

Conception d'un trajectographe : le projet SiTrInEO

SCHOTTER Romain PERUS Adèle
Université de Strasbourg
Le 13/05/2019

Sous la supervision de BAUDOT Jérôme.

Introduction

Développement d'un système pédagogique de *tracking* miniaturisé.

- Objectifs du projet :**
- Développement d'une simulation du dispositif physique.
 - Optimisation des codes permettant la reconstruction des traces.
 - Exploitation de données simulées.
 - Fabrication réelle du dispositif.
 - Exploitation de données réelles.
- Objectifs du stage :**
- Développement des outils informatiques.
 - Étude des différents compromis.

SOMMAIRE

I. Le projet SiTrInEO

1. Définition du projet
2. Le tracking
3. Dispositif expérimental
4. Approche mathématique
5. Simulation Géant4

II. Simulation et étude numérique

1. Première approche : algorithme de calcul
2. Deuxième approche : TAF
3. Conclusion

Le projet SiTrInEO

Qu'est-ce que c'est ?

SiTrInEO = Silicon Tracker with International Educational Objectives.

- ↳ Conception d'un système de tracking **par** et **pour** des étudiants.
- ↳ Utilisation future pour des TP.
- ↳ Permettre aux étudiants d'apprendre à manipuler ce type de dispositifs.

Partenariat entre Strasbourg et KNU en Corée.

- ↳ Echanges entre les groupes d'étudiants.
- ↳ Volonté de collaboration internationale.

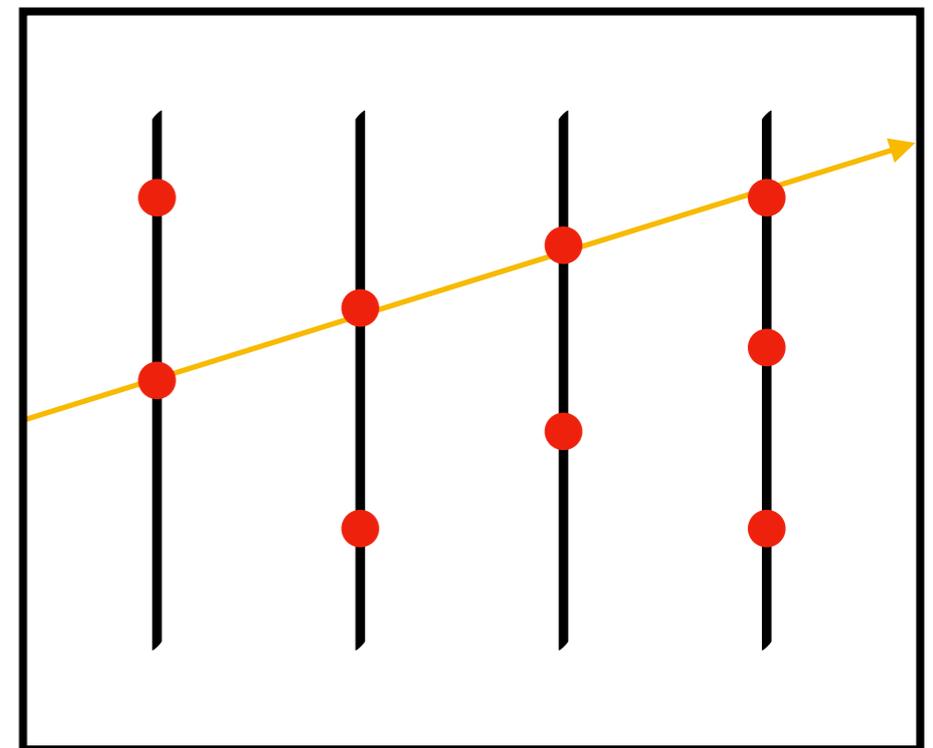
Le projet SiTrInEO

Le tracking

- Qu'est-ce que le tracking ?

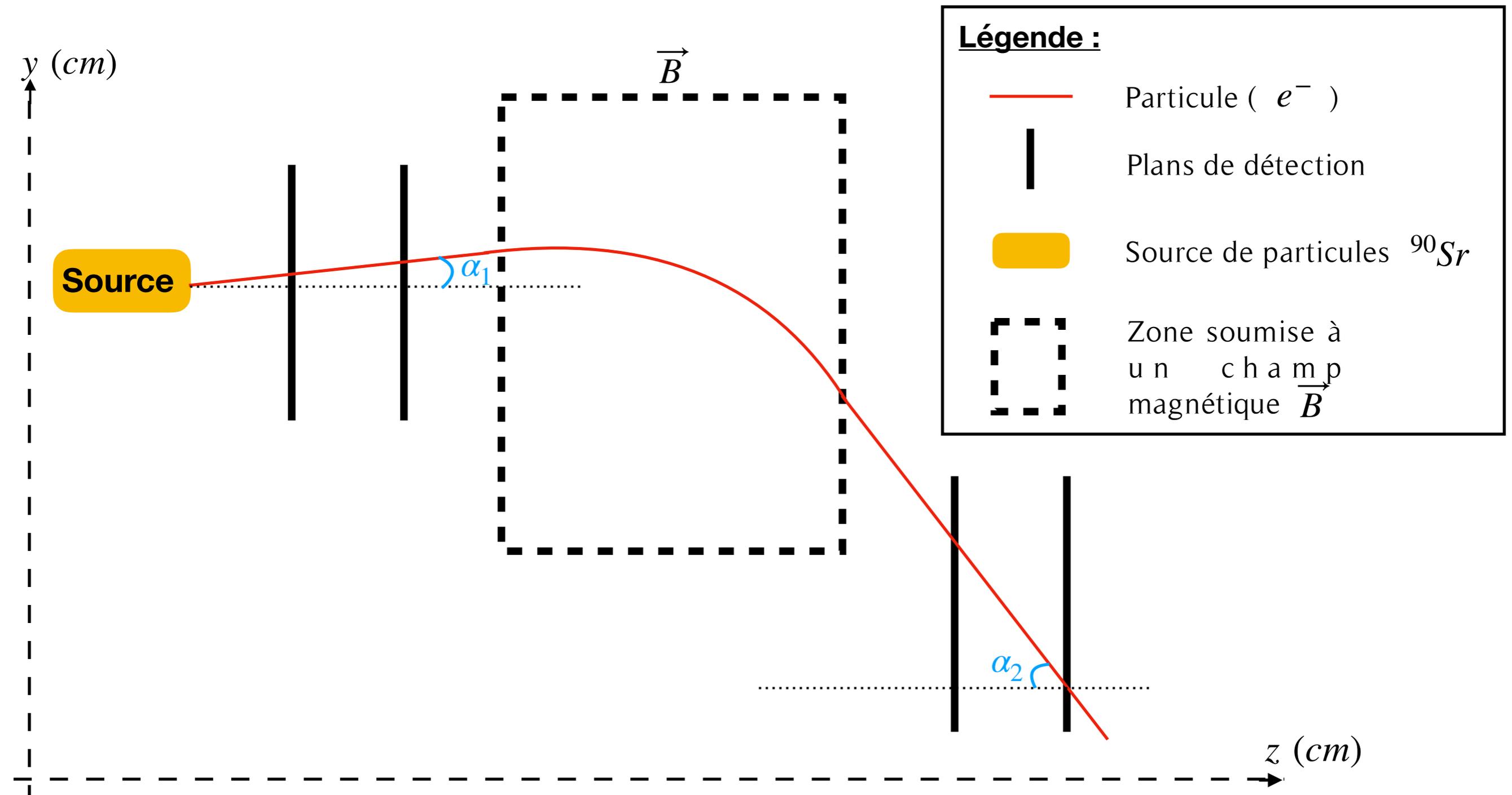
- ↳ Particule émise (source, collision, réaction, etc).
- ↳ Passe à travers des détecteurs → *hits*.
- ↳ Reconstruction de sa trajectoire à partir de ces *hits*.

- Intérêt : Etudier la nature d'une particule.
Donne accès à certaines de ses propriétés (charge, **impulsion**, etc).



Le projet SiTrInEO

Dispositif expérimental



Le projet SiTrInEO

Approche mathématique

- Hypothèses :**
- Pas de diffusion multiple.
 - Direction du champ magnétique constante.
 - $p = cte$

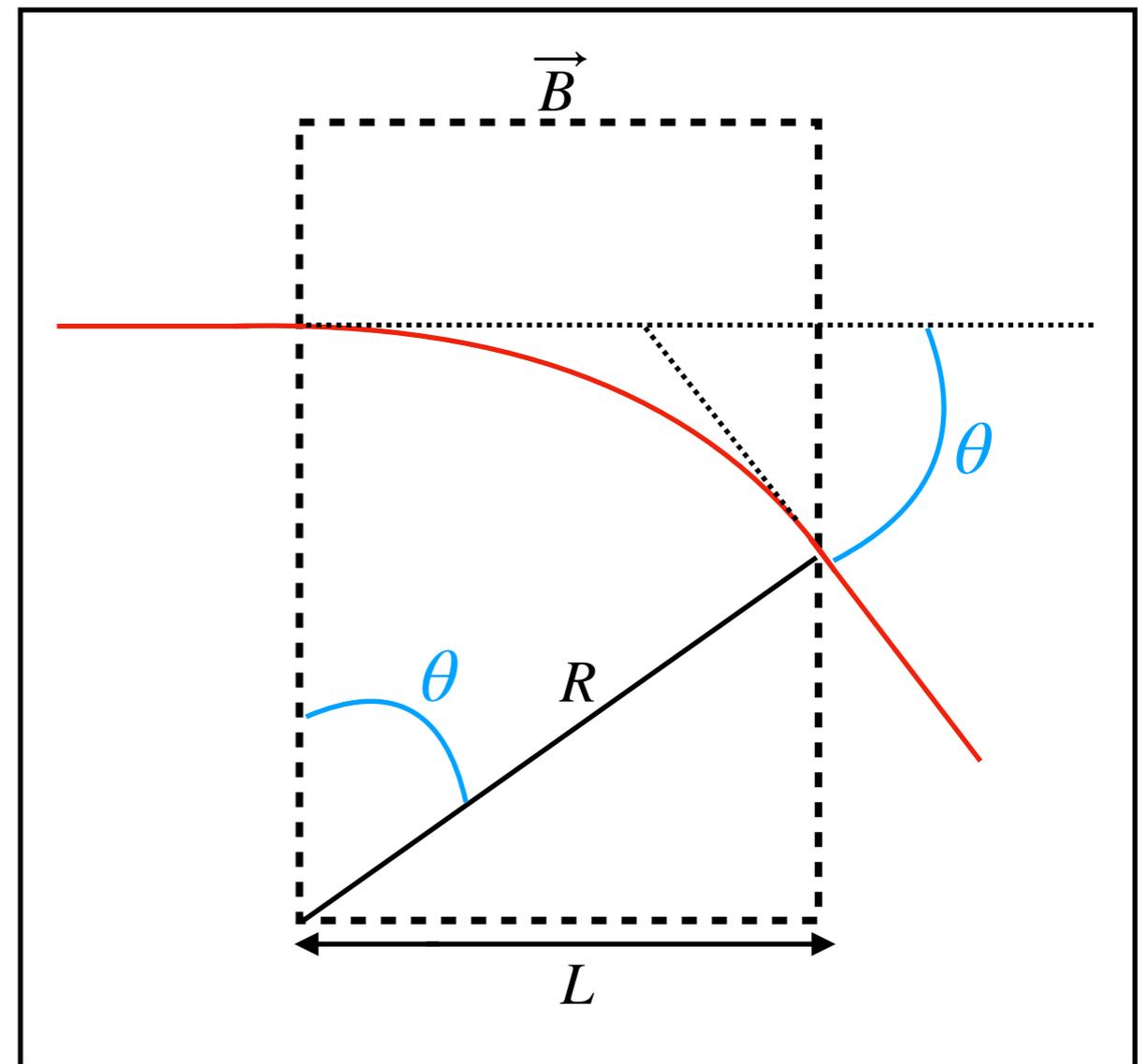
D'après la deuxième loi de Newton :

$$p = qBR \quad \begin{array}{l} \text{Particule de charge } q \\ \text{Trajectoire circulaire de rayon } R \end{array}$$

Si θ est l'angle de déviation :

$$\sin\theta = \frac{L}{R} \quad \text{and} \quad \sin\theta \simeq \theta \Rightarrow \theta \simeq \frac{L}{R}$$

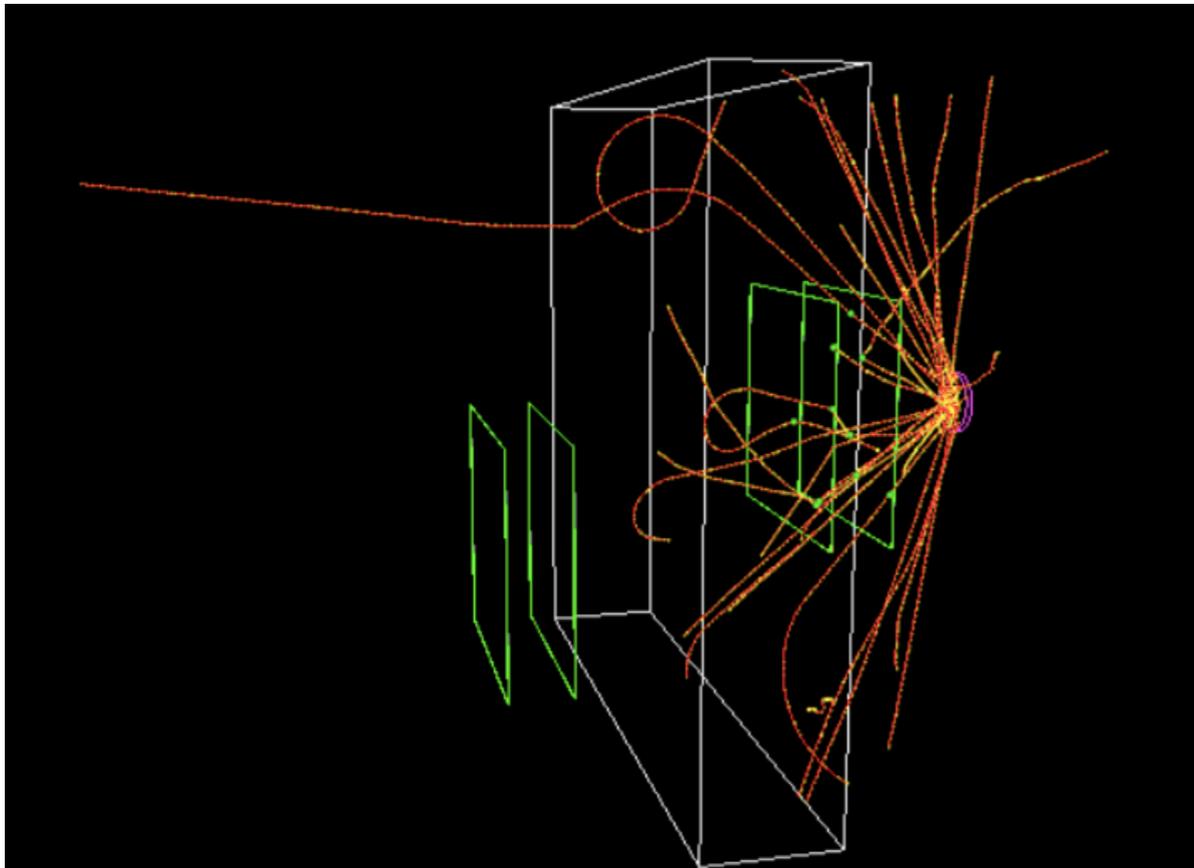
$$\Rightarrow \boxed{p = \frac{qBL}{\theta} = \frac{0.3BL}{\theta} \text{ MeV}/c}$$



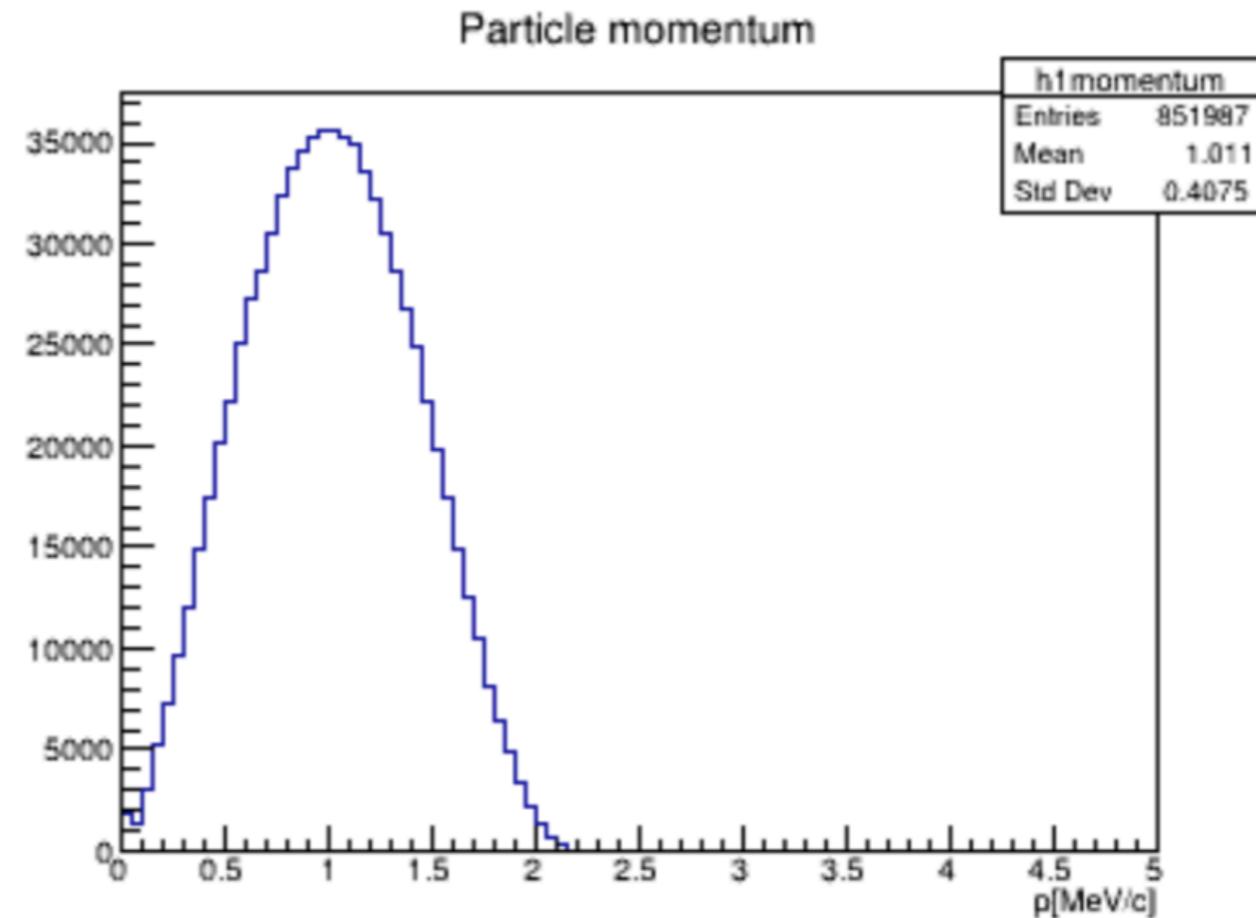
Le projet SiTrInEO

Simulation Géant4

Géant4 : logiciel de simulation.



