

Dossier de Presse

AMS-02, le projet qui relie Montpellier à la Station Spatiale Internationale



Montpellier, le 13 avril 2011

Relations Presses LUPM :

Françoise Amat, francoise.amat@univ-montp2.fr, 04 67 14 35 59 / 06 71 18 60 66

Contacts Chercheurs :

Alain Falvard, alain.falvard@lpta.in2p3.fr, 06 74 89 48 31

Claude Zurbach, claud.zurbach@univ-montp2.fr, 04 67 14 41 92

Sommaire

- **AMS : à la recherche de la matière noire disparue** 2
- **Une collaboration internationale** 3
- **Objectifs scientifiques** 4
- **AMS-02 en bref** 6
- **Le rôle du LUPM** 8
- **Les résultats scientifiques attendus** 11
- **Lexique** 13
- **Liens utiles** 16

AMS : à la recherche de l'antimatière disparue

La quête de l'antimatière disparue dans l'Univers devrait débuter dans quelques semaines avec le lancement du détecteur AMS (Anti Matter Spectrometer) sur la Station spatiale internationale (ISS) à bord de la navette Endeavour. Le 29 avril prochain, AMS s'envolera depuis le Kennedy Space Center pour la mission STS-134. Quelques jours après le lancement, les astronautes de la NASA installeront AMS-02 sur l'ISS.

Cette expérience spatiale ouvrira divers domaines d'intérêt majeur en relation avec la compréhension de la production des Rayons Cosmiques, les recherches d'Antimatière et de la Matière Sombre dans l'Univers, de l'astrophysique des rayons gamma de haute énergie.

AMS restera sur la Station spatiale pendant plusieurs années et enverra des informations tout au long de son séjour dans l'espace.

AMS est le fruit d'une collaboration internationale regroupant plus de 600 physiciens, ingénieurs et techniciens venus de plus de 50 laboratoires (dont le LUPM) et instituts de recherche répartis partout dans le monde. Cette collaboration est dirigée par le lauréat du Prix Nobel de physique 1976 Samuel Ting.

La NASA (agence spatiale américaine) a la responsabilité du transport et de la mise en service du détecteur sur la station spatiale internationale.

A Montpellier, une équipe du LUPM investie dans AMS depuis dix ans s'apprête à partir pour Houston pour participer au démarrage de ce détecteur de particules cosmiques embarqué dans l'espace.



Une collaboration internationale

AMS rassemble 600 personnes issues de 3 continents, 16 pays et 56 institutions.

Aux côtés des Etats-Unis, du Mexique, de la Chine, de Taïwan et de la Corée, l'Europe est fortement représentée au sein de cette collaboration : le Danemark, la Finlande, l'Allemagne, la France, l'Italie, les Pays-Bas, le Portugal, l'Espagne, la Suisse, la Roumanie et la Russie.

Le CNRS, au travers de la contribution de l'IN2P3, est le seul organisme français participant à cette expérience. Les laboratoires de l'IN2P3 (Annecy, Grenoble et Montpellier) ont participé à la conception et à la construction du détecteur.

AMS a été assemblé au CERN (Centre Européen de la Recherche Nucléaire, Genève), où est également située la salle des opérations d'AMS.



Genèse du projet et objectifs scientifiques

En 1995, Le Prix Nobel de Physique Samuel Ting lance l'idée d'un détecteur de particules de rayonnements cosmiques, situé dans l'espace. Le projet AMS est né. Un premier module de vol baptisé AMS-01 a volé sur la navette spatiale en 1998 et a fourni divers résultats scientifiques innovants.

Initiée en 1999, l'expérimentation AMS-02 est considérée, en ce qui concerne la Physique Fondamentale ou Cosmologie, comme complémentaire du Grand Collisionneur de Hadrons (LHC) récemment mis en œuvre au CERN. On parle aussi d'un équivalent du télescope spatial Hubble dans le domaine des rayons cosmiques.

