

# Recherche de particules à long temps de vie produisant un quark top déplacé dans l'expérience CMS au LHC (CERN)

## Étude des performances de la reconstruction des trajectoires déplacées

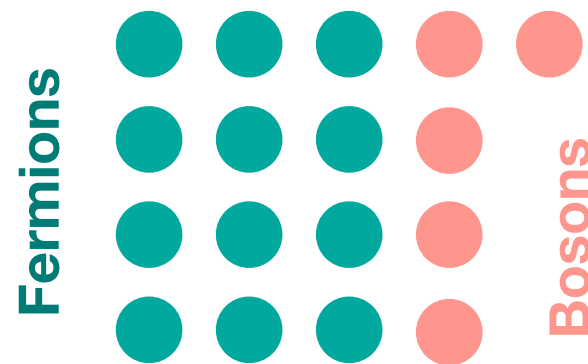
Douja Darej

# Sommaire

- Motivation physique
- CMS et le trajectographe
- Reconstruction des traces
- Performances de la reconstruction
  - En fonction de la pseudorapidité et l'impulsion transverse
  - En fonction du point de production de la trace
  - Contribution des itérations
- Association entre les traces

# Motivation Physique

## Modèle standard (MS) de la physique de particules

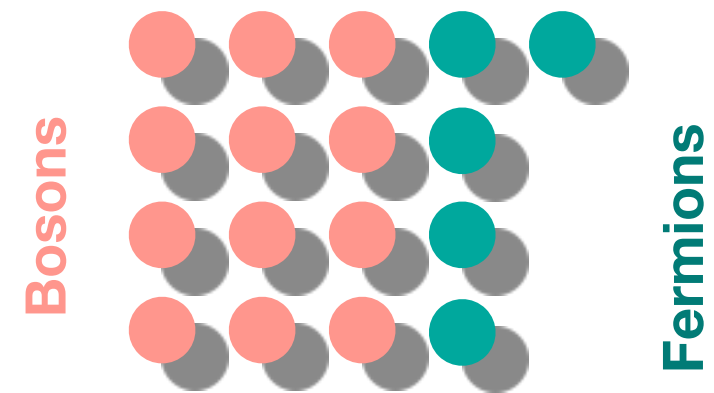


### Limitations :

- Beaucoup de paramètres non prédits
- Absence de la matière noire
- Asymétrie matière-antimatière
- Absence de la gravité

## Nouvelle physique

Exemple : **Supersymétrie (SUSY)**



Comment détecter ces particules ?  
Quelle signature expérimentale particulière ?



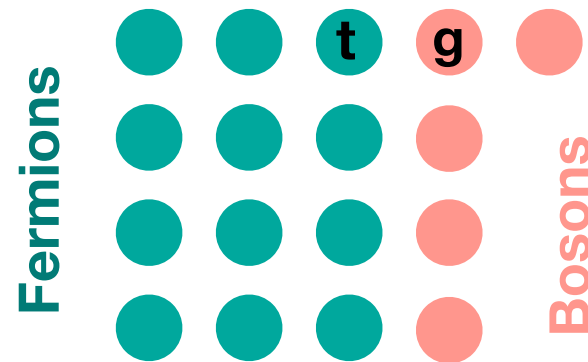
Prédit des particules  
**à long temps de vie :**

$$\tau = \frac{d}{\gamma * c}$$

- $\tau$  : temps de vol
- d** : distance de vol
- $\gamma$  : facteur relativiste
- c : vitesse de la lumière

# Motivation Physique

## Modèle standard (MS) de la physique de particules

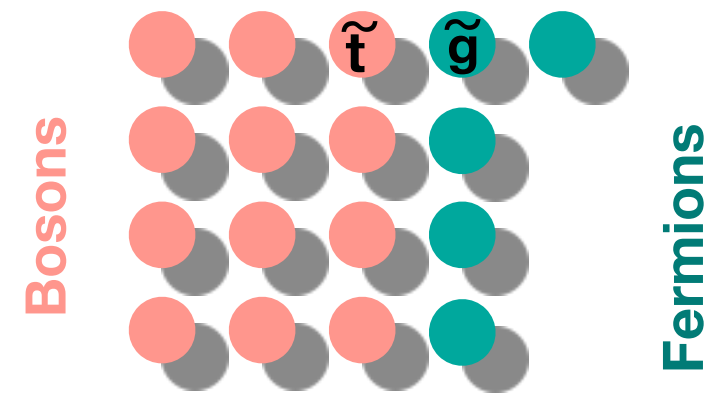


### Limitations :

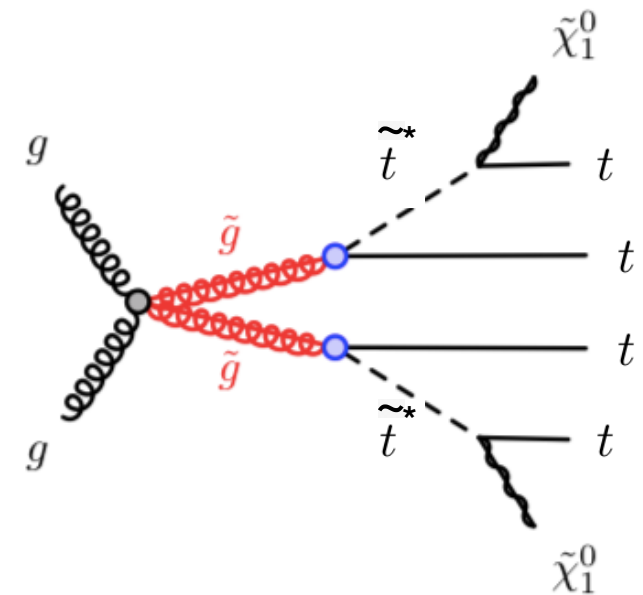
- Beaucoup de paramètres non prédits
- Absence de la matière noire
- Asymétrie matière-antimatière
- Absence de la gravité

## Nouvelle physique

Exemple : **Supersymétrie (SUSY)**



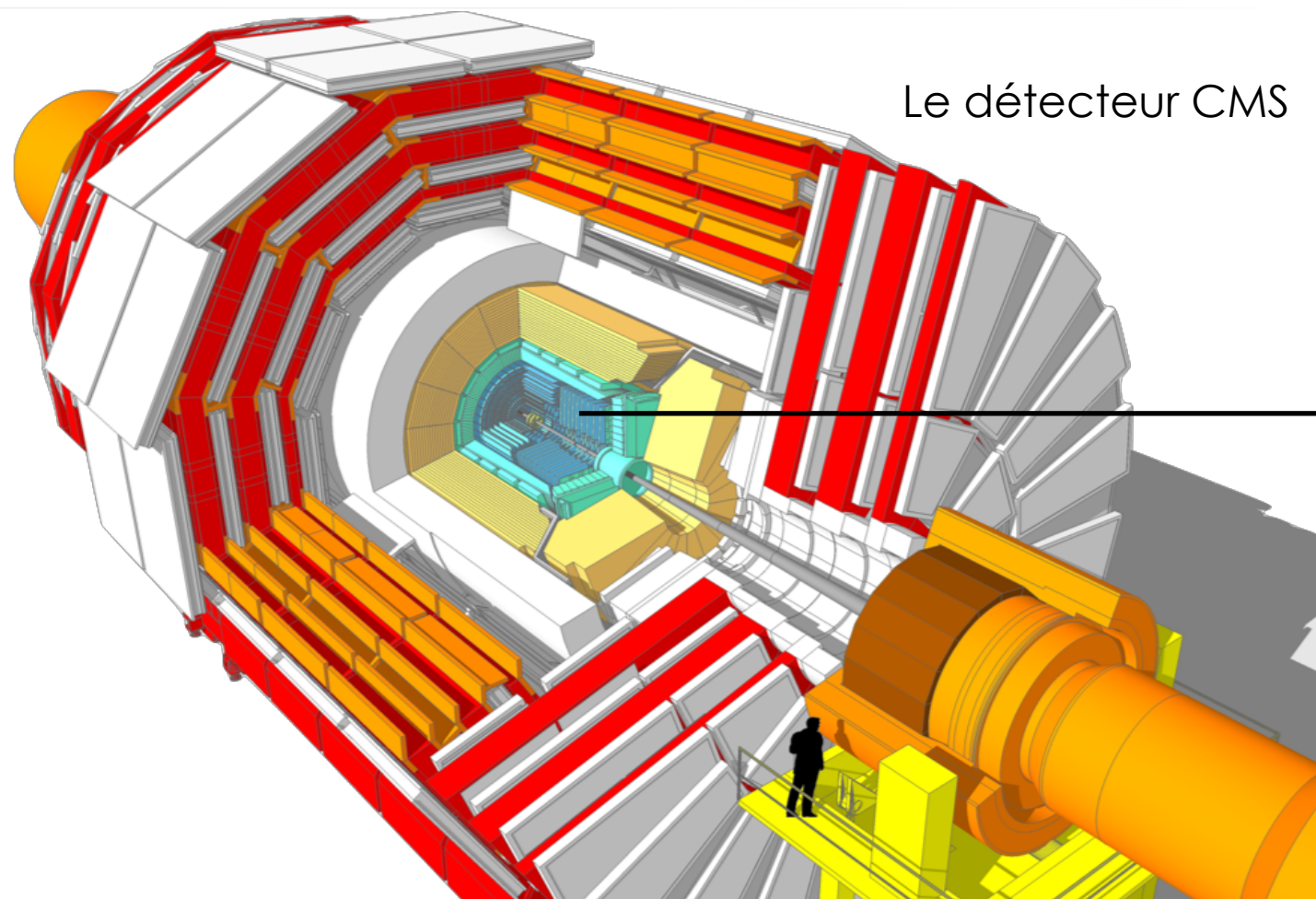
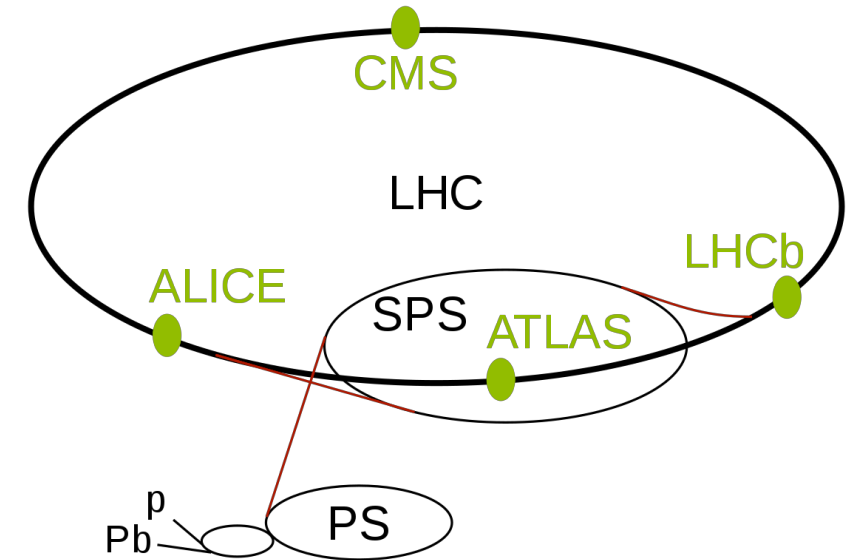
### Split-SUSY



- $t \rightarrow W + b$
- $W \rightarrow q + \bar{q}$
- $W \rightarrow l + \nu$

# CMS & le trajectographe

CMS : le **détecteur** installé en l'un des 4 points d'interaction du **LHC** (CERN).



Le détecteur CMS

## Le trajectographe de CMS :

- Détecteurs à pixels
- Détecteurs à micro-pistes

dans un champs magnétique de 3.8 Tesla

permet de remonter aux paramètres des traces :

