

ALFA

## Absolute Luminosity For ATLAS

Mesure de la luminosité absolue pour l'expérience ATLAS et de la section efficace totale proton-proton

M. HELLER

[heller@lal.in2p3.fr](mailto:heller@lal.in2p3.fr)

Directeur de thèse: P. PUZO

LAL-Orsay  
JJC 2008

01-06/12/2008

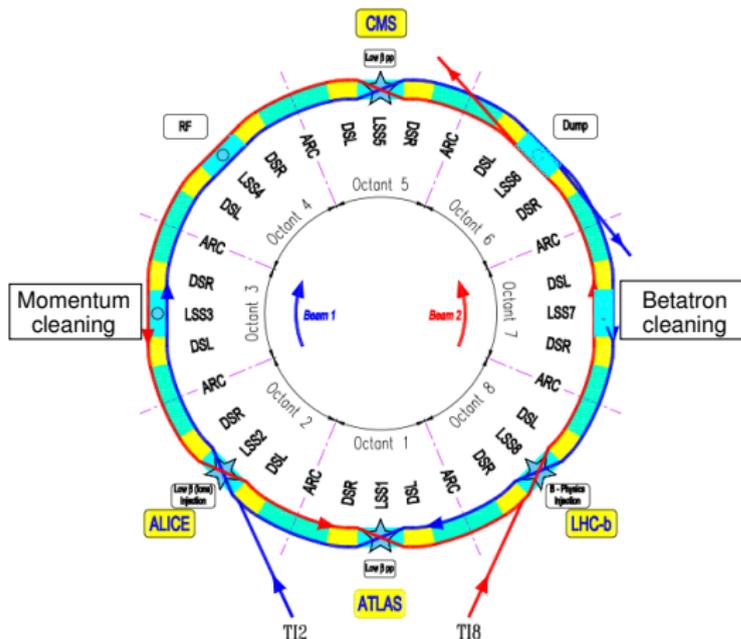


- 1 Introduction
- 2 Description du détecteur ALFA
- 3 Simulation des événements ALFA
- 4 Faisceau-test au CERN, août 2008



- 1 Introduction
- 2 Description du détecteur ALFA
- 3 Simulation des événements ALFA
- 4 Faisceau-test au CERN, août 2008





## Caractéristiques de la machine

- Collisions proton-proton
- 27 km de circonférence
- 4 expériences majeures (ALICE, ATLAS, CMS, LHCb)
- 9593 aimants supraconducteurs à 1.9 K dont 1232 dipôles à 8.3 T

## Caractéristiques nominales du faisceau

- 14 TeV dans le centre de masse
- 2808 paquets
- $1.15 \cdot 10^{11}$  protons par paquet
- Une collision toutes les 25 ns
- Luminosité instantanée de  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$



- Luminosité instantanée : Nb d'interactions par  $\text{cm}^2$  et par seconde.
- Elle dépend des paramètres du faisceau comme suit :

$$L = \frac{N^2 f_{rev} n_b}{4\pi\sigma^2}$$

$N$  : Nombre de particule par paquet

$f_{rev}$  : Fréquence de révolution

$n_b$  : Nombre de paquets circulant dans la machine

$\sigma$  : Largeur du faisceau



## Pourquoi ?

On souhaite mesurer  $\sigma = \frac{\dot{N}}{L}$

- On cherche à déterminer une section efficace
- Le détecteur nous fournit  $\dot{N}$
- mesurer  $\sigma \Leftrightarrow$  mesurer  $L$

## Comment ?

Dans ATLAS, deux détecteurs dédiés :

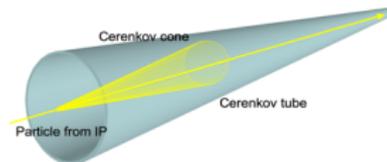
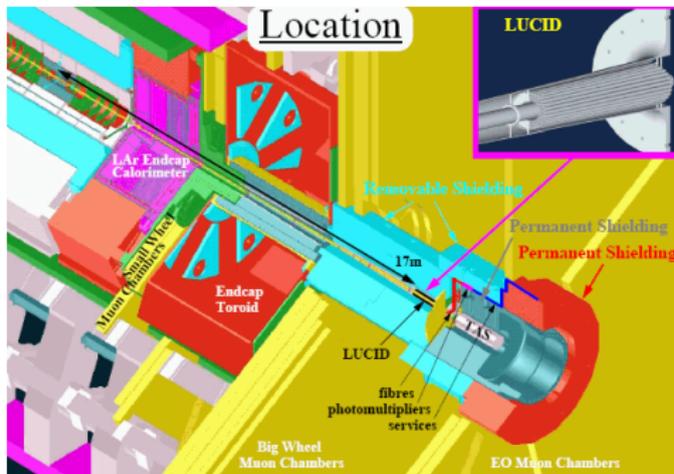
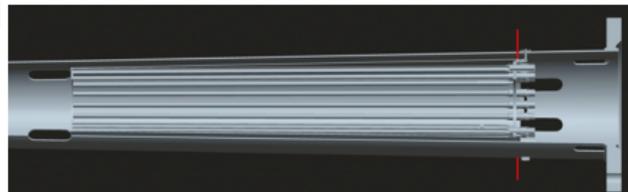
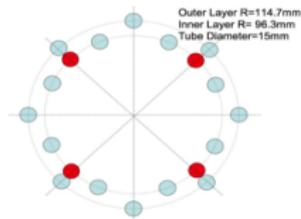
- **ALFA** : mesure de luminosité absolue mais pas avec optique de collision.
- **LUCID** : mesure de luminosité paquet par paquet, avec optique de collision, mais de manière relative.

⇒ **Solution** : ALFA mesurera la luminosité absolue avec une précision de **2-3 %** lors de **runs spéciaux effectués** en parallèle avec LUCID et ainsi permettra sa **calibration**. Ce dernier sera utilisé pendant toute la durée de fonctionnement du LHC.



