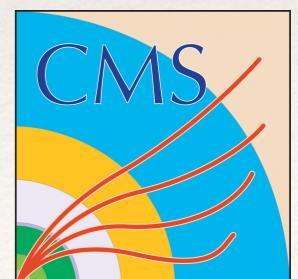
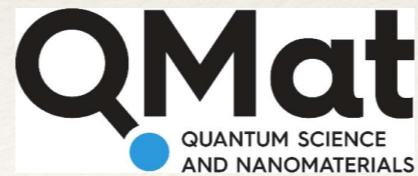


Recherche de particules au long temps de vie dans l'expérience CMS

APPARU Dylan



Modèle Standard

Théorie qui décrit :

- ❖ Les particules élémentaires
- ❖ Leurs interactions

Contexte théorique

Limitations du Modèle Standard

- ❖ Matière noire
- ❖ Asymétrie matière / antimatière
- ❖ ...

Propriétés :

- ❖ Masse
- ❖ Charge électrique
- ❖ Temps de vie
- ❖ ...

Théories au-delà du Modèle Standard

Ingrédients :

- ❖ Nouvelles interactions
- ❖ Nouvelles symétries
- ❖ Nouvelles particules
- ❖ ...

$$m > 200 \text{ GeV}/c^2$$

$$\tau > 5 \text{ ns}$$

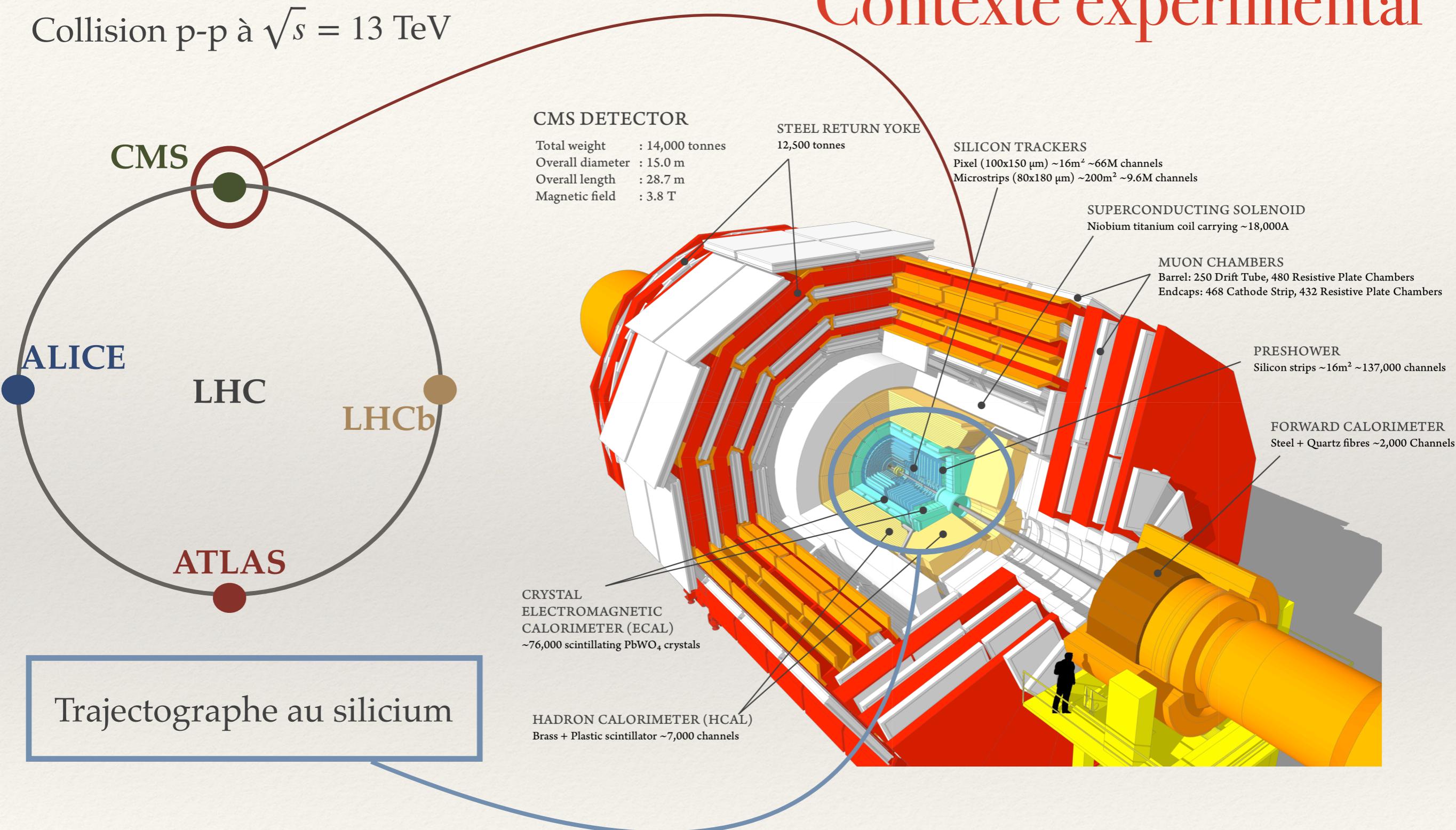
$$Q = e$$

Heavy Stable Charged Particle

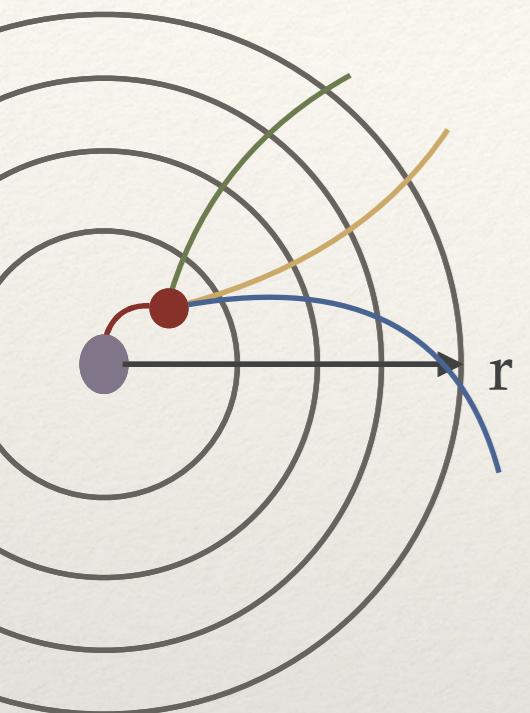
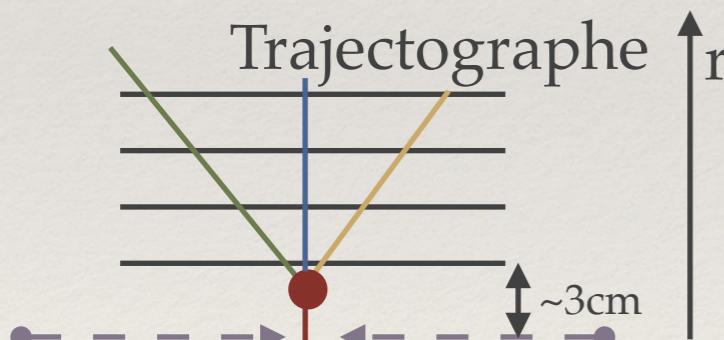
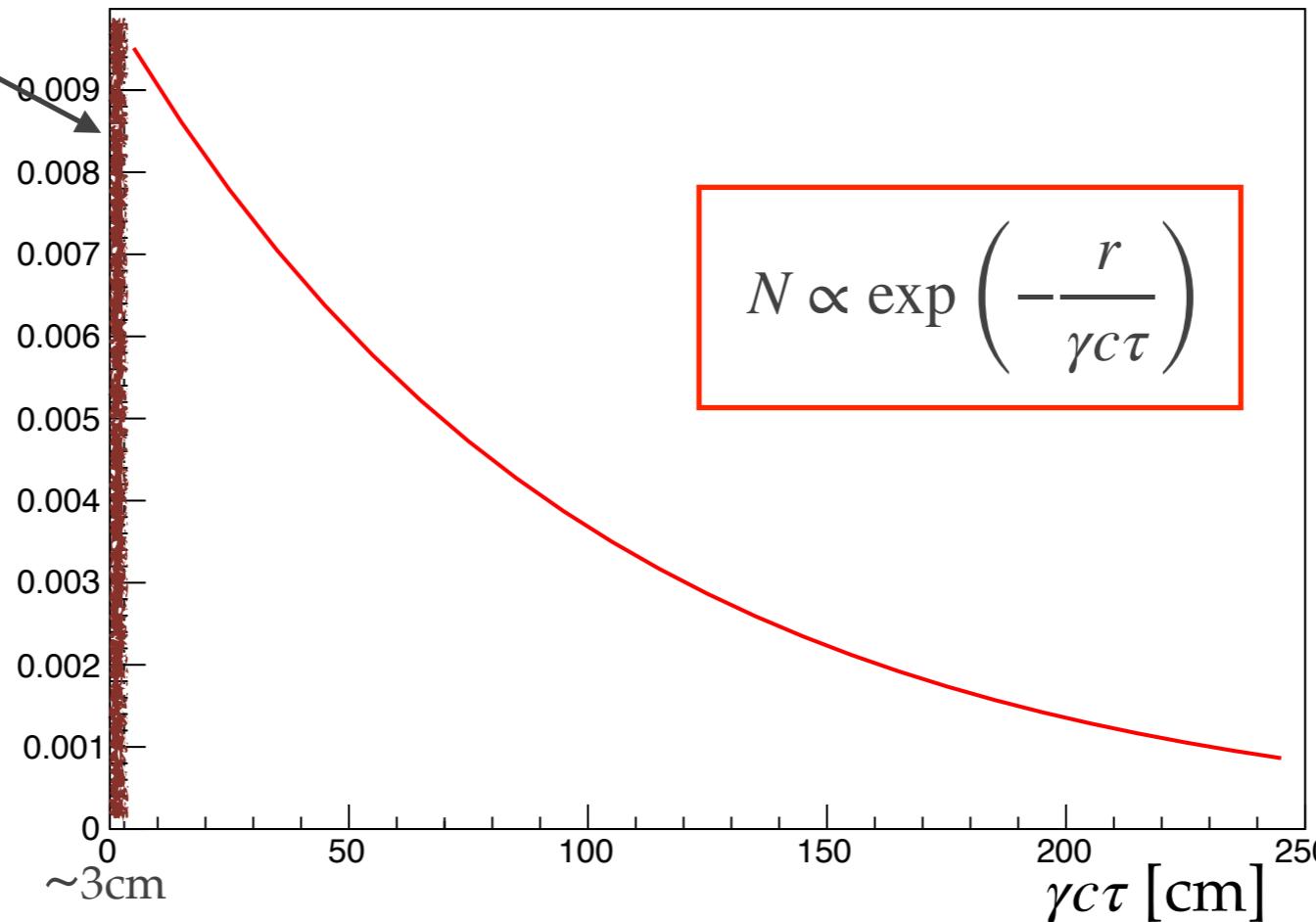
Exemple de HSCP :
le **gluino** en supersymétrie

Collision p-p à $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$

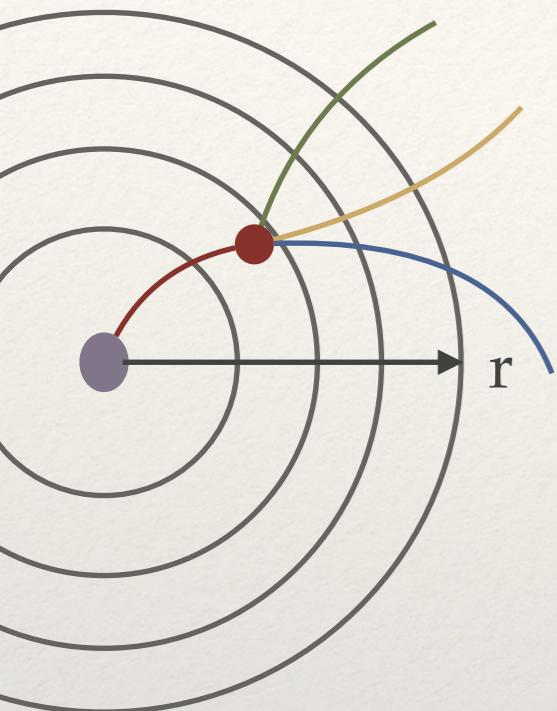
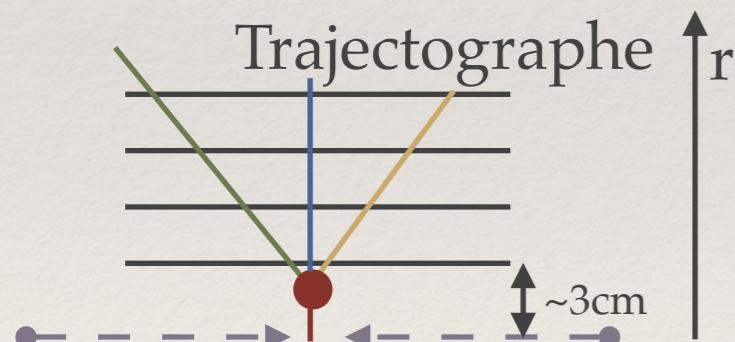
Contexte expérimental



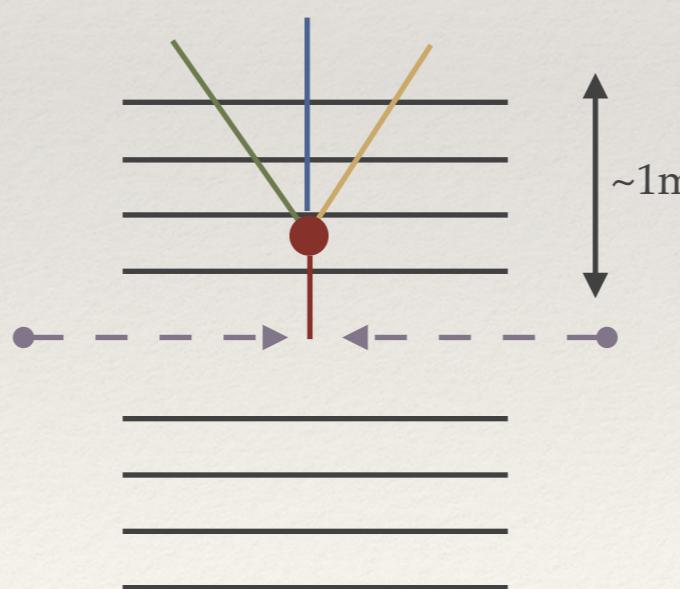
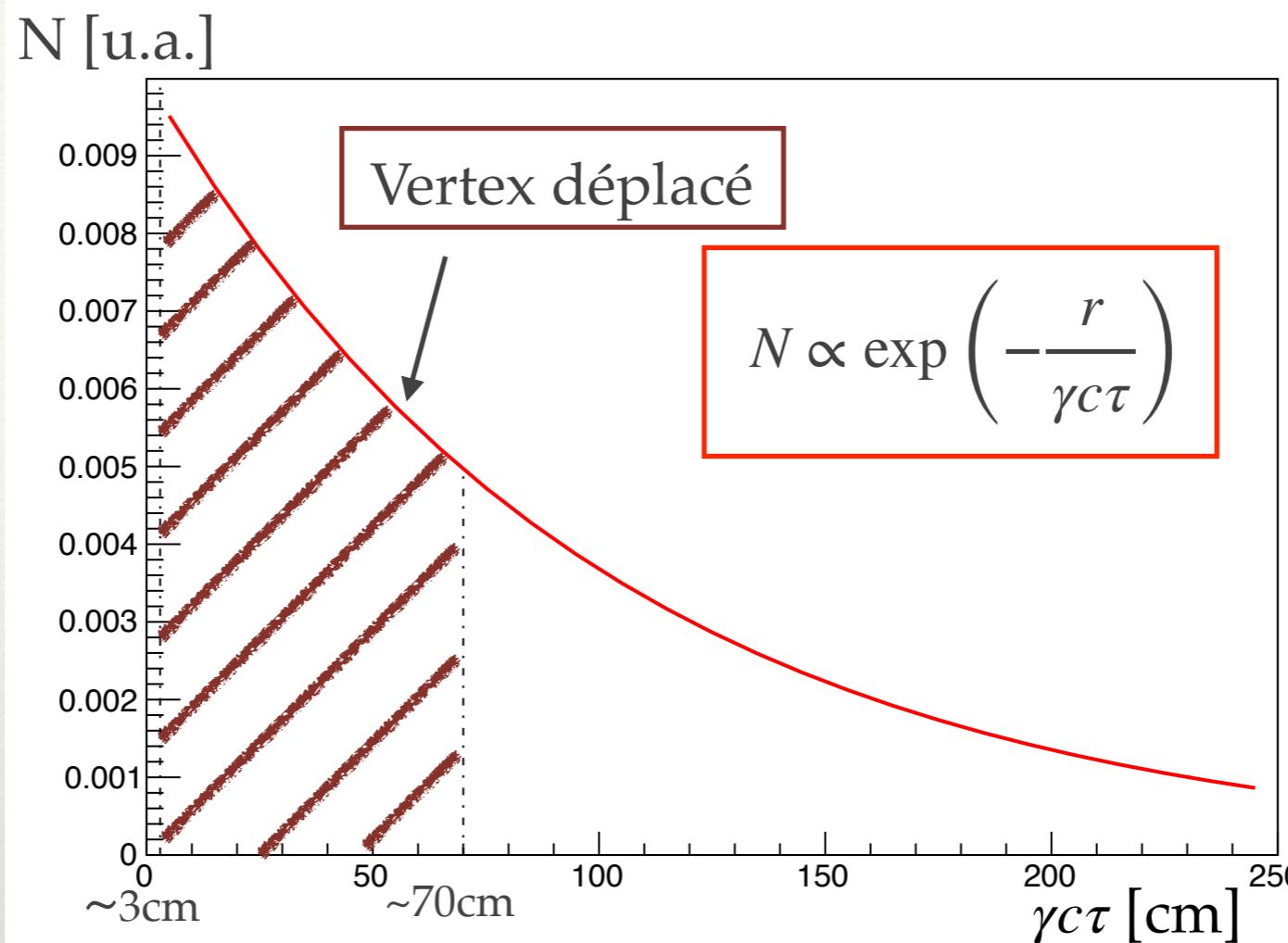
Trajectographe au silicium