Le 29 avril 2011, AMS-02 sera l'avant-dernière charge utile (*payload*) embarquée dans une navette spatiale américaine (*Endeavour*), lors de la mission STS-134, 134e mission vers la station spatiale internationale ISS.

Le détecteur AMS-02 détectera et analysera les rayonnements cosmiques sous différents aspects :

- détection et analyse de l'antimatière dans l'Univers,
- recherche de la nature de la matière noire (ou masse manquante),
- détection et analyse de la matière dite exotique présente dans le milieu galactique,
- mesures du rayonnement cosmique.

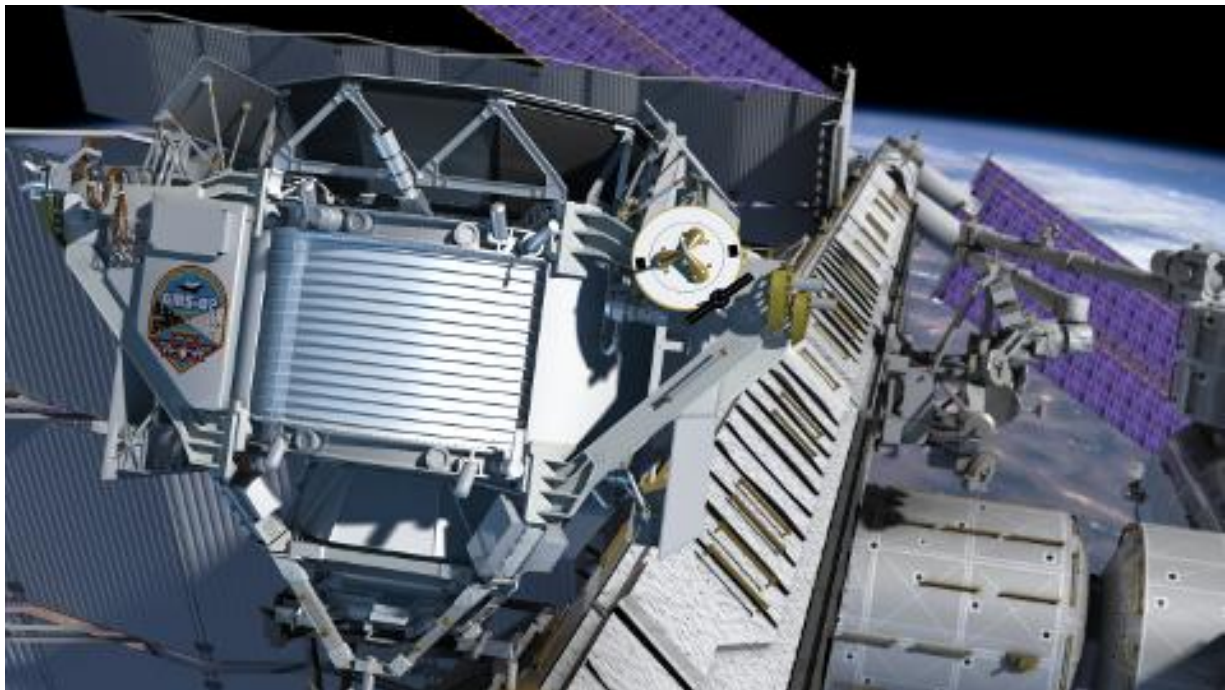
Cette mission ouvrira divers domaines d'intérêt majeur en relation avec la compréhension de la production des rayons cosmiques, les recherches d'antimatière et de la matière sombre dans l'Univers, de l'astrophysique des rayons gamma de haute énergie.