Avec une source

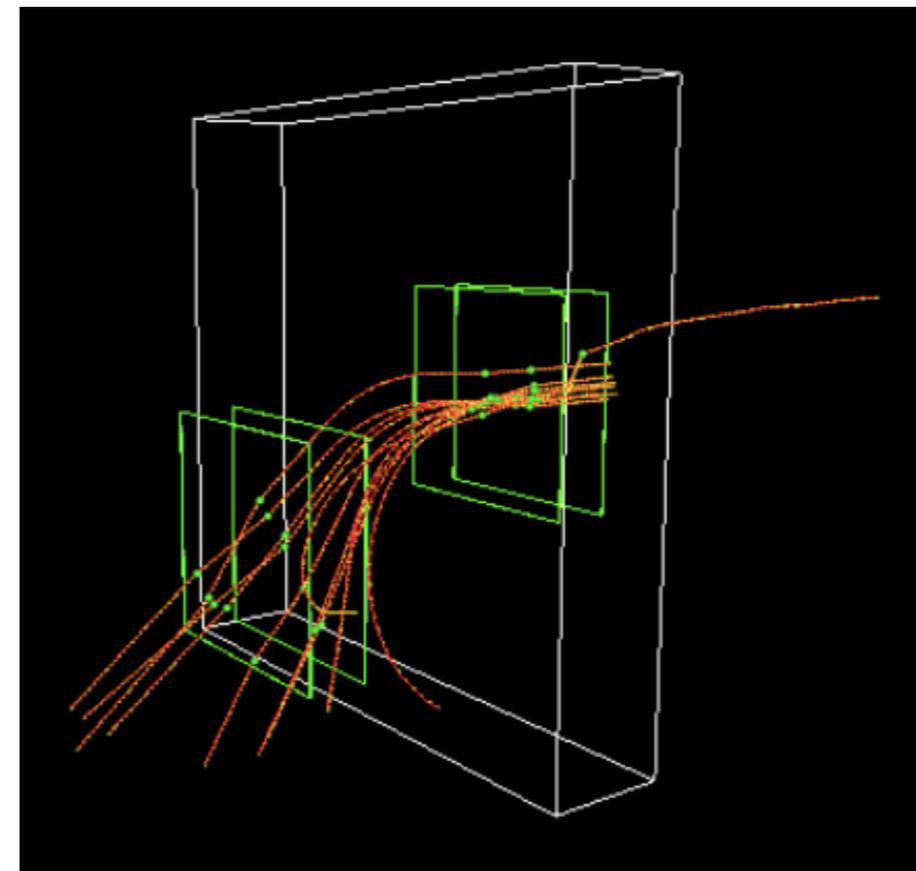
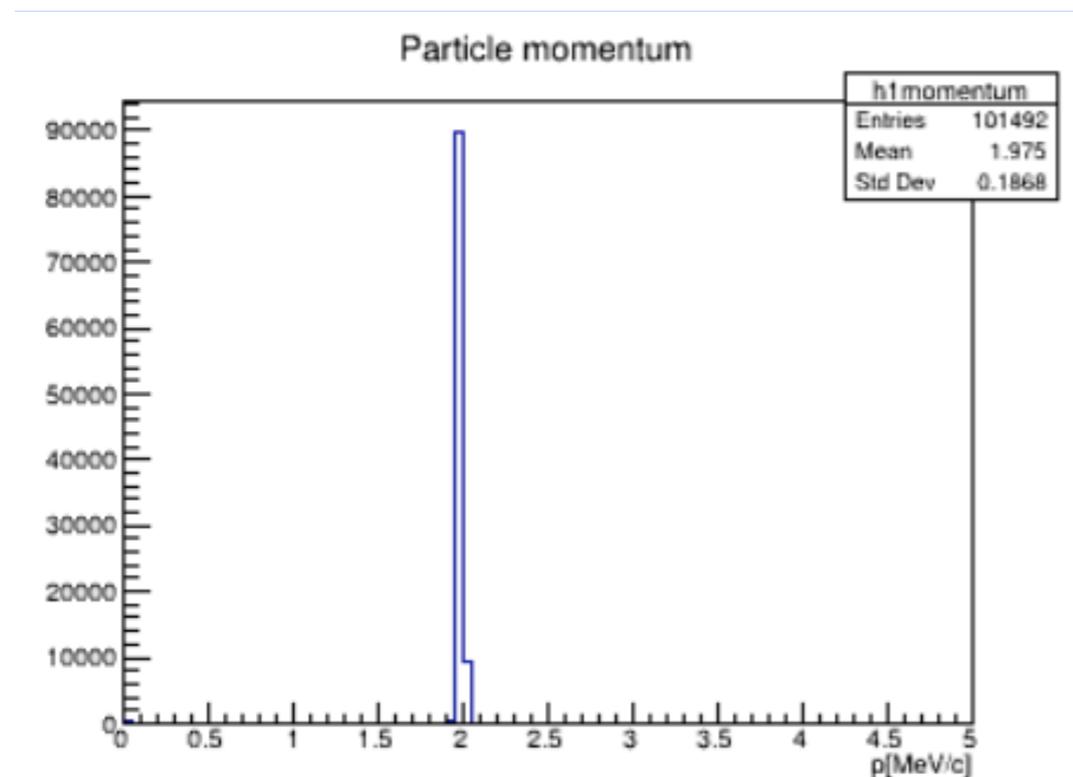


Évènements avec source trop **aléatoires** → difficulté d'étude générale des particules
⇒ **travail d'optimisation avec un faisceau** pour adapter ensuite à une source.

Le projet SiTrInEO

Simulation Géant4

Géant4 : logiciel de simulation.



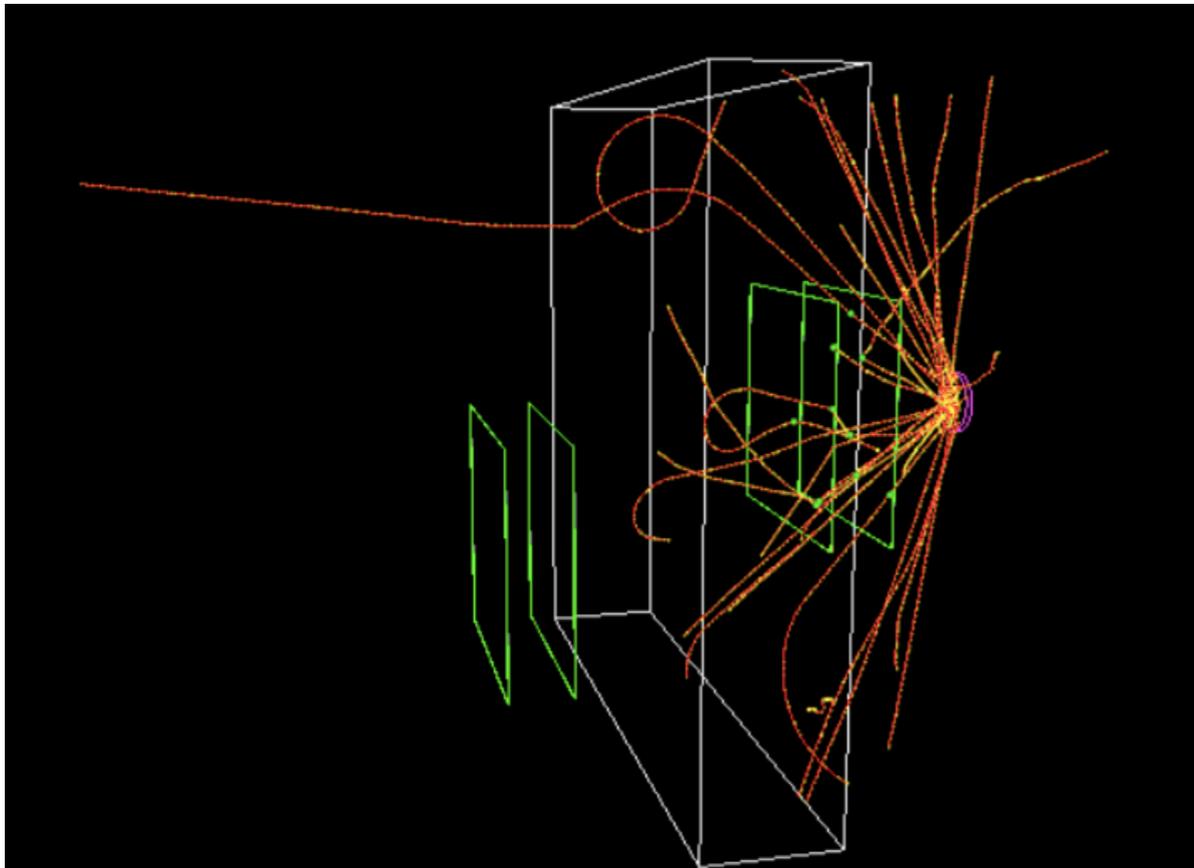
Avec un faisceau

Évènements avec source trop **aléatoires** → difficulté d'étude générale des particules
⇒ **travail d'optimisation avec un faisceau** pour adapter ensuite à une source.

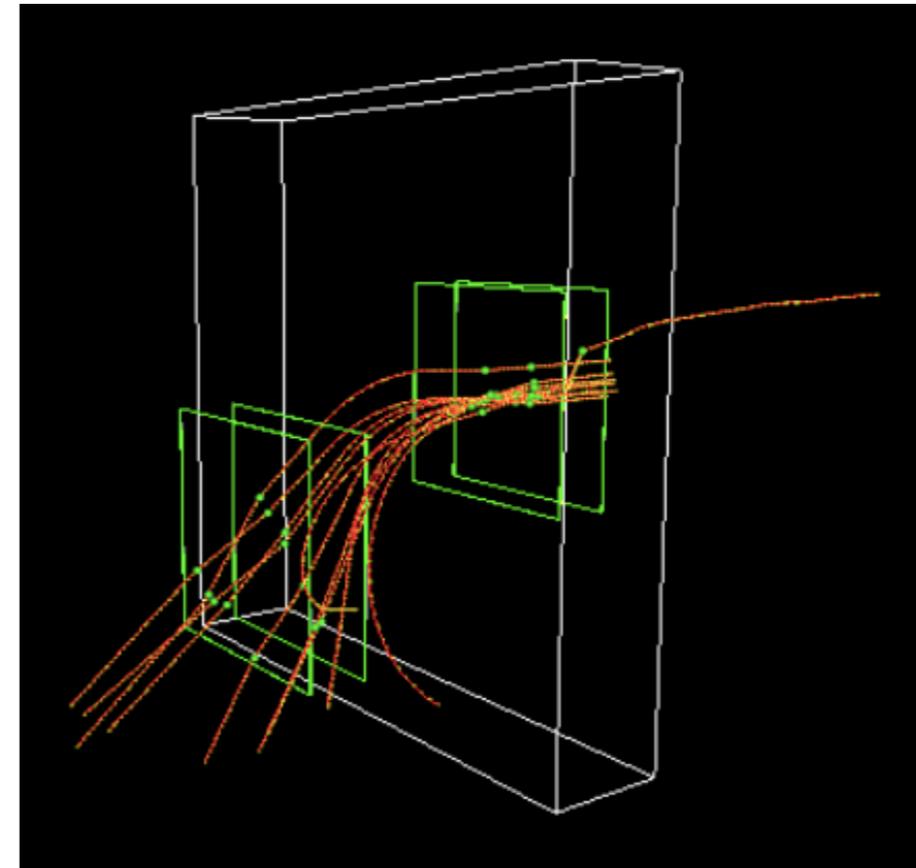
Le projet SiTrInEO

Simulation Géant4

Géant4 : logiciel de simulation.



Avec une source



Avec un faisceau

Évènements avec source trop **aléatoires** → difficulté d'étude générale des particules
⇒ **travail d'optimisation avec un faisceau** pour adapter ensuite à une source.

Simulation et étude numérique

Première approche : algorithme de calcul d'impulsion

Sous ROOT → dvlp d'un algorithme de calcul d'impulsion à partir de données simulées.

- ⇒ On connaît :
- l'impulsion initiale de chaque particule.
 - le nombre de particules par évènement.
 - les coordonnées des hits.
 - quel hit appartient à quelle trace.

⇒ Utilisation de la **vérité Monte Carlo** :

⇒ Tests code avec **faisceau d'électrons** (0,5, 1, 1,5 et 2 *MeV*)

- calcul de l'angle de déviation.
- calcul de l'impulsion initiale.
- etude des paramètres influant la trajectoire des particules.

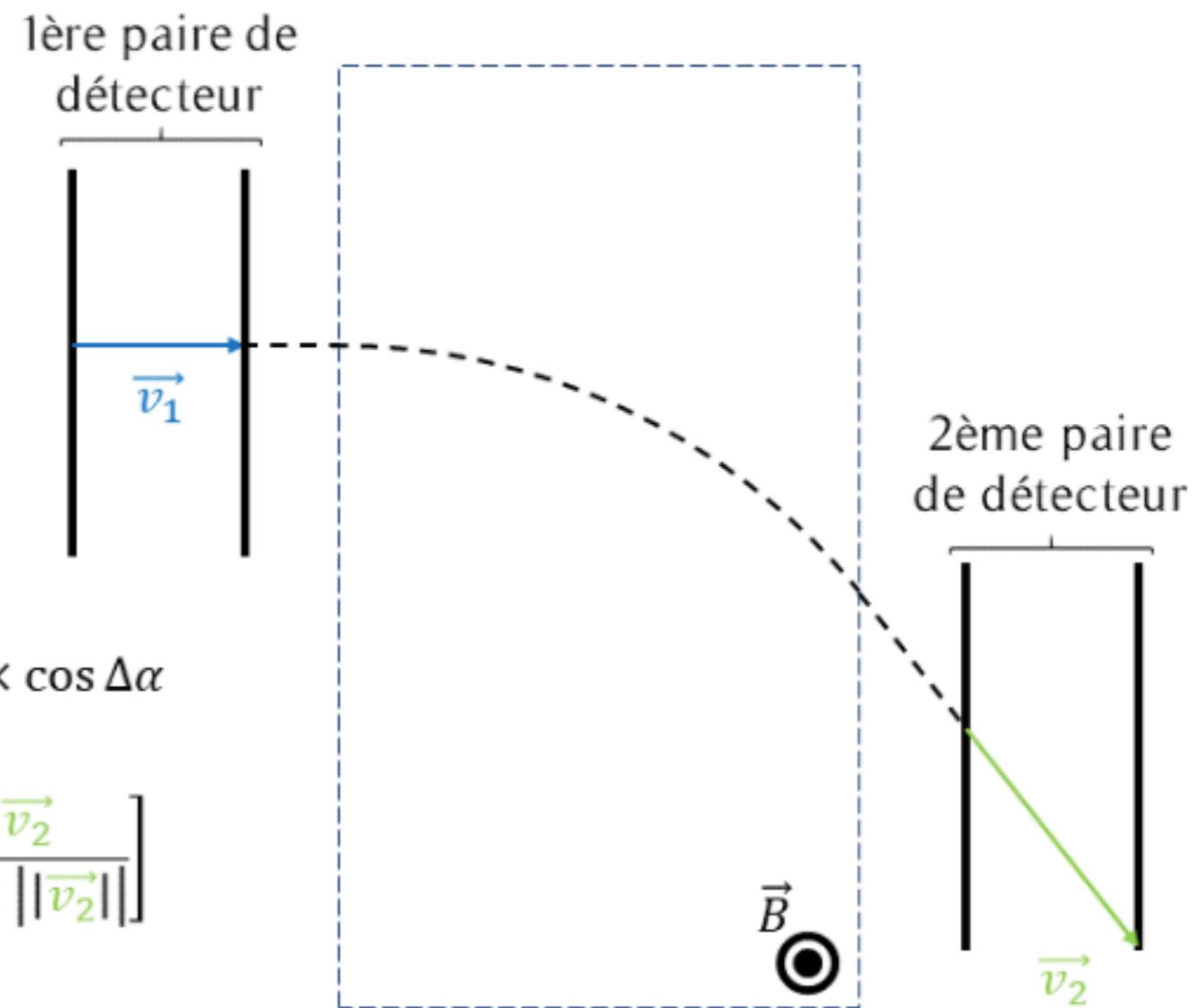
⇒ Tests avec une source après **optimisation** algorithme.

Simulation et étude numérique

Première approche : algorithme de calcul d'impulsion

$$p = \frac{qBL}{\theta} = \frac{0.3BL}{\Delta\alpha} \text{ MeV}/c$$

Dans ce calcul on suppose qu'il n'y a pas de diffusion multiple : $\vec{p}_{initial} = \vec{p}_{final}$



$$\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2 = \|\vec{v}_1\| \times \|\vec{v}_2\| \times \cos \Delta\alpha$$

$$\Delta\alpha = \arccos \left[\frac{\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2}{\|\vec{v}_1\| \times \|\vec{v}_2\|} \right]$$

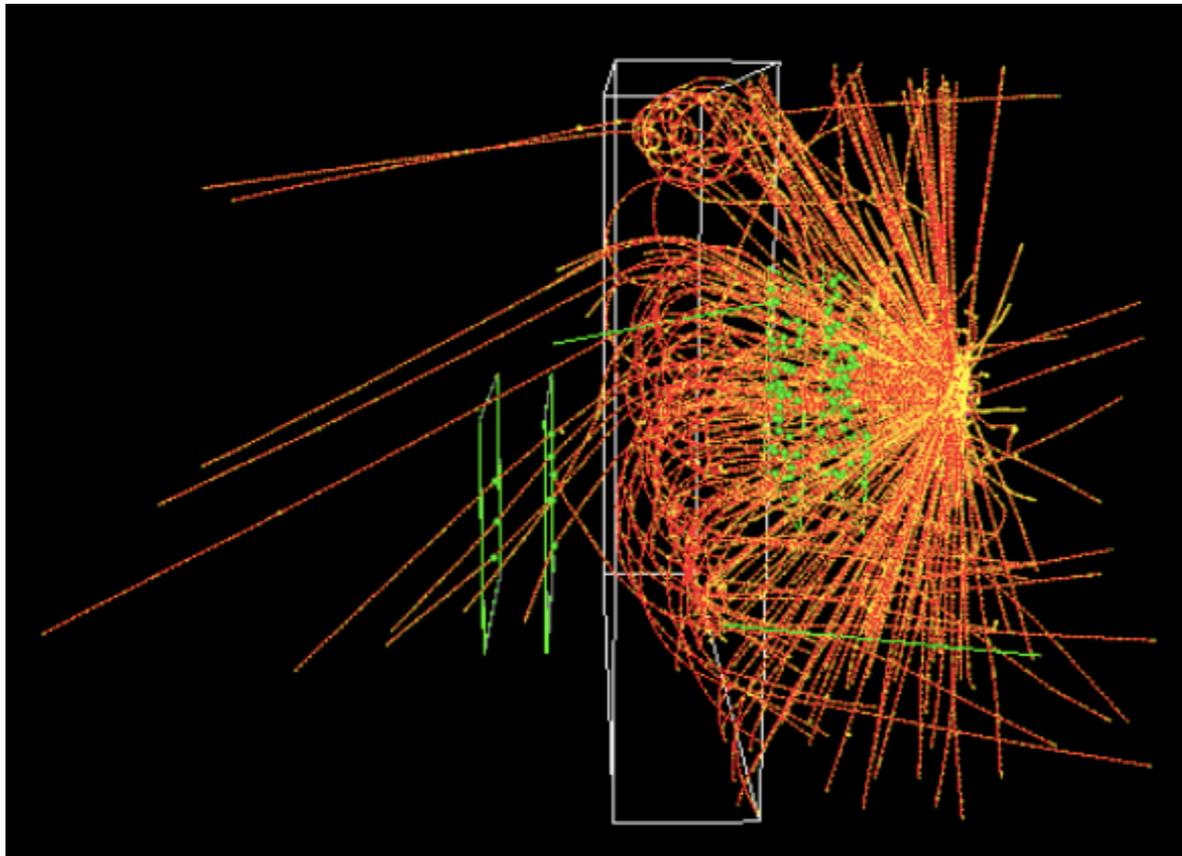
$$B = 0,5 \text{ T}$$

$$L = 10 \text{ mm}$$

Simulation et étude numérique

Première approche : algorithme de calcul d'impulsion

Première étape de sélection des traces :

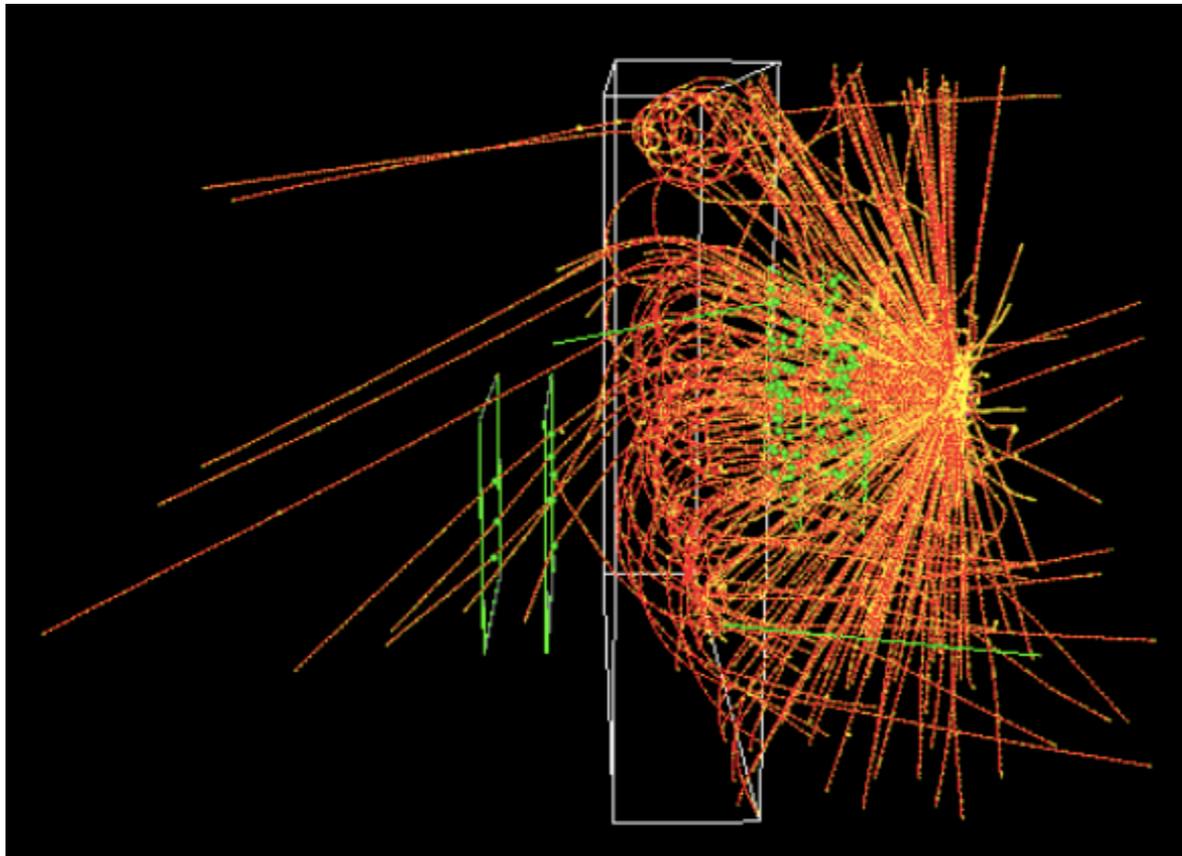


- Grande dispersion des angles d'émission.
- Impulsions trop faibles \Rightarrow demi-tour.