## Principe

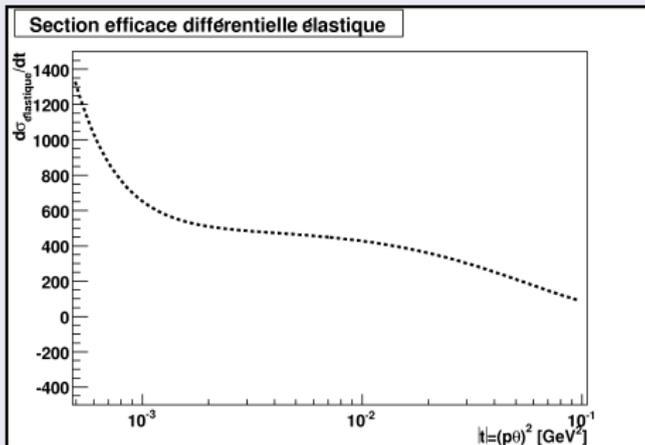
- Événements **inélastiques** interceptés pour  $5.5 \leq |\eta| \leq 6.1$
- Nombres de particules chargées détectées  $\propto$  luminosité
- Extrapolation de la mesure à basse luminosité grâce à une linéarité quasi-parfaite



## Principe

Utiliser un mécanisme dont la section efficace est bien connue et peut être calculée : **Diffusion élastique** des protons au point d'interaction. On peut exprimer la luminosité  $L$  en fonction de la section efficace différentielle élastique comme suit :

$$\frac{1}{L} \frac{dN}{dt}(t) = \frac{d\sigma_{el}}{dt}(t) \quad \text{avec} \quad -t = (p\theta)^2$$



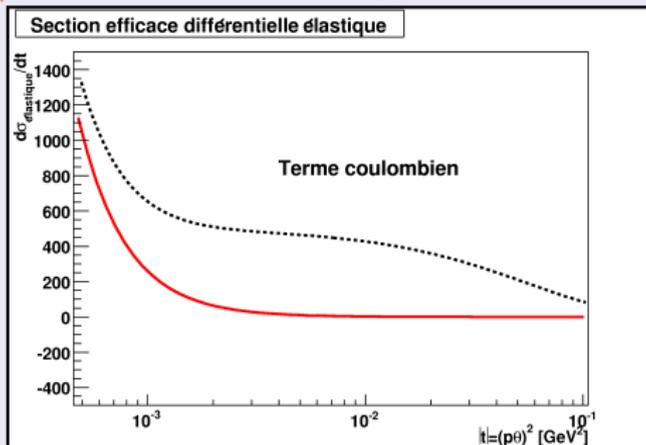
$\sigma_{tot}$ ,  $B$  et  $\rho$  trois paramètres hadroniques (paramètres libres du fit)

## Principe

Utiliser un mécanisme dont la section efficace est bien connue et peut être calculée :

**Diffusion élastique** des protons au point d'interaction. On peut exprimer la luminosité  $L$  en fonction de la section efficace différentielle élastique comme suit :

$$\frac{d\sigma_{el}}{dt}(t) = \frac{4\pi(\hbar c)^2 \alpha^2 G^4(t)}{|t|^2} - \frac{\sigma_{tot} \alpha (\rho - \alpha \phi(t)) G^2(t) e^{-B|t|/2}}{|t|} + \frac{(1 + \rho^2) \sigma_{tot}^2 e^{-B|t|}}{16\pi(\hbar c)^2}$$



$\sigma_{tot}$ ,  $B$  et  $\rho$  trois paramètres hadroniques (paramètres libres du fit)

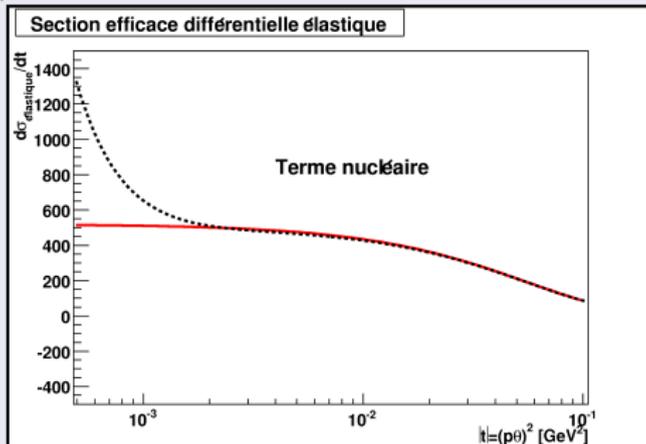


## Principe

Utiliser un mécanisme dont la section efficace est bien connue et peut être calculée :

**Diffusion élastique** des protons au point d'interaction. On peut exprimer la luminosité  $L$  en fonction de la section efficace différentielle élastique comme suit :

$$\frac{d\sigma_{el}}{dt}(t) = \frac{4\pi(\hbar c)^2 \alpha^2 G^4(t)}{|t|^2} - \frac{\sigma_{tot} \alpha (\rho - \alpha \phi(t)) G^2(t) e^{-B|t|/2}}{|t|} + \frac{(1 + \rho^2) \sigma_{tot}^2 e^{-B|t|}}{16\pi(\hbar c)^2}$$



$\sigma_{tot}$ ,  $B$  et  $\rho$  trois paramètres hadroniques (paramètres libres du fit)

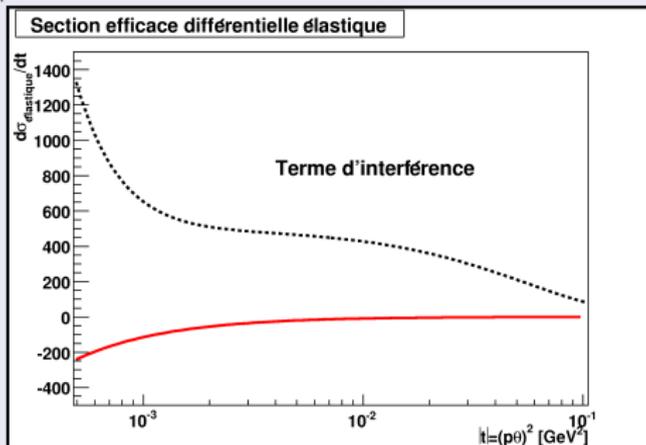


## Principe

Utiliser un mécanisme dont la section efficace est bien connue et peut être calculée :

**Diffusion élastique** des protons au point d'interaction. On peut exprimer la luminosité  $L$  en fonction de la section efficace différentielle élastique comme suit :

$$\frac{d\sigma_{el}}{dt}(t) = \frac{4\pi(\hbar c)^2 \alpha^2 G^4(t)}{|t|^2} - \frac{\sigma_{tot} \alpha (\rho - \alpha \phi(t)) G^2(t) e^{-B|t|/2}}{|t|} + \frac{(1 + \rho^2) \sigma_{tot}^2 e^{-B|t|}}{16\pi(\hbar c)^2}$$



$\sigma_{tot}$ ,  $B$  et  $\rho$  trois paramètres hadroniques (paramètres libres du fit)

