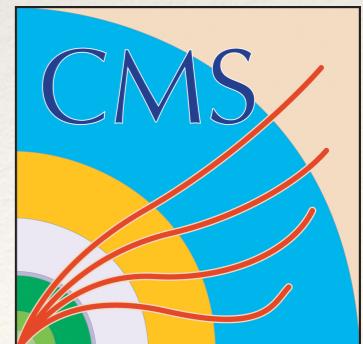


---

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

---

APPARU Dylan



# Particule HSCP

# Particule HSCP

- ❖ Nous cherchons à mettre en évidence des événements de nouvelle Physique, au-delà du Modèle Standard.  
—> Modèle SUSY ???

# Particule HSCP

- ❖ Nous cherchons à mettre en évidence des événements de nouvelle Physique, au-delà du Modèle Standard.  
—> Modèle SUSY ???
- ❖ Plusieurs méthodes existent :
  - étude des produits de désintégration de particules super-symétriques.
  - si chargées et stables, étude des particules dans le tracker

—> **Reconstruction de la masse.**

# Particule HSCP

- ❖ Nous cherchons à mettre en évidence des événements de nouvelle Physique, au-delà du Modèle Standard.  
—> Modèle SUSY ???
- ❖ Plusieurs méthodes existent :
  - étude des produits de désintégration de particules super-symétriques.
  - si chargées et stables, étude des particules dans le tracker
    - > **Reconstruction de la masse.**
- ❖ 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.

# Particule HSCP

- ❖ Nous cherchons à mettre en évidence des événements de nouvelle Physique, au-delà du Modèle Standard.  
—> Modèle SUSY ???
- ❖ Plusieurs méthodes existent :
  - étude des produits de désintégration de particules super-symétriques.
  - si chargées et stables, étude des particules dans le tracker
    - > **Reconstruction de la masse.**
- ❖ 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.

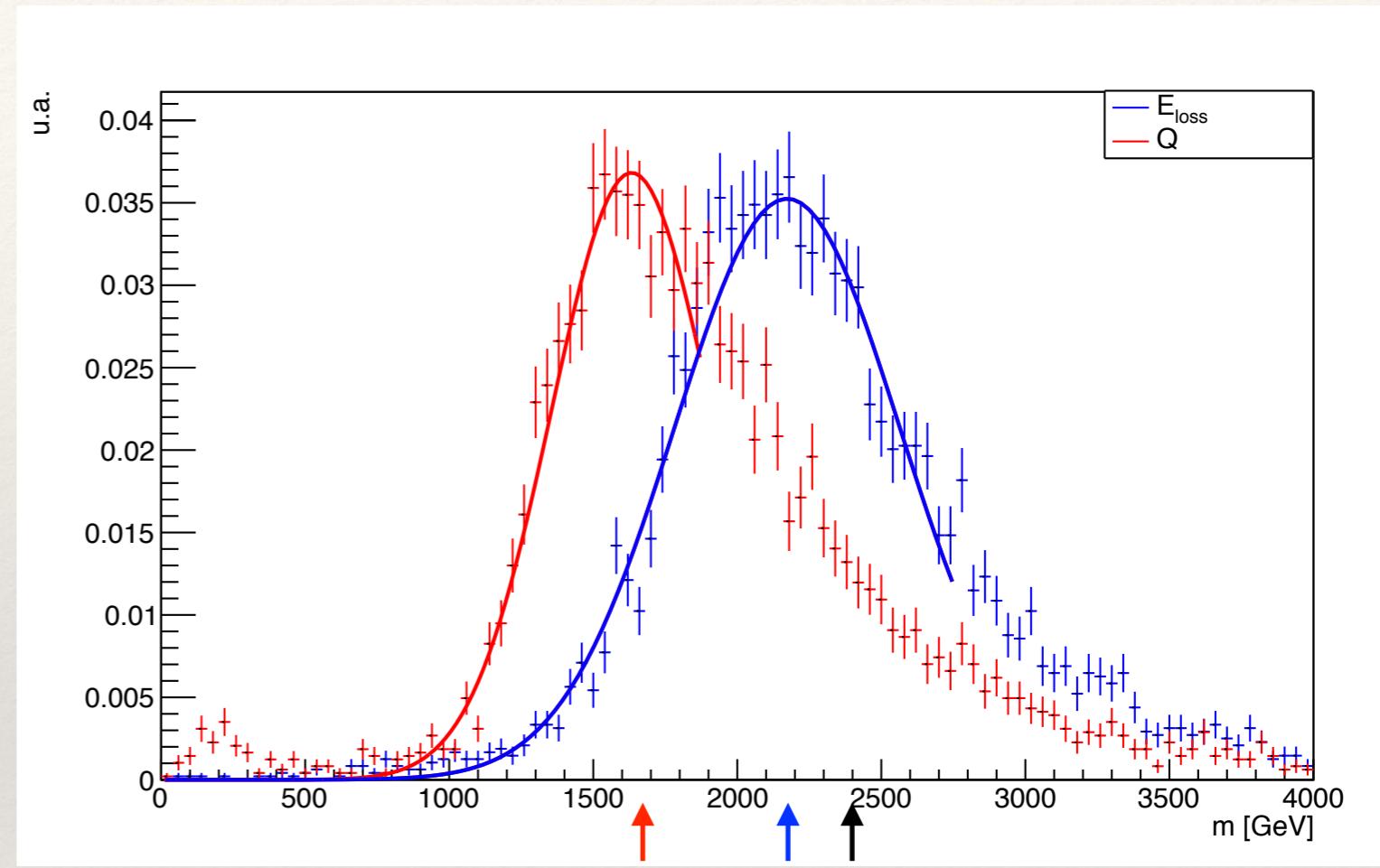
# Particule HSCP

- ❖ Nous cherchons à mettre en évidence des événements de nouvelle Physique, au-delà du Modèle Standard.  
—> Modèle SUSY ???
- ❖ Plusieurs méthodes existent :
  - étude des produits de désintégration de particules super-symétriques.
  - si chargées et stables, étude des particules dans le tracker
    - > **Reconstruction de la masse.**
- ❖ 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, ... ?

# Problème de reconstruction de la masse invariante

# Problème de reconstruction de la masse invariante

- ❖  $E_{\text{loss}}$  correspond à l'énergie déposée et simulée.

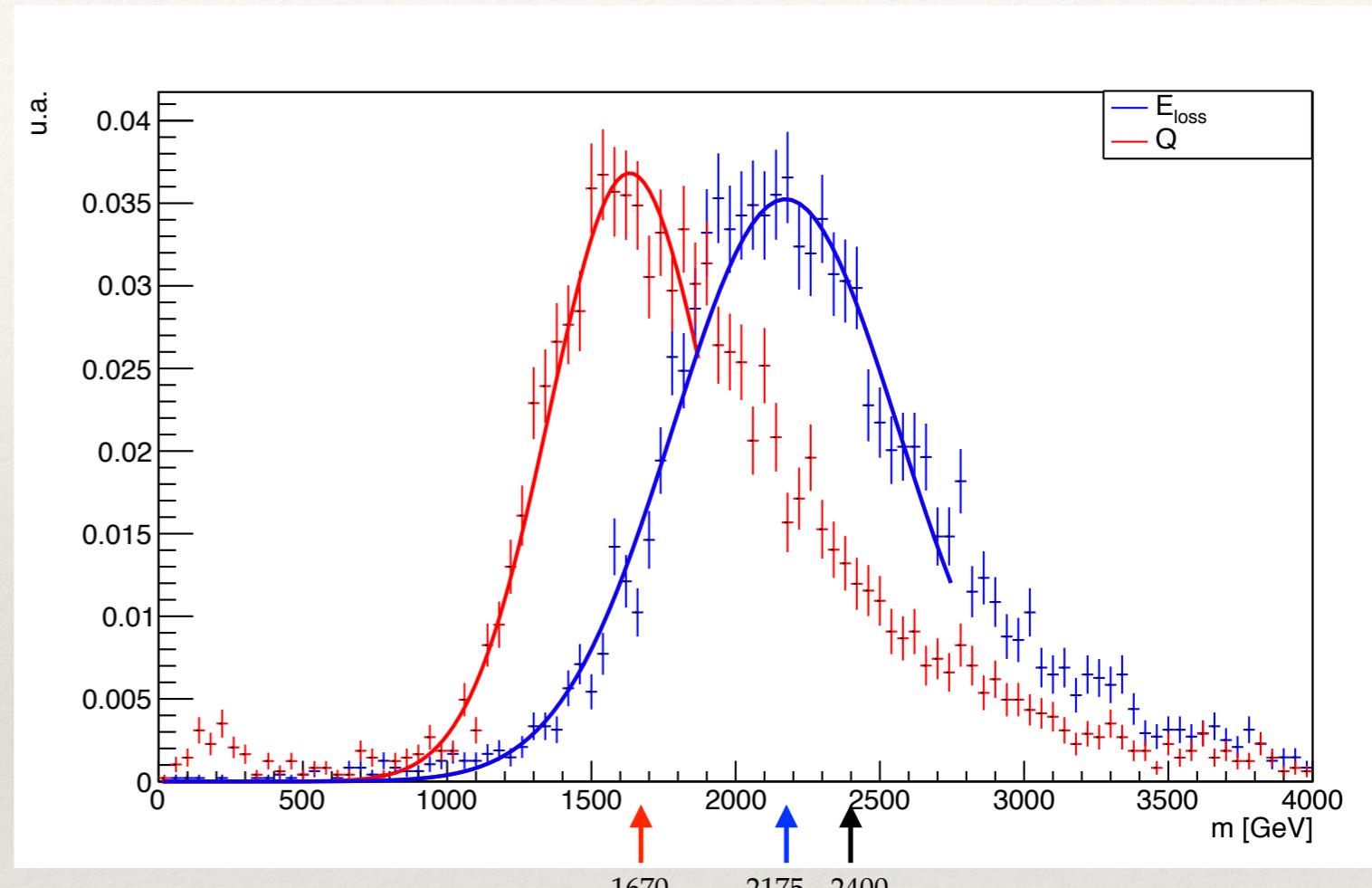


*Distribution de masse avec un sample de gluino à 2,4 TeV ;  
reconstruction avec l'énergie déposée et avec la charge reconstruite*

# Problème de reconstruction de la masse invariante

- ❖  $E_{\text{loss}}$  correspond à l'énergie déposée et simulée.
- ❖  $Q$  est la charge reconstruite dans le tracker.  
—> Facteur de conversion entre charge et énergie :

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

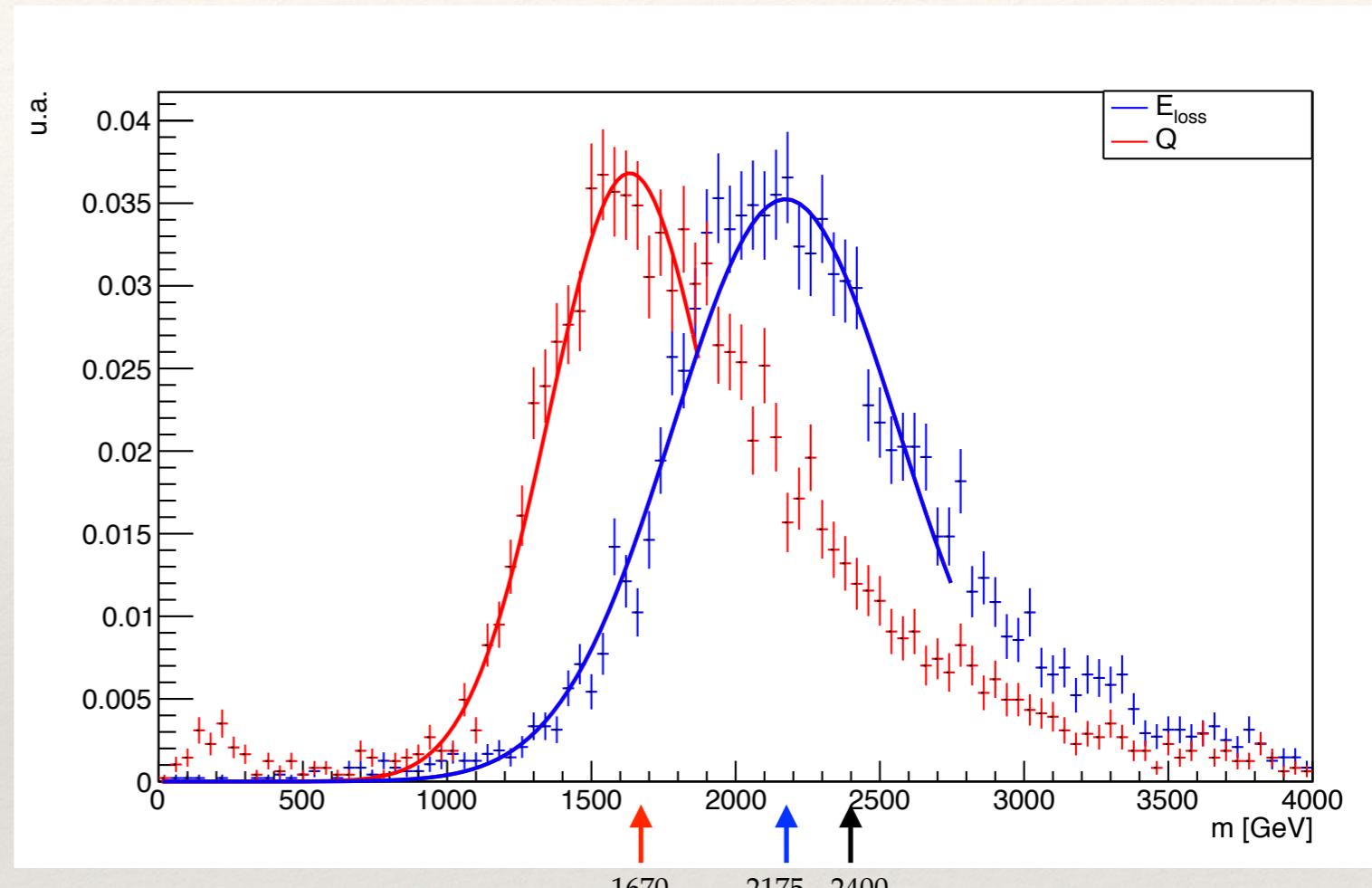


*Distribution de masse avec un sample de gluino à 2,4 TeV ;  
reconstruction avec l'énergie déposée et avec la charge reconstruite*

# Problème de reconstruction de la masse invariante

- ❖  $E_{\text{loss}}$  correspond à l'énergie déposée et simulée.
- ❖  $Q$  est la charge reconstruite dans le tracker.  
—> Facteur de conversion entre charge et énergie :

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



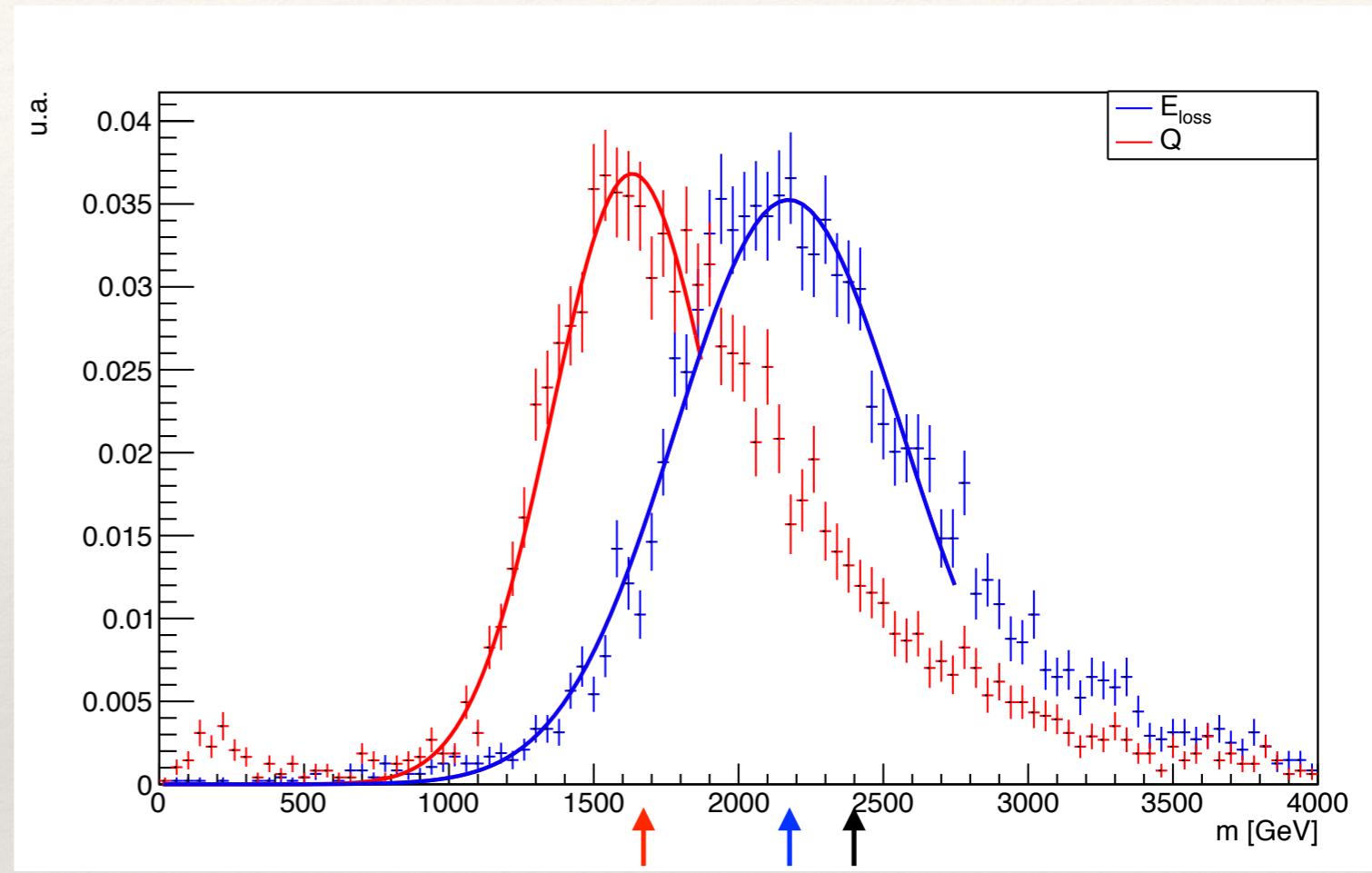
*Distribution de masse avec un sample de gluino à 2,4 TeV ;  
reconstruction avec l'énergie déposée et avec la charge reconstruite*

# Problème de reconstruction de la masse invariante

- ❖  $E_{\text{loss}}$  correspond à l'énergie déposée et simulée.
- ❖  $Q$  est la charge reconstruite dans le tracker.
  - > Facteur de conversion entre charge et énergie :

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

❖ **Mauvaise reconstruction de la masse**

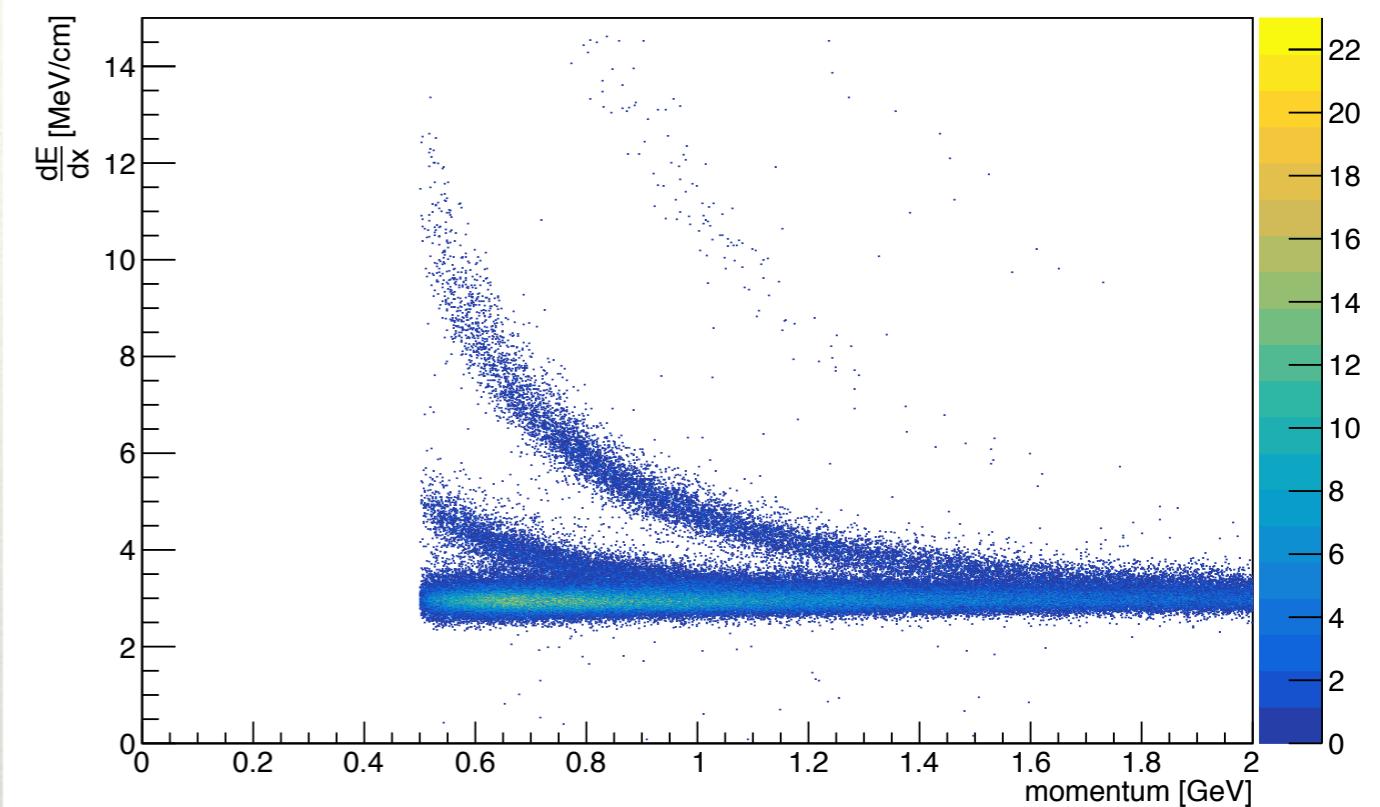


Distribution de masse avec un sample de gluino à 2,4 TeV ;  
reconstruction avec l'énergie déposée et avec la charge reconstruite

# Principe de l'analyse

# Principe de l'analyse

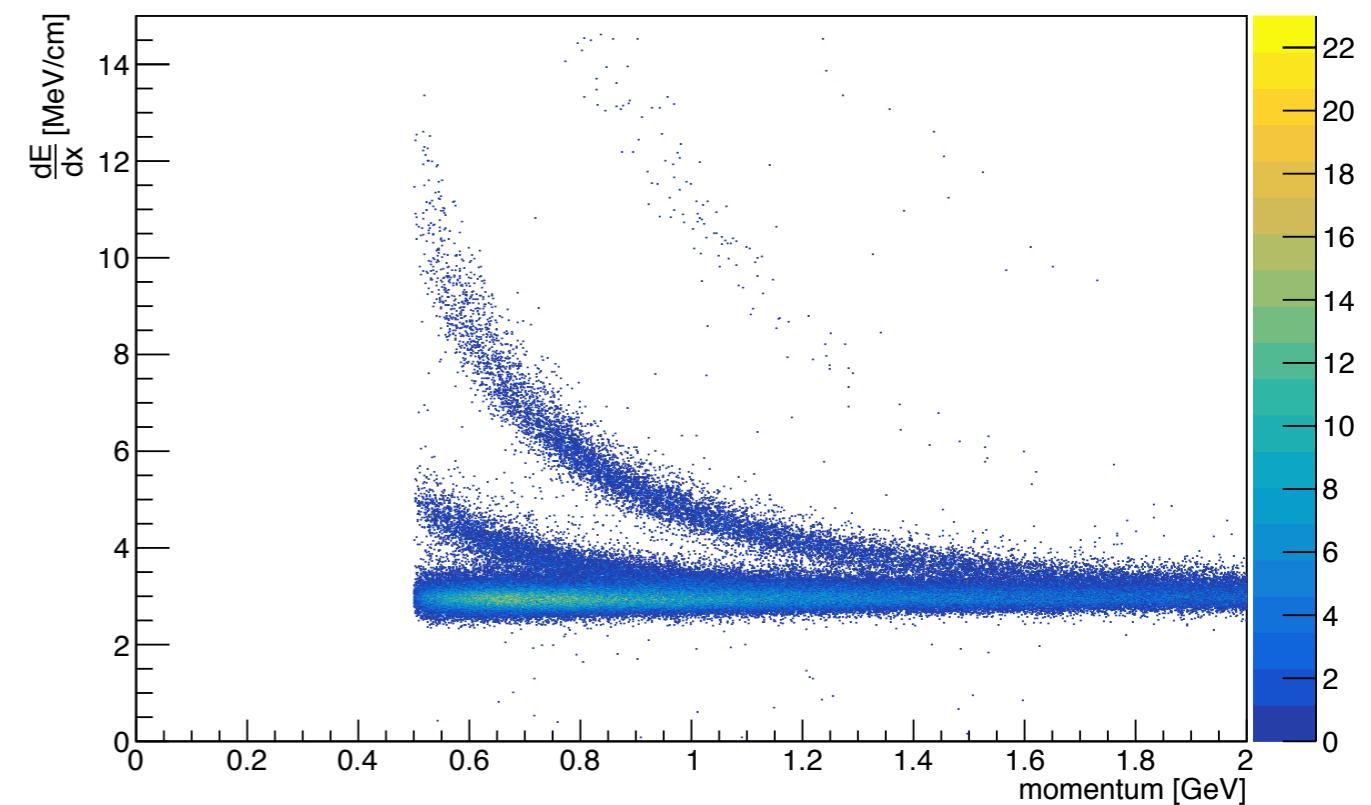
- ❖ Bethe & Bloch : **pouvoir d'arrêt** d'une particule traversant la matière. Dépend de la cinématique et du matériau



# 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 :

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

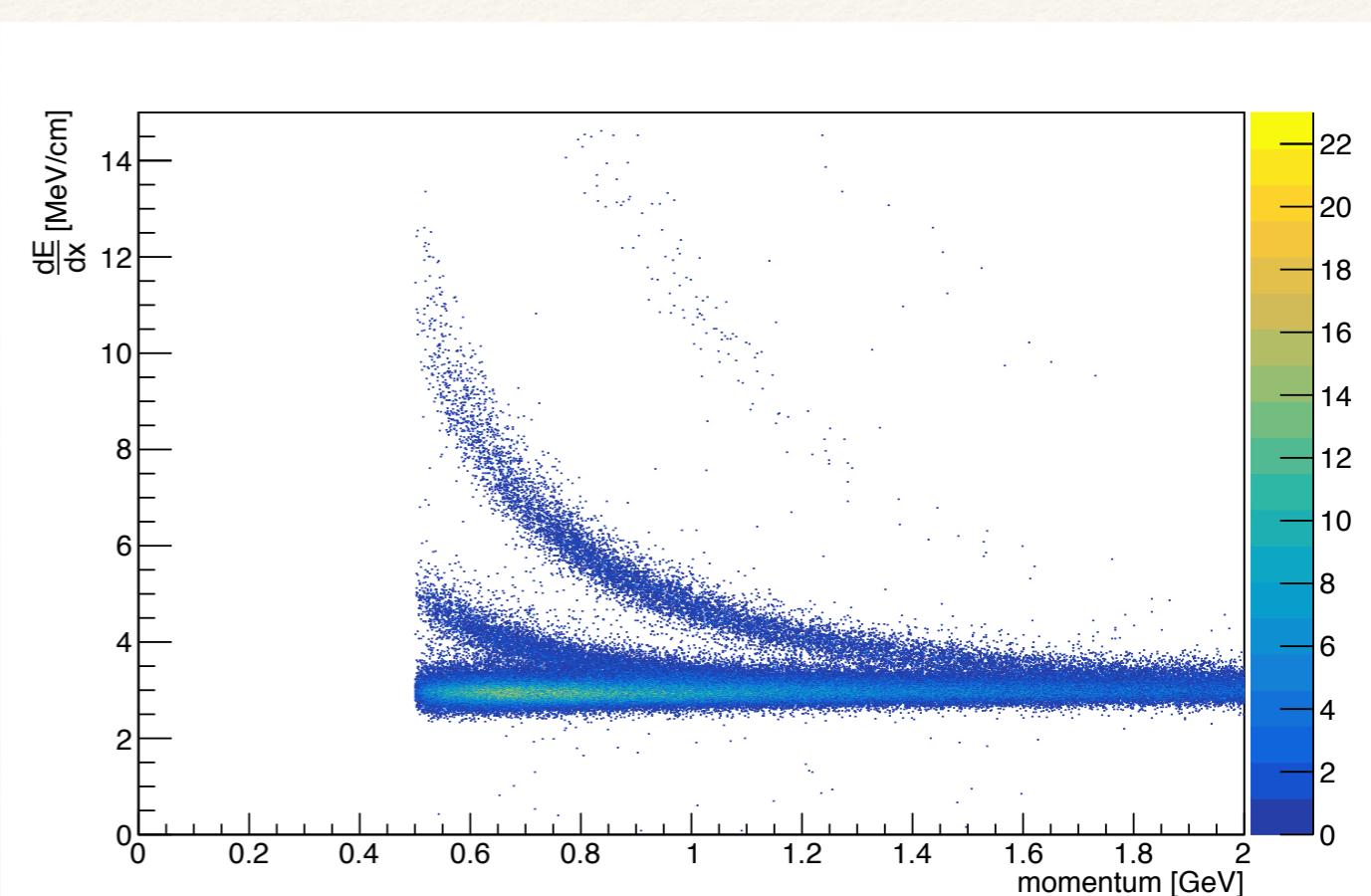


# Principe de l'analyse

- ❖ 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.



