



Belgische expertise om de klimaatuitdaging het hoofd te bieden

De klimaatvraagstukken zijn zo groot en complex, dat de internationale wetenschappelijke gemeenschap almaar vaker wordt ingeschakeld om op een gecoördineerde manier op verschillende fronten onderzoek te verrichten om:

- een beter inzicht in de klimaatverandering te krijgen;
- de gevolgen van de klimaatverandering te analyseren en te voorspellen;
- maatregelen voor te stellen om de opwarming te beperken en om ons eraan aan te passen.

Nationale onderzoeksprogramma's om klimaatveranderingen en hun gevolgen te bestuderen

BELSPO steunt verschillende instrumenten en werkt financieringsregelingen uit om Belgische wetenschappers een plaats in de voorhoede van het klimaatonderzoek te verzekeren. In de voorbeelden hierna schetsen we een beeld van de bijdrage die Belgische wetenschappers aan de Europese en

internationale onderzoeksinspanningen leveren. Ze maken meteen ook duidelijk welke buitengewone diversiteit aan expertises nodig is om op deze problematiek vat te krijgen.

BELSPO ontwikkelt en implementeert sinds 1988 meerjarige programma's voor onderzoek over klimaatverandering in netwerkverband. De onderzoeksactiviteiten – zowel fundamentele als toegepaste – coveren heel wat thema's en buigen zich over verschillende tijdschalen en klimaatzones, onder meer over Antarctica, een regio die heel gevoelig is voor klimaatveranderingen. Dankzij de interdisciplinaire aanpak die inherent is aan deze programma's, hebben we vandaag voldoende kennis verzameld om nieuwe 'klimaatdiensten' aan te bieden en om een duurzaam ontwikkelingsbeleid te ondersteunen.

Op het vlak van ruimteactiviteiten is BELSPO verantwoordelijk voor de Belgische bijdrage aan ESA. Dit biedt BELSPO de mogelijkheid om Belgische actoren te betrekken bij heel wat projecten en activiteiten die in het teken van klimaatverandering staan, onder meer in het kader van het CCI-programma (*Climate Change Initiative*).

BELSPO zette in 1985 een Belgisch onderzoeksprogramma voor aardobservatie op dat nu nog steeds onder de naam STEREO loopt. Een van de STEREO-doelstellingen is het bestuderen van de wisselwerking tussen veranderingen in de bodembedekking en klimaatveranderingen.

Science Connection-special Het klimaatonderzoek in België

Inleiding	4
1. Klimaatstelsel en -evoluties	4
1.1. Langetermijnmonitoring	4
1.2. Dynamiek van het klimaatstelsel	8
1.3. Klimaatprojecties	18
2. Klimaatimpacts en kwetsbaarheden	20
3. Klimaatadaptatie en mitigatiemaatregelen	27

Satellieten zijn dé instrumenten bij uitstek om wereldwijd de wisselwerking tussen oceanen, continenten en de atmosfeer te monitoren. Andere thematische projecten buigen zich over de impact van klimaatveranderingen op een hele resem domeinen: de voedselveiligheid, het mariene milieu, risicobeheersing, gezondheidsproblemen, de biodiversiteit, het cultureel erfgoed, enz.

Ons nationaal klimaatonderzoek sluit naadloos aan bij de Europese en internationale strategieën

BELSPO en de federale wetenschappelijke instellingen (FWI) nemen deel aan Copernicus. Met dit programma wil de Europese Unie in Europa operationele diensten opzetten om toegang tot milieu-informatie te krijgen.

Daarnaast zijn ze ook betrokken bij Europese initiatieven voor gezamenlijke programmering. Eén ervan is JPI (*Joint Programming Initiative*) Climate waarvan het secretariaat bij BELSPO is ondergebracht. Bij JPI Climate zijn 16 landen betrokken die samen hun klimaatonderzoek coördineren. 40 financieringsagentschappen en instanties die instaan voor de uitvoering van het onderzoek (voor België zijn dit het KMI en BELSPO) zorgen samen met de Europese Commissie voor een budget van 72 miljoen euro om klimaatdiensten te ontwikkelen.

De Intergouvernementele werkgroep inzake klimaatverandering (IPCC): tussen wetenschap en besluitvorming

BELSPO is het nationale aanspreekpunt van het IPCC. Met de hulp van het team van Prof. van Ypersele (UCL) is België al meer dan 15 jaar actief betrokken bij de werkzaamheden van het IPCC. Dit orgaan werd opgericht om de beleidsmakers up-to-date en zo objectief mogelijke wetenschappelijke, technische en sociaaleconomische informatie te bezorgen die nodig is om strategieën uit te werken om de klimaatverandering aan te pakken.

Tijdens de 21ste Conference of Parties (COP21) in Parijs eind 2015 werd op basis van het recentste evaluatierapport van het IPCC het nieuwe internationale akkoord uitgewerkt om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen.

Klimaatinstrumenten

Om de kennis over de evolutie van het klimaat te verfijnen en een wetenschappelijk onderbouwde basis voor de beleidsmakers aan te reiken, moeten op Europees en internationaal niveau maatregelen op elkaar worden afgestemd en uiterst nauwkeurige gegevens beschikbaar zijn.

- De pan-Europese ICOS-RI-infrastructuur verbindt meer dan 100 stations met elkaar die de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer en hun flux in mariene en terres-

trische ecosystemen meten. België stelt 10 meetstations ter beschikking. Eén ervan bevindt zich aan boord van het oceanografische schip A962 Belgica en verzamelt continu allerlei gegevens zoals pH en CO₂.

- In samenwerking met ESA heeft België de satellieten SPOT-VEGETATION en PROBA-V ontwikkeld. Die leveren sinds 1998 hoogwaardige gegevens aan de internationale gemeenschap die een permanente follow-up van de wereldwijde staat van de vegetatie op dagelijkse basis mogelijk maken. Een dergelijk instrument is cruciaal om de koolstofstocks te evalueren en om de impact van klimaatveranderingen te monitoren. Daarom zit er nu al een opvolger voor PROBA-V in de pijplijn.

- 6 families aardobservatiesatellieten – de Sentinels – leveren in het kader van Copernicus naast informatie over de vegetatie, de stedelijke gebieden en de oceanen ook gegevens over de concentratie van broeikasgassen, de temperatuur en de luchtkwaliteit.

- EUMETSAT, de Europese organisatie voor de exploitatie van meteorologische satellieten, beheert een heuse vloot geosynchrone en polaire satellieten die essentiële gegevens aanleveren om het weer, het klimaat en het milieu te monitoren.

De auteurs

Aline van der Werf (Directie Onderzoeksprogramma's-BELSPO) en Martine Stélandre (Directie Lucht- en ruimtevaarttoepassingen-BELSPO)

Meer

BELSPO (1985-2016): Programma's GC - PODOI - POD02 - SSD - BRAIN-be - STEREO:

www.belspo.be/belspo/research/index_nl.stm

ESA's CCI: <http://cci.esa.int>

Copernicus – Sentinels: <http://copernicus.eu>

JPI climate: [www.jpi-climate.eu](http://jpi-climate.eu)

GIEC: www.ipcc.ch

ICOS: www.icos-ri.eu

BELGICA: <http://odnature.naturalsciences.be/belgica>

PROBA-V: <http://proba-v.vgt.vito.be>

EUMETSAT: www.eumetsat.int

DEEL 1: KLIMAATSYSTEEM EN -EVOLUTIES

1.1. LANGETERMIJNMONITORING

De evolutie van het klimaat in België

KLIMAATARCHIEVEN BENUTTEN OM DE EVOLUTIE VAN HET REGIONALE KLIMAAT IN BELGIË TE BESTUDEREN

De lange series van klimaatgegevens van het meetstation in Ukkel geven de grote lijnen weer van de evolutie van het klimaat in België gedurende meer dan honderd jaar. Lopende onderzoeken zullen het mogelijk maken om die evolutie ook voor andere plaatsen in het land te kenschetsen.

Evolutie van het klimaat in Ukkel

Het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) publiceerde vorig jaar de brochure *Oog voor het klimaat 2015* die een overzicht geeft van de onderzoeksactiviteiten van het Instituut in het kader van de klimaatveranderingen¹. Een hoofdstuk is gewijd aan de evolutie van het klimaat in België gedurende meer dan honderd jaar. Hiervoor werd vooral een beroep gedaan op klimaatgegevens van het referentieweerstation in Ukkel waar sinds 1880 elke dag verschillende meteorologische parameters worden gemeten. Die metingen gebeuren al sinds 1833, maar werden toen in het Observatorium in Sint-Joost-ten-Node uitgevoerd. Uit de analyses blijkt dat het klimaat in de streek rond Brussel sinds het begin van de 20ste eeuw is geëvolueerd. Opvallend is de stijging van de gemiddelde jaartemperatuur met ongeveer 2 °C. De vier warmste jaren dateren allemaal van na 2005. De gemiddelde windsnelheid is de afgelopen decennia afgenomen, terwijl de jaarlijkse maxi-

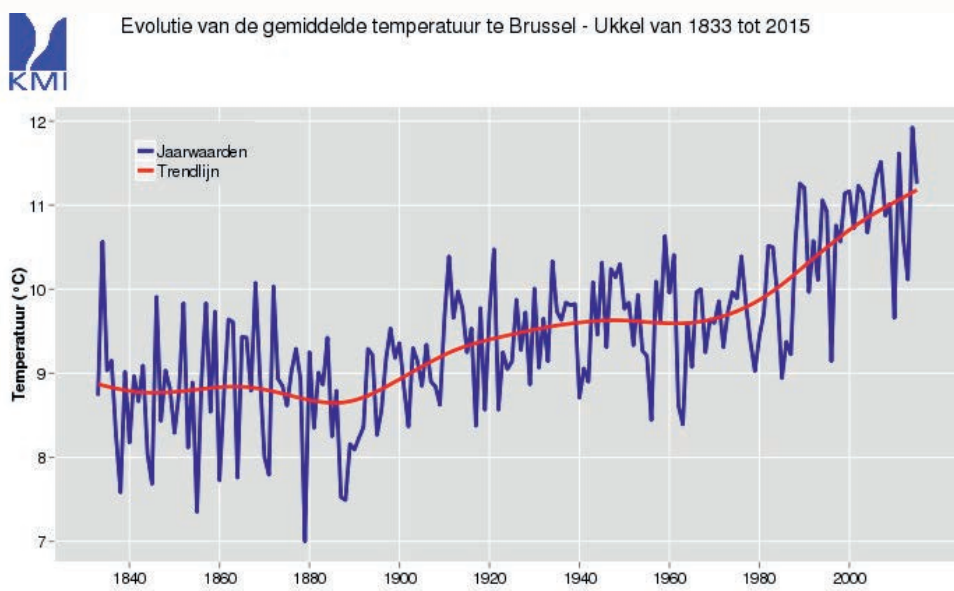
male neerslaghoeveelheden die in een periode van enkele dagen vielen, duidelijk zijn toegenomen. Er kan wel geen langetermijntendens worden afgeleid voor het aantal uren zonneshijns, de maximale jaarlijkse neerslaghoeveelheden per uur of de stormfrequentie.

Digitalisering van lange series waarnemingen

Om de evolutie van het klimaat op andere plaatsen in België te bestuderen, moeten we over andere hoogwaardige lange series waarnemingen kunnen beschikken. In het kader van de programma's voor digitalisering van het wetenschappelijk en cultureel patrimonium van de federale wetenschappelijke instellingen die BELSPO financiert, is het KMI intussen al enkele jaren bezig met het systematisch digitaliseren van de klimatologische waarnemingen die sinds 1880 door het Belgische klimatologisch netwerk worden uitgevoerd. Intussen zijn al bijna 5 miljoen daggegevens ingevoerd. Het gaat om daggegevens over de neerslag en de minimum- en maximumtemperaturen.

Studie van het regionaal klimaat

De studie van de evolutie van het klimaat aan de hand van ruwe instrumentele gegevens gaat gepaard met een aantal specifieke problemen. Naast de onvermijdelijke



Afbeelding 1. Evolutie van de gemiddelde jaartemperatuur in Brussel/Ukkel van 1833 tot 2015. De temperaturen werden herleid naar die in een gesloten thermometerhut die sinds 1880 als referentiehut wordt gebruikt.



Afbeelding 2. Een voorbeeld van de veranderde meetomstandigheden: in het klimatologisch park in Ukkel worden sinds het einde van de 19de eeuw verschillende types thermometerhutten (halfopen, gesloten) gebruikt.

aanwezigheid van foute waarden in de series waarnemingen, kunnen allerhande wijzigingen in de meetomstandigheden in de loop van de jaren (zoals het gebruik van andere instrumenten of hutten, de verplaatsing van meetstations enz.) leiden tot significante variaties in de series metingen die het klimaatsignaal kunnen vertekenen. Daarom is het van het grootste belang om die afwijkingen in de gegevensreeksen op te sporen en bij te sturen (ook wel het 'homogeniseren' van de waarnemingsreeksen genoemd). Het KMI is onlangs gestart met het opstellen van lange series gevalideerde en gehomogeniseerde thermometrische en pluviometrische waarnemingen voor verschillende plaatsen in het land ². Deze referentieseries zullen het mogelijk maken om in de toekomst betrouwbare diagnoses op te stellen over de evolutie van het klimaat in België, zowel op nationaal als op regionaal vlak.

De auteurs

Christian Tricot en Cédric Bertrand, Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI), Wetenschappelijke dienst Meteorologische en klimatologische inlichtingen

Noten

¹www.meteo.be/resources/20150508vigilance-oogklimaat/vigilance_climatique_IRM_2015_WEB_NL_BAT.pdf

2 Dit regionaal klimaatonderzoek, dat door BELSPO wordt gefinancierd, loopt momenteel via de projecten 'Belgian Homogenized Long-term Reference Climate Time Series' (BEL-HORNET, BRAIN.be) en 'Development of a gridded dataset of daily climate data for Belgium' (met inzet van extra onderzoekers).

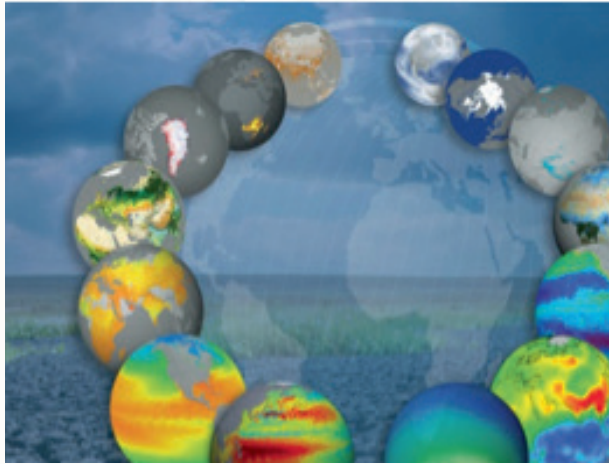
[illegible]

Afbeelding 3. Voorbeeld van een klimatologisch maandbericht voor juni 1947 van het meetstation in Haacht. De waarnemer heeft voor elke dag de minimum- en maximumtemperatuur en de neerslaghoeveelheid genoteerd. Daarnaast vermeldt hij nog een aantal andere inlichtingen (zichtbaarheid, bewolgingsgraad, meteorologische fenomenen). Opvallend is de maximumtemperatuur van 38,7 °C vermeld voor 28 juni (registratiedatum), die echter overeenstemt met de maximumtemperatuur van de dag voordien, 27 juni. Dit was een van de warmste dagen in het land sinds het einde van de 19de eeuw.

Evolutie van de atmosfeer in een veranderend klimaat

MINUTIEUZE OPVOLGING VAN OZON, BROEIKASGASSEN EN AEROSOLEN OP LANGE TERMIJN

Figuur 1: Het klimaat op aarde ondergaat al sinds jaar en dag natuurlijke variaties. Deze natuurlijke variabiliteit onderscheiden van veranderingen door de mens geïntroduceerd, is belangrijk om de uitdagingen van vandaag aan te gaan. Gegevens van satellieten die de aarde bestuderen zijn cruciaal voor het opvolgen van de belangrijkste parameters in de klimaatverandering; de essentiële klimaatvariabelen. ©ESA



Klimaatverandering is één van de grootste uitdagingen waar onze generatie en die van onze kinderen en kleinkinderen tegenaan kijkt in de 21ste eeuw. Observaties vanop de grond en vanuit de ruimte van onze atmosfeer, de oceanen en het aardse vasteland leveren unieke informatie die van groot belang is voor het begrijpen en het aanpakken van klimaatverandering.

ESA's Climate Change Initiative

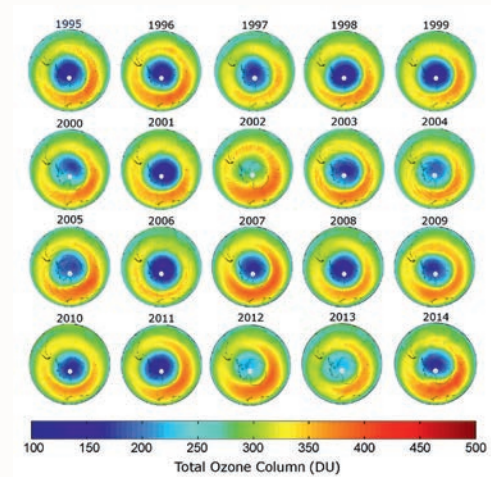
Als antwoord op de nood aan betrouwbare en precieze klimaatgegevens werd in 2009 door het Europees Ruimtevaartagentschap (ESA) het Climate Change Initiative (CCI) opgestart. Met dit ambitieuze programma streeft ESA ernaar om voor 14 essentiële klimaatvariabelen (ECV) stabiele multisensor-tijdsreeksen van satellietwaarnemingen over een lange termijn te genereren inclusief informatie over hun fouten en onzekerheden. Dergelijke datasets vormen een krachtig hulpmiddel om de toestand van het klimaatsysteem op te volgen, de drijvende mechanismen achter zijn evolutie beter te begrijpen en de gevolgen van een veranderend klimaat door middel van complexe modellen te voorspellen.

Het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) is actief betrokken bij de studie van drie van deze essentiële klimaatvariabelen: ozon (Ozone_CCI), broeikasgassen (GHG_CCI) en aerosolen (Aerosol_CCI). Het instituut produceert datasets die toelaten de wisselwerking tussen de veranderende concentraties van deze elementen en de stralingsbalans van de atmosfeer te bestuderen, processen die aan de basis liggen van klimaatverandering.

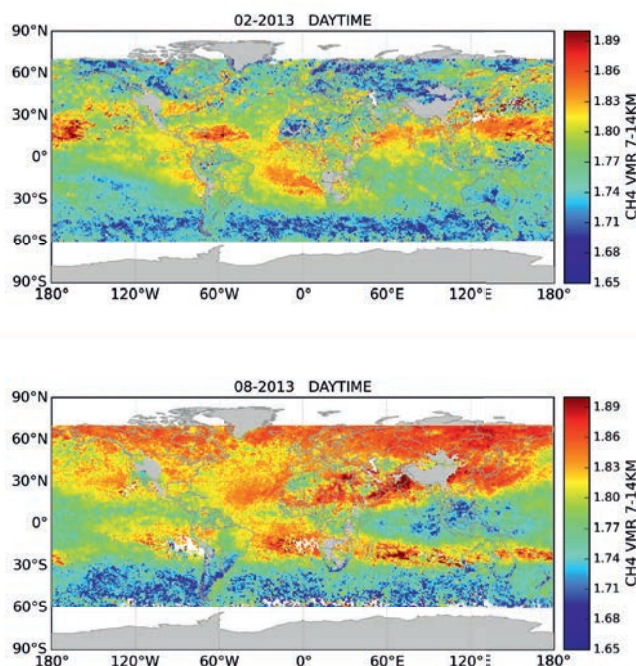
Langetermijnobservaties van ozon

De studie van de interacties tussen de ozonlaag en het klimaat vereist observaties die zich minimum over enkele decennia uitspreiden. Gezien de beperkte levensduur van een satellietmissie is het cruciaal om de observaties die door verschillende instrumenten aangeleverd worden zo optimaal mogelijk op elkaar af te stemmen, om op die manier zeer lange tijdreeksen te bekomen die nuttig zijn voor klimatologisch onderzoek.

