



# Impact van de klimaatverandering in België

**UCL** Université catholique de Louvain

**GREENPEACE**



## Voorwoord

De klimaatverandering – die hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door de verbranding van fossiele brandstoffen – vormt de grootste ecologische bedreiging voor de mensheid. Hoewel de gevolgen ervan vooral onevenredig zwaar (zullen) uitvallen voor de armen in de ontwikkelingslanden, zullen ook de industrielanden niet gespaard blijven. Dit rapport richt de blik op enkele te verwachten gevolgen voor België.

Om een gevaarlijke klimaatverandering te vermijden, moet de uitstoot van broeikasgassen in de geïndustrialiseerde landen tegen het midden van de 21ste eeuw met ongeveer 80% omlaag. In het Verenigd Koninkrijk, Duitsland en Nederland heeft de overheid al blijk gegeven van leiderschap en een uitstootreductie aangekondigd tussen 40% tegen 2020 en 60% tegen 2050.

Naast de eerste fase van de Kyoto-doelstelling, moet België ook dringend een politieke visie op lange termijn ontwikkelen om tegen 2050 de uitstoot van zijn broeikasgassen met 80% te verminderen. Dit langetermijnbeleid moet inspanningen voorzien voor alle sectoren (de industrie, de stroomproductie, de gezinnen en het vervoer). Zonder zo'n beleid zal België er niet in slagen te voldoen aan haar uiteindelijke verplichting in het kader van het verdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering om een gevaarlijke klimaatverandering te voorkomen – en dat zal zowel in België als in het buitenland leiden tot schadelijke gevolgen voor de huidige en de toekomstige generaties.

De strijd tegen de klimaatverandering maakt een grondige herziening van het Belgische energiesysteem noodzakelijk. Maar voor België biedt dit eveneens de kans om zijn energie-afhankelijkheid te verminderen en de energievoorziening veiliger te maken. Momenteel voert België vrijwel alle primaire energiebronnen in (olie, gas, steenkool en uranium). Dat maakt onze economie kwetsbaar, zowel door de schommelingen in de wereldgrondstoffenprijzen als door de voorziene prijsstijging van de steeds schaarser wordende brandstoffen. Het is algemeen bekend dat afhankelijkheid van olie kan leiden tot geopolitieke spanningen. Steenkool is dan weer de meest vervuilende brandstof van allemaal en dus niet bruikbaar in een koolstofarme economie. Kernenergie veroorzaakt onoplosbare problemen en is onbetrouwbaar, duur en ook gevaarlijk gebleken. Dat gevaar wordt nog verhoogd door terroristische dreigingen. Bovendien is kernenergie zonder hoge subsidies ook niet concurrentieel met andere energiebronnen.

In combinatie met een efficiënter energieverbruik bieden de verschillende hernieuwbare energietechnologieën een onmiddellijke, milieuvriendelijke, veilige en doeltreffende oplossing, zowel om de klimaatverandering aan te pakken als de energievoorziening veilig te stellen. Hernieuwbare energie levert nu al stroom aan miljoenen mensen over de hele wereld. Zij zorgt ook voor honderdduizenden banen in Europa en biedt uitzicht op een groeiende markt die vele miljarden euro's waard is. In België is vooral offshore windenergie bijzonder geschikt om op grote schaal stroom te leveren.

Zonder dringende maatregelen om de uitstoot van broeikasgassen snel terug te dringen, zal het over een tiental jaar niet meer mogelijk zijn de temperatuurstijging onder het gevaarlijke peil te houden. Sommige energie-intensieve sectoren moeten wellicht hun productieprocessen herzien. Maar naarmate de wereld evolueert in de richting van een koolstofarme economie, zullen bedrijven enorme kansen krijgen om zich te ontwikkelen, werkgelegenheid te scheppen en de technologieën van de toekomst te leveren, met name in de sectoren van de hernieuwbare energie en energiezuinige producten. België en de Belgische bedrijven mogen de boot niet missen. Eén zaak is duidelijk: er staat een kostprijs op het vermijden van een gevaarlijke klimaatverandering, maar niets doen zal verschrikkelijk veel meer kosten.



**STEVE SAWYER**

*Politiek directeur  
Greenpeace International*

# Dankwoord

Dit werk zou niet mogelijk zijn geweest zonder de medewerking van de hierna vermelde collega's, die ons hebben geholpen door documenten te bezorgen, tekstpassages aan te brengen, in te staan voor een aandachtige herlezing of het maken van een samenvatting. Wij willen hen daarvoor hartelijk bedanken. De personen die belangrijke delen van de hoofdstukken van dit rapport hebben geschreven, staan telkens aan het begin van elk hoofdstuk als auteur vermeld.

---

**Administratie Waterwegen en Zeewezen:**

Ir M. Berteloot, Ir Wim Dauwe en Ir Peter De Wolf

**Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois,  
Observatoire de la Faune, de la Flore et des Habitats  
(OFFH):**

Dr. Philippe Goffart

**Finnish Environment Institute (Helsinki):**

Pr. Timothy Carter

**Koninklijk Belgisch Instituut voor  
Natuurwetenschappen:**

Dr. Francis Kerckhof (Beheerseenheid van het  
mathematisch model van de Noordzee)

**Koninklijk Meteorologisch Instituut:**

Dr. Daniel Gellens en Dr. Christian Tricot

**Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid:**

Geneviève Ducoffre, Dr. Francis Sartor, Dr. René Snacken  
(Departement Epidemiologie – Toxicologie)

**Natuurpunt:**

Marc Herremans

---

**Natuurreservaat Het Zwin:**

Guido Burggraeve (voormalig conservator)  
en Kris Struyf (conservator)

**Université catholique de Louvain:**

Nicolas Dendoncker, Dr. Isabelle Reginster en  
Pr. Mark Rounsevell (Département de Géographie)  
Xavier Fettweis, Wouter Lefebvre, Nicole Materne  
en Emilie Vanvyve (Institut d'Astronomie et de  
Géophysique G. Lemaître, Département de Physique)

**Université de Liège:**

Dr. Alain Hambuckers (Institut de Zoologie,  
Département des Sciences et de Gestion  
de l'Environnement)  
Dr. Louis Leclercq (directeur de la Station  
scientifique des Hautes-Fagnes)  
Pr. René Schumacker (emeritus)

**Vrije Universiteit Brussel:**

Dr. Philippe Huybrechts (Departement Geografie)

Daniel Tanuro, journalist en wetenschapper, heeft ons met zijn talenten bijgestaan om de tekst toegankelijker te maken.

Ten slotte mogen wij zeker Jean-François Fauconnier (Greenpeace) niet vergeten. Wij danken hem voor zijn aanmoedigingen en zijn geduld tijdens de uitwerking van dit rapport.

## Impact van de klimaatverandering in België?

*Brussel, 2 augustus 2044, 7 uur 's ochtends. De verstikkende warmte is er nog altijd. De ozon ook. Het crisiscomit  heeft vannacht nog vergaderd. Het leger moet de Civiele Bescherming en de brandweer bijstaan. De noodtoestand blijft van kracht. De droogte duurt nu al sedert begin mei, akkers die al ongeveer twintig jaar worden bevoeid, krijgen nu geen irrigatie meer. Vijf landbouwers hebben eergisteren zelfmoord gepleegd voor de deur van de Wetstraat 16. De STEG-centrale van Tihange moet haar activiteit terugschroeven omwille van de lage waterstand in de Maas. De windmolens draaien maar op halve kracht, omdat er te weinig wind is. Het is nog niet mogelijk geweest de sporen te herstellen van de HST Parijs-Berlijn die vorige week in de buurt van Leuven is ontspoord en waarbij 52 doden en 234 gewonden zijn gevallen. De sporen waren vervormd door de warmte. De scouts zijn opgeroepen om te helpen bij het bezorgen van water aan bejaarden in tehuizen, waar de klimaatregeling maar drie uur per dag werkt bij gebrek aan elektriciteit. Er is enkel nog plaats vrij in het geïmproviseerde mortuarium in de koelhuizen van Antwerpen.*

*Mensen die met vakantie naar Noorwegen zijn vertrokken, durven niet terugkeren ondanks de oproep van het VBO om opnieuw aan het werk te gaan om het concurrentievermogen van de Belgische bedrijven veilig te stellen. De Europese Centrale Bank heeft forse steun moeten verlenen aan de euro tegenover de Chinese yuan, omdat de economische vooruitzichten voor heel West-Europa door de klimaatcrisis erg somber zijn. De Dienst Vreemdelingenzaken is ontwricht door Egyptenaren die hier toestromen omdat het peil van de Middellandse Zee maar blijft stijgen en de helft van de Nijldelta al is ondergelopen. En de oorlog om water tussen Turkije en Syrië dreigt helemaal uit de hand te lopen. Maar er valt ook goed nieuws te melden: GlaxoSmithKline-Novartis-Nestlé-Suez heeft aangekondigd dat er een vaccin op punt is gesteld tegen het West-Nijlvirus, waaraan koning William van Engeland vijf jaar geleden is bezweken. Maar alles zal binnenkort beteren: tijdens een speciale vergadering van de G15 vorige week heeft de Amerikaanse presidente aangekondigd dat twaalf duikboten klaar staan om de Zuidelijke IJszee te gaan inzaaien met ijzer om te proberen de opname van CO<sub>2</sub> te verhogen. Zij heeft ook aangekondigd dat de stedelijke 4x4-voertuigen niet meer dan achttien liter per honderd kilometer mogen verbruiken.*

Toegegeven, dit scenario lijkt een beetje overdreven, al is elk van de beschreven feiten mogelijk wanneer er geen ernstige maatregelen komen om het klimaat te beschermen. Er komt een enorme uitdaging op ons af, als het over het broeikas effect gaat. Maar soms vraag ik me af of

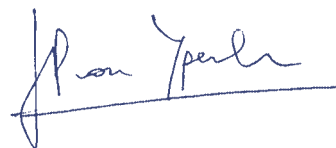
we echt moeten wachten tot er een klimaatramp 'neerdaalt' op het Witte Huis – zoals in 'Col re', de meeslepende roman van Denis Marquet (Albin Michel, 2001) – opdat beleidsmakers op alle niveaus (politiek, economisch, tot en met de burgers) het probleem ernstig zouden nemen.

Het besef dat de kracht van tropische wervelstormen in Bangladesh zal toenemen en dat de Afrikaanse landbouw volledig zal instorten, volstaat niet om bij ons de publieke opinie te mobiliseren. Ik droomde er al lang van om een stand van zaken op te maken van de mogelijke impact van de klimaatverandering in België, zoals dat al is gebeurd voor Europa of in verscheidene van onze buurlanden (zie de algemene referenties in de bibliografie, p. 40). De vraag van Greenpeace heeft mij de gelegenheid geboden om eraan te beginnen. De wetenschappelijke informatie over het onderwerp zit erg verspreid, en de onderzoekers die erover beschikken zien niet altijd in welke context van klimaatverandering die gegevens precies passen.

Mijn collega Philippe Marbaix en ik konden voor dit project rekenen op de medewerking van verschillende Belgische specialisten (zie onze bedanking hiertegenover). Met hun waardevolle hulp hebben wij geprobeerd elk feit, elke bewering stevig te onderbouwen. Soms moesten we ons beperken tot het aanpassen van de informatie die beschikbaar is voor de buurlanden of in de rapporten van het IPCC.

Wij nemen de volledige wetenschappelijke verantwoordelijkheid voor het resultaat op ons, en willen Greenpeace trouwens bedanken dat het op geen enkele manier heeft ingegrepen in de inhoud van onze tekst. Alle verdere suggesties\* zijn welkom op [impactbe@climate.be](mailto:impactbe@climate.be).

Ik hoop dat dit rapport tot nadenken zal stemmen. Want helaas hebben wij geen reserveplaneet.



**JEAN-PASCAL VAN YPERSELE**

*Professor Klimatologie en  
Milieuwetenschappen aan de UCL*

\* Dit werk is maar een eerste voorzet. Het was materieel gezien niet mogelijk binnen de voorziene termijn alle bronnen noch alle deskundigen te raadplegen. De tekst bevat zeker nog onnauwkeurigheden en sommige terreinen komen wellicht niet of onvoldoende aan bod. De passende wetenschappelijke referenties en eventueel bijkomend materiaal zullen op het internet beschikbaar zijn ([www.astr.ucl.ac.be](http://www.astr.ucl.ac.be) en [www.greenpeace.be](http://www.greenpeace.be)). Het zou ons bijzonder verheugen indien wij dit werk met uw hulp zouden kunnen voortzetten en afronden.



## Samenvatting

### Klimaatverandering

Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) is een onvermijdelijke afvalstof van de verbranding van fossiele brandstoffen. Sinds de industriële revolutie komt die in steeds grotere hoeveelheden in de atmosfeer terecht en zorgt zo voor een aanzienlijke versterking van het natuurlijke broeikaseffect, een verhoging van de gemiddelde temperatuur en een verandering van het klimaat<sup>5</sup>. Per jaar komt ongeveer dertig miljard ton CO<sub>2</sub> in de atmosfeer terecht – dat is gemiddeld vijf ton per persoon (en twaalf ton per Belg!). Op ongeveer 250 jaar tijd is de CO<sub>2</sub>-concentratie met dertig procent gestegen.

Om de mechanismen van het klimaat te begrijpen, om de mogelijke gevolgen aan de weet te komen van het sterkere broeikaseffect en om de strategieën te evalueren voor de uitstootreductie van broeikasgassen, hebben de Verenigde Naties in 1988 de *Intergouvernementele Werkgroep inzake Klimaatverandering* opgericht (*Intergovernmental Panel on Climate Change* of IPCC in het Engels), waarin het merendeel van de specialisten op wereldniveau samenwerken aan een nauwkeurig deskundig onderzoek. Het IPCC stelt projecties op over de klimaatverandering op basis van verschillende scenario's omtrent de sociaal-economische ontwikkeling, op basis van de resultaten van verschillende klimaatmodellen en op basis van ander onderzoeksmateriaal dat door de werkgroep wordt geanalyseerd en samengevat.

Hoewel nog heel wat zaken niet helemaal duidelijk zijn, heeft het werk van het IPCC<sup>4,1,r</sup> geleid tot verscheidene duidelijke conclusies, onder andere met betrekking tot de impact van de mens op het klimaat: *“het grootste deel van de opwarming van de laatste vijftig jaar is waarschijnlijk toe te schrijven aan de toenemende concentratie van broeikasgassen”*. Het IPCC bevestigt eveneens een groeiend vertrouwen in het vermogen van modellen om de toekomstige evolutie van het klimaat te voorspellen. Rekening houdend met de resultaten van alle modellen en alle scenario's voorspelt het IPCC een wereldwijde temperatuurstijging van gemiddeld 1,4 tot 5,8°C voor de periode 1990–2100. Ten minste in de loop van de voorbije 10.000 jaar is de temperatuur nooit zo snel gestegen en de temperaturen die men in 2100 vreest te bereiken, zijn waarschijnlijk gedurende verschillende honderdduizenden jaren nooit gehaald.

De temperatuurstijging is trouwens niet de enige uiting van de klimaatverandering. De projecties van het IPCC wijzen op een trend van toenemende neerslag met aanzienlijke verschillen naargelang de seizoenen en de streken. Een ander gevolg is de stijging van het niveau van de oce-

anen, door de thermische uitzetting van de watermassa enerzijds en het smelten van de gletsjers en van het ijs in Groenland en Antarctica anderzijds. Er bestaat nog vrij veel onzekerheid in verband met dit onderwerp en daardoor lopen de marges van de stijging van de zeespiegel voor de periode 1990–2100 uiteen van 9 tot 88 cm.

Het overschot aan CO<sub>2</sub> in de atmosfeer blijft daar heel lang aanwezig en de opwarming van het water van de oceanen verloopt heel traag. Daarom zal de temperatuur langzaam blijven stijgen – ook al komt er een stabilisatie van de CO<sub>2</sub>-concentratie, wat op zich al een sterke vermindering van de uitstoot vereist. Daardoor verhoogt zeker ook de kans dat een belangrijk deel van de ijskap afsmelt. Door de opwarming en het smelten van het landijs samen zou het gemiddelde zeepeil over de komende 1.000 jaar 5 à 8 m (!) kunnen stijgen, en dit in een 'gemiddeld' scenario. Tenslotte zou de opwarming ook voor grote 'verrassingen' kunnen zorgen, zoals een verandering in de zeestromingen met een eventuele stopzetting van de Golfstroom, die de opwarming in onze luchtstreken zou kunnen afzwakken en zou kunnen leiden tot een afkoeling in Noord-Europa. Het stilvallen van de Golfstroom komt niet voor in de projecties voor de periode tot 2100, maar de huidige kennis laat niet toe deze mogelijkheid op langere termijn uit te sluiten. Men veronderstelt ook dat het stilvallen van de Golfstroom een bijkomende stijging zou veroorzaken van het niveau van de Noordzee.

### Projecties voor België

Op wereldvlak is de verwachte gemiddelde temperatuurstijging vrij goed bekend, maar dat geldt niet voor de regionale spreiding van de klimaatverandering, en zeker niet als het gaat over de waterkringloop. Bovendien is België klein in vergelijking met de klimaatzones en hebben de modellen op wereldschaal maar een nauwkeurighedsgraad van enkele honderden kilometers. Maar toch zijn er, afhankelijk van de scenario's en de modellen, enkele trends waar te nemen:

- de temperaturen stijgen in alle onderzochte gevallen, in een mate die al tegen het jaar 2050 aanzienlijk is, en dit zowel in de zomer als in de winter. Aan het eind van de 21ste eeuw zou de temperatuurstijging, in vergelijking met het eind van de 20ste eeuw, 1,7 tot 4,9°C bedragen in de winter en 2,4 tot 6,6°C in de zomer;
- de projecties voor de evolutie van de neerslag tegen het einde van de 21ste eeuw vermelden een stijging met 6 tot 23% in de winter en een evolutie voor de zomer gaande van een status quo tot een daling met 50%.

Daar vloeien ook nog andere wijzigingen uit voort. Koude winters zouden geleidelijk aan minder voorkomen. Het wolkendek zou kunnen toenemen. De kans op ernstige hittegolven, zoals in de zomer van 2003, zou groeien. Het is heel waarschijnlijk dat vaker sprake kan zijn van periodes met intense regenval. Als het gaat over stormen, zijn de onzekerheden belangrijk, maar het is mogelijk dat hun frequentie en/of intensiteit toenemen.

## Overstromingsrisico

Gezien de voorspelde toename van de winter neerslag, zouden het peil van het grondwater en het debiet van de waterlopen in de winter moeten stijgen. Studies in verschillende rivierbekkens in ons land wijzen op een verhoogd overstromingsrisico tot in 2100 voor de onderzochte bekkens.

De hydrologische impact van de klimaatverandering in België is tot nu toe vrij weinig onderzocht. Onlangs concludeerde een studie over Groot-Brittannië nochtans dat de risico's van overstromingen door de klimaatverandering een 'onaanvaardbaar niveau' zouden bereiken en ernstige sociaal-economische gevolgen met zich mee zouden brengen.

De afnemende neerslag in de zomer en de toenemende verdamping zouden gepaard kunnen gaan met een waterschaarste in de zomer en ook met een achteruitgang van de kwaliteit van het oppervlaktewater.

## De kuststreek

Door de klimaatverandering krijgen de kustgebieden te maken met drie soorten impact: overstromingen bij stormen, erosie van de kust en het feit dat natuurlijke vochtige gebieden verdwijnen of verder naar het binnenland verschuiven. Er zijn ook nog mogelijke andere gevolgen, zoals een stijging van het grondwaterpeil en een verzilting van de bodem en van het grondwater.

Een stijging van het gemiddelde zeepeil met 1 meter zou ertoe kunnen leiden dat in België bijna 63.000 hectaren land onder het zeeniveau komen te liggen. Bij een mogelijke stijging van acht meter zou over duizend jaar meer dan een tiende van het Belgische grondgebied (bijna 3.700 km<sup>2</sup>) onder de zeespiegel liggen. We zouden kunnen proberen deze situatie aan te pakken zoals in Nederland met passende beschermende maatregelen, maar in elk geval zal het risico van grootschalige overstroming toenemen. Na de overstromingen van januari 1976 in het bekken van de benedenloop van de Schelde, veroorzaakt door een storm in de Noordzee, heeft de overheid het Sigma-plan ingesteld. Dit plan wordt momenteel geactualiseerd, gedeeltelijk rekening houdend met een stijging van het zeepeil tot 60 cm.

De kust heeft tegenwoordig te maken met erosie die afhangt van strand tot strand. Het is al vaak nodig geweest om zand aan te voeren. Deze erosie zou in de toekomst nog kunnen toenemen doordat het zeepeil verder zal stijgen en doordat er waarschijnlijk ook vaker stormen zullen voorkomen.

Op ecologisch vlak vinden we in het Zwin een voorbeeld van de complexe gevolgen die de klimaatverandering kan hebben voor kustgebieden. Op korte termijn en zonder de klimaatverandering wordt deze biotoop met zijn grote landschappelijke en ecologische waarde bedreigd met verzanding. Het zou waarschijnlijk wel mogelijk zijn het beheer van het Zwin aan te passen aan een matige stijging van de zeespiegel. Maar op langere termijn zou de stijging van het zeepeil ernstige problemen kunnen opleveren, en het is niet zomaar mogelijk om als reactie op de overstromingen de vochtige gebieden op te schuiven naar het binnenland.

## Biodiversiteit

In het document '*Climate change and biodiversity*' komt het IPCC<sup>o</sup> tot de conclusie dat de klimaatverandering, die nu al een invloed heeft op de biodiversiteit, een bijkomende druk uitoefent op deze diversiteit en dat de risico's op uitroeiing voor vele soorten die nu al kwetsbaar zijn nog zullen toenemen. Het IPCC<sup>t</sup> meent ook dat de geografische omvang van de schade of het verlies en het aantal getroffen systemen proportioneel zullen toenemen met de omvang en de snelheid van de klimaatverandering.

Sommige gevolgen van de klimaatverandering voor de biodiversiteit zijn nu al merkbaar in Europa, en dus in ons land. Zo blijken talrijke soorten die leven in warme streken naar het noorden op te schuiven<sup>1</sup>. Deze verandering is duidelijk vastgesteld voor sommige diersoorten (mollusken, libellen, mieren, vlinders, enzovoort) en plantensoorten (mossen, algen, korstmossen, enzovoort). De achteruitgang van soorten uit koude streken is op dit moment minder duidelijk.

Wij hebben geprobeerd op het niveau van België in te schatten hoe groot het aandeel zal zijn van de soorten die door de opwarming van het klimaat dreigen te verdwijnen of dreigen toe te nemen. Daartoe hebben wij de soorten eerst opgedeeld naargelang van hun voorkomen in een biogeografisch klimaattype (boreaal, continentaal, oceanisch, enzovoort). Op die manier konden wij de soorten die in België leven, opsplitsen in drie categorieën: soorten van gematigde streken, soorten van warme streken en soorten van koude streken. De huidige verspreiding van de soorten geeft feitelijk aan welke omstandigheden zij nodig hebben om te overleven en te kunnen groeien (dat wil zeggen, welke hun ecologische niche is). De soorten van koude streken worden het eerst bedreigd. Het gaat



bijvoorbeeld om zoetwatervissen als het alvertje of de voorn. Langlevende boomsoorten (eik, beuk en haagbeuk) zouden hier geen gunstig klimaat meer vinden om zich te ontwikkelen. Zij zouden bovendien te lijden hebben van problemen met parasieten en ziekten, vooral wanneer zij verzwakt zijn door hittegolven.

