

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

Directeur de thèse: P. PUZO

LAL-Orsay
JJC 2008

01-06/12/2008

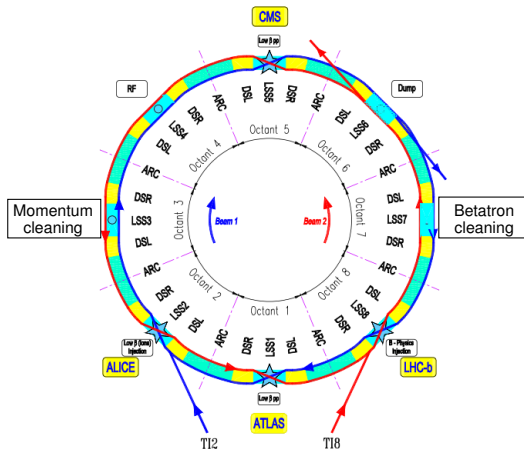


- 1 Introduction
- 2 Description du détecteur ALFA
- 3 Simulation des événements ALFA
- 4 Faisceau-test au CERN, août 2008



- 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 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

σ : 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 :

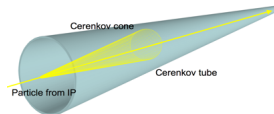
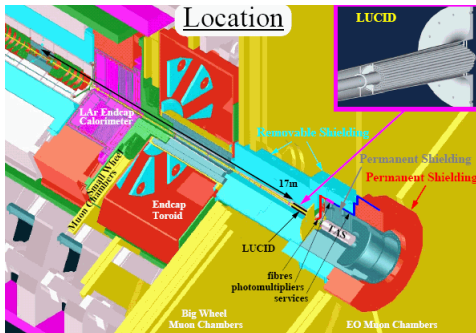
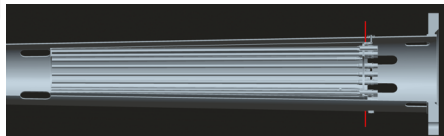
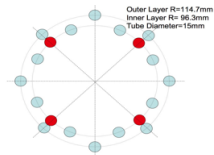
- **ALFA** : mesure de luminosité absolue mais pas avec optique de collision.
- **LUCID** : mesure de luminosité paquet par paquet, avec optique de collision, mais de manière relative.

⇒ **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

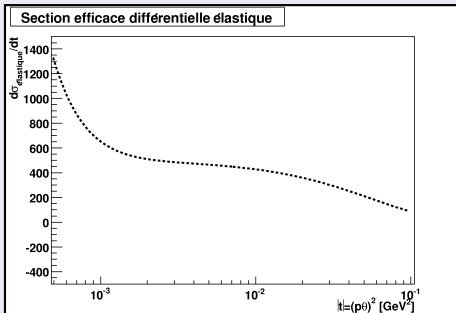
- Événements **inélastiques** interceptés pour $5.5 \leq |\eta| \leq 6.1$
- Nombres de particules chargées détectées \propto luminosité
- Extrapolation de la mesure à basse luminosité grâce à une linéarité quasi-parfaite



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 :

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



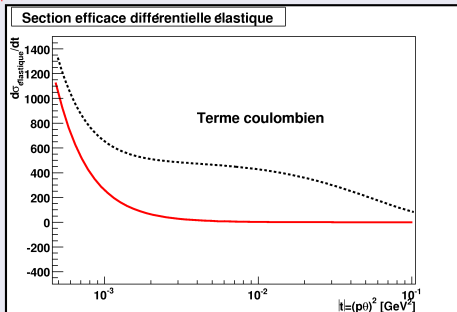
σ_{tot} , B et ρ trois paramètres hadroniques (paramètres libres du fit)

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 :

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



σ_{tot} , B et ρ trois paramètres hadroniques (paramètres libres du fit)

