

Test de la symétrie CPT

Mesure de la masse de baryons
multi-étranges à l'aide de
l'expérience ALICE au LHC

Romain SCHOTTER, Université de Strasbourg

19 juin 2020



ALICE

19/06/2020



Romain SCHOTTER

Plan

I. Motivations

- 1) La symétrie CPT
- 2) Les baryons multi-étranges
- 3) L'expérience ALICE

II. L'analyse de données

- 1) La désintégration en cascade
- 2) La reconstruction topologique
- 3) Les sélections additionnelles
- 4) L'étude systématique

Conclusion

Plan

I. Motivations

- 1) La symétrie CPT
- 2) Les baryons multi-étranges
- 3) L'expérience ALICE

II. L'analyse de données

- 1) La désintégration en cascade
- 2) La reconstruction topologique
- 3) Les sélections additionnelles
- 4) L'étude systématique

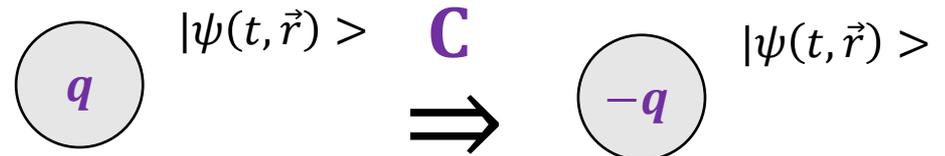
Conclusion

I. Motivations

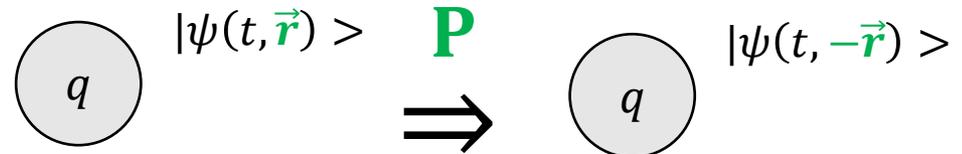
La symétrie CPT

Aux prémices du Modèle Standard, toutes les lois de la physique étaient considérées invariantes sous

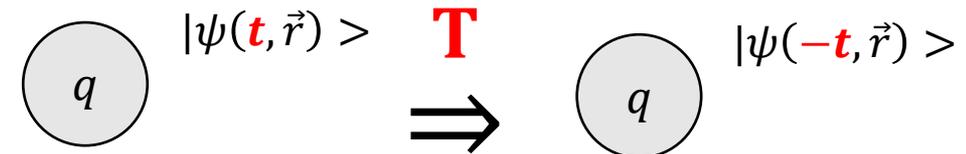
- La conjugaison de charge (C),



- La transformation de parité (P),



- Le renversement du temps (T),



- Et leur combinaison **CPT**.

Les interactions forte et électromagnétique sont invariantes sous ces transformations
 MAIS l'interaction faible viole la symétrie CP \Rightarrow T est aussi violée !

I. Motivations

La symétrie CPT

- Parmi les symétries discrètes, seule CPT est conservée

⇒ 2 conséquences :

- 1) Particules et antiparticules partagent les mêmes propriétés fondamentales
Ex : temps de vie, masse,... (à l'exception du signe des nombres quantiques)
- 2) Particules et antiparticules sont créées par paires

- La violation CP étant trop faible pour expliquer l'asymétrie matière-antimatière
⇒ recherche de nouvelles sources de violations de symétrie, telle qu'une violation de CPT

Il est primordial d'éprouver la symétrie CPT lorsqu'une amélioration de la précision est possible

I. Motivations

La symétrie CPT

- Parmi les symétries discrètes, seule CPT est conservée

⇒ 2 conséquences :

1) Particules et antiparticules partagent les mêmes propriétés fondamentales

Ex : temps de vie, masse,...

(à l'exception du signe des nombres quantiques)

2) Particules et antiparticules sont créées par paires

- La violation CP étant trop faible pour expliquer l'asymétrie matière-antimatière
⇒ recherche de nouvelles sources de violations de symétrie, telle qu'une violation de CPT

Il est primordial d'éprouver la symétrie CPT lorsqu'une amélioration de la précision est possible

I. Motivations

La symétrie CPT

- Parmi les symétries discrètes, seule CPT est conservée

⇒ 2 conséquences :

1) Particules et antiparticules partagent les mêmes propriétés fondamentales

Ex : temps de vie, masse,...

(à l'exception du signe des nombres quantiques)

2) Particules et antiparticules sont créées par paires

- La violation CP étant trop faible pour expliquer l'asymétrie matière-antimatière
⇒ recherche de nouvelles sources de violations de symétrie, telle qu'une violation de CPT

Il est primordial d'éprouver la symétrie CPT lorsqu'une amélioration de la précision est possible

I. Motivations

La symétrie CPT

- Parmi les symétries discrètes, seule CPT est conservée

⇒ 2 conséquences :

1) Particules et antiparticules partagent les mêmes propriétés fondamentales

Ex : temps de vie, masse,...

(à l'exception du signe des nombres quantiques)

2) Particules et antiparticules sont créées par paires → En contradiction avec les observations astronomiques

- La violation CP étant trop faible pour expliquer l'asymétrie matière-antimatière
⇒ recherche de nouvelles sources de violations de symétrie, telle qu'une violation de CPT

Il est primordial d'éprouver la symétrie CPT lorsqu'une amélioration de la précision est possible

I. Motivations

La symétrie CPT

- Parmi les symétries discrètes, seule CPT est conservée

⇒ 2 conséquences :

1) **Particules et antiparticules partagent les mêmes propriétés fondamentales**

Ex : temps de vie, masse,...

(à l'exception du signe des nombres quantiques)

2) **Particules et antiparticules sont créées par paires** → **En contradiction avec les observations astronomiques**

- La violation CP étant trop faible pour expliquer l'asymétrie matière-antimatière
⇒ recherche de nouvelles sources de violations de symétrie, telle qu'une violation de CPT

Il est primordial d'**éprouver la symétrie CPT** lorsqu'une amélioration de la précision est possible

I. Motivations

Les baryons multi-étranges

Valeurs PDG

Ξ^- MASS (dss)

[INSPIRE search](#)

The fit uses the Ξ^- , Ξ^+ , and Ξ^0 masses and the $\Xi^- - \Xi^+$ mass difference. It assumes that the Ξ^- and Ξ^+ masses are the same.

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
1321.71 ± 0.07	OUR FIT			
1321.70 ± 0.08 ± 0.05	2478 ± 68	ABDALLAH	2006E	DLPH from Z decays

Ξ^+ MASS ($\bar{d}\bar{s}\bar{s}$)

[INSPIRE search](#)

The fit uses the Ξ^- , Ξ^+ , and Ξ^0 masses and the $\Xi^- - \Xi^+$ mass difference. It assumes that the Ξ^- and Ξ^+ masses are the same.

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
1321.71 ± 0.07	OUR FIT			
1321.73 ± 0.08 ± 0.05	2256 ± 63	ABDALLAH	2006E	DLPH from Z decays

Alors que l'expérience ALICE fournit 50 fois plus de Ξ en seulement 50 jours d'acquisition (2010)

I. Motivations

Les baryons multi-étranges

Valeurs PDG

Ξ^- MASS (dss)

[INSPIRE search](#)

The fit uses the Ξ^- , Ξ^+ , and Ξ^0 masses and the $\Xi^- - \Xi^+$ mass difference. It assumes that the Ξ^- and Ξ^+ masses are the same.

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT	
1321.71 ± 0.07	OUR FIT				
1321.70 ±0.08 ±0.05	2478 ±68	ABDALLAH	2006E	DLPH	from Z decays

Ξ^+ MASS ($\bar{d}\bar{s}\bar{s}$)

[INSPIRE search](#)

The fit uses the Ξ^- , Ξ^+ , and Ξ^0 masses and the $\Xi^- - \Xi^+$ mass difference. It assumes that the Ξ^- and Ξ^+ masses are the same.

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT	
1321.71 ± 0.07	OUR FIT				
1321.73 ±0.08 ±0.05	2256 ±63	ABDALLAH	2006E	DLPH	from Z decays

Alors que l'expérience ALICE fournit **50 fois plus de Ξ en seulement 50 jours d'acquisition** (2010)

I. Motivations

Les baryons multi-étranges

Valeurs PDG

Ω^- MASS (sss)

[INSPIRE search](#)

The fit assumes the Ω^- and $\bar{\Omega}^+$ masses are the same, and averages them together.

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
1672.45 ± 0.29	OUR FIT			
1672.43 ± 0.32	OUR AVERAGE			
1673 ± 1	100	HARTOUNI 1985	SPEC	80–280 GeV K_L^0 C
1673.0 ± 0.8	41	BAUBILLIER 1978	HBC	8.25 GeV/c $K^- p$
1671.7 ± 0.6	27	HEMINGWAY 1978	HBC	4.2 GeV/c $K^- p$
1673.4 ± 1.7	4	1 DIBIANCA 1975	DBC	4.9 GeV/c $K^- d$
1673.3 ± 1.0	3	PALMER 1968	HBC	$K^- p$ 4.6, 5 GeV/c
1671.8 ± 0.8	3	SCHULTZ 1968	HBC	$K^- p$ 5.5 GeV/c
1674.2 ± 1.6	5	SCOTTER 1968	HBC	$K^- p$ 6 GeV/c
1672.1 ± 1.0	1	2 FRY 1955	EMUL	

$\bar{\Omega}^+$ MASS ($\bar{s}\bar{s}\bar{s}$)

[INSPIRE search](#)

The fit assumes the Ω^- and $\bar{\Omega}^+$ masses are the same, and averages them together.

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
1672.45 ± 0.29	OUR FIT			
1672.5 ± 0.7	OUR AVERAGE			
1672 ± 1	72	HARTOUNI 1985	SPEC	80–280 GeV K_L^0 C
1673.1 ± 1.0	1	FIRESTONE 1971B	HBC	12 GeV/c $K^+ d$

Romain SCHOTTER

I. Motivations

Les baryons multi-étranges

Valeurs PDG

Ω^- MASS (sss)

[INSPIRE search](#)

The fit assumes the Ω^- and $\bar{\Omega}^+$ masses are the same, and averages them together.

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
1672.45 ± 0.29	OUR FIT			
1672.43 ± 0.32	OUR AVERAGE			
1673 ± 1	100	HARTOUNI	1985	SPEC 80–280 GeV K_L^0 C
1673.0 ± 0.8	41	BAUBILLIER	1978	HBC 8.25 GeV/c $K^- p$
1671.7 ± 0.6	27	HEMINGWAY	1978	HBC 4.2 GeV/c $K^- p$
1673.4 ± 1.7	4	1 DIBIANCA	1975	DBC 4.9 GeV/c $K^- d$
1673.3 ± 1.0	3	PALMER	1968	HBC $K^- p$ 4.6, 5 GeV/c
1671.8 ± 0.8	3	SCHULTZ	1968	HBC $K^- p$ 5.5 GeV/c
1674.2 ± 1.6	5	SCOTTER	1968	HBC $K^- p$ 6 GeV/c
1672.1 ± 1.0	1	2 FRY	1955	EMUL

$\bar{\Omega}^+$ MASS ($\bar{s}\bar{s}\bar{s}$)

[INSPIRE search](#)

The fit assumes the Ω^- and $\bar{\Omega}^+$ masses are the same, and averages them together.

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
1672.45 ± 0.29	OUR FIT			
1672.5 ± 0.7	OUR AVERAGE			
1672 ± 1	72	HARTOUNI	1985	SPEC 80–280 GeV K_L^0 C
1673.1 ± 1.0	1	FIRESTONE	1971B	HBC 12 GeV/c $K^+ d$

Romain SCHOTTER

I. Motivations

Les baryons multi-étranges

Valeurs PDG

Ω^- MASS (sss)

[INSPIRE search](#)

The fit assumes the Ω^- and $\bar{\Omega}^+$ masses are the same, and averages them together.

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
1672.45 ± 0.29	OUR FIT			
1672.43 ± 0.32	OUR AVERAGE			
1673 ± 1	100	HARTOUNI	1985	80–280 GeV K_L^0 C
1673.0 ± 0.8	41	BAUBILLIER	1978	8.25 GeV/c $K^- p$
1671.7 ± 0.6	27	HEMINGWAY	1978	4.2 GeV/c $K^- p$
1673.4 ± 1.7	4	1 DIBIANCA	1975	4.9 GeV/c $K^- d$
1673.3 ± 1.0	3	PALMER	1968	$K^- p$ 4.6, 5 GeV/c
1671.8 ± 0.8	3	SCHULTZ	1968	$K^- p$ 5.5 GeV/c
1674.2 ± 1.6	5	SCOTTER	1968	$K^- p$ 6 GeV/c
1672.1 ± 1.0	1	2 FRY	1955	EMUL

→ Faible précision statistique

$\bar{\Omega}^+$ MASS ($\bar{s}\bar{s}\bar{s}$)

[INSPIRE search](#)

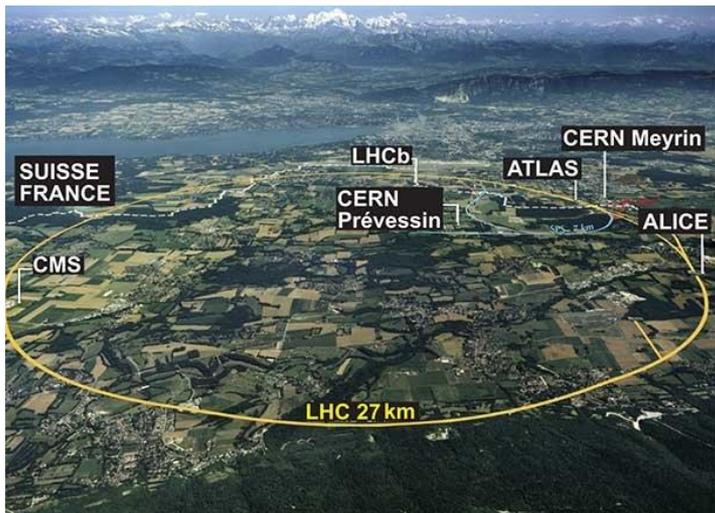
The fit assumes the Ω^- and $\bar{\Omega}^+$ masses are the same, and averages them together.