Prompt*Vue transverse**Vue longitudinale***Prompt****N [u.a.]**

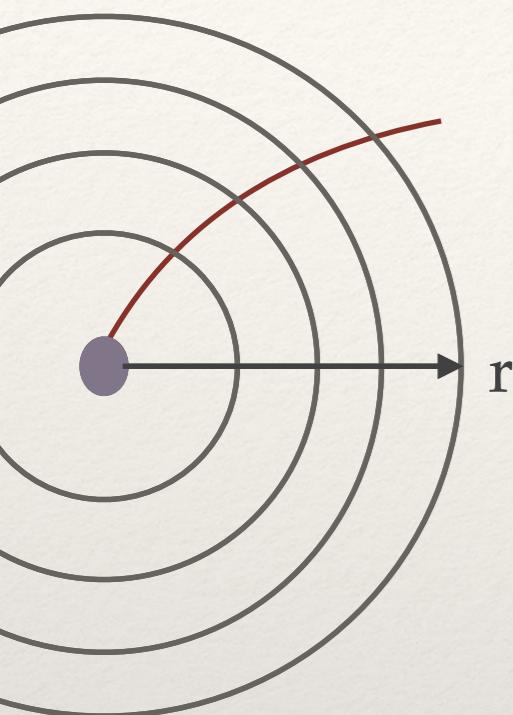
Les particules à long temps de vie

Vue transverse*Vue longitudinale*

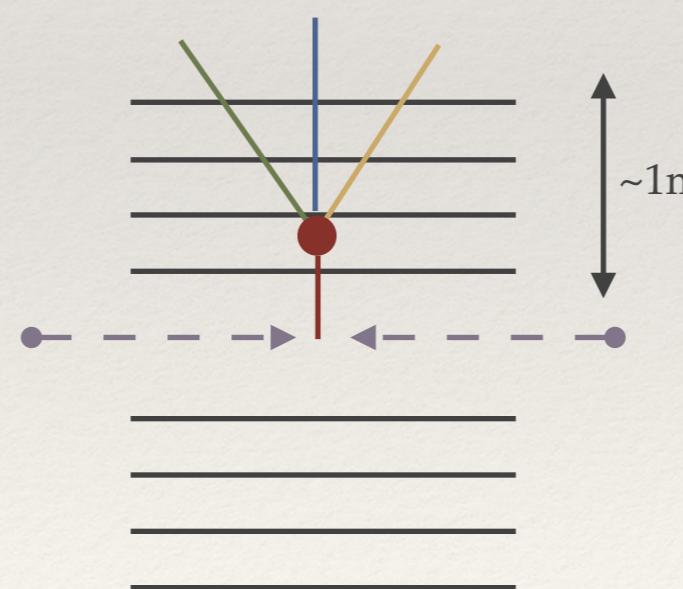
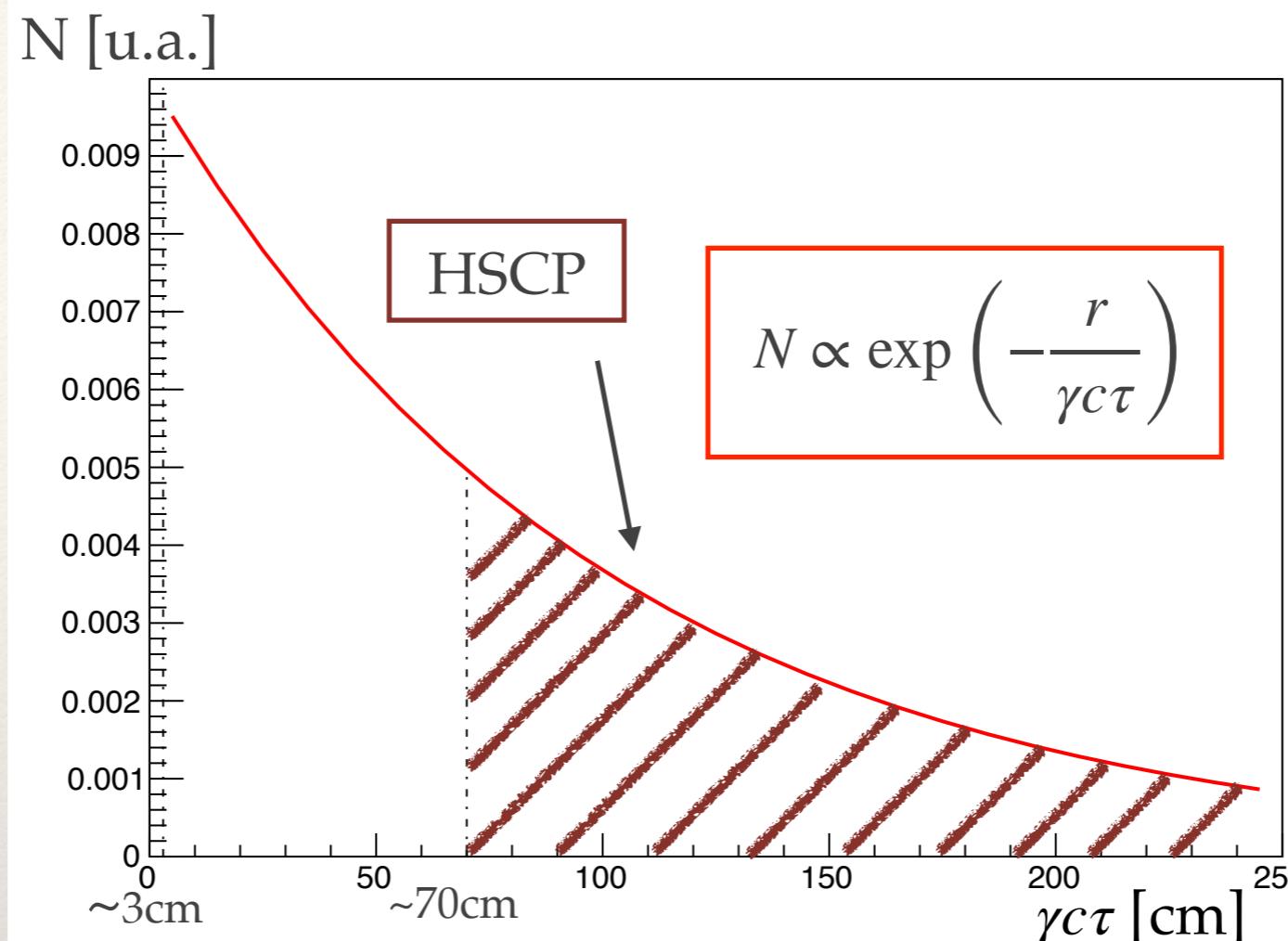
Axe du faisceau

Prompt*Vertex déplacé*

Les particules à long temps de vie

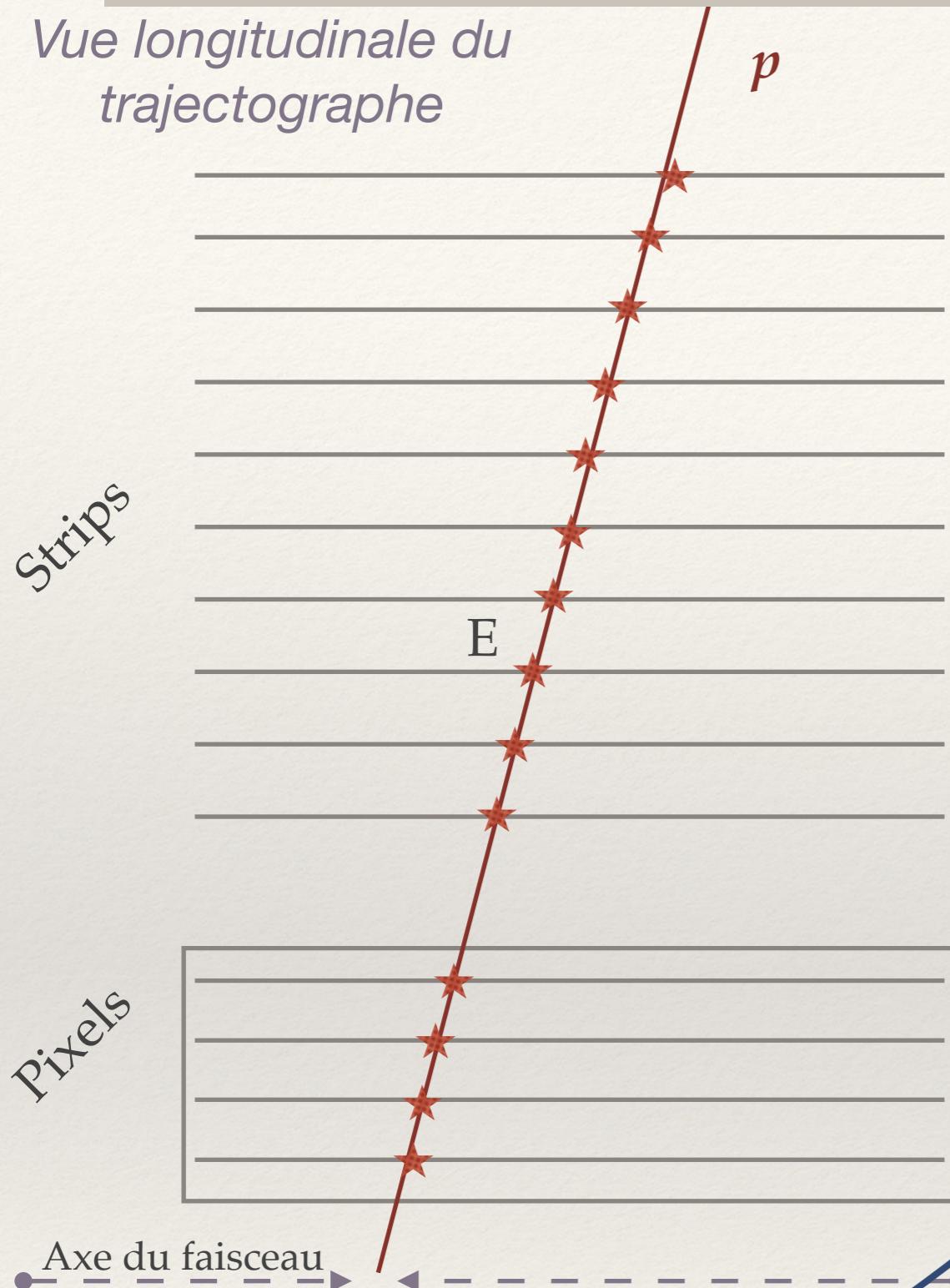
Vue transverse*Vue longitudinale*

Axe du faisceau

Prompt*Vertex déplacé***HSCP**

Les particules à long temps de vie

Vue longitudinale du trajectographe



Reconstruit dans le trajectographe
pour chaque couche (symbolisé par
les étoiles)

Principe de l'analyse

- ❖ Recherche de signatures de particules stables, de hautes impulsions, de **hautes masses**.
—> **important dépôt d'énergie**.
- ❖ Ce type de signature n'existe pas dans le M.S.

Perte d'énergie par
unité de longueur

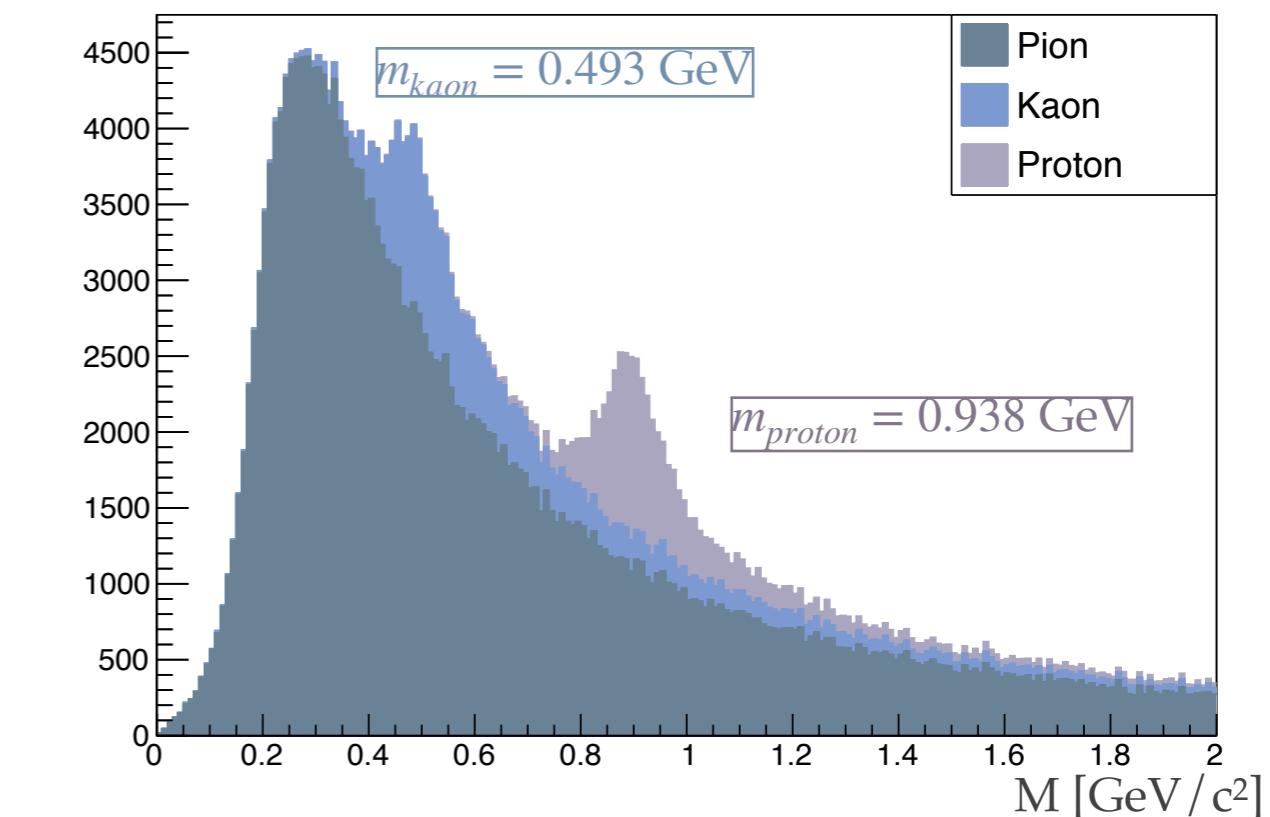
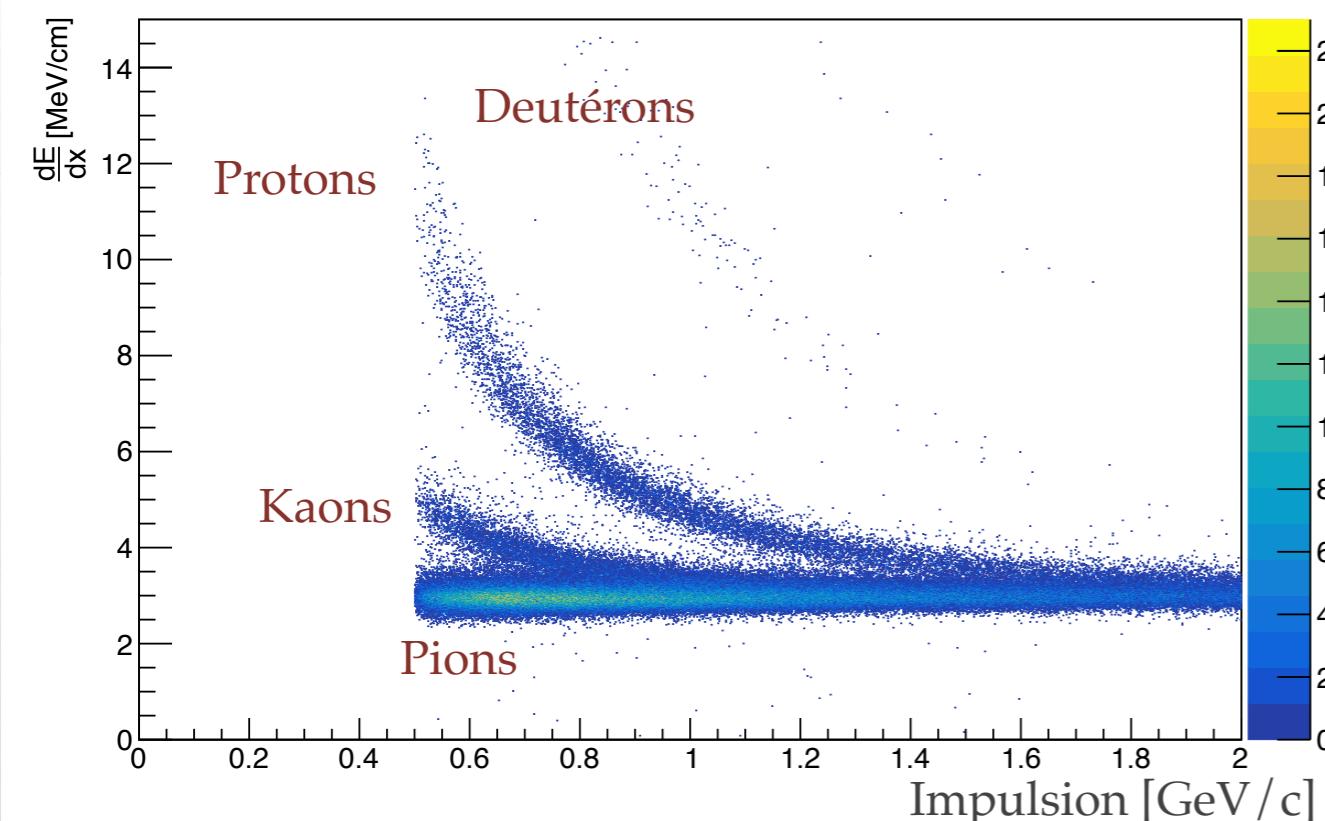
Connue grâce à la
trace de la particule

$$-\frac{dE}{dx} = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\ln \left(cste \cdot \frac{p^2}{M^2 c^2} \right) - \beta^2 \right]$$

