

# SCIENCE connection

HET MAGAZINE VAN HET FEDERAAL WETENSCHAPSBELEID

63

juni - juli - augustus  
2020



Naast de Algemene directie 'Onderzoek en Ruimtevaart' en de Ondersteunende diensten omvat het Federaal Wetenschapsbeleid Federale wetenschappelijke instellingen en Staatsdiensten met afzonderlijk beheer.

### Federale wetenschappelijke instellingen



Algemeen Rijksarchief en  
Rijksarchief in de Provinciën  
[www.arch.be](http://www.arch.be)

**KBR** Koester  
de tijd

Koninklijke Bibliotheek van België  
[www.kbr.be](http://www.kbr.be)



Koninklijke Musea  
voor Schone Kunsten van België  
[www.fine-arts-museum.be](http://www.fine-arts-museum.be)

**K&G**

Koninklijke Musea  
voor Kunst en Geschiedenis  
[www.kmkg.be](http://www.kmkg.be)



Koninklijk Instituut  
voor het Kunstpatrimonium  
[www.kikirpa.be](http://www.kikirpa.be)

**museum**

Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurweten-  
schappen / Museum voor Natuurwetenschappen  
[www.natuurwetenschappen.be](http://www.natuurwetenschappen.be)

**AFRICA**  
museum

Koninklijk Museum voor Midden-Afrika  
[www.africamuseum.be](http://www.africamuseum.be)

**Belnet**  
dedicated connectivity

Belnet  
[www.belnet.be](http://www.belnet.be)



Koninklijke Sterrenwacht van België  
[www.astro.oma.be](http://www.astro.oma.be)

**KMI**

Koninklijk Meteorologisch Instituut  
van België  
[www.meteo.be](http://www.meteo.be)



Koninklijk Belgisch Instituut  
voor Ruimte-Aeronomie  
[www.aeronomie.be](http://www.aeronomie.be)



Planetarium van de Koninklijke  
Sterrenwacht van België  
[www.planetarium.be](http://www.planetarium.be)

# INHOUD

---

04

Hebben we de longen van onze planeet tot het uiterste gedreven?

14

Inzoomen op de wereldwijde luchtkwaliteit met TROPOMI

22

Tussen preventie en veiligheid

26

Is de grens van collaboratieve innovatie bereikt?

33

Wetenschap en Cultuur in het Koninklijk Paleis

38

Honderd jaar geschiedschrijving over de Eerste Wereldoorlog in België

43

DNA-barcoding in de strijd tegen invasieve soorten en het eten van wilde dieren



# Hebben we de longen van onze planeet tot het uiterste gedreven?

Het vermogen van tropische bossen om CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer te verwijderen, neemt sneller af dan men tot nu dacht

Intacte tropische bossen staan bekend als een cruciale wereldwijde 'koolstofpons', die de klimaatverandering vertraagt door koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) uit de atmosfeer te verwijderen en op te slaan in bomen. De meeste wereldwijd toegepaste klimaatmodellen voorspellen dat deze tropische koolstofpons nog tientallen jaren op topcapaciteit zal blijven werken. Wetenschappers van het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika, Leeds University (UK) en een internationaal consortium van onderzoeksinstituten ontdekten echter dat deze voorspelling niet correct blijkt te zijn. De opname van koolstof in intacte tropische bossen op aarde heeft een piek bereikt in de jaren negentig en neemt nu snel af. Deze alarmerende resultaten suggereren dat de koolstofdioxide-uitstoot nog sneller tot nul teruggebracht moet worden dan gepland.

## De globale koolstofcyclus

Om het belang van de resultaten goed te begrijpen, schetsen we kort het mechanisme van de globale koolstofbalans (Figuur 1). Onze planeet herbergt vier belangrijke koolstofreservoirs. Het belangrijkste reservoir is de aardkorst, dat zeer grote hoeveelheden fossiel koolstof bevat (100.000.000 miljard ton), waarvan zo'n 15.000 miljard ton aan de oppervlakte van de aardkorst bereikbaar is voor de mens (onder de vorm van olie, aardgas, steenkool, ...). Het tweede belangrijkste reservoir zijn de oceanen, ze bevatten ongeveer 38.000 miljard ton koolstof. Ten derde is er het landoppervlak, bestaande uit de verschillende vegetatietypes (gaande van toendra tot regenwoud) en de bovenste bodemlagen die ze bedekken (bodemkoolstof zit voornamelijk in de bovenste 1 à 2 meter). Dit reservoir is goed voor ongeveer 2300 miljard ton koolstof. Ten slotte is de atmosfeer zelf een koolstofreservoir, dat slechts een zeer kleine fractie van alle koolstof op aarde bevat (760 miljard ton). Deze drie reservoirs wisselen constant koolstof uit met elkaar.

Wannes Hubau,

Simon Lewis,

Corneille Ewango,

John Tshibamba Mukendi,

Hans Beeckman

en Jonas Van de Voorde





© Peter Vander Sleen

Het leeuwendeel van het koolstof in de aardkorst en de diepzee is permanent opgeslagen, maar ongeveer 1000 miljard ton zit in de oppervlaktewateren (de bovenste 200 meter), die in contact staan met de atmosfeer. Verder is er intensieve uitwisseling van koolstof tussen de atmosfeer en de vegetatie op land. Deze uitwisselingen zijn sinds het einde van de laatste ijstijd (ongeveer 11.700 jaar geleden) in balans geweest en de reservoirs zijn nagenoeg niet veranderd. Daar bracht de Industriële Revolutie echter drastisch verandering in.

Door het verbranden van fossiele brandstoffen (die normaal gezien permanent opgeslagen zitten in de aardkorst), komt er sinds de laatste 250 jaar extra koolstof in de 'snelle' koolstofcyclus. Deze emissies komen eerst in de atmosfeer terecht, onder de vorm van CO<sub>2</sub> (koolstofdioxide). In 2010 was deze bron ('source') van koolstof wereldwijd goed voor ongeveer 9 miljard ton per jaar (Figuur 1)<sup>(1)</sup>. Daarbovenop komt nog ongeveer 1 miljard ton afkomstig van veranderingen in landgebruik,

voornamelijk door bosvernietiging zoals door de recente bosbranden in Indonesië (2015), Zuid-Amerika (2019) en Australië (2020). Maar waar gaan deze emissies heen? De oceanen en het landoppervlak doen, naast reservoir, gelukkig ook dienst als 'koolstofpons', gekend als 'sink' onder klimaatwetenschappers. Beide reservoirs absorberen samen ongeveer 5,6 miljard ton koolstof per jaar (Figuur 1). Dit wil dus zeggen dat de atmosfeer sinds 2010 jaarlijks met 4,4 miljard ton koolstof aangerijkt wordt (netto balans: 9+1-3-2,6 = 4,4; Figuur 1). Dit cijfer stijgt jaarlijks, wat gekend is als de beruchte 'hockeystick curve'. Sinds het begin van de Industriële Revolutie is het koolstofreservoir in de atmosfeer al met meer dan 40 % toegenomen (vergeleken met het referentiejaar 1750). Dit is problematisch aangezien CO<sub>2</sub> in de atmosfeer ervoor zorgt dat invallende zonnewarmte na weerkaatsing op het aardoppervlak, niet meer naar het heelal terug kan keren, waardoor het aardoppervlak geleidelijk opwarmt. Dit is gekend als het broeikaseffect.



Figuur 1: De globale koolstofcyclus. De planeet herbergt vier koolstofreservoirs: de aardkorst (100.000.000 miljard ton koolstof), de oceanen (38.000 miljard ton koolstof), het landoppervlak (vegetatie + bodem, 2300 miljard ton koolstof) en de atmosfeer (760 miljard ton koolstof). Deze reservoirs wisselen koolstof uit met elkaar: jaarlijks komt er 10 miljard ton koolstof in de atmosfeer terecht door bosvernietiging (1) en verbranding van fossiele brandstoffen (9); jaarlijks wordt 2,6 miljard ton koolstof opgenomen door de oceanen en 3 miljard ton door het landoppervlak. De tropische component van deze laatste 'koolstofpons' is echter snel aan het afnemen door natuurlijke boomsterfte en boskap.

## Van internationale akkoorden tot ontberingen in het woud

Het internationale klimaatverdrag van Parijs heeft tot doel 'om de wereldwijde respons op de dreiging van klimaatverandering te versterken door een wereldwijde temperatuurstijging deze eeuw ruim onder 2 graden Celsius boven pre-industriële niveaus te houden en inspanningen te leveren om de temperatuurstijging nog verder te beperken

tot 1,5 graden Celsius'. Daarvoor moeten de CO<sub>2</sub>-emissies drastisch teruggedrongen worden. De maatregelen die moeten genomen worden om deze doelstellingen te behalen, zijn gebaseerd op klimaatmodellen die toelaten om prognoses te maken van de evolutie van de koolstofbalans. Deze klimaatmodellen worden voortdurend bijgewerkt volgens het schema van de beoordelingsrapporten van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Er hangt dus zeer veel af van deze modellen, maar de vraag is in hoeverre ze eigenlijk wel betrouwbaar zijn?

Om de resultaten van mathematische modellen te testen, zijn er degelijke meetgegevens nodig. Een van de grootste uitdagingen is het opmeten van de koolstofuitwisseling tussen tropische bossen en de atmosfeer. Tropische bossen zijn gekend als de 'groene longen van onze planeet'. Ze zijn goed voor ongeveer 20% (1,1 miljard ton koolstof per jaar) van de koolstofopname van het landoppervlak en oceanen samen. Bomen nemen deze koolstof (in de vorm van CO<sub>2</sub>) via hun bladeren op uit de atmosfeer, ze gebruiken koolstof (C) voor hun eigen weefselopbouw (voornamelijk hout) en geven zuurstof (O<sub>2</sub>) terug af aan de atmosfeer.



Om een goede inschatting te maken van het effect van dit proces (fotosynthese), volstaat het om de evolutie van de boomgroei in kaart te brengen.

Dit klinkt echter makkelijker dan het in de praktijk is (Figuur 2). Ten eerste behoren tropische bossen nog steeds tot de meest ontoegankelijke gebieden ter wereld. Door een dicht netwerk van struiken en lianen is het dikwijls moeilijk door te dringen in een tropisch bos. Verder is het opmeten van tropi-

sche bomen een huzarenstuk: stammen zijn soms helemaal ingepakt door lianen, wurgvijgen of epifyten. De bomen zelf zijn door hun soms zeer grillige vormen (plankwortels, luchtwortels, holtes, ...) moeilijk op te meten. Zeer heldere regels die nauwgezet nageleefd worden zijn dus noodzakelijk voor de metingen en hun herhaalbaarheid. Sommige stammen zijn moeilijk te benaderen door de aanwezigheid van dieren (bijen, wespen, schorpioenen of slangen). Occasioneel wordt een wetenschapper verjaagd (of erger) door

olifanten, gorilla's of andere grote dieren, terwijl minuscule tropische parasieten soms letterlijk het leven onmogelijk maken. Ten slotte laat de politieke toestand in sommige landen tijdelijk niet toe om veldwerk te verrichten. Zo zijn de bossen van Liberia en Sierra Leone lang ontoegankelijk geweest tijdens de burgeroorlog in de jaren 1990 en 2000 en de Ebola-epidemie van 2014-2015. Veldwerk in een tropisch regenwoud is dus niet zonder risico's en niet zo rooskleurig als soms wordt aangenomen.



Figuur 2: De uitdagingen van het werken in het tropische regenwoud. Linksboven: ongedierte zoals zweetvliegjes zijn niet weg te denken; linksonder: sommige plots zijn op olifantensnelwegen aangelegd (de boom op de foto wordt regelmatig door olifanten gebruikt om zich te schuren); rechts: sommige bomen hebben grillige vormen en zijn volledig ingepakt door lianen, epifyten en termietenheuvels.

## Metten is weten

De tropische bossen op onze planeet zijn voornamelijk gesitueerd in het Amazonegebied (756 miljoen hectare in 2010) en Centraal Afrika (478 miljoen hectare). Een klein deel bevindt zich in Zuid-Oost Azië maar deze bossen verdwijnen in zeer hoog tempo (van 234 miljoen hectare in 1980 naar 118 in 2010). Om de totale hoeveelheid koolstof in deze bossen in te schatten wordt er nu regelmatig beroep

gedaan op analyse van satellietbeelden. Een goede interpretatie van satellietbeelden is echter maar mogelijk indien er exacte meetpunten in het bos zelf zijn ter referentie. Bovendien is het via satellietbeelden heel moeilijk om een inschatting te maken van de langetermijntrend van de koolstofopslag in een bos. Daarom hebben overheden en wetenschappers wereldwijd geïnvesteerd in netwerken van permanente proefpercelen, waar de biomassa van individuele bomen op terrein ingeschat en opgevolgd wordt in de tijd.

Permanente bosinventarisatiepercelen (hierna 'plots' genoemd) zijn gemiddeld 1 hectare groot en hebben meestal een vierkante vorm (100 m x 100 m). Ze zijn opgedeeld in kleinere percelen van 20 m x 20 m, waardoor individuele bomen gemakkelijker gelokaliseerd kunnen worden. Elke boom heeft een nummerplaatje, meestal bevestigd met behulp van een nagel (we gebruik

ken aluminium om de boom niet te vergiftigen). Van elke boom wordt de diameter opgemeten op 'borsthoogte' wat overeenkomt met 1,3 m boven de grond (Figuur 3). De plaats waar de boom gemeten wordt, is gemarkeerd door een smalle streep verf. Elke permanente plot wordt regelmatig opnieuw bezocht om de bomen op exact dezelfde plaats terug op te meten (dit is maar

mogelijk dank zij de aangebrachte verf). Het verschil van opeenvolgende diametermetingen geeft het groeiritme aan van de boom. Terreinbezoeken zijn gemiddeld om de vier jaar ingepland, maar sommige percelen worden regelmatig (bijvoorbeeld jaarlijks) bezocht, terwijl andere door omstandigheden (bijvoorbeeld oorlog) soms langere tijd ontoegankelijk zijn.



Figuur 3: Hoe ziet een permanente bosinventarisatieplot eruit? Links: een terreinkaart van een typische plot van 1 ha (100 m x 100 m), met aanduiding van de onderverdeling en enkele topografische gegevens (helling en bospaadje). In het midden: op terrein worden de 'subplots' van 20 m x 20 m afgebakend met touwen. Rechts: elke boom krijgt een aluminium nummerplaatje en een streep verf waar de diameter gemeten wordt.

Verder wordt van de bomen op de percelen de boomhoogte opgemeten. Diameter en hoogte kunnen gebruikt worden om via een mathematisch model (specifiek per tropische regio) het totale houtvolume te berekenen (in m<sup>3</sup>). Verder wordt elke soort botanisch geïdentificeerd en er worden houtstalen genomen om de houtdensiteit (in kg per m<sup>3</sup>) van elke soort te meten. Volume vermenigvuldigd met densiteit levert dan het totale gewicht of

biomassa op van een boom (in kg of ton; Figuur 4). Ongeveer de helft van deze biomassa is koolstof. Op deze manier werden tijdens de voorbije 50 jaar 365.000 tropische bomen (165.000 in het Amazonegebied, 135.000 in Centraal Afrika en 67.000 in Borneo) opgevolgd in 636 permanente plots (Amazone: 321, Afrika: 244, Borneo: 71; Figuur 5). In totaal werden meer dan een miljoen metingen uitgevoerd door meer dan 300 wetenschappers.



Figuur 4: Een ton koolstof. Deze stamstukken zijn afkomstig van een woudreus, gekend als Afrormosia, uit de Democratische Republiek Congo. Deze boom had een diameter van ongeveer 1,5 meter, was meer dan 50 meter hoog en had meer dan 15 ton koolstof opgeslagen. Hij maakte deel uit van een concessie beheerd door de Compagnie Forestière de Transformation (CFT), het enige Congolese bedrijf dat in de voorbije 10 jaar internationale certificering verkreef voor hun bosbeheer. Deze boom werd in 2015 gekapt voor commerciële doeleinden. Afrormosia is heel erg populair voor parket, buitenschrijnwerk en meubilair. Het onderste gedeelte van de stam, dat 1 ton koolstof bevat, werd geschonken aan het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika voor educatieve doeleinden.

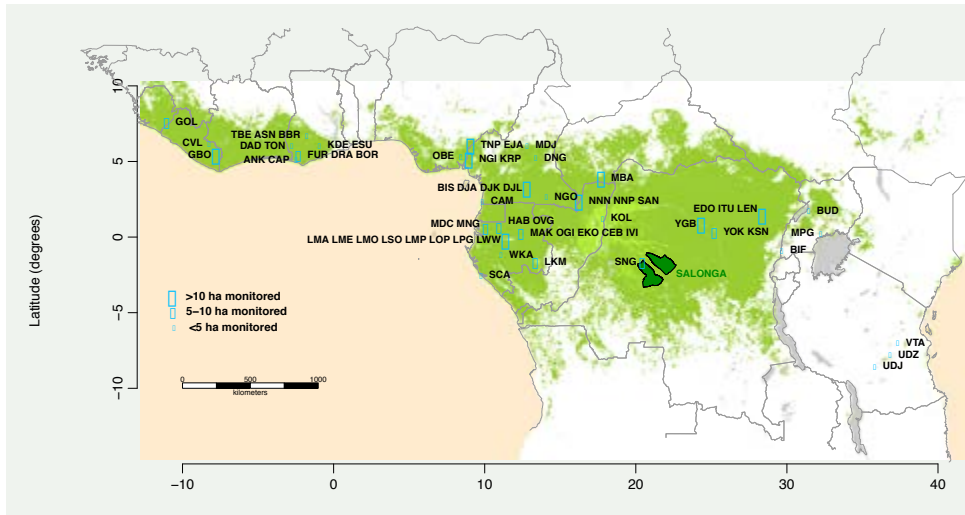


## Koolstofspons

Naast de groei van de bomen, wordt ook de boomsterfte 'opgemeten'. In tropische gebieden rot een afgestorven boom zeer snel weg en het grootste deel van zijn biomassa wordt aan de atmosfeer vrijgegeven als CO<sub>2</sub> (ongeveer 85 % wordt vrijgegeven binnen de eerste 10 jaar na sterfte). Door zowel rekening te houden met de boomgroei als met de boomsterfte, kunnen we de jaarlijkse netto balans berekenen van elke plot. Deze balans wordt uitgedrukt in ton (koolstof) per hectare per jaar. Als de balans positief is, doet een plot dienst als 'koolstofspons' of 'sink'; als de balans negatief is (door een overwegende sterfte)

stoot een plot netto koolstof uit, dan wordt het een 'koolstofbron' of 'source'. De vraag is wat de balans is van al deze plots samen?

We weten al dat de balans globaal gezien positief is: het landoppervlak absorbeert jaarlijks zo'n 3 miljard ton koolstof (Figuur 1), waarvan meer dan een derde in tropische bossen opgeslagen wordt, hoewel tropische bossen minder dan 10 % van het landoppervlak innemen. In de praktijk wil dit dus eigenlijk zeggen dat er meer biomassa bijkomt in een bos: de bomen worden talrijker of dikker (of beide). Maar hoe evolueert deze balans op de lange termijn? Kan een koolstofreservoir eigenlijk wel blijven aangroeien? Met andere woorden: wanneer worden de limieten bereikt van de longen van onze planeet?



Figuur 5: Het netwerk van 244 permanente plots in Centraal Afrika, met aanduiding van Nationaal Park Salonga als twee groene longen middenin het Congobekken. De groene achtergrond is het Centraal Afrikaanse regenwoud (532 miljoen hectare). Blauwe bollen komen overeen met groepen plots, de grootte van elke bol representeert het totale aantal hectare. De plots zijn gesitueerd in 11 verschillende landen (van West naar Oost: Sierra Leone, Liberia, Ghana, Nigeria, Kameroen, Gabon, Congo Brazzaville, Democratische Republiek Congo, Centraal Afrikaanse Republiek, Oeganda, Tanzania).