- Point de production
- Angles de production
- Impulsion
- Signe de la charge

des particules chargées

# Reconstruction

5

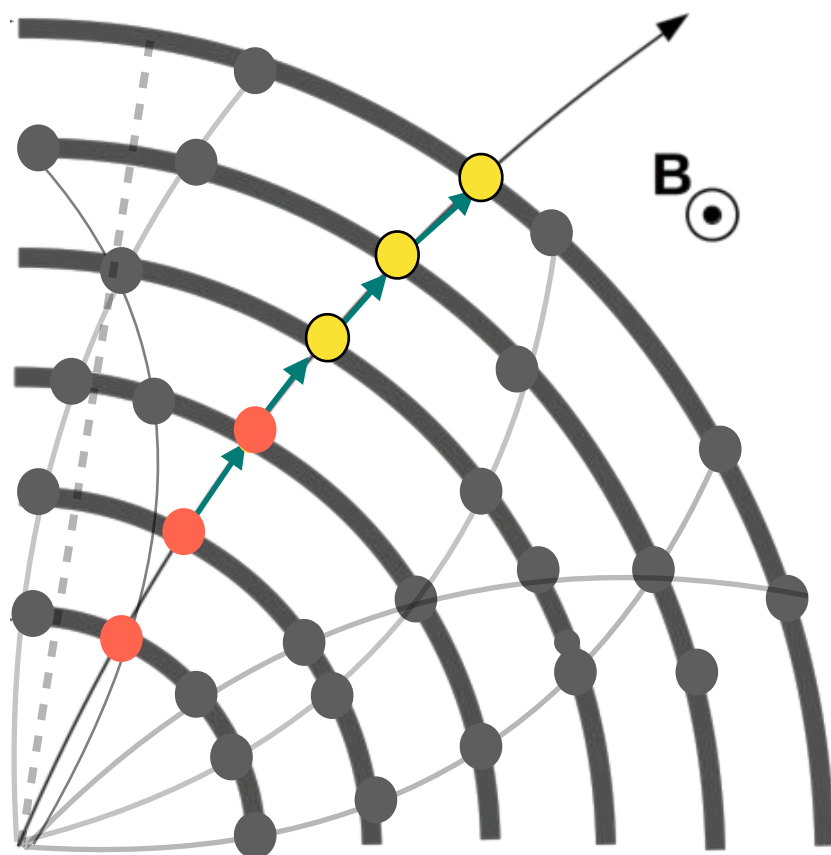
## Reconstruction locale

Regrouper les amas de pistes touchés sous la forme de coups distincts

## Trajectographie itérative

Regrouper les coups

Plusieurs itérations sont nécessaires



Trouver la graine  
Point de départ de la trajectoire

Trouver tous les coups  
le long de la trace

Ajuster les paramètres  
de la trace finale

Appliquer une sélection  
sur la trace



Graine



Extrapolation à la couche suivante



Candidat pour la trace

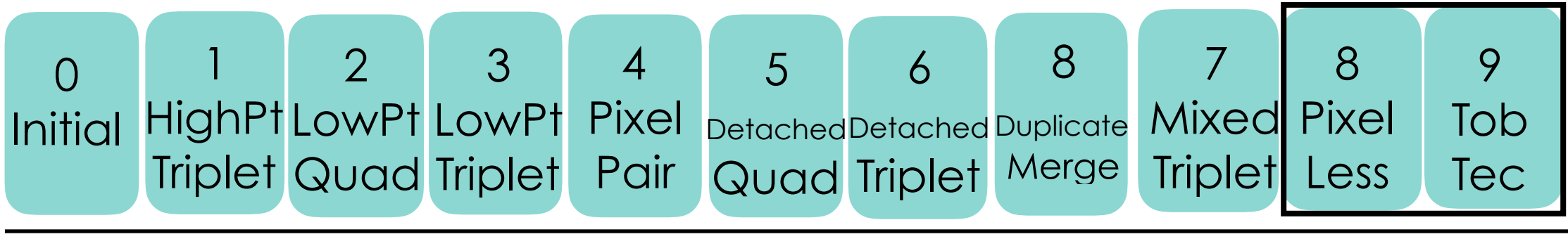
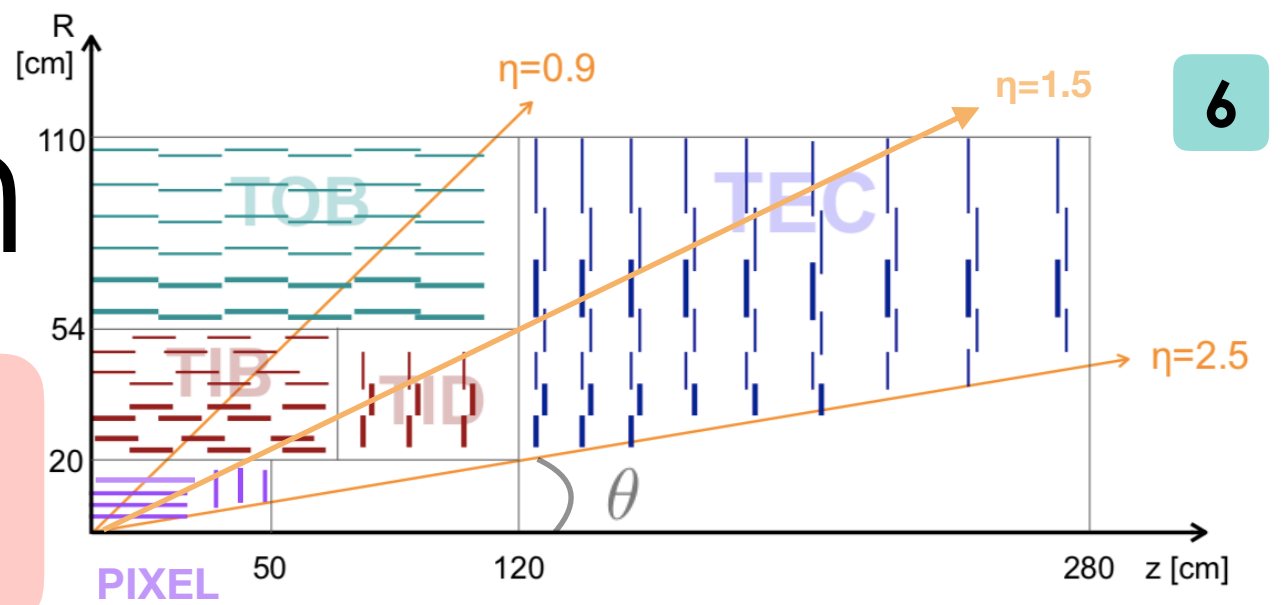


Autres coups

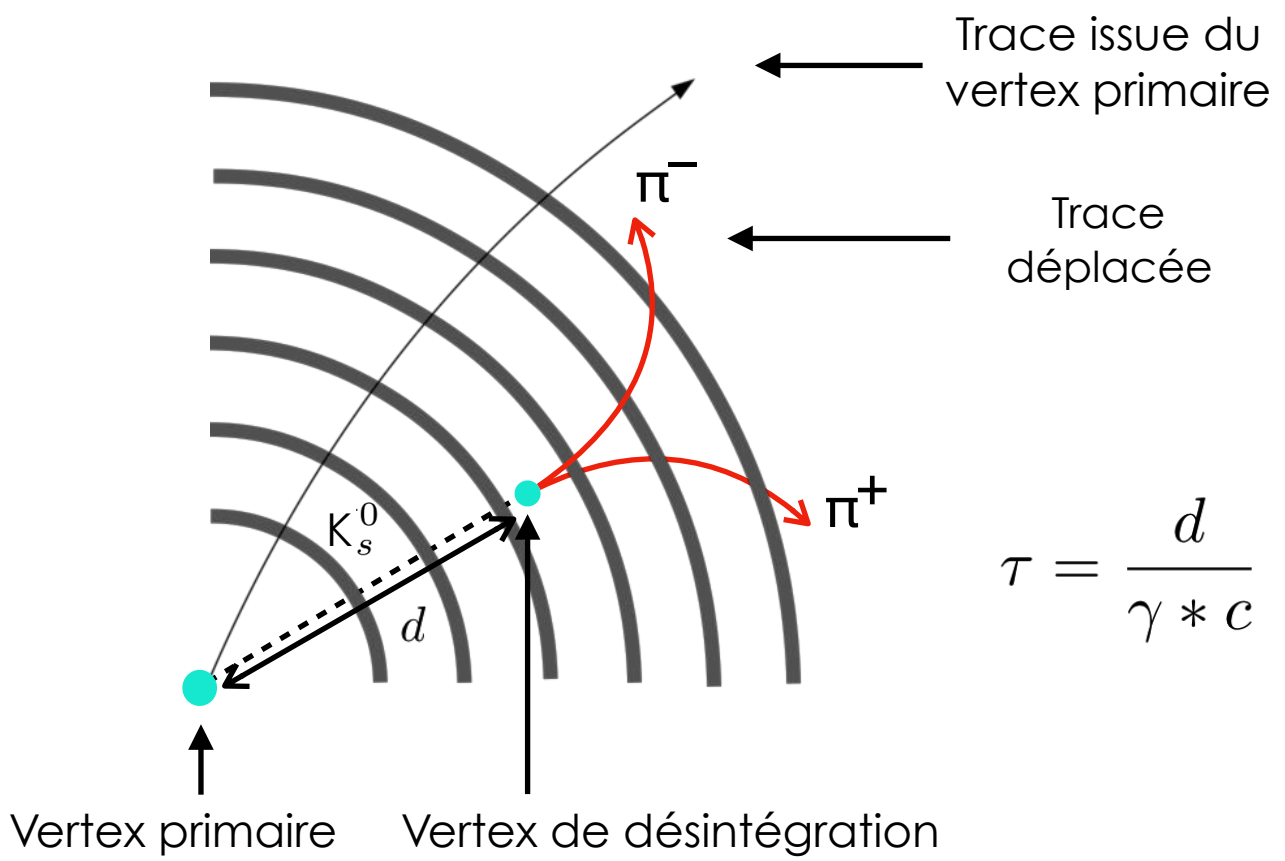


# Reconstruction

Trajectographie itérative  
Plusieurs itérations sont nécessaires



Position de la production de la trace



$$\tau = \frac{d}{\gamma * c}$$

**Avec quelle efficacité peut-on reconstruire les traces déplacées ?**



**Exemples :**

Dans le MS  
 $K_s^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$

Dans SUSY  
Particules se désintégrant en quark top

# Simulation & reconstruction

7

## Vertex primaire :

Vertex de collision  
proton-proton du processus  
d'intérêt

## Empilement :

Autres collisions p-p  
( ~ 30 collisions superposées )

## Vertex secondaires :

- Vertex d'interactions de particules avec le détecteur
- Vertex de désintégration de particules

### Génération & Simulation

1

Générateur Monte Carlo  
des processus physiques suivant des  
distributions de probabilité

2

Simulation de l'interaction des  
particules dans le détecteur



Collection de traces  
simulées

3

On ajoute les événements empilés  
préalablement générés et simulés

4

Simulation de la réponse digitisée des  
sous-détecteurs

### Reconstruction dans le trajectographe

5

Reconstruction locale des coups  
à partir des informations digitisées.

6

Trajectographie itérative



Collection de traces  
reconstruites

7

Reconstruction des vertex primaires  
et des vertex secondaires



# Étude des performances durant le stage



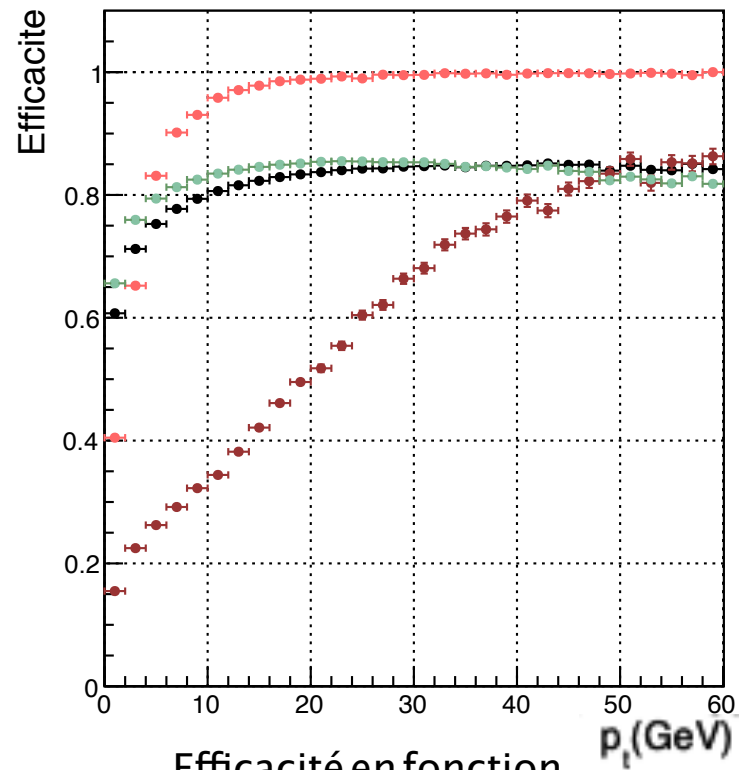
Utilisation de **CMSSW** pour :

- \* Association coups simulés - coups reconstruits
- \* Association traces simulées - traces reconstruites si > 75% de recouvrement entre les coups
- \* Produire des informations dans un format simplifié (*ntuple*)

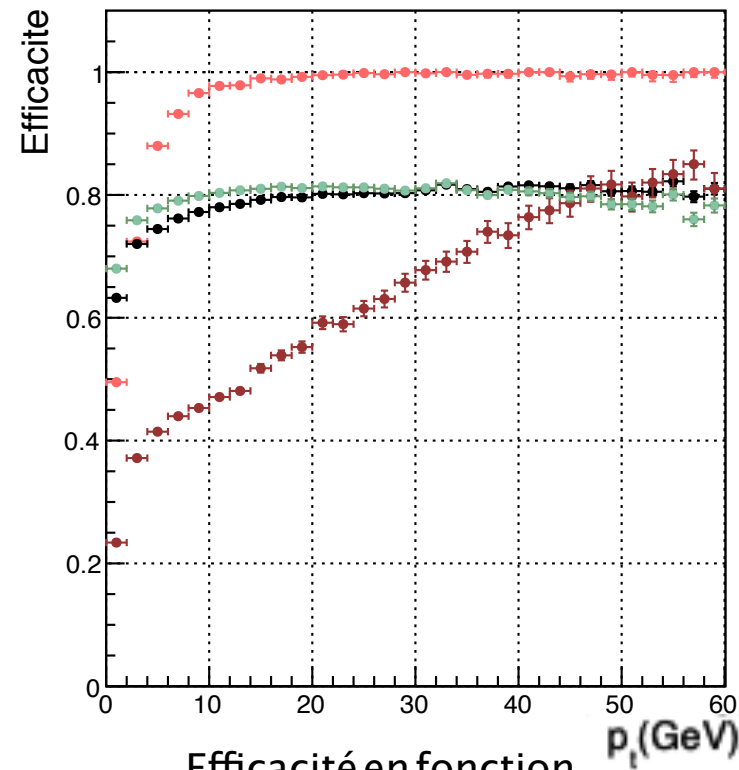
$$\text{Efficacité de reconstruction} = \frac{\text{Traces **simulées** associées à des traces reconstruites}}{\text{Toutes les traces **simulées**}}$$

$$\text{Taux de faux} = \frac{\text{Traces **reconstruites** non associées à des traces simulées}}{\text{Toutes les traces **reconstruites**}}$$

