

Inzoomen op de wereldwijde luchtkwaliteit met TROPOMI

Michel Van Roozendael

Inleiding

Copernicus is het Europese aardobservatieprogramma. Het heeft als doel om onze planeet en het milieu te monitoren door informatiediensten te leveren op basis van aardobservatie met satellieten en meetnetwerken op de grond. Dankzij Copernicus heeft de Europese Commissie een reeks satellieten, 'Sentinels' genaamd, gelanceerd om de aarde te scannen en zo essentiële gegevens over de luchtkwaliteit, het klimaat, het landgebruik, de natuurlijke hulpbronnen, de oceanen en de hoogte van het ijs en dergelijke te leveren. Het Europese Ruimtevaartagentschap (ESA) is verantwoordelijk voor de opbouw van het ruimtesegment, ter ondersteuning van de zes Copernicus-diensten die respectievelijk betrekking hebben op de atmosferische, mariene en terrestrische omgeving, evenals de klimaatverandering, de veiligheid en het beheer van noodsituaties.

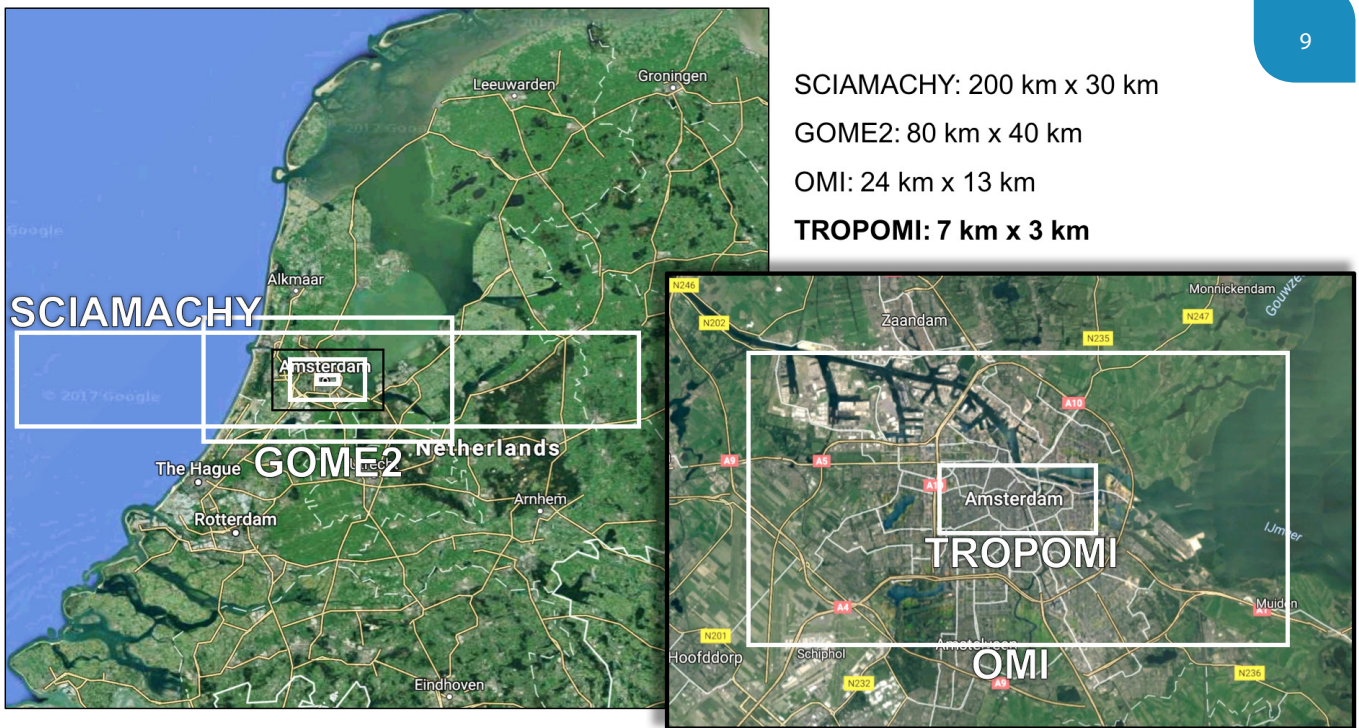
De Sentinel-5 Precursor-satelliet, met het TROPOMI-instrument aan boord, werd op 13 oktober 2017 gelanceerd in een zonsynchrone polaire baan en is de eerste van de Sentinel-missies die gewijd is aan de observatie van vervuiling in onze atmosfeer. Zoals de naam al aangeeft, is Sentinel-5 Precursor (Sentinel-5P) de voorloper van de drie Sentinel-5-satellieten die de samenstelling van de atmosfeer zullen meten en die tussen 2021 en 2035 zullen worden gelanceerd, waardoor de continuïteit van

het wereldwijde monitoren van de atmosfeer tot 2042 wordt gewaarborgd. Dankzij het TROPOMI-instrument, de meest geavanceerde multispectrale beeldvormingsspectrometer tot nu toe, kan Sentinel-5P gegevens over de atmosferische samenstelling aanleveren met een ongekend detail- en nauwkeurigheidsniveau.