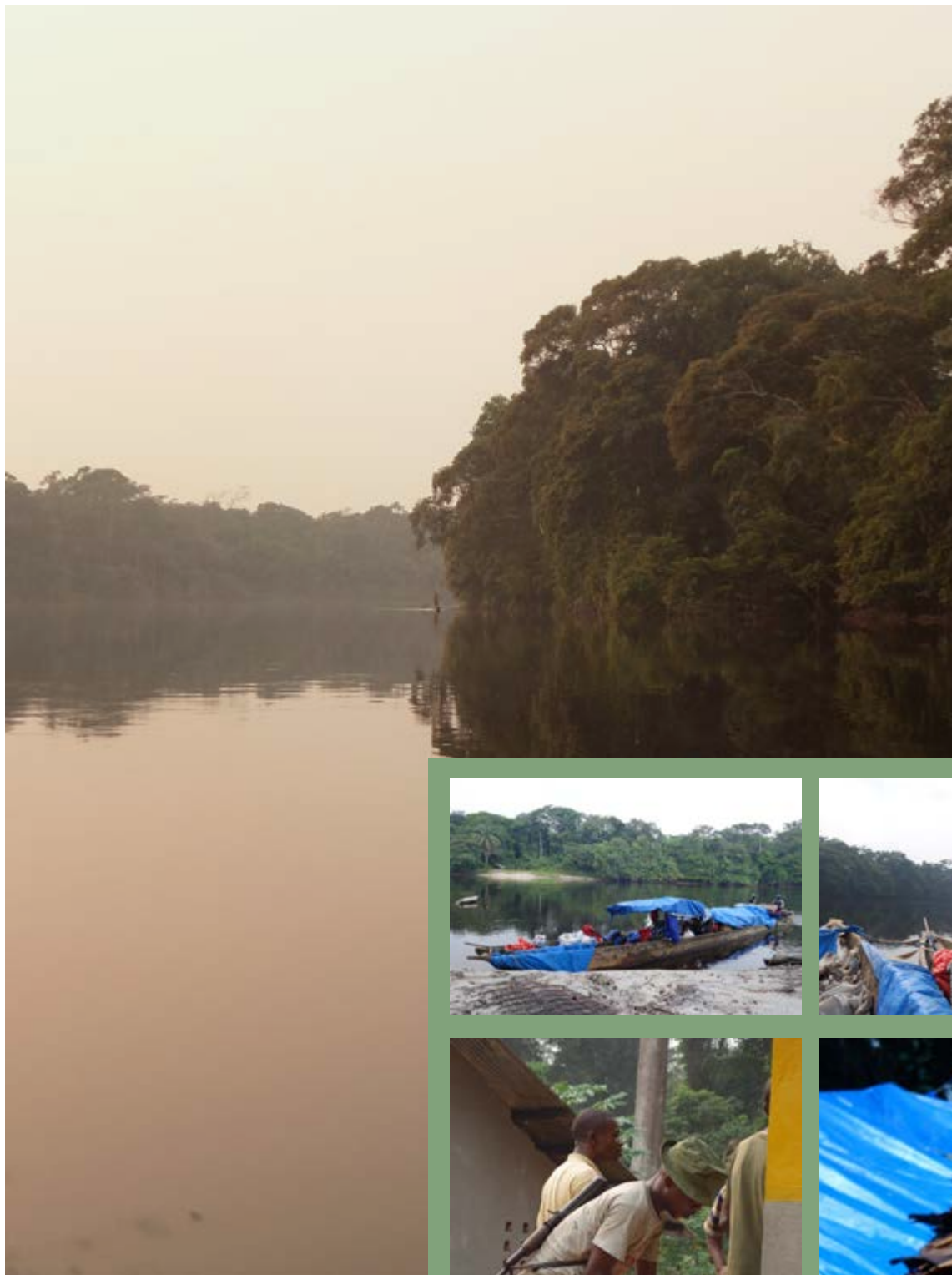
## De bomen zien tussen bonobo en congopauw

In 2014 organiseerde de dienst Houtbiologie van het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika, in samenwerking met Leeds University (UK) en de Congolese tak van de Wildlife Conservation Society (WCS-Congo) een expeditie naar het Nationaal Park Salonga, een gebied bestaande uit twee stukken die samen de vorm hebben van een paar longen (Figuur 5) ter grootte van meer dan 3,6 miljoen hectare (ongeveer de oppervlakte van België). De Salonga is gekend als een van de minst toegankelijke gebieden op aarde. Het is ook het laatste gebied waar grote aantallen bonobo's en congopauwen ongestoord leven, twee soorten die exclusief voorkomen in de Democratische Republiek Congo en die maar weinig biologen in hun

natuurlijke habitat bestudeerd hebben. Beide soorten werden pas voor de eerste maal wetenschappelijk beschreven laat in de 20<sup>ste</sup> eeuw (de congopauw in 1936 en de bonobo in 1954). Bioloog-journalist Dirk Draulans wijdde in 1997 zijn boek *De mens van morgen* aan de bonobo, die van alle primaten het meest op de mens lijkt maar waarvan slechts bitter weinig geweten is. De wetenschappers van het KMMA reisden Draulans na, zo'n 20 jaar later, met een niet minder spectaculair doel: naast de bonobo's en congopauwen kijken om zo'n 4000 bomen op te meten.

Vanuit Mbandaka, een Congolese provinciehoofdstad gesitueerd op de Congostroom, beslaat de reis naar Salonga een dikke week. De wetenschappers laadden een grote voorraad rijst, bonen, maniok en gepekeld vis in twee uitgeholde, gemotoriseerde boomstammen en vatten de reis stroomopwaarts aan langs de Ruki-rivier, een grote zijrivier van de Congo (Figuur 6). Daarna ging het langs de Mom-

boyo- en Luilaka-rivieren tot in Monkoto, een dorpje aan de rand van het Salonga-park. Daar werd een team medewerkers gerekruteerd dat voornamelijk bestond uit parkwachters in dienst van WCS-Congo. Daarna gingen ze het park binnen langs kronkelende rivieren. Het laatste stuk was een dagmars te voet door verraderlijke moerassen en indrukwekkende ongerepte wouden. Ten slotte werd een oud kampement aan het Nguma-stroompje bereikt, waar voorgangers in 2008 negen permanente plots geïnstalleerd hadden. Na enkele dagen speuren in het woud met GPS en kompas, werden alle negen percelen herontdekt. Er werd een permanent kamp opgeslagen en het team bleef twee maanden lang kamperen tussen de woudreuzen, omringd door krijsende bonobo's, olifanten die met veel gekraak 's nachts voorbij raasden en grote troepen apen die vanuit de boomtoppen aandachtig het dagelijkse opmeten volgden. 's Nachts zorgde een koppel congopauwen steevast voor een liefdesduet.



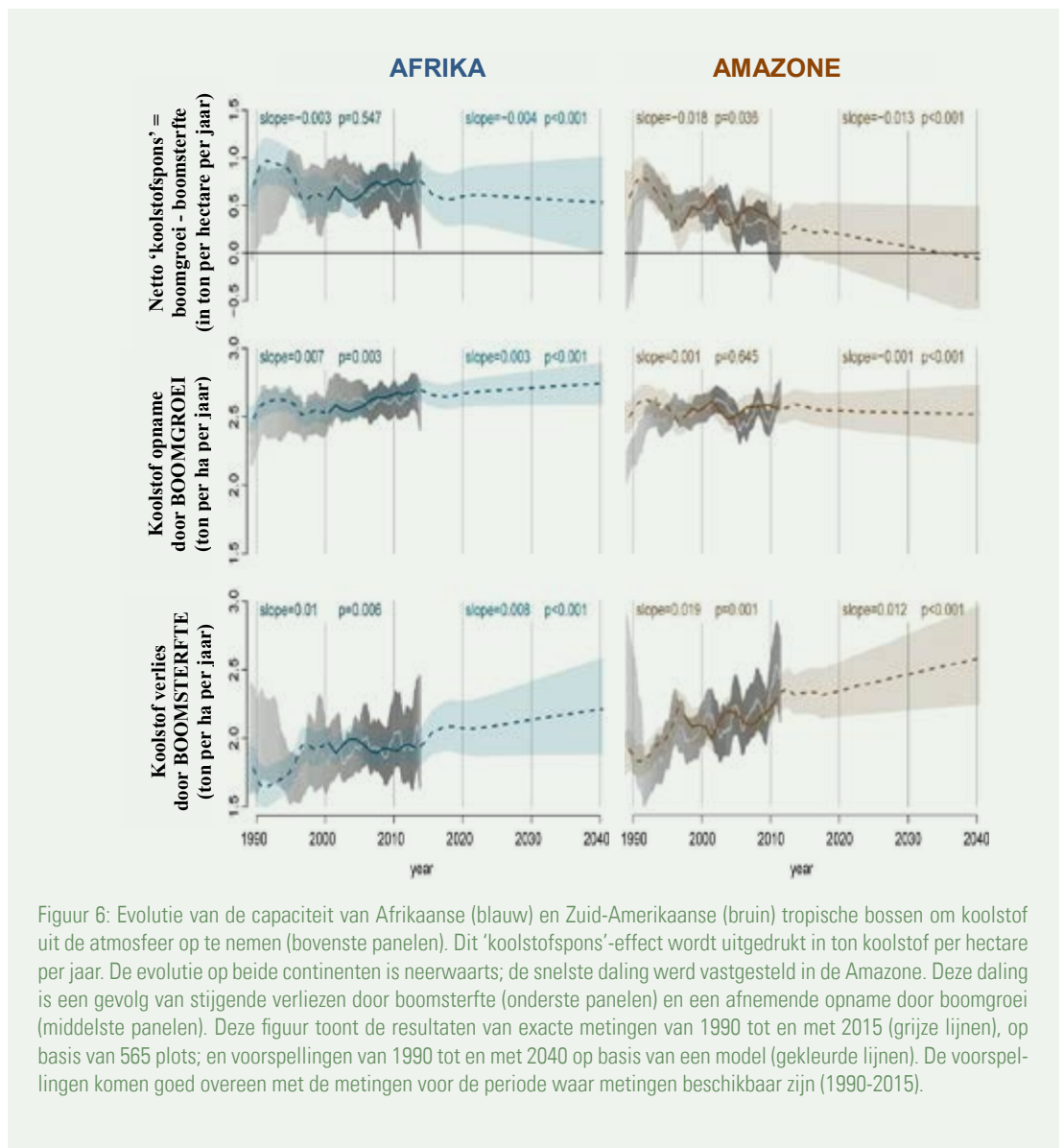
Figuur 6: De expeditie naar het Nationaal Park Salonga. In Monkoto werden Ecogardes van WWF gerekruteerd om te helpen bij de bosinventarisatie (onderaan links). Gepekeldde vis (rechtsonder) is een belangrijke voedingsbron om lange tijd in het oerwoud te kamperen (rot niet).



## Boomsterfte, boomsieëta en rokerslongen

De resultaten van de metingen in Salonga en alle andere plots verspreid over de tropische bossen van de planeet, legden echter een minder prettige realiteit bloot. De wereldwijde capaciteit van tropische bossen om koolstof uit de atmosfeer vast te leggen, is aan het achteruitgaan door toenemende boomsterfte (Figuur 7 en Figuur 8). Deze boomsterfte (Figuur 7, onderste panelen) is het resultaat van verschillende, complexe factoren. In de eerste plaats is deze boomsterfte een vertraagd effect van de sterke boomgroei die de regenwouden kenden in de jaren 1980 en 1990 (Figuur 7, middelste panelen). Deze versnelde boomgroei was het resultaat van de zogenaamde 'koolstofbemesting': stijgende CO<sub>2</sub>-concentraties in de lucht hebben een

vergelijkbaar effect op bomen als het toenemen van een voedselbron bij dieren. Aanvankelijk kan dit niet veel kwaad, maar als de toename overdreven groot wordt, kan het resultaat catastrofaal zijn. Zoals overvoeding bij dieren leidt tot gezondheidsproblemen en uiteindelijk overlijden, zo leidt een overdreven boomgroei op termijn tot boomsterfte door een verhoogde competitie om andere factoren (licht, water, ruimte). Bovendien zijn er ook grenzen aan de boomgroei: de verhoogde atmosferische CO<sub>2</sub> leidt tot systematisch hogere temperaturen. Bomen hebben een limiettemperatuur, waarbij hun productiviteit afneemt eenmaal deze limiet bereikt wordt. Tropische bomen gaan nu dagelijks als het ware in sieëta. Dit is goed zichtbaar op de middelste panelen in Figuur 7: boomgroei in Afrika en vooral de Amazone is spectaculair gestegen in de jaren 1980 en 1990, maar deze stijging neemt nu geleidelijk af.



Figuur 6: Evolutie van de capaciteit van Afrikaanse (blauw) en Zuid-Amerikaanse (bruin) tropische bossen om koolstof uit de atmosfeer op te nemen (bovenste panelen). Dit 'koolstofspons'-effect wordt uitgedrukt in ton koolstof per hectare per jaar. De evolutie op beide continenten is neerwaarts; de snelste daling werd vastgesteld in de Amazone. Deze daling is een gevolg van stijgende verliezen door boomsterfte (onderste panelen) en een afnemende opname door boomgroei (middelste panelen). Deze figuur toont de resultaten van exacte metingen van 1990 tot en met 2015 (grijze lijnen), op basis van 565 plots; en voorspellingen van 1990 tot en met 2040 op basis van een model (gekleurde lijnen). De voorspellingen komen goed overeen met de metingen voor de periode waar metingen beschikbaar zijn (1990-2015).

Om het kort en bondig samen te vatten, heeft de koolstofbemesting geleid tot een versnelde en intensievere dynamiek van tropische bossen: de cyclus van groei, sterfte en herstel, die van nature voorkomt in elk bos, is opgeblazen tot ongekeende proporties. Op de lange termijn zullen tropische bossen hier niet meer van kunnen herstellen. Wetenschappelijk onderzoek toonde aan dat bossen in de Amazone aan het evolueren zijn naar drogere bostypes die beter tegen het nieuwe klimatologische regime kunnen. De diverse en koolstofrijke regenwouden van vroeger zijn dus stilletjes aan het verdwijnen. Wetenschappers spreken van een 'verbruining' van tropische bossen. De planeet zit dus met rokerslongen.

## Conclusie: de mens heeft de longen van onze planeet tot het uiterste gedreven!

De trends die in Figuur 7 getoond worden, tonen hoe de 'koolstofspons'-capaciteit van intacte tropische bossen afneemt (een reductie van 33 % sinds de jaren 1990). Daarbij komt nog de uit de hand lopende bosvernietiging: 19 % van de tropische bosoppervlakte is ontgonnen sinds 1990. Ondertussen zijn de CO<sub>2</sub>-emissies door de mens met 48 % gestegen. Dit heeft geleid tot een dramatische afname van de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die intacte tropische bossen uit de atmosfeer halen: van 17 % in de jaren 1990 tot slechts 6 % in de jaren 2010!

De onmiddellijke bedreigingen voor tropische bossen zijn ontbossing, houtkap en bosbrand. Deze vereisen dringende actie. Ondanks hun afnemende capaciteit als koolstofspons, zijn deze tropische bossen nog steeds enorme reservoirs van koolstof, die alleen al in hun bomen 250 miljard ton koolstof opslaan. Deze opslag staat gelijk aan 90 jaar hedendaagse uitstoot van fossiele brandstoffen. Naast bosbescherming, is het stabiliseren van het klimaat op aarde noodzakelijk om de koolstofbalans van intacte tropische bossen te stabiliseren. Om te voorkomen dat intacte tropische bossen een grote koolstofbron voor de atmosfeer worden, moet de CO<sub>2</sub>-uitstoot nóg sneller naar nul gebracht worden dan momenteel wordt verwacht sinds het klimaatverdrag van Parijs. Zeer dringende actie is vereist om dit doemscenario uit te sluiten.



Figuur 8: Een afgestorven reus in het Afrikaanse regenwoud.

In zijn boek *Order out of Chaos* maakte de Brusselse Nobelprijslaureaat (1977) Ilya Prigogine een alarmende en macabere vergelijking. Ruim 3 miljard jaar geleden bestond de atmosfeer voornamelijk uit CO<sub>2</sub>, totdat de zogenaamde cyanobacteriën zuurstof (O<sub>2</sub>) begonnen te produceren. Deze 'zuurstofrevolutie' had een ware holocaust tot gevolg: bijna alle levensvormen, afhankelijk van CO<sub>2</sub>, stierven uit. Deze massa-extinctie luidde ook het begin in van nieuwe levensvormen, afhankelijk van zuurstof, waaruit uiteindelijk de Mens ontstaan is. Deze Mens, met een brein bestaande uit miljarden cellen, is nu op weg om dezelfde fout te maken als die eencelligen miljarden jaren geleden: we vervuilen onze eigen atmosfeer en tekenen daarmee ons eigen doodvonnis. Gaan we een 'koolstofholocaust' tegemoet?



---

## Epiloog: investeer in monitoring!

Het vermogen van bossen om de klimaatverandering te vertragen, is een cruciaal element voor het functioneren van de planeet. Om te begrijpen hoe dit mechanisme werkt, is het belangrijk om te meten hoeveel koolstof door de aarde wordt opgenomen en hoeveel er in de atmosfeer vrijkomt. Voortdurende monitoring van intacte tropische bossen is vereist om de effecten van versnelde veranderingen in het milieu te volgen. We hebben deze monitoring meer dan ooit nodig, omdat de laatste grote tropische bossen van onze planeet worden bedreigd als nooit tevoren.

---

### De auteurs

- **Wannes Hubau**, boscoloog KMMA
- **Simon Lewis**, professor tropische boscologie Leeds University
- **Corneille Ewango**, professor tropische boscologie Université de Kisangani (D.R.Congo)
- **John Tshibamba Mukendi**, professor tropische boscologie Université de Mbuji-maji (D.R.Congo)
- **Hans Beeckman**, boscoloog en hoofd dienst Houtbiologie KMMA
- **Jonas Van de Voorde**, wetenschapscommunicator KMMA

---

### Referentie

Dit onderzoek publiceerden wetenschappers van het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika, Leeds University en een internationaal consortium van onderzoeksinstituten op 5 maart 2020 in *Nature*, 's werelds meest toonaangevende multidisciplinaire wetenschappelijke tijdschrift.

Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests, *Nature*, Volume 579

(DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2035-0>)

### Met de medewerking van:

[www.forestplots.net](http://www.forestplots.net), Leeds University

African Tropical Rainforest Observation Network (AfriTRON), Leeds University ([www.afritron.org](http://www.afritron.org))

(1) De hoeveelheden koolstof die jaarlijks tussen de reservoirs uitgewisseld worden, evolueren in de tijd. De hoeveelheden die hier gerapporteerd worden, zijn berekend voor het referentiejaar 2010 en komen uit de veelgebruikte publicatie 'Global Carbon Budget 2015' (Le Quéré *et al.* 2015 Earth System Science Data).

## KMMA- onderzoek in de Luki en Yangambi biosfeerreser- vaten in Congo

Het KMMA is sinds 2004 actief met onderzoek over koolstofopslag en boomgroei in de regenwouden van het Congobekken. De onderzoeksprojecten zijn meestal door Belspo gefinancierd, en verlopen in samenwerking met de Plantentuin Meise en met de Universiteiten van Gent, Brussel (ULB) en Luik (Gembloux Agro-Bio Tech). Er wordt, vooral met steun van de Belgische ontwikkelingsamenwerking, volop ingezet op capaciteitsversterking met betrekking tot bosbouw en koolstofonderzoek in de DRK. Met steun van de Europese commissie (FORETS project, beheerd door CIFOR) heeft het KMMA een volledig uitgerust laboratorium ingericht in Yangambi, het hart van het Congolese regenwoud, met apparatuur voor opmetingen en gesofisticeerde analyses.



# 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 nauwkeurighedsniveau.

Met kanalen in het ultraviolet, zichtbaar en nabij infrarood meet TROPOMI de concen-

tratie 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 30 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 hartaanvalen. 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 waarnemingssysteem dat metingen op de grond, satellietmetingen en modellering combineert, zoals ontwikkeld binnen de dienst voor atmosferemonitoring van het Copernicus-programma (CAMS) (zie <https://atmosphere.copernicus.eu>).

