

Tijdens het congres "Water en Klimaatverandering" op 14 en 15 oktober 2008 in Antwerpen werden concrete resultaten gepresenteerd over de invloed van klimaatverandering op hydrologische en hydraulische extremen (hoog- en laagwater) langs Vlaamse rivieren en langs de kust. Ze zijn gebaseerd op de tussentijdse resultaten van drie lopende onderzoeksprojecten voor de Federale en Vlaamse Overheid. Voorliggend artikel geeft een samenvattend overzicht van de bevindingen.

**Patrick Willems, Toon Verwaest,
Wouter Vanneuville,
Jean Berlamont & Jaak Monbaliu**



Invloed van klimaatverand

De hydrologische en hydraulische impactresultaten zijn gebaseerd op klimaatveranderingsscenario's voor neerslag, verdamping, zeespiegelstijging, windklimaat en golfklimaat tot het jaar 2100. De scenario's zijn afgeleid via het statistisch analyseren van simulaties met regionale Europese klimaatmodellen (CCI-HYDR onderzoeksproject voor Federaal Wetenschapsbeleid; zie ook Het Ingenieursblad nr.1 2007 ⁽¹⁾). De simulaties geven een indicatie van de verandering in het klimaat ten gevolge van de toekomstige evoluties in de uitstoot van broeikasgassen. Schattingen in deze toekomstige uitstoot zijn gemaakt door de Intergouvernementele Werkgroep rond Klimaatverandering (IPCC). Ze zijn gebaseerd op toekomstverwachtingen van de evolutie van de wereld-economie, van de bevolkingstoename, van het gebruik van

materialen, van energiebronnen, enzovoort. Deze evolutie kan meer of minder duurzaam verlopen, al dan niet sterk rekening houdend met ecologische aspecten, en meer mondiaal of meer regionaal georiënteerd. Als gevolg hiervan kunnen de concentraties van de broeikasgassen in de atmosfeer verder blijven toenemen tot het jaar 2100 met in het meest pessimistische scenario een verdrievoudiging van de CO₂ uitstoot. Een ander scenario is dat deze eerst toenemen tot het midden van de volgende eeuw en daarna opnieuw dalen. In het CCI-HYDR project zijn zo 5 scenario's en 31 simulaties met 10 regionale klimaatmodellen geanalyseerd. De brede waaier aan simulatieresultaten werd na statistische verwerking samengevat in een "laagscenario" (= minst pessimistisch scenario), "middenscenario" en "hoogscenario" (= meest pessimistisch scenario).



ering in Vlaanderen

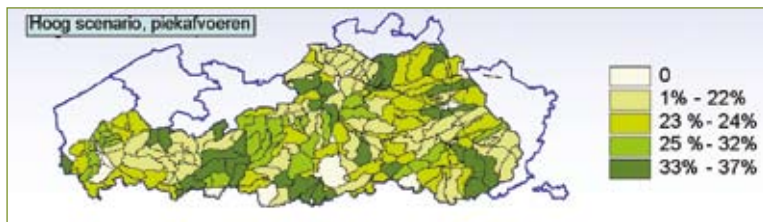
Algemeen kan men stellen dat door klimaatverandering de hoeveelheid verdamping in zowel de winter als de zomer toeneemt) en dat de neerslag in de winter toeneemt. De neerslagverandering in de zomer is complexer: het zou minder vaak regenen (lagere neerslagvolumes in de zomer) maar de hevige zomeronweders kunnen extremer zijn en vaker voorkomen (alhoewel niet alle klimaatmodellen het over dit laatste eens zijn). Langs de kust zal de zeespiegel stijgen, waarbij de hoogwaters sneller stijgen dan de gemiddelde zeespiegel; de laagwaters stijgen trager. De windsnelheid en het golfklimaat zouden nagenoeg niet wijzigen. Uitzondering hierop is het golfklimaat langs de kust, dat zal toenemen omdat de waterdiepte toeneemt door de stijgende zeespiegel.

