



GLAST LAT Project

Projet GLAST

Contribution à l'Etalonnage en Energie du LAT

Johan Bregeon, groupe Astroparticules CENBG

Etalonnage du LAT

- Présentation de GLAST
 - Instruments et sources
 - Etalonnage en vol
- Expérience ions lourds au GANIL
- Travaux en cours

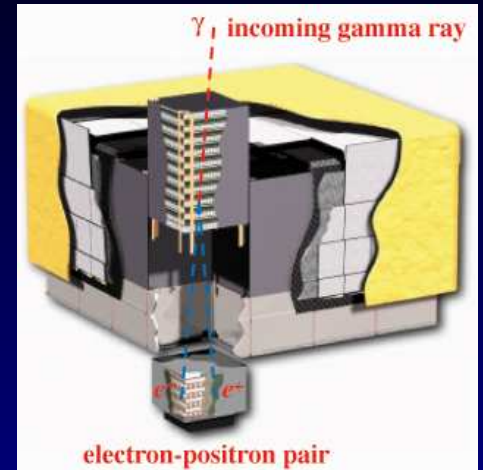
Etalonnage du LAT

- Présentation de GLAST
 - Instruments et sources
 - Etalonnage en vol
- Expérience ions lourds au GANIL
 - Objectifs
 - Méthode
 - Résultats des mesures
- Travaux en cours

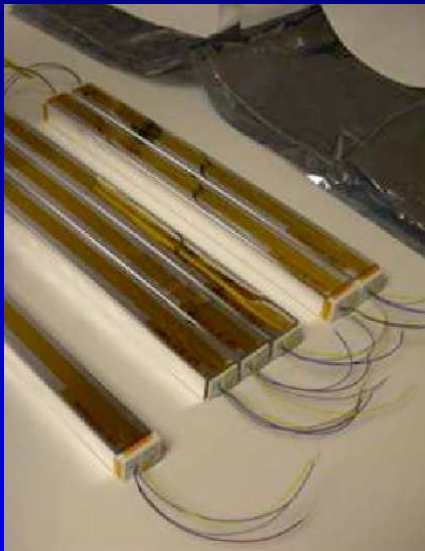
GLAST - télescope spatial 2007

- 2 instruments : le LAT et le GBM
- LAT : photons γ de 20MeV à 300GeV,
 $r < 0.15^\circ (> 10GeV)$, sur 2 sr
- Blazars, pulsars, sursauts γ , fond diffus,
sursauts solaires... matière noire ?

Vue du LAT



Barreau de CsI



- le LAT : 16 tours, trajectographe en silicium/tungstène et calorimètre en CsI
- Conversion dans le tungstène, cascade électromagnétique dans le calorimètre
- Barreau de CsI : Dépôt d'énergie par ionisation, lumière, photodiodes, étalonnage
→ énergie mesurée!

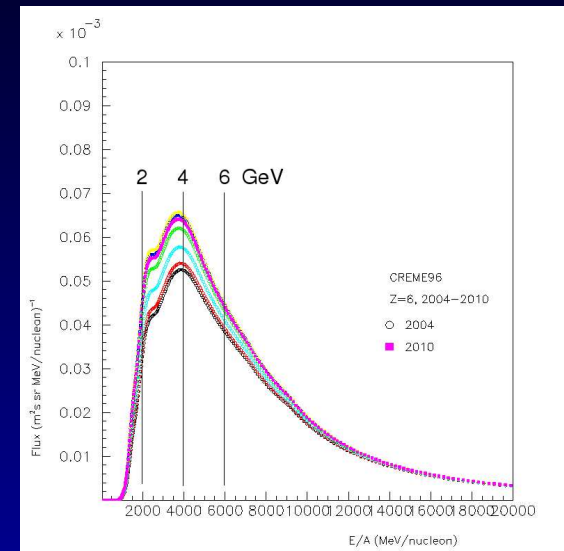
GLAST - Etalonnage en énergie 1

Les Rayons Cosmiques

 95% p, 5% He, et C, N , O, Fe...etc

 spectre en loi de puissance, coupé vers 1GeV par la magnétosphère, maximum entre 2 et 6GeV/nucléon

Spectre d'ions carbone



Taux de déclenchement de GLAST

Déclenchement	Taux moyen
Niveau 1	4000Hz
Niveau 3	25-30Hz
Taux de γ	$\simeq 15\text{Hz}$

