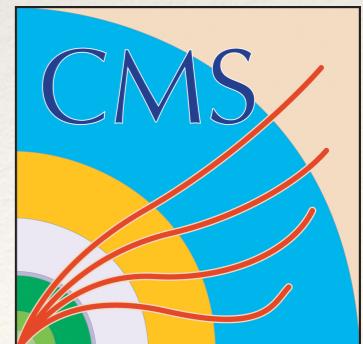


---

# Recherche de particules exotiques, massives, stables et chargées électriquement dans l'expérience CMS

---

APPARU Dylan



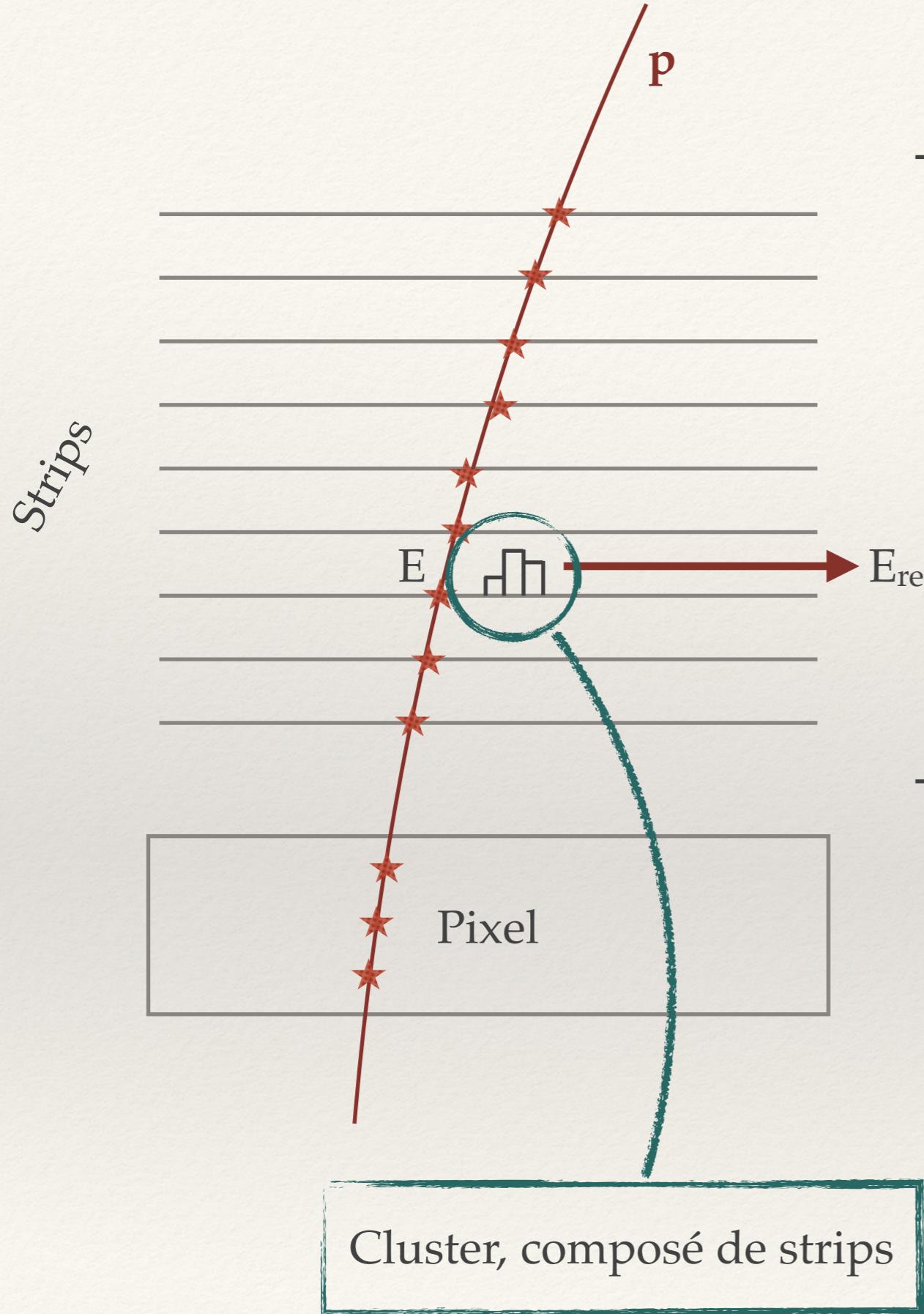
# SOMMAIRE

- ❖ Contexte
- ❖ Formule de Bethe & Bloch
- ❖ Problème de la saturation
- ❖ Méthode mise en place
- ❖ Résultats de la méthode
- ❖ Conclusion

# Recherche de nouvelle Physique

- ❖ L'expérience CMS cherche à mettre en évidence des **événements de nouvelle Physique**, au-delà du Modèle Standard, comme par exemple dans des modèles SUSY.
- ❖ Plusieurs méthodes existent pour faire cette recherche de nouvelle Physique :
  - Approche classique : étude des produits de désintégration ; étude de l'énergie transverse manquante.
  - Approche non-classique : particules chargées et stables —> signature dans le tracker.
- ➡ Recherche de HSCP (Heavy Stable Charged Particle).  
—> **suffisamment stable à l'échelle du détecteur** pour déposer de l'énergie dans le tracker. Temps de vol de l'ordre de  $10^{-10}$  s.
- ❖ Candidat HSCP : **R-hadrons** (hadronisation gluino + particules M.S.)  
—> masse dominée par celle du gluino.
- ❖ Actuellement, la limite pour la masse du gluino est de ... GeV.

Trace, composé de clusters



# Principe de l'analyse

$E$  : énergie déposée par la particule.

$E_{rec}$  : énergie reconstruite.

$p$  : impulsion de la particule.

$E_{estim}$  : énergie reconstruire estimée sur toute la trace.

$M$  : masse de la particule.

$E_{rec}$  →  $E_{estim}$  →  $M$

Estimateur  
harmonique

❖ Conversion charge-énergie :

$$3.61 \times 247 \times 10^{-9} [\text{MeV / ADC count}]$$

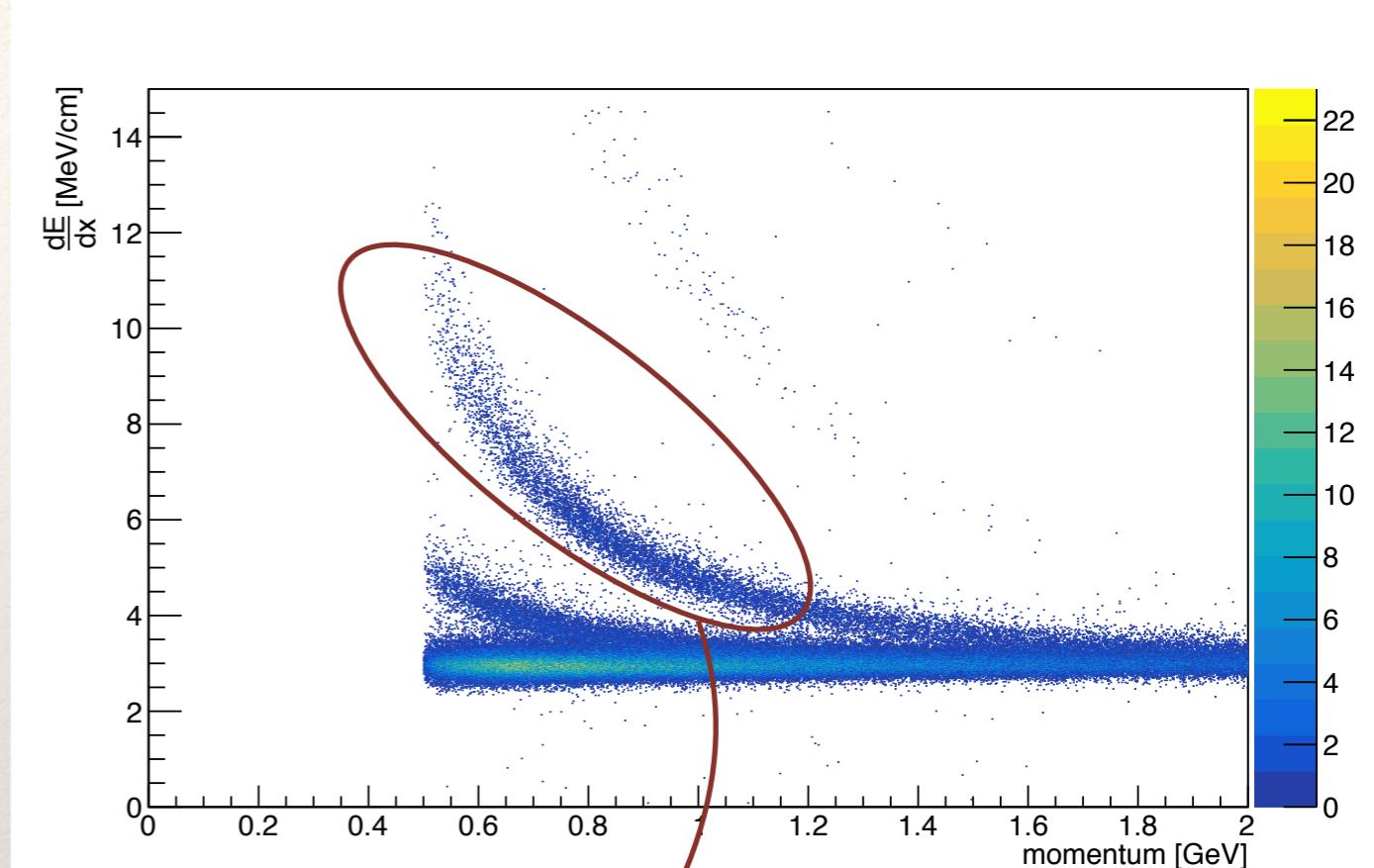
# Principe de l'analyse

- ❖ Bethe & Bloch : **pouvoir d'arrêt** d'une particule traversant la matière. Dépend de la cinématique et du matériau
- ❖ Au premier ordre et dans l'approximation d'énergies intermédiaires ( $1 < \beta\gamma < 10$ ) on a :

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

- ❖ Un dépôt  $dE/dx$  et une impulsion permettent de reconstruire une masse.

Connue grâce au tracker  
Reconstruit dans le tracker

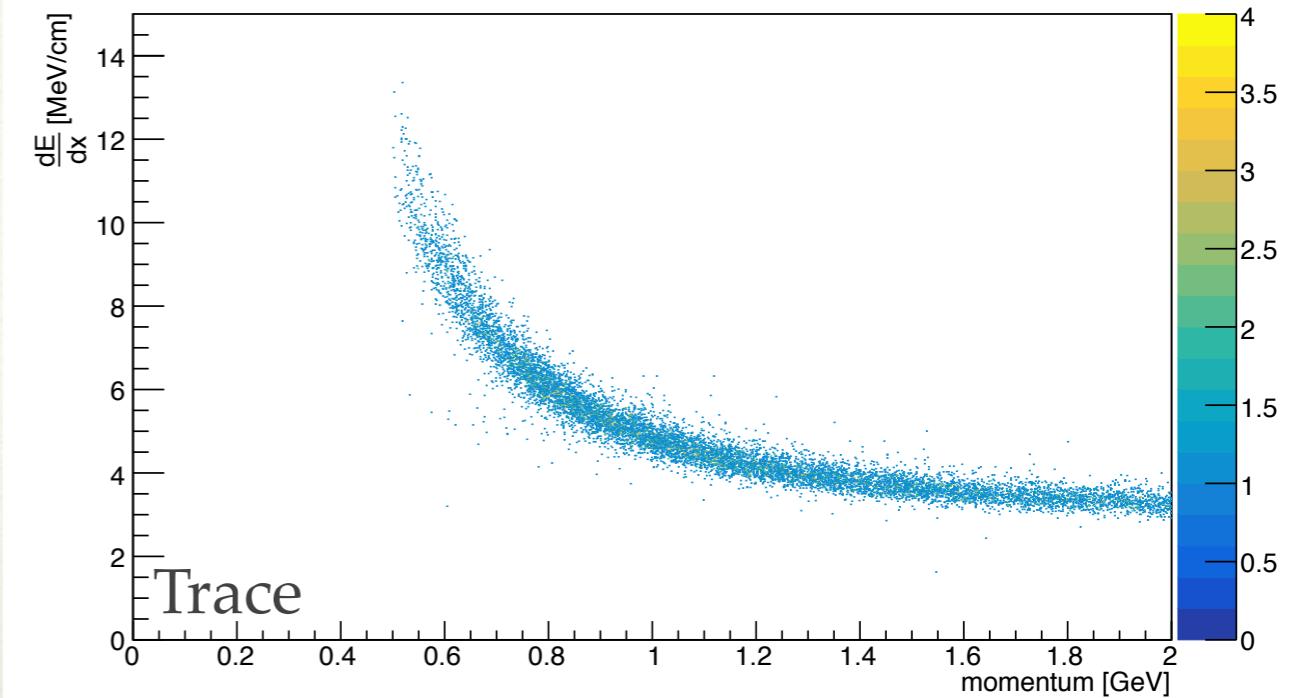
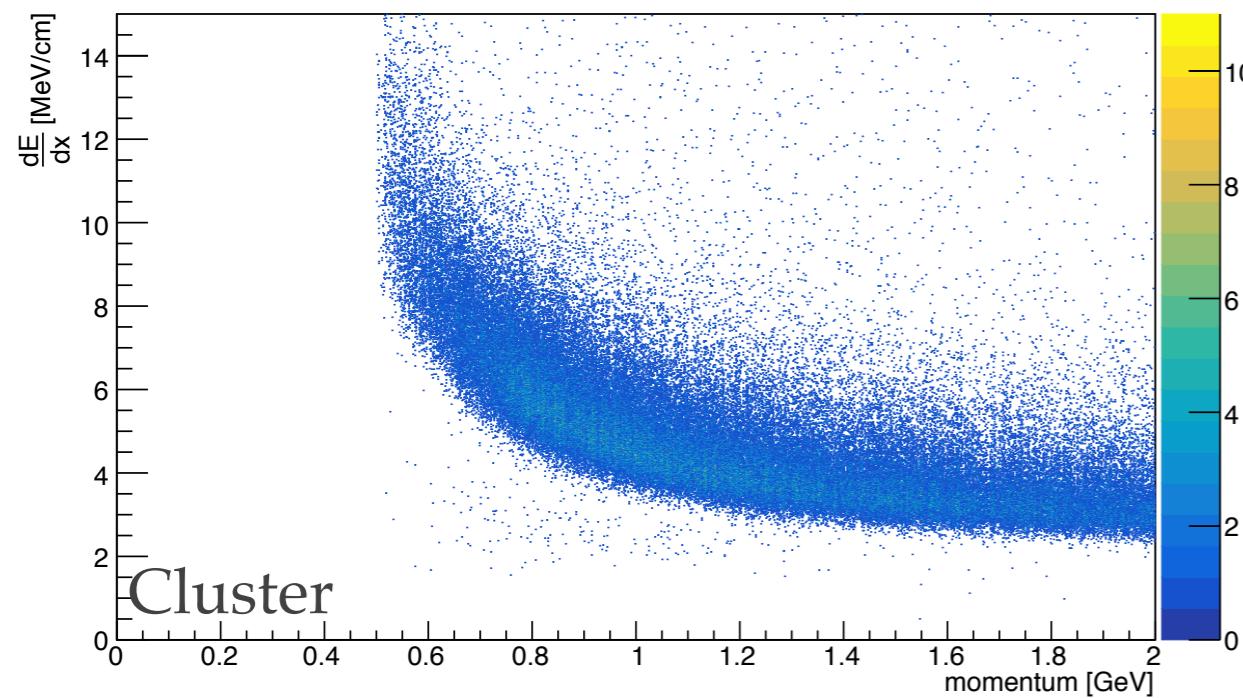


Facteurs relativistes :

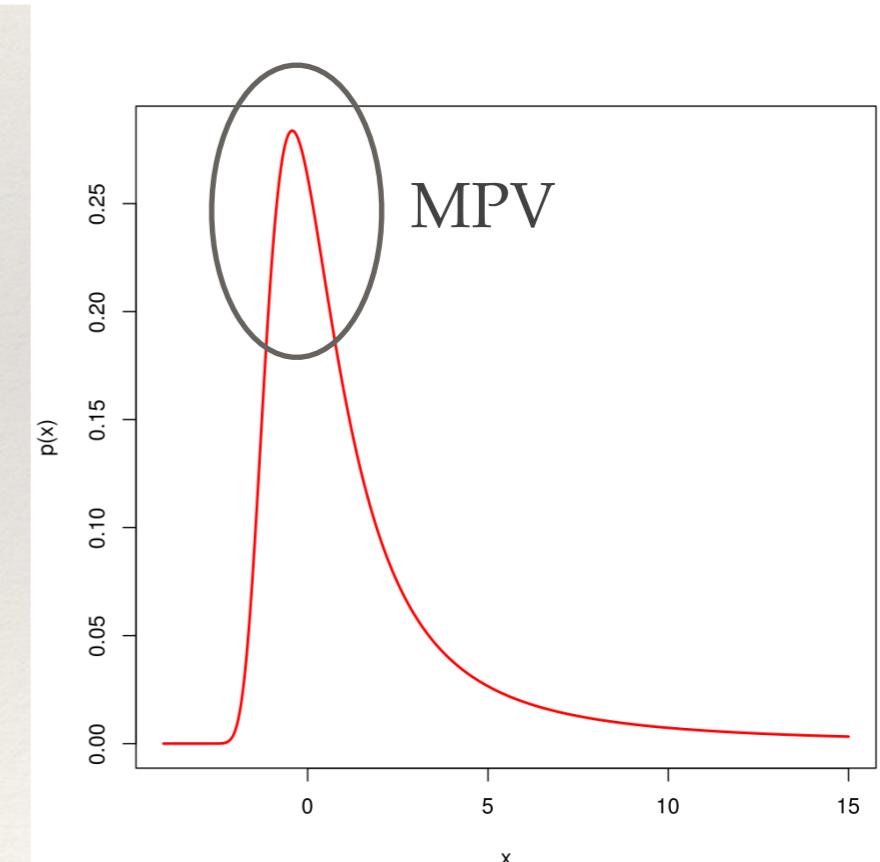
$$\beta = \frac{v}{c} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

# Estimateur de $dE/dx$

*Seulement protons.*



- ❖ On passe d'une **information par cluster à une information par trace**.
- ❖ Distribution de  $dE/dx$  suit une loi de Landau
  - > pour une trace donnée, on cherche la MPV (most probable value) de la distribution, correspondant au  $dE/dx$  décrit par Bethe & Bloch.
  - > on estime la valeur de la MPV.