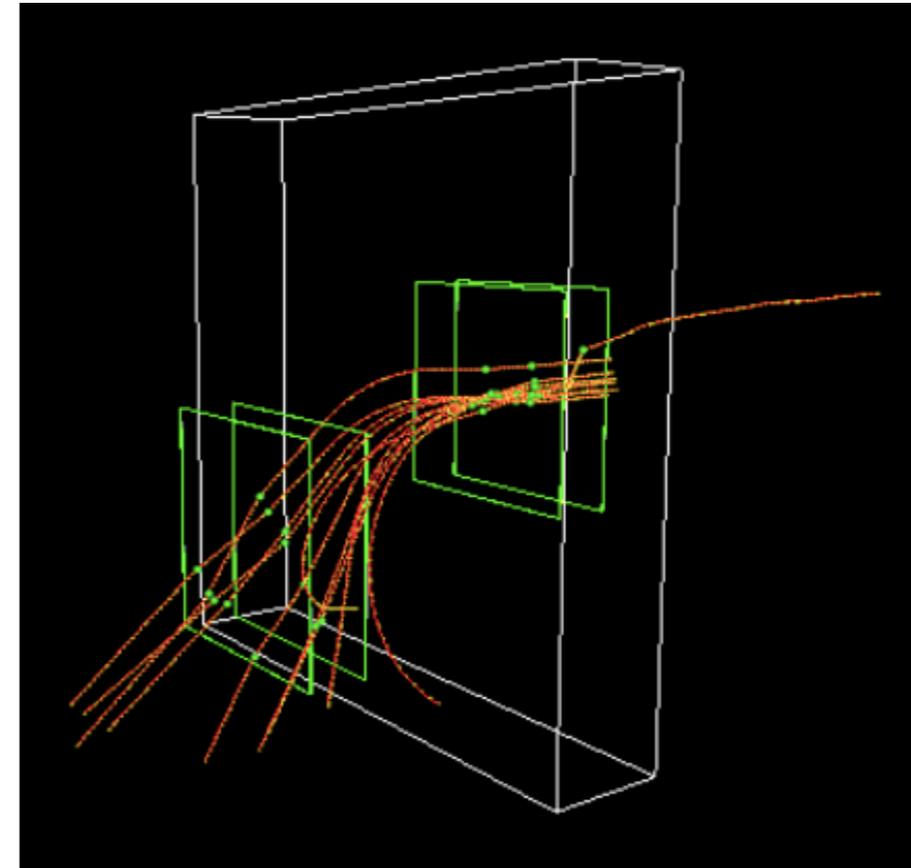
Simulation et étude numérique

Première approche : algorithme de calcul d'impulsion

Première étape de sélection des traces :



- Grande dispersion des angles d'émission.
- Impulsions trop faibles \Rightarrow demi-tour.

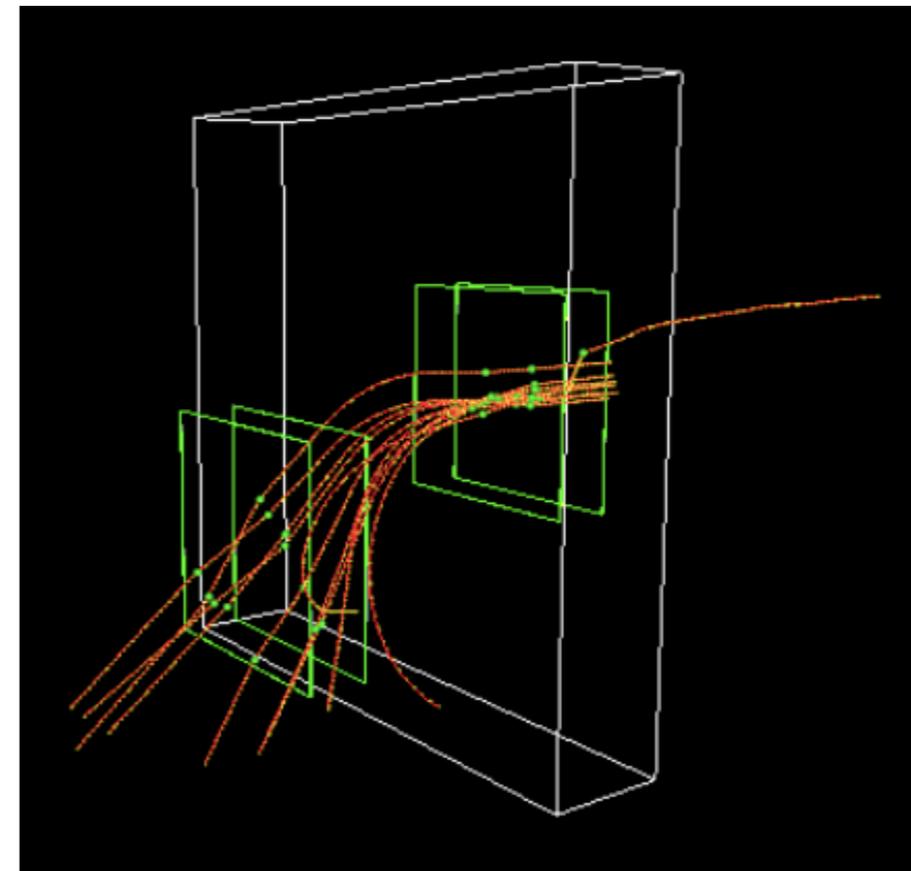
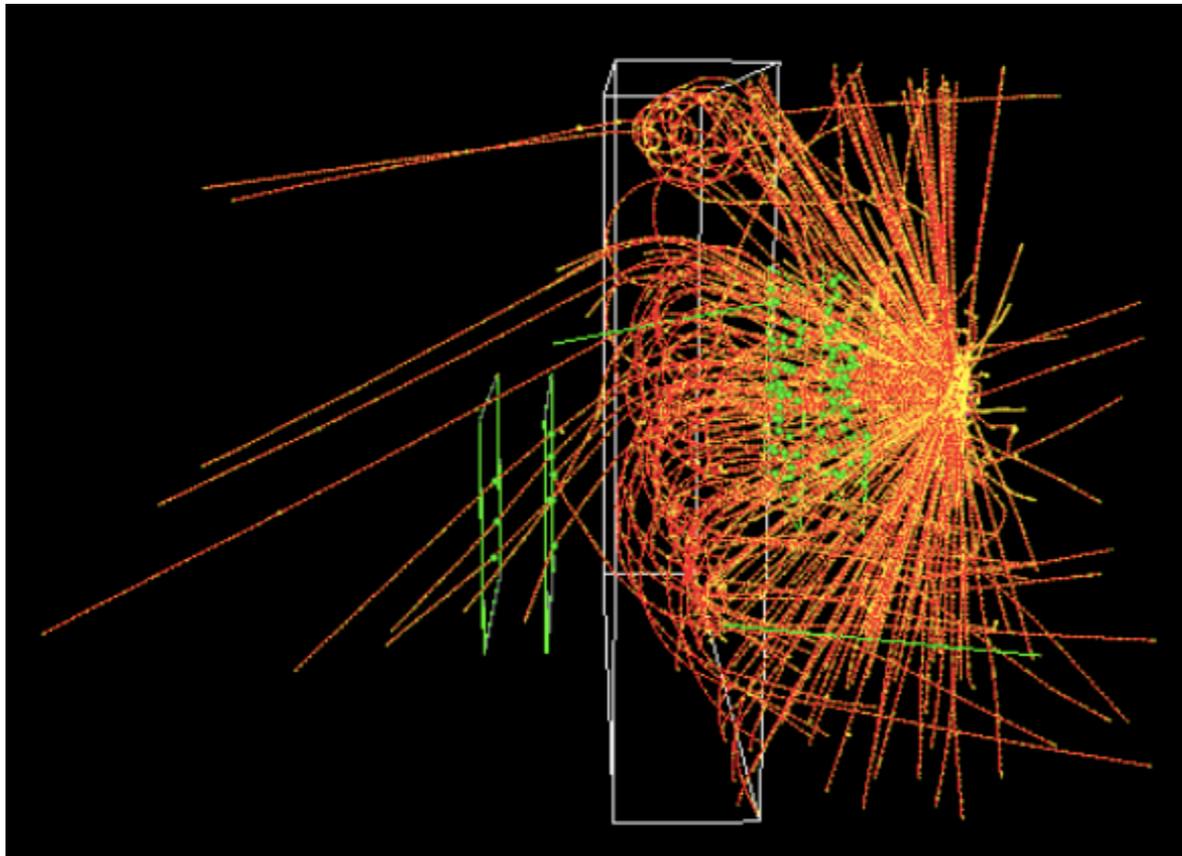


- Particules déviées dans les plans de détection \Rightarrow diffusion multiple.
- Particules stoppées.

Simulation et étude numérique

Première approche : algorithme de calcul d'impulsion

Première étape de sélection des traces :



⇒ **critère de sélection** sur les particules que l'on va considérer comme « bonnes » et dont on va réellement étudier les caractéristiques.

- La particule passe par les **4 détecteurs**
- Dans le bon ordre : **3, 2, 1, 0**.

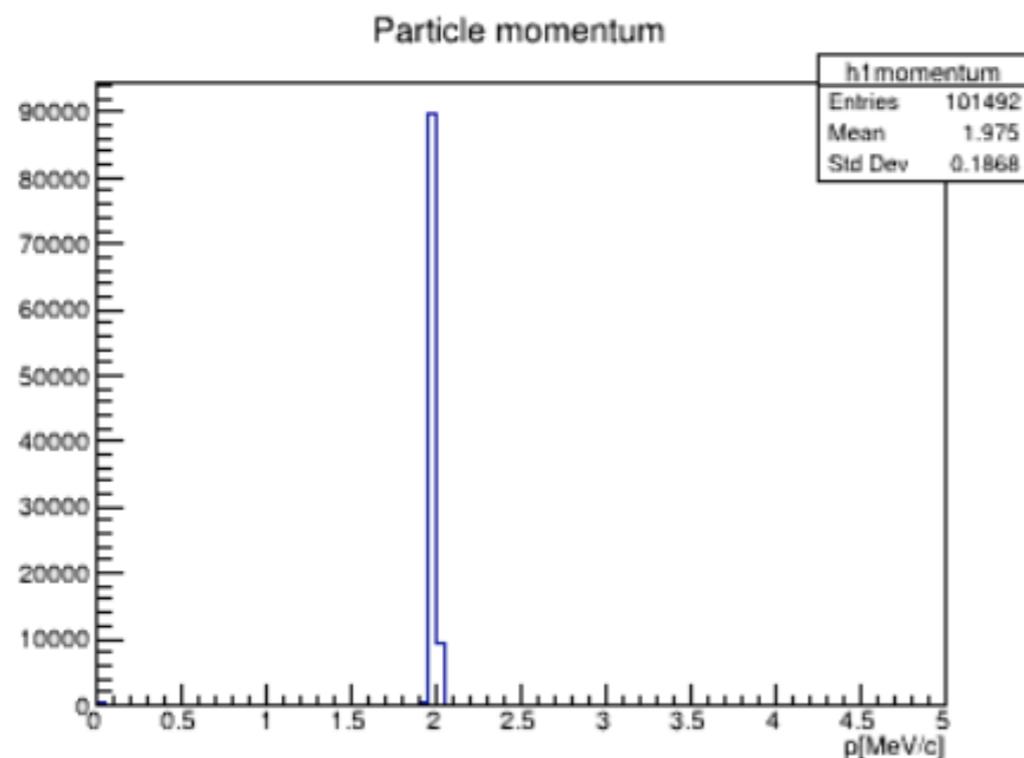
Simulation et étude numérique

Première approche : algorithme de calcul d'impulsion

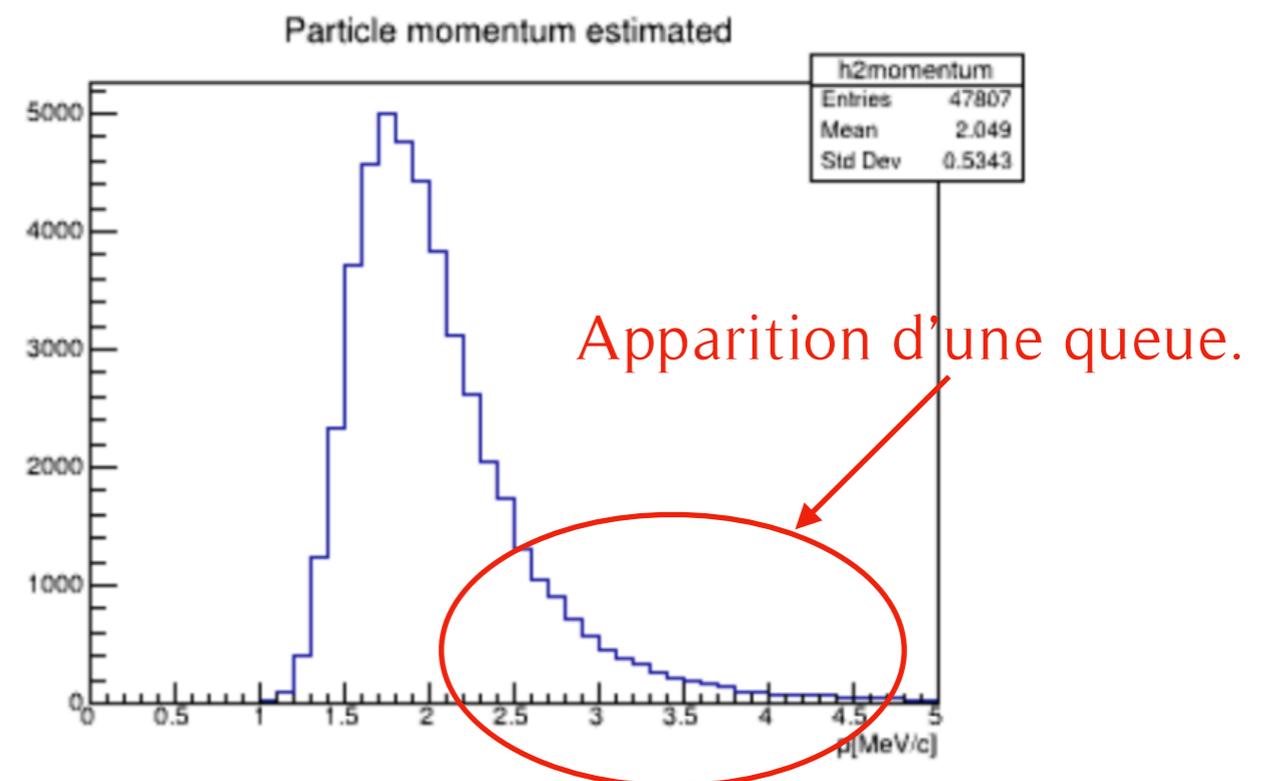
Deuxième étape de sélection des traces :

Comparaison avec les résultats coréens : avec une source, obtention d'une queue dans la quantité de mouvement des particules → impulsions trop élevées.

Origine possible : **diffusion multiple**.



