

Solar Orbiter



AU PLUS PRÈS DU SOLEIL Solar Orbiter, première mission vers le Soleil

Figure 1 : La sonde spatiale Solar Orbiter se rapprochant du Soleil, à une distance 4 fois plus proche du Soleil que la Terre. © ESA

Cis Verbeeck,
Samuel Gissot,
David Berghmans,
Koen Stegen,
Emil Kraaikamp,
Boris Giordanengo
et Ali BenMoussa

En 2018 sera lancé *Solar Orbiter*, un satellite qui volera plus près du Soleil qu'aucun autre auparavant. La Belgique est aux premières loges de cette aventure grâce à l'instrument *Extreme Ultraviolet Imagers* (EUI).

Solar Orbiter

Dans les films de science-fiction, les vaisseaux spatiaux voyagent vers les étoiles. Avec Solar Orbiter l'humanité devrait faire un pas vers les étoiles, un voyage en direction de son étoile, le Soleil. Non seulement Solar Orbiter observera le Soleil plus près que jamais, mais son orbite permettra également de voir l'arrière et les pôles du Soleil ce qui ne nous est pas possible depuis la Terre. Pour cela, Solar Orbiter aura besoin d'une protection spéciale, un bouclier thermique, pour résister à la chaleur énorme que l'on rencontre en particulier passé la planète la plus proche du Soleil, Mercure.

Solar Orbiter est une mission menée par l'ESA avec une forte participation de la NASA. Le lancement est prévu en octobre 2018, et sera complété par quelques tours de 'bil-

lard planétaire'. Songez plutôt : deux passages à proximité de Vénus modifieront l'orbite de sorte à envoyer la sonde spatiale vers la Terre, qui la renverra à nouveau vers Venus. Après une dernière assistance gravitationnelle, l'orbite dé-

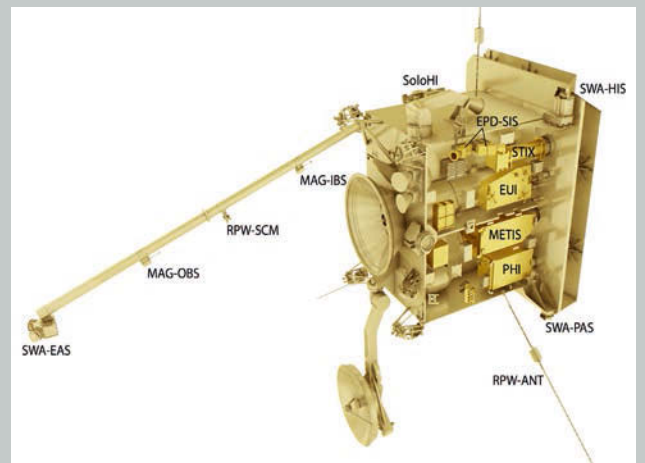


Figure 2 : Instruments à bord de Solar Orbiter. Dans cette représentation, une paroi latérale a été enlevée pour montrer les instruments de télédétection montés sur le panneau de charge utile. © Airbus DS