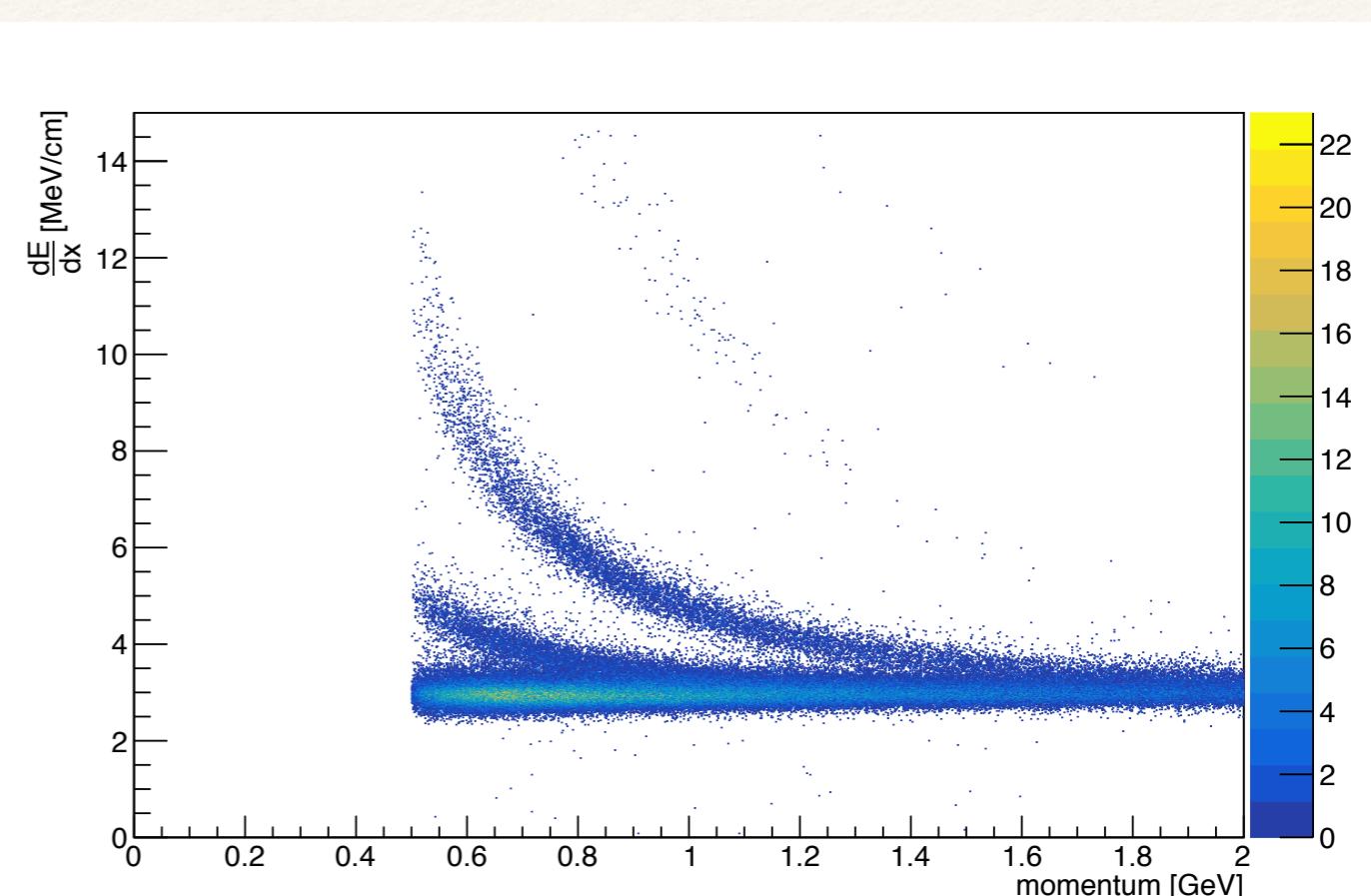
# Principe de l'analyse

- ❖ 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



# Principe de l'analyse

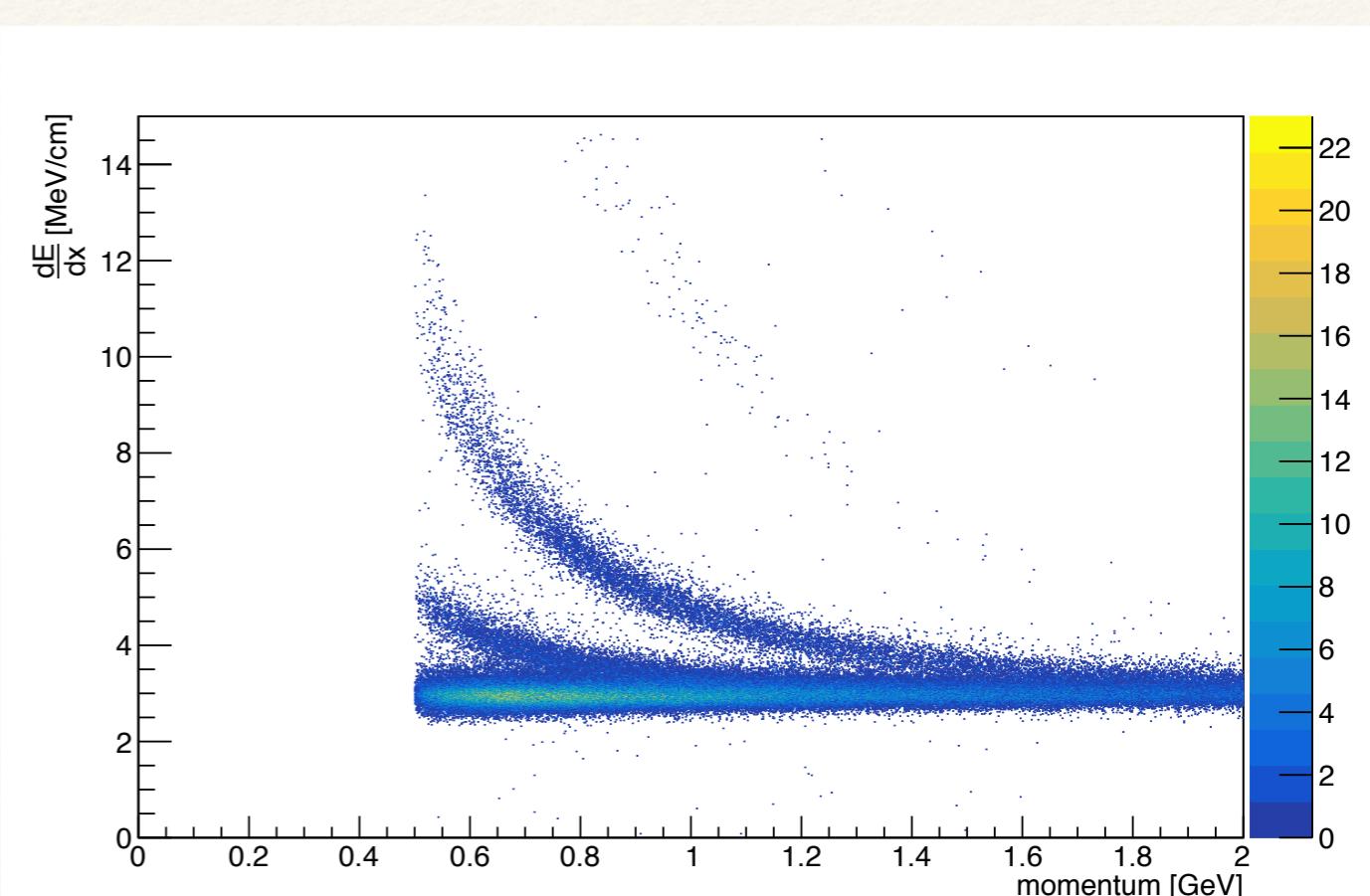
- ❖ Bethe & Bloch : **pouvoir d'arrêt** d'une particule traversant la matière. Dépend de la cinématique et du matériau
- ❖ Au premier ordre et dans l'approximation d'énergies intermédiaires ( $1 < \beta\gamma < 10$ ) on a :

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

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

Connue grâce au tracker

Reconstruit dans le tracker



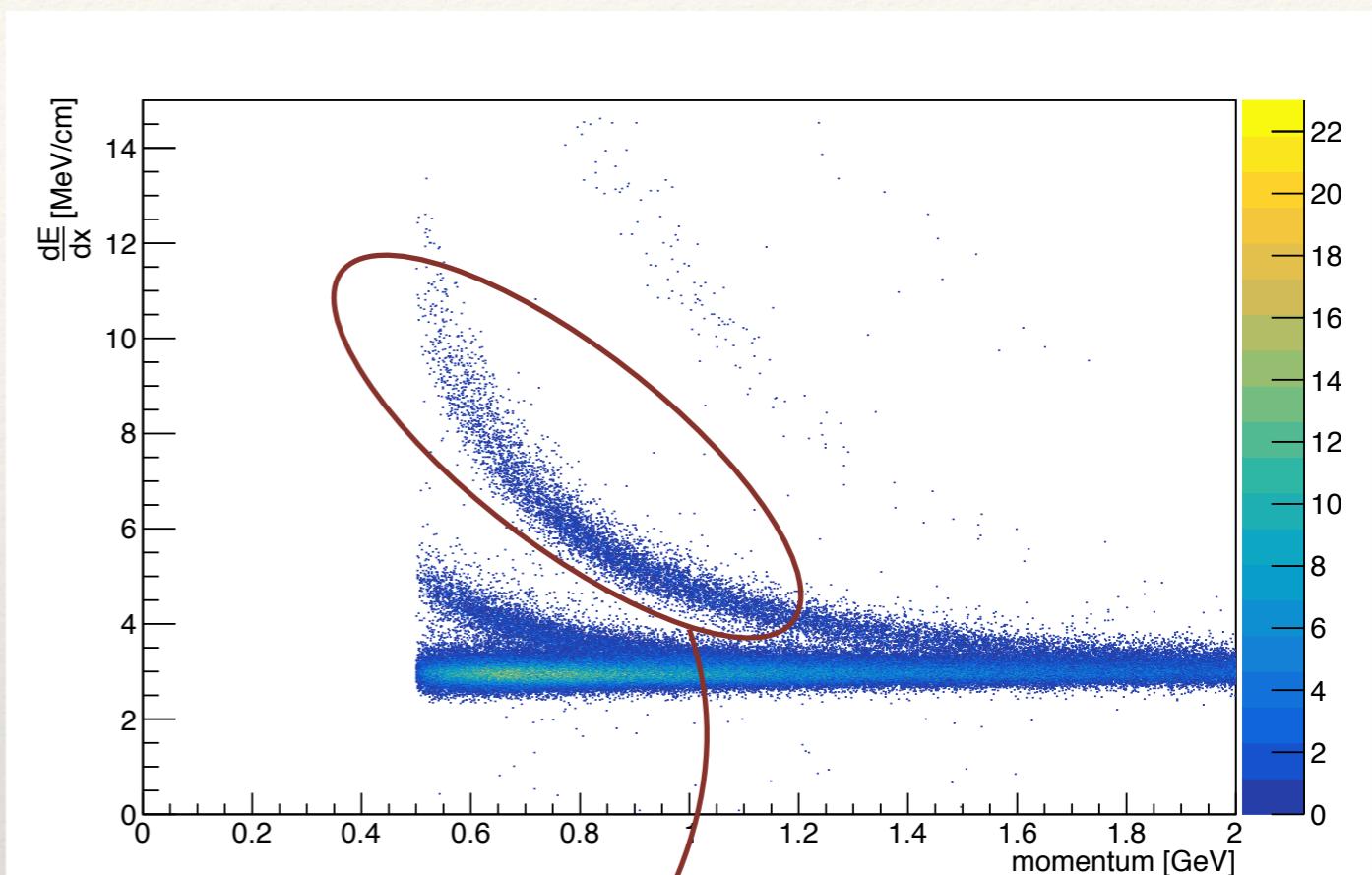
# Principe de l'analyse

- ❖ 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 :

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

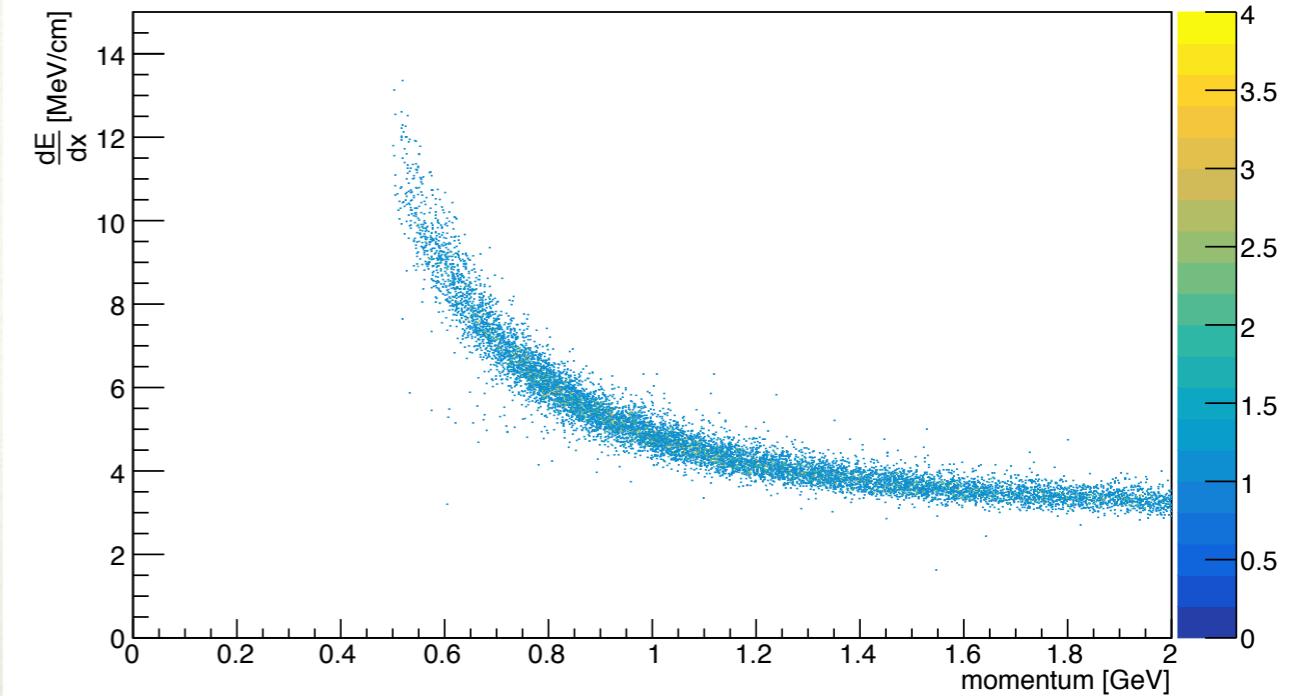
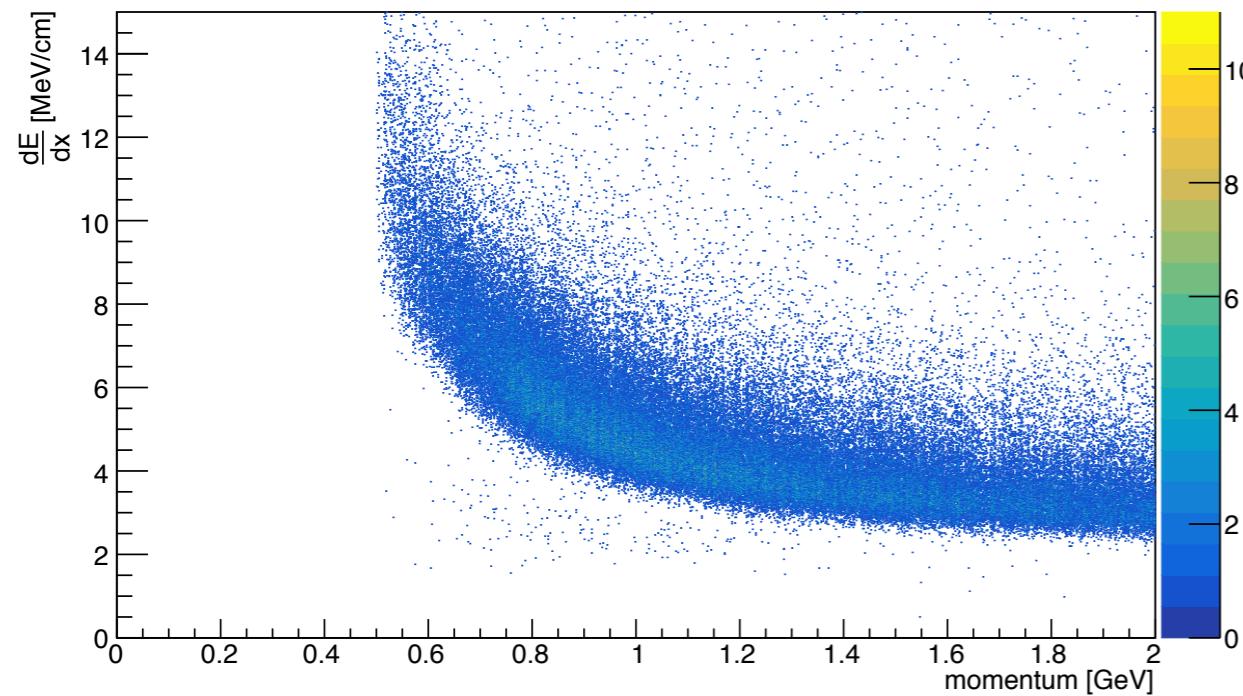
- ❖ Un dépôt  $dE/dx$  et une impulsion permettent de reconstruire une masse.

Connue grâce au tracker  
Reconstruit dans le tracker



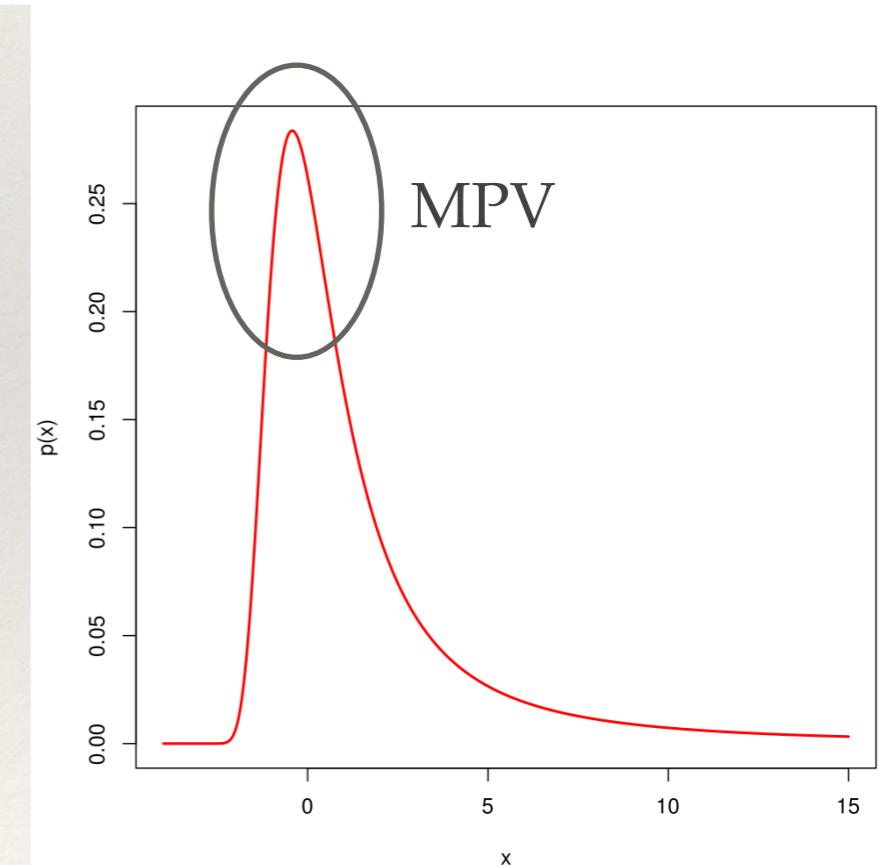
# Estimateur de $dE/dx$

*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.** Travaux précédents et analyse actuelle : utilisation de l'estimateur « harmonique -2 ».

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



*Distribution de Landau*

*Ligne des protons.*

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

*Fit gaussien.*

```

FCN=293.765 FROM MIGRAD    STATUS=CONVERGED    68 CALLS    69 TOTAL
                           EDM=3.89174e-08   STRATEGY= 1    ERROR MATRIX ACCURATE
EXT PARAMETER          VALUE        ERROR        STEP         FIRST
NO.   NAME            VALUE        ERROR        SIZE        DERIVATIVE
 1  Constant          1.09479e+03  1.19129e+01  8.45487e-02 -1.59930e-05
 2  Mean              5.93870e+00  8.82224e-03  5.79292e-05 -9.72566e-03
 3  Sigma             6.78463e-01  5.43432e-03  1.58458e-05  5.95064e-02

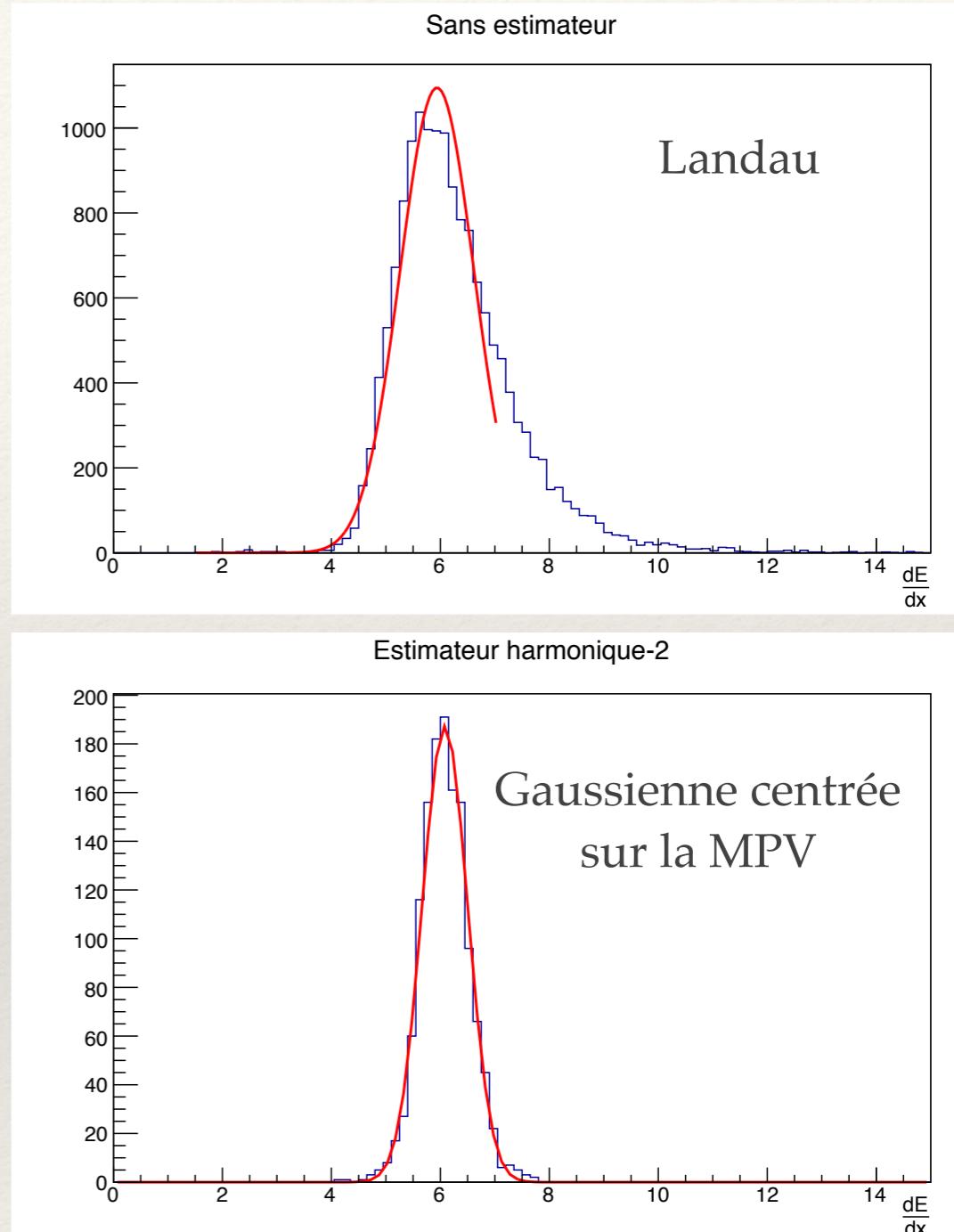
```

```

FCN=26.3761 FROM MIGRAD    STATUS=CONVERGED    62 CALLS    63 TOTAL
                           EDM=1.62173e-07   STRATEGY= 1    ERROR MATRIX ACCURATE
EXT PARAMETER          VALUE        ERROR        STEP         FIRST
NO.   NAME            VALUE        ERROR        SIZE        DERIVATIVE
 1  Constant          1.87271e+02  6.61339e+00  1.32167e-02 -1.06234e-04
 2  Mean              6.08259e+00  1.16294e-02  2.95762e-05  4.59946e-03
 3  Sigma             4.18831e-01  9.22419e-03  1.41476e-05 -4.27100e-02

