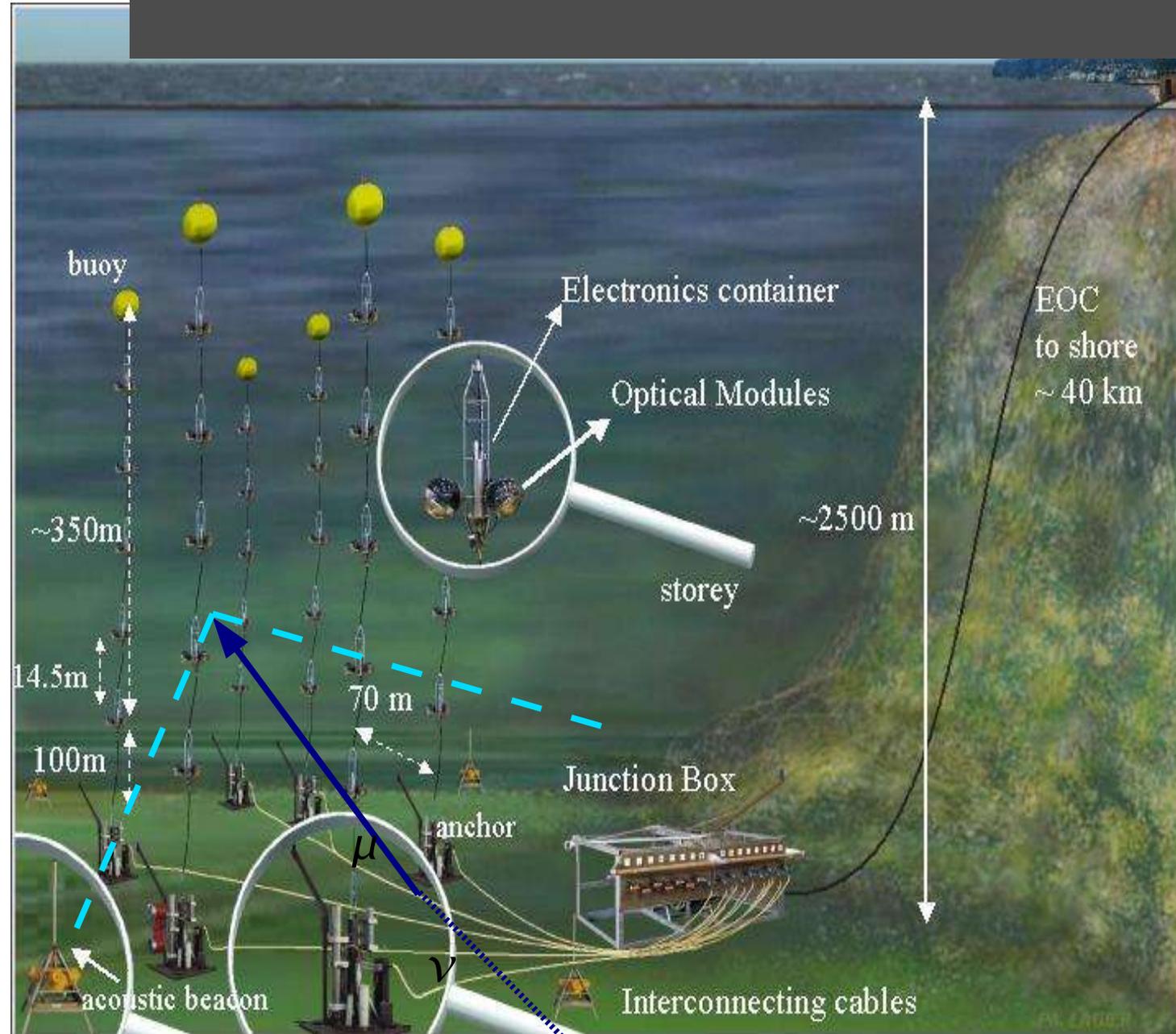


# Analyse des premiers muons du télescope ANTARES

- ANTARES
- La MILOM : Stabilité des temps de transits
- La Ligne 1 : Muons atmosphériques
- La Ligne 2 : Muons atmosphériques

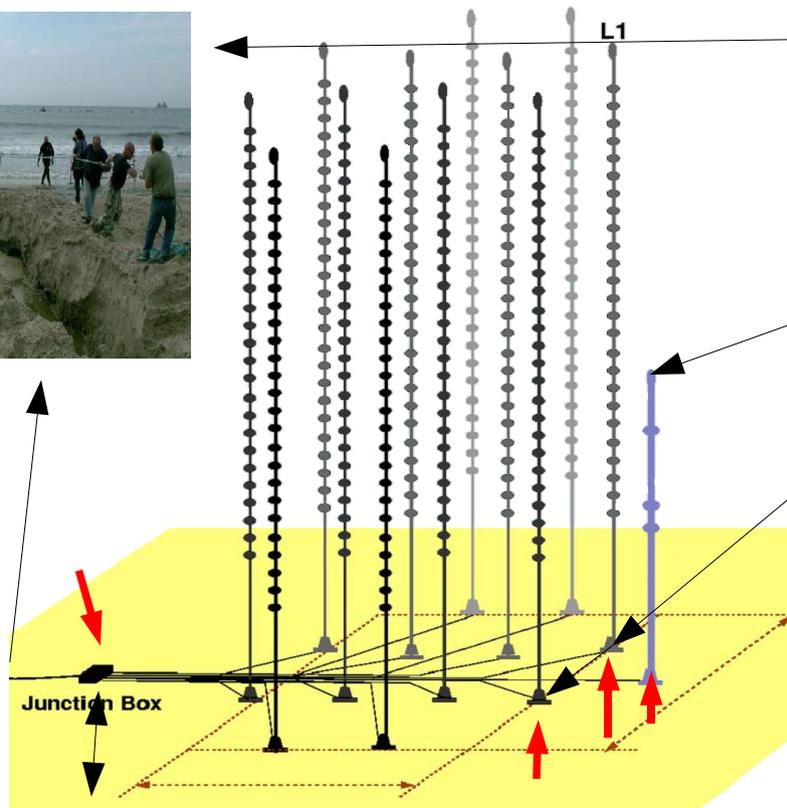
Maximilien Melissas  
Séminaire doctorant CPPM  
le 9 octobre 2006

# Antares



- 900 PM sur 12 lignes + ligne d'instrumentation
- Détece des neutrinos avec un seuil à 50 GeV
- Système de calibration in-situ : Balises LED et LED internes dans les modules
- Système acoustique pour le positionnement
- Numérisation des données sur place et transmission à terre pour sélection
- Système d'horloge centrale à terre.

# Un peu d'histoire.



2001 : Câble électro-optique

2002 : boîte de jonction

2003 : Ligne prototype

2005: Ligne d'instrumentation

2006 : Ligne 1 (mars) puis ligne 2

(septembre)

...

Actuellement : intégration ligne 3-4

Janvier 2007 : Connexion ligne 3-4-5

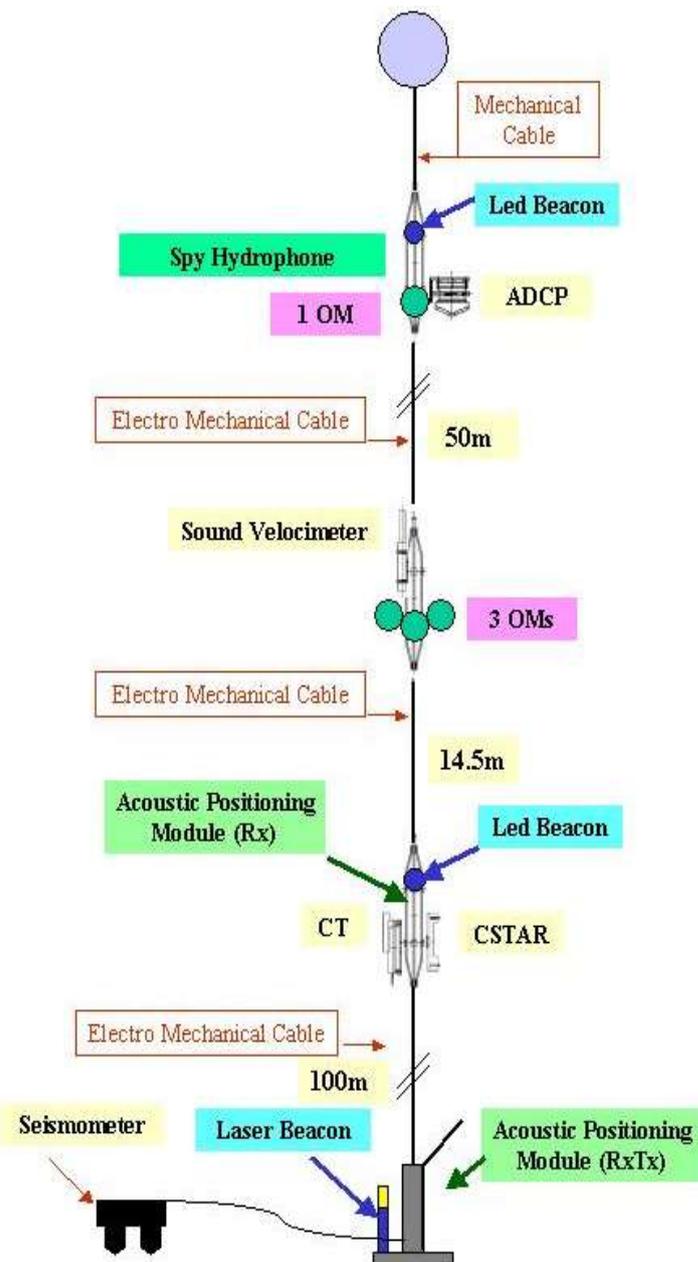
fin 2007: Fin de l'intégration de la

ligne 12

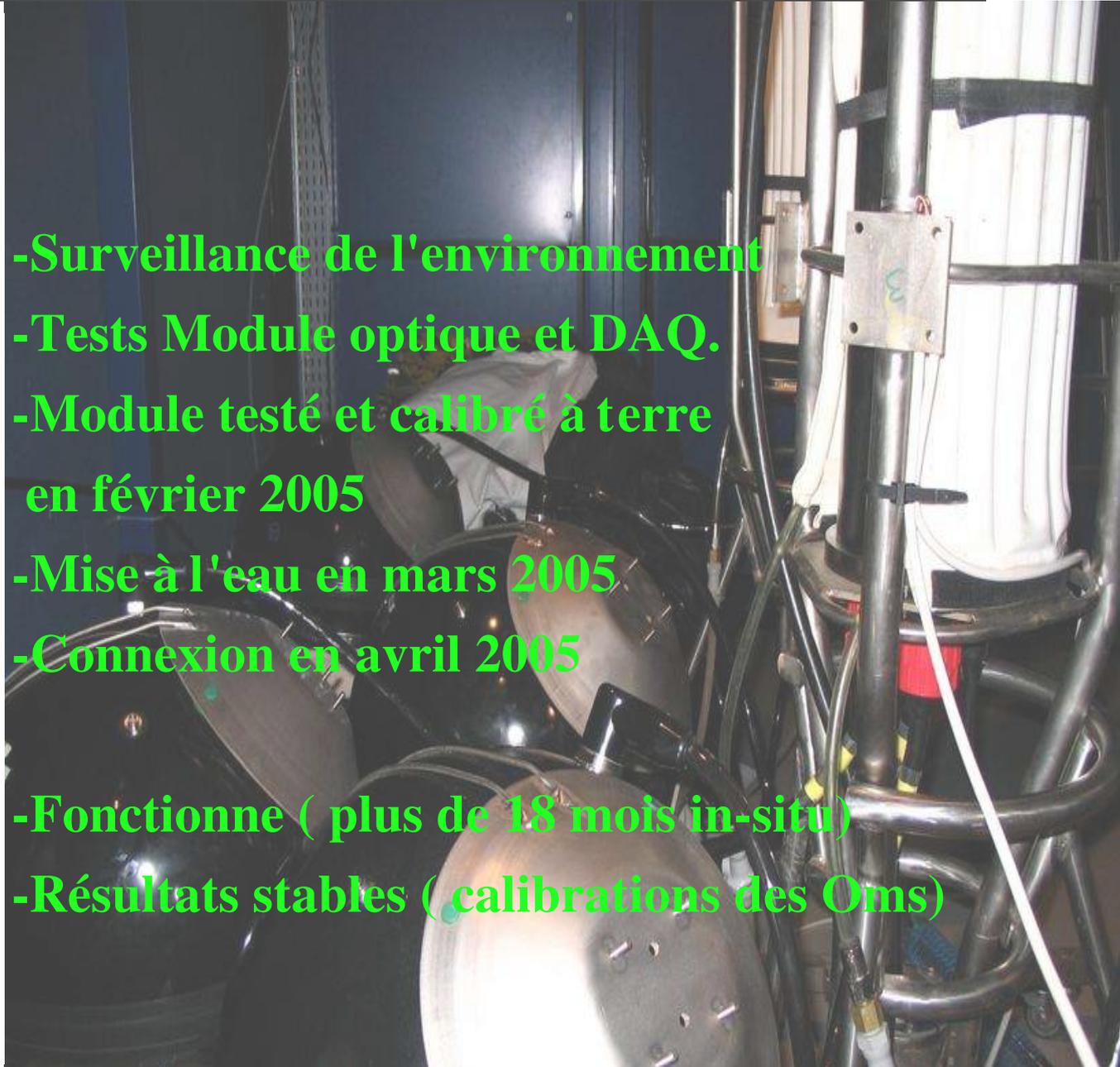
début 2008 détecteur complet



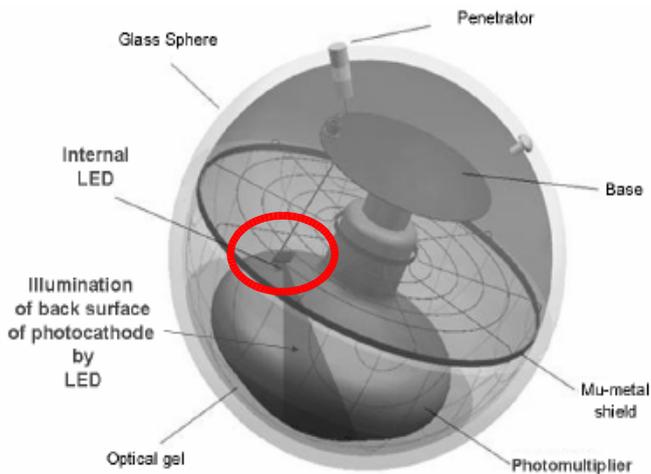
# La mini ligne d'instrumentation avec modules optiques (MILOM)



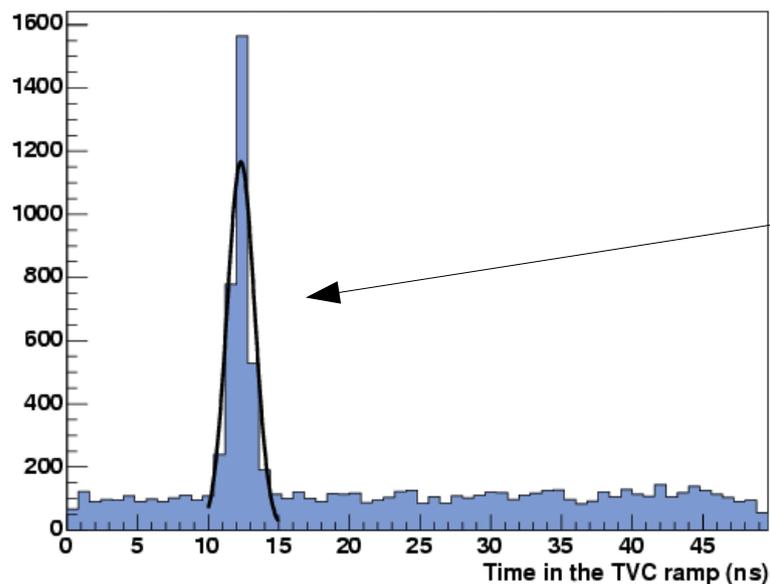
- Surveillance de l'environnement
- Tests Module optique et DAQ.
- Module testé et calibré à terre en février 2005
- Mise à l'eau en mars 2005
- Connexion en avril 2005
- Fonctionne ( plus de 18 mois in-situ)
- Résultats stables ( calibrations des Oms)



