

Hydrologisch modelleren op onbemeten stroomgebieden: Een eenvoudig modelconcept op basis van PDM en waargenomen maximale afvoercoëfficiënten

Het modelleren van afvoeren op kleine, onbemeten stroomgebieden is geen eenvoudige zaak. Het eenvoudig overzetten van modelresultaten of modelparameters uit nabijgelegen stroomgebieden kan leiden tot sterke verschillen en grote fouten. Niet alleen de vorm van het hydrogram wordt verkeerd ingeschat, maar tengevolge lokale verschillen kunnen ook grote volumefouten geïntroduceerd worden.

In het kader van het operationeel model voor Vlaanderen (OBM-centrale) van VMM –Afdeling Water was er nood aan een betrouwbare inschattingmethode van afvoeren op onbemeten stroomgebieden.

Hier wordt een zeer eenvoudig modelconcept voorgesteld dat gebruik maakt van de –afgeijkte- PDM-modelering van een bemeten stroomgebied (Cabus, 2006) en de gebiedseigen potentiële afvoercoëfficiënt om de oppervlakkige afvoer uit een onbemeten stroomgebied te simuleren. Er wordt vertrokken van het runoffconcept van het WetSpa-model (De Smedt et al., 2006; De Smedt, 1999). De combinatie van dit runoffconcept met de PDM-verzadigingsreeks leidt tot een nieuw modelconcept dat SRM gedoopt werd (Simplified Runoff Model) en geïmplementeerd werd binnen de Infoworks RS ©-software van Wallingford Software.

1. Het SRM-modelconcept

Het SRM-model simuleert oppervlakkige afvoer, gebruik makend van PDM-modelresultaten uit een nabij stroomgebied, potentiële afvoercoëfficiënten en een routing door middel van twee lineaire reservoirs in serie. Dit concept wordt grafisch voorgesteld in Figuur 1.

In eerste instantie gebruikt het model een bodemvochtdeficiëtfactor (SMD), samen met de stroom-

gebiedsneerslag (N) en een constante potentiële afvoercoëfficiënt (RC) om de effectieve neerslag (Neff) te berekenen (vgl. 1)

$$\text{Neff} = N \cdot RC \cdot (1 - \text{SMD}) \quad (1)$$

De effectieve neerslag wordt als input gebruikt voor een vereenvoudigd afvoermodel waarbij de bodemvochtvoorraad, de evaporatie, infiltratie en drainage naar het grondwater verwaarloosd worden. Directe runoff wordt door een cascade van twee lineaire bakmodellen met elk één parameter, bepaald. Eventueel kan er een tijdsconstante aan het systeem worden toegevoegd, die instaat voor een vertraging in de neerslag-afvoerrelatie.

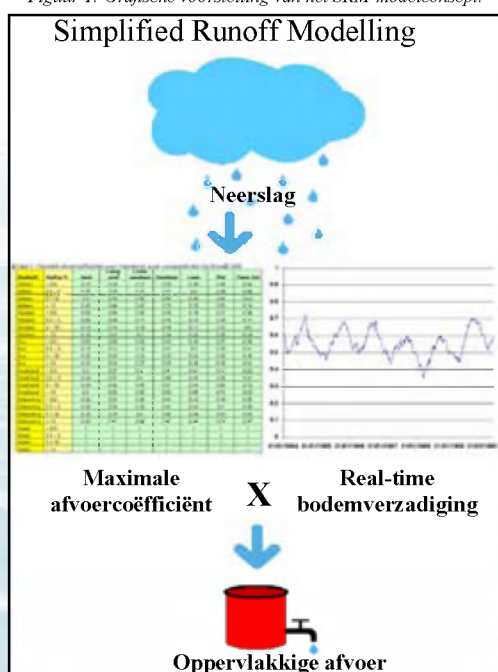
2. Toepassing met originele afvoercoëfficiënten

De potentiële afvoercoëfficiënt van een stroomgebied is in het oorspronkelijke WetSpa-model afhankelijk van de helling, landgebruik en het bodemtype. Deze afvoercoëfficiënten zijn per stroomgebied verschillend en via een geografische analyse te bepalen uit bestaand kaartmateriaal. Voor de opmaak van de tabel werd gebruik gemaakt van vakliteratuur (o.a. Chow, 1964), die nadien door kalibratie licht werden aangepast.

