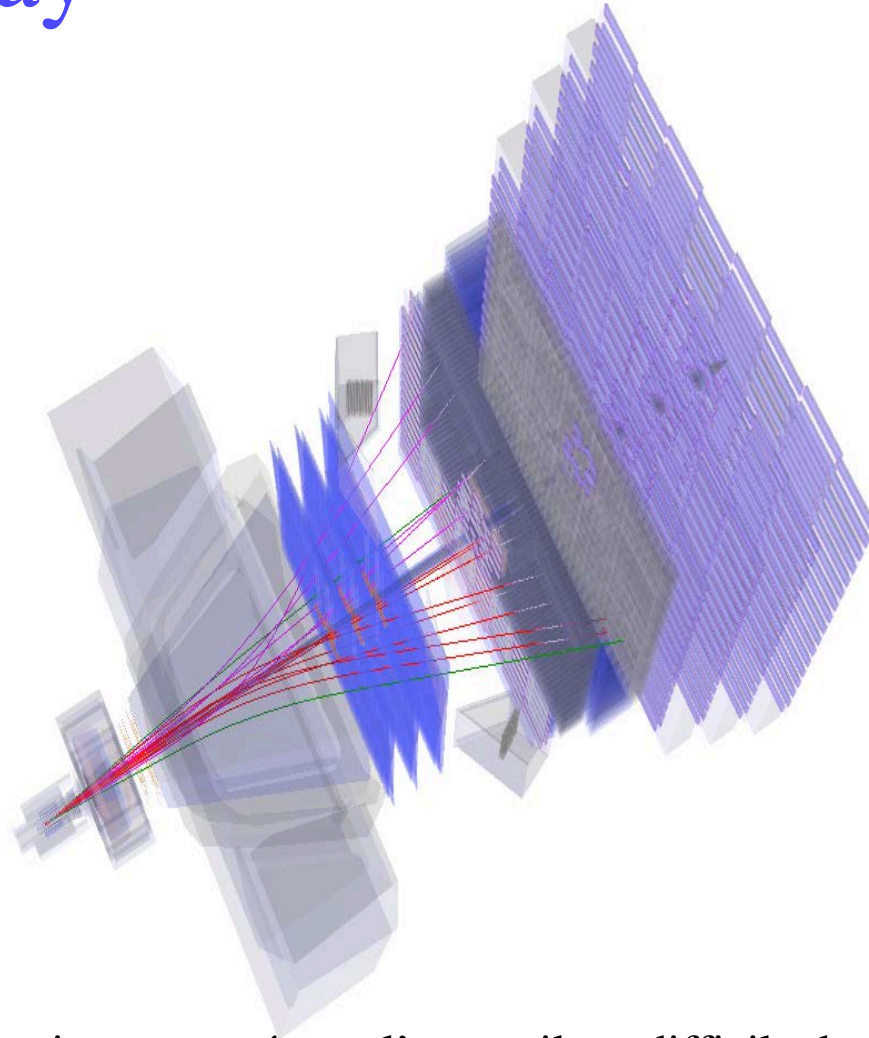


Données pour l'exercice



Evénements $D^0 \rightarrow K\pi$ des données de 2012, on commence par la distribution de la masse invariante.

Event display



LHCb est un détecteur instrumenté vers l'avant, il est difficile de regarder tout le détecteur en même temps. On fait des Zooms près du point d'interaction pour trouver des vertex déplacés.

Les outils pour l'analyse

Help

Zoom gives you closer look at collision

Click on the track to find out about particle properties

Carefully choose particles you want to save, because out of them you get a new mass which might not be right!

Add and Draw your results on histogram. Don't forget to save histogram when you finish!

Hint shows you the hidden D0 and its children

Transparent view gives you a better look at particle tracks and the LHCb detector

Fullscreen shows the full view of LHCb detector and particle tracks

You can hide the geometry to see all the particle tracks.

