



Vlaanderen
is wetenschap

20_031_1
WL rapporten

Slim stuwen – fase 3

Sturing stuwen, vispassages en turbines Leie

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Slim stuwen – fase 3

Sturing stuwen, vispassages en turbines Leie

Vanderkimpen, P.; Pereira, F.; Visser, K.P.; Viaene, P.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2023
D/2023/3241/069

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vanderkimpfen, P.; Pereira, F.; Visser, K.P.; Viaene, P. (2023). Slim stuwen – fase 3: Sturing stuwen, vispassages en turbines Leie. Versie 4.0. WL Rapporten, 20_031_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	DVW-aRW	Ref.:	WL2023R20_031_1
Trefwoorden (3-5):	Leie, stuwen, vispassages, waterkrachtcentrales		
Kennisdomeinen:	Waterbeheer > hydraulica > hydrodynamische modellen > numerieke modellering Waterbouwkundige constructies > stuwen > hydraulisch ontwerp > numerieke modellering Waterbouwkundige constructies > vispassages > vispasseerbaarheid > numerieke modellering		
Tekst (p.):	114	Bijlagen (p.):	36
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vanderkimpfen, P.; Pereira, F.; Visser K.P.; Viaene, P.
------------	---

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Pereira, F.	Getekend door:Fernando Pereira (Signat Getekend op:2023-03-23 08:52:14 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Fernando Pereira</i>
	Visser, K.P.	Getekend door:Klaas Visser (Signature) Getekend op:2023-03-06 11:43:17 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Klaas Peter Visser</i>
	Viaene, P.	Getekend door:Peter Viaene (Signature) Getekend op:2023-03-06 12:00:38 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Peter Viaene</i>
Projectleider:	Vanderkimpfen, P.	Getekend door:Paul Vanderkimpfen (Sign Getekend op:2023-03-07 13:24:40 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Paul Vanderkimpfen</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sig Getekend op:2023-03-06 10:55:50 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Abdelkarim Bellafkih</i>
-----------------	---------------	--



Abstract

Het voorliggende rapport maakt deel uit van de derde fase van het project “slim stuwen”. In deze deelstudie wordt onderzocht hoe de bestaande, geplande en eventueel aanvullende kunstwerken langsheen de Leie zich zouden gedragen in het geval van een lokale sturing. De kunstwerken op elke site worden daarbij gestuurd op basis van algoritmes die enkel gebruik maken van metingen op of nabij de eigen site.

De studie werd uitgevoerd in drie stappen. In een eerste stap werd het gedrag van de vispassages en de (eventuele) turbines geanalyseerd. De stuwen werden daarbij voorzien van een zeer eenvoudig sturingsalgoritme. In een tweede stap werd het gedrag van de stuwen onderzocht. De overige kunstwerken werden daarbij buiten beschouwing gelaten. In de derde en laatste stap werden alle kunstwerken opnieuw geactiveerd en werd de onderlinge interactie bestudeerd. Doorheen de volledige studie wordt enkel gekeken naar het gedrag bij lage en middelhoge afvoeren, waarbij geen overstromingen optreden.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	IX
1 Inleiding	1
2 Studiegebied.....	2
3 Gegevens	3
3.1 Hydrometrie	3
3.2 Stuwen.....	3
3.3 Sluizen.....	4
3.4 Vispassages.....	5
3.5 Vijzels.....	6
3.6 Andere watergebruikers.....	6
4 Model.....	7
4.1 Software	7
4.2 Opbouw	7
4.3 Randvoorwaarden	7
5 Vispassages en turbines.....	8
5.1 Methodologie	8
5.1.1 Modelvariant	8
5.1.2 Scenario's.....	8
5.1.3 Sturing.....	9
5.1.4 Controleberekening.....	10
5.1.5 Analyse.....	10
5.2 Resultaten.....	11
5.2.1 Kengetallen.....	11
5.2.2 Menen.....	12
5.2.3 Harelbeke.....	16
5.2.4 Sint-Baafs-Vijve.....	20
5.2.5 Bespreking	24
5.3 Conclusies en aanbevelingen	25

6	Stuwen.....	26
6.1	Methodologie	26
6.1.1	Modelvariant	26
6.1.2	Scenario's.....	26
6.1.3	Sturing.....	26
6.1.4	Stabiliteit lokale sturing op waterpeil.....	27
6.1.5	Toetsing lokale sturing op waterpeil	28
6.1.6	Gevoeligheidsanalyse	29
6.2	Resultaten.....	30
6.2.1	Stabiliteit lokale sturing op waterpeil.....	30
6.2.2	Toetsing lokale sturing op waterpeil	31
6.2.3	Gevoeligheidsanalyse	69
6.3	Conclusies en aanbevelingen	80
7	Interactie	81
7.1	Methodologie	81
7.1.1	Modelvariant	81
7.1.2	Scenario's.....	81
7.1.3	Sturing.....	81
7.1.4	Analyse.....	81
7.2	Resultaten.....	82
7.2.1	Figuren	82
7.2.2	Synthetische gebeurtenissen.....	82
7.2.3	Historische gebeurtenissen	95
7.3	Conclusies en aanbevelingen	111
8	Samenvatting conclusies en aanbevelingen.....	112
8.1	Vispassages en turbines.....	112
8.2	Stuwen.....	112
8.3	Interactie	113
9	Referenties	114
Bijlage 1	Interactie – figuren reeks 1.....	B1
Bijlage 2	Interactie – figuren reeks 2.....	B19

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Hydrometrische gegevens	3
Tabel 2 – Afmetingen stuwen.....	4
Tabel 3 – Afmetingen sluizen	4
Tabel 4 – Schutverliezen en lekverliezen.....	5
Tabel 5 – Vispassages	6
Tabel 6 – Vijzels	6
Tabel 7 – Menen – 2015	12
Tabel 8 – Menen – 2016	12
Tabel 9 – Menen – 2017	12
Tabel 10 – Menen – zomer 2015	13
Tabel 11 – Menen – zomer 2016	13
Tabel 12 – Menen – zomer 2017	13
Tabel 13 – Menen – 2015 (controle)	14
Tabel 14 – Menen – 2016 (controle)	14
Tabel 15 – Menen – 2017 (controle)	14
Tabel 16 – Menen – zomer 2015 (controle)	15
Tabel 17 – Menen – zomer 2016 (controle)	15
Tabel 18 – Menen – zomer 2017 (controle)	15
Tabel 19 – Harelbeke – 2015	16
Tabel 20 – Harelbeke – 2016	16
Tabel 21 – Harelbeke – 2017	16
Tabel 22 – Harelbeke – zomer 2015	17
Tabel 23 – Harelbeke – zomer 2016	17
Tabel 24 – Harelbeke – zomer 2017	17
Tabel 25 – Harelbeke – 2015 (controle)	18
Tabel 26 – Harelbeke – 2016 (controle)	18
Tabel 27 – Harelbeke – 2017 (controle)	18
Tabel 28 – Harelbeke – zomer 2015 (controle)	19
Tabel 29 – Harelbeke – zomer 2016 (controle)	19
Tabel 30 – Harelbeke – zomer 2017 (controle)	19
Tabel 31 – Sint-Baafs-Vijve – 2015	20
Tabel 32 – Sint-Baafs-Vijve – 2016	20

Tabel 33 – Sint-Baafs-Vijve – 2017	20
Tabel 34 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2015	21
Tabel 35 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2016	21
Tabel 36 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2017	21
Tabel 37 – Sint-Baafs-Vijve – 2015 (controle)	22
Tabel 38 – Sint-Baafs-Vijve – 2016 (controle)	22
Tabel 39 – Sint-Baafs-Vijve – 2017 (controle)	22
Tabel 40 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2015 (controle)	23
Tabel 41 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2016 (controle)	23
Tabel 42 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2017 (controle)	23
Tabel 43 – Parametersets	29

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Studiegebied	2
Figuur 2 – Hydrodynamisch model.....	7
Figuur 3 – Lengteprofielen bij constante afvoer	30
Figuur 4 – Looptijd en retentietijd.....	31
Figuur 5 – Trapvormige debietvariatie van 10 naar 20 m ³ /s.....	33
Figuur 6 – Trapvormige debietvariatie van 20 naar 10 m ³ /s.....	33
Figuur 7 – Trapvormige debietvariatie van 20 naar 30 m ³ /s.....	34
Figuur 8 – Trapvormige debietvariatie van 30 naar 20 m ³ /s.....	34
Figuur 9 – Trapvormige debietvariatie van 30 naar 50 m ³ /s.....	35
Figuur 10 – Trapvormige debietvariatie van 50 naar 30 m ³ /s.....	35
Figuur 11 – Trapvormige debietvariatie van 50 naar 100 m ³ /s.....	36
Figuur 12 – Trapvormige debietvariatie van 100 naar 50 m ³ /s.....	36
Figuur 13 – Trapvormige debietvariatie van 100 naar 150 m ³ /s.....	37
Figuur 14 – Trapvormige debietvariatie van 150 naar 100 m ³ /s.....	37
Figuur 15 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur	38
Figuur 16 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur	38
Figuur 17 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur	39
Figuur 18 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur	39
Figuur 19 – Debiet tijdens was van maart 2018.....	40
Figuur 20 – Waterpeil tijdens was van maart 2018.....	40
Figuur 21 – Klepstand tijdens was van maart 2018.....	41
Figuur 22 – Debiet tijdens droogweerperiode van april 2018	41
Figuur 23 – Waterpeil tijdens droogweerperiode van april 2018	42
Figuur 24 – Klepstand tijdens droogweerperiode van april 2018	42
Figuur 25 – Januari 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk.....	44
Figuur 26 – Januari 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen	44
Figuur 27 – Februari 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk.....	45
Figuur 28 – Februari 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen	45
Figuur 29 – Maart 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk	46
Figuur 30 – Maart 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen.....	46
Figuur 31 – April 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk.....	47
Figuur 32 – April 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen	47
Figuur 33 – Mei 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk	48
Figuur 34 – Mei 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen	48

Figuur 35 – Juni 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk	49
Figuur 36 – Juni 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen	49
Figuur 37 – Juli 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk	50
Figuur 38 – Juli 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen	50
Figuur 39 – Augustus 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk	51
Figuur 40 – Augustus 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen.....	51
Figuur 41 – September 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk	52
Figuur 42 – September 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen.....	52
Figuur 43 – Oktober 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk.....	53
Figuur 44 – Oktober 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen	53
Figuur 45 – November 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk	54
Figuur 46 – November 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen	54
Figuur 47 – December 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk.....	55
Figuur 48 – December 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen.....	55
Figuur 49 – Januari 2019 – zonder zijlopen – daggemiddeld debiet Frankrijk.....	56
Figuur 50 – Januari 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk	57
Figuur 51 – Januari 2019 – met zijlopen – debiet stuwen.....	57
Figuur 52 – Februari 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk	58
Figuur 53 – Februari 2019 – met zijlopen – debiet stuwen.....	58
Figuur 54 – Maart 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk	59
Figuur 55 – Maart 2019 – met zijlopen – debiet stuwen	59
Figuur 56 – April 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk	60
Figuur 57 – April 2019 – met zijlopen – debiet stuwen.....	60
Figuur 58 – Mei 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk.....	61
Figuur 59 – Mei 2019 – met zijlopen – debiet stuwen.....	61
Figuur 60 – Juni 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk.....	62
Figuur 61 – Juni 2019 – met zijlopen – debiet stuwen	62
Figuur 62 – Juli 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk.....	63
Figuur 63 – Juli 2019 – met zijlopen – debiet stuwen	63
Figuur 64 – Augustus 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk	64
Figuur 65 – Augustus 2019 – met zijlopen – debiet stuwen	64
Figuur 66 – September 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk	65
Figuur 67 – September 2019 – met zijlopen – debiet stuwen	65
Figuur 68 – Oktober 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk.....	66
Figuur 69 – Oktober 2019 – met zijlopen – debiet stuwen	66
Figuur 70 – November 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk.....	67
Figuur 71 – November 2019 – met zijlopen – debiet stuwen	67
Figuur 72 – December 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk	68

Figuur 73 – December 2019 – met zijlopen – debiet stuwen.....	68
Figuur 74 – Parameterset 0 (referentie) – synthetisch hydrogram.....	69
Figuur 75 – Parameterset 1 (met trend) – synthetisch hydrogram.....	70
Figuur 76 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) - synthetisch hydrogram.....	70
Figuur 77 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) - synthetisch hydrogram	71
Figuur 78 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) - synthetisch hydrogram	71
Figuur 79 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) – synthetisch hydrogram.....	72
Figuur 80 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) - synthetisch hydrogram.....	72
Figuur 81 – Parameterset 0 (referentie) – maart 2018	73
Figuur 82 – Parameterset 1 (met trend) – maart 2018	73
Figuur 83 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) – maart 2018.....	74
Figuur 84 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) – maart 2018	74
Figuur 85 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) – maart 2018.....	75
Figuur 86 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) – maart 2018	75
Figuur 87 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) – maart 2018.....	76
Figuur 88 – Parameterset 0 (referentie) – april 2018.....	76
Figuur 89 – Parameterset 1 (met trend) – april 2018.....	77
Figuur 90 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) – april 2018	77
Figuur 91 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) – april 2018.....	78
Figuur 92 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) – april 2018	78
Figuur 93 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) – april 2018.....	79
Figuur 94 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) – april 2018	79
Figuur 95 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Menen (reeks 1)	83
Figuur 96 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur – Harelbeke (reeks 1).....	83
Figuur 97 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	84
Figuur 98 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Menen (reeks 1).....	84
Figuur 99 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Harelbeke (reeks 1).....	85
Figuur 100 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	85
Figuur 101 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Menen (reeks 1).....	86
Figuur 102 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Harelbeke (reeks 1).....	86
Figuur 103 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	87
Figuur 104 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Menen (reeks 1).....	87
Figuur 105 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Harelbeke (reeks 1).....	88
Figuur 106 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	88
Figuur 107 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur – Menen (reeks 2).....	89
Figuur 108 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur – Harelbeke (reeks 2).....	89
Figuur 109 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	90
Figuur 110 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Menen (reeks 2).....	90

Figuur 111 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Harelbeke (reeks 2).....	91
Figuur 112 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	91
Figuur 113 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Menen (reeks 2).....	92
Figuur 114 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Harelbeke (reeks 2).....	92
Figuur 115 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	93
Figuur 116 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Menen (reeks 2).....	93
Figuur 117 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Harelbeke (reeks 2).....	94
Figuur 118 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	94
Figuur 119 – Maart 2018 – Menen (reeks 1).....	96
Figuur 120 – Maart 2018 – Harelbeke (reeks 1).....	96
Figuur 121 – Maart 2018 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	97
Figuur 122 – April 2018 – Menen (reeks 1).....	97
Figuur 123 – April 2018 – Harelbeke (reeks 1).....	98
Figuur 124 – April 2018 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	98
Figuur 125 – Maart 2019 – Menen (reeks 1).....	99
Figuur 126 – Maart 2019 – Harelbeke (reeks 1).....	99
Figuur 127 – Maart 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	100
Figuur 128 – Augustus 2019 – Menen (reeks 1).....	100
Figuur 129 – Augustus 2019 – Harelbeke (reeks 1).....	101
Figuur 130 – Augustus 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	101
Figuur 131 – Maart 2018 – Menen (reeks 2).....	102
Figuur 132 – Maart 2018 – Harelbeke (reeks 2).....	102
Figuur 133 – Maart 2018 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	103
Figuur 134 – April 2018 – Menen (reeks 2).....	103
Figuur 135 – April 2018 – Harelbeke (reeks 2).....	104
Figuur 136 – April 2018 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	104
Figuur 137 – Maart 2019 – Menen (reeks 2).....	105
Figuur 138 – Maart 2019 – Harelbeke (reeks 2).....	105
Figuur 139 – Maart 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	106
Figuur 140 – Augustus 2019 – Menen (reeks 2).....	106
Figuur 141 – Augustus 2019 – Harelbeke (reeks 2).....	107
Figuur 142 – Augustus 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	107
Figuur 143 – Juli 2019 – Menen (reeks 3).....	108
Figuur 144 – Juli 2019 – Harelbeke (reeks 3).....	108
Figuur 145 – Juli 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 3).....	109
Figuur 146 – Augustus 2019 – Menen (reeks 3).....	109
Figuur 147 – Augustus 2019 – Harelbeke (reeks 3).....	110
Figuur 148 – Augustus 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 3).....	110

Figuur 149 – Januari 2019 – Menen (reeks 1)	B1
Figuur 150 – Januari 2019 – Harelbeke (reeks 1)	B1
Figuur 151 – Januari 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)	B2
Figuur 152 – Februari 2019 – Menen (reeks 1)	B2
Figuur 153 – Februari 2019 – Harelbeke (reeks 1)	B3
Figuur 154 – Februari 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)	B3
Figuur 155 – Maart 2019 – Menen (reeks 1).....	B4
Figuur 156 – Maart 2019 – Harelbeke (reeks 1).....	B4
Figuur 157 – Maart 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)	B5
Figuur 158 – April 2019 – Menen (reeks 1)	B5
Figuur 159 – April 2019 – Harelbeke (reeks 1)	B6
Figuur 160 – April 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)	B6
Figuur 161 – Mei 2019 – Menen (reeks 1)	B7
Figuur 162 – Mei 2019 – Harelbeke (reeks 1)	B7
Figuur 163 – Mei 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	B8
Figuur 164 – Juni 2019 – Menen (reeks 1)	B8
Figuur 165 – Juni 2019 – Harelbeke (reeks 1)	B9
Figuur 166 – Juni 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	B9
Figuur 167 – Juli 2019 – Menen (reeks 1).....	B10
Figuur 168 – Juli 2019 – Harelbeke (reeks 1).....	B10
Figuur 169 – Juli 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	B11
Figuur 170 – Augustus 2019 – Menen (reeks 1).....	B11
Figuur 171 – Augustus 2019 – Harelbeke (reeks 1).....	B12
Figuur 172 – Augustus 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)	B12
Figuur 173 – September 2019 – Menen (reeks 1).....	B13
Figuur 174 – September 2019 – Harelbeke (reeks 1).....	B13
Figuur 175 – September 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)	B14
Figuur 176 – Oktober 2019 – Menen (reeks 1)	B14
Figuur 177 – Oktober 2019 – Harelbeke (reeks 1)	B15
Figuur 178 – Oktober 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	B15
Figuur 179 – November 2019 – Menen (reeks 1).....	B16
Figuur 180 – November 2019 – Harelbeke (reeks 1).....	B16
Figuur 181 – November 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1).....	B17
Figuur 182 – December 2019 – Menen (reeks 1)	B17
Figuur 183 – December 2019 – Harelbeke (reeks 1).....	B18
Figuur 184 – December 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)	B18
Figuur 185 – Januari 2019 – Menen (reeks 2)	B19
Figuur 186 – Januari 2019 – Harelbeke (reeks 2)	B19

Figuur 187 – Januari 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)	B20
Figuur 188 – Februari 2019 – Menen (reeks 2)	B20
Figuur 189 – Februari 2019 – Harelbeke (reeks 2)	B21
Figuur 190 – Februari 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)	B21
Figuur 191 – Maart 2019 – Menen (reeks 2).....	B22
Figuur 192 – Maart 2019 – Harelbeke (reeks 2).....	B22
Figuur 193 – Maart 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)	B23
Figuur 194 – April 2019 – Menen (reeks 2)	B23
Figuur 195 – April 2019 – Harelbeke (reeks 2)	B24
Figuur 196 – April 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)	B24
Figuur 197 – Mei 2019 – Menen (reeks 2)	B25
Figuur 198 – Mei 2019 – Harelbeke (reeks 2)	B25
Figuur 199 – Mei 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	B26
Figuur 200 – Juni 2019 – Menen (reeks 2)	B26
Figuur 201 – Juni 2019 – Harelbeke (reeks 2)	B27
Figuur 202 – Juni 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	B27
Figuur 203 – Juli 2019 – Menen (reeks 2).....	B28
Figuur 204 – Juli 2019 – Harelbeke (reeks 2).....	B28
Figuur 205 – Juli 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	B29
Figuur 206 – Augustus 2019 – Menen (reeks 2).....	B29
Figuur 207 – Augustus 2019 – Harelbeke (reeks 2).....	B30
Figuur 208 – Augustus 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)	B30
Figuur 209 – September 2019 – Menen (reeks 2).....	B31
Figuur 210 – September 2019 – Harelbeke (reeks 2).....	B31
Figuur 211 – September 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)	B32
Figuur 212 – Oktober 2019 – Menen (reeks 2)	B32
Figuur 213 – Oktober 2019 – Harelbeke (reeks 2)	B33
Figuur 214 – Oktober 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	B33
Figuur 215 – November 2019 – Menen (reeks 2).....	B34
Figuur 216 – November 2019 – Harelbeke (reeks 2).....	B34
Figuur 217 – November 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2).....	B35
Figuur 218 – December 2019 – Menen (reeks 2)	B35
Figuur 219 – December 2019 – Harelbeke (reeks 2)	B36
Figuur 36 – December 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)	B36

1 Inleiding

Het voorliggende rapport maakt deel uit van de derde fase van het project “slim stuwen”. In deze derde fase wordt onderzocht hoe de kunstwerken langsheen een waterloop zich gedragen in het geval van een lokale sturing. De kunstwerken op elke site worden daarbij gestuurd op basis van algoritmes die enkel gebruik maken van metingen op of nabij de eigen site.

Dit rapport is het tweede van drie rapporten en behandelt de kunstwerken langsheen de Leie. De kunstwerken langsheen de Dender en de Bovenschelde worden besproken in het eerste en het derde rapport.

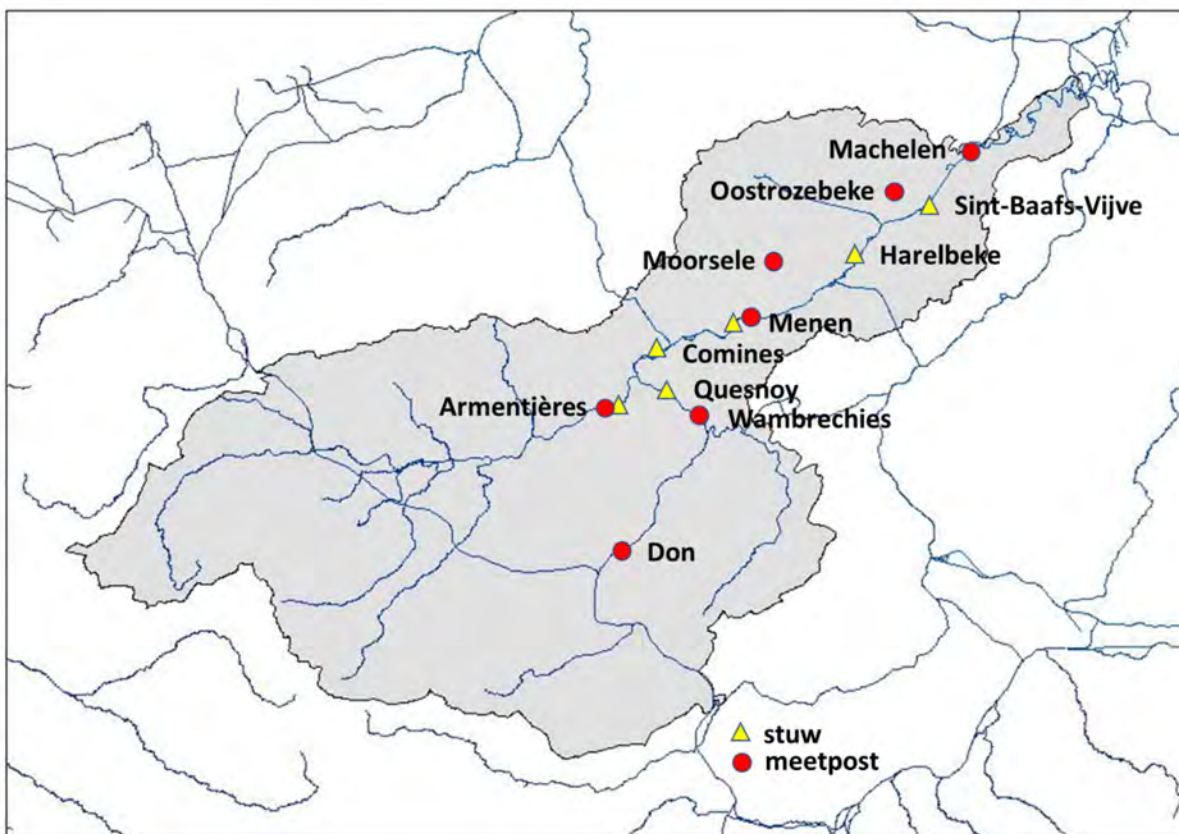
De studie werd uitgevoerd in drie stappen. In een eerste stap werd het gedrag van de vispassages en de (eventuele) turbines geanalyseerd. De stuwen werden daarbij voorzien van een zeer eenvoudig sturingsalgoritme. In een tweede stap werd het gedrag van de stuwen onderzocht. De overige kunstwerken werden daarbij buiten beschouwing gelaten. In de derde en laatste stap werden alle kunstwerken opnieuw geactiveerd en werd de onderlinge interactie bestudeerd. Doorheen de volledige studie wordt enkel gekeken naar het gedrag bij lage en middelhoge afvoeren, waarbij geen overstromingen optreden.

Tijdens de uitvoering van de studie werden de resultaten gerapporteerd in een vijftal tussentijdse memo's. Dit rapport werd samengesteld door het samenvoegen van delen van deze tussentijdse memo's. De grotendeels gemeenschappelijke delen worden behandeld in hoofdstukken 2 (studiegebied), 3 (gegevens) en 4 (model). De analyses en resultaten van de memo “sturing vispassages en turbines Leie” worden behandeld in hoofdstuk 5 (vispassages en turbines). De analyses en resultaten van de memo's “sturing stuwen Leie”, “sturing stuwen Leie – aanvulling 1” en “sturing stuwen Leie – aanvulling 2” werden gebundeld in hoofdstuk 6 (stuwen). De analyses en resultaten van de memo “interactie stuwen, vispassages en turbines Leie” worden beschreven in hoofdstuk 7 (interactie). Hoofdstukken 5, 6 en 7 eindigen met conclusies en aanbevelingen. Deze worden nog eens samengevat in hoofdstuk 8 (samenvatting conclusies en aanbevelingen).

2 Studiegebied

Het studiegebied wordt getoond in Figuur 1. Het omvat de Deûle vanaf het stuw-sluiscomplex te Quesnoy (Frankrijk) tot aan de monding in de Lys te Deûlémont en de Lys en Leie vanaf het stuw-sluiscomplex te Armentières (Frankrijk) tot aan de debietmeter te Machelen. In dit gebied bevinden zich de stuw-sluiscomplexen van Comines, Menen, Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve.

Figuur 1 – Studiegebied



3 Gegevens

3.1 Hydrometrie

De gebruikte hydrometrische gegevens worden samengevat in Tabel 1.

Tabel 1 – Hydrometrische gegevens

Station	Waterloop	Locatie	Beheerder	Variabele
Don-struc	Deûle	Don	VNF	Q
Arm-struc	Lys	Armentières	VNF	Q
lei11a	Leie	Menen	HIC	Q
L05_404	Heulebeek	Moorsele	VMM	Q
L05_409	Mandel	Oostrozebeke	VMM	Q
lei04a	Leie	Machelen	HIC	Q en H

3.2 Stuwen

De stuwen in Comines en Sint-Baafs-Vijve bestaan uit twee hefdeuren met een regelklep bovenaan. De stuwen in Menen en Harelbeke bestaan uit twee segmenten met een regelklep bovenaan. De afmetingen van de stuw in Comines werden afgeleid uit plannen, ter beschikking gesteld door SPW-DGO2. De afmetingen van de stuwen in Menen, Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve werden afgeleid uit plannen, ter beschikking gesteld door DVW. De minimale en maximale standen van de beweegbare onderdelen van de stuwen werden geschat op basis van de beschikbare plannen. De gebruikte eigenschappen worden samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 – Afmetingen stuwen

Stuw	Streefpeil (mTAW)	Breedte (m)	Min (mTAW)	Max (mTAW)
Comines	12,90	hefdeur: 2 x 12,5 klep: 2 x 10,0	hefdeur: 7,90 klep: 12,16	hefdeur: 12,65 klep: 13,26
Menen	11,83	segment: 2 x 12,5 klep: 2 x 10,3	segment: 7,33 klep: 10,83	segment: 11,92 klep: 12,08
Harelbeke	10,12	segment: 2 x 12,5 klep: 2 x 10,3	segment: 5,68 klep: 9,18	segment: 11,00 klep: 10,38
Sint-Baafs-Vijve	8,00	hefdeur 2 x 12,5 klep: 2 x 10,0	hefdeur: 4,15 klep: 7,27	hefdeur: 9,52 klep: 8,32

3.3 Sluizen

De afmetingen van de sluis in Comines werden afgeleid uit plannen, ter beschikking gesteld door SPW-DGO2. De afmetingen van de sluizen in Menen, Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve werden afgeleid uit plannen, ter beschikking gesteld door DVW. Voor de nieuwe sluizen in Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve ging het om ontwerpplannen. De gebruikte afmetingen worden samengevat in Tabel 3.

Tabel 3 – Afmetingen sluizen

Sluis	Lengte (m)	Breedte (m)	Verval (m)
Comines	90 + 105 = 195	12,5	1,07
Menen	92 + 111 = 203	12,5	1,71
Harelbeke	110 + 140 = 250	12,5	2,12
Sint-Baafs-Vijve	110 + 140 = 250	16,0	2,39

De huidige schutverliezen voor de sluis van Comines werden geschat op basis van trafiekgegevens voor de periode 2009 t.e.m. 2019, ter beschikking gesteld door SPW-DGO2. De beschikbare cijfers hebben enkel betrekking op de beroepsvaart.

De huidige schutverliezen voor de sluizen van Menen, Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve werden geschat op basis van trafiekgegevens, ter beschikking gesteld door DVW. De pleziervaart werd geraamd op basis van de "Overzichten pleziervaart" voor de periode 2010 t.e.m. 2019. De beroepsvaart werd geraamd op basis van de jaarboeken met de "Statistiek van het vervoer op de waterwegen beheerd door Waterwegen en Zeekanaal" voor de periode 2010 t.e.m. 2016 en gegevens van RIS Evergem voor de periode 2017 t.e.m. 2019.

De toekomstige (2030) schutverliezen voor de beroepsvaart door de nieuwe sluizen in Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve werden geraamd op basis van het "Prognosemodel sluisbewegingen SBV en Harelbeke"

(DVW, 2018). De toekomstige schutverliezen voor de bestaande sluisen in Comines en Menen werden ruw geschat door te veronderstellen dat de toekomstige trafiek op beide locaties ongeveer gelijk zal zijn aan de toekomstige trafiek in Harelbeke. Voor de pleziervaart werden de cijfers voor de bestaande toestand behouden.

Voor de berekening van de schutverliezen door de pleziervaart (tijdens de zomermaanden) werd gebruik gemaakt van de trafiek tijdens de maanden juli en augustus en de afmetingen van de kleinste deelkolk. Voor de beroepsvaart (tijdens het volledige jaar) werd gebruik gemaakt van de trafiek gedurende het volledige jaar en de afmetingen van de volledige sluis. De resultaten worden samengevat in Tabel 4.

De lekverliezen werden geschat op basis van observaties op de nieuwe sluis van Harelbeke. Daar bedragen ze slechts 0,06 m³/s. Aangezien de lekverliezen klein zijn in vergelijking met de schutverliezen, werden geen uitgebreide ramingen gemaakt voor de overige sluisen. In de plaats daarvan werden de lekverliezen voor alle sluisen gelijk gesteld aan die voor Harelbeke.

Tabel 4 – Schutverliezen en lekverliezen

Sluis	Pleziervaart (aantal/jul-aug)	Beroepsvaart (aantal/jaar)	Schutverlies (m ³ /s)	Lekverlies (m ³ /s)
Comines	205	11201	1,0	0,06
Menen	205	11201	1,6	0,06
Harelbeke	566	11201	2,7	0,06
Sint-Baafs-Vijve	524	13036	4,4	0,06

3.4 Vispassages

In Harelbeke werd reeds een vispassage aangelegd op het Moleneiland. Deze is echter nog niet in gebruik. Het gaat om een bekkentrap met een variabel toegevoegd debiet. De eigenschappen werden overgenomen uit de ontwerpdocumenten.

In Sint-Baafs-Vijve zal een vispassage aangelegd worden in de restanten van een oude sluis, die naast de stuw gelegen is. Hier gaat het om een vertical slot passage met een variabel toegevoegd debiet. De eigenschappen werden opnieuw overgenomen uit de ontwerpdocumenten.

In Comines zal door VNF een vispassage aangelegd worden in een bestaande oude Leiemeander, die om de sluis en stuw heen loopt. Volgens de ontwerpdocumenten zal het opwaartse deel van de meander ingericht worden als nevengeul en het afwaartse deel als paaiplaats. De beschikbare ontwerpdocumenten vermelden een ontwerpdebiet van 4 m³/s, maar geven geen informatie over de variatie van het debiet of de regels voor het openen en sluiten.

In Menen zal in de toekomst ook een vispassage aangelegd worden. Er is nog geen definitieve keuze m.b.t. het type van de vispassage of de precieze ligging ervan. In deze studie zullen dan ook twee types (bekkentrap en vertical slot) geëvalueerd worden. Beide types worden voorzien van een klein basisdebiet en een variabel toegevoegd debiet.

Tabel 5 geeft een overzicht van de vispassages en hun eigenschappen.

Tabel 5 – Vispassages

Vispassage	Type	Debiet vispassage (m ³ /s)	Toegevoegd debiet (m ³ /s)
Comines	Nevengeul	4,0	nvt
Menen	Bekkentrap / vertical slot	1,5 / 0,9	0 - 3 / 0 - 4
Harelbeke	Bekkentrap	1,5	0 - 3
Sint-Baafs-Vijve	Vertical slot	0,9	0 - 4

3.5 Vijzels

In Harelbeke werden reeds twee vijzels geïnstalleerd. Deze worden momenteel getest. Deze vijzels kunnen als turbine (stroming van opwaarts naar afwaarts) en als pomp (stroming van afwaarts naar opwaarts) ingezet worden. De eigenschappen werden overgenomen uit de ontwerpdocumenten.

Indien één vijzel ingezet wordt als turbine, dan verbruikt hij een debiet van 2,31 m³/s. Indien beide vijzels ingezet worden als turbine, dan verbruiken ze samen 4,5 m³/s. Indien de vijzels gebruikt worden als pomp, dan worden ze alternerend ingezet. Het pompdebiet van één vijzel (circa 2 m³/s) volstaat immers om de schutverliezen te compenseren. In dat geval zijn zowel de stuwen als de vispassage gesloten. In deze studie wordt enkel de turbinewerking beschouwd aangezien pompwerking alleen uitzonderlijk zal optreden bij extreme droogte. In dat geval zijn zowel de stuwen als de vispassage gesloten.

Zowel in Menen als in Sint-Baafs-Vijve zullen mogelijk ook vijzels geïnstalleerd worden. De eigenschappen van de toekomstige vijzels in Menen en Sint-Baafs-Vijve werden gelijk verondersteld aan die van de bestaande vijzels in Harelbeke. Aangezien de schutverliezen in Sint-Baafs-Vijve hoger zijn dan de schutverliezen in Menen en Harelbeke, zullen beide vijzels tegelijk ingezet moeten worden als pomp om de schutverliezen te kunnen compenseren.

Tabel 6 geeft een overzicht van de vijzels en hun eigenschappen.

Tabel 6 – Vijzels

Vijzel	Type	Debiet vijzel 1 (m ³ /s)	Debiet vijzel 2 (m ³ /s)
Comines	nvt	nvt	nvt
Menen	turbine / pomp	2,31	2,19
Harelbeke	turbine / pomp	2,31	2,19
Sint-Baafs-Vijve	turbine / pomp	2,31	2,19

3.6 Andere watergebruikers

Langsheen het kanaal Roeselare-Leie zijn een aantal watergebruikers (zowel industrie als landbouw) gevestigd. Het netto verbruik werd door medewerkers van DVW geschat op basis van de draaiuren van het pompstation te Ooigem en bedraagt 1 m³/s.

4 Model

4.1 Software

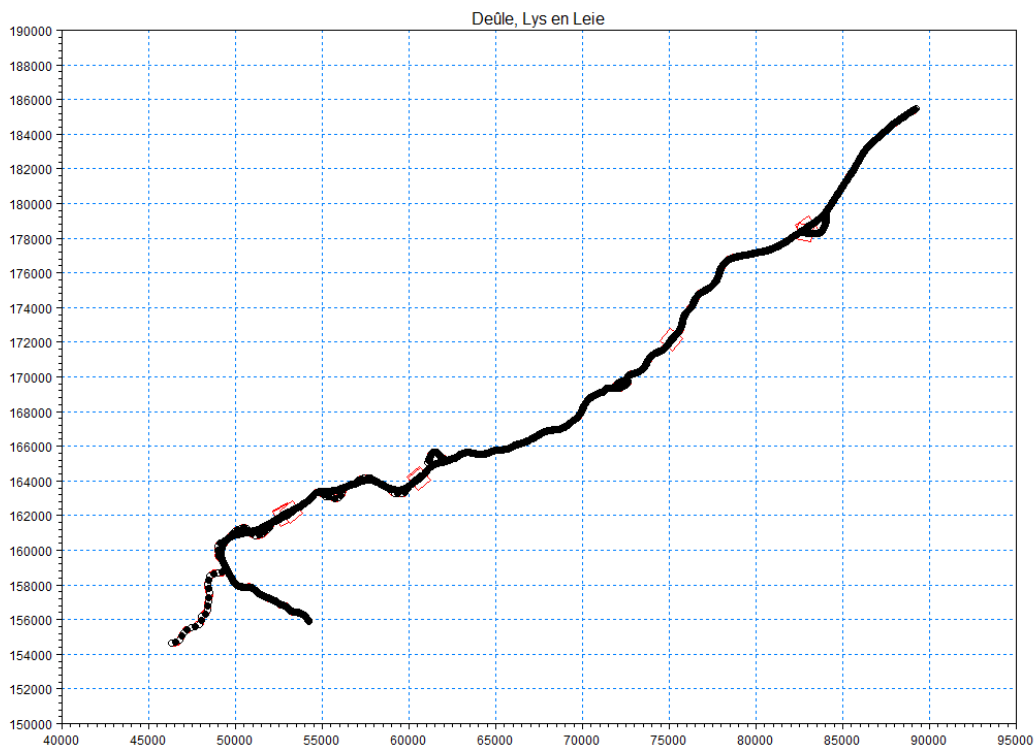
Het numerieke model werd opgebouwd met het softwarepakket Mike11 (versie 2017, SP2), ontwikkeld en verdeeld door het Danish Hydraulic Institute (DHI).

4.2 Opbouw

Het model van de Leie werd opgebouwd door het aanpassen van een bestaand model (Vanderkimpen et al., 2019). Dit model bevat de Lys en Leie afwaarts Armentières en de Deûle afwaarts Quesnoy, met inbegrip van de Leiearm in Kortrijk en de vertakking van Zulte. Ook een aantal oude Leiemeanders, die nog met de hoofdloop verbonden zijn, zijn in het model opgenomen. De overige zijlopen en de overstromingsgebieden zijn niet opgenomen.

Figuur 2 toont de ruimtelijke uitgestrektheid van het gebruikte hydrodynamische model.

Figuur 2 – Hydrodynamisch model



4.3 Randvoorwaarden

De opwaartse en zijdelingse randvoorwaarden bestaan uit de gemeten debieten op de Lys/Leie en haar zijlopen (zie Tabel 1). De instroming vanuit onbemeten deelbekkens werd geschat door het herschalen van de meetreeksen van bemeten deelbekkens, op basis van de verhouding van de oppervlakte van de bemeten en de onbemeten deelbekkens.

De afwaartse randvoorwaarde bestaat uit de gemeten waterpeilen op de Leie te Machelen.

5 Vispassages en turbines

5.1 Methodologie

5.1.1 Modelvariant

De basisanalyses werden uitgevoerd met het model beschreven in hoofdstuk 4. Alle kunstwerken waren actief, schut- en lekverliezen werden toegepast en zowel opwaartse als zijdelingse instroming werd in rekening gebracht.

De controleberekening (zie 5.1.4) werd uitgevoerd met een kleiner model dat geknipt werd net afwaarts van het stuw-sluiscomplex van Comines.

5.1.2 Scenario's

Er werden vier scenario's bestudeerd. Deze verschillen van elkaar door het type van de vispassage in Menen en de aan- of afwezigheid van turbines in Menen en Sint-Baafs-Vijve.

Scenario S1:

- bekkentrap met toegevoegd debiet in Menen
- geen turbines in Menen en Sint-Baafs-Vijve

Scenario S2:

- vertical slot met toegevoegd debiet in Menen
- geen turbines in Menen en Sint-Baafs-Vijve

Scenario S3:

- bekkentrap met toegevoegd debiet in Menen
- turbines in Menen en Sint-Baafs-Vijve

Scenario S4:

- vertical slot met toegevoegd debiet in Menen
- turbines in Menen en Sint-Baafs-Vijve

Voor de site van Menen werd verondersteld dat de vispassage en de turbines op de Leie (parallel aan de bestaande stuw en sluis) gebouwd zullen worden. Voor de site van Sint-Baafs-Vijve werd verondersteld dat de turbines op de Leie (parallel aan de nieuwe sluis) gebouwd zullen worden. Indien deze locatie weerhouden wordt, zou het nodig kunnen zijn om daar ook een tweede vispassage in te planten, omdat de reeds geplande vispassage zich op de vertakking van Zulte bevindt (in de oude sluis, parallel aan de stuw). Turbines parallel aan de sluis zorgen namelijk voor een bijkomende stroming die opwaarts migrerende vissen kan aantrekken en hen daardoor kan wegleiden van de voorziene vispassage in de vertakking van Zulte.

5.1.3 Sturing

De sturingsparameters van de recent gereviseerde stuw in Menen konden nog niet achterhaald worden. De toekomstige sturing van de stuwen in Comines en Sint-Baafs-Vijve is nog niet bekend. Daarom werden alle stuwen uitgerust met een zeer eenvoudige voorlopige regeling:

- als waterpeil hoger dan streefpeil + 5 cm, verlaag kleppen met 5 cm
als kleppen reeds omlaag, verhoog hefschuiven of segmenten met 5 cm
- als waterpeil lager dan streefpeil - 5 cm, verlaag hefschuiven of segmenten met 5 cm
als hefschuiven of segmenten reeds omlaag, verhoog kleppen met 5 cm

Het gedrag en de sturing van de nevengeul van Comines zijn niet bekend. Voor deze nevengeul worden volgende eenvoudige voorlopige regels toegepast:

- debiet = 2 - 4 - 6 m³/s (lineaire variatie i.f.v. waterpeil, range = 40 cm = streefpeil ± 20 cm)
- als waterpeil hoger dan streefpeil + 20 cm, sluit schuif volledig (beveiliging tegen uitspoeling)
- als waterpeil lager dan streefpeil - 20 cm, sluit schuif volledig

De vertical slot vispassages (Sint-Baafs-Vijve en soms Menen) werden uitgerust met volgende regels:

- debiet = 0,8 – 0,9 – 1,0 m³/s (lineaire variatie i.f.v. waterpeil, range = 40 cm = streefpeil ± 20 cm)
- als waterpeil lager dan streefpeil - 20 cm, sluit schuif volledig
- als debiet over stuwen groter dan 0,9 m³/s, open schuif volledig

De schuiven van de vispassages hebben slechts 2 standen; volledig open of volledig dicht.

De vispassages met een bekkentrap (Harelbeke en soms Menen) werden uitgerust met volgende regels:

- debiet = 0,65 – 1,5 – 2,9 m³/s (lineaire variatie i.f.v. waterpeil, range = 40 cm = streefpeil ± 20 cm)
- als waterpeil hoger dan streefpeil + 20 cm, sluit schuif volledig (beveiliging tegen uitspoeling)
- als waterpeil lager dan streefpeil - 20 cm, sluit schuif volledig
- als debiet over stuwen groter dan 1,5 m³/s, open schuif volledig

Het toegevoegd debiet wordt bepaald in functie van het debiet over de stuwen. Op sites met een bekkentrap heeft het 4 standen (0, 1, 2 en 3 m³/s). Op sites met een vertical slot passage zijn er 5 standen: (0, 1, 2, 3 en 4 m³/s).

Om de vispassages bij lage afvoeren zo aantrekkelijk mogelijk te maken wordt het toegevoegd debiet reeds ingeschakeld bij lage stuwdebieten (vanaf 2 m³/s). Om hoogfrequente schommelingen tussen twee naburige standen te vermijden, werden voor het verhogen van het toegevoegd debiet hogere drempelwaarden gebruikt dan voor het verlagen van het toegevoegd debiet (hysteresis).

Verhogen van het toegevoegd debiet:

- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min > 2 m³/s : 1 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min > 4 m³/s : 2 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min > 6 m³/s : 3 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min > 8 m³/s : 4 m³/s (enkel vertical slot)

Verlagen van het toegevoegd debiet:

- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min < 7 m³/s : 3 m³/s (enkel vertical slot)
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min < 5 m³/s : 2 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min < 3 m³/s : 1 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min < 1 m³/s : 0 m³/s

Bij hoge waterstanden (meer dan 20 cm boven streefpeil) worden de bekkentrappen gesloten om ze te beveiligen tegen uitspoelen. Het toegevoegd debiet, dat enkel een functie is van het debiet over de stuwen, blijft echter maximaal. Het heeft geen ecologische functie meer, maar kan nog bijdragen tot het verhogen van de afvoercapaciteit van de site. Indien dit voordeel te gering geacht wordt, kan het toegevoegd debiet eventueel samen met de bekkentrap afgesloten worden.

Voor de vijzels wordt enkel de turbinewerking beschouwd. Ze zullen pas als pomp ingezet worden nadat de stuwen en vispassages reeds gesloten zijn. De turbines werden uitgerust met volgende vereenvoudigde regels:

- als debiet over stuwen meer dan $3 \text{ m}^3/\text{s}$ en vispassage open, start turbine 1
- als debiet over stuwen meer dan $3 \text{ m}^3/\text{s}$ en vispassage en turbine 1 open, start turbine 2
- als waterpeil lager dan streefpeil - 10 cm, stop turbine 2
- als waterpeil lager dan streefpeil - 15 cm, stop turbine 1

In werkelijkheid zullen de turbines ook stopgezet worden wanneer het verval te klein geworden is, bv. als gevolg van opstuwing aan de afwaartse zijde tijdens wassen. In Harelbeke wordt momenteel onderzocht of de werking van de turbines verbeterd kan worden door bij lage afvoeren niet één turbine aan een hoog toerental, maar twee turbines aan een laag toerental in te zetten. Deze variant werd nog niet bestudeerd.

De variatie van het toegevoegd debiet i.f.v. het debiet over de stuwen heeft tot doel ervoor te zorgen dat de verhouding tussen de lokstroom (som van debiet door vispassage en toegevoegd debiet) en het debiet over de stuwen of door de turbines bij lage afvoeren zo lang mogelijk voldoende hoog gehouden wordt. Bij hogere afvoeren is dit niet meer mogelijk.

Bij lage afvoeren doet de meest ongunstige verhouding zich voor wanneer beide turbines in werking zijn en er bijna geen water meer over de stuwen stroomt, zodat het toegevoegd debiet niet geactiveerd wordt. De verhouding tussen de lokstroom en het totale debiet bedraagt dan $1,5/4,5 = 0,33$ voor een bekkentrap en $0,9/4,5 = 0,2$ voor een vertical slot passage.

De simulaties werden uitgevoerd met een tijdstap van 1 minuut. De bovenstaande regels worden dan ook elke minuut geëvalueerd. Voor de vispassages en de turbines werd verondersteld dat ze op 1 minuut tijd volledig kunnen openen of sluiten.

5.1.4 Controleberekening

De berekeningen beschreven in de voorgaande paragrafen maken gebruik van opwaartse randvoorwaarden die in Frankrijk (Don en Armentières) gemeten werden. De grote debietschommelingen die momenteel nabij de grens (Bousbecque en Menen) geobserveerd worden, komen in deze reeksen niet voor. Ze worden door de sturing van de stuwen van Comines en Menen die in het model geïmplementeerd werd slechts in beperkte mate gereproduceerd. Om na te gaan of het ontbreken van deze debietschommelingen geen al te rooskleurig beeld van de toekomstige situatie in Vlaanderen oplevert, werd ook nog een controleberekening met een aangepast model en aangepaste randvoorwaarden doorgevoerd. Het model beschreven in hoofdstuk 4 werd geknipt net afwaarts van de stuw van Comines. Vervolgens werd de meetreeks van Menen opgelegd als opwaartse randvoorwaarde. Hierdoor worden de bestaande debietschommelingen wel weergegeven in de opwaartse randvoorwaarde. Tegelijkertijd vervalt ook de aanvoer van water door de vispassage van Comines tijdens droge perioden.

5.1.5 Analyse

Alle scenario's werden doorgerekend voor een jaar met een gemiddelde afvoer (2015), een nat jaar (2016) en een droog jaar (2017). De resultaten werden vergeleken aan de hand van een aantal kengetallen.

5.2 Resultaten

5.2.1 Kengetallen

De resultaten van de berekeningen worden samengevat in tabellen met kengetallen. De betekenis van deze kengetallen is als volgt:

- % NP = tijd (in %) dat het opwaarts waterpeil minder dan 5 cm afwijkt van het streefpeil
- % LW = tijd (in %) dat het opwaarts waterpeil lager is dan het laagwateralarmpeil
- % 1 = tijd (in %) dat een vispassage, toegevoegd debiet of turbine open staat
- # +/- = aantal keren dat een klep, segment of schuif van stand verandert
- # 1/0 = aantal keren dat een vispassage of turbine open of dicht gaat

Alle kengetallen werden berekend voor het volledige jaar en voor de zomer. De zomer werd gedefinieerd als de periode van 1 april tot 1 oktober.

De berekeningen werden uitgevoerd met een tijdstap van 1 minuut, maar de resultaten werden slechts om de 5 minuten opgeslagen. Het absolute aantal bewegingen van kleppen en schuiven is dus waarschijnlijk onderschat.

De percentages werden afgerond tot op een geheel getal. Een openingsgraad van "0" % omvat dus alle waarden tussen 0 en 0,49 % en een openingsgraad van "100" % slaat op de range van 99,50 tot 100 %.

5.2.2 Menen

De resultaten van de basisberekening voor Menen worden getoond in Tabel 7 t.e.m. Tabel 12. De resultaten van de controleberekening worden getoond in Tabel 13 t.e.m. Tabel 18.

Tabel 7 – Menen – 2015

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	98	0	1908	9996	100	0	88	1551	0	0	0	0
S2	98	0	1921	1018	100	0	89	2098	0	0	0	0
S3	94	0	1365	9609	100	0	80	1681	100	4	85	750
S4	95	0	1350	9744	100	0	81	2252	100	2	86	735

Tabel 8 – Menen – 2016

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	98	0	3106	1030	100	0	88	1384	0	0	0	0
S2	98	0	3118	1045	100	0	89	1888	0	0	0	0
S3	94	0	2420	9883	100	0	77	1461	100	2	81	688
S4	96	0	2483	1001	100	0	79	1961	100	0	82	678

Tabel 9 – Menen – 2017

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	94	0	442	3512	99	10	71	832	0	0	0	0
S2	94	0	436	3488	100	6	80	1111	0	0	0	0
S3	81	0	360	3114	99	12	51	721	91	84	56	397
S4	85	0	353	3406	99	12	53	1053	92	74	59	405

Tabel 10 – Menen – zomer 2015

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	97	0	597	5283	100	0	84	964	0	0	0	0
S2	98	0	593	5387	100	0	86	1324	0	0	0	0
S3	93	0	407	4917	100	0	74	990	100	0	80	488
S4	94	0	381	5001	100	0	76	1294	100	0	81	491

Tabel 11 – Menen – zomer 2016

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	98	0	1753	5671	100	0	88	720	0	0	0	0
S2	98	0	1750	5687	100	0	90	975	0	0	0	0
S3	94	0	1326	5510	100	0	80	797	100	2	84	383
S4	95	0	1357	5535	100	0	81	1070	100	0	85	365

Tabel 12 – Menen – zomer 2017

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	92	0	22	1523	99	6	61	466	0	0	0	0
S2	92	0	21	1475	99	4	73	623	0	0	0	0
S3	77	0	14	1313	99	8	36	396	87	51	43	228
S4	80	0	15	1516	98	8	38	576	89	53	46	249

Tabel 13 – Menen – 2015 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	66	0	8588	1876	100	0	56	2694	0	0	0	0
S2	68	0	8661	1909	100	0	58	3285	0	0	0	0
S3	61	0	7433	1758	100	0	50	2748	70	1503	54	1919
S4	62	0	7449	1782	100	0	51	3247	72	1437	55	1903

Tabel 14 – Menen – 2016 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	72	0	1048	2030	100	0	65	2534	0	0	0	0
S2	72	0	1059	2045	100	0	66	2976	0	0	0	0
S3	69	0	9152	1932	100	0	61	2535	75	1408	64	1841
S4	70	0	9230	1945	100	0	61	3070	76	1406	65	1859

Tabel 15 – Menen – 2017 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	59	0	6727	1596	100	2	46	2660	0	0	0	0
S2	62	0	6829	1631	100	2	47	3355	0	0	0	0
S3	53	0	5683	1460	100	4	39	2595	57	1665	42	1943
S4	54	0	5751	1484	100	2	39	3117	60	1645	43	1967

Tabel 16 – Menen – zomer 2015 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	53	0	3815	9221	100	0	42	1562	0	0	0	0
S2	56	0	3830	9424	100	0	44	1931	0	0	0	0
S3	47	0	3226	8461	100	0	35	1550	58	988	40	1156
S4	48	0	3206	8591	100	0	36	1823	61	955	41	1158

Tabel 17 – Menen – zomer 2016 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	69	0	5120	1050	100	0	62	1421	0	0	0	0
S2	70	0	5207	1055	100	0	63	1676	0	0	0	0
S3	66	0	4470	9922	100	0	56	1442	73	771	60	1027
S4	67	0	4511	9968	100	0	57	1747	74	765	61	1044

Tabel 18 – Menen – zomer 2017 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	50	0	1838	6549	100	2	32	1459	0	0	0	0
S2	55	0	1918	6767	100	2	33	1843	0	0	0	0
S3	41	0	1404	5697	100	4	24	1358	45	924	28	1045
S4	44	0	1469	5864	100	2	24	1624	49	915	29	1064

5.2.3 Harelbeke

De resultaten van de basisberekening voor Harelbeke worden getoond in Tabel 19 t.e.m. Tabel 24. De resultaten van de controleberekening worden getoond in Tabel 25 t.e.m. Tabel 30.

Tabel 19 – Harelbeke – 2015

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	86	0	1769	1037	100	0	78	1631	91	561	80	561
S2	86	0	1781	1044	100	0	77	1660	90	590	80	941
S3	84	0	1803	1076	100	0	75	1703	100	41	79	949
S4	84	0	1839	1101	100	0	75	1749	99	125	78	962

Tabel 20 – Harelbeke – 2016

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	86	0	2910	1051	100	0	76	1445	92	473	78	473
S2	87	0	2908	1057	100	0	77	1449	91	498	79	866
S3	83	0	2896	1075	100	0	75	1497	100	61	78	820
S4	83	0	2945	1096	100	0	75	1497	100	155	78	821

Tabel 21 – Harelbeke – 2017

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	77	0	478	3538	98	12	51	746	74	242	54	242
S2	79	0	489	3577	98	10	51	771	72	235	54	425
S3	71	0	481	3512	98	12	50	742	83	98	53	409
S4	73	0	485	3702	97	14	50	806	90	153	53	444

Tabel 22 – Harelbeke – zomer 2015

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	82	0	494	5349	100	0	71	978	86	406	74	406
S2	82	0	487	5444	100	0	71	998	85	412	75	596
S3	79	0	519	5631	100	0	68	1031	100	39	72	598
S4	79	0	537	5674	100	0	68	1034	99	109	72	608

Tabel 23 – Harelbeke – zomer 2016

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	86	0	1522	5773	100	0	78	799	90	312	81	312
S2	87	0	1512	5724	100	0	78	786	90	308	81	493
S3	84	0	1507	5920	100	0	77	830	100	49	80	466
S4	84	0	1530	6064	100	0	78	841	99	104	80	470

Tabel 24 – Harelbeke – zomer 2017

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	70	0	20	1539	98	8	35	405	62	173	38	173
S2	74	0	24	1524	98	6	35	406	61	159	39	247
S3	61	0	20	1567	97	8	33	419	73	60	37	246
S4	64	0	25	1679	96	10	33	465	83	106	37	273

Tabel 25 – Harelbeke – 2015 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	61	0	5944	1803	100	0	51	3063	66	1638	55	1638
S2	61	0	6005	1798	100	0	52	3067	65	1646	55	1977
S3	61	0	5991	1850	100	0	52	3089	69	1441	55	1912
S4	61	0	6042	1856	100	0	51	3082	69	1520	55	1933

Tabel 26 – Harelbeke – 2016 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	69	0	7689	1971	100	0	62	2985	73	1654	65	1654
S2	69	0	7789	1983	100	0	62	3003	73	1677	65	1930
S3	69	0	7749	2013	100	0	62	3002	76	1433	65	1876
S4	69	0	7870	2017	100	0	62	3004	76	1474	65	1877

Tabel 27 – Harelbeke – 2017 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	54	0	4607	1541	100	4	40	2836	54	1682	44	1682
S2	53	0	4684	1550	99	8	40	2864	54	1698	43	1840
S3	55	0	4618	1560	100	4	40	2876	57	1468	43	1783
S4	54	0	4680	1566	100	8	40	2887	57	1525	44	1817

Tabel 28 – Harelbeke – zomer 2015 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	48	0	2308	8757	100	0	36	1744	53	1021	40	1021
S2	48	0	2363	8794	100	0	36	1768	53	1003	40	1144
S3	47	0	2365	9059	100	0	37	1770	57	933	41	1117
S4	48	0	2384	9115	100	0	36	1759	56	981	41	1128

Tabel 29 – Harelbeke – zomer 2016 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	65	0	3625	1027	100	0	57	1689	70	949	61	949
S2	65	0	3694	1032	100	0	57	1697	70	942	61	1087
S3	65	0	3646	1048	100	0	57	1696	73	824	61	1044
S4	66	0	3699	1053	100	0	57	1689	73	841	61	1077

Tabel 30 – Harelbeke – zomer 2017 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	43	0	964	6282	99	4	24	1441	40	897	28	897
S2	42	0	998	6316	99	8	24	1453	39	912	27	961
S3	44	0	944	6226	99	4	24	1426	42	802	27	901
S4	43	0	979	6293	99	8	24	1442	43	829	28	937

5.2.4 Sint-Baafs-Vijve

De resultaten van de basisberekening voor Sint-Baafs-Vijve worden getoond in Tabel 31 t.e.m. Tabel 36. De resultaten van de controleberekening worden getoond in Tabel 37 t.e.m. Tabel 42.

Tabel 31 – Sint-Baafs-Vijve – 2015

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	79	0	5243	1001	100	0	73	2120	0	0	0	0
S2	79	0	5235	1018	100	0	73	2120	0	0	0	0
S3	75	0	4479	9719	100	0	68	2170	82	826	70	1056
S4	75	0	4478	9784	100	0	68	2161	81	846	70	1091

Tabel 32 – Sint-Baafs-Vijve – 2016

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	80	0	5991	1011	99	32	73	1806	0	0	0	0
S2	79	0	5984	1015	99	28	73	1829	0	0	0	0
S3	75	0	5214	9676	100	0	69	1895	81	698	71	921
S4	75	0	5320	9770	99	10	69	1901	81	709	71	951

Tabel 33 – Sint-Baafs-Vijve – 2017

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	64	0	1229	3840	77	76	49	1059	0	0	0	0
S2	64	0	1271	3811	76	68	50	1047	0	0	0	0
S3	56	0	1008	3518	81	42	44	996	56	349	47	449
S4	57	0	1011	3610	77	62	44	1052	57	363	47	481

Tabel 34 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2015

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	73	0	2423	5206	100	0	66	1235	0	0	0	0
S2	72	0	2440	5390	100	0	66	1269	0	0	0	0
S3	67	0	2015	5021	100	0	60	1288	76	540	62	633
S4	68	0	2005	5075	100	0	59	1270	76	545	62	648

Tabel 35 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2016

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	80	0	3400	5584	99	10	75	979	0	0	0	0
S2	80	0	3357	5489	99	10	75	981	0	0	0	0
S3	76	0	2913	5352	100	0	72	1081	82	409	74	521
S4	77	0	2980	5449	99	4	71	1082	83	420	73	542

Tabel 36 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2017

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	51	0	297	1759	66	48	33	600	0	0	0	0
S2	52	0	298	1661	64	44	35	574	0	0	0	0
S3	40	0	171	1486	72	23	26	516	40	214	30	256
S4	43	0	185	1558	67	41	26	562	41	219	29	271

Tabel 37 – Sint-Baafs-Vijve – 2015 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	51	0	9890	1528	93	168	46	2988	0	0	0	0
S2	51	0	9885	1524	93	166	45	2969	0	0	0	0
S3	50	0	8831	1425	92	188	41	2976	52	1737	44	1949
S4	49	0	8867	1426	92	182	41	2950	52	1749	44	1943

Tabel 38 – Sint-Baafs-Vijve – 2016 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	60	0	1175	1692	98	58	56	2932	0	0	0	0
S2	60	0	1184	1690	97	64	56	2883	0	0	0	0
S3	58	0	1080	1612	97	68	53	2951	62	1775	55	1928
S4	58	0	1084	1626	97	70	52	2965	62	1729	55	1967

Tabel 39 – Sint-Baafs-Vijve – 2017 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	42	0	7835	1276	79	172	35	2706	0	0	0	0
S2	42	0	7909	1281	80	172	34	2688	0	0	0	0
S3	40	0	6970	1180	78	184	31	2636	40	1556	33	1772
S4	41	0	7004	1184	78	188	31	2624	40	1617	33	1783

Tabel 40 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2015 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	37	0	4375	7308	90	120	30	1656	0	0	0	0
S2	37	0	4358	7301	89	118	30	1643	0	0	0	0
S3	35	0	3805	6693	89	128	25	1616	36	1023	28	1097
S4	35	0	3824	6726	89	126	25	1592	37	1050	28	1098

Tabel 41 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2016 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	55	0	5805	8735	97	40	51	1641	0	0	0	0
S2	55	0	5859	8723	97	44	51	1632	0	0	0	0
S3	53	0	5267	8221	97	44	47	1665	57	992	50	1078
S4	53	0	5287	8321	97	44	47	1661	58	974	50	1110

Tabel 42 – Sint-Baafs-Vijve – zomer 2017 (controle)

	peil		stuwen (hef/wip)		vispassage		toegev. debiet		turbine 1		turbine 2	
	% NP	% LW	# +/-	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# 1/0
S1	28	0	2408	4993	70	116	18	1350	0	0	0	0
S2	28	0	2415	4993	70	114	18	1321	0	0	0	0
S3	26	0	1929	4293	69	124	15	1264	25	792	17	853
S4	27	0	1965	4322	68	130	15	1248	25	813	17	861

5.2.5 Bespreking

Vispassages

Bij de basisberekening is de openingsgraad voor de geplande vispassage van Menen hoog (meer dan 90%), ongeacht het scenario en zelfs in het droge jaar 2017. Vanuit hydrologisch standpunt is er voor de bestudeerde periode dan ook geen duidelijk voordeel van een vertical slot passage t.o.v. een bekkentrap. Een vertical slot is wel minder gevoelig voor eventueel toenemende droogte in de toekomst.

De bestaande vispassage van Harelbeke vertoont eveneens een hoge openingsgraad, ongeacht het scenario en het jaar.

In Sint-Baafs-Vijve ligt de openingsgraad van de geplande vispassage hoog in 2015 en 2016, maar ze daalt aanzienlijk in het droge jaar 2017 (< 80% en zelfs < 70% in de zomer). Het verschil met de opwaartse sites wordt veroorzaakt door de hoge schutverliezen in Sint-Baafs-Vijve en het waterverbruik langsheen het kanaal Roeselare-Leie. De resultaten voor 2016 zijn iets slechter dan die voor 2015. In september 2016 sluit de vispassage als gevolg van de zeer lage aanvoer vanuit de Deûle in Don. Dit zou het gevolg kunnen zijn van het waterbeheer in Frankrijk, maar is misschien ook gewoon een meetfout.

Uit de controleberekening blijkt dat de impact van de randvoorwaarden op de werking van de vispassages beperkt blijft. In Menen en Harelbeke daalt de openingsgraad maximaal met enkele procenten. In Sint-Baafs-Vijve daalt de openingsgraad in 2015 met een 10-tal procent. In 2016 daalt de openingsgraad met enkele procenten en in 2017 stijgt hij bij sommige scenario's zelfs met enkele procenten. De verschillen worden niet enkel veroorzaakt door de debietschommelingen, maar ook door kleine verschillen in het totale volume gemeten in Don en Armentières enerzijds en in Menen anderzijds.

De beperkte impact van het hydrologische regime op de werking van de vispassages is vooral te danken aan het gebruik van vispassages met een beperkt basisdebiet in combinatie met een toegevoegd debiet voor het creëren van een voldoende sterke lokstroom. Bij watertekort zal het toegevoegd debiet afgebouwd worden en soms zelfs volledig wegvallen, maar de vispassage zelf kan daardoor langer openblijven.

Turbines

Bij de basisberekening kan de eerste turbine in Menen voltijds werken in 2015 en 2016. Zelfs in de zomer van het droge jaar 2017 is er voldoende water om de turbine gedurende meer dan 80% van de tijd operationeel te houden. De tweede turbine kan, naargelang het jaar, meer dan 50% tot meer dan 80% van de tijd operationeel blijven. Gedurende de zomer liggen deze percentages iets lager (meer dan 40% tot meer dan 80%).

De installatie van turbines in Menen heeft een gunstige invloed op de werking van de bestaande turbines in Harelbeke. In de scenario's met turbines in Menen stijgt de werkingsgraad van de eerste turbine in Harelbeke met 10%, terwijl die van de tweede turbine ongeveer gelijk blijft.

De werkingsgraad van de turbines in Sint-Baafs-Vijve is minder gunstig dan op andere sites. In een nat jaar kan ze oplopen tot meer dan 80% voor de eerste turbine en meer dan 70% voor de tweede turbine. In de zomer van een droog jaar vallen die cijfers terug tot ongeveer 40% voor de eerste turbine en 30% voor de tweede turbine. De oorzaak voor het verschil met de opwaartse sites is opnieuw te vinden bij de hogere schutverliezen en het hogere waterverbruik in het kanaal Roeselare-Leie.

Uit de controleberekening blijkt dat de werkingsgraad van de turbines op alle sites met enkele tientallen procenten afneemt en dat de aan- en uitschakelfrequentie van beide turbines aanzienlijk toeneemt. In Sint-Baafs-Vijve daalt de werkingsgraad van de tweede turbine tot minder dan 20% tijdens de zomer van 2017.

De impact van het hydrologische regime op de turbines is groter dan de impact op de vispassages omdat de turbines pas inschakelen nadat de vispassages reeds geopend zijn en ook weer uitschakelen voor de vispassages gesloten worden. Bij watertekort zullen de turbines dus harder getroffen worden dan de vispassages.

Zoals reeds eerder vermeld, zijn de ramingen van de bedrijfstijd van de turbines iets te hoog, omdat geen rekening gehouden werd met het uitschakelen van de turbines bij een te laag verval.

5.3 Conclusies en aanbevelingen

Het gebruik van vispassages met een beperkt basisdebiet in combinatie met een toegevoegd debiet zorgt voor een hoog openingspercentage van de vispassages bij alle scenario's ongeacht het hydrologische regime.

Voor de vispassage van Menen zijn er voor de bestudeerde periode geen duidelijke hydrologische voordelen verbonden aan de keuze voor een vertical slot passage i.p.v. een bekkentrap, wanneer beiden uitgerust worden met een toegevoegd debiet. Een vertical slot passage is wel minder gevoelig voor eventueel toenemende droogte in de toekomst.

De werkingsgraad van de turbines is veel gevoeliger aan het hydrologische regime, omdat bij watertekort steeds voorrang gegeven wordt aan het openhouden van de vispassages.

Vanuit hydrologisch standpunt is de site van Menen geschikter voor de installatie van turbines dan de site van Sint-Baafs-Vijve. In Sint-Baafs-Vijve zouden vijzels wel van belang kunnen zijn als pomp, om de grote schutverliezen te compenseren.

In een eerdere studie (Vanderkimpen et al., 2023) werd reeds onderzocht welke voor- of nadelen er verbonden zijn aan het criterium voor het openen van een vispassage (waterpeil of debiet). Uit deze studie bleek dat opening op basis van debiet en sluiting op basis van waterpeil over het algemeen de meest optimale regeling lijkt. Om de impact van de keuze van het openingsmechanisme te minimaliseren kan men opteren voor een flexibel algoritme, waarbij de vispassage geopend wordt op basis van een combinatie van waterpeil en debiet. De beheerder kan dan zelf beslissen om de vispassage te openen op basis van waterpeil en/of debiet. Op basis van ervaring, weersomstandigheden en beheerprioriteiten, kan hij dan steeds het meest geschikte mechanisme instellen. Een dergelijk algoritme werd reeds uitgewerkt voor de vispassage van Sint-Baafs-Vijve (Vanderkimpen et al., 2020) en wordt ook aanbevolen voor de vispassage van Menen.

Indien in Menen of Sint-Baafs-Vijve waterkrachtcentrales gebouwd zouden worden, dan dient tijdens het ontwerp onderzocht te worden of de toevoeging van een tweede vispassage noodzakelijk is. De behoefte aan een bijkomende vispassage zal afhangen van de precieze inplanting van de turbines.

6 Stuwen

6.1 Methodologie

6.1.1 Modelvariant

Opdat de analyse van de stuwen niet bemoeilijkt zou worden door de werking van andere kunstwerken, werden de vispassages, de turbines, de schutverliezen en de lekverliezen uitgeschakeld.

In principe moet het model gevoed worden met een opwaarts debiet vanuit de Lys en de Deûle in Frankrijk en zijdelingse debieten vanuit de zijlopen in Wallonië en Vlaanderen. Indien zijdelingse debieten opgelegd worden, is het moeilijk om een onderscheid te maken tussen een toename van de afvoer veroorzaakt door zijdelingse instroming en een toename van de afvoer veroorzaakt door de werking van de stuwen. Daarom werden de initiële berekeningen uitgevoerd met een modelversie waaraan enkel een opwaarts debiet opgelegd werd. In latere aanvullingen werd de zijdelingse instroming terug toegevoegd.

Bij simulaties met een constant debiet werd dit debiet gelijk verdeeld over de Deûle in Quesnoy en de Lys in Armentières. Bij simulaties met synthetische afvoer werd het volledige debiet opgelegd aan de Deûle in Quesnoy (om vervormingen na de samenvloeiing in Deûlémont te voorkomen). Bij simulaties met gemeten afvoeren werd het debiet terug verdeeld over de Deûle en de Lys.

6.1.2 Scenario's

Er werd slechts één scenario bestudeerd. Dit scenario stemt overeen met de bestaande situatie. De reeds gedeeltelijk uitgevoerde aanpassingen aan de waterwegen in het kader van de Seine-Schelde verbinding werden nog niet in rekening gebracht, met uitzondering van de rechtekking van de Lys tussen Comines en Wervik.

6.1.3 Sturing

De stuwen van Comines, Menen, Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve werden allemaal uitgerust met eenzelfde sturing op waterpeil. Het algoritme is gebaseerd op het algoritme dat reeds geïmplementeerd werd in Menen en Harelbeke en dat in de toekomst ook geïmplementeerd zal worden in Sint-Baafs-Vijve. Dit algoritme wordt uitvoerig beschreven in Cofely Fabricom (2015).

De ingestelde parameters verschillen van stuw tot stuw en ook de snelheden waarmee de onderdelen (klep en segment of hefdeur) bewegen zijn niet voor alle sites identiek. De onderstaande analyse is grotendeels gebaseerd op de huidige instellingen voor de nieuwe stuw van Harelbeke. Alle andere sites zullen in de toekomst immers nog gerenoveerd worden.

Voor deze analyse werden de volgende parameters gebruikt:

- Continu openen als het opwaarts waterpeil meer dan 5 cm boven het streefpeil staat
- Discontinu openen als het opwaarts waterpeil meer dan 3 cm boven het streefpeil staat
- Discontinu sluiten als het opwaarts waterpeil meer dan 3 cm onder het streefpeil staat
- Continu sluiten als het opwaarts waterpeil meer dan 5 cm onder het streefpeil staat
- Werktijd = 30 seconden (klep) en 10 seconden (segment of hefdeur)
- Rusttijd = 120 seconden
- Tendens: geen

De nieuwe kleppen en segmenten in Harelbeke kunnen volledig openen of sluiten in een tijdspanne van 15 minuten. De kleppen bewegen dus aan een gemiddelde snelheid van $1,2 \text{ m} / 15 \text{ min} \approx 2 \text{ mm/s}$ en de segmenten aan een gemiddelde snelheid van $5,3 \text{ m} / 15 \text{ min} \approx 6 \text{ mm/s}$. Wanneer de kleppen volledig geopend zijn en passief meegevoerd worden door de segmenten, dan bewegen ze aan dezelfde snelheid als de segmenten. Een verticale beweging over een hoogte van 5 cm vereist dus een werktijd van ongeveer 30 seconden voor een klep en ongeveer 10 seconden voor een segment.

Alle stuwen hebben meerdere onderdelen. Bij stijgende waterpeilen opent eerst de klep en daarna pas de hefdeur of het segment. Bij dalende waterpeilen sluit eerst de hefdeur of het segment en daarna pas de klep.

6.1.4 Stabiliteit lokale sturing op waterpeil

In eerste instantie werd nagegaan welk stuwgedrag verwacht kan worden op basis van de eigenschappen van de opeenvolgende rivierpanden. Daarbij werd gebruik gemaakt van de verhouding van de looptijd en de retentietijd, zoals beschreven in Neumüller en Bernhauer (1969 en 1976).

De looptijd T_L is de tijd die een verstoring nodig heeft om zich te verplaatsen van het opwaartse einde van een gestuwd pand tot aan de stuw aan het afwaartse einde:

$$T_L = L / w \quad (1)$$

met T_L = looptijd (s)

L = lengte van het rivierpand (m)

w = snelheid van de verstoring (m/s)

De snelheid van de verstoring is gelijk aan:

$$w = v + \sqrt{g y} \quad (2)$$

met v = gemiddelde stroomsnelheid (m/s)

g = versnelling zwaartekracht (m/s^2)

y = gemiddelde diepte (m)

De retentietijd T_R is de tijd die nodig is om na de verstoring van een evenwichtsprofiel in een gestuwd pand een nieuw evenwichtsprofiel te bereiken:

$$T_R = \Delta V / \Delta Q \quad (3)$$

met ΔV = wijziging van het volume in het rivierpand (m^3)

ΔQ = wijziging van het debiet in het rivierpand (m^3/s)

Als de looptijd kleiner is dan de retentietijd dan zal de stuw snel reageren op een verstoring van het evenwicht en zal het bestaande evenwicht geleidelijk evolueren naar een nieuw evenwicht. Indien de looptijd groter is dan de retentietijd, dan zal de stuw te laat reageren op een verstoring van het evenwicht en zal de verstoring versterkt worden.

De voorwaarde voor het vermijden van een versterking van een verstoring door een stuw die gestuurd wordt op basis van het waterpeil net opwaarts van de stuw is dus:

$$T_L / T_R < 1 \quad (4)$$

De verhouding van de looptijd en de retentietijd werd berekend aan de hand van de resultaten van simulaties met een constante afvoer van 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 250 en $300 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor de berekening van volumes en stroomsnelheden werd aangenomen dat de Deûle een breedte heeft van 50 m en de Lys en Leie een breedte hebben van 30 m tussen Armentières en Deûlémont, 50 m tussen Deûlémont en Menen, 45 m tussen Menen en Harelbeke en 55 m afwaarts Harelbeke. Aan de oude Leiearmen werd een breedte van 30 m toegekend.

6.1.5 Toetsing lokale sturing op waterpeil

De betrouwbaarheid van het criterium beschreven in de vorige paragraaf (vergelijking 4) werd getoetst aan de hand van een aantal simulaties met synthetische en historische gebeurtenissen.

Synthetische gebeurtenissen

In een eerste fase werd de reactie van de keten van stuwen op een trapsgewijze debietwijziging onderzocht. Daarbij werden de volgende combinaties van debieten getest: 10-20, 20-30, 30-50, 50-100 en 100-150. Zowel snelle toenames als snelle afnames werden onderzocht. Uit een analyse van de historische meetreeks van Menen bleek dat de historische debietvariaties kunnen oplopen tot bijna 2 (m³/s)/min. Bij de opmaak van de synthetische randvoorwaarden werd dan ook een variatie van 2 (m³/s)/min toegepast. De hiervoor opgesomde debietvariaties vinden dan plaats in 5, 10 of 25 minuten.

De tweede reeks synthetische gebeurtenissen bestaat uit sinusoidale hydrogrammen. Deze hebben een basisafvoer van 30 m³/s en een piekafvoer van 150 m³/s. De duur varieert van 3 uur tot 24 uur.

Historische gebeurtenissen

In een derde stap werden ook nog twee historische gebeurtenissen doorgerekend: de was van maart 2018 (piekafvoer 80 m³/s) en de droogweerperiode in april 2018.

In een latere aanvulling werd het volledige jaar 2019 doorgerekend. Het gebruik van een recent jaar verzekert dat eventuele recente aanpassingen aan de sturing van de stuwen in Frankrijk in de meetreeksen vervat zitten.

Voor de opmaak van een opwaartse debietrandvoorwaarde voor de Deûle te Quesnoy en de Lys te Armentières werd gebruik gemaakt van de meetreeksen op de Deûle te Wambrechies (VNF) en de Lys te Armentières (VNF). De zijdelingse instroming in Vlaanderen werd geraamd op basis van de metingen voor de Heulebeek te Moorseele (VMM) en de Mandel te Oostrozebeke (VMM).

De meetreeksen voor Armentières en Wambrechies zijn niet-gevalideerde reeksen met een frequentie van 15 minuten. Uit navraag bij VNF bleek dat er nog geen gevalideerde reeksen beschikbaar zijn. Beide reeksen bevatten een aantal perioden waarvoor geen metingen beschikbaar zijn. Korte perioden (enkele uren of dagen) werden opgevuld door lineaire interpolatie. Een langere periode (eerste drie weken van december) in de reeks van Armentières werd opgevuld door een herschaling van de meetreeks van Menen.

De meetreeksen voor de Heulebeek in Moorseele en de Mandel in Oostrozebeke hebben een frequentie van 15 minuten. Ze zijn vermoedelijk wel reeds gevalideerd.

Om de output beheersbaar te houden, werd het jaar 2019 opgedeeld in 12 deelperiodes, elk met een duur van 1 maand. De eerste 2 dagen van elke maand werden gebruikt als initialisatieperiode en werden achteraf niet mee geanalyseerd.

Elke maand werd tweemaal doorgerekend. Bij de eerste berekening werd geen rekening gehouden met de afvoer van de zijlopen. Bij de tweede berekening werd wel rekening gehouden met de afvoer van de zijlopen. Voor de bemeten deelbekkens werd gebruik gemaakt van de meetreeksen van de meetposten van VMM. Voor de onbemeten deelbekkens werd de meetreeks van een naburig bemeten deelbekken herschaald op basis van de oppervlakte van het deelbekken.

6.1.6 Gevoeligheidsanalyse

De resultaten van de analyses beschreven in paragraaf 6.1.5. zijn enkel geldig voor de gebruikte combinatie van sturingsparameters voor de nieuwe stuwen in Vlaanderen. Een gevoeligheidsanalyse werd uitgevoerd om na te gaan hoe deze resultaten wijzigen bij andere combinaties van sturingsparameters.

De onderzochte parametersets worden opgesomd in Tabel 43. De eerste set (0) is de referentieset die in eerdere analyses (zie paragraaf 6.1.3) gebruikt werd. De sturingsparameters zijn: de afwijking van het waterpeil t.o.v. het streefpeil waarbij de stuw discontinu of continu gaat werken (beiden uitgedrukt in cm), de werktijd en de rusttijd (beiden uitgedrukt in s) en de trend van het opwaartse waterpeil waarbij de stuw niet meer in beweging komt (uitgedrukt in cm/min).

Tabel 43 – Parametersets

Scenario	Discontinuu (cm)	Continu (cm)	Werktijd (s)	Rusttijd (s)	Trend (cm/min)
0	3	5	30	120	-
1	3	5	30	120	2
2	3	5	30	0	-
3	3	5	30	300	-
4	3	5	6	120	-
5	3	5	6	0	-
6	5	10	30	120	-

Voor de gevoeligheidsanalyse werd gebruik gemaakt van synthetische hydrogrammen, de was van maart 2018 en de droogweeperiode van april 2018.

