

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

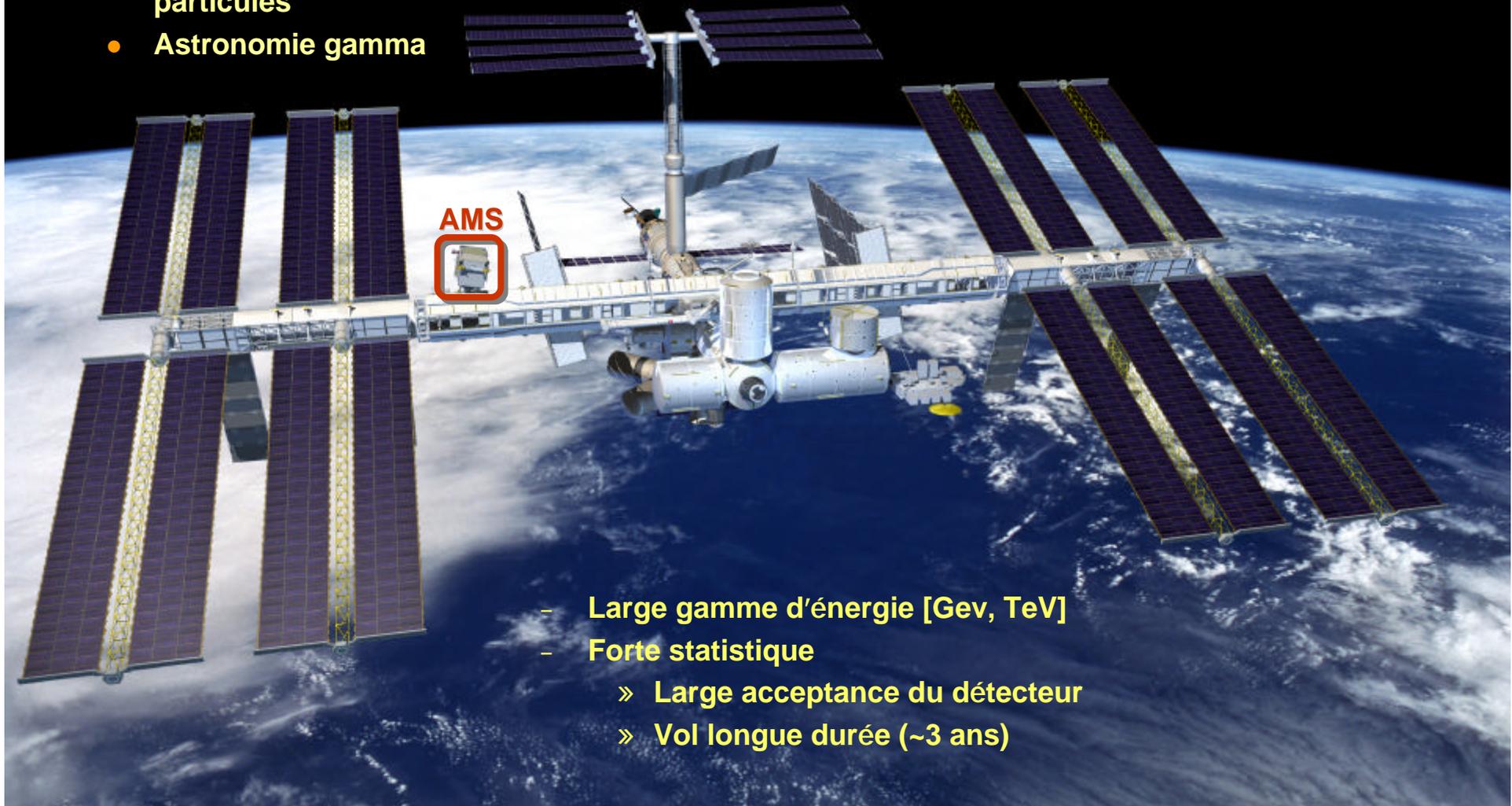
Conclusions et Perspectives

L'expérience Spatiale AMS

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

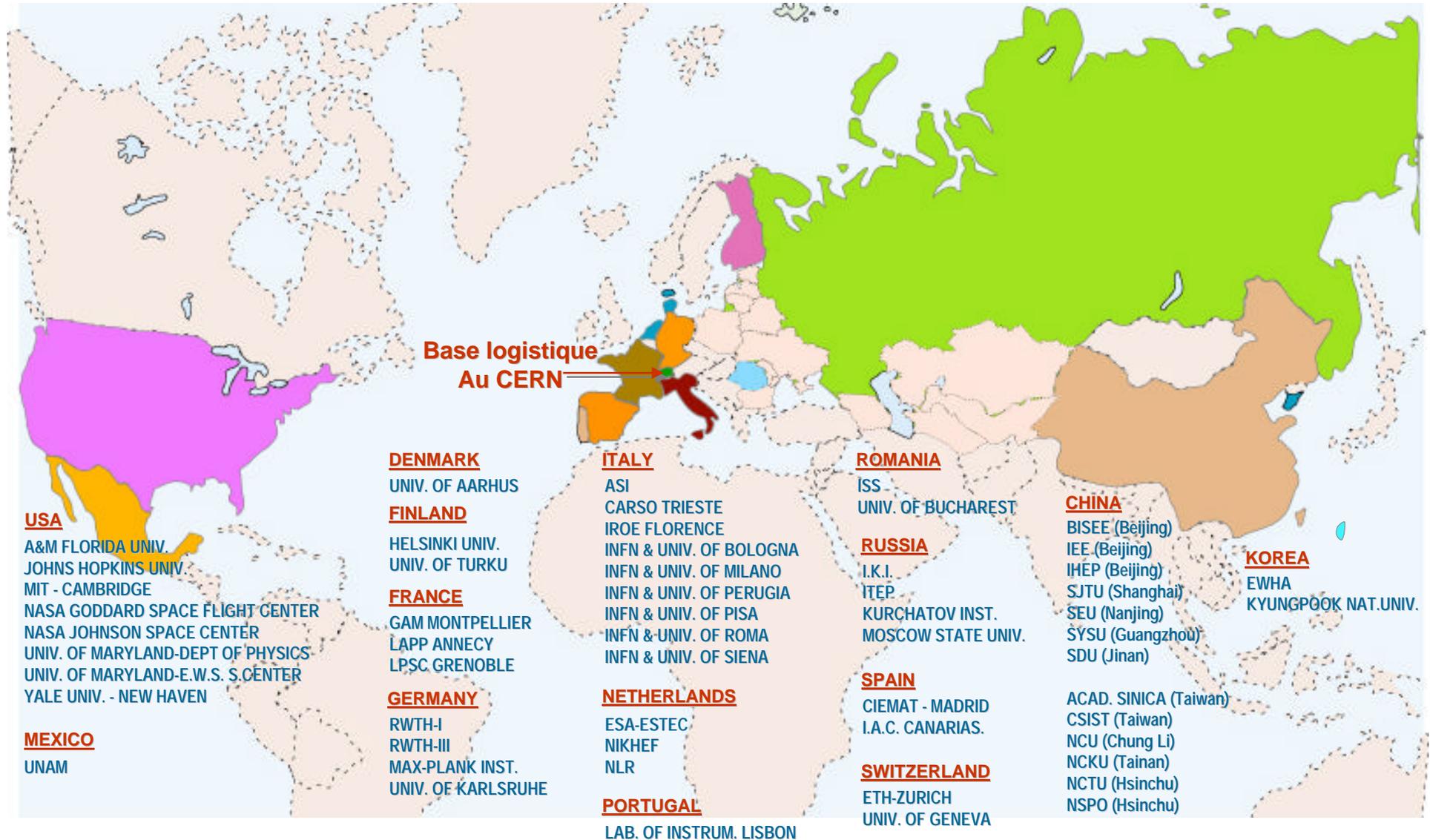
◆ Principaux objectifs scientifiques

- 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



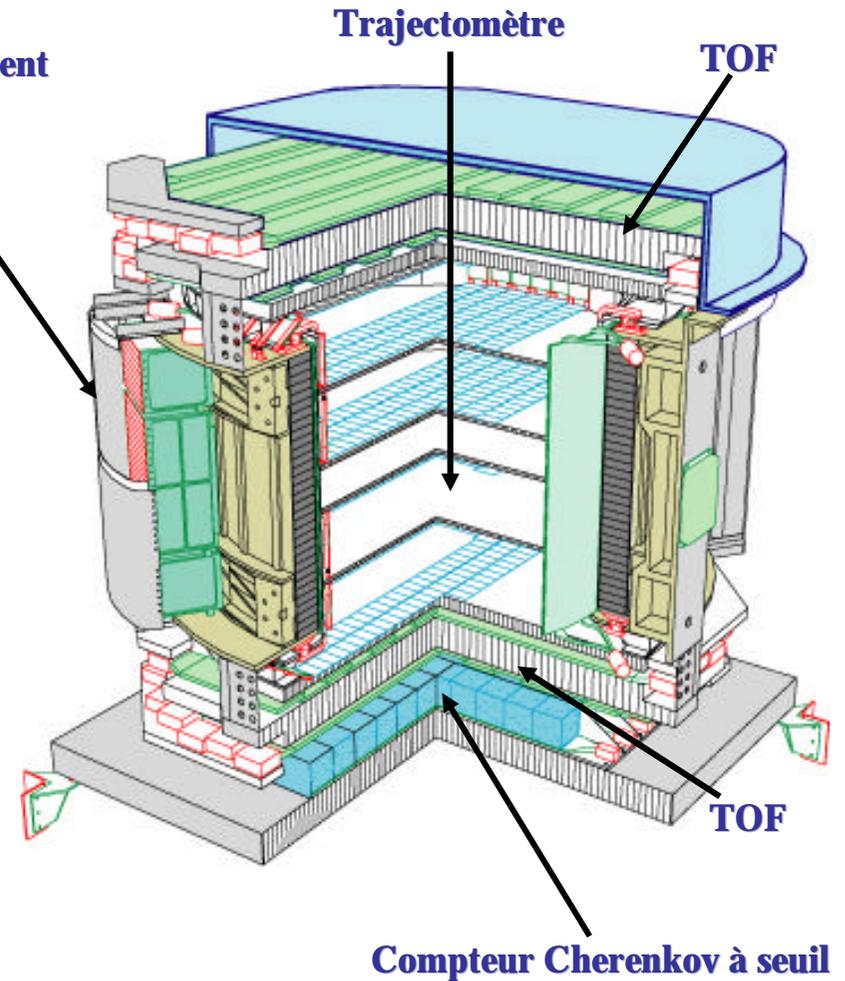
~ 45 institutions

~ 500 collaborateurs

Le Détecteur AMS-01

Capacités de détection

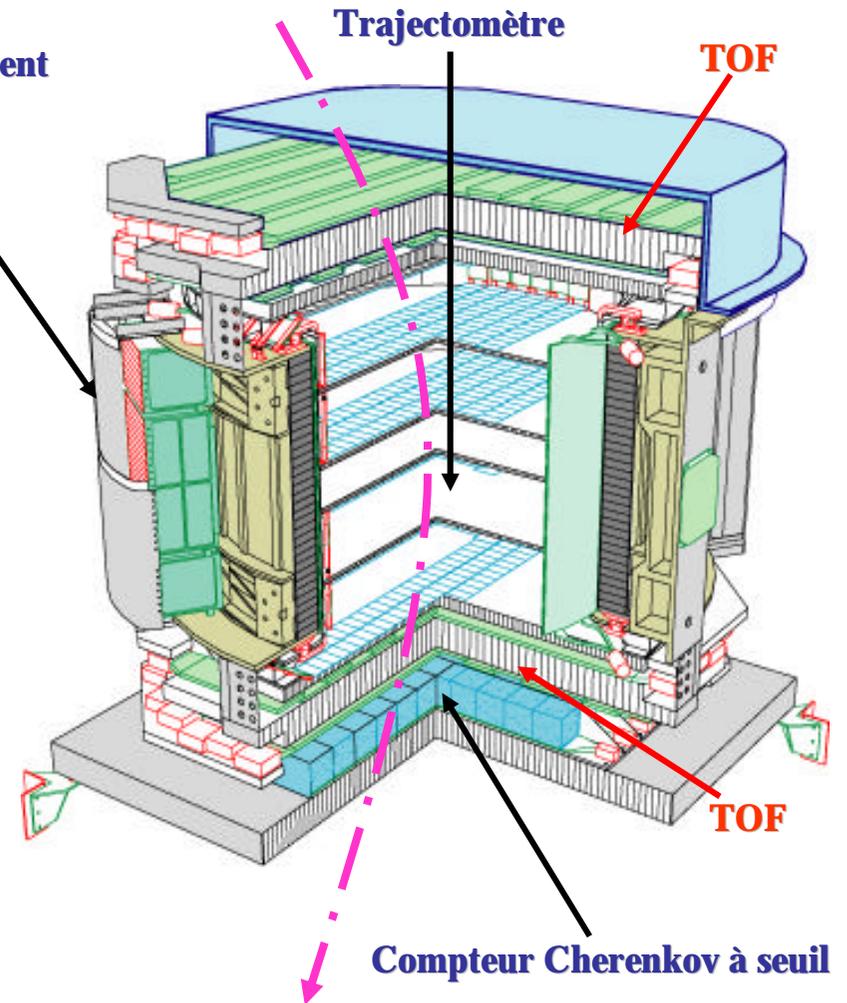
- Temps de Vol (TOF) : Vitesse (b)
Charge
Trigger
- Trajectomètre au Silicium : Charge
Rigidité
- Aimant permanent : Courbure
- Compteur Cherenkov à seuil : Rejection e⁺/p



Le Détecteur AMS-01

Capacités de détection

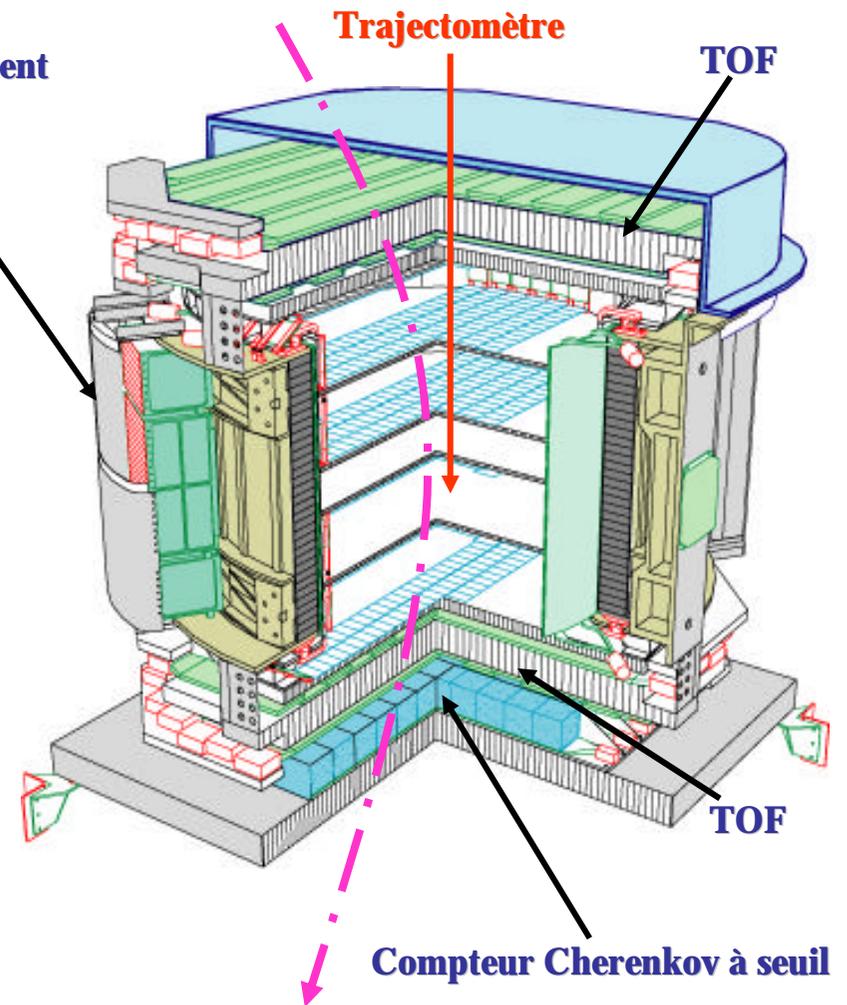
- Temps de Vol (TOF) : Vitesse (b)
Charge
Trigger
- Trajectomètre au Silicium : Charge
Rigidité
- Aimant permanent : Courbure
- Compteur Cherenkov à seuil : Rejection e⁺/p



Le Détecteur AMS-01

Capacités de détection

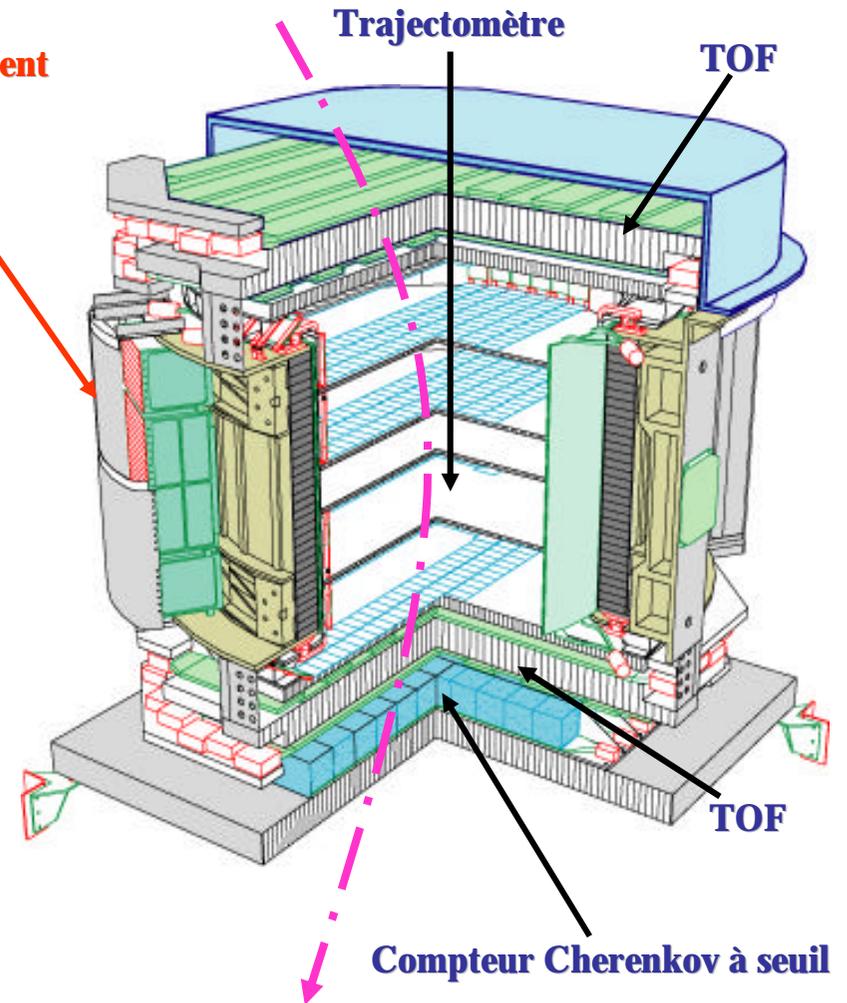
- Temps de Vol (TOF) : Vitesse (b)
Charge
Trigger
- Trajectomètre au Silicium : Charge
Rigidité
- Aimant permanent : Courbure
- Compteur Cherenkov à seuil : Rejection e⁺/p



Le Détecteur AMS-01

Capacités de détection

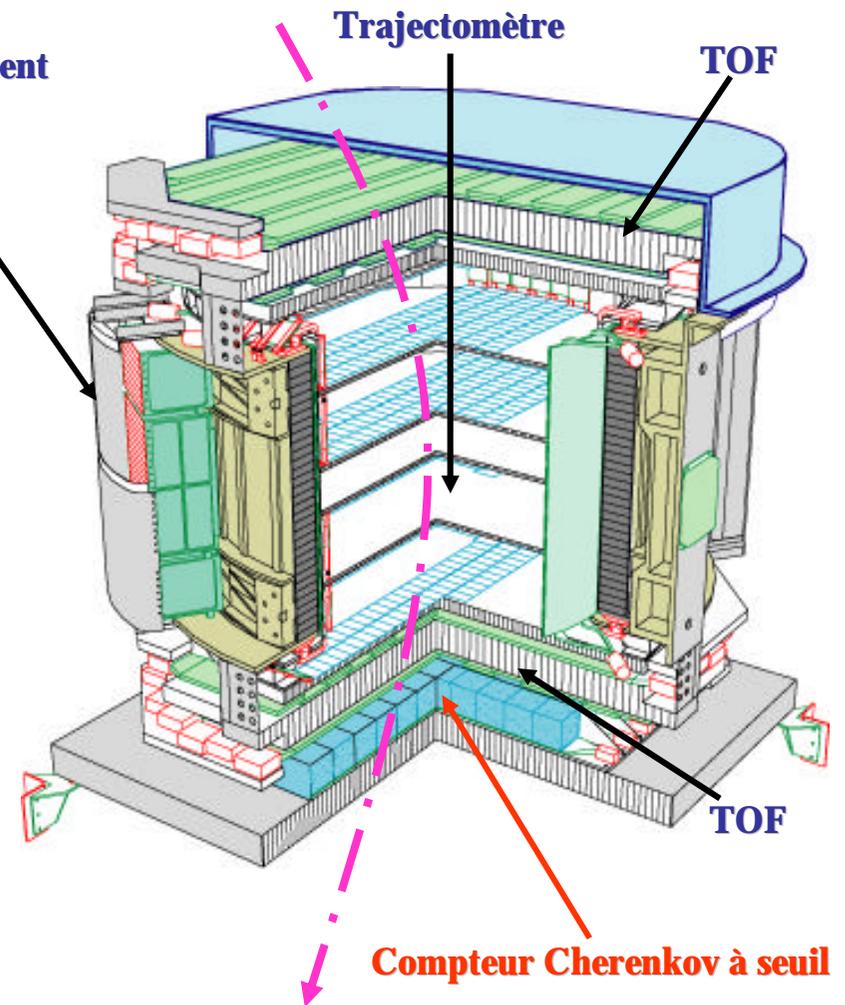
- Temps de Vol (TOF): Vitesse (b)
Charge
Trigger
- Trajectomètre au Silicium : Charge
Rigidité
- Aimant permanent : Courbure
- Compteur Cherenkov à seuil : Rejection e⁺/p



Le Détecteur AMS-01

Capacités de détection

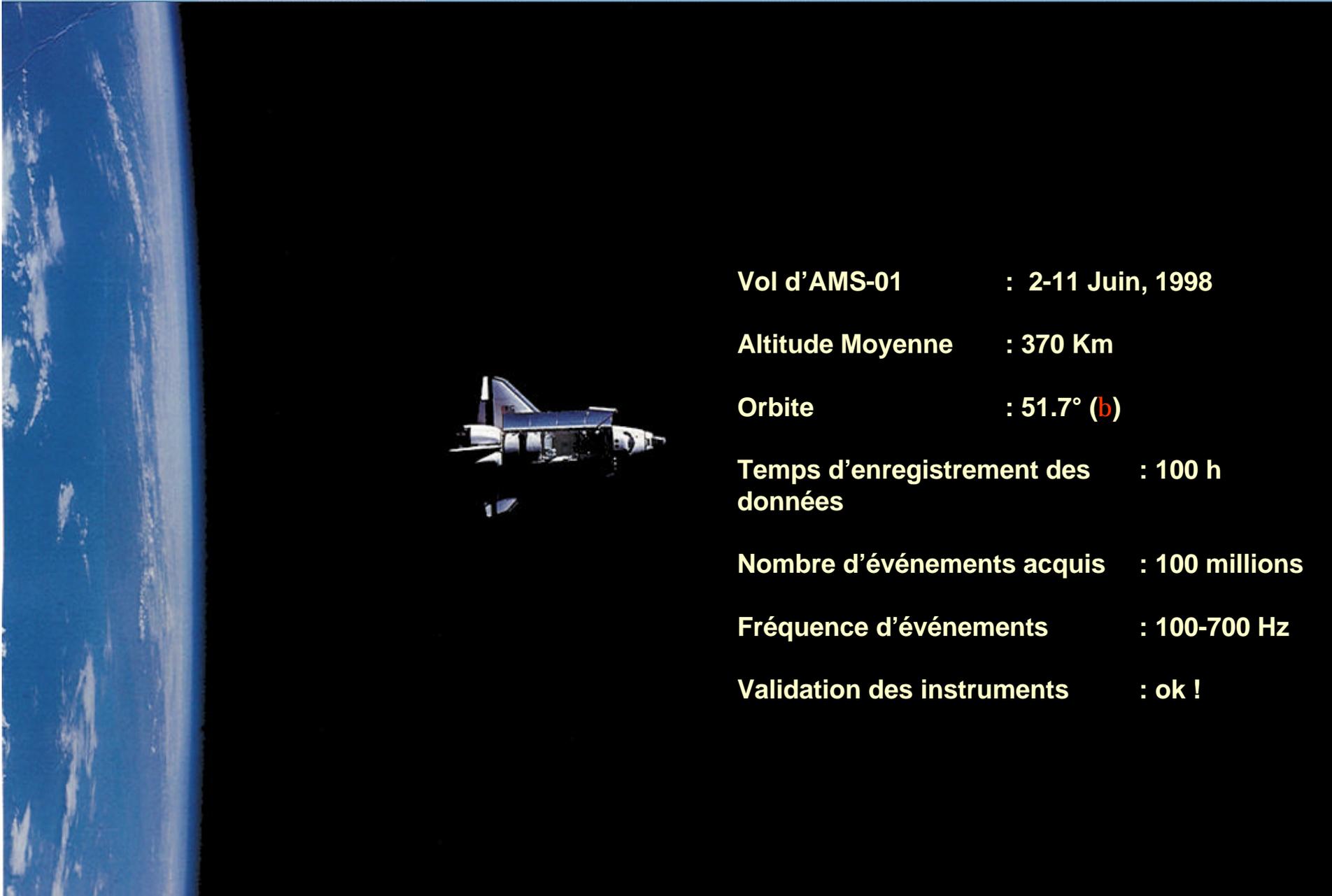
- Temps de Vol (TOF): Vitesse (b)
Charge
Trigger
- Trajectomètre au Silicium : Charge
Rigidité
- Aimant permanent : Courbure
- Compteur Cherenkov à seuil : Rejection e⁺/p