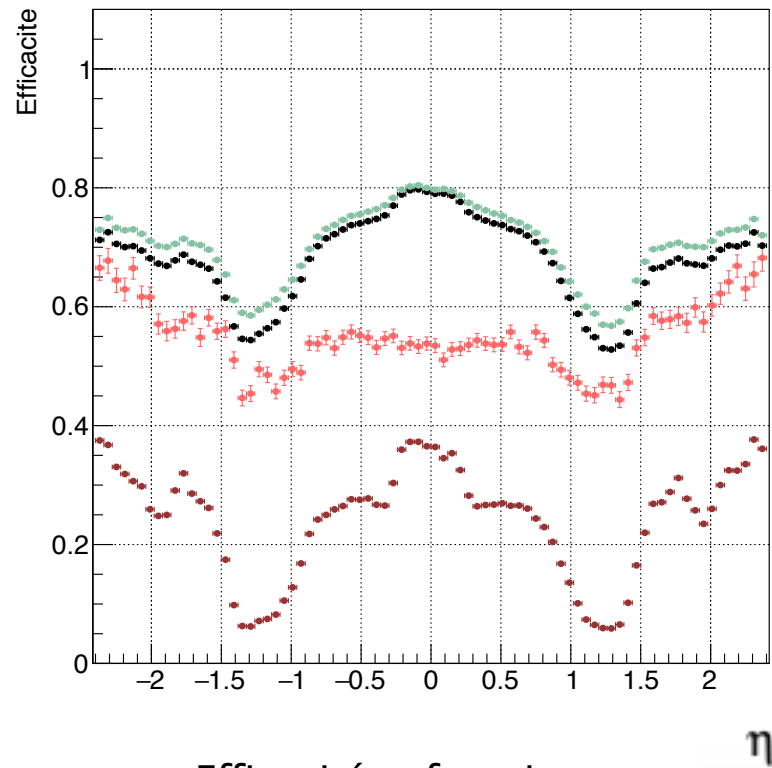
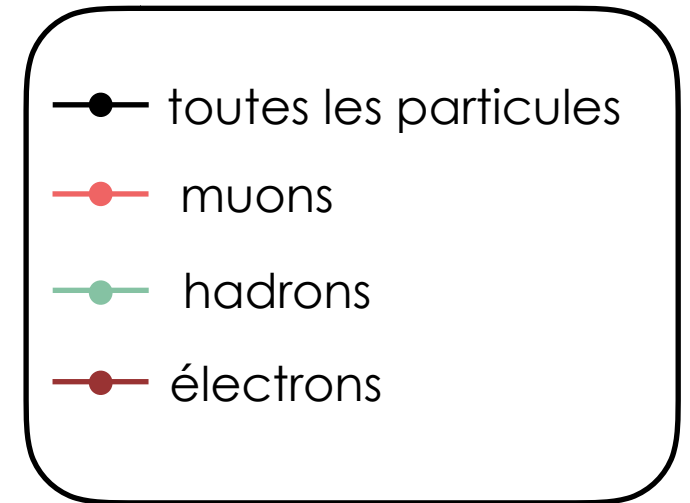
# Performances de la reconstruction



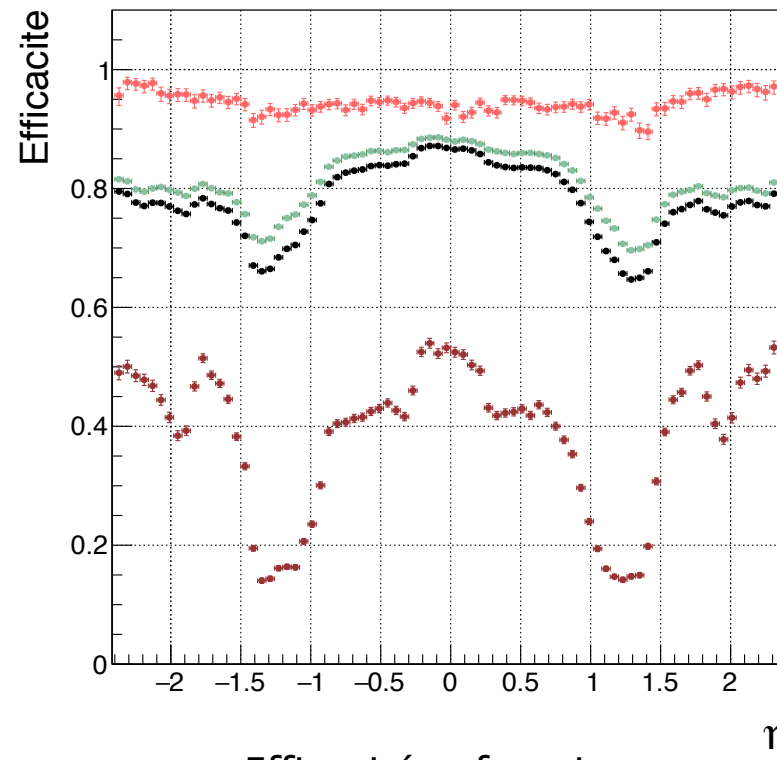
Efficacité en fonction  
de l'impulsion transverse  
 $|\eta| < 1.5$



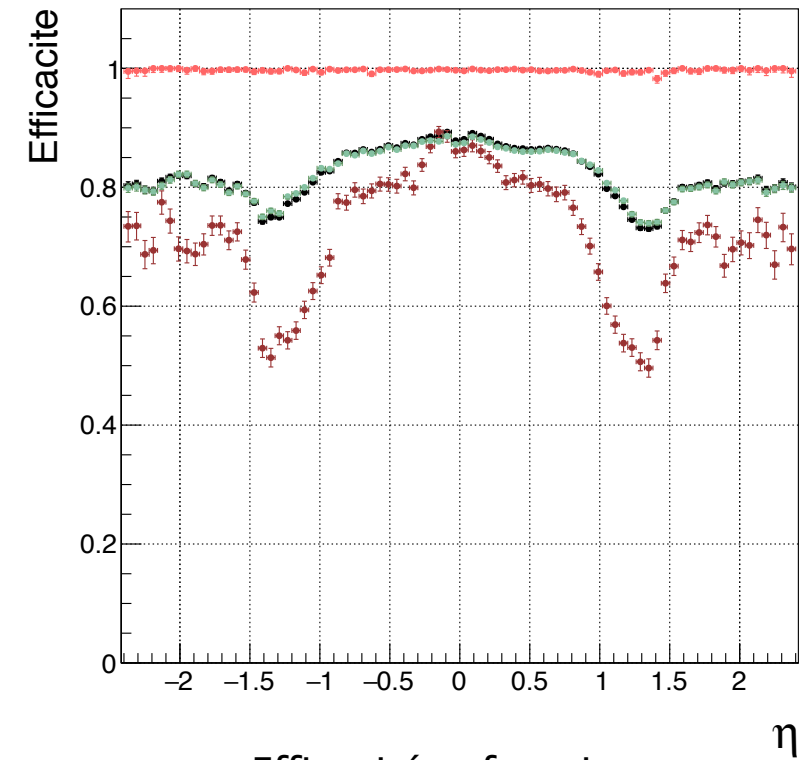
Efficacité en fonction  
de l'impulsion transverse  
 $|\eta| > 1.5$



Efficacité en fonction  
de la pseudorapidité  
 $0 < p_t < 5 \text{ GeV}$



Efficacité en fonction  
de la pseudorapidité  
 $5 < p_t < 20 \text{ GeV}$

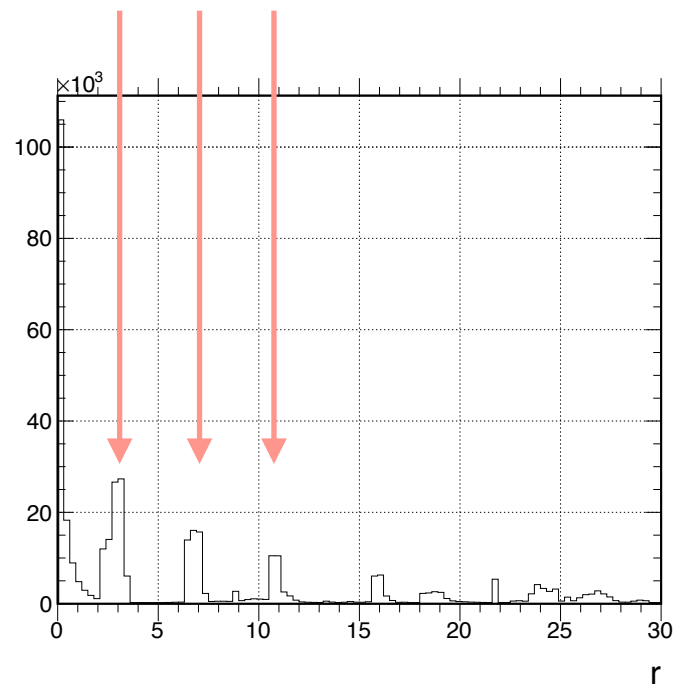


Efficacité en fonction  
de la pseudorapidité  
 $p_t > 20 \text{ GeV}$

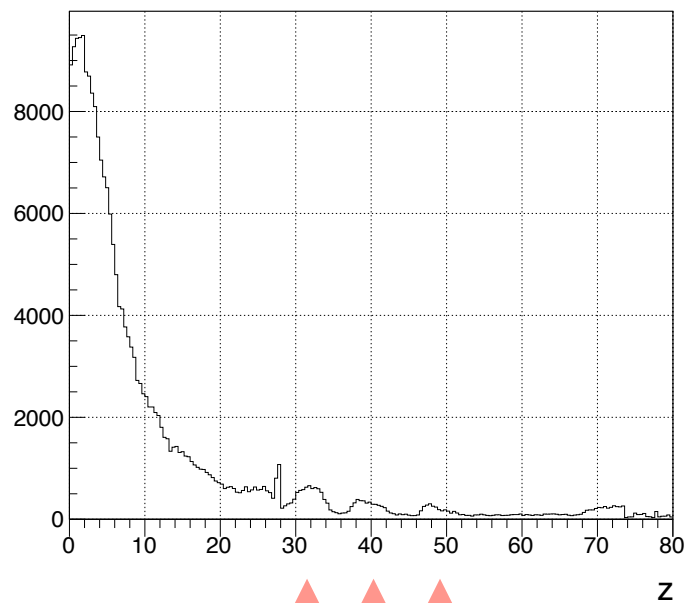
# Performances de la reconstruction

## Les électrons

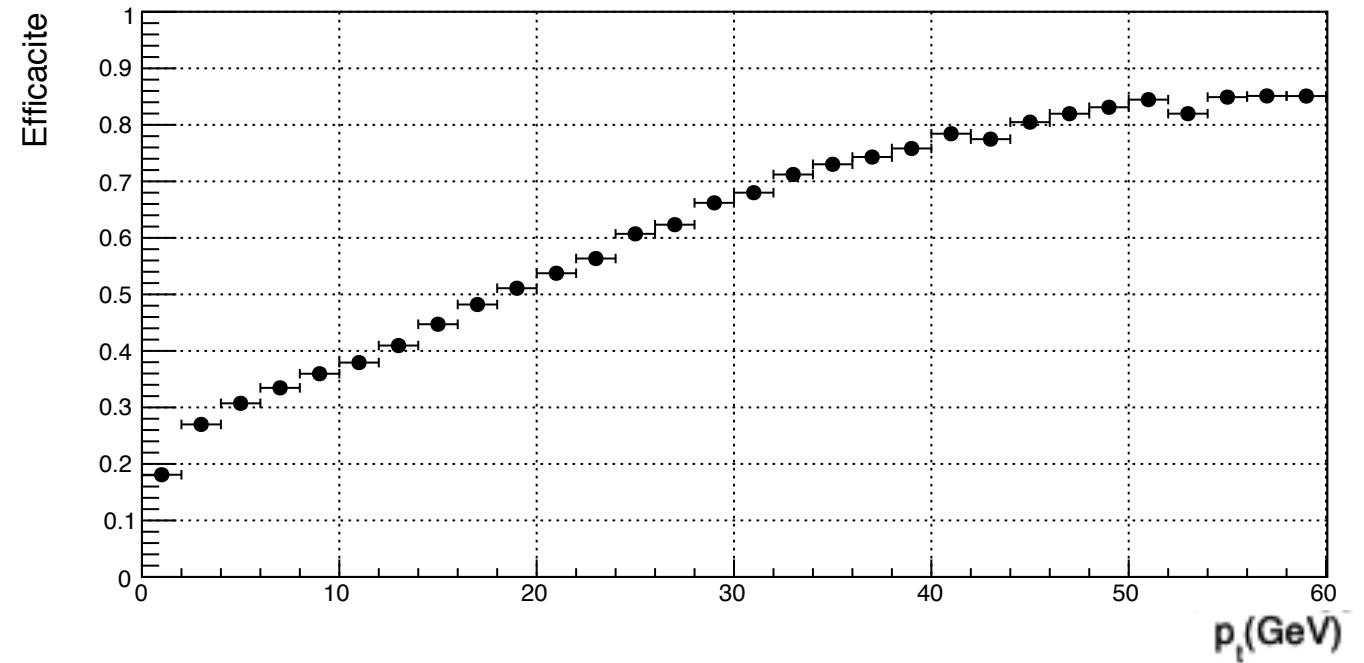
### Interaction avec les couches du trajectographe



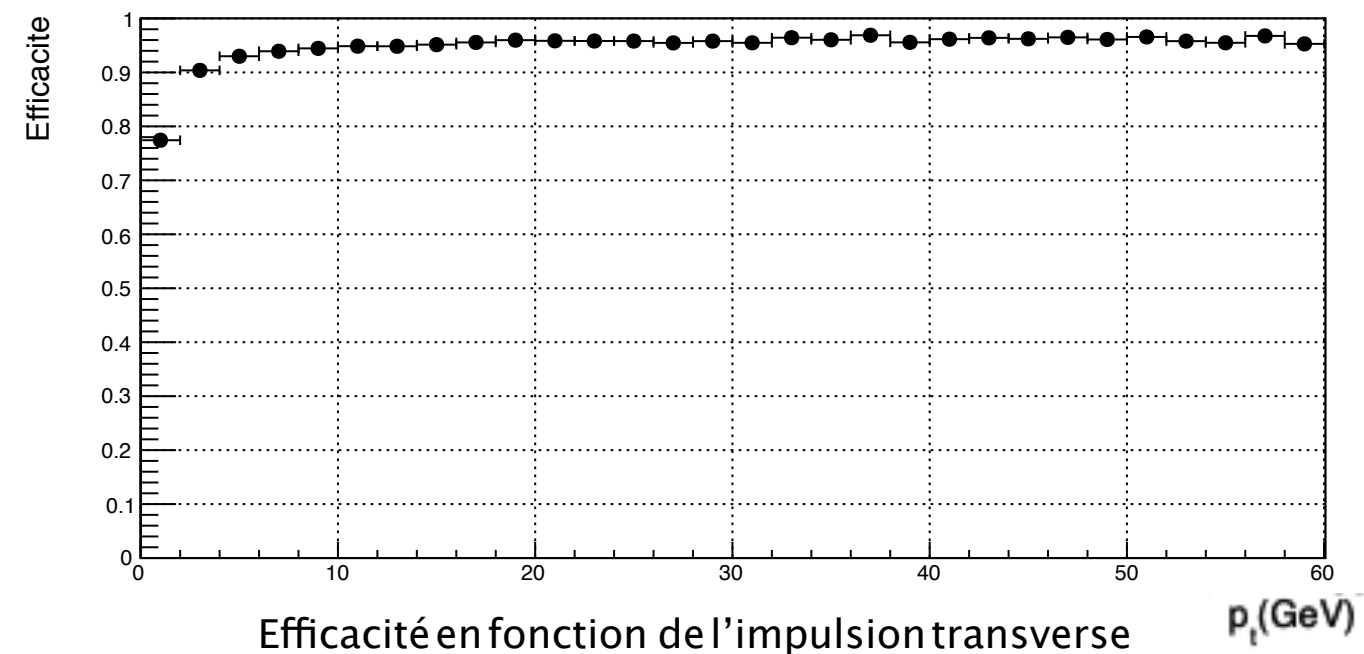
Tous les électrons dans le trajectographe