6.2 Resultaten

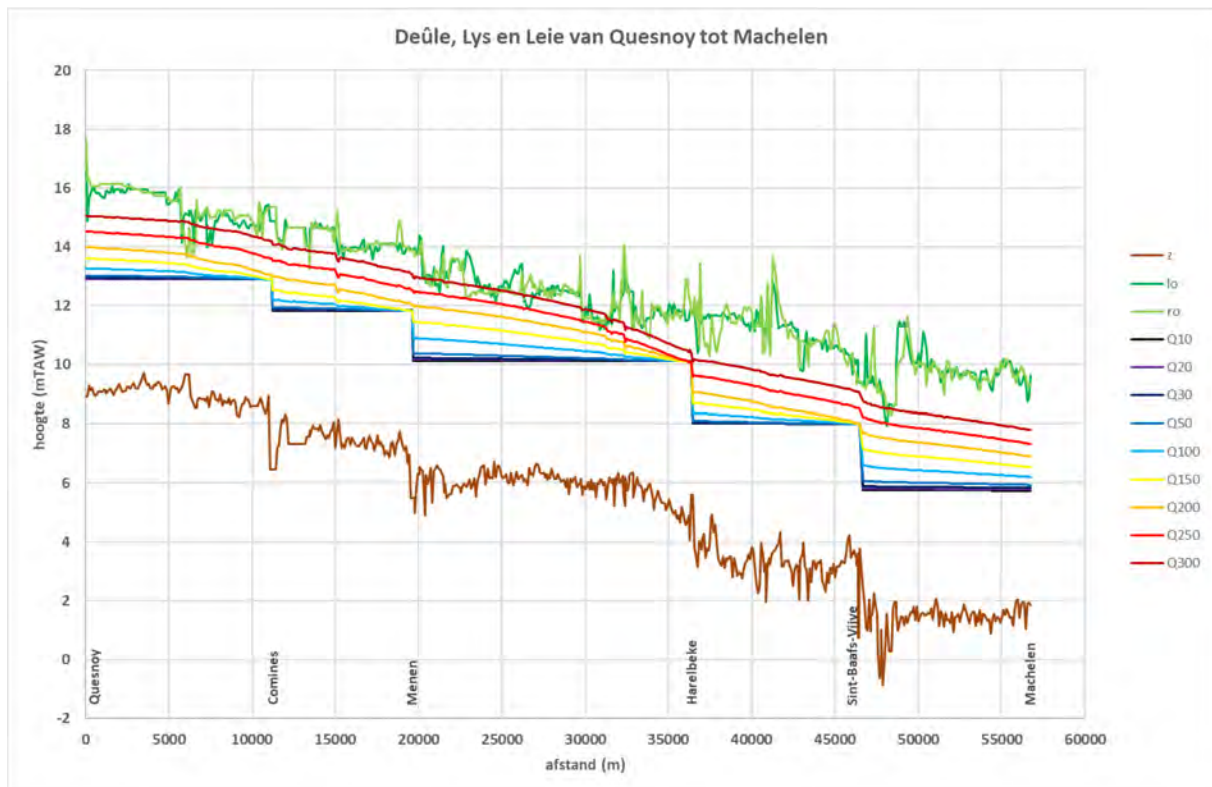
6.2.1 Stabiliteit lokale sturing op waterpeil

De resultaten van de simulaties met constante afvoeren van 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 250 en 300 m³/s worden getoond in Figuur 3. De figuur toont het bodempeil (“z”, bruin), de oeverhoogte (“lo” en “ro”, groen) en het waterpeil overeenstemmend met de hiervoor vermelde afvoeren.

In de figuur is duidelijk zichtbaar dat het pand tussen Menen en Harelbeke ongeveer twee maal langer is dan de overige panden.

Uit de figuur blijkt dat er bij een afvoer van 200 m³/s nog net geen overstromingen optreden. In Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve is er bij die afvoer nog vrije overstorting over de stuwen. In Menen en Comines, waar het verval kleiner is dan op andere locaties, treedt er verdrinken stroming op bij een afvoer van meer dan 150 m³/s.

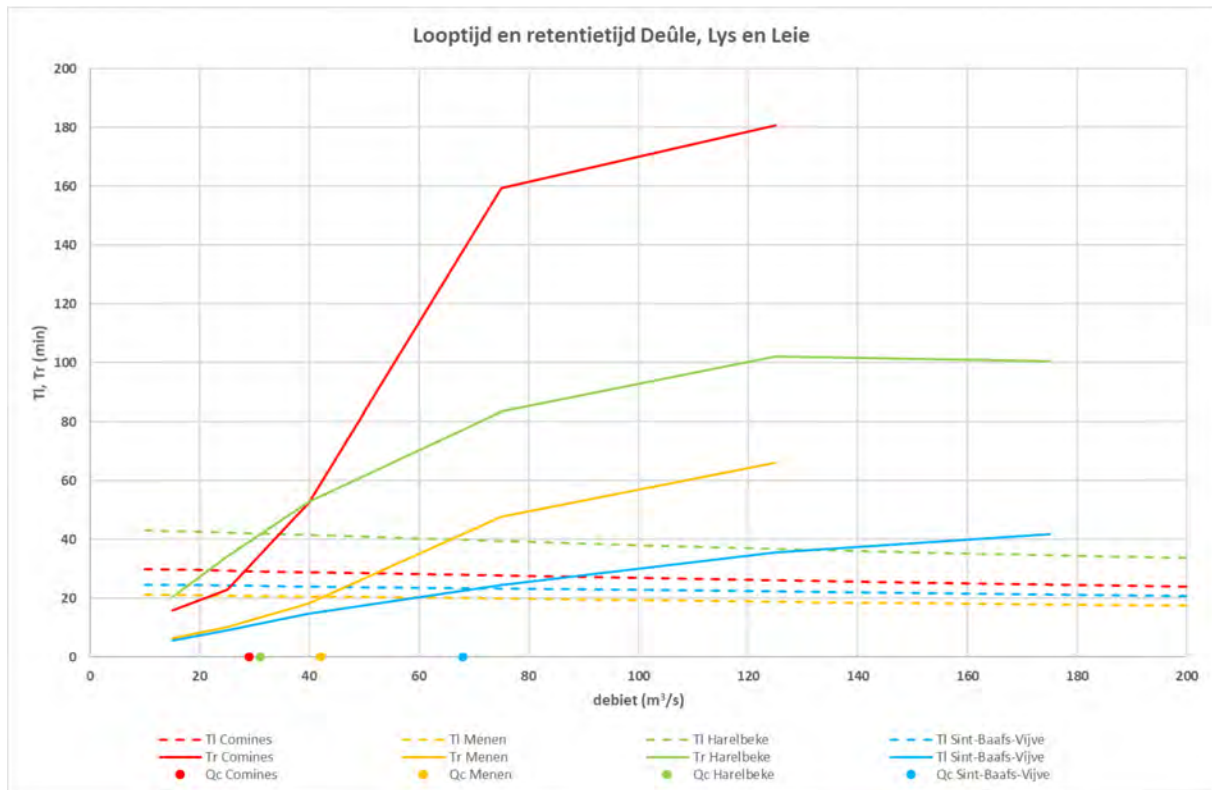
Figuur 3 – Lengteprofielen bij constante afvoer



De resultaten van de simulaties met constante afvoeren werden gebruikt voor het bepalen van de looptijd en de retentietijd, zoals beschreven in paragraaf 6.1.4. De berekende waarden worden getoond in Figuur 4.

Uit de figuur blijkt dat voor hoge afvoeren (> 70 m³/s) de looptijd in alle panden korter is dan de retentietijd. Bij hoge afvoeren zal een lokale sturing op waterpeil dus geen versterking van afvoergolven veroorzaken. Bij lage afvoeren (< 30 m³/s) is de looptijd in alle panden langer dan de retentietijd. Bij lage afvoeren zal een lokale sturing op waterpeil dus wel een versterking van afvoergolven veroorzaken. Bij tussenliggende afvoeren zullen sommige stuwen geen en andere stuwen wel een versterking veroorzaken.

Figuur 4 – Looptijd en retentietijd



De vorm van de curves met de retentietijd voor Comines en Mènen wordt beïnvloed door de zijlopen (Lys tussen Armentières en Deûlémont en oude Leiearmen). Bij debieten van meer dan 150 m³/s treedt op deze locaties verdronken stroming op, zodat de berekening van de retentietijd niet langer zinvol is.

De waarden voor looptijd en retentietijd worden beïnvloed door de modelkalibratie (bodemuurheid) en door de aannames voor de breedte van de Deûle, Lys en Leie. De waarden voor het debiet waarbij wel of geen versterking optreedt moeten dus beschouwd worden als indicatief en zijn zeker niet exact.

6.2.2 Toetsing lokale sturing op waterpeil

Figuren

Het gedrag van de stuwen werd getoetst aan de hand van figuren die het verloop van het debiet over de stuwen, het waterpeil opwaarts van de stuwen en de stand van de stuwkleppen weergeven.

De figuren met het debiet tonen het debiet dat opgelegd werd in Quesnoy (synthetische hydrogrammen) of het cumulatieve debiet in Deûlémont (historische hydrogrammen) en het debiet over de opeenvolgende stuwen. Uit deze figuren kan snel afgeleid worden of er eventueel een versterking van de afvoergolven optreedt.

Om een eenvoudige vergelijking van de evolutie van het waterpeil opwaarts van alle stuwen mogelijk te maken, werd het waterpeil niet uitgedrukt als een absoluut peil (in mTAW), maar als een afwijking t.o.v. het streefpeil (in m). Op de figuren werden ook de afwijkingen aangegeven waarbij de stuwen beginnen te werken (3 cm). Uit deze figuren kan afgeleid worden of het waterpeil binnen de vooropgestelde grenzen blijft.

Om de vergelijking van de standen van de beweegbare delen van alle stuwen te vergemakkelijken, werden de standen van de kleppen uitgedrukt als een relatieve hoogte t.o.v. het streefpeil (in m) en de standen van de hefdeuren en segmenten als een relatieve hoogte t.o.v. het drempelpeil (in m). Uit deze figuren kan afgeleid worden op welke wijze de stuwen openen of sluiten.

Synthetische randvoorwaarde met trapvormige debietvariatie

De impact van een trapvormige variatie van het opwaartse debiet wordt geïllustreerd in Figuur 5 t.e.m. Figuur 14. De resultaten bevestigen de resultaten van de analyse op basis van looptijd en retentietijd. Variaties bij lage afvoeren worden versterkt en variaties bij hoge afvoeren niet. Alhoewel de variaties bij lage afvoeren leiden tot een tijdelijke versterking, treedt er na verloop van tijd wel een nieuw evenwicht op.

Synthetische randvoorwaarde met sinusoïdaal hydrogram

Het gedrag van sinusoïdale hydrogrammen met variabele duur wordt getoond in Figuur 15 t.e.m. Figuur 18.

Bij het begin van het hydrogram is er een neiging tot versterking van de debietstoe name. Doordat het instromend debiet zelf ook toeneemt, wordt deze neiging onderdrukt en komt ze niet tot uiting in het uiteindelijke piekdebiet. Bij de hydrogrammen met een lange duur blijft het piekdebiet bijna ongewijzigd in de volledige stuwenketen. Bij de hydrogrammen met een korte duur wordt het piekdebiet geleidelijk gedempt in de stuwenketen.

Op het einde van het hydrogram is er opnieuw een neiging tot versterking van de debietsafname. Doordat het instromende debiet afneemt wordt deze neiging steeds groter. Dit resulteert in een progressief toenemende onderschrijding van de basisafvoer. Hoe korter de duur van het hydrogram, d.w.z. hoe steiler de dalende flank, hoe sterker de onderschrijding van de basisafvoer na afloop van het hydrogram.

Historische was van maart 2018

Figuur 19 t.e.m. Figuur 21 tonen het gedrag van de nieuwe stuwen bij een eventuele herhaling van de was van maart 2018.

Tijdens de was zijn er geen opvallende versterkingen zichtbaar. In de droogweeperiodes voor en na de was is dit wel het geval. Tijdens perioden met een plotse afname van het debiet sluiten sommige stuwen en zakt het waterpeil tot onder het streefpeil.

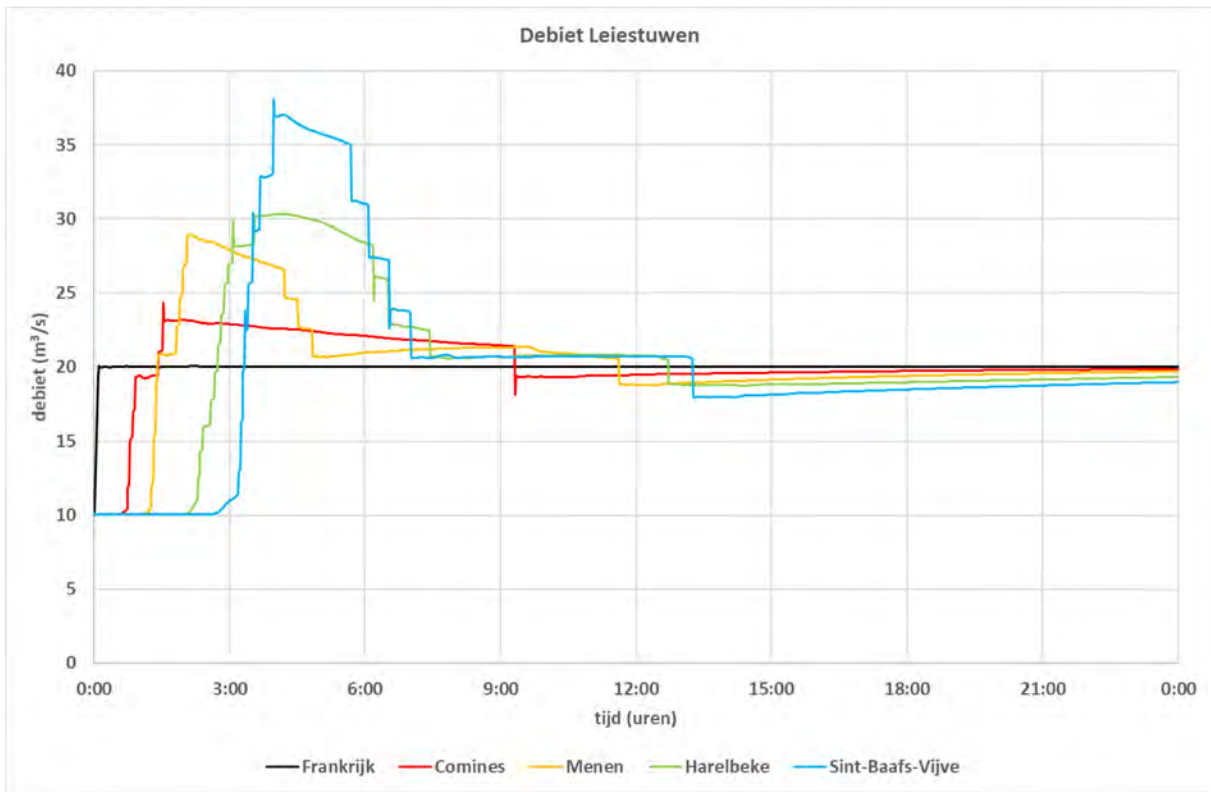
Droogweeperiode van april 2018

Figuur 22 t.e.m. Figuur 24 tonen de reactie van de nieuwe stuwen tijdens de droogweeperiode van april 2019.

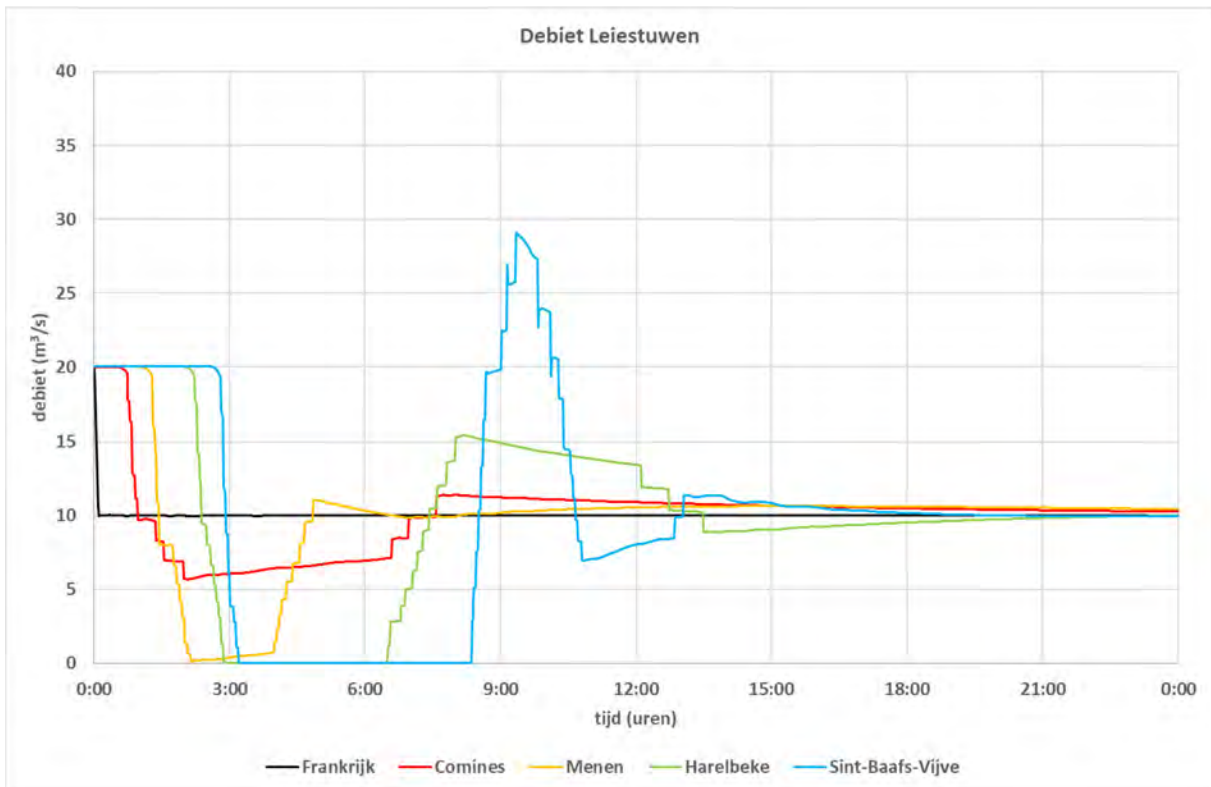
Tijdens de droogweeperiode treedt in Comines slechts een zeer kleine versterking op. Dit is consistent met de theoretische analyse. Dankzij de twee parallelle opwaartse takken (Deûle en Lys) heeft het pand opwaarts Comines een hoge retentietijd en een lage looptijd. Dit resulteert in een stabiel gedrag. Op het terrein werd echter een zeer grote versterking van de afvoer uit Quesnoy vastgesteld (zie Vanderkimpfen et al. 2018). Het verschil tussen de berekende kleine versterking en de geobserveerde grote versterking bevestigt het vermoeden dat de huidige sturing van de stuw van Comines niet optimaal is. Ter hoogte van de Vlaamse stuwen (vooral Sint-Baafs-Vijve) treedt er wel een grote berekende versterking op.

De voorgaande observaties leiden tot een zorgwekkende hypothese. Als gevolg van de suboptimale sturing van de stuw van Comines treedt daar momenteel een grote versterking op, die de door Vlaamse stuwen niet verergerd wordt. Deze situatie maskeert waarschijnlijk een onderliggend probleem in Vlaanderen. Indien de sturing van de stuw van Comines verbeterd zou worden, dan zou een trapsgewijze versterking door de Vlaamse stuwen zichtbaar kunnen worden.

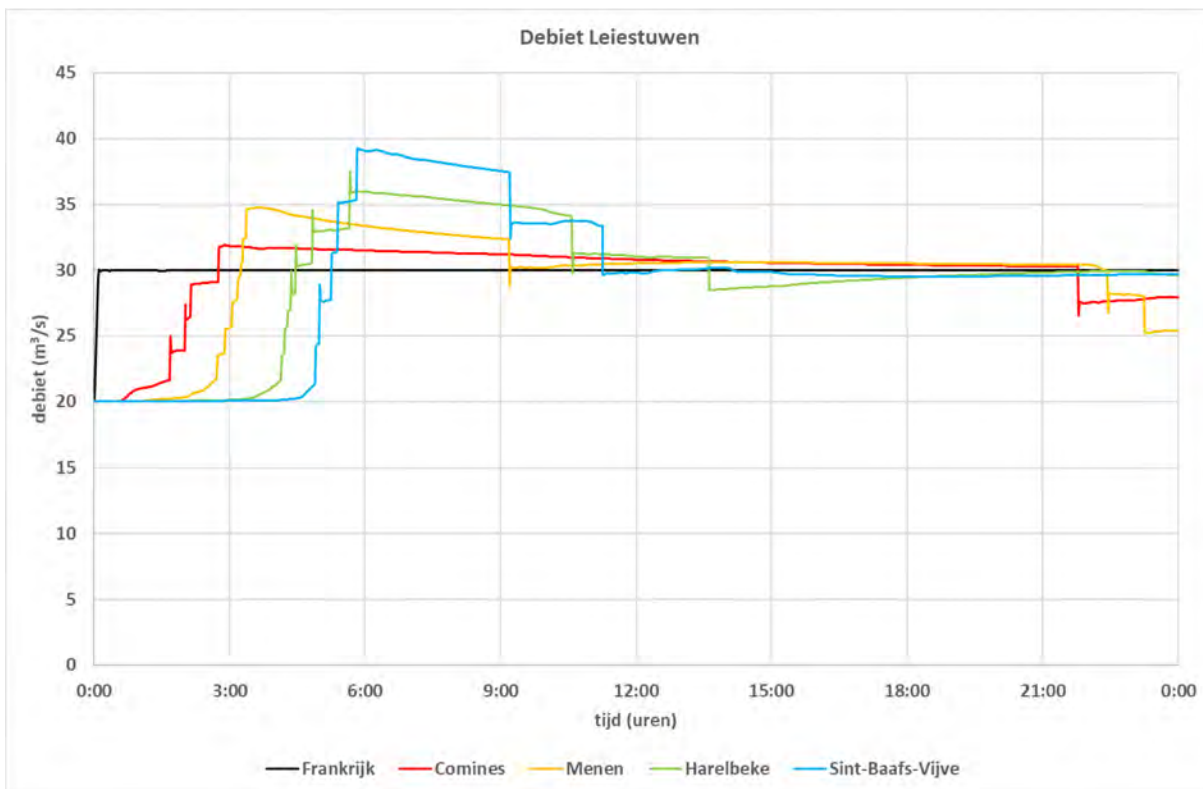
Figuur 5 – Trapvormige debietvariatie van 10 naar 20 m³/s



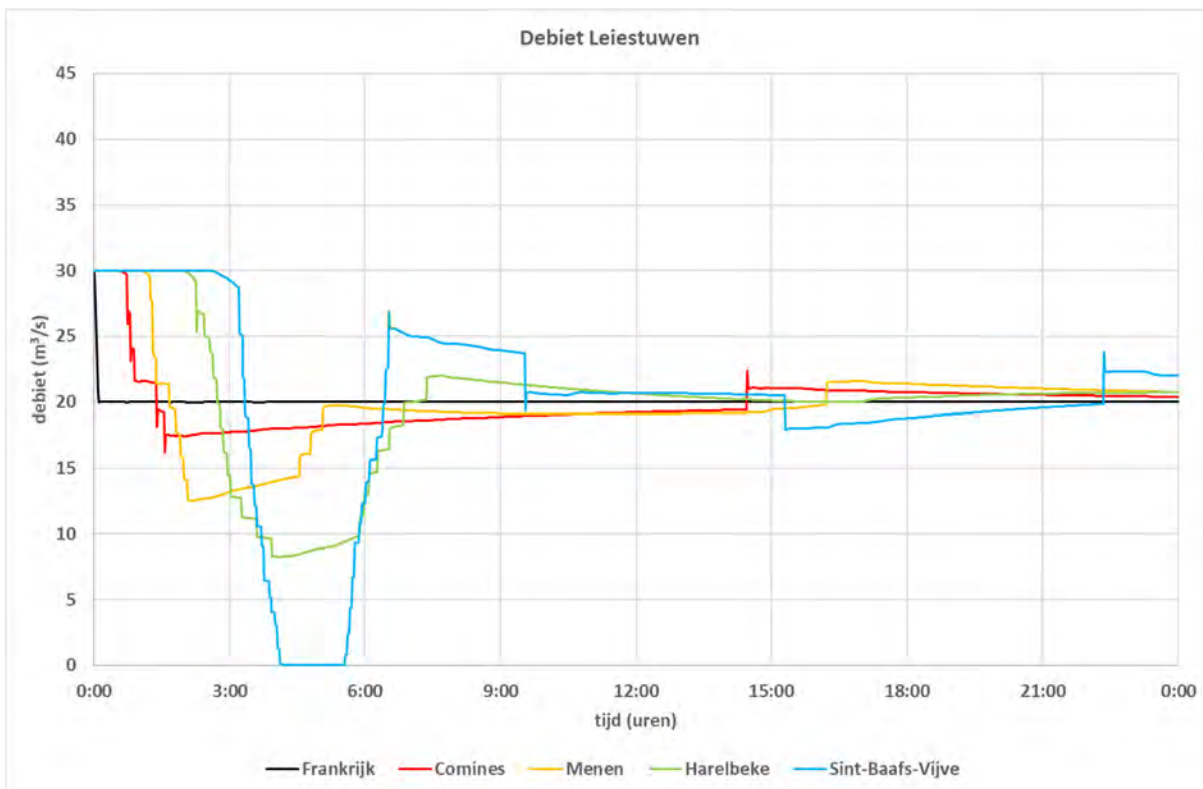
Figuur 6 – Trapvormige debietvariatie van 20 naar 10 m³/s



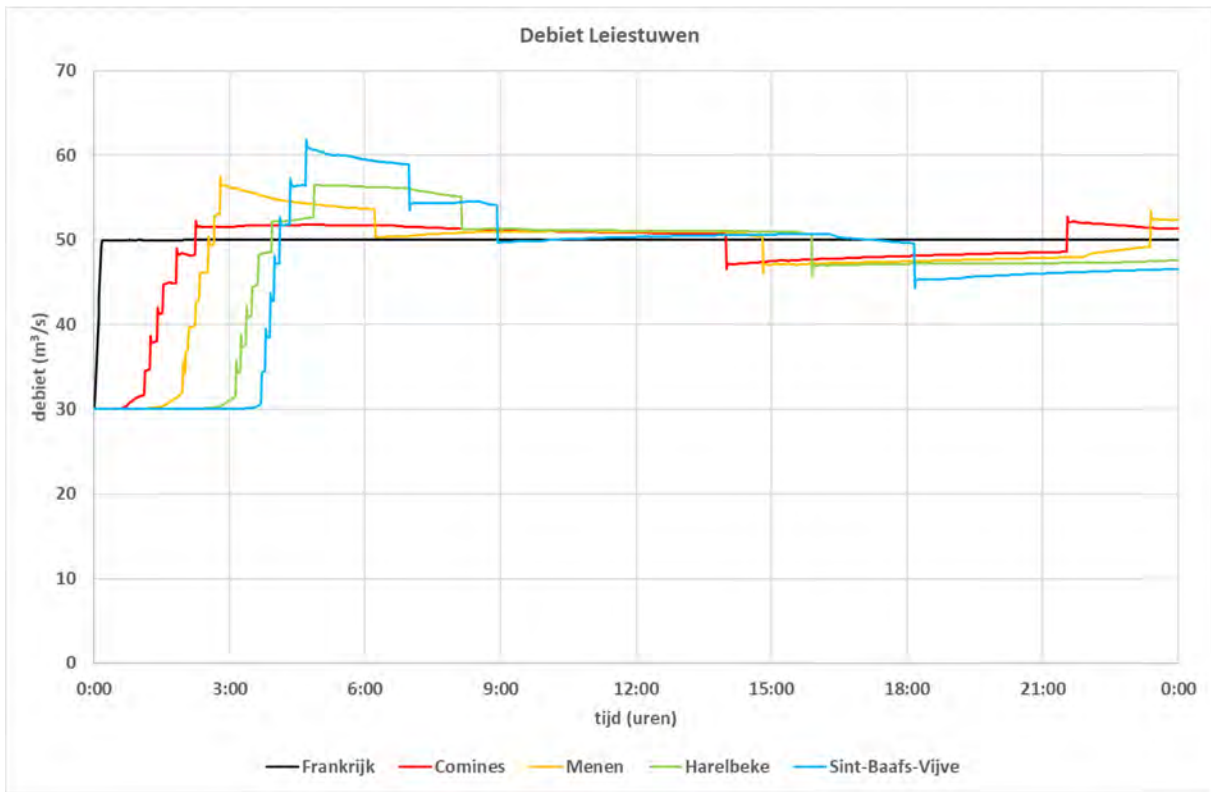
Figuur 7 – Trapvormige debietvariatie van 20 naar 30 m³/s



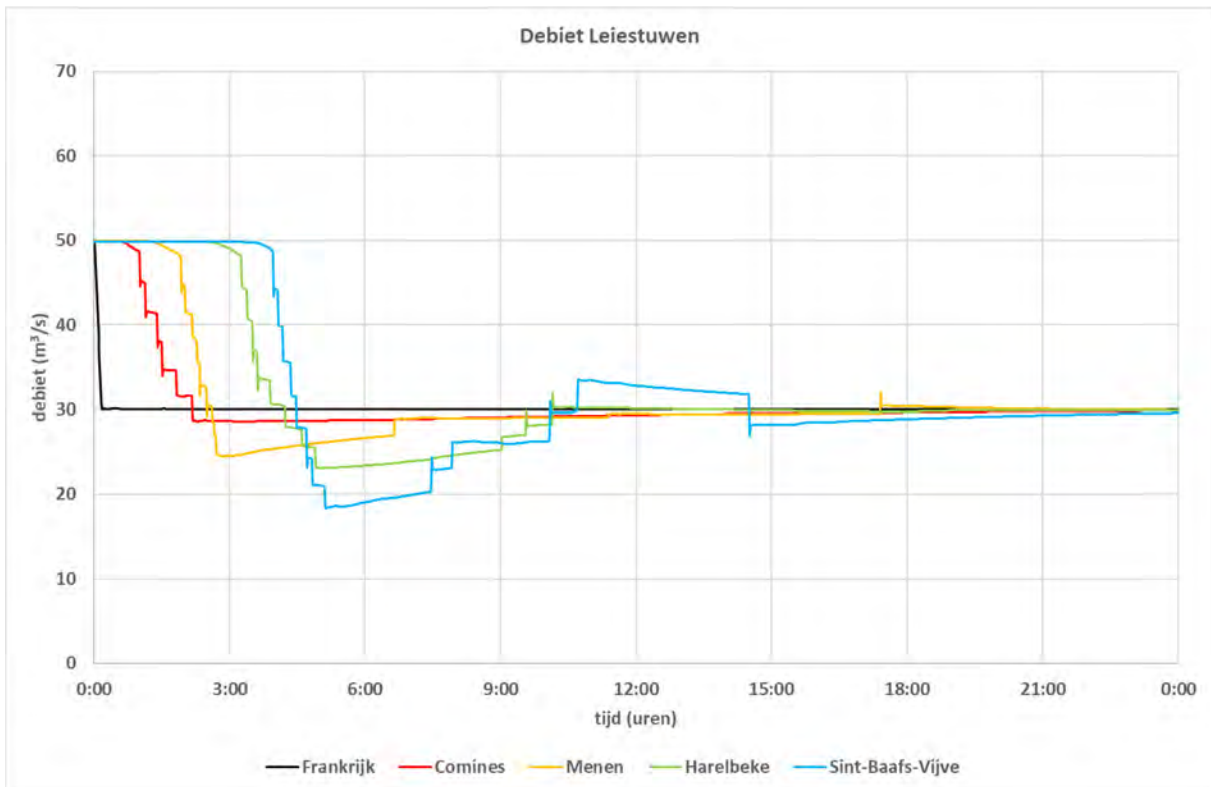
Figuur 8 – Trapvormige debietvariatie van 30 naar 20 m³/s



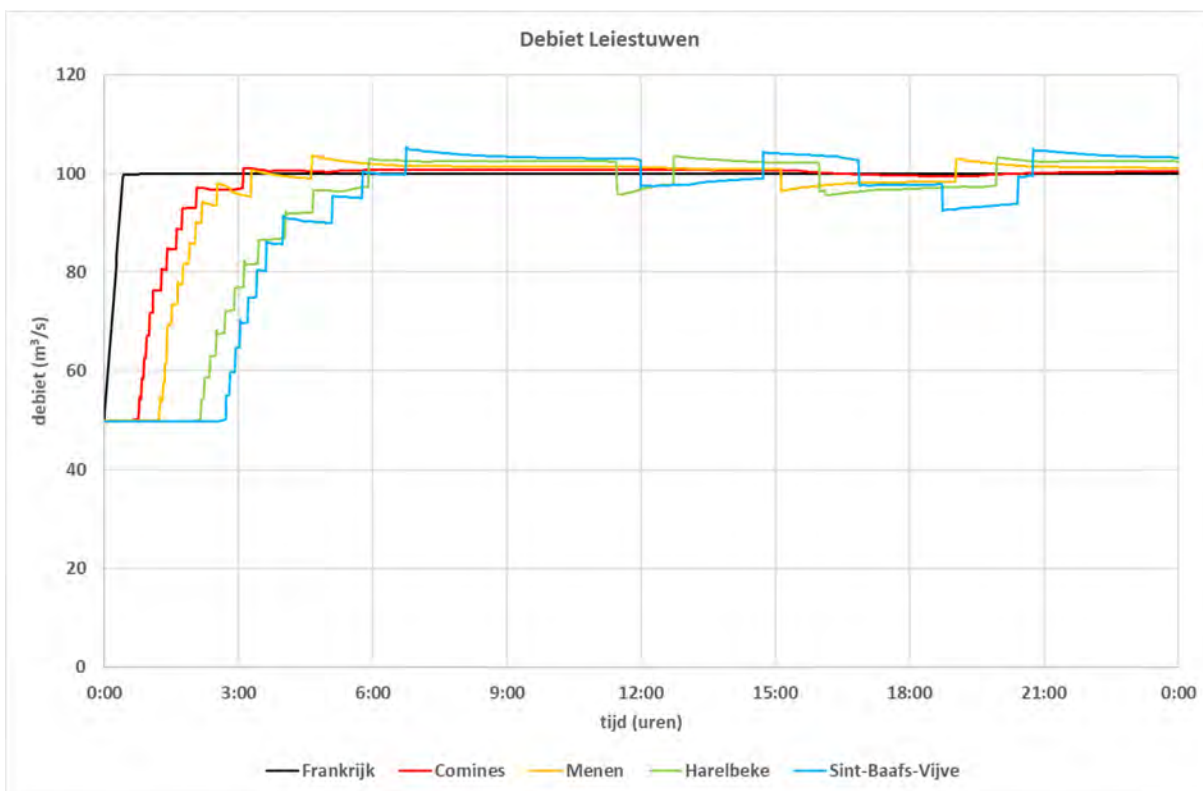
Figuur 9 – Trapvormige debietvariatie van 30 naar 50 m³/s



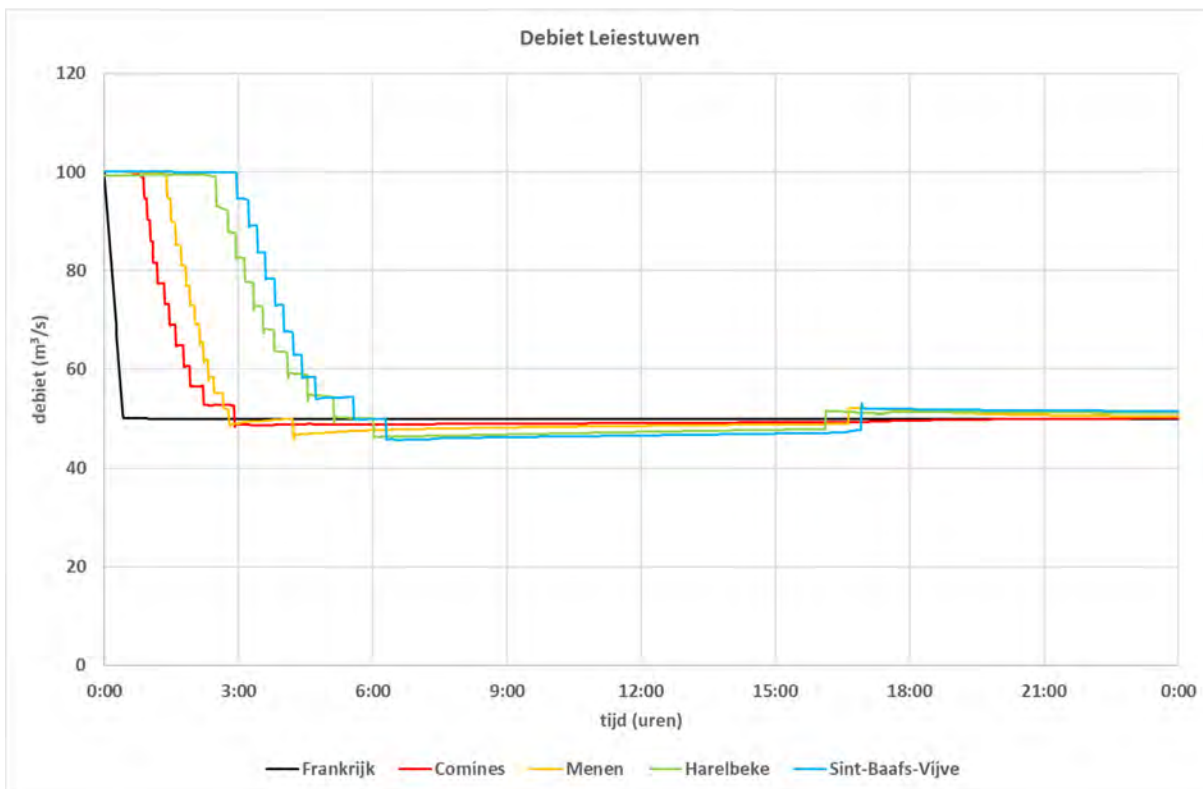
Figuur 10 – Trapvormige debietvariatie van 50 naar 30 m³/s



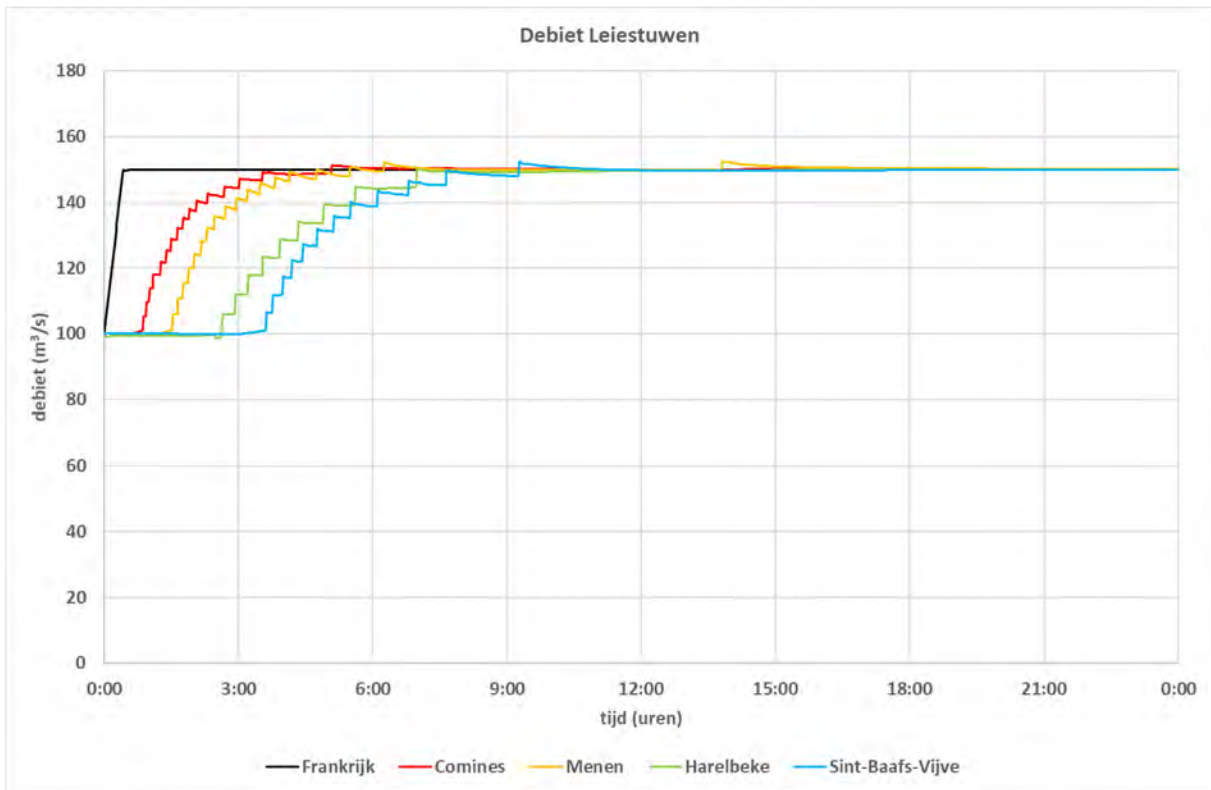
Figuur 11 – Trapvormige debietvariatie van 50 naar 100 m³/s



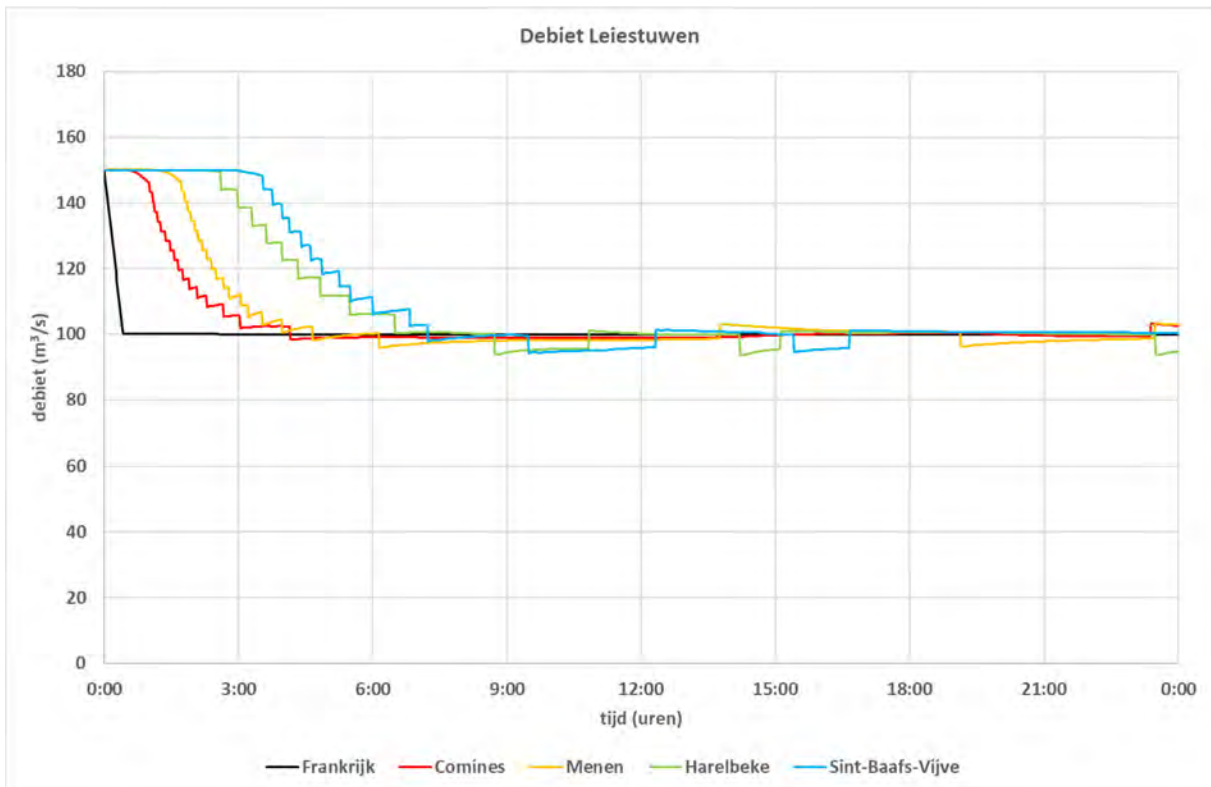
Figuur 12 – Trapvormige debietvariatie van 100 naar 50 m³/s



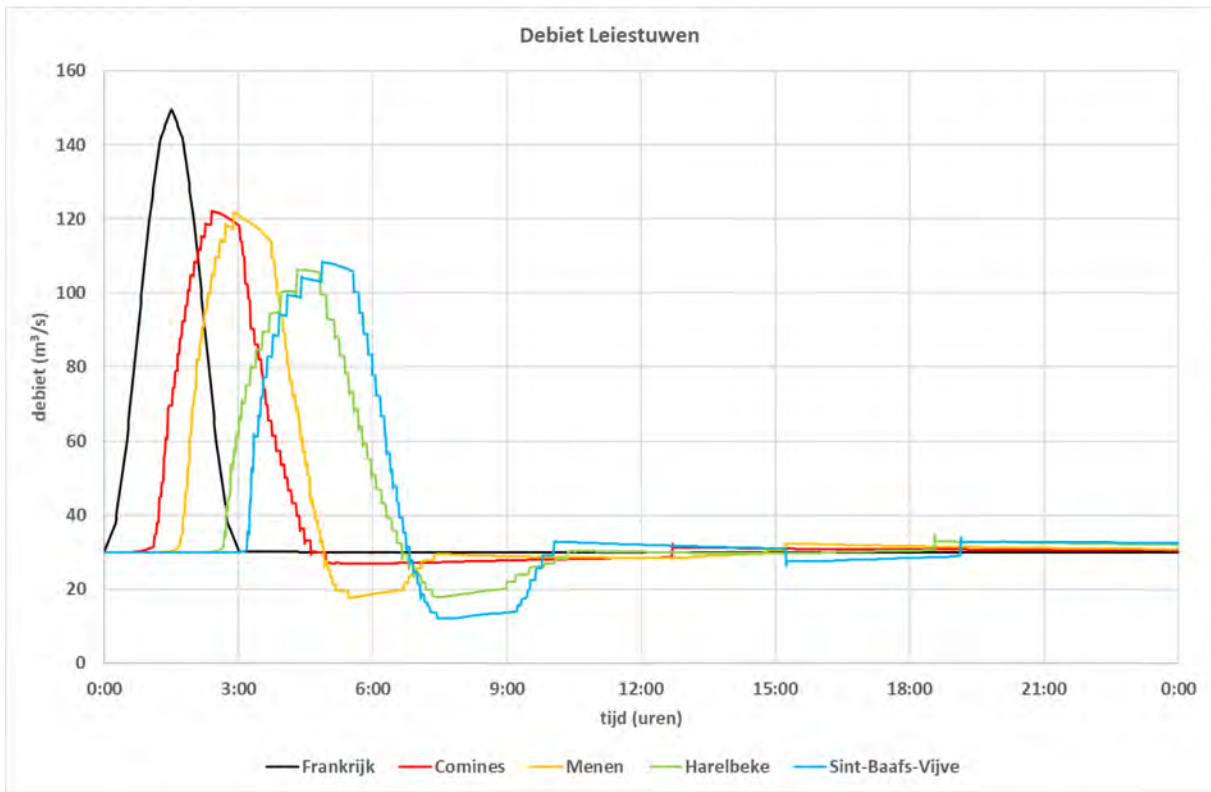
Figuur 13 – Trapvormige debietvariatie van 100 naar 150 m³/s



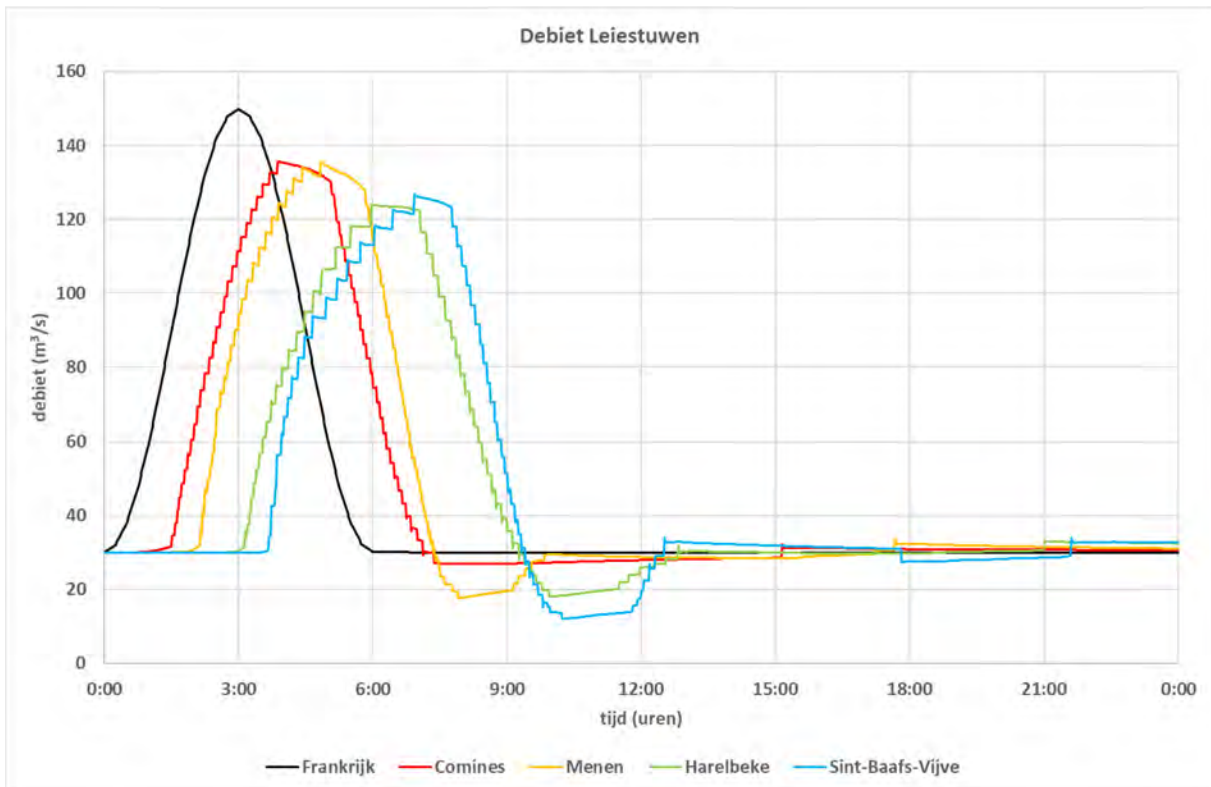
Figuur 14 – Trapvormige debietvariatie van 150 naar 100 m³/s



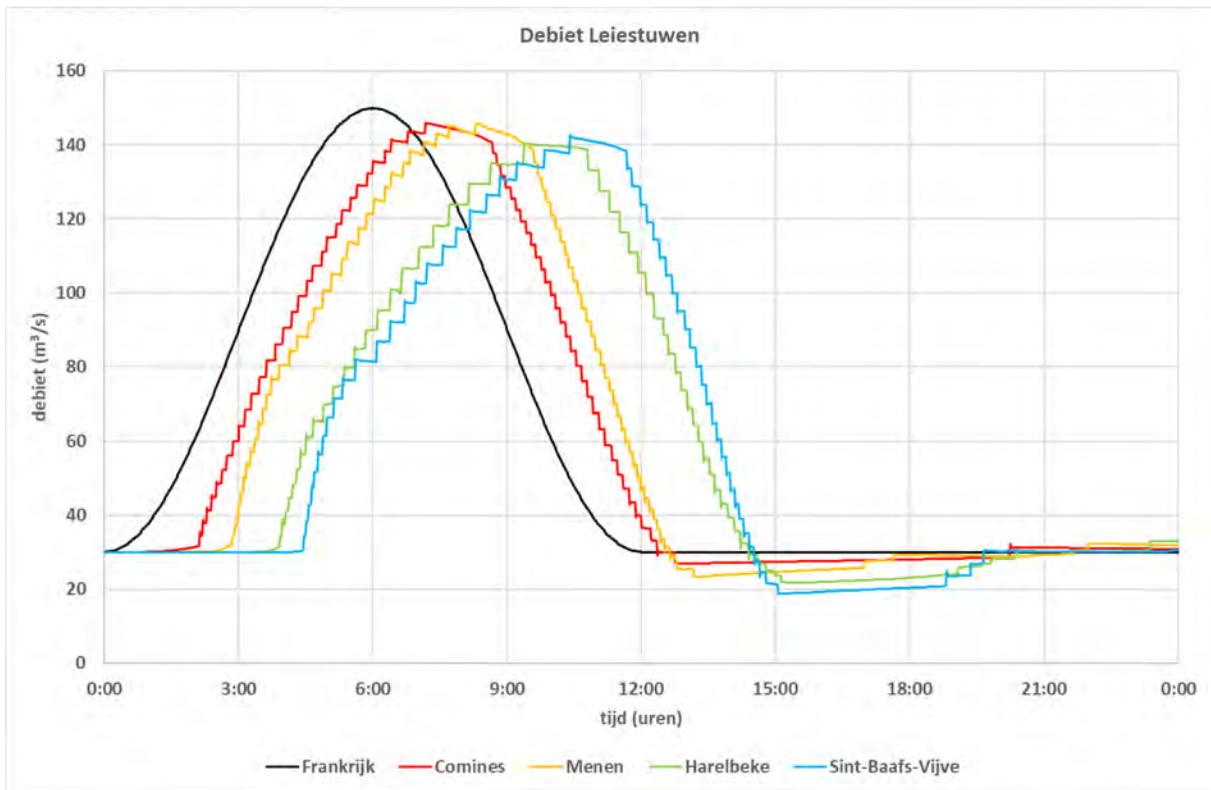
Figuur 15 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur



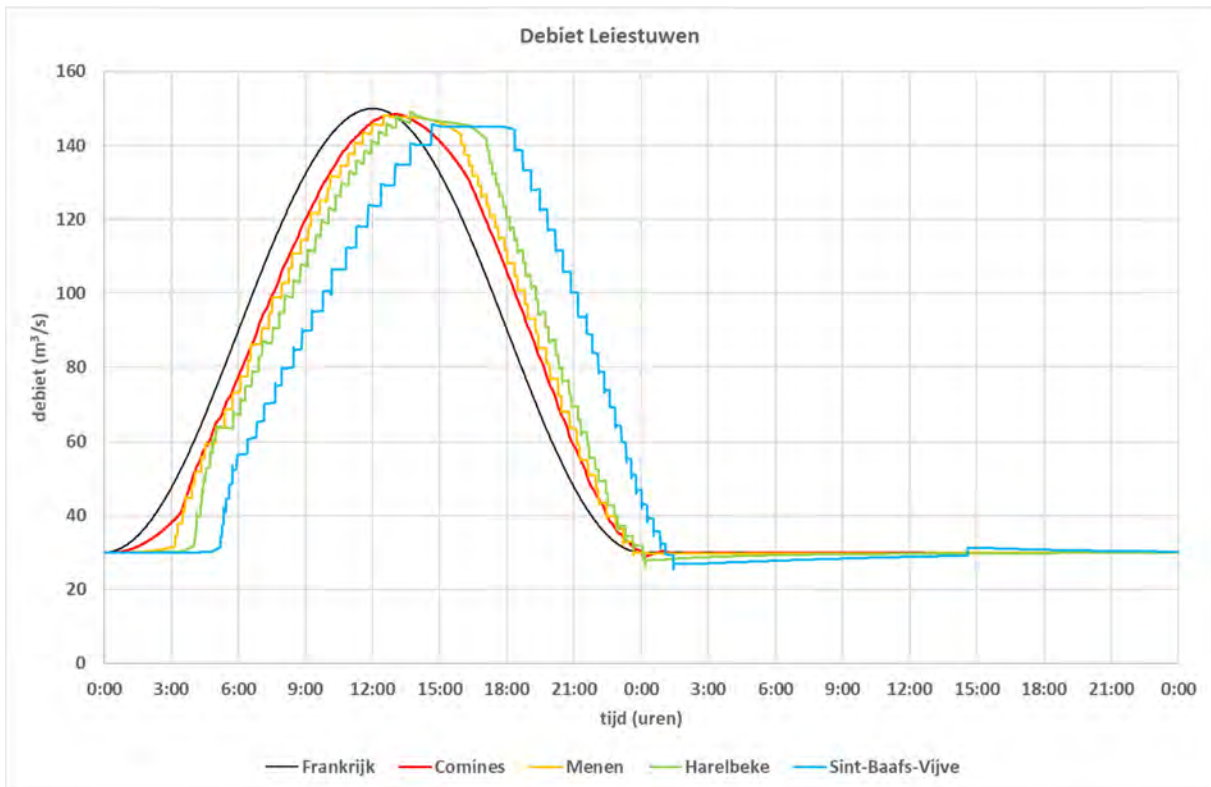
Figuur 16 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur



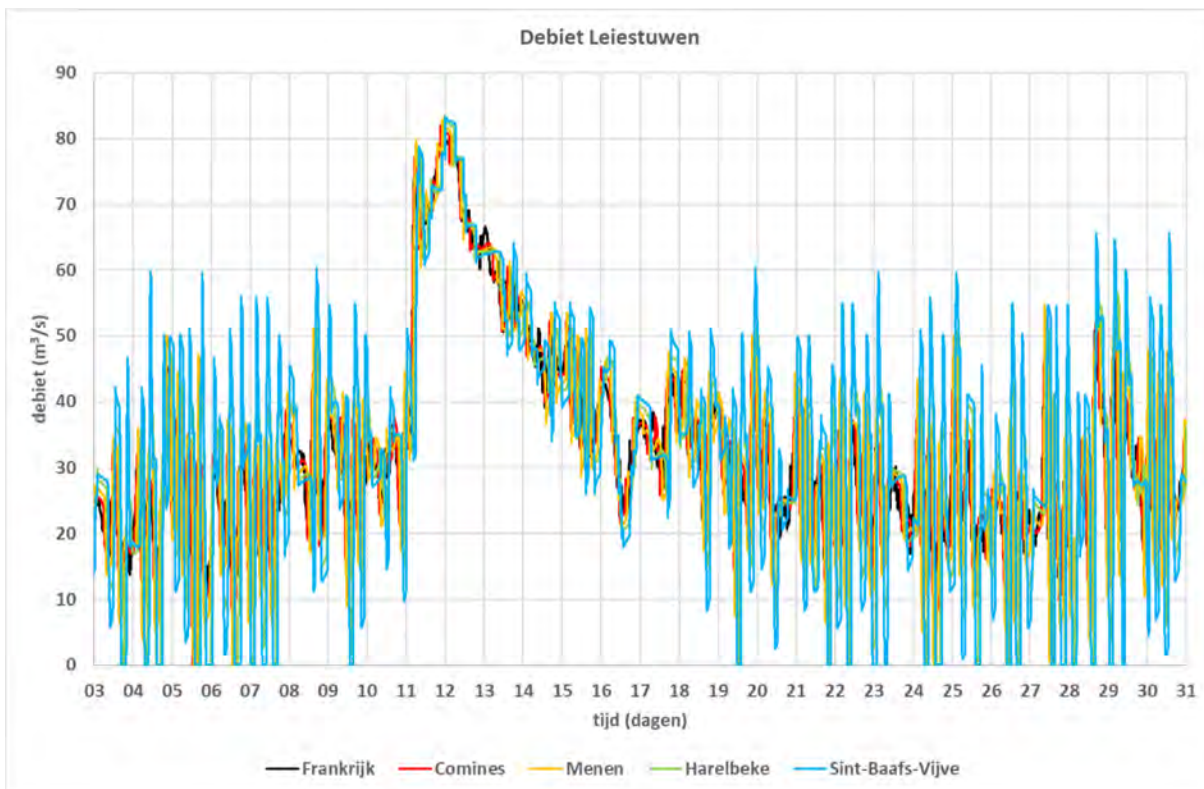
Figuur 17 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 12 uur



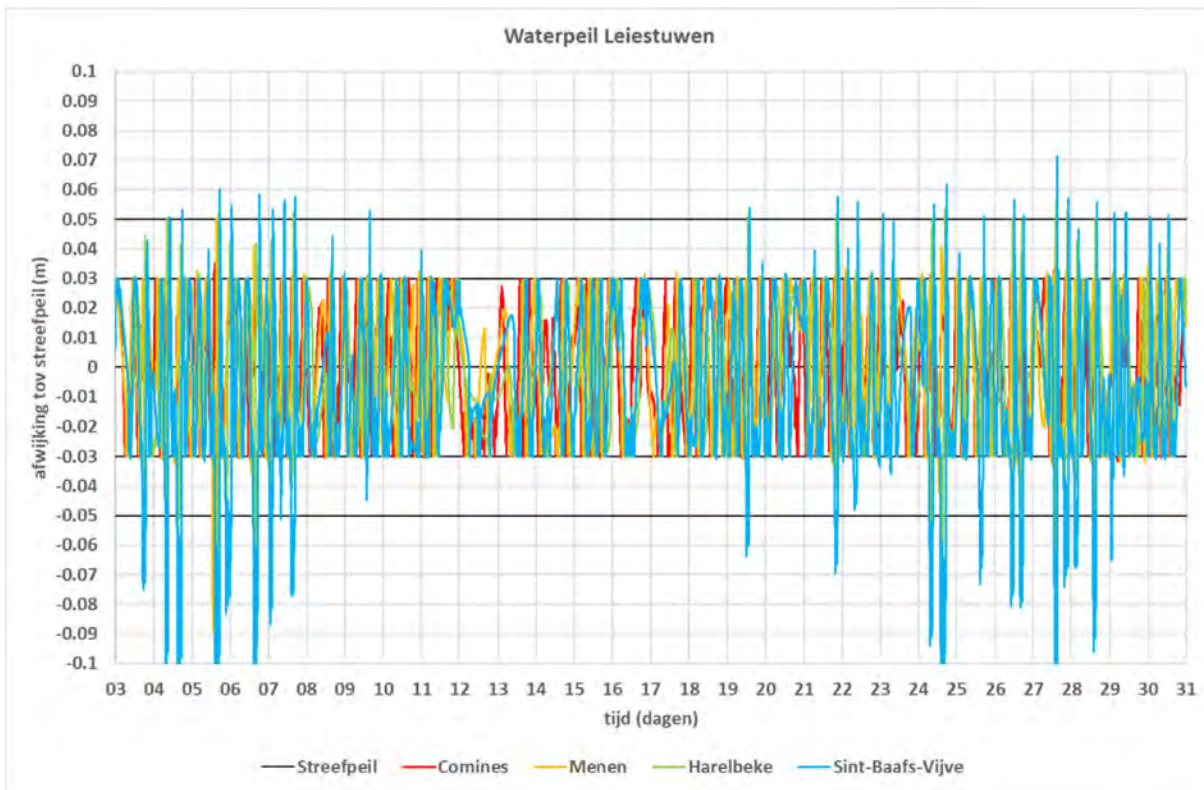
Figuur 18 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 24 uur



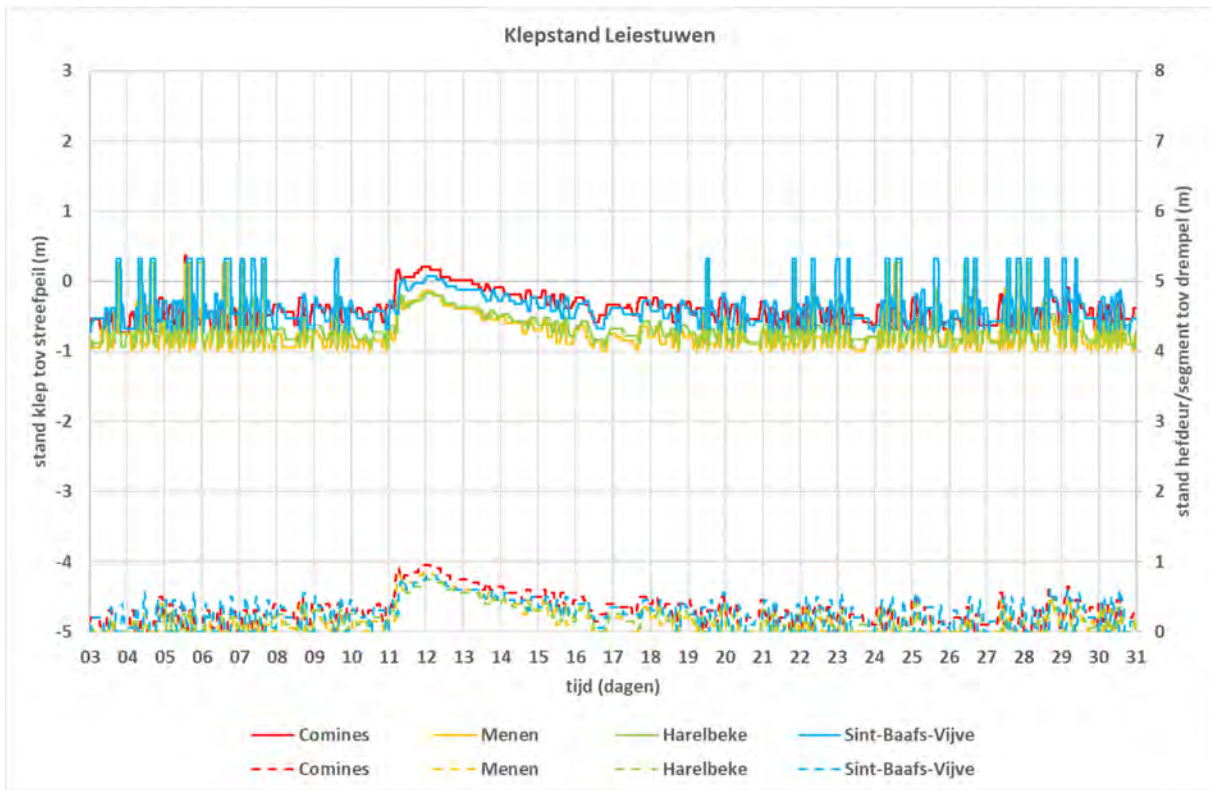
Figuur 19 – Debiet tijdens was van maart 2018



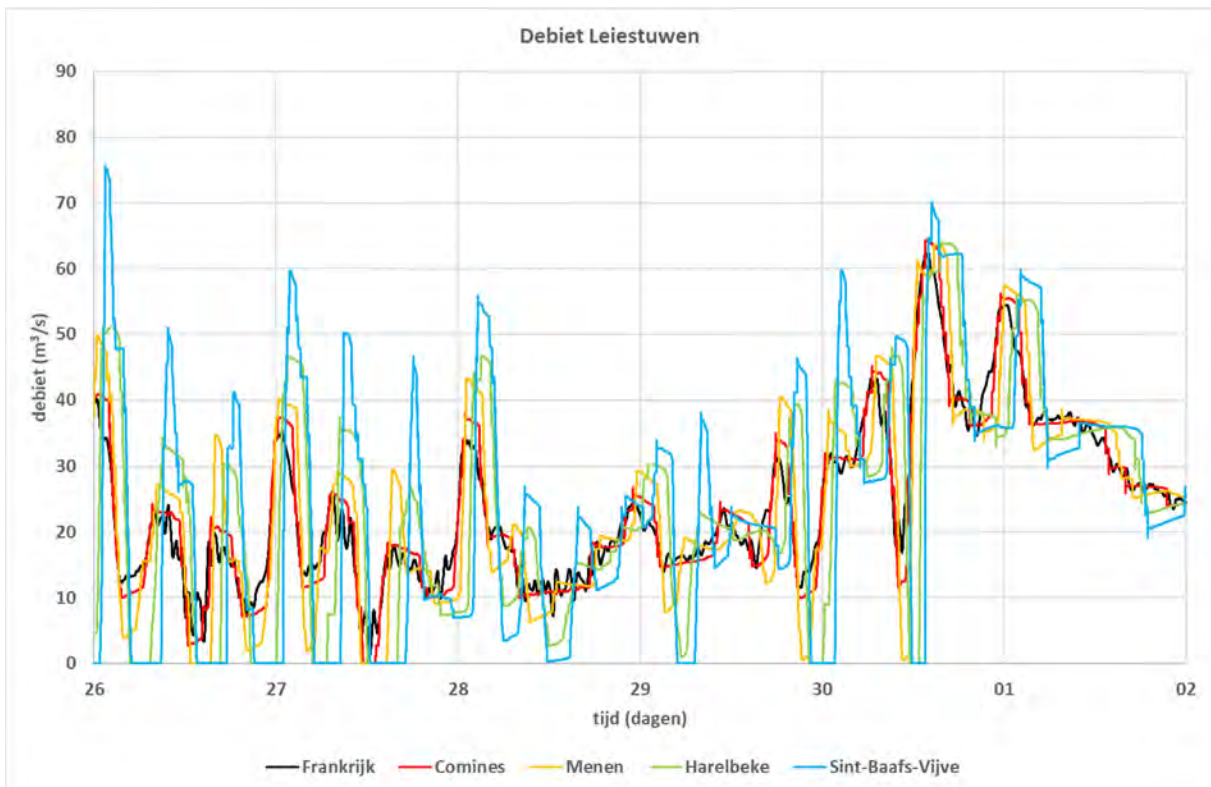
Figuur 20 – Waterpeil tijdens was van maart 2018



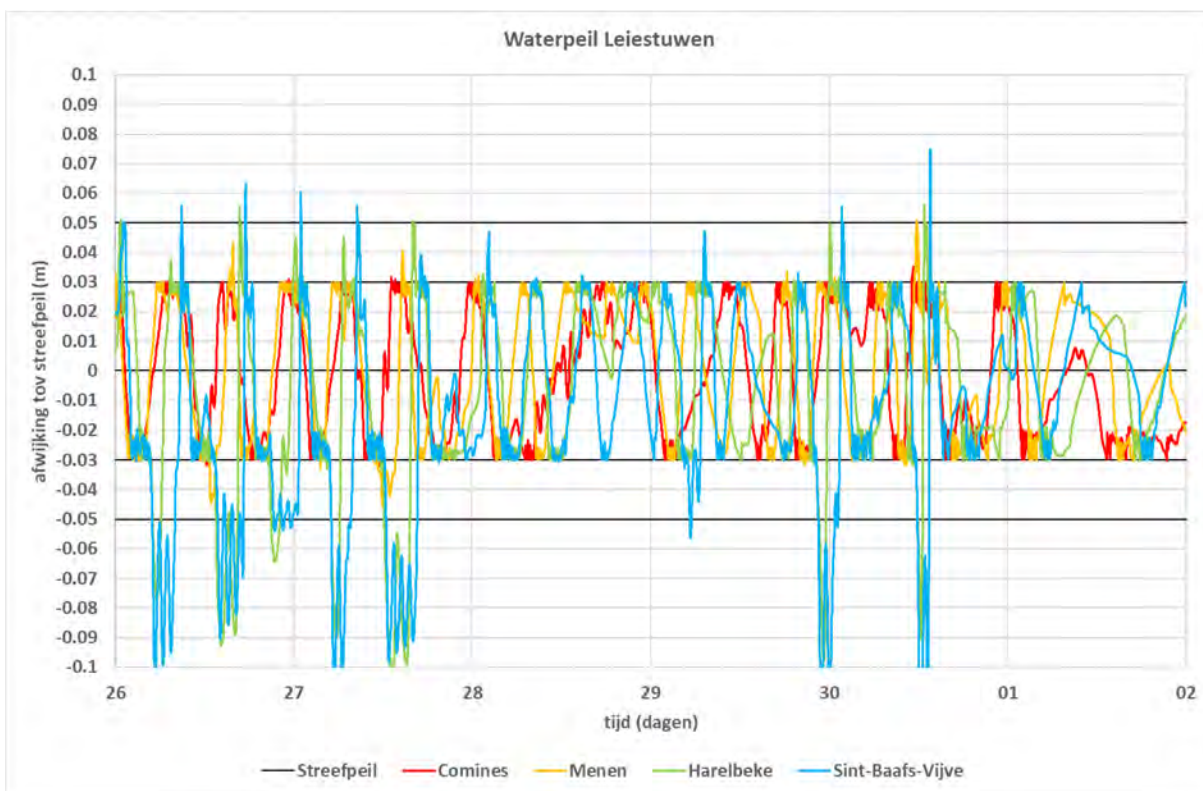
Figuur 21 – Klepstand tijdens was van maart 2018



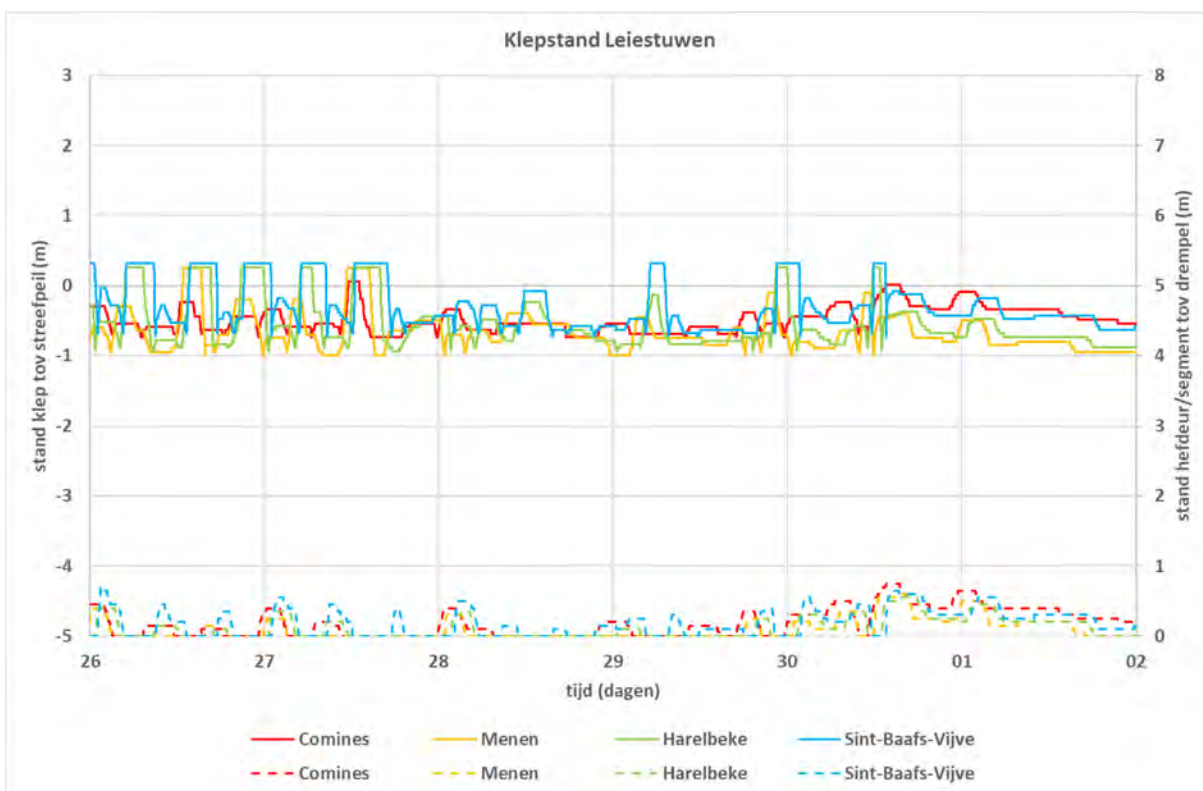
Figuur 22 – Debiet tijdens droogweeperiode van april 2018



Figuur 23 – Waterpeil tijdens droogweeperperiode van april 2018



Figuur 24 – Klepstand tijdens droogweeperperiode van april 2018



Volledige jaar 2019 zonder zijdelingse instroming

De resultaten van de simulaties zonder zijdelingse instroming worden getoond in Figuur 25 t.e.m. Figuur 48. Voor elke simulatie werden twee figuren opgemaakt: één met de instroming vanuit Frankrijk en één met de debieten over de stuwen in Wallonië en Vlaanderen.

De figuren met de debieten in Frankrijk tonen aan dat de kleine debietschommelingen in Frankrijk zich vooral voordoen op de Deûle (Wambrechies) en veel minder op de Lys (Armentières).

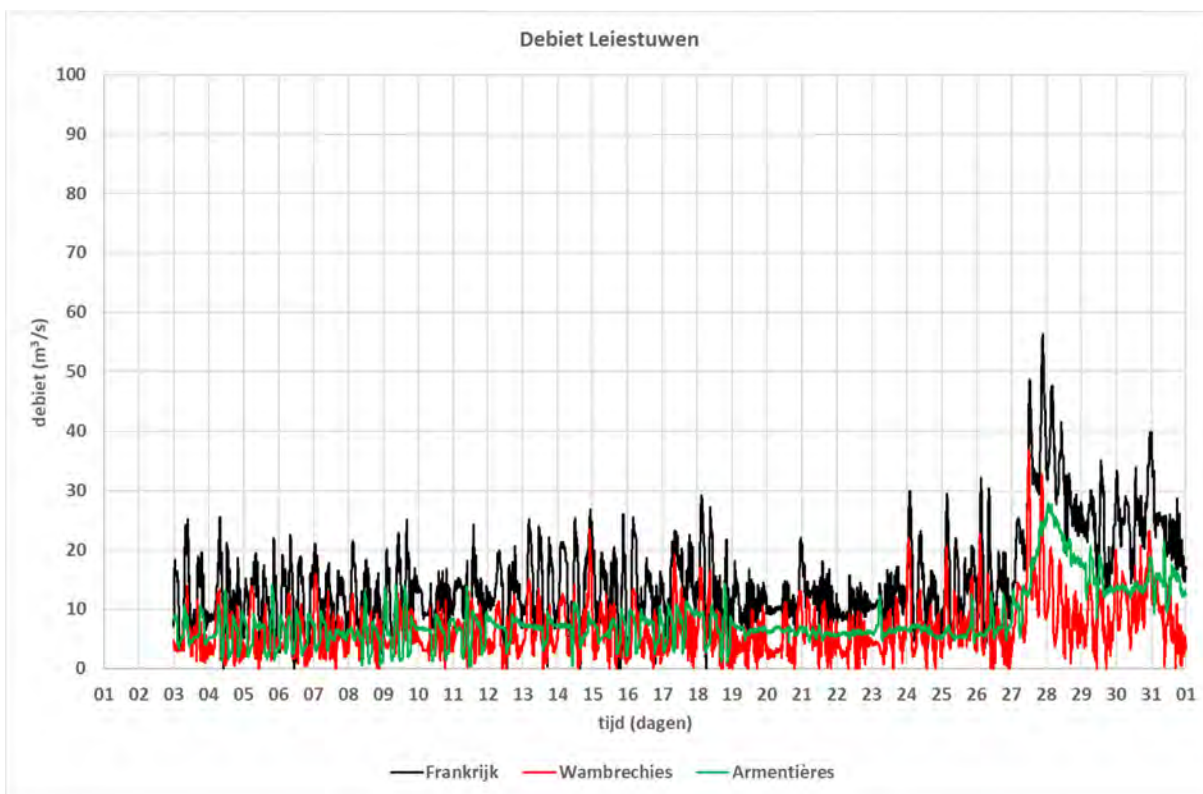
Uit eerdere studies is reeds gebleken dat de bewegingen van de stuw in Quesnoy lijken voor te lopen op de schommelingen van het debiet in Wambrechies. Vermoedelijk worden de schommelingen van het debiet in Wambrechies dus veroorzaakt door de bewegingen van de stuw in Quesnoy en niet andersom. Aangezien niet alle reeksen dezelfde tijdsreferentie gebruiken bestaat daar nog geen absolute zekerheid over.

Gedurende de eerste drie weken van december vertoont ook het debiet in Armentières aanzienlijke schommelingen (Figuur 47). Dit is echter de periode waarvoor de metingen in Armentières ontbraken en het debiet in Armentières geschat werd op basis van de metingen in Menen. Het zijn dus de debietschommelingen die gemeten werden in Menen die zichtbaar zijn in de schattingen voor het debiet in Armentières. Gedurende de laatste week van december waren er wel metingen voor Armentières beschikbaar en verdwijnen deze schommelingen.

