

PROJET AMS

PRESENTATION AU CONSEIL SCIENTIFIQUE DE L'IN2P3

Juin 2020

1. Résumé

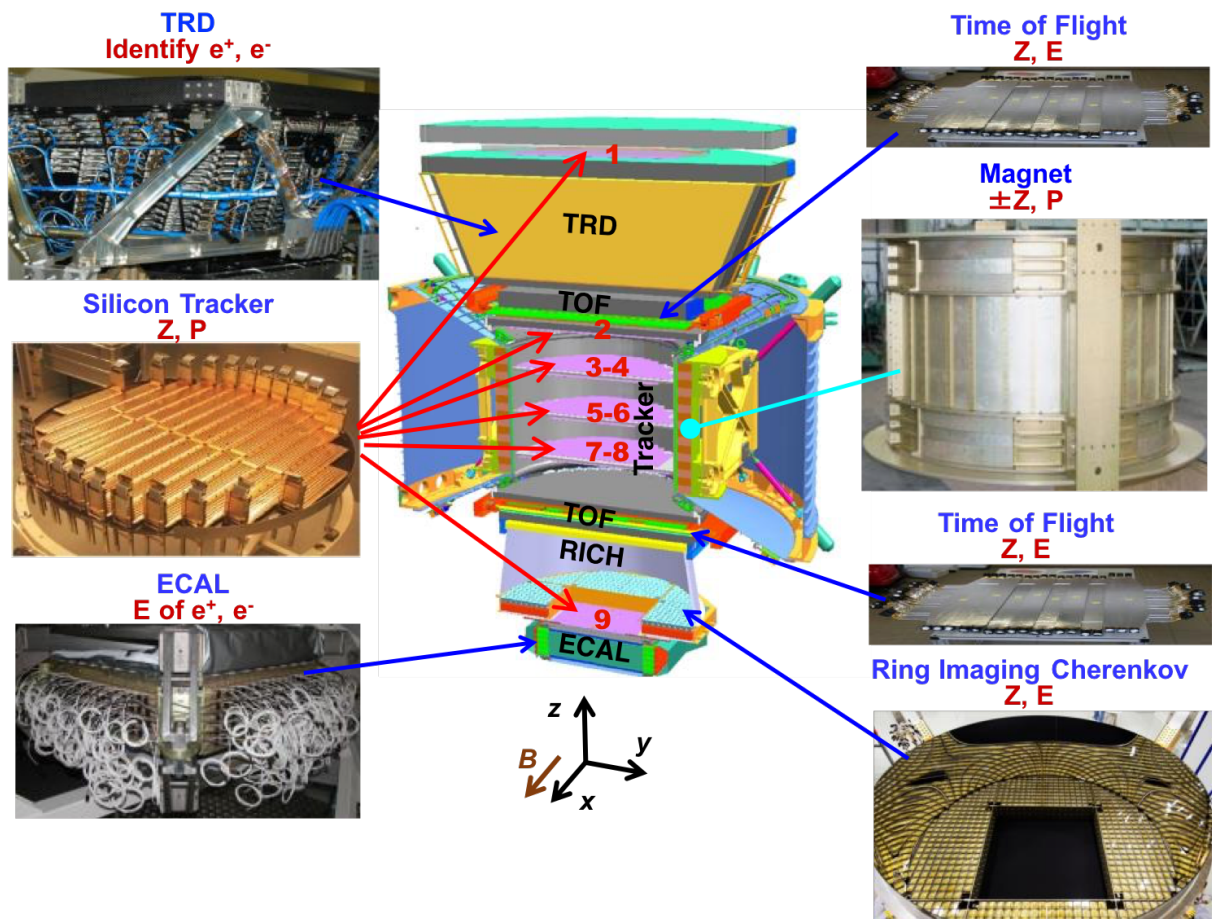
L'instrument AMS-02 a été installé sur la station spatiale en 2011 et est toujours en prise de données. L'IN2P3 est engagé sur ce projet depuis 1996. Ce document présente l'historique de l'expérience, les faits marquants et les résultats majeurs. En particulier les contributions des laboratoires de l'IN2P3 ayant participé au projet sont présentées.



