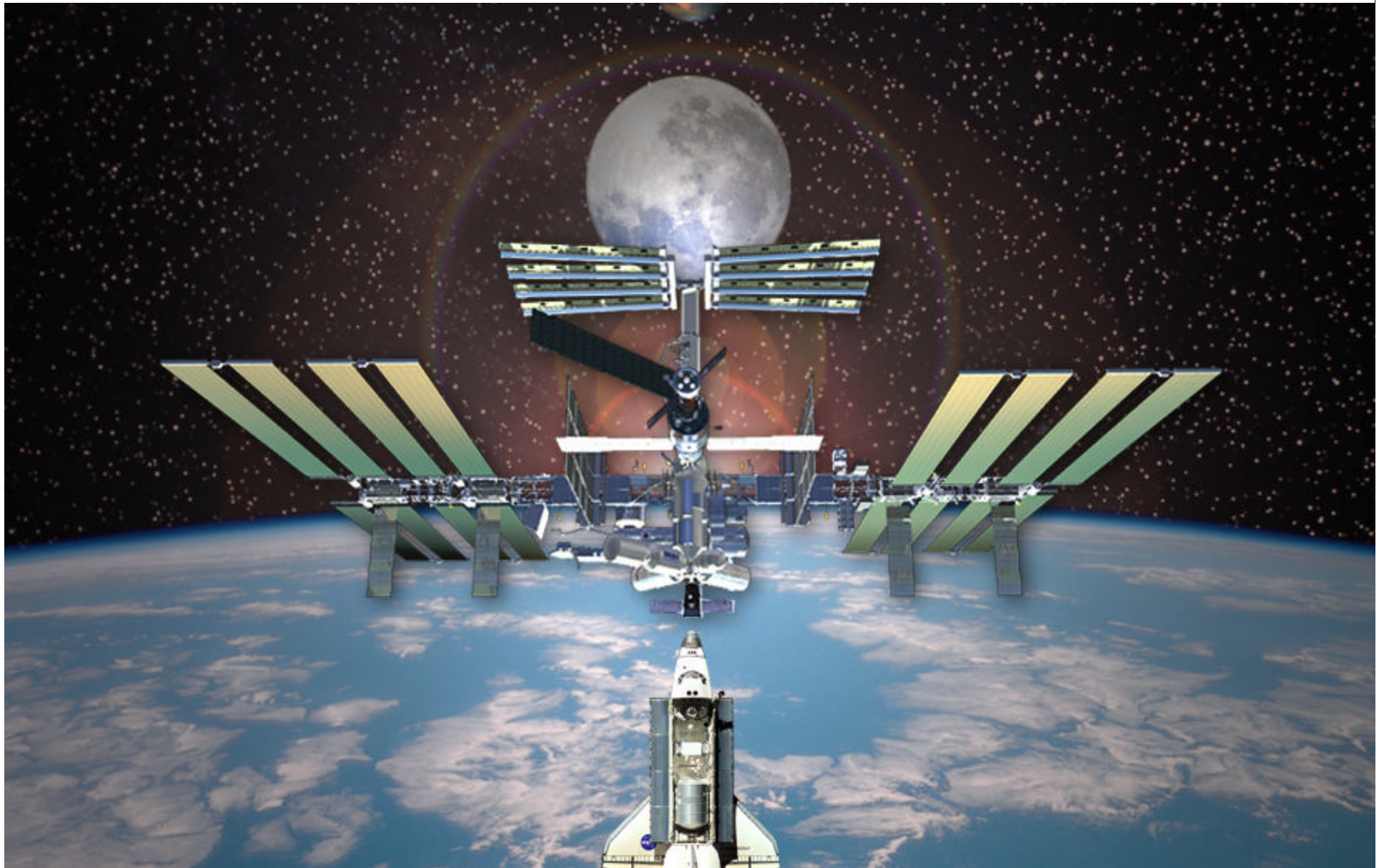




# Contribution à l'Instrumentation de l'Imageur Cherenkov de l'Expérience Spatiale A M S



19 Juillet 2005

Marciano VARGAS TREVINO

LPSC Grenoble

## Remerciements



**François  
Etienne  
Javier  
Fernando**

**MONTANET  
BARRELET  
BERDUGO  
BARAO**

**Président  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examineur**

# Plan

## L'expérience Spatiale AMS

- Motivations
- Les Détecteurs AMS-01 et AMS-02

## Le RICH d'AMS

- Description
- La Cellule de Photodétection
  - PM + Electronique Frontale
- Tests + Intégration

## Etalonnage des Cellules

- Principe de Mesure
- Dispositif Expérimental
- Résultats

## Mesure des Propriétés Optiques des Aérogels

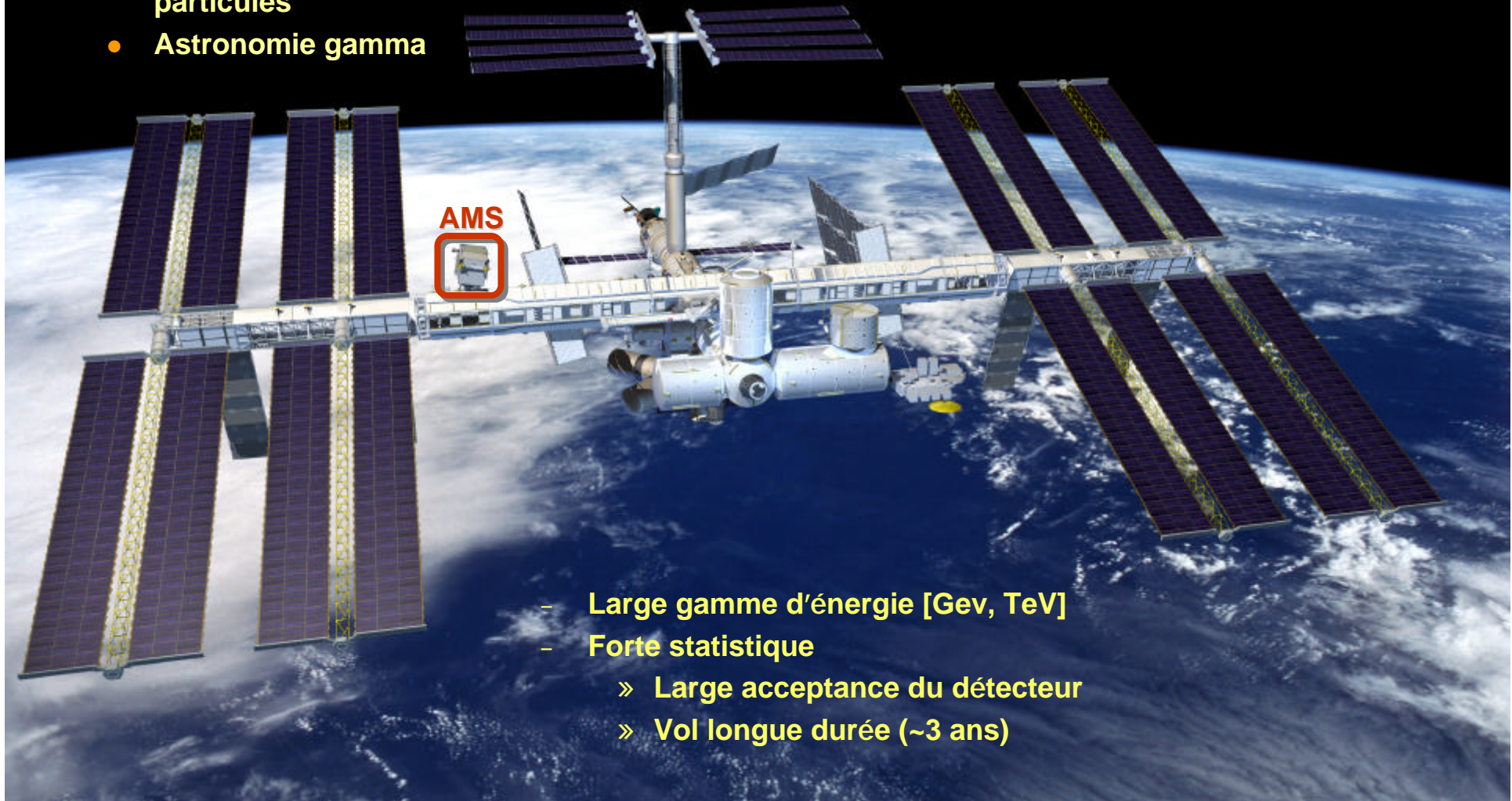
- Principe de Mesure
- Dispositif Expérimental
- Résultats

## Conclusions et Perspectives

# L'expérience Spatiale AMS

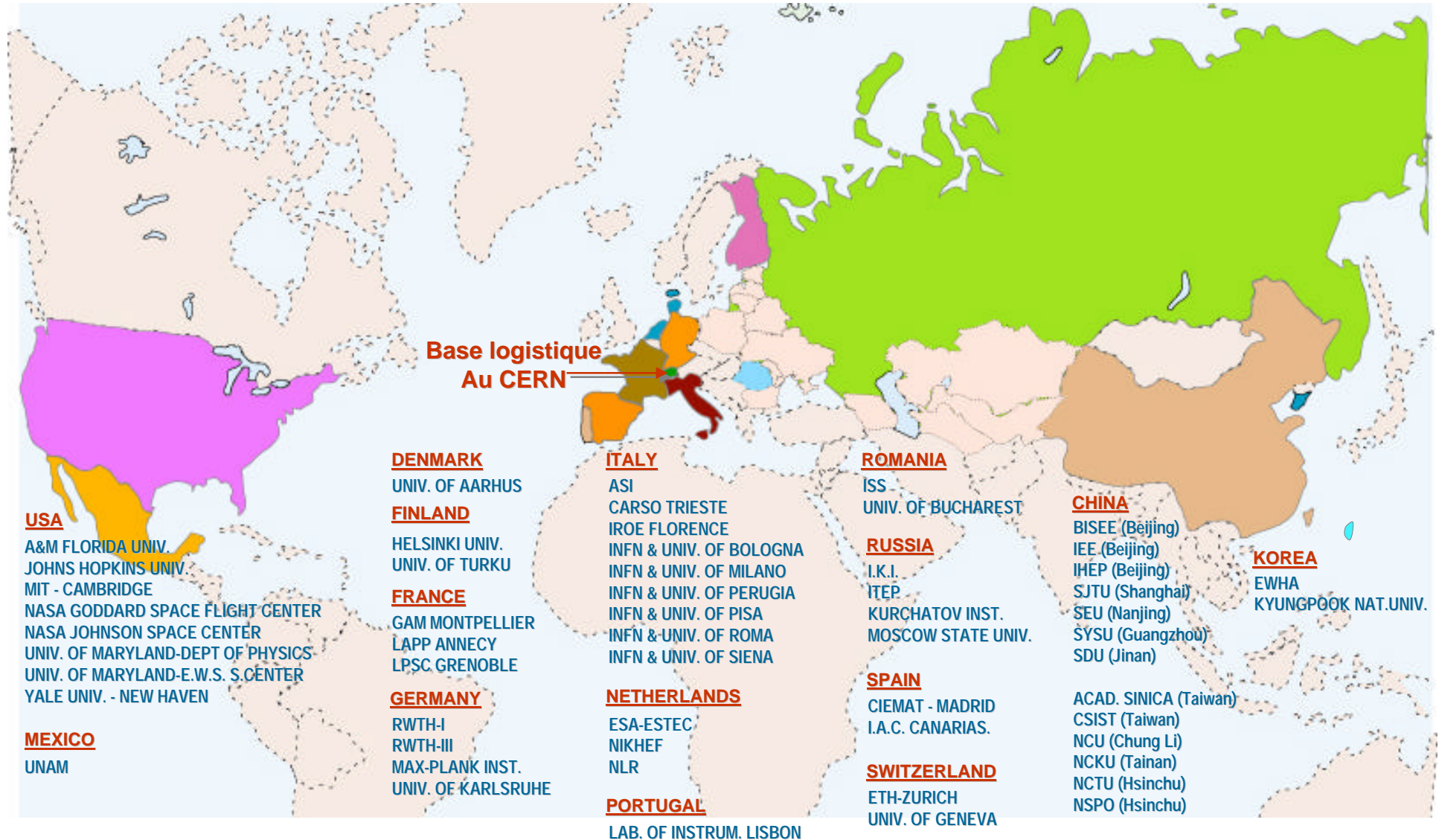
## ◆ Principaux objectifs scientifiques

- Recherche d'antimatière dans le rayonnement cosmique
- Détection indirecte de matière noire
- Dynamique et abondance du rayonnement cosmique de particules
- Astronomie gamma



- Large gamme d'énergie [Gev, TeV]
- Forte statistique
  - » Large acceptance du détecteur
  - » Vol longue durée (~3 ans)

# L'expérience Spatiale AMS



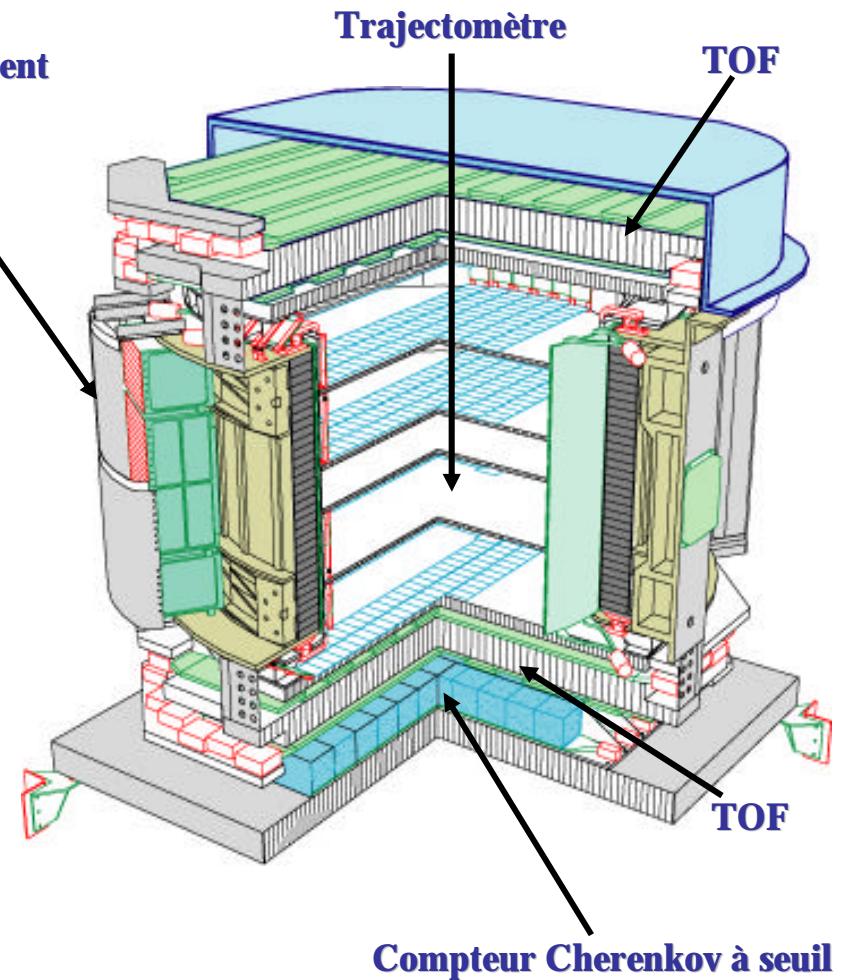
~ 45 institutions

~ 500 collaborateurs

# Le Détecteur AMS-01

## Capacités de détection

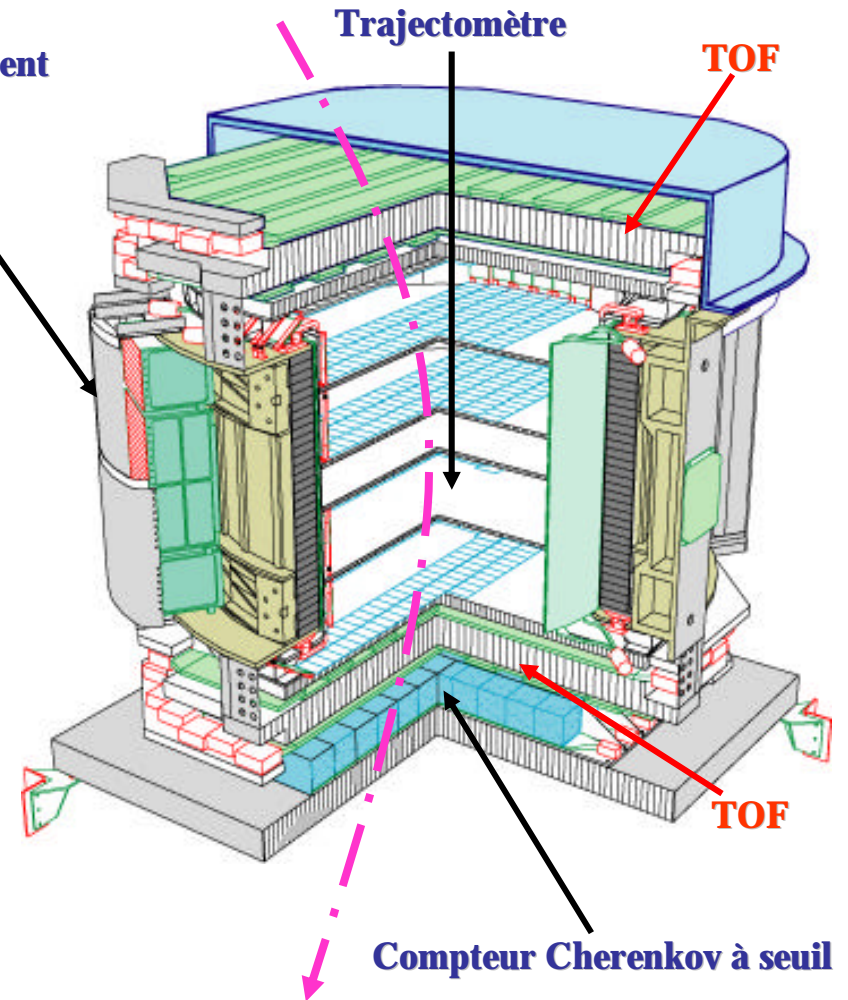
- Temps de Vol (TOF) : Vitesse (b)  
Charge  
Trigger
- Trajectomètre au Silicium : Charge  
Rigidité
- Aimant permanent : Courbure
- Compteur Cherenkov à seuil : Rejection e<sup>+</sup>/p



# Le Détecteur AMS-01

## Capacités de détection

- Temps de Vol (TOF) : Vitesse (b)  
Charge  
Trigger
- Trajectomètre au Silicium : Charge  
Rigidité
- Aimant permanent : Courbure
- Compteur Cherenkov à seuil : Rejection e<sup>+</sup>/p

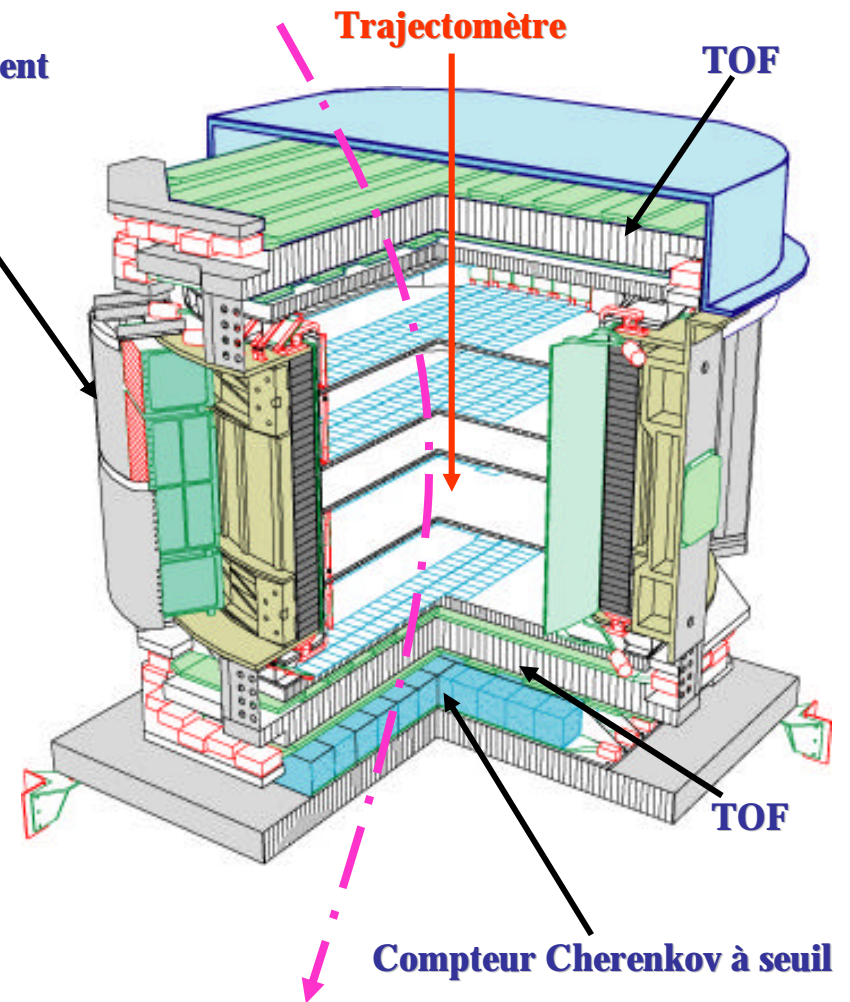




# Le Détecteur AMS-01

## Capacités de détection

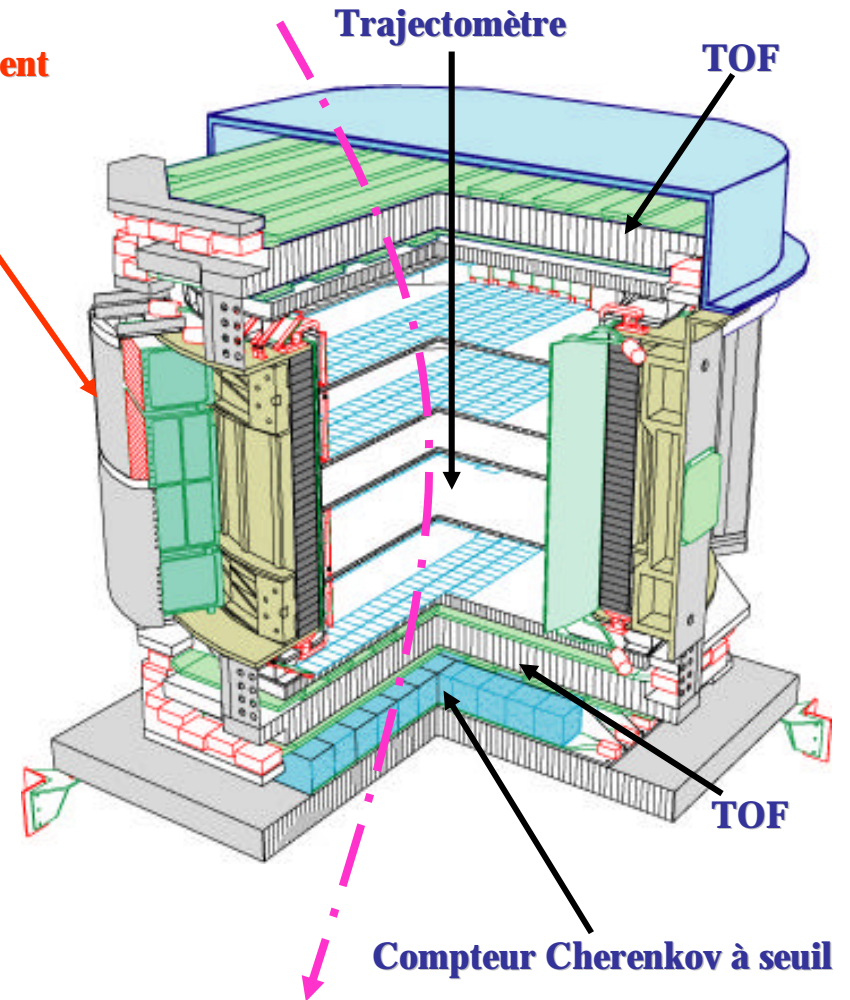
- Temps de Vol (TOF) : Vitesse (b)  
Charge  
Trigger
- Trajectomètre au Silicium : Charge  
Rigidité
- Aimant permanent : Courbure
- Compteur Cherenkov à seuil : Rejection e<sup>+</sup>/p



# Le Détecteur AMS-01

## Capacités de détection

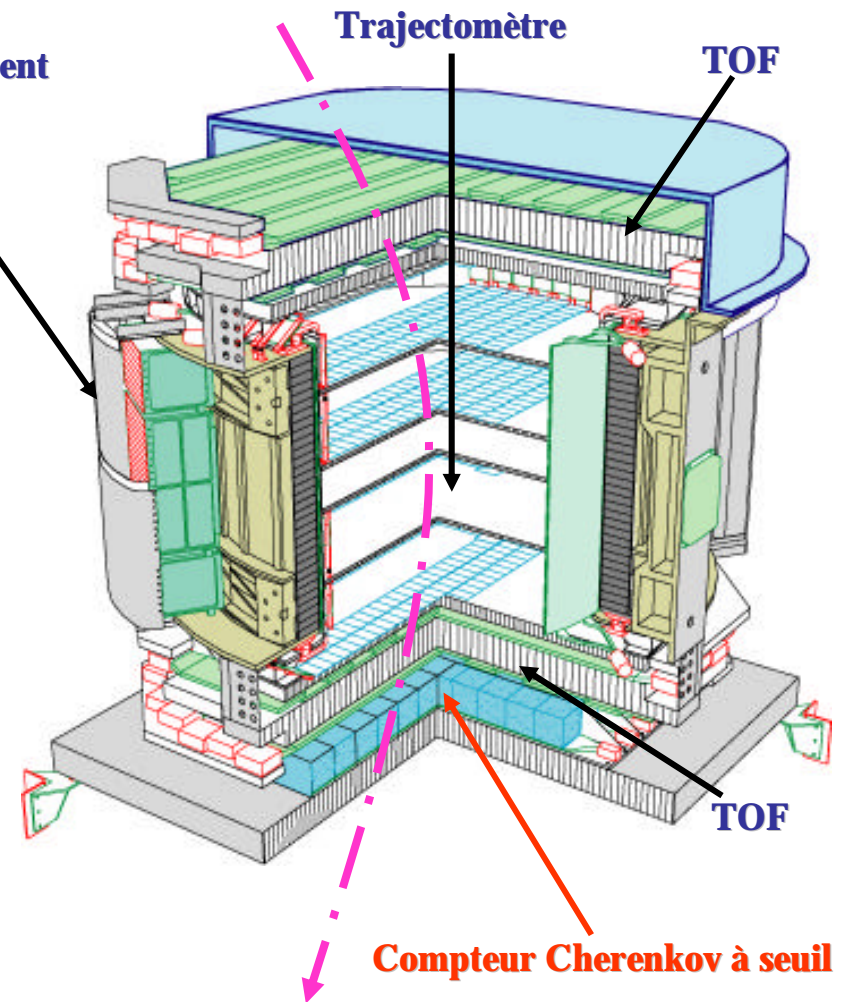
- Temps de Vol (TOF): Vitesse (b)  
Charge  
Trigger
- Trajectomètre au Silicium : Charge  
Rigidité
- Aimant permanent : Courbure
- Compteur Cherenkov à seuil : Rejection  $e^+/p$