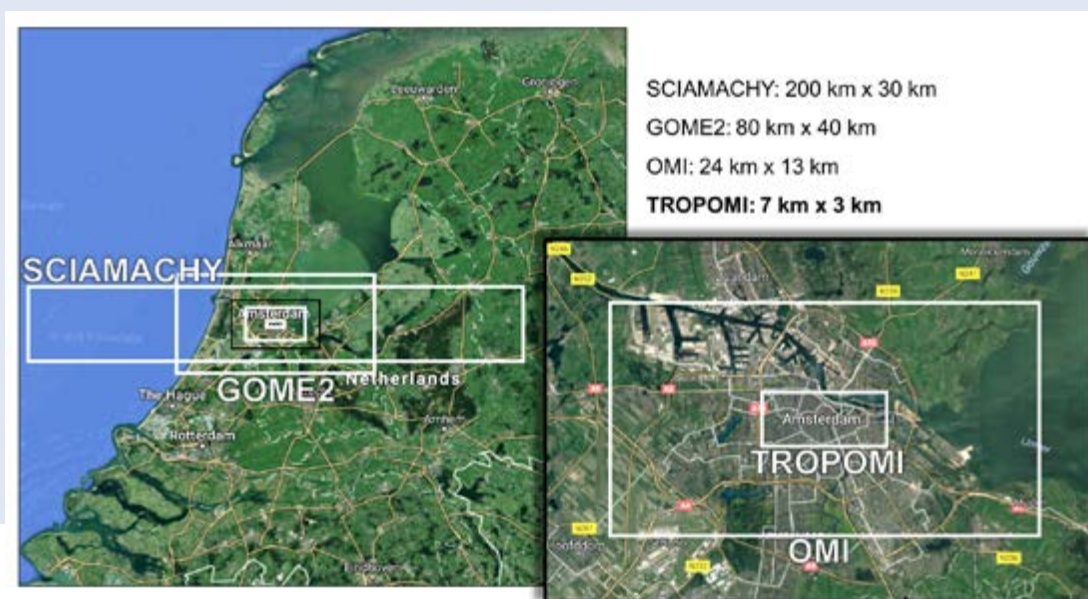


Fig. 1 : Pixelgrootte bij benadering van de SCIAMACHY-, GOME-2-, IMO- en TROPOMI-satellietinstrumenten. Het afgebeelde gebied beslaat Nederland en concentreert zich op de stad Amsterdam. De verbeterde ruimtelijke resolutie van TROPOMI is spectaculair, en maakt het voor het eerst mogelijk om vervuilende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

timaliseren. Het observatie-oppervlak 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 diffractieroos-

tertechnologie 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 le-

veren 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 Plessetsk-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.

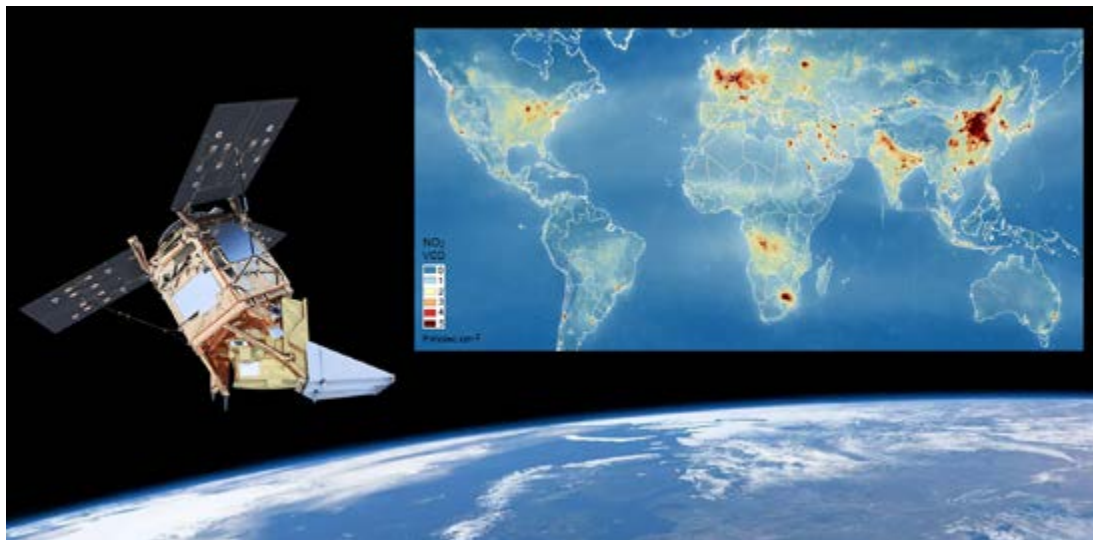


Fig. 2 : Artistieke weergave van de Sentinel-5 Precursor-satelliet in een baan om de aarde, op een hoogte van 824 km. Aan boord neemt het TROPOMI-instrument de door de aarde en/of de wolken gereflecteerde zonnestraling waar, en leidt daaruit de concentratie van atmosferische moleculen af. De kaart toont de gemiddelde concentratie aan stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ ), 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. © BIRA-IASB/ESA/KNMI

## 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 ( $\text{CO}_2$ ) in de atmosfeer, wat een van de belangrijkste oorzaken van de klimaatverandering is. Naast het effect

op  $\text{CO}_2$  stoten verbrandingsprocessen in verbrandingsmotoren, verwarming of elektriciteitsopwekking ook andere chemische vervuilende stoffen uit. Eén daarvan, stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ ) - 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  $\text{NO}_2$ -metingen van TROPOMI (figuur 2) tonen zeer duidelijk de overheersende rol van de vervuilende uitstoot in Europa, het Midden-Oosten, zuidelijk Afrika, China 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 ( $\text{SO}_2$ ). Naast de hieronder besproken emissies van vulkanen wordt  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$ -vervuiling, die verantwoordelijk is voor schadelijke zure regen, in onze regio's onder controle is gebracht door brandstofverbetering of ontzwaveling 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 ook China een belangrijke bron (figuur 4).

De door TROPOMI en andere satellieten-soren 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.

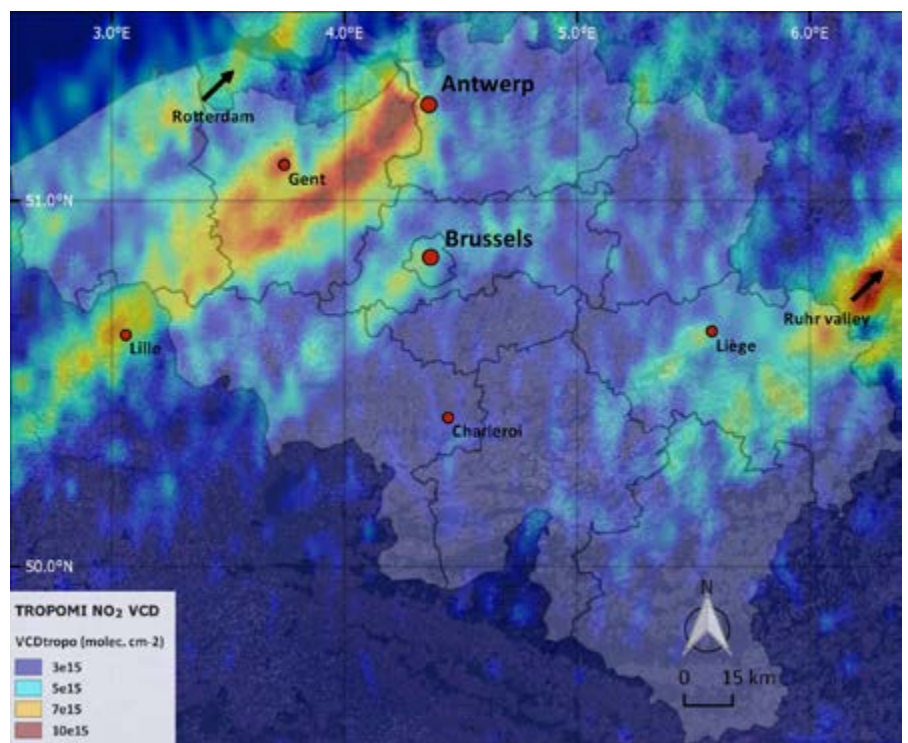


Fig. 3 : Ruimtelijke spreiding van de troposferische  $\text{NO}_2$  kolom over België, gemeten door TROPOMI op 27 juni 2019. Het transport van vervuiling uit stedelijke bronnen in Antwerpen, Brussel, Gent en Luik is duidelijk zichtbaar als gevolg van de noordoostelijke winden. De figuur toont ook luchtvervuiling over het Belgische grondgebied afkomstig vanuit Duitsland (Ruhrgebied) en Nederland (Rotterdam). © BIRA-IASB/ESA

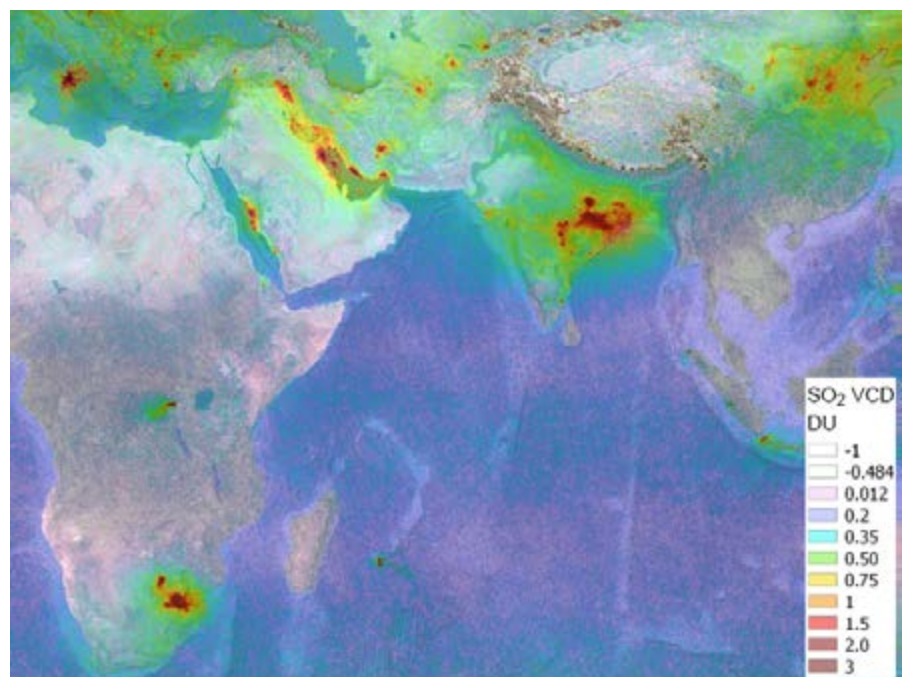


Fig. 4 : Jaarlijks gemiddelde van zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ) troposferische kolommen in het Midden-Oosten, China en Afrika. De vastgestelde bronnen van verontreiniging zijn ofwel afkomstig van slecht of niet ontzwavelde koolcentrales, olie- en gaswinning (vooral in het Midden-Oosten) of de mijnbouwindustrie. De hoge concentratie in Zuid-Italië is te wijten aan de vulkaan Etna. © BIRA-IASB/ESA/DLR



## Natuurlijke en antropogene vervuiling: vluchtige organische stoffen

Terwijl de overvloed aan  $\text{NO}_2$  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 ( $\text{HCHO}$ ) 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  $\text{NO}_2$  heeft  $\text{HCHO}$  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  $\text{HCHO}$  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).

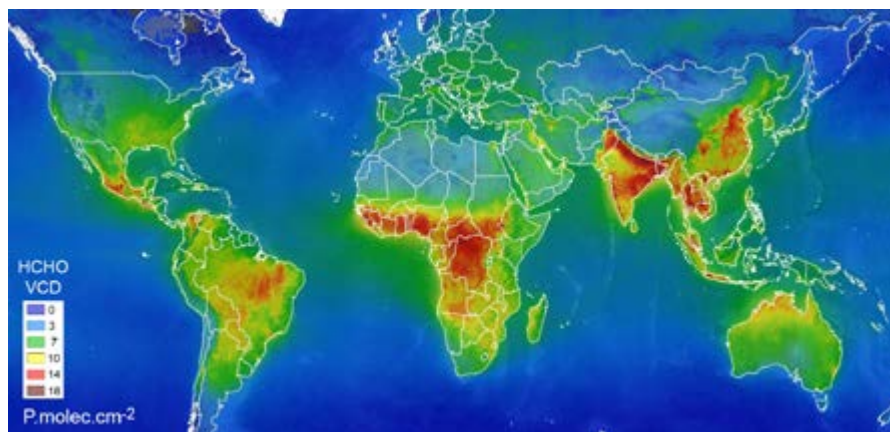


Fig. 5 : Kaart van troposferische kolommen van formaldehyde ( $\text{HCHO}$ ) die de gemiddelde jaarlijkse verspreiding van bronnen van vluchtige organische stoffen (VOS) over de wereld laat zien. Deze emissies zijn ofwel van natuurlijke oorsprong die verband houden met de vegetatiecycli, ofwel veroorzaakt 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 kleurgecodeerde 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).

## 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 lucht-

vaartmaatschappijen 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<sub>2</sub>-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.

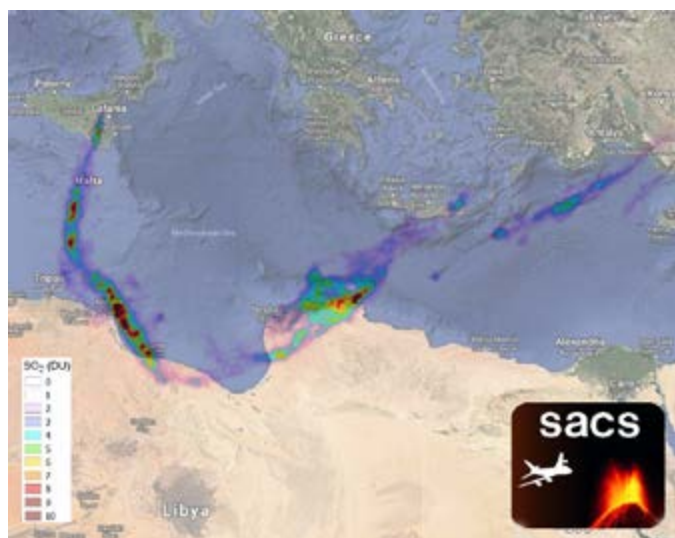
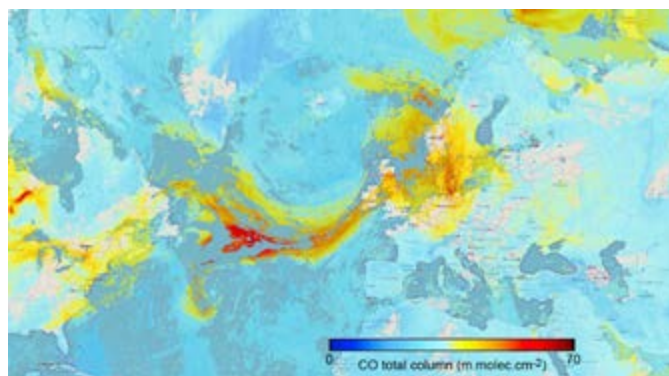


Fig. 6 : Pluim van zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) die op 26 december 2018 uit de vulkaan Etna in Zuid-Italië is uitgestoten. De kaart toont de verspreiding van de pluim onder de werking van de wind in de lagere atmosfeer. Deze gegevens worden gebruikt als indicator voor de aanwezigheid van vulkaanas 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

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<sub>2</sub>, HCHO, CHOCHO, HONO, CO en absorberende aerosolen) door

Fig. 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



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 molecuul 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.

## Methaan, een broeikasgas met een mysterieuze eigenschap

Na  $\text{CO}_2$  is methaan ( $\text{CH}_4$ ) het tweede belangrijkste antropogene broeikasgas. Hoewel zijn hoeveelheid in de atmosfeer minder is dan die van  $\text{CO}_2$ , is zijn opwarmingsvermogen per molecule veel hoger, wat het relatieve belang ervan verklaart. Vergeleken met  $\text{CO}_2$ , verdwijnt  $\text{CH}_4$  ook veel sneller in de atmosfeer (ongeveer in 10 jaar, vergeleken met 100 jaar voor  $\text{CO}_2$ ), wat betekent dat een vermindering van de hoeveelheid van deze molecule een snellere impact zal hebben op de stralingsbalans van de aarde. Net als  $\text{CO}_2$  was  $\text{CH}_4$  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  $\text{CH}_4$  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).

## 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 geografische 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, maakt 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. Correlationele 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.

### Het TROPOMI-team van het BIRA

Maite Bauwens, Steven Copernolle, Martine De Mazière, Isabelle De Smedt, Ermioni Dimitropoulou, Caroline Fayt, Martina Friedrich, José Granville, François Hendrick, Daan Hubert, Arno Keppens, Jean-Christopher Lambert, Bavo Langerock, Christophe Lerot, Alexis Merlaud, Jean-Francois Muller, Gaia Pinardi, Catalina Poraicu, Mahesh Kumar Sha, Trisvegeni Stavrakou, Frederick Tack, Nicolas Theys, Jeroen van Gent, Michel Van Roozendaal, Tjil Verhoelst, Corinne Vigouroux, Jonas Vlietinck, Huan Yu, Minqian Zhou



# 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 ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{HCHO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CH}_4$ , wolken en aerosol-indices) 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>).

## 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 spoorstoffen 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 artikelen in internationale peer-reviewed tijdschriften.

## 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-SSP en TROVA-projecten), en door ESA binnen het Sentinel-5P 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.

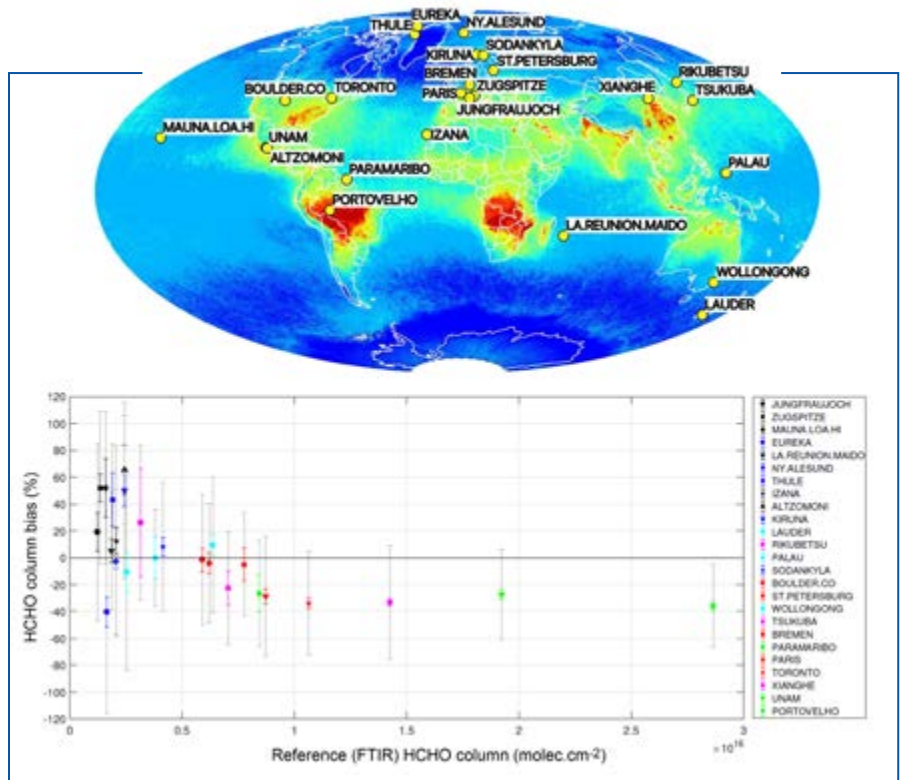


Fig. 8 : Vergelijking van TROPOMI-troposferische kolommen van formaldehyde ( $\text{HCHO}$ ) met referentiemetingen verkregen met behulp van de Fourier Transform Spectrometer (FTIR) array van het NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change). De resultaten laten zien dat TROPOMI de neiging heeft om  $\text{HCHO}$  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

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.





