



Climate

FINAL REPORT PHASE I



**CLIMATE CHANGE IMPACT ON HYDROLOGICAL
EXTREMES ALONG RIVERS AND URBAN DRAINAGE SYSTEMS IN
BELGIUM
«CCI-HYDR»**

SD/CP/03A

Promotors

Patrick Willems

Katholieke Universiteit Leuven (K.U.Leuven)
Faculty of Engineering
Department of Civil Engineering
Hydraulics Section
Kasteelpark Arenberg 40
B-3001 Heverlee (Leuven)
Tel: + 32 (0)16 321658
Fax: + 32 (0)16 321989
Patrick.Willems@bwk.kuleuven.be
www.kuleuven.be/hydr

Emmanuel Roulin

Royal Meteorological Institute of Belgium (RMI)
Meteorological Research and Development Department
Risk Analysis and Sustainable Development Section

Authors

**Victor Ntegeka, Patrick Willems (KULeuven)
Pierre Baguis, Emmanuel Roulin (RMI)**

April 2008

Samenvatting

Projectbeschrijving

Het CCI-HYDR onderzoeksproject wordt gefinancierd door Federaal Wetenschapsbeleid via het onderzoeksprogramma "Science for a Sustainable Development (SSD)". De hoofdtak van het project is het onderzoek naar de impact van de regionale klimaatverandering op hydrologische extremen langs waterlopen en rioleringen in België. Het onderzoek was voornamelijk gebaseerd op de simulatieresultaten van regionale klimaatmodellen met hoge resolutie, zoals die in het Europese PRUDENCE-onderzoeksproject werden bekomen. Ze werden uitgebreid met de simulatieresultaten met mondiale klimaatmodellen gebruikt voor het Fourth Assessment Report (AR4) van de United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Bij de opmaak van deze modellen en het uitvoeren van de simulaties zijn een groot aantal onderzoekscentra en klimaatexperts betrokken wat het vertrouwen in de resultaten verhoogt.

Het CCI-HYDR project bestaat uit een samenwerking van meteorologen, hydrologen en waterbouwkundige ingenieurs van de Afdeling Hydraulica van de K.U.Leuven en het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI). Bovendien werd een samenwerking opgezet met het ADAPT project, ook gefinancierd door hetzelfde SSD programma van Federaal Wetenschapsbeleid, om de ruimere maatschappelijke implicaties van de hydrologische impactresultaten van het CCI-HYDR project op de socio-economie en de ecologie te analyseren.

Onderzoekscontext

Overstromingen vormen in België, net zoals in andere Europese landen, een zeer belangrijk maatschappelijk probleem. Dit heeft zijn oorzaak in de hoge populatiedichtheid en de hoge industrialisatie langsheen de rivieren. Sinds tientallen jaren worden ook op grote schaal rioleringsstelsels aangelegd. Problemen met droogten of watertekorten zijn minder belangrijk in ons land omwille van het vochtige zeeklimaat en de eerder beperkte duur van droogteperioden in de zomer. Extreme laagwatercondities kunnen evenwel optreden langs rivieren, en kunnen watertekorten veroorzaken voor drinkwatervoorzieningen, voor de landbouw en voor het milieu.