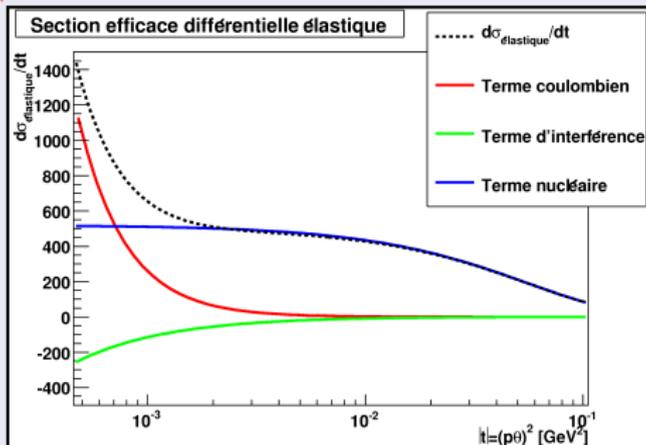


## Principe

Utiliser un mécanisme dont la section efficace est bien connue et peut être calculée :

**Diffusion élastique** des protons au point d'interaction. On peut exprimer la luminosité  $L$  en fonction de la section efficace différentielle élastique comme suit :

$$\frac{d\sigma_{el}}{dt}(t) = \frac{4\pi(\hbar c)^2 \alpha^2 G^4(t)}{|t|^2} - \frac{\sigma_{tot} \alpha (\rho - \alpha \phi(t)) G^2(t) e^{-B|t|/2}}{|t|} + \frac{(1 + \rho^2) \sigma_{tot}^2 e^{-B|t|}}{16\pi(\hbar c)^2}$$



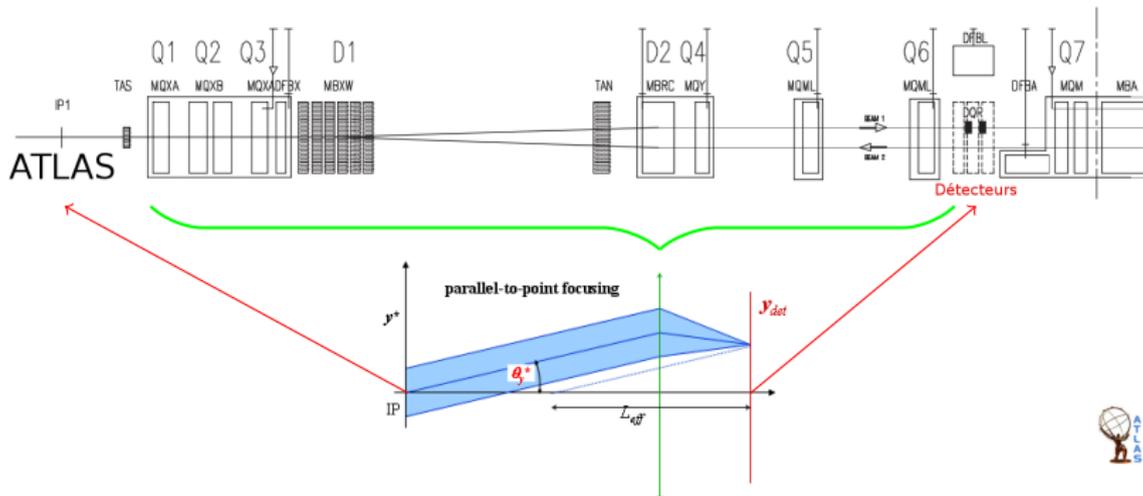
$\sigma_{tot}$ ,  $B$  et  $\rho$  trois paramètres hadroniques (paramètres libres du fit)



# Choix du détecteur : contraintes de l'expérience

- Mesure  $\Leftrightarrow$  comptage des protons diffusés en fonction de  $|t| = (p\theta)^2$  i.e. de l'angle de diffusion.
- Ne pouvant pas intercepter les protons avant le premier quadrupole (Q1), il faut placer le détecteur plus loin dans la partie avant... là où il y a de la place (240 m).
- **Solution** : Optique qui pour un **même angle** de diffusion donne une **même position** transverse dans le détecteur :

*"Parallel to point focusing"*



Pour obtenir la précision souhaitée, nous devons atteindre la région coulombienne ( $\theta \approx 3\mu\text{rad}$ ).

A 240 m,  $3\mu\text{rad} \Leftrightarrow \approx 1.5\text{ mm}$  du centre du faisceau.

Afin d'intercepter de si petits angles il faut :

- avoir une optique spéciale qui permet :
  - d'**étaler le faisceau** dans le plan transverse
  - de **minimiser la divergence angulaire** au point d'interaction  
( $\sigma_\theta \ll \theta_{diffusion}$ )
- de fonctionner **sans angle de croisement**
  - ⇒ moins de paquets dans la machine (2808 → 43)
  - ⇒ BC plus long (25 ns → 2  $\mu\text{s}$ )



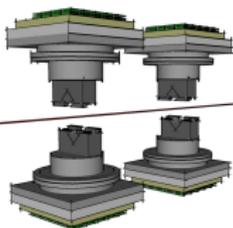


- 1 Introduction
- 2 Description du détecteur ALFA**
- 3 Simulation des événements ALFA
- 4 Faisceau-test au CERN, août 2008

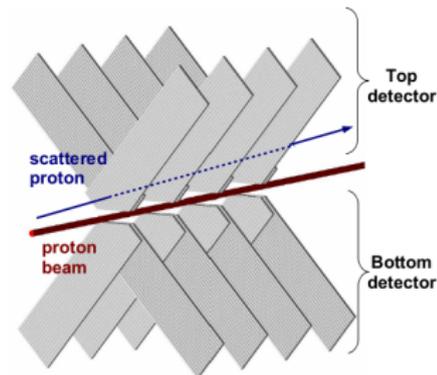
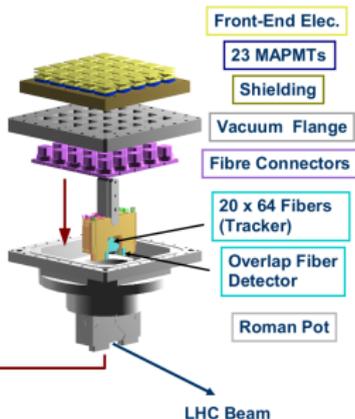
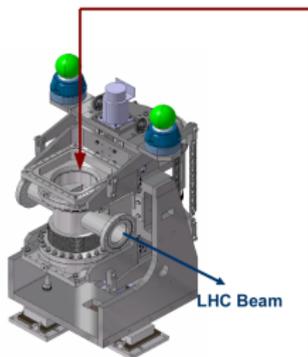
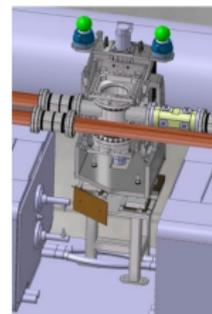
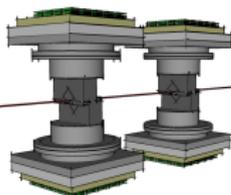


