

# Solar Orbiter



## DE ZON — VAN DICHTERBIJ DAN OOI Solar Orbiter, eerste missie naar de zon

Figuur 1: Solar Orbiter nadert de zon tot zo'n viermaal dichter dan de aarde. (© ESA)

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

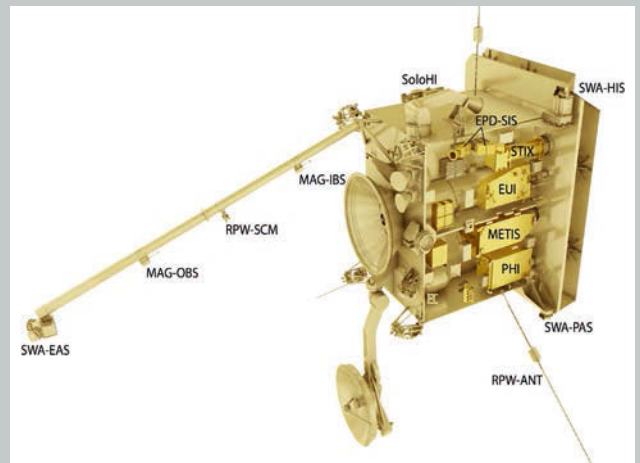
**Solar Orbiter is een satelliet die in 2018 gelanceerd zal worden en die dichterbij de zon zal vliegen dan ooit tevoren. België zit met het *Extreme Ultraviolet Imagers*-instrument (EUI) op de eerste rij.**

### Solar Orbiter

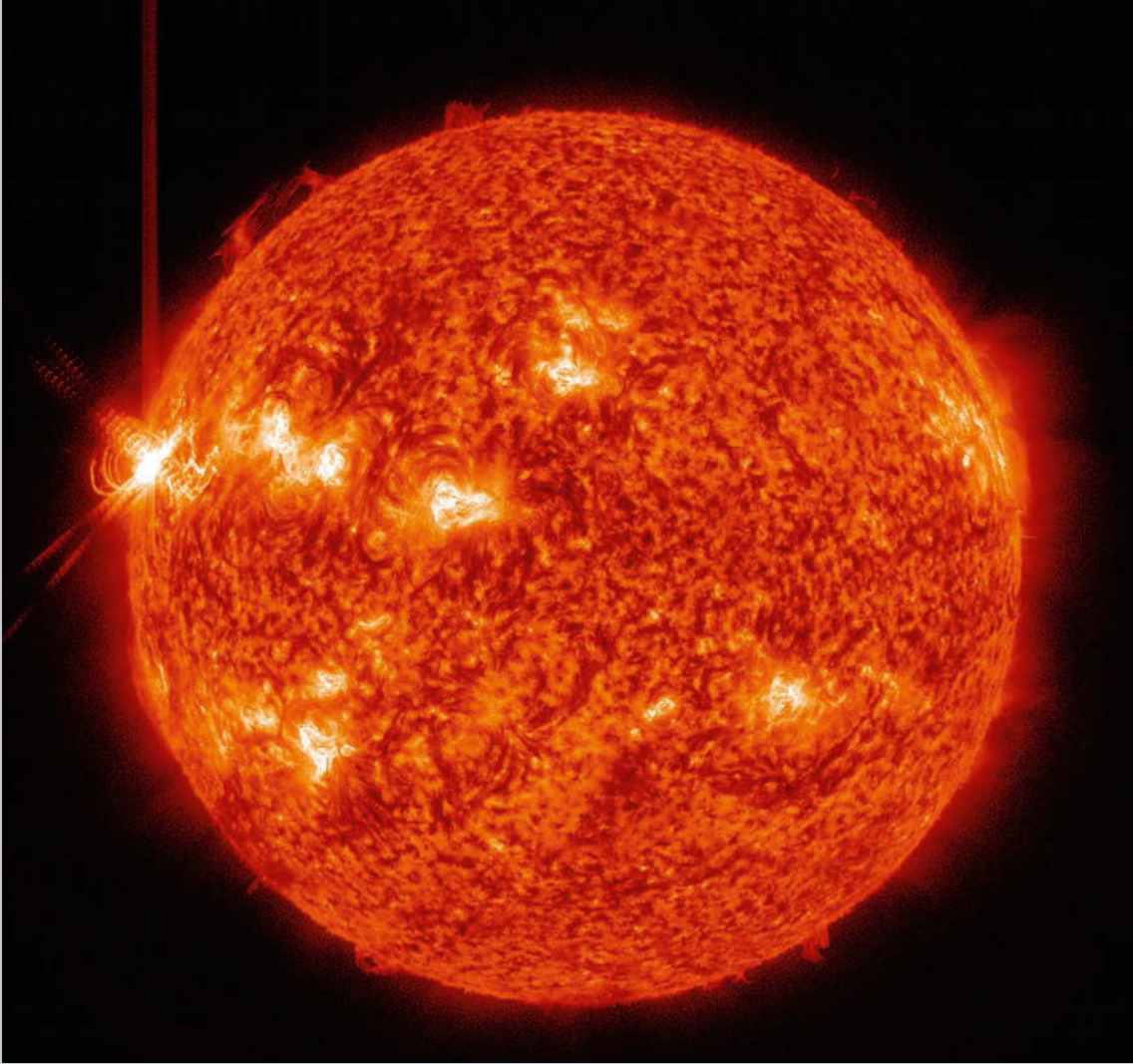
In sciencefictionfilms vliegen ruimteschepen geregeld naar de sterren. Met Solar Orbiter maakt de mensheid een kleine stap richting de sterren en reist ze naar haar eigen ster: de zon. Tijdens zijn reis, waarbij de satelliet dichterbij de zon komt dan zelfs Mercurius, heeft Solar Orbiter bescherming nodig van een hitteschild om de enorme hitte te weerstaan. Solar Orbiter zal de zon echter niet alleen van dichtbij observeren: zijn baan maakt het ook mogelijk de achterkant en zelfs de polen van de zon te bestuderen; deze gebieden zijn immers nauwelijks te zien vanaf de aarde.