```

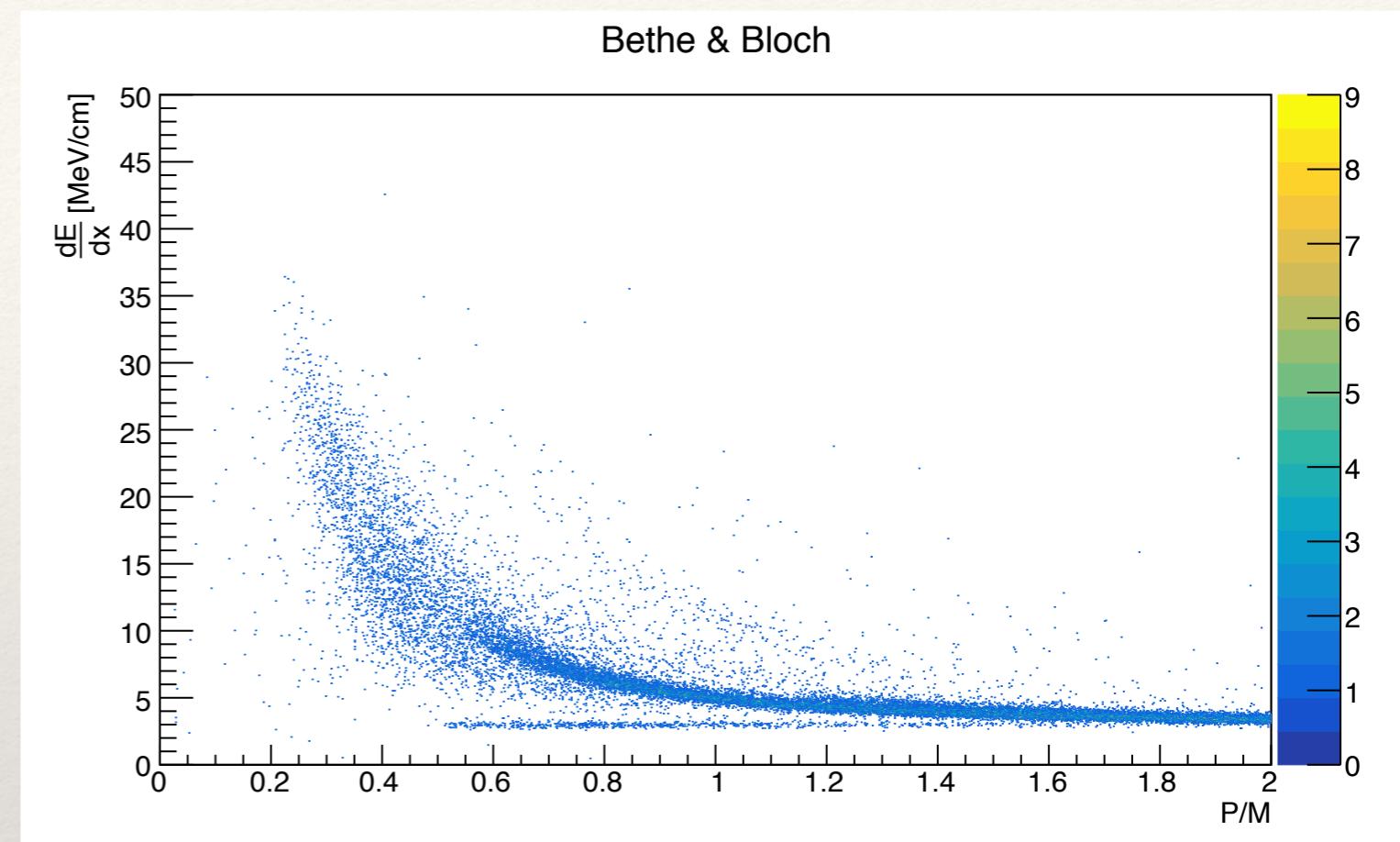
## L'estimateur harmonique -2



# Limitation et fort dépôt de charge

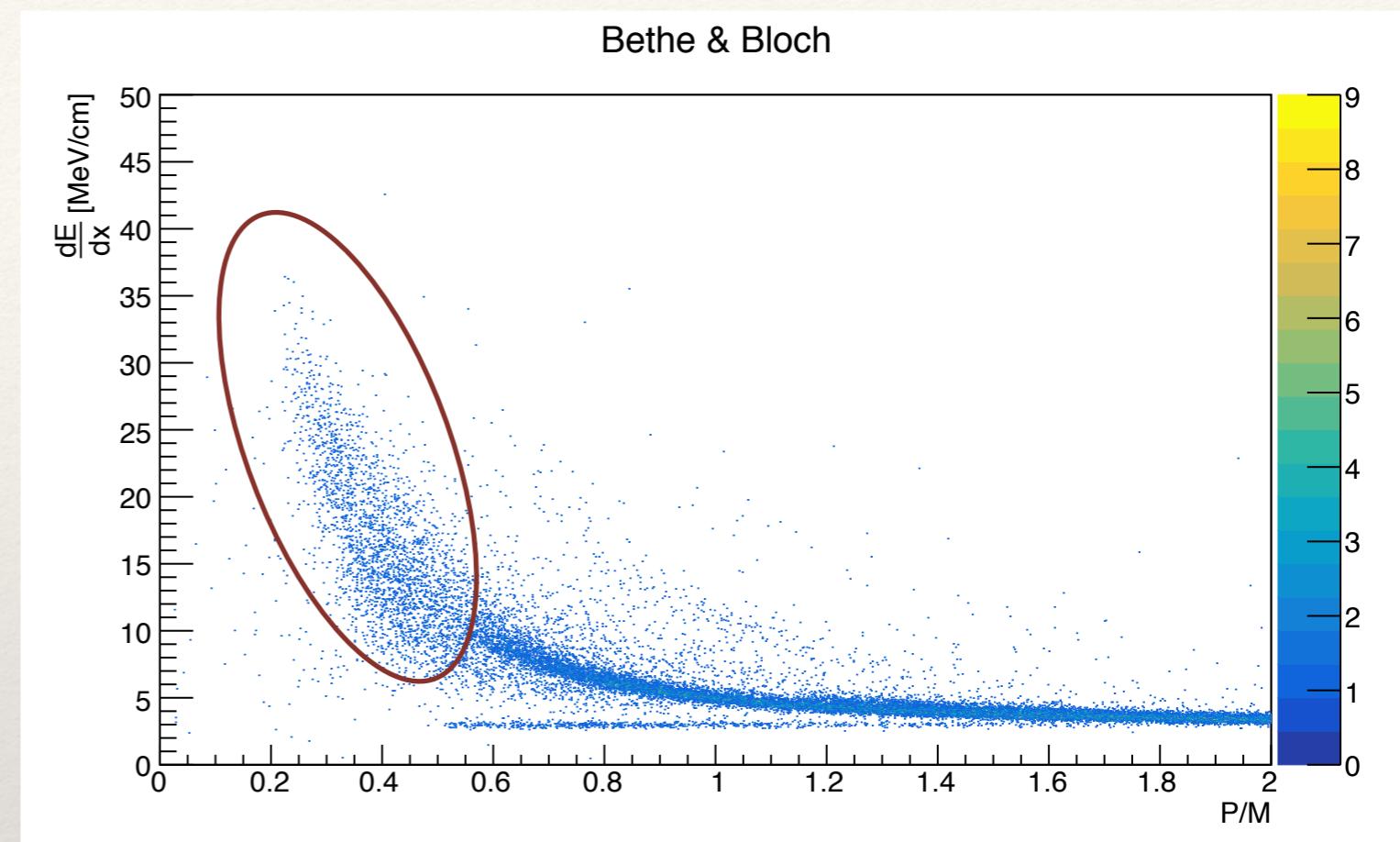
# Limitation et fort dépôt de charge

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



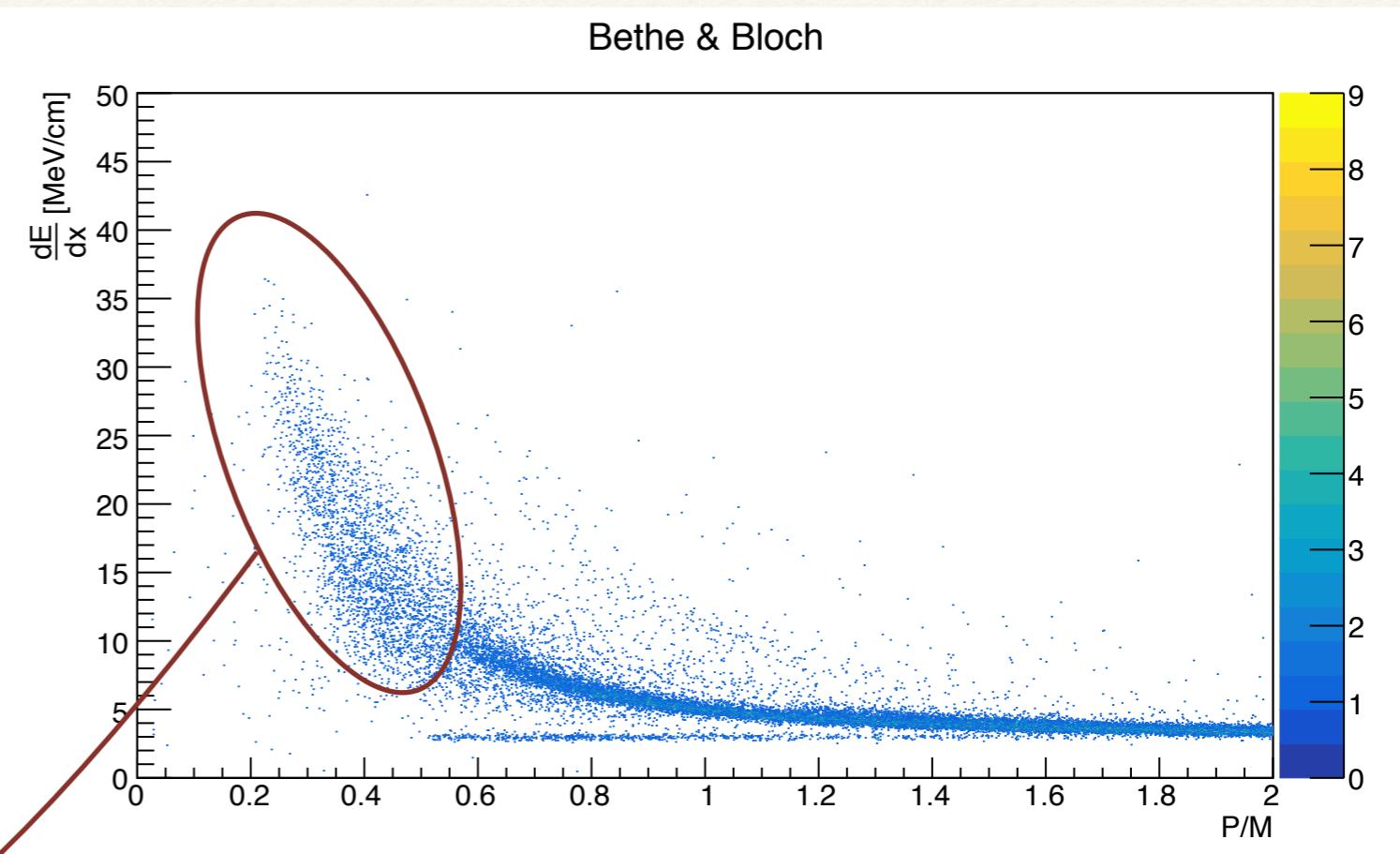
# Limitation et fort dépôt de charge

- ❖ Si nous sommes en  $P/M$ , les différentes courbes se superposent et sont décrites par une seule et même approximation (vue plus loin).
- ❖ Masse élevée des R-hadrons  
—> production à **bas  $\beta=v/c$**  avec nos énergies de collision (de l'ordre du TeV).



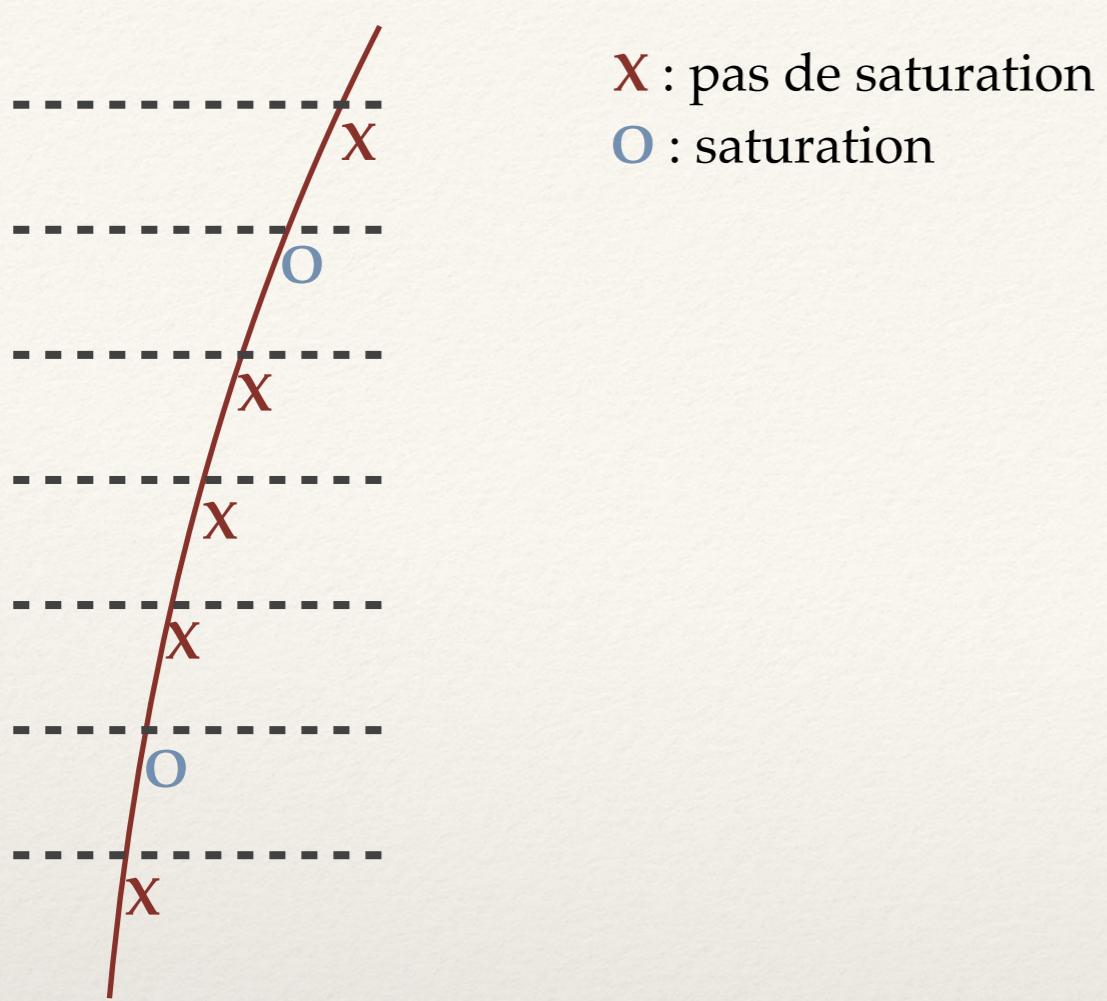
# Limitation et fort dépôt de charge

- ❖ Si nous sommes en  $P/M$ , les différentes courbes se superposent et sont décrites par une seule et même approximation (vue plus loin).
- ❖ Masse élevée des R-hadrons  
—> production à **bas  $\beta=v/c$**  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 —  
de l'ordre de 5 fois le MIP (minimum ionizing)  
—> **saturation des pistes électroniques.**

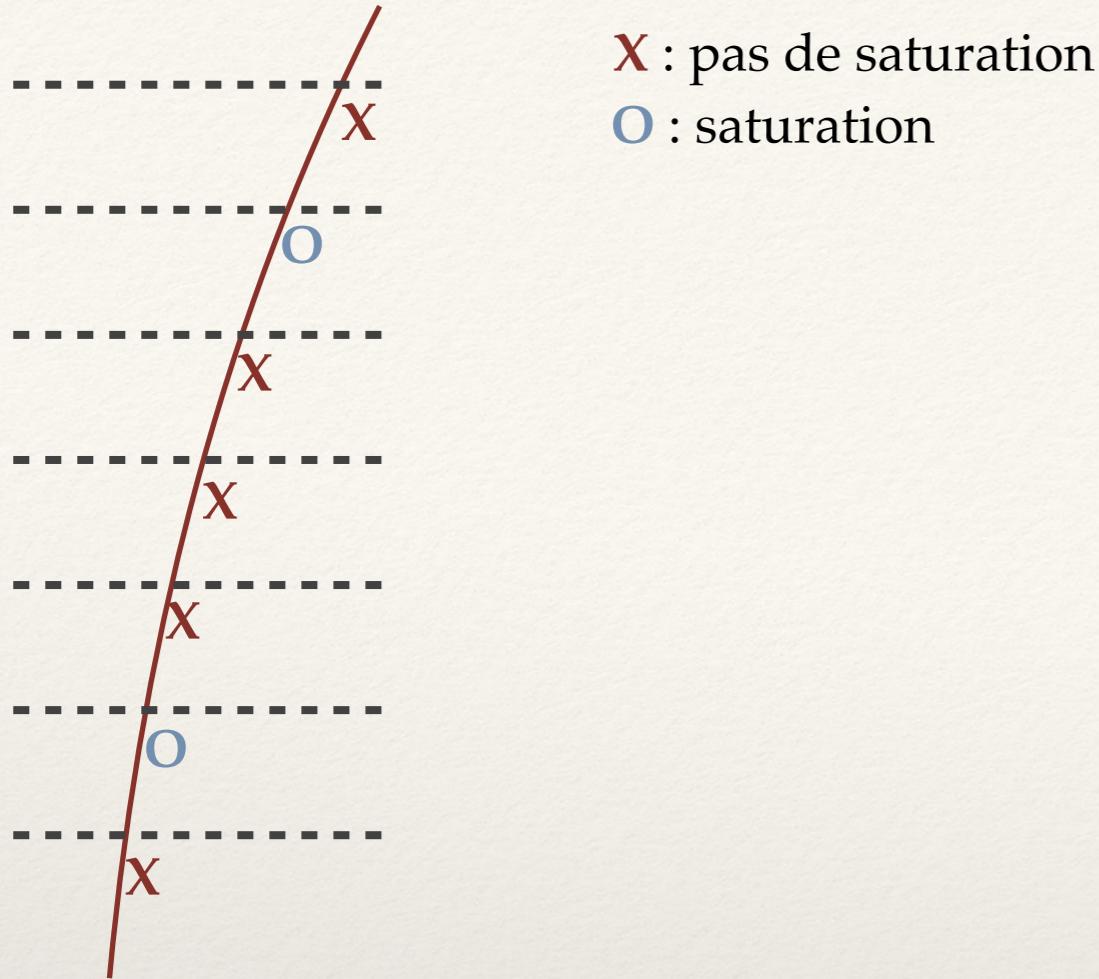


# Etude de la saturation

# Etude de la saturation

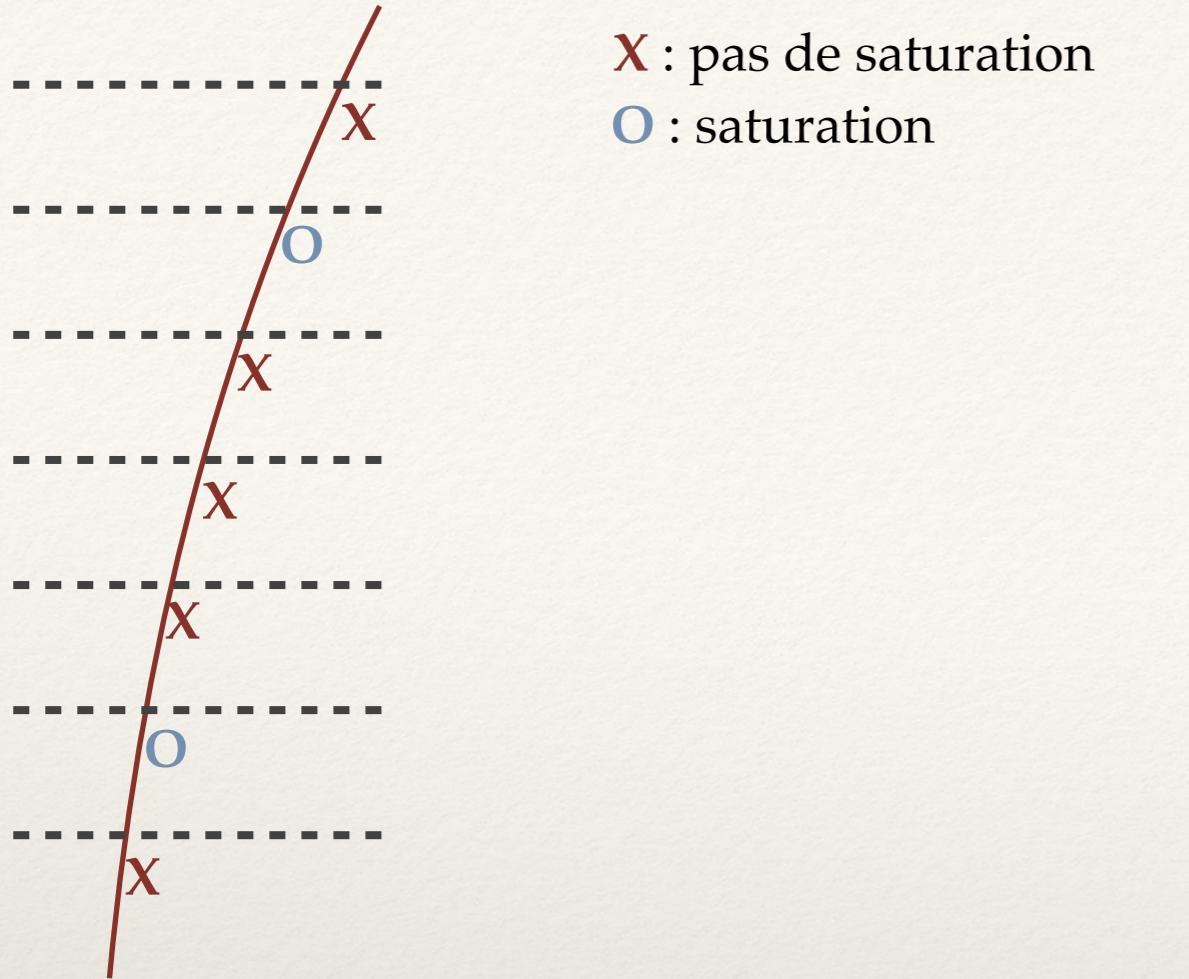


# Etude de la saturation

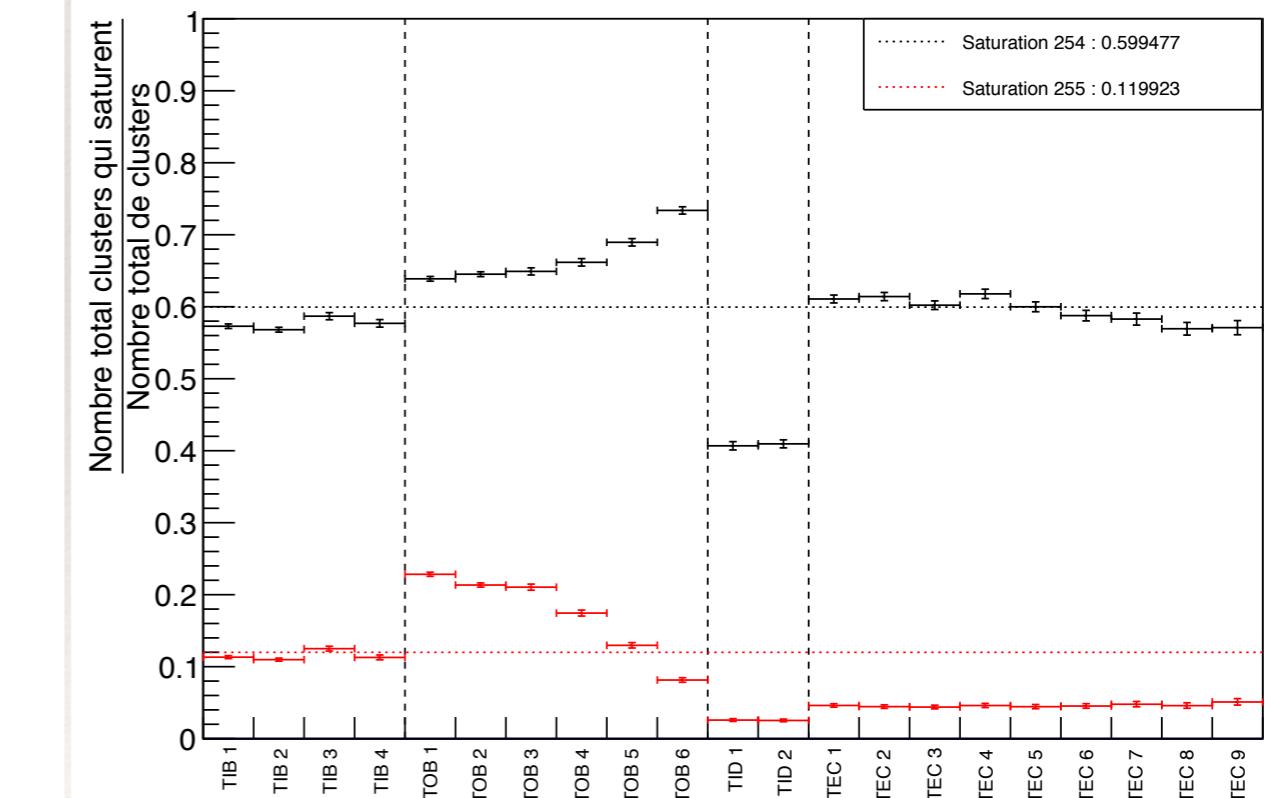
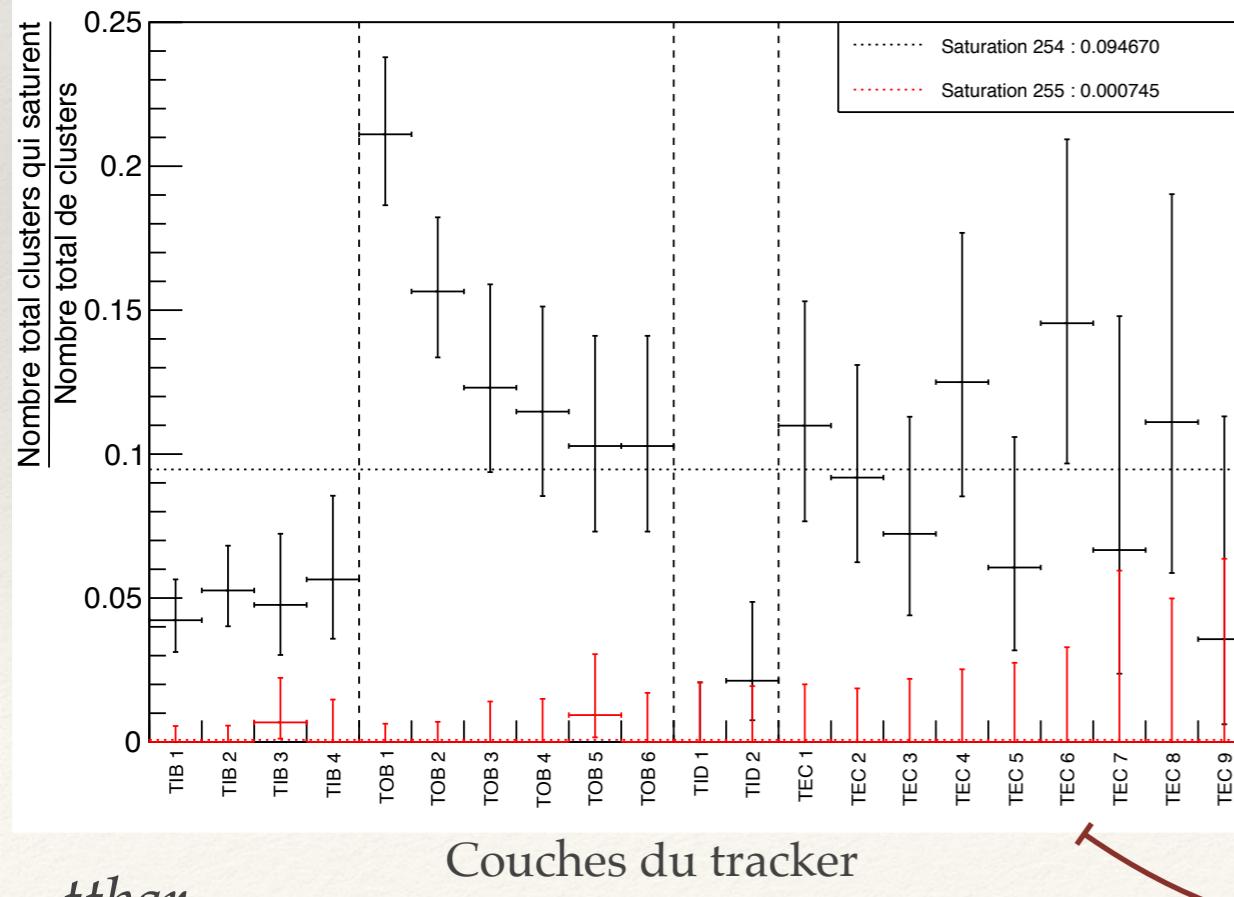


$$y = \frac{\text{Nombre total de clusters qui saturent pour une couche}}{\text{Nombre total de clusters de la couche}}$$

