

# **Onderzoek naar evolutie's en trends in het hydrologisch gedrag van waterlopen, in het kader van MIRA 2003**

IN.A.2003.158

Marcel Voet  
Pieter Cabus

## **Inleiding**

Om de mogelijke evolutie's en trends in het hydrologisch gedrag van de waterlopen te onderzoeken werden enkele tijdreeksen van meetpunten op de onbevaarbare waterlopen onder de loupe genomen.

Voor de verschillende hydrologische gebieden in Vlaanderen zijn volgende meetpunten genomen :

- voor het hellende gebied van West- en Oost-Vlaanderen : de Maarkebeek te Etikhove, station 347 met een stroomgebied 50.5 km<sup>2</sup> en een tijdreeks vanaf 1972 en de Molenbeek te Massemen, station 009 met een stroomgebied van 44,8 km<sup>2</sup> en een tijdreeks sinds 1986.
- voor de droge leemstreek (stroomgebieden van Demer, Dijle en Jeker) : de Dijle te St.-Joris-Weert, station 098 met een stroomgebied van 645 km<sup>2</sup> en een tijdreeks van 1973 en de Mangelbeek te Lummen, station 161 met een stroomgebied van 109 km<sup>2</sup> en een tijdreeks sinds 1983.
- voor de zandige stroomgebieden van de Kempen : de Aabeek te Bree, station 513 met een stroomgebied van 58,5 km<sup>2</sup> en een tijdreeks van 1985.

## **Afgevoerde volume's**

De debieten zijn bekomen met de verbeterde debietkromme. De tijdreeksen van 347 en 098 zijn (nog) niet verbeterd en de perioden met ontbrekende waarden zijn niet meegenomen in de berekeningen.

De regens zijn gebiedsneerslagen over het stroomgebied en zijn berekend uit de beschikbare pluviometergegevens met behulp van Thiessencoëfficiënten. De waarden zijn overgenomen uit de reeksen die aangemaakt werden ten behoeve van de stroomgebiedsmoedelingen.

De basisafvoer is het deel van de totale afvoer dat traag reageert op de regen en voor een groot deel door grondwater wordt gegenereerd. De basisafvoeren zijn berekend op dezelfde wijze als bij de analyse van hoogwaterafvoeren, d.w.z. met een algoritme dat vertrekt van de dagwaarden van de gemeten uurlijkse debieten en hieruit de basisafvoeren berekent.

De (directe) runoff is de afvoer die snel op de regen reageert. De runoff debieten worden bekomen door de basisafvoeren af te trekken van de totale afvoeren. Indien niet verder gespecificeerd, is met "afvoer" de totale afvoer bedoeld.

Het deel van de neerslag dat niet in rivierafvoeren wordt omgezet, is als evapotranspiratie, verliezen, enz betiteld. Het is het verschil tussen de gebiedsneerslag en de totale afvoer is.

Bij de onderverdeling in jaren zijn de jaren als kalenderjaren te beschouwen.

Figuren 1a tot 1e tonen het verloop van de basisafvoer, de runoff en de evapotranspiratie per meetpunt vanaf de indienststelling van het station tot 2001. De waarden zijn gegeven in mm water over het stroomgebied en als procentuele gedeelten van de regen.

De gemiddelde waarden over de jaren 1985 – 2001 (tabel 1) typeren het verschil in hydrologisch gedrag van de verschillende gebieden :

- de zandgebieden van de Kempen (station 513) hebben een hoge basisafvoer en een lage directe runoff. Deze kenmerken hebben ze gemeen met de droge leemstreek. De onderlinge verschillen tussen de Kempen en de droge leemstreek betreffen eigenschappen (waarden van piekdebieten, enz.) die niet in deze tabel zijn terug te vinden
- het hellend gebied van West- en Oost-Vlaanderen vertoont een lage basisafvoer (ca. de helft van de waarde in de andere gebieden) en veel directe runoff (een factor 2 à 3 groter dan in de andere gebieden).

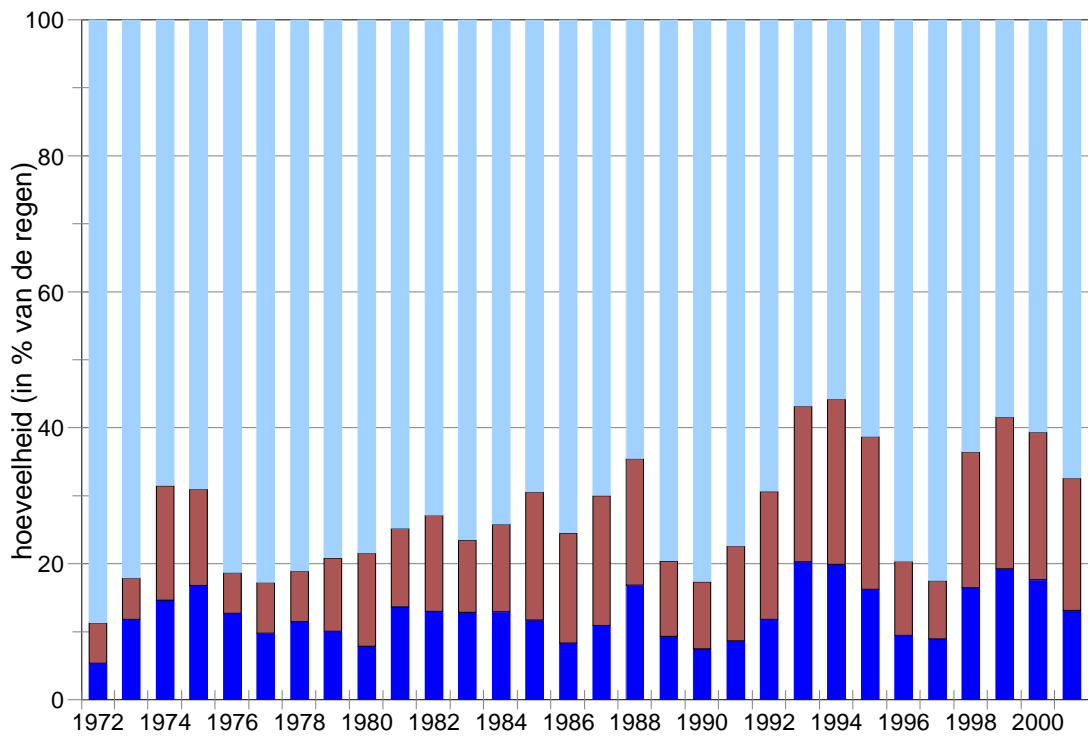
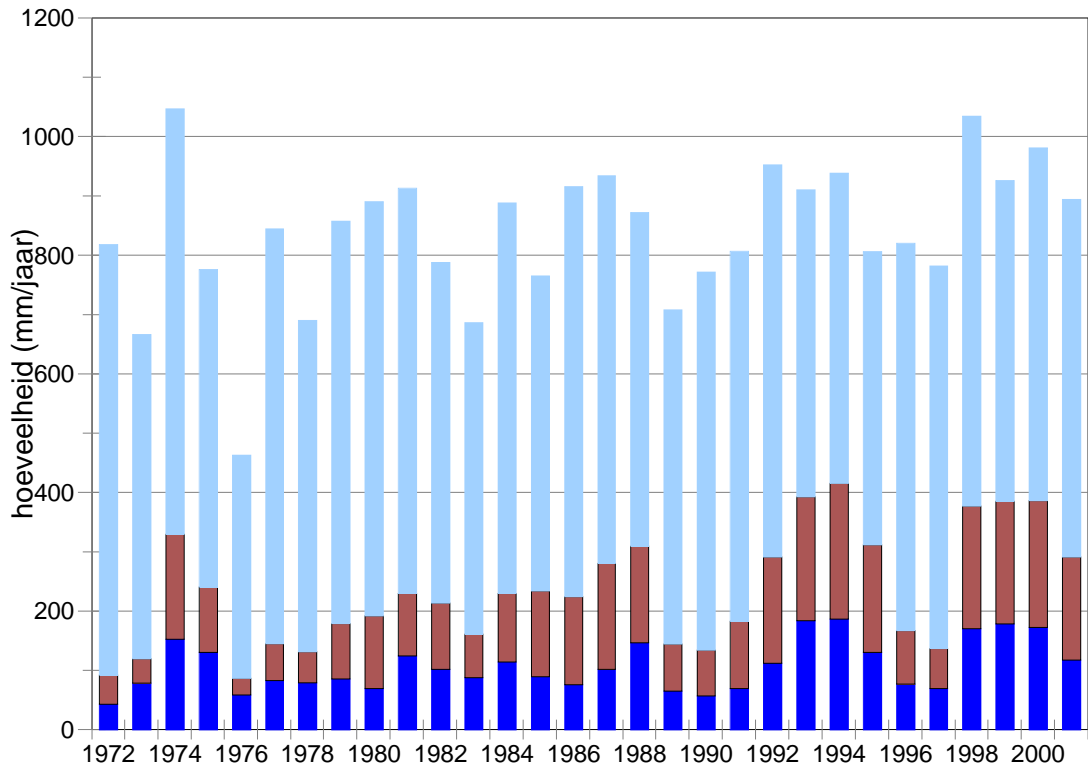
De verschillen tussen de stations onderling van eenzelfde gebied zijn klein in vergelijking met de verschillen tussen de 3 gebieden, ze vormen dus een echte cluster.