Dit modelconcept werd toegepast op enkele kleine, bemeten deelstroomgebieden van de Maarkebeek. Er werd gebruik gemaakt van het Digitaal Hoogtemodel van Vlaanderen voor het bepalen van de hellingen, de digitale bodemkaart en de CORINE landgebruikskaart.

Om de performantie in te schatten werd een

Figuur 1: Grafische voorstelling van het SRM-modelconcept.



vergelijking gemaakt tussen de waargenomen en SRM-gesimuleerde oppervlakkige afvoer (oppervlakkige afvoer is totale afvoer min basis-afvoer). Het resultaat van deze vergelijking voor één stroomgebiedje is voorgesteld in Figuur 2. Aangezien de oppervlakkige SRM-afvoer duidelijk de gemeten oppervlakkige afvoer onderschat, kan geconcludeerd worden dat de potentiële afvoerpercentages uit de oorspronkelijk WetSpa runoff-tabel te klein waren, tenminste voor deze stroomgebieden en voor de toepassing met het huidige kaartmateriaal. Figuur 3 toont de verdeling van potentiële afvoercoëfficiënten op basis van deze kaarten en de oorspronkelijke tabel over Vlaanderen.

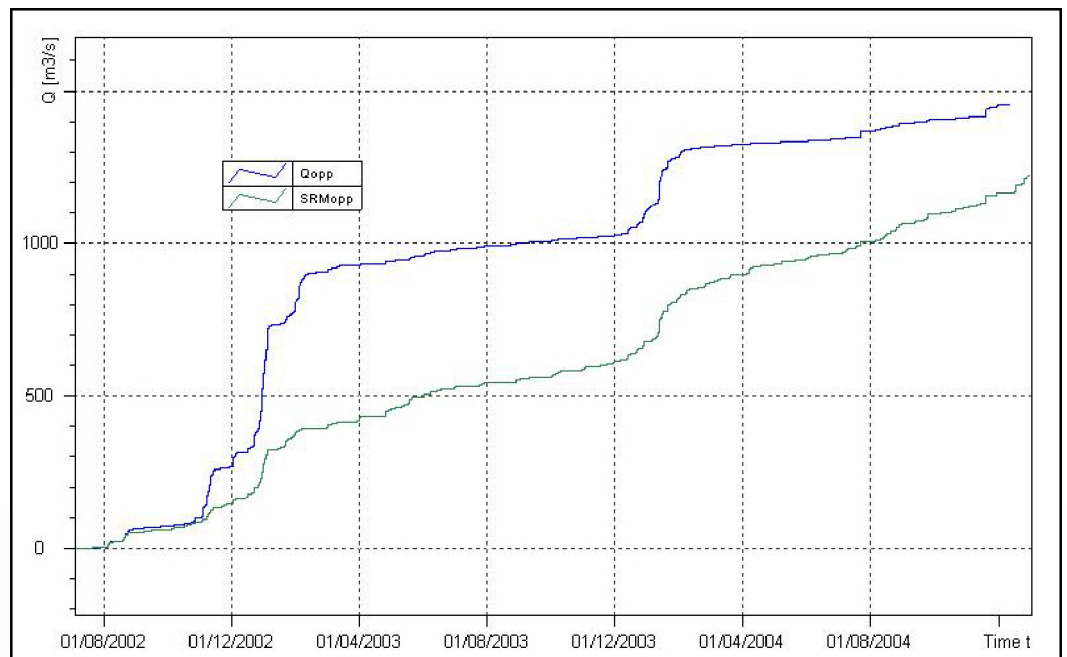
3. Een nieuwe tabel

Een verfijning van de tabel van potentiële afvoer-

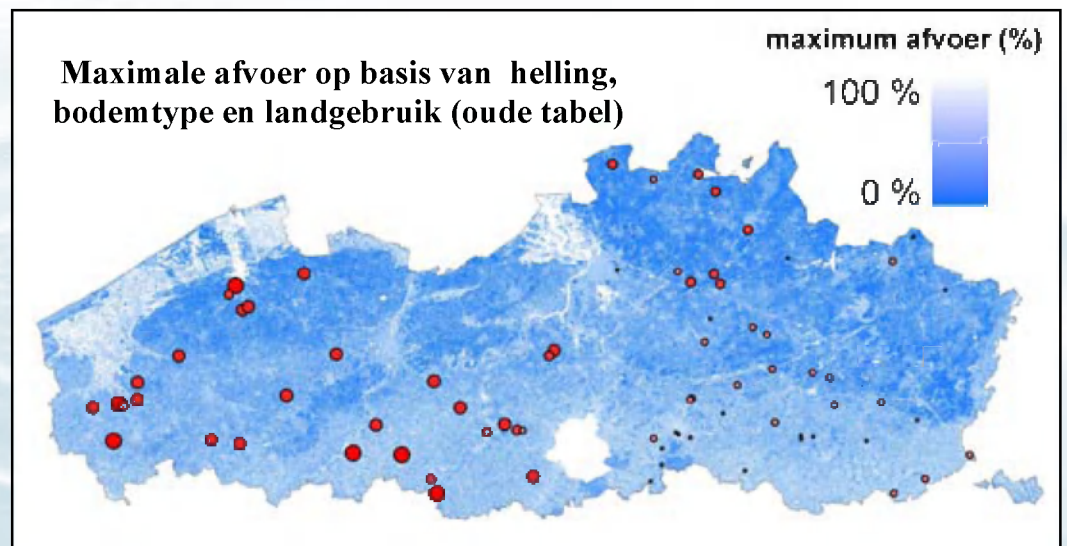
coëfficiënten op basis van gemeten maximale afvoercoëfficiënten in Vlaanderen drong zich op. De gemeten maximale afvoercoëfficiënten werden bepaald voor 74 stroomgebieden in Vlaanderen met een voldoende lange tijdreeks. Figuur 3 toont ook deze 74 waarden verspreid over Vlaanderen (grootte van de cirkels is evenredig met de waargenomen maximale afvoercoëfficiënt).

