



Etudes des performances de reconstruction de traces (résolution en impulsion, paramètres d'impact...) en fonction du design des détecteurs internes de traces.

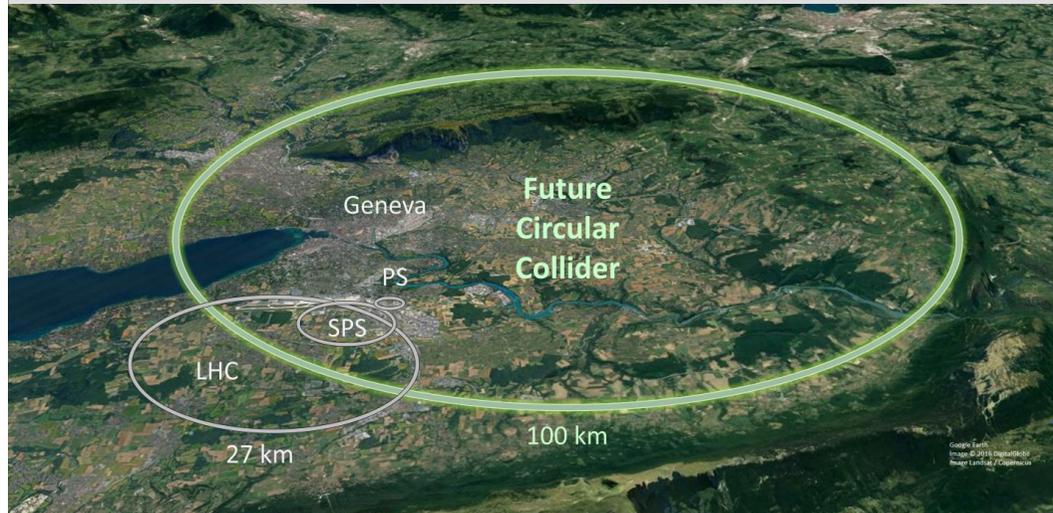
Stage M2

Aymeric FRANCIA

Jamboree – Réunion FCC-contacts

25 Juin 2021

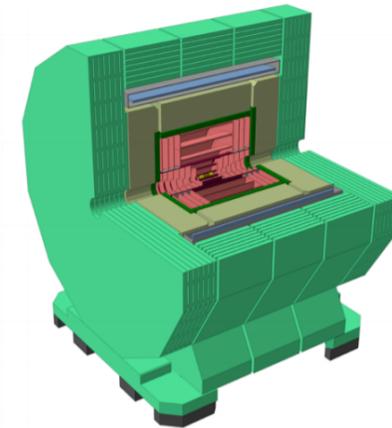
Introduction rapide sur le FCC-ee



Emplacement proposé pour le futur collisionneur circulaire (FCC) auprès du CERN

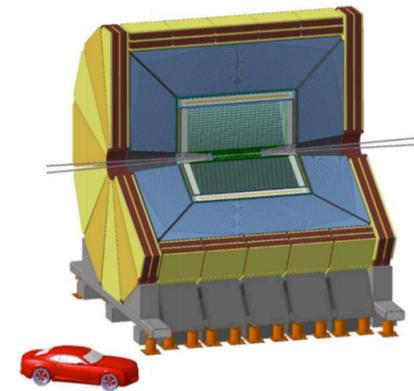
- Large spectre de centre de masse de 90 à 350 GeV
- Etudes très précises des bosons Z, W et ainsi que du quark top (mesures de précisions).

Deux concepts de détecteur:



CLD (CLIC-Like detector)

Trajectomètre en silicium
Calorimètre à haute granularité
Solénoïde à l'extérieur du calorimètre

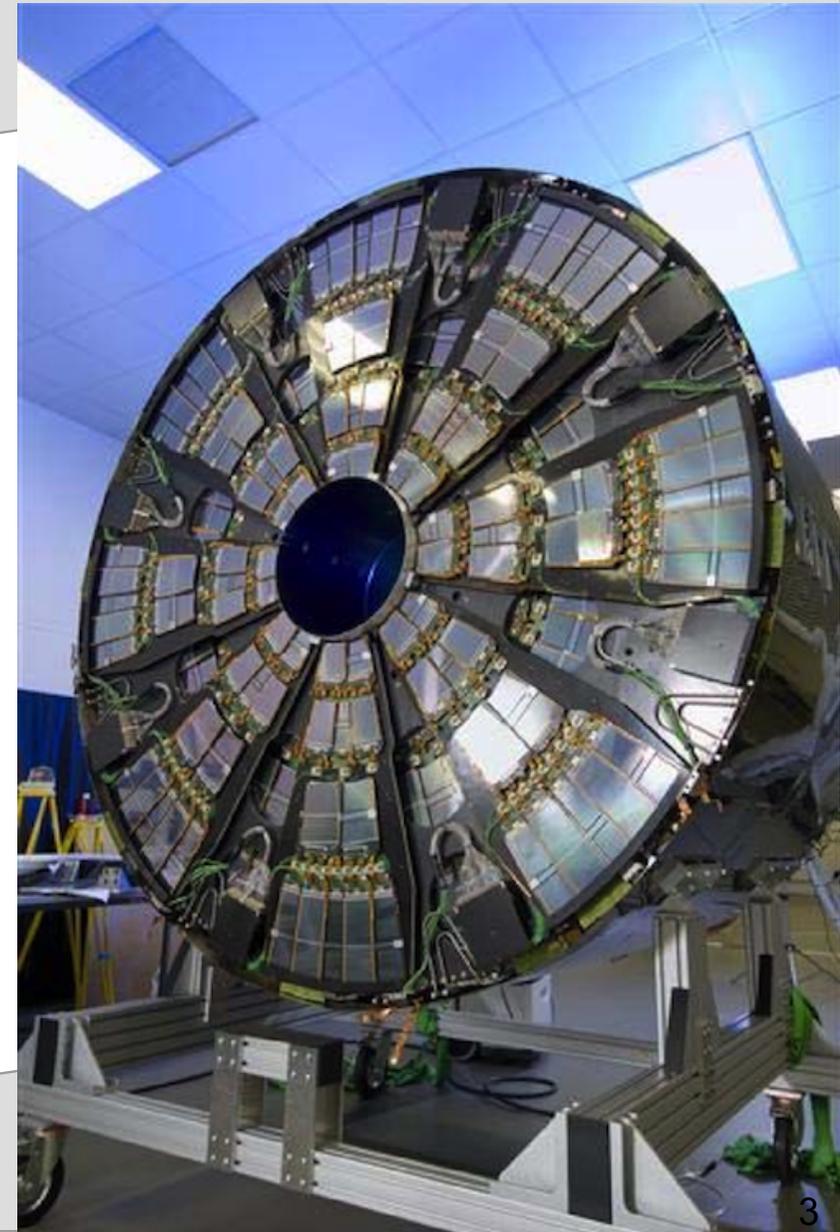


IDEA
(International Detector for Ep accelerators)

Trajectomètre avec chambre à dérive ultralégère
Calorimètre à double lecture
Solénoïde à l'intérieur du calorimètre

Contexte du groupe CMS à l'IP2I et but de mon stage

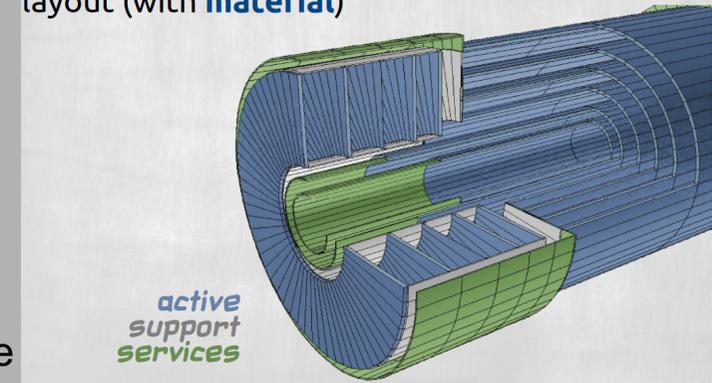
- Grande expertise du groupe sur le trajectomètre de l'expérience CMS de LHC (construction, simulation, exploitation), incluant des simulations pour le futur trajectomètre du HL-LHC.
- Evolution naturelle vers la conception de trajectographe de FCC-ee.
- Dans ce contexte l'objet de mon stage fut la modélisation des trajectomètres CLD et IDEA pour FCC-ee et l'étude de leurs performances.
- Cette présentation se focalisera sur le trajectomètre de IDEA (CLD fera l'objet de la présentation suivante par l'équipe de Strasbourg)



