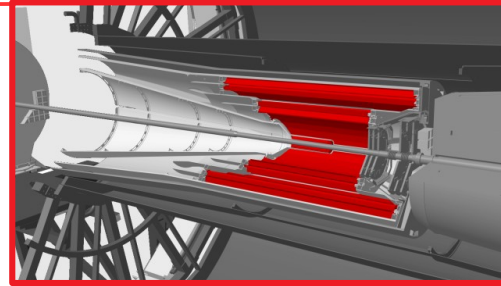


A Large Ion Collider Experiment

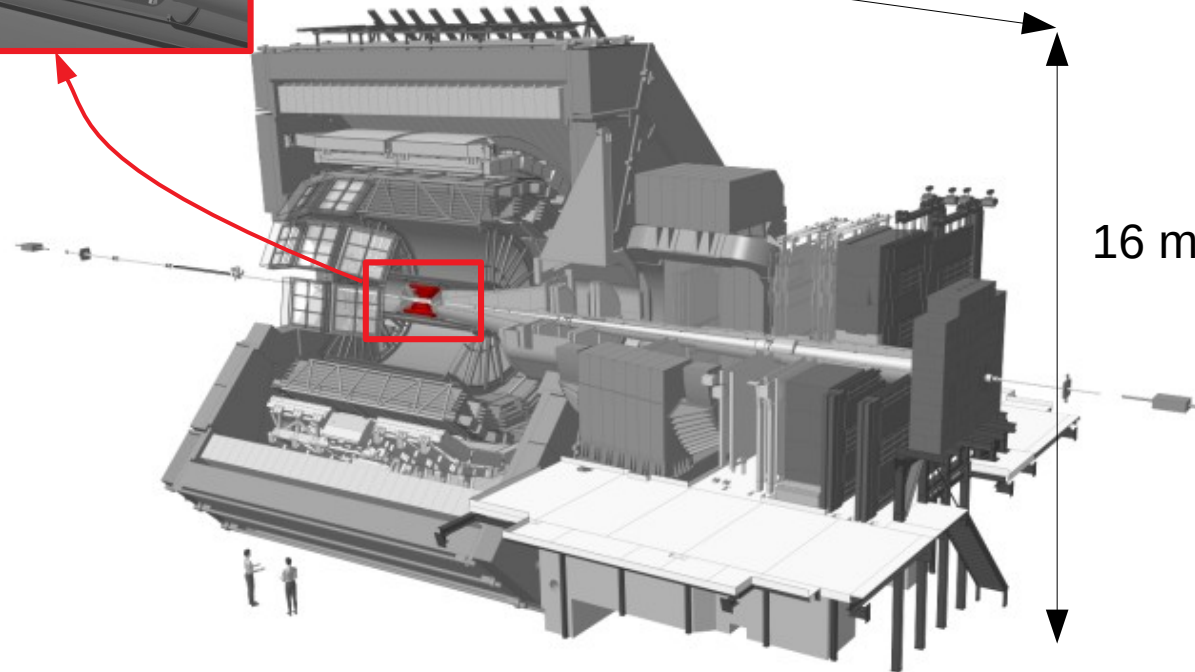


ALICE

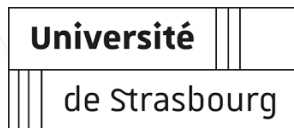
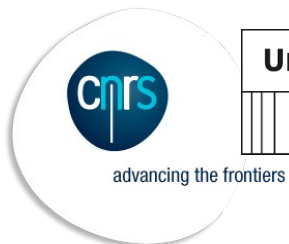


26 m

16 m



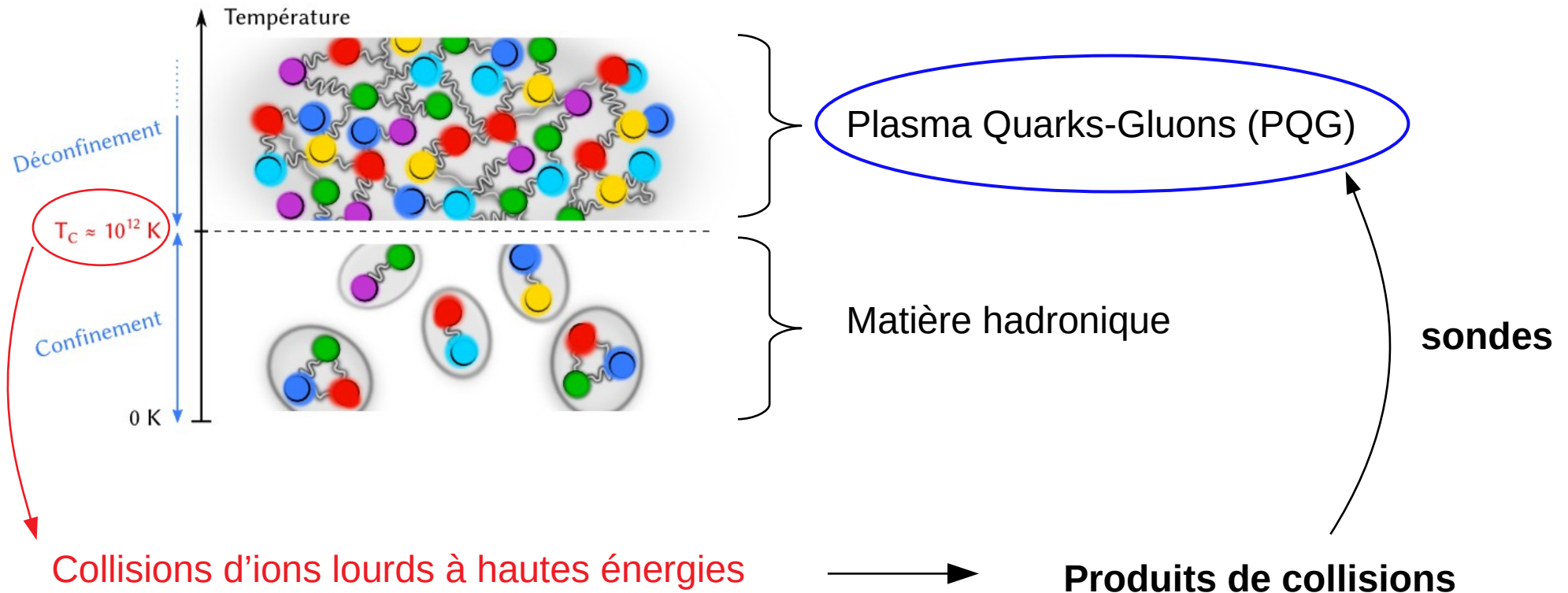
Validation du nouveau tracker interne (**ITS**)
de ALICE grâce à l'analyse de **rayons cosmiques**
(forme d'amas de pixels)



sous la supervision de Iouri BELIKOV

Présentation M2PSA, 24.06.2021, Alexandre BIGOT

La physique de ALICE



Objectif: déterminer les propriétés du PQG

u	c	t
d	s	b

➡ plus massif

Hadrons **charmés** ou **beaux**

u	c	t
d	s	b

➔ plus massif

Hadrons **charmés** ou **beaux**

Plus rares



Faible taux de production



Besoin d'une **statistique plus large**

u	c	t
d	s	b

→ plus massif

Hadrons **charmés** ou **beaux**

Plus rares



Faible taux de production



Besoin d'une **statistique plus large**

Plus faible temps de vie



Désintégration proche
du vertex primaire



Besoin d'une **bonne distinction entre
vertex primaire et vertex secondaire**



u	c	t
d	s	b

➔ plus massif

Hadrons **charmés** ou **beaux**

Plus rares

Plus faible temps de vie

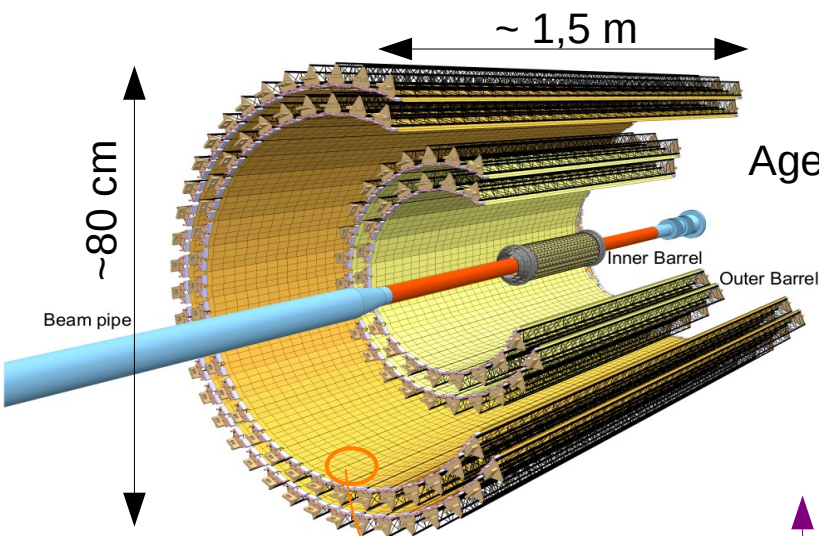
Faible taux de production

Désintégration proche
du vertex primaireBesoin d'une **statistique plus large**Besoin d'une **bonne distinction entre
vertex primaire et vertex secondaire****Plus rapide****Plus précise**

Nouvelle version de l'ITS

3/24

Inner Tracking System



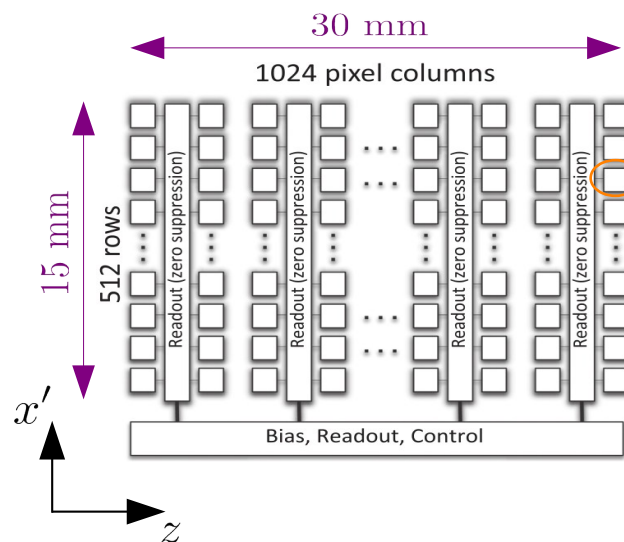
Agencement de l'ITS

~ 500k pixels par puce

~ 24k puces sur le détecteur

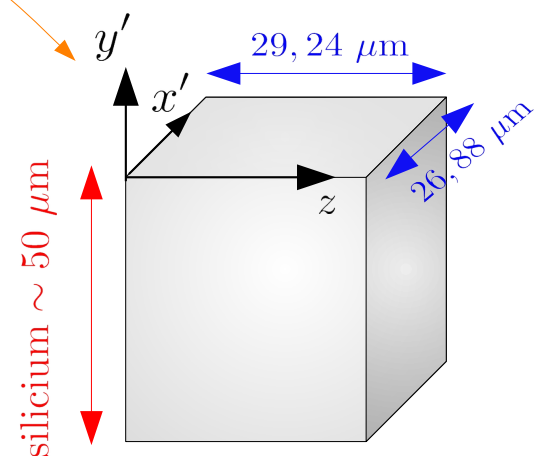
~ 12G pixels sur le détecteur

Zoom sur une puce

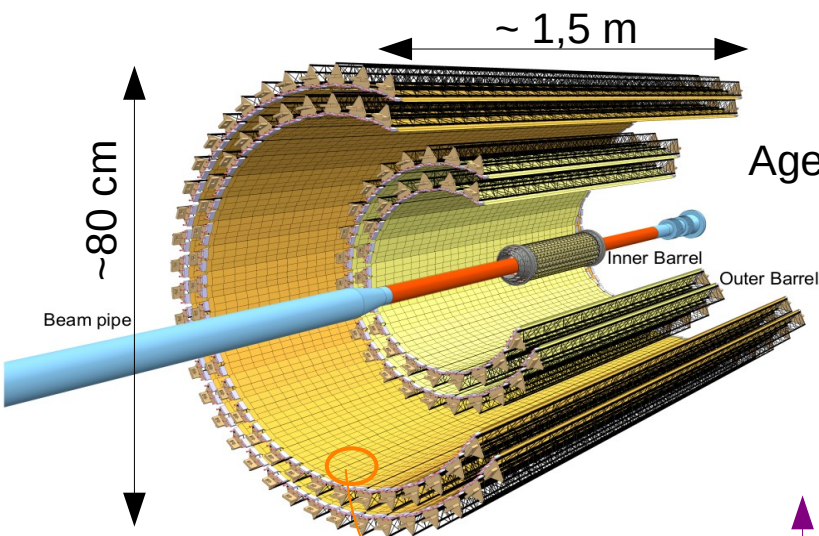


Architecture d'une puce ALPIDE dans le plan (zx')

Zoom sur un pixel



Inner Tracking System



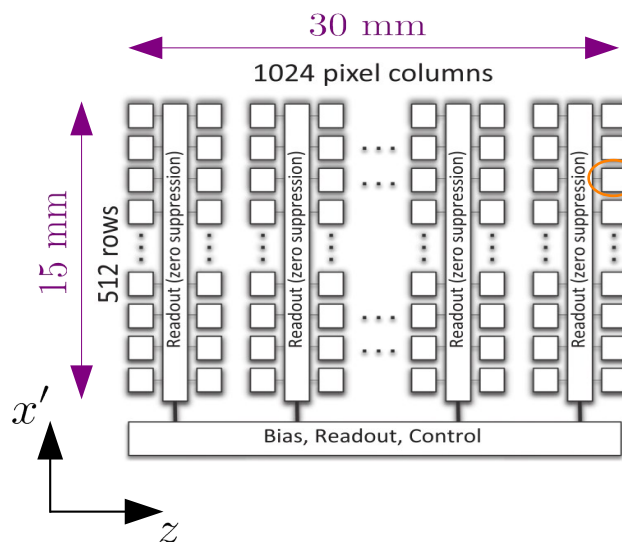
Agencement de l'ITS

~ 500k pixels par puce

~ 24k puces sur le détecteur

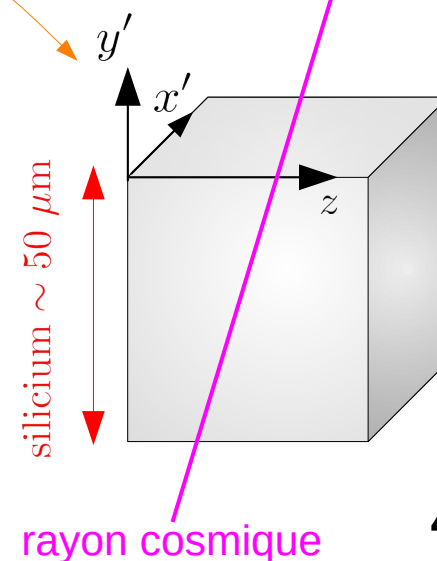
~ 12G pixels sur le détecteur

Zoom sur une puce

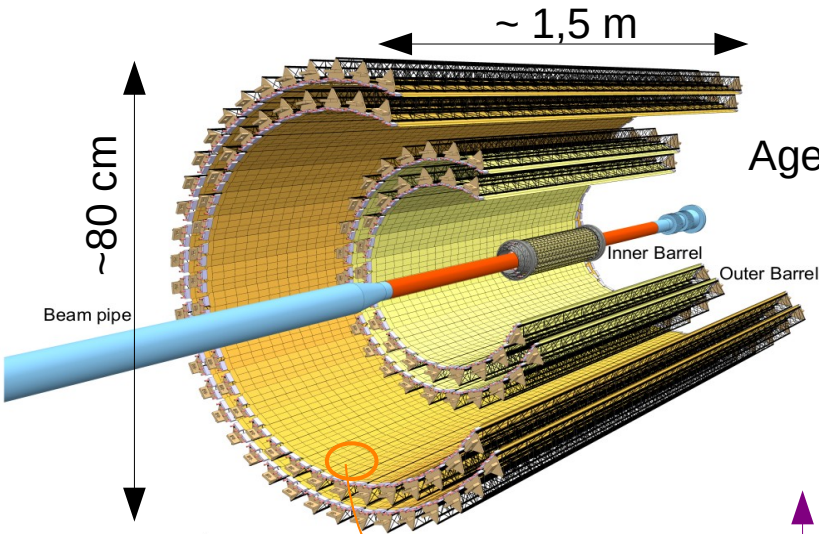


Architecture d'une puce ALPIDE dans le plan (zx')

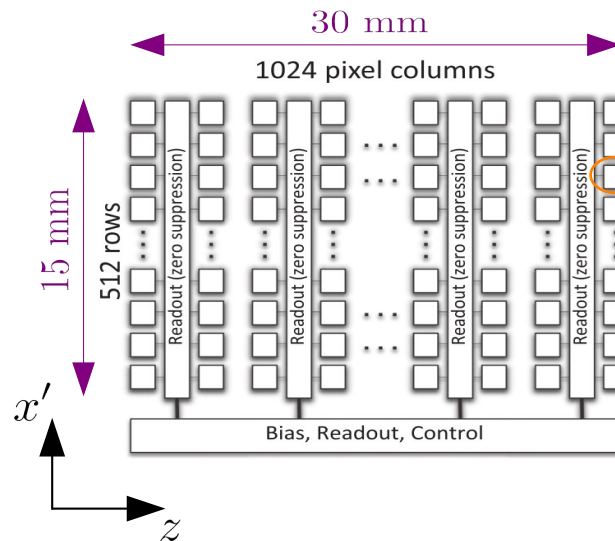
Zoom sur un pixel



Inner Tracking System



Zoom sur une puce



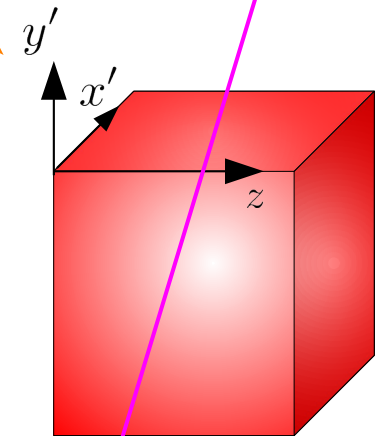
Architecture d'une puce ALPIDE
dans le plan (zx')

~ 500k pixels par puce

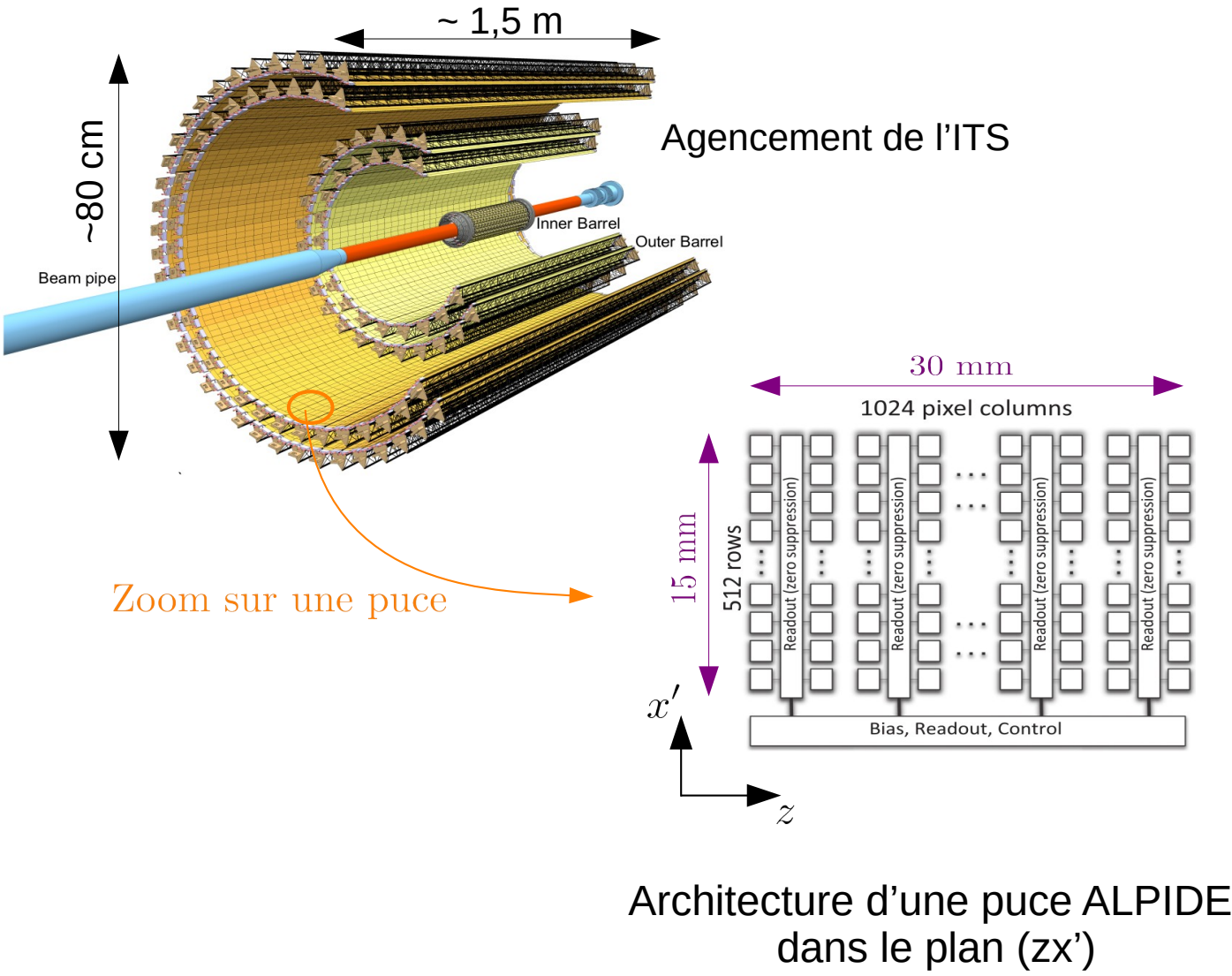
~ 24k puces sur le détecteur

~ 12G pixels sur le détecteur

Zoom sur un pixel



Inner Tracking System

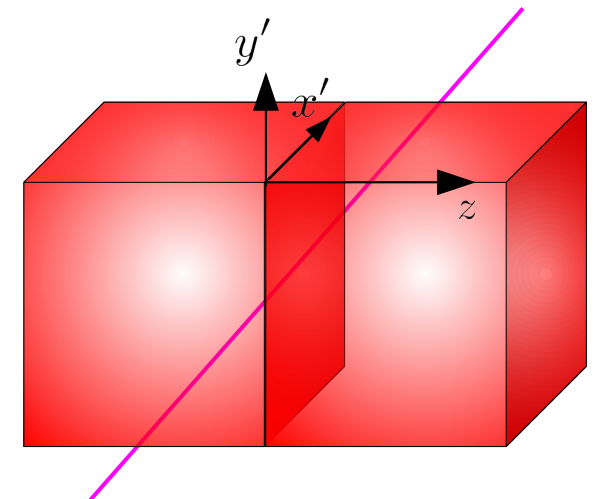


~ 500k pixels par puce

~ 24k puces sur le détecteur

~ 12G pixels sur le détecteur

Amas de 2 pixels



I) Sélection des traces candidates

II) Analyse de la forme des amas

III) Comparaison avec les données Monte-Carlo

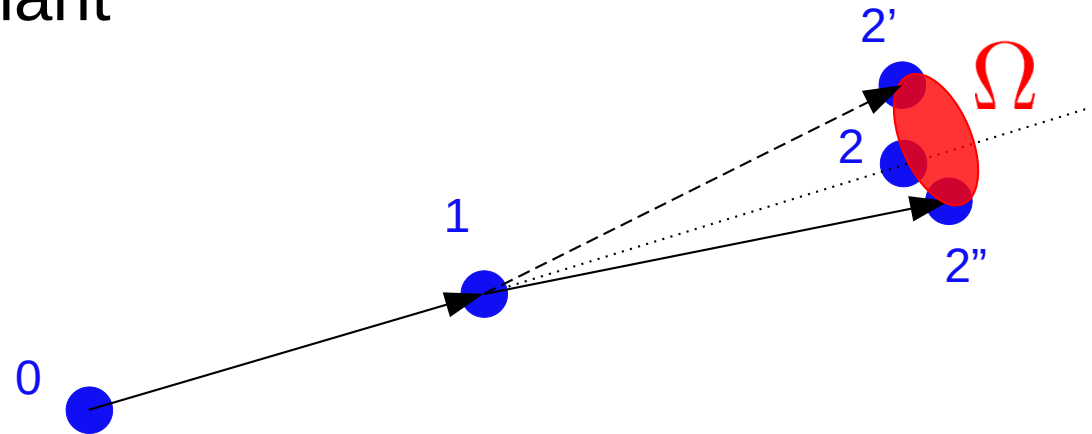
Candidats aux traces

$B = 0 \Rightarrow$ trace = ligne droite

rayon cosmique

Candidat = triplet d'amas vérifiant

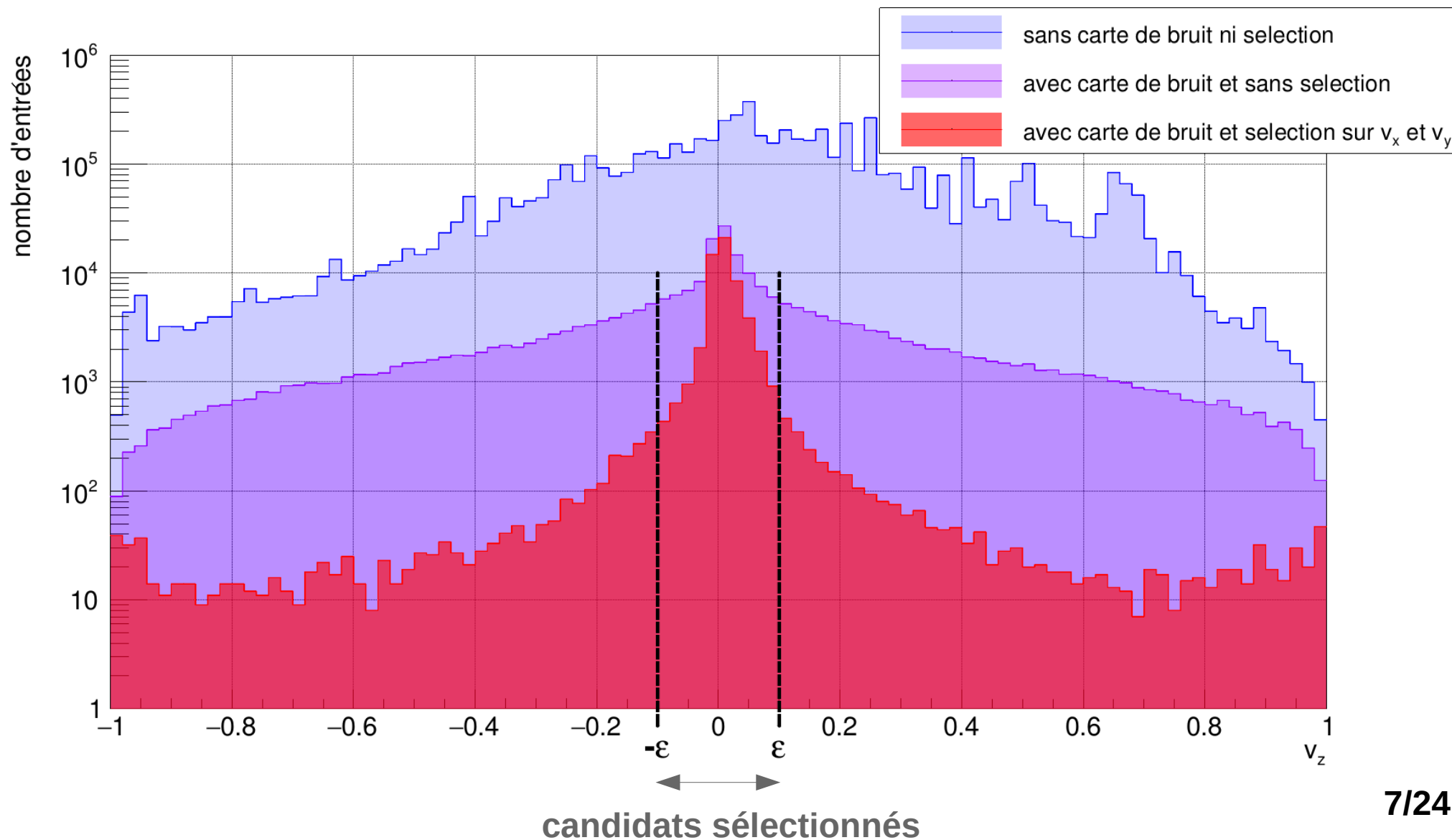
$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{v}_{01} \wedge \mathbf{v}_{12}}{\|\mathbf{v}_{01}\| \|\mathbf{v}_{12}\|} \simeq \mathbf{0}$$



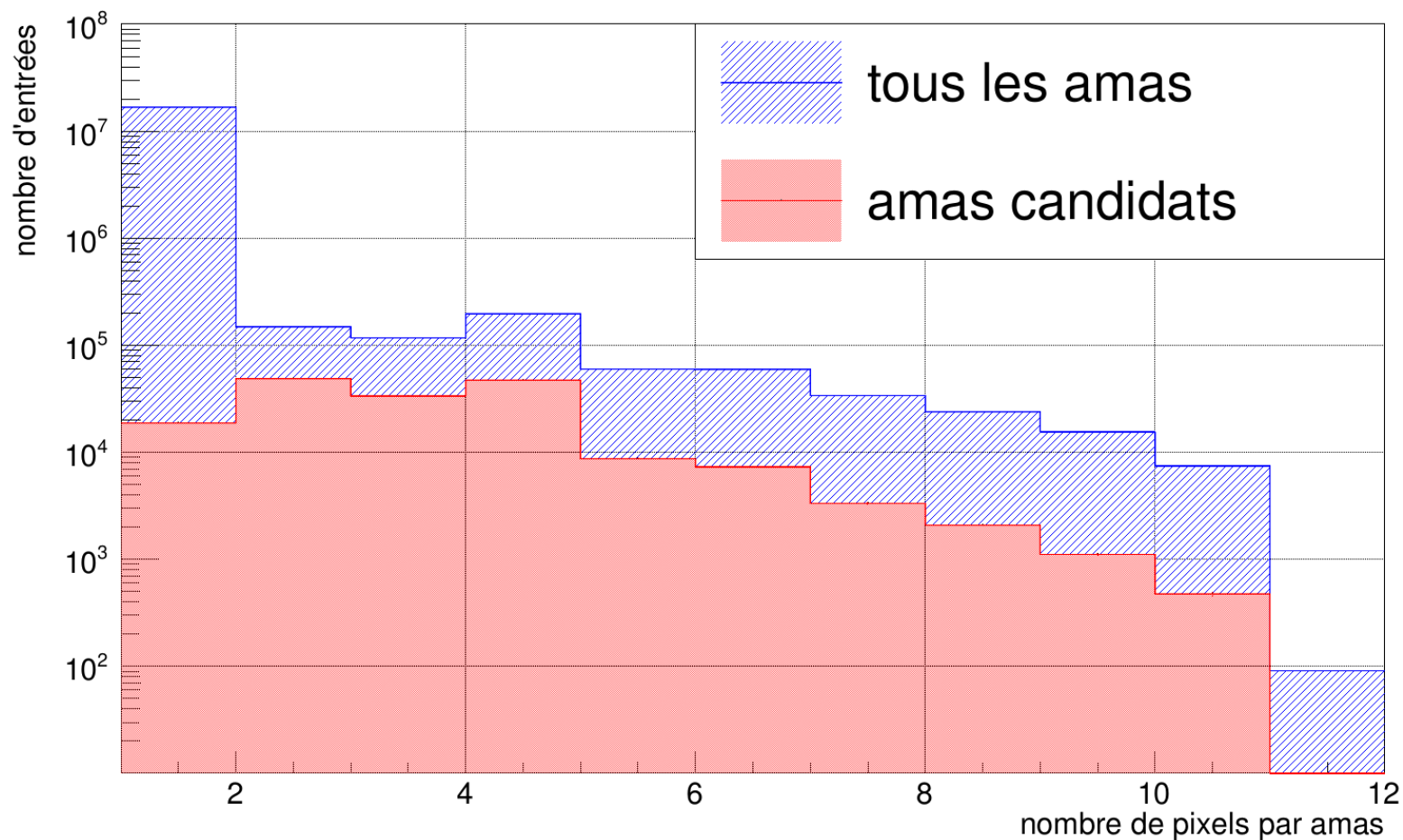
$$|v_x|, |v_y|, |v_z| \leq \varepsilon \Leftrightarrow 2 \in \Omega \Rightarrow (0, 1, 2) = \text{candidat}$$