*Distribution de Landau*

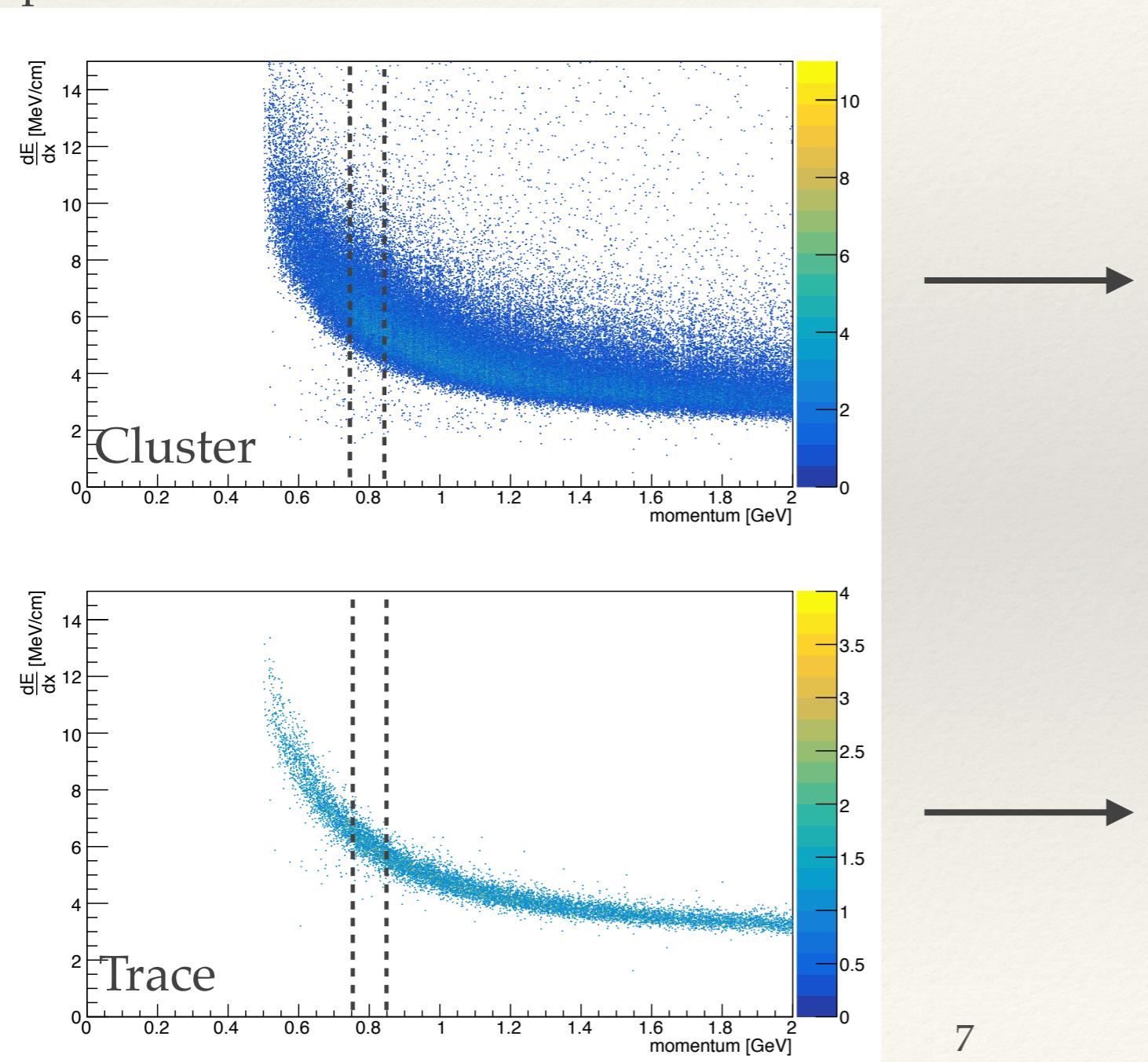
*Ligne des protons.*

*On regarde pour un momentum compris entre 0.75 et 0.85 GeV.*

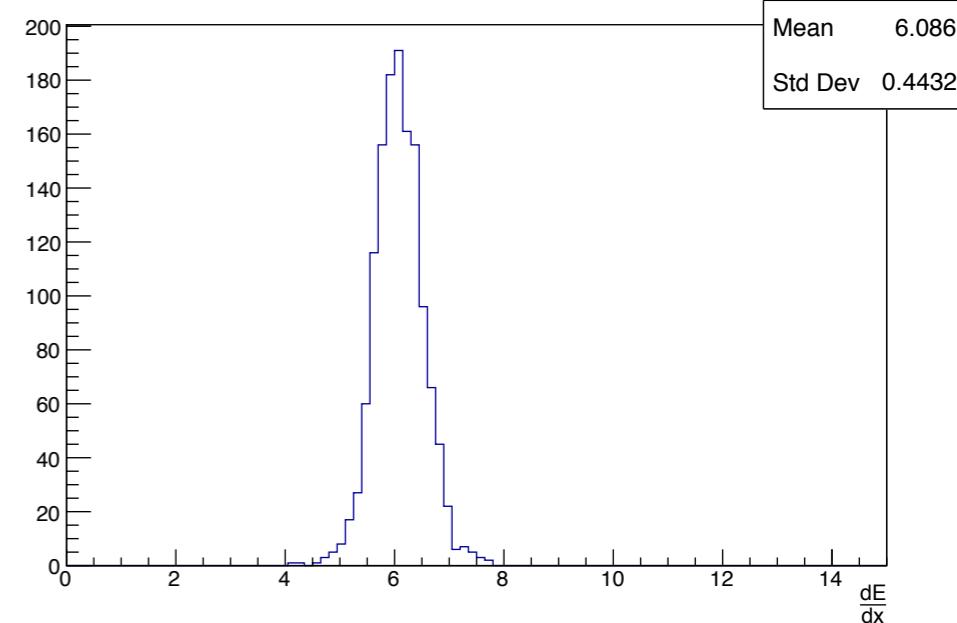
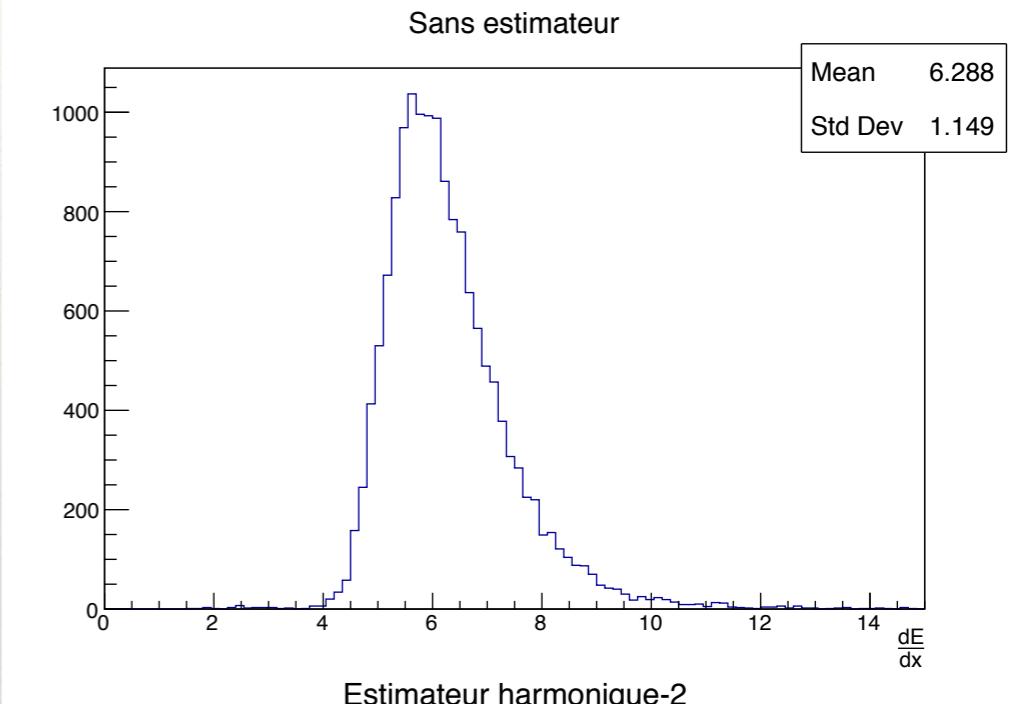
- ❖ Travaux précédents (stage M1) et analyse actuelle  
→ Estimateur harmonique-2.
- ❖ Faible poids dans la somme pour les forts dépôts ; pas de troncature.

## L'estimateur harmonique -2

$$I_h = \left( \frac{1}{N} \sum_i^N (\Delta E / \Delta x)_i^{-2} \right)^{-1/2}$$

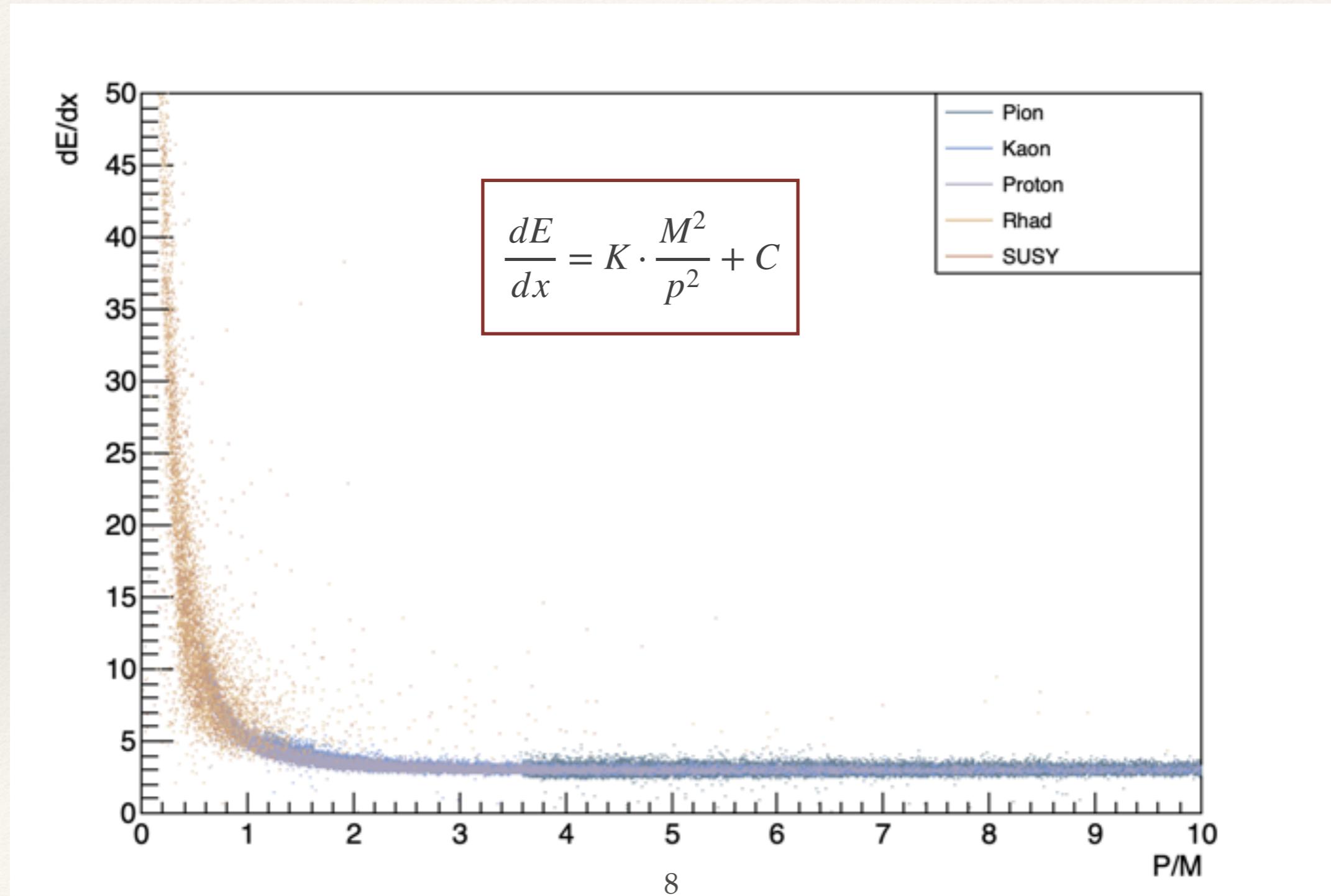


7

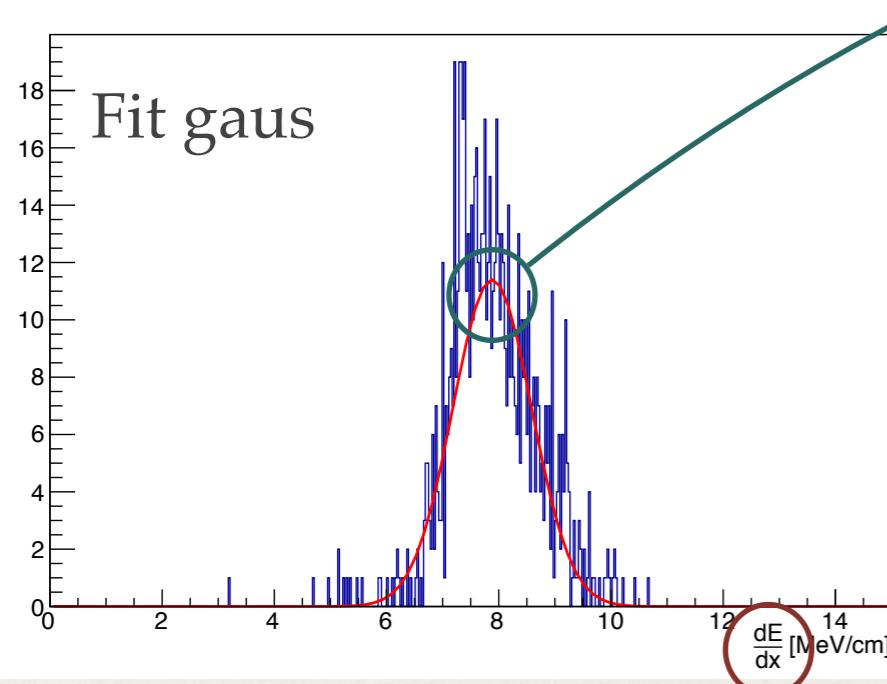
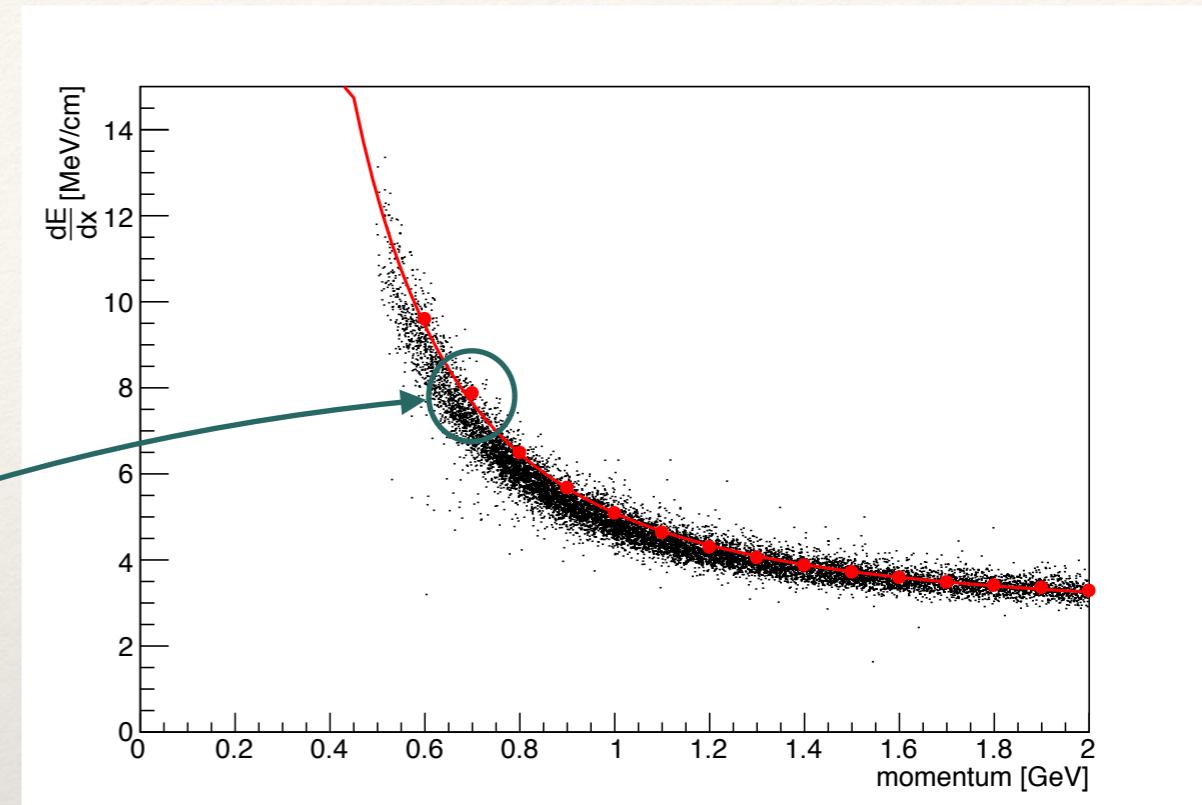
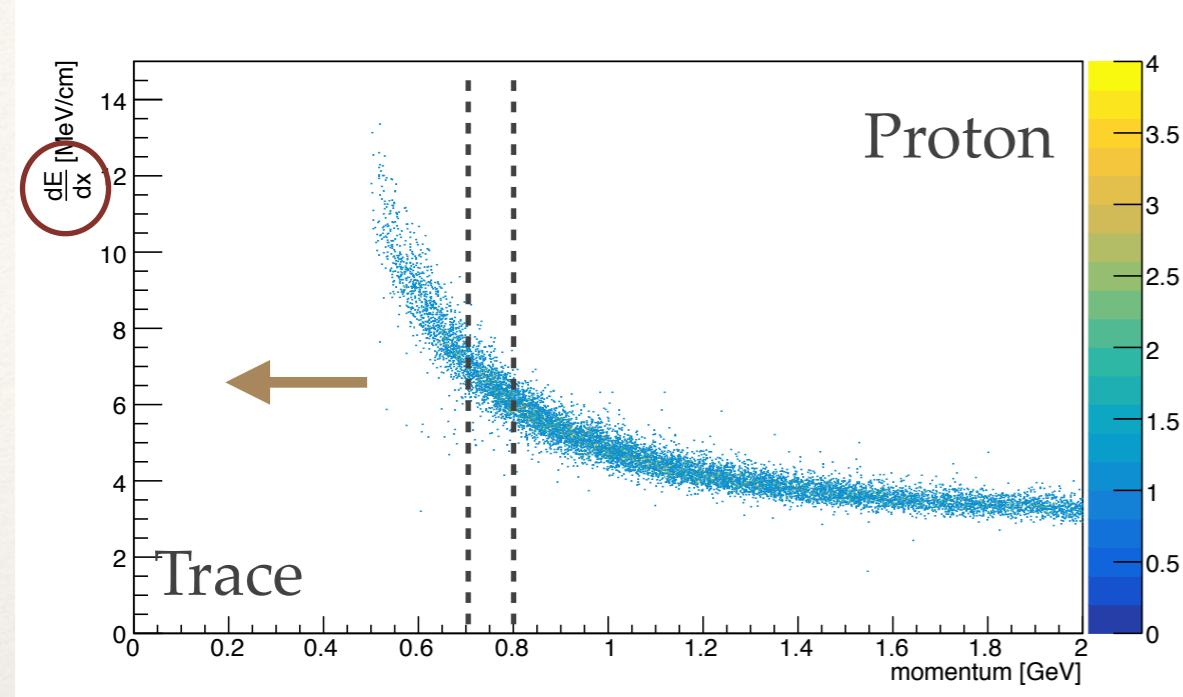