Het BIRA levert een substantiële bijdrage tot deze inspanning, zowel door haar betrokkenheid in internationale netwerken van grondmetingen als door de coördinatie van het Ozone_CCI project en haar prominente deelname hierin. Eén van de grootste behaalde successen was de productie van multisensor-gegevens, gebaseerd op waarnemingen van de instrumenten GOME, SCIAMACHY, GOME-2 en OMI, voor totale ozonkolommen, die de hoeveelheid ozon boven een bepaalde plaats op aarde weergeven. De validatie van deze dataset, die een periode van bijna 20 jaar beslaat, heeft bevestigd dat de kwaliteit ervan inderdaad uitstekend voldoet voor de studie van de klimaat-evolutie.



Figuur 2: Evolutie van de totale ozonkolom boven Antarctica over de laatste 20 jaar, afgeleid uit de ozontijdreeksen opgemeten door de Europese instrumenten GOME, SCIAMACHY, GOME-2 en OMI. Op basis van huidige projecties, die rekening houden met de wisselwerking tussen ozon en klimaatverandering, verwacht men niet dat het ozongat zal herstellen vóór 2050.



Figuur 3: De gemiddelde maandwaarden voor methaan in het gebied tussen 7 en 14 km voor februari 2013 en augustus 2013 illustreren duidelijk de toename van methaan in de atmosfeer tijdens de boreale zomerperiode.

Precisiemetingen van broeikasgassen

De twee bekendste chemische componenten die in de klimaatproblematiek een rol spelen, zijn koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4). Om waardevolle informatie te leveren voor de bepaling van methaanfluxen op basis van atmosfermodellen waar de waargenomen concentraties in opgenomen zijn, moeten de concentraties met grote precisie (beter dan 2%) gemeten worden. Satellieten hebben het daar nog moeilijk mee, maar er wordt hard gewerkt aan de verbetering van de satellietgegevens.

In het kader van GHG_CCI is het BIRA verantwoordelijk voor de validatie van de satellietgegevens voor CO_2 en CH_4 aan de hand van goed gekarakteriseerde waarnemingen vanaf de grond, onder meer binnen het TCCON-netwerk (Total Carbon Column Observing Network). Sinds 2011 onderhoudt en exploiteert het BIRA een waarnemingsstation op Ile de La Réunion en in 2016 zal het, met de steun van BELSPO, een nieuw station opstellen in Porto Velho in het Amazonewoud, waar momenteel nog onzekerheid bestaat over de betrouwbaarheid van de satellietgegevens. Het BIRA werkt ook aan de generatie van nieuwe datasets met satellietgegevens voor CH_4 , met een verhoogde gevoeligheid voor de concentraties aan het aardoppervlak, waar methaan geproduceerd wordt, en met meer details over de verticale verdeling ervan in de troposfeer.

De rol van aerosolen

Woestijnzand-aerosolen (stof, zand), door windschering de atmosfeer ingeblazen, zijn voornamelijk van natuurlijke oorsprong, maar worden evengoed beïnvloed door menselijke activiteiten via woestijnvorming, ontbossing en bodemgebruik. Ze beïnvloeden het klimaat op verschillende manieren, soms met tegenovergestelde effecten, die het erg moeilijk maken om hun uiteindelijke effect op de oppervlaktetemperatuur van de aarde te bepalen. Verschillende parameters spelen hierin een rol waarvan de verticale verdeling van de aerosolen één van de belangrijkste is. Vandaar dat het BIRA zijn onderzoek vooral hierop focust. Aan de hand van nadirmetingen door



Figuur 4: Op 10 mei 2003 barstte de vulkaan Anatahan uit, een eerder bescheiden vulkaan van de Marianen. Hoewel, op globaal niveau, het effect van deze uitbarsting erg beperkt is, vermoeden sommige wetenschappers dat de accumulatie van dergelijke uitbarstingen in de tropische regio aanleiding gegeven heeft tot de graduele stijging van de hoeveelheid aerosolen in de stratosfeer sinds 2000. Anderen leggen de oorzaak voor de stijging voornamelijk bij de mens (kooexploitatie, huiselijke en stedelijke vervuiling). De GOMOS-tijdreeks zou hier verduidelijkend moeten in brengen. © USGS

de IASI-satelliet in het infrarood is men er voor het eerst in geslaagd uit kolomgegevens informatie over twee onafhankelijke aerosollagen te distilleren.

Niet alleen in de troposfeer spelen aerosolen een rol. Via de globale atmosferische circulatie kunnen ze ook de stratosfeer bereiken, vooral bij zeer krachtige vulkaanuitbarstingen. Door hun invloed op de straling, de fysico-chemie en de dynamica van de atmosfeer, zijn ze in zo'n periode bepalende actoren van het klimaat. Huidige klimaatmodellen maken hoofdzakelijk gebruik van klimatologieën van stratosferische aerosolen, op basis van historische satellietexperimenten. Aan de hand van sterocculatiemetingen door het GOMOS-instrument aan boord van Envisat hebben de wetenschappers van het BIRA tijdreeksen van stratosferische aerosolgegevens weten te creëren. Deze worden o.m. gebruikt voor een inventaris van de aerosolbronnen, met als doel de respectievelijke invloed van vulkanen en van menselijke bronnen in de graduele stijging van de hoeveelheid aerosolen in de stratosfeer sinds 2000 te identificeren.

Investering in de toekomst

Het BIRA zal zich ook in de toekomst blijven engageren in het klimaatonderzoek, niet alleen binnen Europese, maar ook binnen Belgische programma's. Zo wordt momenteel volop gewerkt aan de voorbereiding van de ALTIUS-missie, de eerste Belgische missie voor het observeren van de stratosfeer via een microsatteliet. Het zal o.m. voor een groot aantal gassen, die in verband staan met klimaatverandering, onderzoeken in welke hoeveelheden zij voorkomen in de bovenste laag van de atmosfeer: ozon, waterdamp, stikstofdioxide, broomoxide, methaan en aerosolen.

De auteur

Karolien Lefever, Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA), Dienst Communicatie

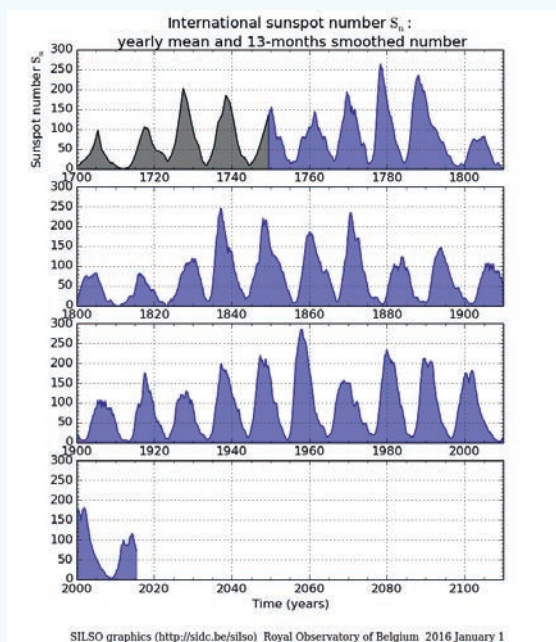
1.2. DYNAMIEK VAN HET KLIMAATSYSTEEM

Zon en klimaat

Als belangrijkste energiebron van het systeem aarde is de zon essentieel voor ons inzicht in de temperatuur van de atmosfeer, het land en de oceaan.

Systematische observatie van de zon

Al van in de oudheid worden regelmatig metingen van de zon uitgevoerd door observatie van de zonnevlekken. Maar het is Galilei die in 1610 een betrouwbare meetmethode ontwikkelde door gebruik te maken van een telescoop. Vandaag is de Koninklijke Sterrenwacht van België hét wereldcentrum voor het monitoren van de zonnevlekken. De waarnemingen wijzen op een elfjarige cyclus, maar brengen ook heel wat anomalieën aan het licht zoals het 'minimum van Maunder' (1645-1715), dat samenvalt met de 'kleine ijstijd' in Europa tussen 1600 en 1850. De eerste wetenschapper die een verband legt tussen de zon en het klimaat is William Herschell: hij toont in 2001 een samenhang aan tussen de studie van de graanprijs en de activiteit van de zon.



Afb. 1: voorstelling van de zonnecyclus sinds 1700 aan de hand van gegevens bewaard op de Koninklijke Sterrenwacht van België (document KSB).

Het ruimtetijdperk en het IPCC

Het systeem achter de invloed van de zon op het klimaat kon pas worden achterhaald door met behulp van ruimtemiddelen kwantitatieve metingen uit te voeren. De eerste meting was die van de 'zonneconstante'. De Belg Marcel Nicolet, oprichter van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie, was één van de specialisten. Het meten van zonne-ultraviolet met ballons en satellieten groeit uit tot een absolute prioriteit voor het BIRA.



Afb. 2: het SOLAR-pakket op de Europese COLUMBUS-module van het internationaal ruimtestation. SOLAR is sinds maart 2008 operationeel (document ESA).

Dirk Frimout, in 1992 onze eerste Belgische astronaut, schreef er zelfs een scriptie over. Parallel hiermee ontwikkelde het Koninklijk Meteorologisch Instituut een instrument om de zonneconstante in de ruimte te meten. De eerste Spacelab-payload aan boord van de spaceshuttle COLUMBIA in 1983 bestond uit drie zonnemeeinstrumenten waaraan de twee Ukkelse instellingen hadden meegewerkt. Dertig jaar later kunnen we dankzij deze en andere instrumenten besluiten dat de zonneconstante niet constant is! De term is nu vervangen door 'totale zonnestraling'.

Zijn de conclusies van het IPCC definitief?

De wetenschap stelt zich voortdurend in vraag. De modelresultaten die in het IPCC-rapport worden voorgesteld, houden niet met alle fenomenen rekening. Er is bijvoorbeeld het extreem ultraviolet dat veel sterker varieert dan de totale zonnestraling en chemische reacties in de hoge atmosfeer uitlokt, die het volledige systeem aarde verstoren. De waarnemingen vanuit de ruimte gaan intussen onophoudelijk door. Sinds februari 2008 observeert bijvoorbeeld een cluster van Europese instrumenten de zon vanuit het internationaal ruimtestation. Het gaat om het SOL-ACES-instrument dat ver ultraviolet meet en twee instrumenten met een grote Belgische inbreng: SOVIM (KMI) en SOLSPEC (BIRA). De waarnemingen worden geleid vanuit het B.USOC (Belgian User Support and Operation Centre) dat bij het BIRA is ondergebracht.

De auteur

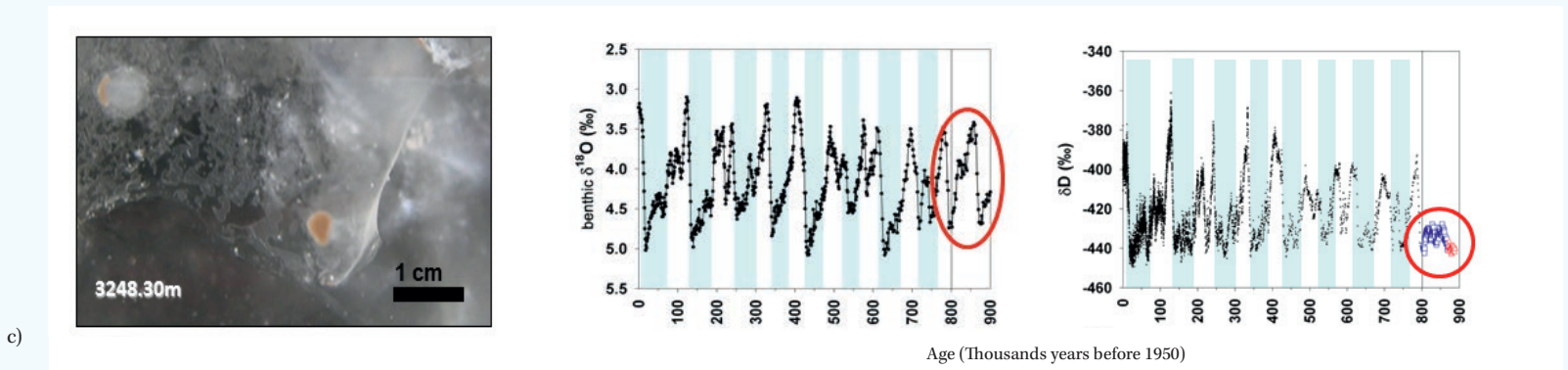
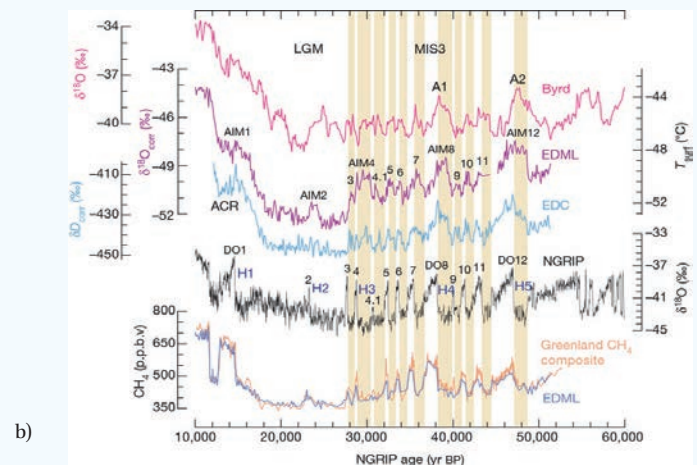
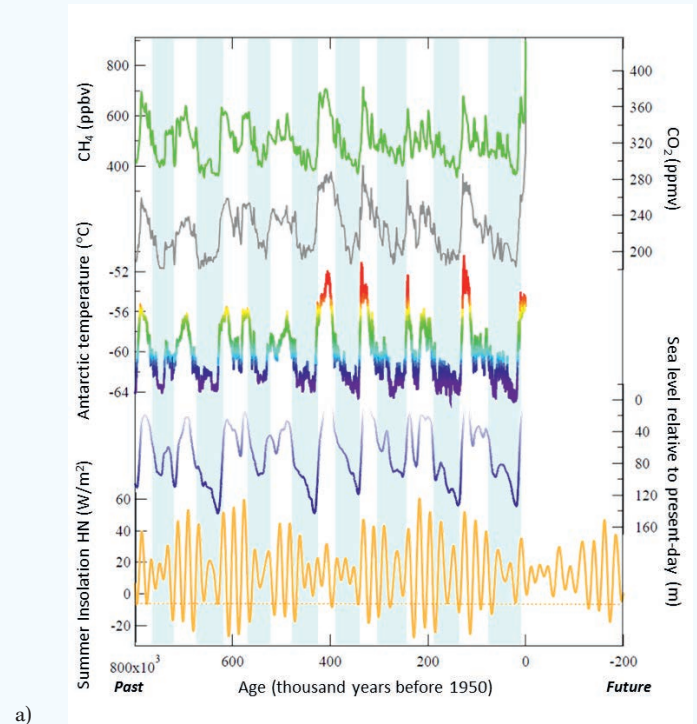
Christian Muller, Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA).

Antarctische ijskernen: het verleden ontcijferen voor de toekomst

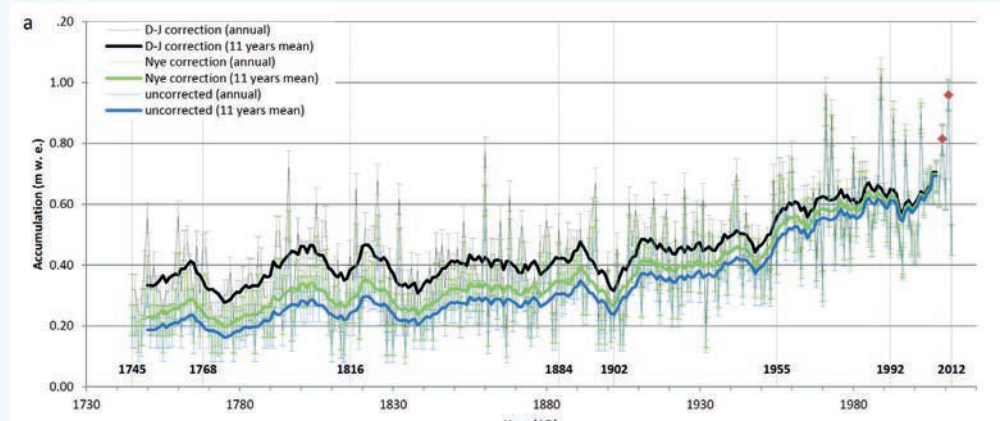
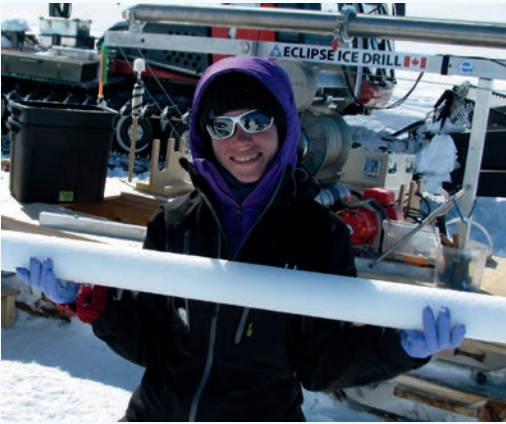
Ijsboringen op Antarctica dringen tot meer dan 3000 meter diep door in de ijskap. Aan de hand van de ijskernen kunnen een groot aantal klimaat- en milieuv variabelen worden gereconstrueerd die een periode van bijna één miljoen jaar coveren. Die variabelen laten ons toe om de essentiële elementen van het klimaat te achterhalen. Zo kunnen we globale klimaatmodellen ontwikkelen en bekrachtigen, onze enige 'instrumenten' om ons een beeld van het klimaat in de toekomst te vormen.

Het *IPICS-programma* (International Partnerships in Ice Core Sciences) coördineert het internationaal paleoklimaatonderzoek naar de ijskernen. Het programma kristalliseert uit dat onderzoek toekomstige prioriteiten volgens vier grote thema's met telkens een andere tijdschaal: a) de oudste ijskernen (> 1,5 miljoen jaar), b) de vorige interglaciale periode (130.000-110.000 jaar), c) de laatste ijstijd (40.000 jaar) en d) de twee laatste millennia. Het Laboratoire de Glaciologie van de ULB was vooral betrokken bij het onderzoek dat tot de prioriteiten a) en d) heeft geleid.