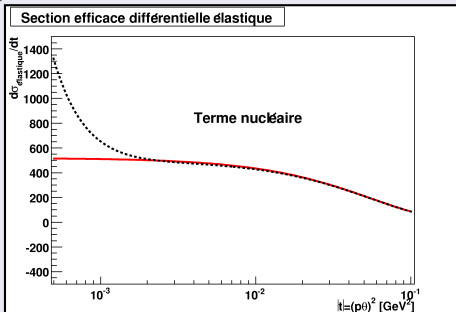


Principe

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 :

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



σ_{tot} , B et ρ trois paramètres hadroniques (paramètres libres du fit)

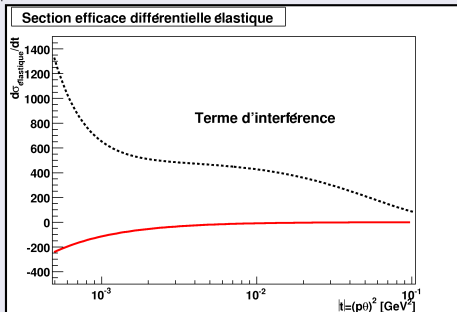


Principe

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 :

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



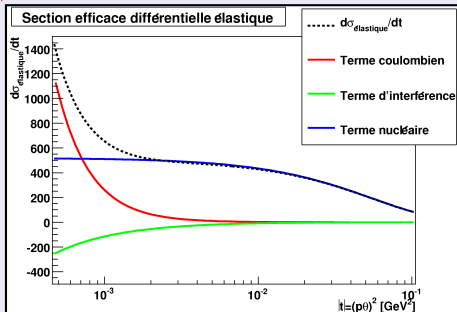
σ_{tot} , B et ρ trois paramètres hadroniques (paramètres libres du fit)

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 :

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



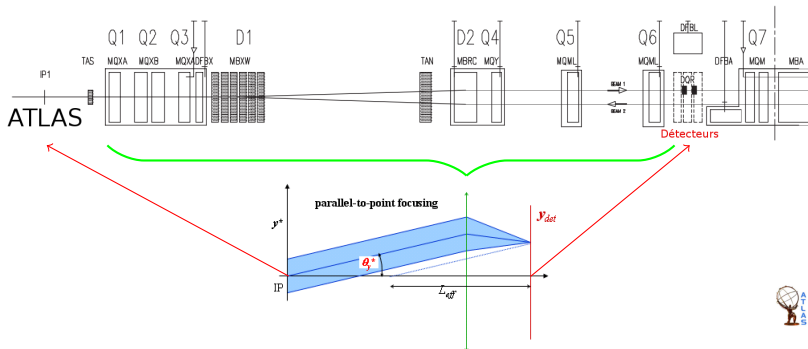
σ_{tot} , B et ρ trois paramètres hadroniques (paramètres libres du fit)



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 ($\theta \approx 3\mu\text{rad}$).

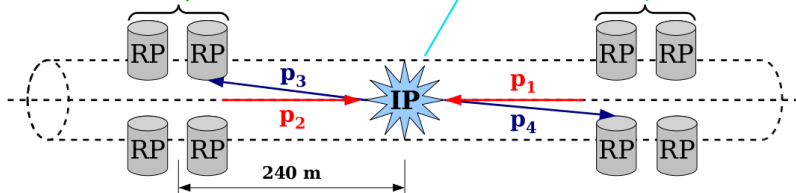
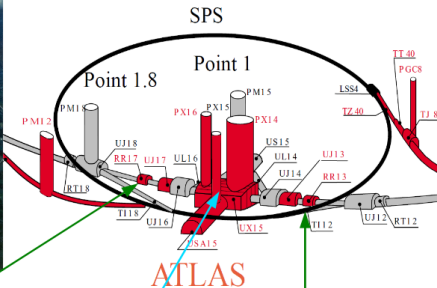
A 240 m, $3\mu\text{rad} \Leftrightarrow \approx 1.5\text{ mm}$ du centre du faisceau.

