

L'Observatoire Royal de Belgique
à bord de

PROBA 2

Un regard vers le futur

Petra Vanlommel et Elke D'Huys



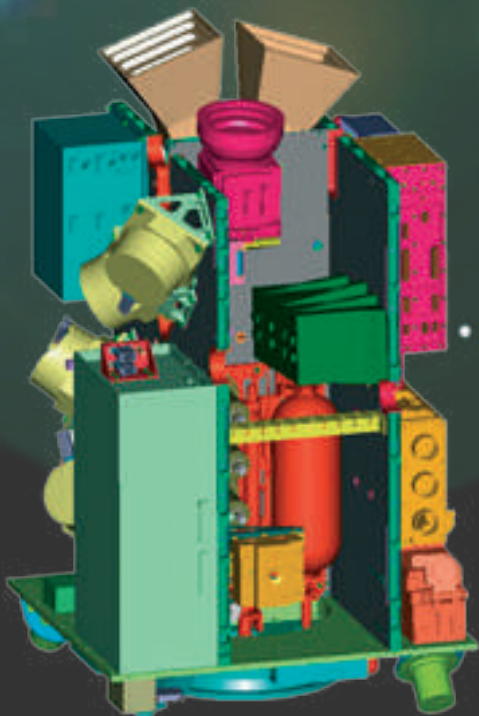
PROBA2 est le précurseur des microsattellites du futur. Il donne à la science un regard nouveau sur le Soleil. Avec ce satellite, lancé le 2 novembre 2009, la Belgique se positionne au premier plan dans le domaine spatial européen. PROBA2 est équipé d'un ensemble de quatre nouveaux instruments scientifiques destinés à l'étude du Soleil et à la « météo de l'espace » (Space Weather). Deux d'entre eux, le télescope SWAP et le radiomètre LYRA, sont sous la responsabilité de l'Observatoire Royal de Belgique.

L'homme possède naturellement une grande curiosité et une soif d'expansion, qui se traduit par une extension incessante de son environnement de vie. Durant des siècles, les étoiles et le Soleil ont été utilisés pour naviguer et découvrir de nouveaux territoires et océans. Dès la fin des années 50, l'homme s'est mis à explorer l'espace en dehors de l'atmosphère terrestre. Toutes ces découvertes furent couplées à des développements technologiques de pointe: nouvelles façons pour produire, utiliser et transporter l'énergie, nouveaux systèmes de navigation et de communication ... Ce sont entre autres à ces derniers que les expériences scientifiques à bord de PROBA2 peuvent être utiles. En effet, une fois dans l'espace, le Soleil se révèle être un astre dynamique et qui n'est pas inoffensif. Les satellites et technologies spatiales avec lesquels nous observons le Soleil sont eux-mêmes sujets à son influence néfaste et aux conditions changeantes de l'espace, celles que tente de prévoir la météo spatiale. C'est, en fin de compte, assez paradoxal: le Soleil, qui a longtemps constitué une référence de nos systèmes de navigation, représente aujourd'hui un danger pour le bon fonctionnement de notre système de navigation moderne par GPS. Le Soleil produit régulièrement des pics de rayonnement appelés éruptions solaires et « souffle » de temps en temps des tempêtes de petites particules à grande vitesse dans l'espace. De plus, un vent permanent du plasma solaire perturbe les champs

magnétiques terrestres. Ces différents éléments sont autant d'ingrédients de la recherche solaire et de la météo spatiale. Avec PROBA2, le télescope Sun Watcher with Active Pixels and Image Processing (SWAP) et le radiomètre LYRA (Large Yield Radiometer), l'ORB fournira des données qui alimenteront les études scientifiques menées par les centres de prévision de météo spatiale. L'ORB joue ainsi un rôle actif dans la détection des dangers aigus émanant du Soleil et qui affectent notre environnement spatial.

PROBA: un satellite intelligent

PROBA (PROject for OnBoard Autonomy) est un projet de l'Agence Spatiale Européenne (ESA). Il a été initié en 1998 afin d'expérimenter de nouvelles technologies destinées au domaine spatial. Les satellites PROBA sont petits, coûtent moins chers que des satellites classiques et sont donc idéaux pour tester des technologies innovantes en milieu spatial, au cours d'un vol d'essai. De surcroît, ces missions donnent la possibilité à de petites entreprises technologiques européennes d'expérimenter leur savoir-faire. Le concept PROBA a pour idée de base l'autonomie et les microsattellites de cette filière sont tous construits en ce sens. Ils disposent d'un ordinateur puissant afin de traiter les données à bord et sont développés sur une courte échelle de temps (2-3 ans). PROBA2 est le deuxième dans cette série des satelli-



©ESA

La structure interne de Proba-2. On peut voir en bas à droite (en jaune) les instruments LYRA et SWAP.