# Etude de la saturation



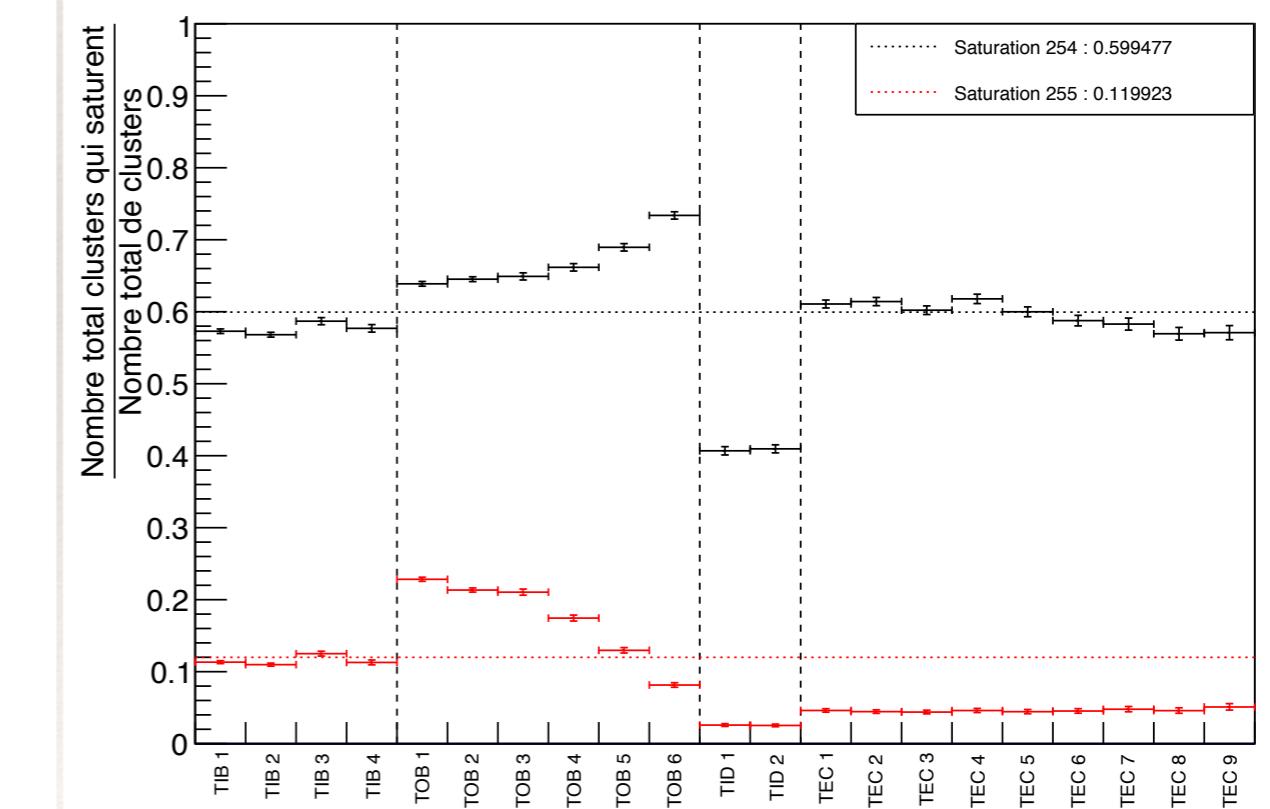
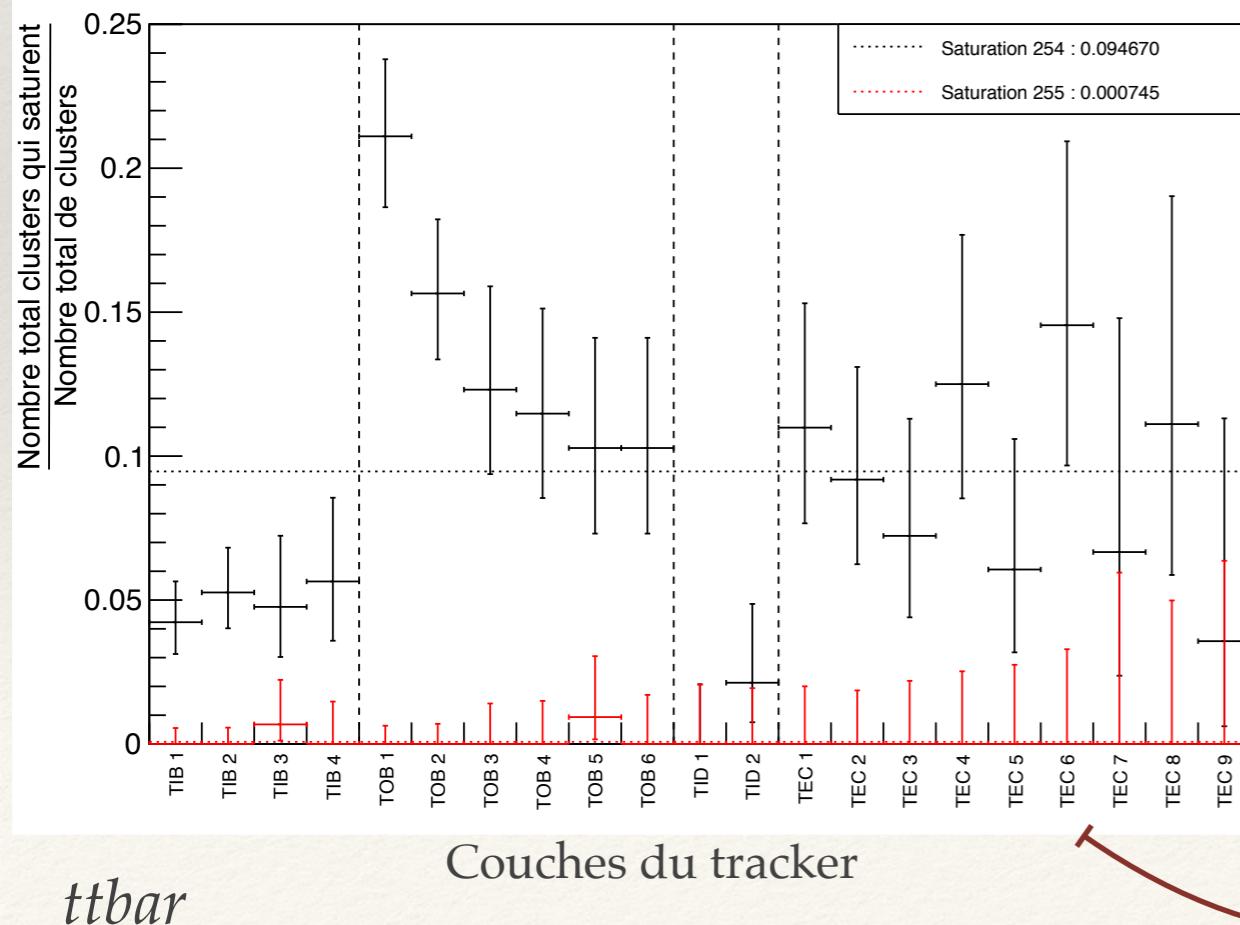
$$y = \frac{\text{Nombre total de clusters qui saturent pour une couche}}{\text{Nombre total de clusters de la couche}}$$



# Etude de la saturation

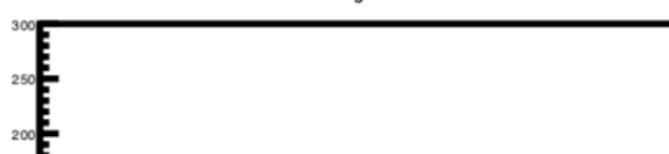
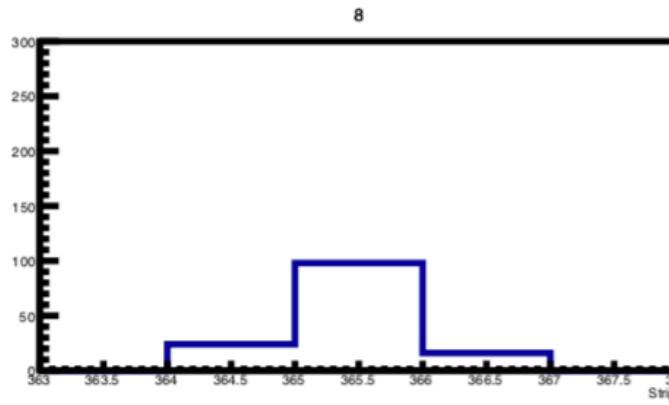
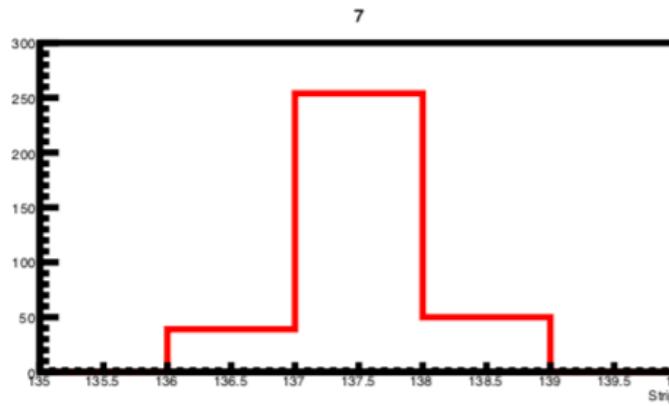
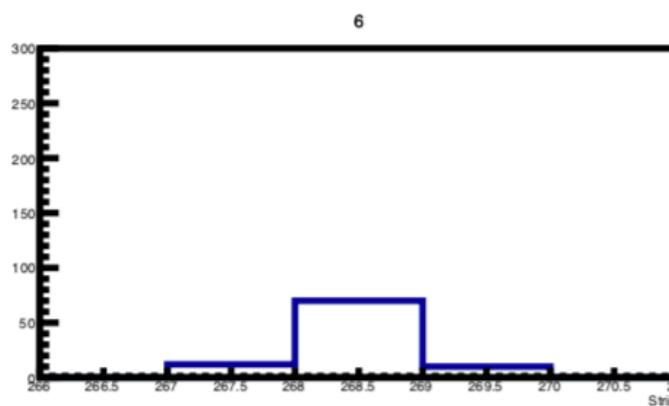
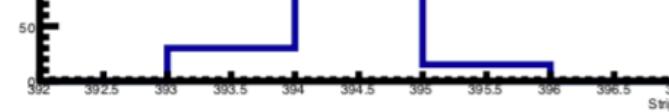
- Plus de clusters qui saturent avec le sample gluino que le sample ttbar.  
D'environ 10% des clusters qui saturent à environ 60%.

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

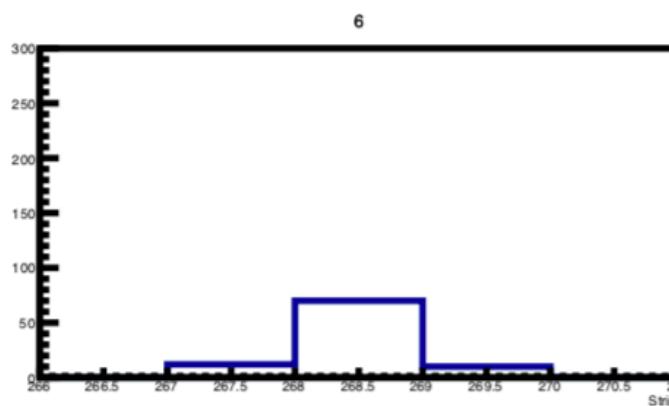
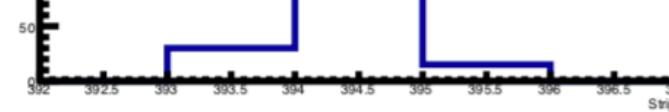


# Etude de la saturation

# Etude de la saturation

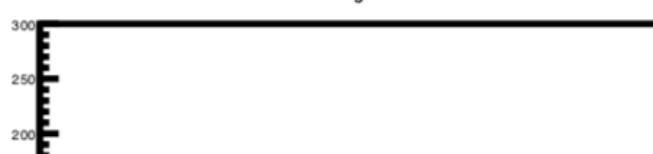
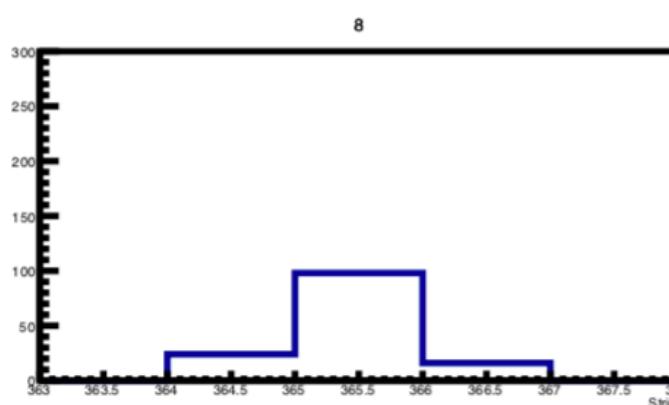


# Etude de la saturation

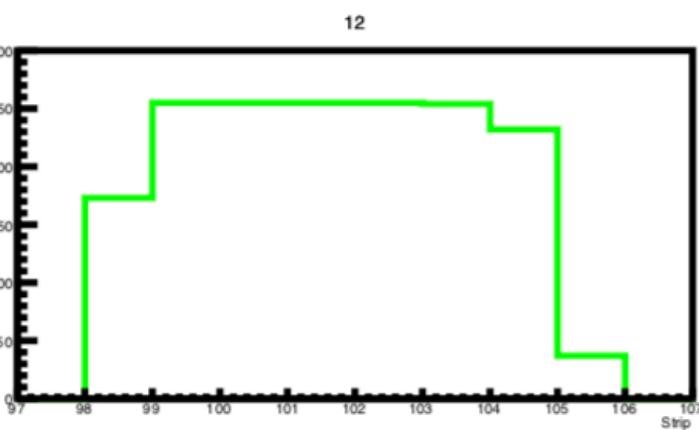
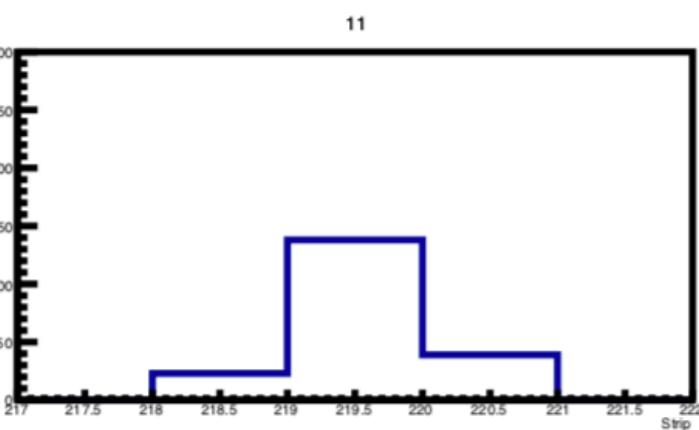
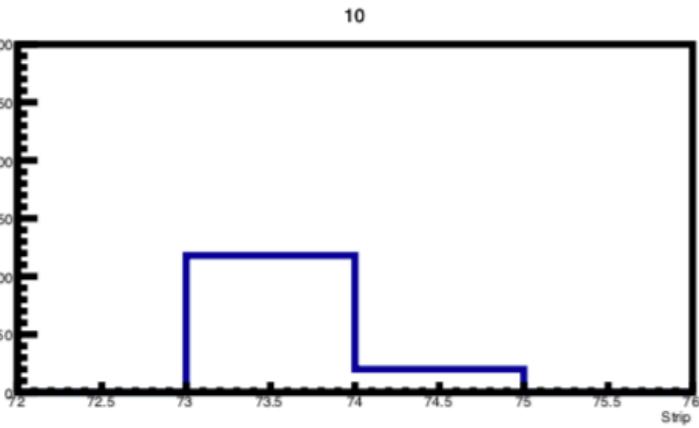
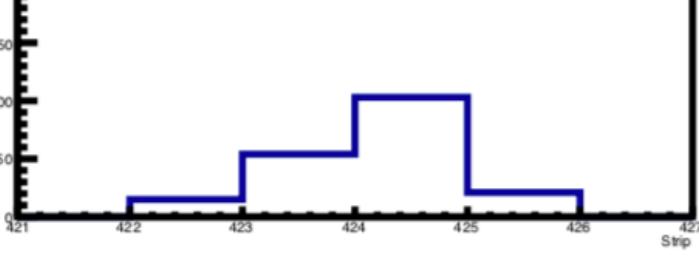


## Saturation 254

- ❖ 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.



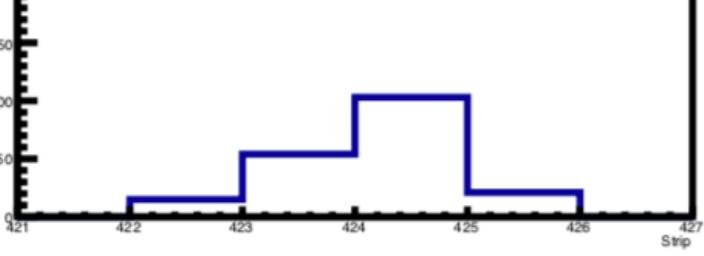
# Etude de la saturation



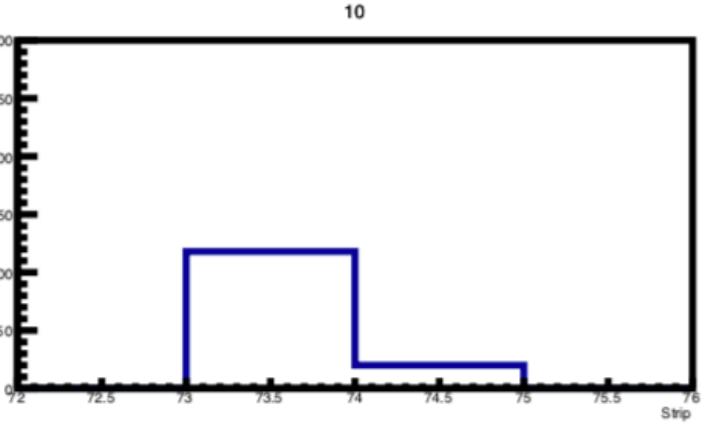
## Saturation 254

- ❖ 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.

# Etude de la saturation

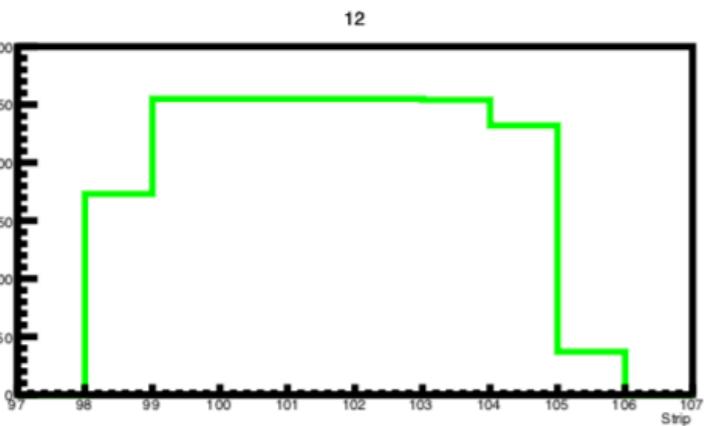
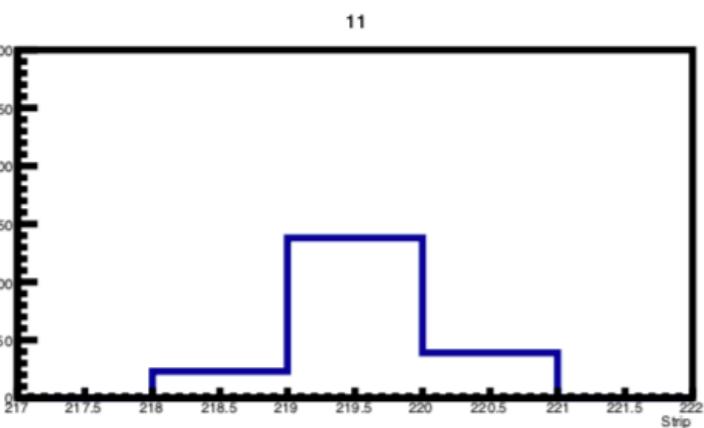


Saturation 254



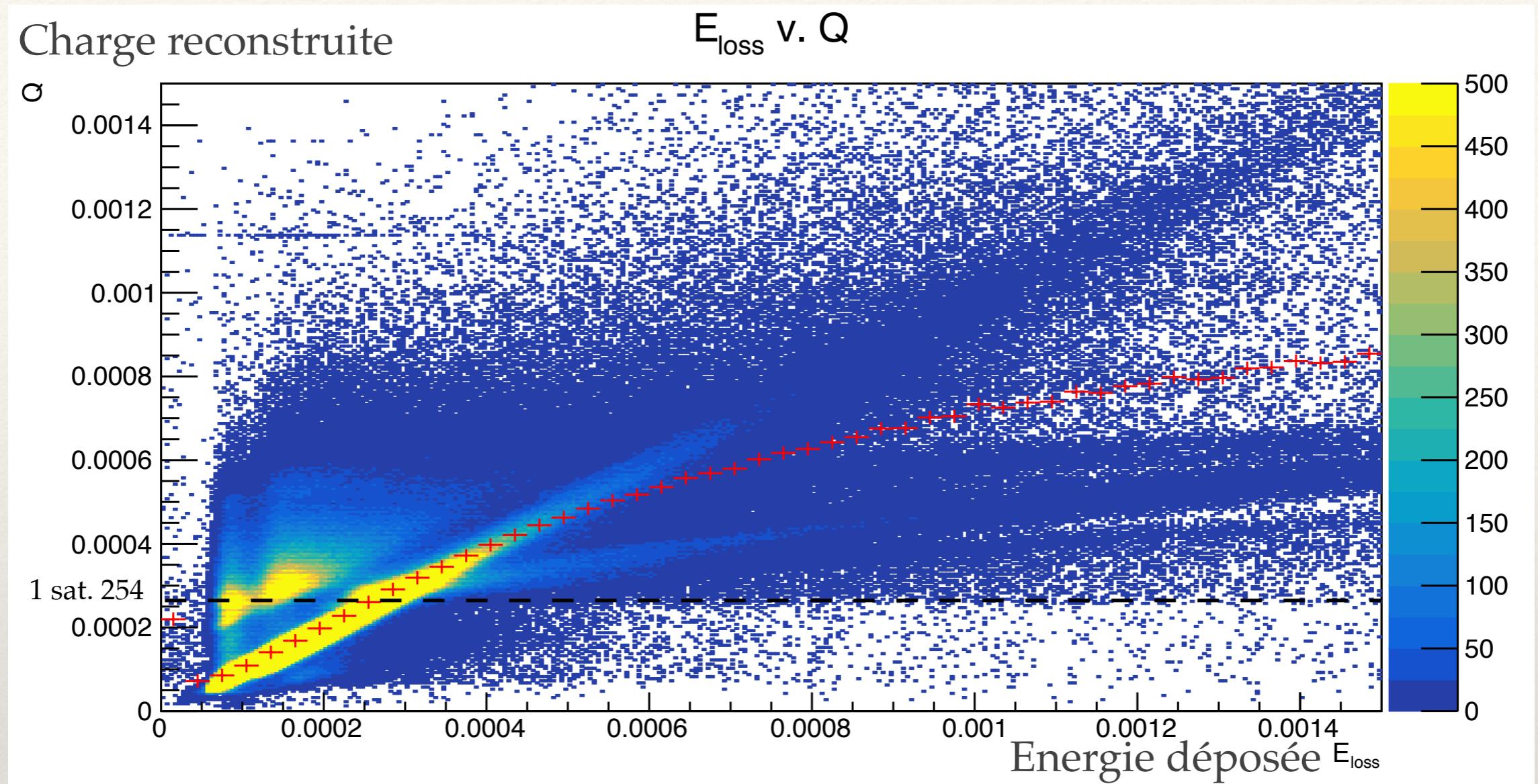
Saturation 255

- ❖ 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.