Invloed op hoog- en laagwater langs rivieren in het Vlaamse binnenland

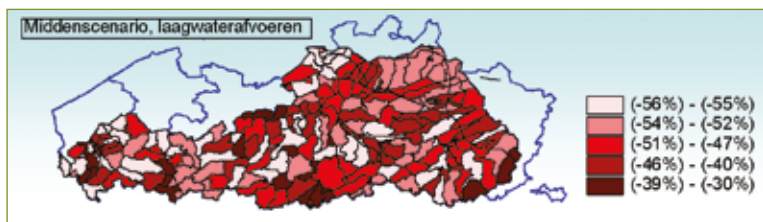
In opdracht van het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse overheid werden de scenario's doorgerekend in hydrologische en hydrodynamische riviermodellen om de concrete invloed te bestuderen op hoog- en laagwaterdebieten langs rivieren in het stroomgebied van de Schelde. Dit gebeurde voor 67 deelbekkens in het Vlaamse binnenland, waarvoor hydrologische en hydrodynamische modellen beschikbaar zijn bij het Waterbouwkundig Laboratorium (zie ingekleurde gebieden in Figuur 1 en Figuur 2). De conclusies gaan voor alle rivieren in dezelfde lijn:

voor het laagwater in de zomer:

Door de sterke daling in de zomerneerslag en de toename in de verdamping, daalt het debiet aanzienlijk. Tijdens droge zomers kunnen de laagste rivierdebieten met meer dan 50% dalen (gemiddeld 20% in het minst pessimistische scenario, gemiddeld 70% in het meest pessimistische scenario). Figuur 1 toont de resultaten voor het middenscenario. Het is duidelijk dat deze verwachte daling in laagwaterafvoeren de kans op watertekorten aanzienlijk kan doen toenemen, wat nadelige gevolgen kan hebben voor het industrieel en huishoudelijk watergebruik, de diepgang voor de scheepvaart, voor de waterkwaliteit, enz. Hoe deze daling zich vertaalt naar hoe vaak er watertekorten, vissterfte, enz. zullen zijn in de toekomst wordt in een vervolgstudie nog bestudeerd.



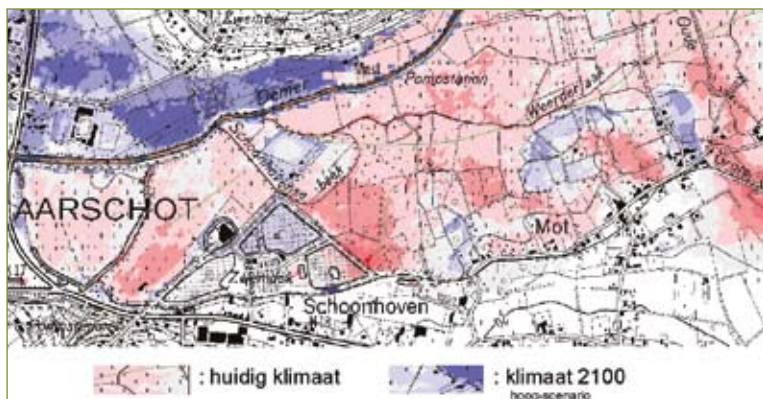
Figuur 1: % daling in laagwaterafvoeren naar rivieren (middenscenario; klimaat 2100; gemiddeld per hydrografisch deelbekken)^[5].



Figuur 2: stijging in piekafvoeren naar rivieren (meest pessimistische scenario; klimaat 2100; gemiddeld per hydrografisch deelbekken)^[5].

voor het hoogwater in de winter:

De sterke stijging in de verdamping (tijdens zowel de winter als de zomer) compenseert voor een groot deel de toename in de winterneerslag. Daardoor valt de toename in het aantal en de grootte van de overstromingen (in de winter vooral langs rivieren) nog best mee. Piekafoeren in de rivieren nemen in het meest pessimistische scenario met niet meer dan ongeveer 35% toe (Figuur 2). Dergelijke toename kan echter wel de uitgestrektheid van overstromingsgebieden plaatselijk sterk vergroten (voorbeeld Figuur 3).