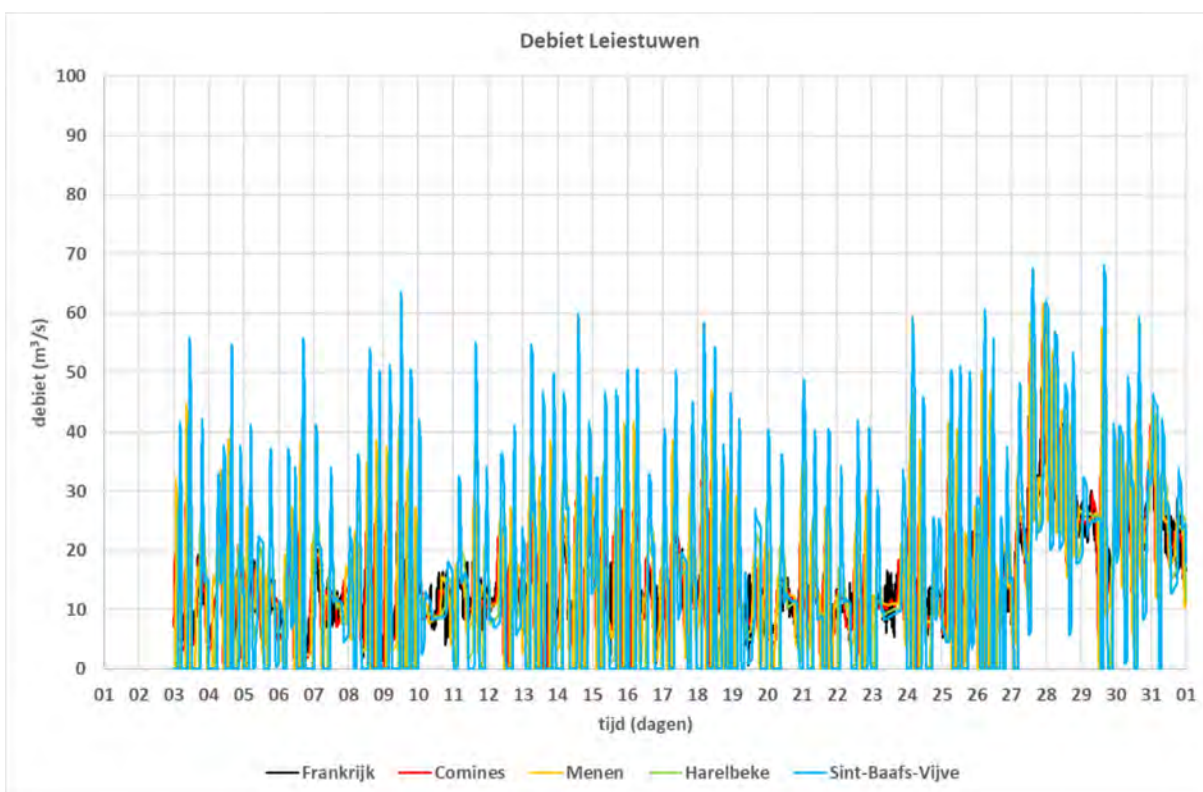
Uit de figuren met berekende debieten voor de stuwen in Wallonië en Vlaanderen blijkt dat de kleine debietschommelingen afkomstig uit Frankrijk versterkt worden tot veel grotere debietschommelingen in Vlaanderen.

In de bestaande situatie gebeurt de versterking vermoedelijk reeds door de stuw van Comines, waarna de resulterende schommelingen zich zonder verdere versterking voortplanten naar afwaarts. In de modelberekeningen is de versterking door de stuwen van Comines en Harelbeke beperkt en zijn het vooral de stuwen van Menen en Sint-Baafs-Vijve die de versterkingen veroorzaken. In het model hebben alle stuwen identiek dezelfde sturingsparameters en zullen de versterkingen zich dus vooral manifesteren in de kortste panden, namelijk Comines-Menen en Harelbeke-Sint-Baafs-Vijve.

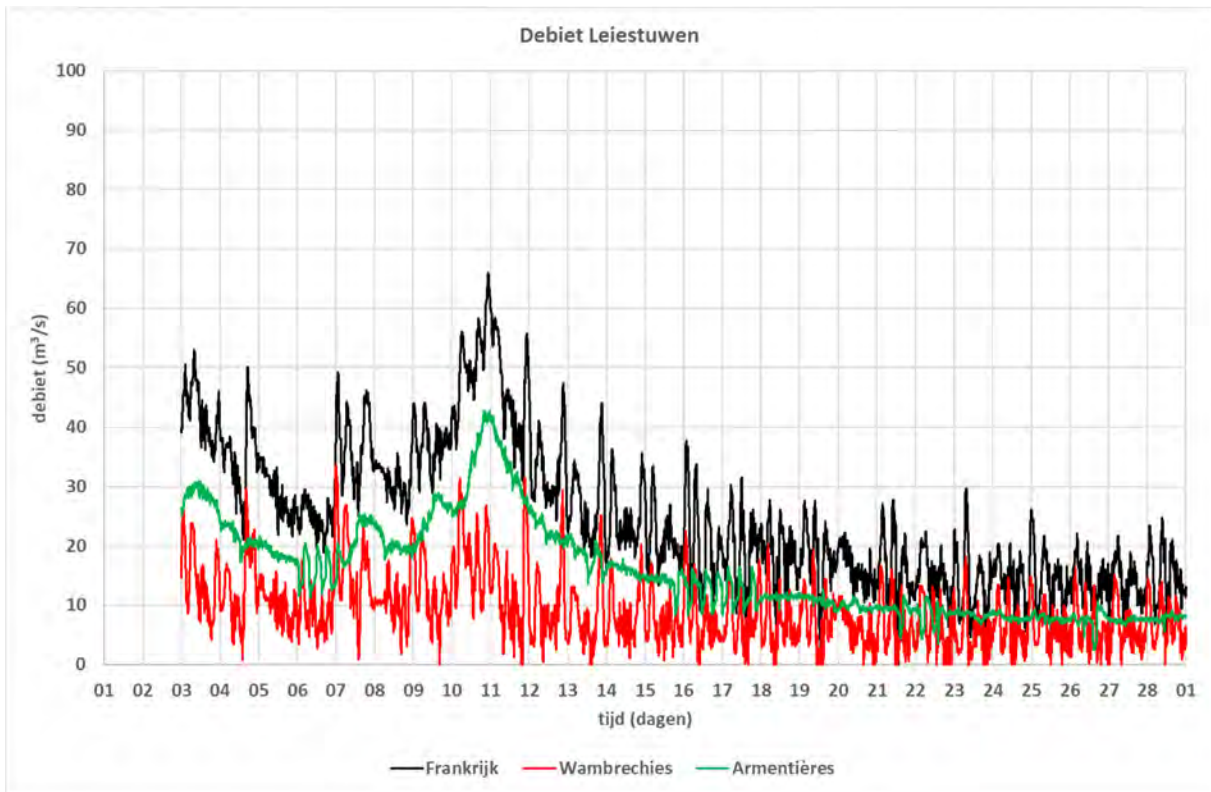
Figuur 25 – Januari 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk



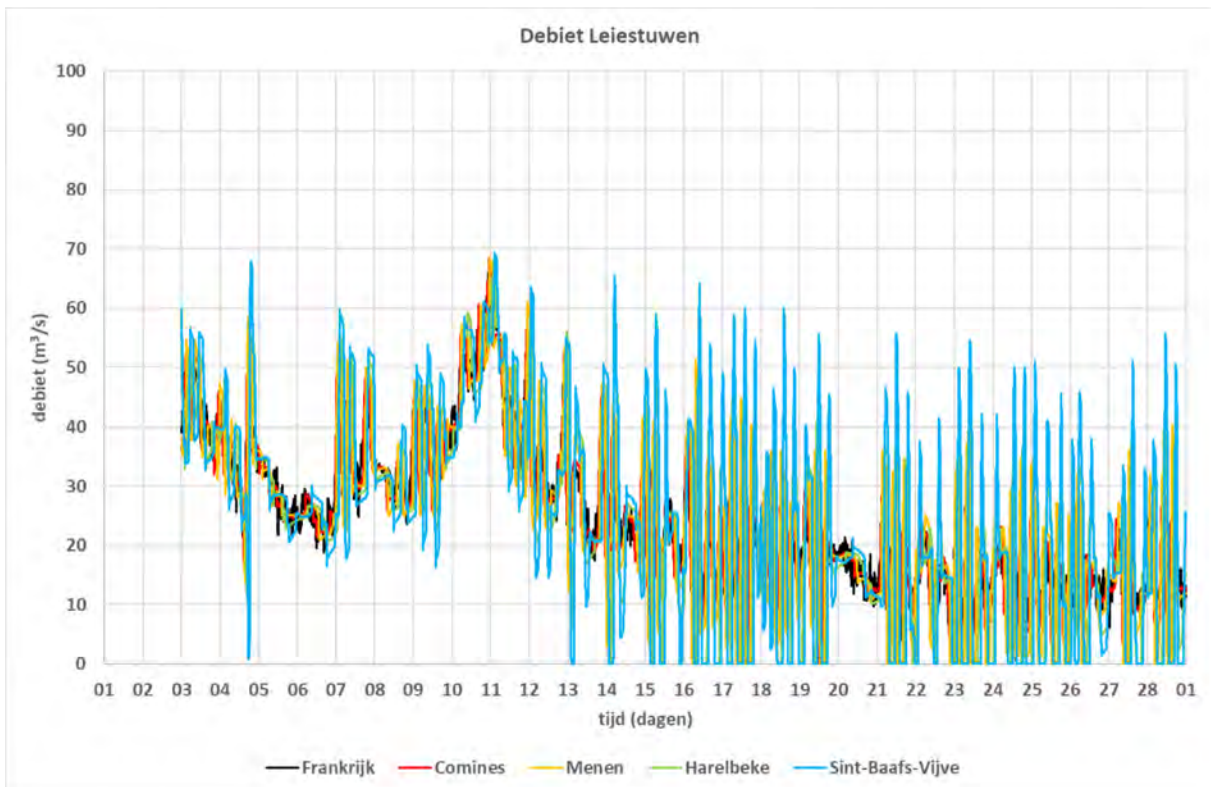
Figuur 26 – Januari 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



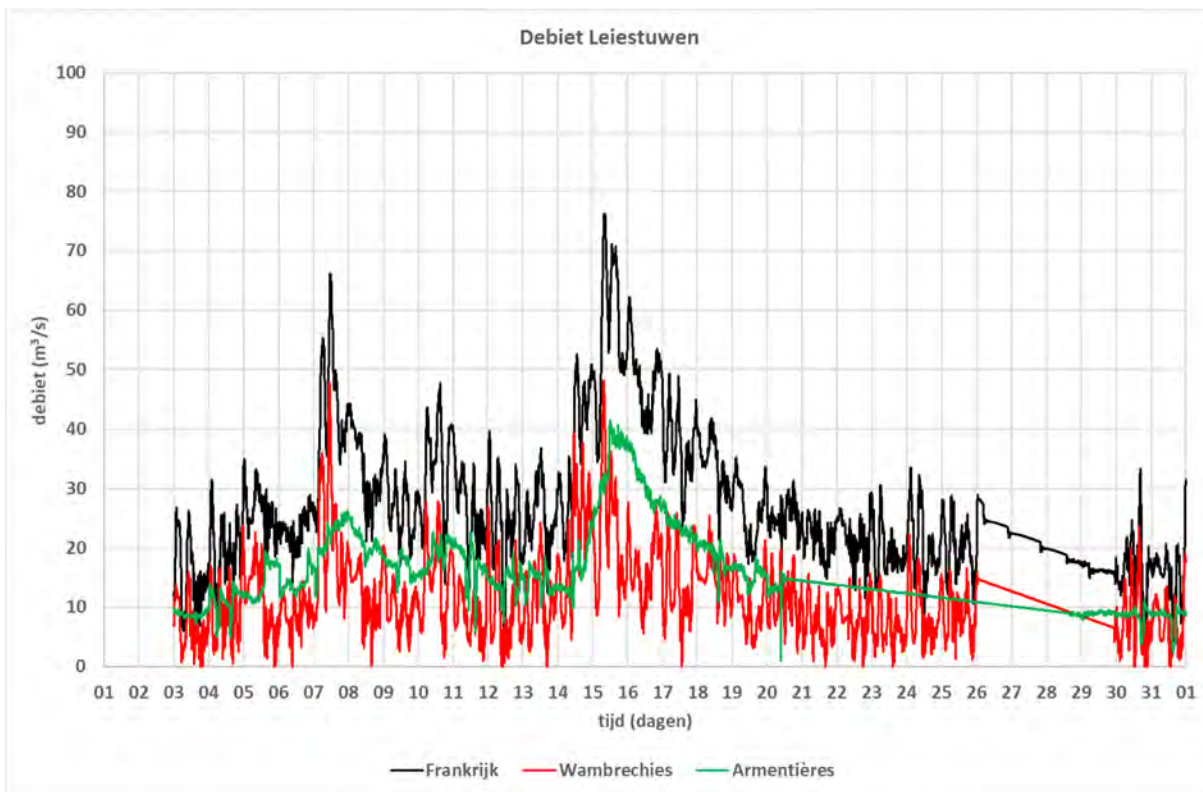
Figuur 27 – Februari 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk



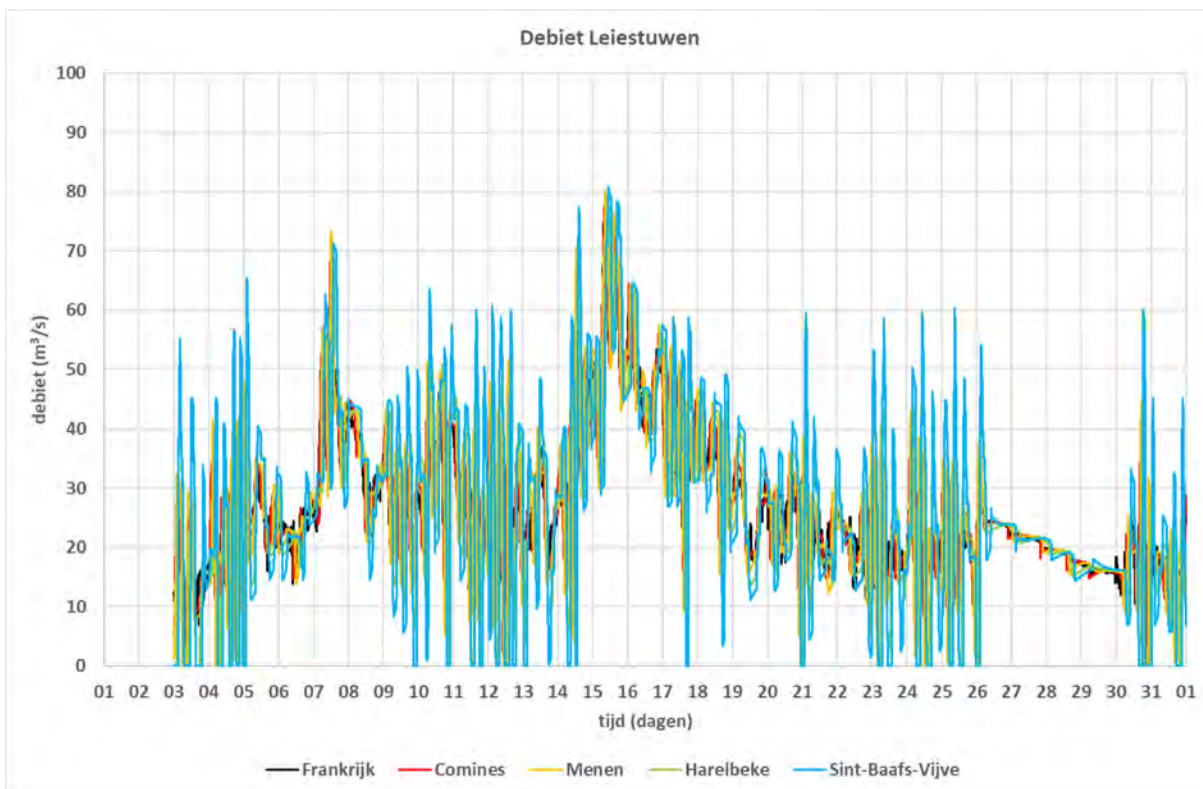
Figuur 28 – Februari 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



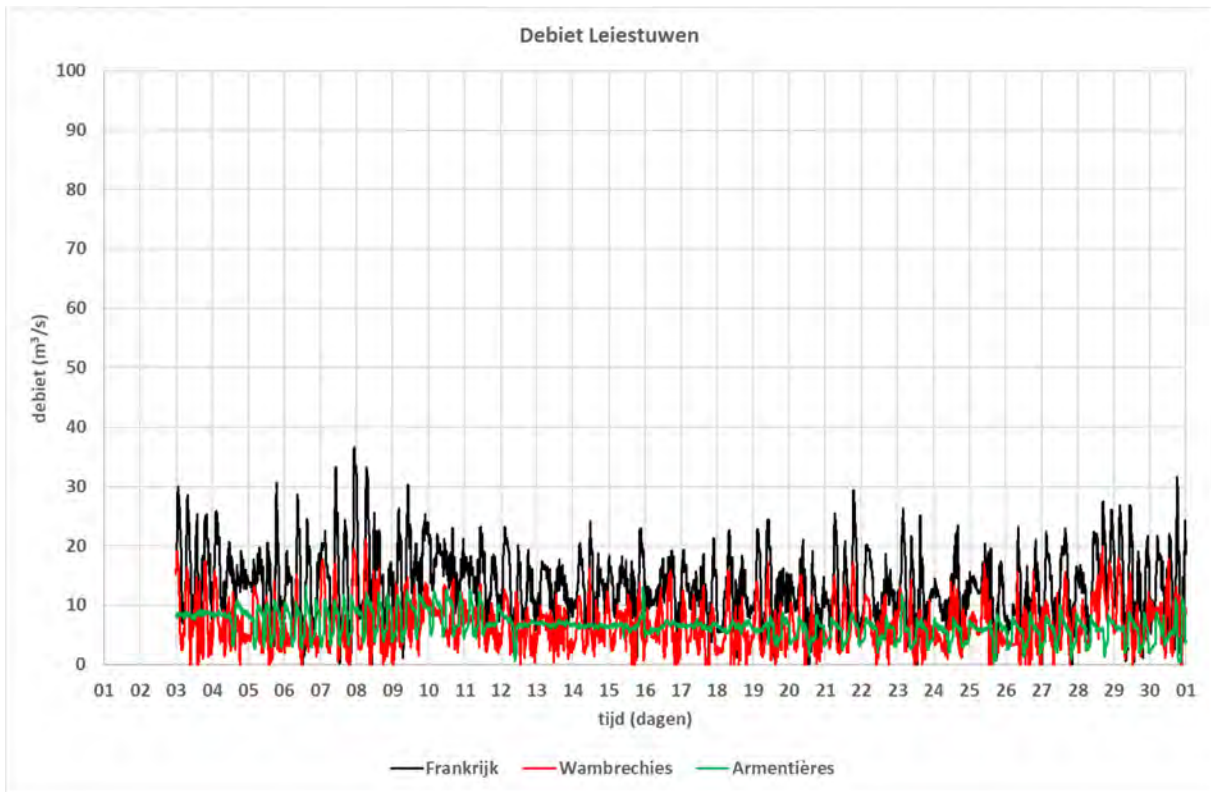
Figuur 29 – Maart 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk



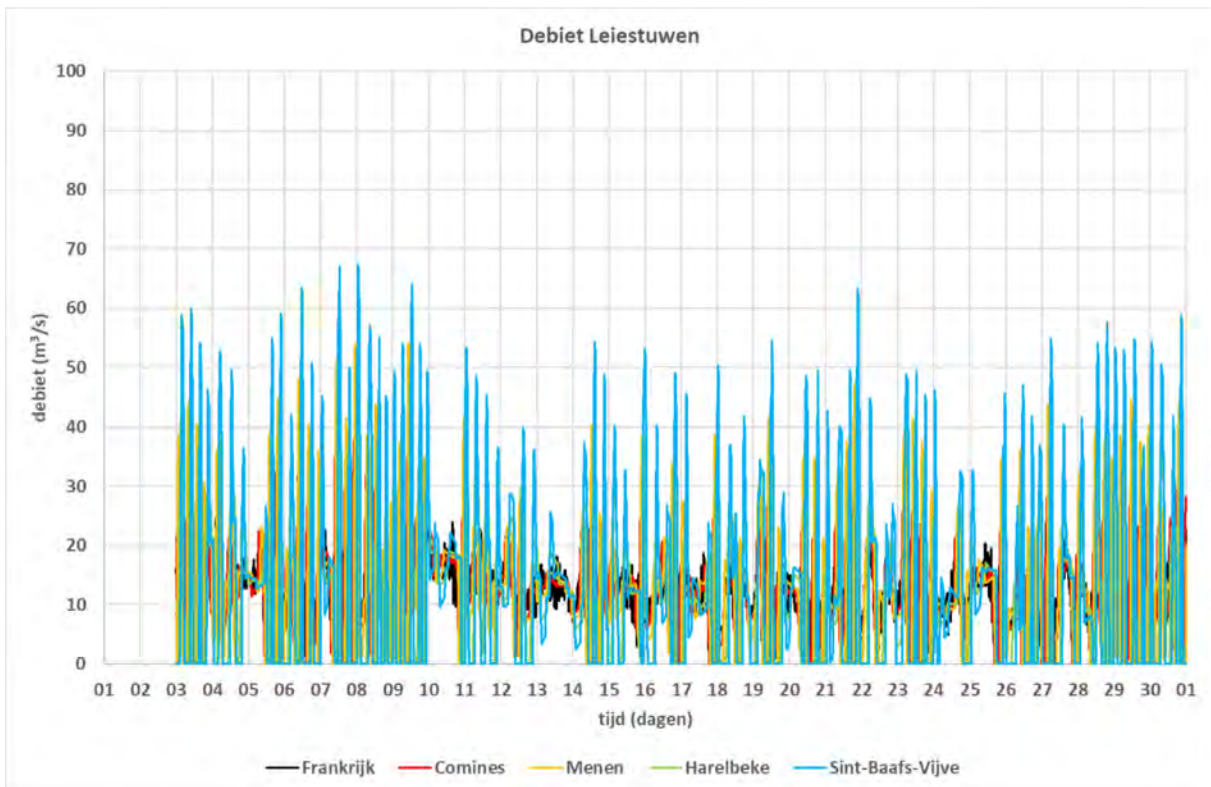
Figuur 30 – Maart 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



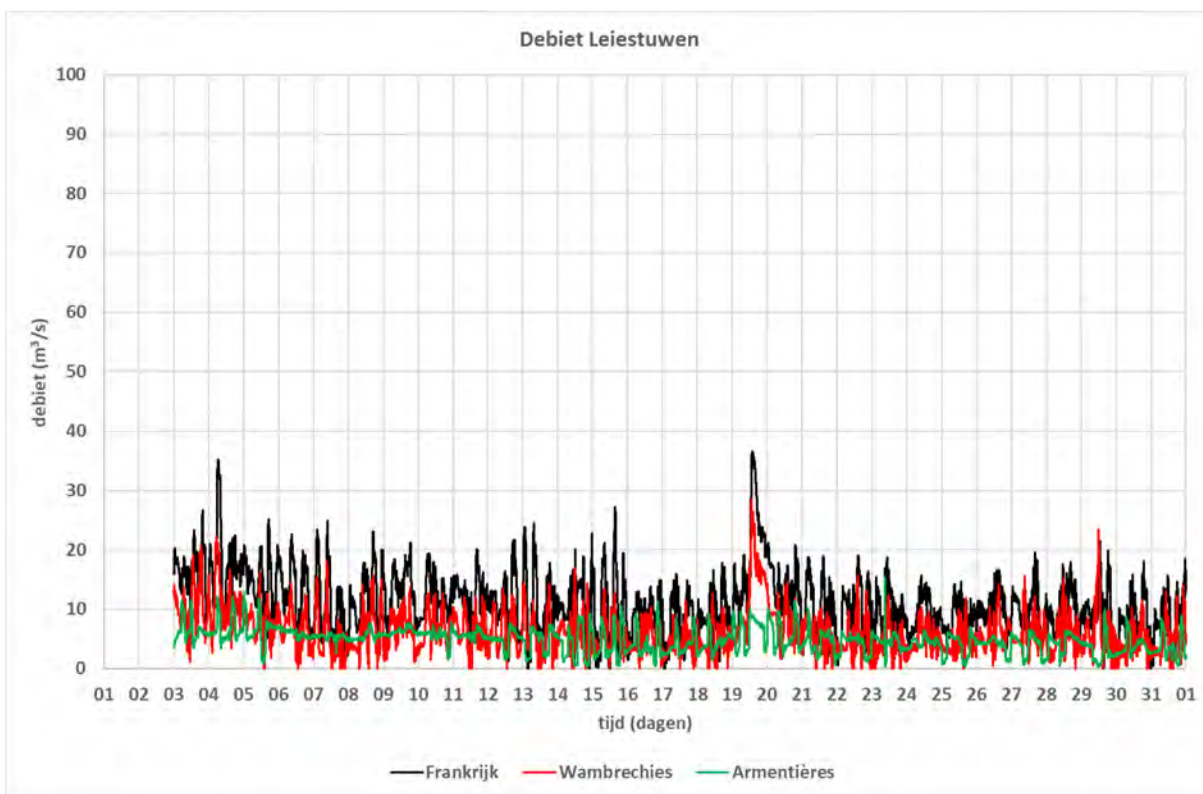
Figuur 31 – April 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk



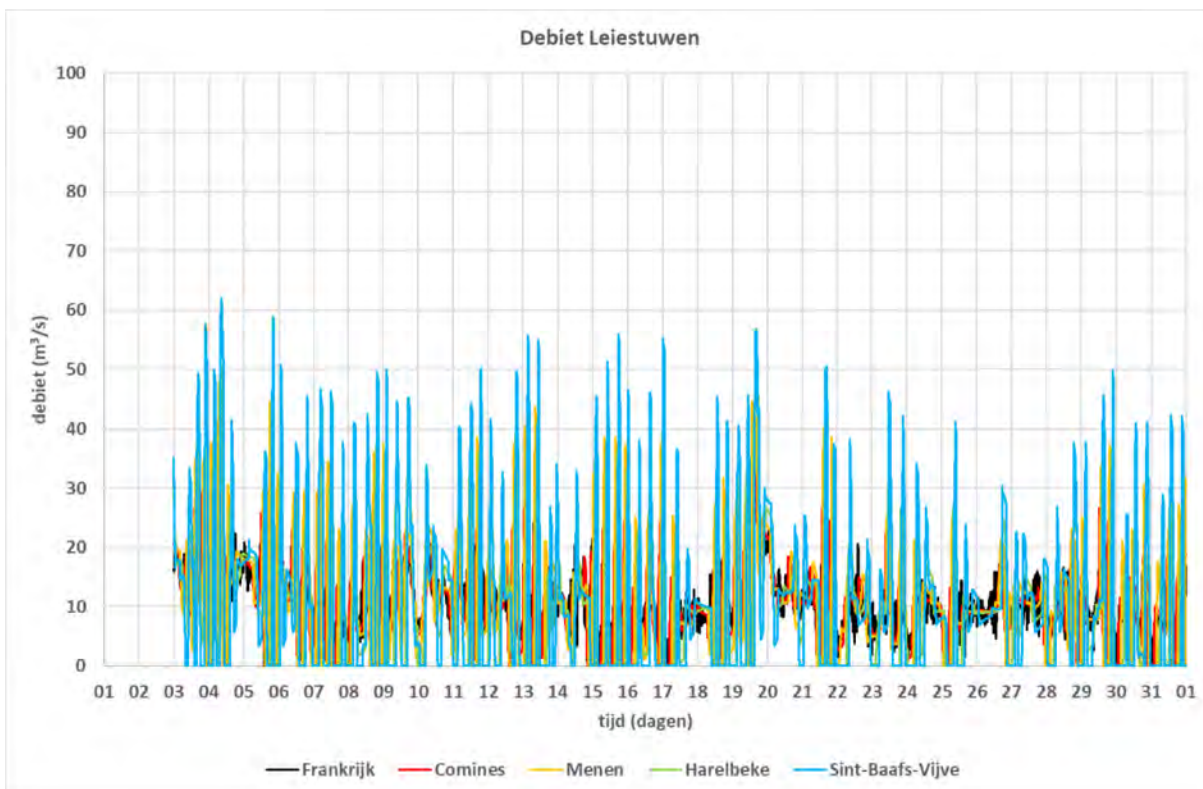
Figuur 32 – April 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



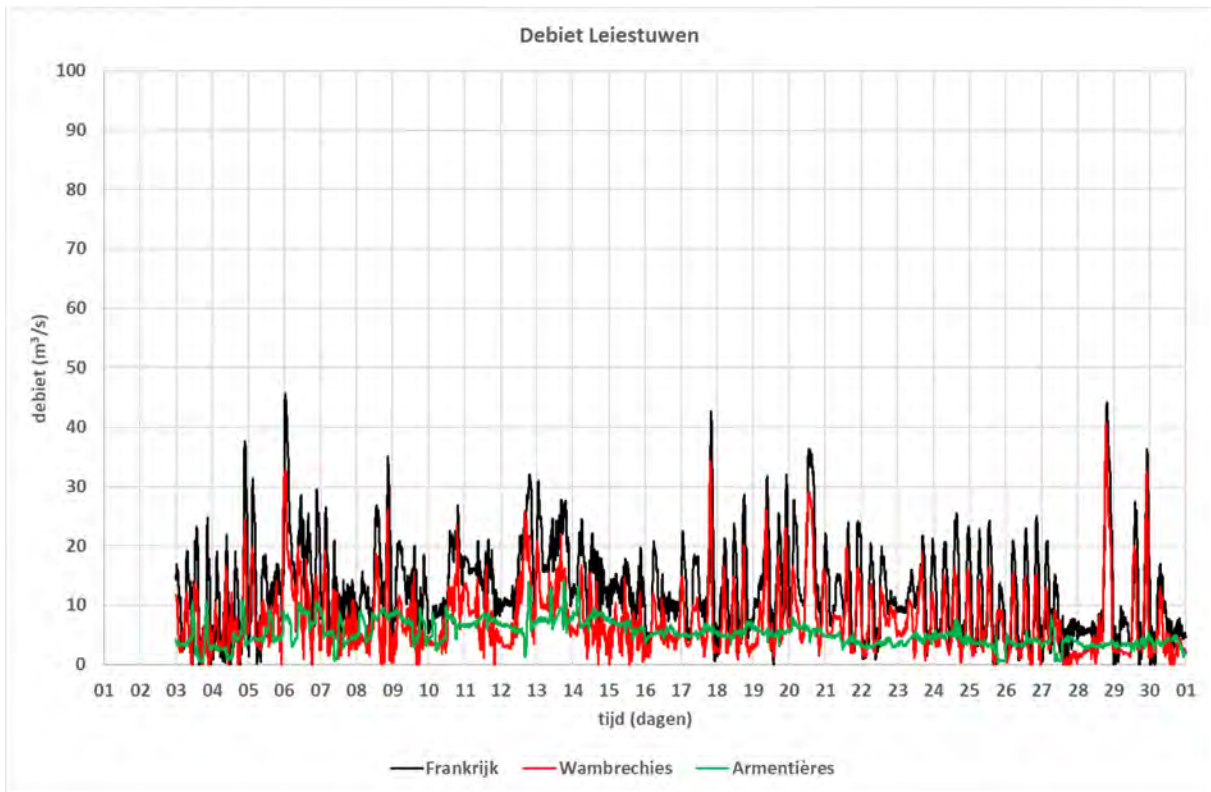
Figuur 33 – Mei 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk



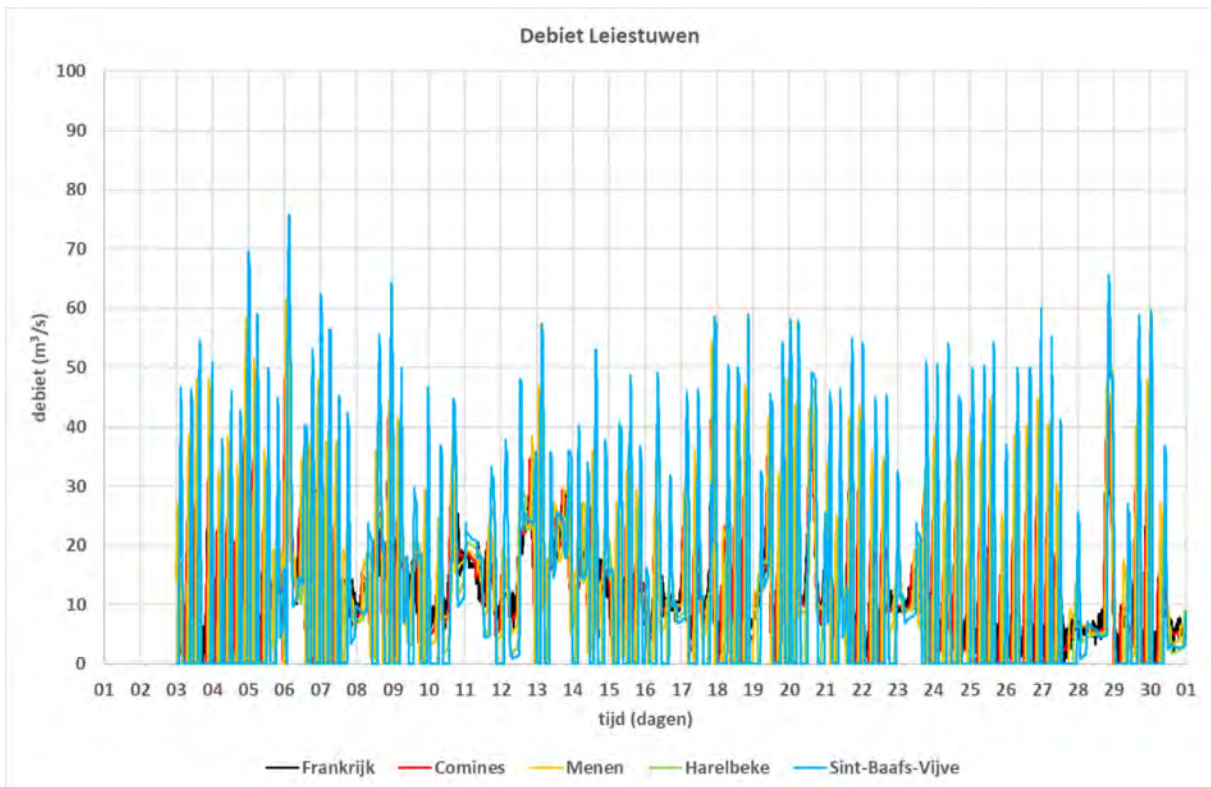
Figuur 34 – Mei 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



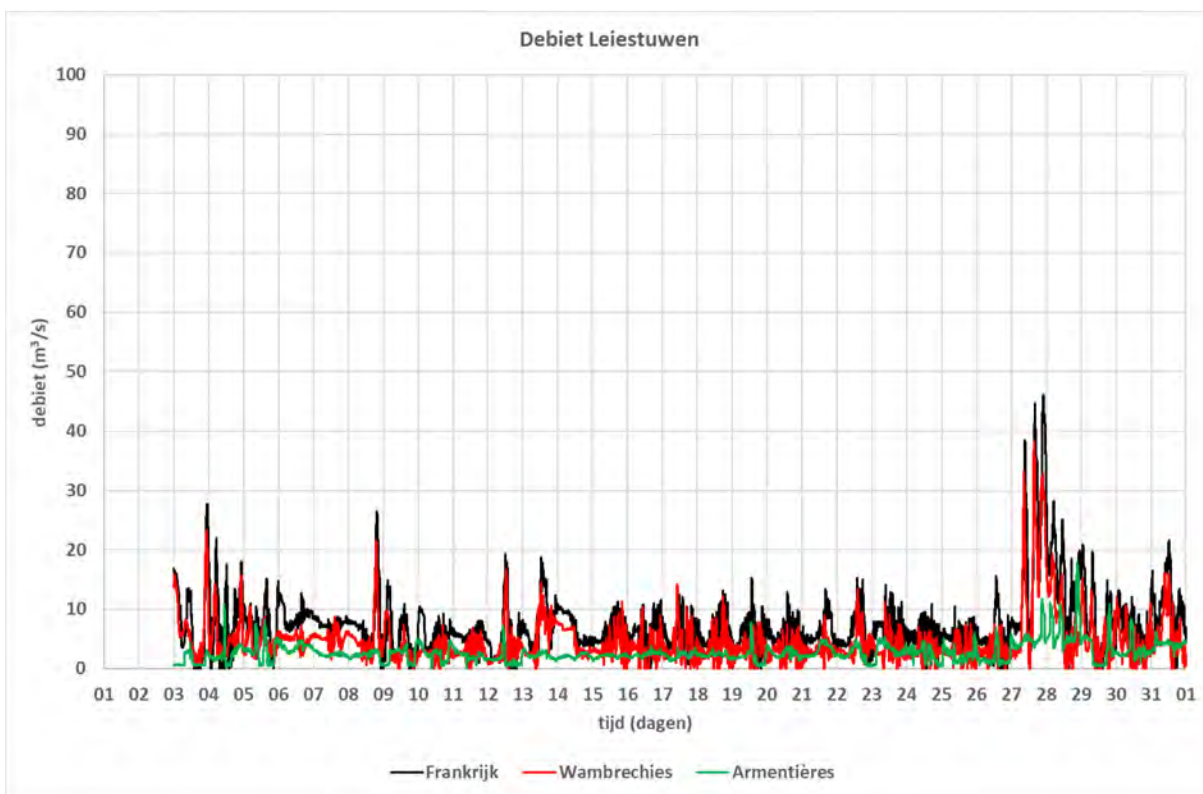
Figuur 35 – Juni 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk



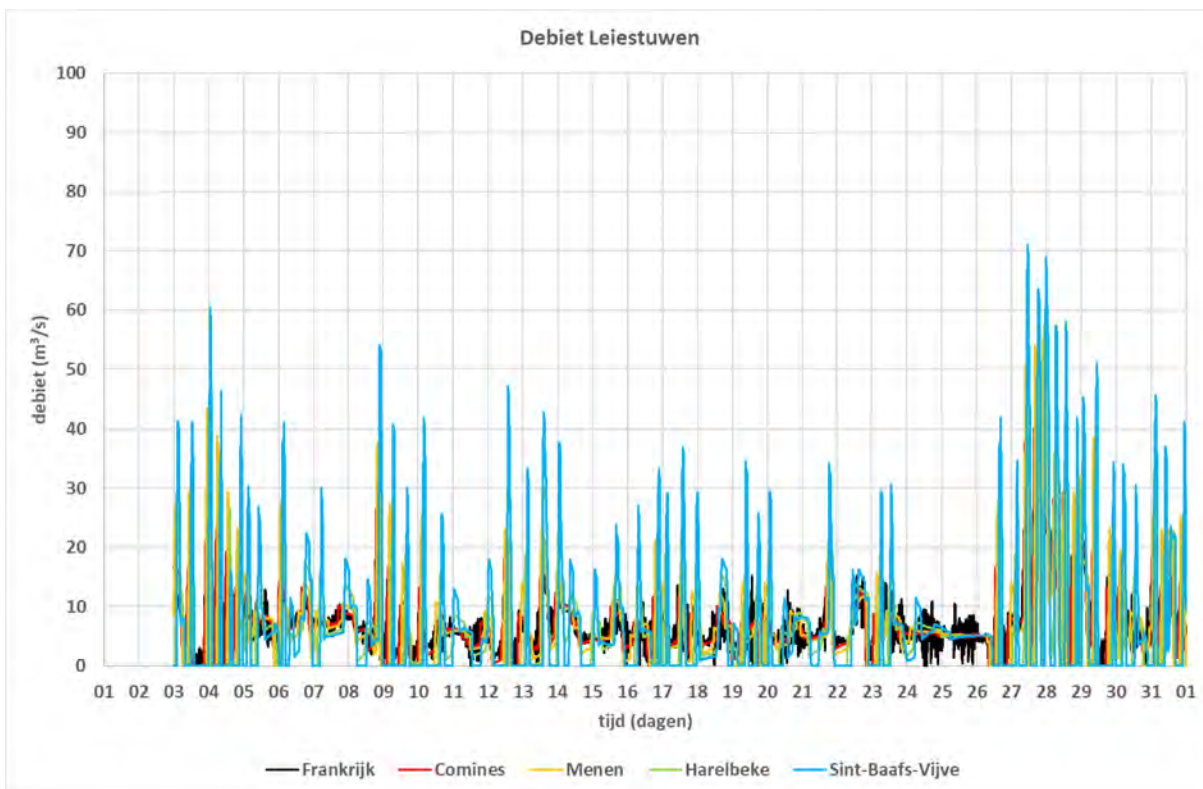
Figuur 36 – Juni 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



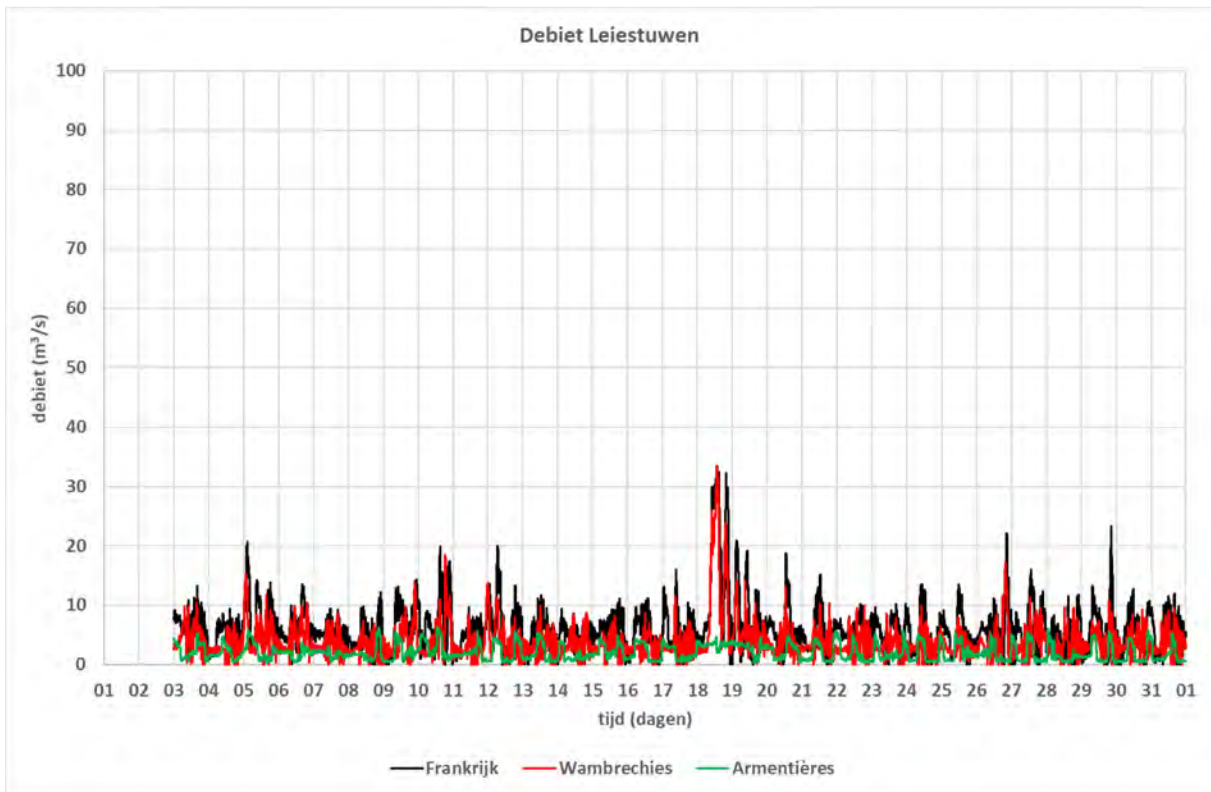
Figuur 37 – Juli 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk



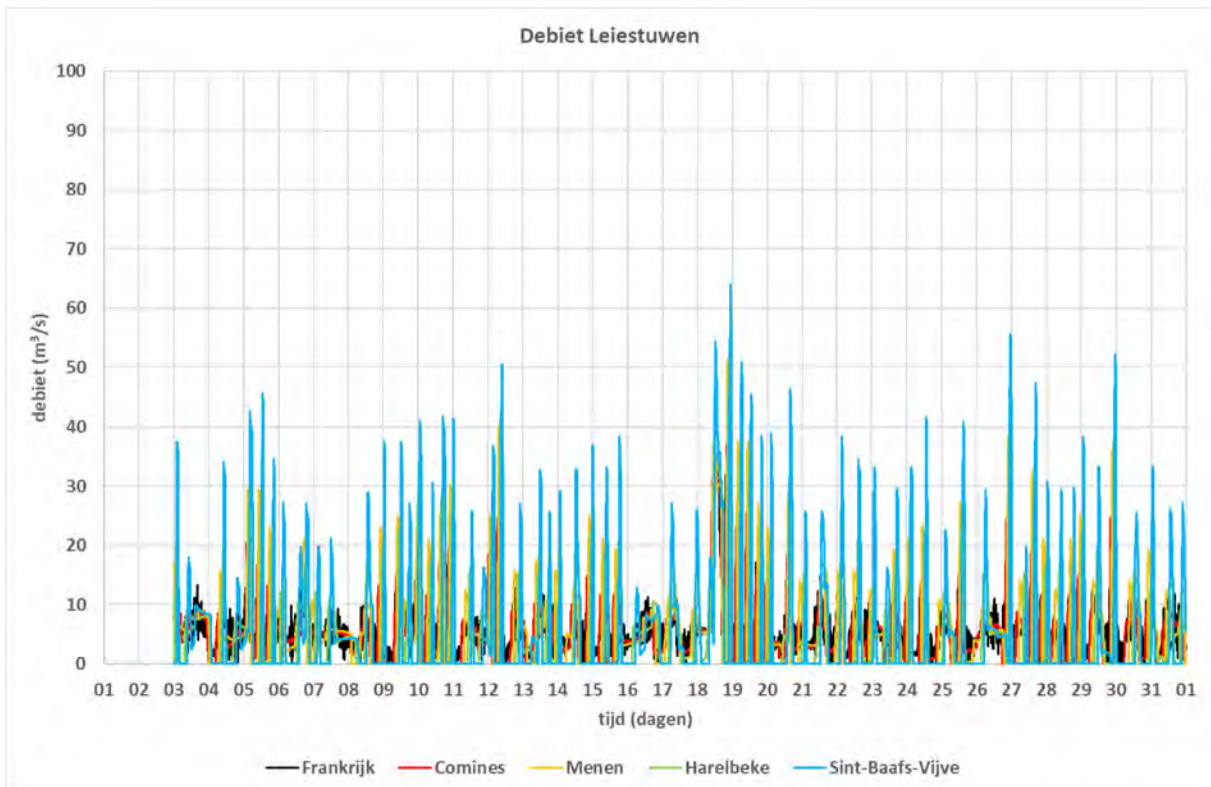
Figuur 38 – Juli 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



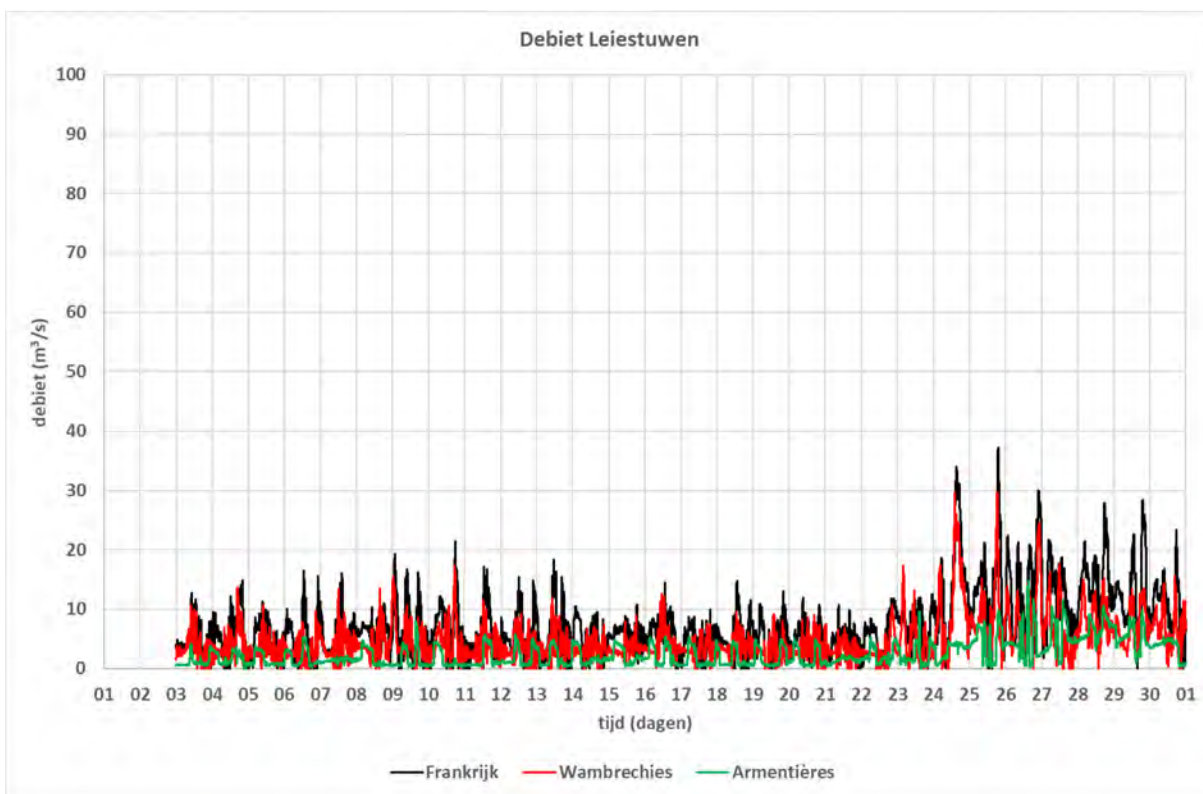
Figuur 39 – Augustus 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk



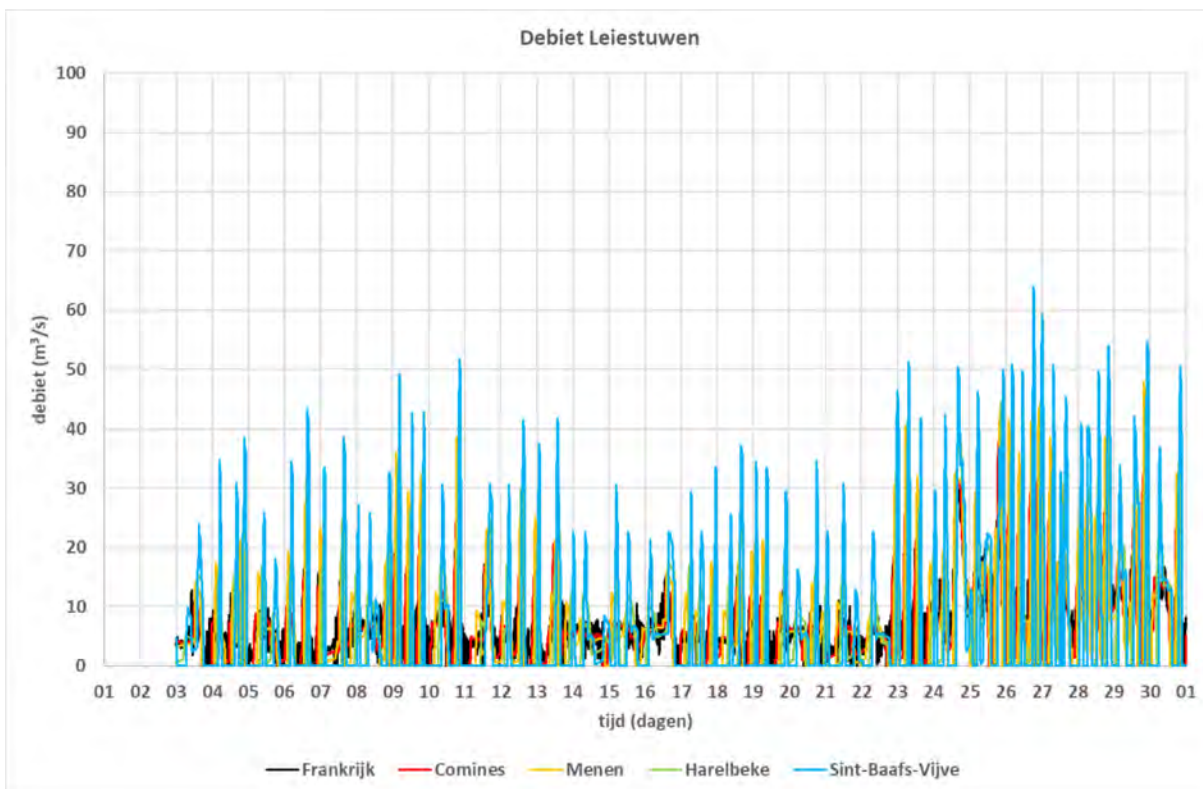
Figuur 40 – Augustus 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



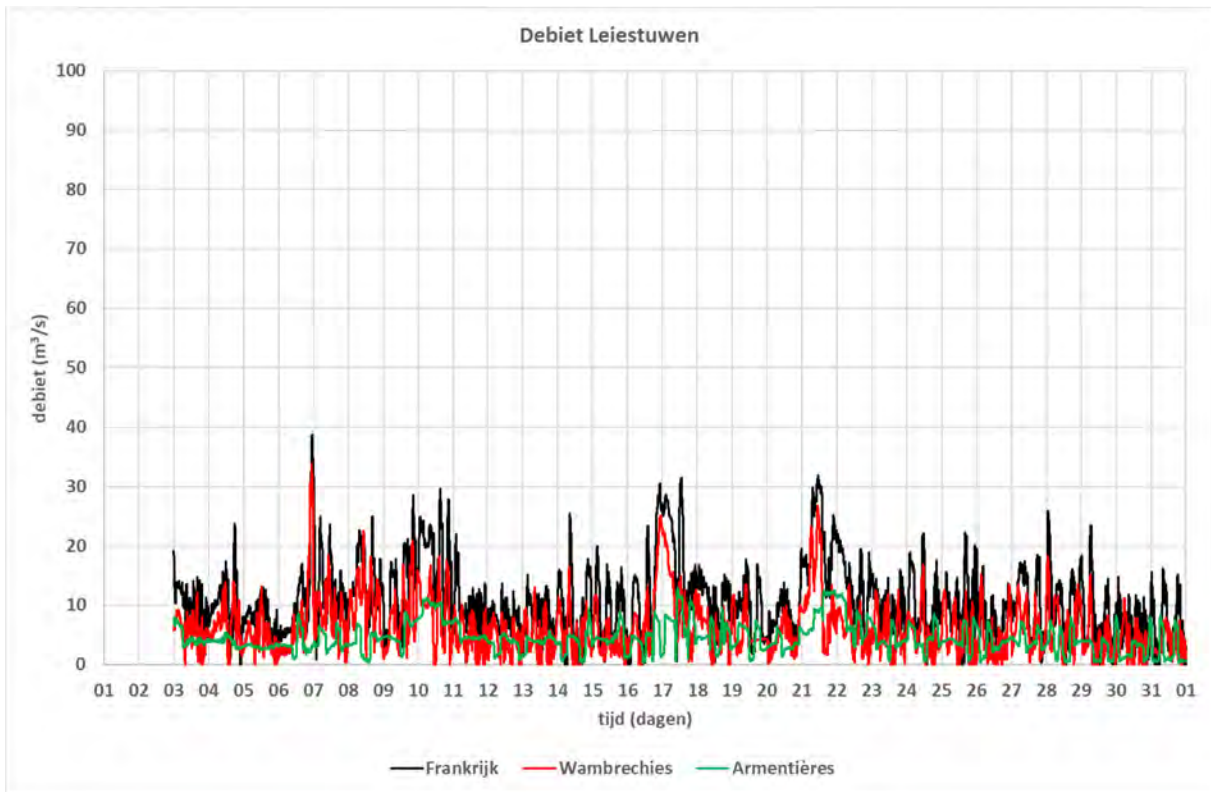
Figuur 41 – September 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk



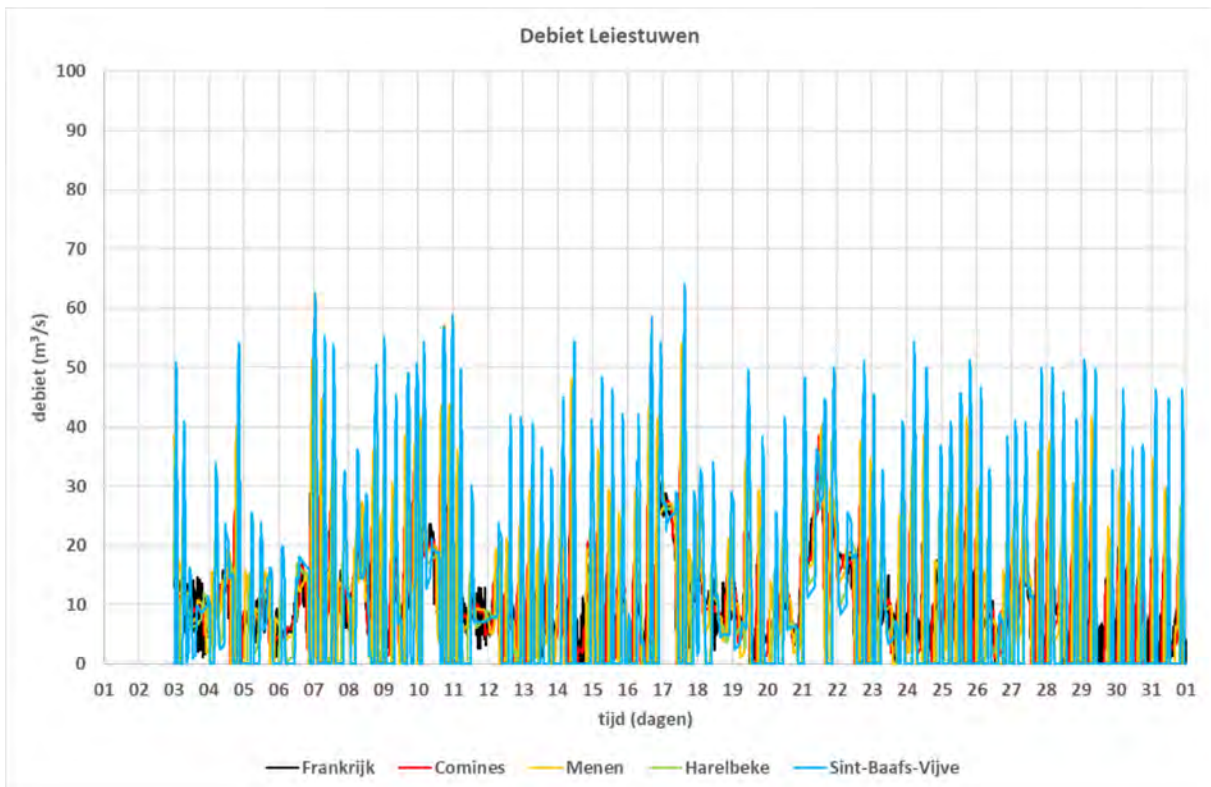
Figuur 42 – September 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



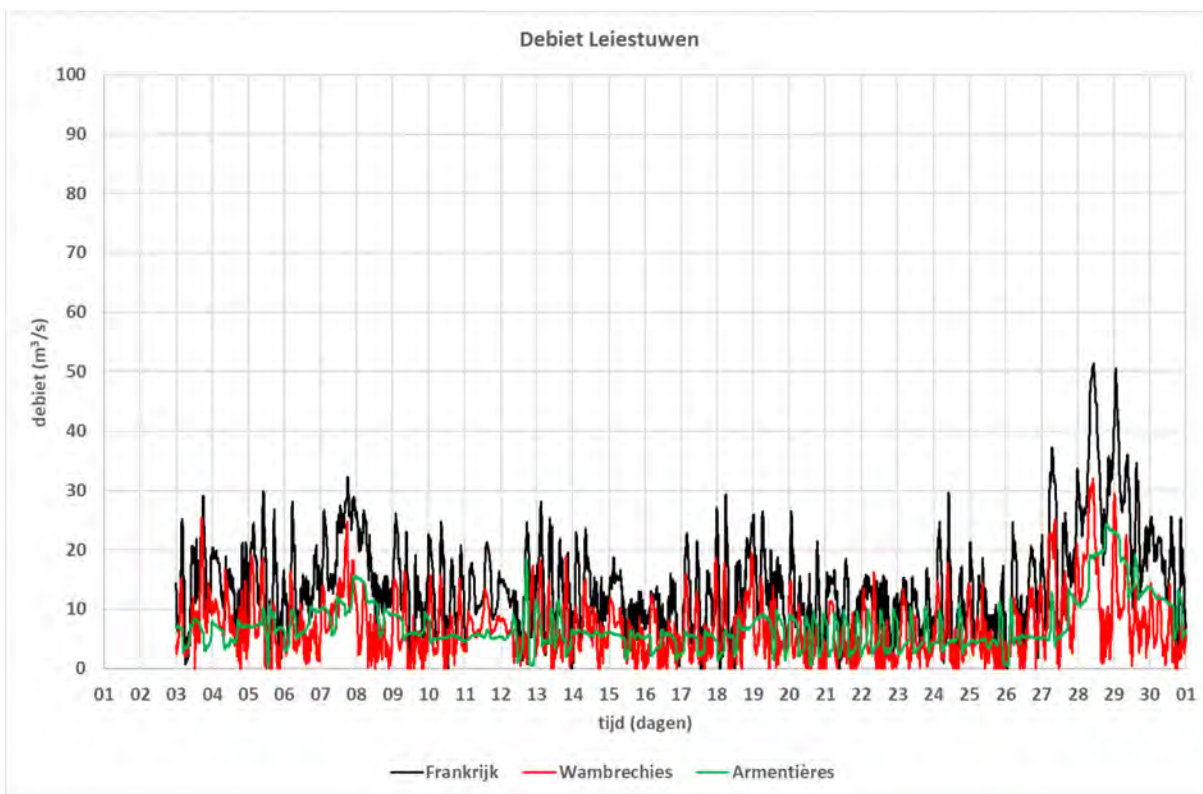
Figuur 43 – Oktober 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk



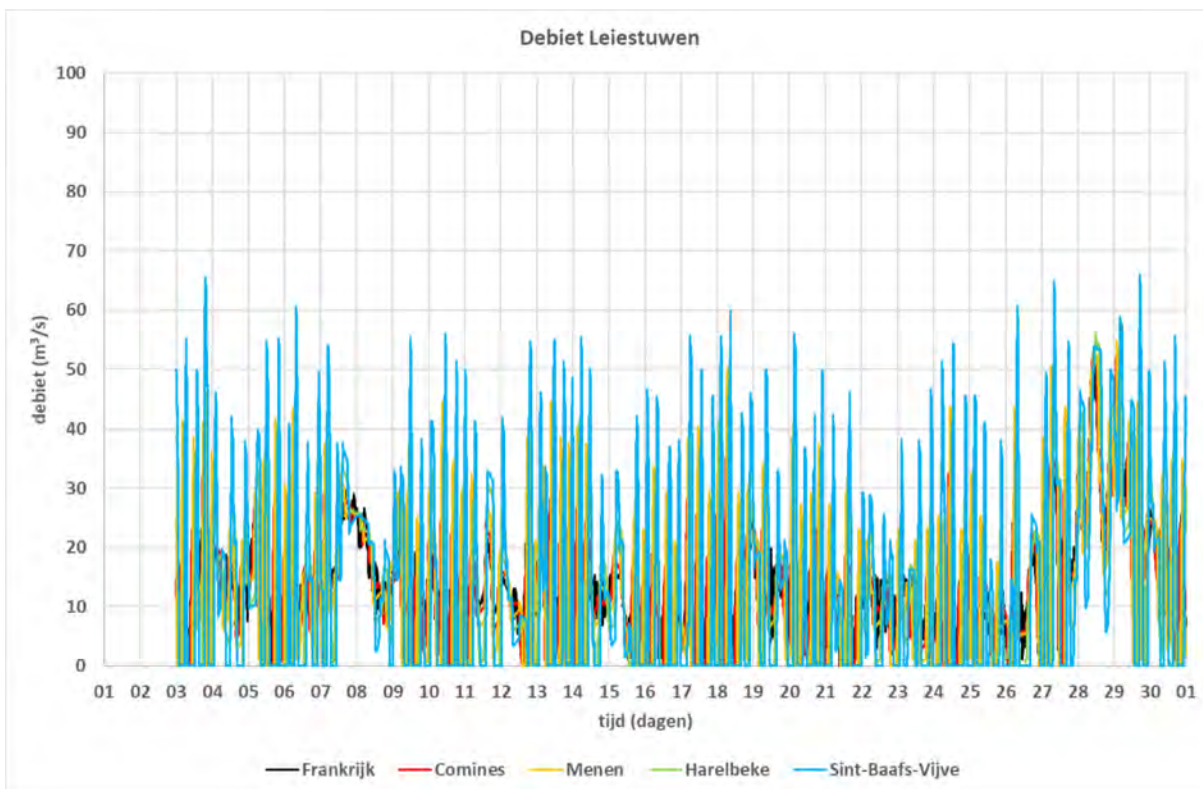
Figuur 44 – Oktober 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



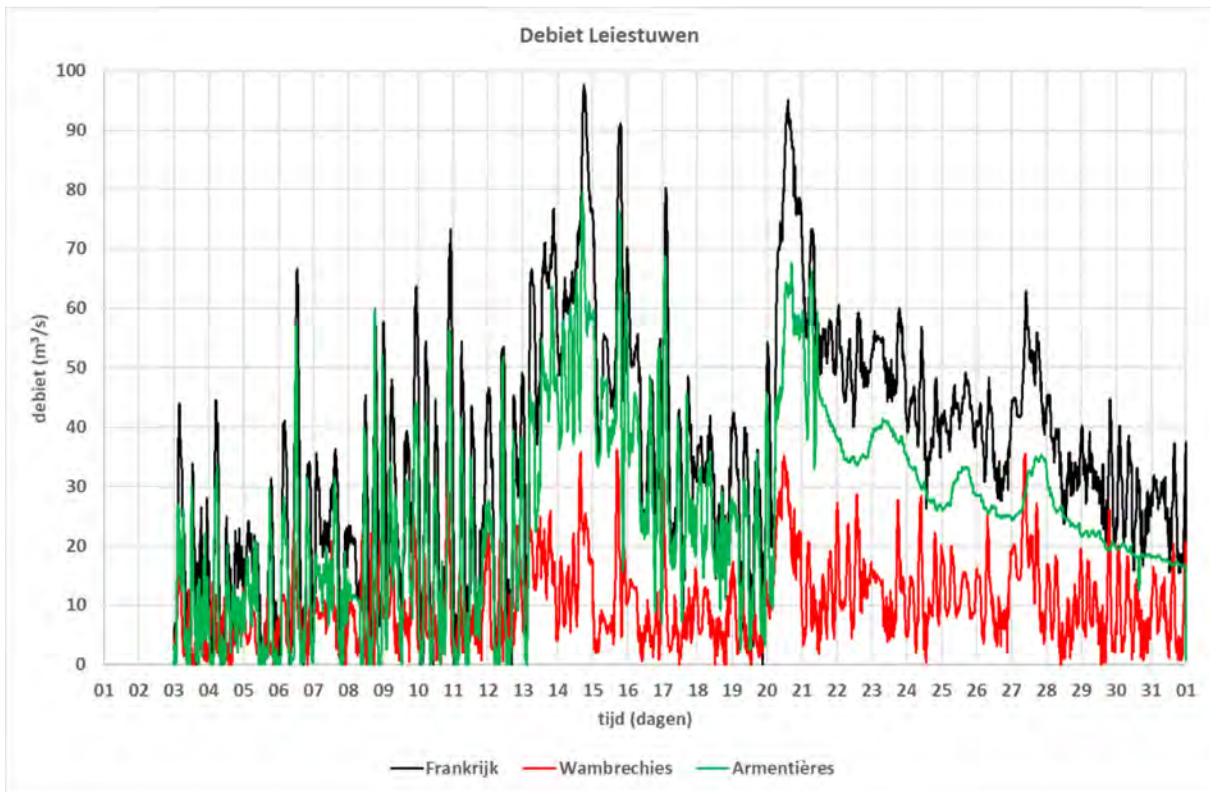
Figuur 45 – November 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk



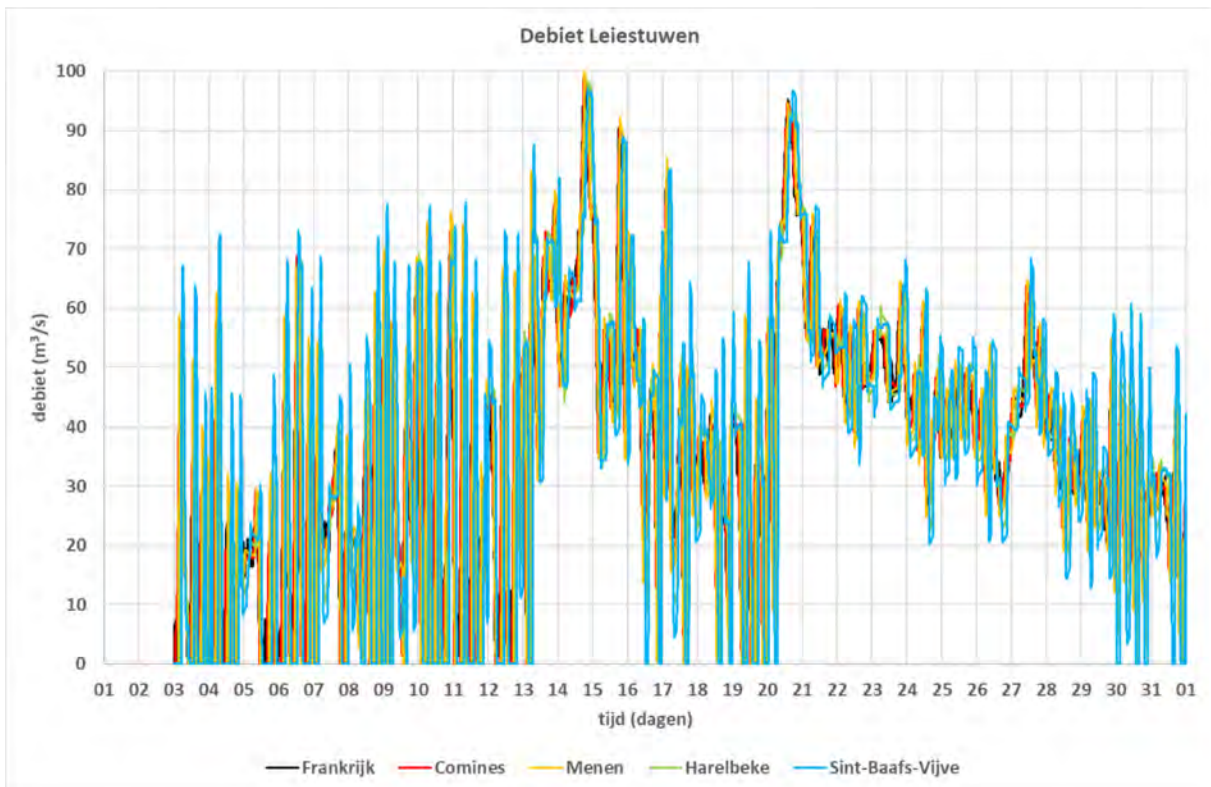
Figuur 46 – November 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



Figuur 47 – December 2019 – zonder zijlopen – debiet Frankrijk

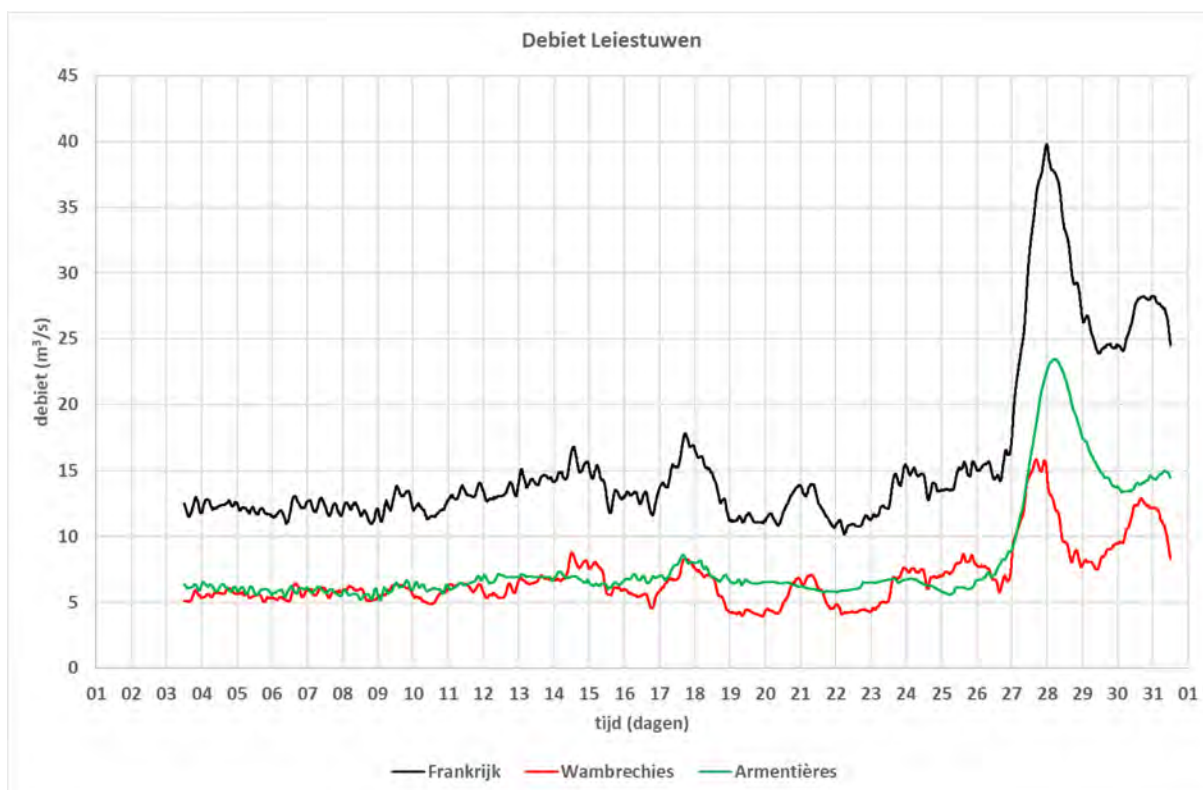


Figuur 48 – December 2019 – zonder zijlopen – debiet stuwen



Figuur 49 toont de daggemiddelde waarden voor de debieten in Armentières, Wambrechies en Deûlémont in januari 2019. Door het toepassen van een bewegend daggemiddelde verdwijnen de kleine fluctuaties in het debiet op de Deûle te Wambrechies volledig. De korte duur van deze fluctuaties versterkt de hypothese dat ze geen hydrologische oorsprong hebben, maar veroorzaakt worden door de bediening van stuwen en/of sluizen in Frankrijk. Indien het niet mogelijk zou blijken om de versterking van deze schommelingen in Wallonië en Vlaanderen te voorkomen, dan dient men het ontstaan van deze schommelingen in Frankrijk te beperken.

Figuur 49 – Januari 2019 – zonder zijlopen – daggemiddeld debiet Frankrijk

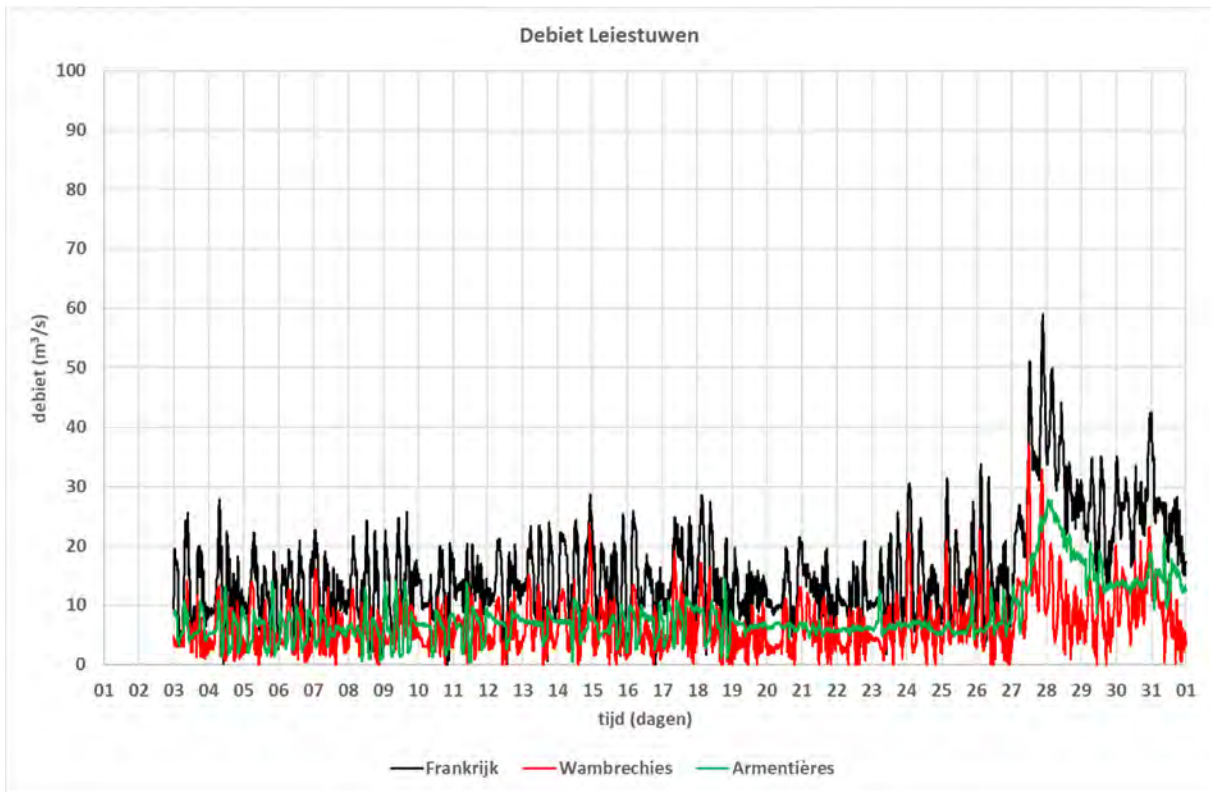


Volledige jaar 2019 met zijdelingse instroming

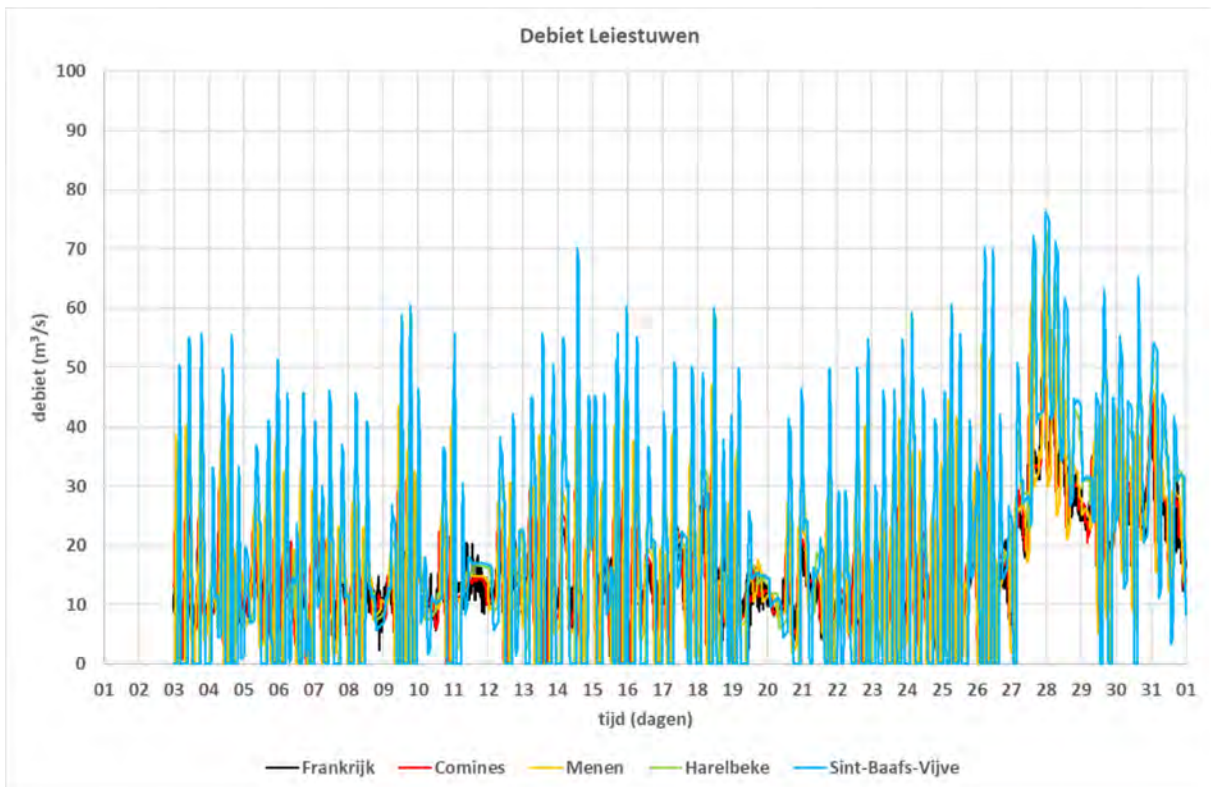
De resultaten van de simulaties met zijdelingse instroming worden getoond in Figuur 50 t.e.m. Figuur 73.

Uit de figuren blijkt dat de zijdelingse instroming vanuit de zijlopen leidt tot een beperkte toename van de afvoer in het Vlaamse deel van de Leie. De toevoeging van de zijdelingse instroming volstaat echter niet om te beletten dat de stuwen in Vlaanderen soms sluiten. Deze sluiting doet zich vooral voor aan het einde van de keten, in Sint-Baafs-Vijve.