Détecteur AMS02 sur la station spatiale internationale (ISS)

2. Enjeux scientifiques

Bien qu'étudié depuis un siècle, le rayonnement cosmique galactique (RCG) est toujours un domaine scientifique de grande activité autant d'un point de vue expérimental que théorique. En effet, de nombreuses questions sont toujours sans réponses quant à l'origine du rayonnement cosmique et aux processus de propagation. La mesure précise, sur une large gamme d'énergie de l'ensemble des composantes du rayonnement cosmique permet d'étudier les processus associés aux sources et à la



Instrument AMS02 et l'ensemble des sous-détecteurs utilisés pour la mesure d'énergie et l'identification des rayons cosmiques

propagation du rayonnement cosmique. De plus, certaines composantes rares du rayonnement cosmique (positrons, antiprotons, antideutérons, ...) peuvent permettre de sonder la présence de matière noire dans notre Galaxie.

3. Projet

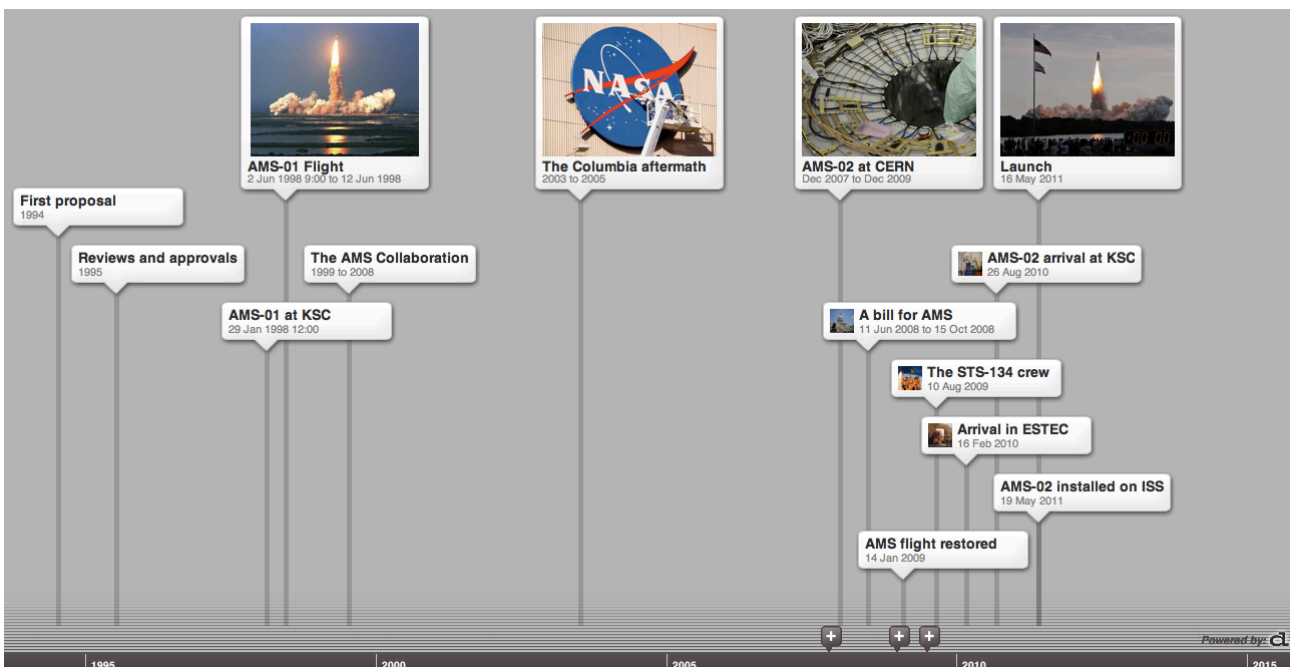
Le détecteur AMS-02 (Alpha Magnetic Spectrometer) a rejoint la station spatiale internationale à bord de la navette Endeavour, lors de la mission NASA STS-134 le 19 mai 2011. AMS-02 est le plus complet des détecteurs de particules jamais construit pour l'espace : 7,5 tonnes, 4 m de haut, 5 m de large. Il s'agit d'un détecteur de particules placé sur orbite qui permet de détecter directement les rayons cosmiques avant leur entrée dans l'atmosphère. Grâce à un ensemble de sous-détecteurs (voir figure ci-dessus), AMS mesure l'énergie, l'impulsion, la charge et la vitesse des rayons cosmiques et identifie leur nature, avec une précision inégalée. Les objectifs scientifiques principaux sont l'étude de la propagation des rayons cosmiques, la recherche indirecte de matière noire et la recherche d'antimatière. Les spectres des particules chargées, mesurées par AMS de l'échelle du GeV au TeV, feront référence

dans le domaine pour longtemps, et vont permettre d'établir un modèle standard du rayonnement cosmique. AMS a déjà collecté plus de 150 milliards d'événements après 9 ans de prise de données. L'expérience AMS est prévue pour fonctionner au moins jusqu'en 2024, et suivant ses résultats pourrait rester en activité au delà.