Uit de geografische analyse (Figuur 3) kwamen duidelijk de regionale hydrologische verschillen in Vlaanderen naar voor. Zeer hoge potentiële afvoercoëfficiënten werden waargenomen in het hellend gebied van West- en Oost-Vlaanderen, lagere potentiële afvoercoëfficiënten zijn terug te vinden in de droge leemstreek en de zandstreek. Om deze regionale verschillen te kunnen begroten moest –naast helling, bodemgebruik en bodemtype- een vierde variabele geïntroduceerd worden, waarvan de geografische spreiding bekend is en

Figuur 2: Vergelijking tussen gemeten gecumuleerde oppervlakkige afvoer en gecumuleerde SRM-afvoer voor het deelstroomgebied Donderij van de Maarkebeek.



Figuur 3: Potentiële afvoercoëfficiënten op basis van de oorspronkelijke tabel (lichtblauw tot wit) en gemeten maximale afvoercoëfficiënten in 74 bemeeten stroomgebieden (grootte van de cirkel is evenredig met grootte van de afvoercoëfficiënt)



de waarde een invloed heeft op de oppervlakkige afvoer. Hierbij werd onmiddellijk gedacht aan de dikte van de onverzadigde laag, de kenmerken van de deklaag, het type van de tertiaire afzetting, enz. Na analyse van het beschikbare digitale kaartmateriaal werd uiteindelijk de geologische ondergrond geselecteerd als mogelijke bijkomende variabele. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de digitale geologische kaart.

Om het aantal te bepalen afvoercoëfficiënten te beperken (het aantal moet uiteindelijk kleiner zijn

dan 74), werd de textuur heringedeeld in 3 klassen (zand – lemig zand – lichte zandleem; zandleem – leem; klei – zware klei), werden er slechts 2 hellingklassen overgehouden ($\leq 5\%$; $> 5\%$) en werd het landgebruik in 3 nieuwe klassen verdeeld (akker; weiland – bos; braakland – bebouwing). Bij de onderverdeling in landgebruik werd geen klasse "water" gedefinieerd. Deze komt op de CORINE-landgebruikskaart immers zeer versnipperd en niet consequent voor, wat tot extra fouten kan leiden. De geologische kaart werd onderverdeeld in drie geologische klassen (Tabel 1).

