

Abonnement annuel : 1978			Jaarabonnement : 1978		
Belgique		F 1300	België		F 1300
		(taxe non compris)			(taks niet inbegrepen)
Etranger		F 1450	Buitenland		F 1450
		(port compris)			(port inbegrepen)
Prix du numéro :			Prijs per nummer :		
Belgique		F 220	België		F 220
Etranger		F 250	Buitenland		F 250
		(port et taxes en sus).			(plus taks en verzendingskosten).
Tables décennales des matières :			Tienjaarlijkse inhoudstafels :		
1891-1905, 1906-1919, 1920-1929, 1930-1939, 1940-1949, 1950-1959, 1960-1969.			1891-1905, 1906-1919, 1920-1929, 1930-1939, 1940-1949, 1950-1959, 1960-1969.		

NEERSLAG-AFVOERRELATIES VOOR SCHELDE EN BIJRIVIEREN

door

I. COEN

Hoofdingenieur-Directeur van Bruggen en Wegen.

LIJST DER GEBRUIKTE SYMBOLEN

a, b, c, d	constanten bij de afvoer-neerslag-temperatuurrelatie.
A, B	tijdfuncties (van maand tot maand verschillende waarden).
f ₁ , f ₂ , f ₃	constanten (gewichtsfactoren).
H	jaargemiddelde of meerjaarlijkse afvoerhoogte (mm).
h, h _i	maandgemiddelde afvoerhoogte (functie van N' en n') (mm).
h', h' _i	afvoerhoogte maand per maand (functie van N'), gemiddelde over meerdere jaren (mm).
K ₁ , K ₂	constanten.
k ₁ , k ₂	tijdfuncties (van maand tot maand verschillende waarden, k ₁ = AK ₁ en k ₂ = BK ₂).
L	symbool formule van Turc.
N	jaarlijkse of meerjaarlijkse neerslag (mm).
N _i , N _{i-1} , N _{i-2}	jaarlijkse neerslag van opeenvolgende jaren (mm).
N' _i	jaarlijkse representatieve neerslag in mm (functie van N _i , N _{i-1} , N _{i-2}).

$\vec{N}_i$	voortschrijdende jaarlijkse neerslag (mm) (index: wijst op overeenstemmende maand).
$\vec{N}'_i$	voortschrijdende jaarlijkse representatieve neerslag.
n	maandgemiddelde neerslag (mm).
n _i , n _{i-1} , n _{i-2}	maandgemiddelde neerslag van opeenvolgende maanden (mm).
n' _i	maandelijks representatieve neerslag. (functie van N _i , N _{i-1} en N _{i-2}).
$\vec{n}'_i$	voortschrijdende maandelijks representatieve neerslag (mm).
q	specifieke afvoer (l/s/km ²).
Q	maandgemiddeld of jaargemiddeld debiet (m ³ /s).
T	gemiddelde temperatuur (°C).
(t°), (t°) _i	maandgemiddelde temperatuur (°C).
(t°)'	maandgemiddelde representatieve temperatuur (functie van (t°) _i en (t°) _{i-1}) in (°C).
$\vec{\alpha}_i, (\alpha_i)$	maandgemiddelde afvoercoëfficiënt
$\frac{h_i}{n'_i}, \left(\frac{h_i}{\vec{n}'_i}\right)$	

$\beta_i, (\beta_i)$	jaargemiddelde afvoercoëfficiënt
$\frac{H_i}{N_i}, \left(\frac{H_i}{N_i} \right)$	
λ	coëfficiënt in formule van Coutagne.
π	constante 3,14.
τ	tijd (maand als eenheid).
Ω	hydrografisch oppervlak (km ²).
Σ	som.

INLEIDING

De bepaling van de bovenafvoer van een tijrivier als de Schelde, in relatie tot de neerslag over het hydrografisch bekken staat sedert verschillende decennia in de belangstelling.

De bovenafvoer is immers niet alleen een belangrijke faktor bij de bestudering van het regime van het semi-maritiem gedeelte van een tijrivier, maar ook van hydraulische verschijnselen zoals de beweging van vaste stoffen, mengverschijnselen, waterkwaliteit en andere.

Reeds vóór de eeuwwisseling hield ir. Van Brabant zich met de afvoer-neerslagrelatie voor het Scheldebekken bezig in verband met de door hem voorgestelde kubatuurberekeningen.

Door toedoen van ir. Codde werd omstreeks 1947 een aanvang gemaakt met de continue afvoermetingen van de voornaamste bijrivieren van de Schelde, welke uitmonden in het tijgebied ervan.

Sedert 1949 beschikt men dan ook over systematische metingen van de afvoer van de Schelde en haar bijrivieren, terwijl neerslaggegevens die representatief zijn voor het stroomgebied eveneens voorhanden zijn.

Hierdoor wordt het thans in principe mogelijk om neerslag-afvoerrelaties voor het Scheldebekken op te maken.

Afhankelijk van de fysische kenmerken van het stroomgebied van een rivier, treden tussen de neerslag en de afvoer veranderlijke vertragingen op. Bij de interpretatie van de meetgegevens moet hiermede rekening gehouden worden. De neerslagwaarden vertonen periodieke variaties met een periode van 2 à 4 jaar en ook maandelijks wisselvalligheden, terwijl de afvoer sterk seizoengebonden is door de wisselende bergings- en afvoermogelijkheden van het stroomgebied, afhankelijk van de evapotranspiratie van het bekken.

Wegens de vertragingen tussen neerslag en afvoer bestaat er tussen beide geen eenduidig verband op een bepaald ogenblik.

Voor de voornaamste rivieren van het Scheldebekken zijn voldoende meetgegevens beschikbaar om de invloed van deze periodieke variaties te bepalen, en afvoer-neerslagrelaties op te maken zonder een uitgebreide systeemanalyse van het stroomgebied en de hydrologische kenmerken ervan uit te werken. Bij meer ingewikkelde analyses kan trouwens evenmin rekening gehouden worden met al de complexe en vooral onbekende invloedsfactoren die de neerslag-afvoerverhoudingen beheersen.

Bij de rivieren in onze gewesten spelen in dit verband de regimewijzigingen door menselijk ingrijpen op de natuurlijke afvoer een grote rol.

Ook moet steeds rekening gehouden worden met de betreffende nauwkeurigheid van de waarnemingen en de wijze waarop die bekomen zijn, daar uiteindelijk de afvoer slechts een vrij geringe fraktie van de neerslag uitmaakt.

De hier voorgestelde afvoer-neerslagrelaties hebben betrekking op tienjaarlijkse, jaarlijkse en maandelijks gemiddelden. In de maandelijks neerslag-afvoerrelatie werd ook de maandgemiddelde temperatuur verwerkt.

Mogelijke wijzigingen van het afvoer-neerslagregime, voor jaargemiddelden worden onderzocht voor de periode 1949-1975. Enige aandacht wordt gewijd aan de mogelijke afvoer van de Schelde vóór 1949.

De onderhavige tekst dient als een synthese opgevat van een poging om tot een globaal inzicht te komen over de neerslag-afvoerverhoudingen voor het Scheldebekken. Voor meer gedetailleerde informatie over zekere aspecten van de studie wordt ondermeer verwezen naar het werkdocument in de literatuurlijst vermeld onder [18].

Het is duidelijk dat hier slechts een stap gezet werd om het afvoer-neerslagregime van het Scheldebekken beter te leren kennen. Verdere studie en metingen zijn noodzakelijk om de neerslag-afvoerrelaties te verbeteren.

I. Vertraging tussen neerslag en afvoer — Representatieve neerslag

Voor de beschrijving van het hydrografisch bekken van de Schelde en bijrivieren wordt verwezen naar andere publicaties (zie bijvoorbeeld [8]). Een kaartje van het Scheldebekken met de voornaamste hydrografische gegevens vindt men op de figuur 1.

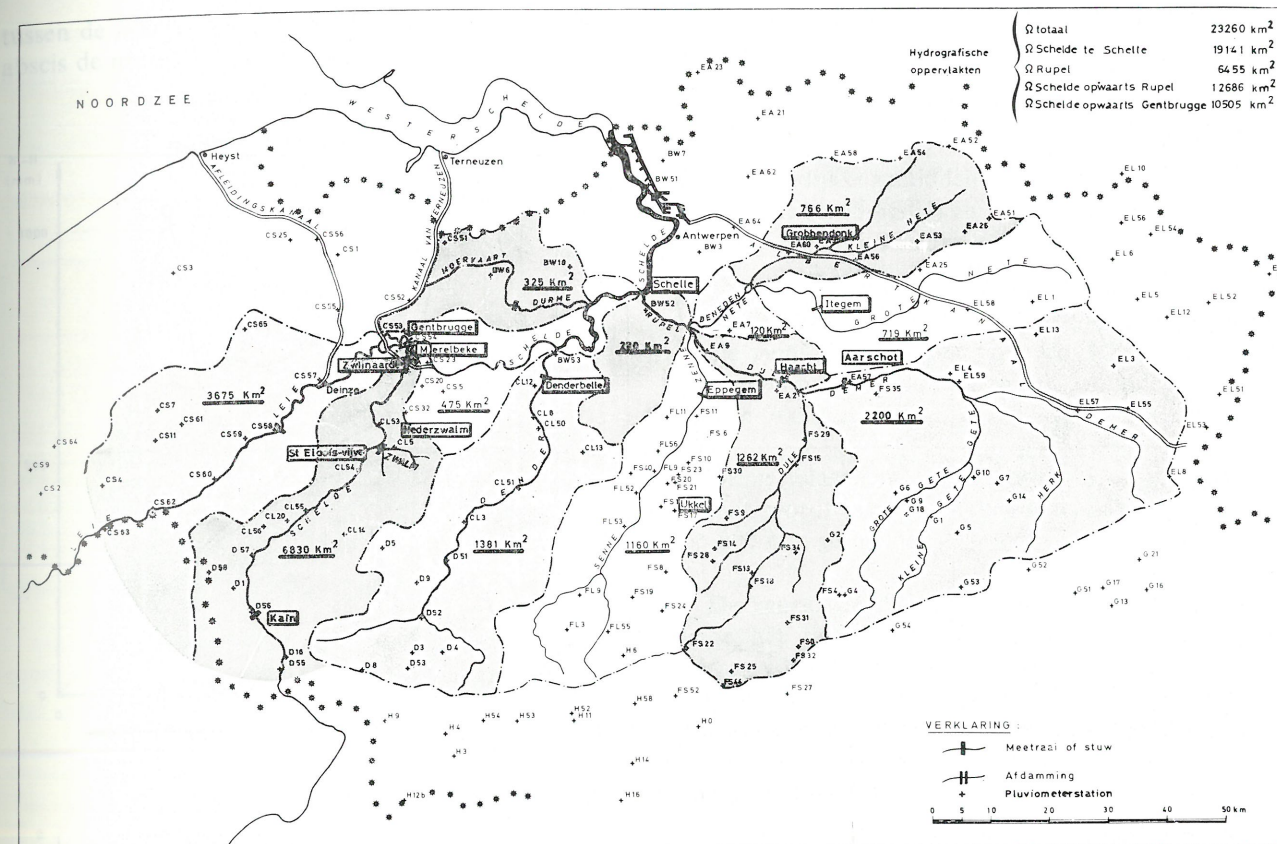


Fig. 1. — Hydrografische bekken van Schelde en bijrivieren.

Het is bekend dat in onze streken de neerslaghoeveelheden periodiek variëren, waarbij zowel de amplituden als de perioden een min of meer onregelmatig karakter vertonen, maar waarbij men grosso modo toch een periode van 2 à 4 jaar kan onderscheiden. (fig. 2)

Deze neerslagvariaties hebben variaties van de bergingscapaciteit van het bekken tot gevolg, die op hun beurt, met vertraging, de afvoer van volgende jaren beïnvloeden.

Bij vergelijking van het neerslagverloop te Ukkel en het afvoerloop van de Schelde voor jaargemiddelden in functie van de tijd, merkt men dan ook op dat de jaarlijkse afvoer niet alleen afhangt van de neerslag van het overeenstemmend jaar, maar ook van de voorbije jaren. Men stelt overigens vast dat tussen de maxima en minima van het afvoer- en neerslagverloop een zekere tijdsverschuiving optreedt. (fig. 2). In de gegeven omstandigheden is het dus niet mogelijk een eenduidig afvoer-neerslagverband op te maken voor jaargemiddelden. Hetzelfde geldt a fortiori voor gemiddelden over kortere perioden, bijvoorbeeld maandgemiddelden, te meer daar voor deze korte

perioden de afvoer ook afhangt van het wisselvallig karakter van de maandelijks neerslaghoeveelheden.

Voor meerjaarlijkse gemiddelden doet de invloed van deze periodieke variaties zich hoe langer hoe minder gevoelen, zodat naarmate men langere perioden beschouwt, een eenduidige afvoer-neerslagrelatie meer en meer benaderd wordt.

Hieronder wordt vooreerst voor de rivieren van het Scheldebekken het meerjaarlijks gemiddeld verband met de overeenstemmende neerslag te Ukkel bepaald, waarna getracht wordt de periodieke schommelingen van de neerslag-afvoerverhoudingen rond deze gemiddelde correlatie te elimineren door de jaarlijkse neerslagwaarden van opeenvolgende jaren eenvoudig te vervangen door wat we de representatieve jaarlijkse neerslag zullen noemen (N'_i). Deze representatieve neerslag wordt uitgedrukt als een som van de neerslagwaarden van drie opeenvolgende jaren, respectievelijk vermenigvuldigd met gewichtscoëfficiënten die empirisch bepaald worden (vgl. met de Antecedent Precipitation Index — zie [14-6]). De representatieve jaarlijkse neerslag (N'_i) kan dan de jaarlijkse neerslag (N_i) in de gemiddelde afvoer-neerslagrelatie vervangen

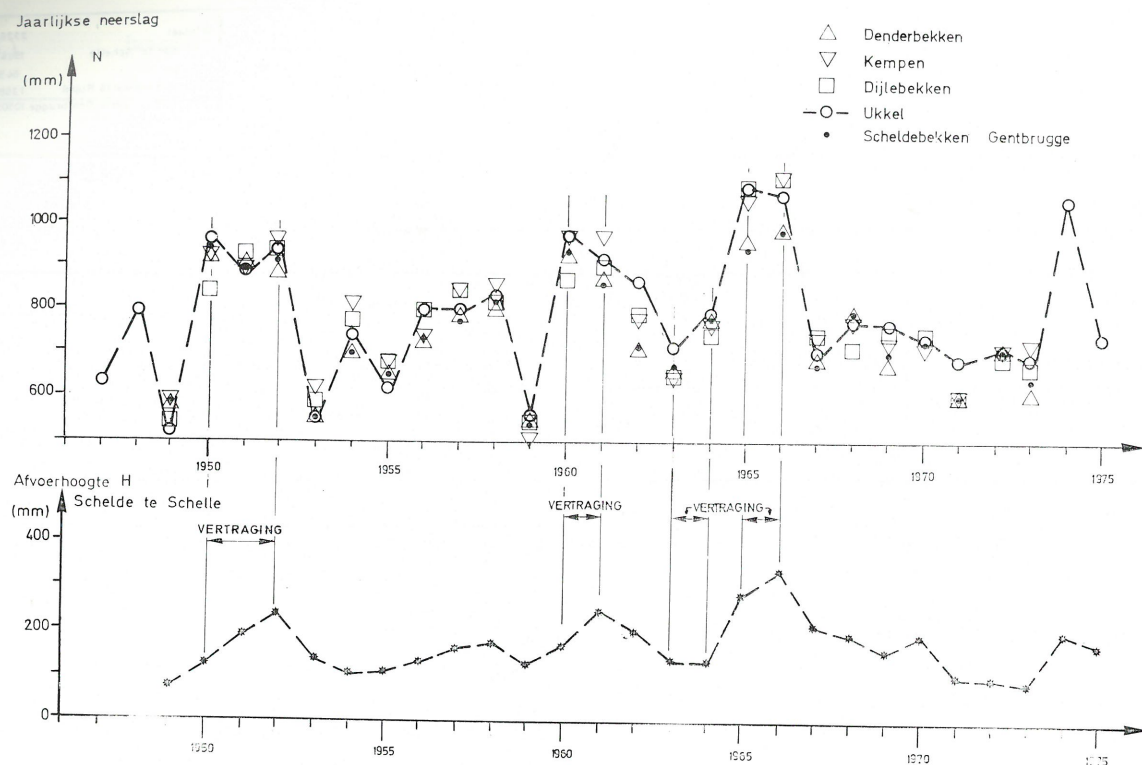


Fig. 2. — Jaargemiddeld neerslag- en afvoerloop.

en drukt de met de tijd afnemende invloed uit van de voorbije neerslag.

Als we de neerslagwaarde van een bepaald jaar N_i noemen en deze van de twee vorige jaren N_{i-1} en N_{i-2} dan wordt de representatieve neerslag N'_i gedefinieerd door de volgende betrekking:

$$N'_i = f_1 N_i + f_2 N_{i-1} + f_3 N_{i-2} \quad (1)$$

met f_1, f_2, f_3 constanten ($f_1 + f_2 + f_3 = 1$ om voor N'_i dezelfde grootte-orde te behouden als voor N_i).

De keuze van de 3 opeenvolgende jaren is ingegeven door het feit dat de periodieke variaties van de neerslag 2 à 4 jaar bedragen.

Door middel van een analoge betrekking zal bij het bepalen van de maandelijkse afvoer-neerslagrelatie rekening gehouden worden met de maandelijkse wisselvalligheden die van aard zijn om de afvoer gedurende een drietal opeenvolgende maanden te beïnvloeden, zoals zal aangetoond worden.

De representatieve neerslag kan als een maat opgevat worden van de werkelijke bergingsmogelijkheden van het hydrografisch bekken.

Naast de variaties in de tijd moet men ook rekening houden met de ruimtelijke spreiding van de neerslag.

Deze faktor, hoewel zeker aantoonbaar, speelt een eerder secundaire rol zolang men gemiddelden neemt over de relatief lange perioden die hier beschouwd worden en die niet kleiner zijn dan een maand.

In de maandelijkse afvoer-neerslagrelatie kan ook de maandgemiddelde temperatuur tot uitdrukking gebracht worden, waarbij, wegens de vertraging van het effect op de afvoer van de maandelijkse temperatuurwijzigingen, een representatieve temperatuur in acht genomen wordt. Daar de vertraging waarvan sprake gemiddeld veertien dagen bedraagt wordt de gemiddelde temperatuur van twee opeenvolgende maanden als representatieve temperatuur weerhouden.

II. Neerslag-afvoerrelaties voor meerjaarlijkse gemiddelden

Voor de bepaling van het meerjaarlijks gemiddeld verband tussen de afvoer van de Schelde en de neerslag te Ukkel wordt uitgegaan van de continue afvoermeetgegevens waarover men thans sedert 1949 beschikt. [1 tot 4]. Voor de neerslagwaarden zijn rechtstreekse waarnemingen beschikbaar vanaf 1833 te Brussel en vanaf 1890 te Ukkel.

De afvoer- en neerslaggemiddelden worden op een diagram voorgesteld met als ordinaat het verschil

tussen de neerslag (N) en de afvoerhoogte (H) en als abscis de neerslag (N) (zie fig. 3).

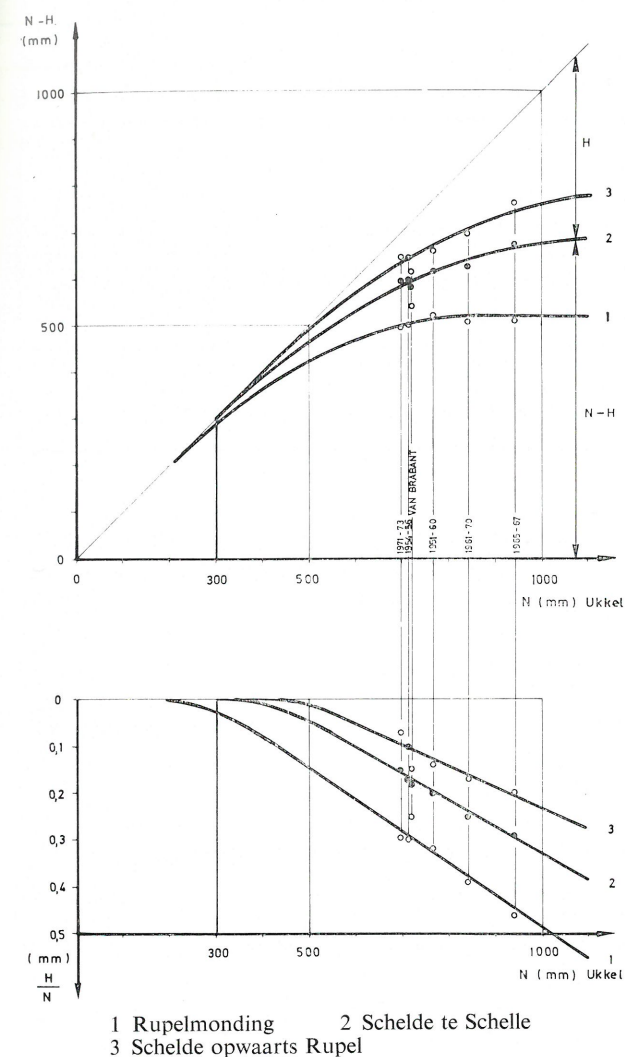


Fig. 3. — Gemiddelde neerslag-afvoerrelaties.

Onder afvoerhoogte (1) verstaat men de hoogte van de cylinder waarvan het volume gelijk is aan het afgevoerde volume water dat aan een bepaald station van een rivier voorbijvloeit, gedurende de beschouwde periode en waarvan de basis gelijk is aan de oppervlakte van het hydrografisch bekken van de rivier opwaarts van het beschouwde station [9].

(1) De jaarlijkse afvoerhoogte H (mm) = $31,5 q$ ($q = \frac{Q}{\Omega}$ specifieke afvoer in $1/\text{sec}/\text{km}^2$) (zie bijvoorbeeld [9] (Q = afvoer in $1/\text{sec}$, Ω = oppervlakte hydrografisch bekken in km^2). De maandelijkse afvoerhoogte h (in mm) = 2,419 of 2,592 of 2,678 $\frac{Q}{\Omega}$ naargelang maand van 28, 30 of 31 dagen.

De gegevens werden als volgt verwerkt en aangewend:

1. Tienjaarlijkse gemiddelden van de afvoer te Schelle en de neerslag te Ukkel voor 1951-60 en 1961-70.
2. Driejaarlijkse gemiddelden voor een uitermate natte periode (1965-66-67) en twee droge perioden (1954-55-56 en 1971-72-73).
3. Een gegeven uit het verleden (1897-1898) door ir. Van Brabant vermeld [8] dat betrekking heeft op de gemiddelde afvoer voor de Schelde te Schelle van $80 \text{ m}^3/\text{s}$ of 132 mm en een gemiddelde neerslag van 706 mm te Brussel, of 718 mm te Ukkel.

De neerslagwaarde overeenstemmend met een nulafvoer wordt voor de Schelde te Schelle gemiddeld op 300 mm geraamd.

De keuze van de waarnemingen te Ukkel als basis voor het tienjaarlijkse verband tussen neerslag en afvoer voor de Schelde is verantwoord door de overweging dat Ukkel tamelijk centraal gelegen is in het Scheldebekken (fig. 1). Bovendien zijn uitgebreide meetgegevens beschikbaar.

Tevens is voor gemiddelden over lange perioden, de verhouding tussen neerslag te Ukkel en deze voor de bekkens der afzonderlijke bijrivieren praktisch gesproken constant. Voor gemiddelden op korte termijn kan rekening gehouden worden met de reële neerslag op de afzonderlijke deelbekkens.

De afvoer-neerslagrelatie voor de tienjaarlijkse gemiddelden voor de Schelde kan dus in principe weinig of niet beïnvloed worden door de keuze van de waarnemingspost Ukkel.

Bij aanname van het op figuur 3 voorgestelde verband, blijkt, binnen het bereik van neerslagwaarden gelegen tussen $N = 500 \text{ mm}$ en $N = 1100 \text{ mm}$ ongeveer dat $N - H/N$ een lineaire functie is van N . De afvoerhoogte H blijkt dus tussen deze grenzen een kwadratische functie van de neerslag te zijn voor gemiddelden over lange perioden en de afvoercoëfficiënt $\left(\frac{H}{N}\right)$ een lineaire functie van de neerslag.

De betrekking tussen H en N luidt:

$$\frac{H}{N} = 0.000566 N - 0,242 \quad (2)$$

of

$$H = 0.000566 N^2 - 0,242 N \quad (500 \leq N \leq 1100 \text{ mm}) \quad (3)$$

Deze vergelijking laat toe uitgaande van de tienjaarlijkse gemiddelde neerslag te Ukkel de overeenstemmende afvoer van de Schelde te Schelle te bepalen.

Op analoge wijze als voor de Schelde te Schelle werd voor de Schelde opwaarts de Rupelmonding, de Rupel aan de monding, de Dijle, de Zenne, de Dender, de Kleine- en de Grote Nete (telkens aan de monding) en de Schelde aan de stuwen te Gentbrugge (en Merelbeke) het verband tussen de tienjaarlijkse neerslag te Ukkel en de overeenkomstige afvoer bepaald. (fig. 3, 4 en 5). Binnen de neerslaggrenzen $500 \leq N \leq 1100$ mm voldoet het gemiddeld neerslag-afvoerband van deze rivieren aan gelijkaardige betrekkingen zoals voor de Schelde te Schelle.

Algemeen kunnen we schrijven dat volgende afvoer-neerslagrelatie geldig is:

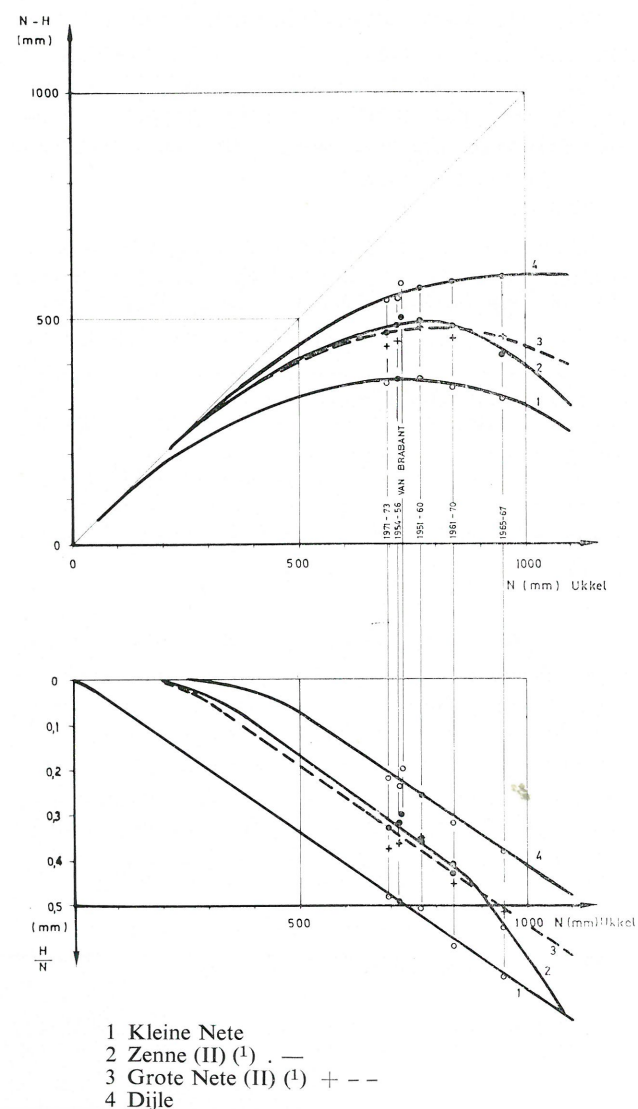


Fig. 4. — Gemiddelde neerslag-afvoerrelaties.