Outil utilisé pour la simulation du détecteur: TkLayout

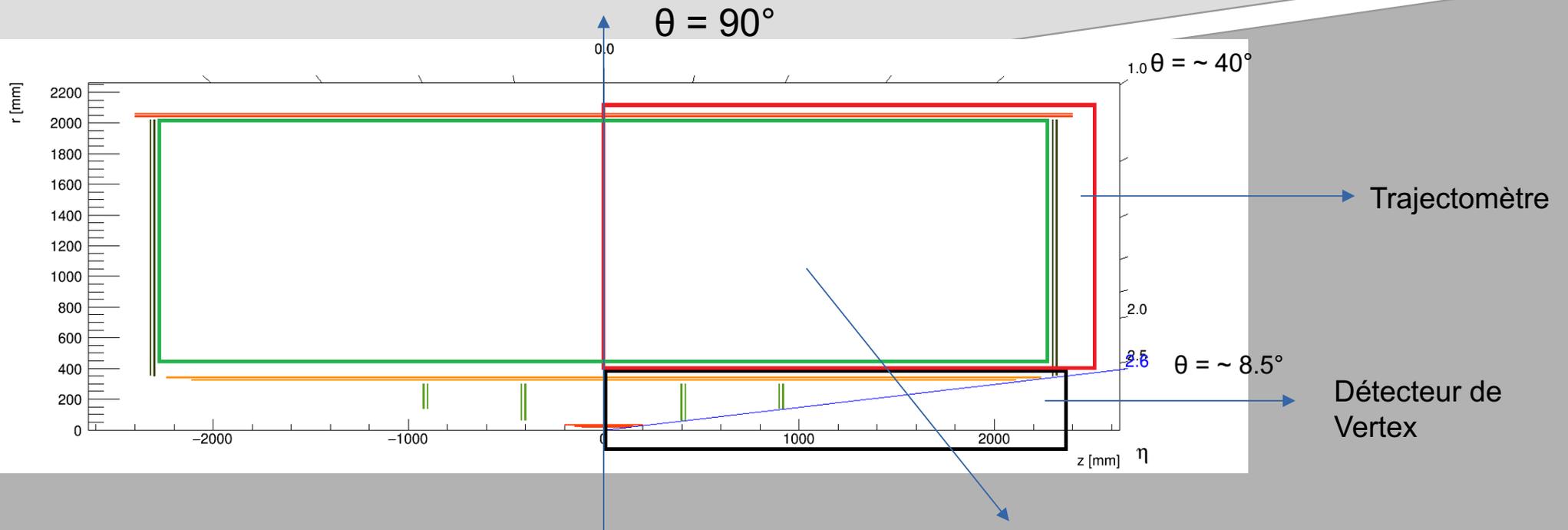
- C'est un logiciel autonome écrit en C++.
- Il a été développé au début des années 2010.
 - - Initialement développé pour le trajectomètre de HL-LHC de CMS et aussi
 - utilisé dans la conception des trajectographes du FCC.
- Il modélise en 3D des concepts de trajectomètres avec de simples fichiers de configurations et s'exécute rapidement .
- Il ajoute automatiquement le matériel dans la géométrie selon les paramètres déterminés par l'utilisateur.
- Il évalue les performances de reconstruction de traces, en prenant en compte la propagation des erreurs, la résolution intrinsèque et la diffusion multiple.
- Une description plus complète de tkLayout se trouve dans les diapos en réserve

creates a 3D model of the layout (with **material**)



Référence TkLayout : <https://tklayout.web.cern.ch/>

Présentation générale du trajectomètre de IDEA



Il est constitué de 7 couches et de 6 disques

Taille de pixel de silicium :

$20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ dans les couches du détecteur de vertex

$50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ dans les disques du détecteur de vertex

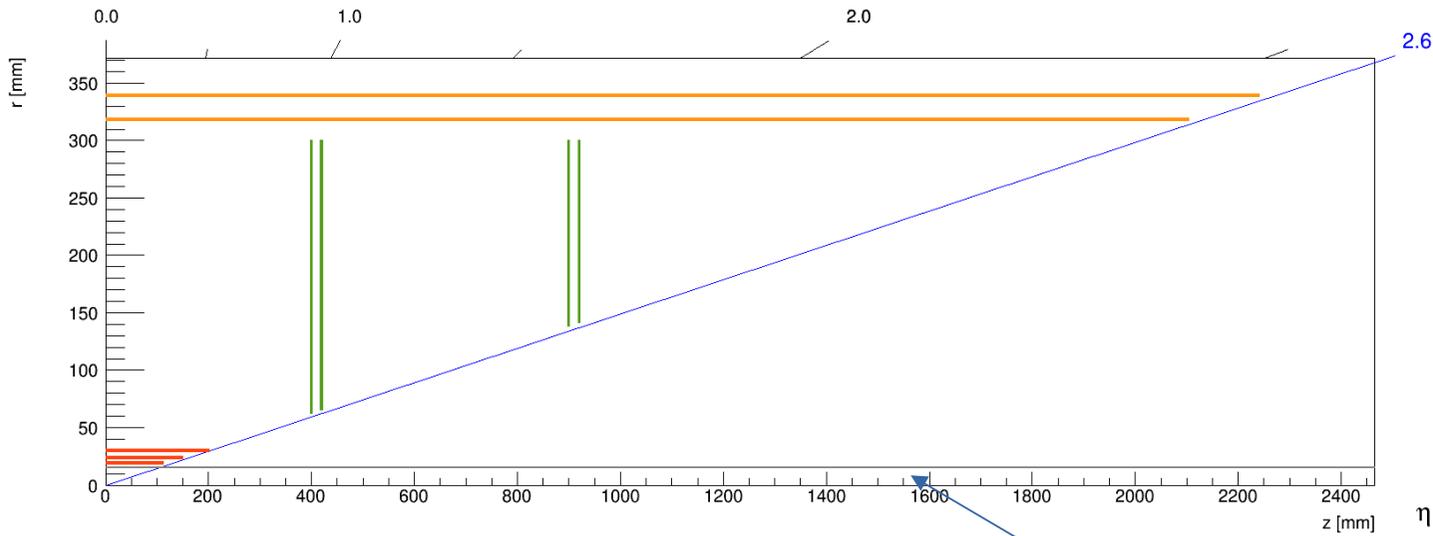
$50 \mu\text{m} \times 1 \text{mm}$ dans la partie trajectomètre

Chambre à dérive

Dans le cadre de cette simulation elle n'est pas considérée.

Geométrie détecteur de vertex simulée dans TkLayout (1/2)

Tableaux des positions :



Couche	r (mm)	L (mm)
1	17	110
2	23	150
3	31	200
4	320	2110
5	340	2245

Disque	r_min (mm)	r_max (mm)	z (mm)
1	62	300	400
2	65	300	420
3	138	300	900
4	141	300	920

Résolution locale $5 \mu\text{m} * 5 \mu\text{m}$

Geométrie du trajectomètre simulée dans TkLayout (2/2)