voor het hoogwater in de zomer:

Extreme zomeroverstromingen kunnen potentieel voor rioleringsoverstromingen zorgen (zoals meermaals tijdens recente zomers in Vlaanderen opgemerkt). De meeste klimaatmodellen (alhoewel niet allemaal) voorspellen een toename in het aantal en de grootte van zulke hevige zomeroverstromingen zodat ook een toename van het aantal rioleringsoverstromingen wordt verwacht. Als wij kijken naar de grootste bui die zich momenteel in een periode van 10 jaar typisch voordoet, dan blijkt deze in het meest pessimistische scenario met ongeveer 30% toe te nemen.

Merk op dat het telkens gaat om schattingen tegen 2100.

Invloed op hoogwater langs kust en Schelde

Langs de kust en langs de Schelde worden de overstromingsrisico's beïnvloed door de zeespiegelstijging en de verandering in wind en bijhorend golfklimaat. Het meest pessimistische scenario voor 2100 gaat uit van 2 meter zeespiegelstijging en 8% toename in de windsnelheid (CLIMAR onderzoeksproject voor Federaal Wetenschapsbeleid^[6]). Deze waarden zijn vergelijkbaar met wat de Deltacommissie in Nederland vooropstelt als bovengrensscenario: 2 tot 4 meter zeespiegelstijging tot 2200^[9], al gaan zij er van uit dat de windsnelheid nageenough niet zal wijzigen. De golfbelasting op kust en zeevering neemt in eender welk scenario beduidend toe (door toenemende waterdiepte ten gevolge van de zeespiegelstijging). De extreme golven op diep water veranderen wellicht weinig, maar verder wetenschappelijk onderzoek hierover wordt uitgevoerd. Doordat hoogwaters en laagwaters sneller/trager stijgen dan de gemiddelde zeespiegel neemt verder de getijslag toe. De toegenomen golfbelasting en getijslag zorgen voor een toename van de erosie van strand en duinen, en van de bijhorende frequentie op bresvorming. Figuur 4 geeft aan dat bij een storm die zich gemiddeld 1 keer op de 17000 jaar voordoet dat voor het huidig klimaat enkel bresvorming te verwachten is in Wenduine, Oostende en Mariakerke. Bij deze berekening zijn de kusthavens, die ook gevoelig zijn voor overstroming, niet in rekening gebracht. Bij het toekomstig klimaat tegen 2100 en het meest pessimistische scenario doet de bresvorming zich op een zeer groot aantal kuststroken voordoet. Bij deze berekeningen is in Oostende een waterstand verondersteld van 8m TAW (volgens de Tweede Algemene Waterpassing (TAW), die in België standaard als referentiepeil gebruikt wordt). Bij het klimaat 2100 en het meest pessimistische scenario stijgt deze waterstand tot 10.5m. Ter vergelijking: de meest extreme storm van de laatste eeuw in 1953 had een waterstand van 6.66m TAW.

Figuur 3: Lokaal overstromingsgebied met een gemiddelde herhalingsstijd van 1 keer op de 100 jaar, voor en na klimaatverandering (Achtergrond: topografische kaart 1:10000, Nationaal Geografisch Instituut).