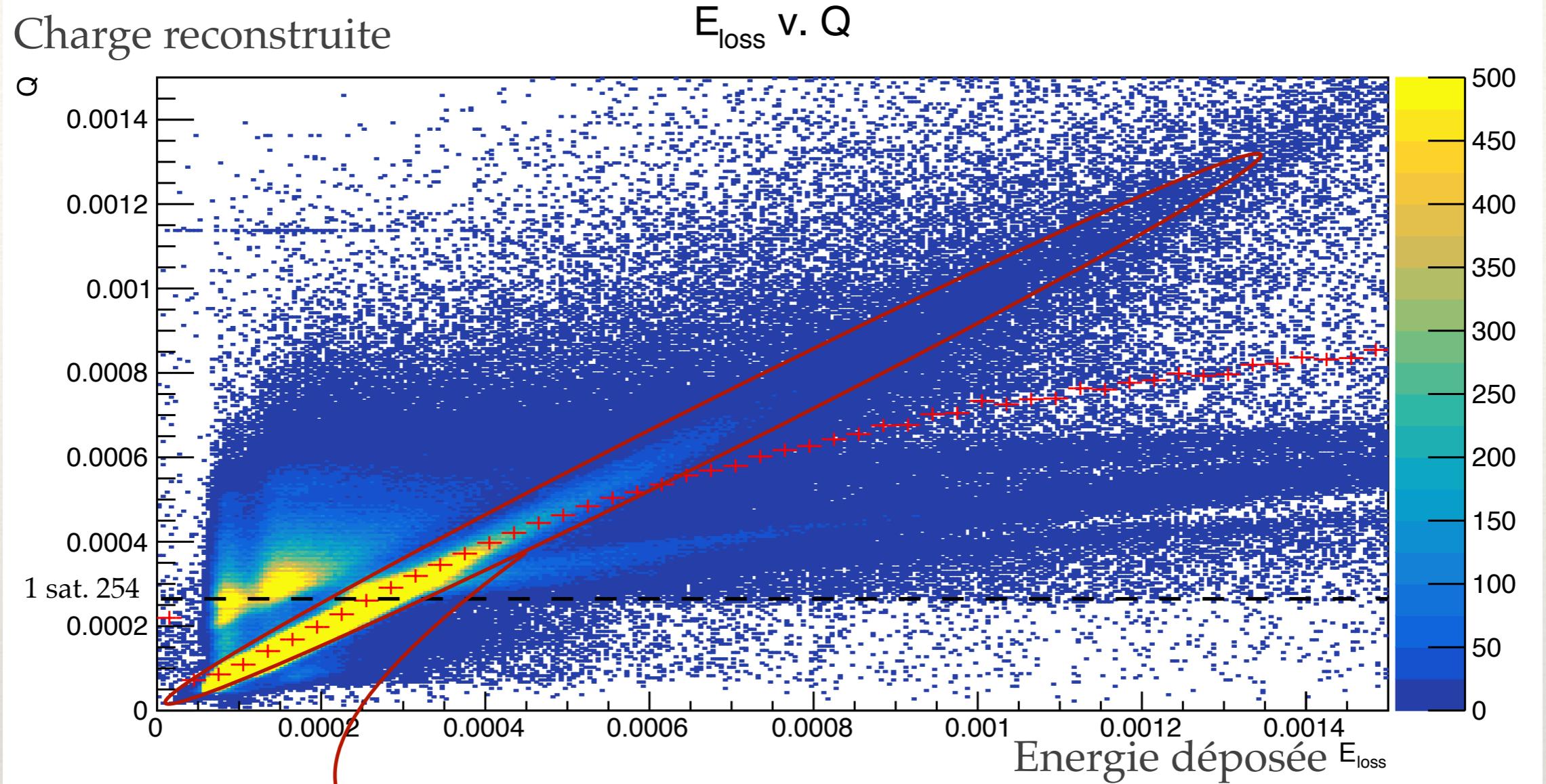


# Etude de la saturation

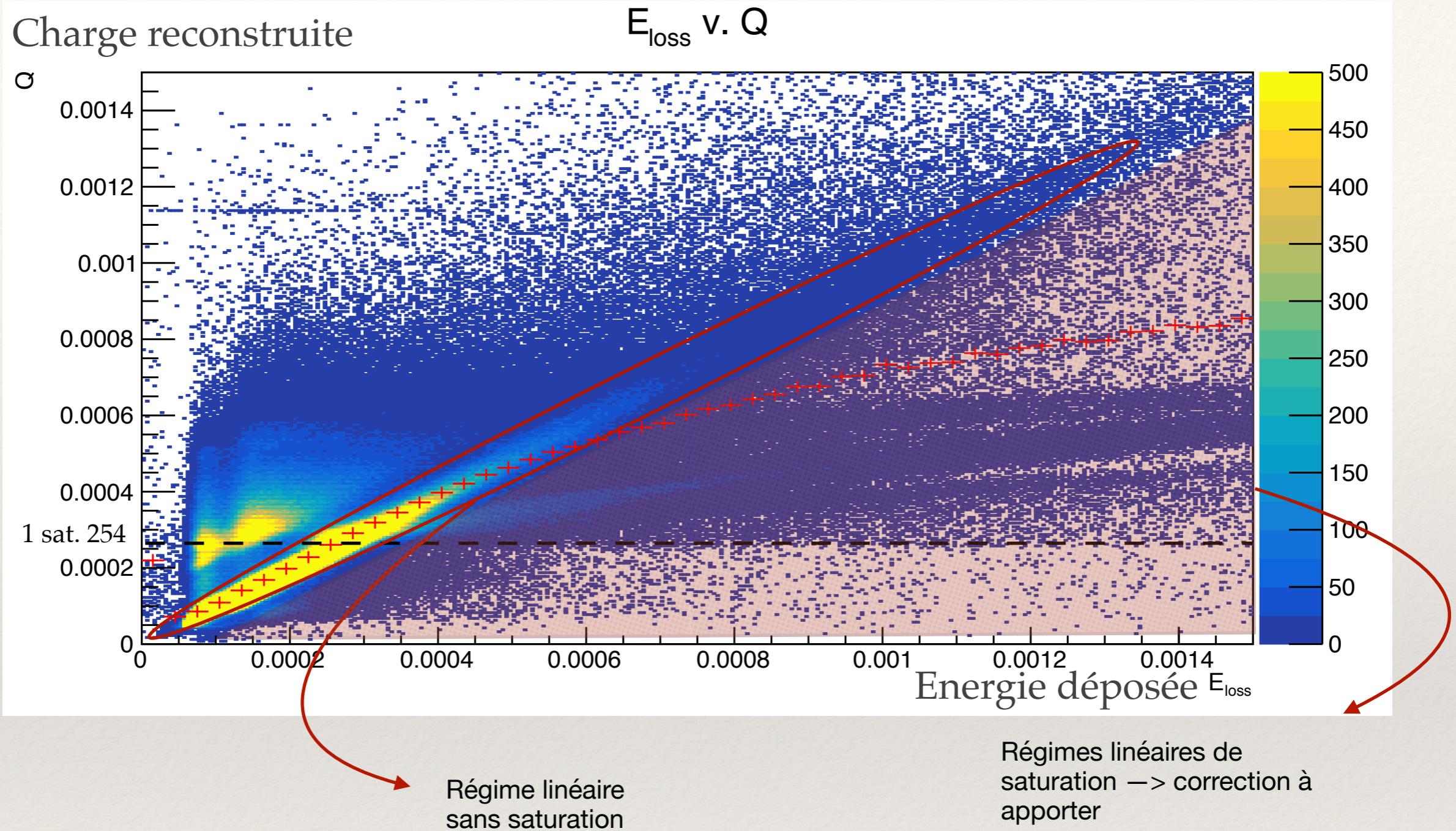
## Etude de la saturation



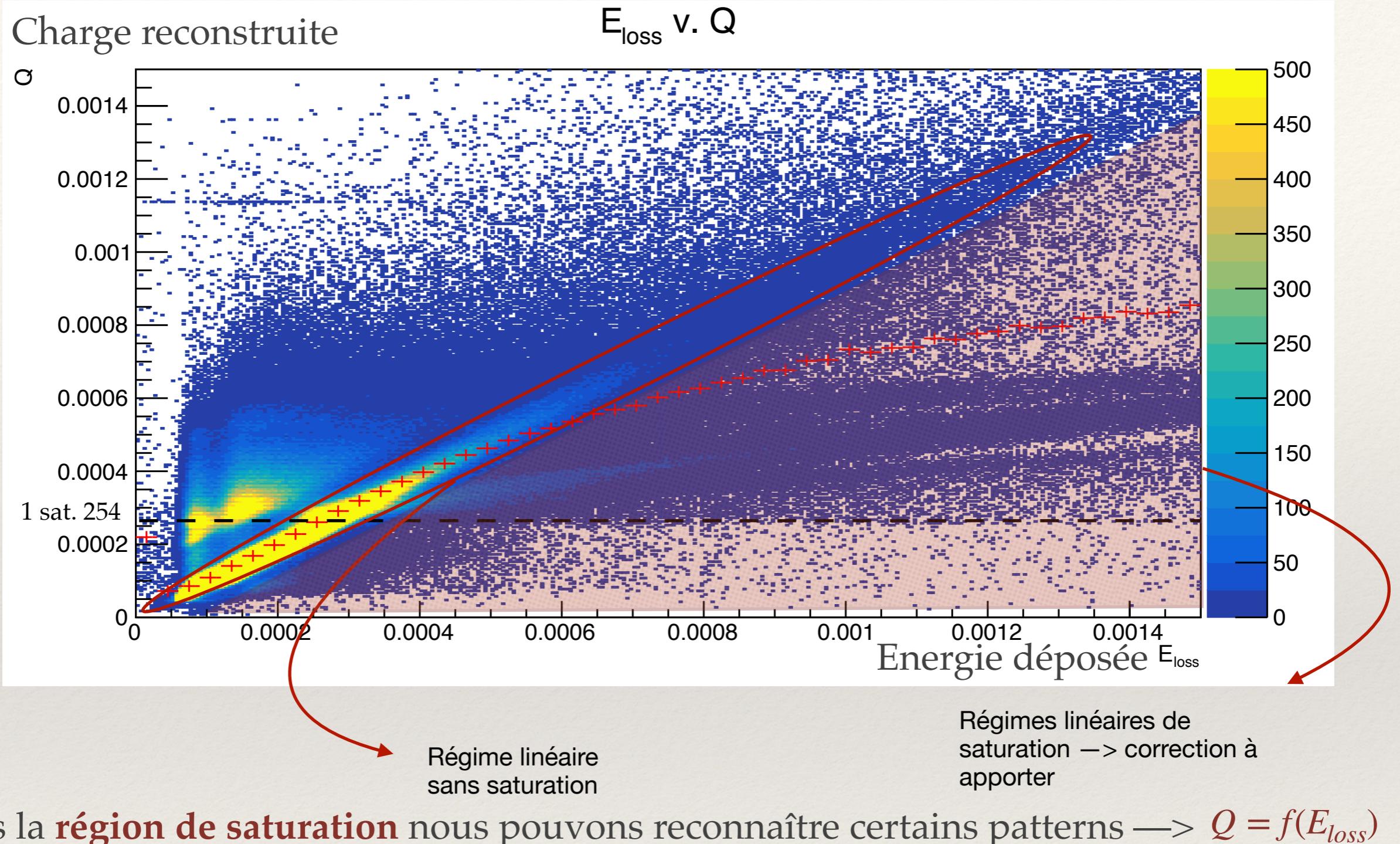
# Etude de la saturation



# Etude de la saturation

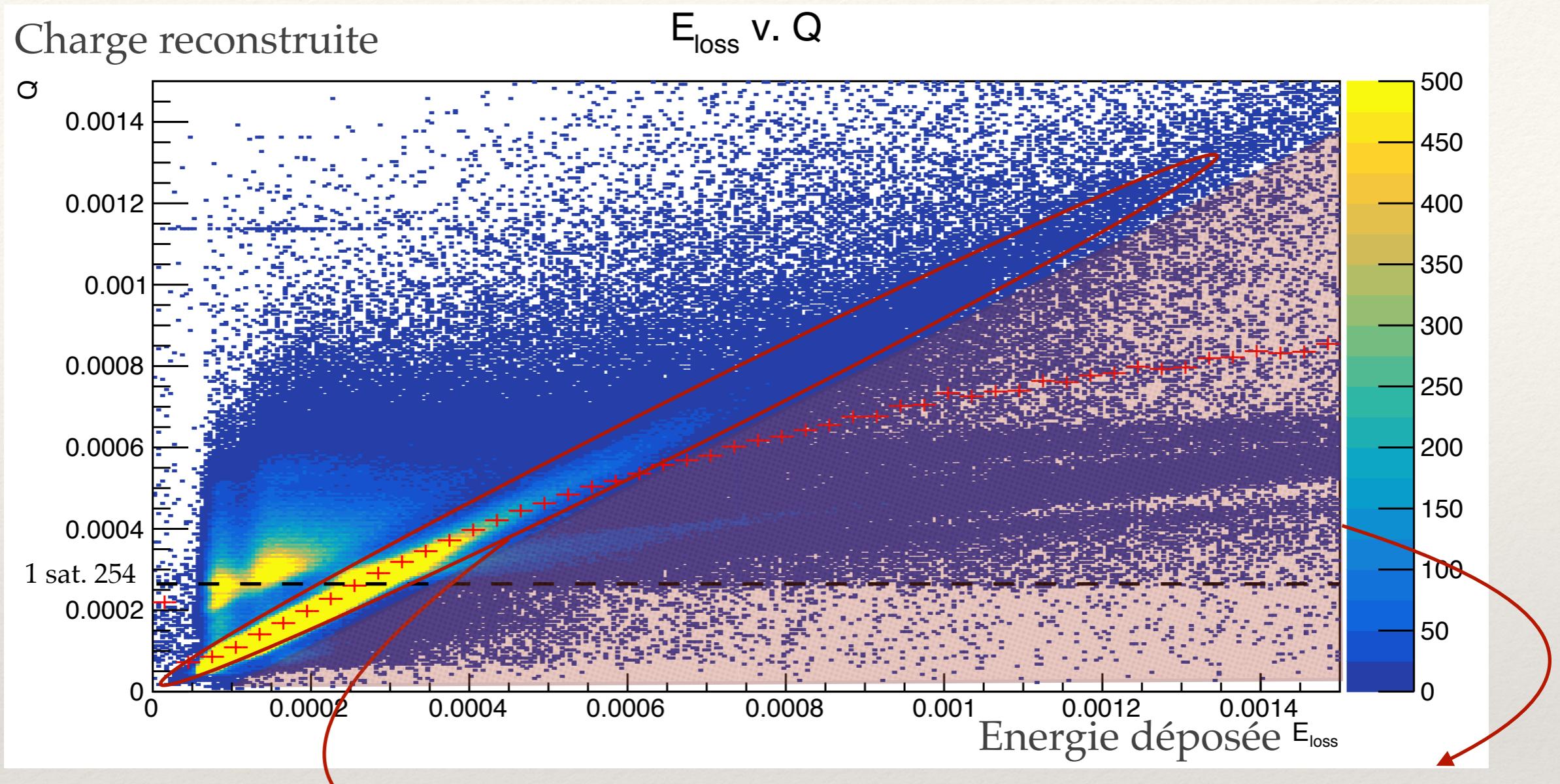


# Etude de la saturation



- ❖ Dans la **région de saturation** nous pouvons reconnaître certains patterns →  $Q = f(E_{loss})$

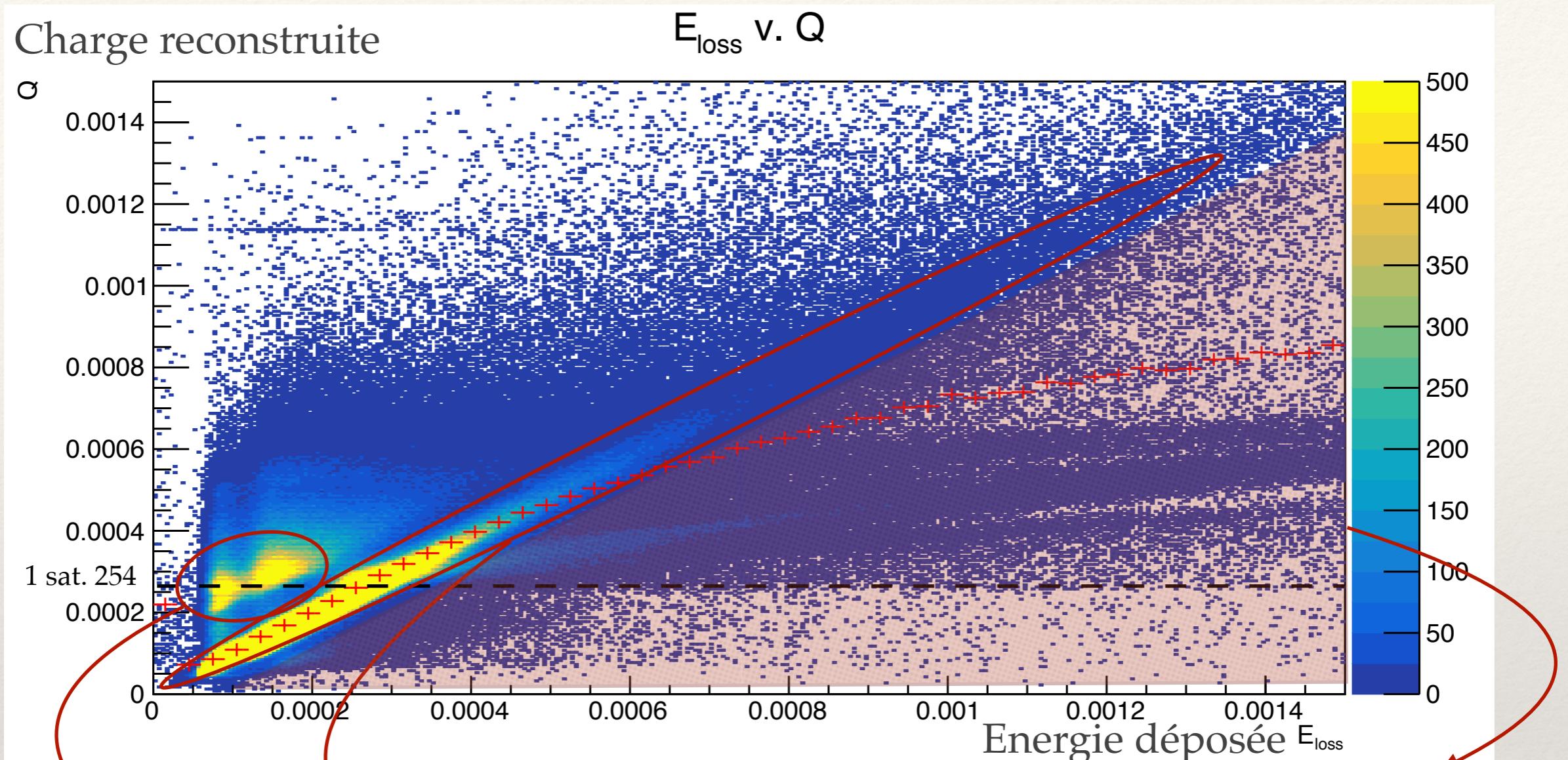
# Etude de la saturation



- ❖ 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.

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

# Etude de la saturation



Régimes encore inconnus

Régime linéaire sans saturation

Régimes linéaires de saturation → correction à apporter

- ❖ 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.

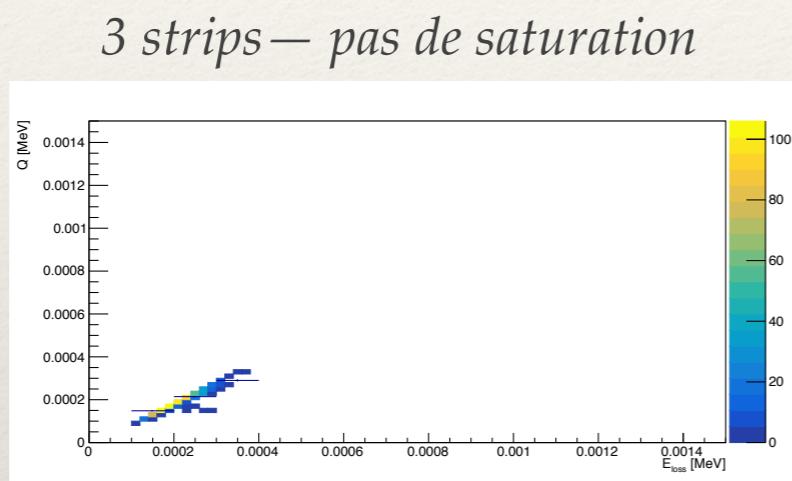
$$Q \rightarrow E_{loss} [\text{MeV}]$$

# Mise en place de la méthode

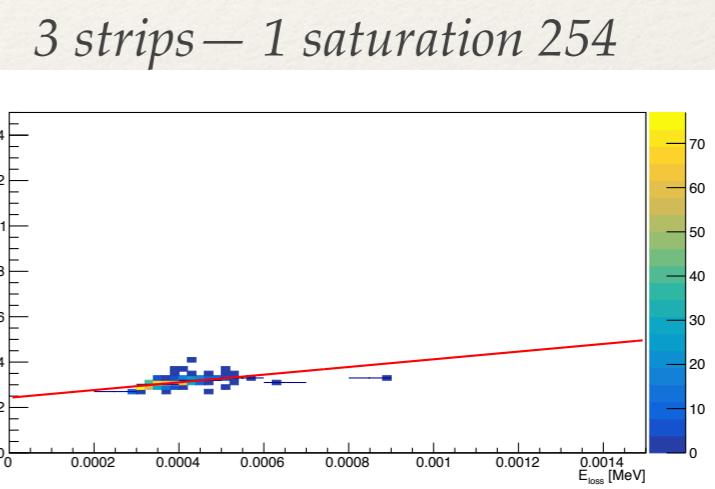
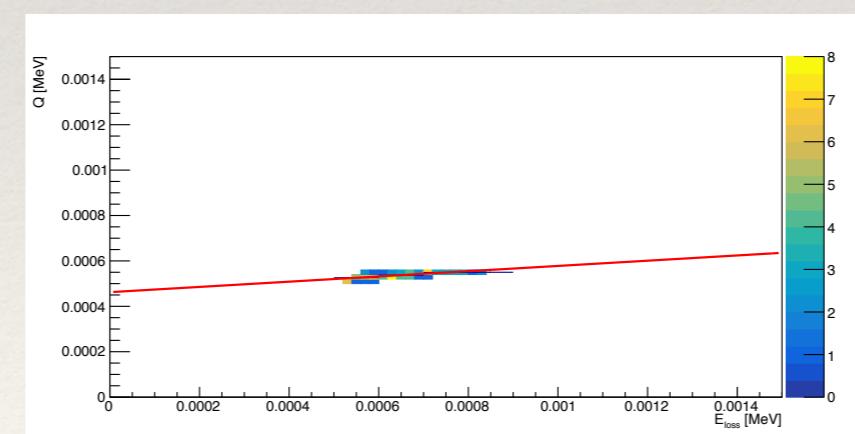
- ❖ Catégorisation des clusters :

- 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
- nombre de strips qui saturent — 1 ou 2 pistes
- type de saturation — 254 ou 255

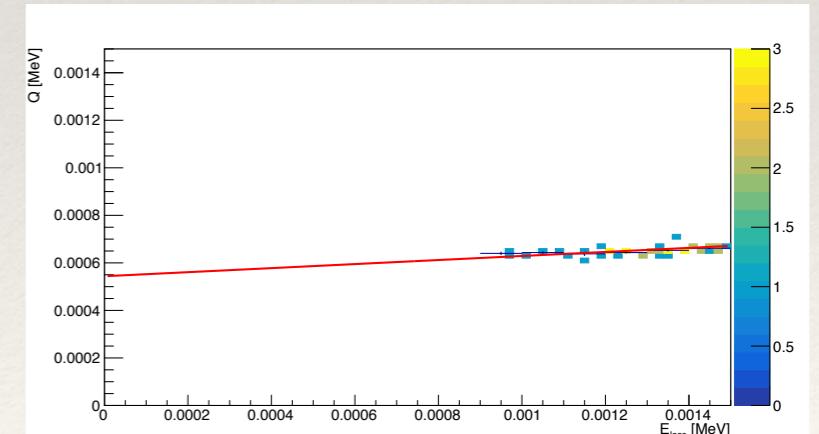
Ex : TOB  
layer 1

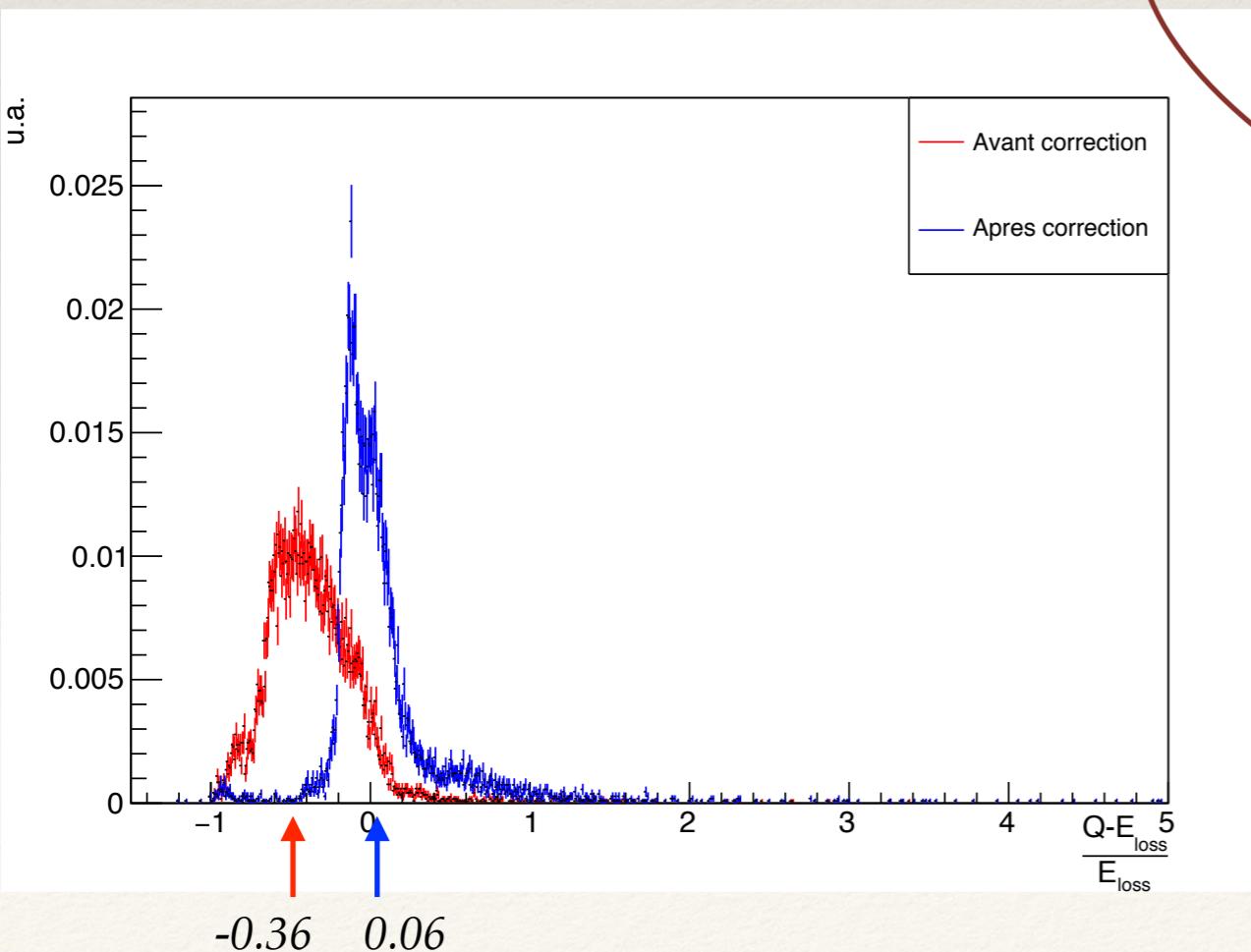
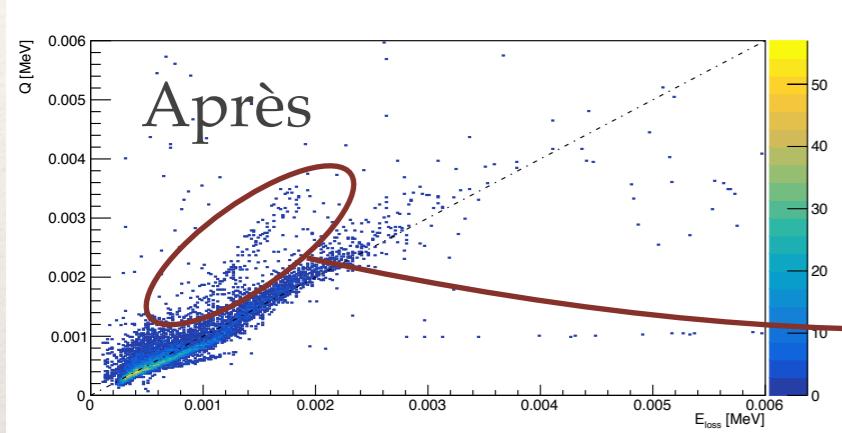
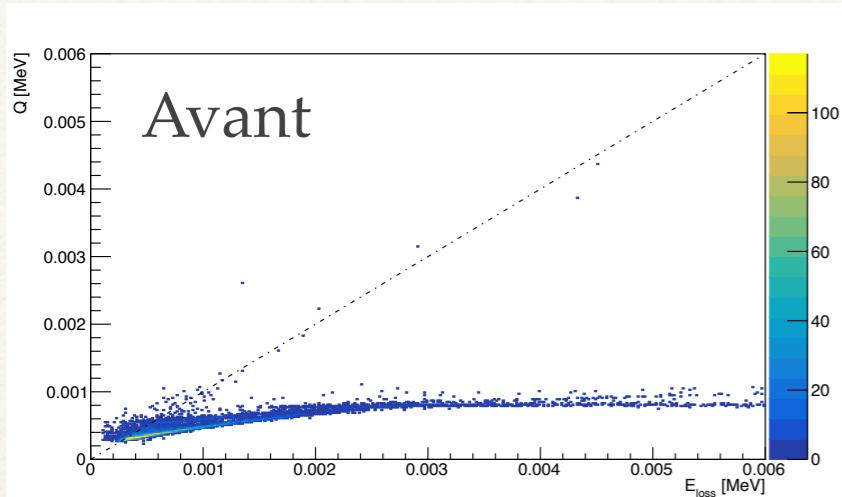


