

# **Looking for strange particles in ALICE**

**lundi, 10 avril 2017**

Motivation de Physique	3
Le système de détecteurs ALICE	3
La physique de ALICE	3
Augmentation de l'étrangeté, une signature du plasma de quarks et de gluons	4
Les particules étranges	5
Analyse visuelle	5
La mission	5
Calcul de la masse (invariante)	6
L'outil	8
L'exercice : Trouvez les hadrons étranges	11
Présentation des résultats	12
Regroupement des résultats	13
Analyse statistique élevée	13

# Motivation de Physique

L'exercice proposé ici consiste à rechercher des particules étranges produites dans des collisions du LHC et enregistrées par l'expérience ALICE. L'exercice est basé sur l'identification de leur décroissance caractéristique appelée décroissance V0, telle que  $K_S^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ ,  $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$  et décroissance cascade telle que  $\Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^- (\Lambda \rightarrow p + \pi^-)$ . L'identification des particules étranges est basée sur la topologie de leur décroissance associée à l'identification des produits de décroissance; l'information sur les traces des particules détectées par ALICE est utilisée pour calculer la masse invariante des particules de décroissance et pour confirmer la nature de la particule d'origine.

Dans ce qui suit, nous présenterons d'abord brièvement l'expérience ALICE et ses objectifs scientifiques puis nous discuterons les motivations de physique à l'origine de cet exercice. La méthode utilisée pour l'identification des particules étranges ainsi que les outils associés sont décrits en détail. Puis, toutes les étapes de l'exercice sont expliquées suivi de la présentation des résultats ainsi que de la méthode permettant d'acquérir ces résultats. Un dernier exercice présente une analyse à grande échelle.

---

## Le système de détecteurs ALICE

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) est l'une des quatre grandes expériences du LHC (Large Hadron Collider) au CERN. ALICE a été conçue pour l'étude des ions lourds. L'expérience étudie également les collisions proton-proton (pp), qui en premier lieu fournissent les données de référence pour le programme ion lourd, mais permettent aussi d'effectuer un certain nombre d'études de physiques propres aux collisions pp.

La conception du détecteur ALICE permet de s'accommoder des multiplicités de particules les plus élevées attendues dans les collisions entre noyaux de plomb aux énergies extrêmes du LHC. L'expérience est constituée de plusieurs sous détecteurs différents. Le tonneau central comprend: ITS (Inner Tracking System), constitué de trois systèmes silicium de haute résolution chacun comprenant 2 couches, TPC (Time Projection Chamber), TRD (Transition Radiation Detector), TOF (Time Of Flight detector), HMPID (High Momentum Particle Identification Detector), deux calorimètres électromagnétiques EMCal et PHOS et ACCORDE, dédié à la détection du rayonnement cosmique. Pour l'analyse qui nous concerne, nous utiliserons principalement TPC et jusqu'à un certain point ITS.

---

## La physique de ALICE

Les quarks sont liés pour former des protons et des neutrons par une force appelée l'interaction forte dont la particule médiatrice est appelée gluon. L'interaction forte lie également les protons et les neutrons pour former le noyau atomique.

Bien que nous pensons que les quarks sont des particules élémentaires à partir desquels tous les types connus de hadrons sont formés, il n'a pas été possible d'observer jusqu'à présent l'existence de quarks libres : les quarks semblent être liés à jamais et confinés à

l'intérieur de particules composites telles que les protons ou les neutrons. This is known as confinement. Le nom confinement a été donné à ce phénomène dont le mécanisme à son origine reste aujourd'hui inconnu.

Bien que la physique de l'interaction forte soit bien comprise, il reste à expliquer deux phénomènes: l'origine du confinement d'abord et le mécanisme de génération de la masse ensuite. Les physiciens supputent que l'origine de ces deux mystères seraient liée à la façon dont l'interaction forte modifie les propriétés du vide quantique.

La théorie actuelle de l'interaction forte, appelée la Chromodynamique Quantique, prédit qu'à très hautes températures et à très grandes densités d'énergie, les quarks ne sont plus confinés à l'intérieur de particules composites. Au contraire, ils devraient exister libres dans un nouvel état de la matière appelé le plasma de quarks et de gluons.

Une telle transition devrait avoir lieu quand la température excède une valeur critique estimée égale à peu près à une température 10.000 fois plus élevées que la température au coeur du soleil ! De telles températures n'existe plus dans la nature depuis la naissance de l'Univers. Les scientifiques pensent que pendant les première milliardièmes de seconde après le Big Bang, la température de l'Univers était au delà de cette chaleur critique et qu'ainsi toute la matière de l'Univers était dans l'état de plasma de quarks et gluons.