# Études des temps de transits: La LED interne



- Pour avoir une bonne résolution angulaire, il faut une bonne résolution temporelle
- Pour avoir une bonne résolution temporelle il faut connaître les variations des temps de transits



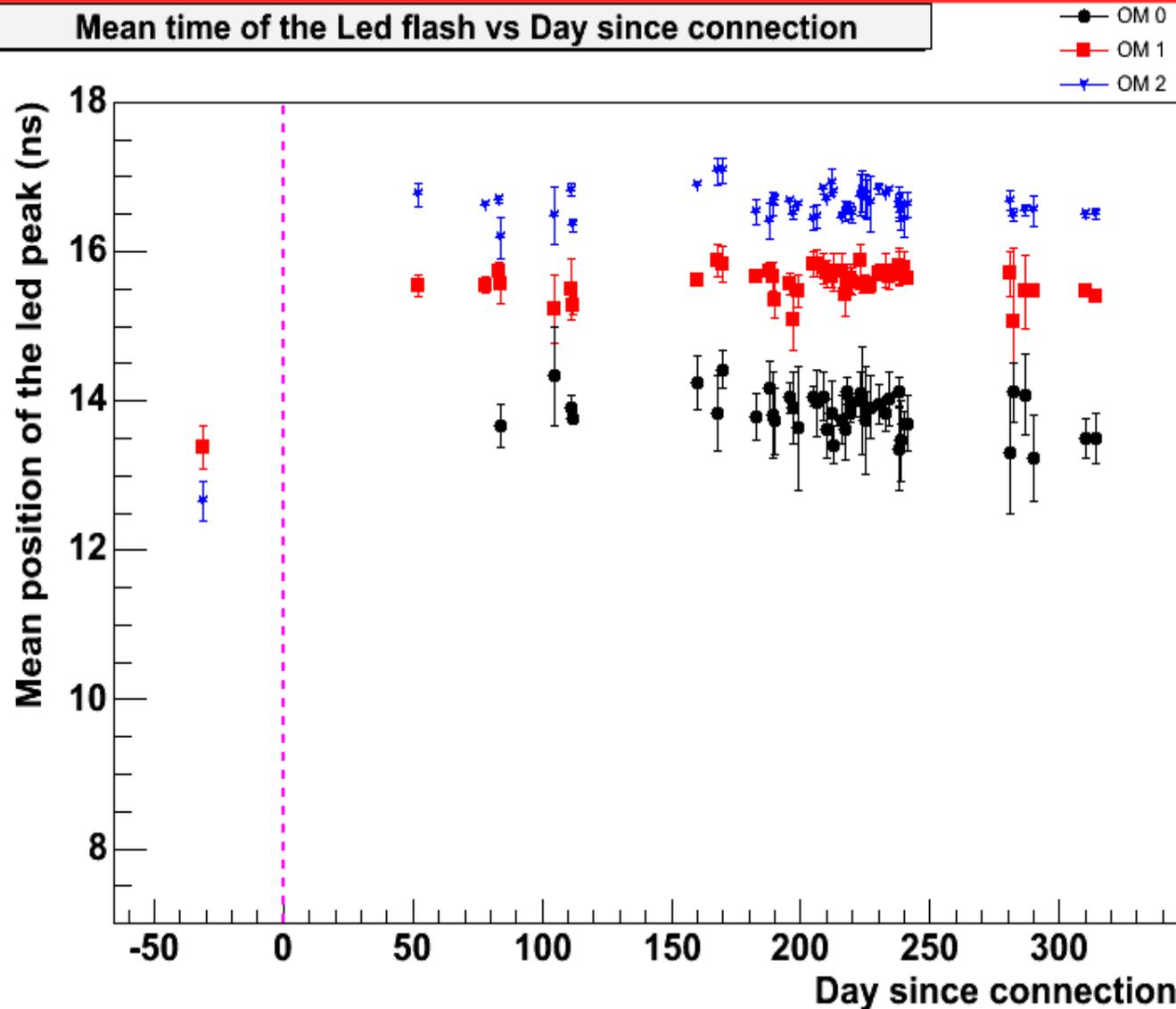
Dans chaque Module se trouve une LED qui éclaire la photocathode:

- Flash synchronisé avec l'horloge, ce qui permet de vérifier la stabilité des temps de transits

Charge en fonction du temps relatif à un signal d'horloge périodique

# Stabilité de la MILOM

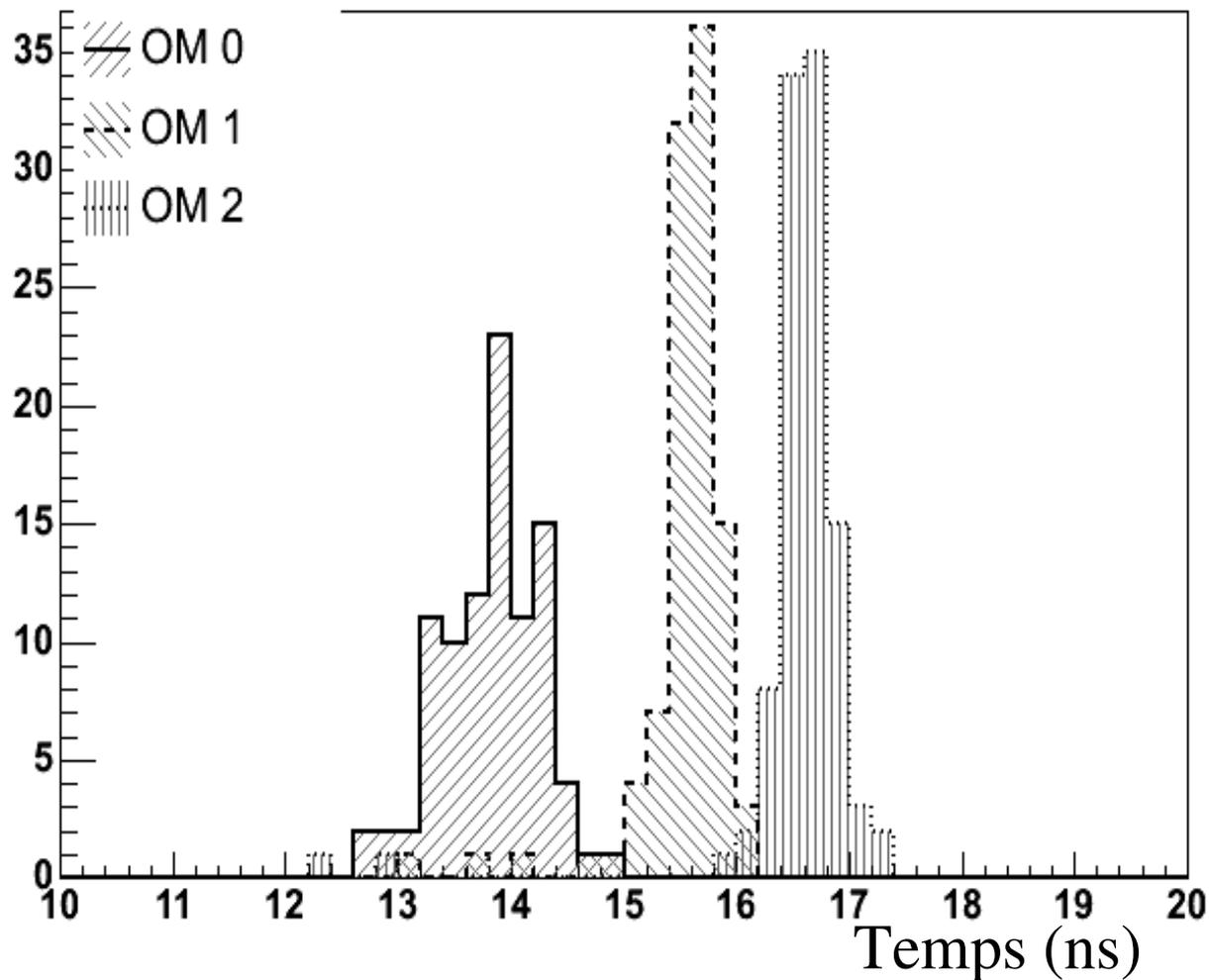
Mean time of the Led flash vs Day since connection



Résultats pour la période entre la calibration à terre de la MILOM et la connexion de la ligne 1

# Dispersions des LED internes

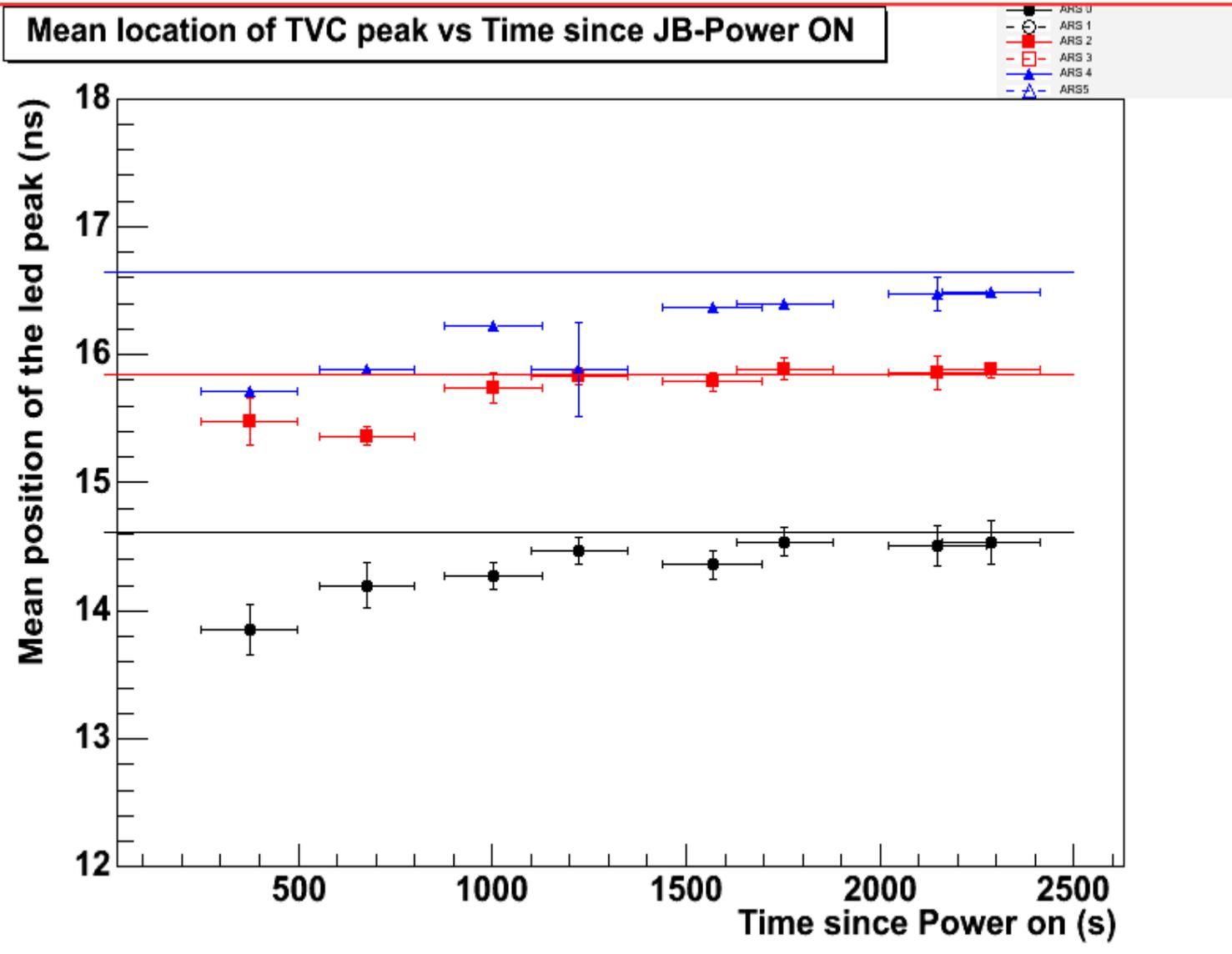
Mean time of flash seen by OMs



Les flashes sont vus à chaque run au même moment.

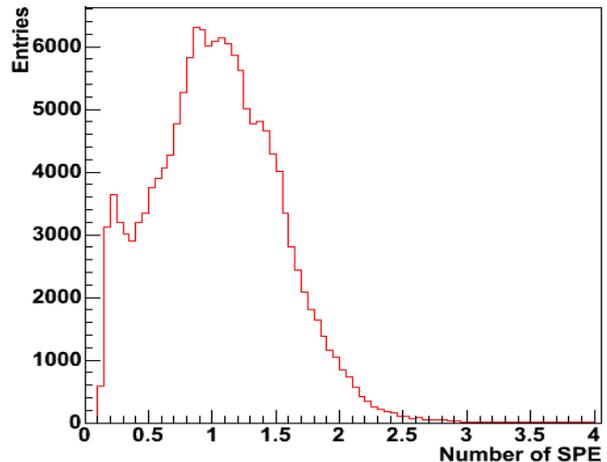
$$\sigma \sim 0.5\text{ns}$$

# Effet du démarrage du détecteur

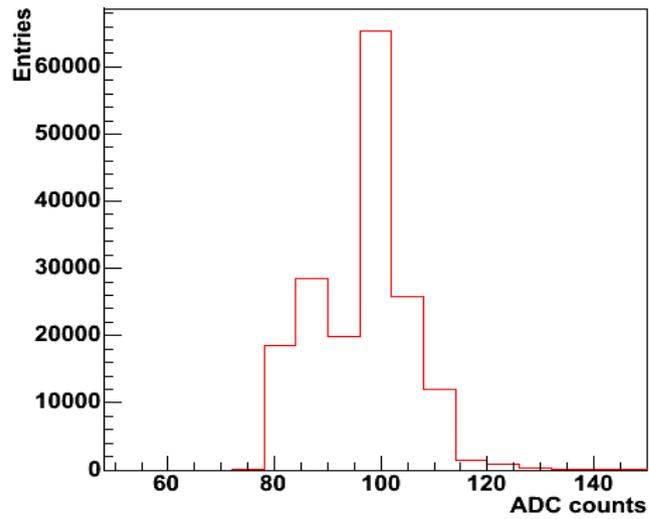


Après un redémarrage à froid du détecteur il faut environ  $\frac{1}{2}$  heure pour que les temps de transit soient stables à leurs valeurs *nominales*.