La collaboration AMS regroupe environ 300 scientifiques venant de 16 pays sur trois continents. En France trois laboratoires de l'IN2P3 ont participé au projet : le LAPP (Annecy), le LPSC (Grenoble) et le LUPM (Montpellier). Ces laboratoires ont fait partie de cette collaboration sur de nombreuses années, et ont activement participé à toutes les phases du projet, de la conception de l'instrument à la construction du détecteur, aux tests et enfin aux analyses de physique.

4. Genèse et calendrier

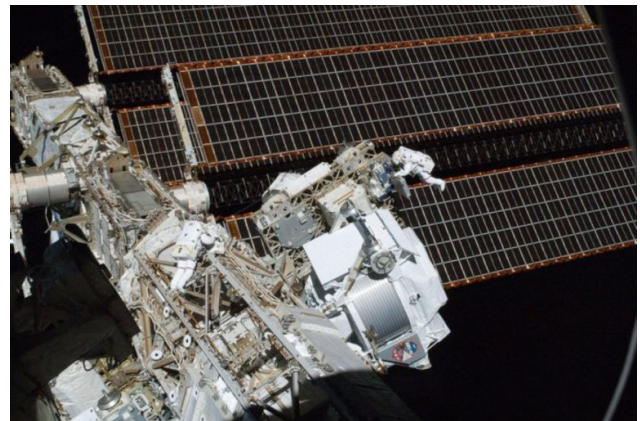
La figure ci-dessous résume les étapes clés du projet, depuis la première proposition en 1994, puis le vol précurseur en 1998 (AMS-01) et l'installation (AMS-02) sur l'ISS en 2011. Le calendrier de l'expérience a été profondément affecté par l'accident de la navette Discovery en 2003 qui a interrompu les vols des navettes américaines pendant 2 ans et demi et bouleversé le calendrier et les priorités de vols. L'expérience AMS s'est retrouvée pendant une très longue période dans l'incertitude, l'installation d'AMS n'a fait son retour dans le calendrier de vol de la NASA qu'en début 2009.



Faits marquants du projet jusqu'à l'installation d'AMS02 sur l'ISS.

A l'origine, AMS a été conçu pour fonctionner pendant 3 ans et avec une configuration utilisant un aimant supraconducteur. Le niveau de fiabilité de cet aimant ayant été jugé

insuffisant par la collaboration, il a été décidé de réutiliser l'aimant permanent d'AMS01. Cela permettait aussi de prolonger la durée de vie de l'expérience bien au-delà de la durée de 3 ans initialement prévu sous réserve du bon fonctionnement de l'ensemble du détecteur. En prise de données 24h/24 et 365 jours/an depuis 2011, l'ensemble des sous-détecteurs d'AMS02 ont fonctionné jusque ici nominale-ment mais les pompes permettant de faire fonctionner le système de refroidissement du tracker ont montrés dès 2004 des signes de faiblesses. C'est un élément critique de l'instrument, 4 pompes avaient été prévues pour assurer un niveau de redondance élevé mais il est vite apparu que ce système allait être le facteur limitant la durée de vie de l'expérience. Il a donc été décidé de développer un nouveau système de pompes. Cette réparation, qui a été développée et planifiée pendant des années, a été menée grâce à une série de 4 sorties extra-véhiculaires (EVA) entre fin 2019 et début 2020. Ces opérations ont été extrêmement complexes car AMS n'avait pas été conçu pour des réparations dans l'espace. Le nouveau système est opérationnel depuis janvier 2020 et le détecteur a retrouvé un fonctionnement nominal.



Astronaute Luca Parmitano (ESA) lors d'une des sorties extra-véhiculaires destinées à la réparation d'AMS02 (décembre 2019)

5. État de l'art

L'expérience PAMELA (Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics) était une expérience attachée à au satellite Russe (Resurs-DK1) en orbite basse autour de la Terre. Ce satellite a été lancé en juin 2006 et l'instrument PAMELA a pris des données jusqu'en 2016. C'est un spectromètre comparable à AMS mais de plus petite dimension (acceptance près de 2 ordres de grandeur plus faible) mais qui a permis d'obtenir des premiers résultats remarquables qui ont été confirmés par AMS-02. Depuis l'installation d'AMS-02 sur l'ISS en 2011, plusieurs expériences de mesure du RCG ont été envoyées sur satellite (DAMPE) ou installées sur la station spatiale (ISSCREAM, CALET) mais ces instruments ont une capacité de mesure de l'énergie uniquement calorimétrique, avec une résolution modeste en énergie pour les hadrons et sans la capacité de mesurer le signe de la charge.