# Le détecteur : Un **trajectographe** à fibres scintillantes inséré dans un **Pot Romain**

Position garage



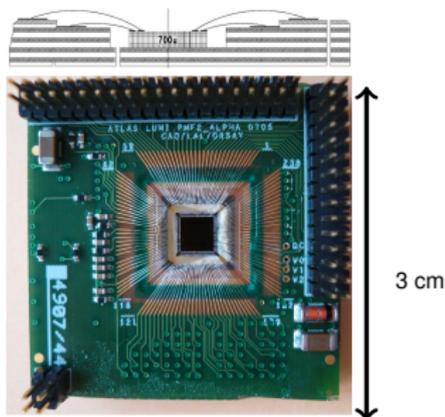
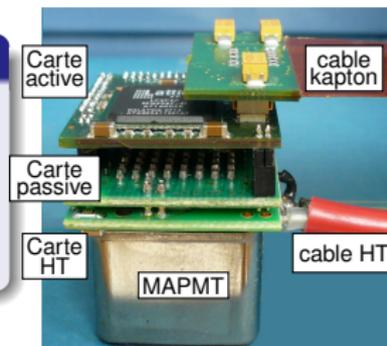
Position prise de données



## La PMF : PhotoMultiplier Front end electronics

Montée sur le dos d'un MAPMT (Multi Anode Photomultiplicateur Tube) 64 canaux. Elle se compose de :

- une carte pour apporter la **haute tension** au MAPMT (HT)
- une carte intermédiaire pour distribuer les signaux (passive)
- une carte qui traite le signal, le discrimine et fournit **64 sorties trigger** (active)



Côté MAROC



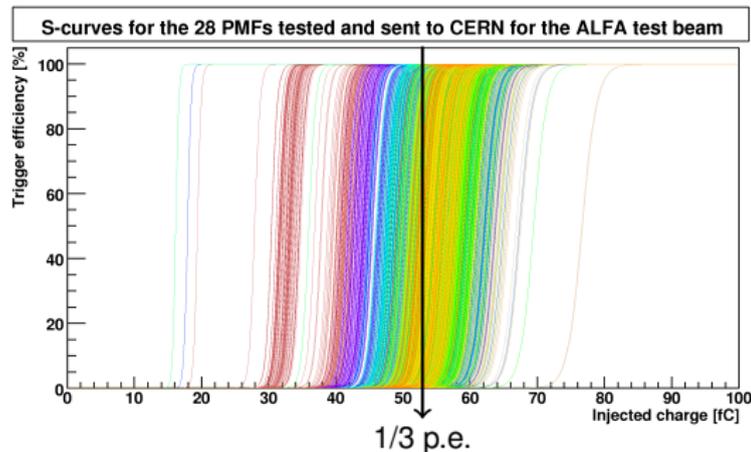
Côté Lattice



## Performances

Objectifs :

- **100 % d'efficacité** de détection  
⇒ 100 % d'efficacité de déclenchement pour l'électronique.
- **Réponse uniforme** de chacun des canaux  
⇒ Correction de la non-uniformité des gains du MAPMT.
- **Déclenchement d'un seul canal** par plan pour le passage d'une particule  
⇒ Diaphonie de l'ordre de 2-3 %.



Efficacité de déclenchement pour les 64 canaux des 28 PMFs utilisées pour le test-faisceau du CERN

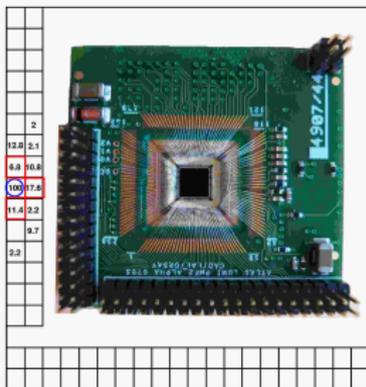


# Importance de la diaphonie : exemple d'étude

## Enjeux

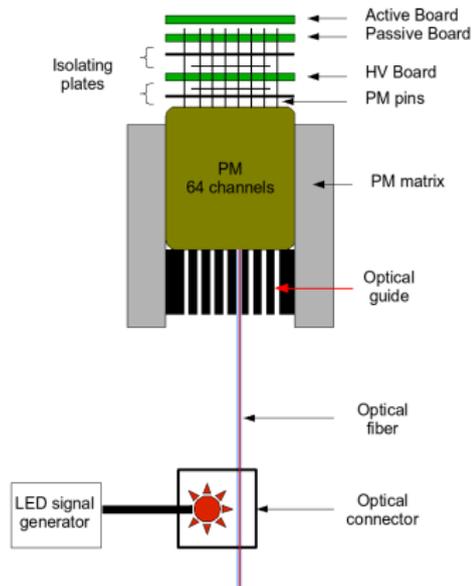
Signal élevé à l'entrée de l'électronique  $\Rightarrow$   $\uparrow$  probabilité d'induire du signal dans les canaux voisins  $\Rightarrow$   $\uparrow$  risque de mauvaise reconstruction des traces.

Cross talk value with  $V_{diode} = 2.5$  V observed for black connectors



Cross talk value with  $V_{diode} = 2.5$  V

	2	12.8	2.1	6.8					
	10.8	100	17.6	11.4					
	2.2	9.7	2.2						



## Exemple avec des tests réalisés au CERN

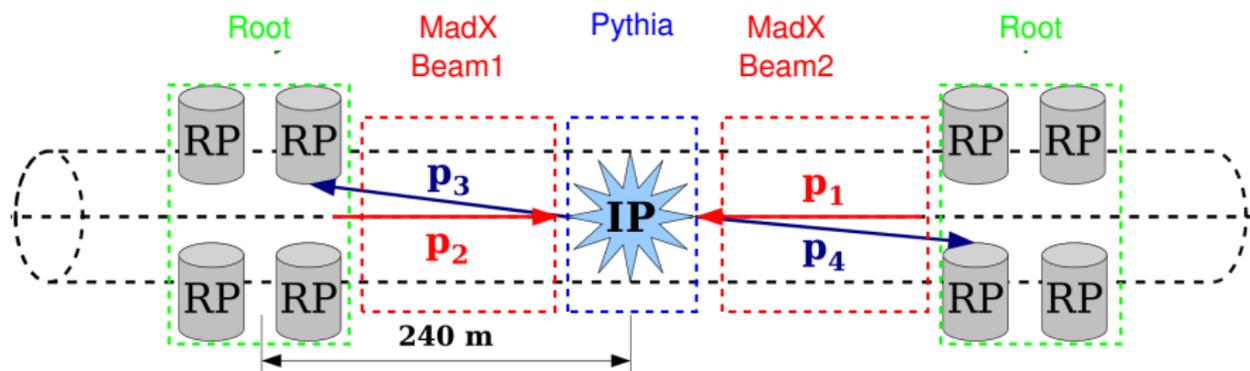
La diaphonie induite dans les connecteurs situés sur la PMF s'ajoute à celle observée sur le MAPMT. Confusion entre canal réellement touché et canal induit.