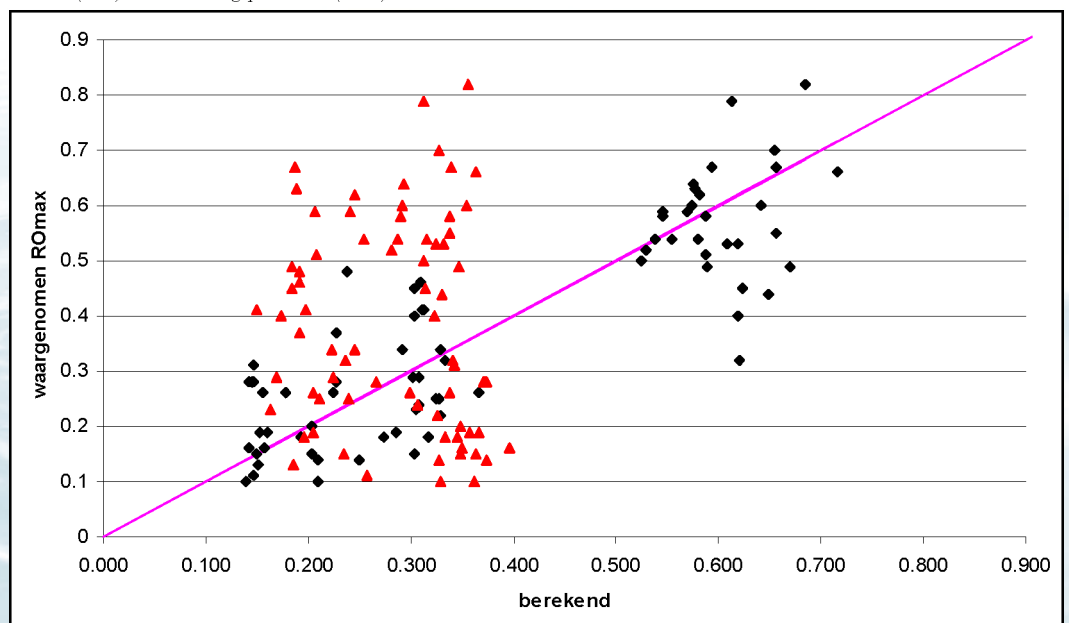
Tabel 1: De drie geologische klassen en de formaties waaruit ze zijn opgebouwd.

Geologische klasse	Opgenomen formaties
Ieperiaan_maldegem	Ko; Aa; Ge; Tt; Ma
Rupeliaan/Landeniaan	LA;Ld-Br;To; P; Pa; RU; Kr; Kz; MI
Diestiaan/Scaldisiaan	Bb; Bc; Bs; Di; Kd; Kl; Li; Li-Pd; Me; Pd

Tabel 2: Voorgestelde afvoercoëfficiënten voor de 54 combinaties van geologie, bodemgebruik, bodemtextuur en helling

Geologie	Bodemgebruik	Helling %	Zand Lemig zand Lichte zandleem	Zandleem Leem	Klei Zware klei
Ieperiaan_Maldegem	Akkers	<5	0.34	0.62	0.73
Ieperiaan_Maldegem	Akkers	>5	0.51	0.88	0.91
Ieperiaan_Maldegem	Weiland/bos	<5	0.73	0.62	0.82
Ieperiaan_Maldegem	Weiland/bos	>5	0.74	0.68	0.88
Ieperiaan_Maldegem	Braakland/bebouwing	<5	0.54	0.47	0.81
Ieperiaan_Maldegem	Braakland/bebouwing	>5	0.71	0.74	0.85
Rupeliaan/Landeniaan	Akkers	<5	0.12	0.12	0.16
Rupeliaan/Landeniaan	Akkers	>5	0.17	0.20	0.22
Rupeliaan/Landeniaan	Weiland/bos	<5	0.14	0.14	0.19
Rupeliaan/Landeniaan	Weiland/bos	>5	0.18	0.19	0.20
Rupeliaan/Landeniaan	Braakland/bebouwing	<5	0.15	0.17	0.20
Rupeliaan/Landeniaan	Braakland/bebouwing	>5	0.17	0.22	0.23
Diestiaan/scaldisiaan	Akkers	<5	0.27	0.27	0.38
Diestiaan/scaldisiaan	Akkers	>5	0.39	0.46	0.51
Diestiaan/scaldisiaan	Weiland/bos	<5	0.31	0.33	0.44
Diestiaan/scaldisiaan	Weiland/bos	>5	0.41	0.42	0.46
Diestiaan/scaldisiaan	Braakland/bebouwing	<5	0.35	0.39	0.46
Diestiaan/scaldisiaan	Braakland/bebouwing	>5	0.39	0.50	0.54

Figuur 4: Vergelijking tussen de gemeten potentiële afvoercoëfficiënten en de berekende potentiële afvoercoëfficiënten, met de oorspronkelijke tabel (rood) en met de aangepaste tabel (zwart)



