

# Expérience AMS

## Participation du LAPP

**Expérimentateurs :** L. Brocco, G. Coignet, J. Favier, L. Girard, C. Goy, R. Kossakowski, S. Rosier-Lees, **J-P. Vialle**, M. Yvert

**Equipe technique :** F. Cadoux, J-M. Dubois, D. Fougeron, N. Fouque, R. Hermel, V. Hermel, B. Lieunard, F. Peltier

**Stagiaires :** J-C. Audemer, E. Boucher, A. Crida, E. Delage, G. Millerioux, J-S. Roch, P. Turba

## Collaboration

47 instituts dont 2 laboratoires français : LAPP Annecy et ISN Grenoble.

## Dates Clés

Janvier 1998 : Transport du détecteur pour la phase 1 à Kennedy Space Center

2 Juin 1998 : Décollage de la navette DISCOVERY transportant AMS pour 11 jours

Mars 2004 : Installation du détecteur phase 2 sur la station orbitale internationale ISS pour 3 à 5 ans

## Abstract

*The AMS detector will be the first magnetic spectrometer launched in space for a long duration. A precursor flight on the shuttle DISCOVERY took place in June 1998 to check the technical feasibility, with a detector comprising a permanent magnet, a silicon tracker, a Time-of-Flight system, and an aerogel threshold Cerenkov counter. Though it was only a technological flight, AMS01 collected 100 millions of cosmic rays and published precise measurements of fluxes above and below the geomagnetic threshold. An effect of trapping of secondary particles in an equatorial belt was observed for the first time. For the second phase, the detector AMS02 will be installed in March 2004 for 3 years on the international space station ISS. It comprises a superconducting magnet of 0.86 Tm<sup>2</sup> bending power, a silicon tracker, a time of flight system, a transition radiation detector, a RICH counter, and a lead-Scintillating-fiber electromagnetic calorimeter. AMS will be able to measure with high precision and high statistics the charged cosmic ray fluxes, including light nuclei and their isotopes up to the oxygen, improving our knowledge of spectra by 3 to 4 orders of magnitude. This high sensitivity will allow to search for primordial antimatter (related to CP violation), for non-baryonic dark matter, and will allow to constrain cosmological models, giving a link between infinitely small (particle physics) and infinitely large (cosmology). Gamma ray emission from point-like sources (AGN, GRB, SNR, ...) would also be measured in the GeV to TeV energy range. For AMS02, LAPP shares major responsibilities in the design and construction of the electromagnetic calorimeter, which plays a key role for gamma and lepton physics.*

AMS02 est un spectromètre magnétique de grande acceptance (0.82 m<sup>2</sup>.Sr). Il permet pour chaque rayon cosmique chargé de mesurer les paramètres cinématiques (impulsion et direction), la charge, le signe de l'objet, et sa masse, et ainsi de déterminer sa nature. La redondance des mesures faites sur chaque objet par l'instrument permet d'atteindre un pouvoir d'identification extrêmement élevé : le taux d'erreur sur le signe de la charge d'un noyau est inférieur à 10<sup>-10</sup>, et la séparation attendue électron-hadron de l'ordre de 10<sup>6</sup>. Ce sera la première fois qu'un spectromètre magnétique sera envoyé dans l'espace et mis sur orbite autour de la terre pour une longue durée (3 à 5 ans sur la station spatiale internationale ISS).

Le programme de physique d'AMS apportera une contribution fondamentale à des grandes questions actuelles :

- Recherche d'antimatière primordiale.
- Recherche de l'existence et de la nature de la matière noire non-baryonique.
- Mesure systématique et à haute statistique des flux de particules cosmiques chargées de 1 GeV à 3 TeV.
- Mesure des flux de noyaux légers identifiés en masse jusqu'à  $A < 25$  et en charge jusqu'à  $Z < 25$ .
- Flux de gammas provenant de sources ponctuelles (noyaux actifs de galaxie, sursauts gammas, pulsars, etc ...).