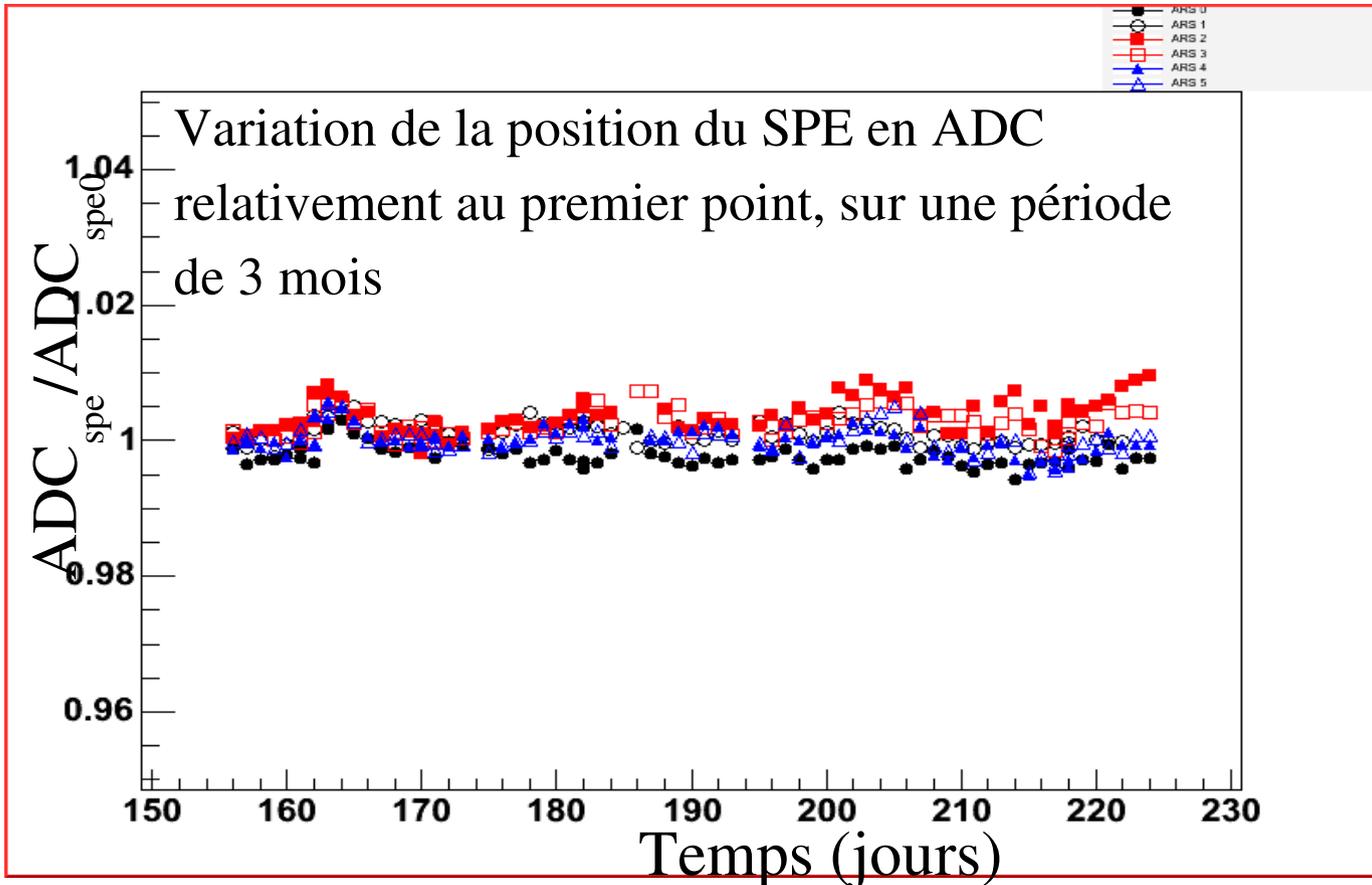
# Stabilité des Calibrations Calibrations en charge



Distribution de charge à partir de la forme du signal



Exemple de distribution de charge intégrée «en ligne»

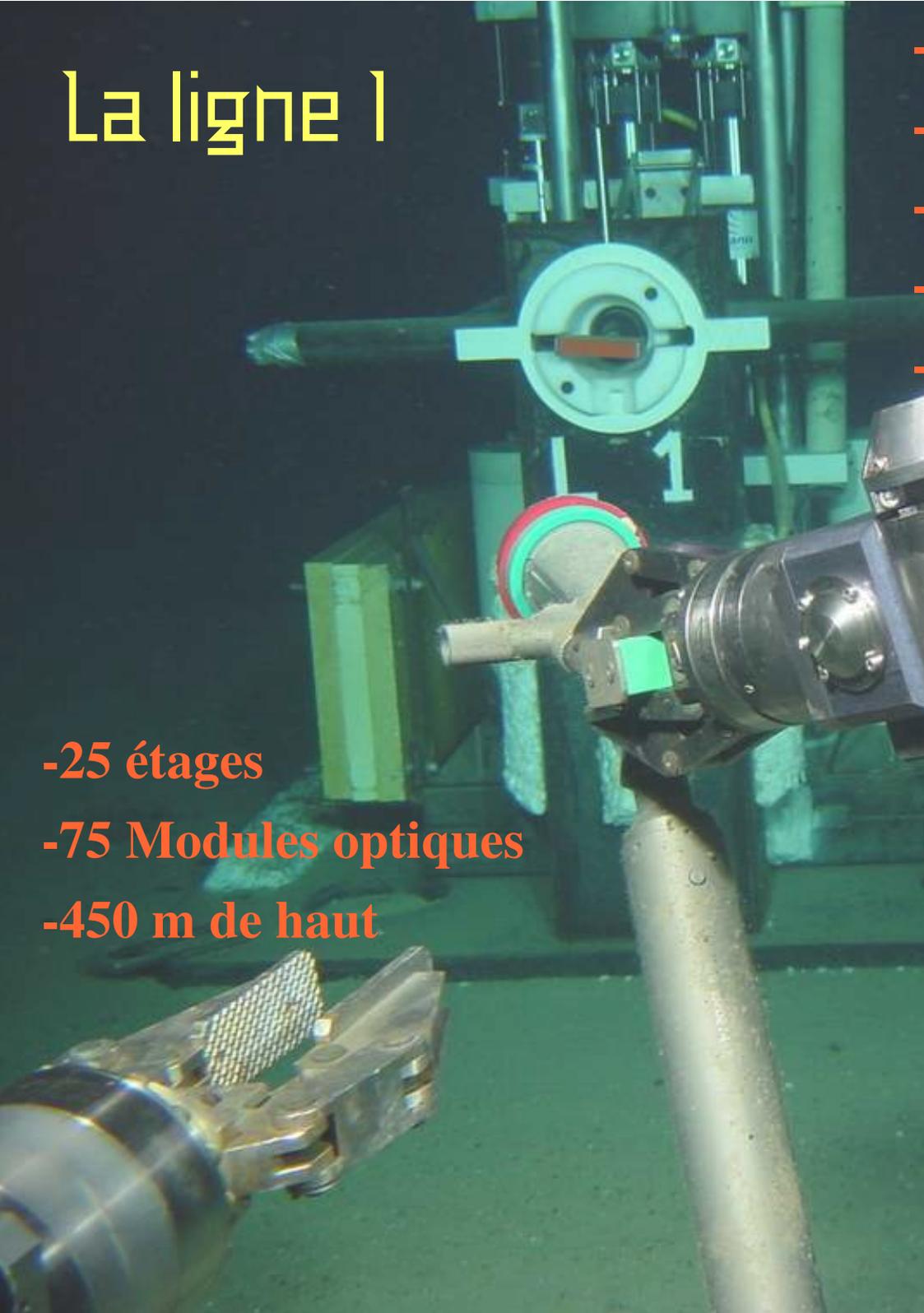


La valeur en ADC du pic SPE est stable à 0.5% près.

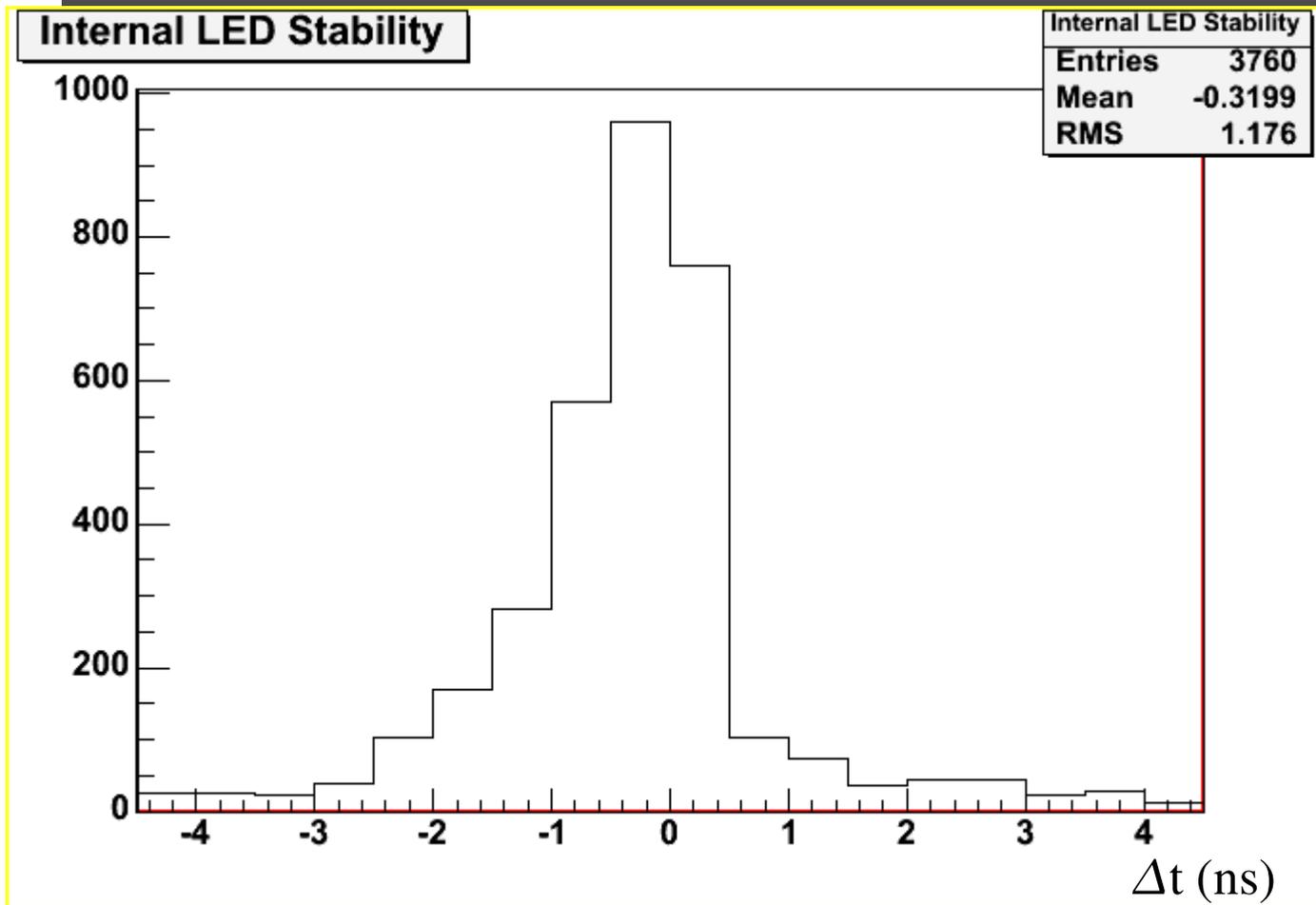
# La ligne 1

- Première ligne ANTARES complète
- Intégration et test Automne 2005
- Mise à l'eau février 2006
- Connexion 2 mars 2006
- Fonctionne...

- 25 étages
- 75 Modules optiques
- 450 m de haut



# Stabilité des temps de transit

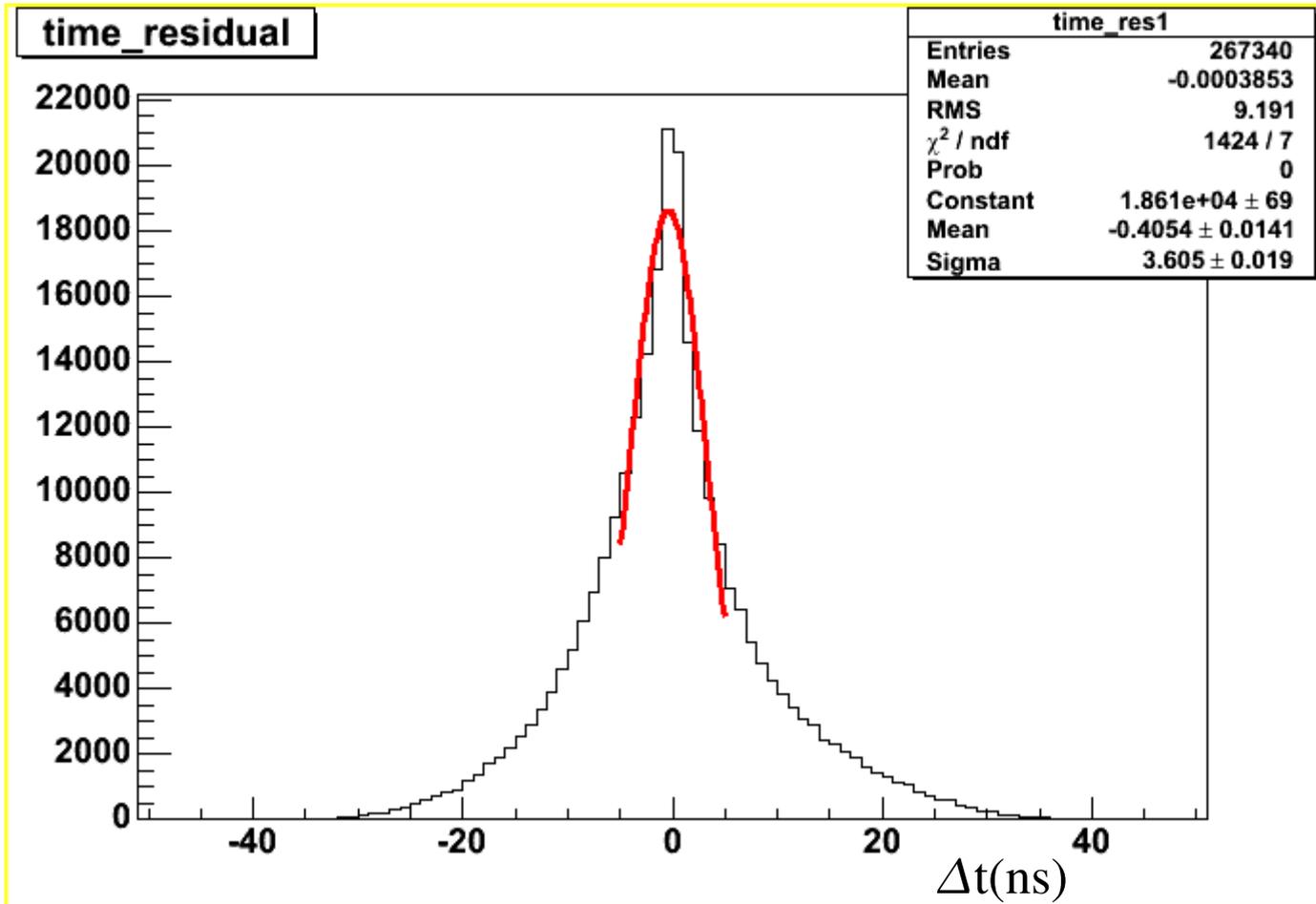


Les TT sont stables.

Procédure  
automatique sur 75  
modules optiques  
et sur 140 jours de  
données.

Dispersion des temps de transit par rapport à leurs valeurs moyennes depuis la connexion de la ligne 1.