# Le Détecteur AMS-01

## Capacités de détection

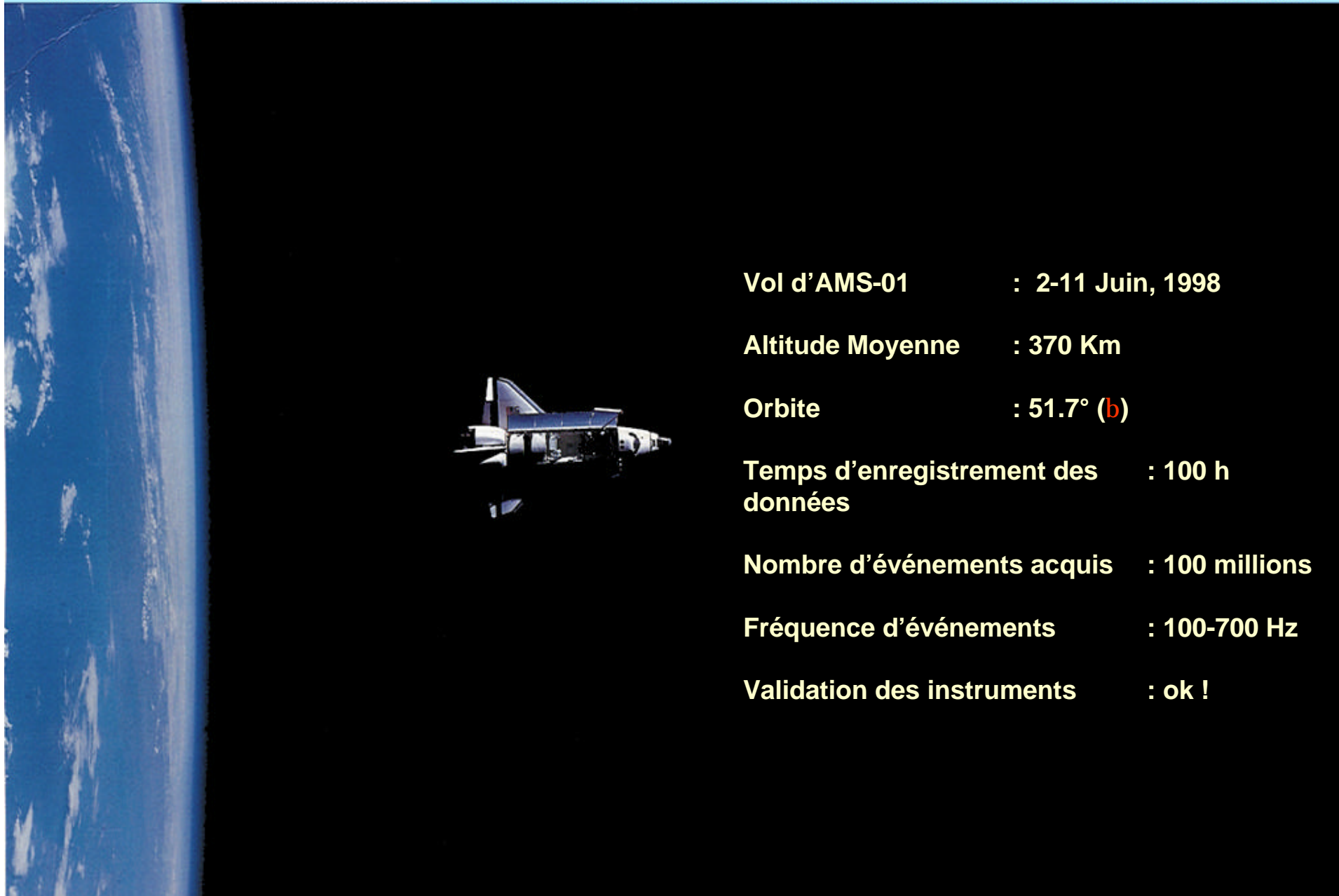
- Temps de Vol (TOF): Vitesse (b)  
Charge  
Trigger
- Trajectomètre au Silicium : Charge  
Rigidité
- Aimant permanent : Courbure
- Compteur Cherenkov à seuil : Rejection e<sup>+</sup>/p



Vol à bord de la navette spatiale DISCOVERY

# Le Détecteur AMS-01

Présentation | L'expérience AMS | Le RICH d'AMS | Etalonnage | Mesures Optiques | Conclusions et Perspectives



**Vol d'AMS-01 : 2-11 Juin, 1998**

**Altitude Moyenne : 370 Km**

**Orbite : 51.7° (b)**

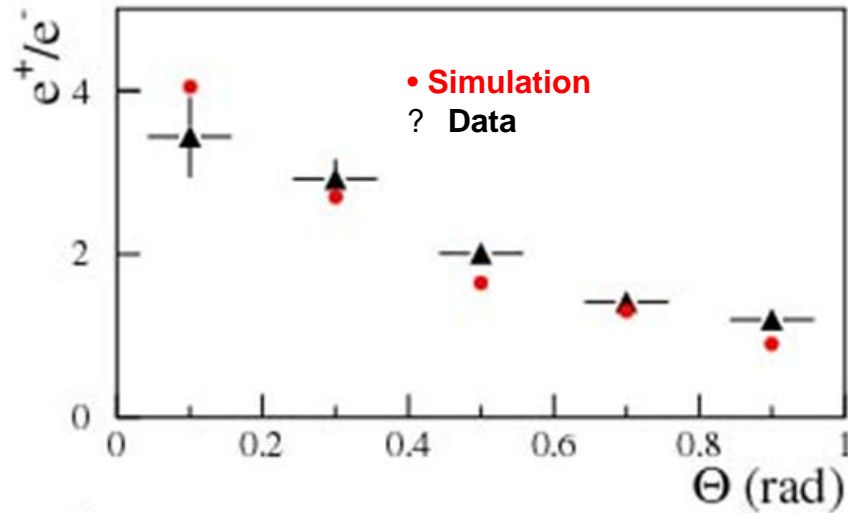
**Temps d'enregistrement des données : 100 h**

**Nombre d'événements acquis : 100 millions**

**Fréquence d'événements : 100-700 Hz**

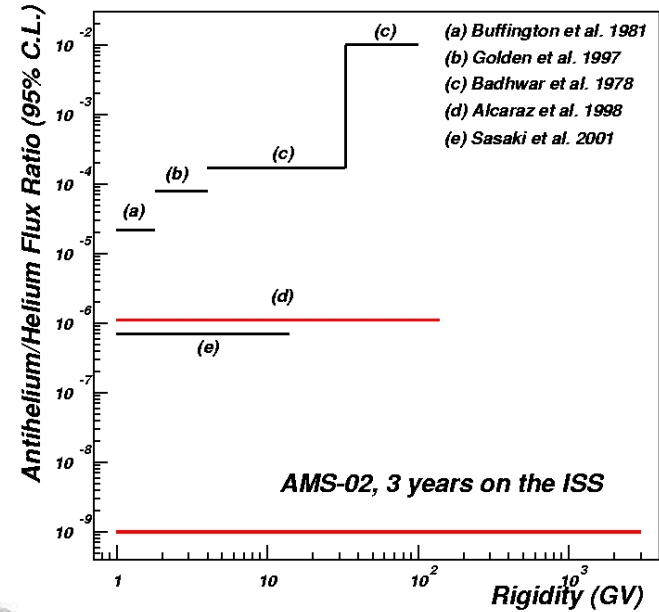
**Validation des instruments : ok !**

# Résultats du détecteur AMS-01

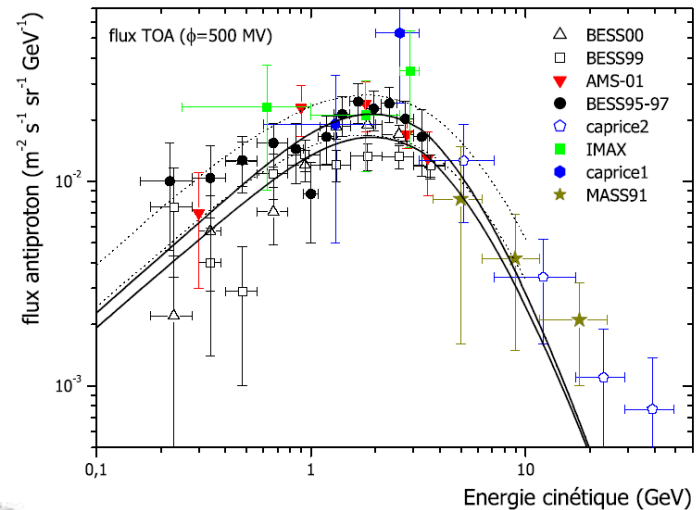


Mise en évidence d'une importante asymétrie  $e^+/e^-$  en fonction de la Latitude géomagnétique.

Préparation du nouveau détecteur.....  
 Plus de statistique  
 Plus grand domaine d'énergie  
 Meilleure identification

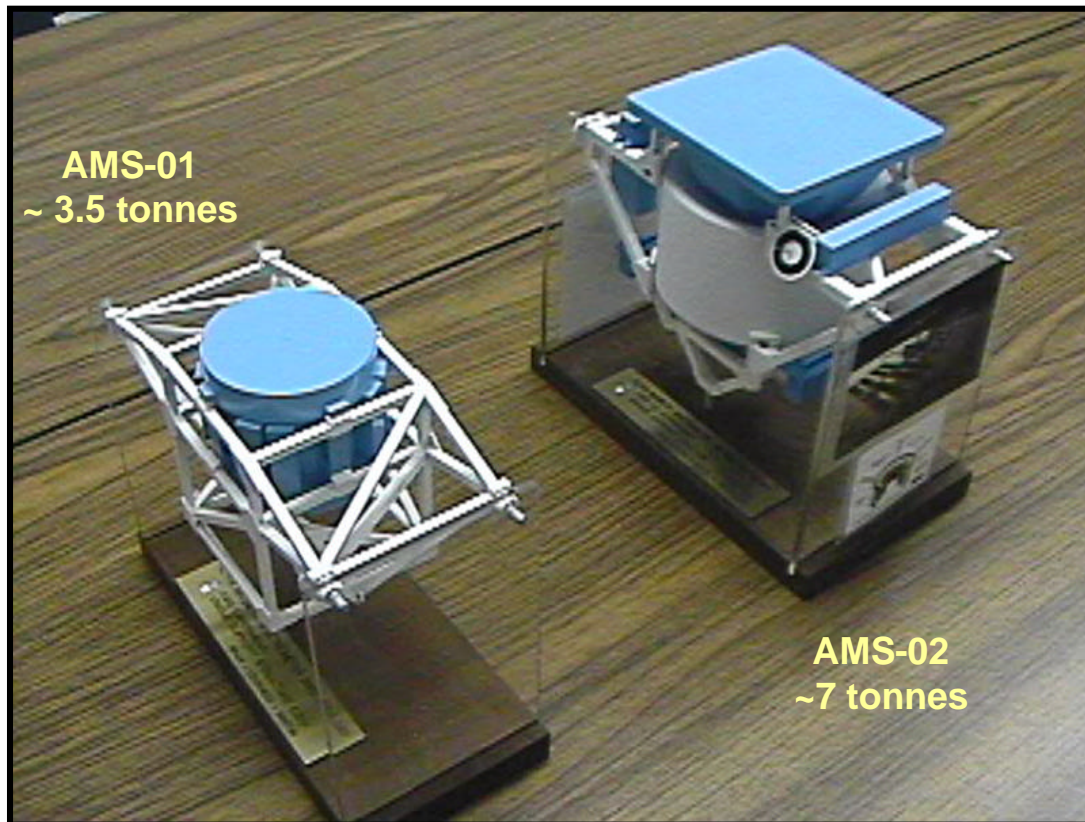


Limite expérimental du rapport du flux He / He  $\sim 10^{-6}$



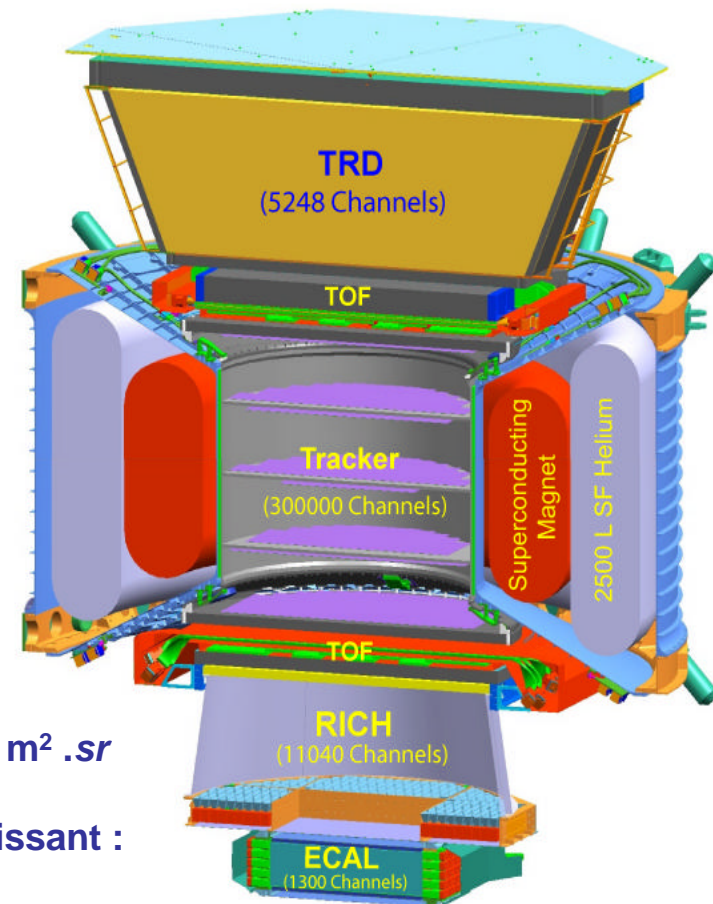
Mesure du flux d'antiprotons en dehors de l'atmosphère

# Le Détecteur AMS-02



## Dimensions

3 x 3 x 3 m<sup>3</sup>



## Améliorations

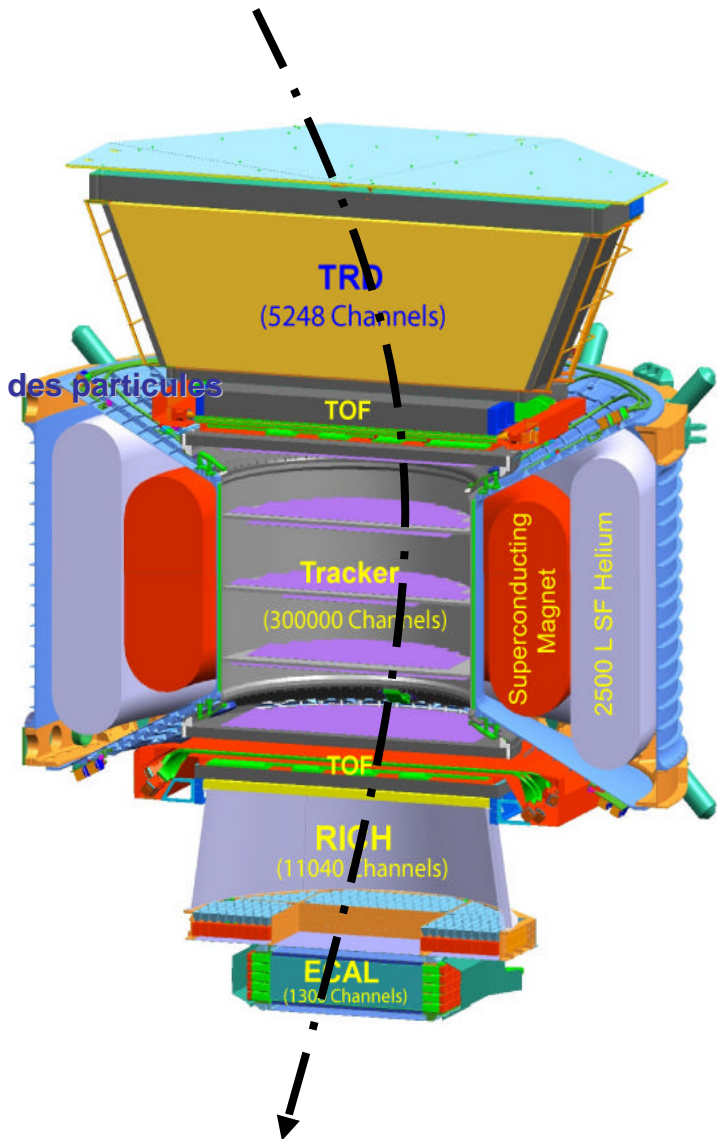
- TOF amélioré et Trajectromètre complété : acceptance:  $\sim 0.5 \text{ m}^2 \cdot \text{sr}$
- Aimant Supraconducteur : champ magnétique 8 fois plus puissant :

## Nouveaux détecteurs sur AMS-02

- ✔ Imageur Cherenkov (RICH)
- ✔ Calorimètre Electromagnétique (ECAL)
- ✔ Transition Radiation Detector (TRD)

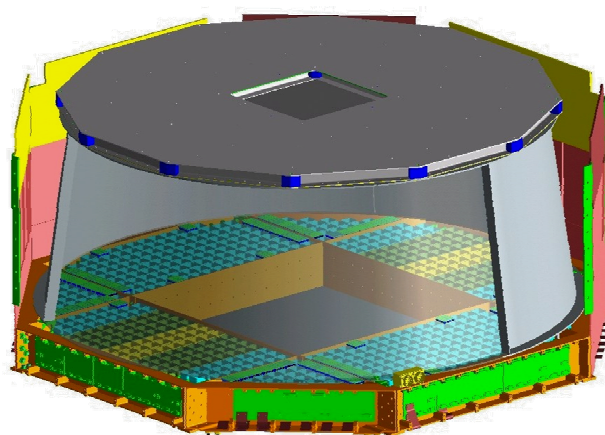
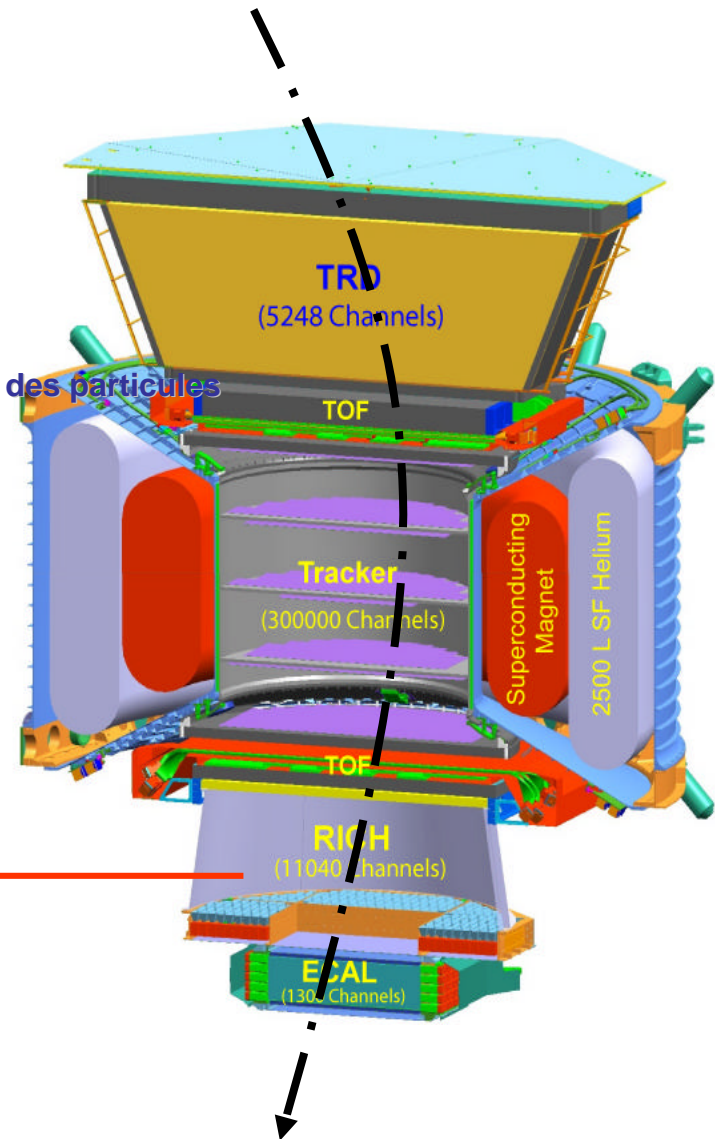
# Les sous détecteurs d'AMS-02

- | TRD : Rejection leptons/baryons  
Point de passage de la particule
  
- | Temps de Vol (TOF) : Trigger,  
Direction de la particule,  
Vitesse,  
Charge
  
- | Aimant Supraconducteur : Courbure des particules
  
- | Trajectomètre : Rigidité  
Reconstruction du point de passage des particules  
Mesure de la charge
  
- | RICH : Vitesse, charge,  
Masse (aide du tracker)
  
- | ECAL : Gerbes electromagnétiques



# Les sous détecteurs d'AMS-02

- ! TRD : Rejection leptons/baryons  
Point de passage de la particule
- ! Temps de Vol (TOF) : Trigger,  
Direction de la particule,  
Vitesse,  
Charge
- ! Aimant Supraconducteur : Courbature des particules
- ! Tracker : Rigidité  
Reconstruction du point de passage des particules  
Mesure de la charge
- ! RICH : Vitesse, charge,  
Masse (aide du tracker)
- ! ECAL : Gerbes electromagnétiques



Imageur Cherenkov (RICH)



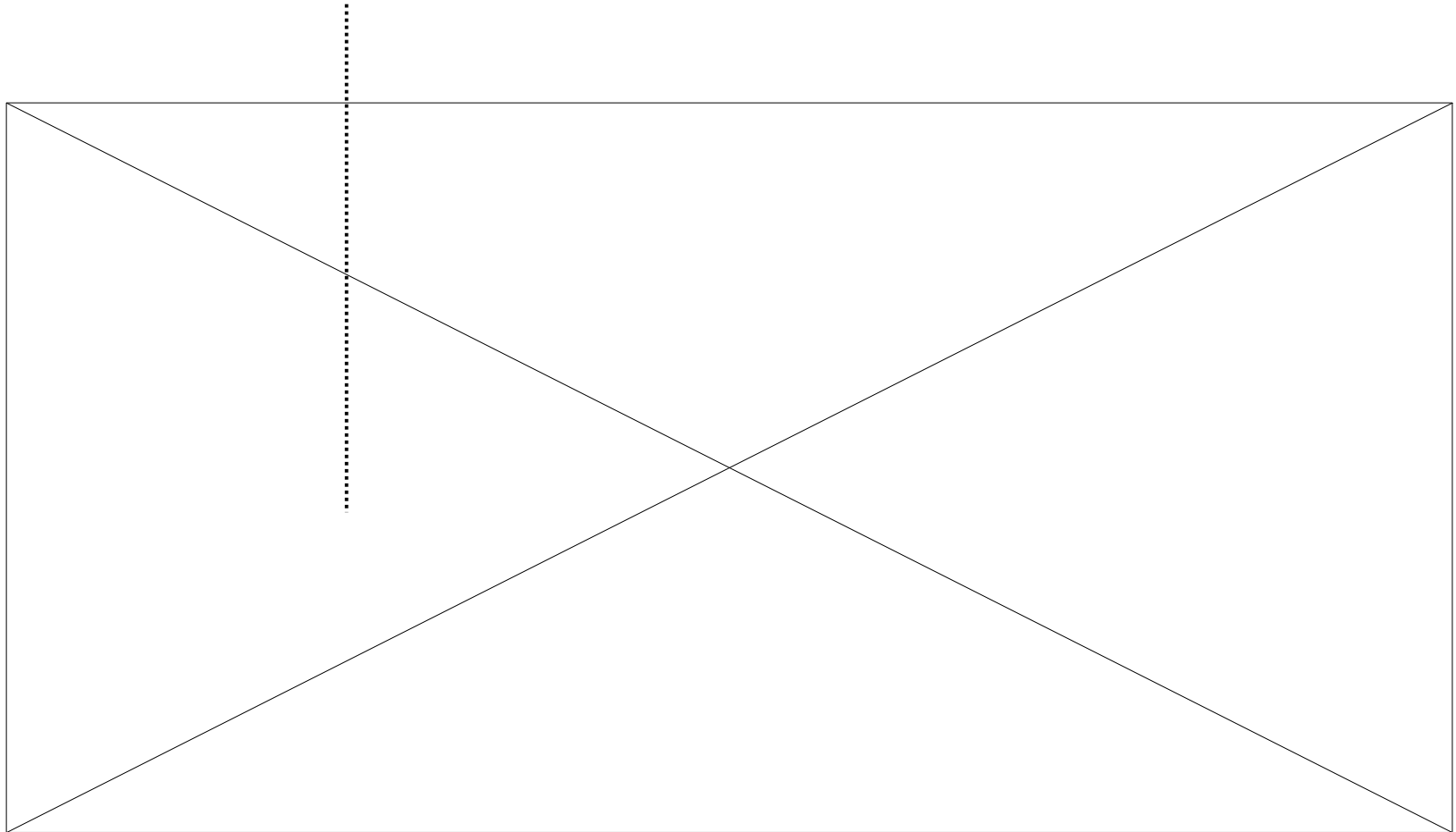
# L'imageur Cherenkov d'AMS

Présentation | L'expérience AMS | Le RICH d'AMS | Etalonnage | Mesures Optiques | Conclusions et Perspectives

 Principe de fonctionnement:

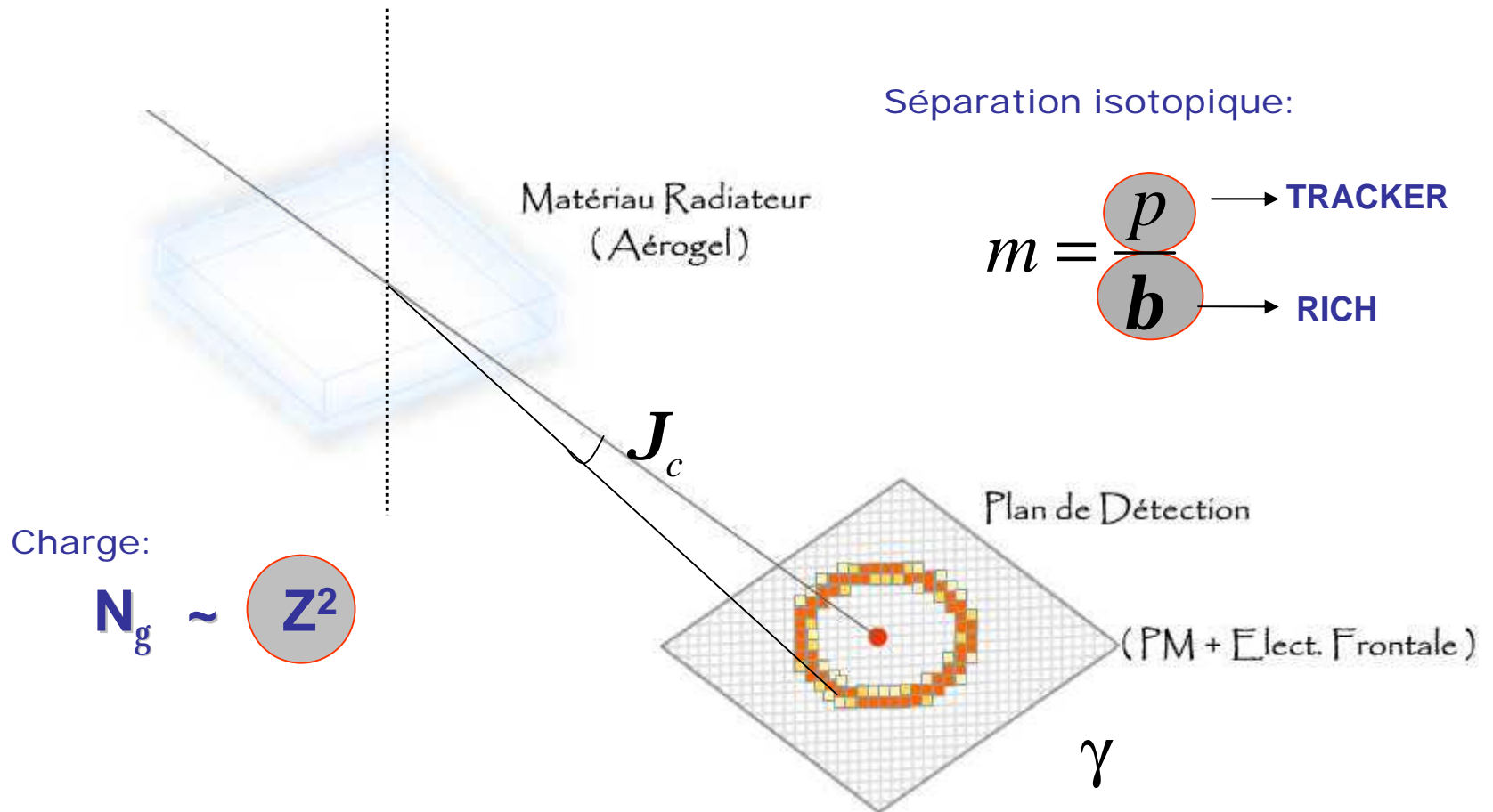
# L'imageur Cherenkov d'AMS

## Principe de fonctionnement:



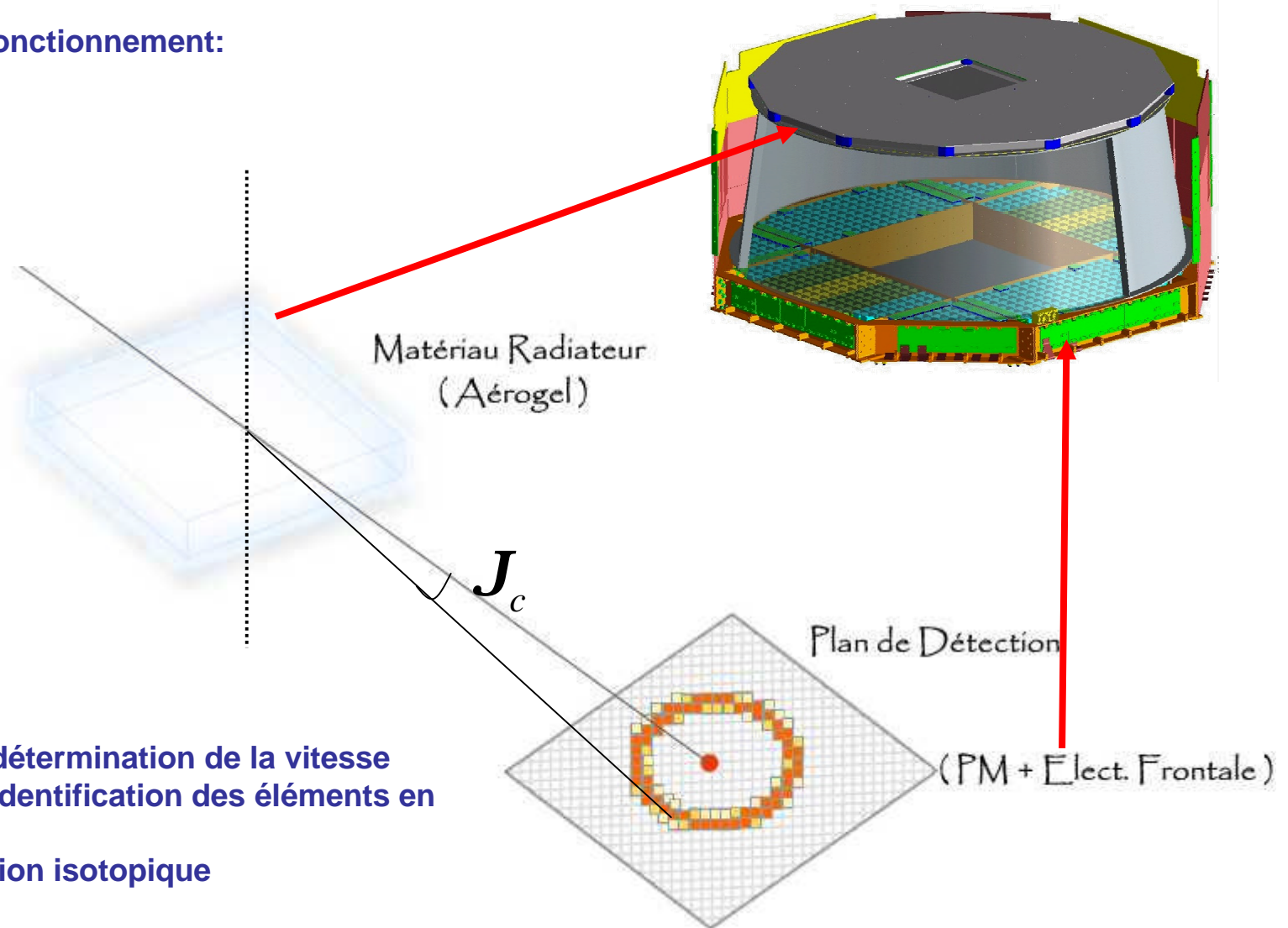
# L'imageur Cherenkov d'AMS

## Principe de fonctionnement:



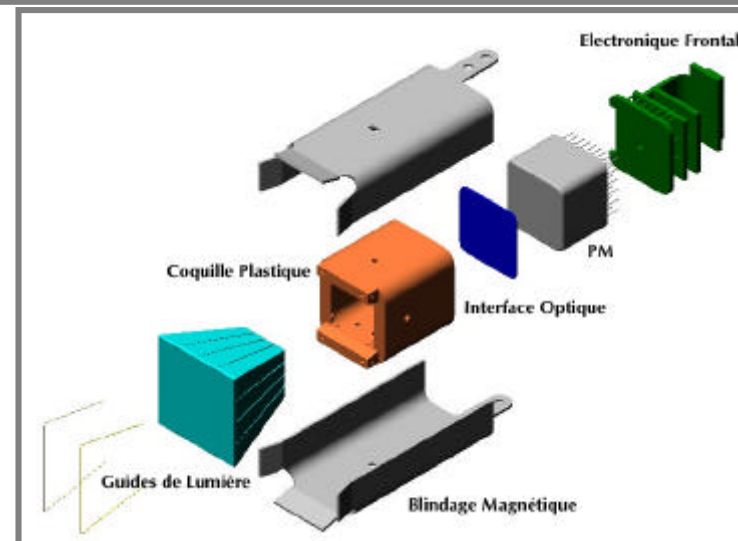
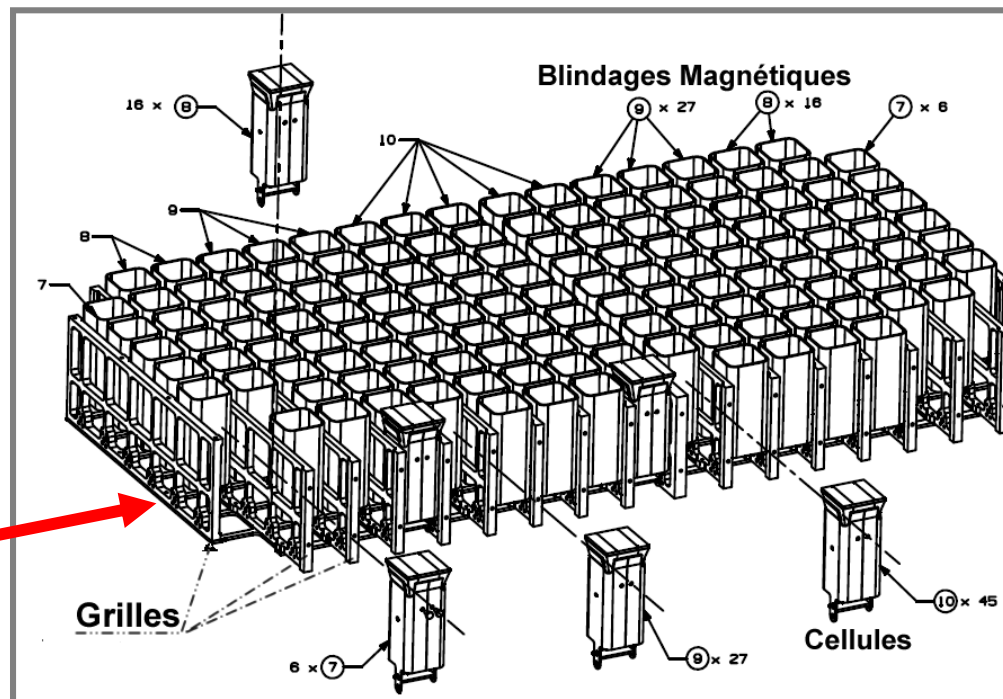
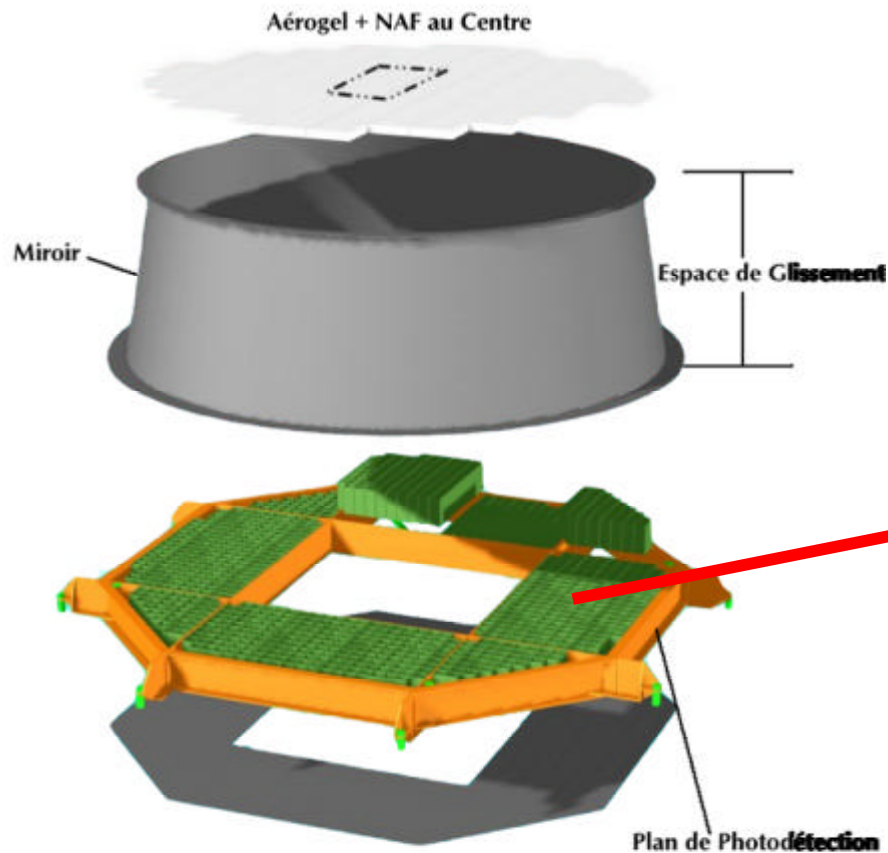
# L'imageur Cherenkov d'AMS

## Principe de fonctionnement:



- Bonne détermination de la vitesse
- Bonne identification des éléments en  $1 < Z < 26$
- Séparation isotopique

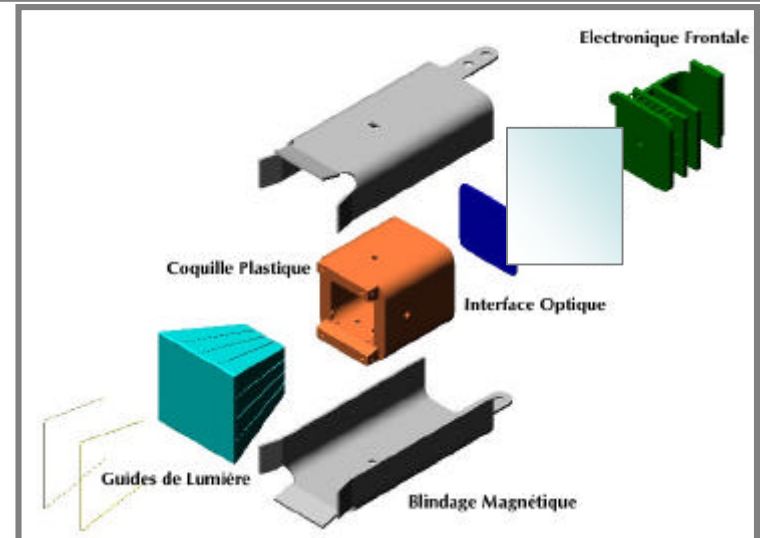
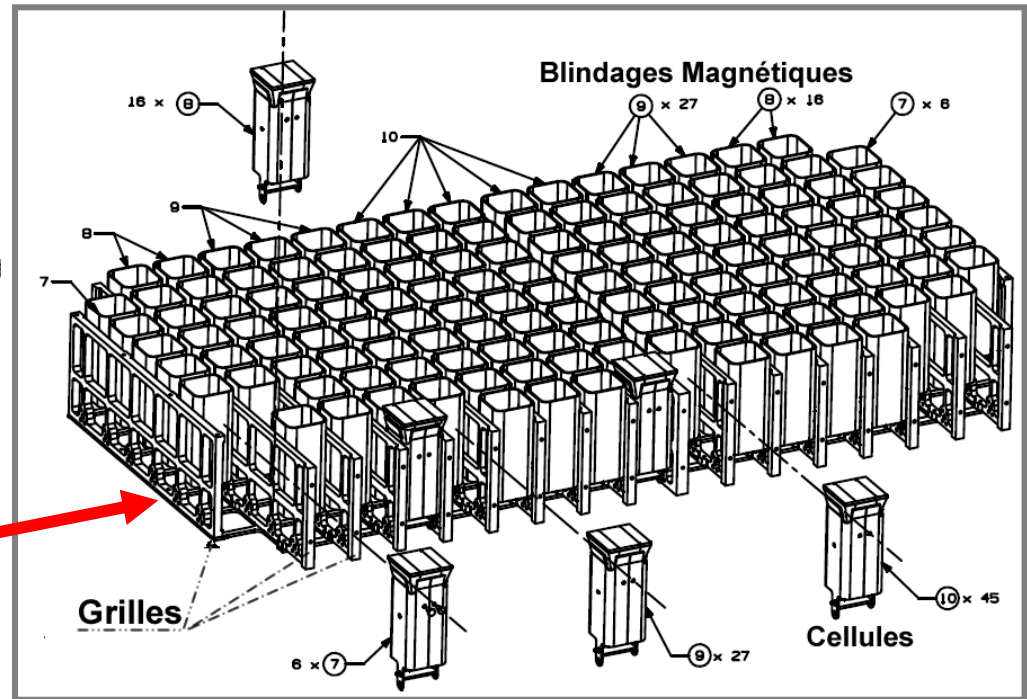
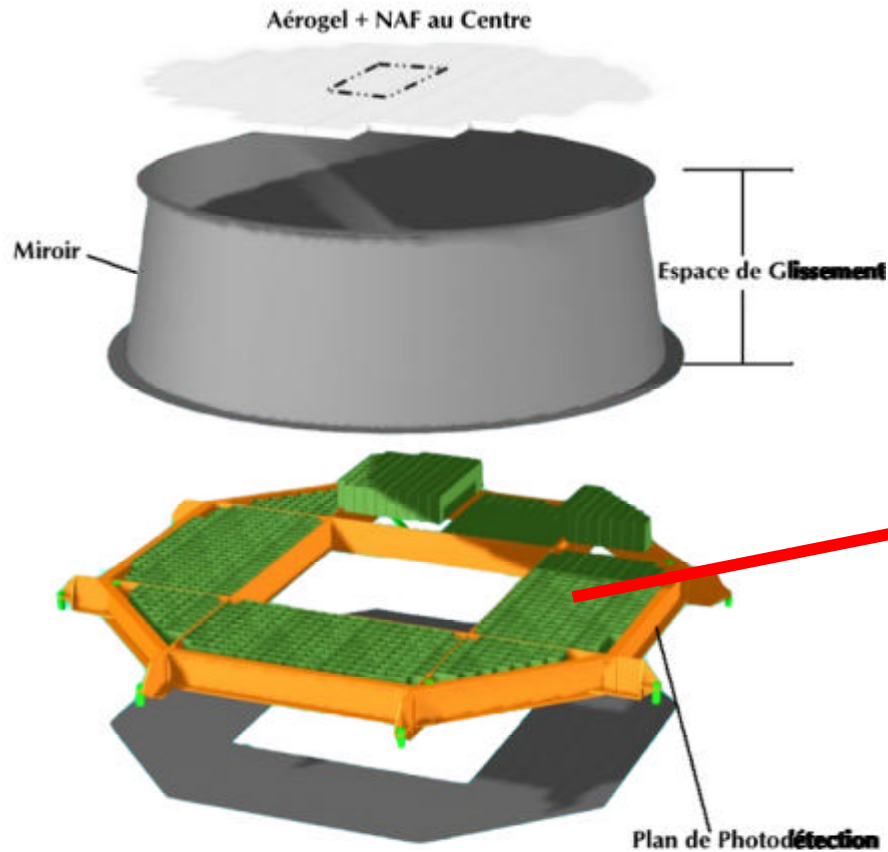
# L'imageur cerenkov à focalisation d'AMS



## Constitution

- ① Deux radiateurs  
aérogel :  $n \sim 1.05$ , 27mm épaisseur  
NaF :  $n \sim 1.33$ , 5mm épaisseur
- ① Miroir conique
- ① 680 PM Hamamatsu R7600-M16
- ① Plan de détection divisé en 8 zones

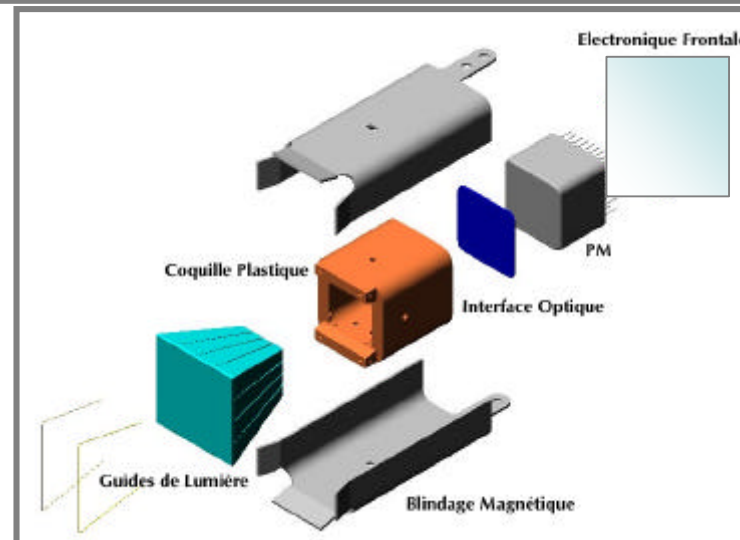
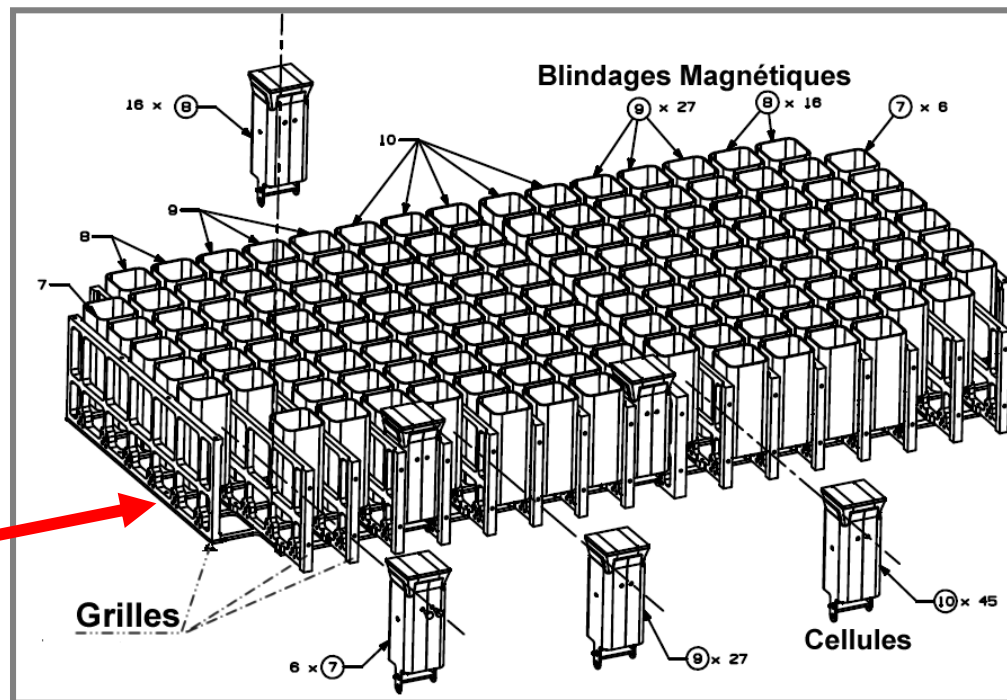
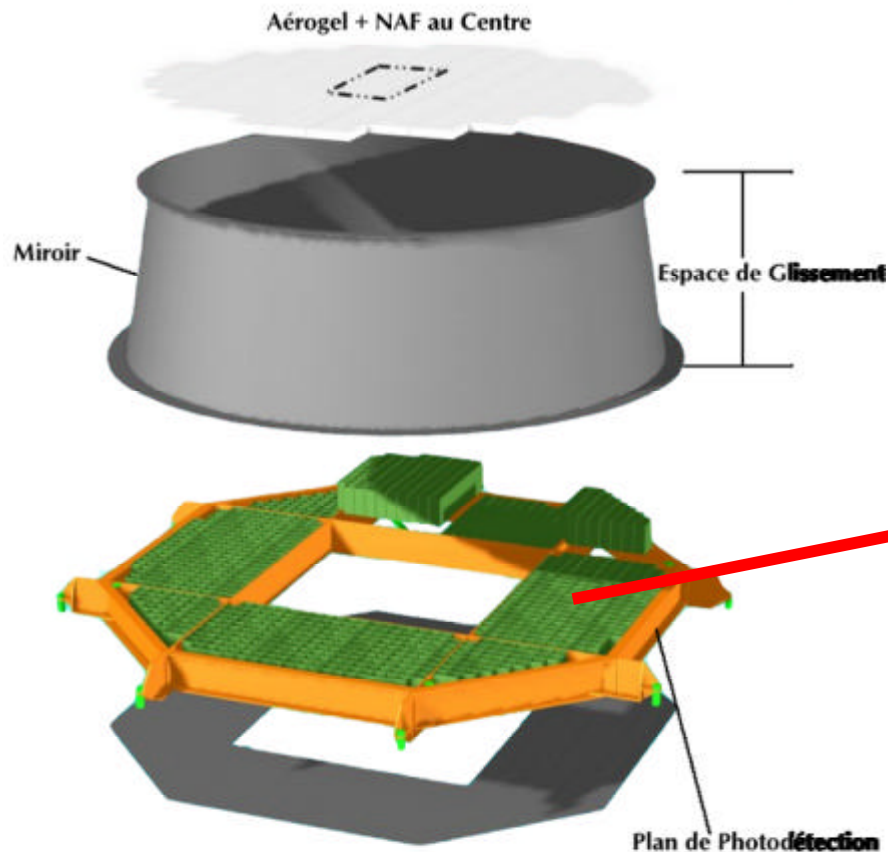
# L'imageur cerenkov à focalisation d'AMS



PM : R7600-M16 (Hamamatsu)

- 16 pixels  $\sim 4.5 \times 4.5 \text{ mm}^2$
- Résistance pont diviseur: 80 MW
- $100 \text{ G} < |B| < 300 \text{ G}$  (avec blindage)
- Gain  $10^6$

