

POLAR : Un détecteur spatial pour l'investigation des phénomènes les plus violents dans l'univers

La collaboration scientifique internationale POLAR a pour objet la conception, la réalisation et l'exploitation d'un détecteur spatial à grand champ de vue pour la mesure de la polarisation des rayons X durs émis par des sources astrophysiques, et plus particulièrement par les sursauts gamma. Les sursauts gamma sont les phénomènes les plus violents observés dans l'Univers. Sans doute lié à l'absorption d'étoiles géantes par des trous noirs, le mécanisme par lequel ces sursauts gamma sont produits pourrait faire intervenir des champs magnétiques colossaux dont on peut trouver la trace par la mesure de la polarisation des rayons X émis. Cette mesure est difficile et nécessite un détecteur spécialisé et très performant, embarqué sur une plateforme satellite.

Le projet POLAR a reçu en 2008 une labellisation par le pôle de compétitivité ARVE INDUSTRIES.

Introduction

POLAR est un détecteur spatial à grand champ de vue pour la mesure de la polarisation des rayons X durs émis par des sources astrophysiques et plus particulièrement par les sursauts gamma. Bien que découverts il y a 35 ans, les sursauts gamma sont encore aujourd'hui un des sujets brûlants de l'astrophysique et leur origine n'est pas encore connue.

Ces phénomènes cataclysmiques peuvent consumer en l'espace d'une seconde une masse équivalente à celle de milliers de notre Soleil, expédiant cette énergie à travers l'espace. Ces phénomènes ont fait l'objet d'une grande activité théorique et expérimentale. Les principales questions portent sur la nature exacte du phénomène à l'origine du sursaut gamma et sur les mécanismes d'extraction de l'énergie et de production d'éjecta de matière relativistes.

Points forts

Etude, conception et réalisation du circuit intégré MAPRA, pour l'acquisition et le traitement de signaux des photodétecteurs du polarimètre spatial POLAR.

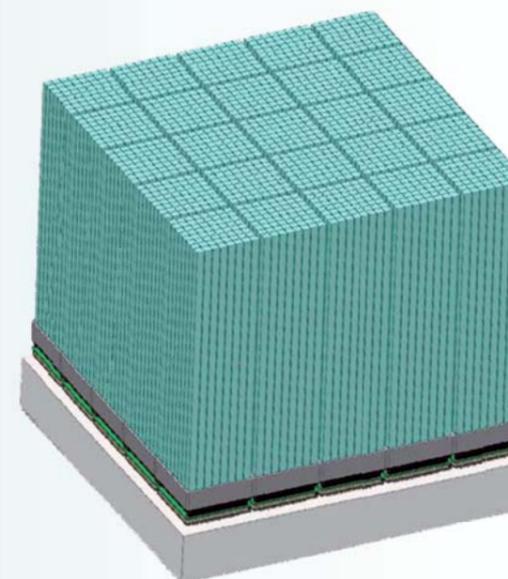


Figure 1 : Vue artistique du détecteur POLAR.

Les mesures de polarisation (degré et angle de polarisation), de manière complémentaire aux mesures spectrales standards, peuvent nous permettre de comprendre ces phénomènes et de distinguer les mécanismes physiques en compétition. Les processus générant des rayons X polarisés sont généralement athermiques et anisotropes. Pour arriver à lever le voile sur ce phénomène il faut des mesures précises et répétées de la polarisation, ce qui impose un détecteur spécialisé. Aujourd'hui, il n'y a aucun instrument en fonctionnement dédié à une telle mesure, et POLAR est le seul instrument capable de le faire à travers un détecteur modulaire basé sur la technologie consolidée de la physique des particules expérimentale avec un champ de vue de



Figure 2 : Vue artistique du laboratoire spatial chinois «SpaceLab».