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)

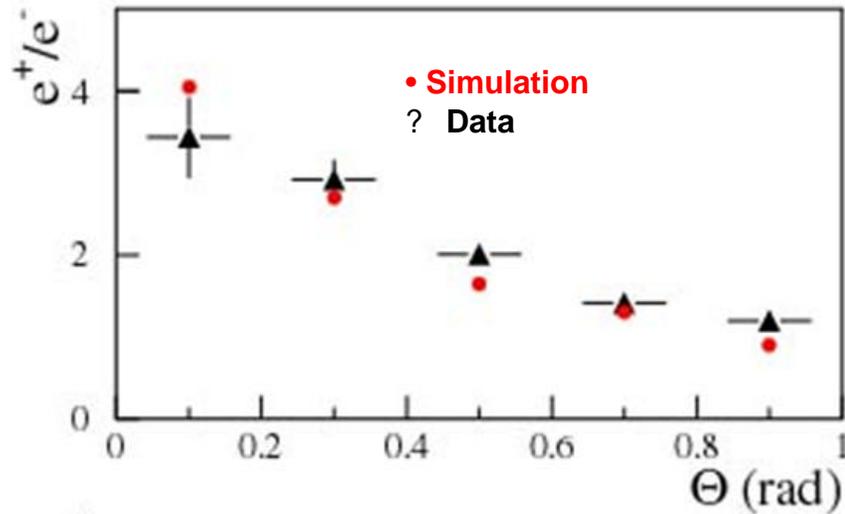
Temps d'enregistrement des données : 100 h

Nombre d'événements acquis : 100 millions

Fréquence d'événements : 100-700 Hz

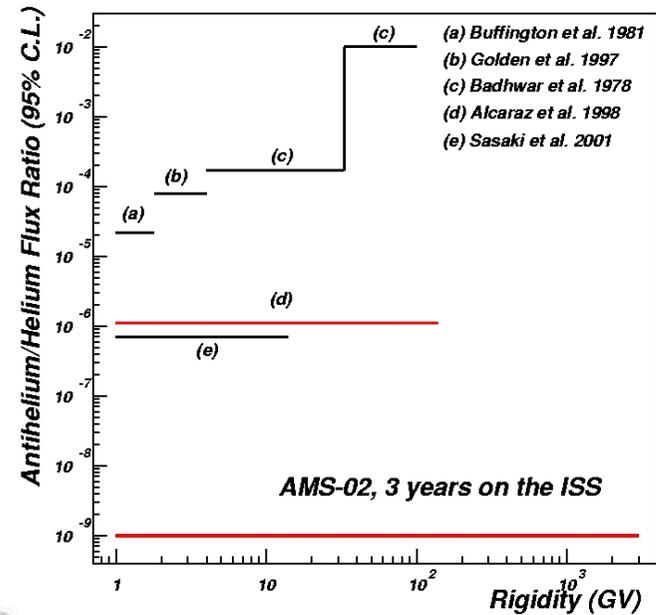
Validation des instruments : ok !

Résultats du détecteur AMS-01

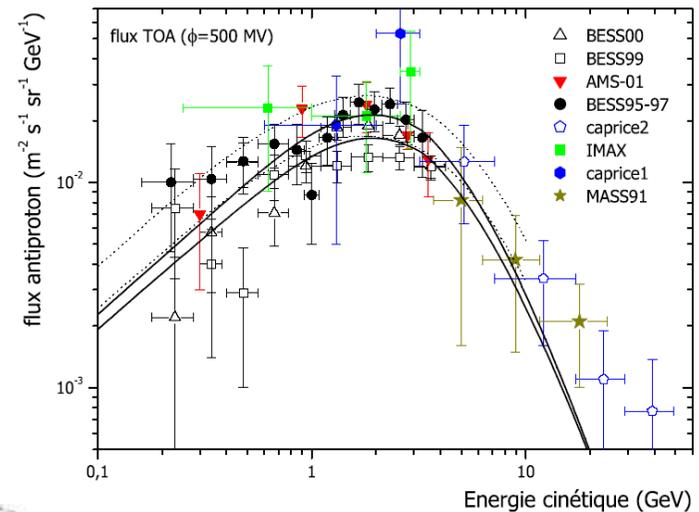


Mise en évidence d'une importante asymétrie e^+/e^- en fonction de la Latitude géomagnétique.

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

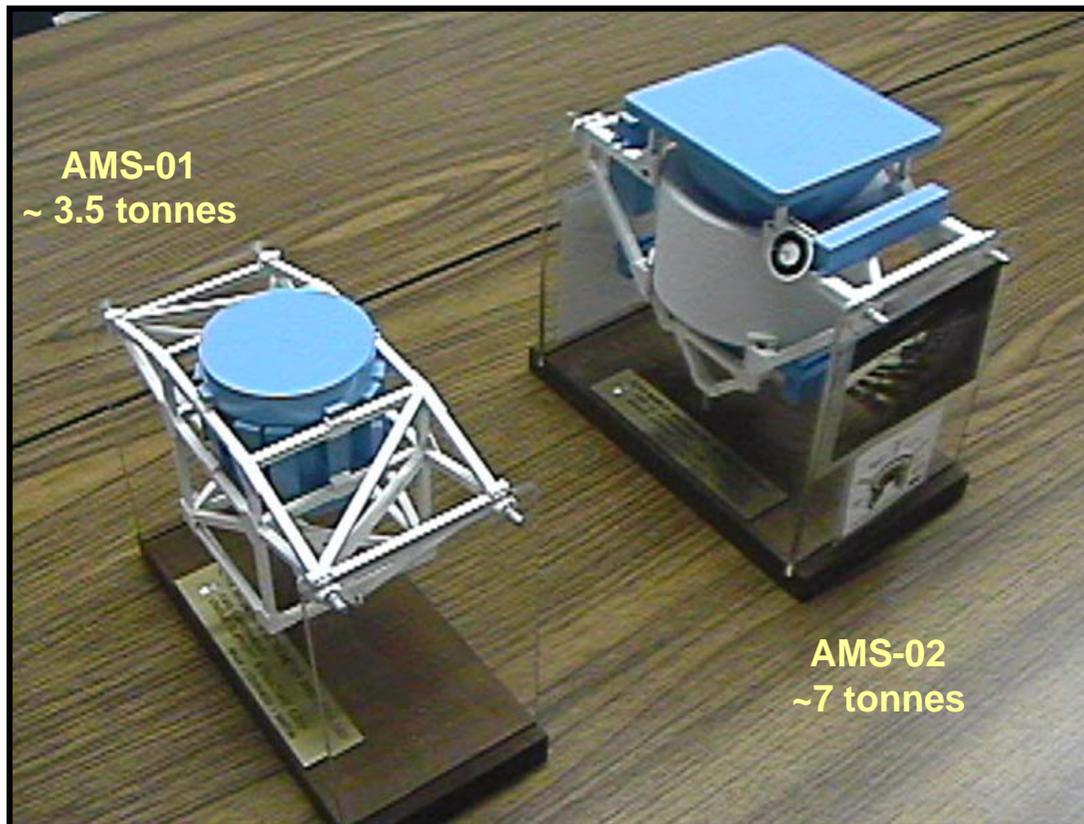


Limite expérimental du rapport du flux He / He $\sim 10^{-6}$

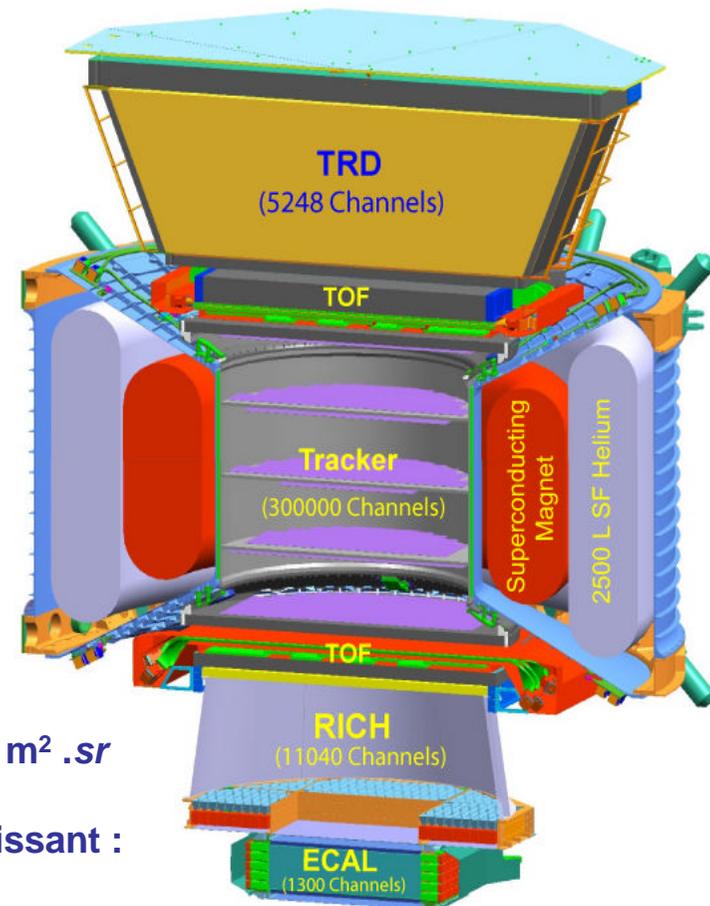


Mesure du flux d'antiprotons en dehors de l'atmosphère

Le Détecteur AMS-02



Dimensions
 $3 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$



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

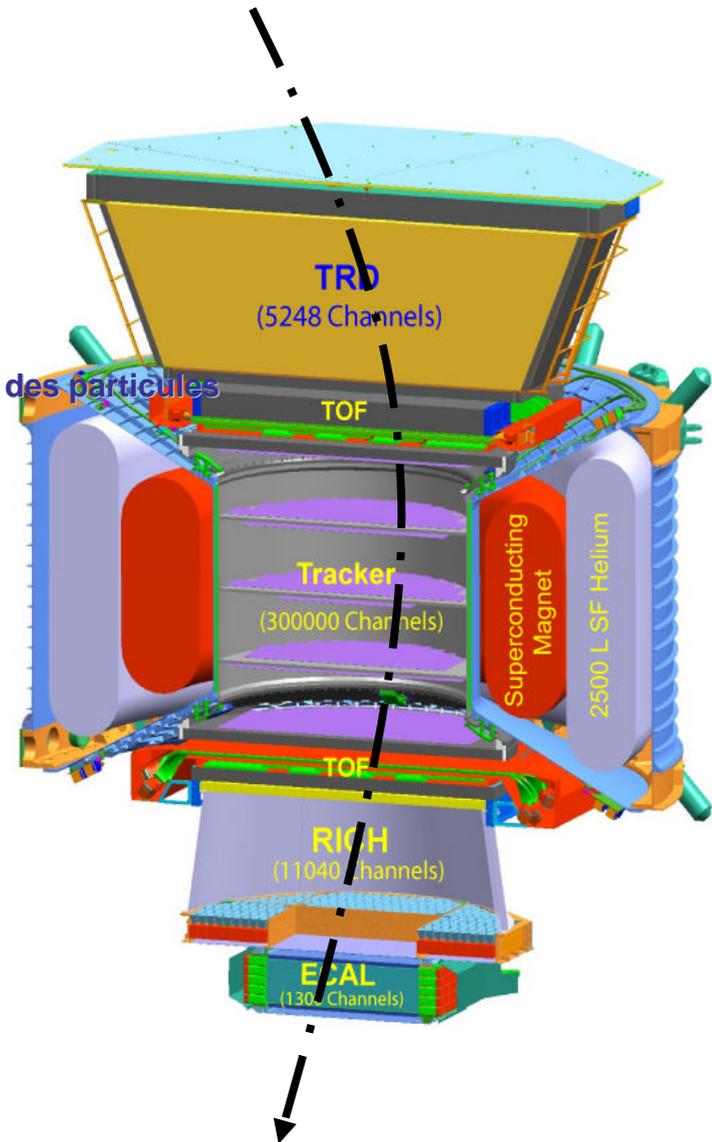
- | Temps de Vol (TOF) : Trigger,
Direction de la particule,
Vitesse,
Charge

- | Aimant Supraconducteur : Courbure des particules

- | Trajectomètre : Rigidité
Reconstruction du point de passage des particules
Mesure de la charge

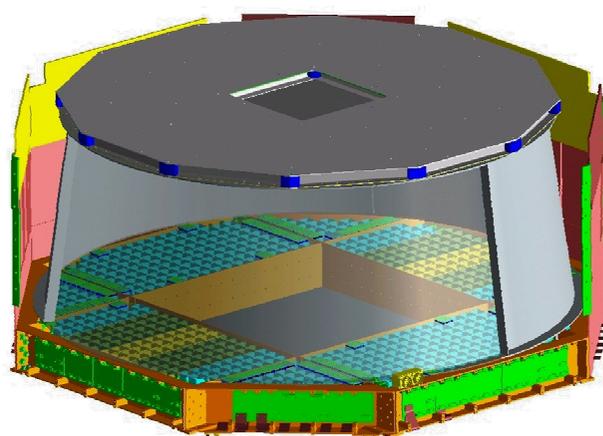
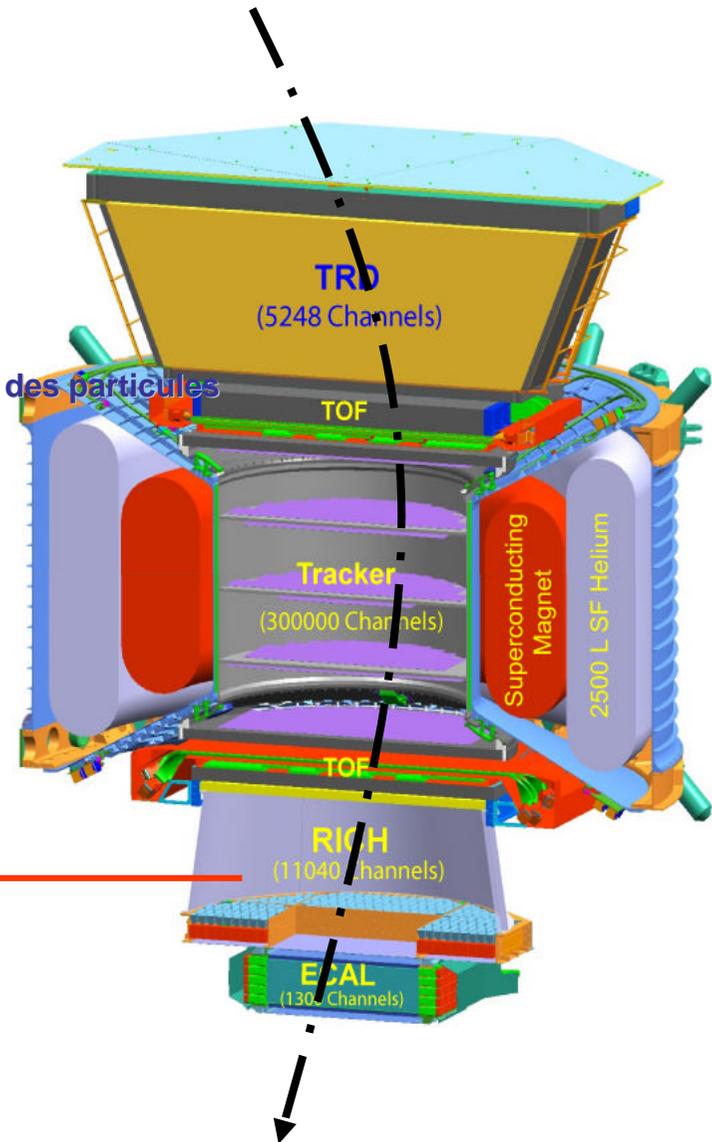
- | RICH : Vitesse, charge,
Masse (aide du tracker)

- | 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)

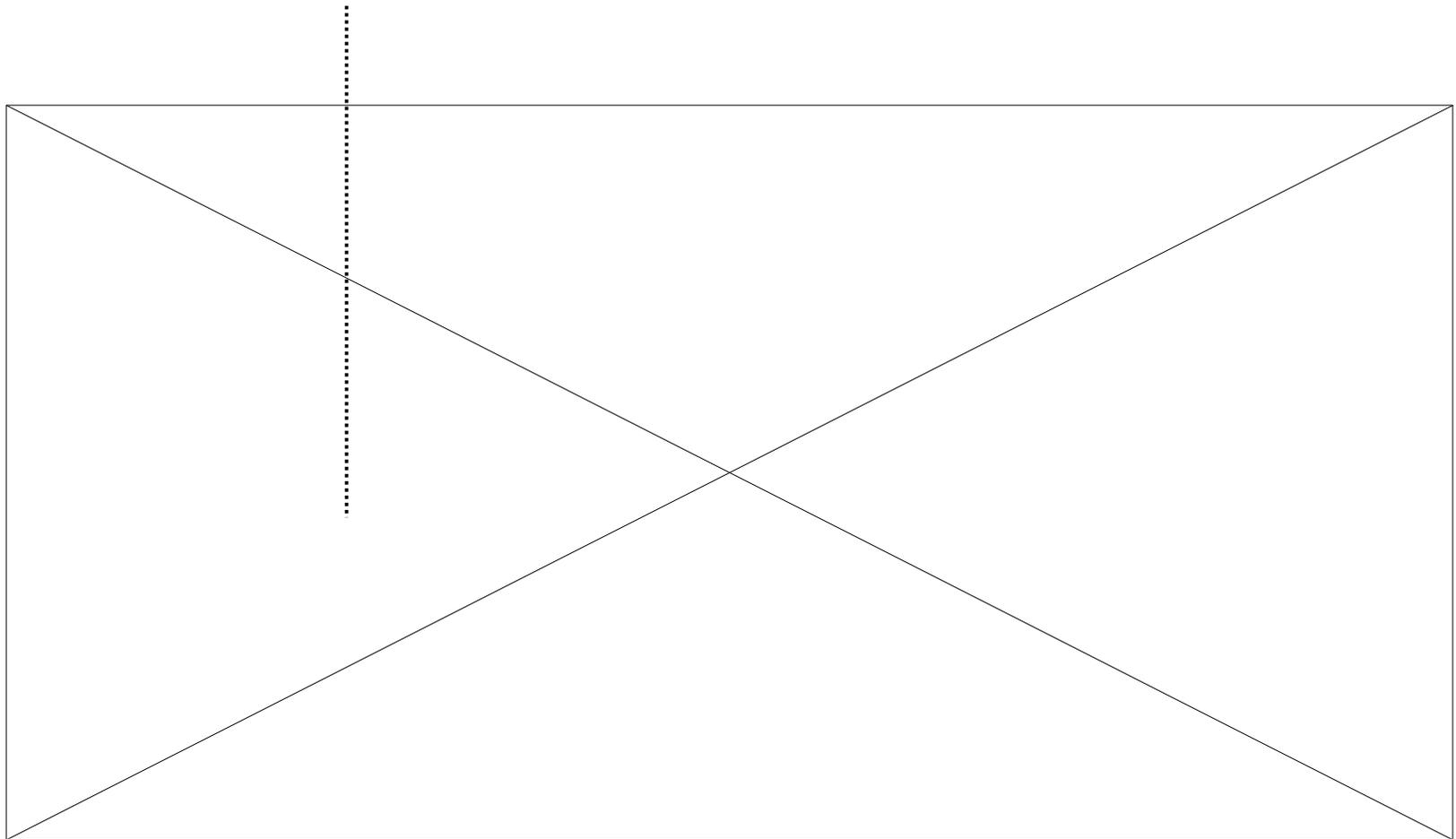
L'imageur Cherenkov d'AMS

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

 Principe de fonctionnement:

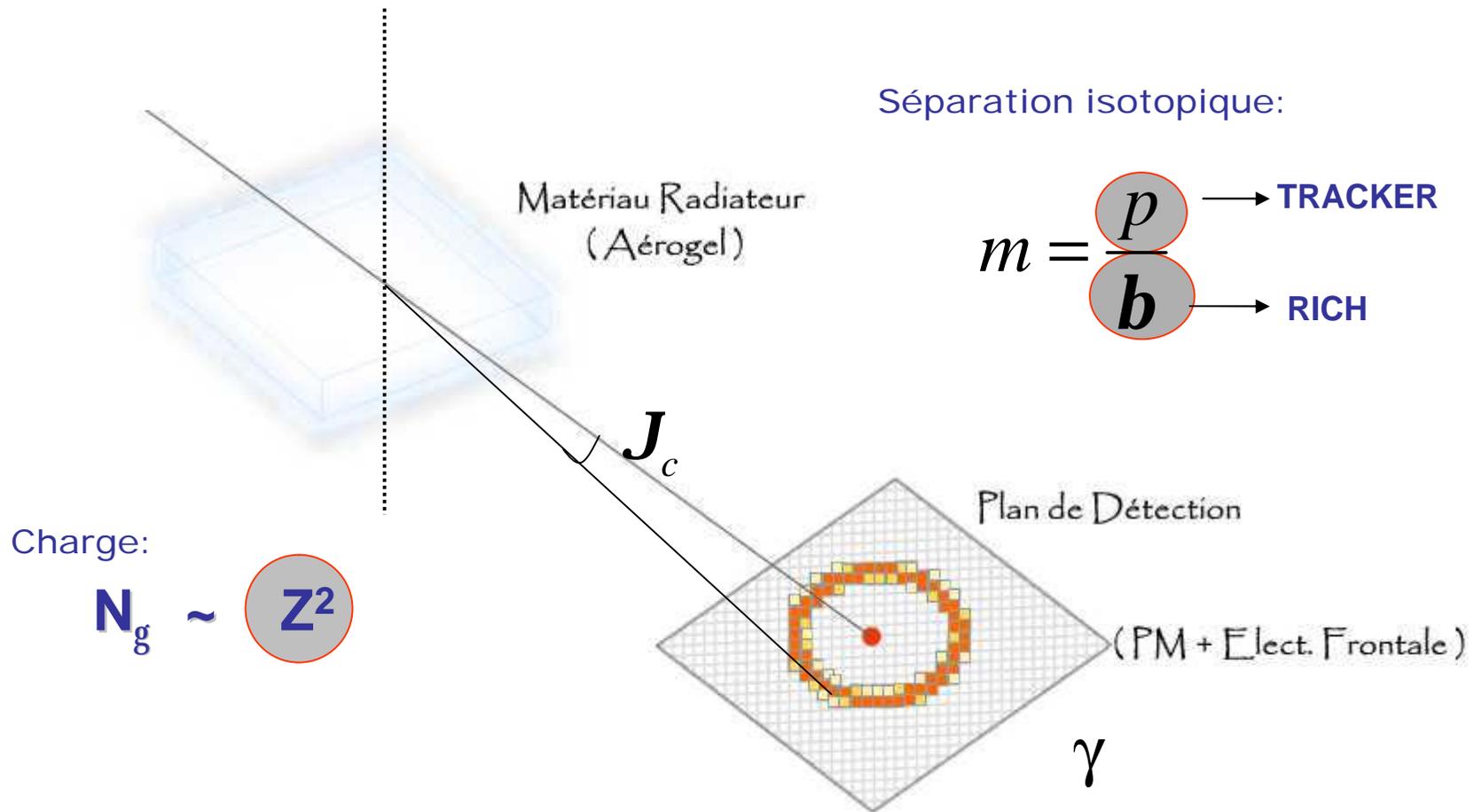
L'imageur Cherenkov d'AMS

Principe de fonctionnement:



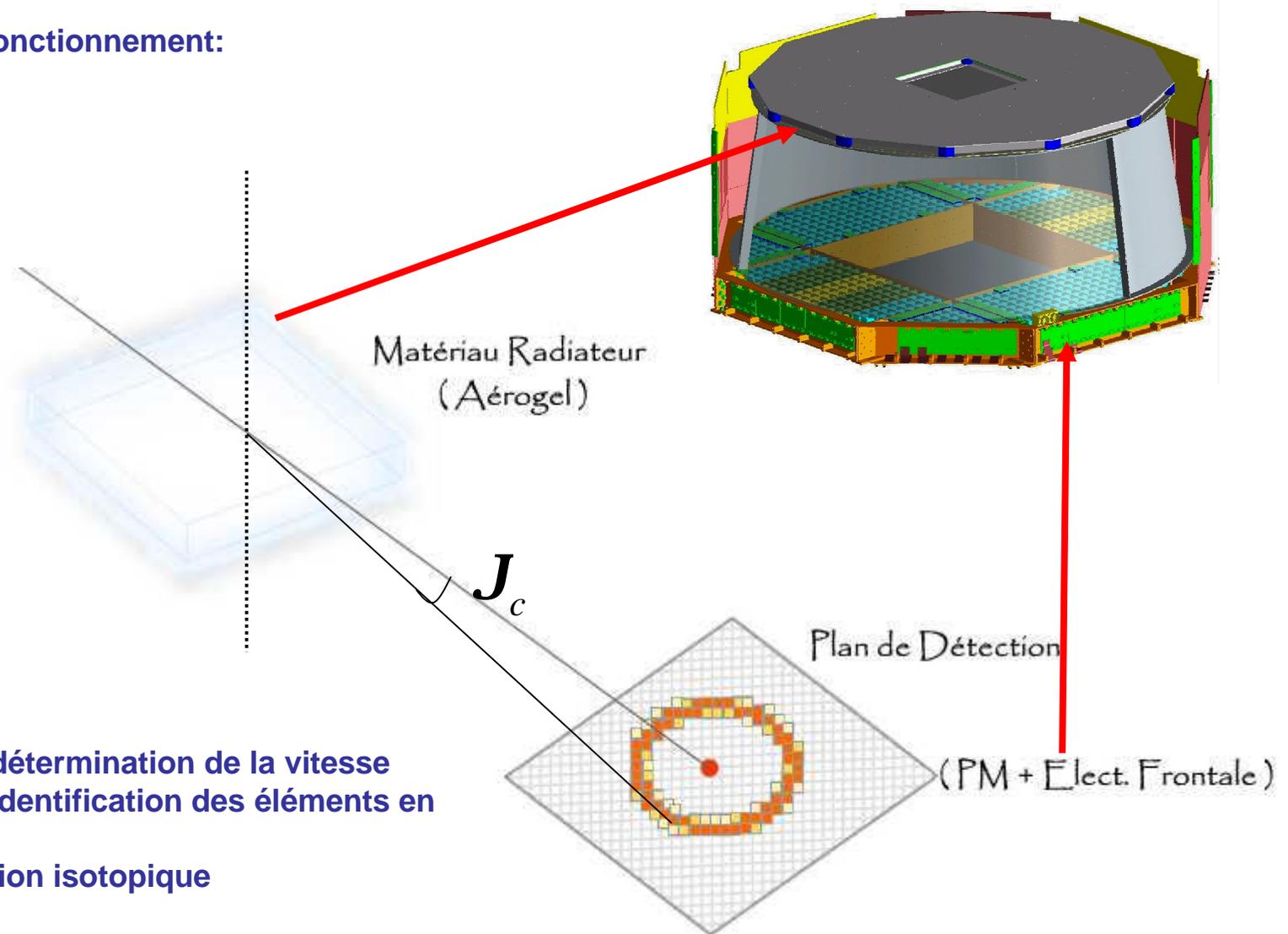
L'imageur Cherenkov d'AMS

Principe de fonctionnement:



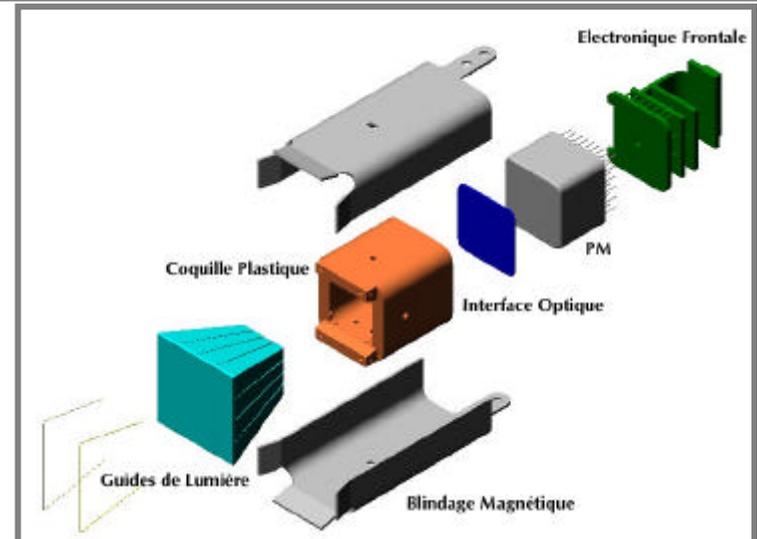
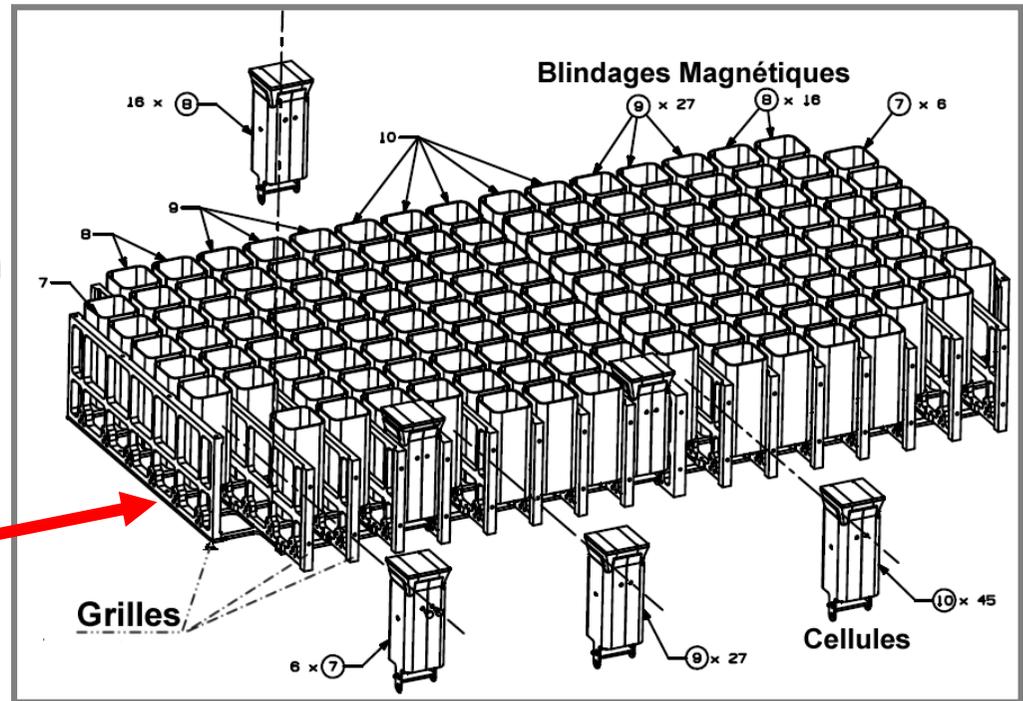
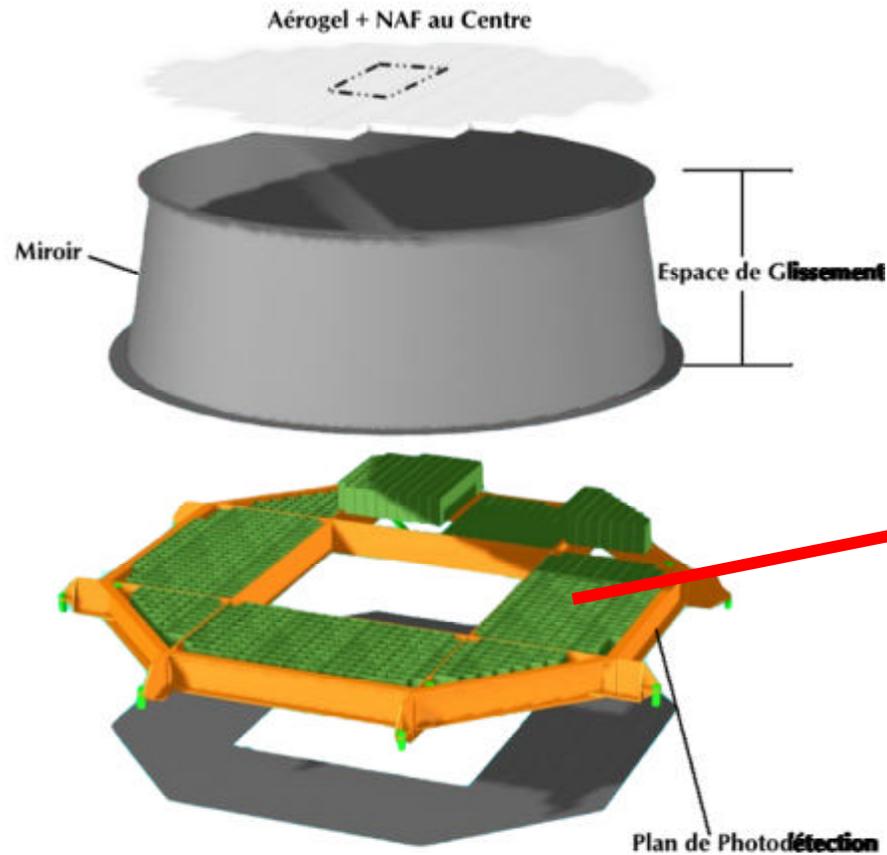
L'imageur Cherenkov d'AMS

Principe de fonctionnement:



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

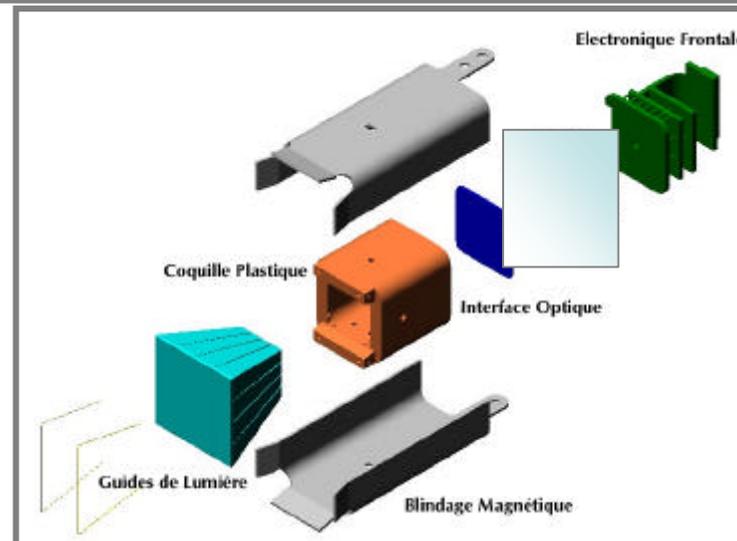
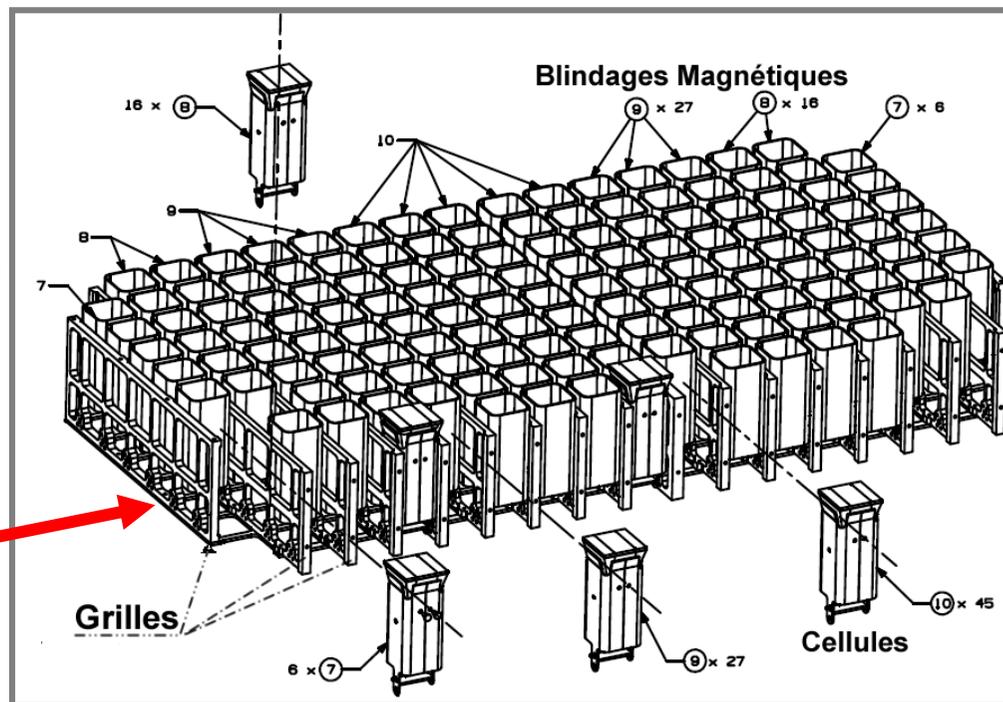
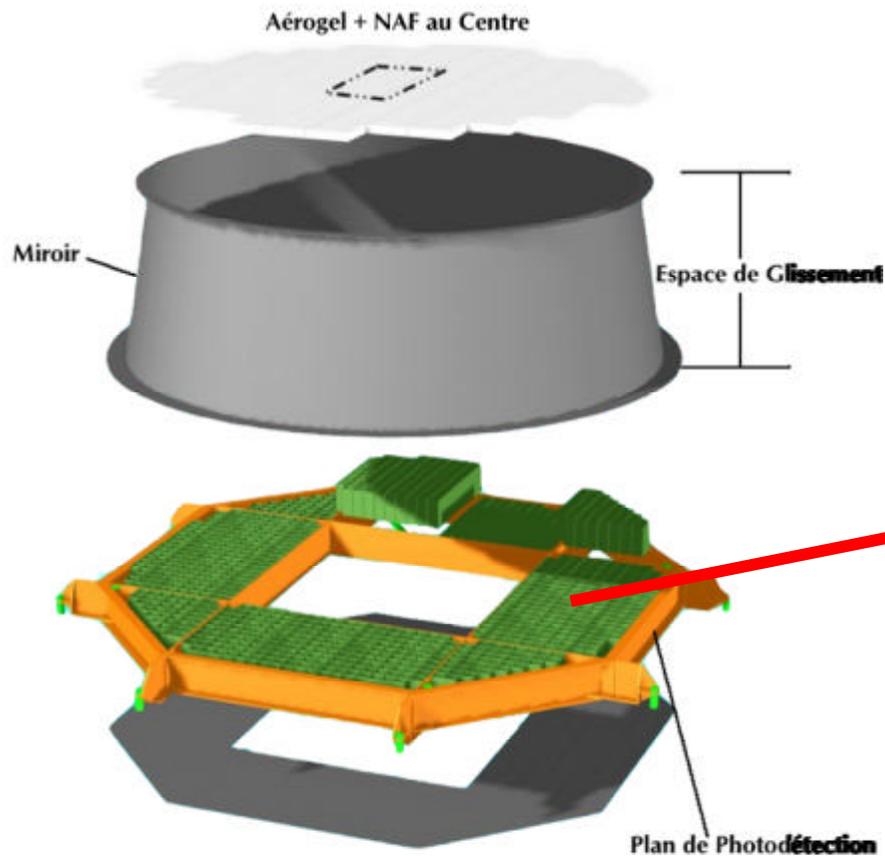
L'imageur cerenkov à focalisation d'AMS



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

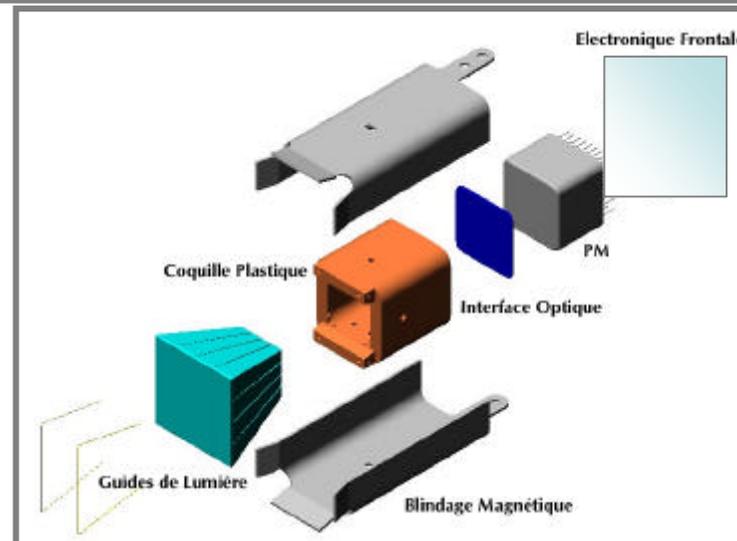
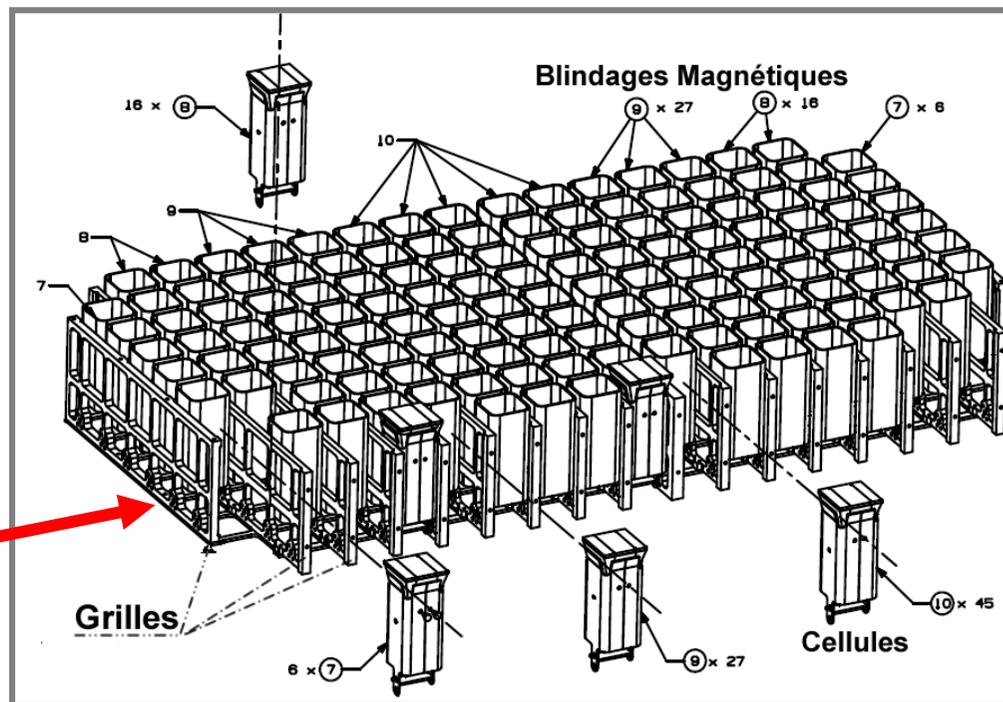
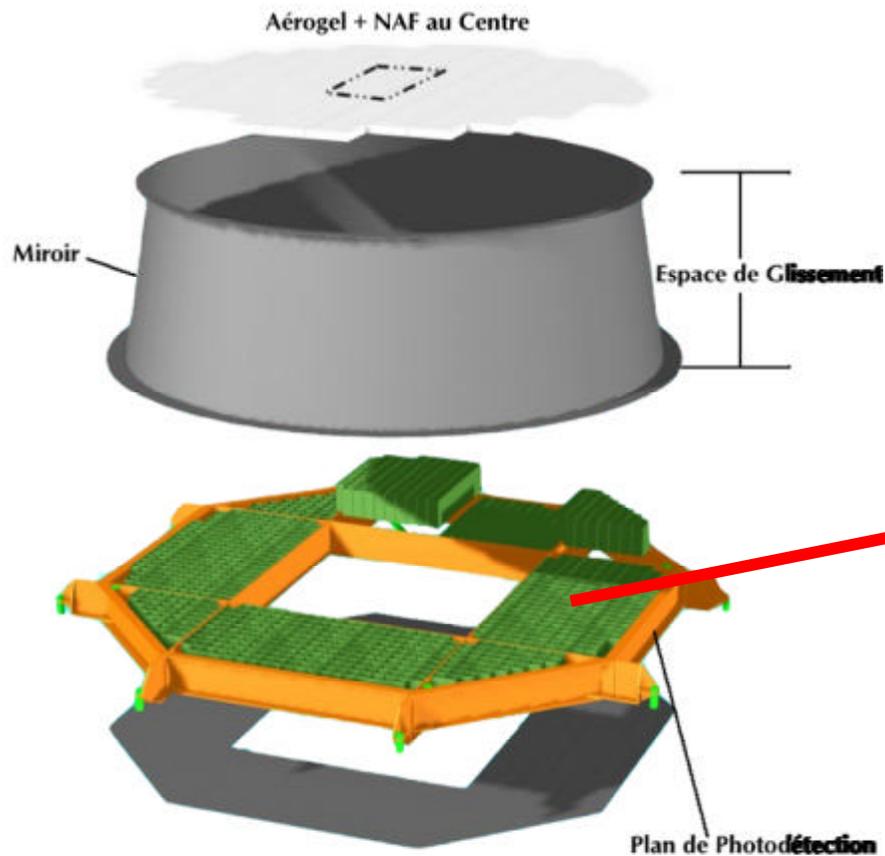
L'imageur cerenkov à focalisation d'AMS



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

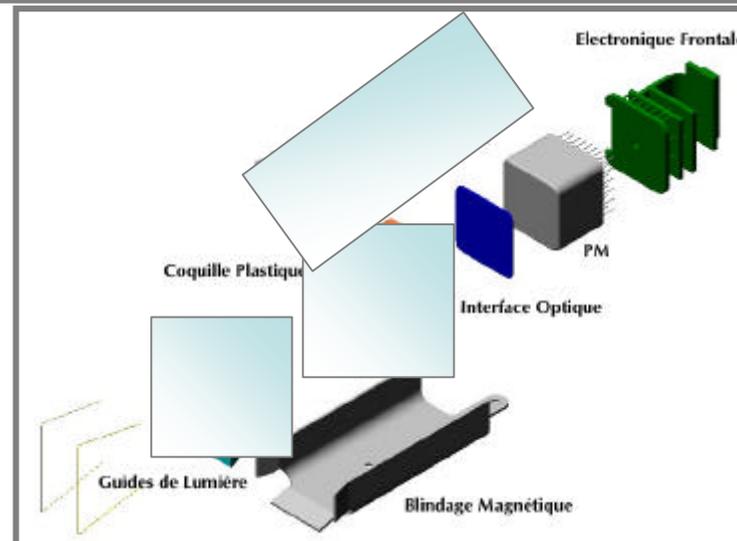
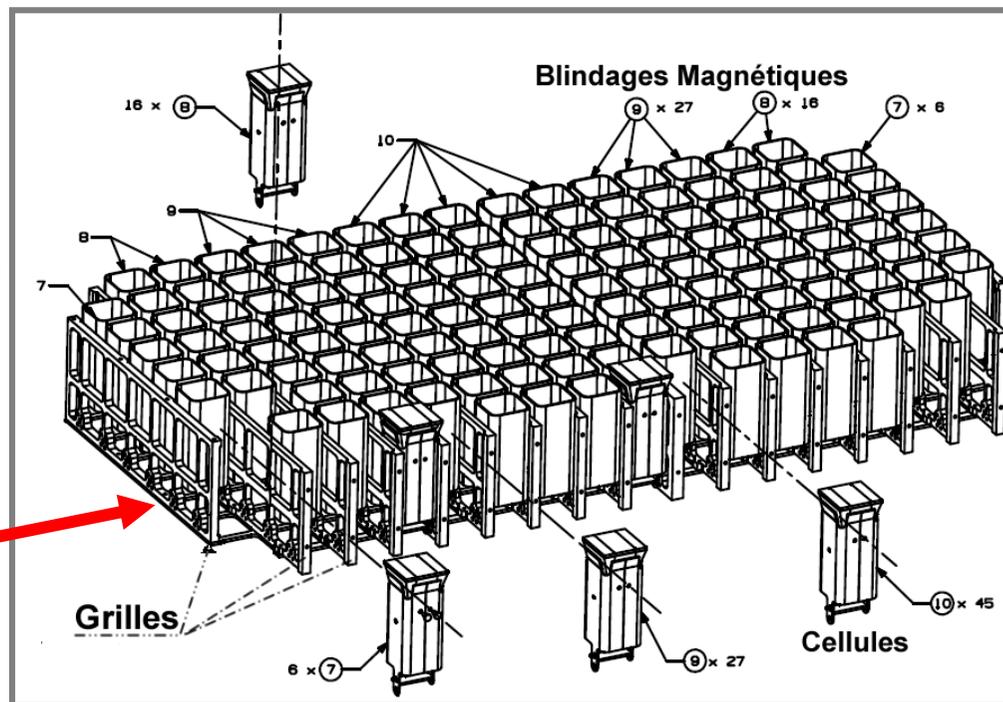
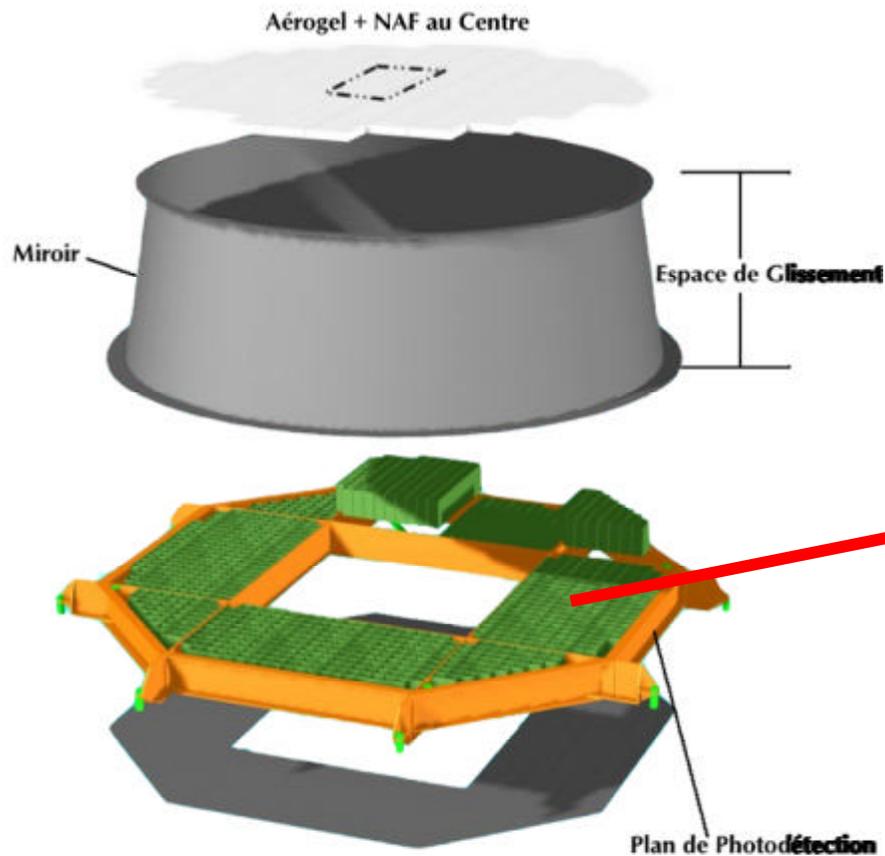
L'imageur cerenkov à focalisation d'AMS