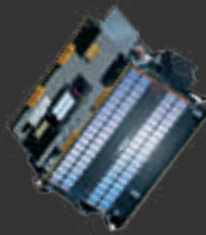
tes. C'est un petit engin compact qui, outre son rôle de testeur de nouvelles technologies spatiales, a également un objectif scientifique. PROBA2 se concentre sur le Soleil, la météo spatiale et la physique des plasma. Tous les calculs pour la navigation, le positionnement et l'orientation sont effectués à bord. Les panneaux solaires latéraux de PROBA2 furent déployés après le lancement. Les panneaux extérieurs sur lesquels aucune cellule solaire n'est montée sont peints en noir ou blanc, selon leur emplacement. De cette manière, la température du satellite est maintenue autant que possible sous contrôle. Les instruments scientifiques sont dirigés vers le Soleil de façon continue, ce qui engendre une température très élevée à leur niveau. Des chauffages contrôlent la température de la batterie mais réchauffent aussi les composants optiques de LYRA et SWAP afin qu'ils puissent être débarrassés, lors de campagnes de décontamination, d'une partie des contaminants qui s'y déposent, dégradant les observations. Le télescope SWAP utilise également un radiateur afin de refroidir son détecteur lorsqu'il ne participe pas à ces campagnes. La puissance électrique dont PROBA2 a besoin est générée à l'aide de cellules solaires qui ont été intégrées

à deux panneaux repliables sur les côtés du satellite et un panneau central fixe. Les générateurs solaires produisent un maximum de 110W. Durant les périodes d'éclipses, au cours desquelles le satellite passe dans l'ombre de la Terre, ou lorsqu'une expérience à bord a besoin de plus de courant que les panneaux solaires ne peuvent fournir, on peut également utiliser une batterie expérimentale lithium-ion. En fonction du mode opératoire dans lequel PROBA2 se trouve, la consommation énergétique nominale du satellite varie entre 70 et 110 W, moins que la consommation d'un ordinateur.

Parler à PROBA2

PROBA2 communique avec la station au sol de l'ESA à Redu (Belgique) qui est équipée d'antennes de 2,4 m de diamètre. Le transfert de données de PROBA2 vers Redu est restreint car les périodes de contact et la bande-passante dont dispose le satellite sont elles-mêmes limitées. Ce fut un défi pour les concepteurs de SWAP et LYRA. Les données de LYRA peuvent être fortement compressées. Quant à SWAP, il acquiert une image par minute, ce qui revient à une énorme production

de données quotidiennes. De nouveaux concepts ont dès lors dû être mis en place pour optimiser le transfert de données. L'ORB est responsable de la direction scientifique de SWAP et LYRA et de l'exploitation des données. Il a pour mission de convertir les informations reçues du satellite en données scientifiques utilisables et de les mettre à disposition, via internet, d'autres scientifiques et du grand public. Les scientifiques de l'ORB planifient les observations de SWAP et LYRA en tenant compte des événements spéciaux, tels que, par exemple, les éclipses de soleil. Ces derniers sont mis sous les projecteurs et on essaye généralement de les observer simultanément à l'aide d'instruments au sol. L'opérateur qui effectue la planification quotidienne tient à l'œil l'activité au jour le jour du Soleil en collaboration avec le centre de prévision de l'ORB. Rappelons en effet que l'activité solaire, si elle constitue en soi un passionnant sujet d'étude, comprend également des risques pour les instruments à bord de PROBA2.



©ESA- P. Carril, 2009

Passeport technique de PROBA2
<p>Mission: démonstration de technologies innovantes dans le milieu spatial Objet d'observation: le Soleil Lancement: 2 novembre 2009 du cosmodrome de Plesetsk, Russie, avec fusée Rocket Durée de vie planifiée: 2 ans</p>
<p>Microsatellite: 130 kg – moins d'un mètre cube Orbite: LEO (orbite terrestre basse), 725 km – héliosynchrone (dawn-dusk) – 99,2 min – 14,5 tours/jour Pointage: dirigé vers le Soleil par manœuvres automatiques Utilisation énergétique: 53-86 Watt</p>
<p>Expériences scientifiques à bord: SWAP – observe la couronne solaire en Extrême UV LYRA – mesure le rayonnement solaire en UV et rayons X DSLP & TPMU – mesure les paramètres de vent solaire</p>