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 μs)



Position des détecteurs sur l'anneau

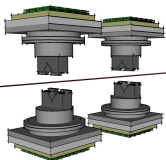


- 1 Introduction
- 2 Description du détecteur ALFA**
- 3 Simulation des événements ALFA
- 4 Faisceau-test au CERN, août 2008

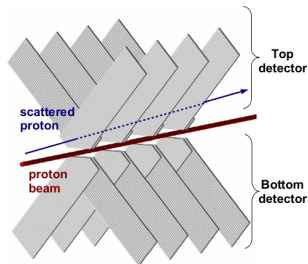
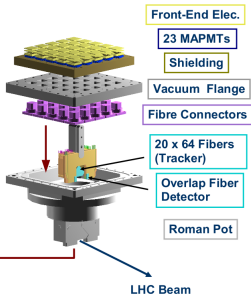
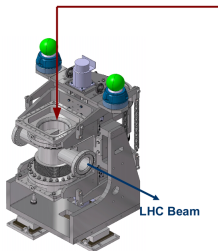
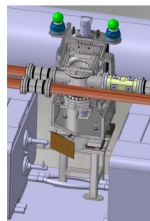
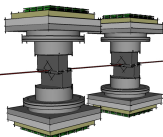


Le détecteur : Un **trajectographe** à fibres scintillantes inséré dans un **Pot Romain**

Position garage



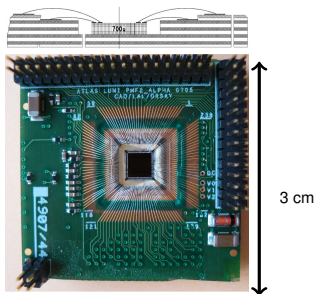
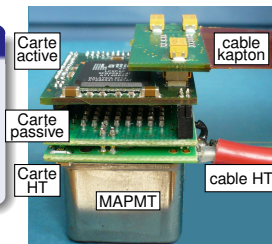
Position prise de données



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



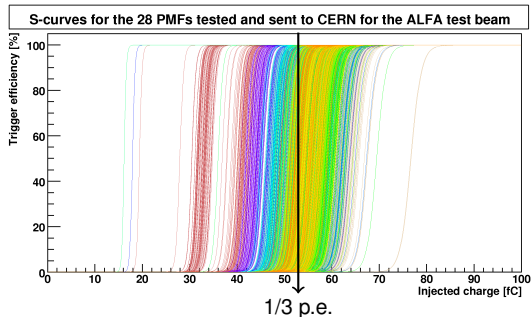
Côté Lattice



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 %.

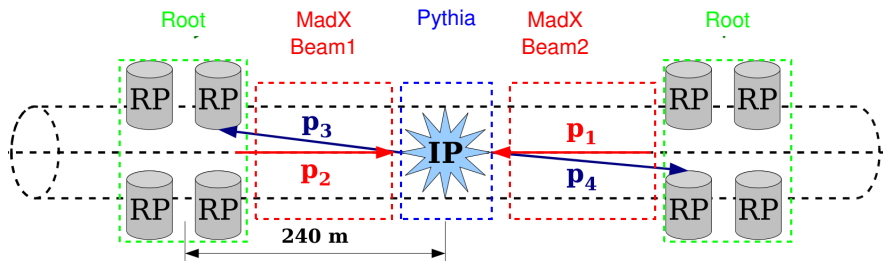


Efficacité de déclenchement pour les 64 canaux des 28 PMFs utilisées pour le test-faisceau du CERN