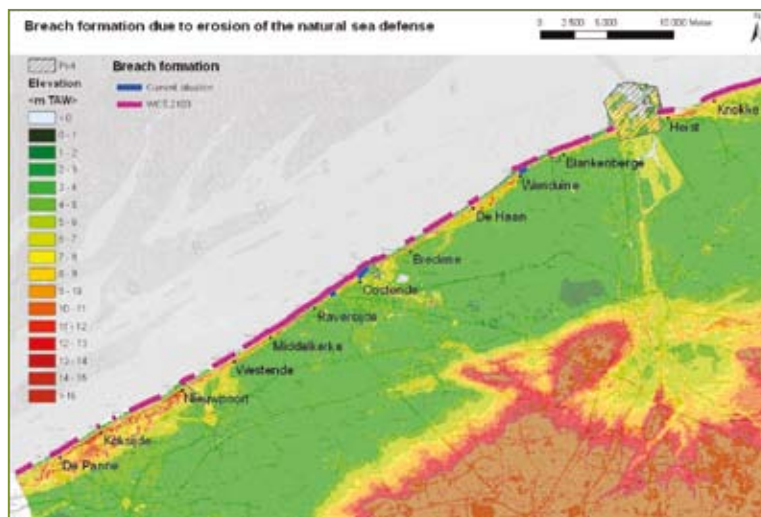
Meer informatie

- www.kuleuven.be/hydr/CCI-HYDR
CCI-HYDR onderzoeksproject over "Invloed van klimaatverandering op hydrologische extremen langs rivieren en rioleringen" van K.U.Leuven en KMI voor Federaal Wetenschapsbeleid^[4], en Onderzoeksproject over het "Effect van klimaatwijzigingen op afvoerdebieten in hoog- en laagwatersituaties en op de globale waterbeschikbaarheid" van K.U.Leuven - Afdeling Hydraulica voor het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse Overheid^[5].
- www.arcadisbelgium.be/climar
CLIMAR onderzoeksproject over "Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities" uitgevoerd door de Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (MUMM), Arcadis België, Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse Overheid, het Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO) en het Maritiem Instituut van de U.Gent, voor Federaal Wetenschapsbeleid^[6].
- www.maths.lth.se/seamocs
SeaMocs EU Research Training Network over "Applied stochastic models for ocean engineering, climate and safe transportation" gefinancierd door de Europese Commissie, met partners van 9 Europese universiteiten waaronder de Afdeling Hydraulica van de K.U.Leuven.

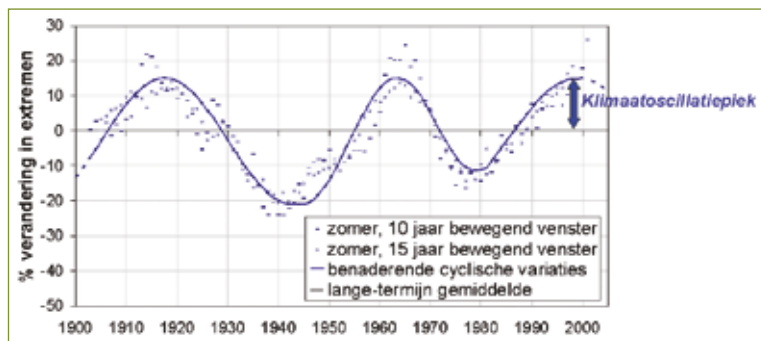
Hogere waterstanden langs de kust vertalen zich ook naar hogere overstromingskansen langs de Schelde. In het huidige klimaat doen overstromingen zich tussen Gent en Vlissingen 1 keer op de 70 jaar voor. Na realisatie van het gecontroleerd overstromingsgebied van Kruibeke-Bazel-Rupelmonde daalt deze kans tot 1 keer op de 350 jaar. Bij een middenscenario van 60cm zeespiegelstijging en geen verdere maatregelen zou de overstromingskans opnieuw stijgen tot 1 keer op de 25 jaar tegen 2100^[7]; wat het belang aangeeft van het realiseren van het volledig geactualiseerde Sigmaplan.

Zijn de trends reeds waarneembaar ?