- 1 Introduction
- 2 Description du détecteur ALFA
- 3 Simulation des événements ALFA**
- 4 Faisceau-test au CERN, août 2008





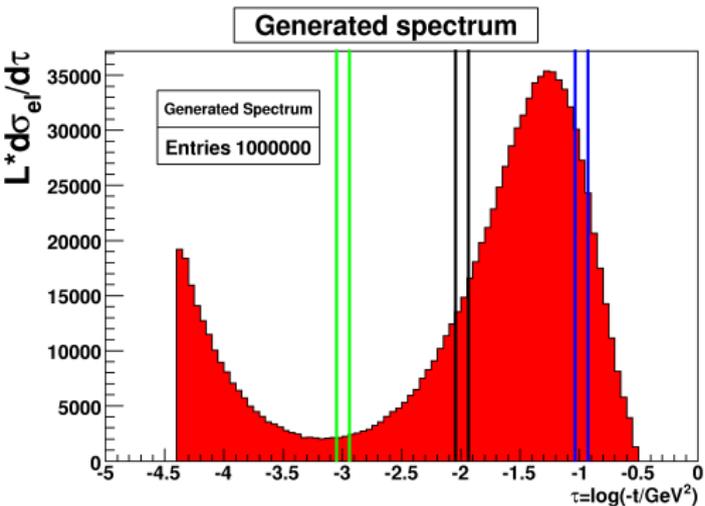
## Génération avec Pythia

- Générer les événements élastiques.
- On peut simuler la largeur du faisceau, la divergence angulaire ainsi que la dispersion en énergie.
- La génération s'effectue pour  $\theta=1 \rightarrow 50 \mu\text{rad}$ .

## Transport avec MadX

- Les protons élastiques sont transportés à travers l'optique du LHC jusqu'aux détecteurs.
- Les seules variables utiles au niveau des Pots Romains sont la position et l'angle de la particule.





Spectre généré avec Pythia

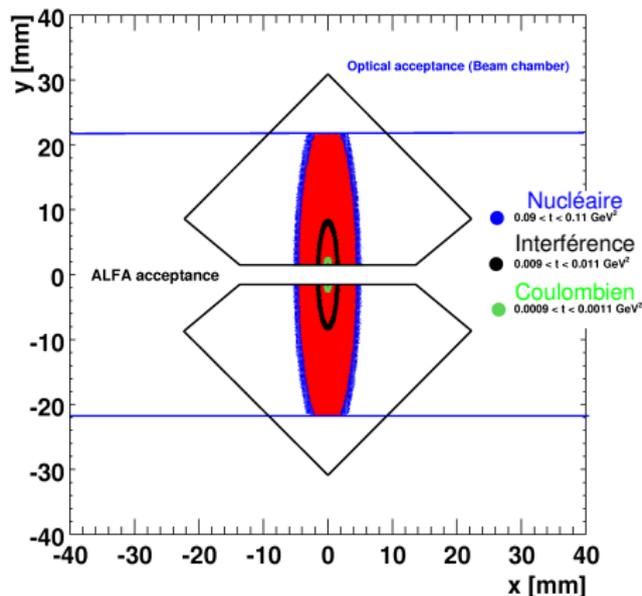


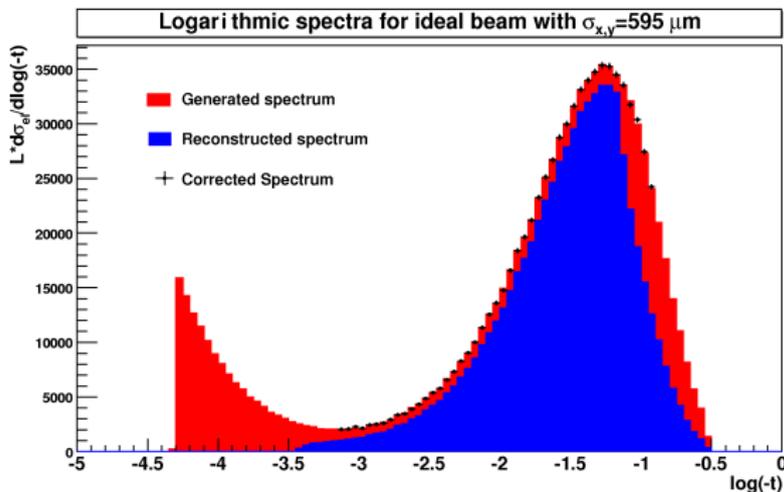
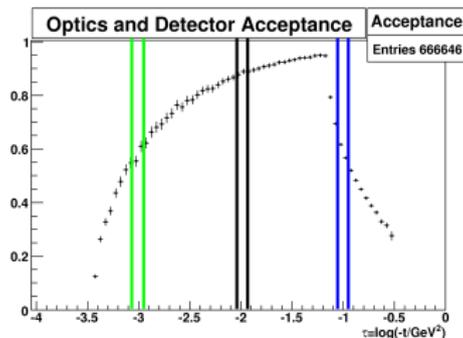
Figure de diffusion élastique au niveau des Pots Romains



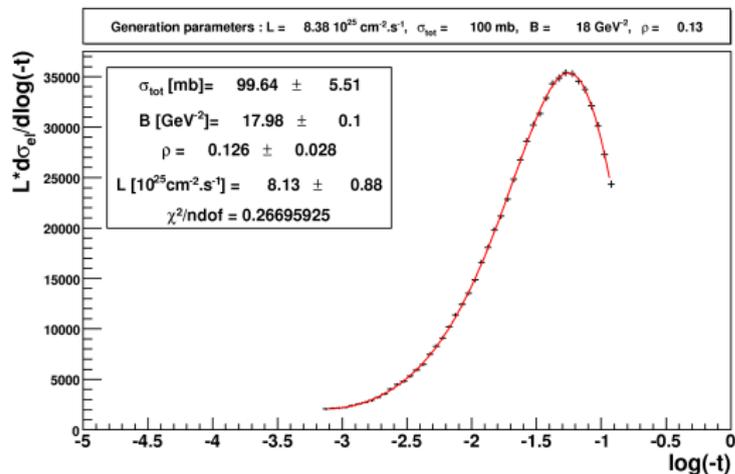
## Reconstruction des événements

Le spectre intercepté est :