(1) Zie voetnota blz. 212

$$H = K_1 N^2 + K_2 N \quad (4)$$

waarin K_1 en K_2 constanten zijn waarvan de waarden voor de verschillende rivieren in tabel I zijn vermeld.

TABEL I. Gemiddelde afvoer-neerslagrelatie. Waarden van de coëfficiënten K_1 en K_2 .

	K_1	K_2
1. Schelde te Schelle — Ukkel	0.000566	— 0,242
2. Rupel — Ukkel	0.000670	— 0,185
3. Schelde opwaarts Rupel — Ukkel	0.000450	— 0,220
4. Dijle — Ukkel	0.000670	— 0,260
5. Zenne — Ukkel	0.000470	— 0,201
6. Grote Nete — Ukkel	0.000700	— 0,170
7. Kleine Nete — Ukkel	0.000700	— 0,020
8. Dender — Ukkel	0.000610	— 0,205
9. Schelde te Gent — Ukkel	0.000330	— 0,130

Hieronder volgen de gemeten en volgens (3) berekende afvoerwaarden van de Schelde te Schelle voor

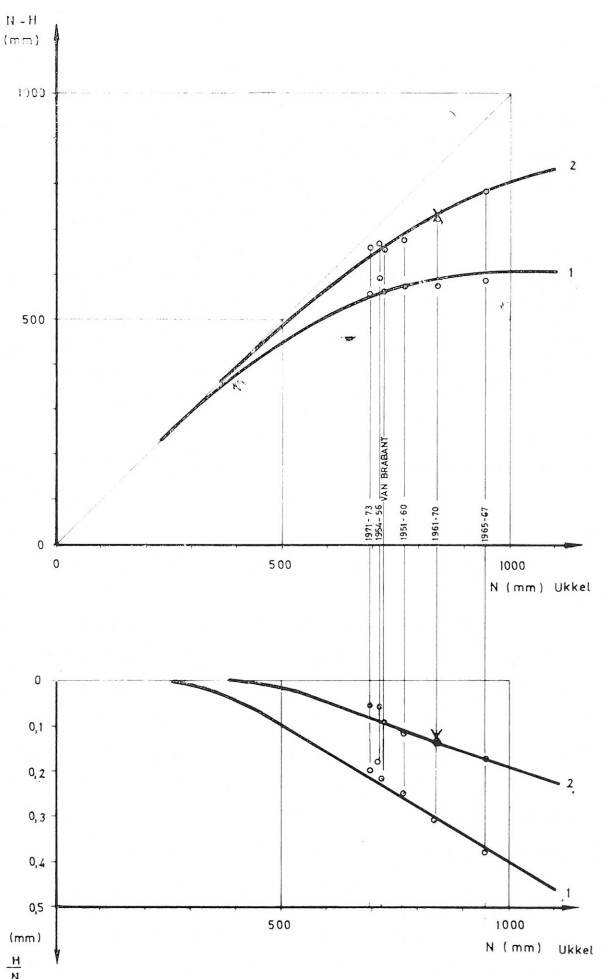


Fig. 5. — Gemiddelde neerslag-afvoerrelaties.

de perioden 1951-60, 1961-70, 1965-67, 1954-56 en 1971-73. Tevens is het algemeen gemiddelde over 1949-76 vermeld.

Periode	Q (waarnemingen) (m³/s)	Q (berekend) (m³/s)
1951-60	94,8	89,5
1961-70	129,3	118,2
1965-67	170,8	166,3
1954-56	72,1	64,1
1971-73	61,2	68,0
1949-76	101,3	96,3

Vergelijkt men de neerslag-afvoerrelaties voor de verschillende rivieren onderling dan valt op dat voor de Schelde te Gentbrugge veel kleinere afvoerhoogten gelden dan voor de Dijle en de Dender bijvoorbeeld.

Deze kleinere afvoerhoogten zijn te wijten aan de verwijdering uit de Leie en de Schelde opwaarts Gent van grote hoeveelheden bovenwater naar het afleidingskanaal van de Leie en de kanalen Gent-Brugge-Oostende en Schipdonk-Heist en het kanaal Gent-Terneuzen. Ook voor de voeding van kanalen in Henegouwen en Noordfrankrijk wordt water aan het Scheldebekken onttrokken.

Voor de Schelde te Gentbrugge werden ook waarnemingen verwerkt, daterend van de periode 1921-1930 [5]. Deze oudere metingen geven een karakteristiek punt dat op het voorgestelde N-H/N verband gelegen is, wat er zou kunnen op wijzen dat er over lange perioden, ondanks de toenemende urbanisatie, in de globale gemiddelde afvoer-neerslagverhoudingen geen bijzondere veranderingen waargenomen worden, wat verhoogde afvoercoëfficiënten over kortere perioden en bepaalde deelbekkens eventueel niet uitsluit.

De afvoer-neerslagverlopen voor Dijle en Dender zijn vergelijkbaar met elkaar en vertonen een zekere afvlakking boven de neerslagwaarden $N = 800$ mm wat meer overeenstemt met een natuurlijk afvoer-neerslagverloop in onze streken.

Voor de Zenne, de Kleine- en de Grote Nete blijkt het afvoer-neerslagverloop een maximum te vertonen. Voor een kleinere rivier speelt de ruimtelijke verdeling van de neerslag een grotere rol dan voor de Schelde globaal genomen en het maximum in het verloop kan hiermede verband houden.

Ook moet rekening gehouden worden voor de Zenne en de Grote Nete met meetonauwkeurigheden tijdens de periode 1959-1967 en 1959-1964 respectievelijk (Zie ook [18] en onder hoofdstuk III).

De afvoer van de Zenne en de Grote- en de Kleine Nete wordt trouwens artificieel gewijzigd door aanvoer van water afkomstig uit het Maasbekken.

In de Zenne wordt inderdaad het waterverbruik van de Brusselse agglomeratie geloosd dat gemiddeld op ongeveer $3 \text{ m}^3/\text{s}$ kan geraamd worden.

De Kleine- en de Grote Nete voeren bijkomend debiet af dat via de Kempische kanalen en het Albertkanaal voor irrigatiedoeleinden of door kwelverschijnselen in deze rivieren terechtkomt.

Voor de Rupel wordt ondanks deze bijkomende afvoer, wegens het overwicht van de Dijle, een afvoer-neerslagrelatie gevonden die de natuurlijke relatie meer benadert.

Voor de Schelde opwaarts Rupelmonde is daarentegen de verwijdering van afvoer uit het Scheldebekken opwaarts Gent nog duidelijk merkbaar.

III. Verband tussen de gemiddelde afvoer van de rivieren van het Scheldebekken onderling. Bilan van de afvoer

De gemiddelde neerslag over het Scheldebekken is in eerste benadering homogeen verdeeld, als men een lange meerjaarlijkse periode beschouwt. Hoewel er tussen de neerslaghoeveelheden over Vlaanderen, Brabant en Kempen bijvoorbeeld wel verschillen optreden is de invloed hiervan op de gemiddelde afvoer eerder gering (maximaal ongeveer 5%). Ook zijn de hydrologische omstandigheden zoals relief en aard van de bodem, globaal genomen, niet beduidend verschillend voor de rivieren van het Scheldebekken onderling.

Wel wordt de afvoer van enkele rivieren, zoals hoger vermeld, artificieel en grondig gewijzigd door aan- of afvoer van water uit of naar andere bekkens.

Men is echter geneigd voor de rivieren waarvan de afvoer weinig verstoord wordt, een onderling verband te vermoeden tussen de (meerjaarlijkse) gemiddelde afvoer en de voornaamste hydrologische parameter van het afvoerbekken, namelijk het hydrografische oppervlak. Een onderzoek in deze richting leidde tot het opmaken van de figuur 6 waarop voor de rivieren van het Scheldebekken, waarvoor gedurende langere tijd afvoergegevens beschikbaar zijn, de afvoer in functie van het hydrografisch oppervlak is weergegeven.

Om de gegevens homogeen te maken werden voor de Leie te St.-Eloois-Vijve, de Zwalm te Nederzwalm

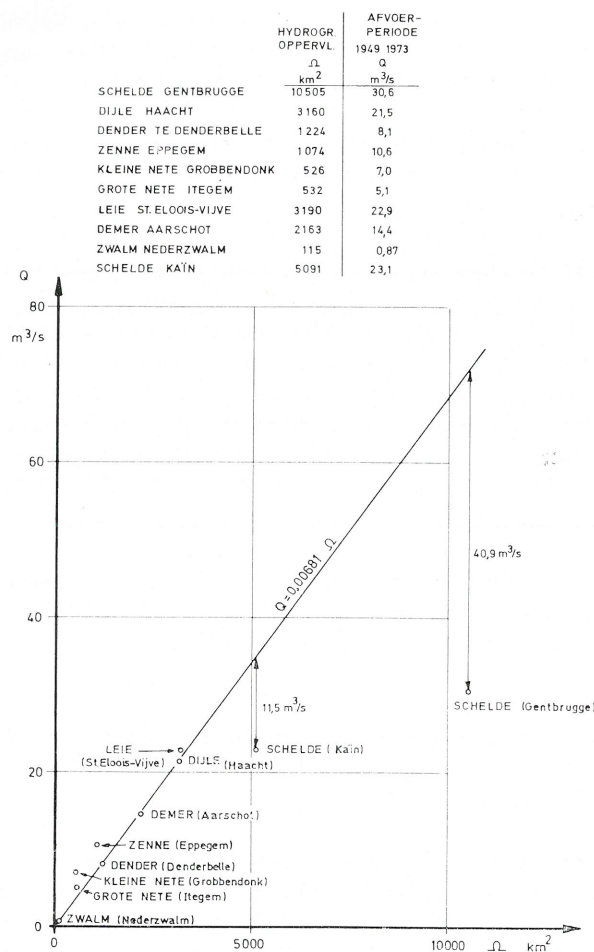


Fig. 6. — Afvoer in functie van hydrografisch oppervlak (1949-1973).

en de Demer te Aarschot de waarnemingen (die zich voor Leie en Zwalm over de periode 1967-1974 en voor de Demer over de periode 1970-1974 uitstrekken) omgerekend naar de periode 1949-1973 door met de neerslag rekening te houden.

We merken op dat voor de Dijle te Haacht, de Demer te Aarschot, de Leie te St.-Eloois-Vijve, de Zwalm te Nederzwalm en de Dender te Denderbelle, de afvoer en het hydrografisch oppervlak aan volgend lineair verband beantwoorden:

$$Q = 0,00681 \Omega \quad (Q \text{ in m}^3/\text{s en } \Omega \text{ in km}^2) \quad (5)$$

Houdt men rekening met het feit dat het waterverbruik te Brussel op ongeveer 3 m³/s mag geraamd worden, verbruik dat in de Zenne opwaarts de meetraai te Epepegem geloosd wordt, dan voldoet de Zenne te Epepegem eveneens praktisch aan dit verband.

Het is dan ook niet onlogisch aan te nemen dat het natuurlijke aandeel van de afvoer van de rivieren

waarvan het afvoerregime artificieel gewijzigd wordt, ook aan dit verband voldoet.

In deze veronderstelling kan men de natuurlijke afvoer van deze rivieren bepalen en een schatting van de aanvoer uit- of afvoer naar andere bekkens maken, wat tot volgende waarden aanleiding geeft:

	Hydr. oppervl. (km²)	Afvoer		
		waar-gen. (m³/s)	natuurlijke (m³/s)	verschil (m³/s)
Grote Nete (II) ⁽¹⁾ (Itegem)	532	5,1	3,6	+ 1,5
Kleine Nete (Grobendonk)	526	7,0	3,6	+ 3,5
Zenne (II) ⁽¹⁾ (Epepegem)	1074	10,6	7,3	+ 3,3
Schelde (stuwen Gentbrugge en Merelbeke)	10505	30,6	71,5	-40,9

Hieruit zou blijken dat de aanvoer uit het Maasbekken gemiddeld 8,3 m³/s bedraagt, terwijl er uit de Schelde 40,9 m³/s zou verwijderd worden. De Zenne heeft wegens de invloed van de Brusselse agglomeratie mogelijk een iets hogere natuurlijke afvoer dan volgens (5) berekend werd.

Voor de Schelde te Kain, afwaarts de Belgisch-Franse grens vindt men, na de beschikbare metingen voor de periode 1967-1974 te herleiden tot de periode 1949-1973 door rekening te houden met de neerslag, een gemiddeld debiet van 23,1 m³/s. Hieruit kan men opmaken dat er opwaarts Kain ($\Omega = 5091 \text{ km}^2$) reeds vermoedelijk ongeveer $34,6 - 23,1 = 11,5 \text{ m}^3/\text{s}$ uit het Scheldebekken verwijderd werd in de periode 1949-1973.

Door nu de bovenvermelde lineaire afhankelijkheid van afvoer en hydrografisch oppervlak ook aan te nemen afwaarts de meetraaien, voor wat het natuurlijk aandeel van de afvoer betreft, bekomen we uiteindelijk het algemeen bilan dat op de figuur 7 is weergegeven. Volgens de waarnemingen [1 en 2] bedraagt de afvoer te Schelle voor de periode 1949-1973: $Q = 98,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Het gering verschil dat men hier vaststelt ($Q = 96,2 \text{ m}^3/\text{s}$) is te wijten aan het feit dat alleen het natuurlijk aandeel van de afvoer aan de meetraaien weerhouden werd voor de bepaling van

⁽¹⁾ De aanduiding (II) wijst erop dat rekening gehouden werd met zekere aanpassingen, gevolg van vermoedelijke meet- onnauwkeurigheden gedurende de periode 1959-67 voor de Zenne en de periode 1959-64 voor de Grote Nete. (Zie ook [18]).

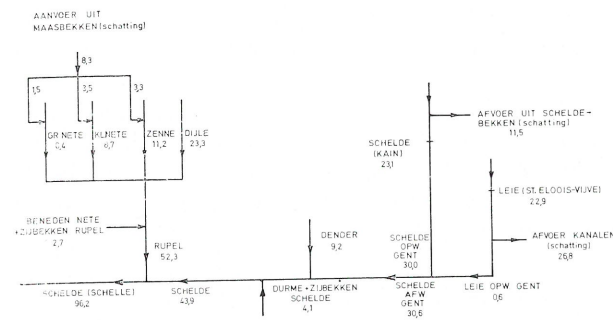


Fig. 7. — Gemiddeld afvoerbilan (m³/s).

de natuurlijke afvoer aan de monding van de rivieren. Het fictief natuurlijk debiet te Schelle zou voor de periode 1949-1973 ongeveer 129 m³/s bedragen.

IV. De natuurlijke gemiddelde neerslag-afvoerrelatie van het Scheldebekken

Indien men aanneemt dat de afvoer-neerslagrelaties van Dender en Dijle de natuurlijke afvoer-neerslagrelatie weergeven, wat door het algemeen gemiddeld verband tussen afvoer en hydrografisch oppervlak niet wordt tegengesproken, dan bekomt men voor de Schelde te Schelle een (fictieve) natuurlijke afvoer-neerslagrelatie die praktisch aan de volgende betrekking beantwoordt (fig. 8):

$$H = 0,0006 N^2 - 0,2 N \quad (6)$$

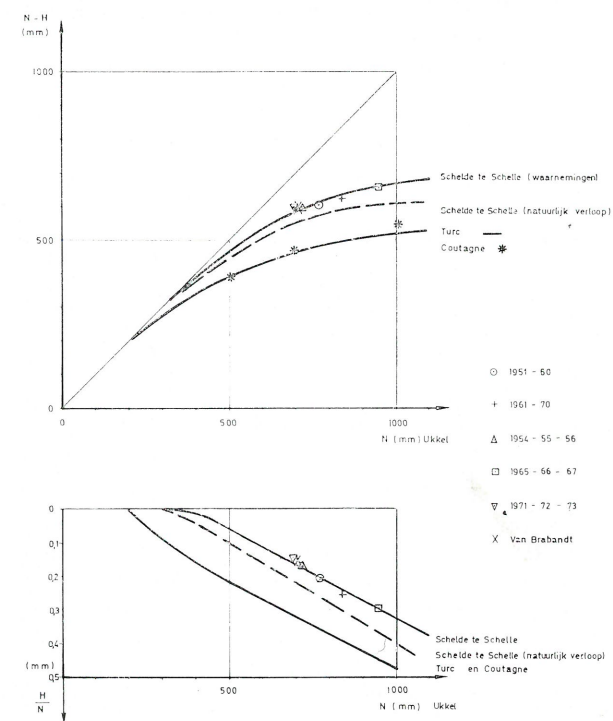


Fig. 8. — Natuurlijke gemiddelde neerslag-afvoerrelatie Schelde te Schelle.

Een vergelijking van deze natuurlijke- of ongestoorde afvoer-neerslagrelatie en in de literatuur vermelde relaties ligt hier voor de hand. De empirische formule van Turc geeft eveneens een verband $N-H/N$ [9]:

$$N - H = \frac{N}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{N}{L}\right)^2}} \quad (\text{Turc}) \quad (7)$$

met $L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$ (T temperatuur in $^{\circ}\text{C}$).

Volgens Coutagne [9] is:

$$N - H = N - \lambda N^2 \quad (N \text{ en } H \text{ in meter}) \quad (8)$$

met $\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 T}$ (T temperatuur in $^{\circ}\text{C}$).

Zoals op de figuur 8 kan vastgesteld worden geven beide formules voor $T = 10^{\circ}\text{C}$ (ongeveer de gemiddelde temperatuur te Ukkel voor de periode 1949-1973) afvoerwaarden die merkelijk groter zijn dan deze die voor de Schelde werden waargenomen. Ze liggen zelfs nog duidelijk hoger dan de (fictieve) natuurlijke waarden, hetgeen niet verwonderlijk is daar deze formules opgesteld zijn voor een groot aantal rivieren en als een algemeen gemiddelde moeten beschouwd worden, waarvan de Schelde kan afwijken. Wegens haar ligging in een laagvlakte is het niet onlogisch dat de gemiddelde afvoer van de Schelde kleiner is dan door deze formules wordt aangegeven. Arl  ry, Garnier en Langlois geven voor Noord-Frankrijk waarden die goed met de waarnemingen voor de Schelde overeenstemmen [9].

V. Neerslag-afvoerrelaties voor jaargemiddelden

In hoofdstuk I werd reeds vermeld dat de jaarlijkse afvoer niet alleen afhangt van de neerslaghoeveelheden van het overeenstemmend jaar, maar ook van de voorbije jaren.

Op de figuur 9 werden ter verduidelijking van dit verschijnsel, de jaarlijkse $N-H/N$ -waarden uitgezet tegenover de overeenkomstige jaarlijkse neerslagwaarden. Men neemt voor de beschouwde perioden, ten gevolge van de vertragingseffecten, duidelijke hysteresissen waar.

Door het invoeren van het begrip representatieve neerslag (zie onder hoofdstuk I) beschikt men over een middel om een (fictieve) jaarlijkse neerslag te bepalen die voldoet aan de meerjaarlijkse neerslag-afvoerrelaties.

De representatieve jaarlijkse neerslag (N'_i) wordt empirisch bepaald uitgaande van de neerslaghoeveel-

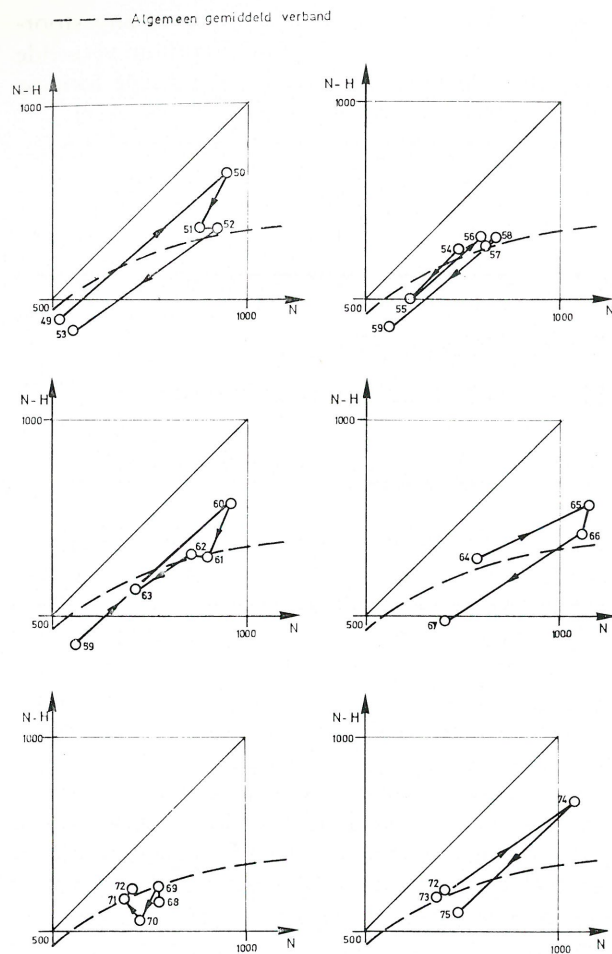


Fig. 9. — Opeenvolging van jaarlijkse afvoer. — Vertragslussen.

heden van drie opeenvolgende jaren en vervangt de jaarlijkse neerslag N_i in de gemiddelde neerslag-afvoerrelatie. De betrekking (4) kan dan voor jaargemiddelden toegepast worden maar in plaats van de neerslag N_i neemt men een gewogen gemiddelde over 3 jaar. Voor het Scheldebekken werd gevonden dat de representatieve neerslag (als een eerste mogelijkheid) kan gedefinieerd worden als volgt:

$$N'_i = \frac{1}{2} N_i + \frac{1}{3} N_{i-1} + \frac{1}{6} N_{i-2}$$

$$= \frac{1}{6} (3 N_i + 2 N_{i-1} + N_{i-2}) \quad (10)$$

waarin N'_i de representatieve jaarlijkse neerslag, N_i de werkelijke jaarlijkse neerslag, N_{i-1} en N_{i-2} de jaarlijkse neerslag van de twee voorgaande jaren voorstelt. De neerslag van drie opeenvolgende jaren krijgt aldus lineair afnemende gewichten.

Voor de jaarlijkse neerslag te Ukkel vanaf 1947 (Tabel III — december) werd met behulp van formule (10) de representatieve neerslag berekend (Tabel V — december). Uitgaande van deze representatieve neerslagwaarden en het gemiddeld verband (betrekking 2) kan men dan de jaarlijkse afvoerhoogten voor de Schelde te Schelle bepalen. De berekende waarden zijn weergegeven op figuur 10. Deze figuur geeft ook het verloop van de waargenomen afvoerhoogten. Zoals men kan vaststellen is de overeenkomst tussen beide behoorlijk, gelet op de lange periode die beschouwd wordt en de verschillende neerslagomstandigheden die zich in deze periode hebben voorgedaan, gaande van

TABEL II. Neerslag in mm Ukkel (maandelijks- n_i)

	JAN	FEB	MAA	APR	MEI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
1946	79.6	149.0	54.5	43.8	71.6	77.3	63.2	94.0	58.2	61.2	48.7	60.2
1947	23.4	18.3	102.6	66.1	34.6	34.6	96.8	18.4	38.0	22.2	81.4	93.7
1948	124.7	41.7	37.7	58.3	52.4	97.6	130.0	57.6	40.0	44.5	44.5	63.2
1949	27.7	20.3	46.8	47.7	53.8	22.0	19.7	56.9	38.2	58.3	55.3	73.8
1950	59.4	103.2	20.3	80.1	92.2	66.4	107.9	78.4	94.3	28.2	123.6	97.5
1951	93.6	35.1	99.1	81.6	66.6	41.6	75.9	132.0	75.6	11.3	96.2	69.8
1952	110.6	71.1	68.0	15.1	43.3	26.3	78.3	99.2	75.7	79.5	119.4	140.0
1953	110.6	68.9	9.5	78.0	35.9	81.4	65.1	81.5	50.6	6.4	18.8	35.6
1954	110.6	44.4	56.5	24.4	40.4	40.6	104.9	117.7	104.8	59.0	47.9	71.8
1955	76.1	82.2	29.8	16.2	87.0	49.3	17.6	40.0	71.8	48.0	31.5	71.8
1956	88.7	24.9	37.5	34.0	29.8	33.2	83.1	102.5	56.0	135.0	69.2	40.1
1957	56.6	140.6	51.6	33.0	41.9	38.4	67.2	137.6	39.0	39.0	31.2	37.0
1958	75.6	110.9	28.1	50.9	53.9	75.4	97.3	77.9	64.2	98.8	35.2	66.2
1959	98.2	5.9	77.2	56.2	10.1	36.3	49.1	59.0	4.7	51.8	40.9	71.2
1960	69.3	41.4	56.3	34.3	39.4	68.0	136.2	91.7	116.0	106.7	120.5	83.0
1961	88.9	78.8	18.4	95.2	38.5	57.2	89.4	41.2	75.1	147.0	103.2	70.4
1962	95.0	67.6	61.4	69.3	82.6	18.8	155.1	78.3	30.6	51.9	49.5	101.2
1963	123.1	20.9	51.1	41.9	55.8	153.7	61.5	37.2	72.5	72.5	74.1	13.9
1964	123.1	20.9	51.1	41.9	55.8	153.7	61.5	37.2	72.5	72.5	74.1	13.9
1965	99.4	20.9	51.1	41.9	55.8	153.7	61.5	37.2	72.5	72.5	74.1	13.9
1966	39.9	83.7	81.5	102.7	145.6	69.3	160.8	77.2	57.4	109.1	109.0	162.3
1967	42.2	67.1	65.7	30.1	68.2	29.4	27.6	60.1	68.6	85.5	67.0	95.3
1968	42.2	67.1	65.7	30.1	68.2	29.4	27.6	60.1	68.6	85.5	67.0	95.3
1969	42.2	67.1	65.7	30.1	68.2	29.4	27.6	60.1	68.6	85.5	67.0	95.3
1970	42.2	67.1	65.7	30.1	68.2	29.4	27.6	60.1	68.6	85.5	67.0	95.3
1971	53.6	37.0	38.7	26.0	133.7	105.1	63.0	63.2	17.9	21.3	117.4	16.0
1972	53.6	37.0	38.7	26.0	133.7	105.1	63.0	63.2	17.9	21.3	117.4	16.0
1973	53.6	37.0	38.7	26.0	133.7	105.1	63.0	63.2	17.9	21.3	117.4	16.0
1974	63.3	67.2	73.4	26.4	54.6	58.1	73.1	78.5	64.6	163.1	106.0	103.6
1975	81.4	18.5	119.7	66.1	19.4	58.1	46.0	63.3	78.5	163.1	106.0	103.6