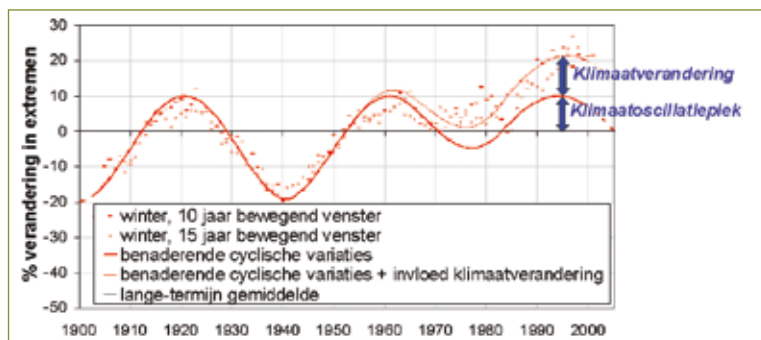
Velen vragen zich af of deze trends door klimaatverandering momenteel reeds waarneembaar zijn. Als men naar de waarnemingen van het KMI van de laatste 100 jaar in Ukkel kijkt, dan is de toename in de winterneerlag en de toename in de verdamping effectief reeds waarneembaar. De toename in het aantal en de grootte van het aantal zomeronweders is nog niet waarneembaar. Wel zijn er de laatste 15 jaar zeer veel hevige zomeronweders geweest, maar hier speelt nog een andere factor een rol: de natuurlijke klimaatoscillaties. Door natuurlijke schommelingen in het klimaat zijn er de laatste 15 jaar toevallig zeer veel zomeronweders voorgekomen, maar niet meer dan bijvoorbeeld in de jaren 1910-1920 en de jaren 1960 (Figuur 5). Het aantal rioleringsoverstromingen is sinds die tijd wel sterk toegenomen maar dat vindt zijn verklaring in het gewijzigd landgebruik (toename in de verharding, aanleg van rioleringen en waterzuiveringsinfrastructuur). In de winterperiode is het aantal en de grootte van extreme



Figuur 4: Locatie van bresvorming door erosie van strand en duinen voor een gemiddelde herhalingsstijd van 1 keer op de 17000 jaar, enerzijds voor het huidige zeeklimaat (blauw) en anderzijds voor een worst case scenario van 2 m zeespiegelstijging en 8% toename van de windsnelheid (roos)^[6].



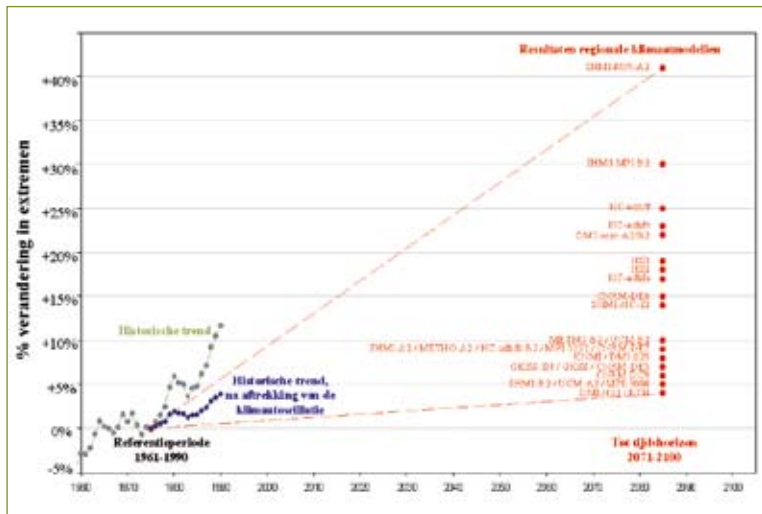
Figuur 5: Multidecadale oscillaties in extreme zomerneerlag te Ukkel (gebaseerd op de 10 minuten neerslagintensiteiten geregistreerd door het KMI te Ukkel voor de periode 1898-2005) (uitbreiding van Willems et al., 2007^[2,3]).