Lorsque deux ions lourds entrent en collision à des vitesses proches de celle de la vitesse de la lumière, ces conditions extrêmes de température peuvent être recréées pour affranchir les quarks et les gluons de leur emprise hadronique. Ces quarks et gluons libérés, par une succession de collisions vont former un milieu en équilibre thermodynamique: le plasma de quarks et de gluons. Le plasma va ensuite se refroidir jusqu'à la température critique ( $10^{12}$  degrees) à partir de laquelle les quarks vont se regrouper pour former de la matière ordinaire, à peine  $10^{-23}$  seconds après le début de la collision. L'objectif de ALICE est d'étudier la formation et les propriétés de cet état de la matière.

---

## Augmentation de l'étrangeté, une signature du plasma de quarks et de gluons

Une des façons d'établir l'existence du plasma de quarks et de gluons et d'en déterminer les propriétés passe par l'observation d'un type de quark qui n'existe pas dans la matière actuelle. La signature expérimentale recherchée est l'augmentation de l'étrangeté telle qu'elle a été proposée dès 1980. Contrairement aux quarks up et down, les quarks étranges ne sont pas présents dans le système des noyaux en collision. Ainsi tout quark ou anti-quark étrange observé lors d'une collision doit forcément être créé à partir de l'énergie cinétique de la collision. Il se trouve que la masse du quark étrange est du même ordre que la température critique au delà de laquelle les protons et les neutrons ainsi que tous les autres hadrons sont dissouts en leurs constituants élémentaires. Ceci implique que l'abondance de quarks étranges est une bonne sonde des conditions thermodynamiques de la phase déconfinée de la matière et si le nombre de quarks étranges produits dans la collision est suffisamment grand il sera possible de confirmer que les conditions du déconfinement ont bien été atteintes.

Expérimentalement, l'augmentation d'étrangeté peut être déterminée en comptant le nombre de particules étranges, c'est-à-dire les particules formées d'au moins un quark étrange, et en calculant ensuite la fraction de particules étranges parmi toutes les particules produites. Si cette fraction est supérieure à celle calculée par les modèles théoriques qui ne prédisent pas la formation du plasma de quarks et de gluons, alors on peut parler d'augmentation de l'étrangeté.

Il est également possible de déterminer l'augmentation de l'étrangeté en comparant le nombre de particules étranges normalisé au nombre de nucléons participant à la collision produites dans les collisions ions-lourds avec la même quantité pour les collisions pp.

---

## Les particules étranges

Les particules étranges sont des hadrons constitués d'au moins un quark étrange. Elles sont caractérisées par le nombre quantique appelé étrangeté. Le méson neutre étrange le plus léger est le méson  $K_s^0(d\bar{s})$  et le baryon neutre étrange le plus léger est le baryon  $\Lambda(uds)$  faisant partie de la famille des hypérons.

Il vous est proposé d'étudier la décroissance de ces deux particules, par exemple  $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ ,  $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ . Dans ces décroissances le nombre quantique étrangeté n'est pas conservé puisque les particules de décroissance ne sont composées que de quarks u et down. Il ne s'agit donc pas de décroissance forte (qui par ailleurs induirait des temps de vie très courts, de l'ordre de  $\tau = 10^{-23}$  s) mais de décroissance faible où l'étrangeté peut être soit conservée ( $\Delta S=0$ ) soit changée d'une unité ( $\Delta S=1$ ). Pour ces décroissances la durée de vie de la particule mère est comprise entre  $10^{-8}$  s and  $10^{-10}$  s. Pour des particules se déplaçant à des vitesses proches de la vitesse de la lumière, la décroissance sera localisée en moyenne autour de quelques cm du point de production (c'est-à-dire le point d'interaction).

## Analyse visuelle

---

### La mission

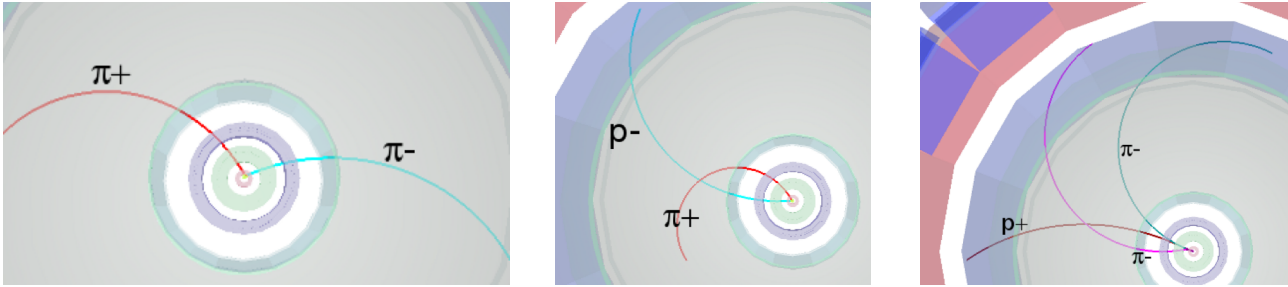
Le but de l'exercice est de rechercher les particules étranges produites dans des collisions du LHC et enregistrées par l'expérience ALICE.