Pour remplir ce programme, AMS02 mesurera avec une grande précision et sur une large bande d'énergie les flux et les spectres en énergie des particules cosmiques chargées : électrons, positrons, protons, antiprotons, noyaux légers jusqu'à l'oxygène avec leur nature isotopique, et éventuellement anti-noyaux. Le domaine d'énergie ira de quelques centaines de MeV à 3 TeV pour les électrons, positons, et les protons. Ainsi, pour chaque type de particule, cette expérience permettra d'une part de gagner de 3 à 4 ordres de grandeur en précision statistique par rapport aux mesures existantes, et d'autre part, d'étendre le domaine de mesure en énergie. AMS02 mesurera aussi les rayons gammas de haute énergie, typiquement de 1 à 300 GeV, domaine peu ou pas exploré où l'on s'attend à des phénomènes particuliers ou des effets de seuil. AMS couvrira la région d'énergie entre les expériences satellites qui vont jusqu'à 10 GeV et les expériences terrestres qui ne sont sensibles jusqu'à présent qu'au dessus de 200 GeV.

**AMS01.** Un vol précurseur de 11 jours sur la navette spatiale américaine DISCOVERY en juin 1998 a permis de tester la technologie du détecteur et l'environnement spatial, et d'enregistrer plus de 100 millions de rayons cosmiques. Pour ce vol, l'instrument comprend un aimant permanent de 0.15T, 6 plans de détecteur silicium, des compteurs temps de vol à scintillation, et enfin un détecteur Cerenkov à seuil à radiateur aérogel pour lequel le LAPP a fait la conception de la cellule de base et a réalisé l'électronique de lecture. Les très nombreux

résultats obtenus ont déjà fait l'objet de 5 publications, avec la meilleure limite publiée sur l'antimatière de  $1.1 \times 10^{-6}$  pour le rapport antihélium/hélium, et la mesure précise des flux de protons, d'électrons, et d'hélium. Ce vol a aussi donné des résultats inattendus aux énergies sous la coupure géomagnétique, à savoir que des particules (protons, électrons, hélium) sont piégées par le champ magnétique terrestre et forment un anneau autour de l'équateur, dans lequel on trouve 3 à 4 fois plus de positons que d'électrons, ainsi que l'isotope 3 de l'hélium.

Le groupe LAPP a travaillé sur l'interprétation des données recueillies et a été le premier dans la collaboration à démontrer que les flux secondaires observés sous la coupure géomagnétique viennent d'interactions des particules cosmiques primaires avec l'atmosphère, et que leur comportement est dû à la structure du champ magnétique terrestre.

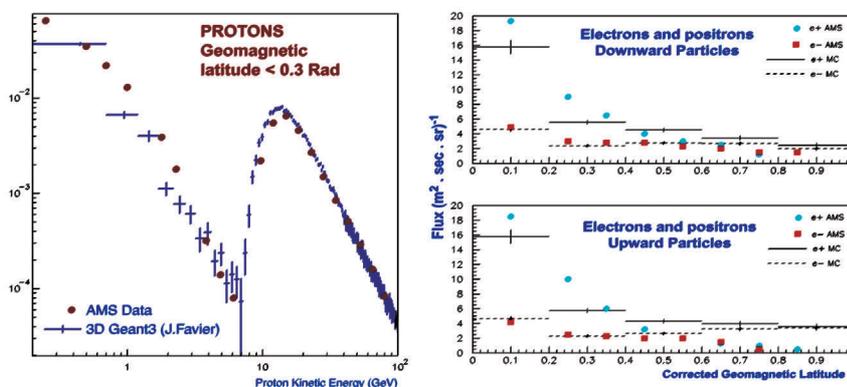


Figure 1 : Simulation de flux de protons et de leptons et comparaison avec les données

D'autres résultats, sur les antiprotons et les deutérons, seront publiés prochainement par la collaboration. Le groupe a présenté les résultats au nom de la collaboration AMS dans 5 conférences.

**AMS02.** Pour la phase 2, le détecteur AMS02 comprend un aimant supraconducteur donnant un champ de 0,86T, 8 plans de détecteur de traces en silicium, un système de temps de vol fait de 4 plans de scintillateurs, un détecteur à radiation de

transition, un compteur Cerenkov de type RICH, et un calorimètre électromagnétique (ECAL).

