



WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM

FLANDERS HYDRAULICS
RESEARCH

OPMAAK VAN LAAGWATERSTRATEGIEËN

INVLOED VAN KLIMAATVERANDERINGEN
OP DE AFVOEREN IN DE VLAAMSE RIVIEREN



Vrije
Universiteit
Brussel



Vlaamse Overheid
Departement Mobiliteit en Openbare Werken
Waterbouwkundig Laboratorium

Model 727/1

OPMAAK VAN LAAGWATERSTRATEGIEËN INVLOED VAN KLIMAATVERANDERINGEN OP DE AFVOEREN IN DE VLAAMSE RIVIEREN

januari 2006

VOORWOORD

Reeds enkele jaren wordt door het Waterbouwkundig Laboratorium van Borgerhout het project 'Zoetwaterbeheer tegen tekorten en tegen verdroging' uitgevoerd. Het doel van dit project is het bepalen van maatregelen in de rivieren en kanalen (oppervlaktewater) en in de omliggende valleigebieden. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen effecten op langere termijn (vb. verdroging van de natuurwaarden door een te laag grondwaterpeil) en acute watertekorten (vb. onvoldoende diepgang voor de scheepvaart). Er wordt gezocht naar die maatregelen die de beheerders van de bevaarbare waterwegen (Waterwegen en Zeekanaal nv en nv De Scheepvaart) kunnen uitvoeren door op een gefundeerde manier het waterpeilbeheer te voeren.

Binnen het project 'Zoetwaterbeheer tegen tekorten en tegen verdroging' werden verschillende studies gedefinieerd, opgestart en geheel of gedeeltelijk afgerond. Deze studies gaan van inventarisatie over grondwatermonitoring, economische analyse en opbouw van een modelinstrumentarium voor scenarioberekeningen tot het opstellen van verschillende mogelijke laagwaterstrategieën.

Voorliggend rapport kadert binnen de studie 'Opmaak van laagwaterstrategieën (727/1)'.

Om na te gaan wat de impact van klimaatswijziging zou kunnen zijn op de waterbeschikbaarheid en de verdeling binnen een watersysteem werd een literatuurstudie over klimaatverandering uitgevoerd.

Andere gerelateerde rapporten mbt. het opstellen van laagwaterstrategieën zijn:

- Mod. 723 Opstellen van een methodologie voor de opmaak van laagwaterstrategieën voor de waterwegen in Vlaanderen – Hoofdrapport – Achtergrondrapport (RA, IMDC & KUL., 2004)
- Mod. 724/2 Watersysteem van het Albertkanaal en de Kempense kanalen. Opmaak van een modelinstrumentarium voor de ontwikkeling van laagwaterstrategieën (Baetens J. & Peeters P., 2006)
- Mod. 724/3 Watersysteem van de Bovenschelde, Leie en afwaterende kanalen. Opmaak van een modelinstrumentarium voor de evaluatie van laagwaterscenario's (Michielsens S., Peeters P. & Van Eerdenbrugh K., 2006)
- Mod. 727/1 Watersysteem van de Bovenschelde, Leie en afwaterende kanalen. Opmaak van Laagwaterstrategieën – Inventarisatie van het kanalenstelsel rond Gent (IMDC & RA., 2006c)
- Mod. 727/1 Watersysteem van de Bovenschelde, Leie en afwaterende kanalen. Opmaak van Laagwaterstrategieën – Economische analyse (IMDC & RA., 2006b)
- Mod. 727/1 Opmaak van laagwaterstrategieën – Waterverbruik van landbouwgewassen (Elsen F., Ghesquiere U. & Willems E., 2005)
- Mod. 727/1 Opmaak van laagwaterstrategieën – Laagwater extreme-waardenanalyse (Michielsens S., Peeters P. & Van Eerdenbrugh K., 2006)

Stef Michielsens
Onderzoeker

Patrik Peeters
Leidend ambtenaar

Katrien Van Eerdenbrugh
Leidend ambtenaar

Frank Mostaert
Afdelingshoofd

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord

Inhoudsopgave	i
Lijst van de tabellen	ii
Lijst van de symbolen	iii
1 Inleiding.....	1
2 Klimaatvoorspellingen.....	2
3 Vlaanderen.....	3
4 Het Maasbekken	5
5 Het Scheldebekken.....	7
6 Conclusie	8
7 Referenties.....	9

TABELLEN

LIJST VAN DE TABELLEN

Tabel 1 - De gebruikte klimaatveranderingreeksen; NOP scenario en gemengd scenario. De verandering is de klimaatveranderingstest (eind 21 ^e eeuw) min de baselinetest (eind 20 ^e eeuw) [de Wit et al., 2001].	T1
Tabel 2 - De temperatuurvoorspellingen voor 2100 bij een verdubbeling van de CO2 concentratie ten opzichte van 1990 [toename in °C].	T1
Tabel 3 - De neerslagvoorspellingen voor 2100 bij een verdubbeling van de CO2 concentratie ten opzichte van 1990.	T2
Tabel 4 - Jaarlijkse evapotranspiratie in 2100 [Gellens & Roulin, 1996].	T2
Tabel 5 - Verandering in potentiële evapotranspiratie in 2100 [Woldeamlak et al., 2004].	T2

LIJST VAN DE SYMBOLEN

GCM	Global Circulation Model
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
NOP	Nationaal Onderzoek Programma Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering.
ppmv	Parts per million volume

1 INLEIDING

Binnen het project “*Zoetwaterbeheer tegen tekorten en verdroging*” worden er laagwaterstrategieën opgemaakt die gedurende periodes van waterschaarste in de kanalen en bevaarbare rivieren de verdeling van het beschikbare water bepalen. Deze strategieën houden voornamelijk rekening met de huidige situatie in de watersystemen en –ketens, maar zijn ze ook bruikbaar wanneer blijkt dat de hydrologische situatie wijzigt onder invloed van klimaatveranderingen?