AMS-02 est un détecteur de pointe de la physique des particules, conçu pour fonctionner comme un système externe de l'ISS. Il exploitera l'environnement unique de l'espace pour étudier l'Univers et son origine en recherchant l'antimatière et la matière sombre, tout en effectuant des mesures de précision de la composition et du flux des rayonnements. Les observations faites par l'expérimentation AMS-02 aideront à répondre à des questions fondamentales comme « de quoi est composée la masse invisible de l'univers ? » ou « qu'est-il advenu de l'antimatière primordiale ? »

Les champs d'étude ouverts par cette expérience sont :

- Les rayons cosmiques galactiques (RCG)
La mesure précise des spectres en énergie des RCG est d'intérêt majeur pour la connaissance de leur production et de leur propagation dans notre galaxie (la Voie Lactée). Ces RCG sont composés à 99% à partir de l'hydrogène et de l'hélium, mais il reste à déterminer précisément la nature des éléments plus rares (antiprotons, positrons, gamma diffus ...).

- La recherche de l'antimatière
Les théories de la baryogenèse primordiale (phase du « Big-Bang » où les particules élémentaires se sont constituées) ne prévoient pas la présence substantielle d'antimatière dans notre univers. Mais grâce à son système complet de détection et de mesure de charge, AMS pourra contribuer à la détermination de la proportion d'antimatière dans l'univers, et détecter d'éventuels noyaux d'anticarbon qui confirmeraient la présence d'étoiles d'antimatière dans notre propre galaxie.
- La détection de la « matière sombre »
Les observations astrophysiques indiquent que la matière visible ou simplement détectable ne représente que 5% du total de la matière de notre univers. Les théories de la physique des particules fournissent un excellent candidat pour cette matière « sombre et froide ». La détection par AMS des particules produites par l'annihilation de cette particule hypothétique (gamma, positrons, antiprotons, anti-noyaux ...) permettrait de confirmer ces théories.
- L'Astrophysique des Rayons Gamma de haute énergie
Le détecteur AMS mesurera les rayons Gamma dans un domaine d'énergie permettant d'étudier la source des rayons Gamma variables produits par des noyaux actifs de galaxies ou détectables par des sursauts (« Sursauts Gamma »). Ces derniers sont des sources très brèves et très brillantes, les plus distantes actuellement de la terre. L'expérience AMS contribuera à l'étude de l'univers distant et ancien, proche de l'époque du Big Bang.



AMS-02 en bref

L'équipage de la mission STS-134, sélectionné depuis plusieurs années, a pour mission de placer AMS-02 sur la Station Spatiale. A l'aide du bras manipulateur de la navette, l'équipage devra saisir AMS-02 pour le déplacer vers le bras robot de la Station Spatiale. Une fois le transfert effectué, le bras de la Station Spatiale placera l'instrument sur son point d'attache, la poutre principale de l'ISS (point d'attache 3).



Il est prévu que la connexion d'AMS-02 aux ressources (alimentation électrique, réseaux de communication...) se fasse 4 jours après le lancement de la navette spatiale.

Puis le détecteur AMS-02 sera mis en service, en orbite autour de la Terre, à une altitude de 400 km et piloté depuis le centre spatial de Houston (Johnson Space Center, ou JSC, au Texas). Ce pilotage se fera depuis le JSC jusqu'à la fin juin 2011 pour être ensuite localisé, pour le reste de la durée de l'expérimentation, dans un nouveau bâtiment construit à cet effet au CERN à Genève.

AMS-02 permettra de recueillir des informations sur des centaines de millions de rayons cosmiques primaires qui, après avoir été accélérés par des champs magnétiques puissants, ont parcouru des centaines de millions d'années lumière avant d'atteindre le détecteur.

Le noyau d'AMS-02 est un spectromètre associé à un aimant permanent afin de mesurer le signe de la charge de chaque particule traversant l'instrument. Le but sera de recueillir des données sans interruption pendant des années, produisant un flux de données de 7 Gigabits par seconde, qui, après transformation dans le détecteur, pourra être réduit à une moyenne de 2 Mégabits de bande passante descendante.