In de loop van de 21ste eeuw zal de klimaatverandering vermoedelijk leiden tot het verdwijnen van een deel van de soorten die in België aanwezig zijn. Meer nog, de klimaatverandering kan ook leiden tot verschuivingen tussen sommige biologische processen: sommige populaties van rupsen komen bijvoorbeeld vlugger uit wanneer de lente vroeger begint. Deze rupsen vinden dan niet voldoende bladeren hebben gevormd en worden zo dus sterk uitgedund, wat weer nadelig is voor de mezen... In de Noordzee zien we dat er zich al soorten van warme streken vestigen, waarvan sommige in concurrentie treden met lokale soorten, zoals de mossel. De structuur van de ecosystemen, dat wil zeggen de verdeling en de relatieve overvloed van de verschillende soorten en ook hun onderlinge verhoudingen, zou daardoor diepgaand kunnen wijzigen.

Na enkele decennia zal de klimaatverandering een belangrijke impact hebben, zeker in combinatie met deze factoren. Naast de klimaatverandering spelen ook nog andere factoren een rol, zoals de vernietiging van biotopen, de verontreiniging van de lucht, het water en de bodem en ook een te economisch en te technocratisch milieubeheer. Deze factoren vormen momenteel zeker de belangrijkste bedreiging voor de biodiversiteit en voor de zeldzame natuurlijke of halfnatuurlijke ecosystemen die nog in ons land voorkomen. Maar het is uiteindelijk mogelijk dat de invloed van de klimaatverandering in de toekomst deze bedreigingen nog zal overtreffen.

De Hoge Venen vormen een duidelijk voorbeeld van de gecombineerde impact van de klimaatverandering en andere factoren. Het veen gaat er al sinds geruime tijd om verschillende redenen op achteruit: door verdroging, vervuiling en toerisme. Wanneer deze aantasting zich voortzet en wanneer de klimaatverandering bovendien in omvang toeneemt, valt zelfs te verwachten dat de restanten veen die vandaag nog vrijwel intact zijn, de komende twintig tot vijftig jaar helemaal zullen verdwijnen. Maar zelfs de klimaatverandering op zich zou op termijn al leiden tot een verdwijnen van het veen, omdat zij gepaard gaat met een aanzienlijke verdroging.

## Landbouw en grondgebruik

Bij een stijging van de plaatselijke temperatuur van minder dan drie graden vallen er voor de landbouw in België in de 21ste eeuw maar beperkte gevolgen van de klimaatverandering te verwachten, en dit in alle scenario's. Een

temperatuurstijging leidt meestal tot een daling van de opbrengst van de meeste gewassen, maar de toegenomen CO<sub>2</sub>-concentratie zorgt dan weer meestal voor een toenemende opbrengst. De mate waarin deze beide effecten elkaar opheffen, varieert naargelang van de gewassen. In België zou de algemene impact beperkt en zelfs positief moeten zijn voor sommige gewassen (waarvan tarwe), tenminste zolang de temperatuurstijging niet hoger is dan ongeveer 3°C. Algemeen beschouwd beschikt de landbouw in België bij een temperatuurstijging tot 3°C over ruime aanpassingsmogelijkheden, waardoor het mogelijk is het hoofd te bieden aan de klimaatverandering.

Afhankelijk van de projecties rond het grondgebruik (landbouw, bosbouw, bebouwing...) in de 21ste eeuw, blijven de sociaal-economische context en de beslissingen van het landbouwbeleid de belangrijkste bepalende factoren voor de ontwikkelingen op dit terrein – de impact van het klimaat is in verhouding minder belangrijk, tenminste bij een matige opwarming.

## Gevolgen voor de gezondheid

De gevolgen van de klimaatverandering voor de gezondheid zullen duidelijk ernstiger zijn in de ontwikkelingslanden dan bij ons. Zo kan bijvoorbeeld het toenemend risico op malaria tegen het einde van de eeuw in die landen negatieve gevolgen hebben voor de gezondheid van meer dan tweehonderd miljoen mensen extra.

Maar toch mogen we ook de gevolgen bij ons niet onderschatten. De klimaatverandering kan de gezondheid van de mens op veel verschillende manieren aantasten. Een toename in de hoeveelheid of de intensiteit van de hittegolven verhoogt het aantal sterfgevallen en ziekten; omgekeerd zorgt de daling van het aantal heel koude dagen in de winter dan weer voor minder sterfgevallen met een cardiovasculaire oorzaak. Er zijn ook gevolgen voor de luchtkwaliteit: de warmte gaat vaak gepaard met een hoger ozongehalte, verlengt het seizoen van de productie van allergene pollen... Extreme klimaatverschijnselen zoals overstromingen en stormen eisen ook hun deel van de doden en gewonden.

De werkelijke impact van de klimaatverandering op de volksgezondheid hangt in grote mate af van de kwetsbaarheid van de bevolking en die kwetsbaarheid wordt op haar beurt weer sterk bepaald door de levensstandaard, de toegang tot gezondheidszorg en de mate waarin de bevolking in staat is zich aan te passen aan nieuwe klimaatomstandigheden. In België heeft een studie van het Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid uitgewezen dat de hittegolf tijdens de zomer van 1994, die gepaard ging met hoge waarden aan troposferische ozon, op zes weken tijd 1.226 bijkomende sterfgevallen heeft veroorzaakt (waarvan 236 personen jonger dan 64 jaar). De hitte van de zomer 2003 heeft in België geleid tot bijna 1.300

bijkomende sterfgevallen bij personen van 65 jaar en ouder. Wanneer de gemiddelde dagtemperatuur hoger is dan ongeveer 20°C, is vooral de warmte verantwoordelijk voor het stijgend aantal sterfgevallen en speelt de ozon een minder belangrijke, maar bijkomende rol. Voor de klimaatscenario's die de hoogste temperatuurstijging voorspellen, kunnen we een sterke toename van het aantal bijzonder warme zomers verwachten. Zomers zoals die van 2003 zouden voor het einde van de eeuw de regel kunnen worden. Het zou ongetwijfeld mogelijk zijn om een deel van de gevolgen voor de gezondheid te voorkomen met technische en hygiënische maatregelen (water drinken, enzovoort). Het is ook mogelijk dat er een zekere fysiologische aanpassing zal optreden, maar dit zal alleen het geval zijn wanneer de verandering geleidelijk aan plaatsheeft en bepaalde grenzen niet overschrijdt.

Een ander fenomeen dat we in België kennen is een toenemend aantal gevallen van de ziekte van Lyme sinds het begin van de jaren 1990. Deze toename kan verschillende redenen hebben, maar Zweedse onderzoekers hebben aangetoond dat er een verband was tussen de toename van het aantal teken – de dragers van deze ziekte – tussen 1960 en 1998 en de stijging van de dagelijkse minimumtemperaturen. Dit wijst erop dat de klimaatverandering in de toekomst zou kunnen bijdragen aan een toename van het aantal gevallen in België.

### **Gevolgen voor het toerisme**

De stijging van de zeespiegel en de toenemende temperatuur zouden tot ernstige problemen kunnen leiden voor sommige favoriete toeristische bestemmingen. Laaggelegen kusten of eilanden als de Malediven lopen het risico dat ze gedeeltelijk onder water komen en dat hun stranden te lijden krijgen van een sterke erosie. De klimaatverandering zou heel wat kleine eilandstaatjes werkelijk kunnen ruïneren.

Ook in Europa vallen negatieve gevolgen te vrezen. Zonneschijn wordt als onontbeerlijk beschouwd voor het toerisme... maar een hogere gemiddelde temperatuur in combinatie met vaker voorkomende hittegolven zou de Middellandse-Zeelanden wel eens minder aantrekkelijk kunnen maken. In onze streken zou een matige temperatuurstijging in combinatie met droger weer gunstig kunnen zijn voor het toerisme. Maar we moeten er wel rekening mee houden dat het noodzakelijk zal zijn de stranden regelmatig te herstellen omwille van de toenemende erosie, en dat het debiet van de rivieren in de zomer zal dalen.

Afhankelijk van de omvang van de klimaatverandering, zouden de wintersportstations in de Alpen af te rekenen kunnen krijgen met een ernstig tekort aan sneeuw, vooral op een lagere hoogte. Bij ons zou sneeuw wel eens steeds

zeldzamer kunnen worden – een grijze hemel en regen daarentegen zullen in de winter niet ontbreken.

### **De kosten van de impact van de klimaatverandering**

De kosten die de klimaatverandering met zich mee brengt, zijn moeilijk te berekenen, vooral omdat veel gevolgen geen duidelijke geldwaarde hebben. Het aanpassingsvermogen speelt een belangrijke rol. Dat vermogen kan heel sterk verschillen en daardoor is het moeilijk om bewijzen te vinden voor de sociaal-economische gevolgen op regionaal vlak.

Voor een wereldwijd probleem als de klimaatverandering heeft het maar in beperkte mate zin om te redeneren op de schaal van België. Een deel van de impact kan in zekere mate in geld worden uitgedrukt. Enkele procenten minder energieverbruik voor verwarming in de winter, een stijgend elektriciteitsverbruik voor airconditioning in de zomer, het herstel van schade aangericht door overstromingen... De totale kosten van deze 'in geld meetbare' gevolgen zijn blijkbaar vrij gering op wereldschaal: in de grootteorde van 1 à 2% van het BNP voor een gemiddelde temperatuurstijging van 2,5°C, maar de onzekerheden zijn groot.

Andere gevolgen zijn veel moeilijker in geld uit te drukken: hoeveel kosten de mensenlevens die verloren gaan, de plantensoorten die bedreigd worden...? Het laatste rapport van het IPCC vat de risico's rond de voorspelde klimaatverandering samen in de vorm van vijf 'redenen tot ongerustheid'. Het IPCC meent met name dat de meerderheid van de bevolkingen zelfs bij een opwarming van minder dan 2,5°C negatieve gevolgen zullen ondervinden.

### **Conclusie**

Op het niveau van de 21ste eeuw en van België zullen in een eerste fase de gevolgen van de klimaatverandering waarschijnlijk van een relatief beperkte omvang zijn, vooral als we rekening houden met de aanpassingsmaatregelen die mogelijk zijn zolang de verandering niet te ingrijpend is. Maar we mogen ons geen illusies maken: die aanpassing heeft een prijs, en haar limieten. Sommige van deze gevolgen kunnen heel belangrijk zijn en zullen steeds beter zichtbaar worden wanneer de opwarming niet in de hand wordt gehouden: gevolgen van hittegolven voor de gezondheid en de sterftcijfers, verstoring van ecosystemen en verlies van kwetsbare soorten en biotopen, een verhoogd risico op overstromingen en erosie van stranden. Aanvankelijk zal de landbouw niet veel schade ondervinden en zullen sommige gewassen zelfs voordeel hebben bij een beetje meer warmte. Maar bij een gemiddelde stijging van meer dan 3°C in België zullen vele gewassen het moeilijk krijgen en zal de opbrengst

dalen. Net zozeer is het voor een rijk land ongetwijfeld niet zo moeilijk om zich aan te passen aan een stijging van de zeespiegel met 50 cm of een meter. Maar als we weten dat een ononderbroken opwarming, in een gemiddeld scenario, ons over 1.000 jaar zou kunnen leiden tot een stijging met 8 m, dan kunnen we ons afvragen welke steden en dorpen hun 1.500ste of 2.000ste verjaardag zullen vieren zonder natte voeten.

Bovendien bestaat er vandaag een grote onderlinge afhankelijkheid tussen de verschillende delen van de wereld. Voor een wereldwijd probleem als de klimaatverandering zou het een ernstige vergissing zijn te denken dat wij ons kunnen beperken tot de gevolgen voor ons kleine grondgebied. Zelfs zonder ethische argumenten in te roepen, moeten we goed beseffen dat de wereldvoedselprijzen vandaag afhangen van de gezondheid van het wereldwijde landbouwsysteem. Virussen zullen eveneens niet opgesloten blijven in verafgelegen gebieden. Steeds weerkerende droogtes in het Middellandse-Zeegebied zullen uiteraard ook gevolgen hebben bij ons in de vorm van vluchtelingenstromen, om maar enkele voorbeelden te noemen.

De laatste figuur in dit rapport (*figuur 15, pagina 39*) is afkomstig uit de documenten van het IPCC. Zij toont duidelijk dat het noodzakelijk is de temperatuurstijging onder ongeveer 1,5°C te houden in vergelijking met 1990 – d.w.z. 2°C boven de temperatuur van vóór de industrialisering. Als we de klimaatrisico's willen beperken tot sommige ecosystemen en de risico's verbonden met extreme klimaatverschijnselen willen beteugelen. Daarvoor is het nodig de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer te stabiliseren op een niveau waarvoor het nodig zal zijn de wereldwijde uitstoot te delen door drie of vier tegen 2100, en die nog sterker te verminderen voor de periode erna\*. Met het huidige hoge peil van de wetenschappelijke, technische en sociaal-economische kennis moet deze uitdaging haalbaar zijn. Wat vooral ontbreekt, is de wil om er ernstig werk van te maken. Misschien kan dit rapport in dat opzicht een bescheiden bijdrage leveren.

\* Er zijn verschillende keuzes mogelijk om de temperatuur te stabiliseren. Nieuwsgierige lezers kunnen zelf nagaan wat hiervan de gevolgen zijn voor de uitstoot van broeikasgassen, met het interactieve klimaatmodel van Dr. Ben Matthews (UCL) en beschikbaar op [jcm.chooseclimate.org](http://jcm.chooseclimate.org).



# Inhoudstafel

<b>VOORWOORD</b>	<b>3</b>
<b>DANKWOORD</b>	<b>4</b>
<b>IMPACT VAN DE KLIMAATVERANDERING IN BELGIË?</b>	<b>5</b>
<b>SAMENVATTING</b>	<b>7</b>
Klimaatverandering	7
Projecties voor België	7
Overstromingsrisico	8
De kuststreek	8
Biodiversiteit	8
Landbouw en grondgebruik	9
Gevolgen voor de gezondheid	9
Gevolgen voor het toerisme	10
De kosten van de impact van de klimaatverandering	10
Conclusie	10
<b>INHOUDSTAFEL</b>	<b>13</b>
<b>DE KLIMAATVERANDERING</b>	<b>15</b>
<b>Inleiding</b>	<b>15</b>
<b>Klimaatprojecties voor de 21ste eeuw</b>	<b>15</b>
Scenario's	16
Resultaten op wereldschaal	16
De zeespiegel	17
Na de 21ste eeuw	17
Mogelijke grote 'verrassingen'	18
<b>Klimaatprojecties voor België</b>	<b>18</b>
Temperatuur en neerslag	18
Overige veranderingen	19
Extreme verschijnselen	19
<b>IMPACT VAN DE KLIMAATVERANDERING IN BELGIË</b>	<b>21</b>
<b>Biodiversiteit</b>	<b>21</b>
Inleiding	21
Gevolgen die nu al merkbaar zijn	21
Gevolgen op lange termijn (21ste eeuw)	22
KADER: de Hoge Venen	26
Flora en fauna van de Noordzee	28
<b>Landbouw en grondgebruik</b>	<b>30</b>
Rendement in de landbouw	30
Scenario's van grondgebruik in de 21ste eeuw	30
<b>Watervoorraden en overstromingen</b>	<b>32</b>
<b>De kuststreek</b>	<b>33</b>
KADER: het Zwin	35
<b>Impact op de gezondheid</b>	<b>36</b>
Inleiding	36
Gevolgen waargenomen in België	37
En morgen?	37
<b>Toerisme</b>	<b>38</b>
<b>Wat zal de impact van de klimaatverandering kosten?</b>	<b>38</b>
<b>BIBLIOGRAFIE</b>	<b>40</b>



# De klimaatverandering

PHILIPPE MARBAIX, JEAN-PASCAL VAN YPERSELE  
EN EMILIE VANVYVE

## Inleiding

Het klimaatsysteem haalt zijn energie uit de zonnestrallen. Net als alle warme voorwerpen straalt de aarde warmte naar de ruimte terug in de vorm van infrarode stralen. De samenstelling van de atmosfeer heeft invloed op de mate waarin de atmosfeer zonne- en infrarode stralen doorlaat en dus ook op het klimaat dat het resultaat is van het evenwicht tussen opgevangen en afgestane warmte<sup>5</sup>. Sommige gassen, de zogenaamde 'broeikasgassen', hebben de eigenschap de warmte vast te houden in het klimaatsysteem doordat zij de zonnestrallen gemakkelijk doorlaten maar weinig doorlatend zijn voor de infrarode stralen die weer naar de ruimte worden afgegeven. Deze gassen spelen in zekere zin de rol van de glasplaten die de warmte vasthouden in een broeikas. Het natuurlijke mechanisme van het broeikaseffect, waardoor het klimaat op aarde een algemene gemiddelde temperatuur kent van +15°C in plaats van -18°C (als dit effect niet zou spelen), is hoofdzakelijk toe te schrijven aan waterdamp.

Sinds de industriële revolutie is er evenwel nog een ander gas dat het broeikaseffect in aanzienlijke mate versterkt: CO<sub>2</sub> of koolstofdioxide. Dit gas is een onvermijdelijke afvalstof bij de verbranding van fossiele brandstoffen (steenkool, petroleum en gas, in dalende volgorde van belang) of van organisch materiaal (planten en bossen). Per jaar komt ongeveer 30 miljard ton CO<sub>2</sub> in de atmosfeer terecht, dat wil zeggen gemiddeld 5 ton CO<sub>2</sub> per persoon (en 12 ton per Belg!). Van de uitgestoten koolstof wordt maar ongeveer de helft weer opgeslorpt door de biomassa en de oceanen, de andere helft stapelt zich op in de atmosfeer en blijft daar nog 50 tot 200 jaar aanwezig. Dit bevordert de stijging van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer (30% meer sinds de tijd voor de industrialisering). De menselijke activiteiten leiden eveneens tot een grotere stijging van de concentratie van andere gassen in de

atmosfeer die het broeikaseffect bevorderen, zoals methaan.

Het is dus duidelijk dat de oppervlaktetemperatuur van de aarde zal stijgen. Maar hoeveel? En wat zullen de gevolgen zijn? Deze vragen worden hoofdzakelijk onderzocht met behulp van numerieke klimaatmodellen. Deze modellen lijken vrij goed op de modellen die ontwikkeld zijn om het weer te voorspellen, maar zijn bovendien verfijnd genoeg om rekening te houden met verschijnselen die slechts langzaam veranderen zoals zeestromingen of de dynamiek van gletsjers.

Het Belgisch klimaat<sup>1</sup> moet natuurlijk worden gezien in de context van het klimaat op wereldschaal, en daarom is het nodig om eerst kort de mogelijke scenario's te beschrijven voor de ontwikkeling van het klimaat op wereldschaal.

## Klimaatprojecties voor de 21ste eeuw

In 1988 hebben de Verenigde Naties de Intergouvernementele Werkgroep inzake Klimaatverandering (*Intergovernmental Panel on Climate Change* of IPCC) opgericht. Deze raad is momenteel het meest gezaghebbende orgaan over klimaataangelegenheden, omdat hij erin geslaagd is het merendeel van de specialisten op wereldvlak te laten meewerken aan een uiterst nauwkeurig deskundig onderzoek. Om te antwoorden op vragen over de toekomst van het wereldklimaat, stelt het IPCC een inventaris op van de resultaten van het bestaande onderzoek, vooral op het vlak van klimaatmodellen, en speelt het ook een rol bij het stimuleren van specifiek onderzoek. De belangrijkste publicaties van het IPCC zijn de evaluatierapporten, waarvan het laatste is verschenen in 2001<sup>9,10,11</sup>.

TABEL 1

SRES-scenario's: 'wereldbeelden' opgemaakt om de vier 'families' van uitstootscenario's te definiëren die een impact hebben op het klimaat. Bron: IPCC<sup>2</sup>

	Meer ontwikkeling 'op korte termijn' ('economisch')	Meer 'duurzame ontwikkeling'
Meer 'globaal' beleid	A1: Snelle economische groei, convergentie in de ontwikkeling van de regio's, zwakke bevolkingsgroei, technologische vernieuwing.	B1: Globale 'duurzame' oplossingen op sociaal, economisch en ecologisch vlak: efficiënt energieverbruik, zuinig gebruik van hulpbronnen..., zwakke bevolkingsgroei.
Meer 'regionaal' beleid	A2: Heel heterogene wereld (meer regionale belangen), matige economische groei, snelle bevolkingsgroei, technologische verschillen.	B2: Oplossingen op lokale schaal voor een duurzame ontwikkeling. Matige economische en bevolkingsgroei, technologische verschillen.

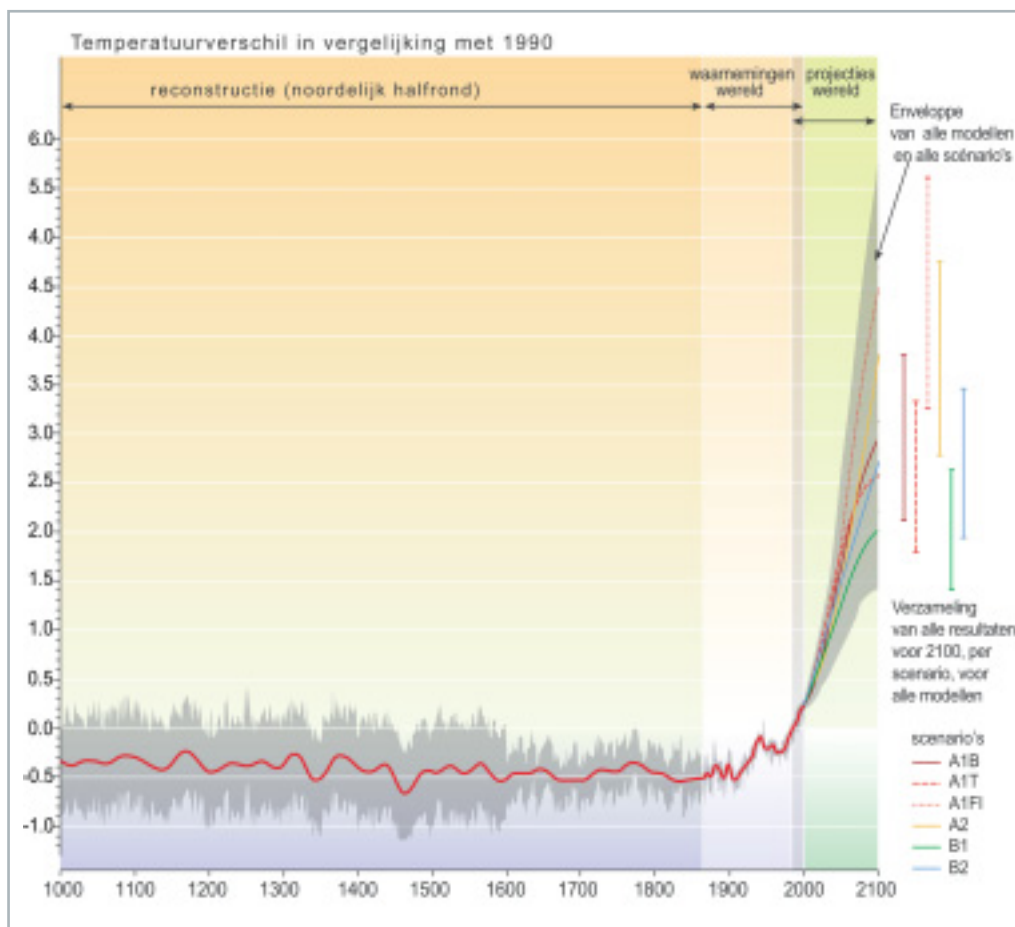
### Scenario's

Wanneer we modellen willen opstellen van de klimaatverandering in de 21ste eeuw, moeten we uitgaan van hypothesen met betrekking tot de uitstoot van gassen<sup>i</sup> in de atmosfeer. Deze uitstoot zal natuurlijk afhangen van veel verschillende factoren, zoals de evolutie van de bevolking, de economische ontwikkeling, het gebruik van energiebronnen... Omdat de toekomstige evolutie van deze factoren grotendeels onbekend is, zijn verschillende scenario's ontwikkeld op basis van 'beelden van de wereld' en van zijn mogelijke evolutie. Vervolgens zijn schattingen opgesteld van de mogelijke uitstoot die daaruit voortvloeit. De uitwerking van deze scenario's stond onder de coördinatie van het IPCC (in het SRES-rapport<sup>ii,2</sup>); zij worden onderverdeeld in vier 'families', waarvan de principes bondig staan samengevat in tabel 1. Elke familie omvat veel verschillende scenario's, waarvan er geen enkel aanspraak kan maken het meest waarschijnlijke toekomstbeeld te schetsen: het gaat veeleer om 'karikaturen', die telkens wel bestaan uit een coherent geheel van veronderstellingen en die de bedoeling hebben een brede waaier aan toekomstmogelijkheden te onderzoeken. De scenario's van de twee families in groep 'B' besteden met name meer aandacht aan milieubescherming<sup>iii</sup>.