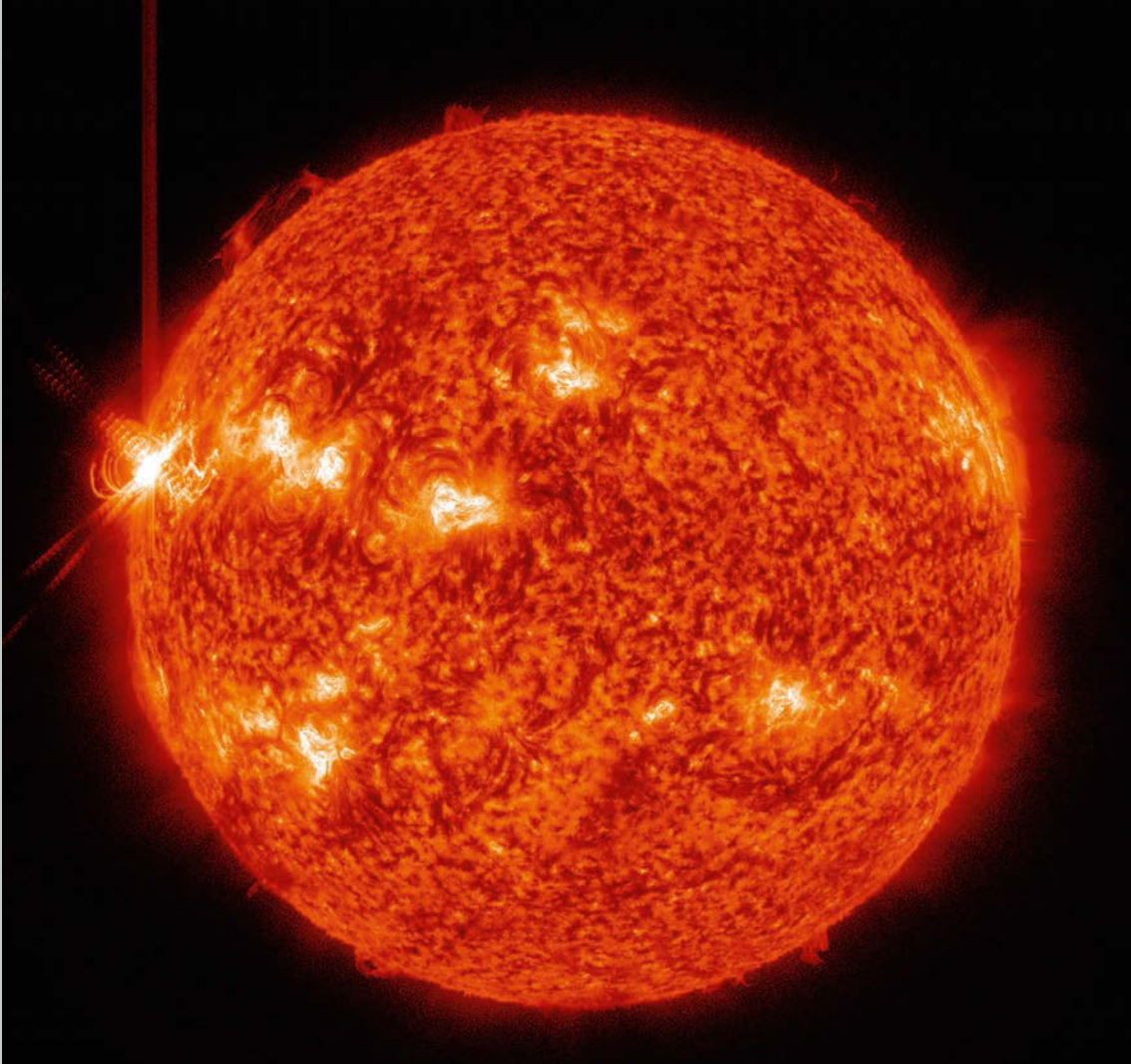


Figure 3 : Une éruption solaire lumineuse observée dans le coin supérieur gauche de cette image du Soleil datant du 14 mai 2013. © SDO/AIA

sirée sera atteinte. A partir de 2021 et ce jusqu'en 2024, se dérouleront les opérations scientifiques proprement dites, mais la mission pourra être étendue par la suite jusqu'à 2029.

A bord de Solar Orbiter, dix instruments scientifiques étudieront le Soleil et l'environnement local de la sonde spatiale. Quatre instruments in-situ mesureront les caractéristiques du vent solaire, du champ magnétique et des particules énergétiques le long de l'orbite, tandis que les six autres instruments de télédétection acquerront des successions d'images du Soleil à plusieurs longueurs d'onde. Cette combinaison innovante d'instruments et son orbite unique distinguent Solar Orbiter de toutes les missions passées et actuelles, permettant une science qui ne saurait être réalisée d'une autre manière. Solar Orbiter peut donc être considéré comme une étape majeure dans notre exploration du Soleil et du système solaire.