# Résultats: Résidus temporels donnees

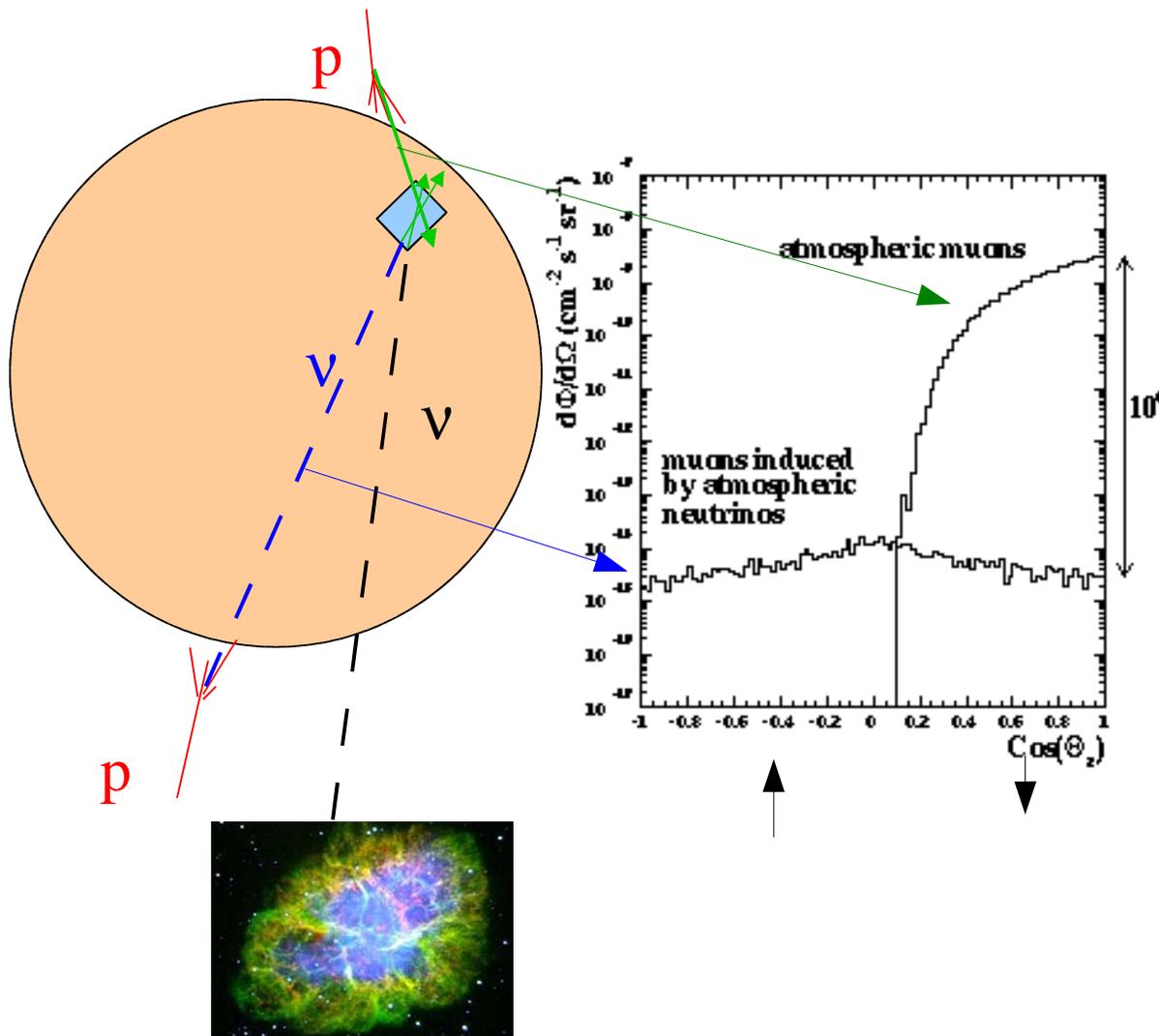


$\sigma=4\text{ns}$

Pour les hits  
sélectionnés

Reconstruction de muons  
atmosphériques descendants  
(préliminaire)

# Pourquoi les muons atmosphériques descendants ?

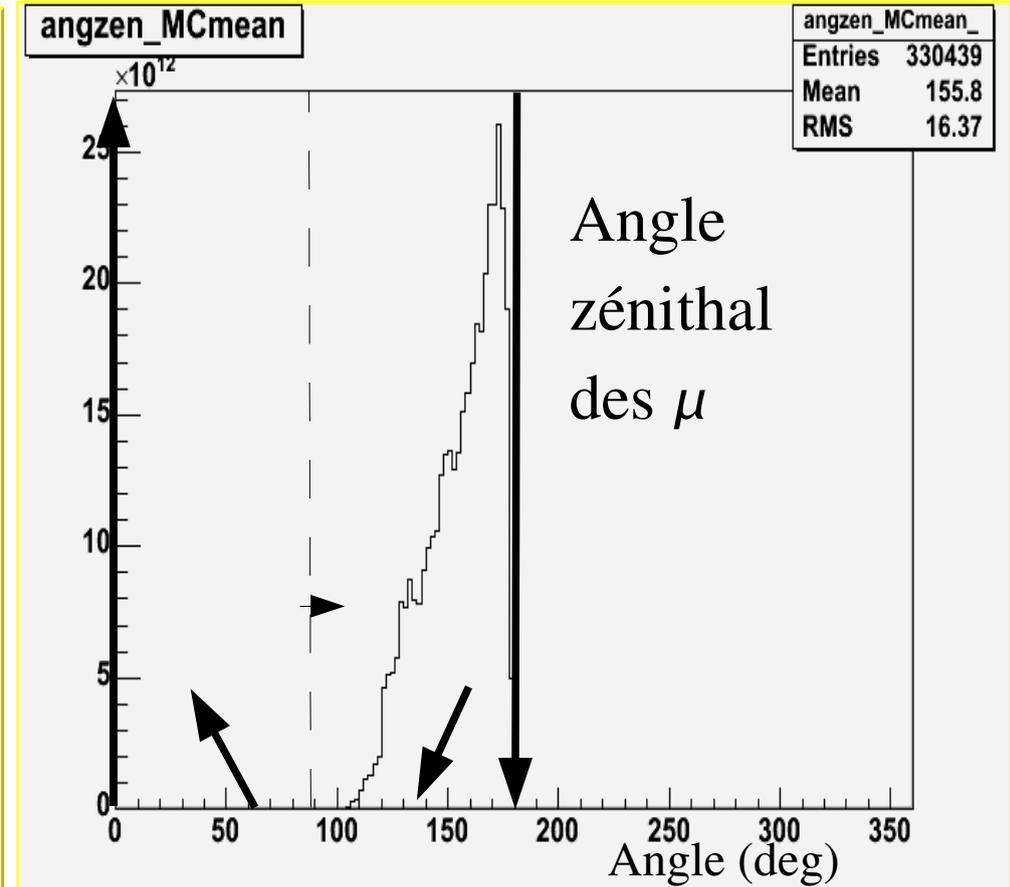
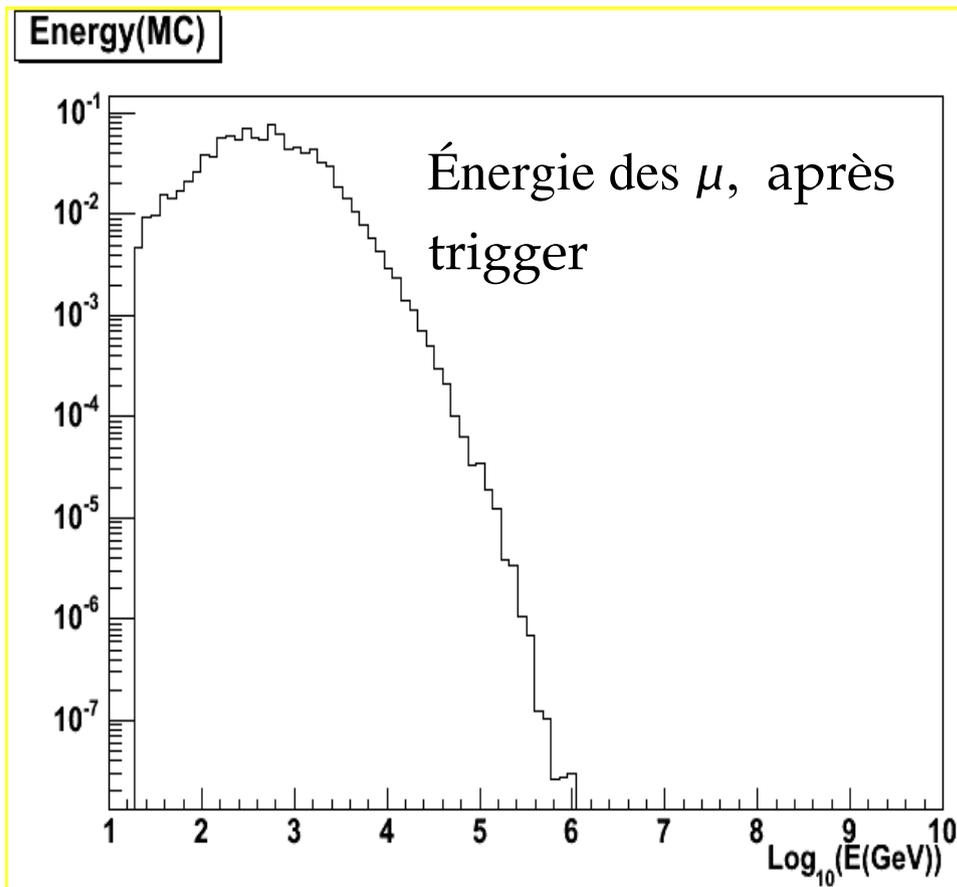


- ANTARES a pour but l'observation de neutrinos cosmiques.
- Les neutrinos atmosphériques montants sont un bruit
- Les muons atmosphériques descendants sont un bruit
- On peut utiliser ces bruits comme «si gnal» physique
- Avec une ligne : pas assez de paramètres pour discriminer correctement un muon d'un neutrino

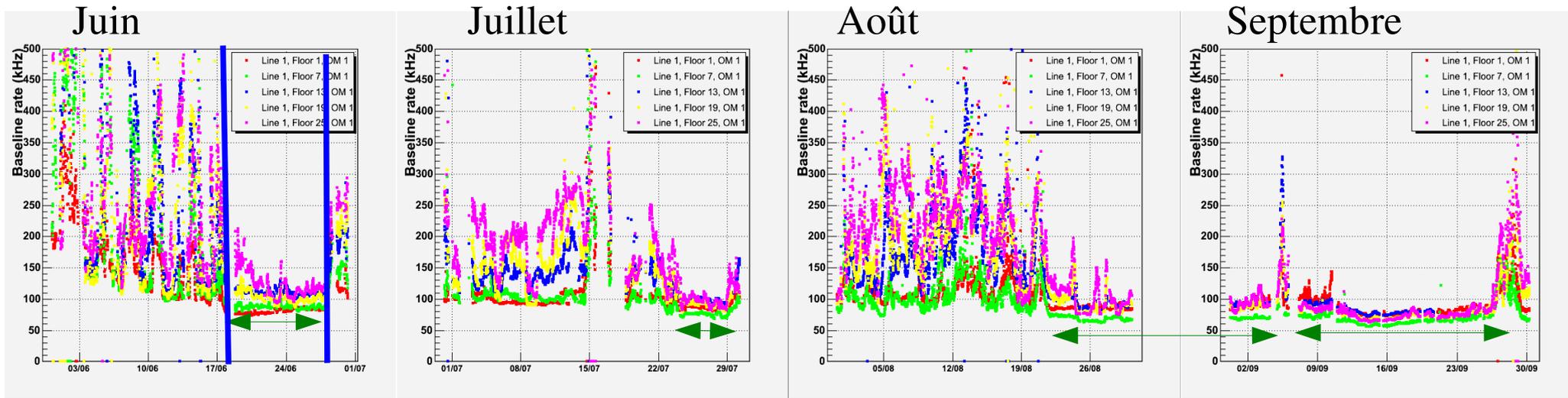
# Production MC de muons atmosphériques descendants

Production générée avec Corsika suivant le flux:

$$\frac{d\Phi_z}{dE_0} = \Phi_z^0 E_0^{\gamma_z} \left( 1 + \left( \frac{E_0}{E_z} \right)^{\epsilon_c (\gamma_c - \gamma_z)/\epsilon} \right)$$



# Taux de comptage Ligne1



Comptage sur les PM :  $^{40}\text{K}$  + Bioluminescence(t) + Physique

$^{40}\text{K}$  : 40 kHz : constant

Bioluminescence: Variable : Période maximale mars-juin, minimale automne

Physique  $\ll$   $^{40}\text{K}$  + Bioluminescence

L'analyse présentée concerne la semaine de juin avec de bonnes données

# Les difficultés pour la reconstruction de MUONS

-1 Ligne : pas assez d'information pour faire de la 3D

- Beaucoup de bruit de fond optique

-Multi-Muons

-Gerbes Electromagnetique

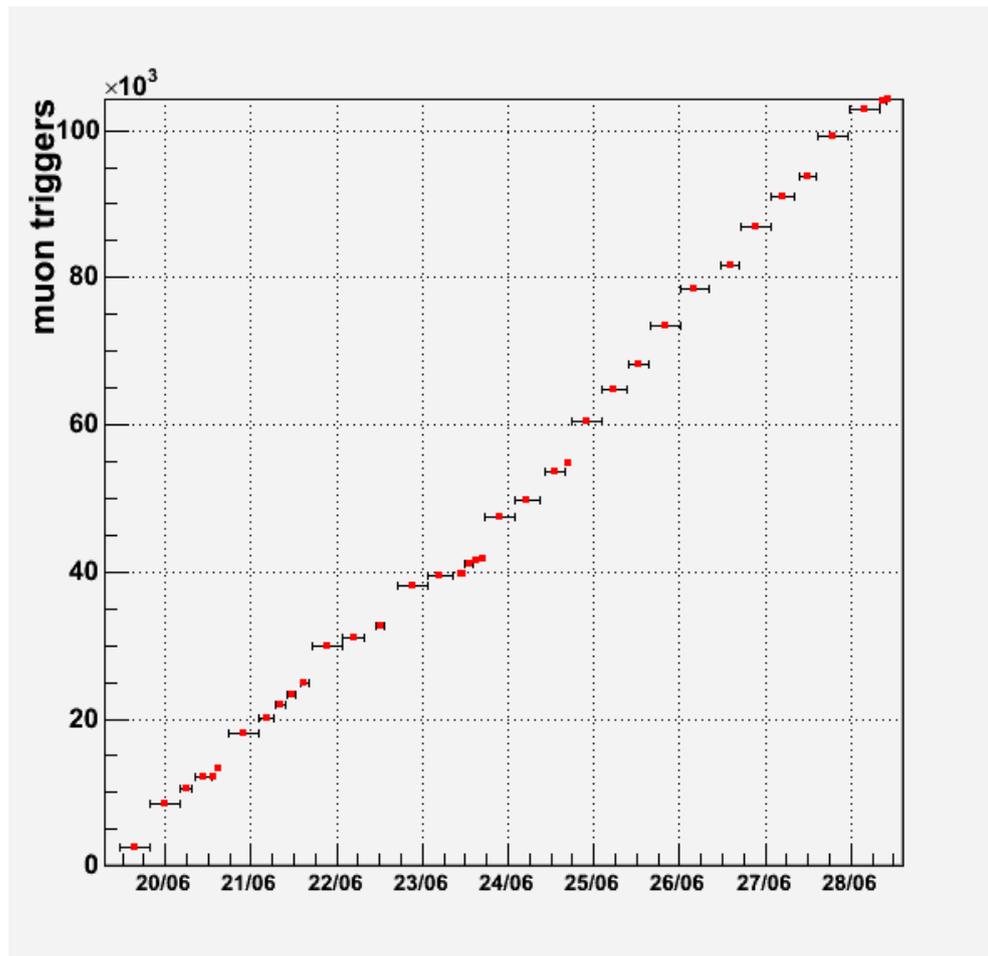
-On ne reconstruit pas l'angle Azimutal

-Trigger basé sur des coïncidences, dans le même étage et entre étages, qui n'enregistre l'événement que s'il trouve des coïncidences.

-les Multi-Muons sont colinéaires.

-Forme différente mais pas encore de vrai système de discrimination.

# Les données pour l'analyse



Quelques chiffres:

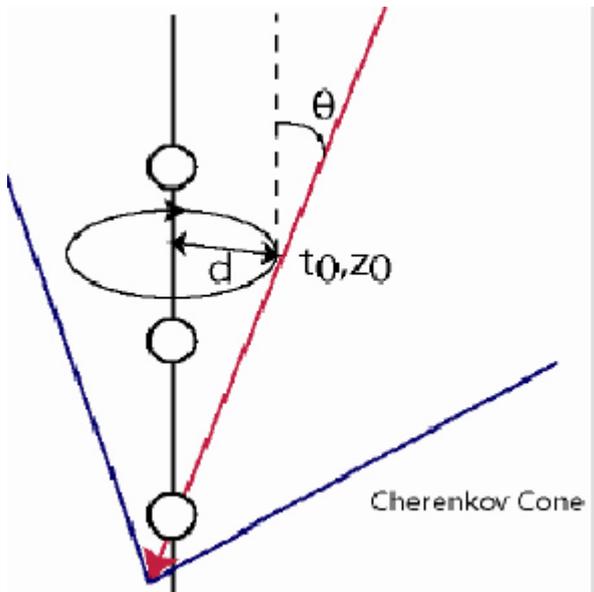
- Nombre d'événements 103986
- Nombre de traces avec prefit 64842 (62.36 %)
- Nombre de traces avec Fit 30284 (29.12 %)

Nombre d'événements sélectionnés par le trigger, en fonction du temps.