### Resultaten op wereldschaal

Wanneer de keuze voor een uitstootscenario is gemaakt, blijft het probleem nog altijd bijzonder ingewikkeld: zo moet onder andere nog worden bepaald wat op een gegeven moment de concentratie is van gas in de atmosfeer. Die concentratie is het gevolg van verschijnselen zoals de uitwisseling van koolstof tussen de atmosfeer, de biosfeer en de oceanen. Het eigenlijke klimaatonderdeel van de modellen bestaat ook weer uit talrijke elementen – zoals de aanwezigheid van wolken – die slechts een vereenvoudigde voorstelling kunnen vormen van de werkelijkheid: er is dus altijd een onzekerheid verbonden aan deze modellen en elk model heeft zijn sterke en zijn zwakke punten. Daarom houden de projecties van het toekomstige klimaat niet alleen rekening met verscheidene scenario's, maar ook met verscheidene modellen.

De gemiddelde wereldtemperaturen die zo worden verkregen, staan voorgesteld in het rechtse deel van figuur 1. Door rekening te houden met de resultaten van alle onderzochte modellen en van alle scenario's komen we voor de periode 1990–2100 tot een temperatuurstijging van 1,4 tot 5,8°C. Wanneer we een gematigd 'optimistisch' scenario nemen over de uitstoot van broeikasgassen (van



FIGUUR 1

Schommelingen in de oppervlaktetemperatuur (°C), voor de jaren 1000 tot 2100. Voor de periode van 1000 tot 1860: reconstructie (op basis van bomen, korallen, ijs...) voor het noordelijk halfrond; de rode lijn vertegenwoordigt een gemiddelde over vijftig jaar en het grijze deel de onzekerheid (dit interval is voor 95% waarschijnlijk correct). Voor de periode van 1860 tot 2000: gemeten waarnemingen van het gemiddelde voor de wereld; de lijn geeft het gemiddelde per decennium aan. Voor de toekomst: projecties voor 6 uitstootscenario's (gekleurde lijnen) en mogelijke resultaten voor alle scenario's en alle modellen (grijze zone). Bron: IPCC<sup>1</sup>.

<sup>i</sup> Broeikasgassen en andere gassen die een invloed hebben op het klimaat, zoals zwaveldioxide.

<sup>ii</sup> *Special Report on Emission Scenarios*. Dit rapport heeft ook betrekking op de sociaal-economische scenario's die samenhangen met de uitstootscenario's.

<sup>iii</sup> Geen enkel van deze scenario's omvat expliciet een klimaatbeleid: sommige scenario's veronderstellen bijvoorbeeld een rationeler energieverbruik, maar geen enkel scenario bevat expliciet de uitvoering van het raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering (UNFCCC) of van het Kyoto-protocol.



type B2) en een model dat gemiddeld gevoelig is voor deze stijging, krijgen we voor de periode 1990–2100 een stijging van de oppervlaktetemperatuur van 3°C. Uit waarnemingen blijkt trouwens dat de globale temperatuur tussen het einde van de 19de en het einde van de 20ste eeuw met 0,6 (+/- 0,2) °C is gestegen. In de loop van ten minste de laatste 10.000 jaar is de temperatuur nooit zo snel gestegen als de stijging die wordt voorspeld voor de toekomst. En de temperaturen die men in 2100 vreest te bereiken, zijn waarschijnlijk sinds verschillende honderdduizenden jaar nooit gehaald.

Deze evolutie beperkt zich uiteraard niet alleen tot de temperaturen, maar heeft ook gevolgen voor het volledige klimaatsysteem. De gemiddelde neerslag op wereldniveau vertoont een stijgende trend, met grote verschillen naar gelang van de seizoenen en de streken.

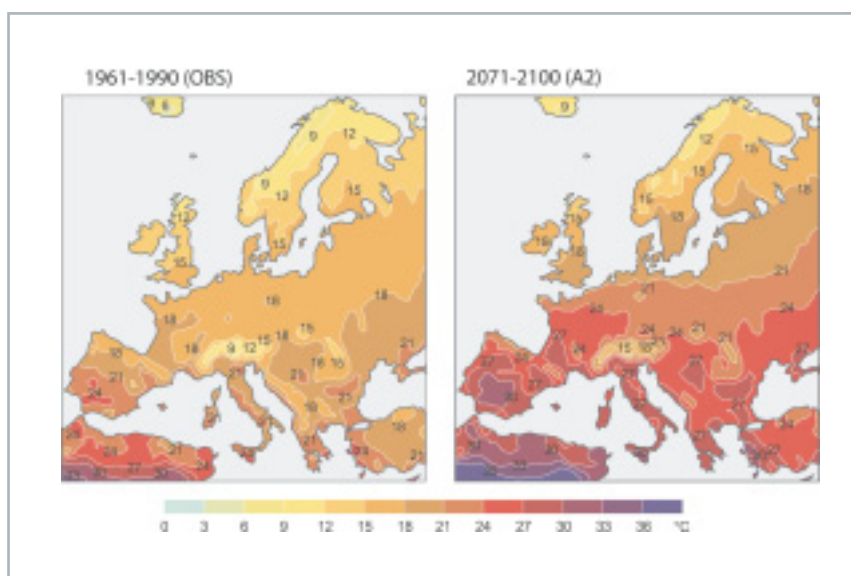
### De zeespiegel

Het niveau van de oceanen wordt beïnvloed door twee mechanismen: enerzijds de uitzetting van het zeewater door opwarming; en anderzijds het saldo van de opstapeling van sneeuw en het smelten van de gletsjers in de bergen en van het ijs in Groenland en Antarctica. In de 21ste eeuw zal de grootste invloed waarschijnlijk afkomstig zijn van de opwarming van de oceanen. Er heerst nog vrij veel onzekerheid over de modellen; voor alle modellen en SRES-scenario's samen varieert de mogelijke stijging van het gemiddelde zeepeil voor de periode 1990–2100 van 9 tot 88 cm. De stijging zou niet dezelfde zijn in alle streken van de wereld, maar deze verschillen lijken beperkt en kunnen op dit moment nog niet op betrouwbare wijze worden ingeschat.

### Na de 21ste eeuw

Wat er zal gebeuren na 2100 zal grotendeels afhangen van de uitstoot van broeikasgassen tot deze vervalddag en erna. Vooral van de uitstoot van CO<sub>2</sub>, waarvan het overschot dat in de atmosfeer terecht komt lang aanwezig blijft: zelfs na verschillende eeuwen is nog ongeveer een kwart van dit 'overschot' aan concentratie in de atmosfeer terug te vinden. Als we ervan uitgaan dat de concentraties stabiel zouden blijven – wat een sterke vermindering van de uitstoot vereist – zal de temperatuur langzaam blijven stijgen omdat de opwarming van de diepzee heel wat tijd vergt.

Het is heel goed mogelijk dat deze temperatuurstijging zal leiden tot het smelten van een aanzienlijk deel van de ijskap van Groenland en Antarctica. Volgens een scenario op lange termijn dat in het laatste IPCC-rapport als 'gemiddeld' wordt beschreven, zou dit voor de komende 1.000 jaar een stijging van het gemiddelde zeeniveau van 3 à 6 m met zich mee brengen. Als we daar nog 0,5 m aan toevoegen voor de impact van de kleine continentale gletsjers – die op dat moment vrijwel volledig verdwenen zullen zijn – en ongeveer 1,5 m stijging tengevolge van de thermische uitzetting van het zeewater, zou de stijging tot 8 m bedragen in het jaar 3000. En dit is niet eens een extreem scenario.



FIGUUR 2

Waargenomen zomertemperaturen in Europa voor de periode 1961–1990 (links); temperaturen gesimuleerd door regionale klimaatmodellen voor de periode 2071–2100 (rechts), scenario A2, bij wijze van voorbeeld (gemiddelde voor 2 modellen, die de temperaturen in het zuiden van Europa eventueel zouden kunnen overschatten, hoewel andere modellen gelijkaardige resultaten hebben opgeleverd).

Bron: onderzoeksprogramma SWECLIM, geciteerd door Bernes<sup>6</sup>.

### Mogelijke grote 'verrassingen'

We denken hierbij vooral aan een verandering in de stromingen in de oceanen op wereldschaal, ook wel thermohaliene circulatie<sup>iv</sup> genoemd. De Golfstroom maakt deel uit van deze circulatie en voert warmer water naar de Noord-Atlantische Oceaan. In deze streken zou de thermohaliene circulatie trouwens kunnen worden afgeremd door de aanvoer van zoet water aan de oppervlakte, zoals het water dat afkomstig is van het smeltende ijs in Groenland.

Voor de 21ste eeuw tonen de meeste modellen inderdaad een vertraging van de circulatie in de oceanen, maar geen enkele van de huidige projecties toont een stopzetting van de Golfstroom vóór 2100. De stopzetting van de circulatie zou paradoxaal genoeg de opwarming in onze streken kunnen matigen en zou uiteindelijk kunnen leiden tot een afkoeling in Noord-Europa. Men veronderstelt eveneens dat een stopzetting van de Golfstroom een bijkomende stijging zou uitlokken van het niveau van de Noordzee. Maar de voorspelde vertraging volstaat daar niet voor, ten minste niet wanneer er tegelijk een opwarming optreedt op planetaire schaal<sup>3</sup>. Met de huidige kennis is het niet mogelijk om voor enkele eeuwen te berekenen hoe waarschijnlijk het is dat de thermohaliene circulatie zal stilvallen, maar dit zou sterk kunnen afhangen

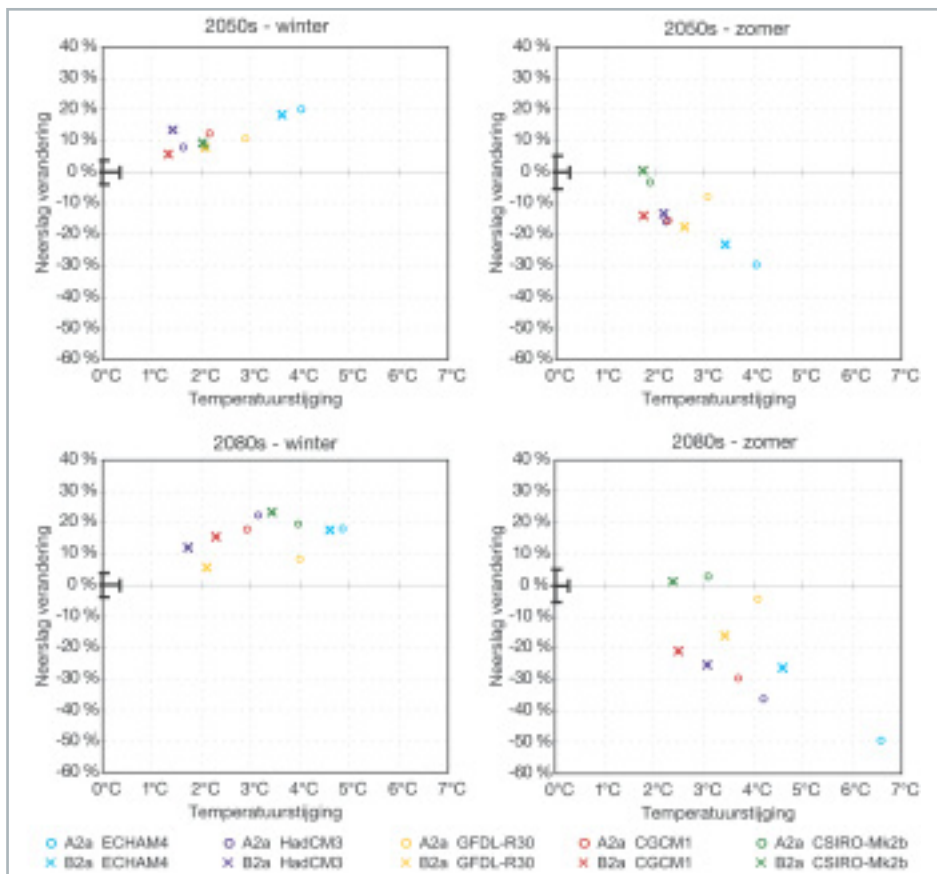
van de mate en het tempo van de evolutie van onze uitstoot van broeikasgassen.

### Klimaatprojecties voor België

De verwachte stijging van de gemiddelde wereldtemperatuur is vrij goed bekend, maar dat geldt nog niet in dezelfde mate voor de regionale spreiding van de klimaatverandering en in het bijzonder voor de waterkringloop (regen en bodemvochtigheid). Voor onze streken zijn wel al enkele grote trends vast te stellen.

### Temperatuur en neerslag

Aangezien België vrij klein is in vergelijking met de klimaatzones, is het zinvol om eerst even naar Europa te kijken. Figuur 2 vergelijkt de gemiddelde zomertemperaturen aan het eind van de 20ste eeuw met die van een regionaal model<sup>v</sup> voor het eind van de 21ste eeuw, voor scenario A2, dat uitgaat van een vrij hoge uitstoot. Om een beeld te krijgen van de verschillende toekomstmogelijkheden voor het eind van de eeuw, zouden we – zoals hierboven uitgelegd – een geheel van alle modellen en scenario's samen moeten onderzoeken. Het gaat hier dus om een voorbeeld, dat in elk geval een van de mogelijke



FIGUUR 3

Gemiddelde resultaten voor een grondgebied dat ongeveer overeenkomt met België van de 5 klimaatmodellen die algemeen in omloop zijn<sup>vi</sup> en 2 SRES-scenario's (A2 en B2; simulaties gemaakt door de grote wereldcentra op het vlak van modellen en verspreid door het IPCC). Waarden voor de periode 2040-2069 (boven) of 2070-2099 (onder), in vergelijking met de periode 1960-1989. Winter (links) en zomer (rechts). Horizontale as: temperatuurverschillen voor de betrokken periode; verticale as: verschillen in neerslag, als percentage van de waarde voor de referentieperiode. Vetgedrukt half kruisje: standaardafwijking in verband met de natuurlijke schommeling van de ene periode van 30 jaar tot de andere (bij benadering). Bron: UCL, Institut d'Astronomie et de Géophysique G. Lemaître<sup>4</sup>.

<sup>iv</sup> Samenhangend met geografische verschillen in temperatuur (thermo) en zoutgehalte (haliene), dus in de lichteheid van water.

<sup>v</sup> Een model met een hogere ruimtelijke nauwkeurigheidsgraad, specifiek voor de onderzochte regio, altijd gebruikt bij wijze van aanvulling bij de modellen op wereldschaal (met een nauwkeurigheidsgraad van enkele honderden kilometer).

<sup>vi</sup> Modellen op wereldschaal voor het geheel van het klimaatsysteem (atmosfeer, oceaan...).

situaties voorstelt. Wanneer deze verandering zou plaatsvinden, zou België over minder dan een eeuw gemiddelde temperaturen kennen die vergelijkbaar zijn met die in Spanje aan het eind van de 20ste eeuw! Zonder zelfs zo ver te gaan als deze vrij extreme situatie, stellen we vast dat de gevolgen van de klimaatverandering voor Europa aanzienlijk kunnen zijn.

Om een volledig beeld te krijgen van wat er in België zou kunnen gebeuren, worden in figuur 3 de veranderingen in temperatuur en neerslag weergegeven voor een gebied dat ongeveer even groot is als ons land. Het gaat om de resultaten van modellen op wereldschaal, die de informatie maar verwerken met een nauwkeurigheidsgraad van enkele honderden kilometer. Ondanks deze beperkte nauwkeurigheid is dit soort model toch onontbeerlijk: de atmosfeer en de oceaan zorgen voor een interactie tussen alle streken op aarde, die we dus ook samen moeten bekijken, ook al is achteraf een selectieve regionale verfijning mogelijk. Met 5 modellen en 2 scenario's (A2 en B2) hebben wij hier een overzicht van de klimaatprojecties voor België in de loop van de 21ste eeuw, hoewel een volledige analyse zou moeten gebaseerd zijn op een groter aantal scenario's en simulaties. Deze resultaten wijzen er duidelijk op dat er grote onzekerheden bestaan in de klimaatprojecties op regionale schaal: de modellen leveren resultaten op die vrij sterke onderlinge verschillen vertonen.

Maar toch is het mogelijk enkele trends vast te stellen:

- De temperaturen stijgen, in alle onderzochte gevallen, in een mate die al tegen 2050 vrij aanzienlijk is, zowel voor de zomer als voor de winter. Tussen het einde van de 20ste en het einde van de 21ste eeuw varieert de stijging van de wintertemperatuur tussen 1,7°C en 4,6°C (afhankelijk van het gebruikte model) voor scenario B2 en tussen 2,9°C en 4,9°C voor scenario A2. Voor de zomer varieert de temperatuurstijging tussen 2,4°C en 4,6°C (B2) en tussen 3,1°C en 6,6°C (A2).
- De neerslag stijgt matig in de winter (tussen 6 en 23% aan het einde van de eeuw). In de zomer lijkt de neerslag te dalen, maar de kwantitatieve resultaten verschillen (van een status quo tot een daling met 50%), waarschijnlijk zowel omwille van de huidige beperkingen van de modellen als van de grotere natuurlijke schommelingen in dit seizoen<sup>vii</sup>.

### Overige veranderingen

Gezien de stijging van de gemiddelde wintertemperatuur is het vanzelfsprekend dat het aantal vorstdagen en het aantal dagen dat de sneeuw blijft liggen, zullen dalen. Voor Europa wijzen de modellen erop dat koude winters

zoals die aan het eind van de 20ste eeuw gemiddeld een keer om de tien jaar voorkwamen, in de loop van de eeuw geleidelijk aan zullen verdwijnen. Ook andere veranderingen kunnen zich aandienen: zo zijn er in de loop van de voorbije decennia al kleinere verschillen vastgesteld in de dagtemperatuur (de minimumtemperatuur 's nachts stijgt sterker dan de maximale dagtemperatuur) en het is heel waarschijnlijk dat een van de oorzaken daarvan te zoeken is in de toename van het wolkendek. Volgens sommige modellen zou de bewolking in de winter in de toekomst nog kunnen toenemen.

### Extreme verschijnselen

Zouden hittegolven, zoals die van de zomer van 2003 in de toekomst frequenter kunnen voorkomen? Indien de waargenomen temperatuurschommelingen tussen het ene jaar en het andere ongeveer dezelfde blijven als die tijdens de 20ste eeuw, dan zal de stijging van de gemiddelde temperatuur de kans aanzienlijk verhogen op uitzonderlijk warme zomers, met meer ernstige hittegolven. Bovendien hebben onderzoekers recentelijk gesteld dat ook de temperatuurschommelingen tussen de verschillende jaren onderling zouden kunnen toenemen. Aan het einde van de 21ste eeuw zou één zomer op twee ten minste zo warm zijn als de zomer van 2003<sup>5,6</sup>. Meer precieze gegevens over deze resultaten moeten nog worden bevestigd door andere teams, maar er zijn al eerder gelijkaardige conclusies getrokken<sup>a</sup>, vooral voor de scenario's die uitgaan van een sterke uitstoot.

Omdat er nog maar weinig geweten is over de evolutie van de gemiddelde neerslag op regionale schaal, moeten we ook voorzichtig zijn met projecties over periodes met sterke regenval. Het IPCC acht een toename van hevige regenbuien voor veel streken heel waarschijnlijk. Een toename van de gemiddelde neerslag (in de winter) zou waarschijnlijk samengaan met toenemende schommelingen tussen de verschillende jaren<sup>q</sup>.

De modellen hebben al enkele aanwijzingen opgeleverd met betrekking tot stormen, maar het blijft moeilijk om een definitieve conclusie te trekken. Verscheidene modellen hebben gewezen op een daling van het aantal depressies met zwakke intensiteit boven de Noord-Atlantische Oceaan en Europa en een toename van sterke depressies, die gepaard gaan met stormwinden<sup>q</sup>. Er zijn al verklaringen voorgesteld die een verband leggen met de stijging van de temperatuur, maar daarover bestaat nog geen eensgezindheid. Dankzij het frequentere gebruik van modellen met een hogere nauwkeurigheid, die eventueel beter in staat zijn om depressies voor te stellen, zou het in de toekomst mogelijk moeten zijn meer precieze resultaten te verkrijgen.

<sup>vii</sup> Een van de modellen, GFDL-R30, vertoont zelfs een tegenstrijdig gedrag: het levert een grotere daling van de neerslag voor scenario B2 overeenstemmend met de zwakste uitstoot (in vergelijking met A2). Dit wordt momenteel onderzocht.