6. Ressources et moyens

Trois laboratoires de l'IN2P3 ont été impliqués dans l'expérience AMS depuis 1996 : le LAPP (Annecy), le LPSC (Grenoble) et le LUPM (Montpellier). Ces laboratoires ont été impliqués sur une durée de temps très longue et avec une variabilité très forte suivant les années. Le centre de calcul de l'IN2P3 a été un centre de sauvegarde des données brute d'AMS et c'est un des centres de production Monte Carlo, il est surtout utilisé pour les analyses des groupes de l'IN2P3 et la capacité de calcul disponible constitue un atout important pour assurer la compétitivité des analyses menées dans nos laboratoires.

Coté chercheur, l'expérience AMS a mobilisé jusqu'à une quinzaine de chercheurs dans les trois laboratoires et une vingtaine d'ingénieurs sur une période de 10 ans. L'investissement maximum a eu lieu lors de la phase de construction des sous détecteurs qui s'est déroulée jusqu'en 2006.

Au niveau financier le projet a été soutenu par l'IN2P3, le CNES, la région RHONE-ALPES et le département de la Haute-Savoie pour la phase de construction. L'IN2P3 a de plus financé 2 contrats post-doctoraux pour l'exploitation des données de l'expérience (3 ans au LPSC, 2 ans au LAPP). Le labex ENIGMASS a financé un contrat post-doctoral (3 ans). L'université Savoie Mont-Blanc et l'université Grenoble Alpes ont financé respectivement 4 et 7 allocations doctorales pour des thèses réalisées dans le cadre de l'expérience AMS.

Un échange PRC (Projet de Recherche Conjoint) entre le LAPP et LAPTh avec le groupe AMS de Sao Carlos, Brésil a permis de financer 5 missions de 10 jours pour le CNRS en 2015 et 2016, et plusieurs visites de chercheur brésilien à Annecy.

A ce jour, le projet est financé par le CNRS/IN2P3 pour la partie fond communs (18 281 CHF en 2020) et par le CNES (6500 € en 2020) pour les missions.

7. Réalisations techniques

Les laboratoires de l'IN2P3 ont eu une importante implication dans la réalisation et l'exploitation de l'expérience :

- Le groupe du LAPP a contribué au calorimètre électromagnétique (ECAL) en charge de la mesure de l'énergie des électrons, positrons et γ et de la réjections des hadrons. Le laboratoire a développé et réalisé l'ensemble de collection de lumière et l'électronique Front-End des modules de détection (PMT) permettant de mesurer les signaux issus des fibres scintillantes composant le calorimètre. Il a joué un rôle clé

dans les tests et lors de l'intégration du détecteur au CERN (voir photo ci-contre).

- Le groupe du LPSC a contribué à la conception et à la construction de l'imageur Cherenkov (RICH), en charge de la mesure précise de la vitesse des particules. Le groupe a en particulier développé l'électronique front-end et réalisé l'intégration de l'ensemble des modules optiques (680 PMTs) du plan de détection. Il a été en charge de la caractérisation de plan radiateur (NaF et aérogel) et a mené un ensemble de campagnes de tests sur faisceau afin de qualifier l'instrument.
- Le groupe du LUPM a eu en charge la mise en place et l'intégration du module GPS utilisé pour estampiller en temps chaque événement enregistré par le détecteur (voir figure ci-contre).

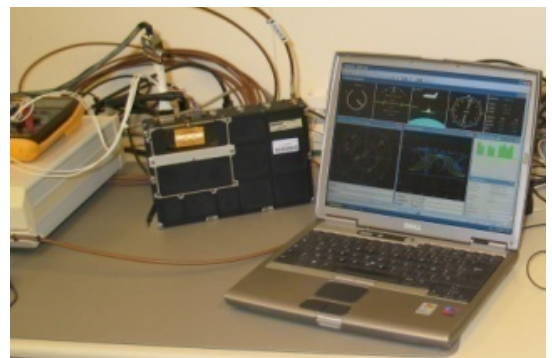
Depuis la mise le lancement du détecteur, les groupes de l'IN2P3 ont été fortement impliqués dans la caractérisation des détecteurs et la mesure et l'optimisation de leurs performances en vol. Le groupe du LAPP a en particulier travaillé sur la mesure de la linéarité et de la résolution en énergie du calorimètre et sur l'optimisation de la réjection électron/proton. Le groupe du LPSC a contribué à la caractérisation du RICH avec l'utilisation des données de vols pour précisément mesurer l'indice optique de l'aérogel sur l'ensemble du détecteur (voir figure ci-contre)

Les membres des laboratoires de l'IN2P3 participent aux shifts permettant d'assurer le suivie en ligne du détecteur depuis le POCC (Payload Operation Control Center) d'AMS02 qui est basé au CERN.