Pourquoi Solar Orbiter ?

Le Soleil est le centre de notre système solaire. La couche externe de l'atmosphère solaire (la couronne) est beau-

coup plus chaude (1 million de Kelvin) que les couches inférieures. Elle se développe continuellement dans un vent supersonique qui se prolonge bien au-delà de Pluton et a des effets profonds sur les environnements planétaires et sur les planètes elles-mêmes. Solar Orbiter devrait fournir de nouvelles perspectives importantes concernant les processus qui chauffent la couronne et influencent le vent solaire.

Notre étoile évolue suivant un cycle, le cycle solaire, dans lequel le nombre de taches solaires varie de manière significative du minimum solaire jusqu'à son maximum, avant de retourner à un minimum 11 années plus tard. Les éruptions dans l'atmosphère solaire ont lieu régulièrement tout au long du cycle solaire sur une échelle de temps allant de la minute à quelques heures, et sont plus fréquentes et en moyenne plus énergétiques au maximum du cycle solaire. Il existe trois types d'éruptions : les embrillancements ou flashes intenses de lumière (Figure 3), les éjections de masse coronales (EMC) qui sont de grands nuages de plasma (Figure 4), et enfin les tempêtes de particules énergétiques soudainement accélérées à des vitesses proches de celle

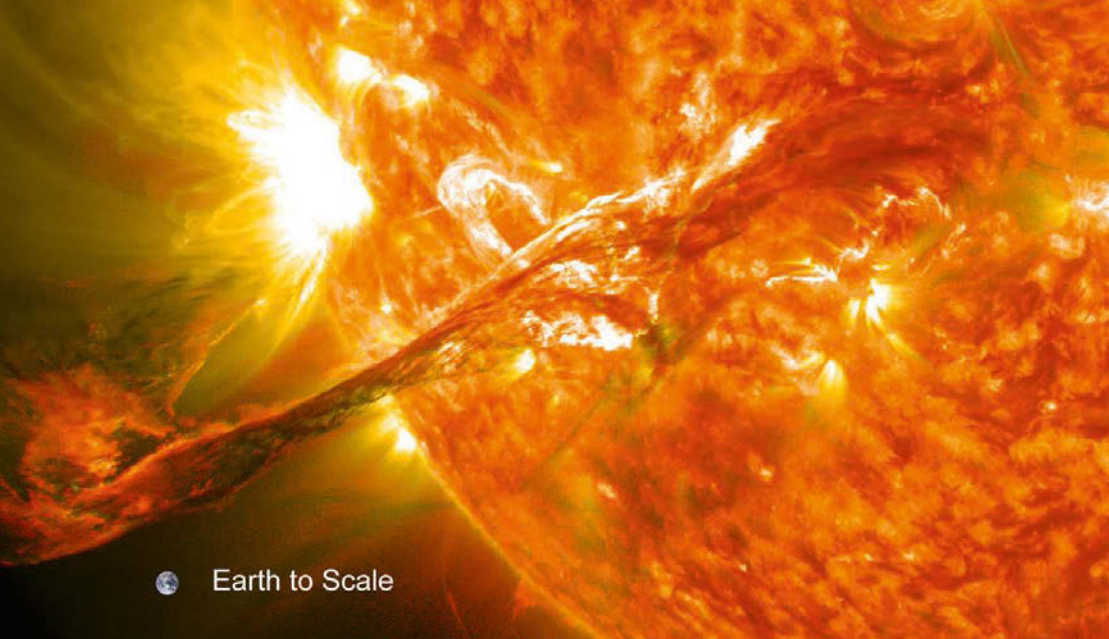


Figure 4 : Le début d'une EMC le 31 août 2012 durant laquelle le Soleil libère un nuage massif de particules chargées. La taille de la Terre est représentée à titre de comparaison. © SDO/AIA

de la lumière. Les éruptions solaires se traduisent souvent par des effets dits de météorologie spatiale près de la Terre, perturbant les communications radio et de navigations par satellite, causant des risques pour la santé des astronautes, des dommages aux satellites, et des tempêtes géomagnétiques qui peuvent générer des aurores mais aussi de graves problèmes sur les réseaux électriques (Figure 5).