- **reconstruit** en utilisant les deux bras de détection
- **corrigé** en utilisant l'acceptance globale



## 1M d'événements



1 semaine de run : 10M d'evts  
Erreur statistique sur  $L$  :  $\approx 1\%$

### Principales contributions aux systématiques

- Connaissance **des paramètres du faisceau** et intégration dans la simulation.
- Compréhension du **bruit de fond** :
  - **machine** : Betatron et Momentun cleaning, halo, beam gas
  - **physique** : Diffraction simple

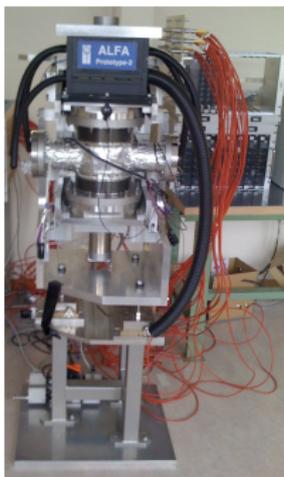


- 1 Introduction
- 2 Description du détecteur ALFA
- 3 Simulation des événements ALFA
- 4 Faisceau-test au CERN, août 2008**



## Objectifs

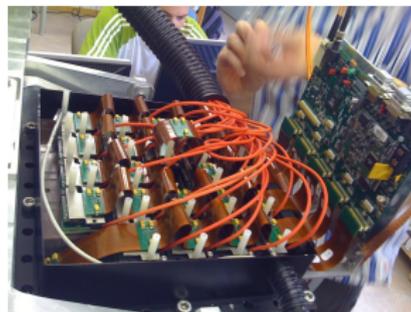
- Tester un **prototype complet** (20 plans de 64 fibres chacun)
- Tester l'**électronique** (Carte mère, PMF, HT...)
- Caractériser le détecteur (Efficacité, résolution spatiale, diaphonie...)



Pot Romain complet

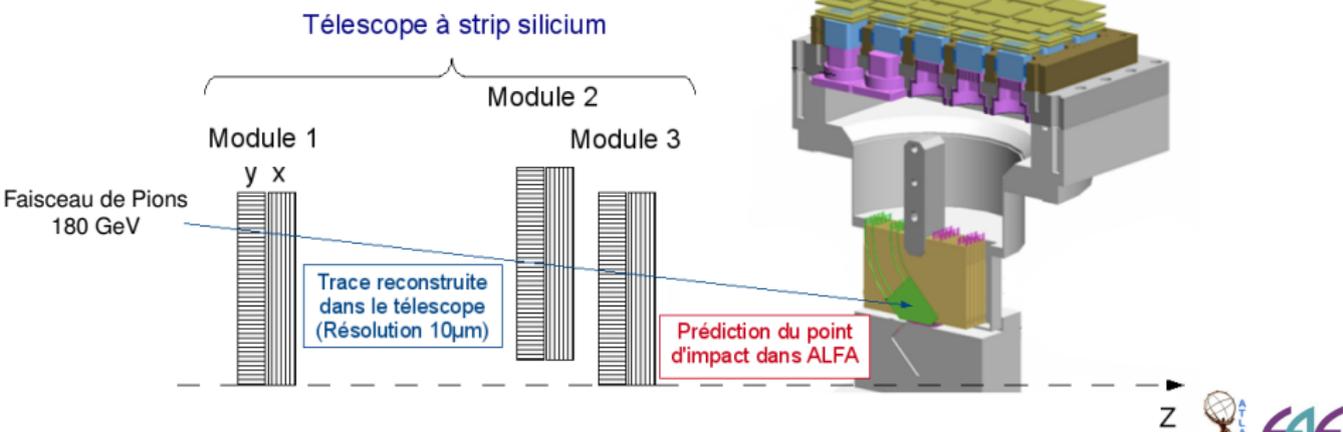
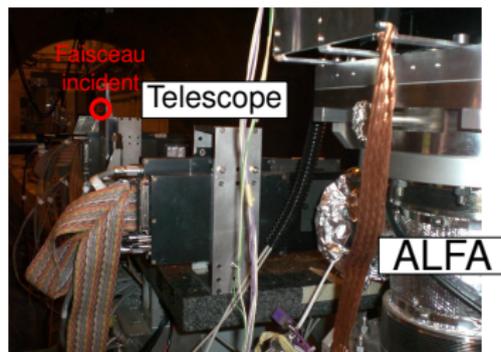


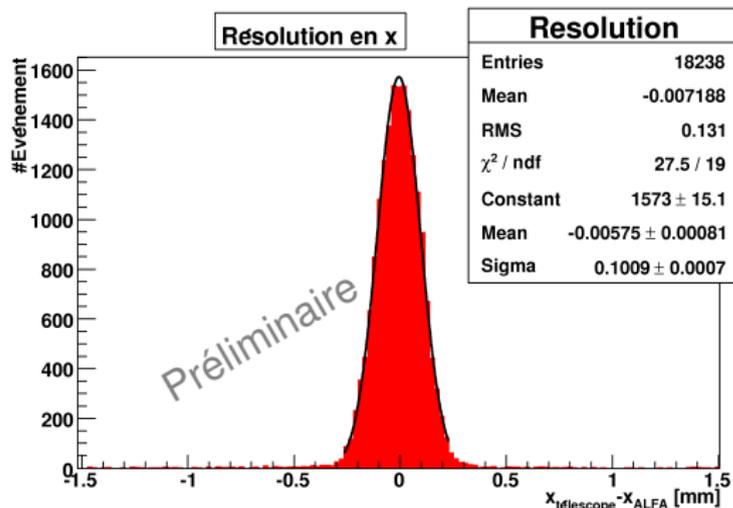
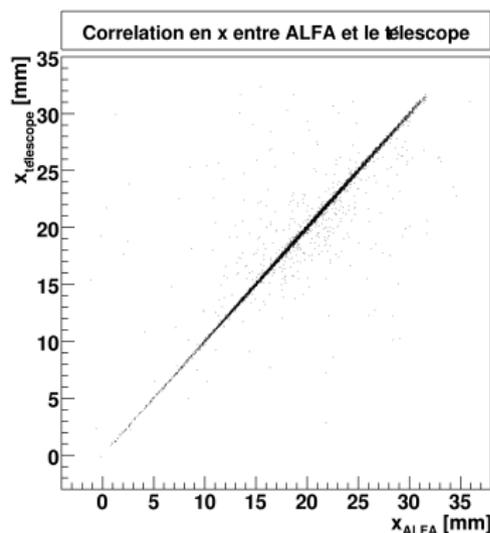
Fibres scintillantes sur leur support



