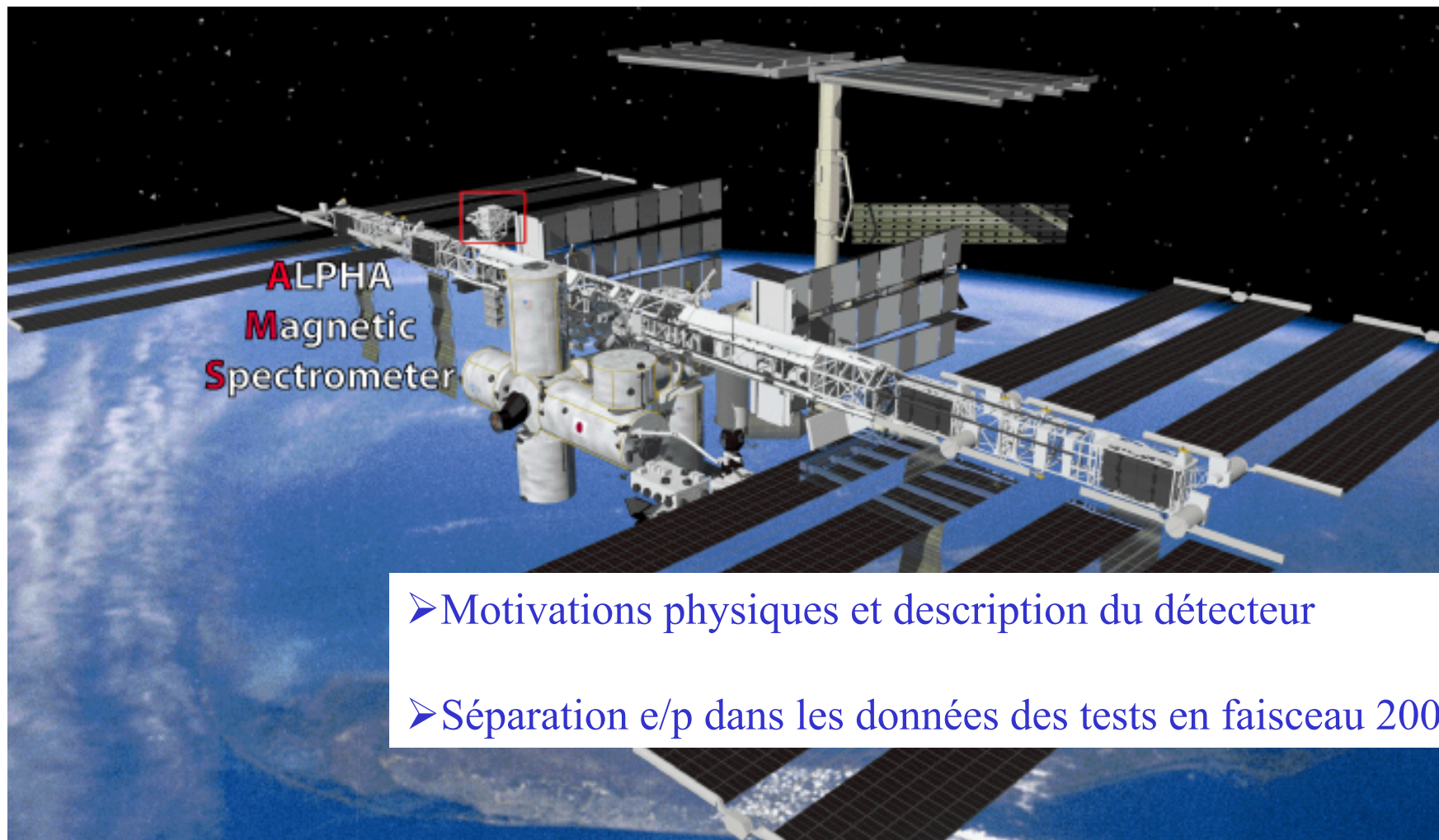


Mesure du spectre de positons dans l'expérience AMS02

Séparation e/p dans le calorimètre et
recherche de signal supersymétrique dans le spectre de positons.

Jonathan POCHON

AMS02 installé sur la Station Spatiale Internationale mi-2007 pour 3 ans.



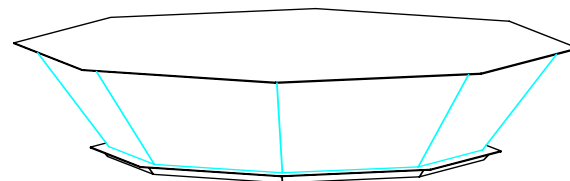
➤ Recherche d'antimatière primordiale pour $Z \geq 2$ avec une sensibilité de 10^{-9} (*Tracker, Aimant, scintillateur et RICH*)

➤ Recherche de matière noire dans les spectres de rayons cosmiques à travers les contributions des annihilations de neutralinos χ^0 . (*Calorimètre, Tracker, TRD*)

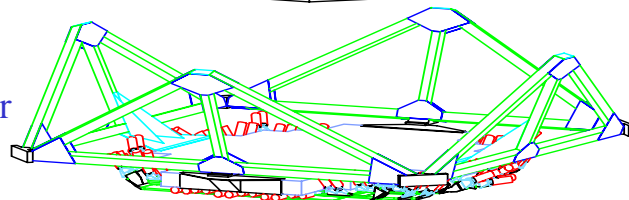
➤ Mesure précise des spectres de rayons cosmiques: $p, \bar{p}, e^+, e^-, \gamma, C, B, Be, \dots$

➤ Étude des photons pour la gamme d'énergie [3-500] GeV peu explorée (*Calorimètre, Tracker*)

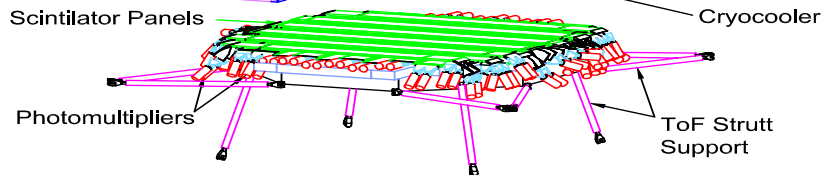
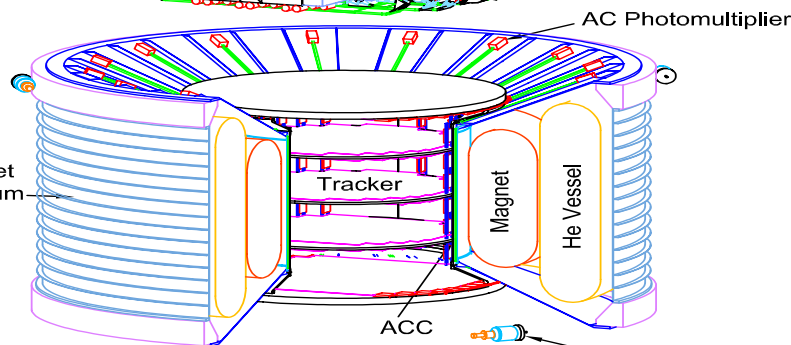
Transition
Radiation
Detector



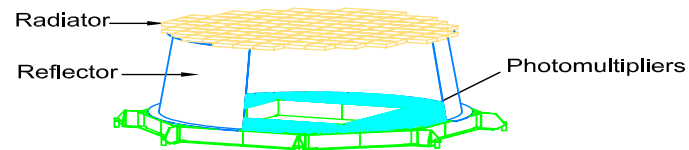
Scintillateur



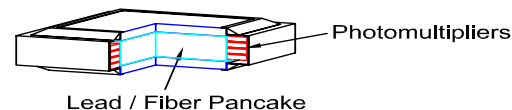
Aimant
& Magnet
Vacuum
Case
Tracker



RICH

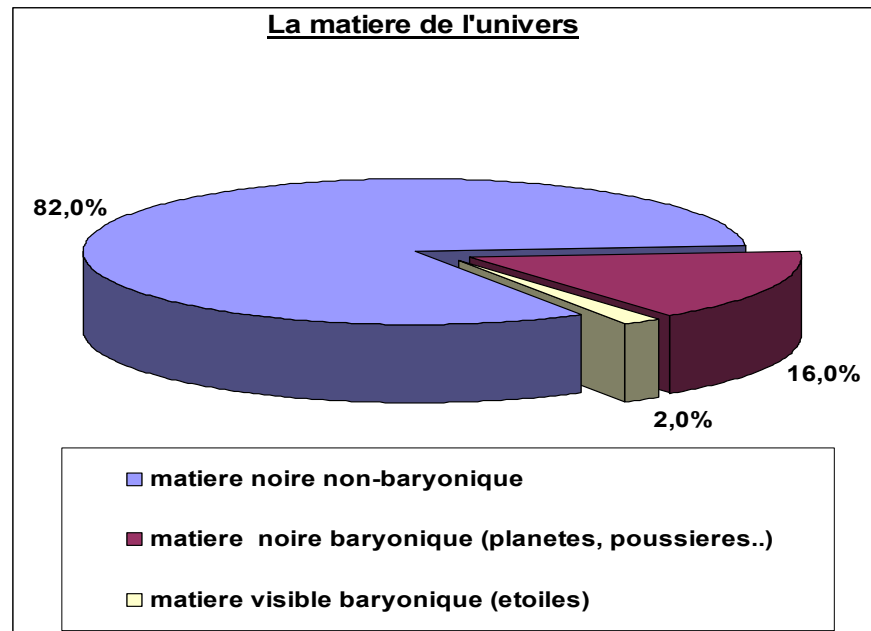


Calorimètre



Matière noire

- L'énergie de l'Univers est composée ~ 30% de matière.
- L'étude le Rayonnement fossile (WMAP) indiquent que 82% de la matière est non-baryonique.
- Cette matière peut être constituée par des particules massives interagissant faiblement: les **WIMPs**.
- La supersymétrie (**SUSY**) propose un candidat : le neutralino le plus léger χ^0_1 , la plus légère des particules **SUSY** qui est donc stable (R-parité conservée).