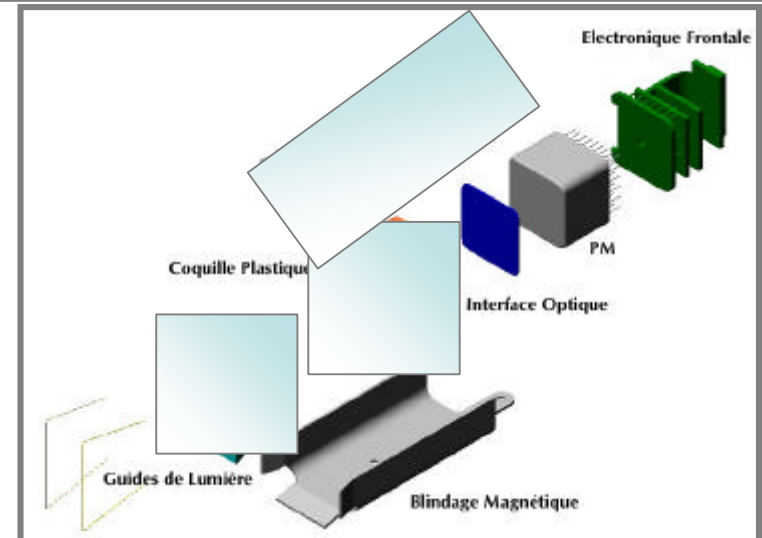
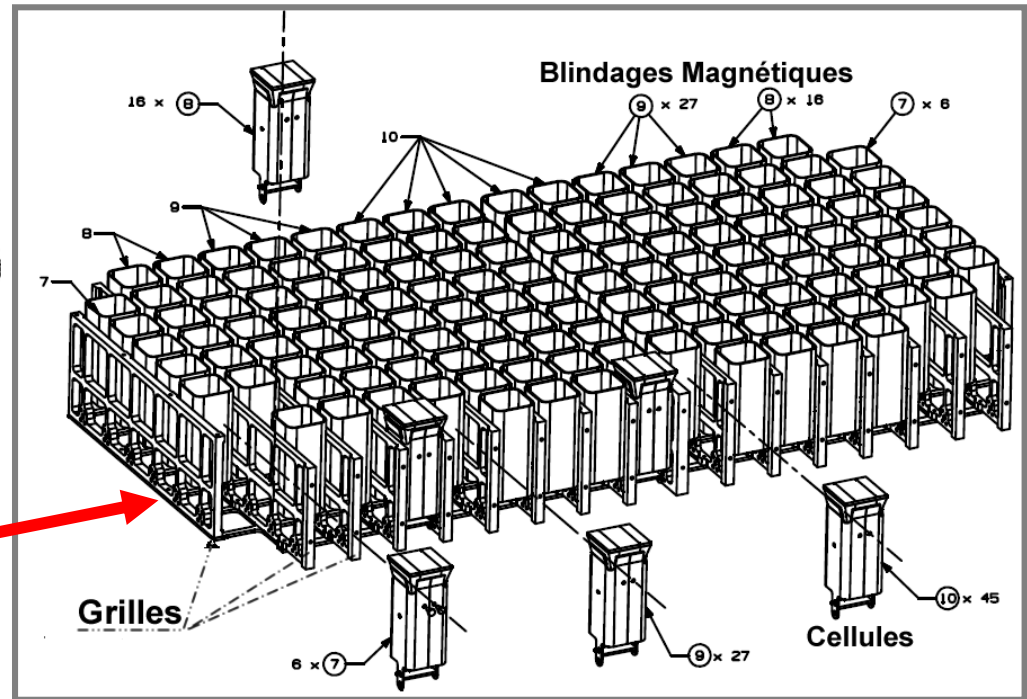
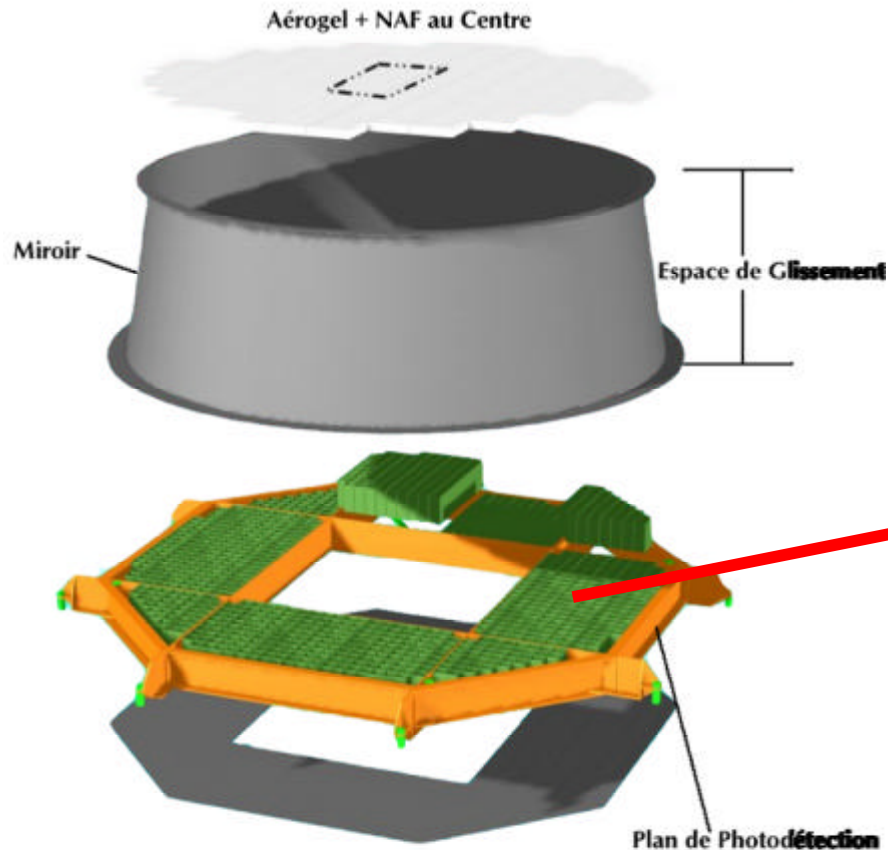
# L'imageur cerenkov à focalisation d'AMS



## Electronique Frontale (développé au LPSC)

- ① Chaîne Spectrométrie
- ① Temps d'échantillonnage
- ① Consommation : 15mW
- ① 2 gains en sortie:
  - ✓ Gain x1 (toute la dynamique)
  - ✓ Gain x5 (meilleure résolution à basse charge)

# L'imageur cerenkov à focalisation d'AMS

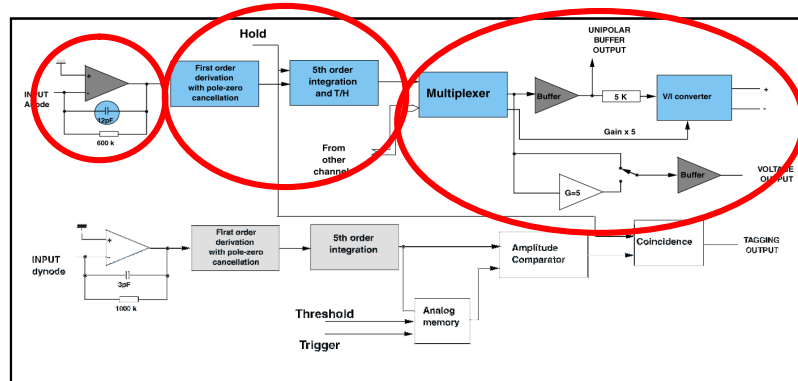


- ① Blindage magnétique (aimant supraconducteur)
- ① Guides de lumière (GL, meilleur collection)
- ① Interface optique (meilleur contact optique PM+GL)
- ① « Potting »

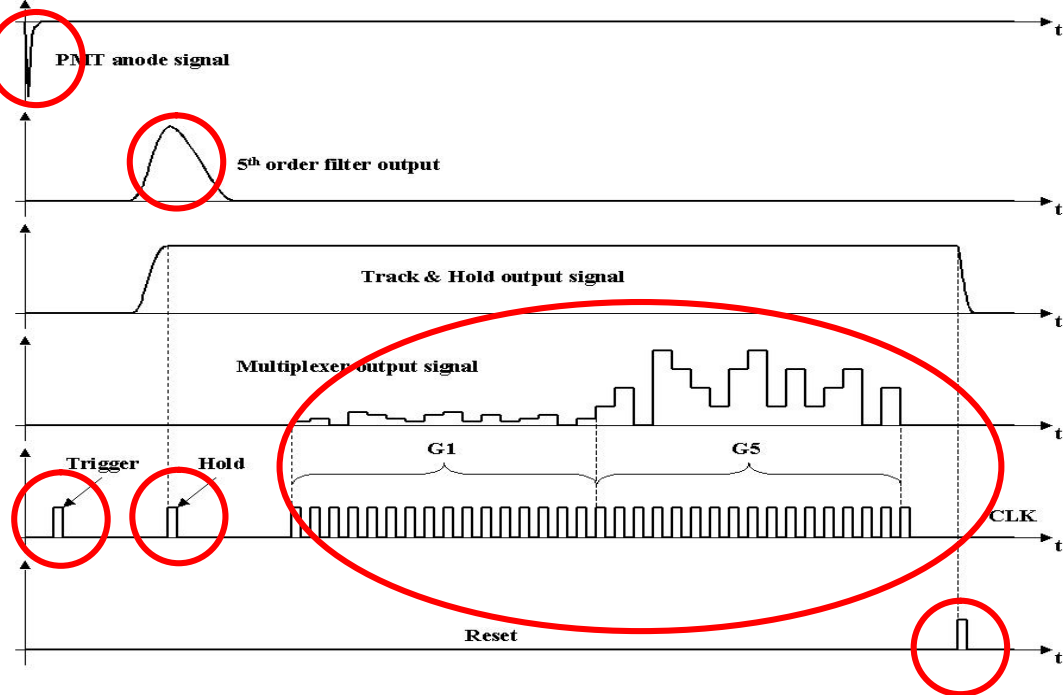


# Electronique Frontale

## Mise en forme du signal physique puis échantillonnage du maximum



RICH FRONT-END ELECTRONICS



- 1 Impulsion de déclenchement (trigger)
- 1 Impulsion de « Hold »
- 32 Impulsions contrôlés par le Multiplexeur (16 en Gain x1, 16 en Gain x5)
- 1 Reset

## Caracterisation au moyen d'un banc de tests

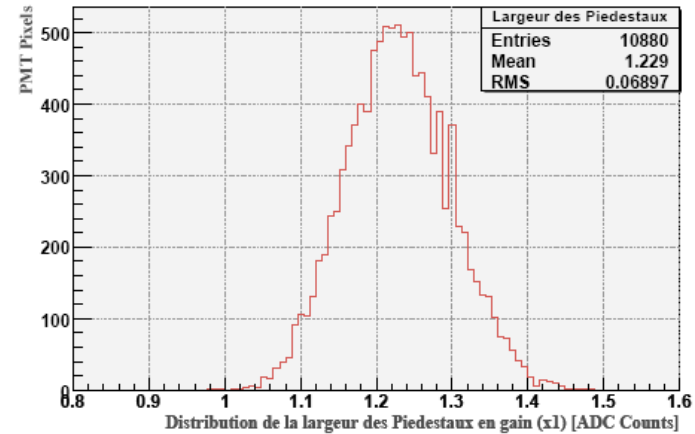
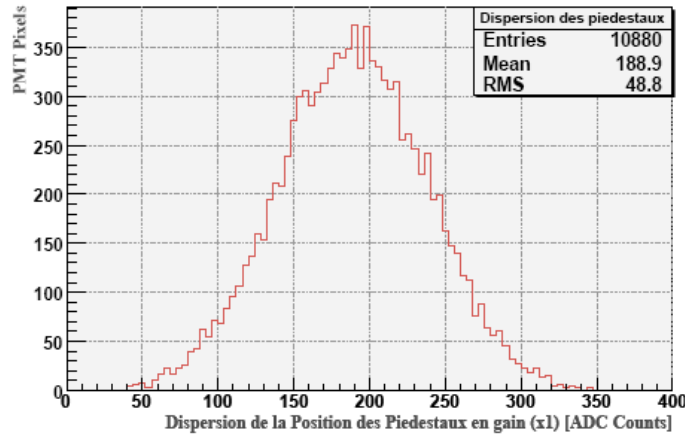
# Banc de tests

- ① **La consommation en courant**  
(Puissance, disfonctionnement)
- ① **La valeur du piédestal et sa largeur**  
(dérive, bruit électronique)
- ① **La non linéarité intégrée**  
(résolution en charge dans le plan de détection)
- ① **Le rapport Gain (x5) / Gain (x1)**  
(étalonnage, résolution en charge)
- ① **Le temps d'échantillonnage**  
(diaphonie, résolution en charge)

	Critères de sélection	
<b>Courant Consommé :</b>	2.0 mA < Ivdd < 3 mA -3 mA < Ivss < -2.0 mA	
	<b>GAIN (x1)</b>	<b>GAIN (x5)</b>
<b>Distribution des Piédestaux :</b>	m > 40 canaux ADC s < 1.5 canaux ADC	m > 40 canaux ADC s < 6.5 canaux ADC
<b>Dérive des piédestaux vs Taux de déclenchement :</b>		
- 100Hz	< 1s	< 1s
- 50Hz	< 2s	< 2s
- 20Hz	< 5s	< 5s
<b>Dispersion maximal du temps : d'échantillonnage</b>	< 50 ns	< 50 ns
<b>Non linéarité intégré :</b>	< 1%	< 0.5%

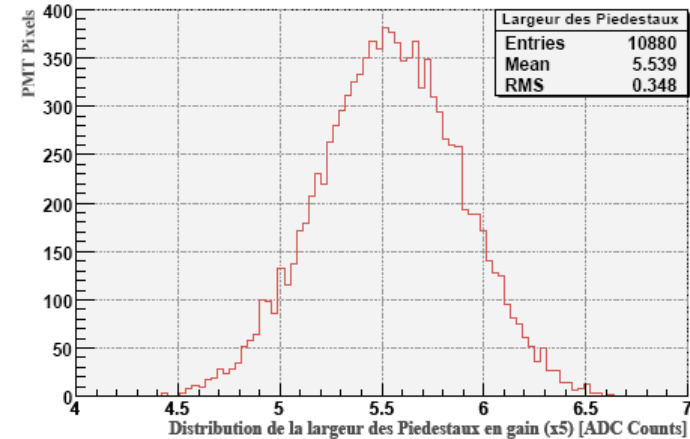
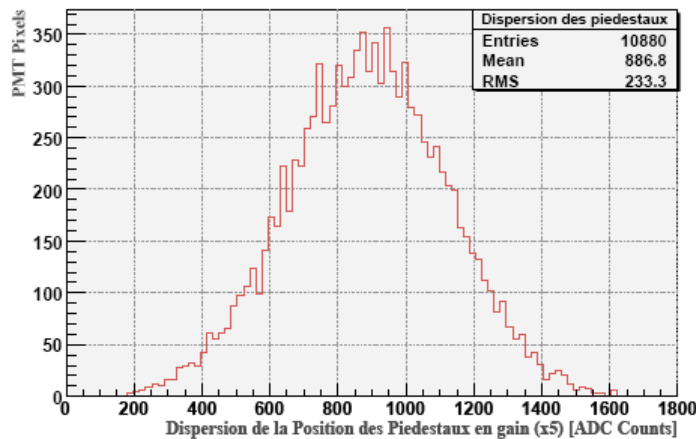
# Résultats

## Piédestaux en gain (x1) et sa largeur



Pas de contamination dû à l'électronique

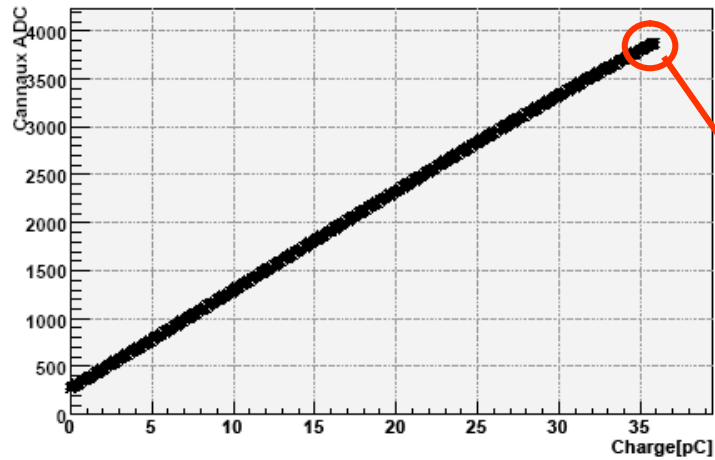
## Piédestaux en gain (x5) et sa largeur



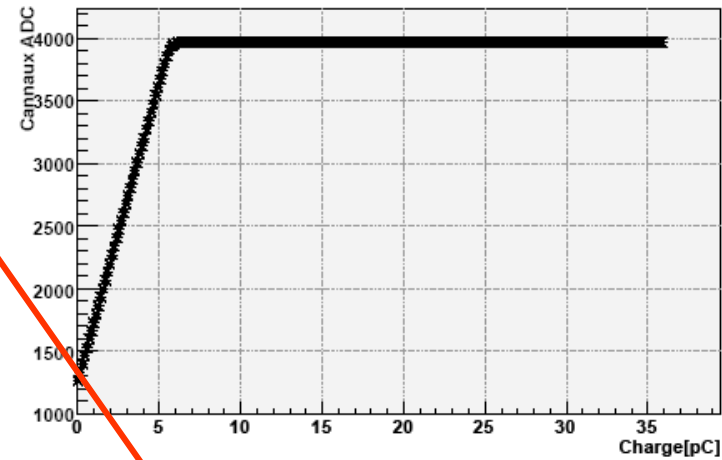
De 1400 circuits testés 1200 n'ont pas présenté de défaillances => Yield = 85%  
Les 700 meilleurs circuits ont été sélectionnés pour équiper l'imageur.

# Résultats

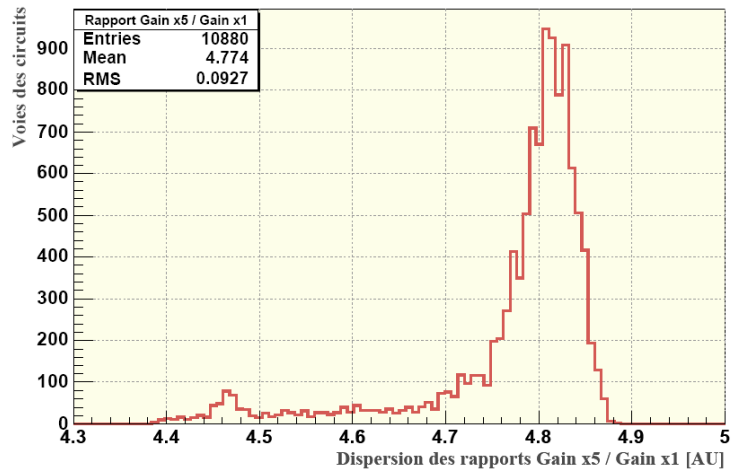
Gain x1



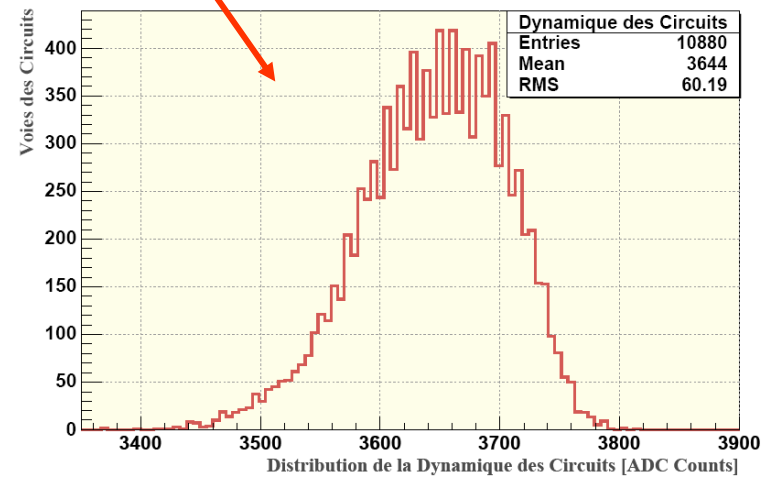
Gain x5



Test de linéarité



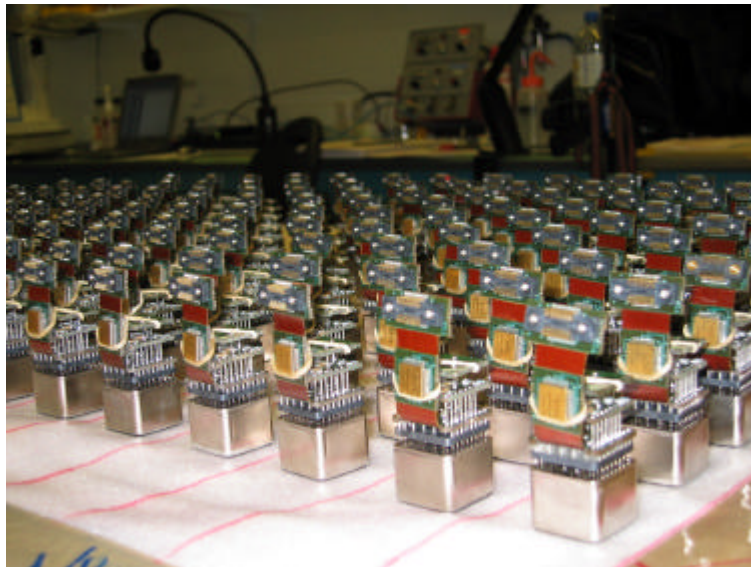
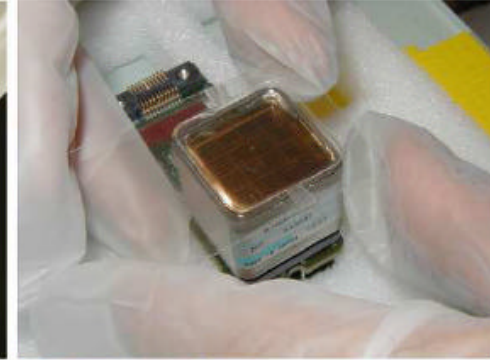
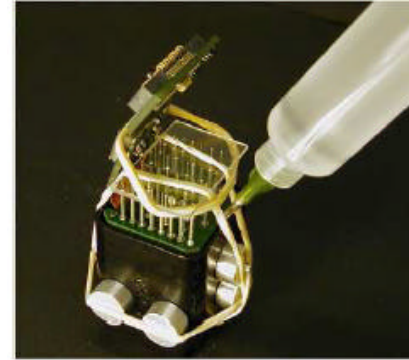
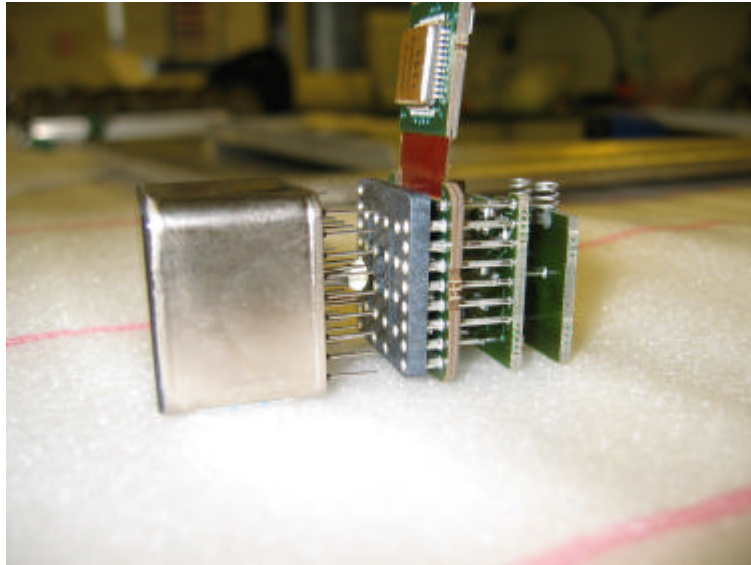
Rapport Gain (x5) / Gain (x1)



Dynamique des circuits  
(étalonnage des cellules)

# Intégration PM + FE et « potting »

Présentation | L'expérience AMS | Le RICH d'AMS | Etalonnage | Mesures Optiques | Conclusions et Perspectives



- Variation de la pression au décollage (claquage)
- Intégration (PM+FE) et « potting » réalisé au LPSC
- Matériau utilisé : DOW Corning (élastomère en silicone)
- Polymérisation à 40°C (12 h)
- Polymérisation sous pression terrestre (48 h)
- ✓ Réalisation: M. Marton , J.P. Scordilis

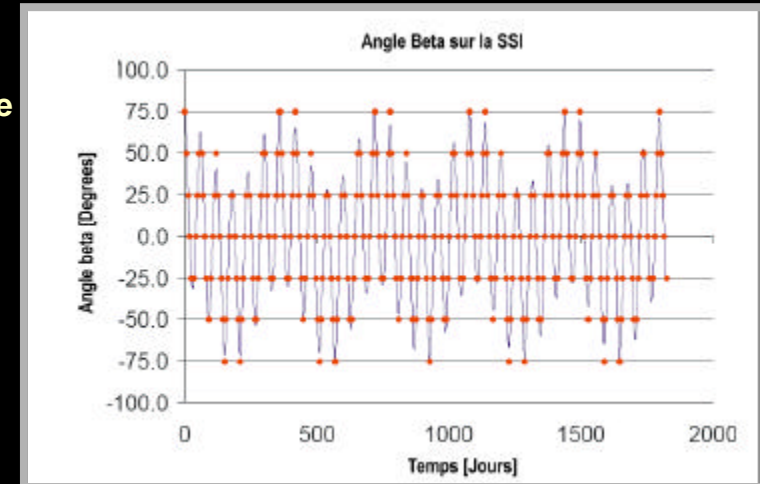
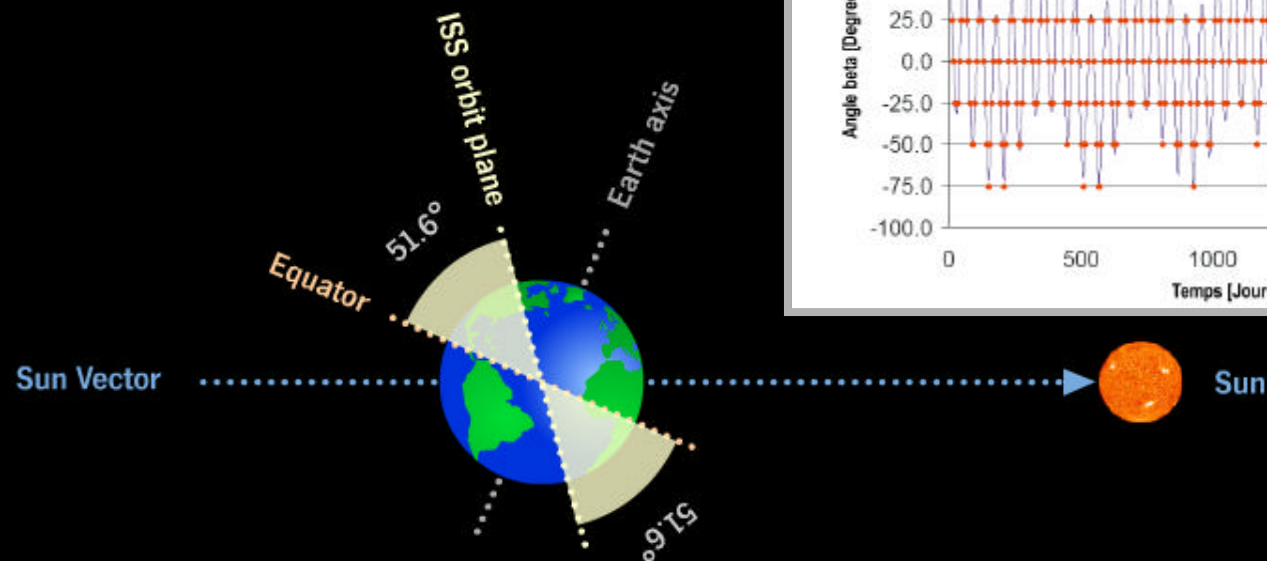
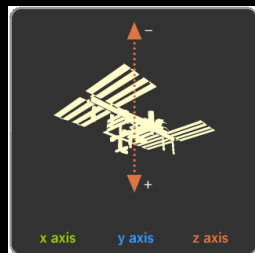
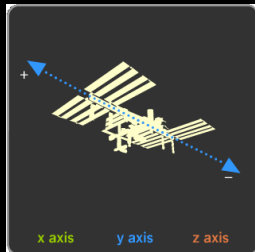
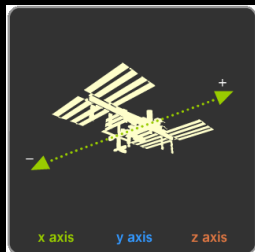


## Réponse des cellules en fonction de la température

# L'angle Beta

L'angle Beta ( $\beta$ ) est définie entre le vecteur qui relie la terre et le soleil et le plan orbital de la Station Spatiale Internationale (ISS en Anglais)

- Variation de l'angle  $\beta$  considérant l'orbite à 51,6° et 397 Km d'altitude