Matrice des PMF



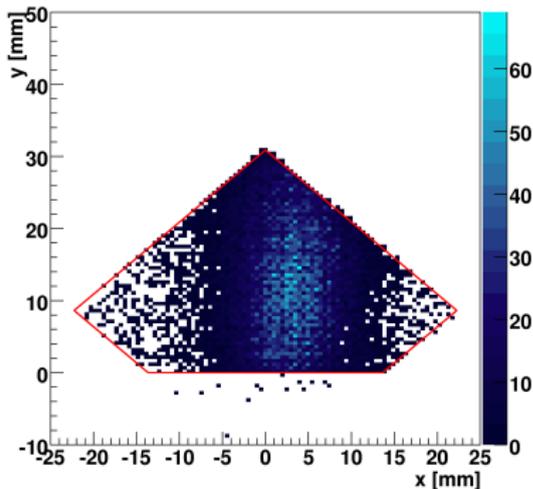




Résultat obtenu sans soustraction de la résolution du télescope et avec 6 plans au lieu de 20.  
Une extrapolation donne un résultat proche de 30  $\mu\text{m}$ .

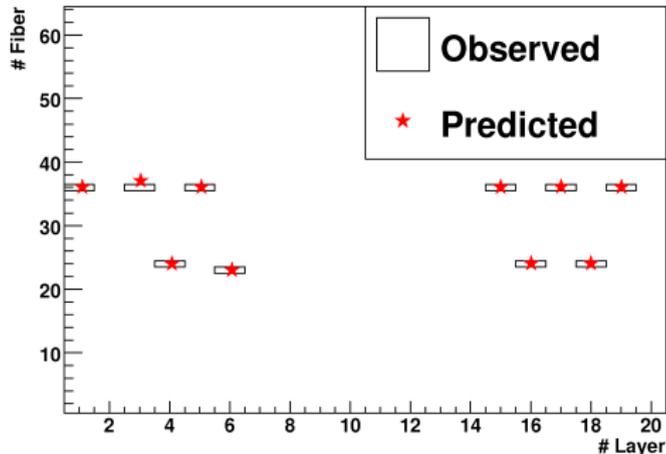


ALFA, mapping of X Y reconstructed position



Impact des Pions sur ALFA

ALFA MD, hit map



Prédiction des fibres touchées grâce au télescope



### Mesure très "challenging" !!

- L'analyse des systématiques a montré la possibilité d'atteindre une précision absolue de 2-3 %
- Travailler dans un tel environnement rend les contraintes matérielles très sévères.
- l'électronique frontale a été validée et la production en série est lancée.
- les premiers résultats du dernier test-faisceau sont satisfaisants et en accord avec le "*Technical Design Report*".
- Les Pots Romains devraient être installés au prochain arrêt du LHC..., mais attendons déjà son redémarrage !!

**Merci pour votre attention, et merci aux organisateurs !!**



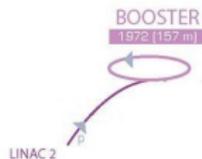
## CERN Accelerator Complex

Alvarez Proton Linac

Energie d'extraction  
50 MeV



## CERN Accelerator Complex

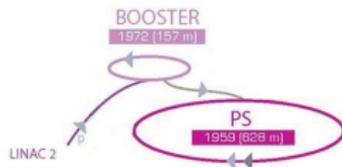


Booster du synchrotron à protons

Energie d'extraction  
**1.4 GeV**



## CERN Accelerator Complex

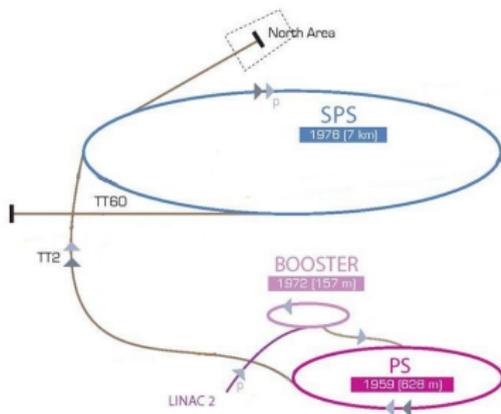


Synchrotron à protons

Energie d'extraction  
**25 GeV**



## CERN Accelerator Complex

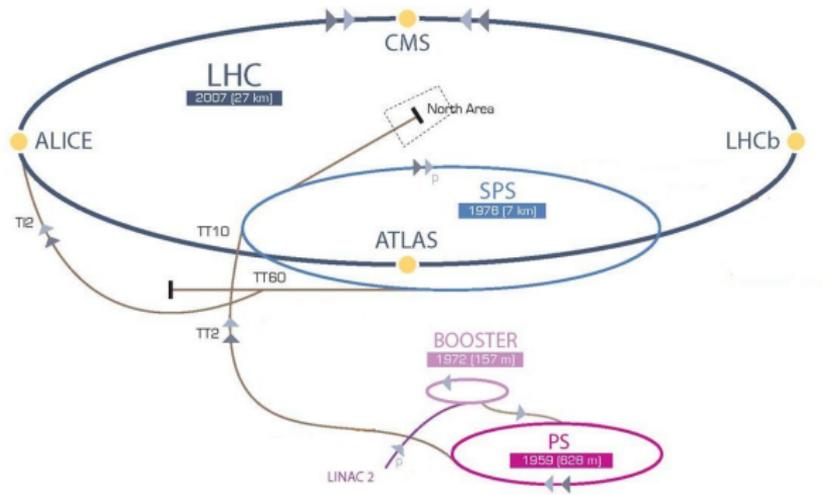


Supersynchrotron à protons

Energie d'extraction  
**450 GeV**



## CERN Accelerator Complex



Grand collisionneur de hadron

Energie de collision  
**7 TeV**



## Principe

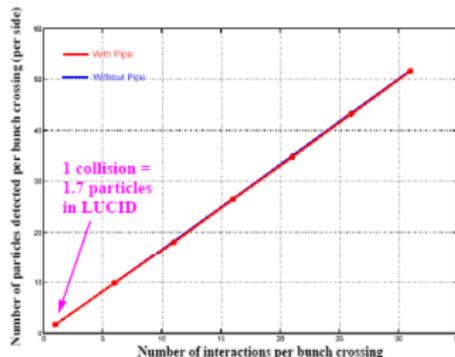
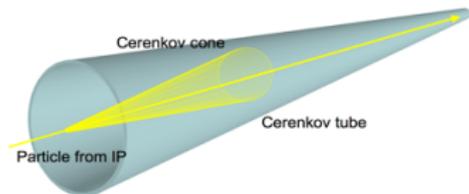
- Evénements **inélastiques** interceptés pour  $5.5 \leq |\eta| \leq 6.1$
- Nombres de particules chargées détectées  $\propto$  luminosité.
- Extrapolation de la mesure à basse luminosité grâce à une linéarité quasi-parfaite :

$$\dot{N} = (\text{Nb d'interaction p-p détectées par croisements } \mu_{LUCID}) \times (\text{facteur de remplissage } f_{BC})$$