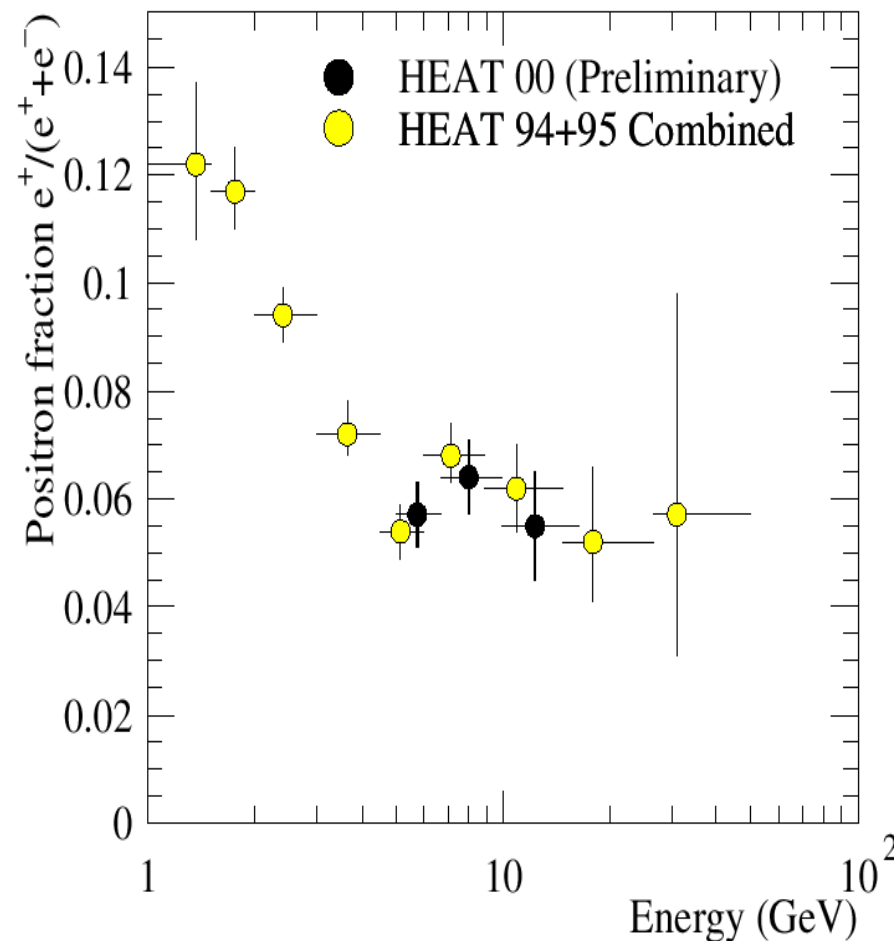


- χ^0 peut être détecté indirectement par réaction d'annihilation dans le Halo, ajoutant ainsi des particules au fond conventionnel.

$$\chi^0 \chi^0 \rightarrow q\bar{q}, W^+W^-, HZ^0, \gamma\gamma, \nu\nu, \dots$$

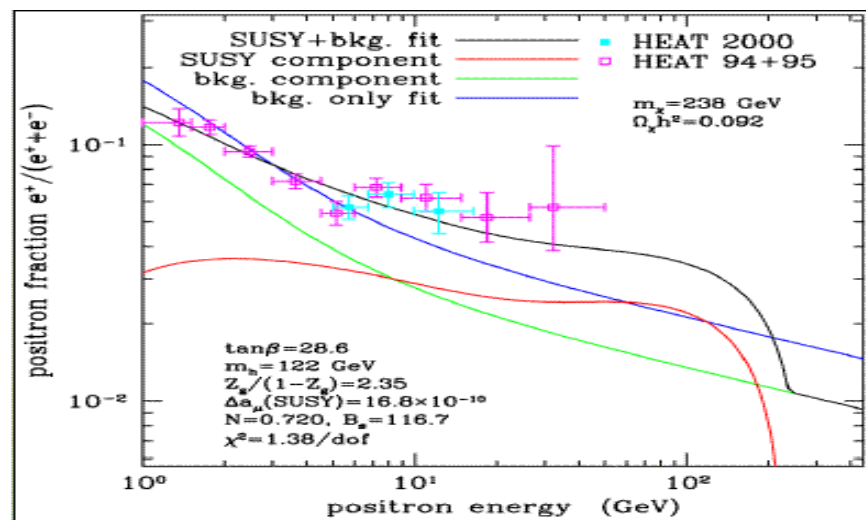
$$\Downarrow p, \bar{p}, e^+, e^-, \gamma$$

- Le flux d'antiparticules est moins important
→ plus sensible à une contribution supplémentaire.
- HEAT observe une possible distorsion du spectre de positons.
- Les χ^0 peuvent contribuer à cette éventuelle distorsion.



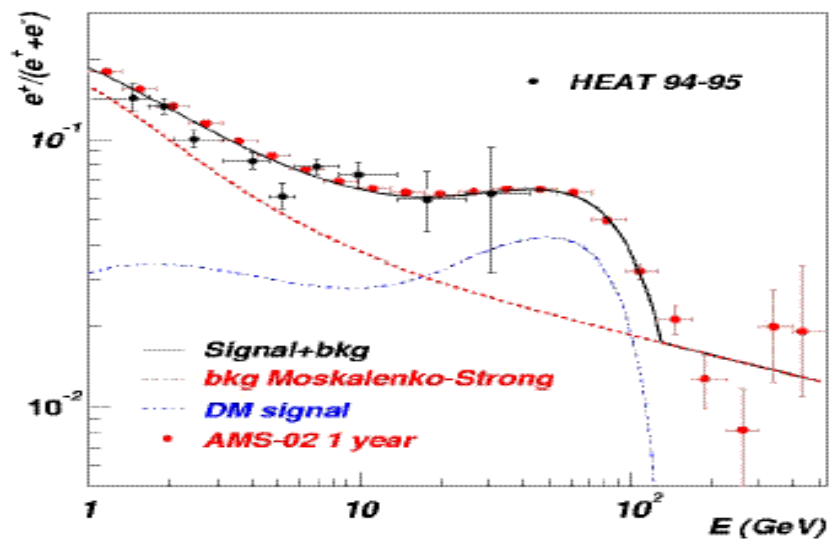
Supersymétrie et HEAT

- mSugra propose un modèle reproduisant les mesures de HEAT (Esdjo).
- Le flux de e^+ issus de χ^0 dépend de la densité de matière noire (halo de matière noire uniforme ou comportant des « grumeaux » de matière).



$m_{\chi} = 336 \text{ GeV}$

- La mesure précise du spectre des positons contraint les modèles de nouvelle physique.



Matière noire supersymétrique

➤ Les universalités des modèles contraints peuvent être **briser**.

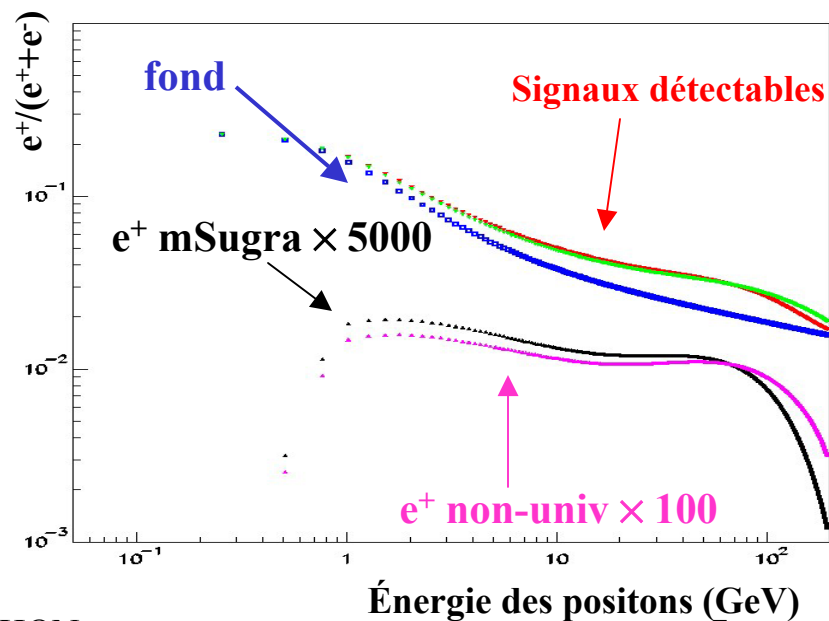
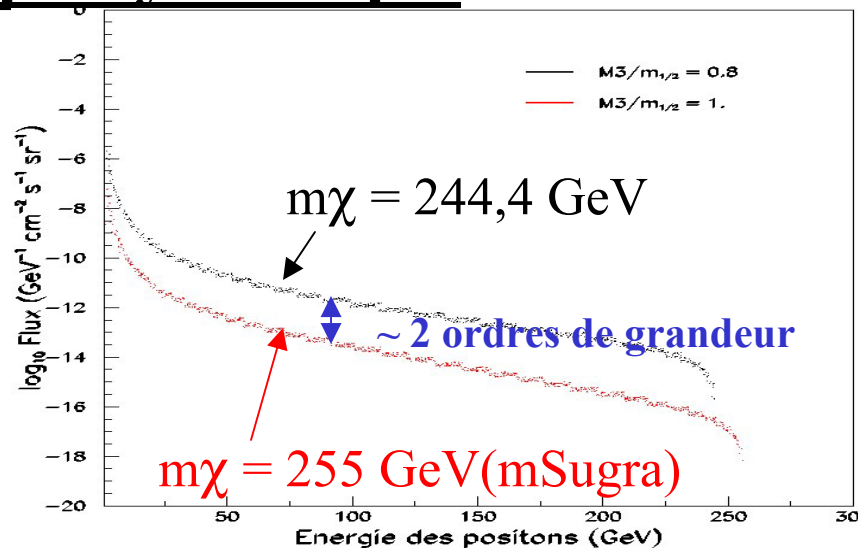
➤ Modèle mSugra “conventionnel”:

$$\chi^0\chi^0 \rightarrow t\bar{t} (92\%), b\bar{b} (4\%), W^+W^- (2\%), Z^0Z^0.$$

➤ Modèle mSugra “non-universel”:

$$\chi^0\chi^0 \rightarrow t\bar{t} (70\%), b\bar{b} (1\%), W^+W^- (18\%), Z^0Z^0 (8\%).$$

➤ Cela a pour effet d’**amplifier** les flux ou de les rendre “mous”.



Mesure du flux de positons dans AMS

➤ Mesure des spectre de e^- , e^+ , γ du GeV au TeV
 $\Delta E/E < 5\%$ (< 1 TeV pour calorimètre)

➤ Le rapport e^+/p varie de 10^{-3} à 10^{-4} dans l'intervalle 10 à 200 GeV.

➤ $e^+/e^- \sim 10^{-1}$ à 10^{-2} .

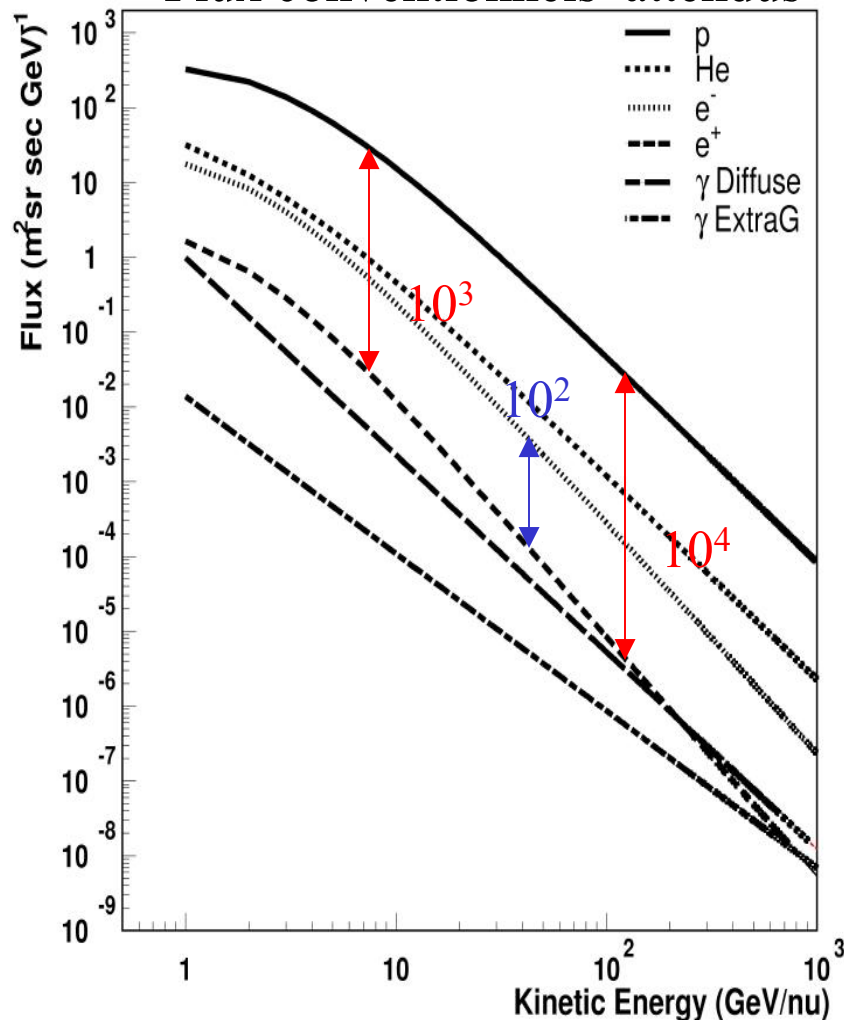
➤ **Séparation e^+/p du GeV au TeV:**

calorimètre seul $\sim 10^3$ (< 300 GeV)