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)

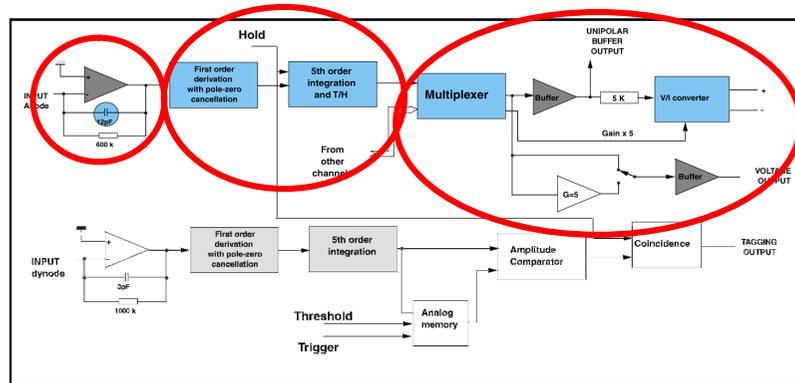
L'imageur cerenkov à focalisation d'AMS



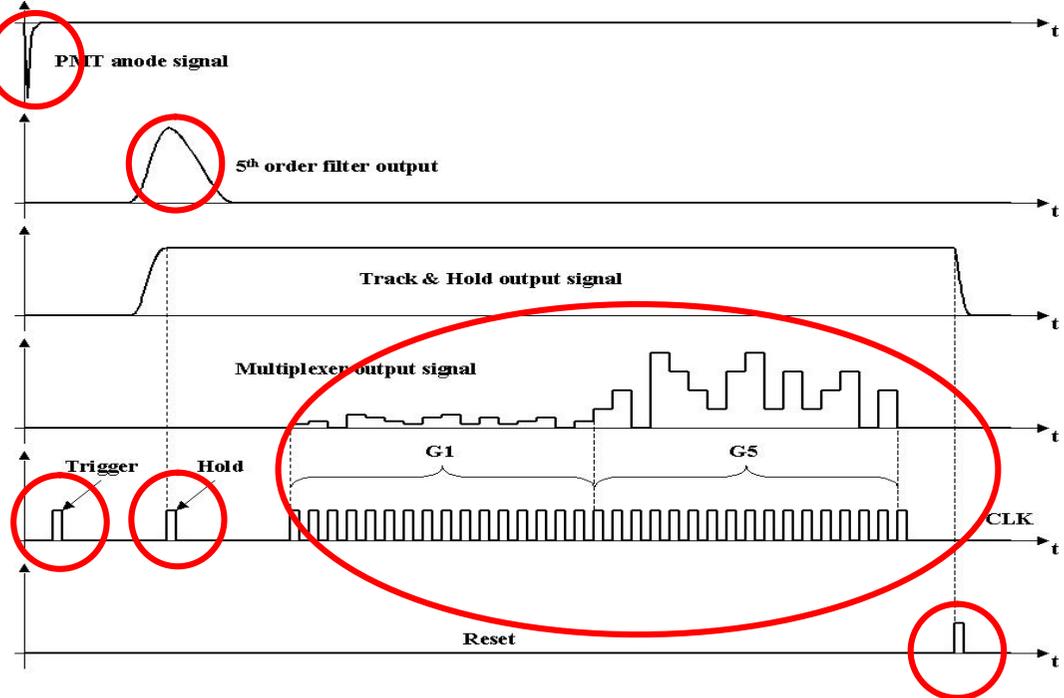
- ① Blindage magnétique (aimant supraconducteur)
- ① Guides de lumière (GL, meilleur collection)
- ① Interface optique (meilleur contact optique PM+GL)
- ① « Potting »

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

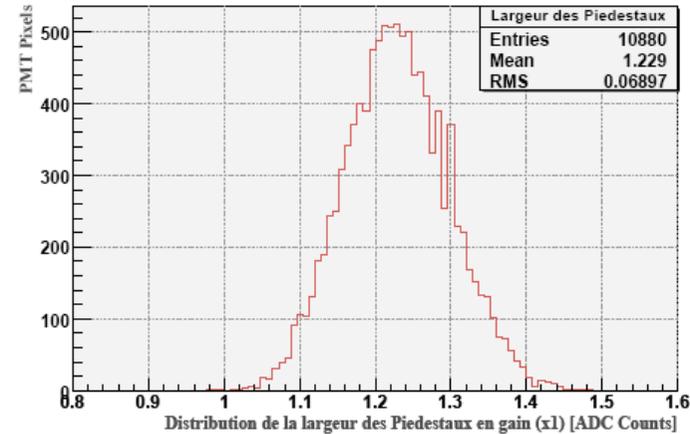
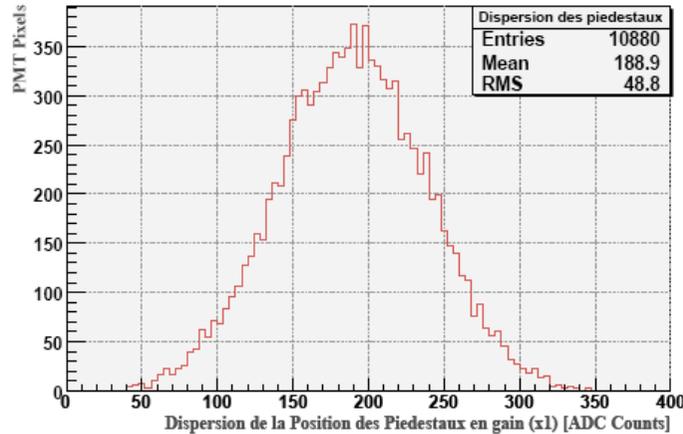
Banc de tests

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

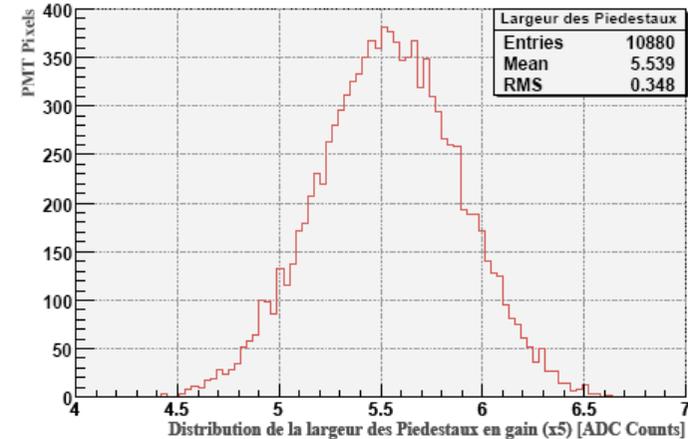
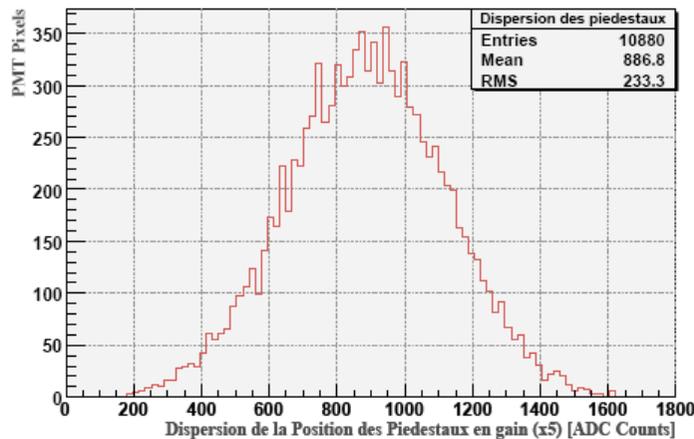
Résultats

Piédestaux en gain (x1) et sa largeur



Pas de contamination dû à l'électronique

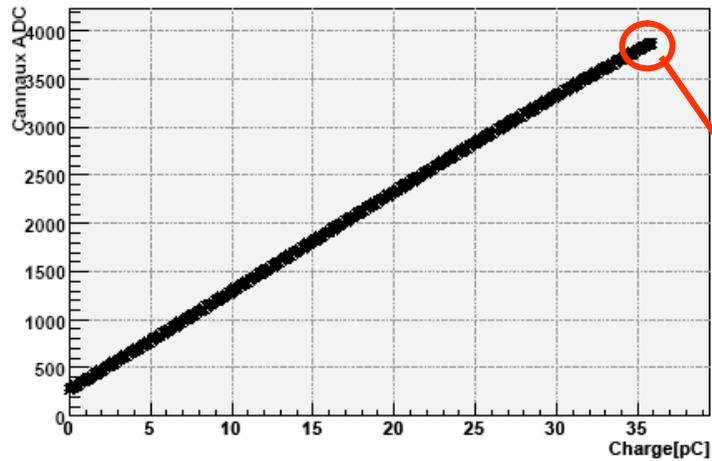
Piédestaux en gain (x5) et sa largeur



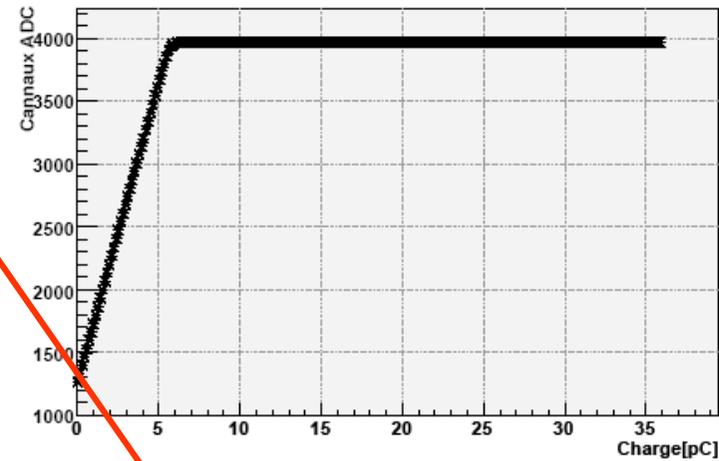
De 1400 circuits testés 1200 n'ont pas présenté de défaillances => Yield = 85%
Les 700 meilleurs circuits ont été sélectionnés pour équiper l'imager.

Résultats

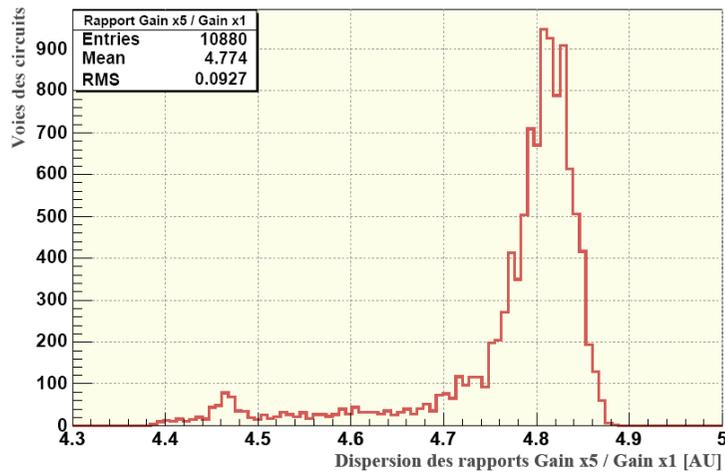
Gain x1



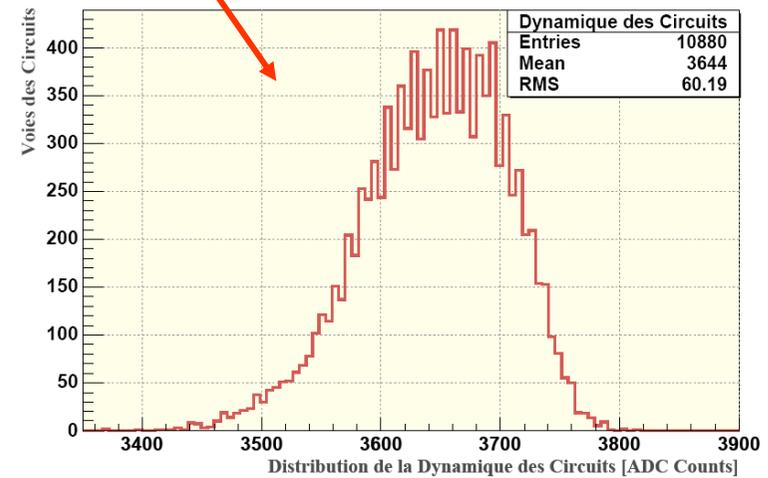
Gain x5



Test de linéarité



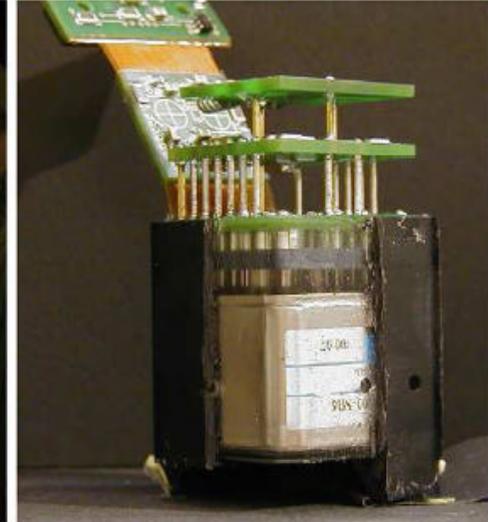
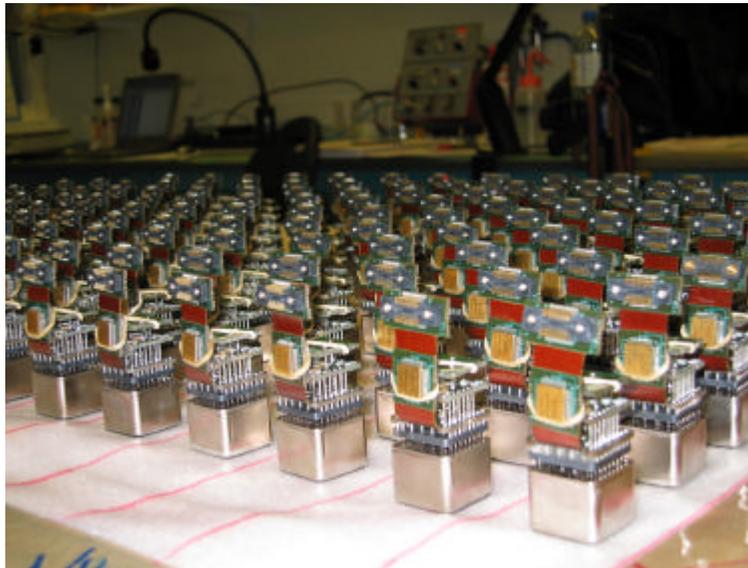
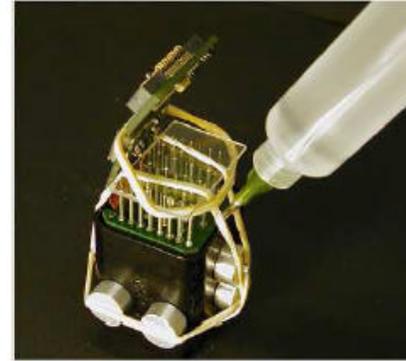
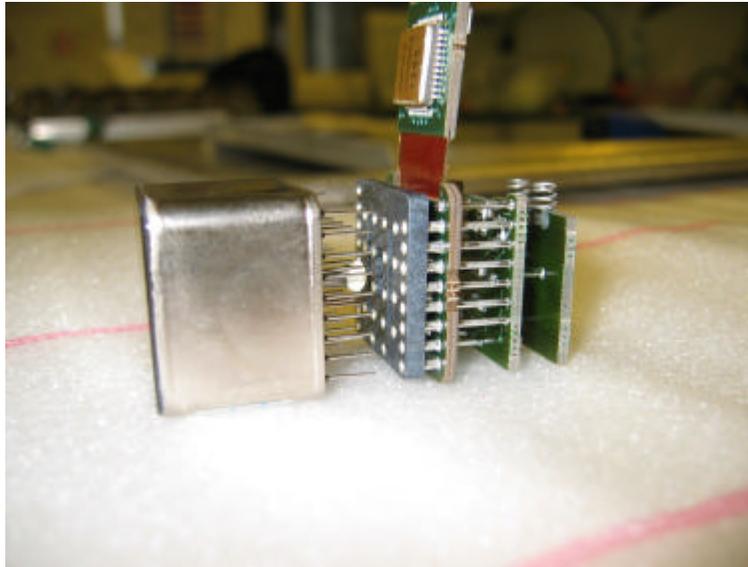
Rapport Gain (x5) / Gain (x1)



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

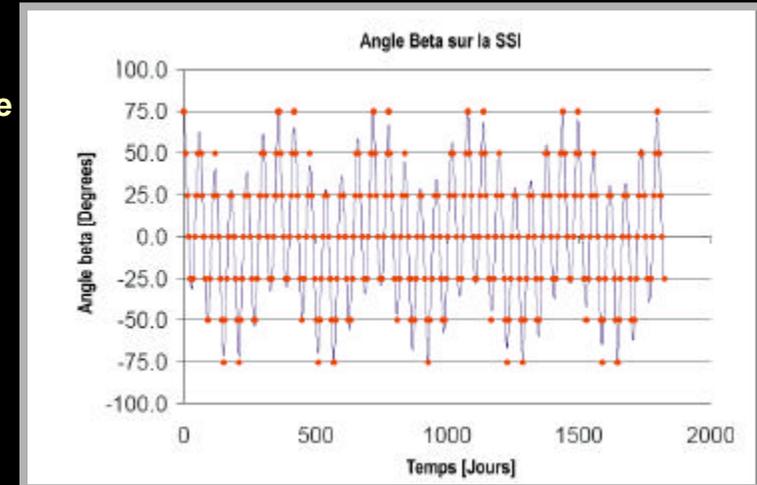
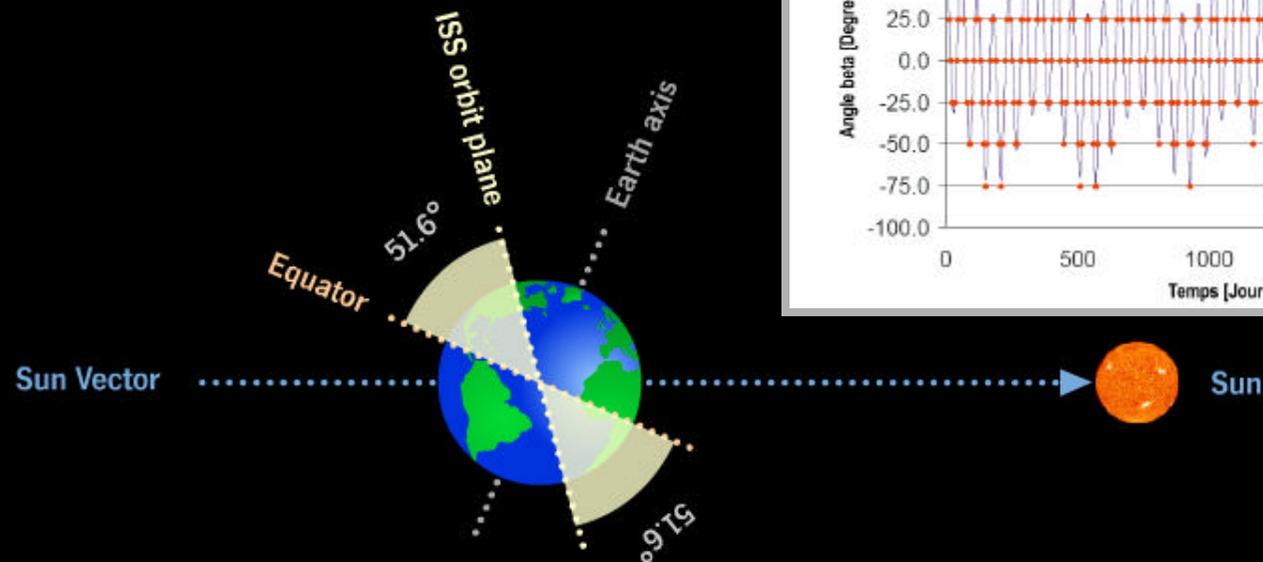
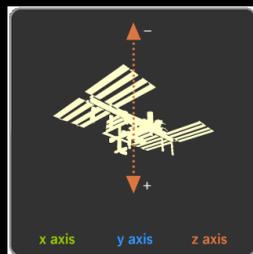
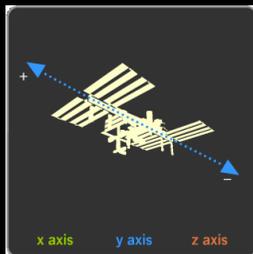
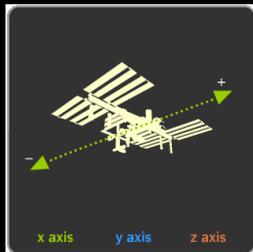


Réponse des cellules en fonction de la température

L'angle Beta

L'angle Beta (β) 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 β considérant l'orbite à 51,6° et 397 Km d'altitude

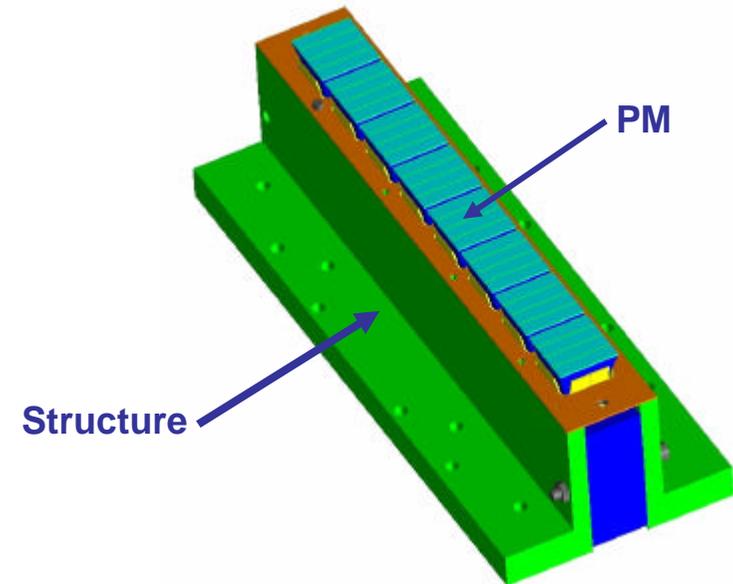
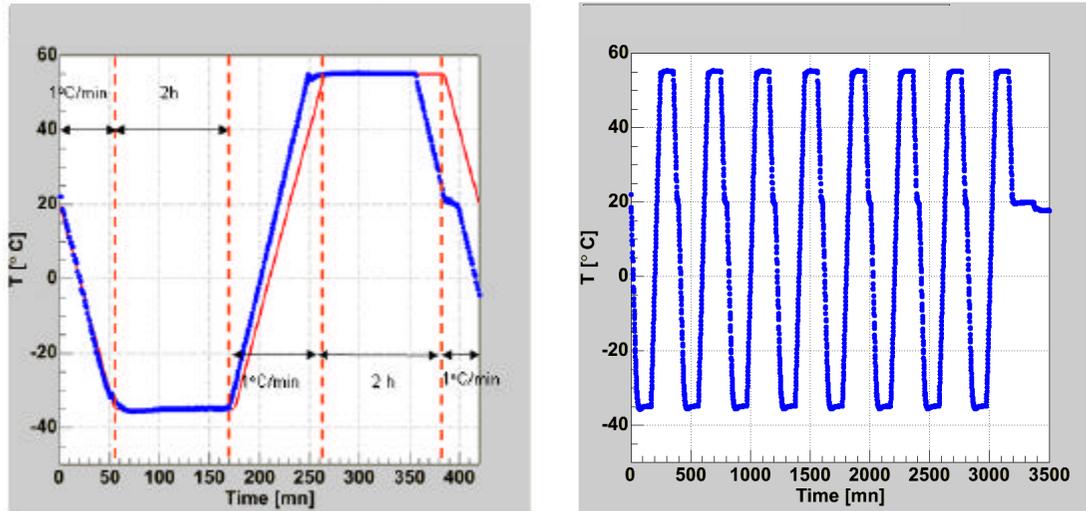