# Tussen preventie en veiligheid

De Belgische aanpak in de  
strijd tegen radicalisering

Image by Gerd Altmann from Pixabay





Silke Jaminé  
en Nadia Fadil

Het thema radicalisering lijkt vandaag niet meer weg te denken uit de publieke en politieke debatten. Nochtans is de ontwikkeling van het thema en het beleid behoorlijk recent in de Belgische context. In het eerste rapport van het FAR-project (FAR staat voor 'Folk Authority and Radicalism'), 'Tussen Preventie en Veiligheid. De Belgische aanpak in de strijd tegen radicalisering', gaan we dieper in op de verschillende beleidsmaatregelen en staan we stil bij het spanningsveld tussen preventie en veiligheid dat centraal staat in dit beleid. Dit artikel licht kort de voorgeschiedenis en verdere ontwikkeling van dit beleid in de Belgische politiek toe.

## De introductie van het thema radicalisering

De introductie van het begrip radicalisering gebeurt in België en internationaal via de Nederlandse Binnenlandse Veiligheidsdiensten (BVD, later hernoemd naar de Algemene Inlichtingen- en Veiligheidsdienst, AIVD) in de dreigingsanalyserapporten van 2001 en 2004. In de eerste definitie van de term zal radicalisering vooral slaan op wat begrepen wordt als een 'groeiende bereidheid tot het nastreven en/of ondersteunen van diep-ingrijpende veranderingen in de samenleving die op gespannen voet staan met de democratische rechtsorde en/of waarbij ondemocratische middelen worden ingezet.'<sup>(1)</sup>

De ontwikkeling van de strijd tegen radicalisering in Nederland is nauw verbonden met het integratiedebat dat vanaf de jaren '90 van de vorige eeuw zal plaatsvinden, en zich vooral zal richten op de zogeheten 'mislukte' integratie van etnisch-culturele minderheden van voornamelijk Marokkaanse en Turkse afkomst. Onder impuls van dit maatschappelijk debat zal er in de tweede helft van de jaren '90 een belangrijke koerswijziging plaatsvinden in de werking van de Nederlandse veiligheidsdiensten: de problematiek van integratie zal gradueel deel gaan uitmaken van haar aandachtspunten. Al sinds de tweede helft van de jaren '90 richt de BVD zich op 'het vroegtijdig signaleren en (helpen) tegengaan van bedreigingen van het integratieproces' en wordt 'integratie' stelselmatig opgenomen in diens werkzaamheden<sup>(2)</sup>. In het rapport van 2000 wordt de link tussen integratie en veiligheid zelfs expliciet in die termen gesteld: 'De grond voor de BVD om aandacht te besteden aan de integratie van minderheden is gelegen in de bescherming van grondrechten en in de zorg om veiligheid.' Radicalisering maakt deze link tussen integratiedebatten en een veiligheidsperspectief vol-

ledig omdat het begrip zowel op een veiligheidsrisico als op maatschappelijke problemen duidt.

De ontwikkeling van het deradicaliseringsbeleid kadert internationaal ook in een belangrijke koerswijziging inzake de breuk die aanvankelijk bestond tussen de Amerikaanse en Europese aanpak rond terrorisme. Daar waar de Verenigde Staten (VS) eerst een militair antwoord op het terrorisme vooropstonden, wordt vanaf 2005 een meer preventief luik aan dit beleid toegevoegd via de CVE-initiatieven (Countering Violent Extremism).

Deze brede set aan preventieve acties zullen minder inzetten op veiligheid en surveillantie, maar meer op het verhinderen van de processen die plaatsvinden alvorens er geweld ontstaat<sup>(3)</sup>. Deze focus op preventie zal een centraal onderdeel uitmaken van het deradicaliseringsbeleid<sup>(4)</sup>. Radicalisering wordt, vanuit deze optiek, begrepen als een trapsgewijze ontwikkeling, waarbij maatschappelijke verontwaardiging of ongenoegen uiteindelijk kan leiden tot het deelnemen aan of organiseren van gewelddadige acties. Deze procesmatige visie op geweld is dan ook één van de onderliggende uitgangspunten voor alle deradicaliseringsmaatregelen in België en daarbuiten: hierdoor gaat men ervan uit dat het mogelijk is om vroegtijdig in te grijpen, nog voor er tekenen zijn van geweld, en het ook mogelijk is het proces terug te draaien. Deze procesmatige visie is echter het voorwerp van uitvoerige wetenschappelijke kritieken. Verschillende onderzoekers laken de vaagheid van dit begrip, en wijzen er ook op dat het herkennen van 'signalen' van radicalisering arbitrair en abstract blijft (Kundnani 2012, Sedgwick 2012, Fadil *et al* 2019).

## Radicalisering als politieke realiteit

De strijd tegen radicalisering trad in België vooral op de voorgrond in het voorjaar van 2013 met het vertrek van jonge mannen en vrouwen naar Syrië. Voordien was het beleid vooral beperkt tot een aantal federale beleidsinitiatieven. In 2002 nam ons land de Nederlandse definitie van 'radicalisering' over in het Plan M (Plan Moskeeën) over. Dit plan wordt in 2005 herdoopt tot het Plan R, en zal vooral gericht zijn op de surveillantie van een aantal militante groepen zoals de Groupe Islamique Combattant Marocain (GICM). Daarnaast wordt in dezelfde periode het Orgaan voor de



de Coördinatie en de Analyse van de Dreiging (OCAD) opgericht. Dit instituut zal een centrale rol spelen in de informatie-uitwisseling tussen de verschillende beleidsniveaus, evenals in de uitwerking van veiligheidsmaatregelen en preventieve acties<sup>(5)</sup>.

Hoewel het Plan R sinds 2005 bestaat, blijven lokale acties rond radicalisering, zoals in Nederland, gedurende lange tijd uit. Het is pas vanaf 2012 en 2013 dat het beleid rond radicalisering een lokale realiteit wordt. Het vertrek van jongeren naar Syrië vormt een belangrijke impuls voor de ontwikkeling van eerste beleidsinitiatieven die vooral door de lokale overheden worden aangestuurd. Antwerpen, Maaseik, Mechelen en Vilvoorde positioneren zich in 2013 als leidende steden die een regierol rond de uitwerking van het beleid innemen. Deze gemeenten kunnen die voorbeeldfunctie ook ontwikkelen door de grote vrijheid die lokale besturen in België kennen en door de traditionele inzet van lokale spelers in het veiligheidsbeleid.

In 2014 neemt de Federale overheid een hernieuwd Plan R aan, met als belangrijkste aandachtspunt de coördinatie tussen de verschillende beleidsniveaus. Het is in de daaropvolgende periode dat nieuwe initiatieven het licht zien zoals de LVC's (Lokale Integrale en Veiligheidscellen) of de NTF's (National Task Forces) die beide een informatiedoorstroom tussen de verschillende niveaus en beleidsactoren (veiligheidsdiensten en lokale politie, ambtenaren en middenveldspelers) willen faciliteren.

De gemeenschappen en gewesten roepen, op hun beurt, verschillende beleidsinitiatieven in het leven. Omwille van de verdeling van bevoegdheden zullen deze maatregelen meer nadruk leggen op een sociaal preventieve aanpak van radicalisering. Hoewel er grote verschillen zijn in de acties die de gemeenschappen en gewesten ontwikkelen, zijn er ook belangrijke gemeenschappelijke tendensen. De aangehaalde nadruk op het lokale niveau is hiervan een eerste voorbeeld. Lokale overheden krijgen een 'regierol' toebedeeld in de strijd tegen radicalisering, en worden op een actieve wijze ingeschakeld als gesprekspartners of uitvoerders van het beleid. Daarnaast zetten Vlaanderen en de Franstalige en Duitstalige Gemeenschap in op de ondersteuning van individuen die een risico lopen op radicalisering. Ten slotte ligt het zwaartepunt van de beschreven acties op breed preventieve projecten die zich via jeugdwerk, zelforganisaties of onderwijs toespitsen op specifieke doelgroepen.

## Twee visies op radicalisering

In de ontwikkeling en definiëring van de term radicalisering en het beleid daarrond lijken er twee visies op veiligheid en geweld samen te komen. Een eerste visie linkt radicalisering met gewelddadige vormen van militantisme en actiegroepen (zoals het salafisme). Een tweede visie ziet radicalisering daarentegen als een sociaal proces van vervreemding en achterstelling. Daarbij gaat de aandacht vooral uit naar het sociaal ongenoegen dat kan leiden tot het afwijzen of zelfs aanvallen van de huidige maatschappij.

Deze twee visies creëren een spanningsveld, dat ook de verschillende beleidsinitiatieven beïnvloedt. Wanneer het beleid in 2002 op Belgisch federaal niveau zijn intrede vindt, primeert een veiligheidsoptiek die de nadruk legt op surveillantie en controle (zoals de focus op de militante groepen GICM of later, Sharia4Belgium). Het vertrek van een aanzienlijk aantal jongeren naar Syrië in 2013, waarvan velen niet aangesloten waren bij een organisatie, zorgt daarentegen voor de verdere verspreiding van een bredere en meer procesmatige visie op radicalisering bij de lokale besturen. Hierbij zal radicalisering vooral als een fenomeen worden gezien dat vooral kwetsbare en jonge moslims treft, en zal de nadruk vooral worden gelegd op sociaal preventieve maatregelen.

### + Meer

Het volledige onderzoeksrapport is online beschikbaar.

- [www.belspo.be/belspo/brain-be/projects/FinalReports/FAR\\_FinRep\\_fr.pdf](http://www.belspo.be/belspo/brain-be/projects/FinalReports/FAR_FinRep_fr.pdf)
- [www.belspo.be/belspo/brain-be/projects/FinalReports/FAR\\_FinRep\\_nl.pdf](http://www.belspo.be/belspo/brain-be/projects/FinalReports/FAR_FinRep_nl.pdf)

Dit onderzoek maakt deel uit van het FAR-project (Folks, Authorities and Radicalism: between polarization and social construction) in het Brain.be programma met ondersteuning van Belspo.

Het FAR is een samenwerking tussen de KULeuven, ULB en het NICC.

Deze laatste, procesmatige visie op radicalisering leidt er evenwel toe dat sociale fenomenen – zoals rondhangen in bepaalde groepen of uitspraken doen over aanslagen op scholen – benaderd worden vanuit een veiligheidsoptiek. Er ontstaat een verstrengeling tussen veiligheidsthema's en sociaal preventieve thema's die, zo waarschuwen een aantal bevroegde ambtenaren, op het terrein een aantal contra-productieve effecten kunnen hebben. Zo wordt bijvoorbeeld steeds vaker van politieagenten verwacht dat ze een sociale rol opnemen als *information officer* voor o.a. scholen en aan *community policing* doen. Aan sociaal werkers kan dan weer gevraagd worden om mee te werken aan de bestrijding van gewelddadige radicalisering door gevoelige informatie te delen die ze tegenkomen in hun alledaagse praktijk. Het samenkomen van deze twee logica's houdt ook een risico in, met name dat sociale projecten hun bestaansrecht niet meer kunnen verantwoorden vanuit een zuivere sociale agenda, maar dat een veiligheidsagenda (o.a. radicalisering voorkomen) een voorwaarde is geworden om ondersteuning te krijgen.

## Vervaging van de grenzen, onduidelijk mandaat

Deze onduidelijkheid en onzekerheden komen het duidelijkste tot uiting in de LIVC-R, Lokale Integrale VeiligheidsCellen, Radicalisering. De LIVC-R werden in 2015 via een Ministeriële omzendbrief ingevoerd, met als doel een institutionele samenwerking tussen politie en sociale actoren (zoals het OCMW, de CLB's en jeugdwerkers) te faciliteren om geradicaliseerde personen op te volgen. Sinds 2018 is de oprichting van een LIVC-R voor elke gemeente bij wet verplicht.

Verschillende bevroegde sociale actoren wijzen op de moeilijkheid van een structurele samenwerking met de politie. Dit zou immers kunnen leiden tot een vertroebeling van de vertrouwensrelatie met de kwetsbare groepen, die ook hun hulpverleningsrelatie in de weg zou staan. Ze vrezen verder ook dat zo'n samenwerking een schending zou kunnen betekenen van hun beroepsgeheim of discretieplicht. Ambtenaren die instaan voor de organisatie van een LIVC-R wijzen, op hun beurt, over de vaagheid van hun rol. Hoewel ze de autonomie die ze ervaren, en die hen toelaat om een adequaat

beleid op maat uit te werken, prijzen, waarschuwen ze voor de onduidelijkheden inzake informatiedeling, en die een mogelijke risico inhouden.

Verschillende actoren op het terrein waarschuwen dan ook voor de toenemende overheersing van een veiligheidslens binnen het sociaal-maatschappelijke veld. Beleidsmakers én sociale actoren wijzen op de noodzaak waakzaam om te springen met deze ontwikkeling, omdat die contraproductieve effecten zou kunnen hebben, en meer wantrouwen zou kunnen genereren. Ze vrezen ook dat sociaal werk en jeugdwerk niet langer voor hun intrinsieke functie van ondersteuning van kwetsbare groepen zal worden erkend, maar vooral vanuit de rol die het kan spelen in het voorkomen van radicalisering. Deze verschillende bezorgdheden wijzen op de moeilijkheid van dit dossier, en vooral op de noodzaak een adequaat en kordaat veiligheidsbeleid duidelijk te onderscheiden van sociaal werk.

*Het multidisciplinaire kaderprogramma BRAIN-be (Belgian Research Action through Interdisciplinary Network) is een netwerk voor onderzoek dat door BELSPO werd opgezet in 2012. Het bestaat uit 6 thematische assen en pioniersprojecten betreffende de levenswetenschappen, de geosystemen (heelal en klimaat), strategisch onderzoek ter ondersteuning van de bevoegdheden van de federale overheid, het culturele, historische en wetenschappelijke erfgoed, en collectiebeheer. Tot op heden werden meer dan 150 onderzoeksprojecten gefinancierd. Lees meer op [www.belspo.be/brain-be](http://www.belspo.be/brain-be)*

- (1) Algemene Inlichtingen- en Veiligheidsdienst (2004). *Van dawa tot jihad*. Geraadpleegd via <https://english.aivd.nl/publications/publications/2005/03/30/from-dawa-to-jihad>.
- (2) Fadil, N. (2017). *Tegen radicalisering: Pleidooi voor een postkoloniaal Europa*. Brussel: VUBPress. p. 19
- (3) Kundnani, A. (2012). Radicalisation: the journey of a concept. *Race & Class*, 54(2), 3–25. doi: <https://doi.org/10.1177/0306396812454984>; Kundnani, A., & Hayes, B. (2018). The globalisation of Countering Violent Extremism policies (nr. 48). Amsterdam: Source.
- (4) Colaert, L. (red.). (2017). 'Deradicalisering'. *Wetenschappelijke inzichten voor een Vlaams beleid*. Brussel: Vlaams Vredesinstituut. pp. 28–31
- (5) Jaminé, S., & Fadil, N. (2019). *(De-)radicalization as a negotiated practice: An ethnographic case study in Flanders*. In N. Fadil, F. Ragazzi, & M. de Koning (red.), *Radicalization in Belgium and The Netherlands: critical perspectives on violence and security* (pp. 169-193). Londen: I.B. TAURIS. p. 174



# Is de grens van collaboratieve innovatie bereikt?

André Spithoven  
en Anneleen Bruylant

## Waarom is innovatie zo belangrijk?

Innovatie is een 'hot topic' voor zowel ondernemingen als overheidsbeleidsmakers. Innovatie stelt bedrijven in staat om concurrentie het hoofd te bieden, om te streven naar een betere marktpositie, en om winstperspectieven te stimuleren (Cho & Pucik, 2005). Innovatie kan overheden in staat stellen om het publiek welzijn te vergroten en om

sociale uitdagingen aan te gaan zoals klimaatveranderingen, extreme armoede, en sociale uitsluiting. Dat is de reden waarom het bevorderen van innovatie een hoge prioriteit heeft in de onderzoeksplannen van bedrijven en op beleidsagenda's van overheden.





Image by Tero Vesalainen from Pixabay

Als het innovatiefenomeen op de juiste manier moet worden begrepen en opgevolgd, moeten twee kwesties aangepakt worden. Ten eerste, een duidelijke en ondubbelzinnige definitie van innovatie is nodig. Het is bekend dat innovatie een uitvinding is die op de markt is gebracht. Maar waaruit bestaat een innovatie? Welke activiteiten leiden tot innovatie? Ten tweede, om de evolutie van innovatie te volgen, moet deze gemeten worden.

Bovendien verandert de aard van innovatie zelf continu. De complexiteit van de samenleving is toegenomen naarmate het tempo van technische vooruitgang en digitalisering krachtig is gestegen wat meer organisatorische en wetenschappelijke inzichten vereist. Omdat innovatie een kennis-gestuurde activiteit is en het aandeel mensen met hogeronderwijsdiploma's voortdurend toeneemt, is de beschikbaarheid van kennis buiten de bedrijfsmuren overvloedig geworden in vergelijking met de laatste decennia van de vorige eeuw. Vanwege de toegenomen complexiteit van het innovatieproces zijn ondernemingen steeds afhankelijker geworden van externe kennis. Of, in de taal van vandaag, is innovatie opener geworden (Chesbrough, 2003) of verspreid (Lakhani & Panetta, 2007). Ondernemingen werken daarom steeds meer samen met andere partners om te innoveren. Maar kan deze arbeidsverdeling voor onbepaalde tijd doorgaan? Dit artikel beoogt deze vraag te bespreken aan de hand van de resultaten van de 'European community innovatie survey (CIS)'.

## Wat is innovatie?

Innovatie wordt gedefinieerd als 'het op de markt brengen van een product of dienst die nieuw of aanzienlijk verbeterd is, van een proces, een nieuwe marketingmethode of een nieuwe organisatorische methode in bedrijfspraktijken, werkplekorganisatie of externe relaties' (Oslo Manual, OESO, 2005, p. 46). De Oslo Manual onderscheidt vier innovatietypes. Wanneer een product of dienst op de markt wordt gebracht die nieuw is of die aanzienlijk verbeterd is op vlak van de kenmerken of het beoogde gebruik, spreekt men van een productinnovatie. Procesinnovatie dekt de gebruikname van een nieuwe of aanzienlijk verbeterde productie- of distributiemethode. Wanneer een nieuwe marketingmethode aanzienlijke veranderingen in het ontwerp van producten of verpakkingen, in methodes voor productplaatsing, productpromotie of prijszetting inhoudt, dan spreekt men van een marketinginnovatie. Organisatorische innovatie komt voor wanneer een nieuwe organisatiemethode in de bedrijfspraktijken, werkplaatsorganisatie, of externe relaties wordt toegepast, exclusief fusies en overnames. Een innovatieve onderneming is dus een onderneming die een innovatie heeft gehad tijdens een bepaalde beoordelingsperiode, inclusief zij die lopende of aan de gang zijnde activiteiten hadden (OESO, 2005).

## Hoe wordt innovatie gemeten?

Innovatie in België wordt gemeten via een gerichte en vrijwillige vragenlijst, de 'community innovatie survey (CIS)'. Ondernemingen worden bevraagd over verschillende onderwerpen, waaronder samenwerking. De CIS steunt op de methodologische aanbevelingen van Eurostat, die op hun beurt gebaseerd zijn op de Oslo Manual (OESO, 2005). De CIS werd voor het eerst gelanceerd in 1992, en het is sindsdien sterk geëvolueerd om tegemoet te komen aan de veranderende aard van innovatie en om te reageren op informatieverzoeken van beleidsmakers en onderzoekers.

De referentiepopulatie voor de CIS 2016 werd verstrekt door de Rijksdienst voor Sociale Zekerheid (RSZ) en het werd getrokken op 31 december 2016. De kaderpopulatie bevat 14097 ondernemingen waarvan er 7736 ondernemingen werden opgenomen in de steekproef. De algemene antwoordgraad was 58.6% (dus 4532 ondernemingen) en er werden extrapolaties gemaakt om de hele populatie te vertegenwoordigen.