Comme expliqué précédemment, les particules étranges ont une durée de vie courte, elles décroissent rapidement après qu'elles aient été produites. Elles vivent cependant suffisamment longtemps pour parcourir quelques cm à partir du point d'interaction où elles ont été produites (vertex primaire). Notre recherche s'appuie donc sur l'identification de leurs produits de décroissance qui doivent émerger d'un même vertex secondaire.

Les particules étranges neutres, telle que le méson  $K_s^0$  et le baryon  $\Lambda$ , décroissent en créant une topologie caractéristique appelée V0. La particule mère en disparaissant à quelques cm du point d'interaction donne naissance à deux particules de charges opposées qui sont incurvées dans des directions opposées sous l'effet du champ magnétique créé par l'aimant solénoïde de ALICE.

Par la suite, les traces marquées en rouge indiquent les particules chargées positivement et les traces marquées en vert les particules chargées négativement.

Les 3 modes de décroissance que nous rechercherons sont représentés dans la Figure 1.



**FIGURE 1: MODES DE DÉCROISSANCE DES PARTICULES ÉTRANGES RECHERCHÉES DANS L'EXERCICE. DE GAUCHE À DROITE:  $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ ,  $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ ,  $\bar{\Lambda} \rightarrow p^- + \pi^+$ .**

La recherche des topologies V0 est basée sur la géométrie et l'identification des produits de décroissance.

### Calcul de la masse (invariante)

Une confirmation de l'identité de la particule mère est fournie par la valeur de sa masse dont le calcul est basé sur les données masse et quantité de mouvement des produits de décroissance.

Considérons la décroissance du kaon neutre en deux pions :  $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ .

Soient  $E, \vec{p}, m$  l'énergie totale, le vecteur quantité de mouvement et la masse de la particule mère ( $K_s^0$ ).

Soient  $E_1, \vec{p}_1, m_1$  l'énergie totale, le vecteur quantité de mouvement et la masse de la première particule de décroissance ( $\pi^+$ ) et  $E_2, \vec{p}_2, m_2$  l'énergie totale, le vecteur quantité de mouvement et la masse de la deuxième particule de décroissance ( $\pi^-$ ).

La conservation de l'énergie du mécanisme de décroissance s'écrit :

$$E = E_1 + E_2 \quad (1)$$

La conservation de la quantité de mouvement s'écrit :

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 \quad (2)$$

La relativité restreinte impose la relation entre énergie, quantité de mouvement et masse suivante, en supposant par convention  $c$ (vitesse de la lumière) = 1 :

$$E^2 = p^2 + m^2 \quad (3)$$

où  $p = |\vec{p}|$  est la longueur du vecteur quantité de mouvement.

Les mêmes relations s'appliquent évidemment pour les particules de décroissance:

$$E_1^2 = p_1^2 + m_1^2 \quad (4)$$

$$E_2^2 = p_2^2 + m_2^2 \quad (5)$$

où where  $p_1 = |\vec{p}_1|$  et  $p_2 = |\vec{p}_2|$  sont les longueurs des vecteurs quantité de mouvement des deux particules de décroissance.

A partir des relations précédentes, on peut déduire le calcul de la masse de la particule mère comme suit :

$$m^2 = E^2 - p^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 - \vec{p}_1 \cdot \vec{p}_1 - \vec{p}_2 \cdot \vec{p}_2 - 2\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 \quad (6)$$

où nous avons introduit le produit scalaire  $\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2$  des deux vecteurs  $\vec{p}_1$  et  $\vec{p}_2$ , qui est égal à la somme des produits des composantes  $x, y, z$  des deux vecteurs :

$$\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 = p_{1x}p_{2x} + p_{1y}p_{2y} + p_{1z}p_{2z} \quad (7)$$

$$\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_1 = p_{1x}^2 + p_{1y}^2 + p_{1z}^2 = p_1^2 \quad (8)$$

$$\vec{p}_2 \cdot \vec{p}_2 = p_{2x}^2 + p_{2y}^2 + p_{2z}^2 = p_2^2 \quad (9)$$

L'équation (6) peut alors se réécrire de la façon suivante :

$$\begin{aligned} m^2 &= E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 - p_1^2 - p_2^2 - 2\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 \\ &= m_1^2 + m_2^2 + 2E_1E_2 - 2\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 \end{aligned} \quad (10)$$

La masse de la particule mère peut ainsi être calculée à partir de la masse et des composants de la quantité de mouvement des particules filles.