# Impact van de klimaatverandering in België

## Biodiversiteit

ALAIN HAMBUCKERS

### Inleiding

Het collectieve werk *Biodiversity in Belgium*, gecoördineerd door het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen<sup>7</sup> (Peters *et al.*, 2003) brengt alle kennis over de biodiversiteit in België samen. We tellen vandaag ongeveer 36.654 soorten eukaryotische organismen en cyanobacteriën. Maar deze inventaris is zeker nog niet volledig, vooral op het vlak van bepaalde groepen microscopisch kleine soorten. Het lijkt vandaag wel al zeker dat een deel van de soorten die in België voorkomen zal verdwijnen door de klimaatverandering tengevolge van de versterking van het broeikas-effect. Enerzijds is de aanpassing aan het milieu dikwijls erg specifiek; elke wijziging in de biotische of abiotische omgeving kan dus fataal blijken en bovendien maakt elke soort meestal het overleven mogelijk van een hele reeks andere soorten. Anderzijds laten de veranderingen in de verspreiding van plantensoorten tijdens de periode van opwarming na de laatste ijstijd (13.000 tot 9.000 B.P.<sup>viii</sup>) vermoeden dat de grenzen voor de verspreiding van bepaalde soorten met verschillende honderden kilometer zouden kunnen verschuiven bij een veronderstelde opwarming van enkele °C.

Het inschatten van het risico dat een soort verdwijnt uit een versnipperd geografisch gebied, zoals vaak het geval is in België, levert ongeveer hetzelfde probleem op als het inschatten van het risico dat een soort wordt uitgeroeid. We moeten rekening houden met verscheidene factoren, die overigens ook nog op elkaar kunnen inwerken.

De achteruitgang van de biodiversiteit in België is vooral het resultaat van de verontreiniging van de lucht, het water en de bodem, van de versnippering en de vernietiging van habitats, van de evolutie van de land- en bosbouwtechnieken en van de concurrentie met exoten. Deze fenomenen hebben geleid tot het verdwijnen van soorten die slechts op een heel beperkt aantal plaatsen algemeen bekend waren. Zo vertegenwoordigt het geheel van de verdwenen of bedreigde Bryophyta-soorten<sup>ix</sup> bijvoorbeeld meer dan 20% van de taxonomische groep, die ongeveer 732 soorten telt.

De impact van de klimaatverandering dreigt zich niet alleen te beperken tot het louter verdwijnen van soorten: de nieuwe klimaatomstandigheden zullen de komst mogelijk maken van soorten die vroeger niet in ons land konden overleven; zij zullen ook de verhoudingen tussen soorten veranderen (relaties op het vlak van concurrentie, voedsel, chorologie<sup>ixbis</sup>, enzovoort) en dus ook wijzingen veroorzaken in de structuur op zich van sommige ecosystemen. De beoordeling van de impact van de klimaatverandering op de biodiversiteit is dus een bijzonder ingewikkeld probleem.

Aan de hand van een voedselketen die recentelijk is onderzocht in Noordwest-Europa, is het mogelijk deze complexiteit te illustreren<sup>8</sup>. In het geval van een vroege lente komen de rupsen van nachtvlinders vroeger uit en vinden zij niet voldoende jonge eikenbladeren; waardoor maar weinig rupsen overleven. Daardoor kunnen ook de jonge mezen niet in optimale omstandigheden opgroeien omdat de overvloed aan rupsen, die toch al kleiner is, te vroeg haar hoogtepunt bereikt. Een banaal weersverschijnsel heeft dus rechtstreeks invloed op de dichtheid van populaties. Als deze toestand aanhoudt, kunnen de populaties reageren: bijvoorbeeld wanneer de genetische diversiteit op het vlak van de spreiding van het uitkomen van de rupsen voldoende groot is, zullen de exemplaren die te vroeg uitkomen geen nakomelingen hebben. Dit zorgt ervoor dat het later uitkomen wordt overgedragen binnen de populatie rupsen. Het risico bestaat wel dat populaties onverbiddeijk achteruitgaan.

### Gevolgen die nu al merkbaar zijn

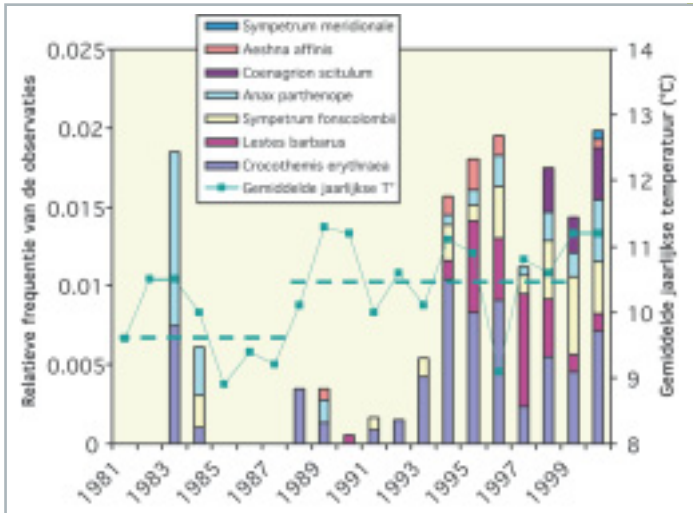
#### ● Veranderingen in de fenologie

Meestal zijn auteurs uitzonderlijk voorzichtig om wijzigingen in de biodiversiteit of de biologische activiteit toe te schrijven aan de klimaatverandering, gezien de traagheid en de voorlopig geringe omvang van die wijzigingen. Maar de veranderingen in de fenologie (de spreiding van de periodieke seizoengebonden verschijnselen van levende wezens) vormen in elk geval betrouwbare en gemakkelijk waarneembare aanwijzingen<sup>9,10</sup>. Omdat het KMI jammer genoeg zijn fenologische waarnemingen in de jaren 1980 heeft stopgezet, zijn er voor België geen waarnemingen over een lange periode beschikbaar. De waarnemingen in

viii Jaren in het verleden (*Before Present*).

ix Landplanten die geen bloemen dragen en die geen vaatplanten zijn: namelijk mossen, leverkruid, enzovoort.

ixbis Die iets te maken hebben met de bezetting van de ruimte.


**FIGUUR 4**

De evolutie van de gemiddelde temperatuur en het voorkomen van zuidelijke libellensoorten in het Waals Gewest. Bron: P Goffart en R de Schaezen<sup>14</sup>.

Europa gedurende 30 jaar tonen aan dat de lentever- schijnenselen, zoals het uitkomen van de bladknoppen, 6 dagen vroeger optreden en dat de fenomenen van de herfst, zoals het verkleuren van de bladeren, zich 4,8 dagen later voordoen<sup>11</sup>. Deze wijzigingen kunnen worden toegeschreven aan de stijging van de luchttemperatuur.

#### ● In België

De analyse van de gegevens die sinds 1985 in Vlaanderen beschikbaar zijn, bewijst dat de trekvogels over het algemeen vroeger aankomen<sup>12</sup>. Dit resultaat zou te verklaren kunnen zijn door klimaatfactoren: enkele strenge winters in het midden van de jaren 1980 en daarna vaker voorkomende zachte winters in de jaren 1990, die misschien in verband te brengen zijn met de versterking van het broei- kaseffect. Bovendien is voor zes Europese landen, waar- onder België, bewezen dat er een verband is tussen de stijging van het aantal tweede broedsels bij verschillende mezenpopulaties en de stijging van de lentetemperaturen sinds 20 jaar<sup>13</sup>.

#### ● Dichtheid en verspreiding van soorten

Zeven zuidelijke libellensoorten (op een totaal van 66) worden in Wallonië meer en meer waargenomen (zie *figuur 4*). In Nederland en in Groot-Brittannië wordt ook vastgesteld dat talrijke soorten ongewervelden (weekdie- ren, libellen, mieren, vlinders, enzovoort) steeds verder naar het noorden opschuiven. Gelijkaardige observaties hebben plaatsgevonden voor sommige vogels.

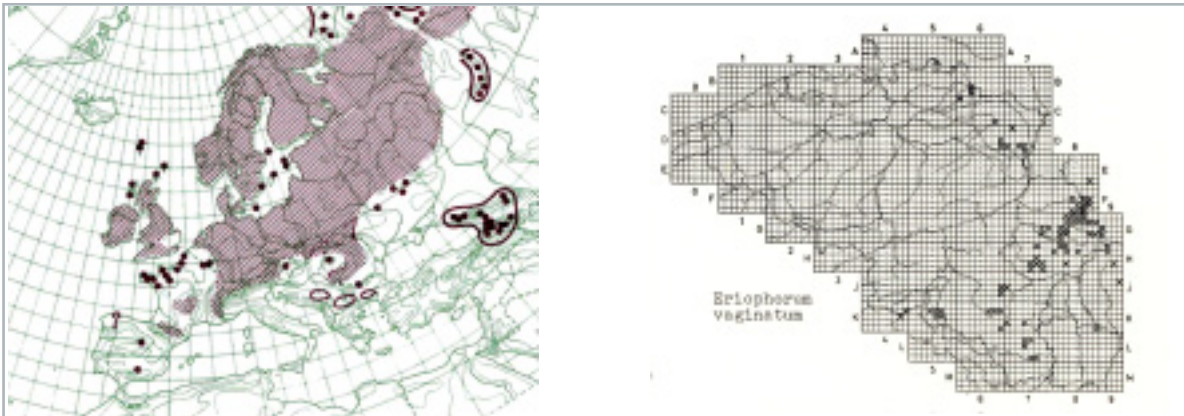
Voor de plantensoorten is in de gematigde delen van Europa de aanwezigheid gemeld van een tropische cyano- bacterie<sup>15</sup>. Die zou kunnen begunstigd zijn door de nieuwe klimaatomstandigheden. Voor Nederland is een duidelijke opmars aangetoond van bloeiende plantens- oorten uit warme streken<sup>16</sup>; 50% van deze stijging zou het gevolg kunnen zijn van de klimaatverandering. Voor de

mossen en korstmossen is ook een vooruitgang vastge- steld van soorten uit warme streken, maar ook een achteruitgang van soorten uit koude streken<sup>17</sup>. Tenslotte stelt Schumacker (persoonlijke mededeling) sinds 1950 ook voor de levermossen in België een vooruitgang van de thermofiele soorten vast (7 soorten van het atlantisch- submediterrane type); maar hij noteert integendeel geen achteruitgang voor 26 soorten die typisch zijn voor koude streken (soorten van boreaal-montane aard en zelfs sub- arctisch-subalpiene aard).

Voor alle landen samen heeft een analyse van 143 studies met betrekking tot dieren (gewervelden en ongewervel- den) en tot verscheidene landplanten een evolutie in ver- wachte zin aangetoond voor meer dan 80% van de soor- ten waarvoor veranderingen zijn opgetekend<sup>18</sup>. Het geheel van deze studies laat dus duidelijk vermoeden dat de gevolgen van de klimaatverandering voor de biodiver- siteit merkbaar beginnen te worden. Het lijkt vast te staan dat thermofiele soorten opschuiven naar het noorden, maar de achteruitgang van soorten uit koude streken is minder evident. Het IPCC<sup>1</sup> heeft de geldigheid van deze resultaten bevestigd.

#### **Gevolgen op lange termijn (21ste eeuw)**

In het document '*Climate change and biodiversity*' komt het IPCC<sup>0</sup> tot de conclusie dat de klimaatverandering, die nu al een invloed heeft op de biodiversiteit, een bijko- mende druk uitoefent op deze diversiteit en dat de risi- co's van uitroeiing voor vele soorten die nu al kwetsbaar zijn nog zullen toenemen. Het IPCC<sup>1</sup> meent ook dat de geografische omvang van de schade of het verlies en het aantal getroffen systemen proportioneel zullen toenemen met de omvang en de snelheid van de klimaatverandering (*zie figuur 15 van het deel 'wat zal de impact van de kli- maatverandering kosten?', pagina 39*).



FIGUUR 5

Huidige verspreiding van eenarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*), een voorbeeld van een soort van koude streken. Links: in Europa (Hultén E en Fries M, 1986, *Atlas of North European vascular plants North of the Tropic of Cancer*. Koeltz Scientific Books, Königstein, Duitsland); rechts: in België en in het Groot Hertogdom Luxemburg. Bron: van Rompaey et al.<sup>19</sup>.

Een artikel dat in 2004 is verschenen in het tijdschrift *Nature*, meldt alarmerende resultaten over het risico van uitroeiing van soorten tengevolge van de klimaatverandering: in 2050, zou 35% van de momenteel levende soorten met geleidelijke uitroeiing bedreigd worden in het IPCC-scenario dat de hoogste opwarming voorziet; in het scenario met de laagste opwarming zou dat 18% zijn. De auteurs wijzen er wel op dat deze resultaten sterk afhankelijk zijn van een van de werkhypotheseën, maar anderzijds tonen de resultaten wel aan dat het noodzakelijk is dit soort onderzoek voort te zetten om een beter inzicht te krijgen in het grote risico van uitroeiing en dat het nodig is op alle mogelijke manieren te streven naar het laagst mogelijke scenario.

Wij hebben geprobeerd op het niveau van België in te schatten hoe groot het aandeel zal zijn van de soorten die door de opwarming van het klimaat dreigen te verdwijnen of dreigen toe te nemen. Daartoe hebben wij de soorten eerst opgedeeld naargelang van hun voorkomen in een biogeografisch of klimaattype (boreaal, continentaal, oceanisch, enzovoort). Op die manier konden wij de soorten die in België leven, opsplitsen in drie categorieën: soorten van gematigde streken, soorten van warme streken en soorten van koude streken. De huidige verspreiding van de soorten geeft feitelijk aan welke omstandigheden zij nodig hebben om te overleven en te kunnen toenemen (dat wil zeggen, welke hun ecologische niche is). De soorten van koude streken worden het eerst bedreigd. Het gaat om een eerste benadering van het probleem, want er zijn natuurlijk ook andere factoren die invloed hebben op de biodiversiteit: de nood van soorten aan water, hun habitat, voedselnetwerk, vermogen tot verspreiding en

vermenigvuldiging... Die zijn hier niet mee in rekening gebracht.

#### ● Biogeografische indeling

**DE SOORTEN VAN GEMATIGDE STREKEN** kennen een vrij centrale verspreiding in ons land, maar zijn ook op verscheidene honderden kilometer naar het noorden en naar het zuiden terug te vinden. Deze groep kan soorten bevatten die ook verspreid zijn buiten de gematigde klimaatzone. Zij zijn ook goed bestand tegen een klimaat dat enkele graden warmer is. De zwarte els, die zowel in Frankrijk als in Centraal-Europa voorkomt, is een voorbeeld van deze soorten die typisch zijn voor onze streken.

**DE SOORTEN VAN KOUDE STREKEN** zijn in België hoofdzakelijk te situeren op de Ardense plateaus en in de lage Kempen (zie figuur 5). Een eenvoudige vergelijking van elementaire klimaatgegevens toont dat de verwachte klimaatverandering van dezelfde orde is als het onderscheid tussen het klimaat van de Ardense plateaus en dat in de rest van België: een sterkere gemiddelde neerslag, meer dan 1.000 tot 1.450 mm/jaar, terwijl die elders over het algemeen lager liggen dan 900 mm/jaar, en een lagere gemiddelde temperatuur, onder 8°C in vergelijking met meer dan 9°C bijna overal elders in het land. De specifieke klimaatomstandigheden die het behoud van soorten van koude streken in België mogelijk lijken te hebben gemaakt, dreigen dus te verdwijnen – en daardoor zullen ook de betrokken soorten verdwijnen (*boreale*<sup>x</sup>, *subboreale*, *arctische*, *subarctische*, *montane*, *submontane* soorten, enzovoort).

<sup>x</sup> *Boreaal*: vooral verspreid in de taiga; *arctisch* vooral verspreid in het gebied waar toendra voorkomt; *montaan*: vooral verspreid in de zone met een hoogte van 800 tot 1.500 m (gemengde wouden, vaak omgevormd tot weiland en alpenweide).

TABEL 2

Aantal soorten dat in België leeft en schatting van het aandeel (in %) van elke temperatuurcategorie. De soorten die typisch zijn voor koude streken zijn het sterkst bedreigd door een opwarming. Bron: Hambuckers<sup>20</sup>.

Taxon/groep	Aantal soorten	% gematigde streken	% koude streken	% warme streken
Charophyta (groenwieren van zoet en brak water)	29	69	0	31
Mariene Chlorophyta (mariene groenwieren)	17	82	0	18
Rhodophyta (mariene en zoetwaterroodwieren)	53	88	10	2
Phaeophyta (mariene bruinwieren)	29	92	0	8
Hepaticae (levermossen) en Anthocerotae (hauwmossen) (Bryophyta)	170	52	36	12
Mossen (Bryophyta)	526	43	40	17
Pteridophyta (varens, Lycopodiaceae of wolfsklauwfamilie, paardenstaarten, enzovoort)	59	74	19	7
Bloeiende planten	1350	84	2	14
Paddestoelen (Macromyceten Basidiomyceten en Ascomyceten)	4910	83	9	8
Zoetwatervissen	40	45	53	2
Libellen	66	62	12	26

**DE SOORTEN VAN WARMER STREKEN** (bijvoorbeeld de voorjaars-ganzerik) zijn hoofdzakelijk te situeren in Lorraine en op de gunstig gelegen kalkgronden in de vallei van de Maas en zijn bijrivieren. De opwarming zal wellicht de uitbreiding van soorten uit warme streken begunstigen; het gaat om *submediterrane* (en zelfs *mediterrane*) soorten, die ofwel al plaatselijk aanwezig zijn in België, ofwel aanwezig zijn in de aangrenzende streken. Het is ook mogelijk dat er een uitbreiding komt van soorten uit drogere streken (*steppesoorten*, *xerofiele*<sup>xi</sup> soorten, enzovoort) en soorten van warme standplaatsen (thermofiele soorten).

#### ● Resultaten

De biogeografische gegevens die wij hebben verzameld, staan opgenomen in tabel 2. Zij moeten echter zorgvuldig worden geïnterpreteerd. Allereerst kunnen er voor bijna alle groepen van levende wezens gescheiden verspreidingsgebieden bestaan omwille van microbiotopen, soms in onverwachte omstandigheden. Ten tweede kunnen er ook fouten voorkomen in de biogeografische indeling. En ten derde zijn de criteria voor de biogeografische indeling door de auteurs niet altijd duidelijk gedefinieerd.

De resultaten zijn heel verschillend: voor de meerderheid van de onderzochte groepen, behoren de soorten vooral tot de gematigde zone (tot 92% van de soorten voor de Phaeophyta of bruinwieren) met ook een belangrijk aandeel van soorten van warme streken (tot 31% voor de Charophyta of kranwieren) en heel weinig soorten van koude streken. Maar voor zoetwatervissen en mossen bestaat een groot deel uit soorten van koude streken, die het meest worden bedreigd door de opwarming. Zo kunnen we bijvoorbeeld voor onze streken verwachten dat

soorten van zoet water zoals alvertjes, voorns en zeelten geleidelijk aan zullen worden vervangen door soorten die beter aangepast zijn aan een warmer klimaat.

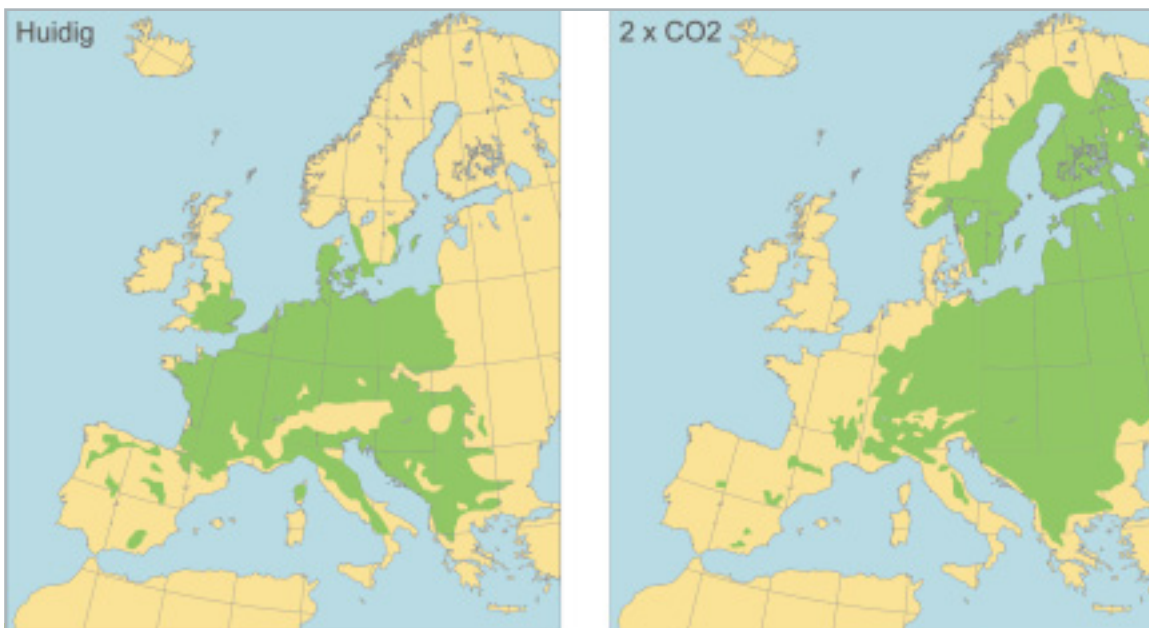
De soorten van koude streken vormen meestal relictpopulaties uit de ijstijden (zie de kadertekst over de Hoge Venen), die vaak overleven in microhabitats en die vaak maar een beperkte functionele betekenis hebben in de ecosystemen (dit geldt niet voor de vissen). De klimaatopwarming zal duidelijk leiden tot het verdwijnen van deze soorten uit België, en dit zal sneller gebeuren naarmate de populaties versnipperd en minder dicht zijn. De dynamiek van dit proces is moeilijk te voorzien, maar op basis van de huidige waarnemingen kunnen we ervan uitgaan dat het verdwijnen niet het gevolg zal zijn van fysiologische stress (de organismen zullen 'niet sterven van de warmte') maar van een toenemend verlies van concurrentievermogen in hun omgeving; deze soorten zullen geleidelijk aan worden vervangen door andere soorten die beter in staat zijn de nieuwe klimaatomstandigheden te benutten.

Op termijn is het bij een voortdurende temperatuurstijging niet uitgesloten dat ook gematigde soorten verloren gaan, vooral soorten met een lange levensduur zoals bosbomen. Dit zou het geval kunnen zijn voor de beuk (zie figuur 6).

De soorten die typisch zijn voor warme streken zouden in de toekomst meer frequent kunnen voorkomen in de warmste delen van België, en zich ook samen met nieuwe soorten kunnen verspreiden in andere delen van het land. Zo zou bijvoorbeeld een submediterrane soort als de truffeleik (*quercus pubescens*), die heel plaatselijk voor-

<sup>xi</sup> Waarvan de verspreiding zich vooral situeert in onze streken, maar die gebonden zijn aan droge standplaatsen.





FIGUUR 6

Streken waar het huidige klimaat geschikt is voor de beuk (links) en de streken die volgens een klimaatvoorspelling overeenkomen met een verdubbeling van de hoeveelheid  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer in vergelijking met de tijd voor de industrialisering (rechts). De beuk is een soort die een vorstperiode nodig heeft voor zijn knoppen kunnen openkomen en die dus niet aangepast is aan het zachte oceaanklimaat, dat te vochtig is. Deze twee factoren verklaren de verschuiving naar het oosten en het noorden. Opmerking: om verschillende redenen zou de werkelijke verspreiding enigszins kunnen verschillen van de mogelijke streken die hier vanuit klimaatgoepunt worden aangegeven. Bron: Bernes<sup>B</sup>, volgens Sykes en Prentice<sup>21,22</sup>.

komt in de valleien van de Maas en van de Lesse, algemeen kunnen worden en ook andere gebieden kunnen veroveren. De Franse esdoorn (*Acer monspessulanum*), die met name aanwezig is in de benedenvallei van de Moezel, zou België kunnen bereiken. Er zijn al dergelijke waarnemingen gedaan voor sommige groepen met een sterk verspreidingsvermogen.