Pour la semaine étudiée: environ 100 000

# Méthode de reconstruction

1 seule ligne, impossible de faire  
une reconstruction 3D:  
on a une dégénérescence sur  
l'angle azimutal  $\Phi$



On fait alors une  
reconstruction d'une  
trace en 4 paramètres  
 $\theta, d, t_0, z_0$

$$c(t - t_0) = (z - z_0) \cos(\theta) + \sqrt{n^2 - 1} \sqrt{d^2 + (z - z_0)^2 \sin^2(\theta)}$$

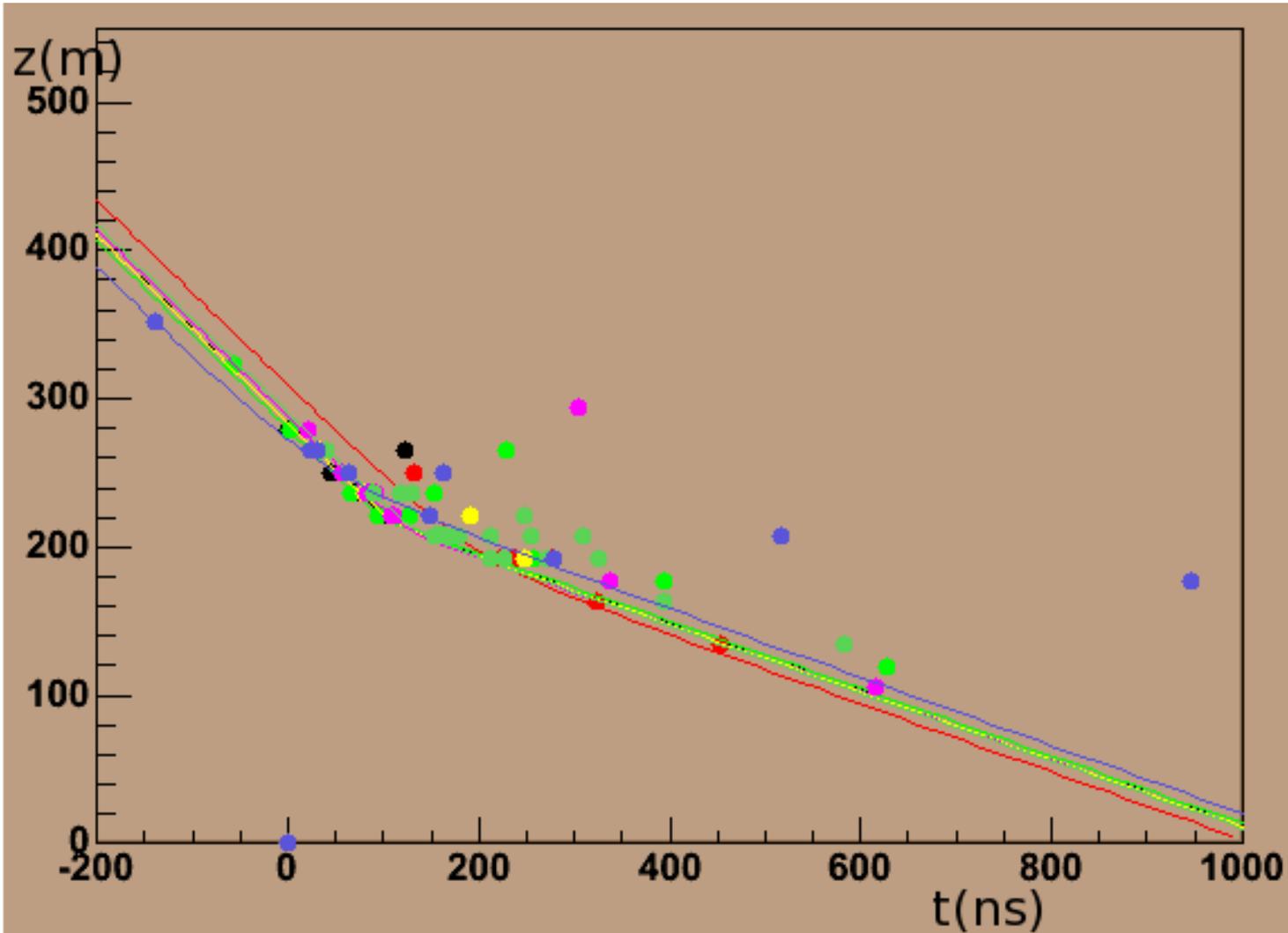
Le trigger sélectionne les  
hits en coïncidence locale  
et de forte amplitude

Pre-fit Linéaire sur les Hits  
sélectionnés par le trigger

Nouvelle sélection de hits  
basée sur tous les hits  
enregistrés et le prefit

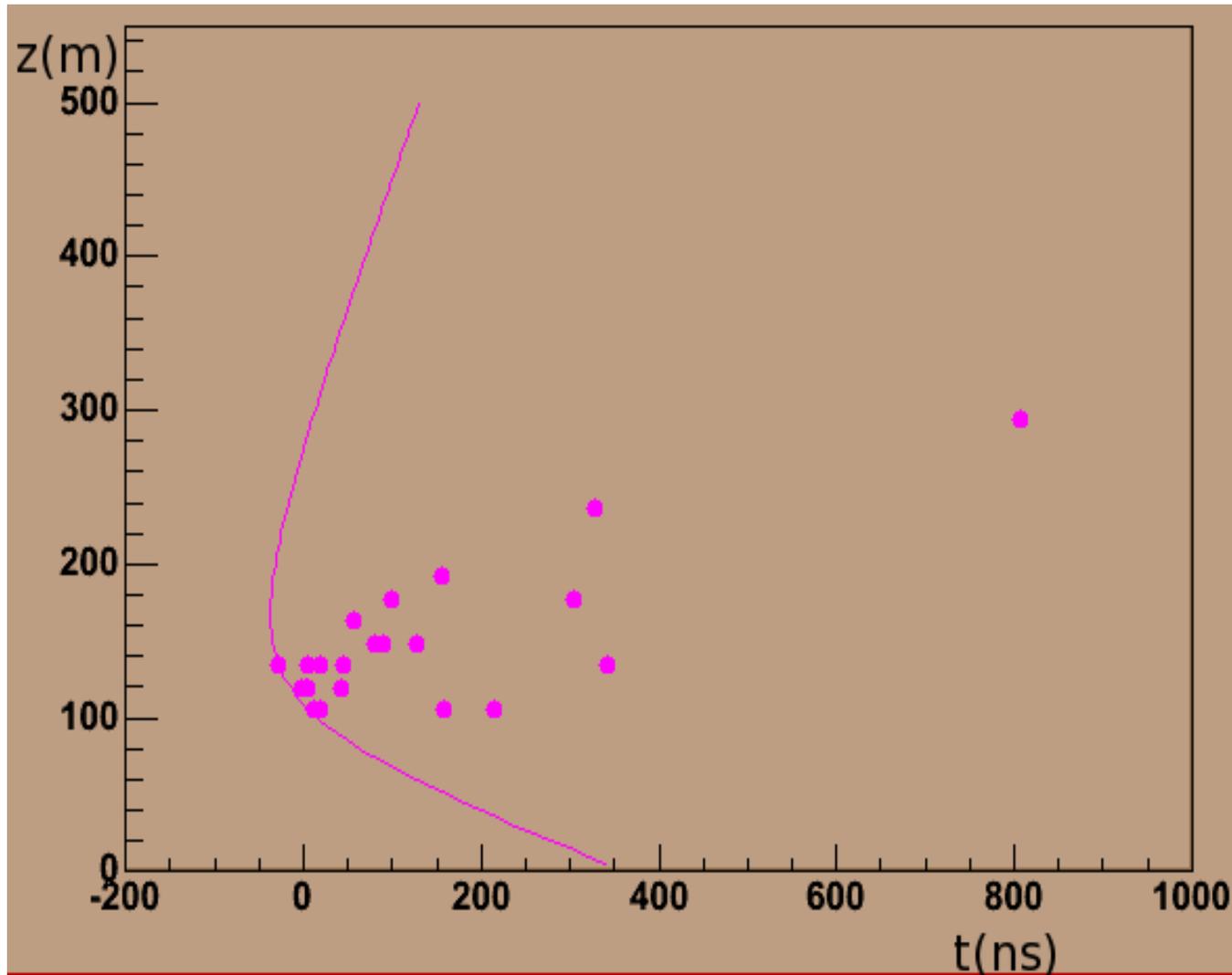
Fit  $\chi^2$

# Quelques événements MC



Événements  
Multi-muons, on  
voit que toute les  
traces sont  
parallèles.

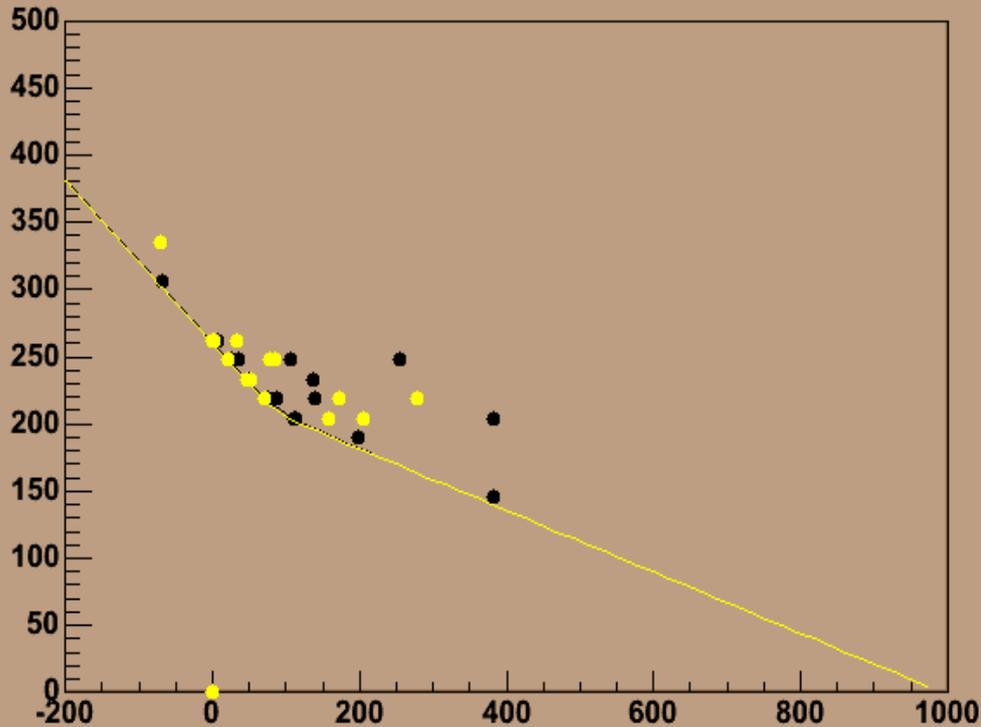
# Quelques événements MC



Ici une gerbe rend  
la trace non-  
reconstructible.

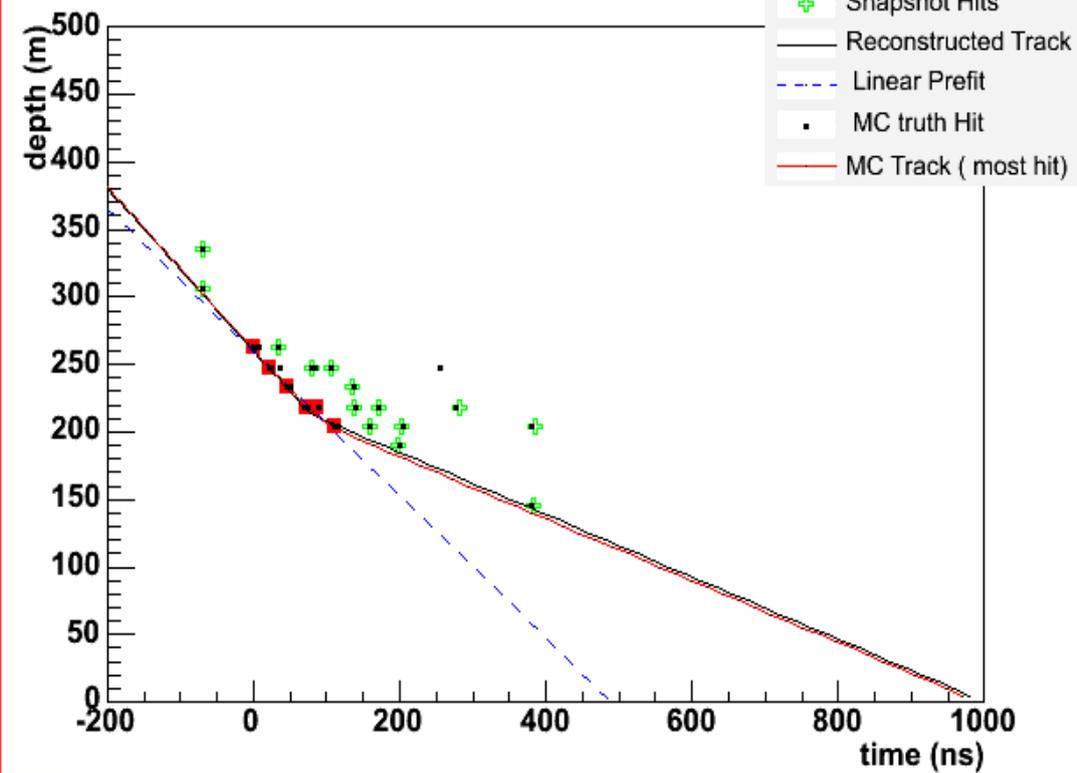
# Quelques événements MC

Event num 2 from run MC : Nb Hit 32 Nb Track2



Vérité MC

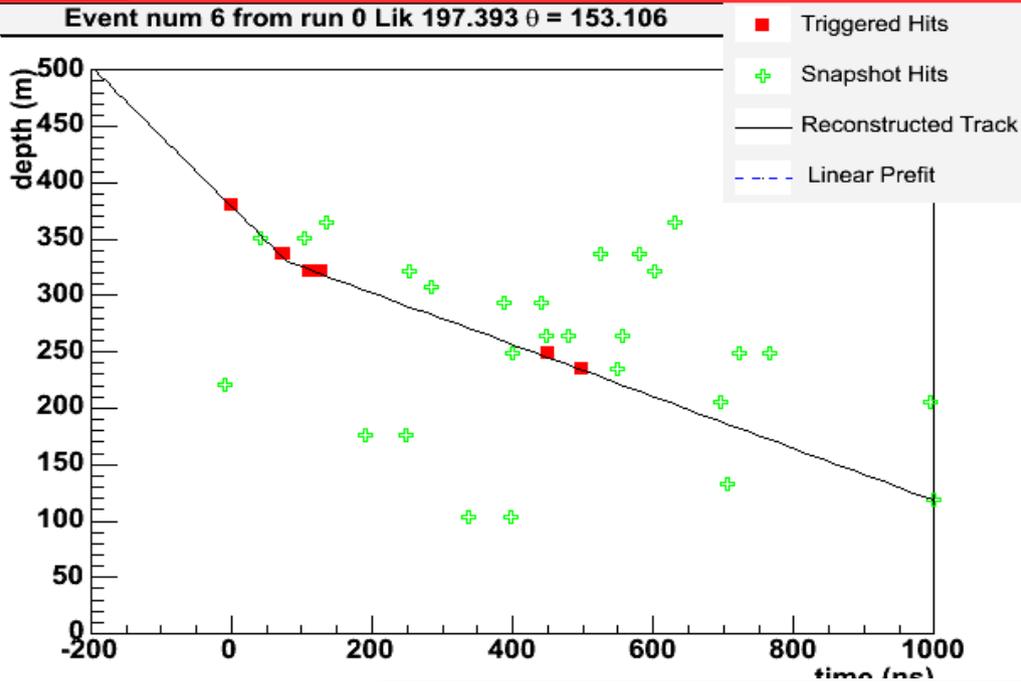
Event num 2 from run 0 Lik 124.76  $\theta = 153.838$



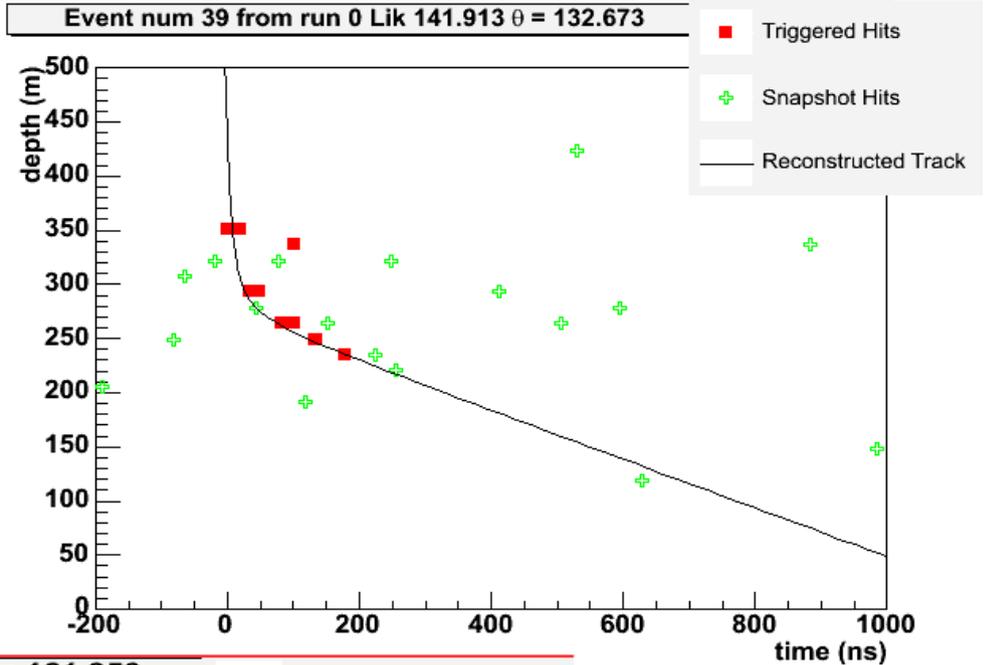
Après reconstruction, MC  
superposé.