Les masses des particules filles  $m_1$  et  $m_2$  sont connues puisque un certain nombre de détecteurs différents dans ALICE permettent d'identifier les particules.

Les impulsions des particules filles  $\vec{p}_1$  et  $\vec{p}_2$  sont obtenues en mesurant le rayon de courbure de leur trajectoire dans le champ magnétique dont la valeur est connue. Pour cette exercice, nous utiliserons les trois composantes du vecteur quantité de mouvement de chaque grave associée avec une décroissance de type V0 en suivant les équations ci-dessus.

Le calcul de la masse invariante donne lieu à des distributions comme celles représentées dans la figure 2. La distribution dans le panneau gauche de la figure est la masse calculée pour des paires de pion-proton; le pic correspond au baryon  $\Lambda$  et le continuum est un fond dû à des associations aléatoires de pions et de protons qui semblent provenir du même vertex secondaire mais qui ont été mal identifiés. La distribution dans le panneau de droite représente la masse calculée pour des paires de pions de signe opposé. Le pic identifie le méson  $K_s^0$ .

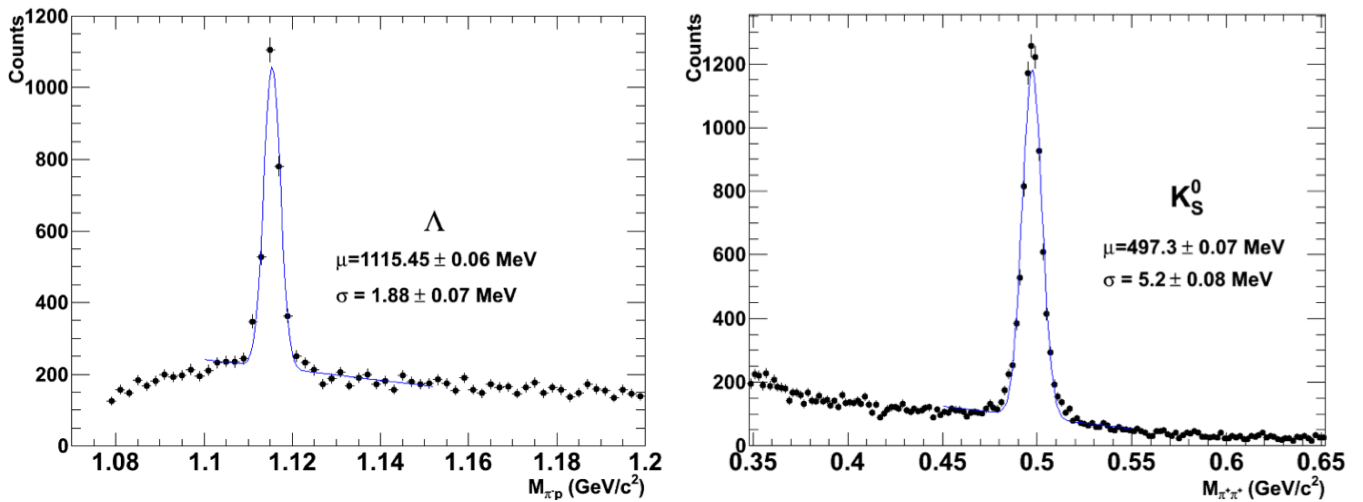


FIGURE 2: DISTRIBUTION DE MASSE INVARIANTE CALCULÉE POUR DES PAIRES PION-PROTON (PANNEAU DE DROITE) ET DES PAIRES DE PIONS DE SIGNE OPPOSÉ (PANNEAU DE GAUCHE).

## L'outil

L'exercice es réalisé dans le cadre de l'environnement logiciel ROOT et utilise une version simplifiée de l'outil de visualisation des événements de ALICE. En démarrant l'exercice, apparaîtra la fenêtre représentée dans la figure 3.



FIGURE 3 : FENÊTRE DE DÉMARRAGE DE L'EXERCICE MASTER CLASS ALICE.



Vous pourrez sélectionner différents modes : le mode de démonstration, le mode étudiant pour l'analyse des événements et mode professeur pour obtenir le résultat final.