TABEL III. Voortschrijdende jaarlijkse neerslag Ukkel (N_i)

JAAR	JAN	FEB	MAA	APR	MEI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
1946	805.1	674.4	722.5	744.8	707.8	665.1	698.7	623.1	602.9	563.9	596.6	861.3
1947	731.4	754.8	689.9	682.1	699.9	762.9	796.1	835.3	837.3	859.6	822.7	792.2
1948	655.2	673.8	682.9	672.3	673.7	598.1	487.8	487.1	485.3	499.1	509.9	520.5
1949	552.2	635.1	608.6	641.0	673.4	723.8	812.0	833.5	889.6	859.5	927.8	951.5
1950	552.2	635.1	608.6	641.0	673.4	723.8	812.0	833.5	889.6	859.5	927.8	951.5
1951	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1952	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1953	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1954	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1955	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1956	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1957	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1958	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1959	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1960	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1961	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1962	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1963	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1964	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1965	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1966	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1967	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1968	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1969	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1970	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1971	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1972	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1973	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1974	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4
1975	839.4	931.4	900.3	833.8	972.3	947.5	915.5	969.1	950.4	933.5	906.1	928.4

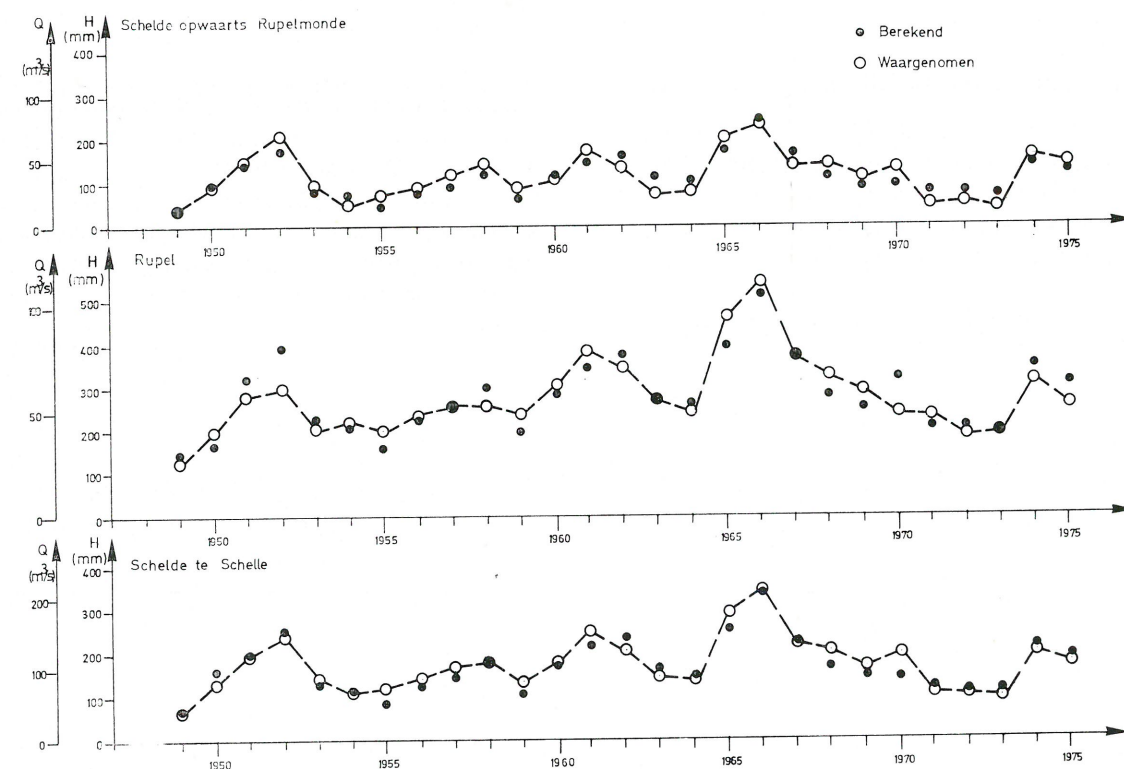


Fig. 10. — Waargenomen en berekende afvoer-(jaargemiddelden.)

extreem droge naar uiterst natte. Er treden geen systematische faseverschuivingen op tussen berekening en meting. Als voornaamste oorzaken van de vastgestelde verschillen vermelden we onder meer het feit dat Ukkel niet volledig representatief is voor het ganse Scheldebekken, de onnauwkeurigheden bij de waarnemingen vooral voor Grote Nete en Zenne, die hun weerslag hebben op de afvoer van de Rupel en zij het

in mindere mate ook op de afvoer van de Schelde te Schelle, het globaal karakter van de aangenomen representatieve neerslag en het in de tijd veranderlijk menselijk ingrijpen op de afvoer.

Op de figuur 10 werden ook de resultaten weergegeven van analoge berekeningen voor de Schelde opwaarts de Rupelmonding en voor de Rupel.

Opmerking:

Sommeert men de berekende jaargemiddelden over langere perioden, dan bekomt men resultaten die minder afwijken van de waarnemingen dan deze die men verkrijgt door rechtstreeks de algemene gemiddelde afvoer-neerslagrelatie toe te passen. Voor het gemiddelde over 1949-1976 bijvoorbeeld bekomt men 100 m³/s (waarneming 101,3 m³/s).

VI. Neerslag-afvoerrelaties voor maandgemiddelden

1. Algemene formulering

Door het begrip representatieve neerslag in te voeren heeft men het eenduidig verband tussen de neerslag en afvoer, opgemaakt voor meerjaarlijkse gemiddelden, ook kunnen aanwenden voor jaargemiddelden, zoals in hoofdstuk V werd aangetoond.

Onder jaargemiddelde neerslag werd tot nog toe verstaan het gemiddelde van januari tot december. Men definieert nu de voortschrijdende jaargemiddelde

neerslag $\vec{N}_i$ als het jaargemiddelde (over 12 maanden) maar beginnend met een willekeurige maand (index i). De representatieve neerslag kan, zoals reeds vermeld werd, opgevat worden als een maat voor de bergingscapaciteit van het Scheldebekken.

Door de voortschrijdende jaargemiddelde neerslag

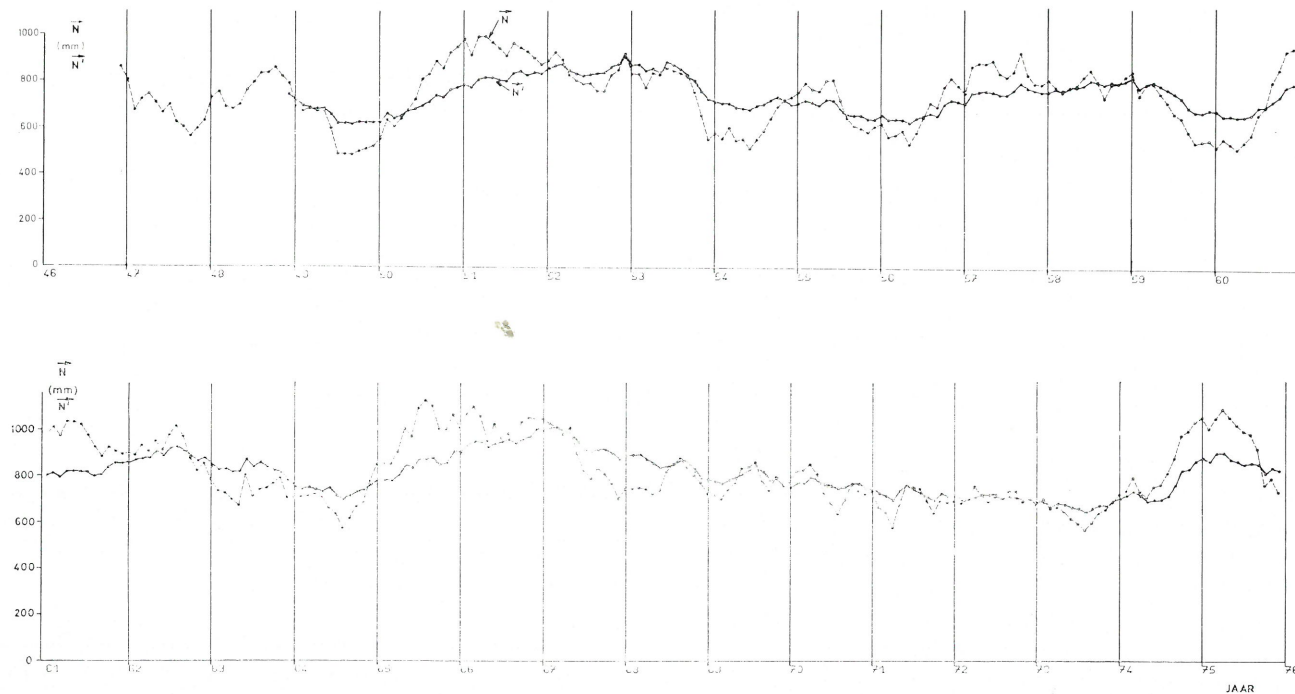


Fig. 11. — Voortschrijdende jaarlijkse neerslag en representatieve neerslag. (Ukkel)

te berekenen, maand per maand en uitgaande hiervan de voortschrijdende representatieve neerslag ($\vec{N}'_i$) te bepalen (formule 10) beschikt men over een middel om de bergingsmogelijkheid van het bekken van maand tot maand te begroten. Het voortschrijdende representatieve jaargemiddelde $\vec{N}'_i$ levert een overeenstemmende H_i waarde (formule 3), waaruit een algemene afvoercoëfficiënt

$$\beta_i = \frac{H_i}{\vec{N}'_i} \text{ volgt.} \quad (11)$$

Uit het beschouwen van het meerjarig gemiddeld verloop van de neerslag-afvoerrelaties, maand per maand, is af te leiden dat de maandelijkse afvoer eveneens periodieke vertragingen vertoont ten opzichte van de maandelijkse neerslag. De afvoer voor een bepaalde maand hangt dus niet alleen af van de neerslag van de beschouwde maand maar ook van deze der vorige maanden.

Door een fictieve maandelijkse neerslag (in het vervolg representatieve maandelijkse neerslag genoemd) in te voeren die beantwoordt aan het gemiddeld verloop van de maandelijkse neerslag-afvoerrelatie kunnen deze periodieke schommelingen zoveel mogelijk weggewerkt worden om eenduidige neerslag-afvoerrelaties te verkrijgen of in ieder geval beter te benaderen.

Als een eerste benadering voor de representatieve maandelijkse neerslag (n'_i) werd een gelijkaardige betrekking als (10) weerhouden, waarbij n'_i uitgedrukt wordt in functie van drie opeenvolgende maanden n_i , n_{i-1} en n_{i-2} :

$$n'_i = \frac{1}{6} (3 n_i + 2 n_{i-1} + n_{i-2}) \quad (12)$$

De voortschrijdende maandelijkse representatieve neerslag (n'_i) gedurende een periode wordt nu bepaald door betrekking (12) toe te passen voor al de opeenvolgende maanden van deze periode.

Op de figuur 12 zijn voor de Schelde te Schelle gemiddelde afvoercoëfficiënten weergegeven voor verschillende perioden. Deze afvoercoëfficiënten werden berekend zowel met de werkelijke neerslaggemiddelden ($\frac{h}{n}$) als met de representatieve neerslaggemiddelden ($\frac{h}{n'}$). Men merkt op dat het verloop van de $\frac{h}{n'}$ waarden beter een algemeen gemiddeld verloop benadert.

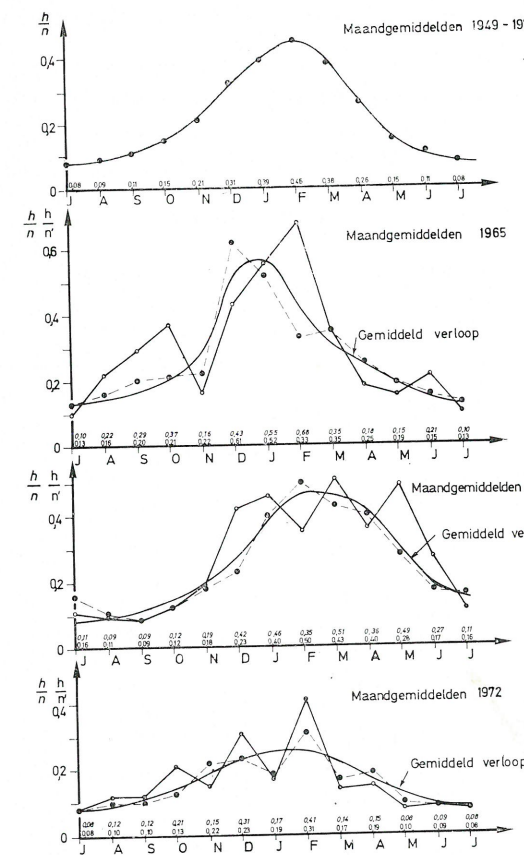


Fig. 12. — Afvoercoëfficiënten Schelde te Schelle — maandgemiddeld verloop voor verschillende perioden. (streeplijn: $\frac{h}{n'}$)

Indien de maandelijkse afvoerhoogte h_i bedraagt kan men een maandelijkse afvoercoëfficiënt α_i definiëren als volgt:

$$\alpha_i = \frac{h_i}{n'_i} \quad (13)$$

Tussen α_i en β_i blijkt een verband te bestaan dat van maand tot maand verschilt (seizoenvariatie van de bergingsmogelijkheden van het bekken) maar dat in eerste benadering voor iedere maand door een lineaire betrekking kan voorgesteld worden (fig. 13):

$$\alpha_i = A \beta_i + B \text{ (met A en B tijdfuncties, van maand tot maand verschillende waarden).} \quad (14)$$

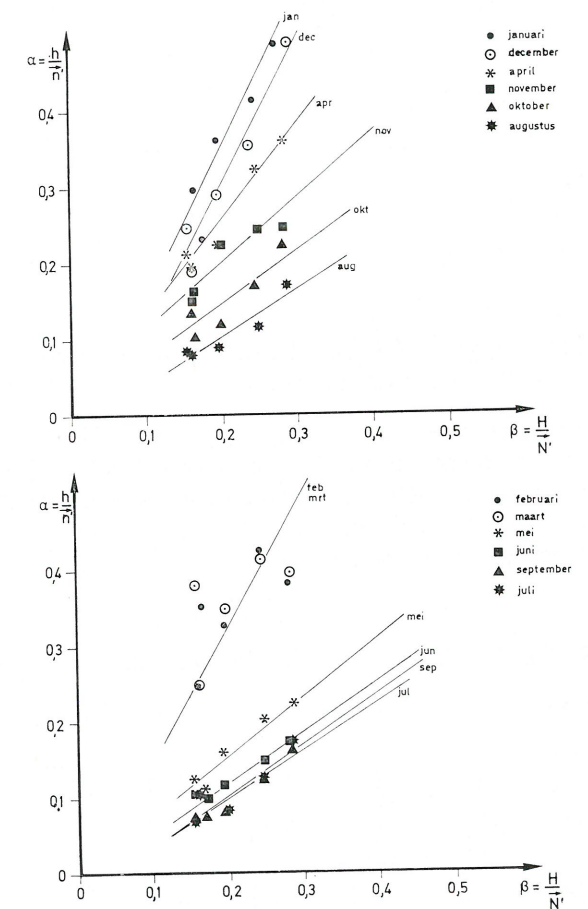


Fig. 13. — Maandgemiddelde afvoercoëfficiënt in functie van meerjaarlijkse afvoercoëfficiënt.

Uit de kennis van $\vec{N}'_i$ en n_i kan men uiteindelijk dus van maand tot maand de overeenstemmende afvoerhoogte h bepalen.

Uit (14), (11) en (4) volgt inderdaad:

($\beta_i = K_1 \vec{N}'_i + K_2$: lineaire functie van $\vec{N}'_i$ met K_1 en K_2 constanten)

$$\alpha_i = A(K_1 \vec{N}'_i + K_2) + B = k_1 \vec{N}'_i + k_2 \quad (15)$$

(k_1 en k_2 tijdfuncties, van maand tot maand verschillende waarden)

dus ook:

$$h_i = (k_1 \vec{N}'_i + k_2) \times \vec{n}'_i \quad (16)$$

Zij nu, om naar analogie met de betrekking (3) in de uitdrukking (16) de factor tussen haakjes kwadratisch van $\vec{N}'_i$ te laten afhangen

$$h'_i = k_1 (\vec{N}'_i)^2 + k_2 \vec{N}'_i \quad (17)$$

dan

$$\alpha_i = \frac{h_i}{\vec{n}'_i} = \frac{h'_i}{\vec{N}'_i} \quad (18)$$

of nog

$$h_i = \frac{h'_i}{\vec{N}'_i} \times \vec{n}'_i \quad (19)$$

De betrekking (19) toont aan dat de afvoerhoogte van een willekeurige maand kan berekend worden door voor deze maand h'_i , $\vec{N}'_i$ en $\vec{n}'_i$ te bepalen. Voor de berekening van h'_i past men betrekking (17) toe, waarin k_1 en k_2 coëfficiënten zijn die van maand tot maand verschillen. Voor de bepaling van deze coëfficiënten gaat men als volgt te werk:

TABEL IV. Voortschrijdende maandelijkse representatieve neerslag Ukkel ($\vec{n}_i$)

JAAR	JAN	FEB	MAA	APR	MEI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
1946			90.2	64.9	59.5	69.8	69.3	80.9	71.0	65.7	54.4	56.5
1947	39.9	27.0	61.3	70.3	56.4	39.8	65.7	47.2	41.3	26.8	54.4	77.7
1948	107.1	78.0	53.5	48.7	51.9	76.0	106.3	88.4	60.9	45.2	43.8	53.8
1949	42.3	29.9	34.8	42.8	50.6	36.9	26.1	38.7	41.3	51.4	53.4	65.0
1950	63.5	83.7	54.4	64.0	76.2	77.3	91.4	86.2	91.3	52.6	86.9	94.6
1951	99.9	65.0	76.8	79.7	77.0	56.6	62.9	98.2	94.4	52.8	64.5	68.8
1952	94.6	84.0	76.1	42.1	38.0	30.1	55.1	84.0	81.5	98.8	123.0	
1953	79.1	66.1	31.9	53.6	45.5	65.7	65.7	76.0	63.3	33.6	20.0	25.1
1954	41.5	45.7	51.8	38.4	37.7	37.8	72.7	109.1	84.0	61.1	49.2	
1955	61.1	74.3	55.0	31.7	53.9	53.5	37.8	33.1	52.2	54.6	43.7	54.4
1956	73.5	54.0	41.8	33.9	32.6	62.3	77.6	94.5	76.0	103.3	88.9	65.6
1957	53.3	95.8	82.1	57.1	40.5	38.7	53.4	92.0	86.4	51.5	35.4	
1958	55.3	86.8	53.6	53.3	48.6	64.1	38.8	83.9	74.3	61.2	61.3	
1959	77.4	46.7	56.9	54.8	36.6	30.9	53.1	51.9	30.2	37.3	38.5	57.9
1960	65.9	55.7	53.3	42.8	40.0	32.8	97.3	100.6	111.3	107.3	115.1	99.4
1961	99.9	78.2	50.3	66.9	54.0	73.3	70.2	59.9	66.2	105.4	113.1	94.1
1962	88.8	77.7	39.1	66.4	74.6	48.5	97.6	94.2	67.4	49.3	47.1	75.7
1963	23.8	23.3	36.7	41.5	50.4	102.3	91.7	93.6	64.5	66.6	67.4	43.7
1964	98.8	64.5	51.7	73.6	47.6	70.3	109.8	80.2	80.4	44.3	101.0	104.8
1965	91.1	86.2	77.3	73.0	33.7	102.6	104.0	105.1	61.1	78.7	63.1	118.4
1966	93.7	74.5	62.3	48.1	42.4	95.8	93.0	85.3	58.9	78.6	73.5	135.7
1967	86.0	78.3	71.4	46.8	43.8	42.6	37.0	90.5	95.3	70.8	46.7	49.8
1968	45.3	53.4	61.7	69.9	89.8	104.6	63.3	63.3	26.9	47.8	47.8	49.8
1969	45.8	73.0	72.3	83.8	57.7	38.8	48.4	62.0	69.7	71.6	67.1	45.5
1970	45.4	40.0	40.3	31.9	22.0	101.4	88.8	70.1	40.5	27.1	68.8	50.7
1971	53.9	35.8	47.5	63.5	83.9	83.9	42.2	64.8	56.1	36.1	51.1	43.5
1972	37.2	40.2	30.2	57.4	62.8	59.5	59.5	42.5	63.1	77.5	71.0	71.0
1973	66.9	65.2	69.6	48.9	66.6	75.0	78.3	109.6	142.1	131.1	114.3	68.1
1974	92.9	53.6	79.6	76.0	51.7	44.6	44.3	69.0	39.9	82.2		

Uit (19) en (15) volgt:

$$\frac{h_i}{\vec{n}'_i} = \frac{h'_i}{\vec{N}'_i} = k_1 \vec{N}'_i + k_2$$

Door nu voor alle beschikbare meetgegevens de verhouding $\frac{h_i}{\vec{n}'_i}$ te berekenen en maand per maand te

correleren aan de overeenstemmende $\vec{N}'_i$ waarde, kan men door lineaire regressie (methode der kleinste kwadraten) de coëfficiënten k_1 en k_2 bepalen.

De formule (18) toont dat in feite een afvoercoëfficiënt $\frac{h'_i}{\vec{N}'_i}$ berekend wordt in functie van de voortschrijdende jaarlijkse representatieve neerslag.

2. Maandgemiddelde afvoer van de rivieren van het Scheldebekken en neerslag te Ukkel

De berekeningswijze hiervoor uiteengezet werd toegepast voor de afvoer van de Schelde en bijrivieren en de neerslag waargenomen op een enkele, weliswaar voor het stroomgebied centraal gelegen meetpost, nl. Ukkel, voor de periode 1949-1975.

Voor de waarden van de maandelijkse en jaarlijkse neerslag en representatieve neerslag verwijzen we naar tabellen II, III, IV en V. De grafische voorstelling van $\vec{N}_i$ en $\vec{N}'_i$ vindt men op de figuur 11.

De door regressieberekening verkregen waarden van de coëfficiënten k_1 en k_2 zijn in tabel VI vermeld.

TABEL V. Voortschrijdende jaarlijkse representatieve neerslag Ukkel ($\vec{N}'_i$)

JAAR	JAN	FEB	MAA	APR	MEI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
1948												749.7
1949	725.6	700.9	691.8	687.6	688.1	664.2	625.7	625.8	622.2	630.1	628.6	629.3
1950	629.7	667.9	646.9	658.3	680.9	688.4	701.3	718.3	746.1	739.4	771.0	781.3
1951	792.8	782.8	814.9	824.7	824.9	814.7	809.7	843.6	852.6	836.4	847.3	843.1
1952	868.3	877.4	883.7	856.4	842.6	834.1	839.3	844.3	847.5	871.0	884.8	914.6
1953	883.2	882.7	856.3	865.8	850.1	868.4	857.7	846.4	830.8	814.1	767.0	733.6
1954	721.9	714.8	713.6	696.7	692.6	688.0	703.9	710.6	729.4	742.7	727.6	710.1
1955	716.7	727.1	719.7	708.2	731.8	728.8	696.9	666.6	664.7	713.9	731.9	647.4
1956	666.0	645.9	648.7	646.2	633.9	652.9	663.1	674.9	664.7	713.9	731.9	647.4
1957	717.8	762.9	768.1	772.1	766.8	756.4	755.3	755.3	755.3	755.3	755.3	755.3
1958	768.6	782.8	777.0	788.5	789.7	797.2	818.8	812.5	812.5	812.5	812.5	812.5
1959	828.8	785.6	804.7	813.1	797.2	780.8	764.1	742.5	701.9	682.3	680.1	691.9
1960	688.1	665.9	667.9	661.7	663.8	672.7	764.1	730.8	730.8	730.8	730.8	730.8
1961	811.3	824.3	806.6	830.6	832.6	831.3	828.9	811.4	818.1	848.7	867.5	866.0
1962	870.8	883.6	888.9	892.6	892.6	919.3	923.3	940.9	940.9	940.9	940.9	940.9
1963	861.8	861.0	843.8	831.6	832.8	835.6	852.9	871.2	871.2	871.2	871.2	871.2
1964	770.9	753.3	761.6	752.3	744.6	758.7	726.2	710.6	726.2	743.1	751.7	774.0
1965	797.7	793.9	791.8	816.2	858.7	847.2	885.5	885.5	885.5	885.5	885.5	885.5
1966	913.7	945.6	960.2	958.6	937.3	953.0	960.3	970.2	970.2	970.2	970.2	970.2
1967	1011.2	1020.2	1021.9	1001.1	997.2	959.5	923.4	917.2	924.7	924.7	924.7	924.7
1968	897.7	900.1	901.5	881.7	863.4	859.9	859.9	859.9	859.9	859.9	859.9	859.9
1969	791.1	783.3	774.5	788.7	801.1	818.3	835.4	851.7	867.7	889.8	899.8	917.1
1970	758.3	778.3	777.1	802.8	802.8	769.6	752.6	752.6	752.6	752.6	752.6	752.6
1971	750.8	730.3	718.9	701.1	741.7	765.0	748.1	733.1	713.1	702.1	731.0	717.8
1972	724.3	704.9	707.8	716.7	724.9	723.7	725.3	711.6	718.5	704.1	704.1	704.1
1973	695.6	692.7	675.1	685.4	680.9	668.8	664.6	646.6	646.6	646.6	646.6	646.6
1974	704.8	719.4	737.3	718.5	694.1	700.5	701.9	716.7	744.0	744.0	744.0	744.0
1975	883.6	868.7	903.9	904.9	876.1	868.4	854.5	860.2	865.1	816.0	839.4	828.6

De h'_i waarden zijn voor de Schelde te Schelle in een $N' - h' = f(N')$ en $h'/N' = f(N')$ diagram weergegeven (fig. 14). Voor iedere maand heeft men een bepaald verloop van h' en h'/N' in functie van de representatieve neerslag N' . Het h'/N' verloop geeft dus per maand de gemiddelde afvoercoëfficiënt aan in functie van N' .

Voor de Schelde te Schelle, de Rupel aan de monding, de Schelde opwaarts de Rupel, de Schelde te Gentbrugge, de Dender, Dijle, Zenne (II), Kleine Nete en Grote Nete (II) telkens aan de monding werden de berekende en waargenomen afvoerhoogten h op de figuren 16 tot 24 weergegeven.