# Quelques événements réels

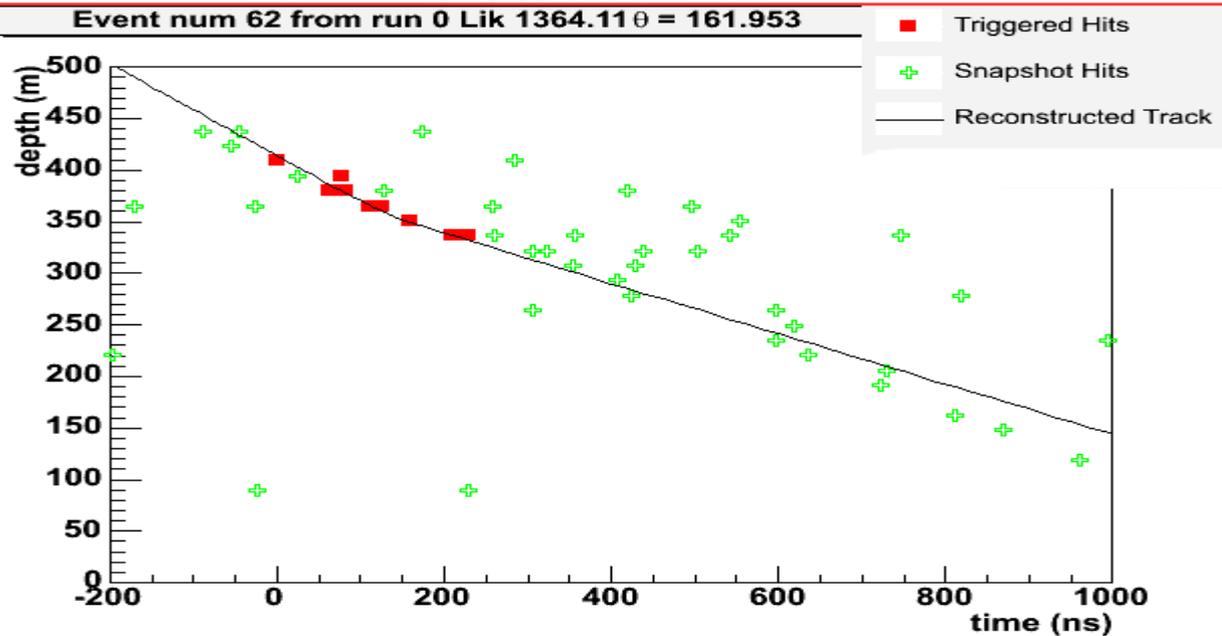
Event num 6 from run 0 Lik 197.393  $\theta = 153.106$



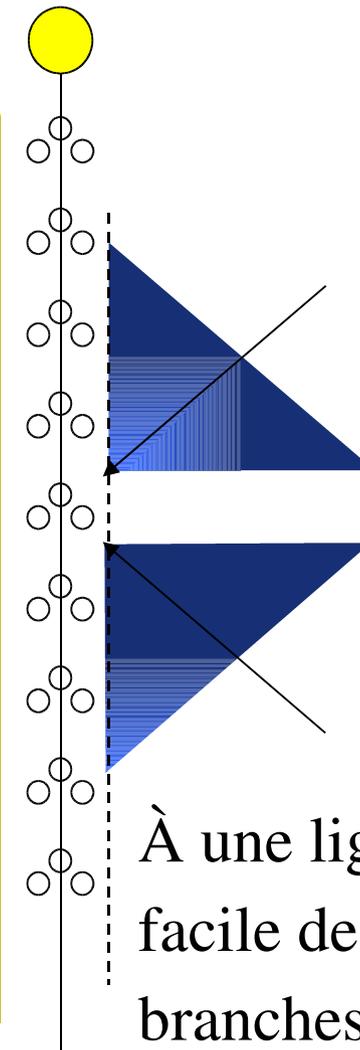
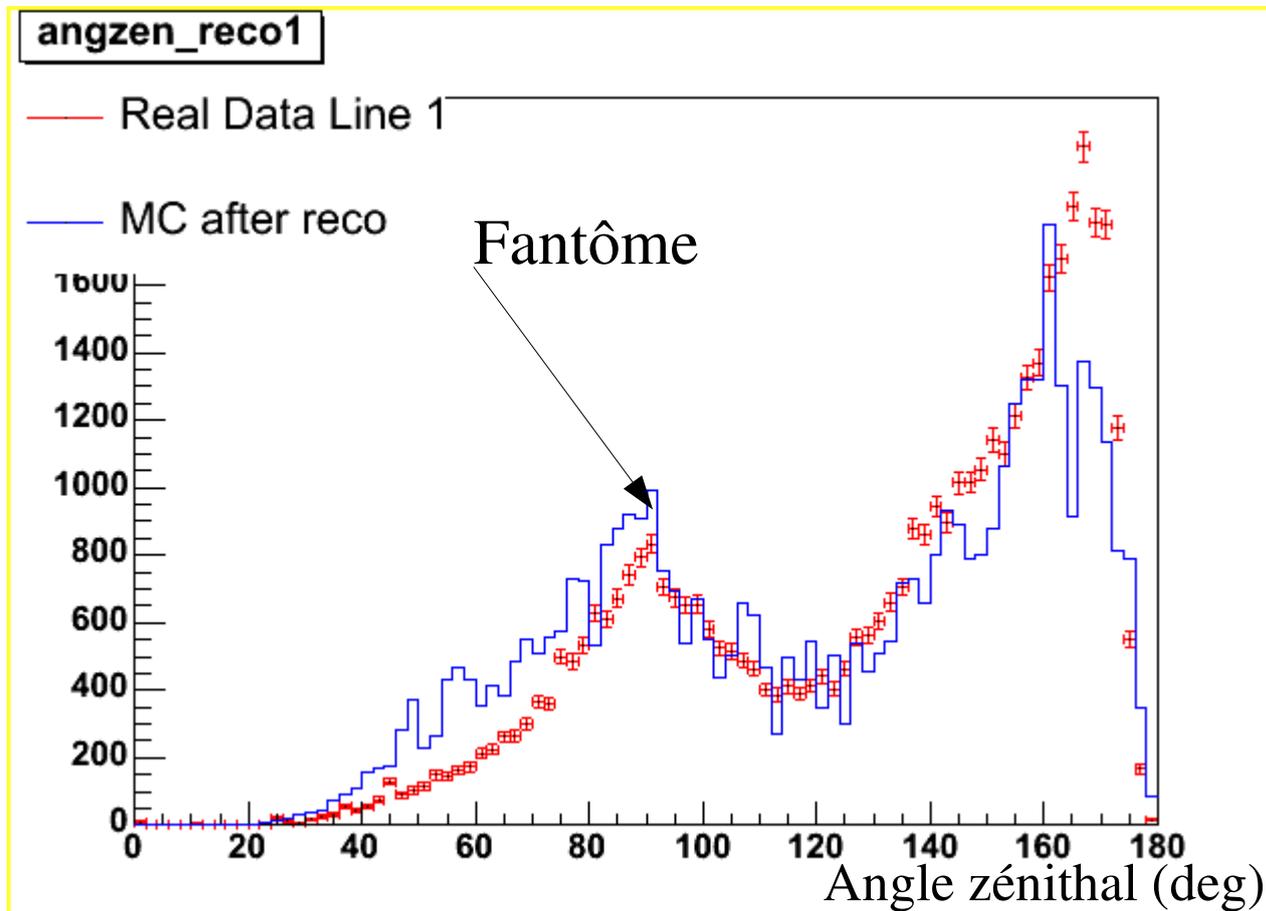
Event num 39 from run 0 Lik 141.913  $\theta = 132.673$



Event num 62 from run 0 Lik 1364.11  $\theta = 161.953$



# Résultats: Angle Zénithal



À une ligne il est  
facile de confondre 2  
branches du cône

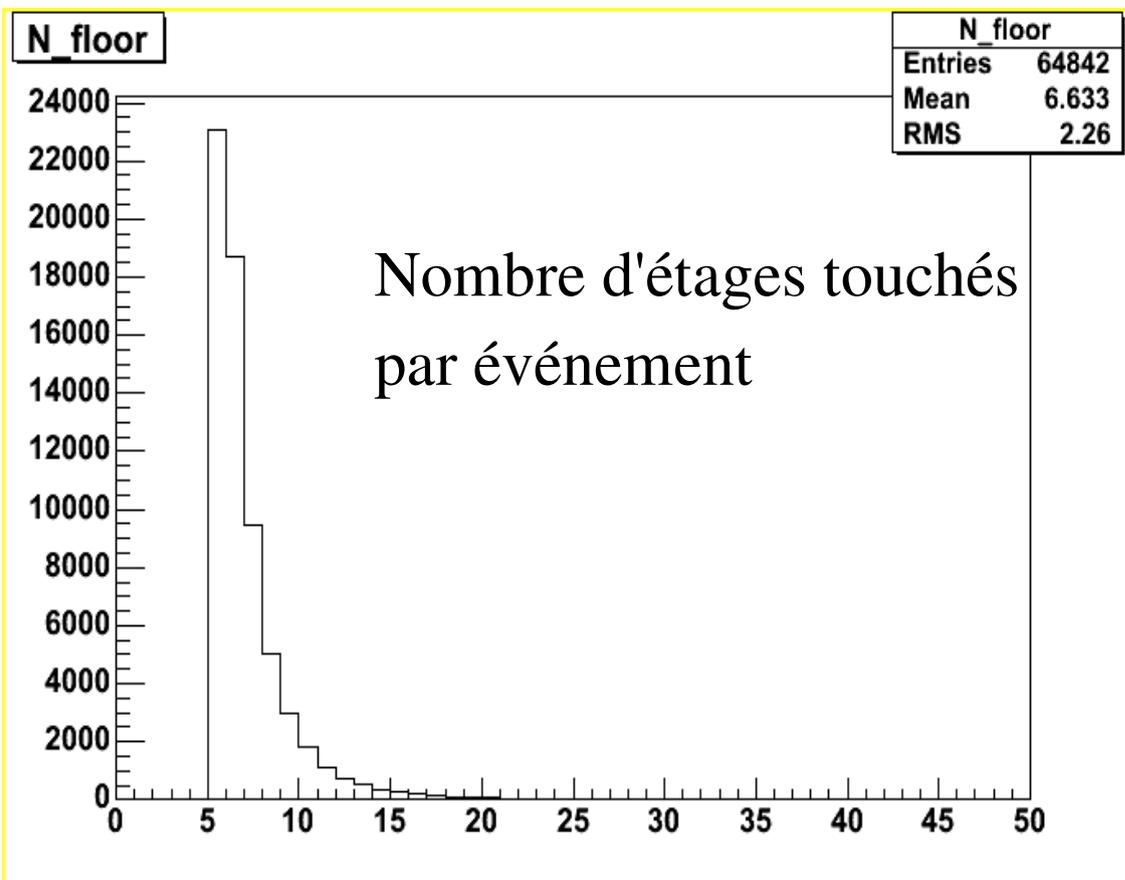
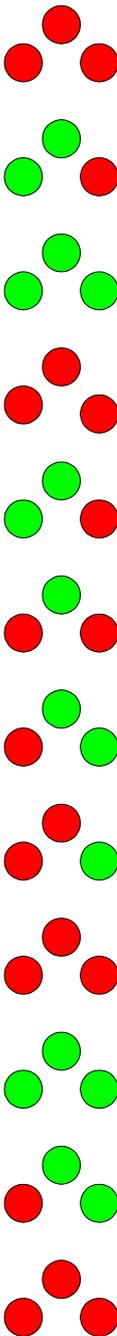
# Amélioration de la résolution en zenith : Nombre d'étages

-Le nombre d'étages peut il permettre  
d'améliorer la résolution angulaire ?

Au lieu de  
compter le nombre  
de Hits, on compte  
le nombre d'étages  
différents touchés,  
ici huit.

Hits

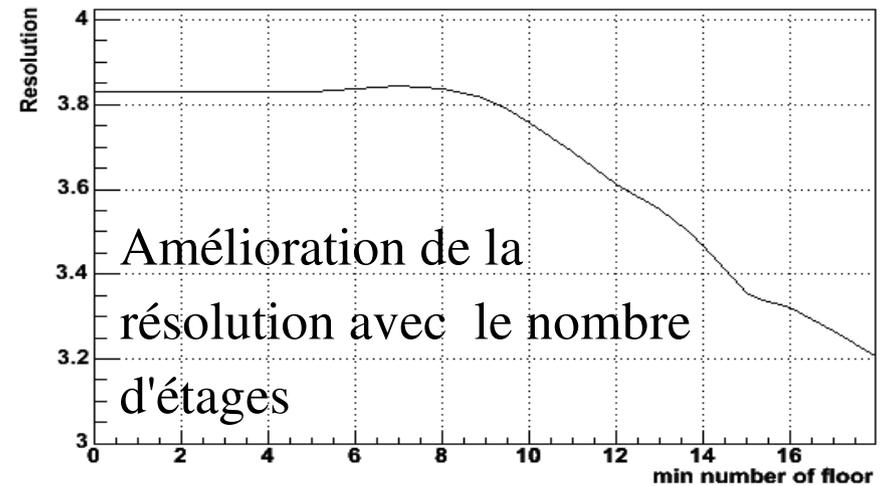
Pas de Hits



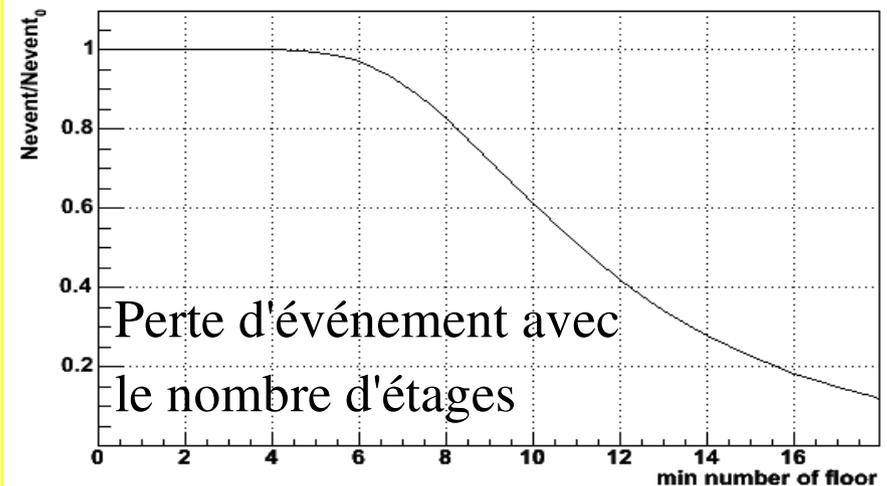
# Amélioration de la résolution en zenith : Nombre d'étage

On peut gagner environ 0.5 degré sur la partie centrale, en augmentant le nombre d'étages touchés minimum.