TRD seul $\sim 10^3 - 10^2$ (< 300 GeV)

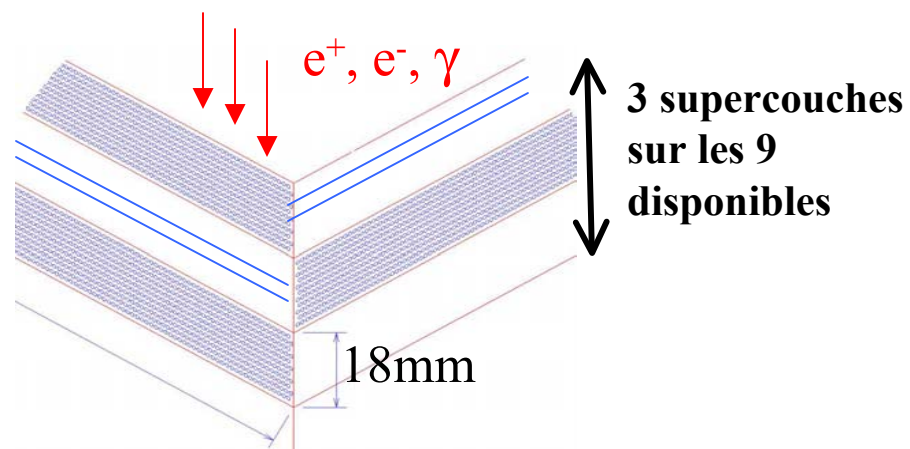
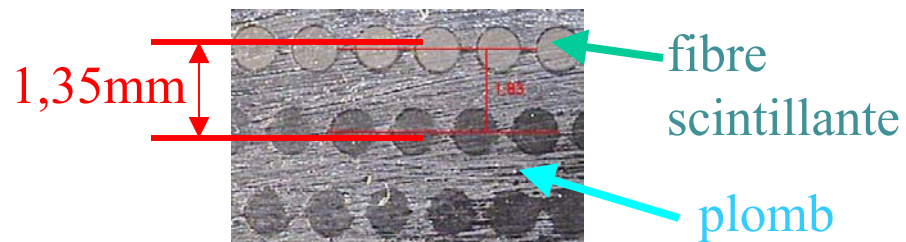
calo+TRD+Tracker $\sim 10^6$ (< 300 GeV)

Flux conventionnels attendus



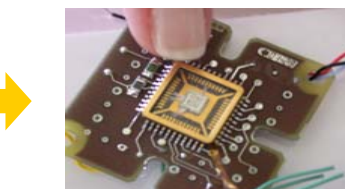
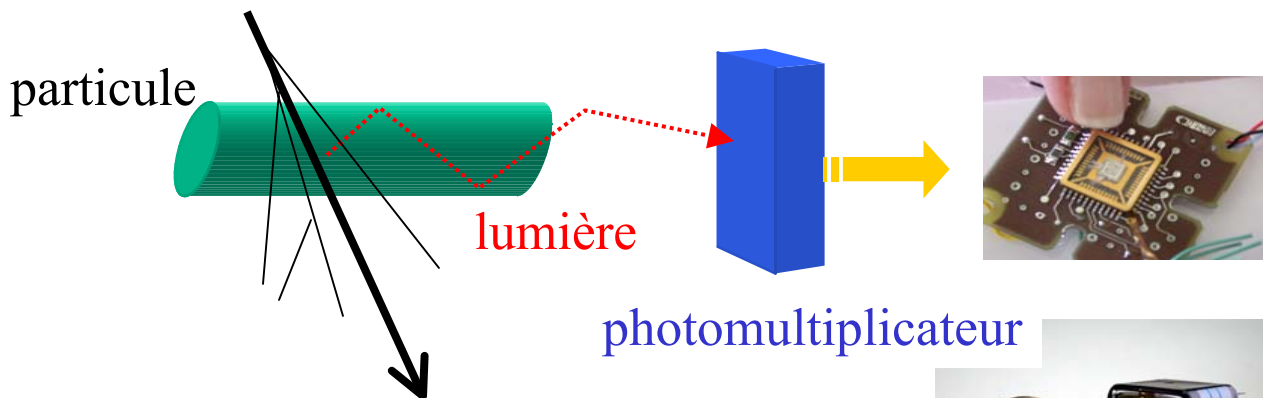
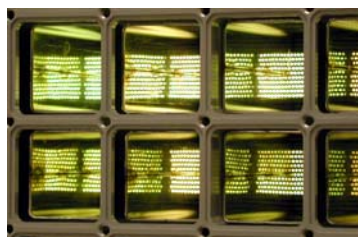
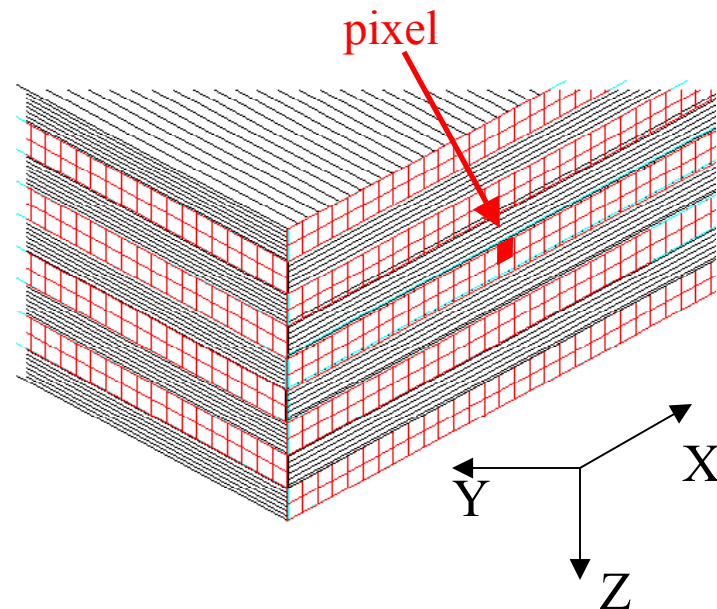
Le calorimètre électromagnétique d'AMS02

- Le calorimètre mesure l'énergie déposée par des particules électromagnétiques.
- Le calorimètre permet de rejeter les **protons** et d'identifier les γ .
- Couches composées de plomb et de fibres scintillantes formant **9** supercouches.
- La surface est de **65cm × 65cm** sur une profondeur de **17 cm** (**16 X_0** et **0,75 λ_i** (hadronique)).
- Les supercouches sont disposées de façon perpendiculaire entre elles pour avoir une information en XY.



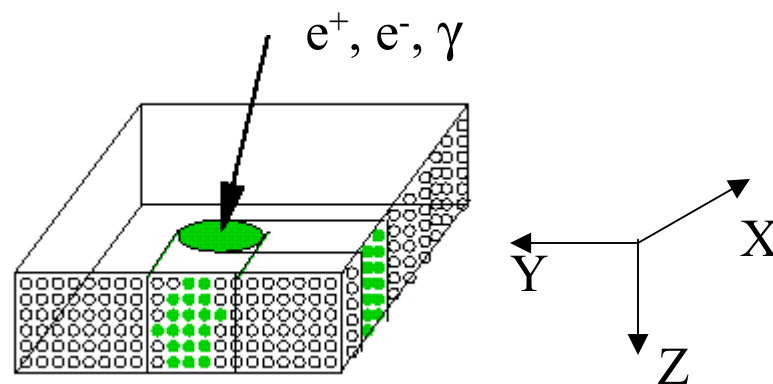
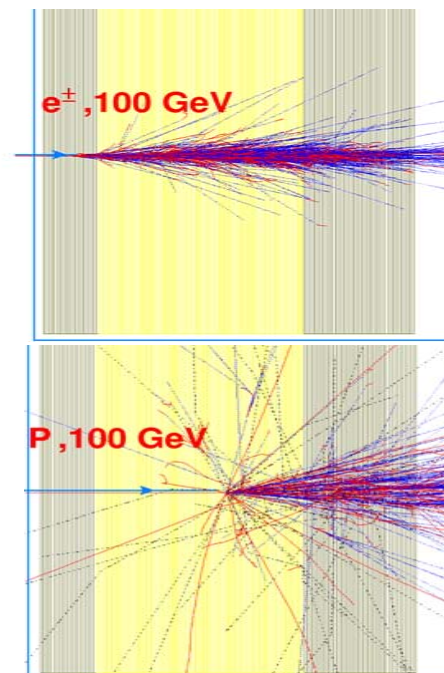
La segmentation du calorimètre

- La séparation e/p nécessite un **échantillonnage** de la cascade électromagnétique avec une fine granularité **longitudinale et latérale**.
- Les fibres sont lues par des photomultiplicateurs multianodes (PMs) de **4 pixels** (**0,9 cm × 0,9 cm**).
- La granularité du calorimètre est de **18 pixels** en profondeur $\sim 1X_0$ et de **72 pixels** dans le plan transverse (X-Y) $\sim 1/2$ **rayon de Molière**.

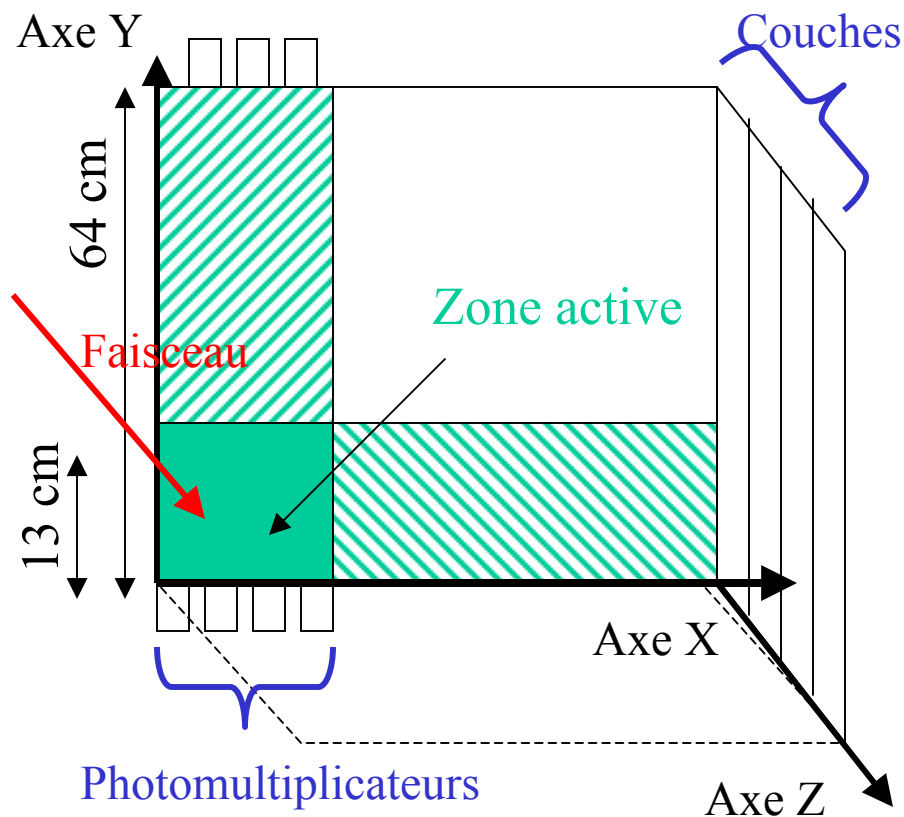


Principe de la séparation e/p

- Utilisation de variables discriminantes caractéristiques du **comportement électromagnétique** (longitudinal, latéral..).
- Combinaison des variables dans un réseau de neurones.
- Contrôler que la simulation reproduise la réalité.
- Entraînement du réseau de neurones dans des **données simulées** pour l'utiliser dans les **données des tests en faisceau**.