Aangezien de CIS steeds verschillende, gestratificeerde steekproeven trekt zijn de resultaten, in principe, niet vergelijkbaar van jaar tot jaar. Echter, aangezien de steekproeven representatief zijn voor de gehele populatie, bieden deze aggregaten niettemin een inzicht in de algemene trend.

De CIS is een gestratificeerde vragenlijst. Elke regio trekt een steekproef op basis van de grootte van de ondernemingen (nl. het aantal werknemers) en de hoofdactiviteit. In 2016 was het grootste deel van de ondernemingen (77.4%) in de steekproef klein (10-49 werknemers), 18.5% waren middelgroot (50-249 werknemers), en 4.1% waren groot (250 en meer werknemers). De CIS omvat ook een grote verscheidenheid aan sectoren, al worden niet alle sectoren bevraagd (bijvoorbeeld de bouw en onderwijs).

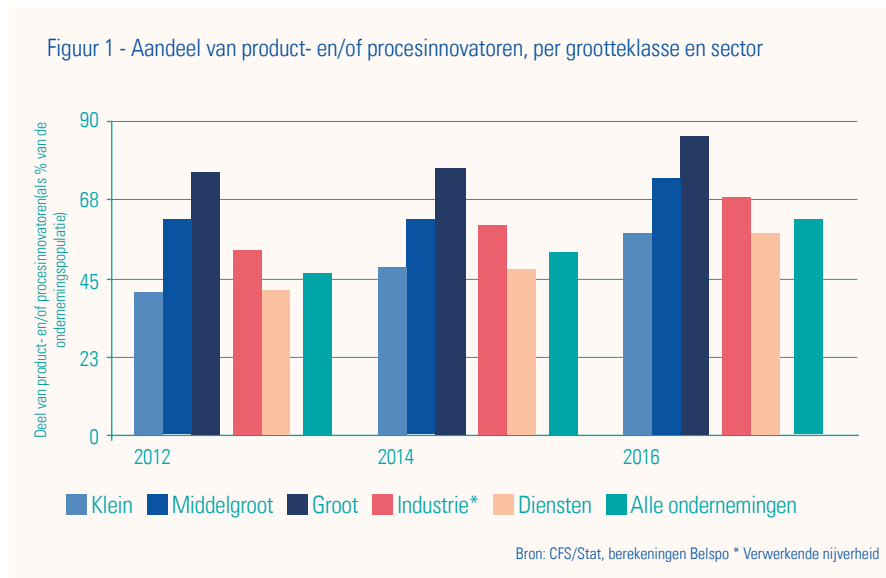
# Hoeveel bedrijven in België innoveren?

De noodzaak voor ondernemingen om te innoveren om hun concurrentiepositie te versterken of te behouden of om hun prestaties te verbeteren, kan al worden afgeleid uit de aanhoudende toename van het aandeel product- en/of procesinnovatoren van 46.5% in 2012, naar 52.9% in 2014 tot 62.1% in 2016. Dit betekent dat, zoals de data aantonen, meer dan de helft van de ondernemingen in België innoveert. Wanneer men rekening zou houden met de ondernemingen die eender welk type innovatie hebben geïntroduceerd, inclusief lopende of afgebroken innovatieactiviteiten, dan zal dit percentage nog hoger worden (Belspo, 2019).

Grote ondernemingen, hoewel er hier minder van zijn dan het aantal ondernemingen in de andere grootteklassen, zijn nog steeds de meest waarschijnlijke innovatoren (86.1% in 2016) en kleine ondernemingen de minst waarschijnlijke (58%). Ondernemingen uit de industriële sector zijn meer geneigd om te innoveren dan ondernemingen in de dienstverlenende sector. Tussen 2012 en 2016 verhoogden alle grootteklassen en sectoren een stijging van meer dan 10 procentpunten (p.p.) in hun aandeel innovatoren, waarmee wordt bevestigd dat innovatie zich heeft ontwikkeld tot een dominante bedrijfsstrategie ten aanzien van het concurrentievermogen.

Figuur 1 toont innovatoren naar grootteklasse - klein, medium, en grote ondernemingen - en sector - industriële of

dienstverlenende ondernemingen.

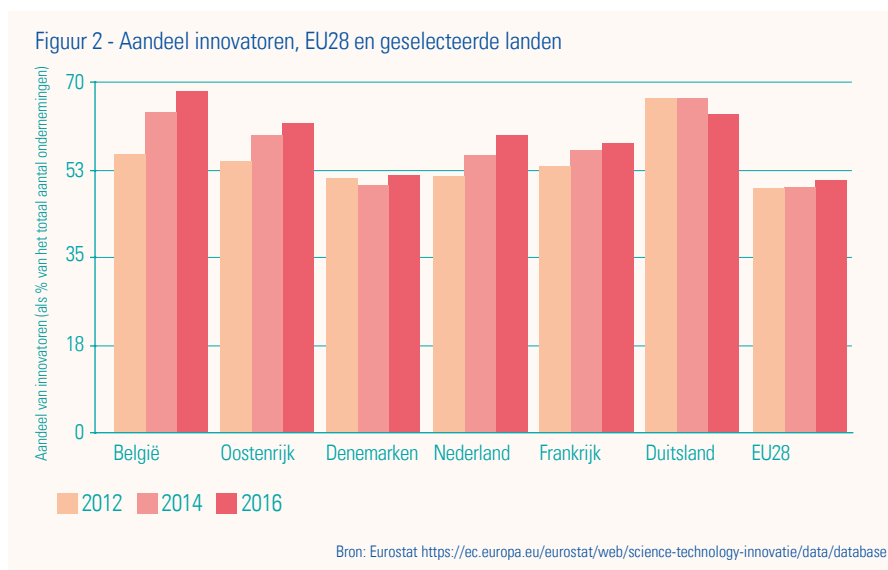


De middelgrote ondernemingen (-0.1 p.p.) en het langzaam groeiend aandeel innovatieve ondernemingen bij de grote ondernemingen (0.9 p.p.) buiten beschouwing latend, bereikte de innovatiegroei tussen 2012 en 2014 6.4 procentpunten. Ondernemingen in de industriële sector stegen 6.9 p.p., een beetje meer dan deze actief in de dienstverlenende sector (5.9 p.p.). Maar het is na 2014 dat alle grootteklassen en sectoren echt innovatie omarmen: een groei van 9.2 procentpunten tussen 2014 en 2016. Deze evolutie was vooral merkbaar bij middelgrote ondernemingen (+12 p.p.) en zij actief in de dienstverlenende sector (+10.6 p.p.).

## Met welke landen kan België vergeleken worden?

Relevante landen kiezen is altijd een beetje intuïtief en hangt af van het onderwerp. In dit geval wordt België vergeleken met andere kleine, open economieën zoals Oostenrijk, Denemarken en Nederland, maar ook met de belangrijkste Europese handelspartners Frankrijk en Duitsland. Tenslotte worden de cijfers voor de EU28 getoond om landen tegen het Europese gemiddelde te positioneren.

Figuur 2 toont de evolutie van deze landen in dezelfde periode, met een vergelijkbaar patroon in Oostenrijk, Frankrijk, en Nederland als het Belgische patroon, nl. een groeiend aandeel innovatoren. Het patroon wijkt aanzienlijk af voor Duitsland, waar het aandeel innovatoren tussen 2012 en 2016 is afgenomen; het aandeel blijft echter ruim boven 60%. Het is tamelijk verrassend dat het aandeel van innovatieve ondernemingen in België hoger ligt dan dat in Duitsland in 2016, zij het met een relatief kleine marge. Denemarken lijkt rond een 50% aandeel te zweven, zoals het EU28 gemiddelde.



## Waarom werken ondernemingen samen voor innovatie?

Het beeld van een wetenschapper die in eenzaamheid innoveert, is een beeld van het verleden. Een vergelijkbaar stereotype uit het verleden is de geïsoleerde R&D-afdeling met onderzoekers in witte jassen. Interactie met derden is een veelvoorkomend aspect van bedrijfsstrategie geworden. Samenwerking voor innovatie brengt veel voordelen voor ondernemingen omdat zij misschien gespecialiseerde (wetenschappelijke) kennis, menselijke en financiële middelen, bijzondere vaardigheden, marktkennis, informatie over productvoorkeuren, toegang tot onderzoeksapparatuur, enz. nodig hebben. Al deze middelen zijn niet noodzakelijk aanwezig binnen de ondernemingsmuren. Het idee is dat onder-

nemingen steeds actiever zijn geworden in het zoeken naar nuttige partners om bij te dragen aan hun innovatieve activiteiten (Radicic & Pinto, 2019).

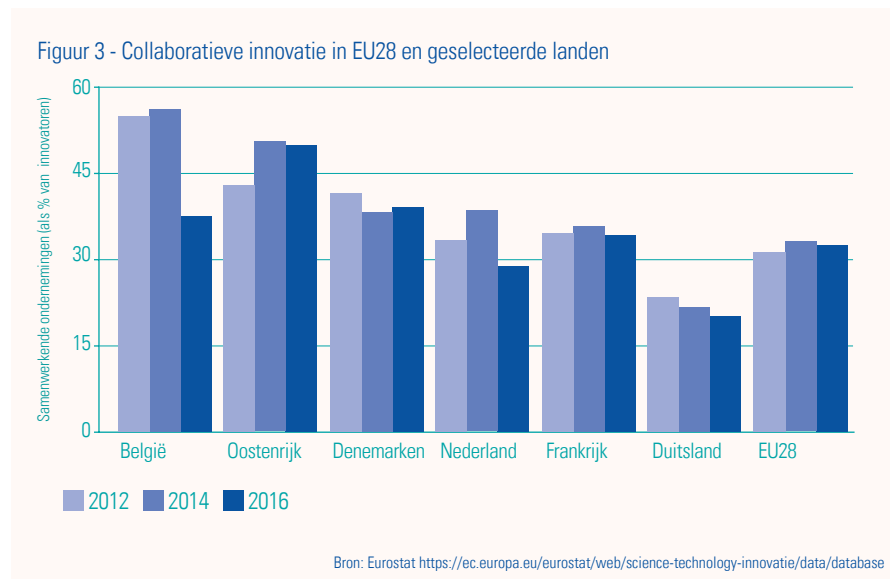
Andere motieven voor samenwerking zijn: het delen van de aanzienlijke kosten en hoge risico's die verbonden zijn met innovatieve activiteiten en met de versnelling van het innovatieproces, het verminderen van duplicatie, of het bevorderen van industriestandaarden (Tether, 2002).

Het verhaal over collaboratieve innovatie is echter niet altijd positief en potentiële gevaren maken er ook deel van uit. Samenwerking kan leiden tot hogere monitoringkosten, onbedoelde kennislekkage en daarmee gepaard gaand het verlies van strategische informatie; imitatie door samenwerkingspartners; en het beheren van gedeelde intellectuele eigendomsrechten zoals patenten of auteursrechten die mogelijk veeleisend zijn, vooral voor kleinere ondernemingen.

## Is collaboratie voor innovatie populair?

Gezien de eerdere opmerkingen over de noodzaak om samen te werken om toegang te krijgen tot aanvullende kennis en technische capaciteiten, kan er verwacht worden dat samenwerking de norm zou worden voor ondernemingen. Bovendien worden binnen het wetenschapsbeleid veel beleidsinitiatieven ontwikkeld om alle vormen van samenwerking te stimuleren.

Figuur 3 toont de evolutie tussen 2012 en 2016 voor de EU28 en geselecteerde landen. In Europa (EU28) werkt ongeveer een derde van alle innovatoren samen aan innovatie in 2016. Behalve Duitsland en Nederland presteren de geselecteerde landen beter dan het Europese aandeel en zelfs de helft van de Oostenrijkse innovatoren lijkt samen te werken.



Vroeger was samenwerking ook in België behoorlijk populair. Het aandeel innovatoren in België dat samenwerkte voor innovatie leek tussen 2012 (55%) en 2014 (56%) vrij stabiel te blijven, maar dook scherp in 2016 (38%). En deze onverwachte daling treedt ook, zij het in mindere mate, op in Nederland, Duits-

land, Frankrijk, en Oostenrijk. België blijft nog steeds in de top drie wanneer het gaat om samenwerking, maar Oostenrijk en Denemarken presteren nu beter. Denemarken is het enige land dat afwijkt van de dalende trend in innovatieve samenwerking.



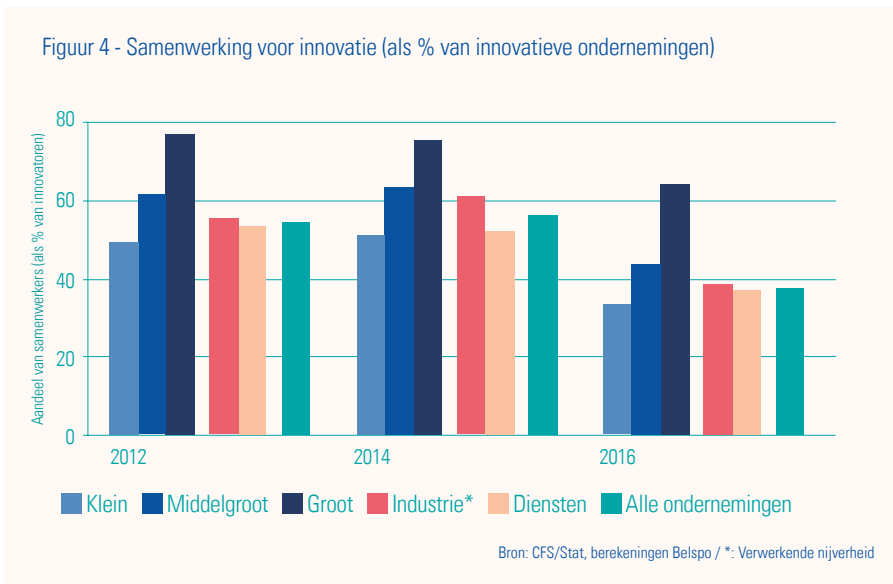
# Welke zijn de ondernemingskenmerken van samenwerkende innovatoren?

Het is niet vanzelfsprekend om collaboratieve innovatie aan te gaan en te organiseren. De daling van de bereidheid om op externe partners te vertrouwen om product- en/of procesinnovaties te ontwikkelen na 2014 hangt samen met hoofdkenmerken van de innovatoren: hun grootte en sector. Grotere ondernemingen kunnen over meer interne middelen beschikken dan kleinere ondernemingen, wat leidt tot de verwachting dat grotere ondernemingen waarschijnlijk meer zullen samenwerken met externe partners vanwege hun complementaire kennis. Kleinere ondernemingen echter hebben misschien meer behoefte aan samenwerking vanwege hun relatieve gebrek aan middelen.

Alle grootteklassen dragen bij aan de sterke daling van samenwerkingen na 2014, zoals geïllustreerd in Figuur 4. Dit betekent dat, naarmate meer ondernemingen innoveren (zie Figuur 1), zij deze innovaties in toenemende mate zelf ontwikkelen of de ontwikkeling en/of de implementatie van hun innovaties uitbesteden.

# Wie werkt samen om te innoveren?

Innovatieve ondernemingen hebben veel potentiële samenwerkingspartners om uit te kiezen. De keuze voor een bepaald type partner, of combinatie van partners, wordt gedreven door het (technische) probleem van de innovator (Tether, 2002). Geschikte partners kunnen gevonden worden in de groep waarvan de onderneming deel uitmaakt, in de toeleveringsketen van ondernemingen zoals klanten, leveranciers en consultants, in andere ondernemingen zoals concurrenten, en in (openbare) technische partners zoals universiteiten en on-

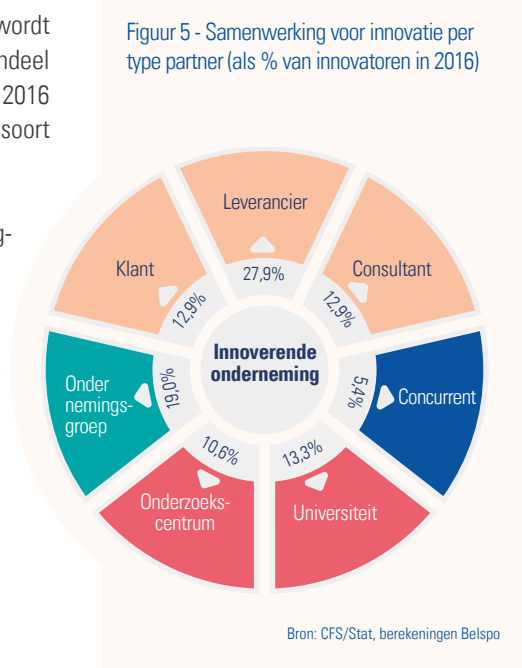


Tussen 2012 en 2014 is het aandeel samenwerkende ondernemingen met bijna 2 procentpunten gestegen naar een recordhoogte van 56.4%, vooral door hogere aandelen van kleine en middelgrote ondernemingen. Het aandeel van grote samenwerkende ondernemingen daalt al licht met 1.3 procentpunten. Na 2014 vertonen alle grootteklassen vergelijkbare dalingen van meer dan 10 procentpunten. Vooral middelgrote (-19.3 p.p. tot 44.1%) en kleine ondernemingen (-17.7 p.p. tot 33.8%) zijn getroffen.

Wat de sector betreft, hebben ondernemingen in de industriële sector hun samenwerking tussen 2012 en 2014 met 5.9 procentpunten verhoogd tot 61.4%; terwijl de cijfers voor degenen die actief zijn in de dienstverlenende sector licht dalen met 1.5% tot 52.1%. Na 2014 kelderden beide echter sterk: industriële ondernemingen daalden met 22.8 p.p. tot 38.6% in 2016 en dienstverlenende ondernemingen met 14.9 p.p. tot 37.2%.

derzoekscentra. Dit soort partners wordt weergegeven in Figuur 5 met het aandeel van innoverende ondernemingen in 2016 die gebruik hebben gemaakt van dit soort partner.

Leveranciers zijn veruit de belangrijkste soort samenwerkingspartner voor innovatie, gevolgd door andere ondernemingen van de groep, universiteiten, klanten, consultants, onderzoekscentra, en concurrenten.



Tabel 1 zoomt in op de evoluties voorafgaand aan 2016 door rekening te houden met de vragenlijsten van 2012 en 2014. De gegevens van figuur 5 worden herhaald aan de linkerkant van luik A. Elk partnertype wordt vervolgens besproken voor de drie grootte- klassen en de twee geaggregeerde sectoren.

Luik A toont aan dat grote ondernemingen meestal samenwerken met ondernemingen binnen hun groep. Dit komt omdat deze grote ondernemingen vaak deel uitmaken van multinationale ondernemingen. Grote ondernemingen gebruiken ook universitaire kennis bij het ontwikkelen van innovaties. Ongeveer een kwart (24.8%) van de kleine ondernemingen maakt gebruik van de knowhow van hun leveranciers om te innoveren. Het gebruik van klanten, dat vrij vaak in de literatuur wordt besproken, lijkt nogal bescheiden als het gaat om samenwerking om te innoveren, ondanks het feit dat van klanten wordt gezegd dat ze ideeën en marktkennis bieden. Misschien is hun onmiddellijke nut voor het leveren van technische aspecten van innovatie beperkter dan die van andere partners.

Het belangrijkste om te onthouden van de linkerkant van luik B is dat het gemengde resultaten oplevert in de evolutie tussen 2012 en 2014: sommige partnertypes zijn populairder geworden (bijv. leveranciers die door kleine en middelgrote ondernemingen worden gebruikt; consultants door grote ondernemingen; en universiteiten door alle grootte- klassen); en sommige partnertypes worden minder vaak gebruikt (bijv. concurrenten en klanten). Dit geeft aan dat samenwerkings- patronen voor innovatie aan het veranderen zijn. Na 2014, zoals geïllustreerd door luik C, neemt het gebruik van alle partnertypes sterk af. Kleine uitzonderingen zijn onderzoekscentra voor middelgrote ondernemingen en verschillende partnertypes voor grote ondernemingen. Maar wat betreft de globale samenwerking hebben alle partnertypes aan populariteit verloren.