# Paramétrisation de Bethe & Bloch dans les données

- ❖ Si nous sommes en P / M, les différentes courbes se superposent et sont décrites par une seule et même approximation.



# Paramétrisation de Bethe & Bloch dans les données

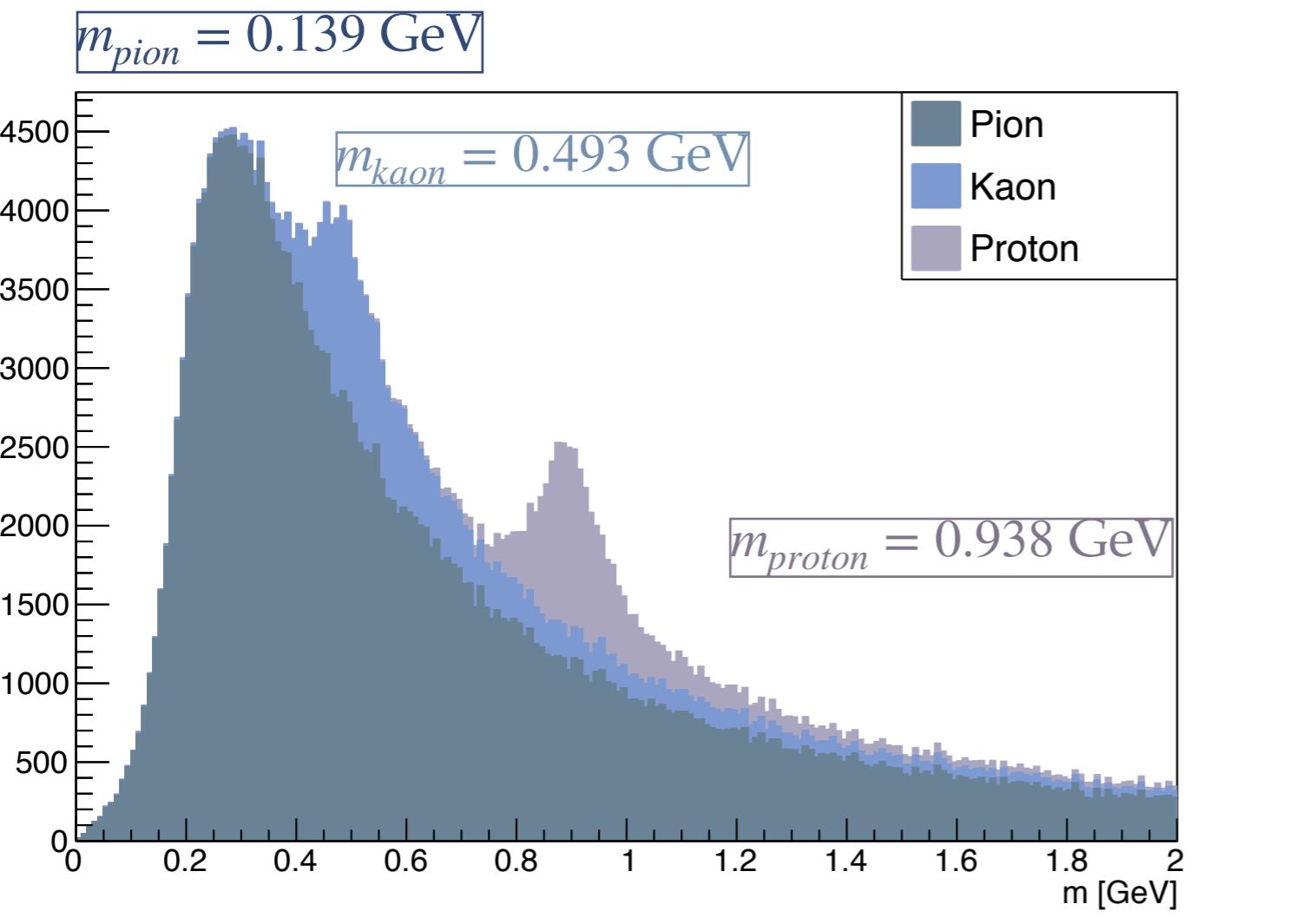


❖ On fit l'ensemble des points par notre fonction :

Masse proton = 0.938 GeV

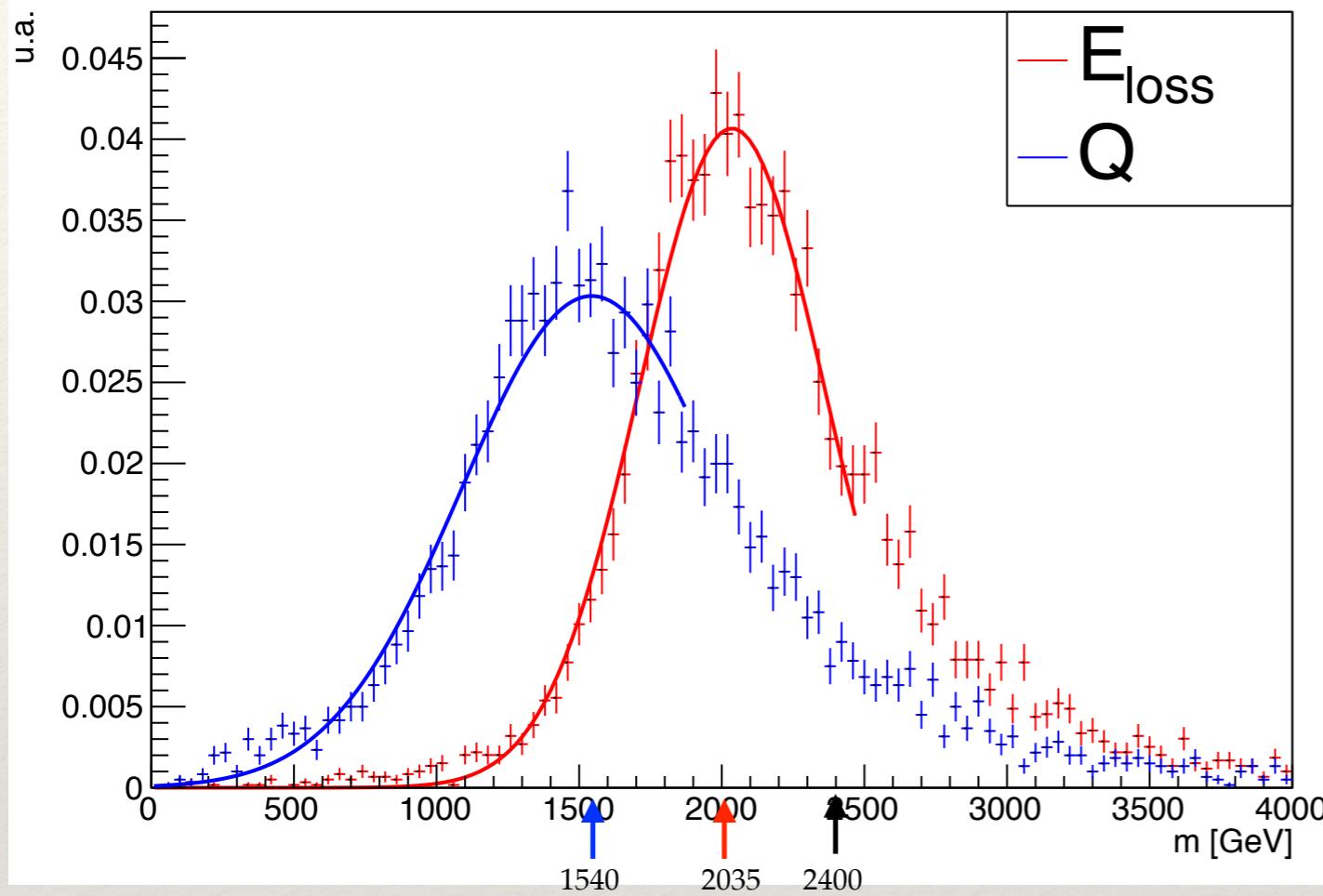
**K=2.78 et C=2.64**

# Reconstruction de la masse du proton



- ❖ Paramètres obtenus avec ligne proton.  
—> reconstruisent convenablement les protons et les kaons.
- ❖ Fonctionne mal pour les pions.  
—> Peut être du au paramètre K et C.  
—> Ainsi que la coupure en impulsion à 500 MeV.

# Problème de reconstruction de la masse invariante



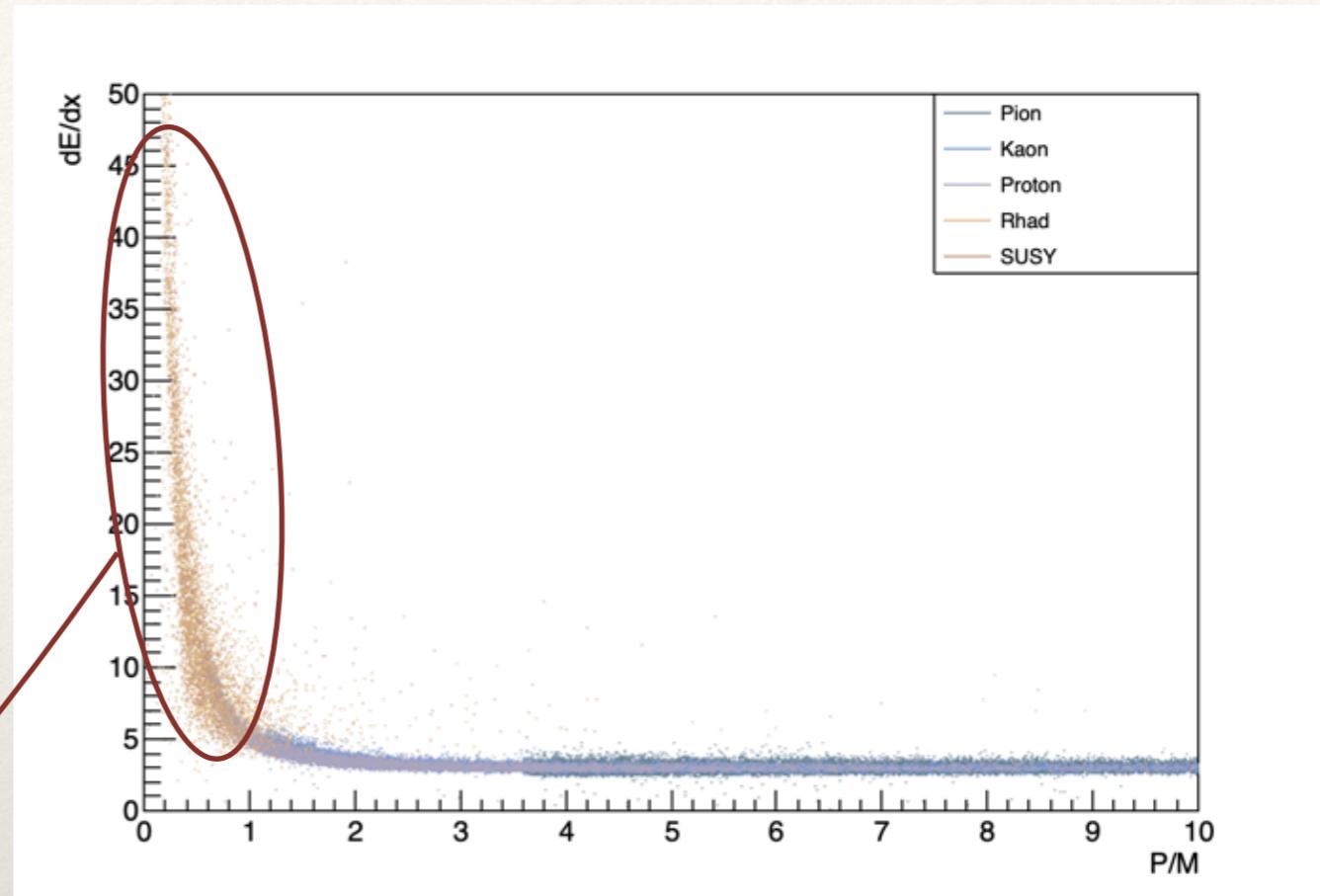
*Distribution de masse avec un sample de gluino à 2,4 TeV ;  
reconstruction avec l'énergie déposée et avec l'énergie reconstruite*

Mauvaise reconstruction de la masse.

Léger décalage —> à explorer  
mais peut être du aux  
paramètres K et C et au fit  
précédent.