Lorsque les EMCs, les particules énergétiques ou le vent solaire atteignent la Terre, ces éruptions ont déjà évolué et se mélangent, ce qui brouille les signatures de leur origine. Solar Orbiter nous permettra pour la première fois d'observer ces structures avant qu'elles aient évolué de manière significative. Comme Solar Orbiter s'élèvera au-dessus et en-dessous du plan de l'écliptique dans lequel se trouve la Terre et le Soleil, il fournira des informations auparavant inaccessibles sur le champ magnétique près des pôles du Soleil, ce qui est essentiel pour une bonne compréhension du cycle solaire.

L'instrument EUI

L'Extreme Ultraviolet Imagers (EUI) est un ensemble de trois télescopes observant la haute atmosphère solaire à une cadence et résolution inégales. EUI nous permettra d'identifier des objets solaires distants de seulement 200 km, soit 5 fois plus nettement que les grandes missions contemporaines telles que la mission SDO de la NASA. Le point de vue grand-angle est nécessaire pour relier les structures et phénomènes dynamiques observés à haute résolution sur le disque solaire avec les observations in situ dans le vent solaire entourant la sonde spatiale. Les contraintes de conception strictes imposées par l'orbite de Solar Orbiter et son environnement ont abouti à une refonte complète de la conception des télescopes par rapport aux instruments précédents tels que EIT à bord de SOHO et SWAP sur PROBA2.

Pour observer le Soleil, des petites ouvertures ont dû être percées dans le bouclier thermique de la sonde. Comme ces ouvertures sont des 'fuites de chaleur', elles doivent être aussi petites que possible ce qui implique que les télescopes fabriqués doivent être super-sensibles afin de pré-

server tous les photons collectés.

Comme le Soleil est une source géante de bruit dans la gamme de fréquence radio, il est difficile de communiquer avec Solar Orbiter lors de son passage à proximité du Soleil. Par conséquent, la bande passante de télémétrie réservée à EUI est limitée à 20 kilobits par seconde, soit moins que ce que l'on obtenait avec un modem téléphonique d'il y a deux décennies. Par conséquent, des efforts importants ont été consentis dans la sélection des images à bord et de leur compression à des taux avoisinant les 750.

Contrairement à ce qu'on pourrait penser, l'électricité est une ressource rare à bord de la sonde, en raison des contraintes sur les panneaux solaires spécifiquement repensés pour supporter les températures élevées et le rayonnement de particules dans l'environnement proche du Soleil. Par conséquent, les trois télescopes, y compris leurs caméras et l'ordinateur de bord doivent fonctionner avec 30 W, soit à peu près l'équivalent de la consommation d'une ampoule à économie d'énergie.

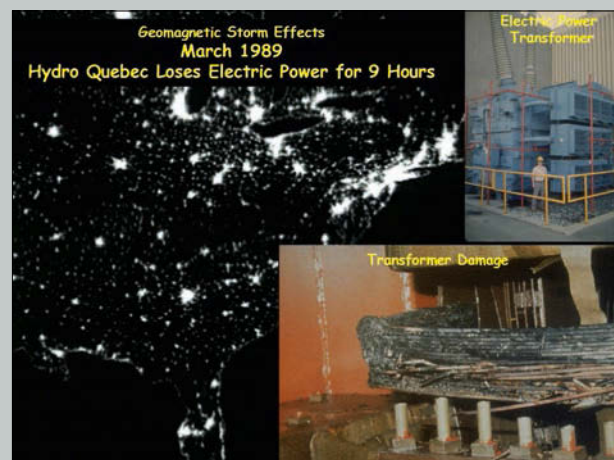


Figure 5: La tempête géomagnétique du 13 mars 1989 a endommagé durablement ce transformateur de la centrale nucléaire de Salem (New Jersey, États-Unis) et laissé 6 millions de personnes au Québec (Canada) sans électricité pendant 9 heures. © PSE&G