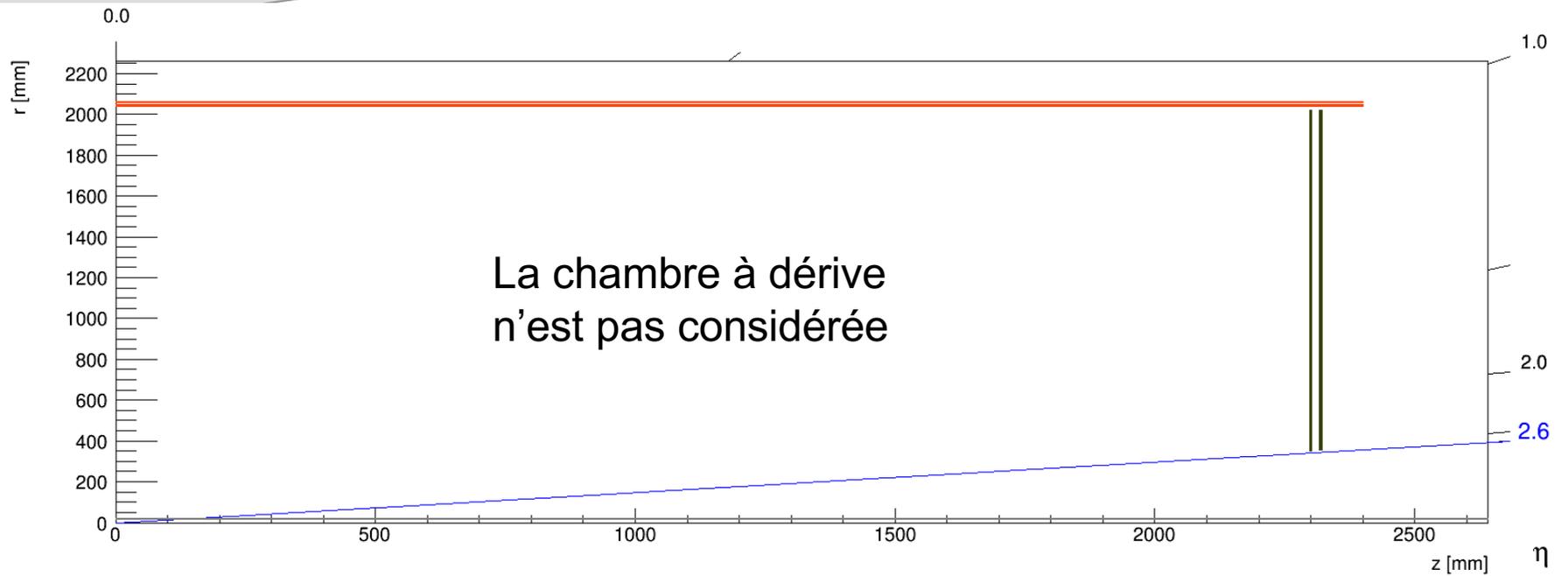


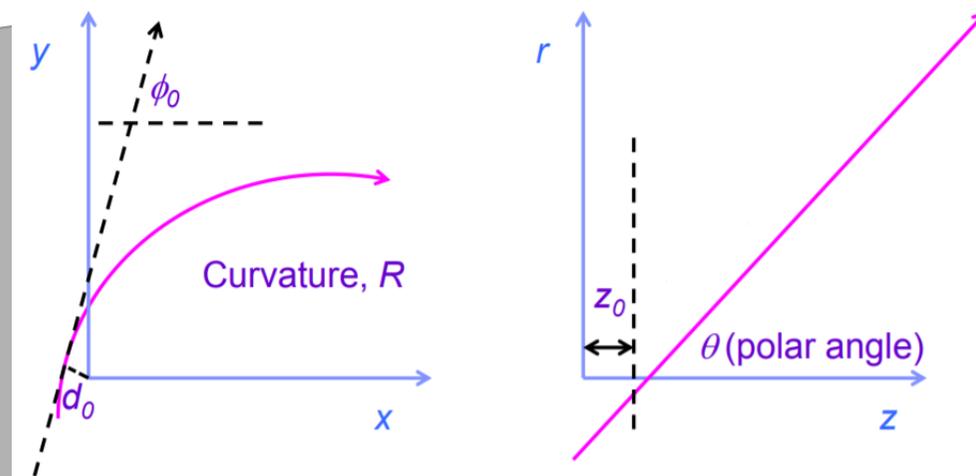
Tableau des positions couches et disques :

Couche	r (mm)	L (mm)	disque	r_min (mm)	r_max (mm)	z (mm)
1	2040	2400	1	350	2020	2300
2	2060	2040	2	354	2020	2320

Paramètres de la simulation du trajectomètre de IDEA

La physique de précision dépend de la qualité de la reconstruction de traces et des vertex

Un facteur de qualité de cette reconstruction est la précision des paramètres d'impacts transverses et longitudinaux d_0 et z_0 .

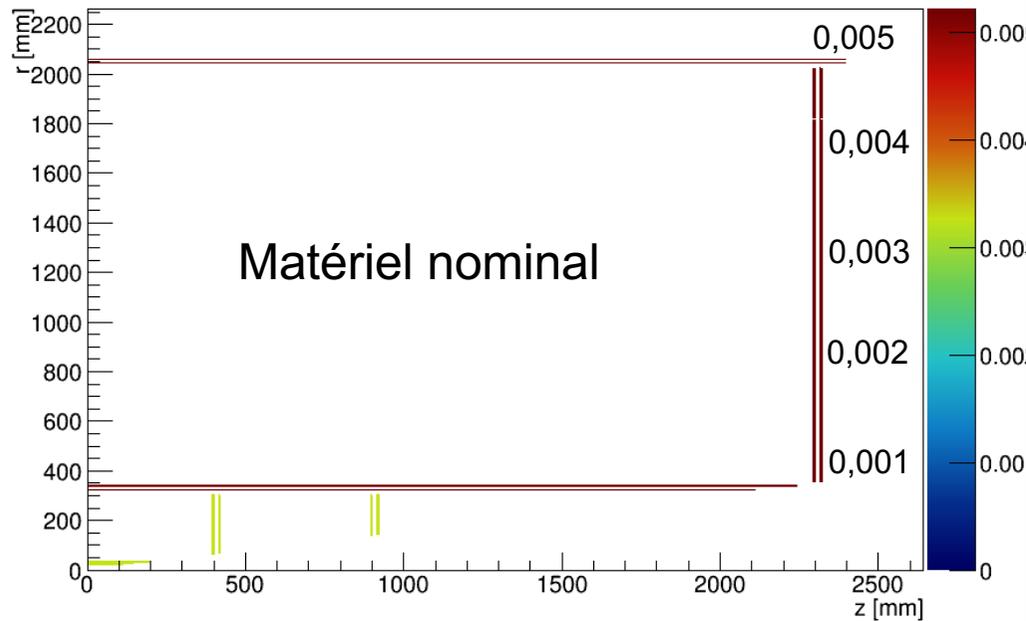


Pour l'étude du paramètre d'impact, à résolution locale fixe de $5\mu\text{m} * 5\mu\text{m}$, les quantités suivantes ont été variées :

- La quantité de matière au sein des couches et des disques
- La position des couches internes
- La position du tube à faisceau (résultats dans les diapos de réserves)

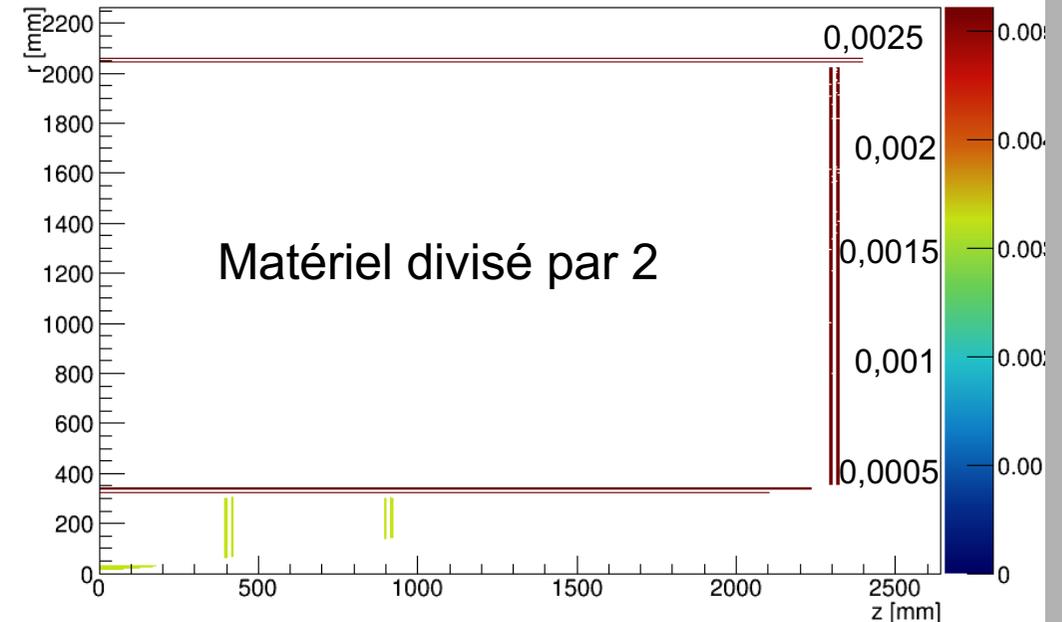
Impact de la quantité de matériel du trajectographe

Tracker Interaction length map



Matériel de base est de 0,3 % X/X_0 pour les couches et disques dans la partie interne et 0,5 % X/X_0 dans la partie externe