De bezorgdheid m.b.t. de impact van klimaatverandering op de hydrologische cyclus (waaronder de invloed op overstromingen en watertekorten) heeft sinds de jaren 1980 aanleiding gegeven tot meerdere studies. Het KMI heeft pionierswerk verricht om aan te tonen dat de gevoeligheid van rivierbekkens voor een 2xCO₂ scenario sterk kan verschillen. Hun studie is later verder uitgebreid tot een groter aantal bekkens, hierbij gebruik makend van een eerste reeks van klimaatveranderingsscenario's door het IPCC. De impact werd bestudeerd voor het volledige Maasbekken, en het volledige Scheldebekken, gebruik makend van een nieuwe reeks van klimaatscenario's op basis van mondiale klimaatmodellen. Deze mondiale klimaatmodellen werden gesimuleerd voor bepaalde toenamen in het broeikasgas CO₂. Sinds die studies zijn de klimaatmodellen ondertussen verder verbeterd, zijn de CO₂ emissiescenario's verder gediversifieerd en zijn methoden uitgewerkt om de resultaten te transformeren van de grote gridschaal van de mondiale klimaatmodellen naar de kleinere schaal van specifieke toepassingen op basis van statistische technieken of door regionale klimaatmodellen in te nestelen in de mondiale modellen. Dit heeft aanleiding gegeven tot het voorliggende nieuwe onderzoek m.b.t. de regionale hydrologische impact van klimaatverandering op beperkte tijd- en ruimteschalen.

Projectobjectieven

Het voorgestelde onderzoeksproject heeft als doel om op een gedetailleerde en wetenschappelijk objectieve wijze de impact te onderzoeken van klimaatverandering op het voorkomen en het risico van hydrologische extremen langs waterlopen en rioleringen in België. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de meest recente meetgegevens en de meest recente resultaten van klimaatmodellen. Voor waterlopen zal zowel het risico op overstromingen als het risico op laagwater in rekening worden gebracht, terwijl voor rioleringen enkel overstromingen relevant zijn. Het project bestaat uit twee fasen. In de fase 1 van het project (die recent is afgerond en waarvan de resultaten hier worden samengevat) zijn klimaatveranderingsscenario's voor België afgeleid na selectie van regionale

klimaatmodelsimulaties en na analyse van de lange-termijn historische variaties in neerslag en ETo. Tijdens de fase 2 wordt dan de hydrologische impactanalyse onder de loep genomen voor geselecteerde deelbekkens en rioleringsstelsels in de Schelde- en Maas-stroomgebiedsdistricten. Deze resultaten zullen de duurzame ontwikkeling en de wetgeving die daaraan gerelateerd is ondersteunen, zoals het Kyoto-protocol.

Methodologie

De studie vereist een gedetailleerde analyse van de klimaatgegevens relevant voor de hydrologische impactanalyse. Daarom werden historische trends in historische meetreeksen onderzocht alsook voorspellingen m.b.t. toekomstige evoluties op basis van de meest recente klimaatmodellen. Deze laatste voorspellingen zijn gebaseerd op een statistische analyse van de relevante simulatieresultaten met regionale klimaatmodellen. De historische trends zijn bestudeerd voor zowel de frequentie als de grootte (amplitude) van extreme condities.

De historische trendanalyse werd voor zowel potentiële evapotranspiratie als voor neerslag doorgevoerd. Het KMI heeft in het verleden een lange-termijn hoogfrequente (10 minuten tijdstap) en homogene neerslagreeks aangemaakt voor het klimatologisch station te Ukkel (vanaf 1898). Ook werd een historische tijdreeks met dagelijkse ETo-waarden ter beschikking gesteld voor de periode 1901-2005. Er werd een techniek ontwikkeld om in deze tijdreeks de temporele veranderingen in de grootte van extreme waarden te identificeren, en de statistische significantie ervan te detecteren. Zowel het voorkomen van oscillaties of cycli als van trends werd onderzocht.

De resultaten met de regionale klimaatmodellen werden geëvalueerd door vergelijking met historische waarnemingen, via zowel statistische tests als grafische interpretatie van de resultaten. Meer specifiek werden jaar- en maandgemiddelden, seizoensvariaties, ruimtelijke variabiliteit, jaarvariaties en trends onderzocht. Het Europese PRUDENCE-project stelde in haar databank (<http://prudence.dmi.dk>) hoge-resolutie simulatieresultaten (gridgrootte van 12 tot 50 km) ter beschikking met 11 regionale klimaatmodellen, voor zowel de referentie- of controleperiode (1961-1990) als voor de toekomstige of scenario-periode op het einde van de huidige eeuw (2071-2100). De 11 beschikbare regionale klimaatmodellen werden genesteld in twee mondiale klimaatmodellen. De toekomststrans werden uitgevoerd op basis van de A2 en B2 broeikasgasemissie-scenario's van het IPCC. Om ook rekening te houden met de andere emissiescenario's (namelijk A1B en B1) werden bijkomende simulaties met mondiale klimaatmodellen geanalyseerd. Deze laatste werden beschikbaar gesteld via de IPCC AR4 databank.

