

Expérience AMS

Participation du LAPP

Physiciens : J.P. Vialle, B. Ronceux, J. Favier, R. Flaminio, R. Kossakowski

Ingénieurs : N. Fouque, V. Hermel, C. Girard, F. Cadoux

Stagiaire : D. Stubert

Collaboration

Collaboration internationale regroupant 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

Mai 2003 : 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. For this flight, AMS was equipped with a permanent magnet weighting about 2 tons, with a $BL^2=0.15 \text{ Tm}^2$ and with an acceptance of $\sim 1 \text{ m}^2\text{Sr}$. Though it was only a technological flight, AMS was able to collect 100 millions of cosmic rays and to get surprising new physics results. For this flight, the LAPP group was involved in the design and construction of the aerogel Cerenkov detector for the identification of positrons and antiprotons.

For the second phase AMS will be installed in May 2003 for 3 years on the international space station ISS. It will be equipped with a superconducting magnet of 0.86 Tm^2 bending power, a silicon tracker, a time of flight system, a transition radiation detector, a RICH counter, and a lead-Scifi electromagnetic calorimeter. AMS will therefore 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 5 order of magnitudes. 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). For this second phase, LAPP shares major responsibilities in the design and construction of the electromagnetic calorimeter.

L'instrument AMS est un spectromètre magnétique de grande acceptance ($0.82 \text{ m}^2\text{Sr}$). 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. Il permet ainsi de déterminer la nature de chaque rayon cosmique. De plus, la redondance des mesures faites sur chaque objet permet d'avoir des taux de réjection des fausses identifications extrêmement élevés : le taux d'erreur sur le signe de la charge d'un noyau est inférieur à 10^{-10} . Ce sera la première fois qu'un spectromètre magnétique sera mis sur orbite autour de la terre et envoyé dans l'espace pour une longue durée (3 ans sur la future station orbitale internationale).

AMS permettra de mesurer 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 antinoyaux. Le domaine d'énergie atteindra 5 TeV pour les électrons, les positrons et les protons.

Pour chacun de ces types de particules, AMS permettra de gagner plusieurs ordres de grandeur par rapport aux mesures existantes. Ainsi par exemple seulement 600 antiprotons ont été observés par l'ensemble des expériences d'astroparticules depuis 40 ans, ce qui ne permet aucune contrainte sur un modèle cosmologique (Leaky box, DR, ...)

alors qu'AMS devrait enregistrer plus de 500 000 antiprotons.

Les mesures faites par AMS apporteront une contribution fondamentale sur 3 grandes questions actuelles : l'existence d'univers d'antimatière, l'existence de matière noire non-baryonique, et les modèles décrivant les mécanismes des galaxies.

Existe-t-il des univers d'antimatière? Les mesures faites aujourd'hui, essentiellement par des expériences en ballon, n'ont pas une sensibilité suffisante pour espérer répondre à cette question. Or, l'absence d'univers d'antimatière implique une violation de CP (et une violation du nombre baryonique ce qui n'a jamais été observé) à un niveau tel qu'il devient incompatible avec le modèle standard (SM), et avec le modèle supersymétrique minimal (MSSM, en tenant compte des résultats récents sur la masse minimum du boson de Higgs). L'existence ou non d'antimatière cosmique a aussi des conséquences drastiques sur le modèle du Big-bang et l'inflation. L'observation d'un seul noyau d'antimatière (Hélium ou Carbone) serait en soit une découverte extraordinaire. Mais en cas de non-observation, AMS porterait le rapport antimatière sur matière à 10^{-9} , alors que les expériences en cours ne pourront descendre au-dessous de 2.10^{-6} (AMS a atteint 10^{-6} dès le vol précurseur) et les expériences projetées ne pourront pas faire mieux que 10^{-7} .

Les mesures cosmologiques montrent que la matière noire ne peut pas être entièrement de nature baryonique. Un candidat à la matière noire est le neutralino, particule supersymétrique neutre la plus légère prédite par le MSSM. La matière noire pourrait se manifester par les produits secondaires des annihilations neutralino-antineutralino dans le halo des galaxies : positrons, antiprotons, ou gammas. La capacité de découverte de particules supersymétriques et de matière noire dépend beaucoup des paramètres du modèle MSSM. L'observation demande beaucoup de précision car les positrons et les antiprotons peuvent aussi être produits par les collisions des protons cosmiques sur la matière galactique. Les produits d'annihilation des neutralinos seraient donc vus comme des distorsions des spectres des particules secondaires des collisions de protons cosmiques. Les quelques dizaines d'antiprotons et de positrons observés à ce jour ne permettent pas d'apporter de réponse. AMS devrait mesurer près de 10^8 positrons (jusqu'à 5 TeV d'énergie) et environ 500 000 antiprotons, en même temps que les protons et électrons, permettant des rapports de flux en fonction de l'énergie très précis.