Electrons produits à :  
 $r < 1$  cm  
 $z < 20$  cm

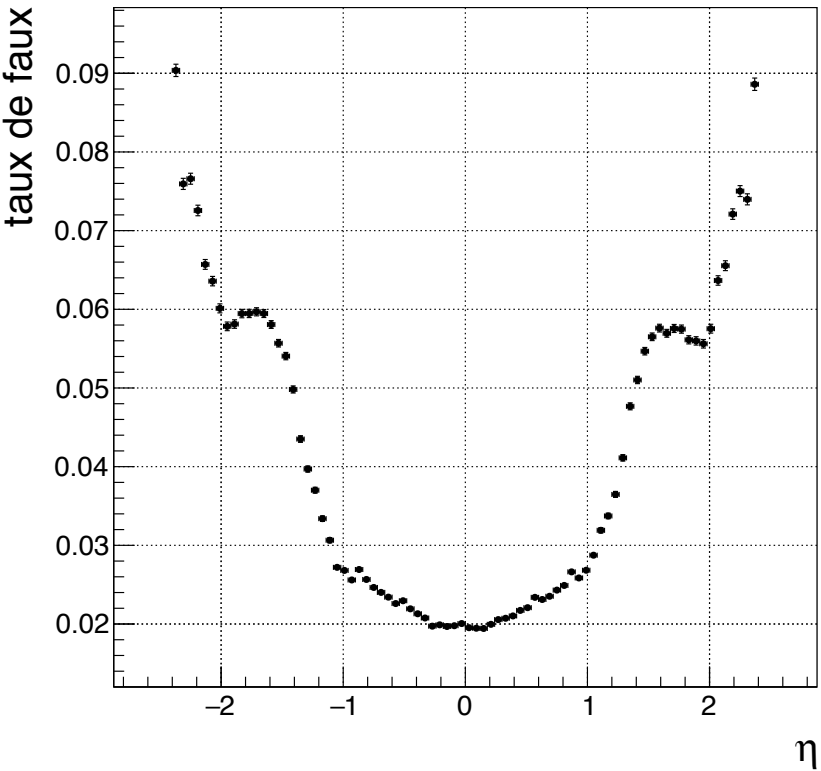


Efficacité en fonction de l'impulsion transverse

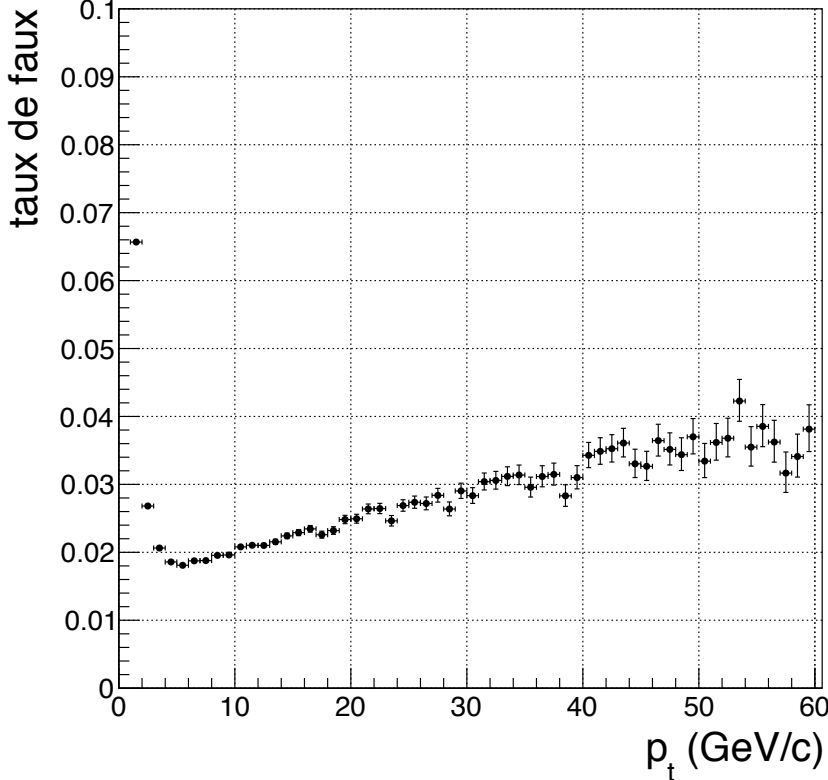


Efficacité en fonction de l'impulsion transverse

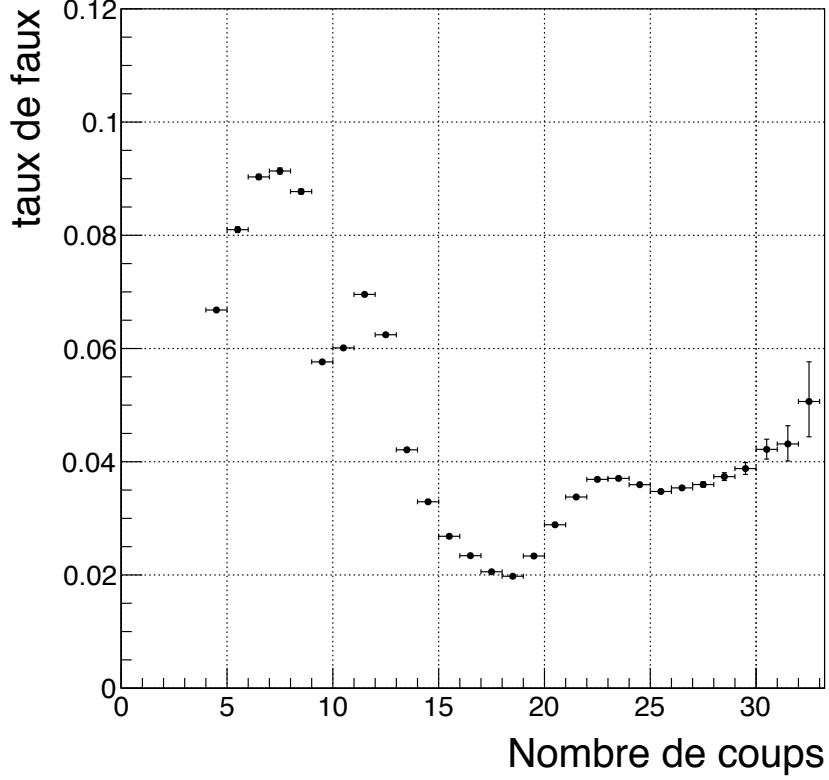
# Taux de faux



Taux de faux en fonction de la pseudorapidité



Taux de faux en fonction de l'impulsion transverse



Taux de faux au fonction du nombre de coups

↗ **Dans les régions de transition**  
**Dans les régions à haut  $\eta$**

↗ **Basses valeurs d'impulsion transverse**

↗ **Petit nombre de coups**

**Efficacité**

**Taux de faux**

**Interactions des particules avec le détecteur**

**Dans les régions de transition :**

- Haute densité de matériau
- Géométrie compliquée

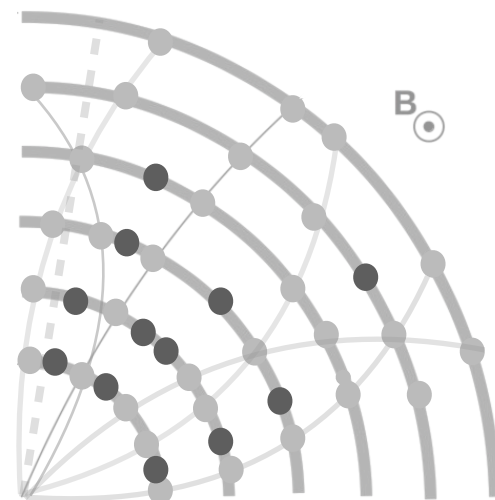
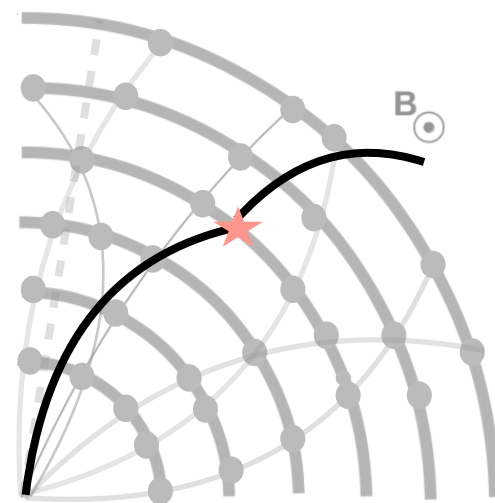
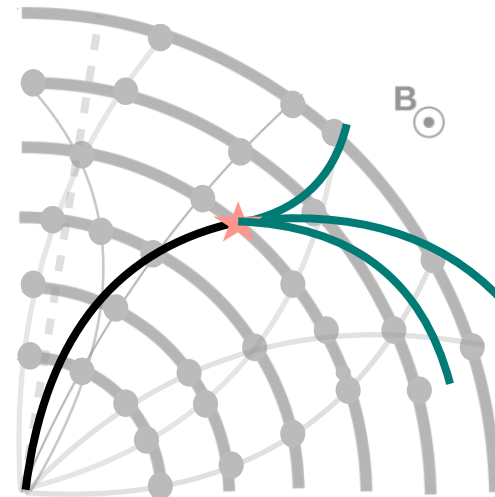
**Dans les zones vers l'avant :**

Événements superposés

**À basse impulsion transverse :**

- Diffusion multiple
- Événements superposés
- Particules résiduelle de la même collision p-p
- Particules faisant des boucles

**Exemples :**



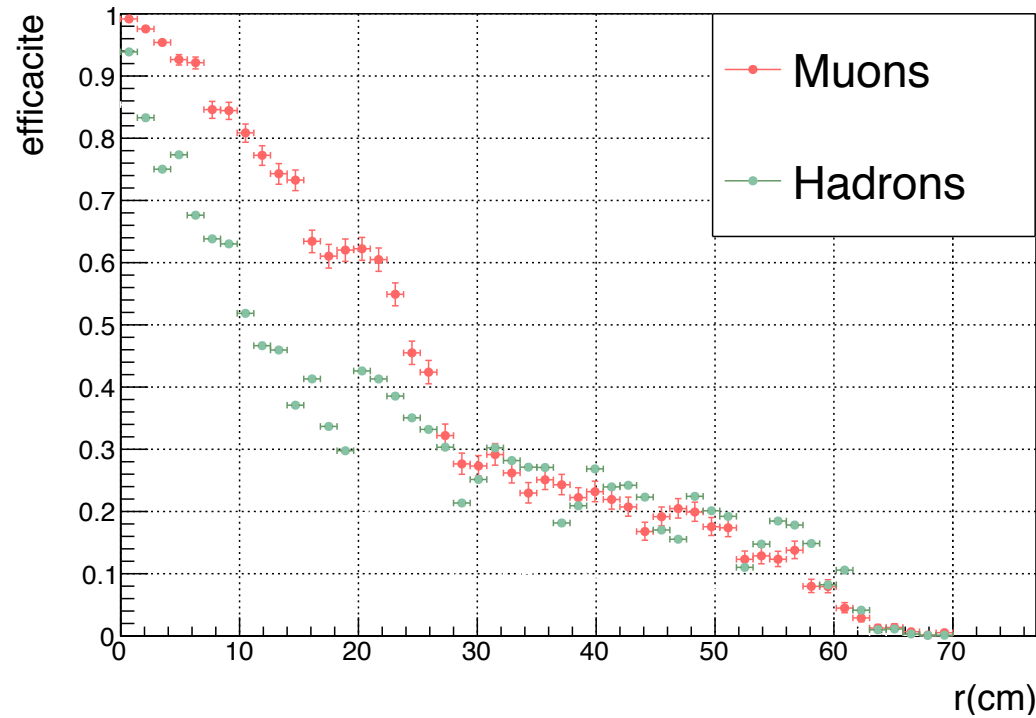
# Performances de la reconstruction

$|\eta| < 1.5$

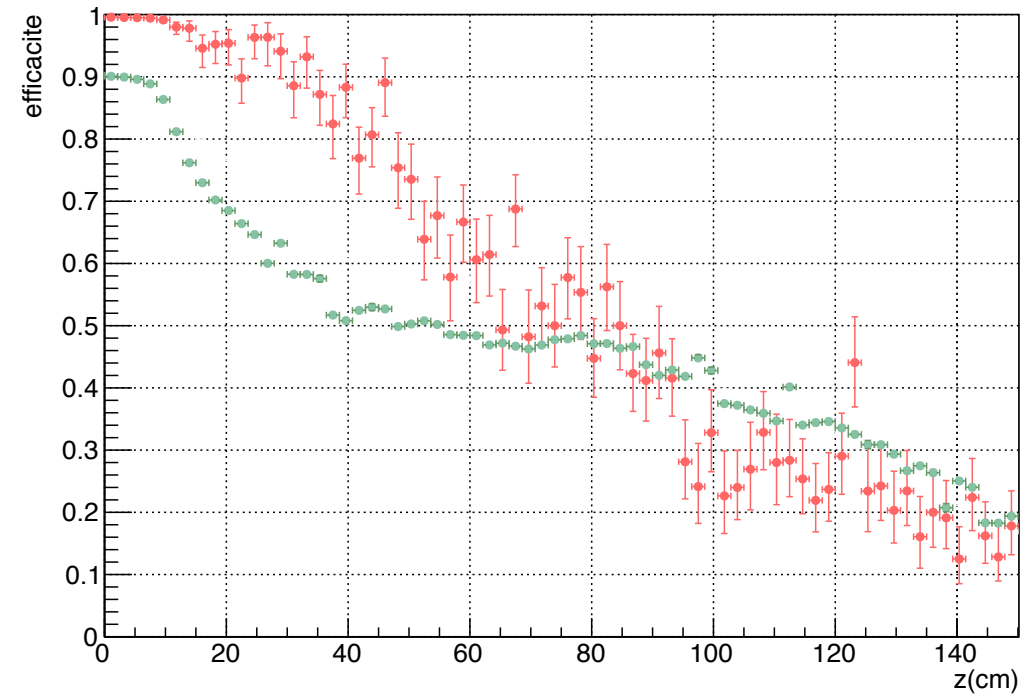
$|\eta| > 1.5$

Efficacité de reconstruction en fonction de la position de production de la trace