Le test en faisceau 2002



➤ Test pour le système de collection de la lumière et l'électronique front-end.

➤ Étude des propriétés du calorimètre, en particulier la séparation e/p.

➤ Seule une partie équipée 63 PMs /324 → 7 PMs / supercouche.

➤ Faisceau de particules:

μ (mise au point)

p @ 120 GeV

e⁻ @ 3, 6, 10, 15, 20, 30, 35, 50, 80, 120, 150, 180 GeV.

➤ Pureté: e⁻ de 50 GeV ~ 90%

e⁻ de 30 GeV ~ 30%

Simulation → même zone active,
→ prise en compte PMs morts.

Calibration de la réponse des PMS

- L'intercalibration des pixels utilise les « Minimum Ionizing Particle » (MIPs) de protons, signal de référence, et les muons.

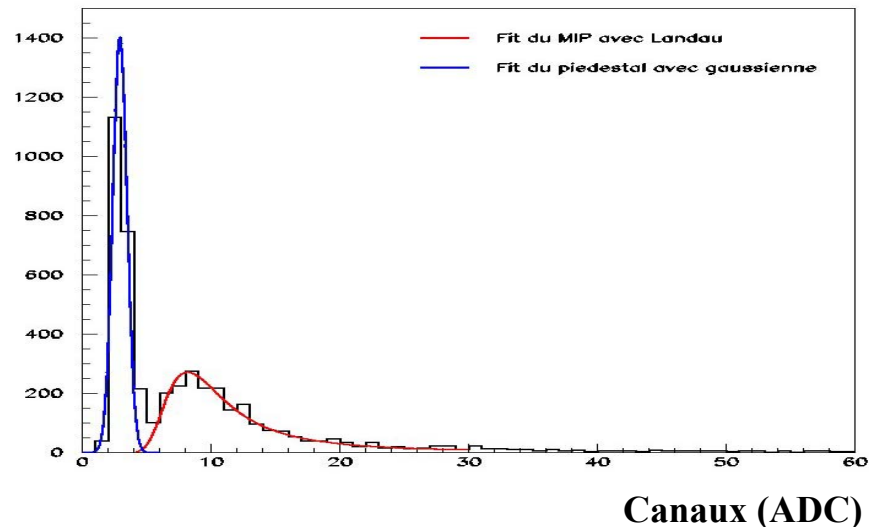
MIP moyen = 6,2 canaux ADC

- La calibration est faite avec les électrons.

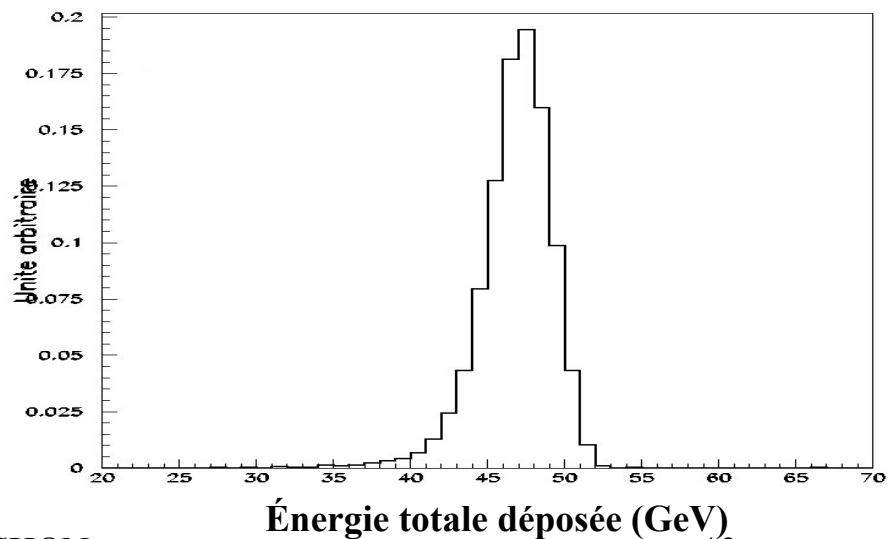
1 canal ADC ~ 1 MeV

- On peut alors mesurer l'énergie des particules.

Événements



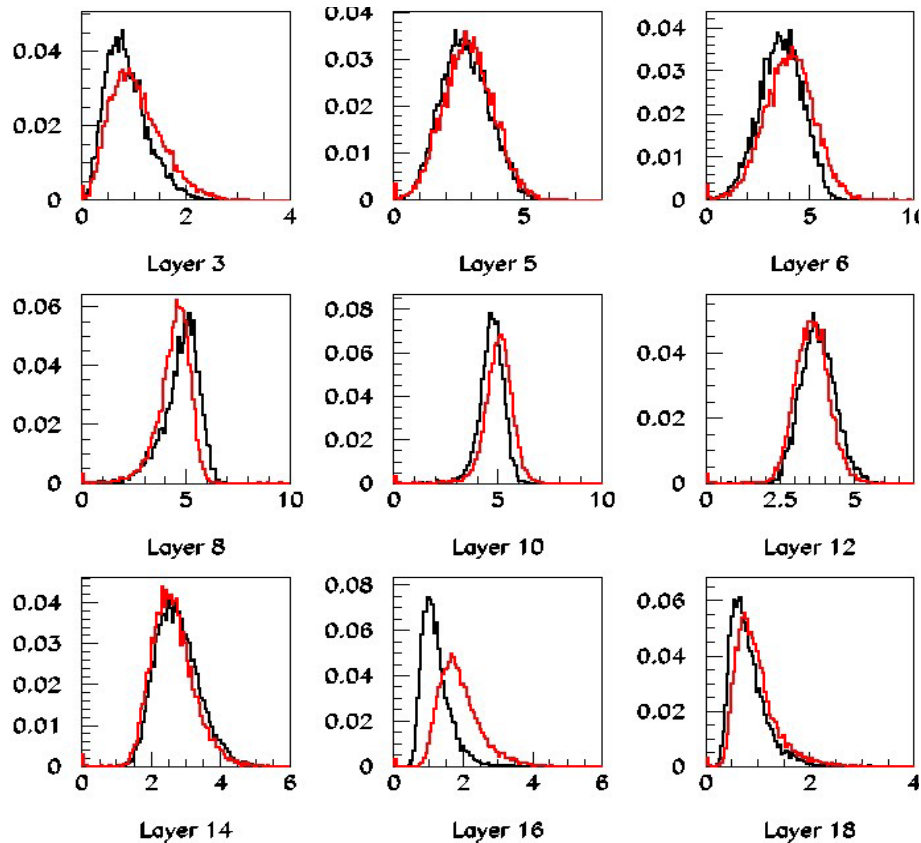
Électrons de 50 GeV



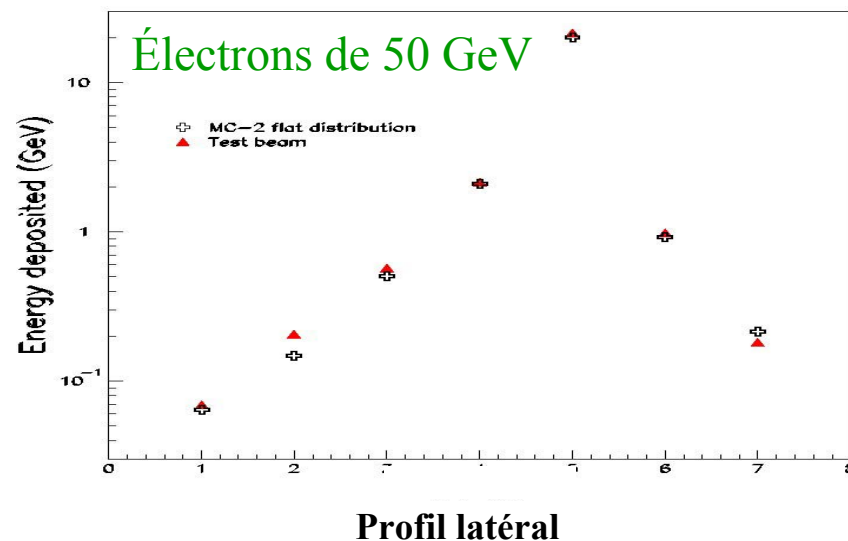
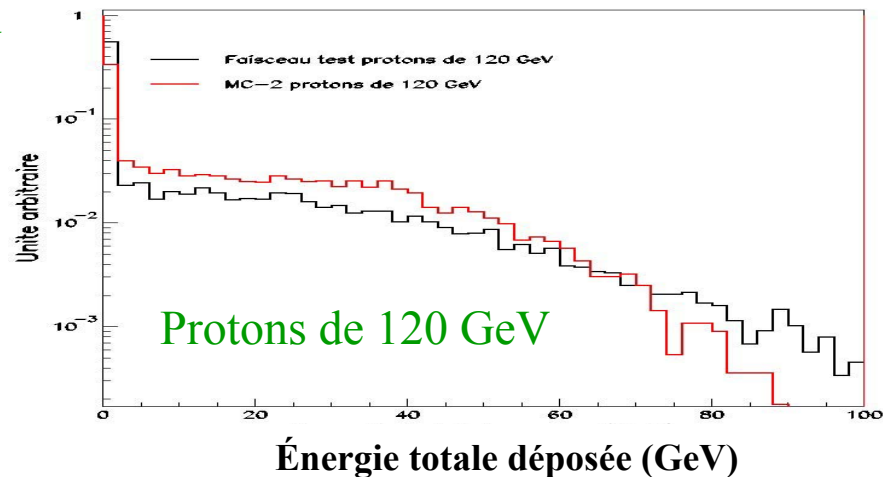
Comparaison données/Monte-Carlo

Les comportements des particules sont en bon accord entre simulation/données.