Sinds de industriële revolutie is de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer spectaculair toegenomen. Broeikasgassen zoals waterdamp, CO₂, CH₄, NO₂, O₃, CFK's,... hebben het potentieel om de door de aarde uitgestraalde infraroodstralingen op te slaan waardoor de warmte in de atmosfeer bewaard blijft. Maar hoe hoger de concentratie van deze gassen wordt hoe groter de capaciteit wordt om de warmte op te slaan. Aangezien de temperatuur de motor is van het klimaat is het niet onlogisch te veronderstellen dat het klimaat zal wijzigen of al aan het wijzigen is. Deze veronderstelling wordt bevestigd door de resultaten van de GCM's (Global of General Circulation Models) die in staat zijn het klimaat wereldwijd te simuleren. Hoewel de uitkomsten van de verschillende GCM's onderling verschillen is het wel duidelijk dat het klimaat zal veranderen wanneer de concentraties van de broeikasgassen toenemen. Volgens het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zou de globale gemiddelde temperatuur met 1,5 tot 4,5°C stijgen [IPCC, 1996].

Wijzigingen in het klimaat betekenen wijzigingen in neerslagpatronen en -intensiteit. Volgens het IPCC [1996] zal de gemiddelde neerslag globaal gezien met 3 tot 15% toenemen. De hydrologische cyclus zal, net als vele andere processen, ook beïnvloed worden door de klimaatveranderingen. De vraag is echter: hoe? In welke mate? En hoe zit het specifiek met de Vlaamse rivieren?

Deze literatuurstudie tracht een samenvatting te geven van het onderzoek dat hierover al gevoerd is.

Later kunnen deze literatuurgegevens vergeleken worden met de resultaten van de al bestaande hydrologische NAM-modellen op het WLH waarbij de neerslag, evapotranspiratie en temperatuur invoer aangepast wordt aan de toekomstige verwachtingen.

2 KLIMAATVOORSPELLINGEN

Het opzet van onderzoek naar de invloed van klimaatveranderingen op lokale hydrologische variabelen is steeds hetzelfde:

Scenario → GCM → Downscaling → Lokaal hydrologisch model (impactanalyse)

Het scenario is het uitgangspunt, de situatie die je wilt simuleren. Verschillende sociale, demografische, economische, technologische, ecologische en beleidsmatige ontwikkelingen hebben een sterke impact op de uitstoot van broeikasgassen en kunnen leiden tot verschillende emissiescenario's. Het IPCC heeft zo 4 scenariofamilies ontwikkeld met in totaal 40 scenario's waarbij rekening gehouden wordt met al de mogelijke aannames over hoe broeikasgasemissies zich zullen ontwikkelen bij de afwezigheid van beleidsmaatregelen [IPCC, 2000 en Schoeters & Vanhaecke, 1999]. Toch gaat men vaak uit van de huidige situatie met een verdubbeling van de CO₂ concentratie in 1990: 700ppmv CO₂ tussen 1990 en 2100 [De Wit et al., 2001; Gellens en Roulin, 1996 & 1998; Schoeters & Vanhaecke, 1999].

Deze informatie wordt in een GCM ingevoerd dat vervolgens het klimaat voor dit scenario simuleert. GCMs zijn de meest complexe klimaatmodellen omdat ze de hoofdcomponenten van een klimaatstelsel driedimensionaal tracht voor te stellen [De Wit et al., 2001]. De resultaten worden voornamelijk relatief en gemiddeld gebruikt b.v. 5% minder neerslag in juni 2100 ten opzichte van juni 1990.

Soms wordt het gemiddelde genomen van verschillende GCMs om de individuele fluctuaties van een enkele GCM af te vlakken omdat binnen hetzelfde seizoen het wel eens gebeurt dat de ene maand een stijging van de temperatuur voorspeld wordt en de maand erop een daling.

De resultaten van GCMs zijn echter niet bruikbaar om de regionale en lokale impact te begroten. Dit is hoofdzakelijk te wijten aan de ruimtelijke resolutie van een GCM, die te laag is (typisch is 50.000km²), en aan de betrouwbaarheid van sommige output die niet voldoende is (in het bijzonder deze, zoals neerslag, die zeer afhankelijk zijn van kleinschaligere processen zoals wolkenvorming) [Wilby & Wigley, 1999]. Om die redenen moeten de GCM resultaten verschaald worden naar een regionaal of lokaal niveau (downscaling). Dit kan gebeuren met behulp van een statistisch programma dat stochastisch gegenereerde gegevens kan leveren die voldoen aan het lokale klimaat gebruik makend van een verzameling van regionaal voorspelde gegevens [Gebremeskel et al., 2005]. Vaker wordt er echter het gemiddelde genomen van de GCM cellen die het studiegebied omvatten.

Ten slotte gebruikt men een hydrologisch model om te berekenen hoeveel water van de gevallen neerslag er uiteindelijk naar de rivieren vloeit.