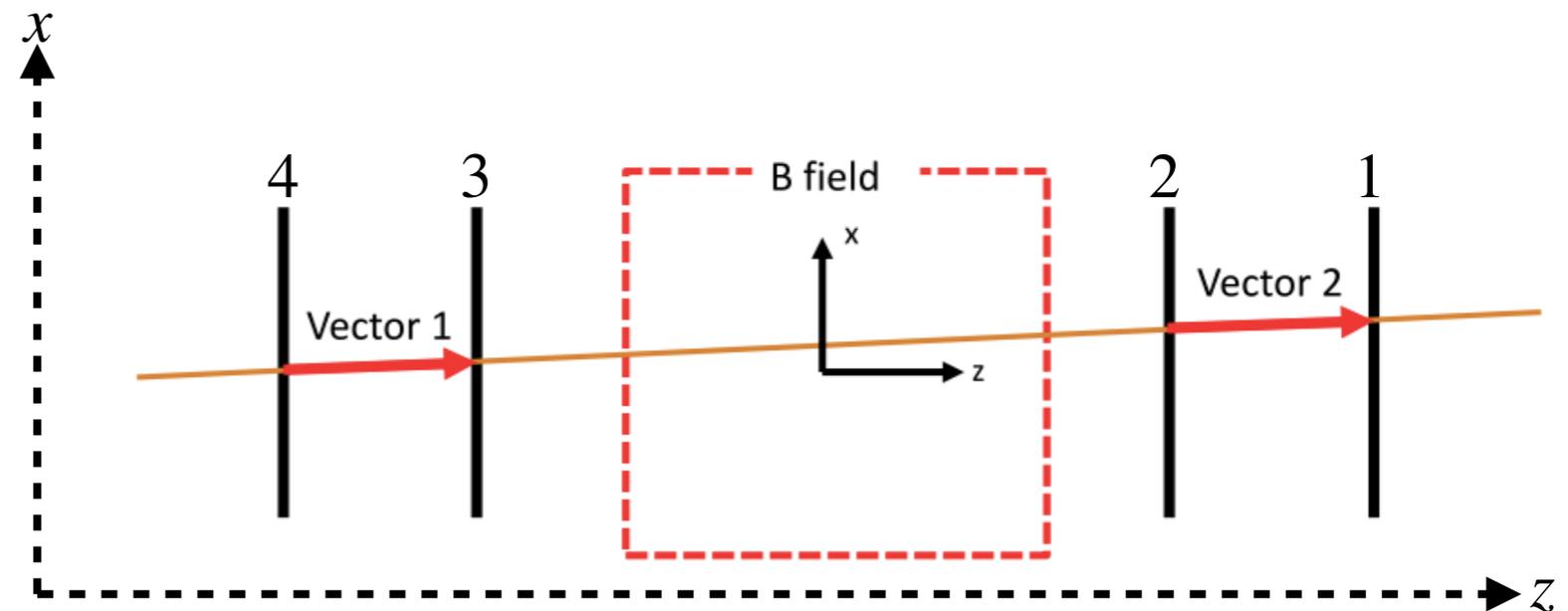
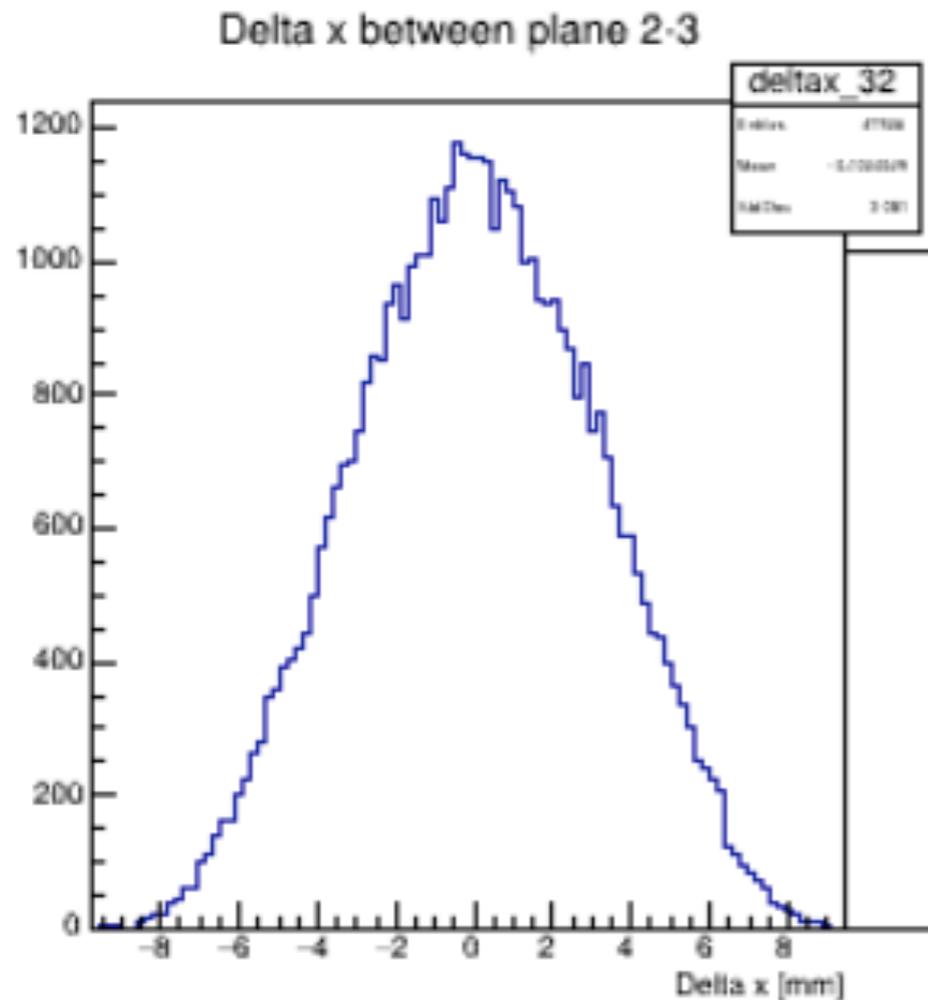
Distribution de l'impulsion initiale (connue).



Distribution de l'impulsion initiale reconstruite.

Simulation et étude numérique

Première approche : algorithme de calcul d'impulsion



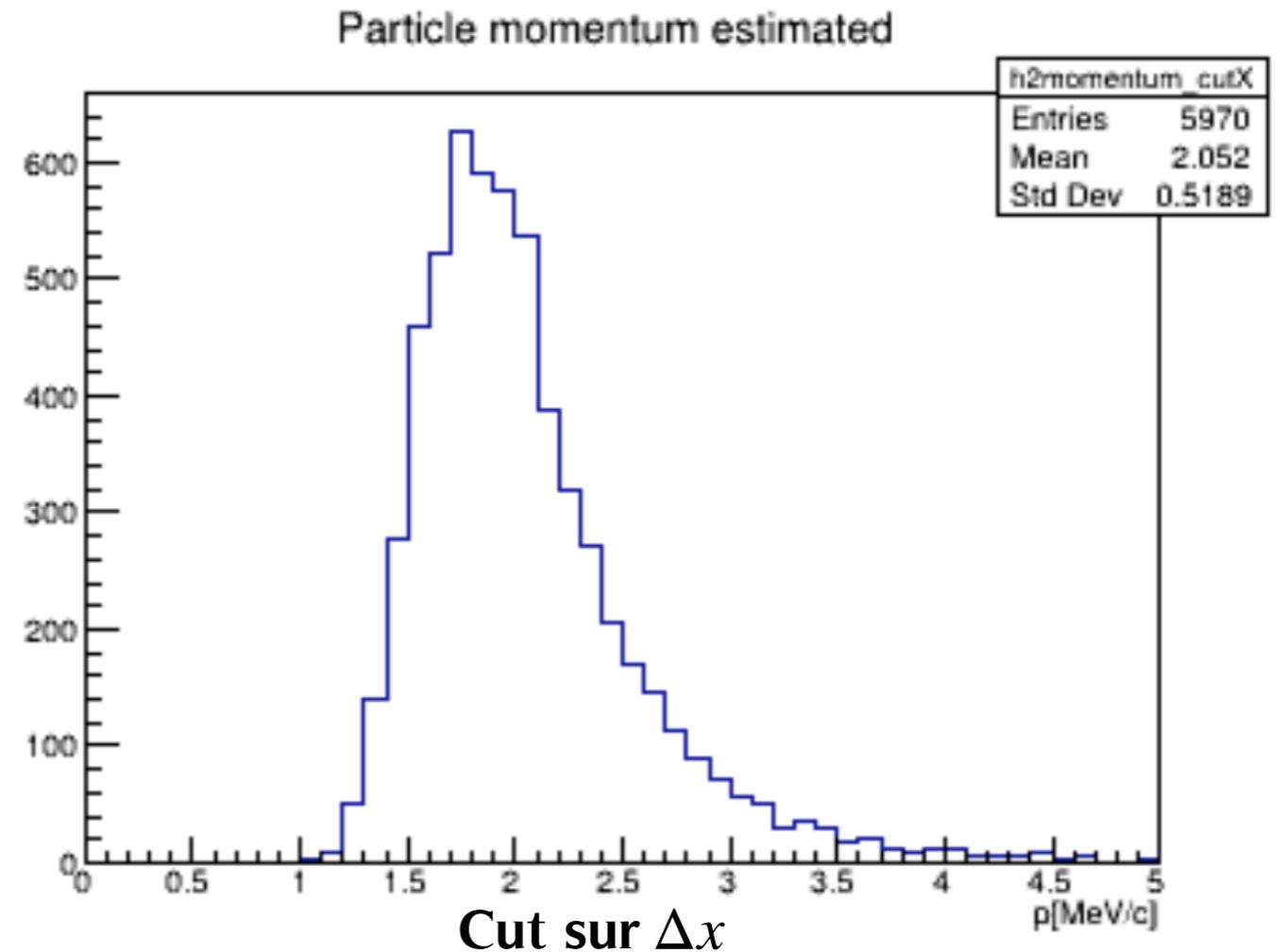
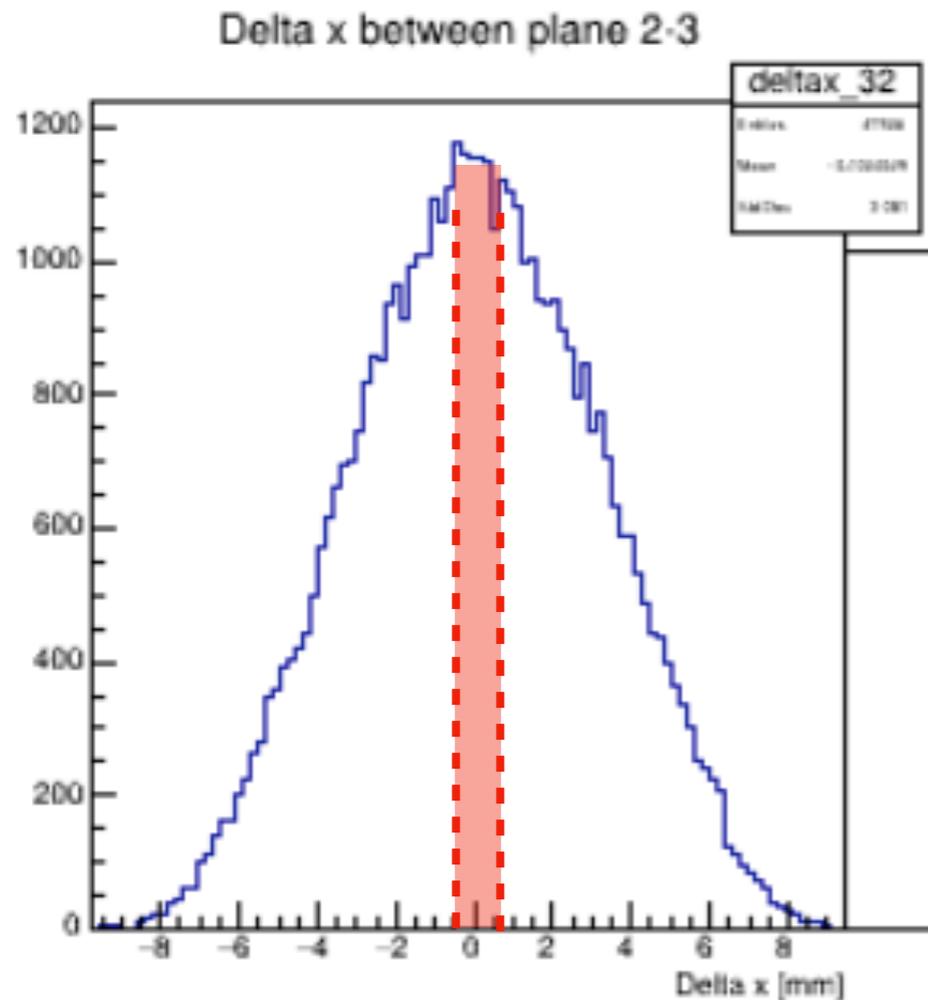
\vec{B} ne travaille pas selon x



déviations des particules selon x \Rightarrow effet **diffusion multiple**.

Simulation et étude numérique

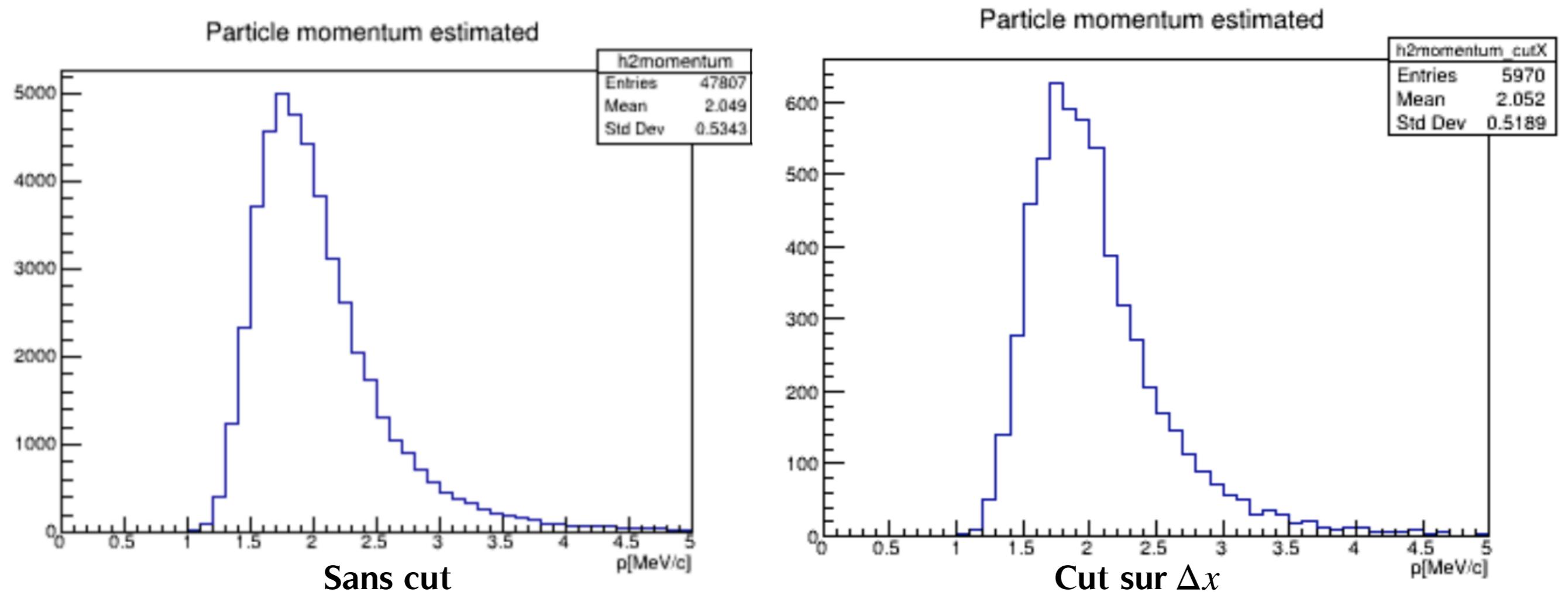
Première approche : algorithme de calcul d'impulsion



$\Delta x \nearrow \Rightarrow$ diffusion multiple $\nearrow \Rightarrow$ cut sur $\Delta x \Leftrightarrow$ cut sur angle de diffusion
 \Rightarrow On ne garde que $\Delta x \in [-0,5; 0,5]$ entre les plans 2 et 3.

Simulation et étude numérique

Première approche : algorithme de calcul d'impulsion



⇒ Suppression d'une partie des effets diffusion multiple.

Simulation et étude numérique

Deuxième approche : TAF

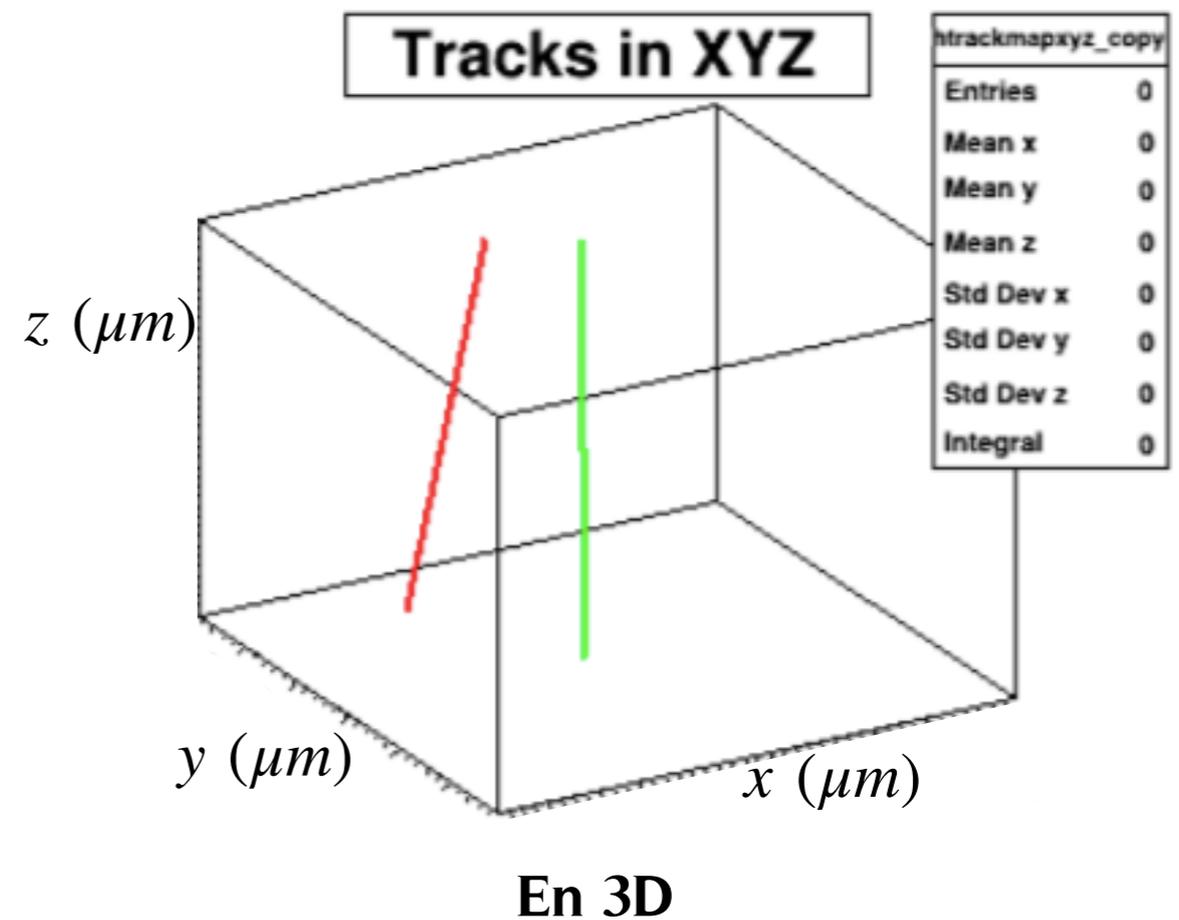
TAF = TAPI Analysis Framework

- Logiciel développé par l'IPHC.
- Reconstitue les traces des particules dans chaque paire de détecteur à partir des *hits* détectés.

Mais pas adapté à notre géométrie.

À partir de données réelles :

- Reconstruction événements.
- Calcul impulsions.
- Optimisation du *clustering*.



Simulation et étude numérique

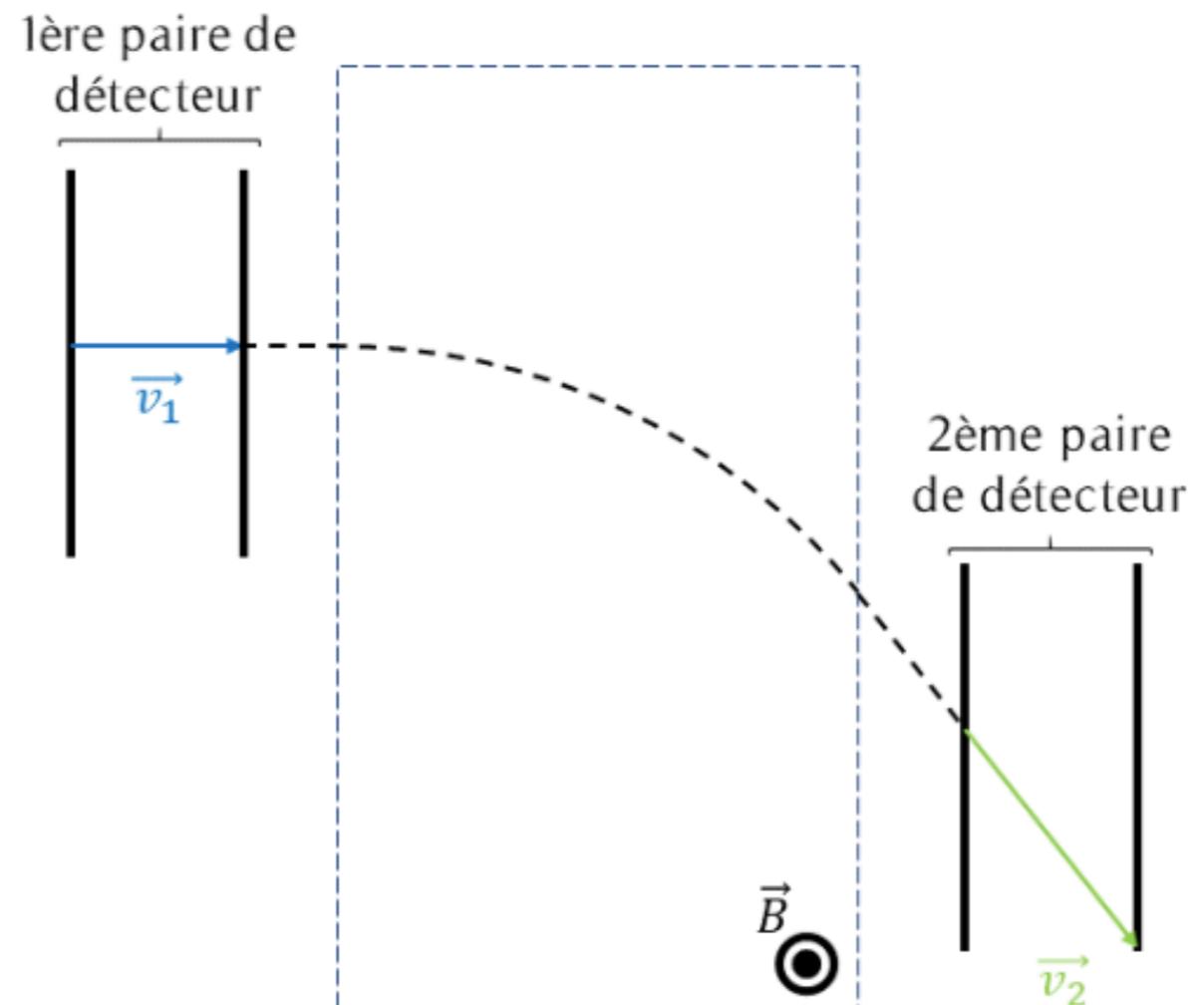
Deuxième approche : TAF

Comment associer deux hits à une même trace ?

