

# Mesure du facteur de modification nucléaire $R_{AA}$ avec ALICE

R. Averbeck<sup>1</sup>, F. Bock<sup>2</sup>, B. Doenigus<sup>1</sup>, Y. Foka<sup>1</sup>, P. Luettig<sup>3</sup>, S. Masciocchi<sup>1</sup>, K. Schwarz<sup>1</sup>,  
R. Simon<sup>1</sup>, J. Thaeeder<sup>1</sup>

Traduit en Français par Yves Schutz<sup>4</sup>

**lundi, 10 avril 2017**

---

<sup>1</sup> Research Division and ExtreMe Matter Institute EMMI, GSI Helmholtzzentrum für  
Schwerionenforschung, Darmstadt, Germany

<sup>2</sup> Research Division and ExtreMe Matter Institute EMMI, GSI Helmholtzzentrum für  
Schwerionenforschung, Darmstadt, Germany

<sup>3</sup>Institut für Kernphysik, Goethe University Frankfurt, Germany

<sup>4</sup> Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Strasbourg, France

|  |    |
|--|----|
| Motivation de physique   | 3  |
| Le système de détecteurs ALICE   | 3  |
| Le facteur de modification nucléaire   | 3  |
| Centralité   | 3  |
| Facteur de modification nucléaire en fonction de la quantité de mouvement transverse | 6  |
| Analyse visuelle   | 6  |
| La mission   | 6  |
| L'outil  | 7  |
| Analyse à grande échelle   | 11 |
| La mission   | 11 |
| Construire le spectre de quantité de mouvement                                       | 11 |
| Construire les facteurs de modification nucléaire                                    | 15 |

# Motivation de physique

---

## 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.

---

## Le facteur de modification nucléaire $R_{AA}$

En 2010, les données pour les premières collisions du LHC ont été enregistrées par les expériences. L'expérience ALICE, qui est particulièrement bien adaptée à la mesure des propriétés des particules présentes dans un environnement caractérisé par une densité de particules élevées, a mesuré le facteur de modification nucléaire  $R_{AA}$  pour des particules non identifiées. Ce facteur mesure la différence dans la production de particules lorsqu'elle est mesurée dans les collisions pp et dans les collisions noyau-noyau. Sa définition est la suivante:

$$R_{AA} = \frac{Y(PbPb)}{\langle N_{coll} \rangle Y(pp)},$$

où  $Y(PbPb)$  et  $Y(pp)$  représentent la production (ou le nombre de particules par collision) dans les collisions PbPb et pp, respectivement, et  $\langle N_{coll} \rangle$  est le nombre moyen de collisions binaires nucléon-nucléon qui ont eu lieu dans la collision entre deux noyaux de plomb. Clairement, puisque un noyau de plomb est constitué de 208 nucléons, une collision Pb-Pb standard peut être considérée comme la superposition de plusieurs collisions pp.  $\langle N_{coll} \rangle$ , qui peut être déterminé expérimentalement, mesure le nombre de collisions pp équivalent à une collision Pb-Pb.

Si le facteur de modification nucléaire est égal à un, la production de particules dans une collision Pb-Pb est en moyenne équivalente à la production dans  $\langle N_{coll} \rangle$  collisions pp indépendantes. De façon naïve, on pourrait interpréter cette observation par le fait que la physique des collisions pp est la même que celle des collisions Pb-Pb.

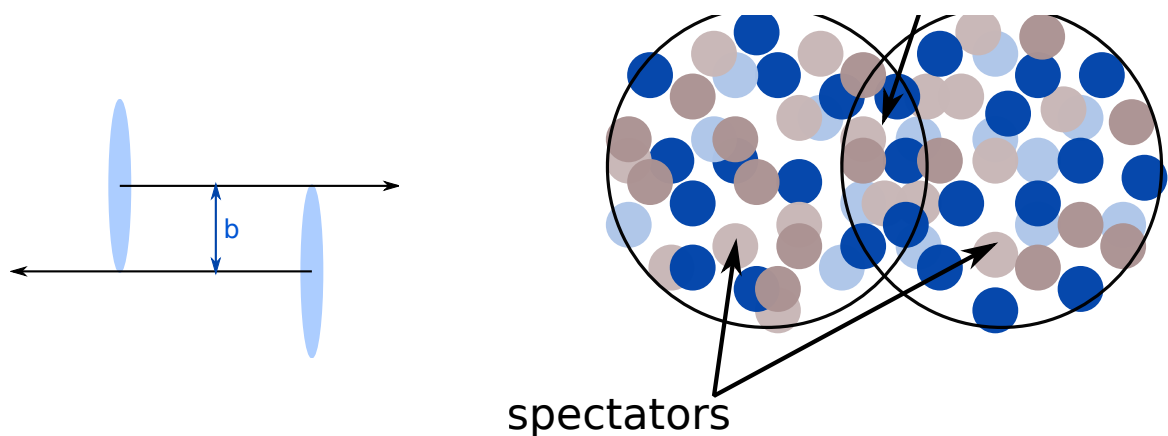
---

## Centralité

Le noyau de l'atome de plomb est grand comparé à la taille des protons. En conséquence, toutes les collisions Pb-Pb ne sont pas identiques en ce qui concerne la géométrie de la