View

Hide Geometry
 Transparency

Event manager

Event number: 3

Particle Info

Name	pi+	
Mass	139.57	MeV/c ²
E	5498.92	MeV
q	1.00	
chi2	0.59	
px	-125.11	MeV/c
py	649.90	MeV/c
pz	5458.96	MeV/c

Save Particle

My Particles

My particle: K-
My particle: pi+

Calculate Delete

Mass 1821.14

Histogram

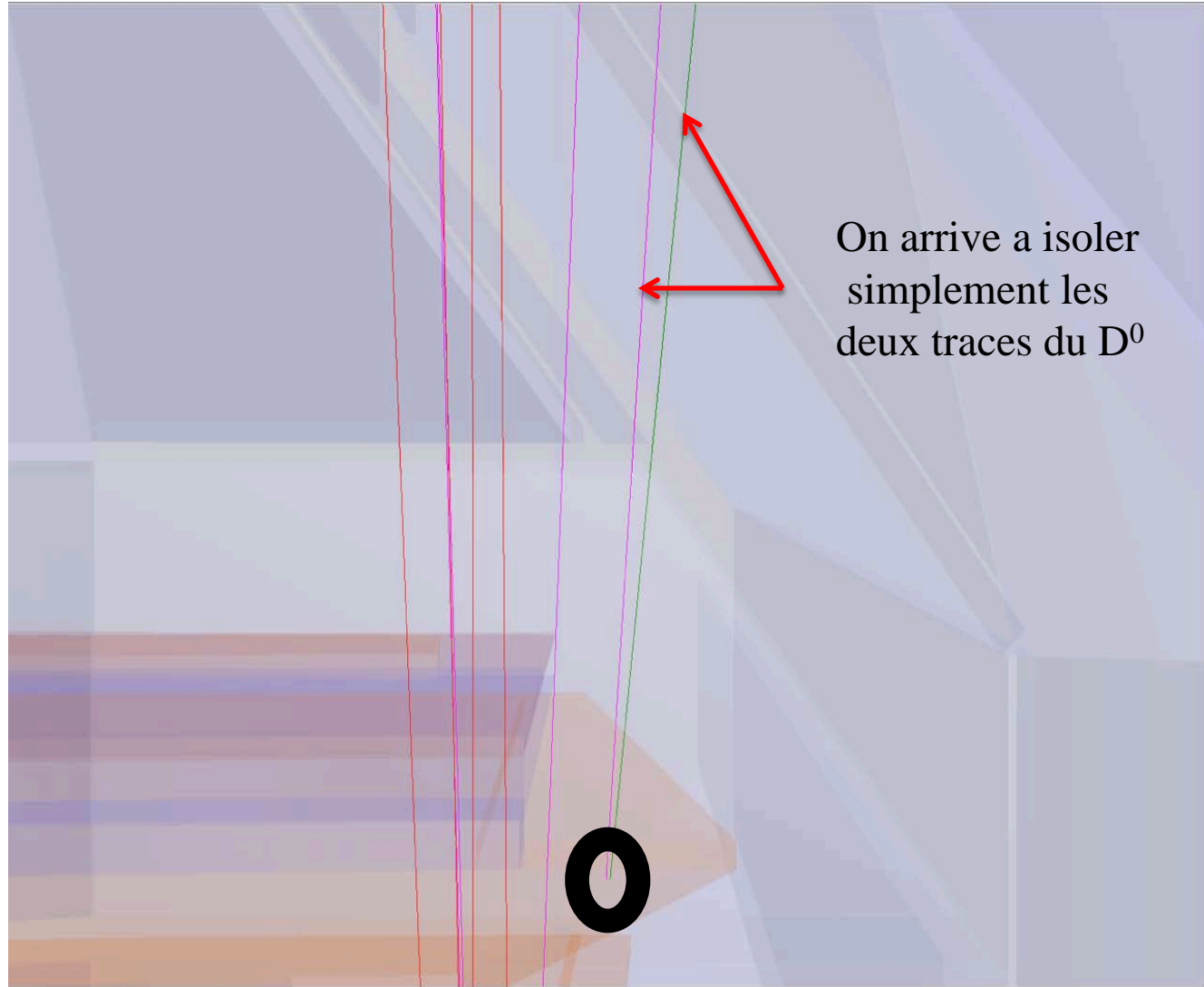