In de volgende paragrafen wordt er samengevat wat er op dit moment geweten is over de impact die de klimaatveranderingen zullen hebben op de Vlaamse hydrologie. Er wordt eerst een algemeen beeld getoond voor Vlaanderen en vervolgens zal, daar waar mogelijk, per stroomgebied een analyse volgen.

3 VLAANDEREN

Gellens en Roulin [1996 & 1998] baseerden zich op scenario's die werden opgesteld door het IPCC (1995, 1997) en de UK Climate Change Impact Review Group (1996) om een scenario voor België naar voor te schuiven. Dit scenario werd ook gebruikt door Schoeters en Vanhaecke [1999] en d'Ieteren et al. [2004]. Het scenario dat vooropgesteld werd gaat ervan uit dat er in België geen beleidsmaatregelen worden genomen om tot een vermindering van broeikasgassen te komen. Voor België wordt aangenomen dat er een verdubbeling zal zijn van de "equivalent CO₂" concentratie d.w.z. 700ppmv in de periode 1990-2100. Er werd gebruik gemaakt van het AOGCM-model met de periode tussen 1990 en 2100 als referentie. Er wordt aangenomen dat de temperatuursverandering voor heel België gelijklopend zal zijn en dat er voor België geen regionale verschillen optreden.

van Ypersele en Marbaix [2004] vatten meer dan één scenario met meerdere GCMs samen waardoor hun bevindingen extremer zijn.

Een verdubbeling van de CO₂ concentratie zal leiden tot een stijging van de gemiddelde luchttemperatuur met 2°C tot 2,5°C. Er wordt verwacht dat de minimumtemperaturen veel grotere veranderingen zullen vertonen dan de maximumtemperaturen en dat de temperatuurstijging in de winter groter zal zijn dan in de zomer, wat mogelijk tot een vermindering van het aantal vorstdagen zal leiden [Gellens & Roulin, 1996 & 1998 en Schoeters & Vanhaecke, 1999]. van Ypersele en Marbaix [2004] besluiten dat, in tegenstelling tot de vorige auteurs, de temperatuurstijging in de zomer groter zal zijn dan in de winter: respectievelijk 2,4°C tot 6,6°C en 1,7°C tot 4,9°C.

De voorspelling van de neerslag blijft zeer onzeker. Neerslag is een klimaatvariabele die een grote natuurlijke variabiliteit vertoont over verschillende jaren en decennia. Er wordt verwacht dat de hoeveelheid neerslag zal verminderen met ongeveer 3% of stabiel zal blijven in de zomer, maar met zo'n 10% zal toenemen in de winter [Gellens & Roulin, 1996 & 1998 en Schoeters & Vanhaecke, 1999]. van Ypersele en Marbaix [2004] verwachten een evolutie tegen 2100 van de neerslag die stijgt met 6 tot 23% in de winter en een daling van 0 tot 50% in de zomer.

Allen verwachten ze dat er meer extreme weerfenomenen zullen voorkomen. De kans op ernstige hittegolven zou groeien en het is heel waarschijnlijk dat er vaker sprake zal zijn van een periode met intense regenval. Het aantal stormen zal met 30% toenemen tegen 2050 [d'Ieteren et al., 2004].

In de zomer zal door een toename van de temperatuur een verhoogde evapotranspiratie optreden die, gepaard met de lagere neerslag, zal leiden tot een gereduceerde waterbeschikbaarheid in de bodem. Veranderingen in de relatieve vochtigheid (-6%) hebben een grote invloed op de potentiële evapotranspiratie (+10 tot 15%). [d'Ieteren et al., 2004; Gellens & Roulin, 1996 & 1998 en Schoeters & Vanhaecke, 1999]

Analyses gebaseerd op GCMs voor het Europese continent vertonen een zeer verschillende afvoer van rivieren bij een warmer klimaat (variërend tussen 5% afname tot 12% toename). Sommige GCMs tonen een sterk verschil tussen de verschillende Europese regio's, zo zou er een toename zijn in afvoer van ongeveer 5% voor West-Europa. Andere GCMs geven dan weer aan dat al de regio's tot 23% droger worden [Gellens & Roulin, 1996 & 1998].

De impact op het oppervlaktewater wordt gestuurd door de verandering in neerslag. Het jaarlijks patroon van de verandering van oppervlaktewater lijkt op de variatie van de veranderingen van de neerslag en in de meeste gevallen is het teken van de impact hetzelfde. De sterkte van de impact varieert van bekken tot bekken: hoe intenser de seizoensale verandering van de neerslag, hoe groter het verschil tussen de bekkens. Omwille van de onzekerheid in de neerslagvoorspellingen is de impact op de afvoeren zowel positief als negatief en kan er geen definitieve respons gedefinieerd worden [de Wit et al., 2001].

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. Drogere zomers en toegenomen evaporatie kun-

nen (zelfs met vochtigere winters) de hoeveelheid water in de reservoirs met 8 tot 15% doen dalen. Deze waterreservoirs komen in periodes waarin het weinig regent tussen in de rivierafvoeren, drinkwatervoorziening en irrigatie. Zo blijkt dat, in de verschillende IPCC-scenario's, we in België evolueren naar tekorten in grondwaterreserves. De hogere temperaturen zullen een toename veroorzaken van de vraag naar zoetwater, voornamelijk voor landbouw en menselijke consumptie. [Schoeters & Vanhaecke, 1999; van Ypersele en Marbaix, 2004 en Woldeamlak et al., 2004].