Réjection du bruit de fond

 A.C.D. : Anti Coincidence Detector

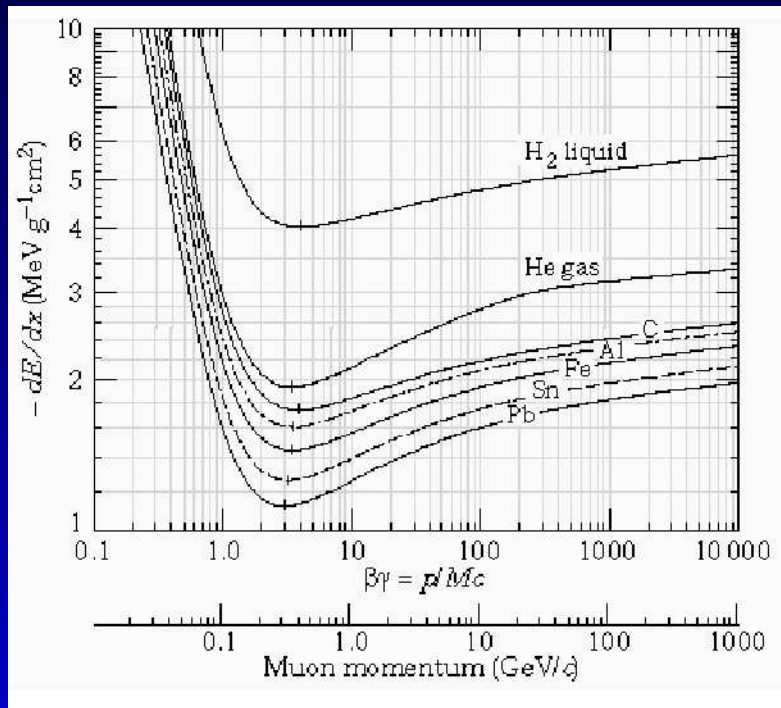
 Réjection des réactions nucléaires

GLAST - Etalonnage en énergie 2

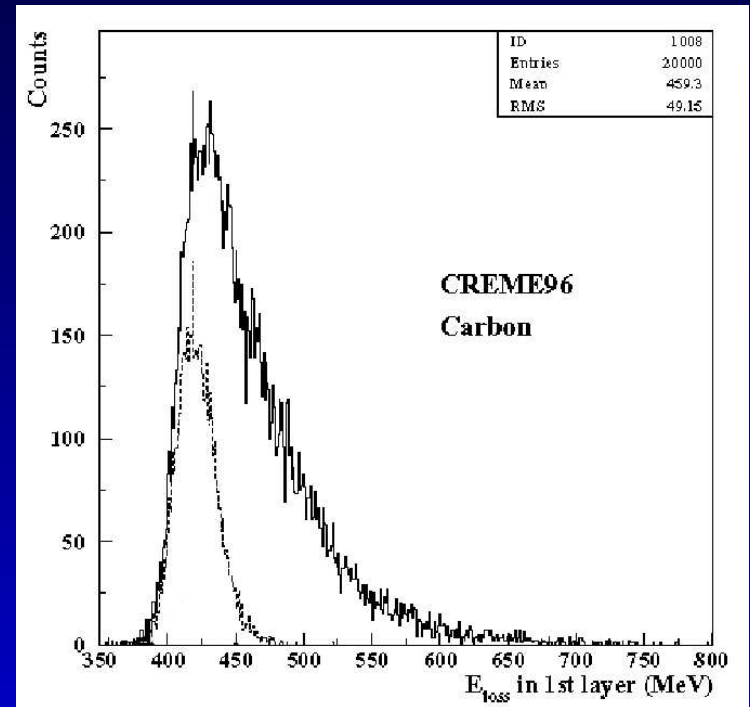


en vol : ions cosmiques proches du minimum d'ionisation

$dE/dx (MeV.g^{-1}.cm^2)$



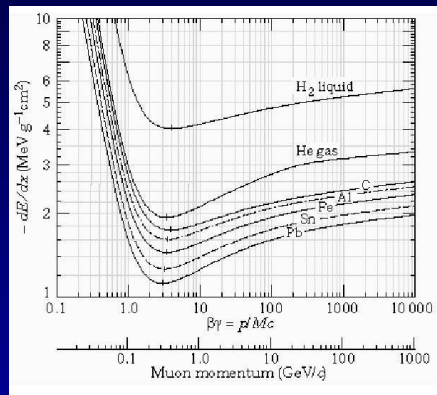
Dépôt d'énergie



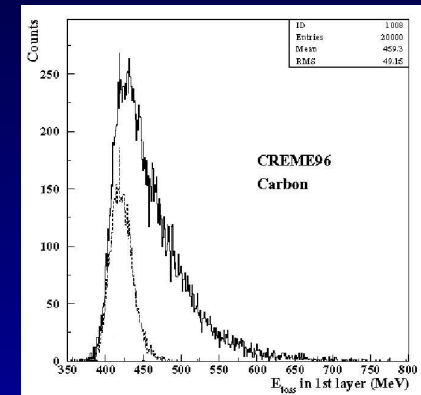
GLAST - Etalonnage en énergie 2

 en vol : ions cosmiques proches du minimum d'ionisation

$dE/dx (MeV.g^{-1}.cm^2)$



Dépôt d'énergie

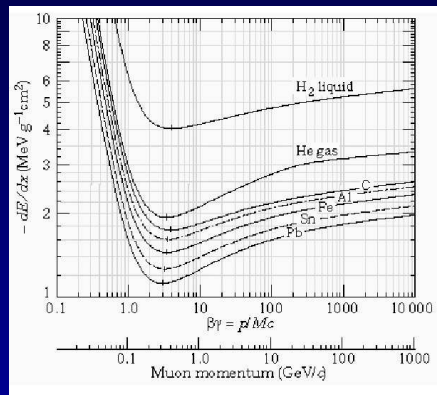


 effets de **quenching** dans le CsI, pour un ion ($^Z_A X, E$)

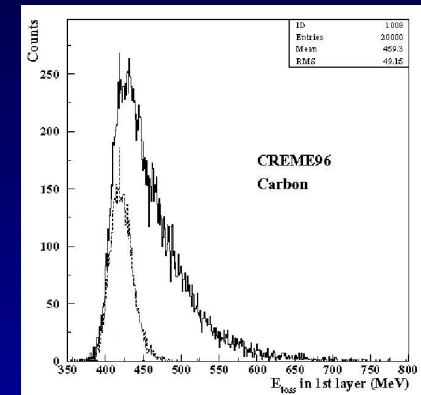
GLAST - Etalonnage en énergie 2

 en vol : ions cosmiques proches du minimum d'ionisation

$dE/dx (MeV.g^{-1}.cm^2)$



Dépôt d'énergie



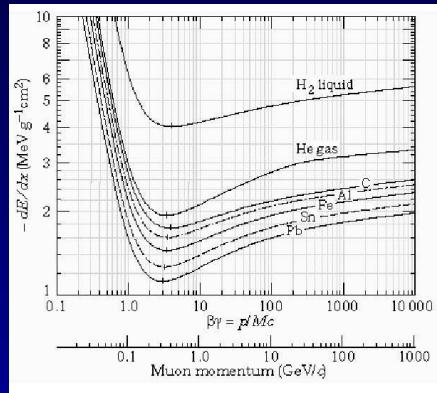
 effets de **quenching** dans le CsI, pour un ion ($^Z_A X, E$)

$$E_{Mesuree} \propto \text{Lumière} \propto E_{Deposee}$$

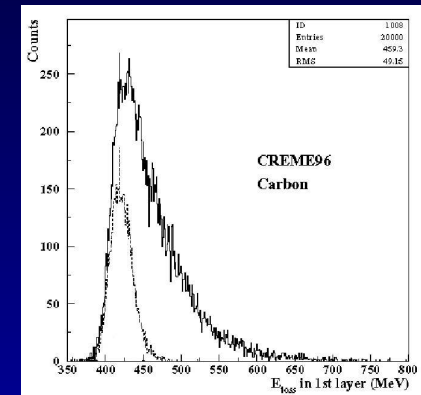
GLAST - Etalonnage en énergie 2

 en vol : ions cosmiques proches du minimum d'ionisation

$dE/dx (MeV.g^{-1}.cm^2)$



Dépôt d'énergie



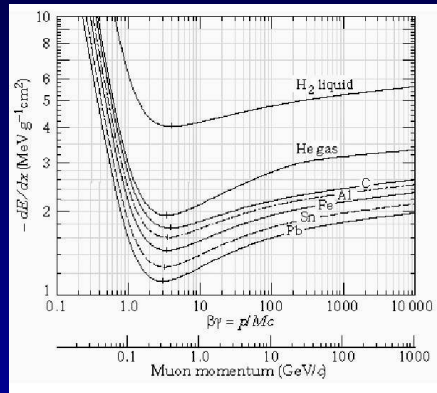
 effets de **quenching** dans le CsI, pour un ion ($^Z_A X, E$)

$$\text{Facteur de quenching} : \frac{dL(ion)}{dE(\gamma)}$$

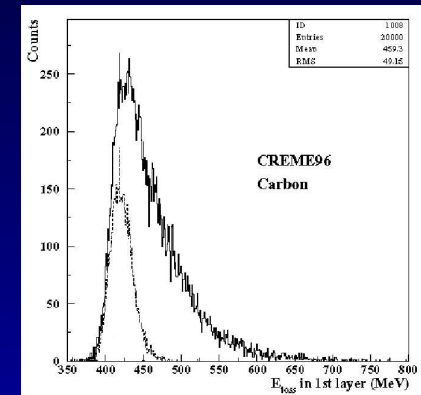
GLAST - Etalonnage en énergie 2

 en vol : ions cosmiques proches du minimum d'ionisation

$dE/dx (MeV.g^{-1}.cm^2)$



Dépôt d'énergie



 effets de **quenching** dans le CsI, pour un ion ($^Z_A X, E$)

Mesures lors des faisceaux Test GANIL et GSI

Etalonnage en énergie du LAT

-  Présentation de GLAST
-  Expérience ions lourds au GANIL
 - Objectifs
 - Méthode
 - Résultats des mesures
-  Travaux en cours