- L'imageur doit être opérationnel dans la region :
-60° \leq β \leq +75°
- Gamme de température de fonctionnement / arrêt
[-35°C,+55°C]

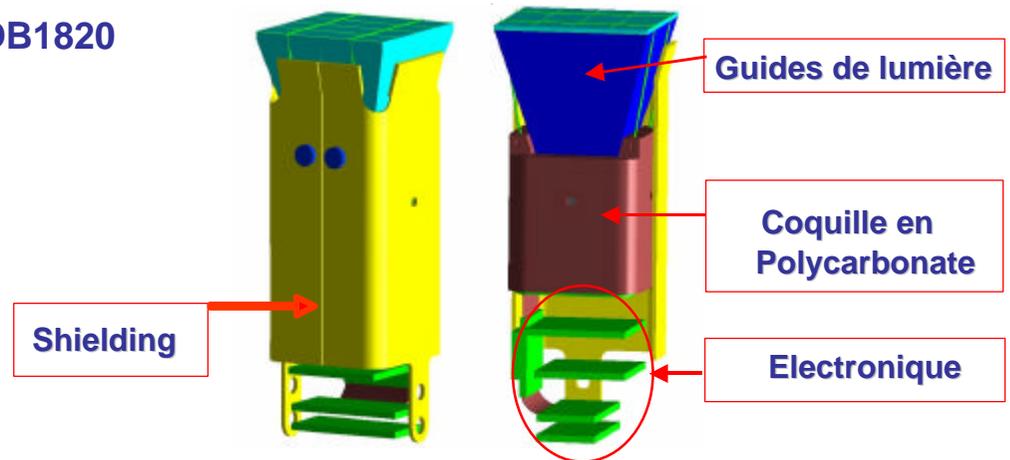
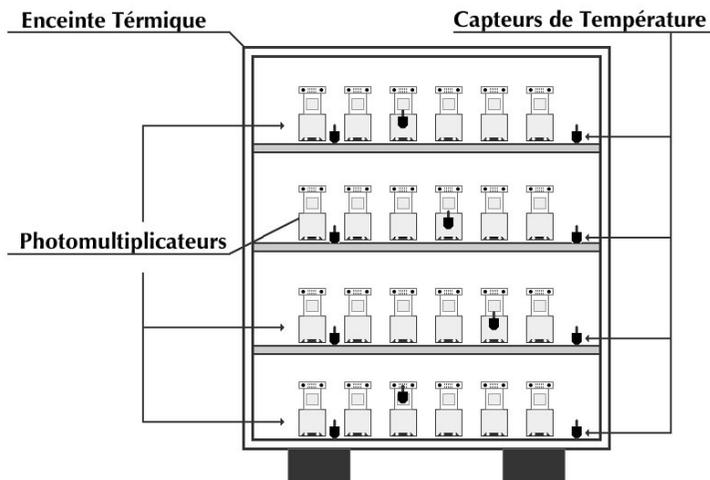
Tests thermiques aux cellules de l'imageur d'AMS

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)

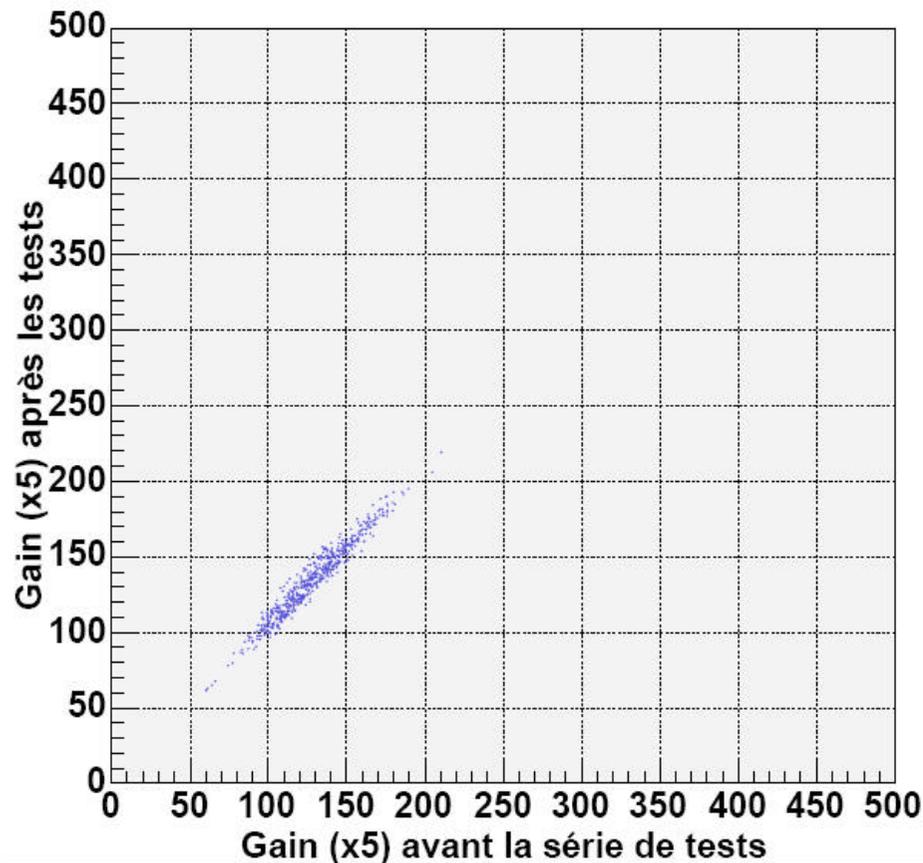


Capteurs de température utilisés : Dallas DB1820

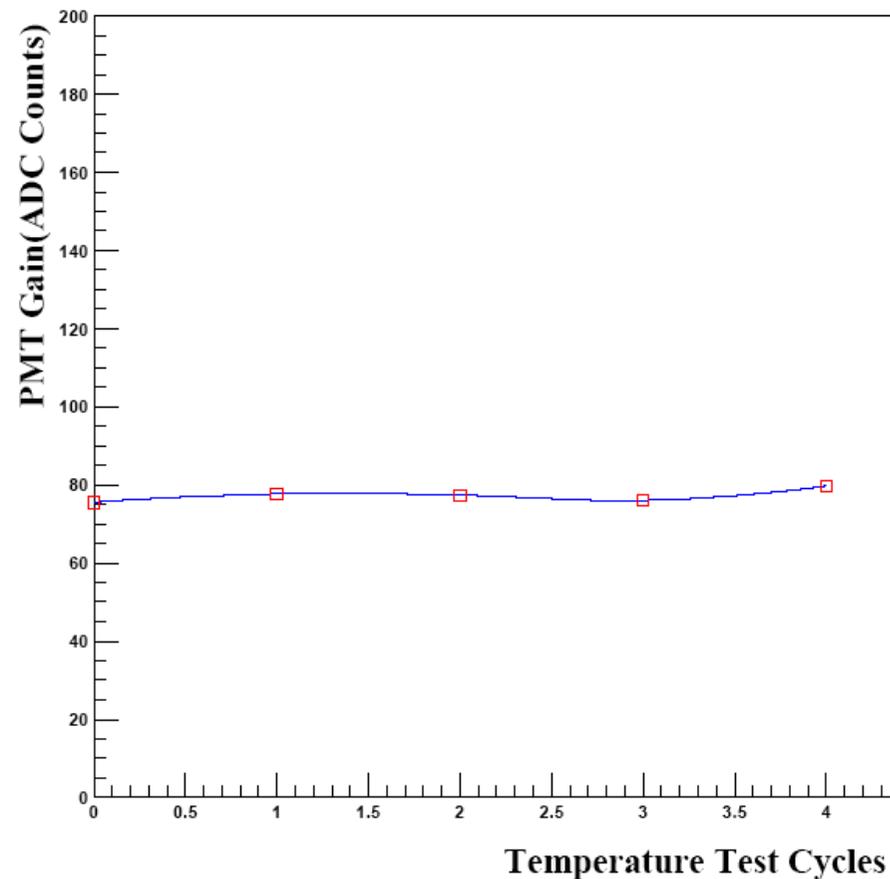


Tests de validation aux cellules

Correlation de gain des PM

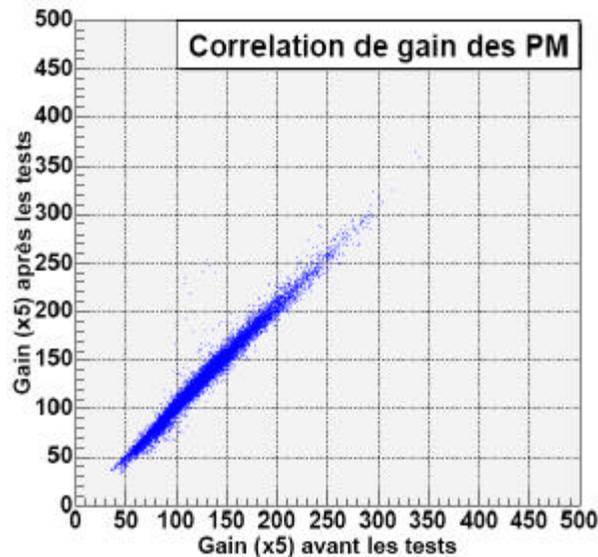
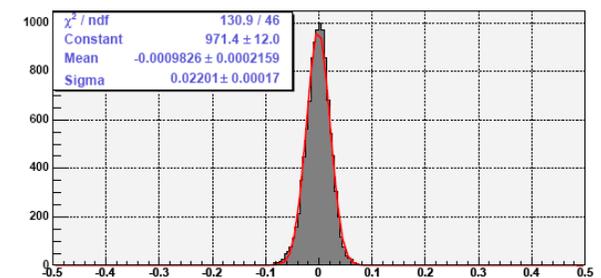
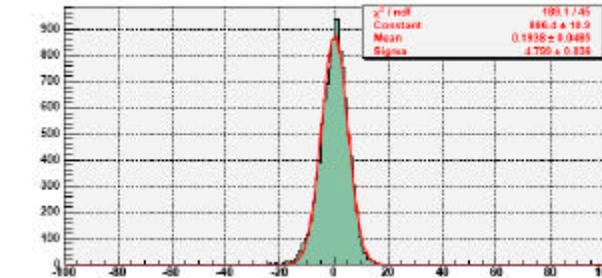
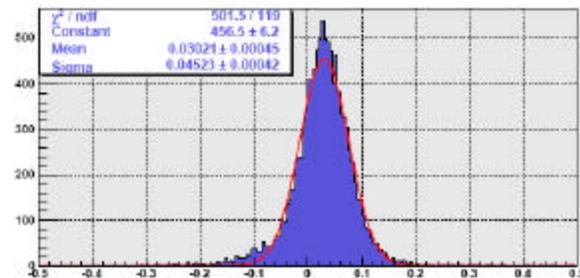
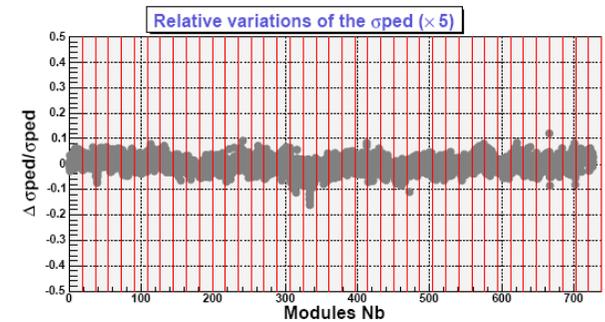
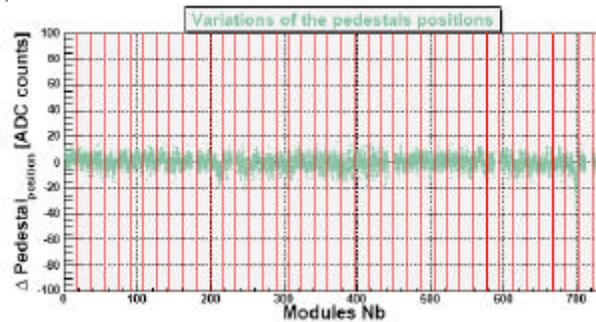
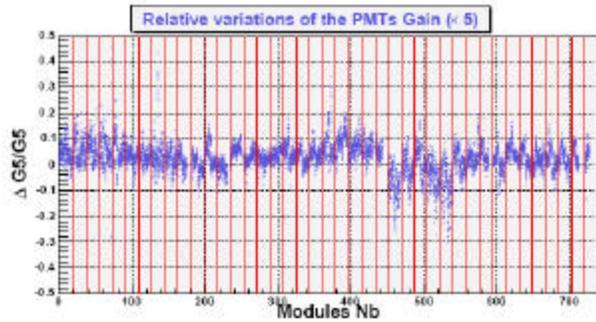


PMT 2 800V Pixel 15 G5



- 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

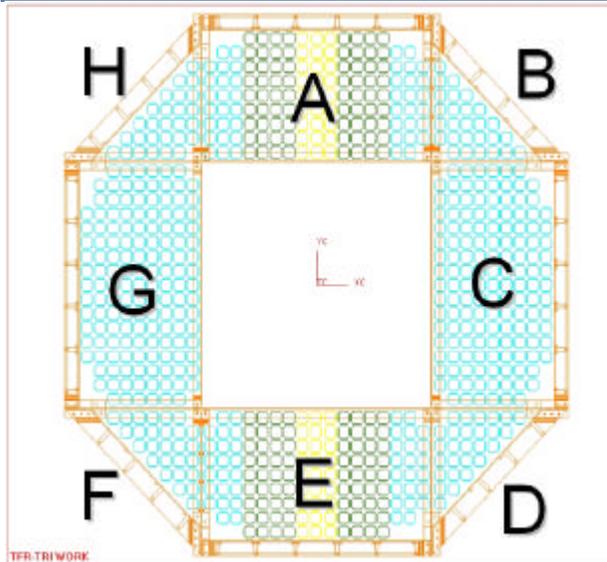


- ➊ Plus de 10 000 pixels validés
- ➋ 9 cellules de photodétection endommagés
 - ➊ 3 PM morts
 - ➋ 6 Electroniques frontales mortes
- ➌ Cellules remplacés
- ➍ Pas de changements majeurs en gain



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

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

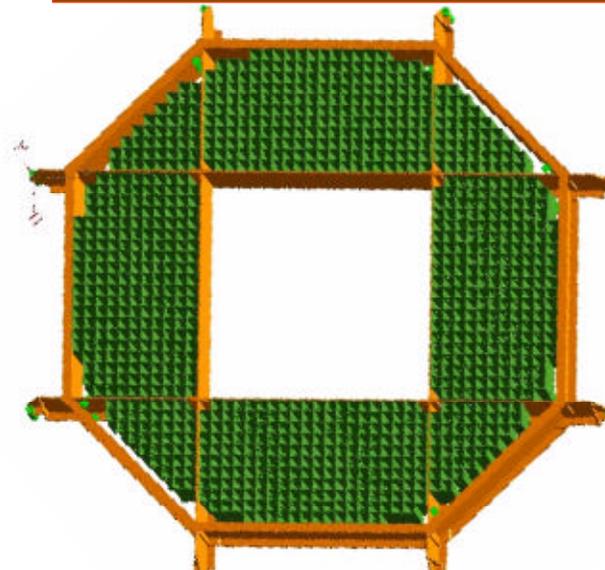
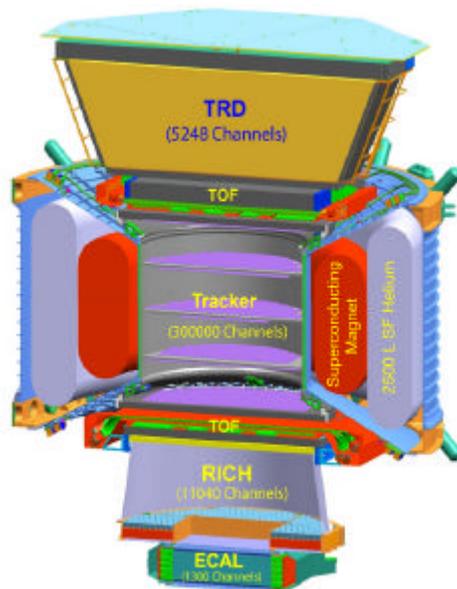
$$|B_x| \square 200 \div 300 \text{ Gs}$$

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

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

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

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

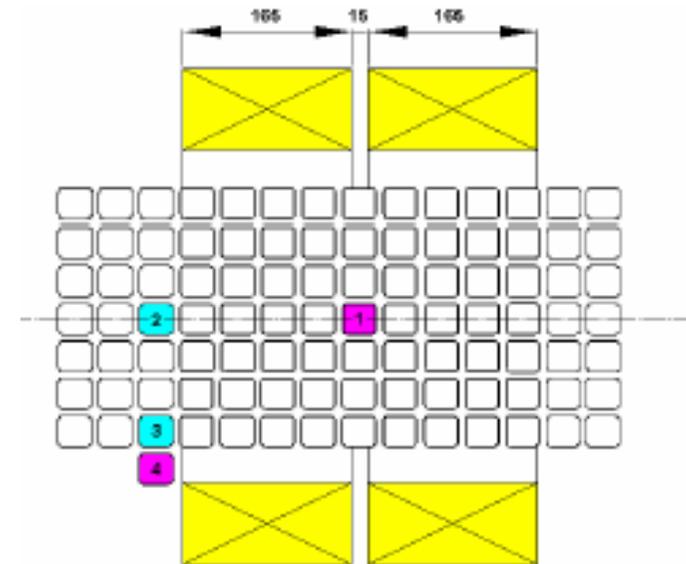
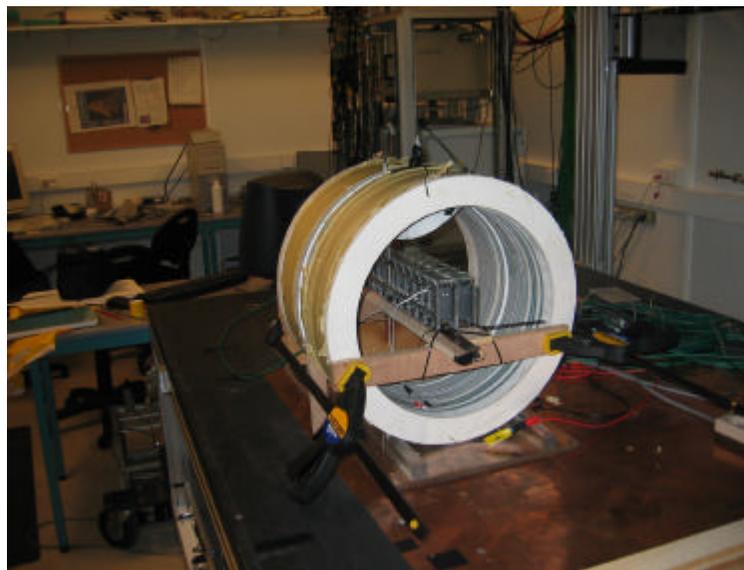
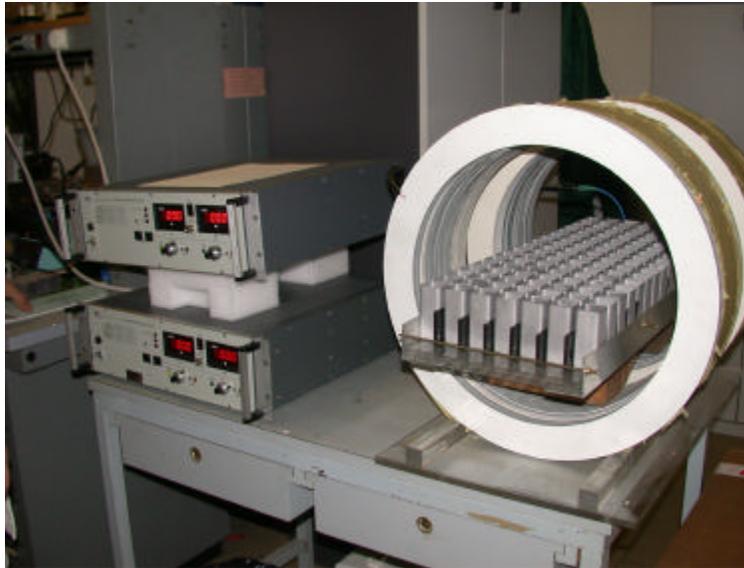


$$|B_z| \square 200 \div 250 \text{ Gs}$$

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

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

Le banc de tests



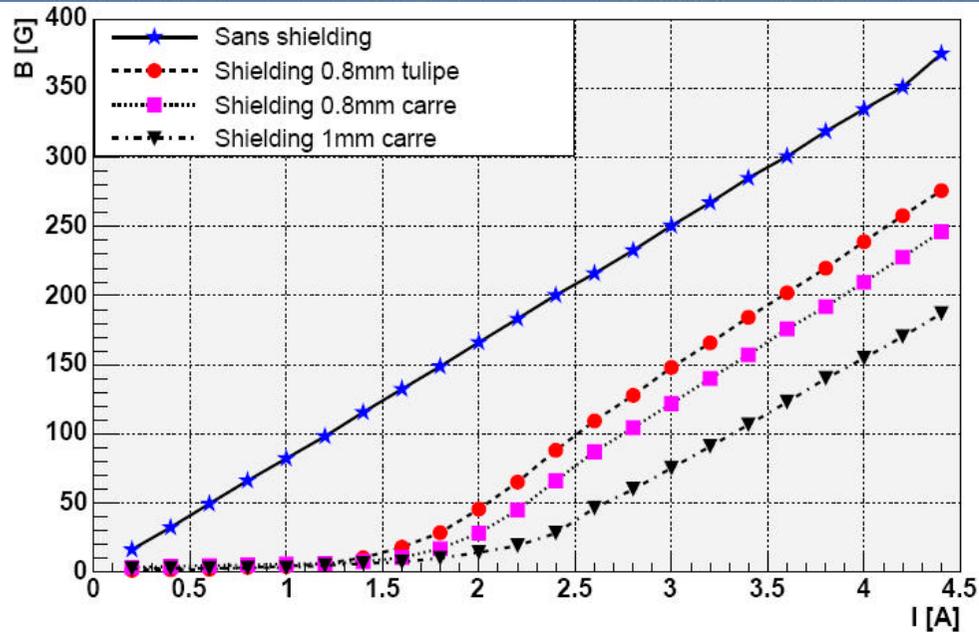
Sans PM

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

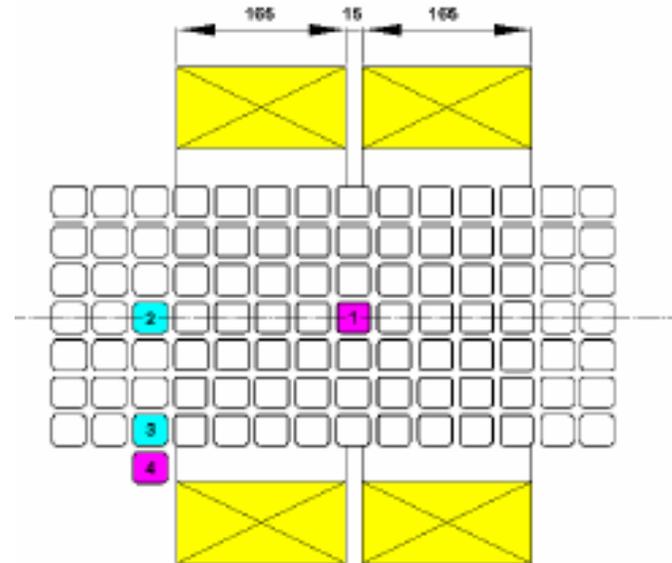
Avec PM (positions + orientations)