Le mode <Demo> donne des exemples de décroissance des particules  $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$  et  $\Xi^-$ .

En sélectionnant le mode <Etudiant> pour l'analyse des événements et la recherche visuelle de topologies V0, la fenêtre représentée dans la Figure 4 s'affiche.

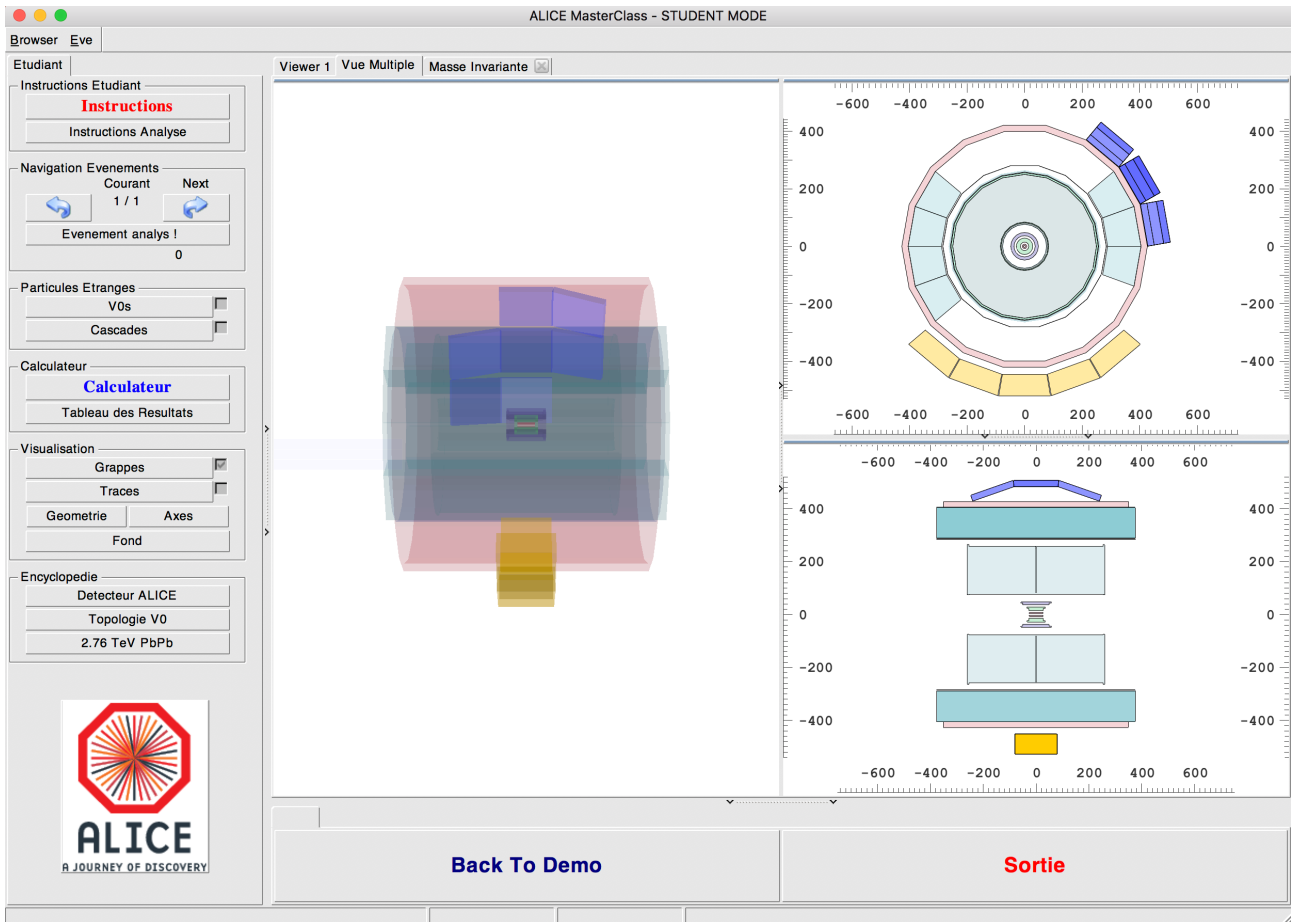


FIGURE 4: FENÊTRE MASTERCLASS EM MODE ETUDIANT

Vous trouverez un certain nombre d'options dans la colonne de gauche:

The column on the left offers a number of options: Instructions, Navigation Evénements, recherche V0s et Cascades, Calculateur, choix de la visualisation(traces, Géométrie du détecteur...). Ice plus, vous trouverez sous l'onglet "Encyclopédie", une description rapide du détecteur ALICE et de ses principaux composants, des exemples de la topologie de décroissance V0 et des exemples de décroissance dans les collisions PB-Pb. En cliquant le bouton adéquat, vous verrez apparaître les grappes et les traces de l'événement; en cliquant les boutons V0s et Cascades, les traces V0 et Cascade seront mises en évidence, si elles sont présentes dans l'événement.