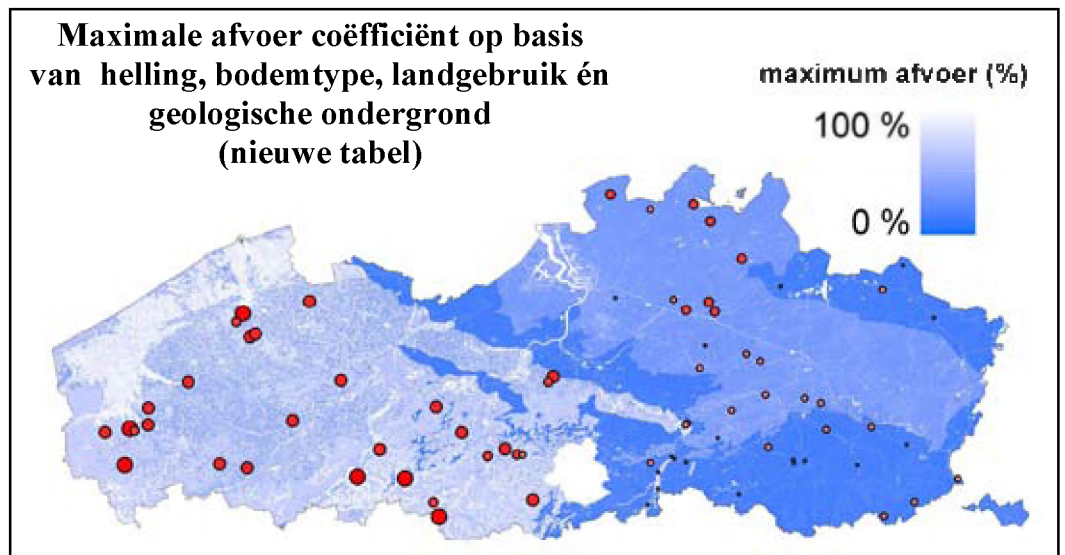
Er werd een nieuwe runoff-tabel opgesteld (Tabel 2), die betere potentiële afvoercoëfficiënten zou moeten genereren in functie van fysieke en karakteristieke stroomgebiedseigenschappen (helling, bodemgebruik, bodemtype en geologie) voor het gebruik in het SRM modelconcept. Omwille van het beperkt aantal gekende potentiële afvoercoëfficiënten (74) werd de tabel zeer eenvoudig gehouden (54 klassen). Dit introduceert ook een kleinere accuraatheid.

Voor het bepalen van de potentiële afvoercoëfficiënt per klasse werden twee methoden toegepast. In eerste instantie werd manueel op zoek gegaan naar de beste waarden. Via visuele controle en de gekende fysische verhoudingen (grotere afvoer bij grotere helling, grotere afvoer bij 'harder' landgebruik, enz.) werd gezocht naar een 'optimale' set. In tweede instantie werd een Monte Carlo analyse uitgevoerd: Er werden 100 000 toevallige varianten van de tabel met afvoercoëfficiënten

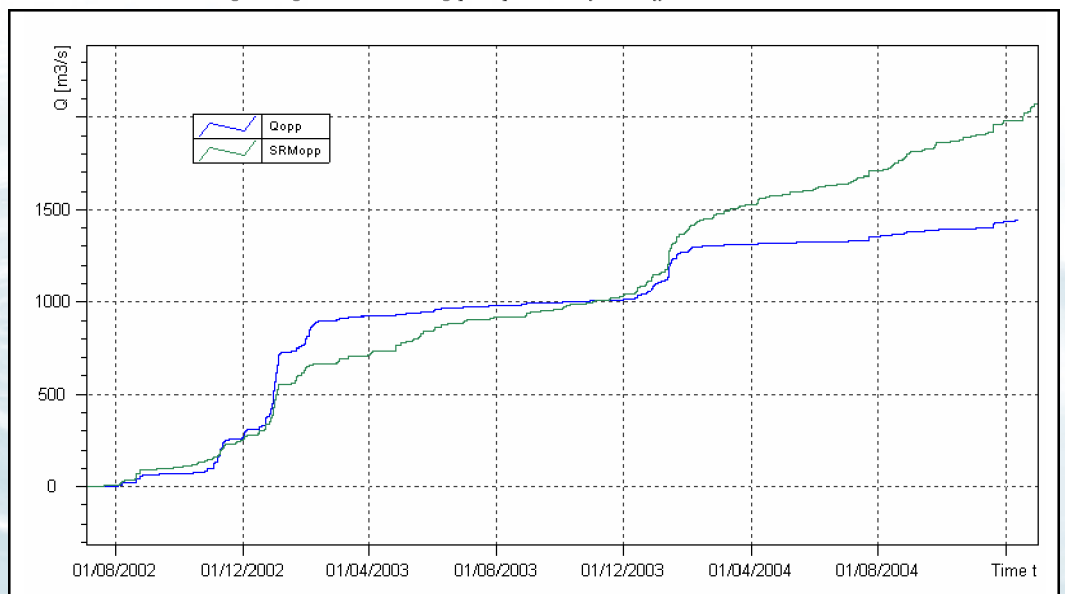
(Tabel 2) gegenereerd. Voor elke combinatie werd de gelijkenis met de waargenomen maximale afvoercoëfficiënt berekend op twee manieren: een eerste maal met de correlatie (een hoge correlatie hoeft niet te wijzen op een goede 1-1-relatie), en een tweede maal met de RMSE. Geen van de zo bekomen 200.000 tabellen presteerde beter dan de manueel bekomen tabel voor één van beide criteria. We kunnen ervan uitgaan dat de manuele tabel, binnen de foutenmarge, de beste combinatie benadert.