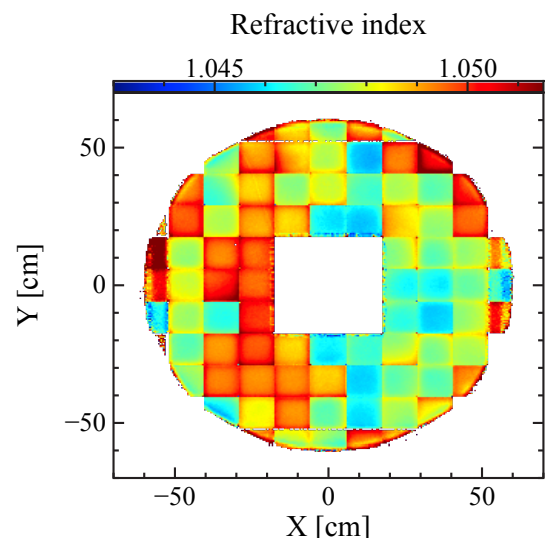
A ce jour, l'implication de l'IN2P3 dans AMS est réduite : le LUPM (depuis 2015) et le LAPP (depuis 2019) ne participent plus à l'expérience et ne sont plus membres de la



Intégration de l'ECAL au CERN



Système GPS développé au LUPM



Mesure de l'indice optique de l'aérogel du RICH réalisée à partir des données de vol.

collaboration et donc seul le LPSC maintient une participation essentiellement dédiée à l'exploitation des données d'AMS.

8. Résultats scientifiques

L'expérience AMS publie depuis 2011 les mesures des différentes composantes du rayonnement cosmiques. Compte tenu de la précision inégalée de ces mesures, ces résultats ont un profond impact sur la connaissance du rayonnement cosmique galactique. Ces résultats ont donné lieu à un grand nombre d'études et de publications comme l'atteste le nombre important de citation des papiers AMS. Parmi les résultats majeurs issues de l'expérience, on peut citer :

- Le spectre et la fraction de positrons
- Le spectre des antiprotons et le rapport antiprotons/protons
- Le spectre des électrons
- Le spectre (électron + positron)
- L'anisotropie des rayons cosmiques
- Les propriétés des positrons, antiprotons, électrons et protons en fonction de la rigidité
- L'observation de la dépendance en rigidité identique pour les rayons cosmiques primaires à l'échelle multi-TV
- L'observation de la dépendance en rigidité identique pour les rayons cosmiques secondaires à l'échelle multi-TV
- Les rapports entre les flux secondaires et primaires en fonction de la rigidité
- Anti-deutéron cosmique (nous avons collecté 100 millions de deutérons)
- La mesure précise du spectre de l'azote et ses implications
- Structures temporelles complexes dans les flux d'électrons et de positrons
- Structures temporelles fines des flux de protons et d'hélium
- Physique des isotopes des rayons cosmiques

Les groupes de l'IN2P3 ont participé et participent encore activement aux analyses dans AMS-02.

Au LAPP, le travail d'analyse a été dédié à la mesure des électrons et positrons et à leur interprétation en terme de matière noire. Une méthode permettant d'effectuer la mesure de la fraction de positons, le flux de positons et le flux d'électrons à l'aide d'une procédure de fit multidimensionnel a été mise au point. Une étude particulière est réservée au phénomène de confusion de charge, important pour la mesure du signe de la charge à haute énergie. Un article (Nuclear Instruments & Methods A 850, 78-82, 2017) a été publié détaillant la capacité et les performances du calorimètre pour la détection et la mesure des photons. Pour les photons au-delà de 5 GeV, la précision de la reconstruction angulaire des gerbes permet sur une carte du ciel de distinguer

Liste des publication d'AMS (juin 2020)

Published on: **2020-05-29** **Editors' Suggestion** **Featured in Physics**

Properties of Neon, Magnesium, and Silicon Primary Cosmic Rays Results from the Alpha Magnetic Spectrometer

[Phys. Rev. Lett. 124,211102 \(2020\)](#)^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2019-11-01** **Editors' Suggestion**