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
1672.45 ± 0.29	OUR FIT			
1672.5 ± 0.7	OUR AVERAGE			
1672 ± 1	72	HARTOUNI	1985	80–280 GeV K_L^0 C
1673.1 ± 1.0	1	FIRESTONE	1971B	12 GeV/c $K^+ d$

Romain SCHOTTER

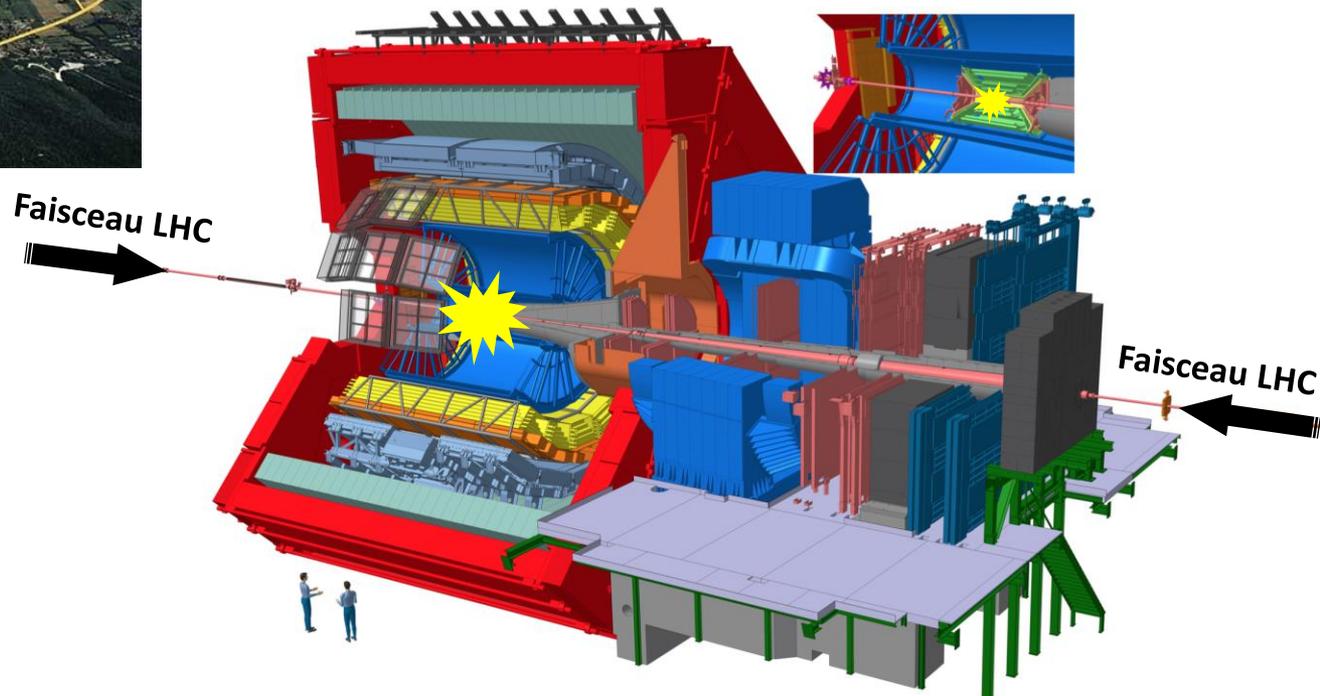
I. Motivations

L'expérience ALICE



Collision : pp, p-Pb, Pb-Pb

ALICE est composé de 19 systèmes de détection



I. Motivations

L'expérience ALICE

Inner Tracking System (ITS), 6 couches de détecteurs silicium

→ Reconstruire les vertex primaires et secondaires

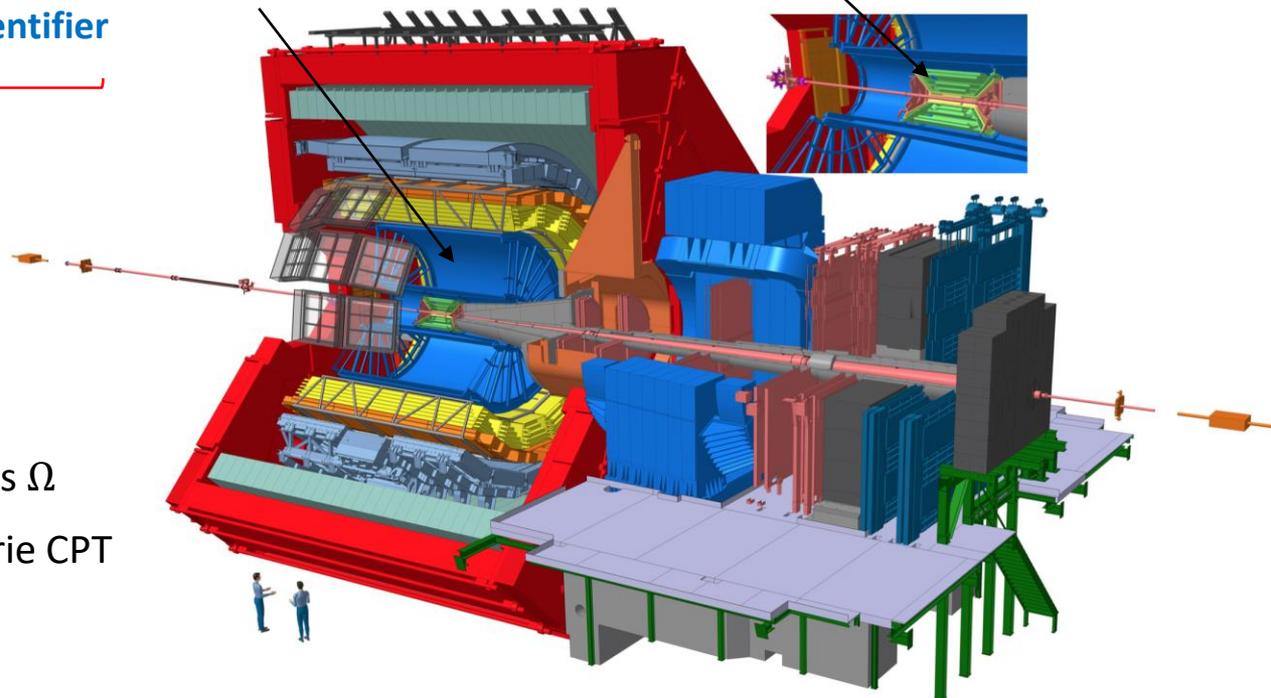
Time Projection Chamber (TPC), détecteur gazeux (90 m³)

→ Reconstruire les traces et les identifier

**Trajectographie + identification
des hadrons chargés**

Objectif du stage :

- Nouvelles mesures des Ξ et des Ω
- Tester l'invariance de la symétrie CPT



Plan

I. Motivations

- 1) La symétrie CPT
- 2) Les baryons multi-étranges
- 3) L'expérience ALICE

II. L'analyse de données

- 1) La désintégration en cascade
- 2) La reconstruction topologique
- 3) Les sélections additionnelles
- 4) L'étude systématique

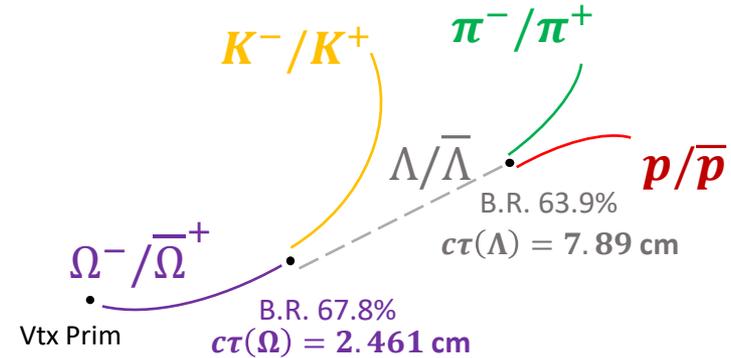
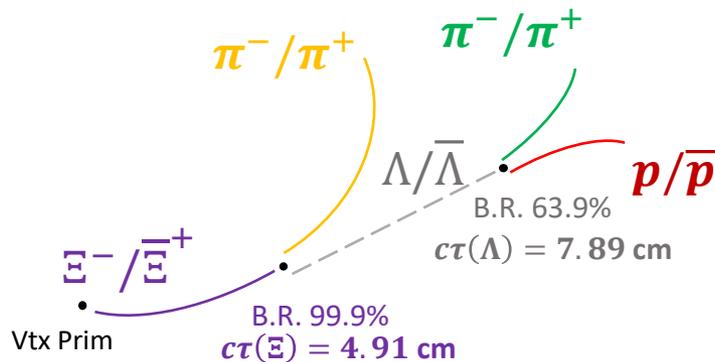
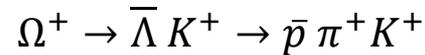
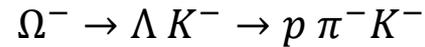
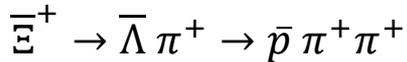
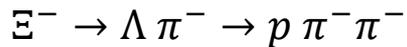
Conclusion

II. L'analyse des données

La désintégration en cascade

- Objectif :** Mesurer la masse des Ξ et des Ω au sein de collisions pp à $\sqrt{s} = 13$ TeV du run II du LHC

- Désintégration en cascade**

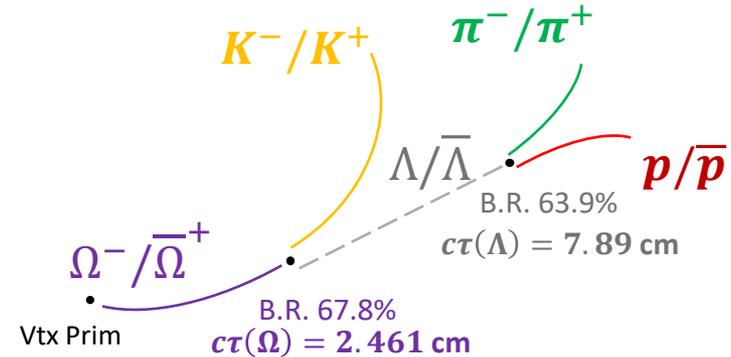
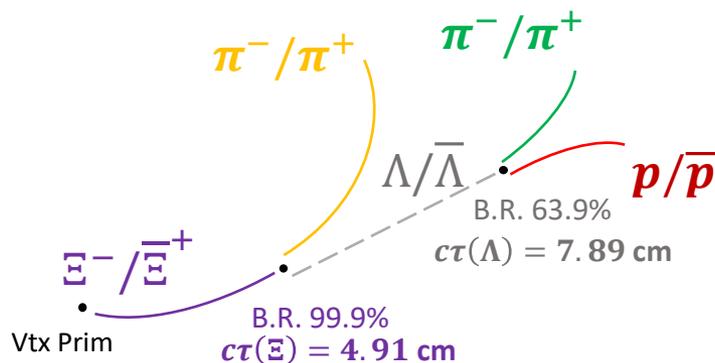
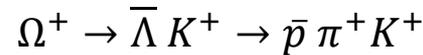
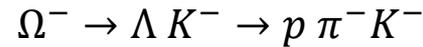
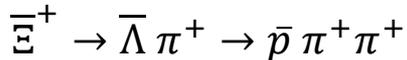
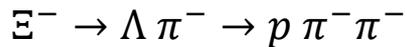


II. L'analyse des données

La désintégration en cascade

- Objectif :** Mesurer la masse des Ξ et des Ω au sein de collisions pp à $\sqrt{s} = 13$ TeV du run II du LHC

- Désintégration en cascade**



- Ce qui m'a été fourni**

Tous les candidats cascades de 2016 à 2018 parmi les collisions pp à $\sqrt{s} = 13$ TeV (140×10^6 cascades)

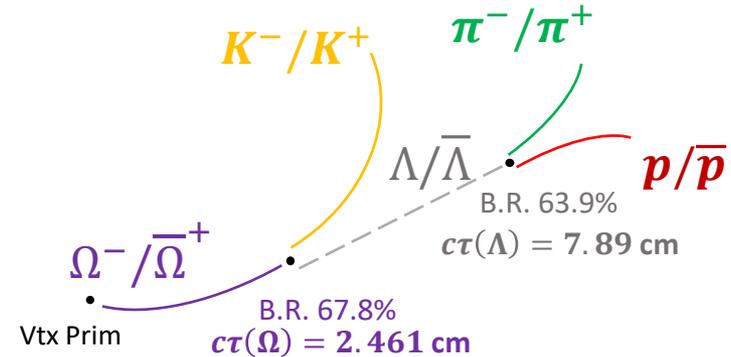
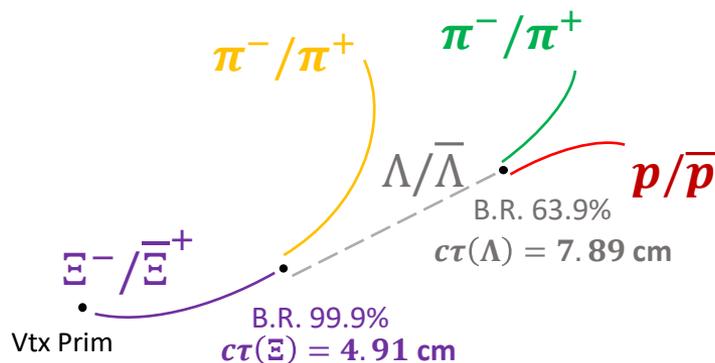
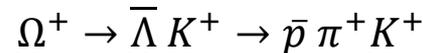
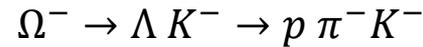
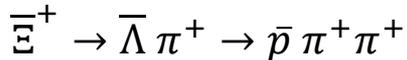
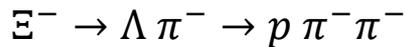
- *Minimum bias*
 - *High multiplicity*
- } 4.9 milliards d'événements

II. L'analyse des données

La désintégration en cascade

- Objectif :** Mesurer la masse des Ξ et des Ω au sein de collisions pp à $\sqrt{s} = 13$ TeV du run II du LHC

- Désintégration en cascade**



- Ce qui m'a été fourni**

Tous les candidats cascades de 2016 à 2018 parmi les collisions pp à $\sqrt{s} = 13$ TeV (140×10^6 cascades)

- *Minimum bias*
 - *High multiplicity*
- } 4.9 milliards d'événements

- Ce que j'ai réalisé**

Un code ROOT/C++ (~5000 lignes) pour extraire les masses des Ξ/Ω à partir des cascades reconstruites

II. L'analyse des données

La reconstruction topologique 1/4

- **Donc :** Les Ξ et Ω sont **reconstruits à partir des particules filles de leur cascade**
(Association de **3 traces**)

- **Problèmes :**

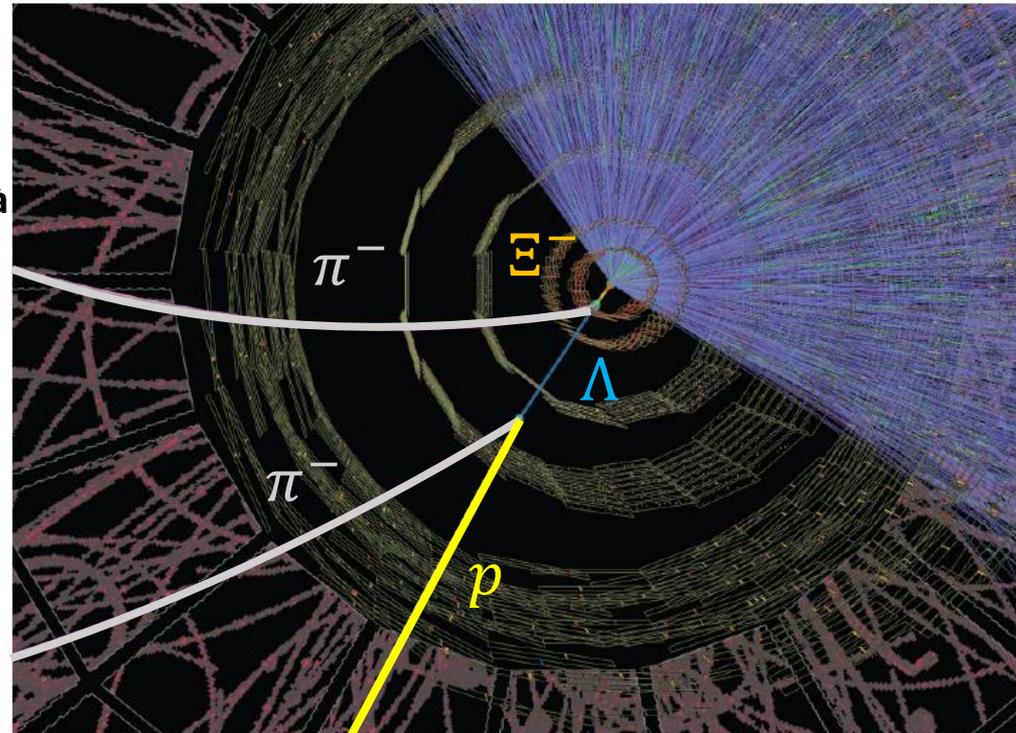
Jusqu'à **50 traces** par événement pp

→ Beaucoup d'associations de **3 traces** mènent à de fausses cascades

= **bruit de fond combinatoire**

- **Comment distinguer les vraies cascades du bruit de fond combinatoire ?**

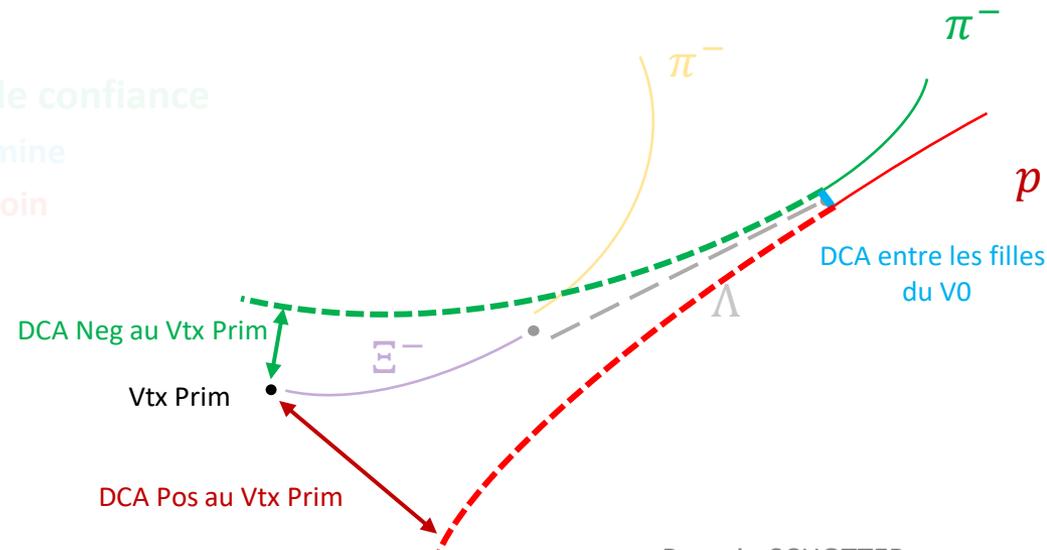
Appliquer des sélections topologiques (12)