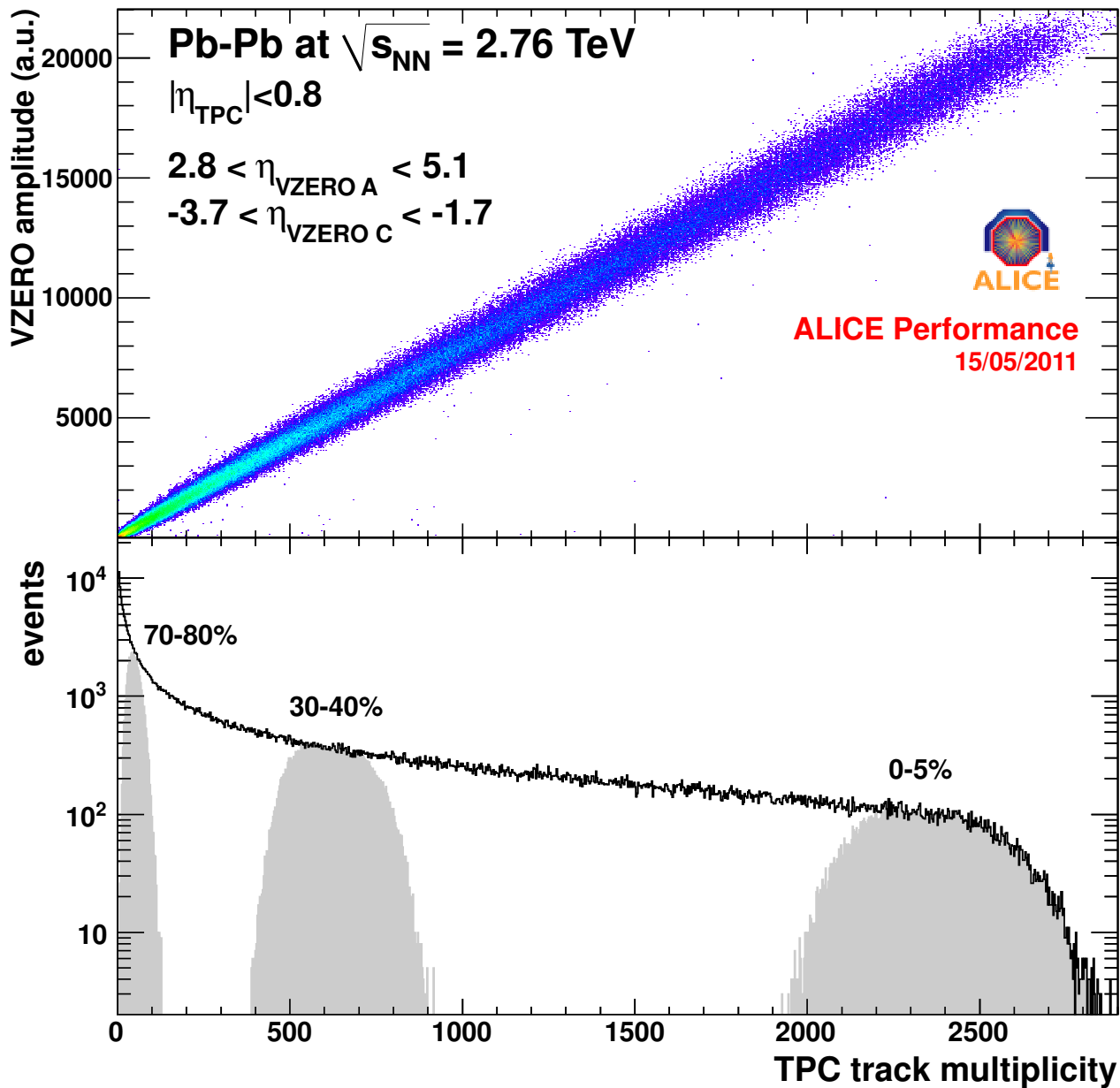
collision. Le paramètre qui contrôle la géométrie est appelé paramètre d'impact, noté  $b$ . Il est mesuré par la distance dans le plan transverse entre les centres des deux noyaux de Pb en collision (voir Figure 1, panneau de gauche). Une collision avec paramètre d'impact, qui varie de zéro à deux fois le rayon des noyaux en collision, petit est appelée *collision centrale* alors qu'une collision avec un grand paramètre d'impact est appelée *collision périphérique*. De façon générale, la densité d'énergie atteinte dans les collisions noyau-noyau est plus grande avec les collisions centrales qu'avec les collisions périphériques. Lorsque la densité d'énergie est suffisamment élevée un nouvel état de la matière, appelé Plasma de Quarks e Gluons (PQG), est créé. Dans l'état PQG, la matière n'est plus constituée de protons et de neutrons mais de quarks et de gluons qui déterminent les propriétés de cette phase de la matière.

Pour étudier la transition de phase qui change la matière nucléaire ordinaire en PQG, il faut tout d'abord pouvoir distinguer les collisions centrales des collisions périphériques. Ceci revient à mesurer la centralité de la collision pour chacune des collisions prises



**FIGURE 1 : ILLUSTRATION DE LA COLLISION DE DEUX NOYAUX ATOMIQUES, INDIQUANT LE PARAMÈTRE D'IMPACT  $b$  (À GAUCHE), AINSI QUE LES NUCLÉONS PARTICIPANTS ET LES NUCLÉONS SPECTATEURS (À DROITE).}**

séparément. Comment cela est-il possible ? De façon idéale, on aimerait mesurer directement le paramètre d'impact. Malheureusement cela est impossible. Il existe cependant une quantité qui elle est mesurable et qui est liée à la centralité de la collision : il s'agit du nombre de particules produites dans la collision. Dans une collision centrale, quasiment tous les protons et neutrons des noyaux de plomb entre en collision entre eux au moins une fois. On appelle ces nucléons les nucléons participants. De nombreuses collisions entre nucléons participants ont lieu et, par conséquent, de nombreuses particules sont produites dans les collisions centrales. En revanche, dans les collisions périphériques, un certain nombre de protons et de neutrons des noyaux en collision ne font pas partie de la zone de collision et, par conséquent, ne peuvent pas entrer en collision avec un autre neutron ou proton. On les appelle les nucléons spectateurs. Manifestement, moins de collisions individuelles entre protons et neutrons ont lieu dans une collision périphérique que dans une collision centrale et ainsi un plus petit nombre de particules est produit. En résumé, le nombre de particules produites est une bonne mesure de la centralité de la collision. Le nombre de nucléons participants  $N_{part}$  et le nombre de collisions binaires nucléon-nucléon  $N_{coll}$  subies par chaque nucléon participant peuvent être modélisés par un calcul dit calcul de Glauber. Sans vouloir entrer dans les détails,