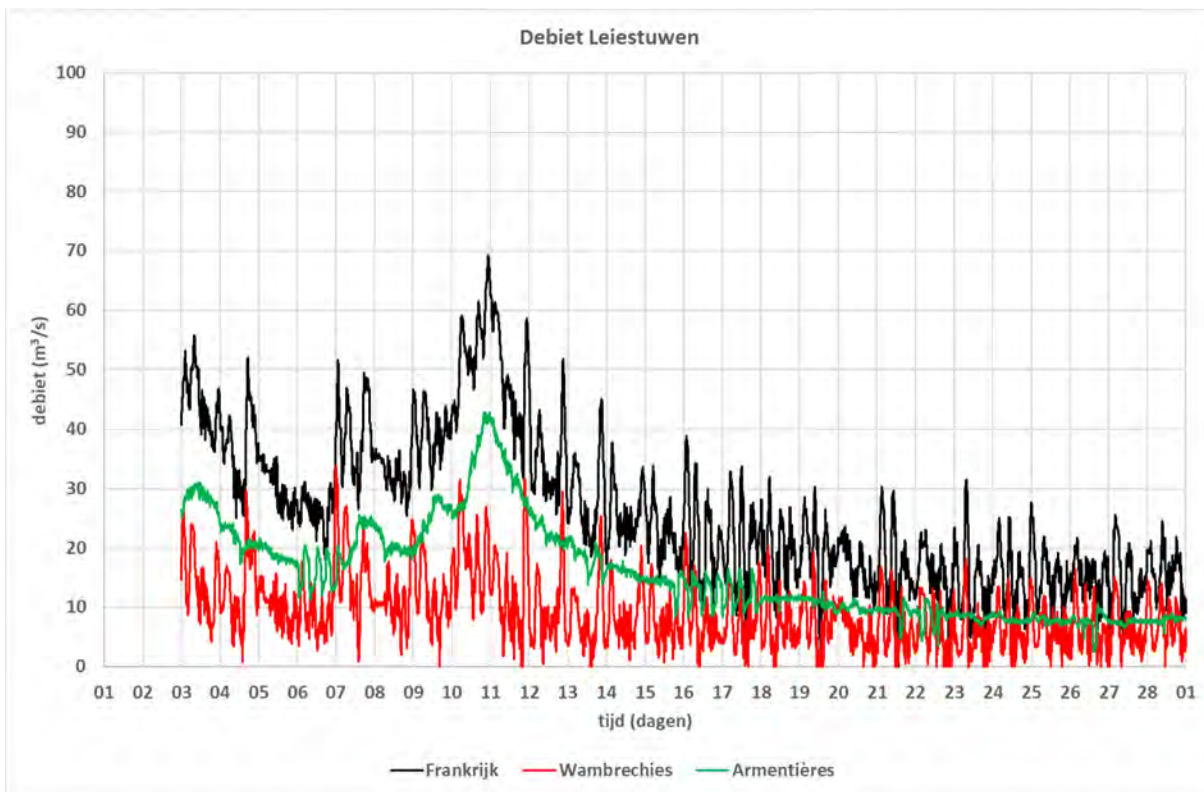
Figuur 50 – Januari 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



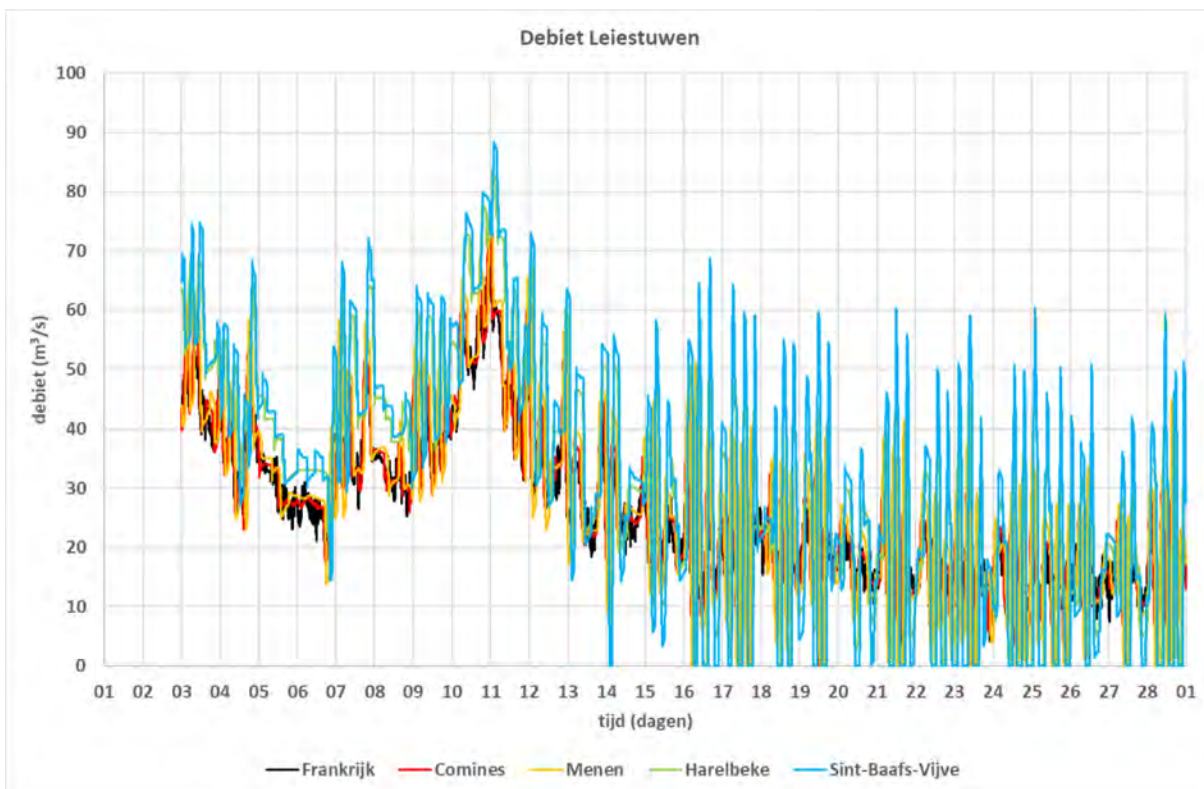
Figuur 51 – Januari 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



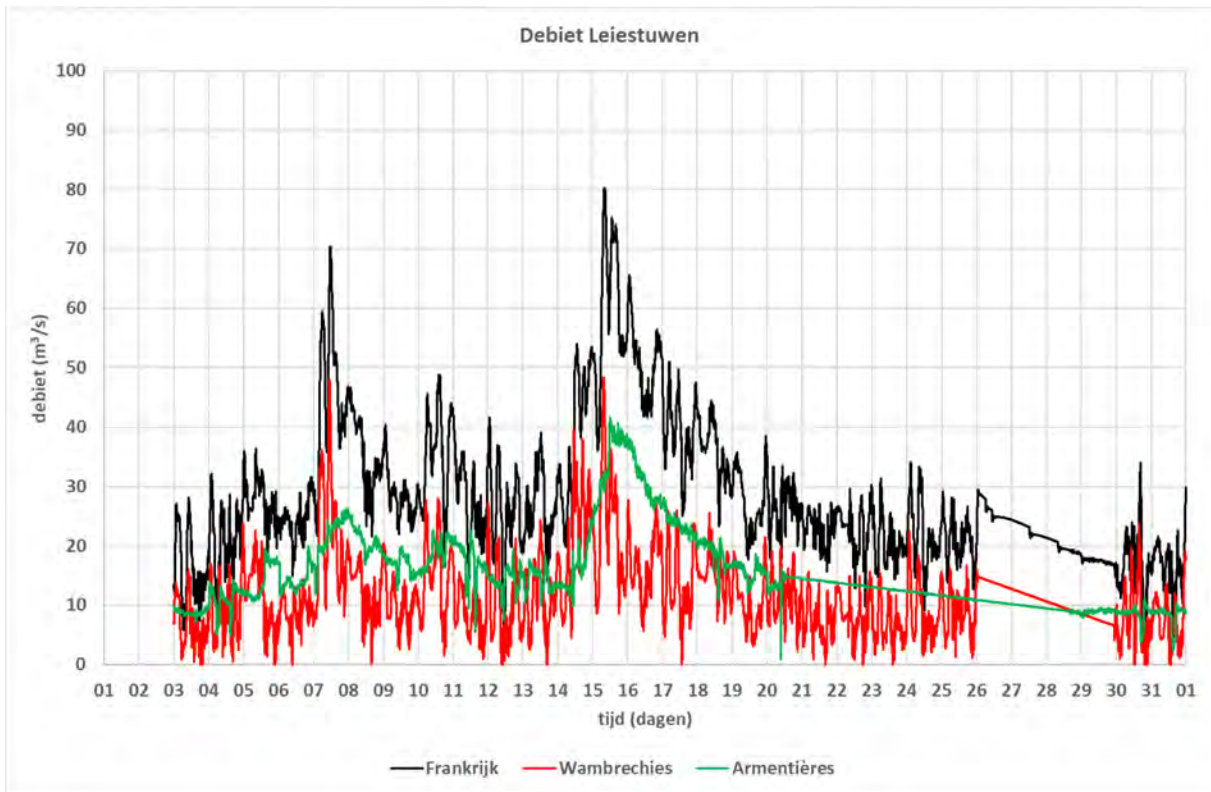
Figuur 52 – Februari 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



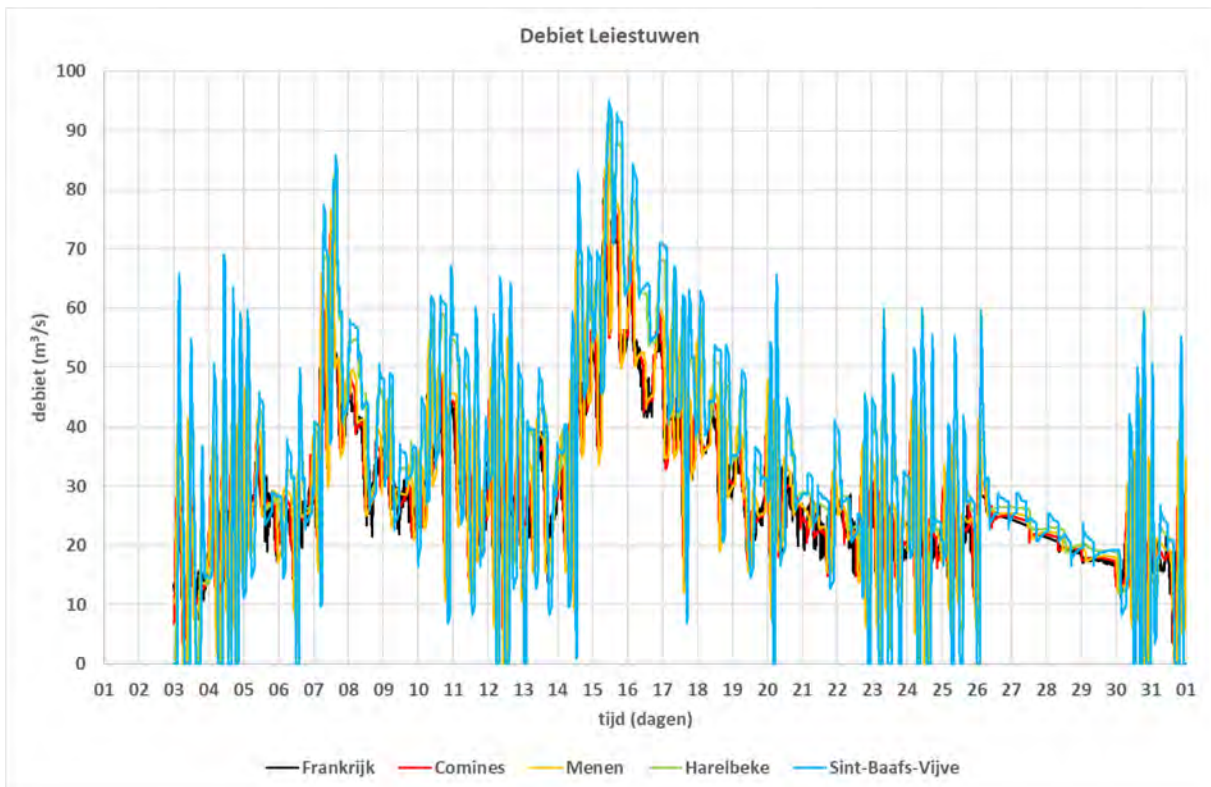
Figuur 53 – Februari 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



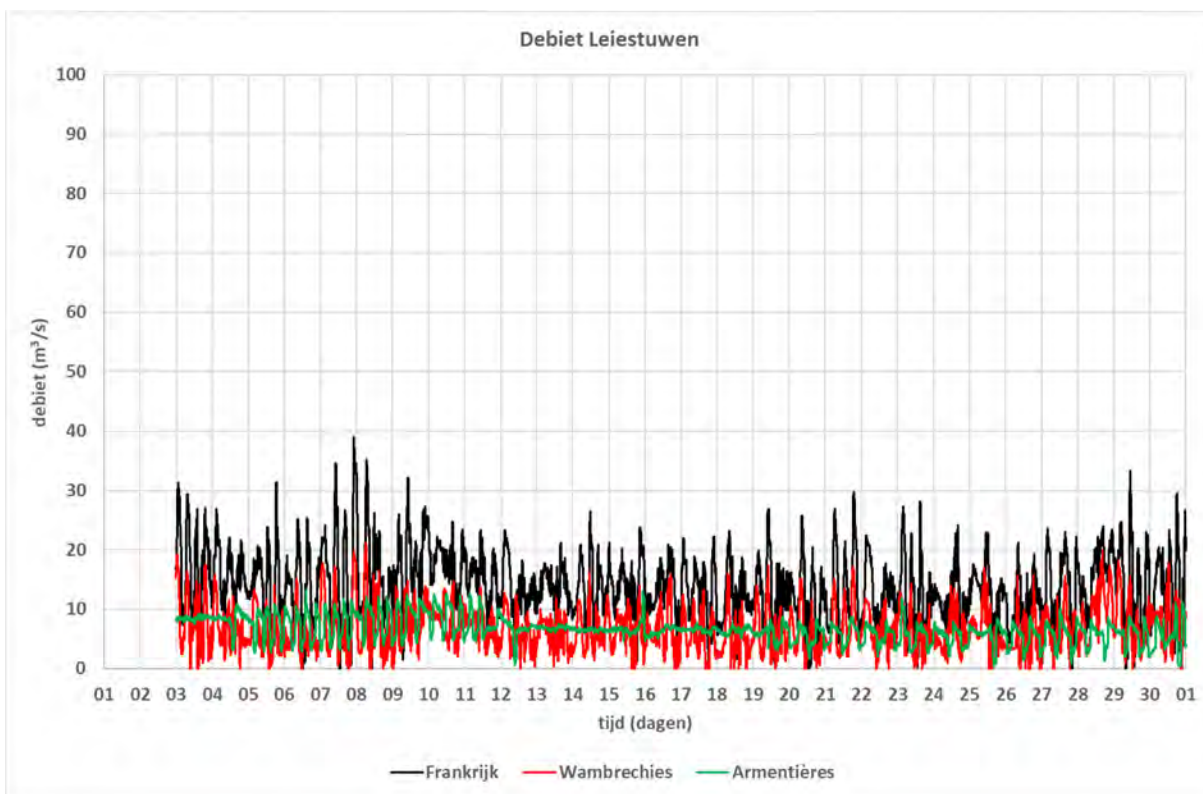
Figuur 54 – Maart 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



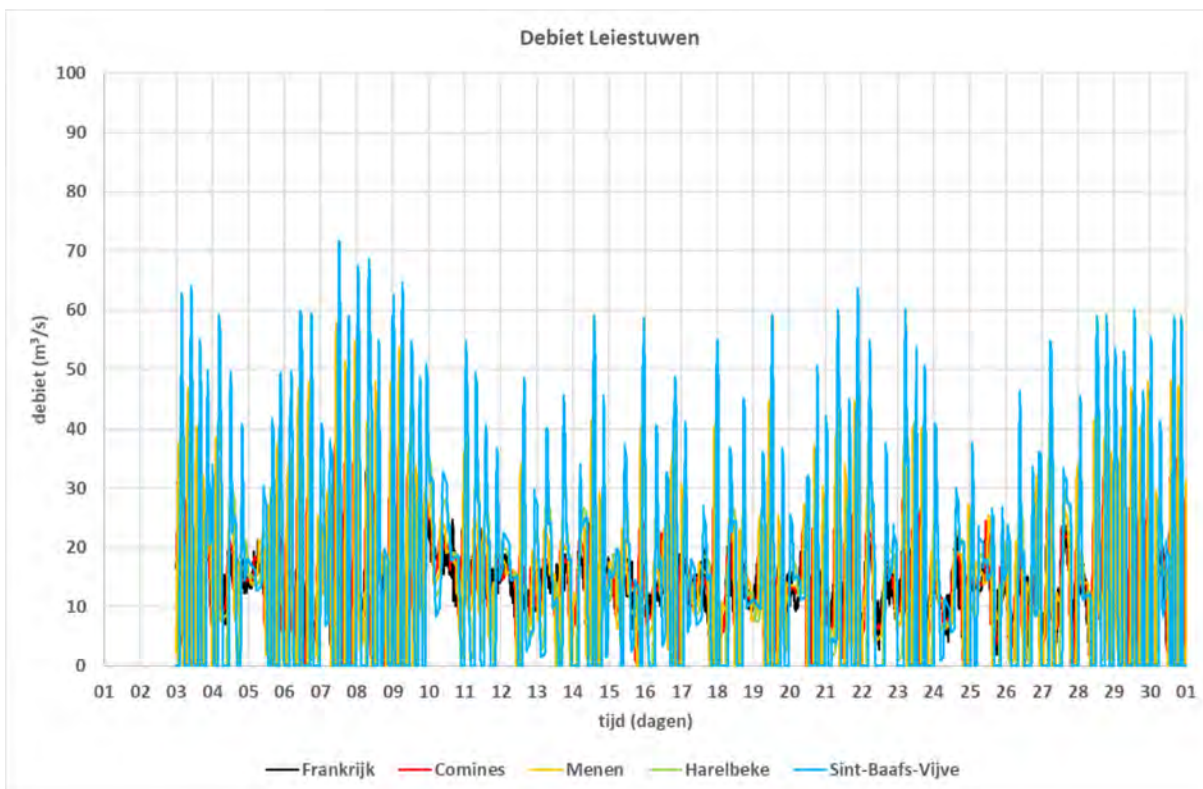
Figuur 55 – Maart 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



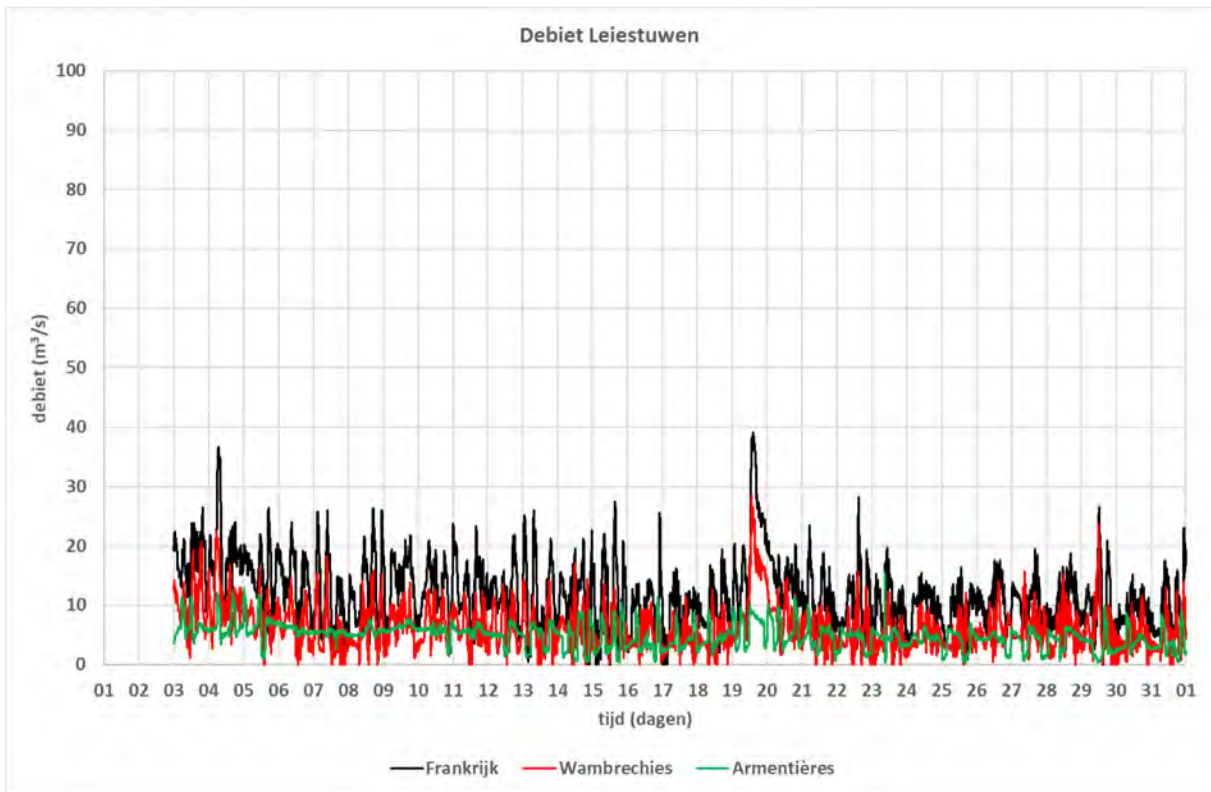
Figuur 56 – April 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



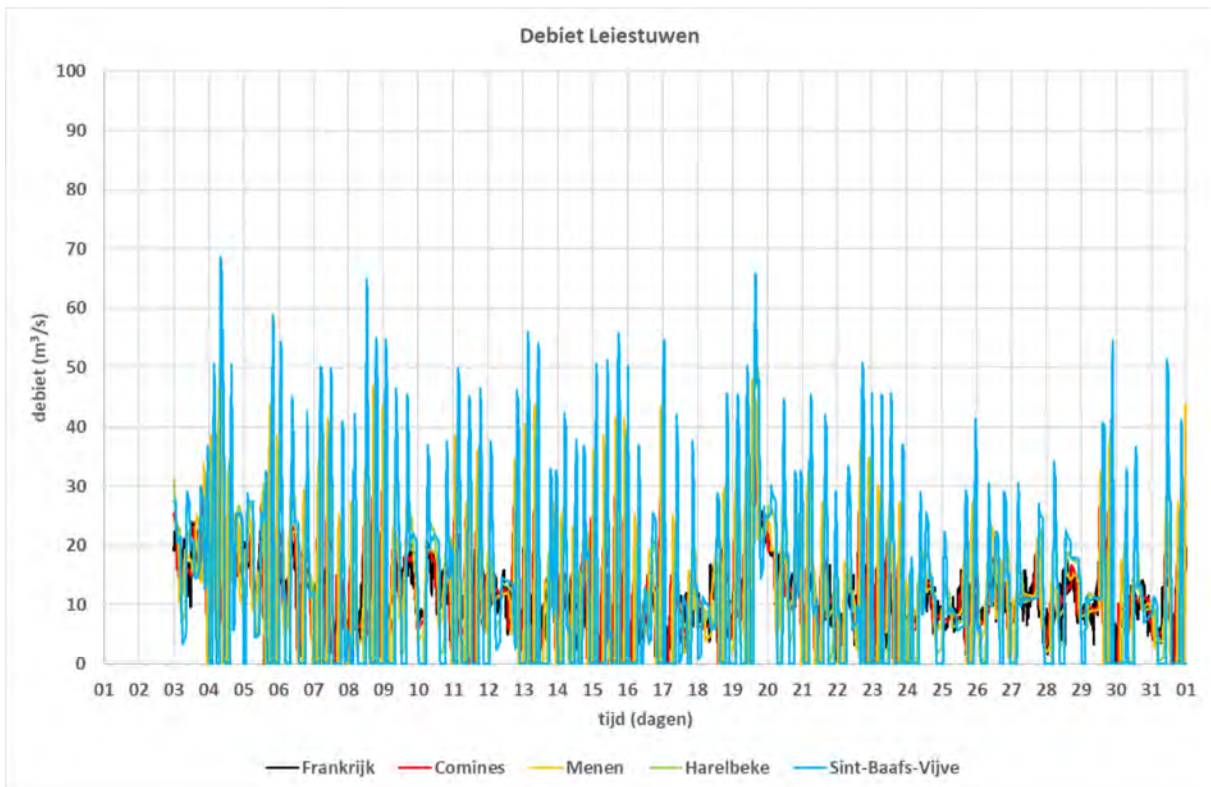
Figuur 57 – April 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



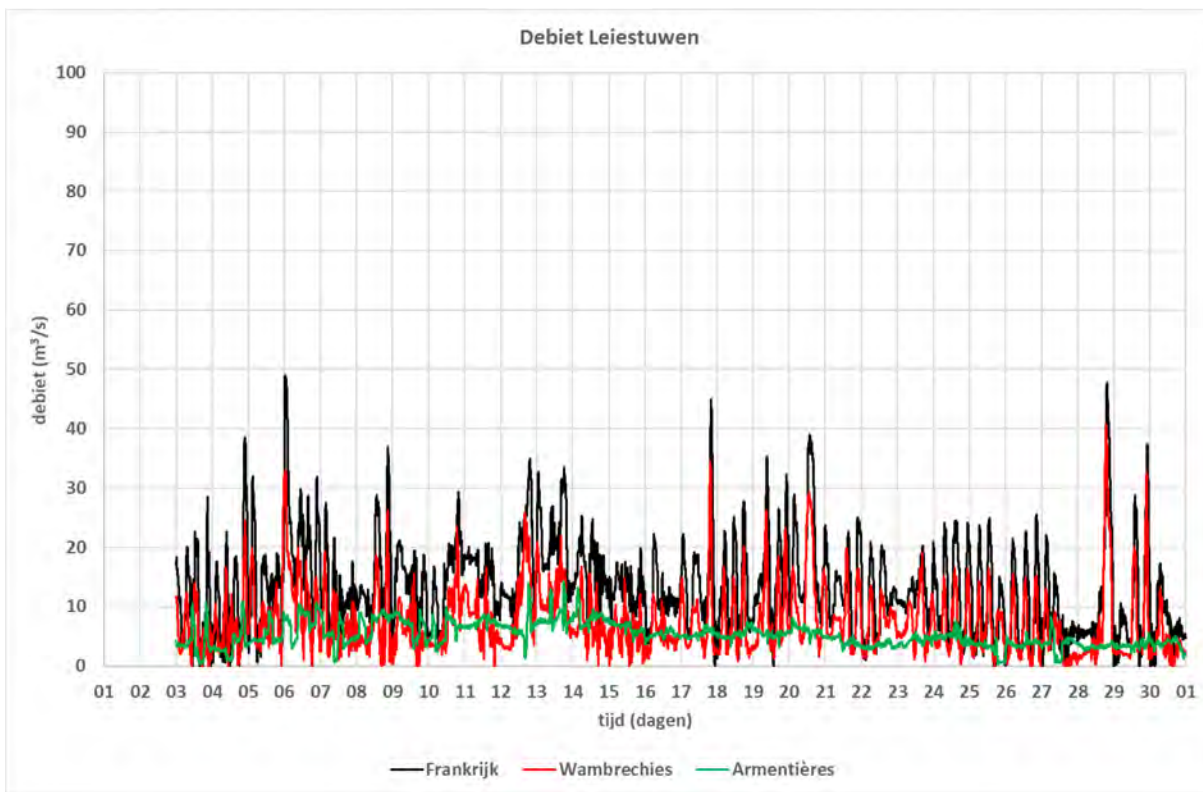
Figuur 58 – Mei 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



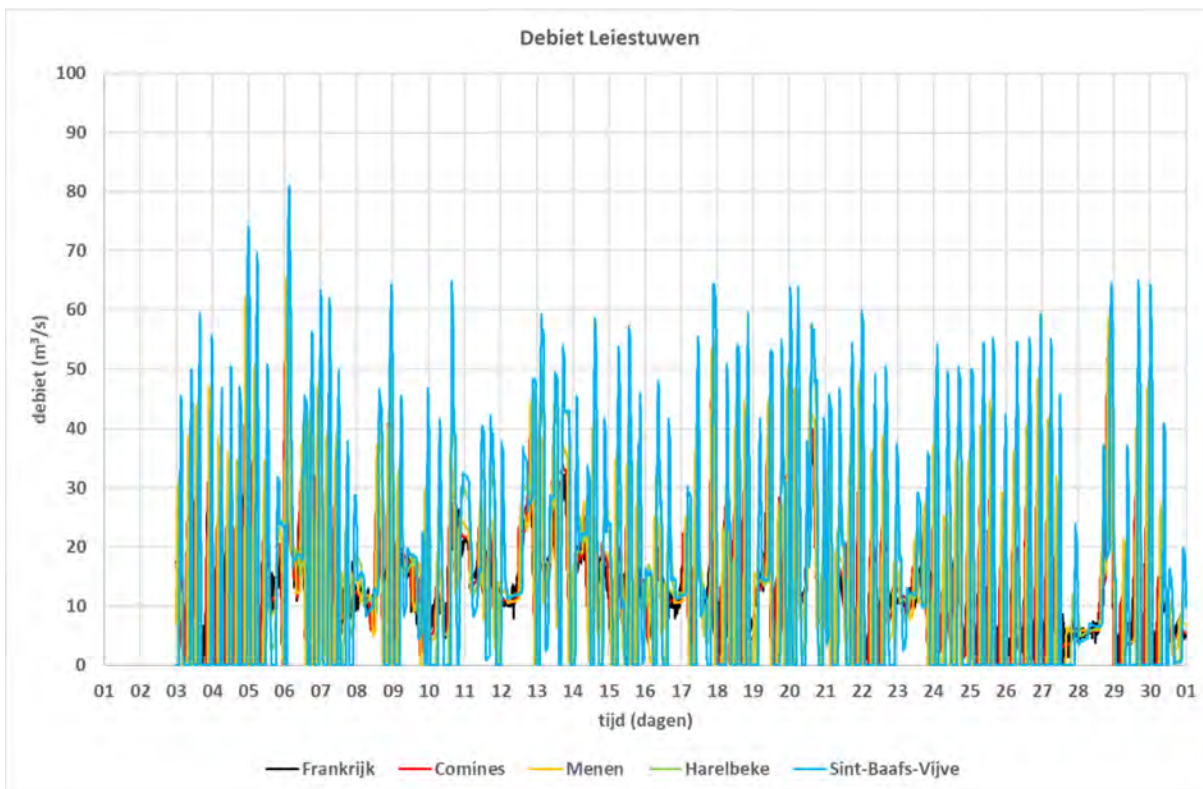
Figuur 59 – Mei 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



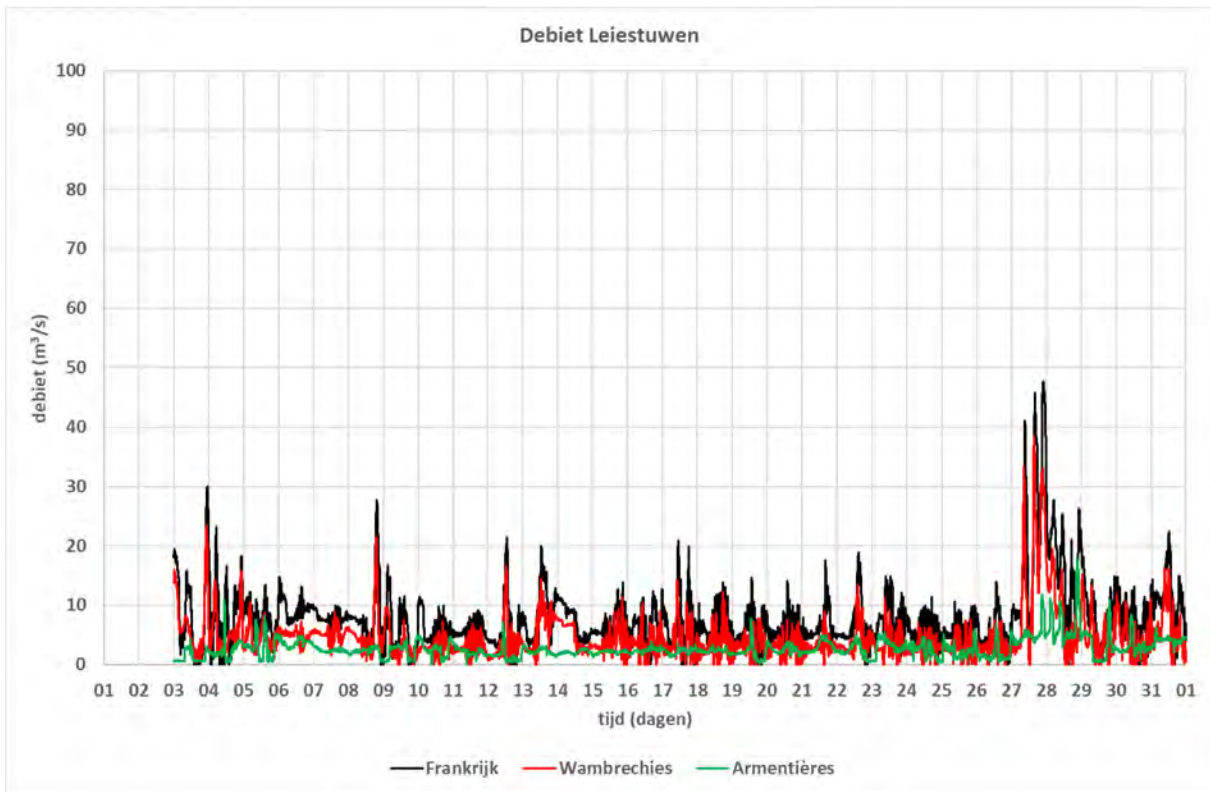
Figuur 60 – Juni 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



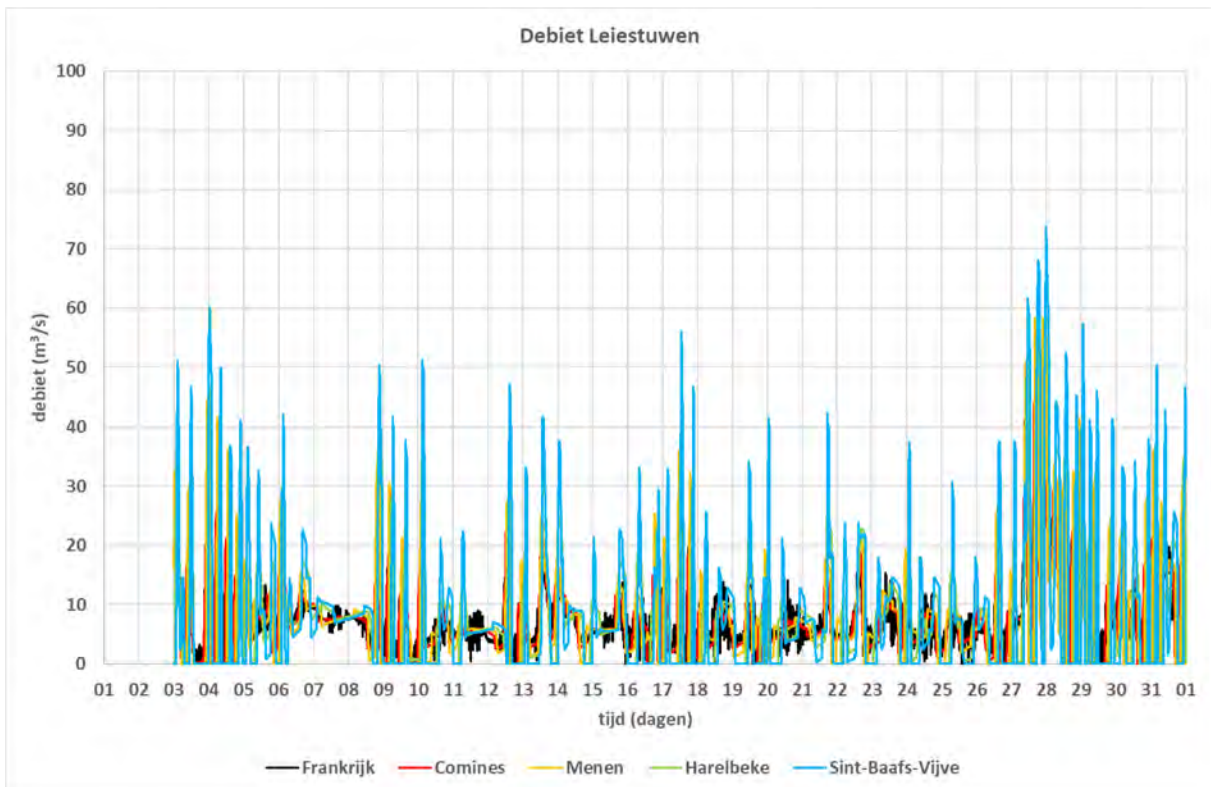
Figuur 61 – Juni 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



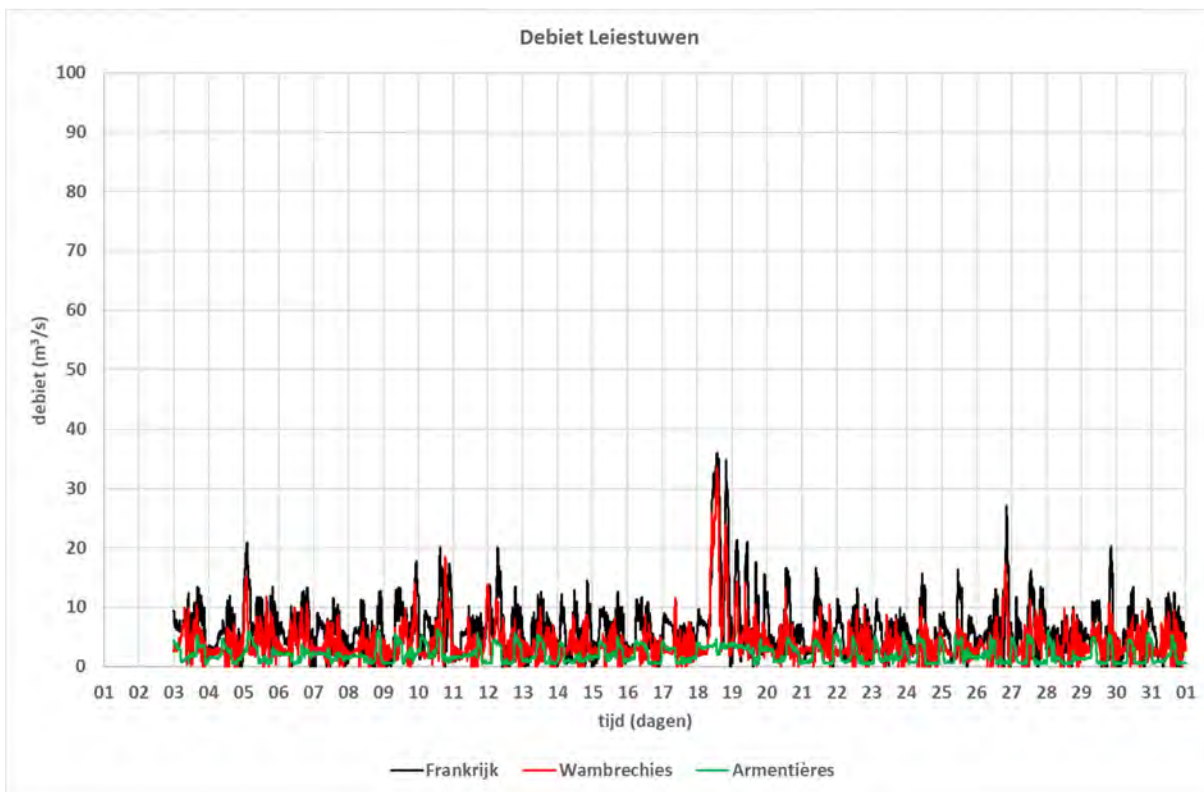
Figuur 62 – Juli 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



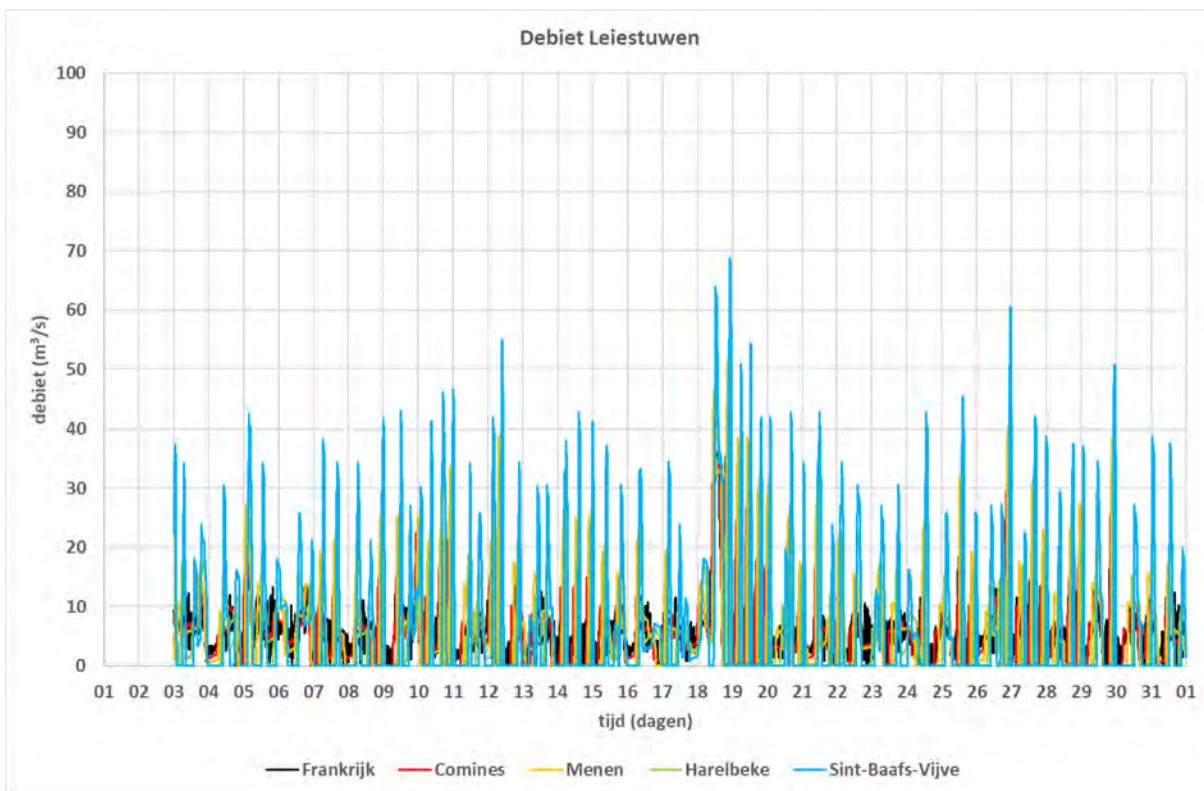
Figuur 63 – Juli 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



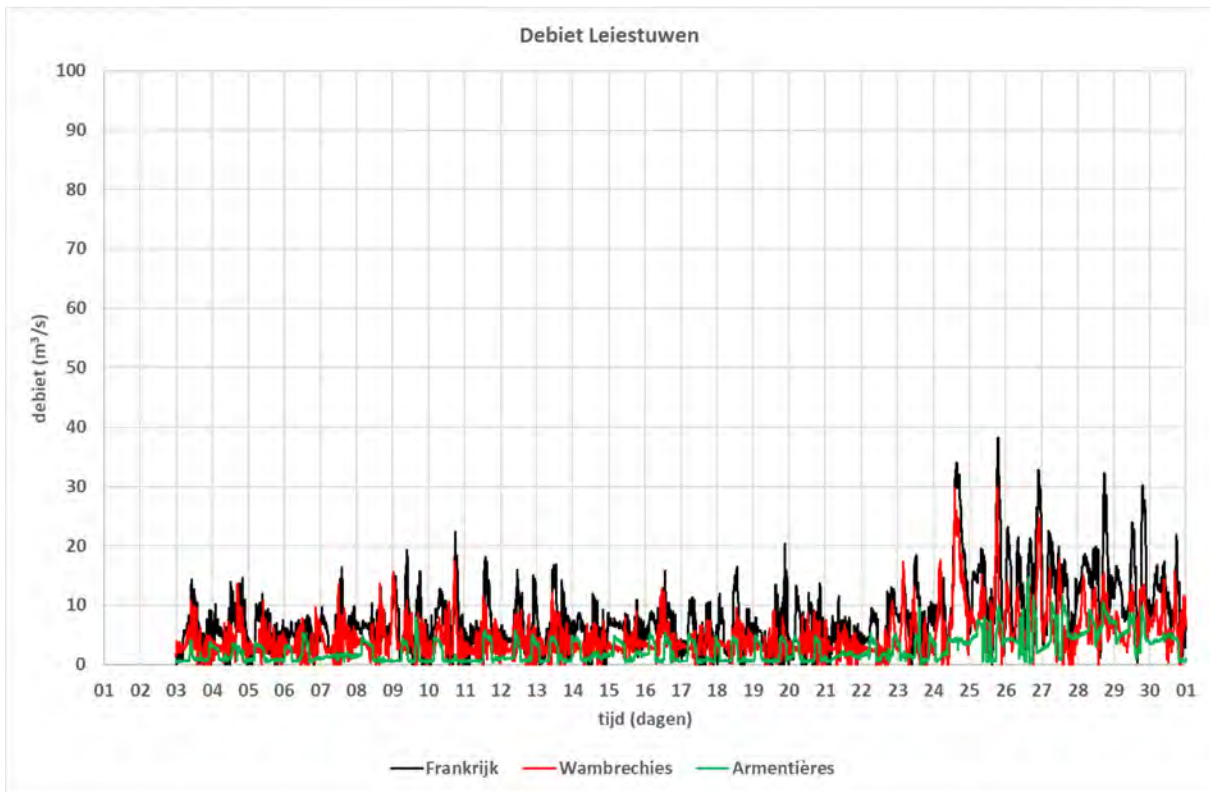
Figuur 64 – Augustus 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



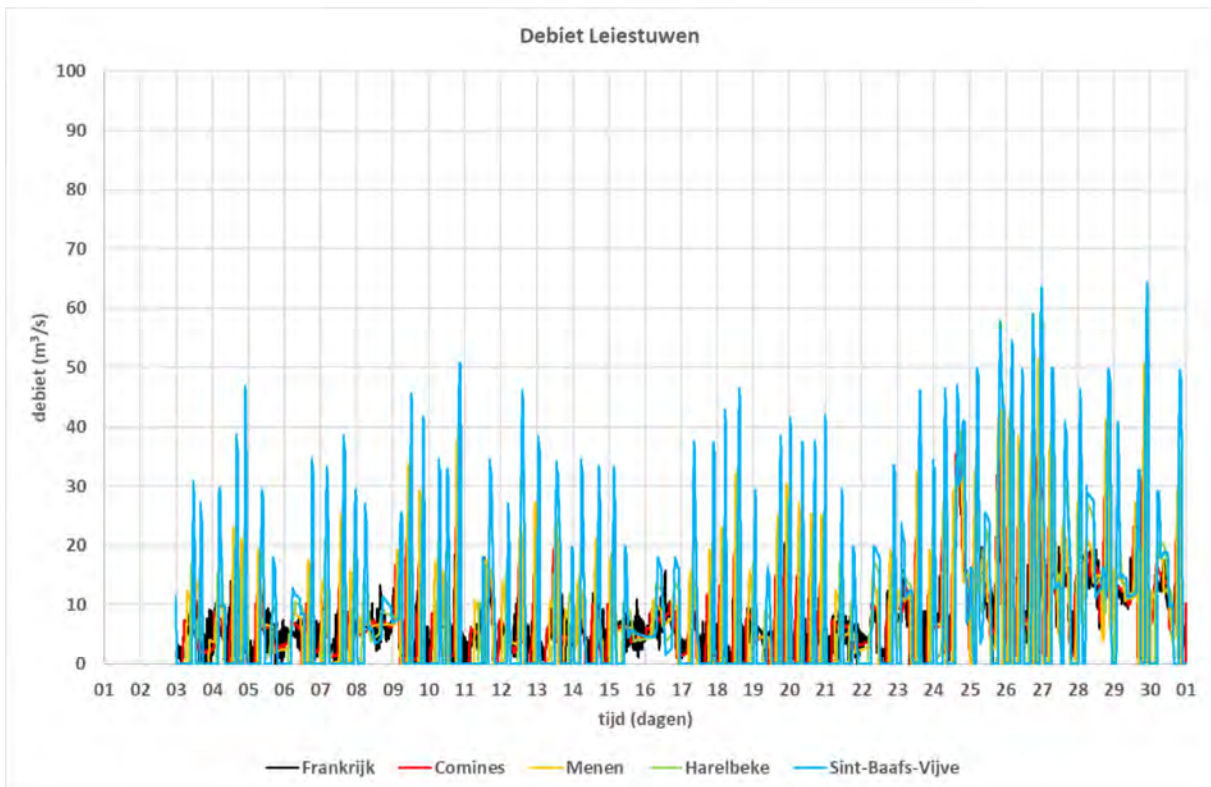
Figuur 65 – Augustus 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



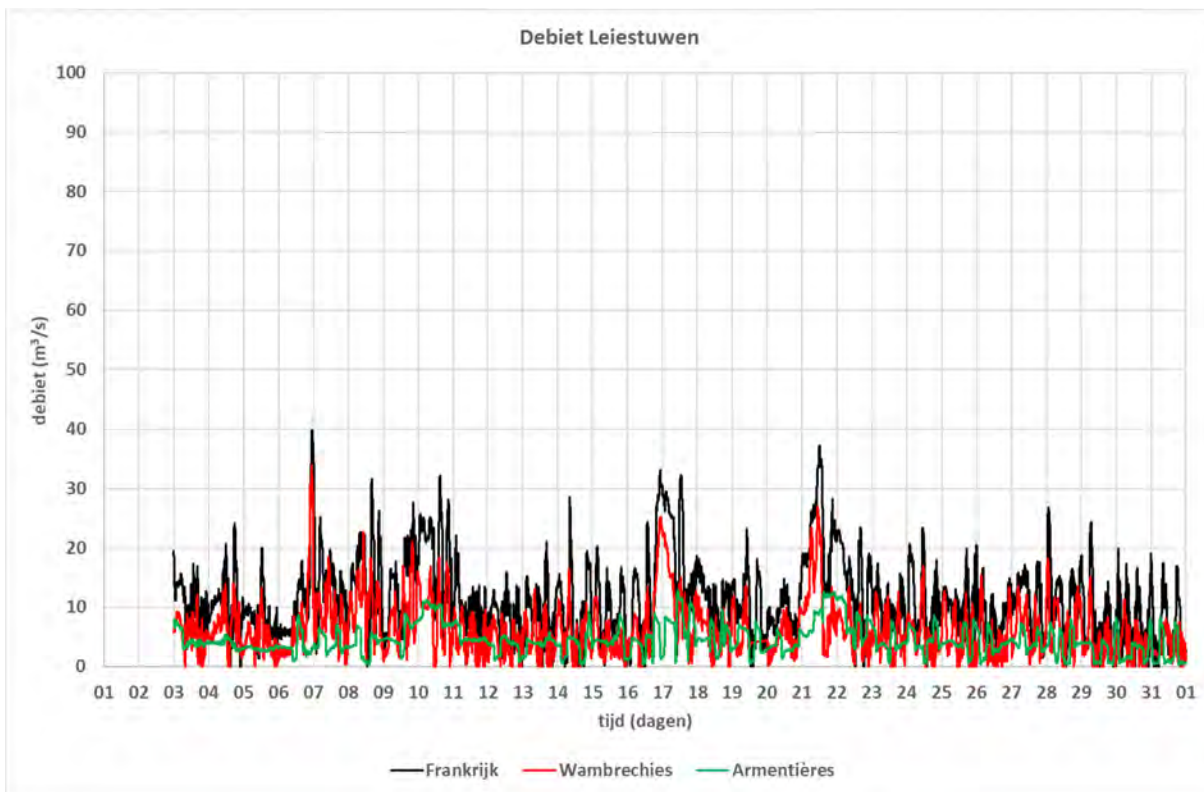
Figuur 66 – September 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



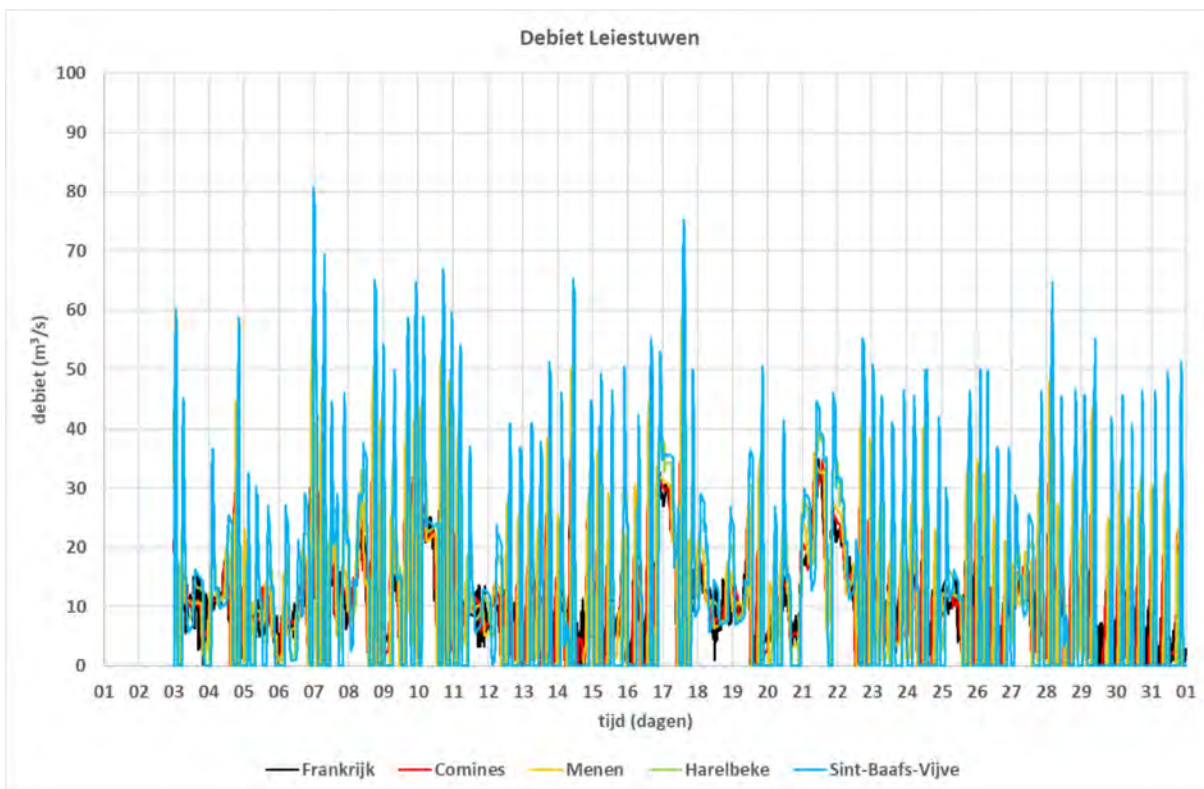
Figuur 67 – September 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



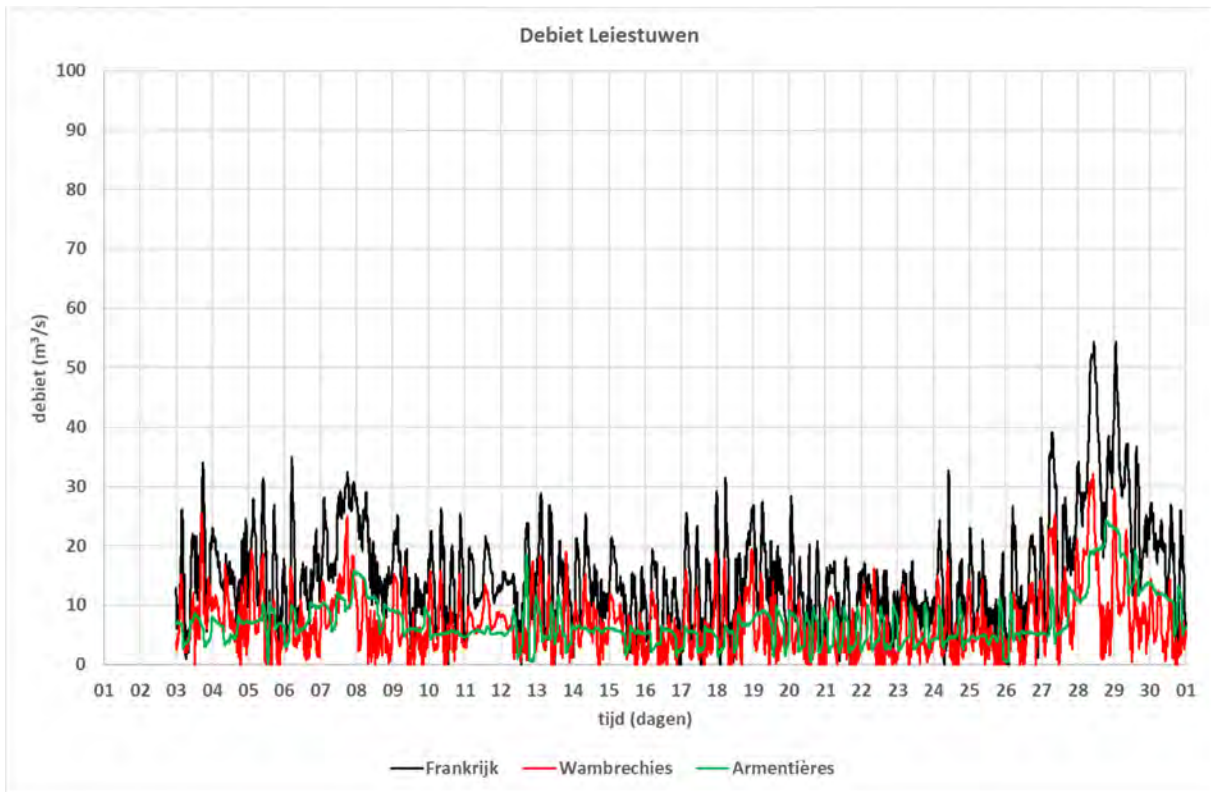
Figuur 68 – Oktober 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



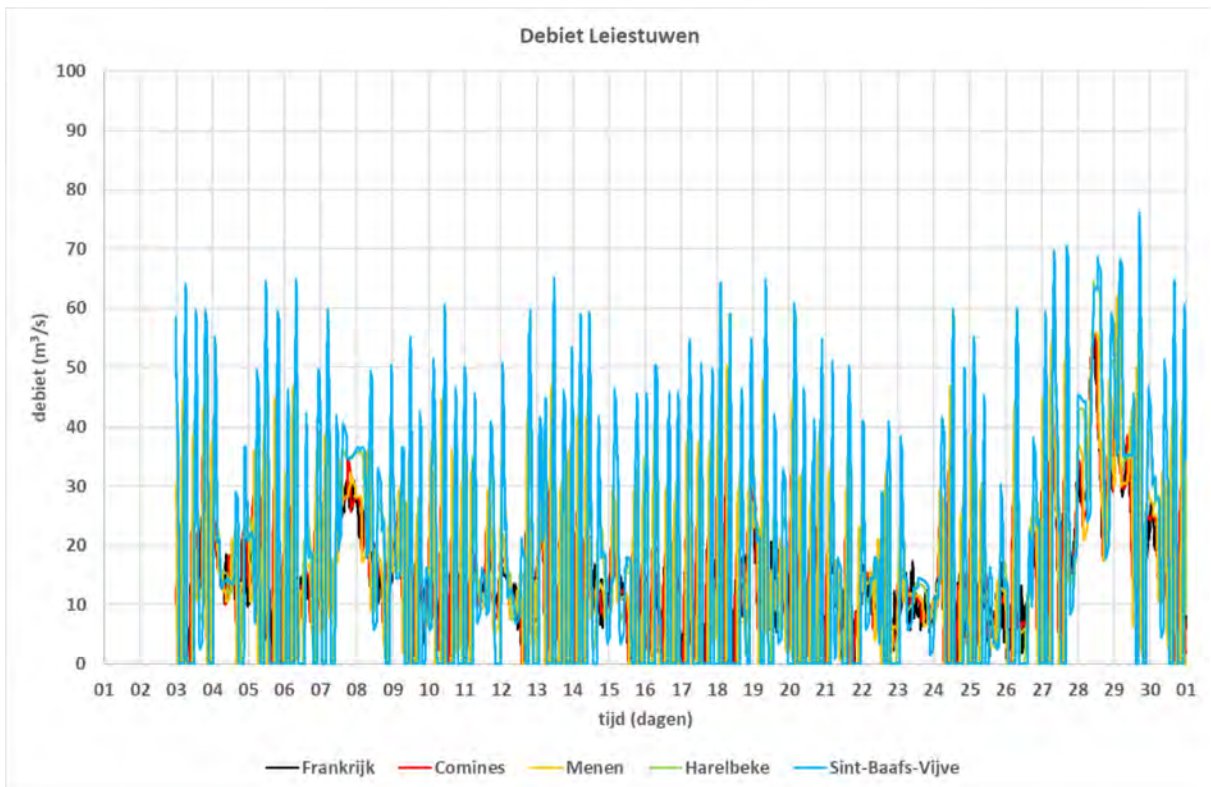
Figuur 69 – Oktober 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



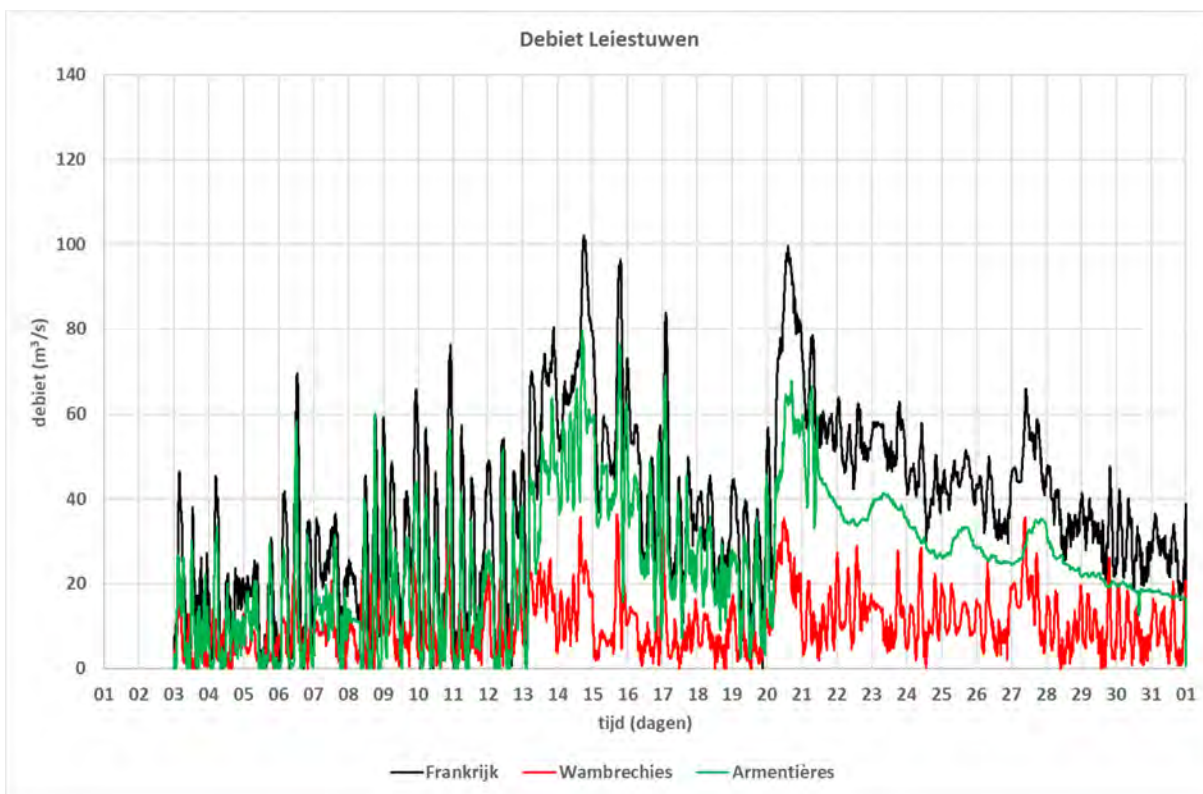
Figuur 70 – November 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



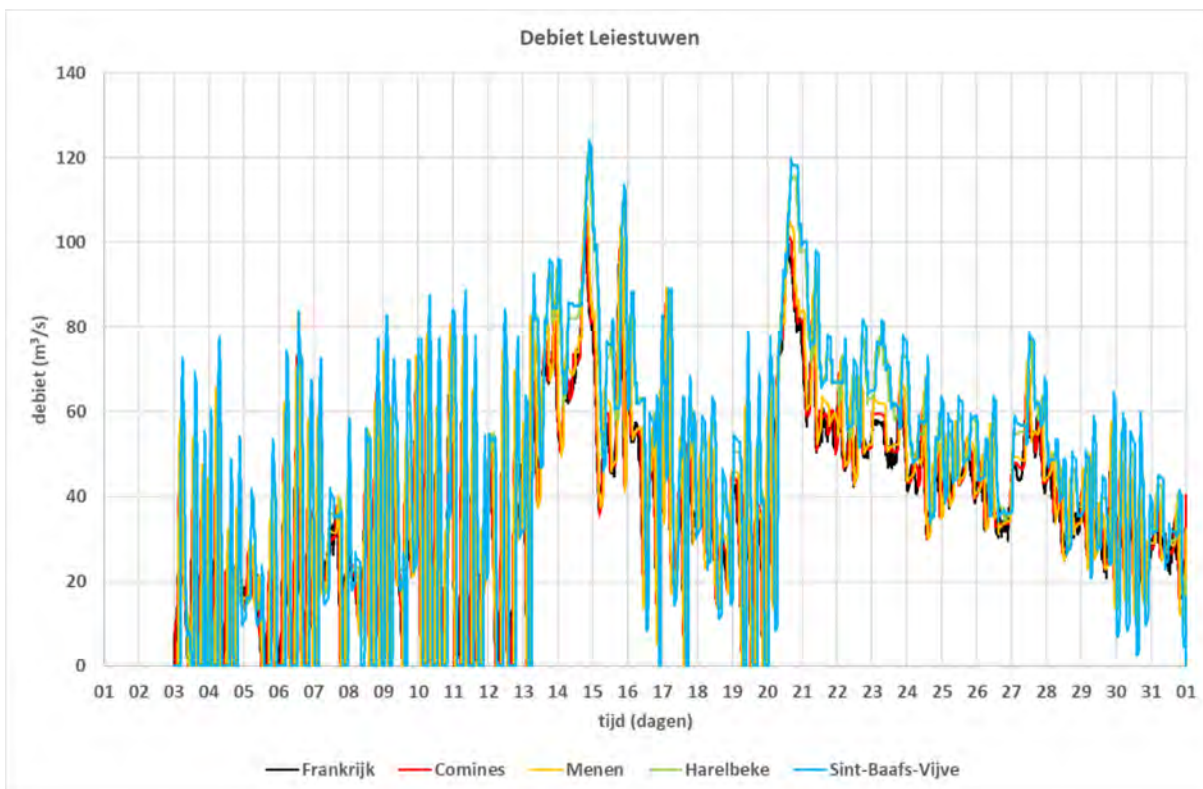
Figuur 71 – November 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



Figuur 72 – December 2019 – met zijlopen – debiet Frankrijk



Figuur 73 – December 2019 – met zijlopen – debiet stuwen



6.2.3 Gevoeligheidsanalyse

Figuren

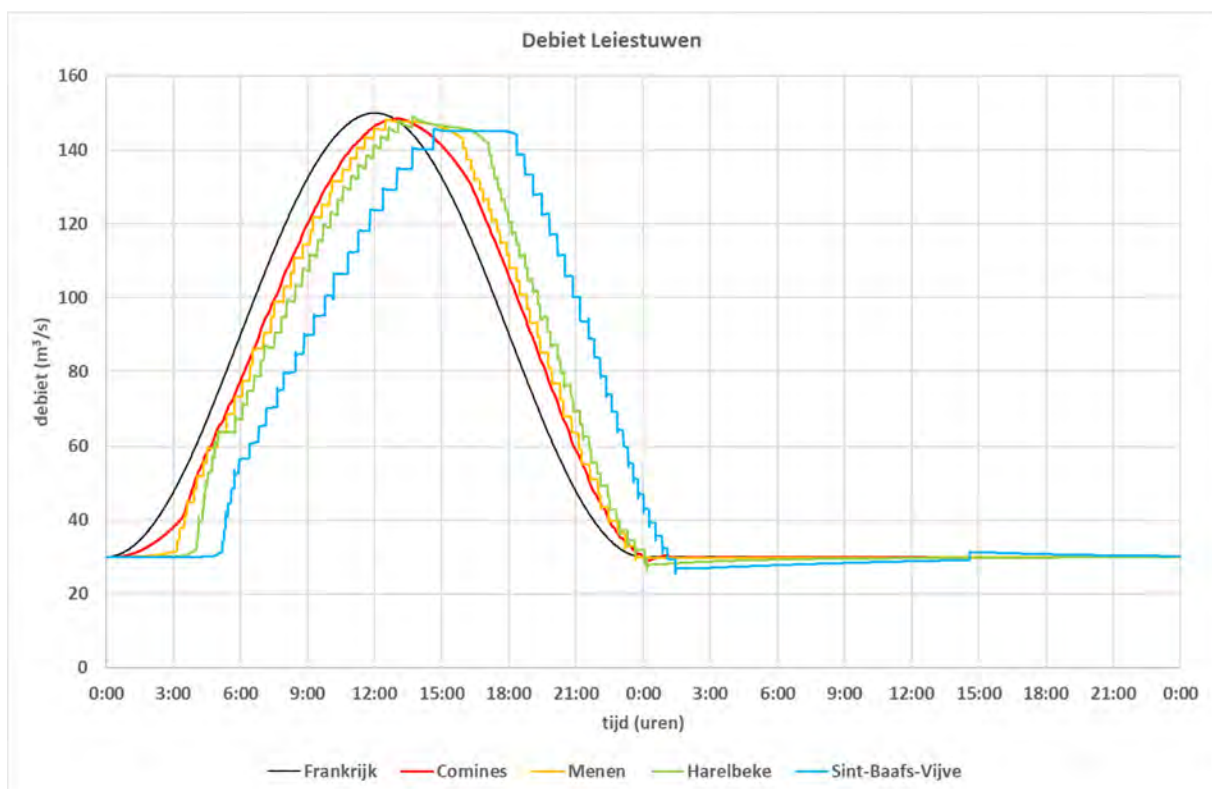
De resultaten van de simulaties met elke parameterset worden weergegeven door middel van een figuur met daarin het verloop van het debiet in Frankrijk (Deûlémont) en ter hoogte van stuwen in Wallonië en Vlaanderen (Comines, Menen, Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve).

Synthetische en historische gebeurtenissen

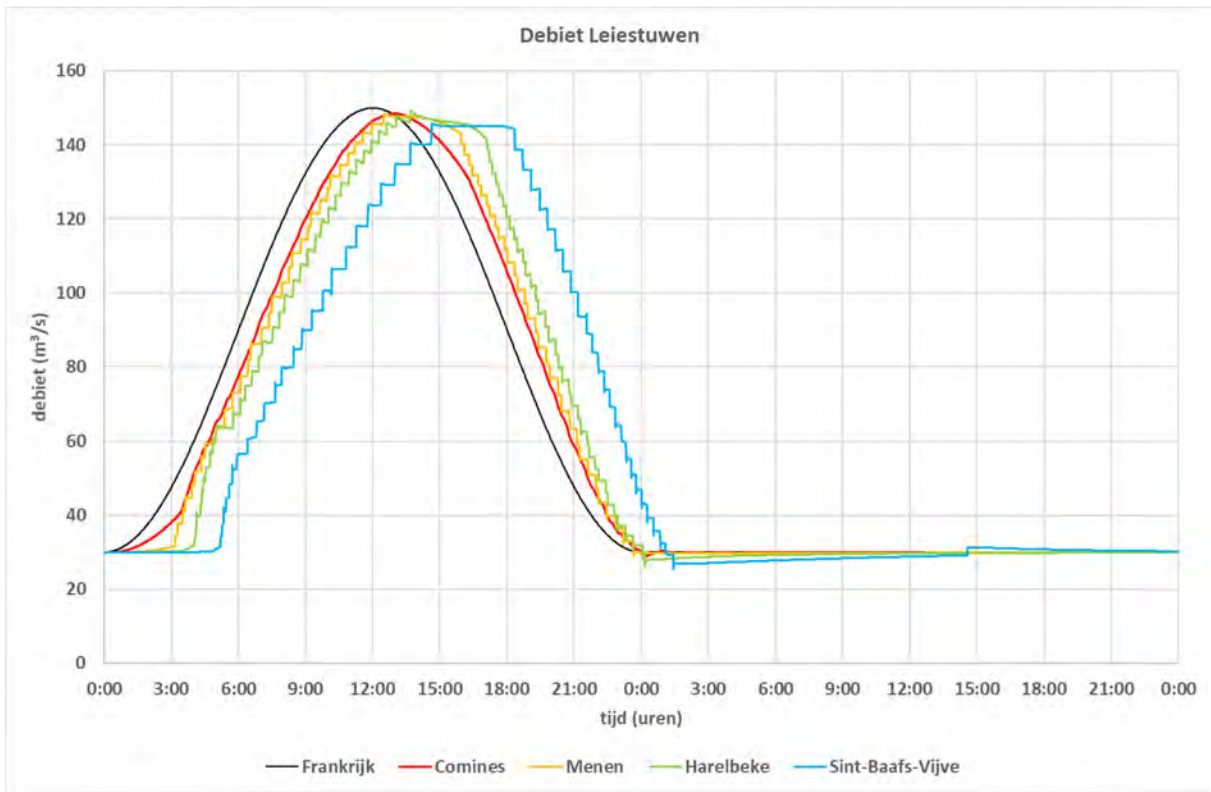
De resultaten worden getoond in Figuur 74 t.e.m. Figuur 80 (synthetisch hydrogram), Figuur 81 t.e.m. Figuur 87 (was van maart 2018) en Figuur 88 t.e.m. Figuur 94 (droogweeperperiode van april 2018).

Alhoewel er kleine verschillen zijn tussen de resultaten bekomen met de verschillende parametersets, blijft het globale gedrag van de stuwenketen ongewijzigd.