II. L'analyse des données

La reconstruction topologique 2/4

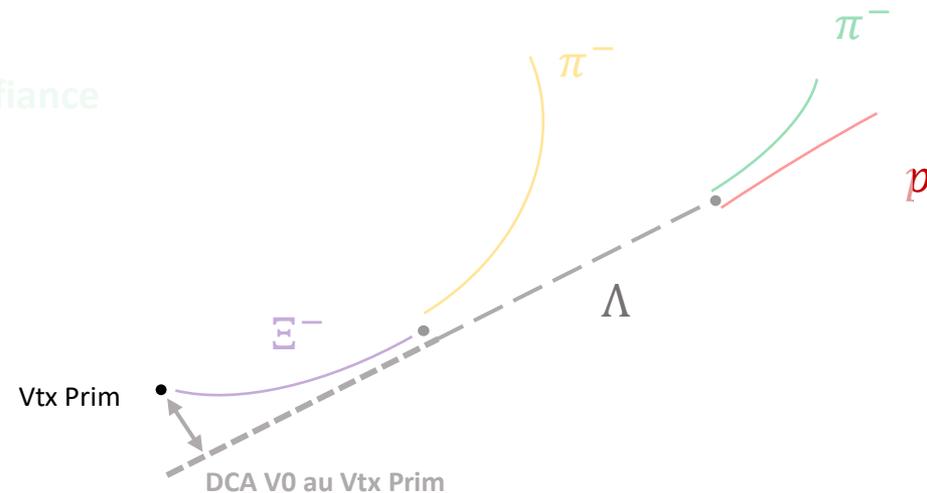
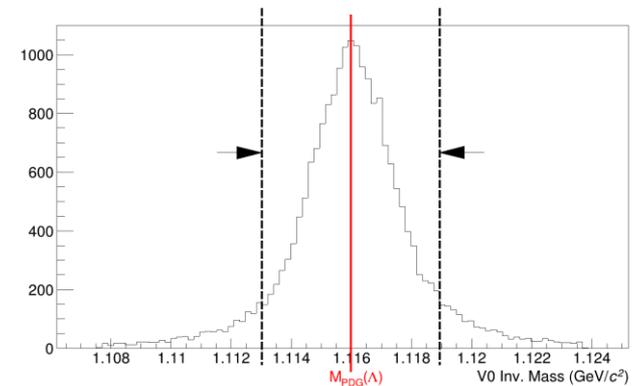
- 1) Formation d'un V0
 - 2 traces secondaires : 1 **positive** et 1 **négative**...
 - ...venant du **même vertex**
- 2) Construction d'un candidat Λ ou $\bar{\Lambda}$
 - V0 secondaires...
 - ...compatible avec la masse d'un Λ ou d'un $\bar{\Lambda}$
- 3) Association d'un candidat $\Lambda/\bar{\Lambda}$ à une particule célibataire
 - 1 **trace secondaire chargée**...
 - ...venant du **même vertex que le $\Lambda/\bar{\Lambda}$**
- 4) Sélection des cascades dans une **zone de confiance**
 - **Proche du faisceau, le bruit de fond domine**
 - **Peu de chance de trouver une cascade loin**



II. L'analyse des données

La reconstruction topologique 2/4

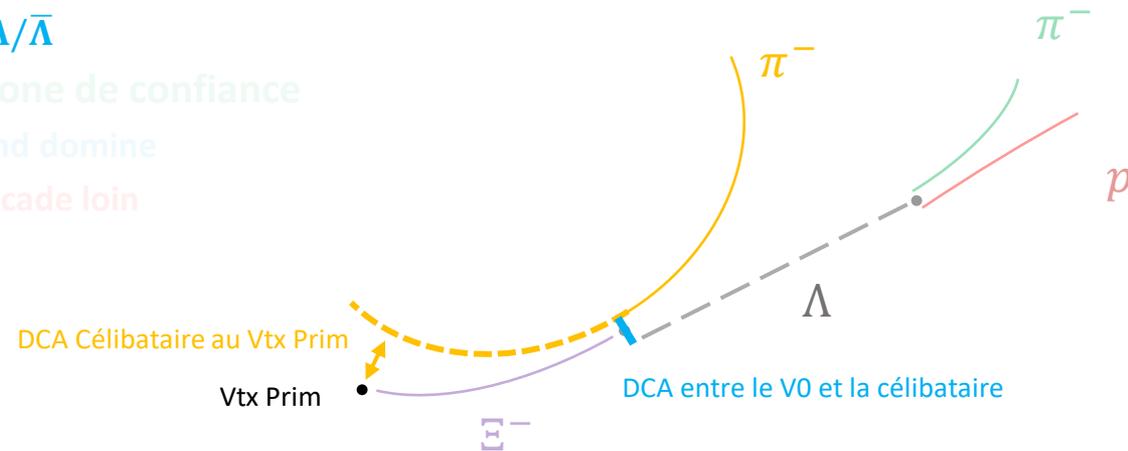
- 1) Formation d'un V0
 - 2 traces secondaires : 1 **positive** et 1 **négative**...
 - ...venant du **même vertex**
- 2) Construction d'un candidat Λ ou $\bar{\Lambda}$
 - **V0 secondaires**...
 - ...**compatible avec la masse d'un Λ ou d'un $\bar{\Lambda}$**
- 3) Association d'un candidat $\Lambda/\bar{\Lambda}$ à une particule célibataire
 - 1 **trace secondaire chargée**...
 - ...venant du **même vertex que le $\Lambda/\bar{\Lambda}$**
- 4) Sélection des cascades dans une **zone de confiance**
 - **Proche du faisceau, le bruit de fond domine**
 - **Peu de chance de trouver une cascade loin**



II. L'analyse des données

La reconstruction topologique 2/4

- 1) Formation d'un V0
 - 2 traces secondaires : 1 **positive** et 1 **négative**...
 - ...venant du **même vertex**
- 2) Construction d'un candidat Λ ou $\bar{\Lambda}$
 - V0 secondaires...
 - ...compatible avec la masse d'un Λ ou d'un $\bar{\Lambda}$
- 3) Association d'un candidat $\Lambda/\bar{\Lambda}$ à une particule célibataire
 - 1 **trace secondaire chargée**...
 - ...venant du **même vertex que le $\Lambda/\bar{\Lambda}$**
- 4) Sélection des cascades dans une **zone de confiance**
 - Proche du faisceau, le bruit de fond domine
 - Peu de chance de trouver une cascade loin



II. L'analyse des données

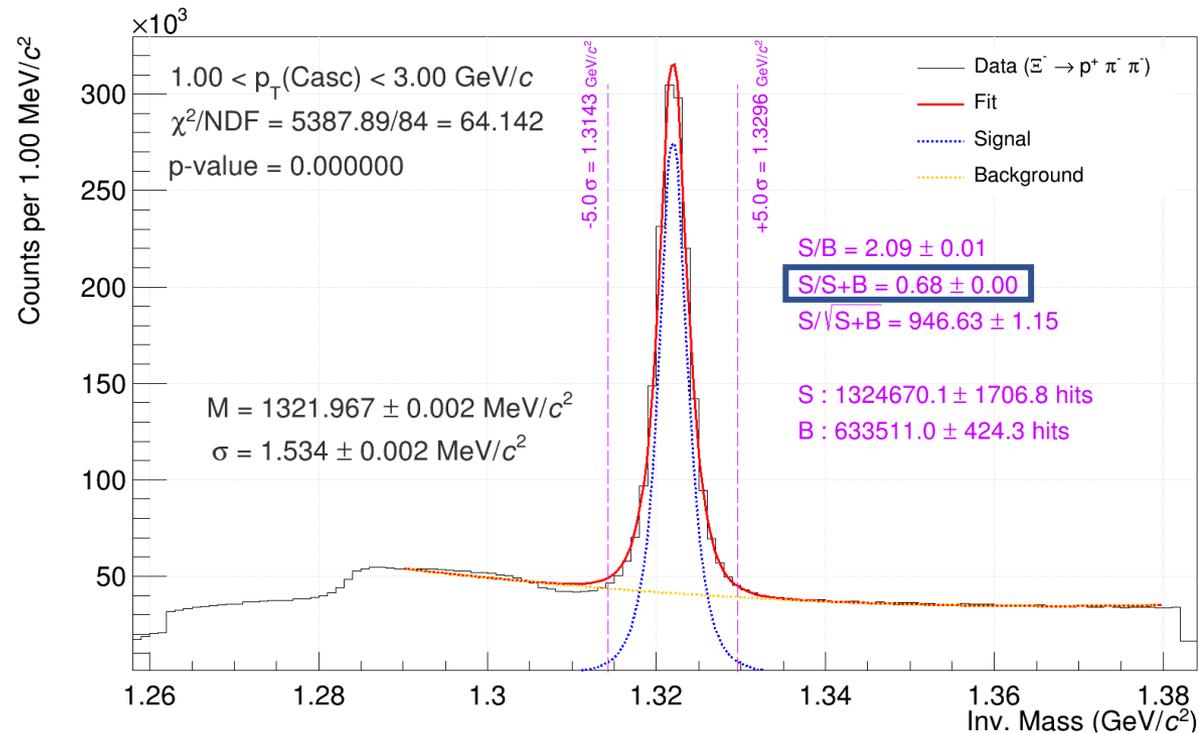
La reconstruction topologique 3/4

- **Un pic de sur-population** proche de la masse du Ξ^-

Extraction de la masse

- On ajuste ce pic avec une
 - Gaussienne
 - Double gaussienne
 - **Gaussienne asymétrique**
- On ajuste le bruit de fond avec un
 - polynôme d'ordre 1
 - **polynôme d'ordre 2**
 - polynôme d'ordre 3
 - polynôme d'ordre 4

Distribution de masse invariante des Ξ^-



II. L'analyse des données

La reconstruction topologique 3/4

- **Un pic de sur-population** proche de la masse du Ξ^-

Extraction de la masse

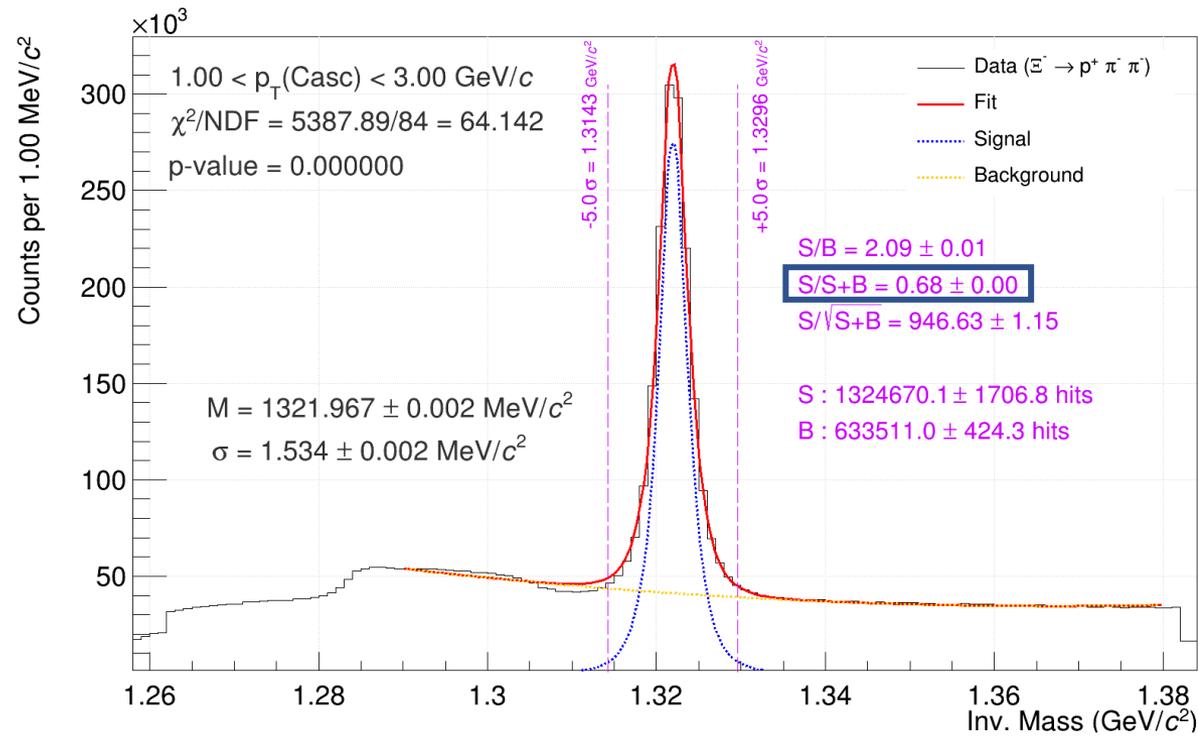
- On ajuste ce pic avec une
 - Gaussienne
 - Double gaussienne
 - **Gaussienne asymétrique**
- On ajuste le bruit de fond avec un
 - polynôme d'ordre 1
 - **polynôme d'ordre 2**
 - polynôme d'ordre 3
 - polynôme d'ordre 4

Bruit de fond combinatoire est encore très élevé \rightarrow pureté modérée

Recours à des sélections additionnelles

275 jeux de nouvelles sélections ont été testés pour arriver à 9 sélections additionnelles optimisées

Distribution de masse invariante des Ξ^-



II. L'analyse des données

La reconstruction topologique 4/4

- **Un pic de sur-population** proche de la masse du Ξ^-

Extraction de la masse

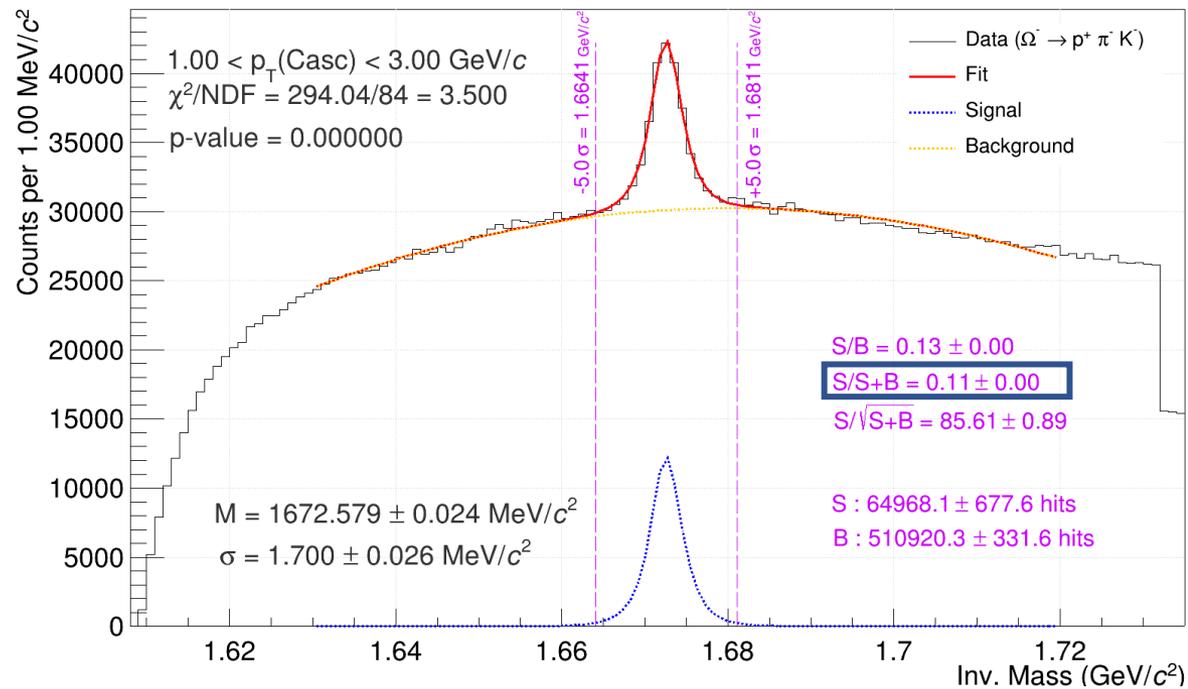
- On ajuste ce pic avec une
 - Gaussienne
 - Double gaussienne
 - **Gaussienne asymétrique**
- On ajuste le bruit de fond avec un
 - polynôme d'ordre 1
 - **polynôme d'ordre 2**
 - polynôme d'ordre 3
 - polynôme d'ordre 4

Bruit de fond combinatoire est encore très élevé \rightarrow pureté modérée

Recours à des sélections supplémentaires

275 jeux de nouvelles sélections ont été testés pour arriver à 9 sélections supplémentaires optimisées