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

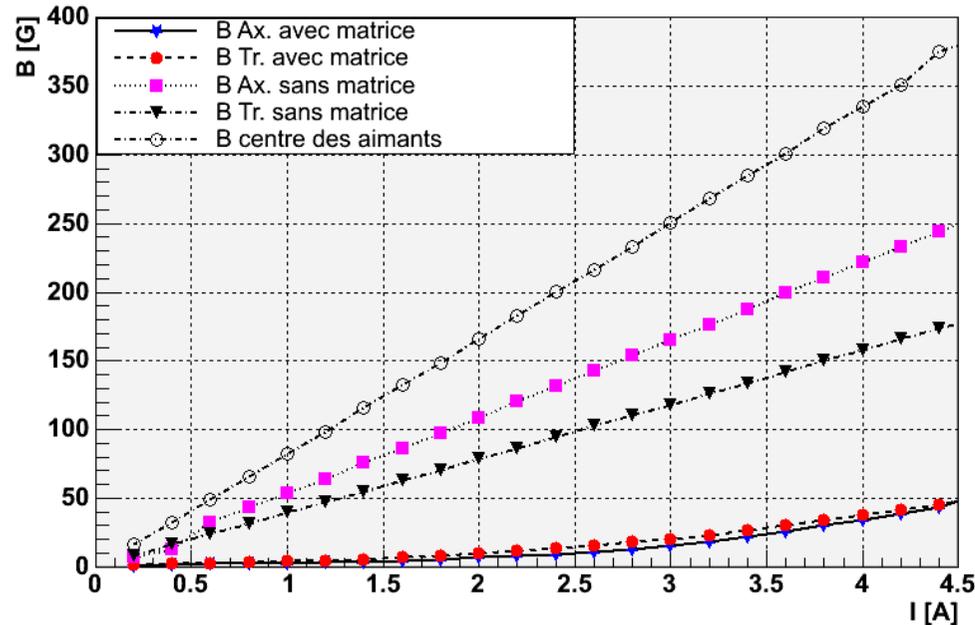
Résultats



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

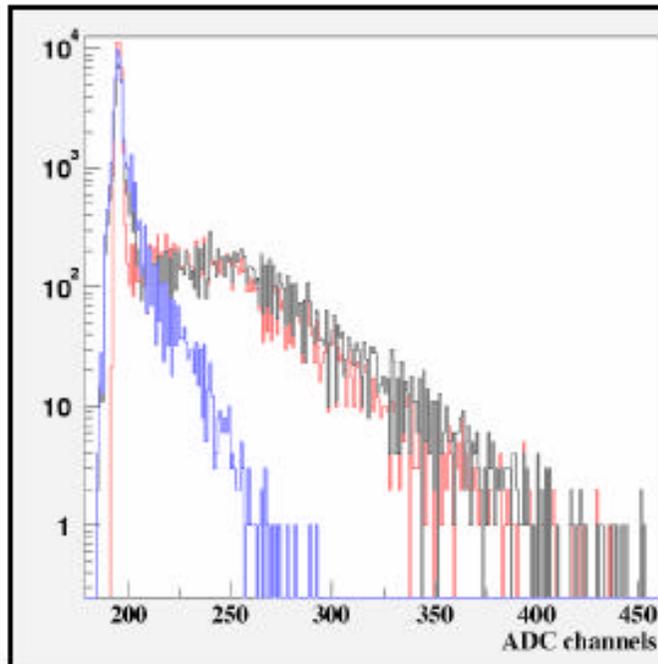


- Mesure au centre du blindage
- Probe en position #4



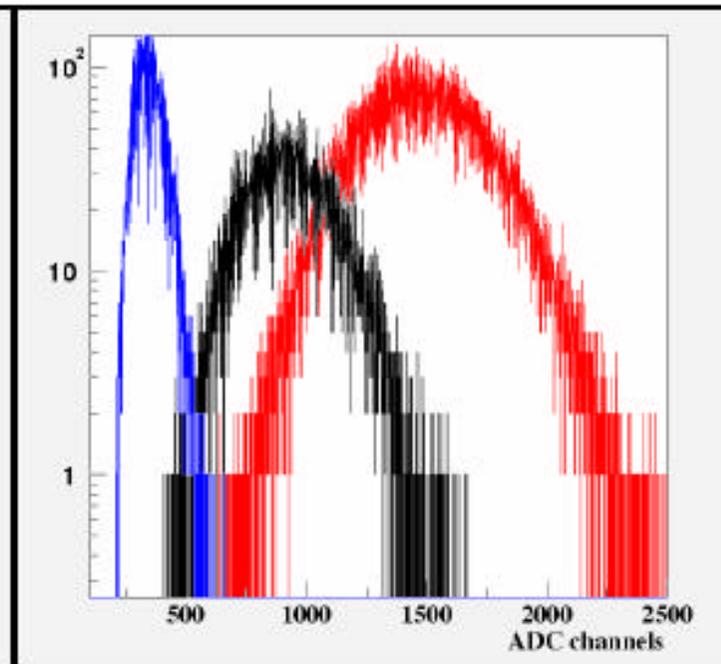
Influence du champ magnétique

Photoélectron unique



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

Forte lumière

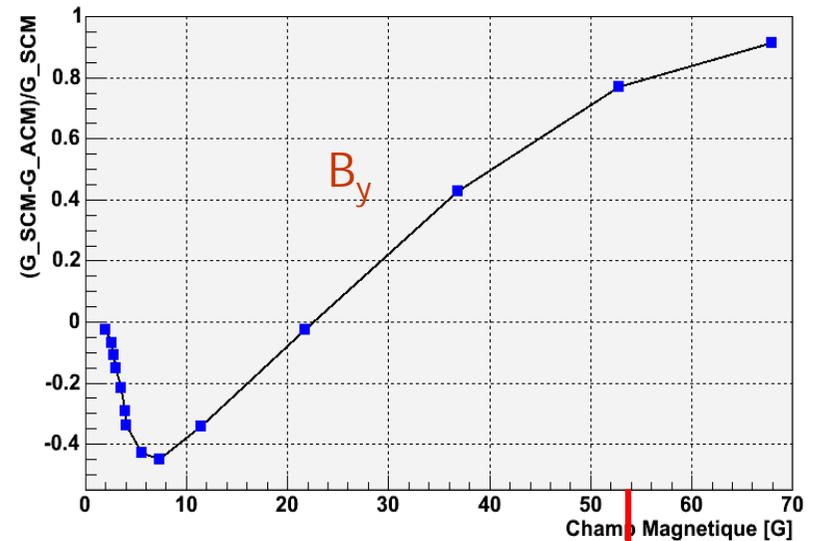
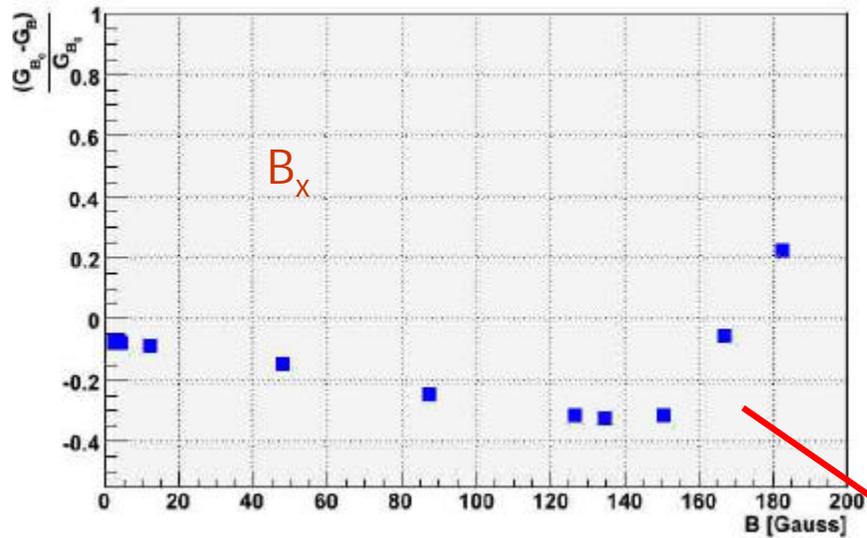


Rouge : 0 G, Noir : 36.9 G, Bleu : 67.9 G

Forte dépendance avec le champ magnétique dans les 2 configurations

Influence du champ magnétique

Position 1, Pixel 10

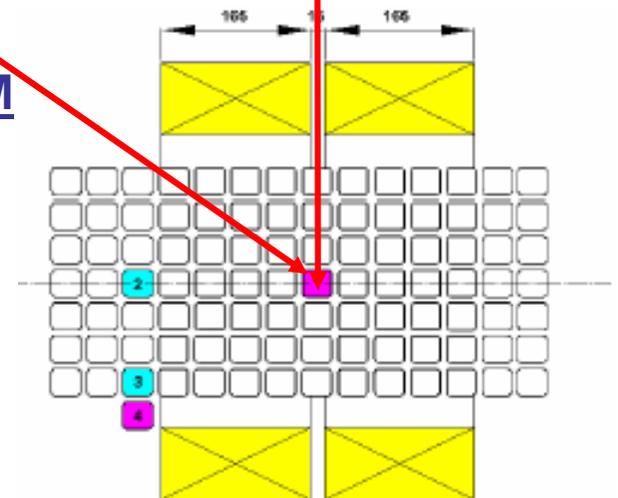


Forte variation en gain pour les pixels au centre du PM

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

G_{B_0} Valeur du gain sans champ

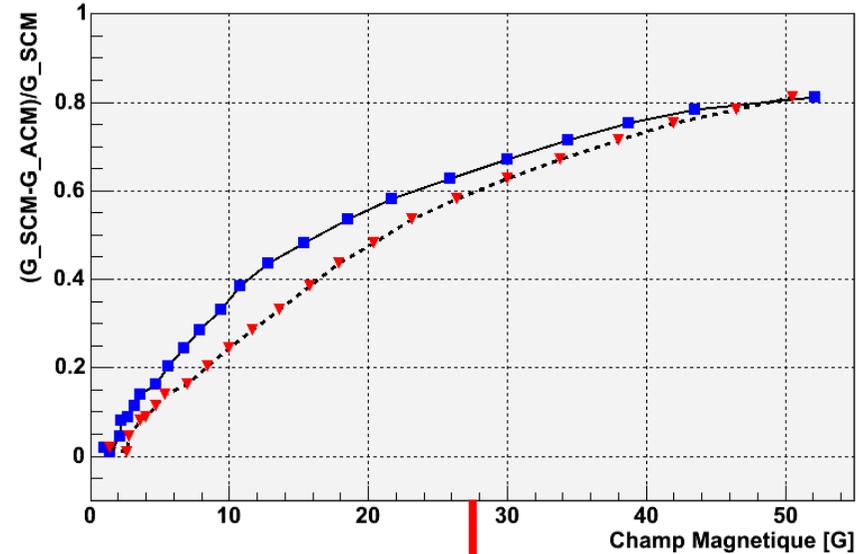
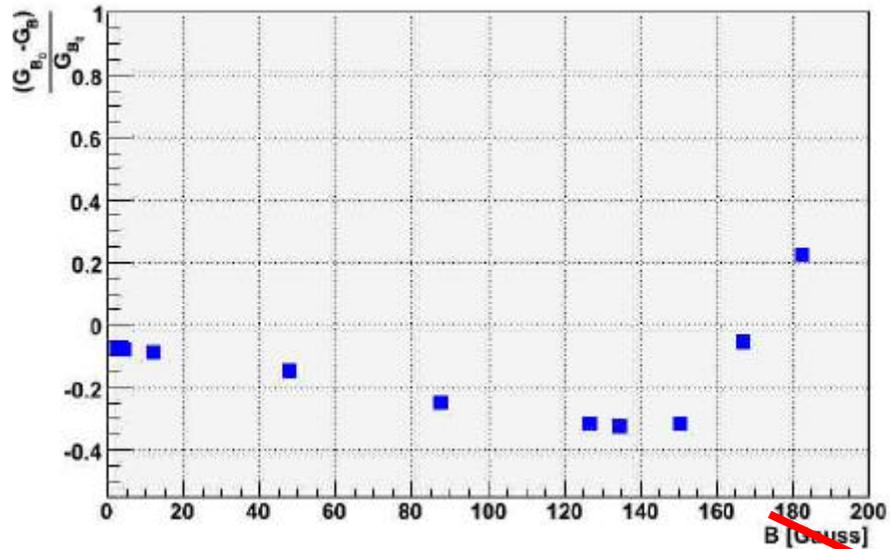
G_B Valeur du gain en présence du champ



Influence du champ magnétique

Position 1, Pixel 10

Position 4, Pixel 10

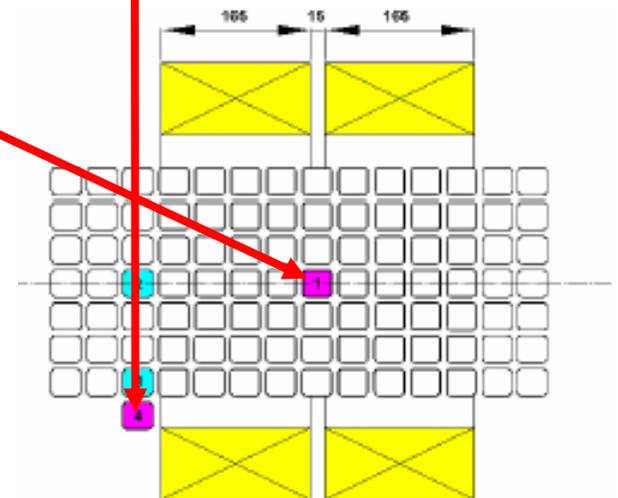


Forte variation en gain par rapport à la position géographique

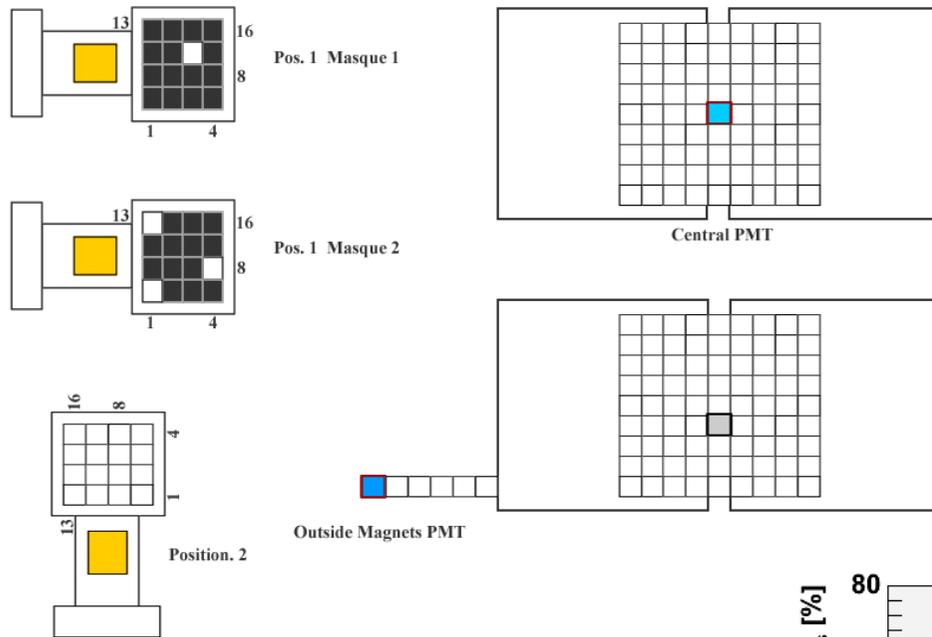
$$\frac{(G_{B_0} - G_B)}{G_{B_0}}$$

G_{B_0} Valeur du gain sans champ

G_B Valeur du gain en présence du champ

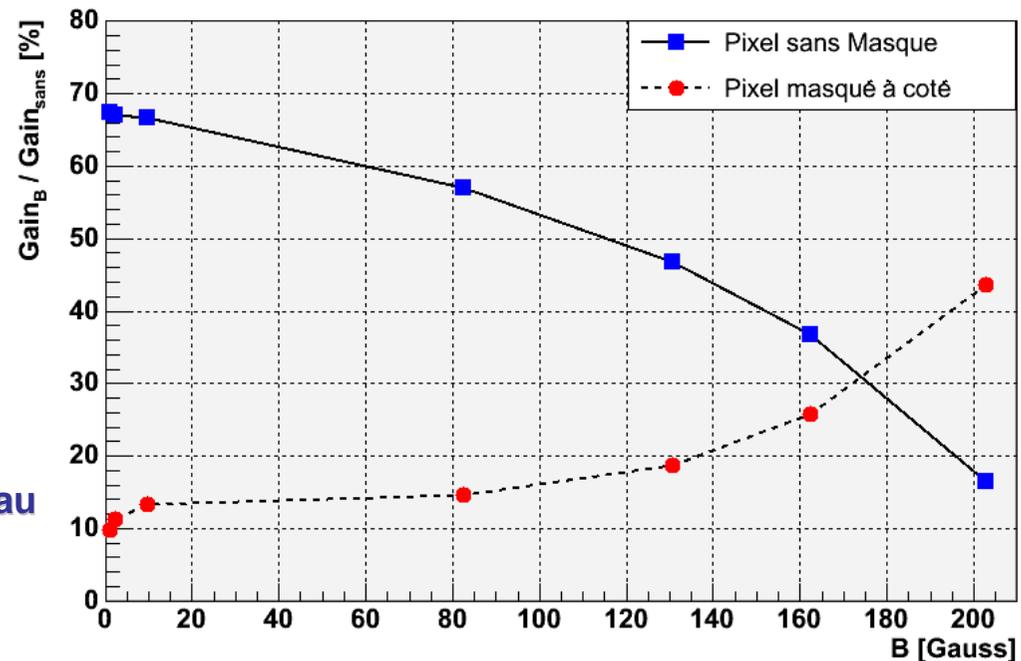


Diaphonie de la cellule de photodétection



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

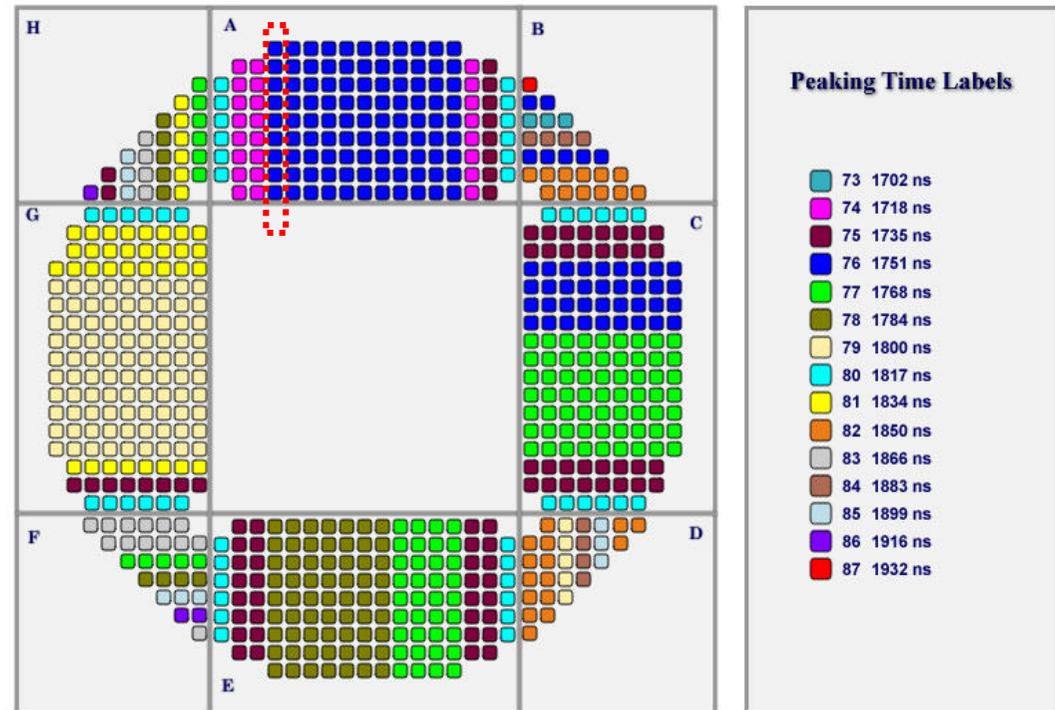
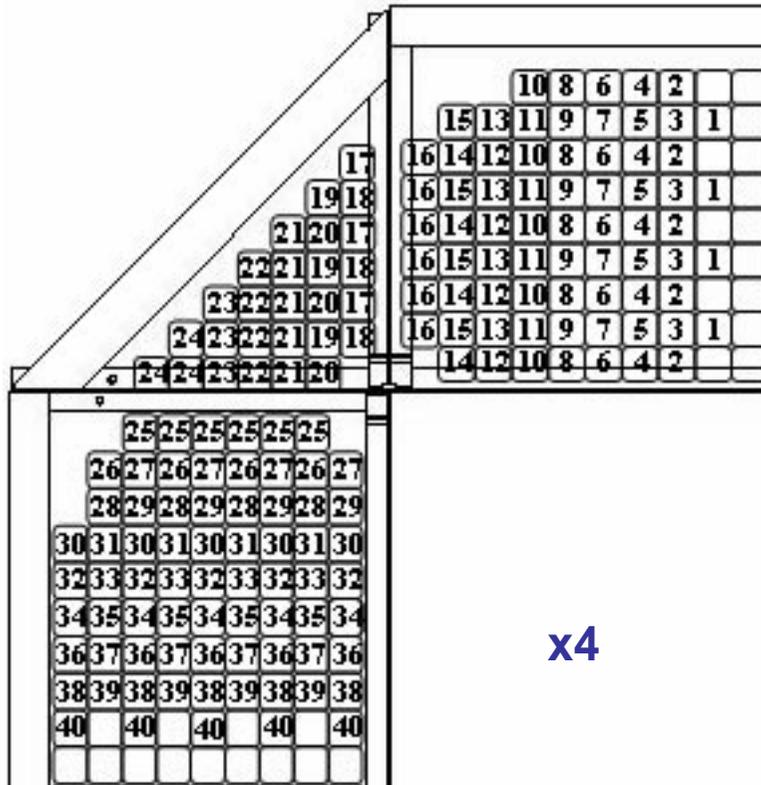
- ① Dégradation du gain et QExCE en présence du champ magnétique
- ① Mise en évidence de la diaphonie entre pixels voisins
- ① Champ avec structure complexe
- ① Tests supplémentaires (B homogène) au CERN et au LCMI à Grenoble



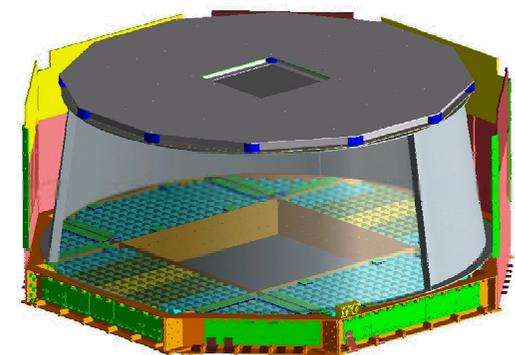


Etalonnage des cellules de photodétection du RICH

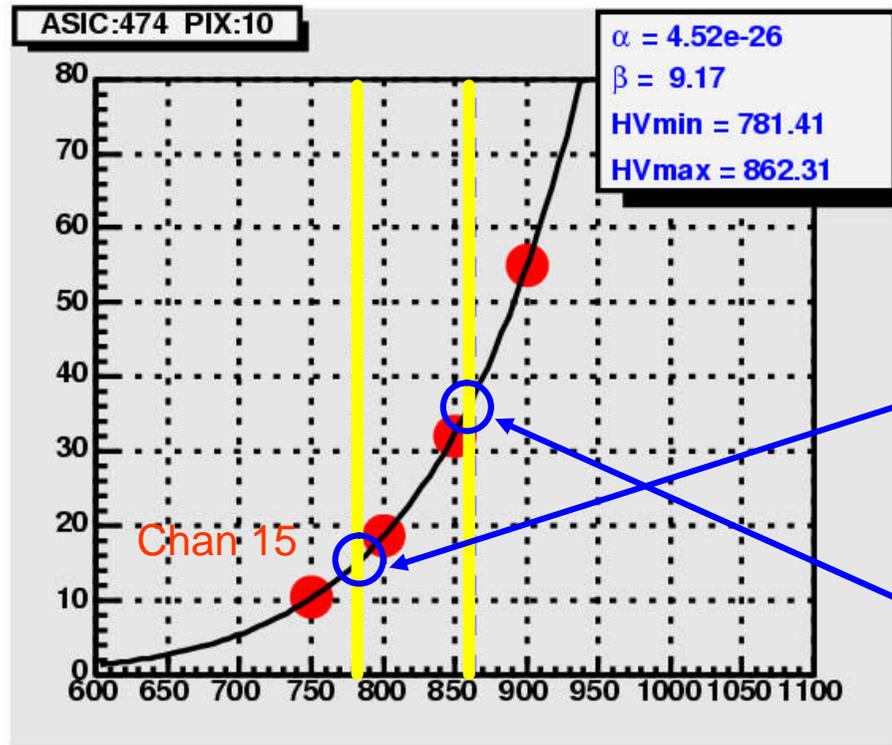
Etalonnage des cellules de photodétection du RICH