Relatief gezien is dit voornamelijk het geval voor concurrenten en klanten. De samenwerking met concurrenten in 2016 is rela-

Tabel 1 - Partnertypes in samenwerking voor innovatie

Luik A - Samenwerkende innovatoren in 2016 (in % van innovatoren)						
Partnertype	Alles	Grootteklasse			Sector	
		Klein	Middel- groot	Groot	Verwerkende nijverheid	Diensten
Onderne- mingsgroep	19.0	14.3	26.7	48.7	19.2	18.8
Klant	12.9	10.0	17.9	29.5	13.8	12.2
Leverancier	27.9	24.8	32.0	48.8	29.6	26.7
Consultant	12.9	10.3	16.5	33.2	13.4	12.6
Concurrent	5.4	4.3	5.8	17.6	4.8	5.9
Universiteit	13.3	8.8	20.3	43.4	17.6	10.1
Onderzoeks- centra	10.6	7.4	15.0	34.4	13.6	8.3

Luik B - Absoluut verschil 2012-2014 (in procentpunten)						
Partnertype	Alles	Grootteklasse			Sector	
		Klein	Middel- groot	Groot	Verwerkende nijverheid	Diensten
Onderne- mingsgroep	0.3	0.4	-1.9	-1.7	-1.0	1.4
Klant	-1.6	-1.3	-3.1	-0.9	-1.6	-1.6
Leverancier	7.9	8.3	6.5	-5.4	8.9	7.0
Consultant	0.8	-0.2	1.5	5.4	2.1	-0.3
Concurrent	-5.6	-6.1	-2.8	-11.7	-5.7	-5.6
Universiteit	1.9	1.8	1.5	2.5	4.0	0.1
Onderzoeks- centra	0.1	0.4	-0.7	0.6	-0.3	0.5

Luik C - Absoluut verschil 2014-2016 (in procentpunten)						
Partnertype	Alles	Grootteklasse			Sector	
		Klein	Middel- groot	Groot	Verwerkende nijverheid	Diensten
Onderne- mingsgroep	-4.4	-3.3	-3.8	0.9	-4.7	-4.2
Klant	-8.1	-8.3	-5.8	-6.0	-9.4	-6.8
Leverancier	-15.5	-15.3	-15.5	7.6	-16.9	-14.1
Consultant	-6.4	-4.8	-7.5	-10.1	-8.3	-4.7
Concurrent	-1.9	-1.7	-2.7	2.7	-2.6	-1.3
Universiteit	-7.1	-7.6	-4.1	-1.6	-8.4	-5.4
Onderzoeks- centra	-3.4	-4.6	0.5	1.0	-2.5	-3.8

Bron: CFS/Stat, berekening Belspo

tief met meer dan de helft verminderd (min 58%) sinds 2012. Klanten als partnertype worden ook 43% minder gebruikt dan in 2012. Samenwerking met leden van de on- dernemingsgroep en leveranciers is relatief gespaard gebleven gezien hun optreden als

samenwerkingspartner respectievelijk met 18% en 21% is verminderd. Een mogelijke reden hiervoor kan zijn dat de innoverende onderneming afhankelijk is van de kennis of technische capaciteit van deze partners.

Een onopgelost probleem dat nader moet worden onderzocht, is de relatie tussen R&D-activiteiten en samenwerking op gebied van innovatie. Voorlopige resultaten suggereren echter dat R&D-activiteiten in de loop van tijd aan belang winnen wat collaboratieve innovatie betreft. In 2012 deed 67% van alle samenwerkende ondernemingen aan R&D, dit steeg aanzienlijk tot 70% in 2014 en tot 75% in 2016. Dit is veel meer dan de 45% van R&D actieve innovatoren die niet hebben samengewerkt om te innoveren. R&D blijft daarom een belangrijke voorwaarde voor samenwerking omdat het aanzienlijk bijdraagt aan de opbouw van absorptiecapaciteit in ondernemingen.

#### De auteurs

**André Spithoven en Anneleen Bruylant** zijn verbonden aan de dienst Monitoring en Evaluatie van Onderzoek en Innovatie van het Federaal Wetenschapsbeleid. André Spithoven is beleidsadviseur en werkt er rond de analyse van het innovatiesysteem. Anneleen Bruylant is attaché en verantwoordelijk voor de verzameling en opmaak van de officiële innovatiestatistieken van België ten behoeve van Eurostat en de OESO. De tekst weerspiegelt hun eigen ideeën en verbindt het Federaal Wetenschapsbeleid op generlei wijze.

#### Referenties

- Belspo (2019). [https://www.belspo.be/belspo/stat/b23\\_en.stm](https://www.belspo.be/belspo/stat/b23_en.stm)
- Chesbrough, H.W (2003). Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology. Cambridge (MA), Harvard Business Press.
- Cho, H. J., & Pucik, V. (2005). Relationship between innovativeness, quality, growth, profitability, and market value. *Strategic Management Journal*, 26(6), 555-575.
- Lakhani, K. R., & Panetta, J. A. (2007). The principles of distributed innovation. *Innovations: technology, governance, globalization*, 2(3), 97-112.
- Lii, P., & Kuo, F. I. (2016). Innovation-oriented supply chain integration for combined competitiveness and firm performance. *International Journal of Production Economics*, 174, 142-155.
- OECD (2005). Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data. Paris, OECD.
- Radicic, D., & Pinto, J. (2019). Collaboration with external organizations and technological innovations: Evidence from Spanish manufacturing firms. *Sustainability*, 11(9), 2479.
- Tether, B. S. (2002). Who co-operates for innovation, and why: an empirical analysis. *Research policy*, 31(6), 947-967.

## Wat kunnen we besluiten?

Verschillende boodschappen worden aangeboden door een analyse van de 'community innovation survey'. Ten eerste worden ondernemingen in België steeds innovatiever, hoewel ondernemingen in de industriële sector consequent beter presteren dan dienstverlenende ondernemingen en grote ondernemingen innovatiever zijn dan hun kleinere tegenhangers. Ten tweede doen ondernemingen in België het relatief goed in vergelijking met referentielanden en het EU-gemiddelde als het gaat om de vernieuwingsdrang van ondernemingen. Ten derde, hoewel samenwerking op gebied van innovatie belangrijk blijft voor meer dan een derde van de innovatoren, wordt de evolutie ervan gekenmerkt door een duidelijke achteruitgang na 2014. Tussen 2012 en 2014 is er een relatieve status quo voor de meeste grootteklassen en alleen de groei in ondernemingen die actief zijn in de industriële sector, maar na 2014 werken alle grootteklassen minder samen.

## Is er een rol voor het beleid?

Omdat de wetenschappelijke literatuur over samenwerking op het gebied van innovatie een positief effect suggereert voor het versterken van het concurrentievermogen en de prestaties van ondernemingen (Lii en Kuo, 2016), proberen beleidsverantwoordelijken de juiste set van randvoorwaarden te creëren om samenwerking aan te moedigen. In het verleden zijn al veel inspanningen geleverd; vooral als het gaat om relaties tussen de verwer-

De belangrijkste oorzaak van deze achteruitgang kan mogelijk worden teruggevoerd tot de kleine ondernemingen, dit kan verklaard worden door een gebrek aan menselijke en financiële middelen bij deze ondernemingen. Bovendien brengt collaboratieve innovatie kosten met zich mee wat betreft coördinatie en monitoring, en deze zijn minder aanwezig in kleine ondernemingen. Ten vierde is dit patroon van afnemende collaboratieve innovatie ook aanwezig in andere Europese landen (EU28), zoals Nederland en Duitsland; terwijl Oostenrijk en Frankrijk min of meer stabiel blijven. Ten vijfde vindt de daling in samenwerking plaats ongeacht het partnertype en weerspiegelt daarom een algemene tendens die geen verband houdt met de kennis van een specifiek partnertype, hoewel concurrenten en klanten het meest getroffen lijken door de vermindering van samenwerking. Ten slotte wijzen voorlopige resultaten op de rol van R&D als motor voor collaboratieve innovatie omdat het een groter absorptievermogen creëert om externe onderzoeksresultaten te absorberen voor innovatieve activiteiten.

kende nijverheid en wetenschap. Aangezien er geen aanwijzingen zijn dat de bestaande regelgeving is afgeschaft, betekent dit dat het beleid niet verantwoordelijk is voor de achteruitgang van de samenwerking op het gebied van innovatie. Voorlopige resultaten over de relatie tussen R&D-activiteiten en samenwerking suggereren echter dat het overheidsbeleid de nadruk moet houden op het stimuleren van ondernemingen om R&D te verrichten. In die zin kan de Belgische fiscale maatregel ten behoeve van kenniswerkers bijdragen tot de versterking van het absorptievermogen als voorwaarde voor collaboratieve innovatie.



## Wilt u meer weten?

Dit artikel belicht collaboratieve innovatie. Het is geen volledig rapport van alle variabelen in de CIS2016. Geaggregeerde resultaten met een compleet overzicht zijn te vinden op de website van Belspo ([www.belspo.be/belspo/stat/b23\\_en.stm](http://www.belspo.be/belspo/stat/b23_en.stm)) of zijn beschikbaar op aanvraag.





*‘Niets gaat langzamer dan  
de werkelijke geboorte van een mens’*

Hadrianus' gedenkschriften (1977)

Marguerite Yourcenar (1903-1987),

Schrijfster en eerste vrouwelijk lid van de Académie française

# Wetenschap en Cultuur in het Koninklijk Paleis

Vinciane Dehant

In toepassing van de maatregelen die door de Nationale Veiligheidsraad werden genomen ter bestrijding van de Covid-19-pandemie, werd beslist om de openstelling voor het publiek van het Koninklijk Paleis in de zomer van 2020 te annuleren alsook de tentoonstellingen die er zouden plaatsvinden.

*Emericella baudonii* MUCL 50033, beschrijving van een nieuwe soort binnen de fungi, als eerbetoon aan Koning Boudewijn; stam bewaard in de collectie van UCLouvain (BCCM/MUCL).

## Geboorte van een parcours...

Sinds vele jaren opent het Koninklijk Paleis te Brussel zijn deuren voor het grote publiek tijdens de zomermaanden. Het initiatief begon in 1965, onder het koningschap van Koning Boudewijn (1930-1993) die dit jaar negentig zou zijn geworden. In de loop van de jaren groeide deze openstelling uit tot een echt succes, waarbij miljoenen bezoekers uit de hele wereld de pracht van dit prestigieuze gebouw konden bewonderen.

Vanaf 2006 gaat de opening van het Paleis voor het publiek samen met *Wetenschap en Cultuur in het Koninklijk Paleis*. Het publiek kan de bijzondere locatie ontdekken tijdens een bezoek aan drie tentoonstellingen die de vele facetten tonen van wetenschap, technologie, onderzoek en het federale culturele erfgoed.

Binnen deze context, biedt het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo) een originele

thematentoonstelling aan waardoor *Wetenschap en Cultuur in het Koninklijk Paleis* een uniek kruispunt wordt van kunst en wetenschap met oog voor de valorisering van het wetenschappelijk onderzoek en van de federale museale collecties.

Met de steun van de FOD Kanselarij van de Eerste Minister en dankzij de dynamische coördinatie door Belspo alsook de unie-

ke infrastructuur die het Koninklijk Paleis biedt, nemen de laatste jaren ook de federale wetenschappelijke instellingen (FWI) deel aan het gebeuren. Afhankelijk van het gekozen thema nemen ook gastinstellingen deel zoals het Nationaal Geografisch Instituut, het War Heritage Institute, het Koninklijk Belgisch Filmarchief of het Belgisch Centrum van het Beeldverhaal.

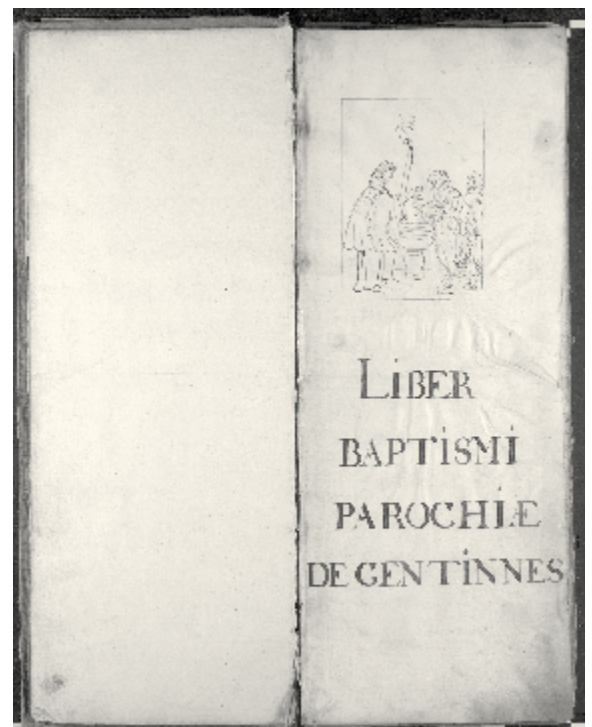
De editie 2020 van de tentoonstelling *Wetenschap en Cultuur in het Koninklijk Paleis* kan jammer genoeg niet plaatsvinden in situ. Belspo bedacht evenwel een alternatief maar origineel parcours, én aangepast aan de omstandigheden, doorheen een virtuele tentoonstelling en dit vanaf juli op de website [www.royal-belspo.be](http://www.royal-belspo.be).

En waarom ook niet? De federale wetenschappelijke instellingen bieden een parcours aan doorheen een selectie van kunstwerken, voorwerpen of films met als thema Geboorte. Ze worden daarin gevolgd door Sciensano, CINEMATEK, het Nationaal Geografisch Instituut (NGI) en twee departementen van Belspo (Ruimteonderzoek en -toepassingen en de Coördinatieceel van het BCCM-Consortium (Belgian Co-ordinated Collections of Micro-organisms)).

Het onverwachte kwam evenwel het dynamische werkritme van eenieder verstoren. Toch willen we het brede publiek de resultaten van al het reeds geleverde voorbereidend werk niet onthouden en de continuïteit van een gevestigde traditie bewaren. We hopen dus dat de tentoonstelling *Geboorte* de volgende jaren nog kan plaatsvinden in het Koninklijk Paleis en haar plaats kan innemen in de cyclus *Wetenschap en Cultuur in het Koninklijk Paleis*.



Alexandre Charpentier (1856-1909), Luierkast  
Sycmoor en tin, 1893, Museum Kunst & Geschiedenis  
Inv. 6717 (Aangekocht op de salon van La Libre Esthétique in 1894)



De titelpagina van het doopregister uit 1668 van de Sint-Gertrudisparochie van Gentinnes (Chastre) werd door de pastoor versierd met een tekening van een doopsel. © ARA



Carl Zeiss. Objectief 'Apochromat', ca. 1885.  
f. : 13000mm, Ø: ~ 25 cm, vast membraan,  
messing, glas

## De virtuele tentoonstelling *Geboorte*

De virtuele tentoonstelling *Geboorte* biedt een uitzonderlijk rijk kader voor een thematisch parcours dat de federale wetenschappelijke instellingen de mogelijkheid geeft met authentieke creatieve voorstellen de aandacht van het publiek te trekken. De keuze uit een breed spectrum van kunstwerken, wetenschappelijke onderzoeksprojecten, natuurlijke fenomenen en specimens, publicaties, foto's of archiefdocumenten enz., is niet makkelijk te maken.

Zoals het latijnse woord *nascentia* (geboorte, begin van het leven...) het uitdrukt, is de geboorte een essentieel begrip van de menselijke natuur (*natura*: natuur, essentie, geboorte). Het gaat terug naar de eerste ogenblikken in het bestaan van elk levend wezen en, bij uitbreiding, naar de oorsprong van alles. Als we het begrip 'geboorte' ook ruimer zien in de betekenis van het ogenblik van het begin van een verschijnsel, een materie, een verzameling of een onderzoeksproject, stellen we vast dat 'geboorte' zich op talrijke domeinen laat toepassen waar creativiteit heerst. Het overspant zowel de exacte, humane, sociale en natuurwetenschappen als de kunst.

Doorheen de eeuwen en in alle culturen wordt de geboorte van een mens omgeven door rituelen, gebaren, voorwerpen, neergeschreven sporen en teksten en wekt het de nieuwsgierigheid van onderzoekers. Ze leeft zowel in de wetenschappelijke sfeer als in het sacrale en werpt steeds terugkerende vragen op over kennis, expressie, ervaring en ethiek. Soms worden geboorten met veel luister omkleed, andere weer niet; sommige geboorten behoren tot de wereldgeschiedenis, andere worden gevierd in een heel beperkte kring.

De geboorte van het leven wordt bestudeerd door verschillende disciplines uit de geneeskunde en de levenswetenschappen. Geboorte is een inspiratiebron van artiesten en schrijvers maar in een juridische context vervaagt geboorte in akten of in officiële registers waarmee rechtsgeleerden aan de slag gaan. Bij filosofen zet de geboorte aan tot nadenken en reflectie. In navolging van Socrates in de 5de eeuw v.C. gebruiken sommigen de metafoer van de bevalling om de geboorte van de individuele kennis te evoceren en wordt verwezen naar de parallellen tussen de maieutiek en de kennis van de vroedvrouw.



In een bredere context komen de thema's van de geboorte en van de oorsprong van het leven steeds opnieuw terug in het werkveld van talrijke onderzoekers uit vaak heel uiteenlopende disciplines: astrofysici, geschiedkundigen, archeologen, biologen, medici, aardrijkskundigen, paleoantropologen, enz. Hoe ontstonden het heelal, de aarde en de planeten? Hoe komt de mens tot leven? Hoe wordt een natuurfenomeen geboren? Welke documenten komen er kijken bij een geboorte? Hoe ontstaat een wetenschappelijk onderzoeksproject of een kunstcollectie?

Het virtuele parcours van *Geboorte* is opgebouwd rond subthema's die transversaal verbonden zijn. Elke instelling vult het kader in volgens haar mogelijkheden en voorkeur en met de volgende thema's: Geboorte van het heelal / Geboorte in de levenswetenschappen / Goddelijke aanroepingen en rituelen rond geboorten / Geschenken voor de nieuwgeborene / Geboorteakten / Het creatieve moment in de kunst: vormen van geboorte of geboorte van vormen / Geboorte van een onderzoeksproject.

Van de big bang tot de geboorte van micro-organismen, dieren, de mens, over de artistieke expressie of de geboorte van natuurlijke fenomenen: het parcours van *Geboorte* biedt een overzicht van enkele disciplines uit onze federale wetenschappelijke instellingen.

Enkele stellen er hun meest recente onderzoeksprojecten voor; andere verkiezen om stukken uit hun verzamelingen te tonen. We hopen dat we de bezoeker ooit een nog meer uitgebreide editie kunnen voorstellen van de tentoonstelling *Geboorte* in het Koninklijk Paleis te Brussel. In afwachting, afspraak op [www.royalbelspo.be](http://www.royalbelspo.be)



Een boreling op het paleis van Laken (1833). Tinnen penning gemaakt door L. Hart ter herinnering aan de geboorte van Louis-Philippe Victor Ernest, de eerste Belgische kroonprins, op 24 juli 1833. Hij stierf reeds op 16 mei 1834 en leefde dus slechts 9 maanden en 22 dagen. Op de keerzijde het koninklijk paleis te Laken, een opgaande zon en het park waarin een eik en een afgeknakte sinaasappelboom staan. De gebroken sinaasappelboom ('un oranger' in het Frans) verwijst naar de definitieve breuk met het huis van Oranje-Nassau; de eik naar de nieuwe Belgische lijn in de troonopvolging. KBR, Penningkabinet, K 321.

## De partners

De virtuele tentoonstelling *Geboorte* is het resultaat van een vruchtbare samenwerking tussen de tien federale wetenschappelijke instellingen: het Algemeen Rijksarchief (ARA), de Koninklijke Bibliotheek van België (KBR), het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA), het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI), het Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium (KIK), het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN), het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika (KMMA), de Koninklijke Musea voor Kunst en Geschiedenis (KMG), de Koninklijke Musea voor Schone Kunsten van België (KMSKB) en de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB). Dit jaar krijgen ze het gezelschap van het Federaal Instituut voor de Volksgezondheid Sciensano, CINEMATEK, het Nationaal Geografisch Instituut (NGI), het departement Ruimteonderzoek en -toepassingen (Belspo) en de Belgian Co-ordinated Collections of Micro-organisms (Belspo : BCCM-consortium/MUCL).