AMS 02 IN CARGO BAY

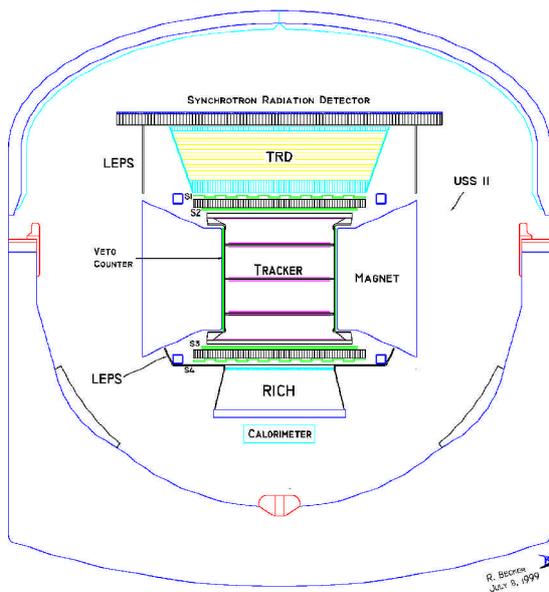


Fig. 1 : Schéma d'AMS02 dans la soute de la navette spatiale

AMS mesurera les flux de noyaux légers isotope par isotope avec une grande précision jusqu'à l'oxygène. Ces mesures représentent une étude systématique des rayons cosmiques chargés. La mesure précise des rapports D/p, He3/He4, Li6/Li7, Be10/Be9 est essentielle pour la compréhension de nombreux phénomènes dans notre galaxie : vent galactique, confinement, fixation des paramètres des modèles. AMS pourrait aussi mesurer les rayons gammas de haute énergie, typiquement de 1 à 300 GeV, et ainsi couvrir le trou dans la gamme d'énergie entre les expériences satellites qui vont jusqu'à 20 GeV, et les expériences terrestres qui sont sensibles au-dessus de 200 GeV.

AMS est construit pour mesurer les paramètres suivants :

- La charge Q à partir des pertes d'énergie dE/dx des particules dans le détecteur de traces au silicium et dans les compteurs à scintillation.
- L'impulsion et le signe des particules chargées par la mesure de leur déflexion dans le champ magnétique grâce aux 8 plans de détecteur de traces au silicium. La résolution sera typiquement $\Delta P/P \cong 1,5\%$ pour une particule de 10 GeV/c. L'énergie des particules électromagnétiques sera mesurée par le calorimètre.
- La vitesse β par le détecteur Cerenkov RICH, et donc les masses des particules en associant cette mesure à celle de l'impulsion des traces correspondantes.
- La nature des particules sera signée par les mesures de temps de vol et d'ionisation, par le calorimètre et le détecteur à radiation de transition pour les électrons/gammas de haute énergie, et par le détecteur RICH pour les noyaux légers.

Le vol précurseur de 11 jours (phase 1) sur la navette spatiale américaine DISCOVERY en juin 1998 a permis de tester l'environnement spatial, de donner une limite meilleure que les limites actuelles sur les rapport antihélium/hélium (Fig. 2), et d'obtenir des résultats surprenants, à savoir que des particules (protons, électrons, hélium) sont piégées par le champ magnétique terrestre et forment un anneau autour de l'équateur. A ce niveau, on trouve 3 à 4 fois plus de positrons que d'électrons, et si on trouve aussi de l'hélium, il s'agit de l'isotope 3! (Fig. 3)

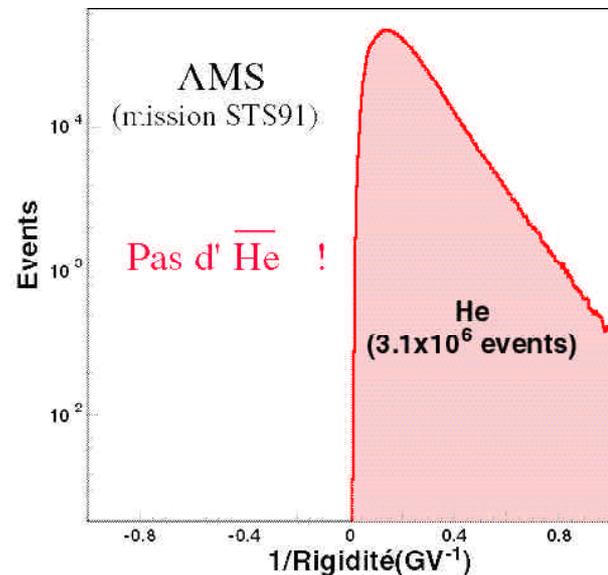


Fig. 2 : Si He et \bar{He} ont le même spectre, alors le rapport \bar{He}/He est $< \sim 1.1 \cdot 10^{-6}$ jusqu'à 140 GeV

Dans cette première phase, les laboratoires français de l'ISN Grenoble et du LAPP ont concentré leurs efforts sur l'identification de particules qui, pour le vol précurseur sur la navette, se faisait par un détecteur Cerenkov à seuil à radiateur aérogel. Le groupe du LAPP a assuré la conception du détecteur et la réalisation de l'électronique tandis que Grenoble a pris en charge la mécanique et le montage du détecteur.