Le ECAL est formé d'un sandwich de feuilles de plomb et de couches de fibres scintillantes, lues à une extrémité par des photomultiplicateurs multi-anodes. Ce détecteur joue un rôle essentiel pour la mesure des particules électromagnétiques (électrons, positons, gammas) et pour leur identification. Le groupe AMS du LAPP a la responsabilité de l'électronique du ECAL, de son instrumentation (système de collection de lumière, mécanique d'équipement), et de l'assemblage de ce détecteur. La partie mécanique (comprenant les blindages magnétiques, les guides de lumière, les supports de photomultiplicateurs et les joints, ainsi que les panneaux de support en aluminium) a été étudiée, testée, et enfin montée sur un modèle d'ingénierie en vue des tests de qualification spatiale qui doivent être effectués en Chine.

La difficulté de cette étude tenait entre autres aux conditions exigées pour une expérience spatiale : tous les éléments doivent pouvoir travailler dans un environnement avec des radiations et à des températures entre  $-40^{\circ}\text{C}$  et  $+50^{\circ}\text{C}$ , supporter des accélérations jusqu'à 15 g et des vibrations très intenses en dessous de 50 Hz.

L'électronique doit en plus de ces conditions travailler sans être perturbée au milieu des ondes électromagnétiques créées par le plasma de particules chargées qui entoure la terre.

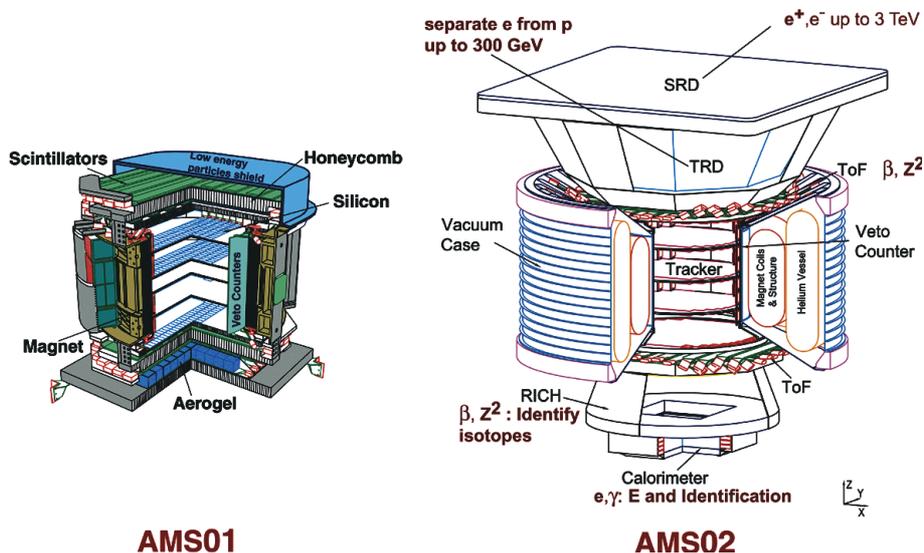
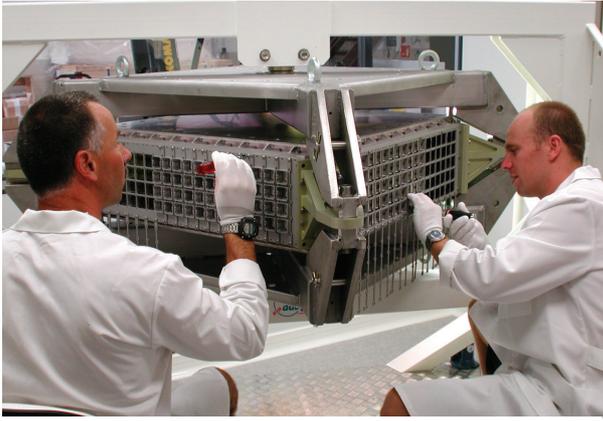
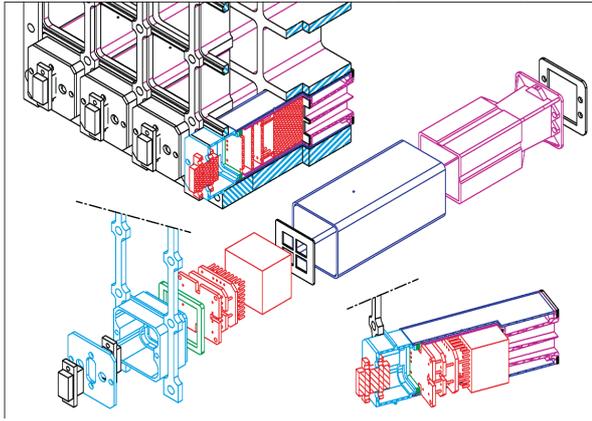