De *EPICA-boring* in Dome C gaat momenteel het verste terug in de tijd (800.000 jaar, afb. 1). Ze bevestigt de nauwe band tussen broeikasgasen, de luchttemperatuur, de zeespiegel en de stralingsforcering (zoninstraling) tijdens acht opeenvolgende klimaatcycli van ongeveer 10^5 jaar (1a). Nader onderzoek van de laatste ijstijd (1b) wijst op samenhangende variaties van de temperatuur tussen de twee hemisferen in tegenfase (koud in NH, warm in ZH) met een afwijking van 500 tot 1000 jaar. Die afwijking heeft te maken met de tijd die het water in de Atlantische Oceaan nodig heeft om de transit van de ene naar de ander pool te maken (*bipolar seesaw*). Het basale ijs in de buurt van het rotsgesteente vertoont duidelijke sporen van variaties en discrepanties met de registraties van de mariene sedimenten (1c, rood omcirkeld): botsen we hier op een grens voor onze tijdreis door het ijs?



Afbeelding 1: paleoklimaatgegevens van het EPICA-project: a) acht natuurlijke klimaatcycli (ijstijden in het lichtblauw): temperaturen, broeikasgassen, zeespiegel (Masson-Delmotte et al., 2010); b) synchronisatie NH (NGRIP)/ZH (EDC, EDML) tijdens de laatste ijstijd (EPICA Community, 2006) en c) discrepantie tussen temperatuurproxy's in mariene sedimenten (benthic $\delta^{18}\text{O}$, laag) en in het basale ijs (hoog en midden: $\delta\text{D}_{\text{glace}}$) van EPICA (Tison et al., 2015).



Afbeelding 2: Boring van 120 m ter hoogte van de Derwael Ice Rise (Princess Ragnhild Coast, in de buurt van de Prinses Elisabethbasis). Links: firnkern, rechts: reconstructie van de accumulatiegraad in meters waterequivalent (blauw: metingen, groen en zwart: twee soorten correcties voor de ijsvorming bovenop de dichtheidswijziging). Dunne lijnen = jaarwaarden, dikke lijnen = afvlakking 11 jaar.

De overgang naar het Antropoceen documenteren (tijdperk waarin de mens het klimaat beïnvloedt) is een andere prioriteit vandaag. Hoewel het merendeel van de oppervlakteboringen in het noord-oostelijke deel van Antarctica (Atlantische kust) geen duidelijke aanwijzingen opleveren voor de verwachte toename van de neerslag in het kader van de overgang naar de antropogene opwarming, heeft een kustboring met een lengte van 120 meter ter hoogte van de Derwael Ice Rise (Prinses Elisabethbasis) als eerste deze tendens (afbeelding 2) onomstotelijk aangetoond (Philippe et al., 2016).

En morgen? De volgende uitdaging zal erin bestaan om op Antarctica een plek te vinden om ijsstalen van meer dan één miljoen jaar te nemen die niet verstoord zijn door de nabijheid van het rotsgesteente en die niet gesmolten zijn als gevolg van geothermische schommelingen. Een unieke gelegenheid om het milieu en het klimaat te documenteren van een periode met natuurlijke klimaatcycli van 40.000 jaar!

De auteur

Jean-Louis Tison, Université libre de Bruxelles, Laboratoire de Glaciologie

Meer

- IPICS-website: <http://www.scar.org/ssg/physical-sciences/ipics>
- Masson-Delmotte, V. et al., 2010. EPICE Dome C record of glacial and interglacial intensities, *Quaternary Science Reviews*, v. 29, p. 113-128.
- www.climat-en-questions.fr
- EPICA Community Members, 2006. One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica
- Tison et al., 2015. Retrieving the paleoclimatic signal from the deeper part of the EPICA Dome C ice core, *The Cryosphere*, 9, 1633-1648.
- Philippe et al. 2016. Ice core evidence for recent increase in snow accumulation in Coastal Dronning Maud land, Antarctica, *The Cryosphere*, submitted.

Smelten van ijs en zeespiegelstijging

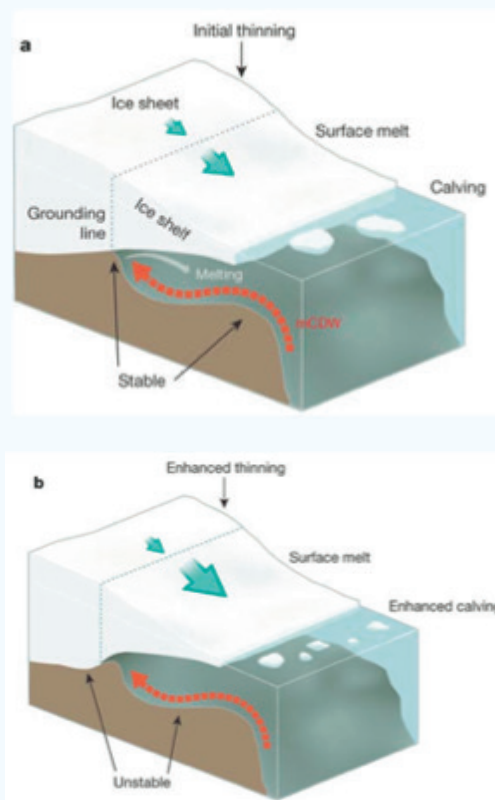
Gedurende de 20ste eeuw is de globale zeespiegel met ongeveer 20 cm gestegen en dit proces versnelt sinds de aanvang van de 21ste eeuw. Het meest dominante effect in zeespiegelstijging is thermische expansie van de oceanen. Dit komt door het opwarmen en mengen van de bovenste oceanlagen, waardoor het volume toeneemt. De tweede meest belangrijke bijdrage komt van continentaal ijs (gletsjers, ijskappen en de Groenlandse en Antarctische ijskap) die water of ijs verliezen aan de oceanen in een ijtempo.

Voor de Groenlandse ijskap (Figuur 1 - boven) is het ijsverlies gedomineerd door smelten aan het oppervlak en afvloeien van smeltwater. Verder komt ook nog ijsverlies voor van kustgletsjers in contact met de oceaan. De ijskap wint ook aan massa in het centrum door verhoogde sneeuwval, maar deze winst is tenietgedaan door het massale ijsverlies aan de rand.



Figuur 1 (boven): Massabalans van de Antarctische en Groenlandse ijskap volgens verschillende studies (Hanna et al., 2013). Een massaverlies van ongeveer 360 Gt komt overeen met een zeespiegelstijging van 1 mm. (Bron: Hanna et al., 2013, Nature)

Figuur 2 (rechts): (a) Warm Circumpolair Diep Water (mCDW) leidt tot smelten aan de scharnierlijn (grounding line), hetgeen leidt tot verdunning van de ijsplaat (ice shelf), terugtrekking van de scharnierlijn en verdunning van de ijskap. (b) Ijskapinstabiliteit gebeurt wanneer de scharnierlijn zich terugtrekt op een inlandse helling van de bedrock. (Bron: Hanna et al., 2013, Nature)



Massaverlies van de Antarctische ijskap (Figuur 1 - onder) is vooral geconcentreerd in West-Antarctische kustgletsjers. Dit verlies is groter dan de ijsgroei door een toename van de neerslag over de hele Antarctische ijskap. Het massaverlies vertaalt zich in een verdunning van de ijskap, een stevast versnellen van kustgletsjers en een terugtrekking van het contact van de gletsjers met de oceaan (Figuur 2). Een toename van ijsflux op dit contact (scharnierlijn) maakt dat meer ijs in de oceaan wordt gedumpt, wat de zeespiegel doet stijgen. Desintegratie van ijsplaten (drijvend landijs - 'ice shelves') helpt die versnelling, wat leidt tot een niet te stoppen ijsverlies. Zo een destabilisatie wordt in de hand gewerkt door het smelten onderaan de ijsplaat: warm en zout oceaanwater (mCDW) op een diepte van verschillende kilometers onder de continentale plaat maakt stilaan zijn weg naar de ijsplaten en de scharnierlijn.

De toekomst van de zeespiegel hangt af hoe de verschillende bijdragen tot de zeespiegel zullen reageren op een veranderend klimaat. We gebruiken computermodellen om de toekomstige zeespiegel te voorspellen, maar de tijdschaal, de grootte en de snelheid van verandering verschilt van model tot model. Volgens het IPCC-rapport wordt een zeespiegelstijging van 30-60 cm verwacht voor 2100. De zeespiegel zou wel met een meter kunnen stijgen tegen 2100 voor een business-as-usualscenario, maar minder dan 140 cm volgens enkele recente studies. Ondanks vereende inspanningen in Parijs in december om de globale temperatuur onder 2°C te houden (in vergelijking tot pre-industriële waarden), zal de zeespiegel blijven stijgen gedurende de volgende eeuwen.

rende de volgende eeuwen.

Recent BELSPO-onderzoek uitgevoerd door de ULB in het kader van het Princess Elisabethonderzoeksstation op Antarctica legt de mechanismen bloot die de stabiliteit van ijsplaten garanderen, waardoor computermodellen die ijsverlies voorspellen heel wat robuuster zijn geworden.

De auteurs

Frank Pattyn en Sophie Berger, Université libre de Bruxelles, Laboratoire de Glaciologie

Referenties

- Berger, S., L. Favier, R. Drews, J.J. Derwael, F. Pattyn (2016) Uncharted pinning points and their control on the flow of Antarctic ice shelves. *J. Glaciol.*, in press
- Durand, G. and F. Pattyn (2015) Reducing uncertainties in projections of Antarctic ice mass loss. *The Cryosphere* 9, 2043-2055
- Favier, L. and F. Pattyn (2015) Antarctic ice-rise formation, evolution and stability. *Geophysical Research Letters* 42, doi:10.1002/2015GL064195.
- Hanna, E., F. Navarro, F. Pattyn, C. M. Domingues, X. Fettweis, E. R. Ivins, R. J. Nicholls, C. Ritz, B. Smith, S. Tulaczyk, P. L. Whitehouse, H. J. Zwally (2013) Ice sheet mass balance and climate change. *Nature*. 498 (7452), 51-59.
- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report.* Cambridge University Press.

Modellering van de klimaatdynamiek

Klimaatmodellen zijn onmisbare instrumenten om ons begrip van het klimaatstelsel te verbeteren en om voorspellingen te doen. Ze ontwikkelen is een werk van lange adem waar heel wat expertise en tests aan te pas komen om hun bruikbaarheid te meten.

Wat is een klimaatmodel?

Afhankelijk van de context of het domein kunnen er achter de term 'model' heel wat betekenissen schuilgaan. In de klimatologie wordt de term standaard gebruikt voor een weergave van het echte systeem die een beter begrip van de dynamiek toelaat en die het mogelijk maakt om toekomstige veranderingen te voorspellen. Een eerste stap in het ontwikkelen van een model bestaat erin om de vergelijkingen vast te stellen die de verschillende bestanddelen van het klimaatstelsel bepalen en bijvoorbeeld de volgende berekeningen te maken: de positie van oceaanstromingen, de windsnelheid, de evolutie van de temperatuur of van het wolkendeck. Deze wiskundige vergelijkingen afgeleid van de hoofdwetten van mechanica, thermodynamica, chemie of biologie, vormen wat we een mathematisch klimaatmodel noemen.

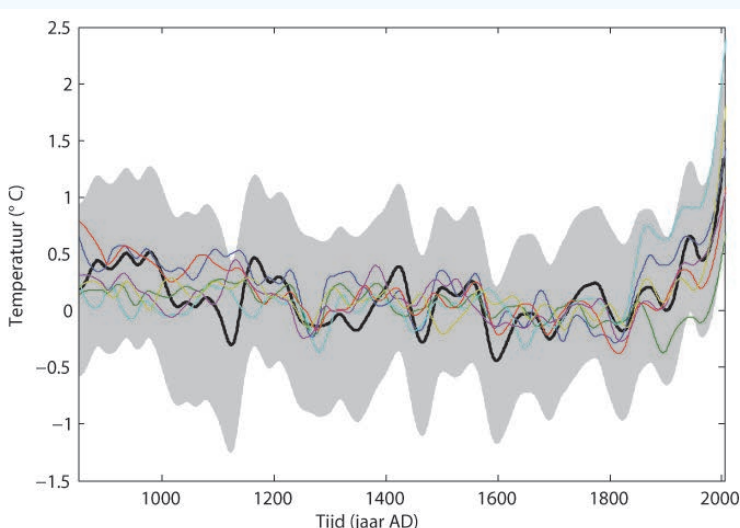
Gelet echter op de complexiteit van de klimaatdynamiek, kunnen de vergelijkingen van dit mathematisch model niet op een blad papier worden opgelost. Hiervoor is een numeriek model nodig dat een benaderende oplossing van deze vergelijking biedt met behulp van de rekenkracht van supercomputers. Deze numerieke oplossing is niet voor elk punt op aarde beschikbaar, maar is er wel al voor rasters met een omvang van 100 km op 100 km (globale modellen). Voor een fijnere dekking – ook hogere resolutie genoemd – zijn berekeningen op een groter aantal rasters

nodig, wat vandaag zelfs met de krachtigste computers onmogelijk is.

Het model valideren

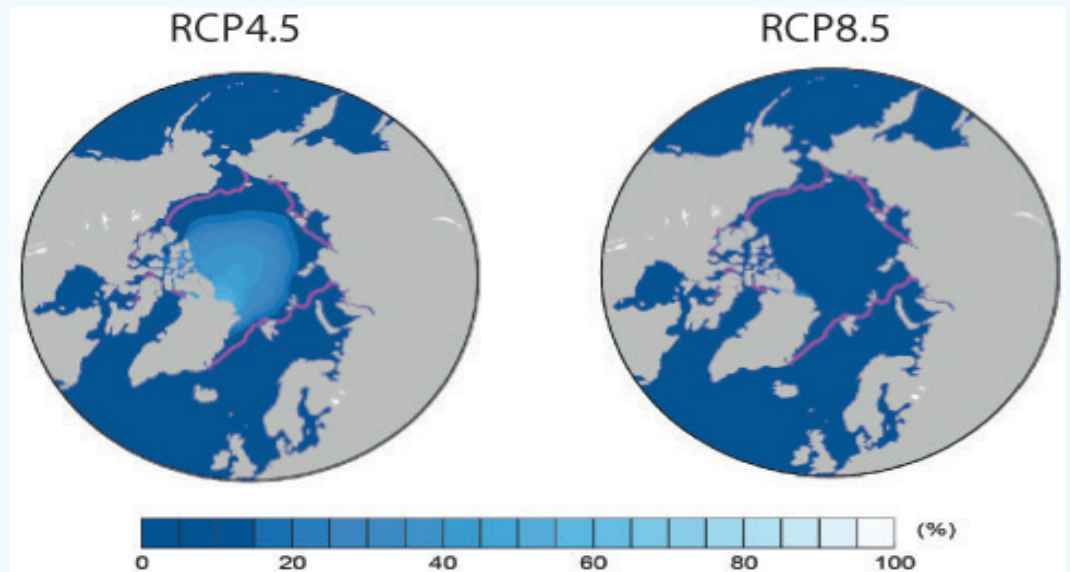
Geen enkele stap in de ontwikkeling van een klimaatmodel biedt zekerheid. De fysieke grootheden in de vergelijkingen worden niet altijd voldoende precies gemeten. Over sommige processen is er ook nog te weinig geweten en daarom kan er slechts bij benadering rekening mee worden gehouden. De numerieke oplossing van vergelijkingen moet ook zo worden gezien: bij benadering. Daarom moet de bruikbaarheid van de modellen grondig worden getest voor ze bijvoorbeeld worden ingezet om voorspellingen te maken. Een model moet het huidige klimaat eerst en vooral correct weergeven door de ruimtelijke spreiding van de temperaturen over het aardoppervlak, de seizoensgebonden neerslagcyclus voor de onderzochte breedtegraad enz. correct te simuleren.

Een goede weergave van het gemiddelde klimaat op aarde is een must, maar dit is natuurlijk maar een eerste stap. Het model moet ook eerdere klimaatveranderingen kunnen simuleren, in het bijzonder de vastgestelde opwarming gedurende de afgelopen 150 jaar. Deze recente periode waarvoor directe waarnemingen beschikbaar zijn via instrumenten zoals thermometers of sensoren aan boord van satellieten, covert echter slechts een klein deel van de vele schommelingen die de aarde tijdens haar bestaan heeft ondergaan. De modellen moeten daarom ook in staat zijn om deze veranderingen te simuleren om na te gaan of ze niet enkel gelden voor de huidige omstandigheden (afbeelding 1).



Afbeelding 1. Tijdreeksen van oppervlaktetemperaturen voor het afgelopen millennium, gereconstrueerd aan de hand van verschillende indirecte klimaatwaarnemingen (PAGES 2k consortium, 2013, zwarte lijn) en gesimuleerd met zes verschillende klimaatmodellen (gekleurde lijnen). De weergegeven temperaturen zijn de verschillen ten opzichte van een referentieperiode die overeenstemt met de jaren 1500-1800 A.D. De onzekerheid van de reconstructie is in het grijs weergegeven. Alle tijdreeksen werden met behulp van de Loess-methode gewogen met een venster van 100 jaar.

Afbeelding 2. Zee-ijscconcentratie in september (nul komt overeen met een open oceaan, 100% met een complete ijslaag), gesimuleerd voor de jaren 2081-2100 als gemiddelde van de resultaten van meer dan 35 klimaatmodellen. Het scenario RCP4.5 (links) komt overeen met een lichte verhoging van de concentratie CO₂ in de atmosfeer. De meeste modellen gaan er bij dit scenario van uit dat er ten noorden van Groenland in de zomer nog altijd zee-ijis aanwezig zal zijn, ook al zal de omvang ervan sterk afnemen. Bij het scenario RCP8.5 (rechts) echter – waarbij de concentratie CO₂ in de atmosfeer sneller toeneemt – zijn nagenoeg alle modellen het erover eens dat het zee-ijis voor het einde van de eeuw volledig verdwenen zal zijn. De rode lijn in de afbeeldingen geeft de gemiddeld waargenomen buitengrens van het zee-ijis aan voor de periode 1986-2005. Afbeelding van Collins et al. (2013)



Het aantal mogelijke tests is haast oneindig. De resultaten ervan zetten aan tot nieuwe ontwikkelingen. Daarom kan een model ook nooit als perfect worden beschouwd; de ontwikkeling en validatie vormen een continu proces. In elke fase wordt een versie van het model gebruikt waarvan dankzij de tests de pluspunten en beperkingen bekend zijn en in de wetenschap dat het volgende model normaal gezien beter zal zijn.

Voorspellingen voor de volgende decennia

Als de prestaties van de modellen in verschillende omstandigheden zijn gemeten en bevredigend zijn, kunnen deze modellen in verschillende toepassingen worden gebruikt, vooral om voorspellingen voor uiteenlopende variabelen te doen (afbeelding 2). In de klimatologie geeft men doorgaans de voorkeur aan de term projectie wanneer men het heeft over het klimaat aan het eind van de 21ste eeuw omdat het klimaat sterk afhangt van de hoeveelheid broeikasgassen (in de eerste plaats CO₂) die de komende jaren wordt uitgestoten. Over die hoeveelheid bestaat heel wat onzekerheid. Klimatologen schatten veranderingen in de toekomst daarom in op basis van verschillende uitstootscenario's voor deze broeikasgassen, maar houden ook rekening met andere vervuilende elementen, met de ontbossingsgraad enz.