Quelques chiffres

Poids : 8500 kg

Volume : 64 mètres cube

Puissance électrique : 2500 watts

Volume de données descendantes : 2 Mbps (moyenne)

Intensité du champ magnétique produit par l'aimant permanent : 0,125 Tesla ou 1250 Gauss (4000 fois plus intense que le champ magnétique terrestre)

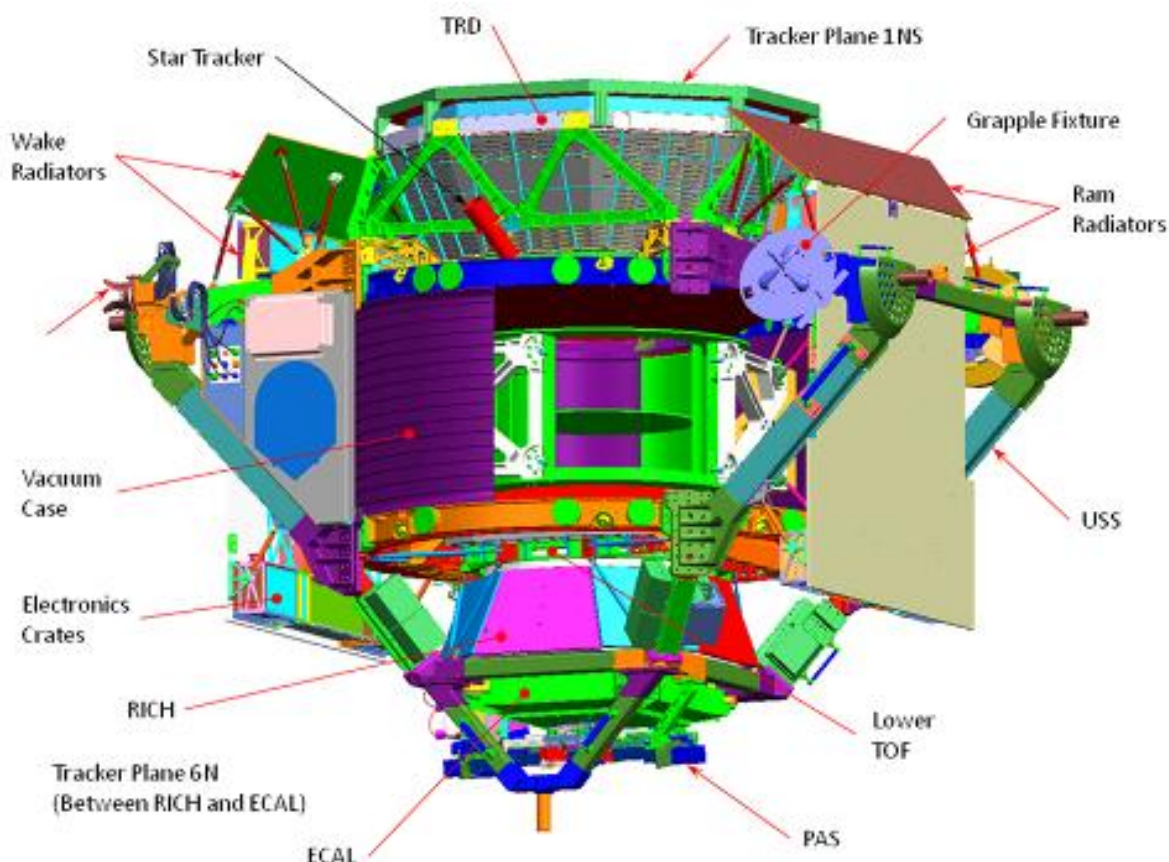
Sous-systèmes : 15 sous-détecteurs et sous-systèmes correspondants (control thermal, acquisition de données...)

Date de lancement prévue : le 29 avril 2011, 3:45 pm EDT

Durée de la mission : la durée de vie escomptée de l'ISS, jusqu'en 2020 et voire au-delà (aucun retour sur terre n'est prévu)

Durée de construction : de 1999 à 2010

Coût estimé : 1,5 milliard de dollars US



Le LUPM dans AMS-02

Le LUPM (ex-LPTA, Laboratoire de Physique Théorique et Astroparticules) est investi dans ce projet depuis 2002, avec la participation de Alain Falvard, Directeur de Recherche au CNRS et ancien directeur du LPTA, Agnieszka Jacholkowska, Directrice de Recherche au CNRS et Claude Zurbach, Ingénieur de Recherche au CNRS.