plus de π . La mesure utilise l'effet Compton, pour des photons incidents d'énergie typiquement entre 50 KeV et 500 KeV, qui couvrent le domaine d'énergie dans lequel les sursauts gamma ont un flux élevé. Dans sa version d'étude (Figure 1), POLAR est formé d'un ensemble de 1600 barreaux de scintillateurs aux dimensions de $6 \times 6 \times 200 \text{ mm}^3$ chacun. Ces dimensions sont ajustées pour que la longueur d'un barreau soit voisine du parcours de l'électron de recul et que la section soit égale à la surface d'un pixel du photomultiplicateur H8500 de chez Hamamatsu. Ces photomultiplicateurs (MAPM) sont caractérisés, non seulement par un gain élevé et une grande efficacité quantique, mais de plus ils ont déjà été utilisés dans l'espace. Le choix des dimensions permet de coupler directement les barreaux de scintillateurs à la face d'entrée des MAPM en dessous desquels se trouvent l'électronique de lecture et les alimentations électriques.

Une collaboration internationale, qui regroupe des instituts de France, de Suisse, de Pologne et de Chine (ce dernier pays fournissant le lanceur et la plateforme satellite), s'est formée

avec des instituts ayant une grande expérience dans la recherche spatiale et la technologie des détecteurs. En France, chercheurs de la physique des particules (IN2P3) et de l'astrophysique (INSU), expérimentateurs et théoriciens travaillent ensemble et complémentairement avec le même objectif scientifique.

La collaboration

La collaboration internationale POLAR comprend des scientifiques des instituts suivants :

DPNC – Université de Genève, ESA-Integral Data Centre – ISDC à Versoix en Suisse, LAPP Ancey, LAM Marseille, LAPTH Ancey, PSI-Villigen près de Zurich en Suisse, IHEP Beijing et Université TsingHua en Chine, CBK Varsovie en Pologne.

Activités de recherche du groupe du LAPP

Les principaux sous-projets dans lesquels les membres du groupe du LAPP placent leurs efforts sont :

- Le développement d'un circuit intégré MAPRA (Multi Anode Polar Readout Asic) pour l'électronique frontale de lecture des signaux de photodétecteurs 64-channels Multi-Anode Photomultipliers.
- La programmation du logiciel embarqué pour le traitement des signaux numériques, la logique d'identification et le déclenchement de l'acquisition.

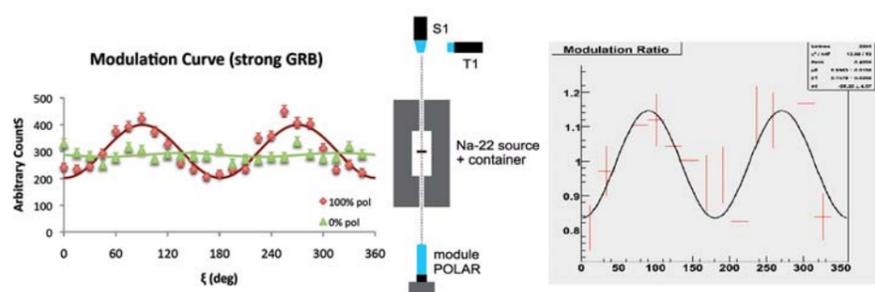


Figure 3 : 1) Courbes de modulation de la diffusion Compton de photons polarisés à 0% et 100% selon une simulation Monte Carlo de la réponse de POLAR. 2) Courbe de modulation expérimentale de photons polarisés de 511 keV mesurés par un module de POLAR.

- L'analyse détaillée du cas scientifique comprenant des études de phénoménologie par Monte Carlo et la préparation à l'analyse de données en collaboration avec la communauté scientifique française concernée.

Projets techniques

Le développement du circuit intégré MAPRA est le principal projet technique de l'équipe POLAR du LAPP. L'électronique de lecture des photomultiplicateurs de POLAR, et tout particulièrement le circuit intégré, est un élément essentiel afin de minimiser les bruits de fond et d'avoir une bonne mesure du signal. Elle doit être très rapide, permettre par des gains électroniques ajustables de bien uniformiser la réponse du détecteur en chaque point et aussi permettre de sélectionner les signaux sur des critères topologiques (ce qui permet la réduction du bruit de fond). Le projet a démarré en 2008. Pendant 12 mois, toutes les phases significatives du projet électronique ont été franchies et le calendrier d'exécution respecté :