Figuur 4 toont de verbetering voor de 74 bemeten stroomgebieden met in de X-as de berekende potentiële afvoercoëfficiënten, en in de Y-as de waargenomen maximale afvoercoëfficiënten. Ter vergelijking worden zowel de potentiële afvoercoëfficiënten berekend met de waarden uit de originele tabel (rode driehoekjes) als de potentiële afvoercoëfficiënten berekend aan de hand van de nieuwe tabel (zwarte ruitjes) getoond. Figuur 5

Figuur 5: Potentiële afvoercoëfficiënten op basis van de aangepaste tabel (lichtblauw tot wit) en gemeten maximale afvoercoëfficiënten in 74 bemeten stroomgebieden (grootte van de cirkel is evenredig met grootte van de afvoercoëfficiënt)



Figuur 6: Vergelijking tussen gemeten gecumuleerde oppervlakkige afvoer en gecumuleerde SRM-afvoer voor het deelstroomgebied Donderdijk. Voor het SRM-model werd gebruik gemaakt van de aangepaste potentiële afvoercoëfficiënt



tenslotte, toont de afgeleide kaart van potentiële afvoercoëfficiënten in Vlaanderen.

4. Conclusie

Ondanks verschillende succesvolle toepassingen van het WetSpa-model lijkt het aangewezen de tabel met potentiële afvoercoëfficiënten aan te passen en uit te breiden met geologische kenmerken. De overeenkomst tussen de potentiële afvoercoëfficiënten bekomen met het huidig beschikbaar kaartmateriaal en de maximale waargenomen afvoercoëfficiënten in 74 bemeten stroomgebieden in Vlaanderen stijgt significant wanneer de geologische ondergrond mee beschouwd wordt.

De simulatie met SRM voor de kleine deelstroomgebieden van de Maarkebeek illustreert dit (Figuur 6).

Referenties:

De Smedt, F., Batelaan, O., Liu, Y.B., Gebremeskel, S., 2006. Geïntegreerde modellering van hydrologische processen op rivierbekkenschaal; tijdschrift Water 25, september-oktober 2006.

De Smedt F., 1999. Hydrologische modellering van de Barebeek, studie in opdracht van AMINAL Afdeling Water.

Cabus, P., Cauwenberghs, K., 2006. Hydrologisch modelleren van afvoeren in Vlaanderen: toepassing voor het operationeel voorspellen van afvoeren in Vlaanderen: de OBM-Centrale; tijdschrift Water 25, september-oktober 2006.

Chow, V.T., 1964. Handbook of applied hydrology, McGraw-Hill.

P. Cabus
VMM -Afdeling water
Sluizenweg 2, 9050 Gentbrugge
pieter.cabus@lin.vlaanderen.be

I. Dejongh
VMM- Afdeling Water
Elf-julistraat 43, 9000 Gent
inge.dejongh@lin.vlaanderen.be

K. Cauwenberghs
VMM-Afdeling water
Koning Albert II laan 20, bus 16, 1000 Brussel
kris.cauwenberghs@lin.vlaanderen.be