Le LUPM est intervenu principalement dans la conception et la réalisation de deux des sous-systèmes du détecteur AMS-02 : la conception et la réalisation du tracker et du GPS spatial.

Le trajectomètre, ou *Tracker*

Dans l'espace, à la hauteur de l'orbite de l'ISS (près de 400 km d'altitude), l'atmosphère terrestre n'interagit quasiment pas avec les particules cosmiques, et il est donc possible de les détecter et de les étudier telles qu'elles ont été émises à l'origine dans les sources astrophysiques ou médium après propagation dans le milieu interstellaire, ce qui présente un énorme avantage sur les expérimentations en ballons.

AMS-02 intègre un aimant produisant un champ magnétique environ 4000 fois plus intense que le champ magnétique terrestre qui va permettre de séparer les particules de matière des particules d'antimatière, afin de les analyser séparément.

C'est ici que le LUPM intervient une première fois.

Le trajectomètre est installé au centre de l'aimant permanent et composé de près de 200000 canaux d'acquisition à base de silicium. Il a pour fonction de mesurer l'impulsion et la charge des particules électriquement chargées et de différencier ainsi la matière de l'anti-matière.



Les programmes informatiques permettant la calibration de ce trajectomètre ainsi que la capture des données liées au passage des particules dans le champ magnétique, ont été à la charge du LUPM, en collaboration avec l'INFN [Istituto Nazionale di Fisica Nucleare] de Pégurie en Italie.

Le trajectomètre et ses échelles de silicium (de couleur jaune), installé au centre du champ magnétique produit par l'aimant permanent d'AMS-02

Ces développements informatiques et les tests correspondants ont nécessité plusieurs années de travail, pour aboutir à un ensemble de programmes dont l'objectif est d'exploiter au mieux les capacités de la partie « Tracker » d'AMS-02.

Dès 2004, le LUPM (qui était encore le LPTA) a participé à la conception, la réalisation, les tests et la qualification des programmes de calibration et de réduction des données du sous-système Tracker. En effet seules les données venant des éléments du trajectomètre traversés par les particules cosmiques, seront transmises au sol à des fins d'analyse.

Le récepteur GPS spatial

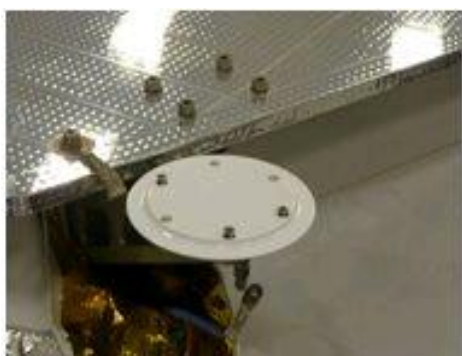
Les évènements physiques envoyés sous forme de données vers le « segment terrestre » de l'expérimentation doivent être datés avec une haute précision à la microseconde près. Le positionnement du détecteur ainsi que sa vitesse doivent également être connus avec précision.

La Station Spatiale Internationale, l'Univers et la terre étant en constant mouvement relatif l'un par rapport aux autres, il fallait donc y installer des systèmes permettant d'identifier les coordonnées de certaines sources d'émission de particules (trous noirs super-massifs, supernovae, noyaux galactiques actifs...) ainsi que la position dans le temps et dans l'espace du détecteur AMS-02.

C'est ici que le LUPM intervient à nouveau.

L'équipe de Montpellier a eu la responsabilité du choix et de la mise en service d'un récepteur GPS de qualité spatiale sur le détecteur AMS-02. Le LUPM a eu en charge la gestion complète du projet, depuis la phase d'étude jusqu'à la mise en place d'une solution sur AMS-02. Il est également chargé du suivi d'exploitation des données ainsi que de la supervision du récepteur GPS pendant toute la durée de la mission, soit de 10 à 15 ans.