# Limitation et fort dépôt de charge

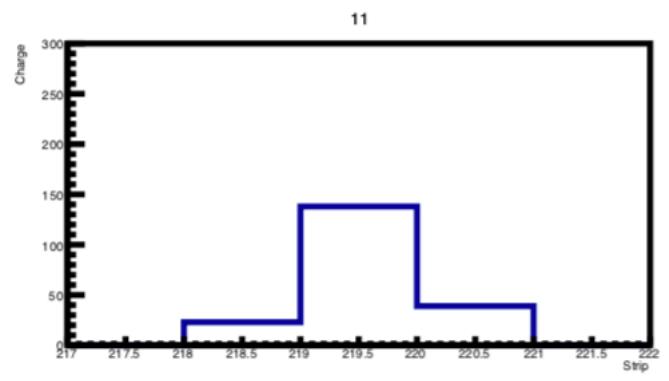
- ❖ Masse élevée des R-hadrons
  - > production à **bas  $\beta$**  avec nos énergies de collision (de l'ordre du TeV).
- ❖ On se place dans la remontée de B&B en terme de dépôt d'énergie
  - > **saturation des pistes électriques.**



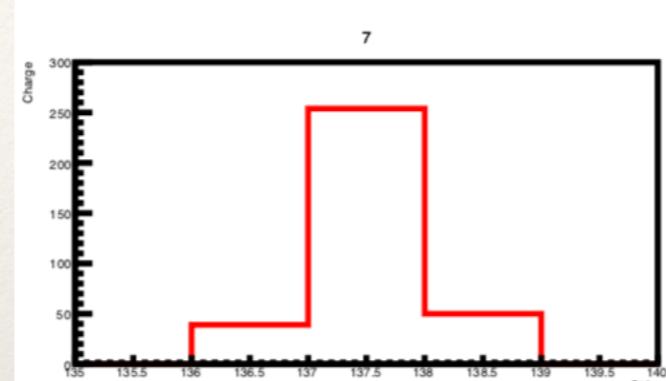
# Etude de la saturation

- ❖ Les strips peuvent saturer ou non

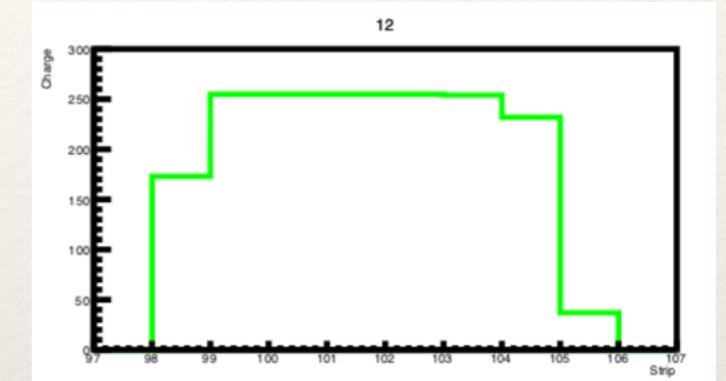
Pas de saturation



Saturation 254



Saturation 255



- ❖ Digitisation du signal : Charge collectée sur 10 bits, entre 0 et 1023 coups ADC.  
→ On coupe à 8 bits pour gagner en bande-passante.
- ❖ Charges entre 255 et 1023 prennent la valeur 254.

- ❖ Saturation « pure » des pistes électroniques.  
→ Charges au-delà de 1023 coups ADC prennent la valeur 255.

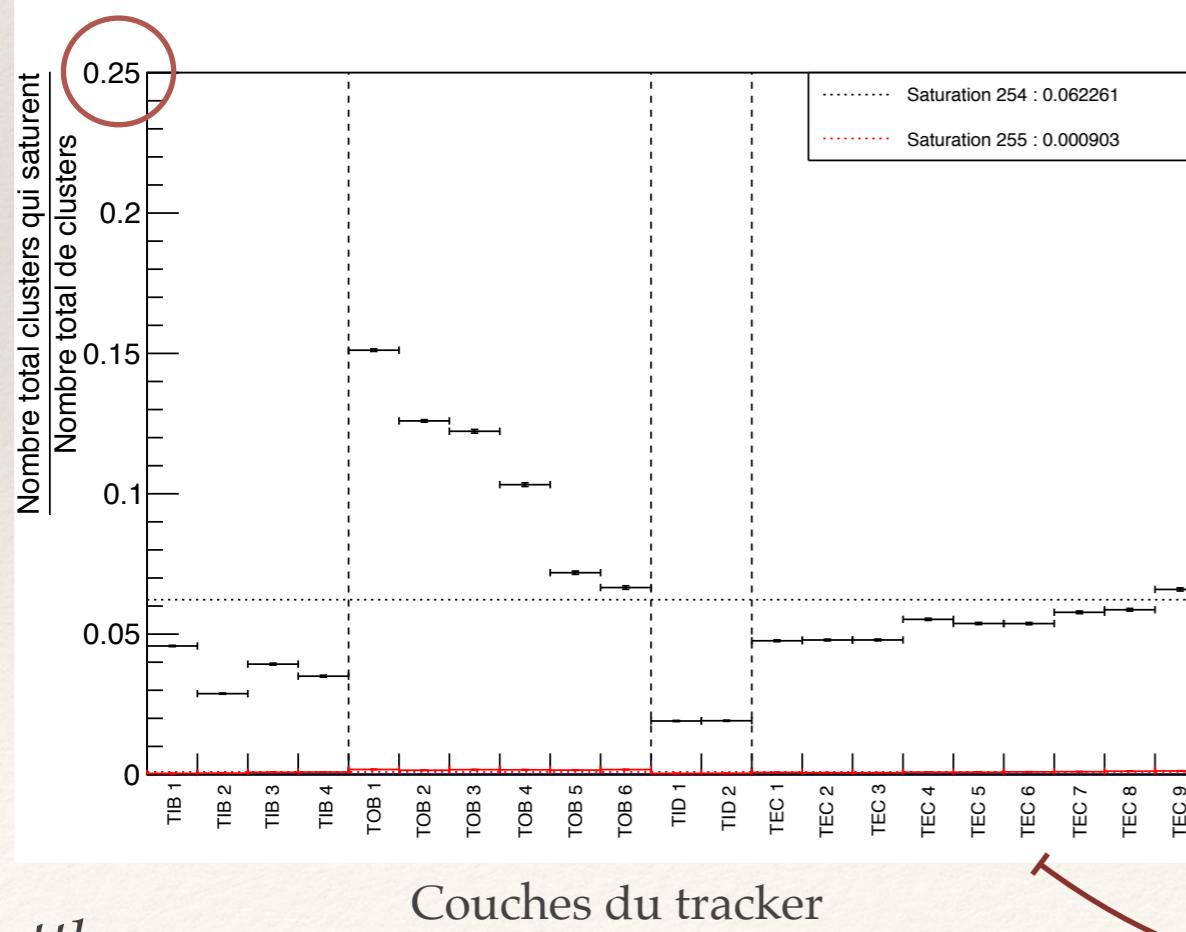
# Etude de la saturation

X : pas de saturation  
O : saturation

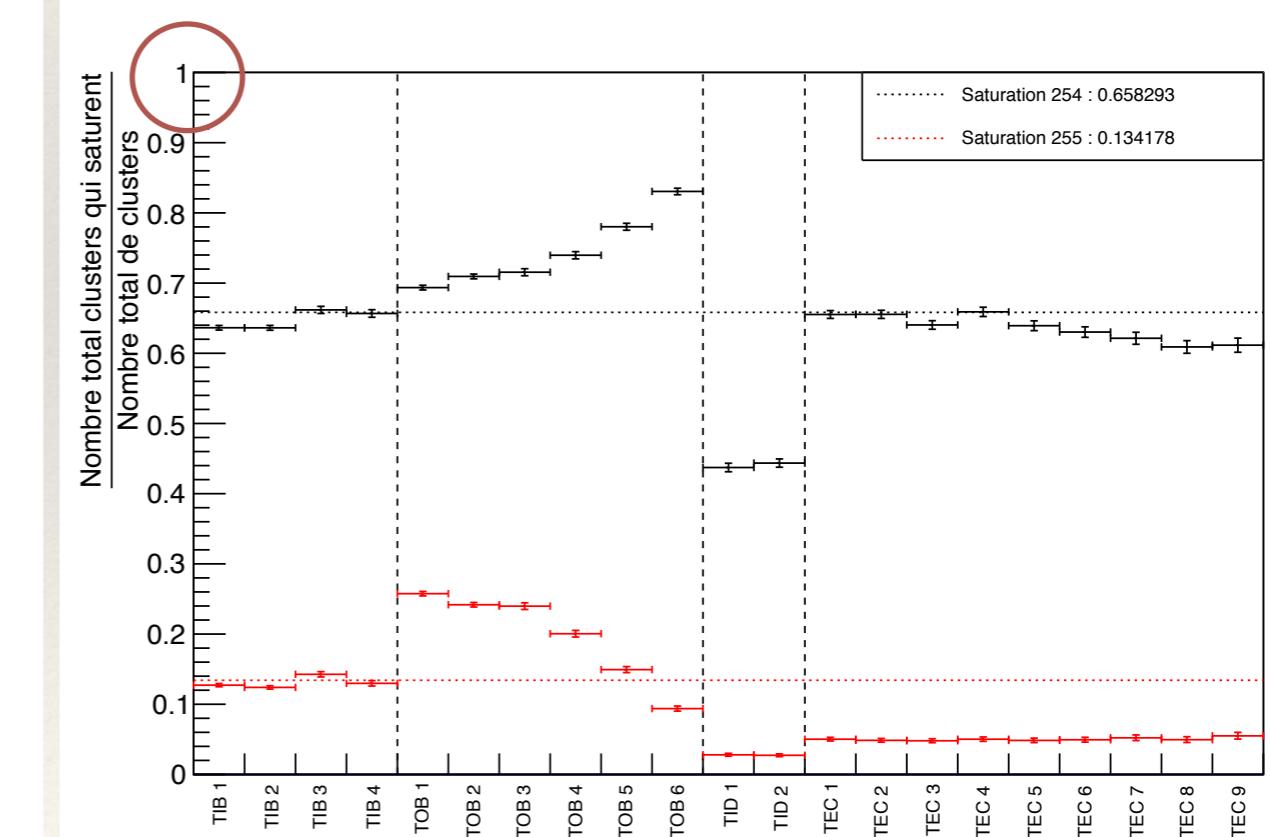
Si une strip sature, on dit que le cluster sature

- Plus de clusters qui saturent avec les gluinos —> 65% contre 6% avant.

$$y = \frac{\text{Nombre total de clusters qui saturent pour une couche}}{\text{Nombre total de clusters de la couche}}$$

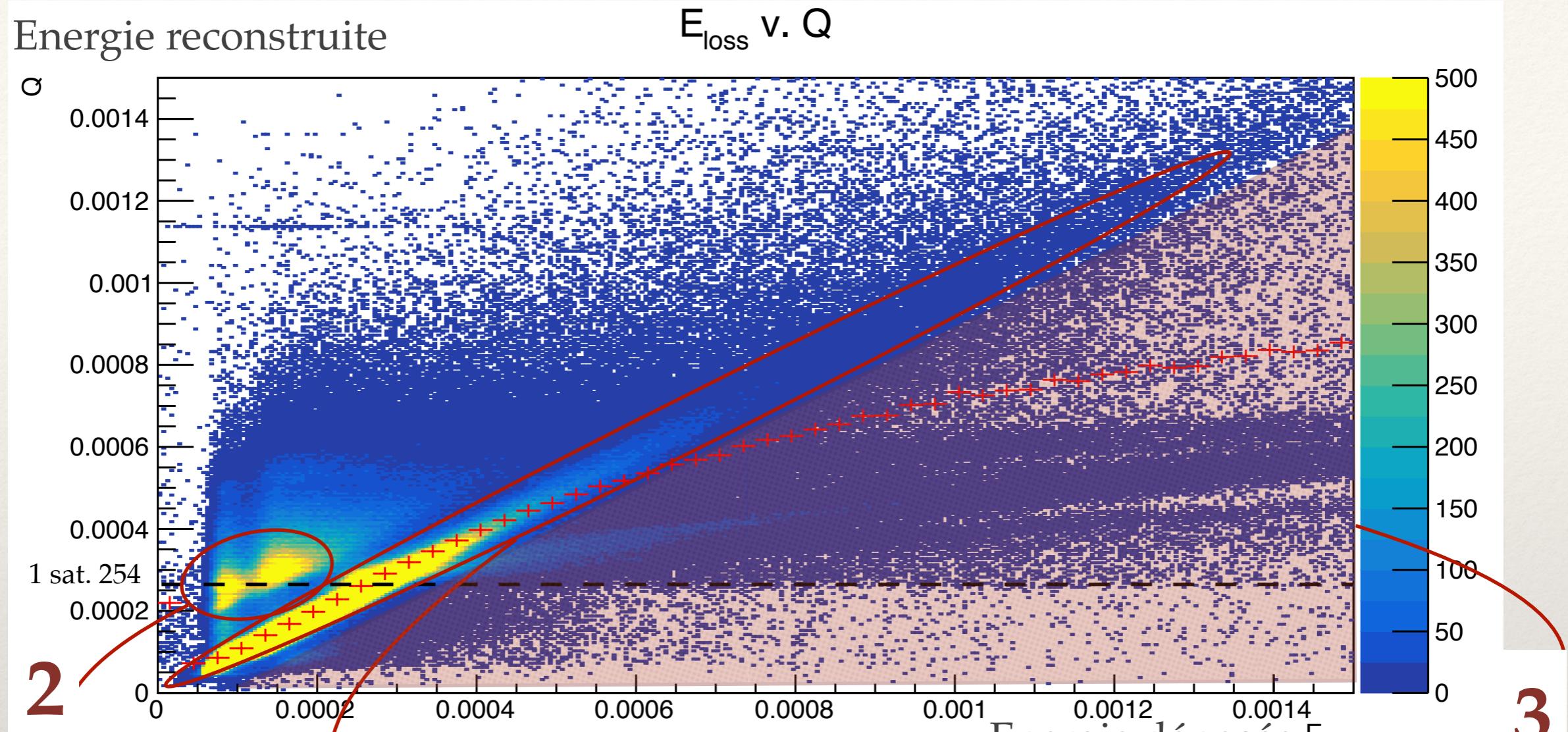


14



gluino à 2.4 TeV

# Etude de la saturation



- ❖ Dans la **région de saturation** nous pouvons reconnaître certains patterns →  $Q = f(E_{loss})$
- ❖ On peut inverser le problème et remonter à l'énergie réellement déposée à partir de la charge reconstruite.

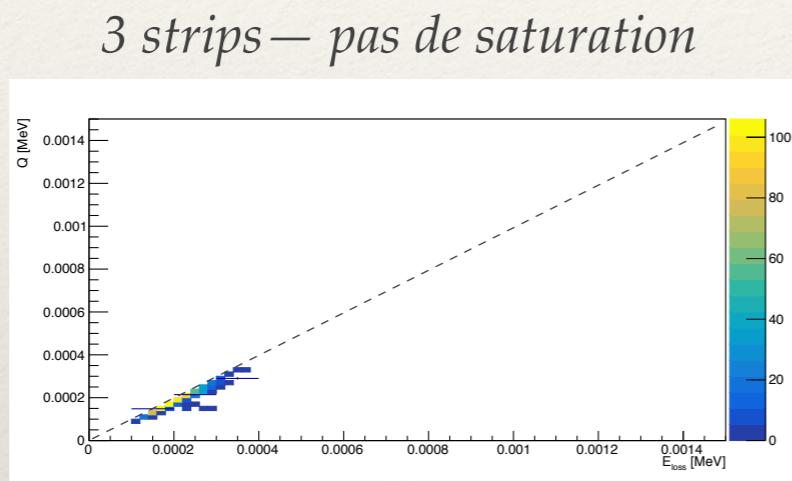
$$Q \rightarrow E_{loss} [\text{MeV}]$$

# Mise en place de la méthode

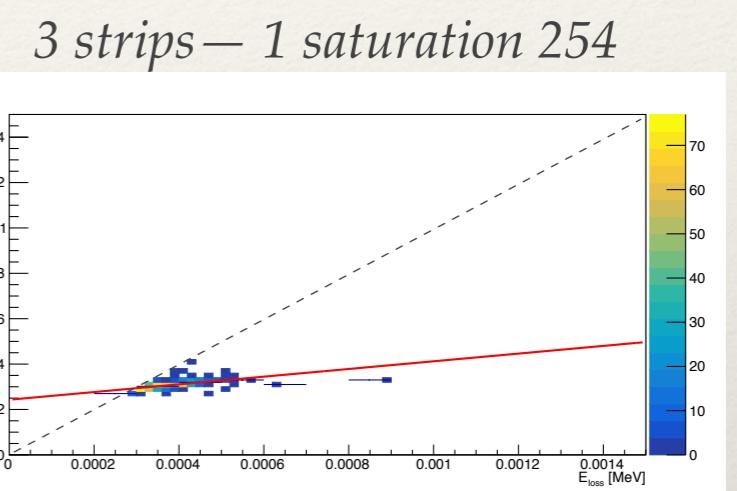
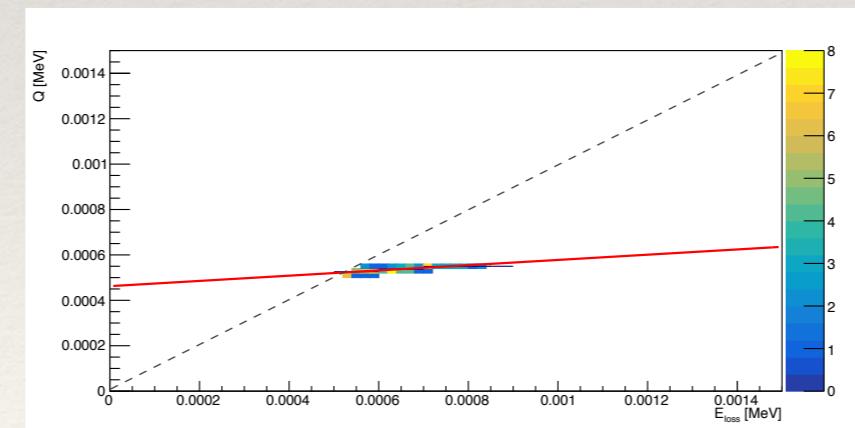
- ❖ Catégorisation des clusters :

- couche — mise en place seulement pour les 10 couches du barrel —> filtre en eta des traces  $-0.8 < \eta < 0.8$
- taille — de 3 à 6 strips — inclusif.
- nombre de strips qui saturent — 1 ou 2 pistes — inclusif.
- type de saturation — 254 ou 255.