*4 strips – 1 saturation 254*



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





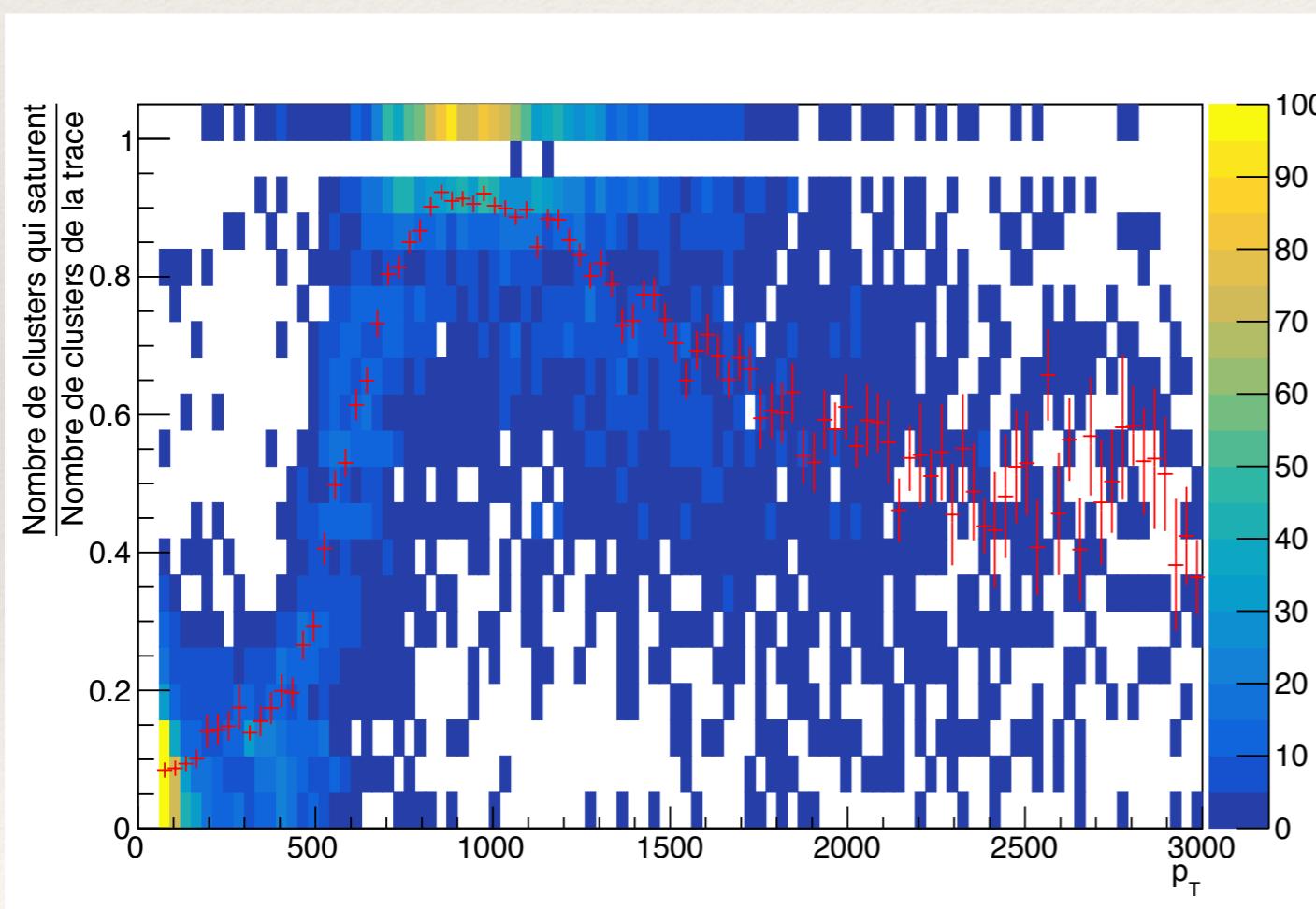
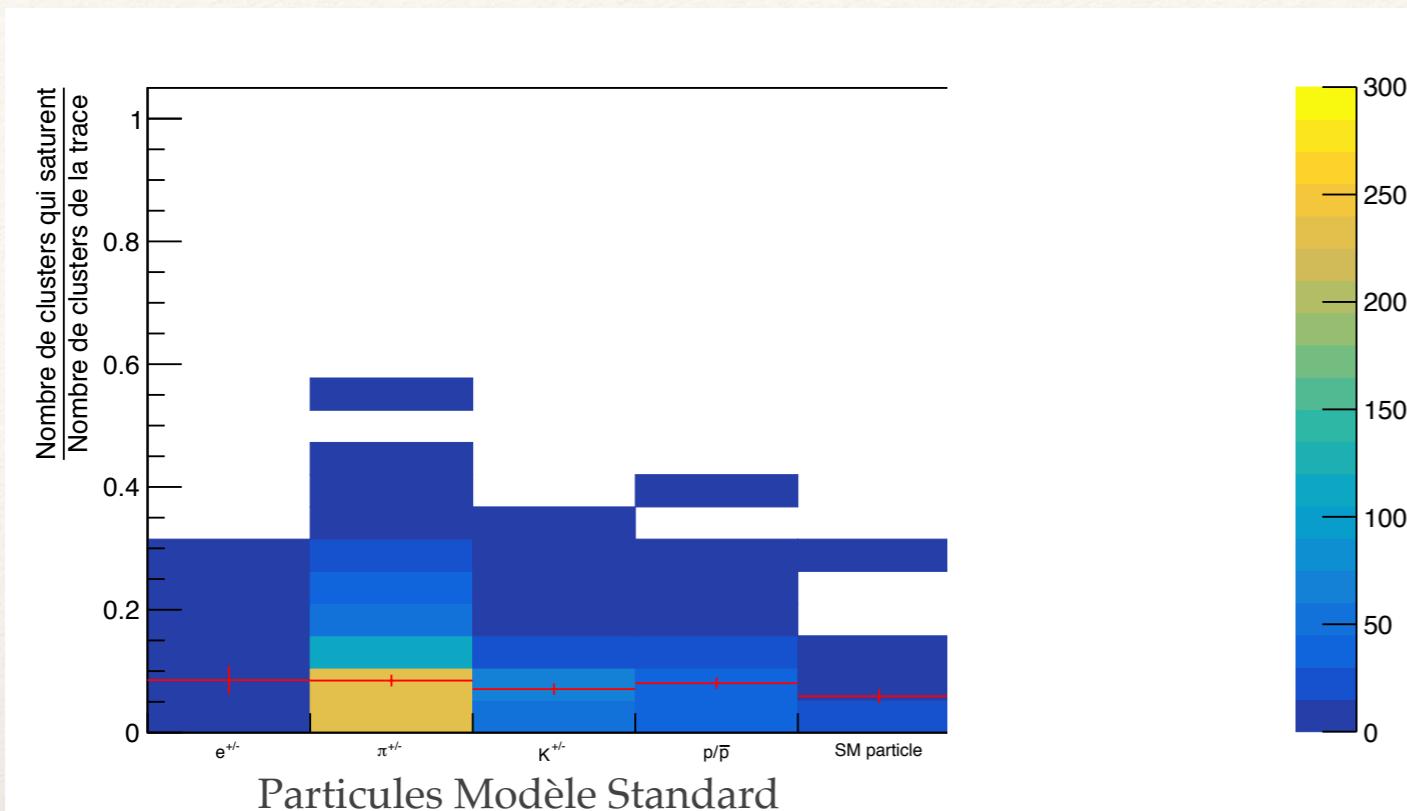
## Test de la méthode dans TOB layer 1

- ❖ Fonctionne correctement pour TOB layer 1.
  - > diminution du biais ; d'une moyenne de -0.36 à 0.06.
  - > distribution resserrée.
- ❖ Nécessité d'un **critère d'application** de la méthode
  - > éviter de sur-corriger.

- ❖ 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.

# Critère d'application

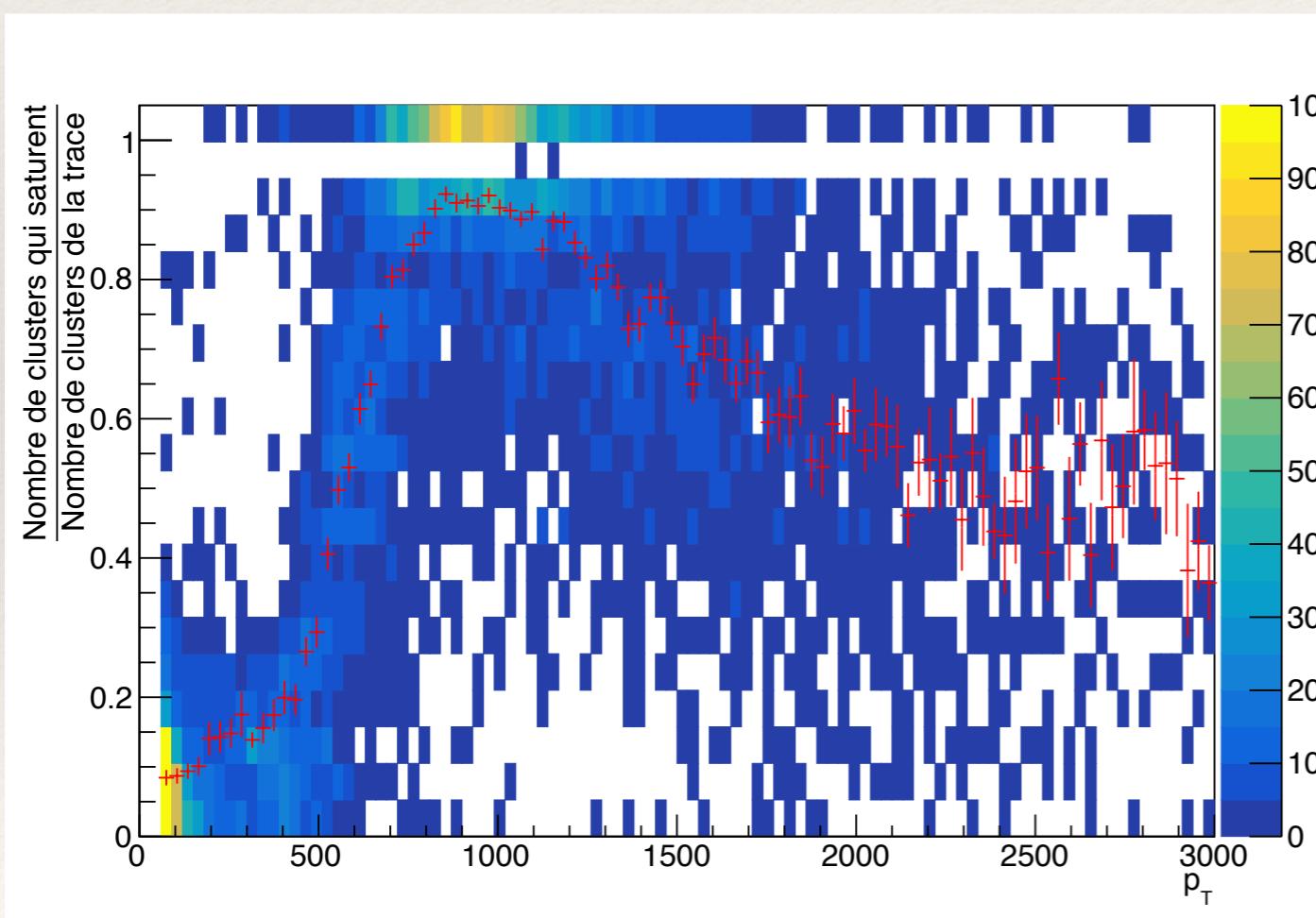
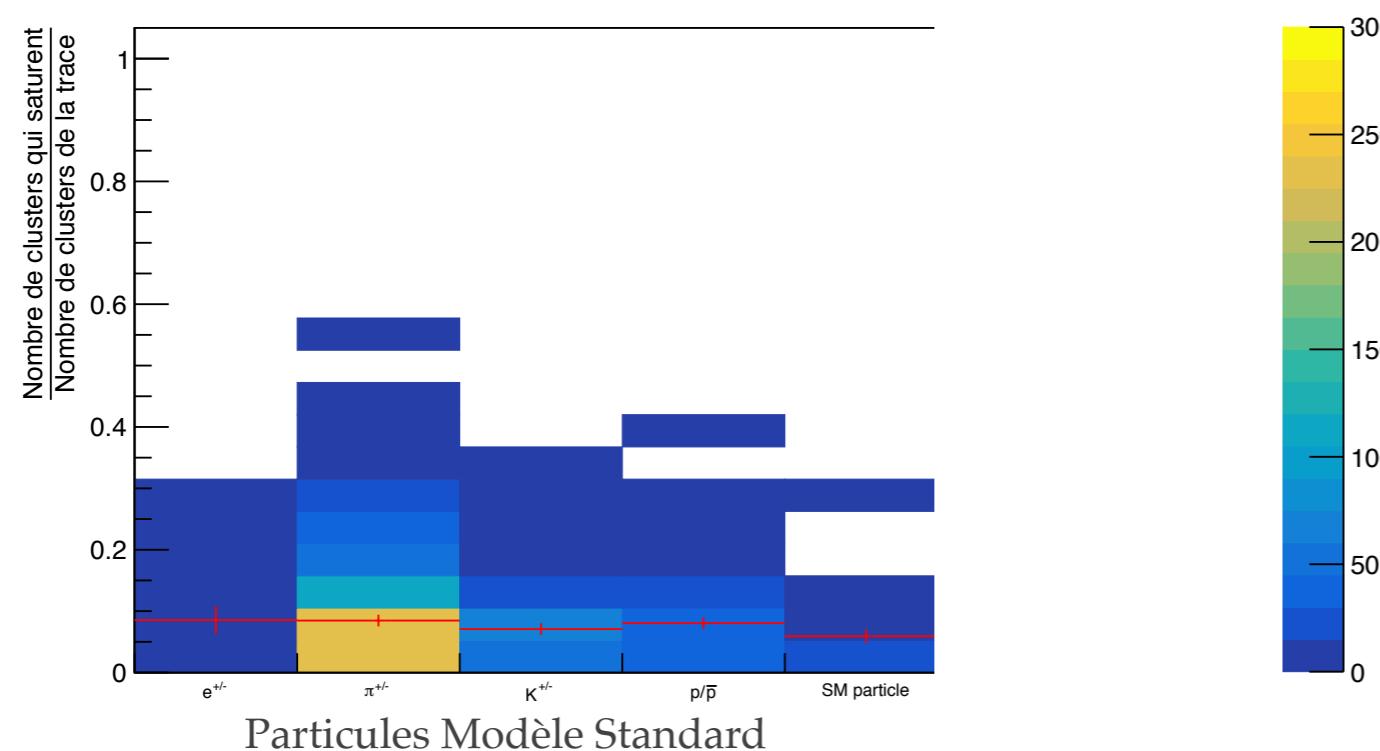
# Critère d'application



# Critère d'application

- ❖ Critère d'application de la méthode basée sur le **ratio du nombre de clusters saturés par trace**.

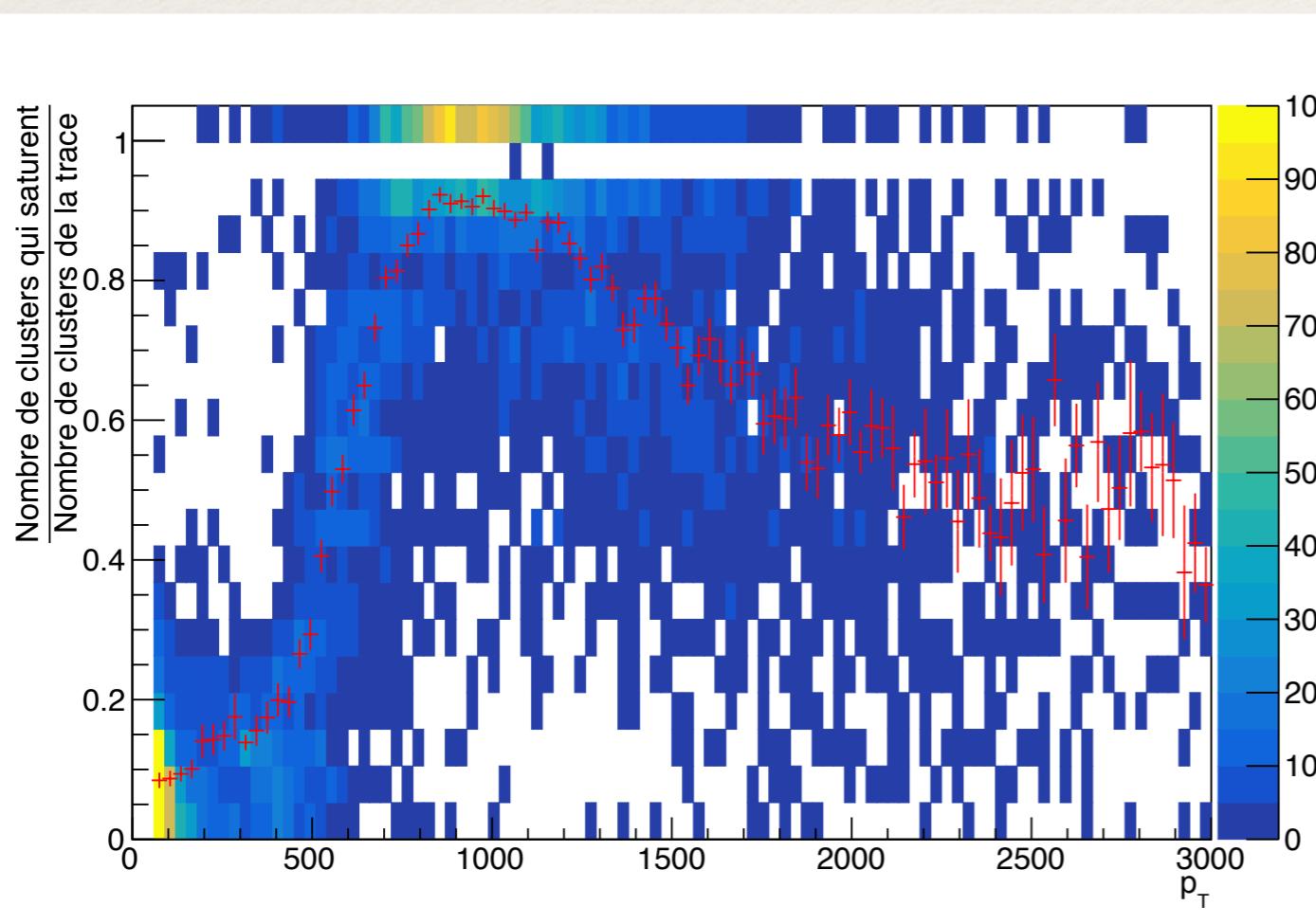
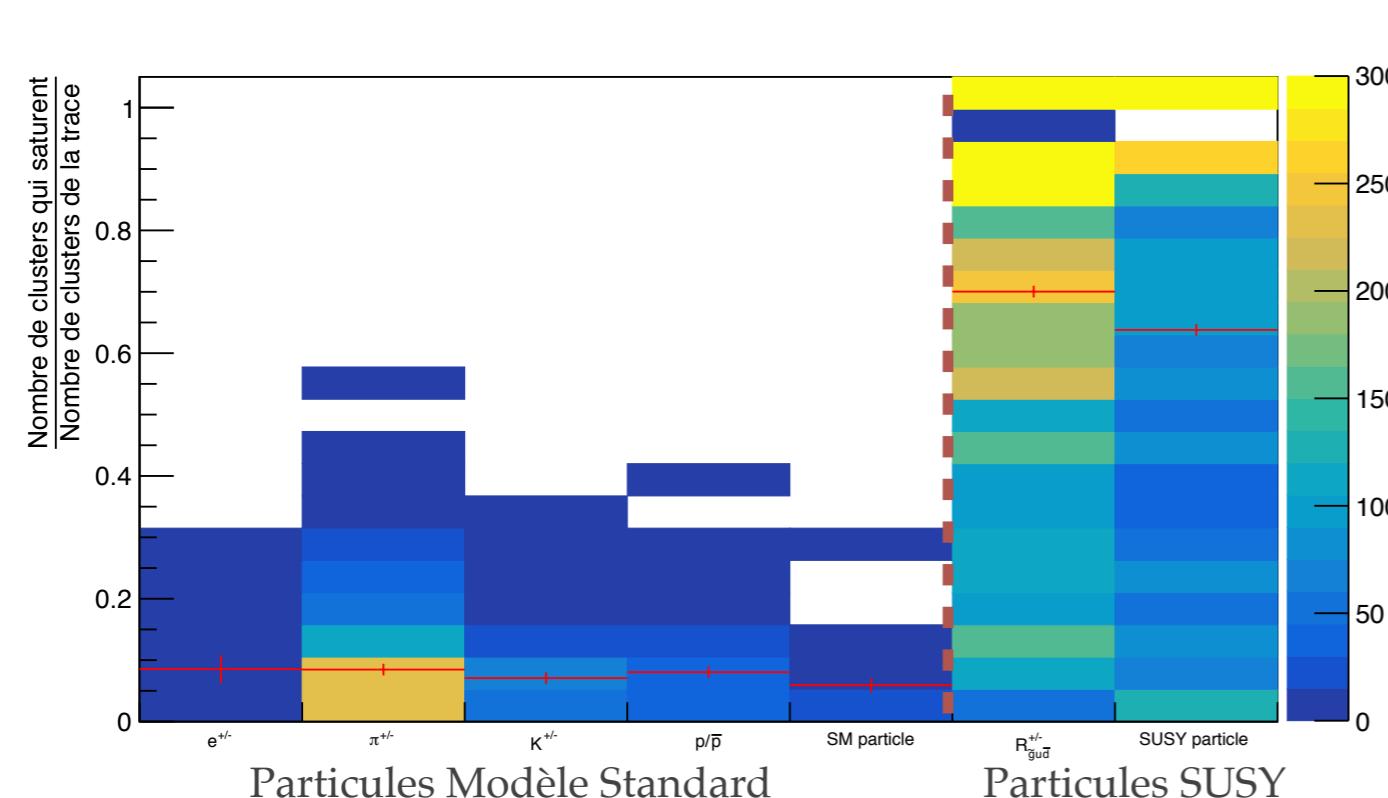
$$Rat. Sat. = \frac{\text{Nombre de clusters saturés pour une trace}}{\text{Nombre de clusters de la trace}}$$



# Critère d'application

- ❖ Critère d'application de la méthode basée sur le **ratio du nombre de clusters saturés par trace**.

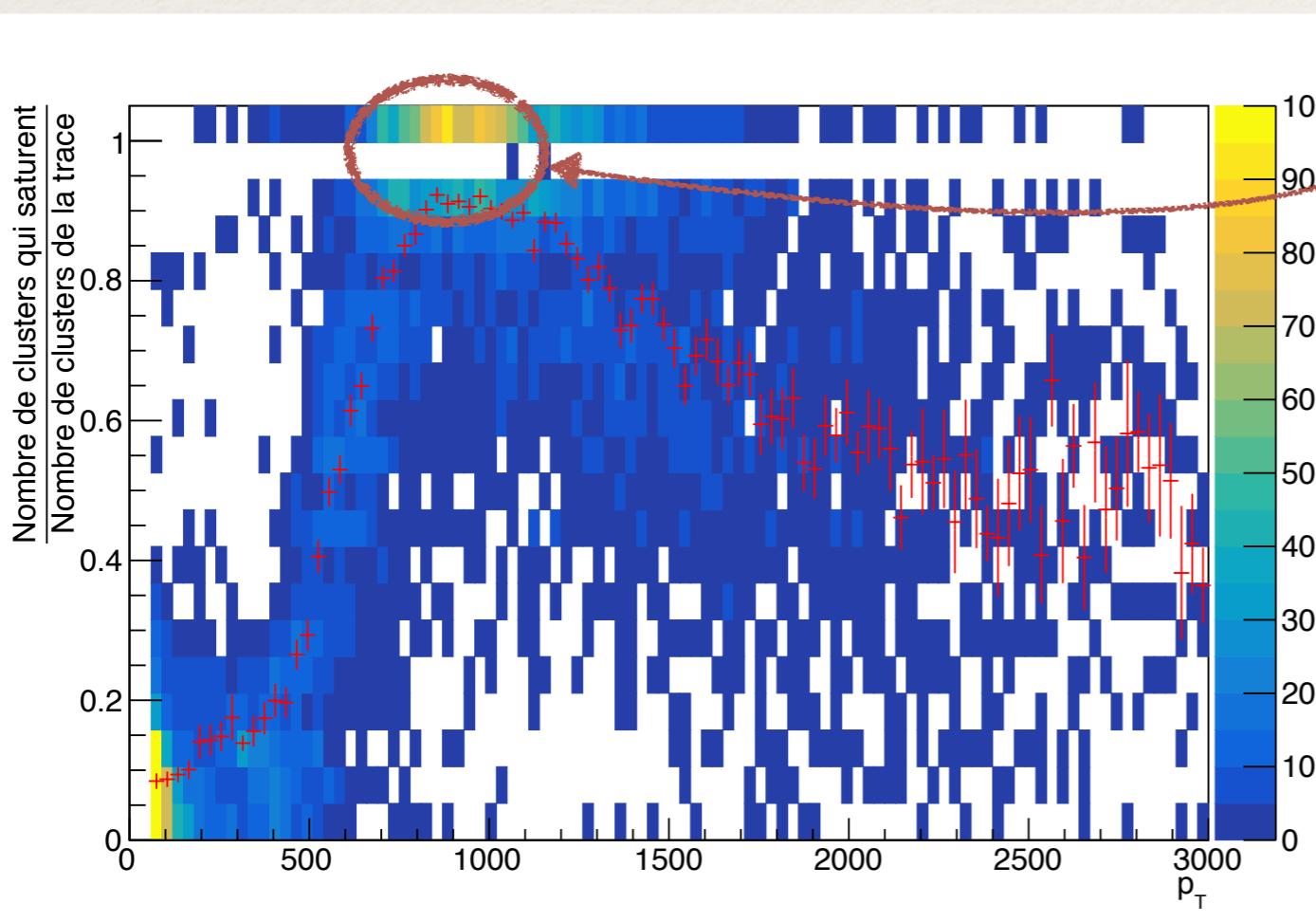
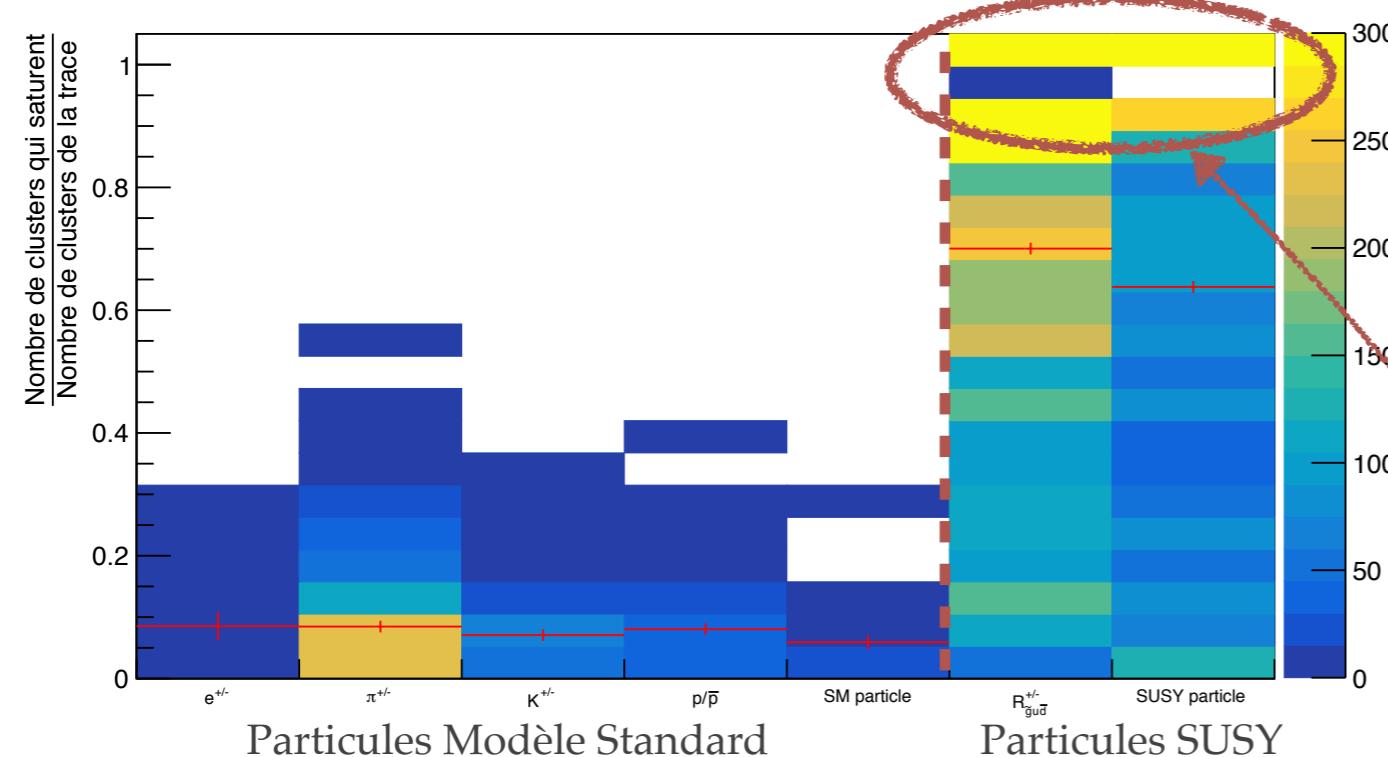
$$Rat. Sat. = \frac{\text{Nombre de clusters saturés pour une trace}}{\text{Nombre de clusters de la trace}}$$



# Critère d'application

- ❖ Critère d'application de la méthode basée sur le **ratio du nombre de clusters saturés par trace**.