Het wetenschappelijk instrument NOMAD, ontworpen en vervaardigd door het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie, tijdens de integratie in de Trace Gas Orbiter-satelliet. Deze satelliet is het eerste onderdeel van de ExoMars-missie, een gezamenlijke missie van de Europese (ESA) en Russische (Roscosmos) ruimtevaartorganisaties. NOMAD bevindt zich momenteel in een baan rond de planeet Mars.



# Honderd jaar geschiedschrijving over de Eerste Wereldoorlog in België

Balans van een nieuw naslagwerk

Sofie Onghena

en Pierre-Alain Tallier



Overstroming van Vlaanderen, loopbrug op palen, 1914. AGR-AR, P-IconoWW1, 1627. © AGR-AR

**De Eerste Wereldoorlog fascineert. Al bijna een eeuw lang verschijnt er wereldwijd dagelijks minstens één publicatie over. Een rijke staalkaart hiervan is te ontdekken in een onlangs verschenen bibliografie, samengesteld in het Algemeen Rijksarchief.**

## Een nieuwe WOI-bibliografie

Naar aanleiding van het einde van de honderdjarige herdenking van de Grote Oorlog verscheen in november 2019 het derde deel van de retrospectieve bibliografie over de Eerste Wereldoorlog. Dit naslagwerk, bedoeld voor zowel professionele onderzoekers als een ruim publiek, werd opgesteld en uitgebracht door

het Algemeen Rijksarchief, in samenwerking met de Koninklijke Commissie voor Geschiedenis, en kwam tot stand met de steun van het Commissariaat-generaal voor de Herdenking van de Eerste Wereldoorlog en van de Nationale Loterij. Immers, historisch onderzoek vereist, naast bronnenonderzoek, ook degelijke literatuurstudie. Om op systematische wijze een keur aan titels over een specifiek thema of tijdvak op het spoor te komen, zijn bibliografische naslagwerken onontbeerlijk. Vandaar het nut, zo niet de noodzaak, van dit derde deel van de bibliografie over de Eerste Wereldoorlog.





Deze nieuwe bibliografie bestaat uit twee boekdelen, beslaat in totaal 1312 pagina's en bevat nagenoeg 14.000 referenties. Dit lijvig naslagwerk is opgezet als een zo volledig mogelijke aanvulling op de eerste bibliografie over de Eerste Wereldoorlog die in 1987 onder leiding van Patrick Lefèvre en Jean Lorette uitkwam. Voor deze derde editie werd getracht alle boeken en artikelen die sindsdien in binnen- en buitenland over België en de Eerste Wereldoorlog uitkwamen, op te lijsten. De opgenomen titelbeschrijvingen in de recente WOI-bibliografie reiken tot en met 2018: de voorbije jaren (2014-2018) waarin de honderdste verjaardag van de *Groote Oorlog* uitvoerig en op veelvoudige wijze werd herdacht, vormen een uitgelezen moment om een cyclus af te sluiten. Bij de compilatie dienden de algemene structuur en de presentatie van 'Lefèvre - Lorette' en het eerste complement uit 2001<sup>(1)</sup> als model. Niettemin drongen enkele aanpassingen zich op, als gevolg van de exponentiële toename van de WOI-geschiedschrijving alsook van ingrijpende historiografische evoluties en tendensen in de voorbije drie decennia.

## Overvloed

De indrukwekkende omvang van de beschikbare literatuur wereldwijd over de Eerste Wereldoorlog deed de Australische historicus Christopher Clark zelfs verzuchten dat '[...] geen enkele historicus (zelfs geen denkbeeldige figuur die alle benodigde talen kan lezen) zich er tijdens zijn levensduur doorheen zou kunnen werken [...]'.<sup>(2)</sup> Ook de nationale geschiedschrijving wordt

gekenmerkt door een heuse toevloed van publicaties over WOI. Hoewel er gedurende het interbellum in eigen land, aansluitend bij een heersende internationale trend, brede interesse bestond voor WOI en allerhande memoires, romans evenals geschiedkundige bijdragen dienaangaande opgeld maakten, zou na afloop van de Tweede Wereldoorlog de historiografie van laatstgenoemd conflict lange tijd die van de Eerste Wereldoorlog overschaduwen. Gedurende enkele decennia was er nauwelijks academische aandacht voor de Eerste Wereldoorlog; vooral lokale vorsers bleven in meer of mindere mate de geschiedschrijving van WOI beoefenen. Lefèvre en Lorette stelden in hun inleiding vast dat 'de geschiedschrijving over het onderwerp verouderd en voorbijgestreefd is, als ze al niet onbestaande is. [...] De Tweede Wereldoorlog heeft de Eerste als het ware verdrongen.'<sup>(3)</sup>

Vanaf het eind van de jaren 1990 kende het nationaal WOI-onderzoek een academisch reveil. Sedertdien nam de interesse almaar toe. Het onderzoek naar WOI veranderde daarenboven in een academische subdiscipline, waarbij vorsers tevens aansluiting vonden bij internationale instituten over de Eerste Wereldoorlog én historiografische trends. De expansie en internationalisering van het nationale academische geschiedbedrijf van de afgelopen jaren dragen hiertoe bij. Daarnaast zorgt de centrale rol van België in het uitbreken en het verloop van de Eerste Wereldoorlog voor aanzienlijke buitenlandse aandacht, wat de nieuwe WOI-bibliografie onmiskenbaar een bijzonder internationaal karakter verschaft. Het werk van eminente buitenlandse WOI-specialisten ontbreekt niet.

Als weerspiegeling van een ruim verspreide belangstelling bevat de recente WOI-bibliografie zowel wetenschappelijke uitgaven (van academische uitgeverijen of afkomstig uit gespecialiseerde tijdschriften) als vulgariserende publicaties, bedoeld voor een breed publiek. Het betreft een sterk gediversifieerd scala aan auteurs (beroeps- en amateuronderzoekers) en genres: monografieën, artikelen, naslagwerken en werkinstrumenten, bronnedities, verzamelbundels, congresverslagen, tentoonstellingscatalogi, afstudeerscripties en proefschriften. Publicaties in louter elektronische vorm – zoals blogs of specifieke websites – bleven weliswaar buiten beschouwing omwille van hun vaak vergelijkelijke karakter.

Het bibliografisch overzicht geeft duidelijk aan dat de historiografische productie over WOI in almaar toenemende mate rechtstreeks wordt beïnvloed door de actualiteit, zoals verjaardagen en herdenkingen, en daarbij dus niet los kan worden gezien van het commerciële beleid van uitgevers. Als thema met een groot publieksbereik wordt de Eerste Wereldoorlog ingeschakeld in het winst oogmerk van zowel grote en gevestigde uitgevershuizen, waarin WOI een niche van het aanbod uitmaakt, als van kleine uitgeverijen, die (als eenmanszaak) soms zelfs geheel zijn gewijd aan WOI. Ter illustratie: in de periode 1914-1984 (70 jaar) werden 11.500 publicaties geteld. Echter, in de half zo korte periode 1985-2018 (33 jaar) waren het er bijna 13.338. De honderdste verjaardag en de voorbereiding ervan beïnvloed-

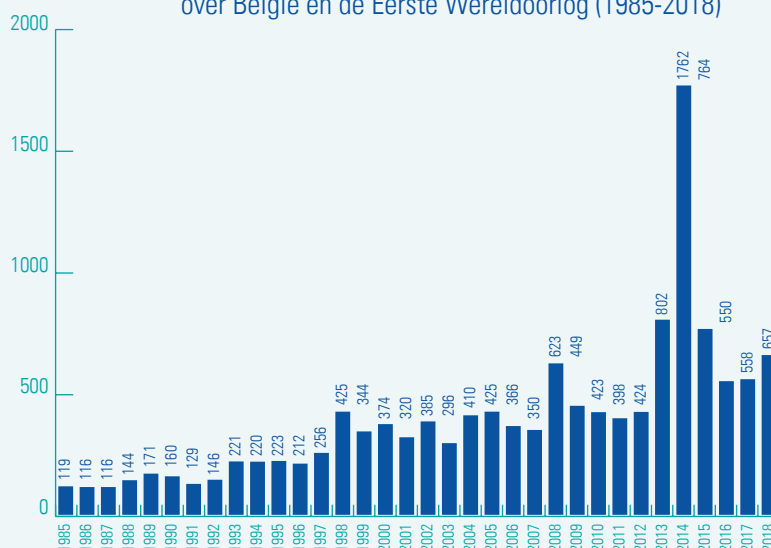
den dit gemiddelde uiteraard: 5.093 bijdragen rolden van de persen tussen 2013 en 2018, met een piek van 1.762 in het jaar 2014 (zie grafiek). Maar ook tussen 1985 en 2013, de tijdsspanne waarin de herdenkingen van de 80ste en 90ste verjaardag van WOI vielen, verschenen bijna 8.250 boeken en artikels. In deze periode waren de jubileumjaren 1998 en 2008 eveneens uitschieters, met telkens een aanmerkbare stijging van het aantal uitgebrachte WOI-publicaties. Hierdoor lijkt een tegenovergestelde historiografische tendens zich nu af te tekenen: het aantal recent verschenen titels over WOI, zo blijkt alvast uit de laatste jaargangen van de 'Bibliografie van de Geschiedenis van België', overtreft ruimschoots dat van WOII. Brengt de 75-jarige verjaardag van de Bevrijding daar verandering in?

## Inhoudelijke verscheidenheid

Onderhavige WOI-bibliografie voorziet in een inleiding waarin een aanzet tot een historiografische balans wordt geboden. In absolute cijfers blijft in de historiografische productie over WOI de meeste belangstelling uitgaan naar het Belgisch leger en de militaire operaties in België, al verschoof de aandacht van de krijgsverrichtingen, de zogenoemde *l'histoire bataille*, naar het dagelijkse leven aan het front, met focus op het individu en met toegenomen inbreng van de cultuur- en mentaliteitsgeschiedenis. Daarnaast nam, vanuit dezelfde optiek, ook de belangstelling voor de militaire bezetting in al haar aspecten – met België internationaal gezien in exemplarische rol – onmiskenbaar toe. De klemtoon lag hierbij sterk op plaatselijke geschiedenis, op het dagelijkse leven en het relaas van gewone mensen in het allesverzengende conflict. Vooral lokaal-historische kringen namen in dit onderzoek een bijzonder dynamische rol op.

Nieuwe sociale groepen die de oorlog genereerde, kwamen op de voorgrond: vluchtelingen, weggevoerde arbeiders, verzetslieden. Vergeleken met de eerste WOI-bibliografie verminderde daarentegen de belangstelling voor de politiek-diplomatieke geschiedenis en voor prominenten tijdens het conflict. Bovendien werd de nationale historiografie van de laatste decennia, in overeenstemming met internationale trends, gekenmerkt door de opkomst van nieuwe onderzoeksdomeinen: geschiedenis van gender, vrouwen en kinderen, geschiedenis van de geneeskunde en het lichaam, geschiedenis van voeding of van dieren. Vanuit deze perspectieven namen vorsers ook de Eerste Wereldoorlog onder de loep. Daarbij haalden ze stille, gestigmatiseerde getuigen voor het voetlicht, zoals zogenoemde *femmes à Boches* in bezet België, een thema dat voordien toch vooral associatie opriep met de Tweede Wereldoorlog. Of de invalide en verminkte soldaten, die net na de oorlog nog wel op publieke hulde konden rekenen omwille van hun moed en opoffering, maar al gauw haast in ongenade raakten, als een al té confronterende oorlogsherinnering.

Jaarlijkse evolutie van het aantal publicaties over België en de Eerste Wereldoorlog (1985-2018)



Uit : Pierre-Alain Tallier en Sofie Onghena, met de medewerking van Sven Soupart en Valentin Degrande, *1914-2018. Honderd jaar – en meer – geschiedschrijving over de Eerste Wereldoorlog in België*. Brussel, Algemeen Rijksarchief, 2019, Vol. 1 : p. 42, 129. © AGR - ARA

Vermeldenswaard is het enorm toegenomen aantal publicaties inzake representatiegeschiedenis, *memory studies* en commemoratieve praktijken, met de inhuldiging van straatnamen die verband hielden met de oorlog, oorlogsmonumenten voor militaire en burgerlijke slachtoffers, de veranderende betekenissen van *lieux de mémoire*. Verder valt het groeiend belang van interdisciplinariteit op met onder meer opgekomen interesse voor militaire archeologie, luchtfotografie en oorlogserfgoed (militaire begraafplaatsen of overblijfselen van het slagveld). De culturele antropologie, psychologie (aandacht voor emoties) en linguïstiek zijn eveneens deel gaan uitmaken van het WOI-onderzoek en maken nieuwe inzichten mogelijk. Ook filmstudies of kunst- en literatuurgeschiedenis werden toegepast op de Eerste Wereldoorlog. Fictie als zodanig bleef buiten het bestek van de recente WOI-bibliografie, met evenwel één uitzondering: het stripverhaal over 14-18, ondergebracht in een gloednieuwe rubriek.

Verder komen het multiculturele karakter van de oorlog (met de aanwezigheid van internationale troepen en verschillende nationaliteiten aan het westelijke front,

waaronder de Chinese arbeiders) en de rol van de kolonie en de Congolese strijdkrachten als nieuwe onderzoekstopics aan bod. Grote belangstelling bestaat eveneens voor iconografie (affiches, foto's, ansichtkaarten) en voor loopgravenkunst. Hang naar persoonlijke getuigenissen blijkt uit het aanzienlijke aantal bronnenpublicaties, voornamelijk oorlogsdagboeken (de heruitgave van edities uit het interbellum inclus). Een centrale focus op het individu beantwoordt aan een maatschappelijke trend.

In weerwil van het vernieuwde WOI-onderzoek blijven lacunes evengoed bestaan, onder meer inzake de financiële geschiedenis, demografie, de impact van de oorlog op de naoorlogse mentaliteiten en maatschappij. Hopelijk worden deze historiografische leemten de komende jaren opgevuld.

## Illustraties

De WOI-bibliografie is eveneens rijkelijk geïllustreerd en bevat nagenoeg honderd afbeeldingen in kleur. Het merendeel van de illustraties is afkomstig uit de rijke iconografische WOI-collectie van het Algemeen Rijksarchief. De ruime toevoeging van foto's, Ansichtkaarten, affiches en tekeningen zorgt voor afwisseling in de besloten ritmiek van opgesomde titels. Meer nog, de illustraties maken de referenties aanschouwelijk, evocatief en levendig. Ofschoon spotprenten, zowel eigentijdse als recente, het naslagwerk af en toe een vleugje (galgen)humor verlenen – de grapjes onder de Belgische soldaten aan het front waren ermee doorspekt –, tonen de afbeeldingen hoofdzakelijk de bittere ernst van de oorlogsrealiteit: vernielde landschappen, steden in puin, soldaten in de loopgraven, dode lichamen, paardenkadavers, haveloze vluchtelingen, de eindeloos lange rijen van burgers in bezet gebied wachtend op de voedselbedeling (zoals die van haring en boter in Brussel in 1917). En tegelijk valt soms de uitgekende mise-en-scène van foto's of Ansichtkaarten op of hun eerder verhullend karakter, waarbij ze de welbewuste constructie van oorlogspropaganda en -herinnering aantonen.

## Nuttig handvat voor verder onderzoek

De huidige WOI-bibliografie wil aan een zo divers mogelijk publiek een handvat aanreiken voor verder innovatief onderzoek, ook ná de grootschalige herdenking van 2014-2018. De vraag rijst immers hoe de WOI-historiografie zal evolueren? Deemstert de belangstelling weg bij het grote publiek? Blijft de *Grote Oorlog* commercieel interessant voor uitgeverijen? Is op lokaal-historisch niveau, dat naar aanleiding van de honderdjarige verjaardag van WOI veelal uitgebreide en minutieus uitgevoerde studies van dorpen en steden tijdens de oorlogsjaren, oorlogsbiografieën van streekbewoners (zowel helden als eenvoudige getuigen) en lijsten van militaire en burgerlijke slachtoffers aanbod, alles nu definitief achterhaald en neergeschreven? Zal de noodzaak om deze oorlog indachtig te houden de tijd trotseren, vanuit politiek, maatschappelijk en cultureel oogmerk evenals in het licht van de almaar vervliegende familiale én collectieve oorlogsherinnering bij het voortschrijden van de generaties (oorlogsparaferalia in familiebezit worden nu doorgaans gemakkelijker aan musea of archieven geschonken wellicht mede door hun tanende affectieve waarde omdat men de (verre) verwant in kwestie niet altijd meer heeft gekend)? Kortom, zal de opvolger van dit bibliografisch hulpinstrument, bij een volgende verjaardag, eveneens een weerspiegeling zijn van een aanhoudende toevloed van publicaties?



In oorlogstermen: het spervuur van publicaties over de Eerste Wereldoorlog. Karikatuur van Jean-François Meert. © AGR - ARA



Vaststaat dat de nationale studie van de *Groote Oorlog* zich inmiddels heeft verzekerd van institutionele verankering, eigen personae (mét opvolging) en onderzoeksinfrastructuur. In het Algemeen Rijksarchief werd onder meer in 2001 de reeks *Studies van de Eerste Wereldoorlog* opgezet, ter valorisatie en bekendmaking van zijn verschillende WOI-archieffcollecties en ter verspreiding van onderzoeksresultaten betreffende WOI. De recente WOI-bibliografie is het voorlopig laatste deel van deze reeks, met nummer 23. Als bibliografisch hulpinstrument draagt het onmiskenbaar bij tot kennis, inzicht en eruditie aangaande de Eerste Wereldoorlog: het is bedoeld om titels systematisch te bundelen en boekstaven om aldus bij te dragen aan verder innovatief onderzoek en nieuwe publicaties.

Volledig is dit naslagwerk niet. Werken zijn ons ontsnapt vanwege hun geringe oplage (voorkomend bij publicaties in eigen beheer) of een bijzonder lokale verspreiding (bijvoorbeeld uitsluitend verdeeld onder familieleden en gegadigden). Sommige periodieken zijn dan weer uiterst moeizaam op te sporen. Bovendien moesten de opzoekingen begin 2019 worden afgesloten om het manuscript tijdig persklaar te krijgen; in dit verband dient ook te worden aangestipt dat een vermelde jaargang door onvoorzien redactioneel opont-houd niet steeds overeenkomt met de daadwerkelijke publicatiedatum. Daarom zal een nog dagelijks aangevulde lijst van referenties die niet meer terecht konden in onderhavige bibliografie alsnog digitaal beschikbaar worden gemaakt. Maar... vele andere zijn alvast te ontdekken in *Honderd jaar – en meer – geschiedschrijving over de Eerste Wereldoorlog in België*.



#### De auteurs

- Dr. **Pierre-Alain Tallier** is Departementshoofd a.i. 'Brussel' en afdelingshoofd Hedendaags Archief bij het Algemeen Rijksarchief.
- **Sofie Onghena** is historica en als wetenschappelijk medewerker verantwoordelijk voor het project 'Bibliografie van de Geschiedenis van België' bij het Algemeen Rijksarchief.

#### Noten

- (1) Pierre-Alain Tallier & Sven Soupart, *La Belgique et la Première Guerre mondiale. Bibliographie. Tome 2 (Ouvrages édités de 1985 à 2000) = België en de Eerste Wereldoorlog: Bibliografie. Deel 2 (werken uitgegeven van 1985 tot 2000)*. Brussel, Koninklijk Legermuseum, 2001, 195 p.
- (2) Citaat uit: Christopher Clark, *Slaapwandelaars. Hoe Europa in 1914 ten oorlog trok*. Antwerpen, De Bezige Bij, 2013, p. 17.
- (3) Patrick Lefèvre & Jean Lorette (dir.), *La Belgique et la Première Guerre mondiale. Bibliographie = België en de Eerste Wereldoorlog. Bibliografie*. Brussel, Koninklijk Legermuseum, 1987, p. XIII, XV (Centrum voor Militaire Geschiedenis. Bijdragen, 21).