Énergie déposée par couche électrons de 50 GeV

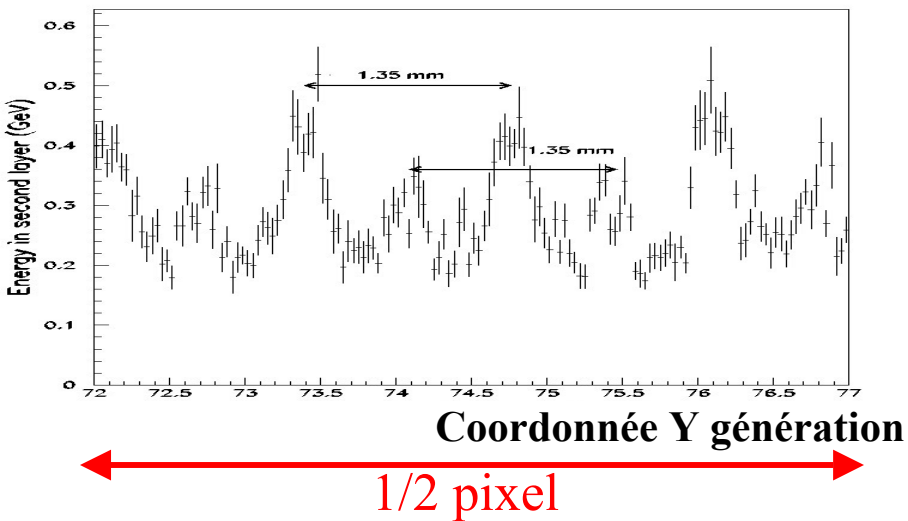


Monte-Carlo Faisceau test

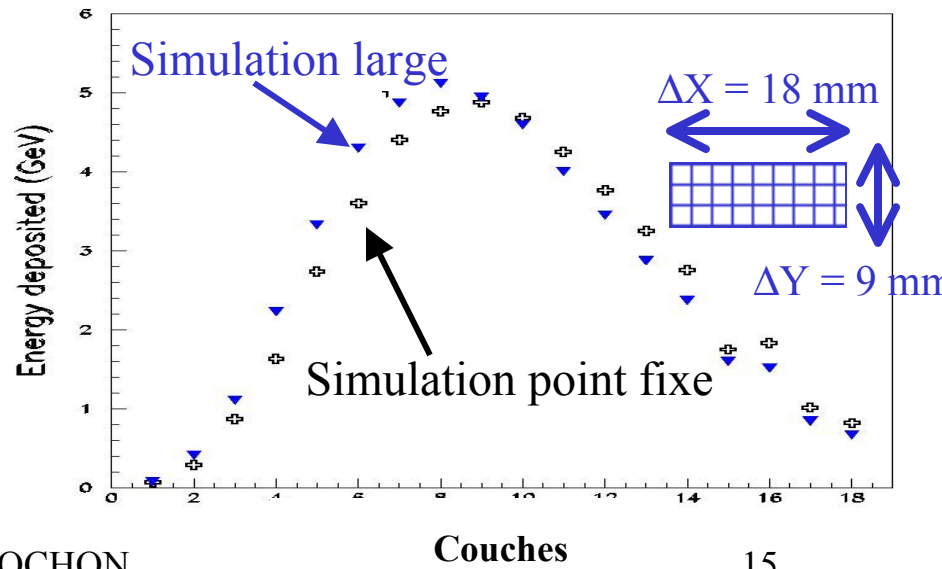
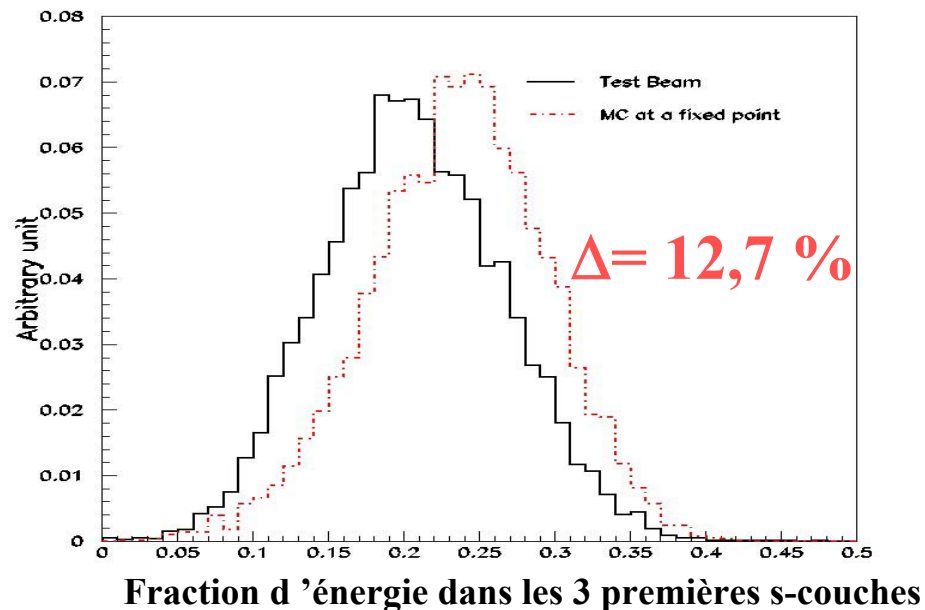


Désaccord du comportement longitudinal

- Dans la simulation, l'énergie déposée est sensible à la position générée, des particules.

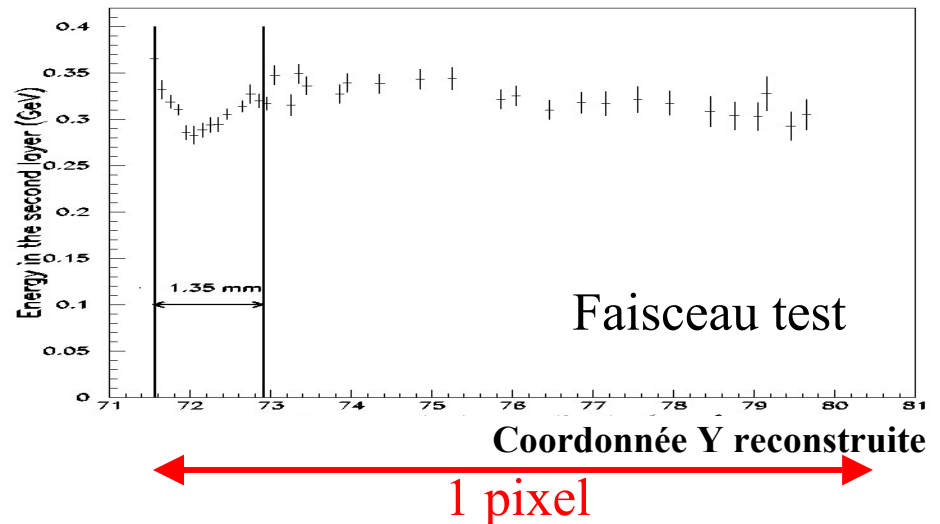
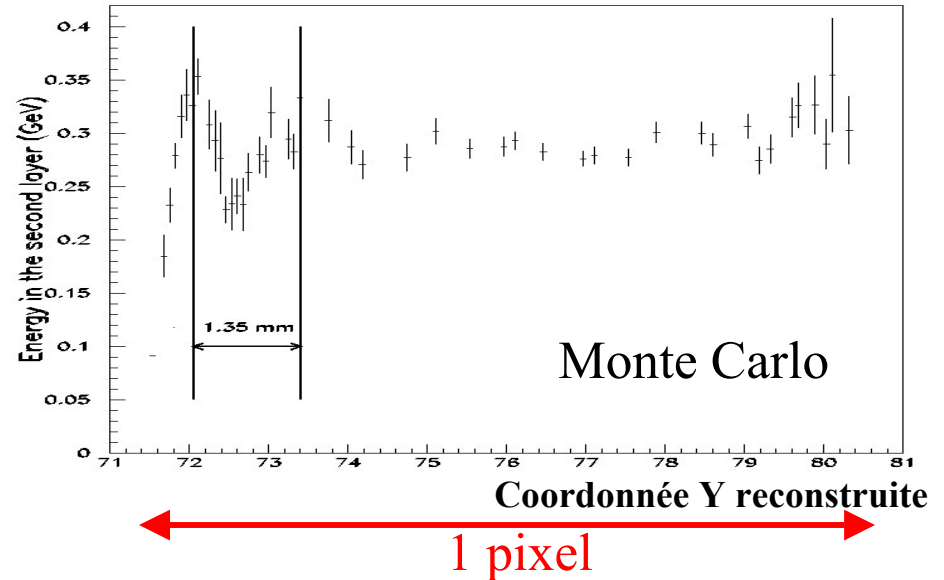


- Le comportement longitudinal est sensible à la taille du faisceau simulée. (Simulation large proche des faisceaux des test 2 pixels × 1 pixel)

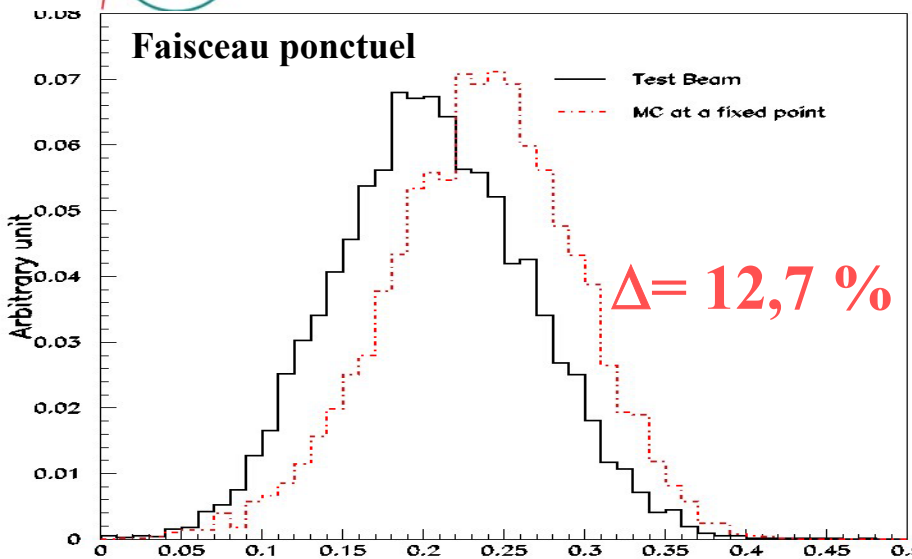


Peut on voir l'effet du point d'impact dans les données?

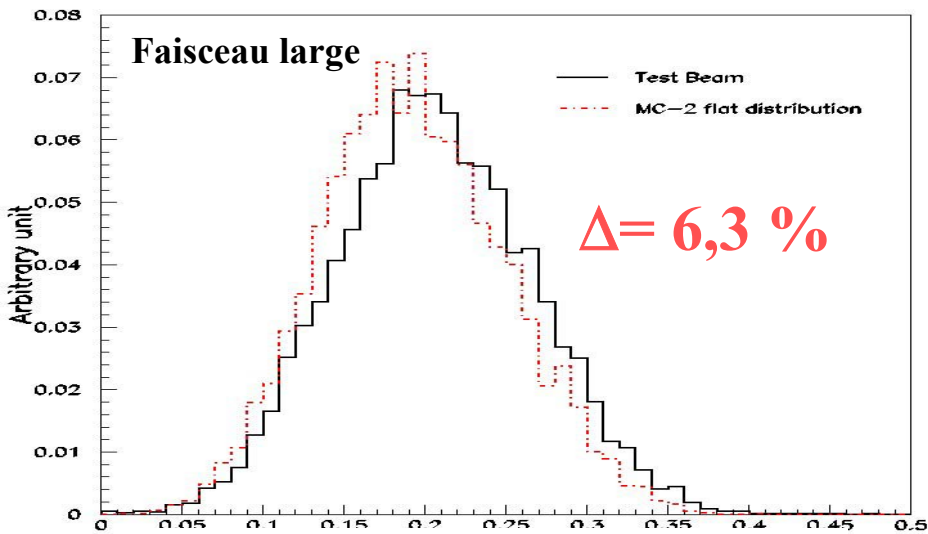
- Pour les tests en faisceau le point d'entrée n'est pas connu, **il faut le reconstruire**.
- Dans la simulation, les **coordonnées reconstruites** sont corrigées en utilisant la relation entre les **coordonnées de génération** et les **coordonnées reconstruites**.
- Le nombre de vagues est limité par la résolution de la reconstruction du point d'impact.