“valeur de décision” déterminée graphiquement (~ 0.1)

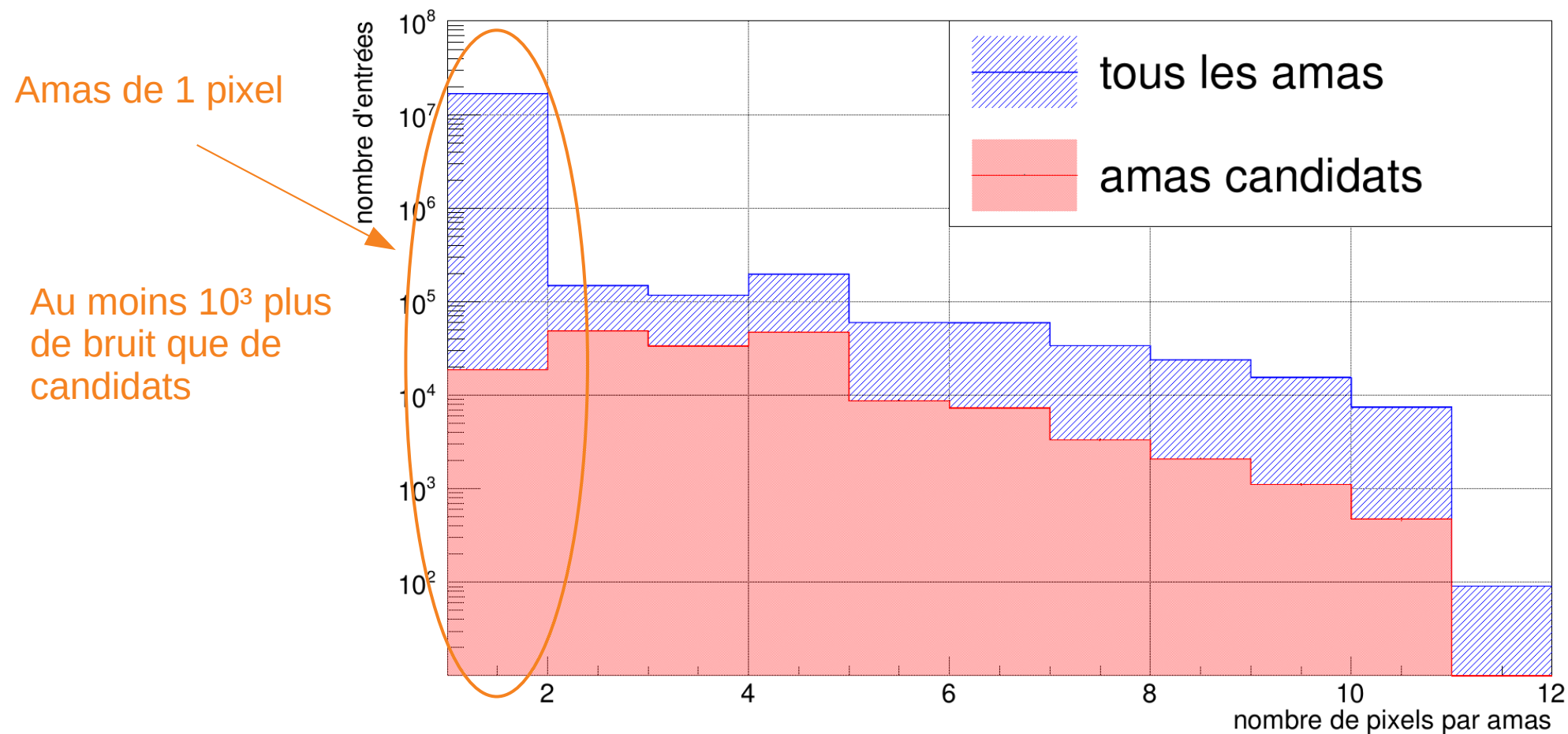
Suppression et sélection



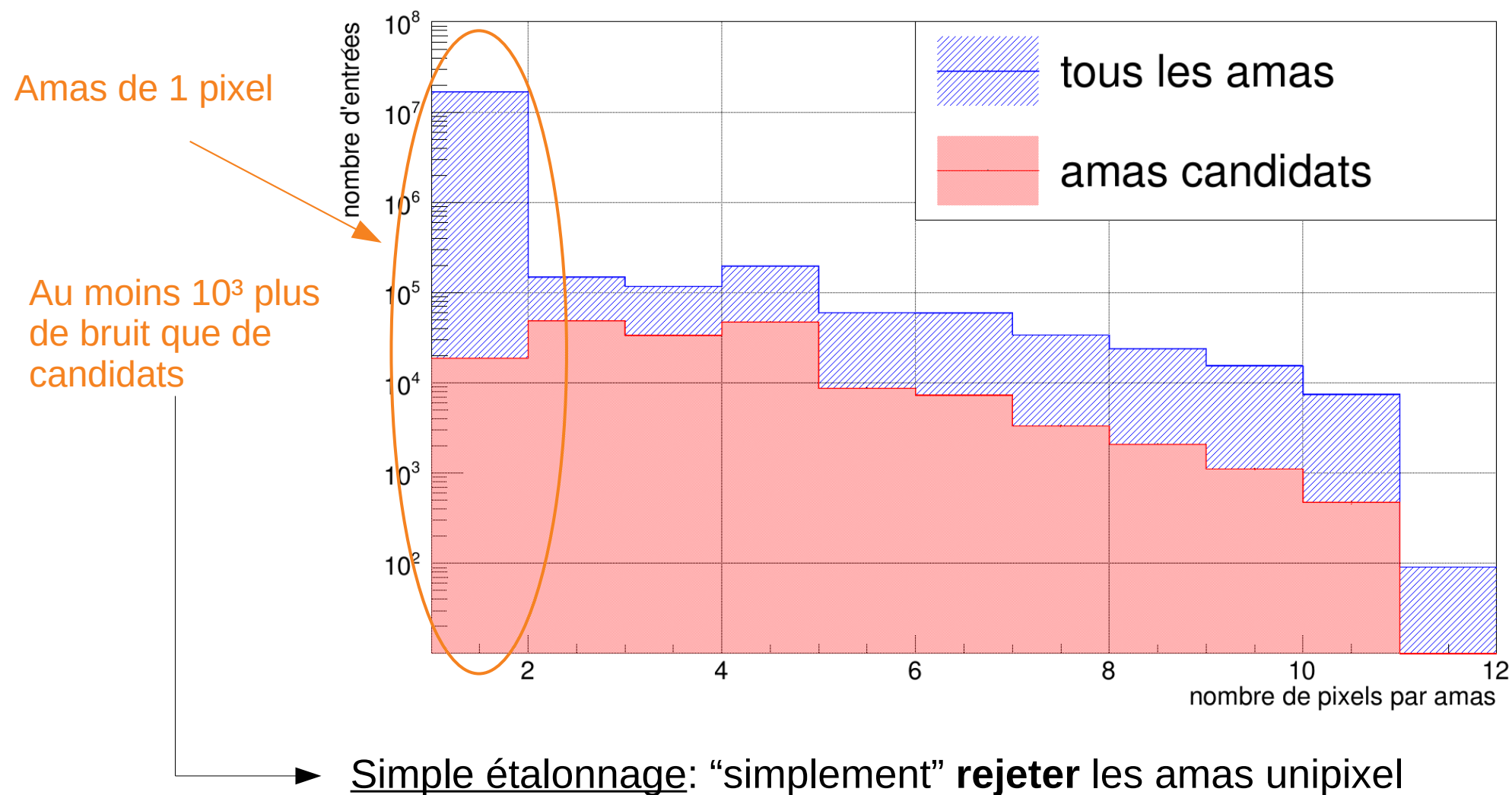
Simple étalonnage



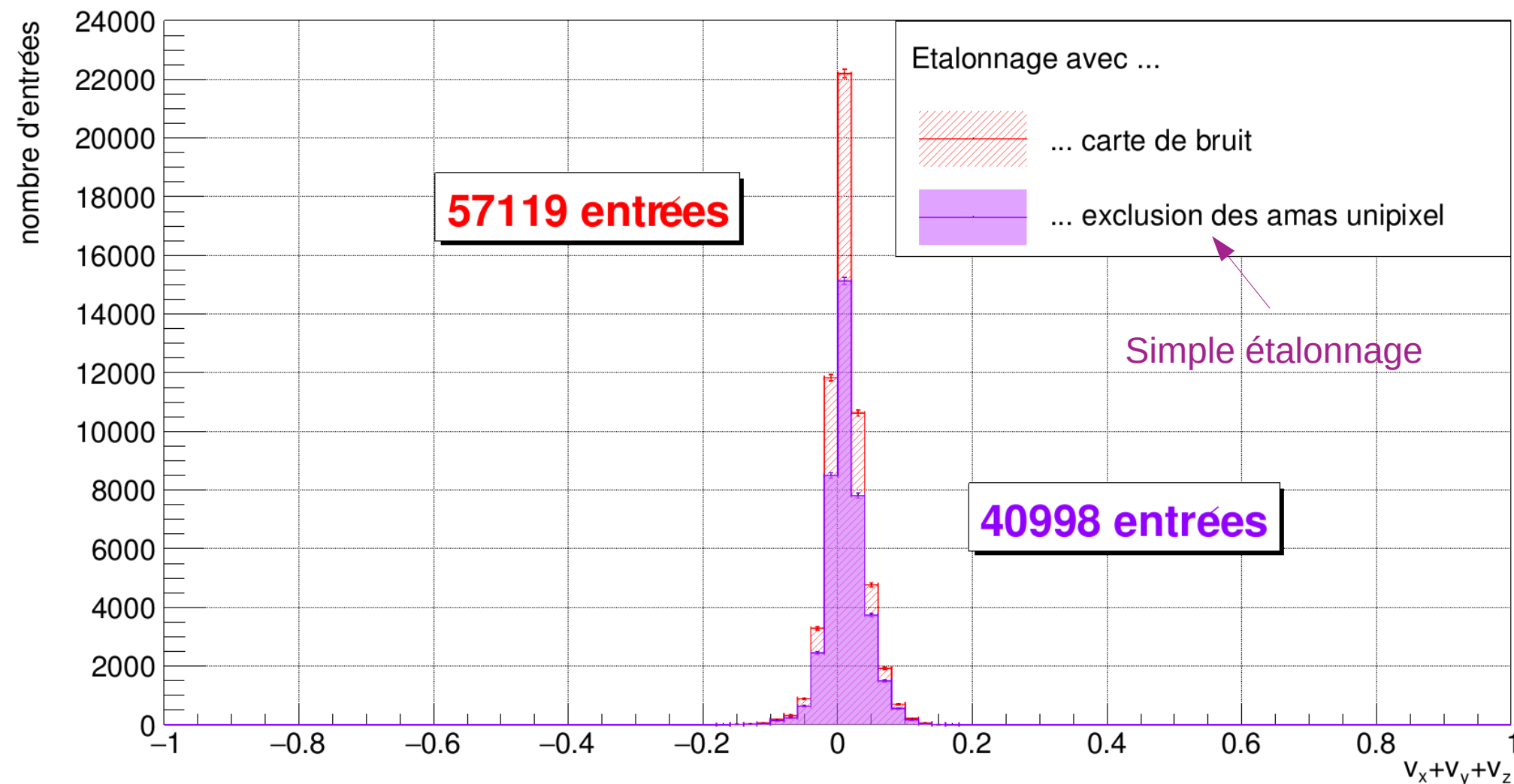
Simple étalonnage



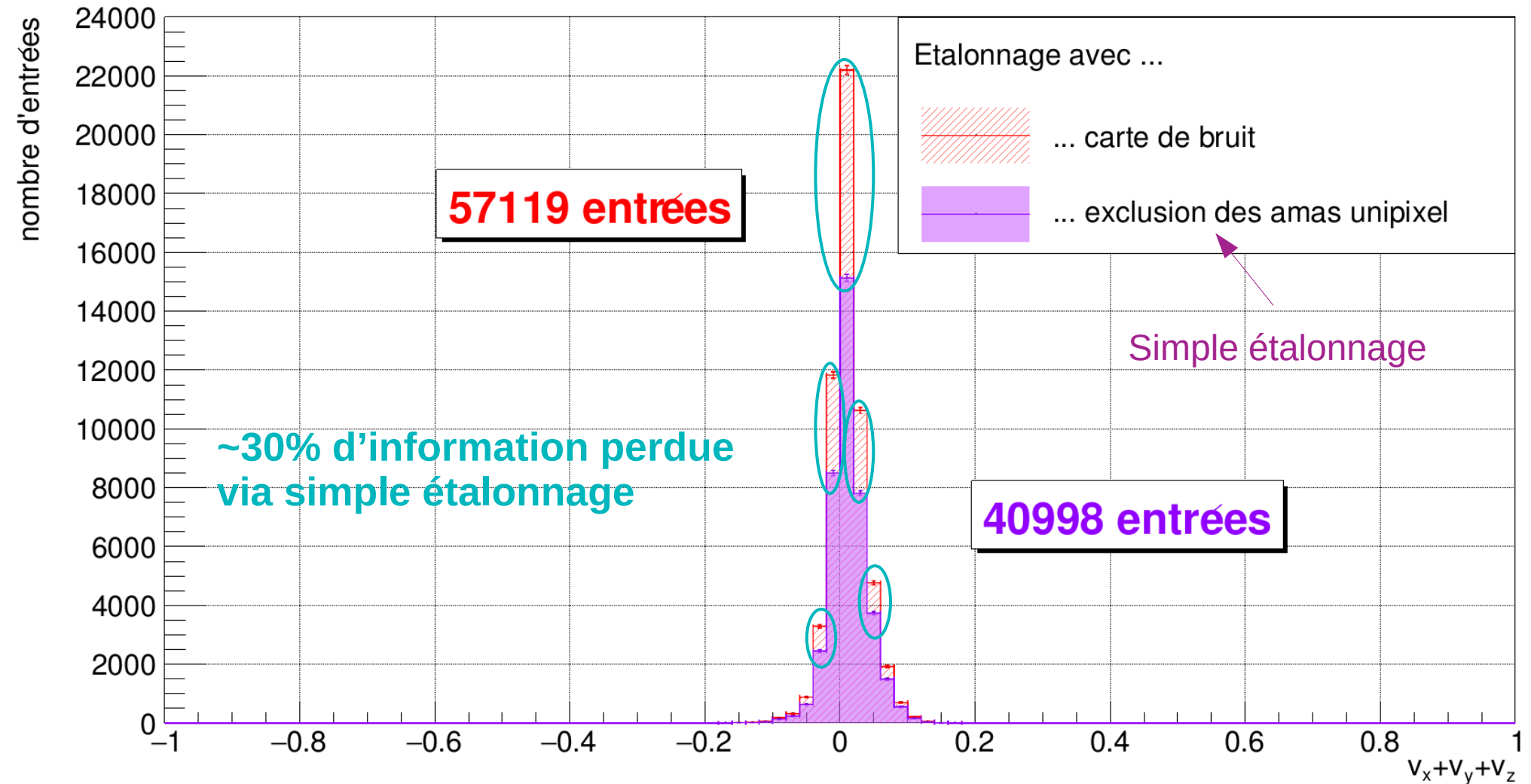
Simple étalonnage



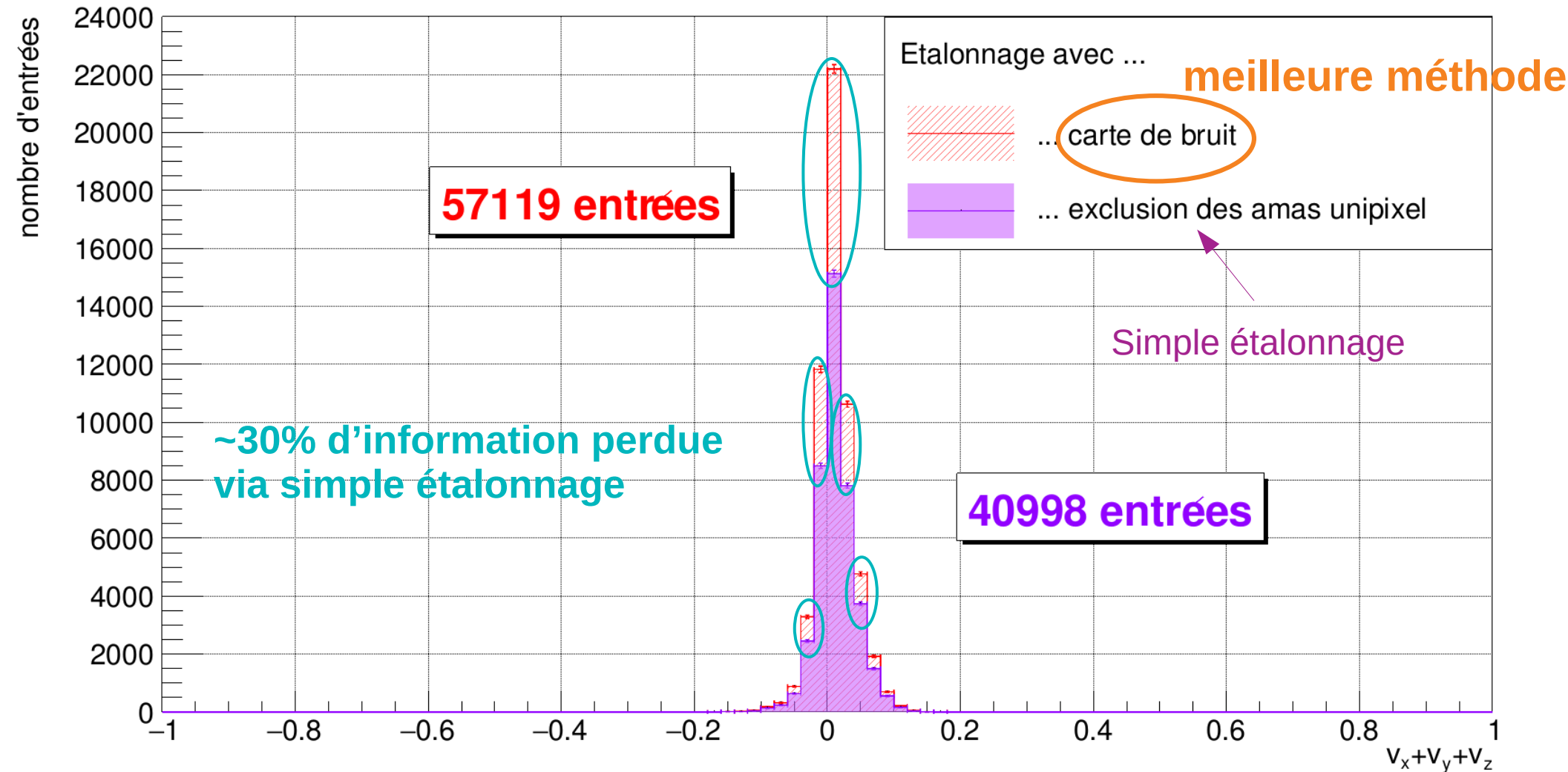
Simple étalonnage



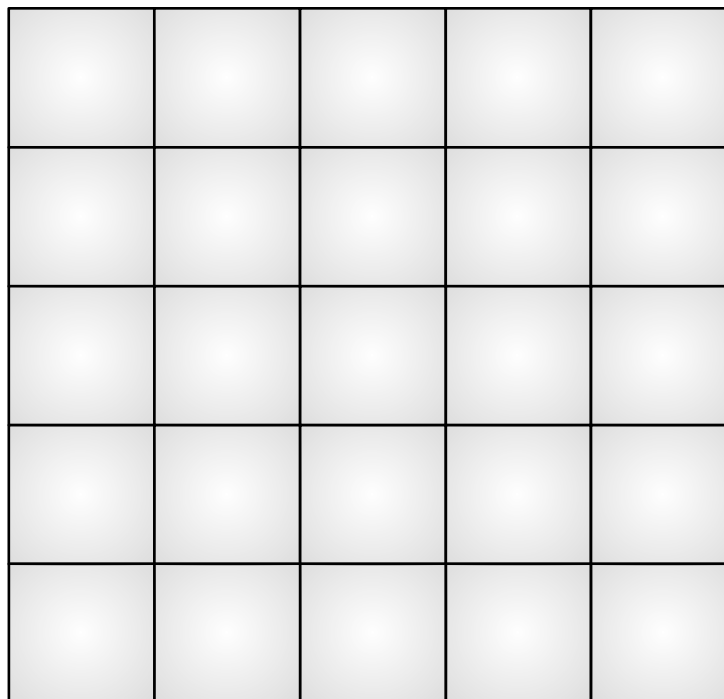
Simple étalonnage



Simple étalonnage

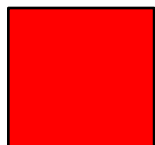


Carte de bruit

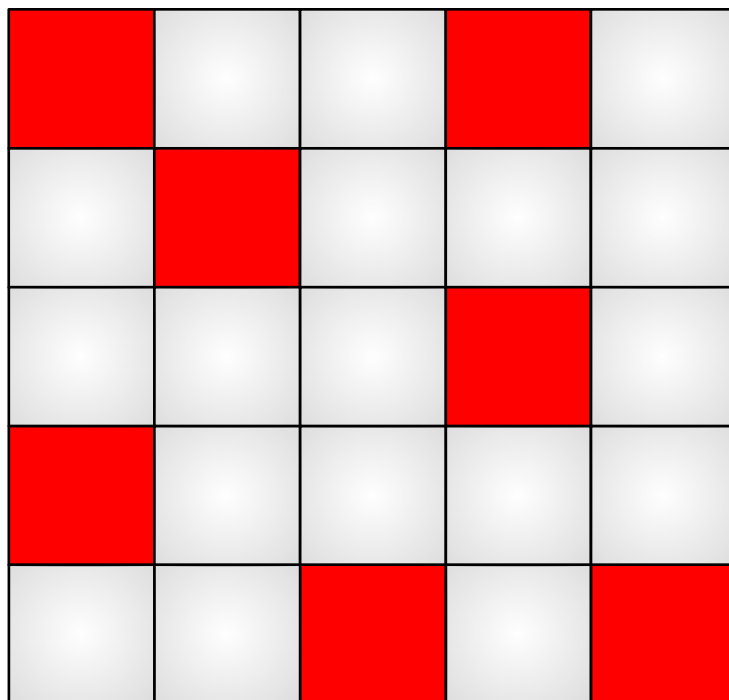


Carte de pixels

Carte de bruit

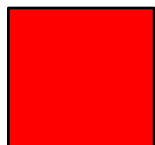


Pixel bruyant = pixel **activé 2 fois ou plus** lors d'une série de mesures

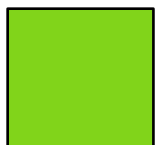


Carte de pixels

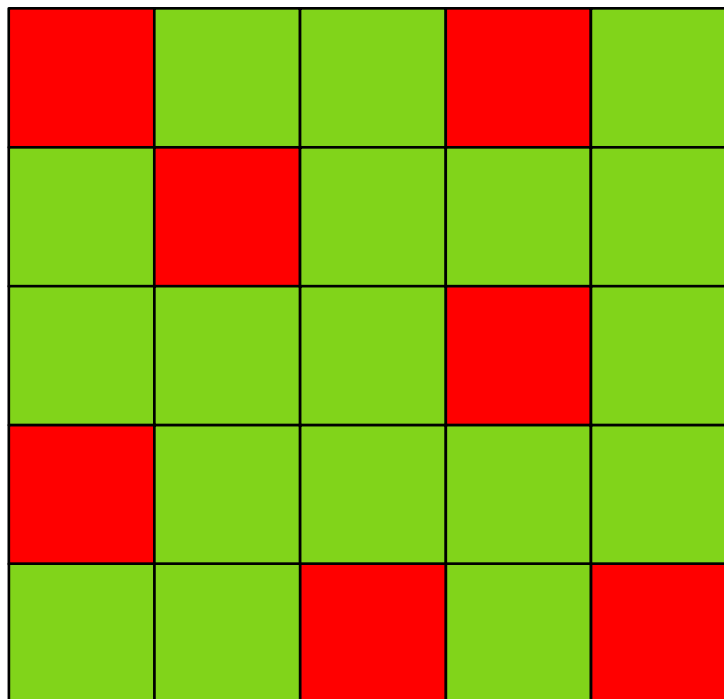
Carte de bruit



Pixel bruyant = pixel **activé 2 fois ou plus** lors d'une série de mesures

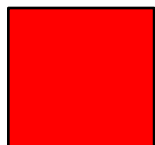


Pixel **activé une fois ou non activé**

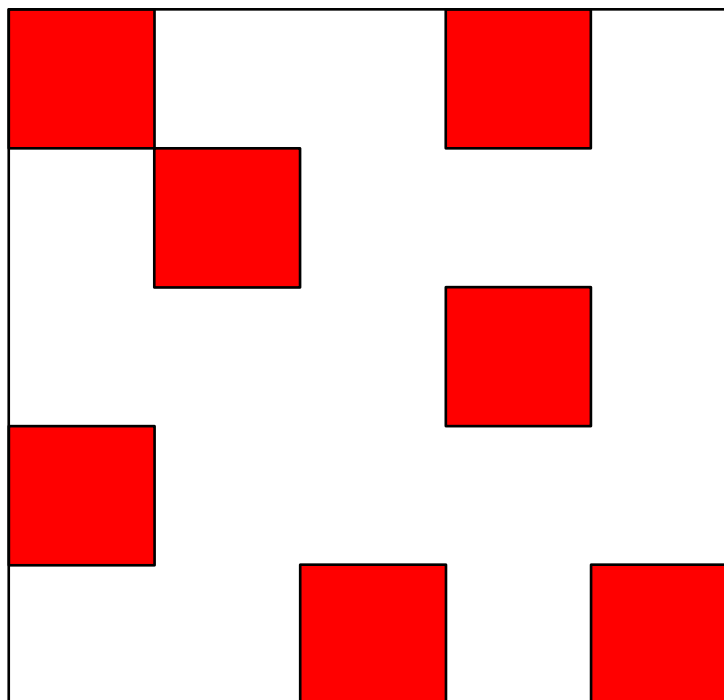


Carte de pixels

Carte de bruit



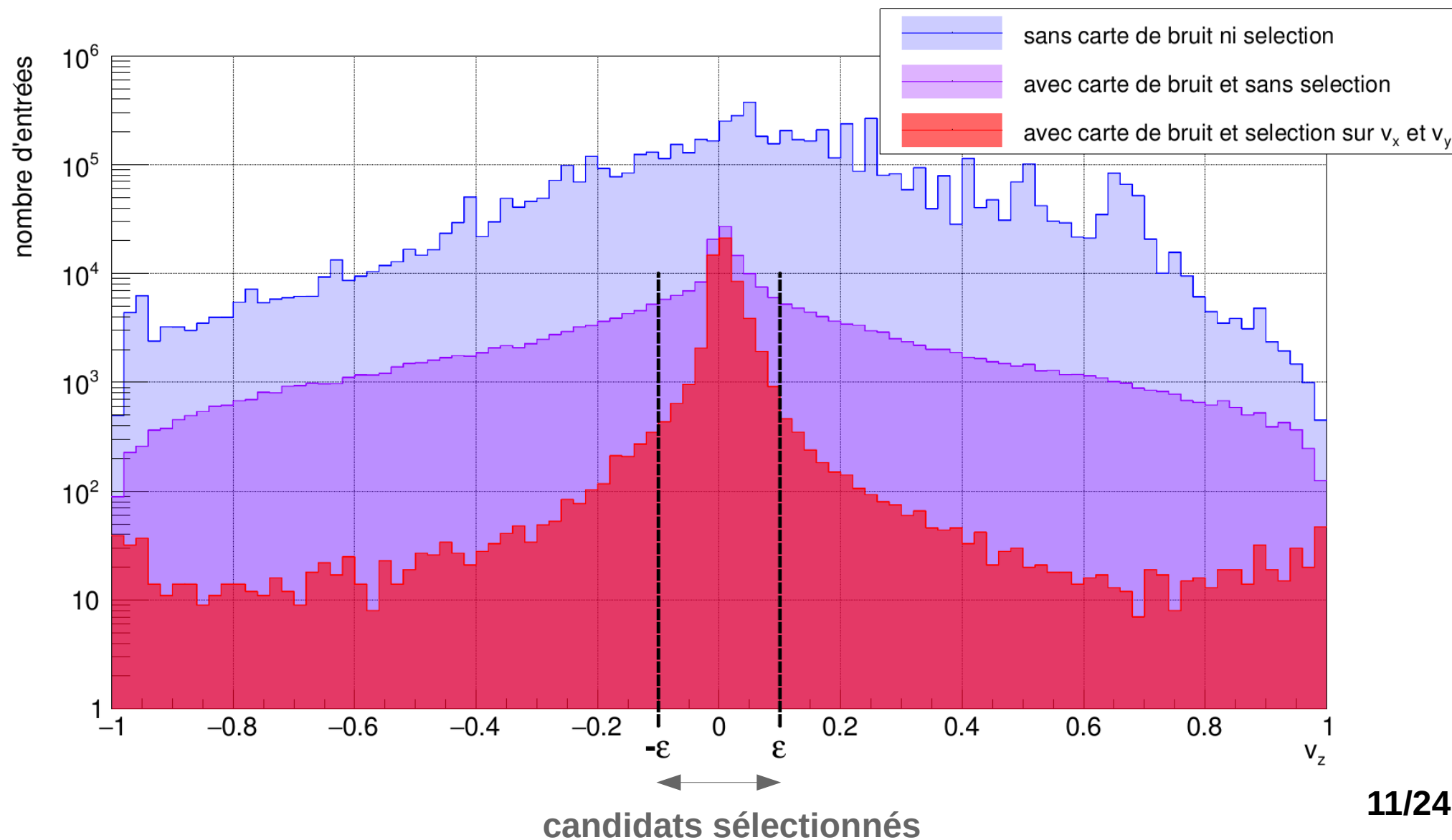
Pixel bruyant = pixel **activé 2 fois ou plus** lors d'une série de mesures



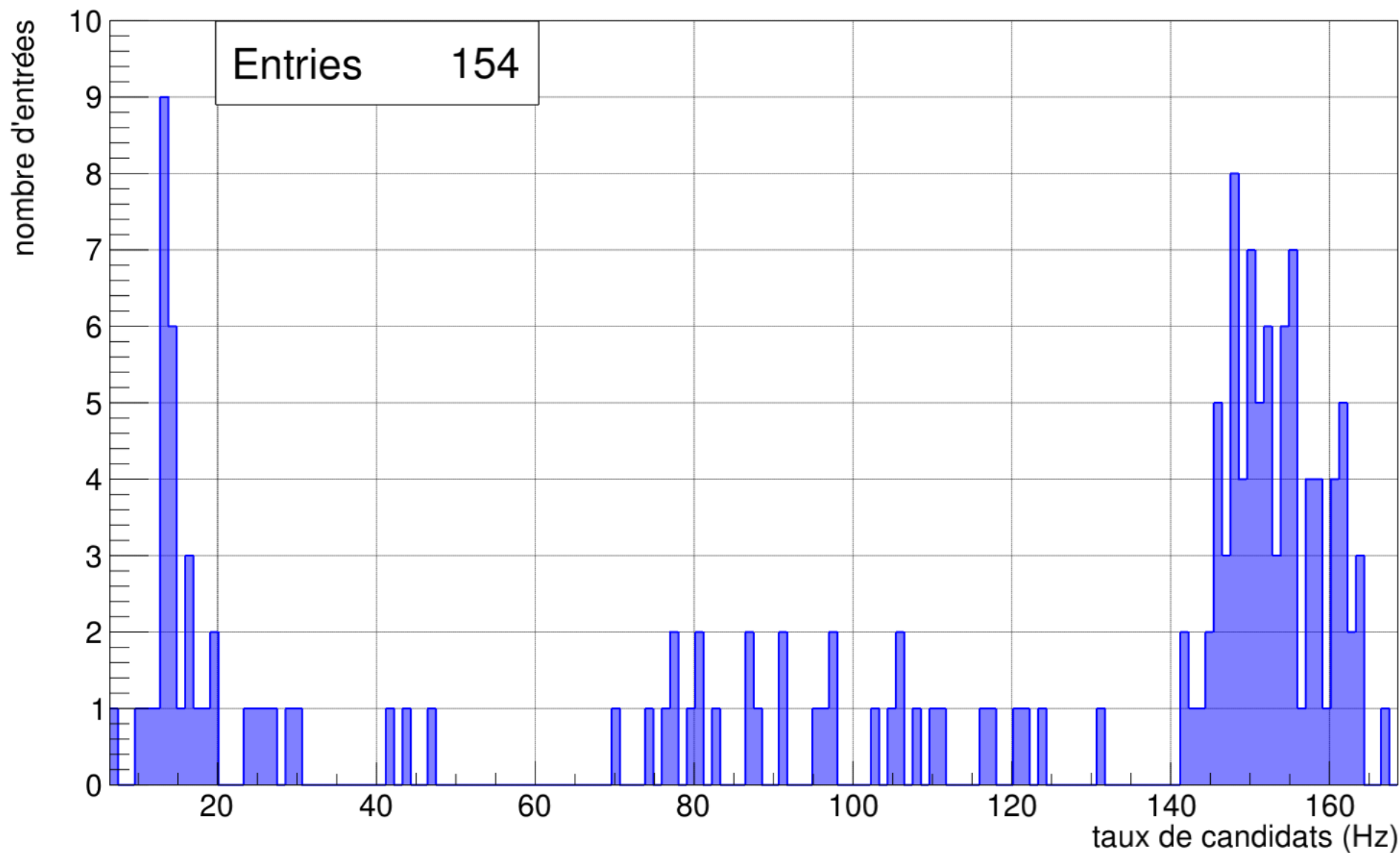
← Carte **de bruit**

(Identité des pixels)
(Position des pixels)

