

OBSERVATION DES PARTICULES SPATIALES DE HAUTE ÉNERGIE AVEC LE NOUVEAU SPECTROMÈTRE EPT

V. Pierrard

Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique

Introduction

Un des instruments embarqués à bord du satellite belge PROBA-V, lancé ce 7 mai 2013 depuis la base de Kourou en Guyane, est un spectromètre compact et modulaire appelé EPT (pour Energetic Particle Telescope) ayant pour objectif la mesure précise de flux des particules énergétiques dans l'espace.

Ce tout nouvel instrument a été développé au sein d'un consortium réunissant l'Université Catholique de Louvain (UCL), l'Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique (IASB), et la firme privée QinetiQ Space avec l'appui de l'Agence spatiale européenne (ESA) et du Service public fédéral belge de Programmation Politique scientifique (Belspo). Ce nouveau spectromètre, conçu pour mesurer le flux des particules énergétiques chargées rencontrées dans l'environnement spatial, est ainsi chargé de l'identification et du comptage d'électrons dans une gamme d'énergie comprise entre 0,5 et 10 MeV, de protons entre 7 et 300 MeV ainsi que d'ions d'hélium entre 30 et 1000 MeV.

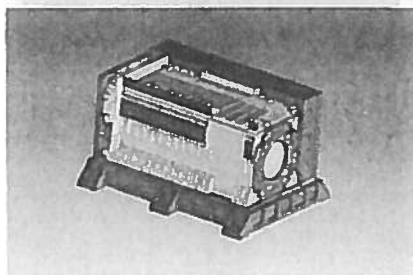


Fig. 1: L'instrument EPT en phase finale de construction

L'instrument est très compact (110 x 110 x 200 mm) et relativement léger (inférieur à 5 kg) en comparaison avec les détecteurs des radiations spatiales développés par le passé pour couvrir les mêmes gammes d'énergie. Également modulaire, il peut dès lors être optimisé pour opérer à bord de divers engins spatiaux sur une grande variété d'orbites.

Naissance du projet

Le principe de cet instrument résulte d'échanges fructueux entre scientifiques de l'IASB et de l'UCL. L'équipe de Physique Spatiale de l'IASB développe des modèles de vent solaire et des

ceintures de radiations sur base d'observations faites par des détecteurs à bord de satellites. De leur côté, les équipes du Centre des radiations spatiales (CRS) et de l'UCL conçoivent et utilisent de tels détecteurs pour diverses disciplines de recherche.

Dès lors, ces équipes ont décidé de mettre en commun leur expertise et leurs ressources pour concevoir, construire et mettre en œuvre cet EPT dont le développement a commencé voici plus de quinze ans. L'électronique embarquée imaginée à l'UCL est particulièrement originale puisqu'elle rassemble à la fois l'enregistrement des données brutes mais également leur traitement en ligne en vue de fournir des résultats directement exploitables pouvant être transmis au sol à chaque passage du satellite au-dessus de la station de Redu.

La conception mécanique de l'EPT a été réalisée par l'équipe d'ingénieurs de l'IASB suivant des exigences scientifiques très strictes et tout en réduisant au maximum la taille de l'instru-

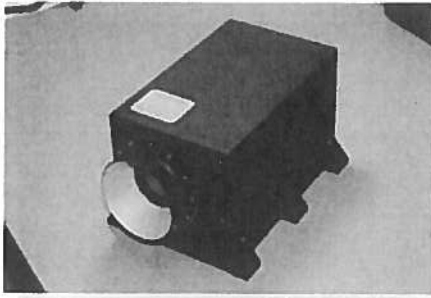


Fig. 2: L'EPT dans son boîtier de protection avec son cône d'ouverture par où les particules peuvent pénétrer.

ment. Le défi était de concevoir un instrument capable d'effectuer des mesures scientifiques de haut vol d'une part, sans que la dimension globale et la masse ne soient beaucoup plus élevées que celles d'un instrument de surveillance des rayonnements comme les moniteurs actuellement à bord de nombreux vaisseaux spatiaux d'autre part.