Ce récepteur hautement performant et conçu pour un fonctionnement dans l'espace, permet de fournir un temps précis à la microseconde, ainsi qu'une position et une vitesse instantanées également de très grande précision. Ces informations seront couplées aux informations scientifiques (« évènements physiques ») construites et envoyées sur terre par le détecteur à chaque passage d'une particule.



Antenne (placée au sommet du détecteur) et récepteur GPS (placé à l'intérieur de la structure) d'AMS-02



Objectifs techniques du récepteur GPS spatial

Le modèle de récepteur retenu [Alcatel Alenia-Space] permet d'effectuer les mesures de position et de temps avec un niveau de précision très élevé.

Ce récepteur GPS Spatial remplit toutes les conditions requises au niveau de la réception du temps et de son implantation dans le détecteur AMS02. Ce récepteur a été pleinement intégré dans le système d'Acquisition de données d'AMS02. Il fournira avec une précision de quelques microsecondes les données temporelles (temps universel, ou temps UTC) pour chaque évènement physique détecté, et permettra la synchronisation sur ce temps UTC des horloges internes du détecteur (appelé dans ce contexte « système embarqué »).

Dans les actions liées à l'implantation du récepteur GPS spatial, le LUPM a bénéficié du support des ingénieurs du Service des Radio Fréquences du CNES à Toulouse.

Le choix de ce type de récepteur GPS - qui a fait ses preuves dans diverses missions scientifiques - a permis d'établir une collaboration avec le Groupe Galileo (GALILEO Joint Undertaking – GJU) en vue d'une expérience commune sur l'ISS (Station Spatiale Internationale). Galileo est un projet européen concurrent du réseau GPS américain.

Les actions communes se résumeront à l'étude des données GPS acquises sur l'ISS au cours des prochaines années. Ces données seront analysées par le groupe européen « Signal Task Force » rattaché directement à la Commission Européenne et qui inclut des chercheurs et ingénieurs du CNES.

Les résultats scientifiques attendus

Le cosmos est notre laboratoire ultime où les rayons cosmiques peuvent être observés à des énergies supérieures à celles produites par un accélérateur du type du LHC au CERN. AMS-02, premier spectromètre magnétique de grande envergure devant être lancé en orbite, va exploiter l'environnement unique de l'espace pour faire avancer notre connaissance de l'univers et ainsi contribuer à la compréhension de sa structure et de son origine. Ce spectromètre recherchera l'antimatière manquante, explorera les origines de la matière noire et mesurera avec la plus grande précision la composition des rayons cosmiques dans un spectre de plusieurs TeV (Terra-electron Volt) d'énergie.

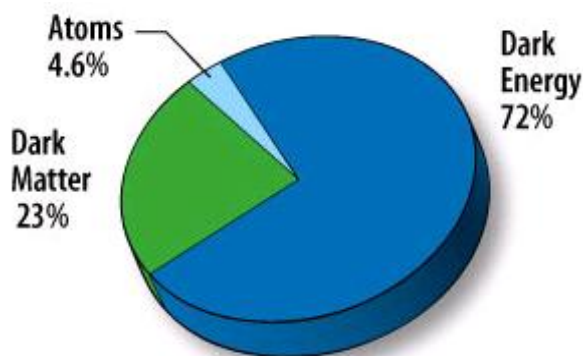
En outre, AMS-02 va rechercher les *strangelets*, une nouvelle forme possible de matière faite de quarks dits *étranges*.

L'anti-matière

Les données expérimentales indiquent que notre galaxie est faite de matière, mais il y a plusieurs centaines de milliards de galaxies dans l'univers et la théorie du Big Bang suppose que des quantités égales de matière et d'antimatière étaient présentes à l'origine de l'univers. Les théories qui tentent d'expliquer l'asymétrie entre matière et antimatière ne sont pas compatibles avec certaines mesures. Qu'il existe toujours ou non de l'antimatière dans l'univers est une question fondamentale en physique des astroparticules et en cosmologie moderne. Les observations d'un seul noyau d'antihélium constitueraient une preuve de l'existence d'une grande quantité d'antimatière quelque part dans l'univers.