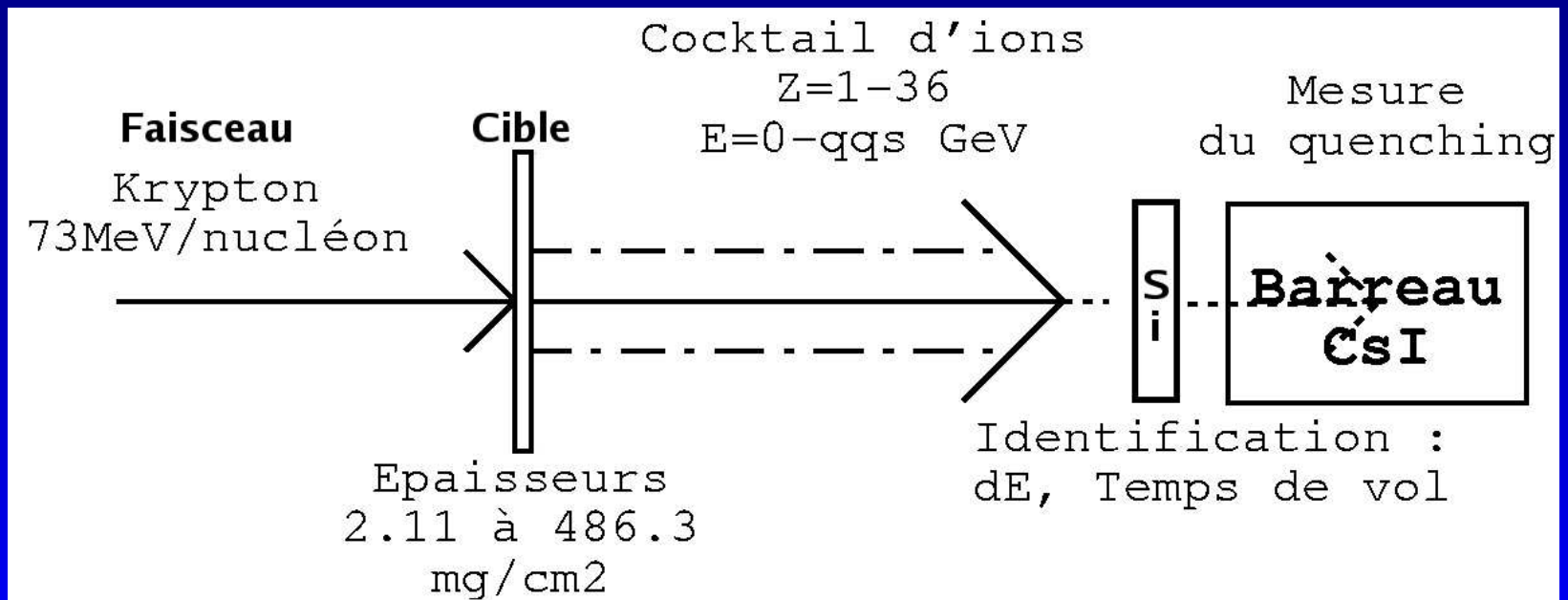
GANIL - objectifs

Objectif

- Mesure de la réponse des détecteurs CsI aux ions lourds de basse énergie, en particulier des effets de **quenching**

Méthode

- Production d'ions de nature et d'énergie différentes
- Téléscope : δE_{Si} (réponse linéaire) – E_{CsI} (**quenching**)



GANIL - Dispositif Expérimental

- Faisceau d'ions : ^{78}Kr ,
 $E = 73 MeV/\text{nucléon}$
- Cibles minces (Au et Pb)
- 2 barreaux de CsI
associés chacun à 3
détecteurs Silicium

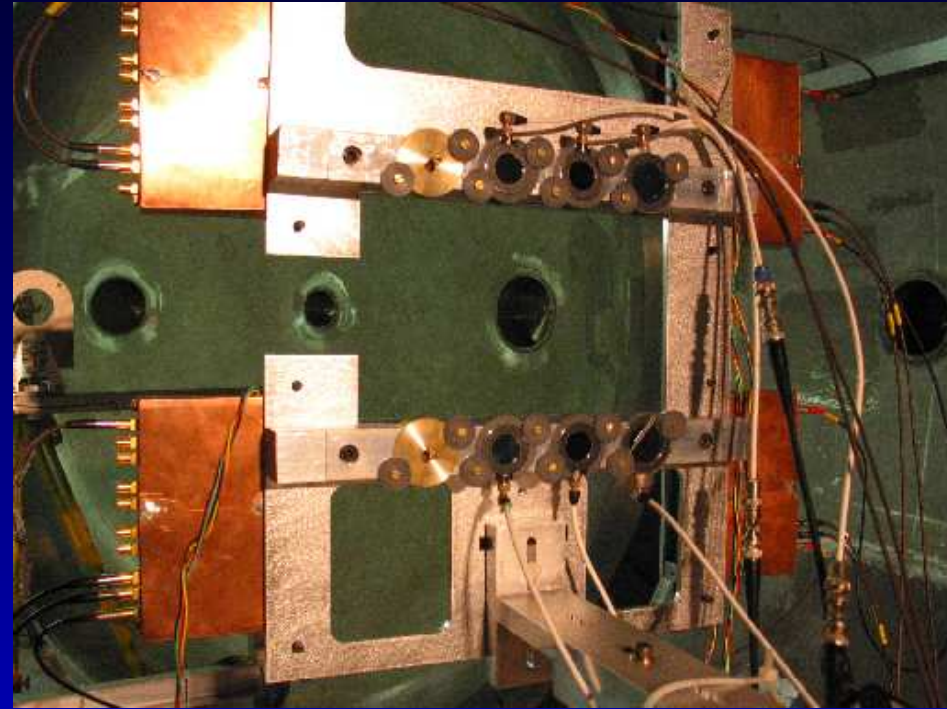
Détecteur en place dans la cuve à vide



GANIL - Dispositif Expérimental

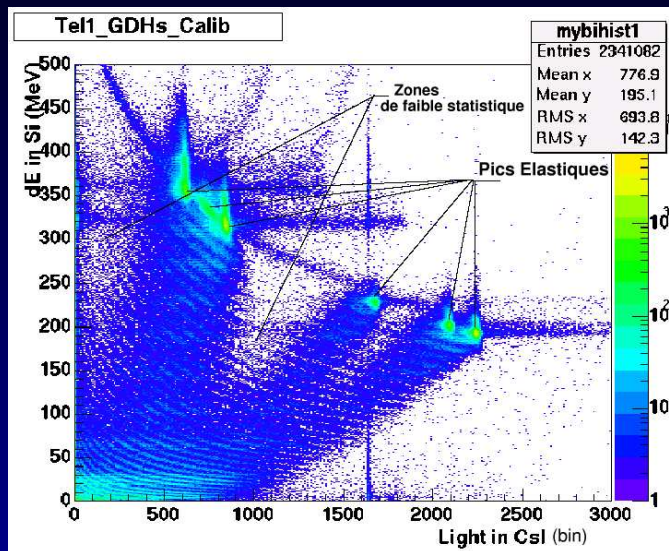
- Faisceau d'ions : ^{78}Kr ,
 $E = 73 MeV/\text{nucléon}$
- Cibles minces (Au et Pb)
- 2 barreaux de CsI
associés chacun à 3
détecteurs Silicium