La filiale belge de la firme privée Qinetiq Space a été chargée de la mise en œuvre de l'électronique de l'instrument, ainsi que de la coordination de son développement et de son intégration sur le satellite PROBA-V. Conjointement avec le centre de contrôle de Redu, le centre B.USOC (Belgian User Support and Operations Centre) par ailleurs établi dans les locaux de l'IASB, est quant à lui chargé d'assurer la transmission des données vers l'UCL/CSR et l'IASB. Ces données seront ensuite analysées, puis utilisées tant en météorologie spatiale que pour d'autres études fondamentales. C'est la raison pour laquelle elles seront distribuées notamment à l'ESA et à une équipe de chercheurs de la NASA. Le B.USOC servira également de relais pour la configuration de l'instrument à bord et assurera le stockage des données traitées par les scientifiques.

Le consortium qui a construit l'EPT développe actuellement un spectromètre encore plus perfec-

tionné, le 3DEES, destiné à la détection avec haute fidélité des électrons énergétiques et à la détermination de leur angle d'incidence.

Fonctionnement de l'EPT

Le principe de fonctionnement de l'EPT est basé sur la mesure de la distance parcourue par une particule chargée dans la matière. Un projectile se déplaçant à grande vitesse pénètre d'autant plus profondément dans un matériau que sa vitesse v (ou son énergie E) est élevée. L'instrument est appelé télescope car son bloc d'arrêt est formé par un empilement de plusieurs détecteurs actifs séparés par des couches d'épaisseurs calibrées de matériaux inertes (non actifs) appelés les absorbeurs.

Comme des particules différentes peuvent parcourir la même distance dans un matériau donné, des mesures précises de l'énergie déposée dans un des senseurs permettent d'opérer l'identification sans équivoque des radiations incidentes. La mesure des flux avec identification directe des particules est un atout majeur de ce nouvel instrument.

Les données de l'EPT sont traitées à bord. En effet, chaque événement au sein de l'instrument ne génère que 56 bits de données qui sont immédiatement utilisés pour mettre à jour le spectre de la particule identifiée. Aussi, les données de l'EPT ramenées au sol sont des spectres qui ne nécessitent quasiment aucun traitement supplémentaire.

Pourquoi mesurer ces flux dans l'espace ?

Les particules énergétiques constituent une menace pour les équipages des engins spatiaux mais aussi pour les équipements em-

barqués et les matériaux à bord. En effet, ces radiations peuvent endommager les cellules biologiques des astronautes, abîmer les ordinateurs de bord ou modifier les caractéristiques des matériaux constituant la plate-forme ou la charge utile.

Il est donc essentiel de connaître le flux de ces particules à différentes positions dans l'espace, d'en connaître l'évolution à moyen terme, mais aussi de comprendre les mécanismes physiques qui entraînent des variations rapides de ces particules à certaines positions lors des orages géomagnétiques.

Le modèle actuel de l'EPT à bord de PROBA-V mesure le flux des particules sur une orbite basse à 820 km d'altitude. Il rencontre les ceintures de radiation de Van Allen dans les régions aurorales et dans l'Anomalie Sud Atlantique (SAA). D'autres modèles, encore plus compacts pourraient être assemblés dans le futur pour caractériser d'autres flux de particules spatiales.

Les ceintures de radiations

Les ceintures de rayonnement ou de radiations furent découvertes en janvier 1958 par James Van Allen à partir de données recueillies par le premier satellite américain Explorer 1. Il s'agit de régions toroïdales formées par des particules chargées électriquement, qui sont piégées dans le champ magnétique terrestre. Les particules des ceintures de radiations, principalement des électrons, des protons et quelques ions plus lourds, possèdent des énergies cinétiques supérieures à 30 keV et peuvent atteindre plusieurs centaines de MeV pour les protons de la ceinture interne. Ces particules très énergétiques constituent un réel danger pour les astronautes et les satellites en

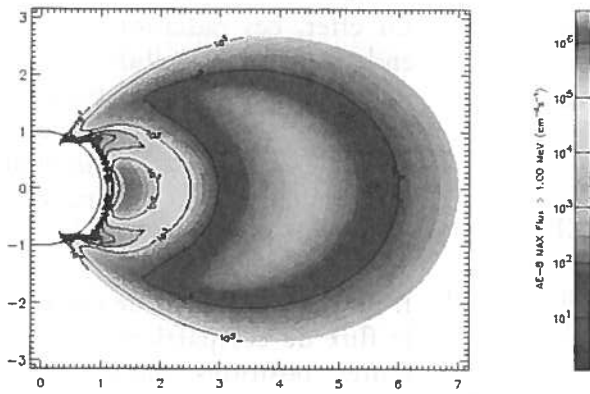


Fig. 3 : Les ceintures de radiations de Van Allen illustrées ici par le flux intégral des électrons > 1 MeV obtenu par le modèle empirique AE8 de la NASA.