Les petites perles à bord

SWAP

SWAP est un petit télescope de la taille d'une boîte à chaussures, qui prend des images de l'atmosphère du Soleil. Cette couche extérieure est invisible à l'œil nu car elle rayonne en UV et EUV. SWAP "traduit" ce rayonne-

ment EUV en une image visible. Cette image représente le plasma solaire dont la température est d'un million de degrés ! Le développement de SWAP s'est basé sur les connaissances acquises grâce au télescope EIT (Extrême Ultraviolet Imaging Telescope) à bord du satellite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory). Mais SWAP appartient clairement à la génération suivante, et plus performante, d'imageurs EUV:

- ◆ SWAP est un exercice de miniaturisation. Plus compact qu'EIT, il est aussi moins coûteux et consomme moins d'énergie.
- ◆ Évoluant sur une orbite basse, SWAP est protégé des particules hautement énergétiques grâce au champ magnétique de la Terre, la magnétosphère, tandis qu'EIT, en orbite autour du point L1, y est exposé.
- ◆ SWAP prend une image par minute alors que la cadence d'acquisition d'EIT est d'une image toutes les 15 minutes. Cette cadence plus rapide permet de mieux détailler les événements solaires et peut mener à la découverte de nouveaux phénomènes scientifiques. Ainsi, l'homme espère observer d'avantage d'ondes EUV et de tsunamis solaires. Grâce à SWAP, les prévisionnistes en météo de l'espace peuvent surveiller l'évolution rapide de l'environnement spatial.
- ◆ Les détecteurs de SWAP ne saturent pas lorsqu'un flash lumineux se produit, contrairement à ceux d'EIT, pour lequel un flash lumineux dans les images apparaît comme une grosse tache blanche dans laquelle plus aucun détail n'était visible.

- ◆ SWAP dispose d'un large champ de vue et peut fournir des images solaires de très haute qualité. Le champ de vue d'EIT, pour sa part, est réduit de sorte que lors des éruptions de protubérances sur le bord du disque, celles-ci disparaissent immédiatement de l'image.

- ◆ SWAP peut également fixer une zone qui s'éloigne du Soleil. Si un nuage de plasma s'échappe, SWAP peut zoomer sur lui et suivre son trajet dans l'espace.

Grâce à un cerveau-ordinateur puissant, il peut identifier de façon autonome

les phénomènes scientifiques d'intérêt. EIT souffre d'une certaine raideur et observe ces phénomènes sans les analyser.

- ◆ SWAP est neuf et fiable. Tandis qu'EIT se fait vieux et peut être mis "hors-service" à tout moment. Or, effectuer des prévisions de météo spatiale devient difficile si vous ne disposez pas d'images SWAP traite automatiquement ses images à bord : compression et sélection des images prioritaires basées sur leur contenu. Cela augmente la quantité d'images utilisables qui sont finalement récupérées à Redu. EIT, de son côté, rapatrie toutes ses images sans discernement, qu'elles soient utilisables ou non.

LYRA

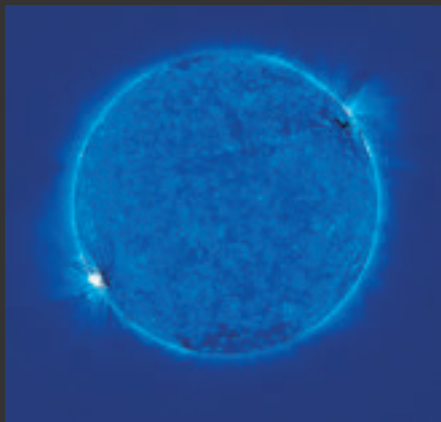
LYRA mesure le rayonnement UV et X dans 4 gammes de longueurs d'ondes. Ces quatre canaux ont été choisis en raison de leur pertinence dans le domaine de la physique solaire, de l'aéronomie et de la météo spatiale. Par exemple, le rayonnement UV a un impact majeur sur la couche d'ozone dans l'atmosphère terrestre. En matière de technologie, LYRA est la crème des crèmes: il s'offre des détecteurs réalisés en diamant. En effet, ce matériau possède la propriété d'être insensible au rayonnement du domaine visible. LYRA est donc naturellement "aveugle" à ce rayonnement et, dès lors, plus sensible aux rayons X et UV. A titre de comparaison, les spectromètres conventionnels utilisent plusieurs filtres afin d'atténuer la lumière visible qui éclipsent les autres parties du rayonnement solaire. Mais chaque filtre diminue également en partie le signal désiré. Le problème n'existe plus avec la technologie diamant.

