

AMS : Recherche dans l'espace d'antimatière primordiale, de matière noire et étude des rayons cosmiques

Observer et mesurer les rayons cosmiques avec une précision jamais atteinte pour sonder la matière dans ses formes les plus mystérieuses : matière noire, antimatière primordiale, étrangelets ... C'est le programme que se propose de remplir l'expérience AMS avec un spectromètre magnétique supraconducteur qui sera bientôt installé sur la station spatiale internationale.

Introduction

AMS est une expérience de physique fondamentale qui a pour ambition de s'attaquer aux plus grandes énigmes posées par notre Univers :

L'Univers est-il constitué exclusivement de matière, ou bien existe-t-il des étoiles d'antimatière comme le suggère la théorie du Big-Bang ? Quelle est la nature de la matière noire, invisible, qui constitue 90 % de la masse de l'Univers ?

Pour répondre à ces questions, l'expérience AMS mesurera les rayons cosmiques chargés de tous types simultanément dans le domaine d'énergie du GeV au TeV, avec une grande précision et une haute

statistique. Il est pour cela nécessaire de faire les observations au-delà de l'atmosphère terrestre. L'instrument (7 tonnes, 3 m x 3 m x 3 m) est un spectromètre magnétique comprenant un aimant supraconducteur de 0,86 T.m² de puissance de courbure. Il s'agira du premier spectromètre magnétique

Points forts

Construction et tests de qualification du Calorimètre Electromagnétique (ECAL).

Analyse des performances du ECAL et calibration.

Etudes des capacités de détection de la matière noire non baryonique en utilisant tous les types de rayons cosmiques chargés.

Dans le GDR-SUSY, Sylvie Rosier-Lees est membre du Conseil de groupement, tandis que Corinne Goy est co-coordinatrice du groupe « Matière Noire et complémentarité avec les collisionneurs ».

Jean-Pierre Vialle est Chef du projet AMS France et membre du Senior Management Board de la Collaboration. Sylvie Rosier-Lees fait partie du Talk committee.



Figure 1 : Vue artistique de la station spatiale ISS avec AMS.

supraconducteur envoyé dans l'espace pour une longue durée (3 à 5 ans), et ses performances permettront de gagner des facteurs entre cent et mille en précision par rapport aux mesures existantes. AMS permettra aussi de mesurer les rayons gamma émis dans certains phénomènes cataclysmiques d'objets célestes comme les explosions de supernovae, ou les sursauts gamma qui pourraient être liés à des trous noirs géants. Afin de valider

les concepts techniques et le fonctionnement d'un tel instrument dans le vide extra-terrestre, un détecteur prototype a passé 10 jours dans l'espace en juin 1998 à bord de la navette spatiale Discovery. Cela a permis une moisson de données scientifiques ainsi que la publication de 6 articles importants sur les rayons cosmiques et les effets de trappe du champ magnétique terrestre.

L'installation du détecteur complet AMS02 sur la station spatiale internationale ISS est programmée pour septembre 2010.