Geen van deze scenario's pretendeert toekomstige omstandigheden perfect weer te geven, maar schat veranderingen in op basis van keuzes die kunnen worden gemaakt. De onzekerheid die met de scenario's gepaard gaat, is dus essentieel voor klimaatprojecties. Over heel wat variabelen bestaat nog veel onduidelijkheid, wat wijst op de enorme impact van de beslissingen die de komende

jaren worden genomen om de antropogene uitstoot van broeikasgassen te matigen. De natuurlijke variabiliteit van het klimaat, die onmogelijk voor een hele eeuw te voorspellen is, vormt samen met de benaderingen in de modellen een belangrijke bron van onzekerheid waarmee rekening moet worden gehouden bij het voorstellen van klimaatprojectieresultaten. Dit kan door de resultaten te vergelijken van simulaties gemaakt met diverse klimaatmodellen die teams in verschillende landen hebben ontwikkeld. De gemeenschappelijke kenmerken van de resultaten van deze simulaties mogen als betrouwbaar en degelijk worden beschouwd; duidelijke verschillen tussen simulaties moeten met grotere omzichtigheid worden benaderd.

De auteurs

Hugues Goosse en François Klein, Université catholique de Louvain (Earth and Life Institute, Centre de recherches sur la terre et le climat Georges Lemaître)

Referenties

- Collins M. et al. (2013) Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Verenigd Koninkrijk en New York, NY, USA.
- PAGES 2k Consortium : M. Ahmed et al. (2013) Continental-scale temperature variability during the last two millennia. Nature Geoscience 6, 339-346 DOI: 10.1038/NNGEO1797.

Biogeochemische cycli in oceanen

De mariene koolstofcyclus

De oceanen, die ongeveer 70 % van het aardoppervlak bedekken, spelen een belangrijke rol bij de uitwisseling van koolstofdioxide met de atmosfeer en vormen een groot reservoir voor dit broeikasgas. Tot op heden hebben de oceanen ongeveer 30 % van alle CO_2 geabsorbeerd dat sinds de industriële revolutie door menselijke activiteiten is uitgestoten (IPCC, 2013). De Noord-Atlantische Oceaan is een belangrijke sink voor antropogeen CO_2 (afbeelding 1). Dit natuurlijke absorptieproces heeft het atmosferische CO_2 -gehalte drastisch doen dalen en heeft een aantal effecten van de klimaatverandering verminderd. De in het water opgeloste CO_2 kan voor fotosynthese worden gebruikt en draagt zo bij tot de 'biologische pomp'. De oceanen spelen met andere woorden een cruciale rol in het tegengaan van klimaatverandering en in het vernieuwen van de belangrijkste globale biogeochemische koolstofcycli en van andere belangrijke elementen zoals nutriënten (stikstof, fosfor, zwavel, ijzer enz.) die op hun beurt een impact hebben op het klimaatstelsel.

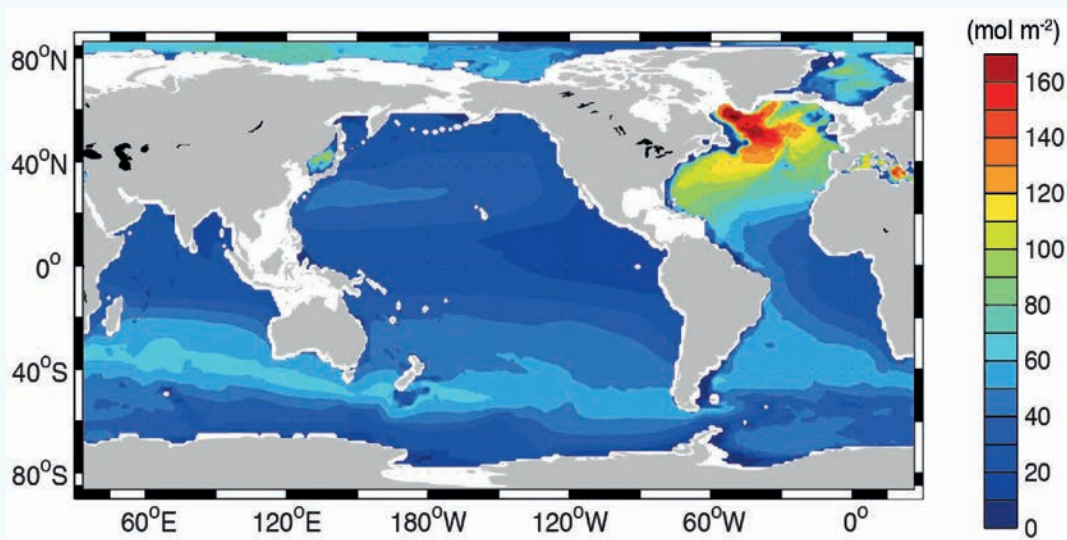
De oceaan verzuurt snel

De absorptie van antropogeen CO_2 via de 'fysische pomp'

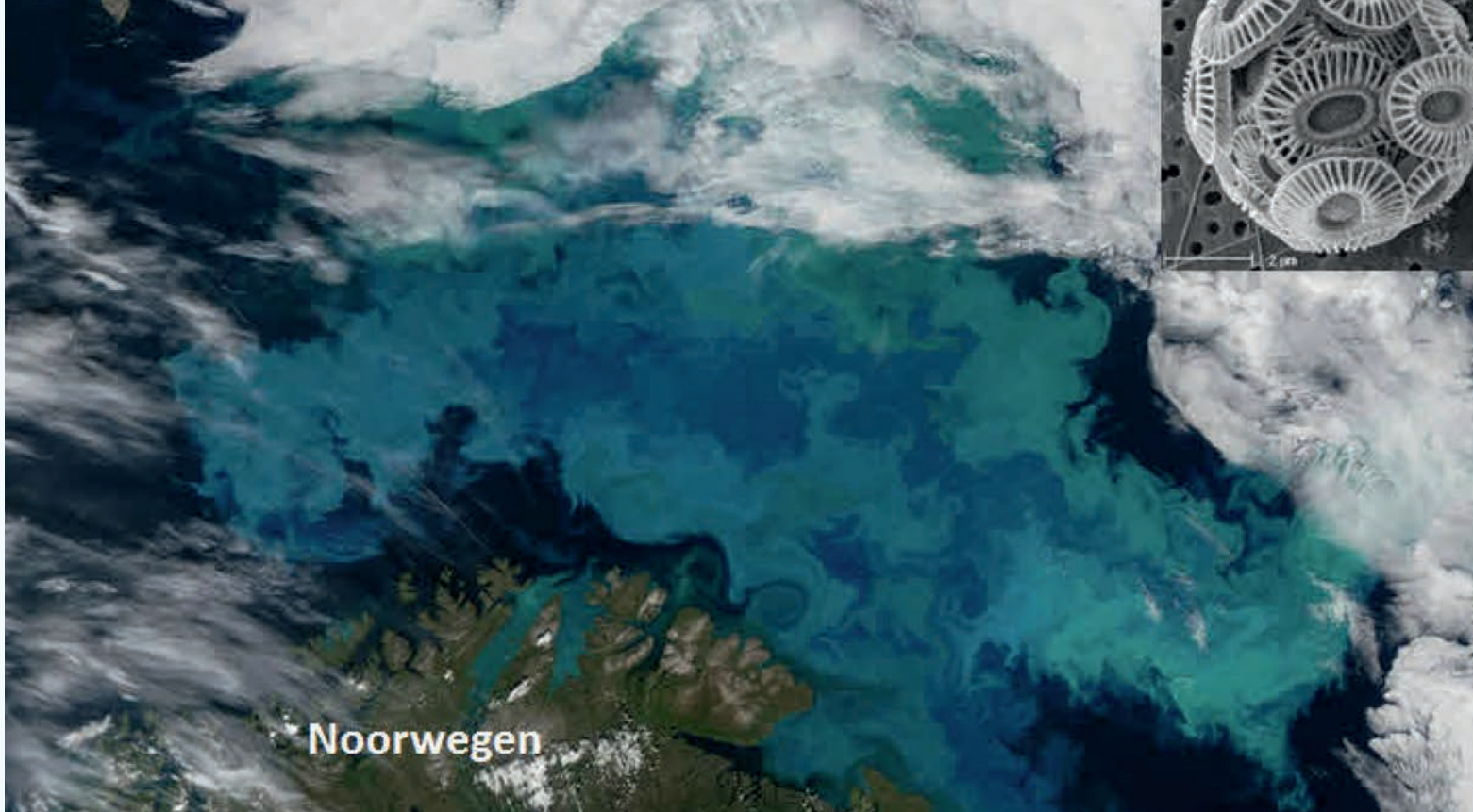
zorgt ervoor dat de oceanen verzuren. Dit wordt ook wel 'het andere CO_2 -probleem' genoemd. De verzuring van de oceanen heeft nefaste gevolgen voor diverse belangrijke groepen mariene organismen die kalkskeletten of kalkschelpen vormen zoals koralen en weekdieren (Orr et al., 2005). Er is heel wat onderzoek verricht naar de gevolgen van de oceaanzuuring op coccolithoforen, microscopisch kleine kalkhoudende algen, die vaak massieve bloeien in de gematigde en subpolaire oceanen vormen (afbeelding 2). Biogeen calciumcarbonaat fungeert bovendien als 'ballast' en zorgt ervoor dat de transfer van organische koolstofdeeltjes van het oceaanooppervlak naar diep water efficiënter verloopt, wat de effectiviteit van de biologische koolstofpomp verhoogt.

Desoxygenatie van de oceanen in een opwarmende wereld

De opwarming van de oceaan en de verhoogde stratificatie door de klimaatverandering, beïnvloeden de circulatie en de ventilatie van de oceaan en kunnen leiden tot een lager zuurstofgehalte in de binnen oceaan (desoxygenatie van de oceanen). De oppervlakte en het volume van de zone met een laag zuurstofgehalte breidt uit. Dit heeft een impact op



Afbeelding 1. Inventaris van het antropogeen CO_2 opgelost in de waterkolom in de oceanen (uitgedrukt in aantal mol CO_2 per vierkante meter), de randzeeën niet meegerekend (volgens het IPCC, 2013).

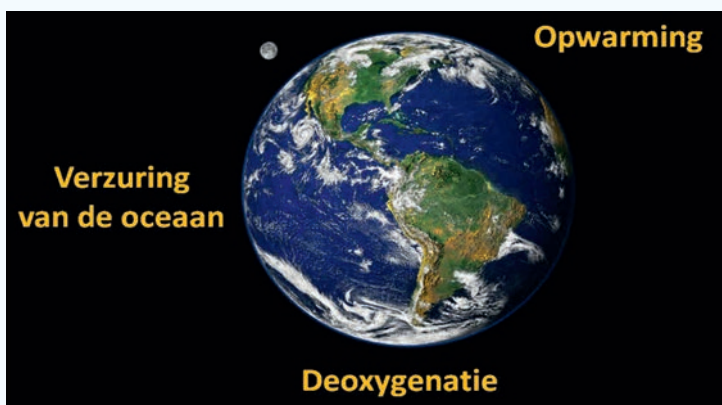


Afbeelding 2. Satellietfoto van de coccolithoforenbloei in het noorden van Noorwegen, aangeduid in het turquoise. Bron: NASA Earth Observatory.

de productiviteit van de oceaan en op de biogeochemische cycli van koolstof en van de nutriënten met gevolgen voor de visserij en de ecosystemen (Keeling et al., 2010).

Talrijke stressfactoren voor mariene ecosystemen

Door de toename van het atmosferische CO_2 -gehalte in de volgende decennia of zelfs eeuwen, zullen de mariene ecosystemen door minimum drie onafhankelijke factoren aan almaar meer stress worden blootgesteld (afbeelding 3). De stijging van de zeewatertemperatuur, de verzuring en de desoxygenatie van de oceanen zorgen voor veranderingen in de fysische, biologische en chemische omgeving die op hun beurt de biogeochemische cycli van de oceanen beïnvloeden (Gruber, 2011; Bopp et al., 2013).



Afbeelding 3. Talrijke stressfactoren voor mariene ecosystemen in een veranderend klimaat.

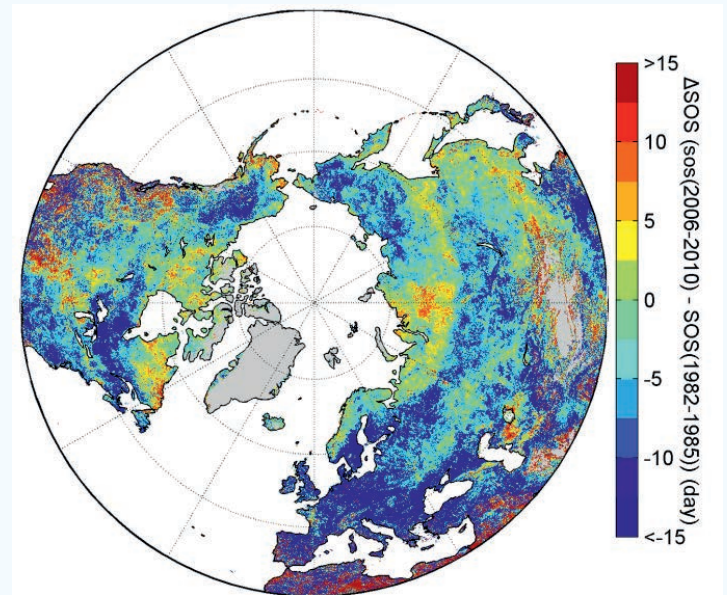
De auteur

Lei Chou, Université libre de Bruxelles, Laboratoire Biogéochimie et Modélisation du Système Terre (BGéSys) - Océanographie Chimique et Géochimie des Eaux

Referenties

- Bopp L. et al. (2013) Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences*, 10, 6225–6245. doi:10.5194/bg-10-6225-2013.
- GIEC (2013) *Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [sous la direction de Stocker, T.F., et al.]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- Gruber N. (2011) Warming up, turning sour, losing breath: ocean biogeochemistry under global change. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 369, 1980–1996. doi:10.1098/rsta.2011.0003.
- Keeling R.F. et al. (2010) Ocean deoxygenation in a warming world. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 2, 199–229.
- Orr J. C. et al. (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437, 681–686.

Koolstofopname door landecosystemen: hoelang nog?



Verandering van het groeiseizoen in de noordelijke hemisfeer tussen 1982-1985 en 2006-2010 op basis van NDVI metingen.

Kennis van de koolstofcyclus van landecosystemen is onontbeerlijk. Zij voorzien ons van voedsel, voeder en hout, maar bossen en weinig verstoorde graslanden nemen ook massaal veel koolstof op, ongeveer 30% van de koolstofuitstoot door fossiele brandstoffen en ontbossing (Le Quéré et al., 2015; Regnier et al., 2013). Hierdoor werken landecosystemen de groei van de atmosferische CO₂-concentratie tegen (en dus ook de klimaatopwarming) en bewijzen ze ons een belangrijke dienst. De vraag is hoelang dit nog blijft duren.

CO₂-opname door ecosystemen is de voorbije decennia steeds toegenomen en daar zijn meerdere redenen voor. Ten eerste begint het groeiseizoen steeds vroeger – een respons op de warmere wintertemperaturen – en eindigt het in de meeste gebieden later omdat de warmere herfsttemperaturen plantengroei veel langer toelaten. Zo wordt meer CO₂ opgenomen en vastgelegd in organische materie. De terrestrische koolstofopname groeit ook door de steeds toenemende atmosferische CO₂-concentraties, die de fotosynthese rechtstreeks stimuleren. De koolstofopslag in landecosystemen wordt nog extra ondersteund door atmosferische stikstofdepositie. Hoge stikstofdepositie, zoals in België, is negatief omdat het leidt tot dominantie van competitieve soorten, waardoor de biodiversiteit afneemt. Tegelijkertijd is stikstofdepositie wel goed voor de koolstofopslag in landecosystemen omdat het de productie van biomassa versnelt én de afbraak van plantenstrooisel vertraagt (Vicca et al., 2012; Janssens et al., 2010).



Hoewel de terrestrische koolstofsink nog toeneemt vragen veel wetenschappers zich af hoelang deze ecosystemedienst nog zal blijven duren. Indien verdere klimaatopwarming de afbraak van humus meer zou stimuleren dan de biomassa-productie, zou de koolstofsink verkleinen. Ecosystemen met heel grote koolstofvoorraden in de bodem zouden zelfs kunnen omslaan tot koolstofbronnen die de groei van de atmosferische CO₂-concentraties versterken in plaats van afremmen. Naarmate de klimaatopwarming toeneemt worden ook klimaatextremen frequenter en intenser. Observaties toonden al aan dat deze extremen, zoals een exceptionele droogte, zoveel CO₂ kunnen vrijstellen dat jaren van CO₂-opname op korte tijd teniet kunnen worden gedaan, zeker indien droogtes gepaard gaan met meer branden. Omdat de terrestrische koolstofsink zo'n belangrijke rol speelt in de klimaatopwarming, focust veel onderzoek zich op de toekomst van de koolstofsink in terrestrische ecosystemen.

Om te bestuderen hoe koolstofopname door ecosystemen evolueert en om data te verzamelen om globale koolstofcyclusmodellen te testen, worden wereldwijd koolstofluksen tussen de atmosfeer en landecosystemen continu gemeten. Europa en ook België financierden de voorbije decennia meerdere koolstofgerelateerde projecten die uiteindelijk leidden tot ICOS (Integrated Carbon Observation System - www.icos-ri.eu), een onderzoeksinfrastructuur (ESFRI - European Strategy Forum for Research Infrastructures) met meettorens in meerdere Europese landen die de broeikasgasbalansen van Europese regio's en ecosystemen gestandaardiseerd meten en dit gedurende de volgende 20 jaar zullen volhouden. Omdat ICOS niet alleen broeikasgasconcentraties en fluksen meet, maar ook veel belangrijke determinanten van de koolstofcyclus, zal dit netwerk leiden tot doorbraken in ons begrip van de koolstof- en broeikasgasbalans van Europese ecosystemen en regio's.

De auteur

Ivan A. Janssens, Universiteit Antwerpen, Center of Excellence 'Global Change Ecology'

Koolstofputten of -bronnen?

Om de programma's voor het terugdringen van broeikasgassen te ondersteunen, is het van groot belang om de dynamiek van de vegetatie en van de bijbehorende koolstoffluxen te kwantificeren en te voorspellen. Vegetatie is een essentiële koolstofput. Via fotosynthese neemt ze CO₂ uit de atmosfeer op om organisch materiaal te produceren. Menselijk ingrijpen keert dit proces echter om. Ontbossing en bosdegradatie is een van de belangrijkste oorzaken waardoor koolstofputten veranderen in koolstofbronnen. Aangestoken branden, het niet duurzaam beheren van bossen en het veranderen van de bestemming van bossen (in weiden, landbouwgronden, ...) zijn verantwoordelijk voor ongeveer 20% van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen. Dit is evenveel als de hele transportsector. Hoewel deze antropogene verstoringen een ingrijpend effect hebben, werd er tot dusver weinig of geen rekening mee gehouden in koolstofcyclusmodellen. Hetzelfde geldt voor de seizoensgebonden en interjaarlijkse variabiliteit van koolstoffluxen in tropische gebieden.

Gewoonlijk worden de modellen gestoffeerd met informatie afkomstig van bestaande kaarten, terreingegevens, klimaatgegevens of eenmalige satellietgegevens met een lage resolutie. Om de voorspellingen van de koolstofcyclus in tropische gebieden te verbeteren, heeft het STEREO II-project VEGECLIM gepoogd een brug te slaan tussen deskun-

digen in het modelleren van het oppervlak en deskundigen in satelliet-aardobservatie. De onderzoekers maakten gebruik van tijdreeksen van 10 jaar aan SPOT VEGETATION-gegevens: vegetatietype, seizoensgebonden en jaarlijkse evolutie, droogte-, gekapte en verbrande gebieden, ... Deze karakteristieken van het continentale oppervlak wisten ze op dynamische manier in het ORCHIDEE-model te integreren. Daarmee slaagden ze erin de ramingen van de effectieve koolstofputten en -stromen in de stroomgebieden van de Amazone en de Congo te verbeteren.

