

BRAIN-be 2.0

Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks - Phase 2



ACRONYM: LEGO-BEL-AQ

Contract Number: B2/191/P1/LEGO-BEL-AQ

Title : Low-Earth and Geostationary Observations of Belgian Air Quality

Duration of the project : 15/12/2019 –15/03/2024

Budget : € 375 951

Project Summary

Context

De luchtkwaliteit (AQ) in België wordt bepaald door complexe processen op een groot aantal temporele en ruimtelijke schalen, van puntbronemissies van primaire verontreinigende stoffen tot intercontinentaal transport en de vorming van secundaire verontreinigende stoffen. Bijgevolg is de verantwoordelijkheid voor de regulering van de luchtkwaliteit verdeeld over verschillende overheidsniveaus, van lokale overheden tot internationale instanties. De bewaking van de luchtkwaliteit door overheidsinstanties is gebaseerd op referentiemetingen van de concentraties nabij het oppervlak, waarbij geografische gaten tussen waarnemingspunten meestal worden opgevuld door interpolatie en numerieke simulaties waarin meteorologische analyses en veronderstelde emissies zijn verwerkt. Om de luchtkwaliteit op de verschillende relevante schalen vollediger te kunnen monitoren, wordt in het kader van het Europese Copernicus-programma een ambitieuze constellatie van satellieten gebouwd die de voordelen van Low Earth Orbit (LEO) en Geostationaire Orbit (GEO) combineert: Sentinel-5 Precursor (S5P, sinds 2017 in een LEO baan met het TROPOMI-instrument aan boord), de Sentinel-4 geostationaire satellieten (waarvan de eerste in 2025 in een baan om de aarde wordt gebracht) en de Sentinel-5 LEO satellieten (waarvan de eerste in 2025 wordt gelanceerd).

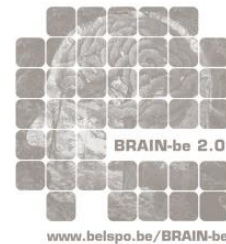
Hoewel ze regelmatige, quasi-continue waarnemingen van het hele Europese continent bieden, is de interpretatie van deze satellietgegevens complex en moet ze op maat worden gemaakt om informatie te leveren die volledig kan worden benut door beleidsmakers en andere belanghebbenden. De eerste uitdaging is om voldoende fijschalige informatie uit satellietgegevens te halen om bijvoorbeeld de effecten te kunnen detecteren van de lage-emissiezones (LEZ) die in veel (Europese) steden zijn geïmplementeerd. Een tweede uitdaging is het bepalen van de niet-triviale relatie tussen de verticale kolom van verontreinigende stoffen zoals gemeten vanaf een satelliet en de concentratie aan de oppervlakte die schadelijke gevolgen heeft voor de gezondheid. Tot slot vereist het ontwikkelen van synergie tussen waarnemingen van meerdere LEO- en GEO-platforms speciale aandacht voor hun (relatieve) biases en hun verschillende percepties van atmosferische eigenschappen.

Objectieven

De overkoepelende doelstelling van het LEGO-BEL-AQ project was het vergemakkelijken van het gebruik van satellietgebaseerde AQ gegevens door beleidsmakers, en dit door vooruitgang te boeken op de drie hierboven geïdentificeerde uitdagingen, met toepassingen die specifiek zijn voor België, zijn regio's en steden. Essentieel hierbij was het samenbrengen

BRAIN-be 2.0

Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks - Phase 2



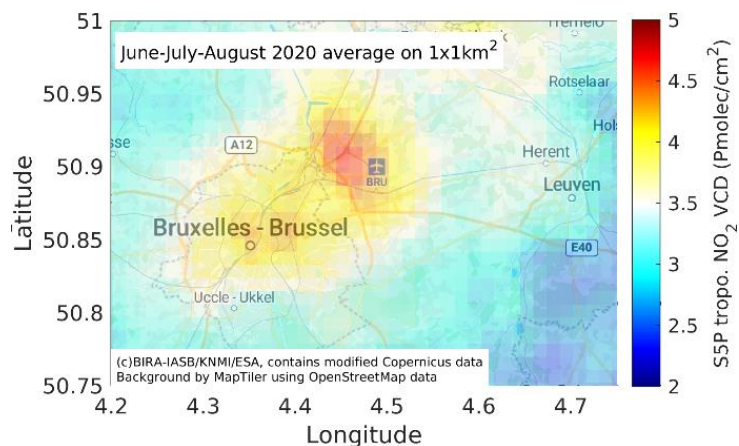
van de expertise in satellietgebaseerde monitoring van troposferische samenstelling bij BIRA-IASB met de in-situ- en modelleringsdeskundigheid en de relatie met belangrijke stakeholders en beleidsmakers bij IRCEL-CELINE.