**FIGURE 2 : CORRÉLATION ENTRE L'AMPLITUDE VZERO AMPLITUDE ET LA MULTIPLICITÉ DES TRACES TPC MESURÉE AVEC ALICE (PANNEAU SUPÉRIEUR). DISTRIBUTION DE LA MULTIPLICITÉ DES TRACES TPC POUR TOUTES LES COLLISIONS Pb-Pb DE BIAIS MINIMUM (HISTOGRAMME) ET POUR LES CLASSES DE CENTRALITÉ 0-5%, 30-40%, ET 70-80% (DISTRIBUTIONS GRISÉES) SÉLECTIONNÉES À PARTIR DE LA DISTRIBUTION DES AMPLITUDES VZERO.**

on peut dire qu'à l'aide du modèle de Glauber le nombre de particules produites mesurées par différents détecteurs de ALICE peut être traduit en une mesure de la centralité de chaque collision Pb-Pb prise individuellement.

Avec ALICE, le nombre de particules produites, et donc la centralité de la collision, peut être mesuré de différentes façons : par la mesure de la multiplicité mesurée avec SPD (un des détecteurs de ITS), avec VZERO, ou TPC. La corrélation de l'amplitude mesurée par VZERO, qui est une mesure du nombre de particules chargées atteignant les détecteurs VZERO, et la multiplicité des traces mesurées par TPC, qui est le nombre de traces reconstruites dans un événement à l'aide des données de TPC, est représentée dans la Figure 2 (panneau supérieur). Sans surprise, ces quantités sont parfaitement corrélées.

En ce qui concerne l'analyse du présent exercice, la mesure de la centrality est obtenue partir de l'amplitude VZERO. Les collisions Pb-Pb enregistrées sont regroupées en classes de centralité qui sont définies par un pourcentage minimum et un pourcentage maximum de la distribution des amplitudes VZERO mesurées. Par exemple, la classe de centralité 0-10% contient les 10% de tous les événements qui ont la plus grande amplitude et, par conséquent, représente les événements les plus centraux. La classe de centralité 30-40% contient également 10% de tous les événements, mais 30% de tous les événements ont les plus grandes amplitudes VZERO (ils sont plus centraux) et 60% de tous les événements ont les plus petites amplitudes VZERO (ils sont plus périphériques).

Le panneau inférieur de la Figure 2 représente les distributions du nombre de traces de particules chargées enregistrées de toutes les collisions indépendamment de leur centralité. On appelle cette distribution, la distribution de multiplicité de biais minimum. De plus, les distributions de multiplicité sont représentées pour la classe la plus centrale, une classe semi-centrale et une classe périphérique sélectionnées selon les critères discutés précédemment. Comme attendu, en moyenne les événements contiennent d'autant plus de traces de particules chargées que la collision est plus centrale.

Pour chaque classe de centralité, le nombre de nucléons participants  $N_{part}$  et le nombre de collisions binaires  $N_{coll}$  peuvent être calculés à partir du modèle de Glauber cité précédemment.

---

## Facteur de modification nucléaire en fonction de la quantité de mouvement transverse

Pour toutes les classes de centralité, le facteur de modification nucléaire  $R_{AA}$  peut être déterminé en fonction de la quantité de mouvement transverse  $p_T$  des particules chargées où  $p_T$  est la composante dans le plan xy perpendiculaire à l'axe du faisceau z de la quantité de mouvement des particules chargées. Cette composante est calculée de la façon suivante :

$$p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}.$$

Il est intéressant de vérifier si  $R_{AA}$  dépend de la valeur de la quantité de mouvement transverse d'une particule. Les particules chargées avec une valeur élevée de  $p_T$  ont typiquement leur origine dans les collisions violentes de diffusion entre quarks et gluons appartenant aux noyaux incidents. On appelle ces processus, des processus durs. Les quarks et gluons ainsi diffusés traversent le milieu chaud et dense formé dans la collision et interagissent avec le milieu. Cette interaction conduit, en général, à une perte d'énergie du quark ou du gluon diffusé qui pourrait être observé grâce au facteur de modification nucléaire.

En clair, on s'attend à ce que pour les collisions les plus périphériques, c'est-à-dire dans notre cas la classe de centralité 70-80%,  $R_{AA}$  soit voisin de 1 car une collision périphérique Pb-Pb ne devrait pas être trop différente d'une collision pp en terme de production de particules. C'est l'objet de cet exercice de trouver ce qui se passe dans les collisions plus centrales.

## Analyse visuelle

---

La mission

L'objectif de cette analyse visuelle est de vous familiariser avec différents concepts :

- *grappe (en anglais clusters)* : signature électronique générée par une particule traversant un détecteur informant également le temps et l'endroit du passage.
- *trace (en anglais track)* : chemin parcouru par une particule au travers du système de détection et reconstruit à partir de l'information spatio-temporelle des frappes. Le chemin de la particule est rectiligne en absence de forces extérieures, telles un champ magnétique (B) ou un champ électrique (E). Lorsque une particule chargée traverse un champ magnétique, elle subit l'influence de ce champ sous l'effet de la force de Lorentz qui incurve la trajectoire.
- *vertex primaire* : vertex de la collision sélectionné par l'analyse.
- *collisions satellites/vertex d'empilement* : vertex de collisions non sélectionnés par l'analyse qui sont dus à l'intensité élevée des faisceaux du LHC.
- *trace primaire* : trace issue du vertex de collision sélectionné (pour l'analyse présente: distance d'approche la plus proche  $< 1$  cm).
- *trace secondaire* : trace non issue du vertex primaire mais d'un vertex secondaire de décroissance telle la décroissance de particules étranges.