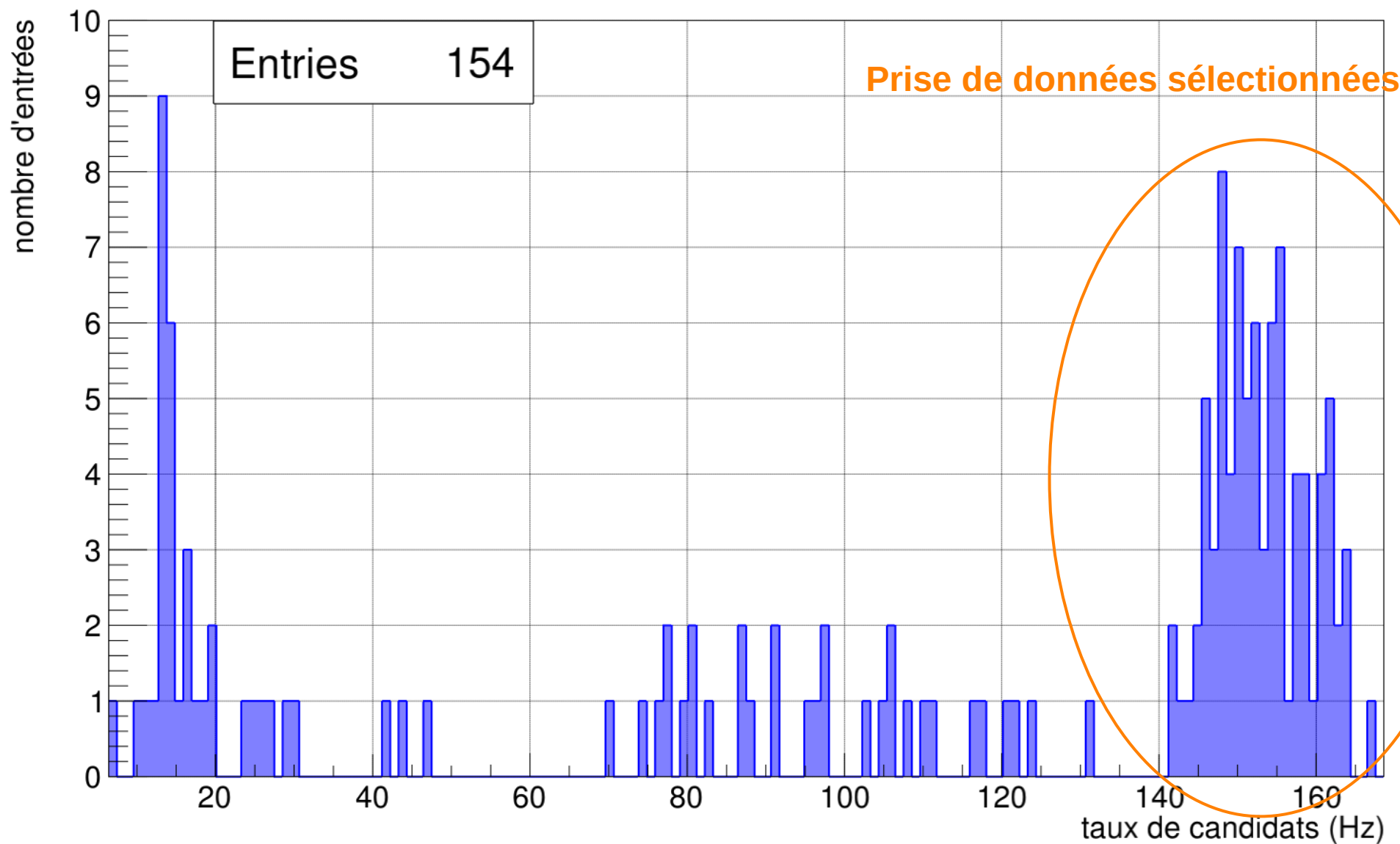
Suppression et sélection



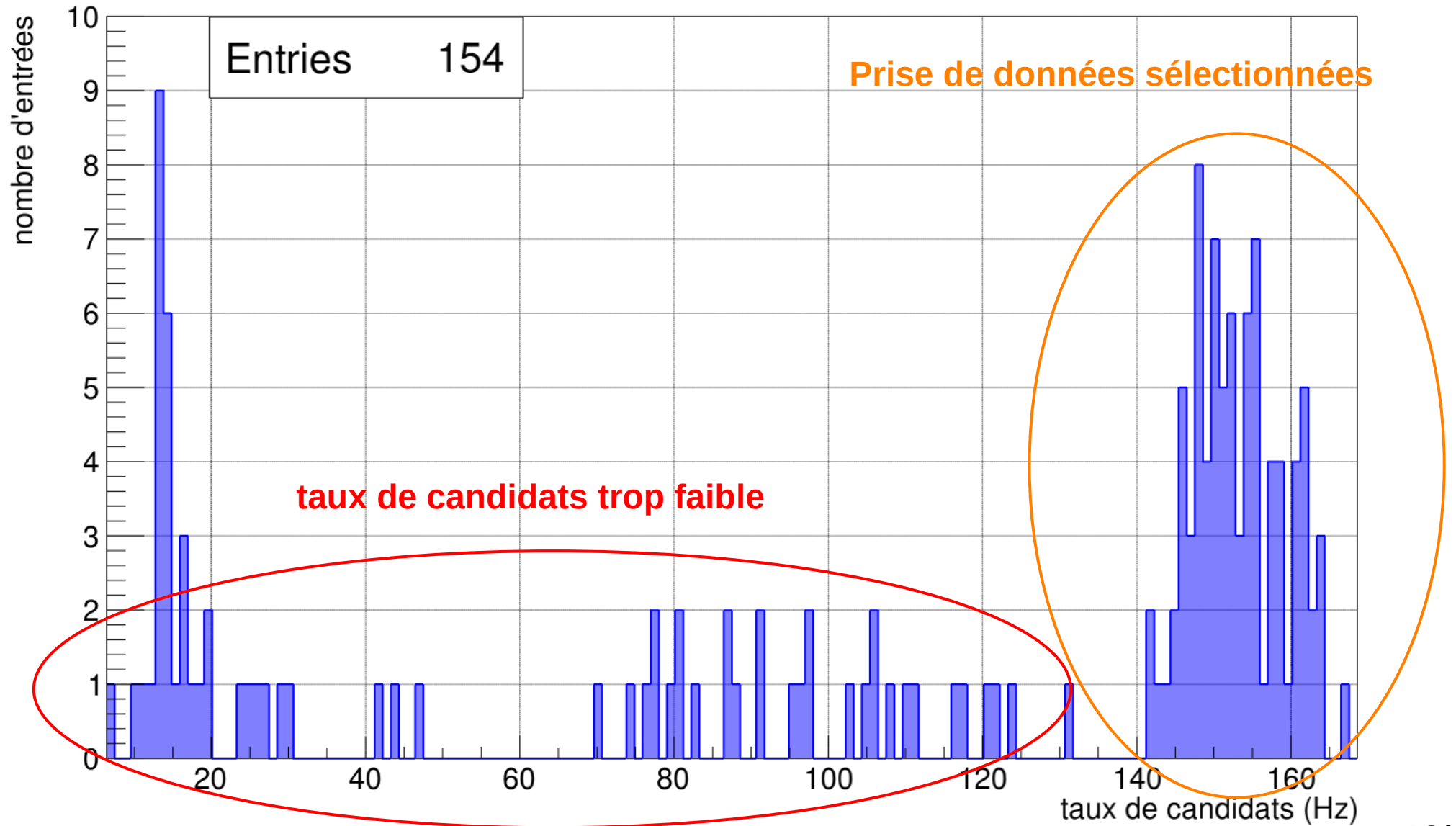
Sélection sur le taux de candidats



Sélection sur le taux de candidats

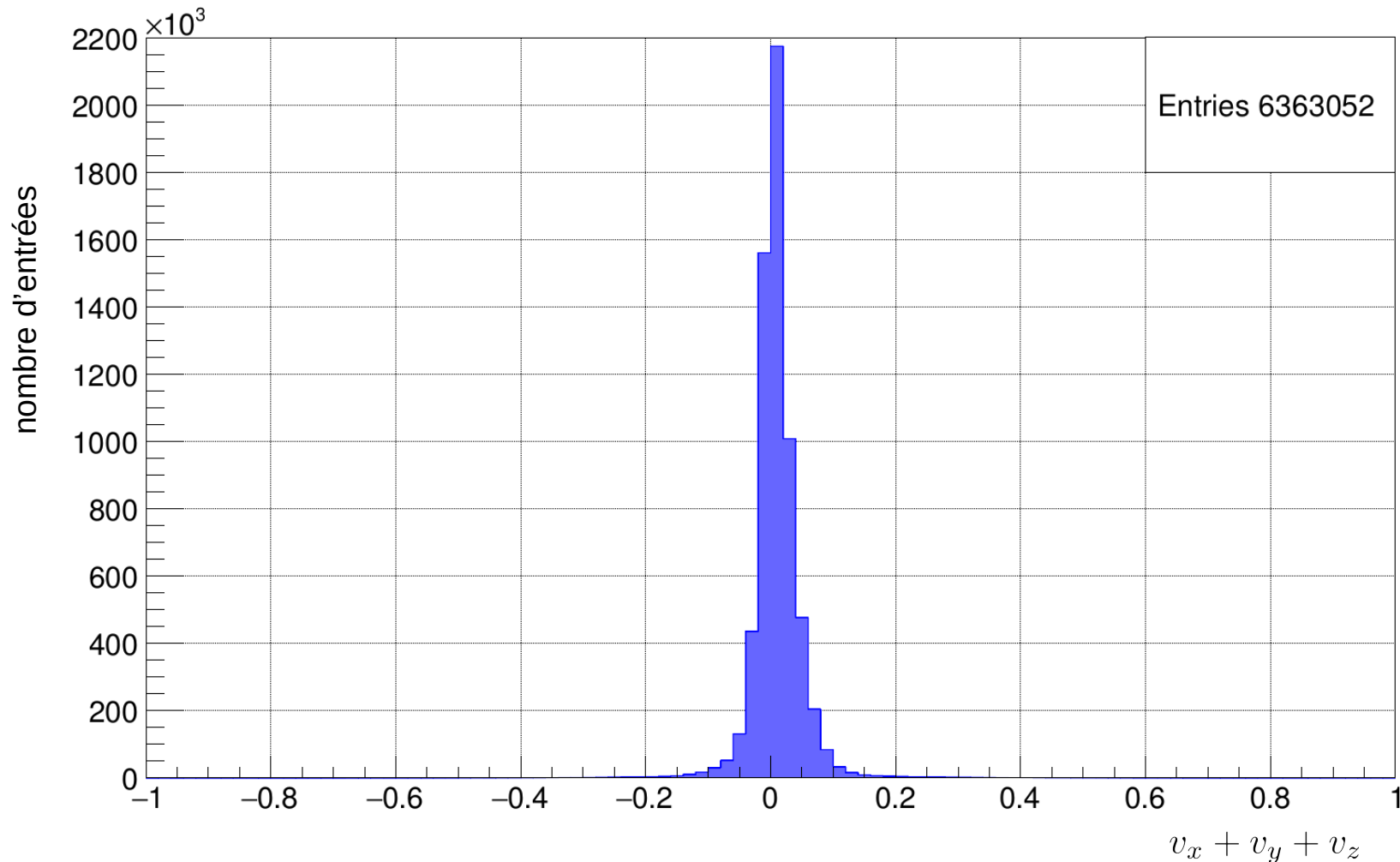


Sélection sur le taux de candidats



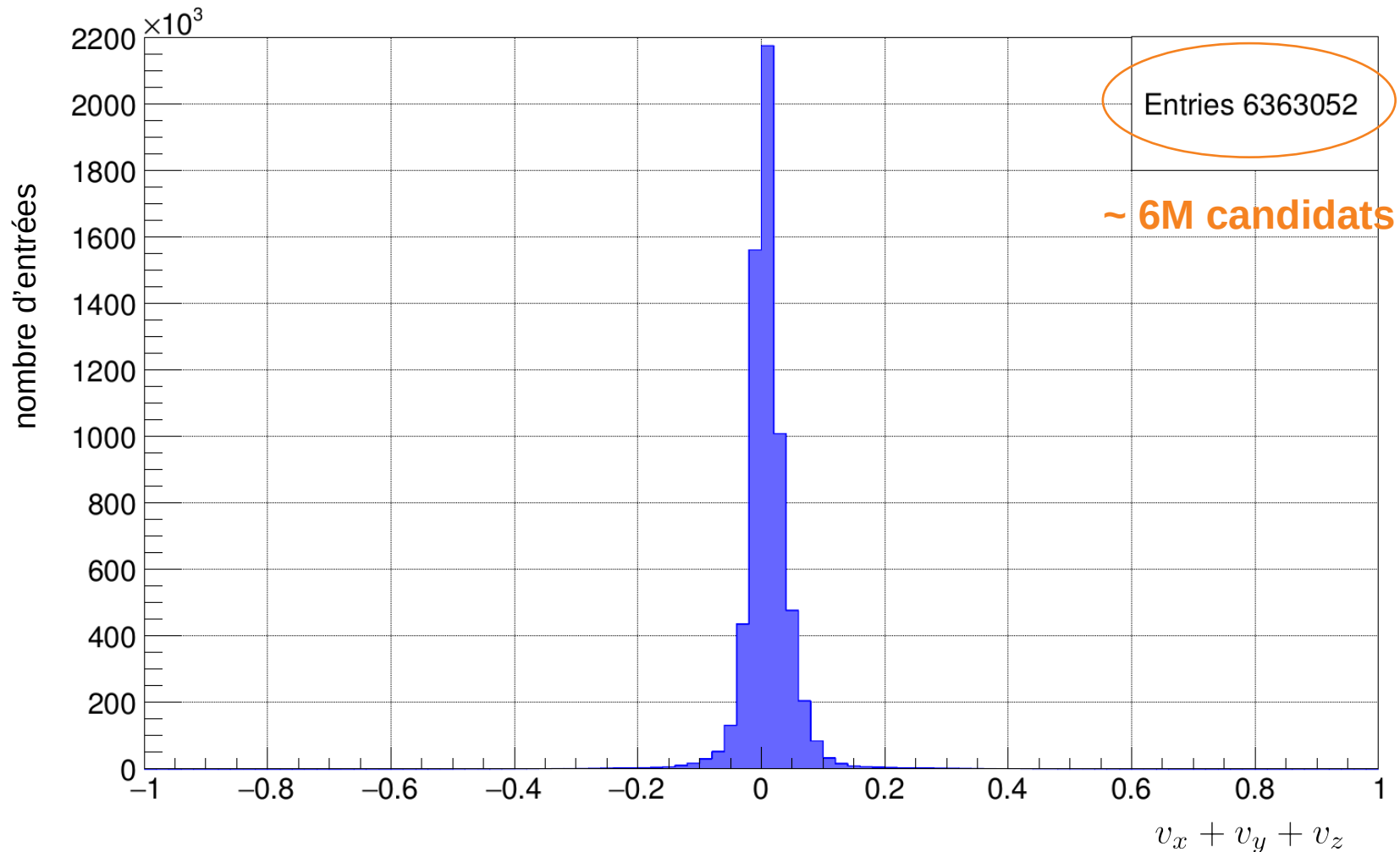
Pic de corrélation

- Carte de bruit
- Sélection des candidats



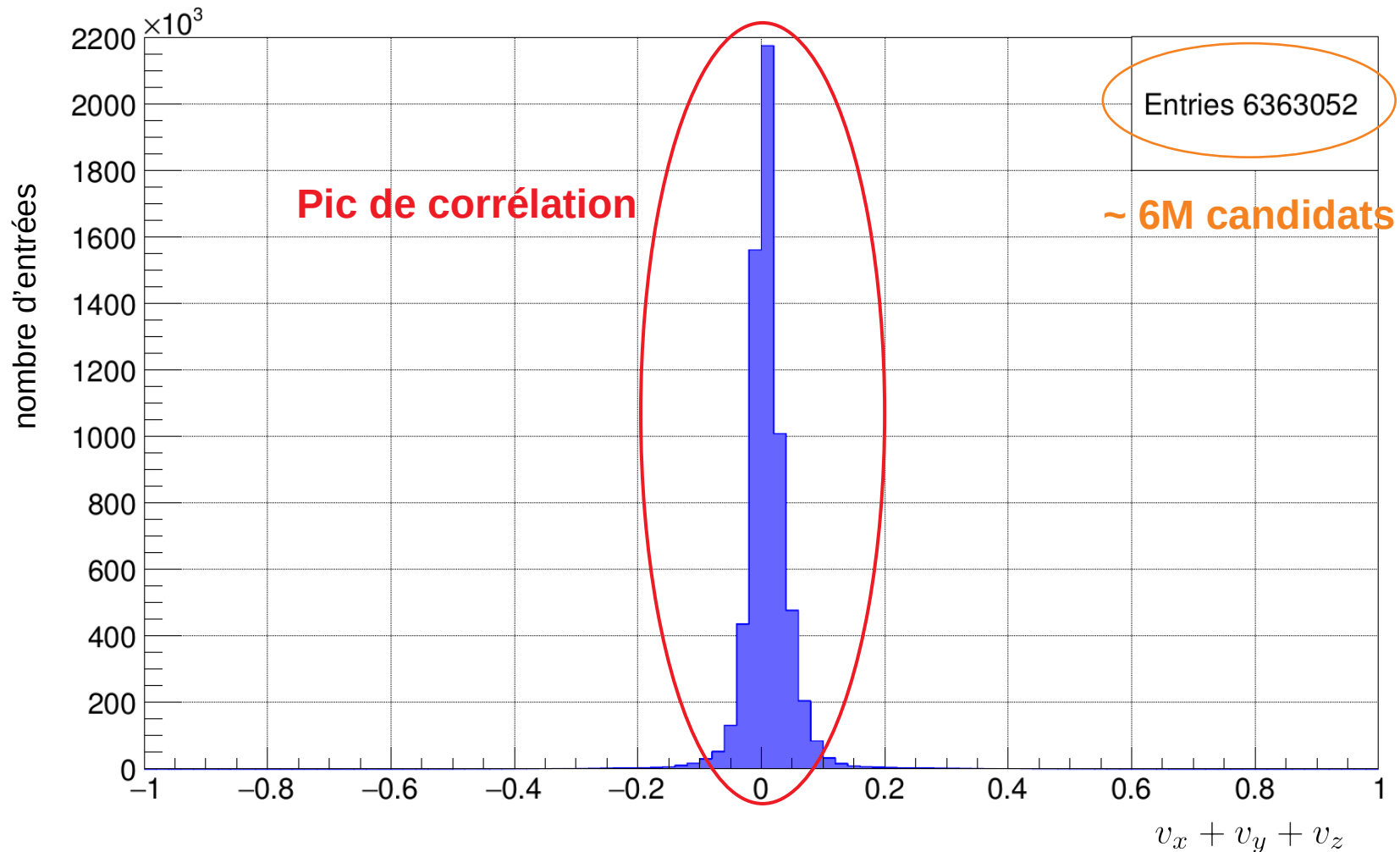
Pic de corrélation

- Carte de bruit
- Sélection des candidats



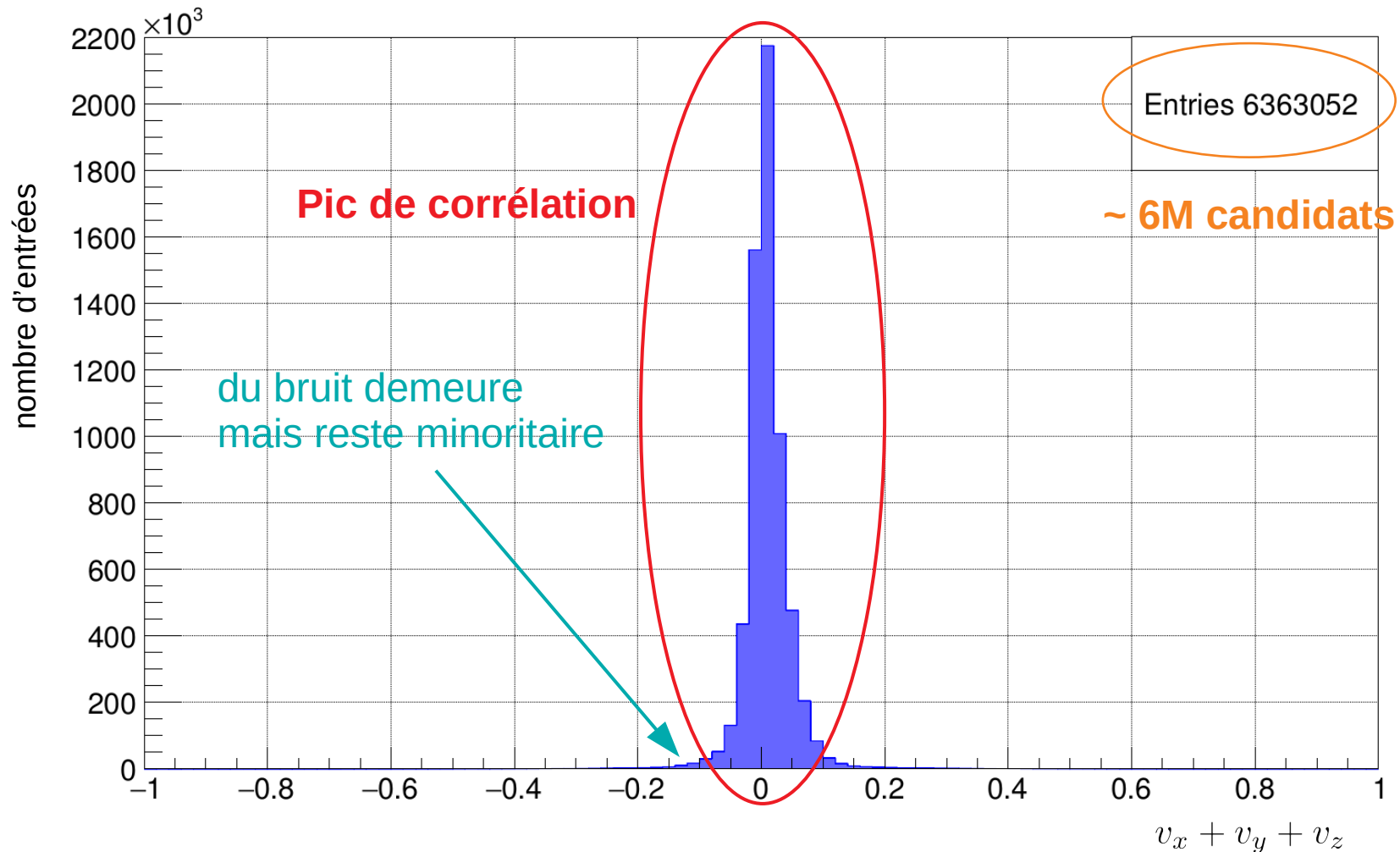
Pic de corrélation

- Carte de bruit
- Sélection des candidats



Pic de corrélation

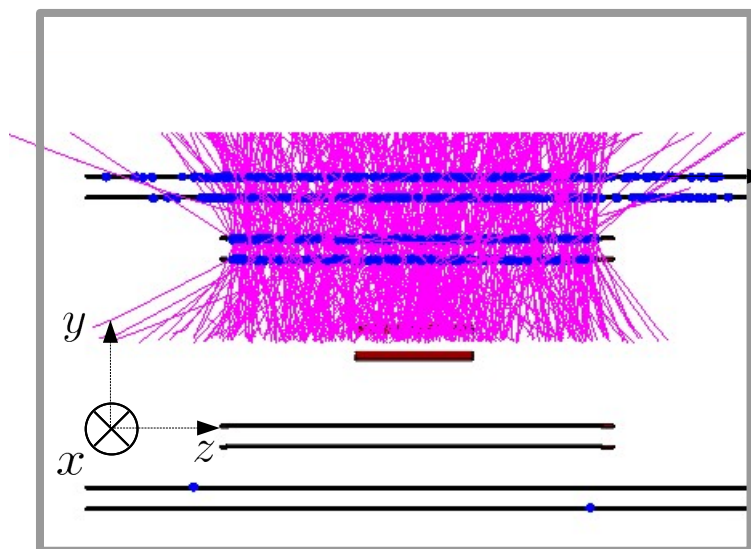
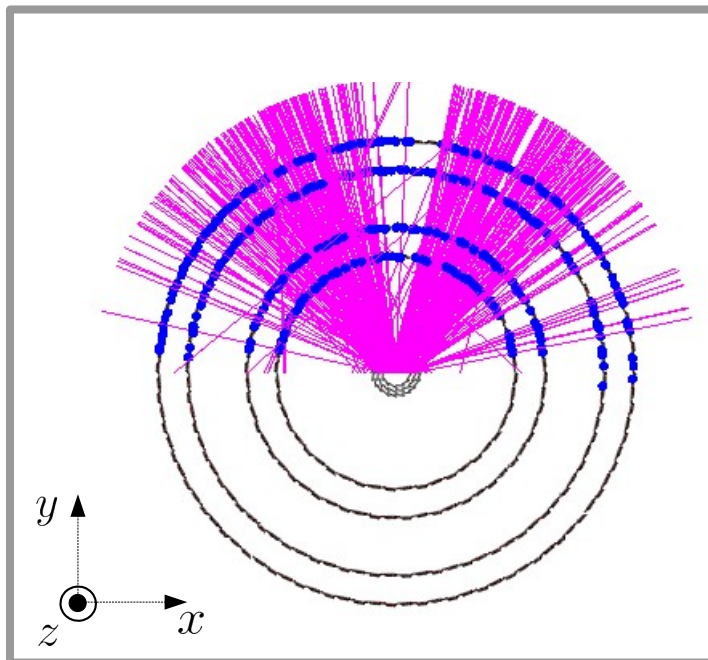
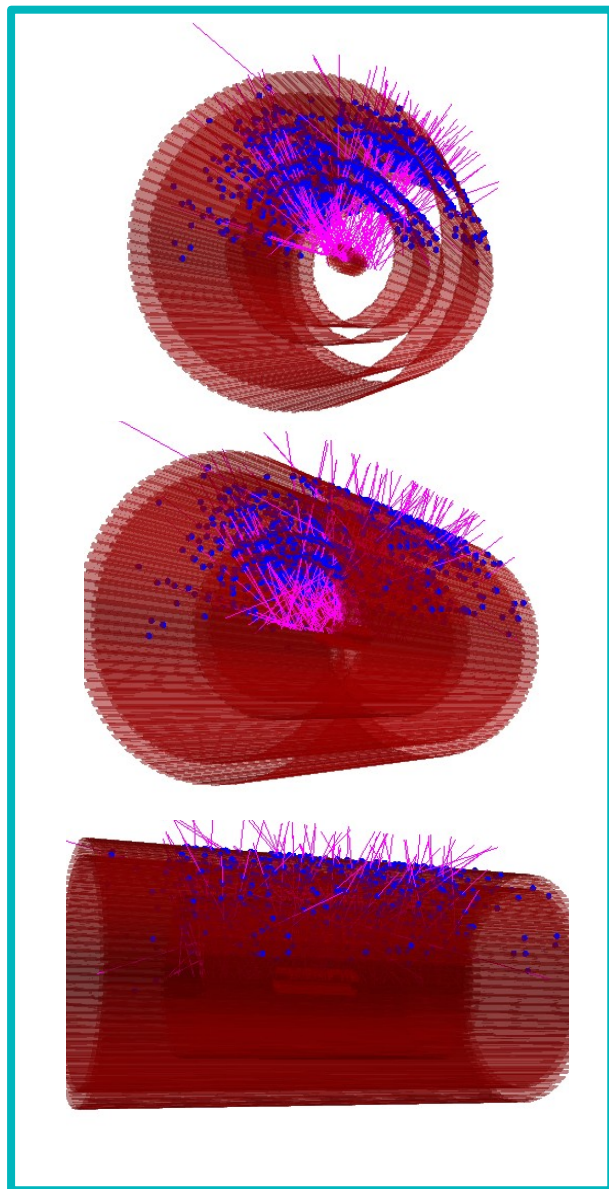
- Carte de bruit
- Sélection des candidats



Angles d'inclinaison

Vue du plan (x,y)