Met kanalen in het ultraviolet, zichtbaar en nabij infrarood meet TROPOMI de concentratie van verschillende belangrijke bestanddelen van luchtvervuiling, zoals ozon (O_3), stikstofdioxide (NO_2), koolstofmonoxide (CO), zwaveldioxide (SO_2), methaan (CH_4), formaldehyde (HCHO), alsook aerosolen en wolken. Naast de verschillende Europese partners die sinds het begin van de missie in 2009 betrokken zijn, heeft het BIRA een belangrijke rol gespeeld in de ontwikkeling van technieken voor het afleiden van de hoeveelheid SO_2 , HCHO en ozonmoleculen uit de satellietgegevens: de zogenaamde retrieval-algoritmen. Het Instituut speelt ook een centrale rol in het validatieprogramma van de missie en draagt bij aan de wetenschappelijke analyse van de gegevens, in het bijzonder met behulp van wiskundige modellen van de atmosfeer. In totaal mobiliseert de Sentinel-5P-missie ongeveer 20 mensen bij het BIRA. Dit artikel illustreert aan de hand van enkele voorbeelden de belangrijkste bijdragen van de missie en het Belgische aandeel daarin.

Doel van de missie

Volgens een recent rapport van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) is luchtvervuiling elk jaar verantwoordelijk voor de dood van 400.000 mensen in Europa en 7 miljoen mensen wereldwijd, als gevolg van de inademing van lucht die beladen is met fijne deeltjes en/of andere vervuilende stoffen. Dit is meer dan de cumulatieve sterfgevallen ten gevolge van AIDS (1,1 miljoen), tuberculose (1,4 miljoen), diabetes (1,6 miljoen) en verkeersongevallen (1,3 miljoen). De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) erkent ook dat luchtvervuiling een risicofactor is voor niet-overdraagbare ziekten zoals longkanker, beroertes en hartaanvallen. De Sentinel-5P-missie maakt deel uit van een wereldwijde strategie om de risico's van luchtvervuiling en klimaatverandering te beperken, aangezien beide nauw met elkaar verbonden zijn. De belangrijkste doelstelling is om de toestand en de evolutie van de vervuiling in kaart te brengen, en bij te dragen tot een geïntegreerd waarnemingsstelsel dat metingen op de grond, satellietmetingen en modellering combineert, zoals ontwikkeld binnen de dienst voor atmosfeermonitoring van het Copernicus-programma (CAMS) (zie <https://atmosphere.copernicus.eu>).



Figuur 1: Pixelgrootte bij benadering van de SCIAMACHY-, GOME-2-, IMO- en TROPOMI-satellietinstrumenten. Het afgebeelde gebied beslaat Nederland en concentreert zich op de stad Amsterdam. De verbeterde ruimtelijke resolutie van TROPOMI is spectaculair, en maakt het voor het eerst mogelijk om vervuilende stoffen op substedelijke schaal te meten. © KNMI

Het TROPOMI-instrument

Sentinel-5P heeft een uniek instrument aan boord - TROPOMI (voor 'Tropospheric Monitoring Instrument') - ontwikkeld door verschillende Nederlandse onderzoeksinstituten, met name het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), het Nederlands Instituut voor Ruimteonderzoek (SRON) en de Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO). Met een totale massa van 220 kg bestaat het uit twee 'imaging array spectrometers' in een 'pushbroom'-configuratie, die een spectrale band van ultraviolet tot zichtbaar licht bestrijken alsook twee kanalen in het nabije infrarood. Deze banden zijn geselecteerd om de detectie van de verschillende betrokken chemische stoffen te optimaliseren. Het observatieoppervlak is 2600 km breed en de ruimtelijke resolutie in het nadir (loodrecht naar het aardoppervlak) is $3,5 \times 7 \text{ km}^2$ ($3,5 \times 5,5 \text{ km}^2$ sinds 6 augustus 2019). In vergelijking met zijn voorgangers SCIAMACHY, GOME-2 en OMI (zie *figuur 1*) is de winst in ruimtelijke resolutie die TROPOMI biedt aanzienlijk, en stelt het ons voor het eerst in staat om vervuiling op stedelijke schaal te onderscheiden.

Het ontwerp van TROPOMI is gebaseerd op de erfenis van het OMI-instrument dat sinds 2004 op de AURA-satelliet van de NASA in een baan om de aarde

draait. Het onderscheidt zich echter door een aantal technische verbeteringen, waaronder de toevoeging van infraroodkanalen met behulp van innovatieve ondergedompelde diffractieroostertechnologie en de realisatie van vrije-vorm optiek voor de ingangs-telescoop. Al deze eigenschappen maken van TROPOMI het meest geavanceerde instrument dat ooit met dit soort technologie is gemaakt. De prestaties ervan bereiken en overtreffen vaak de eisen die in eerste instantie voor de missie zijn gedefinieerd. Hoewel deze prestatie de verdienste van Nederland is, moet worden opgemerkt dat het Centre Spatial de Liège (CSL) een belangrijke rol heeft gespeeld bij de voorbereiding ervan, door het merendeel van de optische kalibratie-apparatuur aan te leveren en een reeks tests uit te voeren onder strikte ruimtevaartomstandigheden gedurende meer dan 130 dagen.

De satelliet werd op 13 oktober 2017 gelanceerd vanuit het Plesetsk-kosmodroom in Rusland, en werd op een hoogte van 824 km in een zonsynchrone baan geplaatst voor een verwachte levensduur van 7 jaar. Door de breedte van het gezichtsveld wordt het volledige aardoppervlak in 24 uur geregistreerd, en dit elke dag opnieuw. De lokale waarneemtijd is 13:35 uur.