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





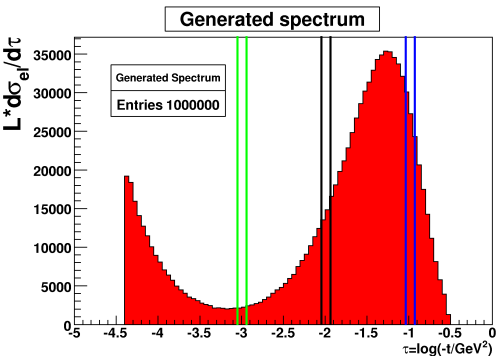
Génération avec Pythia

- 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

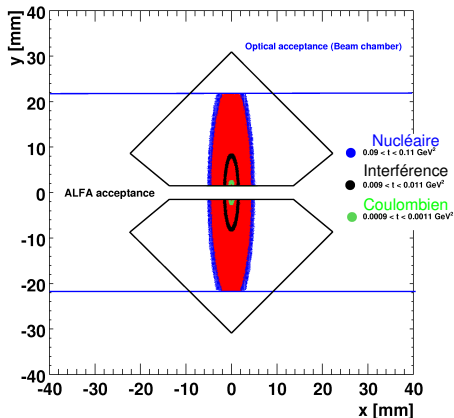


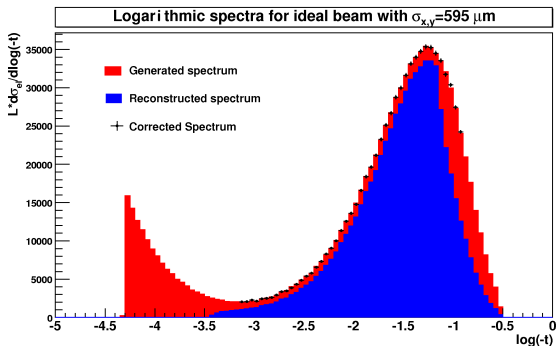
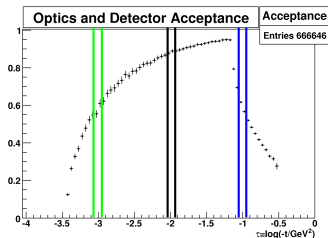
Figure de diffusion élastique au niveau des Pots Romains



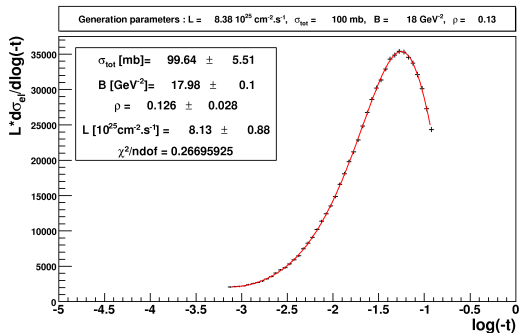
Reconstruction des événements

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

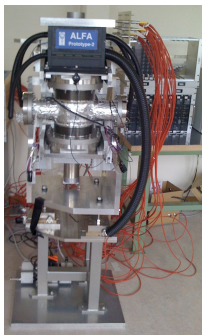


- 1 Introduction
- 2 Description du détecteur ALFA
- 3 Simulation des événements ALFA
- 4 Faisceau-test au CERN, août 2008**



Objectifs

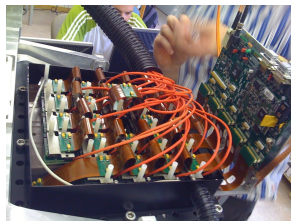
- Tester un **prototype complet** (20 plans de 64 fibres chacun)
- Tester l'**électronique** (Carte mère, PMF, HT...)
- Caractériser le détecteur (Efficacité, résolution spatiale, diaphonie...)



Pot Romain complet

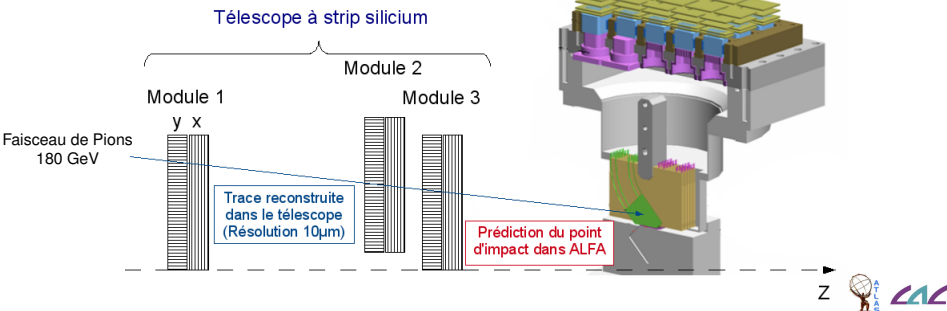
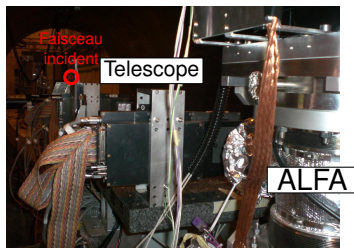