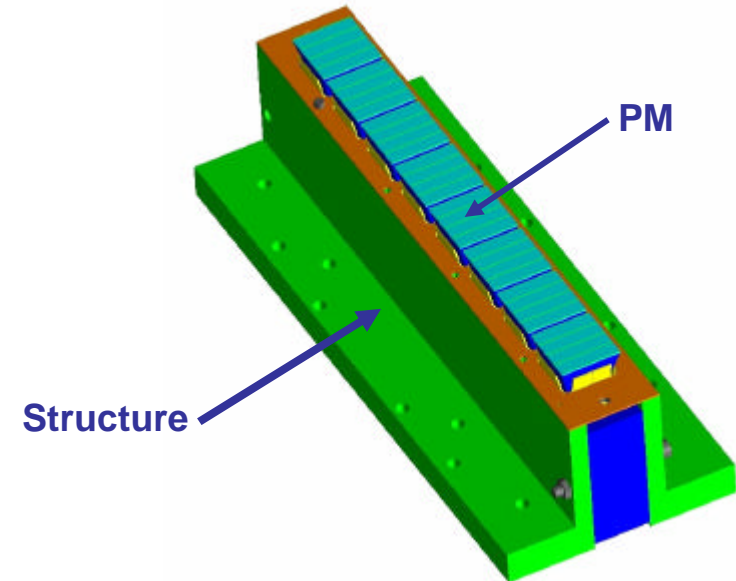
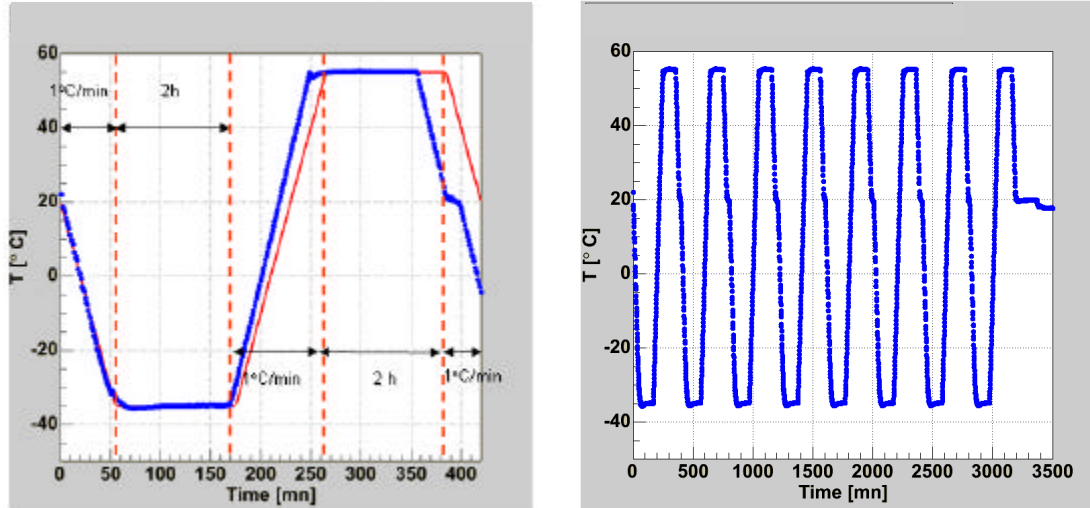


- L'imageur doit être opérationnel dans la region :  
-60°  $\leq$   $\beta$   $\leq$  +75°
- Gamme de température de fonctionnement / arrêt  
[ -35°C,+55°C ]

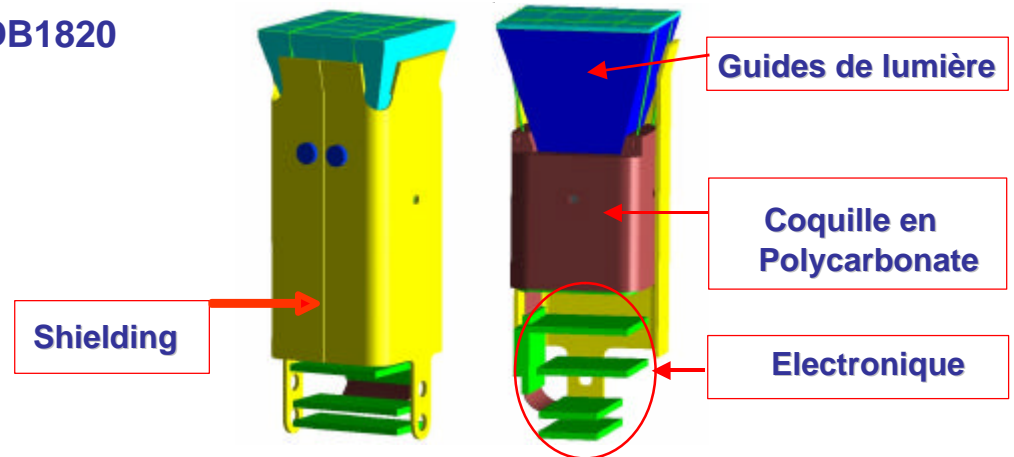
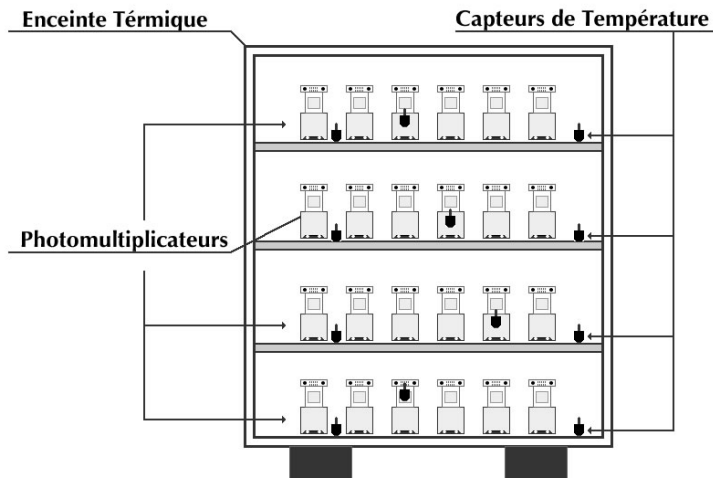
# Tests thermiques aux cellules de l'imageur d'AMS

## Test thermique (8 cellules de photodétection)

- 7 jours à +60°C
- 7 jours à -40°C
- 8 cycles entre -35°C et +60°C (3 fois)



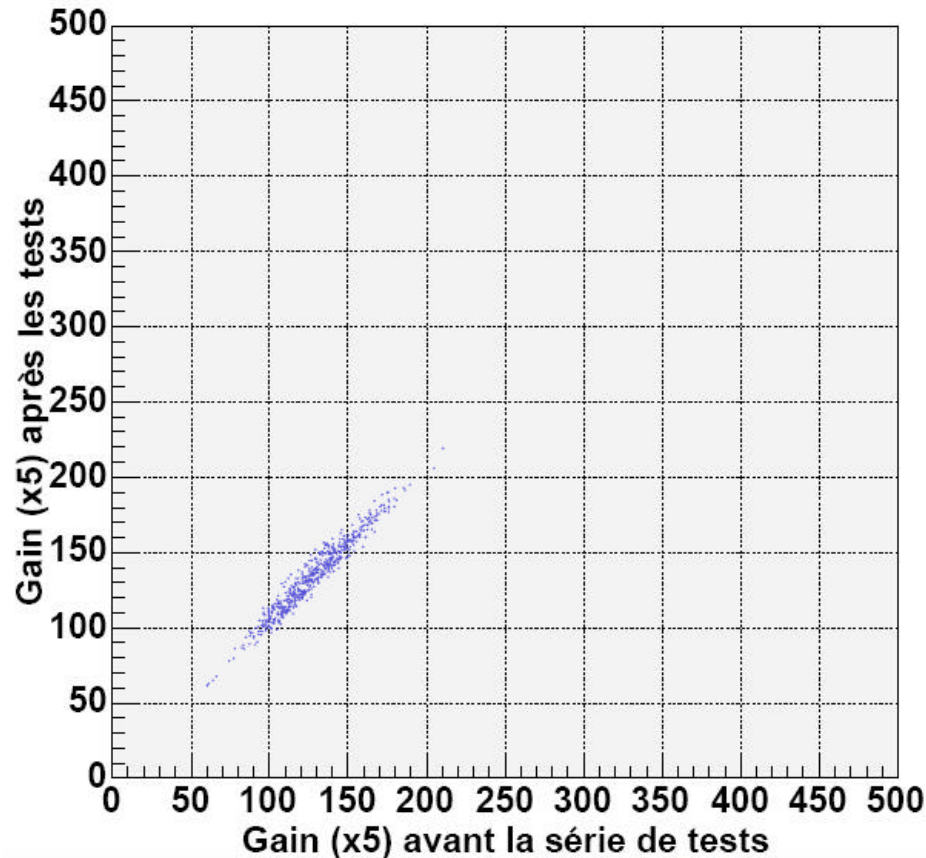
## Capteurs de température utilisés : Dallas DB1820



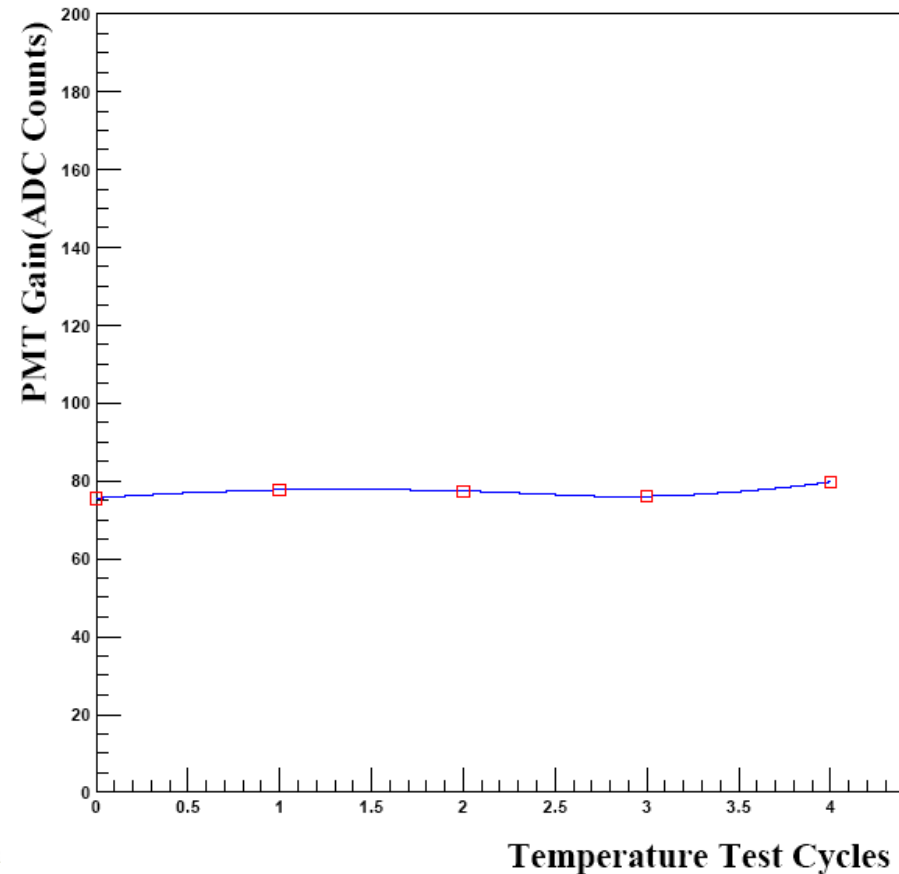


# Tests de validation aux cellules

## Correlation de gain des PM

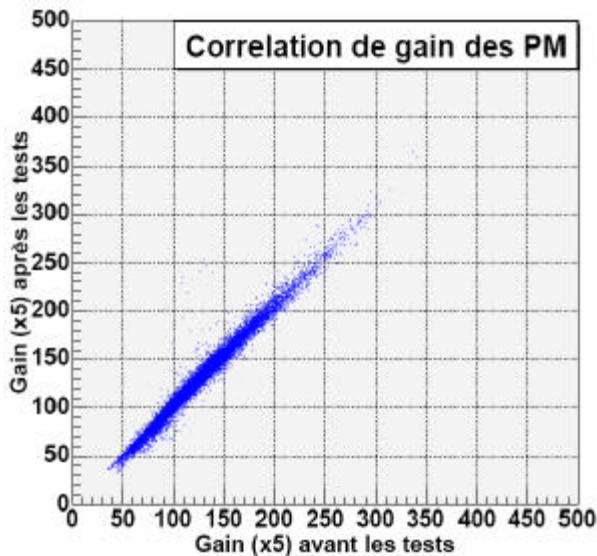
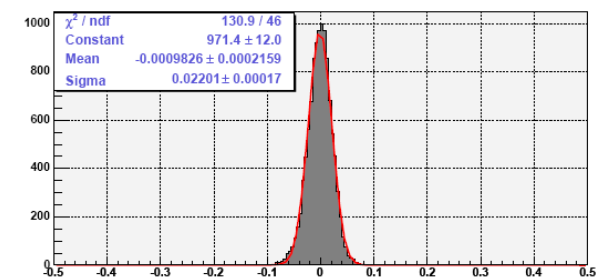
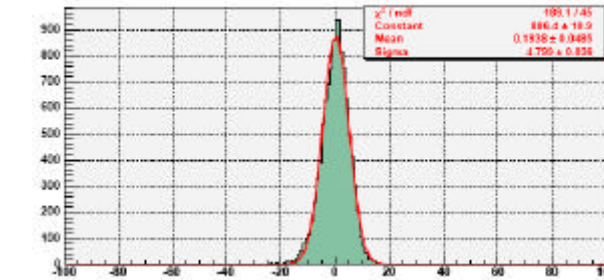
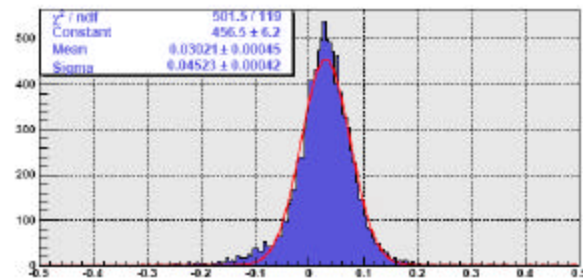
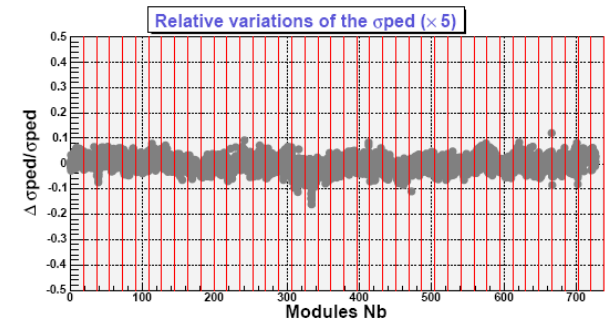
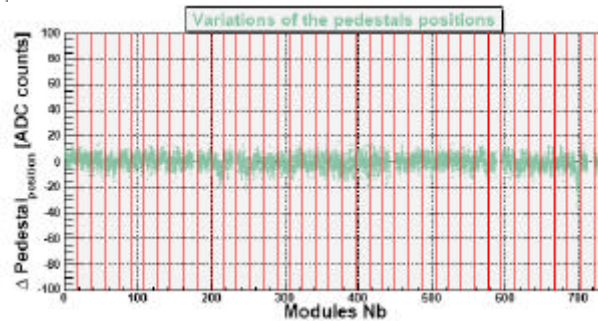
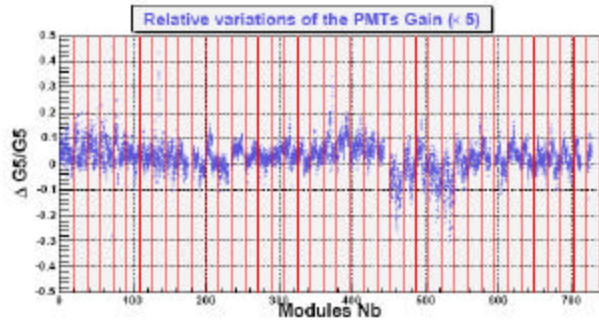


## PMT 2 800V Pixel 15 G5



- 8 cycles [-40,+60]°C réalisés 3 fois
- Stabilité en gain, pedestaux et largeurs de pedestaux pendant les tests
- **Mesures à réaliser sur l'ensemble des cellules de l'imager (680)**

# Tests de validation aux 680 cellules du RICH

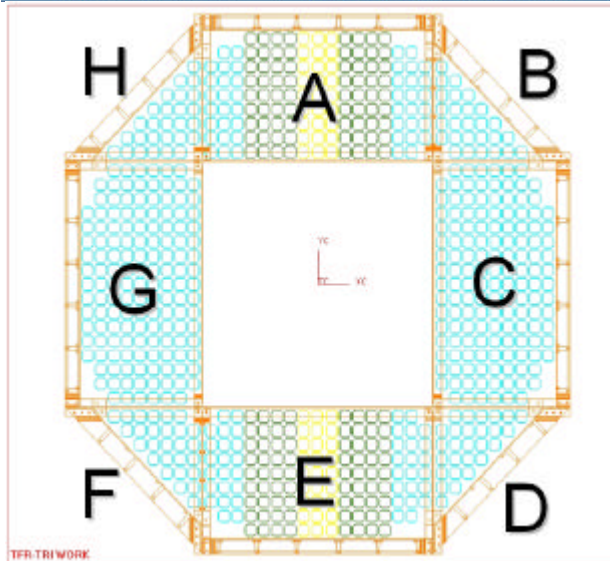


- ➊ Plus de 10 000 pixels validés
- ➋ 9 cellules de photodétection endommagés
  - ➊ 3 PM morts
  - ➋ 6 Electroniques frontales mortes
- ➌ Cellules remplacés
- ➍ Pas de changements majeurs en gain



## Réponse des cellules de photodétection en champ magnétique

# Influence du champ magnétique



- 0.8 mm
- 1 mm
- 1.3 mm

Epaisseur des blindages

60 cm

$$|B_z| \square 100 \div 200 \text{ Gs}$$

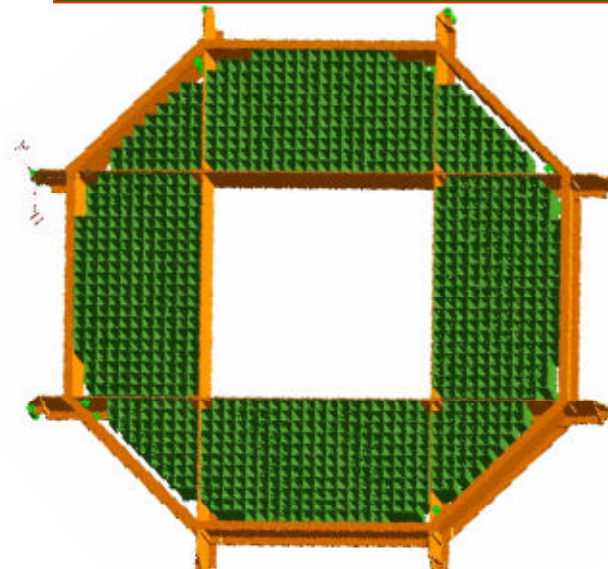
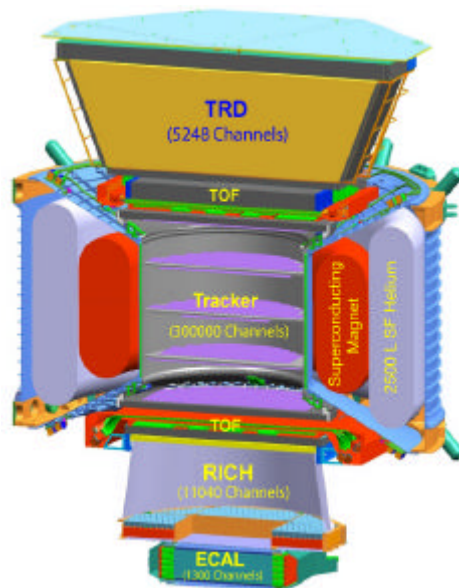
$$|B_x| \square 200 \div 300 \text{ Gs}$$

$$|B_y| \square 0 \div 20 \text{ Gs}$$

$$|B_z| \square 200 \div 250 \text{ Gs}$$

$$|B_x| \square 0 \div 200 \text{ Gs}$$

$$|B_y| \square 0 \div 40 \text{ Gs}$$

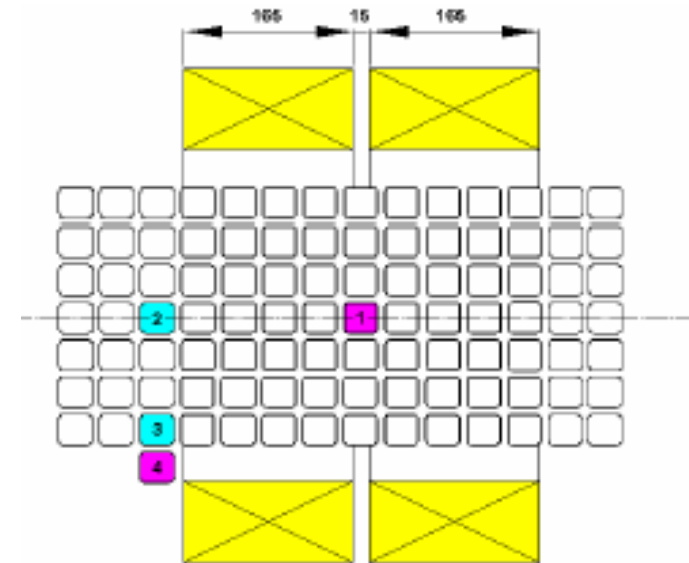
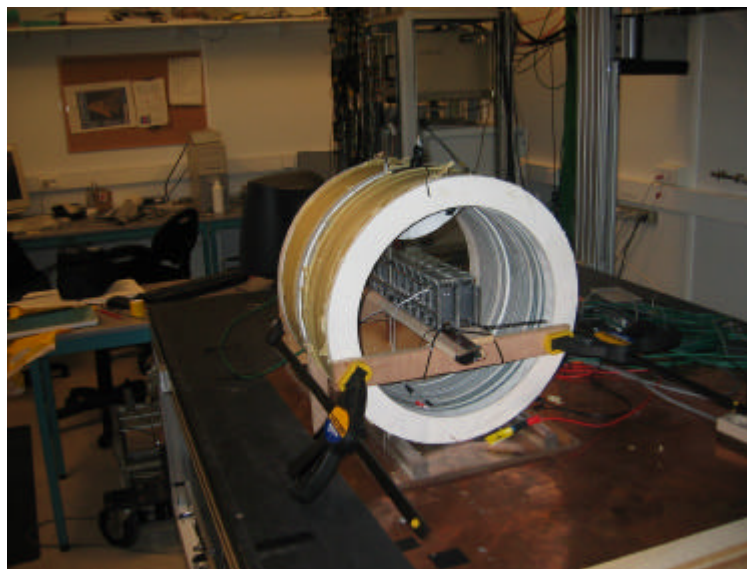
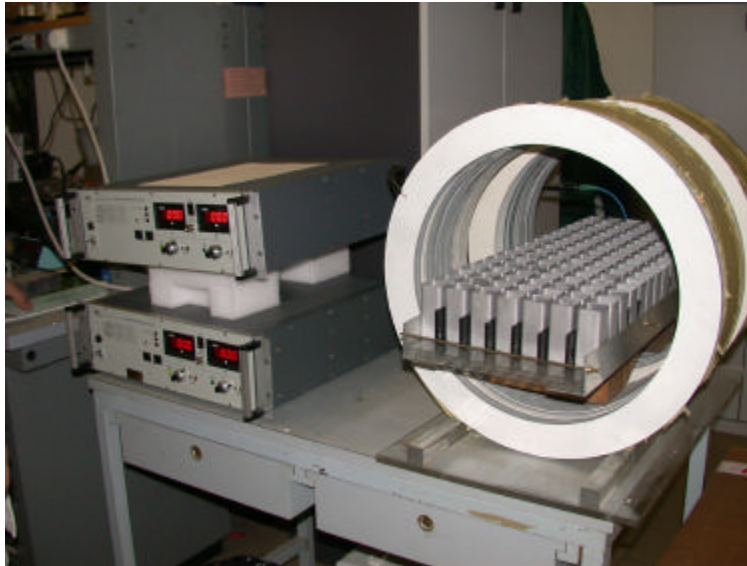


$$|B_z| \square 200 \div 250 \text{ Gs}$$

$$|B_x| \square 0 \div 60 \text{ Gs}$$

$$|B_y| \square 0 \div 20 \text{ Gs}$$

# Le banc de tests



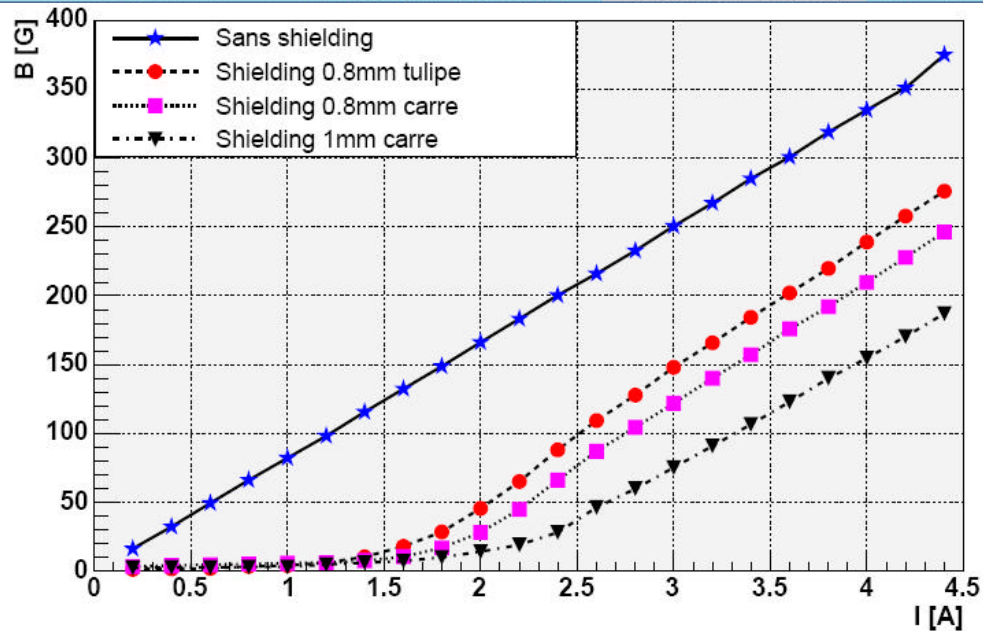
## Sans PM

- Mesure du champ magnétique à l'intérieur en fonction de l'épaisseur du blindage (atténuation)