Gros plan sur le détecteur

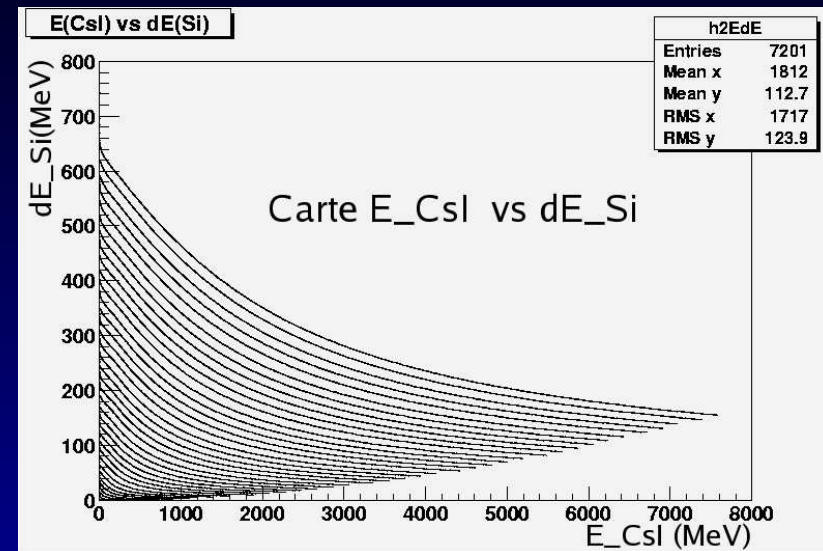


GANIL - détermination du quenching

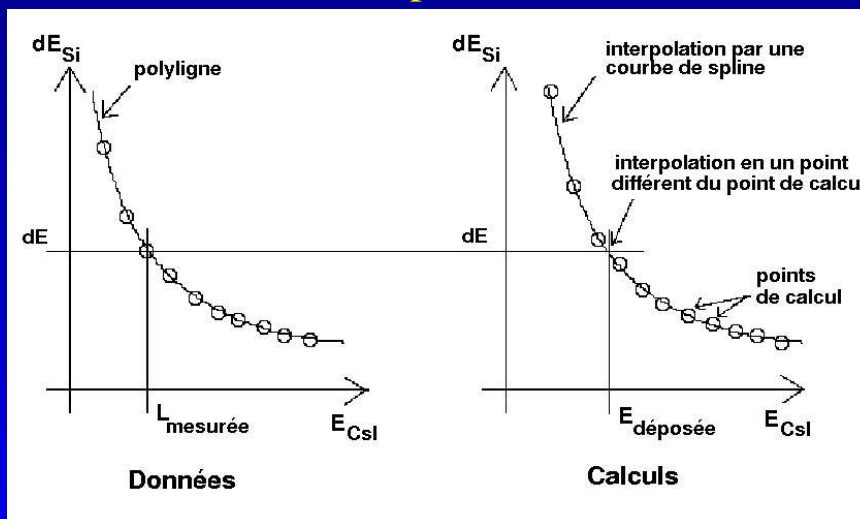
Données



Calculs



Interpolation



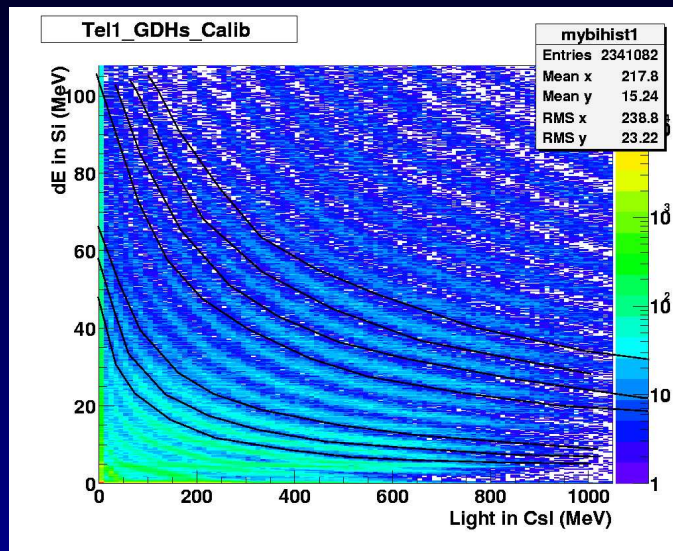
la pratique...

- Détermination des lignes de Z
- Calculs des dépôts d'énergie
- Interpolation de $E_{Déposée}$ à partir de $E_{Mesurée}$ pour un même dE_{Si}

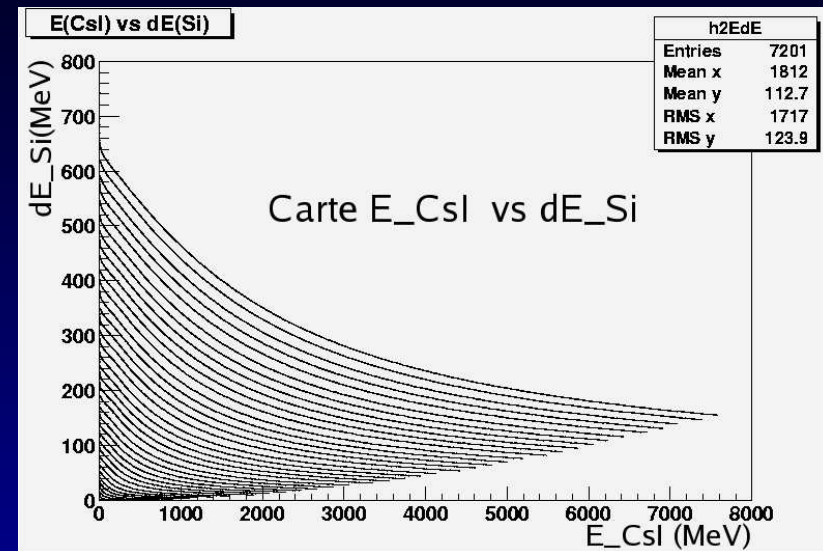
⇒ Quenching : $E_{Mesurée} \neq E_{Déposée}$

GANIL - détermination du quenching

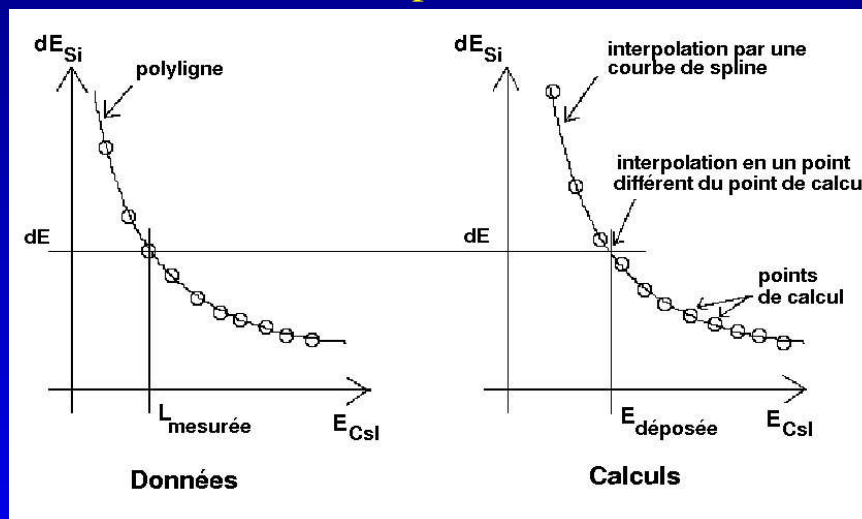
Données



Calculs



Interpolation



la pratique...



Détermination des lignes de Z



Calculs des dépôts d'énergie

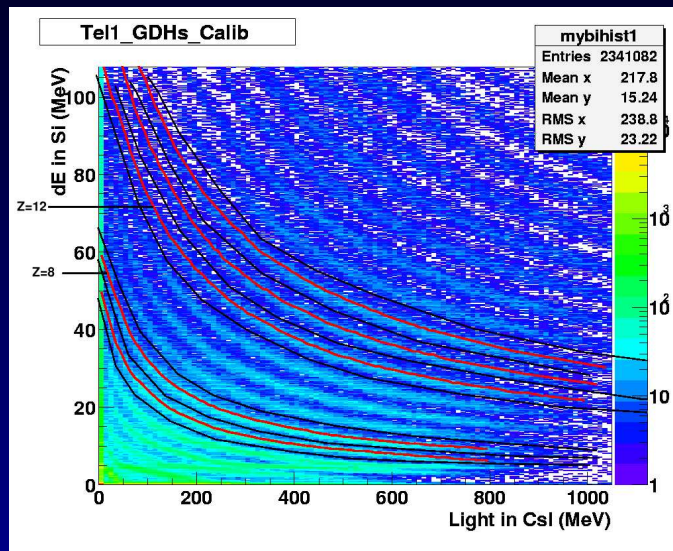


Interpolation de $E_{Déposée}$ à partir de $E_{Mesurée}$ pour un même dE_{Si}

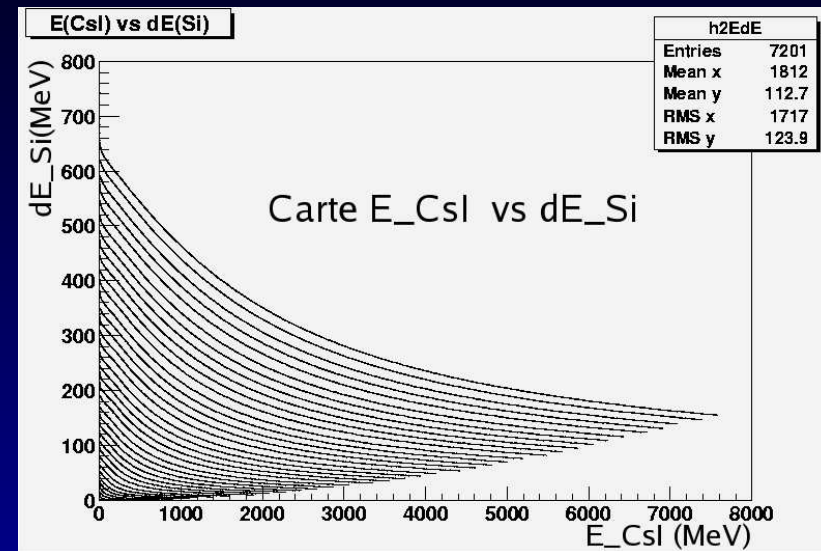
$\Rightarrow$ Quenching : $E_{Mesurée} \neq E_{Déposée}$