Uit de figuren 1a tot 1e is er voor de totale afvoer geen duidelijk zichtbare trend af te leiden.

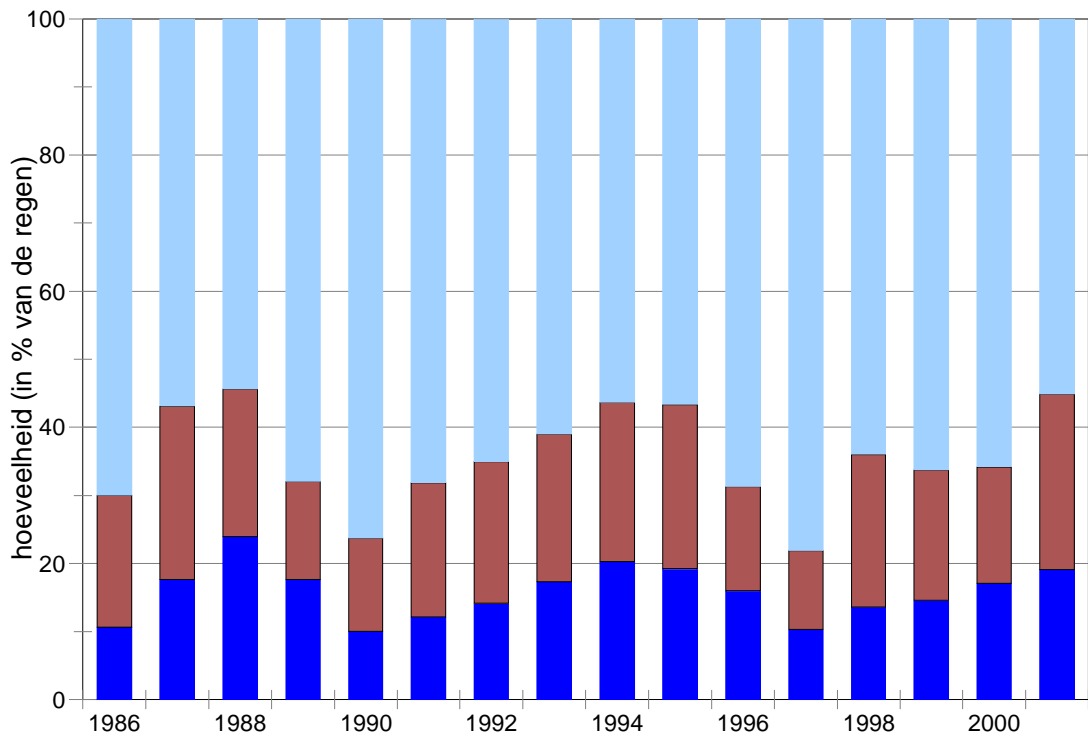
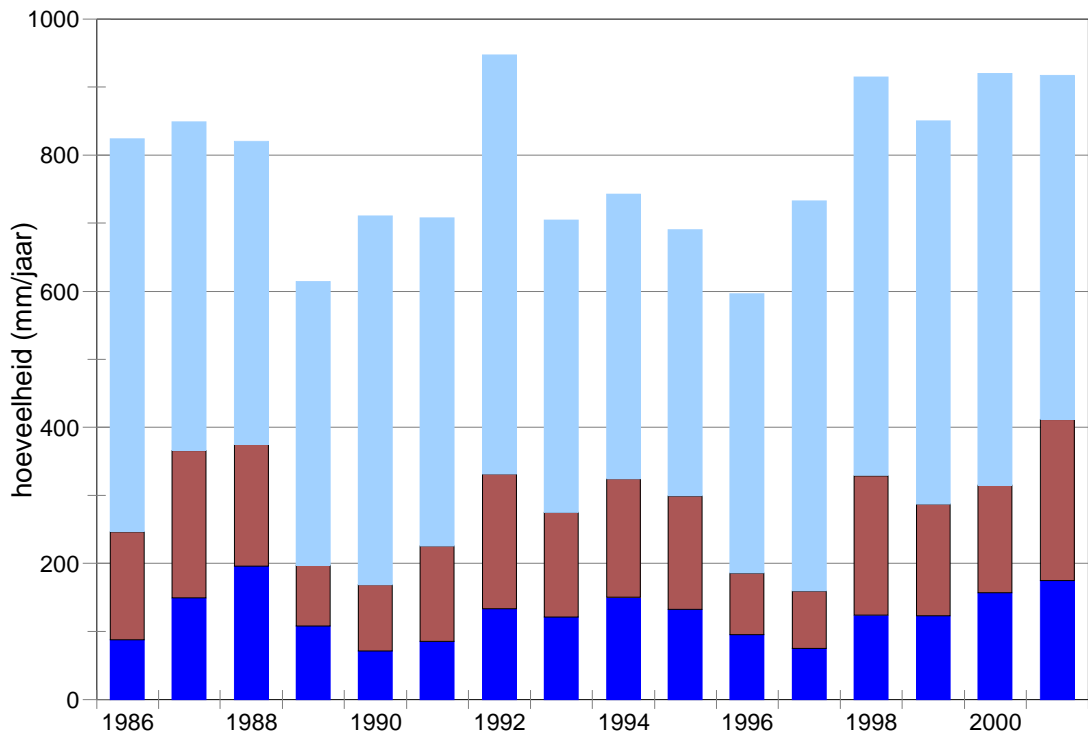
Tabel 1 : Gemiddelde waarden van debieten en neerslagen over de periode 1985-2001

Station	Neerslag (mm)	Afvoer (mm)	Basisdebiet (mm)	Runoff (mm)	Evapotranspiratie (mm)
347	872	275	118	157	597
009	785	282	124	158	501
098	844	257	205	53	587
513	848	282	216	66	566
161	876	351	264	87	525

Station	Neerslag (%)	Afvoer (in % van de neerslag)	Basisdebiet (in % van de neerslag)	Runoff (in % van de neerslag)	Evapotranspiratie (in % van de neerslag)
347	100	32	13	18	69
009	100	36	16	20	64
098	100	30	24	6	69
513	100	33	25	8	67
161	100	40	30	10	60