La matière sombre

La matière visible dans le cosmos, comme celle représentée par les étoiles, représente moins de 5 pour cent du total du bilan masse-énergie de l'univers.



Les 95 pour cent manquants sont dits « sombres », que ce soit la matière noire qui est estimée à 23 pour cent de la masse de l'univers, ou l'énergie noire, qui représente le solde. La nature exacte de ces deux composantes sombres est encore inconnue. L'un des principaux candidats pour la matière noire est une particule théorique baptisée *neutralino*. Si les *neutralinos* existent, ceux-ci pourraient entrer en collision les uns avec les autres, produisant des particules chargées ou neutres qui peuvent être détectées par AMS-02.

Des pics remarquables ou des structures anormales dans les spectres d'énergie de positrons, d'anti-protons ou de rayons gamma pourraient signaler l'existence de *neutralinos* ou d'autres candidats à l'identification de la matière sombre.

Les strangelets

Six types de quarks (up, down, strange, charme, haut et bas) ont été découverts expérimentalement, mais toute la matière de la planète est composée de seulement deux types de quark : haut et bas. C'est une question fondamentale de savoir s'il existe une matière constituée de trois quarks (up, down et étranges). Prédite théoriquement, cette matière est connue sous le nom de strangelets. Des quarks étranges peuvent avoir une masse très grande et de très petits rapports entre charge et masse. Ce serait une forme totalement nouvelle de matière. Au cours de son activité sur l'ISS, AMS-02 pourrait détecter l'existence de cette forme exotique de matière.

La composition des rayons cosmiques et leurs flux

AMS-02 sera opérationnel sur l'ISS pour une durée supérieure à 10 ans, rassemblant une grande quantité de données et déterminant les variations sur le long terme des flux des rayons cosmiques ainsi que leur composition depuis les protons jusqu'au fer, et sur une vaste gamme d'énergie. Ces données permettront d'améliorer notre compréhension des flux de particules interstellaires et des mécanismes à l'origine des rayons cosmiques.

Lexique

Antimatière : l'antimatière est l'ensemble des particules de signe électrique opposé aux particules composant la matière classique. Les particules composant l'antimatière ont donc des charges opposées : par exemple le positron est l'antiparticule de l'électron. Deux particules opposées s'annihilent en produisant du rayonnement si elles entrent en contact.

CERN : le CERN, l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire, est l'un des plus grands laboratoires scientifiques dans le monde. Il a pour rôle d'étudier la physique fondamentale, de découvrir les constituants de la matière et de façon plus générale les lois de l'Univers..

Champ magnétique : la présence d'un champ magnétique se traduit par l'existence d'une force qui agit sur des charges électriques en mouvement. En physique classique, les champs magnétiques sont issus de courants électriques.

Champ magnétique terrestre : le champ magnétique terrestre (ou magnétosphère) est produit par les mouvements convectifs du noyau terrestre. Ce champ magnétique qui entoure notre planète n'est pas de structure homogène.

Galileo : projet européen de système de positionnement par satellites, en cours de réalisation. Il assurera l'autonomie de l'Union Européenne vis-à-vis des USA et de la Russie dans ce domaine stratégique.

ISS : la Station spatiale internationale (*International Space Station* ou ISS) est une structure placée en basse orbite (en moyenne à 400 kilomètres d'altitude). Elle est habitée de façon continue par des équipages qui se relaient et qui se consacrent à la recherche scientifique en environnement spatial.

LHC : le *Large Hadron Collider* (LHC, ou Grand Collisionneur de Hadrons) est le plus puissant accélérateur de particules dans le monde. Situé à la frontière franco-suisse, il représente le plus grand dispositif expérimental jamais construit pour étudier et vérifier des théories physiques touchant à la physique des particules.

NASA : la *National Aeronautics and Space Administration*, ou NASA est l'agence gouvernementale qui a la responsabilité de mettre en oeuvre la plus grande partie du programme spatial civil des États-Unis.