Solar Orbiter wordt geleid door ESA, maar ook NASA werkt intensief mee aan de missie. De lancering staat gepland voor oktober 2018 en start met enkele rondjes planetair biljarten. Twee scheervluchten langs Venus wijzigen de baan zodat de satelliet langs de aarde schiet, om

vervolgens nogmaals een slinger mee te krijgen van Venus voordat de gewenste baan bereikt wordt. Wetenschappelijke operaties zullen plaatsvinden van 2021 tot 2024, met mogelijk een verlenging tot 2029.



Figuur 2: De instrumenten van Solar Orbiter. Om onderliggende remote-sensinginstrumenten te laten zien is in de afbeelding een zijpaneel van de satelliet weggelaten. (© Airbus DS)



Figuur 3: Een heldere zonnevlam op 14 mei 2013. (© SDO/AIA)

Aan boord van Solar Orbiter bevinden zich tien instrumenten die de zon en de omgeving van de satelliet bestuderen. In-situ-instrumenten meten de zonnwind, magnetische velden en energetische deeltjes in de buurt van de satelliet, terwijl remote-sensinginstrumenten een snelle opeenvolging van gedetailleerde beelden van de zon maken in verschillende golflengtes. Dit samenspel van instrumenten, in combinatie met de unieke baan, onderscheidt Solar Orbiter van voorgaande en huidige missies, en staat wetenschap toe die op geen enkele andere manier gedaan kan worden. Solar Orbiter is de volgende stap in onze verkenning van de zon en ons zonnestelsel.