Vue 3D

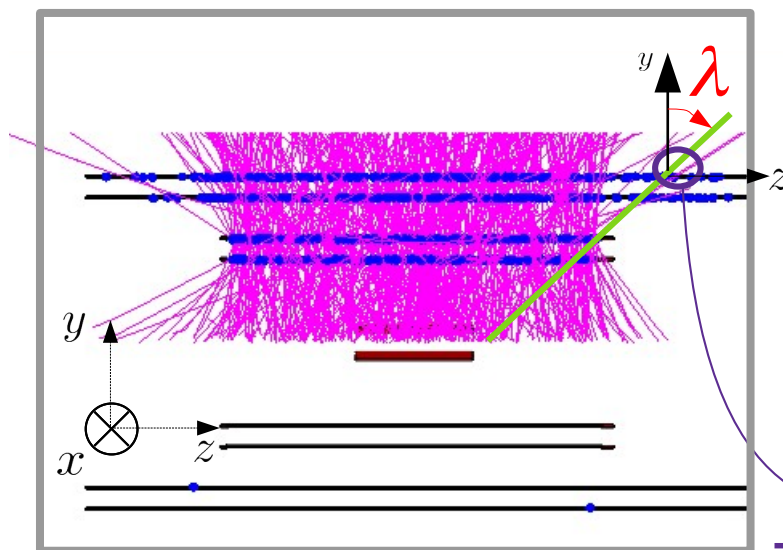
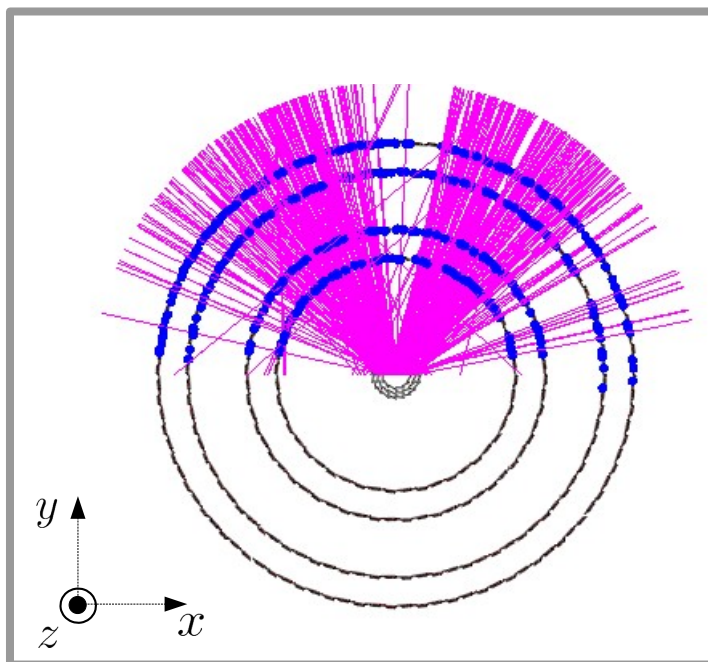
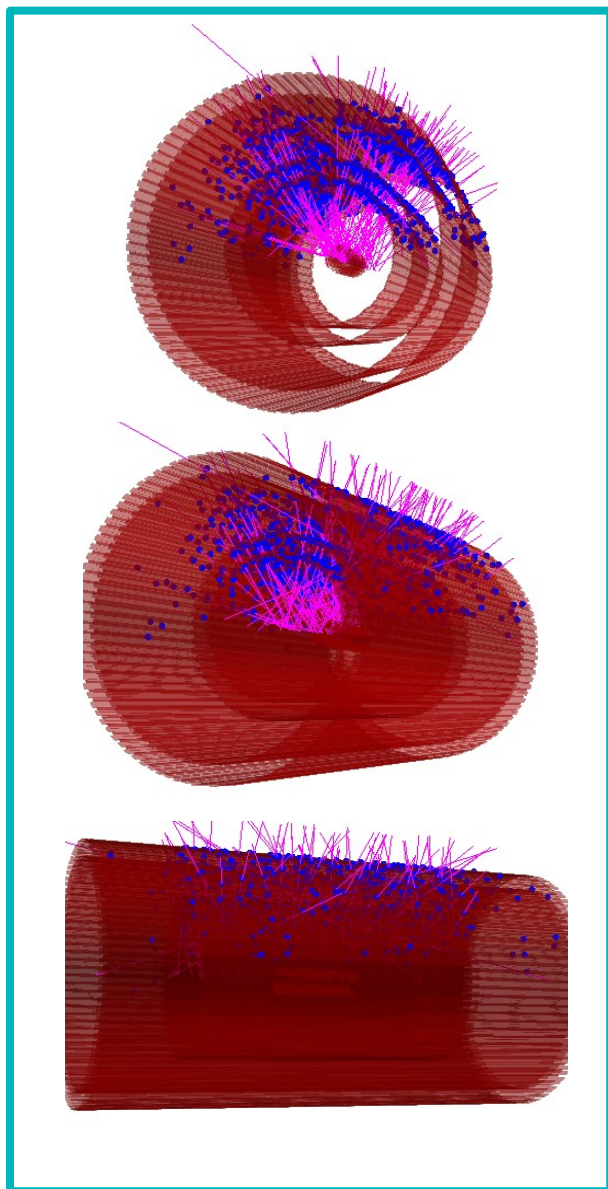


Vue du plan (y,z)

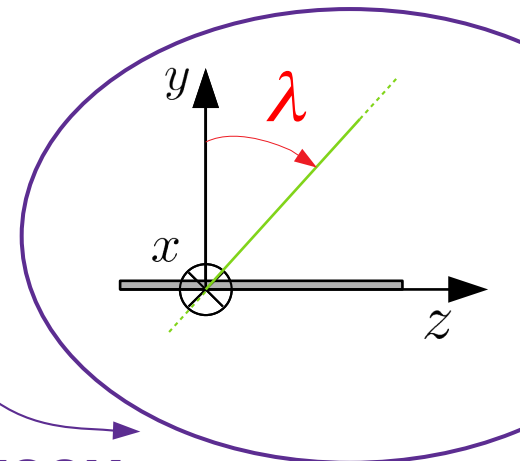
Angles d'inclinaison

Vue du plan (x,y)

Vue 3D



ZOOM



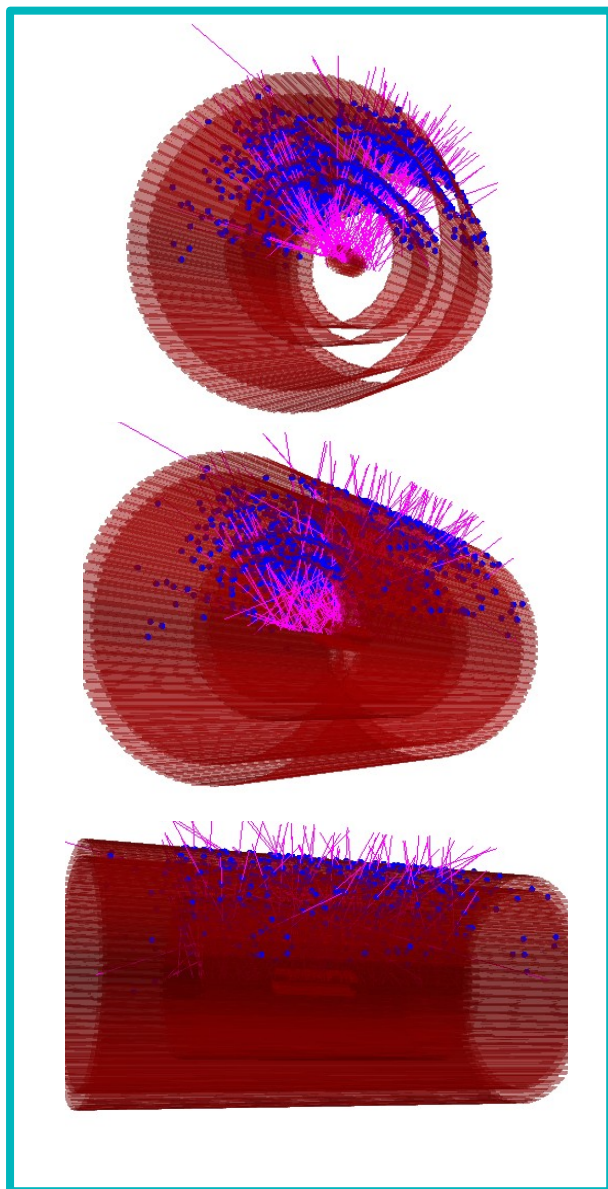
Vue du plan (y,z)

14/24

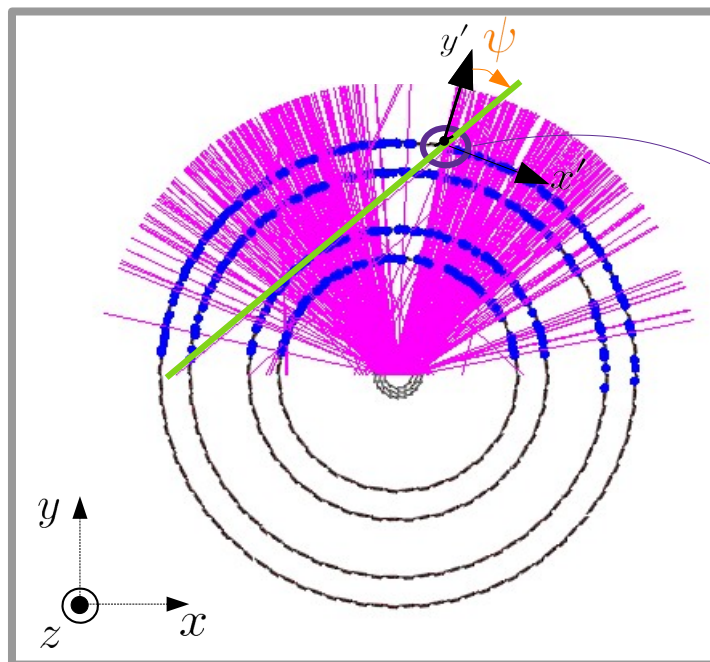


Angles d'inclinaison

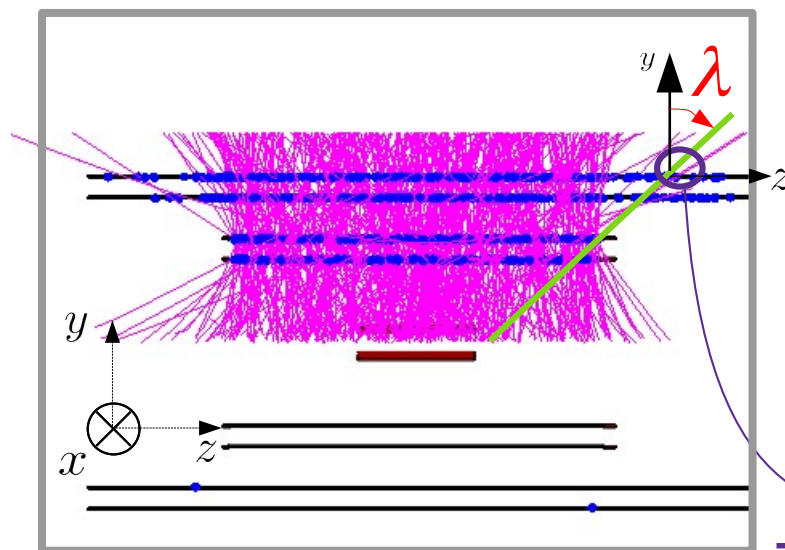
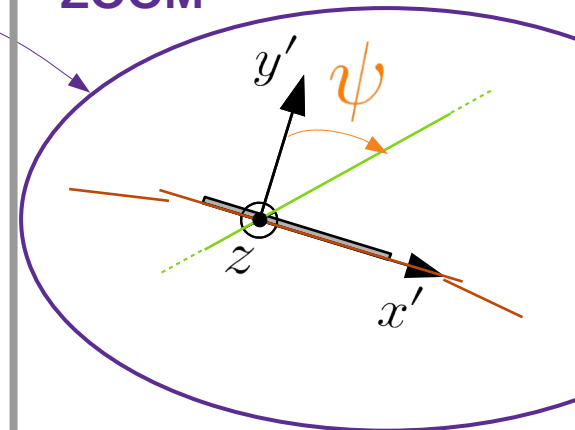
Vue 3D



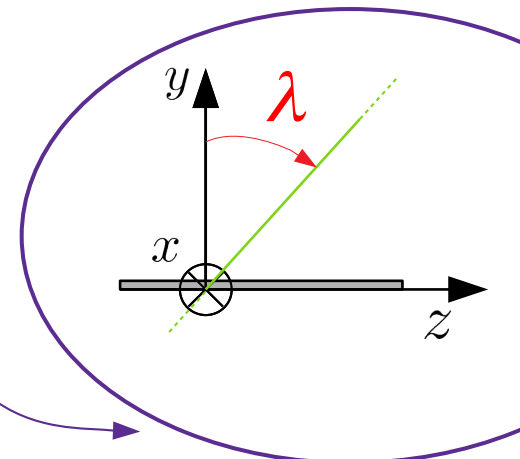
Vue du plan (x,y)



ZOOM



ZOOM



Vue du plan (y,z)

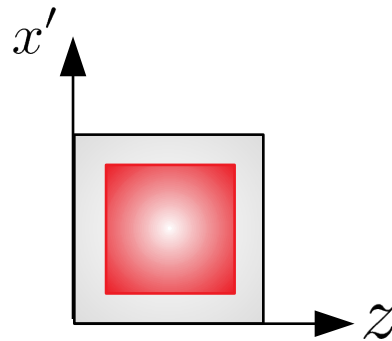
I) Sélection des traces candidates

II) Analyse de la forme des amas

III) Comparaison avec les données Monte-Carlo

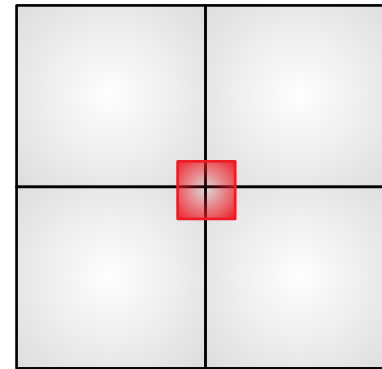
Motivations

- ◆ Certaines formes offrent une meilleure précision de détection



$$\sigma_z \sim \frac{d_z}{\sqrt{12}}$$

$$\sigma_{x'} \sim \frac{d_{x'}}{\sqrt{12}}$$



$$\sigma_z \ll \frac{d_z}{\sqrt{12}}$$

$$\sigma_{x'} \ll \frac{d_{x'}}{\sqrt{12}}$$

- ◆ Aide l'algorithme de reconstruction des traces

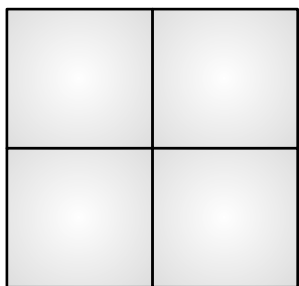
Exemple d'assignation amas-trace

Exemple d'assignation amas-trace

- Trace reconstruite à la couche 5 et l'algorithme cherche le prochain amas sur la couche 4.

Exemple d'assignation amas-trace

- Trace reconstruite à la couche 5 et l'algorithme cherche le prochain amas sur la couche 4.
- Plusieurs amas sont envisageables:



ou

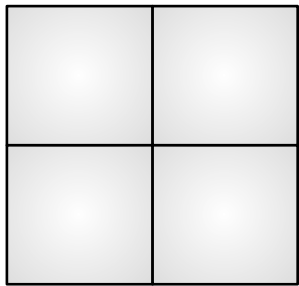


ou



Exemple d'assignation amas-trace

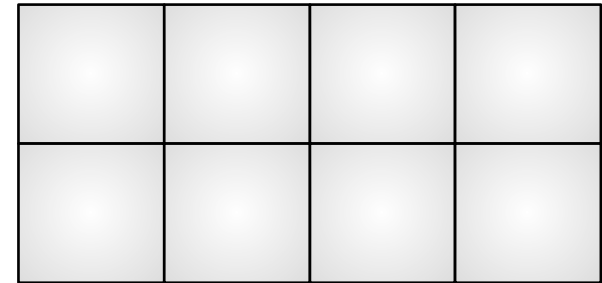
- Trace reconstruite à la couche 5 et l'algorithme cherche le prochain amas sur la couche 4.
- Plusieurs amas sont envisageables:



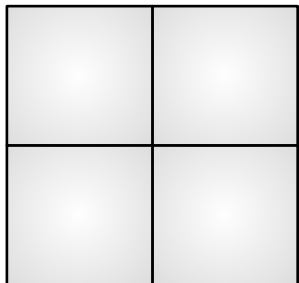
ou



ou



- La trace est orthogonale à la surface du détecteur → **distribution de formes d'amas en fonction de l'inclinaison** permet une sélection plus fine du prochain amas:



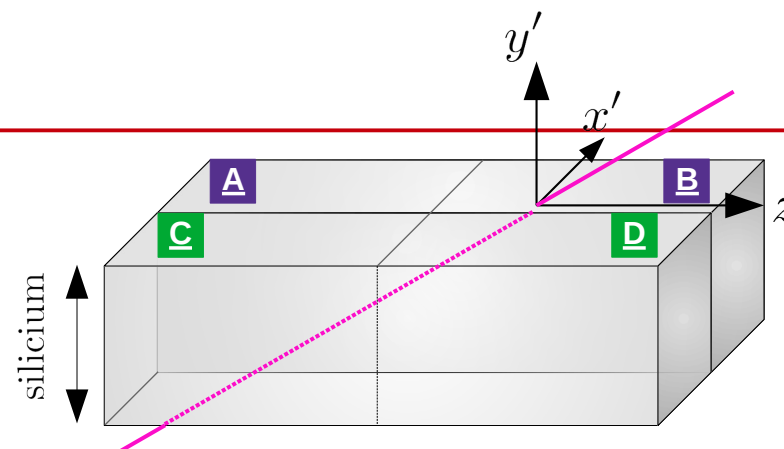
>



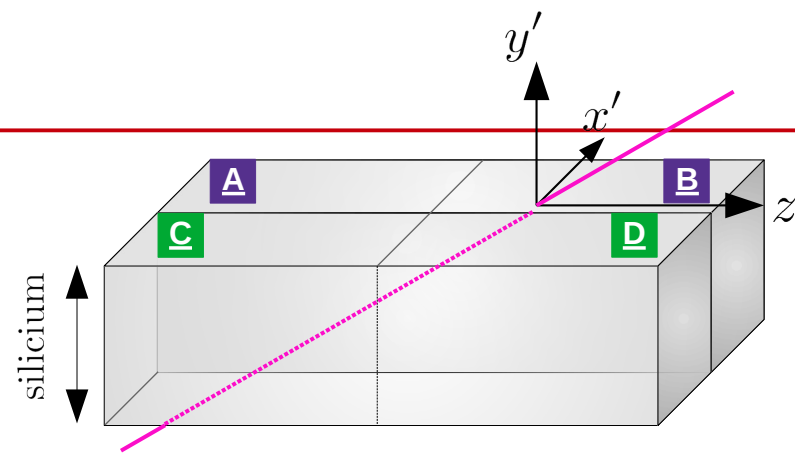
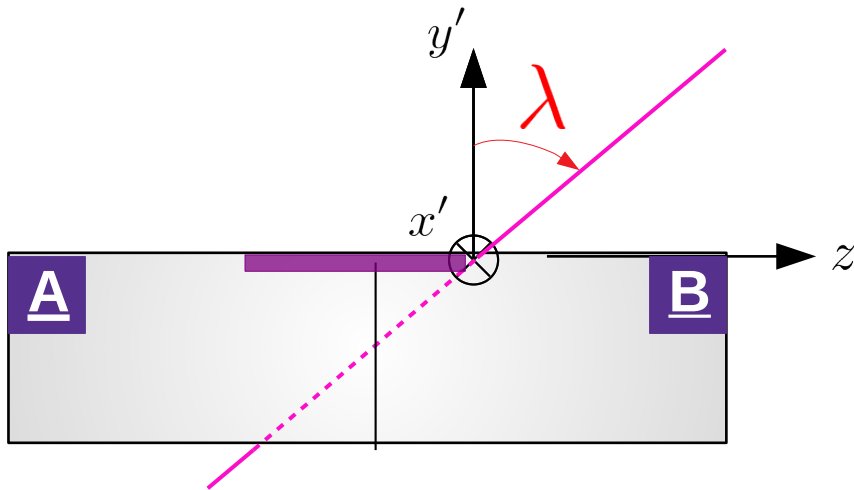
>



Exemple

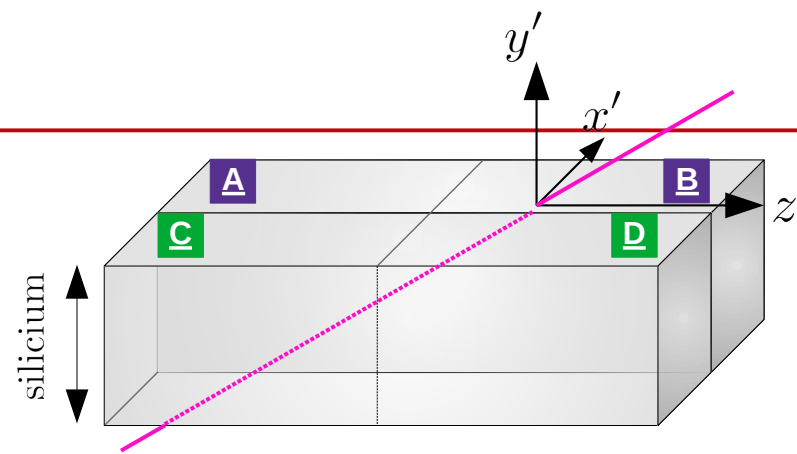
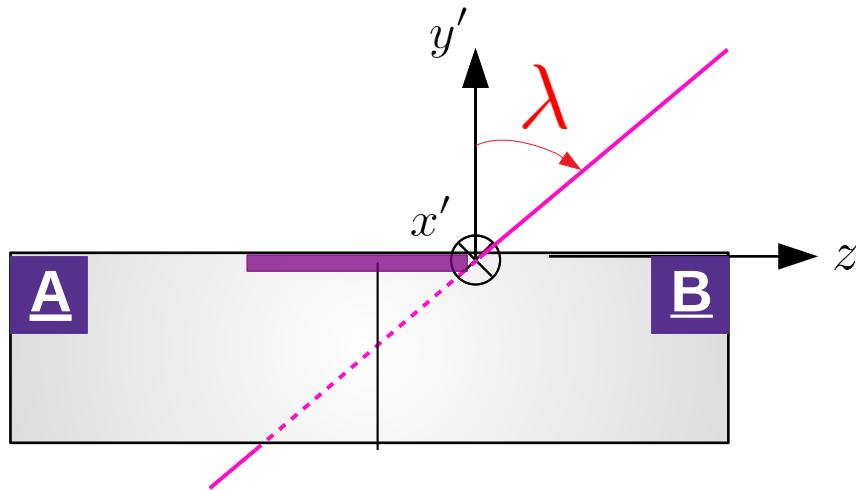


Example



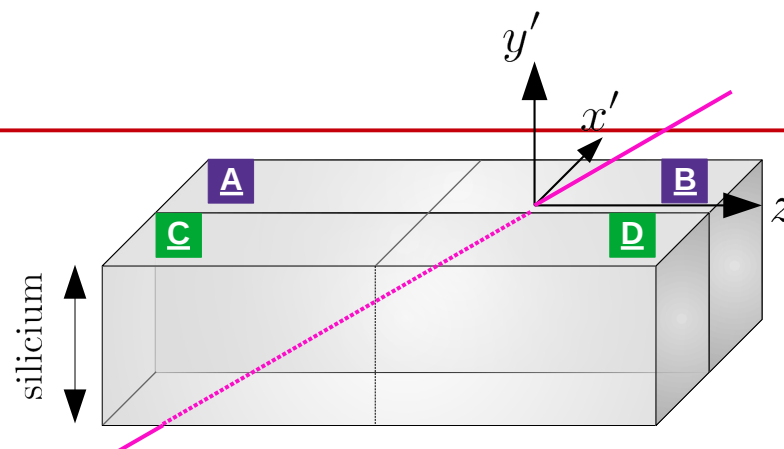
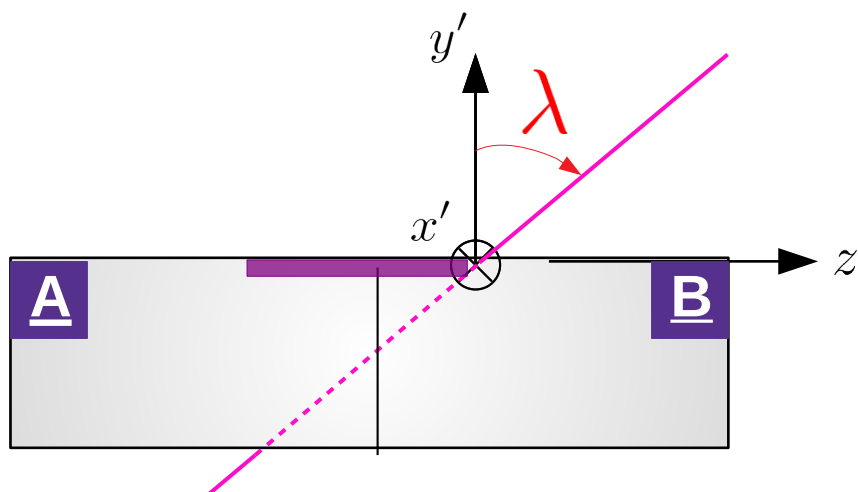
$$|\psi| = 0$$

Example

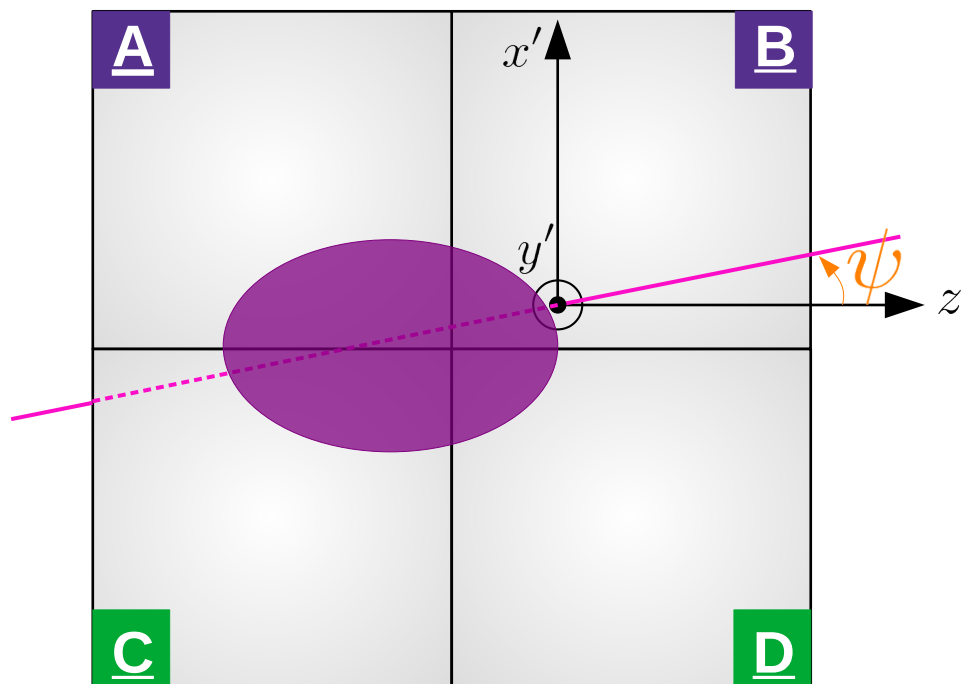


$$|\psi| = 0 \Rightarrow \begin{matrix} \text{A} & \& & \text{B} \\ \text{C} & \& & \text{D} \end{matrix}$$

Example

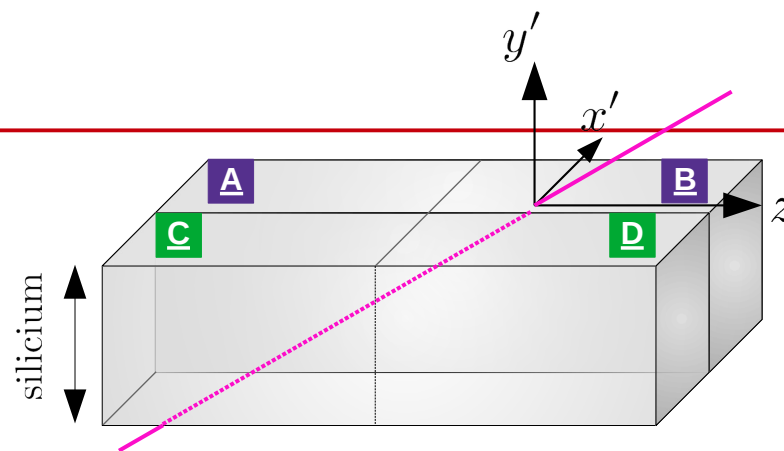
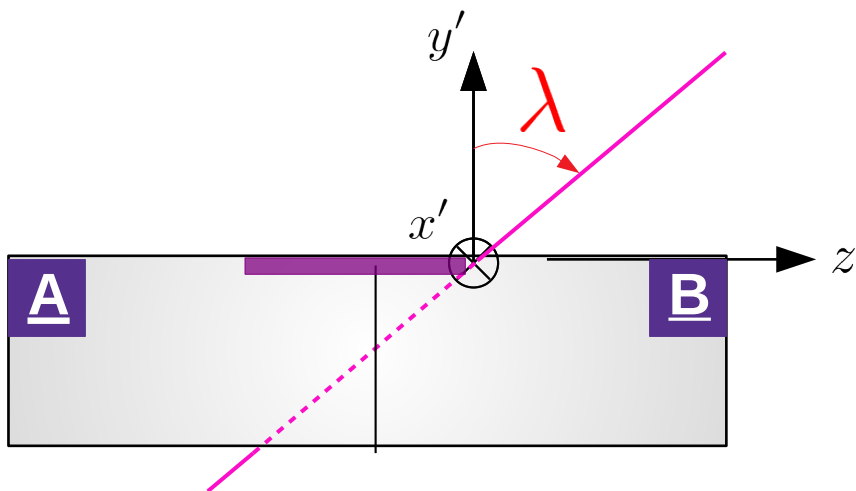


$$|\psi| = 0 \Rightarrow \begin{matrix} \text{A} & \& \text{B} \\ \text{C} & \& \text{D} \end{matrix}$$

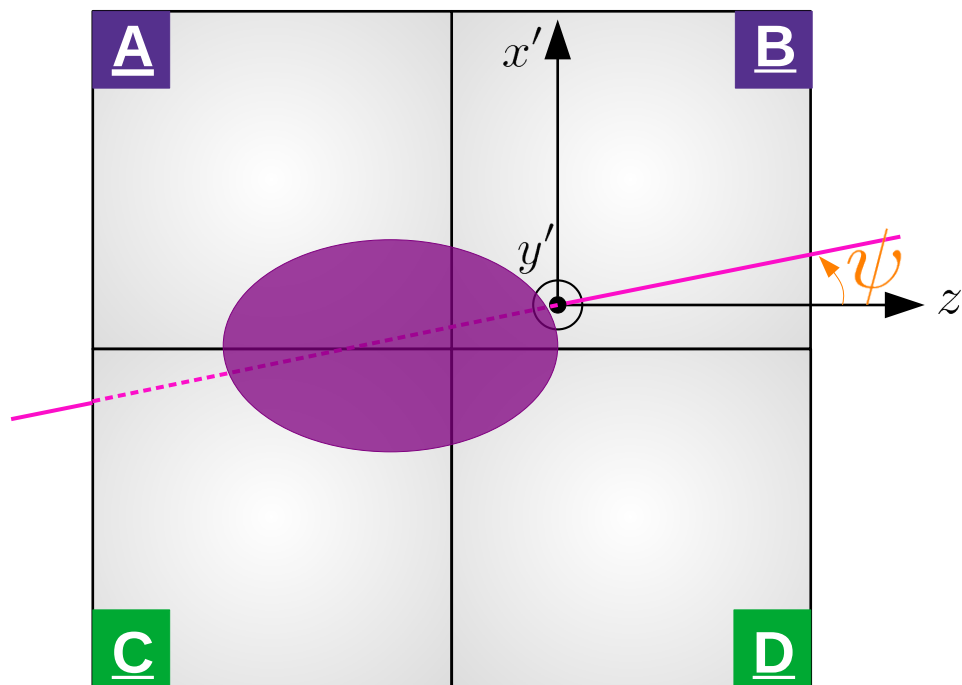


$$|\psi| > 0$$

Example



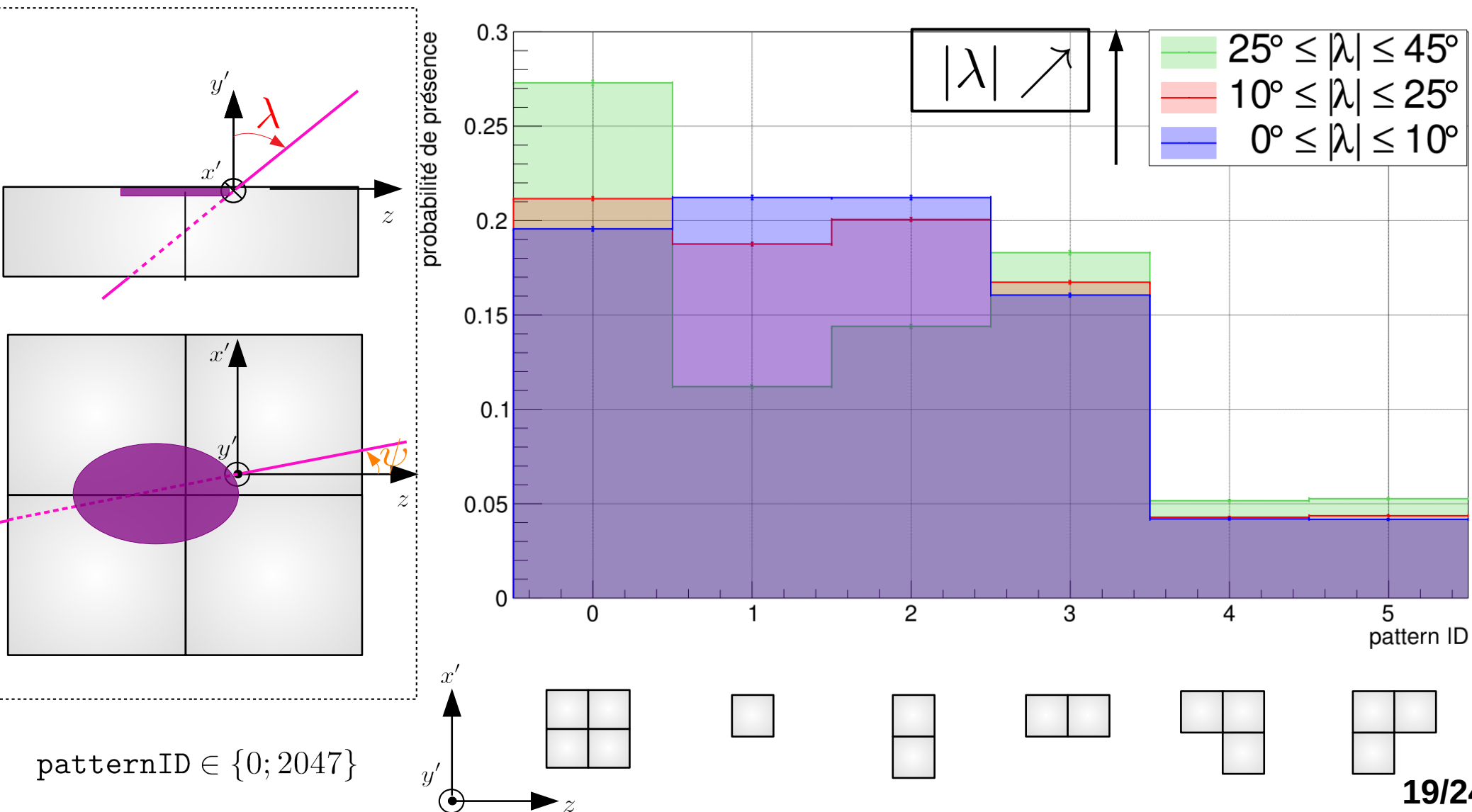
$$|\psi| = 0 \Rightarrow \begin{matrix} \text{A} & \& \text{B} \\ \cancel{\text{C}} & \& \cancel{\text{D}} \end{matrix}$$



$$|\psi| > 0 \Rightarrow \begin{matrix} \text{A} & \& \text{B} \\ \text{C} & \& \text{D} \end{matrix}$$