On cherche à reconstruire les masses

Identification des particules

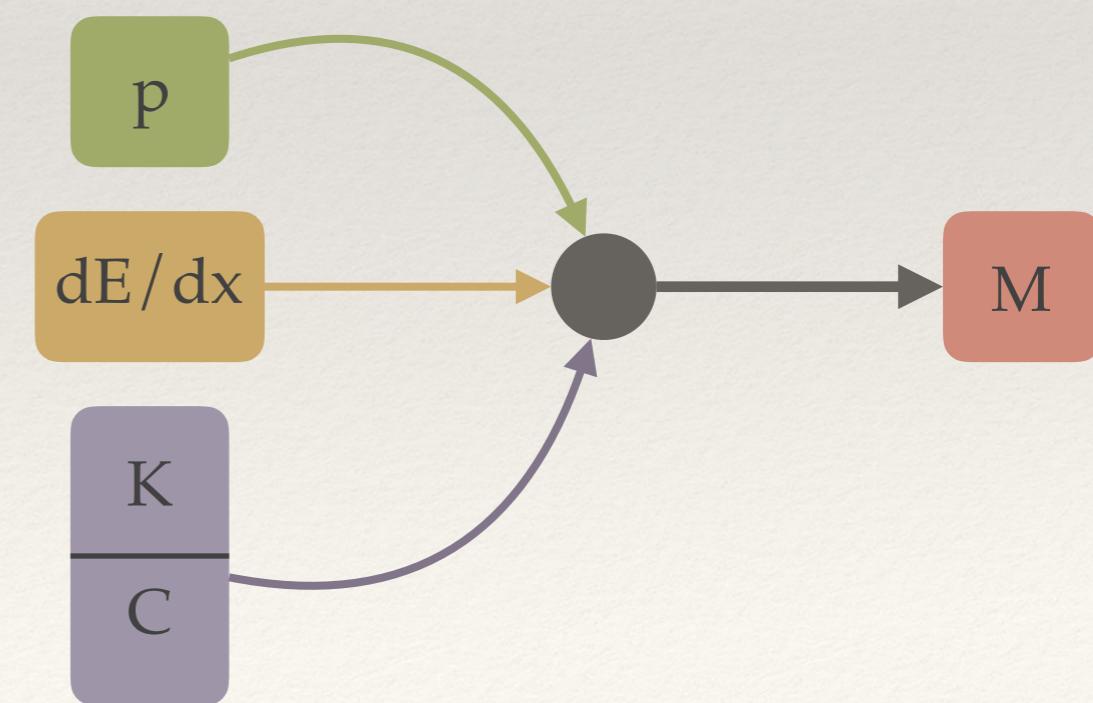
Identification des particules

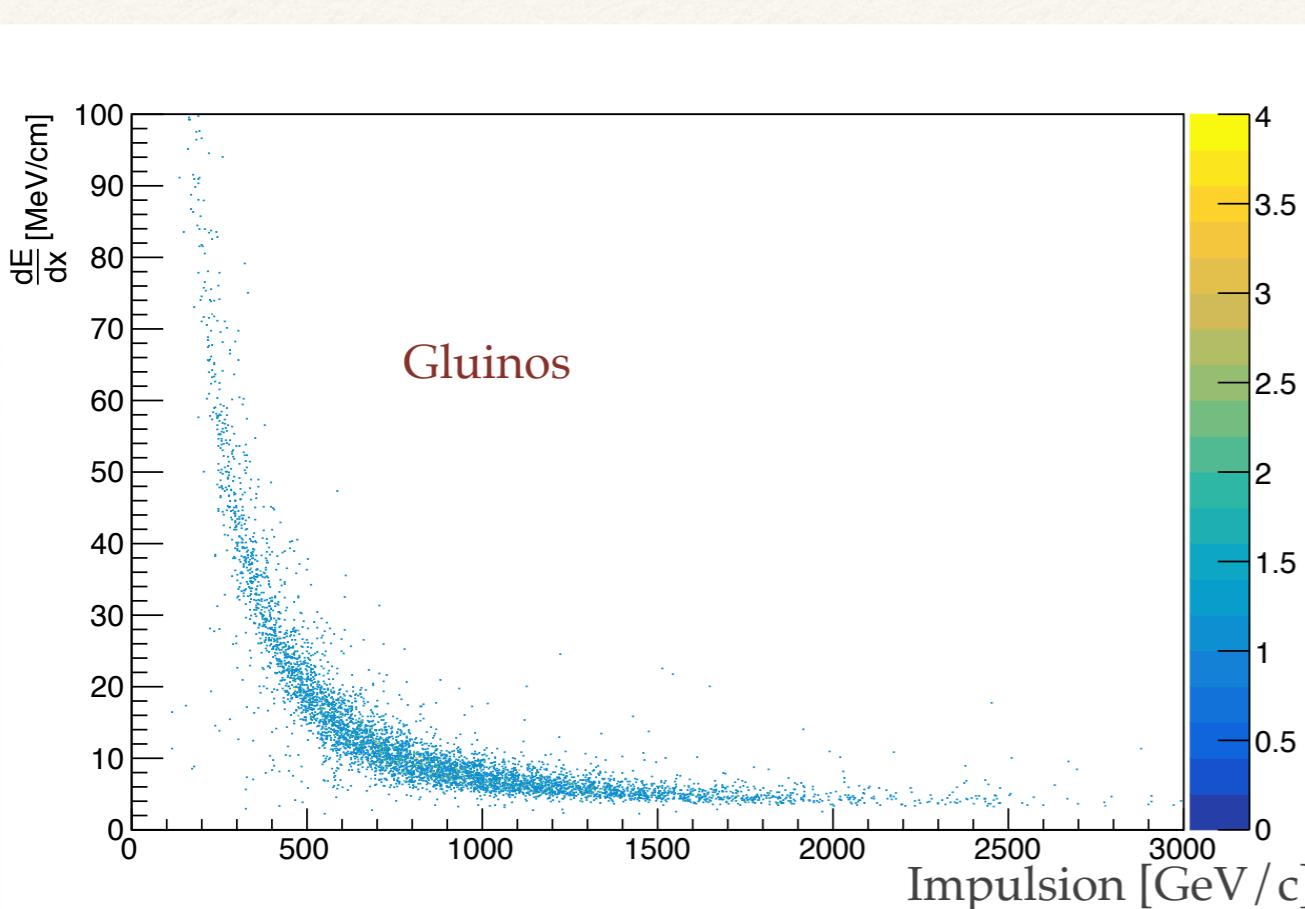


Approximation de la formule
de Bethe-Bloch

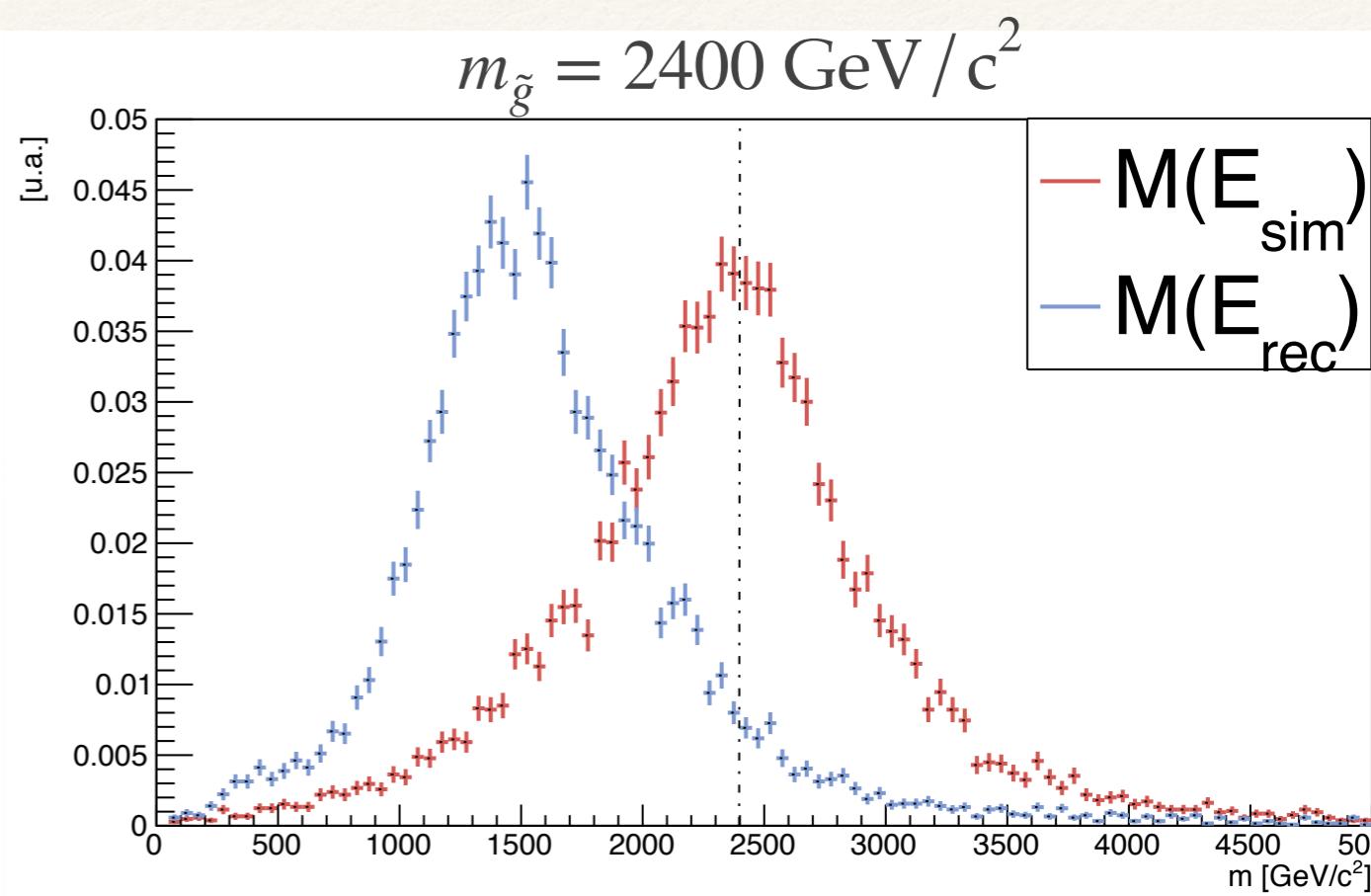


$$\frac{dE}{dx} = K \cdot \frac{M^2}{p^2} + C$$





Problématique du stage



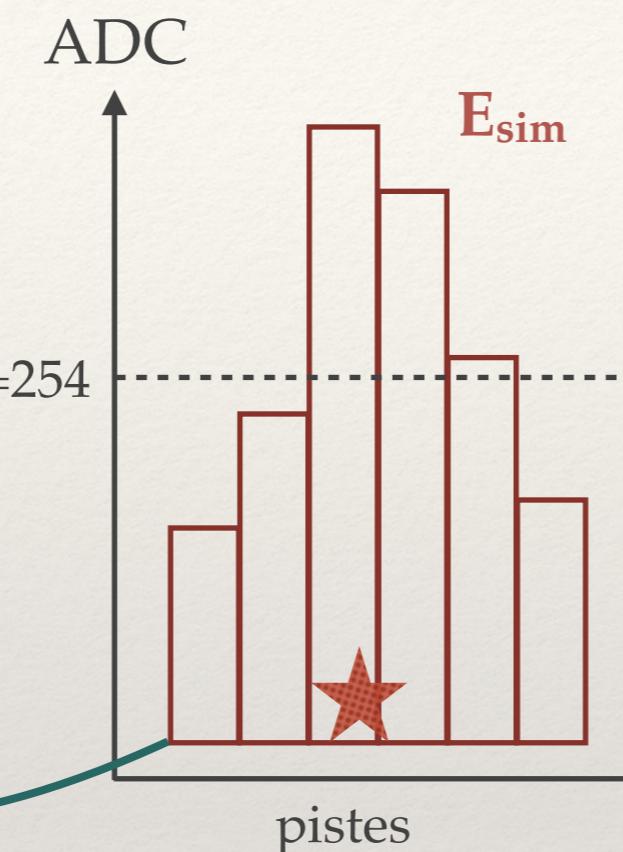
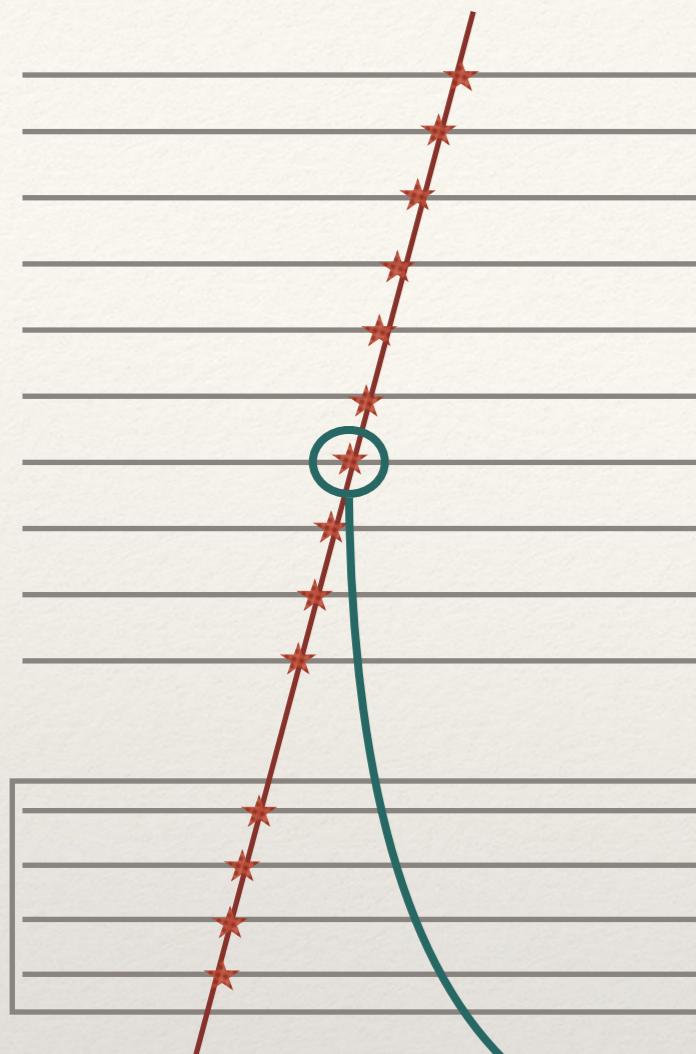
- ❖ Limite actuelle pour la recherche de gluino [1] : $> 1850 \text{ GeV}/c^2$
- ❖ Simulation de gluinos à $m_{\tilde{g}} = 2400 \text{ GeV}/c^2$ (masse non exclue)
- ❖ Environ 15000 événements dans la simulation

[1] : CMS Collaboration, "Search for heavy stable charged particles with 12.9 fb^{-1} of 2016 data",

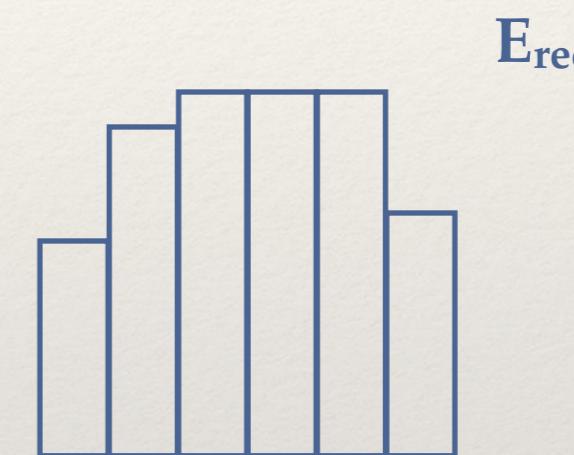
$M(E_{\text{sim}})$: masse reconstruite avec l'énergie simulée (déposée).

$M(E_{\text{rec}})$: masse reconstruite avec l'énergie reconstruite par le détecteur.

Reconstruction **biaisée** ($\sim 900 \text{ GeV}/c^2$)



Cluster saturé

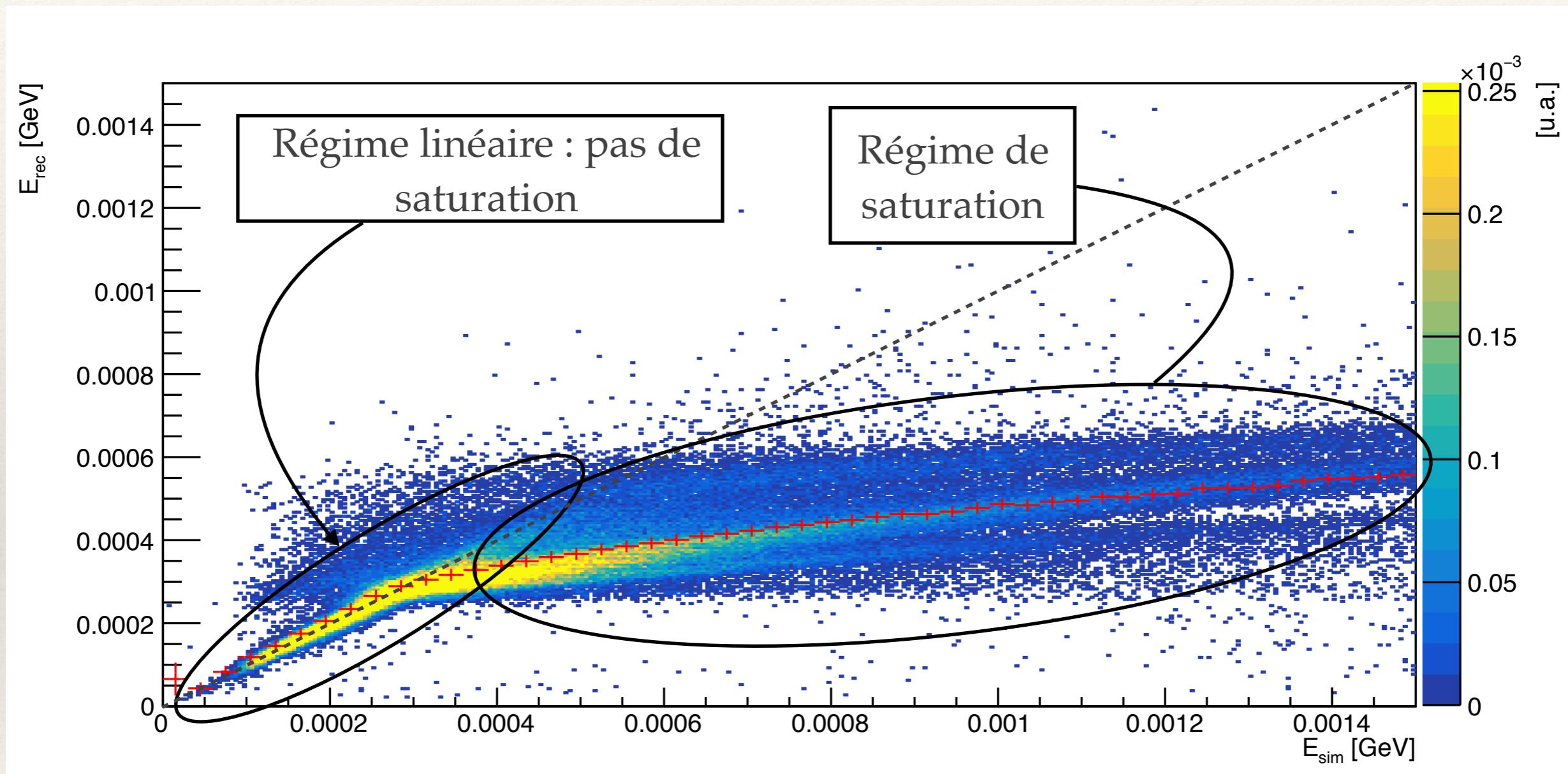


Possibilité de saturation
de l'électronique
d'acquisition pour des
forts dépôts d'énergie

Est-il possible d'apporter une
correction à la saturation ?

Investigation de l'énergie
reconstruite par rapport à
l'énergie simulée.

Etude de la saturation des clusters



Différentes **corrélations** entre l'énergie reconstruite et l'énergie simulée

Mise en place de la méthode de correction

On **décompose** le problème.