Tracker Interaction length map

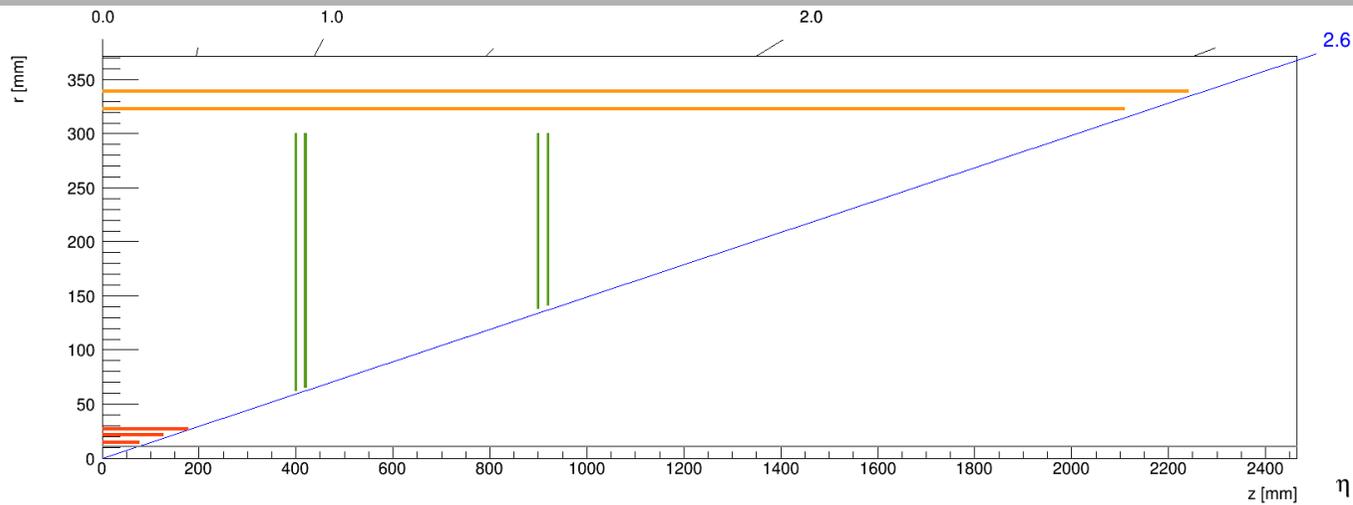


Matériel divisé par 2 est de 0,15 % X/X_0 pour les couches et disques dans la partie interne et 0,25 % X/X_0 dans la partie externe

Variation des positions des premières couches

Etude de l'impact des couches plus proches du faisceau :

Positions initiales des 3 premières couches sont : 17 mm, 23mm, 31mm et le tube à faisceau à 15 mm. Les positions après modifications de ces couches sont à 12mm, 20mm, 28mm et le tube à faisceau à 10mm:



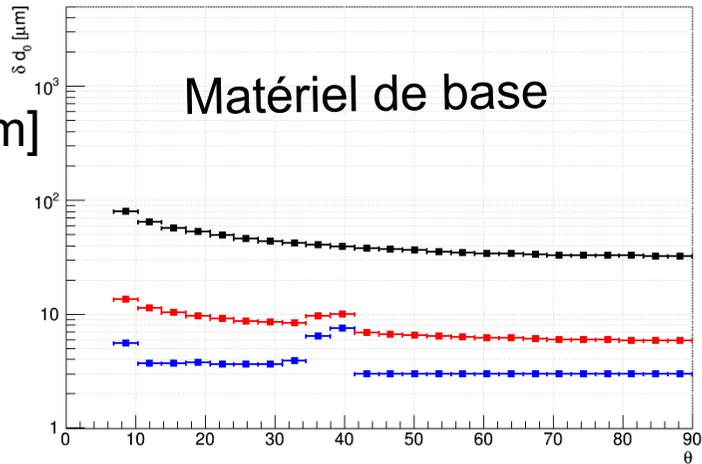
Couche	R (mm)	L (mm)
1	17 → 12	76
2	23 → 20	126
3	31 → 28	177
Tube à faisceau	15 → 10	

Impact sur la résolution du paramètre d'impact transverse d_0

Legende couleur : noir = impulsion du Muon à 1GeV
rouge = 10 GeV ; Bleu = 100 GeV

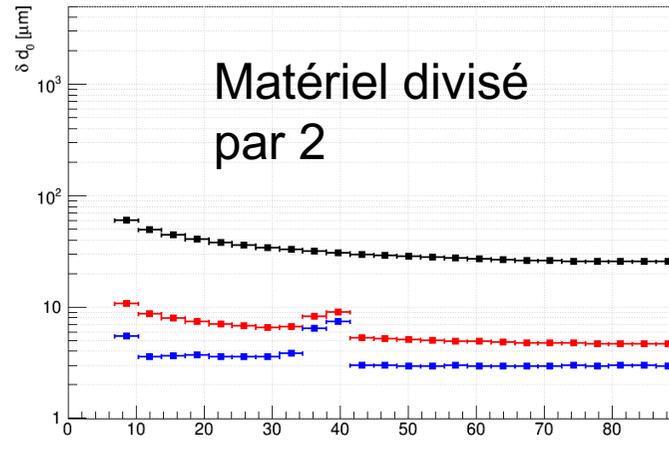
δd_0 [μm]

Transverse impact parameter error - const p_T across θ



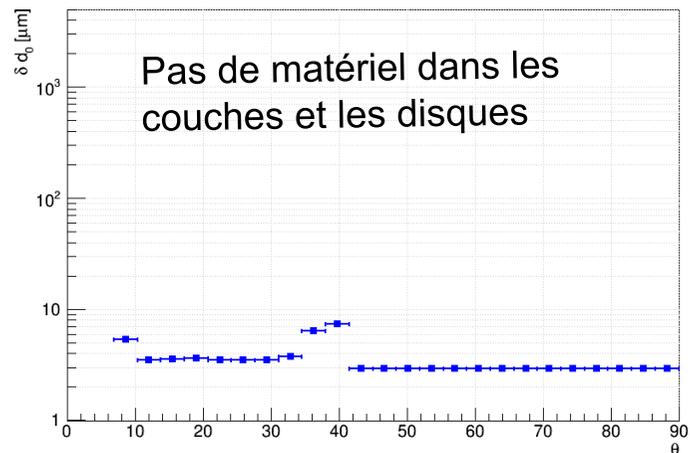
Matériel de base

Transverse impact parameter error - const p_T across θ



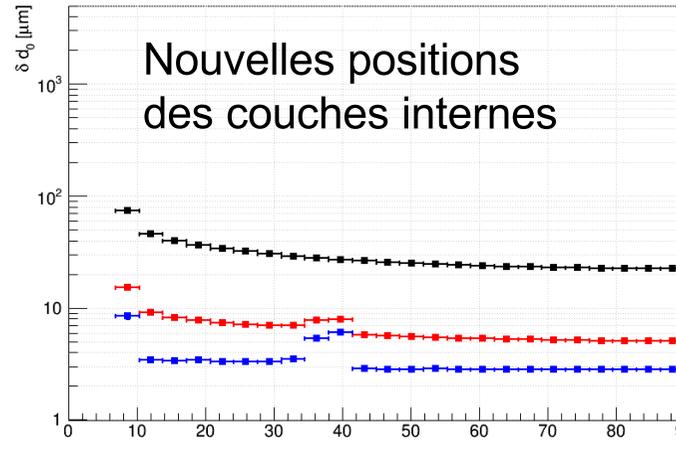
Matériel divisé par 2

Transverse impact parameter error - const p_T across θ



Pas de matériel dans les couches et les disques

Transverse impact parameter error - const p_T across θ



Nouvelles positions des couches internes

Conclusion :

La résolution du paramètre d'impact transverse d_0 est compatible avec des résultats précédents(*), exemple : $\delta d_0 = 2\mu\text{m}$ à $\theta=90$ pour un muon de 100GeV.

L'impact du matériel (déjà faible dans les couches internes) et des nouvelles positions ne semblent pas affecter significativement la résolution du paramètre d'impact transverse.

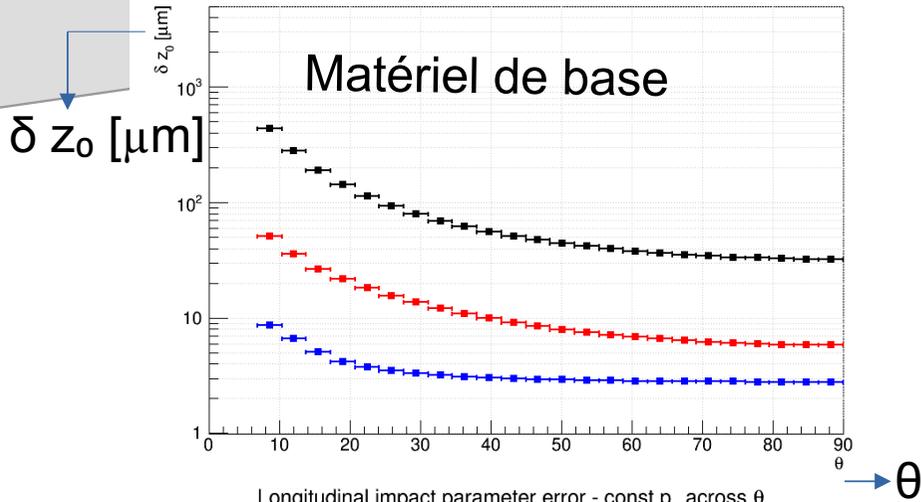
L'impact en fonction de l'impulsion reste à comprendre plus en profondeur.