Het is bijzonder moeilijk om in te schatten hoe belangrijk het verlies aan soorten van koude streken zal zijn. Enerzijds kunnen wij deze soorten omwille van hun zeldzaamheid, vooral in België, beschouwen als schatten die we doeltreffend moeten beschermen voor de komende generaties, omdat deze soorten specifieke genetische eigenschappen bezitten. Maar anderzijds is deze zeldzaamheid maar relatief, aangezien we elders andere populaties aantreffen (al kennen die misschien ook wel moeilijkheden tengevolge van de opwarming).

**SAMENVATTEND** denken wij dat de opwarming van het klimaat na verloop van enkele decennia een belangrijke impact zal hebben op de aanwezigheid van levende soorten in België: een deel van deze soorten zal verdwijnen. De structuur van de ecosystemen, dat wil zeggen de verspreiding en de relatieve overvloed van de verschillende

soorten, en ook hun onderlinge relaties, zou grondig kunnen veranderen. Er zouden meer inspanningen nodig zijn om algemeen het aandeel van de bedreigde soorten te kunnen bepalen. Tenslotte moeten we er hier ook aan herinneren dat er naast de klimaatverandering ook nog andere factoren een rol spelen, zoals de vernietiging van habitats, de verontreiniging van de lucht, het water en de bodem en ook een nog te economisch en te technocratisch milieubeheer. Deze factoren vormen momenteel zeker de ernstigste bedreigingen voor de biodiversiteit en voor de zeldzame waardevolle natuurlijke of halfnatuurlijke ecosystemen die nog in ons land te vinden zijn. Maar het is wel mogelijk dat de invloed van de klimaatverandering in de toekomst deze bedreigingen zal overtreffen.

## De Hoge Venen

RENÉ SCHUMACKER

De Hoge Venen zijn gelegen in het oosten van België, tussen Eupen, Malmédy en de Duitse grens. Deze streek wordt gekenmerkt door een plateau van meer dan 670 m hoog. Zij dankt haar naam aan de aanwezige veengebieden met een oppervlakte van ongeveer 37 km<sup>2</sup>. In de Hoge Venen vinden we met name verschillende planten- en diersoorten die in België en Midden-Europa steeds zeldzamer worden, bedreigd of zelfs bijna verdwenen zijn. Een deel van de streek vormt een staatsnatuurreservaat van ongeveer 5.000 ha.

In natuurlijke toestand vormt hoogveen<sup>xii</sup> een vochtig milieu, met een hangende watertafel die voortdurend op minder dan 25 à 40 cm diepte zit. Dit hoogveen bedekt momenteel ongeveer 11 km<sup>2</sup>, waarvan minder dan 1,5 km<sup>2</sup> als nagenoeg intact kan worden beschouwd. In vergelijking met de rest van België kennen de Hoge Venen een kouder en bijzonder regenachtig klimaat (circa 1.400 mm/jaar, tegenover 800 mm/jaar in het centrum van het land). Daardoor komen hier specifieke ecosystemen voor. We vinden er typische planten zoals heel gespecialiseerde veenmossen, die zeer strikte ecologische eisen stellen, vooral door de schommelingen van de hangende watertafel (zie figuur 7).

Het hoogveen gaat er al sinds geruime tijd op achteruit, en wel om verschillende redenen:

**Verdroging.** Aan het begin van de 20ste eeuw werd een afwateringssysteem aangelegd om sparren te kunnen aanplanten. Ook de turfwinning heeft bijgedragen tot de afwatering. Vandaag zijn er wel pogingen om deze trend te keren, maar de verdroging heeft zich de hele vorige eeuw voortgezet. Wanneer de omgeving droger wordt, veranderen ook de plantensoorten die er goed gedijen. Dat werkt de verdroging verder in de hand: de wortels gaan dieper en de evapotranspiratie is groter – de planten verbruiken dus meer water.

**Mineralisatie** (verhoging van het gehalte aan anorganisch materiaal in verhouding tot het organisch materiaal). Deze mineralisatie is te wijten aan de gevolgen van een gebrek aan water voor het organisch materiaal, aan de luchtverontreiniging en aan het toenemende aantal branden – die vooral veel schade aanrichten wanneer het veen droger is. De vervuiling is momenteel het meest zorgwekkende probleem. Het gaat om vaste of door de regen meegevoerde afzetting, afkomstig van de industrie of de landbouw. Deze afzetting wordt nog versterkt door

de hoge regenval in de streek. Het gaat vooral om stikstof (nitriet en ammoniak), die de ecosystemen verstoort omdat zij een bemestend effect heeft of de werking van de mycorrhiza remt.

**Strooizout.** Dit zout komt rechtstreeks tot op 100 m van de wegen terecht en verspreidt zich ook via het grondwater.

**Toerisme.** Sinds het eind van de jaren 1980 wordt overmatig menselijk bezoek vrij goed in de hand gehouden (minder toegankelijke paden en overal houten knuppelpaden), maar voor de bescherming van de fauna en de flora moet de toeristische druk in de kwetsbare delen nog worden verminderd.

### ● Impact van de klimaatverandering

De projecties voor de 21ste eeuw wijzen op een stijging van de zomertemperatuur met verscheidene graden (afhankelijk van de scenario's) en geen toename van de neerslag in de zomer (waarschijnlijk zelfs een lichte afname). De opwarming veroorzaakt dus een sterkere



**FIGUUR 7**

Tapijt van veenmossen (*Sphagnum magellanicum*, roodachtig) met in het midden een kiem van lavendelheide (*Andromeda polifolia* L.) en kleine kruipende takjes van veenbessen (*Vaccinium oxycoccos* L.). Deze gemeenschap is heel typisch voor actief veen dat permanent doordrenkt is met water. Men vindt haar ook op veenbulten die heel zeldzaam zijn geworden. *Andromeda polifolia* komt voor in gematigde en koude streken in het noordelijk halfrond, en vinden we ook terug op grote hoogte in het zuiden (foto van Oliver Schott, Station scientifique des Hautes-Fagnes).

<sup>xii</sup> Of 'ombrogeen' veen, dat alleen afhankelijk is van de aanvoer van neerslag (van 'ombros', het Griekse woord voor regen), en niet van 'soligene' aanvoer uit de bodem of van bronnen.

evapotranspiratie, die niet wordt gecompenseerd door bijkomende neerslag. Dit bevordert dus de uitdroging van het veen. Het verband tussen klimaatverandering en verdroging is met name bevestigd voor slibhoudende bodems in België<sup>23</sup>. Canadese onderzoekers kwamen tot gelijkaardige bevindingen voor veenbodems<sup>24</sup>. Het zou in elk geval interessant zijn om over dergelijke geactualiseerde resultaten te beschikken voor België. De modellen wijzen ook op een verlenging van de vegetatieperiode, wat leidt tot een grotere jaarlijkse evapotranspiratie.

De klimaatwijziging verhoogt dus in de eerste plaats de verdroging, die nu al een groot probleem vormt<sup>25</sup>. Dit zal de nu al waargenomen tendensen nog versterken, zoals de achteruitgang van veenmossen en andere mossen. Deze typische vegetatie wordt dan vervangen door soorten die beter in staat zijn om diep te wortelen en die beter bestand zijn tegen veranderingen, met op termijn een algemene verspreiding van grassen en struiken. Dit zou een ingrijpende wijziging betekenen voor de ecosystemen en het algemene karakter van de streek. Bovendien zou de verdroging tengevolge van de klimaatverandering ook het brandgevaar verhogen, alhoewel de branden momenteel goed in de hand worden gehouden.

Deze wijzigingen zouden vooral te betreuren zijn voor de soorten die in België nagenoeg verdwenen zijn, waaronder soorten die afhankelijk zijn van hoogveen zoals lavendelheide, veenbes, armbloemige zegge en verschil-

lende veenmossen. Om een duidelijk beeld te krijgen van de veranderingen op lange termijn en hun verband met het klimaat zou er een regelmatige kwalitatieve en kwantitatieve opvolging moeten komen op specifieke plaatsen, zowel met betrekking tot de vegetatie als tot het microklimaat van deze specifieke biotoop, maar dat gebeurt momenteel niet.

Waarschijnlijk zal de klimaatverandering in de loop van de 21ste eeuw ook leiden tot een vermindering van het sneeuwdek (momenteel is de bodem meer dan 70 dagen/jaar<sup>xiii</sup> met sneeuw bedekt). Samen met de opwarming en het verlies aan habitats zou dit een bedreiging vormen voor diersoorten die aangepast zijn aan de huidige omstandigheden, vooral wanneer die omstandigheden overeenkomen met de tolerantiegrenzen van de soort. Zo is de recente achteruitgang van de populatie korhoenders soms gedeeltelijk toegeschreven aan het veranderende klimaat, al is niet iedereen het daarmee eens.

Kortom: wanneer de achteruitgang zich voortzet – vooral tengevolge van de luchtvervuiling door stikstof en andere stoffen – en wanneer de klimaatverandering bovendien verder uitbreidt, bestaat het meest waarschijnlijke scenario erin dat de restanten van het veen die nu nog vrijwel intact zijn de komende 20 à 50 jaar zullen verdwijnen. Het veen zal zelfs aan de klimaatwijziging alleen niet eendeloos weerstand kunnen bieden, waardoor op termijn toch een aanzienlijke verdroging zou optreden.

<sup>xiii</sup> Gemiddeld, ook rekening houdend met de dagen dat de grond niet volledig met sneeuw bedekt is (P. Mormal en C. Tricot, 2004, te verschijnen in de reeks van wetenschappelijke en technische publicaties van het KMI).

## Flora en fauna van de Noordzee

### FRANCIS KERCKHOF

#### ● *Is de klimaatverandering al begonnen?*

In de loop van de 20ste eeuw zijn er in de verschillende decennia schommelingen opgetreden in de temperatuur van de Noordzee. Dat is onder andere af te leiden uit de statistieken over de vangst van bepaalde vissoorten. Maar er zijn verschillende factoren die erop wijzen dat de Noordzee momenteel een grotere opwarming kent, vooral in de omgeving van de kusten. Deze stijging blijkt uit de temperatuurmetingen, ook al is het momenteel nog moeilijk om de gemiddelde stijging precies vast te stellen. Vanuit biologisch oogpunt is de verandering voor het eerst gebleken uit planktononderzoek. Uit een analyse van gegevens die doorheen de jaren verzameld werden, bleek dat de samenstelling van het plankton rond het eind van de jaren 1980 duidelijk was veranderd. Er bleek een wijziging te zijn opgetreden in de verhouding tussen soorten van koud en warm water ten voordele van de warmwatersoorten<sup>26</sup>. Bovendien zijn er nu in de Noordzee meer en meer waarnemingen van verscheidene zuidelijke vissoorten zoals sardine of ansjovis... Anderzijds was er ook de sterke achteruitgang van enkele koudwatersoorten zoals kabeljauw, schelvis en heilbot.

#### ● *Verdwijnen van typisch noordelijke soorten*

Mogelijke effecten van een gewijzigde temperatuur zijn moeilijk te onderscheiden van natuurlijke fluctuaties in de populaties van dieren en planten, die soms aanzienlijk kunnen zijn, en van andere belangrijke invloeden zoals de druk vanwege de visserij (bijvoorbeeld voor kabeljauw) en eutrofiëring. Bij de commerciële soorten lijkt de garnaal (*Crangon crangon*) wel een trend aan te geven<sup>xiv</sup>. De laatste jaren is de visserijdruk op de garnaal niet toegenomen, maar toch blijkt de garnaalvisserij in de zuidelijke Noordzee en in het noordoostelijke deel van het Kanaal over een langere termijn sterk te zijn achteruitgegaan. Het lijkt erop dat de zuidelijke grens van het verspreidingsgebied van de garnaal naar het noorden opschuift.

#### ● *Verschuiven van typisch zuidelijke soorten*

Van talrijke mariene organismen is nog niet veel gekend over de invloed van de temperatuur op hun ontwikkeling. Toch kunnen zeepokken een goede graadmeter vormen voor een mogelijke opwarming. De Europese fauna kent niet zoveel soorten zeepokken, die zijn tamelijk goed gekend en ze zijn commercieel niet belangrijk. Zo veroverde een Afrikaanse zeepok op het eind van de vorige

eeuw in korte tijd een flink stuk van de Atlantische kust van Portugal tot Frankrijk en Engeland. Ze komt nu al voor tot in het noordoostelijk deel van het Kanaal. Er zijn minstens drie tropische en subtropische soorten die zich blijvend in de Noordzee wisten te vestigen. Eén daarvan, de paarsgestreepte zeepok *Balanus amphitrite* is een warmwatersoort die vroeger vooral in de Middellandse Zee leefde. Tegenwoordig komt ze algemeen voor in onze havens en daarbuiten<sup>27</sup>.

België grenst aan de zuidelijke Noordzee. De meeste verschuivingen hebben dan ook betrekking op zuidelijke soorten waarvan de noordoostelijke grens van hun verspreidingsgebied in het Kanaal of in het daaraan grenzende uiterste zuiden van de Noordzee ligt. Dat is onder andere het geval voor soorten als de kleine heremietkreeft, de fluwelen zwemkrab.... In warmere jaren dringen ze door tot in de zuidelijk Noordzee of zijn ze tijdelijk relatief talrijker voor onze kust. Er zijn ook meer waarnemingen van bepaalde vissoorten zoals de kleine pieterman, de lipvis en het zeepaardje. Het zou mogelijk zijn dat deze toename gedeeltelijk het gevolg is van veranderingen in het biotoop, visserijmethoden, enzovoort. Maar een aantal van de hierboven genoemde soorten worden nu ook regelmatig en in toenemende mate waargenomen voor de Nederlandse en Duitse kust, waar dit vroeger slechts occasioneel of niet het geval was. Het gaat dus inderdaad over een duidelijk indicatie van een opwarming van de zuidelijk Noordzee.

Daarnaast krijgen echte exotische soorten – die niet van nature voorkomen in West-Europa – de kans om zich hier blijvend te vestigen. Dergelijke soorten worden per toeval door de mens ingevoerd, zoals in ballastwater van schepen of via aquacultuur. Een spectaculair voorbeeld is de vestiging en uitbreiding in de hele zuidelijke Noordzee van de Japanse oester *Crassostrea gigas* (zie figuur 8). Van deze soort dacht men in eerste instantie dat ze zich hier niet zou kunnen voortplanten, omdat de temperatuur voor de ontwikkeling van de larven te laag zou zijn. Nu blijkt deze oester zich hier bijna elk jaar voort te planten.

#### ● *De toekomst en mogelijke gevolgen*

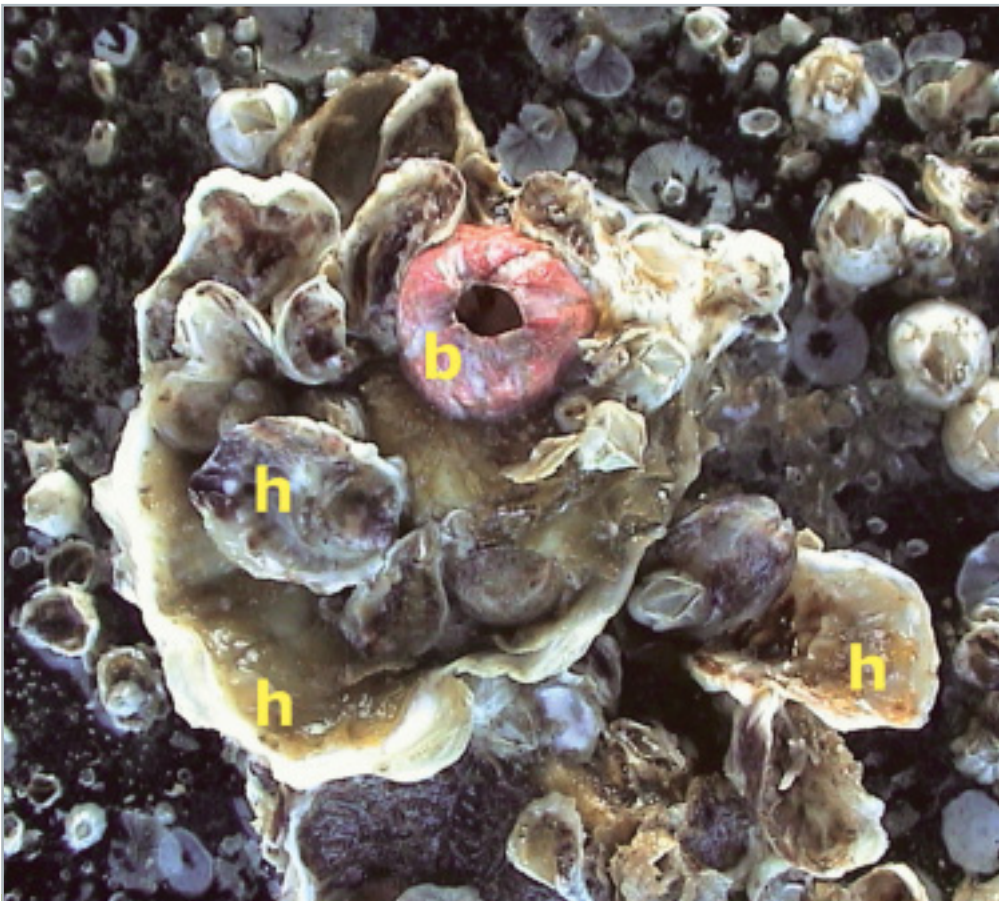
De gevolgen van een stijging van de zeewatertemperatuur zullen veeleer merkbaar zijn in min of meer gesloten watermassa's en in het kustwater dan in de open zee. De trend zal in het begin ook gemaskeerd worden door fluctuaties op korte termijn. Zo kan de temperatuur van het kustwater belangrijke jaarlijkse schommelingen vertonen, tot 2°C boven en onder het gemiddelde. Uit de beschikbare gegevens valt af te leiden dat deze veranderlijkheid zo zal blijven, maar bovendien verwachten experts ook een gemiddelde opwarming van ongeveer 2°C tegen 2050.

<sup>xiv</sup> Frank Redant (Centrum voor landbouwkundig onderzoek, Departement zeevisserij), persoonlijke mededeling.

In eerst instantie zal er geen massale en totale verschuiving van zuidelijke of noordelijke soorten optreden. Elke individuele soort reageert immers anders op veranderende omgevingsfactoren. Geleidelijk aan zal het aantal soorten stijgen en zal de biodiversiteit toenemen. Een Nederlandse publicatie<sup>28</sup> die het aantal macrobentische (grote op de bodem levende soorten) faunasoorten in de Waddenzee vergeleek met het aantal soorten in de Baai van de Seine (gemiddeld 2°C warmer) en de Baai van de Gironde (4°C warmer) voorspelt een toename van het aantal soorten met 20% bij een stijging van de temperatuur met 2°C. Bij een stijging van de temperatuur met 2 tot 4°C, kan de toename van het aantal soorten oplopen tot 30%.

Er zijn voorlopig nog geen aanwijzingen dat er echt soorten verdwenen zijn als gevolg van de opwarming. Hoogstens zijn de aantallen en het verspreidingsgebied van diverse soorten gewijzigd, onder meer tengevolge van veranderingen in hun reproductiesucces, of als gevolg van de competitiedruk met de nieuwkomers.

Toch kunnen bepaalde veranderingen wel belangrijk zijn, vooral wanneer ze een effect hebben op economisch belangrijke soorten of zorgen voor habitatveranderingen. Zo zijn warmwatervissen over het algemeen minder gegeerd dan koudwatersoorten. De Japanse oester vormt riffen die geleidelijk aan de plaats innemen van mosselbanken<sup>29</sup>. Die riffen zijn (voorlopig nog?) minder rijk aan organismen, en commercieel minder interessant dan mosselbanken.



FIGUUR 8

*Een tropische zeepok uit Centraal-Amerika (b) temidden van Japanse oesters *Crassostrea gigas* (h) (boei ter hoogte van Oostende; foto © F Kerckhof, BMM, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen).*

## Landbouw en grondgebruik

MARK ROUNSEVELL, ISABELLE REGINSTER  
EN NICOLAS DENDONCKER

### Rendement in de landbouw

Op wereldvlak schat het IPCC dat de voorspelde klimaatverandering voor de 21ste eeuw in de meeste gematigde luchtstreken (en dus ook in Europa) bij een stijging van de gemiddelde jaartemperatuur met meer dan 2 à 3°C, op enkele uitzonderingen na, zal leiden tot een algemene vermindering van de mogelijke opbrengst van de landbouwgewassen. In de meeste tropische en subtropische streken zal de klimaatverandering voor de meeste voorspelde temperatuurstijgingen leiden tot een algemene daling van de mogelijke opbrengst van de landbouwgewassen. Het IPCC voorspelt ook een stijging van de mogelijke opbrengst van de landbouwgewassen in sommige gematigde luchtstreken (waaronder ook in Noord-Europa) bij een stijging van de temperatuur met minder dan 2 à 3°C. Dat kan in eerste instantie de illusie wekken dat de opwarming van het klimaat in alle opzichten een goede zaak is.

De belangrijkste gevolgen van de voorziene klimaatwijziging voor de landbouwopbrengsten staan vermeld in tabel 3. Sommige klimaatfactoren kunnen leiden tot een daling van de opbrengst. Andere factoren, vooral de bemesting door de toenemende concentratie CO<sub>2</sub>, hebben daarentegen een positieve impact op de meeste teelten.

Het gevolg van de opwarming op zich wordt voor tarwe bijvoorbeeld ruim gecompenseerd door de aanvoer van CO<sub>2</sub>, tenminste voor de 21ste eeuw (zie figuur 9). Voor het geheel van de landbouwsector lijken de verwachte gevolgen in België in de loop van de 21ste eeuw voor alle SRES-scenario's beperkt te zijn<sup>3,30</sup>. Maar we moeten er wel op wijzen dat maar weinig studies rekening hebben gehouden met de gevolgen van de veranderende frequentie van extreme meteorologische verschijnselen, die de diagnose waarschijnlijk nog zullen verergeren.

Algemeen gesproken beschikt de landbouw in België inderdaad over ruime aanpassingsmogelijkheden die toelaten het hoofd te bieden aan een klimaatwijziging, in elk geval tot een temperatuurstijging van ongeveer 3°C. De evolutie van de landbouw zal ook sterk afhangen van het sociaal-economisch beleid (zie *volgend deel*). De aanpassing wordt moeilijker en duurder naarmate de klimaatverandering ingrijpender is. Boven bepaalde fysiologische drempels bereikt het bemestende effect van de CO<sub>2</sub> zijn plafond en verminderen de opbrengsten, ongeacht de aanpassingsmaatregelen, omdat de temperatuur extreem hoog is of omdat er een gebrek aan water is.