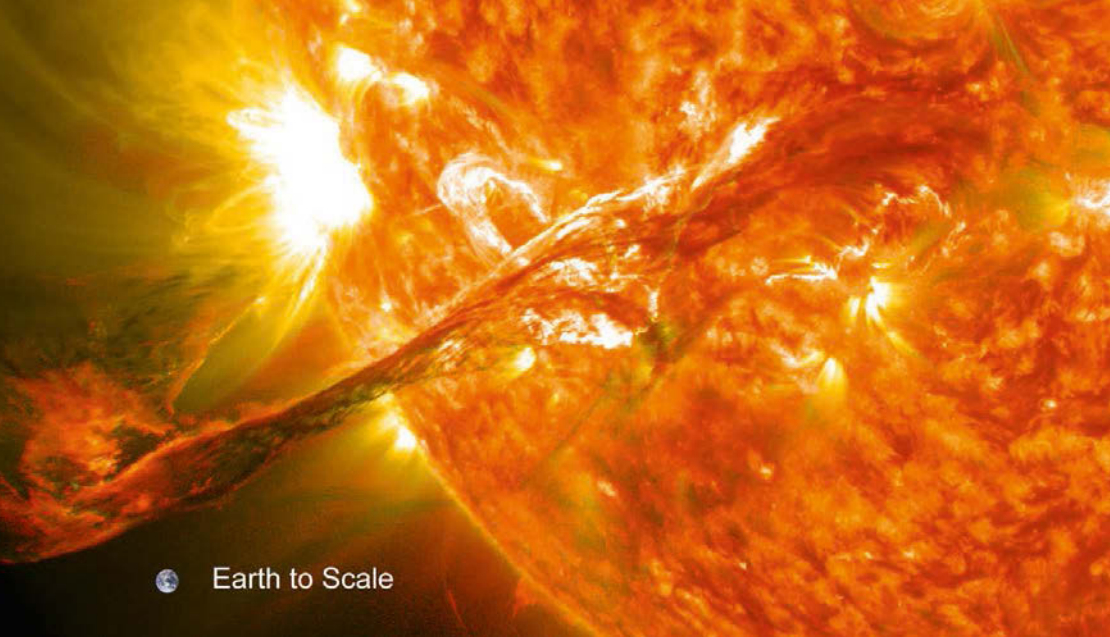
### Waarom Solar Orbiter?

De zon is het centrum van het zonnestelsel, en heeft een grote invloed op alle hemellichamen in het zonnestelsel. De buitenste laag van de zonneatmosfeer (de corona) is met 1 miljoen Kelvin veel heter dan de lagen direct daaronder. De corona zet continu uit en vormt een supersonische wind die zich tot voorbij Pluto uitstrekt, met een groot effect op de planetaire omgevingen en de planeten zelf. Solar Orbiter zal belangrijke nieuwe inzichten leveren

in de processen die de corona verhitten en de zonnwind veroorzaken.

Onze ster heeft een zonnecyclus van ongeveer 11 jaar waarin het aantal zonnevlekken van minimum tot maximum sterk varieert. In de corona vinden regelmatig uitbarstingen plaats met een tijdschaal van minuten tot uren. Er zijn drie types uitbarstingen: zonnevlammen (intense lichtflitsen), CME's (coronale massa-uitstoten, grote wolken geladen deeltjes), en stormen van energetische deeltjes (die plotseling worden versneld tot bijna de lichtsnelheid). Zonne-uitbarstingen zorgen vaak voor zogenaamde ruimteweer-effecten vlakbij de aarde, zoals storingen in radioverkeer en satellietnavigatie, gezondheidsrisico's voor astronauten, schade aan satellieten en geomagnetische stormen (die poollicht veroorzaken en schade kunnen toebrengen aan elektriciteitsnetwerken).

Zodra CME's, energetische deeltjes, of de zonnwind de aarde passeren, zijn deze al zo veranderd – en vaak met elkaar vermengd – dat hun oorsprong moeilijk te achterhalen is. Met Solar Orbiter kunnen we voor het eerst deze ge-



Figuur 4: De zon slingert een grote wolk geladen deeltjes de ruimte in tijdens het begin van een CME op 31 augustus 2012. Ter vergelijking is de aarde op schaal afgebeeld. (© SDO/AIA)

beurtenissen bestuderen vóórdat ze significant van structuur veranderd zijn. Doordat Solar Orbiter zowel boven als onder het aardse perspectief duikt, krijgen we nieuwe informatie over de magnetische velden bij de polen van de zon. Dit is van groot belang om de zonnecyclus beter te kunnen begrijpen.