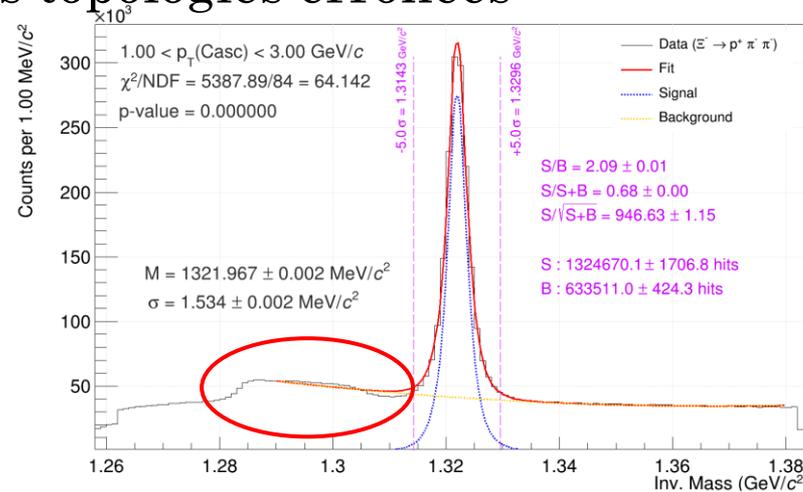
Distribution de masse invariante des Ω^-



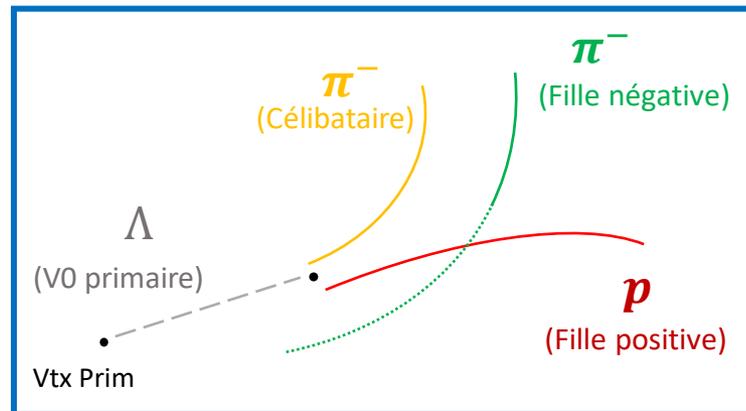
II. L'analyse des données

Les sélections additionnelles 1/5

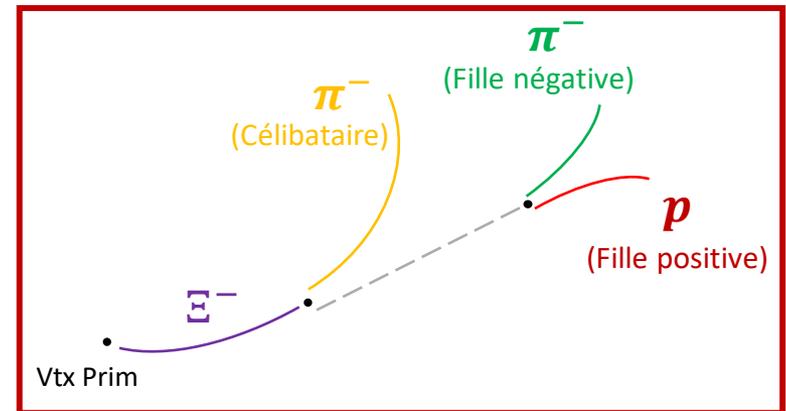
1) Réjection des topologies erronées



En réalité



L'interprétation de l'algorithme de reconstruction



II. L'analyse des données

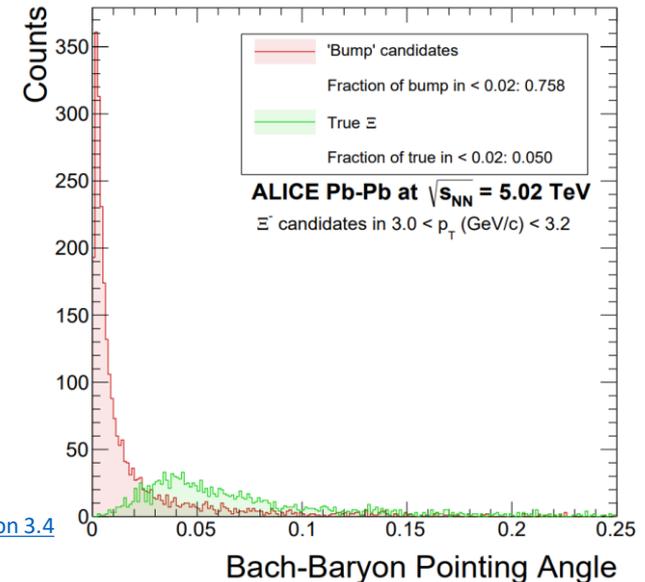
Les sélections additionnelles 1/5

1) Réjection des topologies erronées

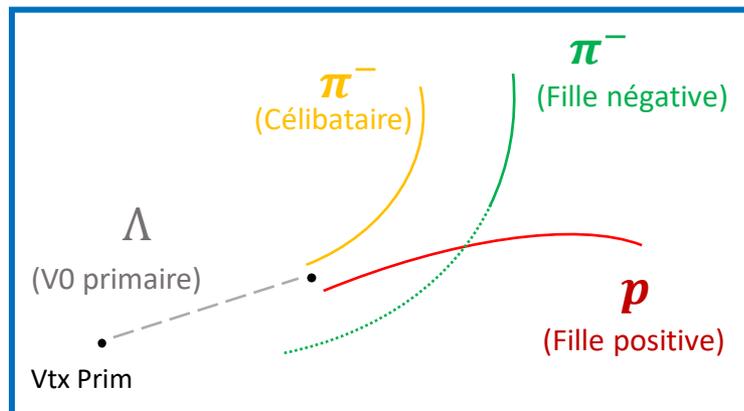
→ Coupure sur l'angle de pointage du vrai V0
(célibataire-proton)

Perte de $\sim 5\%$ du signal et $\sim 12\%$ du bruit de fond

[Multi-strange hadrons in Pb–Pb collisions at the LHC with ALICE, Danilo Silva, section 3.4](#)

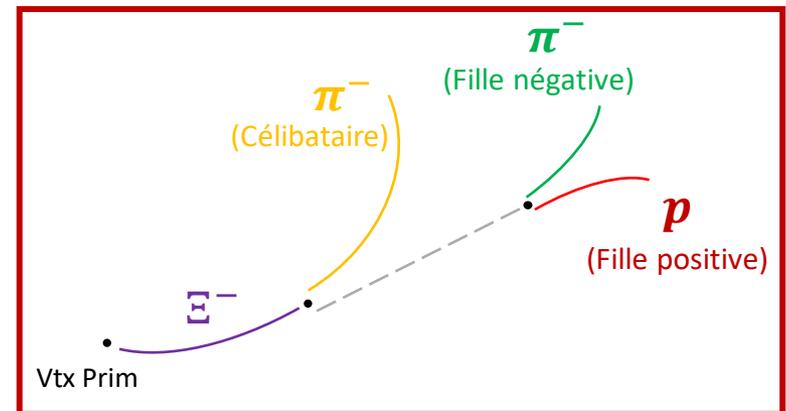


En réalité



19/06/2020

L'interprétation de l'algorithme de reconstruction

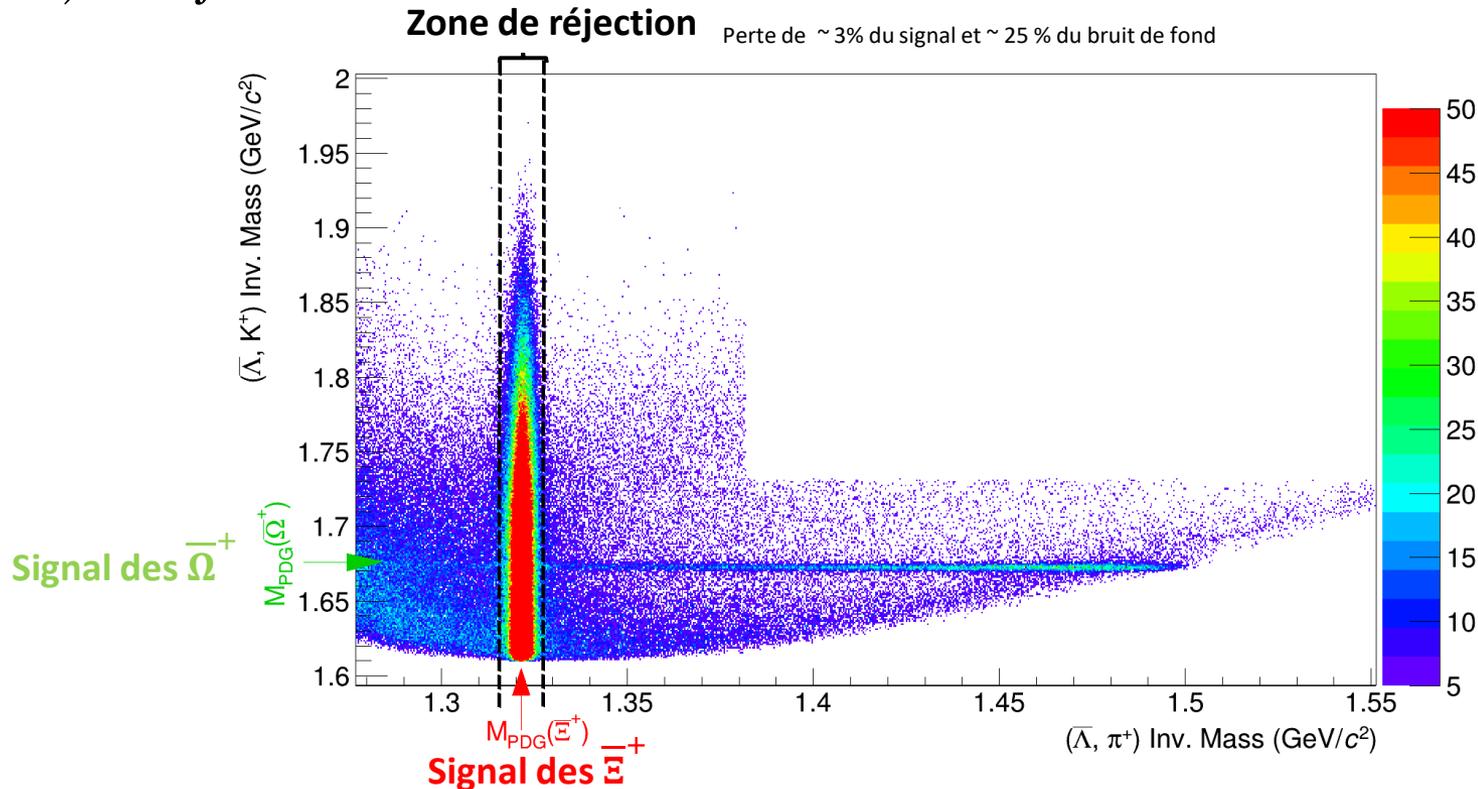


Romain SCHOTTER

II. L'analyse des données

Les sélections additionnelles 2/5

2) Réjection de la cascade concurrente dans le cas des Ω



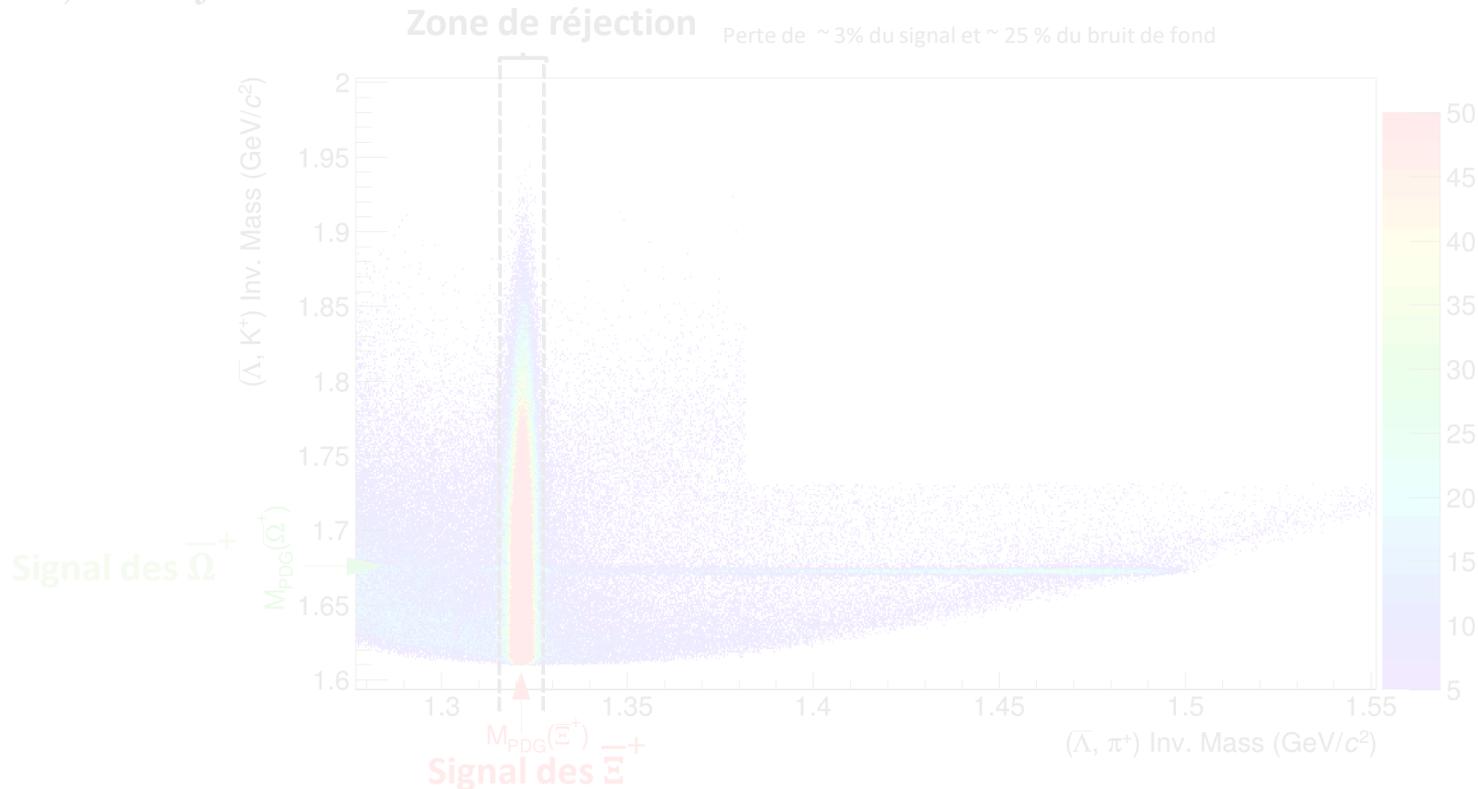
Réjection du *pile-up*

- 3) *In bunch* : plusieurs collisions au sein d'un même croisement de paquets
- 4) *Out-of-bunch* : plusieurs collisions provenant de plusieurs croisements de paquets
- 5) Pas d'événements avec ≥ 1 collision(s) à proximité de l'événement étudié [-500; +500] paquets

II. L'analyse des données

Les sélections additionnelles 2/5

2) Réjection de la cascade concurrente dans le cas des Ω



Réjection du *pile-up*

- 3) **In bunch** : plusieurs collisions au sein d'un même croisement de paquets
- 4) **Out-of-bunch** : plusieurs collisions provenant de plusieurs croisements de paquets
- 5) **Pas d'événements** avec ≥ 1 collision(s) à **proximité de l'événement étudié** [-500; +500] paquets