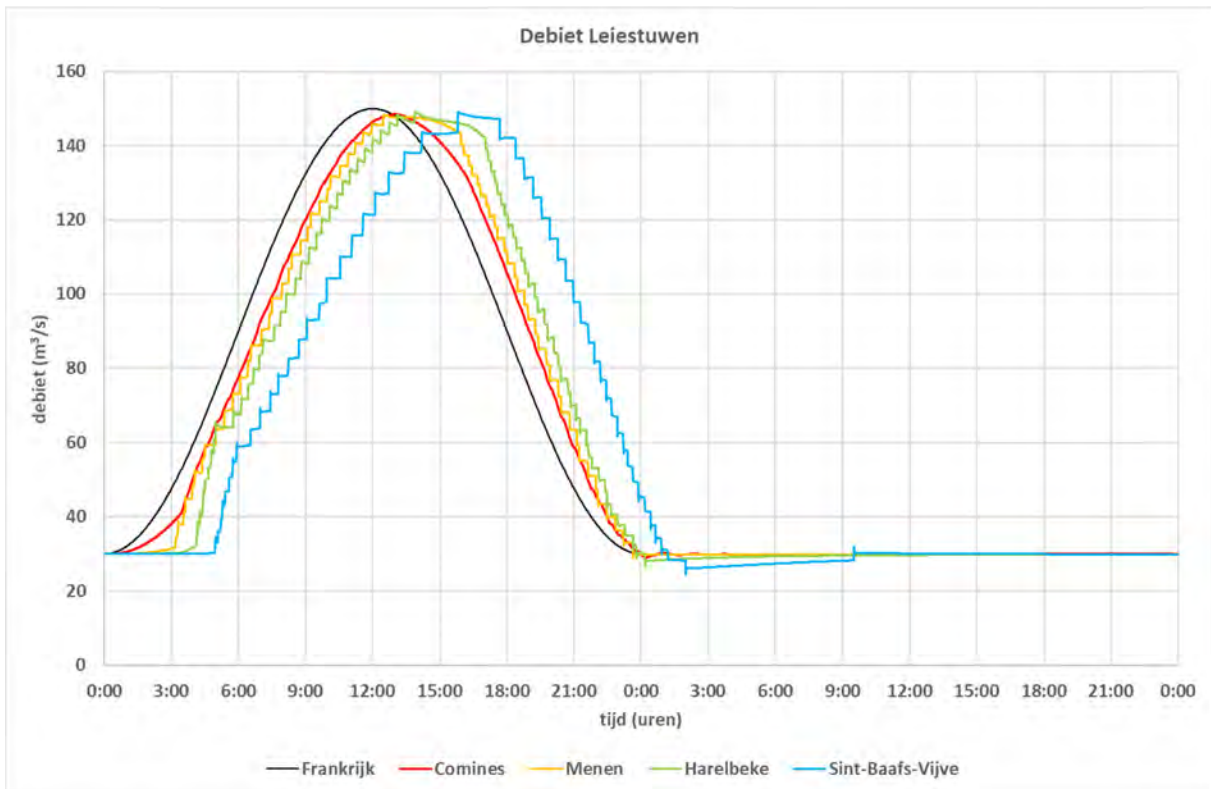
Figuur 74 – Parameterset 0 (referentie) – synthetisch hydrogram



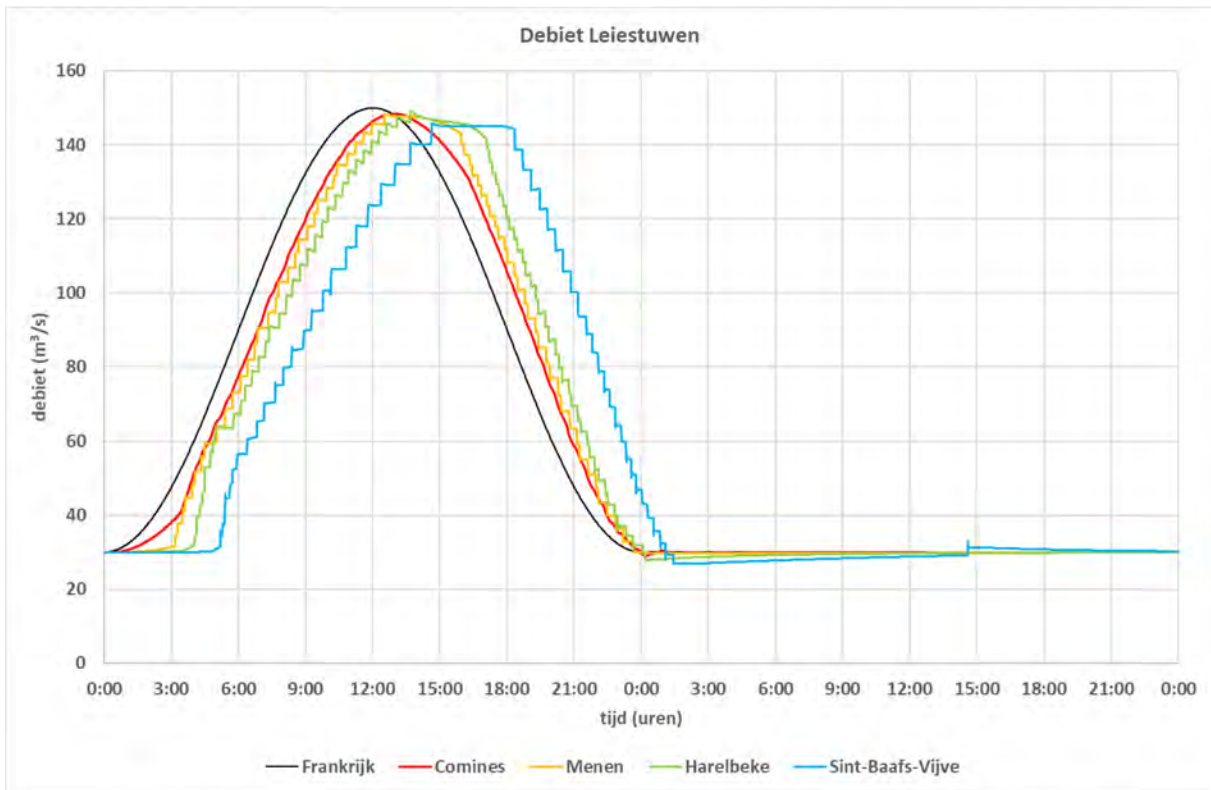
Figuur 75 – Parameterset 1 (met trend) – synthetisch hydrogram



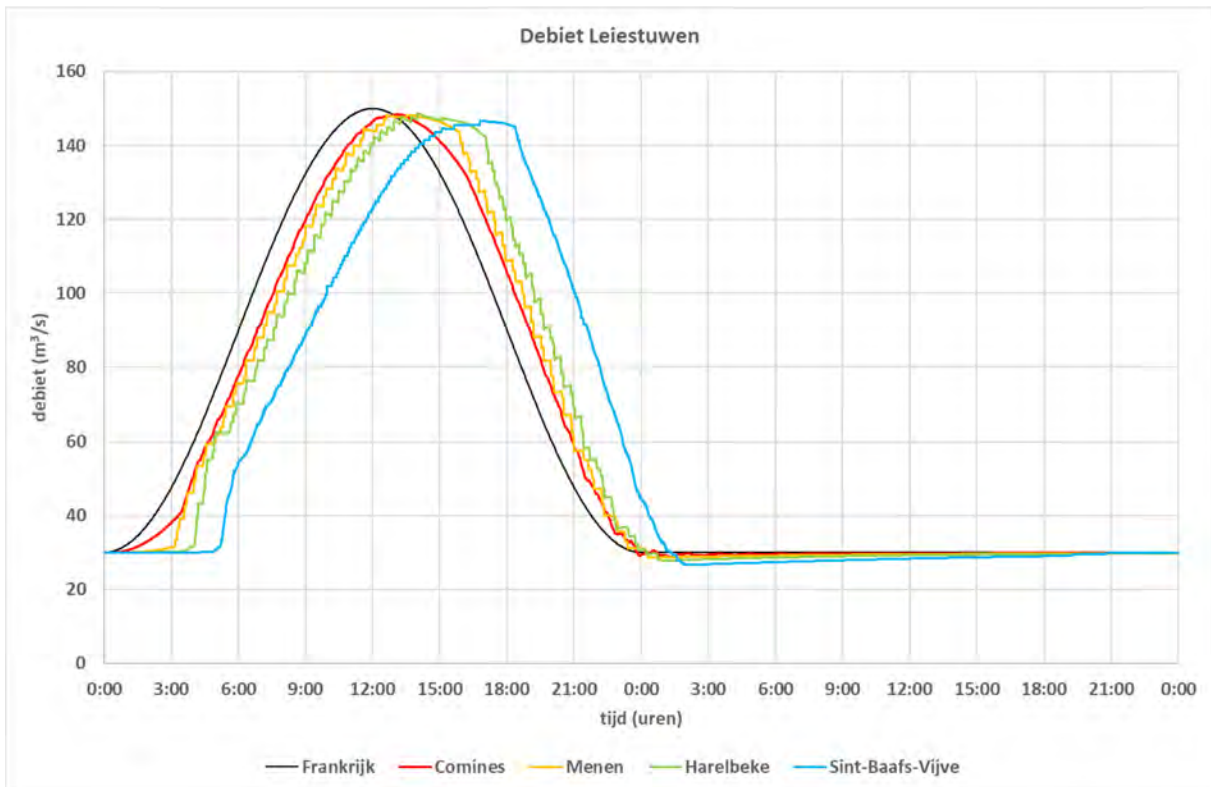
Figuur 76 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) - synthetisch hydrogram



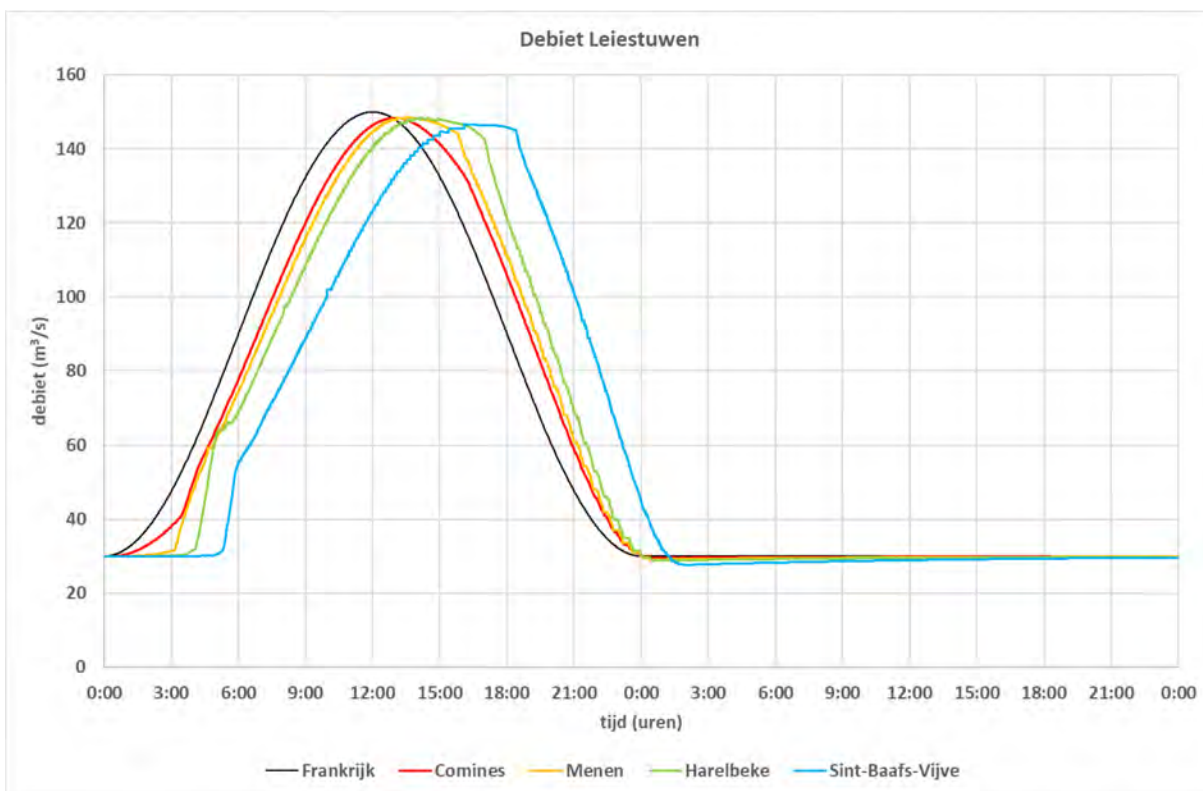
Figuur 77 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) - synthetisch hydrogram



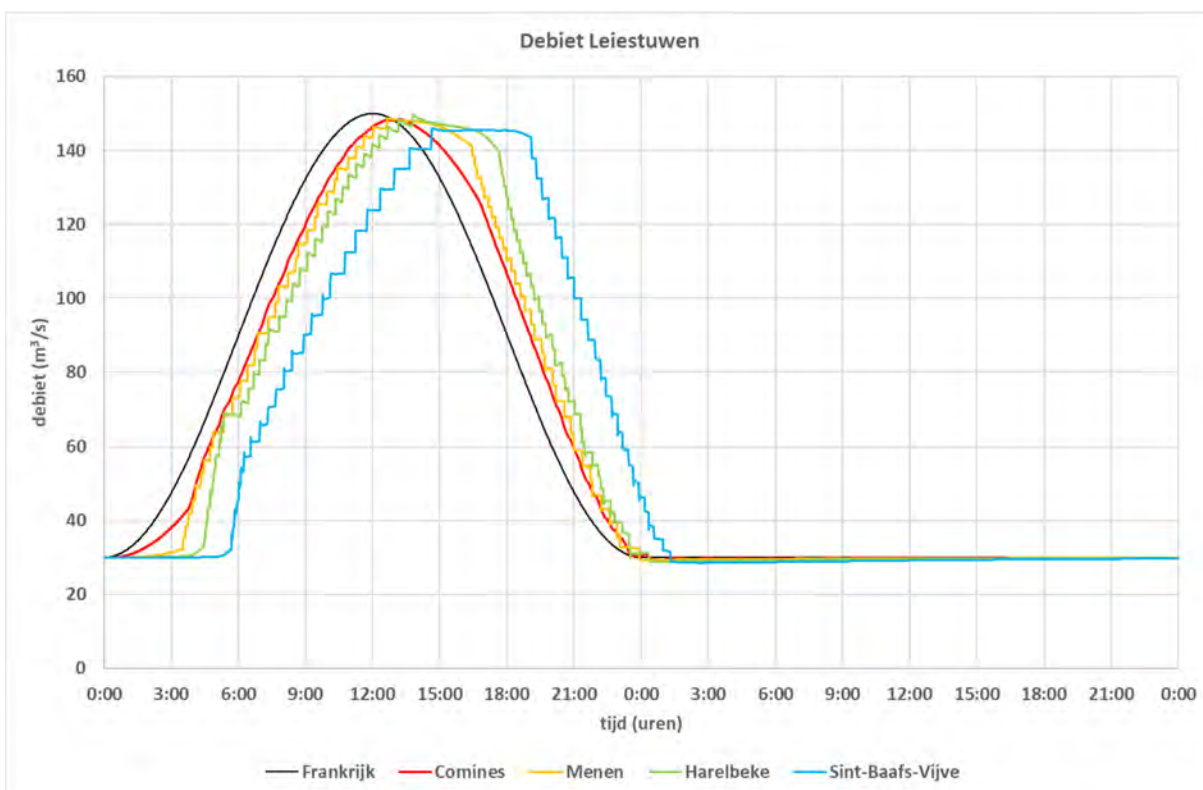
Figuur 78 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) - synthetisch hydrogram



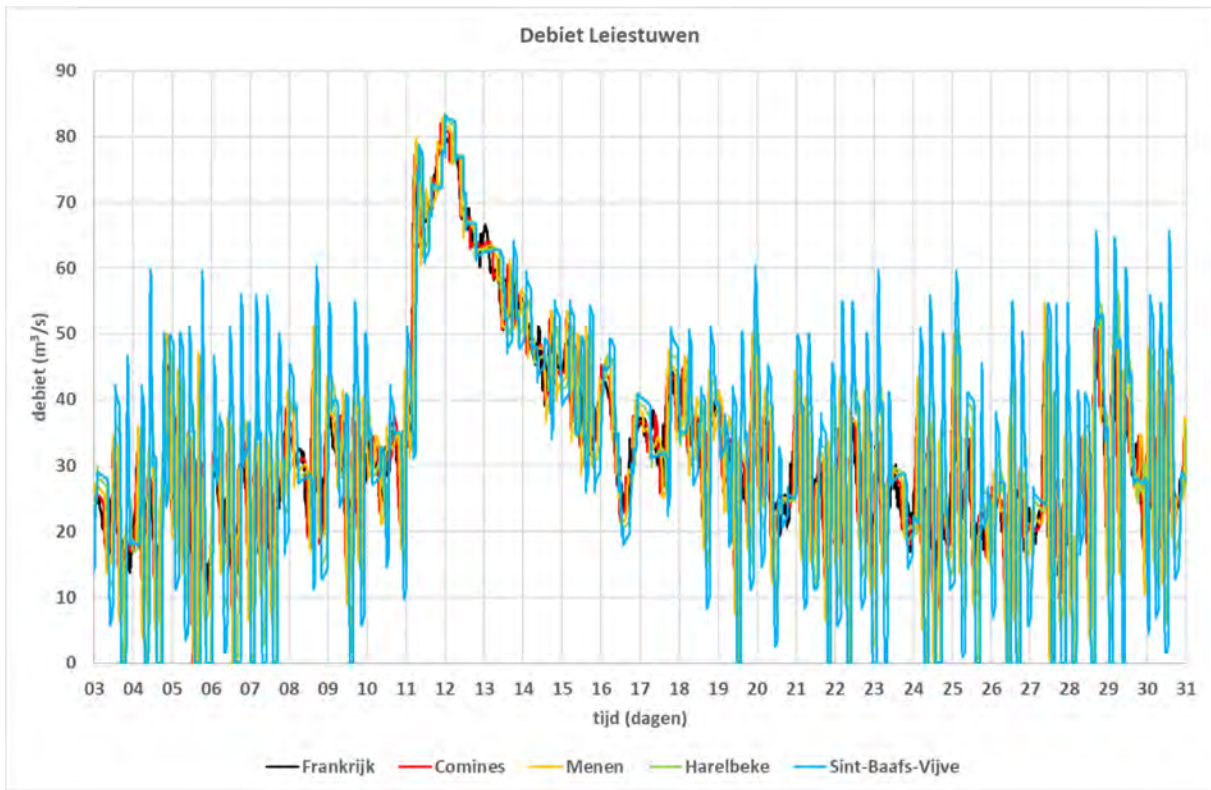
Figuur 79 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) – synthetisch hydrogram



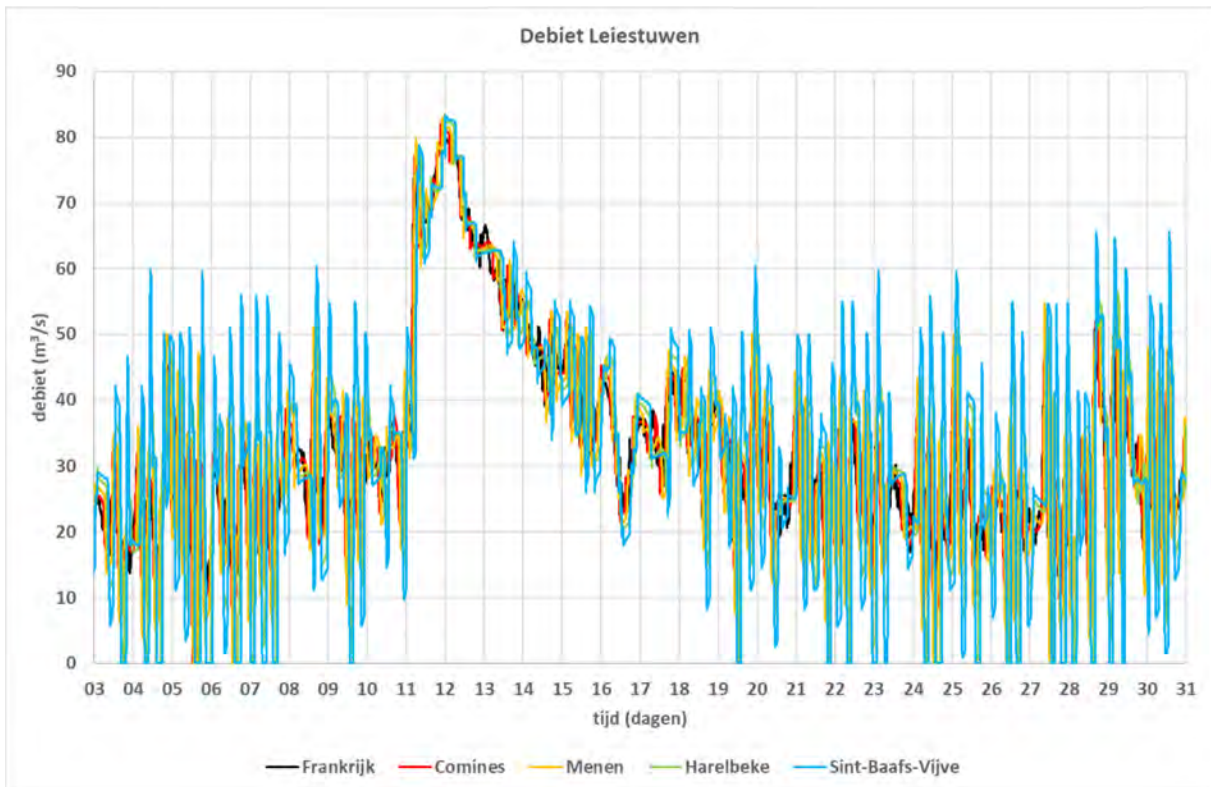
Figuur 80 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) - synthetisch hydrogram



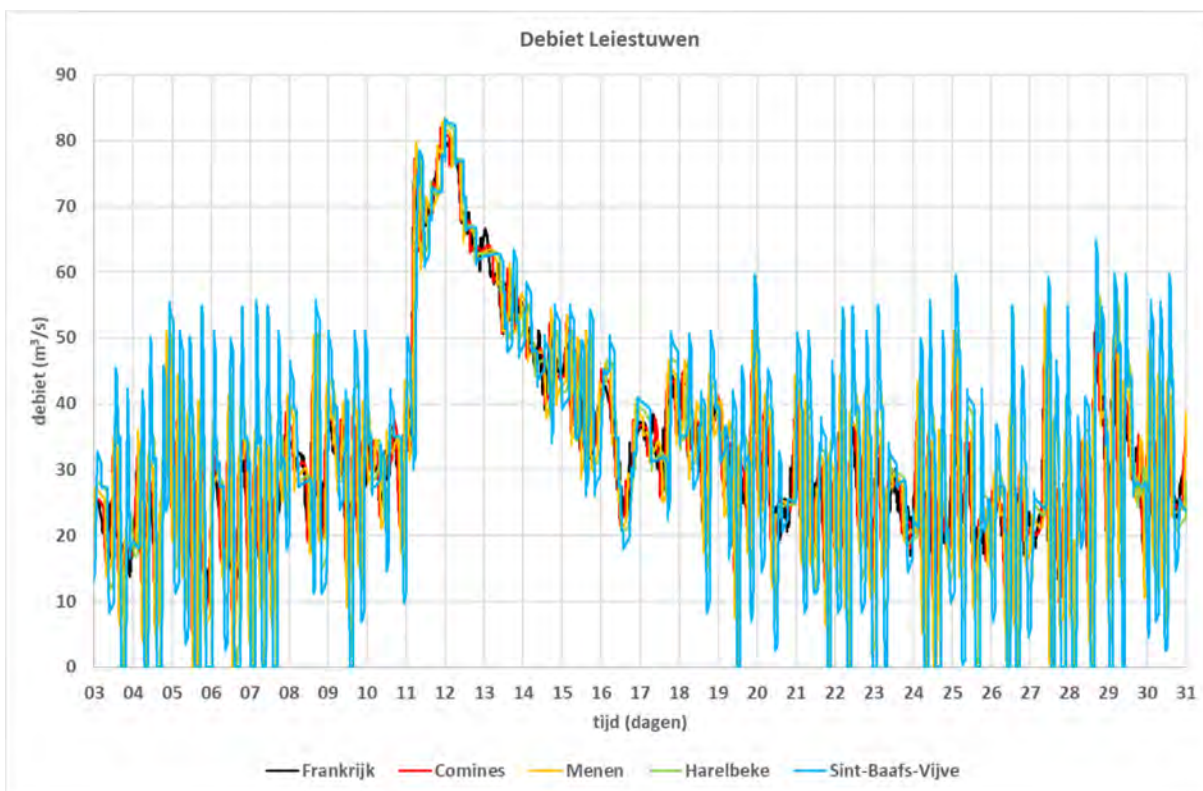
Figuur 81 – Parameterset 0 (referentie) – maart 2018



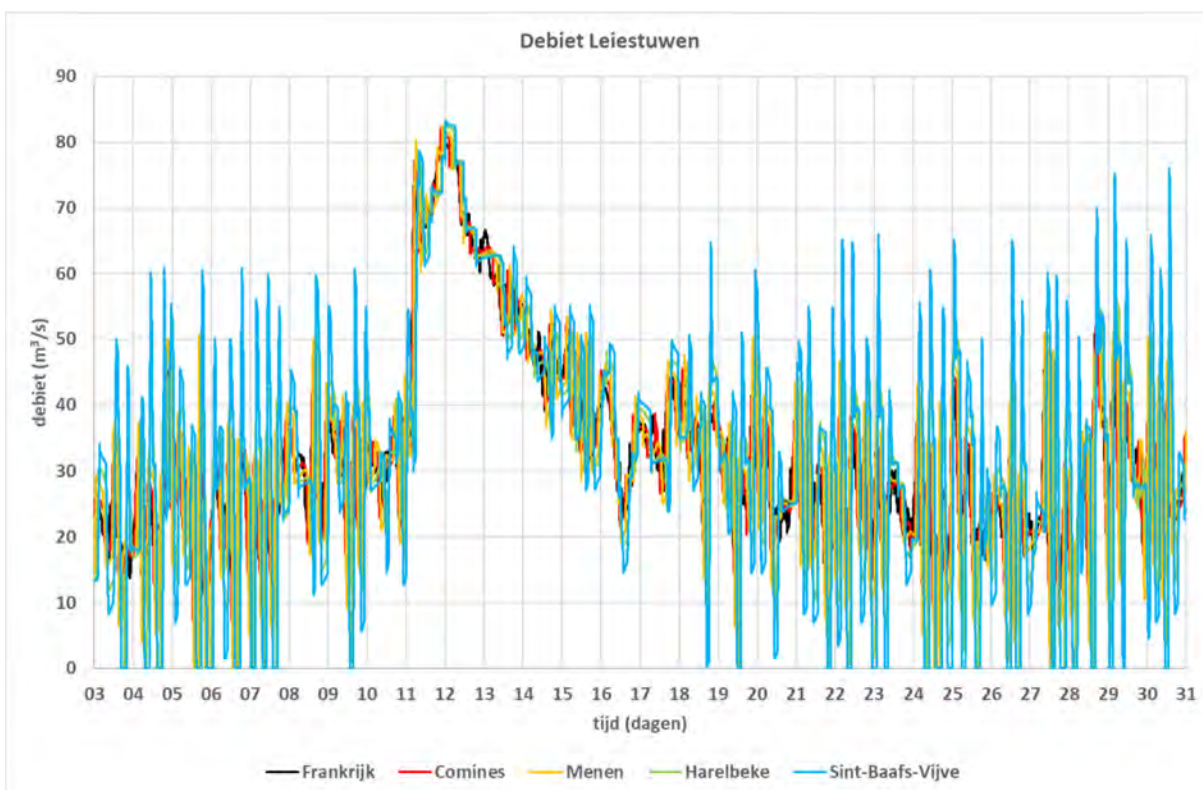
Figuur 82 – Parameterset 1 (met trend) – maart 2018



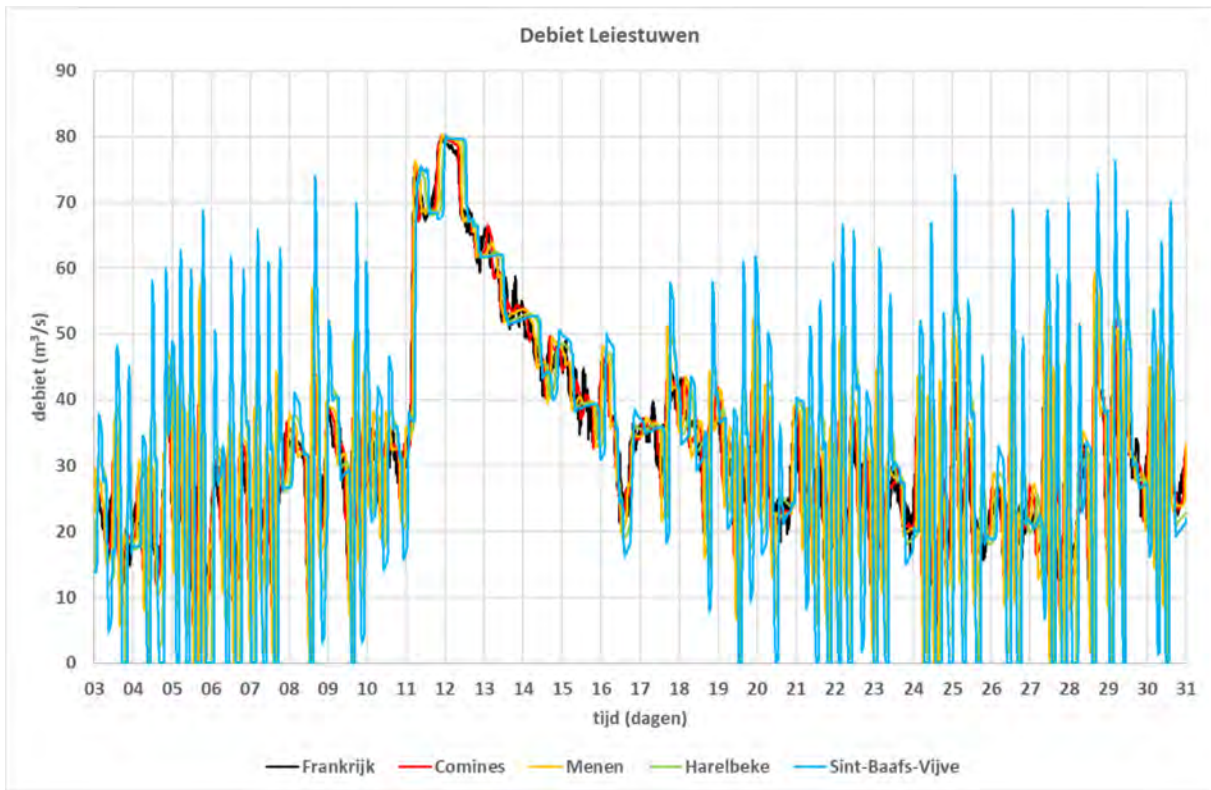
Figuur 83 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) – maart 2018



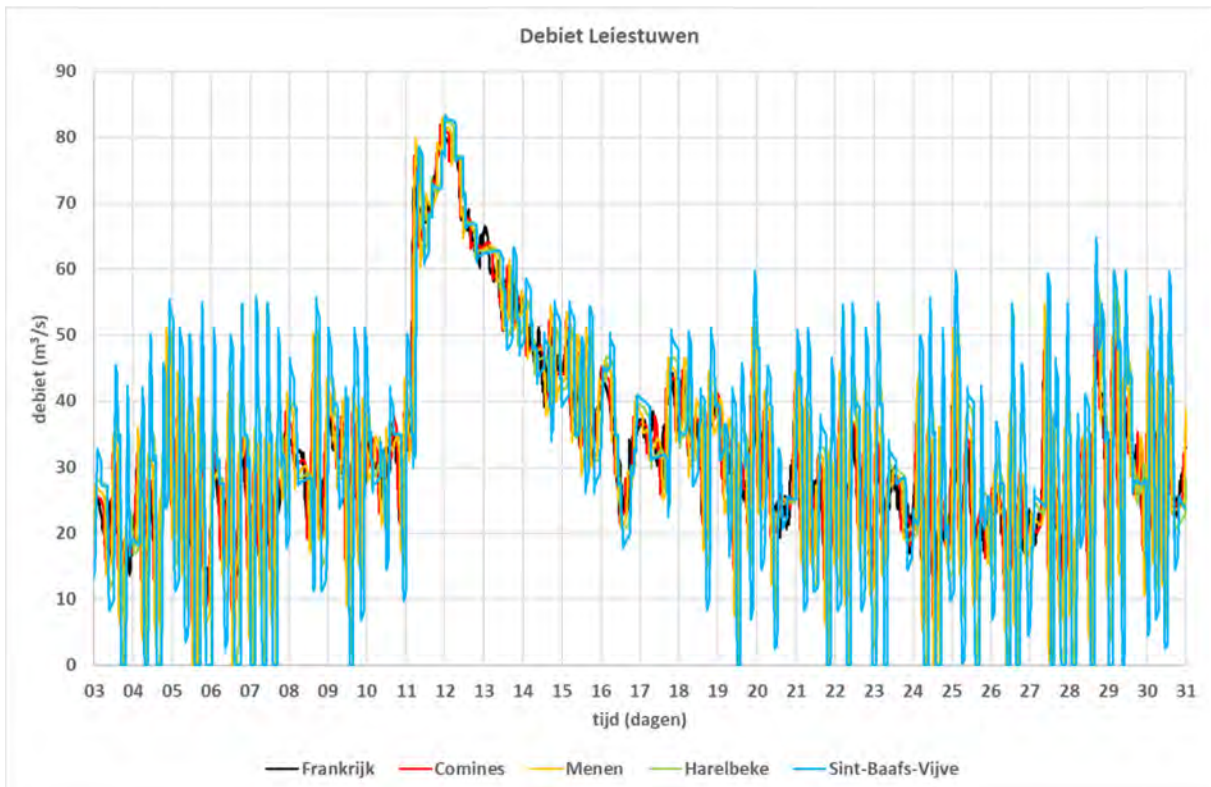
Figuur 84 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) – maart 2018



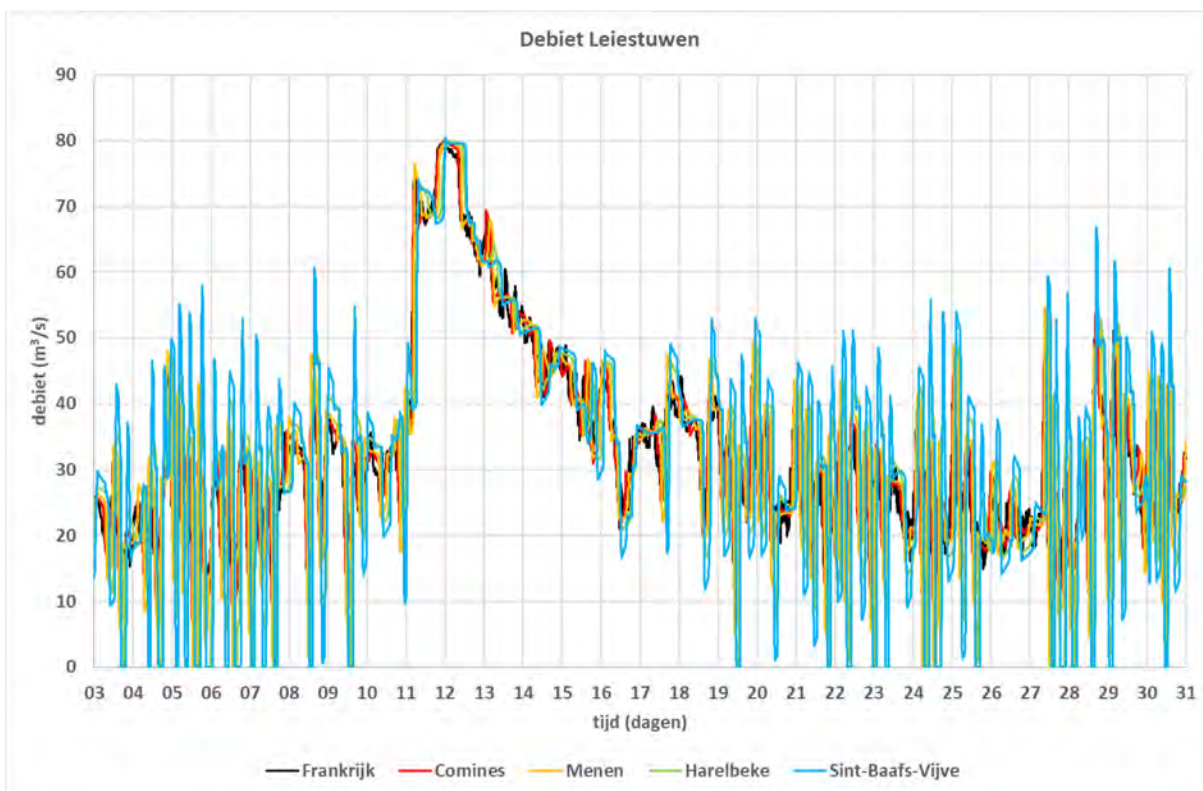
Figuur 85 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) – maart 2018



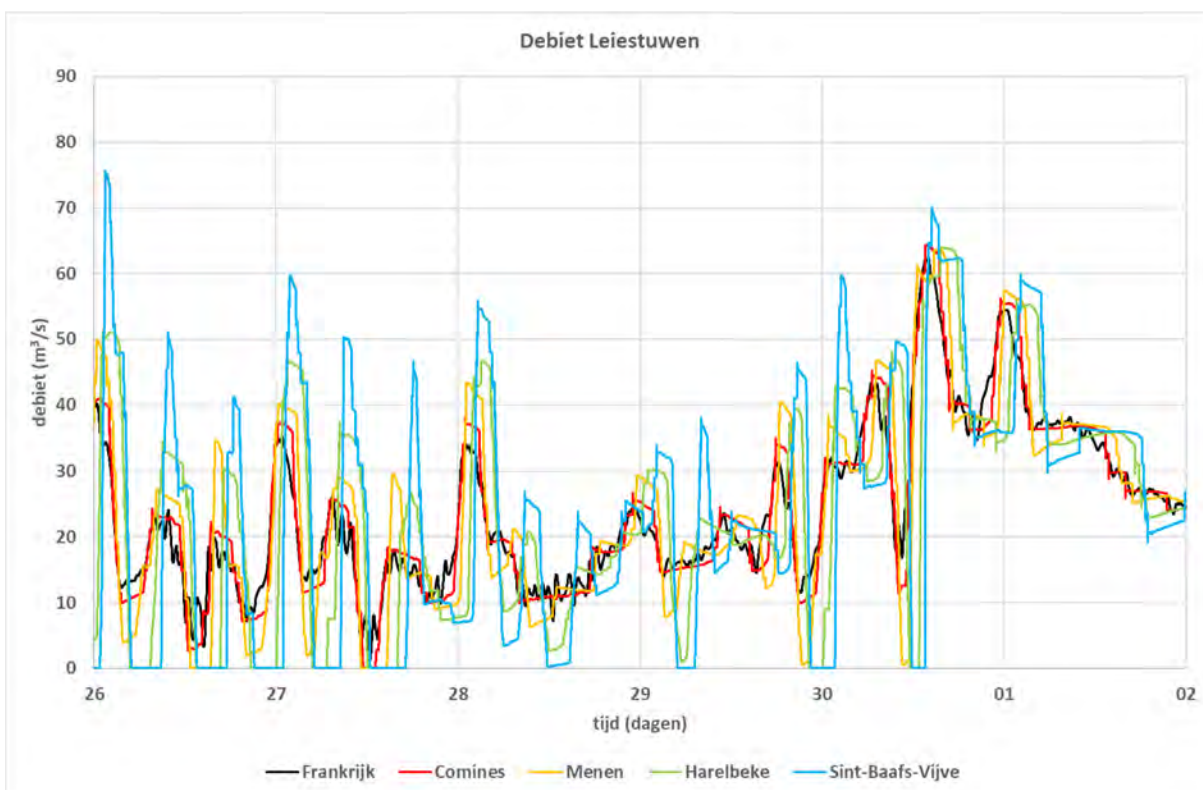
Figuur 86 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) – maart 2018



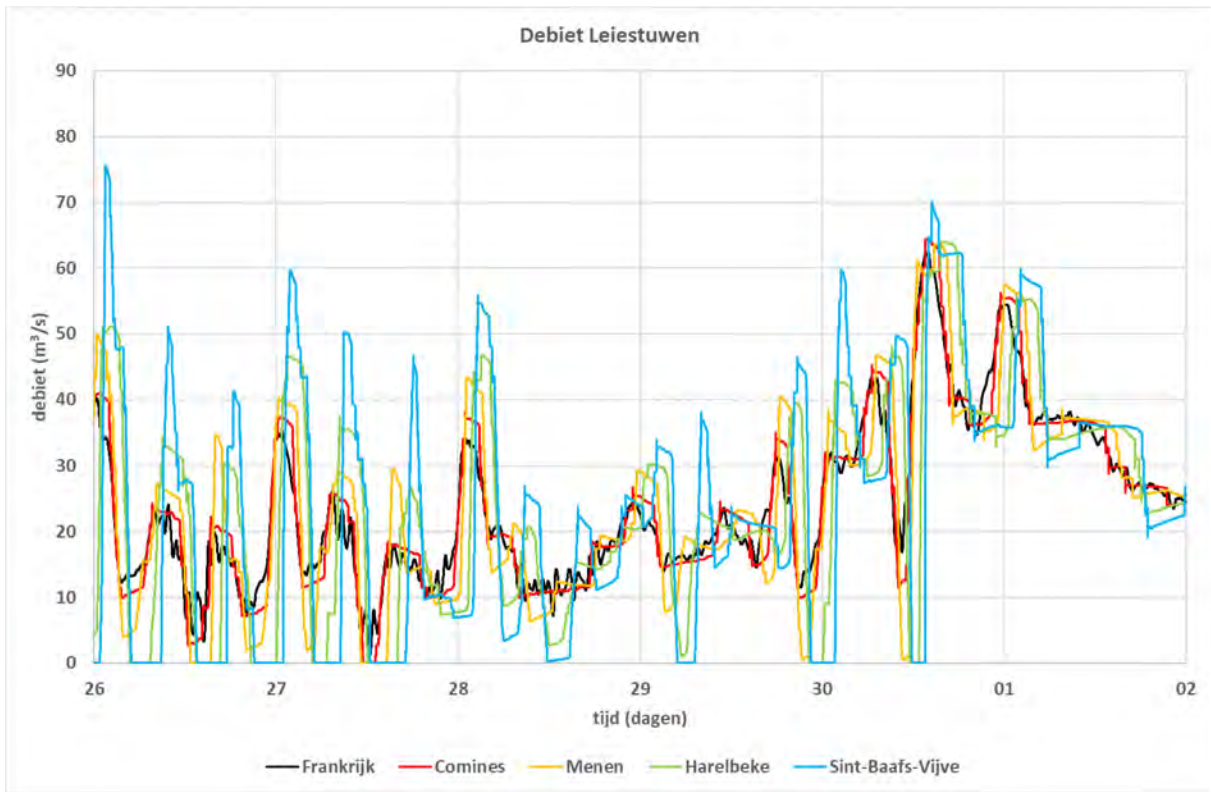
Figuur 87 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) – maart 2018



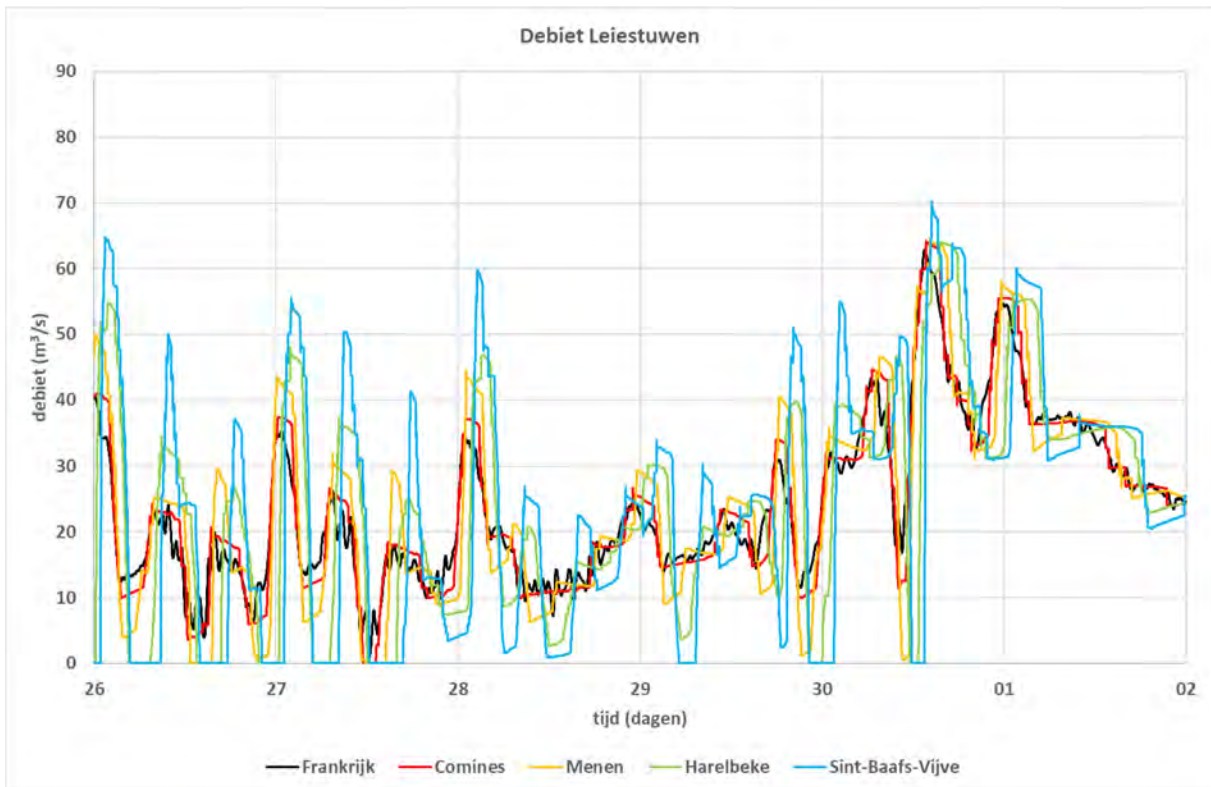
Figuur 88 – Parameterset 0 (referentie) – april 2018



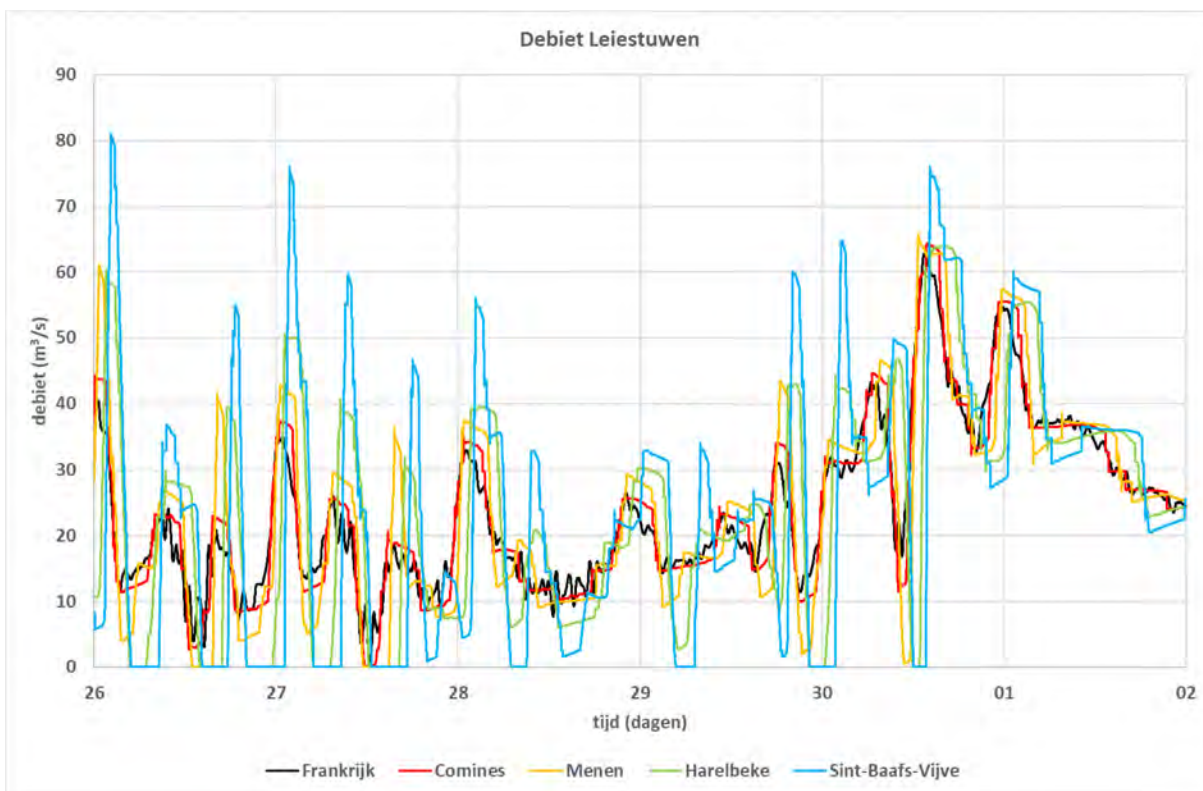
Figuur 89 – Parameterset 1 (met trend) – april 2018



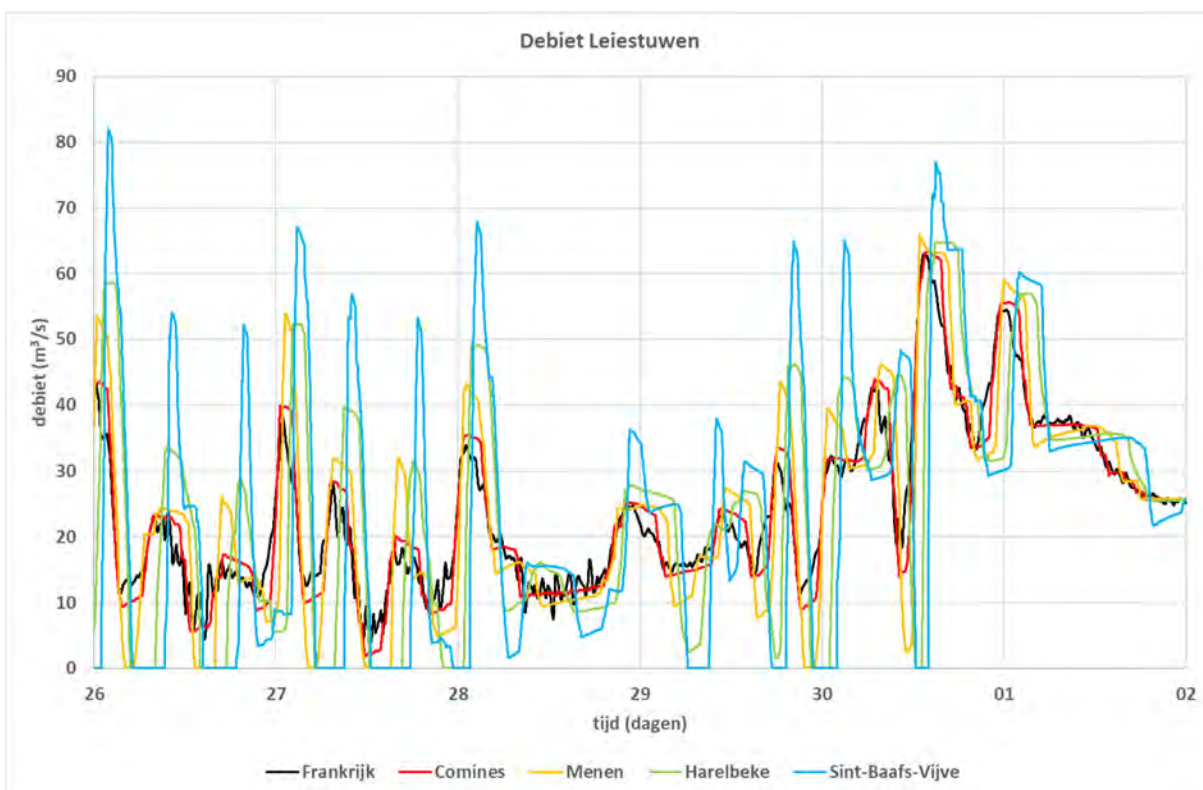
Figuur 90 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) – april 2018



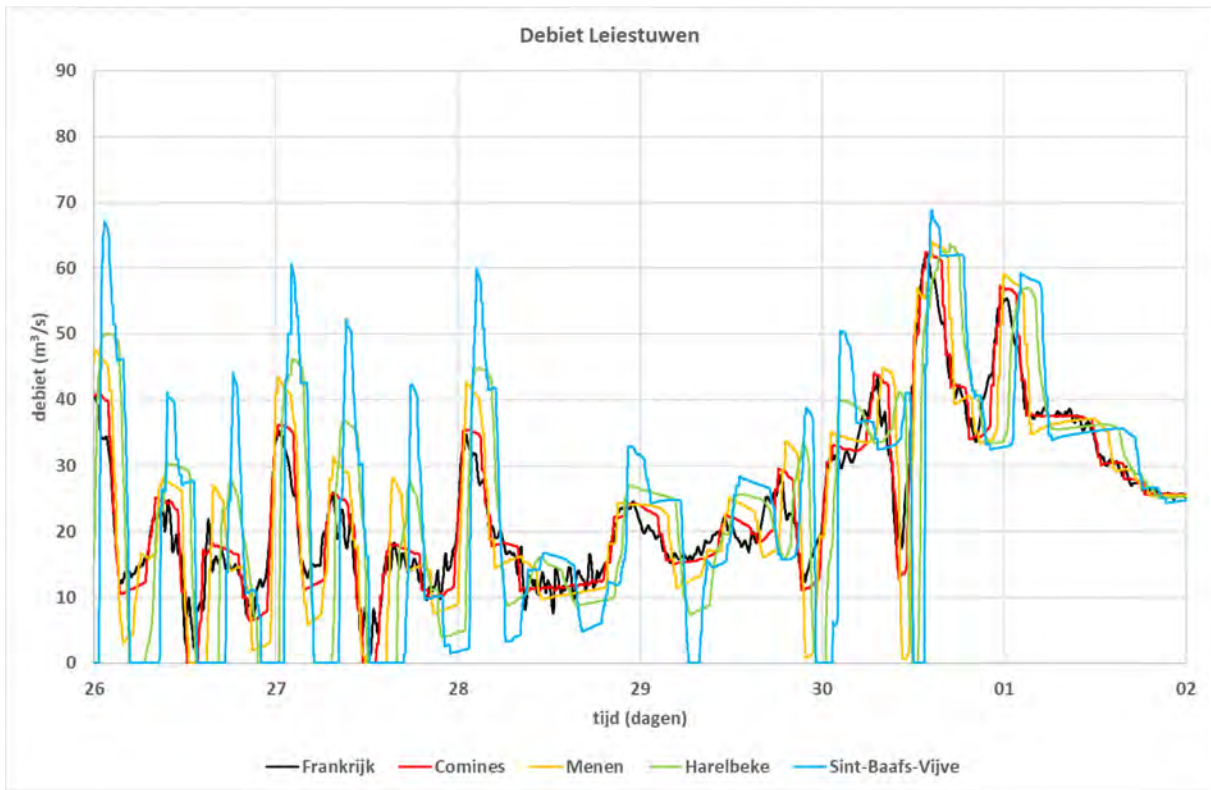
Figuur 91 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) – april 2018



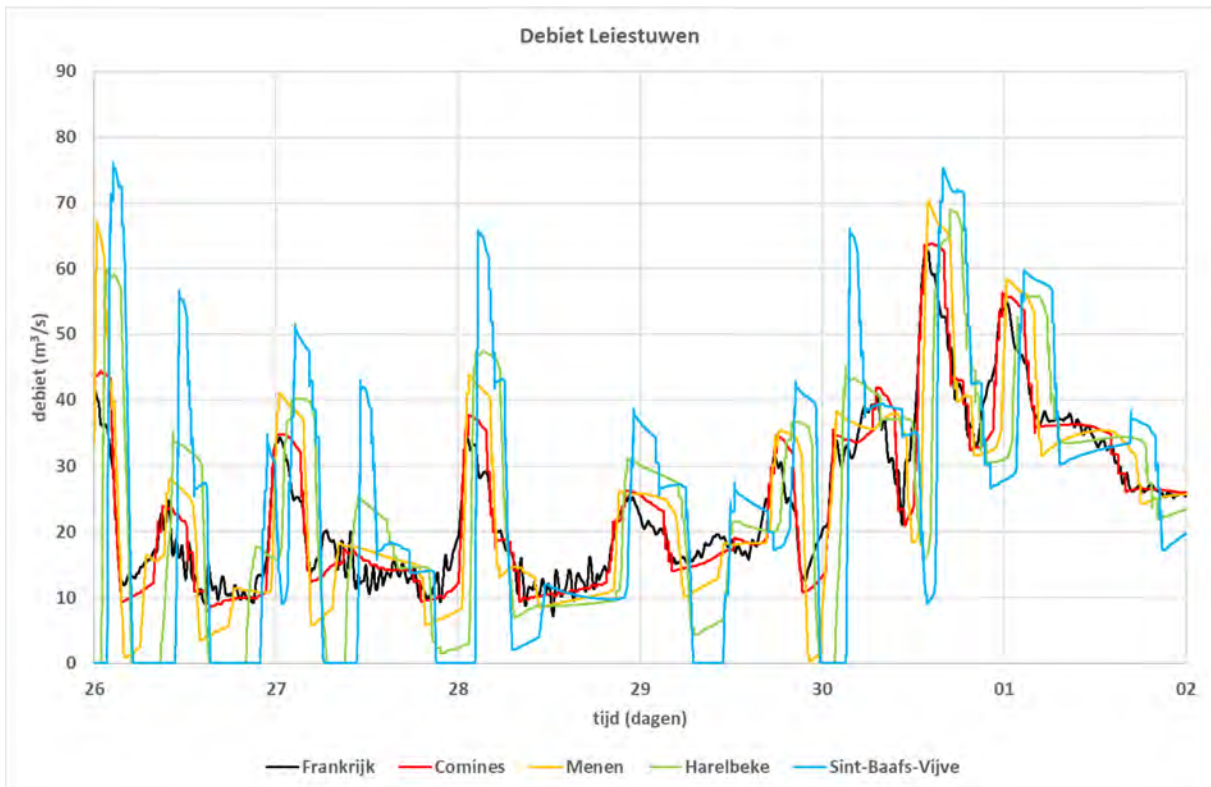
Figuur 92 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) – april 2018



Figuur 93 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) – april 2018



Figuur 94 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) – april 2018



6.3 Conclusies en aanbevelingen

Theoretische beschouwingen op basis van de fysische kenmerken van de verschillende panden van de gekanaliseerde Deûle, Lys en Leie doen vermoeden dat een automatische lokale sturing op waterpeil aanleiding zou kunnen geven tot versterkingen van debietschommelingen bij afvoeren minder dan 30 à 70 m³/s. Controleberekeningen met synthetische en historische gebeurtenissen bevestigen dit vermoeden.

De versterking van de debietsafname op het einde van een was kan ertoe leiden dat de meest afwaarts gelegen stuwen tijdelijk sluiten. Deze sluiting zou een negatieve impact kunnen hebben op de werking van de vispassages.

Een controleberekening voor de eerder bestudeerde droogweerperiode van april 2018 bevestigt het vermoeden dat de huidige sturing van de stuw van Comines niet optimaal is. Deze berekening suggereert echter ook dat een optimalisatie van deze sturing slechts tot een beperkte verbetering van de situatie in Vlaanderen zal leiden, omdat de stuwen in Vlaanderen dan op hun beurt een versterking van de afvoergolven uit Frankrijk en Wallonië zouden kunnen veroorzaken.

Kleine debietschommelingen op de Lys en vooral op de Deûle in Frankrijk zouden aanleiding kunnen geven tot het ontstaan van grote debietschommelingen op de Leie in Vlaanderen en het tijdelijk sluiten van een aantal stuwen in Vlaanderen. De laterale instroming vanuit de zijlopen van de Leie volstaat niet om dit te voorkomen. Indien het niet mogelijk zou blijken om de versterking van de schommelingen in Wallonië en Vlaanderen te voorkomen, dan dient men het ontstaan van deze schommelingen in Frankrijk te beperken.

De parameters van het onderzochte sturingsalgoritme blijken slechts een beperkte invloed te hebben op de werking van de volledige stuwenketen. De ongewenste versterking van een toename of afname van het debiet bij lage afvoeren blijft optreden bij verschillende combinaties van sturingsparameters.

In een laatste stap dient de interactie tussen de stuwen en de vispassages onderzocht te worden. Daarbij dient gecontroleerd te worden welk effect de versterking van debietschommelingen heeft op de werking van vispassages uitgerust met een toegevoegd debiet. Indien zou blijken dat het voorgestelde sturingsalgoritme een ongewenste impact heeft op de werking van de vispassages, dan moeten alternatieve sturingsalgoritmen onderzocht worden.

7 Interactie

7.1 Methodologie

7.1.1 Modelvariant

De interactie tussen de bestaande stuwen en de nieuwe vispassages en turbines langsheen de Leie werd bestudeerd met het model dat eerder gebruikt werd voor de studie van de stuwen. In dit model werden de vispassages (en het toegevoegd debiet), de turbines en de lekverliezen en schutverliezen van de sluisen opnieuw geactiveerd.

7.1.2 Scenario's

De vispassages werden overgenomen uit scenario S4, beschreven in paragraaf 5.1.2. Dit scenario maakt gebruik van een nevengeul in Comines en een vertical slot passage (met toegevoegd debiet) in Menen. Het voorziet ook in de plaatsing van bijkomende turbines in Menen en Sint-Baafs-Vijve.

7.1.3 Sturing

Alle vispassages openen op basis van het debiet over de stuwen en sluiten op basis van het waterpeil opwaarts van de stuwen.

Voor de stuwen werd de sturing met basisparameters (beschreven in paragraaf 6.1.3) gebruikt.

7.1.4 Analyse

De analyse focust op de interactie tussen de verschillende kunstwerken (stuwen, turbines, vispassage en toegevoegd debiet) op een specifieke site. Eerst wordt gecontroleerd of de versterking van kleine afvoergolven in een stuwenketen een negatieve impact zou kunnen hebben op de werking van de vispassages en turbines naast die stuwen. Daarna wordt gecontroleerd of de aanwezigheid van de andere kunstwerken naast de stuwen (turbines, vispassage en toegevoegd debiet) een positieve of een negatieve invloed heeft op de versterking van kleine afvoergolven.

De analyses werden uitgevoerd aan de hand van synthetische en historische gebeurtenissen.

De synthetische gebeurtenissen zijn de sinusoidale hydrogrammen met variabele duur, zoals beschreven in paragraaf 6.1.5. Deze synthetische hydrogrammen houden geen rekening met zijdelingse instroming langsheen de Leie.

De historische gebeurtenissen omvatten de was van maart 2018, de droogweelperiode van april 2018 en het volledige jaar 2019. Het jaar 2019 werd opnieuw opgesplitst in 12 deelperioden van 1 maand, waarbij de eerste 2 dagen van elke maand gebruikt werden als initialisatieperiode.

7.2 Resultaten

7.2.1 Figuren

De resultaten worden gevisualiseerd in twee reeksen figuren.

Elke figuur van de eerste reeks geeft het gedrag van de kunstwerken op een bepaalde site weer aan de hand van: (1) het waterpeil opwaarts van de stuw, (2) de stand van de stuwklep, (3) de stand van het segment of de hefdeur, (4) het debiet over de stuw, (5) het debiet door de eerste turbine, (6) het debiet door de tweede turbine, (7) het toegevoegd debiet en (8) het debiet doorheen de vispassage.

Elke figuur van de tweede reeks toont de impact van de bijkomende kunstwerken (turbines, vispassage en toegevoegd debiet) op een bepaalde site op de werking van de stuwen op die site aan de hand van (1) het debiet doorheen een stuw in afwezigheid van andere kunstwerken (= grafiek 'stuw - zonder interactie'), en (2) het debiet doorheen een stuw in aanwezigheid van andere kunstwerken (= grafiek 'stuw - met interactie'). De eerste grafiek werd overgenomen uit de studie van de stuwen (hoofdstuk 6), de tweede grafiek werd berekend tijdens de studie van de interactie (hoofdstuk 7).

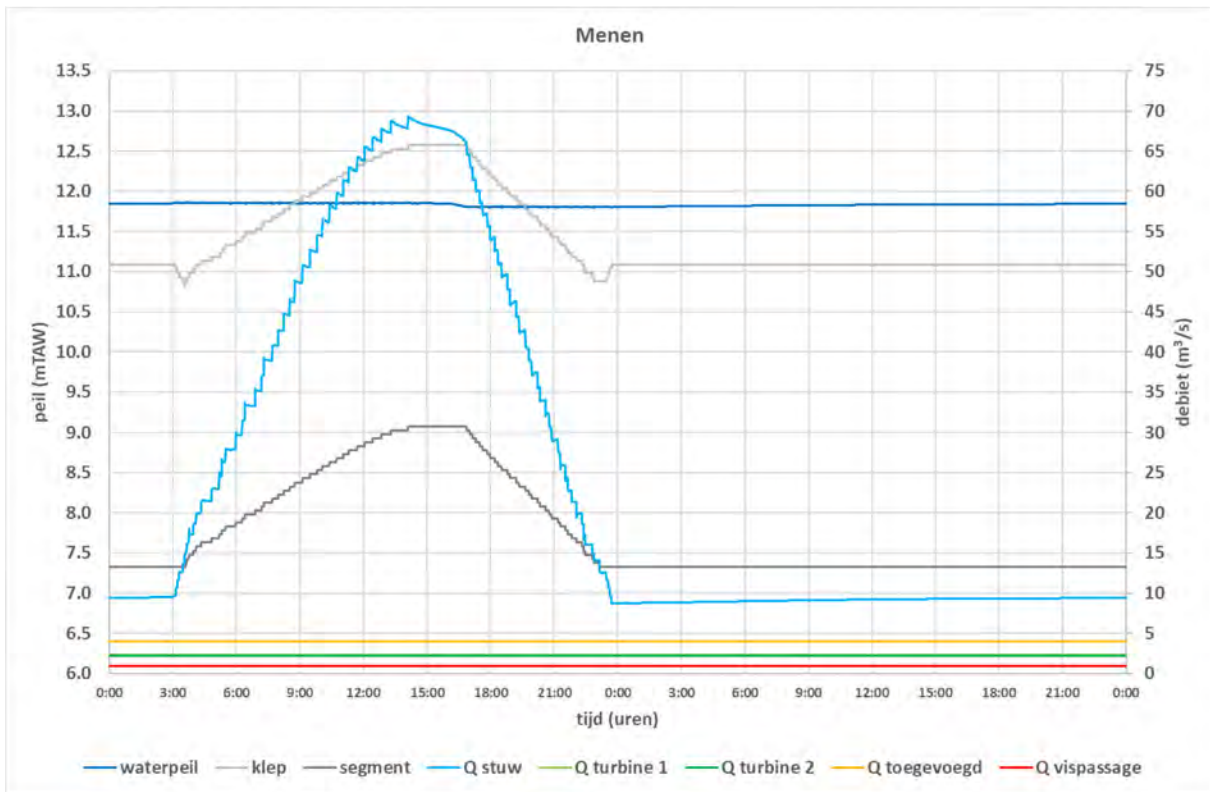
7.2.2 Synthetische gebeurtenissen

De resultaten van de analyses met synthetische gebeurtenissen worden getoond in Figuur 95 t.e.m. Figuur 106 (eerste reeks) en Figuur 107 t.e.m. Figuur 118 (tweede reeks).

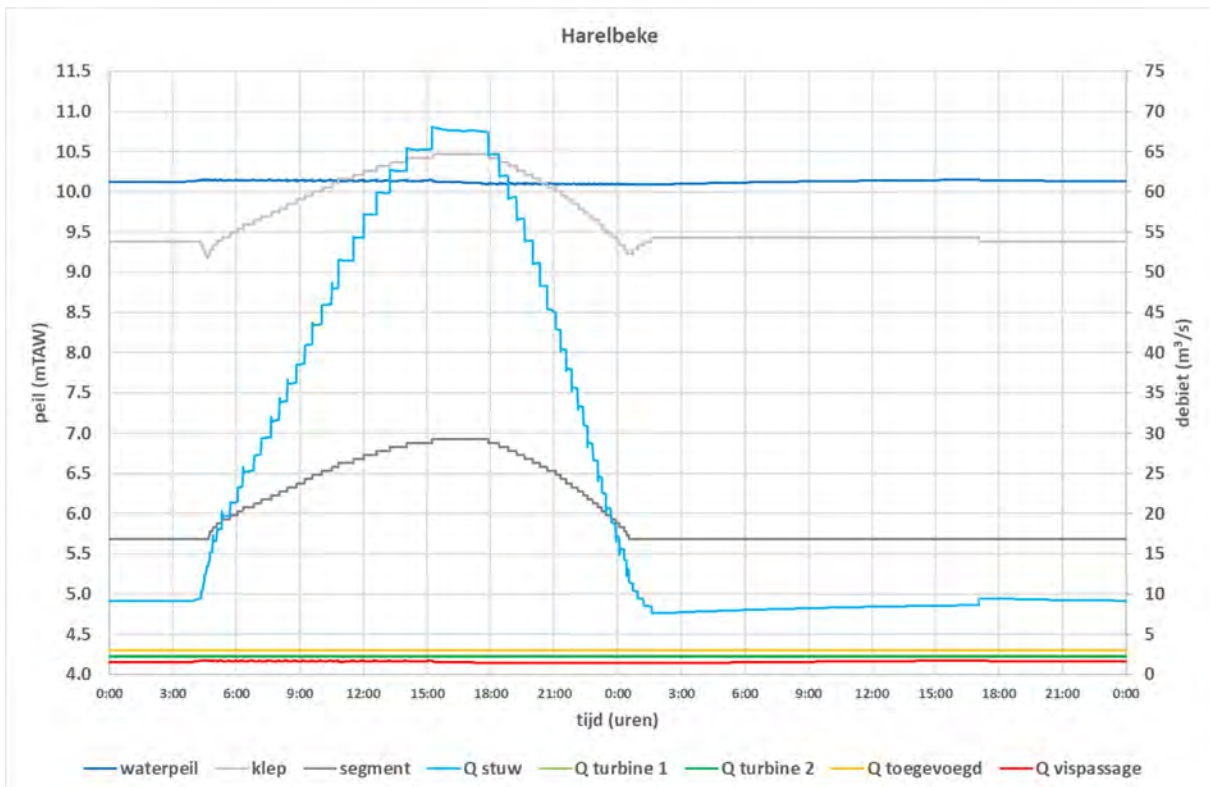
Uit de eerste reeks figuren blijkt dat de klep van de stuw van Sint-Baafs-Vijve soms volledig opgetrokken wordt (m.a.w. geen overstortdebiet). Dit leidt tot het uitschakelen van het toegevoegd debiet, maar de vispassage zelf en de turbines blijven wel open.

De tweede reeks figuren toont aan dat de inzet van de bijkomende kunstwerken op een bepaalde site logischerwijze vooral leidt tot een afname van het debiet dat over de stuw gaat, zowel bij lage als bij middelhoge afvoeren. Hierdoor neemt de kans op het volledig optrekken van de klep van de stuw van Sint-Baafs-Vijve toe (zie Figuur 115 en Figuur 118), maar dat hoeft op zich geen probleem te vormen. Het beschikbare debiet wordt in deze situaties juist optimaal ingezet voor vismigratie en energiewinning (zie Figuur 103 en Figuur 106). De helling van de stijgende flank van de hydrogrammen in Menen en Harelbeke is afgenomen. De aanwezigheid van de andere kunstwerken lijkt de versterking van afvoergolven te kunnen afremmen. In Sint-Baafs-Vijve is dat niet het geval.

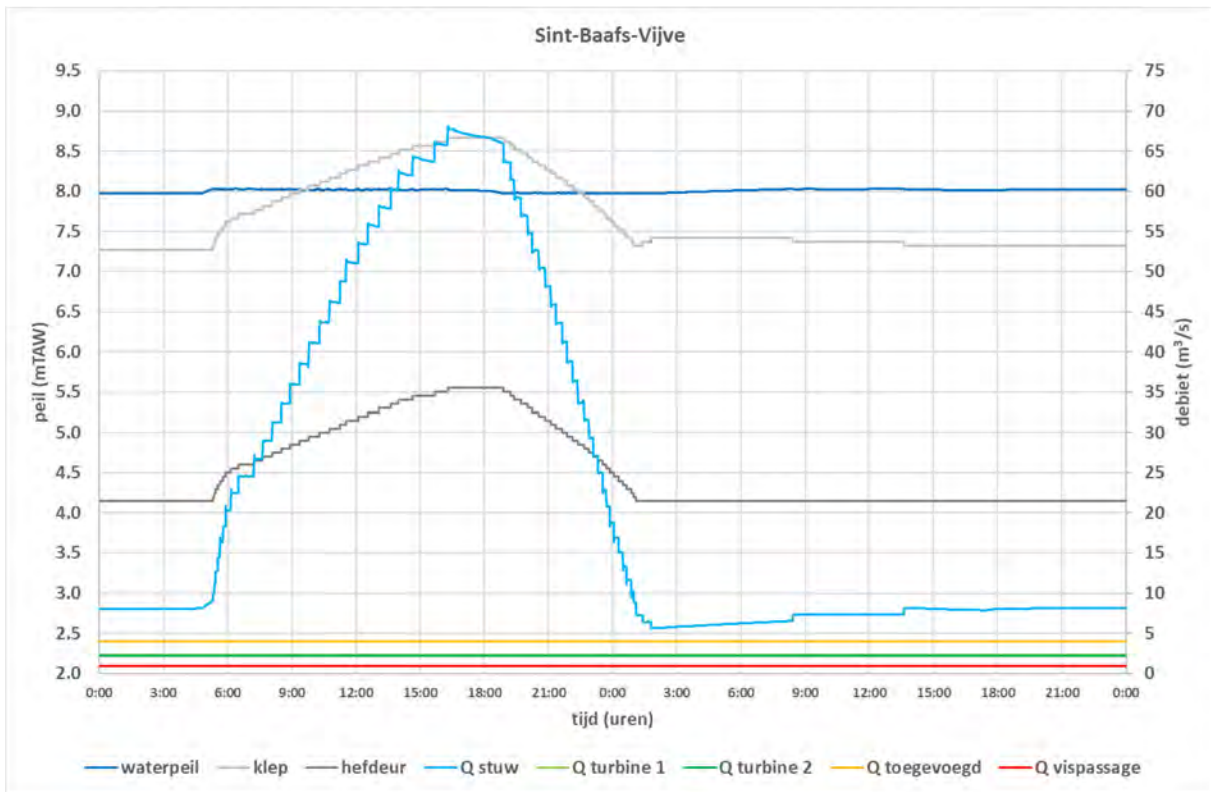
Figuur 95 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Menen (reeks 1)



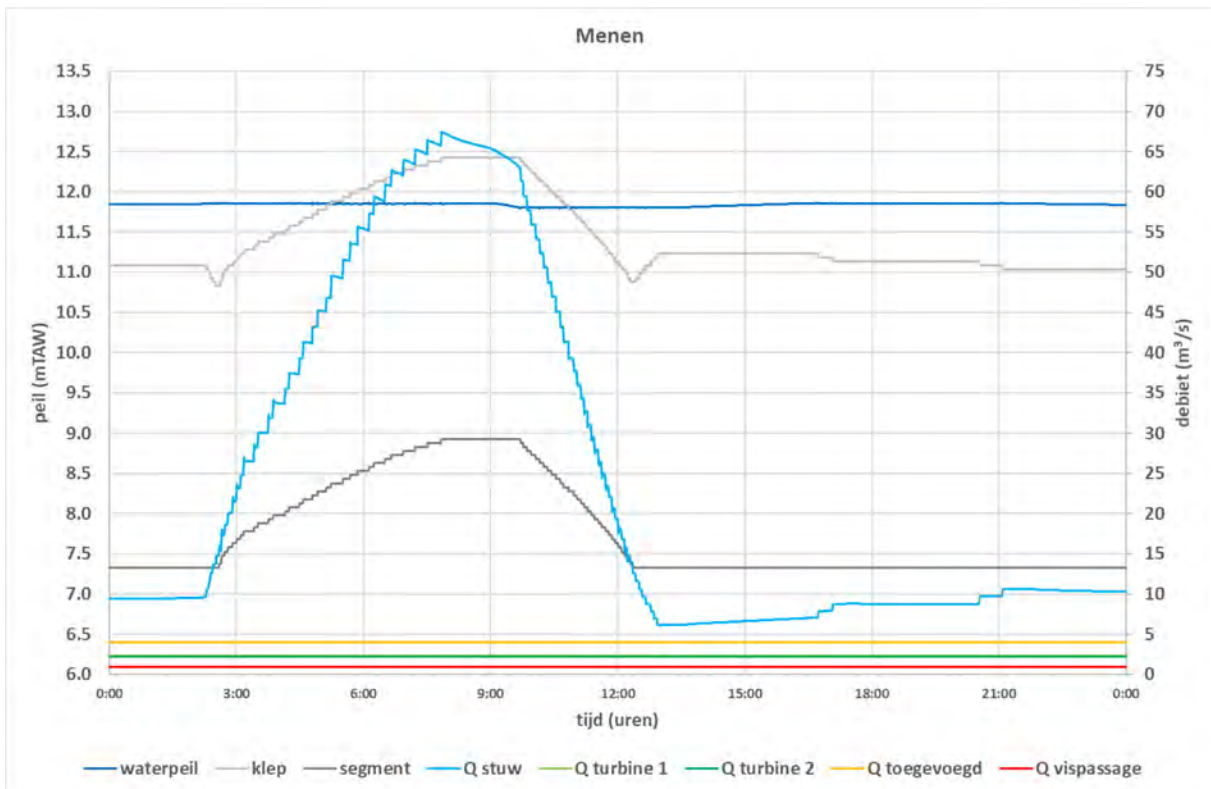
Figuur 96 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur – Harelbeke (reeks 1)



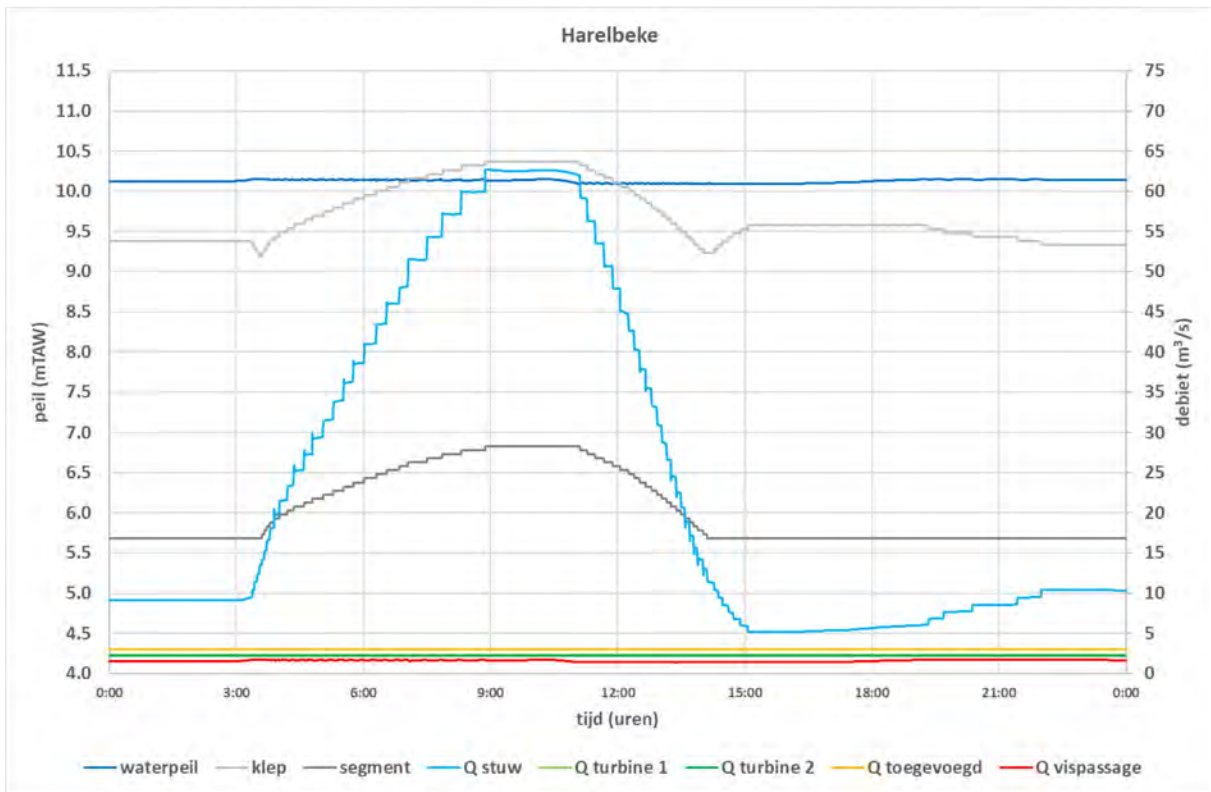
Figuur 97 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



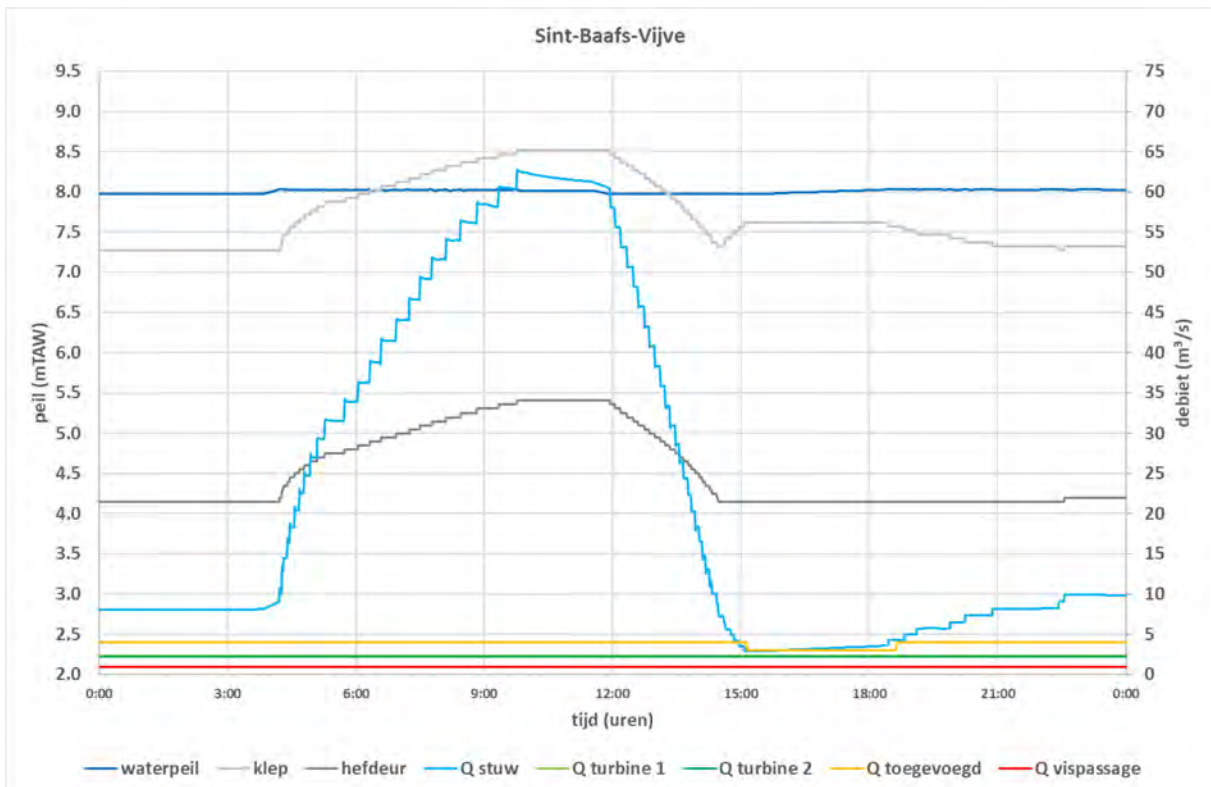
Figuur 98 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Menen (reeks 1)



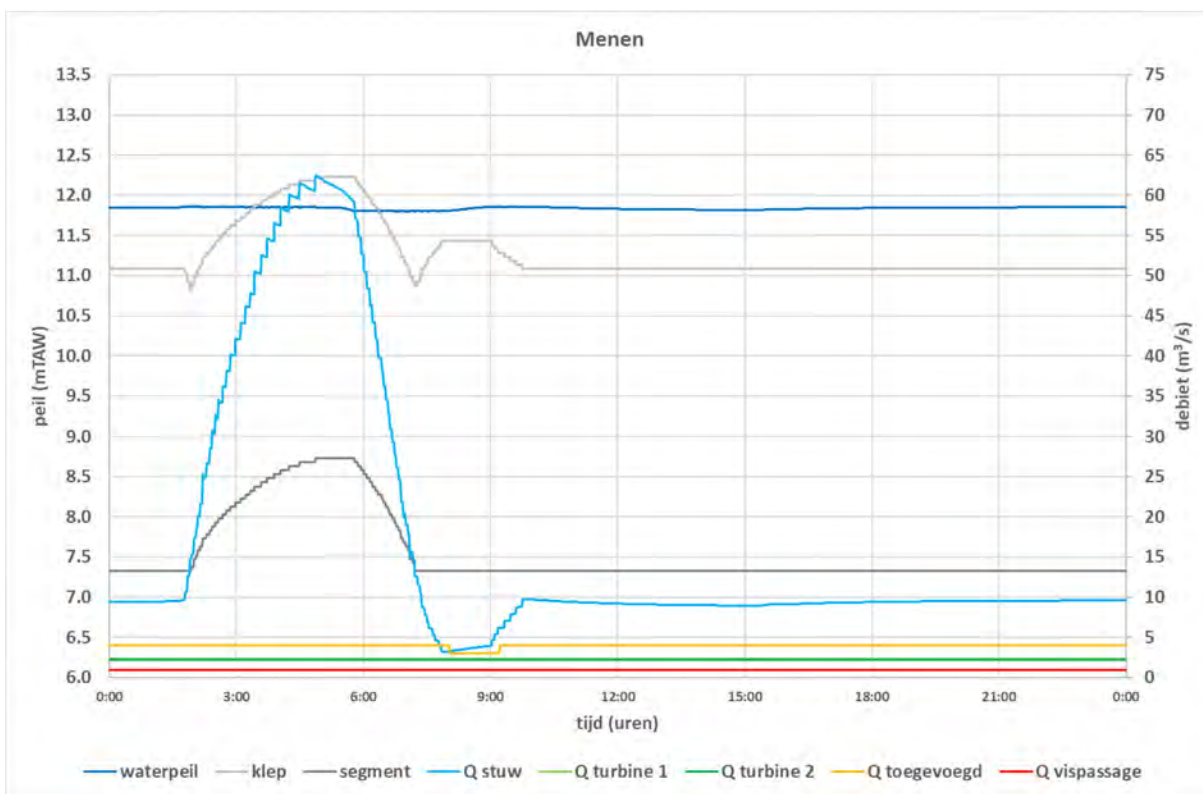
Figuur 99 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Harelbeke (reeks 1)