Lorsque une décroissance V0 est trouvée, les autres traces et grappes peuvent être supprimées de façon à ne visualiser que les traces associées à la décroissance V0. Par

convention, les traces de charge positive sont représentées en rouge, les traces de charge négative en vert et les traces célibataires dans le cas de décroissance cascade en violet.

En cliquant une trace quelconque, la valeur des composantes de la quantité de mouvement et la masse de la particule (c'est-à-dire la valeur de masse la plus probable calculée par l'algorithme d'identification) sont affichées dans une fenêtre comme celle illustrée dans la Figure 5.

**(-) Particule**

Quantite de Mouvement X: [GeV/c]  
-0.0962058

Quantite de Mouvement Y: [GeV/c]  
-0.291875

Quantite de Mouvement Z: [GeV/c]  
-0.224133

Masse: [GeV/c<sup>2</sup>]  
0.13957

Copier vers calculateur

Fermer

**Calculator**

Instructions Calculateurs  
**Instructions**

Tableau des Particules

Type de Particules	Masse [GeV/c <sup>2</sup> ]
Electron	0.000511
Pion	0.139
Kaon Neutre	0.497
Proton	0.938
Lambda	1.115
Xi Charge	1.321

Calculateur

	(-)	(+)	Celibataire
px	0.0114973	0.0949975	0
py	-0.501009	0.292271	0
pz	-0.721146	0.224133	0
masse	0.938272	0.13957	0

Masse Invariante  
1.15018

Ceci est un Kaon !

Ceci est un Lambda !

Ceci est un anti-Lambda !

Ceci est un Xi !

Ceci est du bruit de fond !