Properties of Cosmic Helium Isotopes Measured by the Alpha Magnetic Spectrometer

[Phys. Rev. Lett. 123, 181102 \(2019\)](#)^σ, Citations: **4**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2019-03-13**

Towards Understanding the Origin of Cosmic-Ray Electrons

[Phys. Rev. Lett.122, 101101 \(2019\)](#)^σ, Citations: **28**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2019-01-29** **Editors' Suggestion**

Towards Understanding the Origin of Cosmic-Ray Positrons

[Phys. Rev. Lett. 122, 041102 \(2019\)](#)^σ, Citations: **61**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2018-07-31**

Precision Measurement of Cosmic-Ray Nitrogen and its Primary and Secondary Components with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett.121, 051103 \(2018\)](#)^σ, Citations: **31**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2018-07-31** **Editors' Suggestion**

Observation of Complex Time Structures in the Cosmic-Ray Electron and Positron Fluxes with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett. 121, 051102 \(2018\)](#)^σ, Citations: **35**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2018-07-31**

Observation of Fine Time Structures in the Cosmic Proton and Helium Fluxes with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett. 121, 051101 \(2018\)](#)^σ, Citations: **39**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2018-01-11** **Editors' Suggestion** **Featured in Physics**

Observation of New Properties of Secondary Cosmic Rays Lithium, Beryllium, and Boron by the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett.120, 021101 \(2018\)](#)^σ, Citations: **86**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2017-12-18**

Observation of the Identical Rigidity Dependence of He, C, and O Cosmic Rays at High Rigidities by the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett. 119, 251101 \(2017\)](#)^σ, Citations: **90**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2016-11-28** **Editors' Suggestion** **Featured in Physics**

Precision Measurement of the Boron to Carbon Flux Ratio in Cosmic Rays from 1.9 GV to 2.6 TV with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett.117, 231102 \(2016\)](#)^σ, Citations: **193**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2016-08-26**

Antiproton Flux, Antiproton-to-Proton Flux Ratio, and Properties of Elementary Particle Fluxes in Primary Cosmic Rays Measured with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett.117, 091103 \(2016\)](#)^σ, Citations: **313**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2015-11-17** **Editors' Suggestion**

Precision Measurement of the Helium Flux in Primary Cosmic Rays of Rigidities 1.9 GV to 3 TV with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett.115, 211101 \(2015\)](#)^σ, Citations: **300**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2015-04-30** **Editors' Suggestion**

Precision Measurement of the Proton Flux in Primary Cosmic Rays from Rigidity 1 GV to 1.8 TV with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett. 114, 171103 \(2015\)](#)^σ, Citations: **531**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2014-11-26**

Precision Measurement of the $(e^+ + e^-)$ Flux in Primary Cosmic Rays from 0.5 GeV to 1 TeV with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett. 113, 221102 \(2014\)](#)^σ, Citations: **261**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2014-09-18** **Editors' Suggestion** **Featured in Physics**

Electron and Positron Fluxes in Primary Cosmic Rays Measured with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett. 113, 121102 \(2014\)](#)^σ, Citations: **470**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2014-09-18** **Editors' Suggestion**