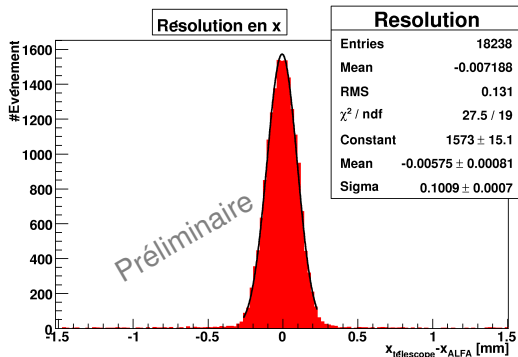
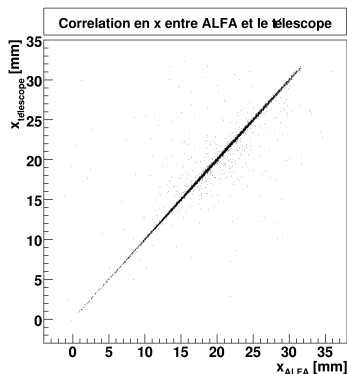
Fibres scintillantes sur leur support



Matrice des PMF



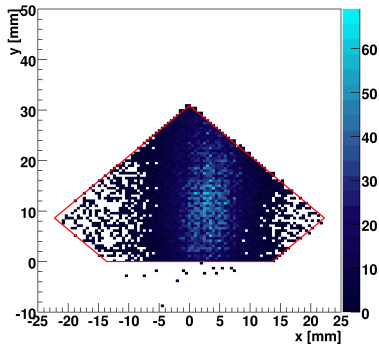




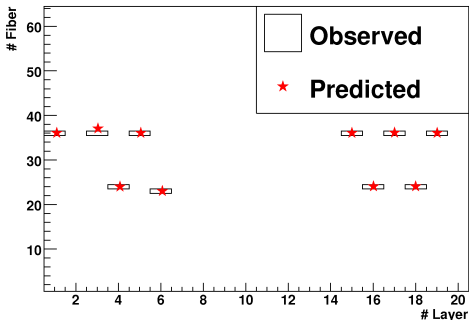
Résultat obtenu sans soustraction de la résolution du télescope et avec 6 plans au lieu de 20.
Une extrapolation donne un résultat proche de $30 \mu\text{m}$.



ALFA, mapping of X Y reconstructed position



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 !!