Catégorisation des clusters saturés :

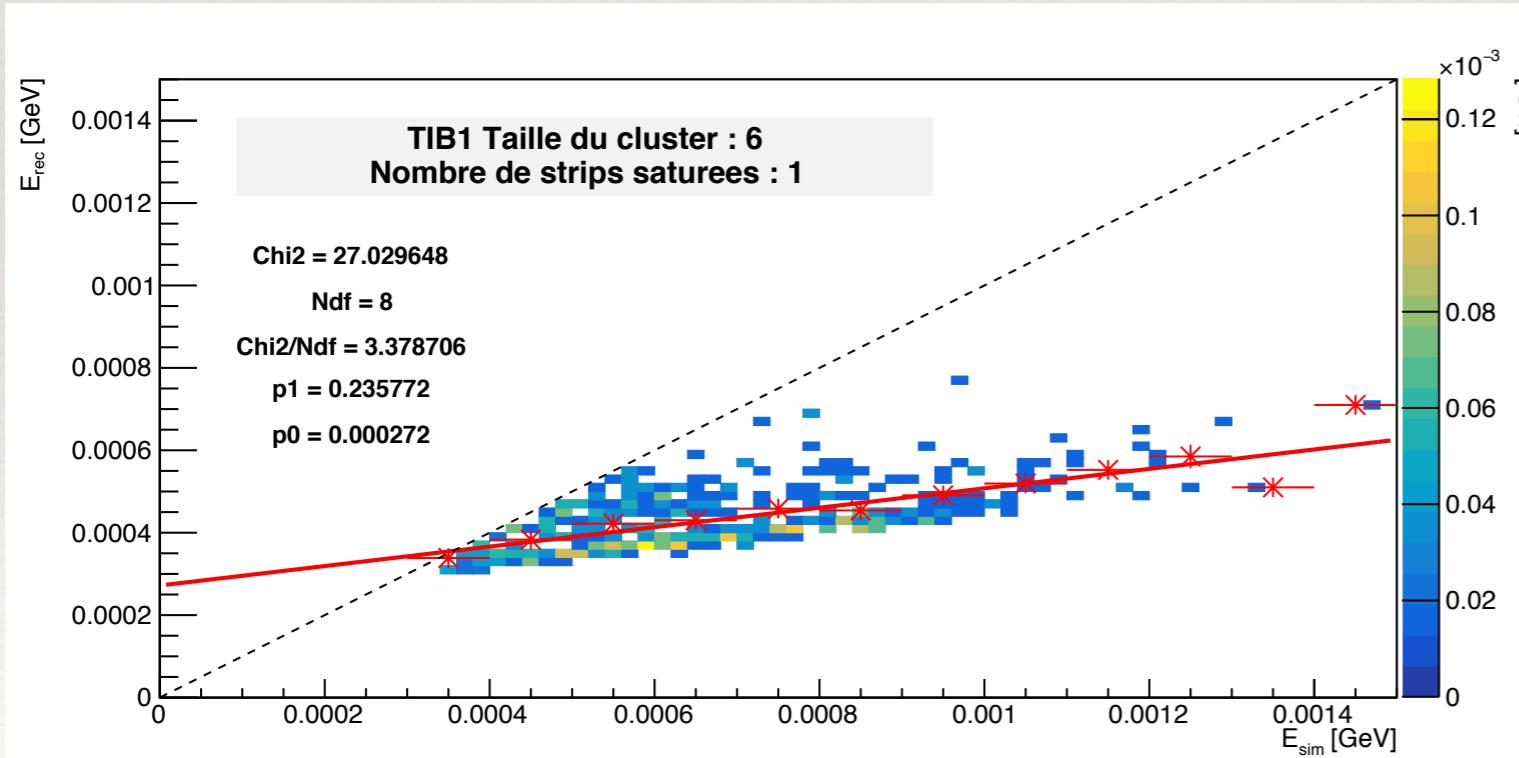
- ❖ Géométrie du détecteur
- ❖ Taille du cluster
- ❖ Nombre de pistes saturés



240 catégories

Automatisation des ajustements

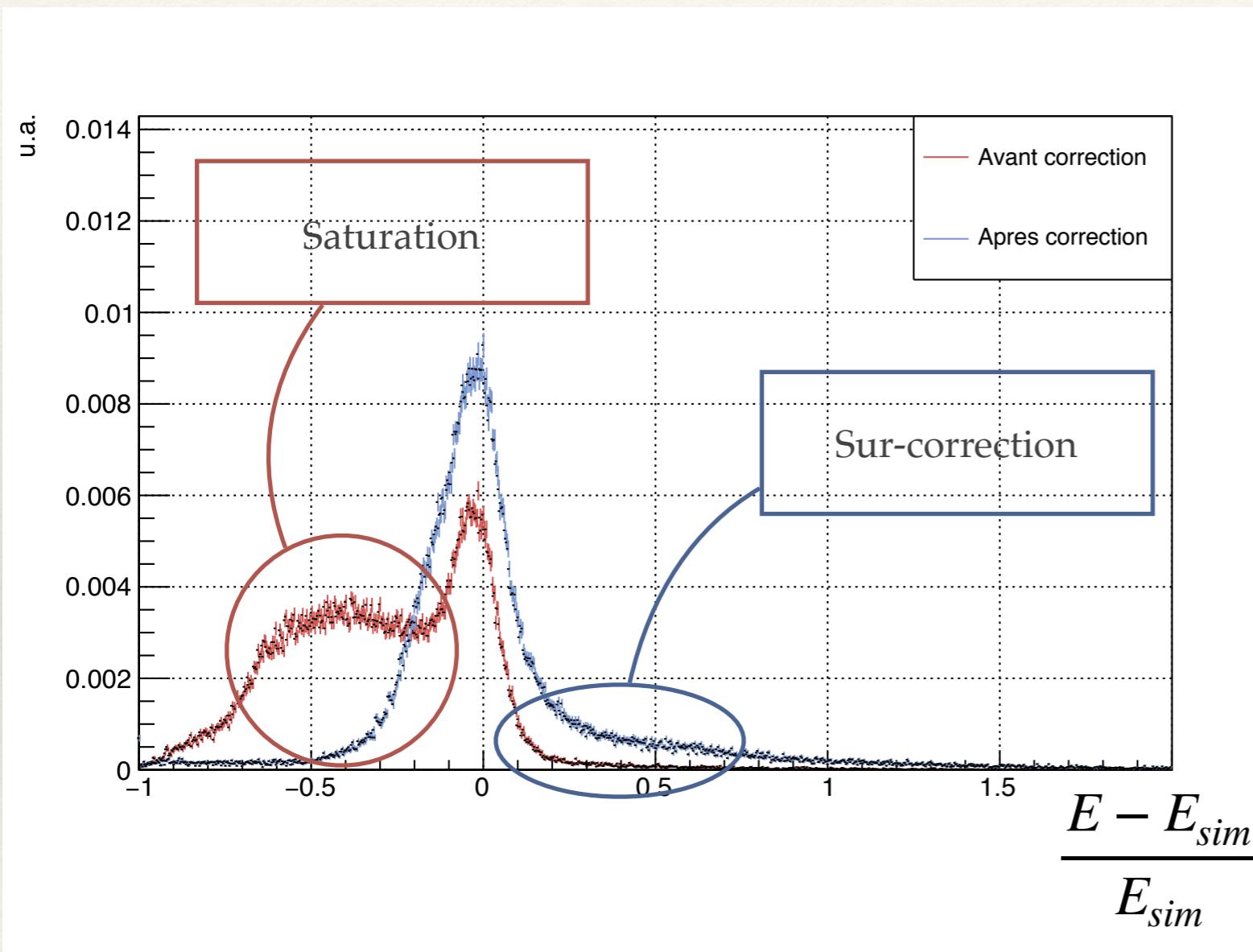
Contrôle de qualité



Exemple pour une catégorie de clusters :

- ❖ Situés dans la première couche du trajectographe (TIB layer 1)
- ❖ Composés de 6 pistes
- ❖ 1 piste saturée

Application de la méthode de correction

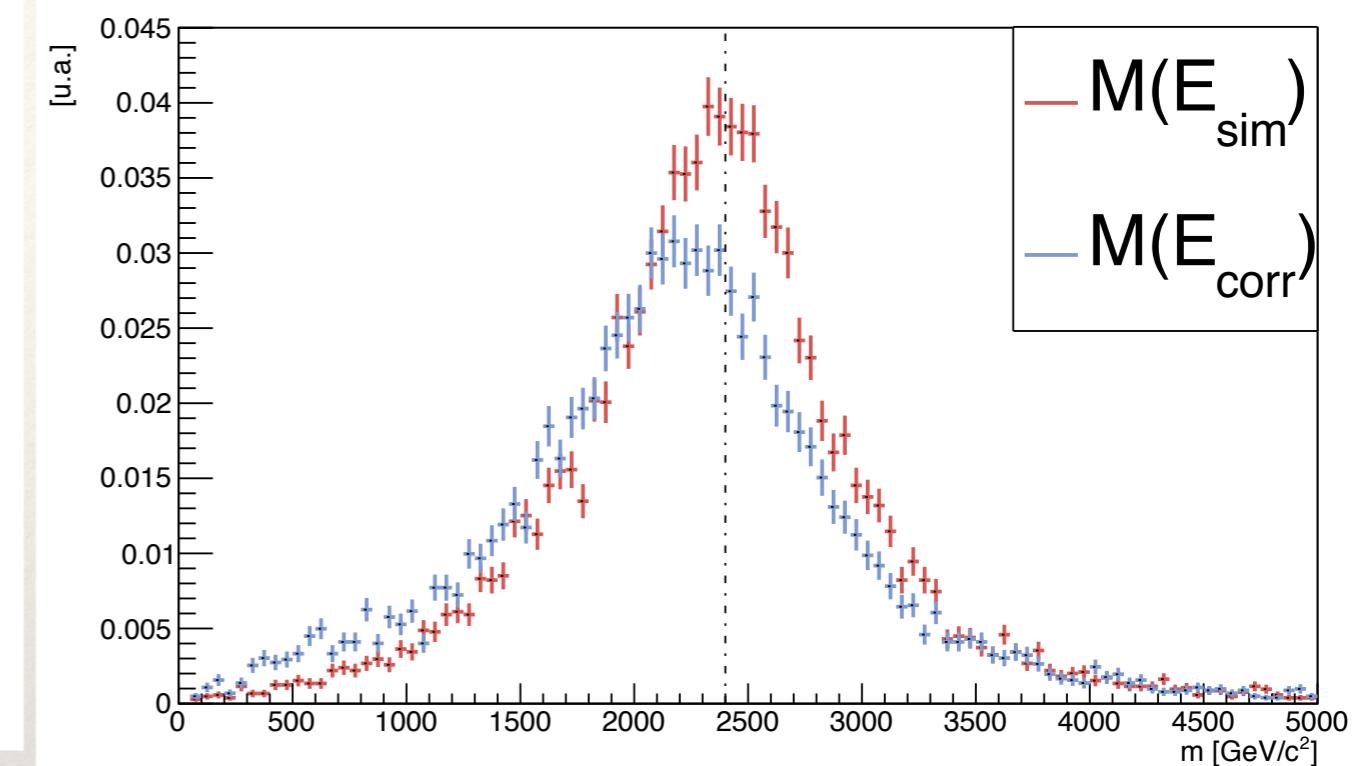
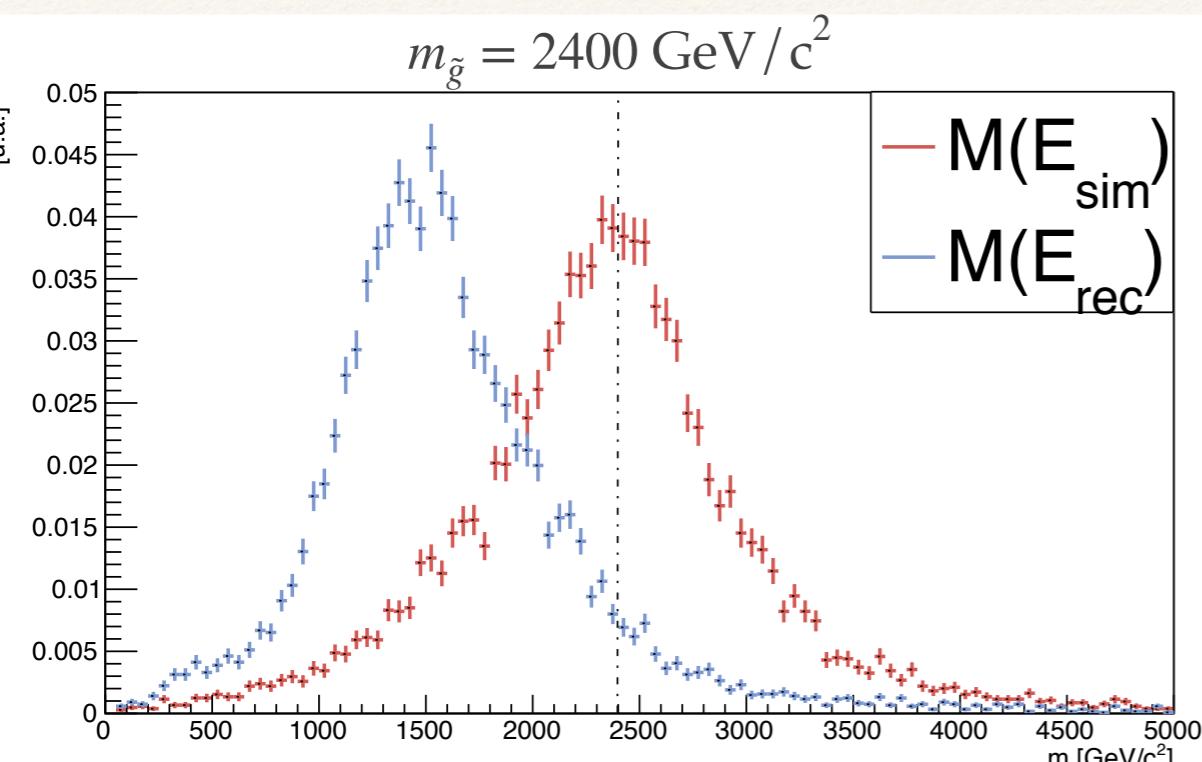


La méthode mise en place
corrige la saturation.

Sur-correction : effet
amoindri par un
critère d'application
de notre méthode.

Résultat final de la méthode

E_{corr} : énergie corrigée



Avant

Après

Correction de la masse, diminution du biais.

Conclusion - Récapitulatif

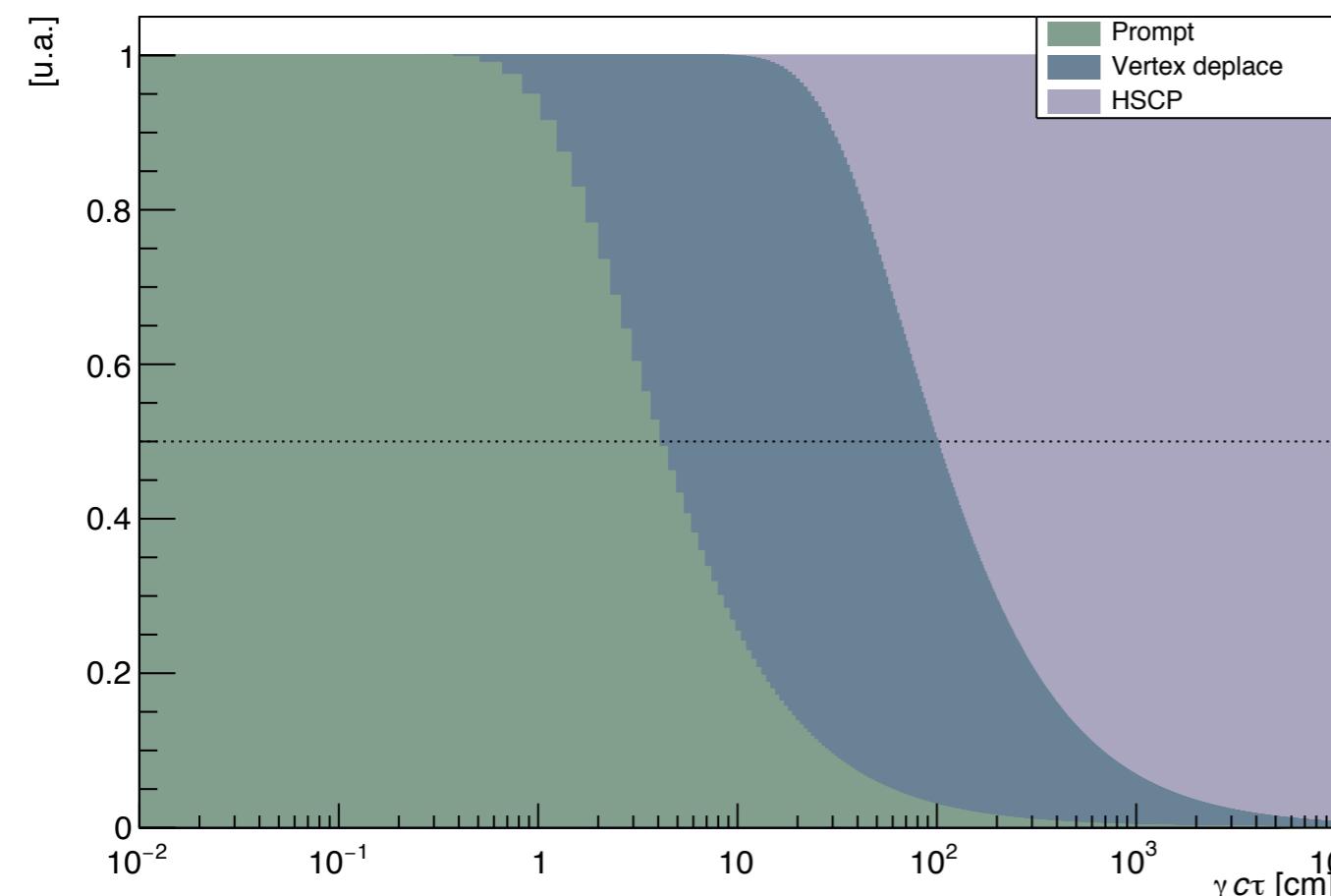
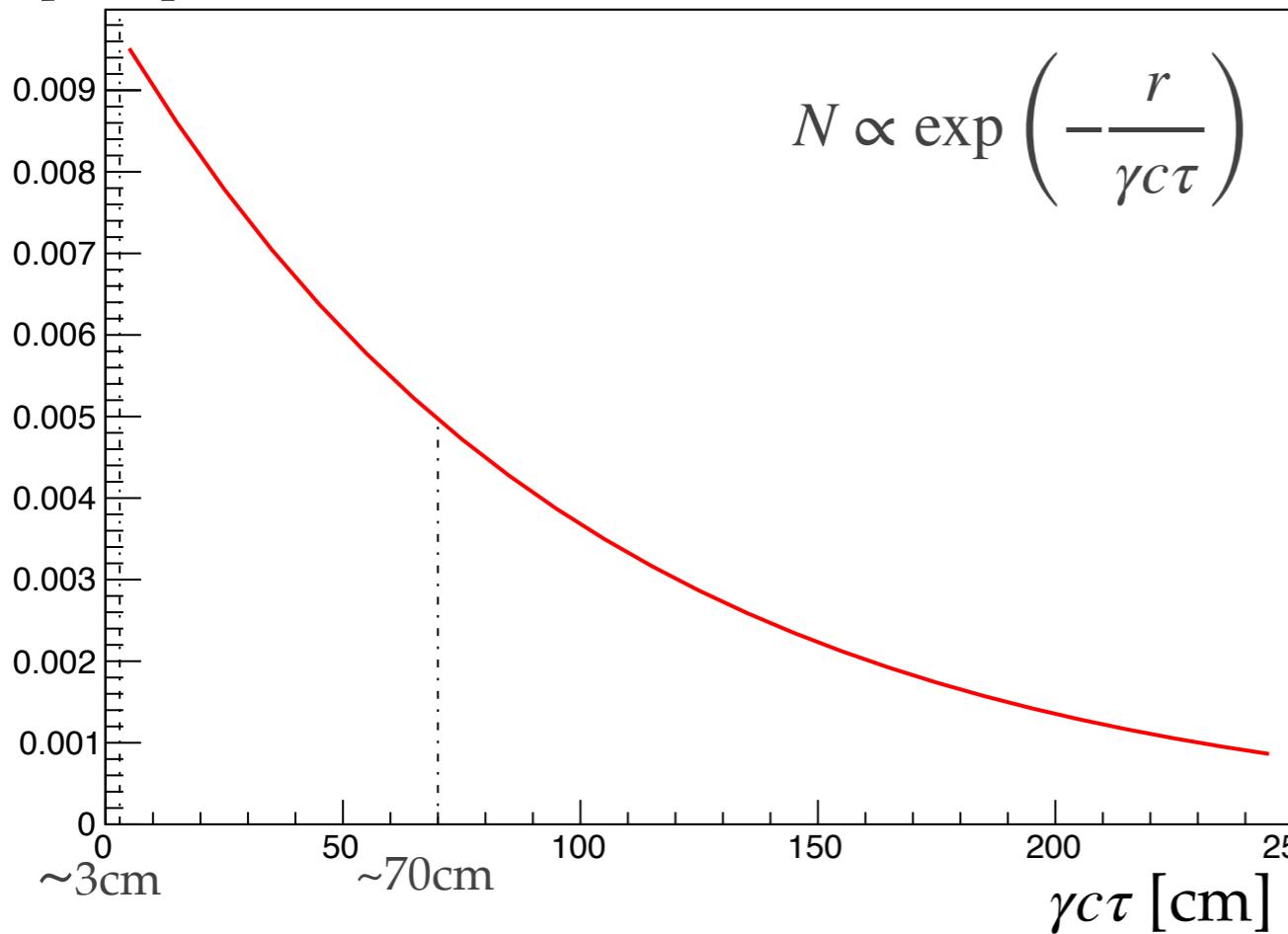
- ❖ On fait des recherches d'une classe de particules : **haute masse** et **long temps de vie**.
- ❖ Mise en évidence d'un **phénomène de saturation** à cause de l'important dépôt d'énergie.
- ❖ Mise en place d'une **méthode de correction** de l'énergie saturée.
- ❖ Importante **diminution du biais** dans la reconstruction de la masse.