### Het instrument EUI

EUI (Extreme Ultraviolet Imagers) is een van de belangrijkste instrumenten aan boord van Solar Orbiter en bestaat uit drie telescopen die de zonneatmosfeer zullen waarneemen in zowel ongekend hoge resolutie als in overzichtsopties van de hele zonnescijf. Met EUI zullen we structuren op de zon kunnen zien die 'slechts' 200 km uiteen liggen, vijfmaal scherper dan momenteel mogelijk is met bijvoorbeeld NASA's SDO-missie. De overzichtsopties zijn nodig om een verband te leggen tussen structuren en dynamische fenomenen in de hogeresolutieopties op de zonnescijf, en in-situ waarnemingen van de zonnewind rondom de satelliet.

De ongebruikelijke reis van Solar Orbiter maakte een innovatief ontwerp voor de EUI-telescopen noodzakelijk, heel anders dan voor eerdere instrumenten zoals EIT aan boord van SOHO of SWAP op PROBA2.

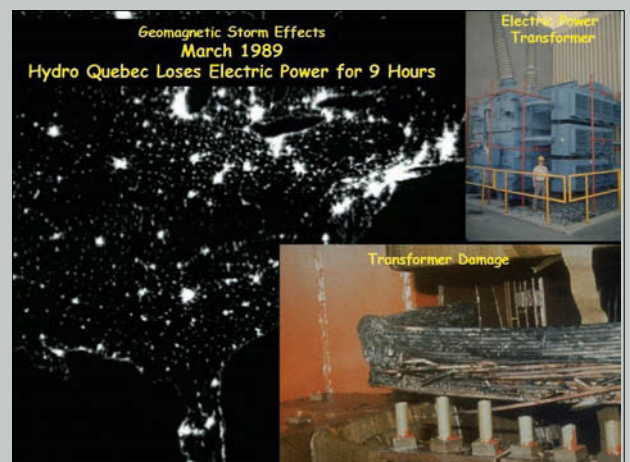
Om EUI te laten kijken naar de zon zijn er kleine kijkgaten gemaakt in het hitteschild van de satelliet. Omdat deze kijkgaten natuurlijk ook hitte doorlaten, moeten de openingen van de telescopen zo klein mogelijk zijn, wat betekent dat de telescopen zeer gevoelig moeten zijn omdat elk opgevangen lichtdeeltje belangrijk is. De gevoeligheid van de telescopen is het hoogst bij de helderste transities (spectrale lijnen, 'kleuren') van de meest voorkomende elementen in de zonneatmosfeer.

Omdat de zon een grote bron van radiois is, is het een uitdaging om te communiceren met Solar Orbiter wanneer deze dichtbij de zon staat. Daarom is de gereserveerde bandbreedte voor telemetrie van EUI, in de meest gunstige gevallen, beperkt tot slechts 20 kilobit per seconde (minder dan wat 20 jaar geleden mogelijk was bij het inter-