⇒ On reprend les codes développés sous ROOT.

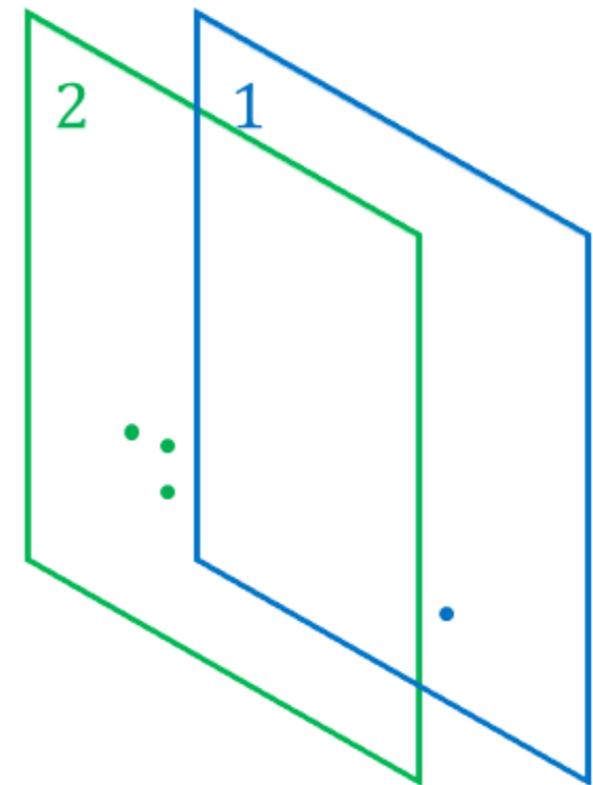
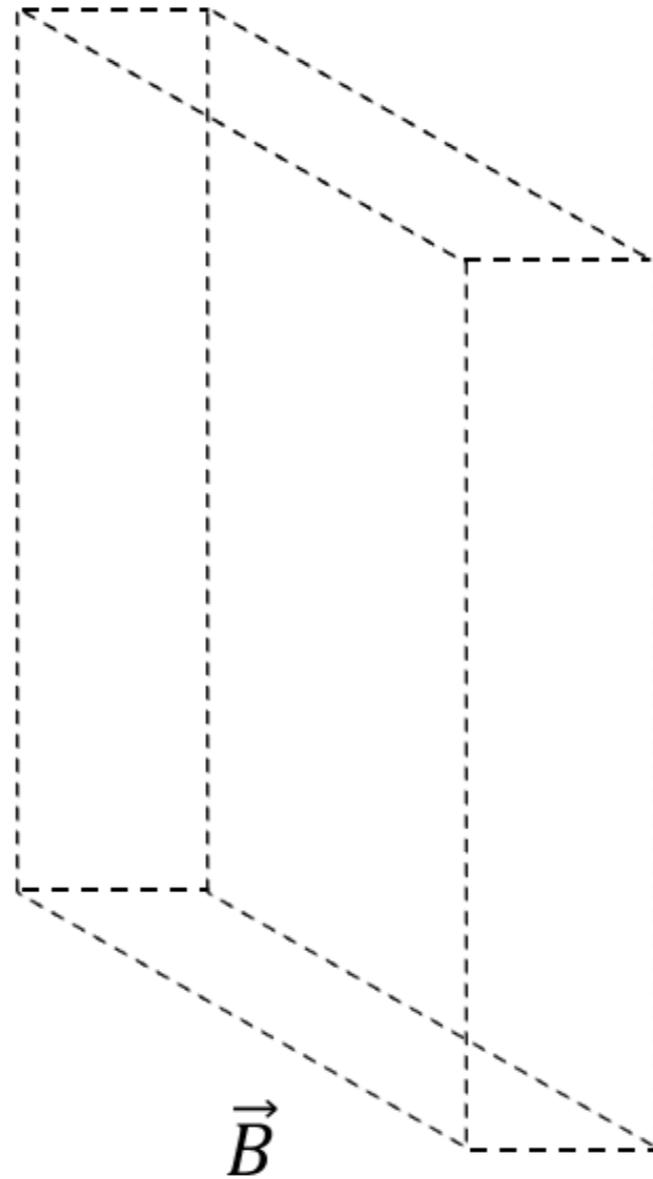
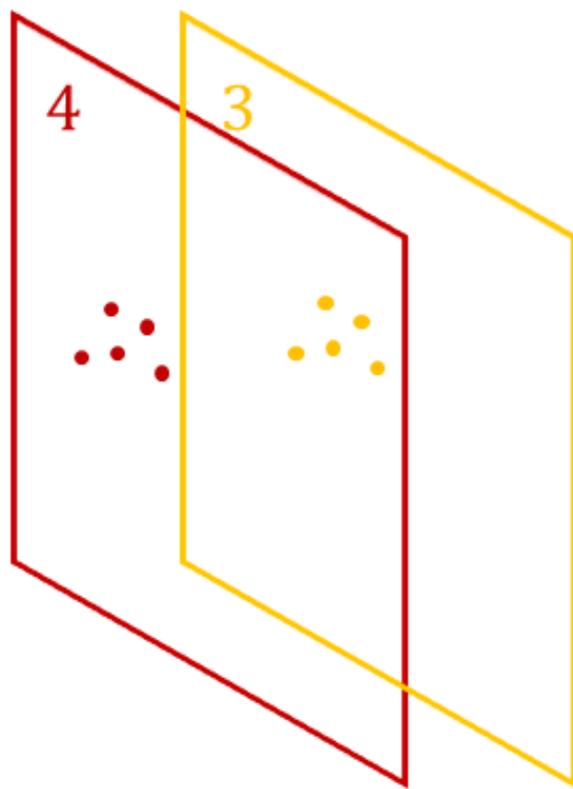
Inconvénient :

- On ne peut utiliser la reconstruction de traces par TAF.
- On n'a pas accès à l'affichage des traces reconstruites.
- Sera adapté dans une future optimisation.



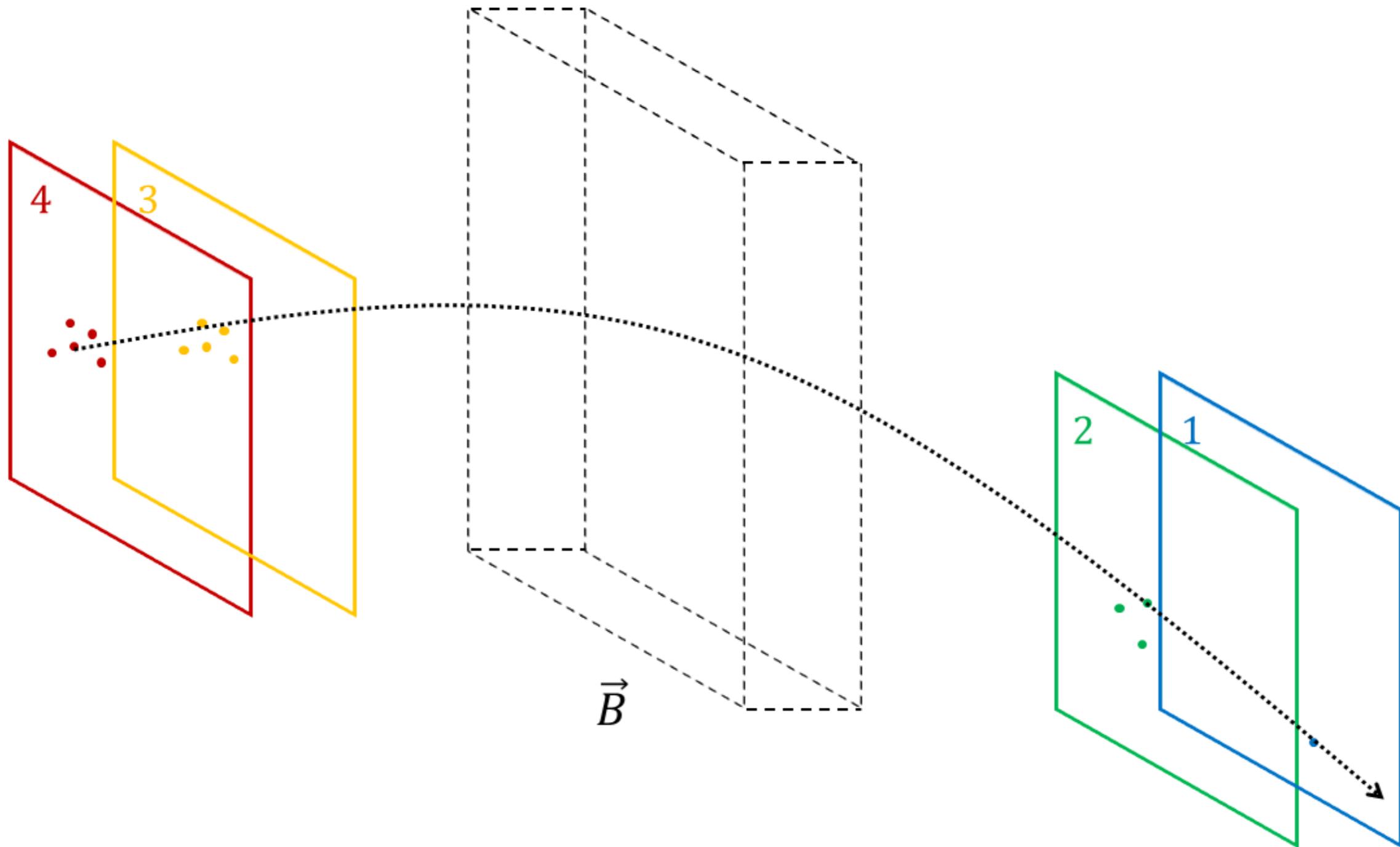
Simulation et étude numérique

Deuxième approche : TAF



Simulation et étude numérique

Deuxième approche : TAF

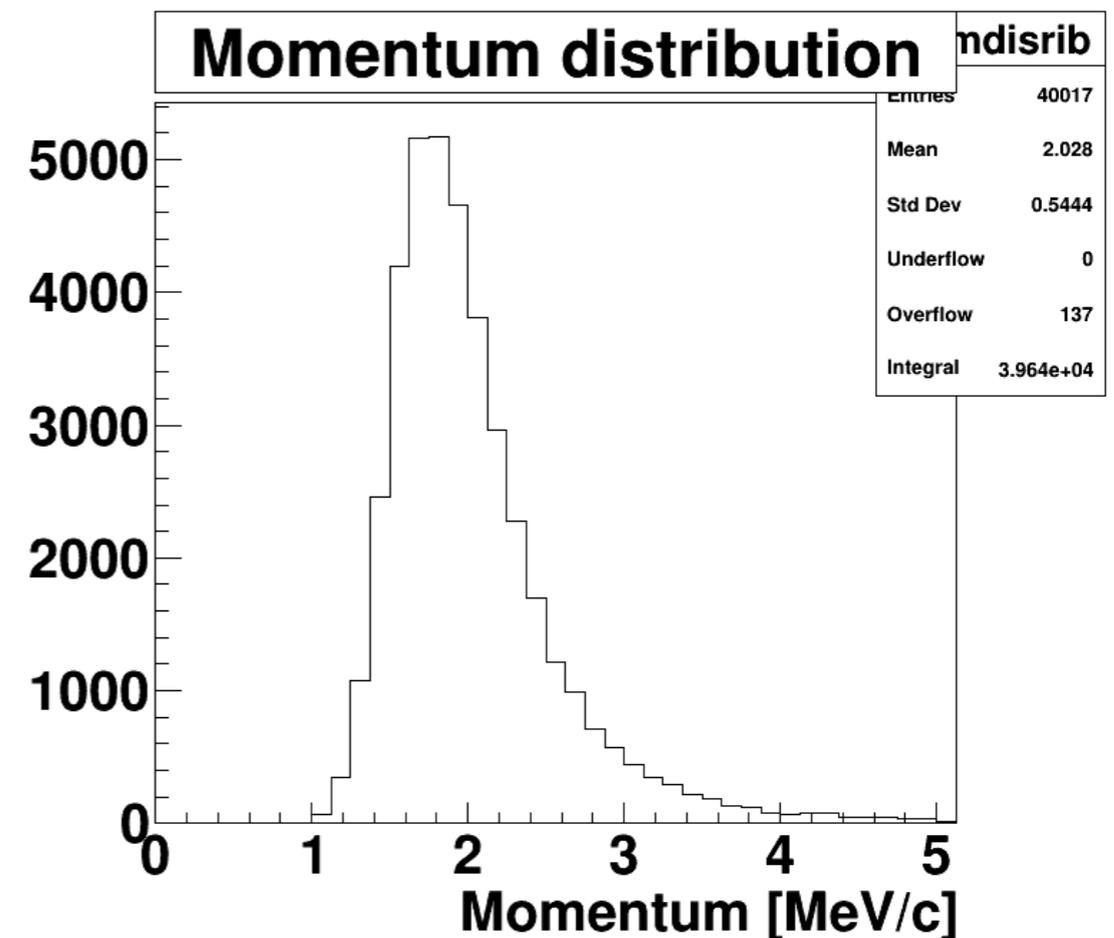
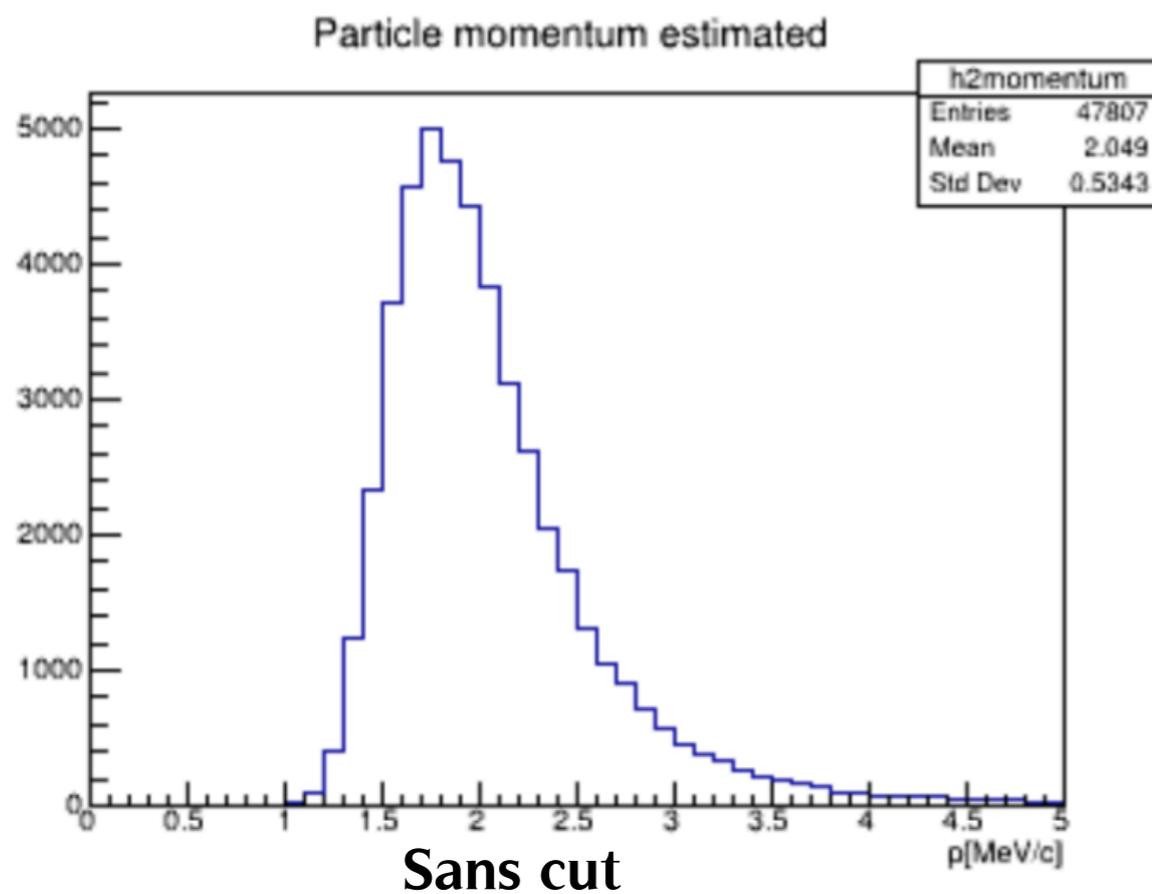


Simulation et étude numérique

Deuxième approche : TAF

Comparaison des deux approches : résultats obtenus avec un **faisceau**.

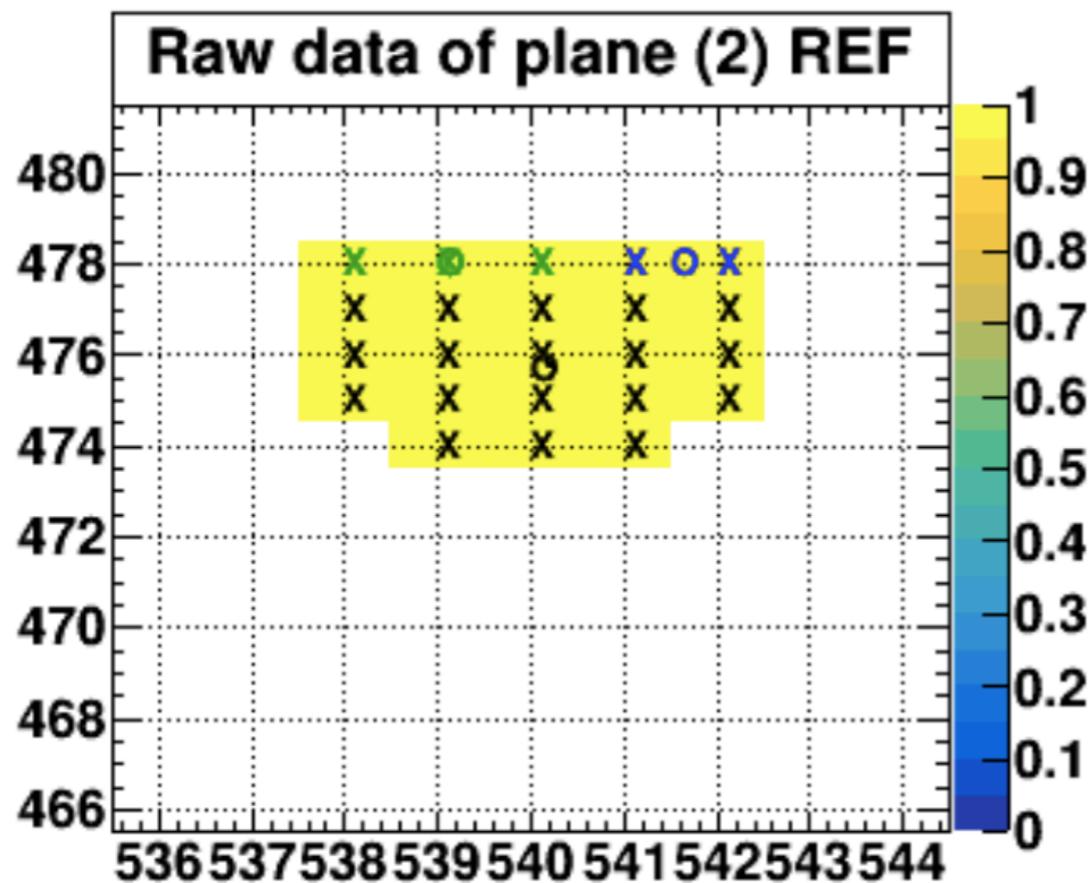
↳ Même allure \Rightarrow algorithme bien adapté à TAF.