Etudes en cours et à suivre :

- ❖ Test avec **d'autres masses**.
- ❖ **Apport de notre méthode** (significance statistique).
- ❖ Étendre la méthode aux **autres couches** de détection.

Backup

N [u.a.]



Etendu de notre recherche

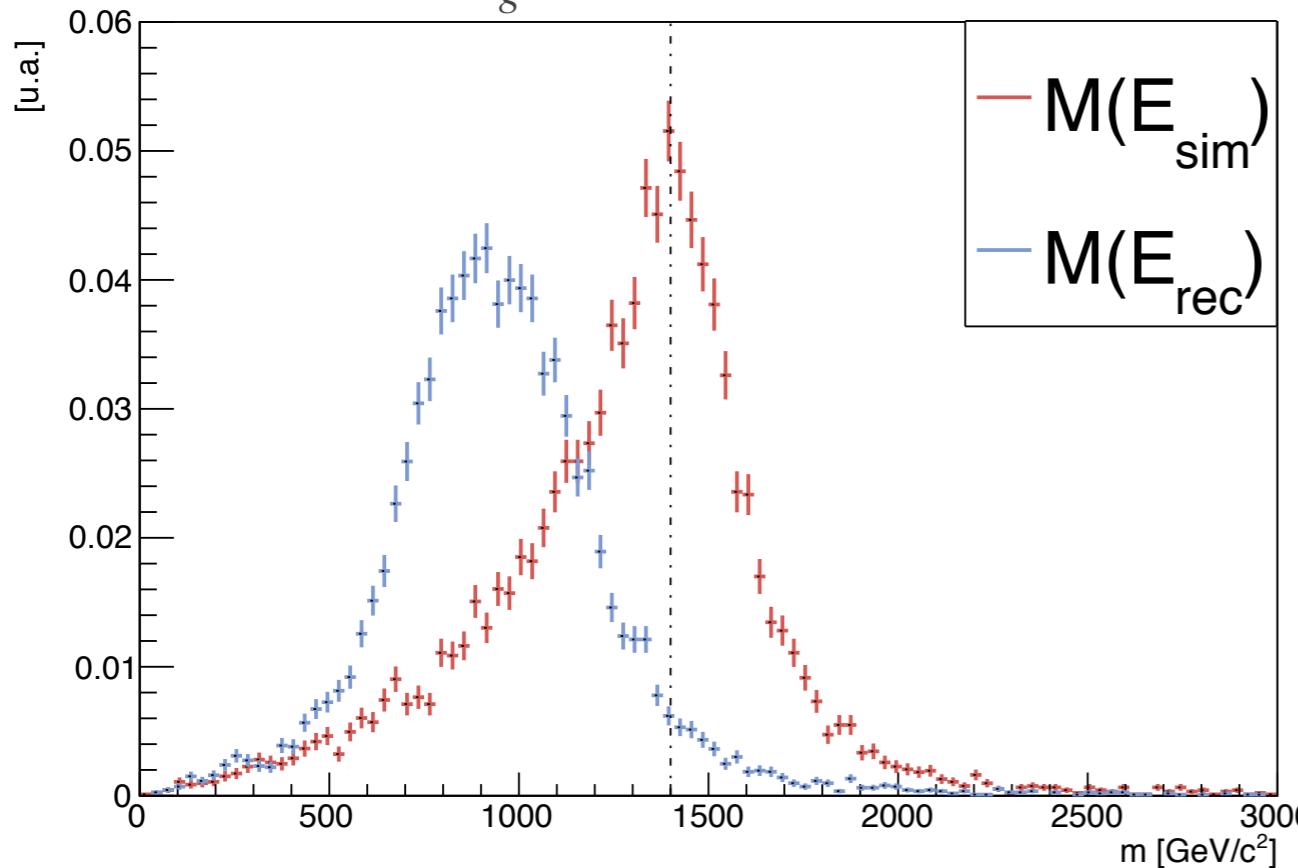
On fait varier le temps de vie afin d'avoir une **variation en distance de vol entre 0.01 cm et 100 m.**

On regarde l'intégrale entre :

- 0 et 3 cm pour la recherche prompt
- 3 et 70 cm pour la recherche vertex déplacé
- 70 cm et l'infini pour la recherche HSCP

Cette recherche est aussi valable pour des **particules multi chargées.**

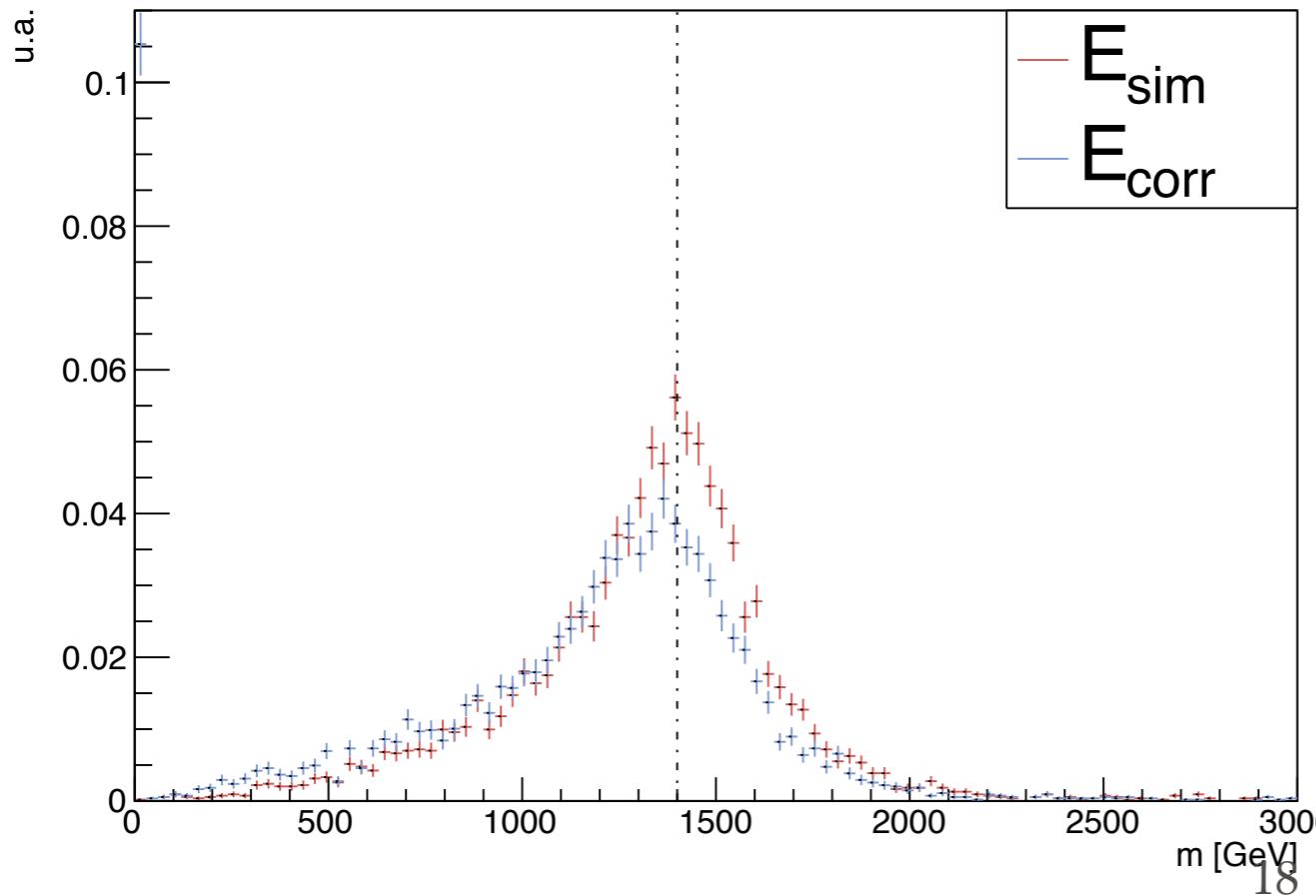
$$m_{\tilde{g}} = 1400 \text{ GeV}/c^2$$



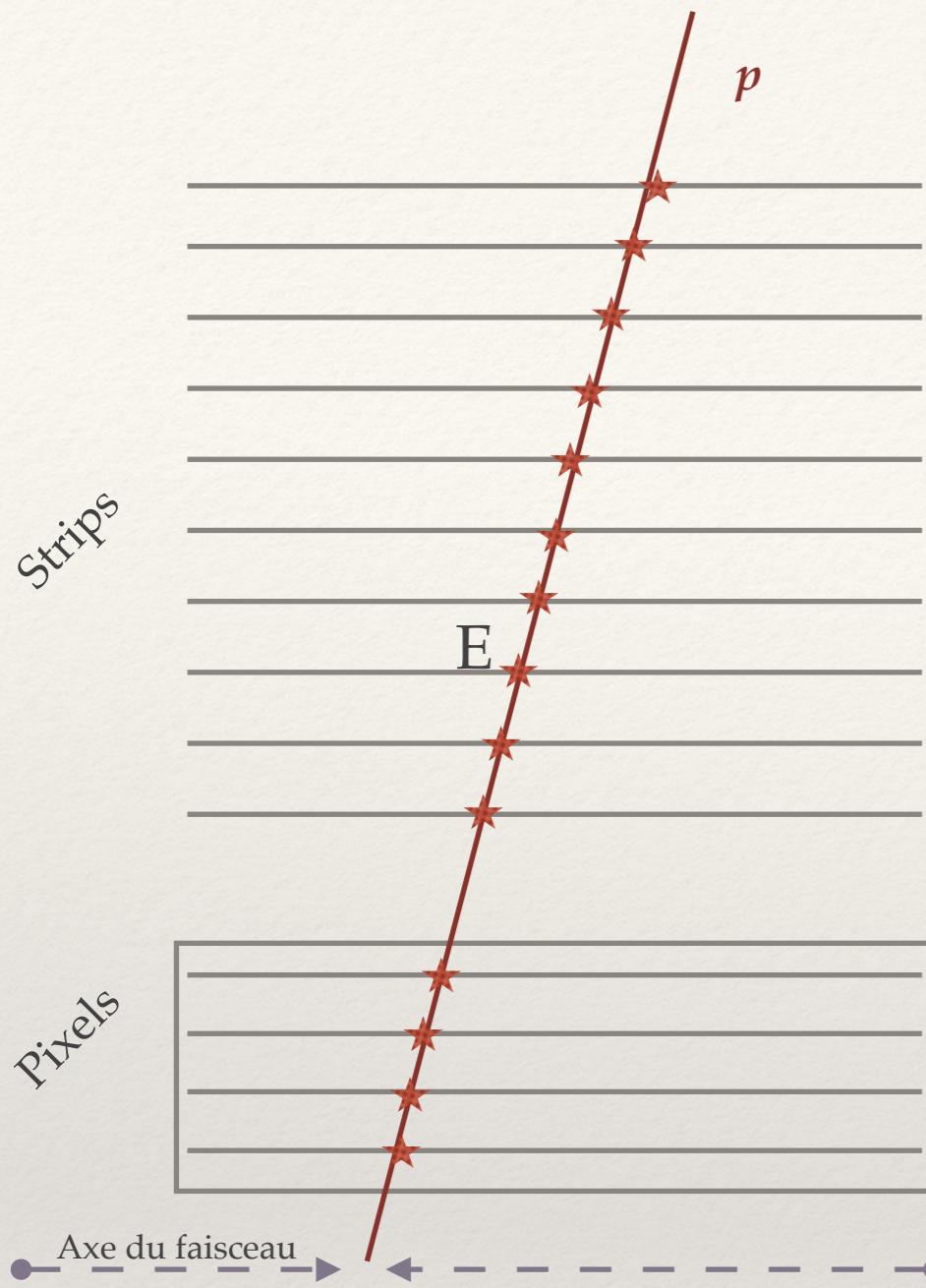
Autre masse

Gluino à 1400 GeV / c 2

Correction de la masse
Diminution du biais

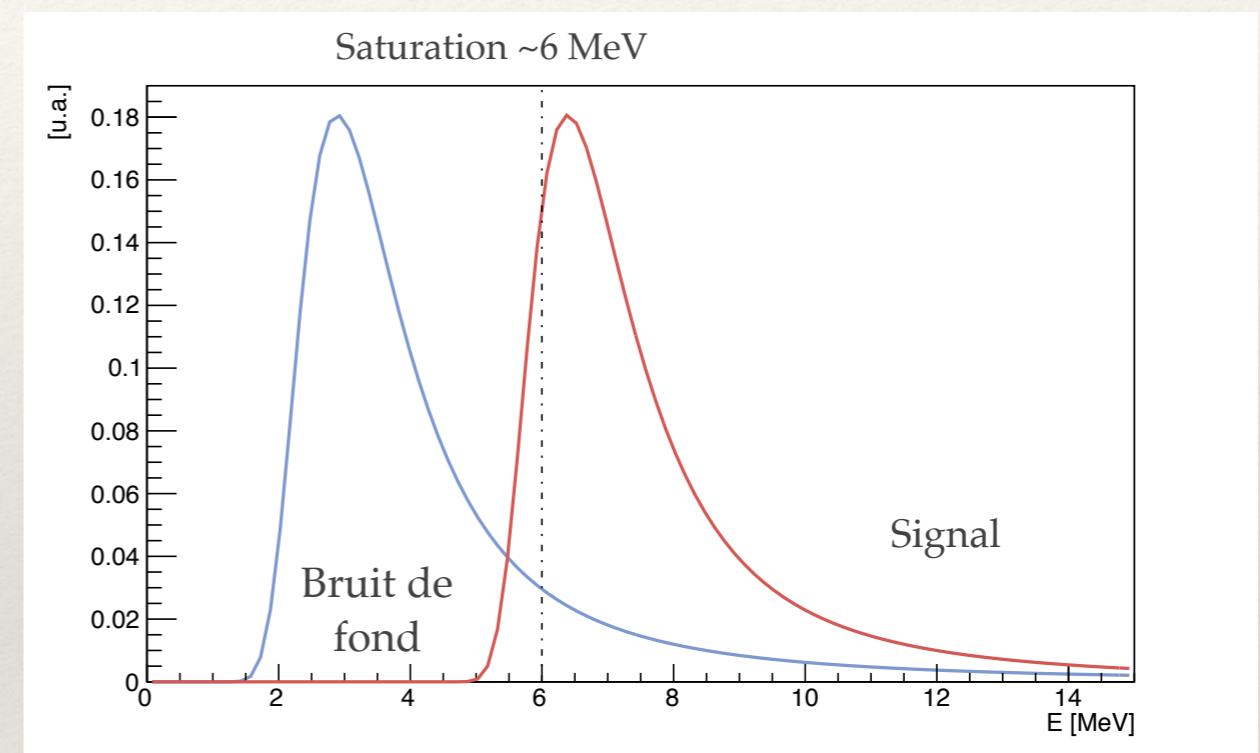


Critère d'application de la méthode



Critère d'application sur le nombre de clusters saturés par trace.

Le dépôt d'énergie suit une loi de Landau, qui est fortement **asymétrique**, avec une **longue queue de distribution**.



MS \rightarrow E \sim 3 MeV

SUSY \rightarrow E $>$ 6 MeV

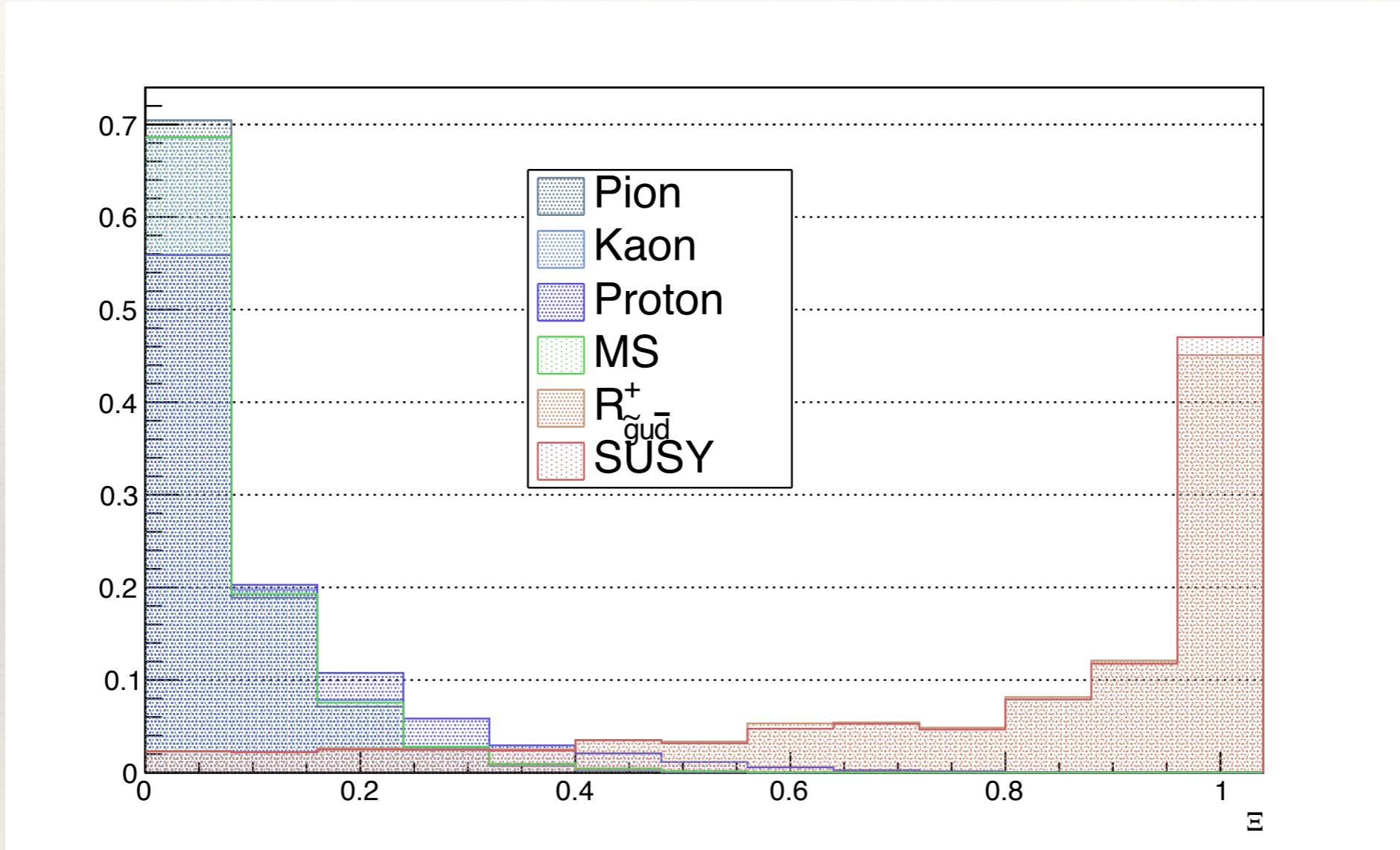
Une fluctuation haute peut entraîner une saturation.