Ze hebben het model getest met de resultaten van ontbossingssimulaties voor de Democratische Republiek Congo (DRC). Het oerwoud in Midden-Afrika – het grootste tropische bosmassief na het Amazonewoud – is tot dusver relatief intact gebleven, maar wordt steeds meer bedreigd door aantasting en ontbossing, vooral voor industriële exploitatie. Het is nu mogelijk voorspellingen te maken van de koolstofbalans tot 2035, uitgaande van verschillende klimaat- en ontbossingsscenario's. Dankzij deze benadering kunnen onderzoekers nagaan of de koolstofbalans van de DRC in de loop van deze eeuw negatief blijft of positief wordt, waardoor de DRC van een koolstofput zou evolueren naar een koolstofbron. De resultaten van het project zijn van groot belang voor het uitstippelen van het REDD+-beleid en andere strategieën tegen klimaatverandering.

Valse kleurencomposiet van het Congobekken op basis van dagelijkse SPOT VEGETATION-beelden.



De auteurs

Stereo-team - BELSPO (Directie Lucht- en ruimtevaarttoepassingen)

Meer

Project VEGECLIM (UCL - UGent - LSCE)

Promotor: Pierre Defourny

<http://eoedu.belspo.be/stereo> > Bossen

Foto links:
Het VEGECLIM-project heeft ook een kaart gemaakt van alle bossen op aarde, die gebruikt werd als pronkstuk in een expositie voor het grote publiek. Bedoeling was de aandacht te vestigen op het belang en de kwetsbaarheid van bossen.

Impact van de klimaatverandering in België

Introductie

De klimaatopwarming is, zoals beschreven in het laatste Assessment Rapport van het Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC, www.ipcc.ch) een ondubbelzinnig feit, veroorzaakt door de verhoogde concentratie aan broeikasgassen in de atmosfeer. De klimaatverandering is vooral voelbaar door het optreden van extreme weersomstandigheden (extreme stormen, overstromingen, hittegolven, droogte) die in belangrijke mate afhangen van de directe omgeving waarin mensen leven. In de buurt van rivieren en kusten is er risico voor overstromingen terwijl hittegolven vooral gevoeld worden in verstedelijkte gebieden. Het inschatten van de lokale impact is een zeer veelzijdige en bijgevolg wetenschappelijk interdisciplinaire uitdaging. De sterke Belgische expertise in hogeresolutie-modellering en neerschaling is momenteel verspreid over universiteiten en onderzoeksinstituten.

Begin 2015 ging er een nieuw BELSPO-project van start genaamd CORDEX.be met als doel het opzetten van een Belgisch onderzoeksnetwerk om gedetailleerde en samenhangende klimaatinformatie te voorzien voor het inschatten van de impact van de klimaatverandering voor België. Dit project groepeerde negen partners (uit drie universiteiten, vier federale onderzoeksinstituten en VITO) die actief zijn in het ontwikkelen en gebruiken van wetenschappelijke modellen voor klimaatverandering en impactsimulaties. Het einddoel van CORDEX.be is een basis te vormen voor de ontwikkeling van Belgische klimaatdiensten.

Verwachte resultaten

Het CORDEX.be-project tracht een brug te slaan tussen het klimaatonderzoek en de samenleving door het bestuderen van de klimaateffecten die ons dagelijks leven beïnvloeden. Bovendien kunnen de resultaten

aangewend worden voor adaptatie- en mitigatiestrategieën en zijn daarom noodzakelijk ter bescherming van infrastructuur en mensenlevens. Deze creëren maatschappelijke uitdagingen, maar scheppen tegelijkertijd ook economische kansen.

De klimaatimpacten in stedelijke gebieden omvatten onder meer hittegolven en smogpieken. Extreme hittegolven, zoals deze die Europa teisterde in 2003, leiden tot een verhoogd sterftecijfer. Bovendien beïnvloeden hittegolven in sterke mate economische sectoren zoals landbouw en toerisme. In de kustgebieden daarentegen zal de combinatie van het verhoogde toekomstige zeeniveau met grote stormen, sterke gevolgen hebben voor kustbewoners en hun leefomgeving en een kost te weegbrengen voor het onderhoud van infrastructuur. Een zeldzaam weerfenomeen met hoge impact is een valwind. Behalve het feit dat deze vaak gepaard gaat met intense hagelval en bijgevolg belangrijk is voor de verzekeringssector, kunnen valwinden dramatische gevolgen hebben, zoals de 5 dodelijke slachtoffers van het Pukkelpopfestival in augustus 2011. Klimaatveranderingen hebben een impact op bestaande ecosystemen onder andere door de komst van invasieve soorten.

Verscheidene van bovengenoemde kwesties en hun impact zullen binnen het CORDEX.be-project worden behandeld. De regionale modellen zullen gebruikt worden voor de neerslagextremen, terwijl de lokale impactmodellen gespecialiseerd zijn in stedelijke effecten, stormvloed, zeegolven, emissies van vegetatie en gewasproductie. De ruimtelijk gedetailleerde klimaatprojecties kunnen worden vertaald in Belgische kaarten voor kwetsbaarheid en klimaatgevoeligheid, die op hun beurt kunnen aangewend worden door beleidsmakers.

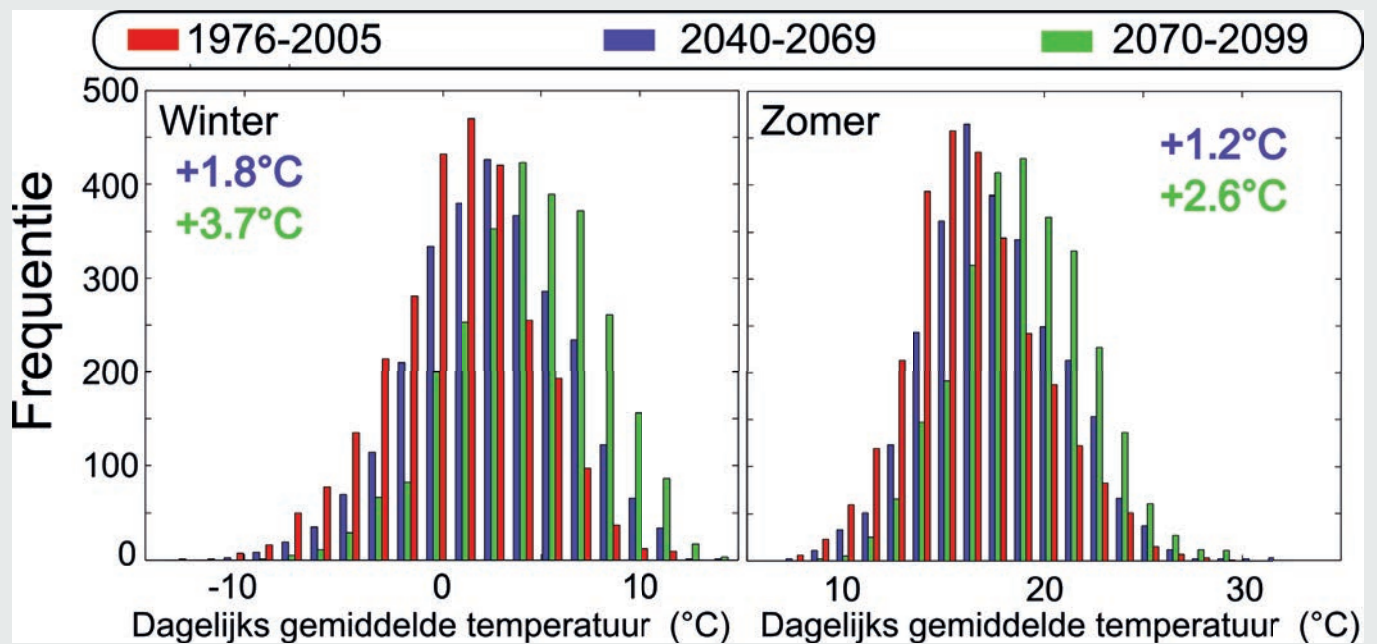


Figure 1: Frequentie van de dagelijks gemiddelde temperatuur in Ukkel in de zomer en de winter voor een historische periode (1976-2005, rood) en twee toekomstige perioden (2040-2069 en 2070-2099 in het blauw in groen). Simulaties voor de toekomstige perioden gebruiken de concentraties van broeikasgassen en aerosolen zoals voorgeschreven door het RCP8.5 scenario. Volgens dit scenario zal de temperatuur in Ukkel in de toekomst sterk toenemen en vooral in de winter. De gekleurde waarden becijferen de gemiddelde klimaatveranderingen van de twee scenario's.

Het Belgische netwerk

Het opzetten van een gecoördineerd Belgisch netwerk is zeer nuttig en zelfs onmisbaar om verscheidene redenen. De eerste en meer technische reden is dat de modellen van hoge resolutie, aangezien ze gebruikt worden op een beperkt domein, data vereisen op de domeinsgrenzen komende van modellen van lage resolutie. Dit vereist voor alle betrokken modellen gemeenschappelijke en coherente voorschriften om de resultaatvergelijking met verschillende modellen mogelijk te maken. Een tweede reden betreft de onzekerheden van de klimaatprojecties. Verschillende klimaatmodellen kunnen verschillende toekomstige klimaatprojecties produceren. De beschikbaarheid van verschillende modellen, gecombineerd met een sterke expertise van statistische neerschaling en kalibratie is dan ook noodzakelijk om de onzekerheden goed in te schatten. Tenslotte zal het netwerk de samenwerkingen binnen België aanwakken en zal bijvoorbeeld de verificatie toelaten van klimaatgegevens op basis van GNSS (Global Navigation Satellite System) afgeleide gegevens. De betrokken instituten zijn het Koninklijk Meteorolo-

gisch Instituut (KMI), de Katholieke Universiteit Leuven (KU Leuven), de Université Catholique de Louvain (UCL), de Universiteit van Luik (ULg), de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA), het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN) en de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB).

De auteurs

Het consortium Cordex.be: Piet Termonia (KMI), Rafiq Hamdi (KMI), Bert Van Schaeybroeck (KMI), Patrick Willems (KUL), Nicole Van Lipzig (KUL), Jean-Pascal van Ypersele (UCL), Philippe Marbaix (UCL), Xavier Fettweis (ULg), Koen De Ridder (VITO), Anne Gobin (VITO), Trissevgeni Stavrou (BIRA), Patrick Luyten (KBIN), Eric Pottiaux (KSB).

www.euro-cordex.net

Klimaatverandering en de Noordzee

© KBIN-Operationele Directie Natuurlijk Milieu

De Noordzee herbergt een grote rijkdom aan leven. In de zeebodem en het -water leeft een grote verscheidenheid aan dieren en planten. Aan de andere kant wordt de Noordzee ook gekenmerkt door een drukke scheepvaarttrafiek, intensieve visserij, toerisme, tal van offshore-activiteiten zoals olie- en gaswinning, de aanwezigheid van kabels en pijpleidingen, zand- en grindextractie en de aanwezigheid van windmolenparken. Dit intensief gebruik maakt dat het ecosysteem onder een sterke druk staat. Het heeft eveneens als gevolg dat de kwetsbaarheid van de ecologische, sociale en economische gemeenschap in en rond de Noordzee zeer hoog ligt voor effecten van bijkomende veranderingen, zoals klimaatveranderingen.

De klimaatverandering veroorzaakt tal van directe effecten op de Noordzee. Deze effecten omvatten o.a. de zeespiegelstijging, het mogelijk meer voorkomen van zware stormen, een toename in neerslagvariatie, verandering van erosie- en sedimentatiepatronen, temperatuurswijzigingen en veranderingen van het zoutgehalte. Er blijven echter grote onzekerheden bestaan over de directe effecten van klimaatverandering.

Een statistische analyse van de waterstanden aan de Belgische kust toont voor de periode 1927 tot 2006 een zeespiegelstijging in Oostende van 1,7 mm per jaar, een stijging die echter wel onderhevig is aan meerjaarlijkse schommelingen. De temperatuur van het zeewater steeg in de Zuidelijke Noordzee met ongeveer 0,034°C per jaar. Een analyse van de windsnelheid en van de significante golfhoogte kon, tot op heden en voor de Belgische kust, geen duidelijk klimaatrend aantonen.

Op basis van deze directe effecten zijn er natuurlijk ook indirecte effecten van klimaatverandering op het Noordzee-ecosysteem en de sociaaleconomische activiteiten

(visserij, transport en haven, overstromingsgevaar, wind-energie, toerisme) te verwachten.

Aangezien de Belgische kustvlakte maar 2 à 4 m boven de zeespiegel ligt, is ons land één van de kwetsbaarste landen van Europa inzake overstroming als gevolg van zeespiegelstijging. Het Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust (Vlaamse Gemeenschap) heeft een Geïntegreerd Kustveiligheidsplan uitgewerkt om onze veiligheid te garanderen.

De stijging van de temperatuur van het zeewater heeft bijvoorbeeld ook een invloed op de vispopulaties die in de Noordzee leven. Zo migreren meer en meer warmwater-vissoorten vanuit het Zuiden (bijvoorbeeld sardijnen en ansjovis) naar de Noordzee en belangrijke commerciële soorten, zoals kabeljauw, schol, schelvis, ... trekken meer noordwaarts, waar het water koeler is.

In het kader van het CORDEX.be-project¹, gefinancierd door BELSPO in het kader van het programma BRAIN-be, worden de gevolgen van de klimaatveranderingen op de Belgische kustwateren bestudeerd door het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen. Het project brengt negen Belgische instituten die klimaatveranderingen en de gevolgen hiervan onderzoeken samen.

De auteur

Dries Van den Eynde, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN).

Referenties

¹www.belspo.be/belspo/brain-be/projects/CORDEX_nl.pdf

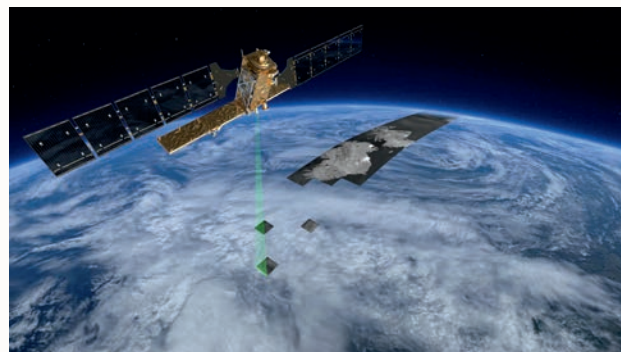
Overstromingswaarschuwing

90% van de rampen van de afgelopen twintig jaar is te wijten aan extreme hydrometeorologische gebeurtenissen: overstromingen, stormen, hittegolven, modderstromen... Volgens het IPCC zal dit nog verergeren als de gemiddelde temperatuur op aarde toeneemt. Overstromingen maken op zich al 47% uit van alle rampen. Op 20 jaar tijd hebben ze liefst 150.000 slachtoffers gemaakt en werden 2,3 miljard mensen getroffen door de gevolgen. De omvang van de schade heeft een direct verband met de bevolkingstoename en de toename van het aantal personen dat in risicogebieden woont, maar is ook gelinkt aan de keuze voor landbouwpraktijken die ongunstig zijn voor een goede waterhuishouding.

Satellietbeelden zijn onvervangbaar bij het opvolgen van rampen. Ze zijn erg nauwkeurig, kunnen meermaals hetzelfde gebied opnemen en bedekken grote oppervlaktes, en dit maakt hen tot cruciale tools voor crisismanagement. Deze beelden maken het mogelijk om risicomodellen op te maken, snel informatie aan te reiken, schade op te meten en de wederopbouw te ondersteunen. Een aantal projecten van het STEREO-programma onderzoekt hoe de verschillende fases van rampenbeheer kunnen worden verbeterd met behulp van teledetectie.

Voorspellen en opvolgen van overstromingen met behulp van radar

De projecten HYDRASENS en FLOODMOIST bestudeerden de processen die van invloed zijn op overstromingen in de stroomgebieden van de Dijle in België en de Alzette in Luxemburg. Het doel? De ontwikkeling van betrouwbaardere voorspellingsmodellen, zodat bewoners beter beschermd kunnen worden. Civiele instanties gebruiken traditioneel modellen gebaseerd op het waterniveau in rivieren. Deze houden echter geen rekening met de verza-



ESA heeft interesse in deze projecten: de Sentinel-1-missie bestaat uit twee satellieten die met een synthetic aperture radar zijn uitgerust.

digingsgraad van de bodem; hun vermogen om water op te nemen dus. Om deze belangrijke parameter te kunnen integreren hebben de onderzoekers een model geoptimaliseerd dat hydrologie en hydraulica combineert. Op *hydrologisch* vlak wordt de absorptiecapaciteit van de bodem ingeschat. Daarvoor moet het vochtgehalte van de bodem gekend zijn, dat bepaalt welk aandeel van de neerslag zal worden geabsorbeerd en welk aandeel via het oppervlak zal wegspoelen. Op het terrein wordt deze variabele opgemeten met behulp van een ground-penetrating radar. Op schaal van het hele stroomgebied wordt echter gebruik gemaakt van SAR-gegevens van radarsatellieten. Beide bodemvochtigheidsgegevens worden vervolgens op innovatieve wijze gecorreleerd. Op *hydraulisch* vlak is de omvang van de overstroming de belangrijkste variabele. Het in kaart brengen hiervan is vaak erg lastig in een stedelijke omgeving of in gebieden met een dichte vegetatie, maar de onderzoekers zijn erin geslaagd door SAR-gegevens te koppelen met numerieke terreinmodellen van hoge resolutie. Beide gegevenssets worden tot slot ingebracht in het voorspellingsmodel, dat daarmee beter gaat presteren. Door gebruik te maken van near-realtime satellietgegevens beschikken civiele instanties nu over modellen die 'live' met satellietbeelden worden gevoed. Dit stelt hen in staat gegronde beslissingen te maken inzake waarschuwingen vóór de ramp, en hulp te organiseren tijdens de crisis.



Azië is het continent waar de bevolking het zwaarst getroffen wordt: in het continent woont 95% van alle mensen die door overstromingen worden getroffen.

De auteurs

Stereo-team - BELSPO (Directie Lucht- en ruimtevaarttoepassingen)

Meer

Projecten FLOODMOIST en HYDRASENS (UGent - UCL - LIST Luxembourg - UBristol UK)

Promotor: Niko Verhoest

<http://eoedu.belspo.be/stereo> > Rampen

Meteorologie als uitlokkende factor voor sterfte en vroeggeboorte

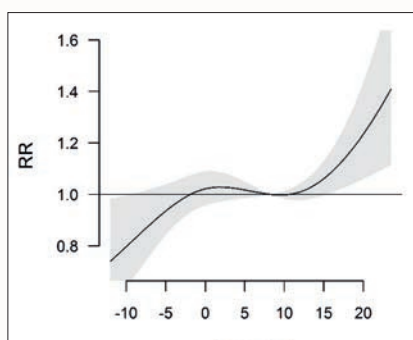
CCpeasap - SA 2.0

Verschillende studies tonen een sterke associatie aan tussen variaties in dagelijkse sterfte en variaties in concentraties aan fijne stofdeeltjes in lucht. Momenteel is er echter nog weinig geweten over welke specifieke componenten verantwoordelijk zijn voor de geobserveerde effecten. Merk echter op dat met betrekking tot de specifieke verbindingen van verontreinigingen, het SSD PARHEALTH¹ project-onderdeel ijzer, lood en zink sterkst correleert met de verhoogde bloeddruk bij ouderen. In deze context verzamelde de eenheid voor longtoxicologie (KULeuven) unieke data voor België over de associatie tussen fijne stofdeeltjes en mortaliteit (totale, cardiovasculaire en respiratoire sterfte) die aantonen dat de effecten van luchtvervuiling van fijne stofdeeltjes sterker zijn in de zomer dan in de winter, zelfs in ons gematigd klimaat. Totnogtoe kunnen we enkel speculeren over de onderliggende mechanismen van deze sterkere associaties tussen mortaliteit en stofdeeltjes in de warmere periode van het jaar, rekening houdend met de hogere fijnstofconcentraties in de winter.