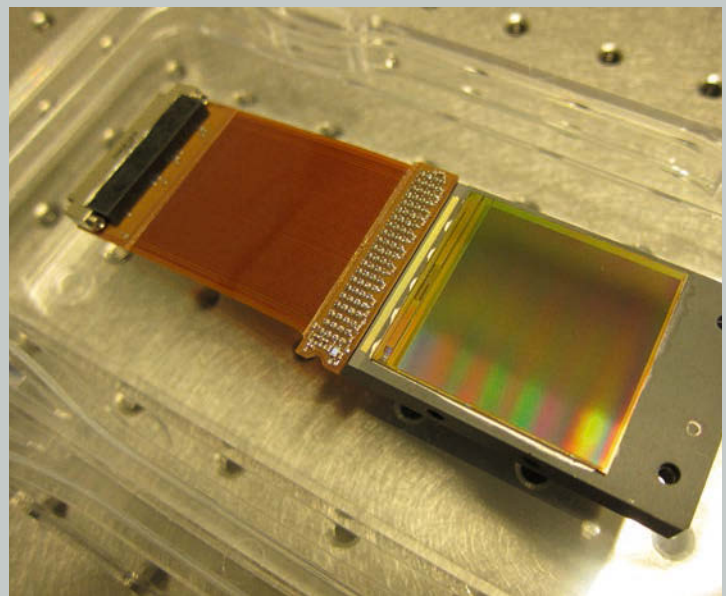
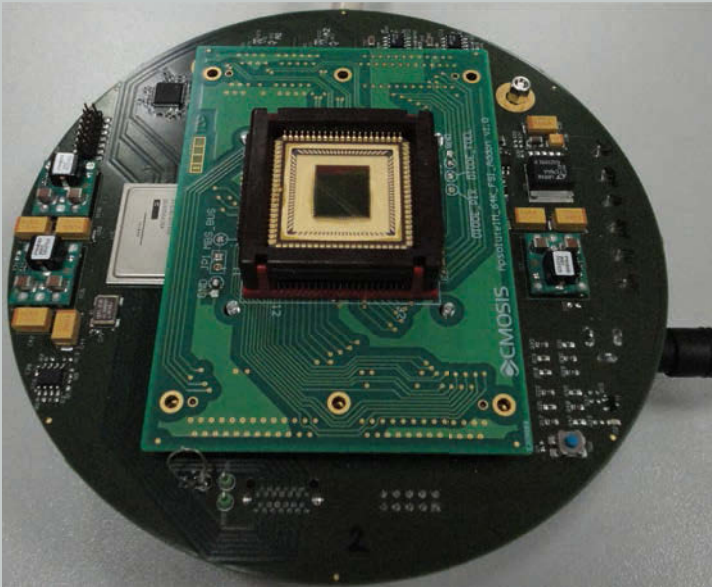
netten via een inbelmodem). Hierom wordt er aan boord intensief gebruik gemaakt van dataselectie en -compressie – tot een factor 750.

Anders dan je misschien zou denken is elektriciteit aan boord schaars, omdat de zonnepanelen opnieuw ontworpen moesten worden om de hoge temperaturen en stralingsomgeving dichtbij de zon te weerstaan. De drie telescopen, inclusief de camera's en de computer van het instrument, moeten het stellen met 30 W, ongeveer het verbruik van een energiebesparende lamp.

EUI wordt gebouwd door een internationaal consortium onder leiding van een toegewijd team aan het Centre Spatial de Liège (CSL). Het instrument zal na de lancering bediend worden vanuit de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB). Dit alles wordt mede mogelijk gemaakt door de genereuze steun van het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo) via ESA/PRODEX.



Figuur 5: Deze transformator bij de Salem kerncentrale (New Jersey, USA) werd door de geomagnetische storm van 13 maart 1989 fataal beschadigd. Door dezelfde storm zaten in Québec 6 miljoen mensen 9 uur zonder stroom. (© PSE&G)



Figuur 6: Links: een prototype sensor met 1024x1024 pixels op een testbord. Rechts: de EUI-flight sensor met 3072x3072 pixels en een aansluiting om de sensor te verbinden met de camera. Door de speciale behuizing zal de sensor gekoeld worden.

### Technologische uitdagingen

Voor de sensoren van EUI werd een CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*) APS (*active pixel sensor*) techniek gekozen, omdat deze het meest geschikt is voor de wetenschappelijke vereisten van EUI. Deze techniek heeft – vooral op het gebied van ruimtetoepassingen – enkele belangrijke voordelen ten opzichte van de veel gebruikte CCD's (*charge coupled devices*), zoals een lagere uitleestijd, een lager energieverbruik, en hogere tolerantie tegen straling.