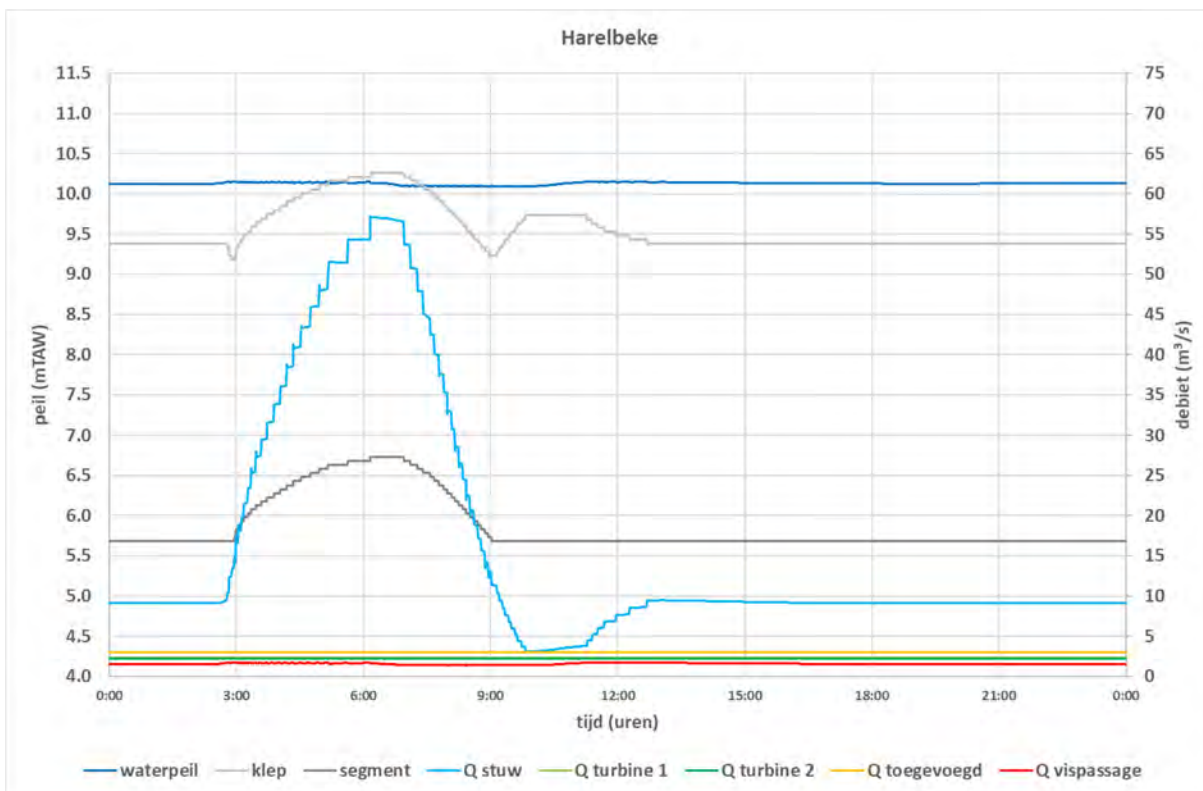
Figuur 100 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



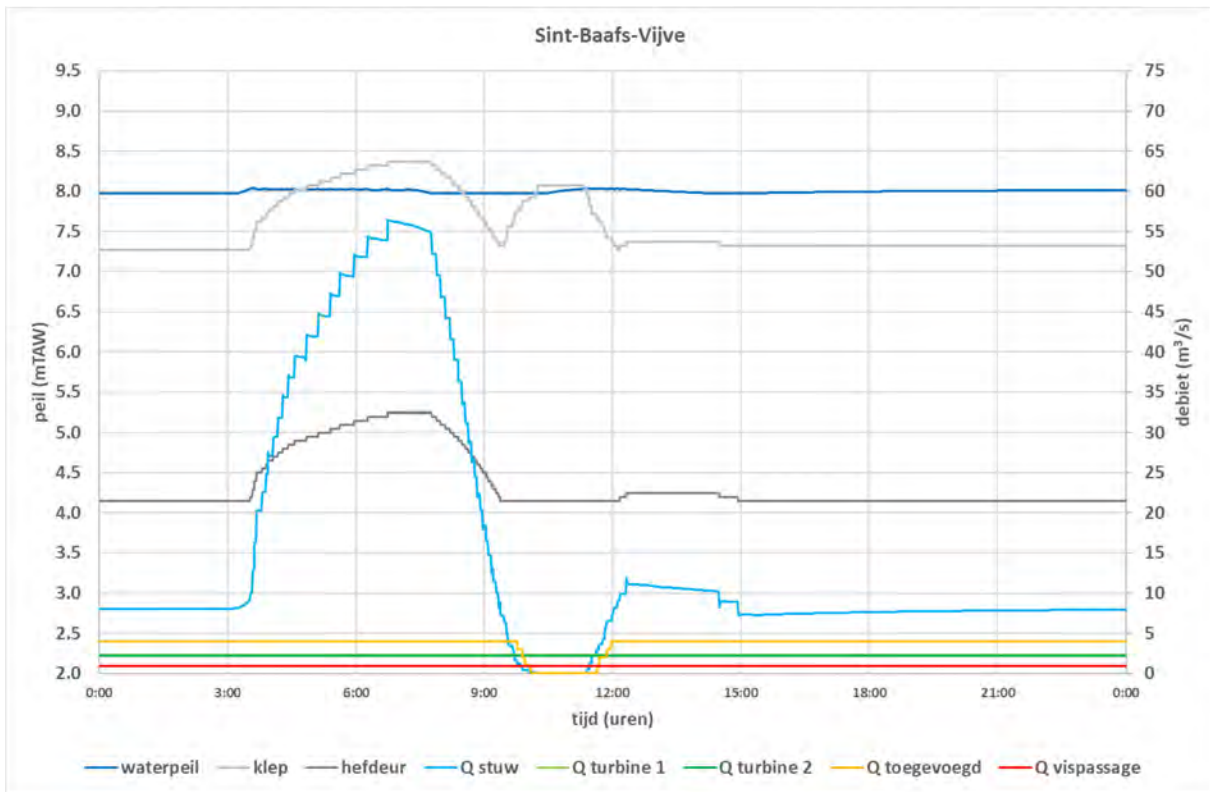
Figuur 101 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Menen (reeks 1)



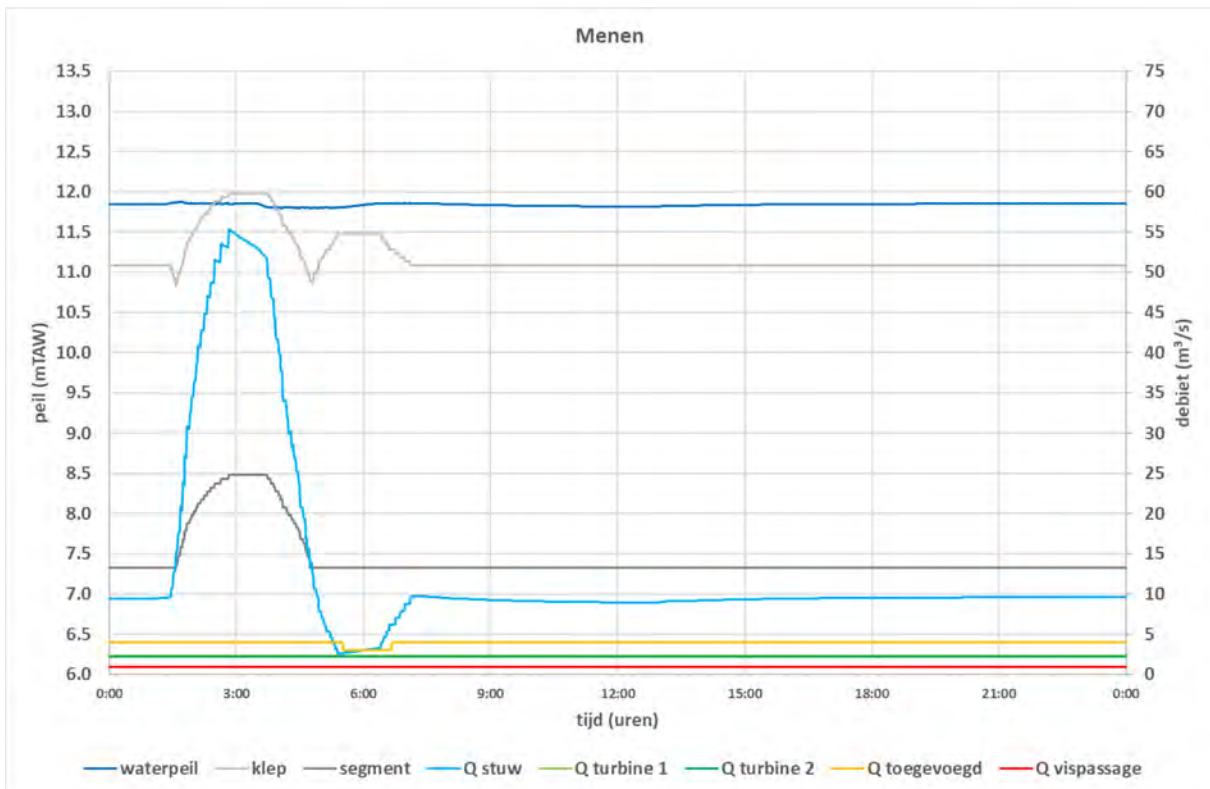
Figuur 102 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Harelbeke (reeks 1)



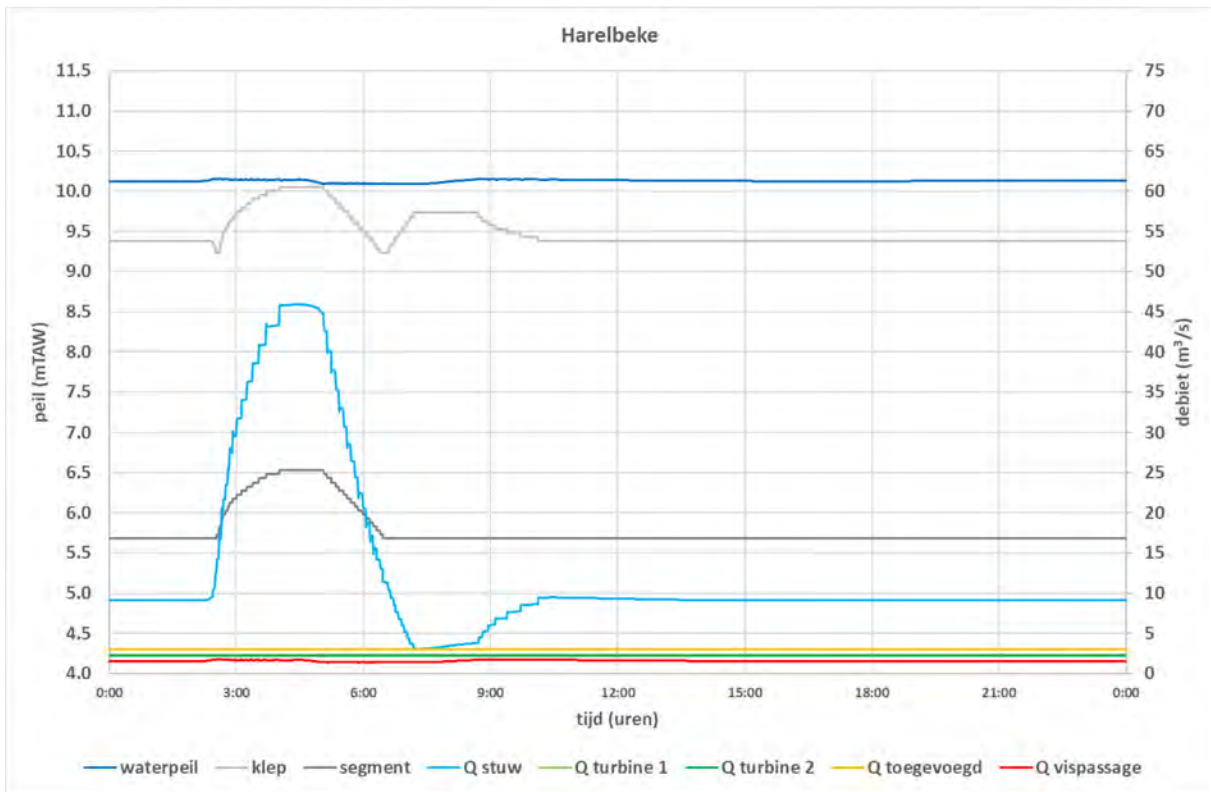
Figuur 103 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



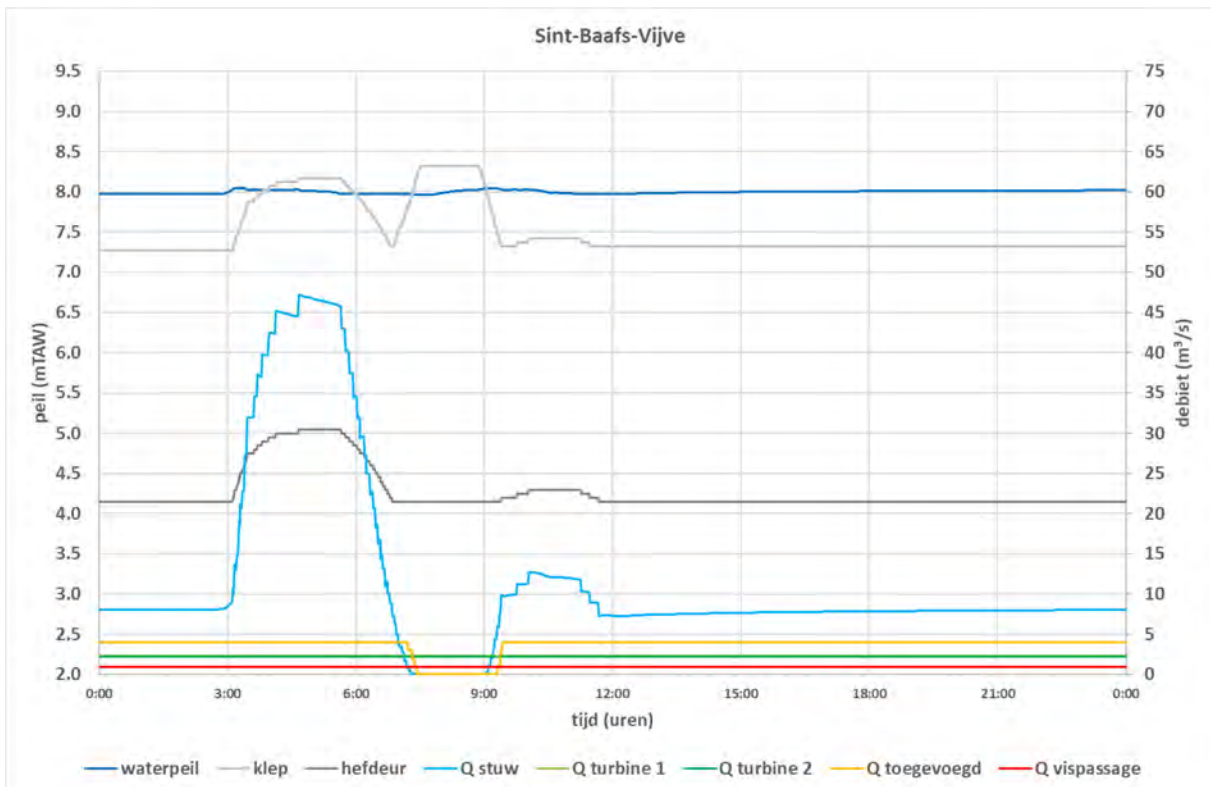
Figuur 104 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Menen (reeks 1)



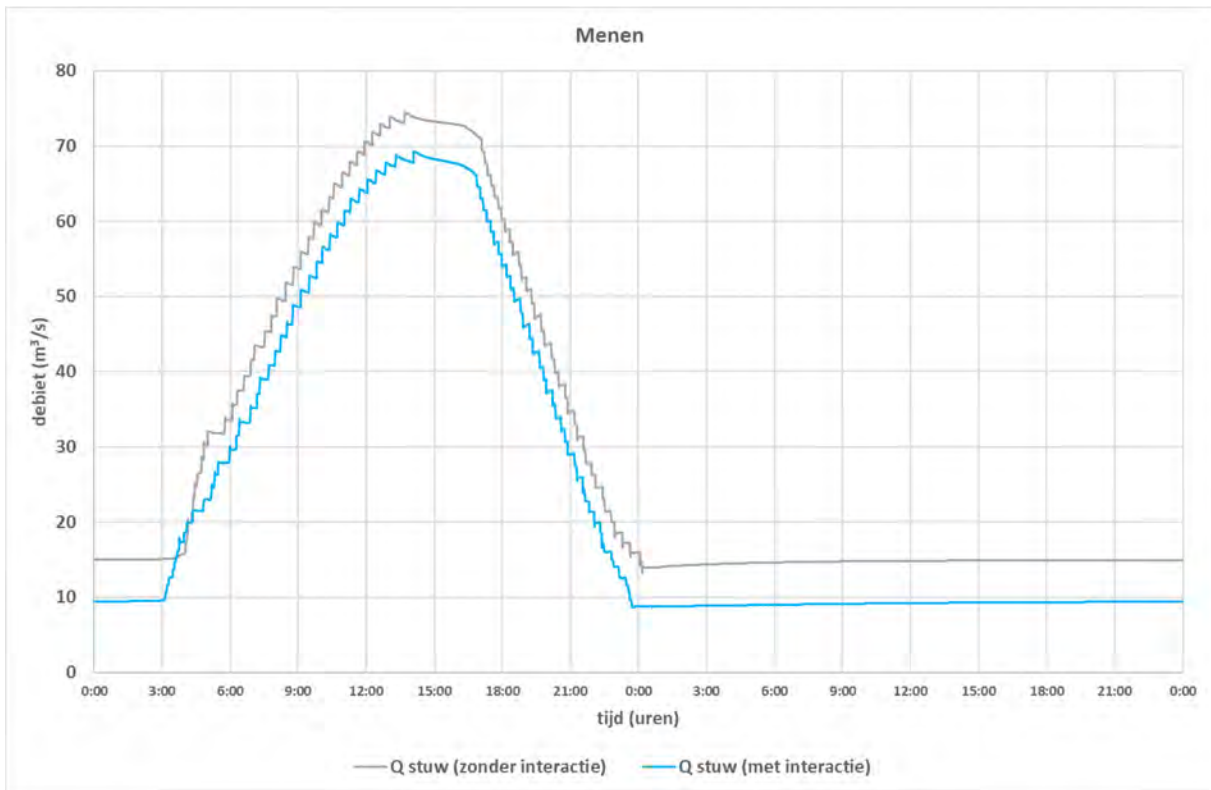
Figuur 105 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Harelbeke (reeks 1)



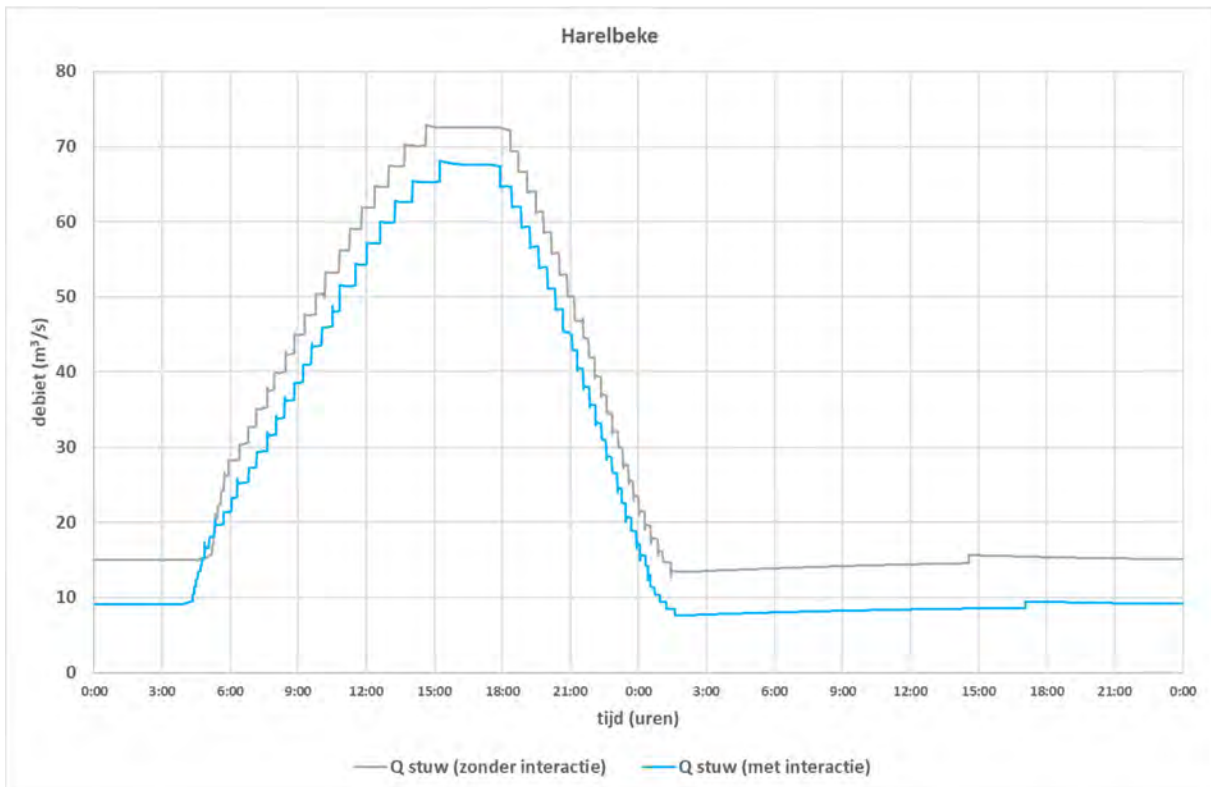
Figuur 106 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



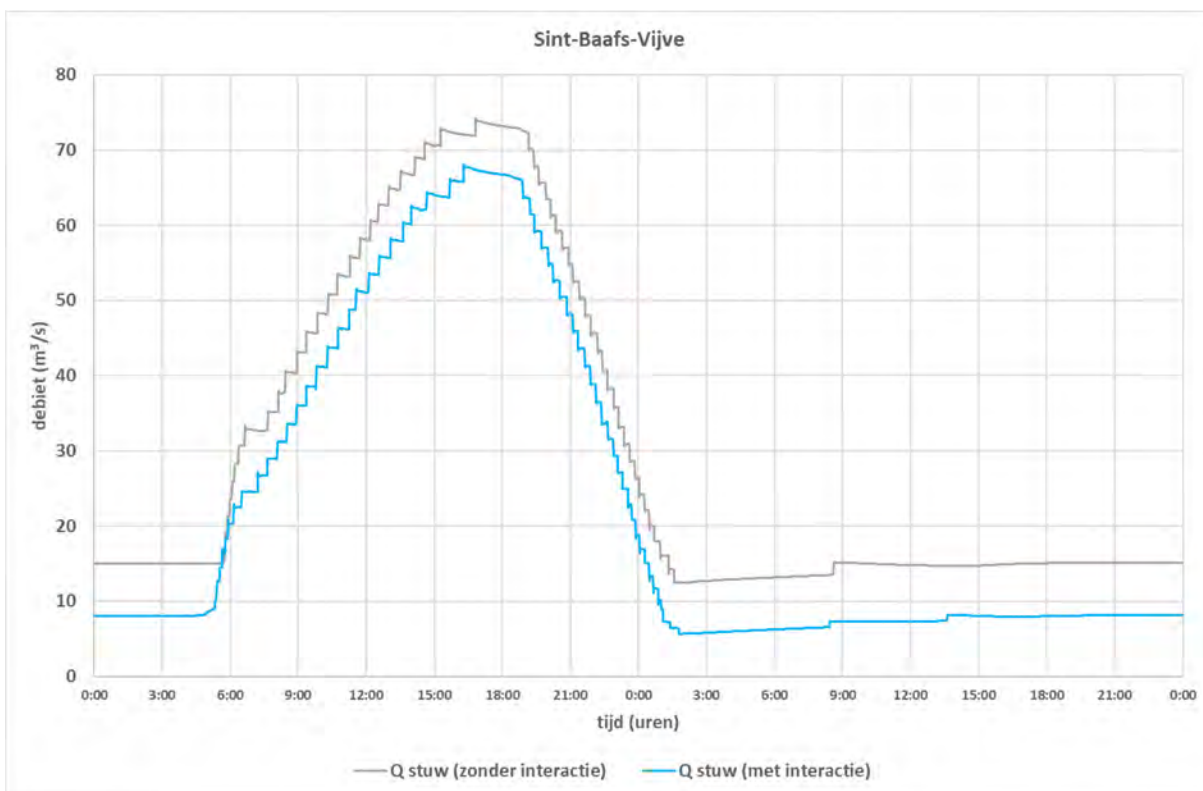
Figuur 107 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur – Menen (reeks 2)



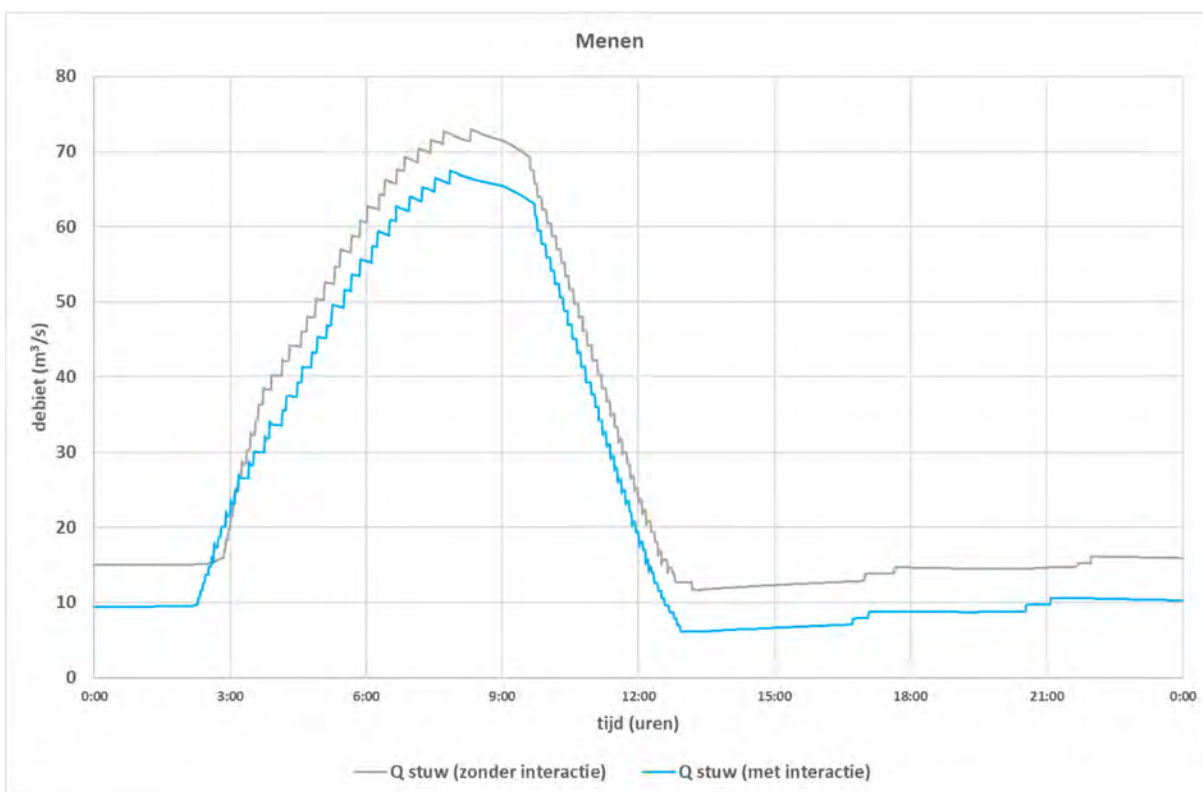
Figuur 108 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur – Harelbeke (reeks 2)



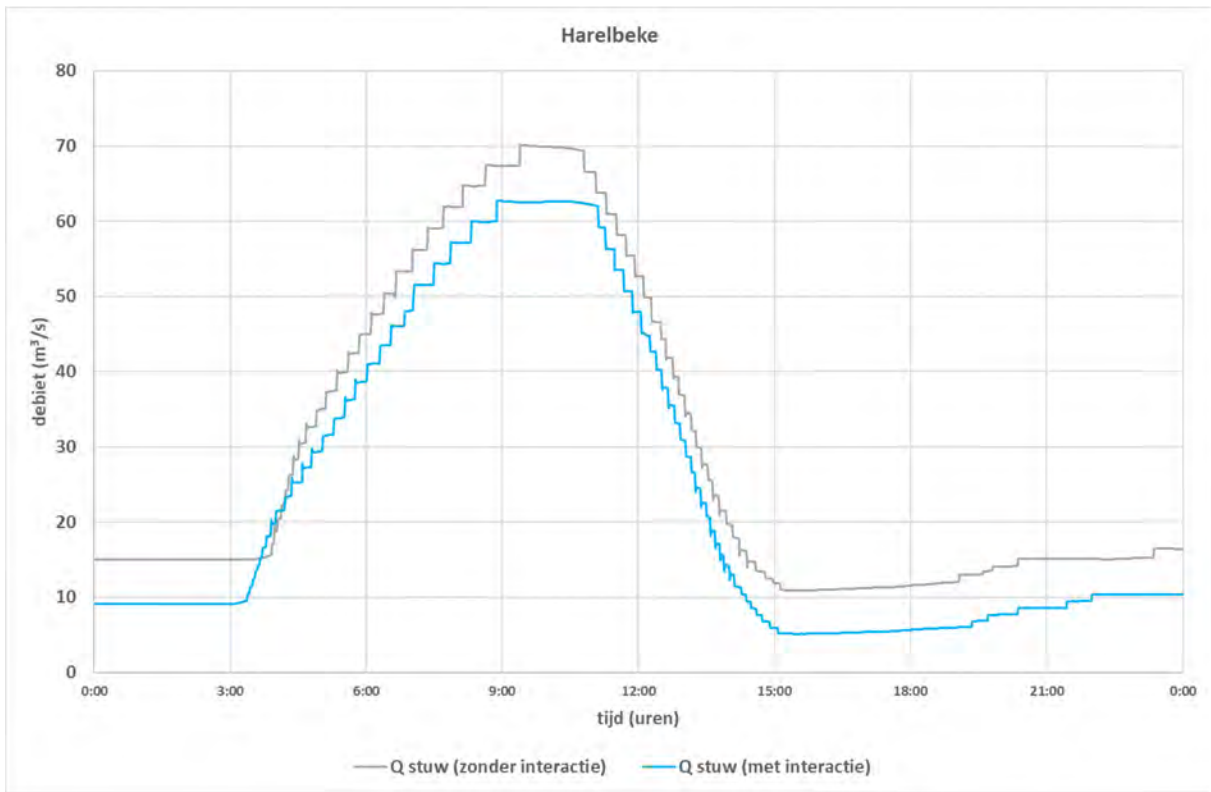
Figuur 109 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



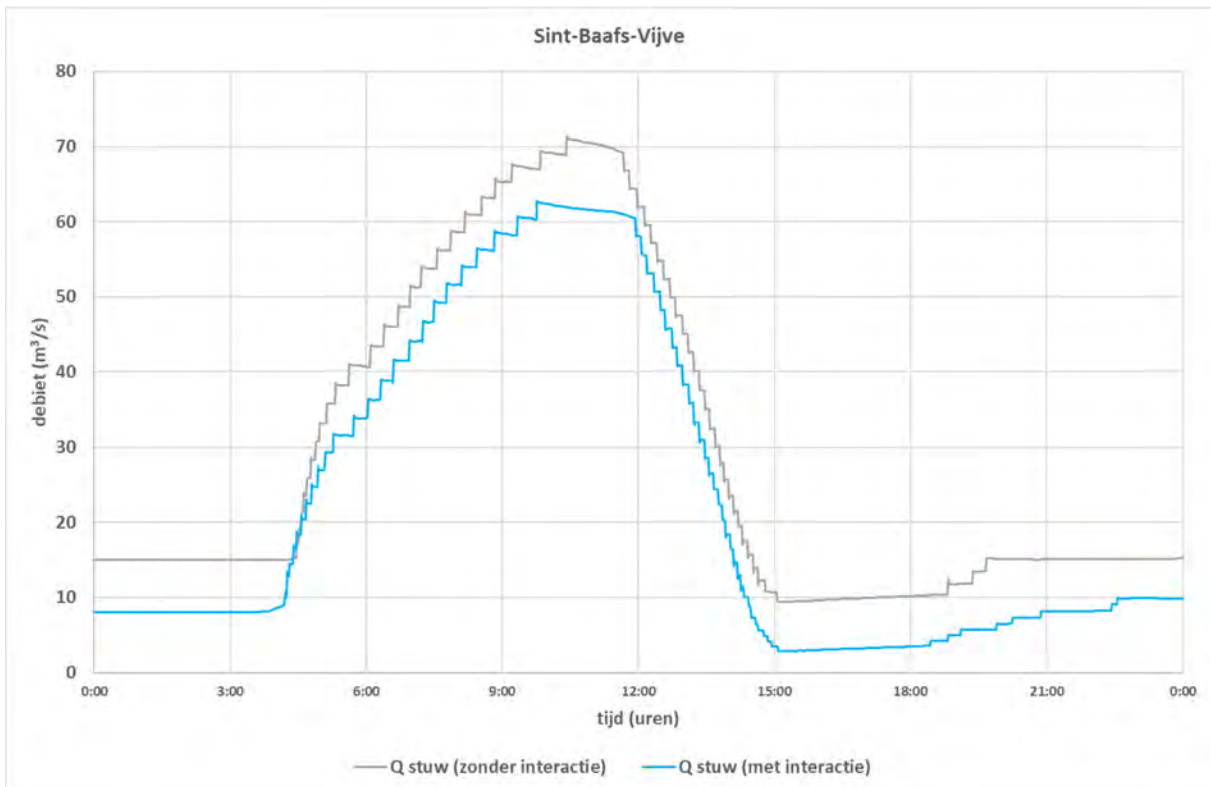
Figuur 110 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Menen (reeks 2)



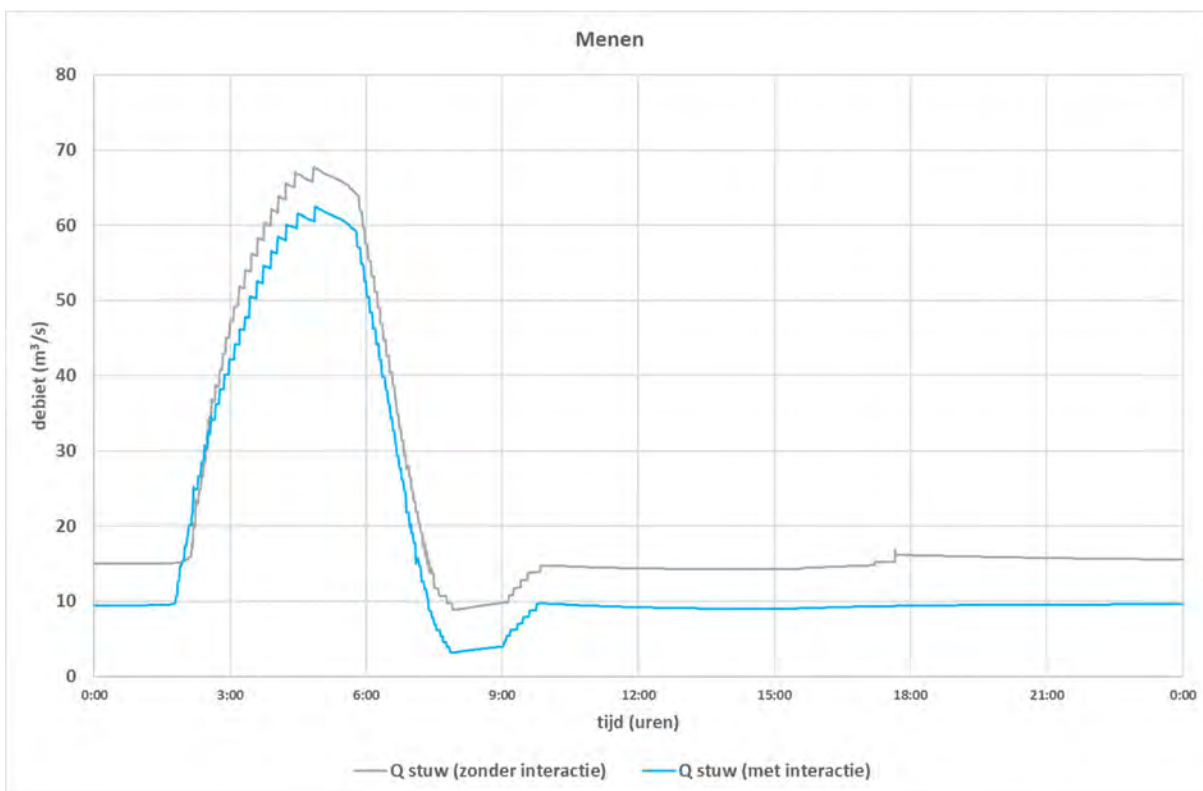
Figuur 111 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Harelbeke (reeks 2)



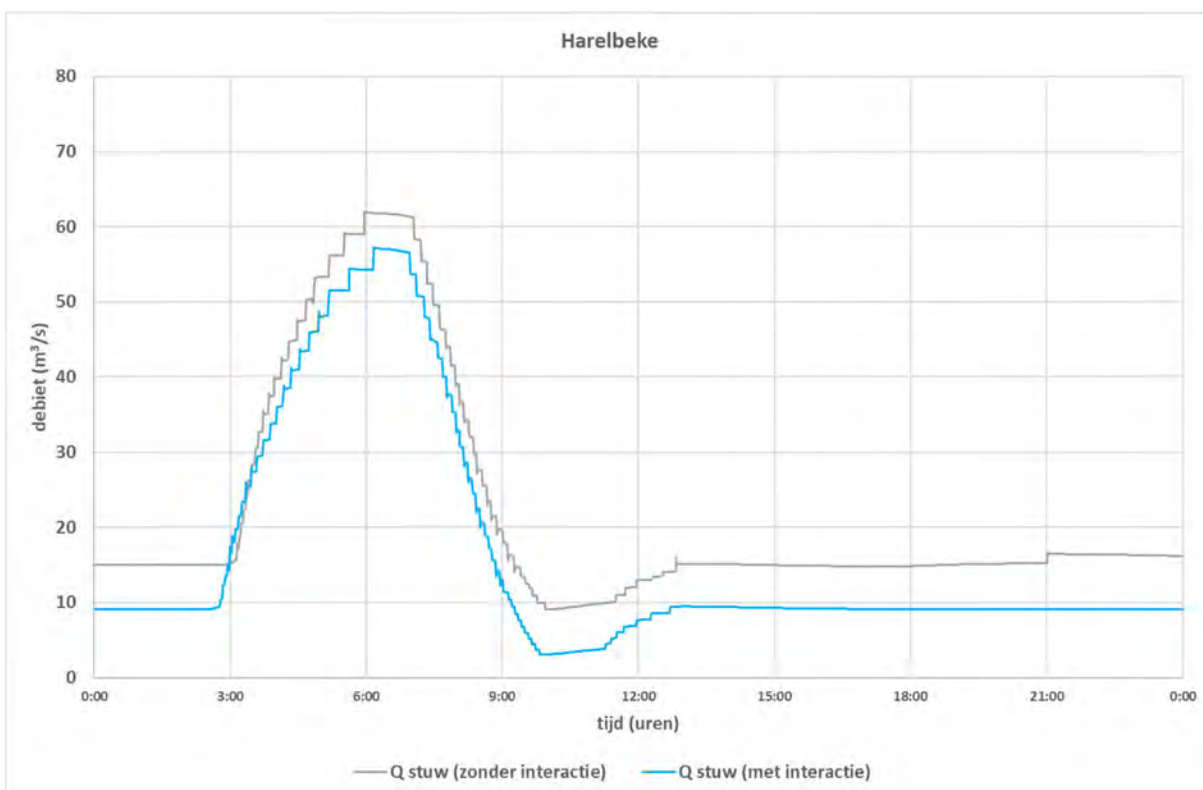
Figuur 112 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



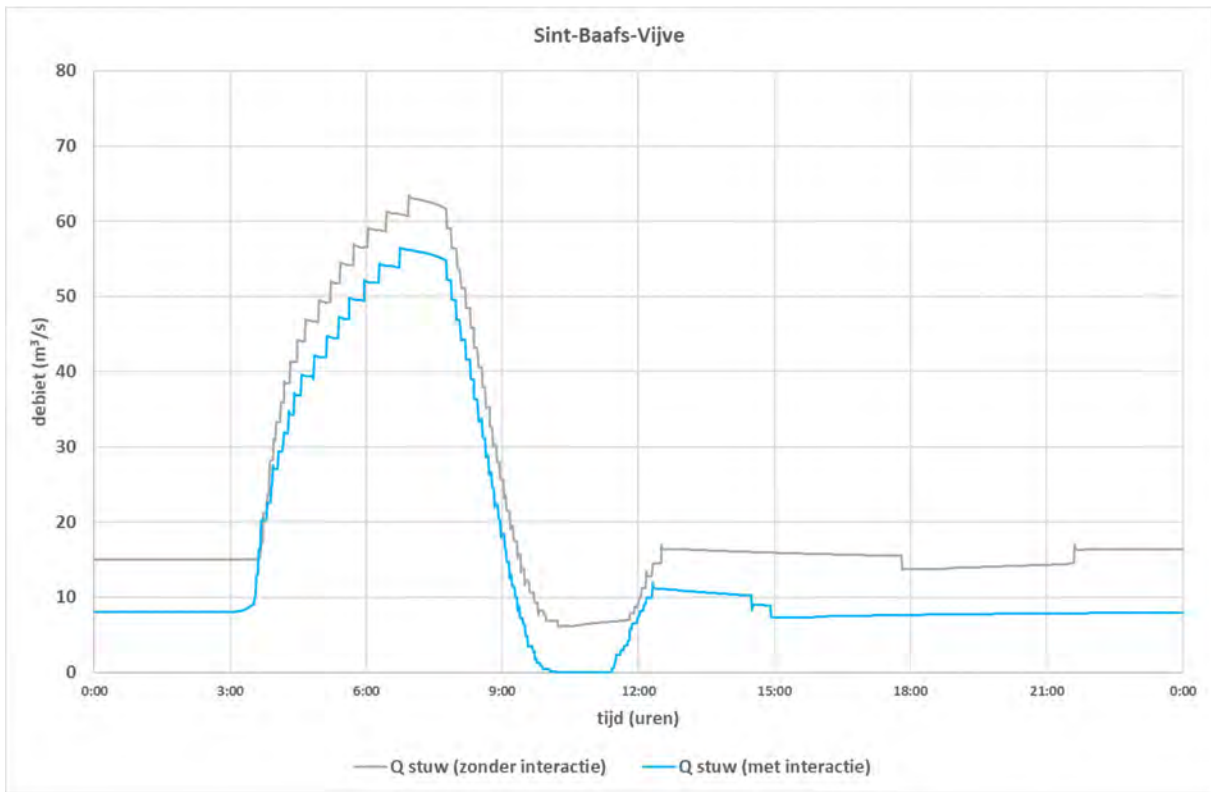
Figuur 113 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Menen (reeks 2)



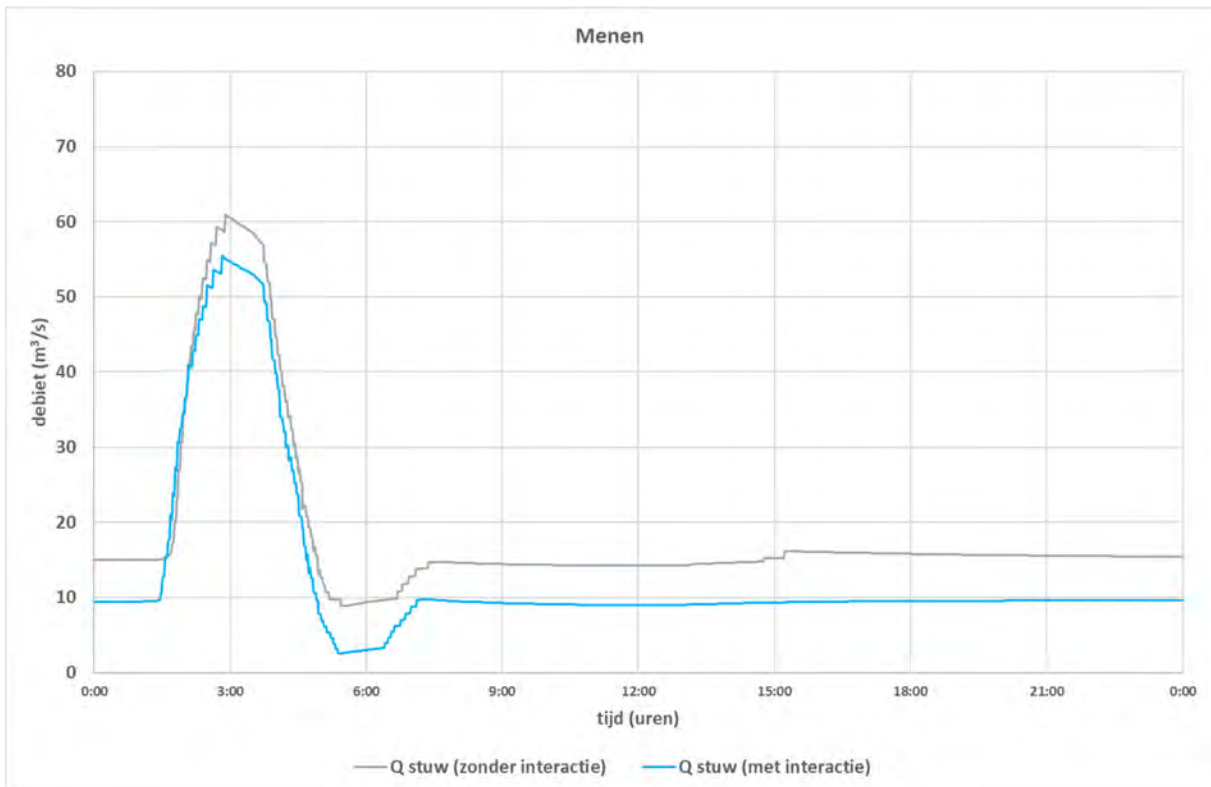
Figuur 114 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Harelbeke (reeks 2)



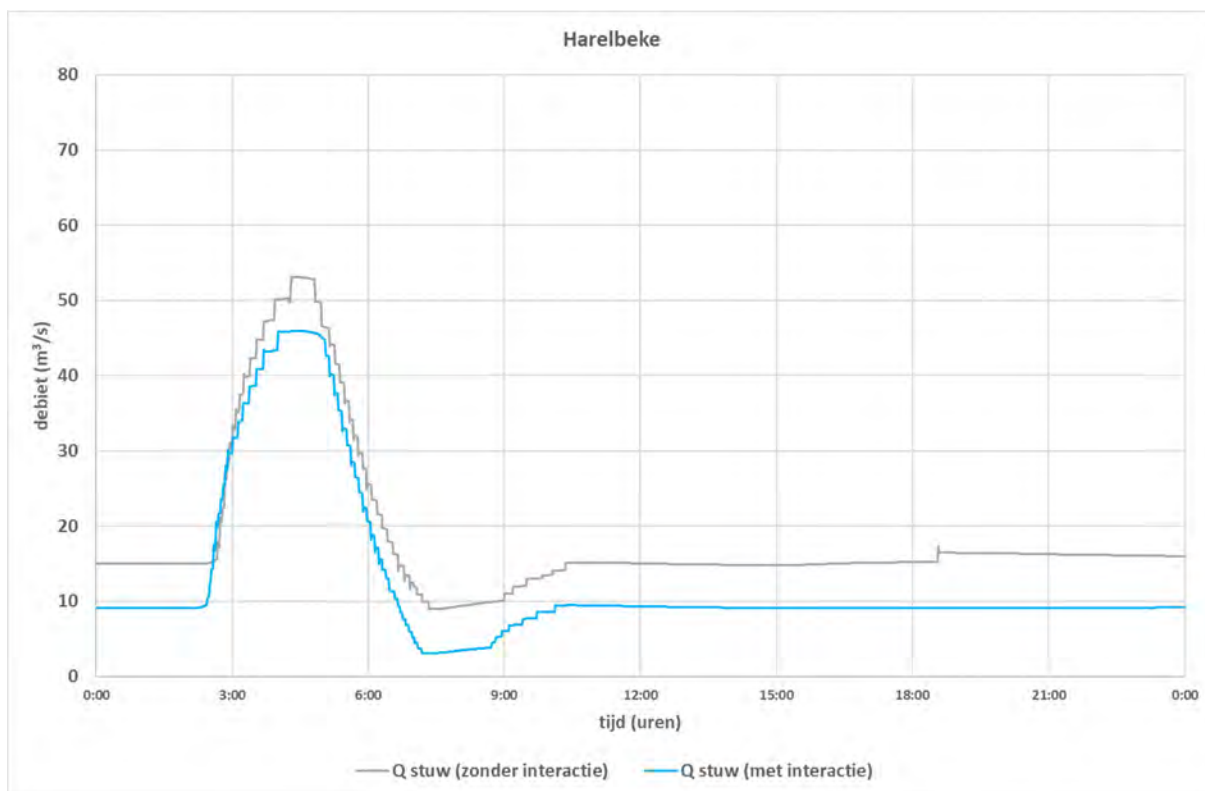
Figuur 115 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



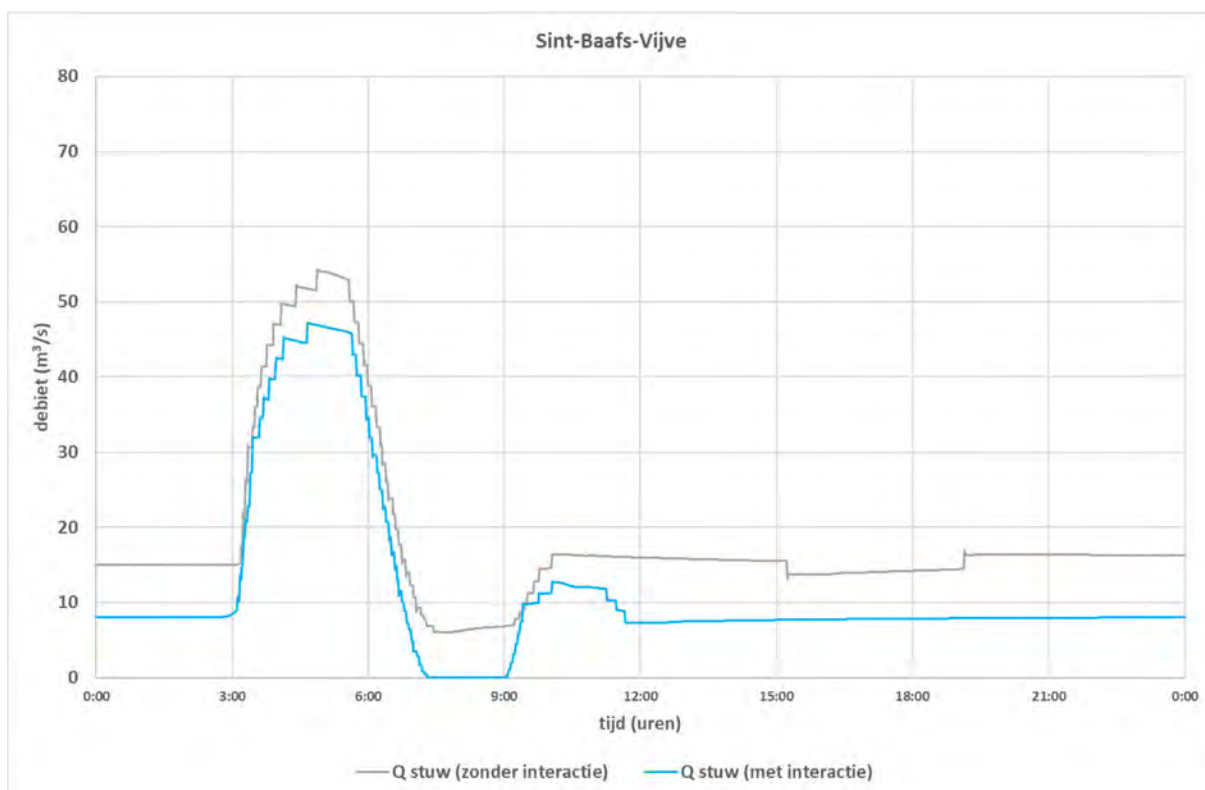
Figuur 116 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Menen (reeks 2)



Figuur 117 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Harelbeke (reeks 2)



Figuur 118 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



7.2.3 Historische gebeurtenissen

Was van maart 2018

De resultaten voor de was van maart 2018 worden getoond in Figuur 119 t.e.m. Figuur 121 (eerste reeks) en Figuur 131 t.e.m. Figuur 133 (tweede reeks). De resultaten zijn vergelijkbaar met die van de synthetische gebeurtenissen beschreven in de vorige paragraaf: de vispassages en turbines blijven altijd open en de aanwezigheid van de turbines en de vispassages leidt logischerwijze tot een afname van het debiet over de stuwen.

Droogweerperiode van april 2018

De resultaten voor de droogweerperiode van april 2018 kunnen teruggevonden worden in Figuur 122 t.e.m. Figuur 124 (eerste reeks) en Figuur 134 t.e.m. Figuur 136 (tweede reeks). Uit de eerste reeks figuren blijkt dat de sterke debietschommelingen (vermoedelijk veroorzaakt door opwaarts gelegen kunstwerken) kunnen leiden tot het volledig optrekken van de kleppen van de stuwen (m.a.w. geen overstortdebiet) en daardoor ook het uitschakelen van het toegevoegd debiet en één of beide turbines. De vispassages blijven echter open. In de tweede reeks figuren zien we dat de afvoeren over de stuwen zowel verminderd als vertraagd worden.

Volledige jaar 2019

De resultaten voor een natte maand (maart 2019) en een droge maand (augustus 2019) worden getoond in Figuur 125 t.e.m. Figuur 130 (eerste reeks) en Figuur 137 t.e.m. Figuur 142 (tweede reeks). De resultaten voor de overige maanden werden opgenomen in Bijlage 1 (Interactie – figuren reeks 1) en Bijlage 2 (Interactie – figuren reeks 2).

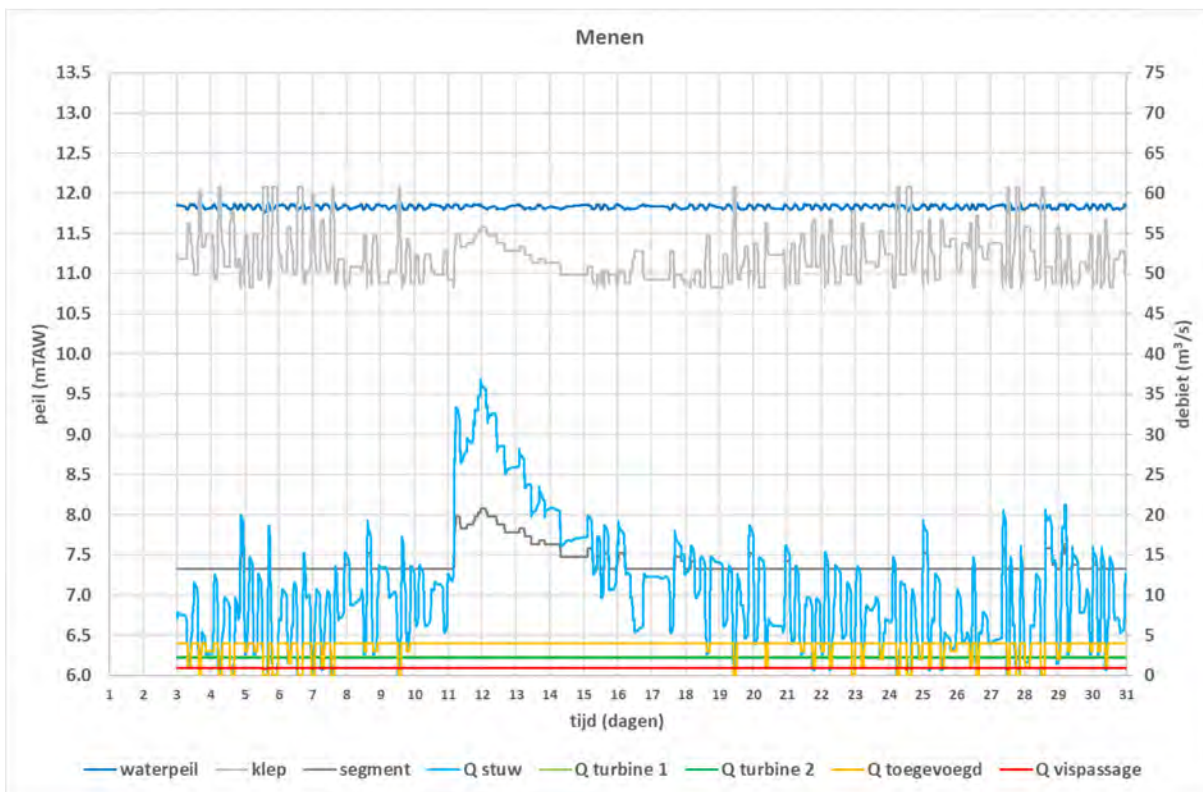
De eerste reeks figuren toont aan dat de vispassages van Menen en Harelbeke nooit sluiten. Tijdens de zomermaanden sluit de vispassage van Sint-Baafs-Vijve wel een aantal malen. Zoals reeds eerder aangehaald (hoofdstuk 5), is dat vooral het gevolg van de hogere schutverliezen aan de sluis van Sint-Baafs-Vijve en het watergebruik in het pand Harelbeke-Sint-Baafs-Vijve (pompstation Ooigem).

Uit de tweede reeks figuren blijkt dat de aanwezigheid van de bijkomende kunstwerken (turbines, vispassage en toegevoegd debiet) vooral leidt tot een afname van de afvoer over de stuwen, zowel bij lage als middelhoge afvoeren. Tijdens de zomermaanden neemt het aantal afvoerpiekjes af. Tijdens deze periode leidt het waterverbruik door de andere kunstwerken tot lagere waterpeilen opwaarts van de stuwen. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 143 t.e.m. Figuur 148. Als gevolg van deze lagere waterpeilen ontstaat er iets meer bergingscapaciteit om kleine debietschommelingen op te vangen.

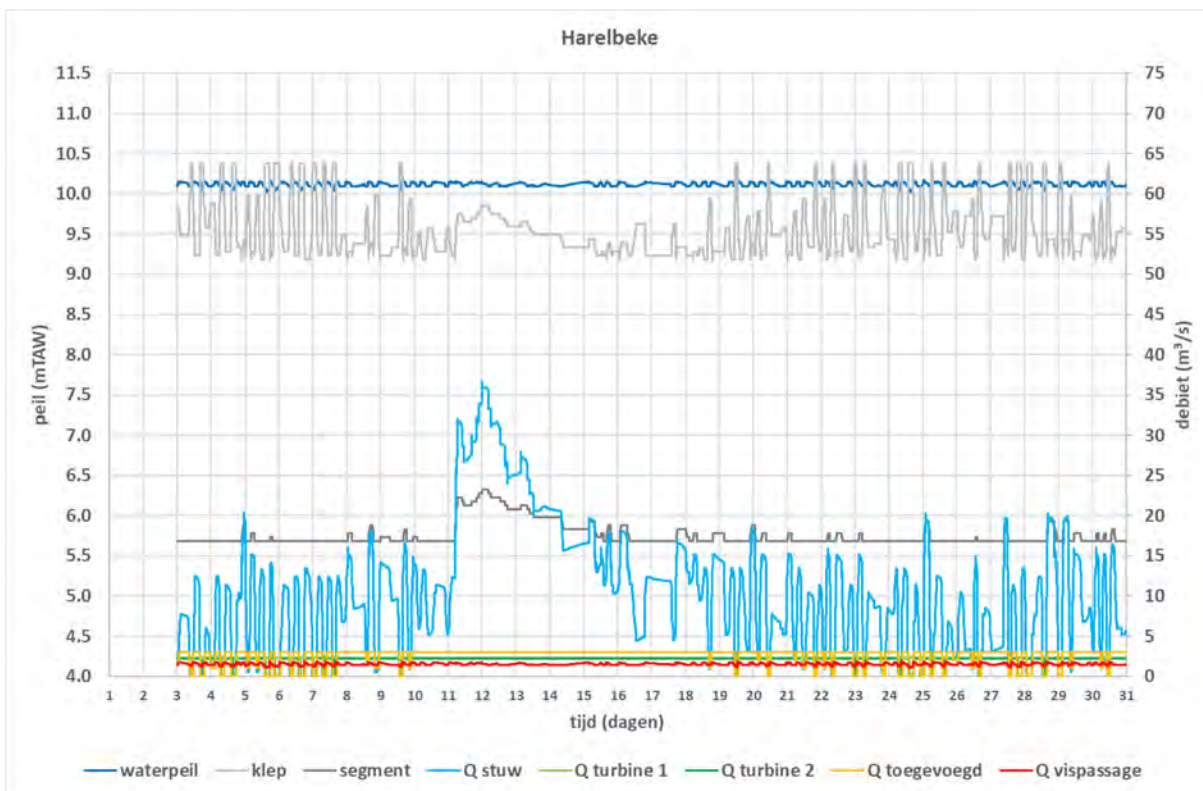
Eind maart 2019 was er een korte periode waarin er geen metingen beschikbaar waren voor de Lys te Armentières en de Deûle te Wambrechies. Deze periode werd ingevuld door lineaire interpolatie. Dit verklaart waarom er in deze periode geen debietschommelingen optreden.

Het toegepaste model maakt gebruik van daggemiddelde schutverliezen. De mogelijke impact van schutgolven op de werking van de kunstwerken langsheen de Leie wordt dus niet in rekening gebracht.

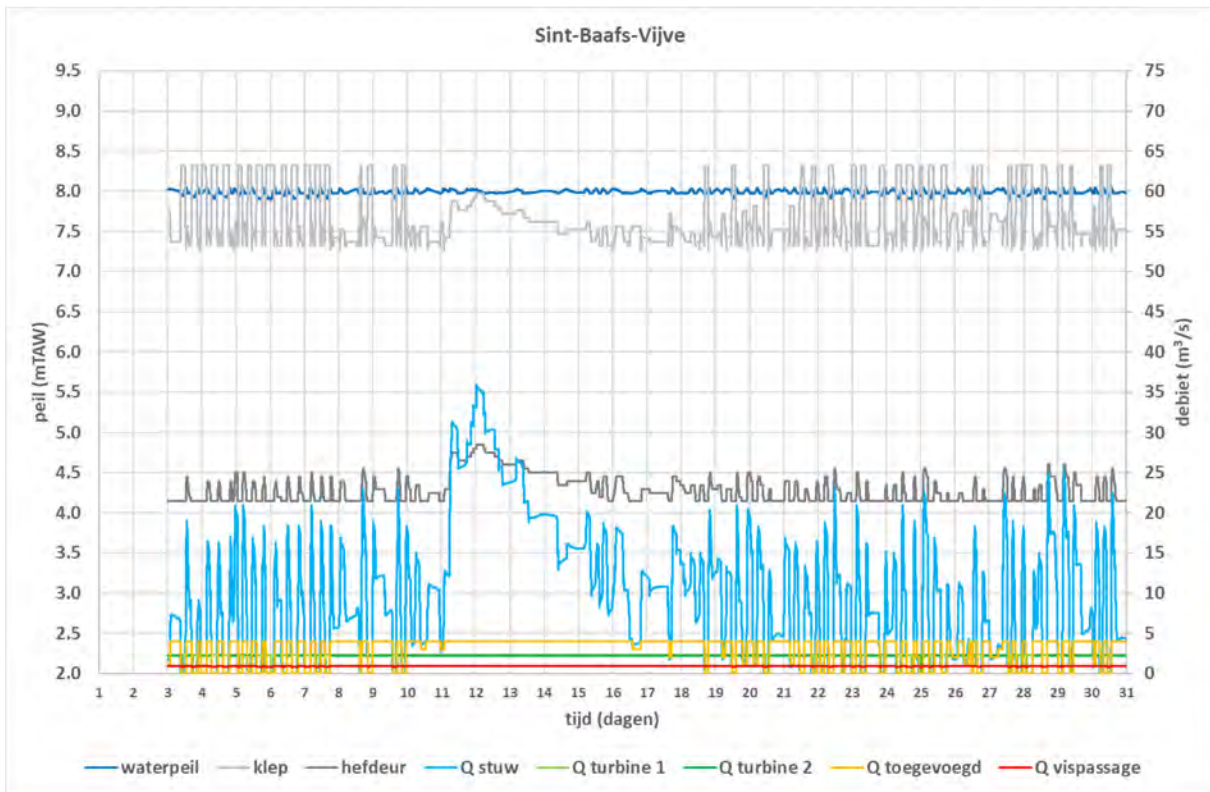
Figuur 119 – Maart 2018 – Menen (reeks 1)



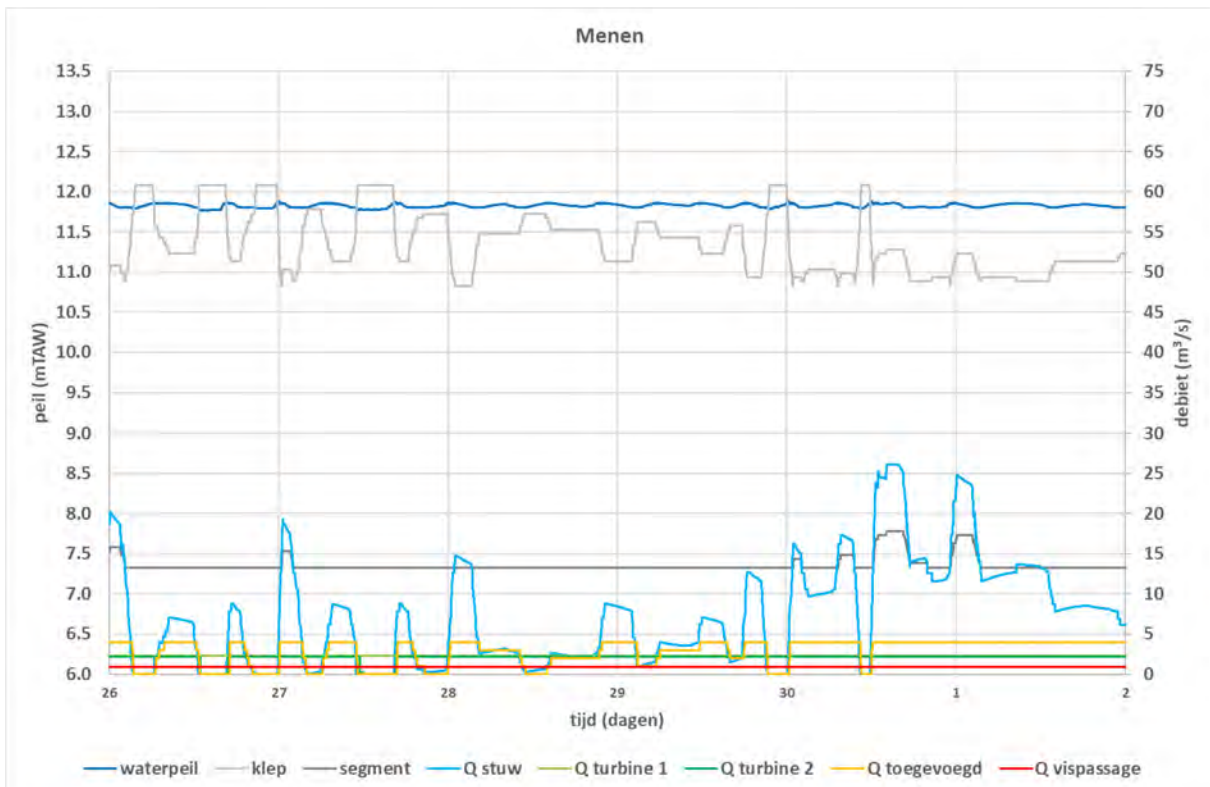
Figuur 120 – Maart 2018 – Harelbeke (reeks 1)



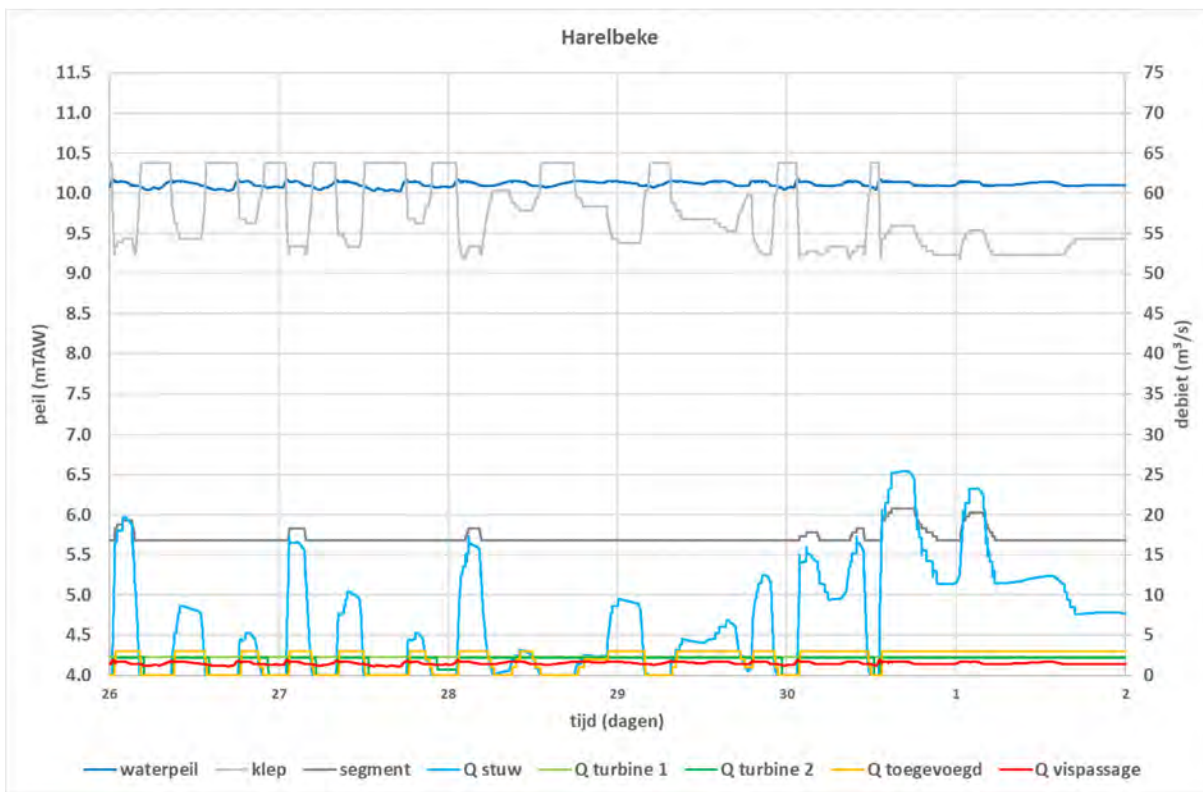
Figuur 121 – Maart 2018 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



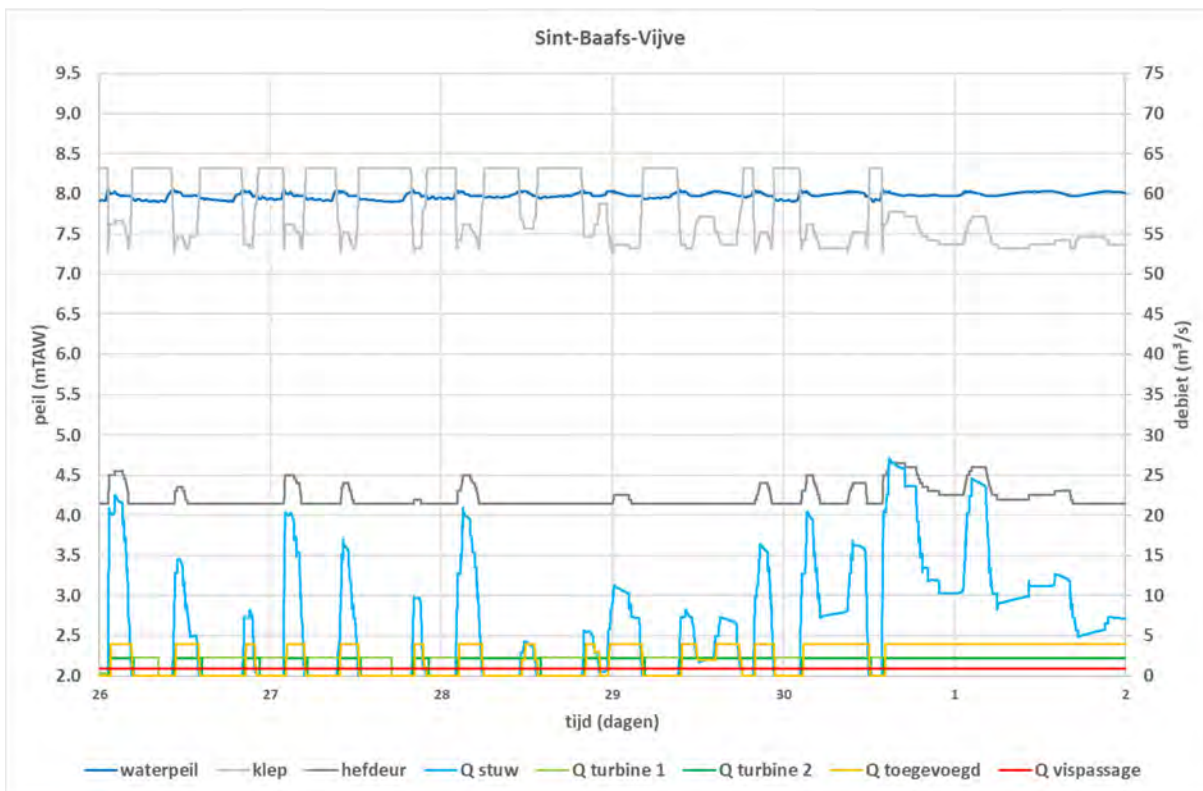
Figuur 122 – April 2018 – Menen (reeks 1)



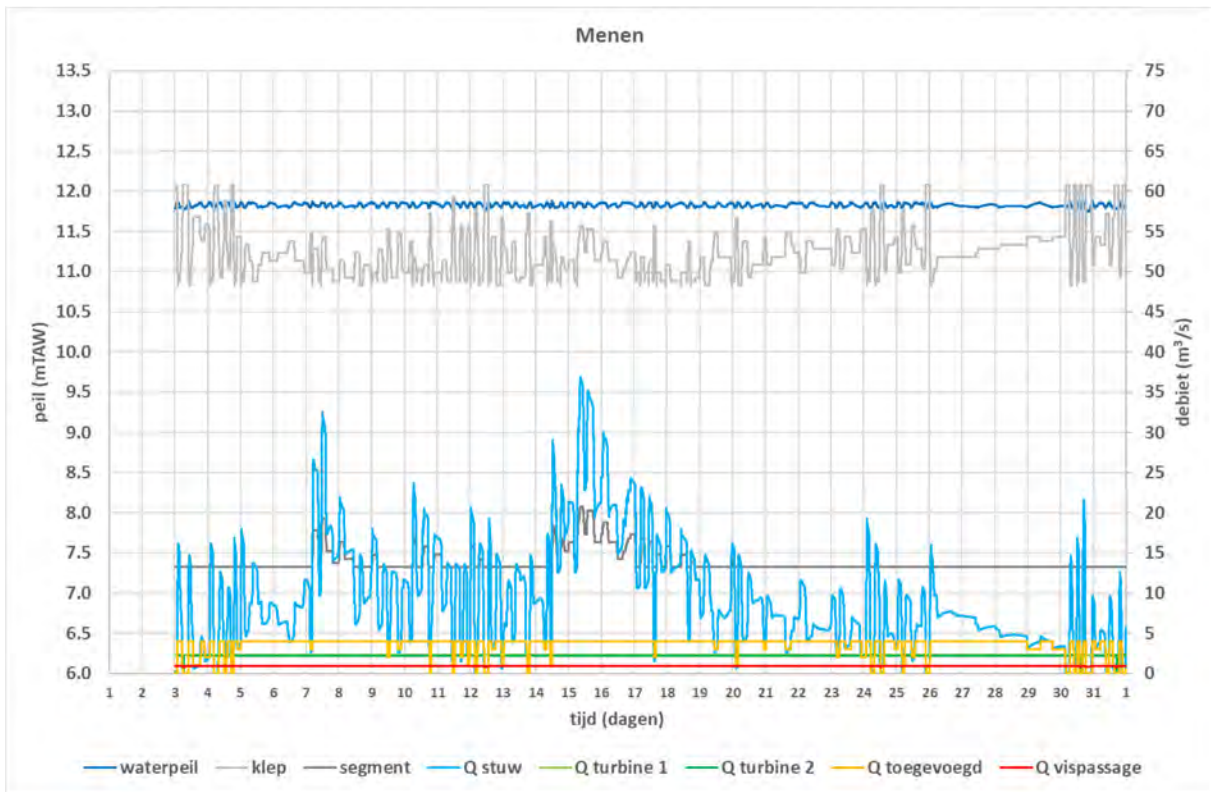
Figuur 123 – April 2018 – Harelbeke (reeks 1)



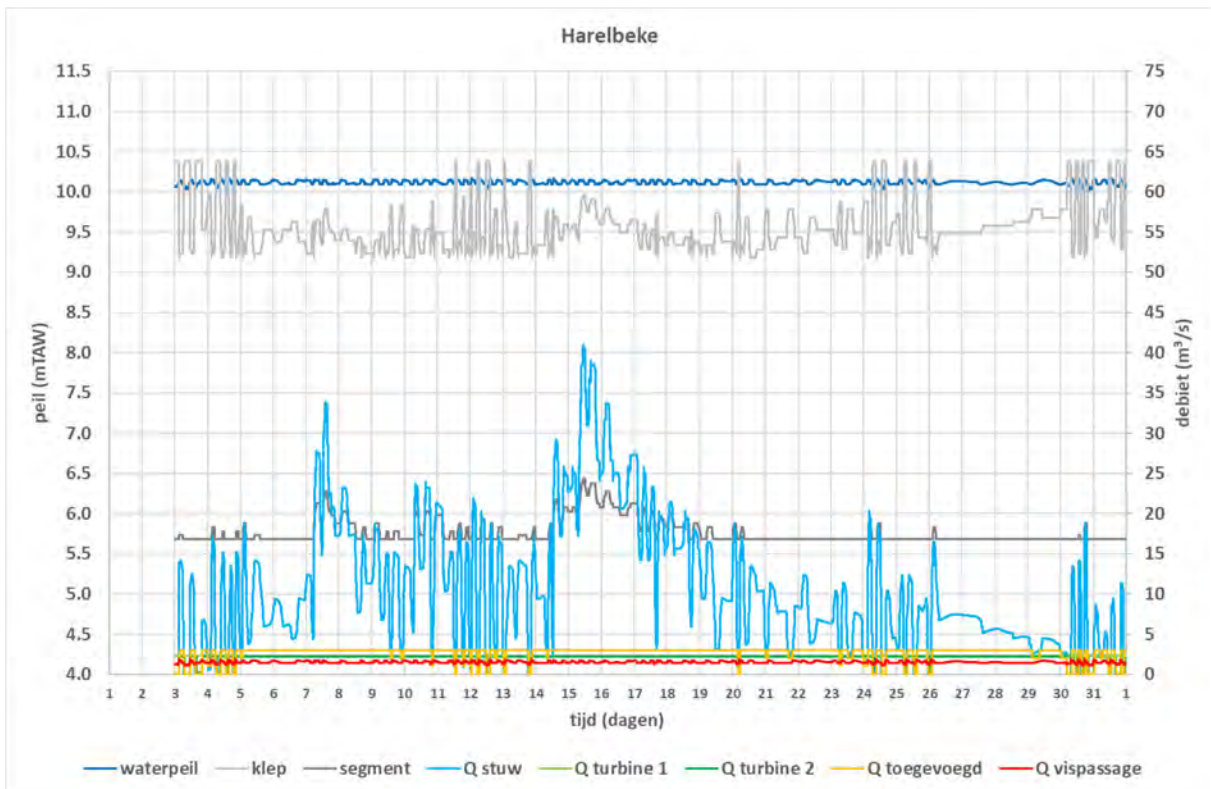
Figuur 124 – April 2018 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



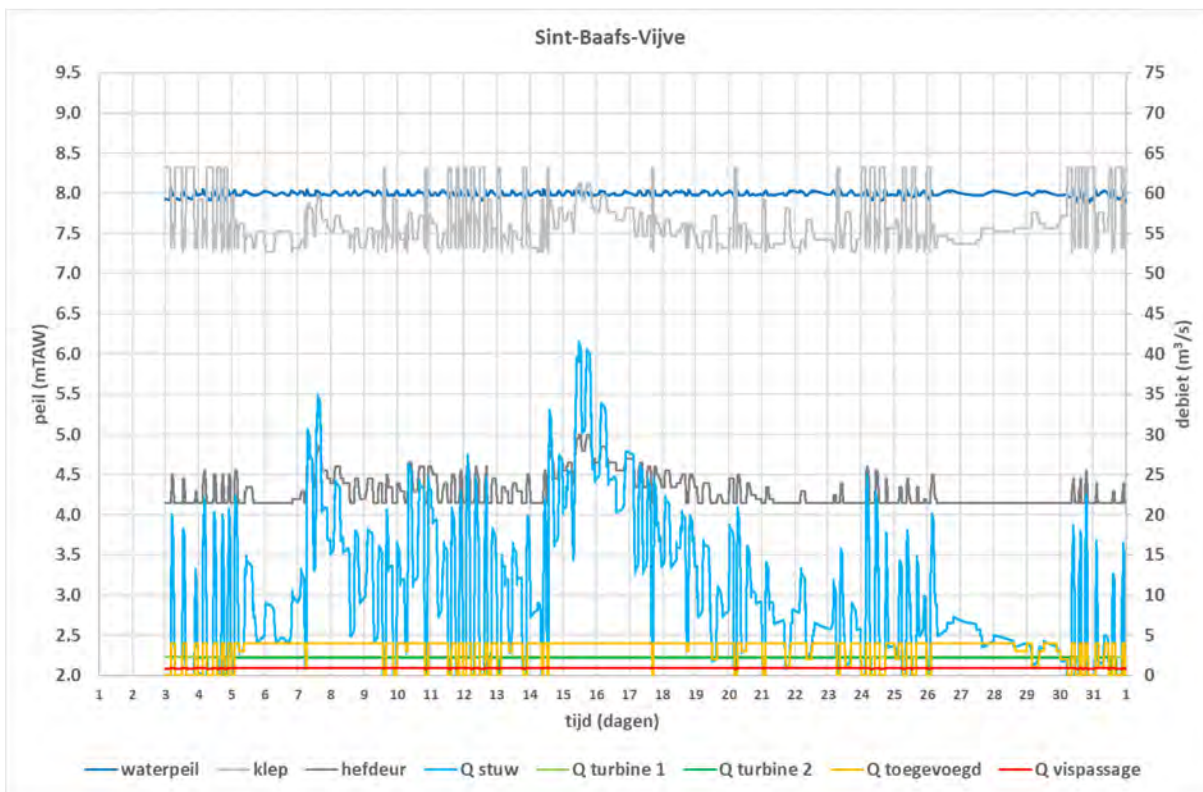
Figuur 125 – Maart 2019 – Menen (reeks 1)