Add Draw

Save Histogram

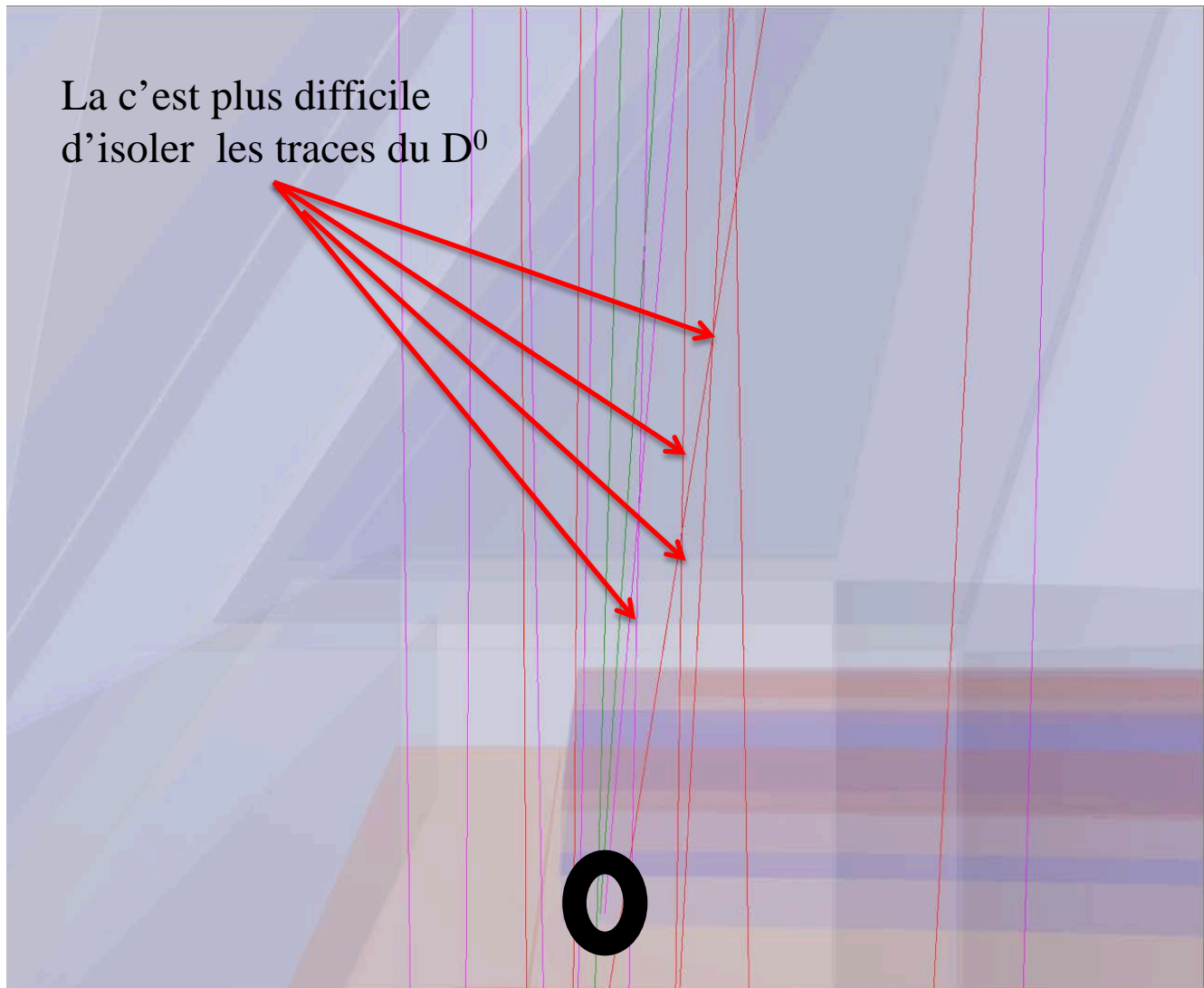
Legend

- K- █
- K+ █
- pi- █
- pi+ █
- D0 █

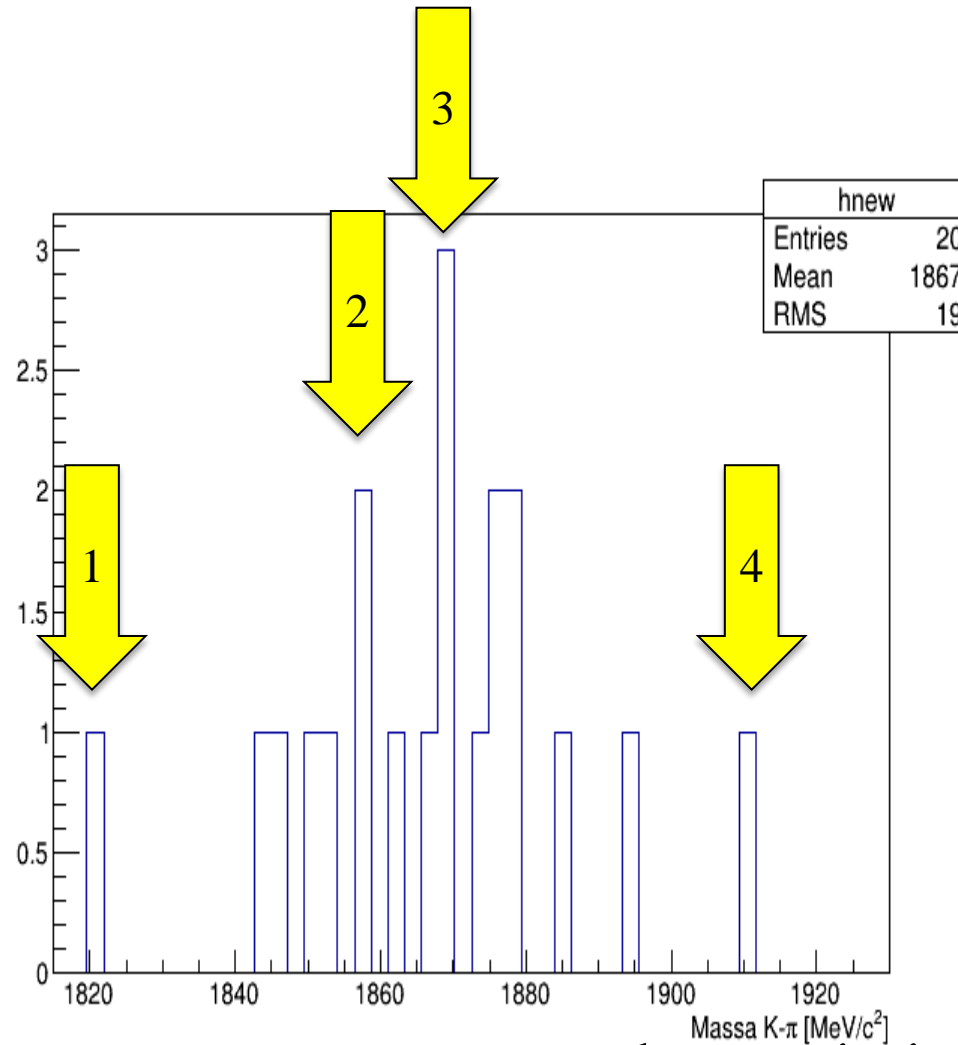
Un événement “simple”