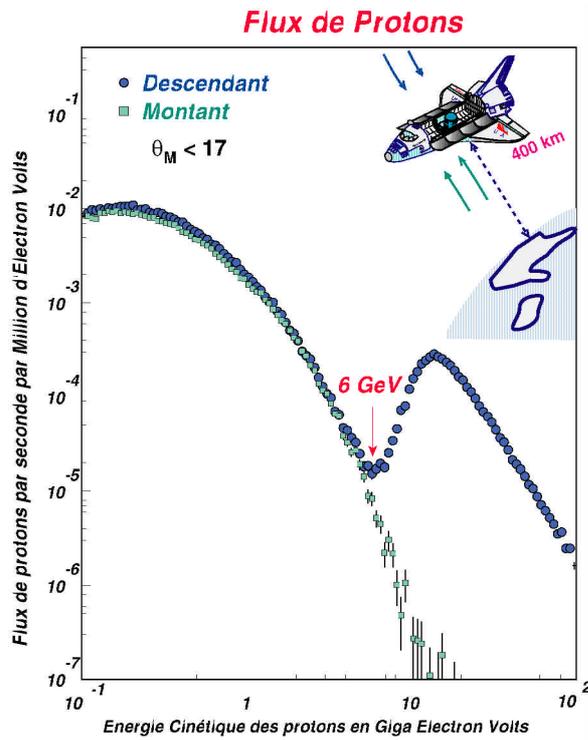


Fig. 3 : Flux relatif de protons se dirigeant vers la terre (descendant) et vers l'espace (montant) dans la région équatoriale. Comme on le voit, en-dessous de 6 GeV, les flux sont égaux

Pour la phase 2, l'équipe travaille depuis l'été 1998 sur le calorimètre électromagnétique, élément essentiel du détecteur car il doit non seulement mesurer les énergies des particules électromagnétiques et leurs directions avec une grande précision, mais il doit aussi permettre la séparation entre ces particules et les hadrons avec une réjection de 4 ordres de grandeur. Pour réaliser ceci, le choix s'est porté sur un sandwich fin de fibres scintillantes et de plomb (fig. 4), croisé chaque $2 X_0$ en profondeur, d'une profondeur de $16 X_0$. Ce système permet de mesurer à la fois les profils longitudinal et transversal de la gerbe: à chaque X_0 on mesure l'énergie déposée, la position

dans une direction, et la dimension transversale de la gerbe. Le LAPP a fait une étude systématique par simulation afin de définir les paramètres nécessaires pour atteindre les per-

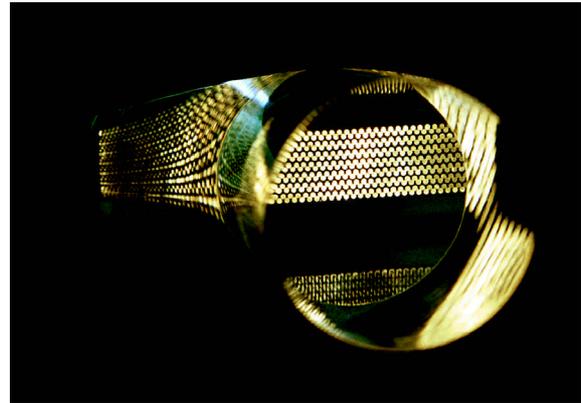


Fig. 4 : Calorimètre électromagnétique : cellule test

formances requises par AMS.

L'équipe a entrepris la construction d'un banc cosmique pour tester les prototypes de calorimètre sans avoir besoin de passer en faisceau pour les premières études. Le groupe travaille maintenant sur la mécanique du calorimètre et de son équipement afin de répondre aux contraintes très sévères des expériences spatiales. Il étudie aussi l'électronique analogique de lecture. Il a la responsabilité de la simulation et de l'analyse pour ce sous-détecteur.

Rapports AMS

Analysis of the aerogel threshold Cerenkov data from AMS flight (STS-91)

F. Barao et al., LAPP-EXP-99.06.

Voir aussi liste des publications et communications à des conférences en fin de rapport.