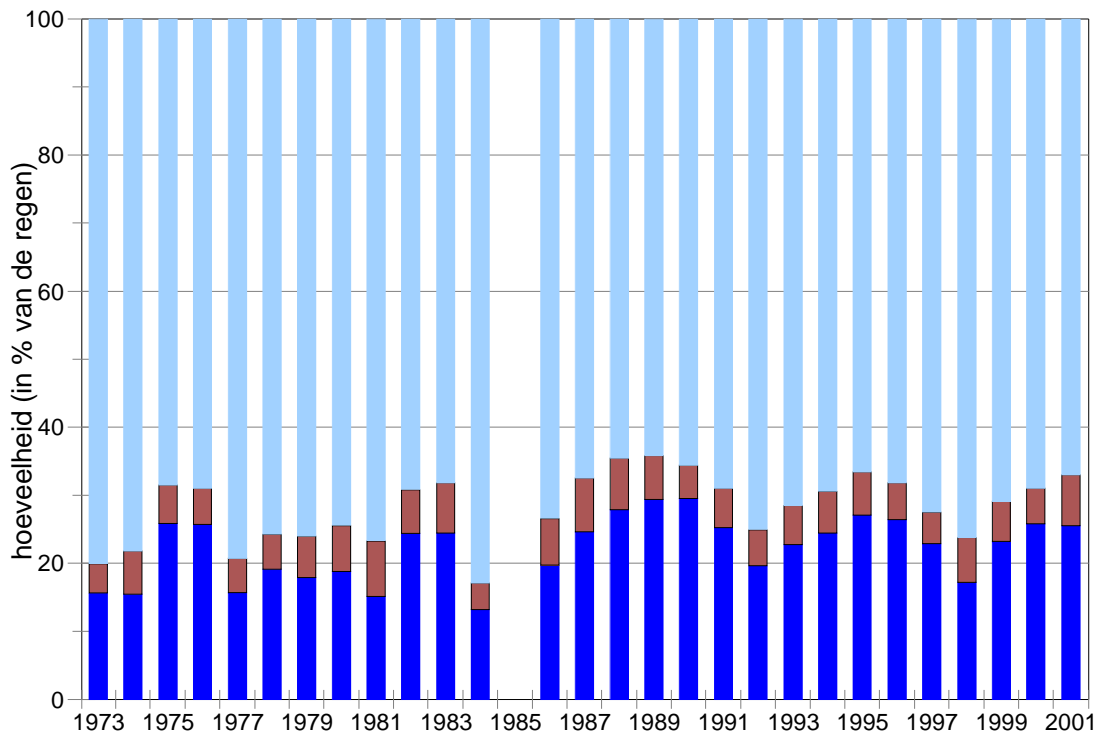
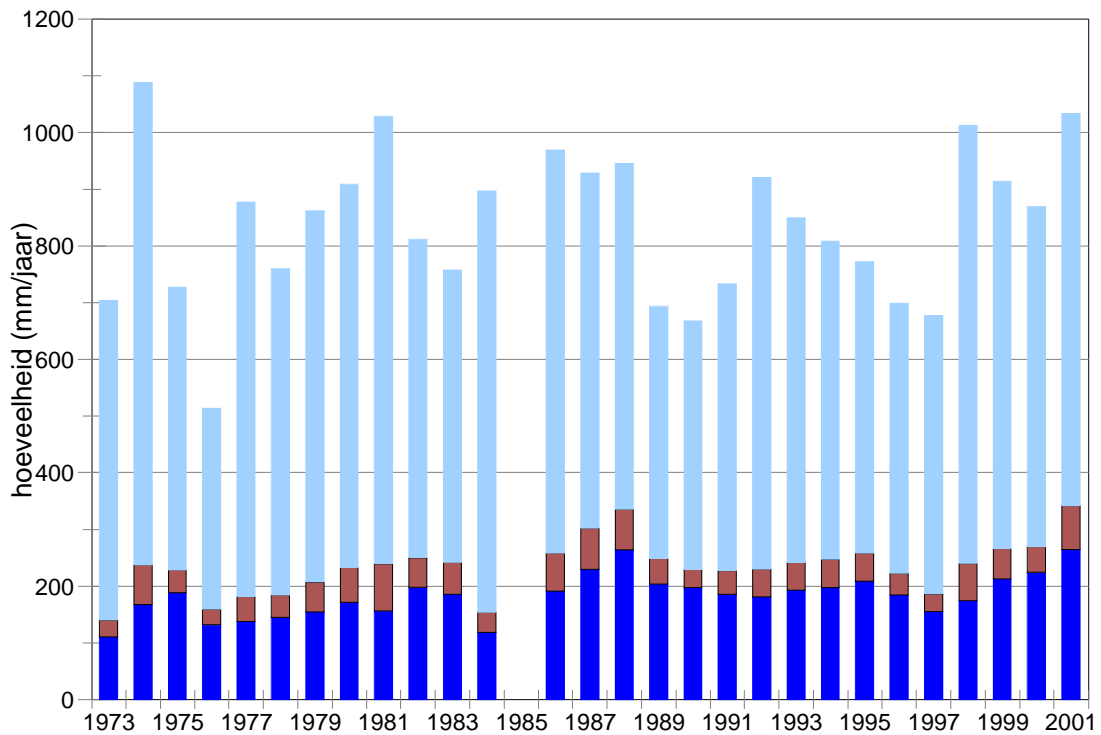


Figuur 1a : basissafvoeren en runoffdebieten in station 347

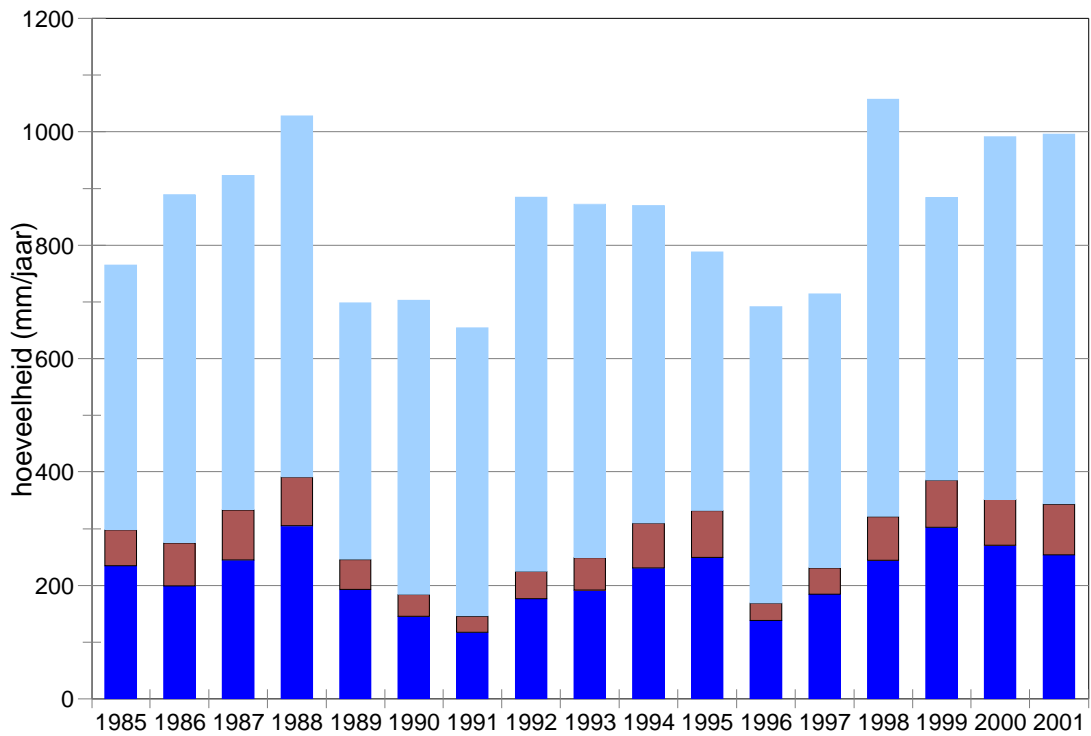
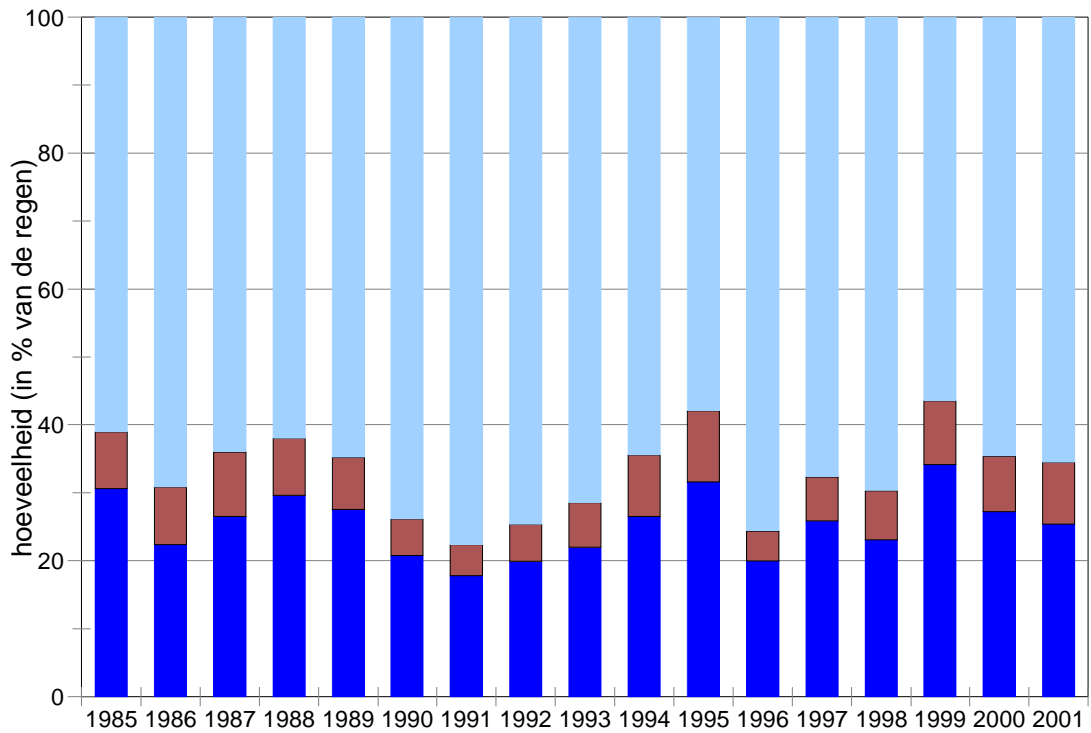


■ basisafvoer     
 ■ runoff     
 ■ evapotranspiratie, verliezen, ...