Men merkt dat een redelijk goede overeenkomst tussen waarneming en berekening bestaat. Voor de vastgestelde verschillen wijzen we naast de oorzaken die reeds onder hoofdstuk V werden vermeld op de invloed van de tijdelijke wijzigingen in het afvoerregime zoals langdurige vorstperioden in de winter met afvoervermindering tijdens de vorstperioden en plotse dooi met grote afvoer. Hiervoor zou een correctie kunnen gebeuren. In de periode 1949-1975 zijn enkele winters te vermelden die de afvoer op deze wijze hebben beïnvloed: 1962-1963, 1955-1956, 1952-1953 (zie maanden december, januari, februari en maart).

De afvoerbepaling uitgaande van de neerslagwaarden te Ukkel geeft, zoals te verwachten is, betere resultaten voor de grotere bekkens (Rupel, Schelde opwaarts Rupel, Schelde te Schelle) dan voor de kleinere.

De overeenkomst tussen berekening en waarneming voldoet minder goed voor de Zenne dan voor de andere rivieren. Hier is vermoedelijk de invloed merk-

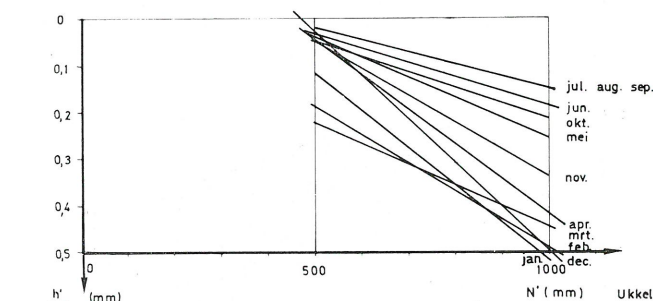
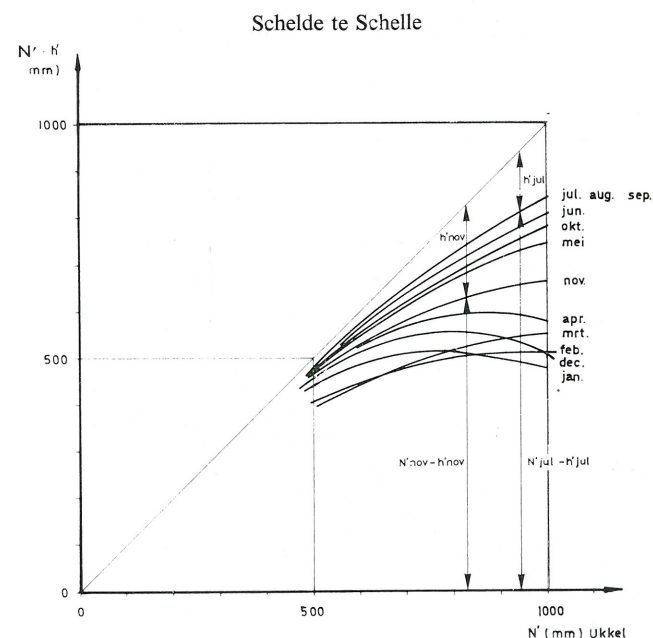


Fig. 14. — Maandgemiddelde afvoer herleid tot jaargemiddelden als functie van representatieve neerslag (berekend).

baar van de neerslagspreiding over de Brusselse agglomeratie op de afvoer via het riolenstelsel.

Door uit te gaan van de gemiddelde waarden over 1951-1960, 1961-1970, 1954-1955-1956 en 1971-1972-1973 werden voor de Schelde te Schelle, los van de methode der kleinste kwadraten, op grafische wijze, betrekkingen voor $\frac{h'}{N'}$ opgesteld die coëfficiënten

k_1 en k_2 opleveren die verschillen van deze door regressieberekening bekomen maar die in het werkingsgebied voor N' (500 tot 1100 mm) vrijwel identieke resultaten geven bij de afvoerberekening. Voor de k_1 en k_2 waarden op deze wijze bepaald zie de tabel VI. Het verloop van h'/N' met N' is op figuur 15 weer-

gegeven. Het grafisch opstellen van de $\frac{h'}{N'}$ verlopen heeft het voordeel dat aan een continu en regelmatig verloop van de k_1 en k_2 waarden kan voldaan worden. De coëfficiënten bekomen door de regressieberekeningen kunnen trouwens beïnvloed zijn door toevallige van de gemiddelden afwijkende waarnemingen.

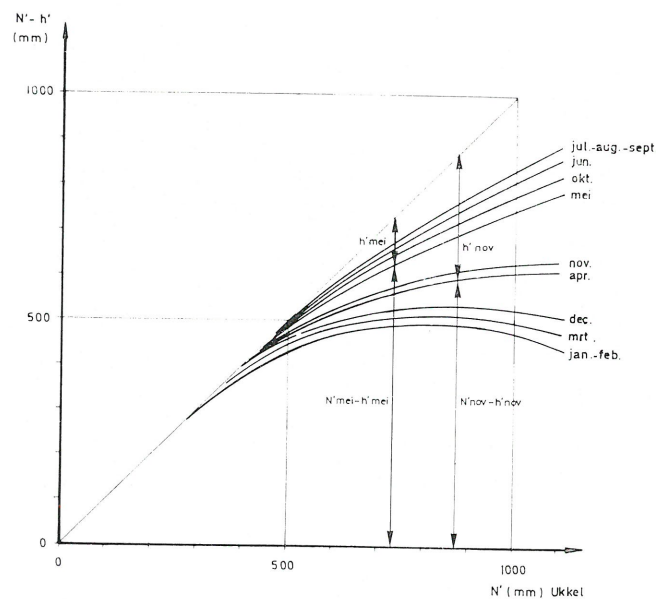


Fig. 15. — Maandgemiddelde afvoer herleid tot jaargemiddelden als functie van representatieve neerslag (grafisch).

3. Ruimtelijke spreiding van de neerslag.

Om een globaal idee te verkrijgen over mogelijke verschillen die duidelijk te wijten zijn aan de keuze van de meetpost Ukkel, werd voor enkele rivieren de afvoer bepaald door middel van de neerslag over het bekken. Eenvoudigheidshalve werd voor de neerslag over het Scheldebekken uitgegaan van de neerslag over Vlaanderen, de Borinage en het Doornikse voor respectievelijk 80, 10 en 10 procent. De neerslag over het Dijlebekken werd bepaald uitgaande van deze over Brabant (37%) en Haspengouw (63%). Voor het Denderbekken werd uitgegaan van Vlaanderen (53%) en Doornik (47%). De neerslaggegevens zijn ontleend aan [6].

Op de figuren 25 tot 31 worden de berekende resultaten weergegeven voor volgende rivieren en vergeleken met de waarnemingen:

- Schelde Gent, Dender en Schelde opwaarts Rupel met neerslag over Vlaanderen
- Dijle met neerslag over Dijlebekken
- Dender met neerslag over Denderbekken
- Grote Nete (II) en Kleine Nete met neerslag over Kempen

Hoewel door de neerslag over het bekken in de berekeningen te betrekken voor de kleinere rivieren zeker van enige verbetering van het resultaat kan gesproken worden is het duidelijk dat de neerslag over het bekken hier nader moet gespecificeerd worden en een verdere analyse van de neerslagverdeling noodzakelijk is wil men de invloed van deze faktor beter kunnen beoordelen. De vraag stelt zich echter of een dergelijke analyse hier zinvol is, gelet op het eerder globale karakter van de begrippen representatieve maandelijkse en jaarlijkse neerslag die hier aangewend worden. Een voorlopig onderzoek wees uit dat met de methode van Thiessen geen betere resultaten bekomen worden dan met de neerslagwaarden over het bekken zoals hoger bepaald.

Opmerkingen:

- a) De algemene methode voor de maandelijkse afvoerbepaling welke hierboven uiteengezet werd kan in principe toegepast worden, voor andere dan de hier behandelde rivieren, zodra men over waarnemingen van een volledig jaar beschikt. Naarmate de resultaten van meer jaren beschikbaar komen bij voortzetting van de metingen, kunnen deze bij de berekeningen ingevoerd worden om tot een afvoerneerslagrelatie te komen die steeds meer in overeenstemming met de werkelijkheid gebracht wordt.
- b) In principe is het door toepassing van deze methode

TABEL VI. Afvoer - neerslagrelatie voor maandgemiddelden. Waarden van k_1 en k_2 .

MAAND	JAN	FEB	MAA	APR	MEI	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1. Schelde te Schelle - Ukkel	$k_1 10^3$ 0.839	0.597	0.442	0.777	0.430	0.311	0.260	0.223	0.226	0.307	0.568	0.950
	k_2 -0.311	-0.109	+0.001	-0.357	-0.175	-0.123	-0.108	-0.0825	-0.079	-0.095	-0.227	-0.452
2. Rupel - Ukkel	$k_1 10^3$ 0.888	0.580	0.422	0.824	0.531	0.471	0.399	0.302	0.297	0.378	0.652	0.851
	k_2 -0.178	0.064	0.206	-0.219	-0.103	-0.120	-0.105	-0.034	-0.025	-0.004	-0.147	-0.205
3. Schelde opwaarts Rupel - Ukkel	$k_1 10^3$ 0.816	0.599	0.456	0.749	0.379	0.225	0.189	0.184	0.225	0.267	0.521	1.005
	k_2 -0.381	-0.195	-0.105	-0.425	-0.212	-0.121	-0.109	-0.107	-0.136	-0.137	-0.267	-0.581
4. Dijle - Ukkel	$k_1 10^3$ 1.260	0.993	0.714	0.994	0.406	0.275	0.235	0.225	0.259	0.254	0.632	1.287
	k_2 -0.664	-0.443	-0.250	-0.561	-0.210	-0.148	-0.135	-0.130	-0.153	-0.122	-0.340	-0.751
5. Zenne (I) - Ukkel	$k_1 10^3$ 0.720	0.449	0.326	0.667	0.421	0.376	0.289	0.194	0.235	0.300	0.490	0.711
	k_2 -0.163	0.050	0.176	-0.189	-0.085	-0.067	-0.066	0.006	-0.024	-0.014	-0.109	-0.207
6. Grote Nete (I) - Ukkel	$k_1 10^3$ 0.878	0.476	0.332	0.735	0.619	0.538	0.441	0.405	0.481	0.547	0.843	0.751
	k_2 -0.055	0.278	0.393	-0.063	-0.137	-0.162	-0.132	-0.108	-0.157	-0.099	-0.230	-0.033
7. Kleine Nete - Ukkel	$k_1 10^3$ 0.915	0.569	0.689	0.697	0.449	0.381	0.390	0.391	0.396	0.521	0.848	0.820
	k_2 -0.079	0.210	0.127	-0.008	-0.004	-0.050	-0.106	-0.107	-0.095	-0.088	-0.232	-0.086
8. Dender - Ukkel	$k_1 10^3$ 0.414	0.405	0.233	0.789	0.605	0.573	0.511	0.497	0.311	0.273	0.516	0.420
	k_2 -0.493	0.486	0.616	0.012	-0.064	-0.104	-0.106	-0.113	0.062	0.248	0.175	0.444
9. Schelde te Gent - Ukkel	$k_1 10^3$ 0.560	0.508	0.692	0.921	0.480	0.420	0.536	0.555	0.200	0.349	0.633	0.934
	k_2 0.389	0.418	0.273	-0.067	0.092	-0.006	-0.155	-0.178	0.140	0.173	0.082	0.034
10. Schelde te Schelle - Ukkel (grafisch)	$k_1 10^3$ 0.828	0.954	0.501	1.098	0.604	0.315	0.266	0.243	0.361	0.655	1.139	1.577
	k_2 -0.183	-0.241	0.044	-0.539	-0.283	-0.136	-0.128	-0.106	-0.202	-0.360	-0.625	-0.845
11. Zenne (II) - Ukkel	$k_1 10^3$ 1.417	1.459	0.644	1.383	0.493	0.313	0.327	0.199	0.451	0.667	1.417	1.948
	k_2 -0.559	-0.538	0.011	-0.669	-0.154	-0.117	-0.161	-0.055	-0.259	-0.354	-0.807	-1.050
12. Grote Nete (II) - Kempen	$k_1 10^3$ 1.389	1.432	0.654	1.330	0.576	0.293	0.340	0.221	0.421	0.628	1.313	1.946
	k_2 -0.540	-0.573	-0.006	-0.636	-0.224	-0.104	-0.171	-0.073	-0.236	-0.324	-0.725	-1.050
13. Schelde te Gent - Ukkel	$k_1 10^3$ 0.844	0.571	0.473	0.726	0.358	0.411	0.174	0.170	0.209	0.269	0.455	0.981
	k_2 -0.439	-0.211	-0.153	-0.440	-0.219	-0.127	-0.111	-0.110	-0.136	-0.157	-0.241	-0.597
14. Schelde te Schelle - Ukkel	$k_1 10^3$ 1.276	0.952	0.746	0.965	0.407	0.259	0.208	0.207	0.236	0.257	0.537	1.256
	k_2 -0.715	-0.454	-0.313	-0.576	-0.239	-0.153	-0.130	-0.130	-0.149	-0.142	-0.293	-0.764
15. Schelde te Schelle - Ukkel	$k_1 10^3$ 0.788	0.788	0.750	0.625	0.463	0.350	0.330	0.330	0.330	0.413	0.660	0.725
	k_2 -0.258	-0.258	-0.250	-0.225	-0.198	-0.155	-0.165	-0.165	-0.165	-0.178	-0.225	-0.250
16. Zenne (II) - Ukkel	$k_1 10^3$ 1.192	0.750	0.439	0.773	0.496	0.480	0.393	0.228	0.173	0.211	0.716	1.074
	k_2 -0.383	-0.043	0.205	-0.144	-0.017	-0.055	-0.035	0.081	0.124	0.182	-0.153	-0.364
17. Grote Nete (II) - Kempen	$k_1 10^3$ 0.845	0.571	0.667	0.649	0.431	0.346	0.364	0.387	0.389	0.538	0.845	0.783
	k_2 -0.056	0.172	0.107	-0.001	-0.008	-0.037	-0.096	-0.115	-0.100	-0.118	-0.253	-0.084
18. Grote Nete (II) - Ukkel	$k_1 10^3$ 0.771	0.431	0.250	0.650	0.576	0.478	0.405	0.384	0.443	0.512	0.771	0.643
	k_2 -0.004	0.276	0.422	-0.024	-0.123	-0.128	-0.112	-0.102	-0.136	-0.088	-0.195	-0.025

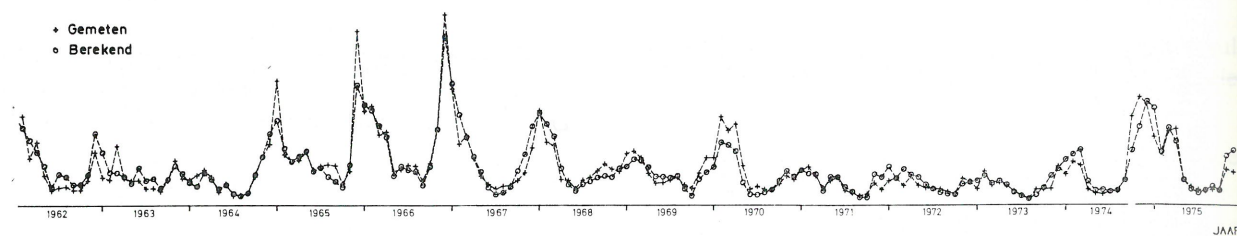
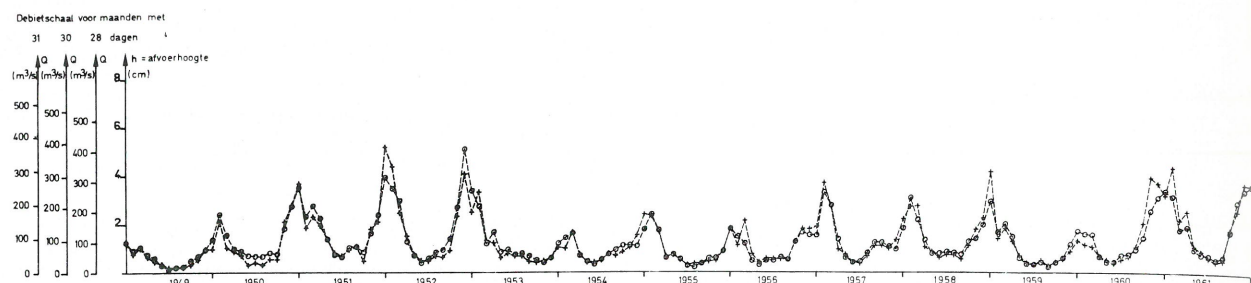


Fig. 16. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag te Ukkel voor de Schelde te Schelle.

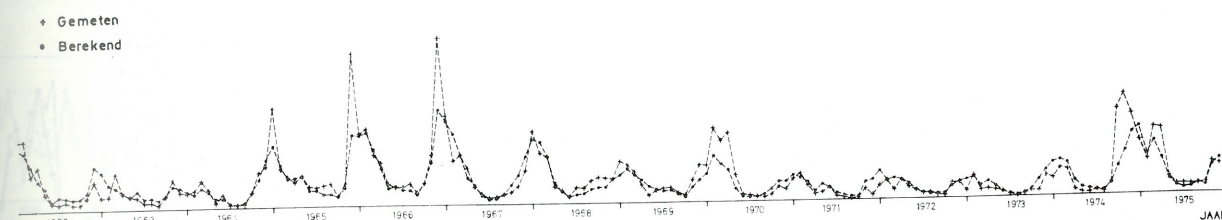
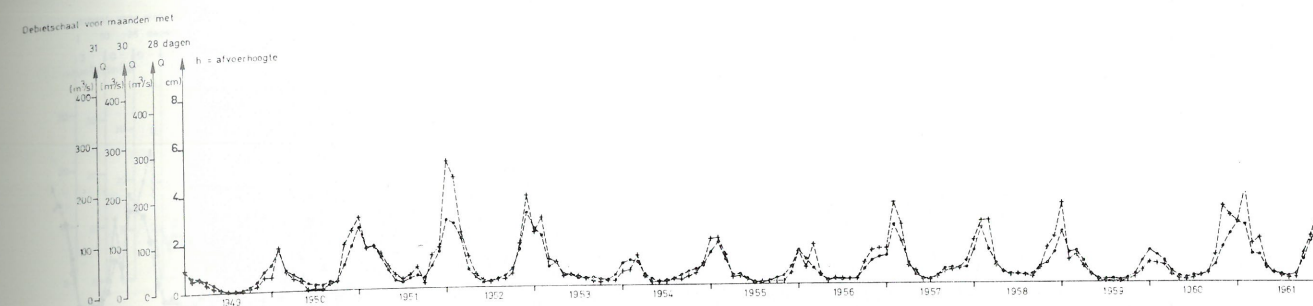


Fig. 18. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag te Ukkel voor Schelde opwaarts Rupel.

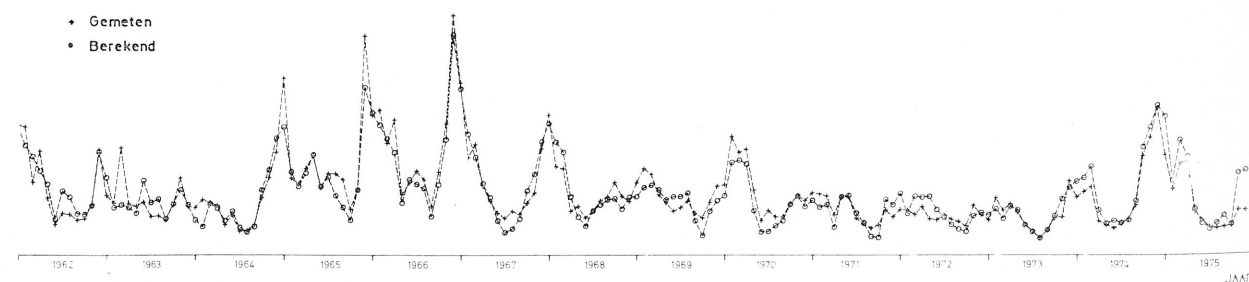
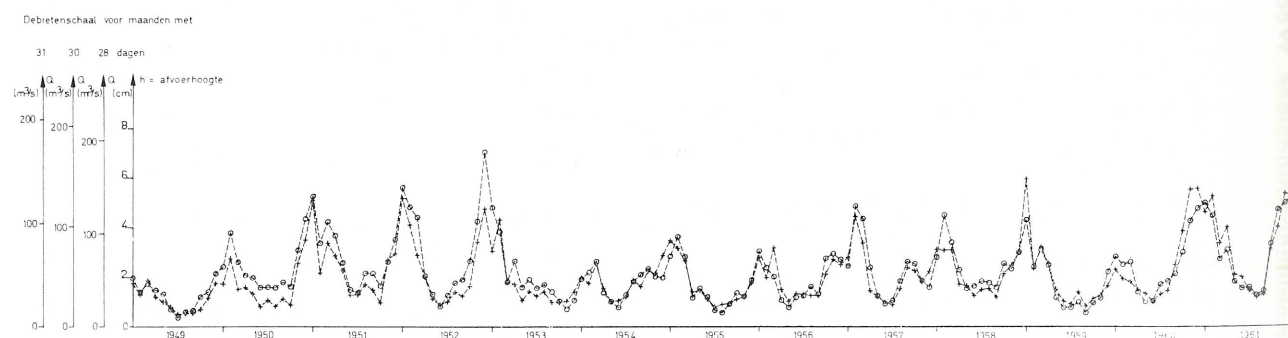


Fig. 17. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag te Ukkel voor Rupel (monding).

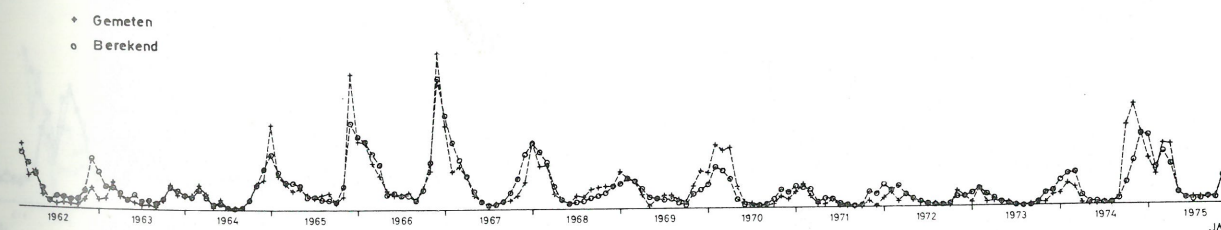
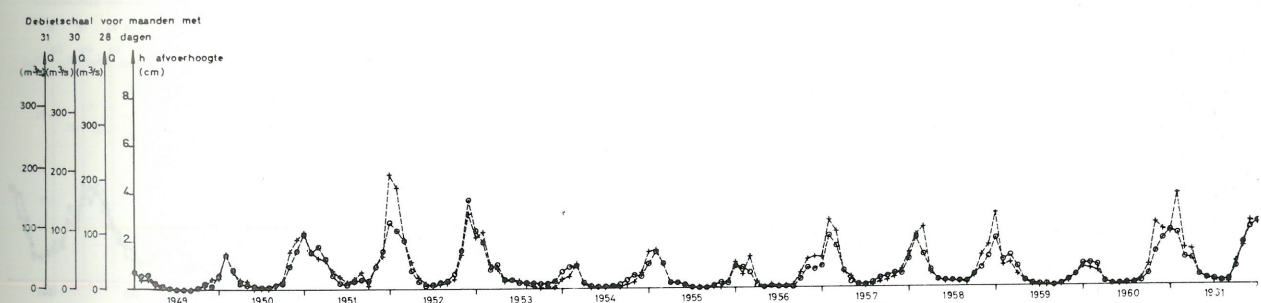


Fig. 19. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag te Ukkel voor Schelde te Gentbrugge (en Merelbeke).

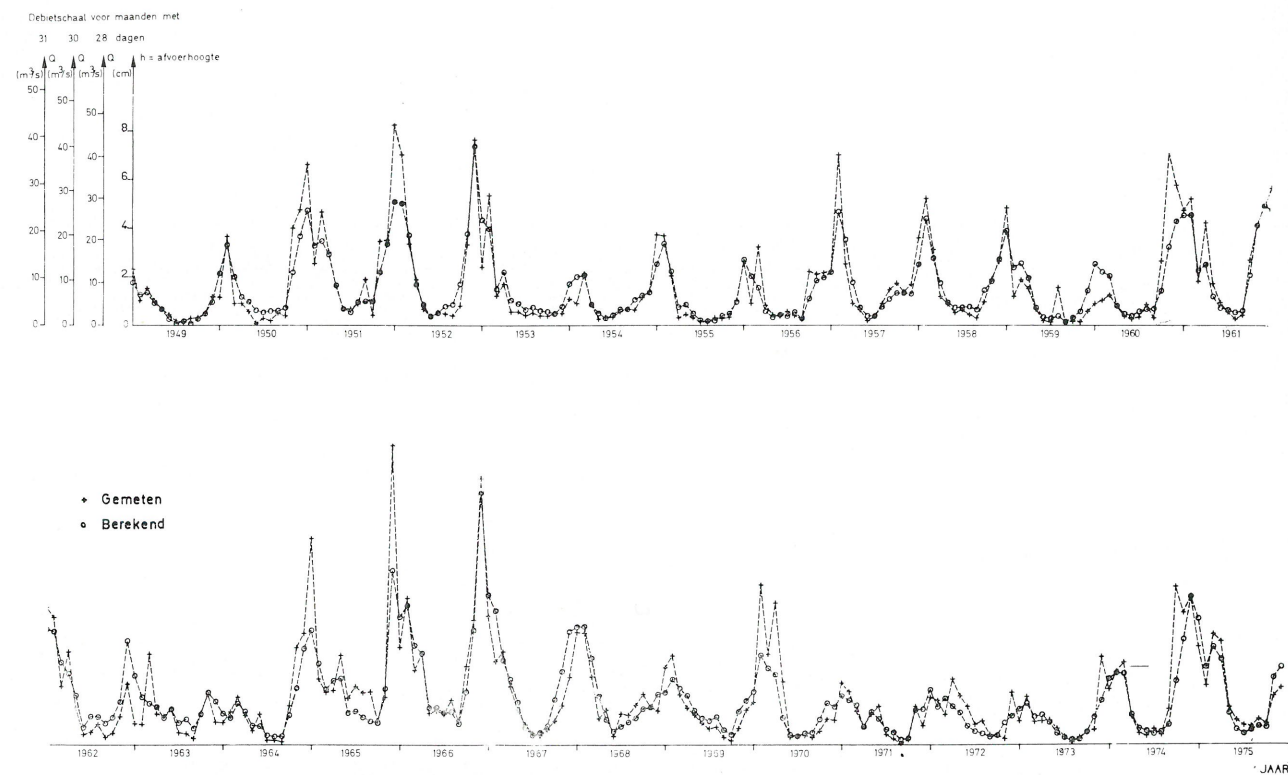


Fig. 20. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag te Ukkel voor Dender (monding).