Un événement plus compliqué

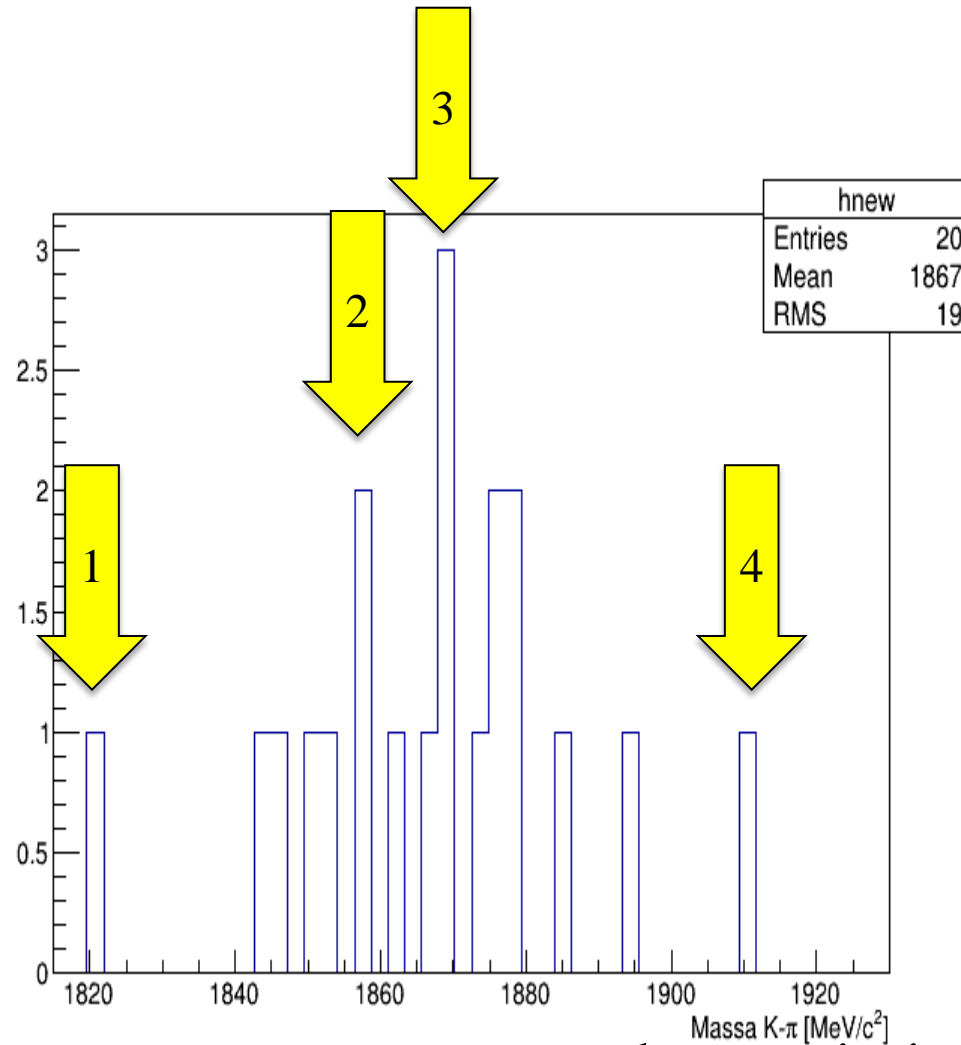


Un exemple d'histogramme



Chaque « coup » correspond a un événement !