Figure 2 : Les détecteurs pour AMS phase 1 et pour AMS phase 2 montrés à la même échelle



a. Assemblage du modèle d'ingénierie au LAPP



b. Détail de la mécanique d'équipement et du système de collection de lumière

Figure 3 : Le calorimètre électromagnétique

L'électronique front-end doit fournir une gamme dynamique de 60.000. Elle comporte entre autres un circuit intégré qui a été développé et dont un prototype est en cours de test. Pour tous ces développements, et en vue de l'intégration du ECAL, une salle blanche a été construite et le groupe s'est équipé d'une enceinte thermique complétée par un système de vide développé au LAPP. Pour les tests du calorimètre, un banc de tests en rayons cosmiques a été étudié et réalisé.

Enfin, le groupe a porté ses efforts sur l'étude des problèmes liés à la physique des sources gammas de haute énergie, en

démontrant tout d'abord la faisabilité d'un système de déclenchement sur les gammas, utilisant pour la réjection du bruit de fond principal les deux critères d'extension latérale de la gerbe et de l'énergie déposée (figure à droite). L'étude de l'électronique du système de déclenchement sur les gammas et de sa réalisation est en cours.

Le groupe a aussi étudié les performances attendues d'AMS pour des sources connues. La figure ci-dessous à gauche montre les sources vues par EGRET et la couverture du ciel par le calorimètre d'AMS.

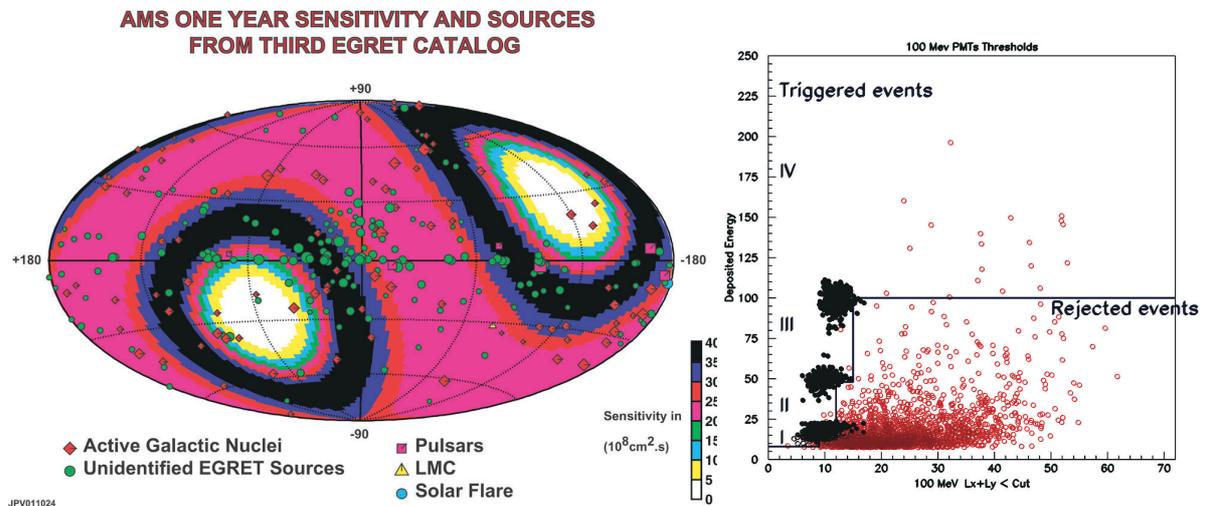


Figure 4 : Sources vues par EGRET et la couverture du ciel par le calorimètre d'AMS.