Séparation e/p dans le faisceau test 2002



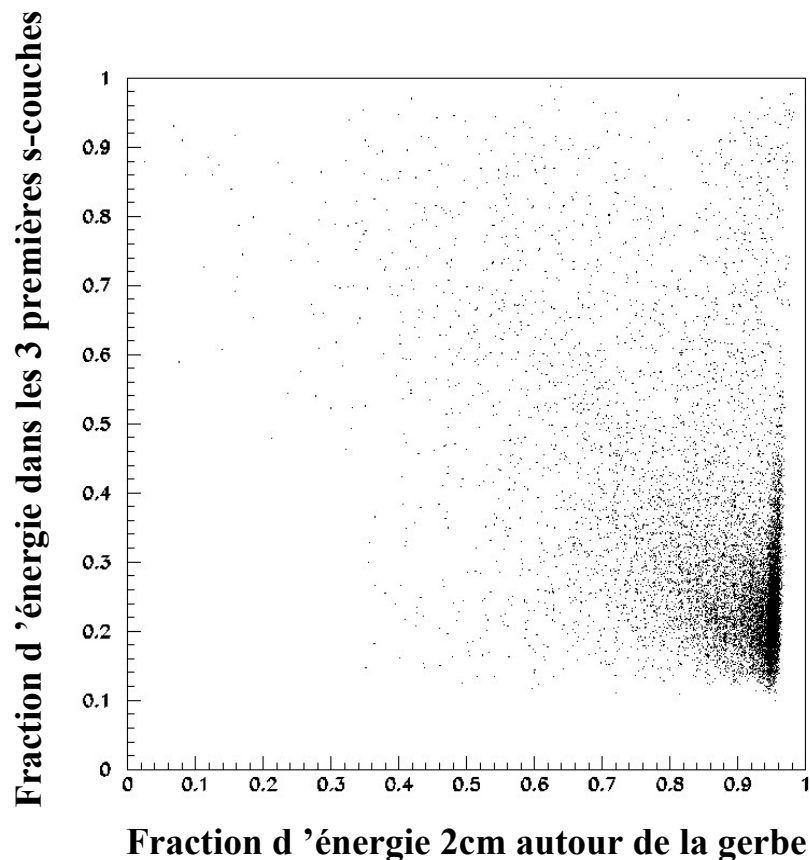
- La structure fine du calorimètre a été observée dans la simulation et dans les données, validant l'utilisation de faisceau large pour la simulation.



- L'accord est meilleur entre les données et la simulation pour un faisceau simulé large par rapport à un faisceau ponctuel.

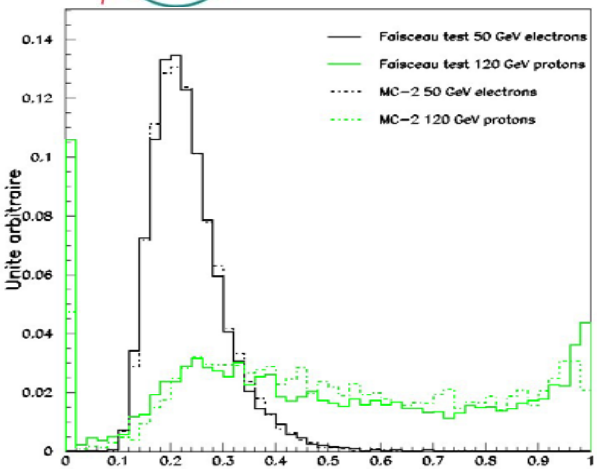
Fraction d'energie dans les 3 premières s-couches

Séparation e/p dans le faisceau test 2002

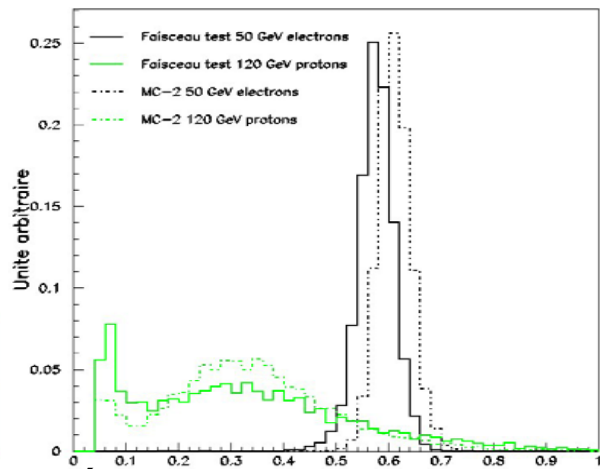


- La contamination pour les positons d'énergie E_e vient essentiellement (75%) des protons d'énergie $E_p = 2 \times E_e$.
- On se place dans la configuration la plus défavorable: **protons de 120 GeV** et **électrons de 50 GeV**.
- Les variables sont sélectionnées par une « Analyse Linéaire discriminante », en choisissant les variables les **moins corrélées**.
- Sur 12 variables testées on ne conserve que les 6 meilleures variables.

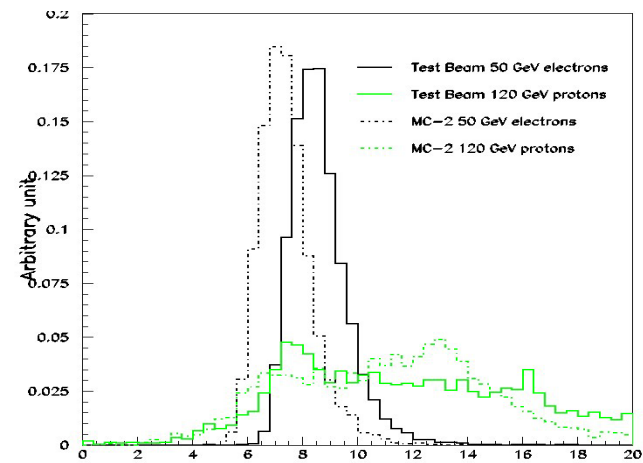
Séparation e/p dans le faisceau test 2002



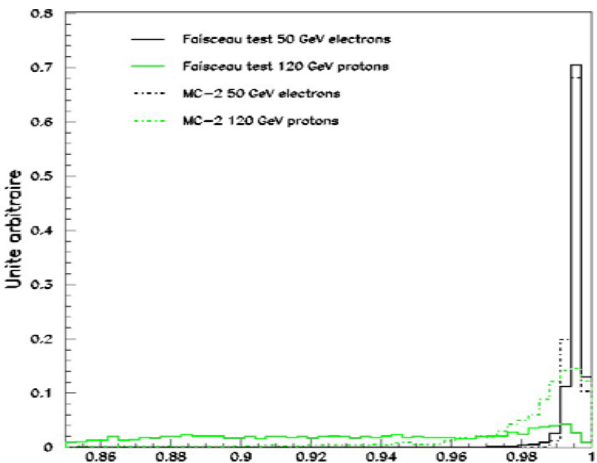
Fraction d'E dans les 3^{es} s-couches



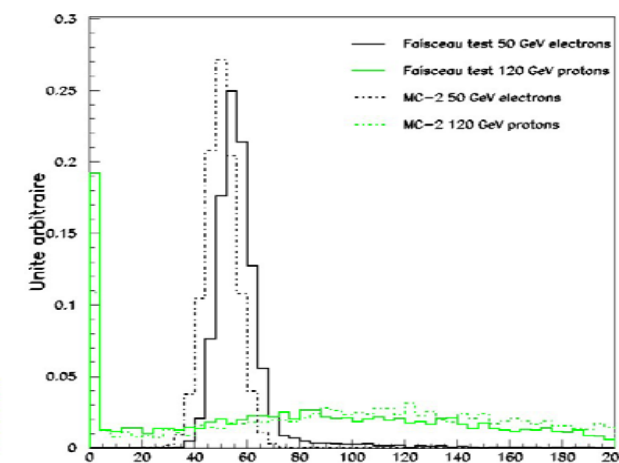
Énergie moyenne par pixel (GeV)



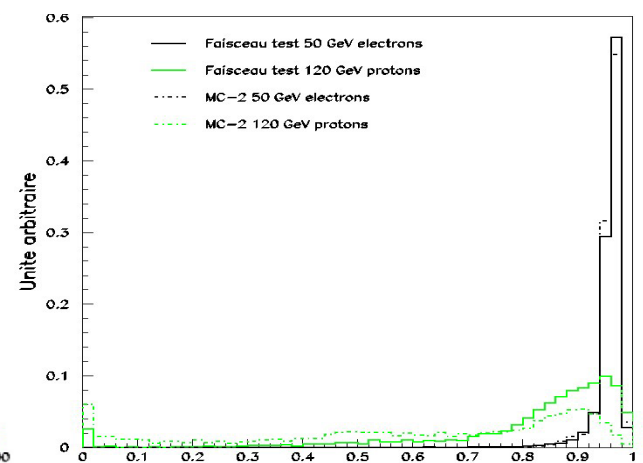
Maximum de la gerbe (couches)



Thrust



Variance en pos. des cellules touchées



Fraction d'E 2cm autour de la gerbe

→ Bon accord entre simulation et données.

Différences résiduelles entre données/MC

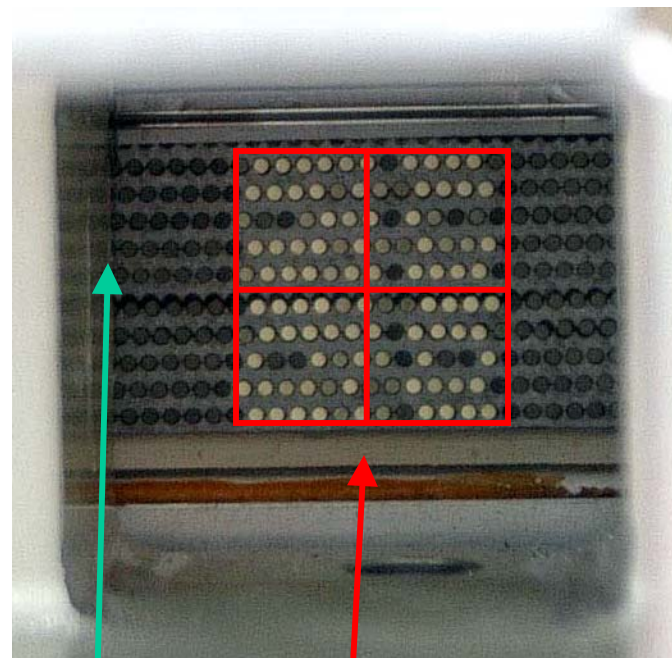
➤ Qualité faisceau:

- ✓ pureté,
- ✓ dimension précise.

➤ Qualité de certaines couches du calorimètre.