4 HET MAASBEKKEN

In Nederland worden al de klimaatveranderingsstudies gebaseerd op hetzelfde emissiescenario (verdubbeling CO₂ uitstoot tegen het einde van de eeuw ten opzichte van eind vorige eeuw) en moet steeds hetzelfde GCM (HadCM2Gsa1) gebruikt worden. Meestal worden deze resultaten nog wel met andere GCM resultaten vergeleken. Zo ook de studie van de Wit et al. [2001] dat kadert in het NOP.

Er zijn grote verschillen tussen de GCM voorspellingen voor het Maasbekken, maar allemaal simuleren ze een stijging van de temperatuur, een toename van de winterneerslag en een vermindering van de zomerneerslag.

De voorbije eeuw was de gemiddelde temperatuur gedurende de laatste 20 jaar in Nederland 0,7°C hoger dan tijdens de eerste 20 jaar. Tegen 2100 verwacht men een stijging van het jaargemiddelde met 2,8°C. Voor de verandering in maandgemiddelde temperatuur, raadpleeg Tabel 1.

Er was meer neerslag gedurende de 2^e helft van de vorige eeuw, gedeeltelijk te wijten aan de hogere temperaturen. De veranderingen in temperatuur zijn het grootst tijdens de winter en zijn voornamelijk toe te wijzen aan de opmerkelijke veranderingen in de atmosferische circulatie [de Wit, 2001]. Ook Pfister et al. [2000] melden een opmerkelijke stijging van de westelijke luchtstromen boven (noord)west Europa. Ze vonden dat deze verandering in atmosferische circulatie overeenkomt met een toename in neerslagintensiteit en duur in Luxemburg sinds de jaren 50. De variaties in atmosferische circulatie heeft hoofdzakelijk natuurlijke oorzaken, maar ze zijn ook consistent met sommige GCM experimenten met toename van CO₂ [Dai et al., 1997].

De gemiddelde maandelijkse waarden van 8 Belgische neerslagstations suggereren een kleine toename van jaarlijkse en seizoenale gemiddelde neerslagvolumes, voornamelijk tijdens de winter. Maar de natuurlijke variabiliteit van het klimaat is groot en de beschikbare datareeksen zijn relatief kort. Daarom mag men niet besluiten dat er een duidelijk stijgende trend is voor de neerslag in het Maasbekken [de Wit, 2001]. Daarenboven is het nog af te wachten of de veranderingen veroorzaakt zijn door klimaatveranderingen of niet. Tabel 1 toont de verwachtingen voor het einde van deze eeuw. De winterneerslag stijgt gemiddeld met 12 tot 15%, de zomerneerslag neemt af met maximum 30% in juli.

Bijna alle testen tonen aan dat de actuele evapotranspiratie zal stijgen. Dit is hoofdzakelijk te verklaren door de toename van de potentiële evapotranspiratie.

De impact op het oppervlaktewater wordt gestuurd door de verandering in neerslag. Het jaarlijkse patroon van de verandering van oppervlaktewater lijkt op de variatie van de veranderingen van de neerslag en in de meeste gevallen is het teken van de impact hetzelfde.

De gemiddelde jaarlijkse en seizoenale afvoeren te Monsin zijn nauwelijks veranderd de voorbije eeuw. Maar de maximum winterafvoeren en de minimum zomerafvoeren blijken respectievelijk te zijn gestegen en gedaald. Omdat de natuurlijke variabiliteit van de afvoer in de Maas groot is, de verschillen over tijd klein en de meetreeks relatief kort, is het onmogelijk een significante trend te identificeren. Eén uitzondering echter: het minimum zomerafvoer toont wel een duidelijk dalende trend. Dit komt niet overeen met een mogelijke stijging van de zomerneerslag. Dit is mogelijk te verklaren door een stijging van de opwaartse watercaptaties, debietregeling en/of wijzigingen in landgebruik. Een andere mogelijkheid is de toename van de evaporatie veroorzaakt door de hogere temperaturen. Tevens blijkt ook dat de veranderingen in het maandelijkse gemiddelde afvoerregime van de Maas niet enkel een reflectie is van de veranderingen in het maandelijkse gemiddelde neerslagregime. Het is duidelijk dat de neerslag die in de voorafgaande winter valt invloed heeft op de lengte van de laagwaterperiode tijdens de zomer. Sommige subbekkens zijn kwetsbaarder voor overstromingen en laagwater dan andere. De bekkens die uit kalkstenen rotsen bestaan vertonen kleine en trage debietschommelingen, deze moeten beschermd worden om een minimum afvoer in de Maas te behouden.

De veranderingen van het gesimuleerde afvoerregime zijn minder uitgesproken dan de veranderingen in het gesimuleerde neerslagregime. Dit is deels te wijten aan de veranderingen (verhoogde) in actuele evapotranspiratie en deels aan de (natuurlijke) opslagcapaciteit van de bekkens. Algemeen kan

men stellen dat klimaatveranderingen kunnen leiden tot een stijging van de gemiddelde neerslag gedurende de late winter en vroege lente, en een daling van de gemiddelde neerslag in de herfst [de Wit, 2001 en Gellens & Roulin, 1996 & 1998].