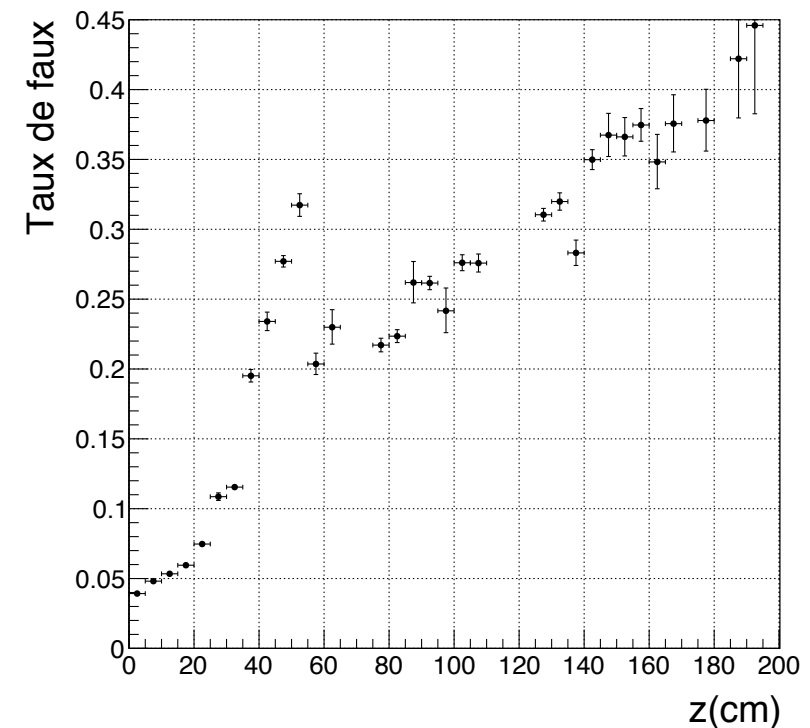
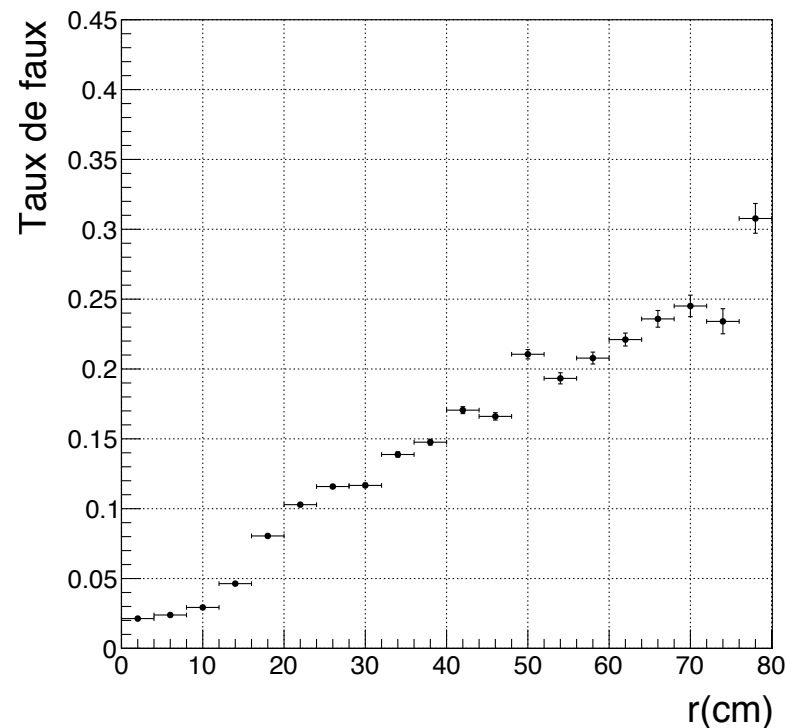
Efficacite en fonction de r (tonneaux)



Efficacite en fonction de z (bouchons)

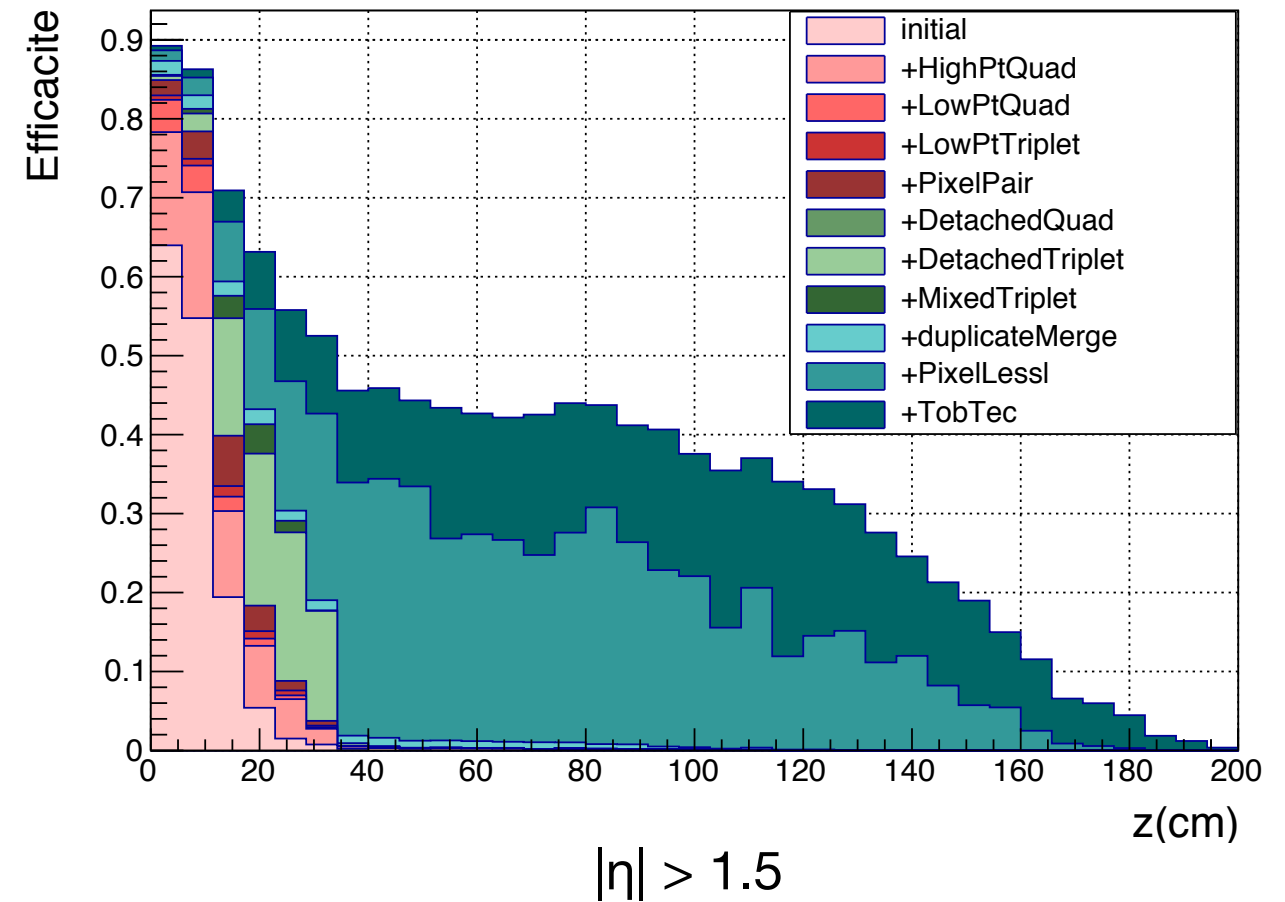
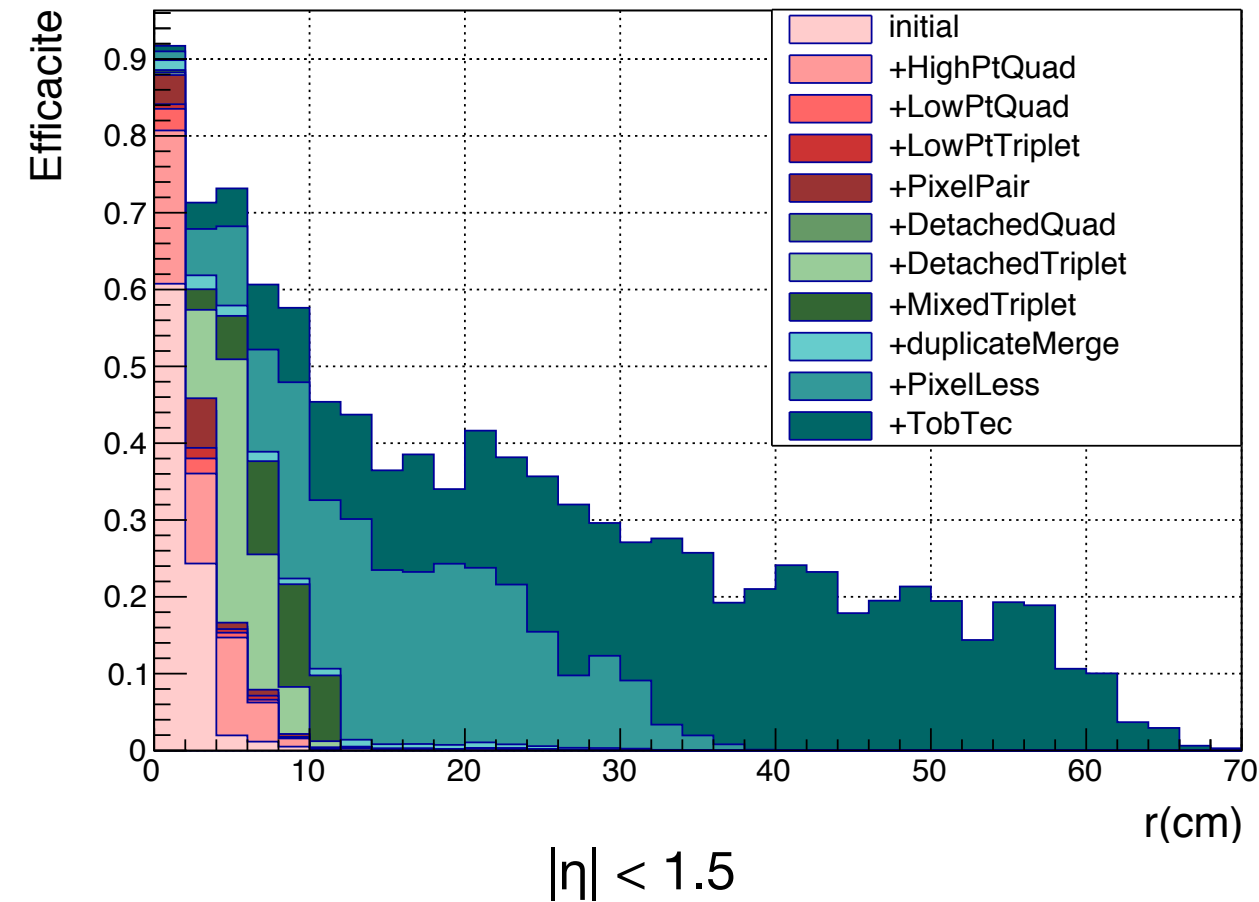