GANIL - détermination du quenching

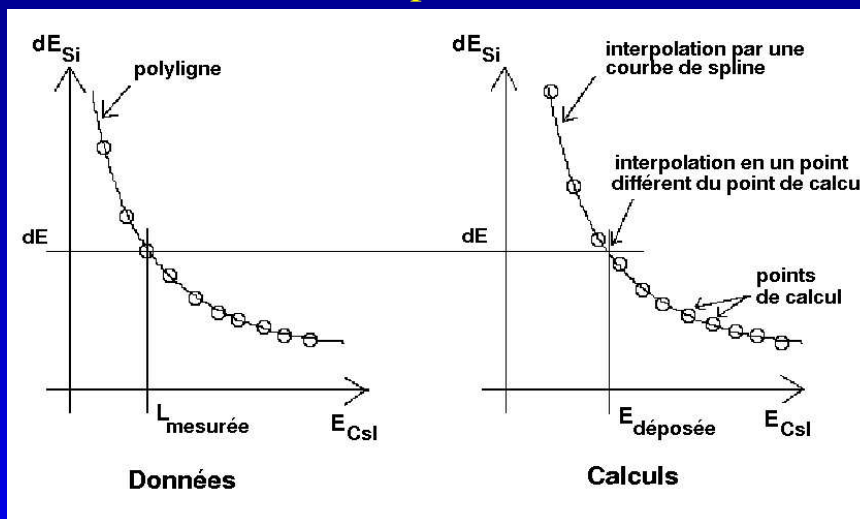
Données



Calculs



Interpolation



la pratique...



Détermination des lignes de Z



Calculs des dépôts d'énergie



Interpolation de $E_{Déposée}$ à partir de $E_{Mesurée}$ pour un même dE_{Si}

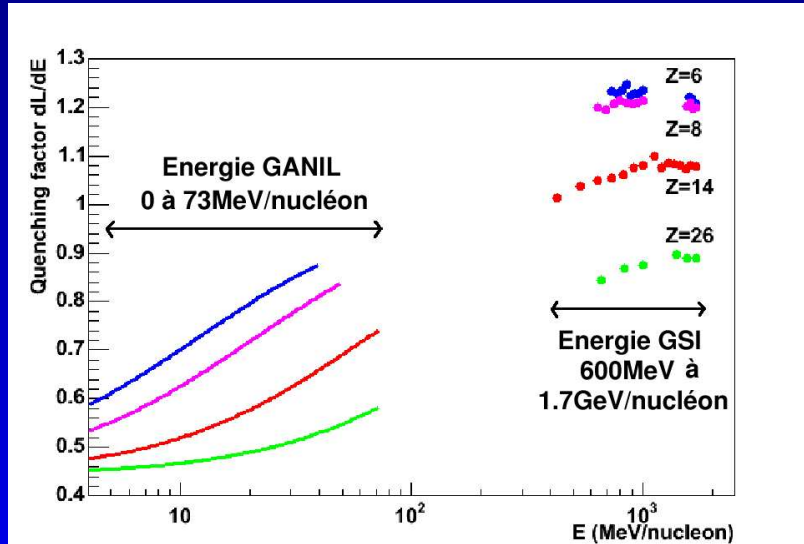
$\Rightarrow$ Quenching : $E_{Mesurée} \neq E_{Déposée}$

GANIL - résultats

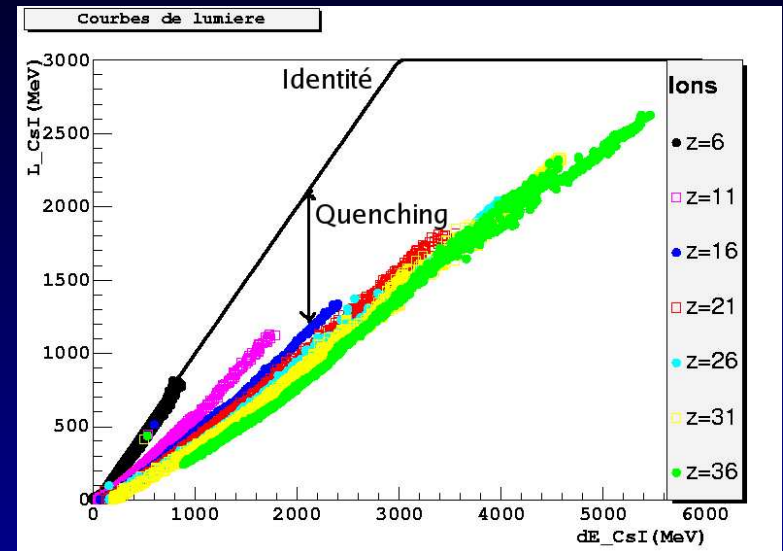
Fonction $F(Z, A, E_D)$

- Fonctionnelle à 4 paramètres (Parlog et al.)
- $Z=2-36$ de 0 à 73 MeV/nuc

Combinaison des mesures avec celles du GSI



Courbes ($E_{Mesuree}, E_{Deposee}$)



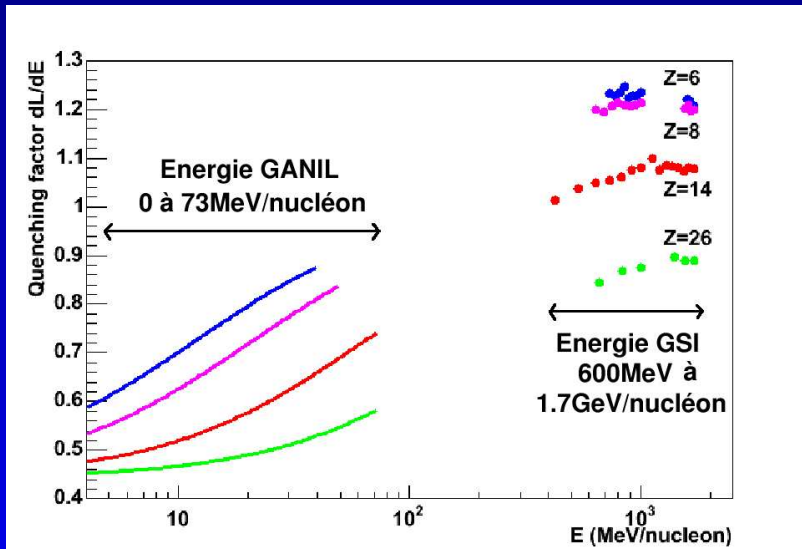
- Facteur de quenching
- Cohérence avec les résultats de l'expérience GSI

GANIL - résultats

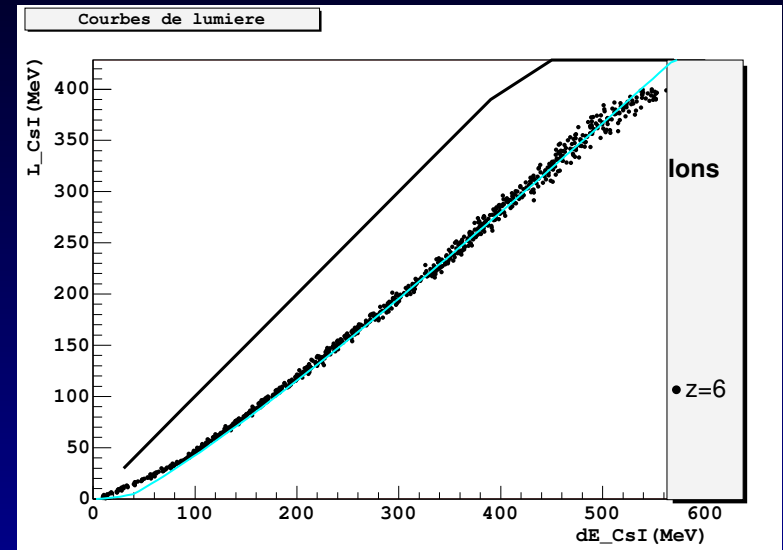
Fonction $F(Z, A, E_D)$

- Fonctionnelle à 4 paramètres (Parlog et al.)
- $Z=2-36$ de 0 à 73 MeV/nuc

Combinaison des mesures avec celles du GSI



Fonctionnelle pour le carbone



- Facteur de quenching
- Cohérence avec les résultats de l'expérience GSI

Travaux en cours

Réjection des réactions nucléaires

-  Faisceau Test GLAST au CERN et au GSI en 2003
-  Comparaison Données Faisceau et Simulation GEANT4