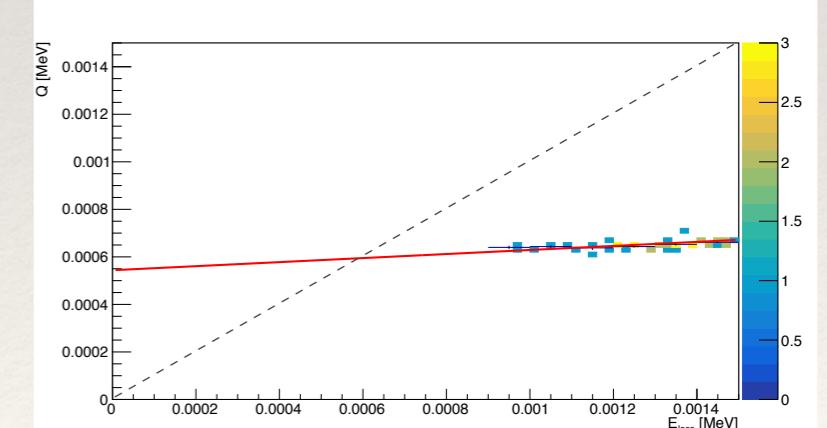
Ex : TOB  
layer 1



*4 strips— 1 saturation 254*

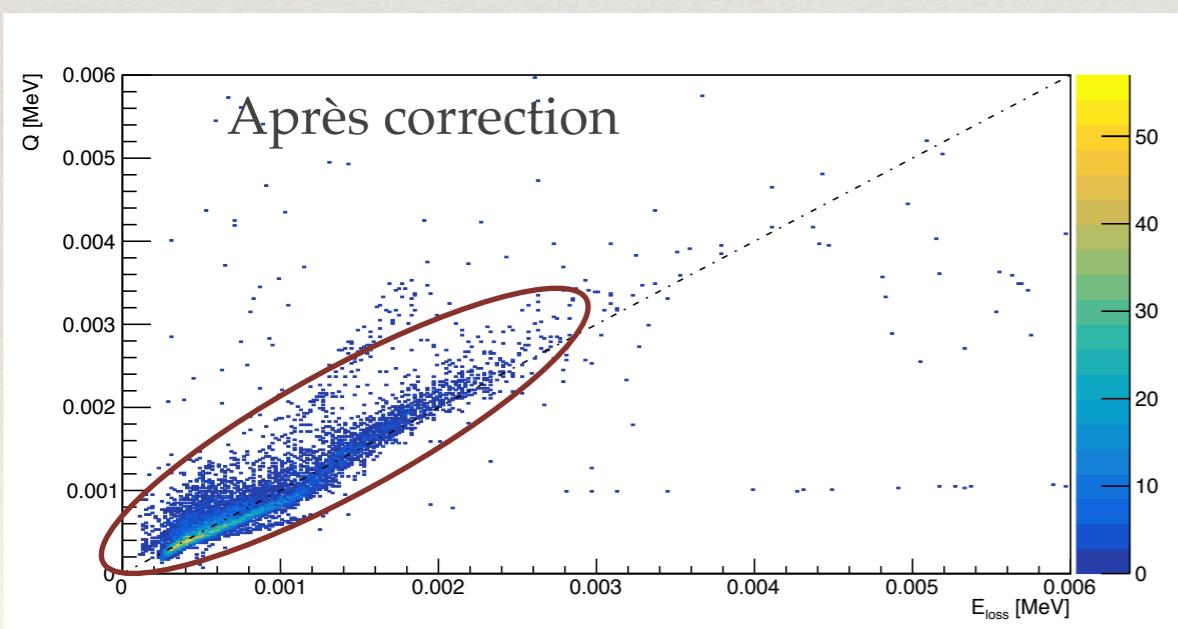
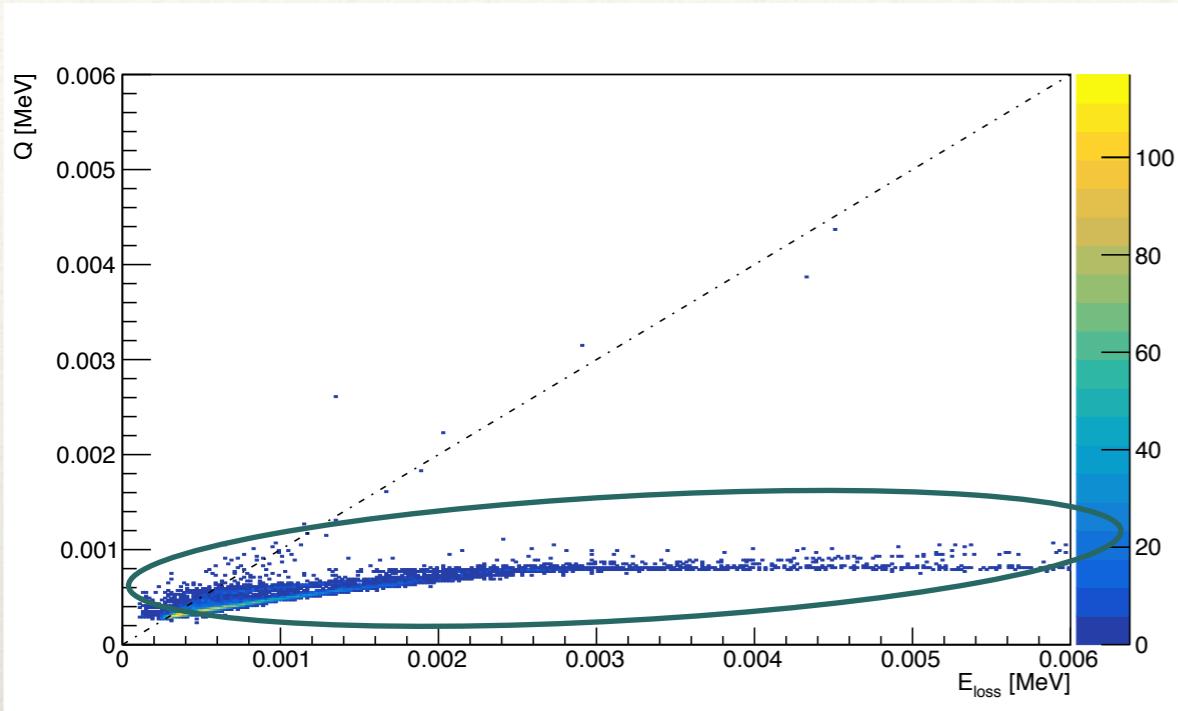


*5 strips— 1 saturation 254 et 1 saturation 255*

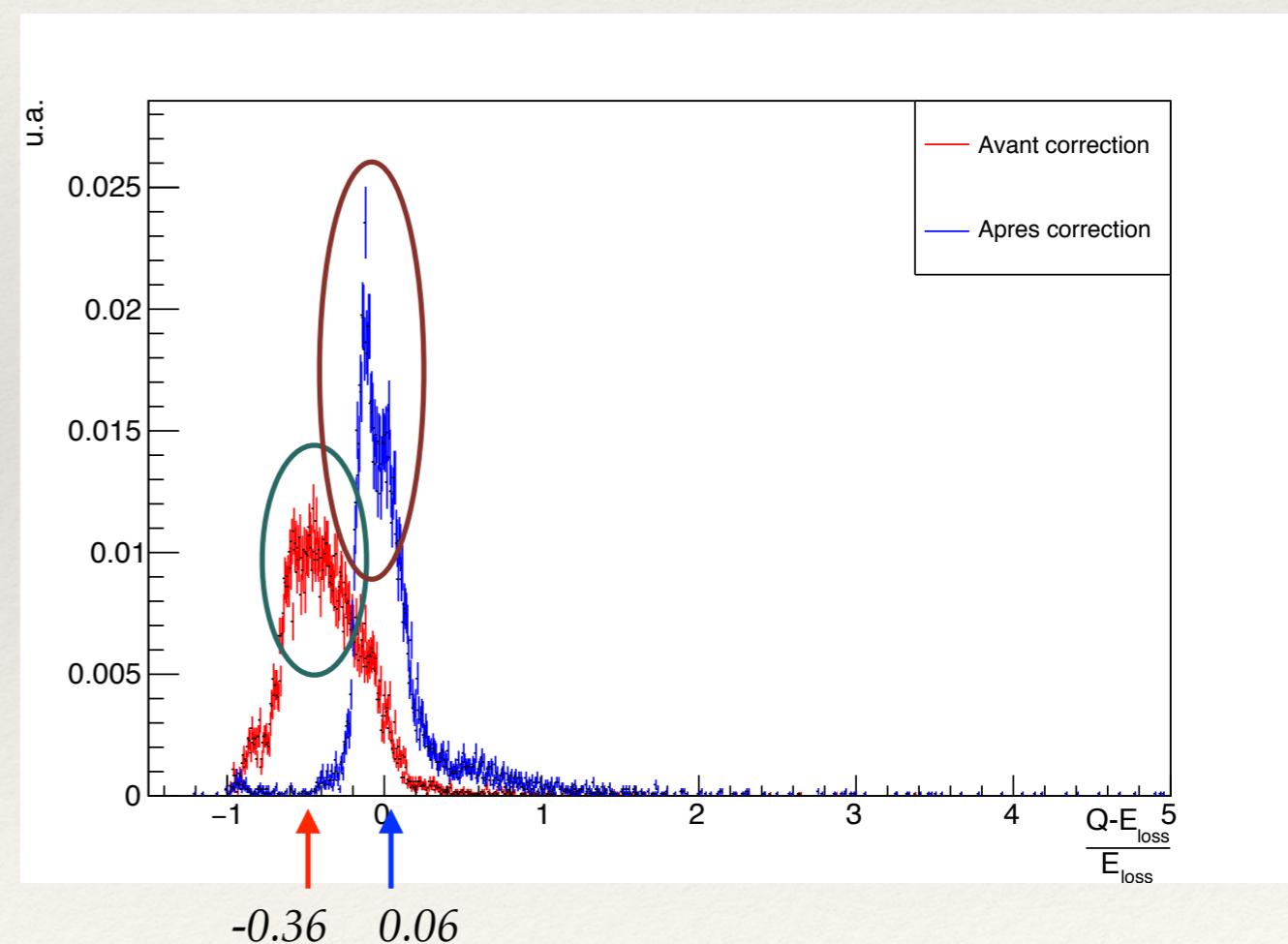


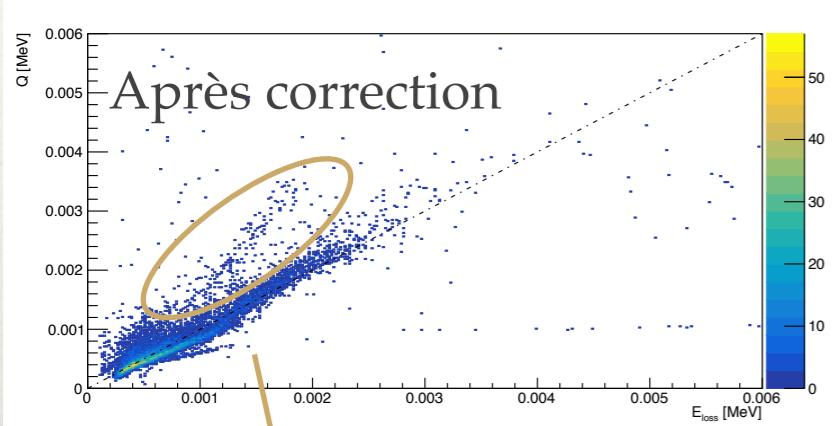
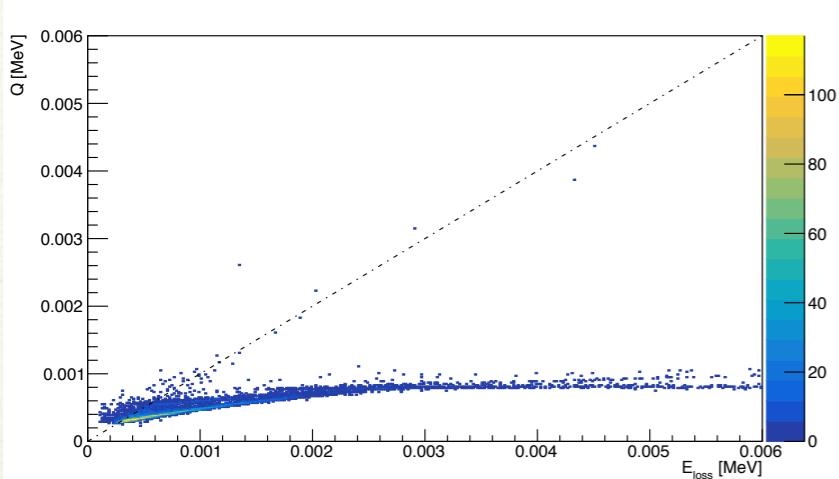
- ❖ On ne considère plus les cas des traces où il n'y pas eu de saturation.

## Test de la méthode dans TOB layer 1



- ❖ Fonctionne correctement pour TOB layer 1.
  - diminution du biais.
  - distribution resserrée.