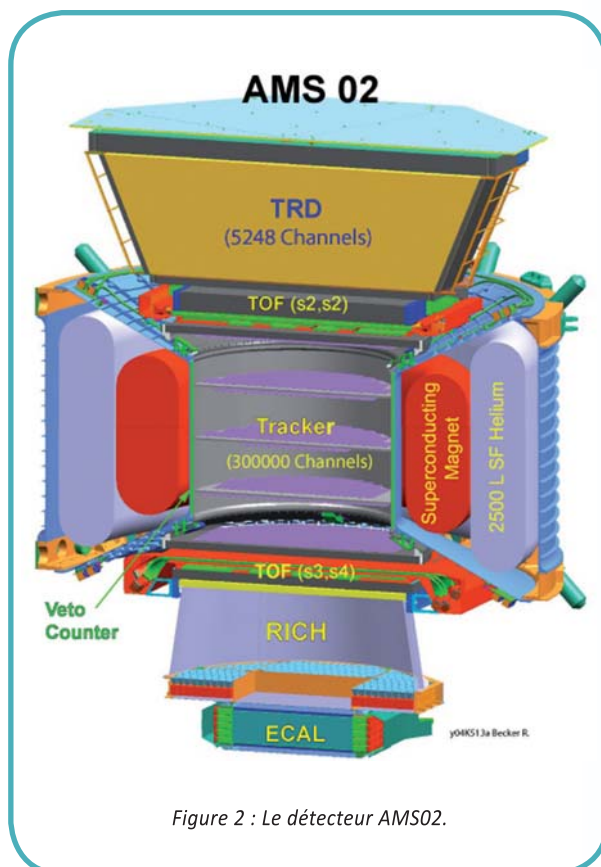


Figure 2 : Le détecteur AMS02.

La collaboration

AMS est une collaboration internationale de 50 instituts de 16 pays. Elle est dirigée par Samuel C.C. Ting, Professeur au M.I.T., Prix Nobel de Physique. Trois laboratoires français participent : Le LAPP à Annecy, le LPSC à Grenoble, et le LPTA à Montpellier.

Activités de recherche du groupe du LAPP

Le groupe AMS du LAPP a été le pionnier du spatial à l'IN2P3 en étant en 1996 la première équipe de recherche de l'IN2P3 à collaborer

à une expérience qui devait se dérouler dans l'espace, expérience à la fois d'astrophysique et de physique des particules, aussi bien pour la physique que pour les techniques de détection employées.

Le groupe AMS du LAPP a une participation active dans la préparation de la physique dans AMS, dans la simulation des phénomènes, et contribue aussi à des groupements de recherche comme « Phénomènes Cosmique de haute Energie » (GDR-PCHE) et « Supersymétrie » (GDR-SUSY). Le thème principal d'étude est la recherche de matière noire non-baryonique.

Projets techniques

Le groupe a eu la responsabilité de toute l'instrumentation du Calorimètre Electromagnétique ECAL (collection de lumière, électronique Front-End, numérisation, déclenchement analogique, mécanique support) construit en collaboration avec l'INFN-Pise et le IHEP-Pékin, ainsi que de l'assemblage du calorimètre et de son intégration avec le reste de l'instrument AMS02. Avec une granularité d'un demi-rayon de Molière transversalement et de $1 X_0$ longitudinalement (avec une profondeur totale de $16 X_0$) le calorimètre donne une image en trois dimensions des gerbes électromagnétiques et hadroniques. Avec ce projet, le groupe a acquis une compétence dans la conception et la réalisation de détecteurs pour l'espace, ainsi que dans les tests pour leur qualification.

Le responsable projet mécanique du LAPP, Franck Cadoux, s'est aussi vu confier par la collaboration une responsabilité importante pour l'intégration globale des détecteurs.

Analyse de physique et résultats

Le calorimètre a été exposé dans un faisceau de particules (protons et électrons de 6 GeV à 250 GeV) en 2007 au CERN. A partir de ces données, le groupe du LAPP a fait une étude très complète des caractéristiques et du comportement du calorimètre (AMS Note 2008-07-01) pour atteindre les performances optimales. On obtient ainsi une résolution en énergie de $10,6 \% / \sqrt{E} + 1,25 \%$, et en combinant les données du ECAL avec l'impulsion mesurée par le trajectographe une capacité de réjection des protons par rapport aux positons (essentielle pour l'identification des positons) voisine de 10^4 . Les algorithmes de reconstruction développés dans cette étude

seront employés pour la reconstruction des gerbes électromagnétiques.

Le groupe AMS au LAPP investit un effort particulier dans la préparation de la physique, spécialement dans la détection de matière noire non-baryonique qui pourrait être constituée de particules supersymétriques ou de particules de Kaluza-Klein, comme semblent le suggérer les modèles théoriques actuels.