⇒ Validation des simulations de cascade hadronique

⇒ Validation des algorithmes de réjection

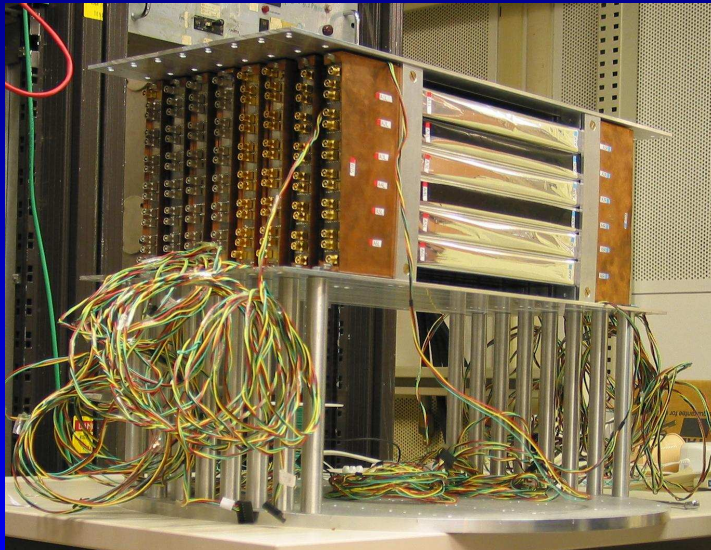
Travaux en cours - CERN

■ Faisceau tertiaire Proton 20GeV

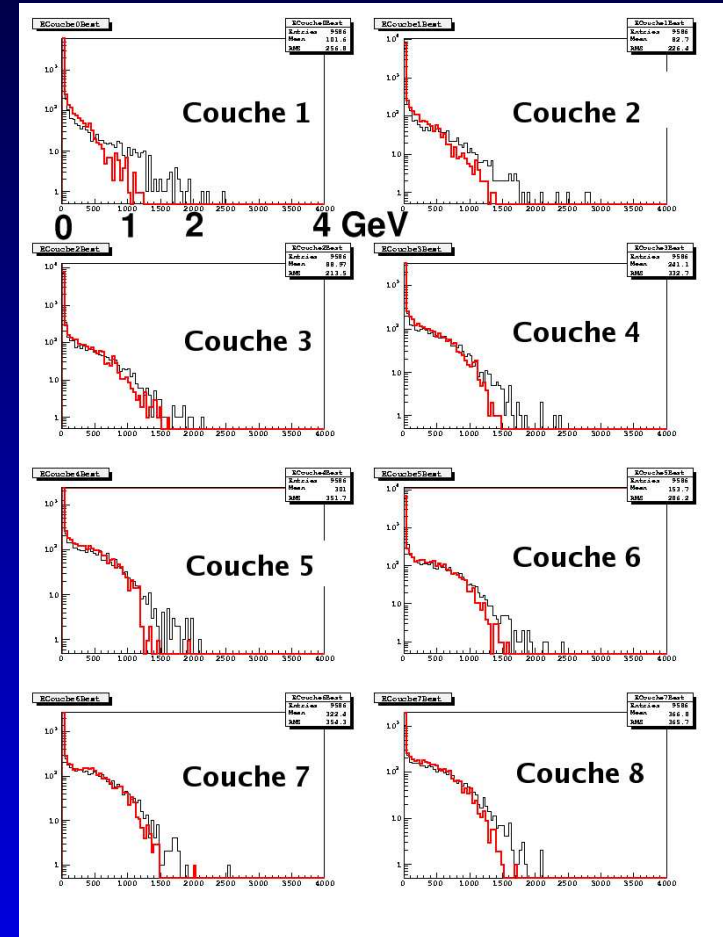
■ Observables : Energie par
barreau, nombre de barreaux
touchés

■ Comparaison Simulation
GEANT4 / Données CERN

Calorimètre utilisé au CERN



Dépôt d'énergie par couche



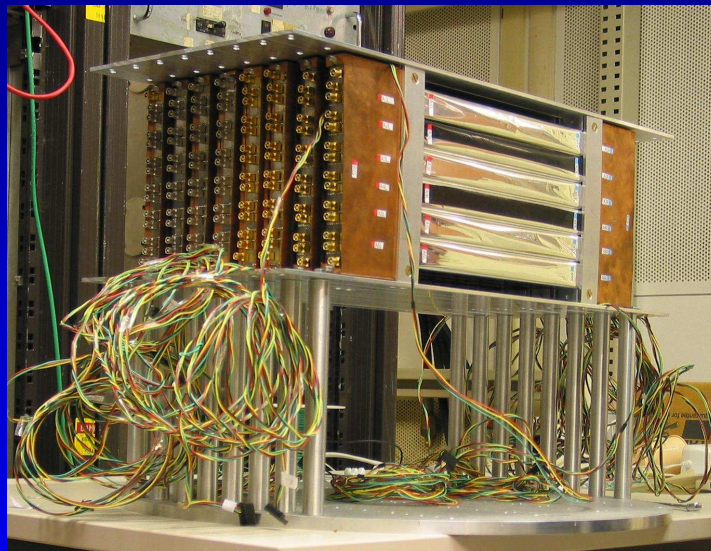
Travaux en cours - CERN

● Faisceau tertiaire Proton 20GeV

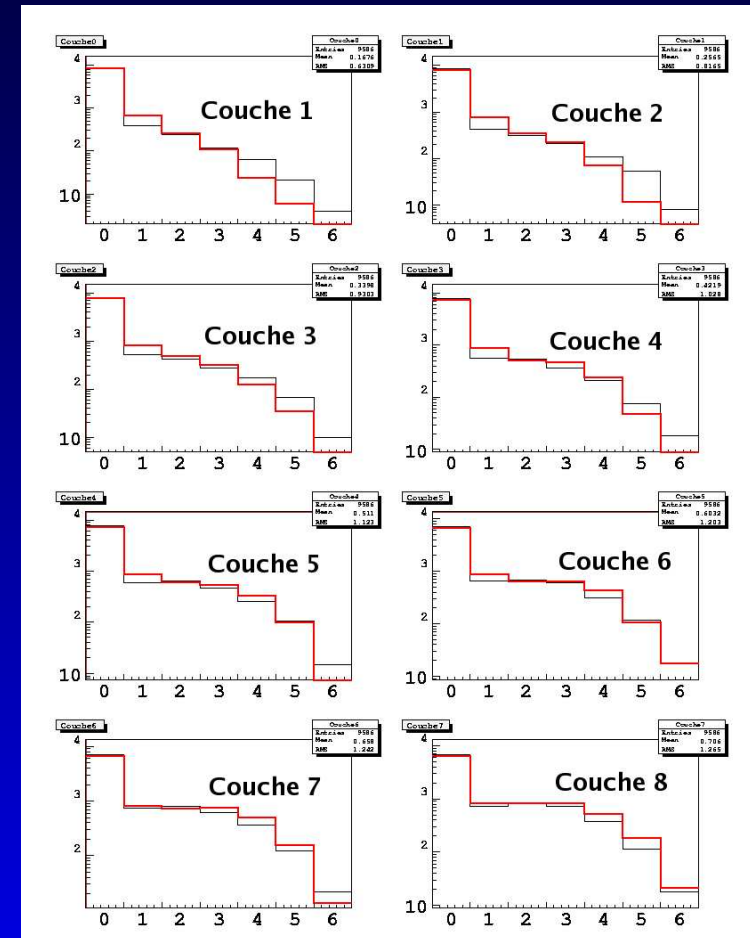
● Observables : Energie par
barreau, nombre de barreaux
touchés