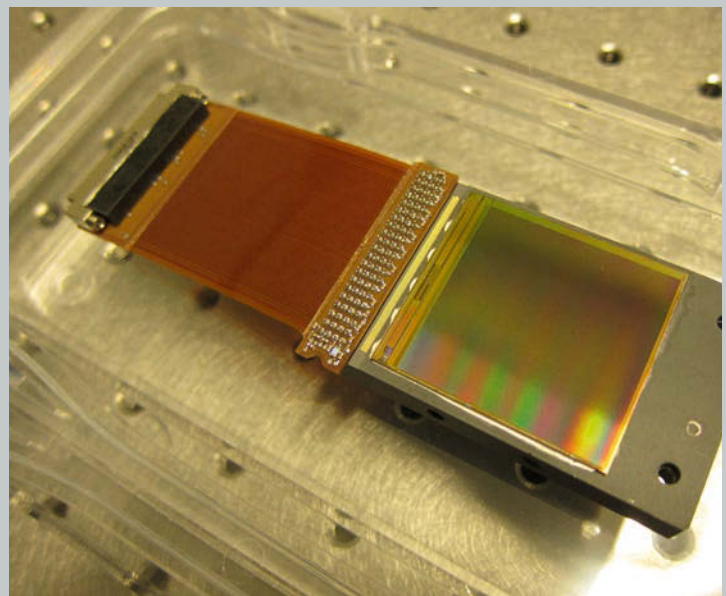
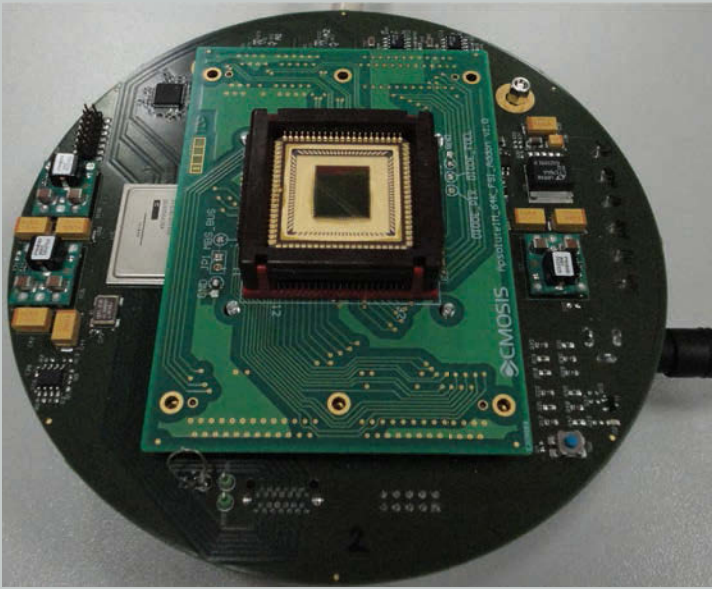


Figure 6 : Prototypage de capteur 1024x1024 pixels avec sa carte électronique de test (à gauche). À droite : capteur de modèle de vol avec 3072x3072 pixels et son emballage dédié pour le refroidissement et le raccordement électrique de la caméra.

EUI est construit par un consortium international sous la direction du Centre Spatial de Liège (CSL), jusqu'à son lancement à partir duquel l'instrument sera exploité par l'Observatoire royal de Belgique (ORB). Tout cela est possible grâce au soutien de la Politique scientifique fédérale (Belspo) via le programme ESA/PRODEX.

Les défis technologiques

Pour les capteurs d'image des télescopes EUI, la technologie CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*) à pixels actifs (APS) a été choisie car elle correspond le mieux aux exigences scientifiques. En effet, il a plusieurs avantages par rapport au dispositif à transfert de charges (CCD) couramment utilisé : une lecture plus rapide, une faible consommation d'énergie, et une tolérance supérieure aux rayonnements, qui sont des atouts cruciaux pour une telle application spatiale.