5 HET SCHELDEBEKKEN

Voorspellingen over de effecten van een eventuele klimaatverandering wijzen op een verandering die kan optreden in het neerslagpatroon. Deze veranderingen in het neerslagpatroon kunnen een belangrijke invloed hebben op de afvoerregimes in de Leie en de Bovenschelde. In de praktijk wordt er echter nog geen rekening gehouden met deze problemen en wordt er enkel gezocht naar oplossingen om het huidige probleem van de versnelde afvoer aan te pakken. Reden hiervoor is de grote onzekerheid die er nog bestaat om de voorspellingen van een klimaatverandering te onderscheiden van effecten van menselijke ingrepen in de rivieren [pers.comm. Balduck & Van Crombrugge, 2000 uit Viaene & Mostaert, 2000]. Men verwacht blijkbaar minder problemen met de lage afvoeren bij mogelijke klimaatveranderingen.

Met het numerieke Scheldemodel van het WLH (dit modelleert het getijgebied van de Schelde afwaarts Melle) werden simulaties uitgevoerd voor bovenafvoeren die 28% groter zijn de huidige bovenafvoeren. De berekende verhanglijnen tonen aan dat de invloed van een verhoogde bovenafvoer zich hoofdzakelijk laat voelen stroomopwaarts Dendermonde. De terugkeerperiode van de bijhorende hoogwaters te Antwerpen (en elders) worden kleiner in vergelijking met de huidige bovenafvoeren [Viaene & Mostaert, 2000].

Gellens en Roulin [1996 & 1998] verwachten in het Zwalmbekken een variërende oppervlakkige afvoer tussen 40 en 60% van de totale afvoer. Dit bekken ligt in een gebied met een minder doorlatende bodem waardoor het een middelmatige respons vertoont ten opzichte van de klimaatverandering.

In het Dijlebekken overstijgt de oppervlakkige afstroming nooit 20% van het totale afvoer doorheen het jaar. De Dijle vertoont hoge gesimuleerde grondwaterstanden, omdat ze in de leemstreek en op zand ligt. Deze hoge standen bufferen de respons op de veranderingen van de neerslag gedurende het jaar. Daarom is de impact van de klimaatverandering gedreven door de jaarlijkse gemiddelde neerslag dat een stijging van de basisafvoer inhoudt [Gellens en Roulin, 1996 & 1998].

De Herk heeft een grote infiltratiecapaciteit en het bereik van de respons op klimaatverandering is een beetje kleiner dan bij de Dijle. Het bekken vertoont hoge gesimuleerde grondwaterstanden, omdat ze in de leemstreek ligt en op zand. Ook hier tredt bijgevolg een bufferende werking op die veranderingen van de neerslag opvangt [Gellens en Roulin, 1996 & 1998].

De Aa heeft in de winter een kleine respons van de oppervlakkige afvoer op de klimaatverandering omwille van een minder doorlatende bodem [Gellens en Roulin, 1996 & 1998].

Voor de Grote Nete voorspellen Woldeamlak et al. [2004], in het geval van de natte scenario's, een toename van de gemiddelde neerslag en temperatuur die een toename veroorzaakt van de grondwateraanvulling, de oppervlakkige afstroming en de evapotranspiratie zowel jaarlijks als seizoenlijks. Behalve de zomer grondwateraanvulling dat een vermindering tot 89% met de huidige situatie vertoont.

De koude scenario's (verandering (stoppen) van de thermohaline circulatie in de Atlantische Oceaan) vertonen juist het tegenovergestelde van de natte scenario's. Er is een algemene verlaging van het grondwaterpeil, bijgevolg wordt verwacht dat de aanvoer naar de rivier zal afnemen.

De droge scenario's leiden tot dezelfde resultaten als die van de koude scenario's met uitzondering van de hogere evapotranspiratie. Met als gevolg dat de grondwatertafel een halve meter zal dalen. Daarbij komt een afname van de trage en snelle afvoeren tijdens alle seizoenen.

6 CONCLUSIE

De voornaamste conclusie is dat de impact van klimaatveranderingen op de afvoeren in de rivieren voornamelijk bepaald wordt door de geologische opbouw van het bekken. Bekkens met een doorlatende ondergrond hebben een grotere buffercapaciteit en zijn zo in staat om tijdens de drogere zomers langer water aan de rivier na te leveren. Die bekkens waarvan de ondergrond minder doorlatend is kunnen dit niet omdat de regen die gedurende de winter valt vlugger oppervlakkig afgevoerd wordt, wat op zijn beurt weer kan leiden tot een hogere kans op overstromingen.

De hydrologische NAM modellen die op het WLH gebruikt worden zijn oorspronkelijk afgeijkt voor hoge afvoeren. Ze werden recent echter getest op hun nauwkeurigheid voor lage afvoeren. Uit deze studie [Deschamps et al., 2006] bleek dat de NAM resultaten redelijk goed zijn wat betreft lage afvoeren voor het Leiemodel. Het IJzermodel overschat systematisch een beetje de lage afvoeren in tegenstelling tot het Bovenscheldemodel dat de metingen duidelijk onderschat. De resultaten voor het Maasmodel zijn redelijk goed wanneer de laagwaterperiode voldoende lang is.

Door het ijken van de hydrologische modellen houdt men onrechtstreeks rekening met de ondergrond van de bekkens en dient men er tijdens de impactanalyse geen rekening meer mee te houden.

Het NAM model wordt gevoed door neerslagreeksen en evaporatie- (en/of) temperatuurreksen. Bij het uitvoeren van de impactanalyse zullen de huidige reeksen aangepast worden met de verwachte veranderingen voor neerslag, evaporatie (en/of) temperatuur.

Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5 geven een overzicht van de verwachtingen tegen 2100.

7 REFERENTIES

- Bultot F., Dupriez G.L. en Gellens D. (1988) Estimated regime of energy-balance components, evapotranspiration and soil moisture for a drainage basin in the case of a CO₂ doubling. *Climatic Change*. 12. p. 39-56
- Dai A., Fung I., en Del Genio A. (1997) Surface observed global land precipitation variations during 1900-88. *Journal of Climate*. 10. p. 2943-2962
- Deschamps M., Ronsyn J., Willems P., Berlamont J., Viaene P., Vaneerdenbrugh K. en Mostaert F. (2006) Mod 729/8 - *Evaluatie van bruikbaarheid van NAM-modellen voor laagwatervoorspelling*. KULeuven i.o.v. MVG | LIN | AWZ | WLH
- de Wit M., Warmerdam P., Torfs P., Uijlenhoet R., Roulin E., Cheymol A., van Deursen W., van Walsum P., Ververs M., Kwadijk J. en Buiteveld H. (2001) *Effect of climate change on the hydrology of the river Meuse*. Project uitgevoerd in het kader van "Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change" (NOP)
- d'Ieteren E., Hecq W., De Sutter R. & Leroy D. (2004) *Effecten van klimaatverandering in België – Potentiële gevolgen in de stroombekkens en aan de kust*. Studie uitgevoerd door CEESE-ULB en ECOLAS i.o.v. KINT/IRGT
- Gebremeskel S., Liu Y.B., De Smedt F., Hoffmann L. en Pfister L. (2005) Analysing the effect of climate changes on streamflow using statistically downscaled GCM scenario's. *Int. J. River Basin Management*. 2 p. 271-280.
- Gellens D. en Roulin E. (1996) *GLOBAL CLIMATE CHANGE. POSSIBLE EVOLUTION OF THE HYDROLOGICAL CYCLE AND WATER RESOURCES IN BELGIUM. Sensitivity study of the hydrological cycle – Impact of the climate change induced by the doubling of the CO₂ atmospheric concentration*. Final report of the "Global Change" project GC/34/022, KMI, Brussel
- Gellens D. en Roulin E. (1998) Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 210, 242-258
- IPCC (1996) *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment report of the IPCC*, Cambridge University Press, United Kingdom
- IPCC (2000) *IPCC Special Report. Emissions Scenarios. Summary for Policymakers. A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Working group III*. <http://www.ipcc.ch>
- Pfister L., Humbert J., en Hoffmann L. (2000) Recent trends in rainfall-runoff characteristics in the Alzette river basin, Luxembourg. *Climatic Change*. 45. p 323-337
- Schoeters K. & Vanhaecke P. (1999) *Studie "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.
- van Ypersele J. & Marbaix P. (2004) *Impact van de klimaatverandering in België*. Greenpeace, Brussel, 44p.
- Viaene P. & Mostaert F. (2000) Lange Termijnvisie Westerschelde Cluster Morfologie – Onderzoek Exogene Factoren. Mod 611 MVG | LIN | AWZ | WLH
- Wilby R.L. en Wigley T.M.L. (2000) Precipitation predictors for downscaling: Observed and general circulation model relationships. *International Journal of Climatology*. 20 p. 641-661
- Woldeamlak S.T., Batelaan O. en De Smedt F. (2004) *Effects of Climate Change on the Groundwater Systems of the Grote Nete Catchment, Belgium*. Proceedings of the International Conference on Finite Element Models, MODFLOW, and More: Solving Groundwater Problems. September, 13-16 2004, Karlovy Vary, Czech Republic.

Tabel 1 - De gebruikte klimaatveranderingreeksen; NOP scenario en gemengd scenario. De verandering is de klimaatveranderingstest (eind 21^e eeuw) min de baselinetest (eind 20^e eeuw) [de Wit et al., 2001].

	jan	feb	maa	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
NOP scenario¹												
Relatieve verandering van fractionele wolkenbedekking [%]	-0,47	1,18	2,84	-4,62	-1,68	-6,96	4,76	-10,90	-10,88	-12,63	-3,85	-0,45
Relatieve verandering van neerslag [%]	5,62	-8,41	30,35	10,41	3,64	-7,59	3,99	-10,07	-4,39	-17,63	19,99	15,90
Verandering van gemiddelde temperatuur op 1,5m [°C]	3,10	2,79	3,47	1,55	1,82	2,50	3,29	3,67	3,63	2,36	2,45	2,42
Verandering van windsnelheid op 10m [m/s]	0,08	0,09	-0,12	0,06	-0,07	-0,04	-0,30	-0,27	-0,12	-0,07	0,08	0,06
Relatieve verandering van relatieve vochtigheid	-0,97	-0,74	0,07	-0,32	-0,40	-0,44	-0,08	-11,37	-9,62	-4,45	-1,20	-0,49
Gemengd scenario²												
Relatieve verandering van fractionele wolkenbedekking [%]	-0,16	0,06	0,28	-3,21	-3,65	-3,65	-1,75	-7,63	-7,29	-6,54	-1,95	0,85
Verandering van dagelijkse temperatuurbereik op 1,5m [°C]	0,09	-0,02	-0,06	0,13	0,17	0,13	0,73	0,94	0,65	0,45	0,19	0,08
Relatieve verandering van neerslag [%]	12,69	13,77	14,63	3,90	-1,88	-11,62	-29,33	-21,95	-3,58	-4,78	8,77	6,87
Verandering van radiatie [W/m ²]	-0,22	-1,24	-0,46	3,27	7,35	11,32	15,98	7,27	-0,02	4,28	2,46	0,68
Verandering van min. temperatuur op 1,5m [°C]	3,53	3,50	3,32	3,08	3,19	3,04	4,16	4,55	4,25	3,83	3,83	3,87
Verandering van gemiddelde temperatuur op 1,5m [°C]	3,48	3,34	3,30	2,80	2,96	2,96	4,26	4,71	4,36	3,69	3,62	3,62
Verandering in max. temperatuur op 1,5m [°C]	3,61	3,48	3,26	3,20	3,36	3,17	4,89	5,48	4,90	4,27	4,02	3,95
Verandering in dampspanning [hPa]	2,15	2,11	2,11	2,26	2,72	3,16	3,49	3,19	3,22	3,08	2,80	2,50
Verandering van windsnelheid op 10m [m/s]	0,07	-0,03	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,23	-0,24	-0,09	-0,07	-0,03	0,04
Relatieve verandering van relatieve vochtigheid	-0,97	-0,74	0,07	-0,32	-0,40	-0,44	-0,08	-11,37	-9,62	4,45	-1,20	-0,49