● Comparaison Simulation
GEANT4 / Données CERN

Calorimètre utilisé au CERN



Nombre de barreaux touchés par couche

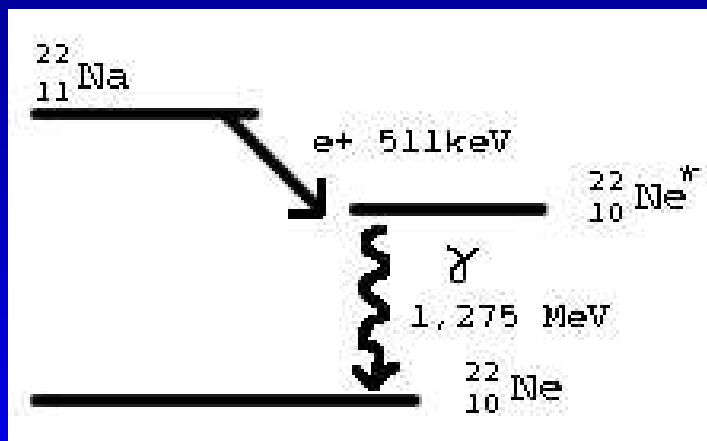


GANIL - étalonnage en énergie

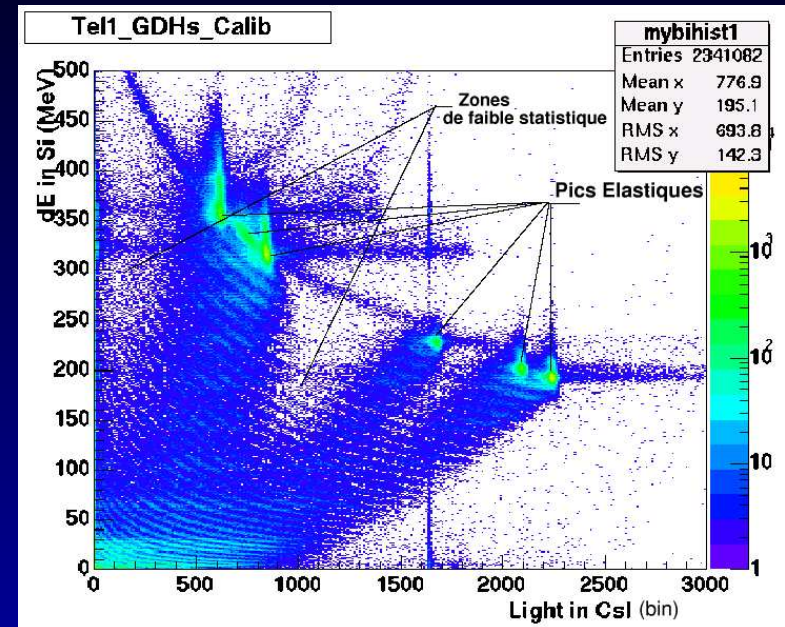
Détecteurs Silicium

- Carte (E_{CsI}, dE_{Si})
- Pic élastique : les ions de Krypton qui traversent la cible en n'interagissant que par ionisation.

Désintégration ^{22}Na



Pics Elastiques



Détecteurs CsI

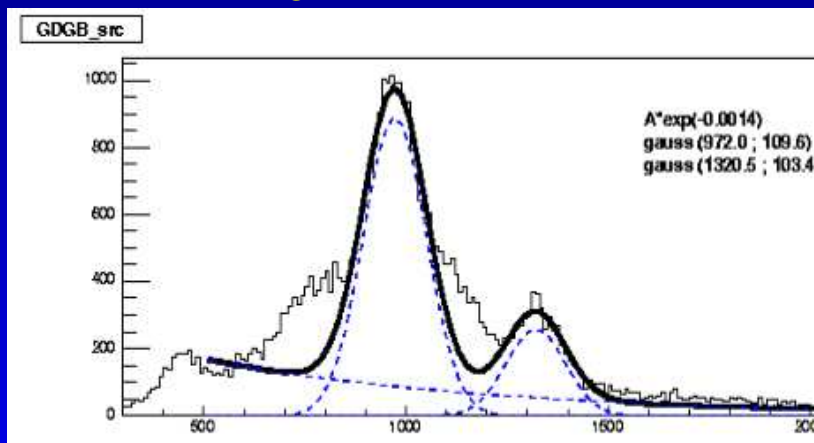
- Source ^{22}Na
- Pics à 1.275 MeV (γ) et 1.786 MeV ($e^+ + \gamma$)
- Amplificateurs

GANIL - étalonnage en énergie

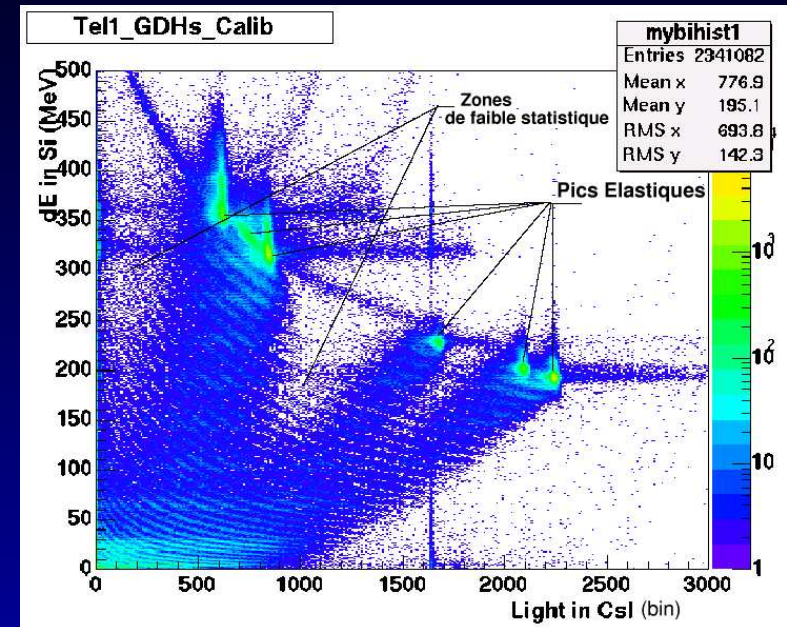
Détecteurs Silicium

- Carte (E_{CsI}, dE_{Si})
- Pic élastique : les ions de Krypton qui traversent la cible en n'interagissant que par ionisation.

Energie dans un barreau



Pics Elastiques



Détecteurs CsI

- Source ^{22}Na
- Pics à 1.275MeV (γ) et 1.786MeV($e^+ + \gamma$)
- Amplificateurs

Dépôt d'énergie par ionisation

Formule de Bethe-Bloch (selon le P.D.G.)

→ particule (z, β), matériau (Z,A) d'épaisseur dx

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

où $\frac{K}{A} = \frac{4\pi N_A r_e^2 m_e c^2}{A} = 0.307075 \text{ MeV.g}^{-1}.\text{cm}^2$ pour $A = 1 \text{ g.mol}^{-1}$

$r_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e c^2} = 2.817940325 \text{ fm}$ rayon classique de l'électron

T_{max} est l'énergie cinétique maximum qui peut être donné à un électron libre à la suite d'une collision.

δ permet de corriger des effets de densité.

I est l'énergie moyenne d'excitation en eV .

$N_A = 6.0221415 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ est le nombre d'Avogadro.

$m_e c^2 = 0.510998918 \text{ MeV}$ est la masse de l'électron.

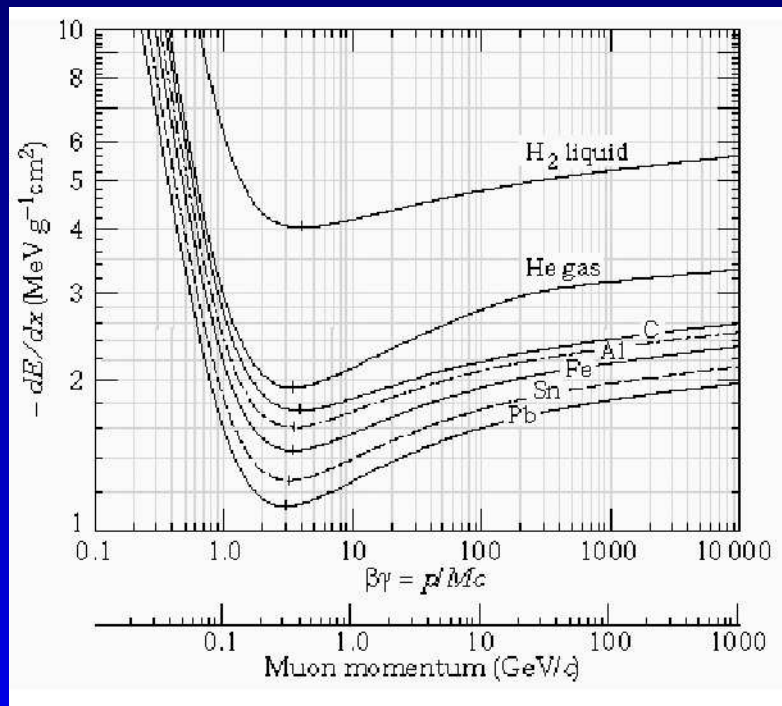
Précision $\approx 1\%$ pour un pion d'énergie $40 \text{ MeV}/c$ et $6 \text{ GeV}/c$

Dépôt d'énergie par ionisation

Formule de Bethe-Bloch (selon le P.D.G.)