Ensuite, il vous est demandé de compter pour les 30 événements de collisions pp à une énergie dans le centre de masse  $\sqrt{s} = 2,76$  TeV et avec un champ magnétique de 0.5 Tesla le nombre de traces issues du vertex primaire (*multiplicité*) en cliquant chaque trace primaire. L'outil dont vous disposerez comptera le nombre total de traces et le publiera dans un histogramme à partir duquel vous pourrez déduire la valeur moyenne de la distribution après avoir analysé les 30 événements.

En plus, vous compterez la multiplicité dans une collision Pb-Pb périphérique et dans une collision Pb-Pb centrale.

Vous calculerez ensuite la valeur  $R_{AA}$  intégrée pour ces événements. Pour cela, vous diviserez le nombre de traces de particules chargées mesuré dans les événements Pb-Pb par 0.6 (pourquoi ?) et le nombre de collisions binaires  $N_{coll}$  reporté dans le Tableau 1.

**TABLEAU 1 : CLASSIFICATION DES ÉVÉNEMENTS PB-PB POUR L'ANALYSE VISUELLE ET LE NOMBRE DE COLLISIONS BINAIRES  $N_{coll}$  DÉDUIT À PARTIR DU MODÈLE DE GLAUBER.**

| Classification | Centralité | $N_{coll}$ |
|----------------|------------|------------|
| périphérique   | 80 - 90 %  | 6,32       |
| semi-central   | 20 - 40 %  | 438,80     |
| central        | 0 - 5 %    | 1686,87    |

## L'outil

Pour réaliser cet exercice, un logiciel a été développé dans le cadre de l'environnement logiciel ROOT (<http://root.cern.ch/>). Cet outil logiciel vous permet de visualiser les grappes détectées dans les principaux détecteurs du tonneau central (ITS, TPC, TRD et TOF) ainsi que les traces reconstruites satisfaisant certains tests de qualité. De plus, l'outil peut vous indiquer le vertex primaire ainsi que les traces primaires issues de ce vertex. Il vous aidera à compter ces traces.

**Comment démarrer !!!**

Au démarrage, l'outil se présente comme représenté dans la Figure 3 avec une fenêtre d'analyse et un résumé des instructions.



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

Vous pouvez faire trois choses:

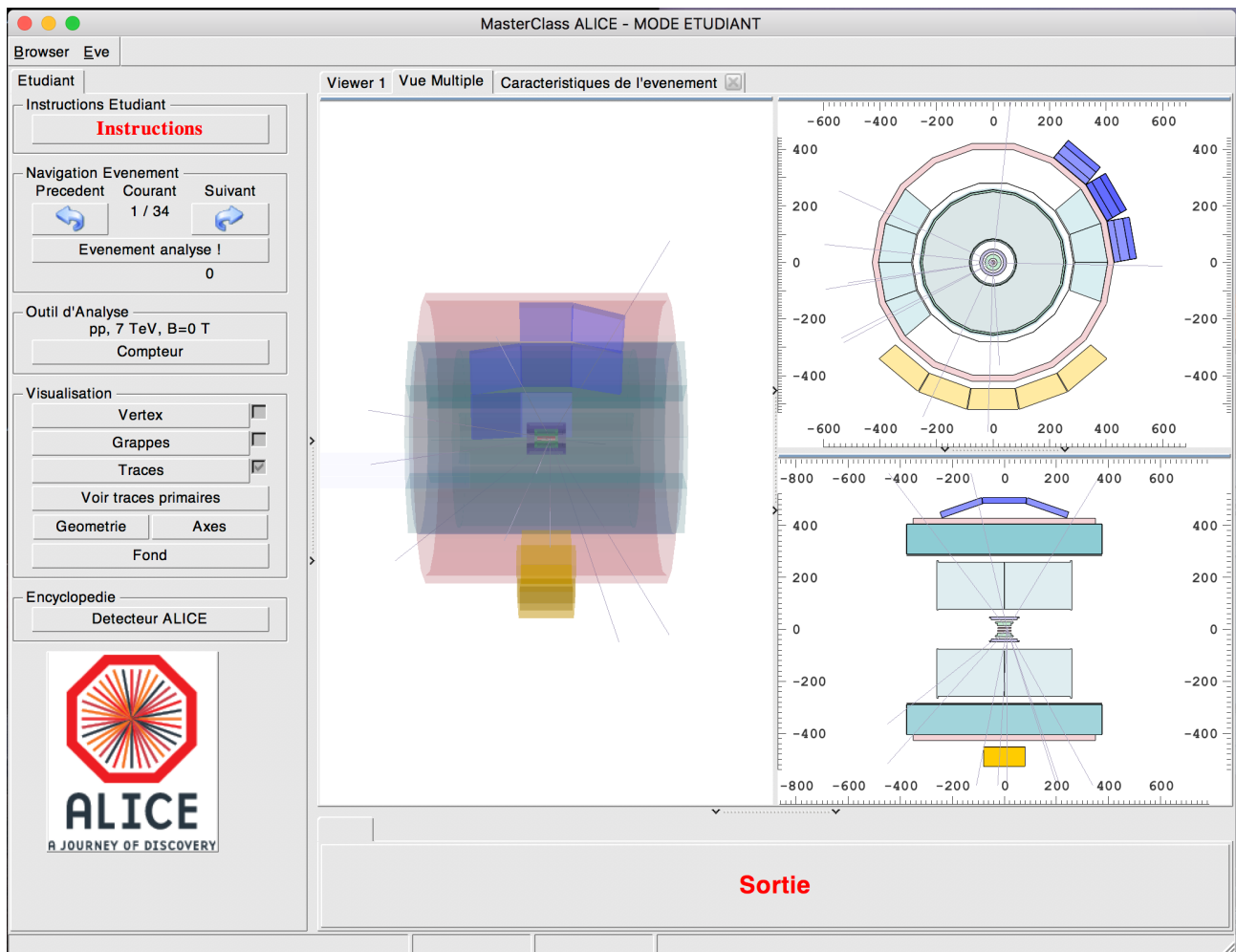
- Démarrer - l'analyse
- Sélectionner le jeu de données que vous souhaitez analyser. Demandez à votre tuteur le jeu de données qui vous es assigné.
- Exit - terminer l'analyse.