(*)Workshop FCC-France (May 2020)

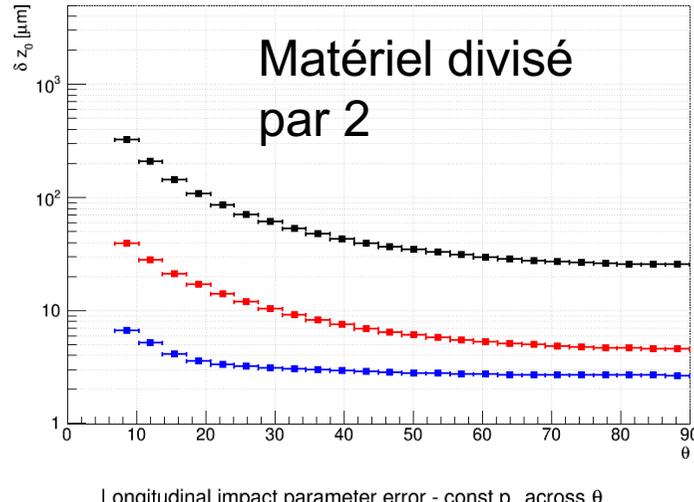
Impact sur la résolution du paramètre d'impact longitudinal z_0

Legende couleur : noir = impulsion du Muon à 1GeV rouge = 10 GeV ; Bleu = 100 GeV

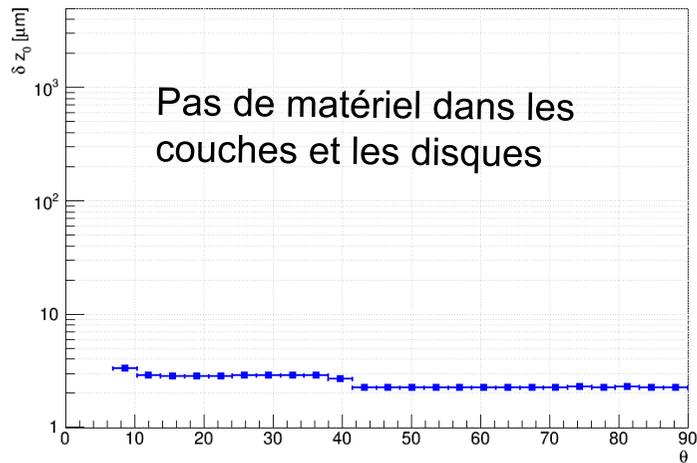
Longitudinal impact parameter error - const p_T across θ



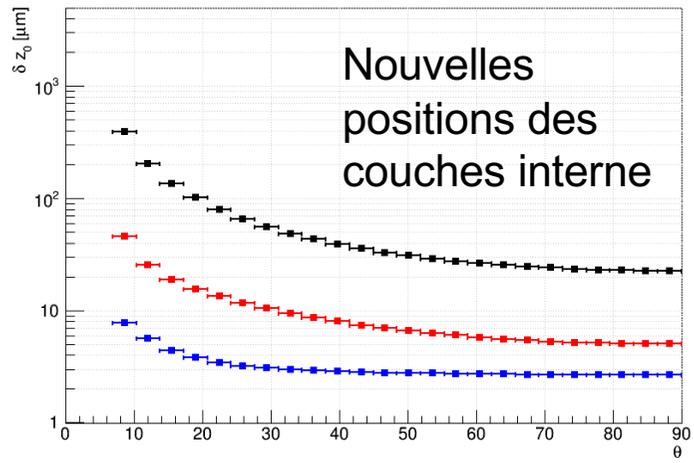
Longitudinal impact parameter error - const p_T across θ



Longitudinal impact parameter error - const p_T across θ



Longitudinal impact parameter error - const p_T across θ



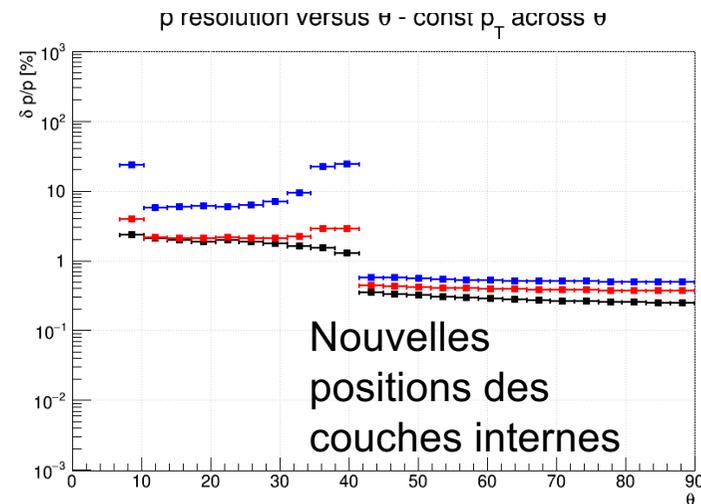
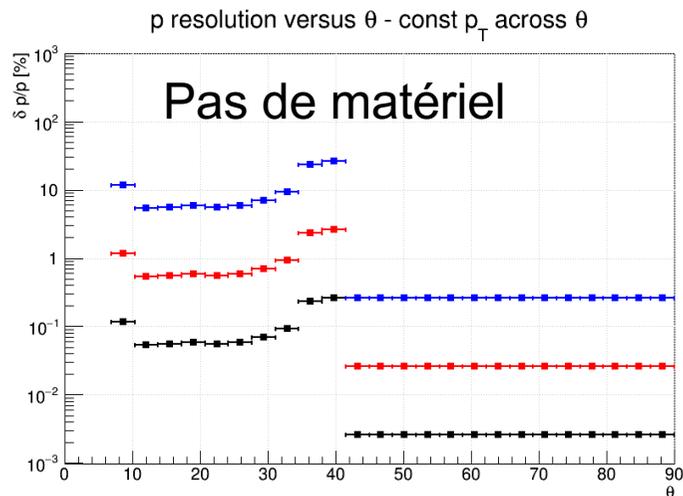
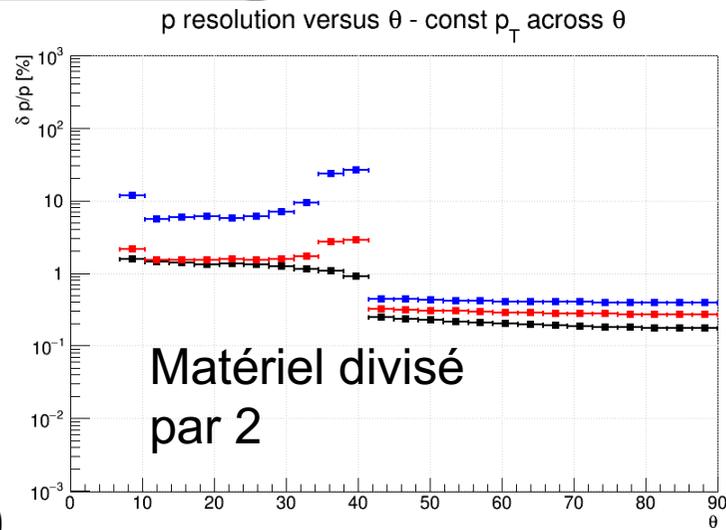
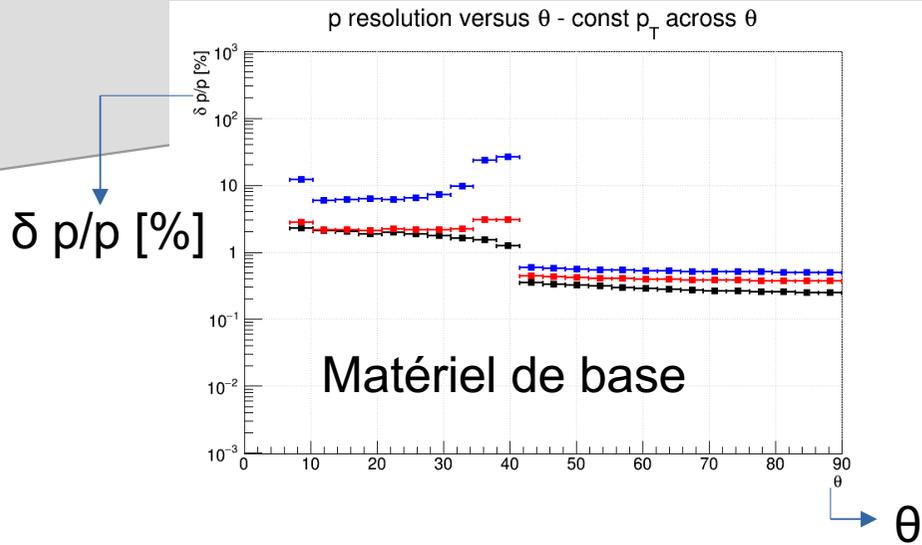
Conclusion :
Comme précédemment les résolution du paramètre d'impact longitudinal z_0 correspond aux valeurs attendues (ex : $2\mu\text{m}$ à $\theta=0$ et $p = 100\text{ GeV}$).