De klimaatmodeluitvoer werd enkel voor neerslag en ETo onderzocht. De neerslaguitvoer werd rechtstreeks gebruikt, terwijl de ETo werd berekend uitgaande van andere modeluitvoervariabelen (windsterkte, luchtvochtigheid, wolkenbedekking, luchtdruk, temperatuur en zonnestraling). De klimaatmodelresultaten werden getest op zowel locale als regionale schaal. Als resultaat van deze testing werd een set van klimaatmodellen en klimaatmodelsimulaties weerhouden die bruikbaar zijn voor het onderzoek in Belgische klimaatcondities. De geselecteerde simulaties werden statistisch verwerkt voor de afleiding van klimaatveranderingsscenario's voor België; dit eerst voor de Ukkel-lokatie en daarna voor het ganse Belgische grondgebied.

De statistische analyse toonde aan dat de simulatieresultaten met de klimaatmodellen niet rechtstreeks bruikbaar zijn als invoer voor de hydrologische modellen. Dit zou leiden tot systematische vertekening in de impactresultaten. Bovendien zou het rechtstreeks gebruik van het groot aantal modelsimulaties voor grote rekentijden zorgen. Drie scenario's werden daarom voorgesteld (midden, hoog en laag scenario) om de impactanalyse te vereenvoudigen en bovendien rekening te houden met de grote onzekerheden in de impactresultaten t.g.v. de grote verschillen tussen de individuele klimaatmodelsimulaties. Deze drie klimaatveranderingsscenario's zijn gekoppeld aan een methode van statistische neerschaling, waarmee de scenario's kunnen vertaald worden naar veranderingen in de invoertijdreeksen van hydrologische modellen. Voor de neerslaginvoertijdreeksen wordt zowel het aantal dagen met significante neerslag aangepast als de neerslagintensiteit voor deze dagen (dus zowel de neerslagfrequentie als de neerslagamplitude). Voor de ETo-invoerreeksen wordt enkel de intensiteit aangepast. De hoog, midden en laag scenario's beschrijven het volledige bereik van scenario's bekomen via de verschillende individuele klimaatmodelsimulaties. Ze kunnen eenvoudig door hydrologische impactmodelleerders gebruikt worden (dus ook in fase 2 van het CCI-HYDR project) als drie klimaatveranderingsscenario's voor neerslag (inclusief de extreme of uitzonderlijke neerslag) en de potentiële evapotranspiratie voor de specifieke Belgische condities.

Resultaten van projectfase 1

Historische analyse

De historische analyse van klimaatoscillaties en -trends werd uitgevoerd voor de vier klimatologische seizoenen: winter (december, januari en februari), lente (maart, april en mei), zomer (juni, juli en augustus) en herfst (september, oktober en november). Lange-termijn tijdreeksen (meer dan 100 jaar gegevens) werden geanalyseerd voor zowel neerslag als potentiële referentie-evapotranspiratie. Veranderingen in neerslagkwantielen werden onderzocht voor de extreme condities, voor blokperioden van 5, 10 en 15 jaar, en voor aggregatieniveaus (tijdsduren waarover de neerslag of ETo uitgemiddeld wordt) van de tijdstap (10 min voor neerslag, 1 dag voor ETo) tot de seizoensschaal.