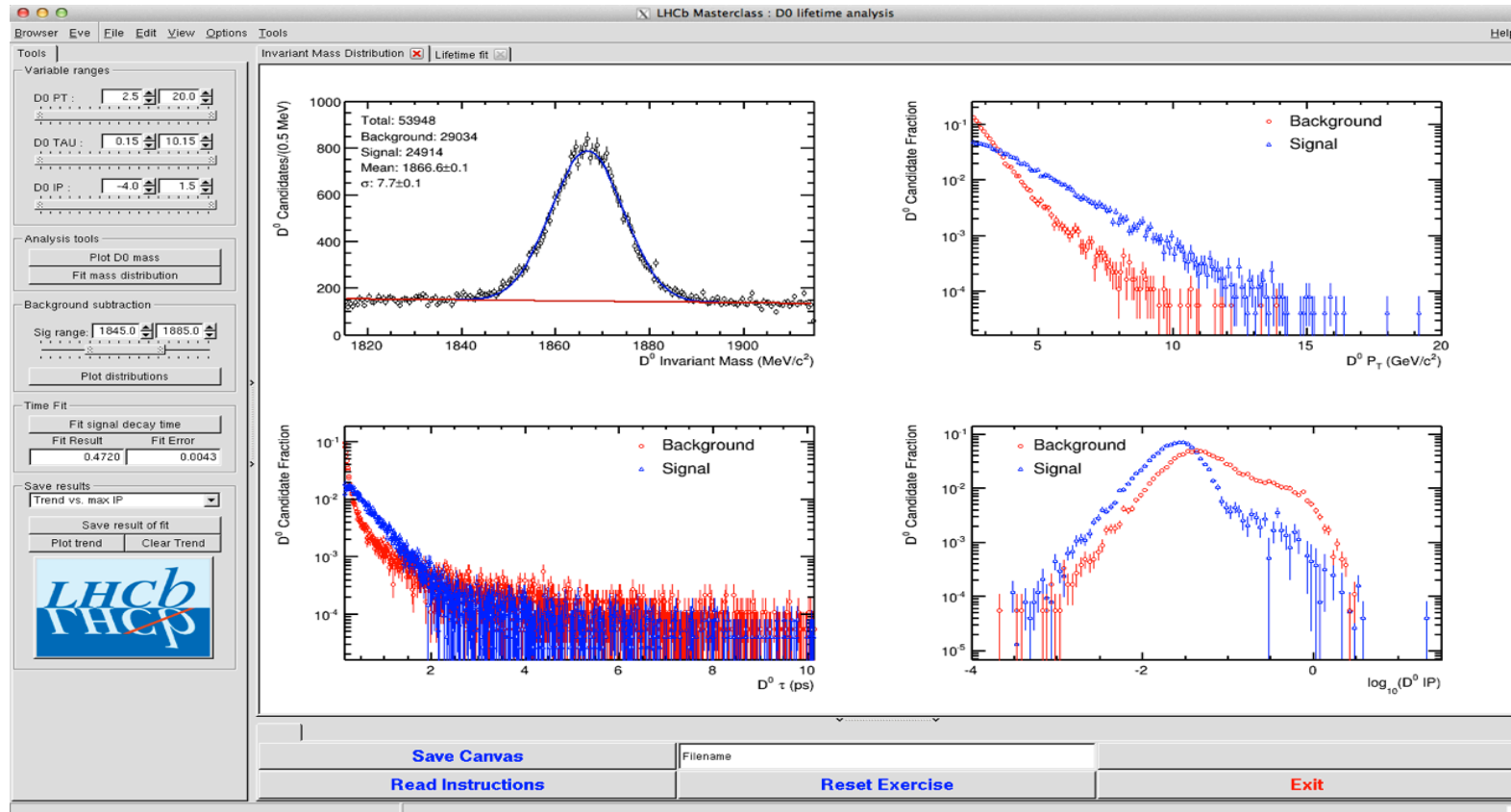
Un exemple d'histogramme



Chaque « coup » correspond a un événement !

Nous allons récolter vos résultats pour les discuter avec les collègues au CERN !

Estimer le temps de vie du D^0 !



Un fois que vous aurez fini de chercher des événements, vous allez utiliser un plus gros échantillon de données pour mesurer le temps de vie du D^0 .

Le manuel en ligne

Si vous êtes perdu,
vous pouvez lire
le manuel 😊

<https://indico.lal.in2p3.fr/materialDisplay.py?contribId=1&sess=2412>

LHCb Masterclass : Mesurer le temps de vie de la particule charmée D^0 au LHC

1 Introduction

Le grand collisionneur de hadrons (LHC pour Large Hadron Collider) permet aux physiciens des particules élémentaires d'étudier l'Univers à la plus haute énergie atteinte par un accélérateur de particules à ce jour (de l'ordre d'une dizaine de TeV). Cette énergie inédite a permis de produire et d'observer la seule particule prédite par le Modèle Standard de la Physique des Particules (MS) dont la détection avait échappé aux précédentes générations d'expériences. Le LHC est également un outil incomparable pour produire en grande quantité des particules dont l'existence est établie depuis longtemps. Les grandes statistiques enregistrées par les expériences du LHC permettent toutefois d'étudier finement leurs propriétés et de les comparer aux prédictions du MS pour mettre en évidence des déviations qui pourraient signaler l'existence d'une Physique inconnue.

Les particules charmées (qui contiennent un quark charmé), identifiées pour la première fois au milieu des années 1970 font partie de cette classe de particules dont l'étude précise des propriétés pourrait révéler des surprises. Une collision de protons au LHC sur dix produit une particule charmée. L'expérience LHCb a déjà enregistré plus d'un milliard d'événements contenant la désintégration de telle particules.

La production abondante des particules charmées s'accompagne d'une production non moins abondante de bruits de fond. Une des missions du physicien est de distinguer les particules charmées authentiques dans le détecteur (le signal) des combinaisons qui leur ressemblent (le bruit de fond). Nous vous proposons dans cet exercice de suivre nos traces en explorant le résultat d'une sélection de collisions de protons enregistrées en 2011 par l'expérience LHCb, dans laquelle signal et bruit de fond d'une particule charmée sont présents. Les grandes étapes de l'exercice sont les suivantes :