- X_0 simulation $\sim 9,33 \pm 0.1$ mm
- X_0 données $\sim 10,23 \pm 0.2$ mm
(préliminaire)

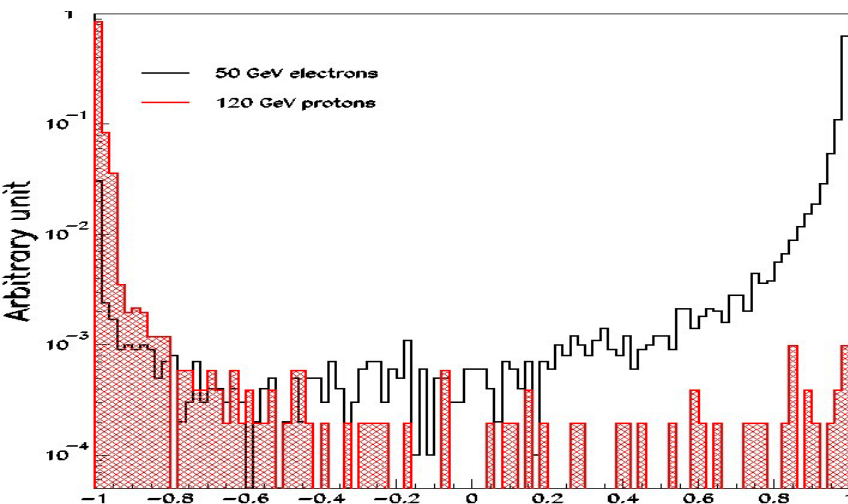
Cas extrême de mauvaise collection de lumière



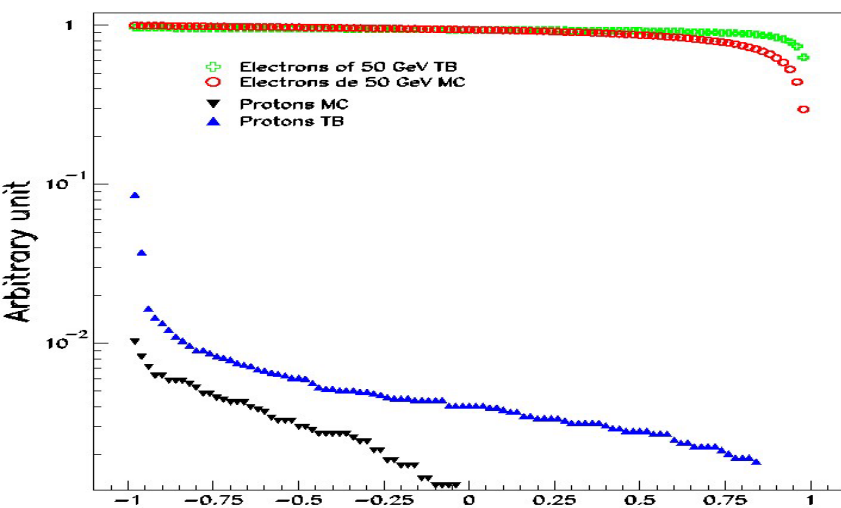
PM 4 pixels

Dernière supercouche

Séparation e/p dans le faisceau test 2002



Résultats du réseau de neurones



Efficacités du réseau de neurones

➤ Réseau **entraîné** avec 3500 protons et 3500 électrons simulés en faisceau large, et **utilisé** sur les données des faisceaux tests.

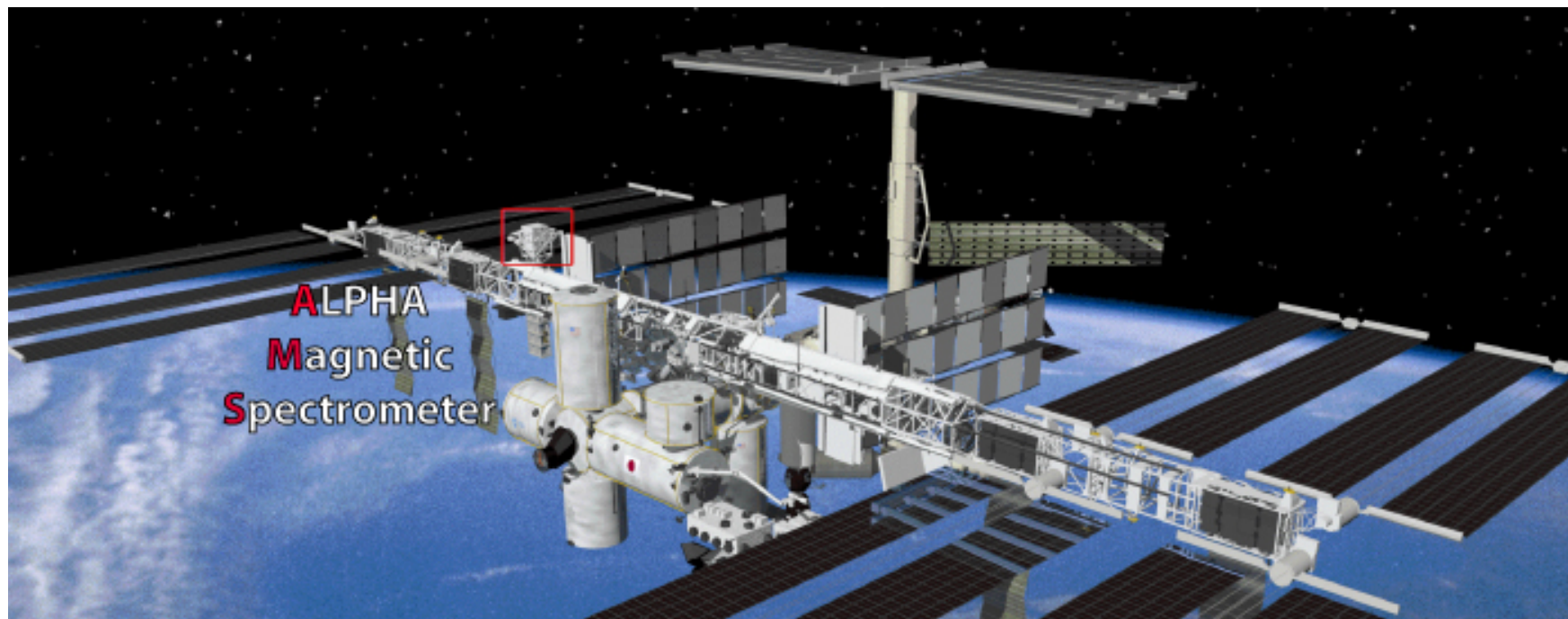
➤ Pour une efficacité de **95 %** d' électrons il reste moins de **0,5 %** des protons (hadrons) du faisceau test.

➤ Étant donné le spectre des rayons cosmiques ($\propto \exp^{(-2,7)}$), la contamination par les protons est plus faible, ce qui augmente le pouvoir réel de rejection.

Conclusion et perspectives

- La validation du réseau de neurones pour la séparation e/p dans le calorimètre ouvre les portes de la séparation pour **tout le détecteur**.
- Dans le cadre de la matière noire supersymétrique, les paramètres des modèles seront étudiés pour évaluer la **capacité de détection** de signaux par AMS-02.

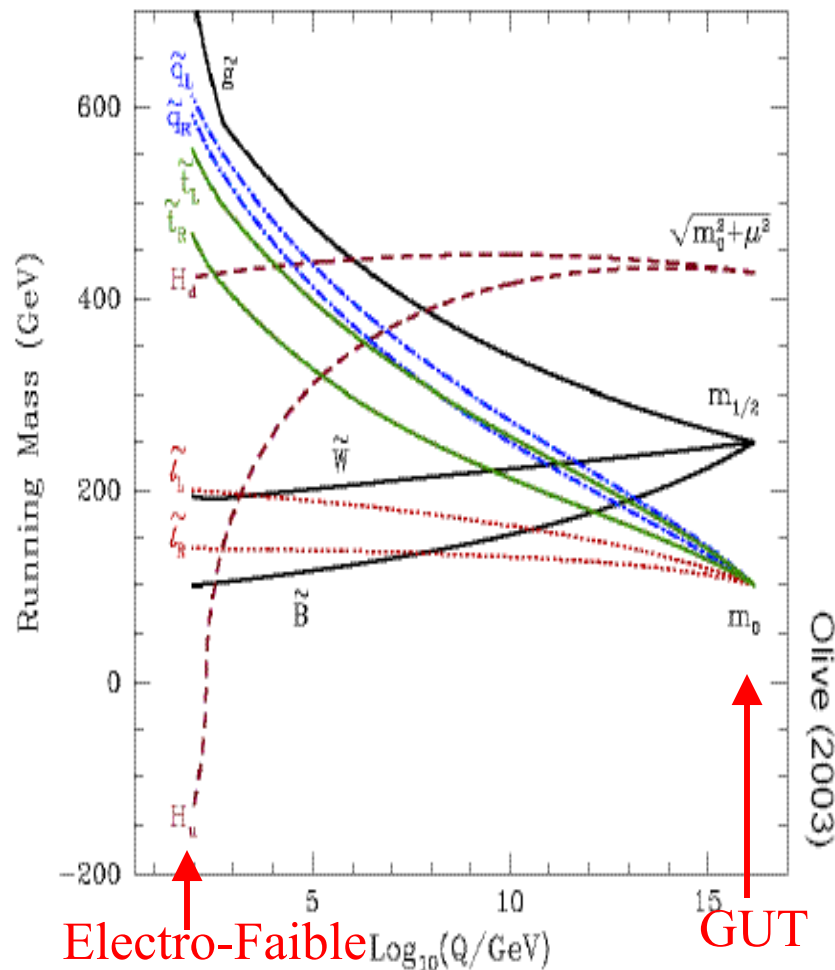
AMS02 installé sur la Station Spatiale Internationale mi-2007 pour 3 ans.



- Motivations physiques et description du détecteur
- Séparation e/p dans les données des tests en faisceau 2002
- Principe du monitoring

Supersymétrie

- SUSY a trop de paramètres pour être prédictif d'où modèles contraints.
- mSugra (5 paramètres) impose à $E_{(GUT)}$:
 - masses gauginos: $M_1 = M_2 = M_3 = m_{1/2}$
 - masses scalaires: $M_{sf} = M_H = m_0$
 - couplages trilineaires : A_0
- Dans mSugra $m_\chi > 40$ GeV (LEP).
- Codes donnant des caractéristiques de SUSY
 - DarkSusy** → flux particules issues SUSY (annihilation + propagation)
 - DarkSuspect** → flux particules issues SUSY (Évolution depuis GUT + **DarkSusy**)
 - Micromegas** → densité relique (Évolution depuis GUT + annihilation)



Matière noire supersymétrique

➤ Les universalités de GUT, comme les masses de juginos, peuvent être **briser**.