De eerste uitdaging werd geadresseerd door het ontwikkelen van een oversampling/superresolutie systeem voor satellietgegevens waarbij temporele voor horizontale resolutie geruild wordt, en door deze toe te passen op S5P waarnemingen van troposferisch NO₂ boven België, met een focus op belangrijke steden zoals Brussel, Antwerpen, Gent, Luik en Charleroi. De tweede uitdaging werd geadresseerd door de S5P-kaarten met hoge resolutie boven België te vergelijken met de in-situ metingen en de afgeleide geïnterpoleerde RIO-gegevens om te beoordelen onder welke omstandigheden de satellietkaarten met hoge resolutie van de NO₂-kolom als representatief kunnen worden beschouwd voor de verdeling van de NO₂-oppervlakteconcentratie. De derde uitdaging werd geadresseerd door het draaien van observatiesysteemssimulaties (OSSE) op de hoge-resolutie kaarten geproduceerd in het 1^{ste} WP om de impact te kwantificeren van de bijzondere geometrie van de geostationaire sondes (gelegen boven de evenaar zien ze onze breedtegraden onder zeer schuine hoeken) op de metingen en hun consistentie met de LEO gegevens. Om het gebruik door de belangrijkste stakeholders en beleidsmakers te bevorderen, werd een werkpakket gewijd aan gebruikersinteractie: het verzamelen van vereisten, het garanderen dat de resultaten beschikbaar zijn en het ontwerpen van een routekaart voor de toekomst om dit werk naar een operationeel niveau te tillen.

Conclusies & aanbevelingen

Uit het uitgevoerde werk konden de volgende conclusies worden gedestilleerd:

- De aanpak om temporele resolutie in te ruilen voor ruimtelijke resolutie door aggregatie en oversampling is succesvol voor LEO sounders zoals S5P-TROPOMI, met name wanneer het gemiddelde over enkele maanden genomen wordt. (Figuur 1).



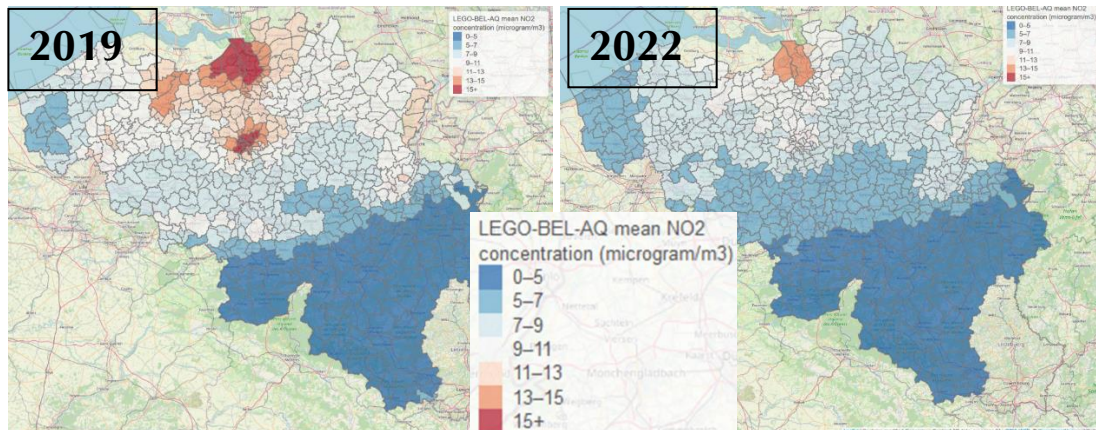
Figuur 1: Hoge-resolutie S5P-TROPOMI troposferische NO₂-kolommen boven Brussel voor zomer 2020.