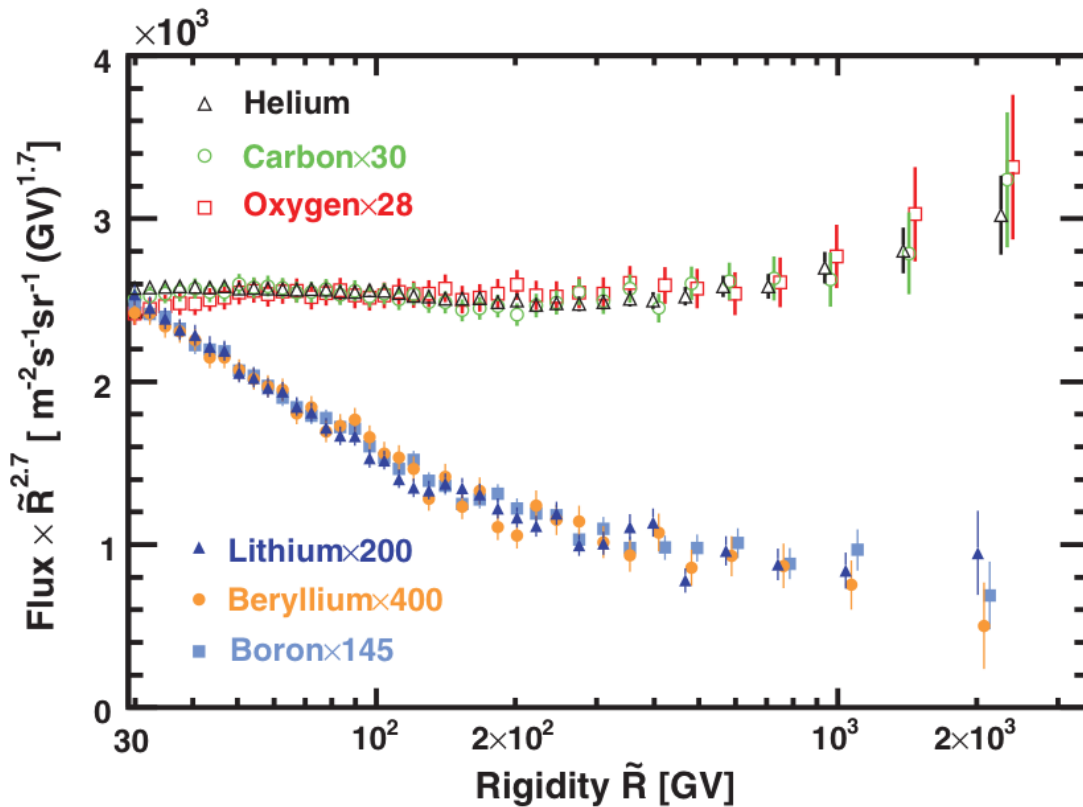
High Statistics Measurement of the Positron Fraction in Primary Cosmic Rays of 0.5 – 500 GeV with the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station

[Phys. Rev. Lett. 113, 121101 \(2014\)](#)^σ, Citations: **525**^σ, [View supplemental material and data](#)

Published on: **2013-04-03** **Editors' Suggestion** **Featured in Physics** **Physics Viewpoint**

First Result from the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station: Precision Measurement of the Positron Fraction in Primary Cosmic Rays of 0.5–350 GeV

[Phys. Rev. Lett. 110, 141102 \(2013\)](#)^σ, Citations: **1,051**^σ, [View supplemental material and data](#)



Comparaison des flux de rayons cosmiques secondaires avec les flux de rayons cosmiques primaires de l'AMS avec leur erreur totale en fonction de la rigidité au-dessus de 30 GV.

clairement le plan galactique, le centre galactique, et des sources brillantes comme le Crabe, Vela, Geminga, ou Markarian. Le groupe du LAPP a également travaillé sur la mesure du rapport antiprotons sur protons. Cette étude montre que le rapport antiprotons sur protons augmente jusqu'à une énergie de 10 GeV pour ensuite être plat jusqu'à 500 GeV, énergie maximale capable d'être mesurée par AMS pour ces particules. Ce travail est un résultat majeur de la collaboration AMS car il permet de contraindre la contribution de la matière noire dans la production de rayons cosmiques.

Au LPSC, une chaîne d'analyse dédiée à la mesure des spectres et à l'estimation des systématiques a été mise en place. Ce travail a permis d'avoir une contribution très importante aux publications des flux des noyaux des charges $Z=1$ à $Z=8$. Ces études ont permis d'obtenir une mesure très précise des composantes primaires et secondaires essentielles pour comprendre les processus de propagation du RCG. Ces travaux ont été complétés par un développement pour la mesure des abondances isotopiques du RCG : grâce à la combinaison de la rigidité et de la vitesse fournie par le RICH, on peut mesurer la masse des noyaux, et donc estimer l'abondance isotopique des éléments du RCG. En particulier le rapport $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ permet de mesurer le temps de confinement des noyaux dans la Galaxie. Une chaîne d'analyse basée sur des ajustements de patrons

(templates) de masse a été mise en place pour la mesure de la composition isotopique des noyaux du RCG de $Z=2$ à $Z=5$.

Il faut mentionner qu'au delà de la participation dans l'expérience AMS, une communauté large (une dizaine de personnes) regroupant des expérimentateurs du LAPP et du LPSC et des théoriciens du LAPTh, LPSC et LUPM s'est constituée pour exploiter les résultats scientifiques de l'expérience AMS, notamment autour du code USINE (<http://lpsc.in2p3.fr/usine>), développé au LPSC. USINE est dédié à l'étude de la propagation du rayonnement cosmique chargé. Ce code, développé depuis les années 2000, a été rendu public pour la première fois en 2018 (CPC 247, 106942 (2020)). Les travaux issus de cette collaboration ont donné lieu à 7 publications et à un grand nombre de présentations lors de conférences internationales. Il a notamment été montré que la cassure observée dans le spectre B/C mesuré par AMS-02 trouvait son origine dans un changement de régime de diffusion (Phys.Rev.Lett. 119 (2017) 24, 241101) ou que le spectre d'antiproton mesuré par AMS était compatible avec une composante purement secondaire (Phys.Rev.Res. 2 (2020) 023022). Un travail important a été réalisé pour mettre en place une méthodologie intégrant les effets systématiques associées à la mesure ou au modèle (Astron.Astrophys. 627 (2019) A158), ce travail permet d'exploiter pleinement les mesures effectuées par l'expérience AMS pour contraindre les modèles de propagation du rayonnement cosmique (Phys.Rev.D 99 (2019), arXiv:2002.11406 - accepté dans A&A, arXiv:2004.00441 - accepté dans A&A).