II. L'analyse des données

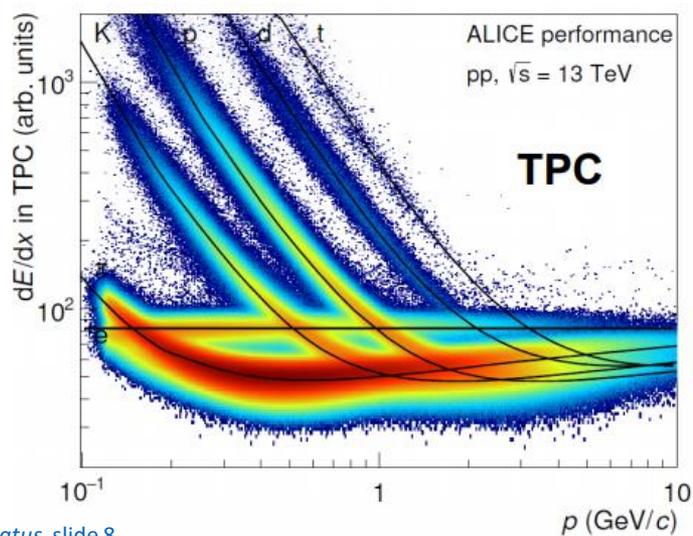
Les sélections additionnelles 3/5

Requêtes sur les informations TPC

6) Nature des particules filles de la cascade :

compatibilité $< 1 \sigma \rightarrow$ **augmentation de la pureté**

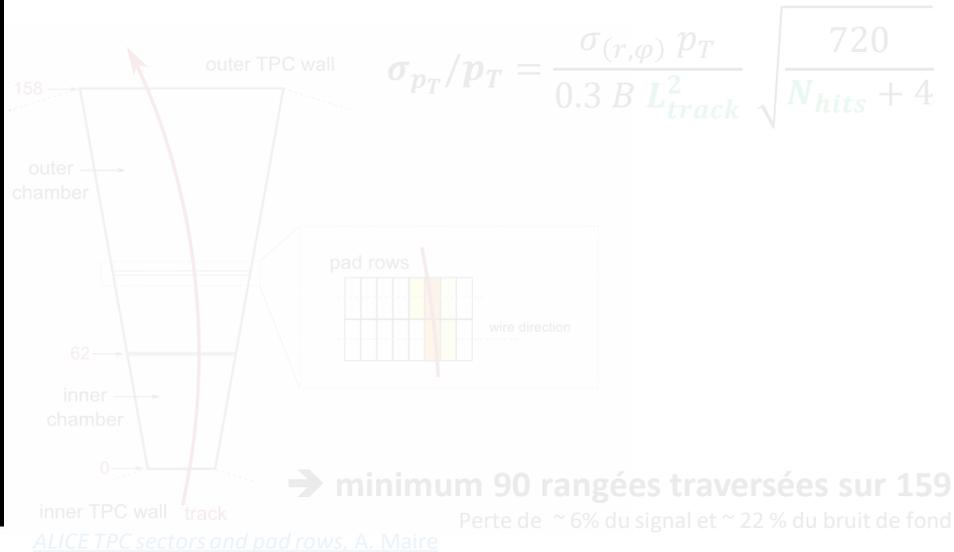
Perte de $\sim 69\%$ du signal et $\sim 84\%$ du bruit de fond



[ALICE Status, slide 8](#)

7) Echantillonnage des traces de chaque fille

Echantillonnage et longueur des traces \nearrow ,
Résolution en impulsion \nearrow ($\sigma_{p_T}/p_T \searrow$)



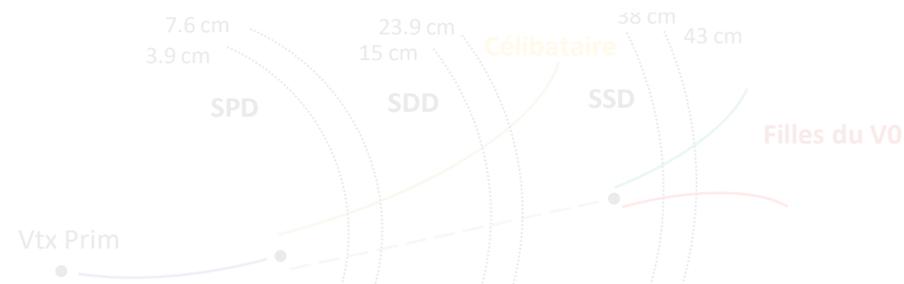
Requêtes sur les informations ITS

8) Coup dans le **SPD 0** pour la **particule célibataire**

9) Coup dans le **SSD** pour chaque **particule fille du V0**

Perte de $\sim 77\%$ du signal et $\sim 94\%$ du bruit de fond

19/06/2020



II. L'analyse des données

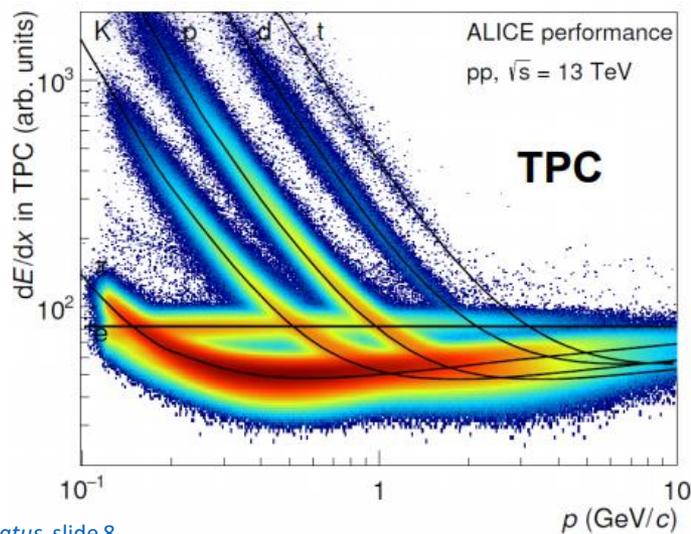
Les sélections additionnelles 3/5

Requêtes sur les informations TPC

6) Nature des particules filles de la cascade :

compatibilité $< 1 \sigma \rightarrow$ augmentation de la pureté

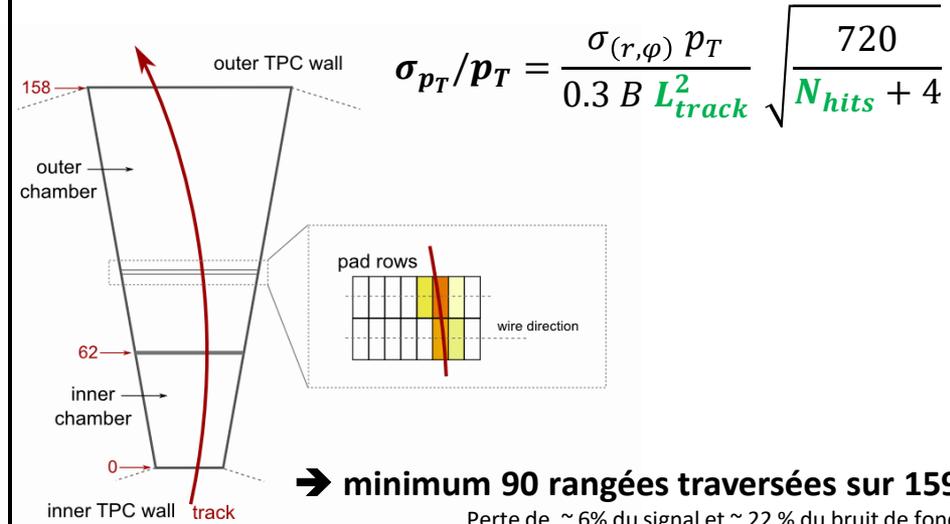
Perte de $\sim 69\%$ du signal et $\sim 84\%$ du bruit de fond



ALICE Status, slide 8

7) Echantillonnage des traces de chaque fille

Echantillonnage et longueur des traces \nearrow ,
Résolution en impulsion \nearrow ($\sigma_{p_T}/p_T \searrow$)



ALICE TPC sectors and pad rows, A. Maire

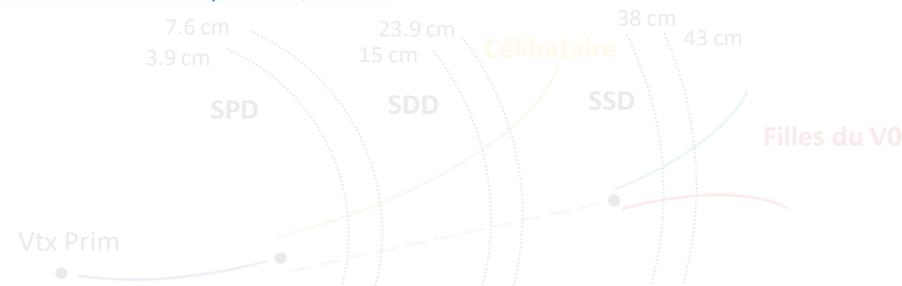
Perte de $\sim 6\%$ du signal et $\sim 22\%$ du bruit de fond

Requêtes sur les informations ITS

8) Coup dans le SPD 0 pour la particule célibataire

9) Coup dans le SSD pour chaque particule fille du V0

Perte de $\sim 77\%$ du signal et $\sim 94\%$ du bruit de fond



II. L'analyse des données

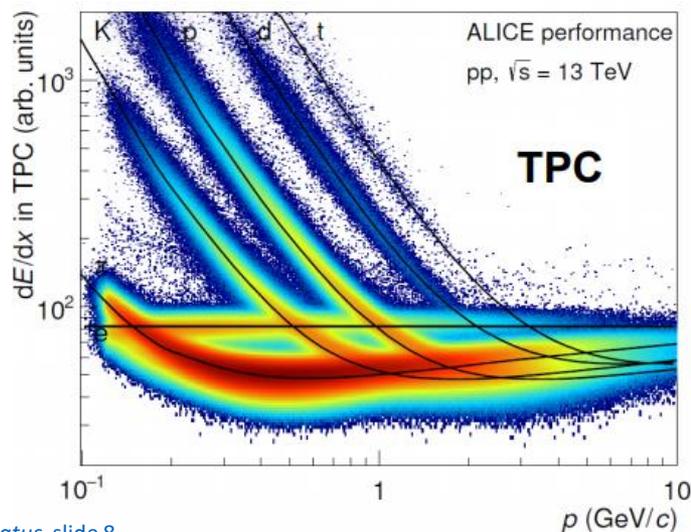
Les sélections additionnelles 3/5

Requêtes sur les informations TPC

6) Nature des particules filles de la cascade :

compatibilité $< 1 \sigma$ \rightarrow **augmentation de la pureté**

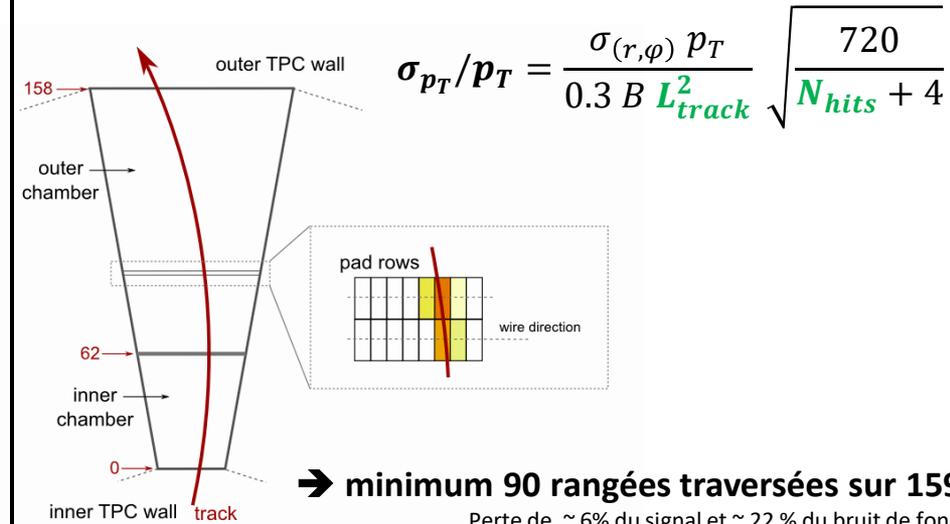
Perte de $\sim 69\%$ du signal et $\sim 84\%$ du bruit de fond



[ALICE Status, slide 8](#)

7) Echantillonnage des traces de chaque fille

Echantillonnage et longueur des traces \nearrow ,
Résolution en impulsion \nearrow ($\sigma_{p_T}/p_T \searrow$)



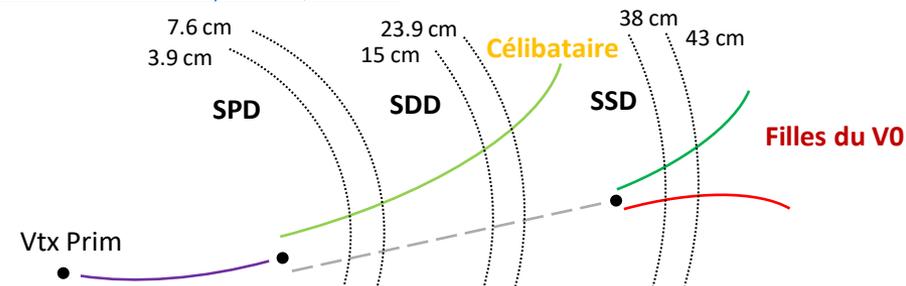
[ALICE TPC sectors and pad rows, A. Maire](#)

Requêtes sur les informations ITS

8) Coup dans le **SPD 0 pour la particule célibataire**

9) Coup dans le **SSD pour chaque particule fille du V0**

Perte de $\sim 77\%$ du signal et $\sim 94\%$ du bruit de fond



19/06/2020

II. L'analyse des données

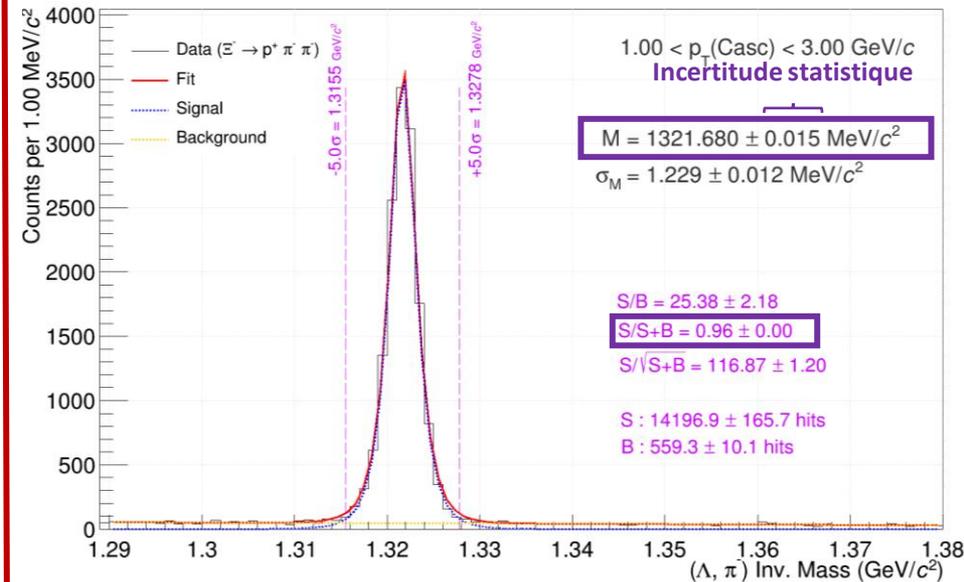
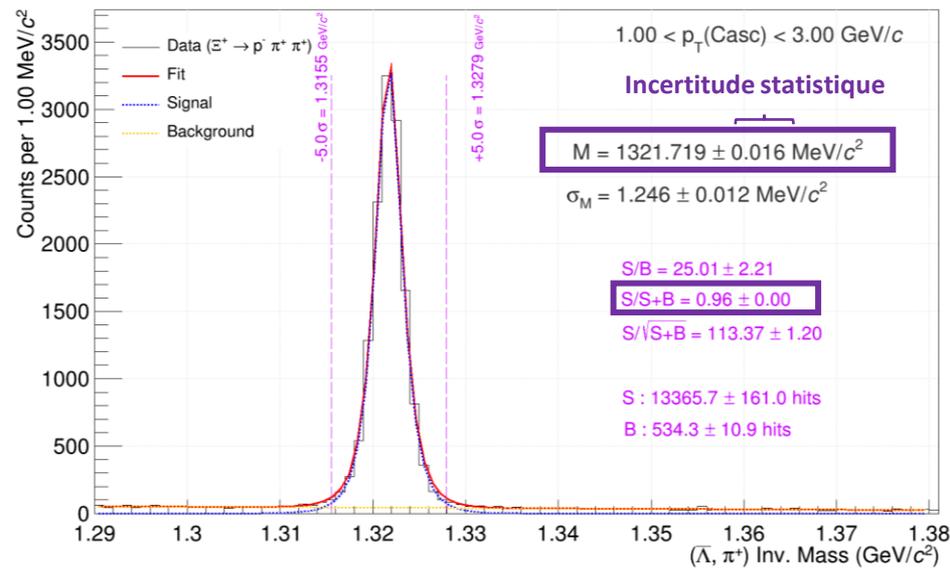
Les sélections additionnelles 4/5