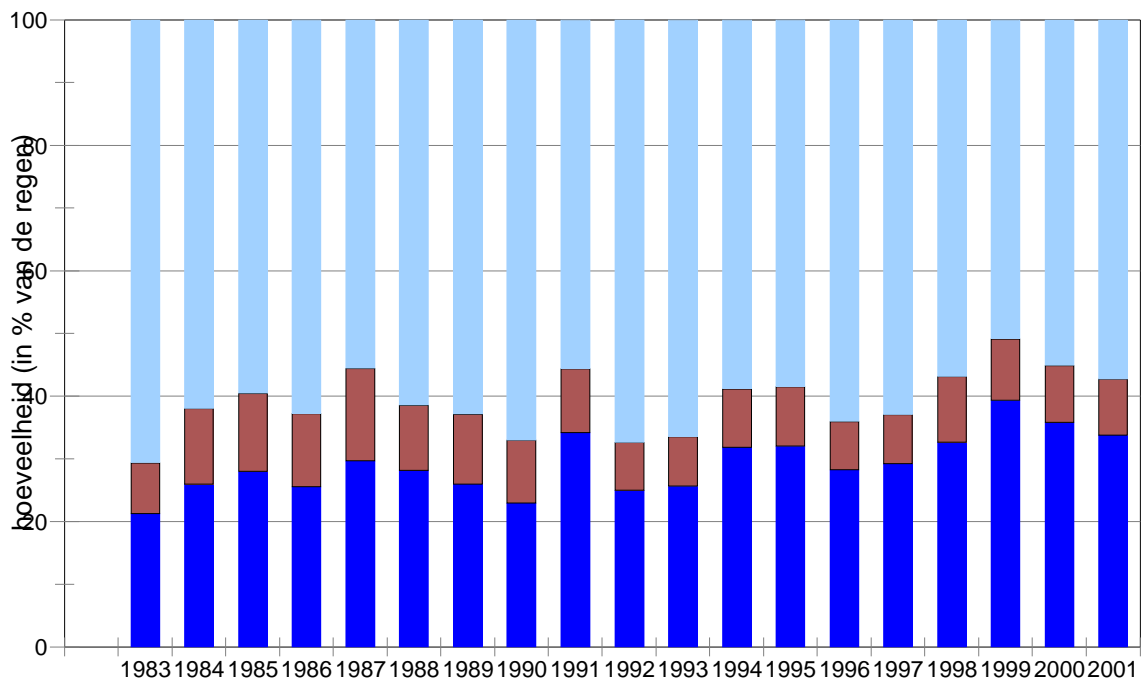
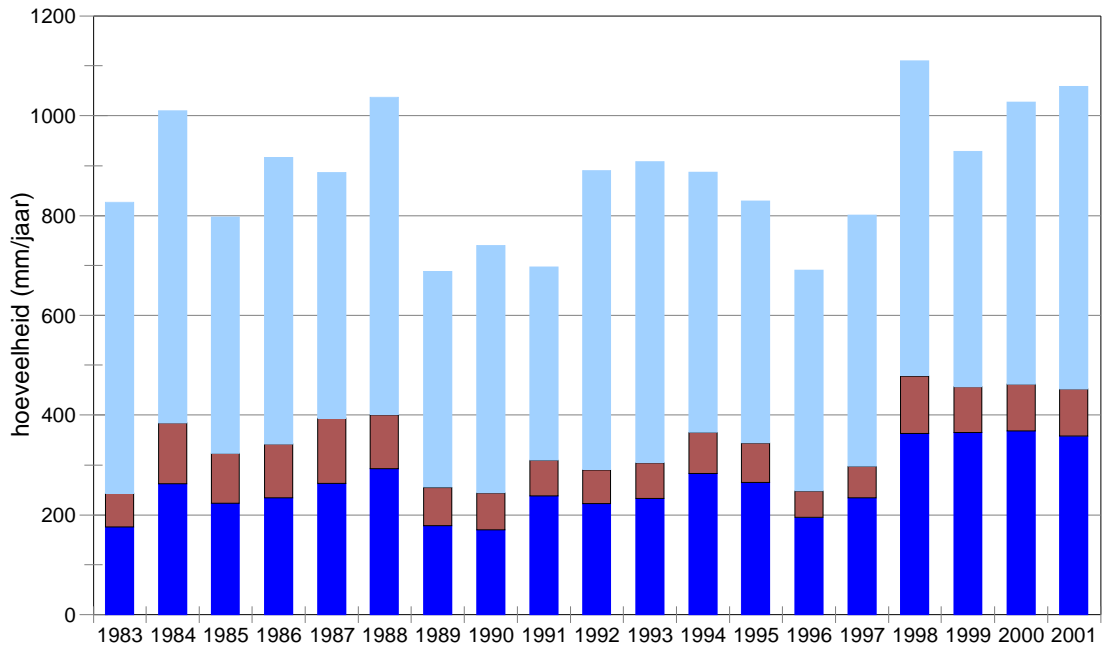
Figuur 1b : basisafvoeren en runoffdebieten in station 009



Figuur 1c : basisafvoeren en runoffdebieten in station 098



Figuur 1d : basisafvoeren en runoffdebieten in station 513



■ basisafvoer     
 ■ runoff     
 ■ evapotranspiratie, verliezen, ...

Figuur 1e : basisafvoeren en runoffdebieten in station 161

De correlatie tussen de verschillende deelstroom-volume's (mm) en het jaartal werd per station statistisch onderzocht. De resultaten hiervan worden weergegeven in Tabel 2..

Tabel 2: resultaten statistische analyse per station. In het rood werden de zeer significante waarden aangeduid (significantienniveau < 5 %), in het paars de minder significante (significantienniveau  $\pm$  30 %) (significantie slaat op de kans dat de regressieconstante gelijk is aan nul)

	station	347	009	098	513	161
<b>neerslag</b>	correlatie(%)	15	7	2	7	7
	helling	5.3	6.22	1.9	6.75	6.05
	significantie	0.035	0.31	0.52	0.3	0.27
<b>totale afvoer</b>	correlatie(%)	32	2	36	4	22
	helling	6.3	2.5	2.95	2.96	6.49
	significantie	0.001	0.56	0.0007	0.44	0.043
<b>basisafvoer</b>	correlatie(%)	19	3	26	5	41
	helling	2.12	1.2	2.8	2.34	7.37
	significantie	0.0133	0.54	0.0051	0.4	0.003
<b>runoff</b>	correlatie(%)	39	2	1	3	5
	helling	4.16	1.39	0.19	0.66	-0.98
	significantie	0.0002	0.6	0.58	0.54	0.34

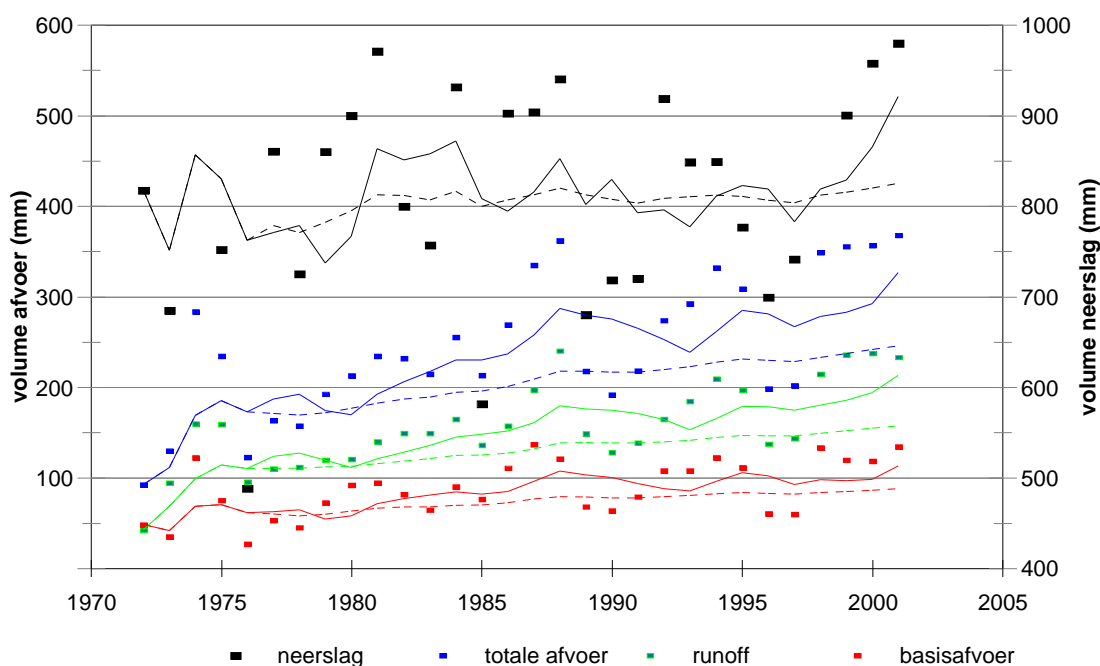
Hieruit blijkt dat de trends per station sterk kunnen verschillen. Station 347 blijkt over de volledige lijn een significant stijgende trend te vertonen over de jaren. De neerslag stijgt met gemiddeld 5 mm/jaar. De afvoer stijgt met gemiddeld 6,3 mm/jaar waarvan 4,2 mm in de runoff en 2,1 mm in de basisafvoer. Bij het station op de Molenbeek stijgt de neerslag, maar blijkt de (lichte) stijging in de afvoeren niet significant. Het station op de Dijle vertoont geen toegenomen regen, maar wel een stijging in de basisafvoer over de jaren. Het station 513 vertoont geen significante trends in de afvoer. Het meetpunt op de Mangelbeek vertoont ook stijgende trends in basisafvoer en totale afvoer, maar een licht dalende (en ook weinig significante) trend in de basisafvoer. Ook hier zien we terug de de hydrologische gebieden: het station in OostVlaanderen vertoont meer stijgende runoff bij toegenomen neerslag, waar de stations in de Kempen en de droge leemstreek voornamelijk een stijging in de basisafvoer laten merken.