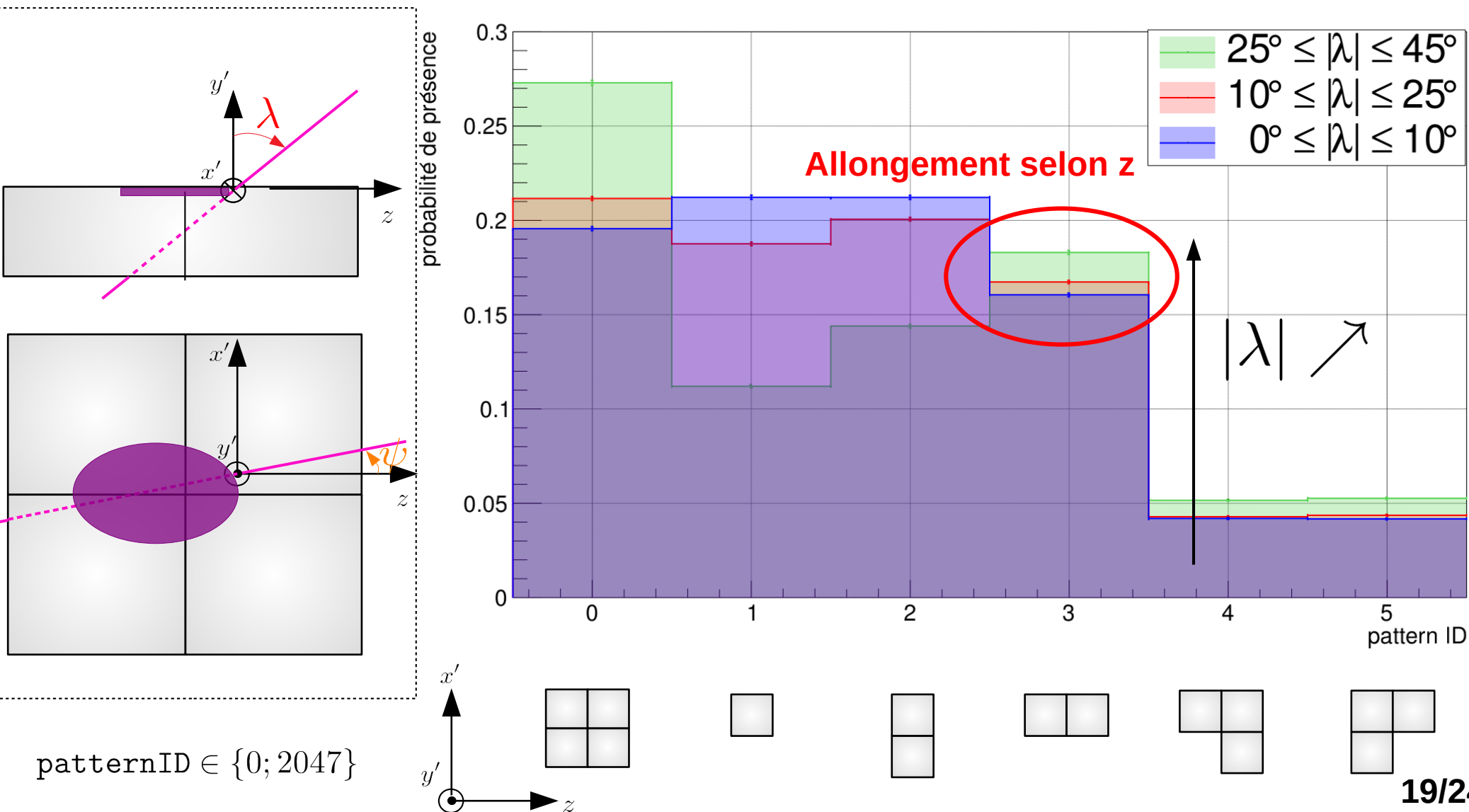
Forme d'amas = $f(\lambda)$

Pour toutes les mesures du Tonneau Externe



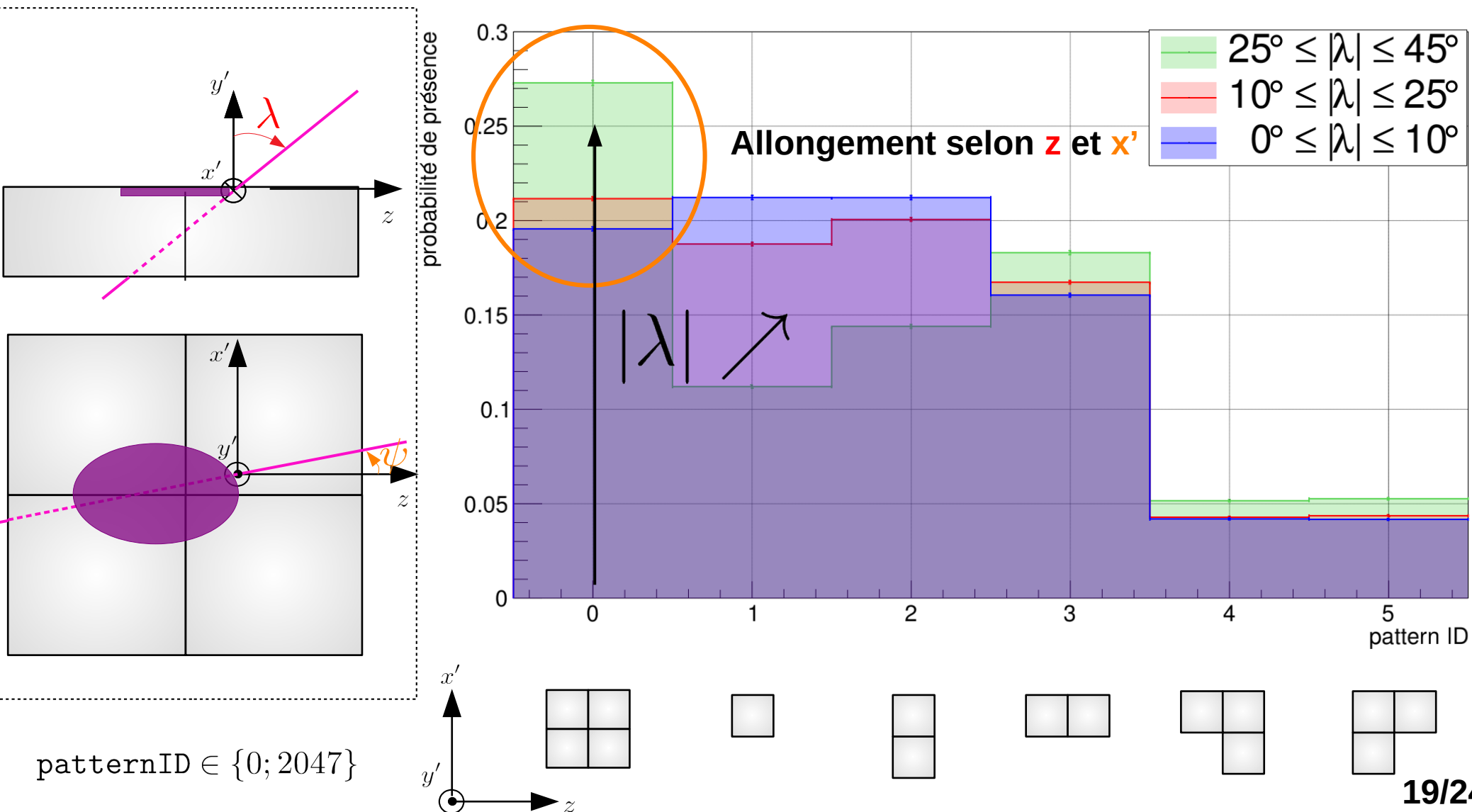
Forme d'amas = $f(\lambda)$

Pour toutes les mesures du Tonneau Externe



Forme d'amas = $f(\lambda)$

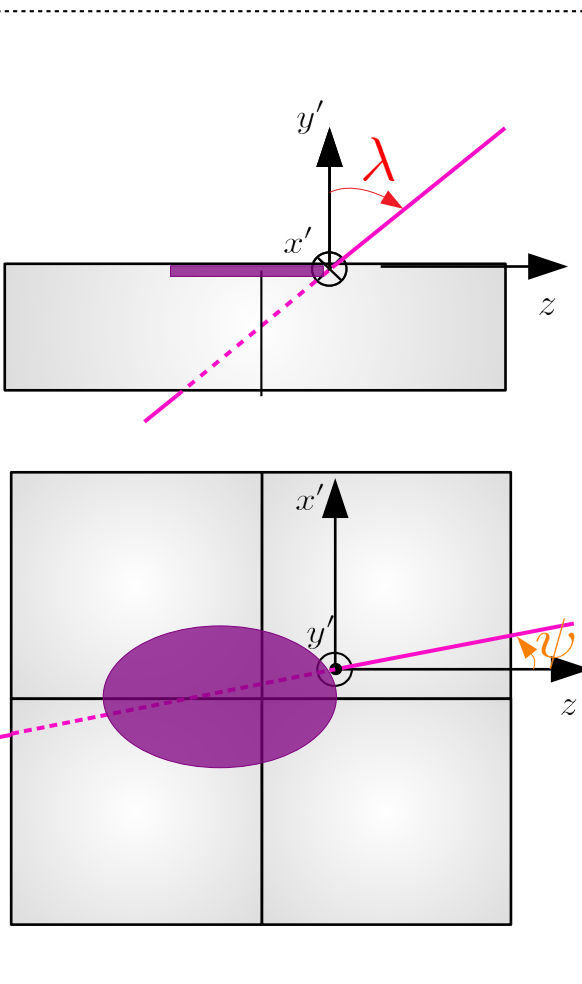
Pour toutes les mesures du Tonneau Externe



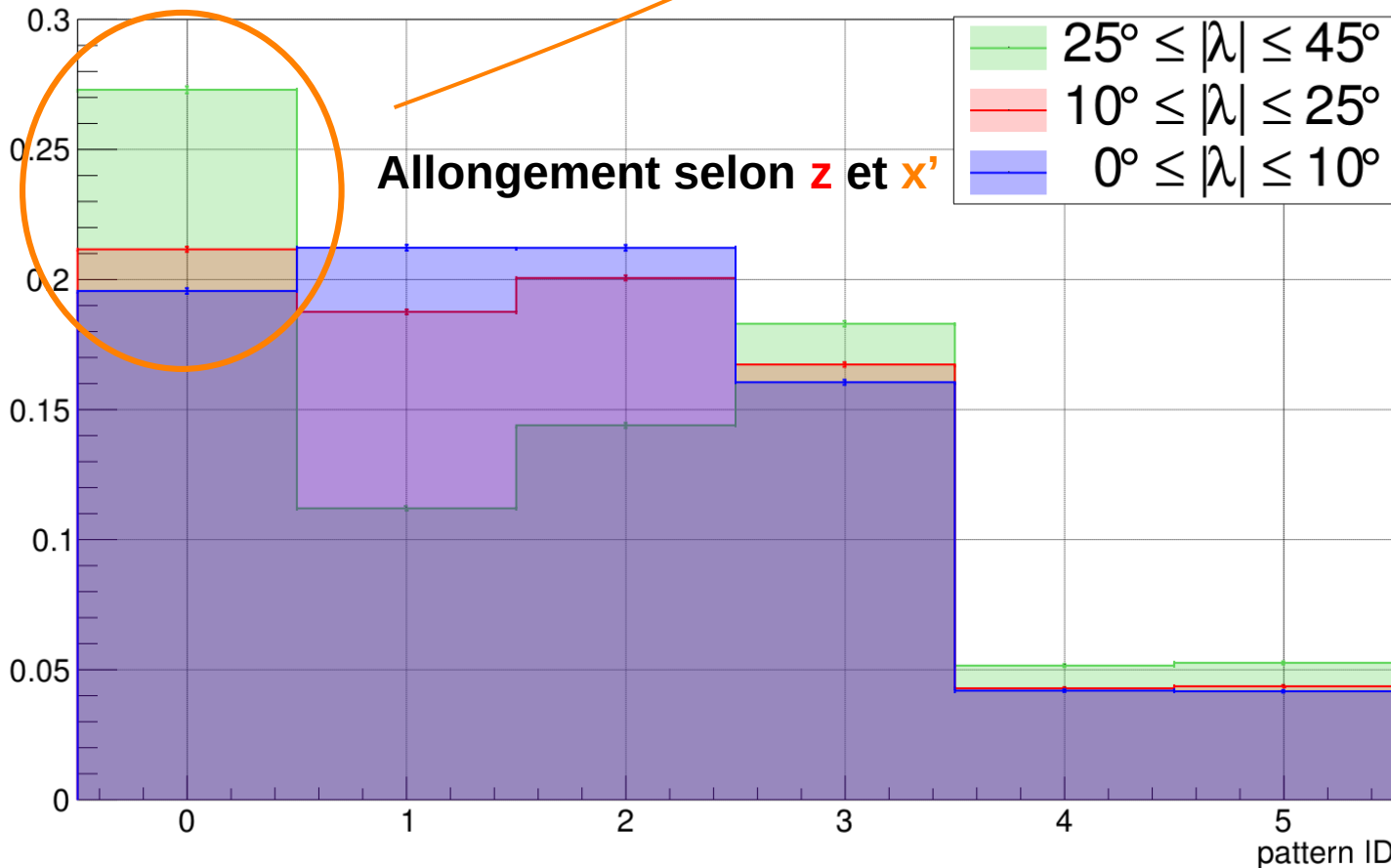
Forme d'amas = $f(\lambda)$

Pour toutes les mesures du Tonneau Externe

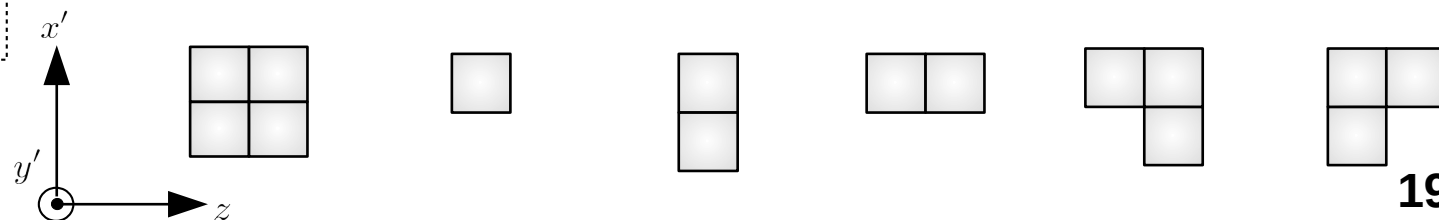
$$|\psi| < 10^\circ$$



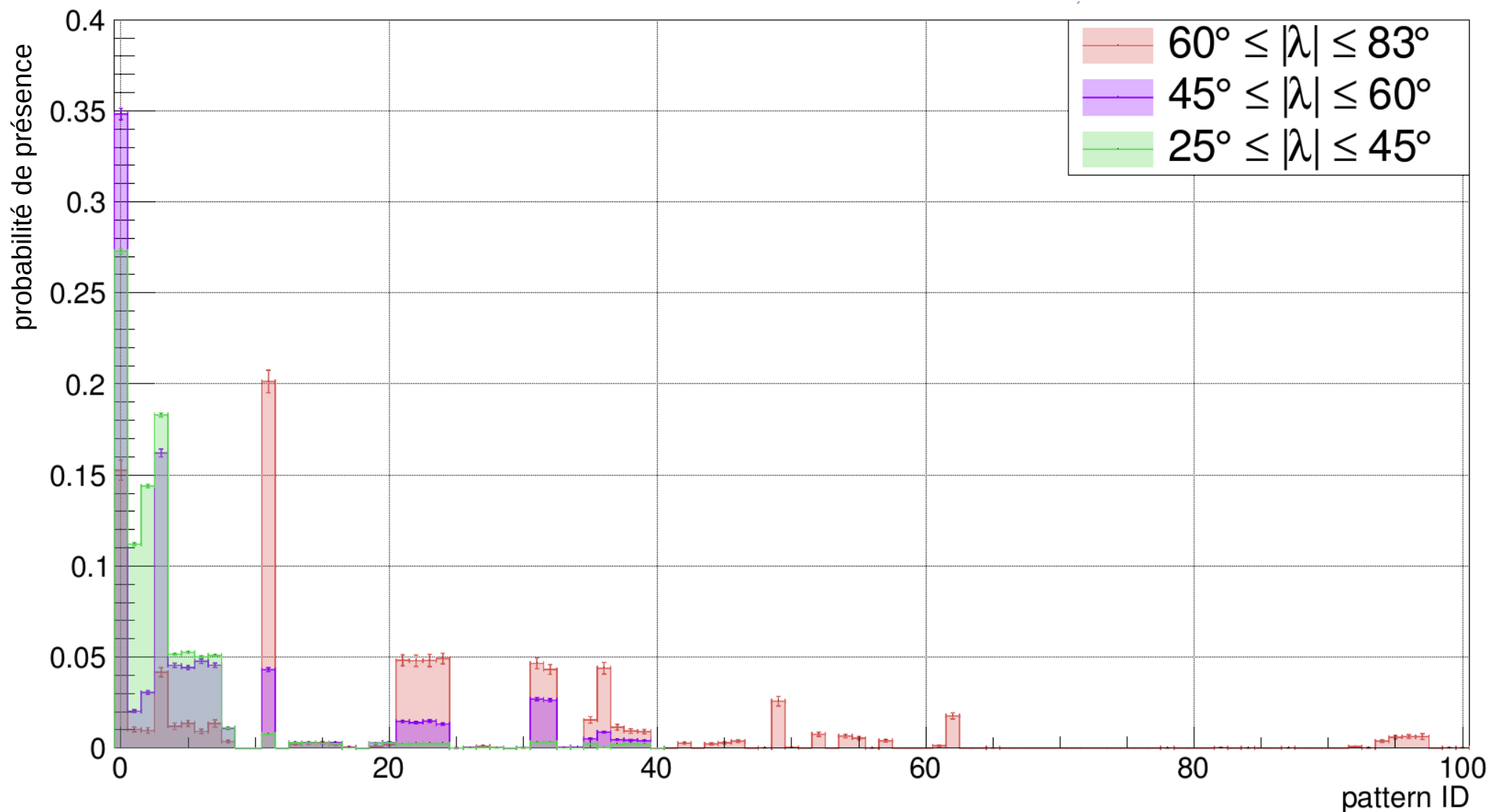
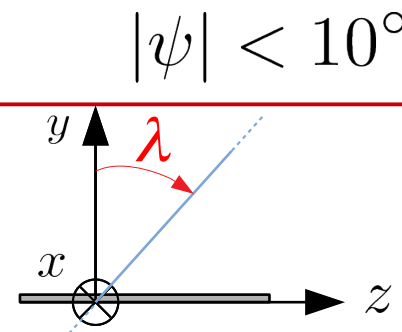
probabilité de présence



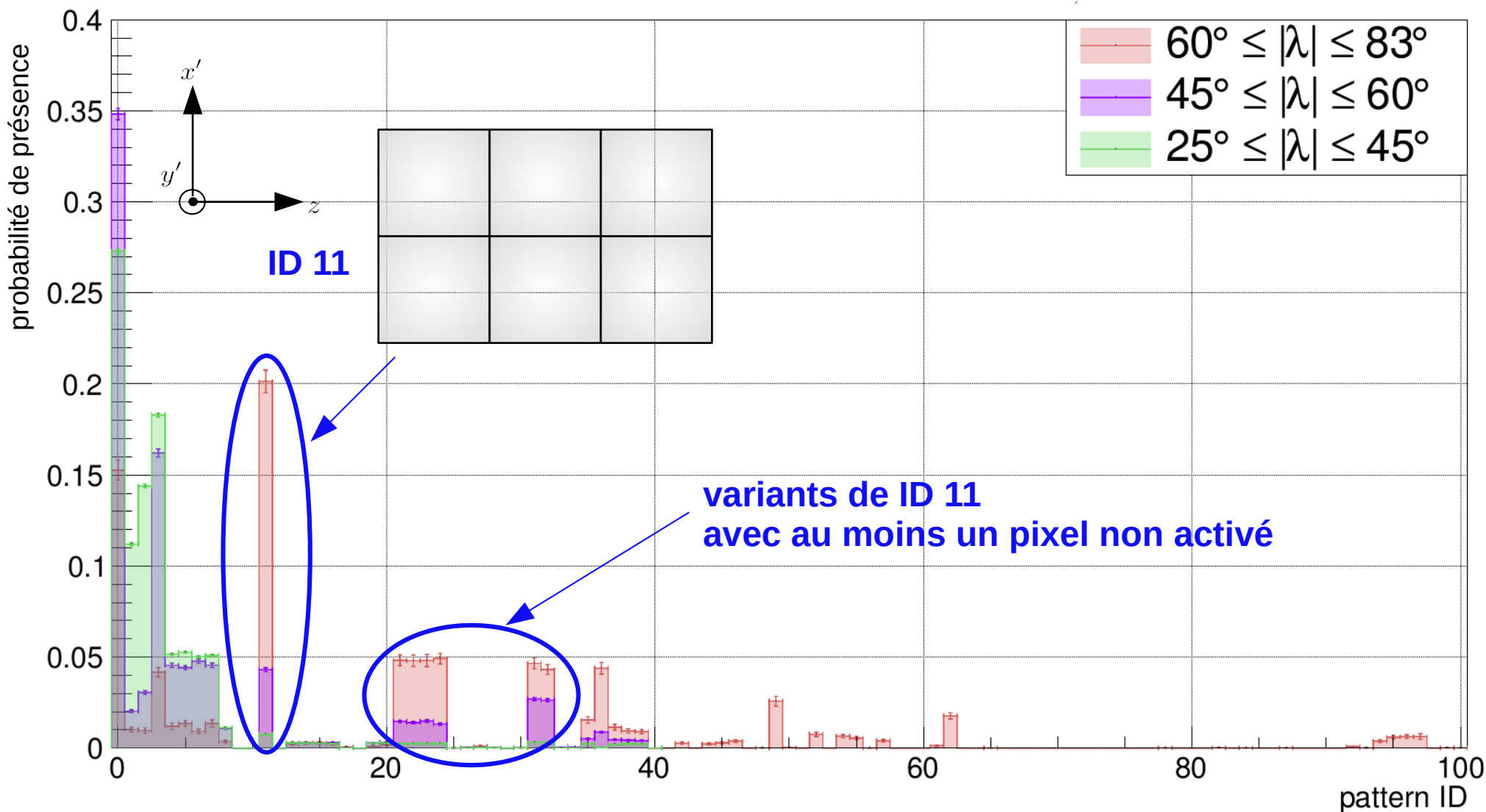
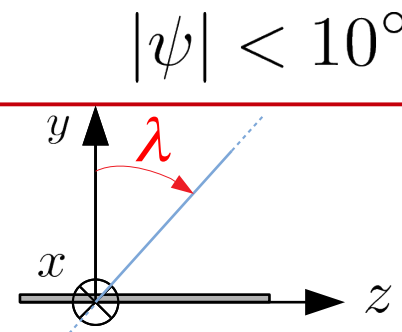
patternID $\in \{0; 2047\}$



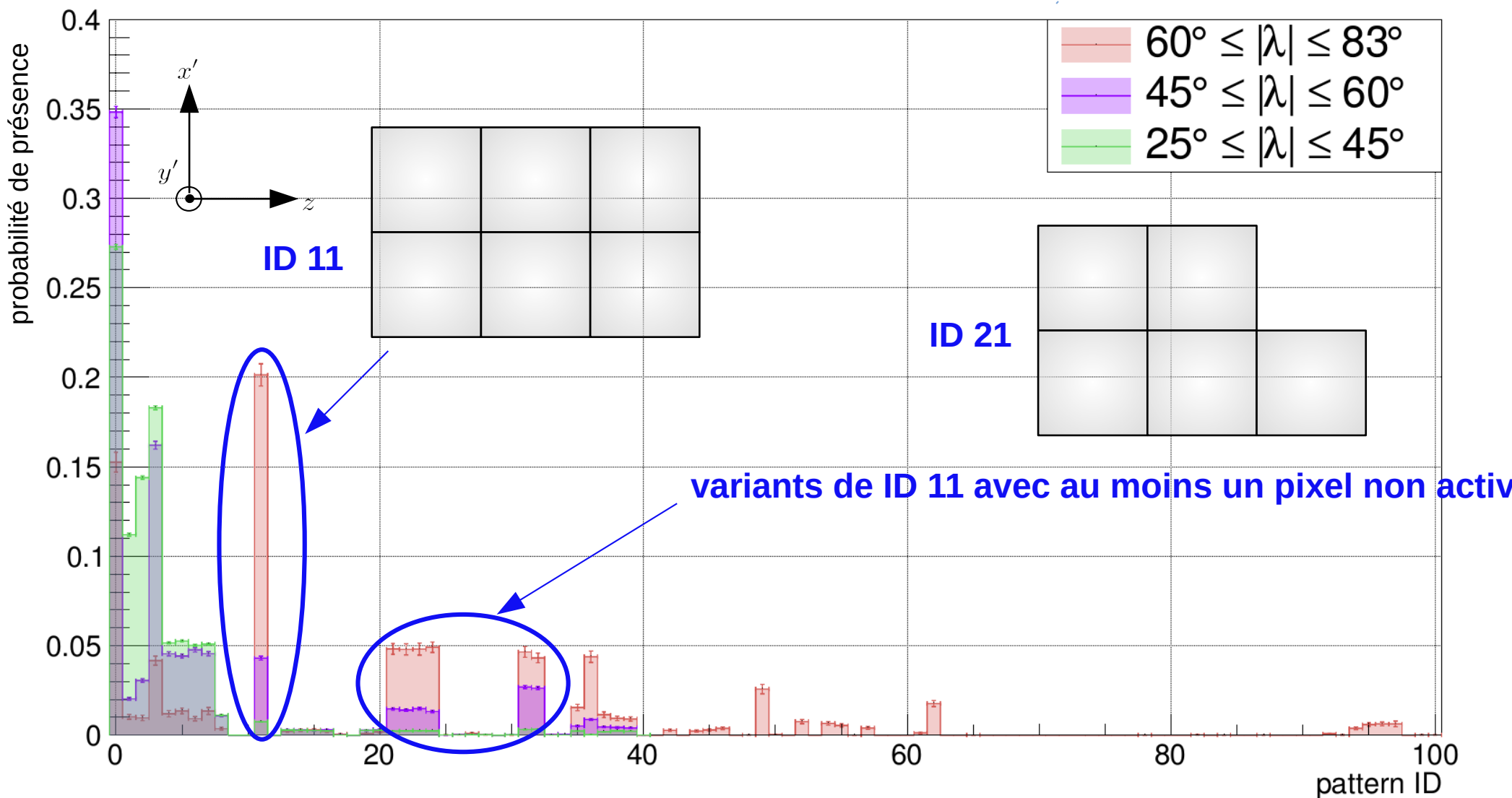
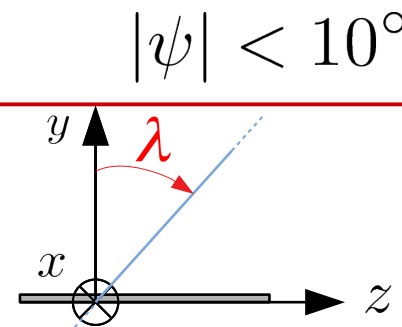
Forme d'amas = $f(\lambda)$



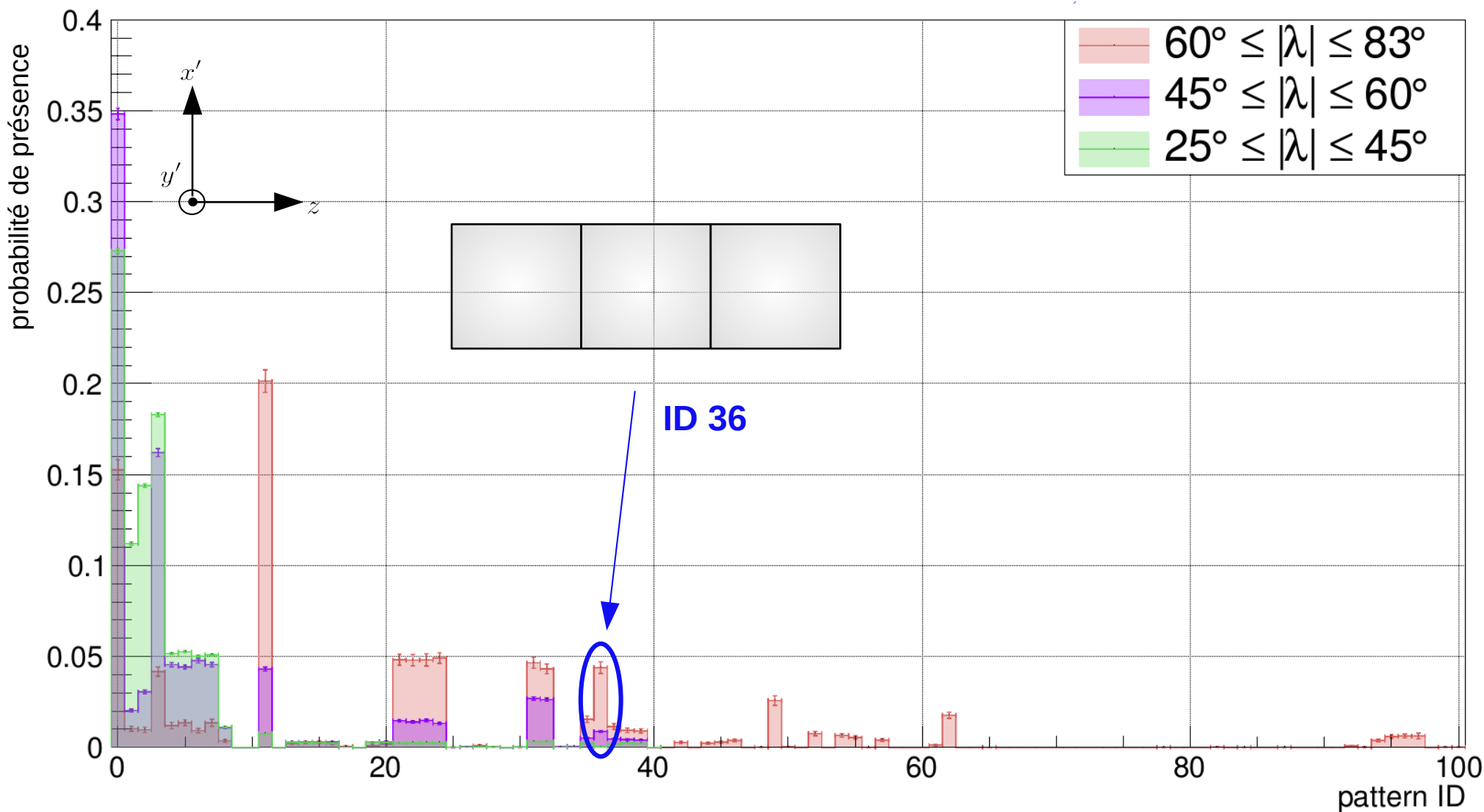
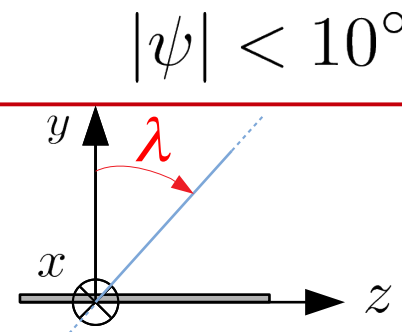
Forme d'amas = $f(\lambda)$