Une caractéristique importante de ce capteur est son système à double transfert utilisé pour obtenir une plage de dynamique élevée et minimiser la contribution du bruit de la chaîne d'électronique. Le signal de chaque pixel est lu suivant deux chemins d'amplification : un gain élevé (HG) et un gain plus faible (LG), avant d'être reconstruit, comme illustré dans la figure 7. La grande plage dynamique des capteurs d'EUI les rend très sensibles au faible nombre de photons solaires UV mais permet aussi d'observer des éruptions solaires sans trop saturer le capteur.

Dès 2011, des prototypes de capteur CMOS avec différentes architectures de pixel ont été développés par l'entreprise CMOSIS et caractérisés par le laboratoire de caractérisa-

tion de détecteurs (DeMeLab) de l'ORB, en collaboration avec CSL. Ces capteurs furent exposés à des rayons gamma, protons et ions lourds au Centre de Recherche du Cyclotron (CRC) à Louvain-La-Neuve pour étudier leur dégradation dans l'environnement de Solar Orbiter. Un ensemble de campagnes d'étalonnage fut effectué pour caractériser les différents modèles de pixels au synchrotron BESSY II à Berlin.

En 2015, les détecteurs de vol ont été produits à partir de l'héritage des prototypes précédemment développés. Ces détecteurs de vol seront à nouveau qualifiés avant d'être intégrés dans l'instrument EUI. Basées sur ces campagnes de mesure, des procédures d'étalonnage en vol serviront à augmenter la qualité d'image malgré le taux de compression élevé requis pour faire face à la faible télémétrie.

Le Centre des données EUI

Voler au plus près du Soleil n'est certainement pas un mince exploit. La difficulté est de prendre des images du Soleil, et de les acheminer sur Terre. C'est le rôle du Centre de données EUI (EDC) de l'ORB. Avec les neuf équipes des autres instruments, l'EDC a pour objectif d'établir quels objets solaires EUI prévoient de photographier et quand exactement prendre ces images. La coordination entre les équipes est très importante parce que certains instruments sont si sensibles qu'ils exigent un 'silence' électromagnétique de la part des autres instruments afin d'acquérir des données. Grâce à un logiciel réalisé sur mesure par l'ORB, les opérateurs de l'instrument seront en mesure de traduire les plans d'observation en séquences de commande, vérifier scrupuleusement et les télécharger vers le

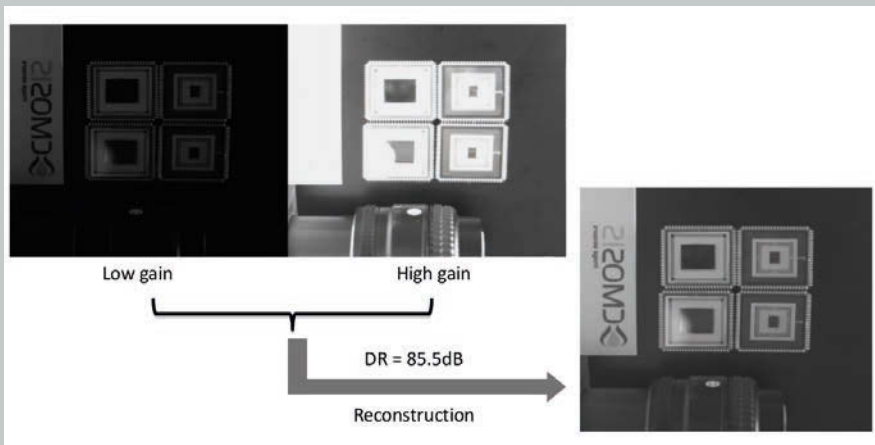


Figure 7: Images du prototype de capteur (1024x1024 pixels) montrant le fonctionnement à double chemins d'amplifications (LG à gauche et HG au milieu) et l'image finale après la reconstruction (image de droite). © CMOSIS/ORB