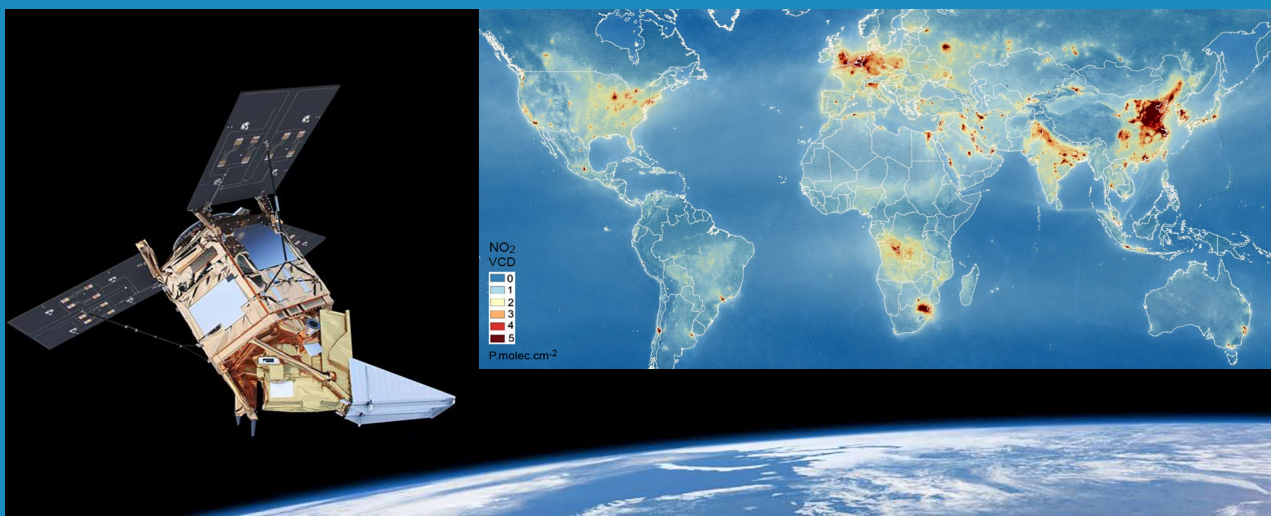
In kaart brengen van stedelijke en industriële vervuilingbronnen

Ondanks de inspanningen die de afgelopen jaren zijn geleverd om nieuwe, groene energiebronnen te ontwikkelen, is de wereldwijde menselijke activiteit, en de daarmee samenhangende energiebehoeften voornamelijk afhankelijk van niet-hernieuwbare fossiele energiebronnen (olie, gas en steenkool) toegenomen. De verbranding van deze fossiele brandstoffen is verantwoordelijk voor het verhogen van de concentratie koolstofdioxide (CO_2) in de atmosfeer, wat een van de belangrijkste oorzaken van de klimaatverandering is. Naast het effect op CO_2 stoten verbrandingsprocessen in verbrandingsmotoren, verwarming of elektriciteitsopwekking ook andere chemische vervuilende stoffen uit. Eén daarvan, stikstofdioxide (NO_2) - een reactief gas dat de bronchiën irriteert en betrokken is bij de vorming van ozon en fijnstof - is een effectieve 'marker' van de antropogene activiteit in dichtbevolkte en geïndustrialiseerde gebieden.

De wereldwijde NO_2 -metingen van TROPOMI (figuur 2) tonen zeer duidelijk de overheersende rol van de vervuilende uitstoot in Europa, het Midden-Oosten, zuidelijk Afrika en het oosten van de Verenigde Staten. Natuurlijke bronnen die verband houden met branden zijn ook zichtbaar, evenals de impact

van zeevaartroutes. De exclusieve bijdrage van TROPOMI is echter nog duidelijker op regionale schaal, waar de ruimtelijke resolutie van het instrument ons voor het eerst in staat stelt om vanuit de ruimte lokale bronnen van vervuiling, zoals Brussel of Antwerpen in België, en de invloed van het windtransport nauwkeurig te identificeren (figuur 3).

Een andere door TROPOMI gemeten verontreinigende stof is zwaveldioxide (SO_2). Naast de hieronder besproken emissies van vulkanen wordt SO_2 ook geproduceerd bij het gebruik van fossiele brandstoffen die rijk zijn aan zwavelhoudende onzuiverheden (zoals steenkool en bepaalde soorten stookolie) en bij de exploitatie van verschillende mineralen. Terwijl de SO_2 -vervuiling, die verantwoordelijk is voor schadelijke zure regen, in onze regio's onder controle is gebracht door brandstofverbetering of onzweveling van rookgassen van verbrandingsinstallaties, blijft het een probleem in sommige delen van de wereld, met name in India, waar steenkool de belangrijkste energiebron is, en in de olie-industrie in het Midden-Oosten. Ondanks de aanzienlijke saneringsmaatregelen van de afgelopen jaren blijft