L'impact du matériel et des nouvelles positions ne semblent pas non plus affecter significativement la résolution du paramètre d'impact longitudinal.

L'impact en fonction de l'impulsion reste à comprendre plus en profondeur.

Impact sur la résolution de l'impulsion

Legende couleur : noir = impulsion du Muon à 1GeV rouge = 10 GeV ; Bleu = 100 GeV



Conclusion :
Comme précédemment, l'impact du matériel et de la position des couches externe ne semblent pas affecter la résolution.

Les valeurs obtenues ainsi que la transition tonneau-bouchon reste à comprendre.

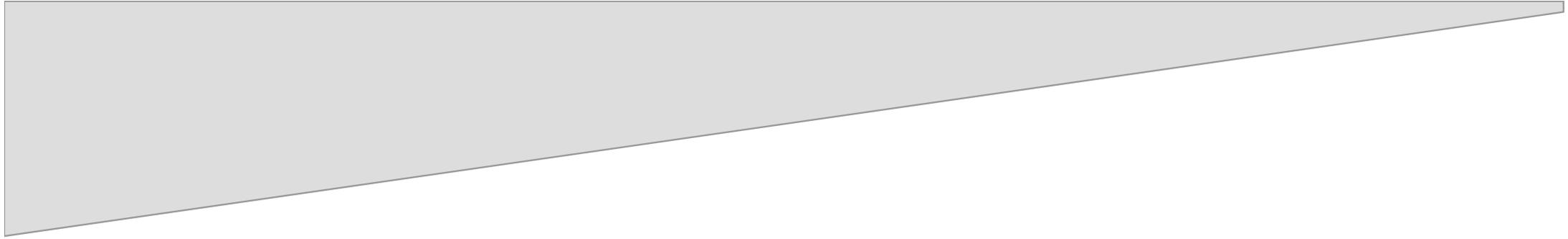
Conclusion

Observations :

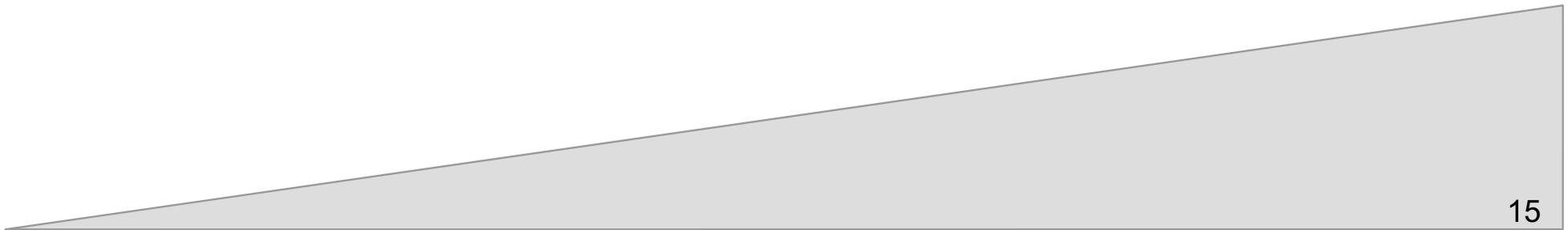
- Le trajectomètre du concept de détecteur IDEA a été implémenté dans l'outil de simulation tkLayout.
- Les changements (matériel/position) ne semblent pas apporter d'évolution significative de performance.
- La transition tonneau-bouchon reste cependant suspecte et nécessite de plus profondes investigations.

Perspectives :

- A court terme, valider l'implémentation afin de consolider les résultats obtenus, et ajouter une description des services dans la simulation.
- A moyen terme, évaluer précisément l'impact de différentes configurations pour éventuellement mettre en œuvre le/les bon(s) candidat(s) en simulation complète.



Merci de m'avoir écouté !

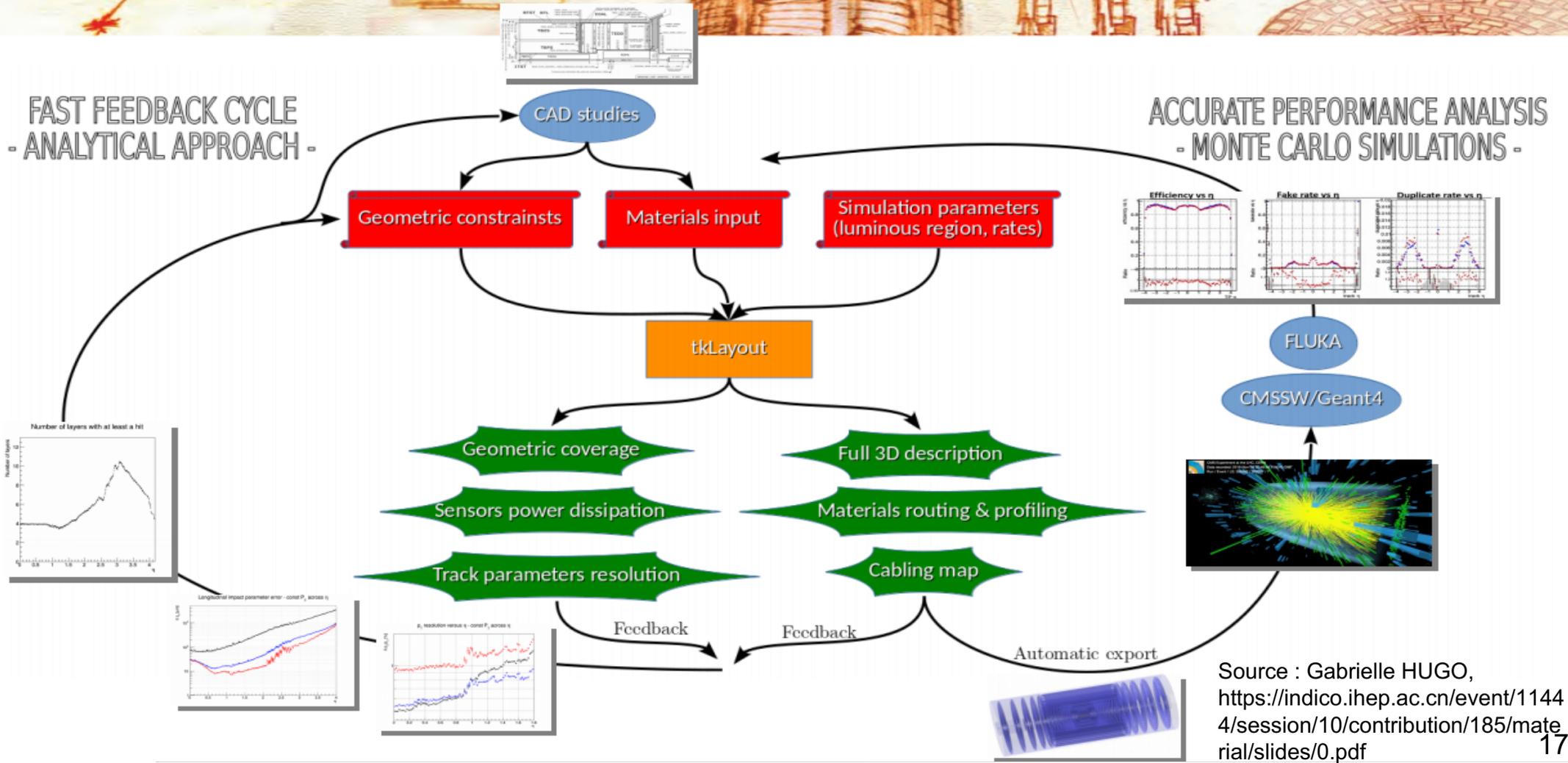




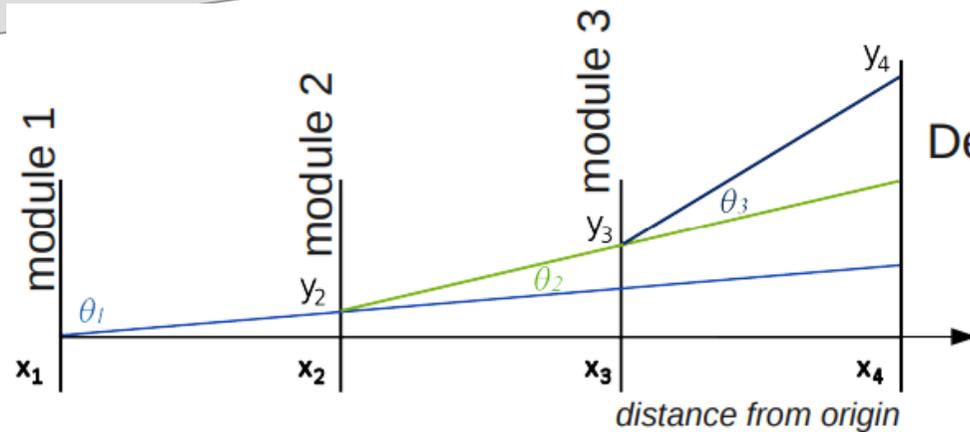
Diapositives
de réserve



tkLayout workflows



Performance de reconstruction de trace (tkLayout)