1 Dit zijn de resultaten van het Nederlandse emissiescenario berekend met HadCM2Gsa1.

2 Dit zijn de gemiddelde resultaten van het Nederlandse emissiescenario berekend met 5 verschillende GCMs (HadCM2Gga1, HadCM2Gga4, HadCM2Gsa1, CGCM1 en ECHAM4).

Tabel 2 - De temperatuurvoorspellingen voor 2100 bij een verdubbeling van de CO2 concentratie ten opzichte van 1990 [toename in °C].

Auteurs	Scenario	Dec	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oktober	Nov	Jaarlijks gemiddelde
Gellens & Roulin [1996 & 1998]														
	Basis	3,2	3,1	3,4	3,4	3,1	2,8	2,7	2,5	2,3	2,3	2,7	2,8	2,86
	Basis		3,23			3,10			2,50			2,60		2,86
	GFDL mixed 2xCO2 stationary		4,68			4,78			4,88			4,78		4,78
	MPI Is 2x CO2 transient		1,43			2,02			0,77			1,25		1,37
	MPI op 2xCO2 transient		1,98			1,29			0,88			1,79		1,49
	GFDL coupled 2xCO2 transient		2,31			3,27			4,23			3,27		3,27
	HADLEY 2xCO2 transient		2,36			2,41			2,46			2,41		2,41
	NCAR 2xCO2 transient		1,596			1,184			0,711			2,061		1,39
	Gemiddelde		2,51			2,58			2,35			2,59		2,51
de Wit et al. [2001]														
	NOP	2,42	3,10	2,79	3,47	1,55	1,82	2,50	3,29	3,67	3,63	2,36	2,45	2,75
			2,77			2,28			3,15			2,81		
	Gemengd	3,62	3,48	3,34	3,30	2,80	2,96	2,96	4,26	4,71	4,36	3,69	3,62	3,59
			3,48			3,02			3,98			3,89		
	Gemiddelde	3,02	3,29	3,07	3,39	2,18	2,39	2,73	3,78	4,19	4,00	3,03	3,04	3,17
Woldeamlak et al. [2004]														
	Nat (laag)													1
	Nat (centraal)													2
	Nat (hoog)													4
	Koud (NATCC)													-2
	Nat (centraal) en koud													-1
	Droog													4
van Ypersele & Marbaix [2004]														
			1,7 tot 4,9						2,4 tot 6,6					

De cursief gedrukte getallen zijn gemiddelden van de winter en zomer resultaten, omdat er geen resultaten voor de lente en de herfst bekomen werden.

Tabel 3 - De neerslagvoorspellingen voor 2100 bij een verdubbeling van de CO2 concentratie ten opzichte van 1990.

Auteurs	Scenario	Dec	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Jaarlijks gemiddelde
Gellens & Roulin [1996 & 1998]														
	Basis [mm]	8,7	9,3	10,5	9,9	10,2	-1,2	-2,7	-1,6	-2,2	0,0	5,3	8,1	
	Basis [%]		0,28			0,21			-0,07			0,15		0,14
	GFDL mixed 2xCO2 stationary [%]		0,41			0,25			0,08			0,25		0,25
	MPI Is 2x CO2 transient [%]		0,15			0,17			0,12			-0,09		0,09
	MPI op 2xCO2 transient [%]		-0,05			0,04			0,33			0,39		0,18
	GFDL coupled 2xCO2 transient [%]		0,10			-0,07			-0,24			-0,07		-0,07
	HADLEY 2xCO2 transient [%]		0,35			-0,03			-0,40			-0,03		-0,03
	NCAR 2xCO2 transient [%]		0,36			0,44			0,11			0,22		0,28
	Gemiddelde [%]		0,23			0,14			-0,01			0,12		0,12
de Wit et al. [2001]														
	NOP [%]	15,90	5,62	-8,41	30,35	10,41	3,64	-7,59	3,99	-10,07	-4,39	-17,63	19,99	3,48
	[%]		4,37			14,80			-4,56			-0,68		
	Gemengd [%]	6,87	12,69	13,77	14,63	3,90	-1,88	-11,62	-29,33	-21,95	-3,58	-4,78	8,77	6,87
	[%]		11,11			5,55			-20,97			0,14		
	Gemiddelde [%]	11,39	9,16	2,68	22,49	7,16	0,88	-9,61	-12,67	-16,01	-3,99	-11,21	14,38	5,18
Woldeamlak et al. [2004]														
	Nat (laag) [%]		6,0			3,6			1,0			3,6		3
	Nat (centraal) [%]		12,0			7,0			2,0			7,0		6
	Nat (hoog) [%]		24,0			14,0			4,0			14,0		12
	Koud (NATCC) [%]		-12,0			-7,0			-2,0			-7,0		-7,0
	Nat (centraal) en koud [%]		-6,0			-3,5			-1,0			-3,5		-3,5
	Droog [%]		-20,0			-20,0			-20,0			-20,0		-20,0
van Ypersele & Marbaix [2004]														
	[%]		6 tot 23						0 tot -50					