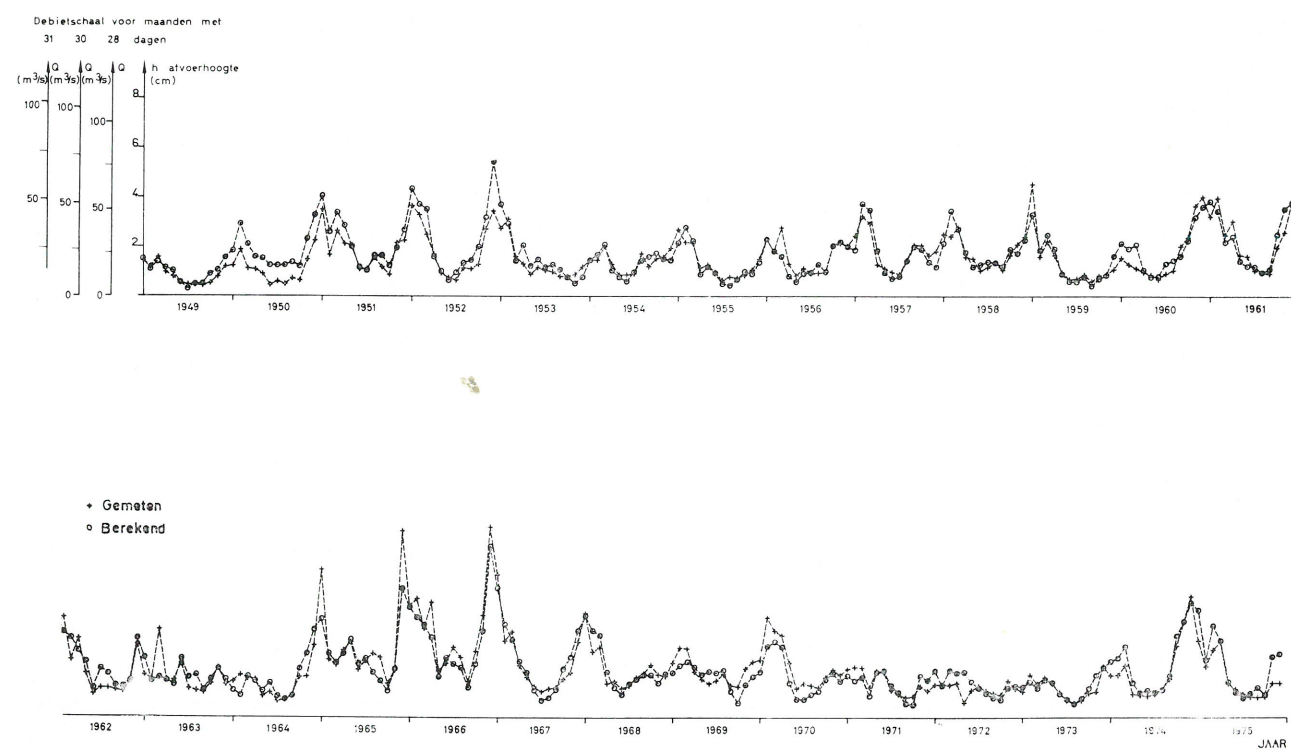


Fig. 21. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag te Ukkel voor Dijle (monding).

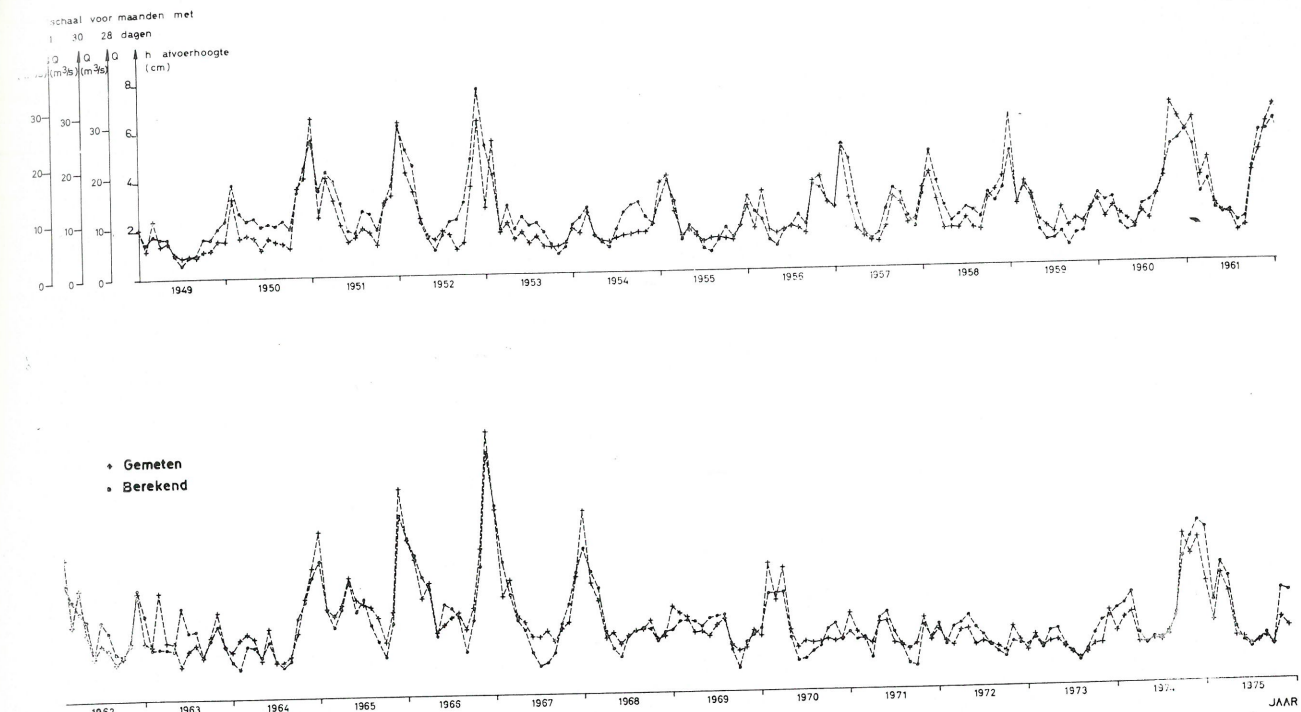


Fig. 22. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag te Ukkel voor Zenne (II) (monding).

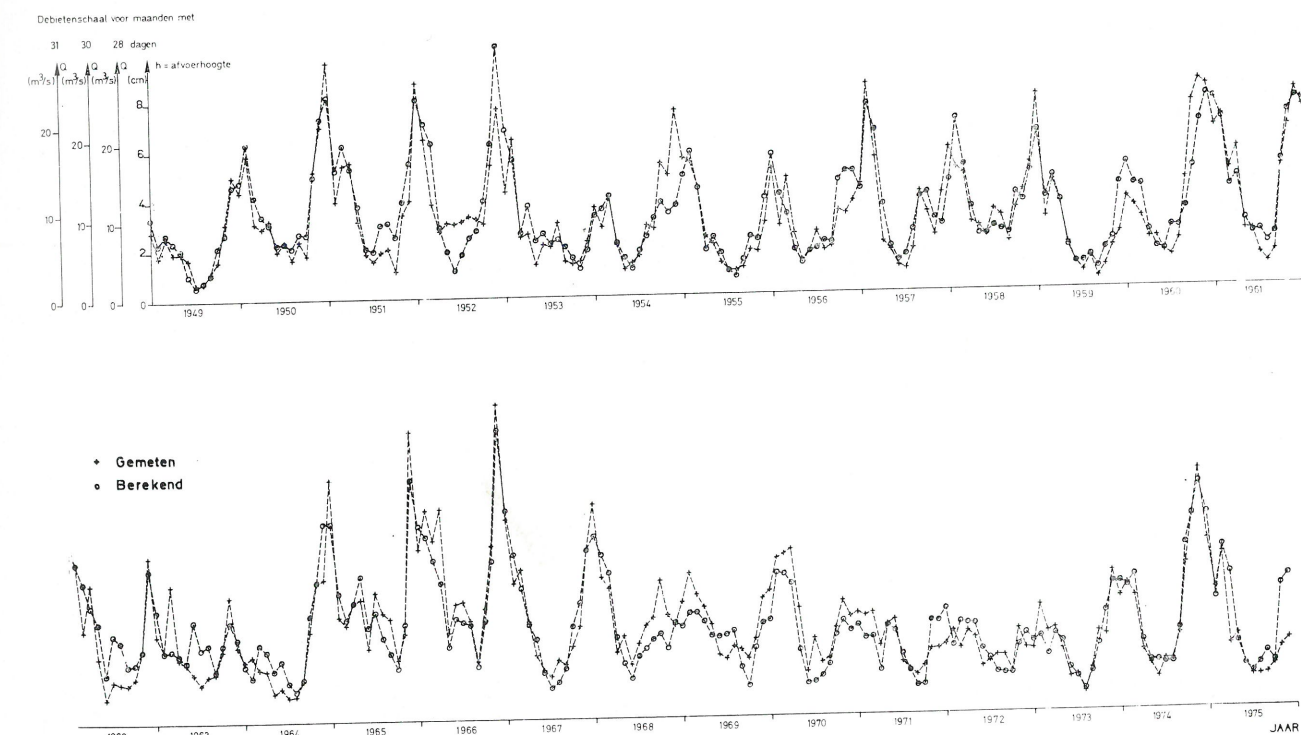


Fig. 23. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag te Ukkel voor Kleine Nete (monding).

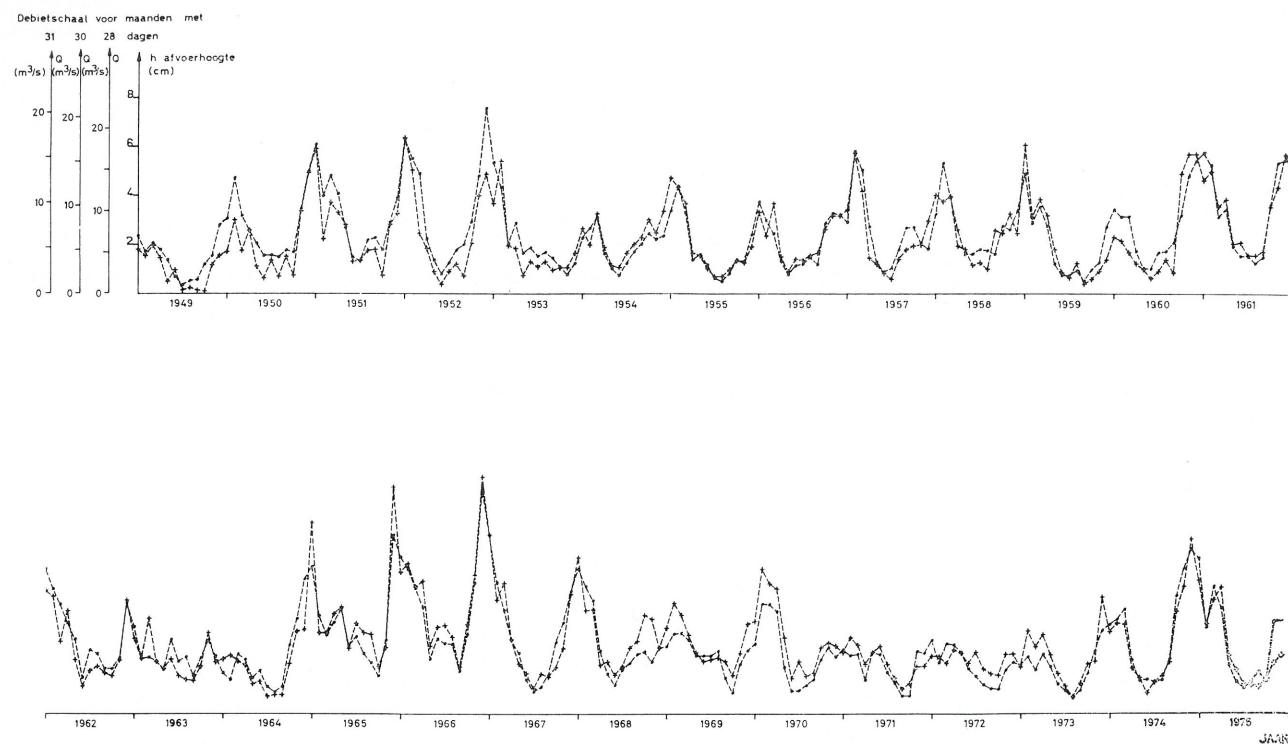


Fig. 24. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag te Ukkel voor Grote Nete (II) (monding).

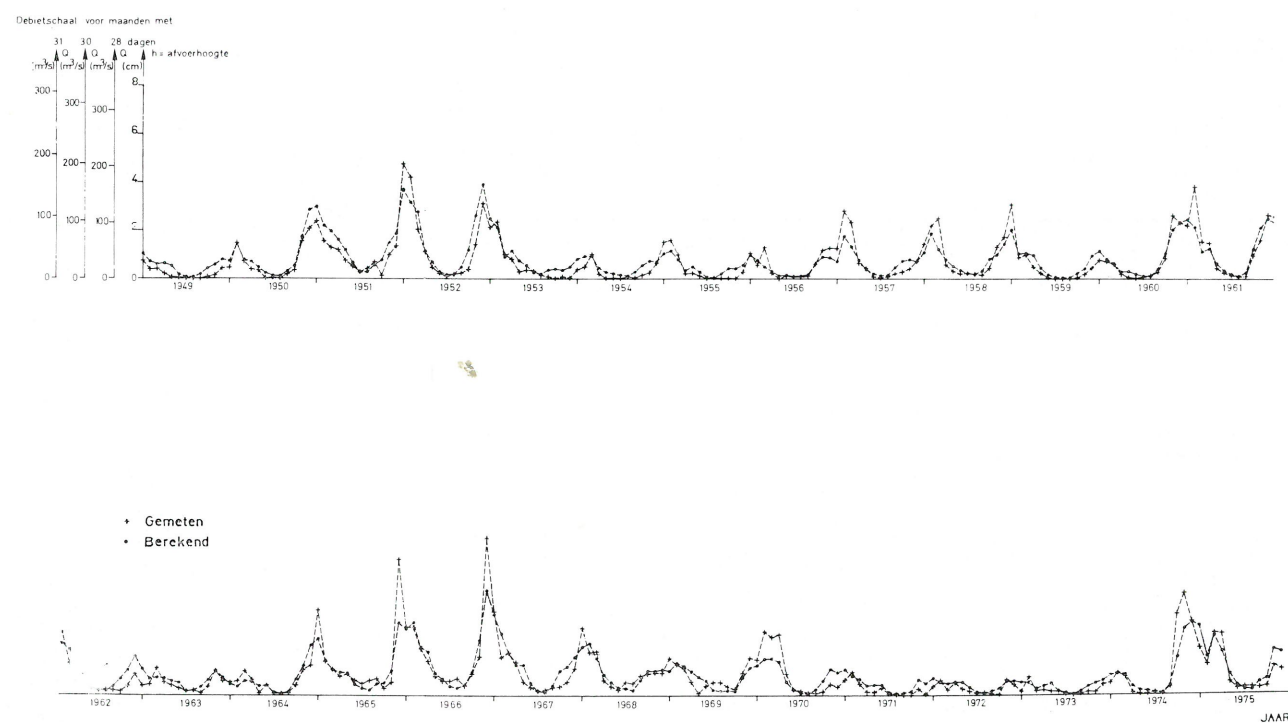


Fig. 25. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag over Vlaanderen voor Schelde te Gentbrugge (en Merelbeke).

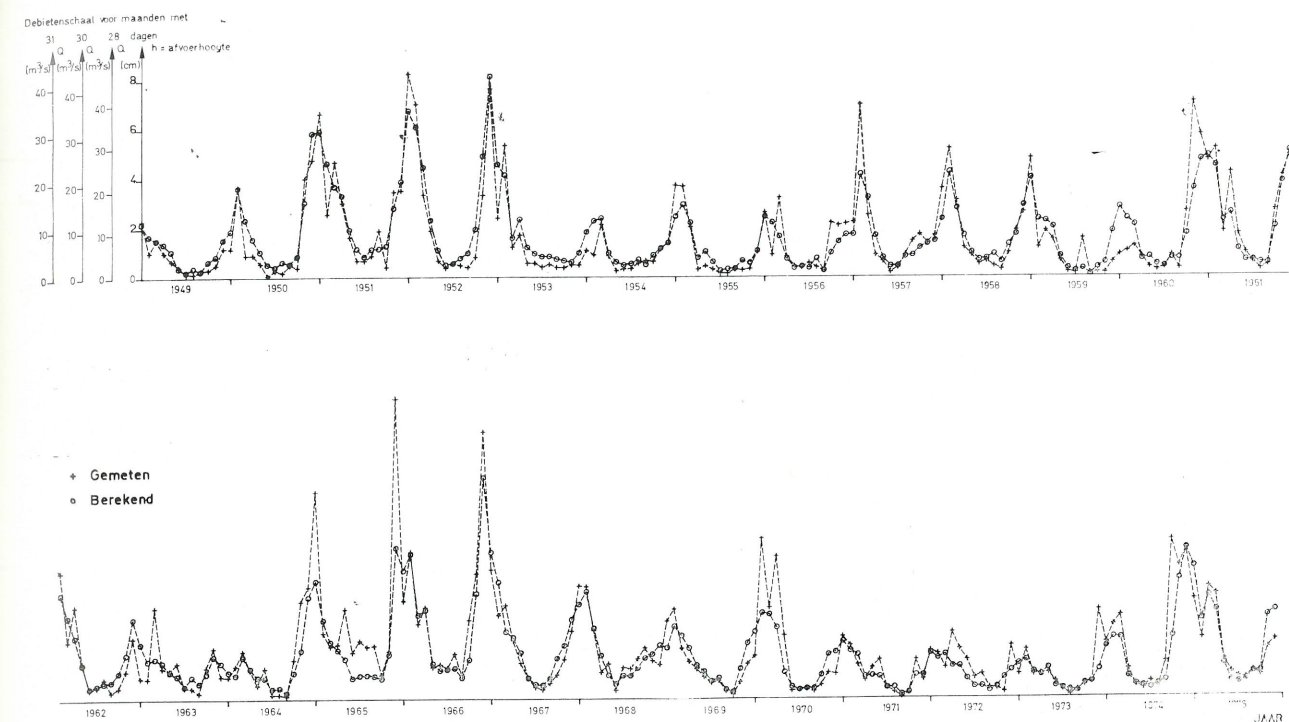


Fig. 26. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag over Vlaanderen voor Dender (monding).

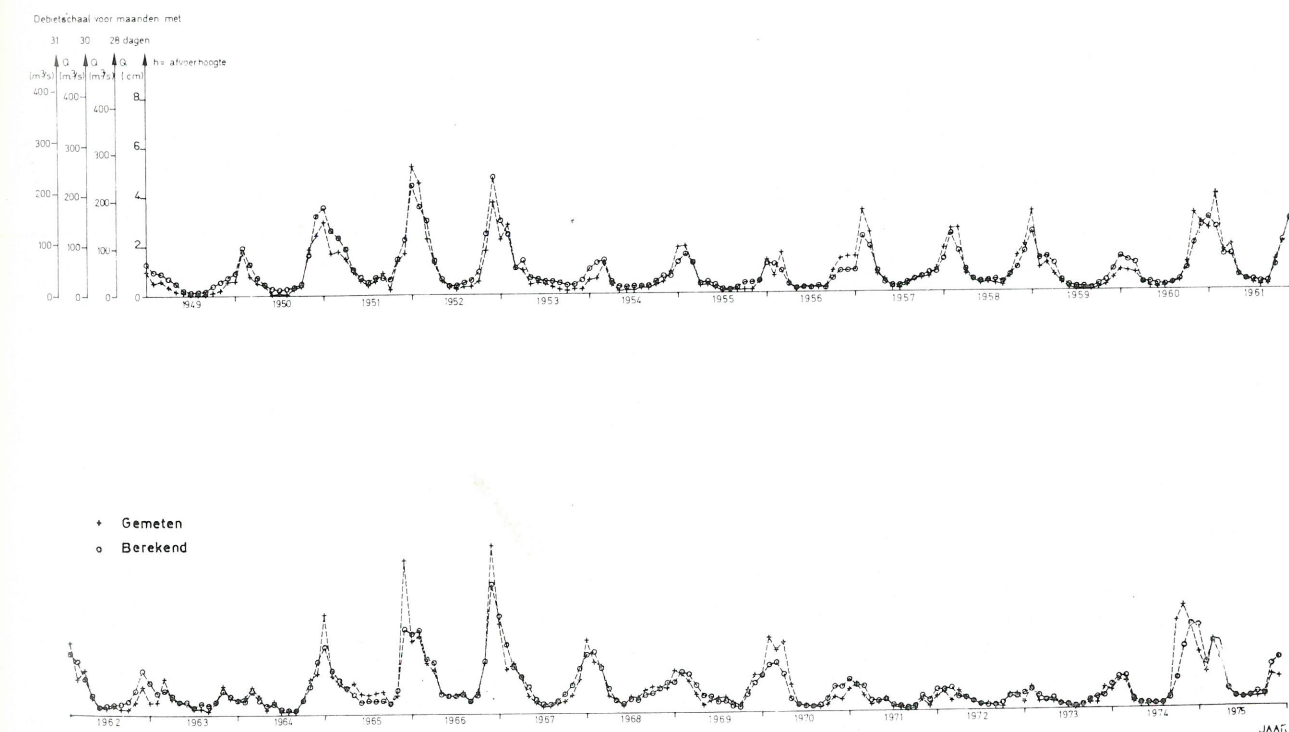


Fig. 27. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag over Vlaanderen voor Schelde opwaarts Rupel.

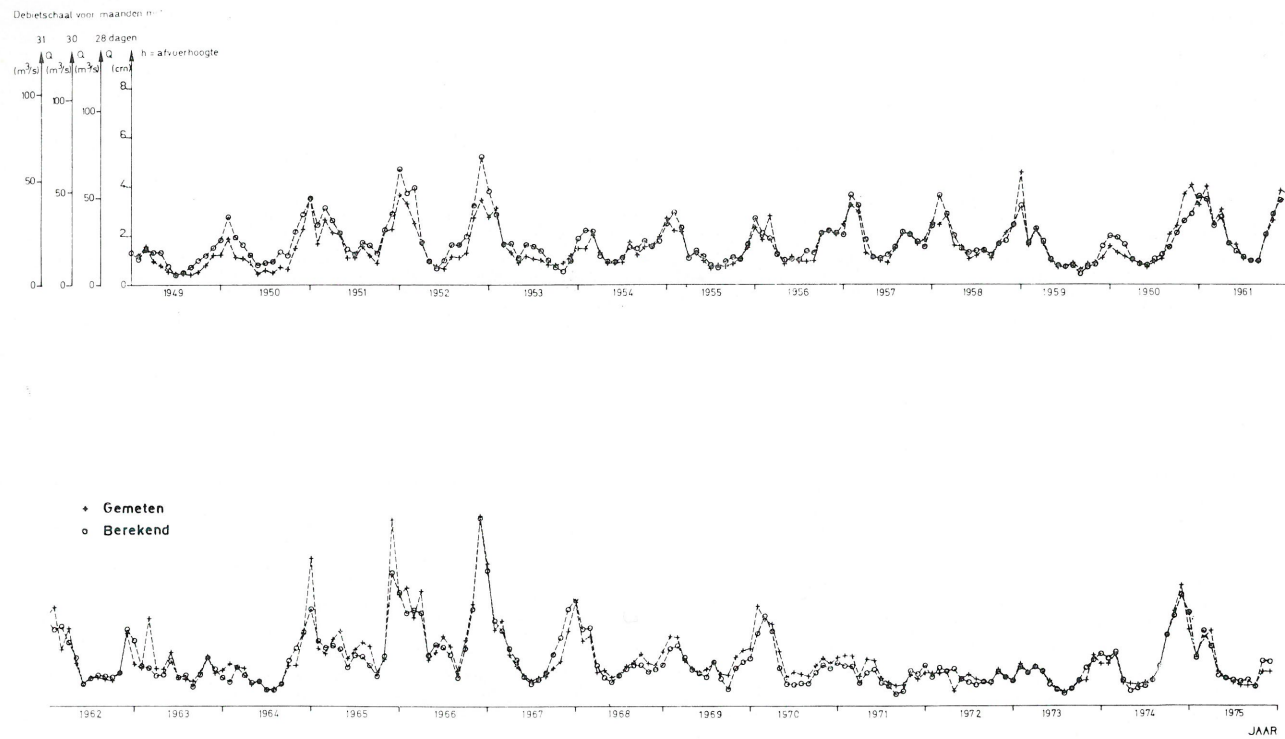


Fig. 28. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag over Dijlebekken voor Dijle (monding).

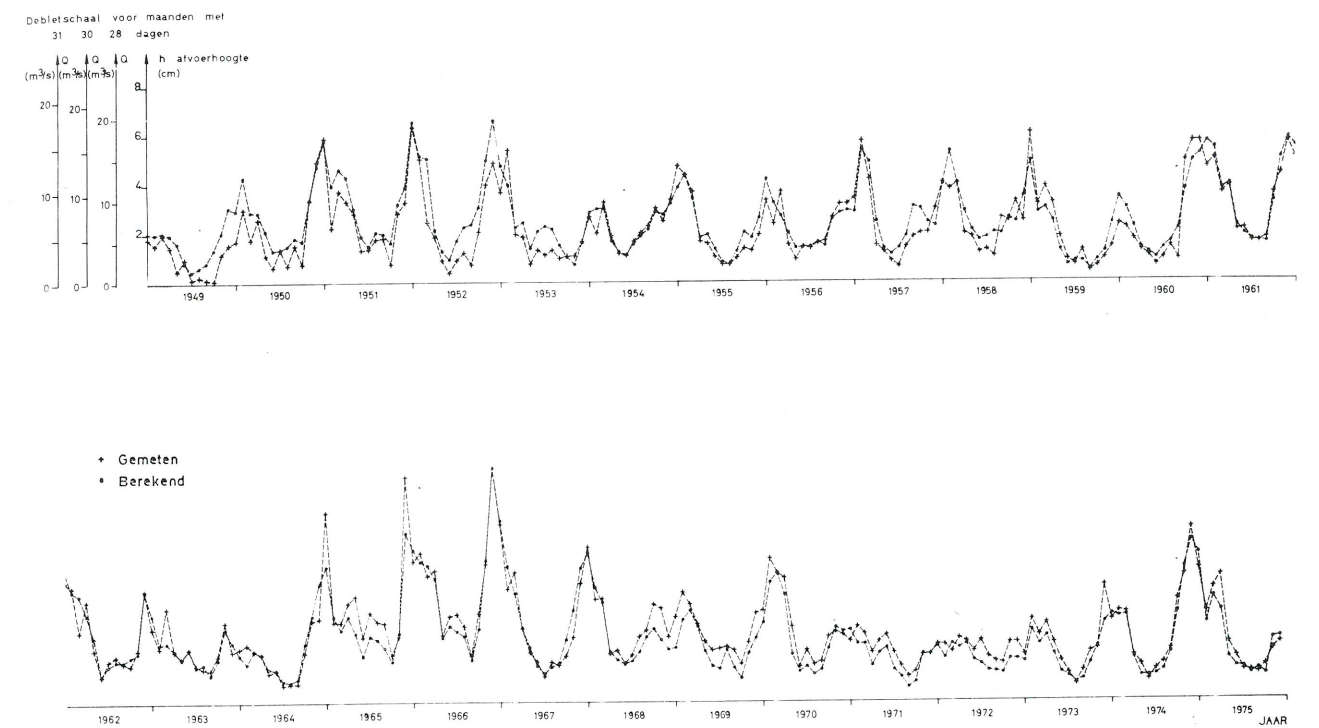


Fig. 30. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag over Kempen voor Grote Nete (II) (monding).