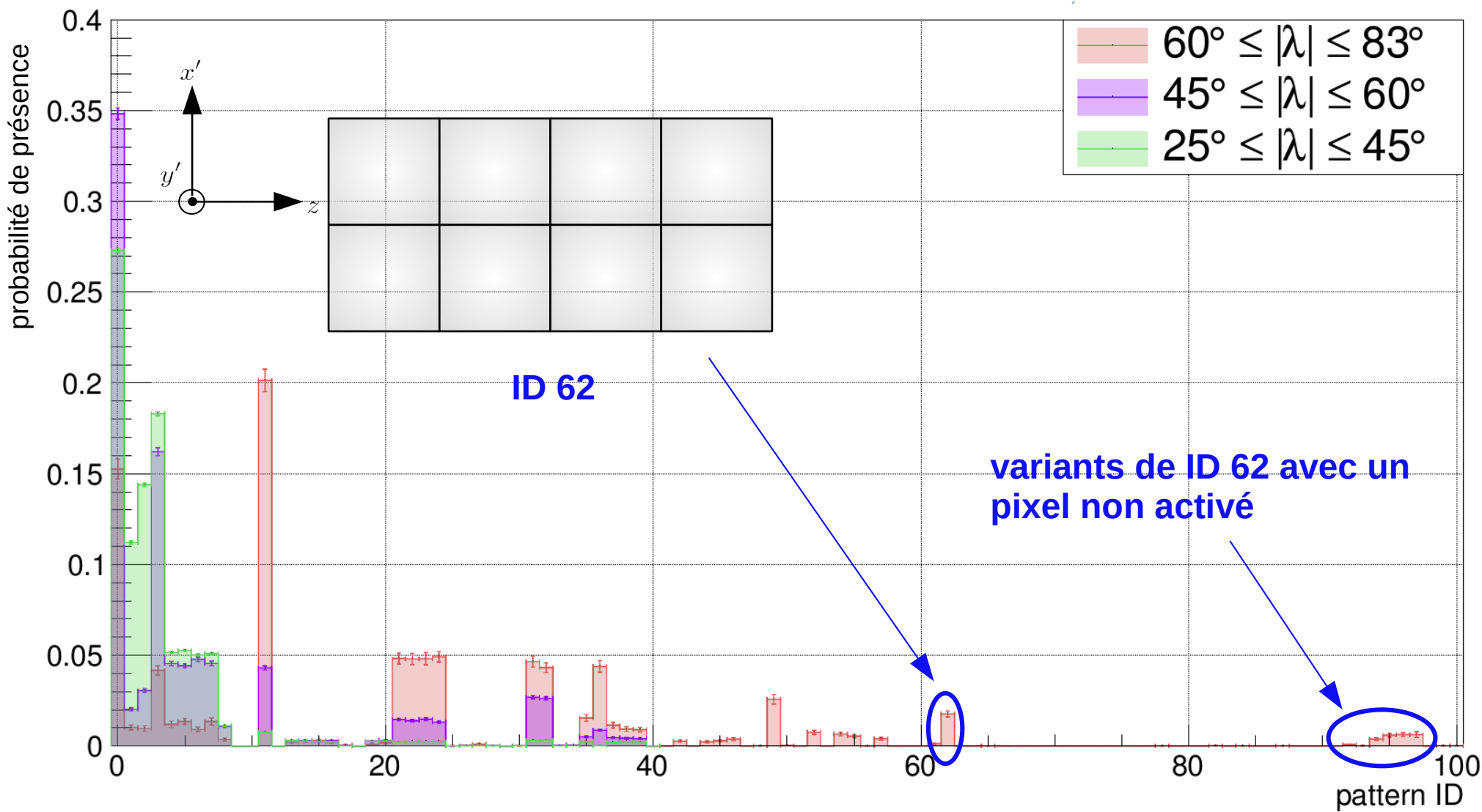
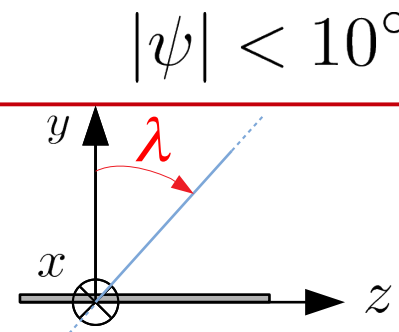
Forme d'amas = $f(\lambda)$



Forme d'amas = $f(\lambda)$



Forme d'amas = $f(\lambda)$



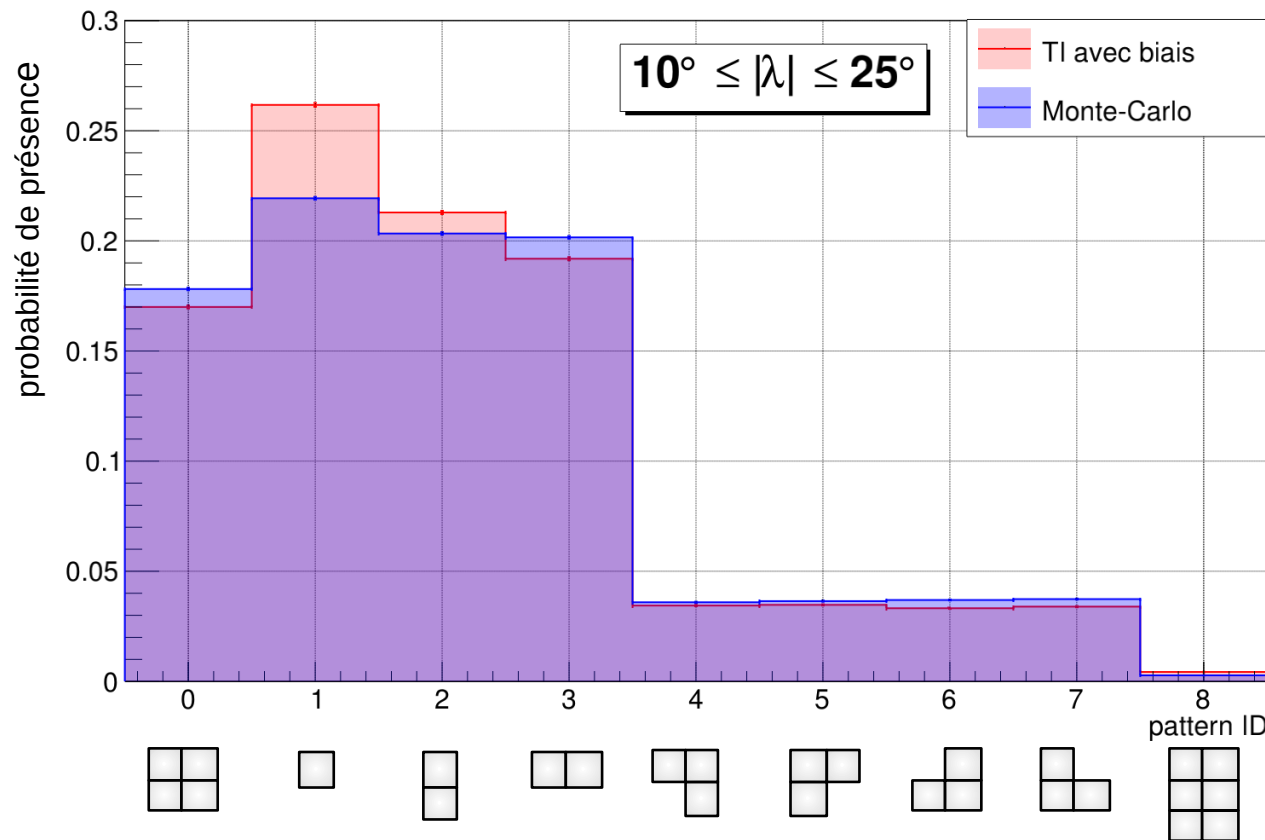
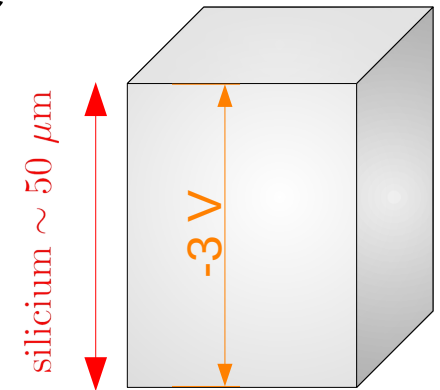
I) Sélection des traces candidates

II) Analyse de la forme des amas

III) Comparaison avec les données Monte-Carlo

Données réelles vs simulées

- Biais = **différence de potentiel** appliquée à l'épaisseur de semiconducteur d'une puce
- Tonneau Interne (TI): avec biais et sans biais

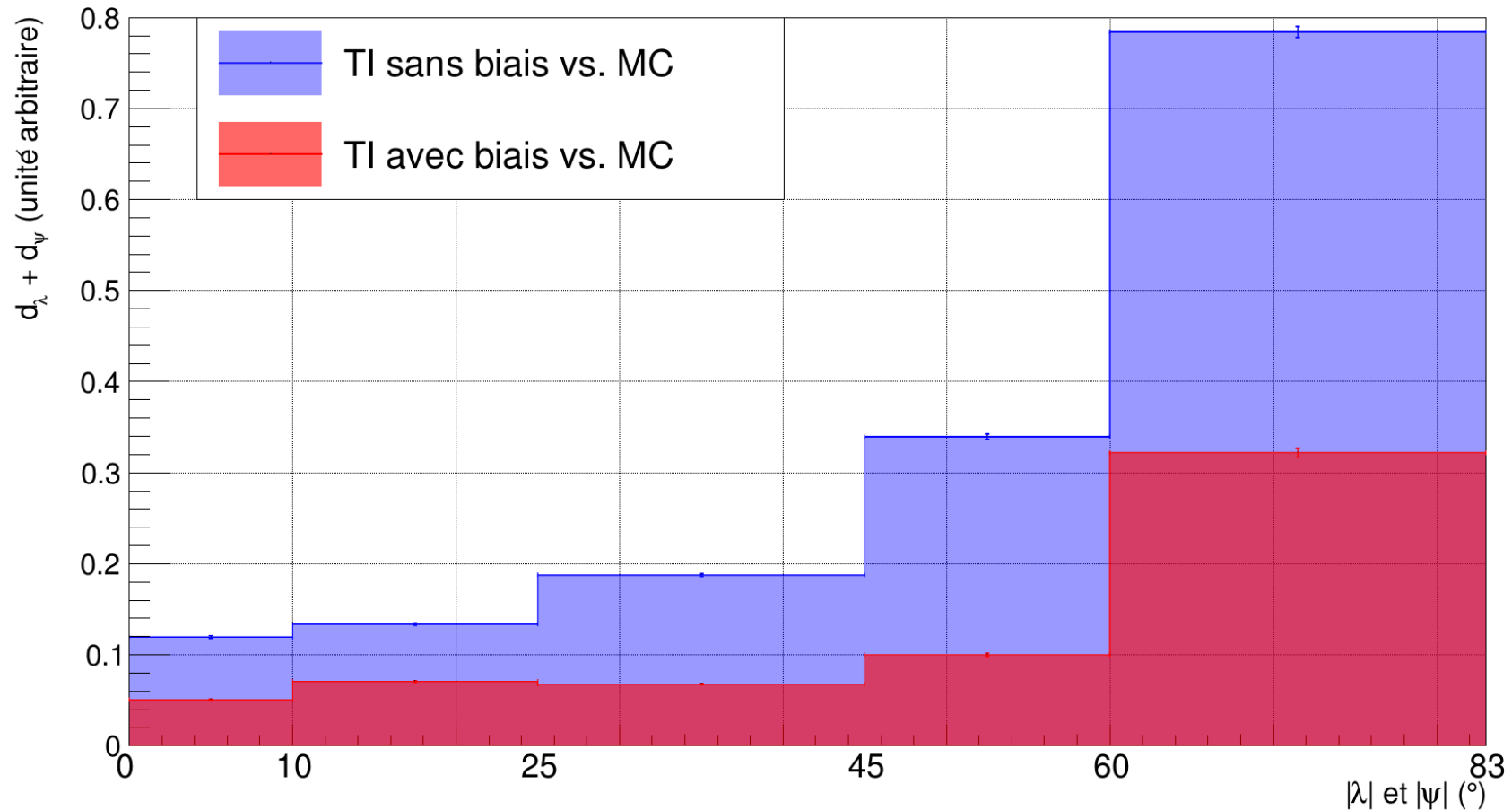


Mesure de différence

$$d_\lambda = \sum_{i=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\lambda(i) - N_\lambda^{\text{MC}}(i)]^2}{N_\lambda(i) + N_\lambda^{\text{MC}}(i)}$$

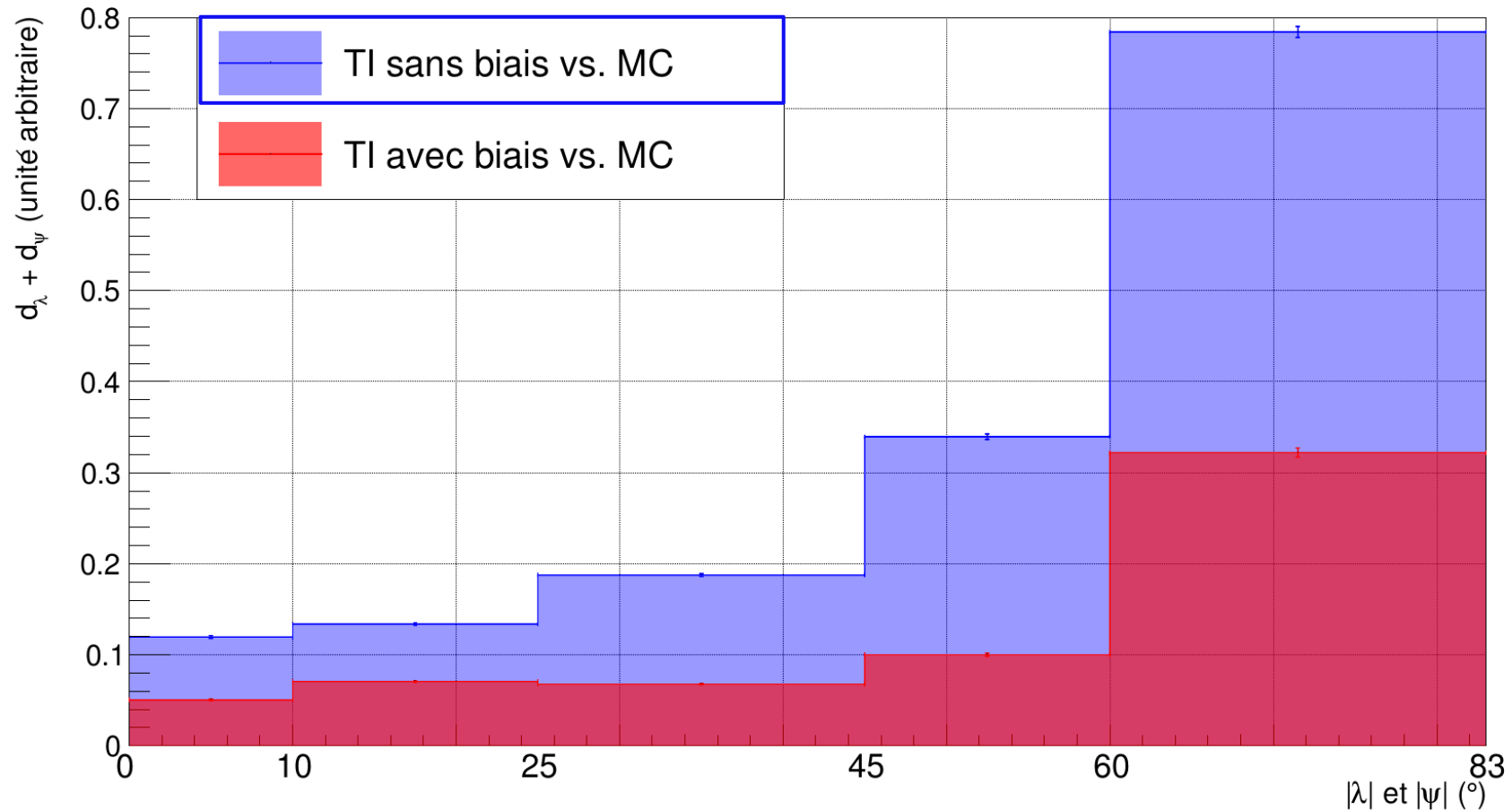
Données réelles vs simulées

$$d_\lambda + d_\psi = \sum_{i=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\lambda(i) - N_\lambda^{\text{MC}}(i)]^2}{N_\lambda(i) + N_\lambda^{\text{MC}}(i)} + \sum_{j=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\psi(j) - N_\psi^{\text{MC}}(j)]^2}{N_\psi(j) + N_\psi^{\text{MC}}(j)}$$



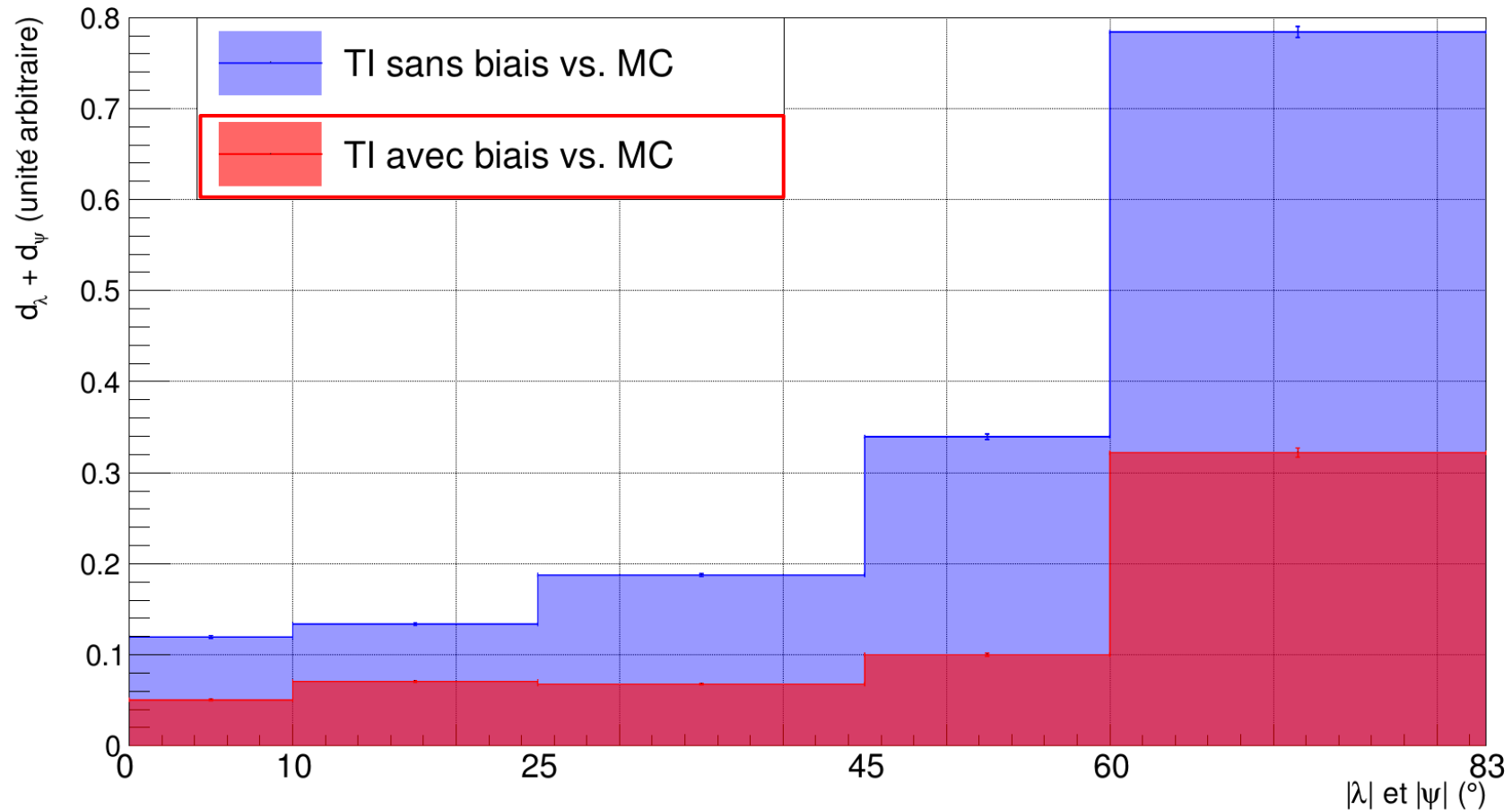
Données réelles vs simulées

$$d_\lambda + d_\psi = \sum_{i=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\lambda(i) - N_\lambda^{\text{MC}}(i)]^2}{N_\lambda(i) + N_\lambda^{\text{MC}}(i)} + \sum_{j=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\psi(j) - N_\psi^{\text{MC}}(j)]^2}{N_\psi(j) + N_\psi^{\text{MC}}(j)}$$



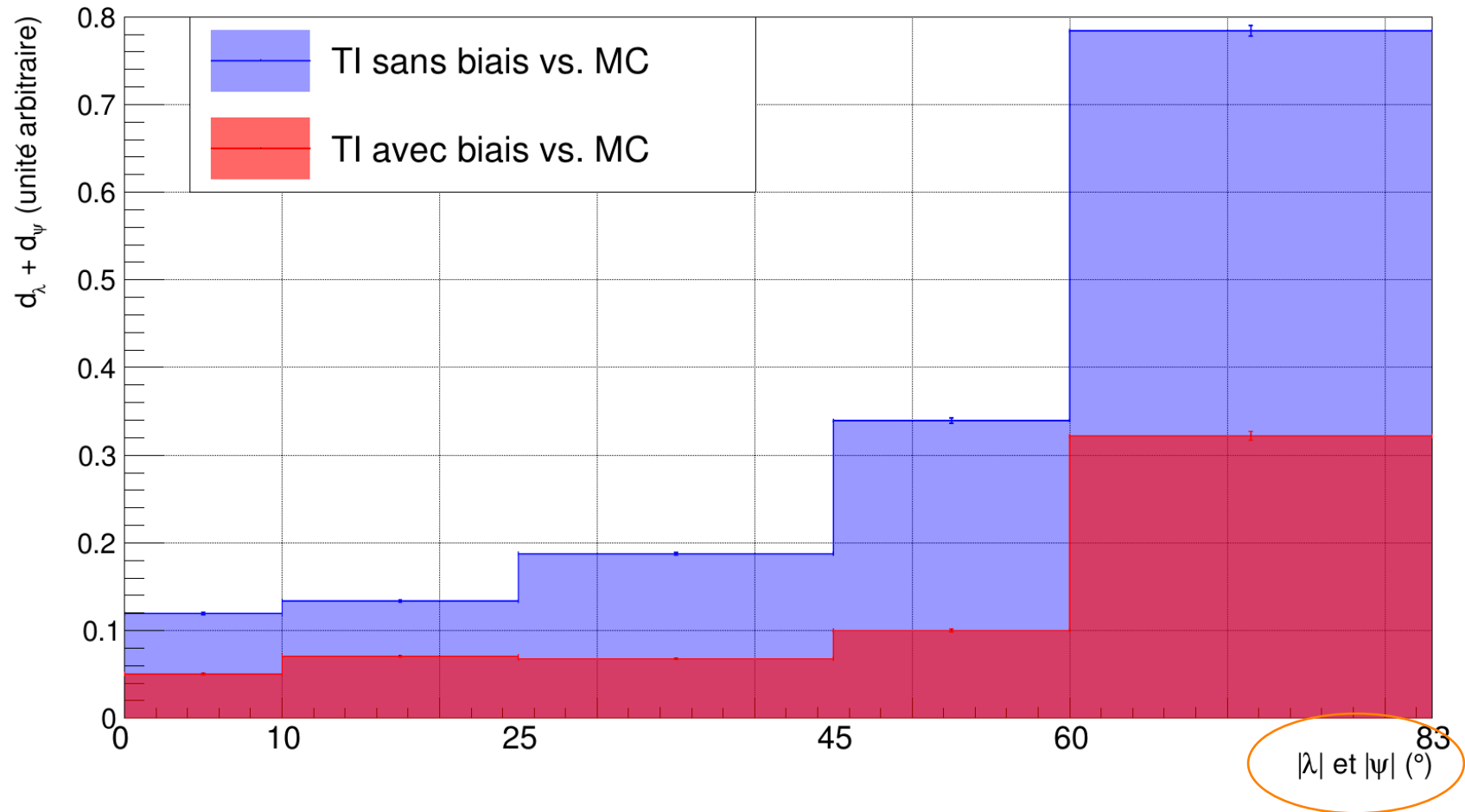
Données réelles vs simulées

$$d_\lambda + d_\psi = \sum_{i=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\lambda(i) - N_\lambda^{\text{MC}}(i)]^2}{N_\lambda(i) + N_\lambda^{\text{MC}}(i)} + \sum_{j=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\psi(j) - N_\psi^{\text{MC}}(j)]^2}{N_\psi(j) + N_\psi^{\text{MC}}(j)}$$



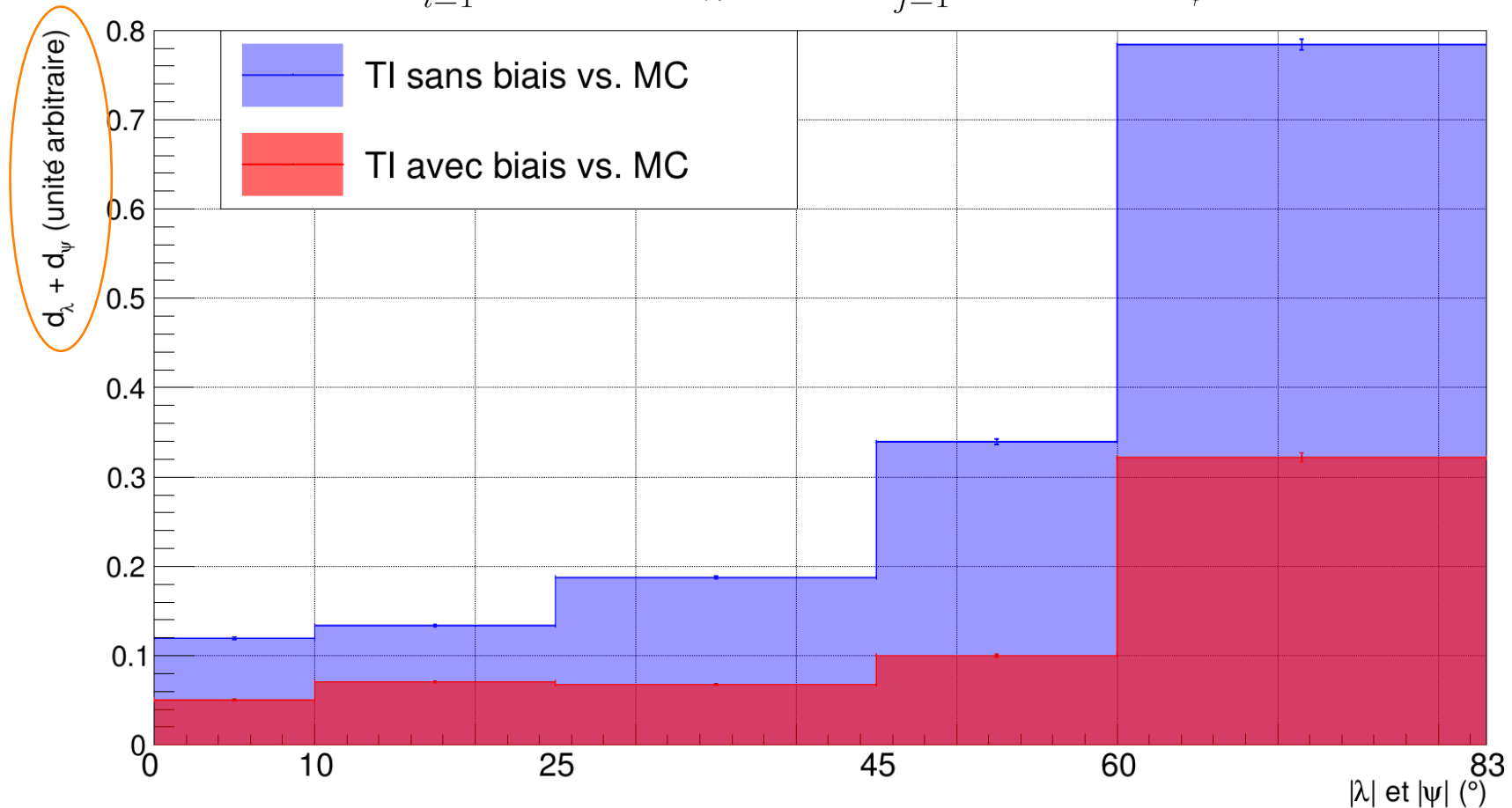
Données réelles vs simulées

$$d_\lambda + d_\psi = \sum_{i=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\lambda(i) - N_\lambda^{\text{MC}}(i)]^2}{N_\lambda(i) + N_\lambda^{\text{MC}}(i)} + \sum_{j=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\psi(j) - N_\psi^{\text{MC}}(j)]^2}{N_\psi(j) + N_\psi^{\text{MC}}(j)}$$