In de resultaten werden oscillaties vastgesteld in het voorkomen van neerslagextremen. Perioden met hogere neerslagkwantielen werden gevonden voor de jaren 1910-1920, 1960 en recent tijdens de laatste 15 jaar. Lagere neerslagkwantielen kwamen voor tijdens de jaren 1930-1940 en 1970. Deze oscillaties blijken zich voor te doen op een multidecadale tijdschaal, en op een benaderende cyclische wijze tijdens de laatste 100 jaar (perioden van 30 tot 40 jaar). Uiteraard is een periode met slechts 3 cycli te kort om statistisch sterke uitspraken te doen m.b.t. het cyclisch gedrag. Anderzijds doen de resultaten geen twijfel rijzen m.b.t. de lange-termijn persistentie (tijdsafhankelijkheid) in het voorkomen van de neerslagextremen. De extremen komen inderdaad niet willekeurig verdeeld in de tijd voor, maar gegroepeerd. Zulke groepering heeft zich voorgedaan tijdens de laatste 15 jaar (multidecadale oscillatiepiek). Voorgaande conclusies blijken bovendien consistent voor alle tijdschalen tussen 10 minuten en de maandschaal, en dit voor zowel de winter- als de zomerperiode. Voor de zomerperiode werden de hoogste extreme neerslagkwantielen waargenomen voor de jaren 1960, zelfs in beperkte mate hoger dan tijdens de laatste 15 jaar. Deze resultaten geven aan dat de recente toename in het aantal extreme zomeronweders, en het groot aantal rioleringsoverstromingen die daar het gevolg van is, veroorzaakt is door hydrometeorologische condities die minder extreem zijn dan wat tijdens de jaren 1960 werd waargenomen. Ondertussen in het landgebruik wel sterk veranderd en werden veel rioleringsystemen aangelegd, waardoor de hydrologische impact (voor dezelfde meteorologische condities) uiteraard sterk verschillend is van deze in de jaren 1960. Voor de winterperiode zijn de extreme neerslagkwantielen tijdens de laatste 15 jaar wel significant hoger dan tijdens vroegere perioden; de klimaatverandering en de multidecadale oscillaties hebben hier schijnbaar versterkend gewerkt. De overgangsseizoenen (lente en herfst) blijken minder significante oscillaties en trends op te leveren.

De lange-termijn ETo-tijdreeks vertoont gelijkaardige trends en oscillaties als de neerslagreeks. Ze zijn, zoals voor de neerslag, meest significant voor de winterperiode en voor de meest recente decaden (jaren 1990). Voor alle seizoenen wordt vanaf de jaren 1980 een duidelijke toename waargenomen in de verdamping, wat consistent is met de trends in temperatuur.

Performantie klimaatmodellen

De klimaatmodelsimulaties werden geselecteerd op basis van een groot aantal criteria. De voornaamste waren gebaseerd op de detectie van uitbijters, de analyse van kwantiefrequenties, van trends, van systematische afwijkingen, en van ruimtelijke variabiliteit. Bij vergelijking van de controle- met de scenarioruns voor de PRUDENCE-klimaatmodellen werden enkele modellen gevonden die consistent slecht presteren voor alle criteria. Deze werden niet weerhouden. Anderzijds waren er modellen die consistent goed presteren, en andere modellen die slechts voor bepaalde criteria slecht presteren. Deze laatste modellen werden wel weerhouden. Er werd vastgesteld dat temperatuur beter wordt gemodelleerd dan neerslag. Gebaseerd op deze twee variabelen, neerslag en temperatuur, zijn de klimaatmodellen ICTP (RegCM) en GKSS (CLM) verworpen omwille van een algemeen slechte performantie.

Resultaten klimaatverandering

De weerhouden PRUDENCE-klimaatmodellen voorspellen een brede waaier aan impacts t.g.v. klimaatverandering. Voor de neerslag in de zomer wordt zowel een afname als een toename voorspelt: van -40% tot +10%. Voor de winter wordt een toename in de neerslag voorspelt van +5%

tot +50%. Regionale verschillen over België werden hierbij niet gevonden, behalve voor de kuststrook. Deze kuststrook toonde 15% hogere neerslagtoename tijdens zowel de winter als de zomer.