Simulation et étude numérique

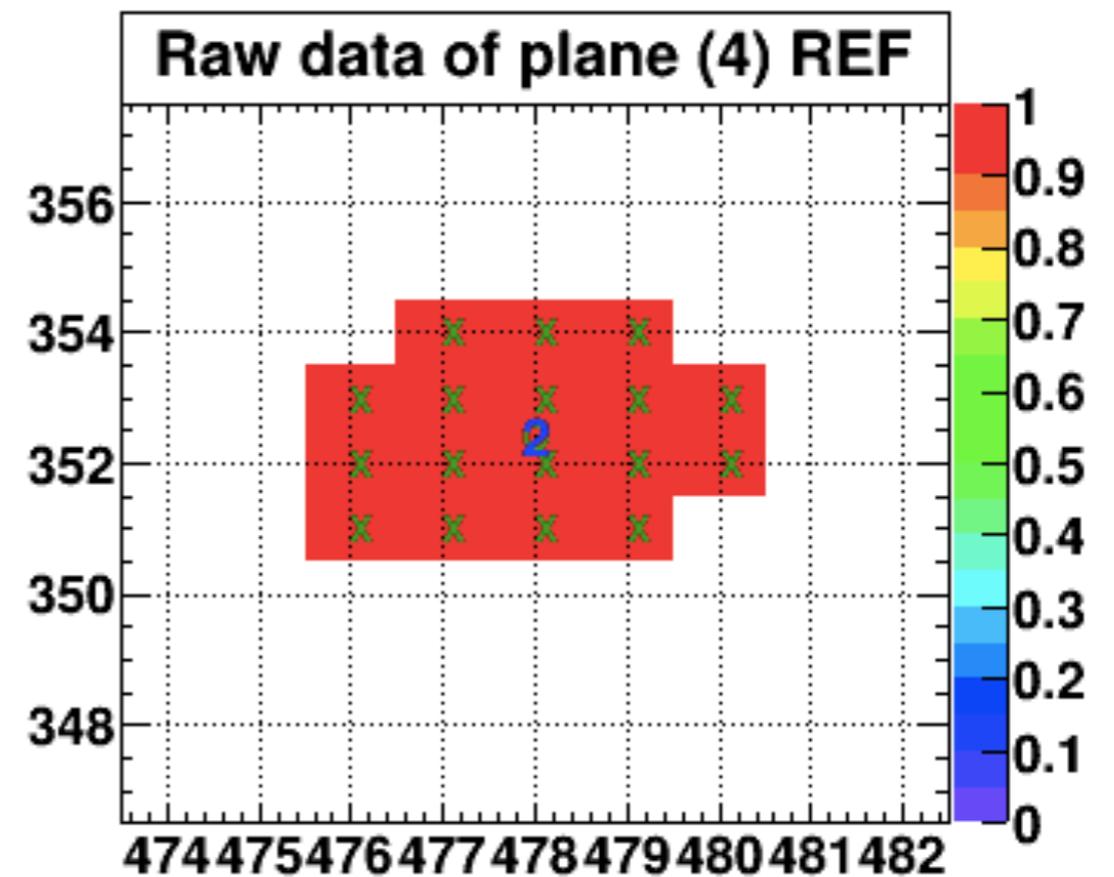
Deuxième approche : TAF

Clusterisation :



taille par défaut des clusters

↳ 1 hit à une particule interprété comme plusieurs particules.



augmentation de la taille des clusters

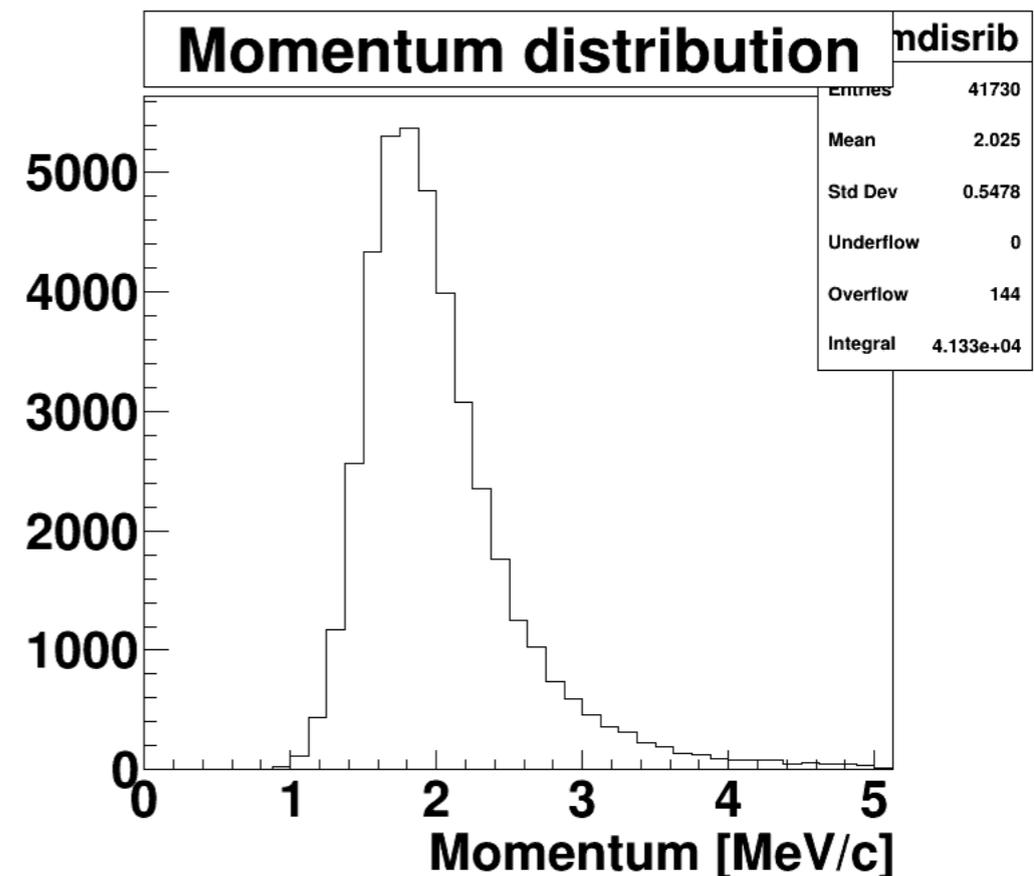
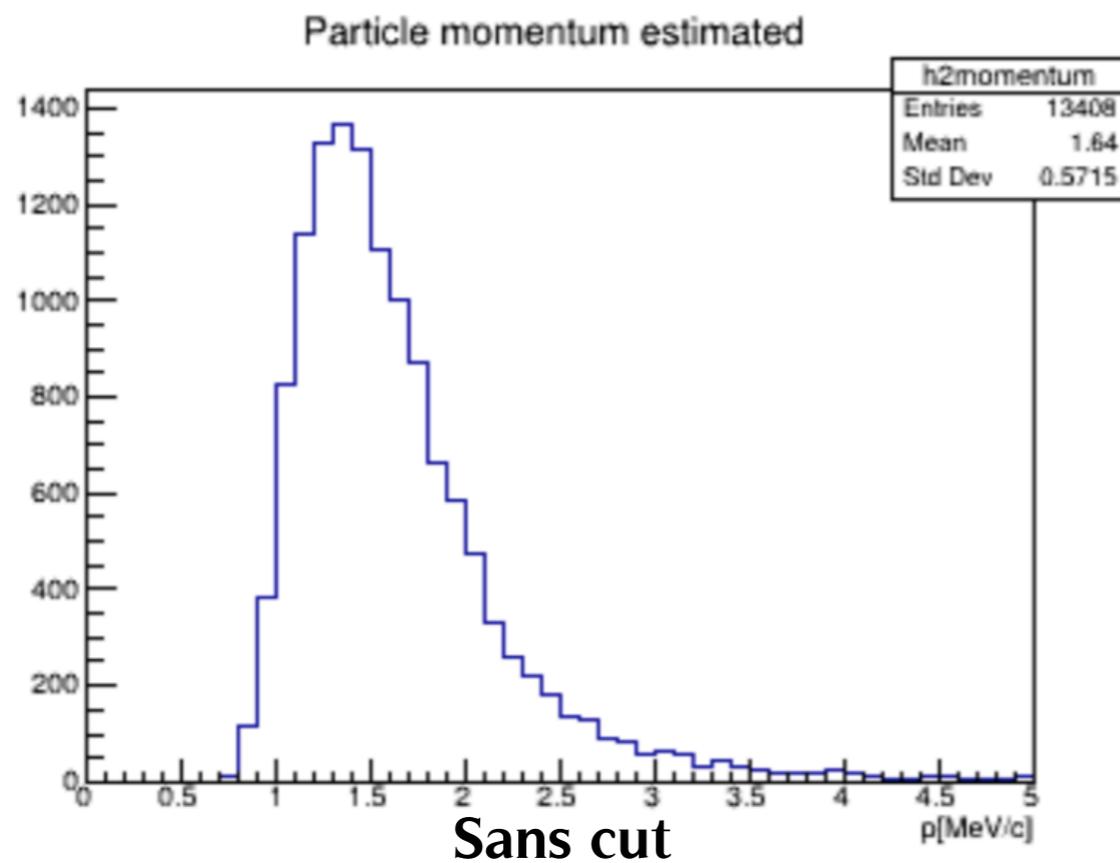
↳ Un *cluster* complet ne correspond plus qu'à une seule particule.

Simulation et étude numérique

Deuxième approche : TAF

Comparaison des deux approches : résultats obtenus avec une **source**.

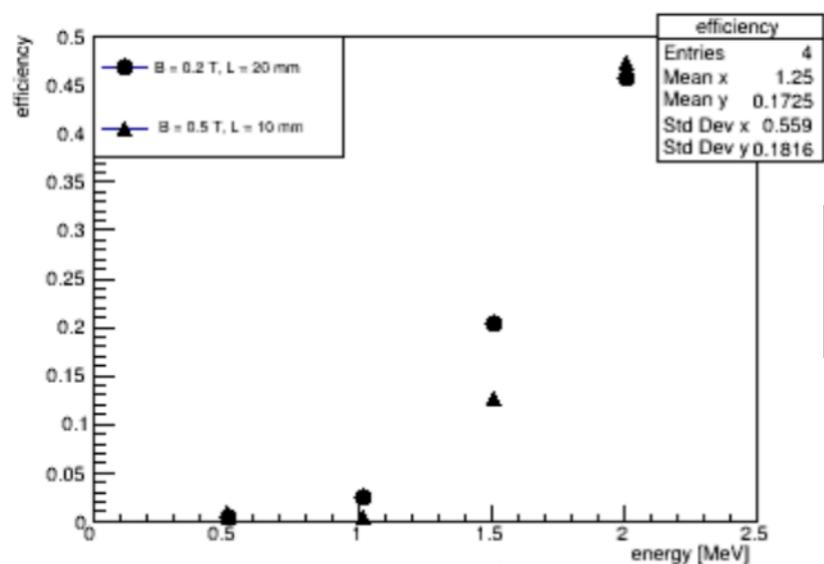
↳ Même allure \Rightarrow algorithme bien adapté à TAF.



Simulation et étude numérique

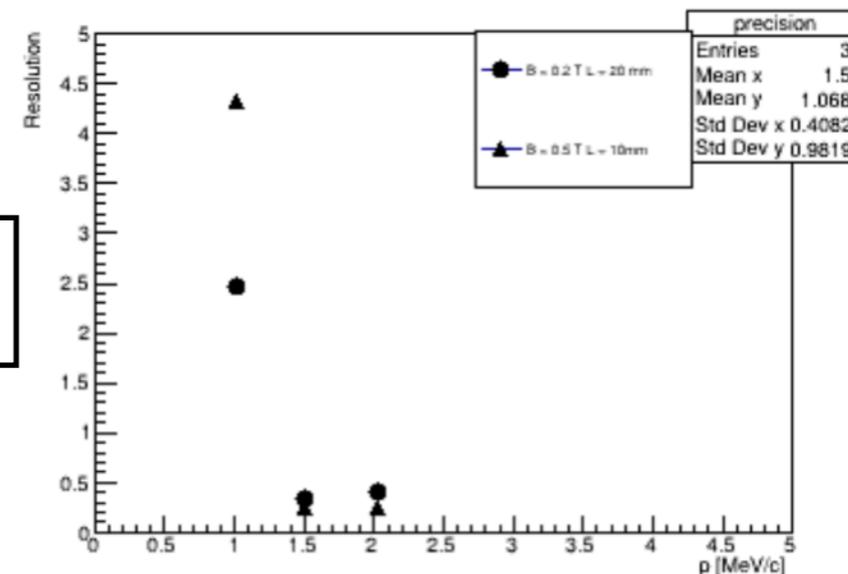
Conclusion

Résultats : Efficacité et précision obtenues pour différentes géométries.

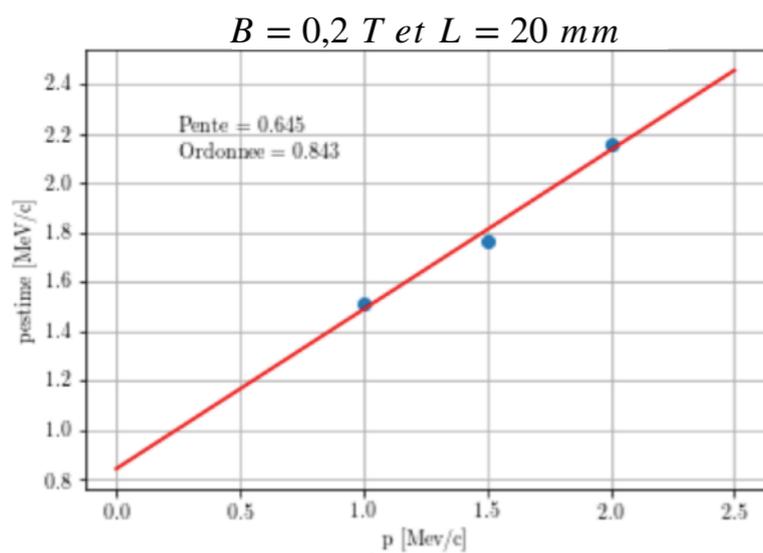


Efficacité fonction de l'impulsion

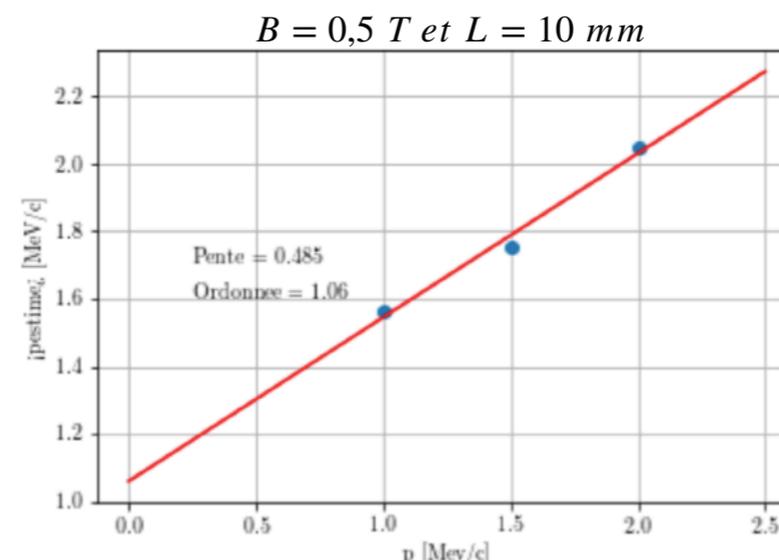
▲ $B = 0,5 T$ et $L = 10 mm$
● $B = 0,2 T$ et $L = 20 mm$



Précision fonction de l'impulsion



p_estimé fonction de p



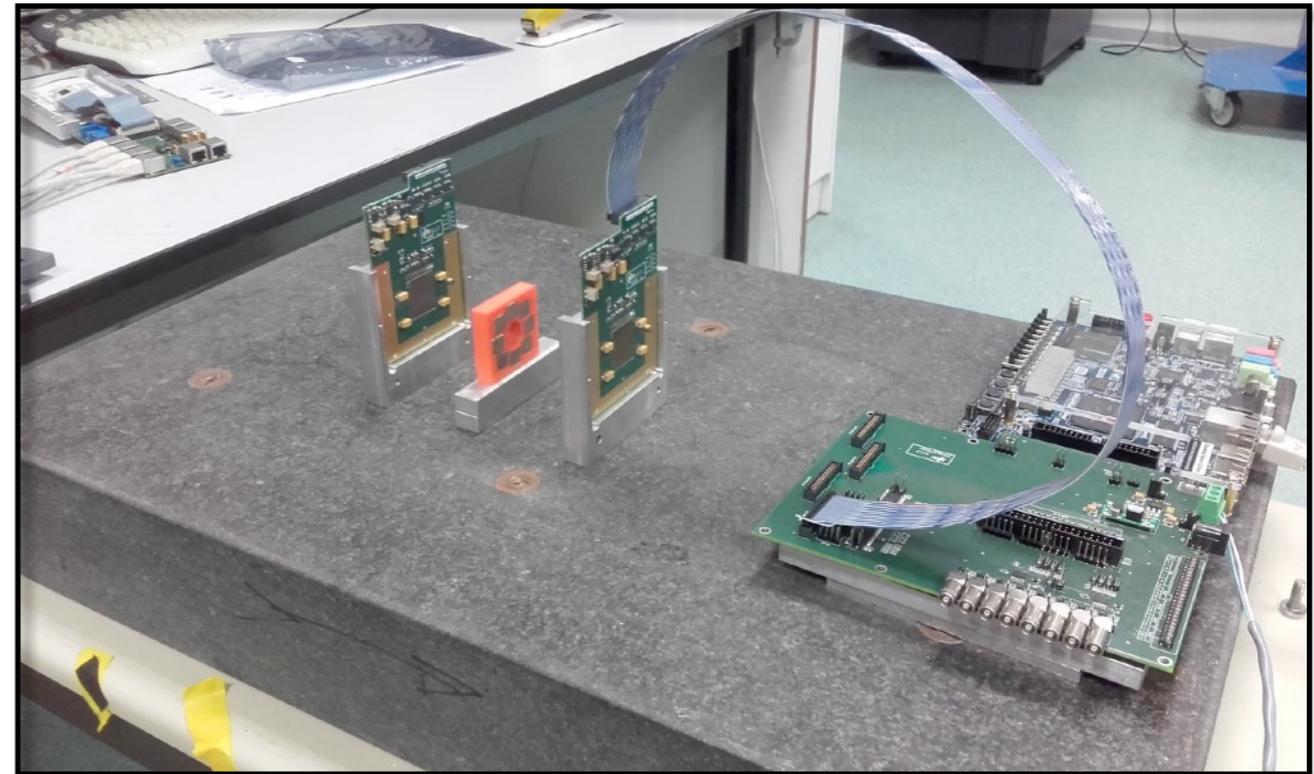
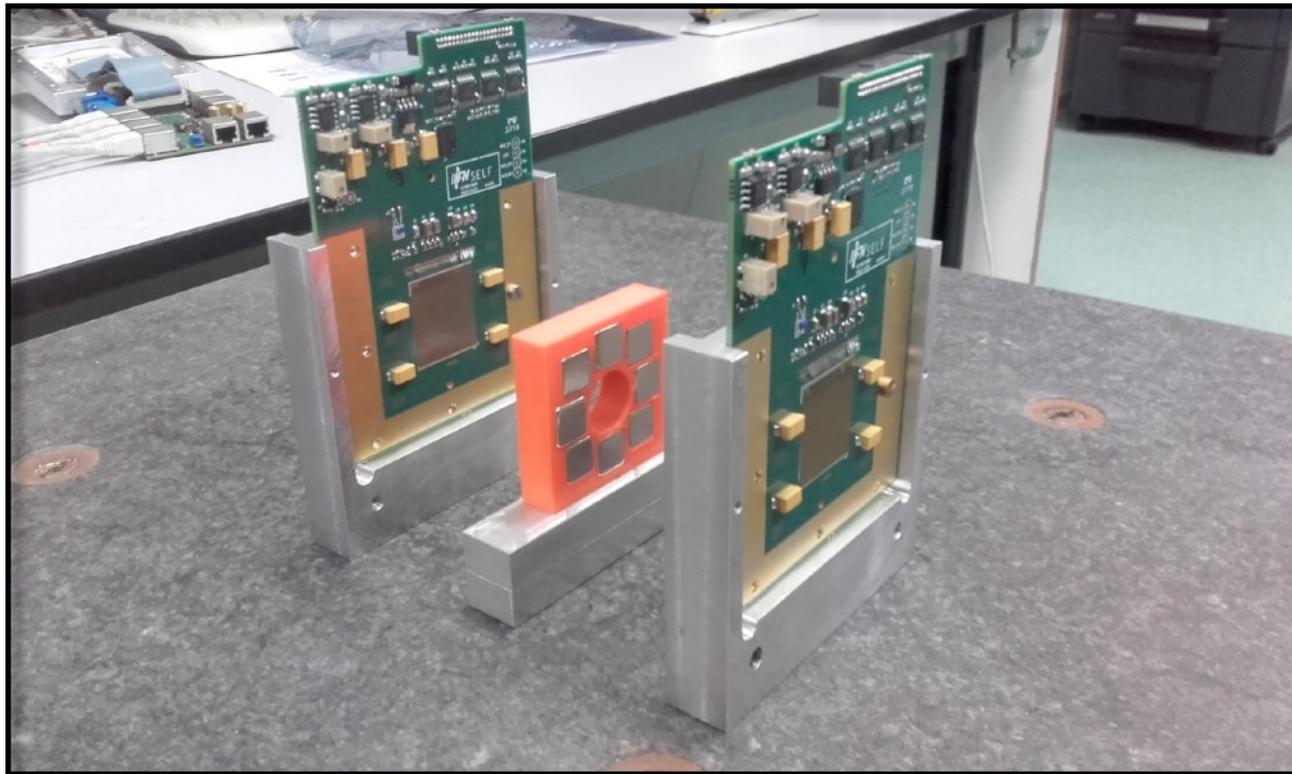
p_estimé fonction de p