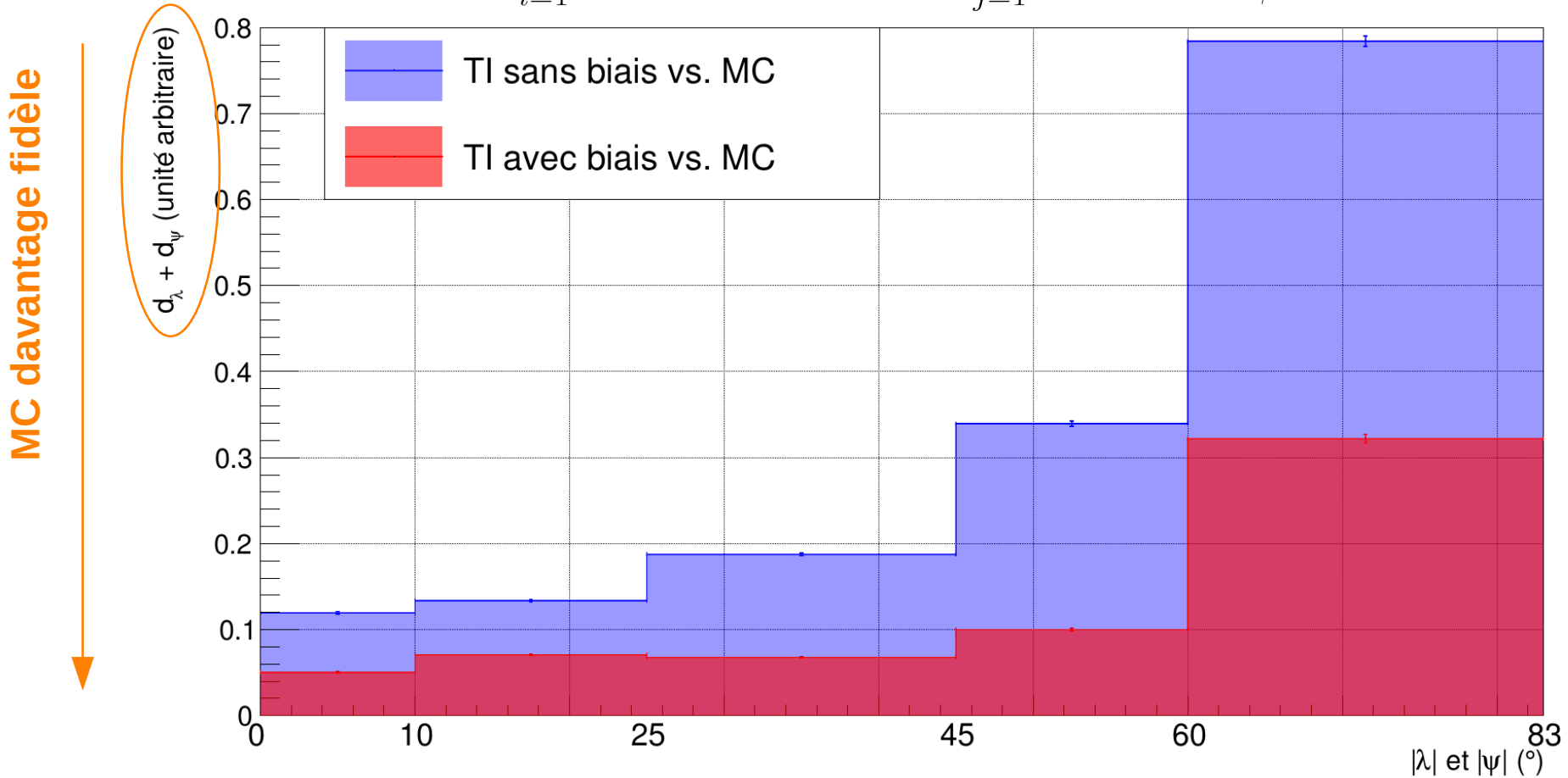
Données réelles vs simulées

$$d_\lambda + d_\psi = \sum_{i=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\lambda(i) - N_\lambda^{\text{MC}}(i)]^2}{N_\lambda(i) + N_\lambda^{\text{MC}}(i)} + \sum_{j=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\psi(j) - N_\psi^{\text{MC}}(j)]^2}{N_\psi(j) + N_\psi^{\text{MC}}(j)}$$



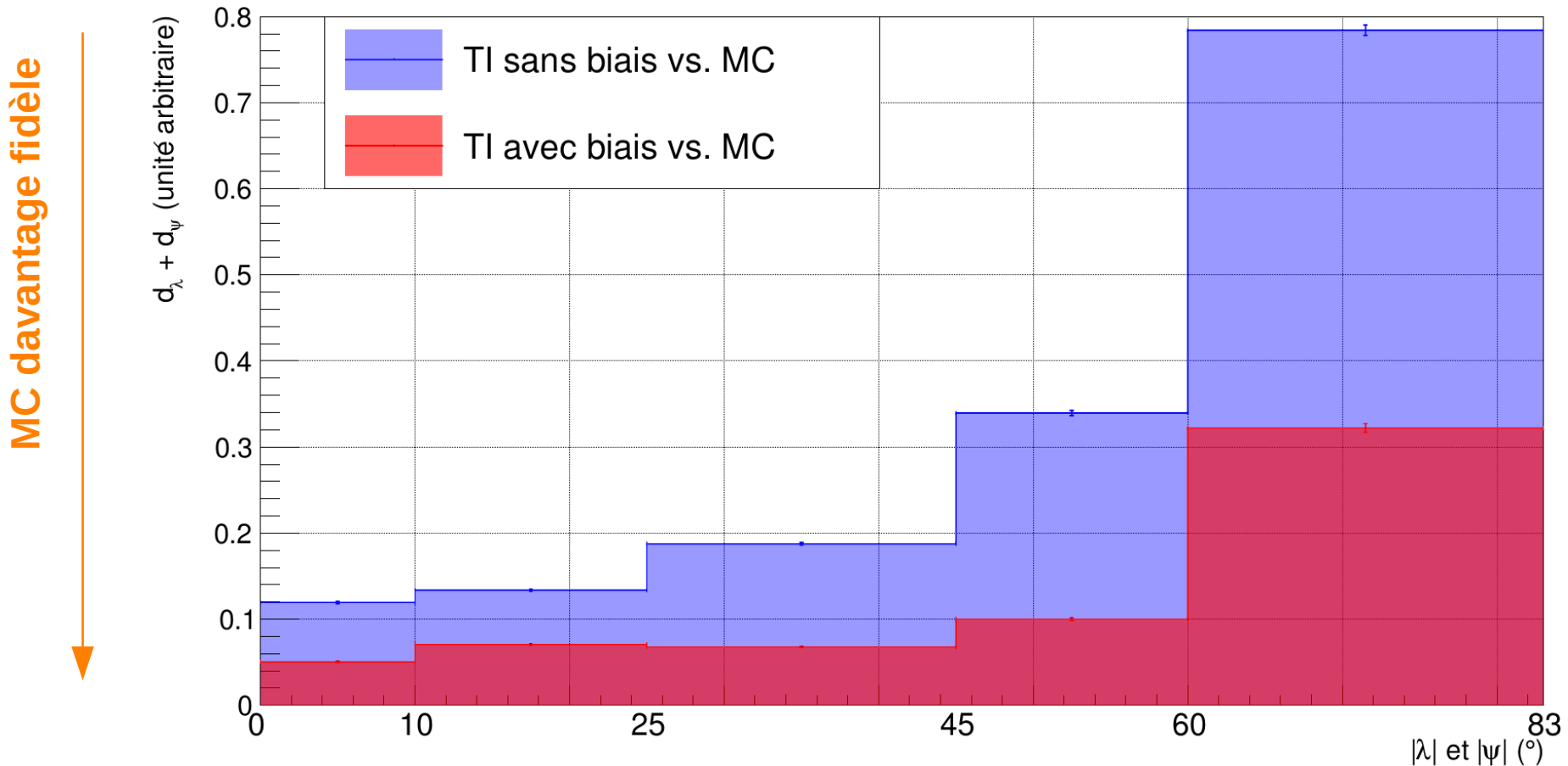
Données réelles vs simulées

$$d_\lambda + d_\psi = \sum_{i=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\lambda(i) - N_\lambda^{\text{MC}}(i)]^2}{N_\lambda(i) + N_\lambda^{\text{MC}}(i)} + \sum_{j=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\psi(j) - N_\psi^{\text{MC}}(j)]^2}{N_\psi(j) + N_\psi^{\text{MC}}(j)}$$



Données réelles vs simulées

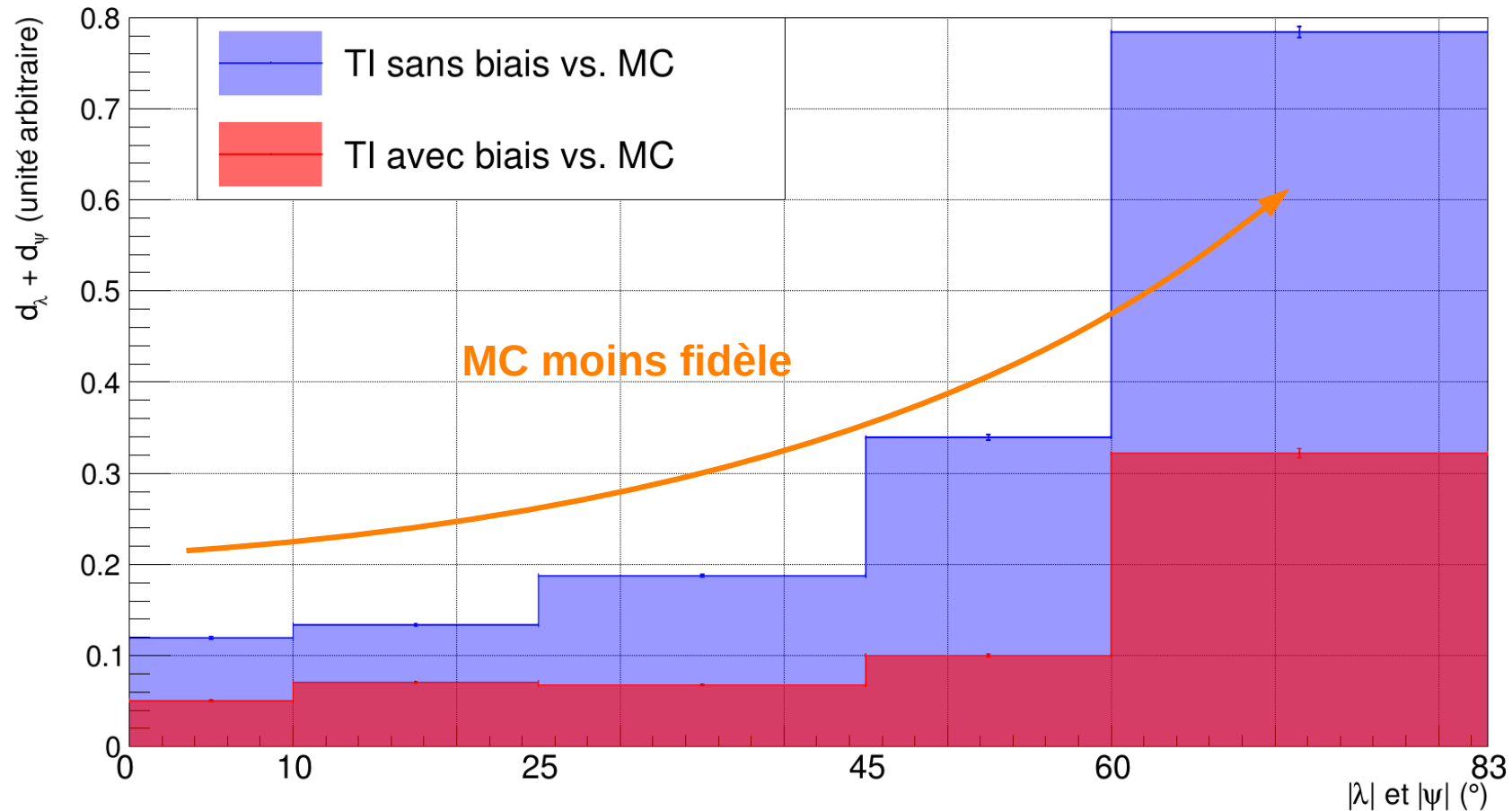
$$d_\lambda + d_\psi = \sum_{i=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\lambda(i) - N_\lambda^{\text{MC}}(i)]^2}{N_\lambda(i) + N_\lambda^{\text{MC}}(i)} + \sum_{j=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\psi(j) - N_\psi^{\text{MC}}(j)]^2}{N_\psi(j) + N_\psi^{\text{MC}}(j)}$$



- MC reproduit mieux les données réelles **biaisées** que **non biaisées**

Données réelles vs simulées

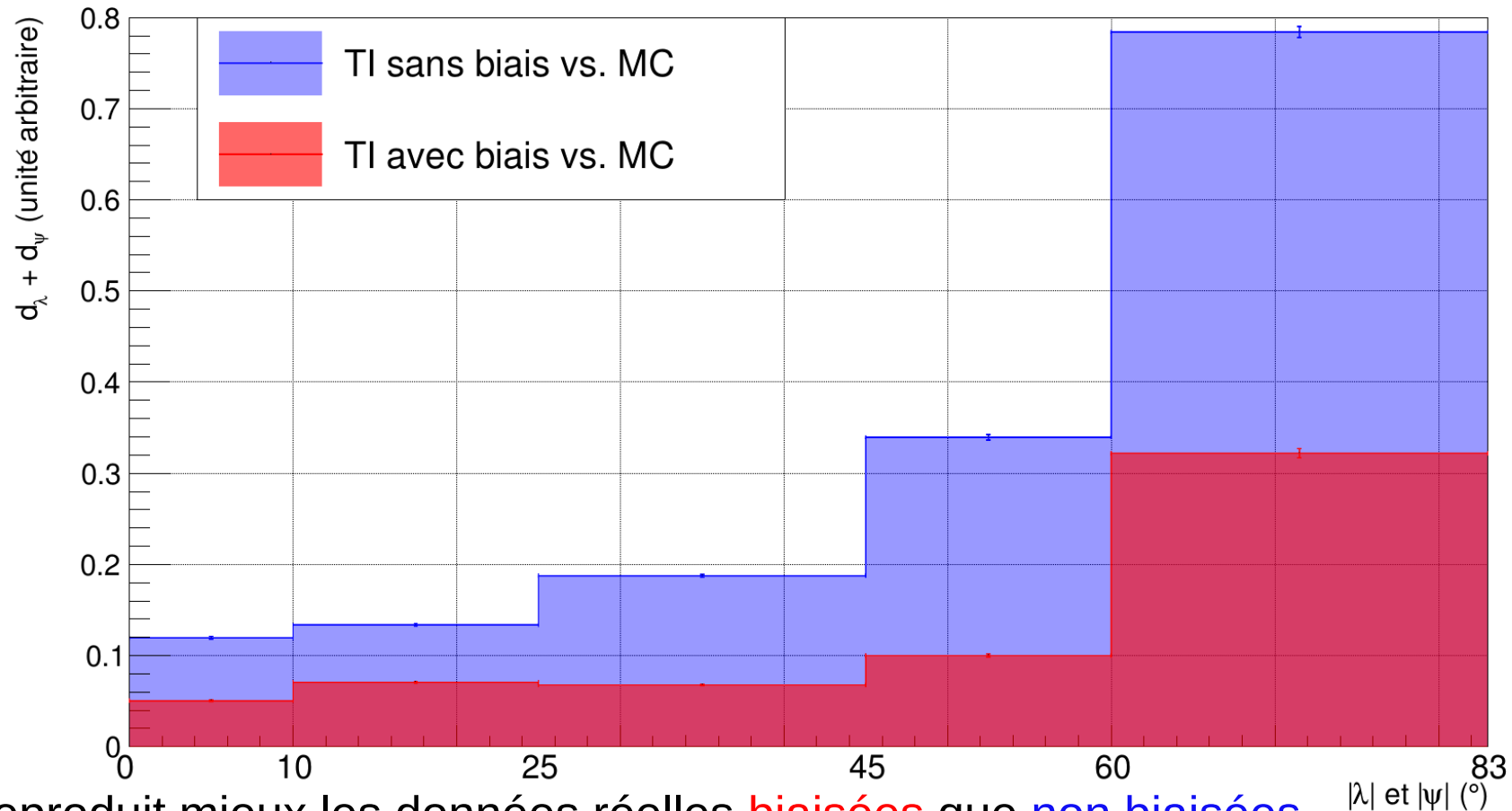
$$d_\lambda + d_\psi = \sum_{i=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\lambda(i) - N_\lambda^{\text{MC}}(i)]^2}{N_\lambda(i) + N_\lambda^{\text{MC}}(i)} + \sum_{j=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\psi(j) - N_\psi^{\text{MC}}(j)]^2}{N_\psi(j) + N_\psi^{\text{MC}}(j)}$$



- Différences entre MC et données réelles augmentent quand l'inclinaison augmente

Données réelles vs simulées

$$d_\lambda + d_\psi = \sum_{i=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\lambda(i) - N_\lambda^{\text{MC}}(i)]^2}{N_\lambda(i) + N_\lambda^{\text{MC}}(i)} + \sum_{j=1}^{n_{\text{bin}}} \frac{[N_\psi(j) - N_\psi^{\text{MC}}(j)]^2}{N_\psi(j) + N_\psi^{\text{MC}}(j)}$$



- MC reproduit mieux les données réelles **biaisées** que **non biaisées**
- Différences entre MC et données réelles augmentent quand l'inclinaison augmente

→ **pistes d'améliorations du code Monte-Carlo**

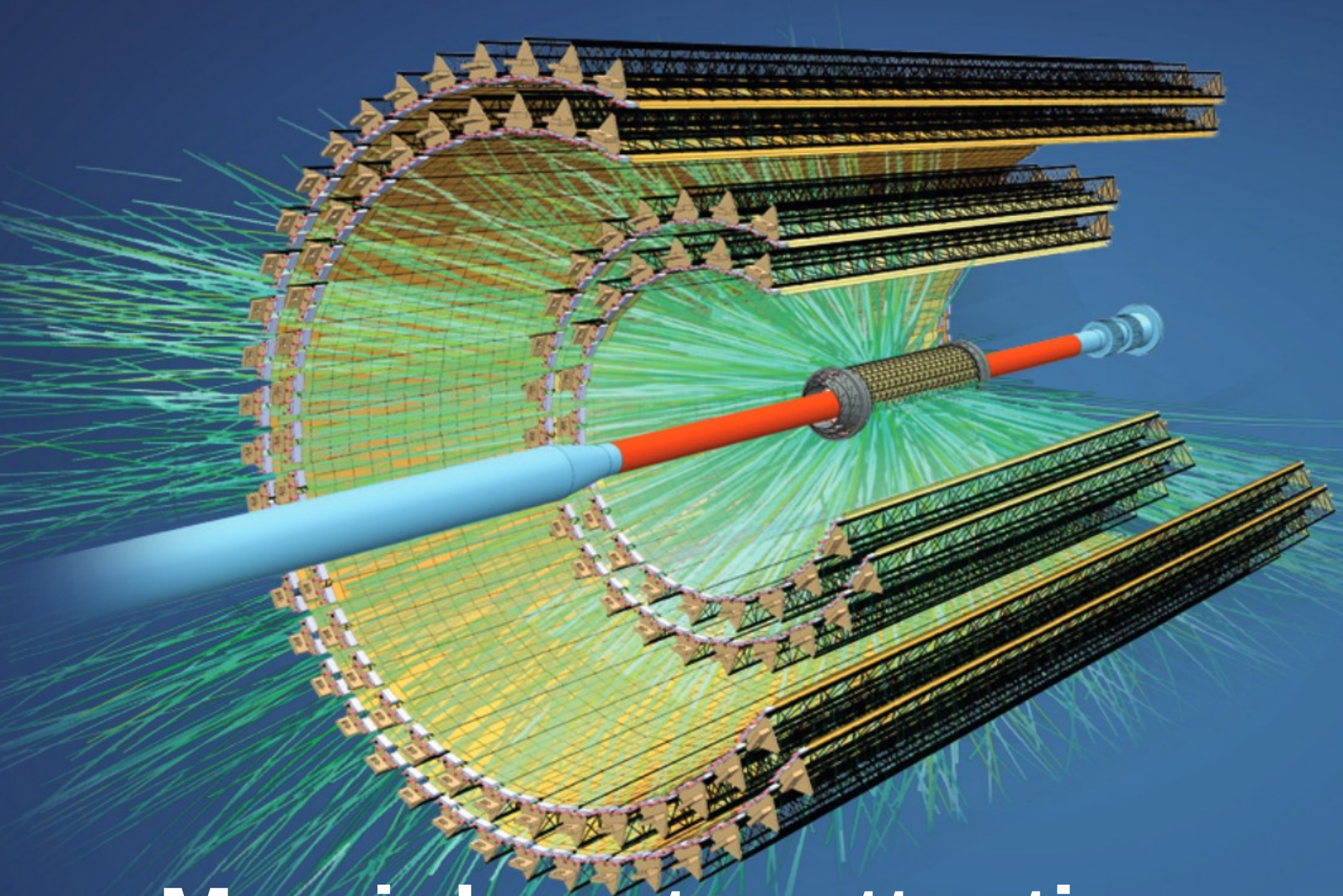
23/24

Conclusion

- Suppression du bruit (carte de bruit) + sélection des candidats aux traces
- Etude de la forme des amas en fonction de l'inclinaison de la trace
 - ◆ **Aide au tracking**
- Simulation Monte-Carlo et comparaison avec les données réelles
 - ◆ Pistes d'**améliorations du code Monte-Carlo**
- Ouvertures:
 - ◆ **Etude quantitative** de l'élongation liée à la géométrie des pixels (non carrés)
 - ◆ Modèle Monte-Carlo de réponse de la puce (**modification des paramètres libres**)

Conclusion

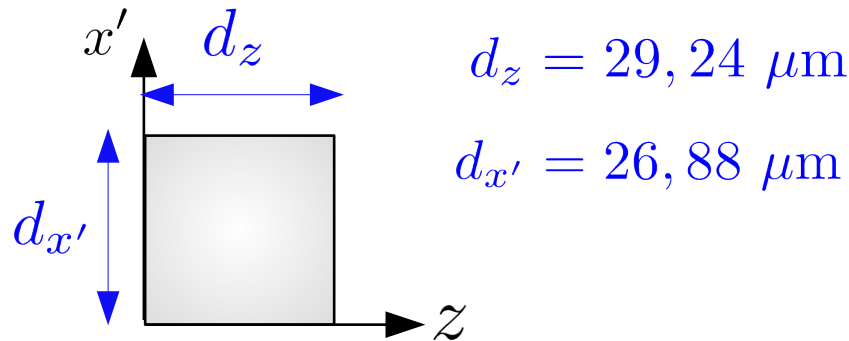
- Suppression du bruit (carte de bruit) + sélection des candidats aux traces
 - Etude de la forme des amas en fonction de l'inclinaison de la trace
 - ◆ **Aide au tracking**
 - Simulation Monte-Carlo et comparaison avec les données réelles
 - ◆ Pistes d'**améliorations du code Monte-Carlo**
- Ouvertures:
 - ◆ **Etude quantitative** de l'élongation liée à la géométrie des pixels (non carrés)
 - ◆ Modèle Monte-Carlo de réponse de la puce (**modification des paramètres libres**)



Merci de votre attention

Backup slides

Elongation due à la géométrie des pixels



$$\frac{d_{x'}}{d_z} \sim 90\% \quad (\lambda = \psi \simeq 0^\circ) \quad \stackrel{?}{\Rightarrow} \quad \frac{P \left(\begin{array}{|c|c|} \hline \square & \square \\ \hline \end{array} \right)}{P \left(\begin{array}{|c|} \hline \square \\ \hline \square \\ \hline \end{array} \right)} \sim 0,9$$

Backup pour I)

Quelques chiffres

● ITS:

- ◆ Surface active $\sim 10 \text{ m}^2$ (75% sur les 2 dernières couches)

- ◆ $\sim 12\text{G}$ pixels

- ◆ jusqu'à $\sim 200 \text{ kHz}$

→ gigantesque appareil photo
(jusqu'à 200 000 photos par seconde)

● Mise en service de l'ITS (Nov.2019-Dec.2020):

- ◆ $\sim 1 \text{ j}$ pour le Tonneau Externe (@11 kHz) $\rightarrow \sim 1\text{G}$ déclenchements

- ◆ $\sim 7 \text{ j}$ pour le Tonneau Interne (@44 kHz) $\rightarrow \sim 25\text{G}$ déclenchements

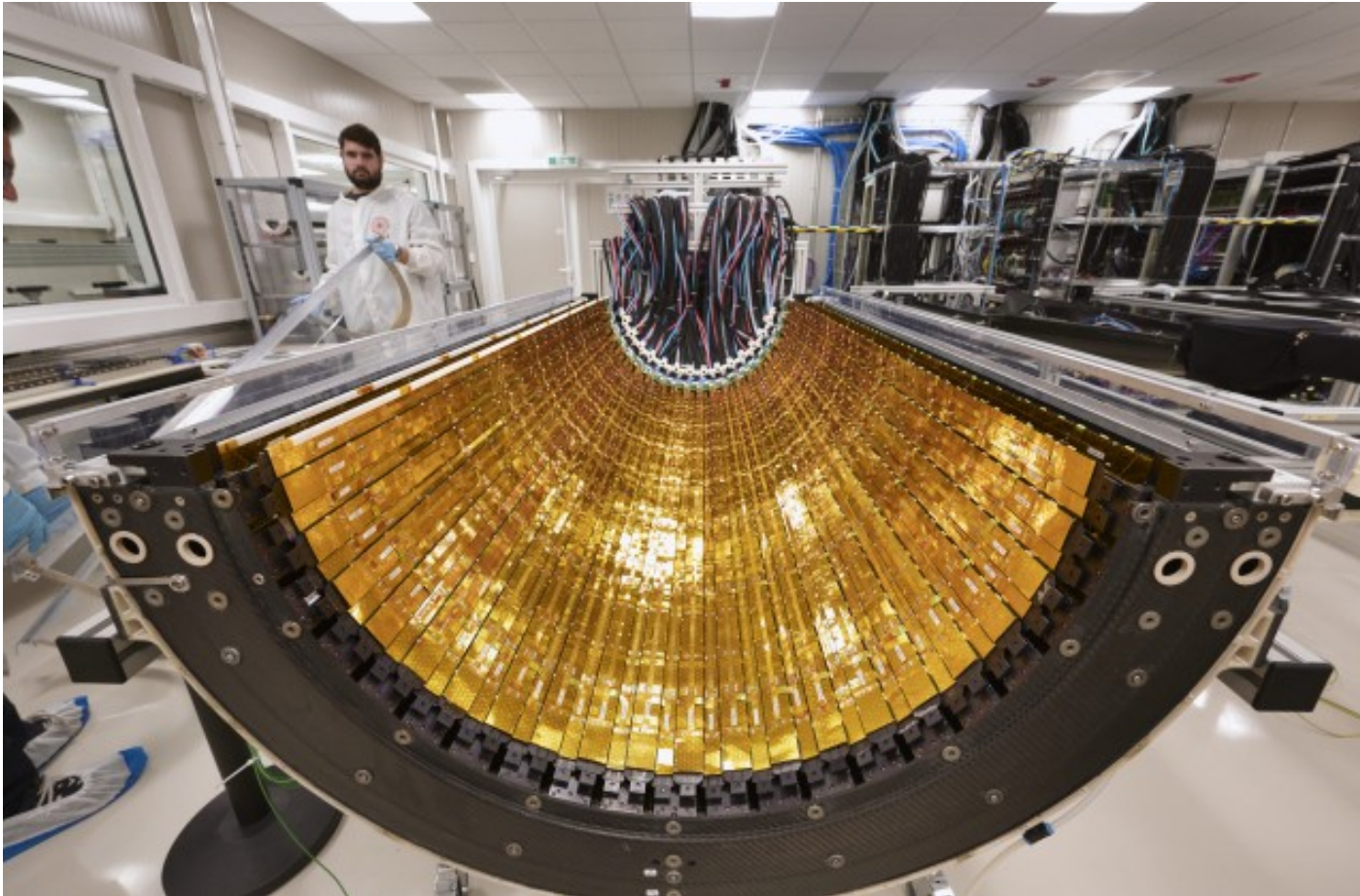
Quelques chiffres

Table 1.1: Geometrical parameters of the upgraded ITS.

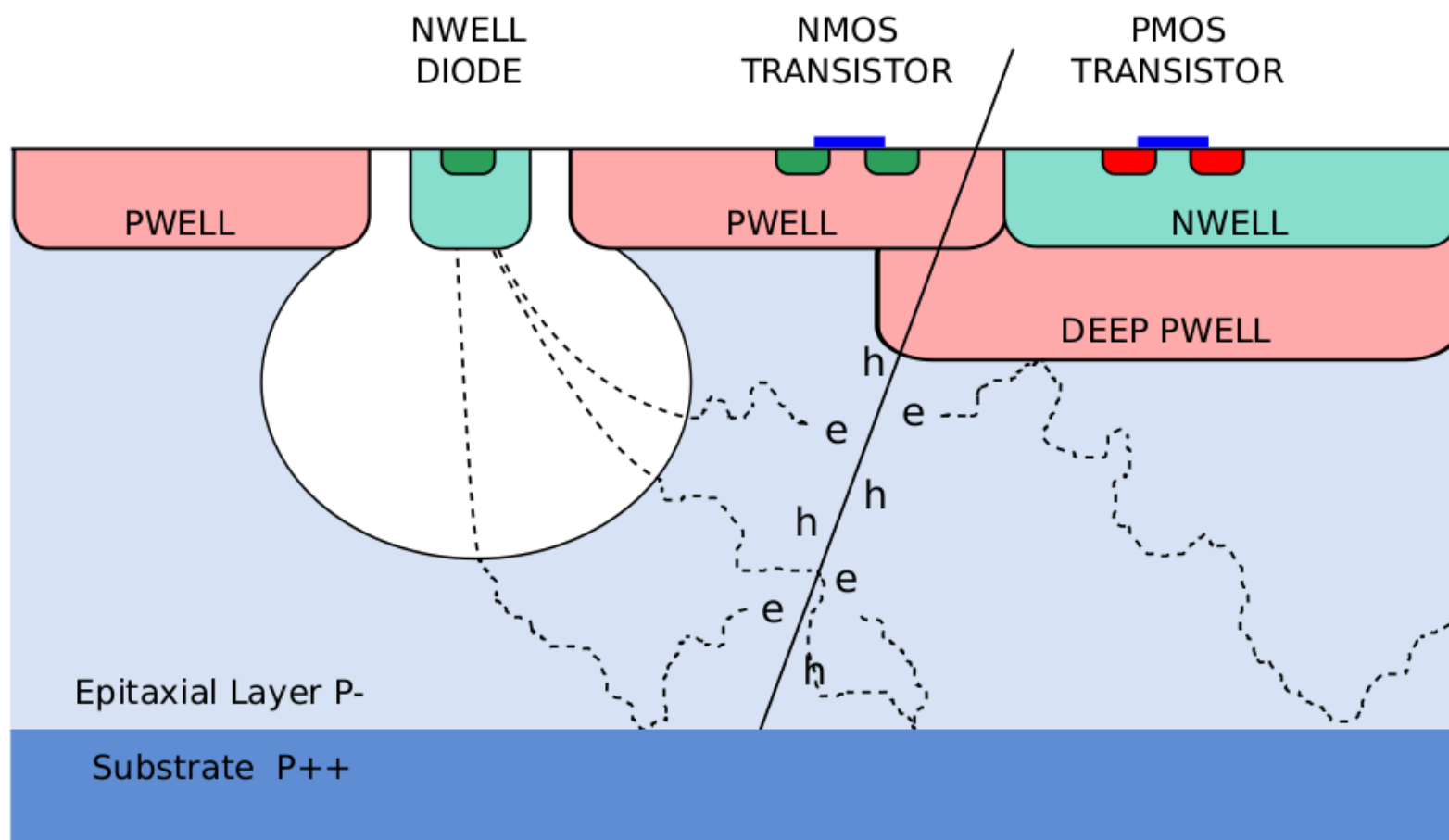
	Inner Barrel			Outer Barrel			
	Inner Layers			Middle Layers		Outer Layers	
	Layer 0	Layer 1	Layer 2	Layer 3	Layer 4	Layer 5	Layer 6
Radial position (min.) (mm)	22.4	30.1	37.8	194.4	243.9	342.3	391.8
Radial position (max.) (mm)	26.7	34.6	42.1	197.7	247.0	345.4	394.9
Length (sensitive area) (mm)	271	271	271	843	843	1475	1475
Pseudo-rapidity coverage ^a	± 2.5	± 2.3	± 2.0	± 1.5	± 1.4	± 1.4	± 1.3
Active area (cm ²)	421	562	702	10 483	13 104	32 105	36 691
Pixel Chip dimensions (mm ²)	15 × 30						
Nr. Pixel Chips	108	144	180	2688	3360	8232	9408
Nr. Staves	12	16	20	24	30	42	48
Staves overlap in $r\phi$ (mm)	2.23	2.22	2.30	4.3	4.3	4.3	4.3
Gap between chips in z (μm)	100						
Chip dead area in $r\phi$ (mm)	2						
Pixel size (μm ²)	(20 – 30) × (20 – 30)			(20 – 50) × (20 – 50)			

^a The pseudorapidity coverage of the detector layers refers to tracks originating from a collision at the nominal interaction point ($z = 0$).