Effacer

Charger

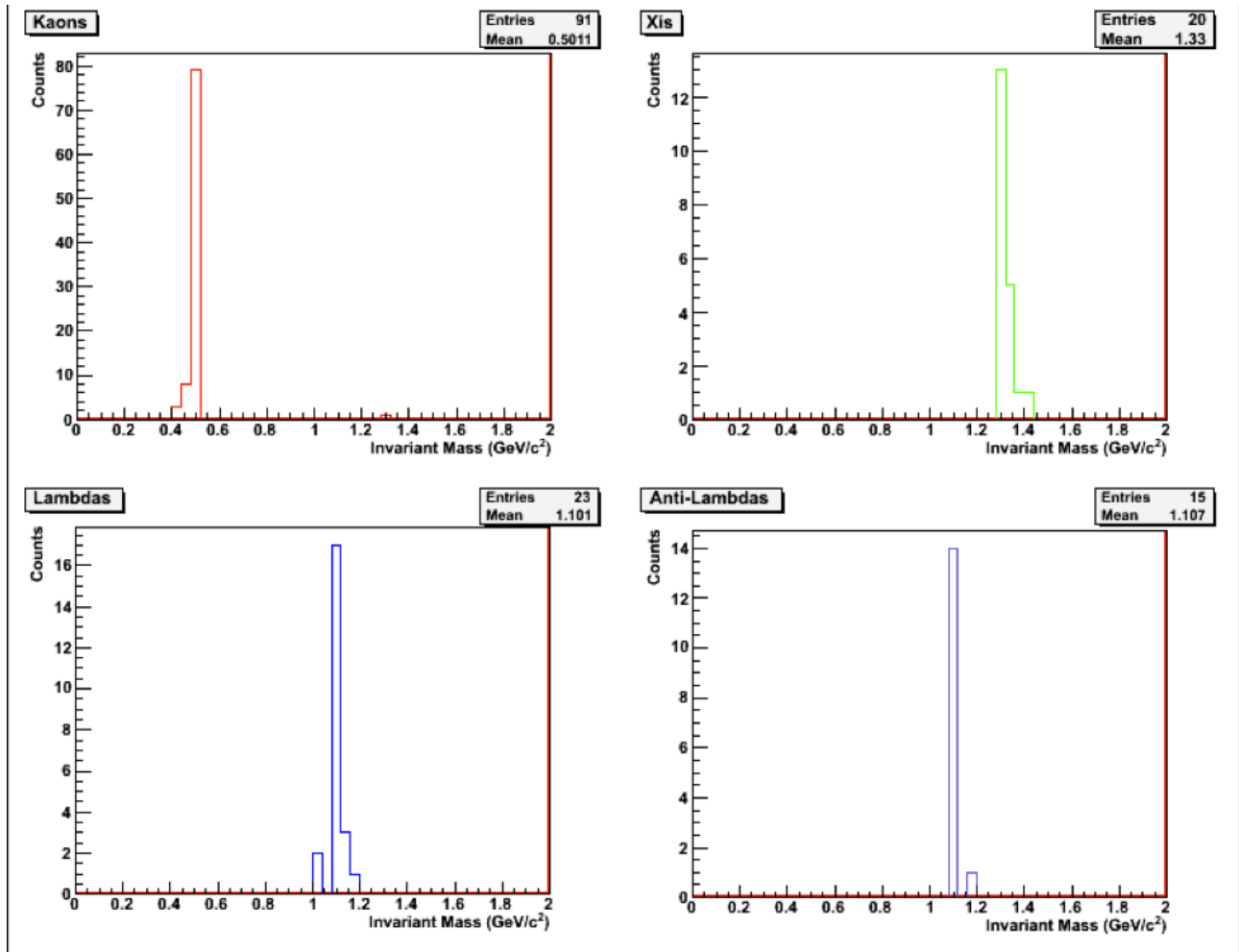
Sauvegarder

Fermer

**FIGURE 5: A DROITE: FENÊTRE AFFICHANT LES COMPOSANTES DE LA QUANTITÉ DE MOUVEMENT ET LA MASSE D'UNE TRACE SÉLECTIONNÉE PAR CLIC. A GAUCHE: FENÊTRE DU CALCULATEUR.**

Ces données peuvent être copiées vers les calculateur, qui va calculer la masse invariante de la particule mère d'après l'équation présentée précédemment.

L'exercice inclut quatre histogrammes pour les masses invariantes ( $K$ ,  $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$  et  $\Xi^-$ ). Après avoir examiné chaque décroissance V0, vous pourrez identifier la particule mère à partir des produits de décroissance et de la masse invariante (un tableau de la masse de quelques particules est affiché avec le calculateur, voir Figure 5). En cliquant le bouton adéquat (Ceci est un kaon; ceci est un Lambda etc.), la donnée sera ajoutée à l'histogramme correspondant. Les histogrammes de masse invariante peuvent être affichés en cliquant l'onglet Masse Invariante (Figure 6). Cliquez chaque histogramme pour mettre à jour leur contenu.



**FIGURE 6: HISTOGRAMME DES MASSES INVARIANTES**

L'exercice : Trouvez les hadrons étranges

Il s'agit d'identifier et de compter les particules étranges dans un lot d'événements contenant typiquement 30 événements. Pour démarrer l'exercice, vous devez sélectionner le jeu de données et passer en mode Etudiant. Il y a 6 jeux de données différents pour des collisions proton-proton à une énergie dans le centre de masse de 7 TeV.

Pour visualiser un événement, vous devez d'abord cliquer le bouton Grappes ou Traces. Vous pouvez constater la complexité des événements avec un grand nombre de traces

produites par les collisions et détectées par les détecteurs de ALICE. La plupart de ces traces sont dues à des pions.

En cliquant V0s et Cascades, les traces des décroissances V0 et cascades sont mises en évidence s'il y a lieu. A partir de la topologie V0 vous pouvez deviner quelle est la particule mère. En cliquant chacune des traces, vous pouvez afficher les informations concernant cette trace, à savoir la charge électrique, les trois composantes du vecteur quantité de mouvement et la masse correspondant à l'identification la plus probable de la particule associée à cette trace. Cette dernière donnée a été obtenue à partir des informations fournies par les détecteurs chargés de l'identification des particules. En connaissant les produits de décroissance vous pouvez déjà vous faire une idée de quelle est la particule mère: pour confirmer votre intuition, vous pouvez calculer la masse invariante selon la méthode décrite précédemment et comparer la valeur absolue à celles du tableau affiché avec la calculateur (voir Figure 5):

- Si la masse est égale à  $497 \text{ MeV} \pm 13 \text{ MeV}$  (dans l'intervalle  $[484, 510] \text{ MeV}$ ), il s'agit de  $K_s^0$ .
- Si la masse est de  $1115 \text{ MeV} \pm 5 \text{ MeV}$  (dans l'intervalle  $[1110, 1120] \text{ MeV}$ ) et les particules filles sont un proton et un pion négatif alors il s'agit d'un  $\Lambda$ .
- Si la masse est de  $1115 \text{ MeV} \pm 5 \text{ MeV}$  (dans l'intervalle  $[1110, 1120] \text{ MeV}$ ) et les particules filles sont un anti-proton et un pion positif alors il s'agit d'un anti- $\Lambda$ .
- Pour une décroissance cascade, si la masse invariant calculée à partir des 3 traces est égale à  $1321 \pm 10 \text{ MeV}$  (dans l'intervalle  $[1311, 1331] \text{ MeV}$ ) alors il s'agit d'un  $\Xi^-$ .