Resolution vs nFloor



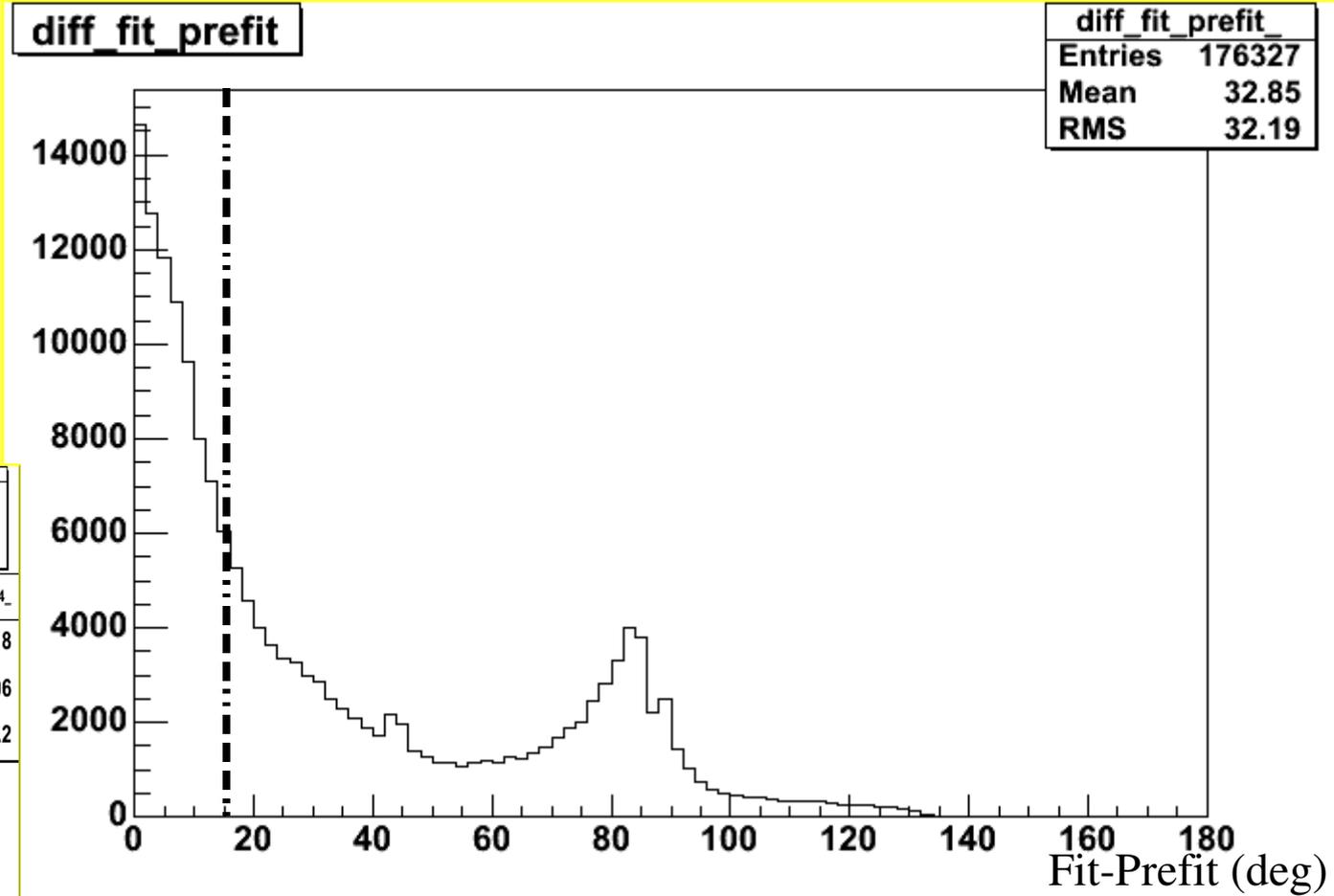
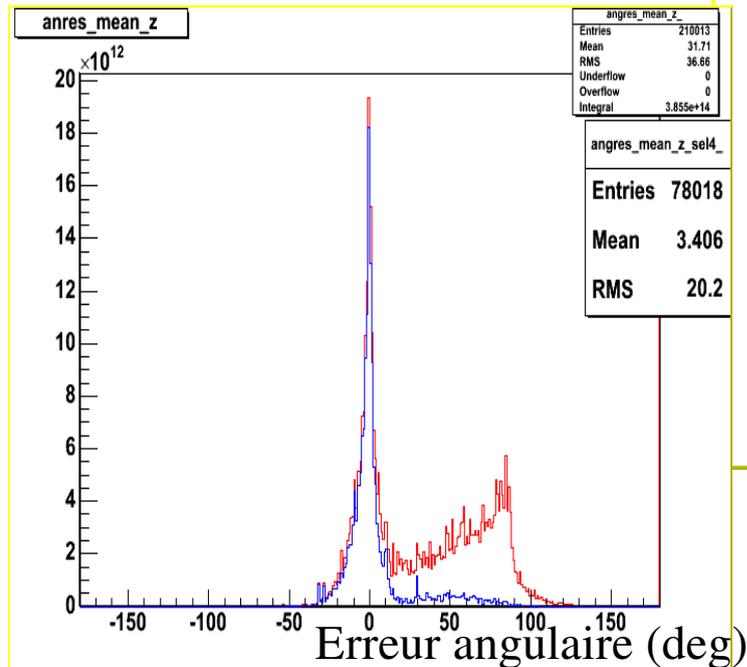
Number of Event (normalized)



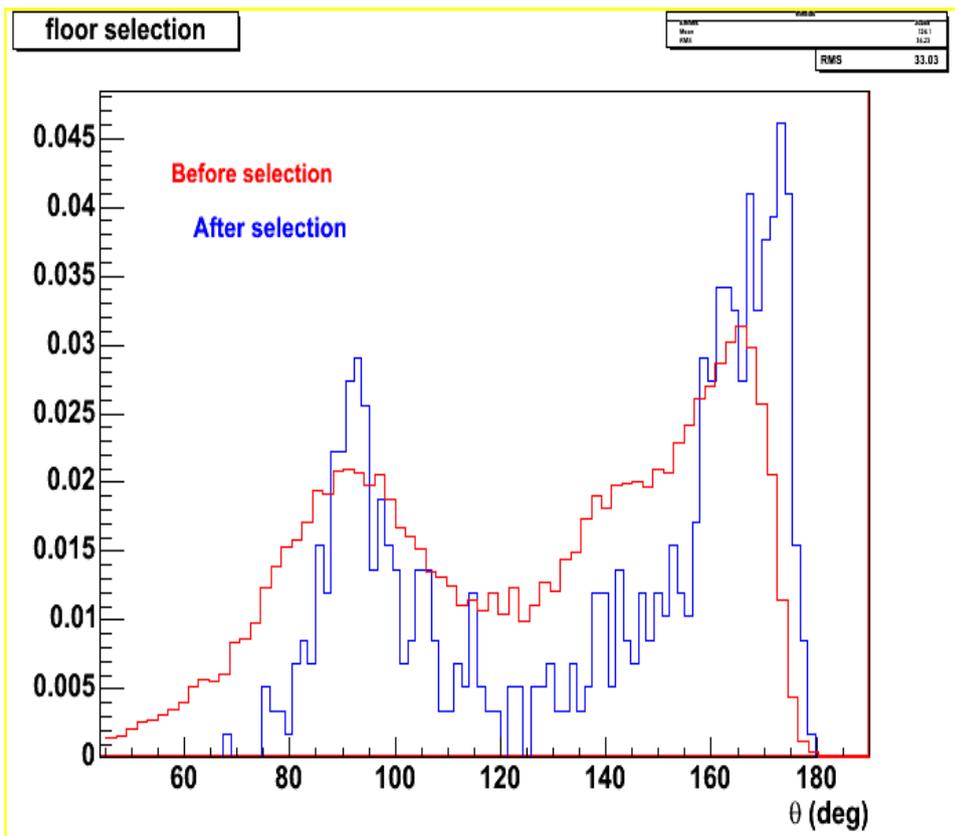
# Une autre méthode de sélection

On utilise la différence entre le prefit et le fit comme critère de sélection.

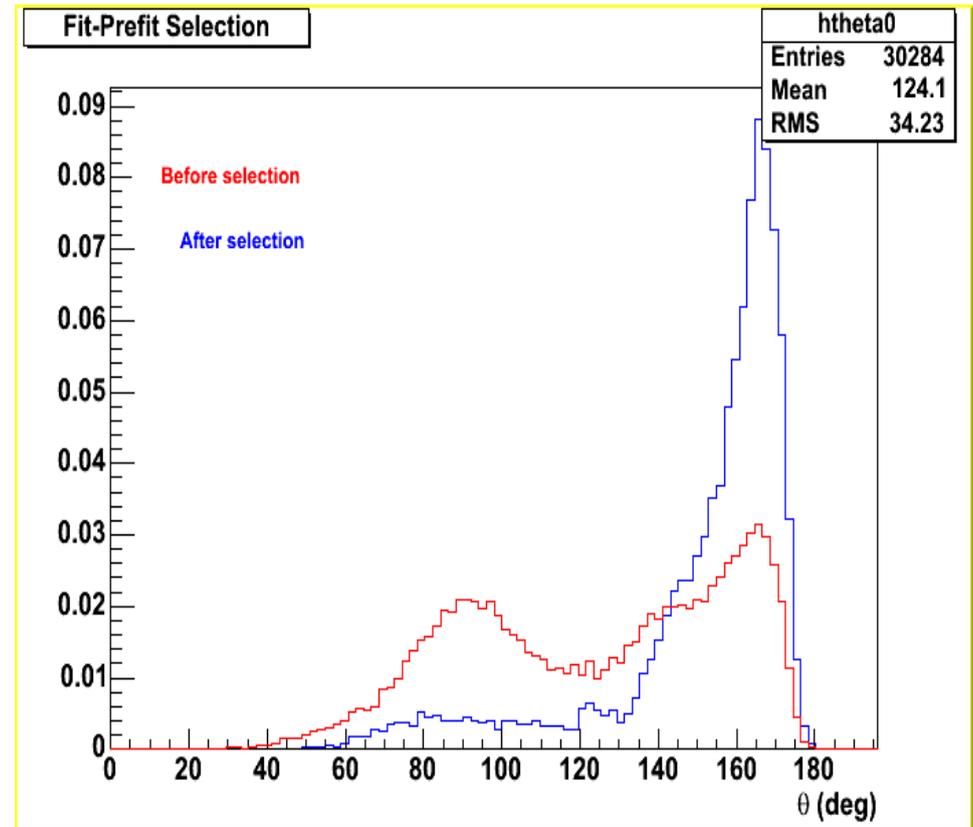
Perte d'événement faible pour un bon résultat.



# Angle Zenithal après sélection vraie données



Sélection avec au moins 10 étages touchés.

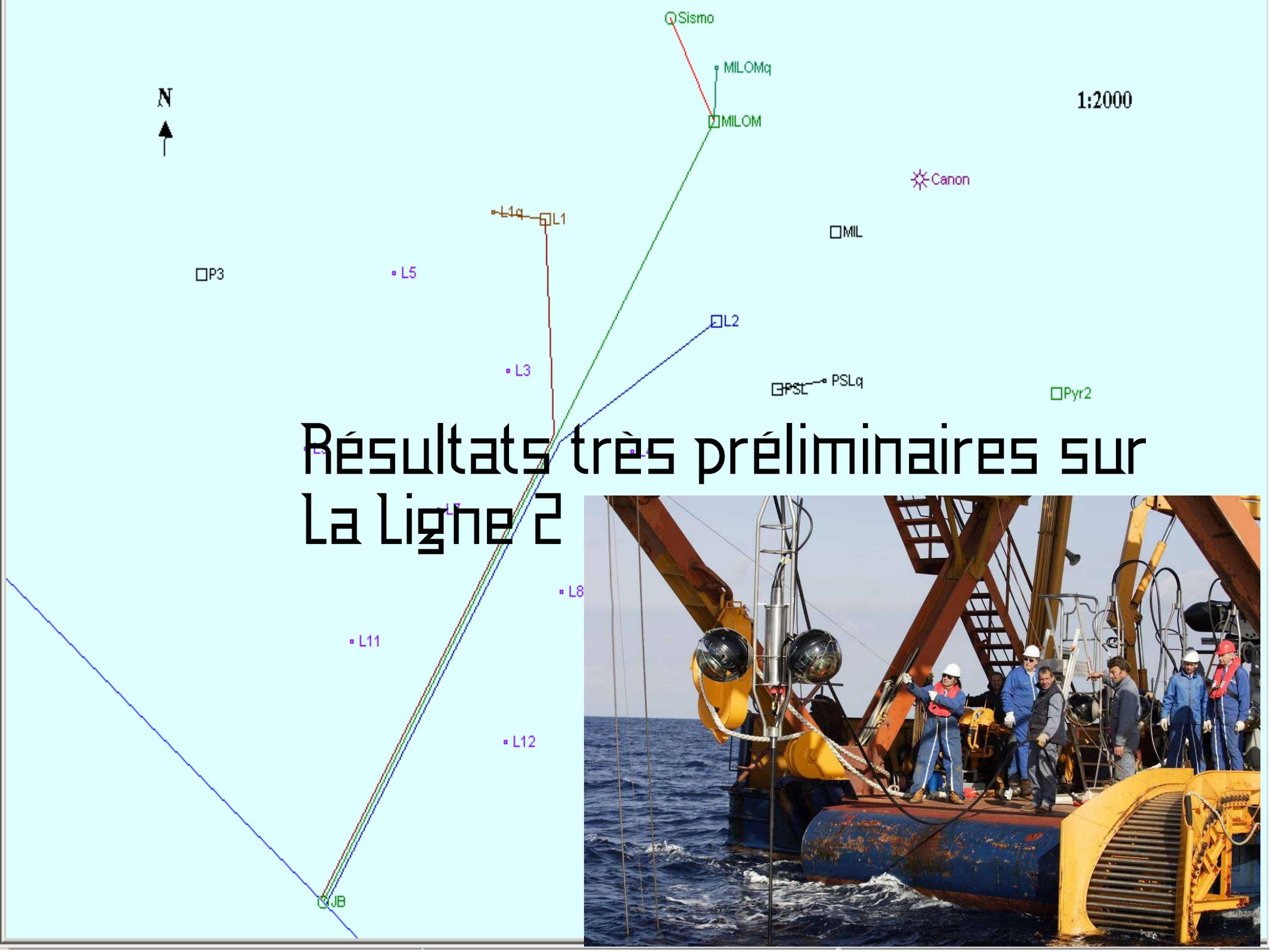


Sélection sur la différence fit prefit  
Le fantôme est pratiquement éliminé.