 $[X]^+$

$$M_{\text{PDG}}(\Xi) = 1321.71 \pm 0.07 \text{ MeV}/c^2$$

 $[X]^-$

Incertitude statistique et systématique



On ajuste le bruit de fond avec un **polynôme d'ordre 1**

II. L'analyse des données

Les sélections additionnelles 4/5

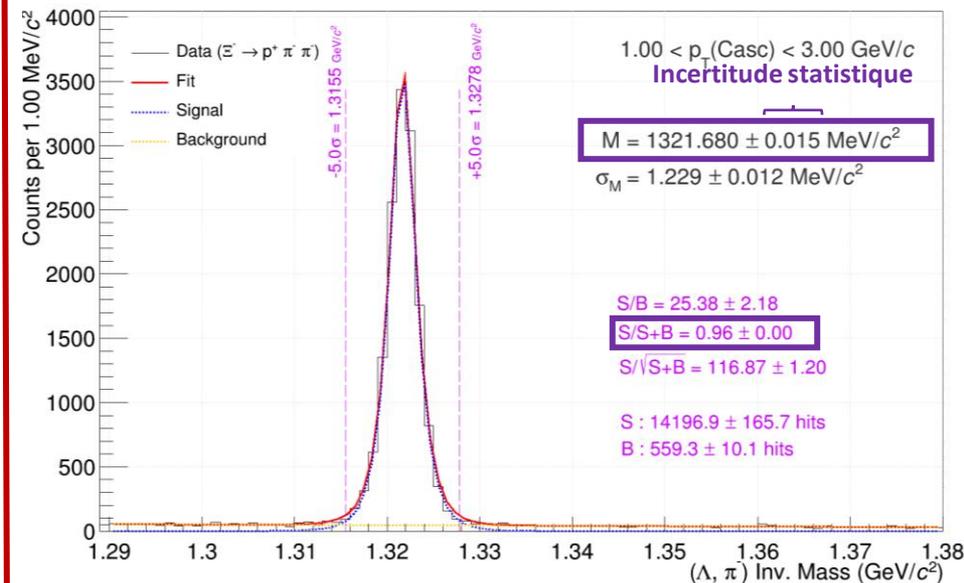
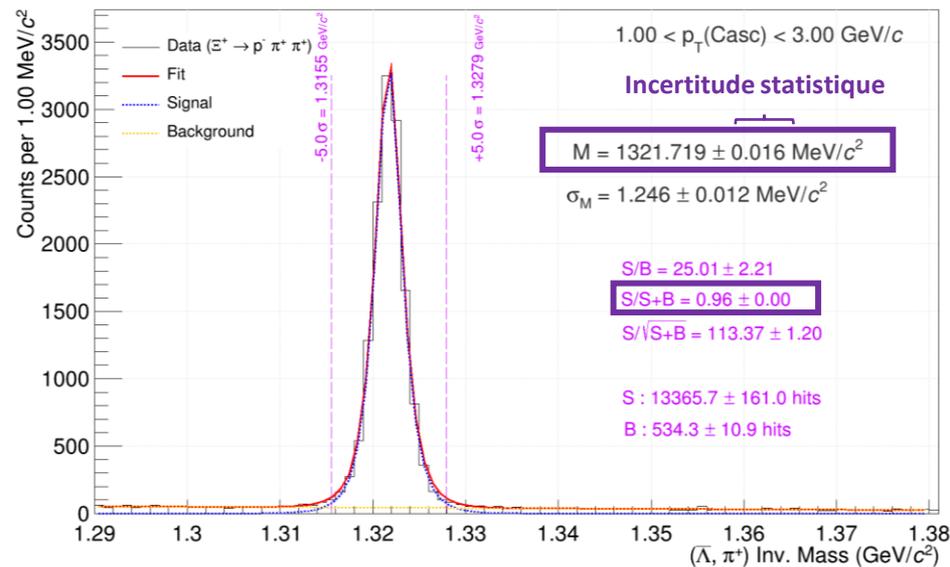
[x]⁺

$$M_{\text{PDG}}(\Xi) = 1321.71 \pm 0.07 \text{ MeV}/c^2$$

[x]⁻

Incertitude statistique et systématique

Amélioration d'un facteur > 4

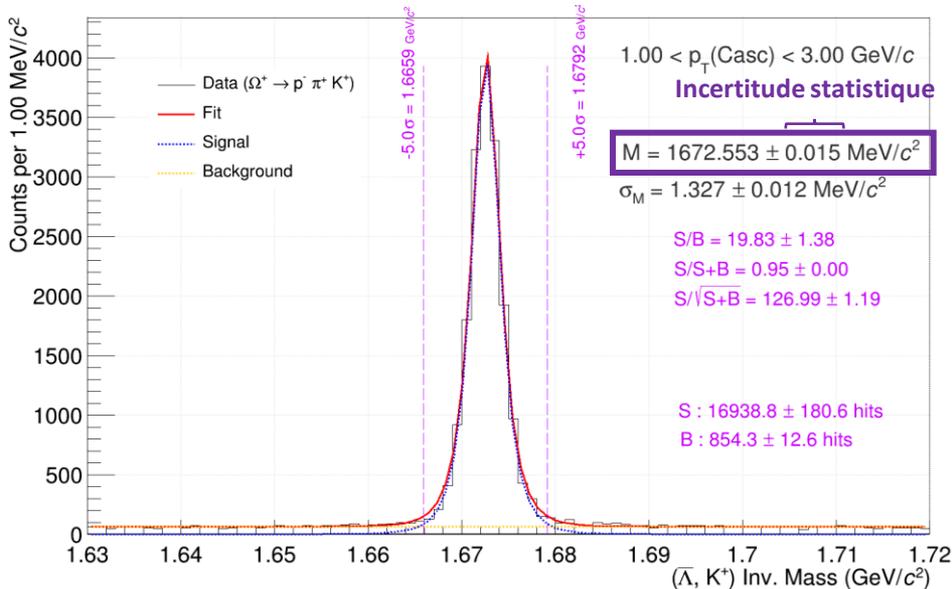
On ajuste le bruit de fond avec un **polynôme d'ordre 1**

II. L'analyse des données

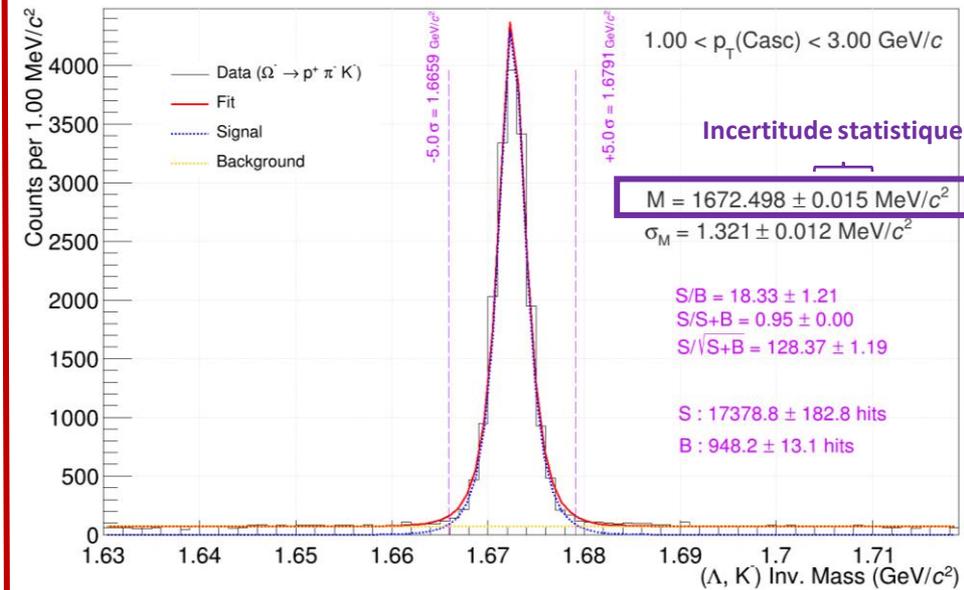
Les sélections additionnelles 5/5

 $\bar{\Omega}^+$

$$M_{\text{PDG}}(\Omega) = 1672.45 \pm 0.29 \text{ MeV}/c^2$$

 Ω^-


Incertitude statistique et systématique



On ajuste le bruit de fond avec un **polynôme d'ordre 1**

II. L'analyse des données

Les sélections additionnelles 5/5

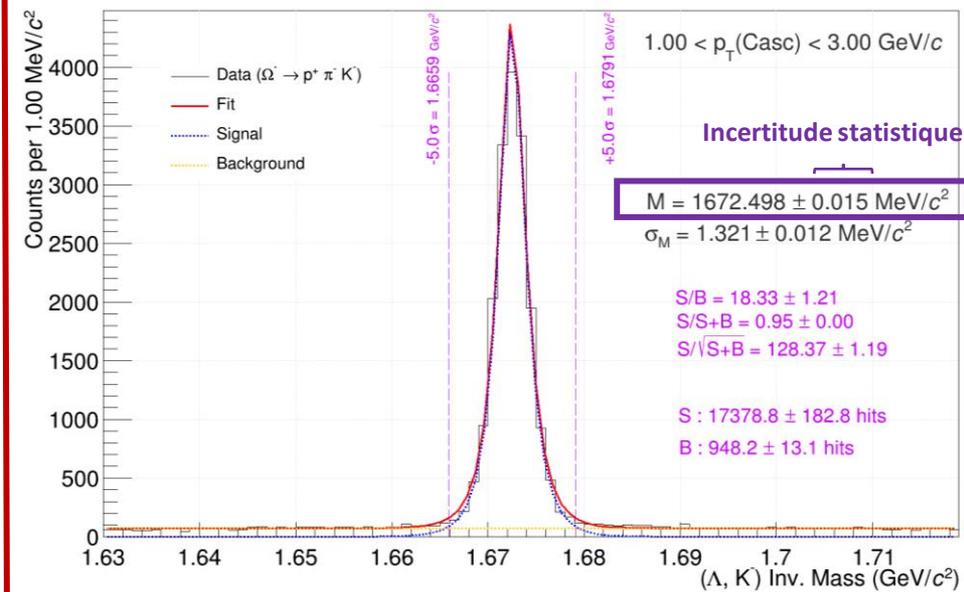
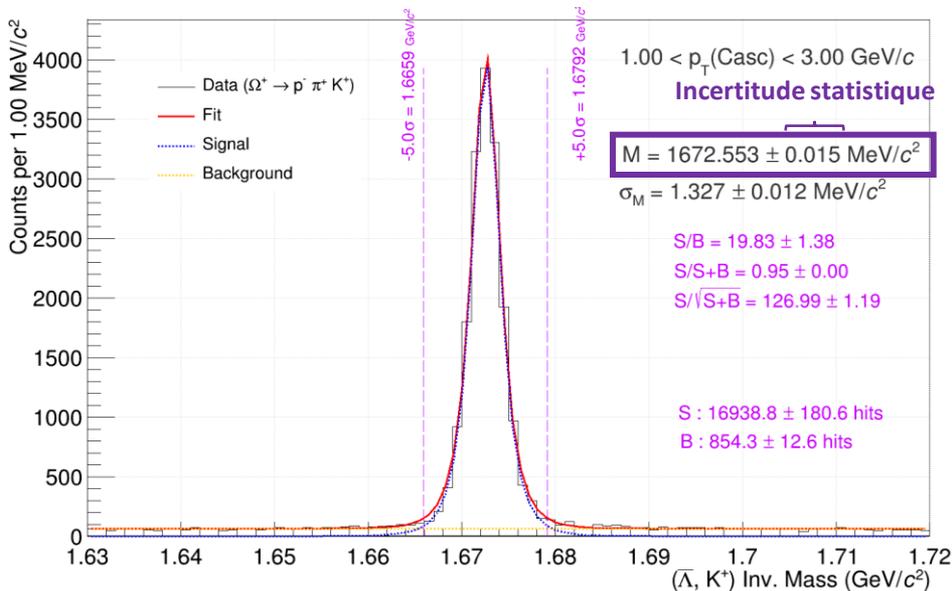
 $\bar{\Omega}^+$

$$M_{\text{PDG}}(\Omega) = 1672.45 \pm \underline{0.29} \text{ MeV}/c^2$$

 Ω^-

Incertitude statistique et systématique

Amélioration d'un facteur > 19

On ajuste le bruit de fond avec un **polynôme d'ordre 1**

II. L'analyse des données

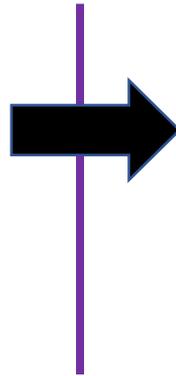
Etude systématique

1/2

Objectif : Déterminer et étudier les biais de notre méthode d'analyse

Sources de biais :

- 1) Coupures topologiques
- 2) Coupures additionnelles (TPC)
- 3) ...



Démarche :

- 20 000 variations de coupures
- = 20 000 distributions de masse invariante
- = 20 000 extractions de masse
- + 4 critères pour rejeter les valeurs aberrantes
 - Ex : - valeurs issues d'un ajustement qui échoue
 - $\chi^2/NDF \geq 5$
 - ...

Résultats :

→ On observe comment se distribuent la masse extraite et son erreur

Particule	Masse (MeV/c^2)	Incertitude Stat. (MeV/c^2)	Incertitude Syst. (MeV/c^2)	Masse PDG (MeV/c^2)	Incertitude (stat. \oplus syst.) PDG (MeV/c^2)
Ξ^+	1321.678	0.020	0.020	1321.71	0.07
Ξ^-	1321.639	0.019	0.018	1321.71	0.07
Ω^+	1672.551	0.029	0.027	1672.45	0.29
Ω^-	1672.558	0.029	0.033	1672.45	0.29

II. L'analyse des données

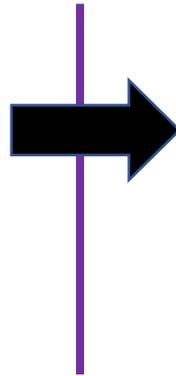
Etude systématique

1/2

Objectif : Déterminer et étudier les biais de notre méthode d'analyse

Sources de biais :

- 1) Coupures topologiques
- 2) Coupures additionnelles (TPC)
- 3) ...



Démarche :

- 20 000 variations de coupures
- = 20 000 distributions de masse invariante
- = 20 000 extractions de masse
- + 4 critères pour rejeter les valeurs aberrantes
 - Ex : - valeurs issues d'un ajustement qui échoue
 - $\chi^2/NDF \geq 5$
 - ...

Résultats :

→ On observe comment se distribuent la masse extraite et son erreur

Particule	Masse (MeV/c^2)	Incertitude Stat. \oplus (MeV/ c^2)	Incertitude Syst. (MeV/ c^2)	Masse PDG (MeV/ c^2)	Incertitude (stat. \oplus syst.) PDG (MeV/ c^2)
Ξ^+	1321.678	0.029		1321.71	0.07
Ξ^-	1321.639	0.027		1321.71	0.07
Ω^+	1672.551	0.040		1672.45	0.29
Ω^-	1672.558	0.044		1672.45	0.29

II. L'analyse des données

Etude systématique

2/2

Particule	Masse (MeV/c ²)	Incertitude Stat. (MeV/c ²)	Incertitude Syst. (MeV/c ²)	Masse PDG (MeV/c ²)	Incertitude (stat. ⊕ syst.) PDG (MeV/c ²)
Ξ^+	1321.678	0.020	0.020	1321.71	0.07
Ξ^-	1321.639	0.019	0.018	1321.71	0.07
Ω^+	1672.551	0.029	0.027	1672.45	0.29
Ω^-	1672.558	0.029	0.033	1672.45	0.29

Test de la symétrie CPT : calcul de la différence de masse

$$\frac{M_{\Xi^+} - M_{\Xi^-}}{M_{\Xi^-}} = [2.96 \pm 2.92] \times 10^{-5}$$

$$\text{PDG : } (-2.5 \pm 8.7) \times 10^{-5}$$

$$\frac{M_{\Omega^+} - M_{\Omega^-}}{M_{\Omega^-}} = [-0.42 \pm 3.55] \times 10^{-5}$$

$$\text{PDG : } (-1.44 \pm 7.98) \times 10^{-5}$$

- 1) **Améliore** les valeurs PDG de différence de masse **d'un facteur > 2**
- 2) Ce test particulier n'a pas permis d'invalider la **symétrie CPT** ($\Delta m \sim 0$)
MAIS a permis **d'offrir une contrainte supplémentaire**

Conclusion

- **Résultats :**

Nos mesures

- 1) améliorent les valeurs de masse et de différence de masse actuelles d'un facteur > 2
- 2) contraignent davantage la validité de la symétrie CPT

➔ Présentation à un groupe de travail de la collaboration + amorce d'une note d'analyse

- **Perspectives :**

- 1) Poursuite de cette étude cet été...