Après avoir démarrer l'analyse, la fenêtre représentée dans la Figure 4 apparaîtra en même temps qu'une version simplifiée des instructions complètes pour l'analyse visuelle.

Cette fenêtre est divisée en deux sous-fenêtres principales: l'une dans la colonne de gauche avec un certain nombre d'options et l'une dans la colonne de droite avec la visualisation des événements. Dans la partie haute, vous trouverez trois onglets « Viewer 1 », « Vue Multiple » et « Caractéristiques de l'événement ». Les deux premiers sont destinés à la visualisation d'un événement: « Viewer 1 » permet de visualiser l'événement en trois dimensions en une vue unique, et « Vue Multiple » permet de visualiser 2 projections (projection  $r\phi$  en haut à droite et  $rz$  en bas à droite) et la vue 3D au centre. Vous pouvez cliquer n'importe où dans la visualisation de l'événement et vous pouvez naviguer soit avec la souris en maintenant enfoncé le bouton droit de la souris (pour



tourner la vue 3D) soit avec le clavier en utilisant les touches « flèche vers le haut » et « flèche vers le bas ». Pour agrandir ou rapetisser l'image, sélectionner une vue et utilisez les touches du clavier « + » et « - ». En cliquant les traces, vous pouvez les compter pour construire la distribution de multiplicité lorsque le compteur est activé. De plus, plusieurs propriétés seront affichées dans la partie supérieure du compteur. Après avoir cliqué sur une trace, celle-ci sera affichée en rouge. Cependant, si vous changez les paramètres de la visualisation, par exemple activer/désactiver l'affichage des traces, celles-ci seront à nouveau affichées en gris/bleu.



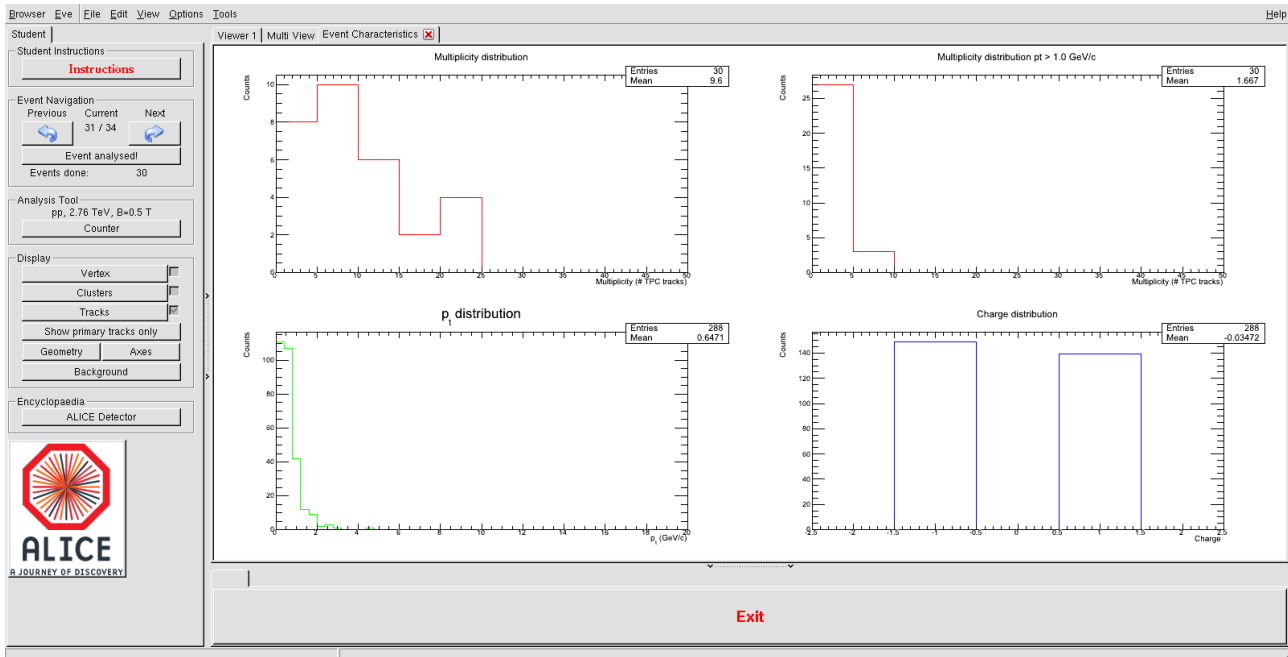
**FIGURE 4 : UN ÉVÉNEMENT PB-PB VU DANS L'OUTIL DE VISUALISATION.**

pour compter les traces primaires, sélectionnez pour simplifier l'exercice l'option « Voir traces primaires »: Dans le cas des événements Pb-Pb il sera préférable de désactiver la visualisation des « grappes » sinon l'image sera surchargée. La Figure 4 représente un événement un événement Pb-Pb semi-central avec toutes les options de visualisation activées. Les multiplicités dans les 3 événement Pb-Pb devront être notées sur papier, l'outil ne les enregistrant pas.

Sous l'onglet « Caractéristiques de l'événement » (Figure 5), vous pouvez voir quatre histogrammes. Ceux-ci seront remplis uniquement pour les événements pp à  $\sqrt{s} = 2,76$  TeV.