### Scenario's van grondgebruik in de 21ste eeuw

De klimaatverandering zal niet alleen gevolgen hebben voor de opbrengsten van land- en bosbouw, maar ook voor de structuur van het landschap op zich. Maar die gevolgen zijn moeilijk te voorspellen, omdat een hele

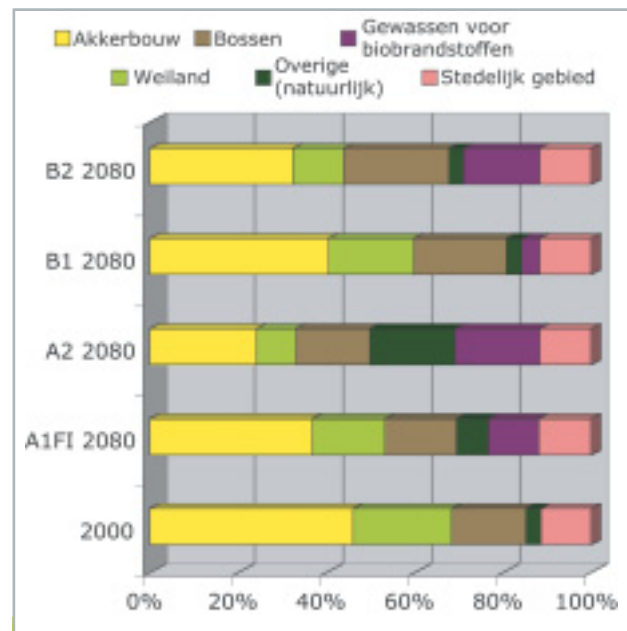
TABEL 3

Impact van de belangrijkste voorspelde klimaatwijzigingen voor de 21ste eeuw op de landbouwopbrengsten.

↑ Temperatuur	De groeiperiode van planten verkort: planten komen sneller tot rijping in een warmer klimaat. Daling van de opbrengst voor sommige gewassen (in het bijzonder granen). Door de kortere groeiperiode ligt de hoeveelheid geaccumuleerde stof lager. Uitzonderingen: • de opbrengst van maïs neemt in ons land toe omdat het huidige klimaat veeleer koud is in vergelijking met het optimum voor deze plant. • Sommige gewassen kunnen worden ingevoerd (b.v. zonnebloemen). Onrechtstreeks gevolg: mogelijke verspreiding van parasieten en ziekten, vooral in het natuurlijke milieu (bossen).
↓ Neerslag in de zomer	Nood aan irrigatie (die is momenteel niet zo groot in België).
↑ Neerslag in de lente / in de herfst	Er bestaat op dit moment geen degelijke inschatting van de evolutie van de neerslag in deze seizoenen. Wanneer een toename optreedt, zou die het werk op het land kunnen hinderen. Er zouden ook moeilijkheden ontstaan voor sommige gewassen (b.v. winter tarwe en bieten).
↑ CO <sub>2</sub>	Stijging van de opbrengst: 'bemestingseffect'; planten hebben CO <sub>2</sub> nodig, en de meeste gewassen (van type C <sub>3</sub> ) reageren goed op een CO <sub>2</sub> -verhoging. Uitzondering: maïs (van type C <sub>4</sub> , geen belangrijke stijging van de opbrengst). Efficiënter watergebruik door de planten.
↑ Extreme weersomstandigheden	Het belangrijkste risico houdt verband met de vermoedelijke toename van hittegolven, van de kracht van de regen en eventueel ook van droogtes in de zomer. Het is mogelijk dat het aantal zware stormen ook toeneemt, maar hierover bestaat geen consensus; in dat geval is een impact op de bossen mogelijk.

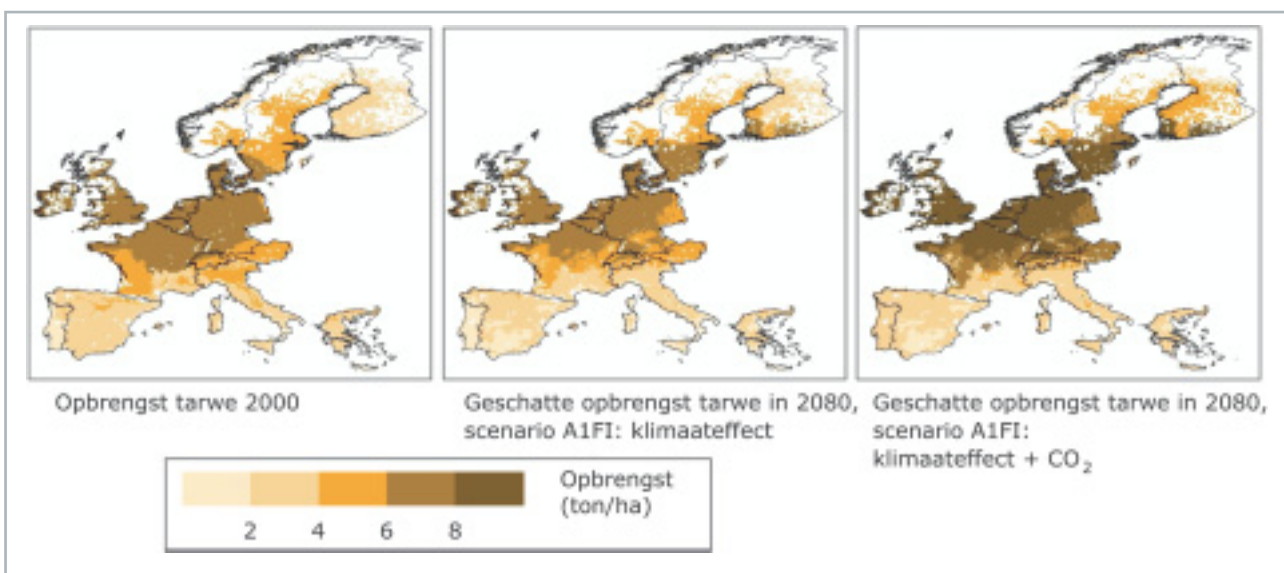
reeks 'menselijke' en dus grotendeels onvoorspelbare factoren ook invloed hebben op de plannen voor het grondgebruik. We denken bijvoorbeeld aan de vraag en het aanbod van voedsel op wereldvlak, de beslissingen van de Wereldhandelsorganisatie, de marktinterventies (het gemeenschappelijk landbouwbeleid), het beleid inzake milieubescherming en plattelandontwikkeling. Het Europese ATEAM-project<sup>31</sup> heeft onderzoek verricht naar de evolutie van het grondgebruik in Europa in de toekomst, voor de verschillende klimatologische en sociaal-economische scenario's op basis van de SRES-scenario's (zie tabel 1, pagina 15), rekening houdend met deze menselijke factoren. Zo wordt een schatting gemaakt van de oppervlakte die nodig is voor vier types grondgebruik (stedelijk gebruik, landbouw, bosexploitatie en het natuurlijk domein – ook voor recreatief gebruik).

Volgens deze studie is het allerbelangrijkste gevolg de vermindering van de oppervlakte die nodig is voor voedselproductie, tengevolge van de aanhoudende trend tot intensivering van de landbouw. Algemeen gesproken zouden er door deze vermindering gronden beschikbaar komen voor andere toepassingen, waardoor de ontwikkeling van biobrandstoffen<sup>xv</sup>, bossen en natuurgebieden gemakkelijker zou worden. De evolutie op het niveau van België (zie figuur 10) toont dezelfde trends als op Europees niveau. De vermindering van de oppervlakte landbouwgrond is kleiner in de scenario's 'B', die meer aandacht hebben voor de milieuproblemen dan de scenario's 'A', die een strikter 'economische' logica volgen.



FIGUUR 10

Grondgebruik in België. Huidige situatie en projecties voor het einde van de 21ste eeuw naargelang van de verschillende scenario's die rekening houden met de klimatologische en sociaal-economische veranderingen. De categorie 'overige' omvat gebieden zonder economische bestemming, die waarschijnlijk in hun natuurlijke toestand worden gelaten. Bron: Département de Géographie, UCL.



FIGUUR 9

Verwachte evolutie van de opbrengst van de tarweteelt voor de 21ste eeuw volgens het (klimatologisch en sociaal-economisch) scenario A1FI en een daarmee overeenstemmende klimaatsimulatie uitgevoerd met een klimaatmodel (HadCM3). Bron: Département de Géographie, UCL.

<sup>xv</sup> Brandstoffen geproduceerd op basis van gewassen als koolzaad of bieten, of afgeleid van hout.

Naargelang van de scenario's kunnen regionale verschillen opduiken; bijvoorbeeld voor scenario A1FI leidt de intensivering tot een grotere vermindering van de landbouwgrond in streken waar de landbouw in minder gunstige omstandigheden verloopt en momenteel ook op een meer extensieve wijze gebeurt, zoals in de Ardennen.

## Watervoorraden en overstromingen

### PHILIPPE MARBAIX

De klimaatprojecties voor Europa wijzen voor de toekomst op een afname van de neerslag in de zomer, vooral in het zuiden, en op een toename in de winter voor de meeste streken. In combinatie met de stijgende temperaturen kunnen we dus een hoger risico verwachten van droogte in de zomer, die vooral het zuiden zal treffen, al zou dit gevolg in veel streken vrij beperkt kunnen uitvallen door de toename van de winterse neerslag. In de winter vallen waarschijnlijk meer overstromingen te verwachten. Deze veranderingen zouden verschillende gevolgen kunnen hebben: onzekerheid over de watervoorziening (bijvoorbeeld voor de koeling van elektrische centrales), moeilijkheden voor de binnenscheepvaart, toenemende problemen met de waterkwaliteit, enzovoort. De klimaatverandering is trouwens niet de enige factor die voor problemen zorgt bij het waterbeheer.

Voor een klein land als België is de evolutie van de neerslag bijzonder moeilijk te beoordelen gezien de natuurlijke wisselvalligheid, de onzekerheid rond de modellen en rond de uitstoot van broeikasgassen (zie ook deel 'Klimaatverandering', en vooral figuur 3). Voor onze streken stellen de projecties een dalende of eventueel gelijkblijvende neerslag voor tijdens de zomer (van 0 tot -50%) en een stijging van 10% tot 20% in de winter. In de winter zou het niveau van het grondwater en het debiet van de waterlopen dus moeten stijgen. Maar om daaruit het

risico van overstromingen af te leiden, moeten we rekening houden met een hele reeks niet-klimaatgebonden factoren: de kenmerken van het hydrografisch bekken (type helling...), de doorlaatbaarheid van de bodem, de bestemming van de gronden, de graad van verstedelijking (en dus van de ondoorlaatbaarheid van de bodem), het vermogen van ondergrondse watervoorraden, enzovoort. Studies van verscheidene rivierbekkens in ons land komen tot de conclusie dat het debiet van de rivieren in de winter naargelang van het geval met 4% tot 28% zou kunnen stijgen. Tenslotte blijkt uit het werk van Gellens en Roulin<sup>32</sup> aan het KMI dat het risico van overstromingen waarschijnlijk in alle onderzochte bekkens zal toenemen (Semois, Ourthe, Berwinne... ).

De overstromingen in de streek van de Somme in 2001 in Frankrijk vormen een waarschuwing voor België. Zij waren het gevolg van een overvloedige regenval in de winter na twee uitzonderlijk vochtige jaren en ook van de specifieke kenmerken van het grondwater in de betrokken streek. De overstromingen hebben twee maand geduurd; zij vereisten de evacuatie van 1.100 personen en veroorzaakten een schade van naar schatting 150 miljoen euro. De duur van de ramp wordt toegeschreven aan het feit dat het niveau van het grondwater gestegen was, wat mee heeft geleid tot de overstroming van de valleien. Dit fenomeen van 'stijgend grondwater' is trouwens ook vast te stellen in sommige streken van ons land, vooral waar er vroeger steenkoolmijnen zijn geweest, zoals in de Borinage.

Ons land heeft ernstige overstromingen gekend in 1995, 1998, 2002 en 2003. De overstromingen van de zomer 2002 in Centraal- en Oost-Europa liggen ons nog allemaal vers in het geheugen. Afzonderlijk bekeken is geen enkel van deze feiten toe te schrijven aan de klimaatverandering. Maar uit de projecties blijkt wel dat er statistisch gezien een hoger risico te verwachten valt. Een recent rapport maakt een balans op van de risico's van overstroming in Groot-Brittannië. Na een analyse van de gevolgen in het binnenland, in de steden en in de kustgebieden voorspelt dit rapport een sterke stijging van de risico's, die gevolgen zullen hebben voor ongeveer 7% van de woningen<sup>33</sup>.

Maar overstromingen zijn niet de enige mogelijke hydrologische gevolgen van de klimaatverandering. Paradoxaal genoeg zou de toename van de neerslag ook kunnen gepaard gaan met waterschaarste in de zomer, op het moment van een stijgende vraag naar zowel water voor consumptie als voor de landbouw, tengevolge van de hogere temperatuur. De drogere zomers en een sterkere verdamping kunnen (zelfs met vochtiger winters) leiden tot een aanzienlijke vermindering van de ondergrondse watervoorraden in België en zelfs op sommige plaatsen tekorten veroorzaken<sup>34</sup>. Om de watervoorziening veilig te stellen, moeten grotere watervoorraden worden aangelegd of moet water worden aangevoerd uit streken waar meer water beschikbaar is. Bovendien zou de verminde-



foto © Greenpeace/Barret

FIGUUR 11

Ondergelopen benzinstation en slachtoffers van de overstromingen van 2003 in Arles, Frankrijk.



ring van het watervolume in de zomer een negatieve invloed kunnen hebben op de kwaliteit van het oppervlaktewater.

De Europese landen blijven dus niet gevrijwaard van de nefaste gevolgen van de verstoring van de waterkringloop. Naast maatregelen om de klimaatverandering te beperken, lijkt ook een aanpassing absoluut noodzakelijk. Dat zal ook kosten met zich meebrengen: zo gaat het bijvoorbeeld over meer en striktere maatregelen om het risico van overstroming te beperken en ook om de fouten in de ruimtelijke ordening te herstellen die dat risico verhogen. De veranderingen met betrekking tot de neerslag (vooral de overvloed aan hevige regenbuien) en de impact daarvan zijn nog niet voldoende bekend, in het bijzonder in België, en vergen zeker meer onderzoek.

## De kuststreek

### PHILIPPE MARBAIX EN JEAN-PASCAL VAN YPERSELE

De stijging van het gemiddelde zeepeil is een aspect van de klimaatverandering waarover nog heel veel onzekerheid bestaat: zo varieert de gemiddelde stijging<sup>xvi</sup> voor alle SRES-scenario's samen voor de periode 1990-2100 van 9 tot 88 cm (zie deel 'Klimaatverandering'). Bovendien ondergaat het vasteland zelf een aanpassing die volgt op de laatste ijstijd (isostatische opheffing); vermoedelijk zal het bodemniveau in België in de loop van de 21ste eeuw daardoor met 5 cm dalen. De klimaatverandering zou ook gevolgen kunnen hebben voor het aantal en/of de kracht van de stormen in Europa, maar belangrijke onzekerheden bestaan over dit onderwerp (zie deel 'Klimaatverandering' en IPCC).

Op Europees niveau zullen zich waarschijnlijk drie grote gevolgen voordoen<sup>35</sup>: overstromingen en een mogelijke verschuiving van de vochtige gebieden die ongeveer op zeeniveau liggen naar het binnenland, de toename van overstromingen tengevolge van stormen<sup>36</sup> (ook in de estuaria) en de erosie van de kust. De verplaatsing van natuurlijke vochtige gebieden naar het binnenland is in Europa maar zelden mogelijk, omwille van de bevolkingsdichtheid in de buurt van de kusten. Dit zou dus kunnen leiden tot een verlies aan vochtige gebieden. De kans op overstromingen bij stormen is beperkt doordat veel bewoonde gebieden al beschermd zijn, maar door de klimaatverandering zal het noodzakelijk zijn de dijken te versterken, enzovoort... De erosie tenslotte is evenmin een nieuw probleem: 70% van de zandstranden over de hele wereld wordt daar al mee geconfronteerd en het is trouwens mogelijk dat dit deels te wijten is aan de stijging van de zeespiegel in de 20ste eeuw<sup>37</sup>. Hoe dan ook, de stijging van de zeespiegel en een eventuele verandering in de heersende winden zullen deze neiging tot erosie waarschijnlijk nog versterken. Andere gevolgen, die als

minder belangrijk worden beschouwd, zijn de stijging van de grondwaterspiegel, het binnendringen van zout water in het grondwater en de verzilting van de bodem<sup>a</sup>.

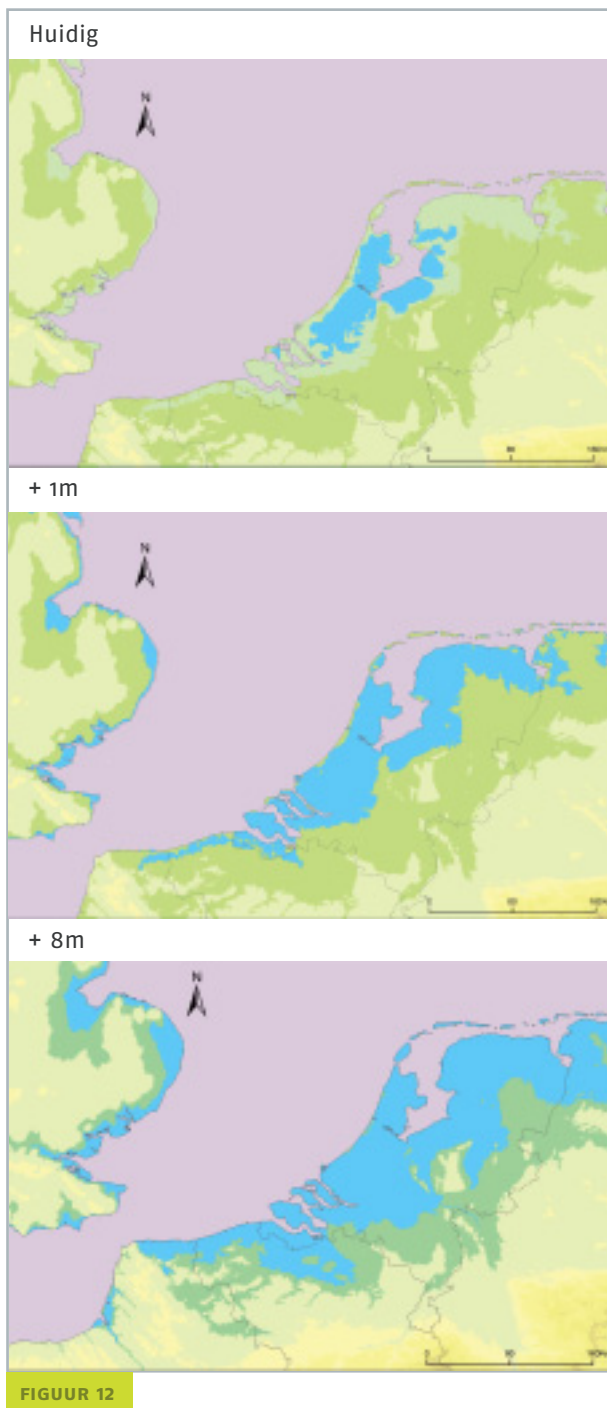
#### ● In België

Figuur 12 probeert een overzicht te geven van de eventueel getroffen streken door een vergelijking te maken tussen de gebieden die momenteel onder het gemiddelde zeeniveau liggen en de gebieden die daar door een stijging van de zeespiegel met 1 m of met 8 m ook onder zouden vallen. Door een stijging van het zeepeil met 1 m zouden 63.000 hectaren onder de zeespiegel komen te liggen. We willen er op wijzen dat geen enkel van deze gebieden op dit moment overstroomd is, zelfs niet in Nederland. Bovendien gaat het hier enkel om het gemiddelde peil: in feite bevinden grote gebieden zich nu al onder het huidige hoogwaterpeil in België en zijn dus beschermd tegen overstroming. Maar we mogen niet vergeten dat de stijging van de zeespiegel een langzaam verschijnsel is dat zich ook na de 21ste eeuw zal voortzetten en het hier getoonde peil van 1 m zal bereiken en daarna overschrijden. Over duizend jaar zou een gematigd scenario tot een stijging met 8 m (!) kunnen leiden. Bij een stijging met 8 m zou meer dan een tiende van het Belgische grondgebied (bijna 3.700 km<sup>2</sup>) onder zeeniveau liggen. Dat zal dus een ernstige versterking vragen van de bescherming van de kusten om catastrofale overstromingen te vermijden.

De Belgische kust is 65 km lang en wordt voor meer dan de helft beschermd door een dijk. Langs een groot deel van de kust wordt de bescherming van het binnenland dus nog voorzien door de stranden en de duinen en zijn er belangrijke natuurlijke gebieden. De erosie treft de stranden niet altijd even sterk: sommige blijven stabiel, een klein aantal groeit aan, maar een groot deel van de kust is al sinds lange tijd onderhevig aan erosie. Bij storm kan het gebeuren dat grote hoeveelheden zand worden weggerukt van duinen en stranden. De getijden en de zeestromingen langs de kust spelen ook een rol. Er zijn talrijke golfbrekers aangelegd om dit fenomeen te beperken. Sinds 1960 is er regelmatig zand aangevoerd als compensatie voor de erosie: dit gebeurde op bijna 20 km strand. Heel recentelijk zijn in Oostende werken uitgevoerd om het strand in de buurt van de vaargeul van de haven op te hogen<sup>38</sup>. Dit is maar een voorlopige oplossing voor de dreiging van overstroming van de stad.

Er zijn dus goede redenen om te vrezen dat de erosie zal toenemen als gevolg van de stijging van de zeespiegel. Die erosie zal nog worden verergerd wanneer het aantal zware stormen zou toenemen, zoals sommige (maar niet alle) modellen aantonen. Het belang van deze laatste factor is moeilijk in te schatten door de waarschijnlijk sterk verschillende evolutie van sterke en zwakke winden. Maar dit is hoe dan ook een zorgwekkend verschijnsel, aange-

<sup>xvi</sup> De regionale verschillen zijn op dit moment nog niet gekend, maar vertegenwoordigen waarschijnlijk minder dan 10% van het gemiddelde (ACACIA, 2000)<sup>3</sup>.



FIGUUR 12

*Oppervlakten die zich onder de zeespiegel bevinden, die zouden worden overstroomd wanneer er geen bescherming zou zijn (in het blauw).*

*Boven: huidige situatie.*

*In het midden: situatie die overeenstemt met een stijging van de zeespiegel met 1 m.*

*Beneden: stijging met 8 m die volgens een gematigd klimaatscenario kan bereikt worden tegen het jaar 3000.*

*Bron: Département de Géographie, UCL.*

zien zware stormen de erosie<sup>xvii</sup> en ook de kans op overstroming nog versterken. De administratie die verantwoordelijk is voor de bescherming van de kust (Administratie Waterwegen en Zeewezen, AWZ) houdt in haar beleid inzake de gevolgen van de klimaatverandering rekening met de termijn waarop de genomen beslissingen gevolgen hebben: voor de ophoging van de stranden volgt AWZ gewoon de ontwikkeling. Dat betekent dat het mogelijk wordt geacht om in de toekomst nog meer zand aan te voeren, afhankelijk van wat nodig is. Maar als het om bouwwerken zoals dijken gaat, wordt rekening gehouden met een stijging van het water van 60 cm in de 21ste eeuw.