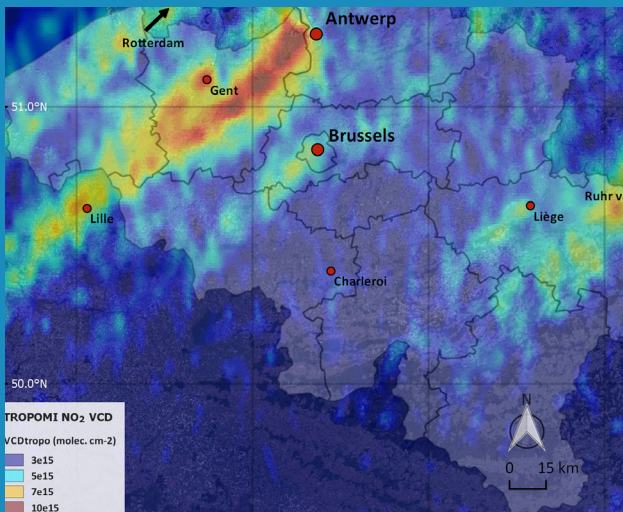
Figuur 2: Artistieke weergave van de Sentinel-5 Precursor-satelliet in een baan om de aarde, op een hoogte van 824 km. Aan boord neemt het TROPOMI-instrument de door de aarde en/of de wolken gereflecteerde zonnestraling waar, en leidt daaruit de concentratie van atmosferische moleculen af. De kaart toont de gemiddelde concentratie aan stikstofdioxide (NO_2), een vervuilende stof aanwezig in de onderste laag van de atmosfeer, over een periode van één jaar. De verontreinigingsbronnen zijn voornamelijk gerelateerd aan antropogene activiteiten, met name het wegverkeer, de scheepvaart en de industrie.

ook China een belangrijke bron (figuur 4). De door TROPOMI en andere satellietsensoren verstrekte verontreinigingsmetingen in deze regio's, die over het algemeen slecht door observatiesystemen op de grond worden bestreken, zijn van essentieel belang, maken het mogelijk de evolutie van de emissies in de loop van de tijd te volgen en (via hun publicatie) het belang van de uitvoering van adequate beleidsmaatregelen onder de aandacht te brengen.

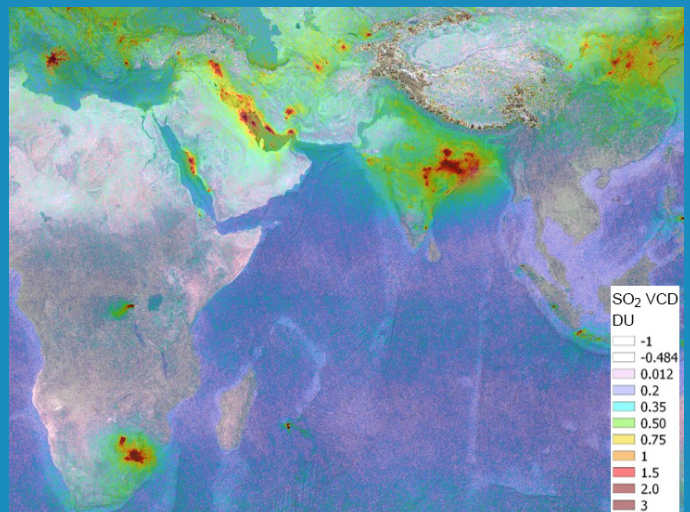
Natuurlijke en antropogene vervuiling: vluchtige organische stoffen

Terwijl de overvloed aan NO_2 in de atmosfeer voornamelijk het gevolg is van menselijke en industriële activiteiten, worden andere verontreinigende stoffen door zowel antropogene als natuurlijke bronnen in vergelijkbare hoeveelheden uitgestoten. Dit zijn onder andere vluchtige organische stoffen (VOS) die afkomstig zijn van vegetatie en bosbranden, maar die ook geproduceerd worden door de industrie en bepaalde transportmiddelen. Deze laatste bronnen zijn vaak in de meerderheid in stedelijke gebieden. VOS zijn zeer belangrijk voor de balans van de luchtverontreiniging, aangezien hun afbraak gepaard gaat met de vorming van ozon en aerosoldeeltjes.

De meeste VOS kunnen niet vanuit de ruimte worden waargenomen, maar TROPOMI kan wel formaldehyde (HCHO) meten, een gemeenschappelijk afbraakproduct van een zeer groot aantal VOS. In combinatie met het gebruik van chemie-transportmodellen die bij het BIRA zijn ontwikkeld, vormen deze metingen een zeer nuttige randvoorwaarde voor het optimaliseren van de emissie-inventarisaties van de verschillende VOS, en verbeteren ze zo ons begrip van de ozonbalans. Net als NO_2 heeft HCHO een zeer korte levensduur in de atmosfeer (enkele uren) en de meting ervan maakt het dus mogelijk om bronnen van vervuiling te lokaliseren en te kwantificeren zonder verwarring met windtransport. Figuur 5, geproduceerd bij het BIRA, toont de gemiddelde verdeling van HCHO over een volledig jaar. Het toont de verschillende bronnen met betrekking tot de vegetatie, voornamelijk in Noord-Amerika, Centraal-Afrika, India en het Amazonegebied, evenals branden in Afrika, Centraal-Amerika en Indonesië, en vervuiling in Oost-Azië (China).