- Dans un premier temps (de trois-quatre mois) une phase d'étude, en association avec le pôle de microélectronique Omega (Orsay) de l'IN2P3, institut dont fait partie le LAPP, a permis une analyse détaillée d'un autre circuit (MAROC) dont les briques fonctionnelles de base sont utiles pour le circuit MAPRA de POLAR.
- Dans une phase intermédiaire de trois mois, un atelier électronique réservé à ce projet et équipé avec un ensemble d'outils de tests comprenant carte d'acquisition, ordinateur, logiciel labview et logiciel dédié a été mis en fonction.
- En parallèle, et pour une durée de 6 mois, le schéma du nouveau chip a été conçu en utilisant les logiciels existants au laboratoire.

- Des tests multiples par simulation ont eu lieu entre octobre 2008 et janvier 2009.
- Enfin l'optimisation de la conception de la partie numérique du circuit intégré a permis la finalisation du design du prototype envoyé en production en février 2009 pour une fonderie qui a eu lieu le 2 mars 2009.

Les circuits intégrés, de retour de fonderie après encapsulation, seront soumis à des tests approfondis sur le banc développé à cet effet.

Analyse de physique et résultats

Depuis deux ans (2007-2008), la collaboration POLAR a fait des études de faisabilité, une étude critique du projet scientifique ainsi qu'un long travail de simulation informatique, pour déterminer les performances attendues de l'instrument et sa capacité à mesurer la polarisation. Les premiers tests d'un démonstrateur avec des photons polarisés ont validé les résultats de Monte Carlo (Figure 3). Plusieurs publications dans des revues scientifiques internationales et dans des conférences ont eu lieu.

Le 18 janvier 2008, l'équipe LAPP a organisé un atelier d'astrophysique au laboratoire (<http://lappweb.in2p3.fr/GRB2008/fr/index.html>), pour informer et stimuler l'intérêt de la communauté scientifique française sur les démarches expérimentales dédiées à la mesure de polarisation des rayons X durs avec le télescope spatiale POLAR. Le but de cet atelier était de comparer les différents modèles théoriques de sursauts gamma et de discuter leurs prédictions en termes de polarisation linéaire des rayons X émis, afin d'analyser comment la mesure conjointe de la polarisation avec les spectres d'émission permettrait un test approfondi de ces modèles.

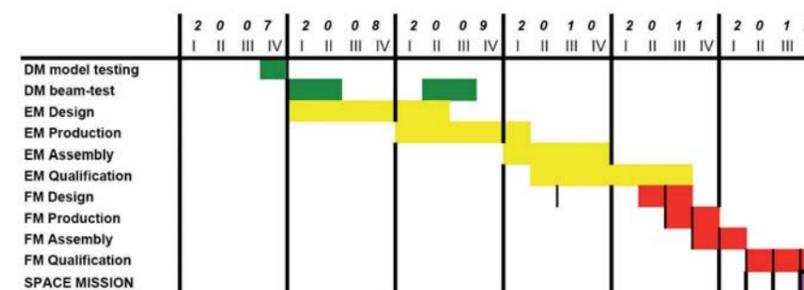


Figure 4 : Calendrier du projet POLAR.