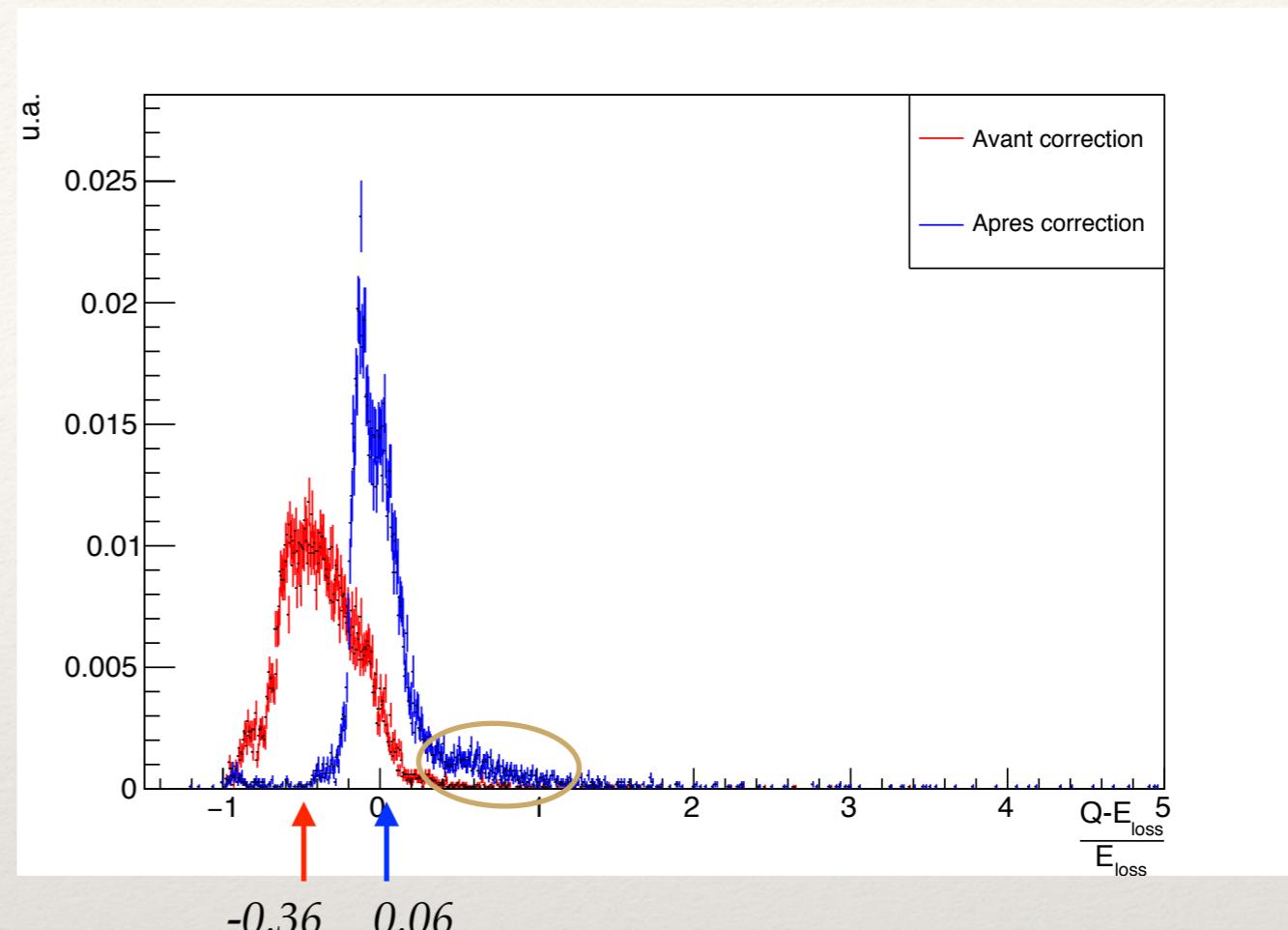




## Sur-correction

- ❖ Nécessité d'un **critère d'application** de la méthode

# Test de la méthode dans TOB layer 1



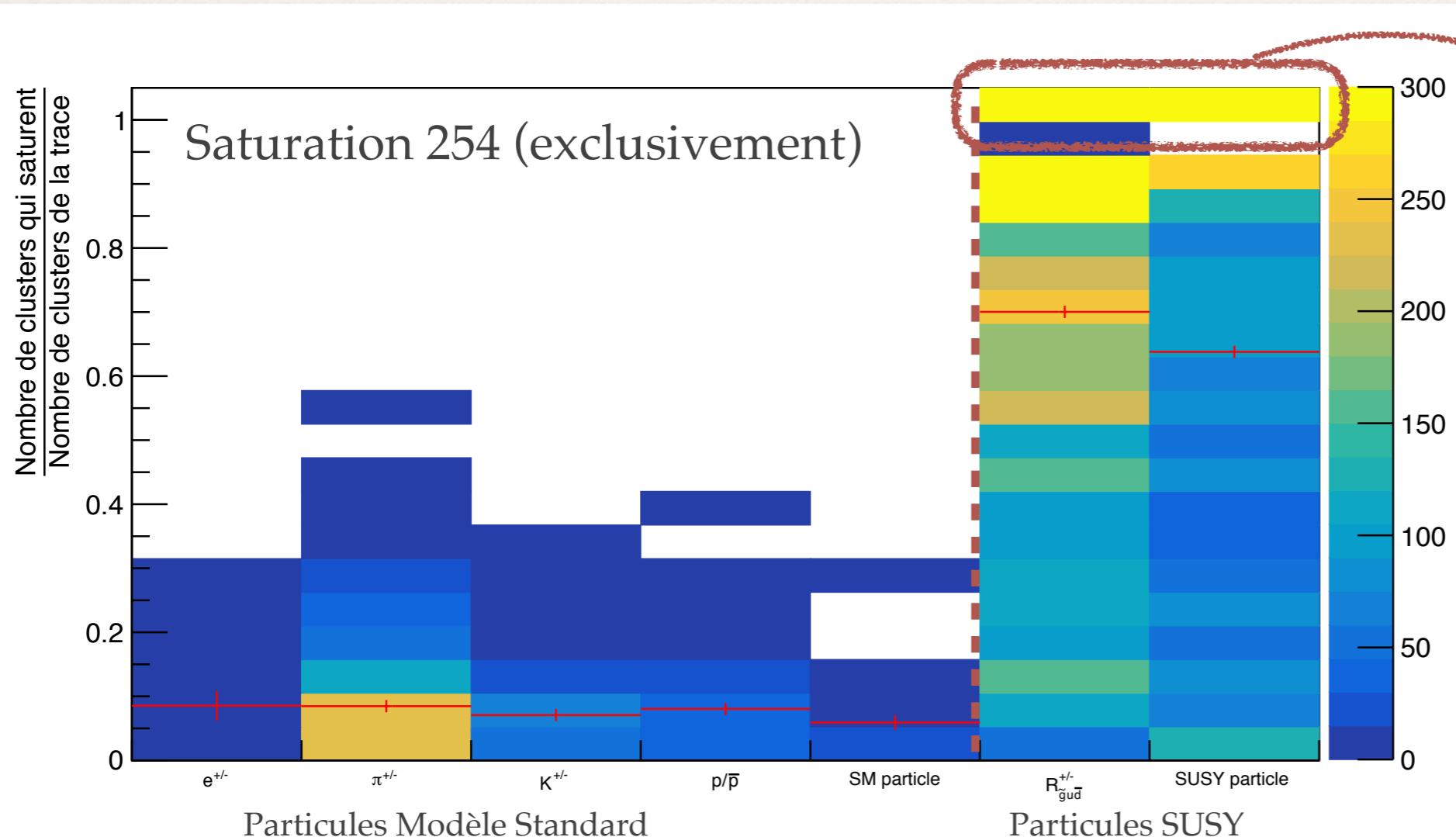
- ❖ A quoi est due la saturation ?
  - fluctuation haute de  $dE/dx$ .
  - cinématique donnant un bas P/M.
  - > critère de sélection basé sur une information de la trace.

$$Rat. Sat. = \frac{\text{Nombre de clusters saturés pour une trace}}{\text{Nombre de clusters de la trace}}$$

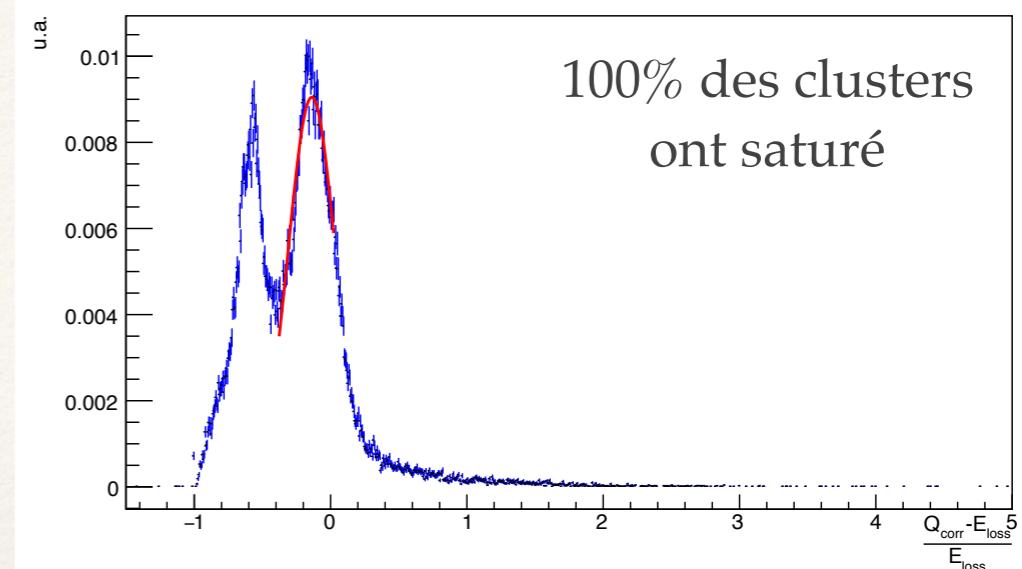
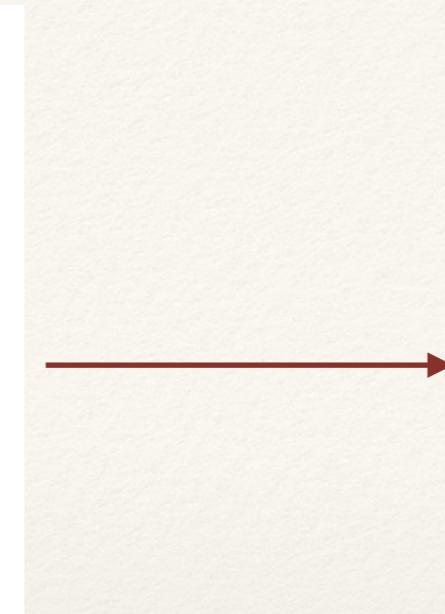
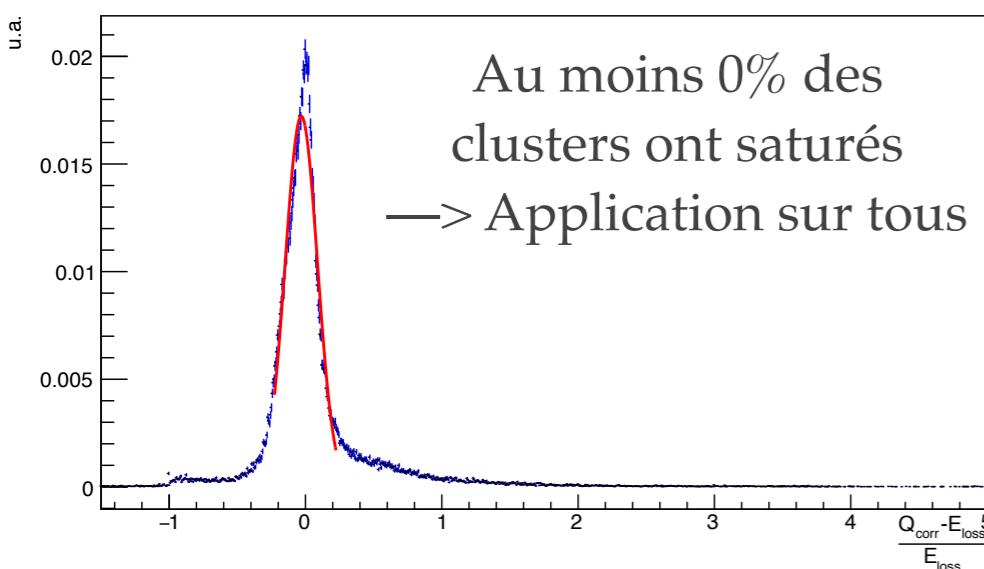
## Critère d'application

- ❖ Critère d'application de la méthode basée sur le **ratio du nombre de clusters saturés par trace**.
- ❖ On choisit un **seuil minimum** pour le ratio de saturation au-delà duquel on applique la méthode.

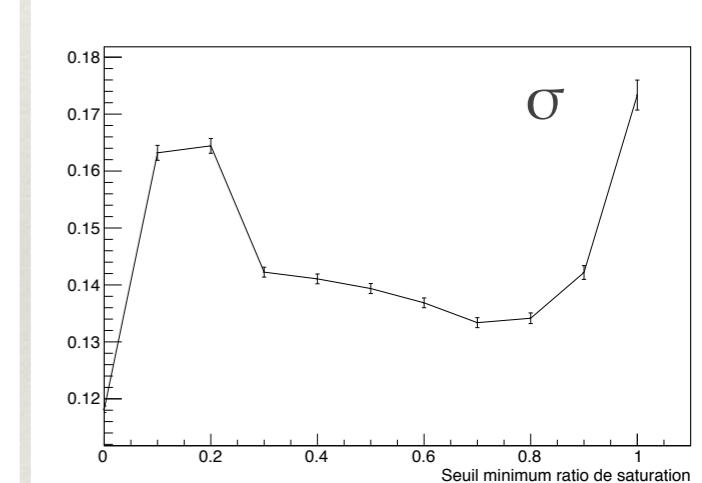
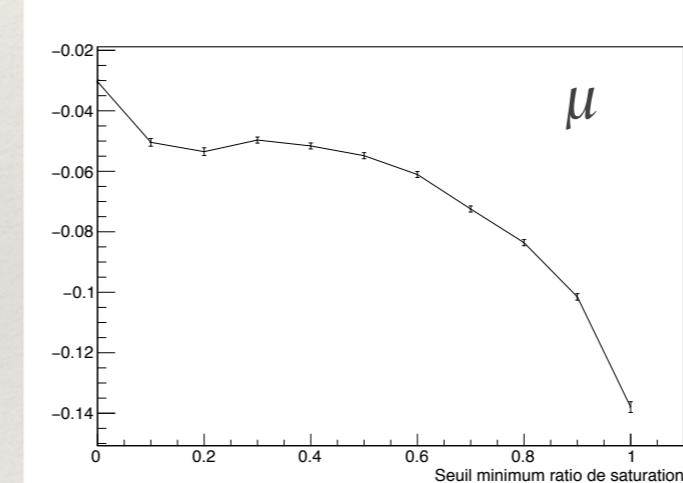
$$Rat. Sat. \geq Rat_{min} \rightarrow \text{Méthode}$$



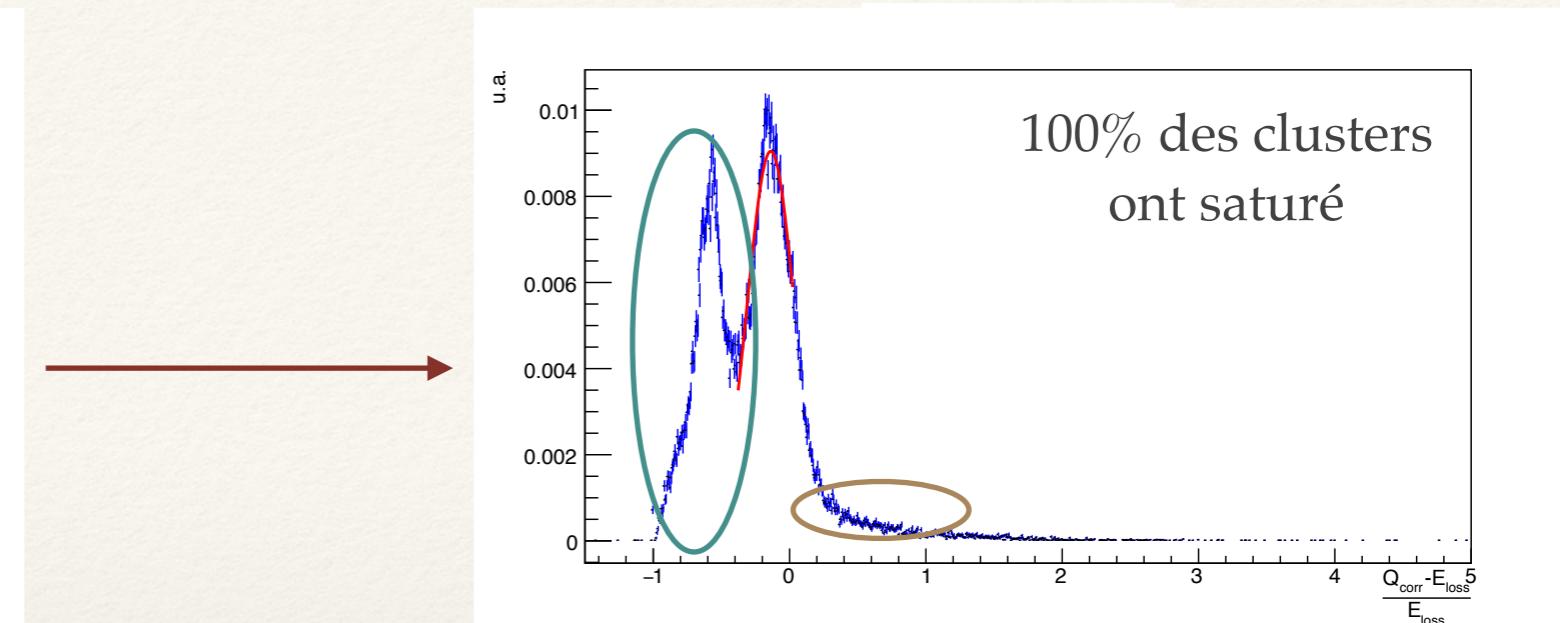
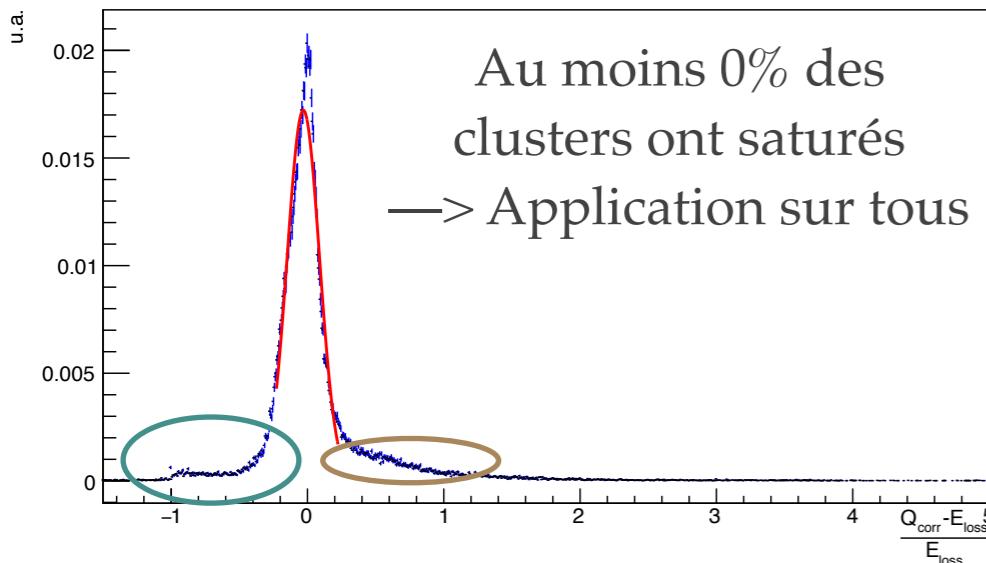
# Etude en fonction du ratio de saturation