- Examiner d'autres sources d'incertitudes systématiques (Binning sur la masse invariante (*en cours*), plage d'ajustement,...)

- Pousser les systématiques jusqu'au calcul de ΔM

- Comparer $M_{\text{(reco)}}$ Vs $M_{\text{(Monte-Carlo)}}$

- 2) ...en vue de sa finalisation et de sa publication



Merci pour votre attention

19/06/2020

Romain SCHOTTER

A large industrial facility, likely a particle accelerator, with a complex metal structure and a person standing on a platform for scale. The structure is composed of many interconnected metal beams and pipes, forming a large, circular, multi-layered structure. The color palette is dominated by reds, oranges, and blues. A person in a white shirt and blue pants is standing on a green platform in the lower left, providing a sense of scale. The overall scene is brightly lit, with some shadows and highlights on the metal surfaces.

Backup

19/06/2020

Romain SCHOTTER

Contexte

Cas du proton :

$$|m_p - m_{\bar{p}}|/m_p < 7 \times 10^{-10}$$

Cas du e^- :

$$|m_{e^-} - m_{e^+}|/m_{e^-} < 8 \times 10^{-9}$$

Cas du deutérium :

$$|m_d - m_{\bar{d}}|/m_d < 0.9 \times 10^{-4}$$

Cas du ${}^3\text{He}$:

$$|m_{\text{He}} - m_{\bar{\text{He}}}|/m_{\text{He}} < 1.2 \times 10^{-3}$$

Cas du Λ :

$$|m_{\Lambda} - m_{\bar{\Lambda}}|/m_{\Lambda} < 1.2 \times 10^{-3}$$

Lot de données

- Dans cette analyse, proton-proton collision à $\sqrt{s} = 13$ TeV du run II
- Compilation de toutes les **collisions pp de 2016 à 2018** sous deux déclenchements :
 - **Minimum bias** (certitude d'une collision pp, et pas une collision résiduelle)
 - **High Multiplicity** (forte production de particules)

pp inélastique
→ **4,9 milliards d'événements !**

VS

Désintégration hadronique du Z
3,25 millions d'événements des
mesures relatives aux Ξ du PDG

La sélection des Ξ et des Ω

On reconstruit les cascades grâce à des critères spatiaux → **Reconstruction topologique**
MAIS

Notre but est une **mesure de précision** de la masse des Ξ et des Ω

→ **Recours à des sélections additionnelles**

Variables Topologiques	Sélections $\Xi^- (\Xi^+)$
DCA Pos au vtx prim	> 0.03(0.04) cm
DCA Neg au vtx prim	> 0.04(0.03) cm
DCA V0 au vtx prim	> 0.06 cm
DCA entre les filles du V0	< 1.5 cm
Rayon du V0	> 1.2 cm
V0 Cos(Angle de pointage)	> 0.97
Masse V0 – Masse Λ	< 0.008 GeV
DCA célibataire au vtx prim	> 0.04 cm
DCA entre les filles de la casc.	< 1.3 cm
Rayon de la casc.	> 0.6 cm
Casc. Cos(Angle de pointage)	> 0.97
Distance de vol casc.	< 3*4.91 cm

275 jeux de sélections ont été testés

Variables TPC	Sélection
Nbr de rangées traversées	> 90
PID TPC	< 1 σ

Requêtes ITS	Sélection
Célibataire	SPD 0
Filles du V0	SSD 4 or SSD 5

Variables Pile-up	Sélection
Réjection MV pile-up	OUI
Réjection OOB pile-up	OUI
Collision de paquets le plus proche] - ∞ ; -500] \cup [500 ; + ∞ [

La sélection des Ξ et des Ω

On reconstruit les cascades grâce à des critères spatiaux → **Reconstruction topologique**

MAIS

Notre but est une **mesure de précision** de la masse des Ξ et des Ω

→ **Recours à des sélections additionnelles**

275 jeux de sélections ont été testés

Variables Topologiques	Sélections $\Omega^- (\bar{\Omega}^+)$
DCA Pos au vtx prim	> 0.03(0.04) cm
DCA Neg au vtx prim	> 0.04(0.03) cm
DCA V0 au vtx prim	> 0.06 cm
DCA entre les filles du V0	< 1.5 cm
Rayon du V0	> 1.1 cm
V0 Cos(Angle de pointage)	> 0.97
Masse V0 – Masse Δ	< 0.008 GeV
DCA célibataire au vtx prim	> 0.04 cm
DCA entre les filles de la casc.	< 1.3 cm
Rayon de la casc.	> 0.5 cm
Casc. Cos(Angle de pointage)	> 0.97
Distance de vol casc.	< 3*2.46 cm
Masse Ω^\pm – Masse Ξ^\pm	< 0.008 GeV

Variables TPC	Sélection
Nbr de rangées traversées	> 90
PID TPC	< 2 σ

Requêtes ITS	Sélection
Célibataire	SPD 0
Filles du V0	SSD 4 or SSD 5

Variables Pile-up	Sélection
Réjection MV pile-up	OUI
Rejection OOB pile-up	OUI
Collision de paquets le plus proche	$]-\infty; -500] \cup [500; +\infty[$

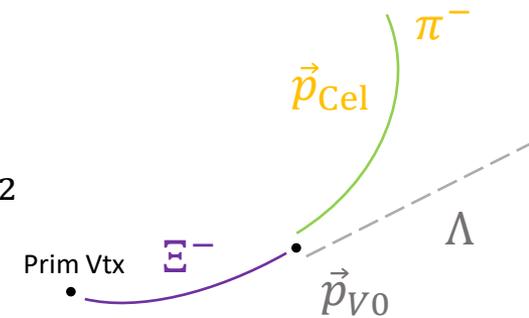
L'extraction de la masse

Comment extrait-on la masse invariante ?

On fait l'hypothèse d'un Ξ^\pm ou d'un Ω^\pm

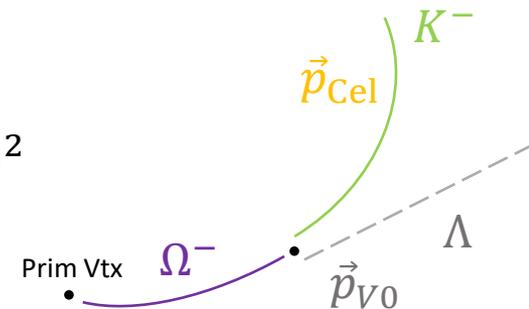
$$M^2(\Xi^-) = \left(\sqrt{\vec{p}_{\text{Cel}}^2 + m_\pi^2} + \sqrt{\vec{p}_{V0}^2 + m_\Lambda^2} \right)^2 - (\vec{p}_{\text{Cel}} + \vec{p}_{V0})^2$$

Hypothèse Ξ^-



$$M^2(\Omega^-) = \left(\sqrt{\vec{p}_{\text{Cel}}^2 + m_K^2} + \sqrt{\vec{p}_{V0}^2 + m_\Lambda^2} \right)^2 - (\vec{p}_{\text{Cel}} + \vec{p}_{V0})^2$$

Hypothèse Ω^-



L'extraction de la masse

Comment extrait-on la masse invariante ?

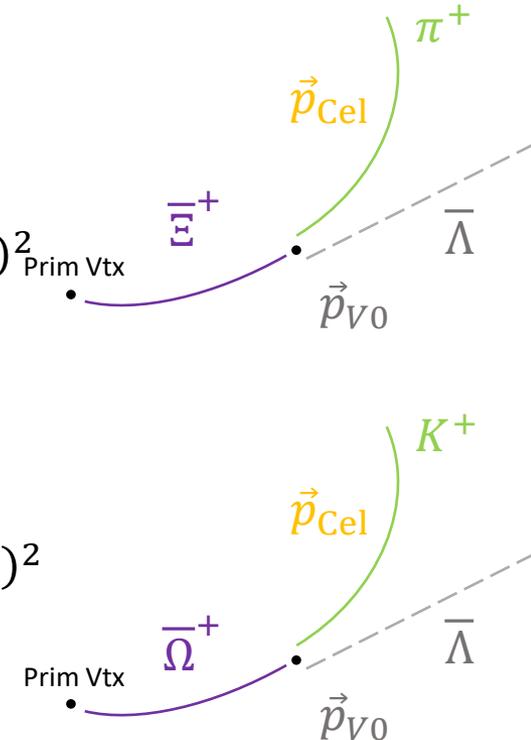
On fait l'hypothèse d'un Ξ^\pm ou d'un Ω^\pm

$$M^2(\bar{\Xi}^+) = \left(\sqrt{\vec{p}_{\text{Cel}}^2 + m_\pi^2} + \sqrt{\vec{p}_{V0}^2 + m_\Lambda^2} \right)^2 - (\vec{p}_{\text{Cel}} + \vec{p}_{V0})_{\text{Prim Vtx}}^2$$

Hypothèse $\bar{\Xi}^+$

$$M^2(\bar{\Omega}^+) = \left(\sqrt{\vec{p}_{\text{Cel}}^2 + m_K^2} + \sqrt{\vec{p}_{V0}^2 + m_\Lambda^2} \right)^2 - (\vec{p}_{\text{Cel}} + \vec{p}_{V0})^2$$

Hypothèse $\bar{\Omega}^+$



L'étude systématique 1/5

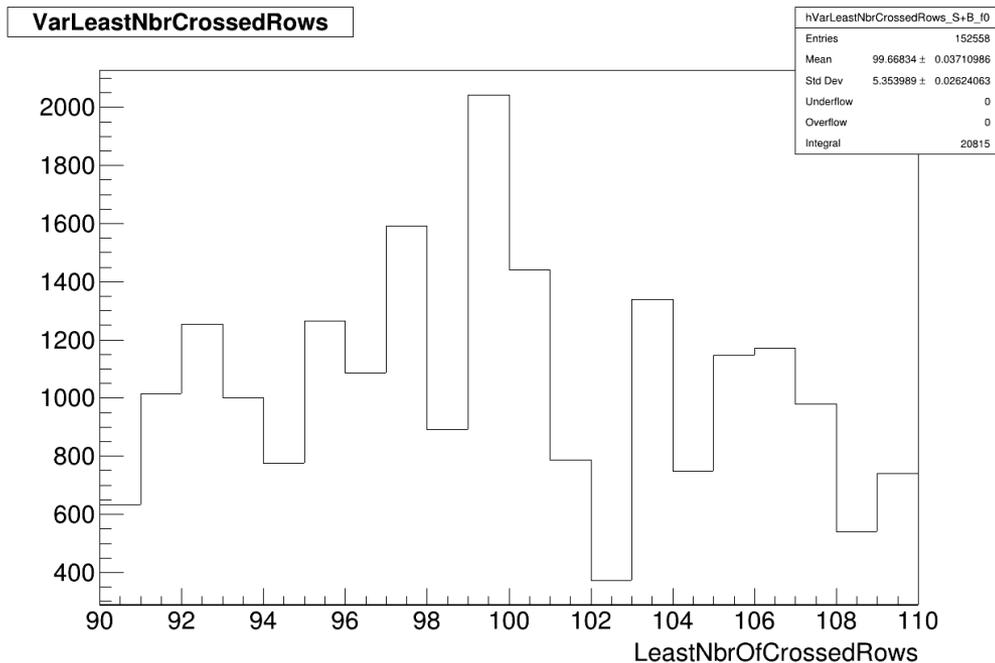
Incertitude statistique << Incertitude sur la masse du PDG

MAIS notre jeu de coupure peut être fortement biaisé

Si c'est le cas, la moindre variation dans nos coupures → valeur de masse complètement différente

Le but est de varier les sélections topologiques et observer comment la masse évolue

- **Construire la distribution du signal suivant chaque variable topologique** (14 variables)
- Choisir un jeu de sélection aléatoire (selon leur distribution respective) (1 jeu de selection = 14 variables)
- Construit la masse invariante et on extrait la masse



L'étude systématique 2/5

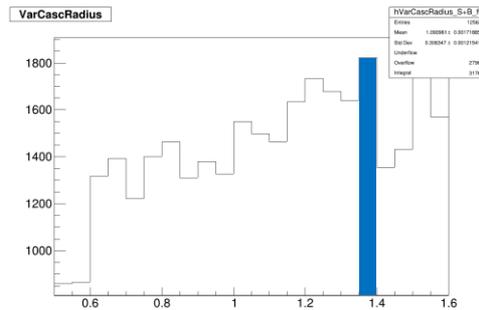
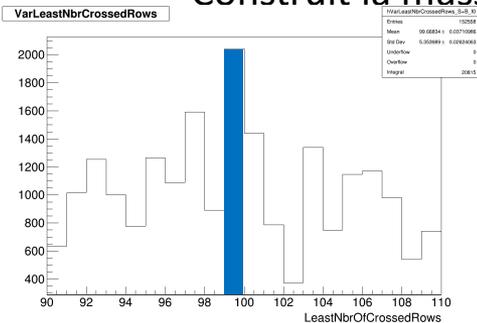
Incertitude statistique << Incertitude sur la masse du PDG

MAIS notre jeu de coupure peut être fortement biaisé

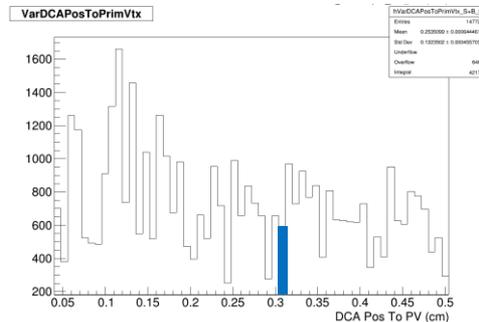
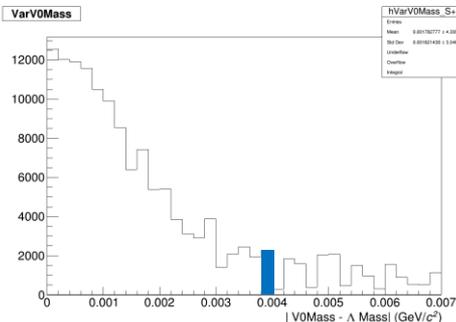
Si c'est le cas, la moindre variation dans nos coupures → valeur de masse complètement différente

Le but est de varier les sélections topologiques et observer comment la masse évolue

- Construire la distribution du signal suivant chaque variable topologique (14 variables)
- **Choisir un jeu de sélection aléatoire (selon leur distribution respective)** (1 jeu de selection = 14 variables)
- Construit la masse invariante et on extrait la masse



...