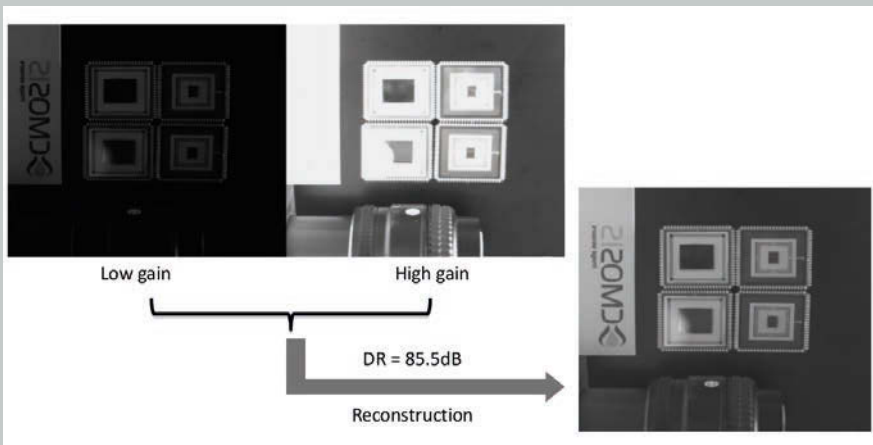
Een belangrijk kenmerk van de sensor is zijn *dual-transfer-schema* dat toelaat om afbeeldingen met een groot dynamisch bereik te verkrijgen. Elke pixel wordt hiertoe uitgelezen met zowel hoge als lage versterking (zie Figuur 7). Door het grote dynamisch bereik van de EUI-sensoren zullen zowel de lage EUV-fotonflux (door de kleine opening van de telescopen) als eventuele zonnevlammen tegelijkertijd en zonder overbelichting zichtbaar zijn.

In 2011 werden door de firma CMOSIS verschillende prototypes CMOS APS-sensoren ontwikkeld. Om te onderzoeken hoe de sensoren zich gedragen in de ruimte, werden ze, zowel voor als na aan protonen en zware ionen te zijn blootgesteld in het Cyclotron Resource Center (CRC) in Louvain-La-Neuve, bestudeerd door het Detector Measurement Laboratory (DeMeLab) van de KSB, in samenwerking met CSL. Vervolgens werd een serie kalibratieprogramma's uitgevoerd in de BESSY II-synchrotron van het Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) laboratorium in Berlijn.

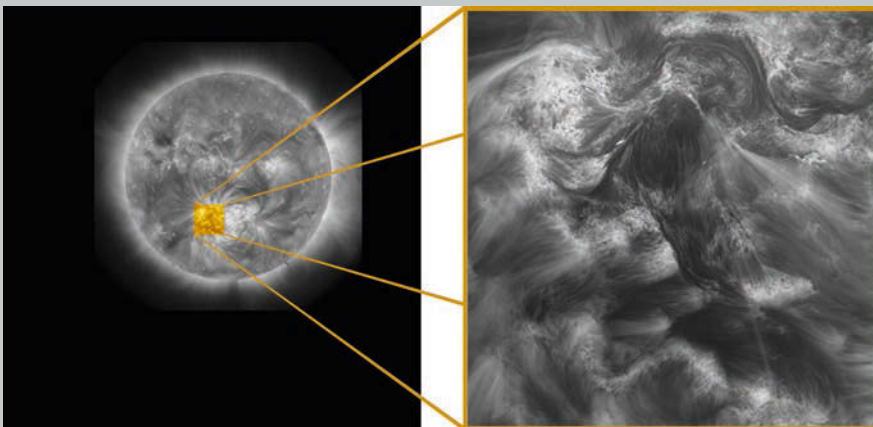
Hierop voortbouwend werden in 2015 door CMOSIS de 3k x 3k flight-sensoren gebouwd, inclusief elektrische, thermische en mechanische koppelingen van de EUI-camera's. Deze sensoren zullen worden getest (o.a. stralingstesten aan het CRC en kalibratietesten aan het PTB), en vervolgens worden ingebouwd in de EUI-camera's. Gebaseerd op de uitkomst van deze tests zullen uitdagende kalibratieprocedures worden ontwikkeld om ondanks de hoge beeldcompressie die nodig is in verband met de lage telemetrie, toch een goede beeldkwaliteit te krijgen.