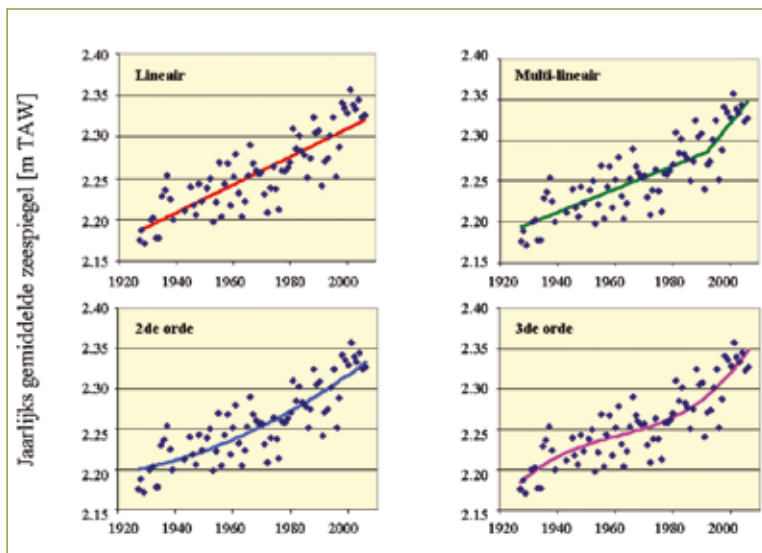
Figuur 6: Multidecadale oscillaties en trends in extreme winterneerlag te Ukkel (gebaseerd op de 10 minuten neerslagintensiteiten geregistreerd door het KMI te Ukkel voor de periode 1898-2005) (uitbreiding van Willems et al., 2007^[2,3]).

winterbuien (die potentieel tot rivieroverstromingen leiden) de laatste 15 jaar wel beduidend hoger dan in de jaren 1910-1920 en 1960 (Figuur 6). De stijging is consistent met de resultaten van klimaatmodellen (Figuur 7). Zeespiegelstijging is tenslotte duidelijk waarneembaar: stijging met een 20tal cm tijdens de laatste 100 jaar, dus 2 mm/jaar (Figuur 8). Ook blijkt er uit deze waarnemingen dat er een versnelling van de zeespiegelstijging optreedt van orde van grootte 1 mm/jaar/eeuw^[6], maar de statistische betrouwbaarheid hiervan is beperkt.

Besluit



Figuur 7: Recente trends en toekomstige evoluties in de extreme neerslag voor Vlaanderen (gebaseerd op 28 simulaties met 10 verschillende regionale klimaatmodellen): voorbeeld voor de winterperiode (uitbreiding van Willems et al., 2007^[2,3]).



Figuur 8: Stijging van de gemiddeld jaarlijkse zeespiegel te Oostende op basis van de periode 1927-2006^[6].

Regionale verschillen

De invloed van klimaatverandering is niet enkel sterk seizoensafhankelijk maar ook regionaal zeer variabel. In de zuidelijke buurregio van Vlaanderen (vb. Somme en Seine rivierbekkens in Noord-Frankrijk) blijkt dat door klimaatverandering de evolutie naar verdroging verder versterkt zal worden, met een daling van zowel de zomer- als de winterafvoeren^[8]. Waar in Vlaanderen de evolutie naar meer overstromingen nog onduidelijk is, verwacht men voor Noord-Frankrijk een daling van het aantal overstromingen^[8]. Meer noordelijk, in Nederland, wordt de verwachte toename in het aantal overstromingen dan weer duidelijker^[9]. Er is dus een duidelijke variatie in noord-zuid richting.

De studie heeft waterbeheerders en waterbouwkundige ingenieurs de mogelijkheid gegeven om via de scenario's afgeleid in de studie (de zogenaamde hoog-, midden- en laag-klimaatveranderingsscenario's) de invloed in te rekenen van toekomstige klimaatverandering in nieuwe waterbeheersprojecten of bij de bouw van nieuwe waterbouwkundige infrastructuur (zoals dijken, wachtbekkens, enz). De onzekerheden zijn echter nog zeer groot. Daarom moeten de evoluties van het klimaat de volgende jaren verder nauwgezet opgevolgd worden, en moet bij nieuwe projecten voor waterbeheersing rekening gehouden worden met de mogelijkheid om preventieve, maar aanpasbare maatregelen te nemen. Bij het beveiligen van de kustzone wordt momenteel reeds met flexibele oplossingen gewerkt waarbij de zeekering wordt versterkt door het opspuiten van zand op het strand. Bij elke 5 jaarlijkse onderhoudsbeurt, kan de bescherming geleidelijk anticiperen op de verwachte zeespiegelstijging. Naast structurele maatregelen zijn overstromingsvoorspellers 1 van de instrumenten die momenteel door de Vlaamse overheid worden ontwikkeld om anticipatief te kunnen inspelen op dreigende wateroverlast. Een andere mogelijkheid die momenteel aan de K.U.Leuven (in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij) wordt onderzocht, is het gebruik van hydraulische regelstructuren die overstromingen langs grote steden anticipatief kunnen beperken. Ten slotte wordt ook nagegaan hoe de ontwerpregels voor de aanleg van rioleringen in Vlaanderen kunnen bijgesteld worden in het licht van het veranderende klimaat. De studie heeft aangetoond dat men naast deze lopende plannen m.b.t. een betere beheersing van overstromingen, de andere problemen m.b.t. waterbeschikbaarheid niet uit het oog mag verliezen. Deze laatste problemen zijn momenteel nog onderbelicht (onder meer omdat ze veel geleidelijker optreden dan hoogwater en daardoor meer verborgen en indirect zijn). Laagwaterproblemen kunnen echter in de toekomst (tijdens de komende eeuw) mogelijks belangrijker worden dan de overstromingsproblematiek.