## + Meer

#### Website van het Algemeen Rijksarchief:


- [www.arch.be](http://www.arch.be)

Archief, publicaties, projecten en evenementen van het Rijksarchief i.v.m. de Eerste Wereldoorlog (rubriek 'Online aanbod').

#### Website van de Koninklijke Commissie voor Geschiedenis:

- [www.kcgeschiedenis.be](http://www.kcgeschiedenis.be)

**Bestellen van de WOI-bibliografie** is mogelijk via e-mail aan [publicat@arch.be](mailto:publicat@arch.be) of via aankoop ter plaatse in de Archiefwinkel van het Algemeen Rijksarchief (Ruisbroekstraat 2, 1000 Brussel): Pierre-Alain Tallier en Sofie Onghena, met de medewerking van Sven Soupart en Valentin Degrande, *1914-2018. Honderd jaar – en meer – geschiedschrijving over de Eerste Wereldoorlog in België*, reeks *Studies over de Eerste Wereldoorlog* vol. 23, publ. 6032, Algemeen Rijksarchief, Brussel, 2019, 2 Vol., 1312 p. (Prijs: 50 euro)



# DNA-barcoding in de strijd tegen invasieve soorten en het eten van wilde dieren

Een vortexmixer, een centrifuge, een DNA-sequencer: deze technologische hoogstandjes vinden we in de laboratoria van het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika en het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen. Ze worden gebruikt in de verschillende stappen van een DNA-analyse. Deze analyses zijn, naast de specimina uit de ontzaglijke collecties van beide instellingen, nodig om soorten dieren en planten te determineren. In onze huidige wereld, waar onze ecosystemen de gevolgen dragen van globalisering, internationale handel, toerisme en klimaatopwarming, ontstaan problemen met invasieve soorten, exotische ziektes en illegale handel in beschermde soorten. Maar opdat beleidsmakers deze problemen kunnen aanpakken, moeten we in een eerste – ongetwijfeld belangrijkste – fase de betreffende soorten determineren. Daarom beschikken wij op het KBIN en het KMMA over een expertisecentrum voor de identificatie van biologische organismes.

Reuzenbalsemien  
(Image by Hans Braxmeier from Pixabay)



De bedoeling van de 'Barcoding Facility for Organisms and Tissues of Policy Concern' (BopCo) is om, als maatschappelijke dienstverlening, snel en efficiënt dieren en planten te determineren. Daarom steunt BopCo enerzijds op een traditionele morfologische benadering en anderzijds op DNA-analyses, waarvoor specifieke competenties en moleculaire laboratoria nodig zijn.

Een team wetenschappers van het KMMA en het KBIN gaat hiervoor aan de slag. Ze vormen een expertisecentrum om organismen te identificeren wanneer ze dit gevraagd worden, maar ook om de referentiecollecties bij te houden en om nieuwe determinatietechnieken te zoeken en op punt te stellen.

Niet alleen de overheid, onderzoeksinstituten en universiteiten doen beroep op hun expertise, maar ook privébedrijven, musea, de luchtmacht (wanneer die wil weten welke vogels tegen een vliegtuig gevlogen hebben), enz. Op zich gebeuren de analyses

voor zaken van algemeen belang, zoals het behoud van beschermde soorten of het bestrijden van invasieve soorten, landbouwongedierte, ziekteverspreiders bij mens en dier en soorten die risico's inhouden voor onze activiteiten, economie, infrastructuur of voedselveiligheid.

BopCo wordt volledig gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo) en vormt de federale bijdrage tot het ERIC (European Research Infrastructure Consortium) LifeWatch, dat streeft naar een betere kennis van biodiversiteit en ecosystemen.

## Het is niet altijd wat het lijkt!

Bij organismen waarover maatschappelijke bezorgdheid heerst, moet de determinatie heel nauwkeurig zijn. In een eerste fase gebeurt ze aan de hand van de morfologie van het betreffende organisme. Hiervoor wordt beroep gedaan op de taxonomische kennis van wetenschappers op het KBIN en het KMMA, maar ook op de uiterst soortenrijke collecties van beide instituten. Maar een morfologische identificatie is niet altijd mogelijk. Zo kunnen twee soorten als twee druppels water op elkaar lijken of bevindt een specimen zich in een levensfase waarin het niet te determineren is. Een ander voorbeeld: sommige voedselproducten zijn onherkenbaar verwerkt. 'De morfologie van een dier of een plant alleen volstaat niet altijd om een soort correct te bepalen,' stelt een onderzoekster van BopCo op het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen. 'Zo zijn sommige zogenaamde 'cryptische' soorten morfologisch haast identiek. En zelfs voor specialisten zijn insectenlarven vaak heel moeilijk te determineren.'

Voor die gevallen is de DNA-analyse een heel betrouwbaar bijkomend middel om een dier- of plantensoort te bepalen. We kunnen er overigens veel meer van leren dan door alleen de morfologie te bestuderen.

## DNA-barcoding

Door de betere DNA-sequentiebepaling kunnen we nu het gehele genoom van een organisme in kaart brengen... Maar dit is een lang en duur werk, dat wel duizenden euro's kan kosten! Voor instellingen met grote collecties of voor onderzoekers die heel veel organismen willen determineren, zoals de wetenschappers van BopCo, wordt de sequentiebepaling van het volledige genoom al vlog onbetaalbaar. Bovendien zijn slechts enkele specifieke delen van het genoom nodig om een organisme te identificeren: daarom is er een snellere oplossing nodig.

Hier helpt de DNA-barcoding. Met deze techniek worden bij elk specimen vrij kleine gestandaardiseerde fragmenten gesequencet. Deze korte DNA-sequenties vormen een soort taxonomische 'streepjescodes', die worden vergeleken met vooraf geïdentificeerde sequenties uit openbaar toegankelijke referentiedatabanken, zoals BOLD of GenBank.



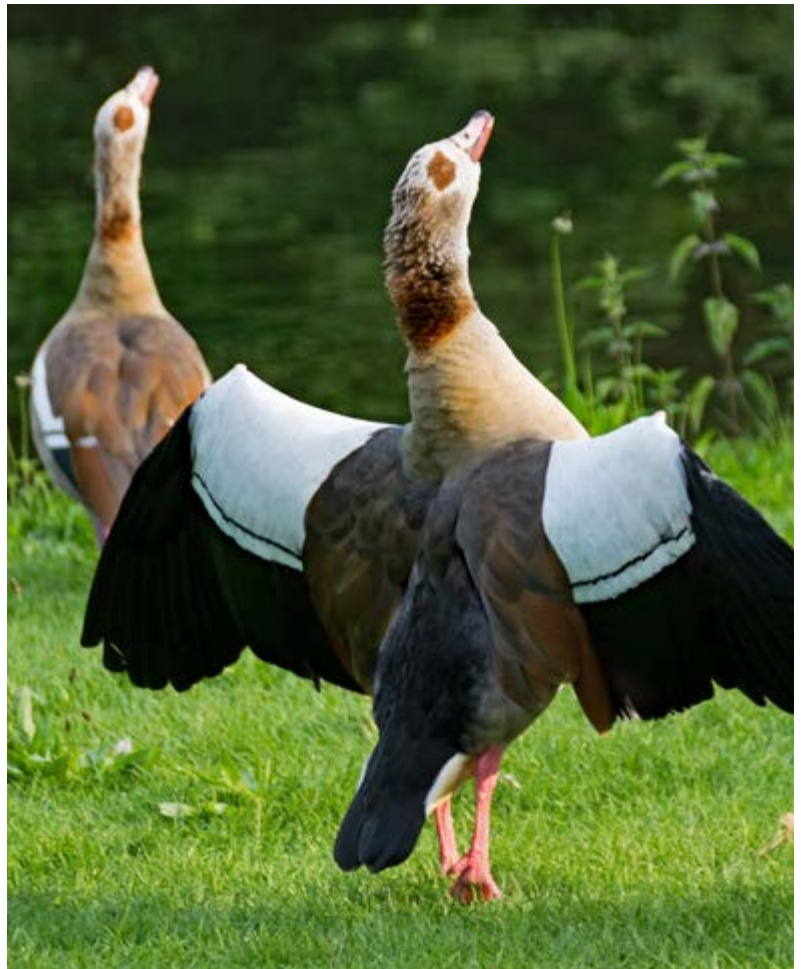
Muskusrat (*Ondatra zibethicus*)  
- By Cephas CC BY-SA 3.0



## Invasieve soorten opsporen

Een van de belangrijkste werkzaamheden van het team van BopCo is invasieve soorten determineren. Of ze bewust in Europa zijn binnengebracht of niet, uitheemse soorten kunnen de biodiversiteit, de economie of onze gezondheid ernstige schade toebrengen. In de laatste jaren krijgen invasieve soorten steeds meer aandacht en bezorgen ze het beleid kopzorgen.

Deze soorten kunnen zich immers voortplanten, hun nieuw grondgebied inpalmen en er de inheemse soorten verdringen. Ze verstoren dan de natuurlijke ecosystemen, ze berokkenen schade aan landbouwgewassen en vee en brengen zelfs ziektes of parasieten met zich. Niet-inheemse soorten met een dergelijke negatieve invloed noemen we invasieve uitheemse soorten (IUS). De Europese Unie houdt hiervan regelmatig de lijst bij. Ze vaardigt ook voorzorgs- en beheersmaatregelen uit waarmee alle lidstaten de biodiversiteit en inheemse ecosystemen moeten vrijwaren.



Nijlganzen (*Alopochen aegyptiaca* - Image by lapping from Pixabay)

## 49 factsheets om te identificeren

Om efficiënte maatregelen tegen invasieve soorten te kunnen nemen, moeten we ze in elk geval tijdig opsporen en dus snel en nauwkeurig identificeren. Daarom bestudeerden onderzoekers van BopCo aandachtig de openbaar beschikbare gegevens rond DNA-sequenties. Ze gingen na of ze hiermee de door de Europese regelgeving bedoelde invasieve soorten op betrouwbare wijze kunnen identificeren. Ze zetten hun resultaten in de vorm van factsheets op het web ([bopco.myspecies.info](http://bopco.myspecies.info)): voor het ogenblik zijn er 49 invasieve soorten in Europa. Deze factsheets verschaffen besluitvormers en actoren in het veld informatie over hoe je aan de hand van een DNA-merker nauwkeurig kunt determineren.

Uit de evaluatie van de beschikbare gegevens blijkt dat barcoding voor veel soorten niet goed werkt, vooral omdat de online-databanken onvoldoende DNA-gegevens bevatten. In dat geval volstaat het DNA niet voor een betrouwbare en nauwkeurige identificatie, maar bijkomende gegevens zoals morfologische kenmerken of de oorsprong van het specimen kunnen toch helpen.

Een tweede vaststelling is dat BopCo inschat dat de standaardstreepjescodes die het consortium voor de Barcode of Life gebruikt als referentie bij de identificatie van dieren en planten, niet altijd de efficiëntste zijn. Bij voorkeur onderzoeken we voor elke soort de beschikbare gegevens apart en werken we een afzonderlijk identificatieplan uit. Bovendien is het voor veel soorten

noodzakelijk dat we bijkomende gegevens over de sequenties hebben, zowel voor de invasieve soort zelf (zodat we een beter idee hebben van de genetische variabiliteit binnen de soort) als voor de hiermee nauw verwante soorten (zodat we kunnen inschatten hoe groot de verschillen zijn tussen de invasieve soort en haar zustersoorten). Deze genetische verschillen hangen sterk af van het te evalueren taxon en er bestaat bovendien een groot verschil tussen de verschillende DNA-merkers die verschillende evolutieritmes kunnen hebben.

## Monitoring van exotische muggen

Bij de uitheemse soorten krijgen exotische muggen veel aandacht in België. Door de globalisering, het toerisme en de klimaatopwarming konden sommige exotische muggen in Zuid-Europa en in onze gewesten neerstrijken. Sommige van die muggen kunnen ziektes verspreiden en zo de openbare gezondheid van mens en dier bedreigen.

Tegen die achtergrond werd in 2017 het project MEMO (Monitoring of Exotic Mosquitos) opgestart, met steun van de federale regering en de Belgische regionale overheden. Het is een monitoringproject om na te gaan waar in België exotische muggen voorkomen. Het is vooral toegespitst op zes mogelijk uiterst invasieve muggensoorten. Onderzoekers van het Instituut voor Tropische Geneeskunde van Antwerpen (ITG) bewaken 23 punten waarlangs exotische muggen België kunnen binnenkomen, zoals havens, luchthavens, bandenmontagecentra en tuincentra. BopCo gebruikt hier DNA-methodes om de morfologische bepaling te valideren. Alle in België inheemse muggensoorten (op zeven na) en de zes bestudeerde exotische muggensoorten kunnen op betrouwbare wijze geïdentificeerd worden,

ofwel met DNA-methodes ofwel met latere tests. Voor de zeven andere inheemse soorten worden nu andere specifieke identificatietechnieken onderzocht en/of ontwikkeld, die het identificatiewerk moeten vervolledigen.

Dit werk is waardevol, want hiermee kunnen exotische muggen tijdig gedetermineerd worden, waardoor de overheid beter beslissingen kan nemen. Uiteindelijk zal door dit project een referentiecollectie ontstaan met het DNA van alle levensstadia van in- en uitheemse muggensoorten in België.

BopCo biedt eveneens ondersteuning aan de medische component van Defensie, want het onderzoekt de biodiversiteit van ziektever-

spreidende muggen op plaatsen waar Belgische strijdkrachten actief zijn. Dit biodiversiteitsonderzoek levert niet alleen informatie op om preventiemaatregelen te nemen en soldaten proactief tegen die muggen te beschermen. Het toont eveneens aan dat het belangrijk is om correct met het legermaterieel om te gaan, om zo te verhinderen dat exotische ziekteverspreiders onbewust op het Belgische grondgebied losgelaten worden. Want er zijn al gevaarlijke ziekteverspreiders vastgesteld in verscheidene gebieden waar soldaten werden ingezet. Ze brengen ziektes over zoals de Westnijlziekte, de Riftvalkoorts, de lymfeziekte filiarisis (door *Wuchereria bancrofti*) en de door virussen veroorzaakte gele koorts en dengue.



*Aedes Aegypti* (by US Department of Agriculture-public domain)

## Bushmeat in het centrum van Brussel

Met haar DNA-analyses bracht BopCo ook onwettige praktijken aan het licht. Zo ontdekten haar onderzoekers in 2017 dat er in Brussel illegaal bushmeat verkocht wordt.

Bushmeat is het vlees van in de tropenwouden gestroopte wilde dieren: primaten, buffels, antilope, rietratten, ... In het westen is deze dure delicatesses een ware smokkelwaar. Volgens verschillende studies worden er elk jaar tientallen tonnen bushmeat, meestal vanuit Centraal-Afrika, in Europa ingevoerd. Helaas zijn het vaak stukken vlees van beschermde dieren en kunnen ze ziektes veroorzaken. We moeten dus de vleesinvoer echt nauwkeuriger controleren, zowel om de zoveelste aanslag op de biodiversiteit te vermijden als om besmetting bij mensen en dieren te voorkomen.

## Beschermde soorten?

Toen leden van BopCo in 2017 gingen speuren naar de illegale verkoop van bushmeat in Brussel, ontdekten ze in drie winkels in het totaal twaalf stukken verdacht vlees. Het vlees was in kleine stukjes gesneden en gerookt en dus moeilijk herkenbaar. Met DNA-analyses stelde een bioloog van de BopCo vast dat het afkomstig was van een brazzaameerkat (een aap), een moerasantilope, een Afrikaans kwaststaartstekelvarken, penseelzwijnen, grote rietratten en duikers (kleine holhoornigen). 'Zes van de twaalf stukken vlees stemden niet overeen met wat de verkoper beweerde. Wat zagezegd van een Afrikaanse buffel was, bleek rundsvlees. De koper weet dus niet wat hij koopt.' Alle in België verkochte stukken vlees zijn van de soorten die op de rode lijst van de IUCN (International Union for Conservation of Nature) staan onder de categorie 'Least Concern' (niet bedreigd). Toch zijn enkele van die soorten vermeld in Bijlage II van CITES (de overeenkomst inzake de internationale handel in bedreigde in het wild levende dier- en plantensoorten), zodat ze voor hun bescherming haast niet verhandeld mogen worden.

Het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo) heeft als opdracht het wetenschappelijk en cultureel potentieel van België maximaal te benutten ten behoeve van de beleidsmakers, de industrie en de burgers: 'een beleid voor en door de wetenschap'. Het reproduceren van uittreksels uit deze publicatie is toegestaan voor zover daar geen commerciële bedoelingen mee gepaard gaan en voor zover het past in de opdrachten van het Federaal Wetenschapsbeleid. De Belgische Staat kan niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die voortvloeit uit het gebruik van gegevens die in deze publicatie zijn opgenomen.

Het Federaal Wetenschapsbeleid noch enige andere persoon die in zijn naam optreedt is verantwoordelijk voor het gebruik dat zou kunnen worden gemaakt van de informatie in deze publicatie of voor eventuele fouten die er, ondanks de uiterste zorg bij de voorbereiding van de teksten, nog in zouden staan.

Het Federaal Wetenschapsbeleid heeft alle nodige moeite gedaan om te voldoen aan de wettelijke voorschriften inzake auteursrechten en om contact op te nemen met de rechthebbenden. Elke persoon die benadeeld meent te zijn en zijn rechten wil laten gelden wordt verzocht zich bekend te maken.

© Federaal Wetenschapsbeleid 2020 / Reproductie is toegelaten mits bronvermelding. / Mag niet worden verkocht.

**Verantwoordelijke uitgever:**

Pierre Bruyere  
WTC III  
Simon Bolivarlaan 30  
B-1000 Brussel

**Coördinatie :**

Patrick Ribouville  
scienceconnection@belspo.be  
www.scienceconnection.be

**Werken mee aan dit nummer:**

Alexandra Badila (Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen), Hans Beeckman (Koninklijk Museum voor Midden-Afrika), Joëlle Bertrand (Federaal Wetenschapsbeleid), Anneleen Bruylant (Federaal Wetenschapsbeleid), Laurence Burnotte (Federaal Wetenschapsbeleid), Vinciane Dehant (Federaal Wetenschapsbeleid), Corneille Ewango (Université de Kisangani), Nadia Fadil (KU Leuven-Interculturalism, Migration and Minorities Research Centre/IMMRC), Stéphanie Fratta (Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie), Wannes Hubau (Koninklijk Museum voor Midden-Afrika), Silke Jaminé (KU Leuven-Interculturalism, Migration and Minorities Research Centre/IMMRC), Simon Lewis (Leeds University), Jacques Lust (Federaal Wetenschapsbeleid), John Tshibamba Mukendi (Université de Mbujimaji), Sofie Onghena (Algemeen Rijksarchief), Patrick Ribouville (Federaal Wetenschapsbeleid), André Spithoven (Federaal Wetenschapsbeleid), Pierre-Alain Tallier (Algemeen Rijksarchief), Jonas Van de Voorde (Koninklijk Museum voor Midden-Afrika), Michel Van Roozendael (Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie) en Reinout Verbeke (Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen).

De auteurs zijn verantwoordelijk voor de inhoud van hun bijdragen.

Foto voorpagina: © Kath Jeffery

**Oplage:**

14.000 exemplaren in het Nederlands en in het Frans

**Abonnement :**

www.scienceconnection.be

Science Connection staat in pdf-formaat op [www.belspo.be](http://www.belspo.be)

Fout in uw naam? Onvolledig adres? Verkeerde post-code? Meld het ons per e-mail of stuur het omslag-etiket verbeterd terug.

**Lay-out en druk:**

Fedopress

gedrukt met plantaardige inkt op een papier geproduceerd met respect voor het milieu.





Voornaam

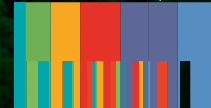
Naam

Adres

Code Gemeente

België

Federaal Wetenschapsbeleid



**belspo**

[www.belspo.be](http://www.belspo.be)