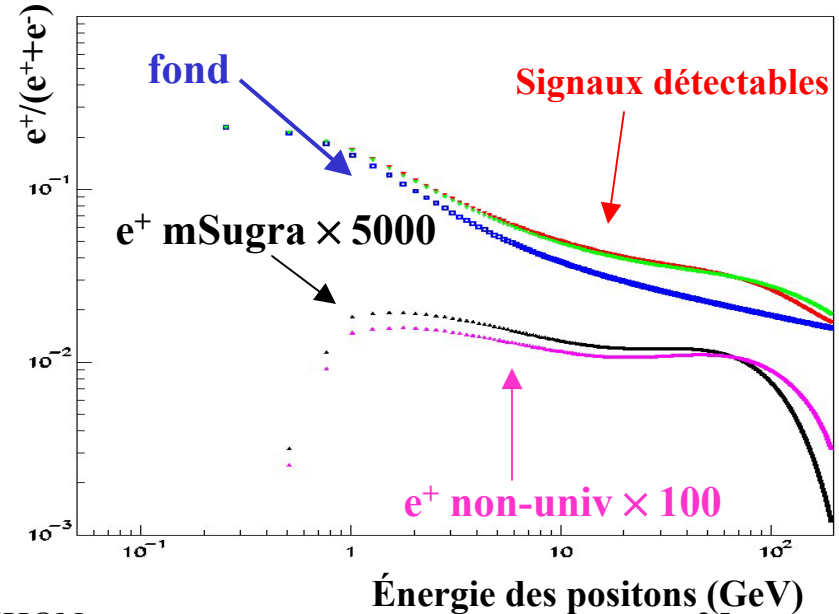
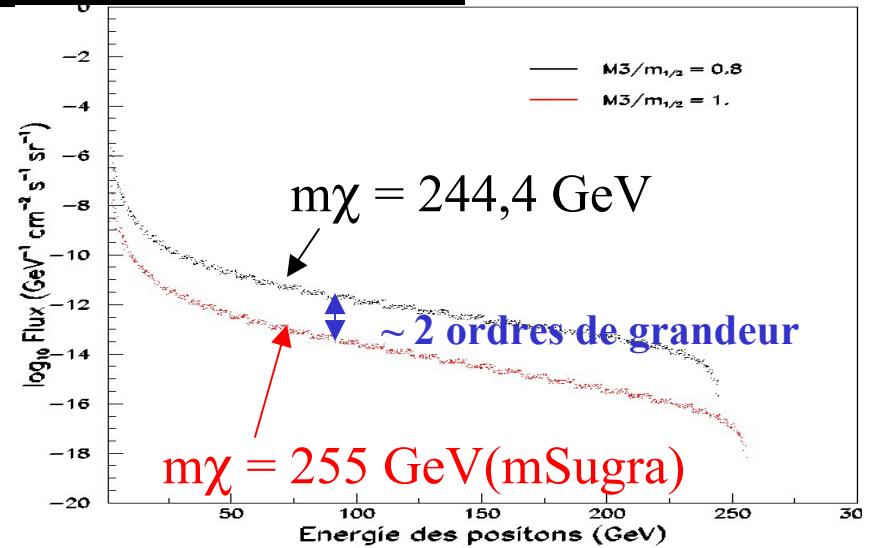
➤ Modèle mSugra ($m_0=1500$ GeV, $m_{1/2}=600$ GeV):

$$\chi^0\chi^0 \rightarrow t\bar{t} (92\%), b\bar{b} (4\%), W^+W^- (2\%), Z^0Z^0.$$

➤ En faisant varier le rapport $M_3/m_{1/2}$ à $E_{(GUT)}$, les taux de branchements changent, pour $M_3/m_{1/2}=80\%$ on a :

$$\chi^0\chi^0 \rightarrow t\bar{t} (70\%), b\bar{b} (1\%), W^+W^- (18\%), Z^0Z^0 (8\%).$$

➤ Cela a pour effet d '**amplifier** les flux ou de les rendre **mous**.



Principe du monitoring: « on line »

Contrôler le fonctionnement du détecteur pendant l'acquisition avec des granularités différentes liées à l'électronique:

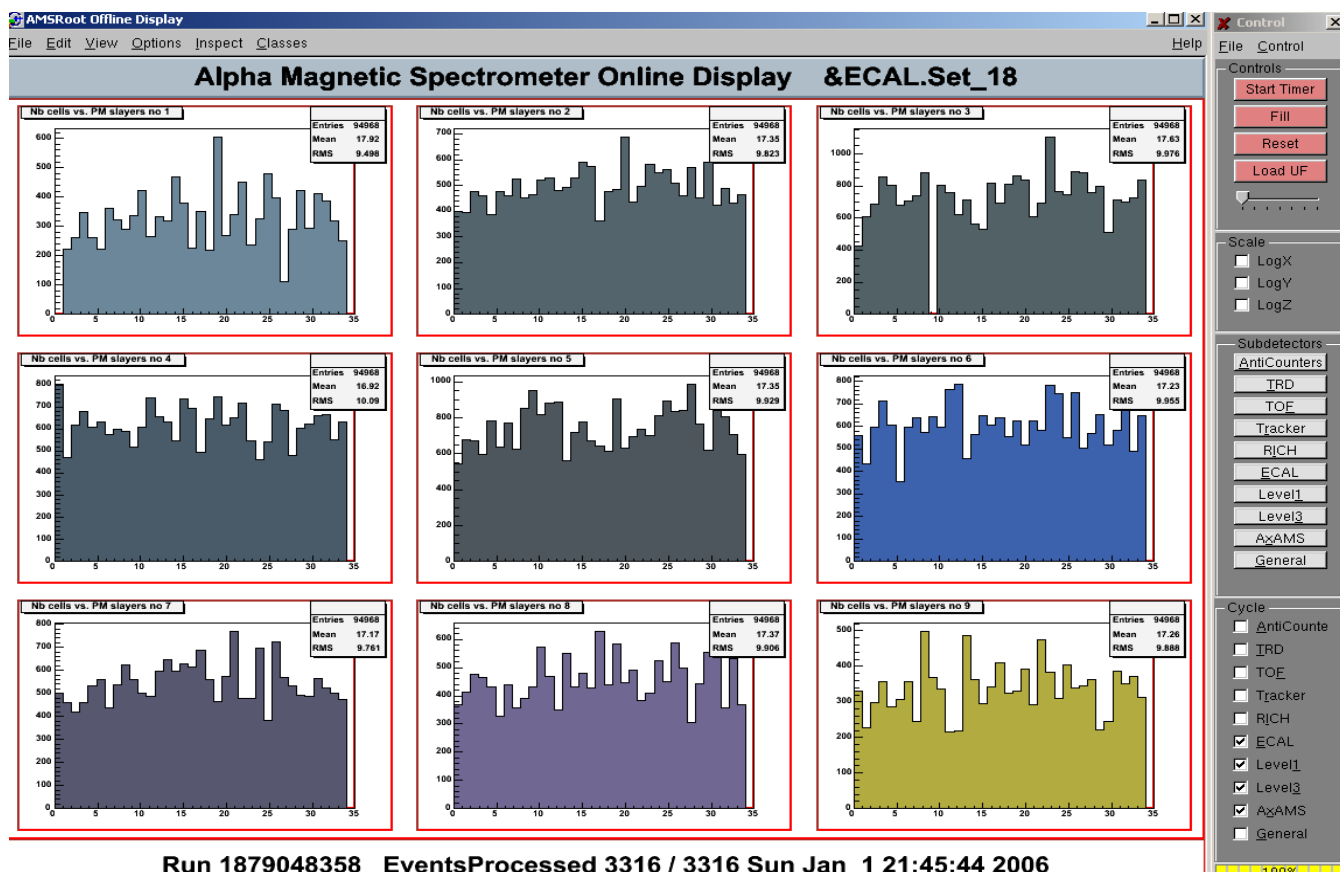
2 boîtes d'électroniques (X-Y)

9 supercouches

36 cartes électroniques

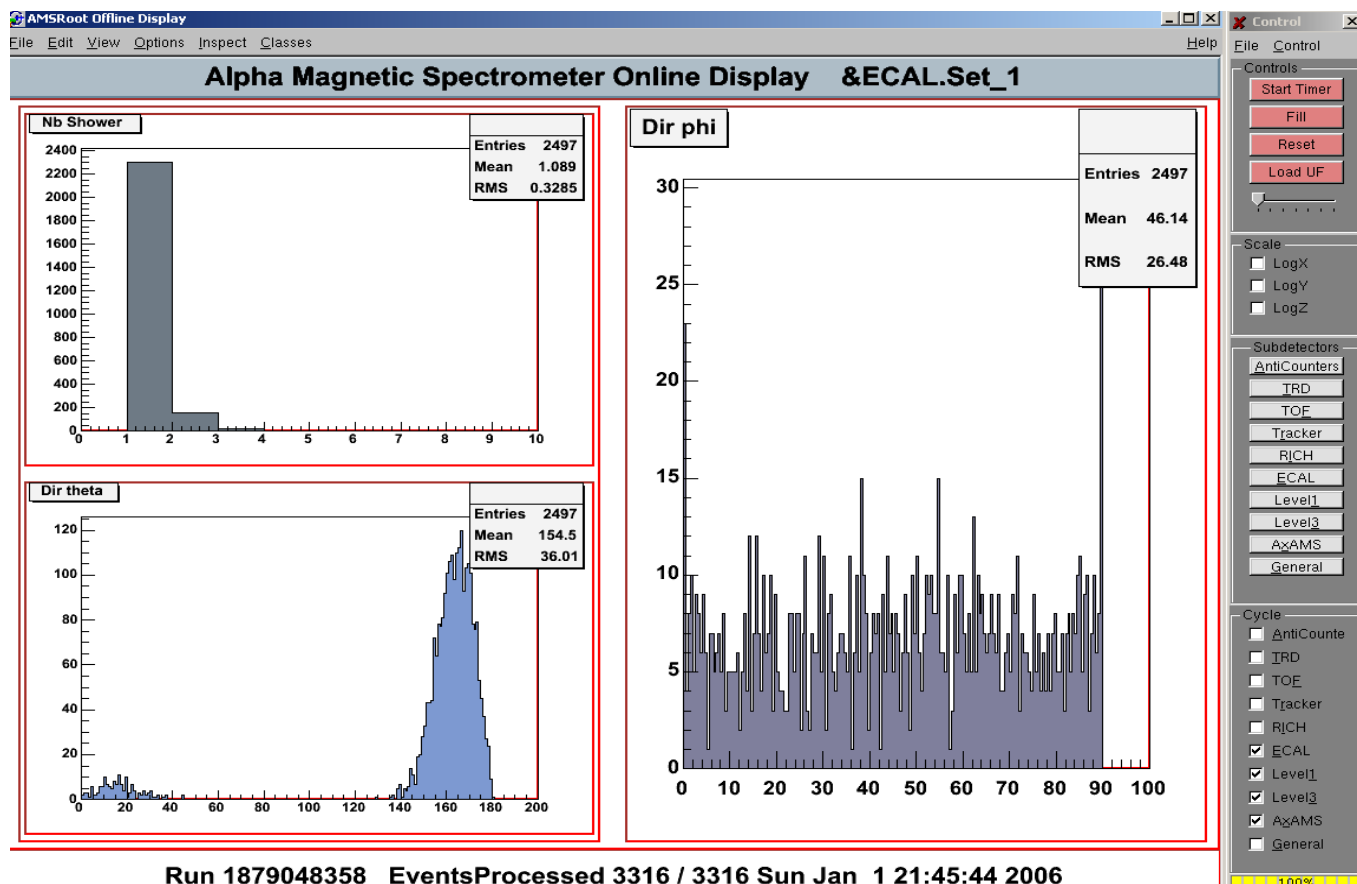
324 PMs

Nombre de coups par PM pour chaque supercouche



Principe du monitoring: « off line »

Voir des effets fins après la reconstruction.



Nombre de gerbes,
Angle θ et φ
de la gerbe.