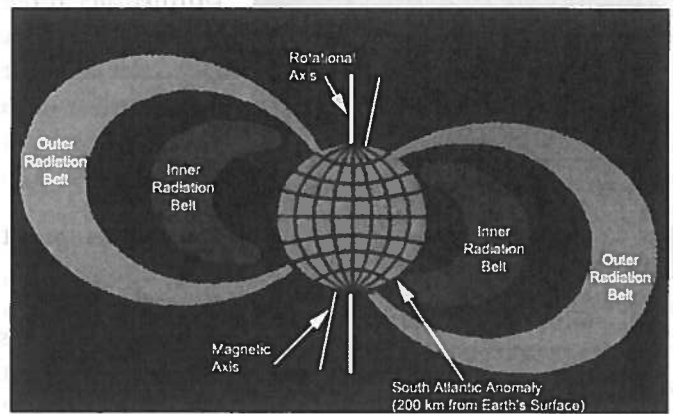


Fig. 4 : Les ceintures de radiations et l'Anomalie Sud Atlantique (200 km from Earth's Surface)

orbite autour de la Terre.

On distingue deux ceintures de radiations différentes autour de la Terre : la ceinture interne et la ceinture externe. La ceinture interne s'étend jusqu'à environ 4 rayons terrestres dans le plan équatorial. Elle contient des protons qui ont des énergies comprises entre 100 keV et plusieurs centaines de MeV et des électrons d'une énergie allant de quelques dizaines de keV et 10 MeV. La population de protons très énergétiques (>10 MeV) est confinée aux altitudes inférieures à 20000 km. La ceinture extérieure est principalement composée d'électrons énergétiques de quelques MeV. Elle s'étend jusqu'à 10 rayons terrestres dans le plan équatorial.

Entre la ceinture interne et la ceinture externe apparaît une région de "faille" dans laquelle le flux d'électrons diminue avant de remonter dans la zone extérieure. La localisation et l'étendue de la ceinture interne, de la faille et de la zone extérieure dépendent de l'énergie des électrons, les électrons les plus énergétiques étant confinés dans la ceinture interne. Aux hautes latitudes, la ceinture extérieure des électrons atteint de très basses altitudes.

D'où viennent ces particules ?

Dans la zone interne, les protons et les électrons de haute énergie sont produits par désintégration de neutrons. En effet, lorsque des rayons cosmiques ou lorsque des protons très énergétiques d'origine solaire heurtent des atomes d'azote ou d'oxygène de l'atmosphère, il se produit une réaction nucléaire au cours de laquelle un neutron est créé. Environ 10 % de ces neutrons s'échappent vers l'espace et se décomposent rapidement en protons et électrons.

Ces derniers sont capturés par le champ magnétique.

La source principale des particules dans la ceinture extérieure est le vent solaire, mais l'ionosphère peut également jouer un rôle comme en atteste la présence d'ions d'oxygène. La population électronique de la zone externe varie beaucoup plus rapidement au cours du temps que dans la ceinture interne et est très sensible aux orages magnétiques.