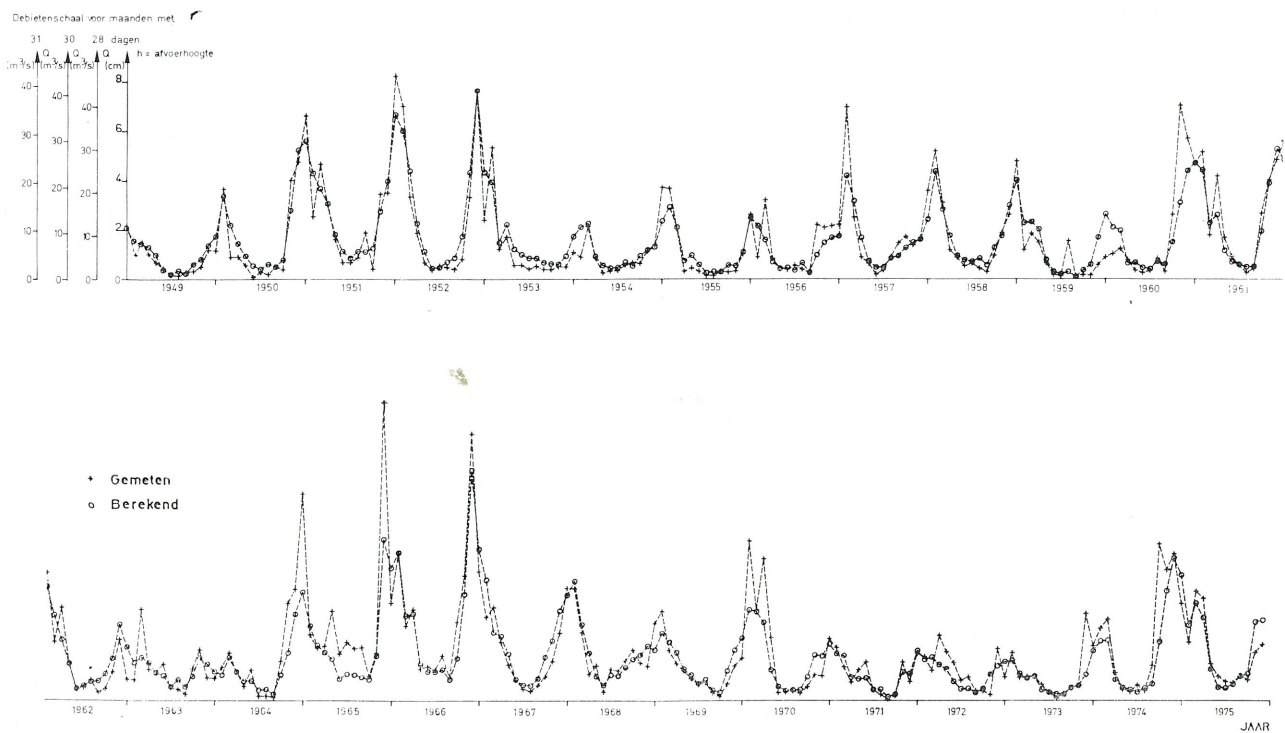


Fig. 29. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag over Denderbekken voor Dender(monding).

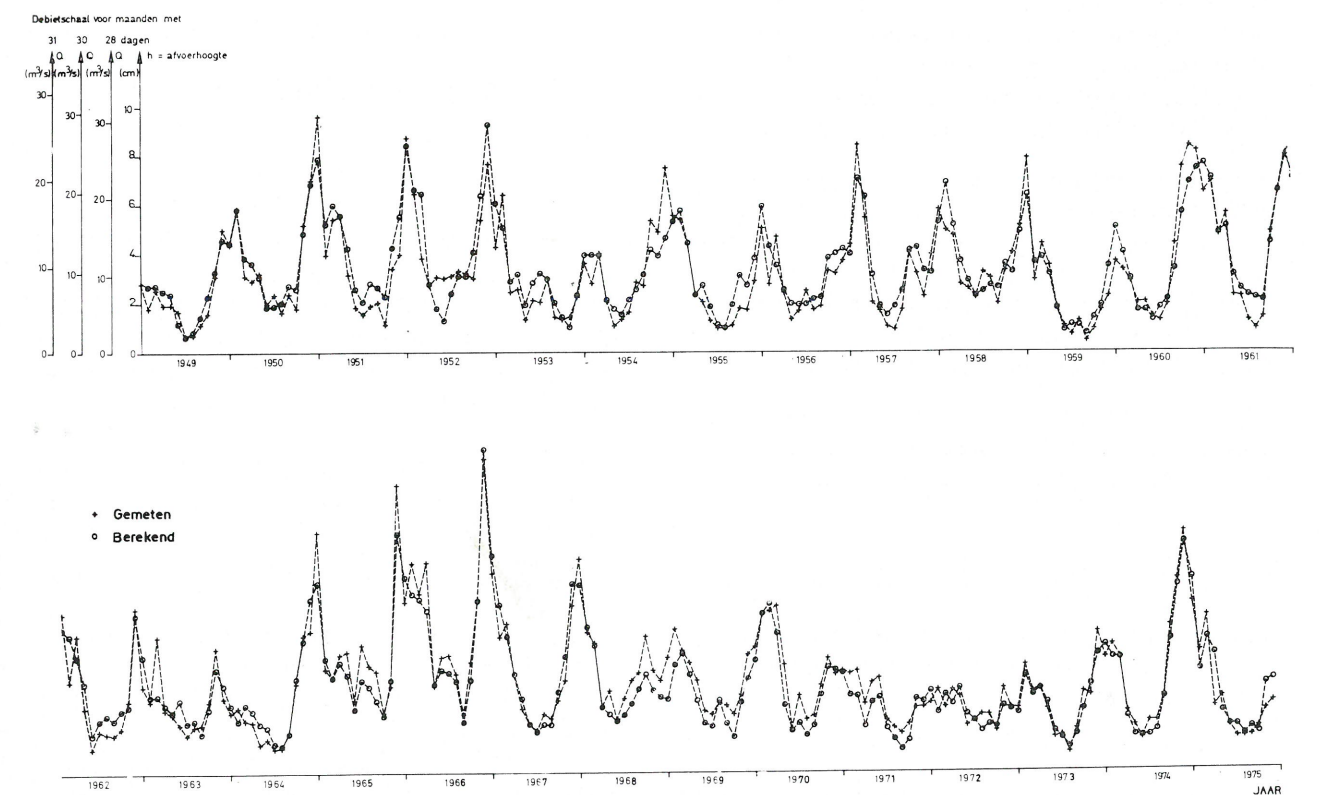


Fig. 31. — Waargenomen en berekende afvoer met neerslag over Kempen voor Kleine Nete (monding).

ook mogelijk een raming te maken van de maand-gemiddelde aanvoer van het Maaswater in het Nete-bekken.

Door de maandelijkse afvoer-neerslagrelaties toe te passen voor neerslagwaarden te Ukkel waargenomen, berekent men van maand tot maand de overeenstemmende afvoerhoogten voor de Dijle, de Grote Nete (II) en de Kleine Nete. De Dijle-afvoer wordt als de natuurlijke afvoer aangenomen. De afvoerhoogte overeenstemmend met de Maas-aanvoer berekent men dan uit:

$$h_{\text{Maasaanvoer}} = (h_{\text{Grote Nete}} - h_{\text{Dijle}}) + (h_{\text{Kleine Nete}} - h_{\text{Dijle}}).$$

Omrekening van de h-waarden naar debieten kan dan geschieden via de hydrografische oppervlakte aan de meetraaien van Grote- en Kleine Nete en sommen.

Dergelijke berekening geeft natuurlijk slechts een ruwe benadering. Het natuurlijk debietsverloop van maand tot maand kan inderdaad verschillend zijn voor de Dijle en de Neten. Mogelijke verschillen wegens ruimtelijke neerslagspreiding over de bekkens werken echter in dezelfde zin voor Dijle en Neten door uit te gaan van de neerslag te Ukkel voor beide rivieren.

Op analoge wijze zou men een schatting kunnen maken van de maandelijkse afvoer uit het Scheldebekken naar de Westvlaamse kanalen en het kanaal Gent-Terneuzen. Het is echter aangeraden door middel van meetgegevens de geldigheid van dergelijke berekeningen aan de werkelijkheid te toetsen.

- c) Afvoer-neerslagrelaties voor andere bekkens kan men op analoge wijze als voor het Scheldebekken opmaken, mits de uitdrukkingen van de representatieve neerslag aan te passen. Een onderzoek in deze richting, werd voor het Maasbekken begonnen, maar valt buiten het bestek van onderhavige tekst en wordt hier dus slechts vermeld.
- d) Mits grondwaterpeilwaarnemingen in het afvoer-neerslagonderzoek te betrekken zou men tot een globaal hydrologisch bilan kunnen komen.

VII. Afvoer - Neerslag - Temperatuurrelatie

In de maandelijkse neerslag-afvoerrelatie kan de temperatuur tot uitdrukking gebracht worden zoals we zullen aantonen met als voorbeeld de Schelde te Schelle.

De algemene neerslag-afvoerrelatie (19) kan onder volgende vorm geschreven worden:

$$\frac{h'}{N'} = \frac{h}{n'} = k_1 \vec{N'} + k_2 = k_2 \left(\frac{k_1}{k_2} \vec{N'} + 1 \right) \quad (20)$$

Nu blijken k_2 en $\frac{k_1}{k_2}$ in eerste benadering lineaire functies van de temperatuur (figuur 32) dus periodieke tijdsfuncties te zijn (periode 12 maanden) zodat (20) wordt:

$$\frac{h}{n'} = (a(t^\circ)' + b) \left(\frac{1}{c(t^\circ)' + d} \vec{N'} + 1 \right) \quad (21)$$

met a, b, c en d

constanten en $(t^\circ)'$ een representatieve temperatuur gedefinieerd als: $(t^\circ)' = \frac{t^\circ_i + t^\circ_{i+1} - 1}{2}$, om rekening te houden met de veertiendaagse tijdsdecalage tussen temperatuur en gevolg ervan op de afvoer door de evapotranspiratie.

De $(t^\circ)'$ gemiddelde waarden over een lange periode blijken aan een zuivere sinusfunctie te voldoen van de tijd. Voor onze streken (Ukkel) geldt (fig. 32):

$$(t^\circ)' = 7,20 \sin \frac{2\pi\tau}{12} + 9,82 \quad (22)$$

(τ = tijd, maand als eenheid) met $\tau = 0,29$ voor de maand mei, 1,29 voor juni, 2,29 voor juli enz.

De $(t^\circ)'$ zijn dus vaste waarden voor iedere maand.

Voor de Schelde te Schelle geldt:

$$\begin{aligned} a &= 0,00735 & c &= -12,5 \\ b &= -0,275 & d &= -285 \end{aligned}$$

Deze formule werd toegepast voor de berekening van de h-waarden welke op figuur 33 vergeleken worden met de gemeten waarden voor de periode 1949-1975. De overeenkomst tussen waarneming en berekening is te vergelijken met deze bekomen door de onder hoofdstuk VI beschreven methode.

Voor de andere rivieren werd een analoge formule uitgewerkt met aangepaste coëfficiënten a, b, c en d (zie tabel VII). Voor deze rivieren werden de resultaten weergegeven op de figuren 34 tot 41.

Voor de Schelde opwaarts de Rupel, de Rupel en Zenne (II) werd uitgegaan van de neerslag te Ukkel. Voor de Dender en de Dijle van de neerslag over Dender- en Dijlebekken, voor de Schelde te Gentbrugge van de neerslag over Vlaanderen, voor de Kleine Nete en de Grote Nete (II) van de neerslag over de Kempen.

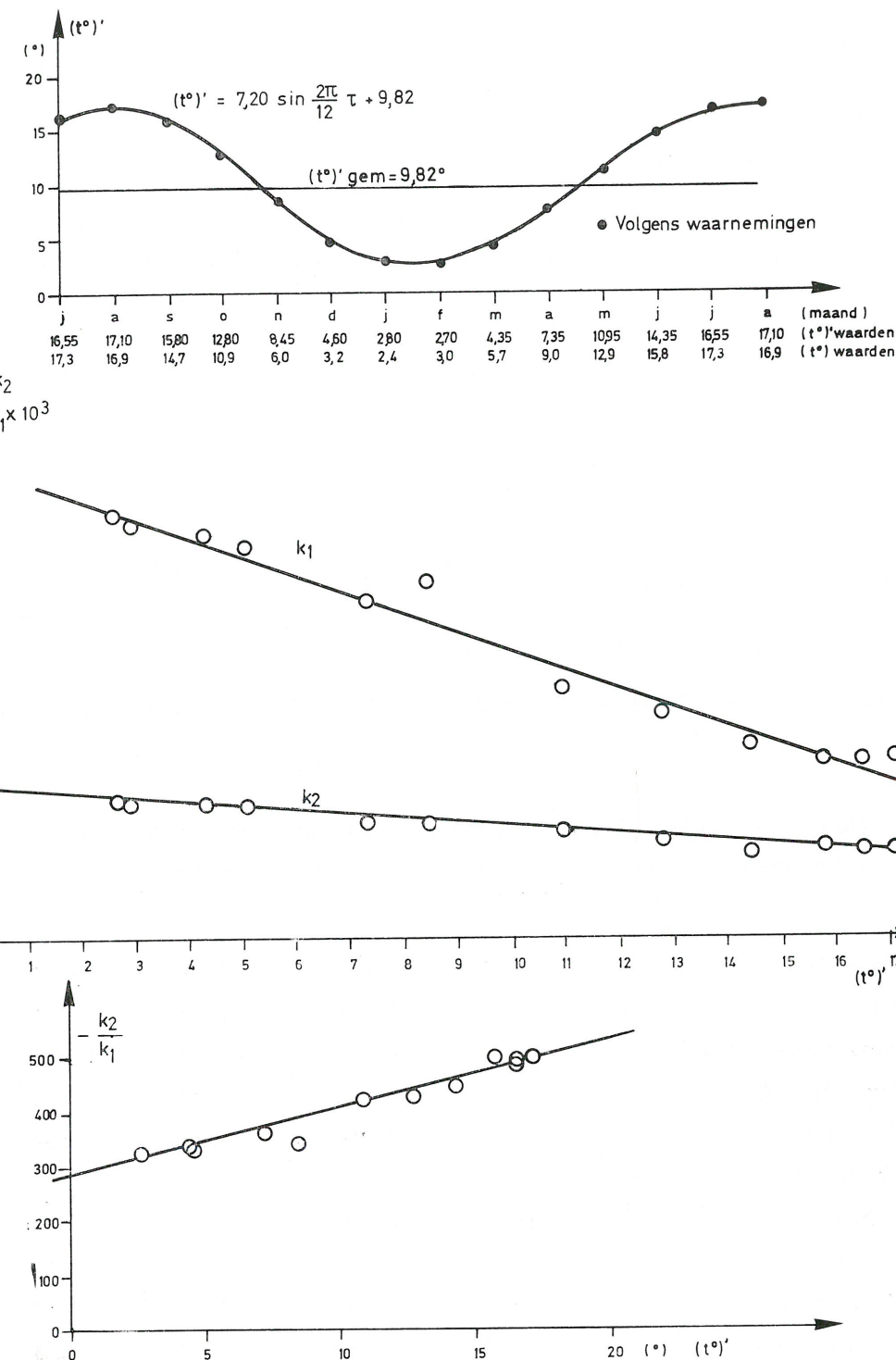


Fig. 32. — Verloop van maandgemiddelde representatieve temperatuur $(t^\circ)'$ en van k_1 , $-k_2$ en $-\frac{k_2}{k_1}$ in functie van $(t^\circ)'$.

Indien weinig meetgegevens beschikbaar zijn is het in principe nog mogelijk voor een rivier van het Scheldebekken een eerste benadering van de maandelijkse afvoer te bekomen uitgaande van de neerslag, zoals figuur 42 aantoont voor de Demer te Aarschot

waarvoor alleen meetgegevens van januari en juli 1973 verwerkt zijn, voor de bepaling van de coëfficiënten a, b, c en d. Voor de te volgen werkwijze in zulk geval wordt verwezen naar [18].

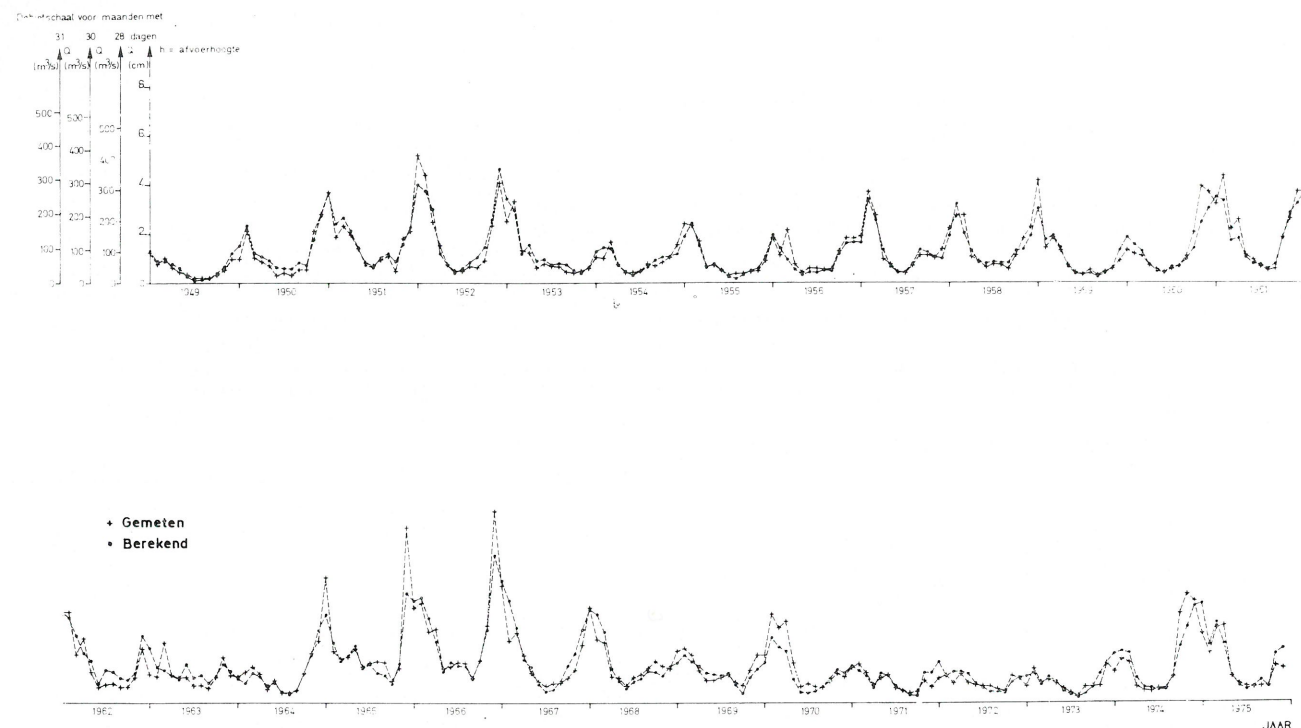


Fig. 33. — Waargenomen en berekende afvoer met afvoer-neerslag-temperatuurformule uitgaande van neerslag te Ukkel voor Schelde te Schelle.

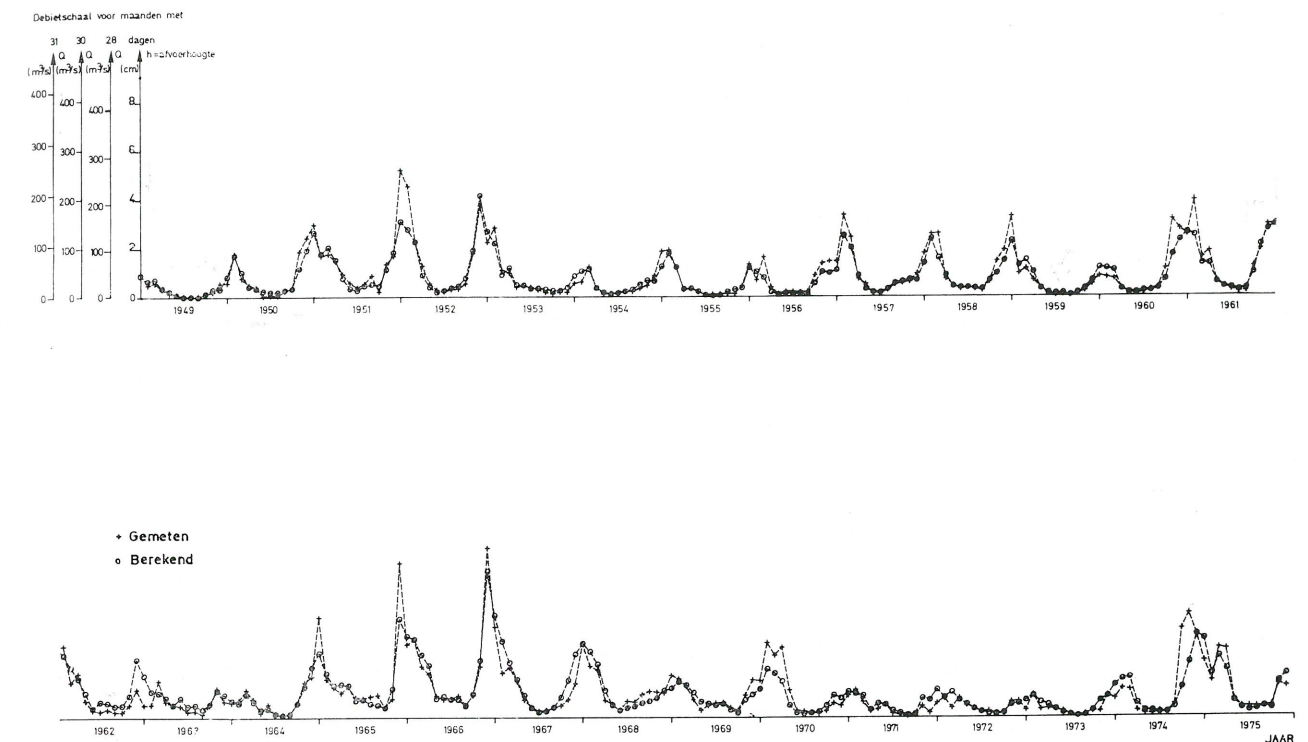


Fig. 34. — Waargenomen en berekende afvoer met afvoer-neerslag-temperatuurformule uitgaande van neerslag te Ukkel voor Schelde opwaarts Rupel.

TABEL VII. Afvoer - Neerslag - Temperatuurrelatie - Waarden van a, b, c, d.

	Periode ⁽¹⁾	a	b	c	d
1. Schelde Schelle - Ukkel	1949-1973	0,00735	— 0,275	— 12,50	— 285,00
2. Rupel - Ukkel	idem	0,00145	— 0,144	— 8,80	— 140,07
3. Schelde opwaarts Rupel - Ukkel	idem	0,00665	— 0,178	— 15,00	— 254,90
4. Schelde Gentbrugge - Vlaanderen	idem	0,03630	— 0,659	— 0,13	— 520,40
5. Dijle - Dijlebekken	idem	0,00562	— 0,187	— 5,58	— 204,50
6. Kleine Nete - Kempen	idem	0,00180	— 0,068	— 3,01	— 47,02
7. Grote Nete (II) - Kempen	idem	0,00435	— 0,152	— 6,04	— 127,90
8. Zenne (II) - Ukkel	idem	0,00684	— 0,167	+ 1,24	— 161,50
9. Dender - Denderbekken	idem	0,01600	— 0,362	— 4,46	— 317,49
10. Demer (Aarschot) - Kempen	jan. en juli 1973	0,00565	— 0,187	— 5,38	— 203,40

De hiervoor vermelde formulering dient als het resultaat van een eerste onderzoek opgevat te worden. Verdere studie kan tot nadere precisering ervan leiden

en de minder goede overeenkomst verbeteren tussen waarneming en berekening voor enkele rivieren.

⁽¹⁾ Periode aangewend voor bepaling van a, b, c en d.

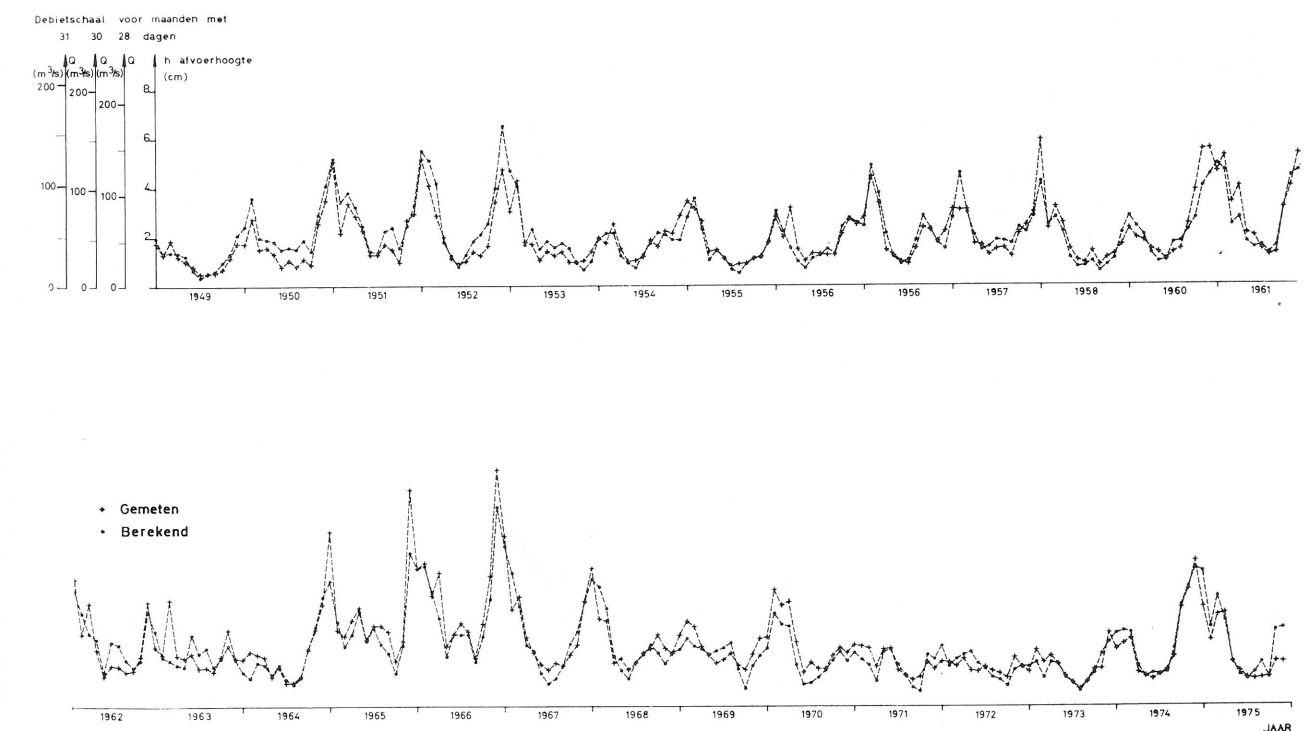


Fig. 35. — Waargenomen en berekende afvoer met afvoer-neerslag-temperatuurformule uitgaande van neerslag te Ukkel voor Rupel (monding).