Een laatste belangrijk punt heeft betrekking op het estuarium van de Schelde en haar bijrivieren die nog een zekere getijdenwerking kennen. Na de overstromingen van januari 1976, die waren veroorzaakt door een storm in de Noordzee, is een 'Sigmaplan'<sup>xviii</sup> opgesteld voor de bescherming van het bekken van de Zeeschelde. Maar de grote stormen van de jaren 1990 hebben aangetoond dat het veiligheidsniveau nog altijd onvoldoende was. Om het huidige veiligheidsniveau te verbeteren, wordt een 'gecontroleerde overstromingsgebied' voorbereid (het zal de dertiende zijn), om opnieuw plaats te voorzien waar het water zich tijdelijk kan opstapelen in geval van een heel hoog getij, om zo de bereikte hoogte te verminderen.

Na afronding van de voorziene werken zal het risico, voor de huidige klimaatomstandigheden, liggen op één overstroming in 350 jaar. Met betrekking tot de toekomst gaat AWZ hier ook uit van de veronderstelling dat het zeepeil tegen 2010 met 60 cm zal stijgen. In die omstandigheden zal het risico op overschrijding tot 2050 opnieuw één keer op 70 jaar voorkomen en tegen 2100 één keer op ongeveer 25 jaar (drie keer in een mensenleven). Om het risico te verminderen, onder andere met het oog op de klimaatverandering, wordt het Sigmaplan momenteel geactualiseerd.

Rekening houdend met de projecties op lange termijn voor de zeespiegel, die een van de klimaatvariabelen is die wordt gekenmerkt door de langste tijdschaal, is het vrijwel zeker dat de klimaatverandering in de toekomst andere aanpassingswerken noodzakelijk zal maken, tenzij we er ons bij neerleggen om een deel van het grondgebied af te staan aan de oceaan. We kunnen alleen maar hopen dat het in de landen die over aanzienlijke economische middelen beschikken nog lang mogelijk zal zijn aanpassingen uit te voeren, maar tegelijk mogen we toch niet vergeten dat veel mensen op aarde niet zoveel geluk hebben. Bovendien kunnen de soms unieke natuurlijke biotopen in de kustgebieden, ondanks aanpassingswerken, op termijn sterk worden aangetast (zie de kadertekst 'Het Zwin').

<sup>xvii</sup> Volgens Zhang en zijn medewerkers<sup>37</sup> zijn zware stormen op lange termijn niet verantwoordelijk voor een terugtrekken van de stranden, omdat die zich vervolgens weer op natuurlijke wijze kunnen herstellen; maar deze bevinding geldt in elk geval alleen voor stranden die een natuurlijk evenwicht kennen en die indien nodig kunnen uitwijken in het binnenland om een nieuw evenwichtsprofiel te vinden.

<sup>xviii</sup> Naar analogie met het 'Deltaplan' voor Nederland.

## Het Zwin

PHILIPPE MARBAIX

Het natuurreservaat het Zwin strekt zich uit over een kustlengte van ongeveer 2,3 km in het Nederlands-Belgisch grensgebied. Het reservaat heeft een oppervlakte van 158 ha, waarvan 125 ha op het Belgisch en 33 ha op het Nederlands grondgebied liggen. Het bestaat uit een duinenrij met daarachter zilte slikken en schorren. Vóór de duinenrij strekt zich een droogstrand uit; bij zware storm komt het water tot tegen de duinvoet. Ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens is er een bres in de duinenrij waardoor zeewater bij vloed het natuurreservaat kan binnendringen.

Het reservaat is een overblijfsel van de zee-inham die vroeger Damme verbond met de zee. Door verzanding en inpoldering bleef in de 2de helft van de 19de eeuw niet veel meer over van deze zee-inham dan enkele dichtslibbende resten. Het Zwin wordt nu begrensd van het binnenland door de Internationale Dijk, gebouwd in 1872. Deze dijk vormt de zeewering in deze kustzone. De duinen hebben dus geen zeewerende functie.

Het Zwin is een getijdengebied dat bij normaal getij slechts gedeeltelijk onder water loopt. Grote delen van de schorren komen enkel onder water bij springtij of stormvloed. In het gebied zijn er ook tijdelijke plassen en permanente vijvers die veel zeevissen bevatten. Er is een grote variatie aan plantengroei met vooral zoutminnende planten en een grote rijkdom aan biotopen voor vele soorten vogels. Het natuurreservaat het Zwin heeft daardoor een hoge landschappelijke en ecologische waarde. Het natuurgebied is uniek in België en is ook internationaal heel belangrijk. In dit deel van Europa is het eiland Texel in Nederland de enige andere plek met een zout milieu zonder aanvoer van zoet water.

### ● *De verzanding van het Zwin*

Een slufteer wordt gekarakteriseerd door zijn vergankelijkheid. Zonder menselijk ingrijpen zal het Zwin op langere termijn volledig afgesnoerd worden en uiteindelijk evolueren naar een systeem van zoetwatermoerassen. Een van de problemen van het Zwin is de verzanding. Die is de voorbije decennia nog versneld, vooral door de aanvoer van zand op de stranden van Knokke-Heist en Cadzand om de erosie tegen te gaan<sup>39</sup>. Om deze verzanding te bestrijden werd in 1990 beslist stroomopwaarts van de monding voorbij de duinenrij een zandvang te graven. Maar de noodzaak om de zandvang leeg te halen, brengt een regelmatige verstoring van het reservaat met zich mee. Andere oplossingen worden momenteel bestudeerd.

### ● *De klimaatverandering*

In de nabije toekomst vormt de verzanding dus waarschijnlijk de belangrijkste bedreiging voor het Zwin en niet de stijging van het zeewater (behalve wanneer dit zou leiden tot het aanvoeren van zand op de stranden om hun erosie tegen te gaan, wat op zijn beurt de verzanding zou kunnen stimuleren). We kunnen dus hopen dat de geleidelijke stijging van het zeepeil zal toelaten de genomen maatregelen aan te passen. Het lijkt moeilijker om de rol te bepalen van de klimaatveranderingen op een tijdschaal van een eeuw: welke invloed zal bijvoorbeeld de toename van het aantal of de kracht van stormen hebben op de verzanding? En wat zou de invloed zijn van de gestegen zomertemperaturen op de bodemvochtigheid? Op langere termijn moeten we rekening houden met een stijging van de zeespiegel die zal worden uitgedrukt in meters (potentieel 8 m voor het jaar 3000). In sommige delen van de wereld mogen gebieden als het Zwin zich naar het binnenland terugtrekken, maar voor het Zwin is dit niet mogelijk: het is een klein natuurgebied, dat gevangen zit tussen de zee en de dijk die het binnenland moet beschermen.

## Impact op de gezondheid

JEAN-PASCAL VAN YPERSELE

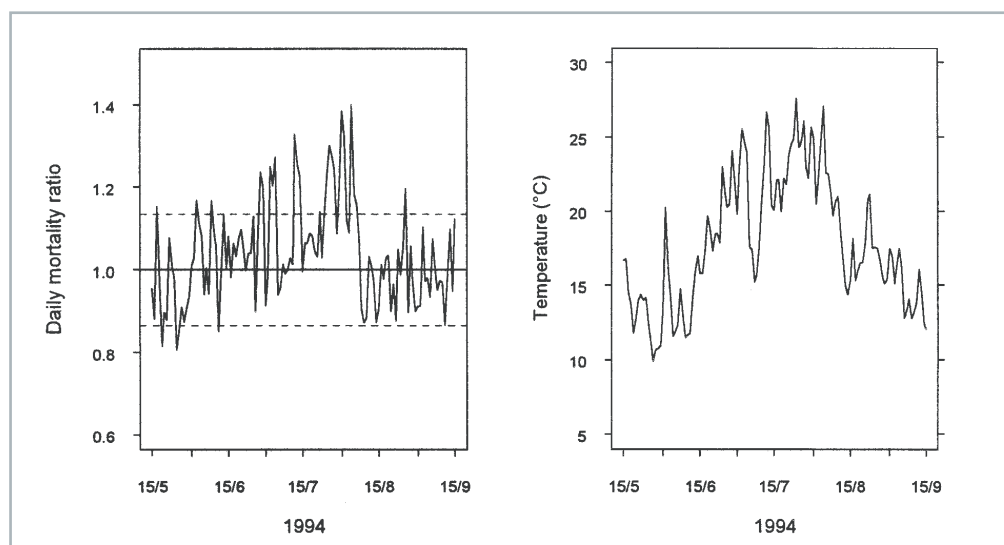
### Inleiding

De hittegolf in Europa tijdens de zomer van 2003 heeft er ons op tragische wijze aan herinnerd dat de menselijke gezondheid ernstig kan worden aangetast door de weersomstandigheden. Natuurlijk zullen de gevolgen van de klimaatverandering voor de gezondheid duidelijk veel ernstiger zijn in de ontwikkelingslanden dan bij ons. Alleen al door het toenemend risico op malaria zou de opwarming van het klimaat tegen het einde van de eeuw in die landen negatieve gevolgen kunnen hebben voor de gezondheid van meer dan tweehonderd miljoen mensen extra<sup>40</sup>. Maar toch mogen we zeker ook niet het belang van de gevolgen voor de gezondheid bij ons onderschatten. Sommige van die gevolgen zullen positief zijn, maar het ziet ernaar uit dat er ook heel wat negatieve gevolgen zullen opduiken.

De klimaatverandering kan de gezondheid van de mens op veel verschillende manieren aantasten<sup>41</sup>. Een toename in de hoeveelheid of de intensiteit van de hittegolven verhoogt het aantal sterfgevallen en zieken tengevolge van warmtestress. Op dagen met uitzonderlijk hoge temperaturen zou het aantal sterfgevallen in grote steden kunnen verdubbelen of zelfs verdrievoudigen. Omgekeerd zorgt de daling van het aantal heel koude dagen in de winter dan weer voor minder sterfgevallen met een cardiovasculaire oorzaak. De veranderingen in de temperatuur en de vochtigheidsgraad hebben ook hun invloed op de luchtkwaliteit: de warmte bevordert de vorming van ozon en smog en verlengt het seizoen van de productie van allergene pollen. Extreme klimaatverschijnselen (overstromingen, stormen, enzovoort) zijn ook verantwoordelijk voor een deel aantal doden, gewonden,

besmettelijke ziekten of psychologische stoornissen. De dragers van besmettelijke ziekten (muggen, teken, vliegen...) zijn gevoelig voor het klimaat. Hun verspreidingsgebied verandert wanneer het klimaat opwarmt en de mogelijkheid tot overdracht van talrijke ziekten (malaria, dengue, parasitosen, West-Nijlvirus...) neemt in aanzienlijke mate toe<sup>xix</sup>. De hoge temperaturen begunstigen de verspreiding van bepaalde micro-organismen, zoals salmonellabacteriën en schimmels die kankerverwekkende aflatoxine produceren aan het oppervlak van granen. Droogtes kunnen leiden tot een aantasting van de waterkwaliteit en een toename van het aantal infecties van de luchtwegen. Tenslotte kan ook nog een hele reeks onrechtstreekse gevolgen voor de gezondheid voortkomen uit een verslechtering van de sociaal-economische toestand door de gevolgen van de klimaatverandering voor de werkgelegenheid, de verdeling van de welvaart of de verplaatsing van bevolkingsgroepen.

We moeten er wel op wijzen dat de werkelijke impact van de klimaatverandering op de gezondheid van de bevolking grotendeels afhangt van de kwetsbaarheid van die bevolking, die op haar beurt weer sterk afhangt van de levensstandaard, de toegang tot de voorzieningen van openbare gezondheidszorg, de kwaliteit van de instellingen en de mate waarin de bevolking in staat is zich aan te passen aan de nieuwe klimaatomstandigheden<sup>42</sup>. In dit opzicht zal de veroudering van de bevolking in onze geïndustrialiseerde landen zeker een belastende factor vormen. Bij het zoeken naar een verklaring voor de evolutie van een gezondheidstoestand is het dan ook vaak moeilijk om een onderscheid te maken tussen klimaatfactoren en andere factoren. Dat geldt des te meer wanneer hiervoor niet voldoende gegevens beschikbaar zijn. Wij zullen dit illustreren aan de hand van twee voorbeelden voor België: de gevolgen van de hittegolven en de hogere ozonconcentratie voor de gezondheid, en de ziekte van Lyme.



FIGUUR 13

*Evolutie van het sterftecijfer bij personen van 65 jaar en ouder (links) en van de temperatuur (rechts) in België tijdens de zomer van 1994. Voor het sterftecijfer betekent een verhouding van 1.2 (bijvoorbeeld) een overschrijding van het verwachte gemiddelde sterftecijfer met 20%. Bron: Sartor et al.<sup>42</sup>.*

<sup>xix</sup> Door de voorzieningen voor gezondheidszorg en de daling van het aantal leefgebieden van de malariamug die verantwoordelijk is voor de overdracht van malaria, is het weinig waarschijnlijk dat malaria opnieuw massaal zal opduiken in West-Europa, ook al zijn wel enkele bijkomende gevallen van 'luchthavenmalaria' te verwachten door de aanvoer van besmette muggen via de lucht.

### Gevolgen waargenomen in België

Een van de best onderzochte gevolgen in België is de impact van de warmtestress. Een studie van het Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid<sup>43,44</sup> heeft uitgewezen dat de hittegolf tijdens de zomer van 1994, die gepaard ging met hoge waarden aan troposferische ozon, op zes weken tijd 1.226 bijkomende sterfgevallen had veroorzaakt, waarvan 236 in de leeftijdsgroep van 0 tot 64 jaar en 990 in de groep van +64-jarigen (zie figuur 13).

Bij een verdere analyse van het overlijden van oudere mensen in dezelfde zomer van 1994 heeft hetzelfde team de rol onderzocht van de troposferische ozon en de temperatuur als oorzaak van het stijgende sterftcijfer. Zij hebben de 123 betrokken dagen opgedeeld volgens de gemiddelde dagtemperatuur: van 9,9 tot 15,4°C, van 15,5 tot 20,3°C en van 20,4 tot 27,6°C. Zij kwamen tot de conclusie dat in de twee eerste groepen de stijging van de ozonconcentratie de enige verklarende factor was voor het hogere sterftcijfer. Voor de dagen met de hoogste temperatuur (20,4 tot 27,6°C) was de hogere sterfte waarschijnlijk meer toe te schrijven aan de temperatuur dan aan de ozon en in deze groep versterkte de ozon ook het effect van de temperatuur.

De hittegolven in de zomer van 2003 hebben in Frankrijk een gezondheidscatastrofe veroorzaakt: in de maand augustus alleen al waren bijna 15.000 sterfgevallen toe te schrijven aan de warmte. In België, ondanks de waarschuwing die de zomer van 1994 toch vormde, overleden die zomer bijna 1.300 personen van 65 jaar en ouder tengevolge van de hoge temperaturen<sup>44bis</sup>. De periode van luchtvervuiling door troposferische ozon tijdens de tweede hittegolf (3-17 augustus) was waarschijnlijk de meest ernstige die ooit in ons land is vastgesteld. Er is evenwel bijkomend onderzoek nodig om te kunnen bepalen welke rol respectievelijk de warmte en de ozon hebben gespeeld in het hogere sterftcijfer.



FIGUUR 14

*Een teek volgezogen met bloed naast de kop van een lucifer. Deze mijtachtige kan verschillende ziekten overdragen, zoals de ziekte van Lyme. Zachte winters zijn gunstig voor de ontwikkeling van teken (foto Jean-Pascal van Ypersele).*

Een ander terrein waarvoor er in België statistieken beschikbaar zijn, is dat van de ziekte van Lyme, die wordt overgedragen door sommige teken (zie figuur 14). Deze ziekte kan heel ernstige vormen aannemen wanneer zij niet op tijd wordt aangepakt<sup>xx</sup>. Het Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid meldt dat het aantal jaarlijks vastgestelde gevallen is gestegen van 42 in 1991 tot 722 in 2003. Dit heeft zeker ook te maken met de toenemende sensibilisering voor deze ziekte bij de bevolking en bij de artsen; maar we kunnen ons toch afvragen of het klimaateffect hier ook niet – ten minste gedeeltelijk – een rol speelt. Het valt moeilijk te bewijzen, maar Zweedse onderzoekers<sup>45</sup> hebben aangetoond dat de toename van het aantal teken tussen 1960 en 1998 verband hield met de stijging van de dagelijkse minimumtemperaturen. De steeds minder koude winters die worden aangekondigd voor onze streken, zouden gunstig moeten zijn voor de ontwikkeling van teken, maar de daaruit voortvloeiende evolutie van het risico om de ziekte van Lyme op te lopen, is in België nog niet onderzocht.

We willen er hier ook aan herinneren dat een geïsoleerd extreem verschijnsel niet mag worden toegeschreven aan een verandering van het klimaat. Het klimaat vertoont altijd een zekere wisselvalligheid en pas wanneer er sprake is van een abnormale herhaling (in statistische zin) van extreme situaties kunnen we de aan de gang zijnde evolutie van het klimaat zelf inroepen. Maar we weten wel dat het klimaat zal veranderen en dat dit zelfs steeds vlugger zal gebeuren wanneer er geen globale maatregelen komen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen.

### En morgen?

Voor de 'hoge' klimaatscenario's (de klimaatscenario's die de hoogste temperatuurstijging voorspellen) kunnen we een sterke stijging verwachten van het aantal bijzonder warme zomers (zie ook het deel 'Klimaatverandering'). Zomers zoals die van 2003 zouden nog voor het einde van de eeuw de regel kunnen worden. Het zou ongetwijfeld mogelijk zijn om een deel van de gevolgen voor de gezondheid te voorkomen met bouwkundige en technische middelen, met gezondheidsmaatregelen en door op voorhand extra zorg te voorzien voor oudere alleenstaande of kwetsbare personen. Het is ook mogelijk dat er een zekere fysiologische aanpassing zal optreden wanneer de verandering geleidelijk aan plaatsheeft. Maar wij zullen niet voortdurend kunnen leven in een omgeving met airconditioning (die trouwens ook bijdraagt aan de opwarming van het klimaat!). Het menselijk lichaam kent ook grenzen. In mei 2003 zijn in de Indiase staat Andhra Pradesh meer dan 1500 mensen overleden als gevolg van temperaturen boven de 50°C, dat wil zeggen 7 tot 10°C hoger dan de normale temperatuur...

<sup>xx</sup> Zie [www.iph.fgov.be/epidemiolabo](http://www.iph.fgov.be/epidemiolabo) voor meer informatie over teken en preventie van de ziekte van Lyme.

## Toerisme

### JEAN-PASCAL VAN YPERSELE

Warme, droge zomers... De klimaatverandering lijkt ideaal voor de recreatie. Maar toch zouden er ook wel eens negatieve kanten kunnen opduiken. Als de projecties van het IPCC blijken te kloppen, zouden sommige favoriete toeristische bestemmingen wel eens in moeilijkheden kunnen komen. Door de stijging van de zeespiegel lopen eilanden of laaggelegen kusten zoals de Malediven het risico dat ze gedeeltelijk onder water komen te liggen en dat de stranden te lijden krijgen van sterke erosie. Het toerisme vormt een belangrijke bron van inkomsten en werkgelegenheid voor heel wat kleine eilandstaatjes en vele daarvan zouden werkelijk geruïneerd zijn door de klimaatverandering<sup>†</sup>.

Zonneschijn en mooi weer worden vaak als onontbeerlijk beschouwd voor het toerisme. Maar het is ook van belang dat mensen zich goed voelen in de heersende temperatuur. Dit welbevinden zou door de temperatuurstijging wel eens kunnen omslaan in stress, vooral voor kwetsbare personen (met cardiovasculaire ziekten)<sup>h</sup>. Door de vermoedelijke daling van de zomerse neerslag zou de lucht droger worden, waardoor de hogere temperaturen misschien wel draaglijker zouden zijn... maar er zijn natuurlijk altijd grenzen. De bestemmingen rond de Middellandse Zee, die momenteel zo geliefd zijn bij toeristen uit Noord-Europa, zouden in de zomer duidelijk minder aantrekkelijk kunnen worden wanneer het er enkele graden warmer zou zijn en er meer kans zou bestaan op hittegolven.

In onze streken zou een matige temperatuurstijging in de zomer veeleer gunstig zijn voor het toerisme. Dat is ook al gebleken in Groot-Brittannië: één of meer zonnige zomers hebben ervoor gezorgd dat minder Britten naar het buitenland op reis gaan en hebben zelfs buitenlandse toeristen naar Groot-Brittannië gelokt<sup>a</sup>. We kunnen ervan uitgaan dat deze gunstige ontwikkeling zich ook in België zou voordoen. Maar we moeten er wel rekening mee houden dat er aan de kust een regelmatig herstel van de stranden nodig zou zijn omwille van de toenemende erosie. In Wallonië zou het debiet van de rivieren waarschijnlijk dalen. Het "natuurtoerisme" zou in onze streken ook op meer belangstelling kunnen rekenen.

De wintersportstations in de Alpen en elders zouden dan weer een korter seizoen kennen, tengevolge van een ernstig tekort aan sneeuw – vooral in de oorden op een lagere hoogte. Zoiets kennen we bij ons natuurlijk niet, maar het zou wel eens kunnen dat er door de klimaatverandering van de sneeuwpret in de Hoge Venen niets anders overblijft dan enkele vergeelde foto's... Bovendien zou een toename van de winterse neerslag zeker niet gunstig zijn voor de recreatie!

## Wat zal de impact van de klimaatverandering kosten?

### JEAN-PASCAL VAN YPERSELE

Er is al heel wat onderzoek verricht naar de kosten van de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen. Maar er bestaan daarentegen heel wat minder ramingen van de kosten van de schade die de klimaatverandering zal aanrichten<sup>46,47,48,49</sup>. Economen hebben daar wel excuses voor, want het is veel moeilijker om de waarde van een verloren mensenleven in geld uit te drukken, als dat al zin zou hebben, dan om de rendabiliteit te berekenen van een investering in een verbetering van het openbaar vervoer of een industrieel procédé<sup>50</sup>.

Zelfs het werkelijke effect van de huidige klimaatverandering is moeilijk in te schatten, en zeker ook moeilijk in geld uit te drukken. Het is dan ook lastig om een onderscheid te maken tussen de impact veroorzaakt door de klimaatverandering en de gevolgen die verband houden met andere factoren, zoals technische vooruitgang of economische ontwikkeling. De kwetsbaarheid voor de klimaatverandering is met name afhankelijk van het aanpassingsvermogen. Dat kan heel sterk variëren en daardoor is het des te moeilijker om precieze bewijzen te vinden voor de sociaal-economische impact van de klimaatverandering op regionale schaal. De waargenomen gevolgen kunnen inderdaad het gevolg zijn van een aanpassing aan de klimaatverandering in plaats van een rechtstreekse impact.