LYRA peut fournir jusqu'à 100 mesures par seconde, ce qui est beaucoup plus rapide que ce que peuvent fournir les expériences radiométriques existantes. De plus, LYRA est sensible aux petits changements de rayonnement solaire. C'est important lors d'un minimum du cycle solaire, durant lequel le niveau de rayonnement-UV est significativement plus bas qu'en période de maximum. Or, actuellement, le Soleil se

trouve dans un tel minimum. Les données que nous utilisons jusqu'à présent pour les prévisions de météo spatiale à l'ORB provenaient d'instruments qui observent de très petites portions du rayonnement X. En période de minimum solaire, ces instruments ne sont tout simplement pas assez sensibles pour enregistrer un quelconque signal. LYRA, lui, le peut, car il observe des intervalles plus larges du spectre UV. Il peut même quantifier les variations du niveau de rayonnement. De plus, LYRA peut enregistrer des flashes de lumière inattendus et très brefs grâce à sa haute résolution temporelle. LYRA apportera enfin son concours à l'analyse de l'atmosphère terrestre qu'il étudiera à l'aide des techniques d'occultation : lorsque, vu du satellite PROBA2, le Soleil se lève ou se couche derrière le disque terrestre LYRA observe le Soleil à travers l'atmosphère de la Terre. Or, en fonction des particules qui la composent, cette dernière absorbe l'une ou l'autre partie du rayonnement solaire. En étudiant cette absorption, LYRA sera donc à même d'apporter des informations quant à certains constituants atmosphériques, tels que l'ozone.

Des premières observations fascinantes

Deux semaines après le lancement, le 16 novembre 2009, LYRA fut activé pour ses premiers tests dans le noir. A ce moment, les trois portes de LYRA étaient toujours fermées afin qu'aucune lumière du soleil n'atteigne les détecteurs. Pour apprendre à connaître et à calibrer l'instrument, des observations ont été faites, en plus des images sombres, de la lumière provenant de LED, montées à l'intérieur de l'instrument. Le lendemain, c'était au tour de SWAP d'être testé dans le noir et avec LED. Le 20 novembre, la première image solaire de SWAP fut transmise vers la Terre. Après ce premier succès, la grande étape suivante fut l'ouverture de la porte de SWAP le 14 décembre. Ce fut une phase critique car cette porte ne peut s'ac-



Un Soleil calme interprété par SWAP. La couleur blanche est artificielle. Cette couleur a été choisie en premier lieu pour faire le lien avec les images blanches du Soleil de SOHO/EIT dans les longueurs d'onde 175Å. Une couleur était reliée à une longueur d'onde. Par la suite, il a été décidé de ne plus colorer les images et de les laisser en noir et blanc. De cette façon, les structures magnétiques étaient plus justement représentées.

tiver qu'une fois. Les nerfs de l'équipe de PROBA2 furent mis à rude épreuve lorsque l'ordinateur de bord choisit ce moment critique pour "rebooter", juste avant l'ouverture prévue des portes. Et durant toute cette opération, PROBA2 est resté silencieux. Les opérateurs tentèrent d'envoyer un signal radio au moment où PROBA2 était censé passer au-dessus de Redu afin de rappeler le satellite à l'ordre. Cela réussit ! A 18:47UT, la première image fut prise et rapatriée un peu plus tard par la station au sol. Ce fut la preuve du succès de l'opération: la porte était effectivement ouverte, le filtre fonctionnait et le détecteur parvenait bien à recevoir le signal du Soleil. Mais il fallait encore faire face au problème de positionnement du satellite : seule une partie du Soleil apparaissait, décentrée, sur les images de SWAP. Durant les semaines qui ont suivi, de nombreux progrès furent enregistrés pour obtenir des images centrées du Soleil avec SWAP. Depuis lors, SWAP effectue des observations presque quotidiennes, et le 15 janvier, le télescope a même enregistré l'image d'une éclipse annulaire. SWAP put ensuite très vite observer les premiè-

res éruptions du cycle solaire naissant. Les premières observations du Soleil avec LYRA eurent lieu le 6 janvier, après 2 longues journées durant lesquelles les 3 portes furent ouvertes une à une. Les 12 détecteurs captèrent le signal attendu, ce qui signifie qu'en dépit de leur fragilité, filtres et détecteurs avaient bien résisté à l'étape critique du lancement. Quelques jours plus tard, les premières éruptions solaires étaient observées par LYRA avec une résolution temporelle sans précédent de 0,5 sec. Le 20 janvier, LYRA put également observer l'une des plus fortes éruptions solaires de ce nouveau cycle : une éruption de type M. Ce fut la première éruption solaire de cette puissance en deux ans, depuis le début du long minimum dans lequel le Soleil s'était installé ! LYRA a donc été lancé juste à temps pour "capturer" cet événement passionnant, qui marque l'arrivée du nouveau cycle. Actuellement, SWAP et LYRA font des observations systématiques. Les données sont très précieuses pour le centre de prévisions solaires. Le projet PROBA2 reste jusqu'ici une aventure passionnante. PROBA2 fut l'occasion pour l'ORB de participer à l'avenir de la technologie spatiale. □

(traduction par Sophie Raynal)