Conclusion

- Objectifs remplis :**
- Optimisation de ROOT → Fonctionne avec faisceau et avec source.
 - Adaptation de TAF à notre problématique
 - ↳ *Tracking* bien réalisé. Encore des modifications à apporter.
 - Développement des outils de *tracking* et étude des compromis.
- ⇒ **Algorithme de reconstruction** prêt à être utilisé avec une source réelle.
- ↳ **Optimisation** sera faite sur plusieurs années.

Conclusion

- Prochainement :**
- Construction du dispositif.
 - Test et exploitation de données réelles.
 - Un étudiant coréen viendra travailler à Strasbourg cet été.
 - Inclure SiTrInEO dans des TP EX2, dès l'année prochaine.



Remerciements

Merci pour votre attention !

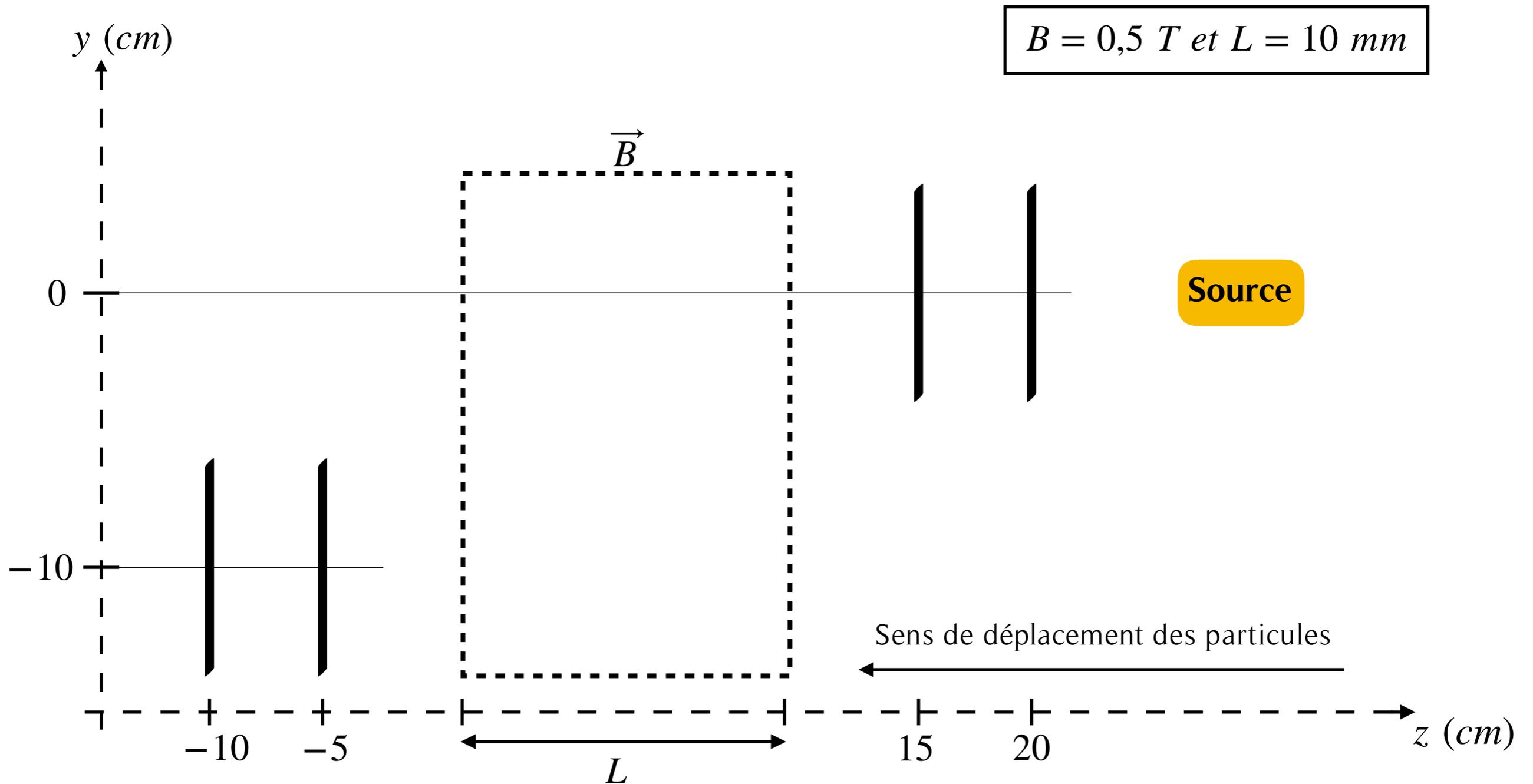
Un grand merci à :

- Jérôme BAUDOT pour sa supervision.
- Chang-Seong MOON pour son accueil en Corée.
- Daekwon et Jongho pour leur accueil et leurs apports enrichissants qui nous ont permis d'avancer dans le projet.
- Pierre Van-Hoove et Eric CHABERT.



ANNEXES

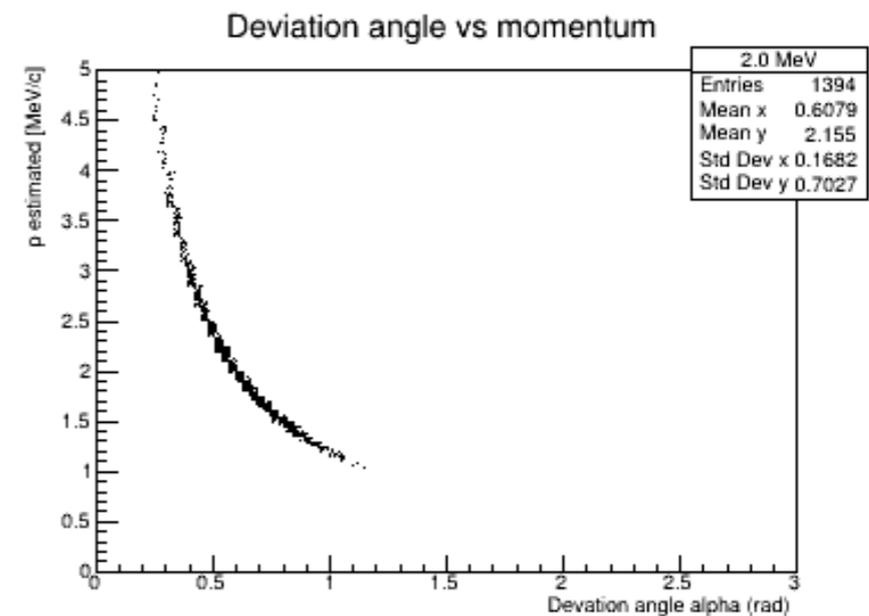
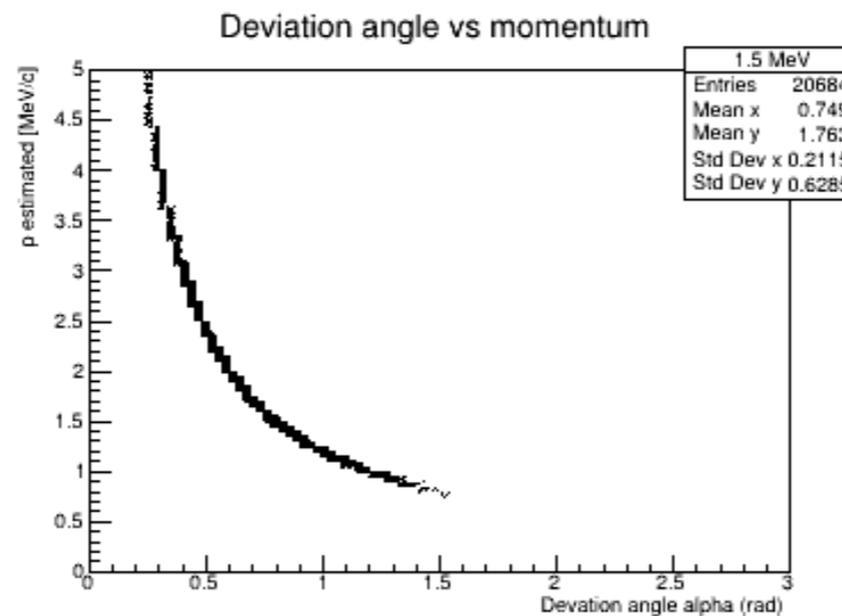
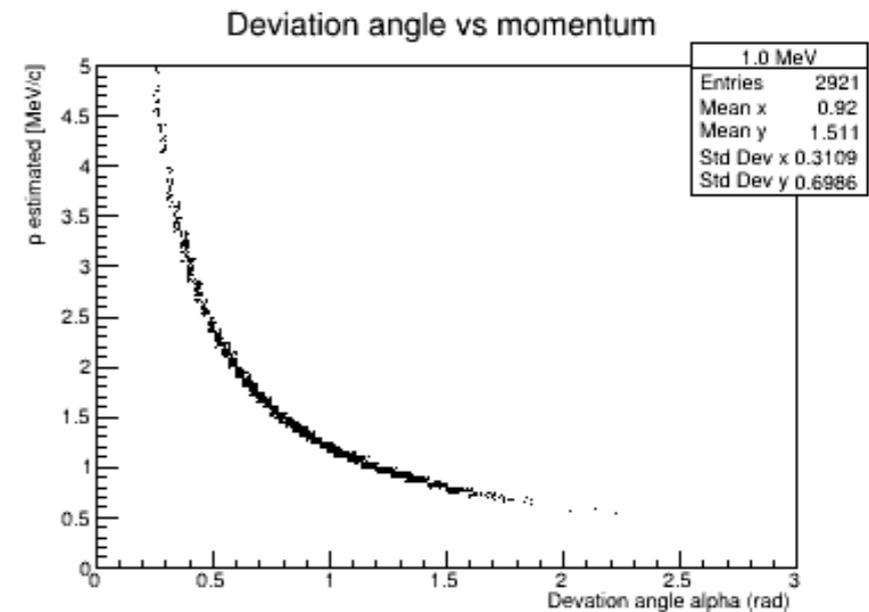
Géométrie utilisée



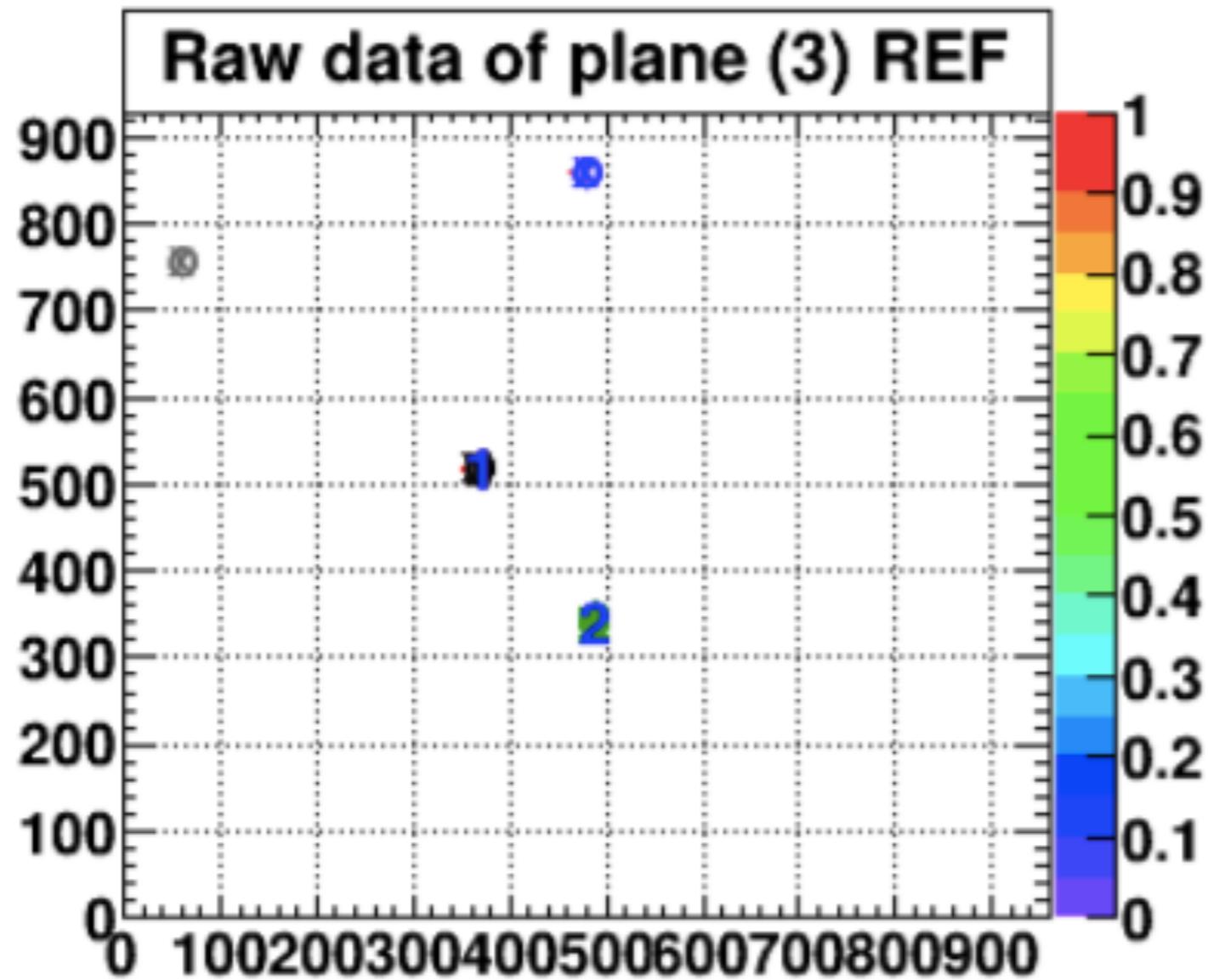
Angles de déviation

Graphes représentant les angles de déviation des particules en fonction de leur impulsion pour différentes énergies.

Particules de basse impulsion plus déviées que celles de haute impulsion → cohérence physique des résultats.

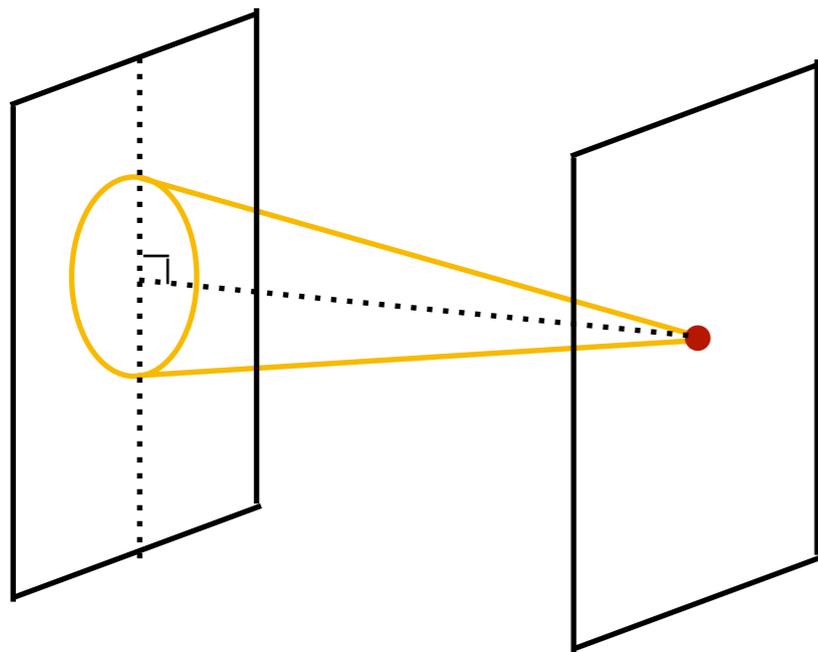


Hits dans TAF



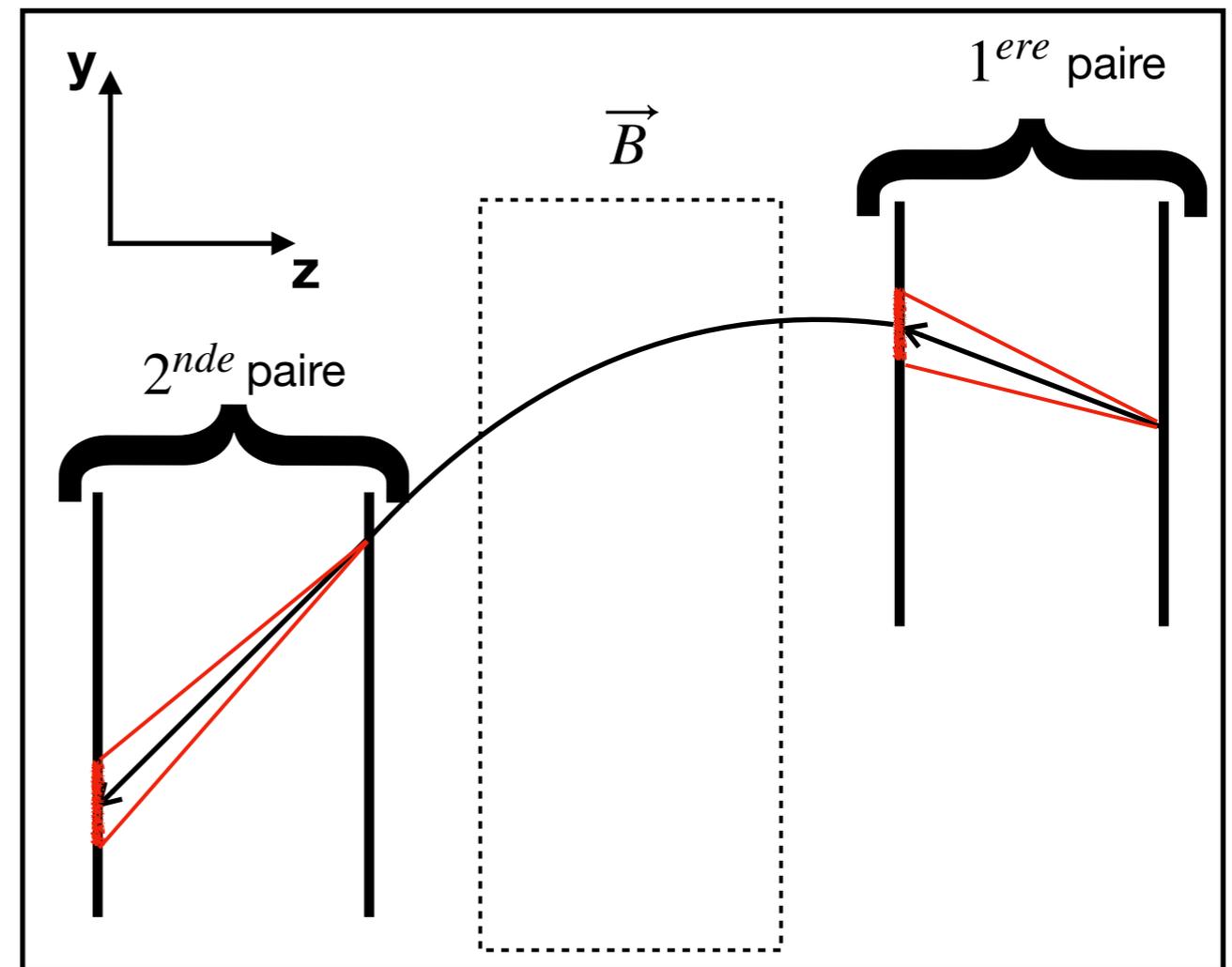
Méthode du cône, schéma

A partir d'un hit dans le premier, on cherche dans le second un hit dans un cône de recherche. On les considère comme appartenant à la même trace.