Taux de faux en fonction de la position de production de la trace





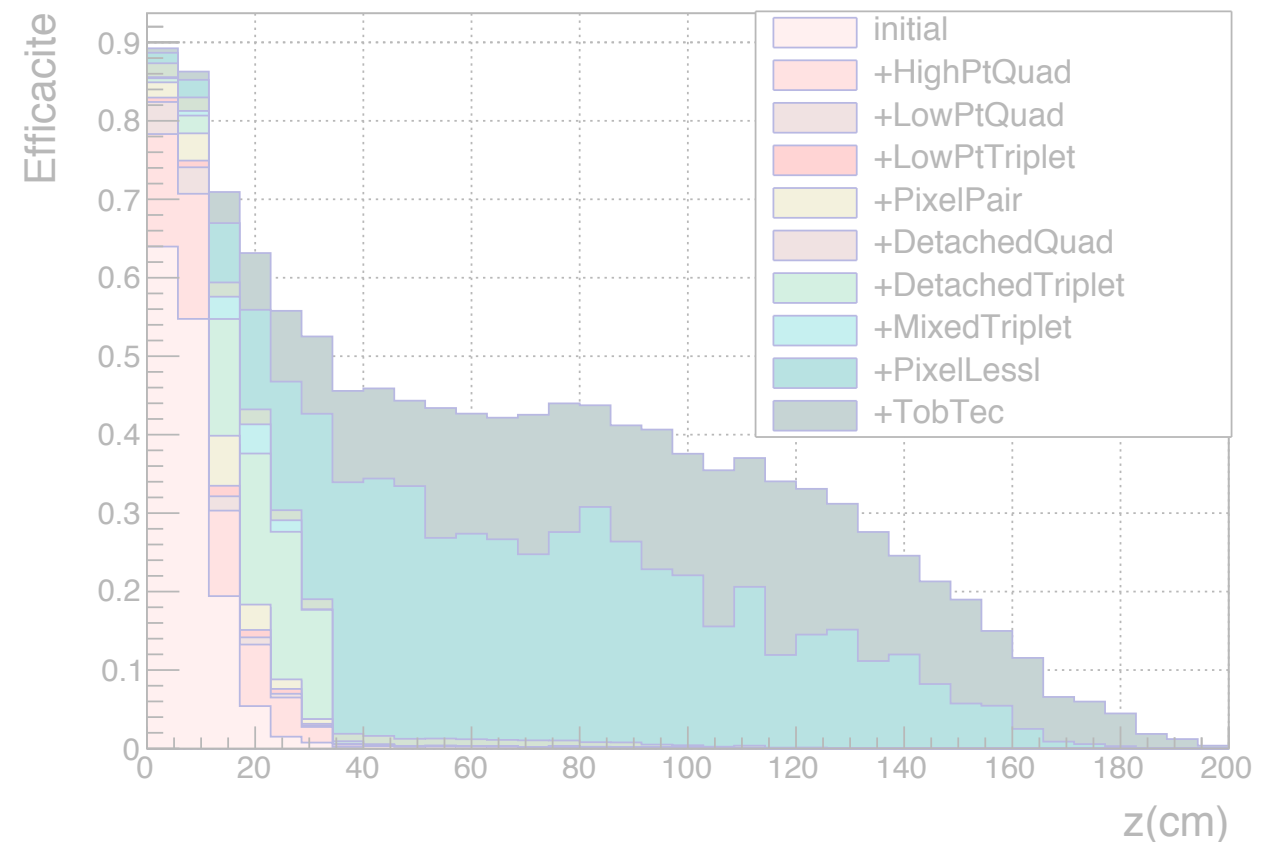
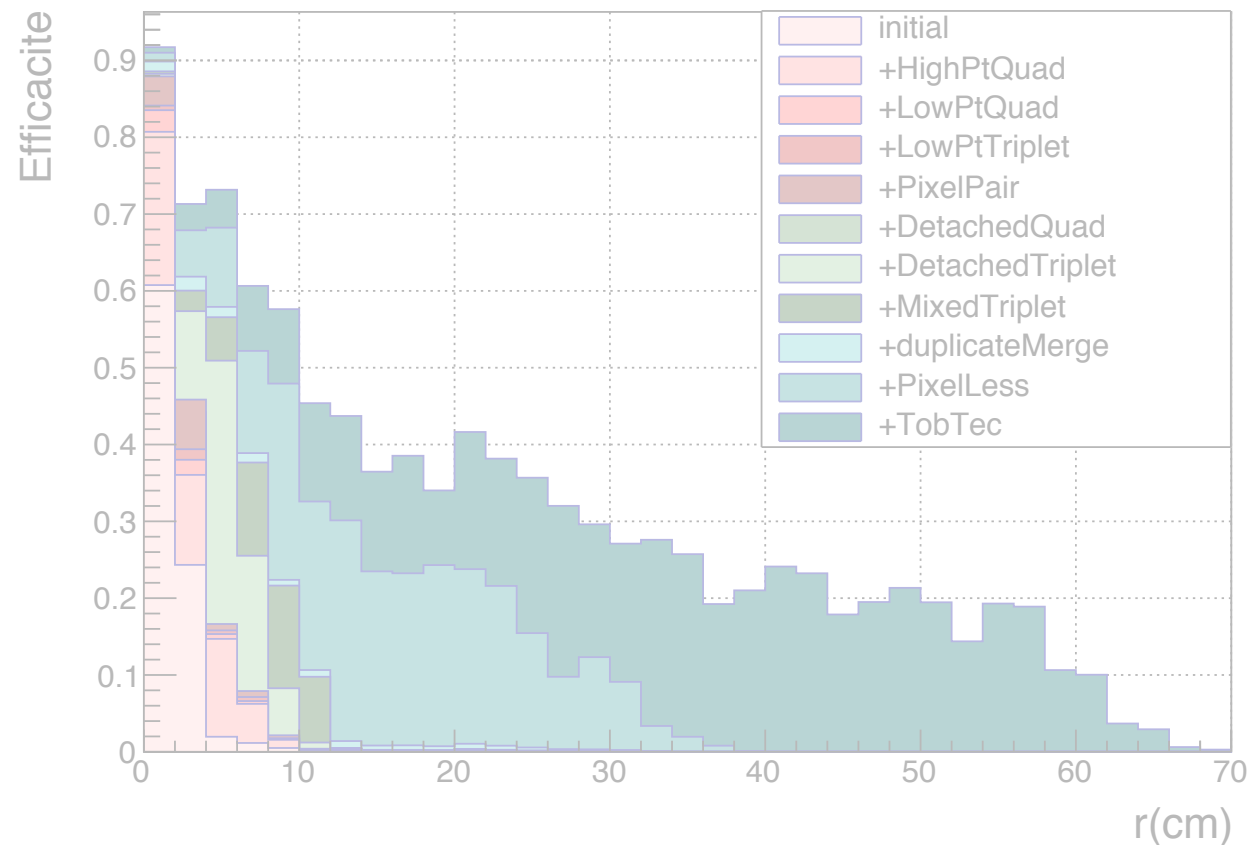
## Efficacité en fonction du point de création de la trace



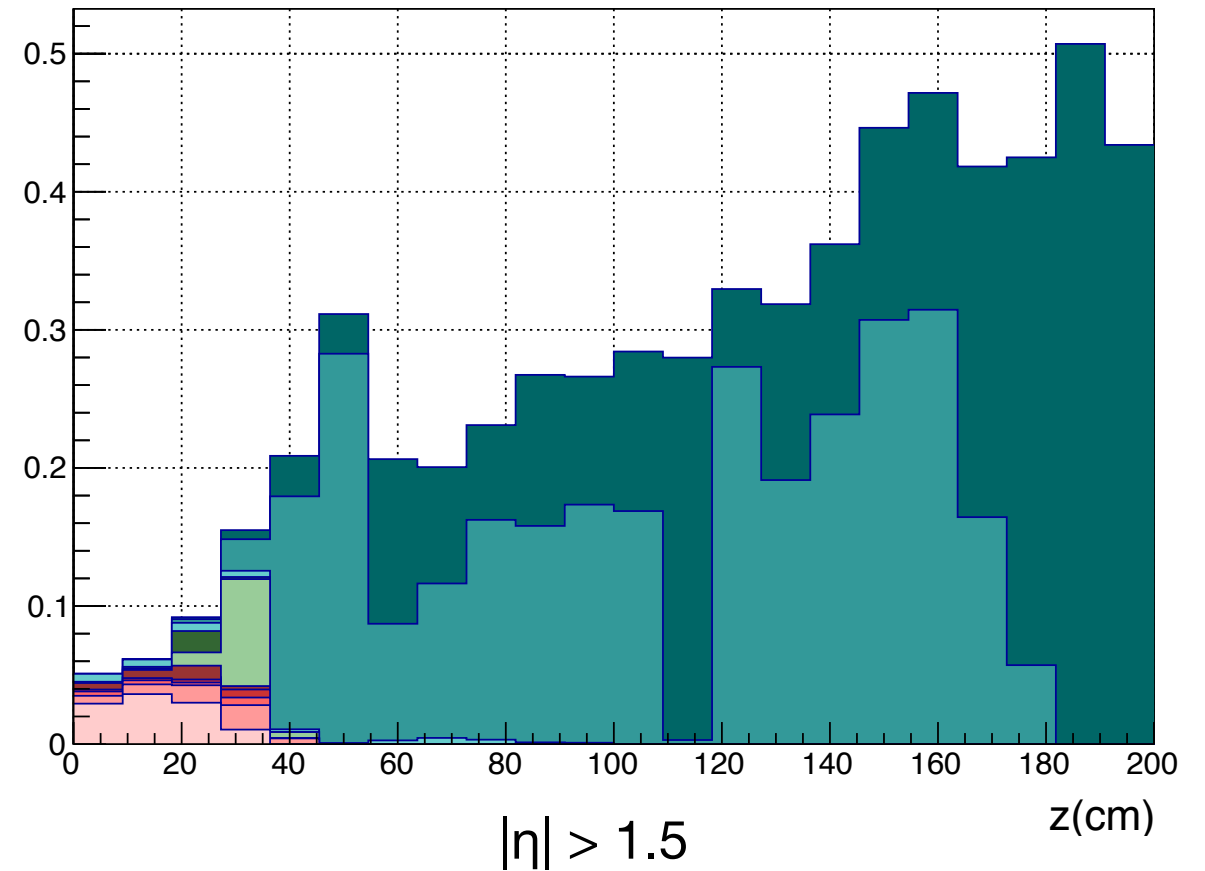
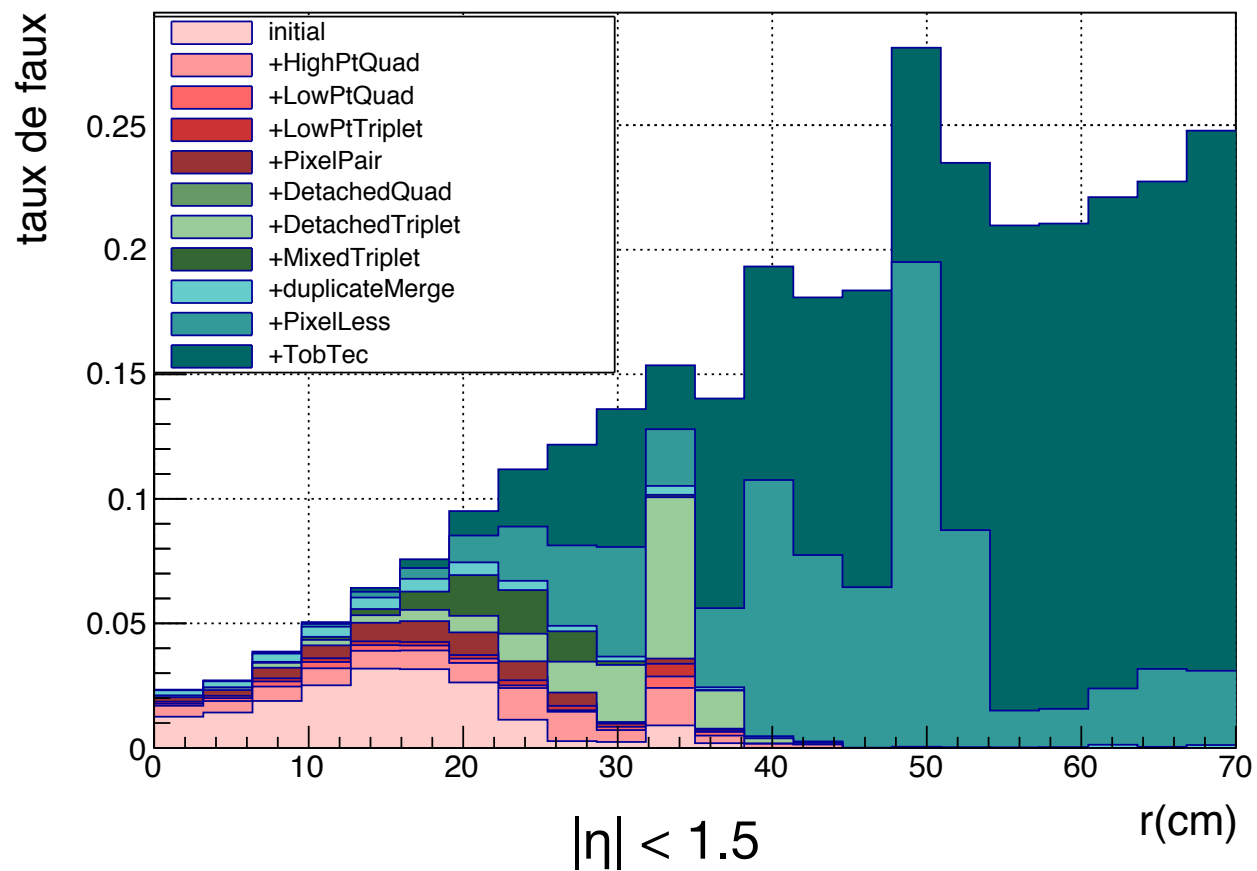
Les itérations :

- Utilisent des définitions de graines différentes:  
**2, 3 ou 4 coups**
- Recherche les graines de plus en plus loin du vertex primaire de collision
- Seulement **deux itérations** cherchent des traces au delà de  $r = 12$ cm et  $z = 35$ cm

# Taux de faux



Taux de faux en fonction du point de création de la trace



**Efficacité**

**Taux de faux**

## Trouver la graine :

- Reconstruction des premiers coups
- Définition des graines

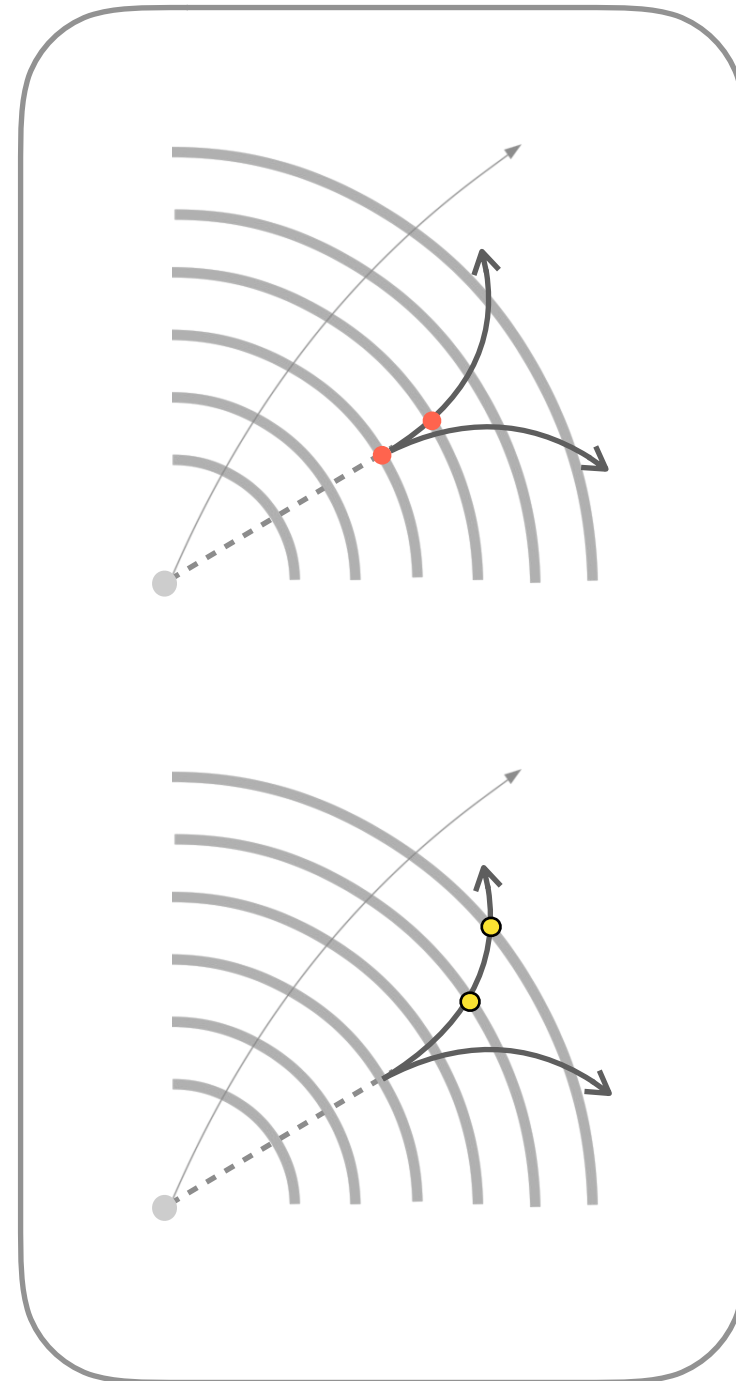
## Trouver la trace :