Bij deze analyse dient gewezen te worden op de belangrijke impact van de periode van metingen die gebruikt wordt. Voor de bepaling van langlopende trends zijn zo lang mogelijke tijdreeksen nodig. Het limnimetrisch net op de onbevaarbare waterlopen is echter relatief jong en daarom minder geschikt voor de bepaling van langdurige trends. Het is dan ook niet vanzelfsprekend om op basis van deze resultaten uitspraken te doen. Dit kan geïllustreerd worden aan de hand van de regressie-analyse voor het station 347 voor de periode 1996-2001, de laatste vijf beschikbare jaren van de metingen. Hier stijgt de totale afvoer met gemiddeld meer dan 40 mm per jaar ! Dit vijf-jaar gemiddelde kan echter niet gebruikt worden als trend.

Om toch een idee te geven van de trends werd figuur 2 opgemaakt. Deze maakt abstractie van de indeling van Vlaanderen in hydrologische zone's en toont de gemiddelden van de volume's zoals ze hierboven bepaald werden. Verder werden in de figuur de 5-jaargemiddelden en de voortschrijdende gemiddelden voorgesteld. Hier zien we dat gemiddeld gezien over de vijf beschouwde stations alle componenten toenemen. De toename in de neerslag is gemiddeld ongeveer dezelfde als de toename in afvoer, wat erop wijst dat de neerslagtoename bijna integraal afgevoerd wordt via de waterloop.



## trends in de tijdreeksen ? gemiddelden over de 5 stations



Figuur 2: jaargemiddelde neerslag- en afvoervolume's (mm) met in volle lijn de 5-jaargemiddelden en in stippellijn het voortschrijdend gemiddelde.

### **Minima en Maxima**

Behalve de totale jaarlijkse hoeveelheden zijn ook de maximum en minimum waarden van de reeksen onderzocht. De maximum piekdebieten in de stations zijn gebaseerd op uurlijkse waarden. De minimum waarden kunnen zonder verlies aan nauwkeurigheid op gemiddelde dagwaarden gebaseerd worden.

Figuren 2a.tot 2c tonen het verloop van deze maximum- en minimumwaarden. In de figuren zijn aangeduid :

- de jaarmaxima (kalenderjaren)
- het voorschrijdend gemiddelde over een periode van 5 jaar
- het doorlopend voortschrijdend gemiddelde

Het blijkt dat een zeer gevarieerd beeld bekomen wordt.

De jaarmaxima in station 347 vertonen een duidelijk stijgende trend. Omdat het station een vaste vloer heeft en omdat deze vloer omwille van de stroomsnelheden altijd zuiver blijft, moet een toename van de piekdebieten aangenomen worden. De debieten voor de gehele periode zijn immers met eenzelfde debietformule berekend. Het fenomeen is eveneens van meer langdurige aard. Blijkbaar zijn de regens in dit stroomgebied meer en meer “op maat” van dit stroomgebied om steeds grotere piekafvoeren te produceren of is de evolutie van het landgebruik van die aard dat steeds grotere pieken bekomen worden. De laagwaterdebieten vertonen geen duidelijke trend. De veel hogere waarden in 1981 en 1993 zijn wellicht terug te voeren tot een slecht onderhouden verbindingsbuis tussen de rivier en de limnigraafciterne :

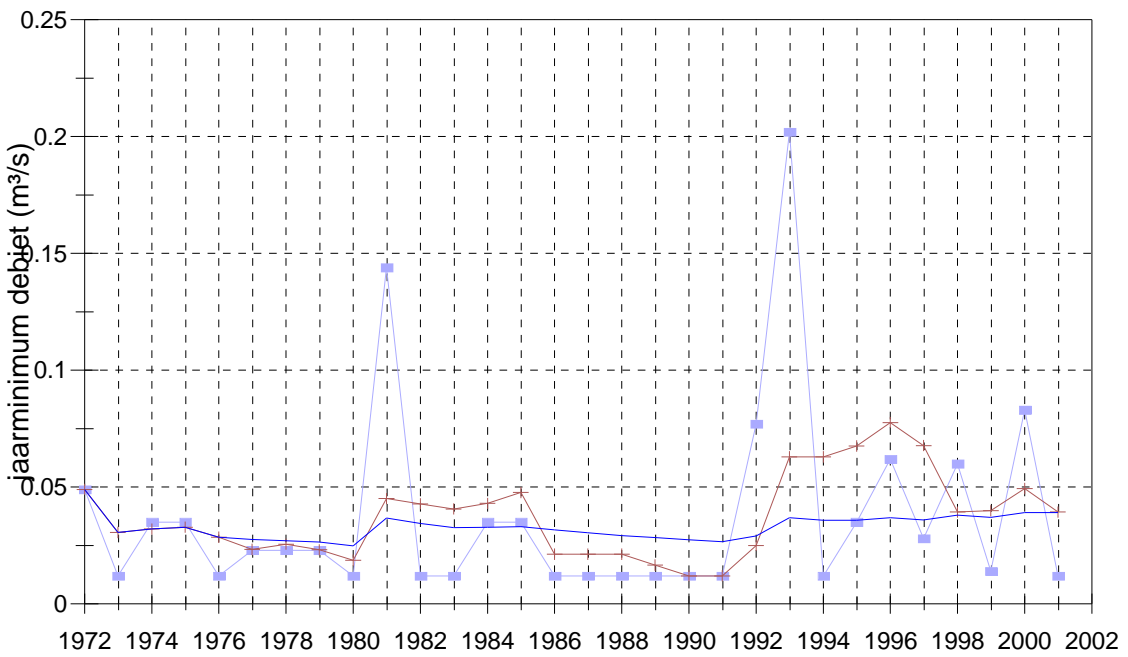
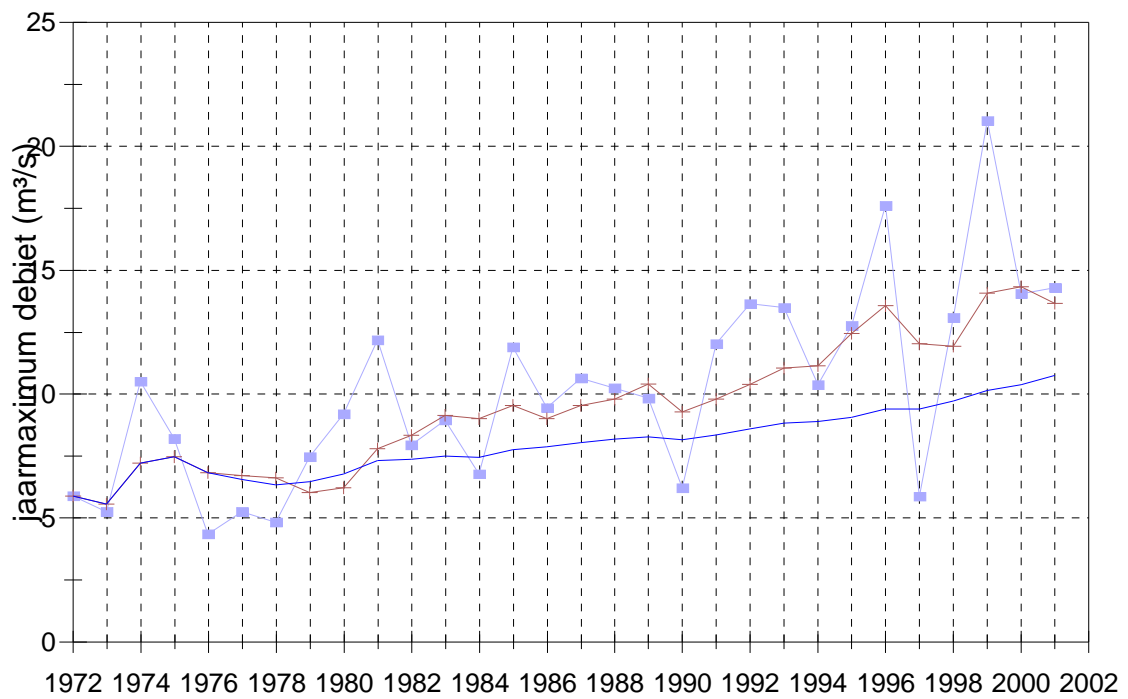
de waterdiepte bij laagwater is beperkt tot een 10-tal cm en aanslibbing vormt in deze hellende gebieden een probleem voor een goede verbinding van de rivier met de vlotter van de limnigraaf.

De tijdreeks van 009 is nog te kort om de stijgende trend van de maxima al dan niet te bevestigen. De minima zouden eerder een negatieve tendens te tonen. Voor de jaarminima is een stijgende trend zeer ongewoon. De daling kan mogelijk verklaard worden door een uitschuring van het bodempeil met ca. 3 cm en relateert dus het belang van het fenomeen (de bodem van de meetsectie heft geen vaste vloer).