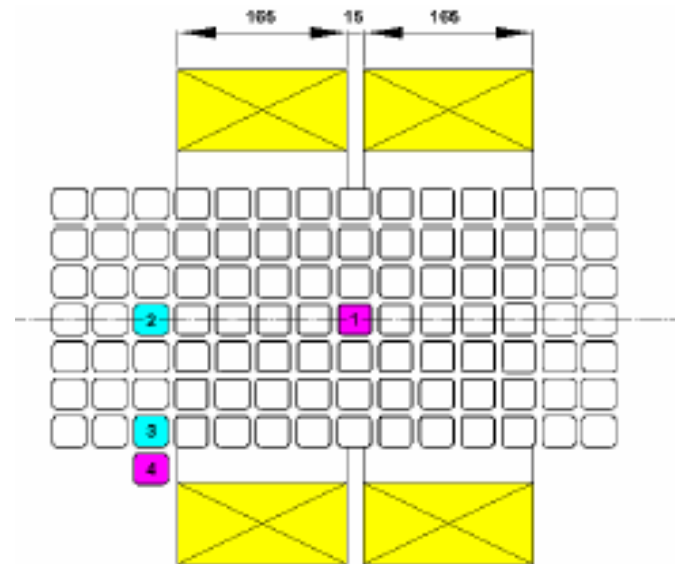
## Avec PM (positions + orientations)

- Photoélectron unique (gain)
- Forte lumière (QExCE)

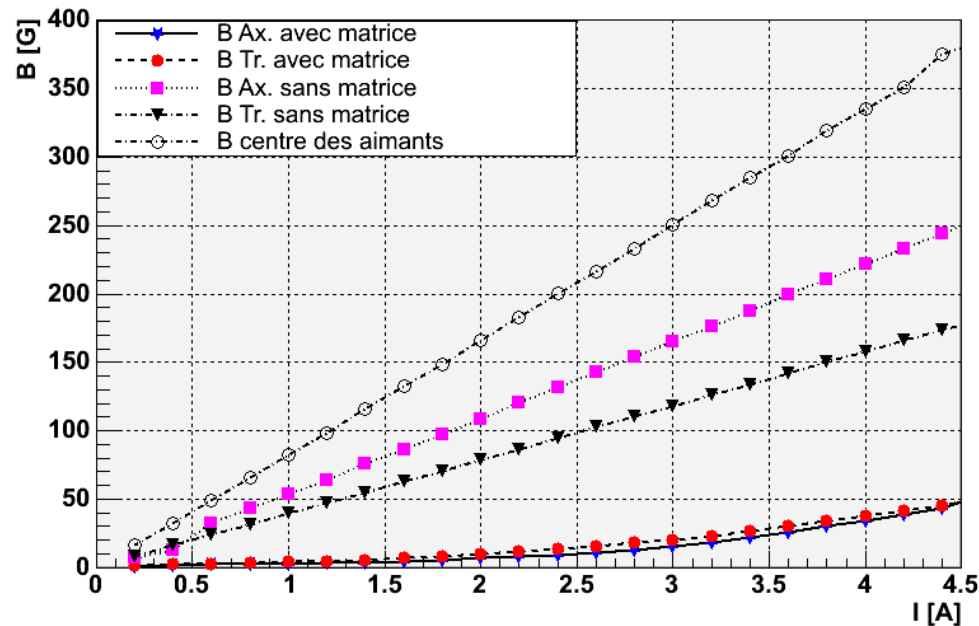
# Résultats



- Mesure au centre du blindage
- Différents blindages et formes testés
- Probe en position #1

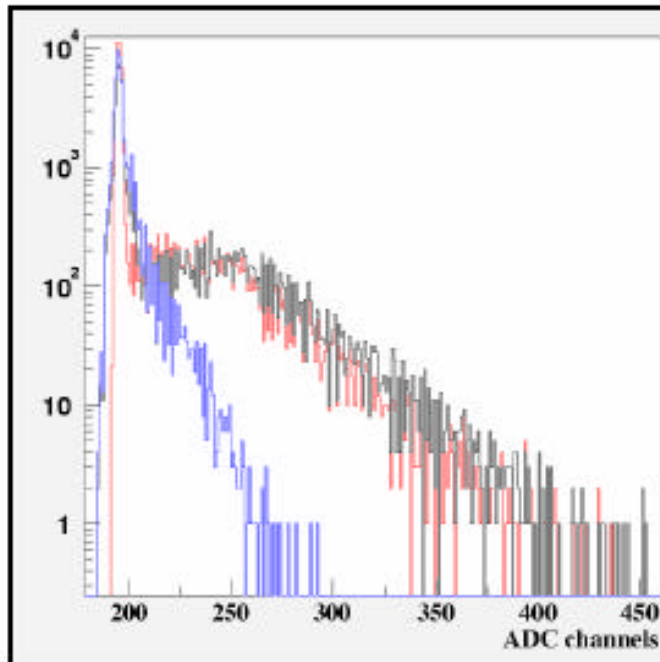


- Mesure au centre du blindage
- Probe en position #4



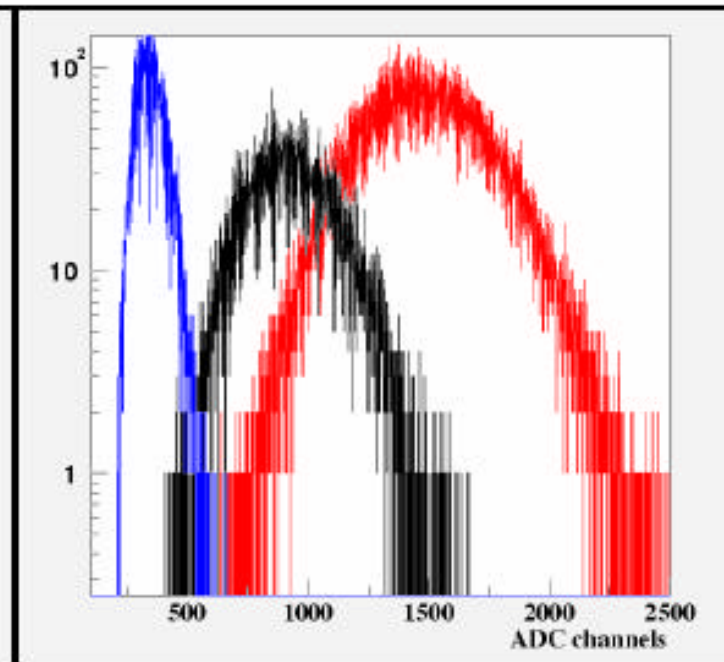
# Influence du champ magnétique

Photoélectron unique



Rouge : 0 G, Noir : 7 G, Bleu : 68 G

Forte lumière

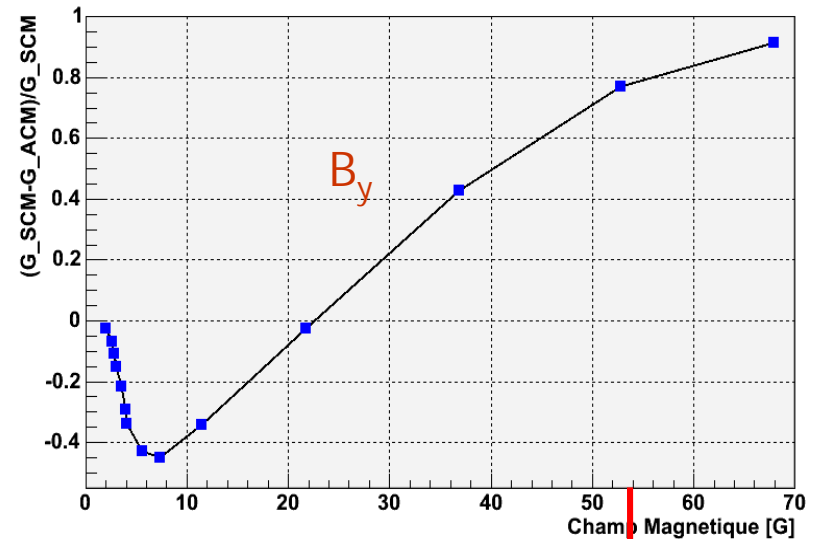
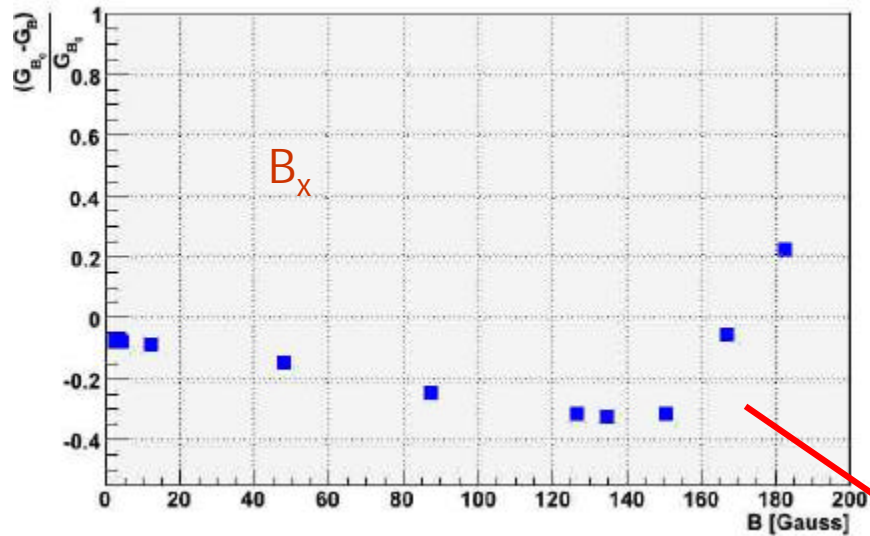


Rouge : 0 G, Noir : 36.9 G, Bleu : 67.9 G

Forte dépendance avec le champ magnétique dans les 2 configurations

# Influence du champ magnétique

## Position 1, Pixel 10

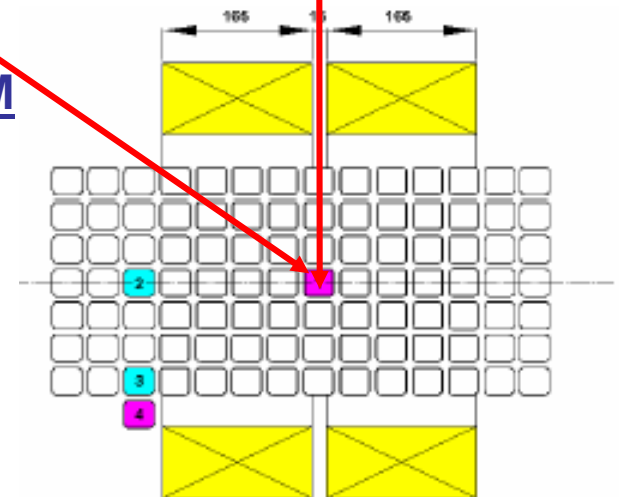


## Forte variation en gain pour les pixels au centre du PM

$$\frac{(G_{B_0} - G_B)}{G_{B_0}}$$

$G_{B_0}$  Valeur du gain sans champ

$G_B$  Valeur du gain en présence du champ

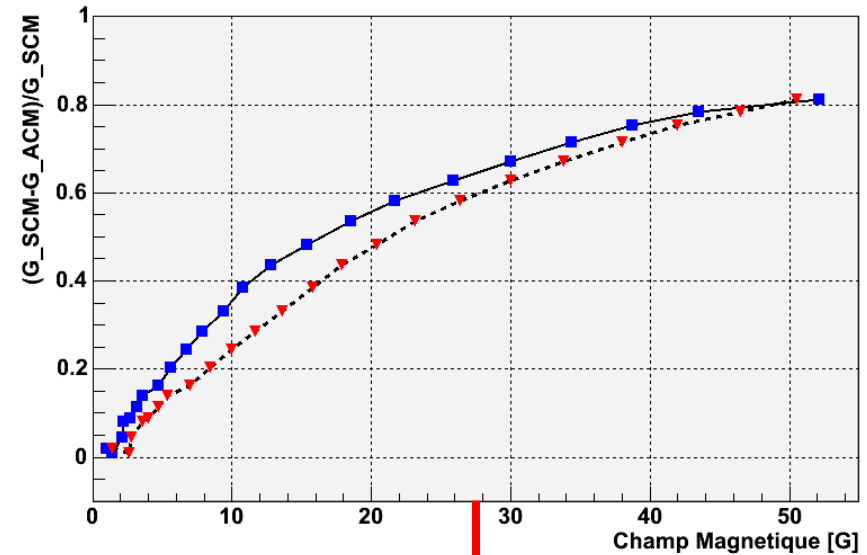
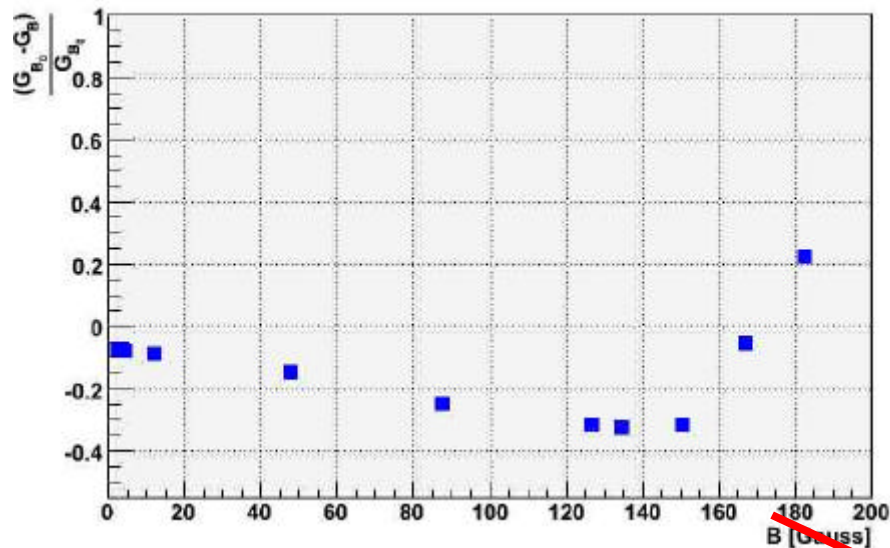




# Influence du champ magnétique

Position 1, Pixel 10

Position 4, Pixel 10

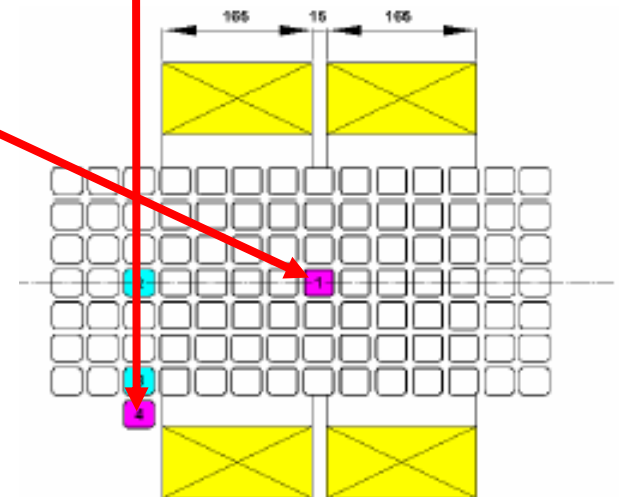


Forte variation en gain par rapport à la position géographique

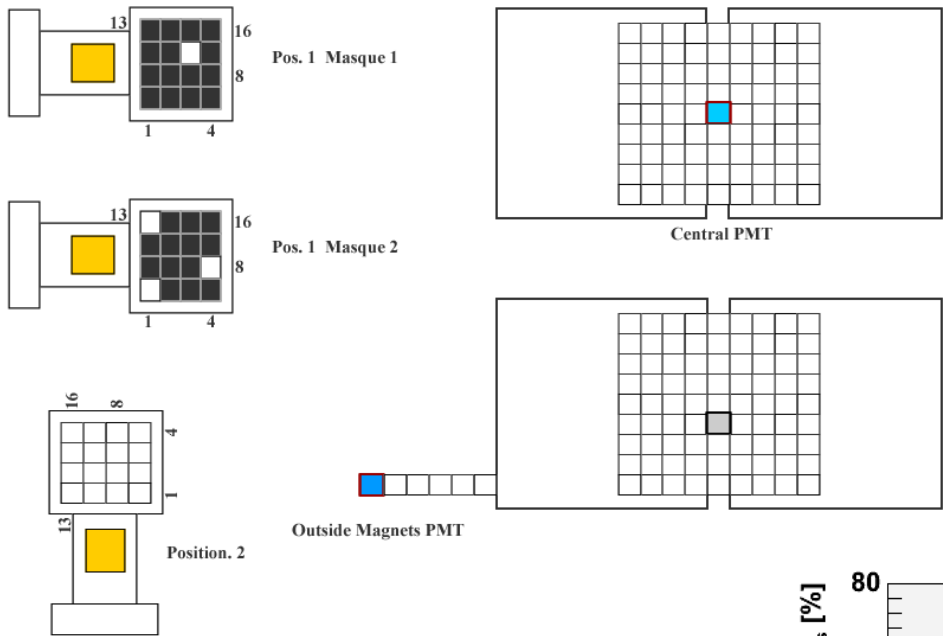
$$\frac{(G_{B_0} - G_B)}{G_{B_0}}$$

$G_{B_0}$  Valeur du gain sans champ

$G_B$  Valeur du gain en présence du champ

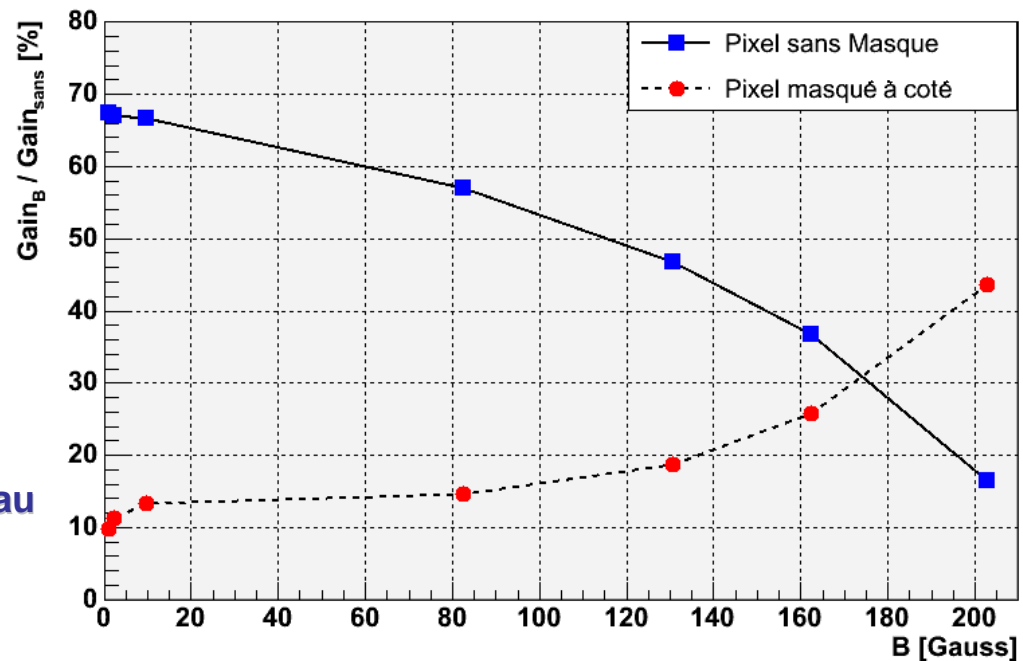


# Diaphonie de la cellule de photodétection



- ① Prise de mesure sans champ
- ① PM masqué
- ① Prise de mesures avec différents Valeurs de B

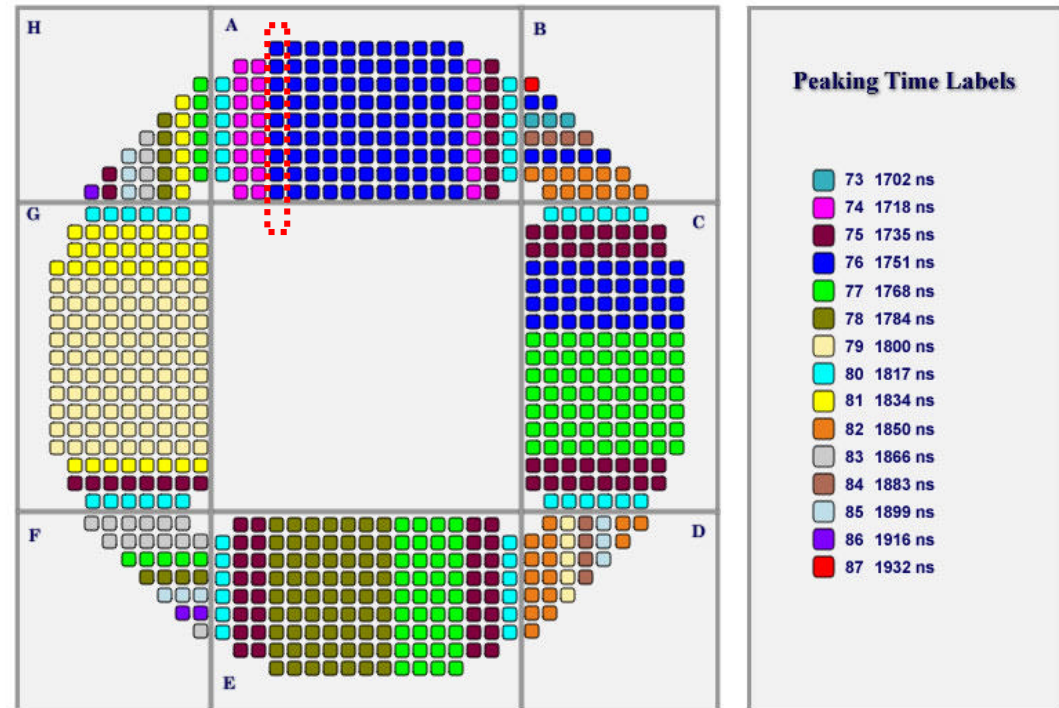
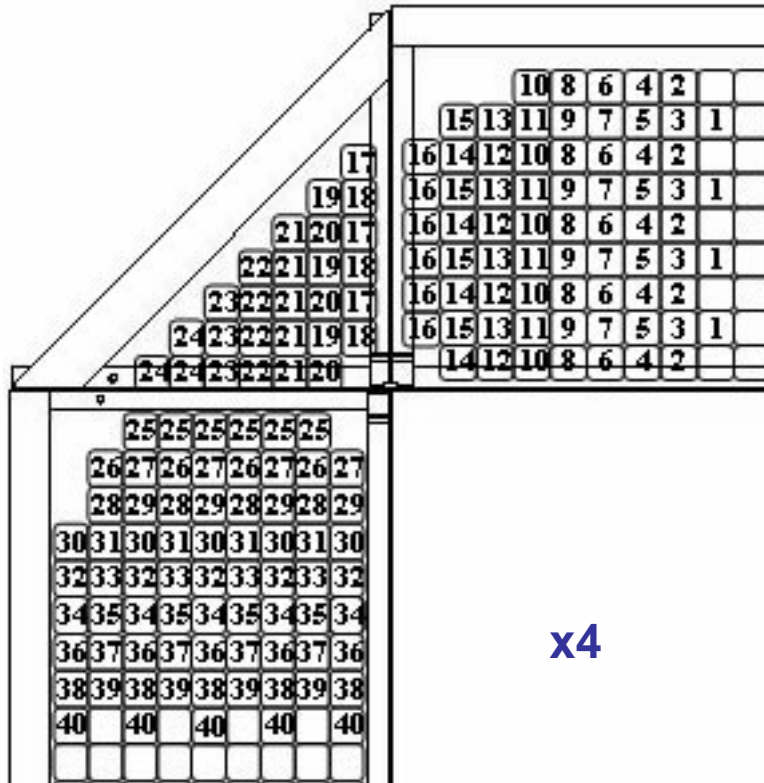
- ① Dégradation du gain et QExCE en présence du champ magnétique
- ① Mise en évidence de la diaphonie entre pixels voisins
- ① Champ avec structure complexe
- ① Tests supplémentaires (B homogène) au CERN et au LCMI à Grenoble



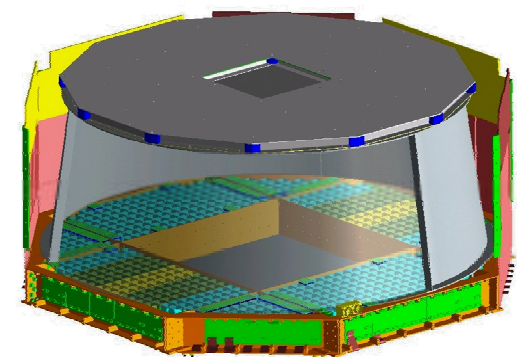


## Etalonnage des cellules de photodétection du RICH

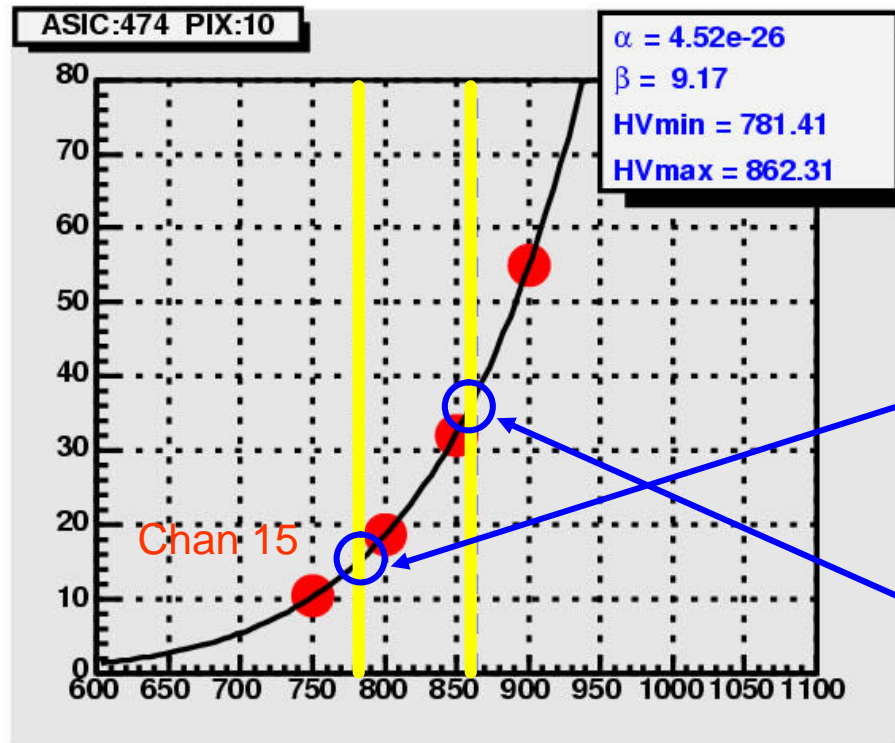
# Etalonnage des cellules de photodétection du RICH



- ① Grouper le gain des cellules  
(optimisation de la résolution en charge  $1 < Z < 26$ )
- ① Lecture de temps d'échantillonnage commune par FLEEx
- ① Alimentation des cellules commune par groupes de 3, 4, 5 et 6
- ① Assignation géographique des cellules sur le plan de détection en prenant en compte le champ magnétique



# Méthode d'Etalonnage



Function d'ajustment

$$\text{Gain}_{\text{pixel}} = aHV^b$$

- Calibration des cellules au régime du photoélectron
- 4-5 points HT de mesure (700 to 900V)
- Détermination de l'alimentation du pixel avec :