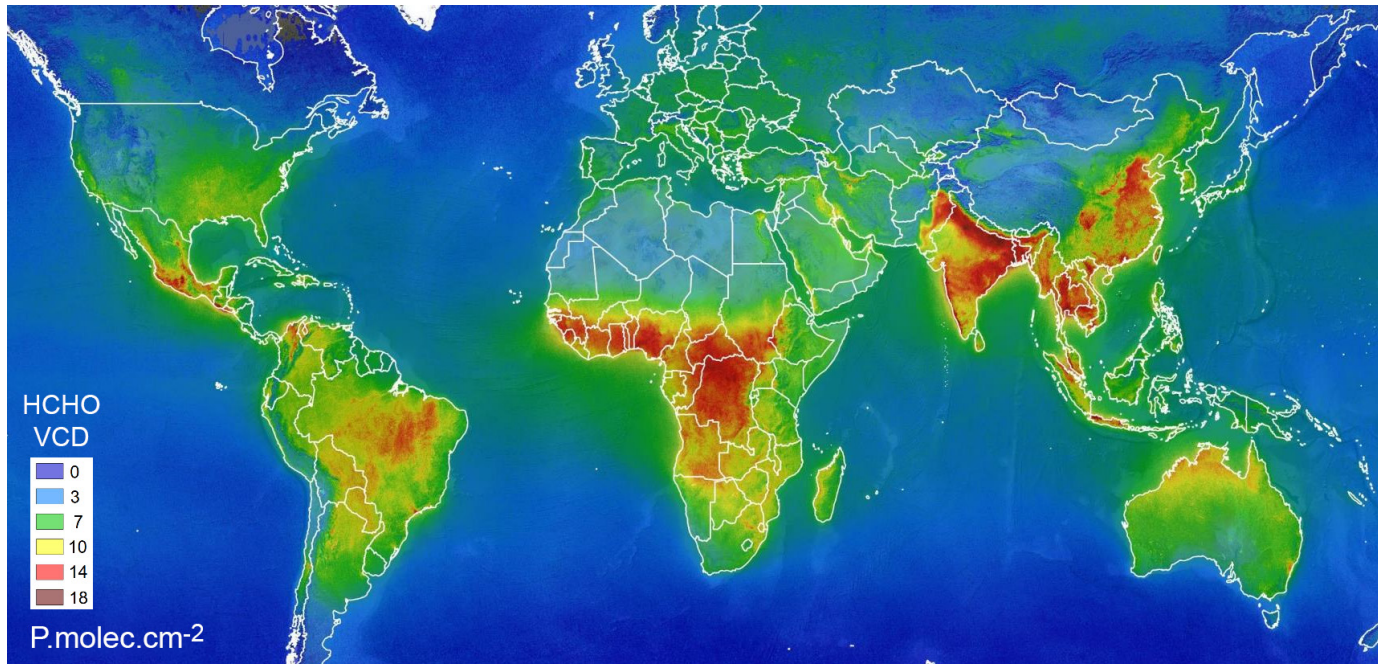


Figuur 3: Ruimtelijke spreiding van de troposferische NO_2 kolom over België, gemeten door TROPOMI op 27 juni 2019. Het transport van vervuiling uit stedelijke bronnen in Antwerpen, Brussel, Gent en Luik is duidelijk zichtbaar als gevolg van de noordoostelijke winden. De figuur toont ook luchtvervuiling over het Belgische grondgebied afkomstig vanuit Duitsland (Ruhrgebied) en Nederland (Rotterdam). © BIRA-IASB/ESA



Figuur 4: Jaarlijks gemiddelde van zwaveldioxide (SO_2) troposferische kolommen in het Midden-Oosten, China en Afrika. De vastgestelde bronnen van verontreiniging zijn ofwel afkomstig van slecht of niet ontzwavelde koolcentrales, olie- en gaswinning (vooral in het Midden-Oosten) of de mijnbouwindustrie. De hoge concentratie in Zuid-Italië is te wijten aan de vulkaan Etna.

© BIRA-IASB/ESA/DLR



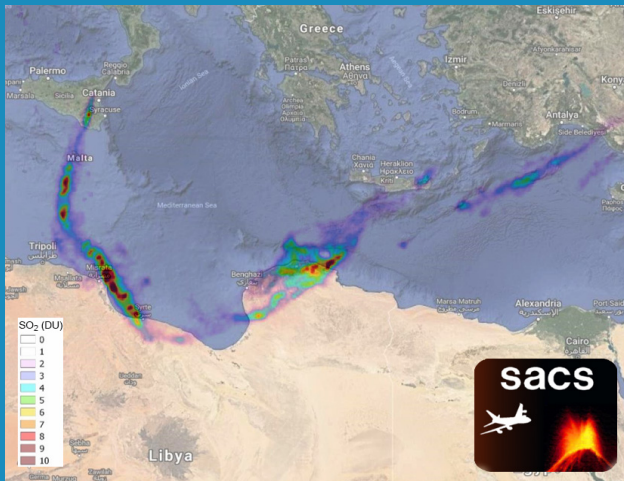
Figuur 5: Kaart van troposferische kolommen van formaldehyde (HCHO) die de gemiddelde jaarlijkse verspreiding van bronnen van vluchtige organische stoffen (VOS) over de wereld laat zien. Deze emissies zijn ofwel van natuurlijke oorsprong die verband houden met de vegetatiecycli, ofwel veroorzaakt door bosbranden, voornamelijk in tropische gebieden, ofwel door antropogene vervuiling (met name in China). © BIRA-IASB/ESA/DLR

Hoe meet TROPOMI de concentratie van atmosferische gassen?