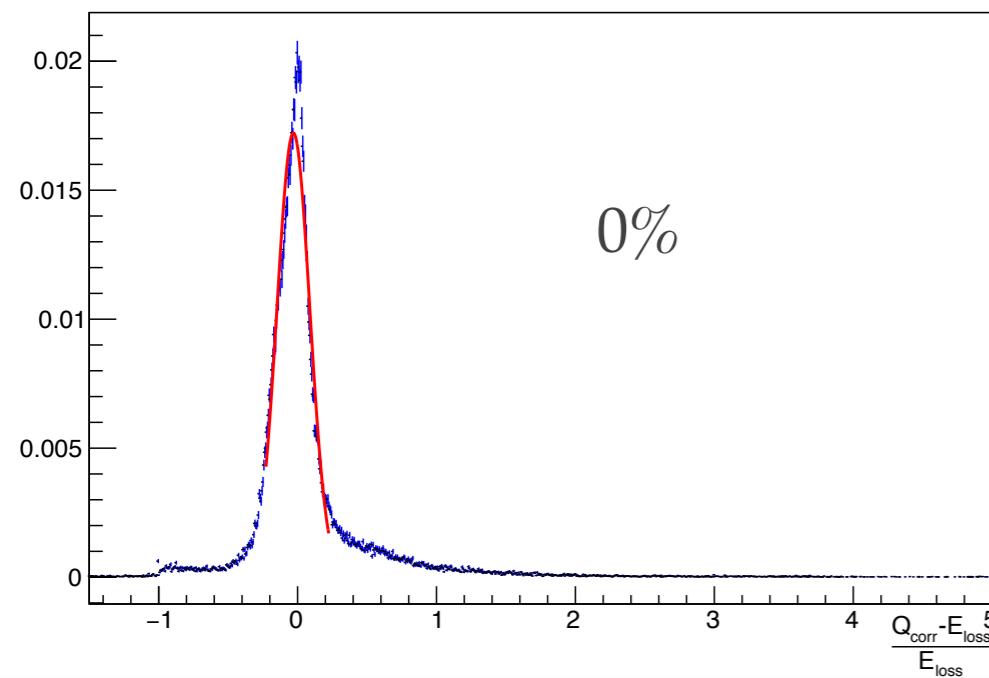
$$Rat. Sat. = \frac{\text{Nombre de clusters saturés pour une trace}}{\text{Nombre de clusters de la trace}}$$



# Etude en fonction du ratio de saturation

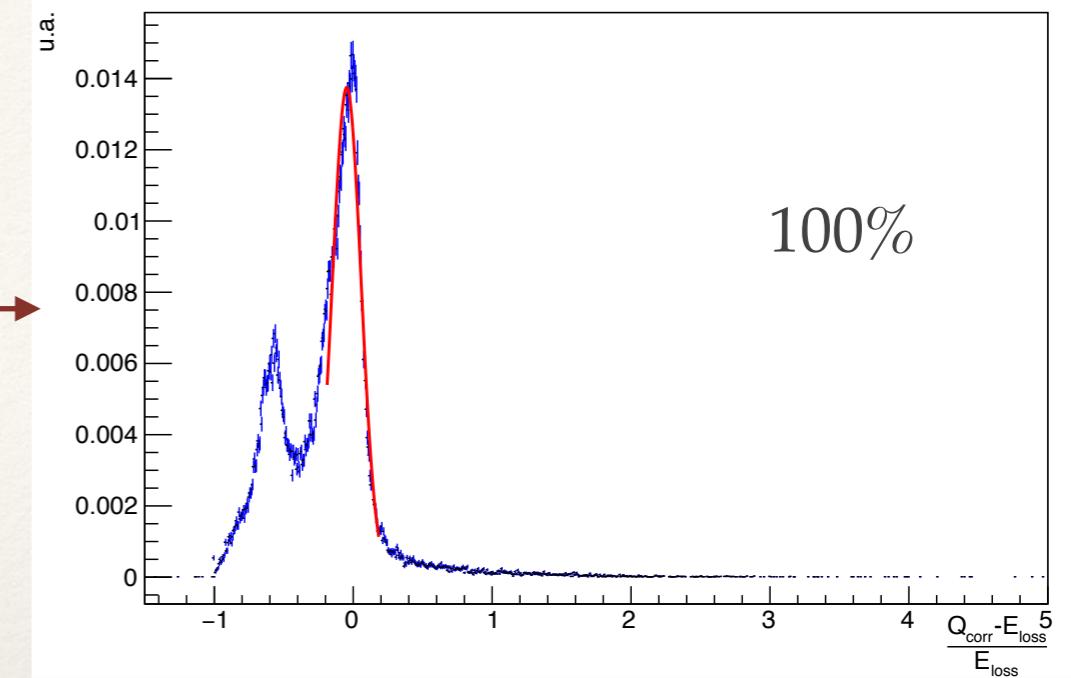
# Etude en fonction du ratio de saturation

h1DiffRelEvQcorr



0%

h1DiffRelEvQcorr

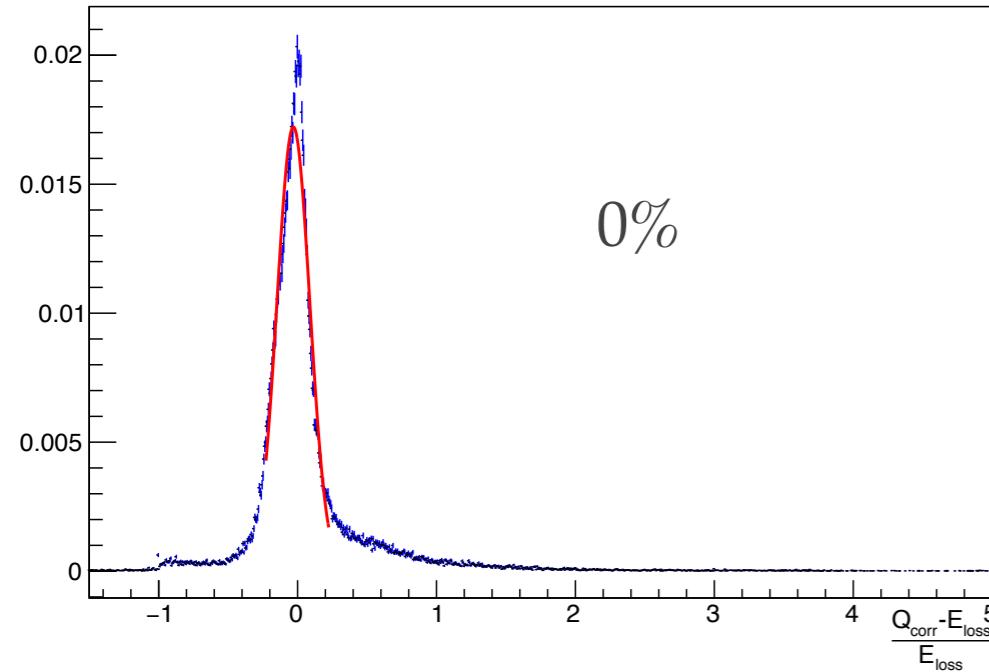


100%

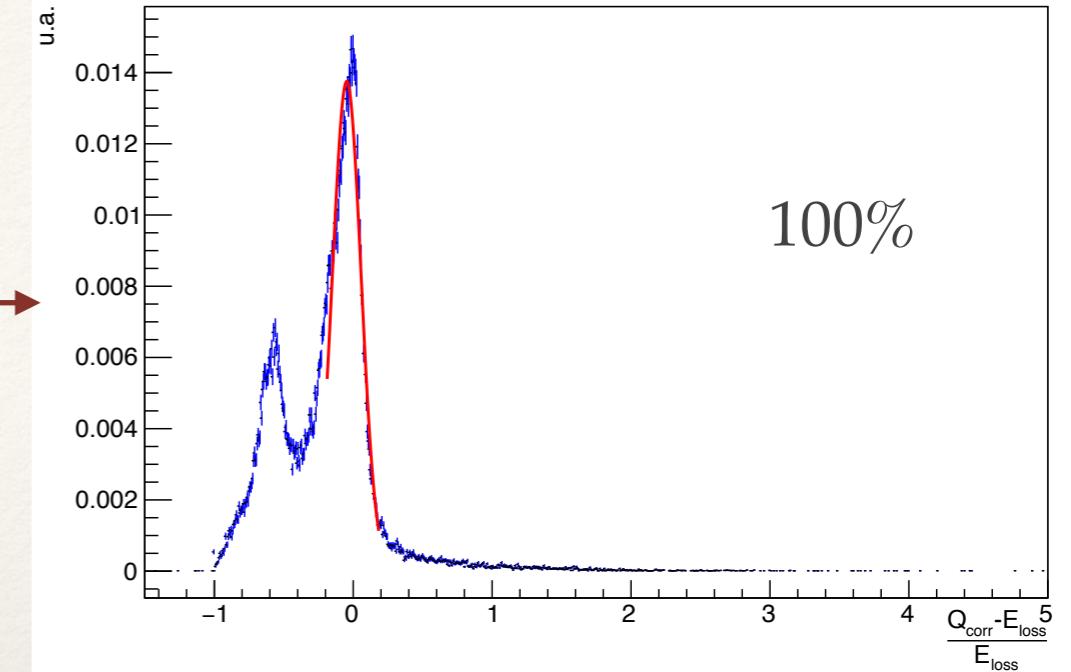
- ❖ On scanne pour un ratio de saturation entre 0% et 100%.

# Etude en fonction du ratio de saturation

h1DiffRelEvQcorr



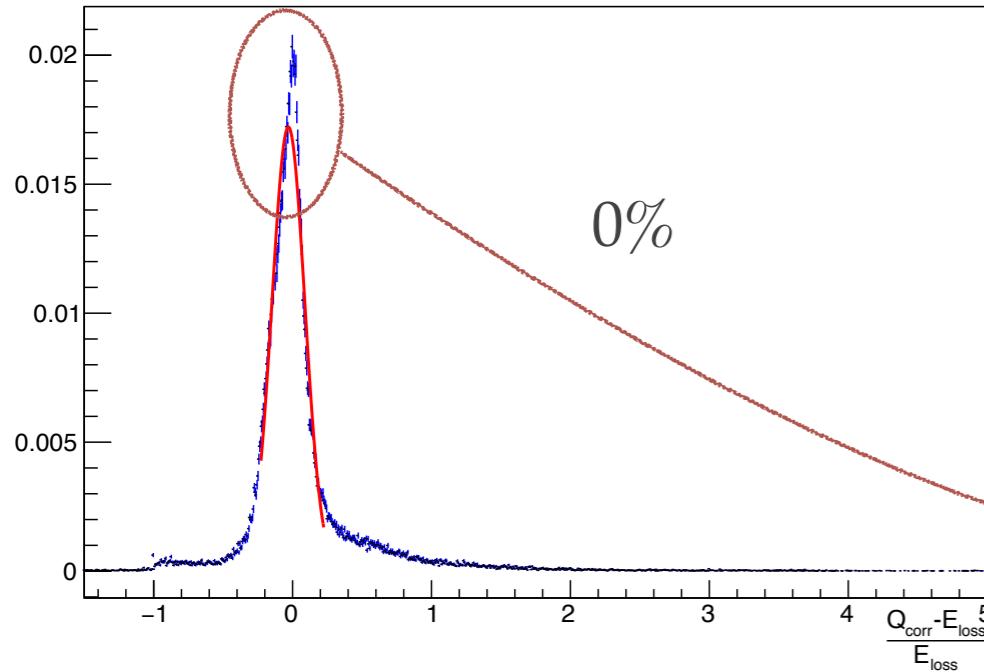
h1DiffRelEvQcorr



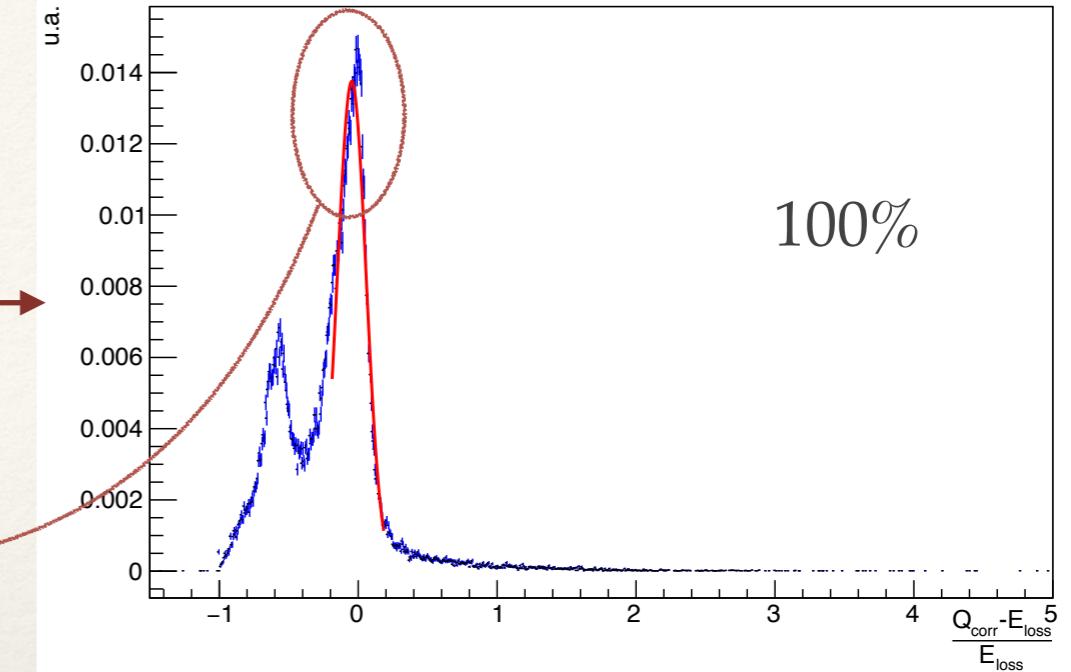
- ❖ On scanne pour un ratio de saturation entre 0% et 100%.
- ❖ On étudie alors pour chaque itération quelques grandeurs :
  - **moyenne** de la gaussienne  $\mu$
  - **écart-type** de la gaussienne  $\sigma$

# Etude en fonction du ratio de saturation

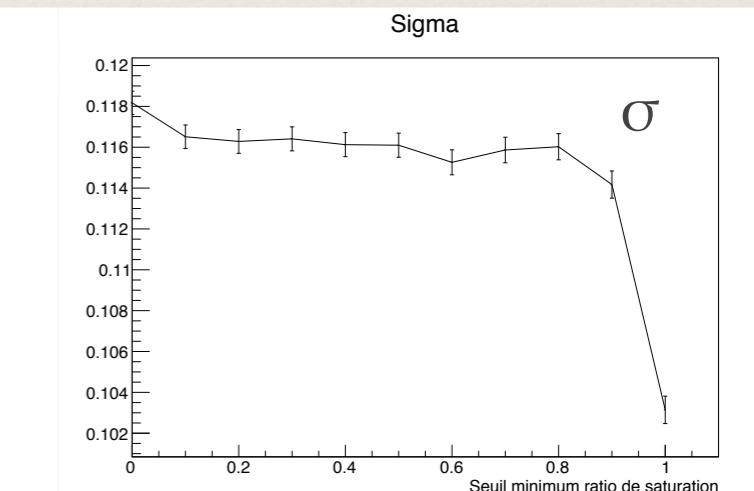
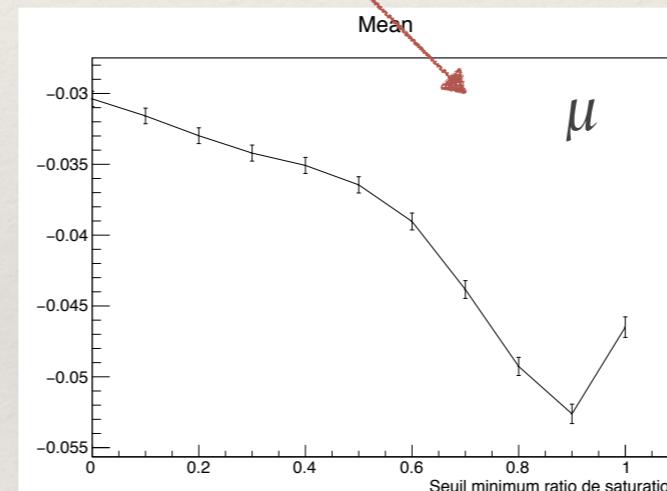
h1DiffRelEvQcorr



h1DiffRelEvQcorr



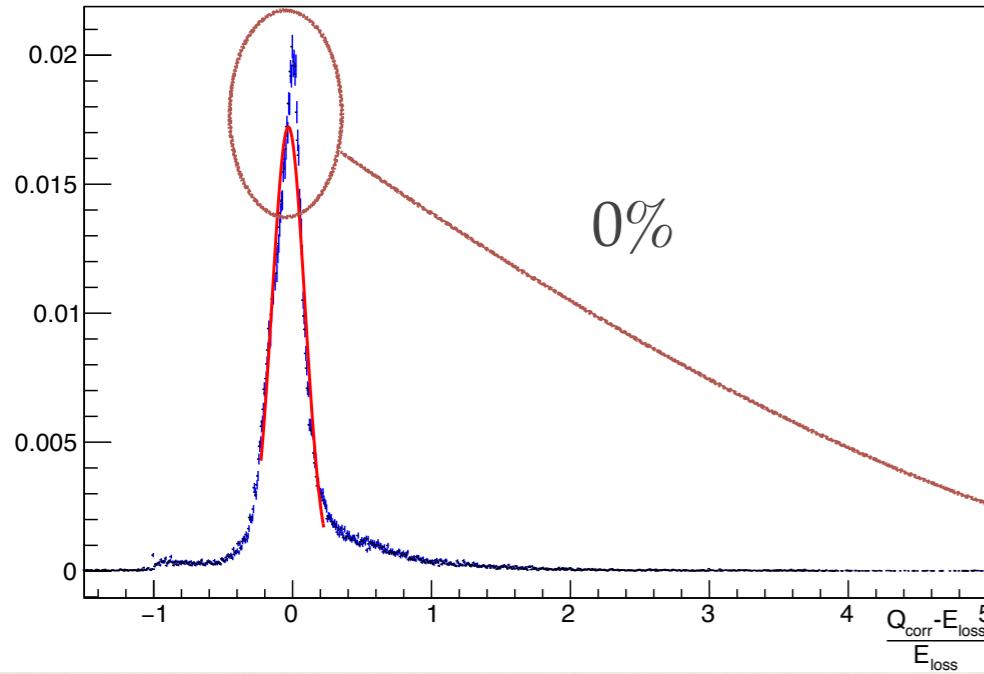
- ❖ On scanne pour un ratio de saturation entre 0% et 100%.
- ❖ On étudie alors pour chaque itération quelques grandeurs :
  - **moyenne** de la gaussienne  $\mu$
  - **écart-type** de la gaussienne  $\sigma$



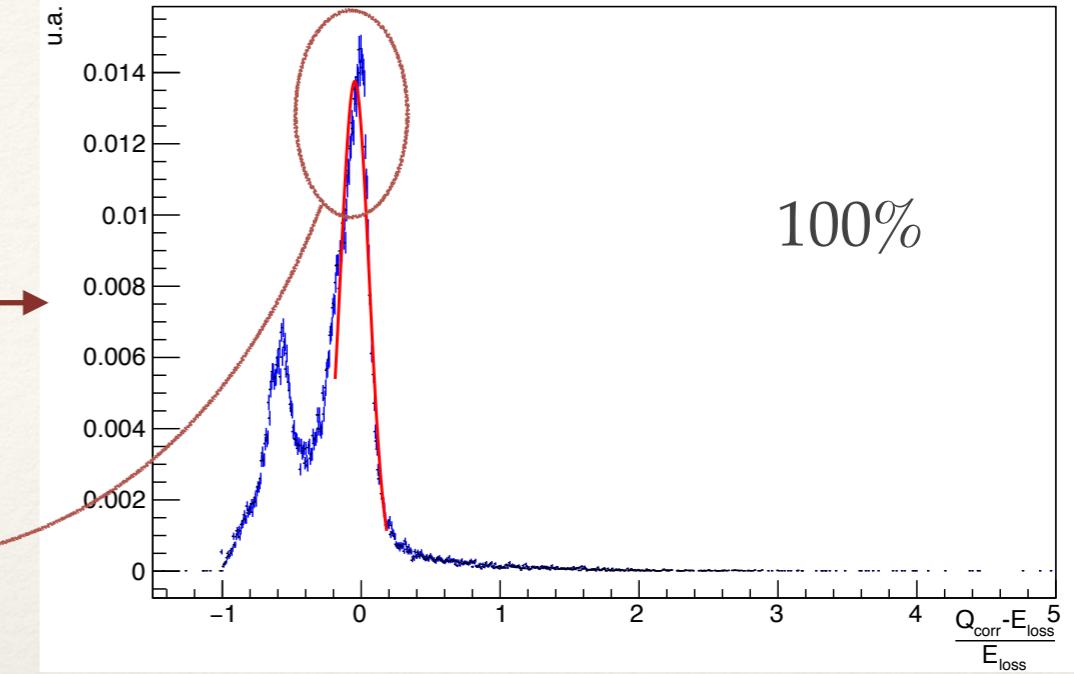
*En x : seuil minimum pour le ratio de saturation*

# Etude en fonction du ratio de saturation

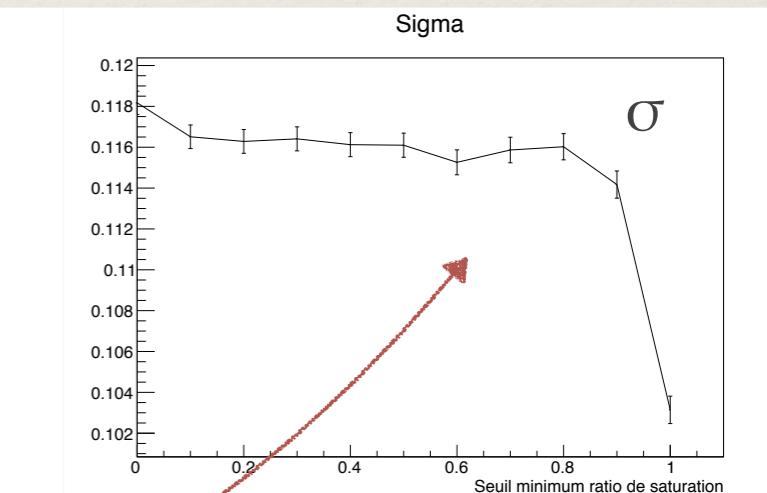
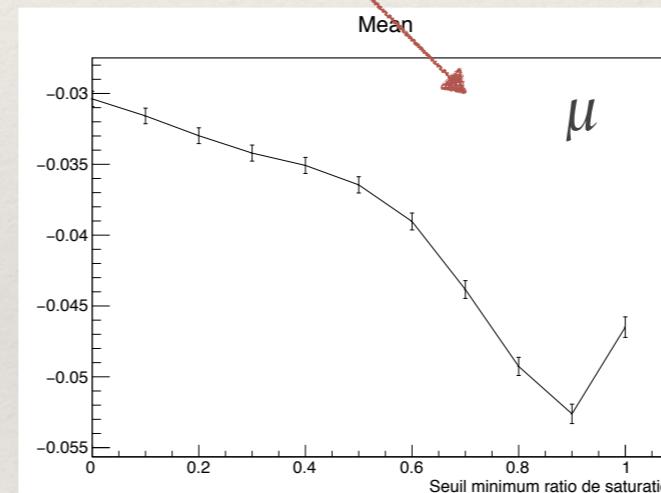
h1DiffRelEvQcorr



h1DiffRelEvQcorr



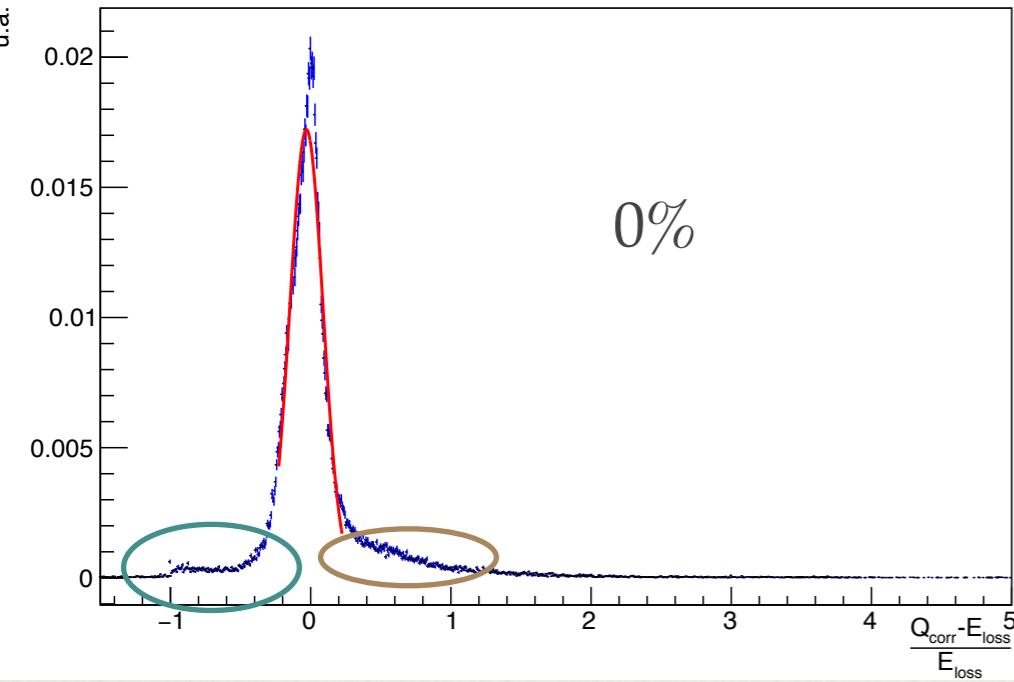
- ❖ On scanne pour un ratio de saturation entre 0% et 100%.
- ❖ On étudie alors pour chaque itération quelques grandeurs :
  - moyenne de la gaussienne  $\mu$
  - écart-type de la gaussienne  $\sigma$



*En x : seuil minimum pour le ratio de saturation*

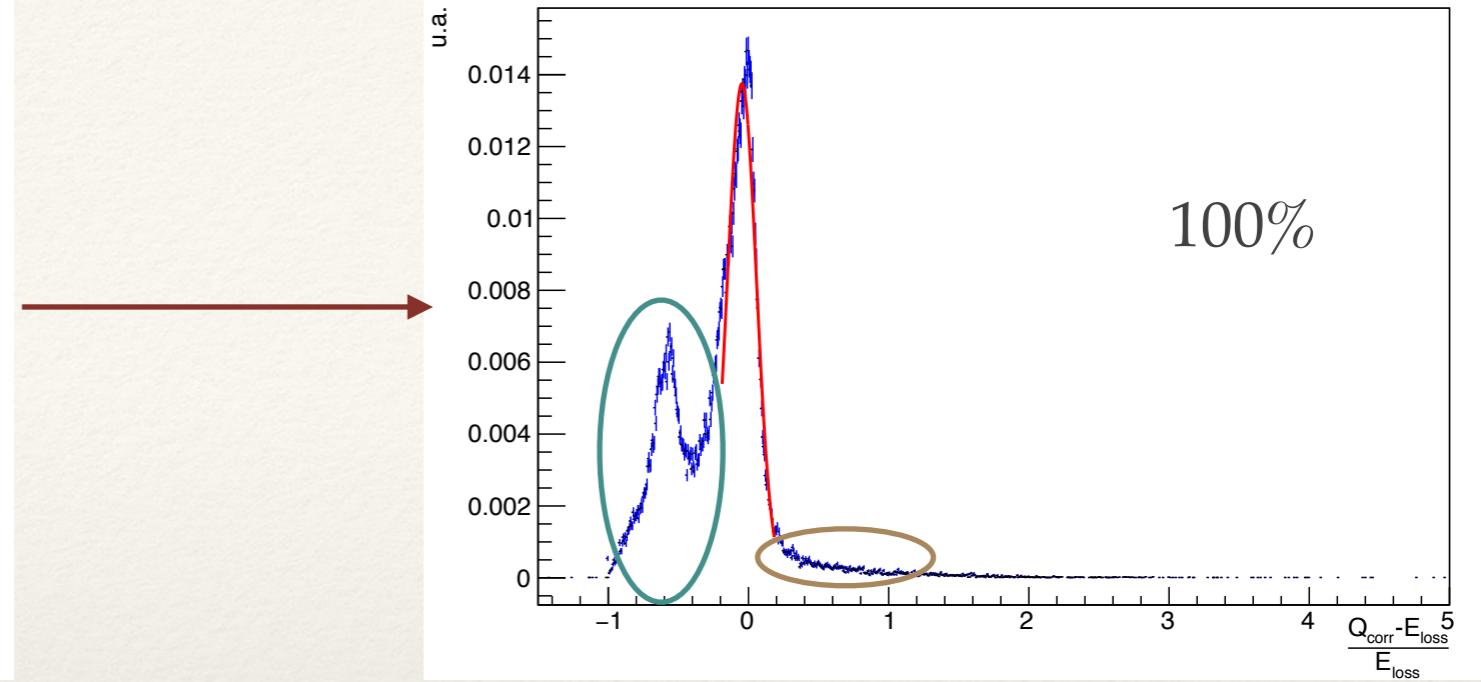
# Choix du ratio de saturation

h1DiffRelEvQcorr



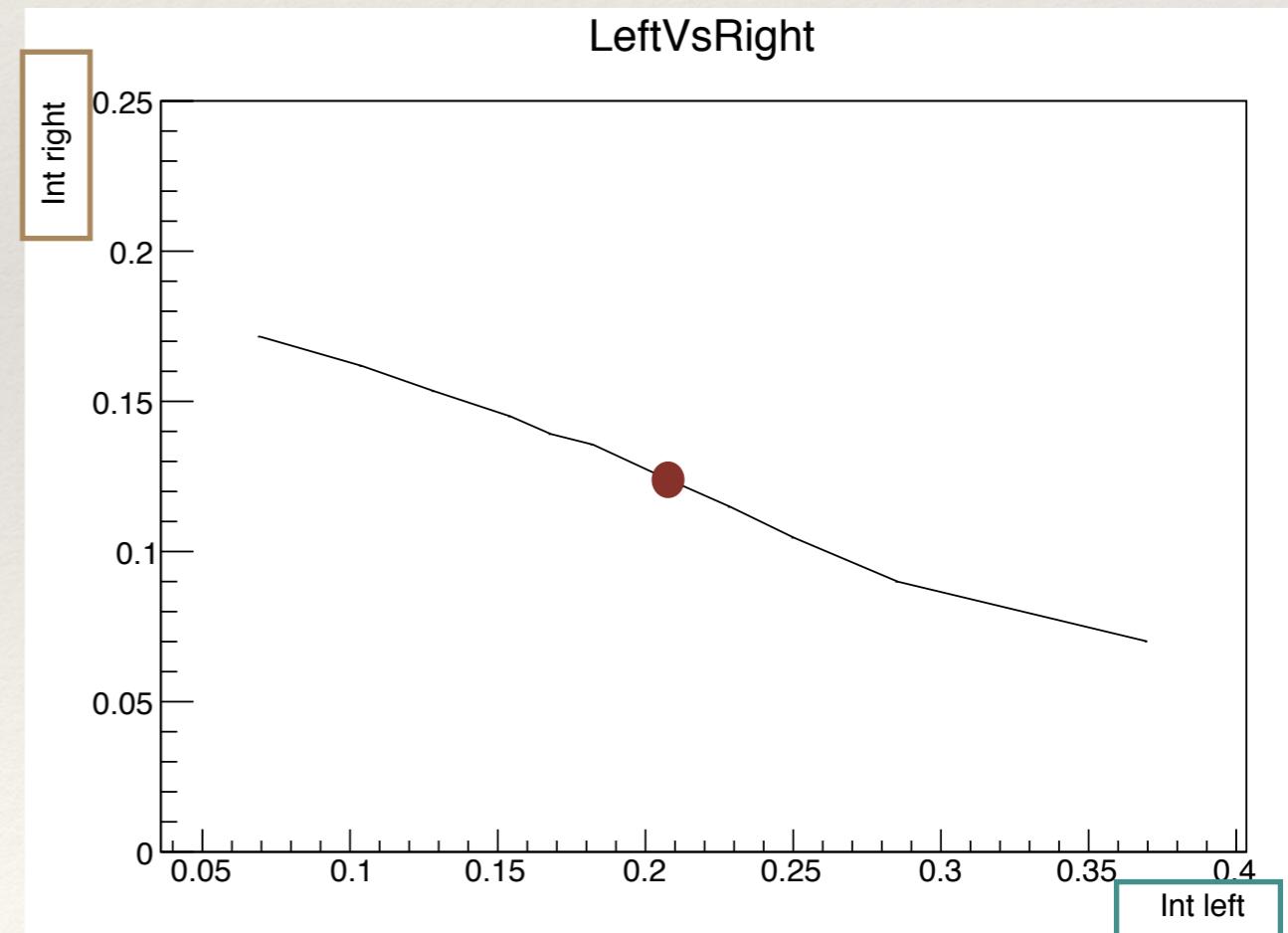
0%

h1DiffRelEvQcorr



100%

- ❖ 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 notre **ratio minimum à 60%**.