Dépôt d'énergie plus important en moyenne.

Critère d'application de la méthode

Ratio de saturation :

$$\Xi = \frac{\text{Nombre de clusters qui saturent par trace}}{\text{Nombre de clusters par trace}}$$

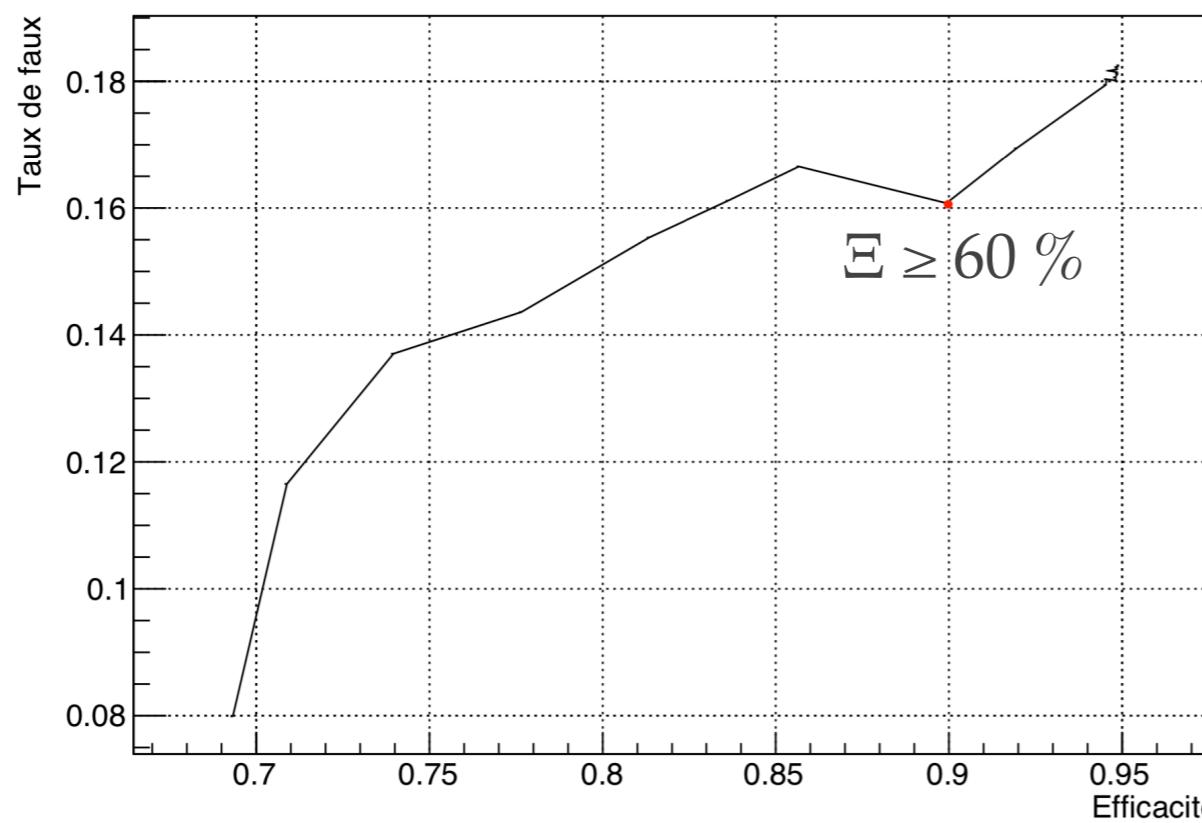
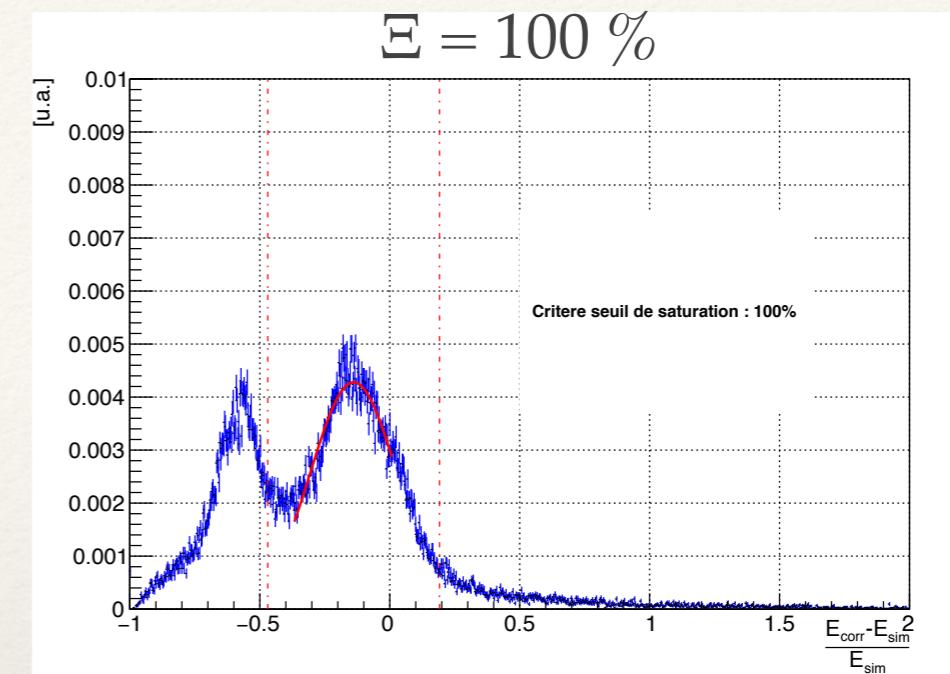
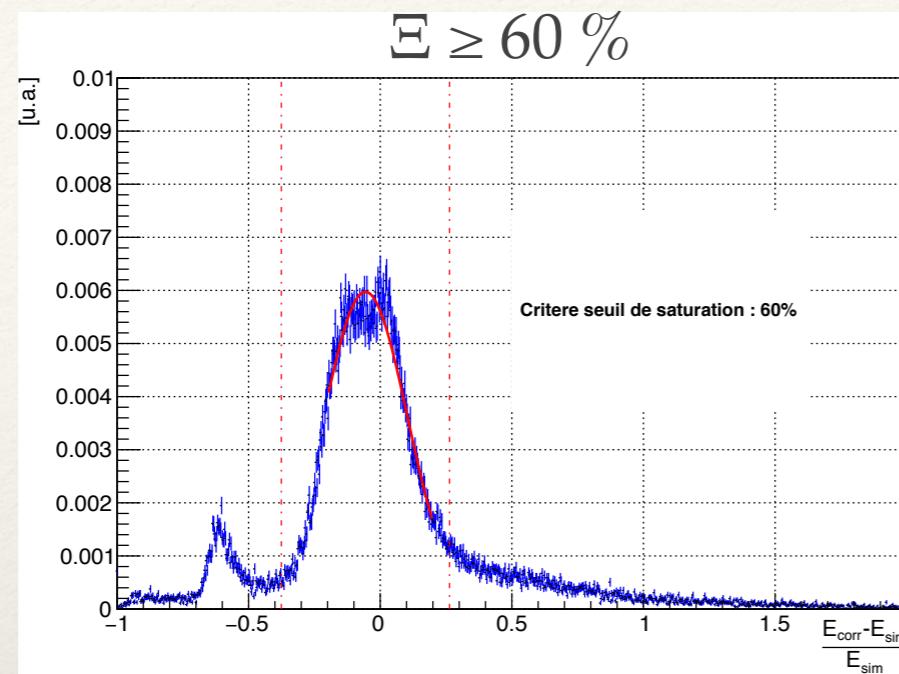


On fixe un seuil de Ξ au-delà duquel on applique notre méthode

Après étude

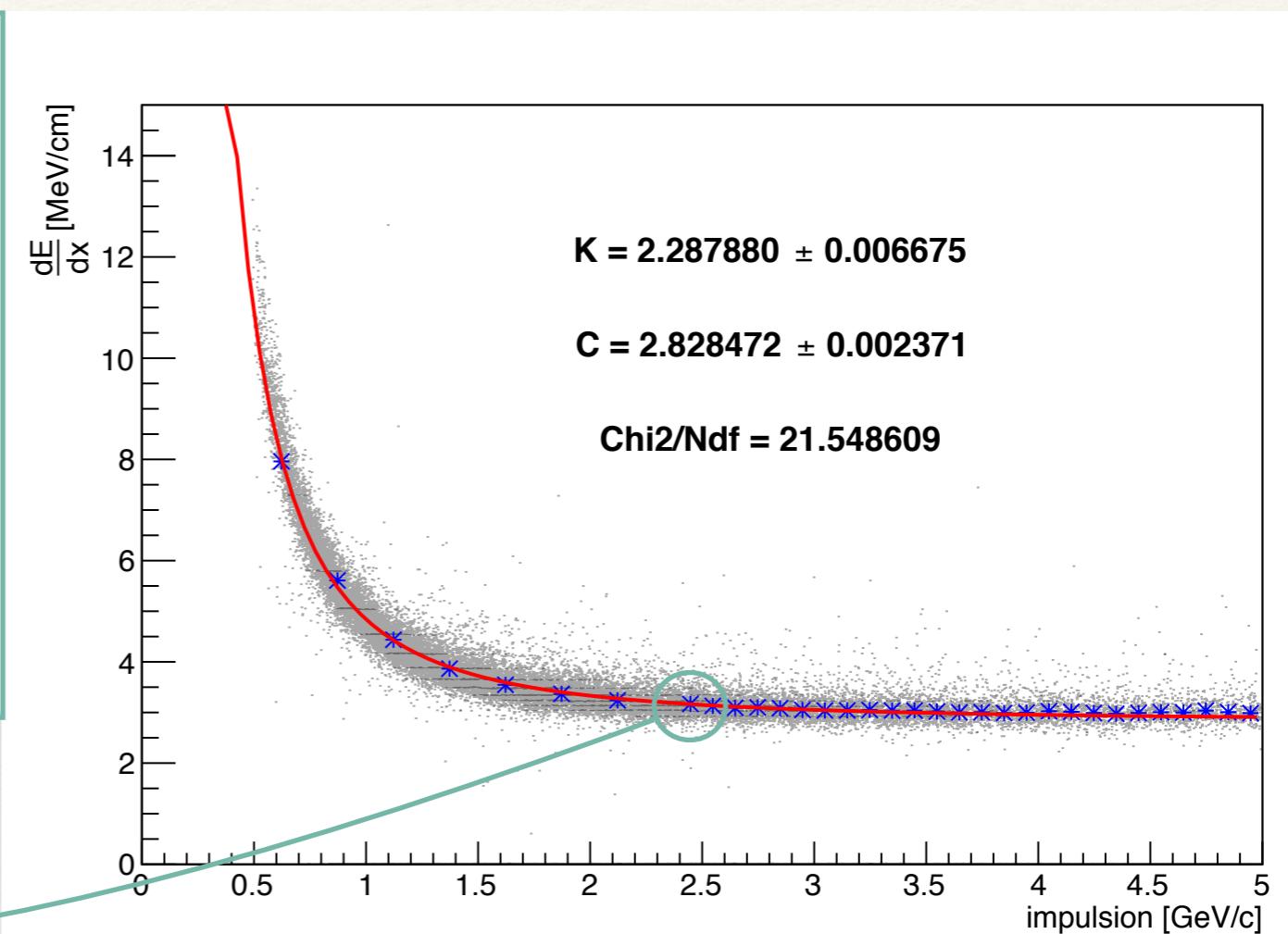
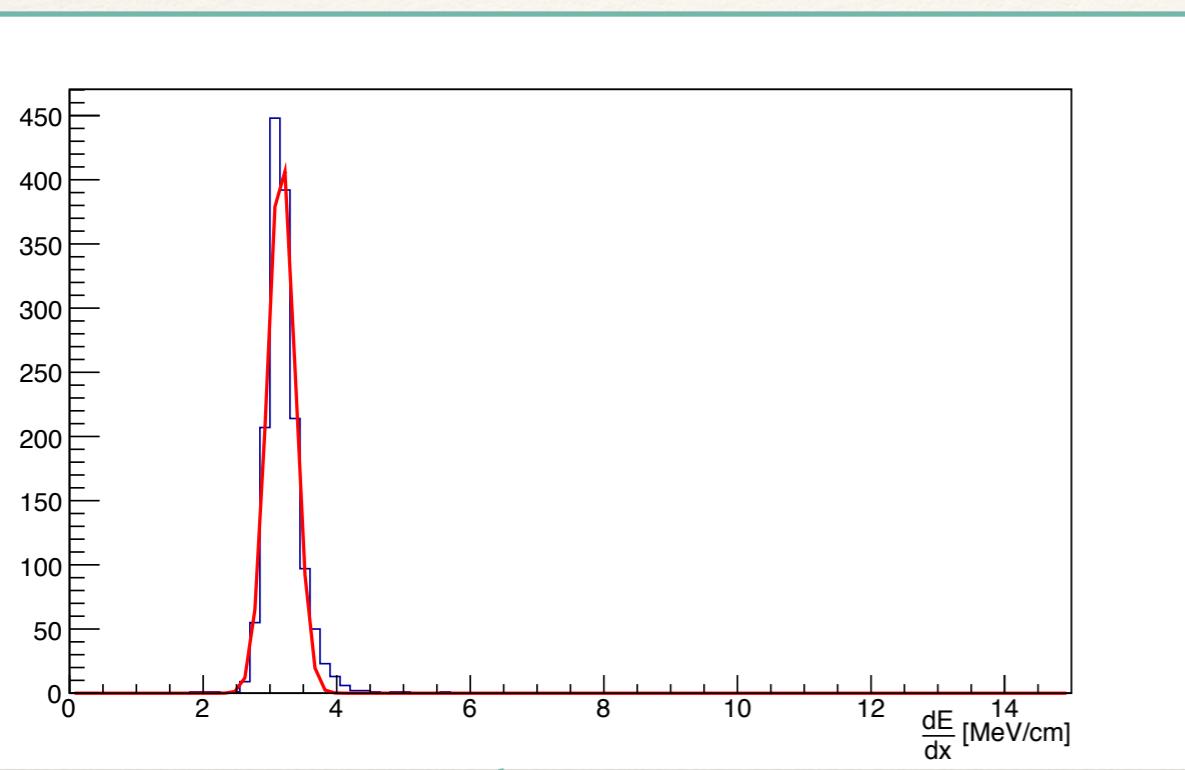
$\Xi \geq 60\%$

Etude pour le ratio de saturation



Choix arbitraire de 60 %
pour le seuil
d'application de notre
méthode de correction

Détermination des facteurs K et C



$$\frac{dE}{dx} = K \cdot \frac{M^2}{p^2} + C$$

Limitation pour le régime ultra-relativiste et pour la remontée à bas p/Mc

$$-\frac{dE}{dx} = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 W_{max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$