In tegenstelling tot de instrumenten die worden ingezet door instanties voor het monitoren van de luchtkwaliteit, die over het algemeen gebaseerd zijn op chemische analyse, maken satellieten gebruik van teledetectiemethodes. Deze techniek maakt gebruik van de door de aarde gereflecteerde en/of thermisch door de aarde uitgestraalde zonnestraling om de concentratie van moleculen die in de atmosfeer aanwezig zijn af te leiden. De gebruikte methode is die van de absorptiespectroscopie, die bestaat uit het opsplitsen van zonlicht in zijn verschillende golflengtecomponenten (d.w.z. zijn verschillende kleuren).

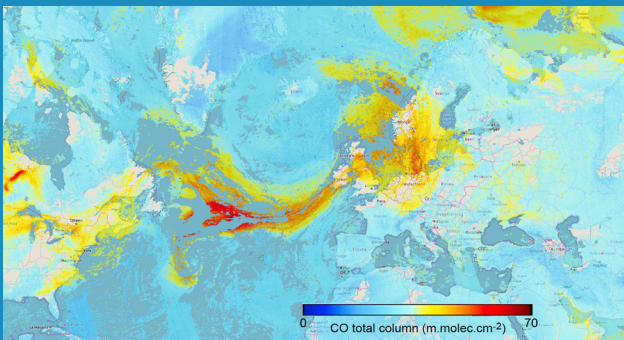
Aangezien elke molecule zijn eigen absorptiespectrum (een soort vingerafdruk) heeft, is het mogelijk om te bepalen welke moleculen in de atmosfeer aanwezig zijn, en in welke hoeveelheid, tijdens de analyse. In de ultraviolette, zichtbare en infrarode gebieden die door TROPOMI worden gemeten kunnen veel moleculen dus ondubbelzinnig gedetecteerd worden, en met behulp van complexe wiskundige algoritmen die de overdracht van zonnestraling naar de atmosfeer beschrijven wordt hun concentratie gekwantificeerd en gerapporteerd in numerieke vorm, of in kleurcodeerde vorm zoals in de kaarten in dit artikel.

Op basis van de erfenis van verschillende andere Europese missies die sinds 1995 van start zijn gegaan hebben BIRA-onderzoekers op dit gebied internationaal vermaarde expertise verworven, wat hen ertoe heeft gebracht bij te dragen aan de ontwikkeling van TROPOMI's gegevensverwerkers vanaf de eerste fasen van de missie, tot vandaag in het Sentinel-5P Mission Performance Centre (MPC).



Figuur 6 : Pluim van zwaveldioxide (SO_2) die op 26 december 2018 uit de vulkaan Etna in Zuid-Italië is uitgestoten. De kaart toont de verspreiding van de pluim onder de werking van de wind in de lagere atmosfeer. Deze gegevens worden gebruikt als indicator voor de aanwezigheid van vulkaanas als onderdeel van de Aviation Control Support Service (ACSS) die op het BIRA is ontwikkeld om informatie te verstrekken over vulkanische gevaren.

© BIRA-IASB/ESA/DLR



Figuur 7: Een pluim van koolstofmonoxide (CO) werd op 15 augustus 2018 uitgestoten door hevige bosbranden in Californië en werd door de wind over de Atlantische Oceaan naar Noord-Europa getransporteerd. TROPOMI- CO -metingen tonen de impact van grootschalig transport op de luchtvervuiling aan. © KNMI/ESA© BIRA-IASB/ESA/DLR

Natuurlijke gevaren: vulkanen en bosbranden

Naast de hoge ruimtelijke resolutie heeft TROPOMI ook een krachtig en snel gegevensverwerkingssysteem, dat zeer nuttig is voor real-time toepassingen. Dankzij deze snelheid kan TROPOMI plotselinge vervuilingincidenten opsporen en bijdragen aan het beheer van de bijbehorende risico's.

Een voorbeeld hiervan zijn vulkanen waarvan de uitbarstingen (gemiddeld ongeveer 50 per jaar wereldwijd) grote hoeveelheden as en corrosieve gassen in de atmosfeer uitstoten die vliegtuigmotoren kunnen beschadigen. Gezien het steeds toenemende luchtverkeer wordt het risico van vulkanisme door de luchtvaartmaatschappijen zeer serieus genomen, en vormt het een aandachtspunt voor gespecialiseerde centra, de VAAC's (Volcanic Ash Advisory Centers). Ter ondersteuning van de VAAC's heeft het BIRA de SACS-dienst (Support to Aviation Control Service, <http://sacs.aeronomie.be/>) ontwikkeld, die gebruik maakt van gegevens van verschillende satellieten, waaronder TROPOMI, om vulkaanuitbarstingen op te sporen en de betrokken autoriteiten zo goed mogelijk te informeren. Figuur 6 toont een voorbeeld van een SO_2 -pluim (hier gebruikt als indicator voor de mogelijke aanwezigheid van as) gemeten door TROPOMI op 26 december 2018 na een uitbarsting van de Etna in Zuid-Italië. Dankzij de hoge ruimtelijke resolutie en de hoge gevoeligheid kan TROPOMI ook de meer continue gasemissies van actieve vulkanen monitoren, en zo mogelijke toekomstige uitbarstingen helpen voorspellen.