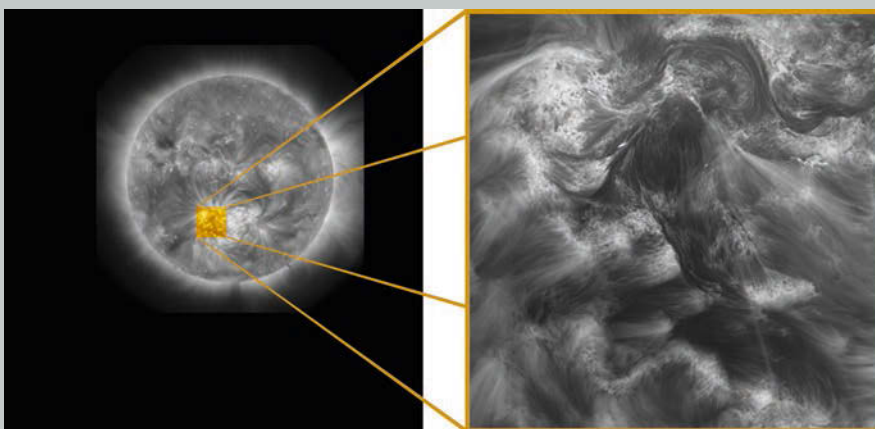


Figure 8 : Une image simulée du Soleil telle que vue par le télescope Full Sun imager d'EUI et le pointage sur une région active telle qu'elle sera observée par le télescope High-Resolution Imager d'EUI.

satellite à l'aide d'ESTRACK, le réseau de l'espace profond de l'ESA.

Le Soleil, cependant, est une étoile dynamique et l'activité solaire ne peut être prédite. La planification serait-elle donc inutile? Tout au long de la mission, les physiciens solaires à l'EDC scruteront le Soleil en permanence et cette surveillance, effectuée avec des télescopes basés au sol et dans l'espace, ainsi qu'au moyen de Solar Orbiter tâcheront, jusqu'à la dernière minute, d'identifier les zones les plus intéressantes avant l'observation scientifique par les télescopes d'EUI.

L'EDC développe un outil de traitement de données implémenté au Centre Spatial Européen d'Astronomie à Madrid, afin de traiter les données téléchargées aussi rapidement que possible, et de permettre à la dernière minute d'envoyer les télécommandes à EUI.

L'information de dernière minute n'est malheureusement pas suffisante pour prendre la bonne décision. Le Soleil se situe à 150 millions de kilomètres de la Terre, de sorte que les télé-commandes mettront 8 minutes pour parcourir le chemin qui sépare Solar Orbiter de la Terre. Donc, pour capturer l'activité solaire suspecte, EUI a besoin d'une intelli-

gence intégrée, qui doit permettre à l'instrument de décider de manière autonome si par exemple il se produit une éruption solaire. Les images prises dans le laps de temps précédant l'éruption, et celles acquises quelque temps après l'éruption se verront alors accordées à bord une priorité élevée. Certaines éruptions auront une plus grande valeur scientifique que d'autres, c'est pourquoi les scientifiques se pencheront sur les premières images téléchargées en priorité, et décideront ensuite si les images de cette éruption valent la peine d'attendre, ou bien au contraire de réduire la priorité de ces images et d'essayer d'acquérir une séquence d'images d'une éruption plus intéressante. Etant donné le faible nombre d'éruptions intéressantes pour les scientifiques à prévoir au cours de l'ensemble de la mission, cet objectif semble très délicat, et c'est bien à ce défi que l'EDC tentera d'apporter les réponses adéquates.

Les auteurs

Cis Verbeeck, Samuel Gissot, David Berghmans, Koen Stegen, Emil Kraaikamp, Boris Giordanengo et Ali BenMoussa sont chercheurs à l'Observatoire royal de Belgique.