Klimaatvoorspellingen vanuit het project ERA_ENVHEALTH ACCEPTED 'Assessment of Changing Conditions, Environmental Policies, Time-activities, Exposure and Disease'² tonen voor klimaatverandering op stedelijke schaal een aanzienlijke opwarming in Brussel en Parijs, met schattingen van temperatuurstijgingen tot 2050 van 1.6°C en 1.8°C respectievelijk. Veranderingen in meteorologische omstandigheden kunnen de concentratie van polluenten beïnvloeden, maar kunnen op zichzelf ook een uitlokkende factor zijn voor o.a. acute coronaire aandoeningen en vroeggeboorten. Extreme temperaturen worden verantwoordelijk geacht voor 0,86 % van de totale wereldwijde sterfte, waarbij het aandeel koude-gerelateerde sterfgevallen aanzienlijk groter is dan het aandeel hitte-gerelateerde sterfgevallen.³

Naast coronaire ziekten kunnen mogelijk ook perinatale complicaties, w.o. vroeggeboortes, door meteorologische omstandigheden worden uitgelokt. Vroeggeboorte is de belangrijkste oorzaak van perinatale morbiditeit en mortaliteit en is ook geassocieerd met sterfte later in het leven.⁴ De kortetermijneffecten van meteorologische variabelen op het risico op vroeggeboorte zijn tot nog toe maar beperkt onderzocht. Daarom onderzochten we in het kader van het project ERA_ENVHEALTH ACCEPTED de invloed van meteorologische omstandigheden op vroeggeboortes in o.a. Vlaanderen.⁵

Temperatuur tot 6 dagen voor de bevalling is geassocieerd met een verhoogd risico op vroeggeboorte van 8.8% (95% betrouwbaarheidsinterval: 0.7% tot 17.5%) voor een stijging in minimumtemperatuur van 8.3°C (50e percentiel) naar 16.3°C (95e percentiel). De overeenkomstige schatting voor een stijging in maximumtemperatuur van 14.7°C (50e percentiel) naar 26.5°C (95e percentiel) is 9.1% (95% BI: -0.3% tot 19.2%)⁴. Onze resultaten suggereren dat zwangere vrouwen zich moeten beschermen tegen extreme temperaturen. Deze bevindingen zijn belangrijk in de context van de toekomstige klimaatprojecties die een verhoging in zowel de frequentie als de intensiteit van extreme weersomstandigheden voorspellen. De relevantie van deze temperatuur gerelateerde risico's is hoog, aangezien zelfs een lichte daling in zwangerschapsduur gekoppeld is aan negatieve gezondheidseffecten vroeg en later in het leven.



Verband tussen minimumtemperatuur (6 dagen vóór de geboorte) en vroeggeboorte. De zwarte lijn geeft het relatieve risico t.o.v. de referentietemperatuur (mediaan: 8,3°C), het grijze oppervlak is het 95 % betrouwbaarheidsinterval.

De auteurs

Tim Nawrot en Bianca Cox, Universiteit Hasselt, Centrum voor Milieukunde. Dank aan Suzanne Remy (Institut scientifique de service public-ISSep) en Andy Delcloo (Koninklijk Meteorologisch Instituut) voor hun medewerking.

Referenties

¹ www.acceptedera.eu

² www.belspo.be/belspo/SSD/science/pr_health_envir_nl.stm

³ Gasparrini A et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet* 2015;386(9991):369-375.

⁴ Crump C et al. Gestational age at birth and mortality in young adulthood. *JAMA* 2011;306(11):1233-1240.

⁵ Cox B et al. Ambient temperature as trigger of preterm delivery in a temperate climate. in review.

Het opsporen van opkomende ziekten

Malaria, de ziekte van Lyme, blauwtong: deze ziekten winnen elk jaar terrein. Allemaal worden ze overgedragen door kleine organismen die we vectoren of overdragers noemen, omdat ze de infectiekiemen van de ene drager naar de andere vervoeren. De verspreidingsgebieden van deze vectoren worden echter geleidelijk groter: door klimaatveranderingen komen ze nu ook voor op hoogten en op breedtegraden die tot nog toe gespaard bleven. Nieuwe, vaak erg kwetsbare regio's krijgen het hierdoor erg hard te verduren. Om de plaag het hoofd te bieden, wordt intensief onderzoek verricht om de spatiotemporele dynamiek van deze ziekten te achterhalen en om risicozones in kaart brengen. Dit moet het mogelijk maken om beter te anticiperen en epidemieën doeltreffender in te dijken.

Epidemiologie zoekt de ruimte op

Verschillende projecten binnen het STEREO-programma combineren terreindatasets (temperatuur, vochtigheid, gezondheids- en socio-economische gegevens) met gegevens van observatiesatellieten (klimaat, bodemgebruik...) om de mechanismen achter het opduiken, de verspreiding en de overdracht van infectieziekten te analyseren. Ze onderzoeken de relatie tussen klimaat, milieu en gezondheid, met als einddoel het aanleveren van nuttige tools (zoals risicokaarten) aan de volksgezondheidssector. Aan de hand van deze tools kunnen epidemieën opgevolgd en voorspeld worden.

Hoe teken de wereld veroveren

Het MULTITICK-project bestudeert welke omgevingsfactoren van invloed zijn op de verspreiding van de ziekte van Lyme in België en in de Baltische staten. Deze werden onderzocht op verschillende schalen en omvatten ook factoren die gelinkt zijn aan menselijke activiteiten. Omdat teken uiterst gevoelig zijn voor klimaatverandering en voor lokale schommelingen verandert hun verspreidingsgebied constant en breidt het zelfs uit. Het project heeft een sterk verband aangetoond met bepaalde omgevingsfactoren (soort vegetatie, temperatuur, vochtigheid enz.). Sommige daarvan kunnen uit teledetectiegegevens worden afgeleid

Elk jaar worden duizenden mensen door de ziekte van Lyme getroffen, en hun aantal blijft stijgen.



Schapen worden van alle herkauwers het ergst getroffen door blauwtong.

en vervolgens in modellen worden verwerkt om vast te stellen welke omstandigheden het uitbreken van de ziekte in de hand werken.

Blauwtong, een ziekte die opgevolgd moet worden

Het BLUETONGE-project spitte zich toe op de voortplanting van blauwtong, een virale ziekte bij herkauwers die wordt overgebracht door muggen. De ziekte kwam oorspronkelijk enkel voor in tropische en subtropische gebieden. Tegen 1998 had ze echter het Middellandse Zeegebied veroverd, en sindsdien rukt ze steeds verder noordwaarts op. In de zomer van 2006 werden in België de eerste gevallen van de ziekte vastgesteld, en ze blijft uitbreiden, vooral in Oost-Europa. De onderzoekers combineerden klimaatgegevens afkomstig van satellietbeelden met terreinmetingen. Aan de hand van deze data ontwikkelden ze waarschijnlijkheidsmodellen voor de aanwezigheid van verschillende mugensoorten, en modellen die hun uitbreidingsdynamiek vastleggen. De ziekte kan een zware impact hebben op de volksgezondheid en de economie. Dit soort toepassingen is dan ook van kapitaal belang als we een gecoördineerd crisismanagement willen voeren, en inzicht willen verwerven in de factoren die het besmettingsrisico beïnvloeden.

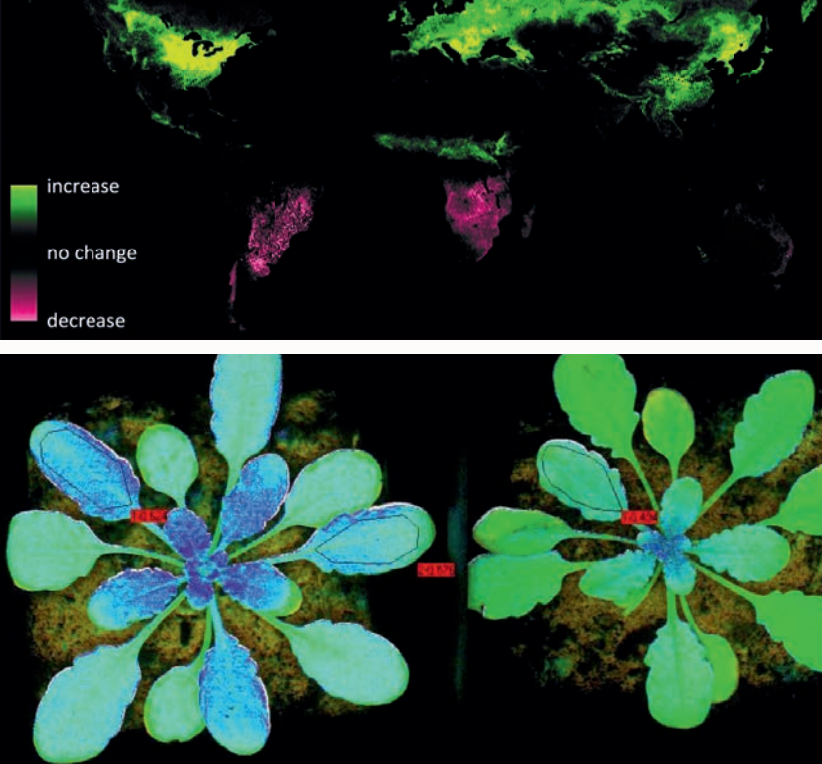
De auteurs

Stereo-team - BELSPO (Directie Lucht- en ruimtevaarttoepassingen)

Meer

Projecten MULTITICK (UCL) en BLUETONGUE (Avia GIS-ITM)
Promotoren: Sophie Vanwambeke en Guy Hendrickx
eoedu.belspo.be/stereo > Epidemiologie

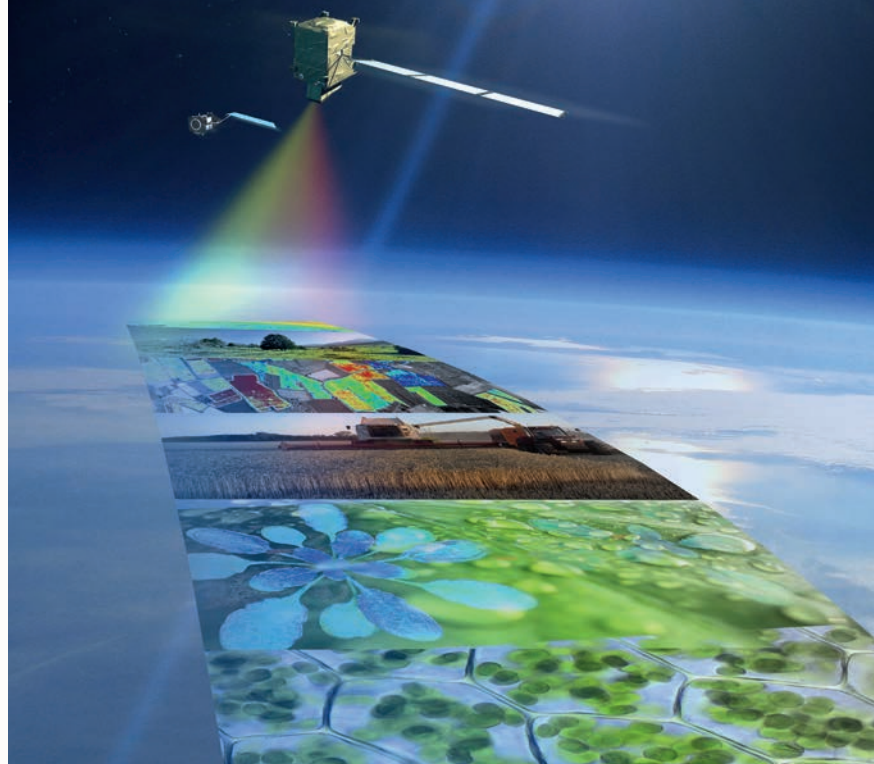




Boven: Schommelingen in de chlorofylfluorescentie tussen de noordelijke winter en de noordelijke zomer in 2011. Gegevens afkomstig van de GOME-2-sensor (Global Ozone Monitoring Experiment) aan boord van de MetOp-satelliet.

Onder: Plantfluorescentie in het laboratorium.

© U. Rascher, Forschungszentrum Jülich



De FLEX-missie van ESA levert globale kaarten van de vegetatiefluorescentie, een maat voor de fotosynthetische activiteit. Deze parameter geeft meer inzicht in de koolstofopname door planten en dus in de rol van vegetatie in de koolstof- en watercyclus.

© ESA/ATG medialab

Fluorescentie als indicator van vegetatiestress

Klimaat- en hydrologische extremen (droogte, stormen, overstromingen, hittegolven, ...) vormen een ernstige bedreiging voor de samenleving en de ecosystemen in de hele wereld. Nauwkeurige waarnemingen van de ecosystemereacties op dergelijke grootschalige verstoringen zijn dus noodzakelijk. De nieuwe globale fluorescentiemetingen zijn een veelbelovend hulpmiddel voor de studie van deze effecten. De fluorescentie van plantengroei, een subtiele gloed die het gevolg is van chemische reacties tijdens de fotosynthese, heeft een duidelijk verband met ecosystemestress. Recente studies hebben het gebruik van satelliet-fluorescentiemetingen onderzocht als indicatoren van bosgroei, maar hun rol in de reactie van vegetatie op klimaatextremen is nog onbekend terrein.

Om die studies te kunnen voltooien wordt gekeken naar aanvullende gegevens uit heel andere hoek: niet de ontwikkeling van nieuwe aardobservatietechnologieën, maar net het gebruik van oude data. Recente initiatieven hebben met behulp van bijna vier decennia aan wereldwijde waarnemingen van het milieu en het klimaat een reeks databanken opgezet, vol cruciale variabelen zoals bodemvochtigheid, evaporatie en het watergehalte in vegetatie, afkomstig van een waaier aan satellieten. Deze gegevens zijn gedurende lange tijd bijgehouden. Ze kunnen helpen zeer trage veranderingen in de hydroklimaatextremen te

onthullen, en de gevolgen daarvan op terrestrische ecosystemen.

Voor het ontwikkelen van klimaatmodellen die de toekomstige temperatuursevolutie met grote precisie willen voorspellen zijn beide types gegevens noodzakelijk: nieuwe fluorescentiewaarnemingen zowel als langetermijndatabanken. De projecten SAT-EX en STR3S van het nieuwe STEREO III-programma bestuderen hoe de droogtes, overstromingen en hittegolven van de laatste drie decennia evolueerden, en hoe ze de terrestrische ecosystemen beïnvloeden. Daarnaast onderzoeken ze hoe nieuwe technologieën (zoals fluorescentie-observaties) kunnen bijdragen aan ons inzicht in de interacties tussen klimaat en vegetatie.

De auteur

Diego Miralles, Universiteit Gent, Vakgroep Bos- en Waterbeheer

Meer

Projecten SAT-EX en STR3S (UGent - ULB - TU Wien Austria - Colombia Un.USA)

Promotoren: Diego Miralles en Niko Verhoest

<http://eo.belspo.be/Stereo3.aspx>

Energieprestaties en historische gebouwen: de uitdaging van de monumentenzorg

Inleiding

In Europa nemen de huishoudelijke en de tertiaire sector meer dan 40% van het energieverbruik voor hun rekening. Het verbeteren van de energieprestaties van gebouwen kan een vrij grote energiebesparing opleveren en dus ook een vermindering van de CO₂-uitstoot. Opdat de CO₂-uitstoot effectief zou verminderen en het Kyoto-protocol zou worden nageleefd, waren dwingende en specifieke richtlijnen nodig voor de bouwsector. Deze maatregelen werden vastgelegd in een Europese richtlijn betreffende de energieprestaties van gebouwen eind 2002. Het aspect 'duurzaam bouwen' veroverde zo een centrale plaats binnen nieuwbouwprojecten.

Voor beschermde monumenten stoot het aspect duurzaam bouwen vaak op historische, architecturale, deontologische en esthetische criteria waardoor energiebesparende maatregelen niet steeds op een even systematische wijze realiseerbaar zijn als bij nieuwbouw.

Energieprestaties en monumenten: een uitdagend duo

Binnen de oorspronkelijke eisen gesteld aan historische gebouwen was energiezuinigheid geen prioriteit. De laatste decennia echter dwingen politieke, maatschappelijke

en economische evoluties ook deze gebouwen zuiniger om te gaan met energie. Het gebrek aan ervaring met innovatieve technieken en het feit dat de doeltreffendheid alsook de verbonden risico's niet voldoende aangetoond werden voor ons gebouwenerfgoed zijn vaak een drempel voor hun toepassing in de restauratiepraktijk. De gevolgen van innovatieve ingrepen werden in het verleden niet steeds correct ingeschat, met kans op schade aan de constructie zelf, de aanwezige materialen, het milieu alsook de directe omgeving. Vanuit dit bewustzijn worden innovatieve restauratietechnieken, waaronder isolatie, heel voorzichtig gehanteerd.

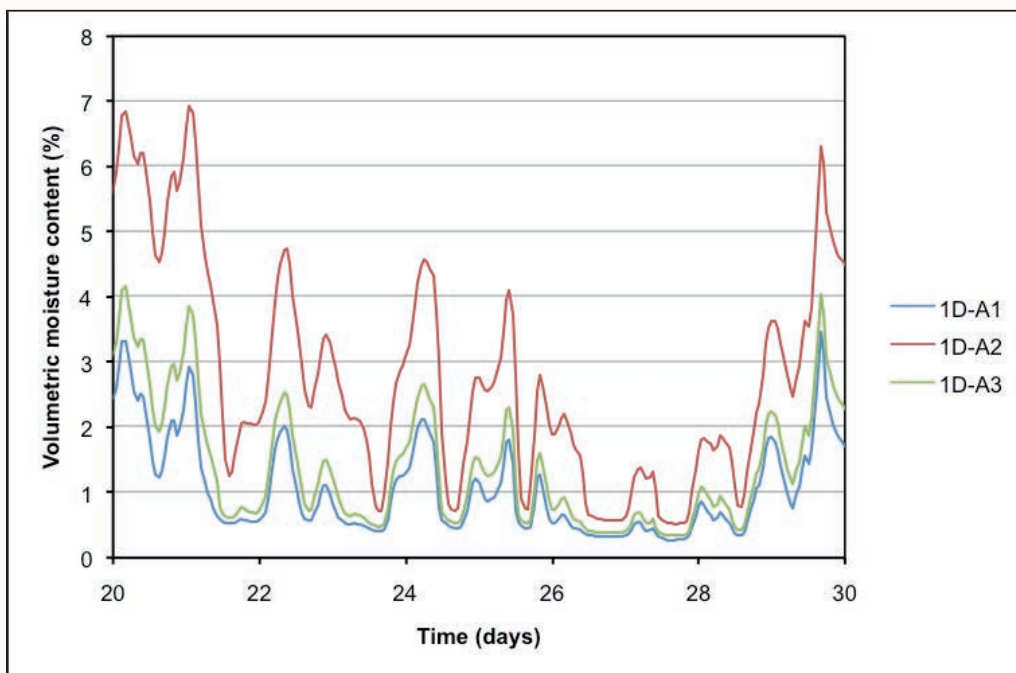
Isoleren van historische gebouwen

Isoleren is sinds verschillende decennia een centraal item in de bouwsector, hetzij gestimuleerd vanuit milieu-overwegingen, hetzij vanuit financiële overwegingen. Historische gebouwen vormen in deze een uitgelezen studieobject, niet alleen in België maar tevens in gans Europa. Wil men in de toekomst het voortbestaan van historische gebouwen verzekeren en mensen bereid vinden om erfgoed te benutten en te bewonen, zijn ingrepen noodzakelijk.