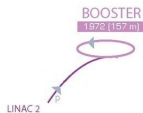
CERN Accelerator Complex

Alvarez Proton Linac

Energie d'extraction
50 MeV



CERN Accelerator Complex

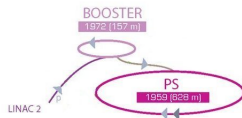


Booster du synchrotron à protons

Energie d'extraction
1.4 GeV



CERN Accelerator Complex

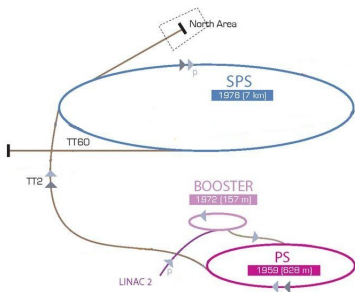


Synchrotron à protons

Energie d'extraction
25 GeV



CERN Accelerator Complex

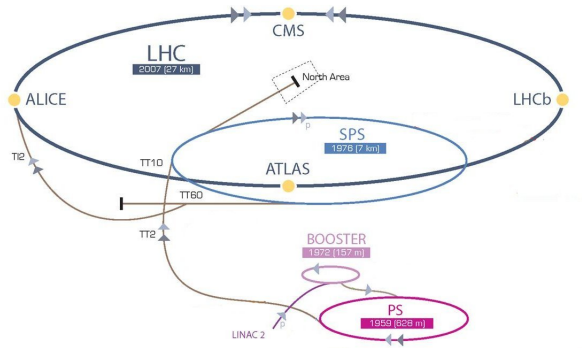


Supersynchrotron à protons

Energie d'extraction
450 GeV



CERN Accelerator Complex



Grand collisionneur de hadron

Energie de collision
7 TeV



Principe

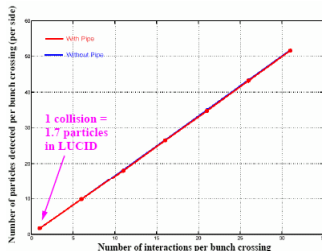
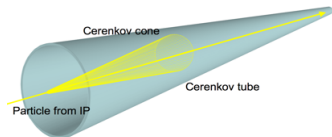
- Evénements **inélastiques** interceptés pour $5.5 \leq |\eta| \leq 6.1$
- Nombres de particules chargées détectées \propto luminosité.
- Extrapolation de la mesure à basse luminosité grâce à une linéarité quasi-parfaite :

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

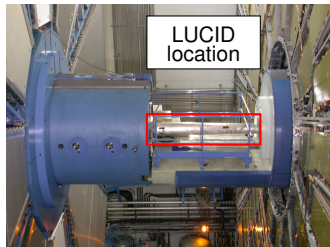
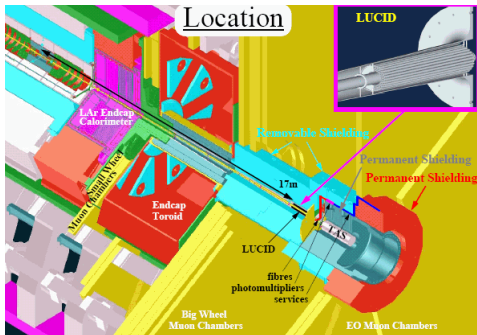
On doit donc déterminer μ_{LUCID} à différentes valeurs de luminosité :

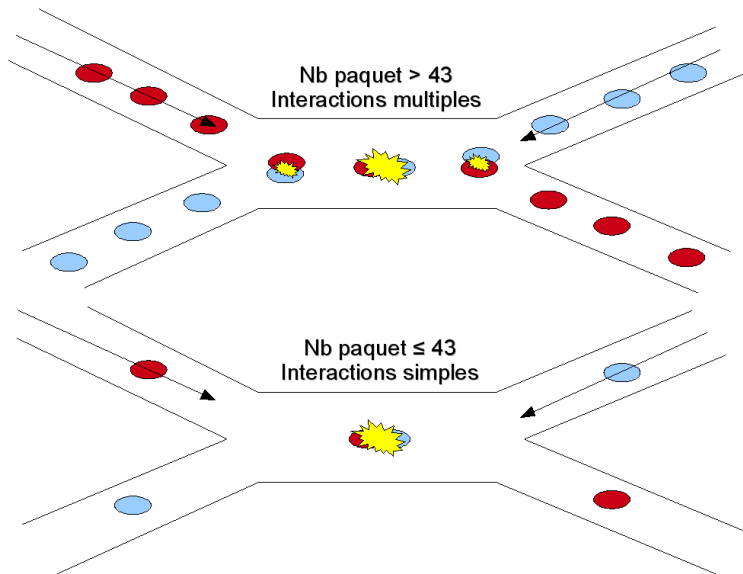
- Basse : Nombre de croisement sans détection
- Moyenne : Nombre de tube enregistrant du signal
- Haute : Nombre de particules chargées détectées

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



LUCID, LUminosity 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 :

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