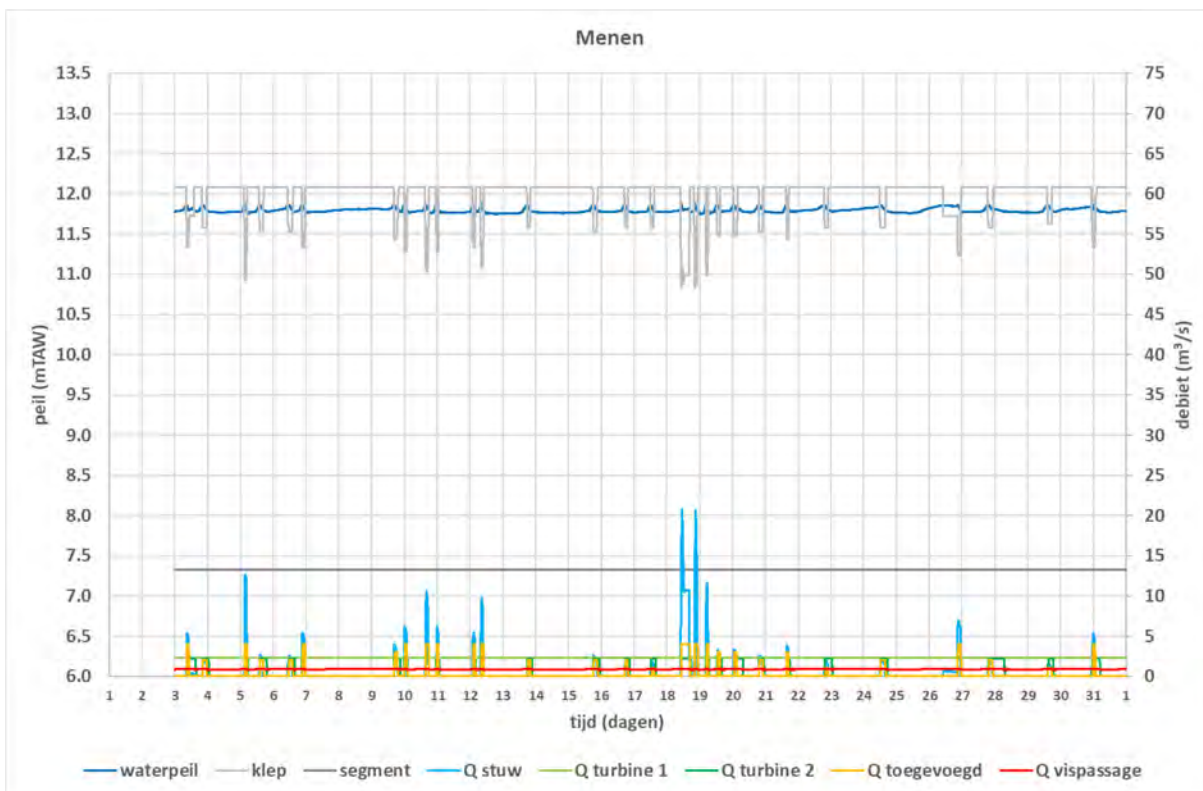
Figuur 126 – Maart 2019 – Harelbeke (reeks 1)



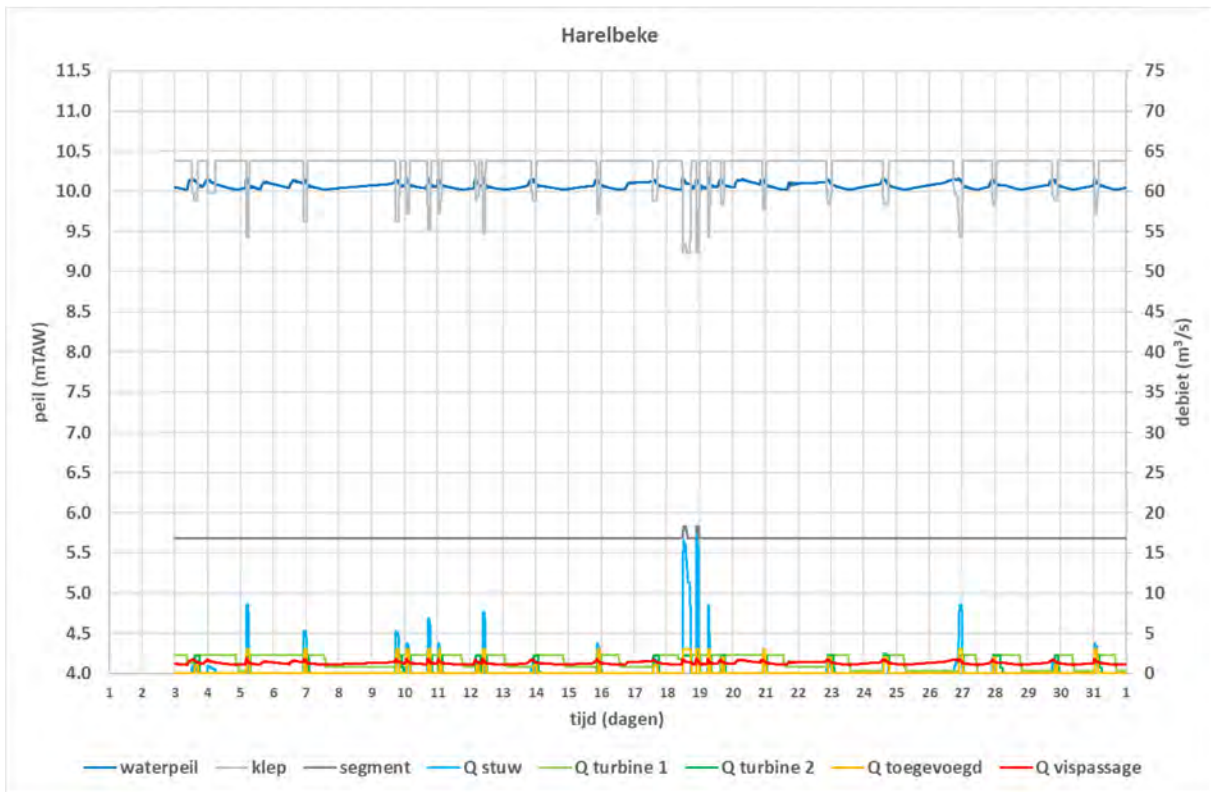
Figuur 127 – Maart 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



Figuur 128 – Augustus 2019 – Menen (reeks 1)



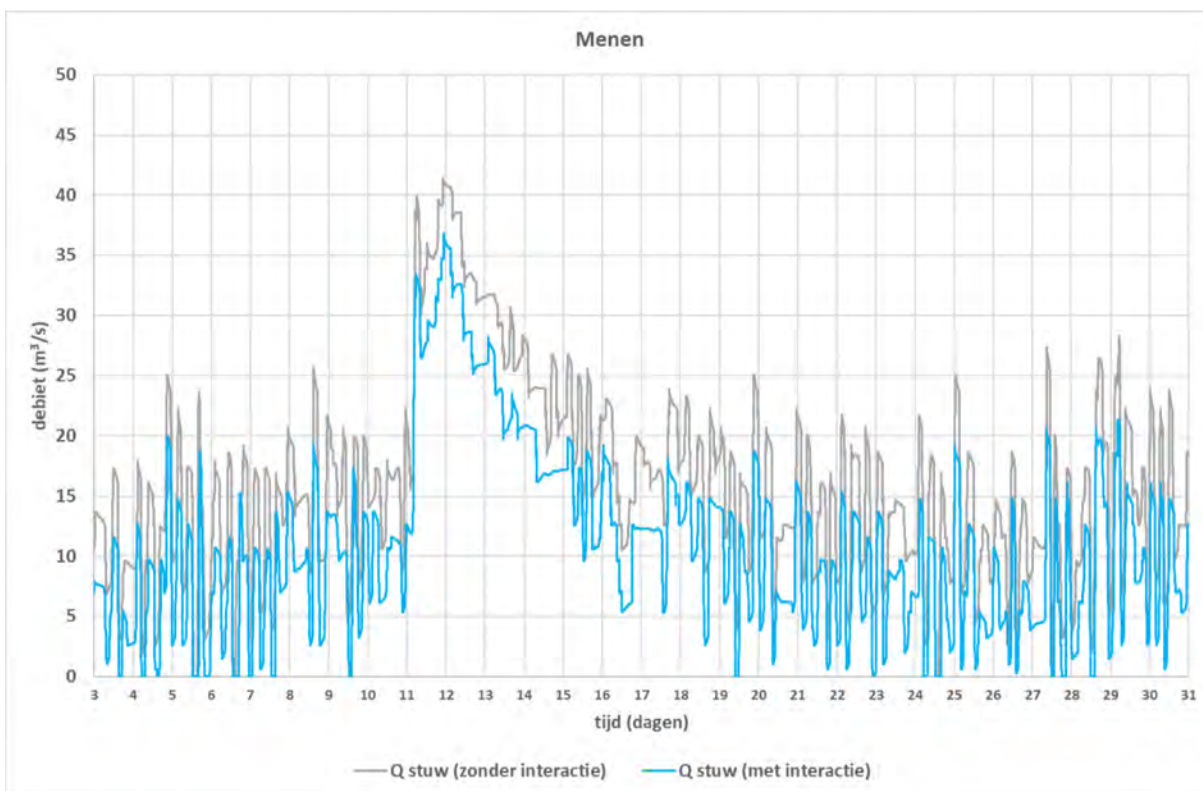
Figuur 129 – Augustus 2019 – Harelbeke (reeks 1)



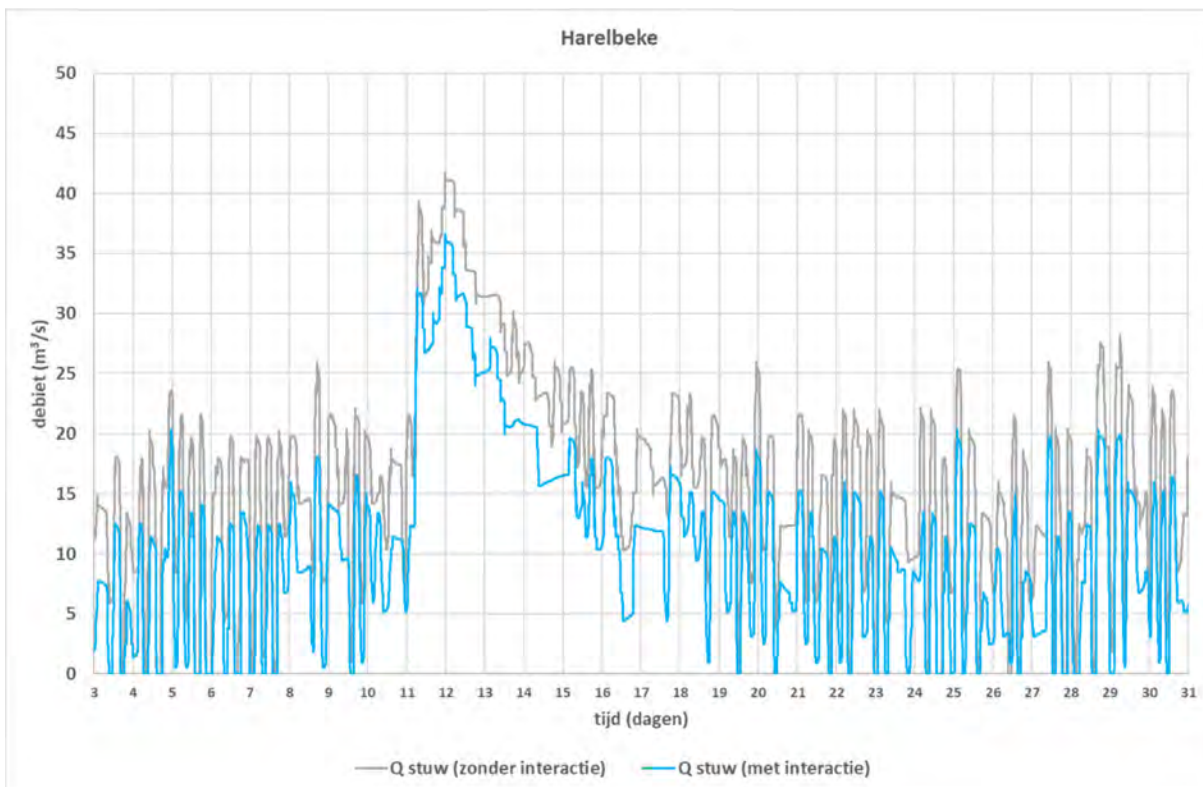
Figuur 130 – Augustus 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



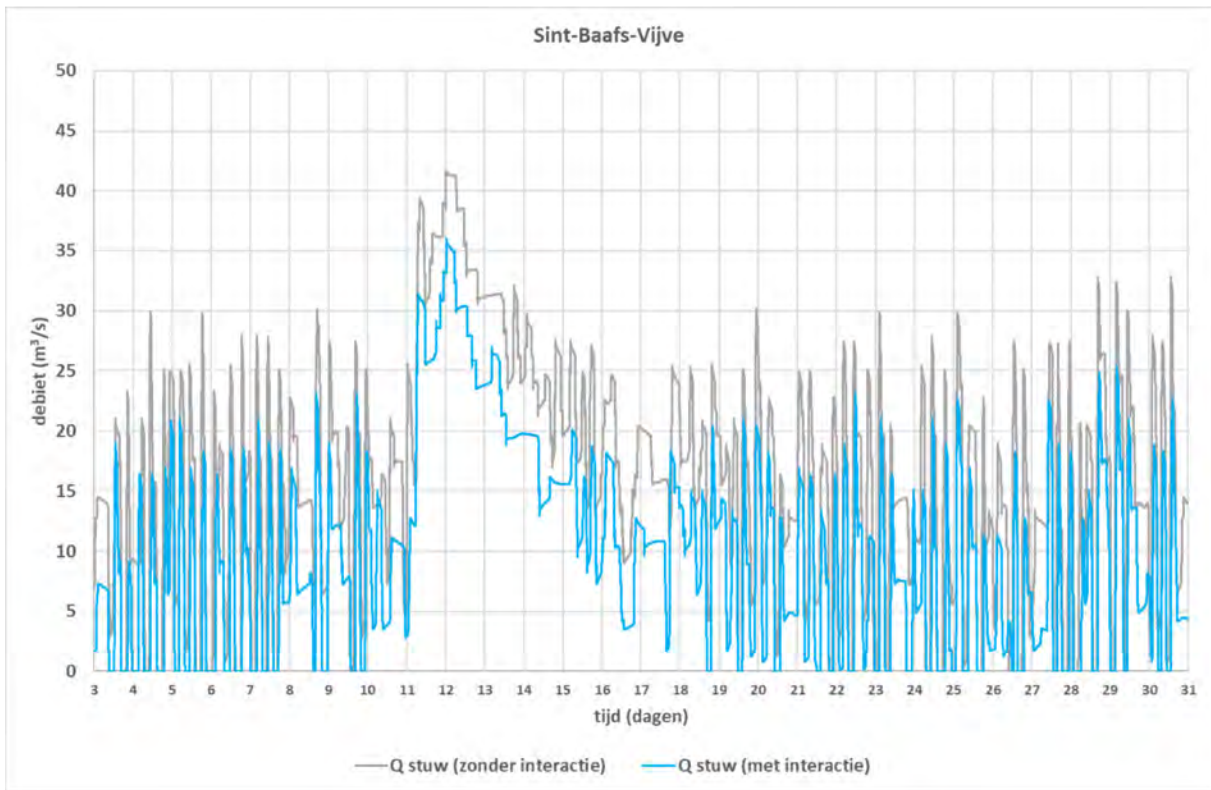
Figuur 131 – Maart 2018 – Menen (reeks 2)



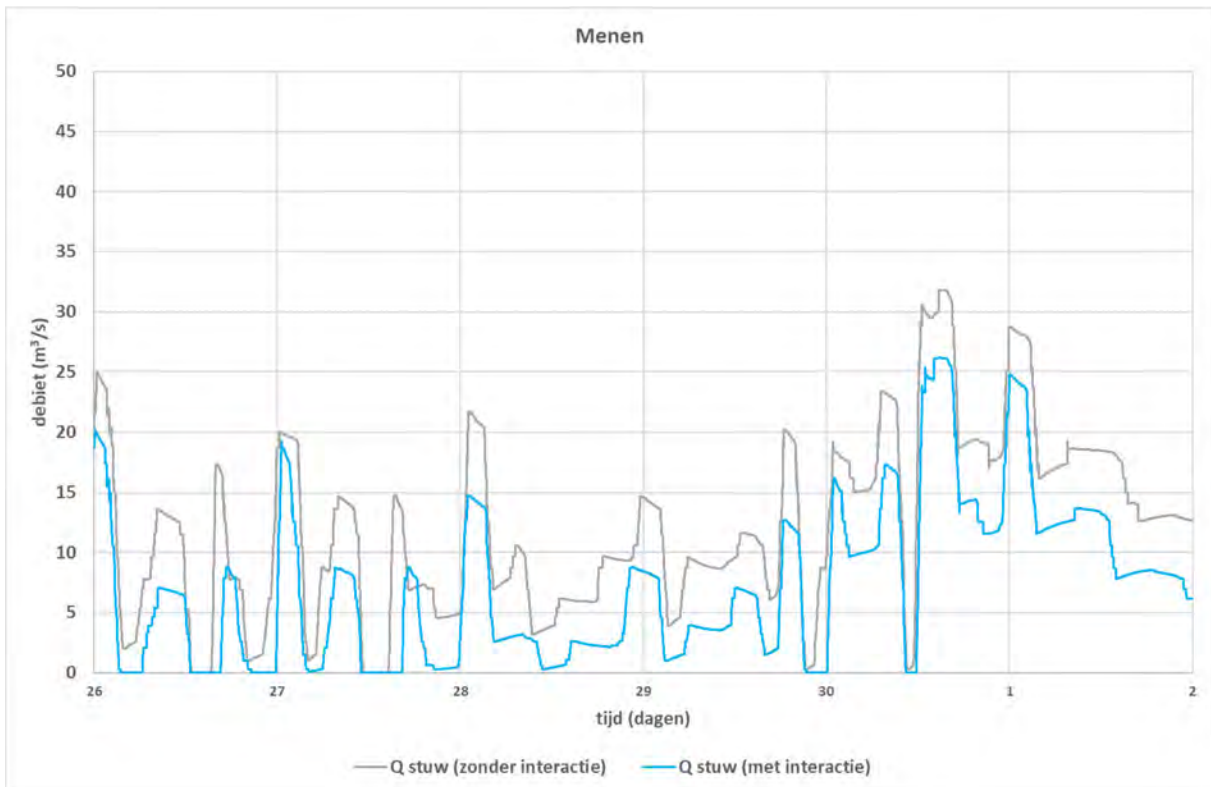
Figuur 132 – Maart 2018 – Harelbeke (reeks 2)



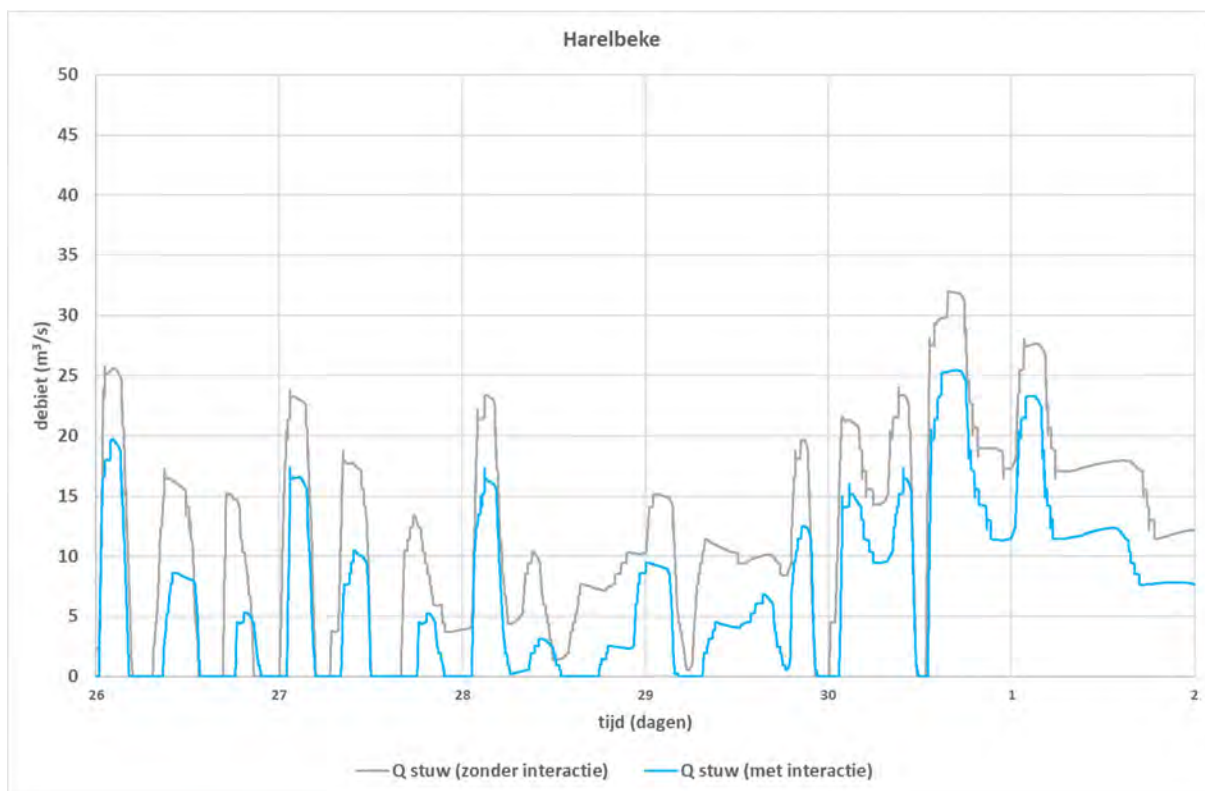
Figuur 133 – Maart 2018 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



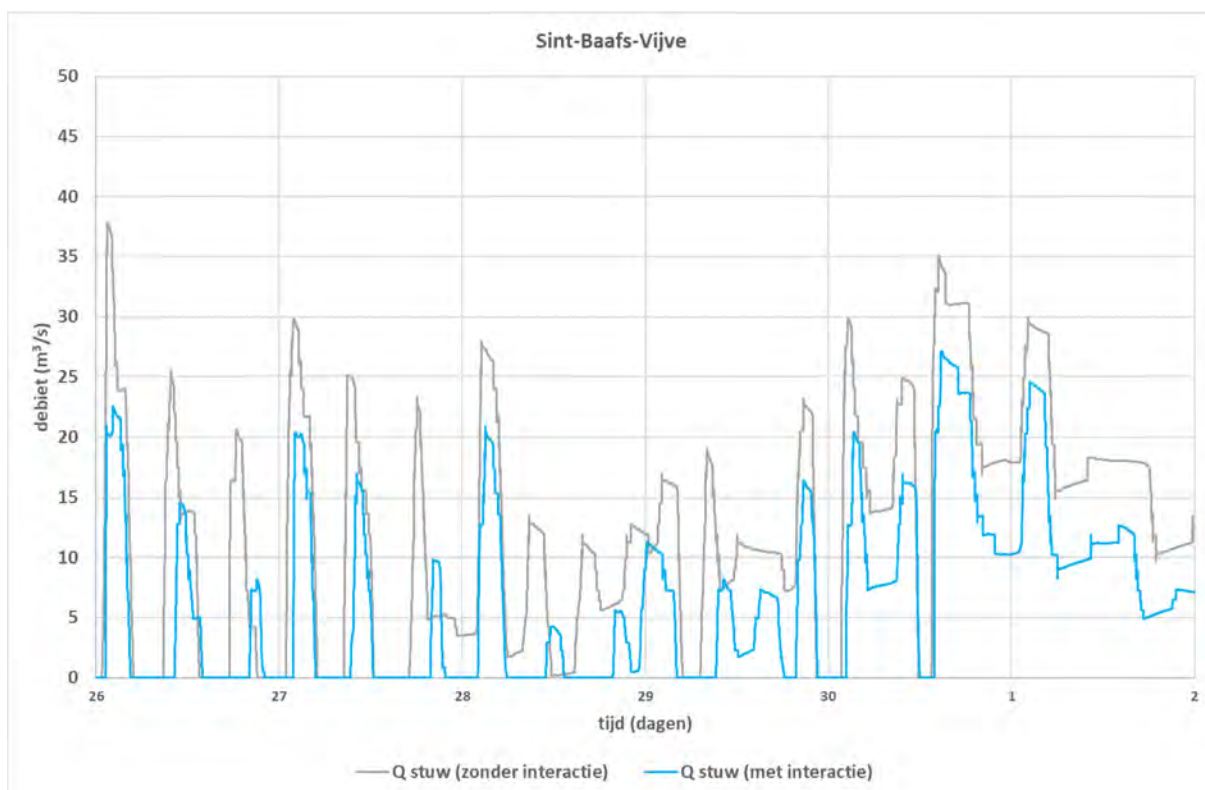
Figuur 134 – April 2018 – Menen (reeks 2)



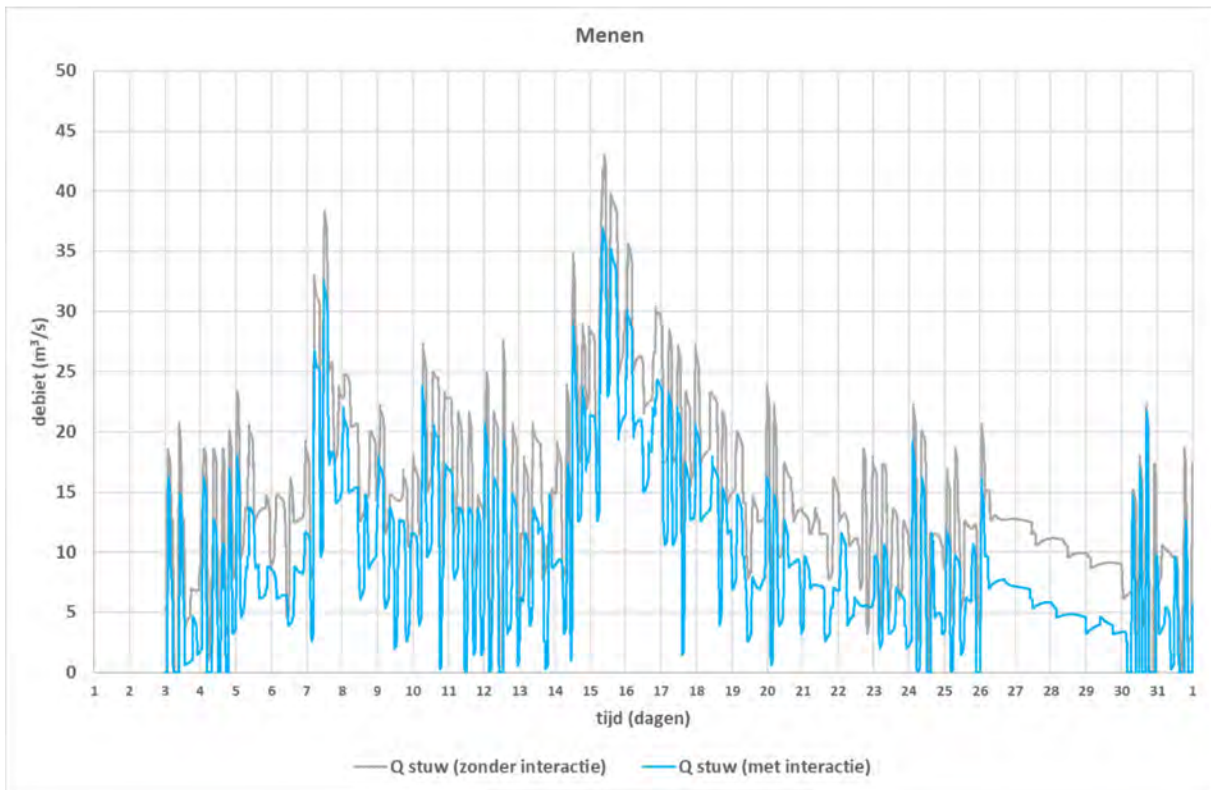
Figuur 135 – April 2018 – Harelbeke (reeks 2)



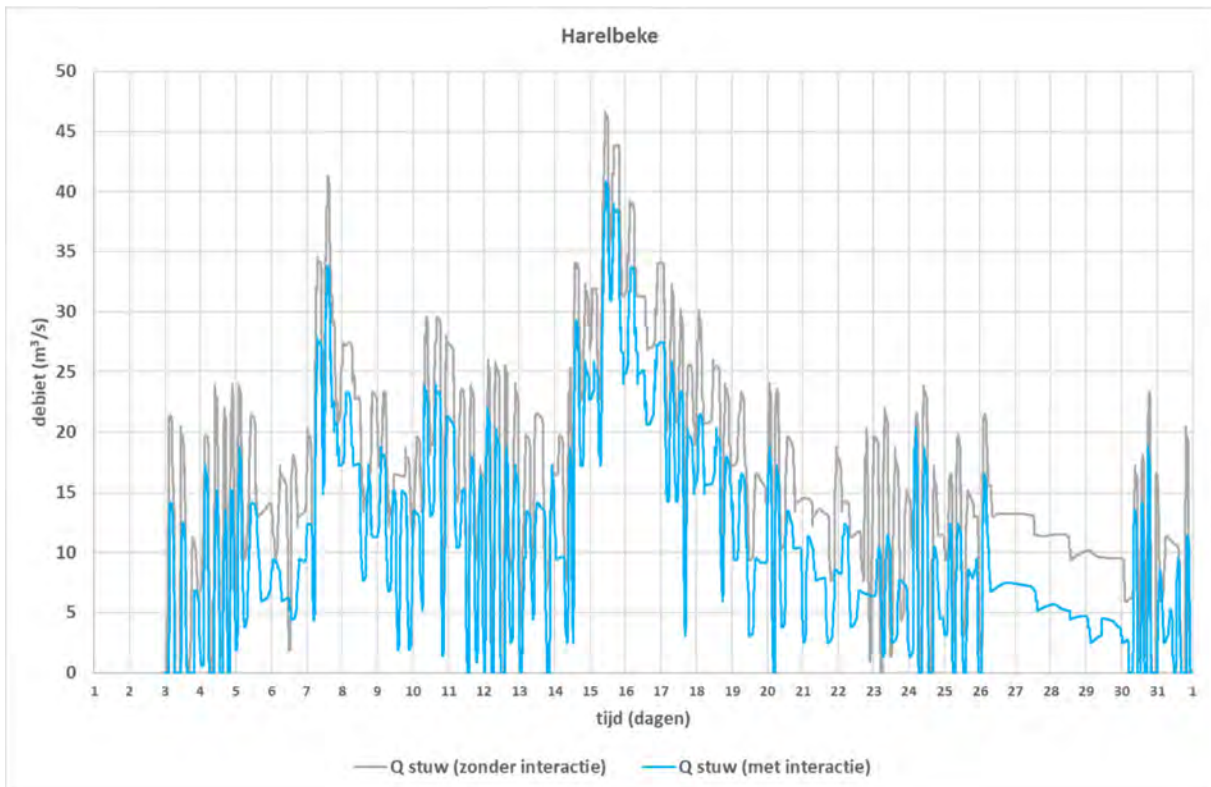
Figuur 136 – April 2018 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



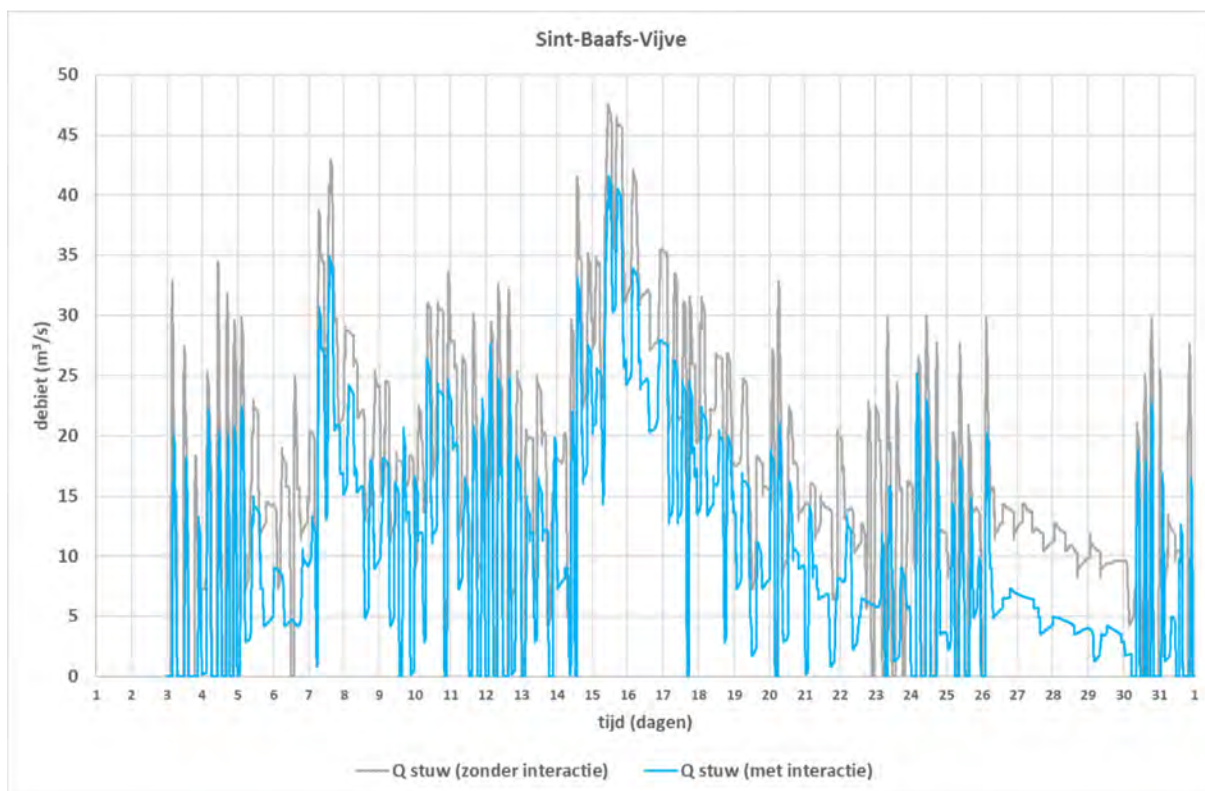
Figuur 137 – Maart 2019 – Menen (reeks 2)



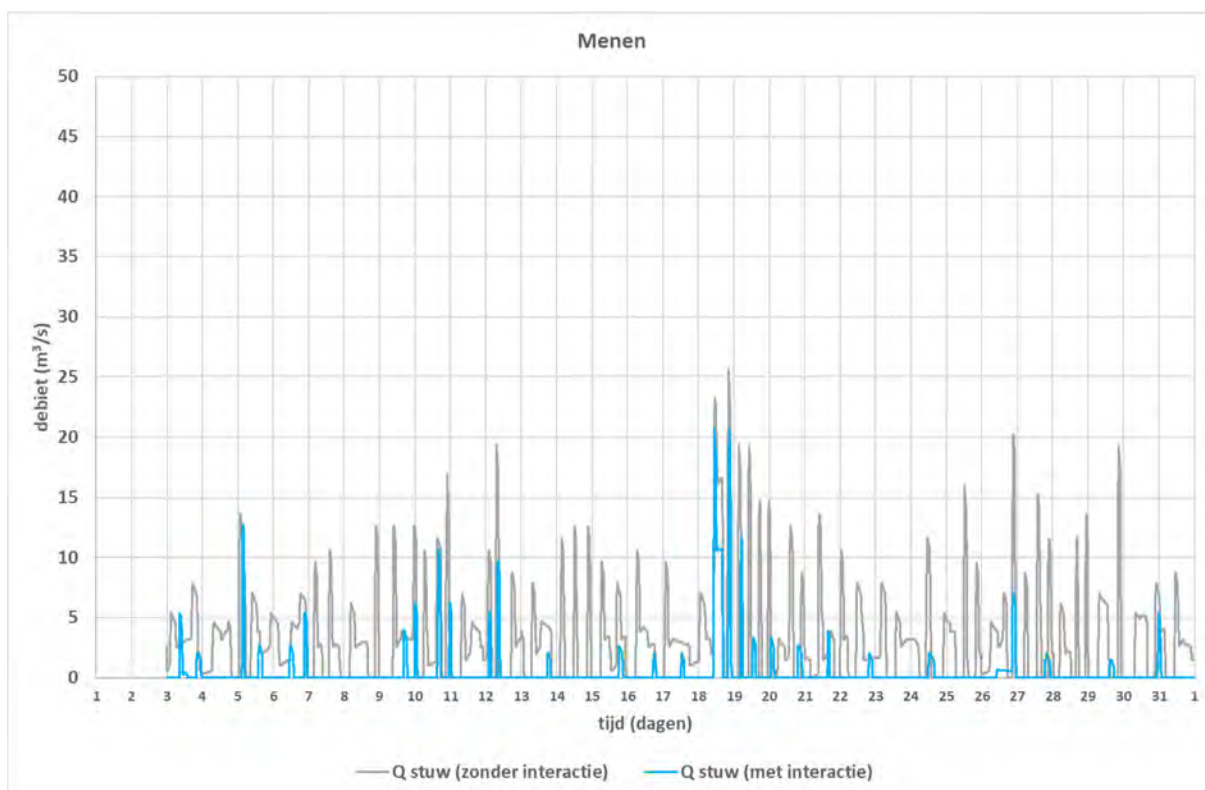
Figuur 138 – Maart 2019 – Harelbeke (reeks 2)



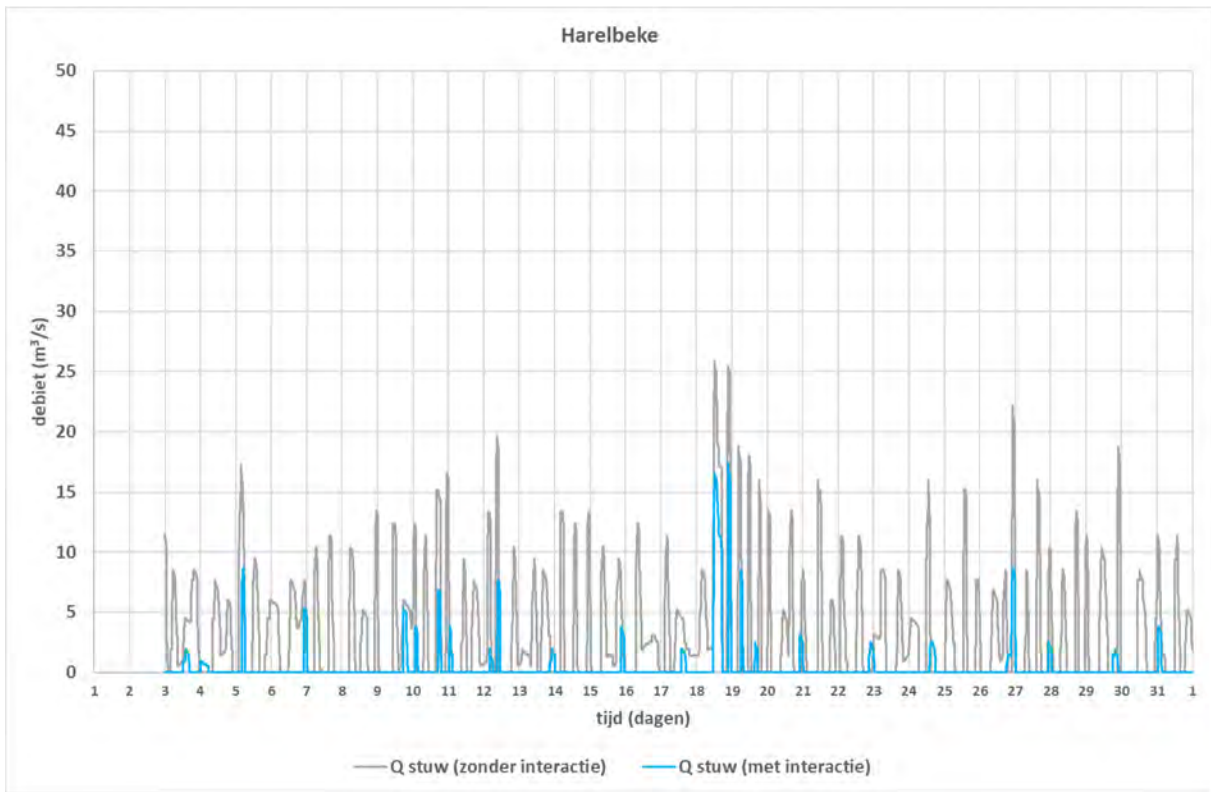
Figuur 139 – Maart 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



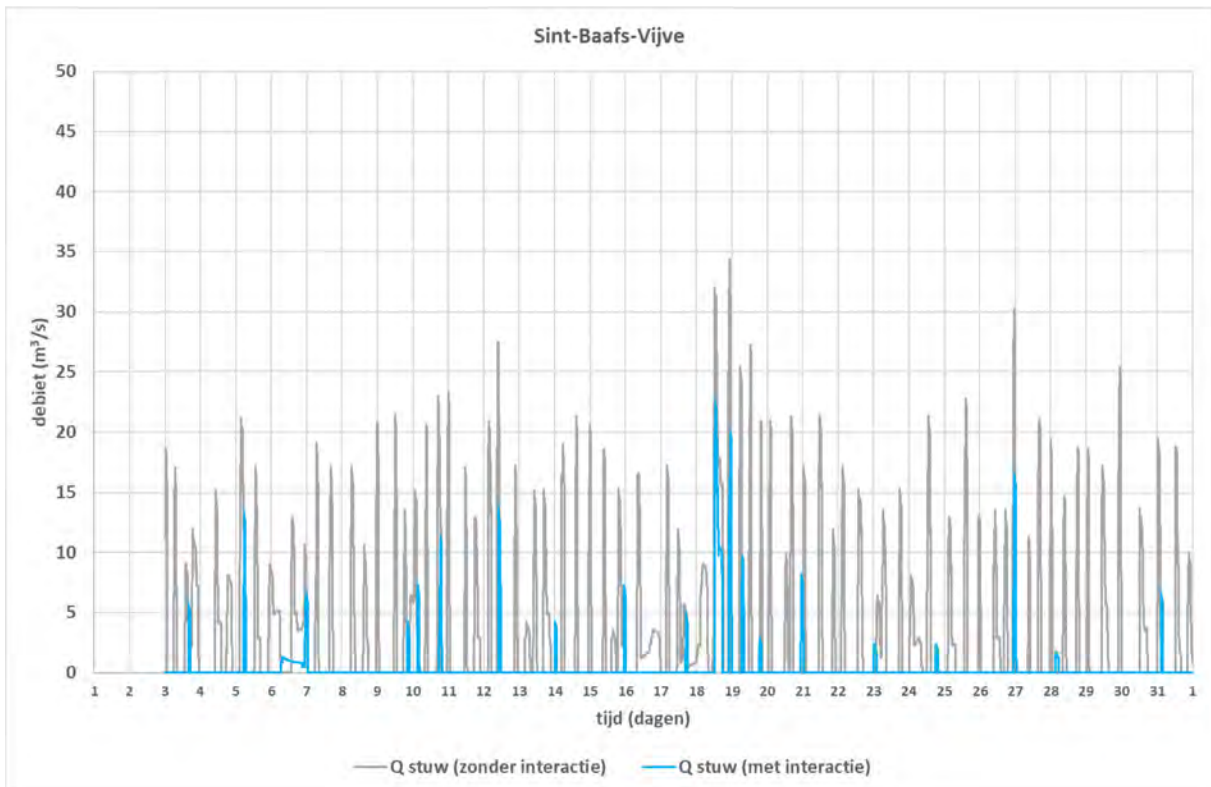
Figuur 140 – Augustus 2019 – Menen (reeks 2)



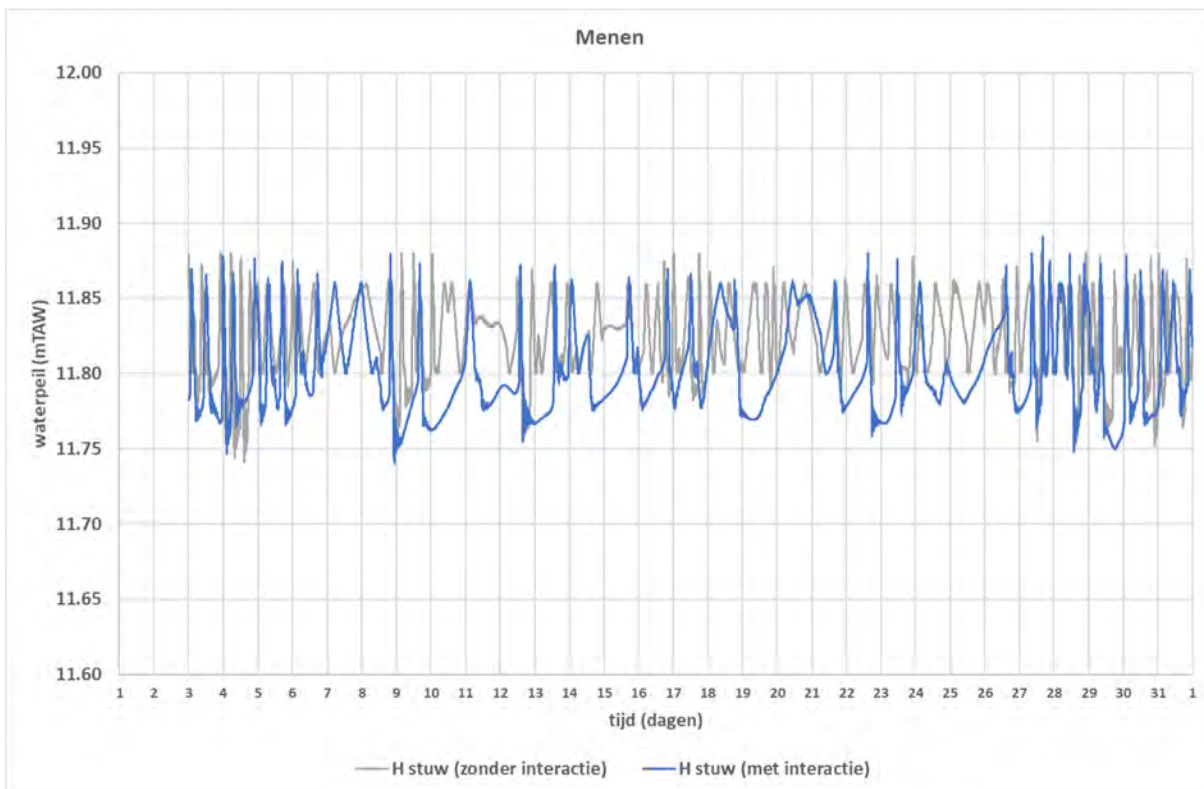
Figuur 141 – Augustus 2019 – Harelbeke (reeks 2)



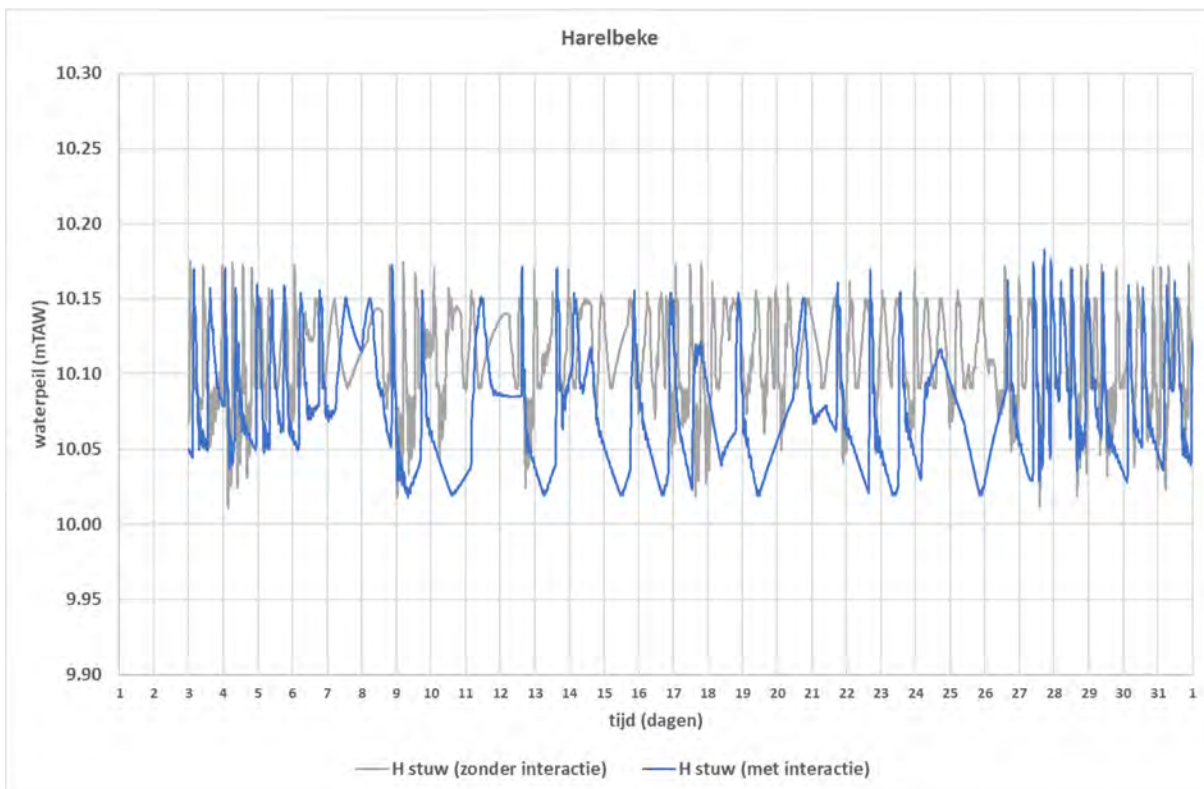
Figuur 142 – Augustus 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



Figuur 143 – Juli 2019 – Menen (reeks 3)



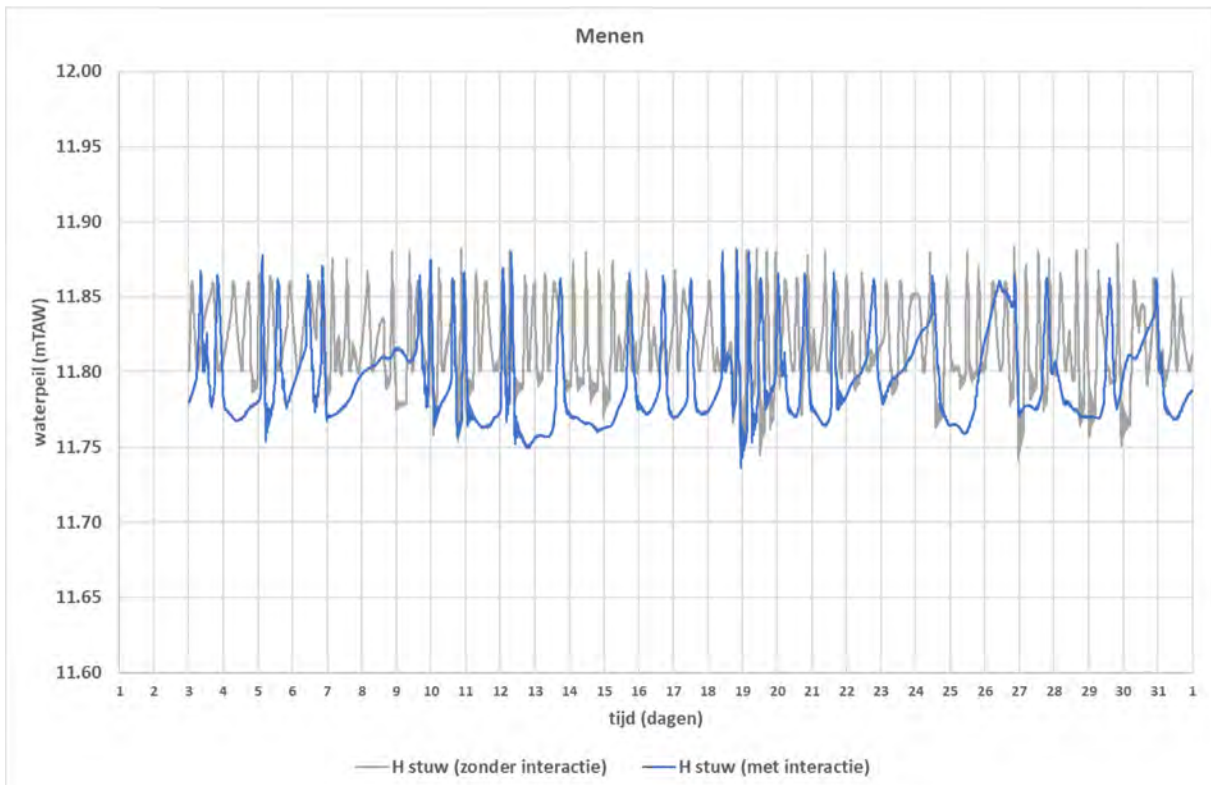
Figuur 144 – Juli 2019 – Harelbeke (reeks 3)



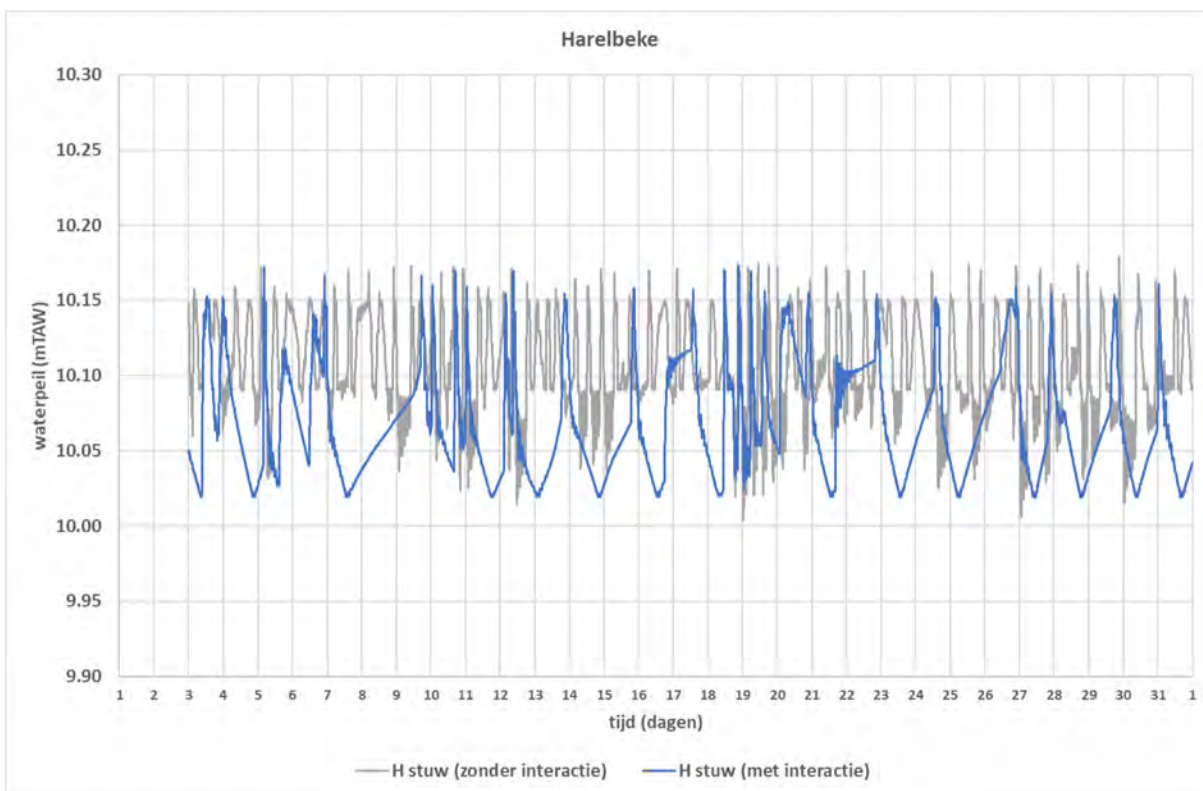
Figuur 145 – Juli 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 3)



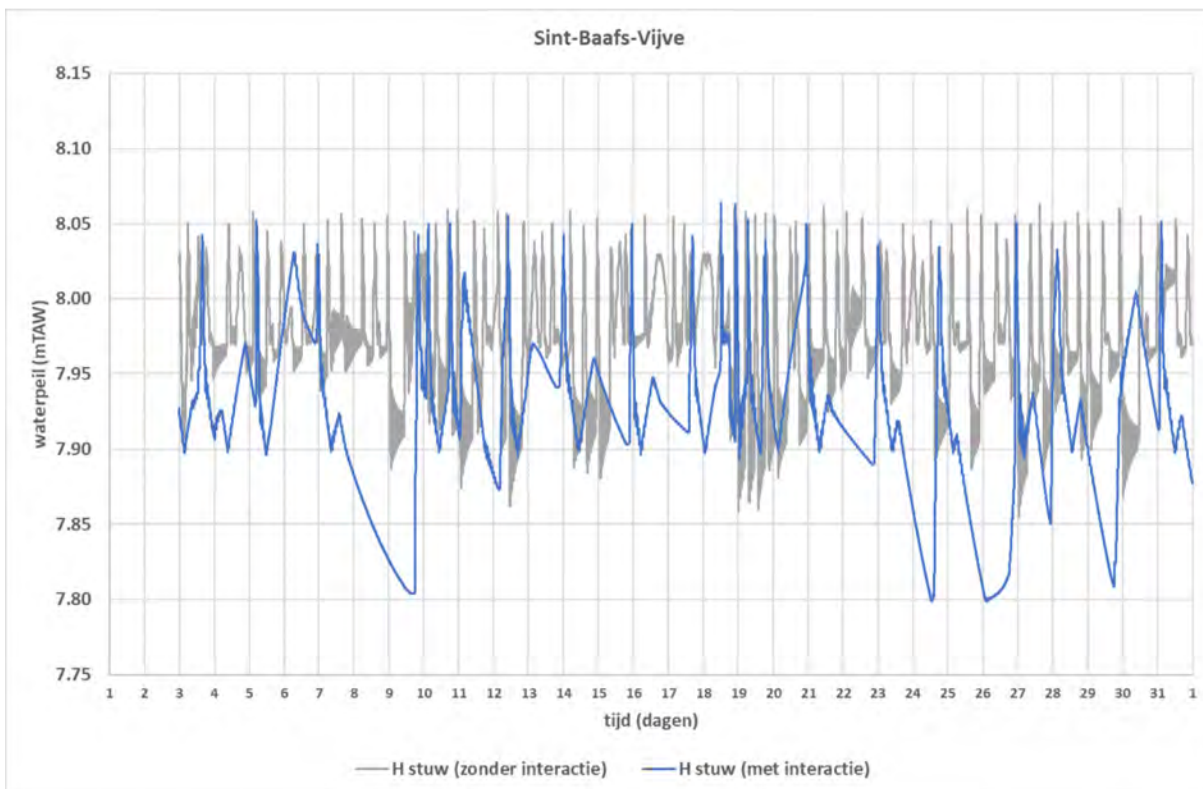
Figuur 146 – Augustus 2019 – Menen (reeks 3)



Figuur 147 – Augustus 2019 – Harelbeke (reeks 3)



Figuur 148 – Augustus 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 3)



7.3 Conclusies en aanbevelingen

Tijdens de analyse van de stuwwerking was gebleken dat een lokale sturing op waterpeil aanleiding kan geven tot versterking van kleine debietschommelingen. De studie van de interactie tussen de stuwen, turbines en de vispassages toont aan dat deze debietschommelingen geen negatieve invloed hebben op de werking van de vispassages. Het toegevoegd debiet van de vispassages volgt de debietschommelingen uiteraard wel aangezien het rechtstreeks gekoppeld is aan het debiet over de stuwen.

De aanwezigheid van kunstwerken zoals vispassages en turbines leidt logischerwijze tot een afname van het debiet over de stuwen bij lage en middelhoge afvoeren. Hierdoor neemt de kans op het volledig optrekken van de kleppen van de stuwen (m.a.w. geen overstortdebiet) tijdens debietschommelingen en tijdens droogweeperioden toe. Dit hoeft echter niet tot operationele problemen te leiden. Het beschikbare debiet wordt in deze situaties juist optimaal ingezet voor vismigratie en energiewinning. Licht verlaagde waterstanden in droogweeperiodes opwaarts van de stuwen zouden tevens kunnen bijdragen tot het dempen van kleine debietschommelingen.

Het toegepaste model maakt gebruik van daggemiddelde schutverliezen. De mogelijke impact van schutgolven op de werking van de kunstwerken langsheen de Leie wordt dus niet in rekening gebracht.

Aanvullend onderzoek naar de mogelijkheden van een centrale, anticipatieve sturing blijft nuttig met het oog op het beperken van de schommelingen van het debiet over de stuwen en het daaraan gekoppelde frequent op- en afschakelen van het toegevoegd debiet en mogelijk ook de turbines. Voor het verzekeren van de goede werking van de vispassages lijkt een dergelijke sturing echter niet noodzakelijk.

8 Samenvatting conclusies en aanbevelingen

In de volgende paragrafen worden de conclusies en aanbevelingen van de verschillende deelstudies (eerder beschreven in paragrafen 5.3, 6.3 en 7.3) nog eens samengevat.

8.1 Vispassages en turbines

Het gebruik van vispassages met een beperkt basisdebiet in combinatie met een toegevoegd debiet zorgt voor een hoog openingspercentage van de vispassages bij alle scenario's ongeacht het hydrologische regime.

Voor de vispassage van Menen zijn er voor de bestudeerde periode geen duidelijke hydrologische voordelen verbonden aan de keuze voor een vertical slot passage i.p.v. een bekkentrap, wanneer beiden uitgerust worden met een toegevoegd debiet. Een vertical slot passage is wel minder gevoelig voor eventueel toenemende droogte in de toekomst.

De werkingsgraad van de turbines is veel gevoeliger aan het hydrologische regime, omdat bij watertekort steeds voorrang gegeven wordt aan het openhouden van de vispassages.

Vanuit hydrologisch standpunt is de site van Menen geschikter voor de installatie van turbines dan de site van Sint-Baafs-Vijve. In Sint-Baafs-Vijve zouden vijzels wel van belang kunnen zijn als pomp, om de grote schutverliezen te compenseren.

In een eerdere studie (Vanderkimpen et al., 2023) werd reeds onderzocht welke voor- of nadelen er verbonden zijn aan het criterium voor het openen van een vispassage (waterpeil of debiet). Uit deze studie bleek dat opening op basis van debiet en sluiting op basis van waterpeil over het algemeen de meest optimale regeling lijkt. Om de impact van de keuze van het openingsmechanisme te minimaliseren kan men opteren voor een flexibel algoritme, waarbij de vispassage geopend wordt op basis van een combinatie van waterpeil en debiet. De beheerder kan dan zelf beslissen om de vispassage te openen op basis van waterpeil en/of debiet. Op basis van ervaring, weersomstandigheden en beheerprioriteiten, kan hij dan steeds het meest geschikte mechanisme instellen. Een dergelijk algoritme werd reeds uitgewerkt voor de vispassage van Sint-Baafs-Vijve (Vanderkimpen et al., 2020) en wordt ook aanbevolen voor de vispassage van Menen.

Indien in Menen of Sint-Baafs-Vijve waterkrachtcentrales gebouwd zouden worden, dan dient tijdens het ontwerp onderzocht te worden of de toevoeging van een tweede vispassage noodzakelijk is. De behoefte aan een bijkomende vispassage zal afhangen van de precieze inplanting van de turbines.

8.2 Stuwen

Theoretische beschouwingen op basis van de fysische kenmerken van de verschillende panden van de gekanaliseerde Deûle, Lys en Leie doen vermoeden dat een automatische lokale sturing op waterpeil aanleiding zou kunnen geven tot versterkingen van debietschommelingen bij afvoeren minder dan 30 à 70 m³/s. Controleberekeningen met synthetische en historische gebeurtenissen bevestigen dit vermoeden.

De versterking van de debietsafname op het einde van een was, kan ertoe leiden dat de meest afwaarts gelegen stuwen tijdelijk sluiten. Deze sluiting zou een negatieve impact kunnen hebben op de werking van de vispassages.

Een controleberekening voor de eerder bestudeerde droogweelperiode van april 2018 bevestigt het vermoeden dat de huidige sturing van de stuw van Comines niet optimaal is. Deze berekening suggereert echter ook dat een optimalisatie van deze sturing slechts tot een beperkte verbetering van de situatie in

Vlaanderen zal leiden, omdat de stuwen in Vlaanderen dan op hun beurt een versterking van de afvoergolven uit Frankrijk en Wallonië zouden kunnen veroorzaken.

Kleine debietschommelingen op de Lys en vooral op de Deûle in Frankrijk zouden aanleiding kunnen geven tot het ontstaan van grote debietschommelingen op de Leie in Vlaanderen en het tijdelijk sluiten van een aantal stuwen in Vlaanderen. De laterale instroming vanuit de zijlopen van de Leie volstaat niet om dit te voorkomen. Indien het niet mogelijk zou blijken om de versterking van de schommelingen in Wallonië en Vlaanderen te voorkomen, dan dient men het ontstaan van deze schommelingen in Frankrijk te beperken.

De parameters van het onderzochte sturingsalgoritme blijken slechts een beperkte invloed te hebben op de werking van de volledige stuwenketen. De ongewenste versterking van een toename of afname van het debiet bij lage afvoeren blijft optreden bij verschillende combinaties van sturingsparameters.

In een laatste stap dient de interactie tussen de stuwen en de vispassages onderzocht te worden. Daarbij dient gecontroleerd te worden welk effect de versterking van debietschommelingen heeft op de werking van vispassages uitgerust met een toegevoegd debiet. Indien zou blijken dat het voorgestelde sturingsalgoritme een ongewenste impact heeft op de werking van de vispassages, dan moeten alternatieve sturingsalgoritmen onderzocht worden.

8.3 Interactie

Tijdens de analyse van de stuwwerking was gebleken dat een lokale sturing op waterpeil aanleiding kan geven tot versterking van kleine debietschommelingen. De studie van de interactie tussen de stuwen, turbines en de vispassages toont aan dat deze debietschommelingen geen negatieve invloed hebben op de werking van de vispassages. Het toegevoegd debiet van de vispassages volgt de debietschommelingen uiteraard wel aangezien het rechtstreeks gekoppeld is aan het debiet over de stuwen.

De aanwezigheid van kunstwerken zoals vispassages en turbines leidt logischerwijze tot een afname van het debiet over de stuwen bij lage en middelhoge afvoeren. Hierdoor neemt de kans op het volledig optrekken van de kleppen van de stuwen (m.a.w. geen overstortdebet) tijdens debietschommelingen en tijdens droogweeperioden toe. Dit hoeft echter niet tot operationele problemen te leiden. Het beschikbare debiet wordt in deze situaties juist optimaal ingezet voor vismigratie en energiewinning. Licht verlaagde waterstanden in droogweeperiodes opwaarts van de stuwen zouden tevens kunnen bijdragen tot het dempen van kleine debietschommelingen.

Het toegepaste model maakt gebruik van daggemiddelde schutverliezen. De mogelijke impact van schutgolven op de werking van de kunstwerken langs de Leie wordt dus niet in rekening gebracht.

Aanvullend onderzoek naar de mogelijkheden van een centrale, anticipatieve sturing blijft nuttig met het oog op het beperken van de schommelingen van het debiet over de stuwen en het daaraan gekoppelde frequent op- en afschakelen van het toegevoegd debiet en mogelijk ook de turbines. Voor het verzekeren van de goede werking van de vispassages lijkt een dergelijke sturing echter niet noodzakelijk.

9 Referenties

Cofely Fabricom (2015). Leie te Harelbeke - Bouw van een stuwsluis, Functionele analyse tijdelijke stuw (B.1220-ASB-DOC-04450-TST).

Neumüller, M. en Bernhauer, W. (1969): Stauregelung und Abflußregelung an Laufwasserkraftwerken; Wasserwirtschaft 10 (1969); S. 297ff

Neumüller, M. en Bernhauer, W. (1976): Stauregelung und Abflußregelung an Laufwasserkraftwerken mit automatischen Verfahren; Wasserwirtschaft 66 (1976) 6, S. 253ff

Vanderkimpen, P.; Pereira, F.; Mostaert, F. (2018). Slim stuwen – fase 1: Debietschommelingen op de Leie te Menen. Versie 4.0. WL Rapporten, 17_045_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

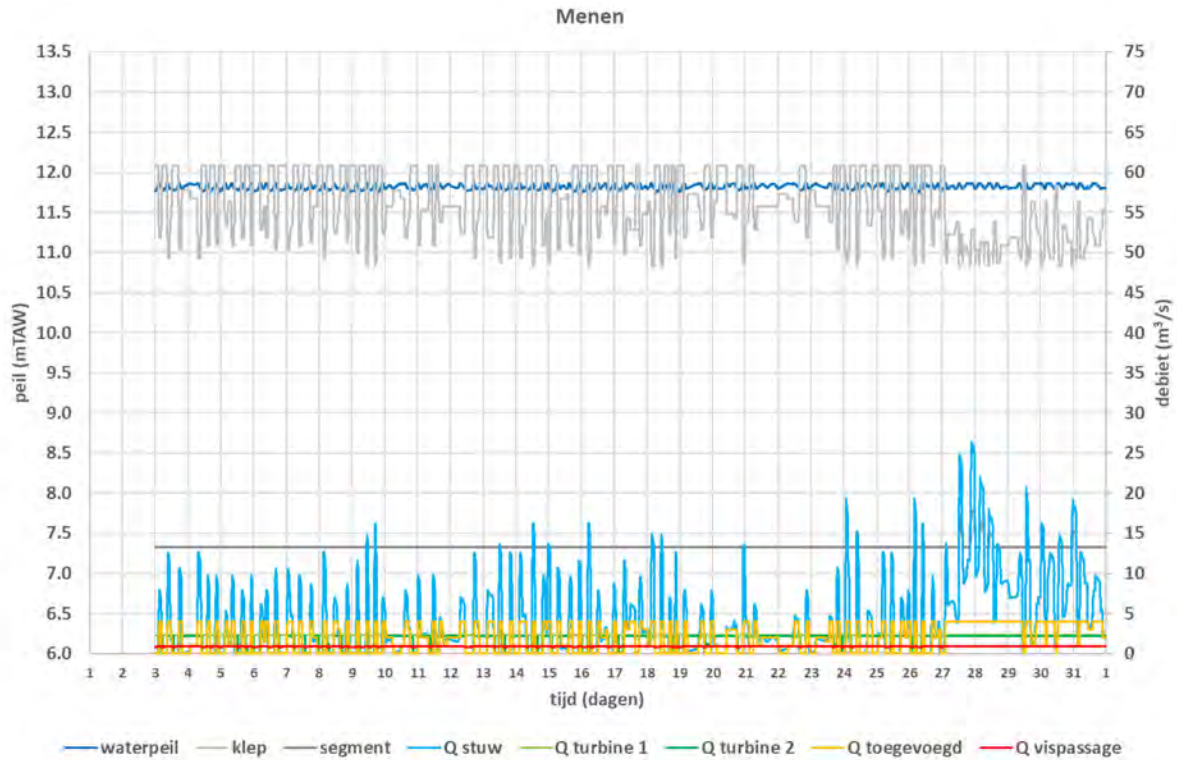
Vanderkimpen, P.; De Boeck, K.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2019). Mike11 model Leie, Bovenshelde en Gentse Kanalen: Beschrijving versie 2015. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_106_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vanderkimpen, P.; Visser, K. P.; Viaene, P. (2020). Voorstel sturing vispassage Sint-Baafs-Vijve. Versie 3.0. WL Memo's, 15_036_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

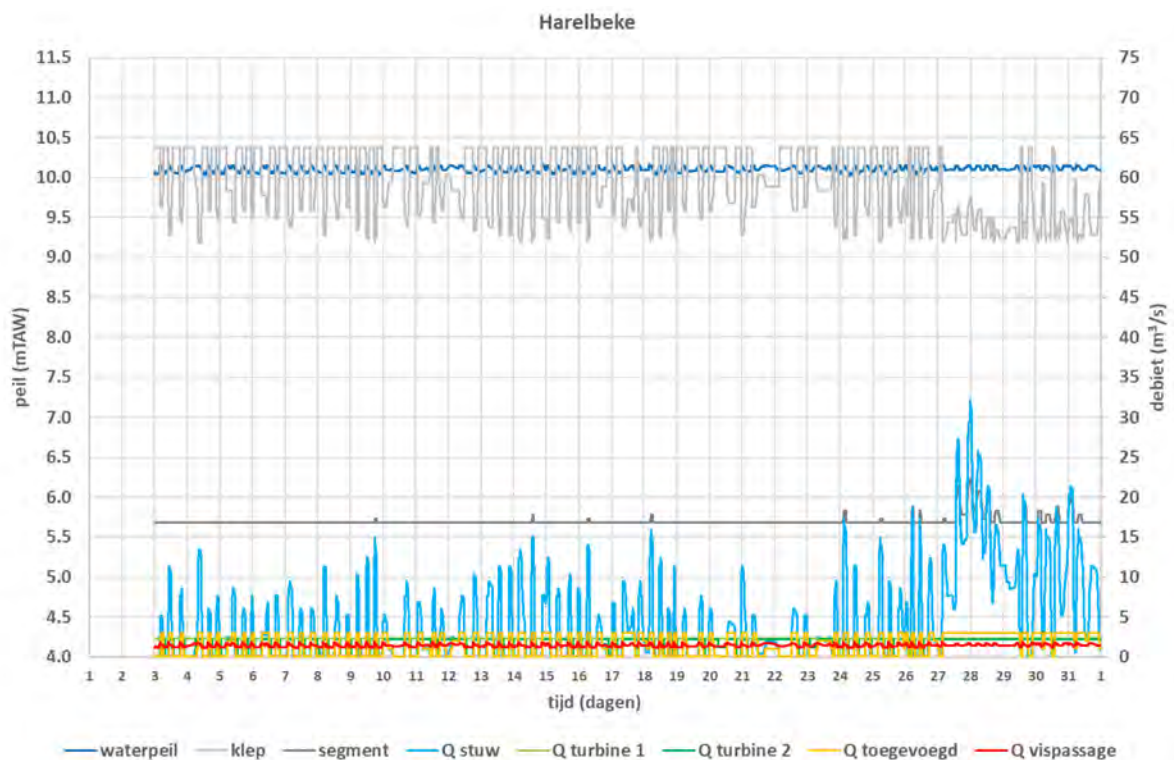
Vanderkimpen, P.; Pereira, F.; Visser, K.P.; Viaene, P. (2023). Slim stuwen – fase 3: Sturing stuwen en vispassages Dender. Versie 4.0. WL Rapporten, 19_013_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Bijlage 1 Interactie – figuren reeks 1

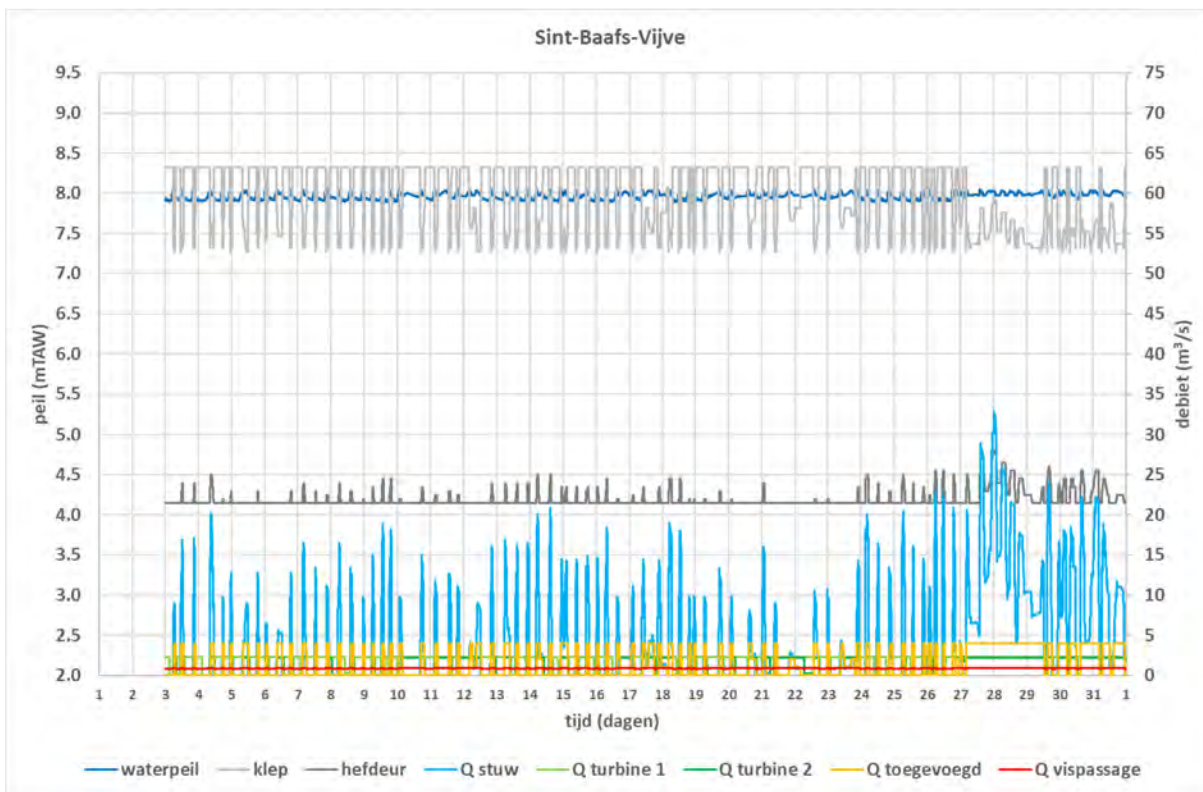
Figuur 149 – Januari 2019 – Menen (reeks 1)



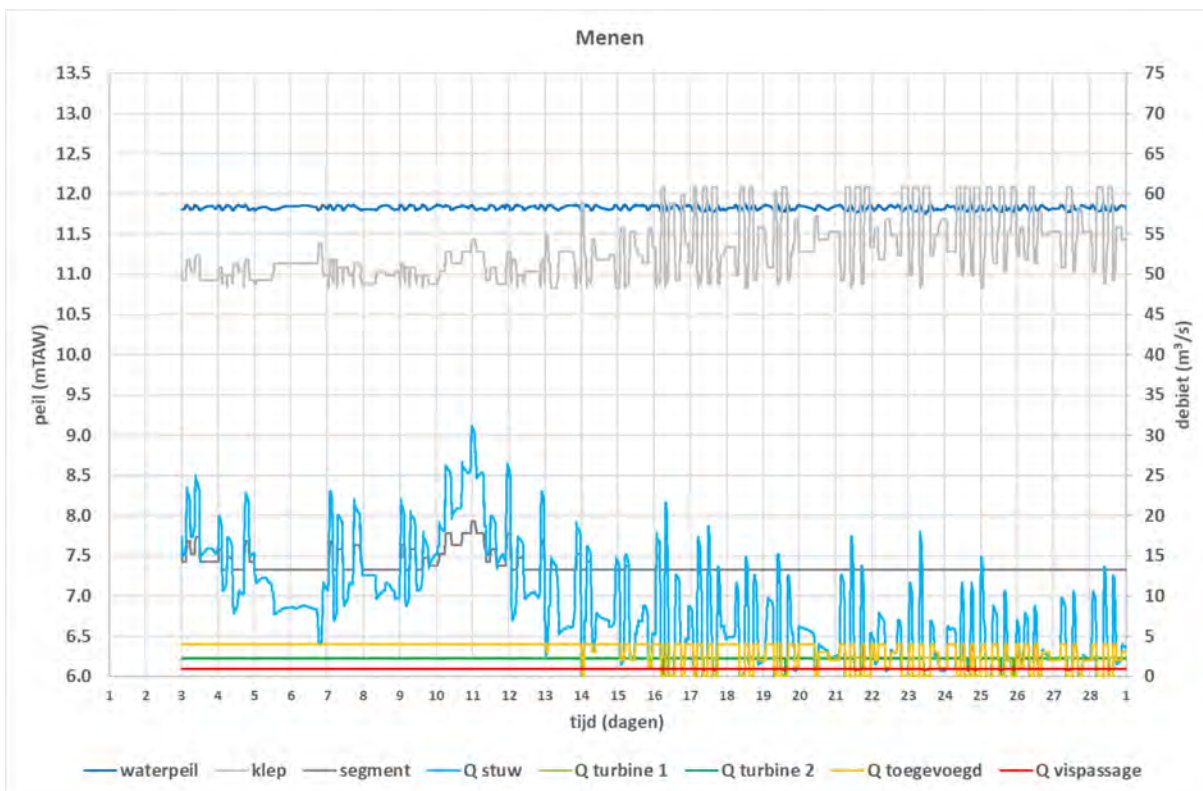
Figuur 150 – Januari 2019 – Harelbeke (reeks 1)