- 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



- 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

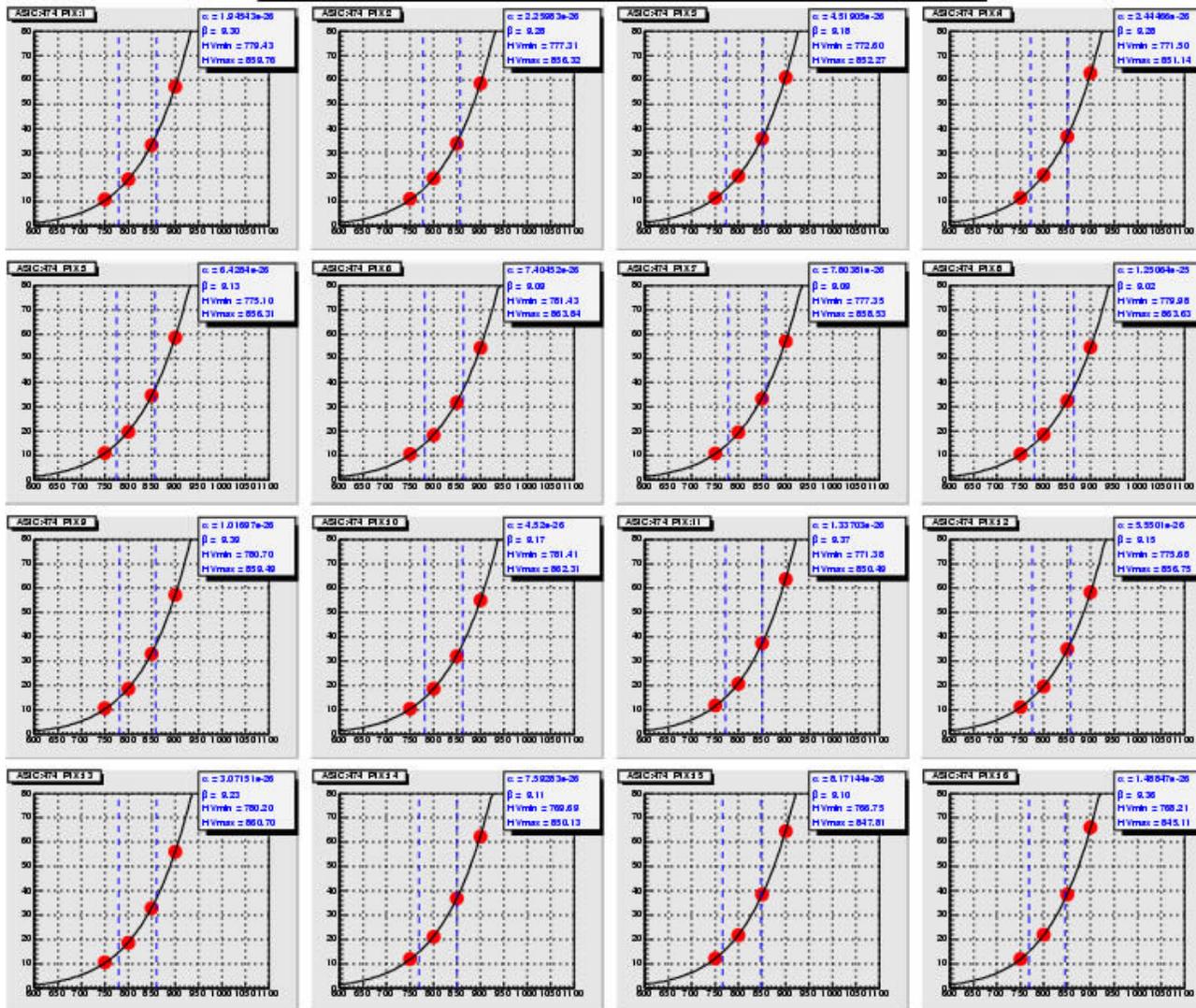
$$\text{– [HVmax]}$$

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

Function d'ajustment

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

Méthode d'Etalonnage



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

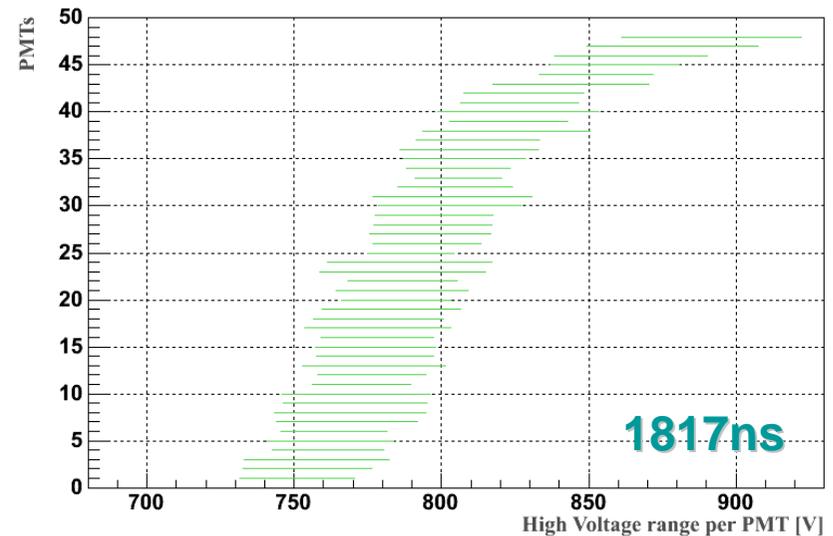
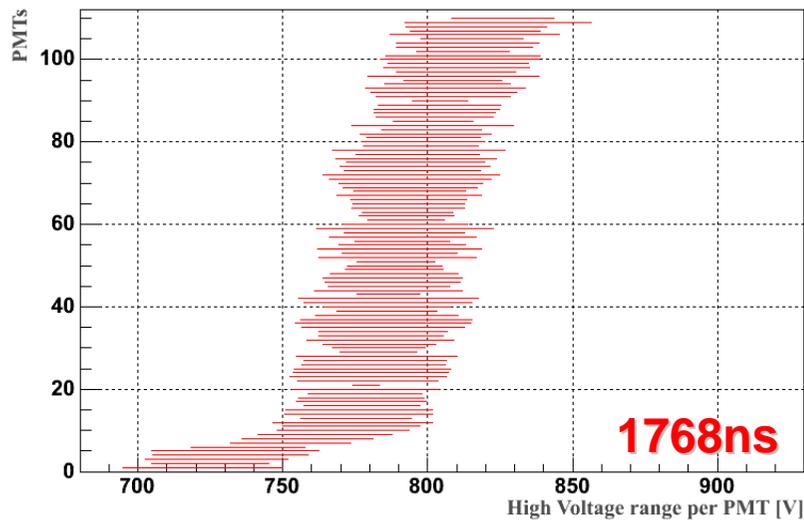
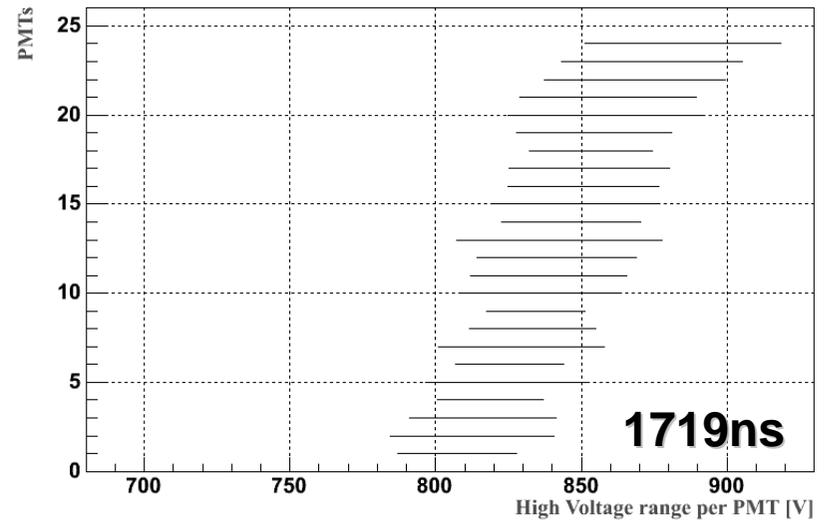
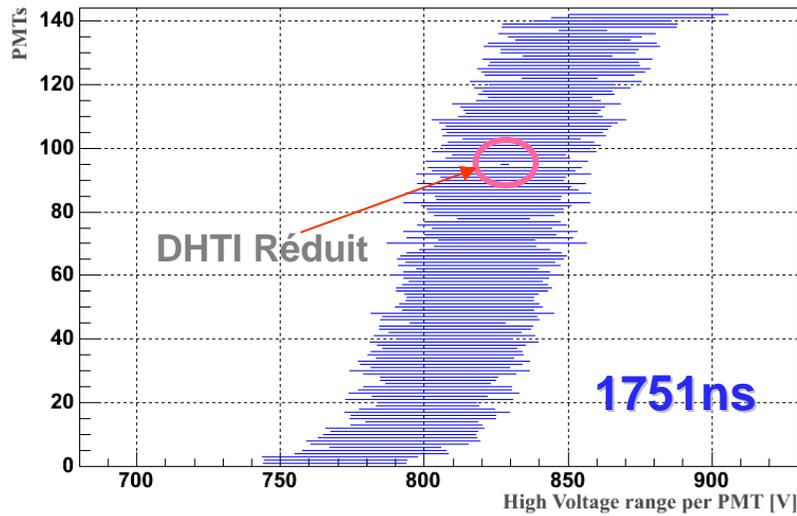
Valeur maximum d'HVmin
Valeur minimum d'HVmax

➤ Critères appliqués sur l'ensemble des cellules du RICH

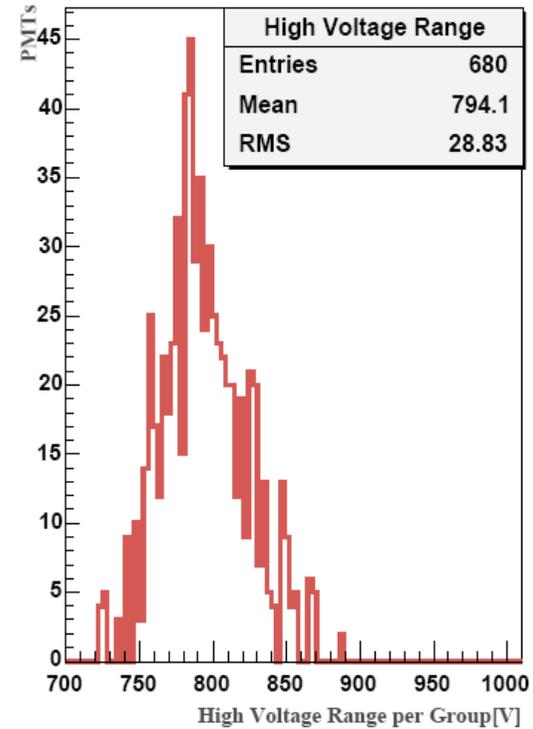
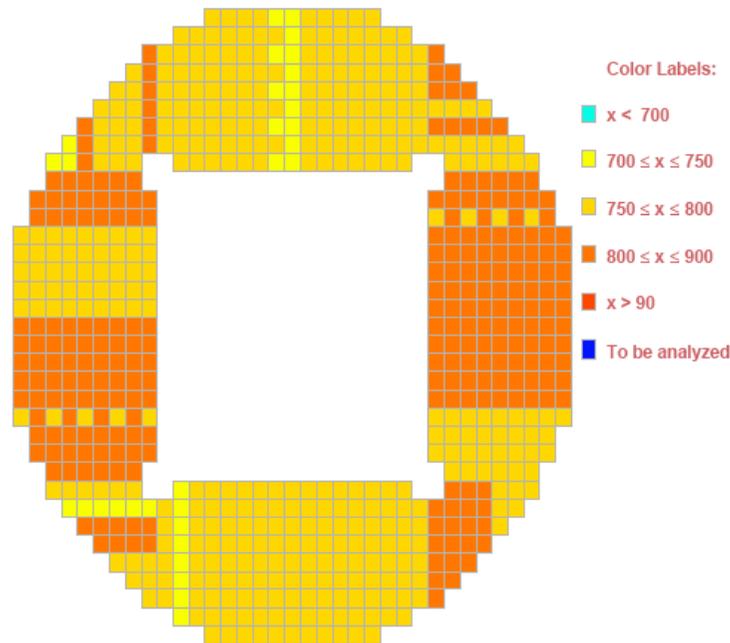
Dynamique HT Individuelle (DHTI)

Méthode d'Etalonnage

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

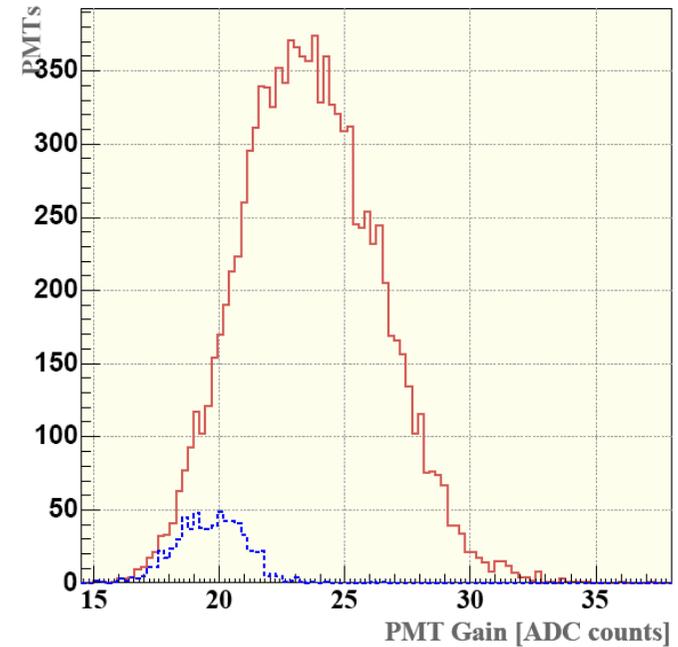
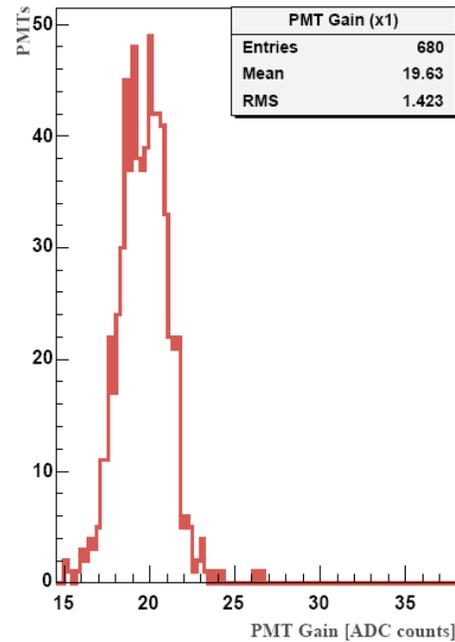
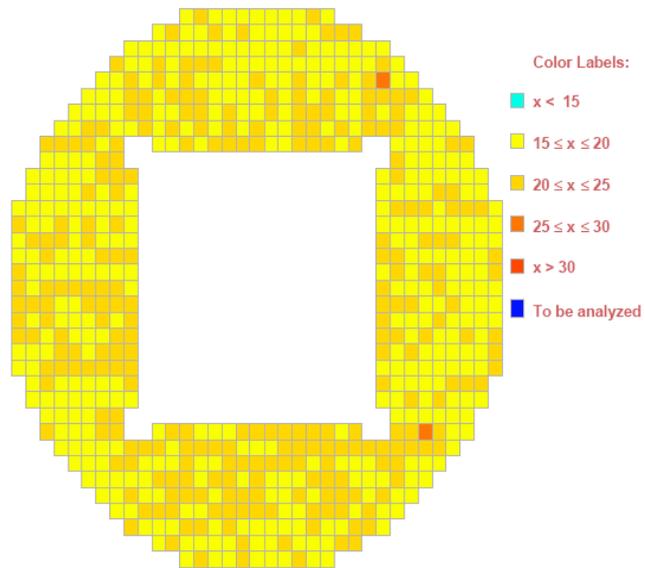


Résultats : Distribution de l'HT



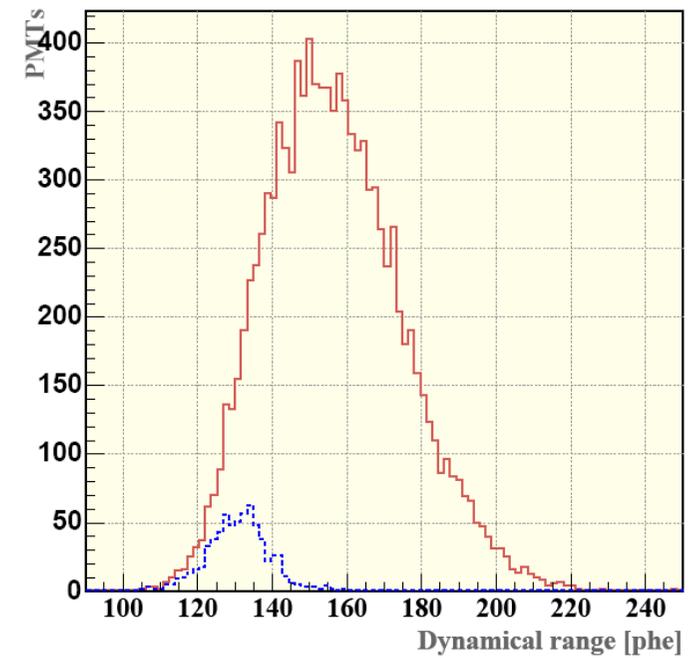
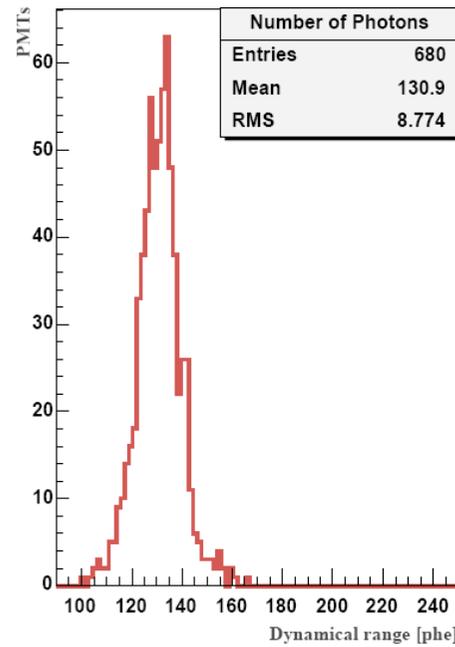
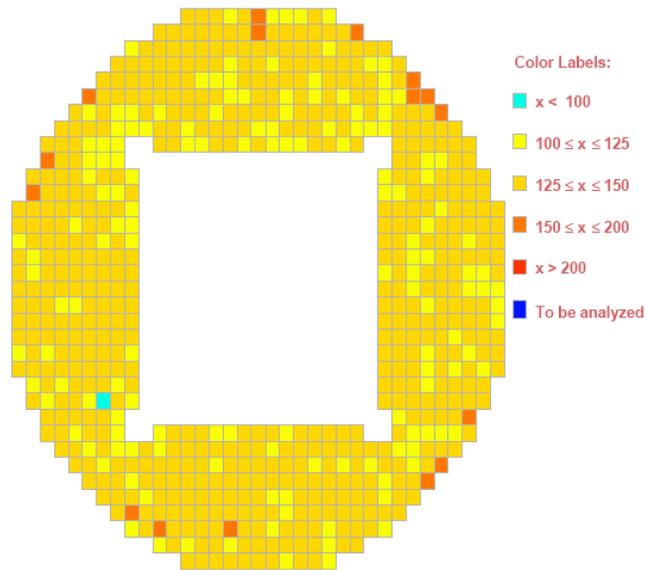
✓ Pas de problème de forte consommation en puissance

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

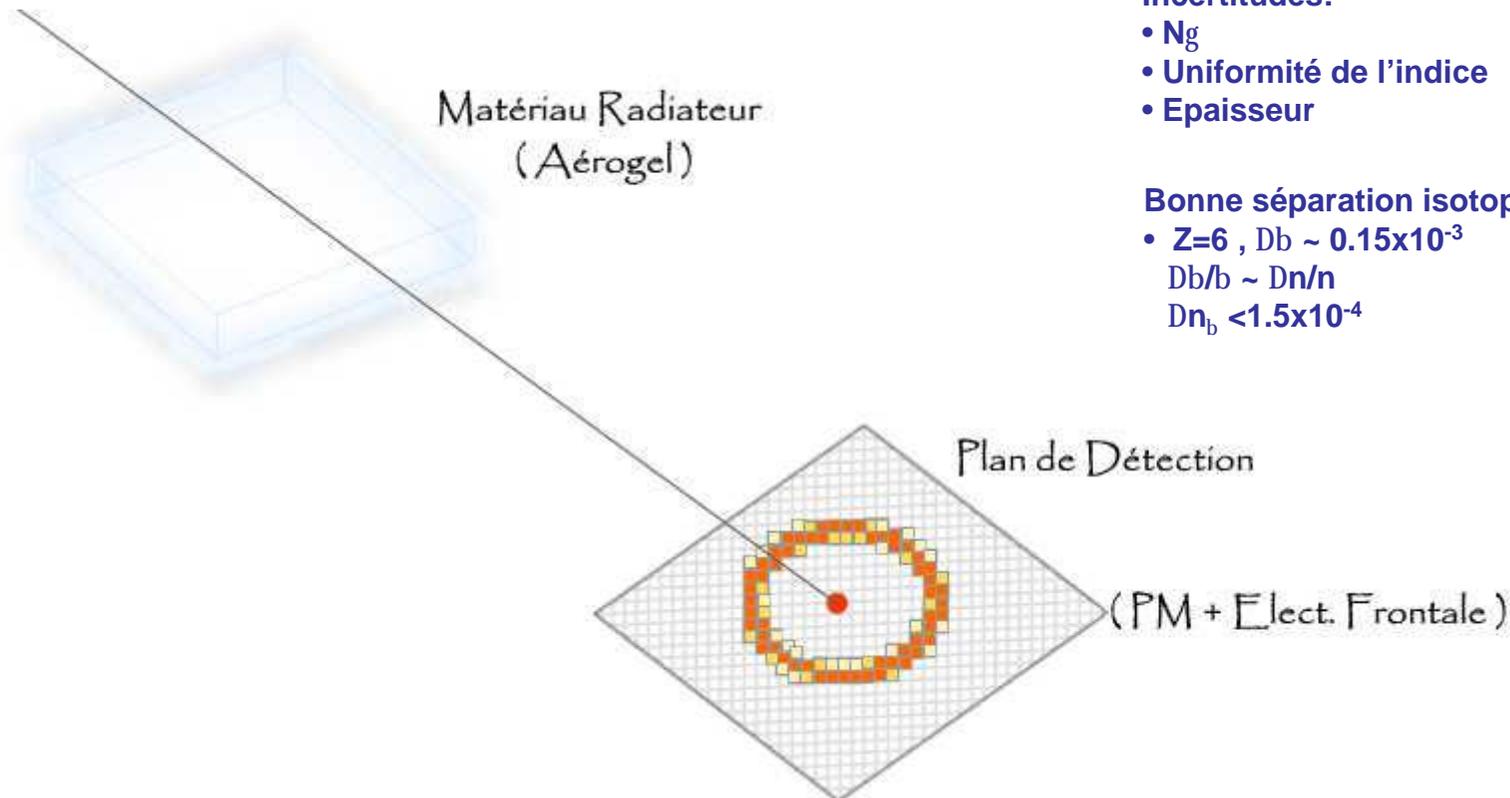
$$\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta N}{N} \oplus \frac{\Delta(n-1)}{(n-1)} \oplus \frac{\Delta d}{d} \right)$$

Incertitudes:

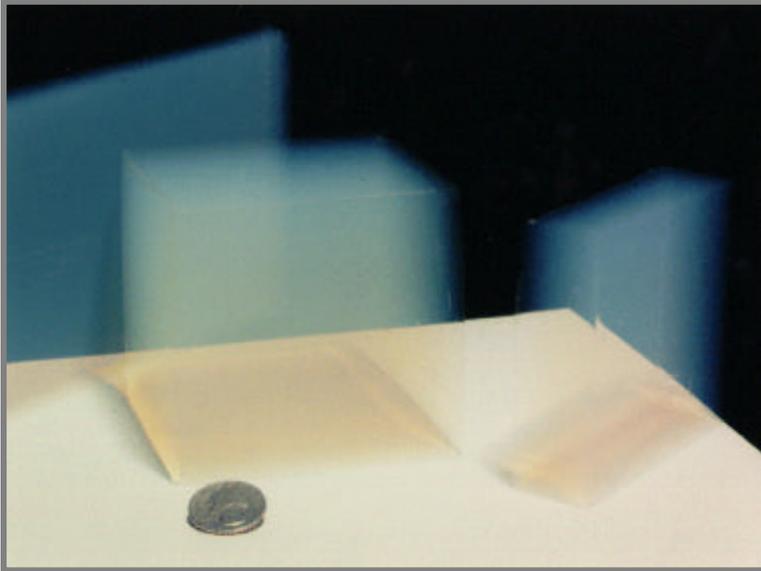
- N_g
- Uniformité de l'indice
- Epaisseur