Deviation due to scattering:

$$y_n = \sum_{i=1}^{n-1} (x_n - x_i) \theta_i$$

Covariance matrix of the measured hit coordinates:

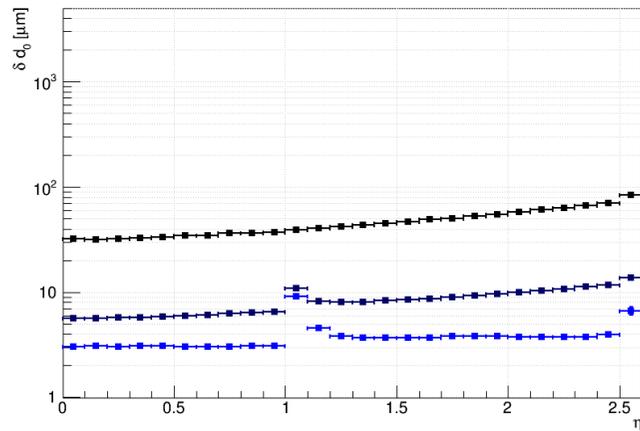
$$\sigma_n^2 = \frac{p^2}{12}$$
$$\sigma_{n,m} = \langle y_n y_m \rangle = \sum_{i=1}^{n-1} (x_m - x_i) (x_n - x_i) \langle \theta_i^2 \rangle$$

Résolution avec une position différente du tube à faisceau (1/5):

Legende couleur : noir = impulsion de la particule à 1GeV
 Bleu sombre = 10 GeV ; Bleu = 100 GeV

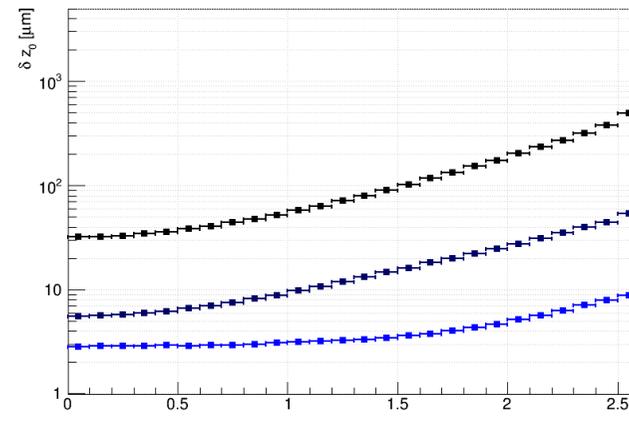
Tube à faisceau de base est placé à 15 mm, en gardant la même géométrie les résultats suivant montre un tube à faisceau placé à :

Transverse impact parameter error - const p_T across η

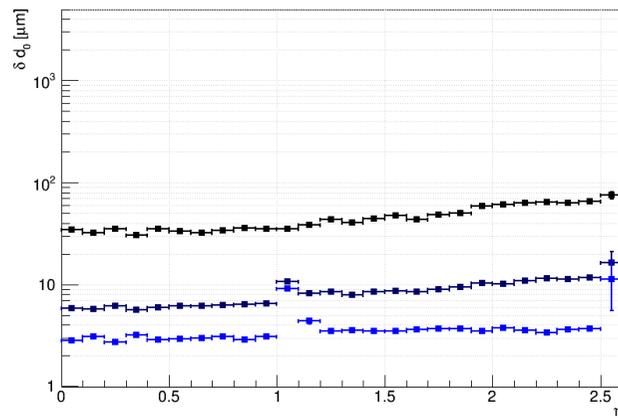


À 15mm :

Longitudinal impact parameter error - const p_T across η

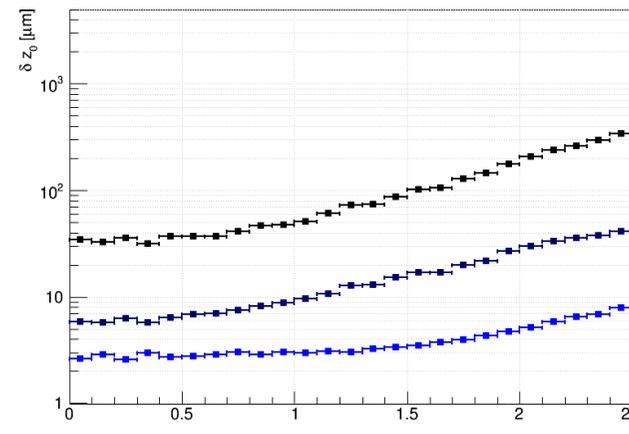


Transverse impact parameter error - const p_T across η



À 10mm :

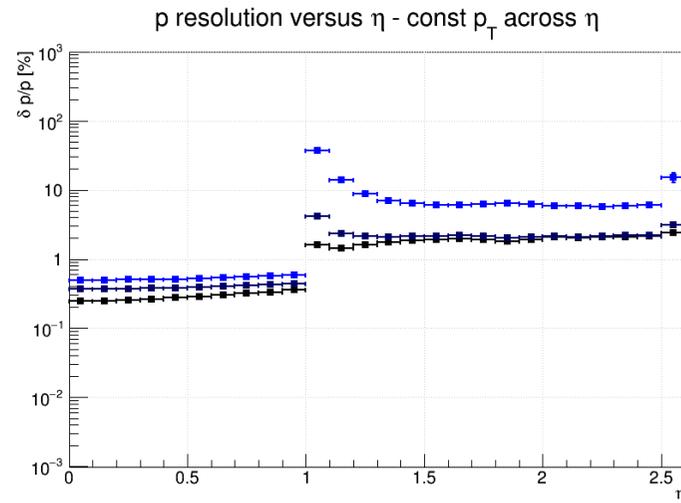
Longitudinal impact parameter error - const p_T across η



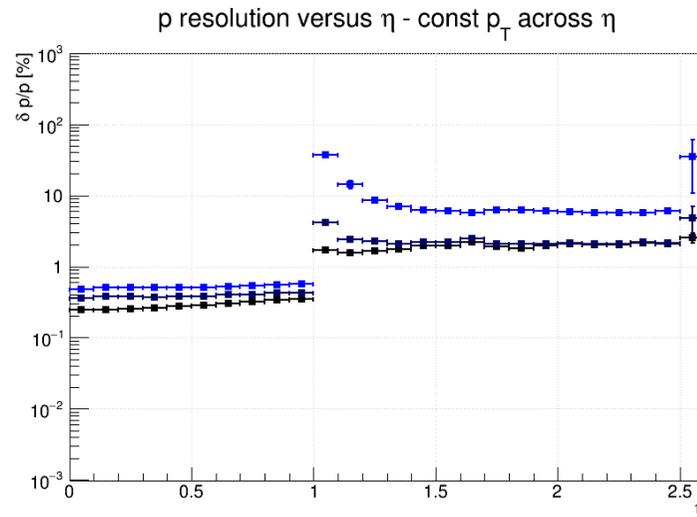
Résolution avec une position différente du tube à faisceau (2/5):

Legende couleur :
noir = impulsion de la particule à 1 GeV
Bleu sombre = 10 GeV ; Bleu = 100 GeV

À 15mm :



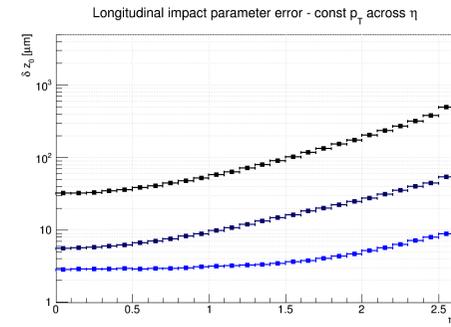
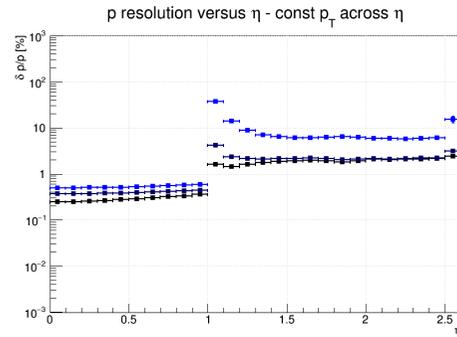
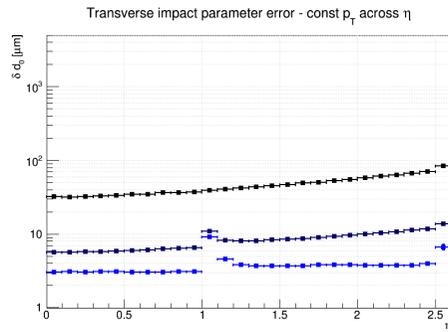
À 10mm :