$$\beta = \frac{v}{c} \quad \beta\gamma = \frac{p}{Mc} \quad M > m_e$$

K : constante

z : charge électrique de la particule

A : numéro atomique matériau traversé

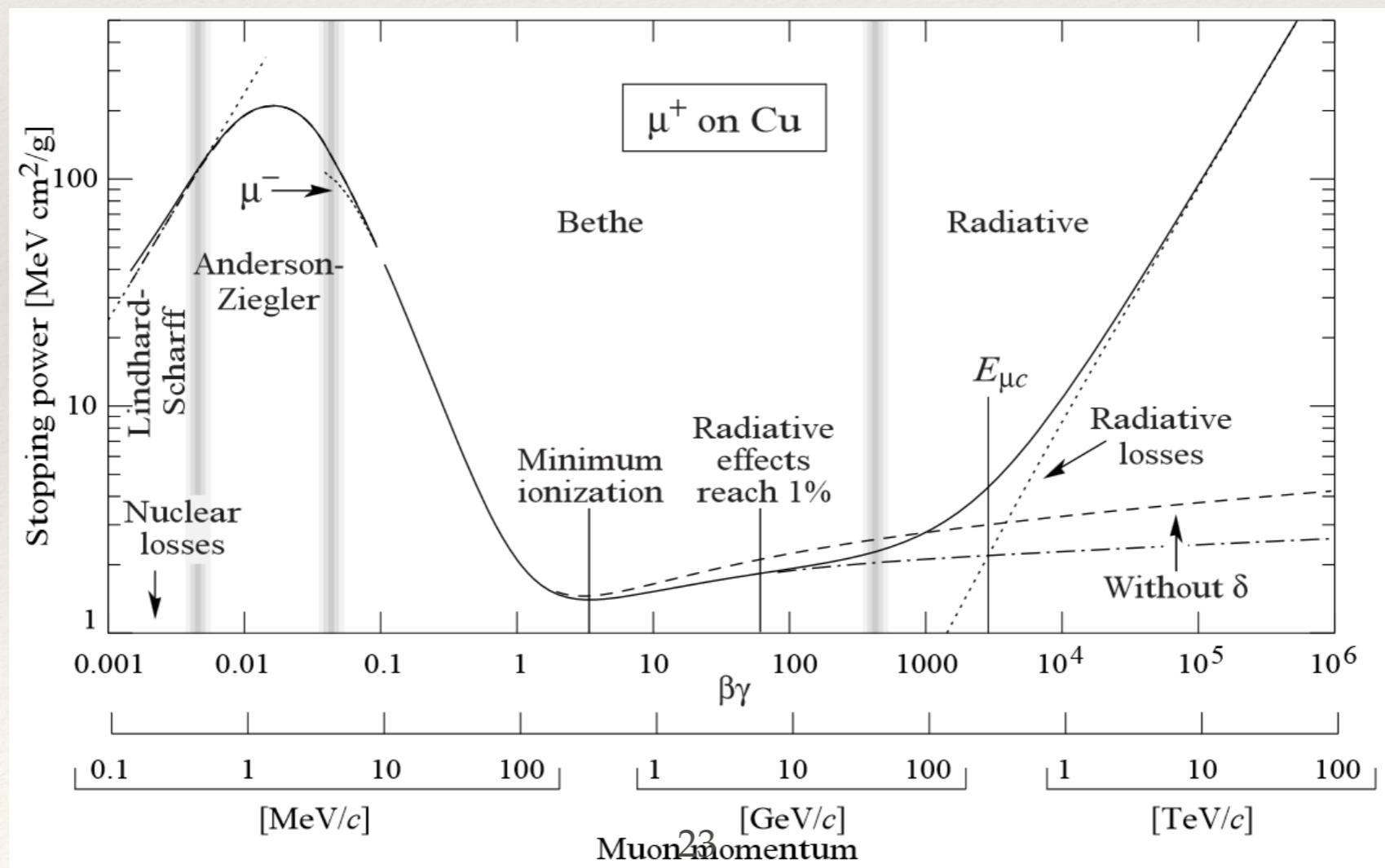
Z : numéro de masse matériau traversé

Bethe-Bloch

W_{max} : maximum d'énergie transférée dans une collision simple

I : énergie d'excitation moyenne du matériau

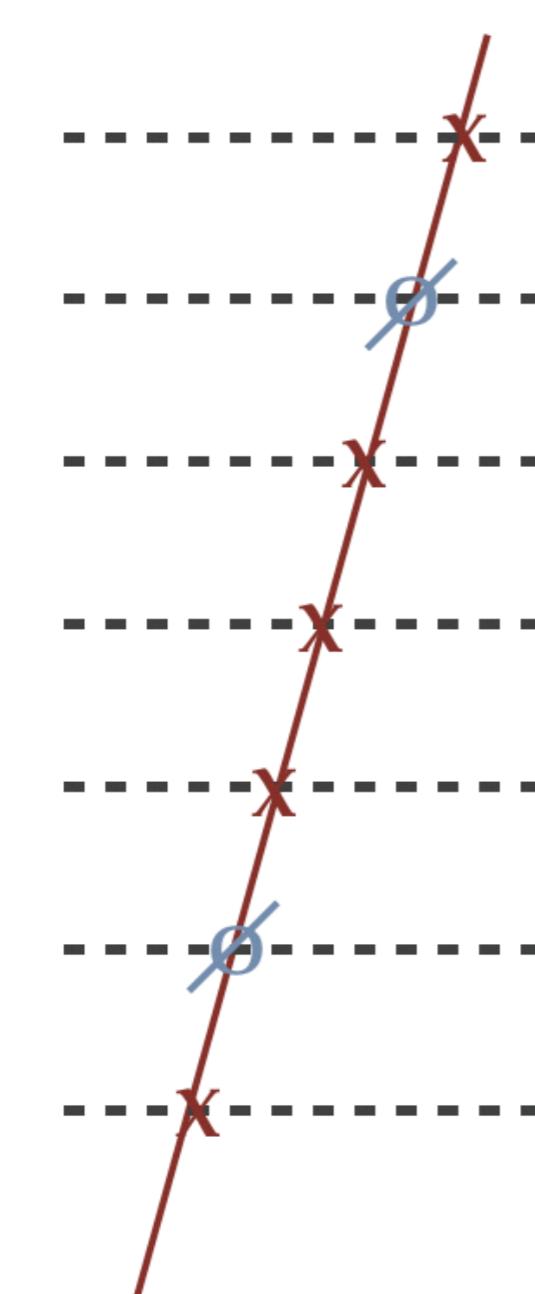
δ : correction pour le régime ultra-relativiste



$$\Xi = \frac{\text{Nombre de clusters qui saturent par trace}}{\text{Nombre de clusters par trace}}$$

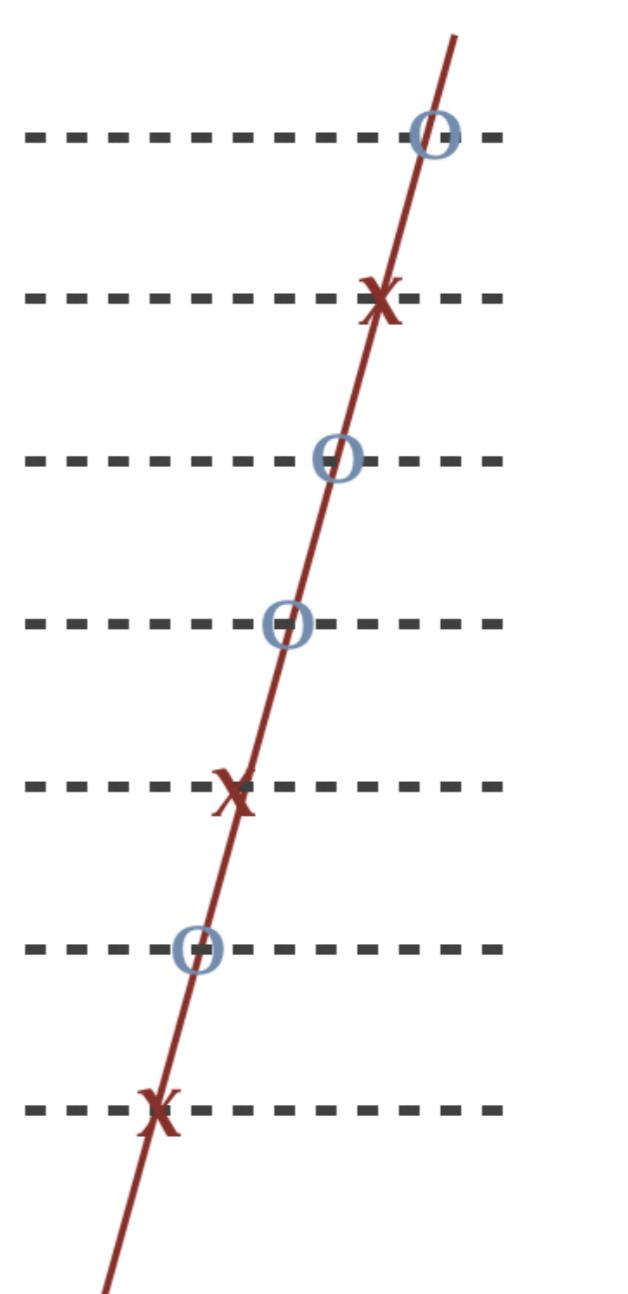
Méthode complète de correction

$\Xi <$ seuil d'application



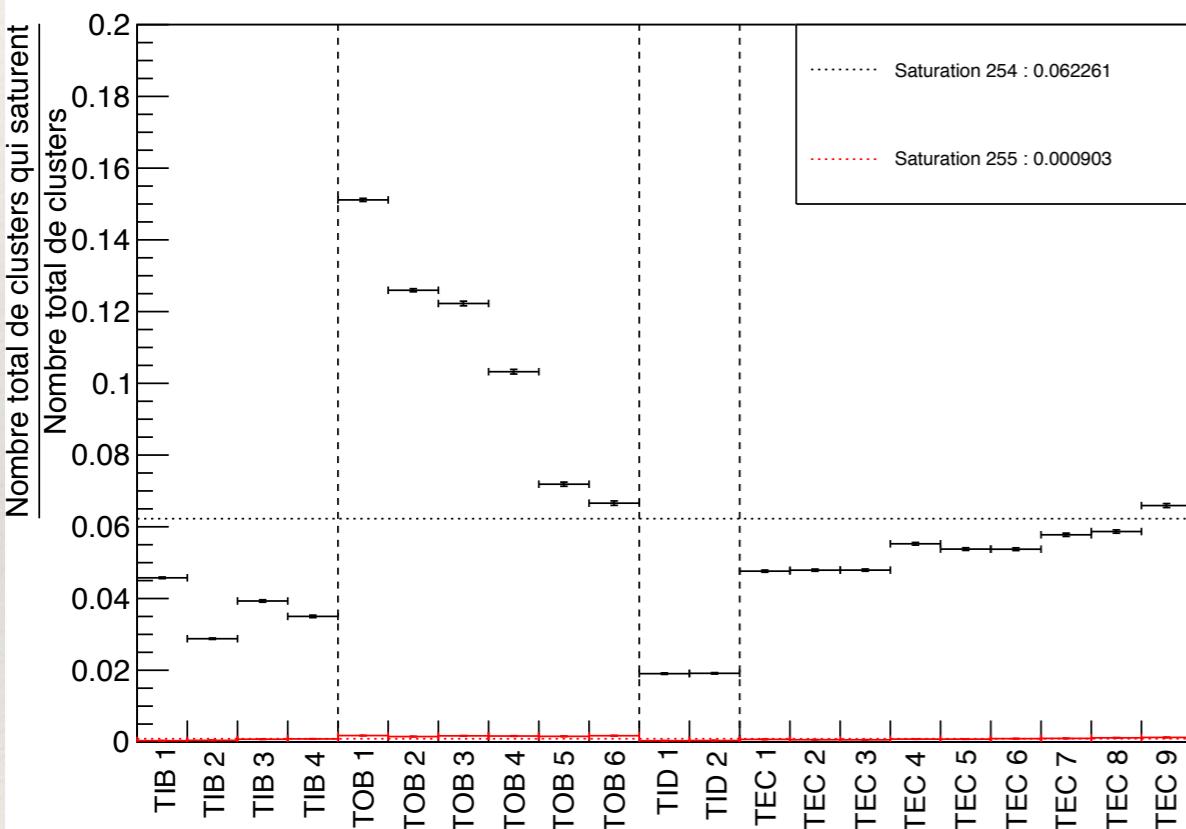
X : pas de saturation
∅ : saturation, cluster non considéré
O : saturation, cluster corrigé

$\Xi \geq$ seuil d'application



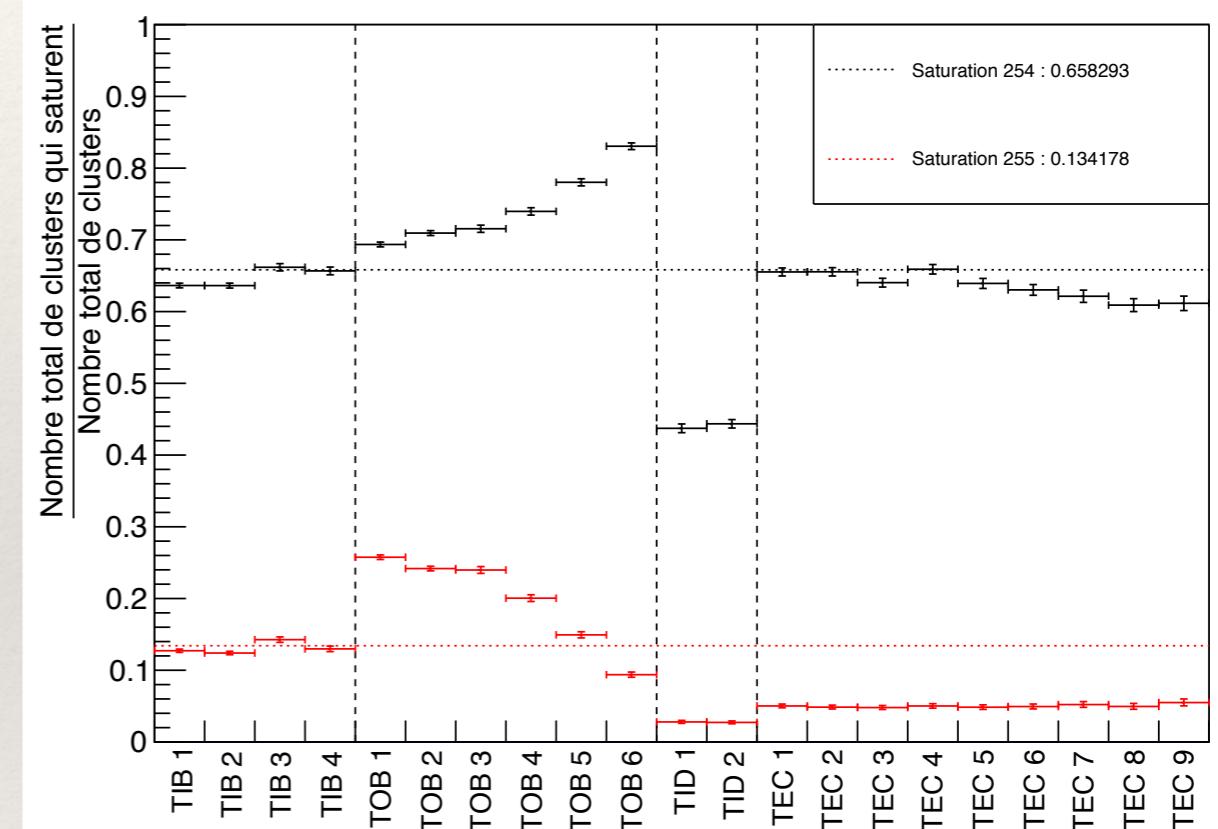
Saturation selon deux types de particules

Particules du M.S.



En moyenne : 6 % des clusters saturent

Gluinos à 2,4 TeV / c²



En moyenne : 65 % des clusters saturent

Apport de notre méthode : étude de la significance statistique

$$\mathcal{S} = \frac{N_S}{\sqrt{N_B}}$$

N_S : nombre d'événements de signal

N_B : nombre d'événements de bruit de fond

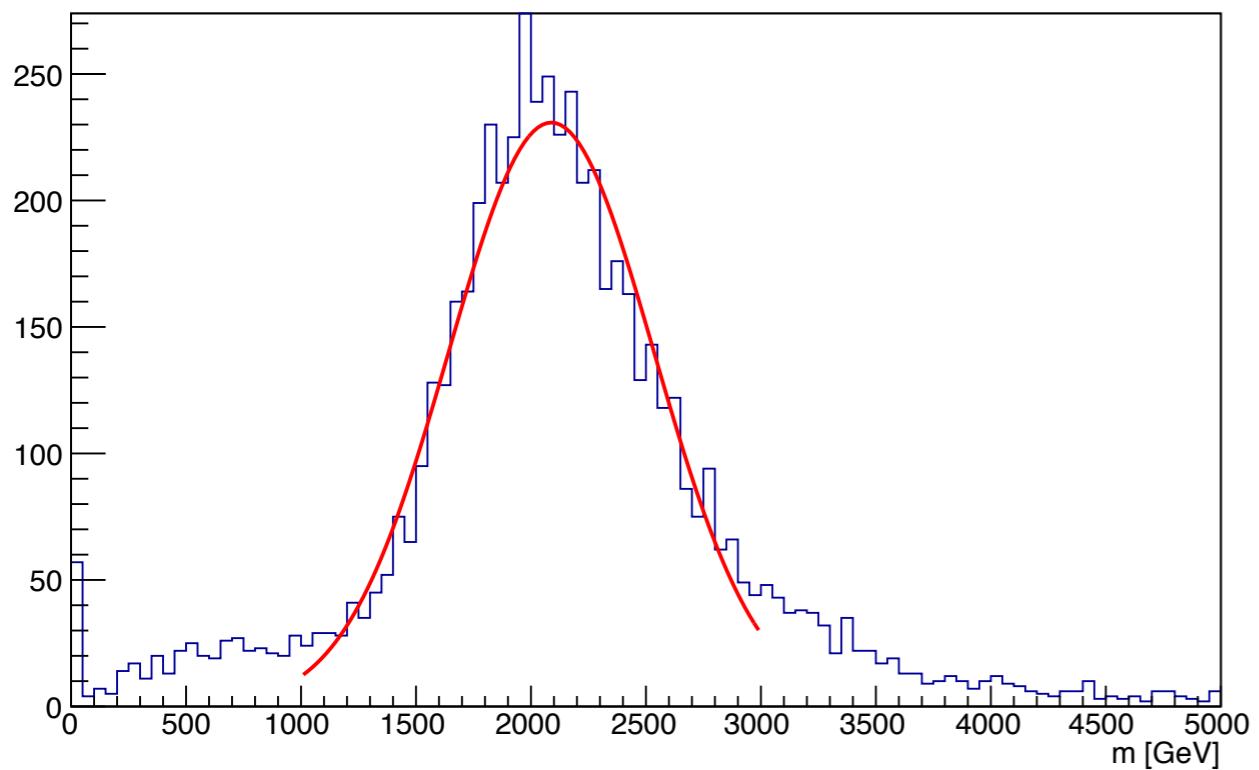
Signal : gluinos dans un certain intervalle de masse

Bruit de fond : décroissance exponentielle des particules du M.S. On compte dans le même intervalle de masse

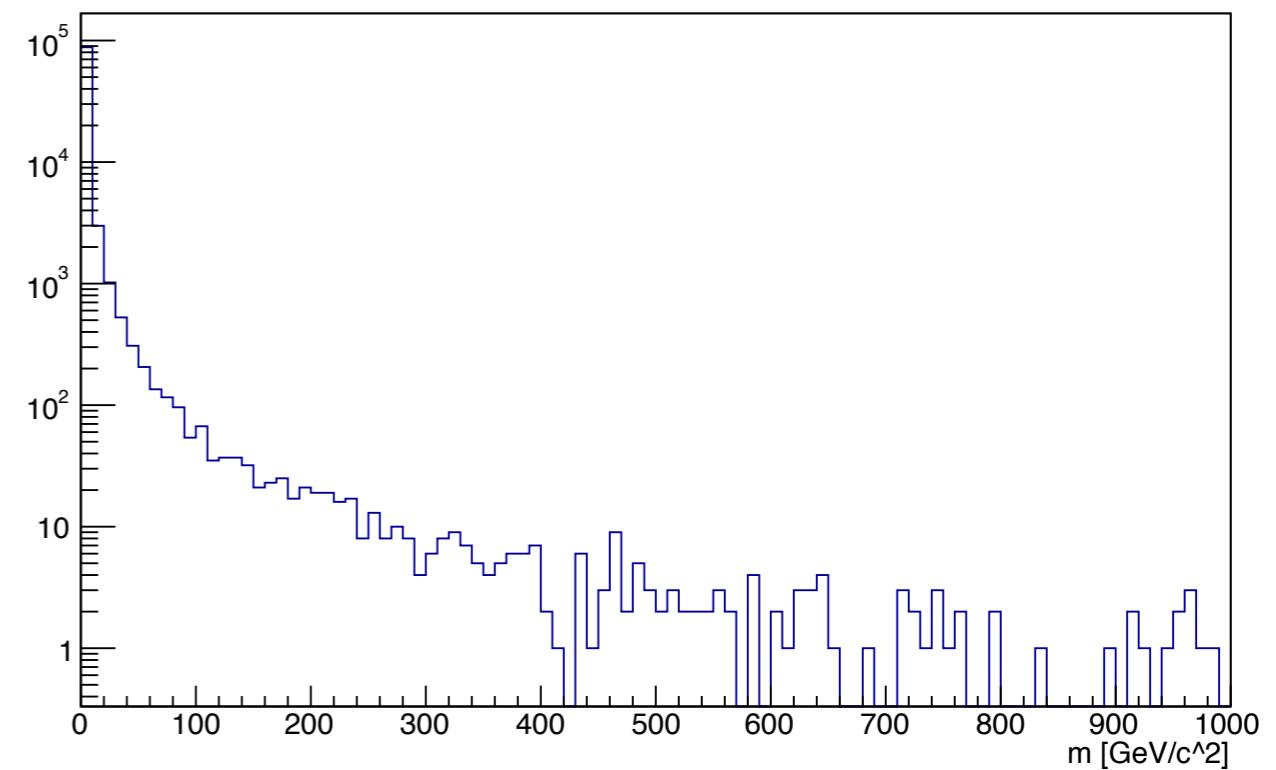
On regarde la significance avant et après l'application de notre méthode