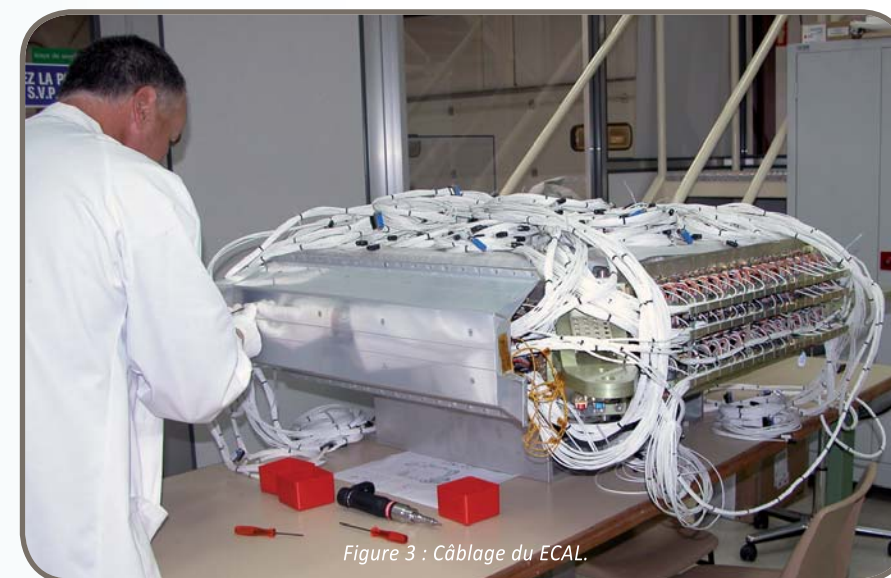


Figure 3 : Câblage du ECAL.

Plan pour 2010-2014

AMS02 doit être installé sur la station spatiale internationale à l'automne 2010. D'ici là, le groupe sera pleinement impliqué dans les tests de l'instrument (tests vide-thermique et de compatibilité électromagnétique à l'Agence Spatiale Européenne fin 2009) et dans la préparation au vol au centre spatial Kennedy en Floride (environ 5 mois) en 2010. Pour valoriser pleinement le travail fait depuis des années, il est indispensable que le groupe soit renforcé par une entrée CNRS et/ou un post-doc dès l'automne 2009 pour apporter une contribution importante à toute l'analyse des données qui seront récoltées pendant au minimum 3 ans.

Dates clés

Novembre 2009 : test global de qualification spatial à l'ESTEC (Agence spatiale Européenne).
Février 2010 et suite : arrivée au KSC (Floride) suivi des tests préparatoires au lancement.
Septembre 2010 : installation sur la station spatiale internationale.

Responsabilités du groupe

Responsabilité opérationnelle :
Assemblage et intégration du calorimètre électromagnétique.

Responsabilité institutionnelle :
J.-P. Vialle est chef du projet AMS France.

Publications et présentations à des conférences et séminaires

Durant les quatre dernières années, les membres du groupe ont fait dix présentations orales et deux présentations sous forme de poster dans des conférences internationales, deux séminaires en France et deux cours dans des écoles prédoctorales. De plus, ils ont contribué à deux publications relatifs à la matière noire :

"Indirect dark matter search with diffuse gamma rays from the galactic center with the Alpha Magnetic Spectrometer", Physical Review D74 (2006) 023518. Jacholkowska A. et al., AMS Collaboration.

"Cosmic-ray positron fraction measurement from 1 to 30 GeV with AMS-01", Physics Letters B646 (2007) 145-154. Aguilar M. et al., AMS-01 Collaboration.

L'équipe du LAPP

Physiciens : G. Coignet, C. Goy, R. Kossakowski, S. Rosier-Lees, J.-P. Vialle, Li Zuhao et Li Xinqiao (visiteurs scientifiques de IHEP/ Beijing)

Doctorants : P. Brun, J. Pochon

Equipe Technique : F. Cadoux, J.-M. Dubois, N. Fouque, R. Hermel, J. Jacquemier, L. Journet, V. Riva, J. Tassan

Stagiaires : Le groupe a accueilli 2 stagiaires pendant la période 2006-2008.