Het recente nieuws heeft een heropleving van de bosbranden laten zien, met name in Australië en de Verenigde Staten. De kans dat dergelijke gebeurtenissen zich de komende jaren vaker zullen voordoen is groot, want door de opwarming van de aarde neemt het gevaar van branden, met een aanzienlijke impact op het milieu, toe. Door de verbranding van biomassa stoten bosbranden veel vervuilende stoffen uit in de atmosfeer, waarvan verschillende (met name NO_2 , HCHO , CHOCHO , HONO , CO en absorberende aerosolen) door TROPOMI kunnen worden gekwantificeerd, wat bijdraagt tot een beter begrip van de impact van branden op de kwaliteit van de omringende lucht, maar ook op de impact van het transport van deze vervuiling over langere afstanden. Als voorbeeld toont figuur 7 hoe de metingen van koolstofmonoxide (CO , een molecule met een verblijftijd van enkele maanden in de atmosfeer) door TROPOMI het mogelijk maken om de evolutie van de vervuilingpluim over zeer lange afstanden, hier van Californië tot Noord-Europa, op te volgen.

Omgaan met onzekerheid, een specialiteit die bij het BIRA is ontwikkeld

Zonder een passende beoordeling van de kwaliteit en een nauwkeurige inschatting van de onzekerheid ervan, kunnen de gegevens niet met vertrouwen worden gebruikt. Dit geldt met name voor elk nieuw meetsysteem, vooral voor TROPOMI. Copernicus en ESA hebben daarom een uitgebreid verificatie- en validatieprogramma ontwikkeld en geïmplementeerd dat zich richt op alle missiecomponenten, van de direct door de spectrometers gemeten zonnestraling tot de geofysische producten die worden afgeleid uit de wiskundige analyse, d.w.z. de kolomconcentraties van de verschillende moleculen.

Terwijl het instrument zelf in Nederland door de TROPOMI-ontwerpers wordt gemonitord, bewaakt een geautomatiseerd systeem dat bij het BIRA (<http://s5p-mpc-vdaf.aeronomie.be>) wordt gehost de prestaties van de TROPOMI-gegevens continu. Deze analyse wordt ondersteund door een reeks specifieke, diepgaande validatie-activiteiten. Correlatieve metingen door operationele observatienetwerken (zoals NDACC, TCCON, PGN, GAW, enz.) en gegevens van andere satellieten dienen als een onafhankelijke referentie. De analyses zijn gebaseerd op talrijke instrumenten, waarvan de meeste bij het BIRA zijn ontwikkeld, evenals op numerieke modellen die de atmosfeer simuleren en in staat zijn de gegevens op intelligente wijze op te nemen, bijvoorbeeld in inverse modelleringsystemen.

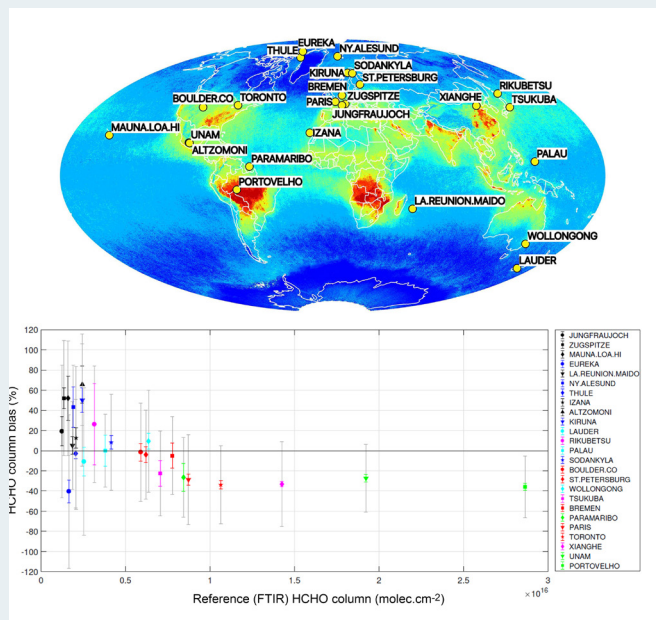
Al deze studies resulteren in een betrouwbare schatting van de onzekerheden die verbonden zijn aan elk van de producten, alsook in aanbevelingen om de algoritmen die deze gegevens opleveren te verbeteren.

Figuur 8: Vergelijking van TROPOMI-troposferische kolommen van formaldehyde (HCHO) met referentiemetingen verkregen met behulp van de Fourier Transform Spectrometer (FTIR) array van het NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change). De resultaten laten zien dat TROPOMI de neiging heeft om HCHO te overschatten voor lage waarden, en te onderschatten voor hoge waarden. Dergelijke validatieresultaten zijn zeer nuttig om vooruitgang te boeken bij de verbetering van de algoritmen voor de verwerking van satellietgegevens. © BIRA-IASB/NDACC

Methaan, een broeikasgas met een mysterieuze eigenschap

Na CO₂ is methaan (CH₄) het tweede belangrijkste antropogene broeikasgas. Hoewel zijn hoeveelheid in de atmosfeer minder is dan die van CO₂, is zijn opwarmingsvermogen per molecule veel hoger, wat het relatieve belang ervan verklaart. Vergeleken met CO₂, verdwijnt CH₄ ook veel sneller in de atmosfeer (ongeveer in 10 jaar, vergeleken met 100 jaar voor CO₂), wat betekent dat een vermindering van de hoeveelheid van deze molecule een snellere impact zal hebben op de stralingsbalans van de aarde. Net als CO₂ was CH₄ in de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw in opkomst, maar leek zich rond de eeuwwisseling te stabiliseren... totdat de hoeveelheid ervan in 2007 weer begon toe te nemen, om redenen die momenteel slecht worden begrepen en een zeer grote gemeenschap van wetenschappers over de hele wereld mobiliseren.