De même, dans le cadre de la physique du rayonnement cosmique, une base de données (<http://lpsc.in2p3.fr/crdb>) regroupant l'ensemble des mesures a été mise en place en 2012, et elle est très utilisée par la communauté (plus de 200 000 requêtes depuis l'été 2014). Depuis 2016, le calcul du paramètre de modulation solaire en temps réel est proposé. En 2020 une mise à jour majeure de la base de données a été effectuée (arXiv:2005.14663).

L'ensemble de ce travail a donné lieu à un nombre conséquent de thèses au LAPP (6 thèses soutenues) et au LPSC (9 thèses soutenues).

Le rôle et l'impact de la contribution française dans AMS a aussi été récompensé à travers le prix Joliot Curie décerné en 2017 à Sylvie Rosier-Lees du LAPP.

9. Retour d'expérience

AMS a été le premier projet spatial de l'IN2P3. AMS est sans doute un projet spatial singulier : la NASA a été fortement impliquée dans le projet mais avec une claire

séparation en terme de responsabilité et contribution. La réalisation de l'instrument, l'opération et le retour scientifique est sous la responsabilité de la collaboration alors que la NASA est en charge des interfaces et de l'installation sur l'ISS. En effet, les technologies mises en œuvres dans AMS sont clairement issues des hautes énergies et la NASA a donc laissé la responsabilité (et le financement) de la construction de l'instrument à la collaboration. De ce fait on a pu développer des compétences dans les laboratoires sur l'ensemble de la construction de l'instrument, de la conception, aux tests, à la qualification et à la production de l'instrument finale. L'ensemble du détecteur à donc été conçu et construit dans les laboratoires de la collaboration et il n'y a pas eu de relation de subordination des laboratoires envers les agences spatiales ou leur partenaire privé en charge de la construction. Une autre spécificité est que la collaboration s'est construite dans la continuité de l'expérience LEP L3, c'est donc un projet spatial qui s'est construit avec une culture restée très proche de celle qui structure les collaborations dans la communauté de la physique des hautes énergies.

Même si l'ensemble du détecteur a été produit en Europe et le CERN a eu un rôle central et majeur dans toutes les phases du projet, le management et pilotage du projet sont resté très dépendants des agences américaines (NASA et DOE). De plus, il n'y a pas eu de participation opérationnelle du CNES au projet mais un soutien financier pour la phase de construction et d'exploitation des données. Cela a certainement nuit à la visibilité du projet au niveau national.

Un point important à noter est que le collaboration a pu réaliser un vol précurseur de l'instrument (AMS-01) très tôt dans le projet. Ce vol précurseur a été un élément déterminant du projet, il a permis de démontrer la capacité de la collaboration à réaliser un détecteur fonctionnel dans un temps très court ce qui a légitimé le rôle de la collaboration vis-à-vis de la NASA pour la suite. De plus, ce vol précurseur a de plus permis à la collaboration et en particulier aux groupes de l'IN2P3 d'avoir, en parallèle à la construction de l'instrument AMS02, une activité d'exploitation des données et de retour scientifique importante. Et cela a été d'autant plus important que le projet a connu, suite à l'accident de la navette Columbia et ce jusqu'en 2009, une très longue période pendant laquelle le futur de l'expérience était très compromis.

Malgré la taille modeste des groupes de l'IN2P3 dans l'expérience AMS, ces groupes ont eu un impact majeur dans la réalisation du détecteur et une contribution importante dans les analyses publiées et en cours. Une spécificité de l'activité des groupes de l'IN2P3 a aussi été de faire le lien avec les théoriciens du domaine en participant à des travaux théoriques exploitant les résultats de l'expérience afin

d'assurer pleinement le retour scientifique du projet. Cette dernière activité est soutenue par l'IN2P3 à travers le projet PHENOD.