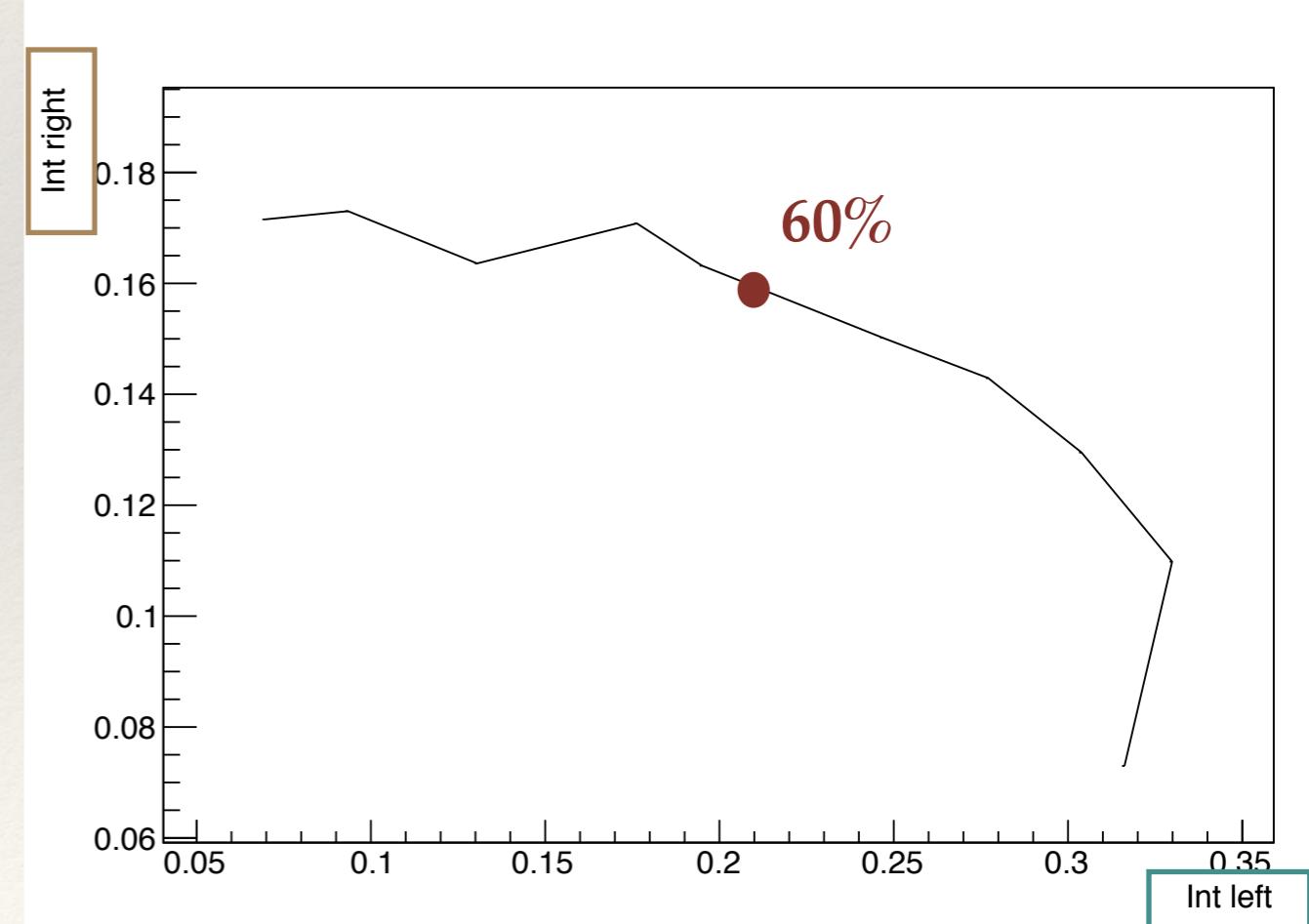
- ❖ On scanne pour un ratio de saturation entre 0% et 100%.
- ❖ On étudie alors pour chaque itération quelques grandeurs :
  - **moyenne** de la gaussienne  $\mu$
  - **écart-type** de la gaussienne  $\sigma$



# Choix du ratio de saturation

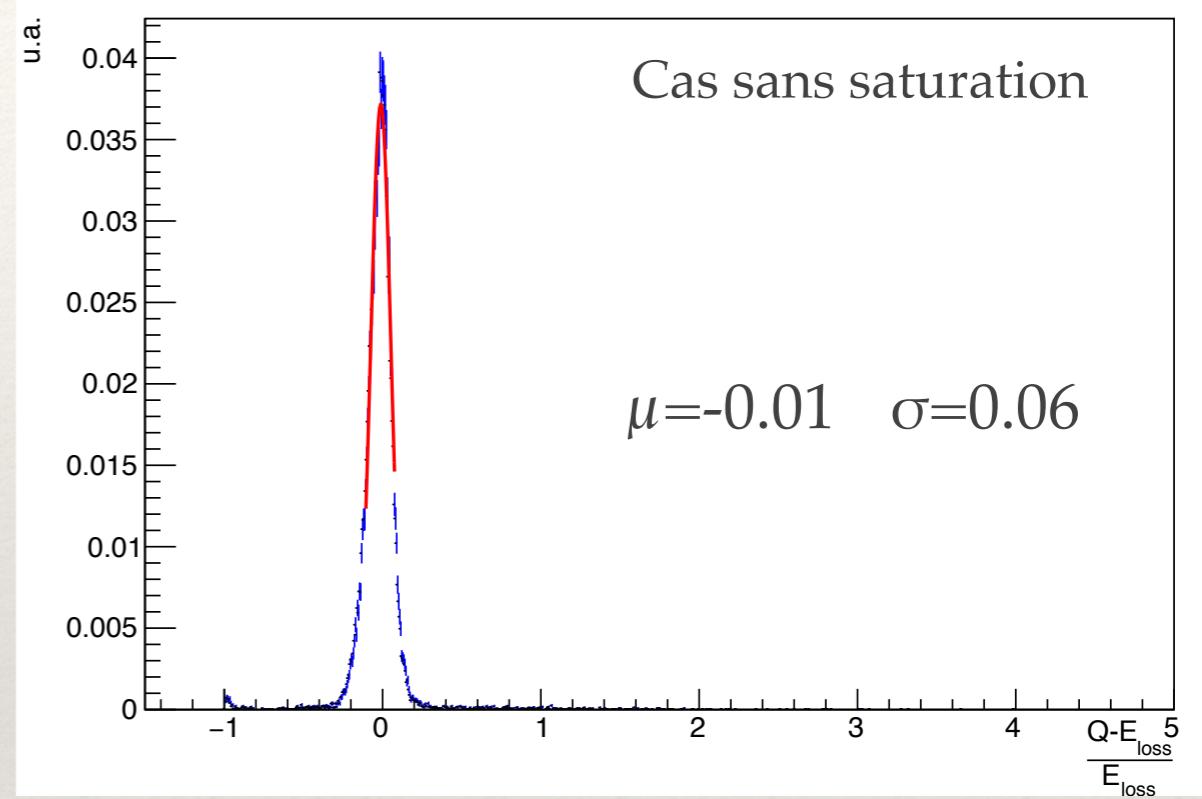
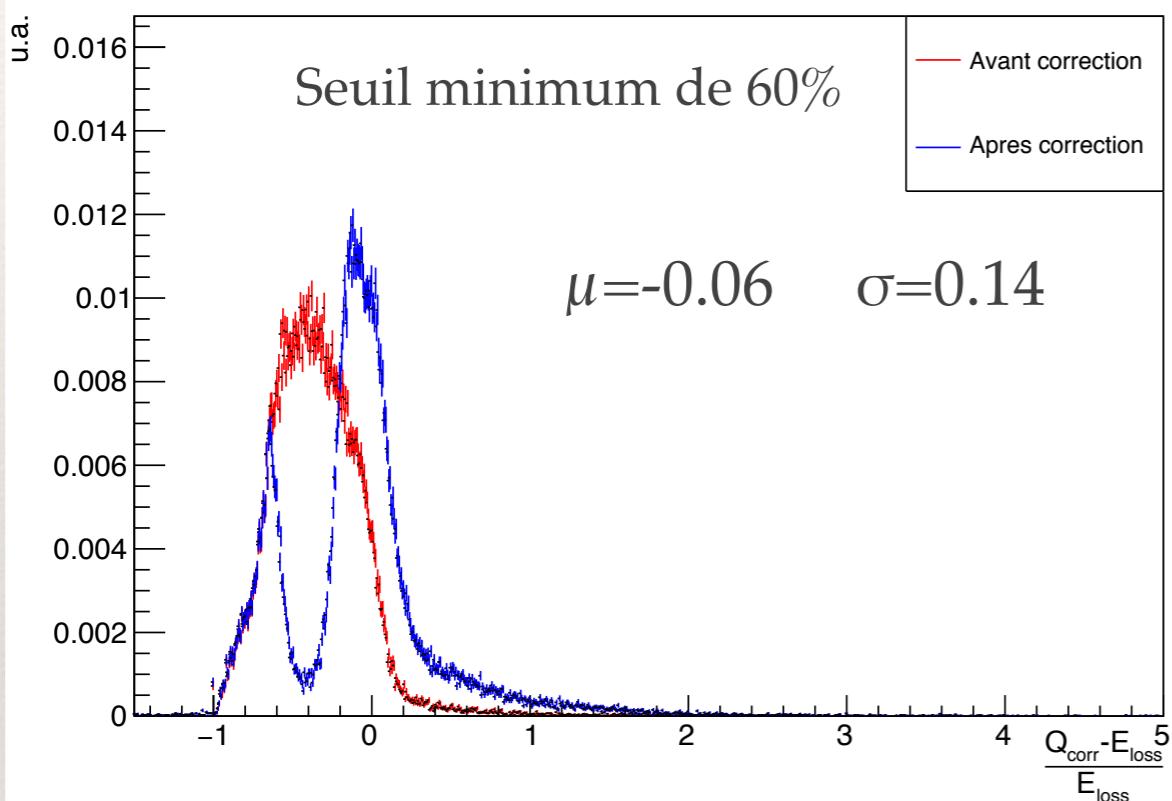


- ❖ On étudie alors pour chaque itération quelques grandeurs :
  - intégrale à partir de  $\mu + 2\sigma$
  - intégrale jusqu'à  $\mu - 2\sigma$
- ❖ On peut alors choisir où l'on veut se « placer » en terme de robustesse et d'efficacité  
→ on fixe arbitrairement notre ratio minimum à 60%.



Ratio sélectionné : 60%

Correction

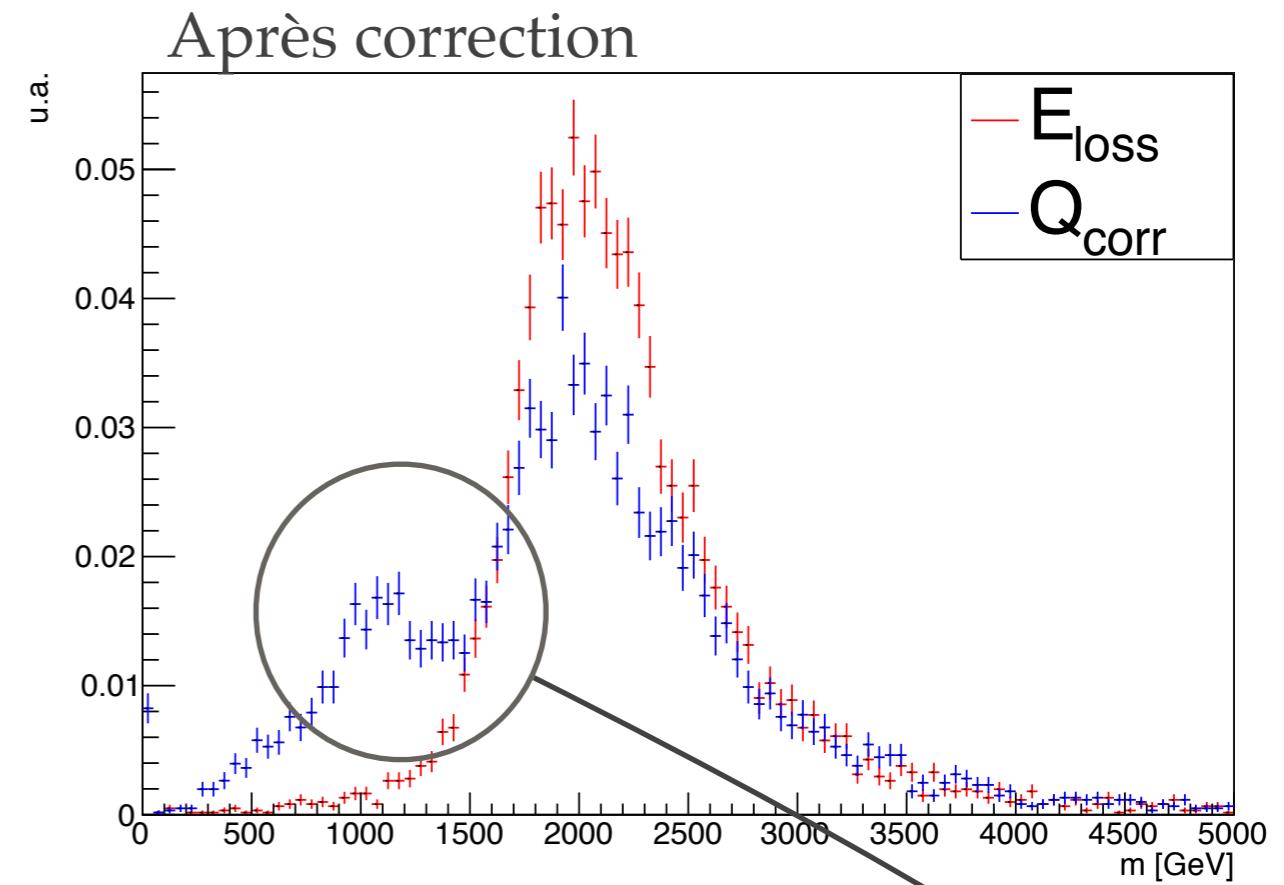
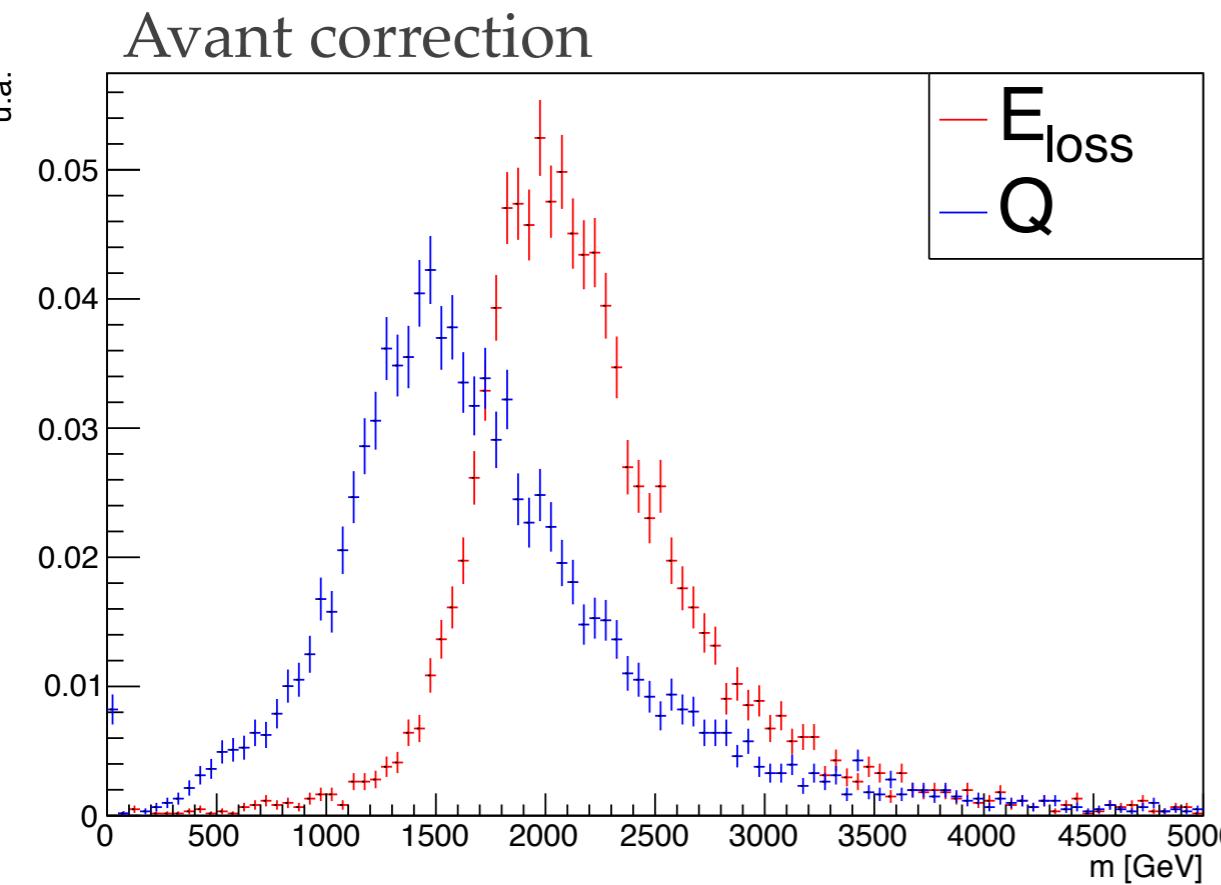


- ❖ Moins biaisé après correction.
- ❖ Toujours quelques clusters qu'on ne corrige pas.
- ❖ Plus grand taux de sur-évaluation de l'énergie.

- ❖ Léger biais d'environ 1% dans le cas sans saturation.

# Reconstruction de la masse après correction

- ❖ Seuil minimum de saturation pour la correction : 60%.
- ❖ On ne considère pas les traces où il n'y a eu aucune saturation.



- ❖ La reconstruction de la distribution de masse invariante à l'aide de notre méthode donne des résultats concluants.  
—> **écart par rapport à Eloss considérablement réduit.**
- ❖ Il reste une partie à basse masse.  
—> à explorer.