Matière Sombre, matière noire, masse manquante : la matière noire (ou matière sombre), désigne une catégorie de matière jusqu'à présent non détectée et restée théorique. Les mouvements des galaxies ne peuvent s'expliquer sans l'introduction de cette matière restée jusqu'à aujourd'hui indétectable de façon directe.

Medium : milieu interstellaire.

Noyaux galactiques actifs : les Noyaux Actifs de Galaxies, ou AGN (*Active Galactic Nucleus*), sont des noyaux de galaxies particulièrement lumineux et qui sont connus pour être le siège de processus générant d'énormes volumes d'énergie sous forme de rayonnement.

Rayons Cosmiques : les rayons cosmiques sont faits de flux de noyaux atomiques et de particules de haute énergie qui circulent à des vitesses égales ou proches de celle de la lumière dans le vide interstellaire. Ces « rayons cosmiques » font partie des d'astroparticules.

Rayons Gamma : ce type de rayonnements est produit par la désintégration de noyaux atomiques ou par des phénomènes comme l'annihilation de paires électron-positron. Ce sont les rayonnements les plus énergétiques connus.

Récepteur GPS : un récepteur GPS (Global Positioning System) capte et analyse les signaux émis par une constellation de satellites, ce qui lui permet de déterminer temps et position.

Segment terrestre : un segment terrestre dans une expérimentation spatiale est l'ensemble des dispositifs (moyens de communication, serveurs informatiques...) responsables des opérations du satellite, de la réception des données et du traitement des commandes.

Silicium : c'est l'élément le plus abondant dans la croûte terrestre après l'oxygène, soit le quart de sa masse. Vu ses propriétés, ce matériau est très utilisé aujourd'hui en électronique.

Sources astrophysiques : objets (tels que les noyaux actifs de galaxies ou les supernovae) ou phénomènes à l'origine des flux de rayons cosmiques dans le milieu interstellaire.

Spectromètre : un spectromètre est un appareil de mesure permettant de décomposer une quantité observée en ses éléments simples qui constituent son spectre.

Supernovae : une supernova est l'ensemble des phénomènes succédant à l'explosion d'une étoile, et qui produisent une augmentation brève mais démesurée de sa luminosité.

Sursaut Gamma : (GRB, ou *Gamma Ray Bursts*) découverts pour la première fois en 1967, ces sursauts sont de brèves mais intenses émissions de rayons gamma qui traversent tout l'univers. Leur durée est comprise entre quelques millisecondes et plusieurs minutes. L'étude de leurs origines est un domaine essentiel de la recherche en astrophysique aujourd'hui.

Tracker, trajectomètre : cet instrument installé au centre d'un aimant et composé de canaux d'acquisition qui a pour fonction de tracer le passage des particules électriquement chargées.

Trou noir super-massif : Un trou noir super-massif est, en astrophysique, un trou noir dont la masse est d'environ un million à un milliard de masses solaires. Les centres des galaxies hébergeraient généralement un trou noir super-massif.

Liens utiles

- AMS sur le site du LUPM : www.lupm.univ-montp2.fr
- IN2P3 : www.in2p3.fr/
- Avec le LUPM deux laboratoires de l'IN2P3 impliqués dans AMS :
LAPP (Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique des Particules),
<http://lapp.in2p3.fr>
LPSC (Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie, Grenoble),
<http://lpsc.in2p3.fr/>
- AMS-02 sur le site du CERN : ams.cern.ch/
- ... sur le site de l'INFN (Italie) : www.ams02.org/
- ... et celui de la NASA : <http://ams-02project.jsc.nasa.gov/>
- La mission STS-134 :
http://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/shuttlemissions/sts134/index.html

Crédits photographiques

www.gregcirade.com pour le CNRS pour la photo de couverture.

AMS Collaboration page 7.

IN2P3 pages 8, 9.

NASA pages 2, 3, 5, 6, 11, 16.