Het aanbrengen van een isolatielaag aan de buitenzijde



Figuur 1: zuidwest-achtergevel en zuid-westelijke zijgevel van het administratief centrum van de voormalige Veeartsenijschool. (© <http://bomen-inventaris.irisnet.be>, site van de Inventaris van opmerkelijke bomen van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest)



Figuur 2: gesimuleerd vochtgehalte (vol %) op 3 mm diepte in baksteen in een winterperiode, situatie niet geïsoleerd (A1) en geïsoleerd (12 cm calcium silicaat plaat, A2 en 3 cm isolerende binnenbepleistering, A3).

van historische gebouwen is vaak onwenselijk gezien hun esthetische impact. In dit geval wordt ter verbetering van de thermische prestaties van een gebouw overgegaan tot het aanbrengen van een isolatiesysteem aan de binnenzijde ervan. Door het plaatsen van een binnenisolatie tegen een bestaande (historische) gevel wijzigt meestal het vochtgehalte van de bestaande constructie, en dit als gevolg van de gewijzigde drogingsomstandigheden van de wand. Hierbij stijgt algemeen het vochtgehalte in de wand met een verhoogd risico op vorstschade tot gevolg. De kans op vorstschade kan ingeschat worden door voorafgaand een studie naar de vorstgevoeligheid van het metselwerk uit te voeren, en dit conform de klimaatomstandigheden gekenmerkt door extreme regenbelasting typerend voor ons toekomstig klimaat.

De voormalige Veeartsenijschool te Anderlecht

De Veeartsenijschool te Anderlecht is een in de wijk Kuregem gelegen site van 4 ha die tussen 1903 en 1909 werd opgetrokken in Vlaamse neorenaissancestijl. Na een geschiedenis gaande van bloei tot volledige verwaarlozing, volgt in het begin van de 21ste eeuw een herwaardering waarbij het administratief gebouw van de voormalige Veeartsenijschool van Anderlecht (figuur 1) verbouwd wordt tot centrum voor jonge bedrijven.

Risico-analyse van binnenisolatie

In opdracht van de gemeente Anderlecht, huidige eigenaar van de site, en in het kader van de herbestemming tot kantoorruimtes, heeft het laboratorium van het KIK

een risico-analyse uitgevoerd dat beoogt de 'lasttoename' van de bouwmaterialen van buitengevels, in termen van vochtbelasting en aantal vries-dooicycli, als gevolg van een binnenisolatie te benaderen. Deze analyse berust op een theoretische benadering aan de hand van modellen die het vochtgedrag in gevels simuleren. Uit een dergelijke simulatie kon worden afgeleid dat op een diepte van 3 mm de temperatuur algemeen met 2°C daalt in het baksteenmetselwerk indien calcium-silicaatplaten van 12 cm dikte als binnenisolatie worden aangebracht. Het thermisch effect is ongeveer drie keer lager in geval van een isolerende bepleistering van 3 cm dikte. Het vochtgehalte op deze diepte verdubbelt algemeen na aanbrengen van 12 cm calcium-silicaatplaten en verhoogt 5 à 25 % indien geopteerd wordt voor de geteste isolerende binnenbepleistering (figuur 2).

Uit deze studie kon worden afgeleid dat een algemene verhoging van het aantal vries-dooicycli wordt verwacht alsook van deze die een risico op schade inhouden, meer bepaald indien deze cycli gepaard gaan met een hoog vochtgehalte zoals te verwachten in ons toekomstig klimaat.

De auteur

Hilde De Clercq, Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium (KIK), Operationele directie Laboratoria

Klimaatverandering en voedselveiligheid

De levering van grondstoffen voor de landbouw is samen met de productie, de verpakking, de verwerking, het transport en de distributie van levensmiddelen goed voor 19 tot 29 % van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen. De agro-voedingsindustrie oefent ook heel wat druk uit op natuurlijke rijkdommen, water, stikstof en fosfaat en vooral op het landbouwareaal. Voedselsystemen duurzamer maken is dan ook een must voor een transitie naar een koolstofarme samenleving die efficiënt met hulpbronnen omspringt (De Schutter, *Transformative potential of the right to food. Report of the Special Rapporteur on the right to food*, 2014). Steeds bredere lagen van de samenleving zijn vragende partij voor een dergelijke switch en lijken zelf op zoek te gaan naar alternatieven. De consensus over productivisme in de agro-voedingsindustrie, die na de Tweede Wereldoorlog ontstond, lijkt bovendien een groot deel van zijn aantrekkingskracht te hebben verloren en moet deels plaats ruimen voor allerlei nieuwe benaderingen en waardeoriëntaties. Economische efficiëntie en technologische optimalisering blijven belangrijk, maar er gaat meer aandacht naar voedselkwaliteit, voedselveiligheid, de impact op het milieu, het efficiënt omspringen met hulpbronnen en billijkheid, stuk voor stuk even belangrijke 'leidraden' voor productinnovatie en nieuwe consumptiepatronen.

De wetenschappelijke gemeenschap heeft die verschuiving bij de consument vastgesteld en legt een verband met de uitdagingen waar de agro-voedingsindustrie voor staat. Volgens internationale experts zijn 'duurzame diëten' diëten met een geringe impact op het milieu die bijdragen tot voedsel- en voedingszekerheid en tot een gezonde levensstijl voor de huidige en toekomstige generaties. Duurzame diëten beschermen en hebben respect voor de biodiversiteit en de ecosystemen en zijn cultureel aanvaardbaar, toegankelijk, economisch eerlijk en betaalbaar; ze zijn voedzaam, veilig, en gezond; en ze benutten natuurlijke en menselijke rijkdommen optimaal' (*International Scientific Symposium Biodiversity and Sustainable Diets*, 2010).

Conventionele marktstimuli en richtlijnen houden steeds vaker rekening met deze nieuwe aandachtspunten. De meeste hervormingen draaien echter op niets uit omdat ze gedrag van buitenaf willen beïnvloeden en niet van binnenuit: fiscale en regelgevende instrumenten worden ingezet om voor de juiste incentives te zorgen. De waarden waar actoren echt om geven, de sociale normen die ze voorstaan of de druk die ze van hun omgeving ondergaan, worden echter helemaal over het hoofd gezien. Het BELSPO-pro-



gramma Brain-be financiert het onderzoek in het kader van Food4Sustainability dat die 'intrinsieke' motivators wil doorgronden en achterhalen welke rol ze in dit transitieproces kunnen spelen (www.food4sustainability.be). De hypothese van dit project is dat allerlei sociale vernieuwingen op een kostenefficiënte manier kunnen worden ondersteund door de regelgevende instrumenten te hervormen. We hebben in het bijzonder meer nood aan projectbegeleidende instrumenten die ook intrinsieke motivators in vraag stellen en promoten (zoals erkenning van persoonlijke waarden en sociale normen), aangezien deze het gedrag van de partijen achter de transitiesystemen in belangrijke mate bepalen (Dedeurwaerdere, *Combining internal and external motivations in multi-actor governance arrangements*, Env. Sc. & Policy, 2016). We testen deze hypothese specifiek uit op het beheer van de agro-voedingsindustrie en trekken hieruit lessen voor het beleid. We brengen niet alleen collectieve processen in transitiepaden in grote voedselketens in kaart, maar ook in korte bevoorradingsketens en in initiatieven voor duurzame diëten die bijdragen tot een koolstofarme agro-voedingsindustrie die efficiënt met de natuurlijke bronnen omspringt.

De auteurs

Olivier De Schutter en Tom Dedeurwaerdere, Université catholique de Louvain, Centre de Philosophie du droit



Het vergroenen van de stad biedt een kostenefficiënt antwoord op sociale uitdagingen zoals klimaatopwarming, waterregulatie, menselijke gezondheid en welzijn. Terzelfdertijd verhoogt het de biodiversiteit in de stad. Hier: Green Park London. Foto CC Hachimaki-SA 2.0

De natuur als oplossing voor maatschappelijke uitdagingen

Een geïntegreerde aanpak

Natuurgebaseerde oplossingen winnen wereldwijd aan belang onder beheerders, stadsplanners, beleidsmakers en zakenmensen. De natuur wordt ingezet om prangende problemen op te lossen, zoals klimaatverandering, voedselveiligheid en watervoorziening. Maar natuurgebaseerde oplossingen zijn meer dan dat. Ze hebben ook een positief effect op biodiversiteit en op veerkracht van ecosystemen, en stimuleren economie en tewerkstelling. Ze worden vaak ingezet om de volksgezondheid en het welzijn in steden te bevorderen. Natuurgebaseerde oplossingen integreren sociale factoren zoals welzijn, armoedebestrijding en socio-economische ontwikkeling en vormen aldus een aanvulling op traditioneel natuurbehoud.

Niettemin staande 'natuurgebaseerde oplossingen' een vrij recent concept is, is de kracht van natuur niets nieuws. Al eeuwenlang levert de natuur basisvoorzieningen zoals water, voedsel, energie, beschutting, grondstoffen en geneesmiddelen. Echter, met onze exponentiële bevolkingsgroei en niet-duurzaam landgebruik lijken we de grenzen van mens en planeet steeds verder te overschrijden. Zuiver technologische oplossingen zijn vaak niet meer toereikend om het tij te keren.

Natuurgebaseerde oplossingen kunnen een alternatief bieden voor het verspillende en kortzichtig economisch groeimodel. De bescherming van mangroves is een mooi voorbeeld. Ze zorgen voor hout (brandstof en bouw materiaal) voor de lokale bevolking en beschermen bewoners van de kustgebieden tegen stormen en vloedgolven. De wortels houden de sedimenten vast en zijn op deze manier een enorme hulp tegen erosie van de kustlijn. Bovendien vormen ze voortplantingsgebieden en broedkamers voor kreeftachtige, vissen en mollusken die in zee leven.

Groen in de stad

Door de klimaatverandering zullen perioden met hoge temperaturen vaker optreden en langer duren. Hitte en droogte vormen daardoor een steeds groter maatschappelijk probleem, ook in steden. Gebouwen en asfalt houden warmte vast waardoor de temperatuur in een stedelijk gebied tot 10°C hoger kan zijn dan in het omliggende gebied. Het vergroenen van steden (meer parken en groene daken) is een adaptieve maatregel die voor meerdere klimaatproblemen effectief is gebleken, en bovendien bijdraagt tot een aantrekkelijke leefomgeving. Groene daken en gevels vangen bovendien regen op, zodat niet al het water direct

het riool inloopt. Daarnaast isoleert groen tegen de gevel en op het dak, zodat afkoeling of verwarming minder nodig is. Ook hier is oog voor biodiversiteit cruciaal: niet alle planten en bomen zijn bestand tegen de komende klimaatverandering met meer en langere periodes van droogte, pieken in regenbuien en uitzonderlijke koude in de winter. Het vergroenen van de stad vergt een geïntegreerde aanpak.

Met het stijgende zeewaterniveau, het mogelijk verhoogde debiet van rivieren en de uitbreiding van stedelijke gebieden zullen bovendien steeds meer regio's kampen met onvoldoende overstromingsbescherming. Ook hier kan het gebruik van natuurelementen (bijv. ontwerp van multifunctionele waterkanten) een duurzame oplossing bieden om het risico van overstromingen in stedelijke gebieden terug te dringen. Bovendien bieden dergelijke gebieden vaak extra recreatiemogelijkheden.

Natuur en klimaat

Natuurgebaseerde oplossingen werken ook op grotere schaal. Zo is ontbossing verantwoordelijk voor 20 procent van de mondiale CO₂-uitstoot. Om het broeikaseffect tegen te gaan via een gevoelige CO₂-reductie is het daarom van belang om in eerste instantie ontbossing te voorkomen, en daarnaast te investeren in herbebossing en bosherstel. Meer bos leidt over het algemeen tot extra opname van CO₂. Bovendien stabiliseren bossen de bodem, hetgeen risico op erosie verlaagt. Ook veengebieden vormen we-

reldwijd een gigantische duurzame opslagplaats voor CO₂. Maatregelen die deze ecosystemen beschermen, en simultaan oog hebben voor socio-economische behoeften, zijn daarom efficiënt én duurzaam.

De oplossing?

Doordat natuurgebaseerde oplossingen intuïtief gemakkelijk te begrijpen zijn, slaan diverse stakeholders samen de handen uit de mouwen, hetgeen de slaagkansen ervan gevoelig verhoogt. Echter, of natuurgebaseerde oplossingen effectief de sleutel vormen om sociaal-ecologische doelstellingen van duurzaamheid voor de ganse mensheid te realiseren, valt nog te bezien. Veel zal immers afhangen van een correcte toepassing ervan, d.w.z. met oog voor behoud van biodiversiteit, ecosysteemdiensten en lokale gemeenschapsrechten. Het gevaar dat het economische voordeel de bovenhand zal halen, is reëel, met alle nefaste gevolgen van dien. We moeten dus waakzaam blijven en een balanseconomie beogen in evenwicht met wat mensen en natuur kunnen dragen. Aandacht moet blijven uitgaan naar innovatieve oplossingen die ecologisch efficiënt, economisch haalbaar en sociaal rechtvaardig zijn.

De auteur

Hilde Eggermont, Belgisch Biodiversiteitsplatform

Zicht op de groene daken in Stuttgart, Duitsland, een van de eerste steden die een wet invoerde waarbij nieuwe gebouwen moeten voorzien zijn van een groendak.
© 2013 Diane Cook & Len Jenschel



'Verander de samenleving, niet het klimaat'

Deze ongetwijfeld ietwat simplistische slagzin wijst wel op de grote sociaaleconomische uitdagingen waar we door de klimaatverandering voor staan. Twee sleutelwoorden zijn hierbij belangrijk: beperken en aanpassen.

Reboundeffect

Onze samenleving is voor grote en kleine zaken op fossiele energie aangewezen. Onder groot verstaan we groei, investeringen en infrastructuur; onder klein de hedendaagse levensstijlnormen zoals consumptie, comfort en verplaatsingen. Het HECORE-project toonde aan dat het aandeel van energie in het huishoudbudget de afgelopen 40 jaar nauwelijks is veranderd: het evolueerde van 5,9 % in 1958 naar 5 % in 2001. In diezelfde periode is er heel wat vooruitgang op het vlak van energiezuinigheid geboekt (denk bijvoorbeeld aan de auto's), maar die winst wordt grotendeels ongedaan gemaakt door allerlei vormen van 'reboundeffecten' die datzelfde project ook heeft bestudeerd. Heel wat werken tonen aan hoe moeilijk het is om het energieverbruik bij te sturen dat het resultaat is van diepgewortelde gebruiken.¹

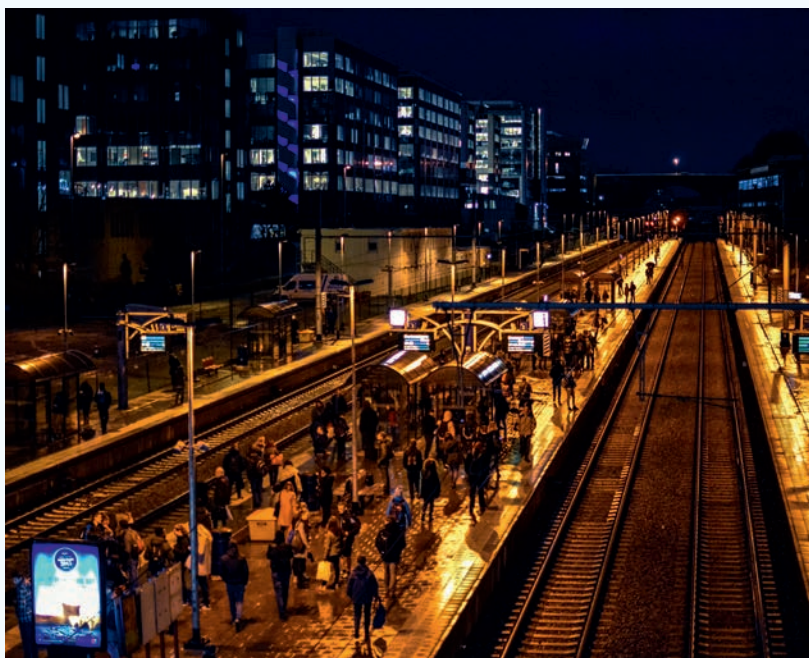
Omdat de energiefactuur maar een relatief klein aandeel in het totaal huishoudbudget vertegenwoordigt, is er geen economische incentive voor burgers om hun consumptie te verlagen. Een energie- of koolstofaks is een economisch gerechtvaardigde aanbeveling, maar zonder begeleidende maatregelen wordt het probleem van de energiearmoede alleen maar groter.²

Koolstofarme samenleving

Dit soort vaststellingen lag aan de basis van een ander project dat momenteel loopt: SUSPENS. Dat bestudeert de voorwaarden voor een overgang naar een koolstofarme samenleving die milieudoelstellingen en sociale rechtvaardigheid weet te verzoenen. Hiervoor is een databank nodig die informatie combineert over het inkomen en het consumptiegedrag van huishoudens in België en over de impact van die consumptie op het milieu, die de verbanden tussen deze factoren in kaart brengt en die een beeld schetst van het huidige beleidskader voor een koolstofarme samenleving in België.

Aanpassing

Deze projecten zijn illustratief voor de grote uitdagingen op middellange termijn. Is een snelle en grootschalige verlaging van het fossiel energieverbruik mogelijk en wat zijn de gevolgen hiervan? En wat houdt een echte aanpassing



© Enzo Leroy

aan de klimaatverandering precies in? Een thema met heel wat facetten, waarbij fenomenen, sociale groepen en de tijdshorizon een bepalende rol spelen.

De auteurs

Edwin Zaccai, Université libre de Bruxelles, Centre d'Études du Développement Durable en Kevin Marechal, Université libre de Bruxelles, Centre d'Études économiques et sociales de l'Environnement

Noten

¹ Maréchal K. en Holzemer, L. (2015), *Getting a (sustainable) grip on energy consumption: the importance of household dynamics and 'habitual practices'*, Energy Research and Social Science 10: 228-239.