1. Limite inférieure :  
bon séparation du photoélectron

$$\text{Gain}_{\text{pixel}} (x1) > 15 \text{ canaux ADC} .$$

– [HVmin]

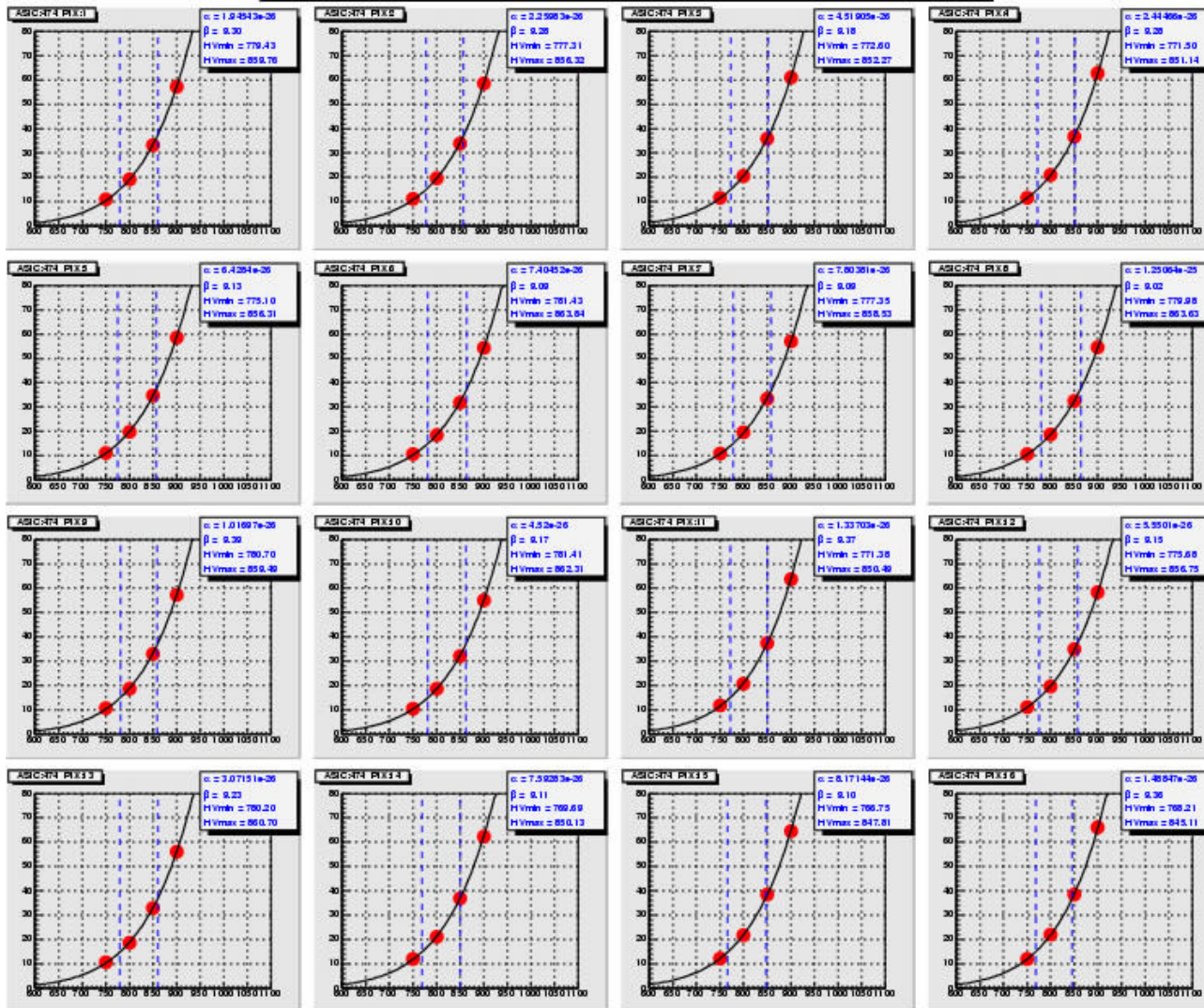
2. Limite supérieure :

Dynamique par pixel > 100 phe

$$\text{– [HVmax]}$$

Ces critères ont été appliqués sur plus de 10 000 pixels.

# Méthode d'Etalonnage



➤ La DHTI est déterminée sur l'ensemble des 16 pixels comme:

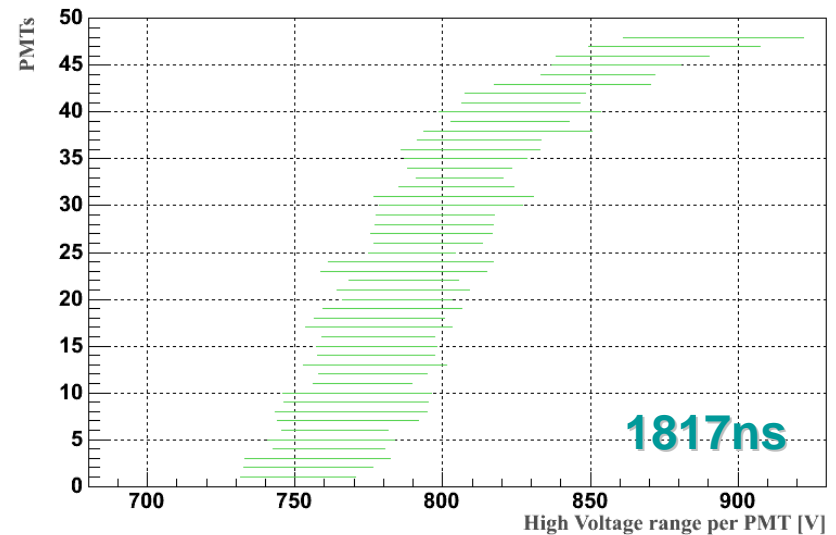
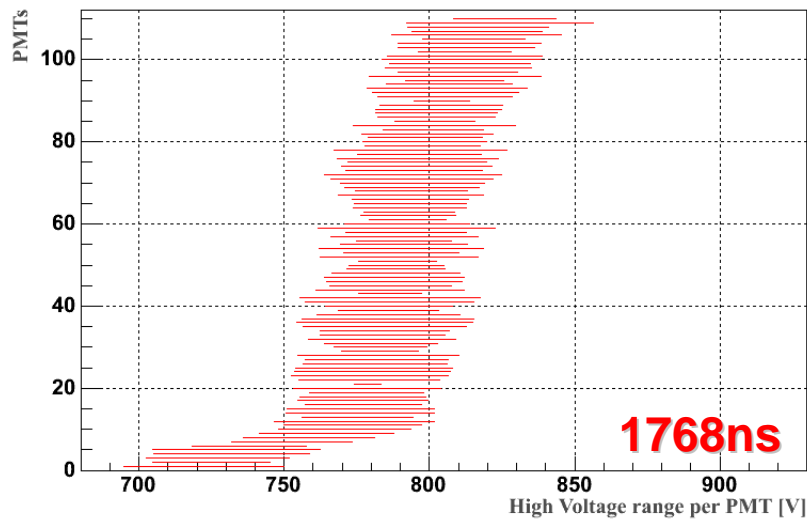
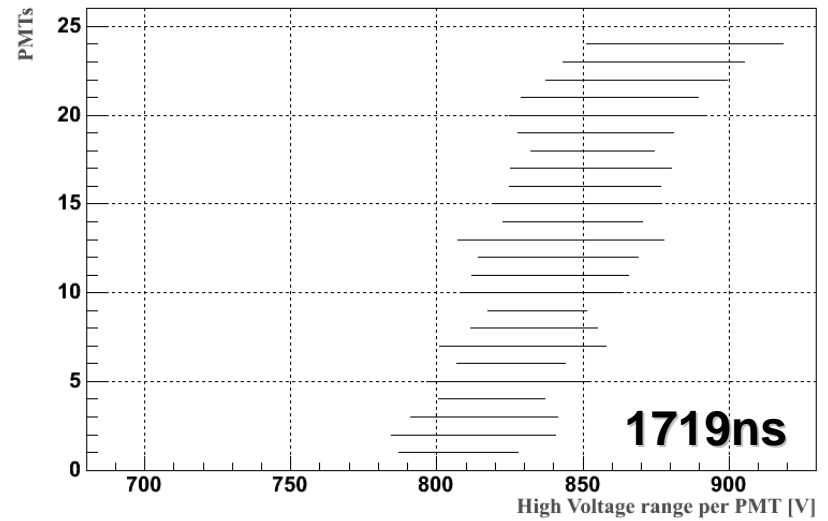
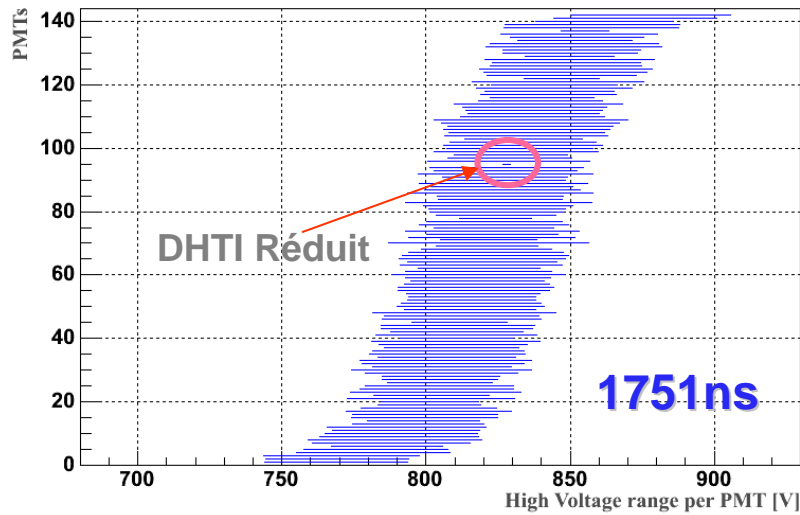
Valeur maximum d'HVmin  
Valeur minimum d'HVmax

➤ Critères appliqués sur l'ensemble des cellules du RICH

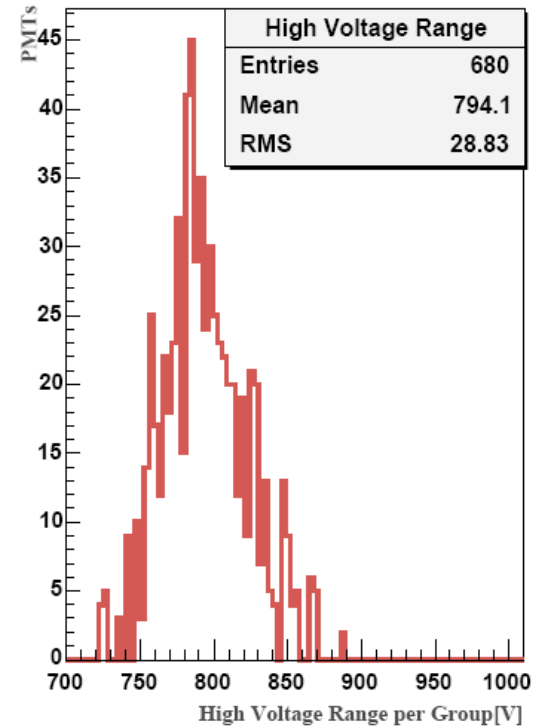
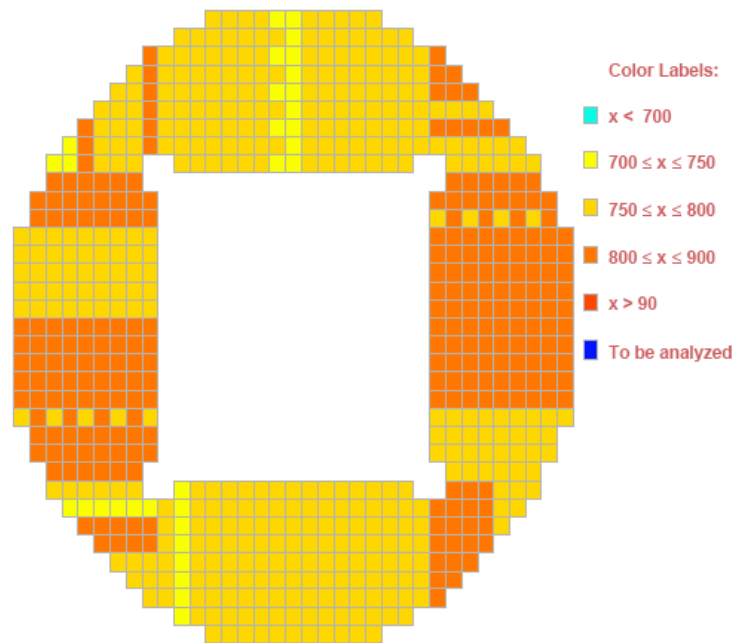
## Dynamique HT Individuelle (DHTI)

# Méthode d'Etalonnage

## ● Temps d'échantillonnage: 1700-1930ns (15 bins)



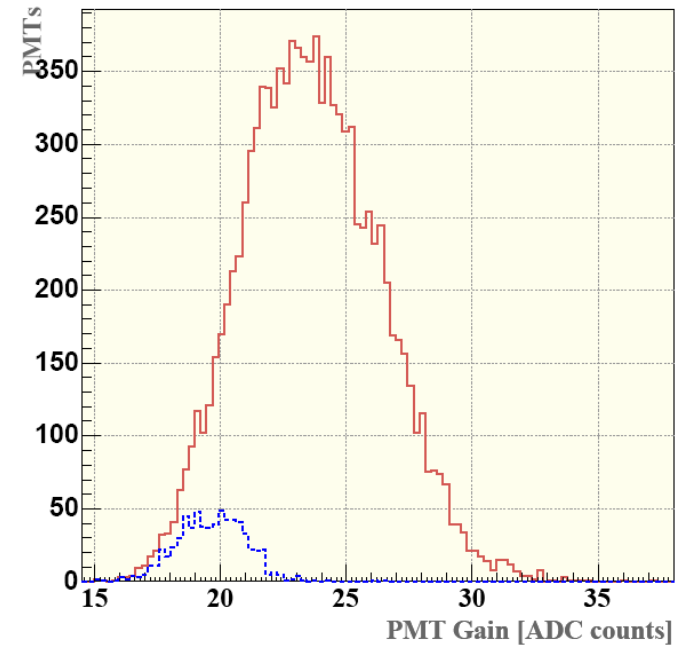
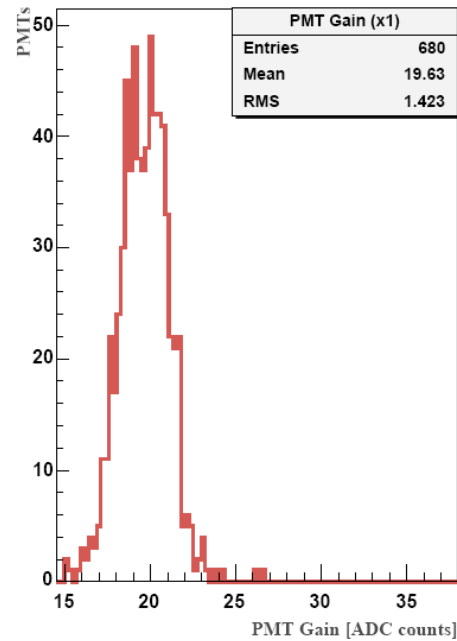
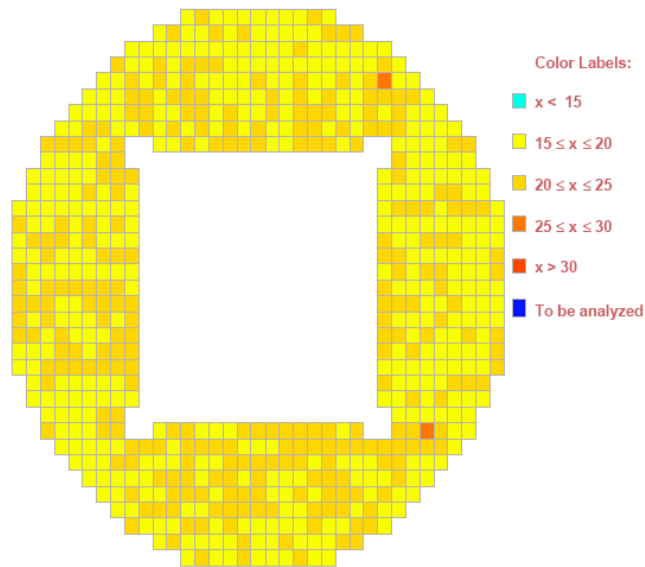
# Résultats : Distribution de l'HT



✓ Pas de problème de forte consommation en puissance

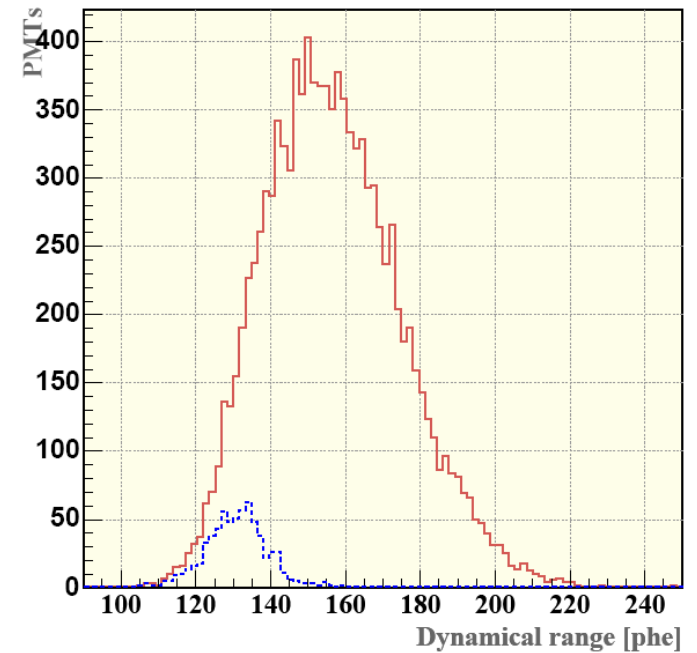
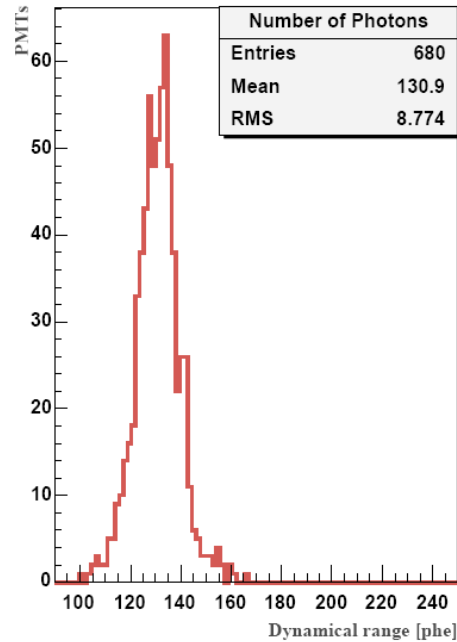
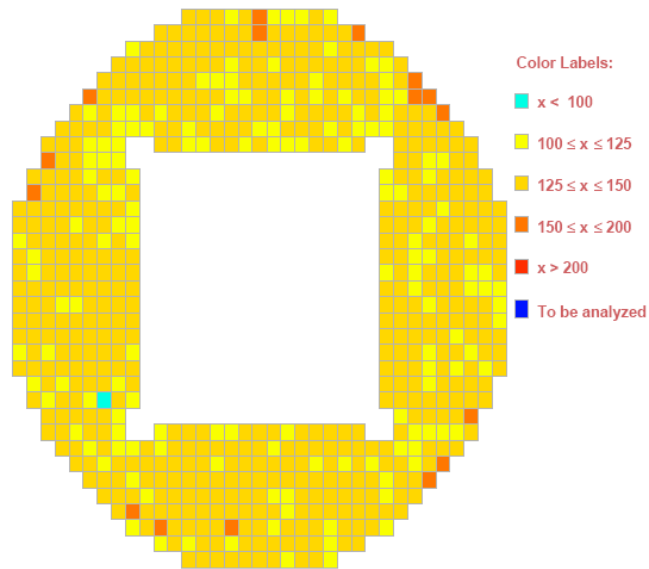


# Résultats : Gain des cellules



✔ Gain uniforme sur l'ensemble de pixels du RICH

# Résultats : Nombre de Photoélectrons



✓ Large dynamique de photoélectrons détectables dans les cellules du RICH



## Détermination de l'indice de réfraction des Aérogels

# Détermination de l'indice de réfraction des Aérogels

Vélocité:  
 $\cos J_c = \frac{1}{bn}$

Seuil:  
 $b > \frac{1}{n}$

$$\frac{\delta\beta}{\beta} = \frac{\delta n}{n} + \tan \theta_c \delta\theta_c.$$

- Dispersion Optique
- Epaisseur + taille des pixels

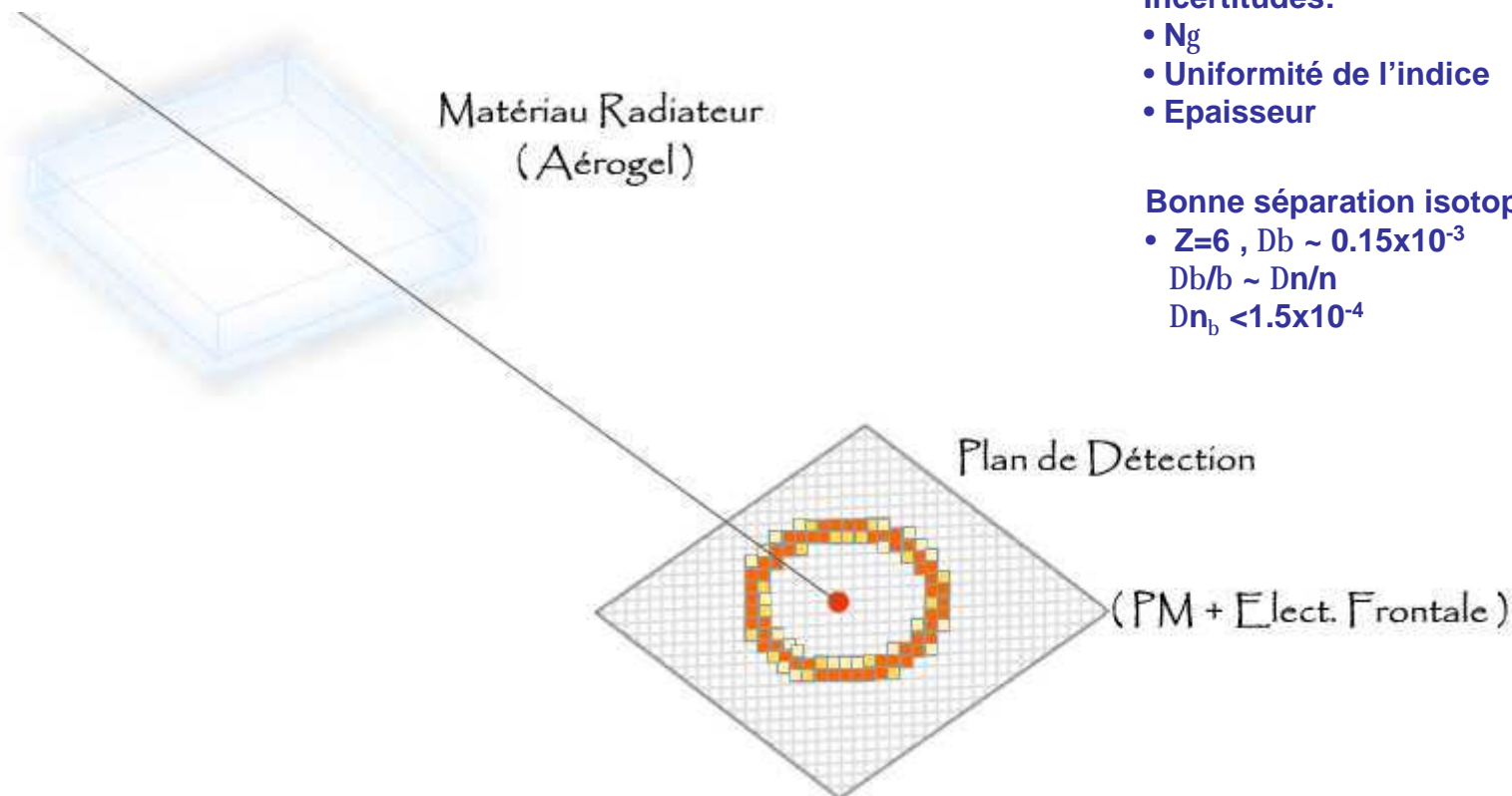
$$\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta N}{N} \oplus \frac{\Delta(n-1)}{(n-1)} \oplus \frac{\Delta d}{d} \right)$$

Incertitudes:

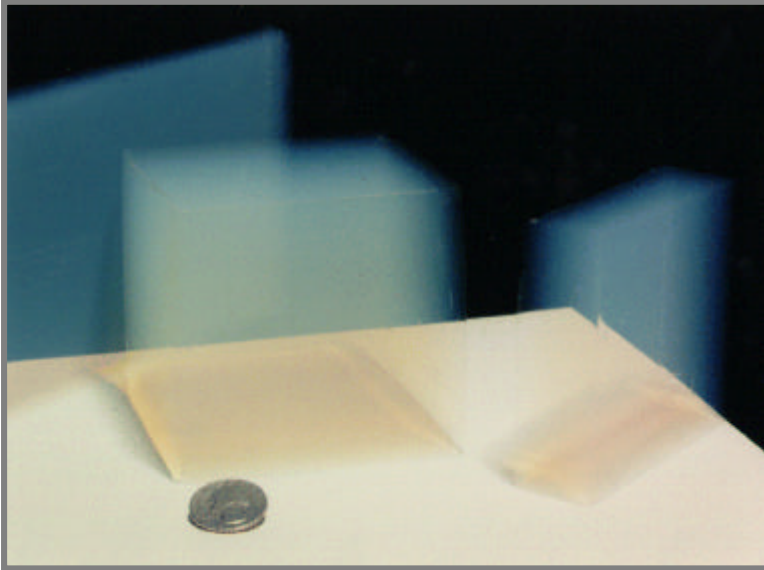
- Ng
- Uniformité de l'indice
- Epaisseur

Bonne séparation isotopique en charge

- $Z=6$ ,  $Db \sim 0.15 \times 10^{-3}$
- $Db/b \sim Dn/n$
- $Dn_b < 1.5 \times 10^{-4}$