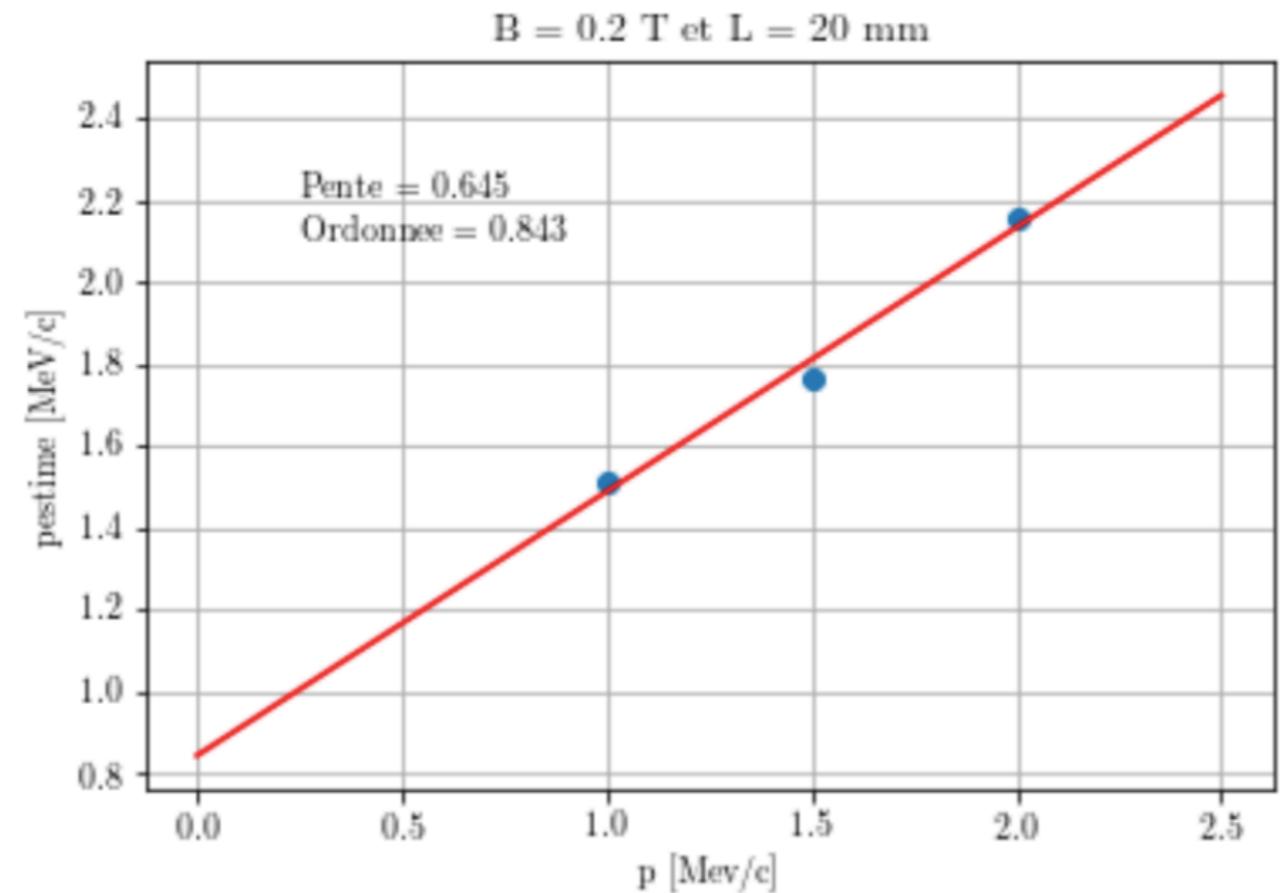
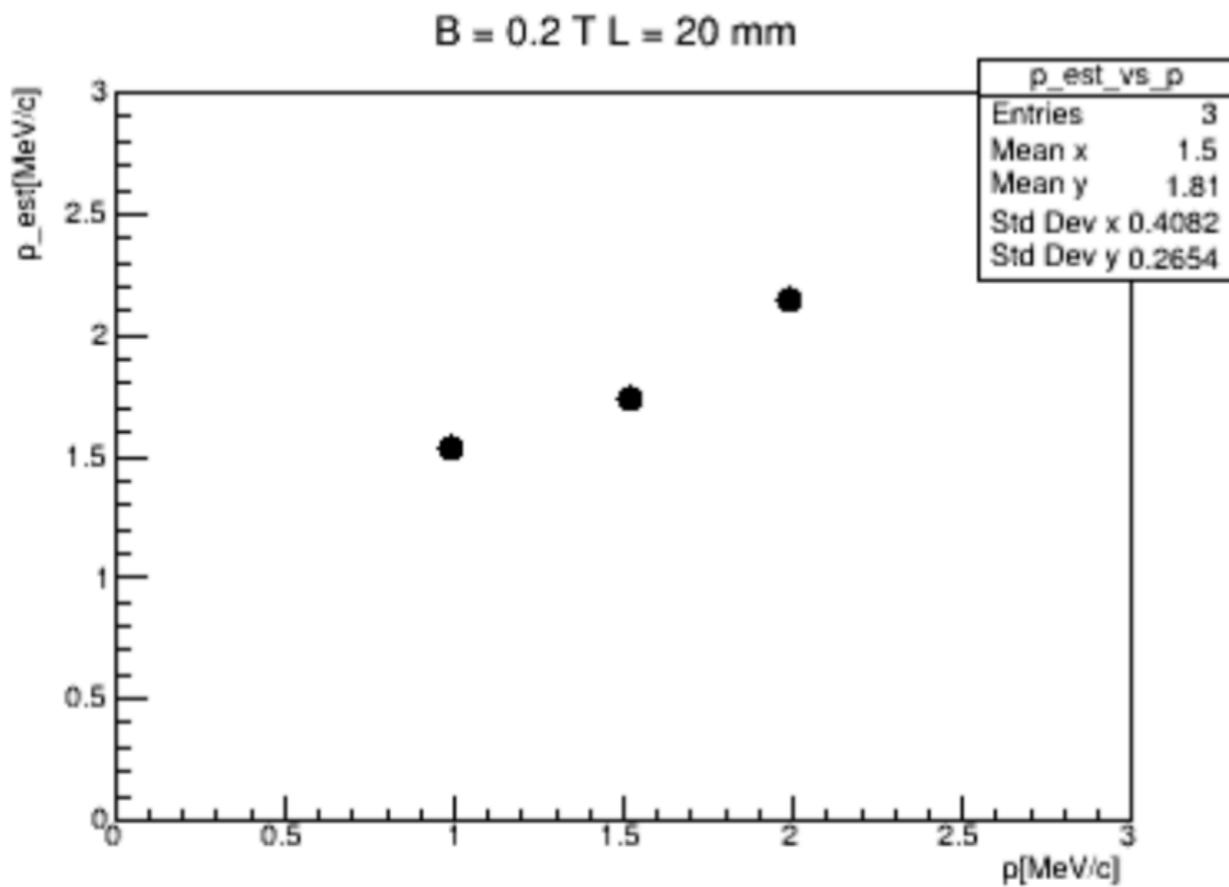


→ Fonctionne par **paires de détecteurs**.

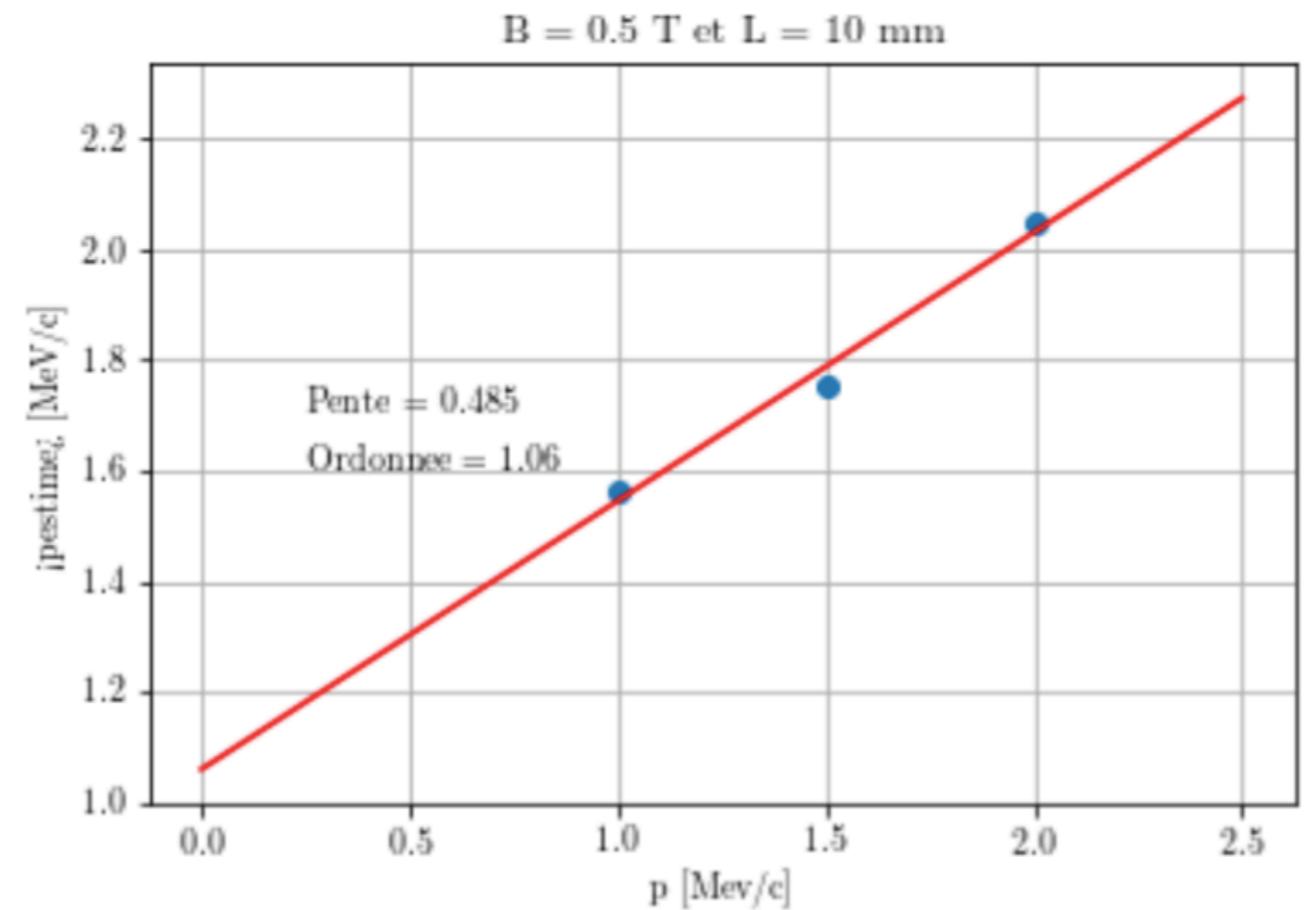
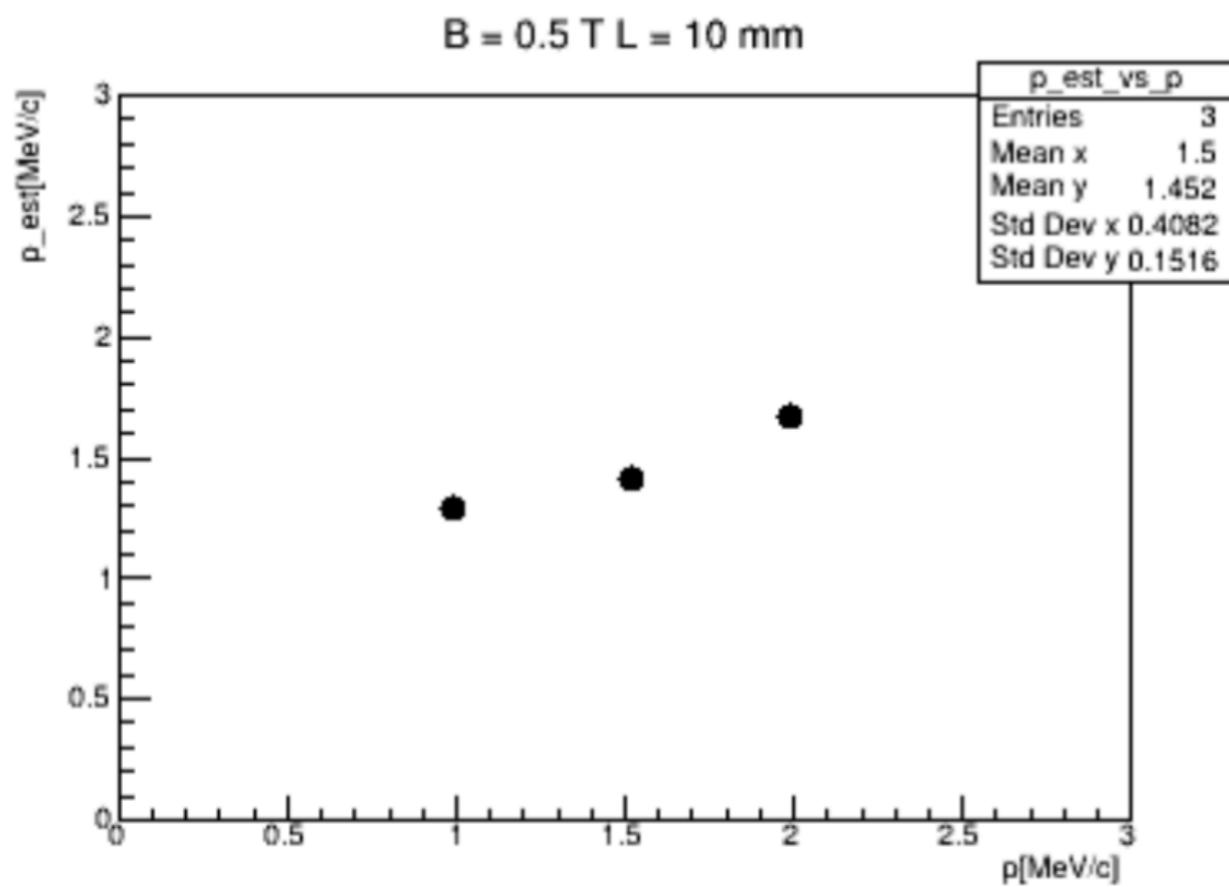
TAF reconstruit les traces par **extrapolation** d'une paire de hits sur l'autre paire.



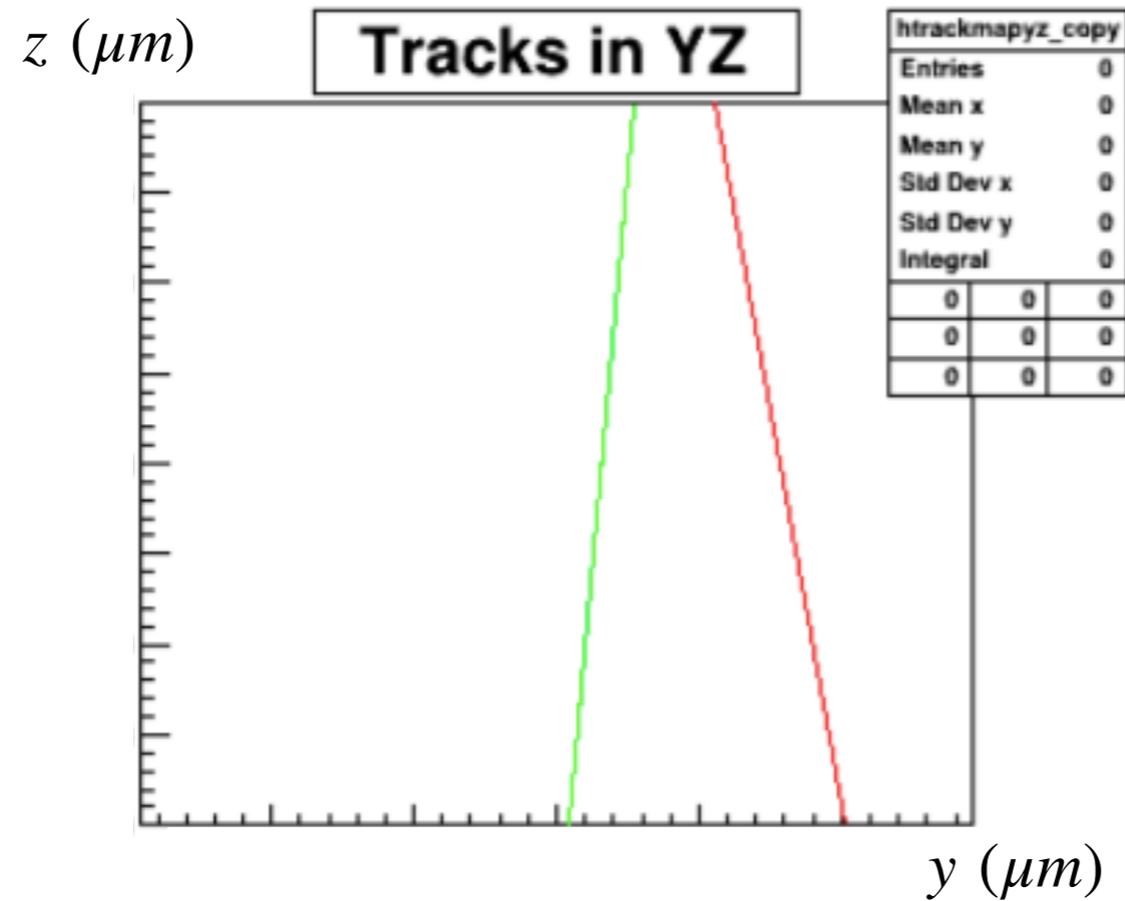
Géométries



Géométries



Traces dans TAF



Résultats pour une source