- Incertitudes de l'extrapolation d'une couche à l'autre
- Nombre de coups réduit dans les dernières itérations

## Sélection de la trace :

Critères de sélection non adaptés pour les traces déplacée

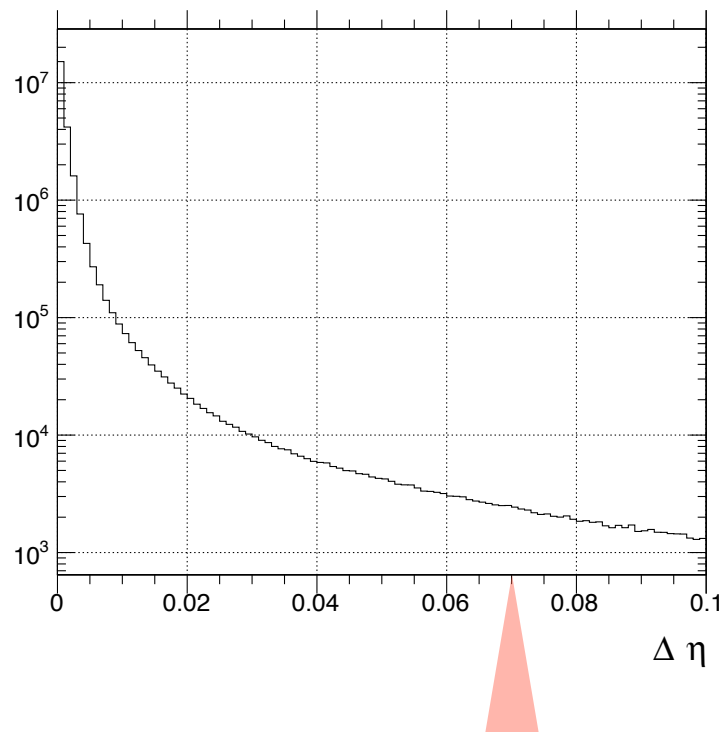
**Association entre traces reconstruites et simulées**



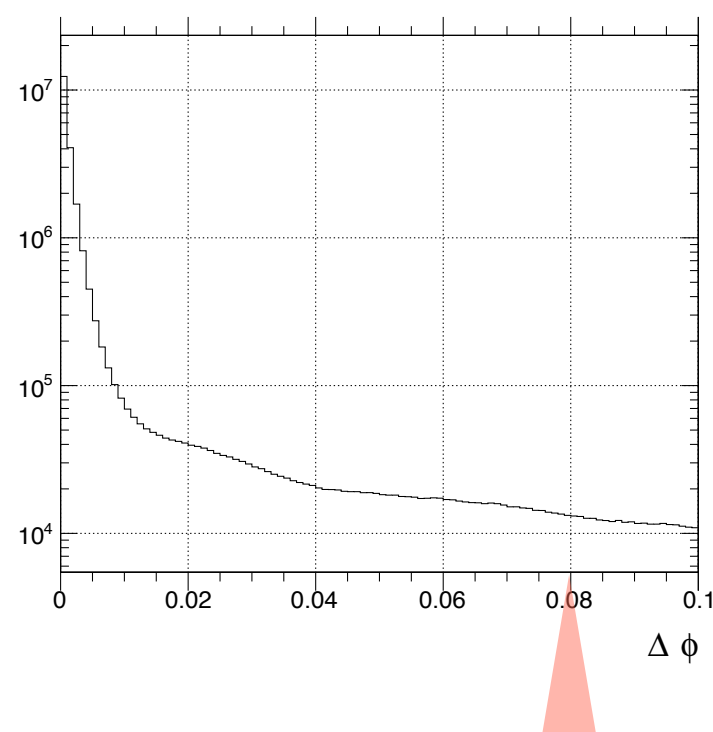
# Traces non associées

**Les traces sont associées sur des critères d'association de coups.  
Les coups sont associées grâce à des algorithmes dédiés.**

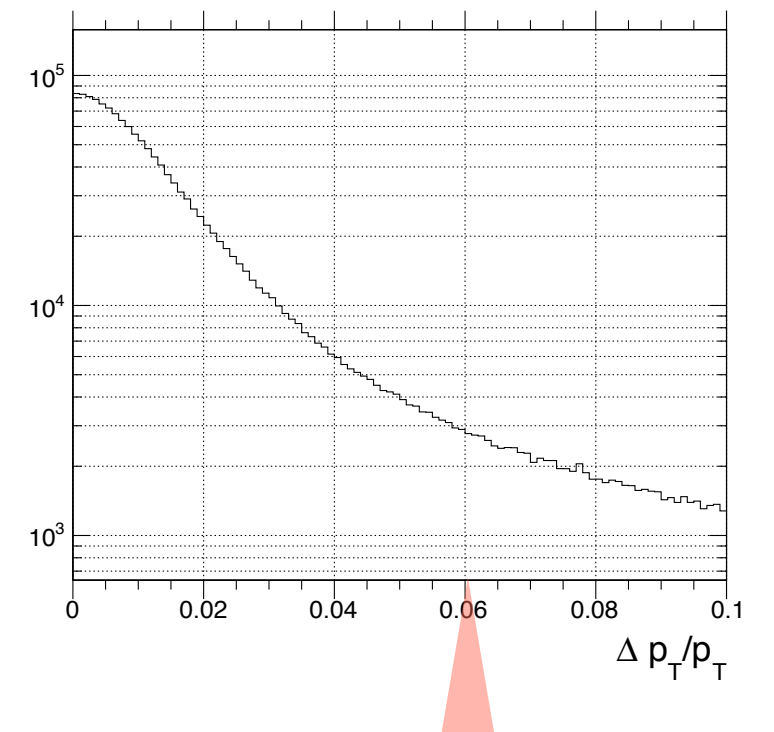
Différence en pseudorapidité



Différence en angle azimutal



Différence en impulsion relative



**Entre traces simulées et reconstruites associées**

Pour 95% des traces associées :

- Différence en  $\eta < 0.07$
- Différence en  $\phi < 0.08$
- Différence en  $p_T$  relative  $< 0.06$

# Traces non associées

Pour 95% des traces associées :

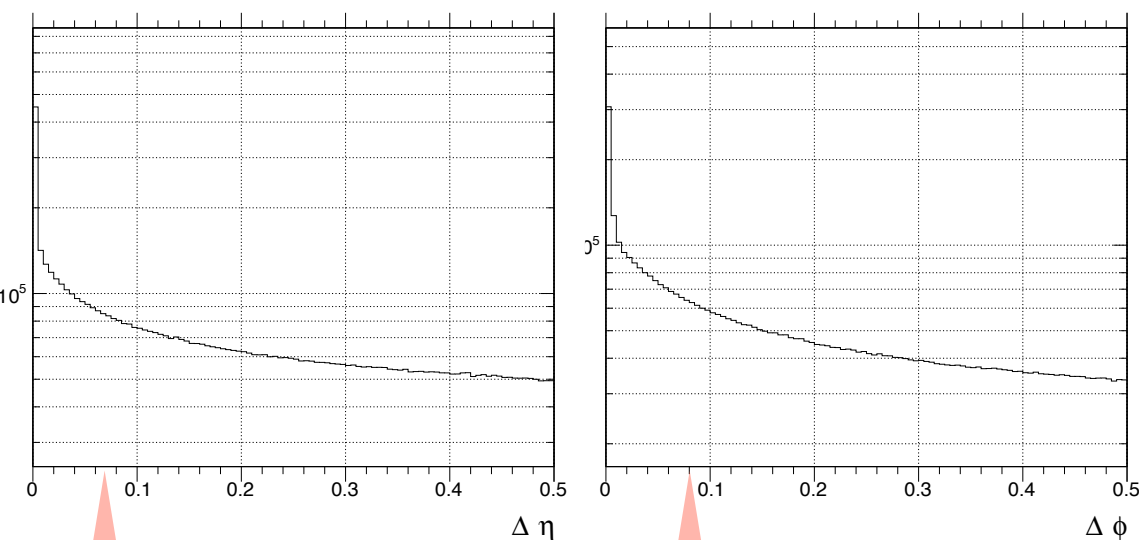
- Différence en  $\eta < 0.07$
- Différence en  $\phi < 0.08$
- Différence en  $p_T$  relative  $< 0.06$

En appliquant ces critères géométriques sur les collections de traces non associées :

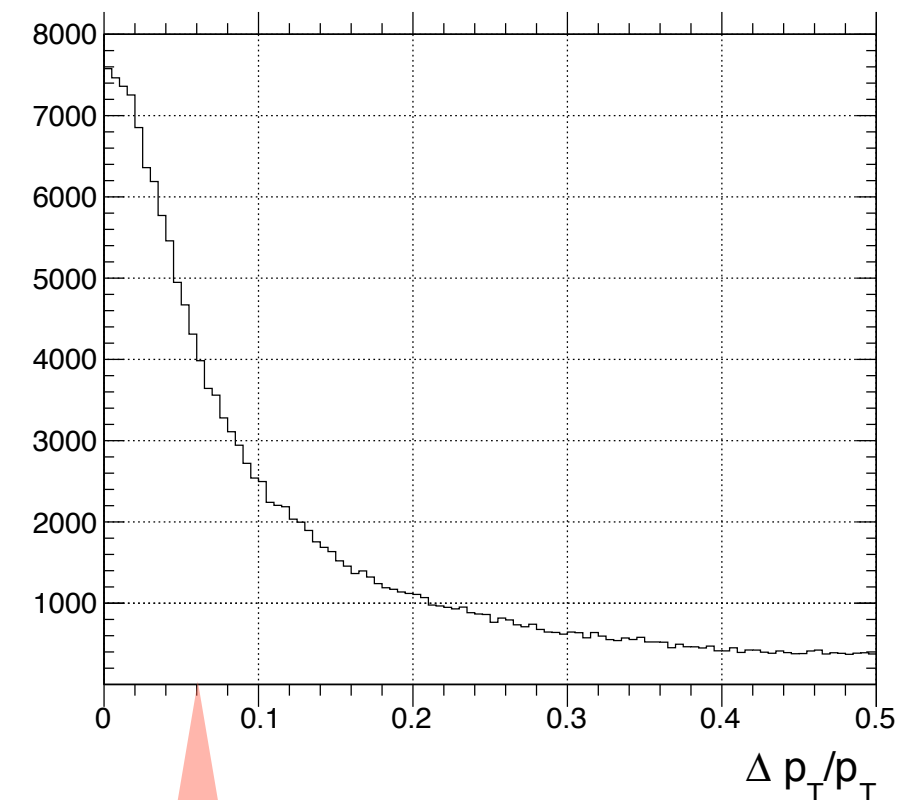
~ **3% des traces**



**Moins de 1% des traces simulées pourraient être associées a des traces reconstruites suivant ces critères**



Distribution de la différence en pseudorapidité et angle azimutal entre traces non associées



La majorité des traces ont été correctement associées.