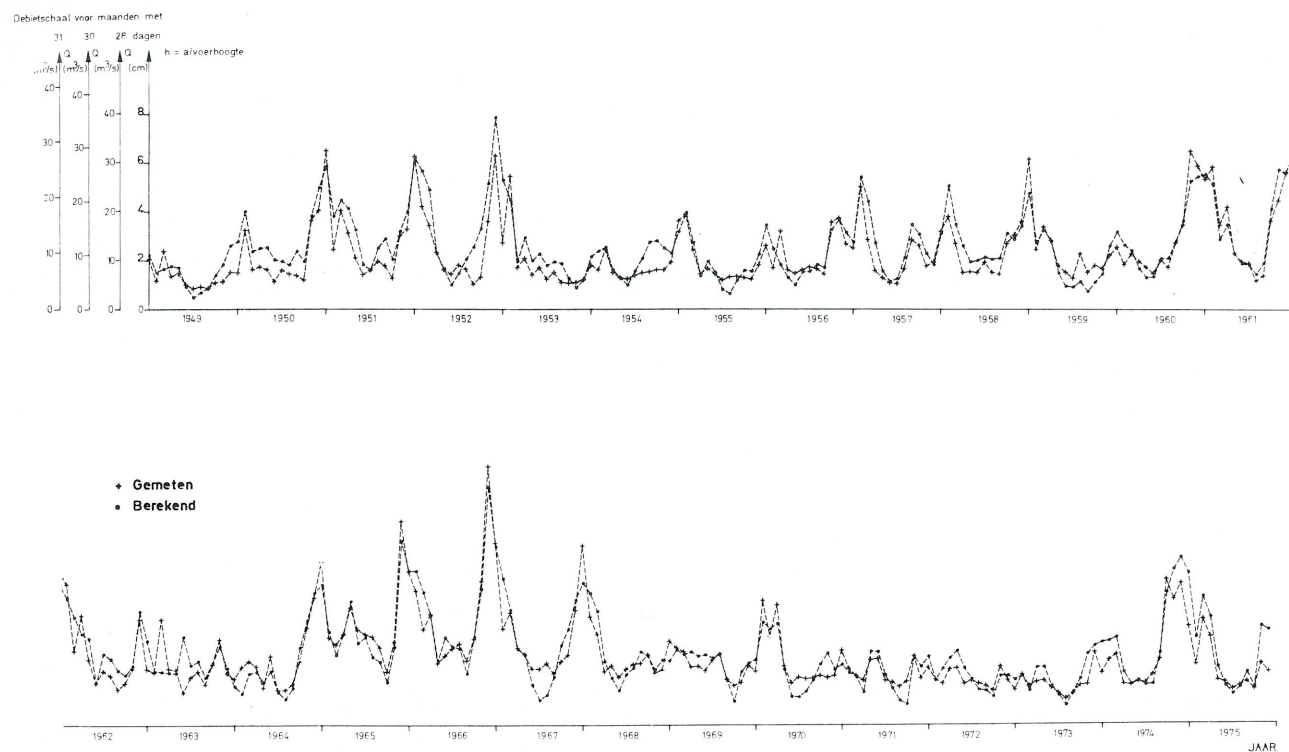


Fig. 36. — Waargenomen en berekende afvoer met afvoer-neerslag-temperatuurformule uitgaande van neerslag te Ukkel voor Zenne (II).

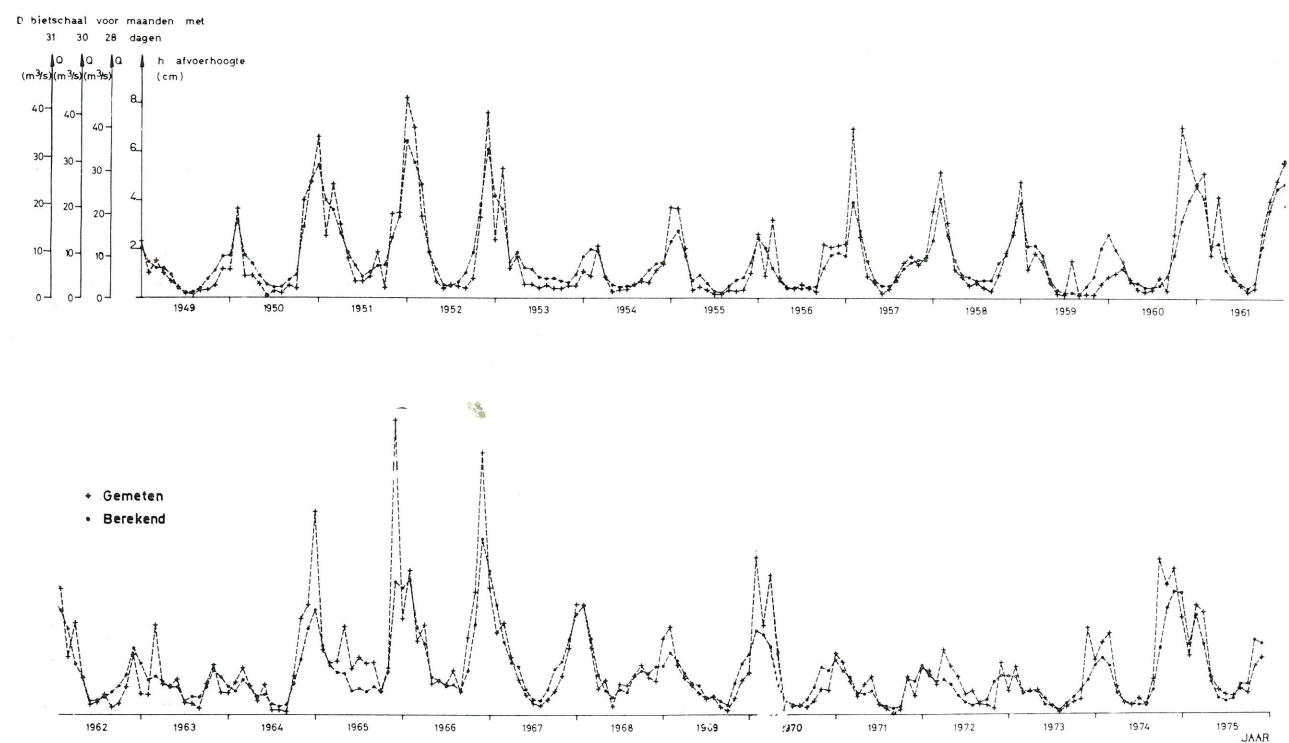


Fig. 37. — Waargenomen en berekende afvoer met afvoer-neerslag-temperatuurformule uitgaande van neerslag over Denderbekken voor Dender (monding).

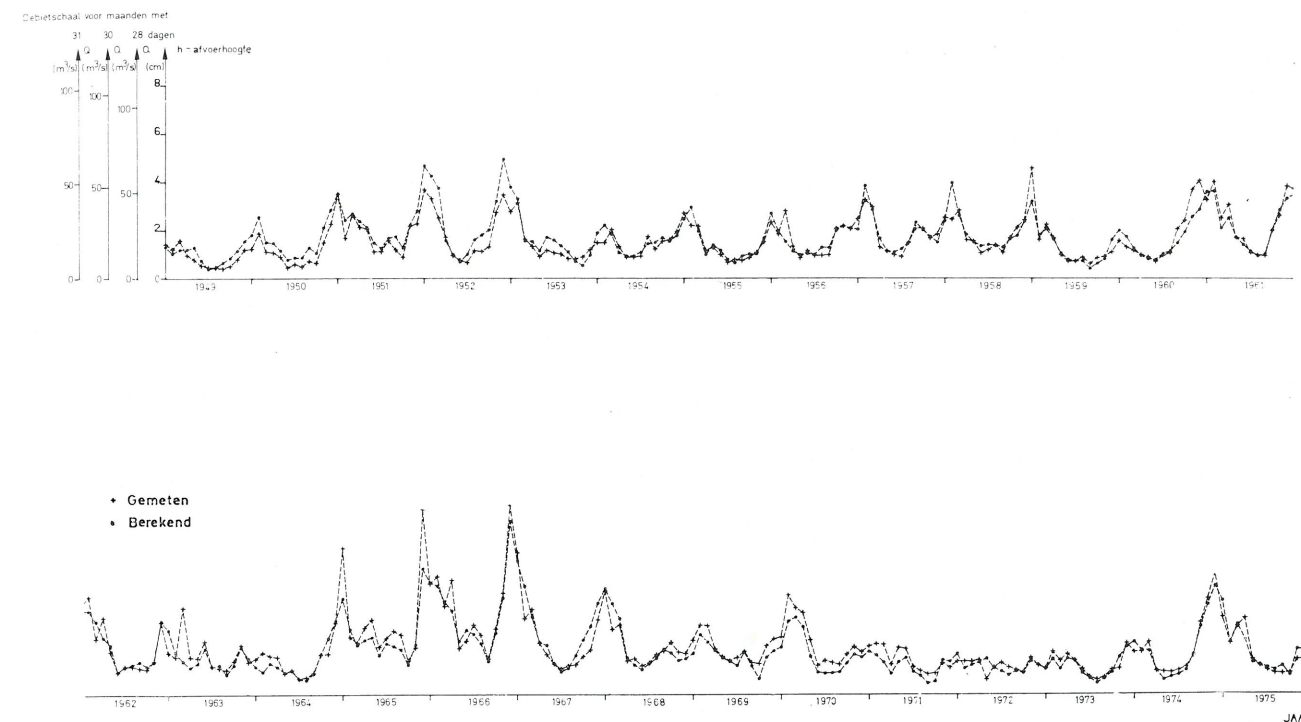


Fig. 38. — Waargenomen en berekende afvoer met afvoer-neerslag-temperatuurformule uitgaande van neerslag over Dijlebekken voor Dijle (monding).

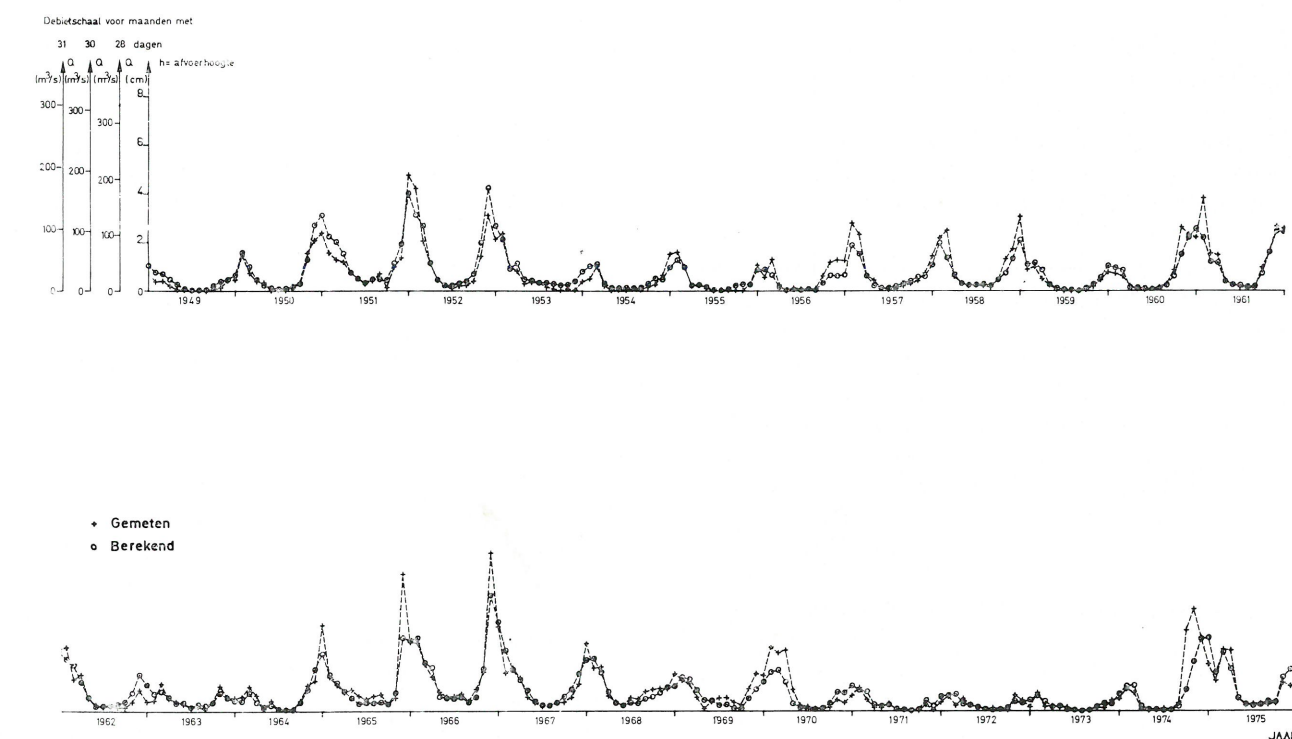


Fig. 39. — Waargenomen en berekende afvoer met afvoer-neerslag-temperatuurformule uitgaande van neerslag over Vlaanderen voor Schelde te Gent (en Merelbeke).

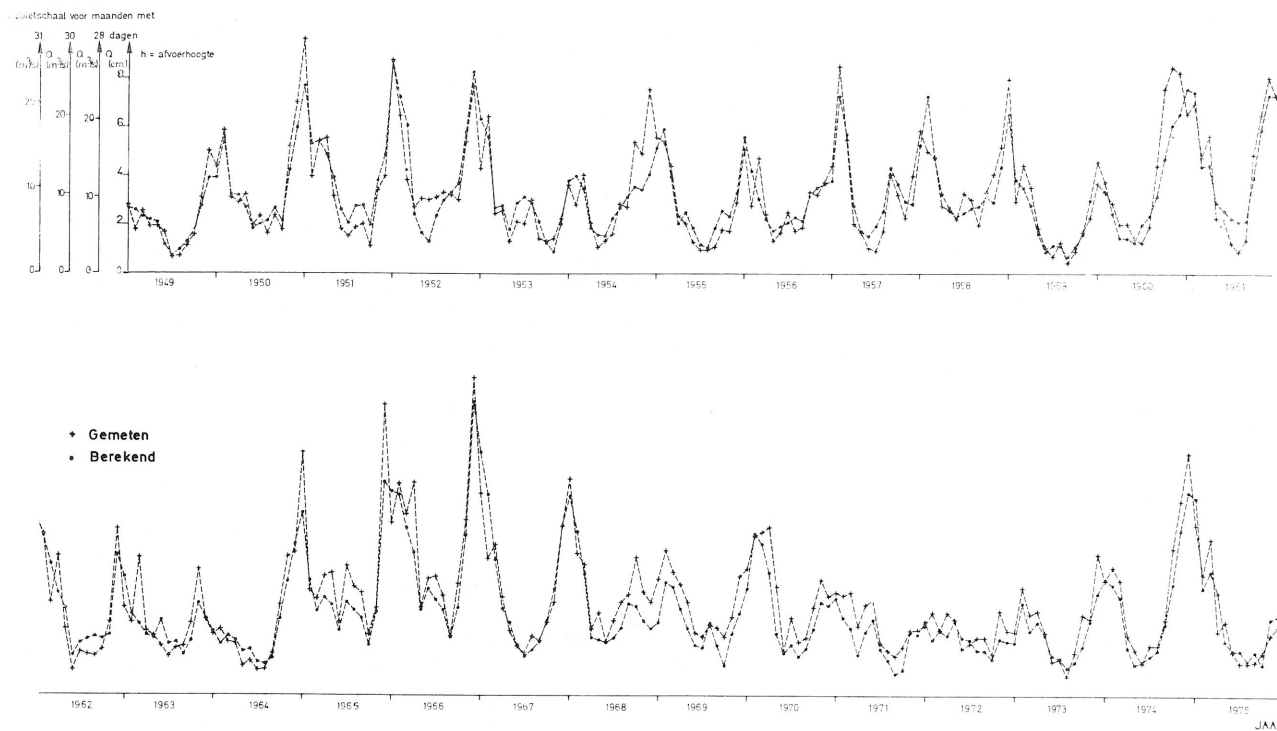


Fig. 40. — Waargenomen en berekende afvoer met afvoer-neerslag-temperatuurformule uitgaande van neerslag over Kempen voor Kleine Nete (monding).

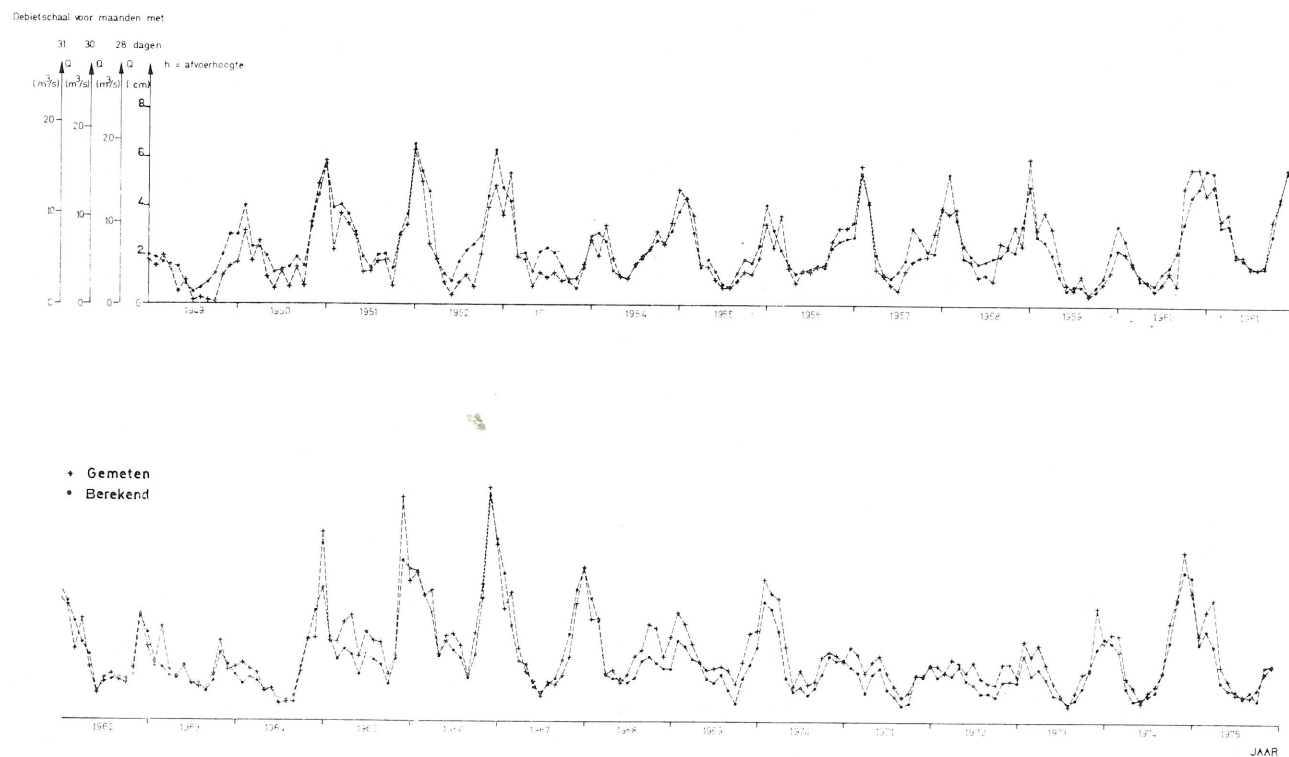


Fig. 41. — Waargenomen en berekende afvoer met afvoer-neerslag-temperatuurformule uitgaande van neerslag over Kempen voor Grote Nete (II) (monding).

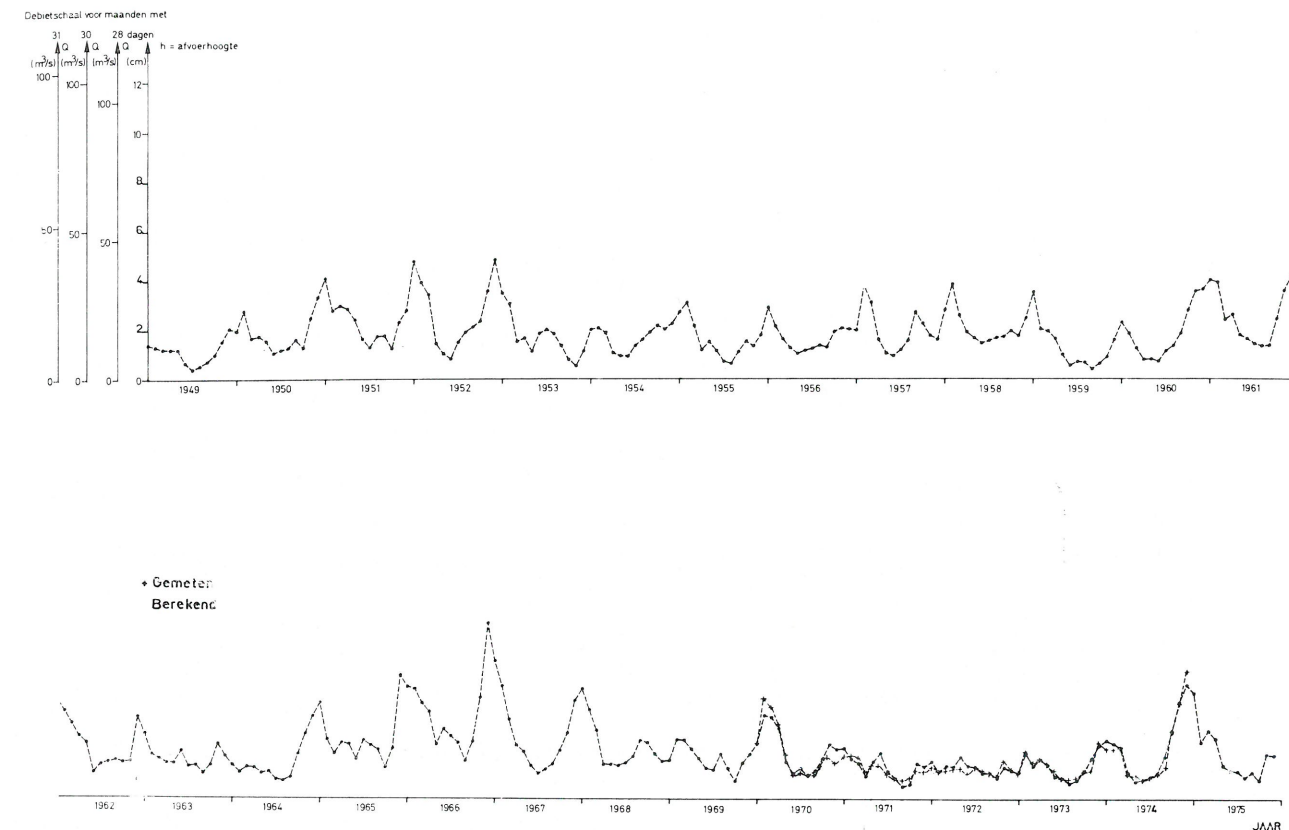


Fig. 42. — Waargenomen en berekende afvoer met afvoer-neerslag-temperatuurformule uitgaande van neerslag over Kempen voor Demer te Aarschot (alleen uitgegaan van neerslag over januari en juli 1973 voor bepaling van de coëfficiënten a, b, c, en d).

VIII. Evolutie van het jaarlijks afvoer-neerslagregime van Schelde en bijrivieren sedert 1949

Voor de verschillende rivieren van het Scheldebekken voldoet het jaarlijks afvoer-neerslagverband zoals we zagen in hoofdstuk II aan een betrekking van de vorm:

$$H = K_1 N'^2 + K_2 N'$$

De afvoercoëfficiënt $\frac{H}{N'}$ is dus een lineaire functie van N' .

Om de evolutie van het jaarlijks afvoer-neerslagregime te kunnen volgen kan men dus het verloop van $\frac{H}{N'}$ met N' nagaan.

Om systematische afwijkingen van blijvende aard van het neerslag-afvoerregime te kunnen beoordelen wordt echter beter de cumulatieve som van beide parameters gemaakt en uitgezet in een $(\Sigma H/N', \Sigma N')$ diagram. Indien zich geen regimewijzigingen voordoen moet het verloop hiervan rechtlijnig zijn.

Voor de verschillende aan het tijlgebied grenzende rivieren en voor de Schelde en de Rupel werd dergelijk diagram opgemaakt (fig. 43) voor de periode 1949-1976 en voor neerslagwaarden waargenomen te Ukkel. Een relatieve hoekverdraaiing van de lijnfragmenten ten opzichte van de gemiddelde rechte wijst op een tijdelijke regimewijziging (of afwijking van het gemiddeld verband), terwijl systematische afwijkingen ten opzichte van deze rechte, op een blijvende regimeverandering wijzen.

Men merkt op dat geen bijzondere regimewijzigingen kunnen vastgesteld worden voor de verschillende rivieren van het Scheldebekken, inderdaad leveren de waarnemingen een $(\Sigma H/N', \Sigma N')$ verband op dat tijdens de periode 1949-1976 vrijwel lineair is en weinig verandering vertoont.

Dit geldt zowel voor de Schelde te Schelle, de Rupel en de Schelde opwaarts Rupelmonde, als voor de Dender, Dijle, Zenne (II) en Grote Nete (II), de Kleine Nete en de Schelde aan de stuwen te Gent.