Voor een per definitie wereldwijd probleem als de klimaatverandering, heeft het maar in beperkte mate zin om te redeneren op de schaal van België. Sommige van de gevolgen die in dit rapport beschreven staan, kunnen in zekere mate wel in geld worden uitgedrukt. Zo is het denkbaar dat het energieverbruik voor verwarming in de winter door de opwarming met enkele procenten zal dalen en dat het elektriciteitsverbruik voor airconditioning in de zomer zal toenemen. De verkopers van roomijs en frisdranken zullen waarschijnlijk gouden zaken doen. Overstromingen zullen schade aanrichten, maar door de herstellingswerken zal het BNP stijgen. De landbouw zal geen grote invloed ondervinden, tenminste als we de sector in zijn geheel beschouwen (wintertarwe en bieten houden van warmte, maar dat geldt niet voor aardappelen...) en als we ons beperken tot de verwachte veranderingen voor de eerstkomende decennia. Er zal in de winter minder strooizout voor de wegen nodig zijn, maar het asfalt zal vaker smelten in de zomer. In de toeristische sector zullen zeker ook enkele aanpassingen moeten gebeuren. Het onderhoud van stranden en dijken zal meer geld vergen. Zolang de verandering beperkt blijft, kan zij algemeen gezien gunstig zijn voor het toerisme. In enkele van onze buurlanden (Frankrijk, Nederland en het Verenigd Koninkrijk) zijn pogingen ondernomen om dit te becijferen, meer bepaald op basis van het onderzoek van

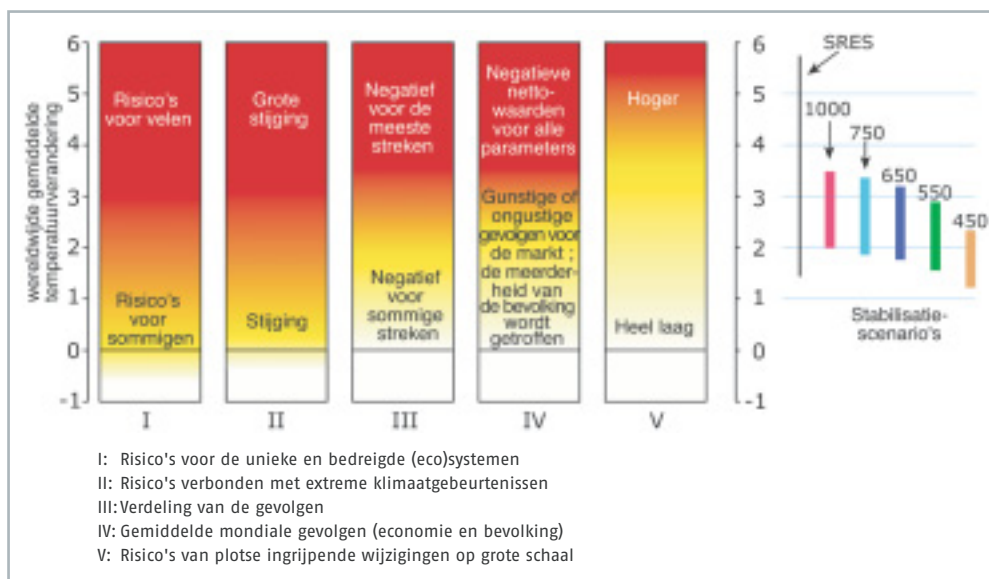
sommige extreme situaties. De totale kost blijft vrij laag op wereldniveau: in de grootteorde van 1 à 2% van het BNP per jaar voor een gemiddelde temperatuurstijging van 2,5°C<sup>14</sup>. Maar er bestaat wel nog onzekerheid over heel veel factoren.

En wat met de mensenlevens die verloren gaan? De bedreigde diersoorten en plantensoorten? Het verhoogde risico van extreme weersverschijnselen? Is het mogelijk of zelfs redelijk om dat in geld uit te drukken? Ongeacht de gebruikte methode zijn alle studies die het IPCC in zijn laatste rapport<sup>1</sup> heeft beoordeeld het op twee punten met elkaar eens: in eerste instantie zijn de ontwikkelingslanden het grootste slachtoffer van de opwarming en zullen sommige geïndustrialiseerde landen er voordeel bij hebben, maar wanneer de globale temperatuur meer dan enkele graden stijgt, krijgen ook de industrielanden te maken met aanzienlijke nettokosten (ook al worden die nog onderschat door geen rekening te houden met talrijke elementen).

Beseffend dat niet alles uit te drukken is in geld dat niet stinkt, hebben de auteurs van het recentste IPCC-rapport de risico's van de voorspelde klimaatverandering op

wereldschaal samengevat door ze in te delen in vijf categorieën van 'redenen tot ongerustheid' (zie figuur 15). Deze risico's worden in verband gebracht met de marge van de globale gemiddelde temperatuurstijging die zal worden bereikt in 2100 in vergelijking met 1990 voor verschillende niveaus van stabilisering van de concentratie van equivalente CO<sub>2</sub>-uitstoot<sup>xxi</sup>.

Deze figuur toont duidelijk dat op wereldschaal alleen een stabilisering van de temperatuur onder de drempel van een stijging met ongeveer 1,5°C in vergelijking met 1990 (d.w.z. 2°C boven de temperatuur van vóór de industrialisering) de risico's kan beperken tot sommige ecosystemen en het risico van extreme verschijnselen op een laag niveau kan houden. Uitgaande van de centrale schattingen van de temperatuur in functie van de gestabiliseerde concentratie, zou dat een stabilisering van de CO<sub>2</sub>-concentratie betekenen op ongeveer 450 tot 550 ppmv CO<sub>2</sub>-equivalent (d.w.z. 350 tot 450 ppmv voor CO<sub>2</sub> alleen). Een stabilisering op dit niveau vergt een vermindering van de emissie op wereldschaal in 2100 tot een niveau dat drie tot vier keer lager ligt. Na 2100 zou nog een sterkere daling nodig zijn.



FIGUUR 15

Redenen van ongerustheid over de impact en de beperking van de schade voor verschillende stabilisatiescenario's van de concentratie van equivalente CO<sub>2</sub><sup>xxi</sup>.

De risico's van een negatieve impact tengevolge van de klimaatverandering worden beschreven voor wereldwijde gemiddelde temperatuurveranderingen van verschillende omvang, waarbij de wereldwijde gemiddelde temperatuurverandering onrechtstreeks als basis dient om de omvang van de klimaatverandering te berekenen. Rechts in de figuur staan de schattingen van de wereldwijde gemiddelde temperatuurverandering tegen het jaar 2100, in vergelijking met 1990, voor verschillende scenario's die zouden leiden tot een stabilisering van de atmosferische concentratie van CO<sub>2</sub>, en ook voor het geheel van de projecties voor de SRES-scenario's. Veel risico's tengevolge van een opwarming van meer dan 3,5°C tegen 2100 zouden worden vermeden door een stabilisering van de CO<sub>2</sub> op een niveau gelijk aan of lager dan 1.000 ppm. Een stabilisering op een lager niveau zou de risico's nog sterker verminderen. Wit geeft een neutrale of lage negatieve of positieve impact of risico's aan; geel wijst op een negatieve impact voor sommige systemen of lage risico's en rood betekent een negatieve impact of risico's die ruimer verspreid zijn of een grotere omvang hebben. De beoordeling van de impact of risico's houdt enkel rekening met de omvang van de verandering en niet met de snelheid ervan. De wereldwijde gemiddelde temperatuurverandering dient als onrechtstreeks gegeven om de omvang van de klimaatverandering te berekenen, maar de impact zal onder andere afhangen van de omvang en de snelheid van de wereldwijde en regionale gemiddelde klimaatverandering, van de klimaatschommelingen, van extreme klimaatverschijnselen, van de sociaal-economische omstandigheden en van de aanpassing (bron: IPCC<sup>1</sup>).

<sup>xxi</sup> Het equivalent CO<sub>2</sub>-niveau (in ppmv of miljoenste van de volume van de atmosfeer) vertegenwoordigt de hoeveelheid atmosferische CO<sub>2</sub> die hetzelfde opwarmingseffect veroorzaakt als de werkelijk uitgestoten cocktail van broeikasgassen. Zo gaat men er bijvoorbeeld van uit dat een concentratie van 550 ppmv CO<sub>2</sub>-equivalent overeenkomt met ongeveer 450 ppmv "zuivere" CO<sub>2</sub> plus het effect van de andere broeikasgassen.

## Bibliografie

### Algemene werken

- a ACACIA, 2000 – Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project. Uitgegeven door M. Parry. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, Verenigd Koninkrijk, 320 p.
- b UKCIP (United Kingdom Climate Impacts Programme): zie <http://www.ukcip.org.uk>
- c van Ierland E.C., de Groot R.S., Kuikman P.J., Martens P., Amelung B., Daan N., Huynen M., Kramer K., Szönyi J., Veraart J.A., Verhagen A., van Vliet A., van Walsum P.E.V. en E. Westein, 2001. Integrated assessment of vulnerability to climate change and adaptation options in the Netherlands. Report n° 952274, Executive Summary, Universiteit van Wageningen en Universiteit van Maastricht, Nederland, 262 p.
- d IPCC, 1998. The Regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability. A Special Report of IPCC Working Group II. Watson, R.T., Zinyowera, M.C. en Moss, R.H. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 517 p.
- e Jancovici J.M., 2002. L'Avenir climatique. Quel temps ferons-nous? Editions du Seuil, Parijs, 284 p.
- f Kok M.T.J., Heij G.J., Verhagen A. en C.A. Rovers, 2002. Climate Change, a permanent concern. Final report of the second phase of the Dutch National Programme on Global Air Pollution and Climate Change (NRP II), 1995–2001. Programme Office NRP, Bilthoven, Nederland, 176 p.
- g Bernes, C, 2003. A warmer world. The greenhouse effect and climate change, Swedish environmental protection agency, monitor 18.
- h Dubois Ph.J. en P. Lefevre, 2003. Un Nouveau Climat. Les enjeux du réchauffement climatique. Editions de La Martinière, 252 p.
- i Deneux, M., 2001. L'évaluation de l'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact prévisible sur la géographie de la France à l'horizon 2025, 2050 et 2100, Rapport d'information 224 – deel I (2001–2002) – Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Parijs, Frankrijk (zie [www.senat.fr](http://www.senat.fr))
- j Schoeters, K. en P. Vanhaecke, 1999. Kader voor rapportering van "Climate Change" effecten in België: uitwerking en toepassing. Eindverslag in opdracht van de Federale Diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele aangelegenheden, Ecolas, Antwerpen, 121 p. + bijlagen.
- k Derde nationale mededeling van België over het raamverdrag inzake klimaatverandering, april 2002. Uitgegeven door het ministerie van Sociale Zaken, Volksgezondheid en Leefmilieu, federaal departement Leefmilieu, Brussel, België, 128 p.
- l Bollen A., Van Humbeeck P., 2002. Klimaatverandering & Klimaatbeleid, een leidraad. Academia Press, Gent, xii + 470 p.
- m MIRA, 2003. Milieu- en natuurrapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2003, 2.16 Klimaatverandering, Brouwers J., De Groote W., Claes K., Briffaerts K., Moorkens I., Van Rompaey H., De Bruyn L., Vlaamse Milieumaatschappij, <http://www.milieuraapport.be>
- n Rapport sur l'état de l'environnement wallon, 2003. Tableau de bord de l'environnement wallon 2003. Ministère de la Région wallonne, Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement, 142 p.
- o IPCC, 2002. Climate Change and biodiversity. Technical Paper V van het Intergovernmental Panel on Climate Change, onder leiding van H. Gitay, A. Suarez, R.T. Watson & D.J. Dokken, 75 p. IPCC, Genève. Beschikbaar op [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
- p Parry M. (red.), 2004. Global Environmental Change. Human and Policy Dimensions. Vol. 14 n°1, april 2004. Special issue: an assessment of the global effects of climate change under SRES emissions and socio-economic scenarios, 99 p. Elsevier, Pergamon.
- q IPCC, 2001a – Climate change 2001: the scientific basis. Redactie J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson. Cambridge University Press. Beschikbaar op [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
- r IPCC, 2001c – Climate change 2001: Synthesis report. Redactie R. T. Watson. Cambridge University Press. Beschikbaar op <http://www.ipcc.ch/>.
- s Berger A., 1992. Le Climat de la Terre, un Passé pour quel Avenir. De Boeck Université, Brussel, 479 p.
- t IPCC, 2001b – Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Redactie J. McCarthy, O. Canziani, N. Leary, D. Dokken, K. White. Cambridge University Press, 1032 p. Beschikbaar op <http://www.ipcc.ch/>.

### Klimaatverandering

- 1 Brouyaux E., Mormal P., Tricot Ch., en M. Vandiepenbeeck, 2004. La Belgique au fil du temps. Les événements météorologiques marquants du vingtième siècle en Belgique. Le Roseau Vert & I.R.M. (red.), 223 p.



- 2 SRES, 2000. Emissiescenario's 2000: Special Report on Emission Scenarios, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geredigeerd door Nebojsa Nakicenovic en Rob Swart. Cambridge University Press. Beschikbaar op <http://www.ipcc.ch/>
- 3 Schaeffer, M., Selten, F. M., Opsteegh, J. D., Goosse, H., Intrinsic limits to predictability of abrupt regional climate change in IPCC SRES scenarios, *Geophys.-Res.-Lett.*, 29 (16), 1767, doi:10.1029/2002GL015254, 2002.
- 4 Vanvyve E., 2002. Précipitations intenses et changements climatiques en Belgique. Rapport de recherche en vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Sciences Physiques, UCL, Institut d'Astronomie et de Géophysique G. Lemaître, 49 p. + i-xviii.
- 5 Beniston, M. The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come ? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, Vol 31, L02202, doi:10.1029/2003GL018857.
- 6 Schär, C., P.L Vidale, D. Lüthi., C. Frey, C. Häberli, M.A. Liniger en C Appenzeller, 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427 (6971).
- Biodiversiteit**
- 7 Peeters M, Franklin A en Van Goethem JL (eds), 2003. Biodiversity in Belgium. Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Brussel, pp. 1-416.
- 8 Visser ME et Rienks F, 2003. Klimaatsverandering rammelt aan voedselketens. *De Levende Natuur* 1004: 110-113
- 9 Chuine I., 2004. La place des données de phénologie dans l'étude des changements climatiques en France. *Lettre pigb-pmrc France*, n°16 – Changement global, pp. 65-66.
- 10 Grossman D., 2004. Vroege Lente. *Scientific American*, Nederlandse uitgave, pp. 37-40.
- 11 Menzel A et Fabian P, 1999. Growing season extended in Europe. *Nature* 397: 659
- 12 Leysen K et Herremans M, 2004. Fenologie: resultaten en bespreking zomervogels 2003 en analyse trends sinds 1985. *Natuur. Oriolus* 70: 33-42
- 13 Visser ME, Adriaensen F, van Balen J, Blondel J, Dhondt AA, van Dongen S, du Feu C, Ivankina EV, Kerimov AB, de Laet J, Matthyssen E, McCleery R, Orell M en Thomson DL, 2003. Variable responses to large-scale climate change in European Parus populations. *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences* 270: 367-372
- 14 Goffart P en de Schaetzen R, 2001. Des libellules méridionales en Wallonie: une conséquence du réchauffement climatique? *Forêt Wallonne* 51: 2-5
- 15 Briand J-F, Leboulanger C, Humbert J-F, Bernard C en Dufour P, 2004. *Cylindrospermopsis baltica* (Cyanobacteria) invasion at mid-latitudes: selection, wide physiological tolerance, or global warming ? *Journal of Phycology* 40: 231-238
- 16 Tamis WLM, van 't Zelfde M en van der Meijden R, 2003. Effecten van klimaatsverandering op hogere planten in Nederland. *De Levende Natuur* 104: 75-78
- 17 van Herk CM en Siebel HN, 2003. Korstmossen en mossen: spiegels van de veranderingen in het klimaat. *De Levende Natuur* 104: 79-82
- 18 Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C en Pounds JA, 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57-60
- 19 van Rompaey E, Delvosalle L, de Langhe JE, D'hose R, Lawalrée A, Reichling L, Schumacker R en Vannerom H, 1979. Atlas van de Belgische en Luxemburgse flora. Nationale Plantentuin van België, Meise
- 20 Hambuckers A., 2004. Effet du réchauffement climatique sur la biodiversité en Belgique. Université de Liège, Département des sciences et de gestion de l'environnement, 11 p.
- 21 Sykes M.T. en I.C. Prentice, 1995. Boreal forest futures: modeling the controls on tree species range limits and transient responses to climate change. *Water, Air and Soil Pollution*, 82, pp. 415-428
- 22 Sykes M.T. en I.C. Prentice, 1996. Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of northern Europe. *Climatic Change*, 34, pp. 161-177
- Hoge Venen**
- 23 Gellens D. en G. Demarée, 1992. Sensitivity study of the hydrological cycle. Impact of the climate change induced by the doubling of CO<sub>2</sub> atmospheric concentration. Koninklijk Meteorologisch Instituut van België, Verslagen, Onderzoekscontract GC/34/022:218-243.
- 24 Gignac L.D. en D.H. Vitt, 1994. Response of northern peatlands to climate change: effects on bryophytes. *J. Hattori bot. Lab.* 75:119-132
- 25 Schumacker R., C. Wastiaux en M.-N. Hindryckx, 1996. L'avenir des tourbières hautes à sphaignes en Europe tempérée, à l'exemple des Hautes-Fagnes belges. *Phytosociologische colloquia XXIV, Fitodinamica*, 273-284, Camerino.
- Flora en fauna van de Noordzee**
- 26 Reid PC, Borges MF, Svendsen E, 2001. A regime shift in the North Sea circa 1988 linked to changes in the North Sea horse mackerel fishery. *Fish Res* 50:163-171
- 27 Kerckhof, F., 2002. Barnacles (Cirripedia, Balanomorpha) in Belgian waters, an overview of the species and recent evolutions, with emphasis on exotic species. *Bull. Kon. Belg. Inst. Natuurwet. Biologie* 72 (Suppl.): 93-104
- 28 De Vooy, C.G.N., 1990. Expected biological effects of long-term changes in temperatures on benthic ecosystems in coastal waters around the Netherlands, in: Beukema, J.J. et al. (Ed.), 1990. Expected effects of climatic change on marine coastal ecosystems. *Developments in Hydrobiology*, 57: pp. 77-82.

- 29 Reise K, 1998. Pacific oysters invade mussel beds in the European Wadden Sea. *Senckenbergiana Maritima* 28(4/6): 167-175.

### Landbouw en grondgebruik

- 30 MIRA, 2003. Milieu- en natuurrapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2003, 2.16 Klimaatverandering, Brouwers J., De Groote W., Claes K., Briffaerts K., Moorkens I., Van Rompaey H., De Bruyn L., Vlaamse Milieumaatschappij, <http://www.milieuraapport.be>

- 31 ATEAM: Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling, European Commission funded project: <http://www.pik-potsdam.de/ateam/>. ATEAM wil vooral inschatten wat de impact is van algemene milieuveranderingen op menselijke activiteiten die afhankelijk zijn van diensten die ecosystemen leveren.

### Watervoorraden en overstromingen

- 32 Gellens D. en Roulin E., 1998. Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios. *J. Hydrol.*, 210, 242-258.
- 33 OST, 2004. Office of Science and Technology, Foresight, Flood and coastal defence project: phase 2 final report. <http://www.foresight.gov.uk/fcd.html>
- 34 IRGT – KINT, 2003. d'Ieteren E., W. Hecq, R. De Sutter en D. Leroy. Les effets du changement climatique en Belgique: Impacts potentiels sur les bassins hydrographiques et la côte maritime. Phase I: état de la question.: Rapport final. <http://www.irgt-kint.be>
- 35 Nicholls R.J., 2004. Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, vol. 14(1), pp. 69-86.
- 36 Dorland C., Tol R.S.J., en P. Palutikof, 1999. Vulnerability of the Netherlands and Northwest Europe to storm damage under climate change. *Climatic Change*, 43, pp. 513-535.

- 37 Zhang K., B.C. Douglas en S.P. Leatherman Global Warming and Coastal Erosion, *Climatic Change*, mei 2004, 64, pp. 41-58.

- 38 AWZ, 2004 : Administratie Waterwegen en Zeewezen. Een noodstrand voor Oostende, zie <http://www.lin.vlaanderen.be/awz/noodstrand/index.htm>

- 39 Burggraave G., 1989. De natuurhistorische waarde van het Zwin. *Water*, 49, 221-224

### Impact op de gezondheid

- 40 Van Lieshout M., Kovats R.S., Livermore M.T.J. en P. Martens, 2004. Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, vol. 14(1), pp. 87-99.
- 41 McMichael A.J., Campbell-Lendrum D.H., Corvalan C.F., Ebi K.L., Githeko A.K., Scheraga J.D. en A. Woodward (Eds), 2003. *Climate Change and Human Health*. Wereldgezondheidsorganisatie, Genève, 322 p.
- 42 Sartor, F., 2002. Les facteurs environnementaux de la mortalité. Chapitre 50. In *Démographie: analyse et synthèse III – Les déterminants de la mortalité*. Sous la direction de G. Caselli, J. Vallin et G. Wunsch. Editions de l'Institut National d'études démographiques, Parijs, pp. 229-254.
- 43 Sartor F., Demuth Cl., Snacken R. en D. Walckiers, 1997. Mortality in the elderly and ambient ozone concentration during the hot summer, 1994, in Belgium. *Environmental Research*, 72, pp. 109-117.
- 44 Sartor F., Snacken R., Demuth Cl. en D. Walckiers, 1995. Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer, 1994, in Belgium. *Environmental Research*, 70, pp. 105-113.

- 44bis Sartor, F., 2004. Oversterfte in België tijdens de zomer 2003. Rapport IPH/EPI N° 2004-010, Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid, Departement Epidemiologie, Brussel, 48 p. Beschikbaar op <http://www.iph.fgov.be>

- 45 Lindgren, E., L. Tälleklint, and T. Polfeldt, 2000. Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick, *Ixodes ricinus*. *Environmental Health Perspectives*, 108, 119-123.

### Wat zal de impact van de klimaatverandering kosten?

- 46 Capros P., L. Mantzos D.W. Pearce, A. Howarth, C. Sedeem, and B.J. Strengers, 2000. Technical Report on Climate Change, Report 481505012, RIVM, Bilthoven, Nederland, 88 p.
- 47 Subak S., J.P. Palutikof, M. D. Agnew, S. J. Watson, C. G. Bentham, M. G. R. Cannell, M. Hulme, S. McNally, J. E. Thornes, D. Waughray and J. C. Woods, 2000. The impact of the anomalous weather of 1995 on the U.K. economy, *Climatic Change*, 44: 1-26.
- 48 Tol R.S.J., 2002a. 'New Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part I: Benchmark Estimates', *Environmental and Resource Economics*, 21 (1), 47-73.
- 49 Tol R.S.J., 2002b. 'New Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part II: Dynamic Estimates', *Environmental and Resource Economics*, 21 (2), 135-160.
- 50 Barde J.Ph., 1992. *Economie et politique de l'environnement*. Presses universitaires de France, Parijs, 383 p.



Juli 2004

**GREENPEACE**

Haachtsesteenweg 159  
1030 Brussel  
[www.greenpeace.be](http://www.greenpeace.be)