La colonne de gauche de la fenêtre principale vous permet de sélectionner les options suivantes :

- **Instructions**  
Ce bouton vous permet de réafficher la version raccourcie des instructions.
- **Navigation événement**  
Vous pouvez naviguer d'un événement à l'autre avec les boutons « Suivant » et « Précédent » et le numéro courant de l'événement sera affiché au centre. En cliquant le bouton « Événement analysé ! », la multiplicité sera ajoutée à l'histogramme



**FIGURE 5 : HISTOGRAMMES POUR LA CARACTÉRISATION DES ÉVÉNEMENTS pp À  $\sqrt{s} = 2,76$  TeV.**

correspondant (voir plus loin). De plus, la valeur du nombre d'événements analysés sera incrémenté et affichée en dessous de ce bouton.

- **Outil d'Analyse**  
Ici, vous pouvez démarrer l'outil de comptage selon le type d'événement à analyser. Il y a 5 types différents d'événements :
  - 1 événement pp à  $\sqrt{s} = 7$  TeV et à champ magnétique nul.
  - 30 événements pp à  $\sqrt{s} = 2,76$  TeV et à champ magnétique  $B = 0.5$  Tesla.
  - 1 événement Pb-Pb périphérique (32<sup>ème</sup> événement).
  - 1 événement Pb-Pb semi-central (33<sup>ème</sup> événement).
  - 1 événement Pb-Pb central (34<sup>ème</sup> événement).

Veuillez fermer le compteur actif chaque fois que vous changez de type d'événement et ré-ouvrez le en cliquant le bouton « Compteur ». Les deux différents types de compteur (Figure 6) s'afficheront en fonction du type de collision sélectionné. Pour la première classe d'événements ( $B = 0$  T), il n'existe pas d'outil de comptage. Dans les deux types de compteur les propriétés des traces sont affichées telles que  $p_x, p_y, p_z, p_T$ , la charge des traces ou la multiplicité de l'événement. Dans le cas des événements pp (2,76 TeV,  $B = 0,5$  T) la valeur de  $p_T$  et la charge seront automatiquement publiées dans les histogrammes sous l'onglet « Caractéristiques de l'événement ». Dans ce cas, les multiplicités peuvent être publiées en cliquant soit le bouton « Événement Analysé ! » dans la fenêtre principale soit le bouton « Ajouter à l'histogramme Mult ». Vous ne

devez publier les valeurs de la multiplicité que si vous êtes sûrs d'avoir compter correctement le nombre de traces. Une erreur ne pourra pas être corrigée. Le bouton « Effacer » remet tous les affichages à zéro. Cependant les propriétés des traces publiées précédemment resteront dans les histogrammes. Dans le cas des événements Pb-Pb, vous avez la possibilité de compter automatiquement les traces. Commencez par n'afficher que les traces primaires (en cliquant le bouton « Voir traces primaires » dans la fenêtre principale). Il n'existe pas de méthode automatique pour enregistrer la multiplicité, veuillez donc noter cette valeur séparément.

- Visualisation

Cette partie vous permet de sélection et désélectionner plusieurs options de visualisation (telles vertex primaires - « Vertex », grappes - « Grappes », traces - « Traces », géométrie des détecteurs - « Géométrie », axes des coordonnées - « Axes » et changement de la couleur du fond - « Fond »). Il vous permet également de réduire les traces visualisées aux seules traces primaires, issues du vertex primaires, en cliquant le bouton « Voir traces primaires ! ». En cliquant une deuxième fois, toutes les traces seront à nouveau visualisées.

- Encyclopédie

En sélectionnant cette option, vous en apprendrez un peu plus sur le détecteur ALICE. En plus, des informations sur les détecteurs individuels apparaîtront en cliquant les volumes du détecteur en question dans la visualisation globale. Pour fermer la fenêtre texte, cliquez à nouveau dans l'image du détecteur.

## Analyse à grande échelle

---

### La mission

Dans cette partie de l'exercice Master Class ALICE, vous serez confronter à une analyse à grande échelle basée sur des événements réels de collisions Pb-Pb. Votre mission consistera à programmer la construction du spectre des quantités de mouvement pour une classe de centralité donnée à partir d'un jeu de données données fourni (appelé arbre ou tree en anglais). Ce jeu de données inclus pour chaque événement la centralité de la collision, la multiplicité des traces et la quantité de mouvement de chacune des traces de l'événement. Il vous sera également demandé de rédiger un programme simple qui calcule la valeur de  $R_{CP}$  (kesako ? demander à votre tuteur !) et affiche pour différentes centralités et en une seule image chaque fois les spectres de la quantité de mouvement des traces, de la multiplicité des traces, de  $R_{CP}$  et  $R_{AA}$ .

---

### Construire le spectre de quantité de mouvement

Pour cette partie de l'analyse il vous sera demandé de programmer environ une quinzaine de lignes de code dans un bout de programme appelé macro s'appuyant sur l'environnement logiciel ROOT. Le nom de la macro est

Counter Instructions

Instructions

Particle Properties

Properties

px (GeV/c)

0.0822923

py (GeV/c)

0.186712

pz (GeV/c)

0.155619

pt (GeV/c)

0.204043

charge

-1

Multiplicity

6

Multiplicity for pt > 1.0 GeV/c

0

Options

Clear

Publish to Mult Histogram

Close

Counter Instructions

Instructions

Multiplicity

0

Multiplicity for pt > 1.0 GeV/c

0

Options

Count all primary tracks

Multiplicity:

555

Mult. pt > 1 GeV/c:

72

Options

Clear

Close

FIGURE 6 : OUTIL DE COMPTAGE POUR LES COLLISIONS pp (À GAUCHE) ET LES COLLISIONS Pb-Pb (À DROITE).