### Het EUI Data Centrum

Met Solar Orbiter vlak langs de zon vliegen is geen makkelijke taak, maar eigenlijk is dat slechts het begin. Het belangrijkste is het maken van opnames van de zon, en deze weer terug naar de aarde te brengen. Hierbij speelt het EUI Data Centrum (EDC) van de KSB een belangrijke rol. Om te beslissen welke verschijnselen EUI zal waarnemen, en wanneer precies deze opnames gemaakt worden, maakt het EDC, samen met de negen andere instrumententeams, een planning voor zowel de lange, middellange, als korte termijn. Omdat sommige instrumenten zeer gevoelig zijn, en slechts goede metingen kunnen verrichten als andere instrumenten zich stilhouden (geen elektromagnetische ruis maken), is de samenwerking tussen deze teams zeer belangrijk. Met op maat gemaakte software, ontwikkeld aan de KSB, wordt de planning door een operator vertaald naar een opeenvolging van commando's die gecontroleerd (en nogmaals gecontroleerd) worden voordat ze uiteindelijk met behulp van ESA's ESTRACK *deep space network* verstuurd worden naar de satelliet.



Figuur 7: Beelden gemaakt door een prototype sensor (1024×1024 pixels) die die dual-gain werking van de sensor laten zien via de lage (*LG*) en hoge versterking (*HG*). Verzadigde pixels uit het *HG*-beeld worden vervangen door die uit het *LG*-beeld, en vervolgens worden deze (buiten de chip om) herschaald en samengevoegd tot het uiteindelijke beeld. (© CMOSIS/ROB)



Figuur 8: Gesimuleerd beeld van de *EUI Full Sun Imager* gericht op een actief gebied op de zon, naast een beeld van dit actief gebied zoals dat te zien zal zijn door de *EUI High Resolution Imager*.

Omdat de zon echter een dynamische ster is, zijn de meest interessante gebeurtenissen op de zon niet maanden van tevoren te voorspellen. Maar dit betekent niet dat alle planningen de prullenmand in kunnen! Zonnewetenschappers op het EDC zullen de zon tijdens de hele missie in de gaten houden, zodat er tot het laatste moment beslist kan worden om de telescoop op een bijzonder interessant gebied op de zon te richten. Dit in de gaten houden van de zon gebeurt zowel met behulp van andere satellieten als met telescopen op de grond, maar uiteraard heeft Solar Orbiter zelf het beste uitzicht op de zon. Daarom heeft het EDC een softwarepakket ontwikkeld dat zal draaien op het European Space Astronomy Centre van ESA in Madrid en de laatst binnengekomen data van Solar Orbiter zo snel mogelijk zal verwerken, zodat commando's tot het laatste moment aangepast kunnen worden.

Helaas komen deze laatste wijzigingen in de planning soms toch nog te laat. Omdat de zon 150 miljoen kilometer van de aarde staat, doet zelfs het radiosignaal er 8 minuten over om van Solar Orbiter bij de aarde aan te komen, en vervolgens duurt het ook weer 8 minuten voordat nieuwe commando's toekomen bij de satelliet. Om toch plotselin-

ge zonneactiviteit, zoals bijvoorbeeld een zonnevlam, vast te kunnen leggen, kan EUI met behulp van intelligente software ook zelf beslissingen nemen. Beelden van vlak voor en na de zonnevlam kunnen door deze software aan boord van de satelliet een hogere prioriteit krijgen. Omdat sommige zonnevlammen voor wetenschappers interessanter zijn dan andere, zullen zij eerst een hogeprioriteitsbeeld bekijken om te beslissen of al de beelden van deze zonnevlam worden doorgestuurd (wat maandenlang duurt), of niet (als het de moeite lijkt om te wachten op een betere zonnevlam; de prioriteit van de beelden van de eerste zonnevlam wordt dan verlaagd). Wanneer je slechts een paar mooie zonnevlammen verwacht tijdens de gehele missie, dan is dit geen makkelijke beslissing, maar daar draaien ze hun hand niet voor om bij het EDC.

#### De auteurs

Cis Verbeeck, Samuel Gissot, David Berghmans, Koen Stegen, Emil Kraaikamp, Boris Giordanengo en Ali BenMoussa zijn verbonden aan de Koninklijke Sterrenwacht van België.