BRAIN-be 2.0

Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks - Phase 2



- b. De schaarsheid van gegevens, vooral door bewolking in de winter, is een probleem voor kleinere aggregatievensters. Het opvullen van hiaten in de gegevens als gevolg van bewolking wordt afgeraden omdat de fouten groot kunnen zijn.
- c. De hogere resolutie die verkregen wordt door oversampling van S5P-TROPOMI NO₂-gegevens levert waardevolle informatie op over de ruimtelijke verdeling van NO₂ over België en over de temporele evolutie ervan op middellange tot lange termijn.
- d. De ruimtelijke correlatie tussen troposferische NO₂-kolommen en overeenkomstige concentraties aan de oppervlakte zoals gemeten in-situ is (verrassend) hoog voor gemiddelden over langere tijd (seizoens- en jaargemiddelden). Correlatiecoëfficiënten variëren van 0,8 tot 0,9.
- e. Deze hoge correlatie impliceert dat een pragmatisch synergetisch gebruik van satelliet- en in-situgegevens, waarbij Kriging Regressie wordt gebruikt om oppervlakteconcentraties af te leiden voor het hele Belgische domein, zinvol is.



Figuur 2: Kaarten van jaargemiddelde NO₂-concentraties aan het begin van de middag, gemiddeld per gemeente, voor 2019 (linkerpaneel) en 2022 (rechterpaneel), zoals berekend met een synergetisch gebruik van zowel S5P TROPOMI NO₂ troposferische verticale kolomdichtheden en RIO concentratiegegevens aan de oppervlakte. De kleurenschaal is gekozen om de naleving van de WHO-richtlijn voor jaarlijkse blootstelling (10 µg/m³) weer te geven, hoewel die betrekking heeft op de volledige dagelijkse blootstelling, niet alleen op de hier gepresenteerde situatie aan het begin van de namiddag.

- f. Om de tijdsevolutie op lange termijn te bestuderen, moet worden uitgegaan van een homogene niveau-2-satellietdataset. Voor S5P-TROPOMI heeft ESA net een volledige reprocessing van de missie uitgevoerd, die het uitgangspunt moet zijn voor elke trendstudie. Er moet ook rekening worden gehouden met de Cal/Val-resultaten.
- g. Toch tonen satelliet- en in-situ/model gegevens verschillend lange-termijn gedrag voor de voorbije jaren: Satellietgegevens tonen geen/weinig impact van de LEZ (daling van de NO₂ kolommen in lijn met voorgaande jaren/decennia), terwijl in-situ metingen en RIO sterke reducties tonen in "stedelijk" België. Verdere analyse is nodig.
- h. Door de vaste positie van geostationaire platformen kan de ruimtelijke resolutie voor deze sounders niet worden verhoogd door aggregatie + oversampling. Een synergetisch gebruik van LEO + GEO-gegevens is essentieel.

BRAIN-be 2.0

Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks - Phase 2



- i. Ruimtelijke vervormingen als gevolg van grote kijkhoeken en zenithoeken van de zon kunnen aanzienlijk zijn voor GEO-satelliten zoals de aankomende Sentinel-4.
- j. De belangstelling voor deze toepassingen in de aardobservatie (EO) gemeenschap is wereldwijd groot.
- k. De bekendheid van de ruimtecomponent voor AQ onder milieuspecialisten buiten de EO gemeenschap is echter beperkt. Deze moet meer onder de aandacht worden gebracht via andere kanalen dan dewelke gewoonlijk door EO wetenschappers worden gebruikt.
- l. De samenwerking tussen BIRA-IASB en IRCEL-CELINE is al zeer productief in het maken van de brug tussen EO en (in-situ) AQ monitoring (in België).

Aanbevolen toekomstig onderzoek na afloop van dit project omvat (1) verder onderzoek naar de discrepantie in lange-termijn trends tussen satelliet- en in-situ-metingen, (2) integratie van de gegevens over het dagverloop die na de lancering van Sentinel-4 zullen worden verkregen, (3) geografische uitbreiding tot Europa en daarbuiten, (4) opname van extra AQ-componenten, zoals PM2.5-schattingen op basis van gegevens over de optische dikte van aërosolen, (5) meer geavanceerde trend- en blootstellingsschattingen met behulp van aanvullende gegevens over bijvoorbeeld bevolkingsdichtheid, insolatie, enz, (6) emissieramingen, bijvoorbeeld met behulp van de fluxdivergentiemethode, en vergelijking met bottom-up emissie-inventarissen, en tot slot (7) verdere integratie in de officiële monitoringsystemen.

Technische projectresultaten zijn beschikbaar via de website (<http://lego-bel-aq.aeronomie.be>) en/of op verzoek bij de hoofdonderzoeker van het project.

Keywords

Luchtkwaliteit - Stikstofdioxide - Lage-emissiezones - Aardobservatie - Copernicus - ESA - Satellietwaarnemingen - Sentinel-5P TROPOMI - Sentinel-4 - Superresolutie