Certaines particules ont aussi été

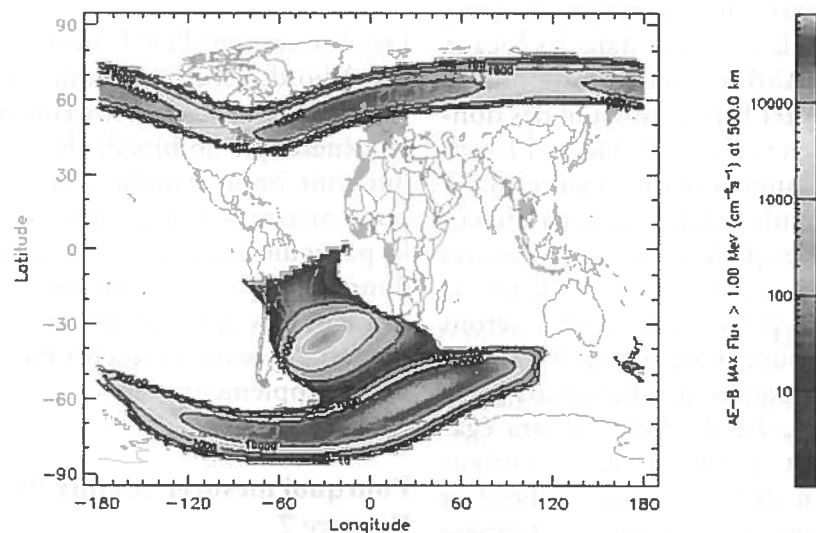


Fig. 5 : Flux intégral des électrons > 1 MeV à 500 km d'altitude obtenu avec le modèle AE8 de la NASA sur SPENVIS (www.spENVIS.oma.be). Les flux à basse altitude se situent principalement au-dessus de l'Atlantique Sud et aux hautes latitudes.

créées artificiellement. Ainsi, en 1958 et en 1962, l'US Air Force fit exploser à haute altitude des bombes atomiques qui injectèrent de nombreux électrons très énergétiques dans la magnétosphère. Certains de ces électrons furent responsables d'aurores artificielles spectaculaires.

Ces particules énergétiques sont piégées dans le champ magnétique, ce qui explique la forme toroïdale des ceintures. L'axe de symétrie des ceintures coïncide avec l'axe du dipôle magnétique

terrestre qui est incliné de 11 degrés par rapport à l'axe de rotation de la Terre. Le centre du dipôle est décentré de plus de 500 km dans la direction du Pacifique Nord par rapport au centre de gravité de la planète. A cause de ce décentrement, le champ magnétique est moins intense au-dessus de l'Atlantique Sud de sorte que les électrons et protons énergétiques pénètrent plus profondément dans l'atmosphère de la Terre. Cette région est appelée l'Anomalie Sud Atlantique (SAA).

Conclusion

L'instrument EPT possède une capacité inégalée de discrimination en vol des espèces de particules. Il fournira des mesures plus précises que celles obtenues avec les instruments précédents. Les données seront directement disponibles pour des prédictions de météorologie spatiale, ainsi que pour la mise à jour de modèles de radiations spatiales.



L'orbiteur LRO qui tourne autour de la Lune depuis le mois de juin 2009 a photographié une spirale d'environ un kilomètre de diamètre au fond du cratère Giordano Bruno. La lave pourrait être à l'origine de cette curiosité géologique.

Ce cratère très jeune d'une cinquantaine de kilomètres de diamètre, qu'on a surnommé Giordano Bruno, nom du célèbre philosophe italien favorable à l'héliocentrisme, une impudence qui le conduisit sur le bûcher en l'an 1600. Curieusement, le cratère Giordano Bruno semble correspondre à un phénomène spectaculaire : le 18 juin 1178, cinq moines de la cathédrale de Canterbury relatèrent l'observation d'un flash très lumineux sur le bord lunaire, qui aurait pu être causé par l'impact d'une grosse météorite.

LRO survole notre satellite à une cinquantaine de kilomètres d'altitude pour en réaliser la cartographie en haute résolution et étudier les régions polaires. Pour prendre ses photographies, l'orbiteur dispose de deux caméras. La Wac (Wide Angle Camera) fournit une résolution d'environ 100 m, alors que la Nac (Narrow Angle Camera) permet de saisir des détails de 0,5 m.

C'est la Nac qui a été utilisée pour photographier à haute résolution le fond du cratère Giordano Bruno, révélant une grande spirale figée dans le sens horaire. Quelque peu décontenancés par ce motif, les géologues ont envisagé qu'une spirale puisse naître quand des coulées de lave ne se déplacent pas à la même vitesse et s'enroulent les unes autour des autres. Et ce, soit en raison d'une différence de viscosité, soit parce qu'elles sont plus ou moins ralenties par des obstacles au fond du cratère.

Crédits : NASA - Futura-Sciences