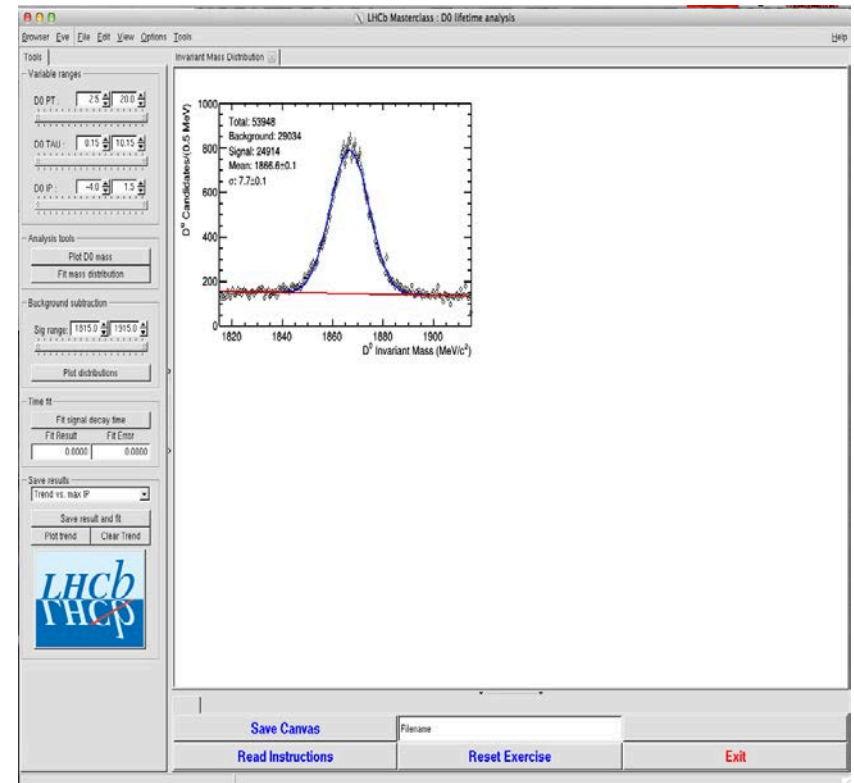
1. Utiliser le visualisateur d'événements du spectromètre LHCb pour rechercher des particules charmées en séparant le signal des bruits de fond.
2. Reconstruire la masse de la particule charmée à partir des informations enregistrées par le détecteur sur ses produits de désintégration.
3. Ajuster aux données un modèle qui décrit la distribution de masse du signal et du bruit de fond afin de déterminer leurs nombres et proportions relatives.
4. Nous nous intéresserons en premier lieu au temps de vie d'une particule charmée. Tout comme les décroissances radioactives, la désintégration d'une particule est un phénomène aléatoire qui répond à une loi exponentielle, dont vous allez mesurer les paramètres.

Dans le modèle des quarks, la particule D^0 est un édifice composé d'un quark charme (noté c) et d'un antiquark haut (u , noté \bar{u}). La désintégration reconstruite dans le spectromètre LHCb est $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$, avec K^- ($\bar{u}s$) un kaon de charge électrique élémentaire négative et π^+ ($u\bar{d}$) un pion de charge élémentaire positive. Ces deux particules sont mesurées par le système de trajectographie du spectromètre LHCb. L'exercice débute avec une sélection initiale qui permet d'observer le signal. Faisons d'abord un tour d'horizon du détecteur LHCb, représenté sur la Figure 1. LHCb est un spectromètre qui couvre la région angulaire comprise entre $0,7^\circ$ et 15° par rapport à la ligne des faisceaux, portée par l'axe z .

Le détecteur comprend un système de trajectographie dont l'objectif est de reconstruire la trajectoire des particules chargées qui le traversent et de mesurer leur énergie de vitesse (impulsion, notée pc où c est la célérité de la lumière dans le vide). En partant du point de collision des faisceaux vers l'extérieur du détecteur, ce système se compose d'un détecteur Silicium à haute résolution (VELO, pour Vertex Locator) chargé de reconstruire le lieu des collisions proton-proton ainsi que ceux des désintégrations de particules similaires à celles que vous allez étudier, puis d'un ensemble de quatre