Zowel de jaarmaxima als de jaarminima van station 098 hebben een langdurige en zichtbaar stijgende trend. Voor de jaarminima is geen verklaring voor een stijgende trend beschikbaar en waarschijnlijk is het verschijnsel terug te voeren tot een fout in de debietkrommen over de jaren heen. Het station heeft immers geen vaste vloer en het verschil in debiet kan mogelijk verklaard worden door een geleidelijke stijging van de bodem : het verschil in laagwaterdebiet van 1.5 m<sup>3</sup>/s tot 2.5 m<sup>3</sup>/s komt overeen met een peilstijging van 10 cm, of ca. 0.5 cm per jaar. Dergelijke veranderingen in de debietkromme zijn niet uit de ijkingen zelf af te leiden. Alleen de laagwaterafvoeren zijn beïnvloed door deze verandering van de bodem van de meetplaats, de hoogwaterdebieten zouden slechts met 3 % veranderen, dit is de nauwkeurigheid waarmee debieten kunnen bekomen worden via een ijkingkromme.

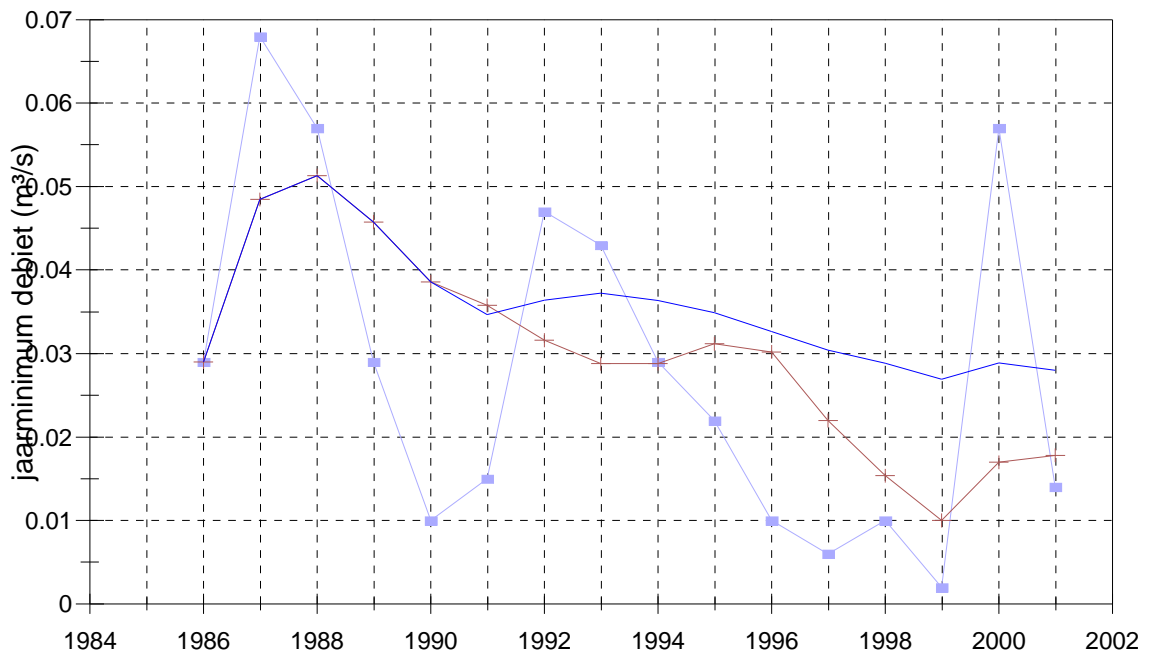
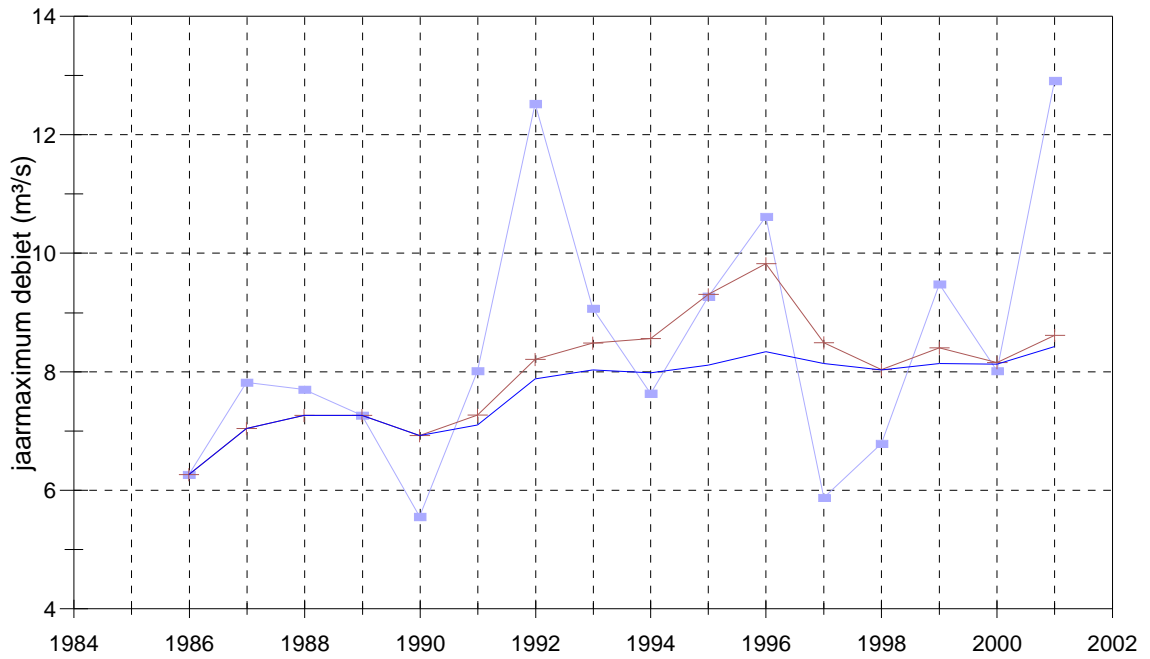
Station 513 toont geen duidelijke afname of toename van maximum of minimum debieten over de meetperiode.

Maximum of minimum debieten in station 161 hebben de neiging om af te nemen met de tijd



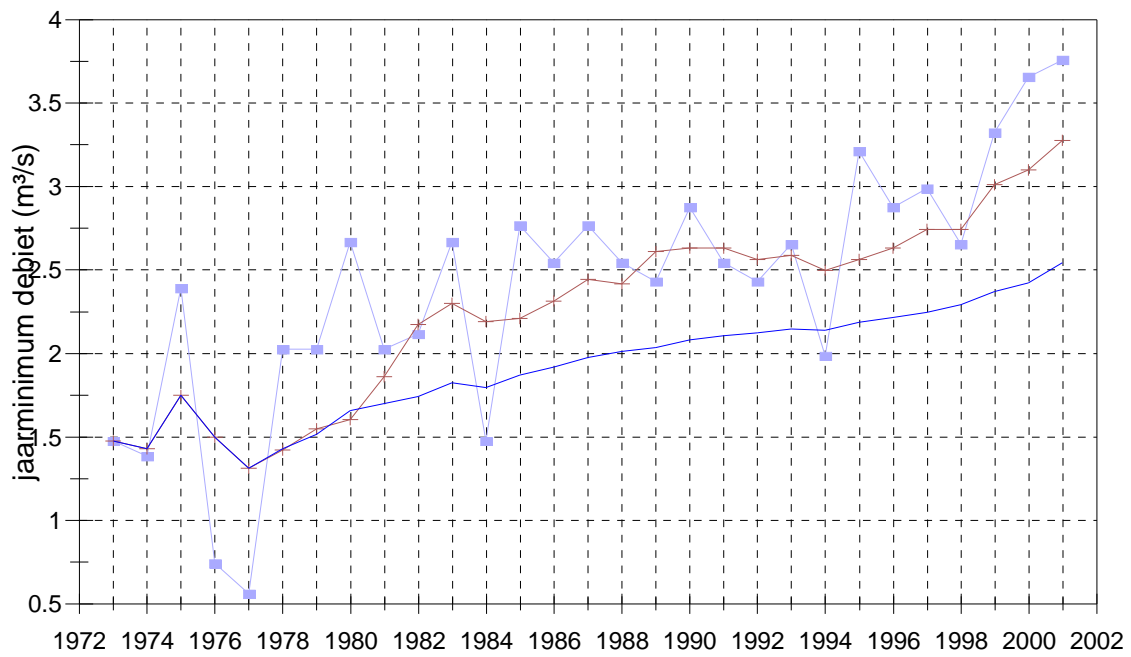
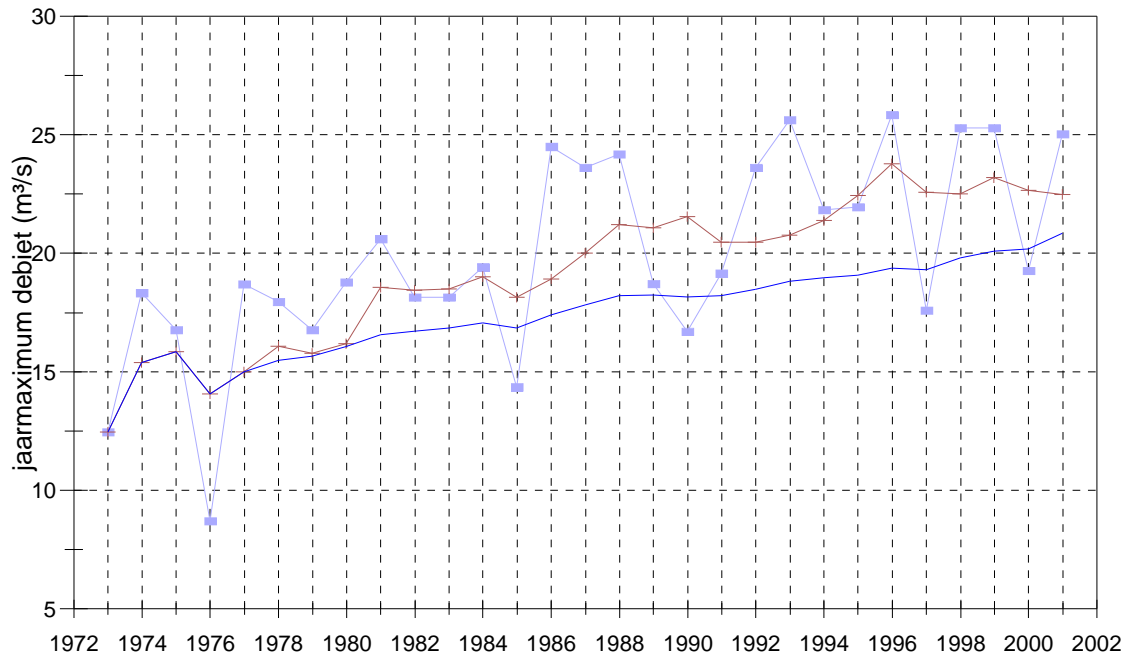
■ jaarmaximum     
 —+ 5 jaar-gemiddelde     
 — voorschrijdend gemiddelde