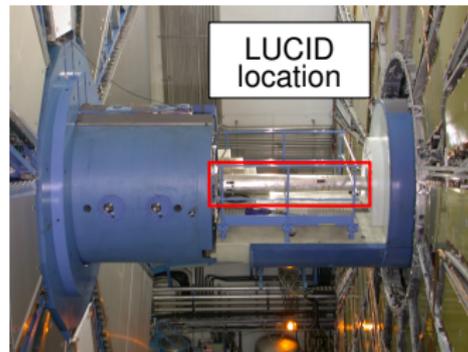
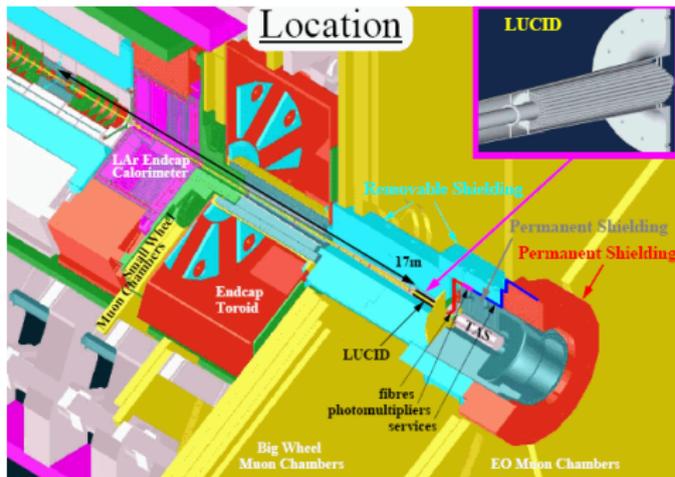
On doit donc déterminer  $\mu_{LUCID}$  à différentes valeurs de luminosité :

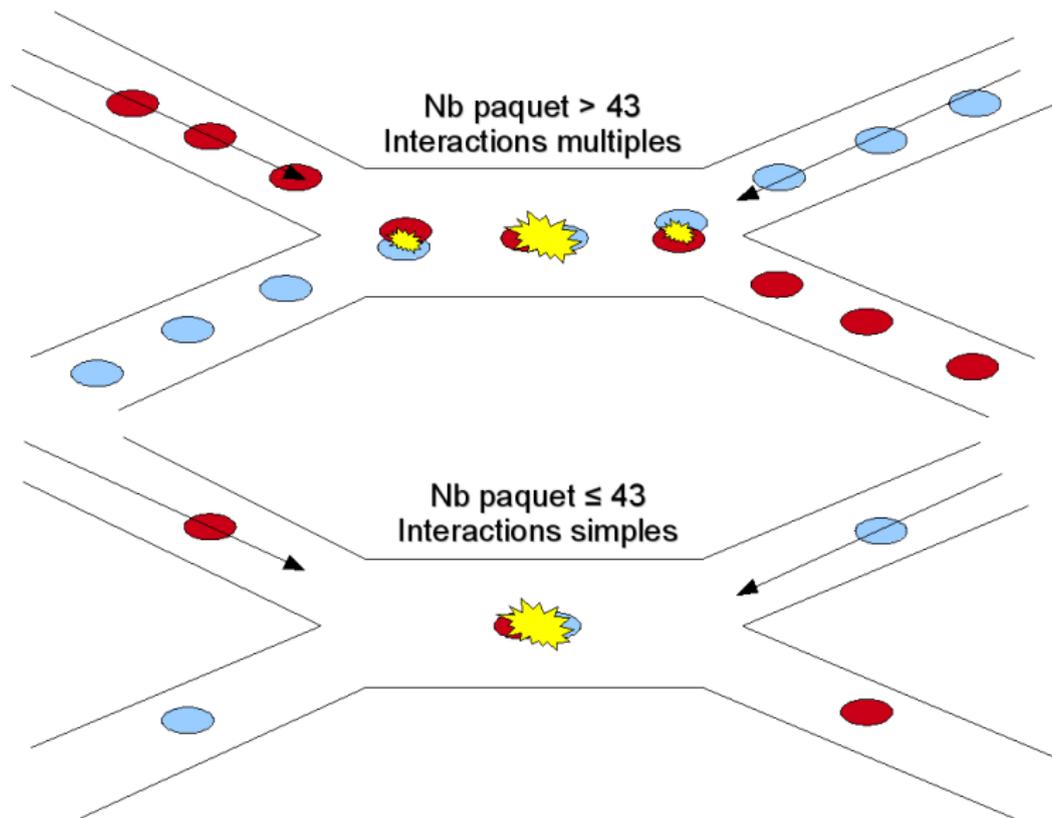
- Basse : Nombre de croisement sans détection
- Moyenne : Nombre de tube enregistrant du signal
- Haute : Nombre de particules chargées détectées

$$\text{Et finalement, } L = \frac{f_{BC}}{\sigma_{pp} \epsilon_{LUCID}} \mu_{LUCID}$$



# LUCID, LUminality measurement using Cerenkov Integrating Detector





## Définition

Grâce à l'optique spéciale nous avons :

$$\theta_{RP_{1,y}} = \frac{y_{RP_1}}{L_{eff1}}$$

Si l'on considère les quatre Pots Romains pour la reconstruction on peut écrire pour l'axe y :

$$\theta_{RP_{1,y}} = \frac{\frac{y_{RP_1}}{L_{eff1,y}} + \frac{y_{RP_3}}{L_{eff3,y}}}{2} \quad \theta_{RP_{2,y}} = \frac{\frac{y_{RP_2}}{L_{eff2,y}} + \frac{y_{RP_4}}{L_{eff4,y}}}{2}$$

avec :

$$L_{eff1,x} = \sqrt{(\beta_{1,x}\beta^*)} \sin(\psi_{1,x})$$

On obtient :

$$\theta_y^2 = \theta_{1,y}^2 + \theta_{2,y}^2 + |\theta_{1,y}^2 \times \theta_{2,y}^2|$$

Et finalement :

$$t_{reconstruit} = \frac{(\theta_x^2 + \theta_y^2) \times (7 \text{ TeV})^2}{4}$$