L'étude systématique 3/5

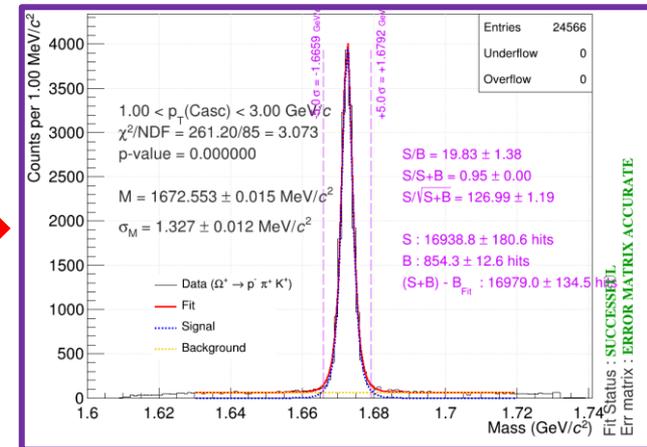
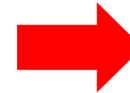
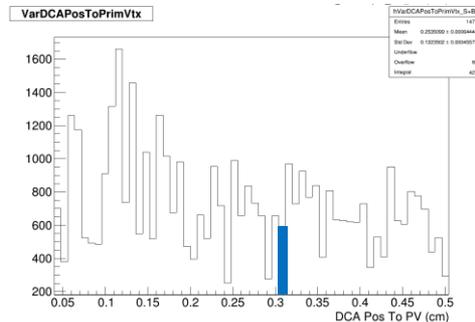
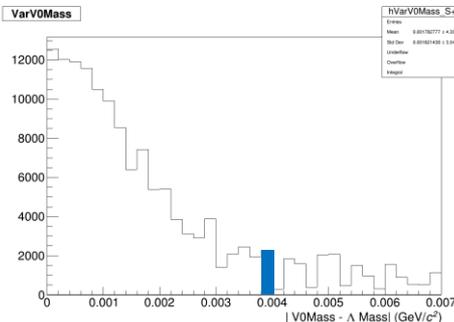
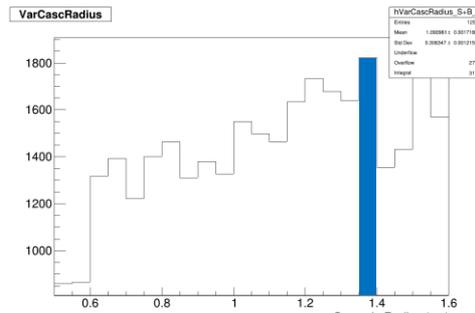
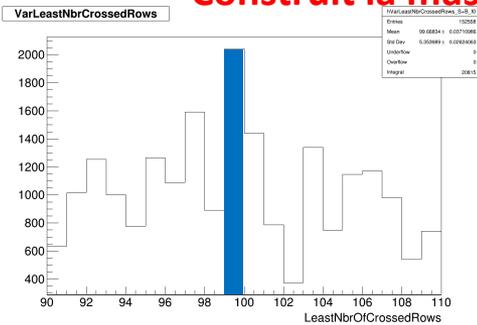
Incertitude statistique << Incertitude sur la masse du PDG

MAIS notre jeu de coupure peut être fortement biaisé

Si c'est le cas, la moindre variation dans nos coupures → valeur de masse complètement différente

Le but est de varier les sélections topologiques et observer comment la masse évolue

- Construire la distribution du signal suivant chaque variable topologique (14 variables)
- Choisir un jeu de sélection aléatoire (selon leur distribution respective) (1 jeu de selection = 14 variables)
- **Construit la masse invariante et on extrait la masse**



Romain SCHOTTER

L'étude systématique 4/5

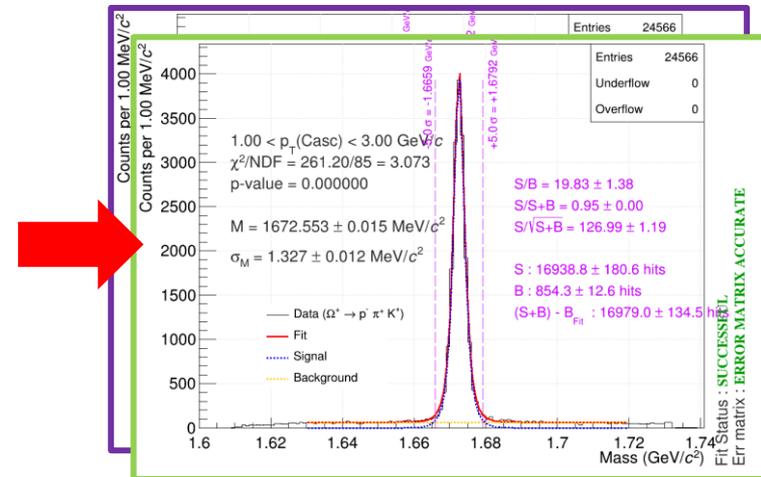
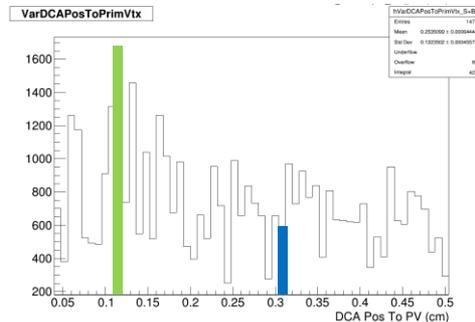
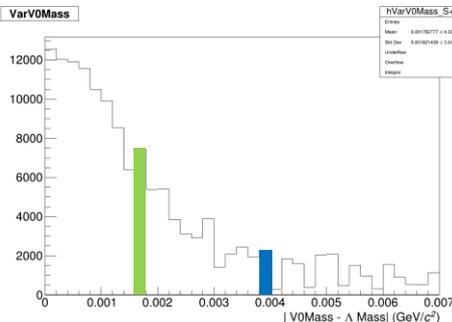
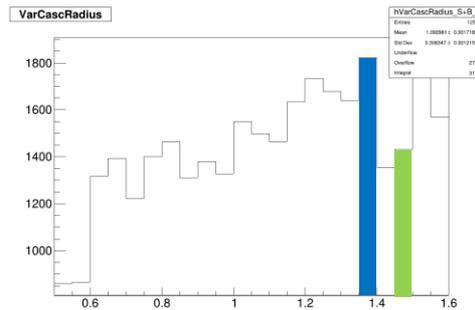
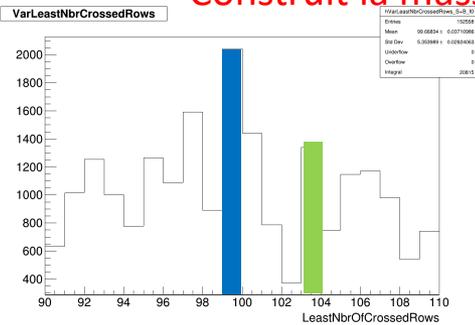
Incertitude statistique << Incertitude sur la masse du PDG

MAIS notre jeu de coupure peut être fortement biaisé

Si c'est le cas, la moindre variation dans nos coupures → valeur de masse complètement différente

Le but est de varier les sélections topologiques et observer comment la masse évolue

- Construire la distribution du signal suivant chaque variable topologique (14 variables)
- Choisir un jeu de sélection aléatoire (selon leur distribution respective) (1 jeu de selection = 14 variables)
- Construit la masse invariante et on extrait la masse



Romain SCHOTTER

L'étude systématique 5/5

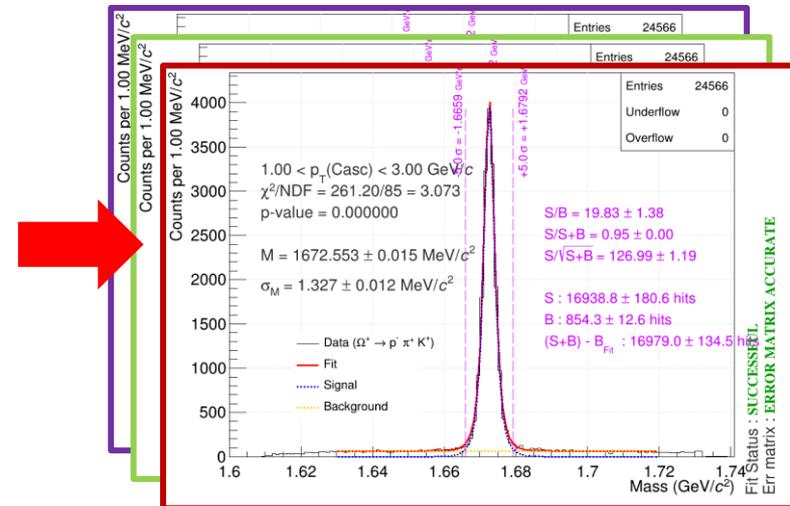
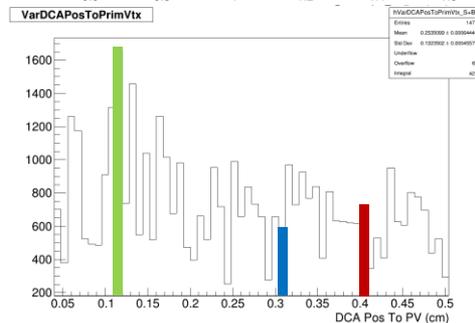
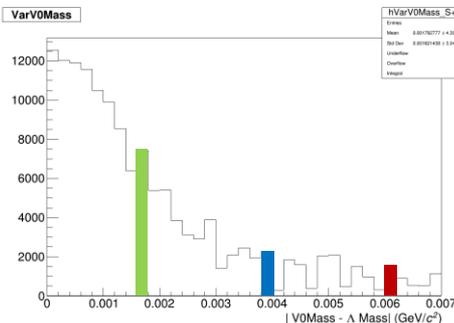
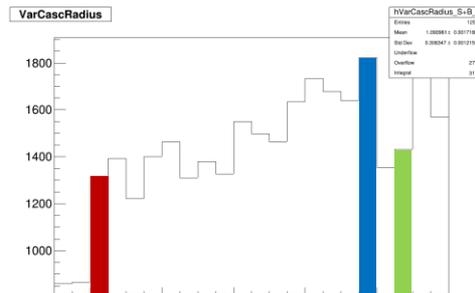
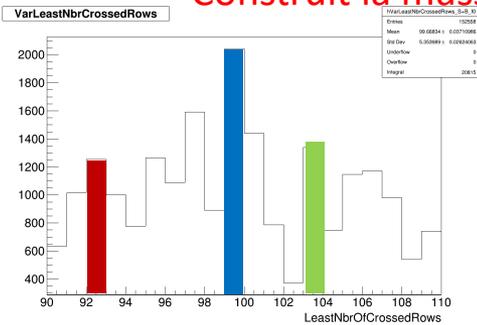
Incertitude statistique \ll Incertitude sur la masse du PDG

MAIS notre jeu de coupure peut être fortement biaisé

Si c'est le cas, la moindre variation dans nos coupures \rightarrow valeur de masse complètement différente

Le but est de varier les sélections topologiques et observer comment la masse évolue

- Construire la distribution du signal suivant chaque variable topologique (14 variables)
- Choisir un jeu de sélection aléatoire (selon leur distribution respective) (1 jeu de selection = 14 variables)
- Construit la masse invariante et on extrait la masse



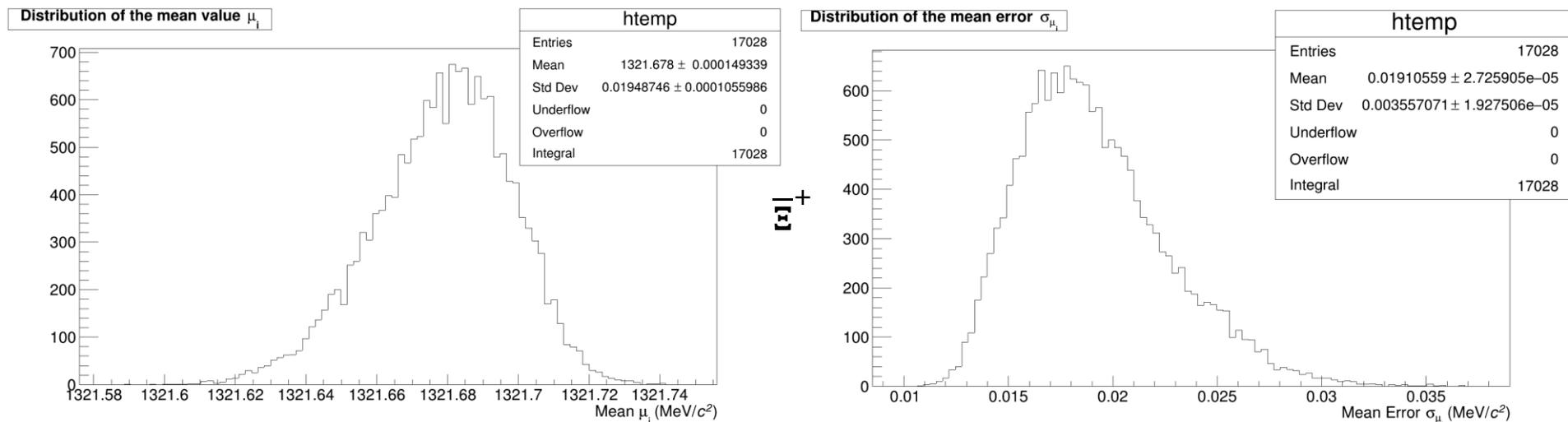
Romain SCHOTTER

L'étude systématique

Parmi 20 000 jeux de sélections, tous les fits ne sont pas utiles (Ex : échec du fit, valeur aberrante,...)
 = 20 000 Masses Inv. x 4 espèces = 20 000 ajustements du signal x 4 espèces

Un ajustement est considéré comme utile si

- Il est *successful*,
 - Valeur-p est petite (< 0.05),
 - $\chi^2/NDF < 5$,
 - $\sigma_{\mu_i} < 0.1\% \mu_i$ (~ 1 MeV), avec μ_i la valeur de la masse pour le jeu de sélections i
- σ_{μ_i} erreur sur la valeur μ_i
- Signal > 0 & Bruit de fond ≥ 0



L'étude systématique

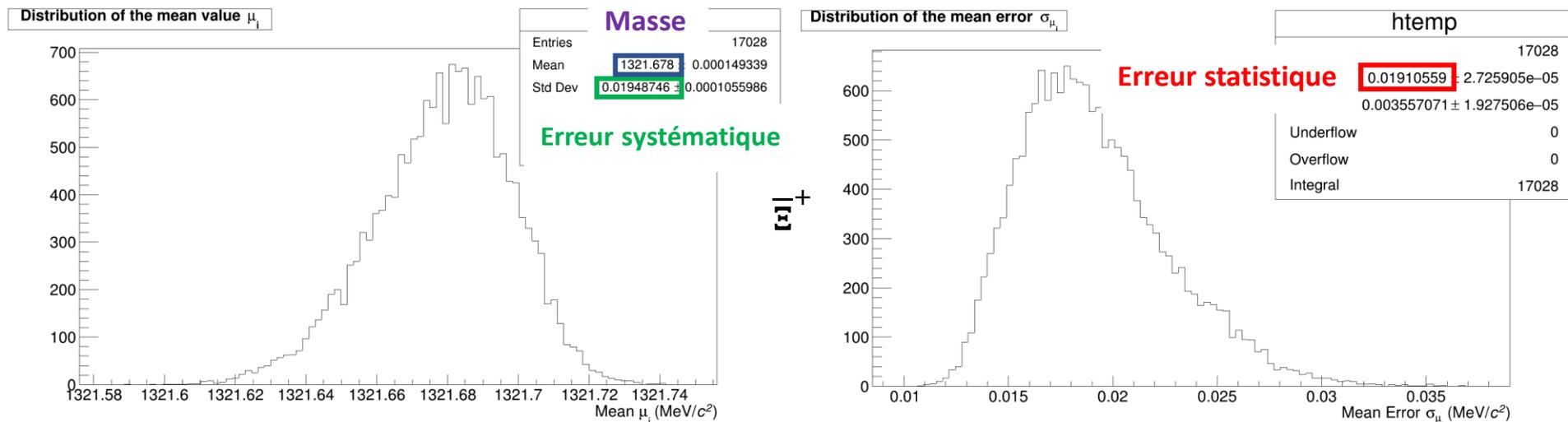
Parmi 20 000 jeux de sélections, tous les fits ne sont pas utiles (Ex : échec du fit, valeur aberrante,...)
 = 20 000 Masse Inv. x 4 espèces = 20 000 ajustement du signal x 4 espèces

Un ajustement est considéré comme utile si

- Il est *successful*,
- $\chi^2/NDF < 5$,
- $\sigma_{\mu_i} < 0.1\% \mu_i$ (~ 1 MeV), avec μ_i la valeur de la masse pour le jeu de sélections i

σ_{μ_i} erreur sur la valeur μ_i

- Signal > 0 & Bruit de fond ≥ 0

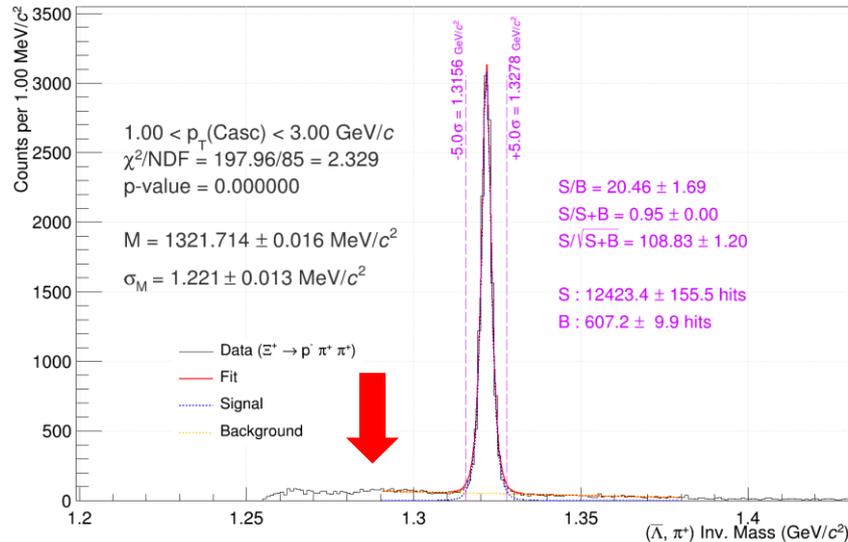


19/06/2020

Romain SCHOTTER

Topologie erronée

SANS coupure sur angle de pointage baryon-célibataire



AVEC coupure sur angle de pointage baryon-célibataire