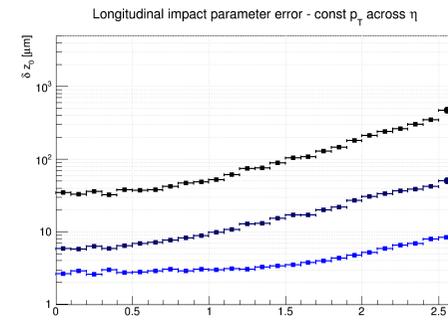
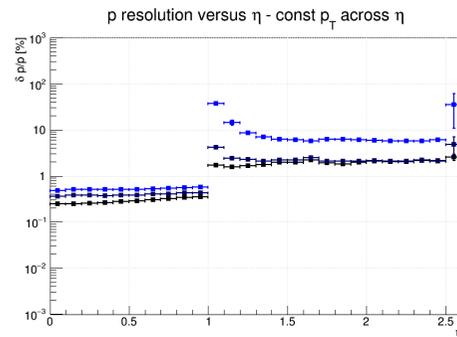
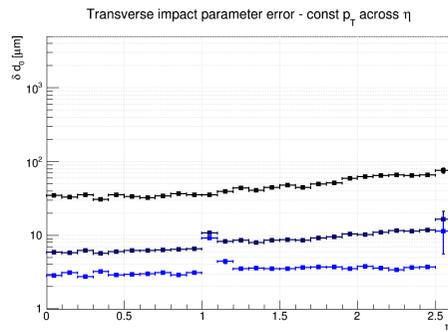
Résolution avec une position différente du tube à faisceau (3/5):

Legende couleur :
noir = impulsion de la particule à 1 GeV
Bleu sombre = 10 GeV ; Bleu = 100 GeV

À 15mm :



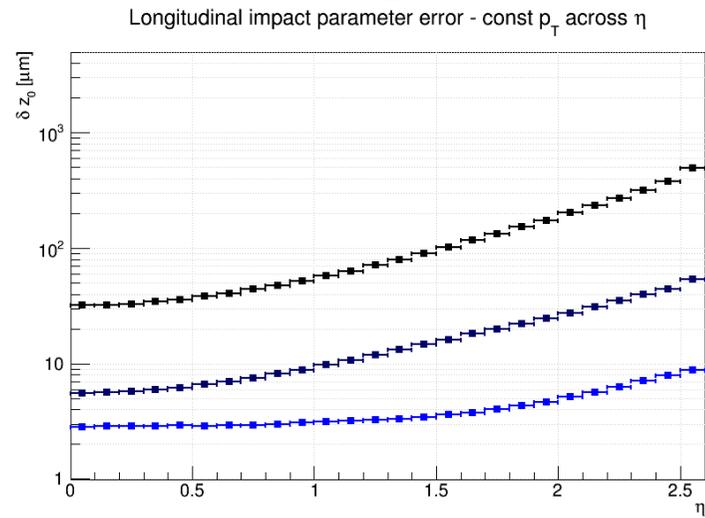
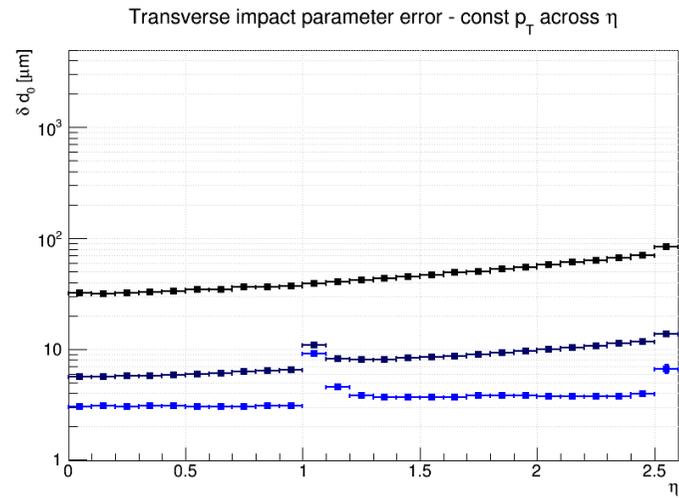
À 12 mm :



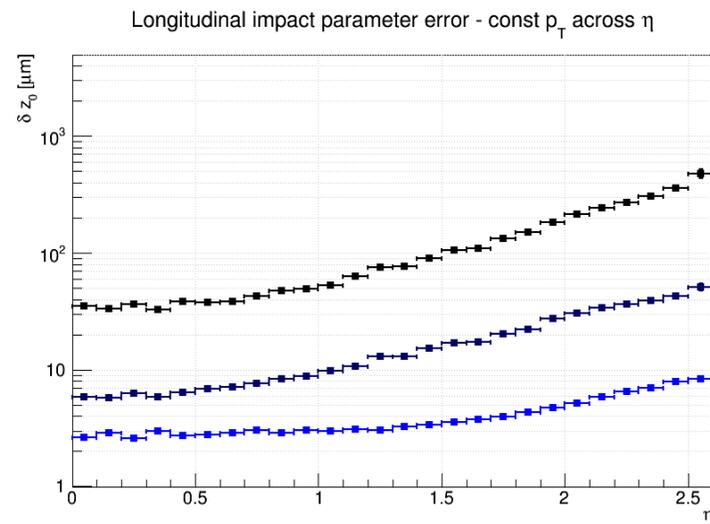
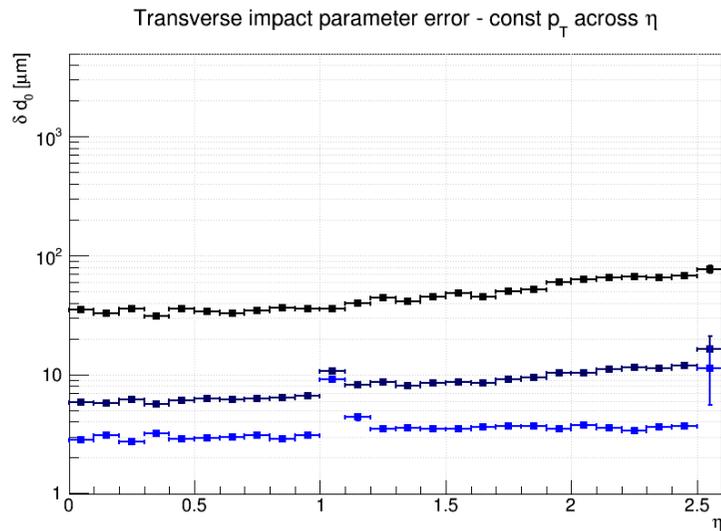
Résolution avec une position différente du tube à faisceau (4/5) :

Legende couleur :
 noir = impulsion de la particule à 1 GeV
 Bleu sombre = 10 GeV ; Bleu = 100 GeV

À 15 mm :



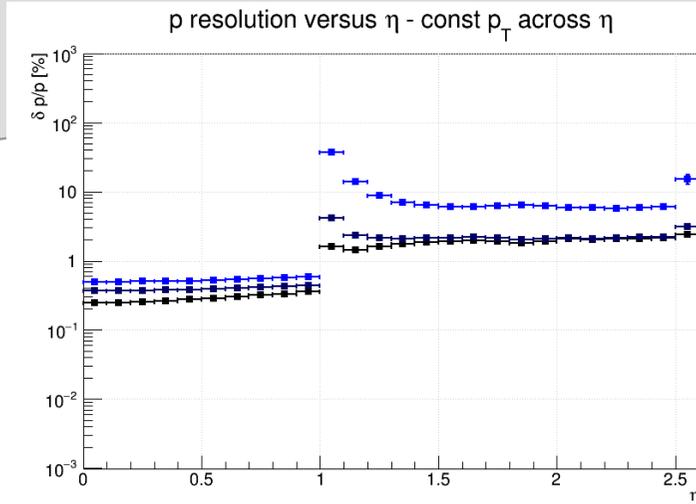
À 16 mm :



Résolution avec une position différente du tube à faisceau (5/5):

Legende couleur :
noir = impulsion de la particule à 1 GeV
Bleu sombre = 10 GeV ; Bleu = 100 GeV

À 15mm :



À 16mm :