Bonne séparation isotopique en charge

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



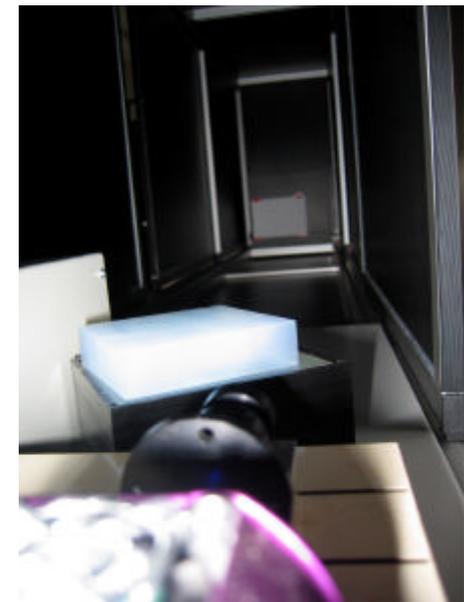
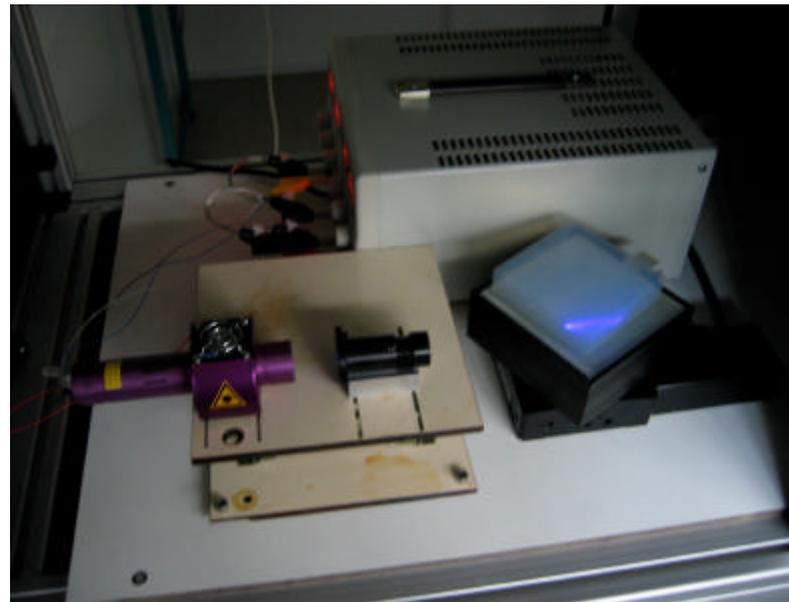
Détermination de l'indice de réfraction des Aérogels



Aérogels:

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

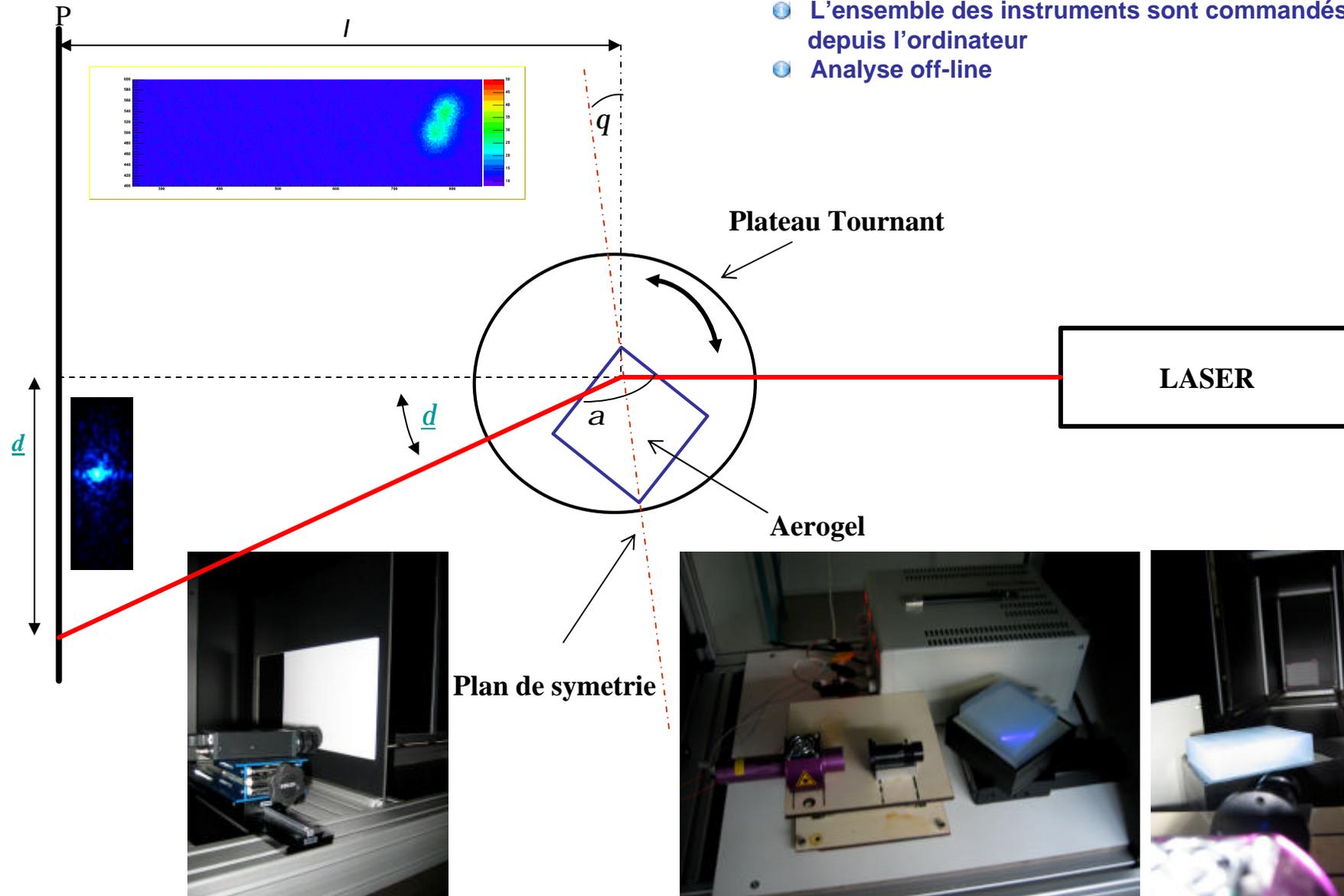
Automatisation d'un banc de test afin d'avoir le moins de manipulations possible



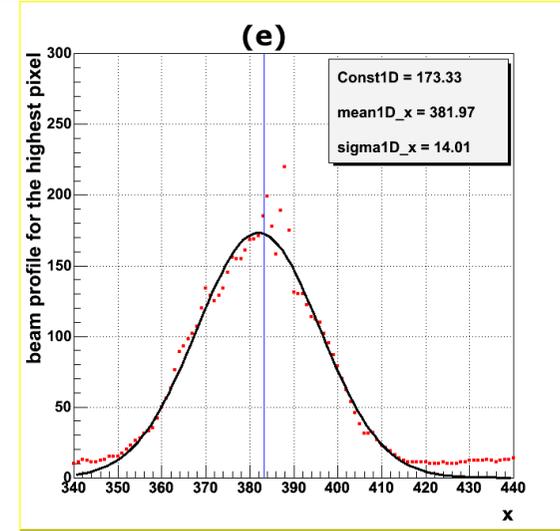
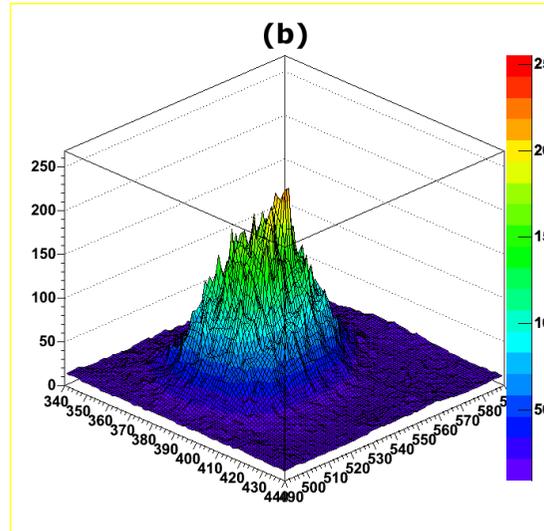
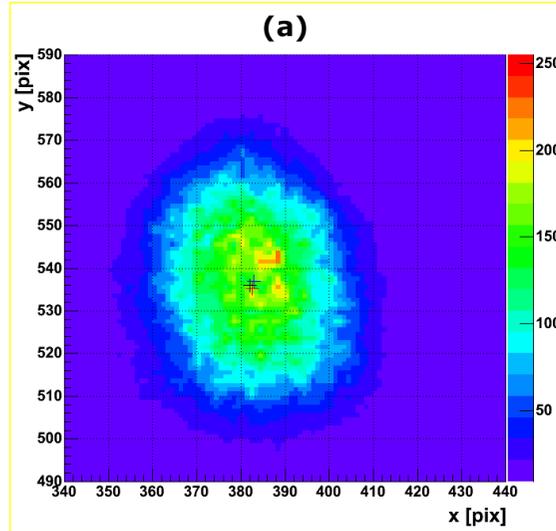
Détermination de l'indice de réfraction des Aérogels

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

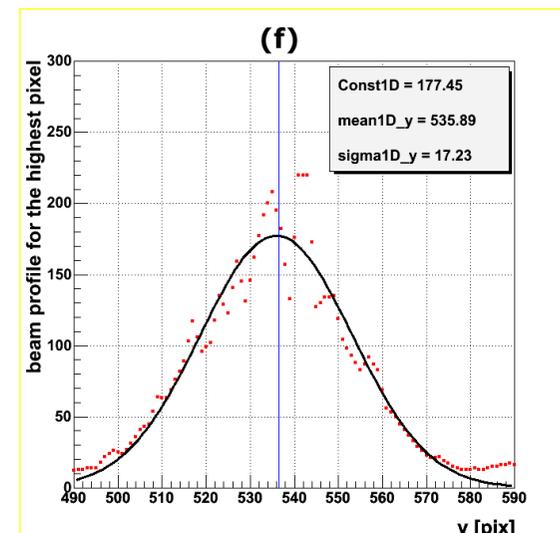
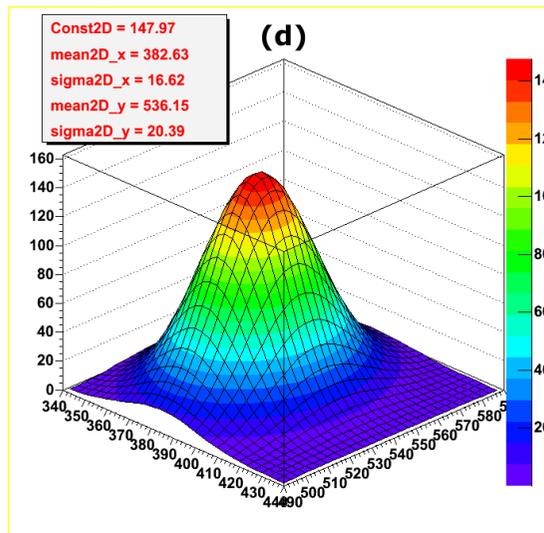
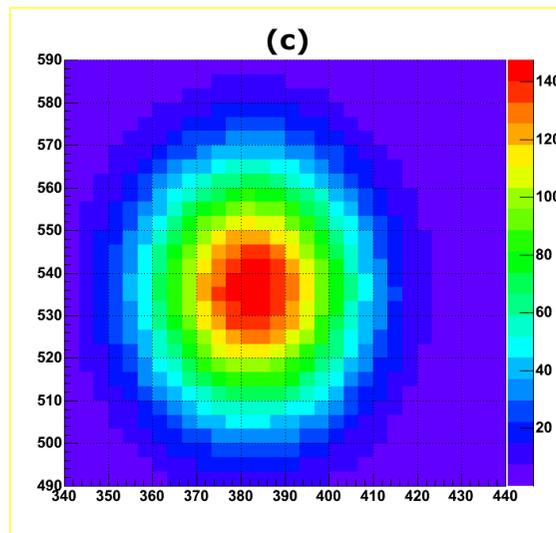
- 3 Mesure automatique des quatre coins d'une tuile d'aérogel (peu de manipulations)
- 4 L'ensemble des instruments sont commandés depuis l'ordinateur
- 5 Analyse off-line



Analyse (I)

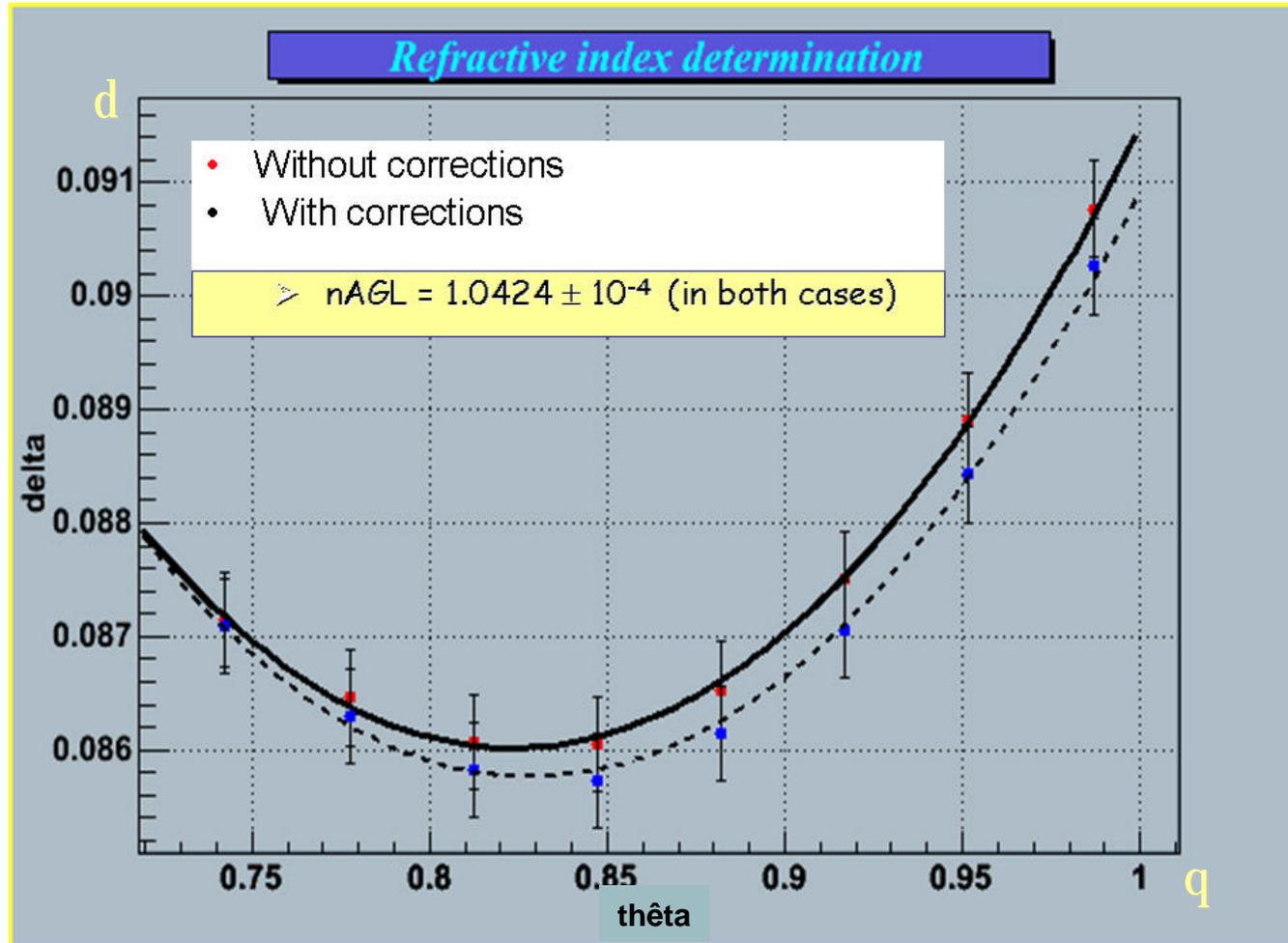


Ajustement gaussien en 2D + Ajustement 1D du profil du faisceau



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

Analyse (II)

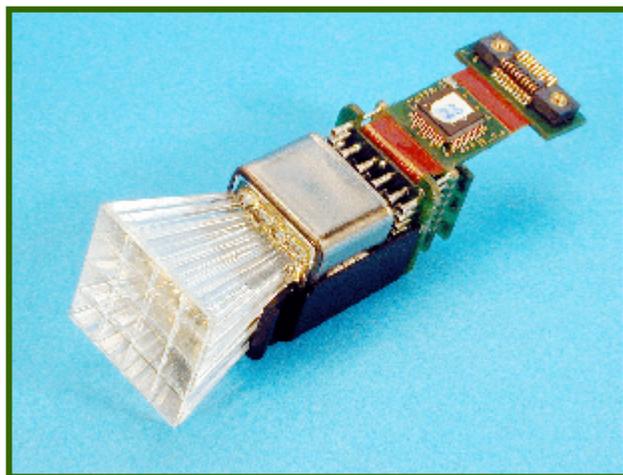
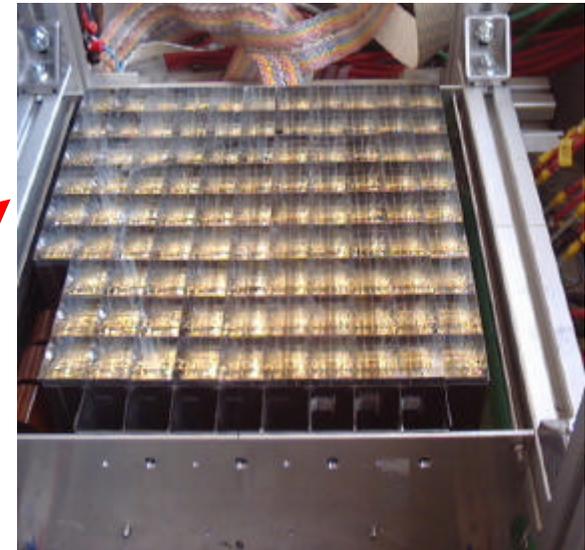
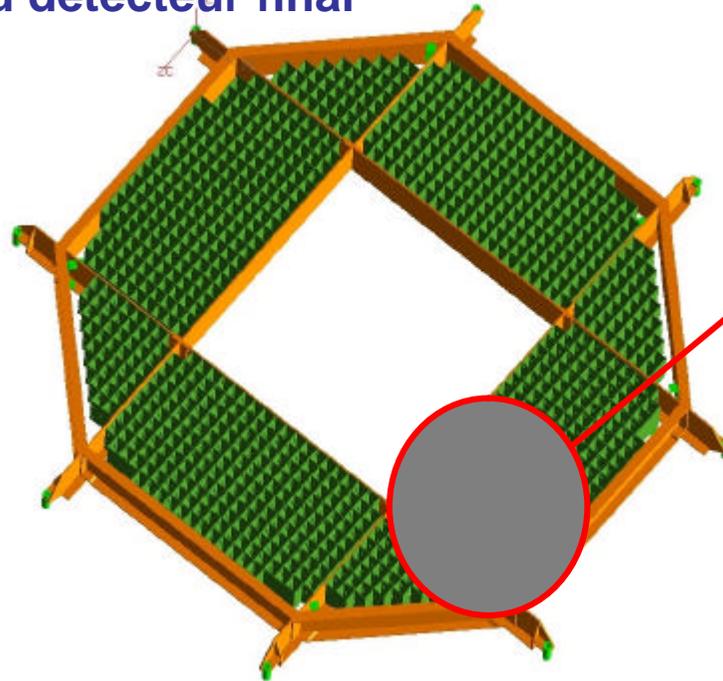


$$d = h + q - a + \sin^{-1} \left(n \sin \left(a - \sin^{-1} \left(\frac{\sin(h+q)}{n} \right) \right) \right)$$

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

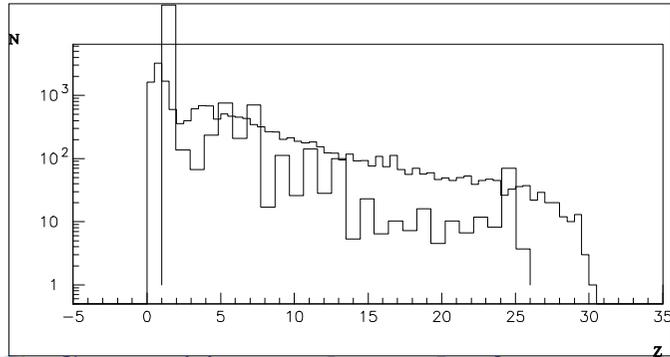
L'imageur Cherenkov d'AMS : Prototype

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

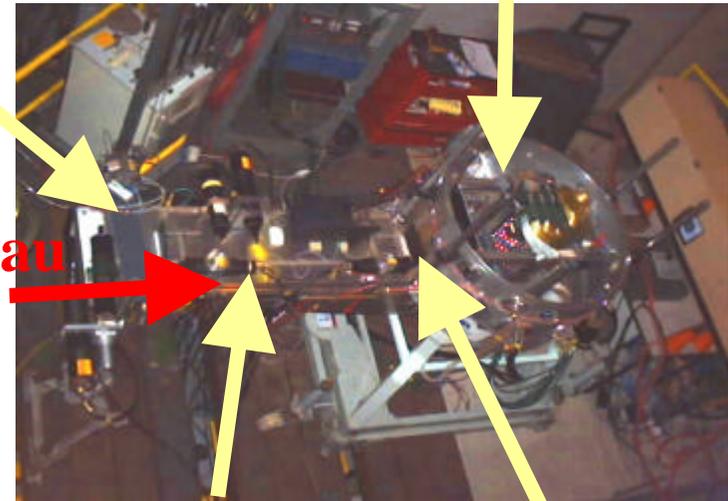


- Composition en charge des fragments Rayonnement cosmique
- Test d'identification des éléments
- Test avec différents radiateurs (indices, épaisseurs, constructeurs)
- Tests de l'électronique
- Analyse (collaborations Lisbonne, Madrid, + Grenoble)

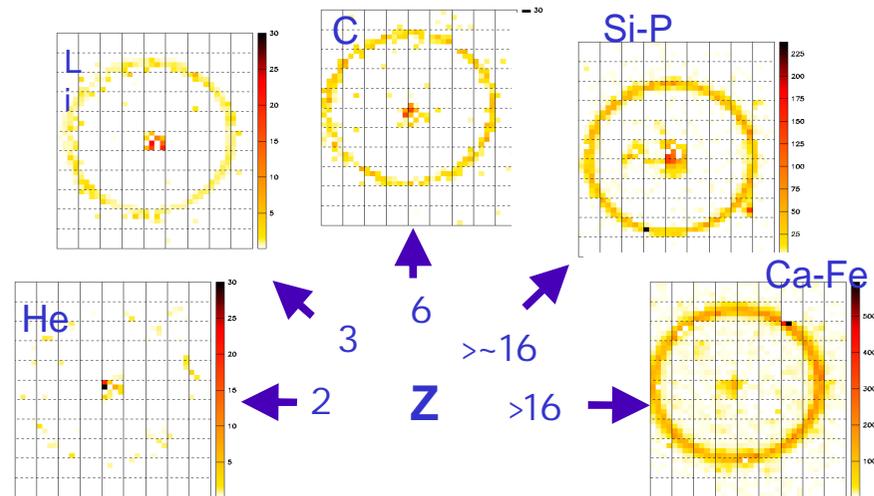
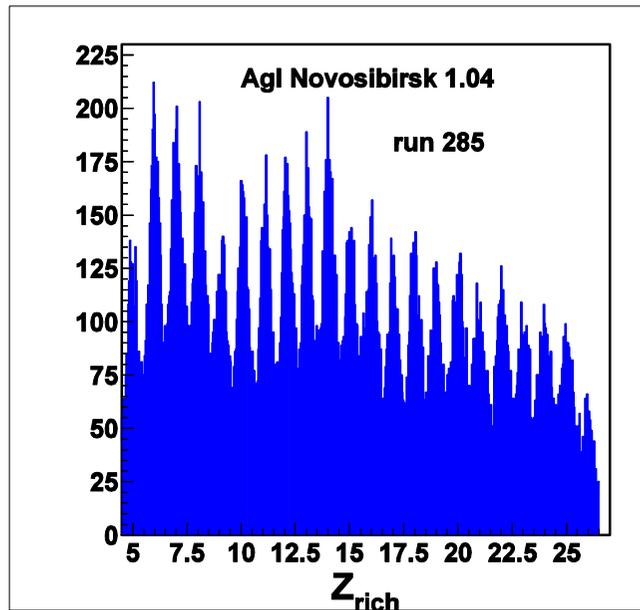
Chambre à fils

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