De cursief gedrukte getallen zijn gemiddelden van de winter en zomer resultaten, omdat er geen resultaten voor de lente en de herfst bekomen werden door de GCMs. Woldeamlak et al. leverden enkel de winter en zomergegevens samen met het jaarlijks gemiddelde. De herfst en lente resultaten werden zelf berekend. Vandaar de discrepantie tussen de seizoensresultaten en het jaarlijks gemiddelde. De oranje resultaten duiden op een neerslagafname.

Tabel 4 - Jaarlijkse evapotranspiratie in 2100 [Gellens & Roulin, 1996]

Scenario	Jaarlijkse evapotranspiratie [mm]							
	Zwalm		Aa		Dijle		Herk	
	mm/jaar	%	mm/jaar	%	mm/jaar	%	mm/jaar	%
1990	499		478		479		486	
Basis [Bultot et al., 1988]	532	6,6	509	6,5	509	6,3	518	6,6
GFDL mixed 2xCO2 stationary	560	12,2	537	12,3	538	12,3	547	12,6
MPI Is 2x CO2 transient	520	4,2	499	4,4	500	4,4	507	4,3
MPI op 2xCO2 transient	525	5,2	503	5,2	505	5,4	512	5,3
GFDL coupled 2xCO2 transient	522	4,6	502	5,0	504	5,2	510	4,9
HADLEY 2xCO2 transient	510	2,2	489	2,3	490	2,3	497	2,3
NCAR 2xCO2 transient	526	5,4	503	5,2	504	5,2	513	5,6
Gemiddelde v.d. scenario's	528	5,8	506	5,9	507	5,9	515	5,9

Tabel 5 - Verandering in potentiële evapotranspiratie in 2100 [Woldeamlak et al., 2004]

Scenario	Verandering in pot. evapotranspiratie [%]
Nat (laag)	4
Nat (centraal)	8
Nat (hoog)	16
Koud (NATCC)	-8
Nat (centraal) en koud	0-4
Droog	16



Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115
B-2140 ANTWERPEN
tel. 32(0)3/224 60 35
fax 32(0)3/224 60 36
e-mail: flanders.hydraulics@mow.vlaanderen.be
watlab@mow.vlaanderen.be

<http://watlab.lin.vlaanderen.be>




Vrije
Universiteit
Brussel

Vrije Universiteit Brussel
Faculteit van de Toegepaste Wetenschappen
Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde

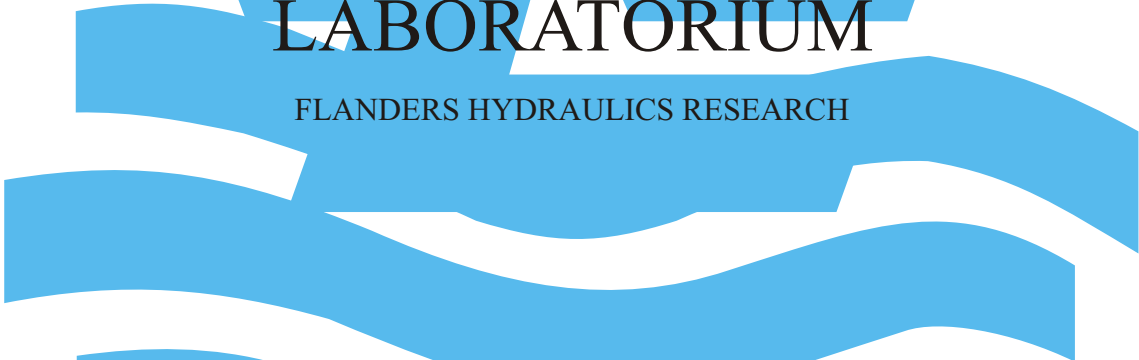
Pleinlaan 2
B-1050 BRUSSEL
tel. 32(0)2/629 30 21
fax 32(0)2/629 30 22
e-mail: hydr@vub.ac.be

<http://twws6.vub.ac.be/hydr>



**WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM**

FLANDERS HYDRAULICS RESEARCH



Berchemlei 115
B- 2140 ANTWERPEN
tel. 32(0)3/224 60 35
fax 32(0)3/224 60 36
e-mail: flanders.hydraulics@mow.vlaanderen.be
watlab@mow.vlaanderen.be

<http://watlab.lin.vlaanderen.be>

FLANDERS HYDRAULICS RESEARCH

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

FLANDERS HYDRAULICS RESEARCH



Vlaamse overheid
Departement Mobiliteit en Openbare Werken
afdeling Waterbouwkundig Laboratorium
Berchemlei 115 - B-2140 Antwerpen