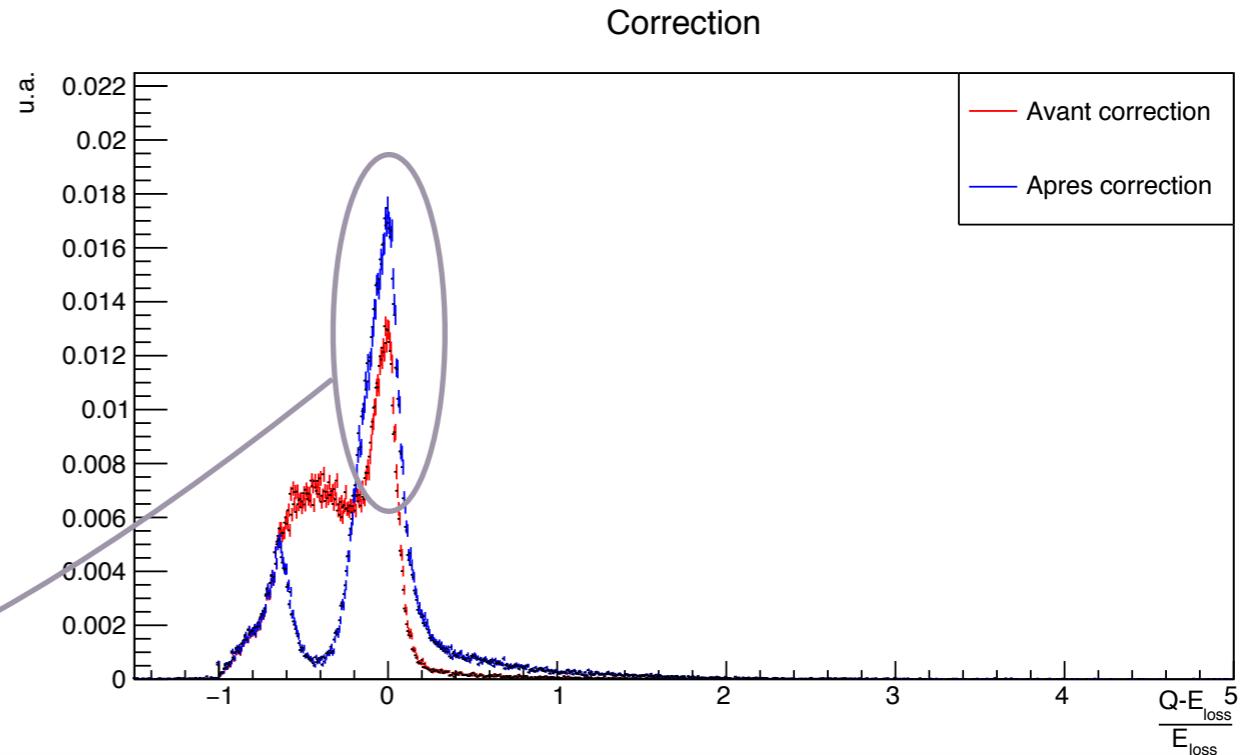
# Ratio sélectionné : 60%

- ❖ Ratio du nombre de clusters qui saturent pour une trace retenu à 60%.
- ❖ Fit du second pic après correction.

```

FCN=750.471 FROM MIGRAD      STATUS=CONVERGED      76 CALLS      77 TOTAL
                           EDM=4.50312e-09   STRATEGY= 1    ERROR MATRIX
ACCURATE
EXT PARAMETER
NO. NAME          VALUE           ERROR        STEP SIZE        FIRST DERIVATIVE
 1 Constant      1.55841e-02  8.42494e-05  8.31682e-07  8.37561e-01
 2 Mean          -3.90355e-02  5.96568e-04  7.24851e-06  1.29894e-01
 3 Sigma         1.15261e-01  6.10529e-04  1.78454e-05  6.40302e-02

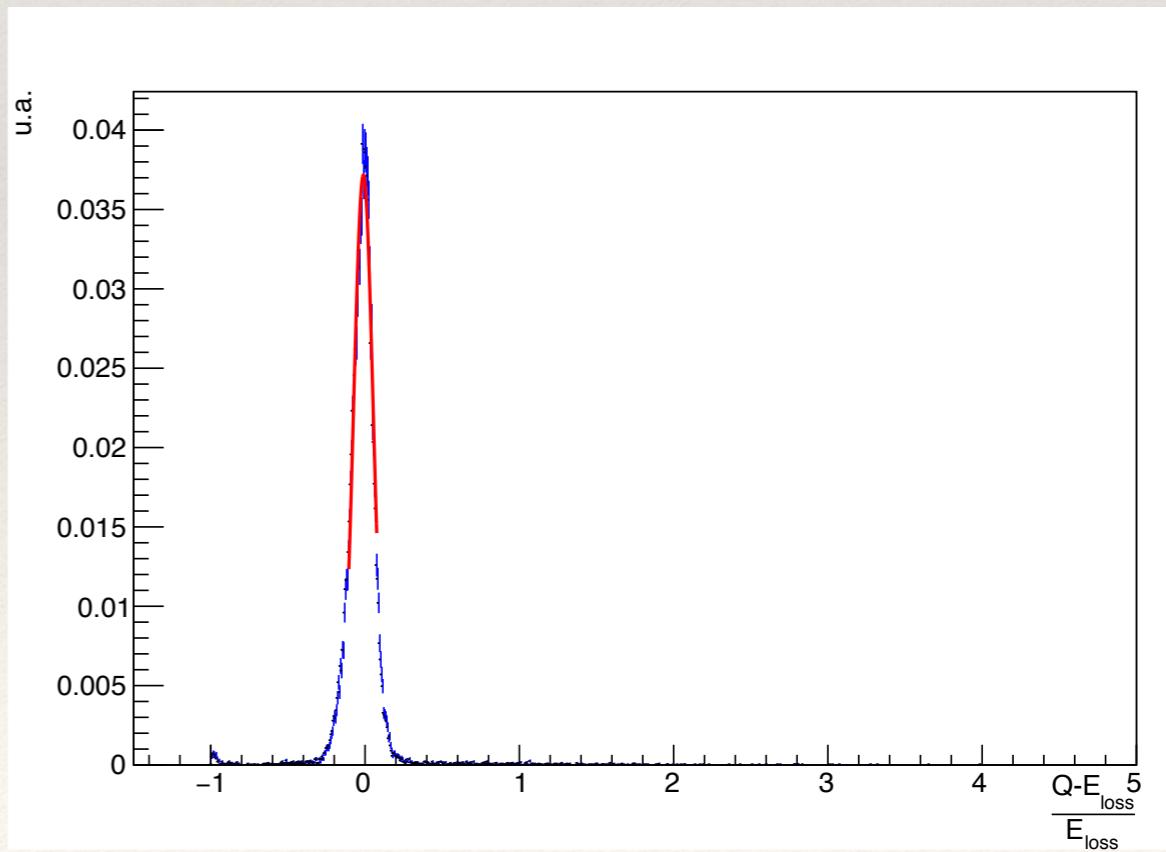
```



```

FCN=96.6216 FROM MIGRAD     STATUS=CONVERGED      83 CALLS      84 TOTAL
                           EDM=1.10265e-09   STRATEGY= 1    ERROR MATRIX
ACCURATE
EXT PARAMETER
NO. NAME          VALUE           ERROR        STEP SIZE        FIRST DERIVATIVE
 1 Constant      3.71693e-02  3.72231e-04  1.29715e-06  -6.86835e-02
 2 Mean          -1.09792e-02  6.22480e-04  3.00106e-06  5.54702e-03
 3 Sigma         6.34458e-02  8.06371e-04  1.75486e-05  5.05401e-03

```

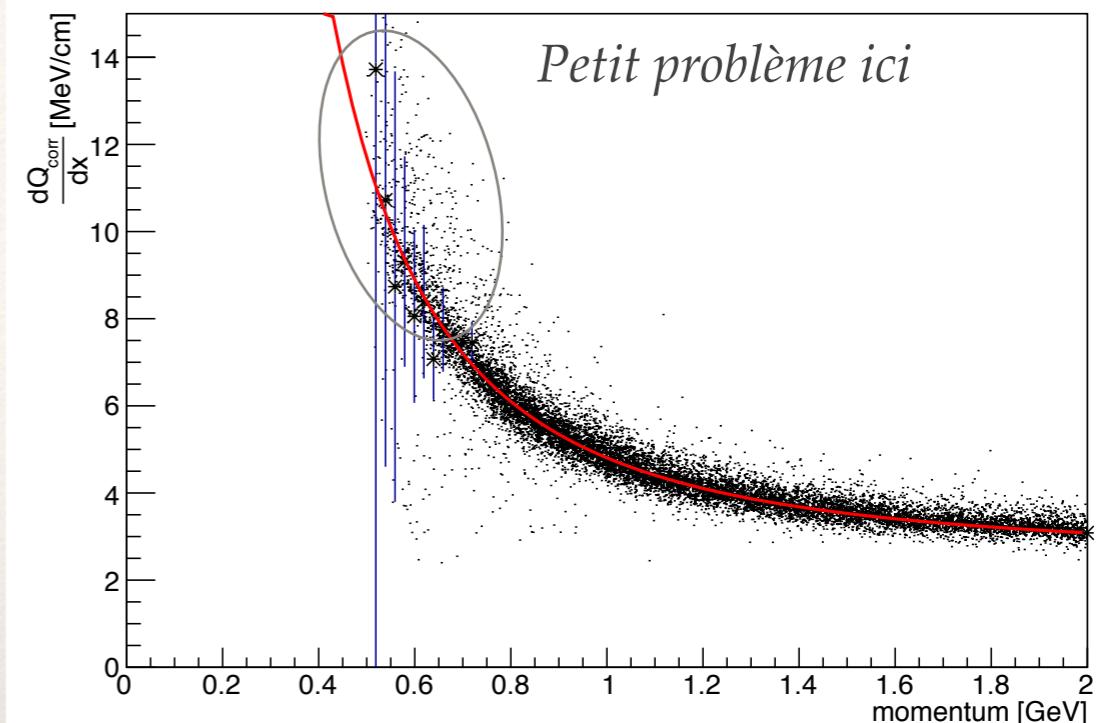


- ❖ Au premier ordre et pour des énergies « intermédiaires », nous pouvons approximer Bethe & Bloch par une fonction du type

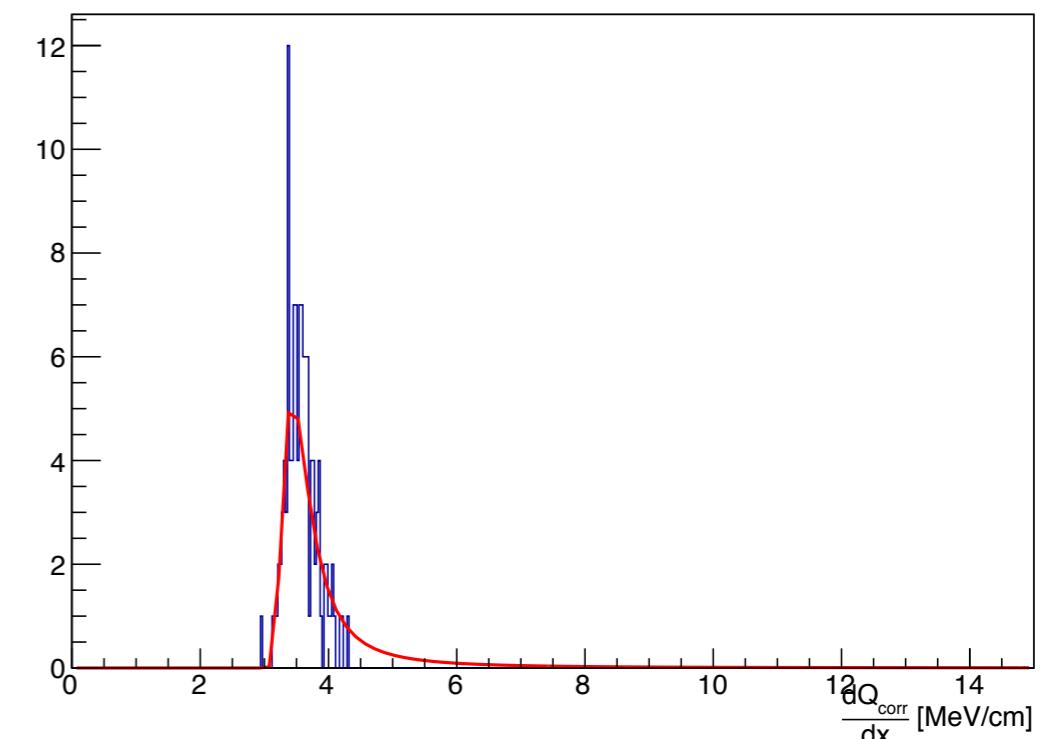
$$\frac{dE}{dx} = K \cdot \frac{M^2}{p^2} + C$$

- ❖ On détermine alors les paramètres **K** et **C** avec des particules M.S.  
—> utilisation des paramètres dans SUSY
- ❖ Détermination des paramètres :
  - on ne prend que des **protons**
  - on utilise l'**information reconstruite et corrigée par la méthode** mise en place
  - projection sur l'axe  $dQ_{\text{corr}}/dx$  —> distribution de Landau
  - > Fit de Landau —> on récupère la MPV
  - on fit l'ensemble des points par notre fonction

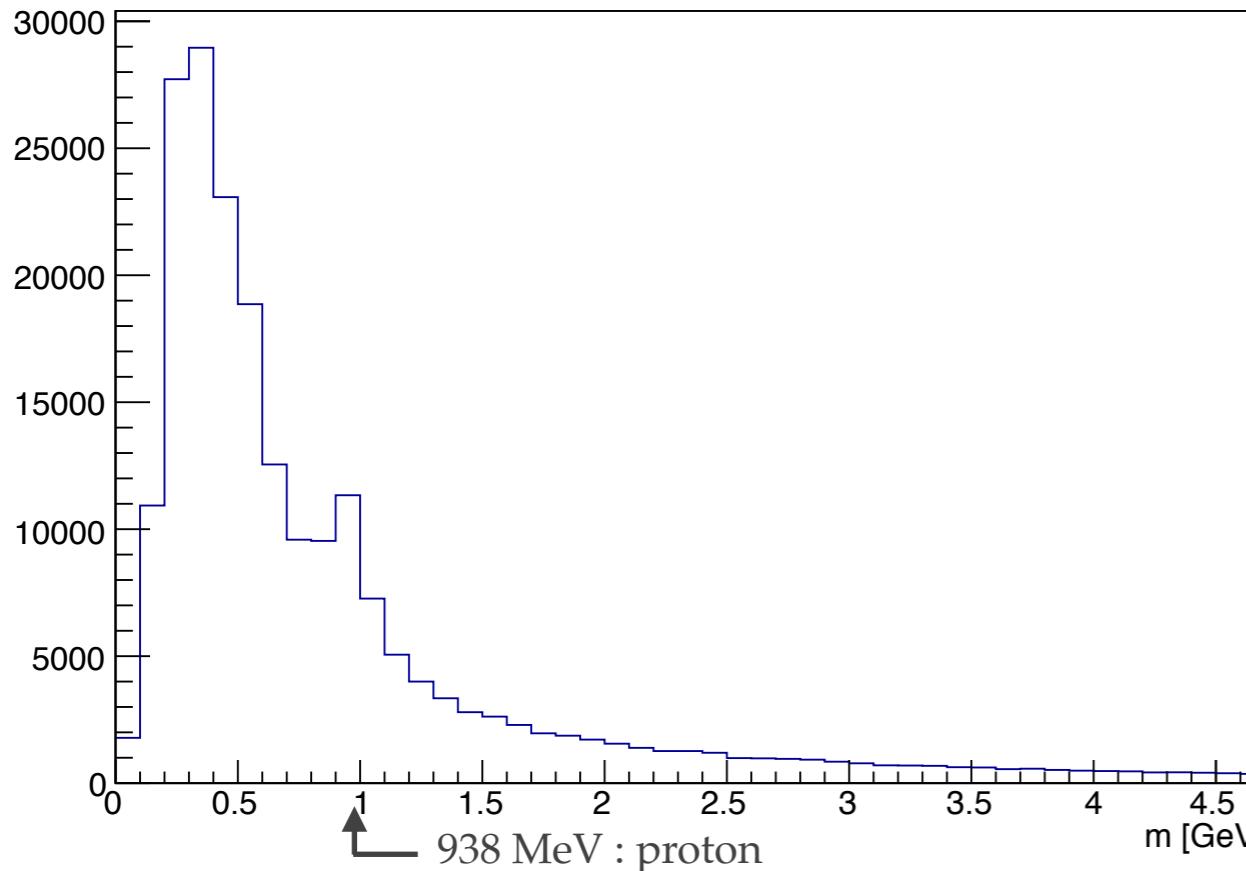
## Paramétrisation de Bethe & Bloch dans les données



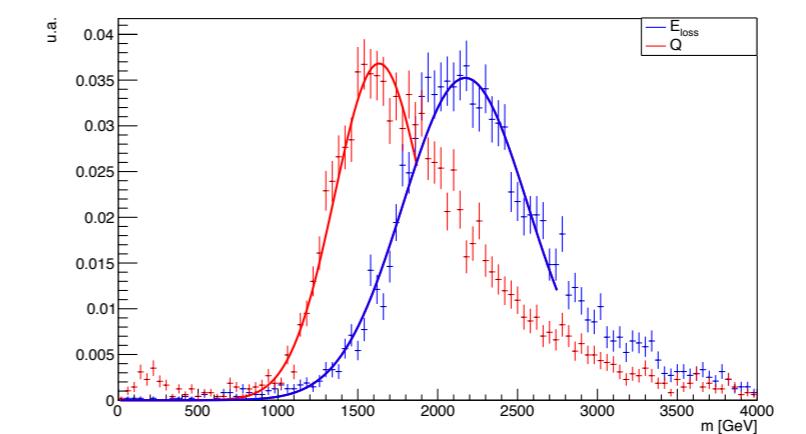
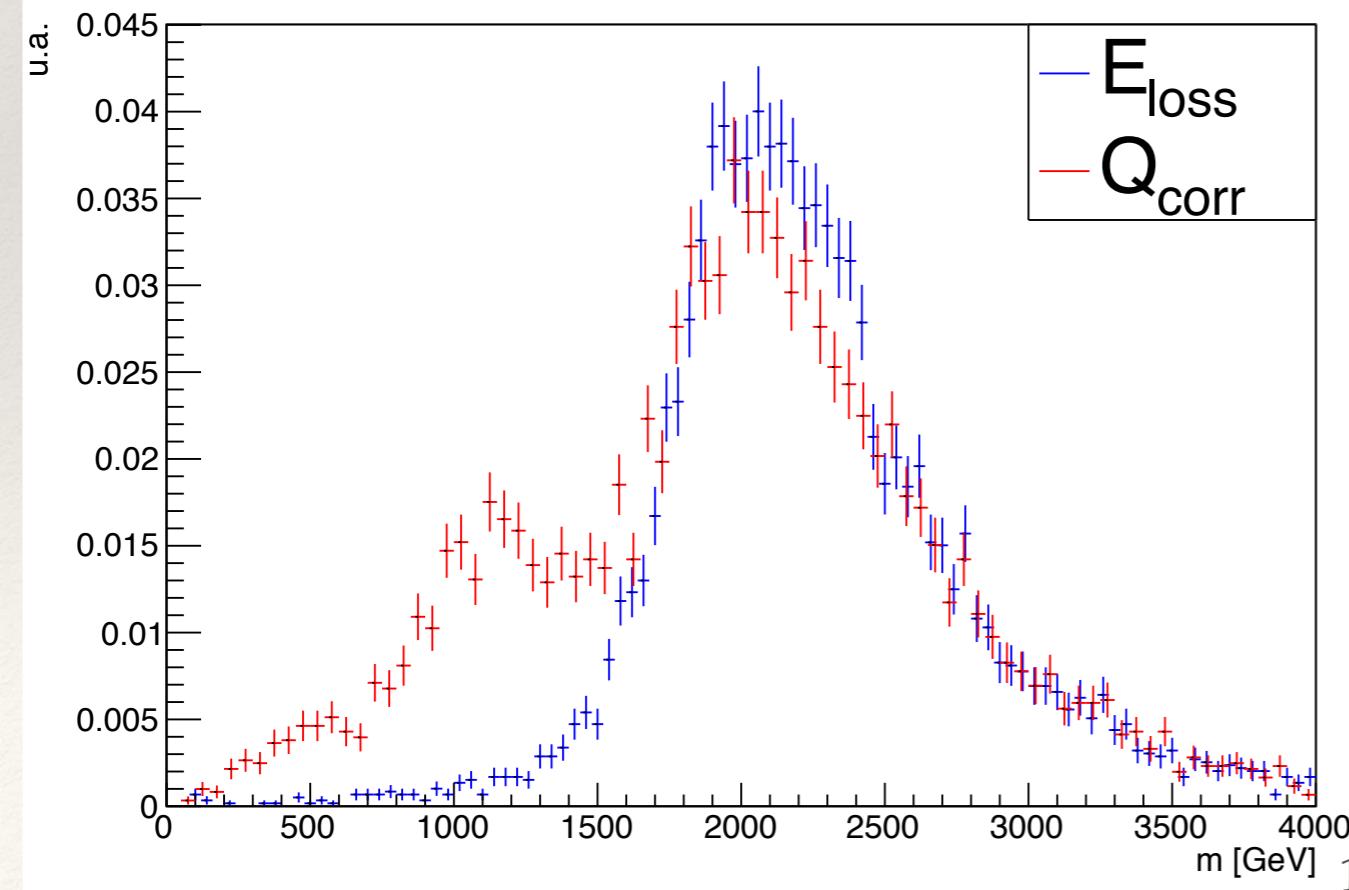
**C=2.51 et K=2.61**



# Reconstruction de la masse



- ❖ La reconstruction de la distribution de masse invariante à l'aide de notre méthode donne des **résultats concluants**.  
→ écart par rapport à  $E_{\text{loss}}$  considérablement réduit
- ❖ On observe toujours un biais  
→ **tunning** des paramètres K et C



**X** : pas de saturation

**O** : saturation

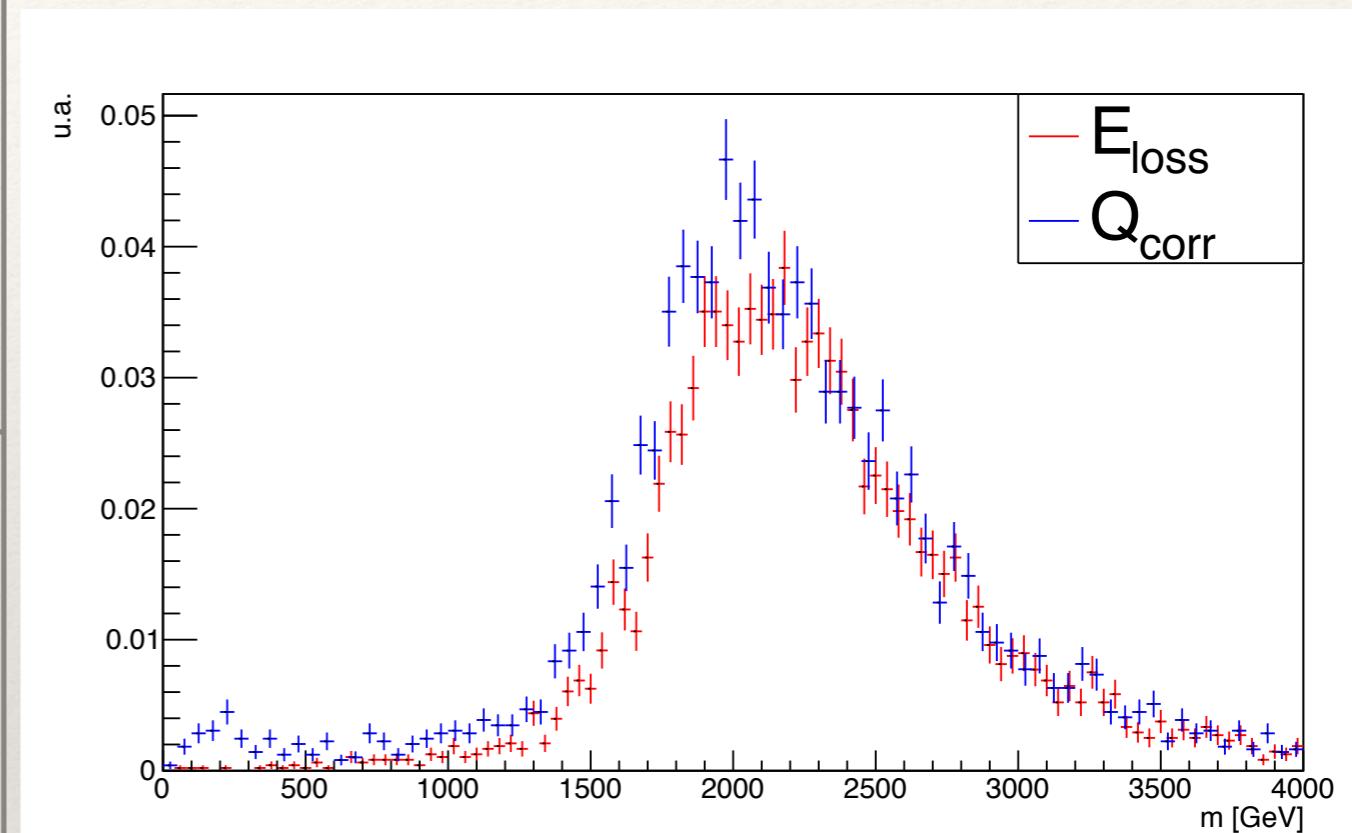
- ❖ Ratio nombre de clusters saturés < 60%  
—> on utilise **seulement la charge de ceux qui n'ont pas saturé**

**X** : pas de saturation

**O** : saturation

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

## Amélioration de la reconstruction



# Significance