Voor de Dijle is een geringe verhoging van de afvoercoëfficiënt waar te nemen tussen 1965 en 1970, welke

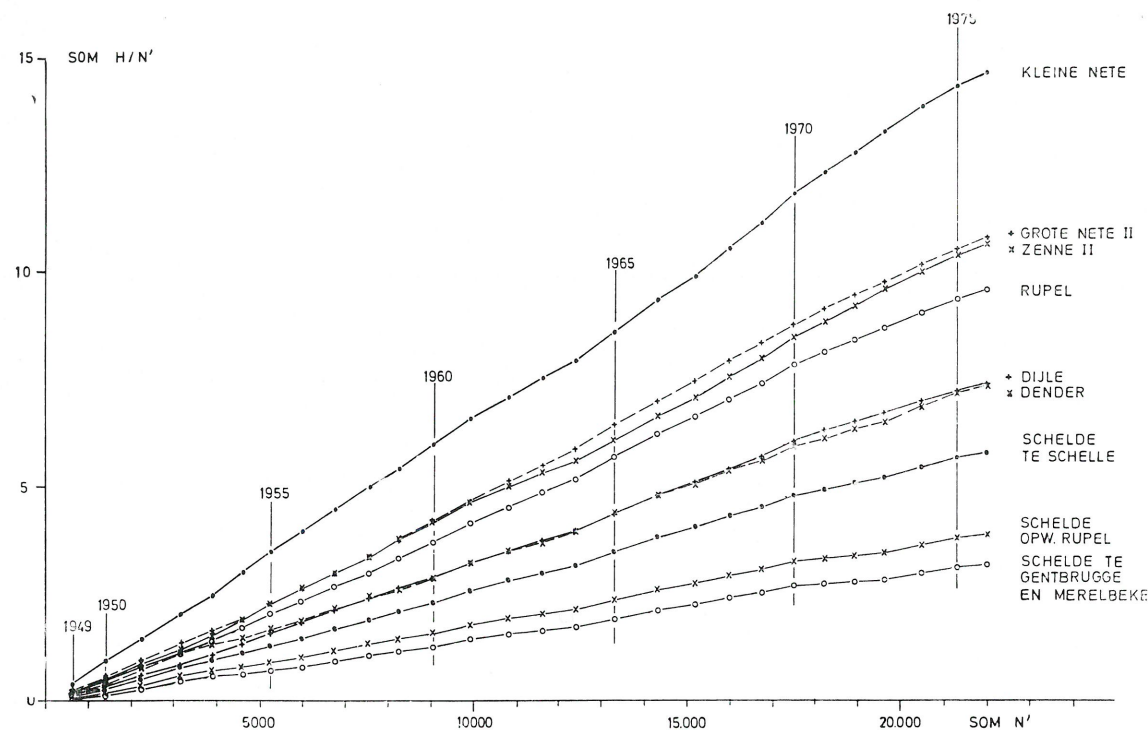


Fig. 43. — Cumulatieve representatieve afvoercoëfficiënt in functie van cumulatieve representatieve neerslag.

zich na 1970 niet heeft doorgezet. Voor de Schelde aan de stuwen te Gent wordt eerder een verlaging van de afvoercoëfficiënt waargenomen sedert 1970. Vermelden we echter dat de stuw van Merelbeke in dienst genomen werd in 1969 en er sindsdien mogelijk een verhoogde afvoer naar het Kanaal Gent-Terneuzen plaatsvindt. Of deze veranderingen blijvend zijn kan nog niet uitgemaakt worden.

Voor de Grote Nete (II) en de Kleine Nete en in mindere mate ook voor de Zenne, treedt een zekere langperiodieke schommeling op rond de gemiddelde rechte welke voor de Rupel nog zichtbaar is. Een verklaring hiervoor is misschien te vinden in het feit dat deze rivieren via de Kempische kanalen (en het waterverbruik te Brussel voor de Zenne) ook debieten afkomstig van het Maasbekken afvoeren, wat voor zekere jaren meer als een storende invloed op de normale afvoer-neerslagrelatie van deze rivieren wordt ervaren dan voor andere jaren. Er moet hier echter ook rekening gehouden worden met mogelijke meetonauwkeurigheden en met de steeds min of meer onvolmaakte definiëring van de representatieve neerslag.

In het algemeen kan men besluiten dat er zich voor de beschouwde periode geen bijzondere en blijvende veranderingen voorgedaan hebben in het jaarlijks afvoer-neerslagregime van de verschillende bijrivieren die in het gebied van de Schelde en de Rupel uitmonden.

IX. Afvoer van Schelde en bijrivieren in het verleden

De neerslagwaarnemingen gaan veel verder in het verleden terug dan de afvoerwaarnemingen. Het is daarom wel interessant om door middel van de hoger verkregen neerslag-afvoerrelaties na te gaan welke mogelijk de afvoer van Schelde en bijrivieren in het verleden was (vóór 1949).

Toepassing van deze relaties in het verleden veronderstelt echter dat zich geen wijzigingen voorgedaan hebben in het afvoer-neerslagregime. De aldus bekomen resultaten kunnen daarom slechts mits het nodige voorbehoud weerhouden worden. Toch kunnen ze voor vergelijkende studies nuttige aanwijzingen geven en bijvoorbeeld een bijdrage vormen voor de studie van de rivierevolutie. Ook kan in principe nagegaan worden welke omstandigheden de afvoer-neerslagverhoudingen in het verleden gewijzigd kunnen hebben.

Met bovenstaande bedenkingen voor ogen werd voor de Schelde te Schelle, de Rupel, de Schelde te Rupelmonde en de Schelde te Gentbrugge de afvoer berekend (Tabel VIII) voor de tienjaarlijkse gemiddelden vanaf 1833, jaar waarin de waarnemingen te Brussel een aanvang namen. Vanaf 1889 heeft men rechtstreekse waarnemingen beschikbaar voor Ukkel. Tussen 1833-1889 kunnen slechts onrechtstreekse gegevens voor Ukkel afgeleid worden. Ze werden aangewend volgens opgave van het Koninklijk Meteorologisch

TABEL VIII. Afvoer scheldebekken - Tienjaarlijkse gemiddelden

Periode	Neerslag N in mm	Afvoer (m ³ /s)			
		Schelde Schelle	Schelde opw. Rupel	Rupel	Schelde Gentbrugge
1833-40	(750.7)	(83.4)	(35.6)	(48.9)	(29.5)
41-50	(806.0)	(104.9)	(46.3)	(58.6)	(36.6)
51-60	(746.6)	(81.9)	(34.9)	(48.2)	(29.0)
61-70	(721.5)	(72.9)	(30.4)	(44.1)	(26.0)
71-80	(804.2)	(104.2)	(45.9)	(58.3)	(36.3)
81-90	(772.2)	(91.5)	(39.6)	(52.6)	(32.1)
91-00	729.9	75.9	31.9	45.5	27.0
1901-10	784.3	96.2	42.0	54.7	33.7
11-20	876.3	135.2	61.5	72.2	46.5
21-30	845.2	121.4	54.6	66.0	42.0
31-40	819.8	110.5	49.2	61.2	38.4
41-50	767.1	89.6	38.7	51.7	31.5
51-60	766.9	89.5	38.6	51.7	31.5
61-70	837.9	118.2	53.0	64.6	40.9
Gemiddelde 1891-1970	803.4	103.8	46.2	58.4	36.2

Instituut. Vóór 1890 zijn de resultaten dan ook tussen haakjes weergegeven, vooral ook omdat de neerslag-afvoerrelaties tussen 1833-1900 vrijwel zeker gewijzigd werden door verschillende werken zoals de aanleg van het Leiekanaal tussen 1847 en 1862, de bouw van de stuw te Gentbrugge, wijzigingen aan de waterafvoer via de Kempische kanalen en andere.

De veronderstelling dat zich geen wijzigingen voorgedaan hebben sedert de eeuwwisseling in het gemiddeld afvoer-neerslagregime is niet volledig uit de lucht gegrepen. Het neerslag-afvoer gegeven door ir. Van Brabandt vermeld [8] is inderdaad niet in tegenspraak met de neerslag-afvoermetingen tijdens de periode 1949-1973 (fig. 3).

Volgens het algemeen verloop van de afvoer sedert 1891 zouden de extreme waarden van de tienjaarlijkse afvoerhoogten voor de Schelde te Schelle tussen een minimum liggen van $H = 124,9$ mm (periode 1891-1900) en een maximum van $H = 222,6$ mm (periode 1911-1920). De overeenstemmende waarden voor de specifieke afvoer q (l/sec/km²) en de afvoer Q (m³/s) bedragen:

$$q_{\max} = 7,1 \text{ l/sec/km}^2 \text{ en } Q_{\max} = 135,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_{\min} = 4,0 \text{ l/sec/km}^2 \text{ en } Q_{\min} = 75,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

De verhouding tussen maximum en minimumafvoer zou dus 1,78 bedragen. Het algemeen gemiddelde voor de periode 1891-1970 zou bedragen:

$$H_{\text{gem}} = 170,8 \text{ mm}$$

$$q_{\text{gem}} = 5,4 \text{ l/sec/km}^2$$

$$Q_{\text{gem}} = 103,8 \text{ m}^3/\text{sec}$$

De tienjaarlijkse afvoercoëfficiënt $\frac{H}{N}$ zou als gemiddelde waarde $\frac{H}{N} = 0,21$ en als uiterste waarden:

$$\left(\frac{H}{N}\right)_{\min} = 0,17 \text{ (1891-1900) en } \left(\frac{H}{N}\right)_{\max} = 0,25 \text{ (1911-1920) bedragen.}$$

Voor de Schelde te Schelle werd ook de jaargemiddelde afvoer berekend vanaf 1893, waarbij nogmaals benadrukt wordt dat men natuurlijk de nodige reserves moet in acht nemen, wegens de toegepaste extrapolatie (Tabel IX).

TABEL IX. Afvoer Schelde te Schelle: jaargemiddelden vanaf 1893.

Jaartal	Berekende afvoer Q (m ³ /s)	Jaartal	Berekende afvoer Q (m ³ /s)
1893	35.8	1935	108.3
1894	56.9	1936	103.2
1895	73.9	1937	123.6
1896	76.7	1938	93.9
1897	69.4	1939	122.4
1898	40.7	1940	121.0
1899	43.8	1941	103.5
1900	49.7	1942	102.8
1901	61.2	1943	96.5
1902	74.8	1944	104.5
1903	101.5	1945	92.3
1904	80.7	1946	108.6
1905	110.4	1947	74.4
1906	112.8	1948	82.5
1907	78.3	1949	42.5
1908	60.1	1950	77.9
1909	83.4	1951	116.3
1910	140.9	1952	145.6
1911	119.5	1953	80.6
1912	138.1	1954	66.0
1913	118.2	1955	69.1
1914	128.9	1956	81.3
1915	137.3	1957	99.7
1916	184.3	1958	106.7
1917	160.0	1959	78.4
1918	138.4	1960	104.3
1919	153.1	1961	149.0
1920	122.6	1962	122.5
1921	42.5	1963	84.9
1922	77.6	1964	82.0
1923	119.4	1965	175.9
1924	139.9	1966	206.6
1925	182.7	1967	129.9
1926	169.6	1968	121.3
1927	144.5	1969	100.7
1928	132.1	1970	120.0
1929	93.6	1971	65.6
1930	124.7	1972	61.8
1931	126.7	1973	56.3
1932	132.2	1974	125.6
1933	100.1	1975	110.0
1934	79.9		

Voor de Schelde te Gentbrugge zijn jaarlijkse en maandelijkse afvoergegevens beschikbaar voor de

periode 1921-1930 [5]. De redelijk goede overeenkomst tussen berekening en metingen (fig. 44 en 45) valt in het voordeel uit van de veronderstelling dat er zich in de loop der voorbije decennia — en zoals nu blijkt in de eerste plaats sedert 1921 — geen fundamentele wijzigingen hebben voorgedaan in het gemiddeld afvoer-neerslagregime van de Schelde.

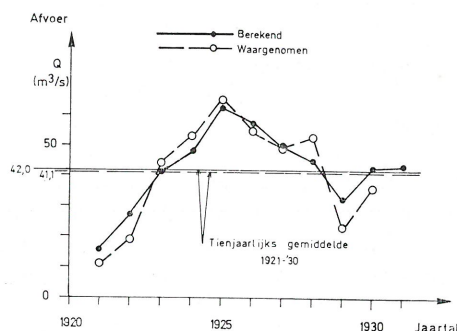


Fig. 44. — Waargenomen en berekende jaarlijkse afvoer voor de Schelde te Gentbrugge (neerslag te Ukkel) voor de periode 1921-1930.

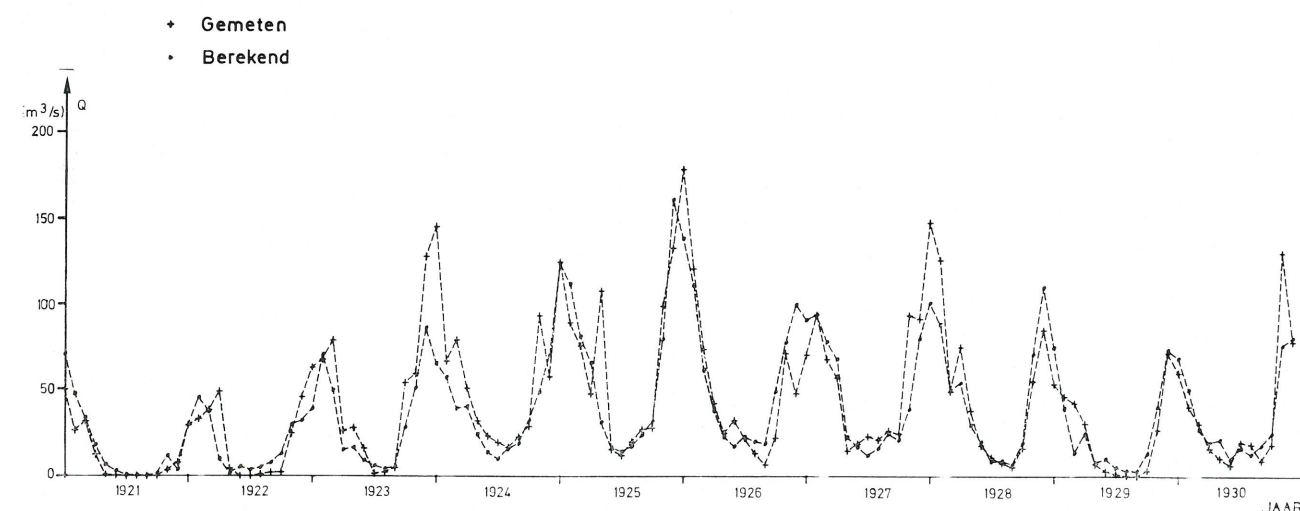


Fig. 45. — Waargenomen en berekende maandelijkse afvoer voor de Schelde te Gentbrugge (neerslag te Ukkel) voor de periode 1921-1930.

BESLUITEN

Door rekening te houden met de vertragingen die tussen neerslag en afvoer optreden werden door geschikte verwerking van de neerslagmeetgegevens voor de voornaamste rivieren van het Scheldebekken grenzend aan het tijgebied van deze rivier, neerslag-afvoerrelaties bepaald, zowel voor maandgemiddelden, als voor jaarlijkse en tienjaarlijkse gemiddelden. Hierbij werd nagegaan welke periodieke variaties zowel de neerslag over verschillende jaren en maanden als de

afvoer over verschillende maanden (seizoeninvloed) kenmerken.

De hier voorgestelde berekeningswijzen voor de maandelijkse, jaarlijkse, tienjaarlijkse afvoer uitgaande van de neerslag geeft resultaten die voor de Schelde en haar voornaamste bijrivieren behoorlijk met de waarnemingen overeenstemmen, gelet op de lange periode die beschouwd wordt en de neerslagomstandigheden die zich tijdens deze periode voordeden gaande van extreem droge naar uiterst natte.

Zelfs als men alleen Ukkel als basispost voor de neerslag beschouwt is de afvoer-neerslagrelatie redelijk goed. Voor de kleinere bekkens is het echter aangegeven uit te gaan van de neerslag over het bekken vooral voor de bekkens waarvoor Ukkel niet als centrale post kan aangezien worden.

Daar men tussen berekening en waarneming over deze lange periode geen bijzondere systematische afwijkingen vaststelt mogen we aannemen dat het gemid-

deld afvoer-neerslagregime van de Schelde geen uitermate belangrijke wijzigingen heeft ondergaan de laatste decennia sedert 1949. Hetzelfde besluit kan men trekken door de tijdevolutie van de cumulatieve afvoercoëfficiënt te beschouwen.

Een neerslag-afvoer-temperatuurformulering werd uitgewerkt, waardoor het ondermeer mogelijk wordt een redelijke schatting van de maandgemiddelde afvoer te maken, ook voor rivieren waarvoor relatief geringe metingen voorhanden zijn. Bij deze formulering werd

rekening gehouden met de veertiendaagse vertraging tussen de maandelijkse temperatuur en de invloed ervan op de evapotranspiratie van het bekken.

Ook werd enige aandacht besteed aan het verband tussen de afvoer van de verschillende rivieren van het Scheldebekken onderling en aan de afvoer van de Schelde in het verleden.

Het is duidelijk dat tal van problemen nader onderzoek vergen om ons inzicht in de neerslag-afvoerrelaties voor de Schelde te verbeteren en uit te breiden.

We vermelden hierbij ondermeer de invloed van spreiding van de neerslag in ruimte en tijd, meer bepaald de neerslagverdeling binnen de maand, extreme winter- en zomeromstandigheden, de fysieke achtergronden bij de voorgestelde formuleringen, de meetnauwkeurigheden vooral bij zeer grote of zeer kleine afvoer.

Wegens het eenvoudig karakter van de hier voorgestelde berekeningswijzen en formulering wordt gehoopt een nuttige bijdrage te hebben geleverd voor de studie van de hydraulische problemen die nauw samenhangen met de afvoer van de rivieren van het Scheldebekken en die de laatste jaren meer en meer op de voorgrond zijn getreden (waterkwaliteit, mengverschijnselen, evolutie van rivierregime e.a.).

Mede door het feit dat de afvoer van een rivier als de Schelde slechts een fractie van de neerslag bedraagt is het noodzakelijk steeds en blijvend aandacht te besteden aan de volledigheid en nauwkeurigheid van de systematisch uit te voeren afvoermetingen.

september 1977.

LITERATUROPGAVE

1. Debieten van het Scheldebekken — periode 1959-1972 — Ministerie van Openbare Werken — Bestuur der Waterwegen — Antwerpse Zeediensten. Januari 1974.
2. De debieten van het Scheldebekken in 1973 — Antwerpse Zeediensten. Mei 1974.
3. De debieten van het Scheldebekken in 1974 — Antwerpse Zeediensten. Maart 1975.
4. De debieten van het Scheldebekken in 1975 — Antwerpse Zeediensten. April 1976.
5. Afvoer over de stuw te Gentbrugge 1921-1930 — Bruggen en Wegen te Gent. Hydrologische studies verslag 5 — ir. Van Cauwenberghe M. en T. ing. A. Longval.
6. Koninklijk Meteorologisch Instituut van België — maandoverzichten 1946 tot 1975. — Ukkel.
7. Aperçu sur la variation séculaire des précipitations en Belgique — M.L. Poncelet. La technique de l'Eau — juni 1952.
8. Recueil de documents relatifs à l'Escaut Maritime — Etudes sur le régime des rivières du bassin de l'Escaut Maritime (1907).
9. L'hydrologie de l'ingénieur, G. Réménieras — Eyrolles 1965 — Paris.

10. Tienjarig overzicht der waterhoogten en afvoeren 1961-1970 — Rijkswaterstaat Nederland.
11. Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het tijdperk 1961-1970 — ir. J. Theuns en ir. I. Coen — Tijdschrift Openbare Werken van België nr. 3 1972-1973.
12. Esquisse climatographique de la Belgique — M.L. Poncelet et H. Martin — 1947. Institut Royal Météorologique de Belgique.
13. Etude du régime des rivières du bassin de l'Escaut Maritime par cubature de la marée moyenne décennale 1921-1930. L. Bonnet et J. Blockmans — Ann. Trav. Publ. Juin 1936.
14. Cours d'hydraulique IIe partie — L.J. Tison — Gand 1953.
15. De simulatie van de afvoer in het waterbekken van de Zwalm volgens verschillende methodes — A. Van der Beken en F. De Troch — 1973 — Revue C Tijdschrift — Vol. VI Nos. 6/7.
16. Handbook of applied hydrology — Ven te Chow, Ph. D. Mc Graw-Hill Book Company, New-York.
17. Hydrologisch jaarboek van België — 1966 t.e.m. 1974. Interministeriële Commissie voor het waterbeleid. Koninklijk Meteorologisch Instituut van België.
18. Afvoer-neerslagrelaties voor Schelde en bijrivieren. Werkdocument maart 1977 — ir. I. Coen — Waterbouwkundig Laboratorium.

INHOUDSOPGAVE

	blz.
Lijst der gebruikte symbolen	205
Inleiding	206
I. Vertraging tussen neerslag en afvoer — Representatieve neerslag	206
II. Neerslag-afvoerrelaties voor meerjaarlijkse gemiddelden	208
III. Verband tussen de gemiddelde afvoer van de rivieren van het Scheldebekken onderling. Bilan van de afvoer	211
IV. De natuurlijke gemiddelde neerslag-afvoerrelatie van het Scheldebekken	213
V. Neerslag-afvoerrelaties voor jaargemiddelden	213
VI. Neerslag-afvoerrelaties voor maandgemiddelden	216
1. Algemene formulering	216
2. Maandgemiddelde afvoer van de rivieren van het Scheldebekken en neerslag te Ukkel	218
3. Ruimtelijke spreiding van de neerslag	220
VII. Afvoer-neerslag-temperatuurrelatie	230
VIII. Evolutie van het jaarlijks afvoer-neerslagregime van Schelde en bijrivieren sedert 1949	237
IX. Afvoer van Schelde en bijrivieren in het verleden	238
Besluiten	240
Literatuuropgave	241

RELATIONS PRECIPITATION-DEBITS POUR L'ESCAUT ET SES AFFLUENTS

La détermination du débit d'amont d'une rivière à marée telle que l'Escaut à partir de la précipitation sur son bassin hydrographique intéresse depuis longtemps les ingénieurs chargés de l'étude des problèmes concernant notamment le régime, les mécanismes du transport solide, les phénomènes de mélange des eaux et la pollution.

Disposant de mesures systématiques du débit d'amont de l'Escaut et ses affluents depuis 1949 ainsi que des données de précipitation l'établissement de relations précipitation-débits est devenu possible.

Les relations présentées ici sont basées sur des moyennes décennales, annuelles et mensuelles.

Pour l'Escaut et les affluents qui débouchent dans la zone à marée la moyenne décennale de la hauteur de la lame d'eau écoulée (H) ou du débit (Q) est une fonction quadratique de la précipitation (N) correspondante à Uccle. (formule 4 et tableau I).

Les relations sont fortement influencées par l'évacuation d'un débit important hors du bassin de l'Escaut en amont de Gand et par un apport d'eau provenant de la Meuse vers les bassins de la Senne et les deux Nèthes.

Le débit naturel de différentes rivières et la surface de leur bassin hydrographique sont liés linéairement par la formule (5).

Il en résulte une estimation de l'apport vers ou l'évacuation en dehors du bassin, ce qui conduit finalement au bilan des débits du bassin de l'Escaut présenté à la figure 7.

Pour tenir compte des fluctuations annuelles et mensuelles des précipitations et de leur influence sur la variation des retards des débits on a été obligé d'introduire la notion de précipitation représentative (N' et n') qui traduit d'une façon empirique l'influence régressive

dans le temps au débit des précipitations annuelles et mensuelles antérieures (formules 10 et 12). Les moyennes glissantes annuelles ($\vec{N}_i$) et mensuelles ($\vec{n}_i$) peuvent être considérées comme des mesures de la capacité de stockage variable du bassin.

La formule (4) reste valable pour les moyennes annuelles en remplaçant la précipitation décennale (N) par la précipitation représentative annuelle (N').

Il a été démontré que pour les moyennes mensuelles il existe entre la hauteur de la lame d'eau écoulée (h) et les moyennes glissantes des précipitations représentatives ($\vec{N}_i$) et ($\vec{n}_i$) un rapport de la forme (16).

L'influence possible de la répartition spatiale a été étudiée pour les moyennes mensuelles.

Les relations mensuelles ont été élargies par l'introduction de la température moyenne de deux mois successifs pour tenir compte du retard de l'effet d'un changement de température sur l'évapotranspiration.

En étudiant l'évolution du régime annuel on doit conclure qu'il ne se présentent pas de changements spéciaux et systématiques dans les relations moyennes pluies-débits pour l'Escaut et ses affluents principaux depuis 1949.

Une estimation des débits au moyen des données de précipitation à Uccle (ou à Bruxelles) antérieures a été faite, sous la stricte réserve que les relations moyennes pluies-débits restent valables. Les données de débits disponibles de la période 1921-1930 et du début de ce siècle ne sont pas en contradiction avec cette hypothèse.

Les méthodes de calcul simples proposées ici donnent pour l'Escaut et ses affluents des résultats qui concordent de manière satisfaisante avec les mesures.

LES GALERIES VISITABLES POUR CABLES CONSTRUITES PAR LE SERVICE DES ROUTES BRUXELLES-CAPITALE PENDANT LA PERIODE 1973-1977

par

IR. W. DE LATHAUWER

Ingénieur principal des Ponts et Chaussées

I. INTRODUCTION — LE SERVICE DES ROUTES DE BRUXELLES-CAPITALE

1. Le Service des Routes de Bruxelles-Capitale est le service d'exécution de l'Administration des Routes du Département des Travaux Publics, chargé de la conception, de l'exécution, de l'entretien et de la gestion du réseau routier de l'Etat dans l'arrondissement administratif bilingue de Bruxelles-Capitale (territoire des 19 communes formant l'agglomération bruxelloise).

2. En tant que tel, il conçoit et dirige l'exécution de travaux routiers et de génie civil financés tant par l'Administration des Routes et le Fonds des Routes, que par les Intercommunales autoroutières territorialement concernées, dont l'Intercommunale E5 (autoroute Bruxelles-Liège) et l'Intercommunale B1 (Ring autoroutier de Bruxelles ainsi que divers itinéraires concentriques et urbains).

3. L'étude et l'exécution de galeries visitables postulent une collaboration étroite et permanente avec les diverses administrations et nombreux services publics situés à Bruxelles, dont notamment:

- le Département des Communications, Promotion des Transports Urbains, et les services de la S.T.I.B. ayant en charge l'exécution des travaux métro;
- les diverses administrations communales;
- le Département des Affaires Bruxelloises;

- l'Agglomération de Bruxelles;
- la Société de Développement Régional de Bruxelles;
- les Intercommunales pour l'Assainissement des cours d'eaux (Senne, Maelbeek, Woluwe, Molenbeek, etc...)
- les nombreuses sociétés concessionnaires de la place.

Cette collaboration a conduit, dans certains cas, à confondre des chantiers à exécuter pour des maîtres d'œuvre distincts, au profit d'une part de la quiétude des riverains (pas de morcellement d'où durée réduite) et d'autre part des départements ministériels en charge eux-mêmes (réduction des frais généraux, ouvrages communs, etc...). C'est ainsi que le Service des Routes de Bruxelles-Capitale a réalisé depuis 1964, pour compte commun du partenaire routier (Fonds des Routes et/ou Intercommunales autoroutières) et du Département des Communications, les chantiers suivants (routes + métro):

- complexe Schuman
- complexe Reyers
- complexe Montgomery
- tunnel Georges Henri
- section Souverain — Belle-Vue de l'antenne urbaine de l'autoroute E40.

4. Dans le même ordre d'idées, certaines administrations communales ont profité de l'ouverture d'un