Figuur 2a : Maximum en minimum waarden van debieten in station 347



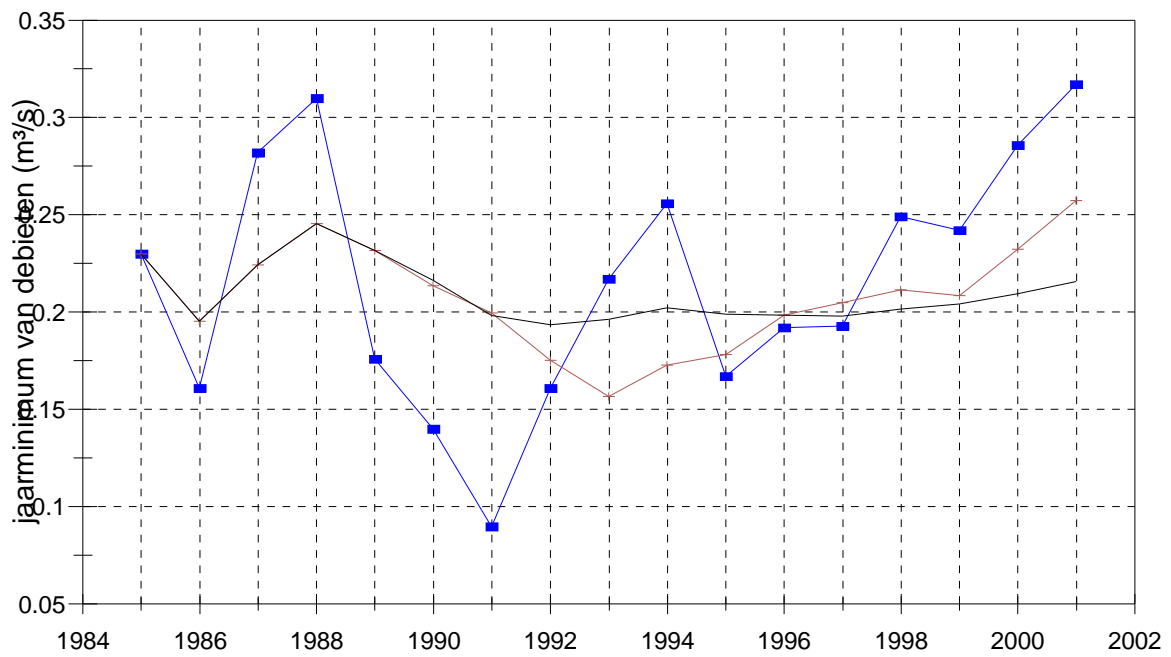
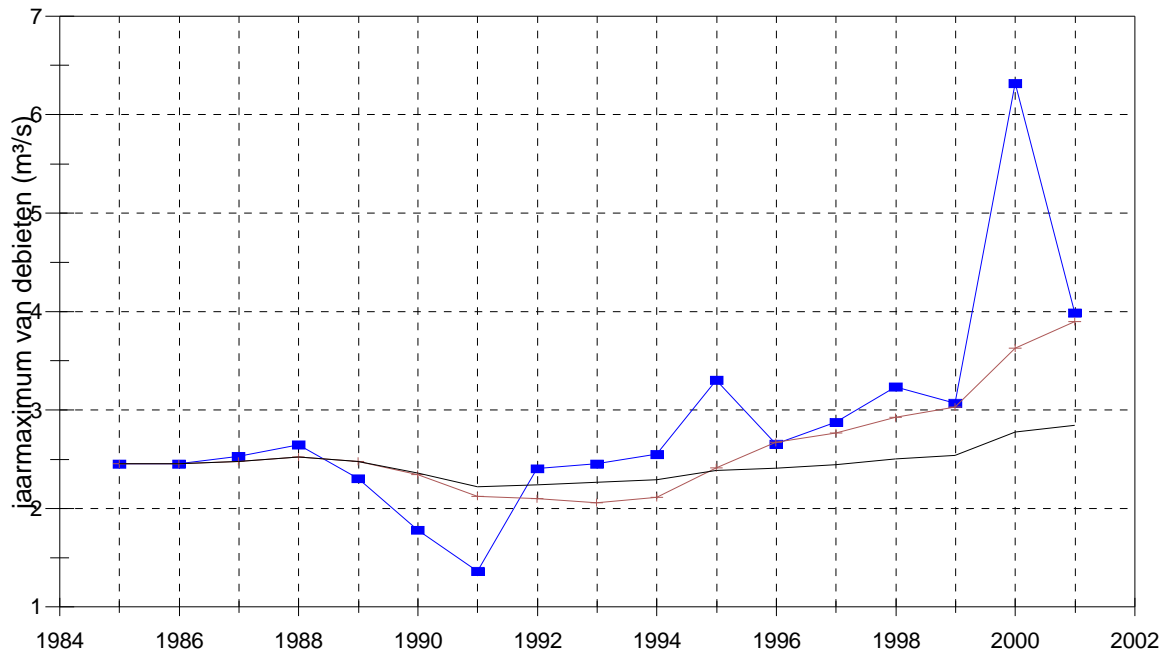
■ jaarmaximum     
 + 5 jaar-gemiddelde     
 — voorschrijdend gemiddelde