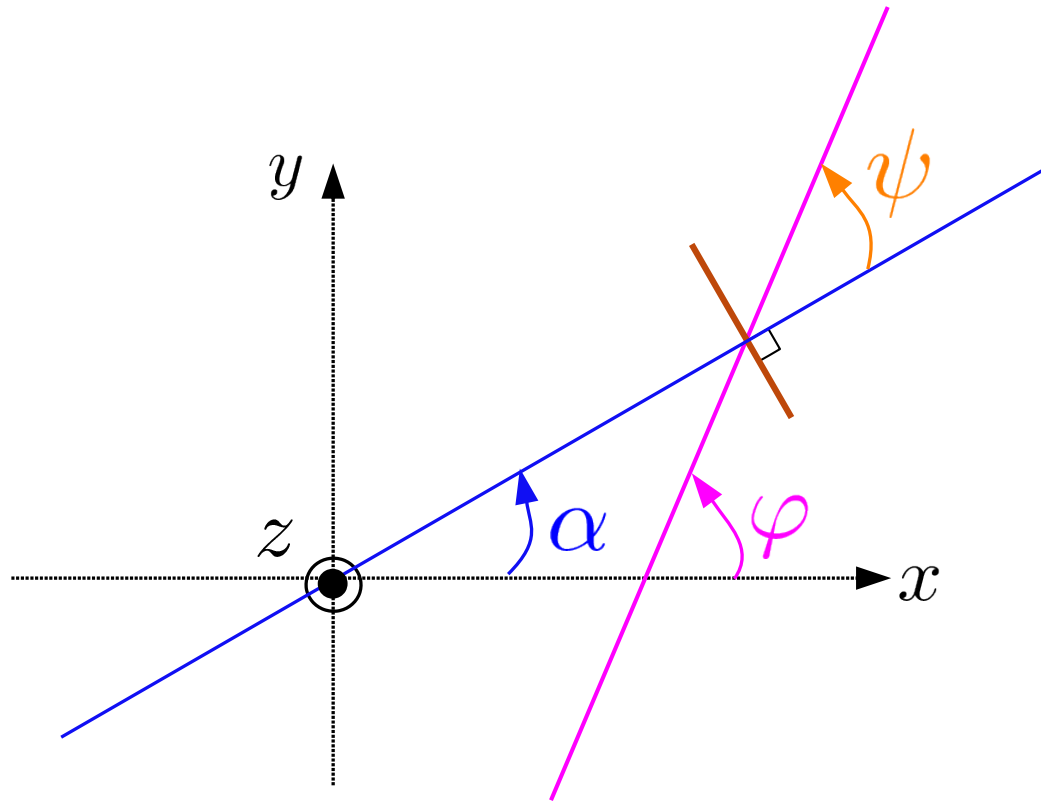
Image d'une moitié de tonneau (lors de la mise en service de l'ITS)



Vue en coupe d'un pixel



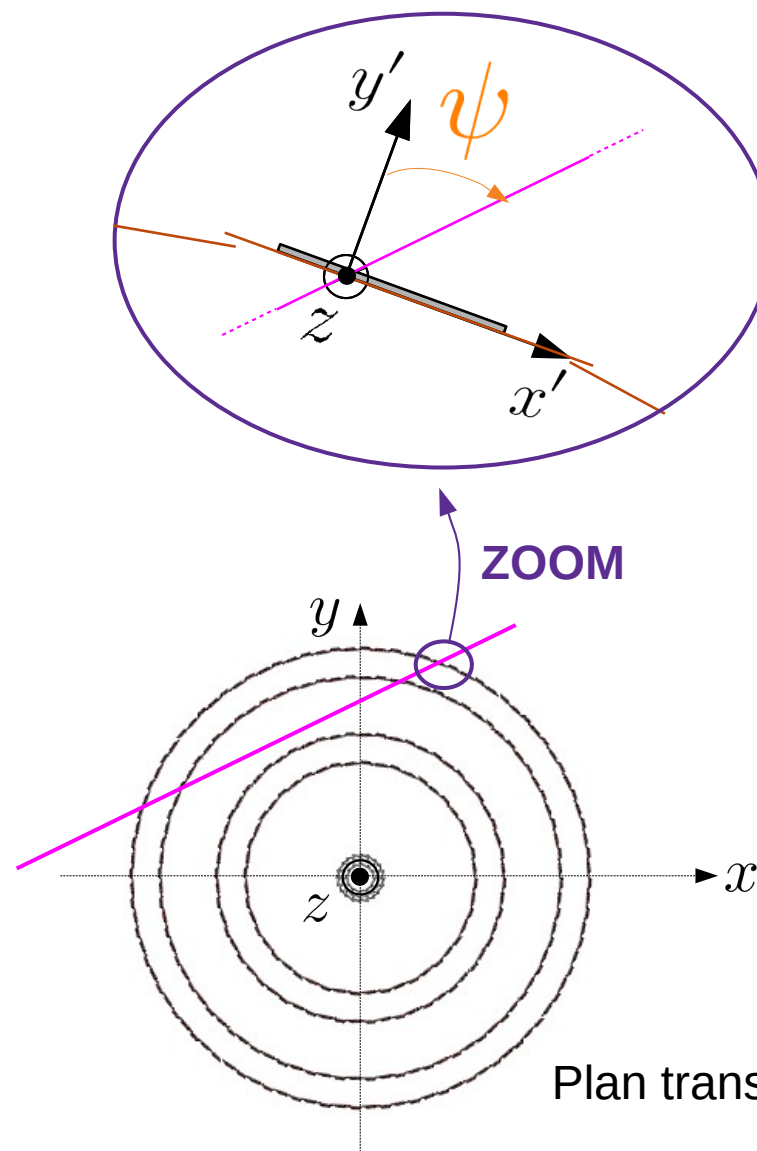
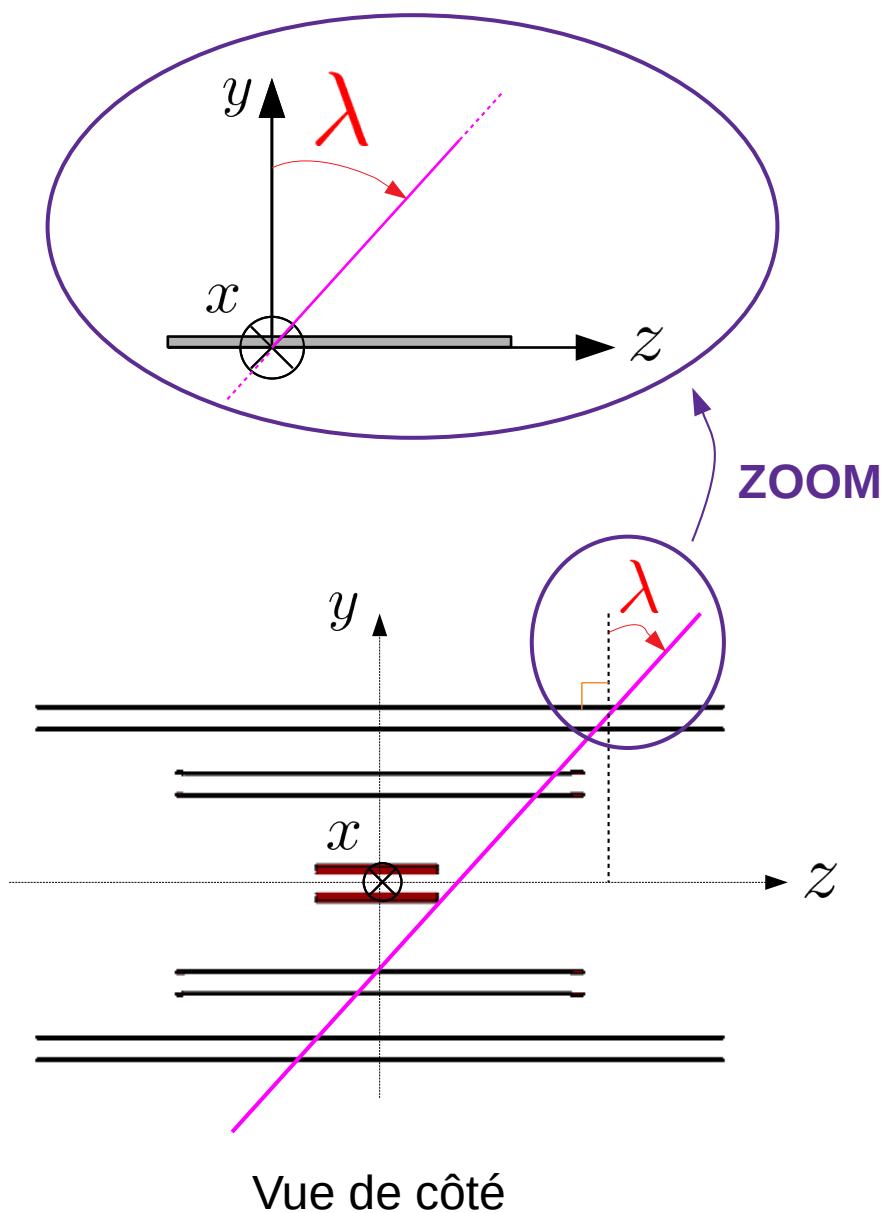
Construction de l'angle ψ



$$\psi = \varphi - \alpha$$

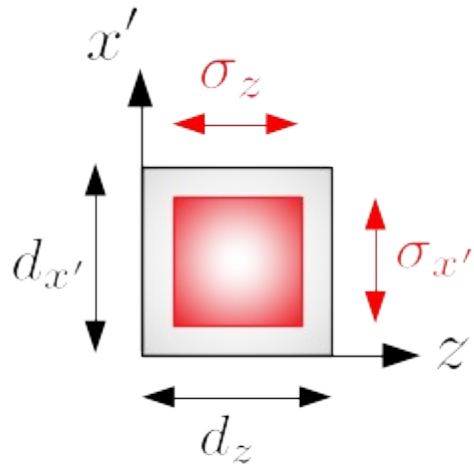
λ défini globalement

ψ défini localement

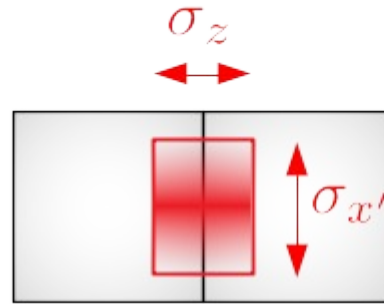


Backup pour II)

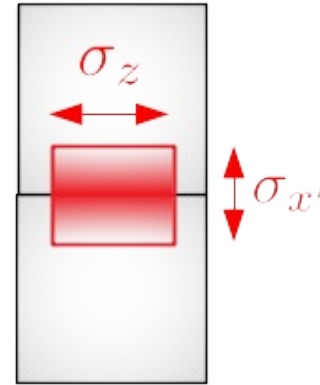
Motivations



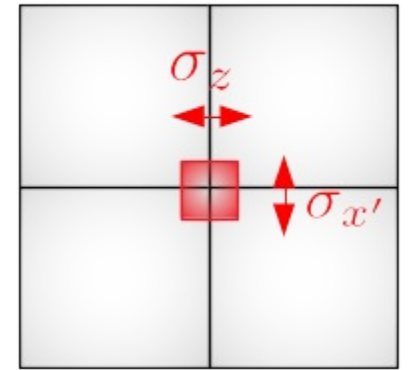
(a)



(b)



(c)



(d)

$$\sigma_z \sim \frac{d_z}{\sqrt{12}}$$

$$\sigma_{x'} \sim \frac{d_{x'}}{\sqrt{12}}$$

$$\sigma_z \ll \frac{d_z}{\sqrt{12}}$$

$$\sigma_{x'} \sim \frac{d_{x'}}{\sqrt{12}}$$

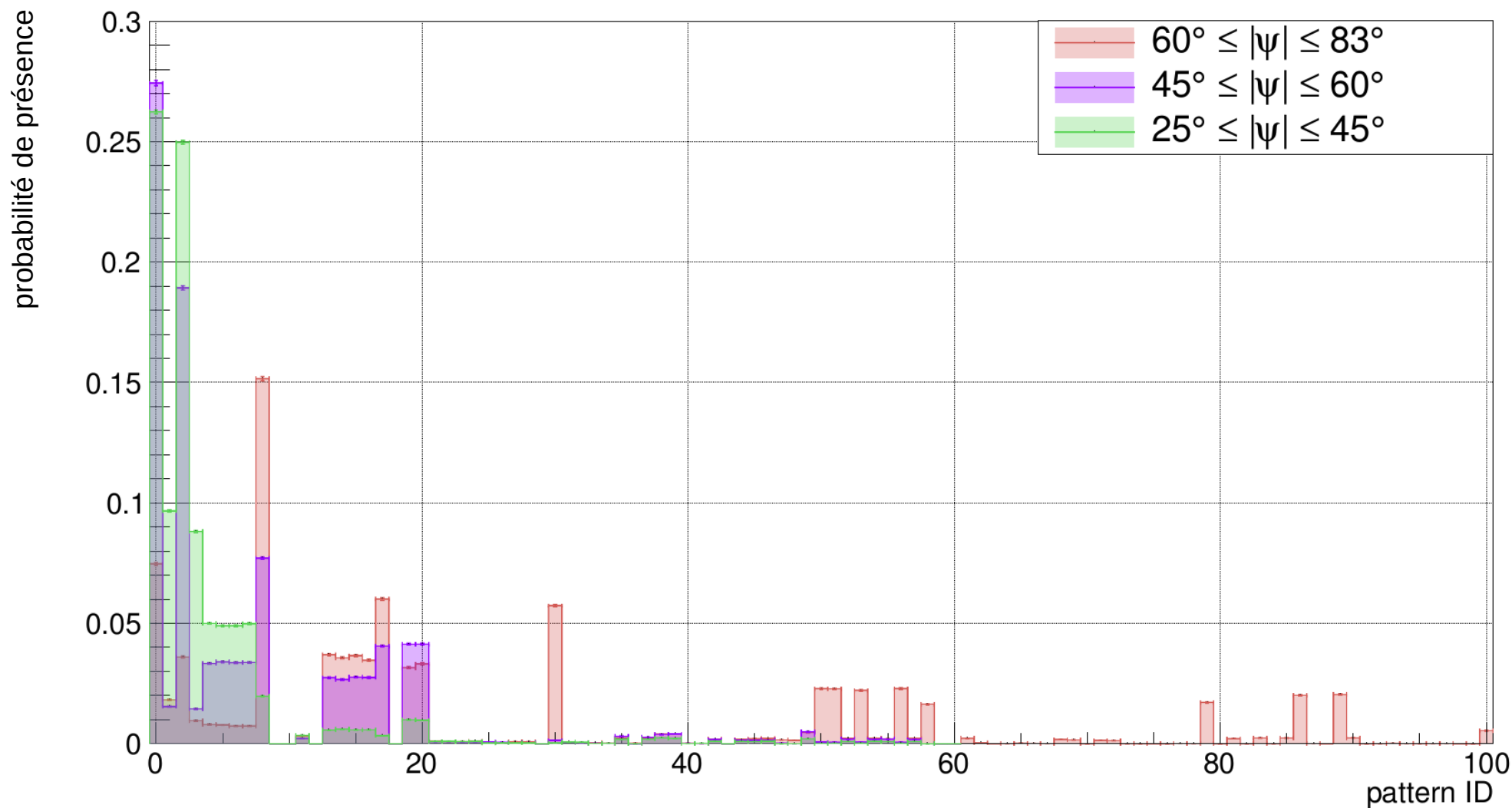
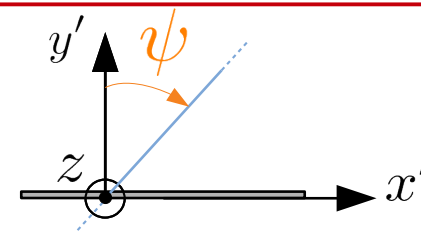
$$\sigma_z \sim \frac{d_z}{\sqrt{12}}$$

$$\sigma_{x'} \ll \frac{d_{x'}}{\sqrt{12}}$$

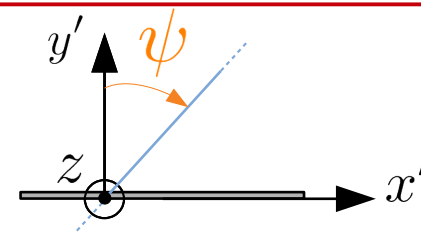
$$\sigma_z \ll \frac{d_z}{\sqrt{12}}$$

$$\sigma_{x'} \ll \frac{d_{x'}}{\sqrt{12}}$$

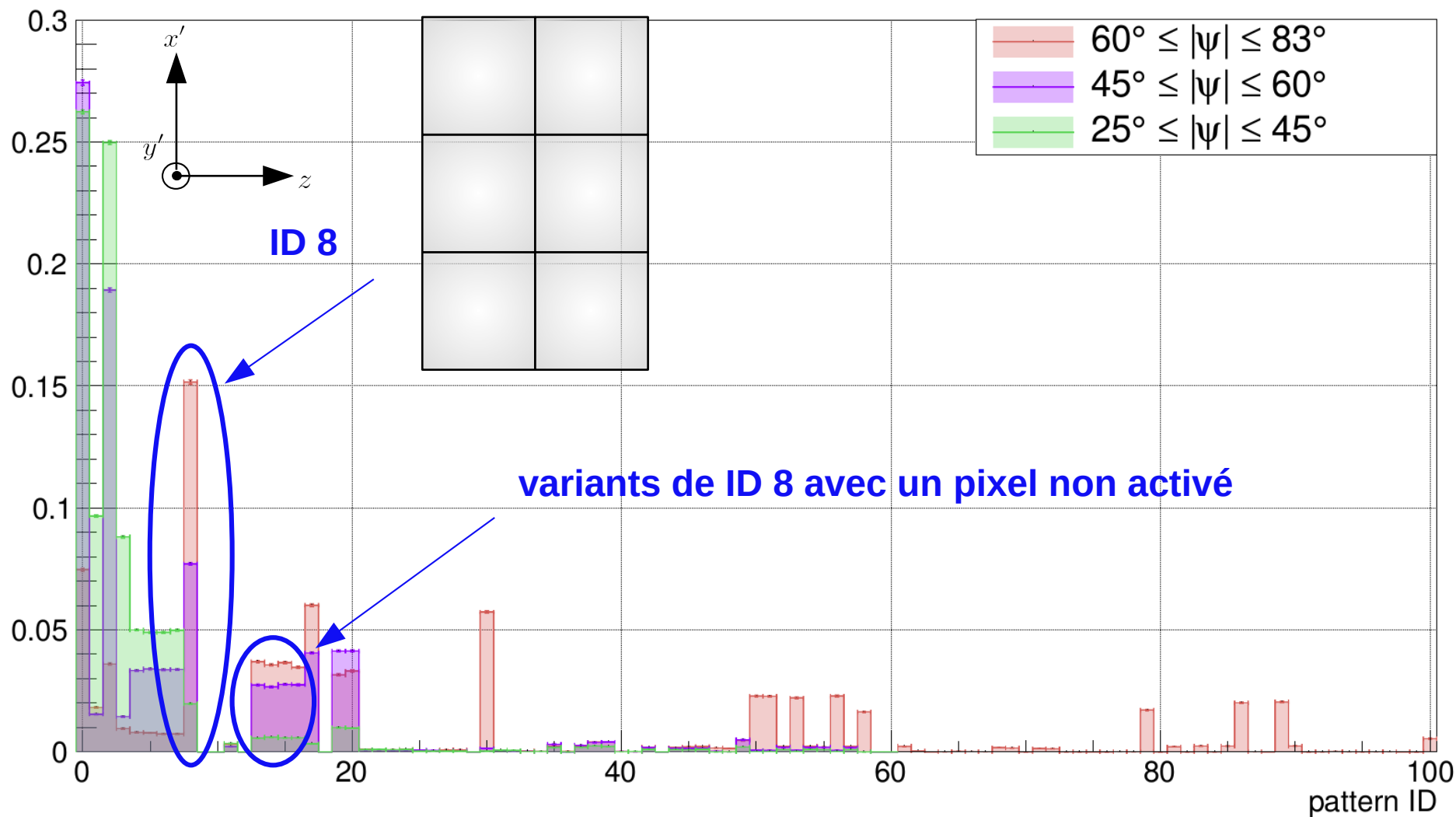
Forme d'amas = $f(\psi)$



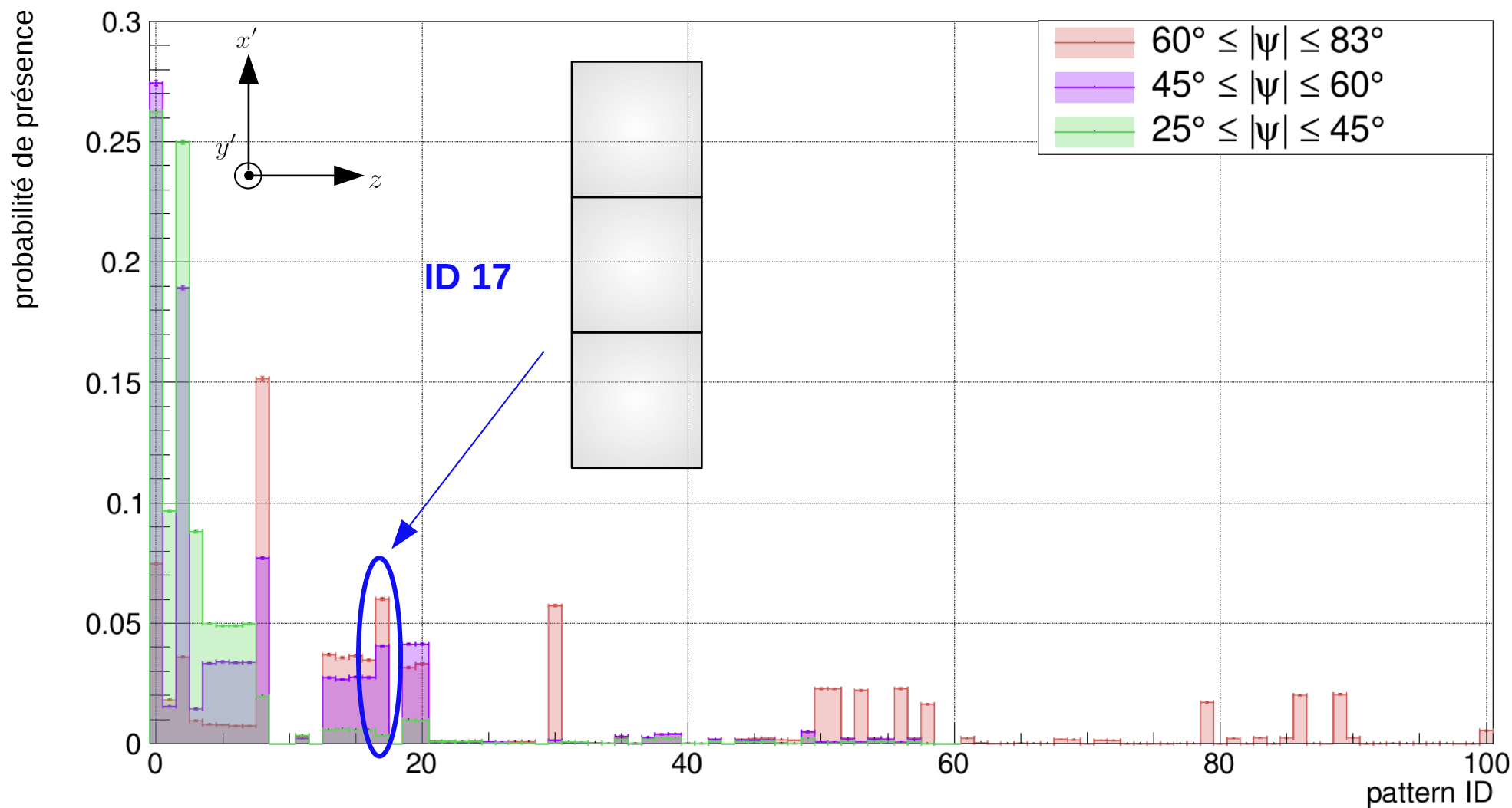
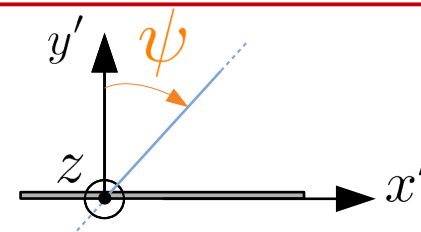
Forme d'amas = $f(\psi)$



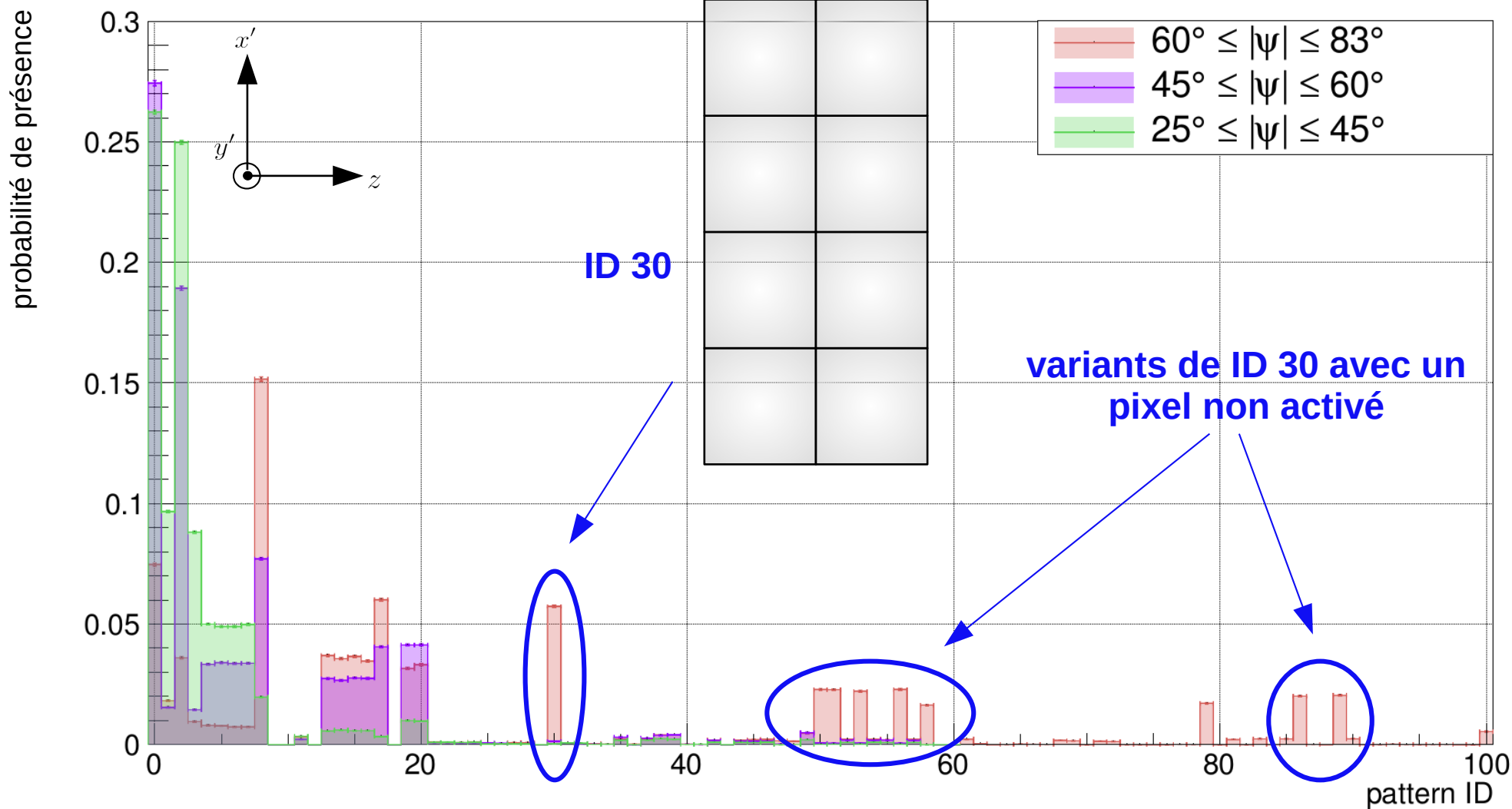
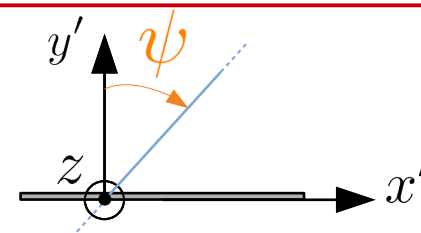
probabilité de présence



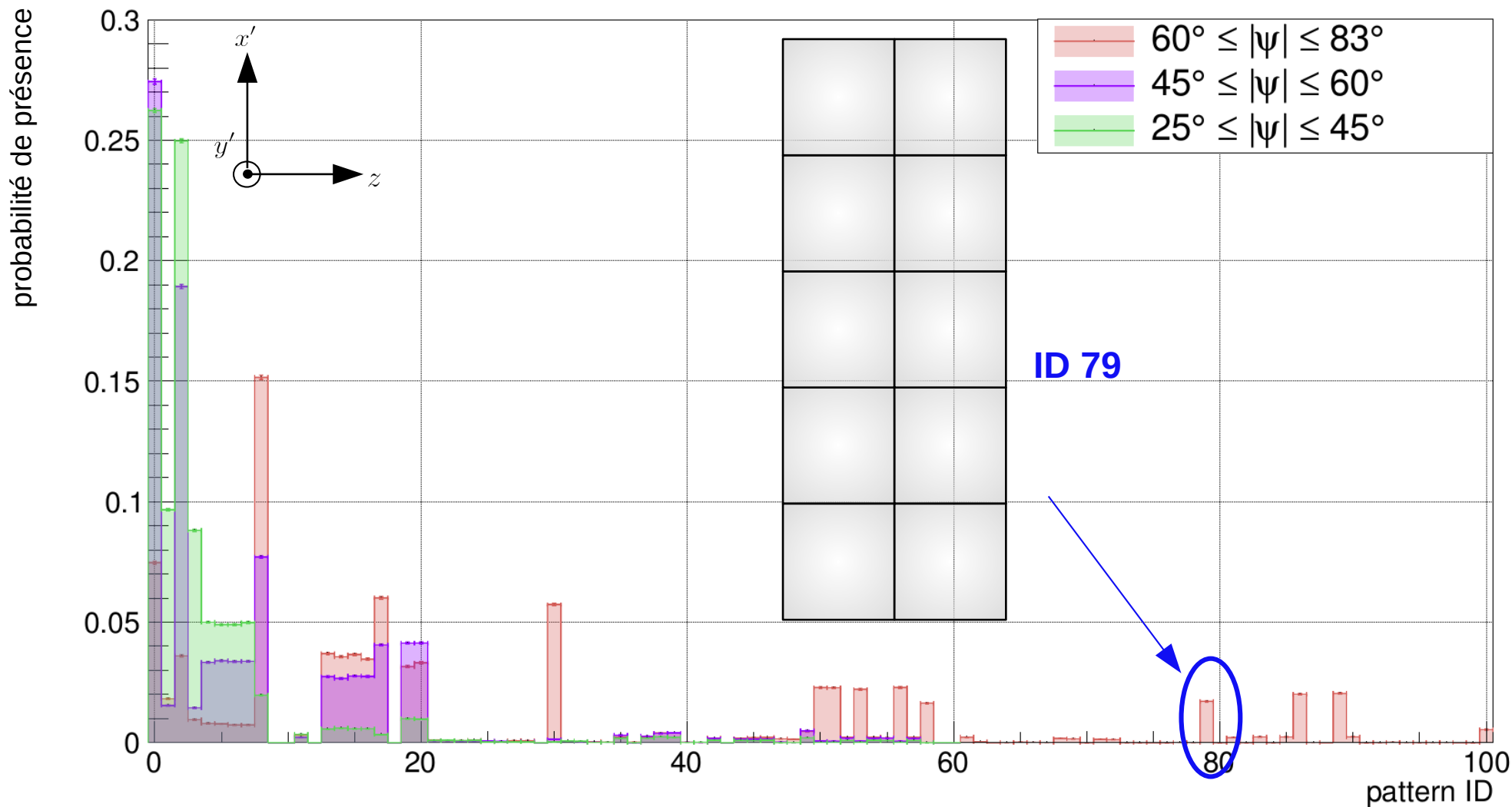
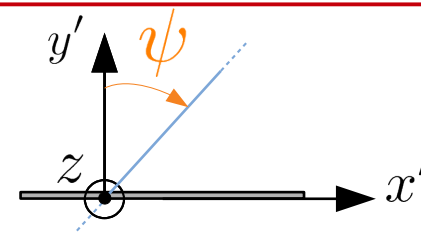
Forme d'amas = $f(\psi)$



Forme d'amas = $f(\psi)$



Forme d'amas = $f(\psi)$



Backup pour III)

Monte-Carlo + chaîne de reconstruction