² Barometer energiearmoede in België:
www.kbs-frb.be/fr/Activities/Publications/2015/20151123NT1

Referenties

- www.belspo.be/belspo/ssd/science/projects/HECORE%20E.pdf
- www.belspo.be/belspo/brain-be/projects/SUSPENS_en.pdf
- Maréchal K., *The economics of climate change and the change of climate in economics*, Routledge, Londen en New-York, 2012
- van Gameren V., Weikmans R., Zaccai E., *L'adaptation au changement climatique*, Repères, La Découverte, 2014

De rol van de overheid om een koolstofarme maatschappij te stimuleren

Het aantal mensen dat de voorbije jaren hun huis energie-efficiënt (ver)bouwde, is in stijgende lijn maar niet zo groot als gedacht. Nochtans is er een groot maatschappelijk draagvlak voor het aanpakken van klimaatproblemen. Dat werd wel duidelijk tijdens de klimaatconferentie in Parijs. In een koolstofarme maatschappij proberen we zo min mogelijk fossiele brandstoffen te gebruiken, grondstoffen en producten te recyclen om zo de emissies van CO₂ te verminderen en de klimaatverandering een halt toe te roepen.

Het onderzoeksproject ALPI¹, gefinancierd door BELSPO in het kader van het programma Brain-be, wil een aantal beleidsinstrumenten ter ondersteuning van een koolstofarme maatschappij onder de loep nemen. De overheid kan door subsidies, belastingvoordelen of informatiecampagnes burgers aanzetten om hun koolstofvoetafdruk te verminderen. Maar de overheid is ook zelf consument, 28% van de totale Europese consumptie gebeurt door overheden. Denk aan de aankoop van kantoormaterialen, gebouwen maar ook voeding in de personeelsrestaurants.



Is de overheid een duurzame consument?

Door de Europese regelgeving rond *green public procurement* (GPP) zullen die overheden milieubewuste aankopen doen. Neem nu het geval van hout en stel dat alle overheden alleen maar gecertificeerde houtproducten kopen. De certificering zorgt ervoor dat er minder illegale houtkap gebeurt. Onderzoekers in het ALPI-project konden aantonen dat op korte termijn die aankoop van gecertificeerd hout een effect heeft op de wereldwijde handel van houtstromen. De meeste regio's wereldwijd voldoen aan hun eigen vraag voor gecertificeerd hout. De productie ervan stijgt in Europa en Amerika. Verbazend is dat het vooral de handel van niet-gecertificeerd hout is die toeneemt. De prijs daalt voor conventioneel hout, de consumptie stijgt dus waardoor meer conventioneel hout geproduceerd wordt voornamelijk in Afrika. Dit is in tegenstelling met het oorspronkelijke doel van GPP, namelijk ook in de landen in het Zuiden een meer duurzame productie stimuleren. Certificering is voor kleinschalige houtproducenten in het Zuiden vaak een te hoge kost. Het is daarom erg belangrijk dat er hier meer begeleiding komt bij de certificering. Deze analyse toont aan dat het belangrijk is om globaal te kijken naar de impact van een regionaal klimaatbeleid.

Overtuigen overheidspremies voldoende?

Ondanks alle premies voor energiezuinig (ver)bouwen de laatste jaren, stijgt het aantal energie-efficiënte huizen te traag. Beleidsmakers proberen huiseigenaars te overtuigen met rationele argumenten zoals de besparing op de energiefactuur. ALPI wil aantonen dat de beslissing om al dan niet te verbouwen meer intuïtief wordt genomen. Naast financiële stimuli zouden ook meer beleidsinstrumenten daarop moeten inzetten. Doordachte sensibiliseringsacties, een beter design van het energieprestatiecertificaat, een visualisatie van het energieverbruik zijn mogelijke instrumenten.

De auteur

Ann Verspecht, Universiteit Gent, vakgroep Landbouweconomie

Meer

www.alpi.ugent.be



Noot

¹ www.belspo.be/belspo/brain-be/themes_5_Social_nl.stm#ALPI

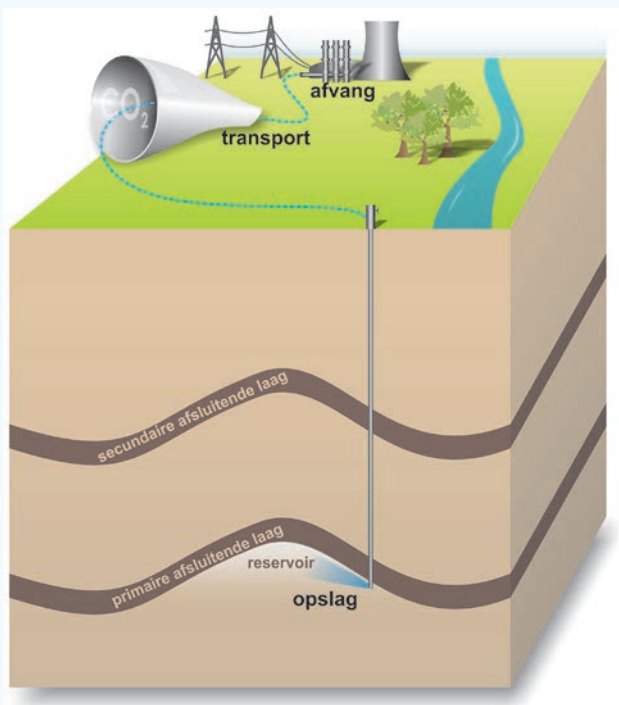
Het belang van geologische opslag van CO₂ voor België

Het afvangen en opslaan van CO₂ in geologische reservoirs is een mogelijk noodzakelijke maatregel om de gestelde klimaatdoelstellingen te halen. Ook in België is er potentieel, maar de verschillende deelaspecten van deze technologie (onder andere de benodigde opslagcapaciteit, de infrastructuur, maar ook het financiële aspect) moeten met elkaar uitgelijnd zijn om commerciële projecten mogelijk te maken.

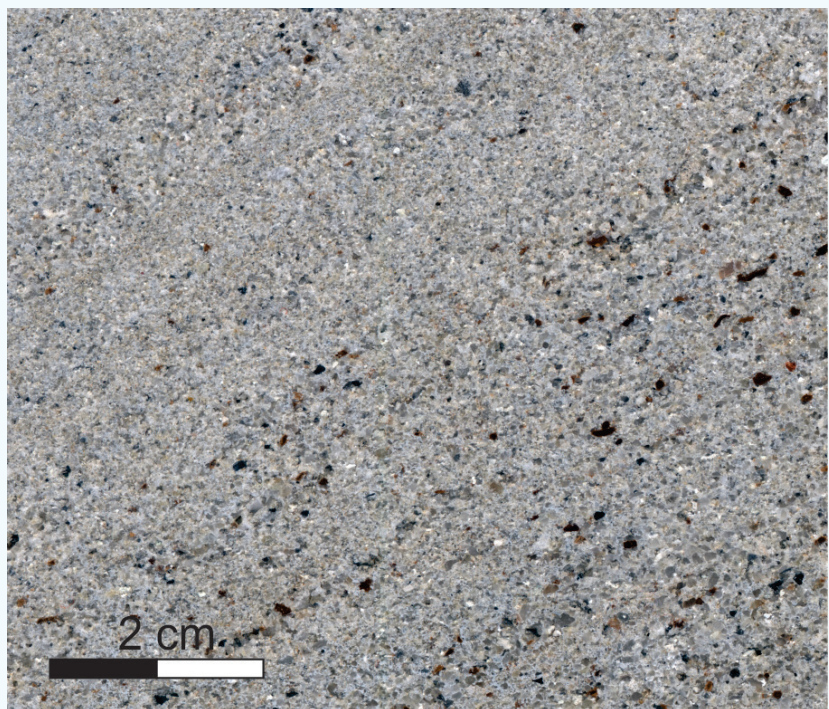
Waarom CO₂ opslaan in de diepe ondergrond?

Op de klimaattop in december in Parijs werd beslist om de opwarming van de aarde te beperken tot 2 graden, en dat zelfs gepoogd gaat worden om dit te beperken tot 1.5°C. Over de maatregelen zelf is echter niets vastgelegd. Het Internationale Energie Agentschap (IEA) geeft al enige tijd aan dat er geen unieke oplossing bestaat om de uitstoot van broeikasgassen, en in het bijzonder CO₂, op een economisch haalbare manier te beperken. De zekerste manier om dit te bereiken, is om alle mogelijke manieren in te zetten die ter beschikking zijn. Enkele oplossingen in dit portfolio zijn voor de hand liggend, en reeds goed gekend bij de man in de straat: energie-efficiëntie bijvoorbeeld, of het gebruik van hernieuwbare energiebronnen zoals zonne- of windenergie.

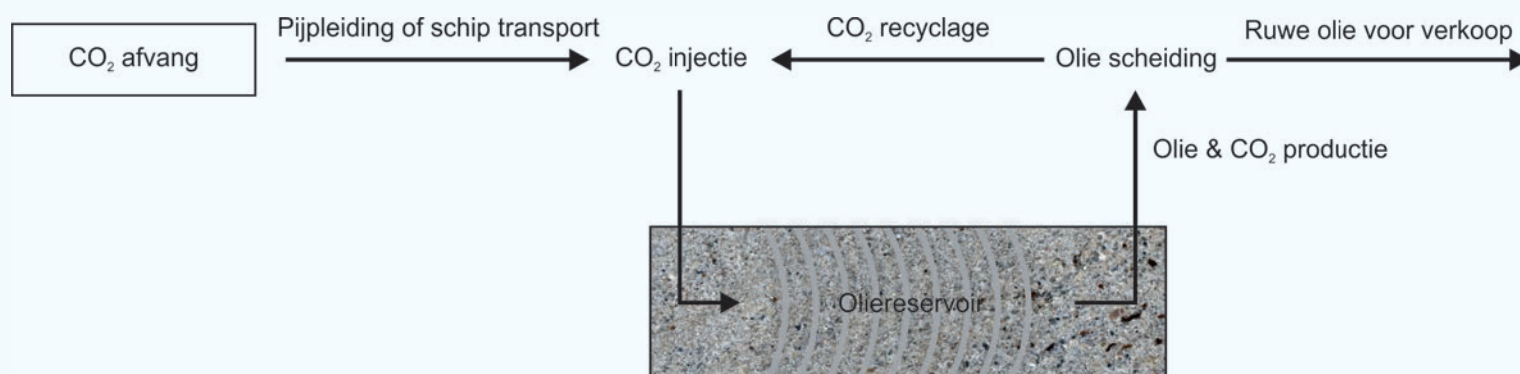
Het afvangen van CO₂-emissies en daarna opslaan in de diepe ondergrond (CO₂ capture and geological storage, CCS) is een minder gekende technologie. Het is echter een sleuteltechnologie om voor zeer grote industriële bronnen de reductie van de CO₂-uitstoot zo kosten-efficiënt mogelijk te laten verlopen. Het IEA heeft becijferd dat in het meest kosten-efficiënte scenario, CCS tot 2050 zou instaan voor 17% van de wereldwijde CO₂-reductie in 2050. Het is bovendien voor veel sectoren de enige oplossing om op korte en middellange termijn CO₂-reducties te verwezenlijken. Denk maar aan de productie van staal of kunstmest, waar alternatieve productiemethodes nog niet bestaan of in de kinderschoenen staan. Het afvangen van CO₂ uit de lucht (via de verbranding van biomassa, of in de toekomst rechtstreeks), en vervolgens de opslag in geologische reservoirs, is ook de enige mitigatieoptie die toelaat om netto negatieve emissies te creëren. Voorlopige onderzoeksresultaten van de Belgische Geologische Dienst, onderdeel van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (BGD-KBIN) voor bijvoorbeeld Zweden tonen aan dat sommige landen mogelijk het potentieel hebben om zelfs op nationale schaal op deze manier negatieve emissies te realiseren.



Figuur 1. De CCS-keten met afvang, transport via pijpleiding en injectie in een geologisch reservoir waar verschillende afsluitende lagen zorgen voor veilige en permanente opslag.



Figuur 2. Detailopname van een typisch reservoirgesteente (zandsteen) voor de opslag van CO₂. CO₂ wordt onder druk in de poriën geïnjecteerd.



Figuur 3. Schematische voorstelling van CO₂-enhanced oil recovery. CO₂ lost de olie op, en bij productie wordt het mengsel gescheiden waarbij de CO₂ herbruikt kan worden.

CCS in België

Wereldwijd zijn er reeds verschillende piloot-, demonstratie- en commerciële projecten die aantonen dat de technologie voorhanden is, en zelfs economisch haalbaar. Nochtans wordt herhaaldelijk het tegendeel beweerd om op politiek niveau CCS neer te sabelen. De laatste jaren is er in de verschillende EU-lidstaten een trend dat overheidssteun aan CCS projecten wordt opgezegd, waardoor het onderzoek stilvalt. Dit in tegenstelling tot de rest van de wereld, waar onderzoek en implementatie wel vooruitgaat, waar dit een tiental jaar geleden net omgekeerd was.

Specifiek voor België werden in 2005 de nationale PSS-CCS-projecten gestart met de steun van BELSPO, en gecoördineerd door de BGD-KBIN. Het doel van dit project was het onderzoeken van de haalbaarheid voor de verschillende aspecten van CCS voor België, zowel afvang, transport als opslag van CO₂. Vermits er in België, behalve voor de steenkoolmijnen, historisch weinig economische interesse was voor de diepe ondergrond, zijn mogelijke opslaglocaties weinig gekend en bestaan er grote onzekerheden. Er werd daarom een methode ontwikkeld om ondanks deze onzekerheden toch een beeld te scheppen van de opslagmogelijkheden. Uit de resultaten bleek dat door de CO₂-intensieve industrie er in ieder geval potentieel voor het afvangen is, en dat er mogelijk ook een significant opslagpotentieel is met de Kempen als meest beloftevolle locatie. De PSS-CCS-projecten bevestigen ook het belang van CCS in een evenwichtig portfolio voor elektriciteitsproductie en industrie.

Huidig onderzoek

Sinds het beëindigen van de PSS-CCS-projecten in 2011 is er vanuit de overheid geen incentive meer gekomen voor verder onderzoek naar CCS in België. Toch vormen deze onderzoeken de kritische basis voor het verder onderzoek door de Belgische Geologische Dienst, dat nog steeds wordt voortgezet en zelfs wordt uitgebreid. Een belangrijk

voorbeeld hierbij is onderzoek naar commercieel interessante opportuniteiten voor CCS, zoals het gebruik van CO₂ om olieproductie te verbeteren (CO₂-EOR, CO₂-enhanced oil recovery). Wanneer de traditionele productiemethodes voor een olieveld uitgeput zijn, blijft vaak nog meer dan de helft van de olie in de ondergrond aanwezig omwille van verschillende fysische processen zoals capillaire krachten. Wanneer CO₂ onder druk in het oliereservoir wordt geïnjecteerd lost deze de olie gedeeltelijk op, waardoor deze gemakkelijker geproduceerd kan worden. De plaats die de gewonnen olie innam, kan bovendien gebruikt worden om CO₂ verder in op te slaan. Naast de toegevoegde waarde voor het oliebedrijf, door de extra olie die verkocht kan worden, biedt deze techniek nog voordelen zoals een grotere energiezekerheid voor olie uit de Noordzee en het feit dat kosten voor het opslaan van CO₂ gedekt worden door de olieopbrengsten.

Hoewel België zelf geen olievelden heeft, biedt de nabijheid van de Noordzee wel de mogelijkheid om afgevangen CO₂ te transporteren, te gebruiken en permanent te stockeren. De industrie rond de haven van Antwerpen bijvoorbeeld is erg geschikt om CO₂ te leveren voor dergelijke CO₂-EOR-projecten, waardoor op zijn beurt relatief CO₂-arme olie beschikbaar zou komen voor de goed uitgebouwde petrochemische industrie in ons land. Het huidige onderzoek spitst zich onder meer toe op de winstgevendheid van mogelijke projecten in de Noordzee, gegeven deze economische situatie en de inherente reservoironzekerheden.

De auteurs

Kris Welkenhuysen en Kris Piessens, Belgische Geologische Dienst, Operationele Directie Aarde en Geschiedenis van het Leven, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN).

Ondersteuning van duurzame plantages in de Democratische Republiek Congo (DRC)

SPOT HRV-beeld met valse kleuren van de grens tussen de DRC en Rwanda ten noorden van het Kivumeer. Dichte vegetatie, donkerrood op dit beeld, toont de contouren van de Virunga en Volcanoes Nationale Parken. © CNES 2010, Distribution Airbus DS

Bosecosystemen houden meer dan 650 miljard ton koolstof vast. Dat is meer dan alle koolstof die in de atmosfeer aanwezig is. Door massale ontbossing, vooral in de grote oerbossen in de tropen, komen deze koolstofvoorraden vrij, wat leidt tot een toename van de broeikasgassen in de atmosfeer en tot klimaatopwarming. Op internationaal niveau worden verschillende initiatieven genomen om ontbossing tegen te gaan. Aardobservatieonderzoek, met name in het kader van het STEREO-programma, vormt een belangrijke bijdrage aan deze inspanningen door tools te ontwikkelen waarmee de ontbossing beter kan worden ingeschat en opgevolgd, zowel op wereldwijde als op lokale schaal.

De DRC herbebossen

Het Nationaal Park Virunga is 790.000 ha groot en ligt in het oosten van de DRC. Het omvat een keten van vulkanen en een verbluffende verscheidenheid aan habitats die een uitzonderlijke biodiversiteit huisvesten. Hoewel het erkend is als UNESCO World Heritage Site, is er een alarmerende ontbossing aan de gang. Deze is het gevolg van de uitbreiding van landbouw- en weidegronden, en van een intense illegale houtkap. Goma wordt overspoeld door boerenfamilies die op de vlucht zijn voor de voortdurende gevechten. De bevolking is er intussen al toegenomen tot meer dan een miljoen inwoners. Hout en houtskool (lokaal *makala* genaamd) zijn

de enige vlot beschikbare energiebronnen voor deze mensen. 80% hiervan wordt dagelijks gekapt in het naburige Park. In 2007 startte de WWF het EcoMakala-programma, een alternatieve productiewijze van makala gebaseerd op de aanplant van snelgroeibare boomsoorten op de kleine percelen aan de rand van het Park. Dit biedt twee voordelen: het verbetert de levensomstandigheden van de boeren, en verzekert het behoud van de bossen in het Park.

Een subsidiekaart om van koolstoffinanciering te profiteren

De EcoMakala-plantages slaan koolstof op en verminderen de ontbossing in het Nationaal Park. Ze komen dus prima in aanmerking voor koolstoffinanciering zoals voorzien in de Kyoto-overeenkomsten. Daarvoor moet echter wel aangevoerd kunnen worden dat de percelen aan de vereiste criteria voldoen. Aardobservatie werd weliswaar ingezet voor grotere percelen, maar werd nog nooit eerder gebruikt voor het bepalen van de bosbedekking op kleine oppervlaktes. Het STEREO-project MORECA heeft deze leemte opgevuld. De studie maakte gebruik van SPOT-beelden met een resolutie van 20 m, en koos een classificatiemethode die is aangepast aan het bergachtige en gefragmenteerde terrein van de DRC. Op die manier slaagde ze erin subsidiekaarten op te maken, waarmee voor elk perceel de beboste oppervlakte kan worden berekend. Dit verschaftte het WWF-kantoor in Goma de vereiste bewijzen om subsidies te kunnen krijgen voor de EcoMakala-plantages. Nu de methode haar nut heeft bewezen, kan ze ingezet worden voor fondsenwerving in gebieden die moeten voldoen aan andere criteriavereisten.

Makala wordt verkocht op de plaatselijke markt.
© K.Holt/WWF-UK



De auteurs

Stereo-team - BELSPO (Directie Lucht- en ruimtevaart-toepassingen)

Meer

Project MORECA (ULB - UCL - WWF):
<http://eoedu.belspo.be/stereo> > Afrika