Referenties

[1] Willems, P., Boukhris, O., Berlamont, J., Van Eerdenbrugh, K., Viaene, P., Blanckaert, J., 2007. "Impact van klimaatverandering op Vlaamse rivieren", Het Ingenieursblad, nr. 1, januari 2007, 28-33.
 [2] Willems, P., Ntegeka, V., Berlamont, J., 2007. "Analyse van trends en meerjarige schommelingen in de neerslagextremen op basis van de meer dan 100 jaar 10 minuten neerslag te Ukkel", Rioleringswetenschap, jaargang 7, nr. 26, juni 2007, 45-53.
 [3] Ntegeka, V., Willems, P., 2008. "Trends and multidecadal oscillations in rainfall extremes, based on a more than 100 years time series of 10 minutes rainfall intensities at Uccle, Belgium", Water Resources Research, 44, W07402, doi:10.1029/2007WR006471
 [4] Ntegeka, V., Willems, P., Baguis, P., Roulin, E., 2008. "Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems - Phase 1. Development of climate change scenarios for rainfall and ETo", Samenvattend rapport bij de Fase 1 van het CCI-HYDR project door K.U.Leuven - Afdeling Hydraulica en KMI voor Federaal Wetenschapsbeleid, april 2008, 56 p.

- [5] Boukhris, O.F., Willems, P., Vanneuville, W., Van Eerdenbrugh, K., 2008. "Climate change impact on hydrological extremes in Flanders: Regional differences", Eindrapport voor de Vlaamse Overheid - Departement Mobiliteit en Openbare Werken - Waterbouwkundig Laboratorium, April 2008, 91 p.
- [6] Van den Eynde, D., De Sutter, R., Maes, F., Verwaest, T., van Bockstaele, E., 2008. "Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities: CLIMAR", Samenvattend rapport bij de Fase 1 van het CLIMAR project voor Federaal Wetenschapsbeleid, juli 2008, 33 p.
- [7] Meyvis, L., Graré, W., Dauwe, W., 2003. "Actualisatie van het SIGMAPLAN", tijdschrift Water, september 2003, 11 p.
- [8] Ducharne, A., 2008. "Projet RExHySS: Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme", Rapport intermédiaire projet N° 0000454 programme Gestion et Impact du Changement Climatique, France, Septembre 2008, 20 p.
- [9] Deltacommissie, 2008. "Samen werken met water - Bevindingen van de Deltacommissie 2008", Deltacommissie Nederland, september 2008.

De auteurs

Patrick WILLEMS; Jean BERLAMONT en **Jaak MONBALIU** zijn werkzaam bij de Katholieke Universiteit Leuven, Afdeling Hydraulica, Kasteelpark Arenberg 40, BE-3001 Heverlee.

E-mail: Patrick.Willems@bwk.kuleuven.be, Jaak.Monbaliu@bwk.kuleuven.be

Toon VERWAEST en **Wouter VANNEUVILLE** werken bij het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse Overheid, Berchemlei 115, BE-2140 Borgerhout.

E-mail: toon.verwaest@mow.vlaanderen.be