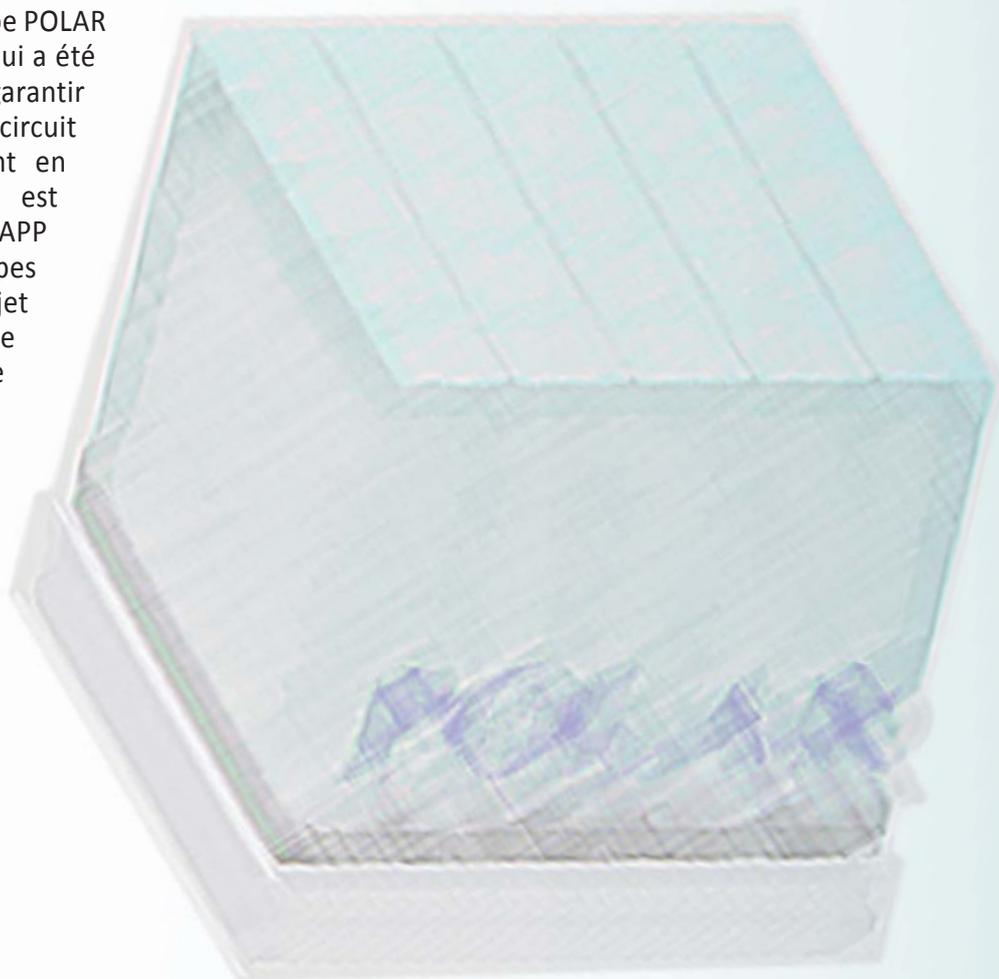
Plan pour 2010-2014

Les grandes lignes du plan de travail sont les suivantes : la finalisation de tests (en cours) d'un démonstrateur au plus tard en août 2009 ; la réalisation et la qualification d'un modèle d'ingénierie EM qui a commencé en juin 2007 et qui se terminera à la fin du premier semestre 2011 ; la réalisation du modèle de vol FM qui sera achevé en 2011-2012 ; l'exploitation des données pendant la mission en orbite pour une durée d'au moins trois ans à partir de 2012-2013. L'instrument sera lancé par une fusée chinoise et installé sur le futur laboratoire spatial chinois Tian Gong en 2013 (Figure 2).

La dimension actuelle de l'équipe POLAR du LAPP et le financement qui lui a été accordé en 2008 pourront garantir la finalisation du projet du circuit ASIC-MAPRA. Un renforcement en personnel et en ressources est indispensable pour que le LAPP puisse s'engager dans les étapes plus importantes du projet (Figure 4) de réalisation, de finalisation de l'électronique de lecture et de traitement de données jusqu'à la mise en orbite et l'exploitation de données scientifiques.

Publications importantes

1. "POLAR, an instrument to measure GRB polarization. Design and laboratory tests", Proceedings of the 30th International Cosmic Ray Conference, Merida (Mexique) July 2007, vol. 3 (2008) 1301-1304. G. Lamanna et al.
2. "POLAR: a space borne GRB polarimeter", Proceedings of «Polarimetry days in Rome: Crab status, theory and prospects», Rome (Italie) October 2008, LAPP-EXP-2008-06. G. Lamanna, N. Fouque, R. Hermel, J.-P. Vialle et al., Collaboration POLAR.



L'équipe du LAPP

Physiciens : G. Lamanna, J.-P. Vialle

Equipe Technique : N. Fouque, R. Hermel