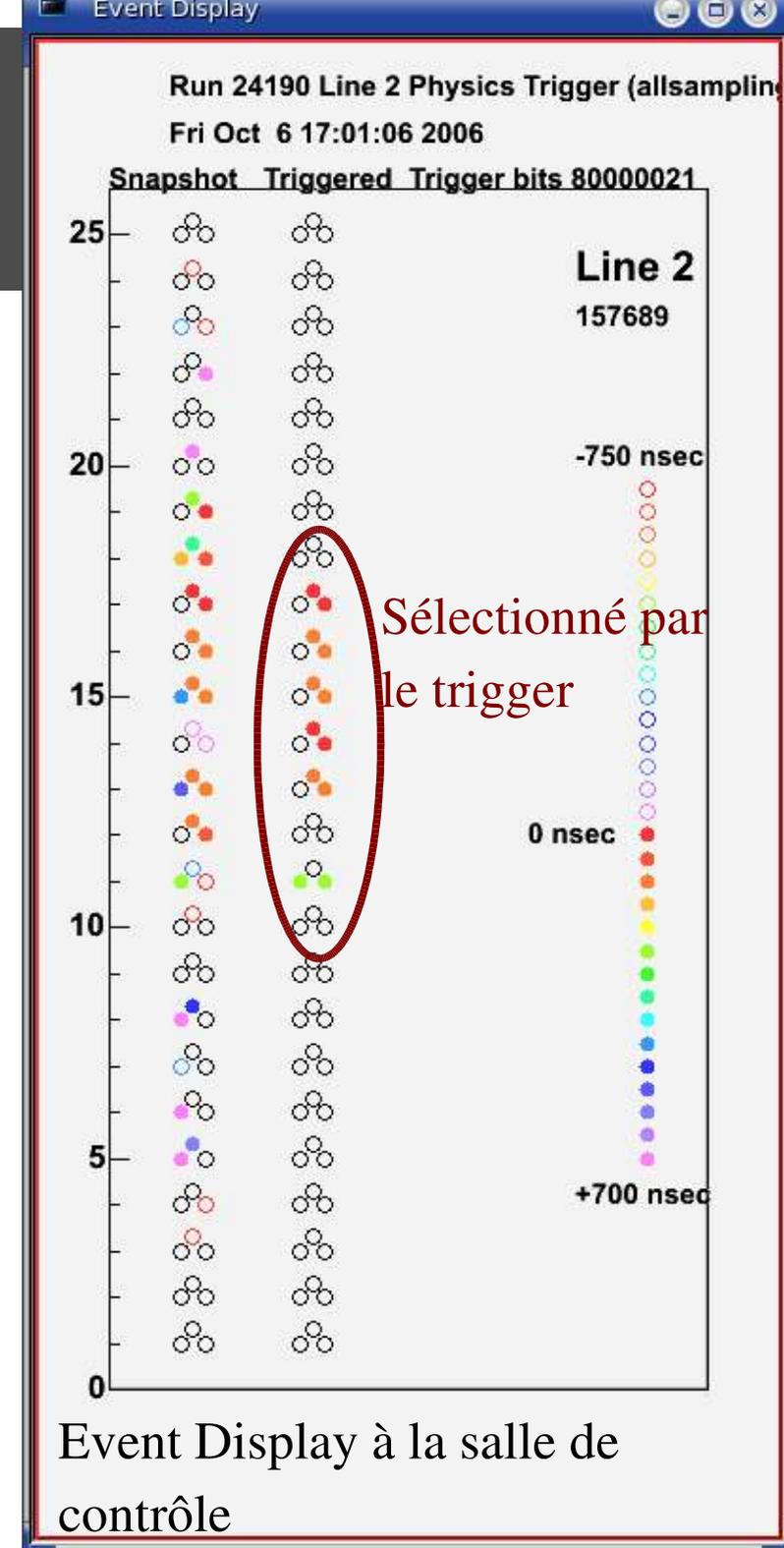
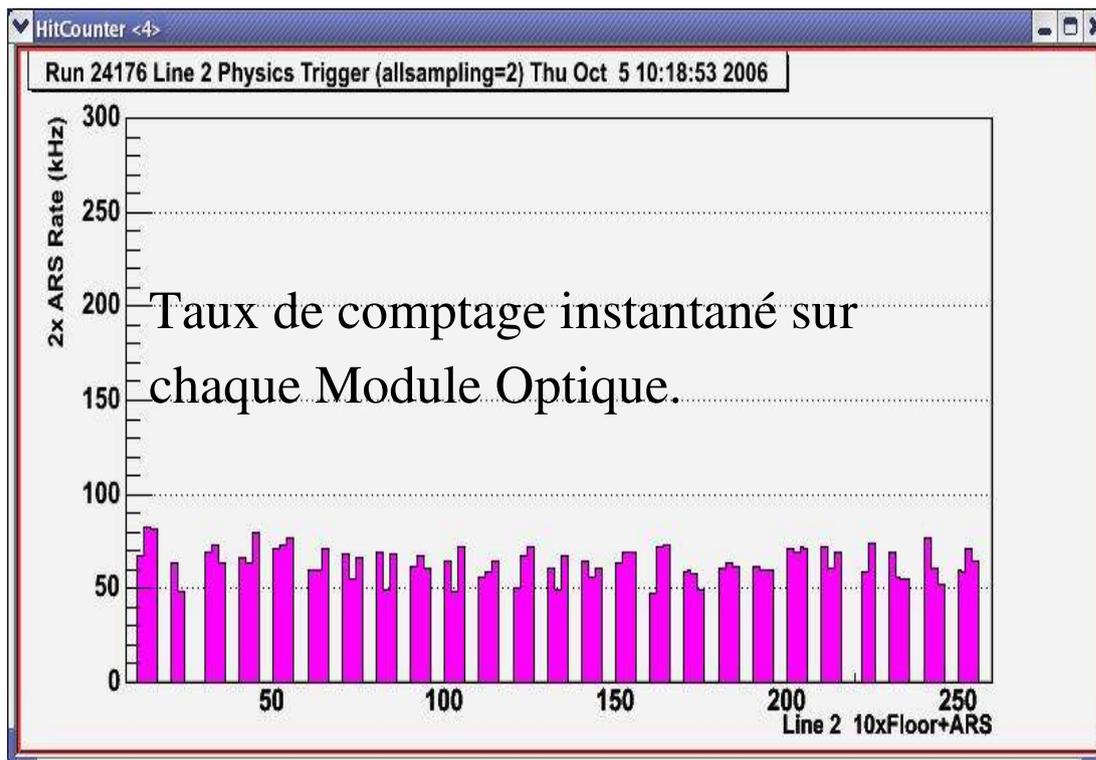
1:2000

# Résultats très préliminaires sur La Ligne 2



# La ligne...

- Intégration Printemps-Été 2006
- Déploiement au mois de Juillet
- Connexion 21 septembre 2006
- Même principe que la ligne 1.
- Fonctionne

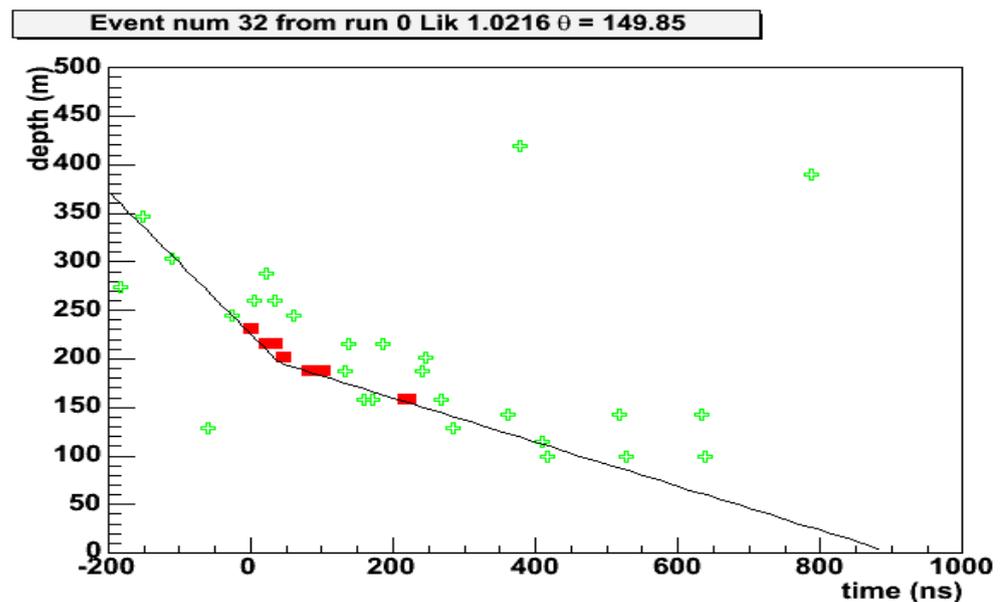
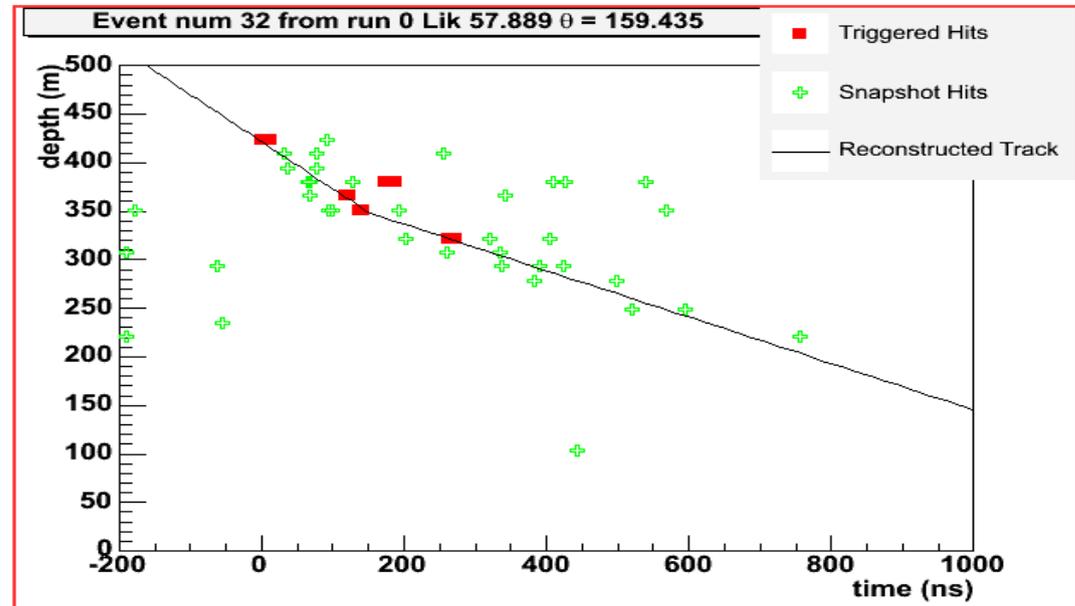


Event Display à la salle de contrôle

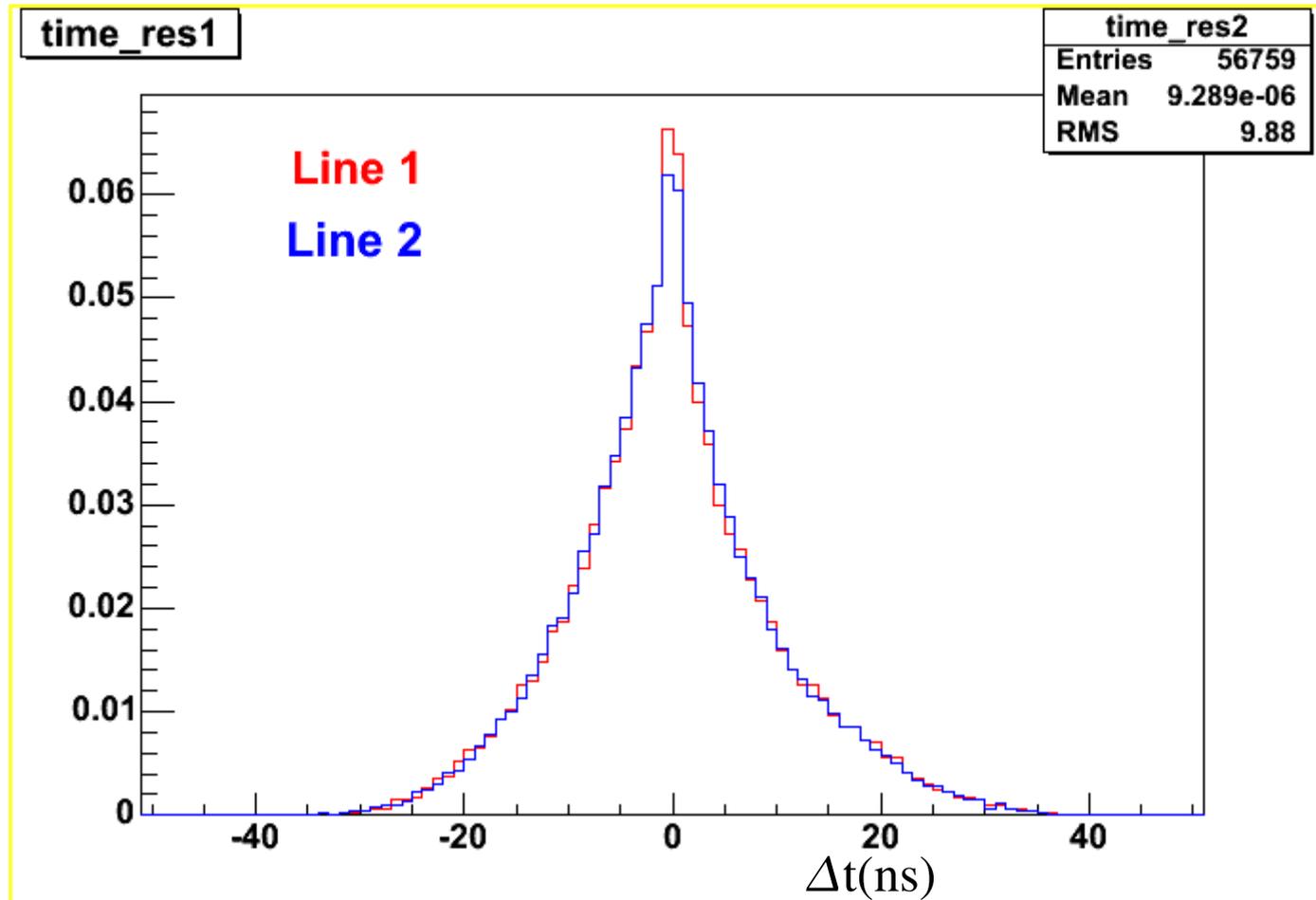
# Reconstruction de muons à deux lignes

On reconstruit en 1D,  
successivement sur la  
ligne 1 puis sur la ligne 2 de  
manière séparée.  
Environ 1% des événements  
sont reconstruits sur deux  
lignes

Résultats présentés ici :  
Première semaine de données.

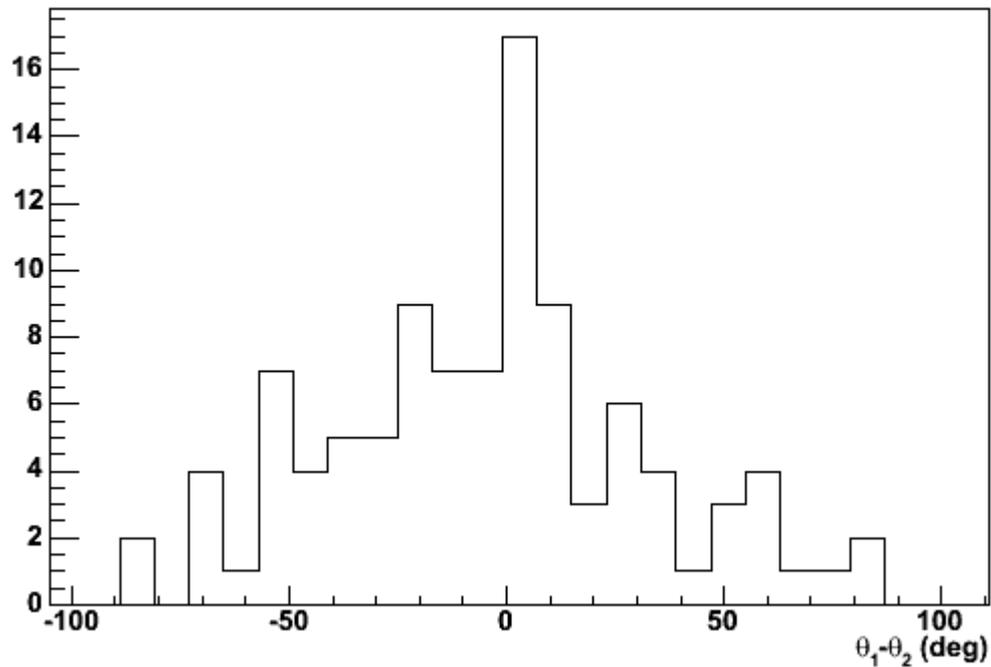


# Résidus en temps



# Événements à deux lignes.

Angle difference



- Très peu d'événements à deux lignes.
- Résultats compatibles
- Les événements à deux lignes sont moins verticaux.

# Conclusion

- Bon fonctionnement de la partie déployée du détecteur.
- Stabilité des temps de transits vérifiée : nécessaire pour la reconstruction.
- Des muons atmosphériques ont été reconstruits.
- Les deux premières lignes prisent individuellement ont des résultats comparables.

- -

## Perspectives

- Perfectionner la méthode de reconstruction pour les muons.
- Mesurer le flux de muons atmosphériques.
- Comprendre la réponse du détecteur.
- Ligne 3,4 en cours de construction. connection en Janvier.