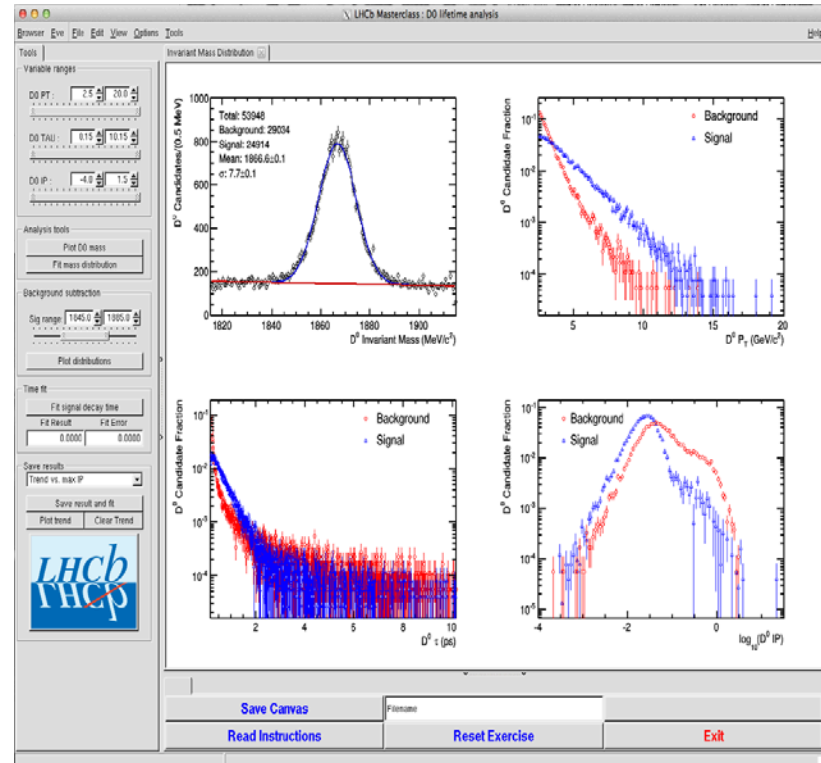
Ajuster la masse

La première étape est
d'ajuster la masse
pour identifier
le signal et le bruit de fond



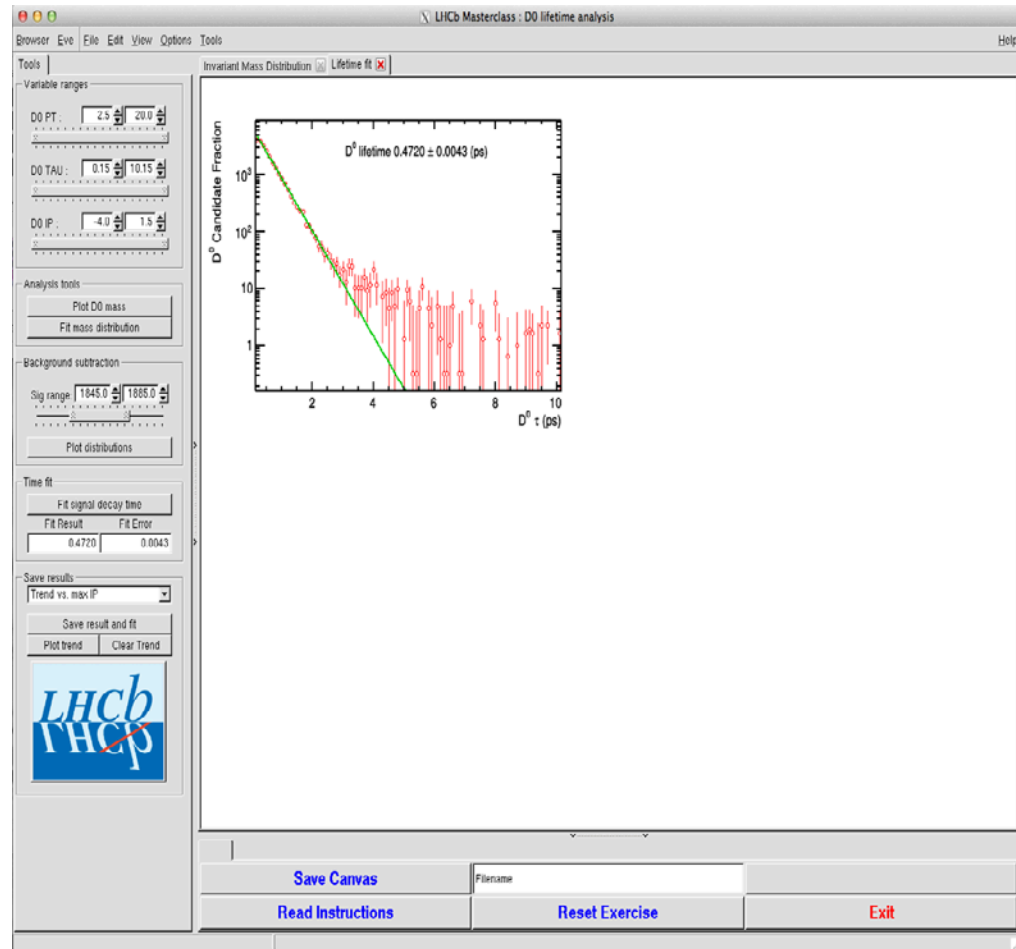
Afficher les distributions des autres variables

Maintenant, vous pouvez estimer les distributions des autres variables du signal et du bruit de fond



Afficher les distributions

On fait la mesure du temps de vie du D^0 ! Est ce que votre resultat est en accord avec le PDG?



Concepts importants

Mesure

Précision

Signal

Masse

Temps de
vie

Histo

Bruit de
fond

Thanks to Bolek and Vava for providing the material for the exercise.