→ particule (z, β), matériau (Z,A) d'épaisseur dx

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



INDRA

-  Détecteur axisymétrique 4π
-  CsI(Tl) / tubes photomultiplicateurs
-  Produits de réaction nucléaire
-  Dynamique : 1MeV - 6GeV

Forme fonctionnelle simplifiée

INDRA

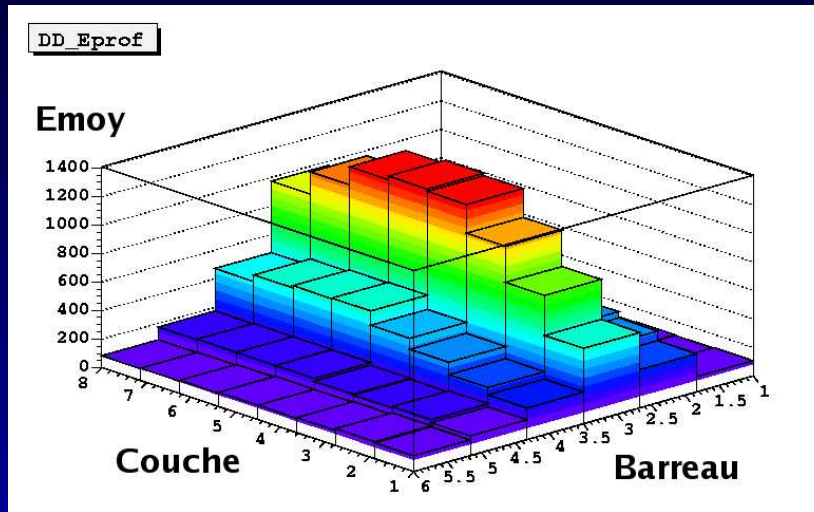
Forme fonctionnelle simplifiée

$$L = a_1 \left\{ E_0 \left[1 - a_2 \frac{AZ^2}{E_0} \ln \left(1 + \frac{1}{a_2 \frac{AZ^2}{E_0}} \right) \right] + a_4 a_2 AZ^2 \ln \left(\frac{E_0 + a_2 AZ^2}{E_\delta + a_2 AZ^2} \right) \right\}$$

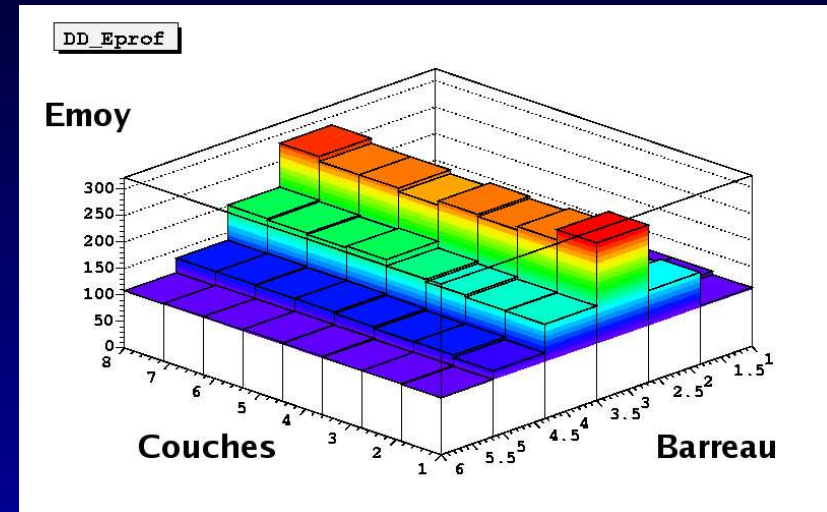
- où
- **L** est la quantité de lumière générée dans le CsI.
 - **E₀** est l'énergie déposée dans le CsI.
 - **Z** et **A** sont respectivement le numéro atomique et la masse de l'ion.
 - **a₁** caractérise le **gain** et vaut théoriquement 1. dans notre cas.
 - **a₂** caractérise le **quenching**.
 - **a₃** et **a₄** permettent de prendre en compte les électrons δ .
 - dans cette approximation, **a₄ = 0** pour $E/A \leq a_3$ et **a₄ ≠ 0** sinon.
 - $E_\delta = A \times a_3$

Profils de cascades

Cascade Electromagnétique



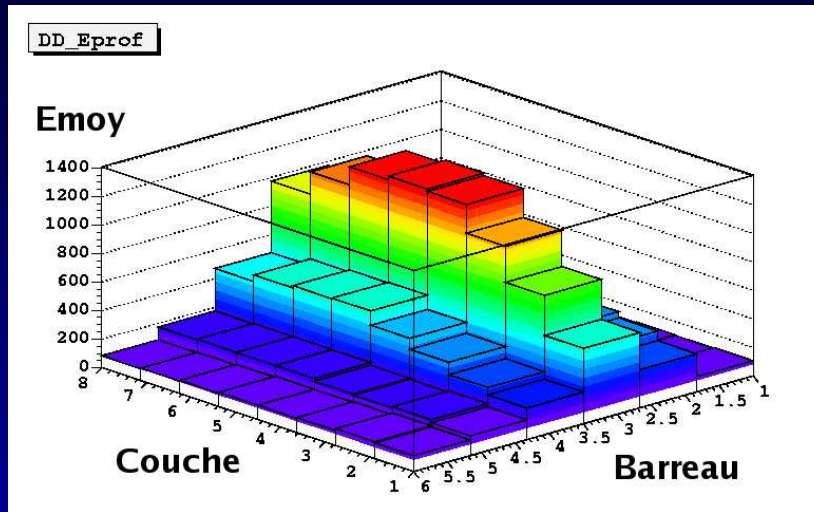
Cascade Hadronique



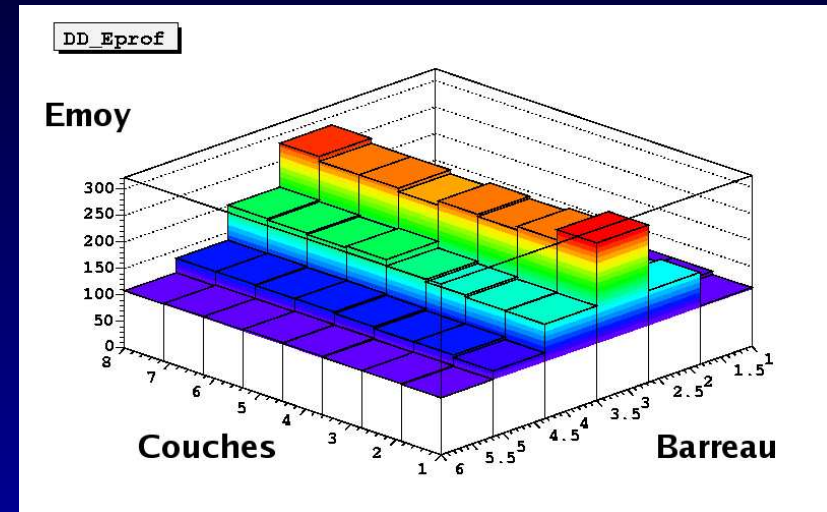
Données Faisceau Test CERN à 20GeV

Profils de cascades

Cascade Electromagnétique



Cascade Hadronique



Données Faisceau Test CERN à 20GeV