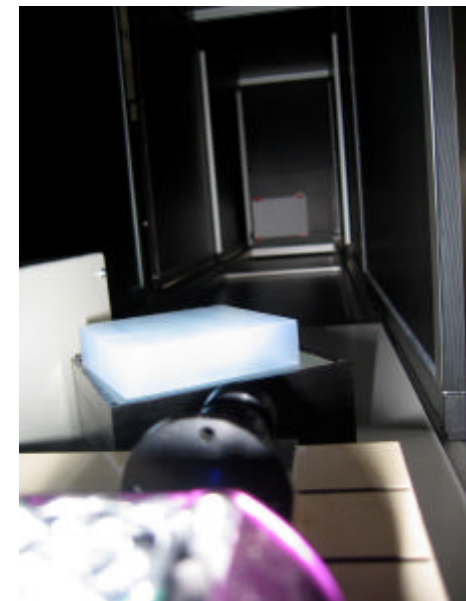
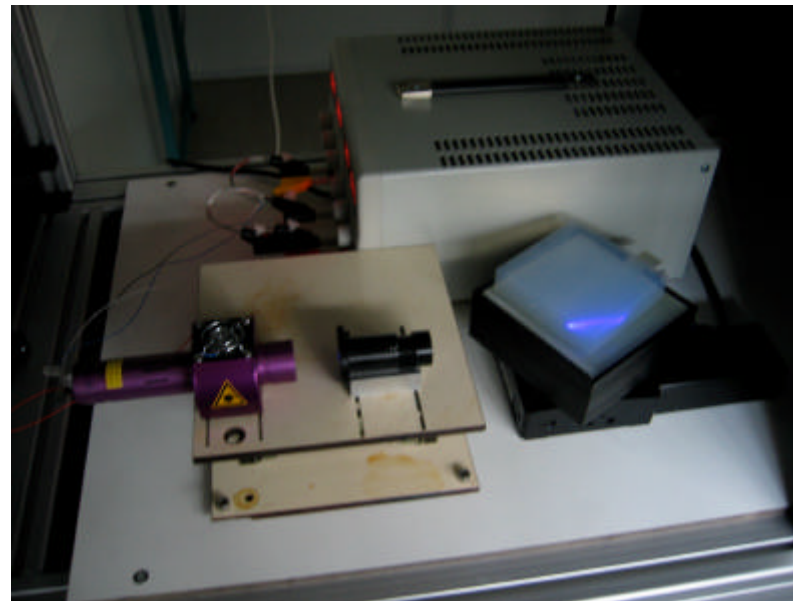
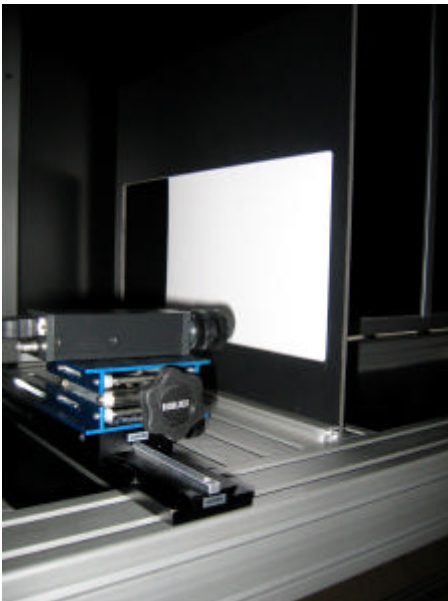
# Détermination de l'indice de réfraction des Aérogels



## Aérogels:

- Matériau fait à partir de silice
- Solide poreux (90%)
- Densité faible
- Peu de Manipulations
- Stockage (Matériau hydrophile)

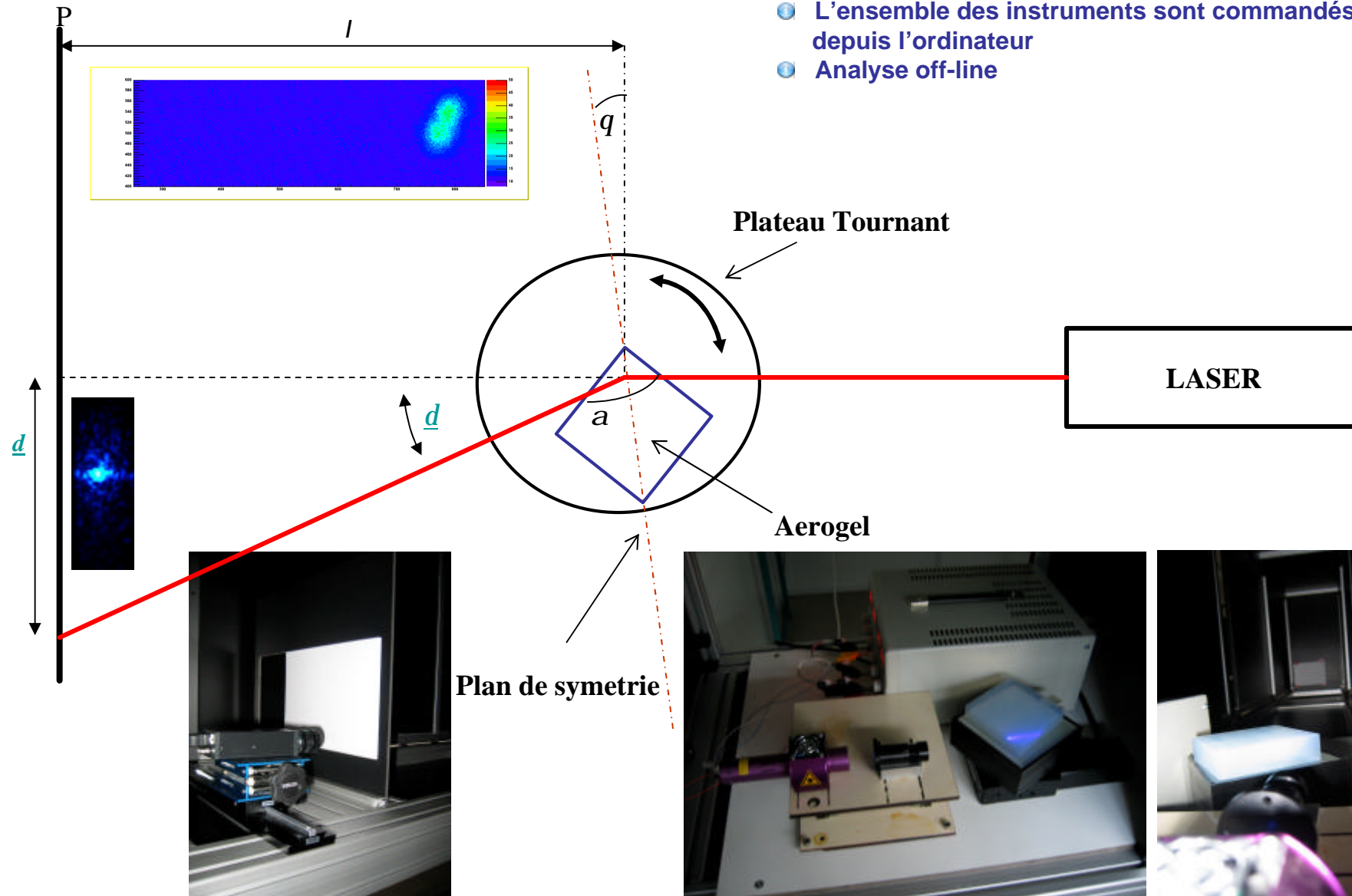
## Automatisation d'un banc de test afin d'avoir le moins de manipulations possible



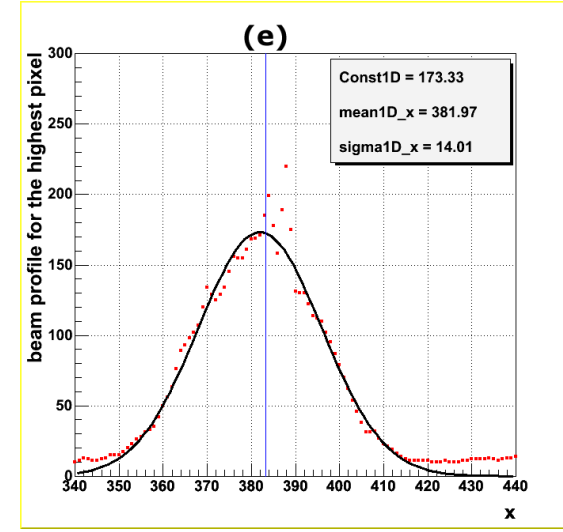
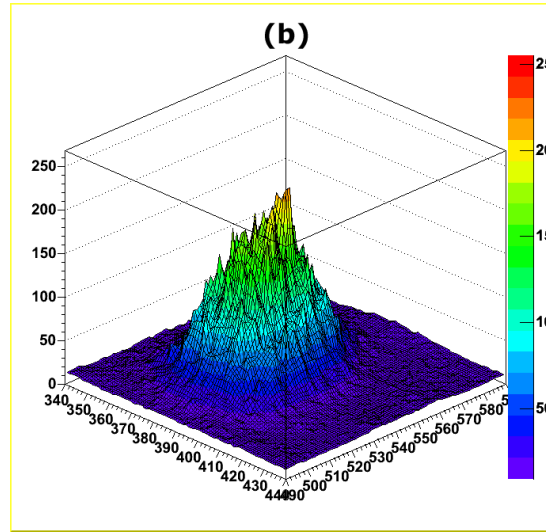
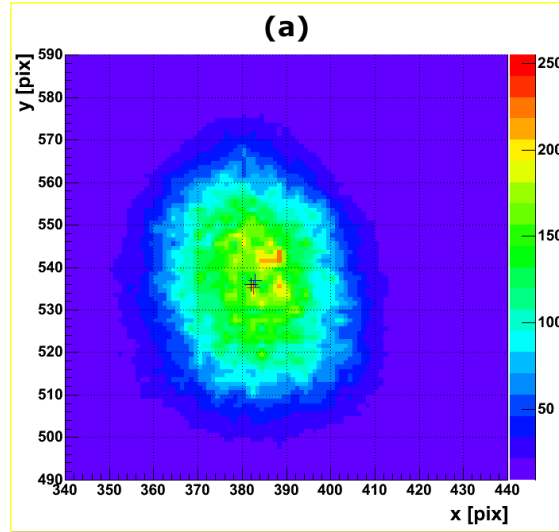
# Détermination de l'indice de réfraction des Aérogels

- 1 Recherche de l'angle minimum de déviation
- 2 détermination de l'indice sur les quatre coins de la tuile

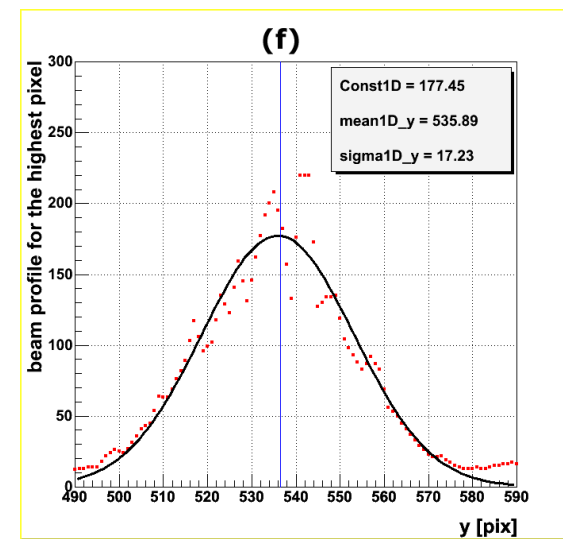
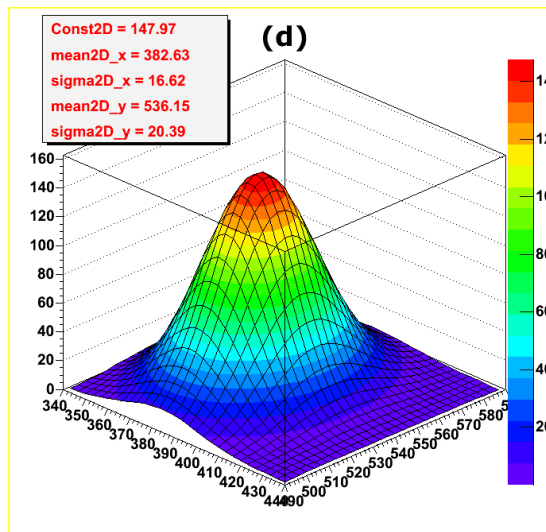
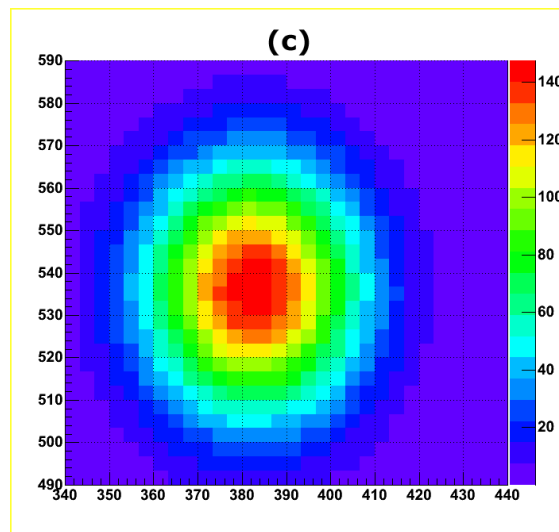
- 3 Mesure automatique des quatre coins d'une tuile d'aérogel (peu de manipulations)
- 4 L'ensemble des instruments sont commandés depuis l'ordinateur
- 5 Analyse off-line



# Analyse (I)

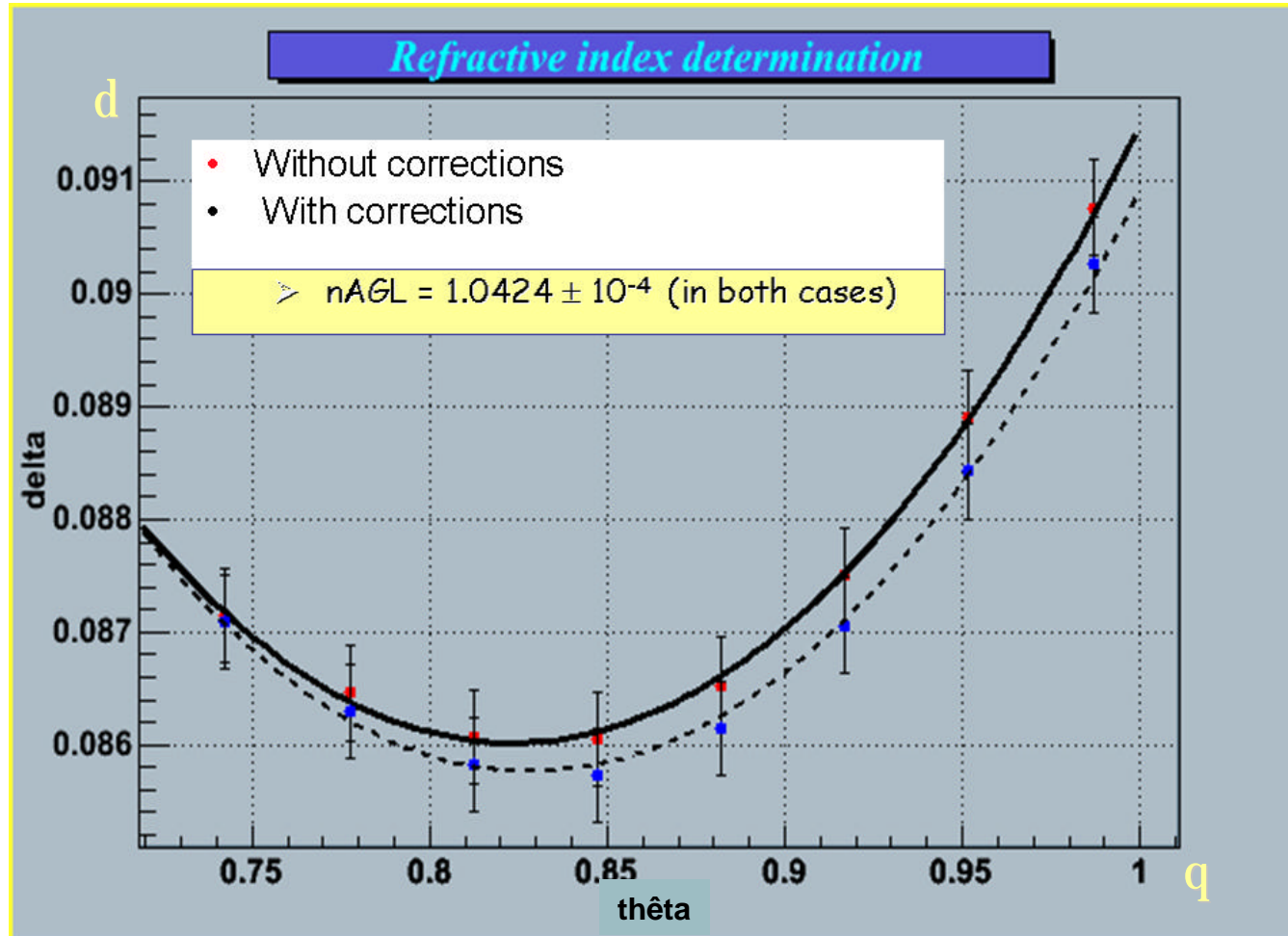


## Ajustement gaussien en 2D + Ajustement 1D du profil du faisceau



## Détermination de l'angle $d$ en fonction des déplacements du profil du faisceau

# Analyse (II)



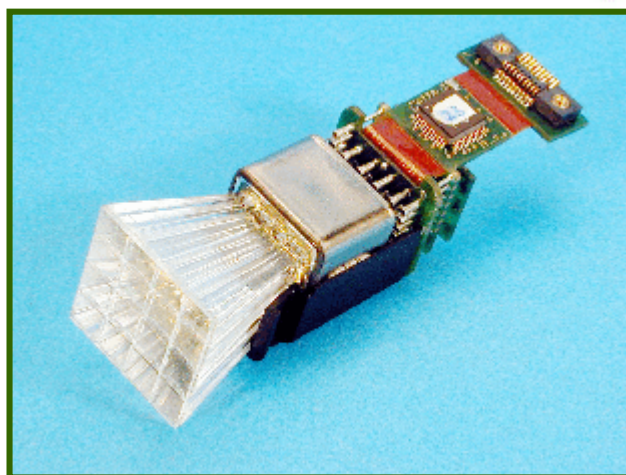
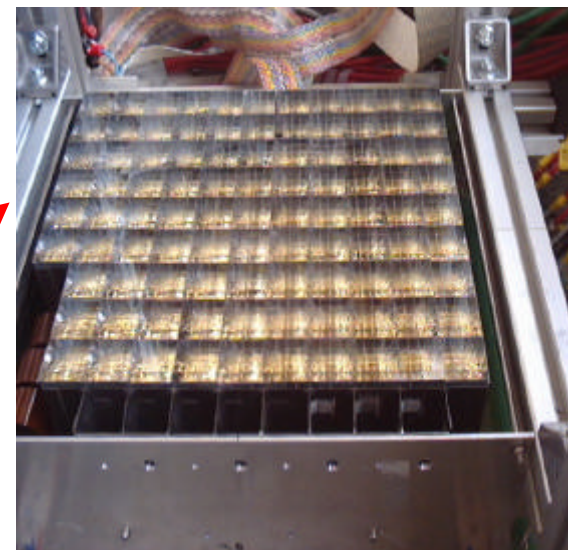
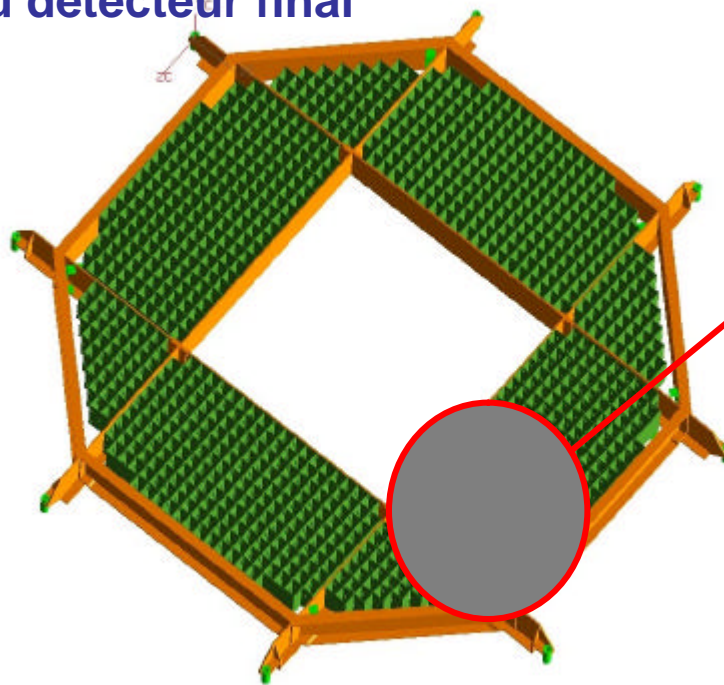
$$d = h + q - a + \sin^{-1} \left( n \sin \left( a - \sin^{-1} \left( \frac{\sin(h+q)}{n} \right) \right) \right)$$

Fonction d'ajustement avec précision de  $10^{-4}$



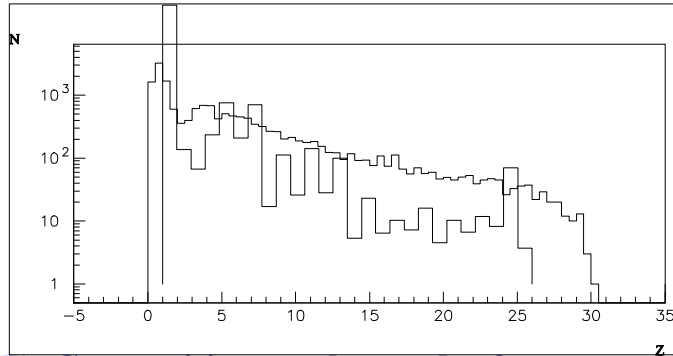
# L'imageur Cherenkov d'AMS : Prototype

## 1/2 module du détecteur final



- 96 PM (1536 pixels)
- Guides de lumière
- Electronique de lecture
- Radiateurs:
  - ✓ AGL  $1.03 < n < 1.05$
  - ✓ NaF  $n=1.33$
- Test au CERN

# Campagne de tests au CERN

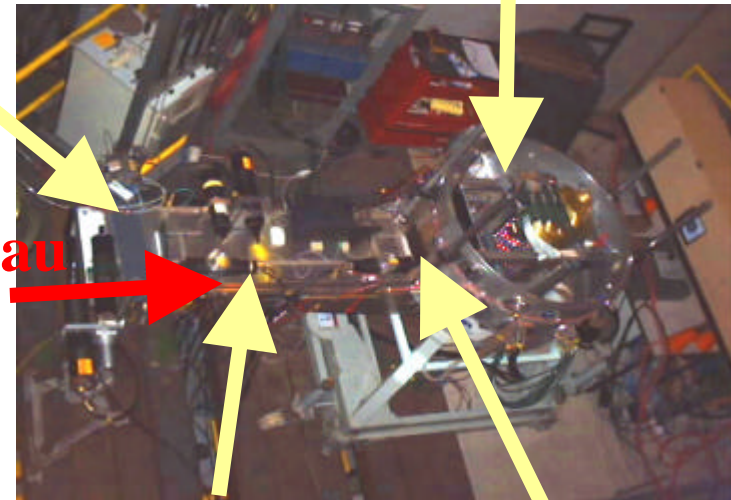


- Composition en charge des fragments Rayonnement cosmique
- Test d'identification des éléments
- Test avec différents radiateurs (indices, épaisseurs, constructeurs)
- Tests de l'électronique
- Analyse (collaborations Lisbonne, Madrid, + Grenoble)

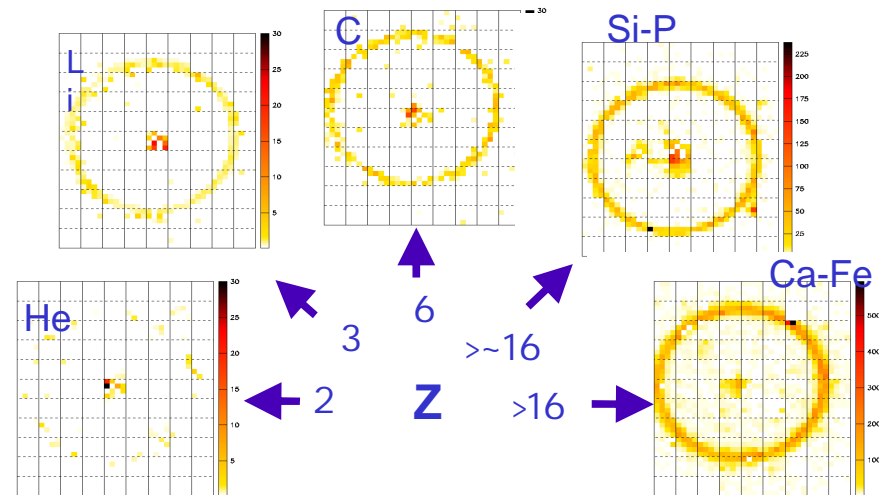
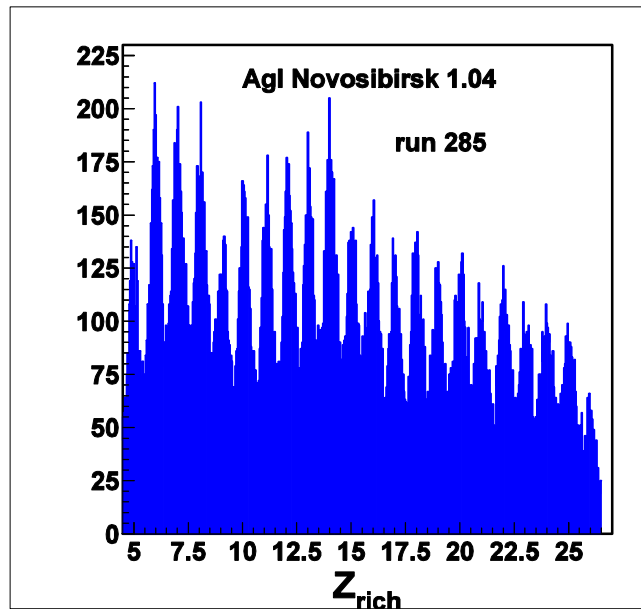
Chambre à fils

Matrice du RICH

Faisceau



Scintillateurs dE/dX déclenchement et mesure de Z



# Conclusions et Perspectives

Ce travail a permis en particulier de

- ① Développer des bancs de mesures pour :
  - ✓ Tester et caractériser les 1400 circuits ASIC du RICH d'AMS
  - ✓ Tester en température l'ensemble des cellules de l'imageur et les valider pour le vol
  - ✓ Déterminer l'indice de réfraction des AGL ainsi qu'une meilleure connaissance de la dispersion à l'intérieur d'une tuile avec une précision de  $10^{-4}$
  
- ① Développer une méthode d'étalonnage des cellules, proposée et acceptée par la collaboration AMS RICH pour
  - ✓ Uniformiser le gain sur l'ensemble des pixels du RICH
  - ✓ Définir la position géographique des éléments sur le plan de détection en fonction du champ magnétique
  
- ① Etudier la réponse des PM sous champ magnétique, et de mettre en évidence une diaphonie
  - ✓ Forte variation en gain pour les pixels centrales par rapport à la position et l'orientation
  - 🚩 De Nouveaux tests au LCMI en septembre 05 peuvent fournir une information plus réaliste du champ que nous aurons dans AMS.
  
- 🚩 Intégration du RICH à Madrid et test au CERN.
- 🚩 Vol de la navette 2008