« AnalyseTreeForRAAStudents.C » et vous la trouverez dans le répertoire RAA/Part2. Pour lancer son exécution, tapez la commande :

```
root -x -q -b -l 'AnalyseTreeForRAAStudents.C++("MasterClassesTree_LHC10h_Run139036.root","PbPb","kFALSE",0,5)'
```

Les options suivant la commande **root** (« -x -q -b -l ») permettent d'exécuter root avec une verbosité réduite et de traiter la macro dont le nom suit. Vient ensuite le nom de la macro suivie des symboles « ++ » pour forcer la compilation. Viennent ensuite les options pilotant l'exécution de la macro :

1. filename = "MasterClassesTree\_LHC10h\_Run139036.root"  
C'est le nom du fichier que vous devez analyser.
2. collision system = "PbPb"  
C'est le nom du système de collision sélectionné pour l'analyse, dans le cas présent ce sera toujours PbPb.
3. test mode = "kFALSE"  
En choisissant « kTRUE » pour option, la macro s'exécutera en mode test et n'analysera que 1000 événements et 1000 traces. Ce qui accélérera l'analyse.

4. start of centrality class = 0  
Cette variable détermine la valeur de départ de la classe de centralité à analyser.
5. end of centrality class = 5  
Cette variable détermine la valeur de fin de la classe de centralité à analyser. Dans le cas de l'exemple, il s'agit de la classe 0 à 5 %.

La macro est structurée comme suit :

On rencontre d'abord deux fonctions qui permettent d'améliorer l'esthétique de l'affichage.

```
void StyleSettings()
void HistoSetMarkerAndColor( TH1* histo1, Style_t markerStyle, Size_t markerSize, Color_t markerColor, Color_t lineColor )
```

Veuillez ne pas modifier ces deux lignes, mais lisez néanmoins les commentaires dans la macro précédant ces deux lignes pour vous faire une idée de comment vous pourriez les utiliser. Les lignes de commentaires sont précédées soit d'un double slash « // » soit sont insérés entre slash-\* et \*-slash comme ceci : « /\* ---- text — \*/ ». Les commentaires ne sont jamais exécutés par le programme.

Vient ensuite la fonction principale Son nom est identique au nom de la macro mais sans son extension « .C ». Le code faisant partie d'une fonction est toujours encadré par des accolades « { } ». Il en va de même pour les boucles et les conditions.

```
void AnalyseTreeForRAAStudents(TString filename = "MasterClassesTree_LHC10h_Run139036.root", TString optionCollSystem = "PbPb", TString optionTest= "kFALSE", Int_t startCentrality = 0., Int_t endCentrality = 100.)
```

Les options de la fonction principale ont été explicités précédemment. En plus sont donnés le nom de la variable et sa valeur par défaut.

La fonction principale définit d'abord le fichier qui contient les données à analyser et le nom des variables :

```
130. //*****
131. //Declaration of leaves types for track tree
132. //*****
133. Float_t      trackCentrality; // variable for the centrality in the track tree
134. Double_t     trackPt;                // variable for the transverse momentum of the track
135.
136. //*****
137. //Declaration of leaves types for event tree
138. //*****
139. Float_t      eventCentrality;        // variable for the centrality in the event tree
140. Int_t        eventMult;              // variable for the multiplicity in the event
```

Ces variables sont ensuite associées aux quantités correspondantes dans l'arbre (tree) des données (Lignes 142 -155). Le nombre d'événement dans l'arbre est évalué (Lignes 161-183). Ensuite le regroupement en quantité de mouvement est déterminé et l'histogramme correspondant est créé.

```
185. //*****
186. // Definition of bins in transverse momentum pt, due to steeply falling spectrum
187. // and not enough statistics at high pt
188. //*****
```

```

189. Int_t fNBinsPt = 54;
190. Double_t fBinsPt[55] = {0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45,
191.                                0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95,
192.                                1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9,
193.                                2, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 3, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8,
194.                                4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 8, 9, 10,
195.                                11, 12, 13, 14, 15};
196.
197.
198.
199. //*****
200. // Defintion of histograms:
201. // * to be filled with trackpt and number of charged tracks in the TPC (TH1*)
202. // * correlation between centrality an nTracks TPC (TH2F)
203. //*****
204.
205. TH1D *htrackPt = new TH1D("htrackPt","track pt",fNBinsPt,fBinsPt);
206. TH1F *hNTPC = new TH1F("hNTPC","Number of TPC tracks ",200,0,2000);
207. TH2F *hNTPCvsCent = new TH2F("hNTPCvsCent","Number of TPC tracks ",200,0,2000, 100, 0, 100);
208.
209. //*****
210. // Definition of correction histogram in order to normalise for the binwidth in
211. // Pt
212. //*****
213. TH1D* fDeltaPt = new TH1D("deltaPt","",fNBinsPt,fBinsPt);
214. for(Int_t iPt=1;iPt<fNBinsPt+1;iPt++){
215.     fDeltaPt->SetBinContent(iPt,fBinsPt[iPt]-fBinsPt[iPt-1]);
216.     fDeltaPt->SetBinError(iPt,0);
217. }

```

Ces quantités sont ensuite lues à partir de l'arbre des événements et les histogrammes correspondants sont remplis. A cette fin, un boucle sur tous les événements contenus dans l'arbre est créée (ligne 230) et pour chaque événement il faut vérifier s'il correspond bien à la classe de centralité définies (ligne 232). Les lignes 233 et 234 remplissent les histogrammes 1D et 2D correspondant au nombre de traces (en fonction de la centralité).

```

219. //*****
220. // * Reading the entries form the event tree (extract nTracksTPC) and filling
221. // it in the multiplicity histograms (hNTPC,hNTPCvsCent)
222. // * Distinction between PbPb and pp as for PbPb you need to fill them with
223. // restriction in centrality
224. // * nEntriesPerCent will give you the normalization value for the different
225. // centralities
226. //*****
227.
228. ULong_t nEntriesPerCent= 0;
229. ULong64_t nbytes2 = 0;
230. for (ULong_t i=0; i<nEntriesEvent;i++) {
231.     nbytes2 += Event->GetEvent(i);
232.     if (eventCentrality > startCentrality && eventCentrality < endCentrality){
233.         hNTPC->Fill(eventMult);
234.         hNTPCvsCent->Fill(eventMult,eventCentrality);