Selon le résultat trouvé, cliquez le bouton (Ceci est un kaon !, Ceci est un Lambda !, etc...) et la donnée sera ajoutée à l'histogramme correspondant.

Il peut arriver que la masse calculée ne corresponde à aucune des valeurs ci-dessus. Il s'agit alors d'un bruit de fond: les traces semblent provenir d'un vertex secondaire qui en fait a été mal identifié comme tel. Nous ignorerons ce type de décroissance V0.

---

## Présentation des résultats

Le tableau qui s'affiche en cliquant le bouton Tableau des Résultats résume les résultats obtenus. La colonne Données Réelles contient le nombre de  $K_s^0$ ,  $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$  et  $\Xi^-$  que vous aurez trouvé (à condition d'avoir cliqué les boutons Ceci est un Kaon ! etc...).

Vous pouvez vérifier que les histogrammes de masse invariante contiennent le bon nombre d'entrée pour chaque type de particule. Lorsque vous aurez analysé tous les événements de jeu d'événements qui vous a été assigné, sauvegardez les résultats dans fichier en suivant la procédure décrite.

---

## Regroupement des résultats

En sélectionnant l'option "Tuteur" dans le menu MasterClass initial, vous pouvez maintenant regrouper vos résultats. Dans la rubrique "Contrôles Tuteur", sélectionnez l'option "Obtenir les Fichiers" pour récupérer un à un tous les fichiers de résultat des analyses des différents jeux d'événements. Pour cela, il vous faudra d'abord transférer ces fichiers résultats vers l'ordinateur "Tuteur". Ensuite dans la rubrique "Résultats", en cliquant "Tableau des Résultats", vous verrez le tableau résumant la totalité de la statistique des événements analysés.

---

## Analyse statistique élevée

La visualisation des événements est un outil performant qui vous permet de vérifier la qualité des données reconstruites and qui vous donne une bonne idée de ce à quoi ressemble un événement. Cependant l'analyse des données ne peut pas se limiter une inspection visuelle car trop elle serait trop fastidieuse et gourmande en temps. Pour analyser les millions d'événements qui sont journallement enregistrées nous faisons appel à des programmes informatiques. C'est ce que nous allons faire maintenant pour rechercher les décroissances  $V_0$  dans un jeu de données beaucoup plus grand.

### COMMENT DÖMARRER PART 2....

### NE CORRESPOND PAS a l'EXERCICE 2014 !

On your terminal window change directory (by giving the command: `cd MasterClass_extended`) and type `root MasterClassExtended.C`. In the "put your name here" space, give a combination of characters which will form the name of the results file. Choose a data sample to analyse (currently there is a sample with pp data and a sample with PbPb data); then choose "student" to proceed to the analysis.

Under "Analysis tools" you can analyse 100 events or all events in your data sample and calculate the invariant mass of pairs of particles, such as  $\pi^+\pi^-$ . You can see that the invariant mass is a continuous distribution – this is because the pairs of pions combined are random, not coming from a common secondary vertex and can give any value of mass. This is the background.

When you proceed to the  $V_0$  selection, only pairs of tracks coming from a common secondary vertex are considered; their invariant mass is calculated based on the track information and the mass of the identified decay products. You can select  $K_S^0$  or  $\Lambda$  (including anti- $\Lambda$ ). Each time the analysis of all events in the sample is finished (watch the terminal behind the menu) the invariant mass distribution is displayed on the screen.

In order to find the number of particles of a certain type, for example  $K_S^0$ , you need to find the number of events in the peak after background subtraction. In order to fit a curve (second degree polynomial) to the background, you first choose the fit range using the slider. To fit a Gaussian distribution to the signal you also have to select the range of the peak. When you click on "Fit signal and background", the fitted functions are superimposed on the histogram and you can check visually whether the fit is reasonable.

For the background subtraction the coefficients of the second degree polynomial are used; on the histogram you get the total number of events in the peak, the number of background events and those which are signal, as well as the mean value of the Gaussian (the particle mass) and its width sigma (both in  $\text{MeV}/c^2$ ).