Terwijl de wereldwijde verspreiding van CH₄ in het verleden is gemeten met verschillende satellieten, waaronder SCIAMACHY op het ENVISAT-platform of de Japanse satelliet GOSAT, is TROPOMI het eerste ruimte-instrument dat deze molecule met hoge resolutie in kaart brengt, met een dagelijkse wereldwijde dekking en nauwkeurigheid die onder een percent ligt. Om dergelijke prestaties te bereiken maakt TROPOMI gebruik van innovatieve instrumentele technologie, maar ook van complexe retrieval-algoritmen die het gebruik van bijkomende gegevens over wolken noodzakelijk maken. Deze zijn afkomstig van de Amerikaanse satelliet S-NPP, die samen met Sentinel-5P in het kader van een ESA-NASA-samenwerkingsovereenkomst vliegt. België speelt van zijn kant een belangrijke rol in de bijzonder kritische validatie van deze gegevens (zie kader).



Conclusies

Sentinel-5 Precursor/TROPOMI is de eerste missie van het Europese Copernicus-programma dat zich richt op het monitoren van de samenstelling van de atmosfeer. De missie is in oktober 2017 met succes van start gegaan en omvat nu in totaal meer dan twee jaar aan observaties, waarvan tien maanden in de operationele fase. De meeste geofysische producten (NO_2 , CO , HCHO , SO_2 , O_3 , CH_4 , wolken en aerosolindices) hebben de operationele status bereikt en worden verspreid volgens het Copernicus-beleid dat vrije en onvoorwaardelijke toegang tot de observatiegegevens mogelijk maakt.

De opmerkelijke prestaties van TROPOMI, aangetoond door het operationele validatiesysteem dat bij het BIRA is ontwikkeld, maken een meer gedetailleerde opsporing mogelijk dan ooit tevoren van vervuiling op stedelijk niveau, belangrijke routes, natuurlijke en antropogene bronnen, en milieurisico's in verband met vulkaanuitbarstingen en bosbranden. Sentinel-5P levert niet alleen een belangrijke bijdrage aan de Copernicus Atmospheric Monitoring Service (CAMS), maar wordt ook gebruikt in een groeiend aantal milieudiensten in Europa en daarbuiten, waaronder de Verenigde Staten, China en Japan. In België worden TROPOMI-gegevens binnenkort geïntegreerd in het TERRASCOPE-systeem dat aardobservatiegegevens verspreidt voor Belgische gebruikers (zie <https://terrascope.be/en>).

Samen met zijn partners in het TROPOMI-consortium levert het BIRA een actieve bijdrage aan het wetenschappelijk onderzoek dat nodig is om nieuwe geofysische producten te ontwikkelen (de mogelijkheid om HONO, een belangrijke molecule in de chemie van bosbranden, te meten, werd onlangs door onze onderzoekers aangetoond) en om de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van bestaande producten te verbeteren. Het is ook betrokken bij de wetenschappelijke exploitatie van de missie, bijvoorbeeld door de gegevens te integreren in numerieke modellen van de atmosfeer.

Sentinel-5P effent de weg voor een nieuw tijdperk in de atmosferische observatie dat gebaseerd zal zijn op een constellatie van drie satellieten in een geostationaire baan tegen 2025, met metingen per uur van de samenstelling van de atmosfeer boven respectievelijk Europa, Azië en de Verenigde Staten, aangevuld met verschillende satellieten die een wereldwijde dagelijkse dekking in een lage baan om de aarde bieden. Op basis van zijn prestaties wil het BIRA een belangrijke bijdrage leveren aan de invoering en de werking van dit systeem.

DANKWOORD

Het onderzoek en de ontwikkeling die bij het BIRA worden uitgevoerd ter ondersteuning van de TROPOMI-missie worden gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo), in het kader van het PRODEX-programma (TRACE-S5P en TROVA-projecten), en door ESA binnen het Sentinel-S5P Mission Performance Center en het Sentinel-5P Innovatieprogramma. Wij danken onze internationale partners van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut en het Nederlands Instituut voor Ruimte-Onderzoek (KNMI en SRON), de Duitse Ruimtevaartorganisatie (DLR), de universiteiten van Bremen en Thessaloniki, het Rutherford Appleton Laboratory in het Verenigd Koninkrijk en het Max-Planck Instituut in Mainz.

DE AUTEUR:

Michel Van Roozendael is afdelingshoofd en hoofd van de onderzoeksgroep UV-Vis DOAS bij het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie. Hij begon zijn carrière in het begin van de jaren negentig met het bestuderen van het probleem van het ozongat en het ontwikkelen van de UV-Vis-spectroscopiewaarnemingen van het Instituut. In de jaren 2000 richtte hij zijn eigen onderzoeksgroep op, die zich richtte op het in kaart brengen van spoorgassen in de troposfeer en de ontwikkeling van de MAX-DOAS-techniek. Hij is betrokken bij verschillende wetenschappelijke ondersteuningscomités voor ESA-missies, en (co-)auteur van meer dan 200 artikels in internationale peer-reviewed tijdschriften.