Vergelijking van de regionale klimaatmodelsimulaties volgens A2 en B2 emissiescenario's met de mondiale klimaatmodelsimulaties en volgens bijkomende emissiescenario's zorgt voor een groot verschil in de zomerperiode (met relatieve verschillen tot 16%). De winterperiode geeft relatieve verschillen tot 10%. Dit toont het belang aan om het volledige bereik aan emissiescenario's te onderzoeken en om de resultaten met de regionale klimaatmodellen overeenkomstig te corrigeren.

Neerschaling

Om de resultaten van het groot aantal simulaties met regionale en mondiale klimaatmodellen te vertalen naar bruikbare klimaatveranderingsscenario's, werd het ganse bereik aan scenario's samengevat in een hoog, midden en laag scenario. Deze techniek is geïnspireerd door de "ensemble" modelleringsmethode. Op basis van een set van 28 klimaatmodelsimulaties (voor de weerhouden klimaatmodellen en de A2 en B2 emissiescenario's) werden probabilistische perturbaties afgeleid, die werden omgezet in de drie scenario's. Het gebruik van de probabilistische techniek zorgt ervoor dat het volledige spectrum aan toekomstprojecties wordt ingerekend. Voor neerslag ging bijzondere aandacht uit naar de afzonderlijke perturbatie van het aantal natte dagen, en de perturbatie van de neerslagintensiteit tijdens deze natte dagen (in functie van de gemiddelde herhalingstijd of overschrijdingskans). Voor ETo is enkel een perturbatie op de intensiteit toegepast. Correctiefactoren werden bepaald om rekening te houden met de verschillen t.o.v. de IPCC AR4 A1B en B1 emissiescenario's (om het volledige bereik aan emissiescenario's in te rekenen). Een Excel-werkboek is ontwikkeld dat zowel neerslag- als ETo-reeksen kan perturberen (volgens het hoog, midden en laag klimaatveranderingsscenario). Op basis van de geperturbeerde reeksen kunnen modelinvoerbestanden (met tijdstappen van 10 minuten tot 1 dag) aangepast worden en kan de impact doorgerekend worden in hydrologische modellen.

Synthese resultaten projectfase 1

Tijdens fase 1 van het CCI-HYDR project werd zowel een theoretische als een praktische basis gelegd voor de impactanalyse van klimaatverandering op hydrologische extremen in België. De theoretische basis bestaat uit literatuuronderzoek die cruciaal was voor een goed begrip van historische en toekomstige kenmerken van het Belgische klimaat. De praktische basis omvatte de statistische analyse, verwerking en neerschaling van de simulatieresultaten van regionale en mondiale klimaatmodellen.

De voorspellingen met de klimaatmodellen bleken consistent met de recente trends die zijn vastgesteld in historische meetreeksen van neerslag en ETo. Vooral in de winter zijn de laatste 15 jaar een groter aantal meer extreme neerslagextremen vastgesteld. Ook de ETo-intensiteiten zijn voor die periode in zowel zomer als winter beduidend toegenomen. Toekomstige trends (tot 2071-2100) gaan in dezelfde lijn: winters worden natter en zomers droger.

Toekomstig onderzoek projectfase 2

Toekomstig onderzoek (fase 2 van het CCI-HYDR project) zal zich vooral toeleggen op het modelleren van de overstromingskansen en -risico's en de kansen op laagwater. Dit wordt doorgevoerd op basis van gekoppelde hydrologische en hydrodynamische modellen voor geselecteerde rivierbekkens en rioleringsstelsels. Via de samenwerking met het ADAPT-project worden ook de ruimere maatschappelijke implicaties onderzocht.

Meer informatie over het CCI-HYDR project is te vinden op:
<http://www.kuleuven.be/hydr/CCI-HYDR.htm>.