Signal et Bruit de fond

Signal



Background



Définition des nombre d'événements

$$N_{S(B)} = L \cdot \sigma_{\tilde{g}(MinBias)} \cdot \epsilon_{S(B)}$$

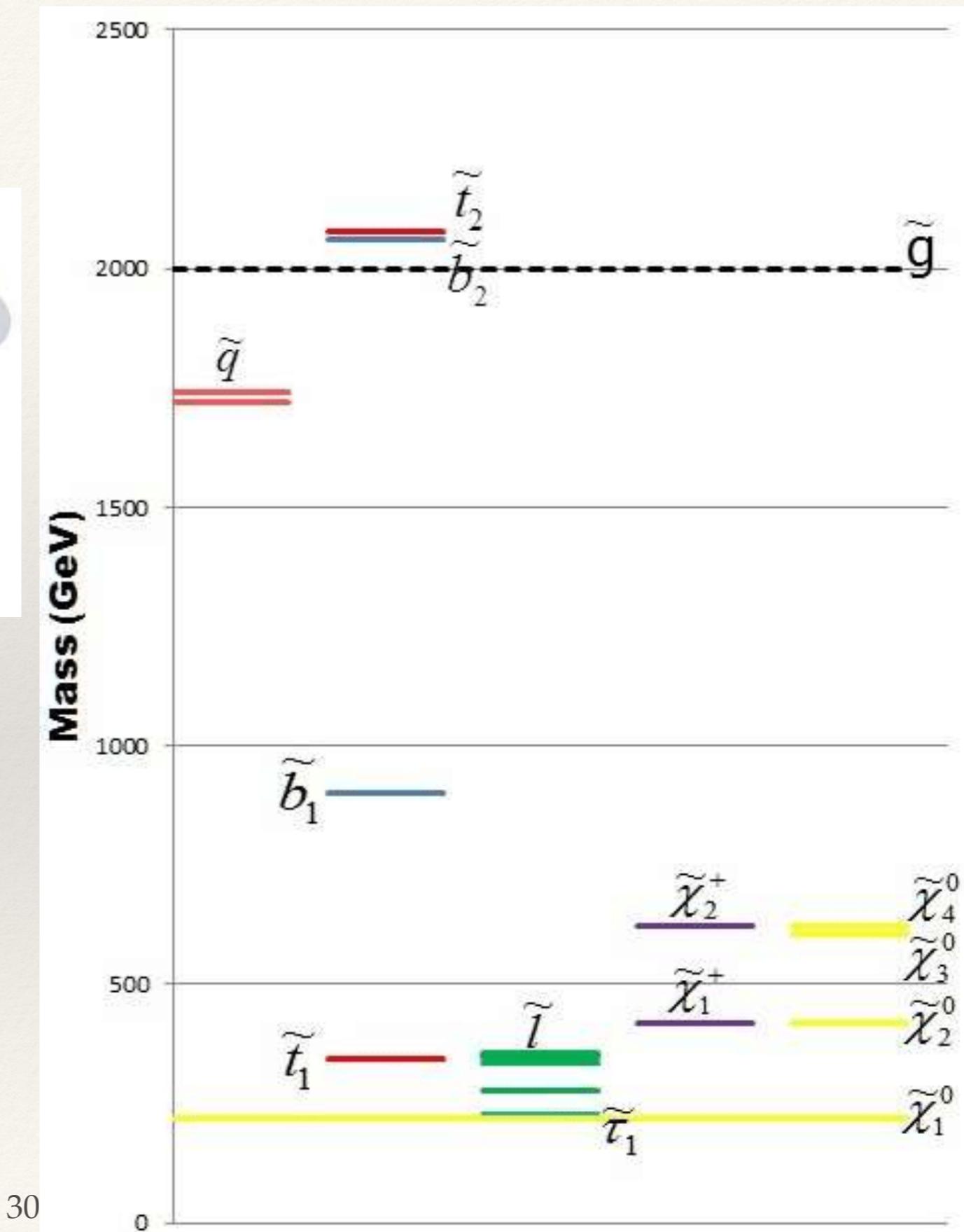
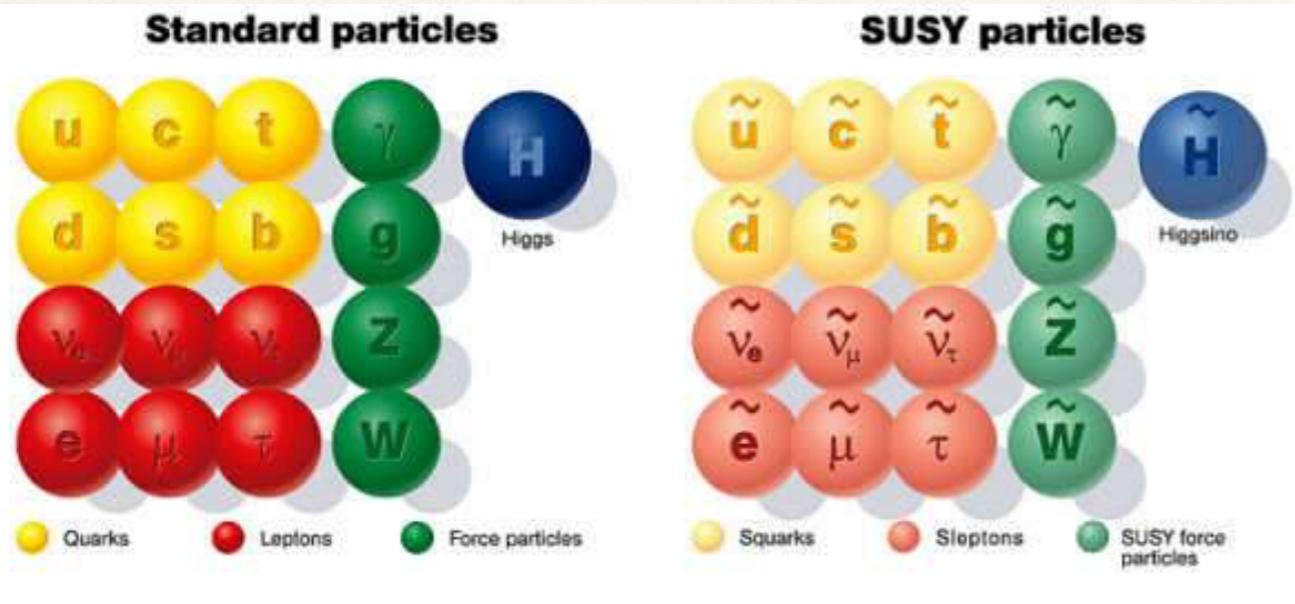
$$L = \int \mathcal{L} dt \quad \mathcal{L} = \frac{1}{\sigma} \frac{dN}{dt} = \frac{1}{4\pi} \frac{f N_1 N_2}{\sigma_x \sigma_y}$$

$$\epsilon_{S(B)} = \frac{\text{Nombre d'événements de signal (bruit de fond) dans le pic de masse après sélection}}{\text{Nombre d'événements dans la simulation}}$$

Le Modèle Standard

	masse → charge → spin →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$ 2/3 1/2 u up	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$ 2/3 1/2 c charm	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$ 2/3 1/2 t top	0 0 1 g gluon	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 0 H boson de Higgs
QUARKS		$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ -1/3 1/2 d down	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$ -1/3 1/2 s strange	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ -1/3 1/2 b bottom	0 0 1 γ photon	
		$0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 1/2 e électron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ -1 1/2 μ muon	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ -1 1/2 τ tau	$91.2 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 Z^0 boson Z^0	BOSONS DE JAUGE
LEPTONS		$<2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 1/2 ν_e neutrino électronique	$<0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 1/2 ν_μ neutrino muonique	$<15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 1/2 ν_τ neutrino tauique	$80.4 \text{ GeV}/c^2$ ± 1 1 W^\pm boson W^\pm	

Supersymétrie

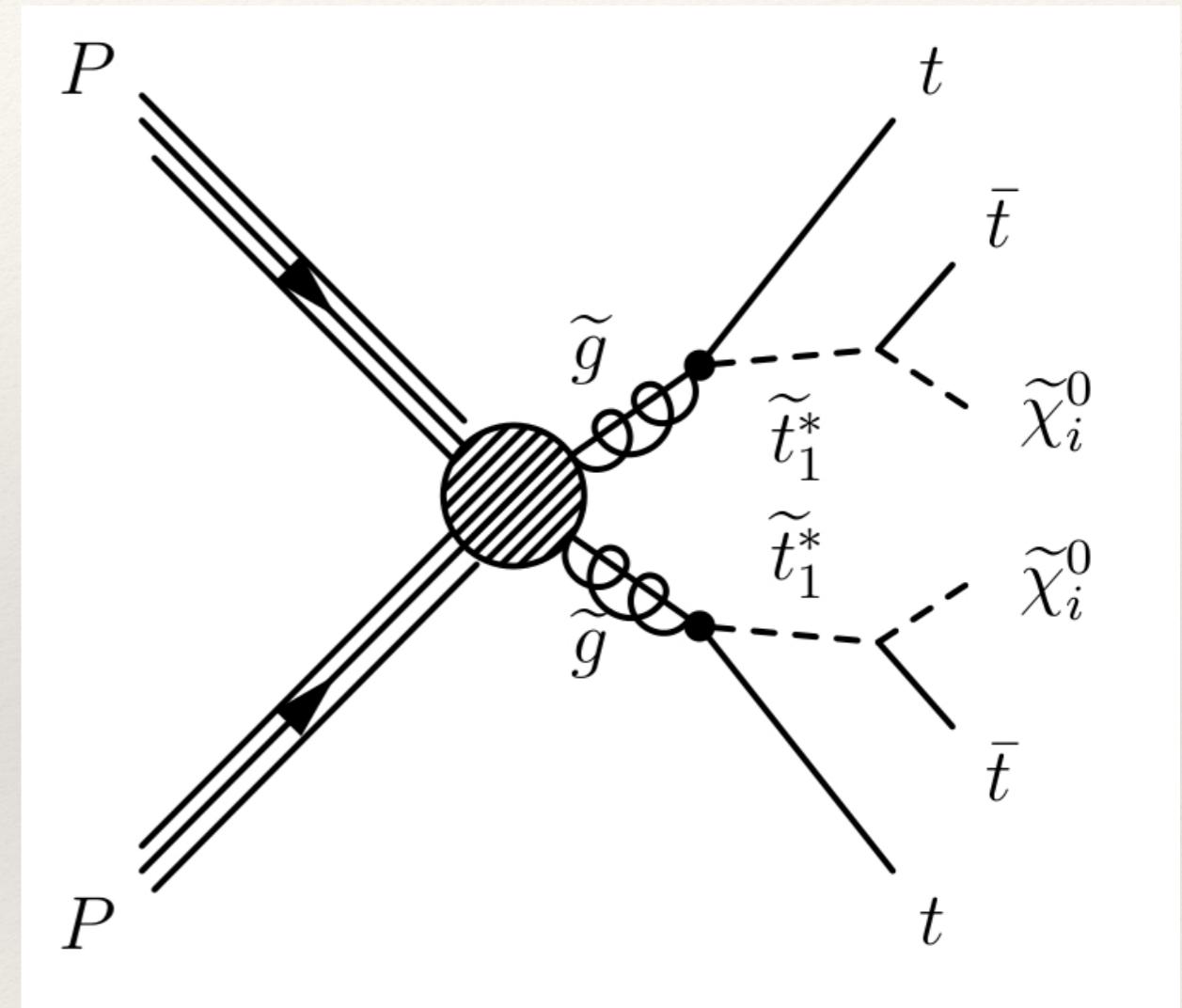


$$\tau = \frac{1}{\Gamma}$$

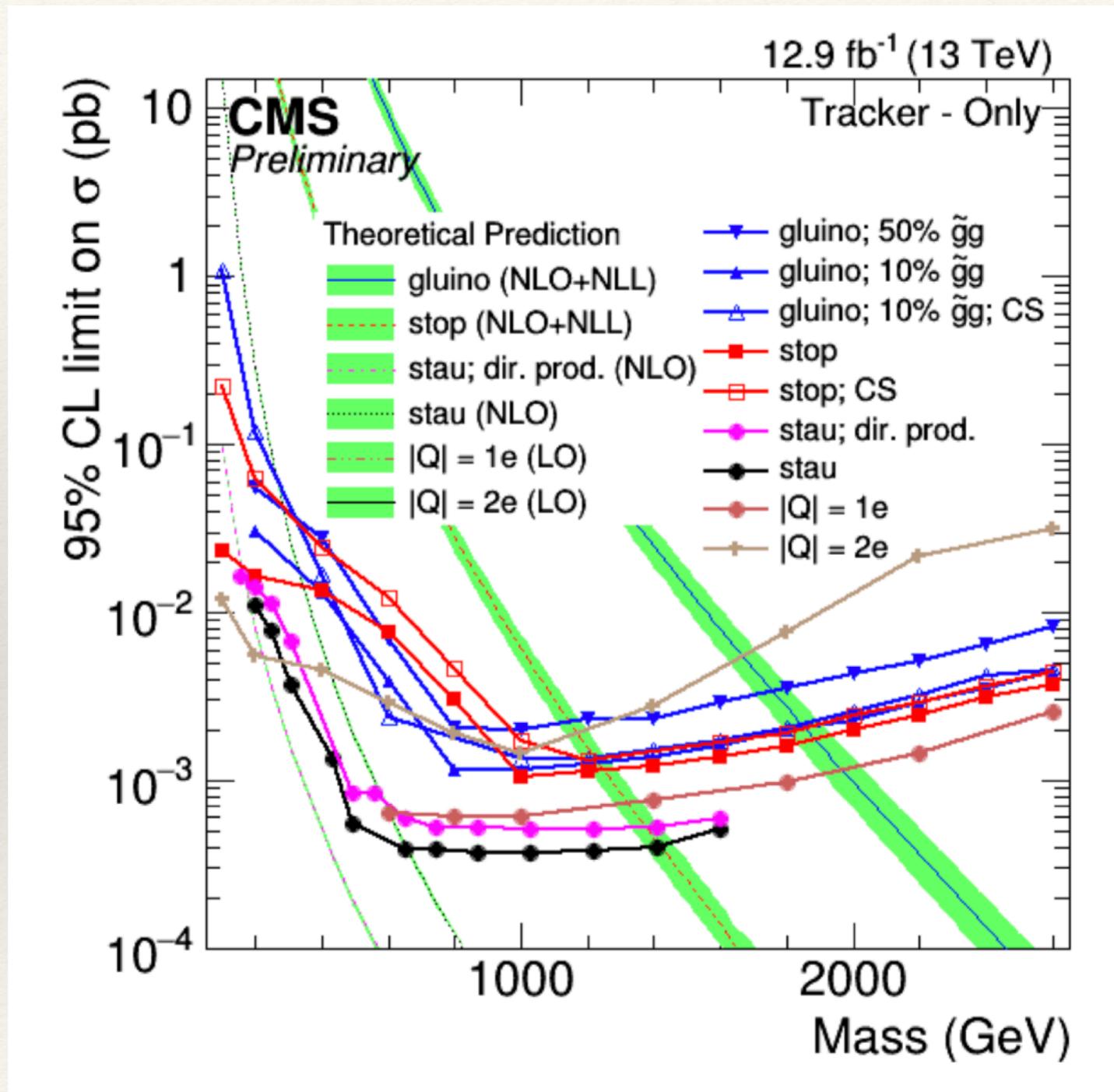
$$\Gamma = \sum_j \Gamma_j$$

$$\Gamma_{fi} = \frac{p}{32\pi^2 m^2} \int |\mathcal{M}_{fi}|^2 d\Omega$$

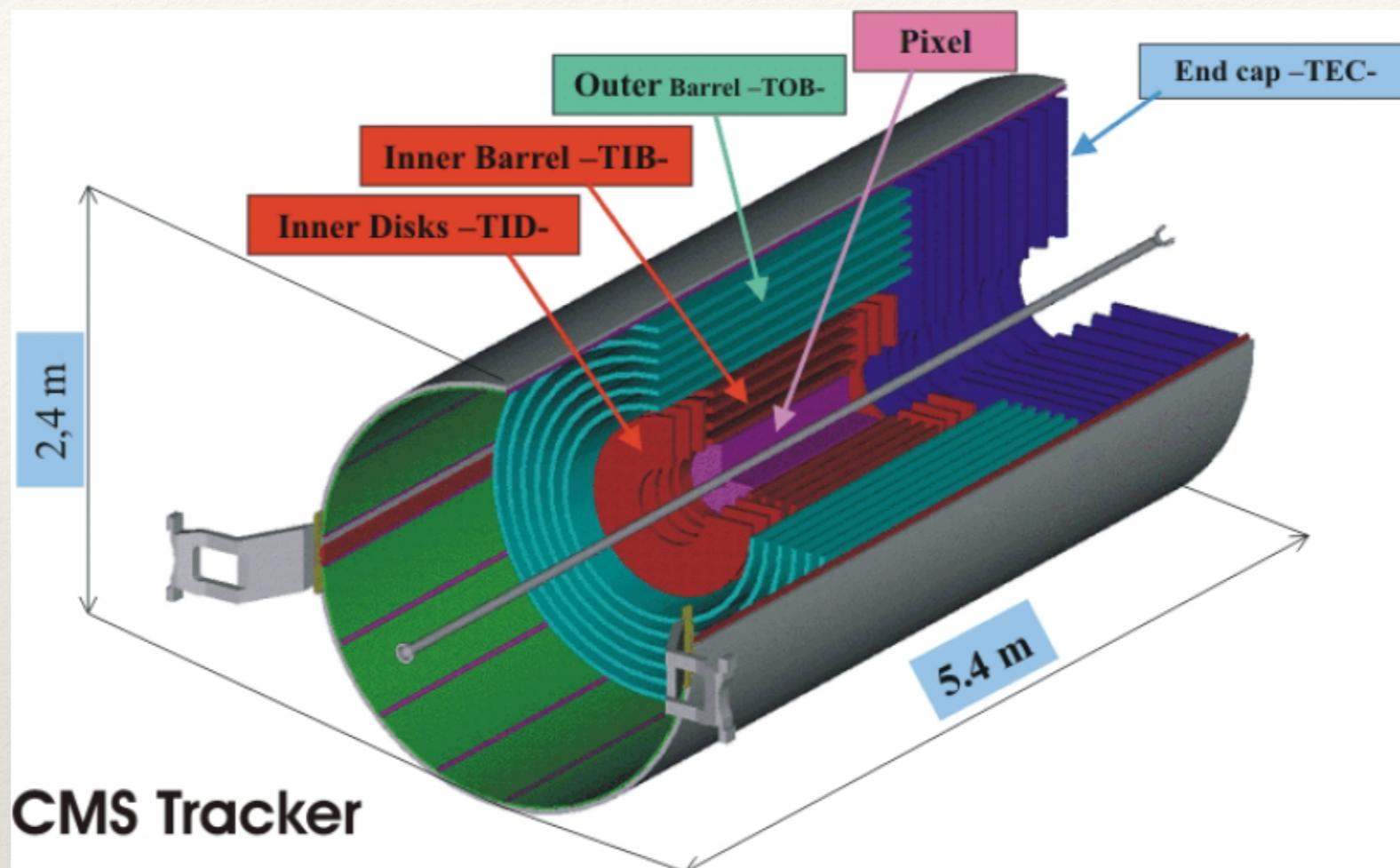
Désintégration gluino



Masse du gluino



Trajectographe de CMS



Champ magnétique de 3,8 T selon
l'axe du faisceau pour reconstruire
l'impulsion

$$0,3 \cdot q \cdot B \cdot R = p$$