```

```

235.          nEntriesPerCent++;
236.      }
237.      // give an output for every 10Mio events processed to see that is working
238.      if ( i%10000000 == 0 ) {
239.          cout << i/10000000 << " * 10^7 events have been processed" << endl;
240.      }
241.}

```

Une boucle similaire doit être créée pour l'arbre des traces en remplacement de la ligne 254 « // To do: ». Après, les histogrammes doivent être affichés et sauvegardés. Pour l'affichage, un exemple est donné avec les lignes 269 - 300. Un affichage similaire doit être réalisé pour la quantité de mouvement suivant l'indication en ligne 312. N'oubliez pas d'enlever les commentaires des lignes 315 - 319, faute de quoi le redimensionnement sera incorrect. De même il faudra enlever le commentaire de la ligne 341 pour sauvegarder l'histogramme dans un fichier.

---

## Construire les facteurs de modification nucléaire

Pour cette partie de l'exercice, il vous faudra programmer approximativement le même nombre de lignes que précédemment. A nouveau une macro ROOT vous est fournie. Elle est nommée « BuildRAAStudents.C » et se trouve dans le même répertoire que la précédente. Elle est démarrée en lançant la commande :

```
root -x -q -b -l 'BuildRAAStudents.C++("RAABaseOutput.root")'
```

La syntaxe de la commande a été décrite pour l'exercice précédent. Ici la seule option que vous pouvez passer à la macro est le nom du fichier résulta de l'exercice précédent. Ce fichier doit contenir les résultats des analyses correspondant aux différentes classes de centralité. Il vous suffit de découvrir comment lire ces résultats à partir du fichier.

La première partie de la macro « BuildRAAStudents.C » contient comme précédemment les fonctions définissant le style de l'affichage. Vient ensuite la fonction principale :

```
101. void BuildRAAStudents(TString filename = "RAABaseOutput.root")
```

Dans cette fonction, les premières lignes sont des définitions générales. Vient ensuite la définition de la variable pour le nombre de collisions binaires pour chaque classe de centralité  $nColl\_0\_5$  où le premier nombre indique le début de la classe de centralité et le deuxième nombre la fin (lignes 111 - 123).

Ensuite les spectres PbPb et pp sont lus partir du fichier correspondant et normalisés au nombre de collisions binaires. Vous devrez ajouter les autres classes de centralité selon les indications des lignes 132 et 140. Le spectre pp vous donne la référence pour le calcul de  $R_{AA}$ .

```

125.//*****
126.//Attaching & reading the input-file
127.//*****
128. TFile fileInput(filename.Data());
129.//_____ reading the number of TPC tracks for pp events & 0-5% PbPb events _____

```

```

130. TH1D *hNTracksTPCPbPb_0_5 = (TH1D*)fileInput.Get(Form("nTracksTPC_PbPb_%i-%i",0,5));
131. TH1D *hNTracksTPCPbPb_70_80 = (TH1D*)fileInput.Get(Form("nTracksTPC_PbPb_%i-%i",
70,80));
132./// To do: Do the same for the other centralities
133.
134.// _____reading the pt-spectrum for 0-5% & 70-80% PbPb events, scaling it _____
135.// _____by corresponding number of Collisions (nColl)_____
136. TH1D *hTrackPtPbPb_0_5 = (TH1D*)fileInput.Get(Form("trackPt_PbPb_%i-%i",0,5));
137. hTrackPtPbPb_0_5->Scale(1./nColl_0_5);
138. TH1D *hTrackPtPbPb_70_80 = (TH1D*)fileInput.Get(Form("trackPt_PbPb_%i-%i",70,80));
139. hTrackPtPbPb_70_80->Scale(1./nColl_70_80);
140./// To do: Do the same for the other centralities
141.
142.//*****
143.// Attaching and Reading pp-reference file
144.//*****
145. TFile* fileInputPP = new TFile("PP_2760GeV_BaseLine.root");
146. TH1F *hNTracksTPC_pp = (TH1F*)fileInputPP->Get("nTracksTPC_pp");
147. TH1D* hTrackPtpp = (TH1D*)fileInputPP->Get("trackPt_pp");

```

Ensuite la valeur de  $R_{CP}$  est calculée pour les collisions les plus centrales (0-5%) et les collisions les plus périphériques (70-80%). Pour cela, il faut diviser le spectre de la classe la plus centrale normalisé aux nombres de collisions binaires  $N_{coll}$  par le spectre de la classe la plus périphérique normalisé à  $N_{coll}$ . Comme indiqué en ligne 149, ceci doit être répéter pour les autres classes de centralité et pour le calcul de  $R_{AA}$  où la référence pp doit être utilisée comme diviseur (ligne « To do » en ligne 161).

```

149.//*****
150.// Building the RCP
151.//*****
152. TH1D* hRCP_0_5 = (TH1D*)hTrackPtPbPb_0_5->Clone("RCP_vs_Pt_0-5");
153. hRCP_0_5->Sumw2();
154. hRCP_0_5->Divide(hTrackPtPbPb_70_80);
155./// To do: Do the same for the other centralities

```

De la ligne 166 jusqu'à la fin, se trouvent les fonctions pour l'affichage comme expliqué pour l'exercice précédent. Il vous est demandé d'ajouter les autres classes de centralité ainsi que l'affichage de  $R_{AA}$ . N'oubliez pas d'ajouter le nom des axes ainsi que les légendes. Un exemple est donné dans les lignes suivant la ligne 189.