X : pas de saturation

O : saturation

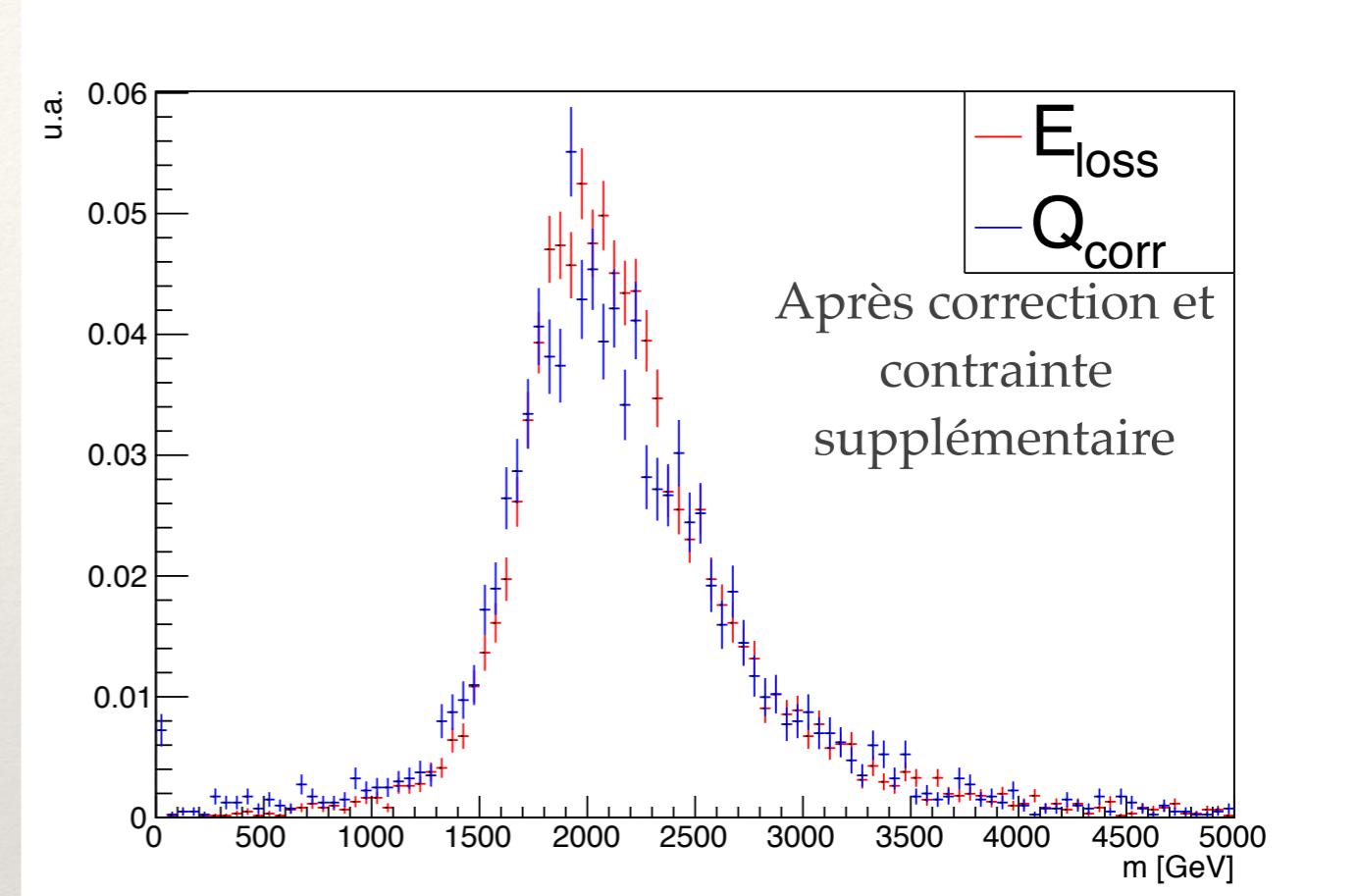
- ❖ Ratio nombre de clusters saturés < 60%  
—> on utilise **seulement la charge de ceux qui n'ont pas saturé**

X : pas de saturation

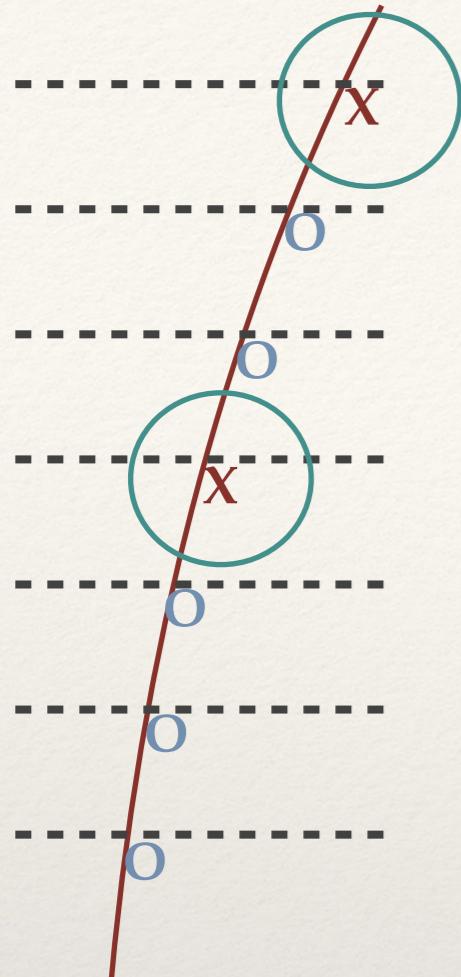
O : saturation

- ❖ Ratio nombre de clusters saturés  $\geq 60\%$   
—> on applique notre méthode sur ceux qui ont saturé et on utilise **toute l'information**

## Amélioration de la reconstruction



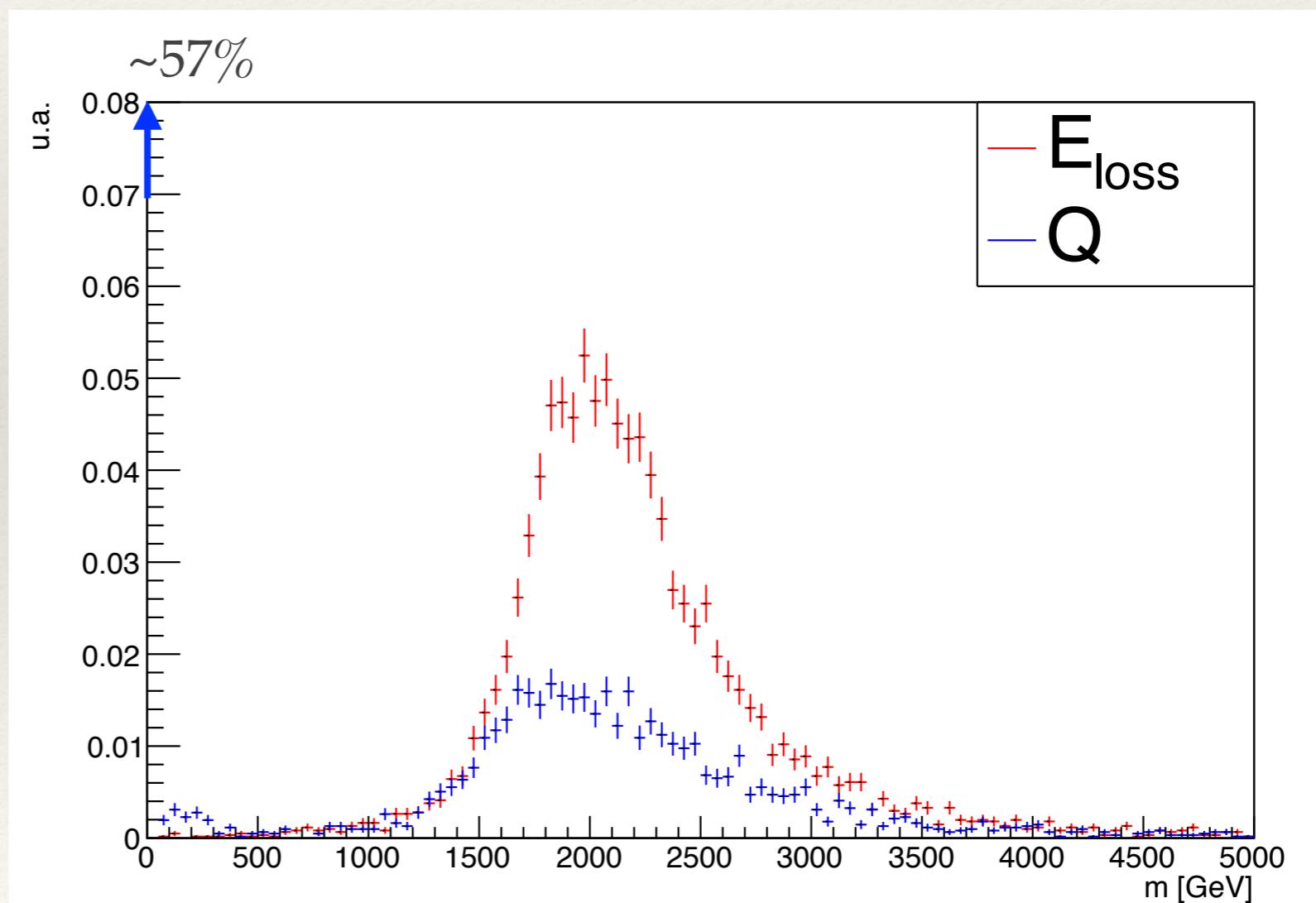
- ❖ La partie à basse masse a disparu.  
—> L'utilisation d'une « fausse » information induisait le biais constaté.



**X** : pas de saturation  
**O** : saturation

## Reconstruction sans saturation

- ❖ Reconstruction en utilisant seulement les clusters non-saturés.
- ❖ On n'arrive pas à reconstruire la masse invariante pour au moins 57% des particules. —> la méthode est nécessaire.



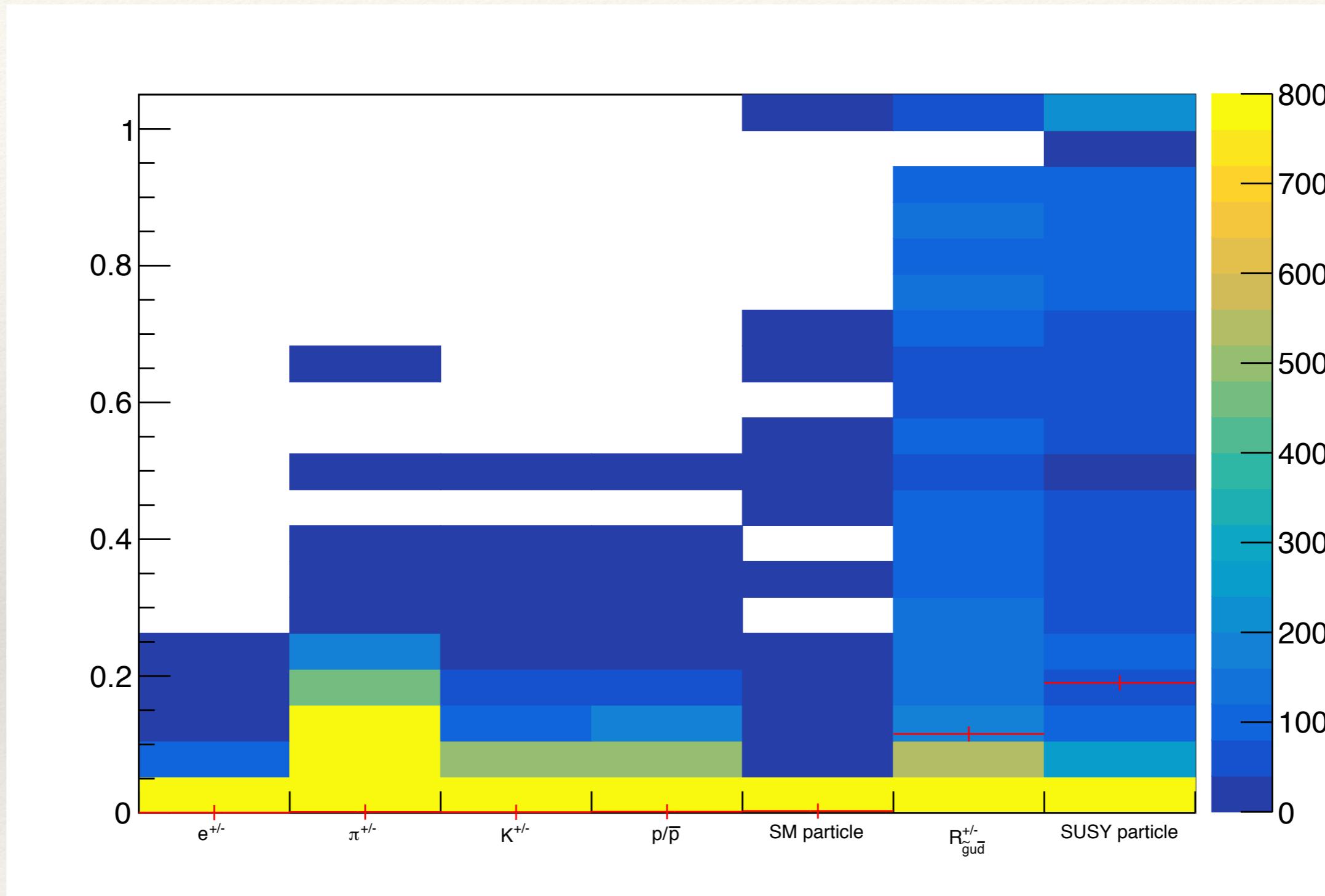
# Conclusion

- ♦ Nous avons fait :
  - ❖ Méthode permettant de mettre en évidence des phénomènes de Nouvelle Physique.
  - ❖ Mise en évidence d'un phénomène de saturation et catégorisation.  
—> la saturation est fonction de l'énergie déposée —> possibilité d'inversion du problème.
  - ❖ Proposition et tests d'une méthode de correction de la saturation.  
—> Résultats concluants.

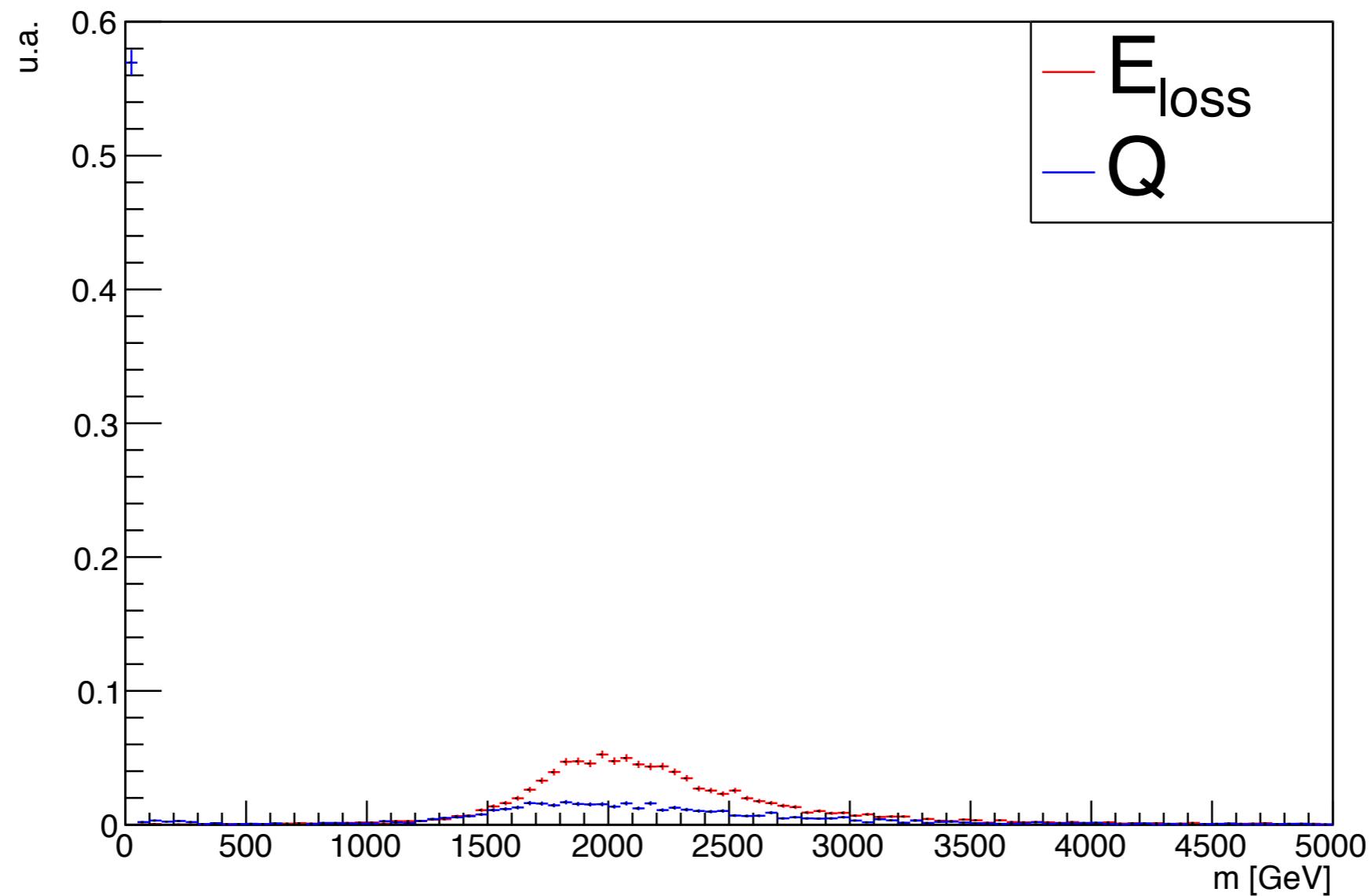
# Conclusion

- ♦ Ce qu'il reste à faire :
  - ❖ Etude de la reconstruction sans saturation.
  - ❖ Etude de la significance (presque terminée...).
  - ❖ Etendre la méthode aux bouchons.
  - ❖ Rationalisation de la méthode :
    - ne pas utiliser la charge totale des clusters.
    - ne pas utiliser toutes les couches pour la méthode d'inversion (comportement similaire).
  - ❖ Test avec les sélections présentes dans l'analyse actuelle. —> Modification de notre méthode ?
  - ❖ Tester dans l'analyse / tester avec d'autres samples (autres masses / stau).

# Saturation 255



# Reconstruction sans saturation



Regarder biais —> pourcentage  
Regarde avec coupure en impulsion  
Refaire K et C avec les kaons  
Fit des protons en augmentant le  
 $p_{max}$