**Les paramètres des traces reconstruites sont mal définis**

**OU**

**Les traces simulées non associées n'ont pas été reconstruites**

# Conclusion

Étude exploratoire sur les performances de la reconstruction des particules chargées dans le trajectographe de CMS qui a permis de mettre en avant :

**Une inefficacité dans la reconstruction des particules produites loin du point de collision**

+

**Un taux élevé de fausses traces reconstruites loin du point de collision**

- Étude des particules à long temps de vie du MS
- Initiation aux algorithmes de CMS
- Caractérisation géométrique de l'association des traces
- Recherche des sources d'inefficacité possibles

Pour la suite :

Recherche de processus de nouvelle physique impliquant un quark top déplacé

Améliorer les algorithmes de reconstruction des particules chargées

Contrôler ces améliorations grâce aux particules à long temps de vie du modèle standard

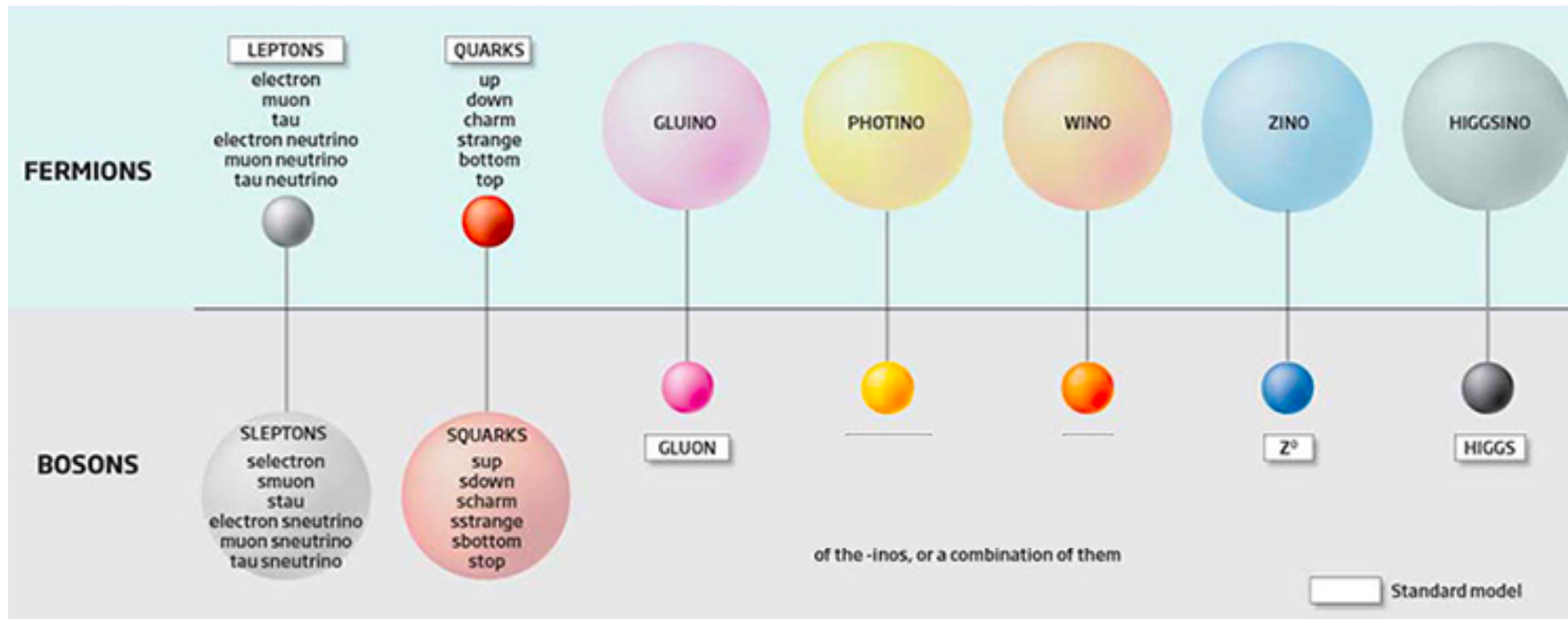


**Back up**

## Échantillon $t\bar{t}$ avec $\sim 430\ 000$ événements

|                  | Matched | r  | z  | Unmatched | r  | z  |
|------------------|---------|----|----|-----------|----|----|
| Simu             |         | 39 | 15 |           | 18 | 5  |
| Reco from PV     |         | 35 | 12 |           | 1  | 1  |
| Reco not from PV |         | 5  | 3  |           | 65 | 38 |

# La supersymétrie :



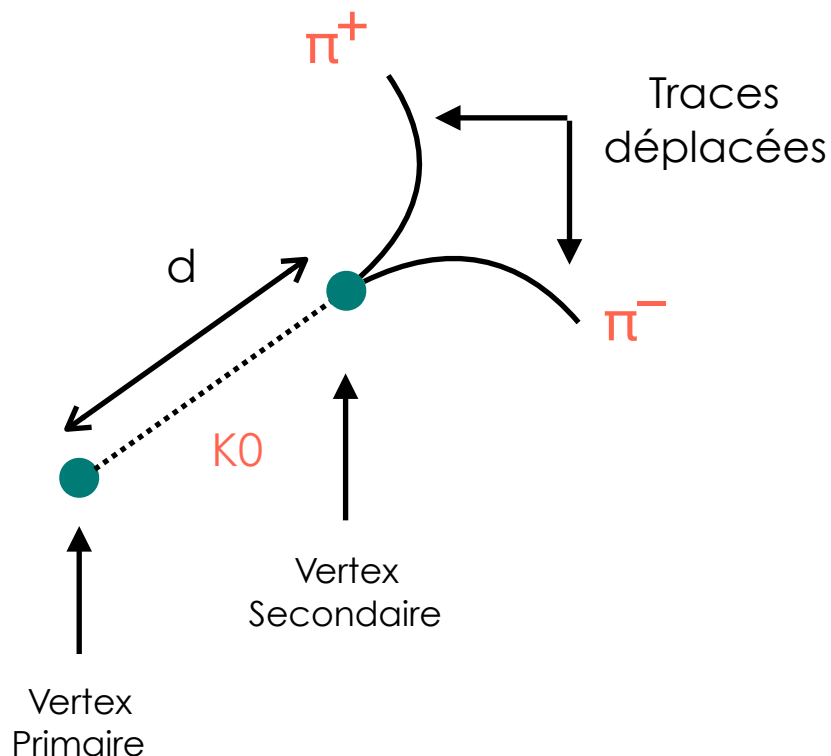
- Hiérarchie des masses : Calculs théoriques dans la masse du boson de Higgs
- Un candidat de matière noire : Si sa particule la plus légère (neutralino) est stable
- Unification de l'interaction forte, faible et électromagnétique devient possible à une échelle d'énergie de l'ordre de  $10^{16}$  GeV

On récupère le temps de vie des  $K^0$  et des  $\Lambda$  à partir de :

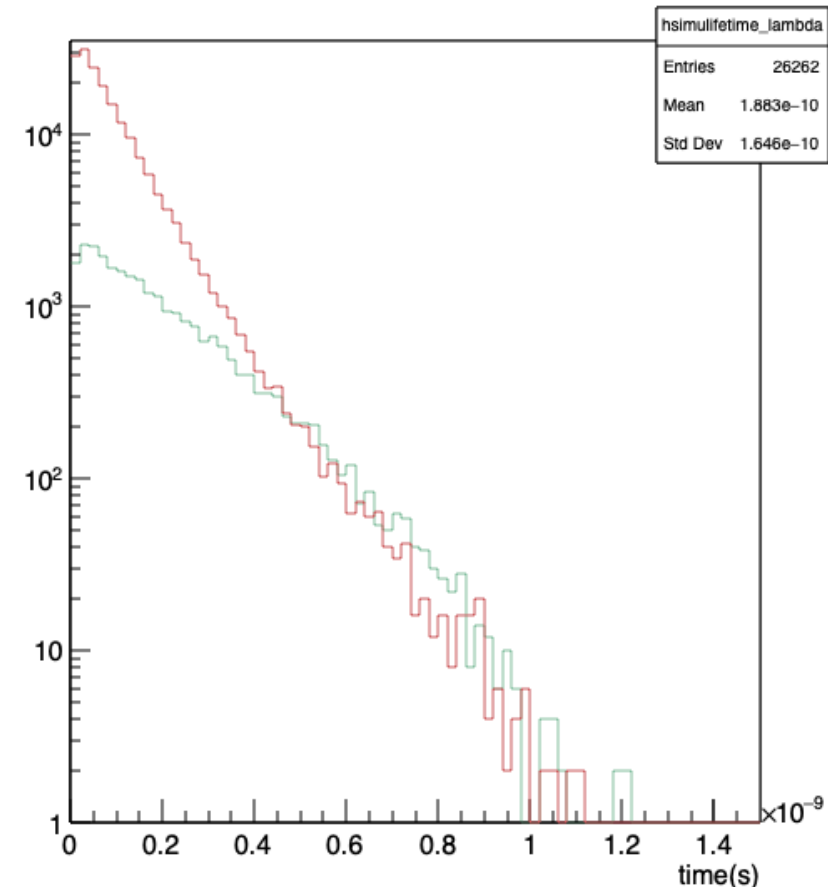
- traces simulées de leurs produits de désintégration
- Traces reconstruites de leurs produits de désintégration

$$\tau = \frac{d}{\gamma * c}$$

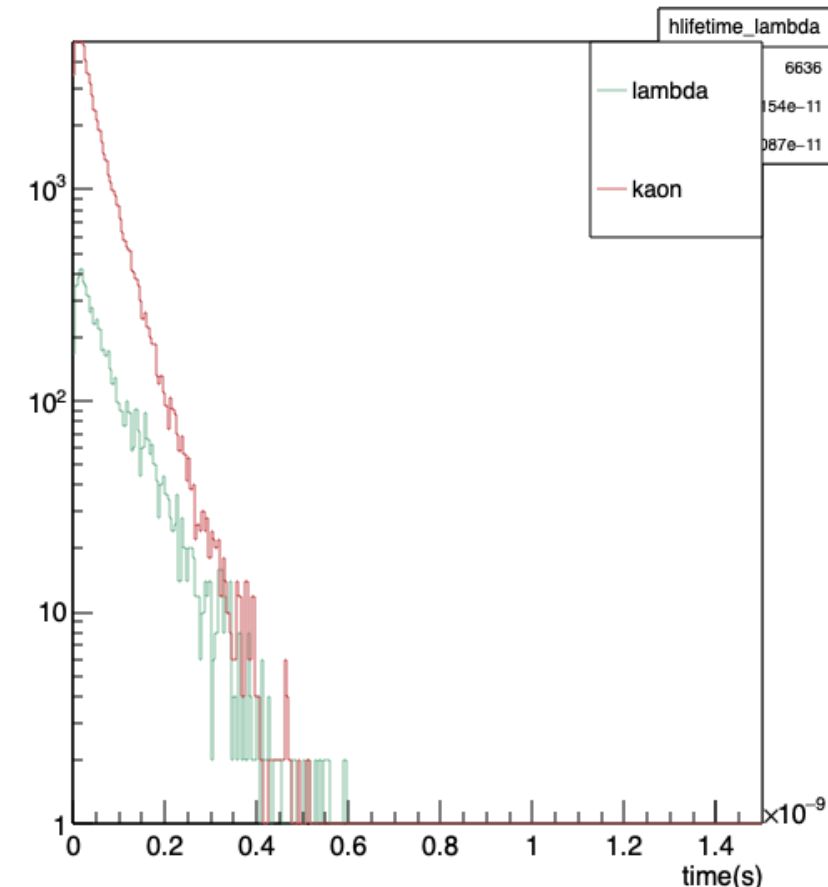
d : distance entre vertex de production et vertex de désintégration  
 $\gamma$  : facteur relativiste  
 c : vitesse de la lumière



Simulated tracks

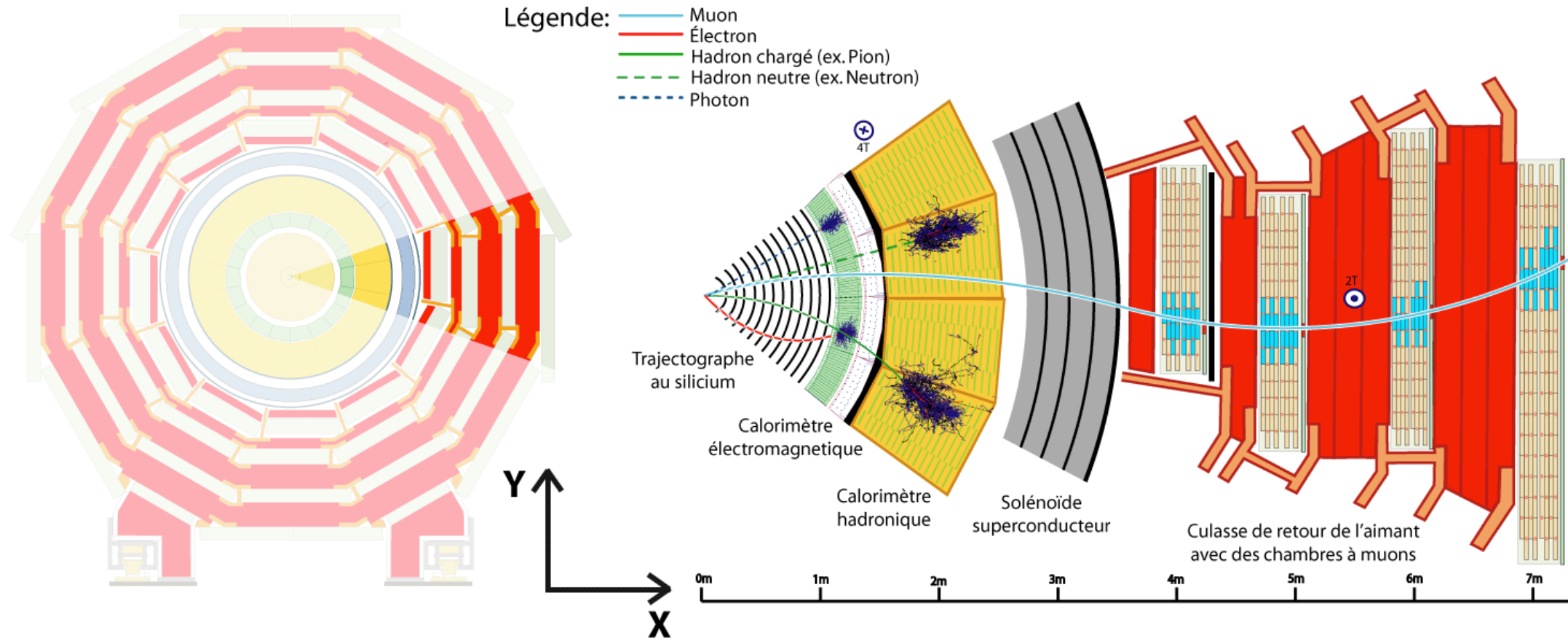


Reconstructed tracks



|  | $K_s^0$ (ds)                        | $\Lambda$ (uds)                     |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Masse (MeV)</b>                           | 497.611±0.013                       | 1115,683±0.006                      |
| <b>Mode de désintégration</b>                | $\pi^+ + \pi^-$                     | $p + \pi^-$                         |
| <b>Temps de vie (s)</b>                      | $(8.954 \pm 0.004) \times 10^{-11}$ | $(2.632 \pm 0.020) \times 10^{-10}$ |
| <b>à partir des traces simulées (s)</b>      | $(9,003 \pm 0.093) \times 10^{-11}$ | $(2.223 \pm 0.097) \times 10^{-10}$ |
| <b>à partir des traces reconstruites (s)</b> | $(4,243 \pm 0.026) \times 10^{-11}$ | $(1.238 \pm 0.002) \times 10^{-11}$ |

# CMS



Jets de traces déplacés dans le trajectographe