Figuur 2b : Maximum en minimum waarden van debieten in station 009



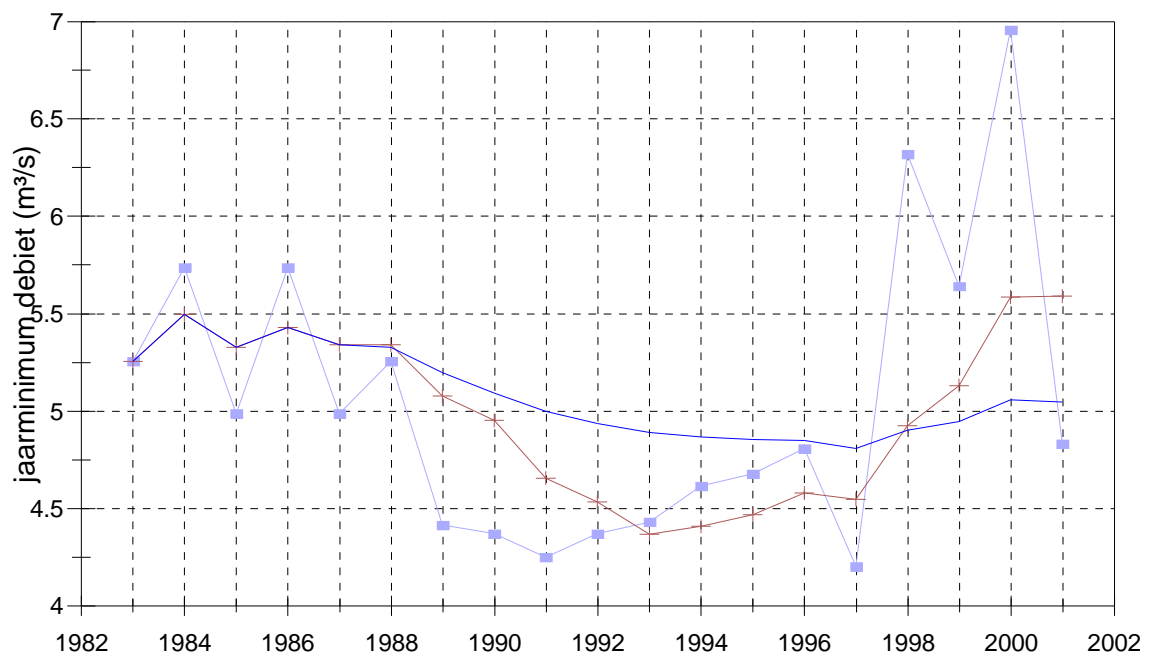
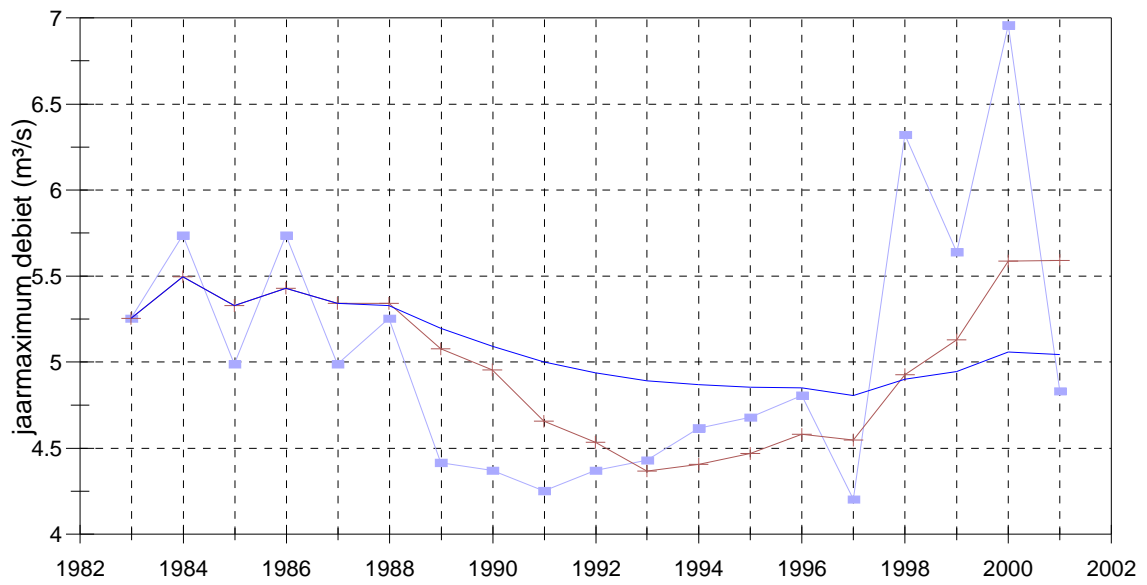
■ jaarmaximum     
 + 5 jaar-gemiddelde     
 — voorschrijdend gemiddelde

Figuur 2c : Maximum en minimum waarden van debieten in station 098



■ jaarminimum     
 + 5 jaar gemiddelde     
 — voortschrijdend gemiddeld

Figuur 2d : Maximum en minimum waarden van debieten in station 513



■ jaarmaximum     
 + 5 jaar-gemiddelde     
 — voorschrijdend gemiddelde

Figuur 2e : Maximum en minimum waarden van debieten in station 161

## Concentratietijden van hoogwatergolven

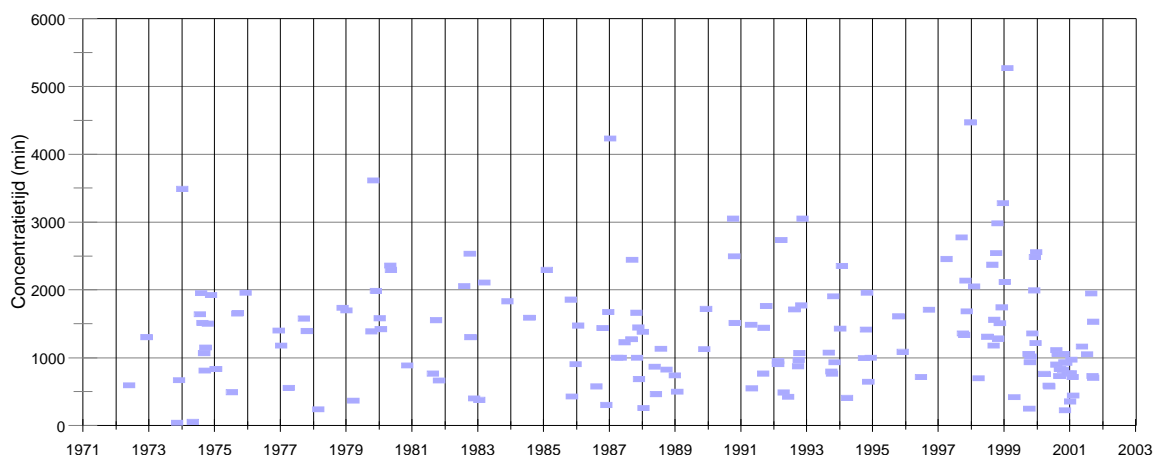
De tijdreeks van station 347 is verder onderzocht op individuele hoogwatergolven. De analyse resulteerde in 161 afvoergebeurtenissen waarvoor alle kenmerken van de hoogwatergolf en de begeleidende regen zijn verzameld :

- de duur en de hoogte van de regen, samen met het tijdstip van het zwaartepunt van het hyetogram, waarvan het tijdsverloop overgenomen is van het pluviograafstation te Melle. Omdat dit station buiten het stroomgebied van 347 ligt, is het juiste tijdstip van het zwaartepunt van de regen over het stroomgebied niet gekend. Men kan bij deze afleiding alleen aannemen dat de fout over de meetperiode gemiddeld gelijk blijft.
- de duur en het volume van de afvoer, samen met het tijdstip van het zwaartepunt van het hydrogram
- de grootte en het tijdstip van de basisafvoer aan het begin en het einde van de runoffgebeurtenis
- de concentratietijd is bepaald als het verschil tussen de zwaartepunten van regen en totale afvoer

De keuze van station 347 volgt uit het feit dat in dit station een stijgende trend zou zijn waar te nemen sedert de aanvang van de metingen in 1972. De vermindering in concentratietijd wordt vaak aangenomen als de oorzaak van grotere runoffdebieten, maar wordt door de analyse van station 347 evenwel niet bevestigd. Men vindt immers geen significante correlatie tussen de concentratietijd en het jaartal van de hoogwatergolf. De parameters die wel een significante bijdrage leveren zijn de runoffduur (significantie beter dan 0.1%), de runoffsom (beter dan 0.1%) en de regenduur (significantie 1.5%). De correlatiecoëfficiënt blijft onder de 0.51 en resulteert derhalve in minder goede voorspellingen van de concentratietijd.

Een expliciete regressie tussen de concentratietijd en het jaar (tijdstip) van de hoogwatergolf levert geen relevante vergelijking op :  $T_m = 1275 + 0.0039T_{q_{max}}$ .

De significantie van  $T_{q_{max}}$  is echter niet beter dan 68% (d.w.z. in 68% van de gevallen is de coëfficiënt van  $T_{q_{max}}$  gelijk nul) en de fout op de coëfficiënt van  $T_{q_{max}}$  is 3 maal groter dan de coëfficiënt van  $T_{q_{max}}$  zelf.



Figuur 3 : concentratietijd voor de afvoergolven in station 347



## **Conclusie**

Op basis van een vijftal stations uit het limnimetrisch net op de onbevaarbare waterlopen werd getracht een idee te krijgen van trends en evolutie's in het afvoergedrag. Bij deze analyse werd het verschil tussen de hydrologische 'groepen' in Vlaanderen nog maar eens geïllustreerd.

Algemeen kan gesteld worden dat de bemeeten periode zeer krap is voor het bepalen van een langdurige trend. De langste meetreeks bedraagt 30 jaar, wat voor de inschatting van wijzigingen erg kort is.

De afvoervolume's lijken in de meeste gevallen mee te stijgen met de neerslag. Over de laatste dertig jaar blijkt de neerslag te stijgen met gemiddeld 5 mm per jaar. Ook de totale afvoer in de meeste stations stijgt met deze 5 mm per jaar. In het station 347 (Hellend gebied van Oost- en West-Vlaanderen) komt deze stijging voornamelijk tot uiting in de runoff, waar dit in de droge leemstreek en de Kempen voornamelijk in een grotere basisafvoer terug te vinden is.

In verschillende stations vind men ook een stijging van de jaarmaxima en in sommige gevallen ook van de minima. Deze laatste stijging kan in de enkele gevallen verklaard worden door een aanslibbing van de meetsectie.

Uiteindelijk werden voor het station 347 ook de afvoergolven onderzocht. Er blijkt geen significante stijging of daling van de concentratietijden voor te komen.