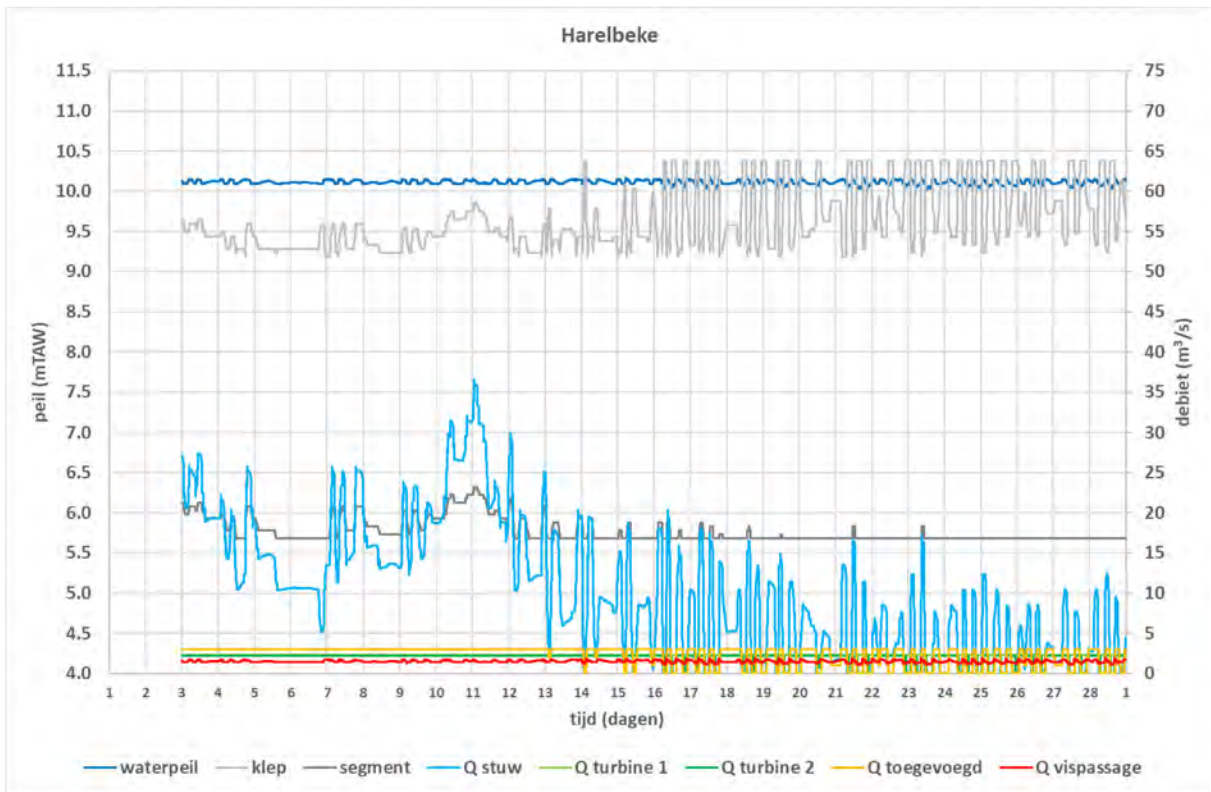
Figuur 151 – Januari 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



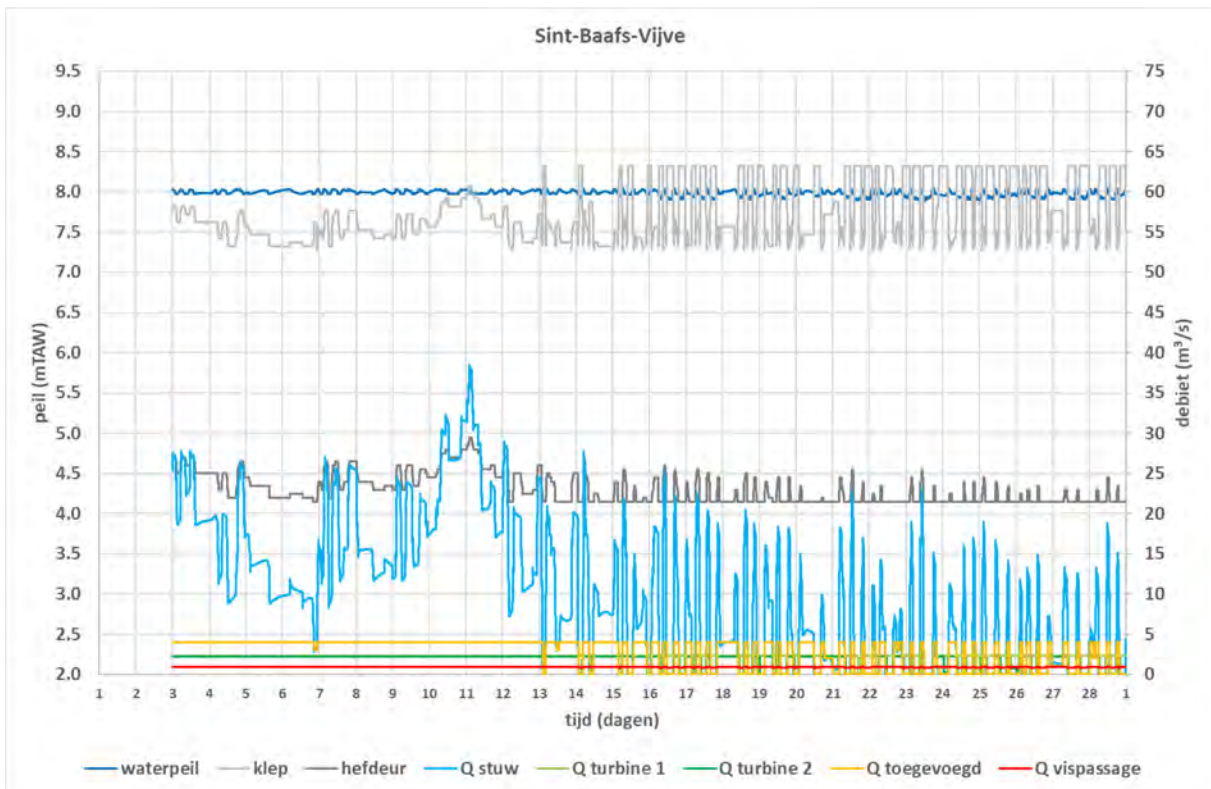
Figuur 152 – Februari 2019 – Menen (reeks 1)



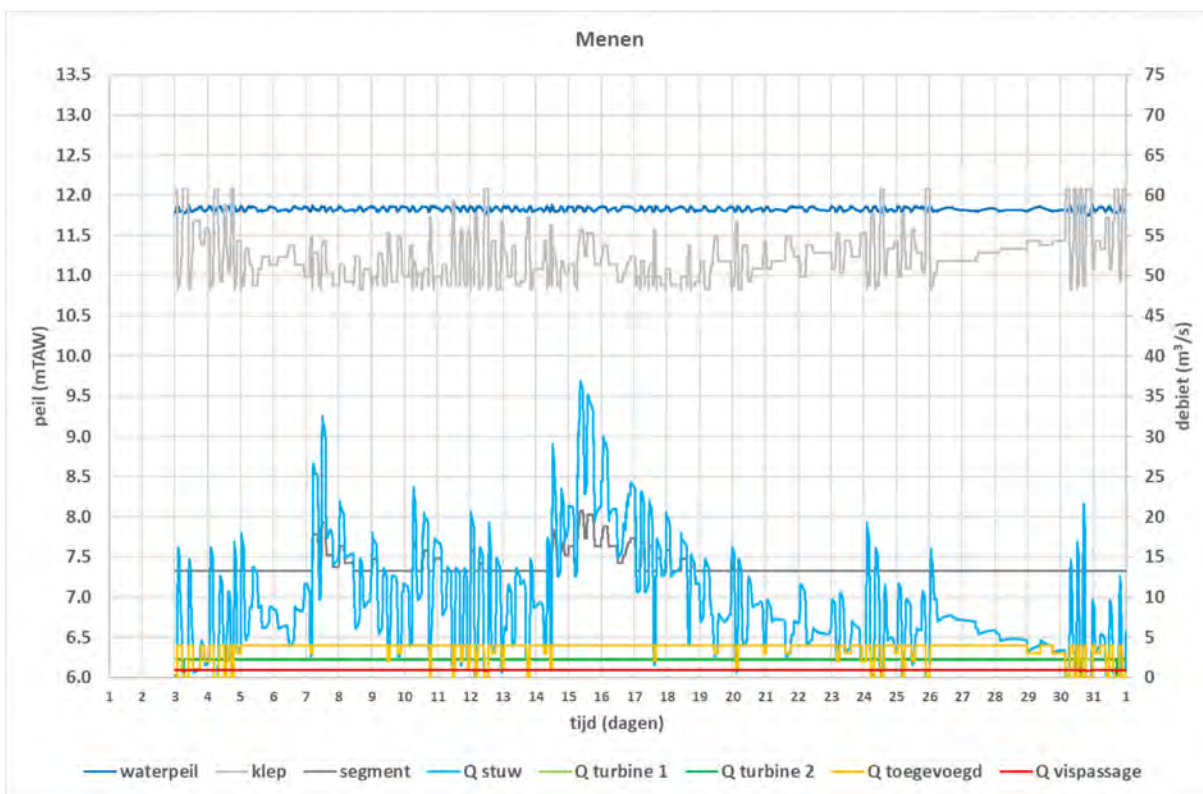
Figuur 153 – Februari 2019 – Harelbeke (reeks 1)



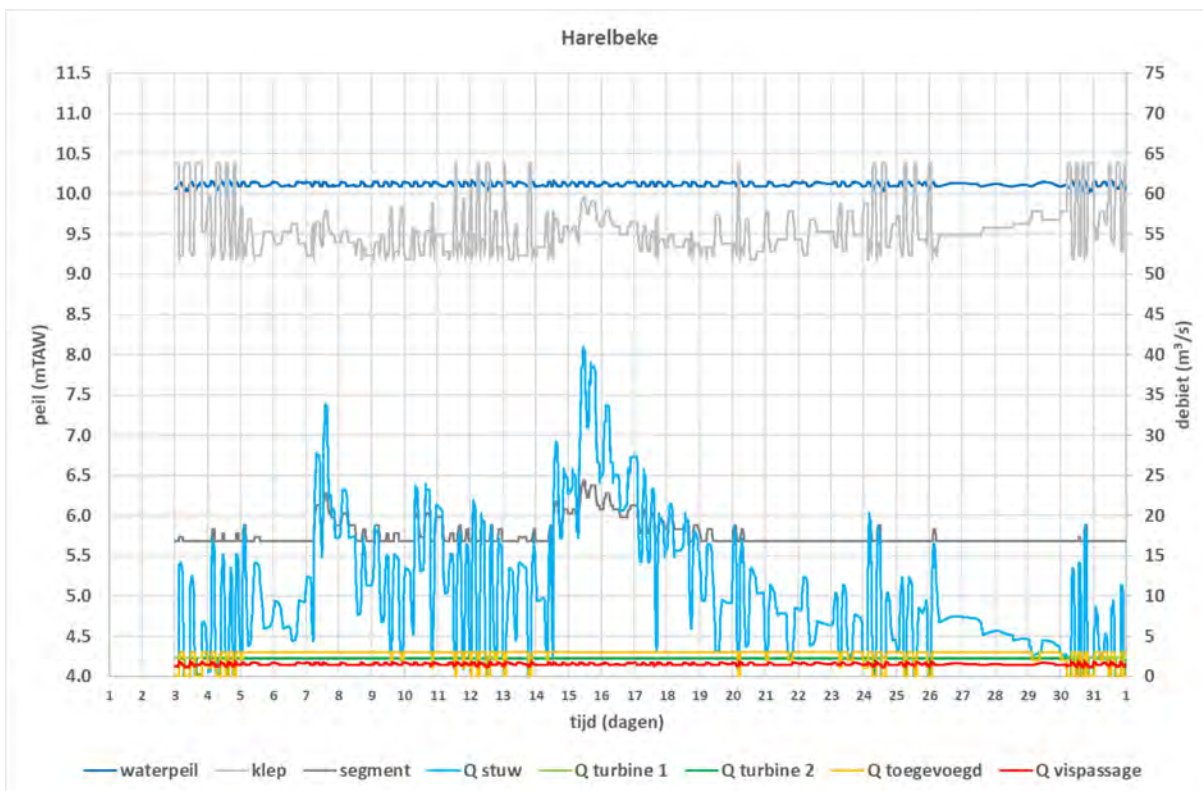
Figuur 154 – Februari 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



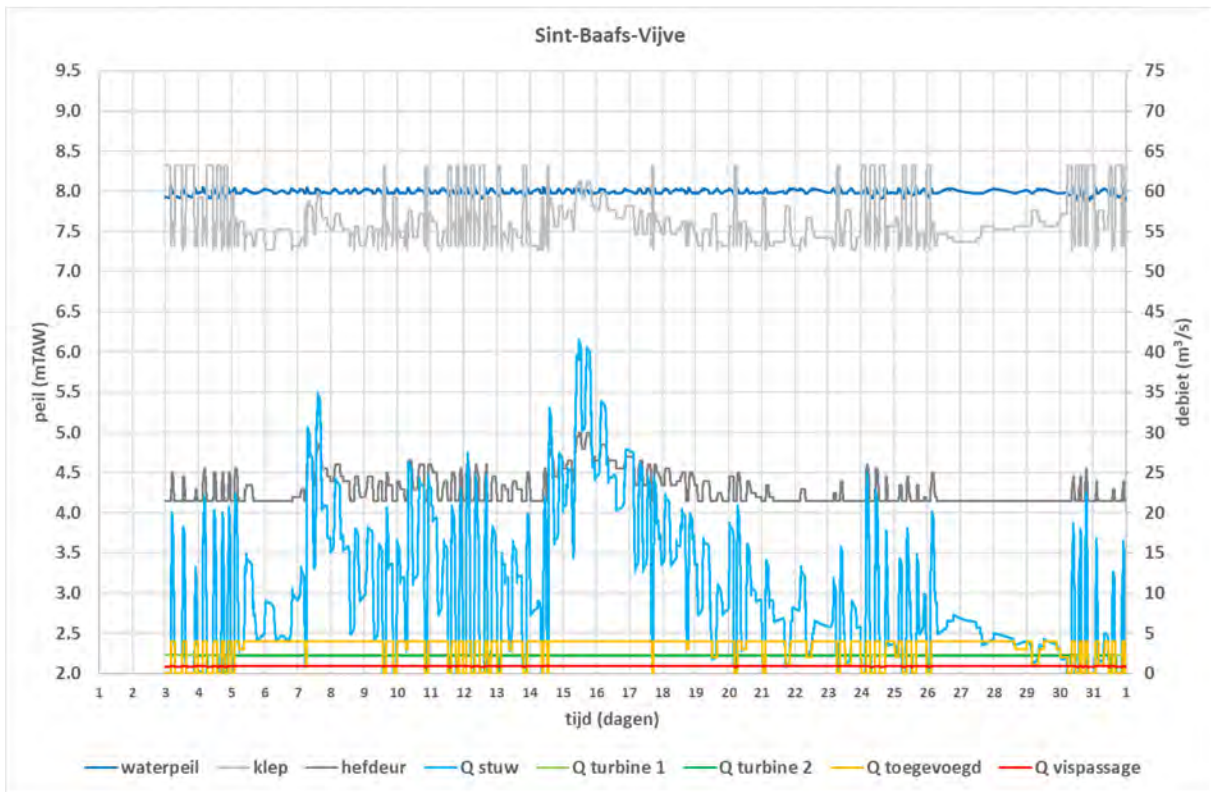
Figuur 155 – Maart 2019 – Menen (reeks 1)



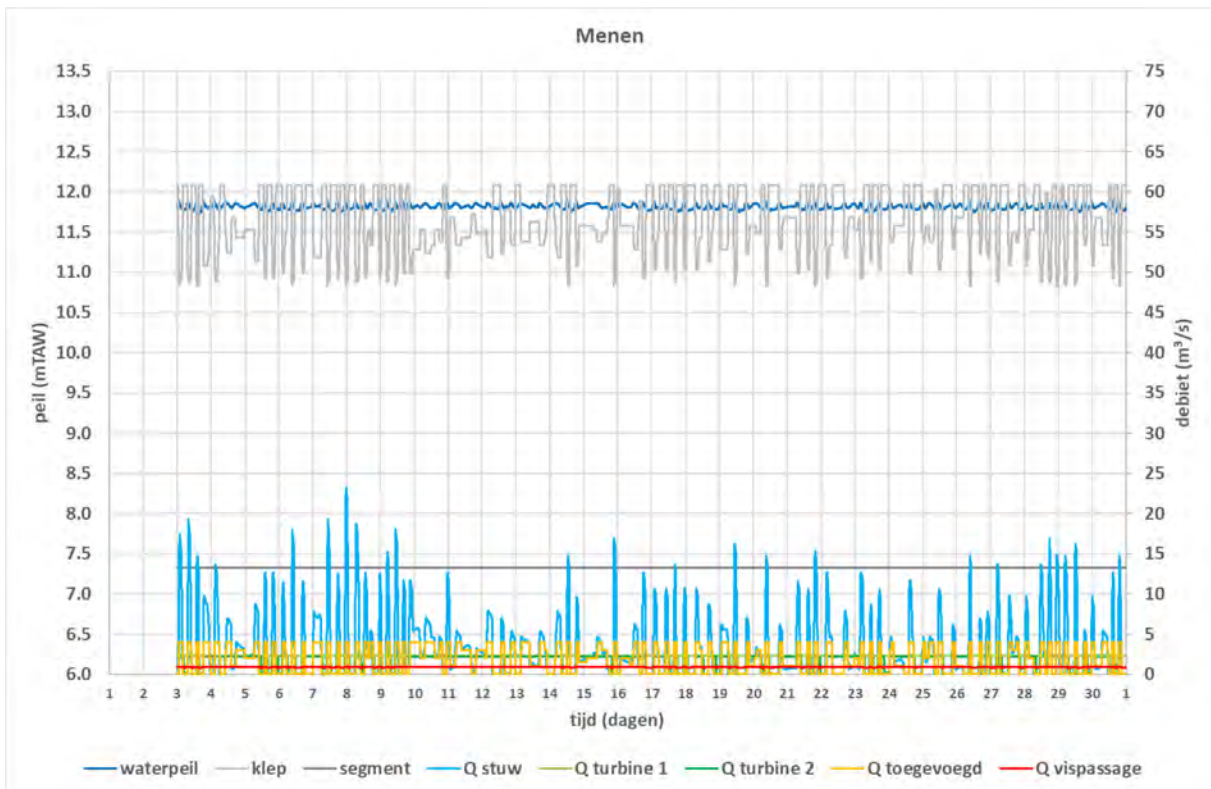
Figuur 156 – Maart 2019 – Harelbeke (reeks 1)



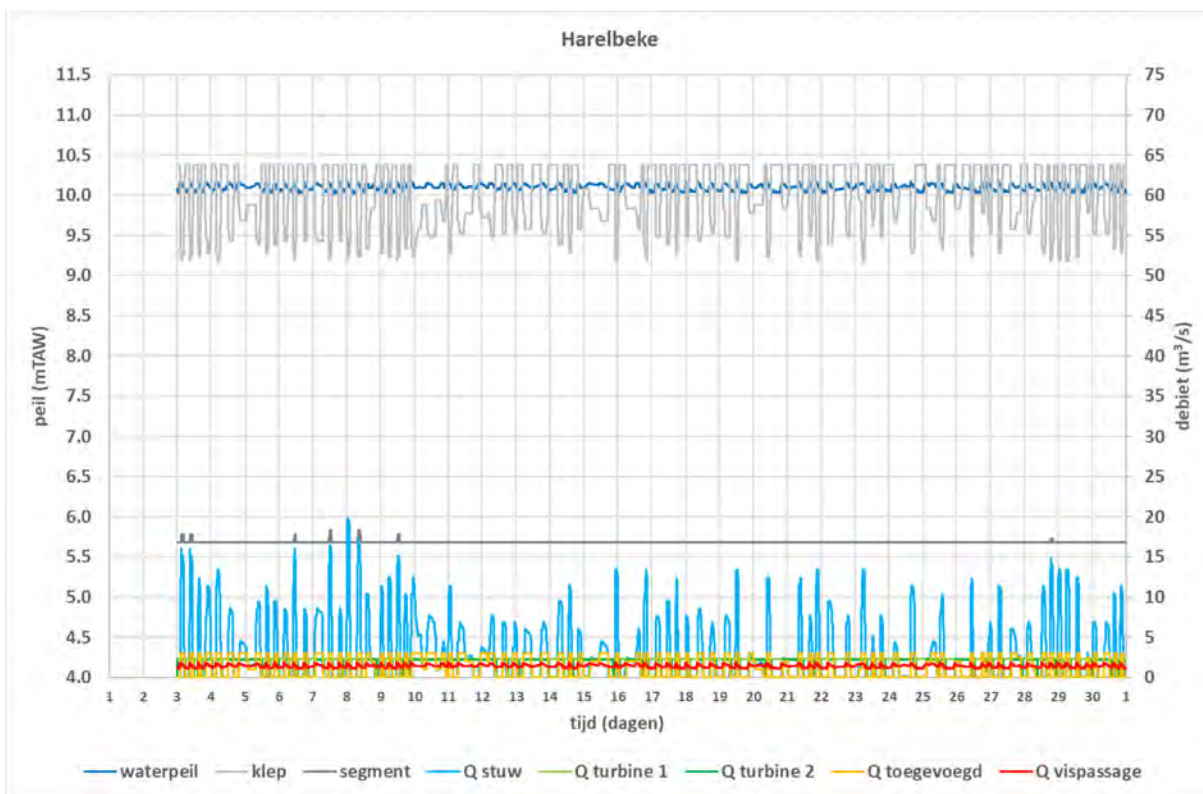
Figuur 157 – Maart 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



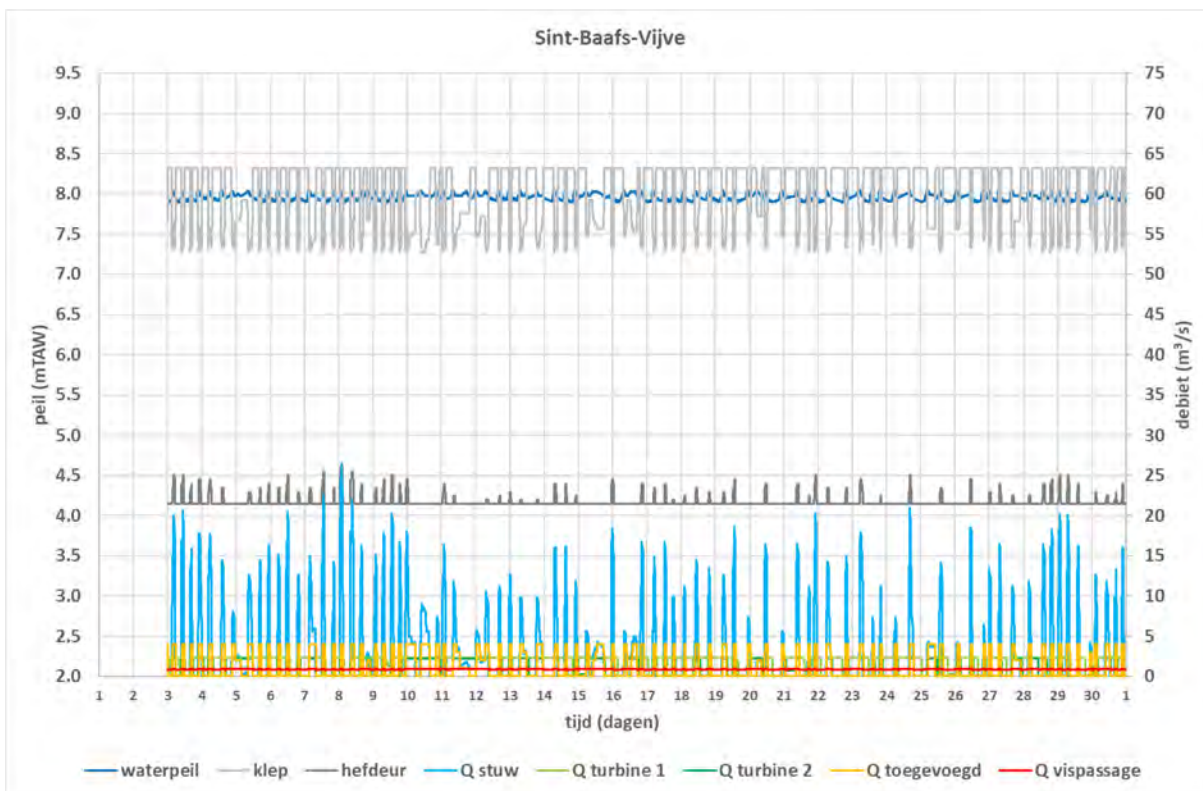
Figuur 158 – April 2019 – Menen (reeks 1)



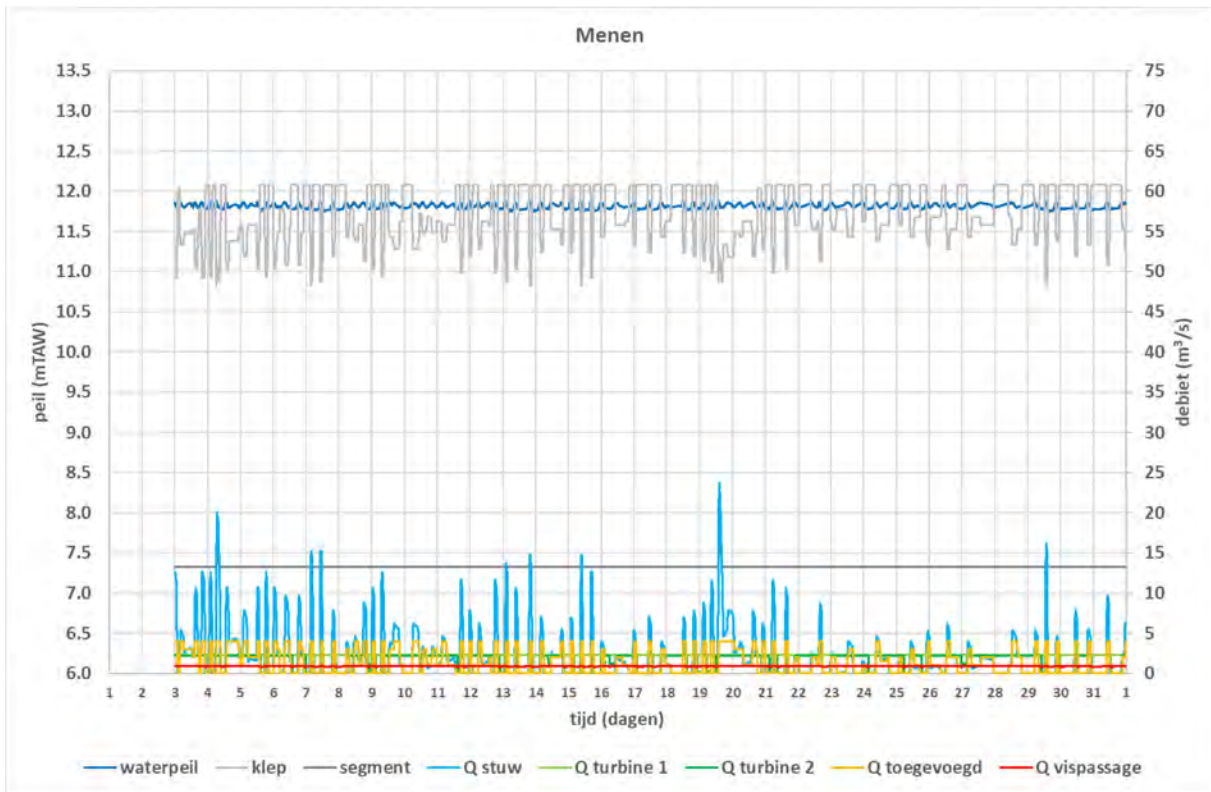
Figuur 159 – April 2019 – Harelbeke (reeks 1)



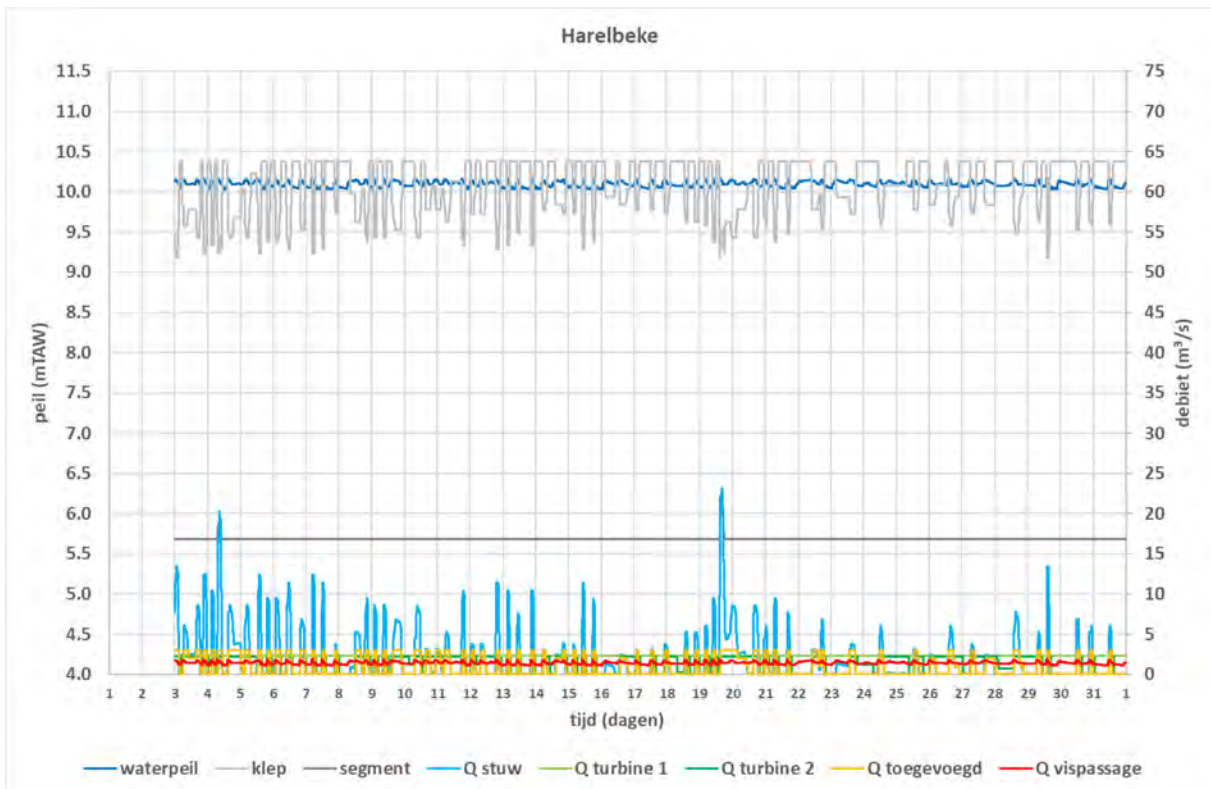
Figuur 160 – April 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



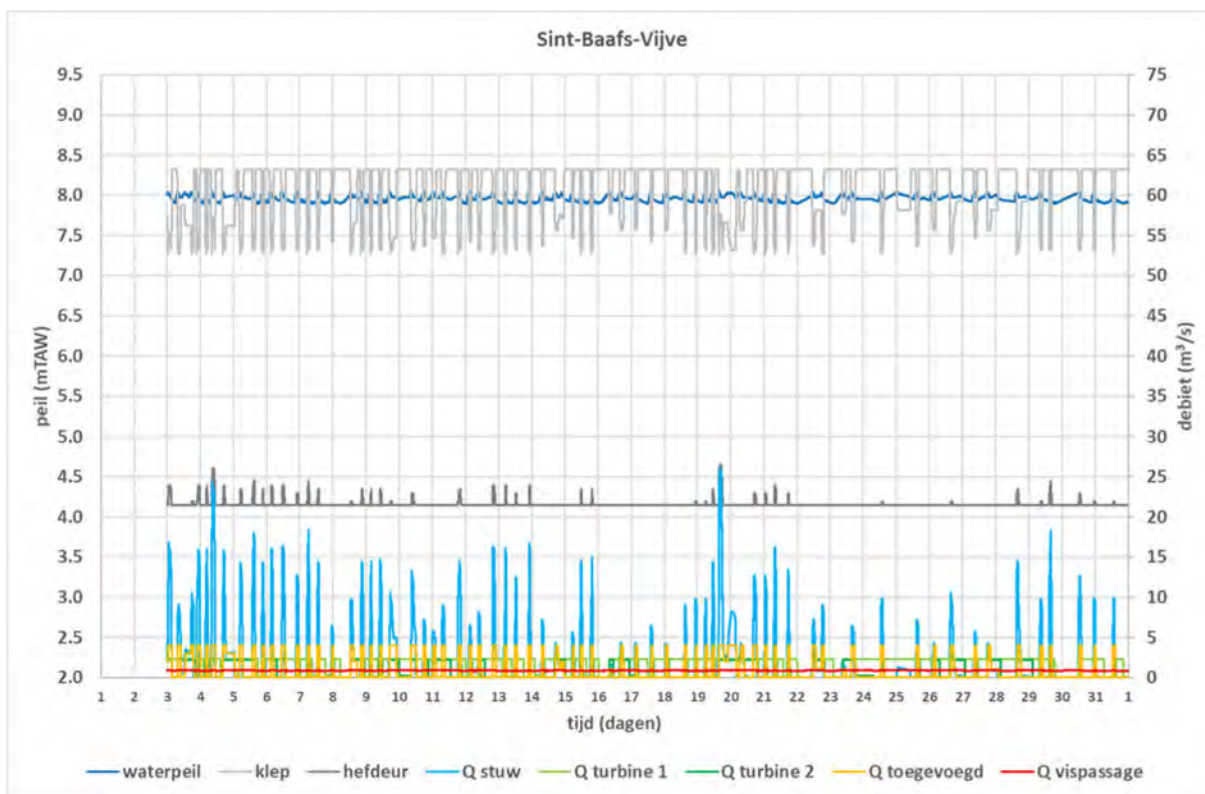
Figuur 161 – Mei 2019 – Menen (reeks 1)



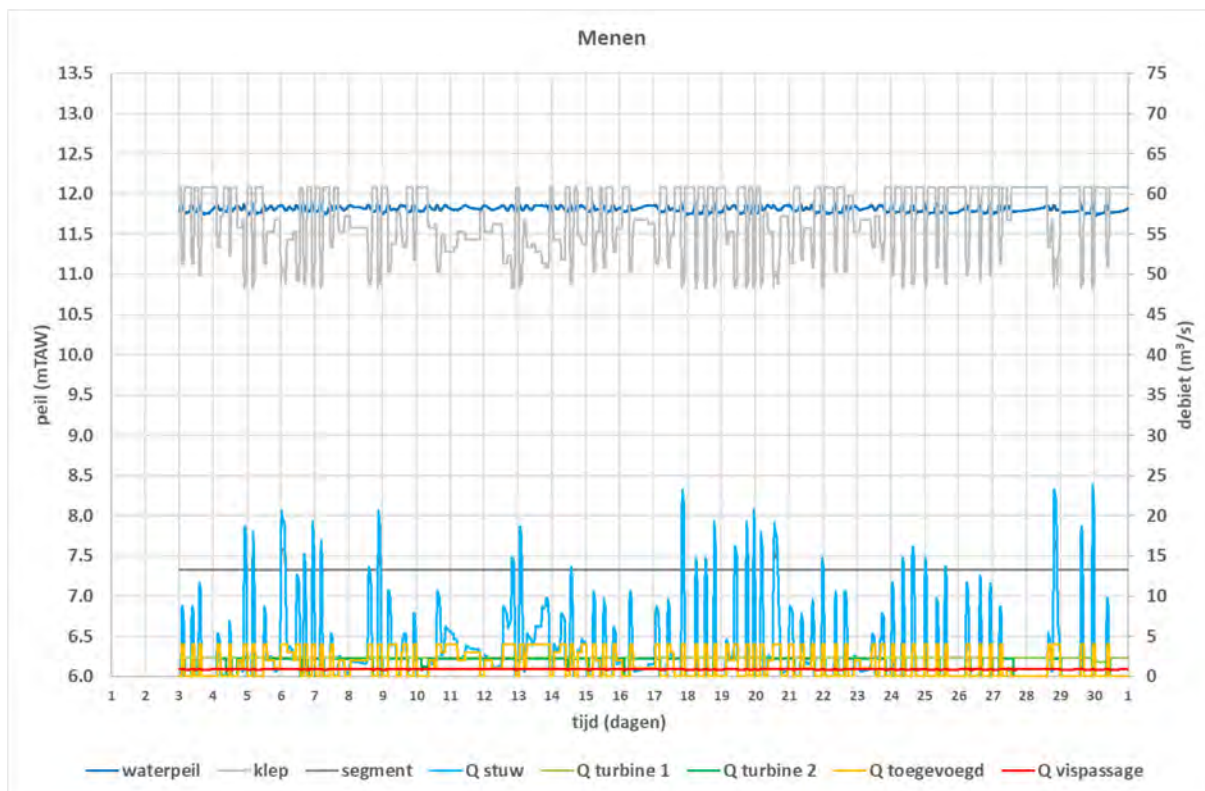
Figuur 162 – Mei 2019 – Harelbeke (reeks 1)



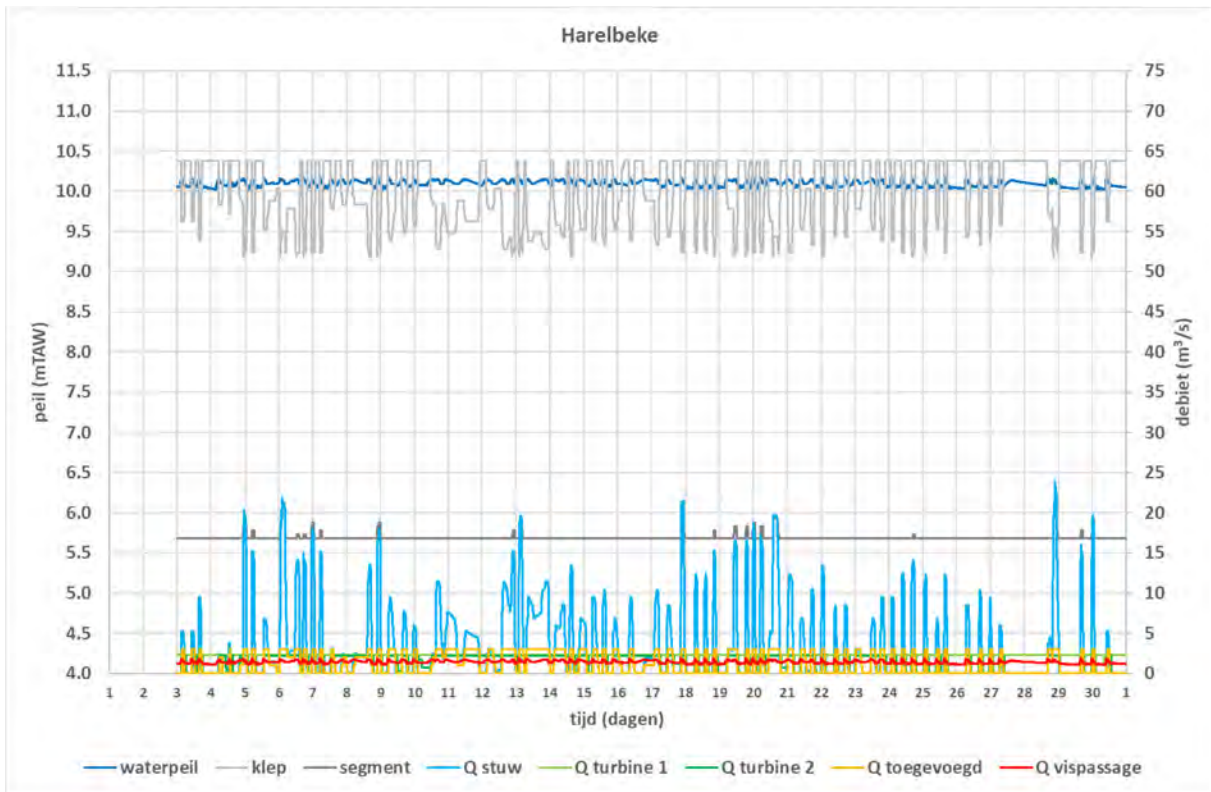
Figuur 163 – Mei 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



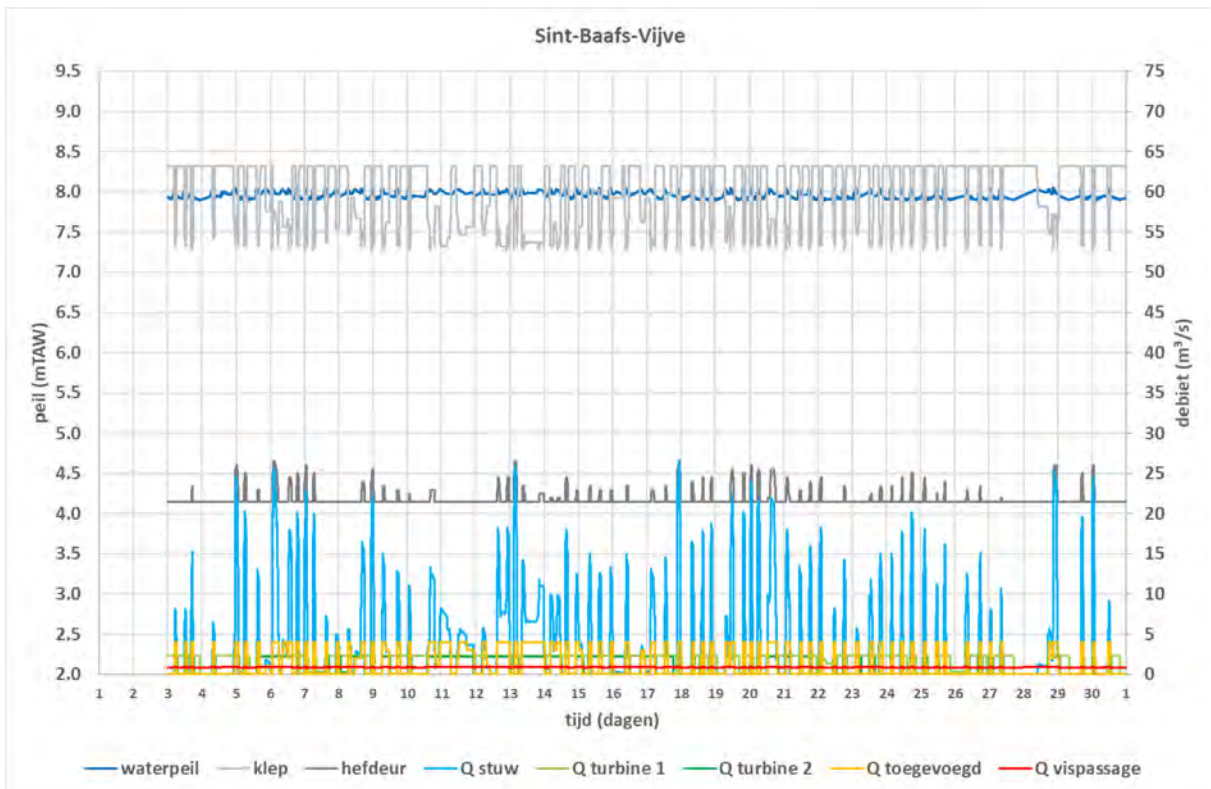
Figuur 164 – Juni 2019 – Menen (reeks 1)



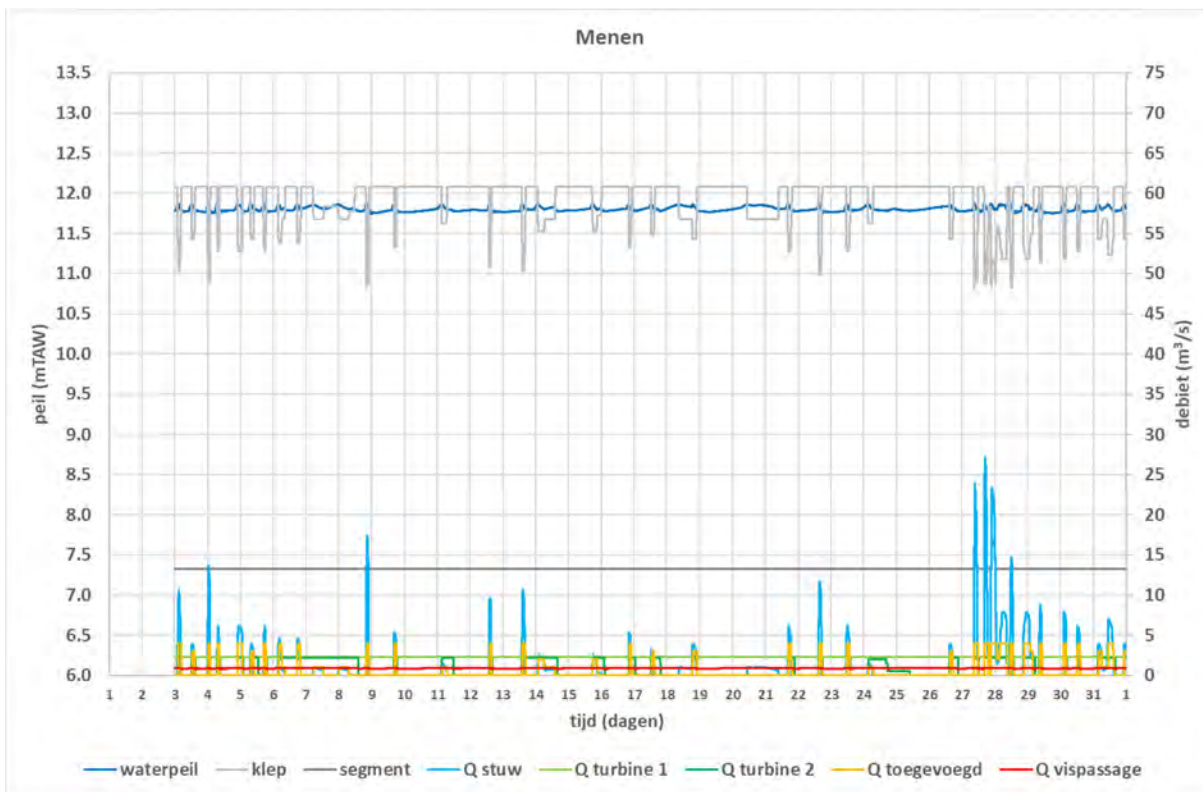
Figuur 165 – Juni 2019 – Harelbeke (reeks 1)



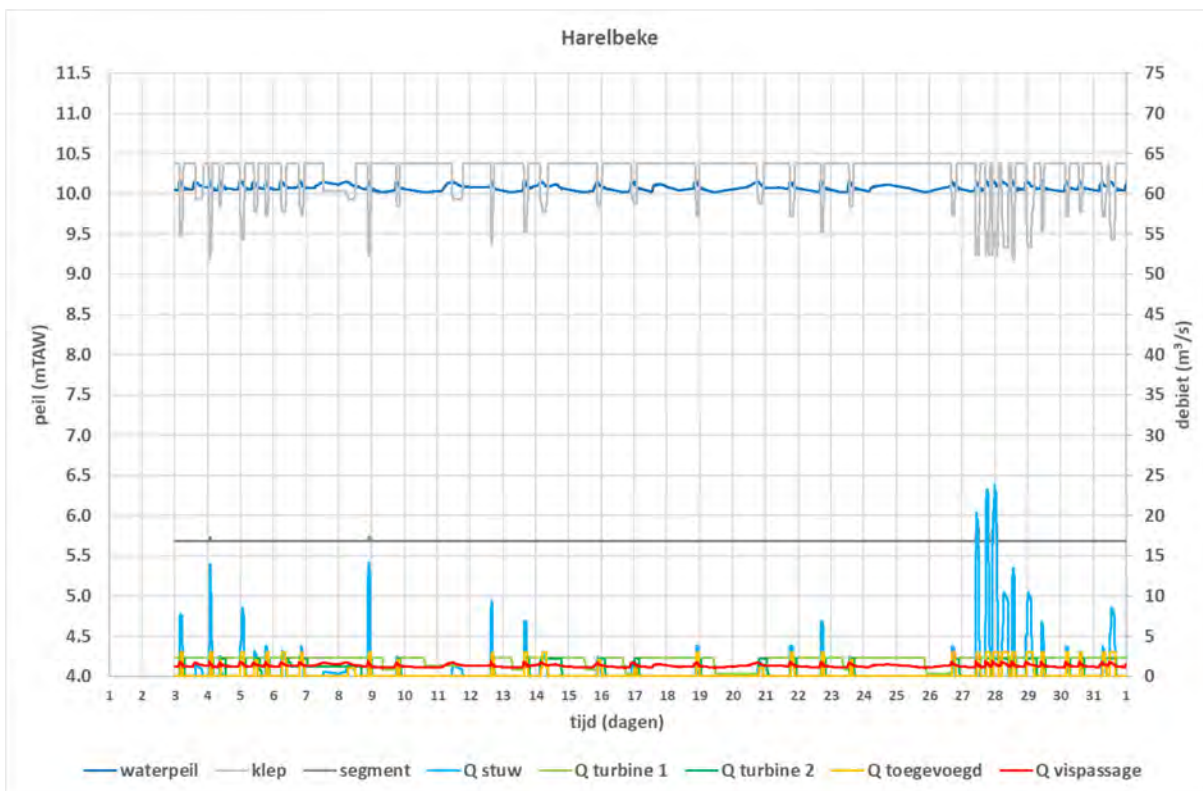
Figuur 166 – Juni 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



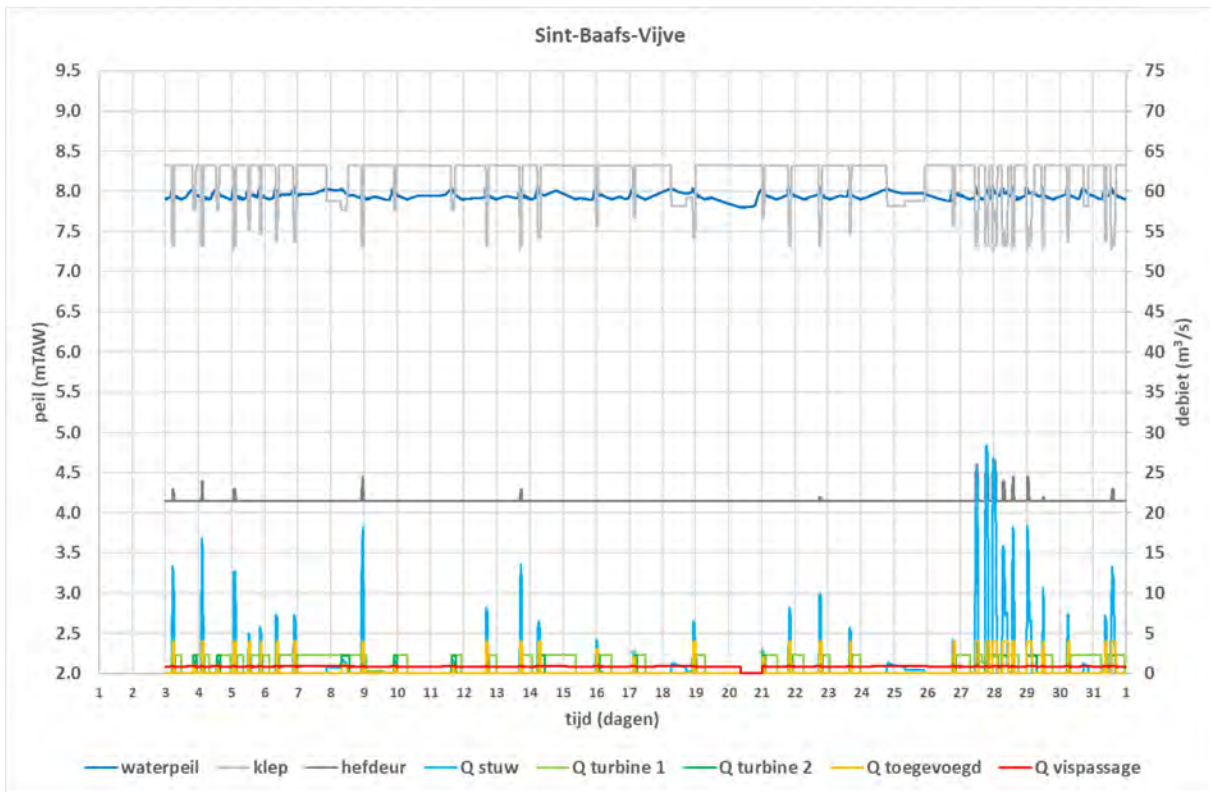
Figuur 167 – Juli 2019 – Menen (reeks 1)



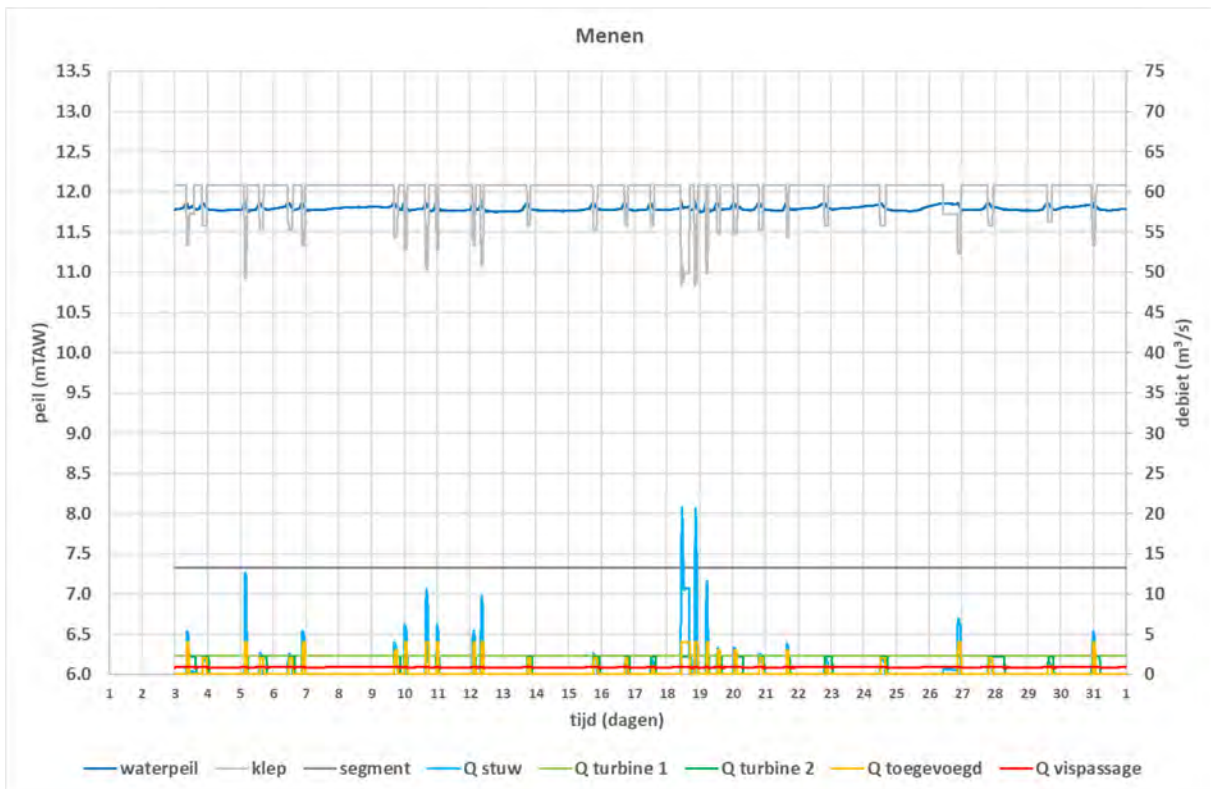
Figuur 168 – Juli 2019 – Harelbeke (reeks 1)



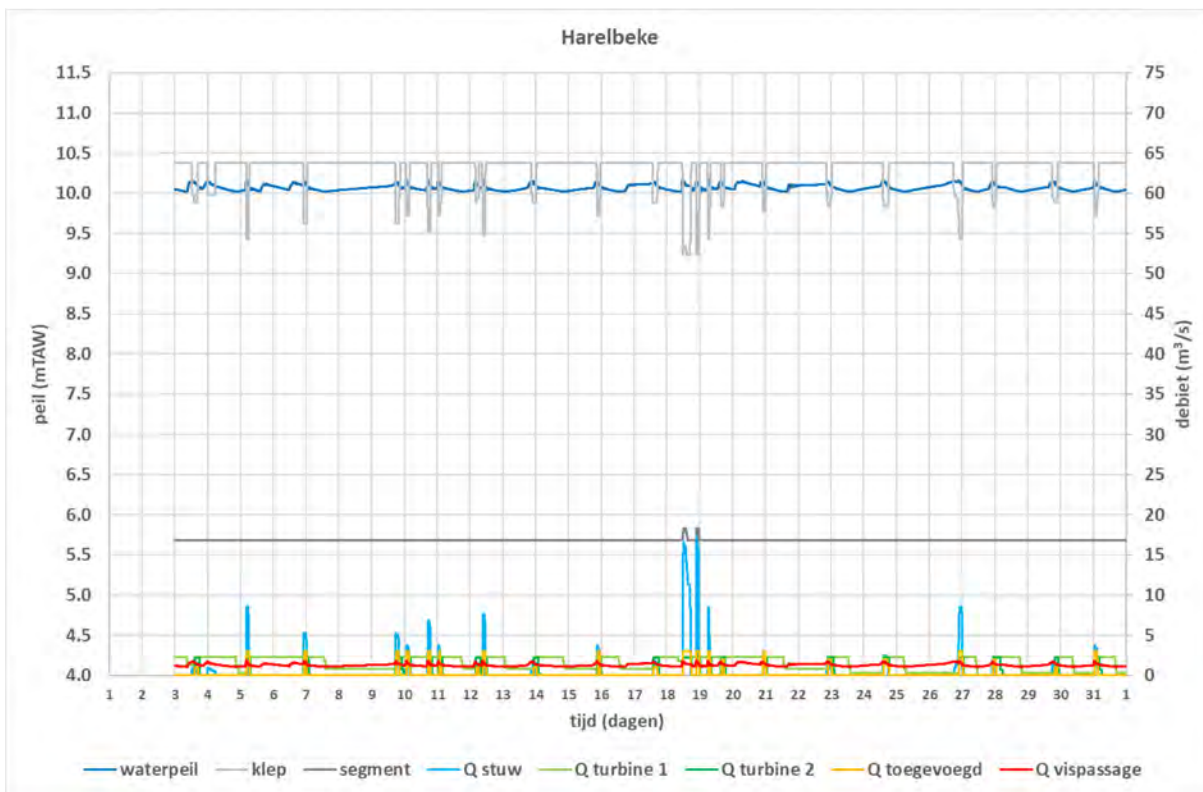
Figuur 169 – Juli 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



Figuur 170 – Augustus 2019 – Menen (reeks 1)



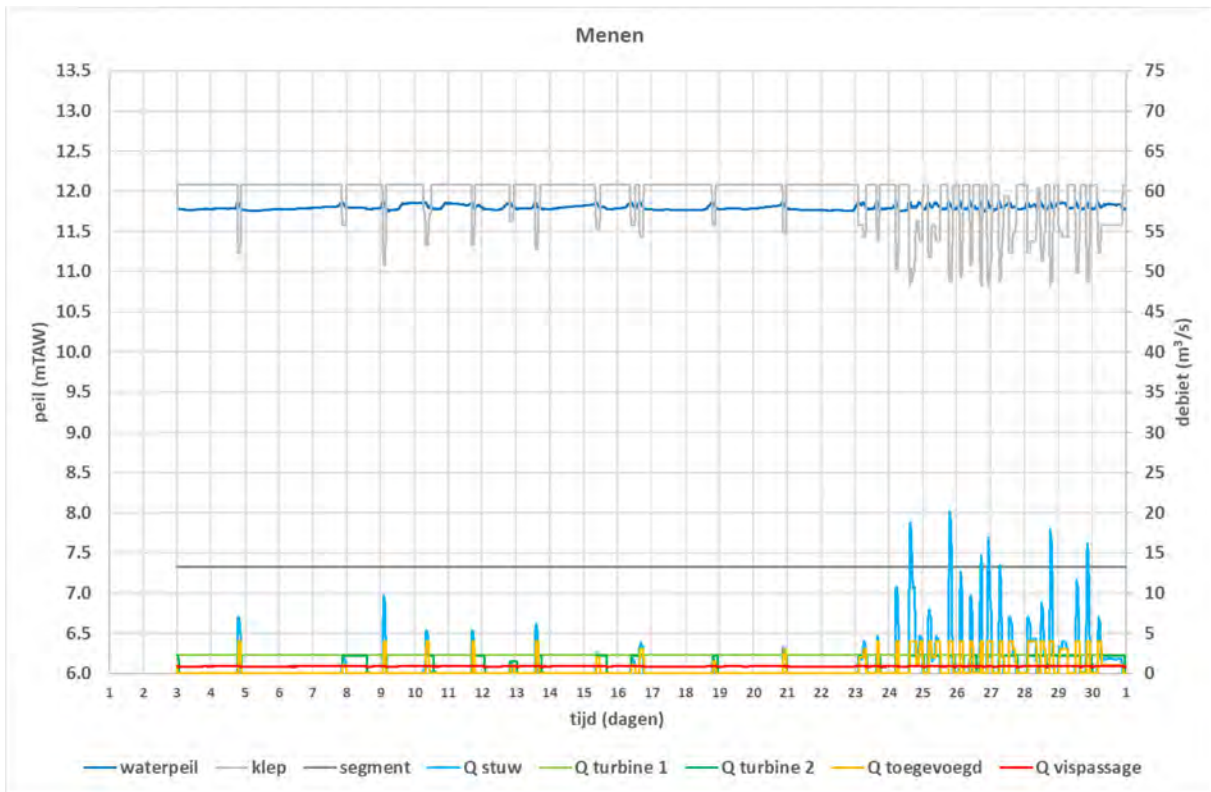
Figuur 171 – Augustus 2019 – Harelbeke (reeks 1)



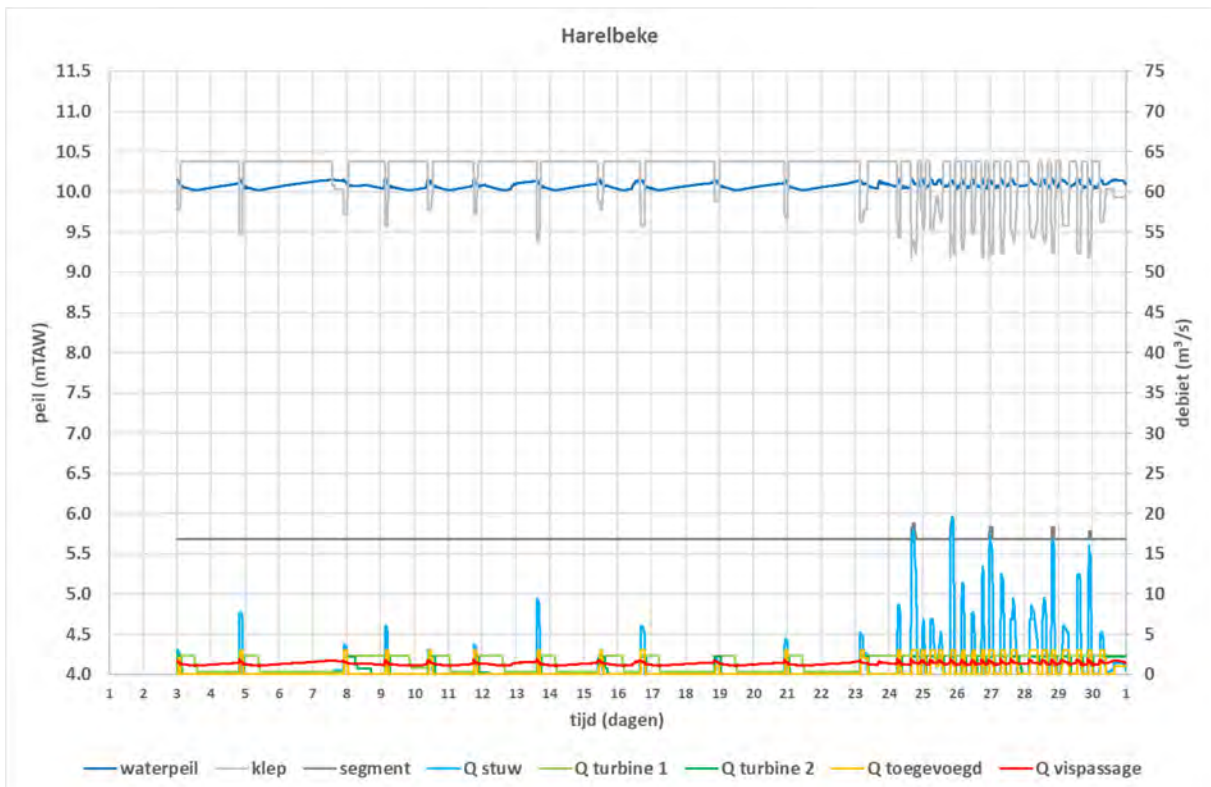
Figuur 172 – Augustus 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



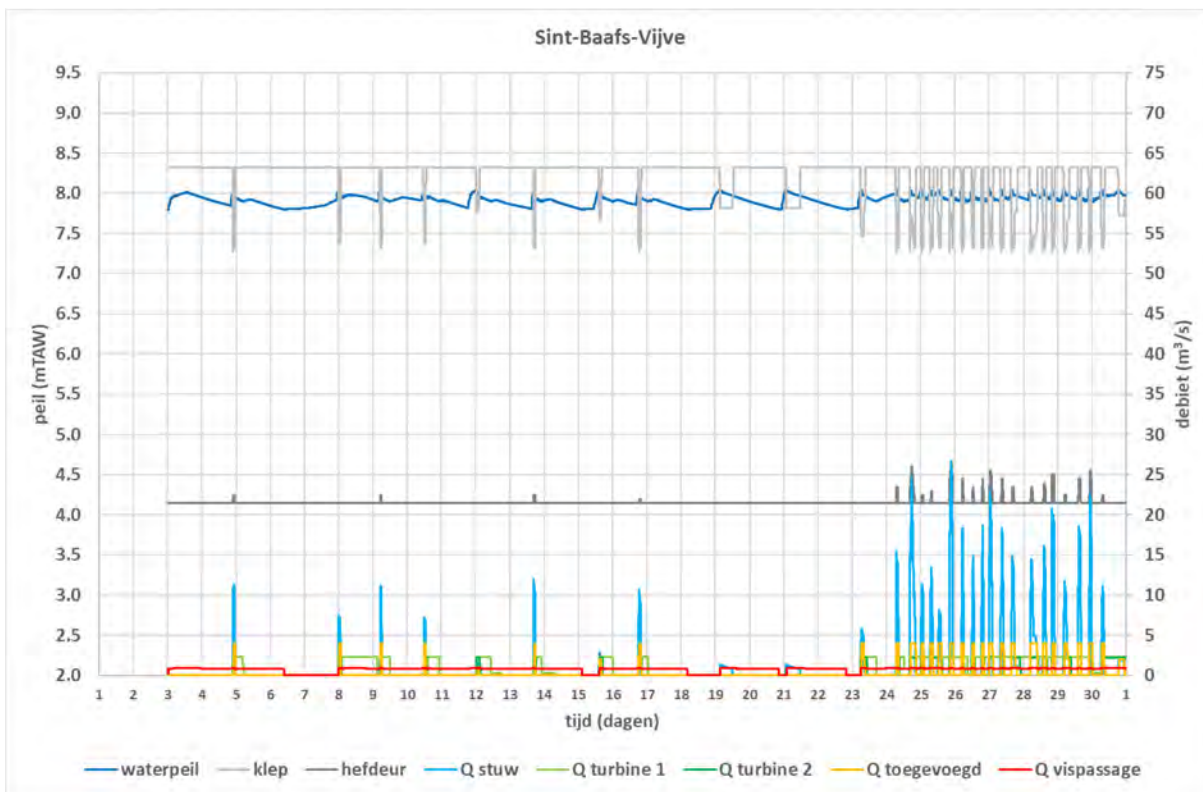
Figuur 173 – September 2019 – Menen (reeks 1)



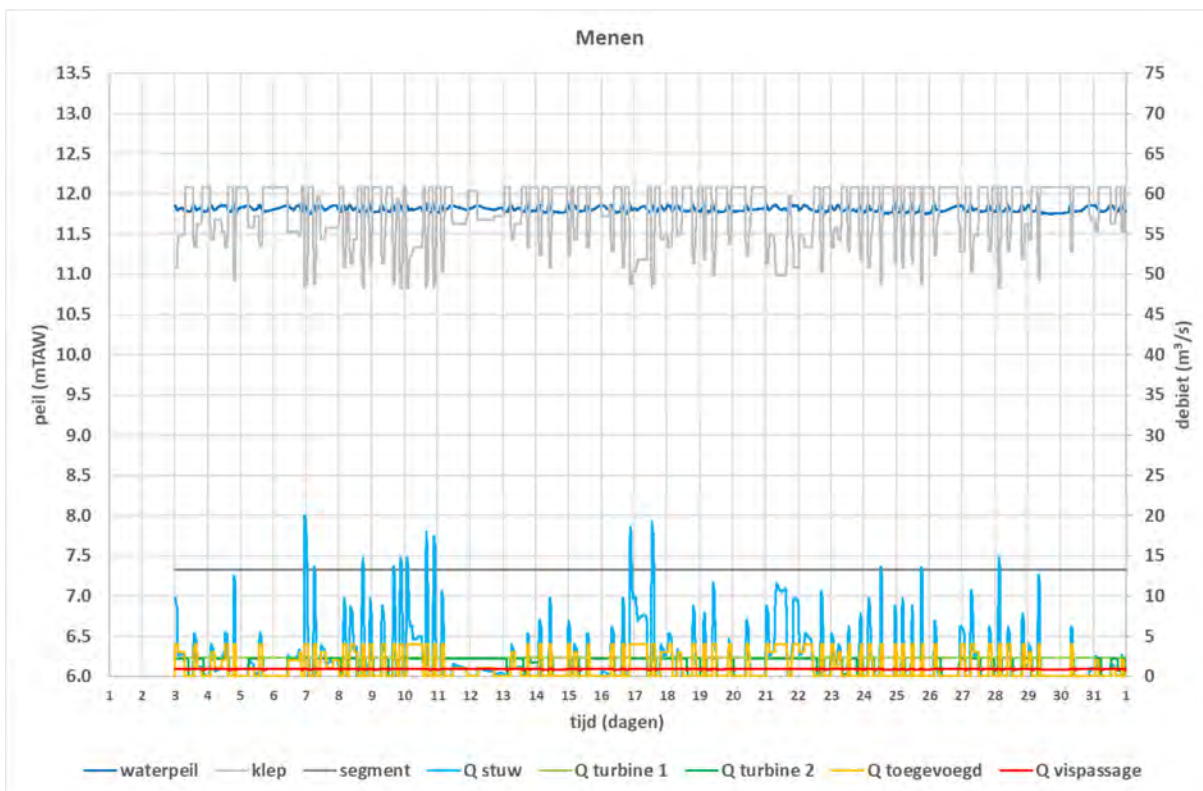
Figuur 174 – September 2019 – Harelbeke (reeks 1)



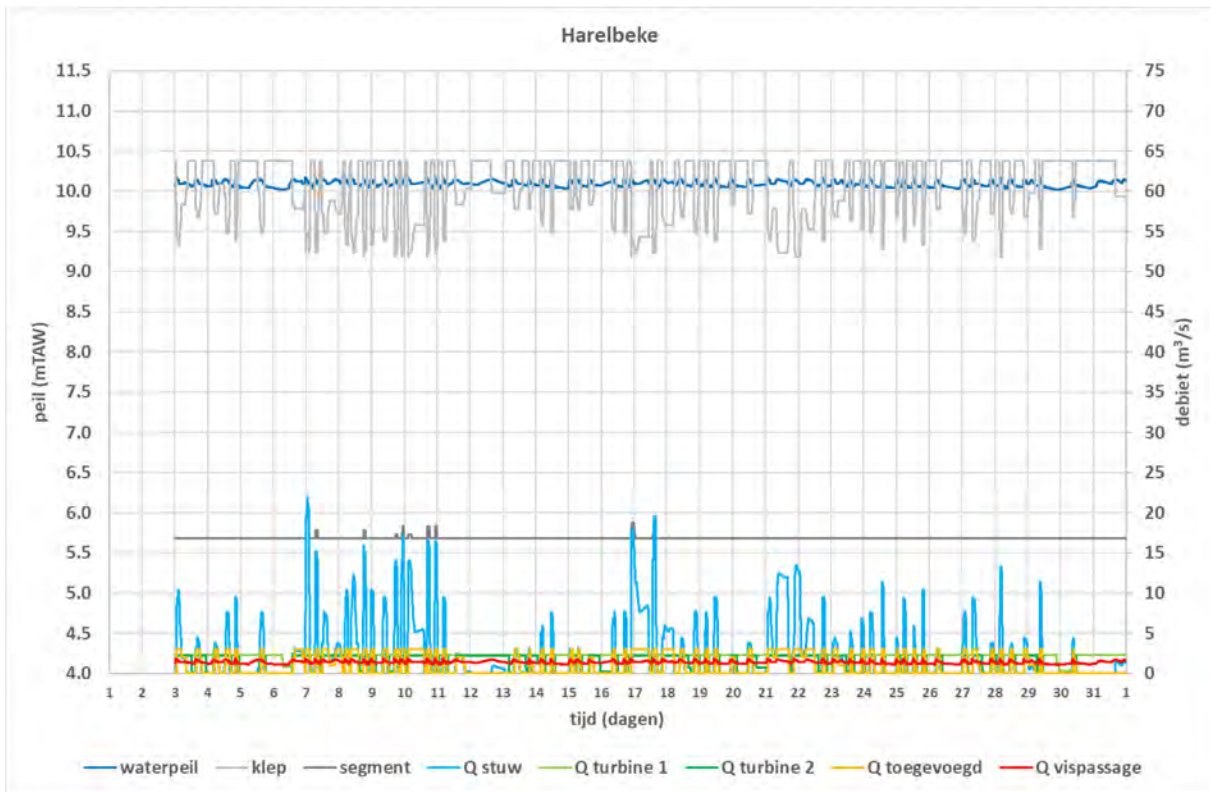
Figuur 175 – September 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



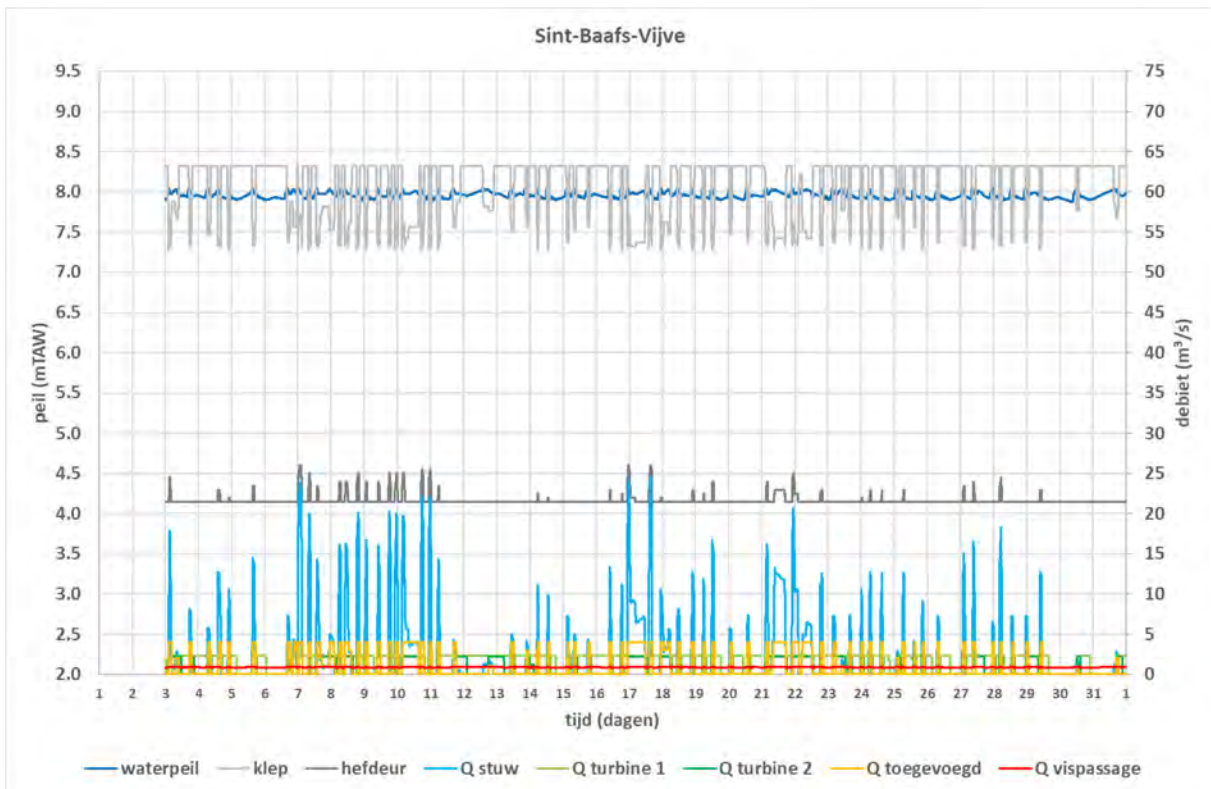
Figuur 176 – Oktober 2019 – Menen (reeks 1)



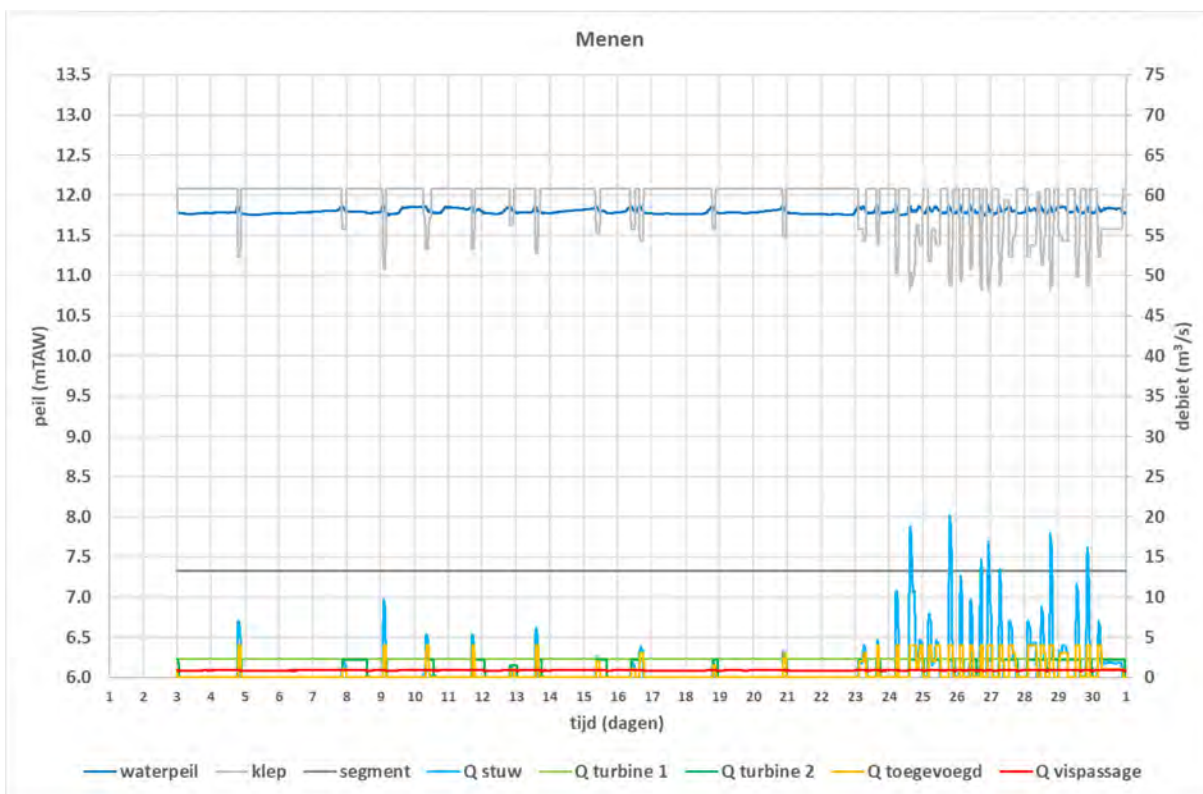
Figuur 177 – Oktober 2019 – Harelbeke (reeks 1)



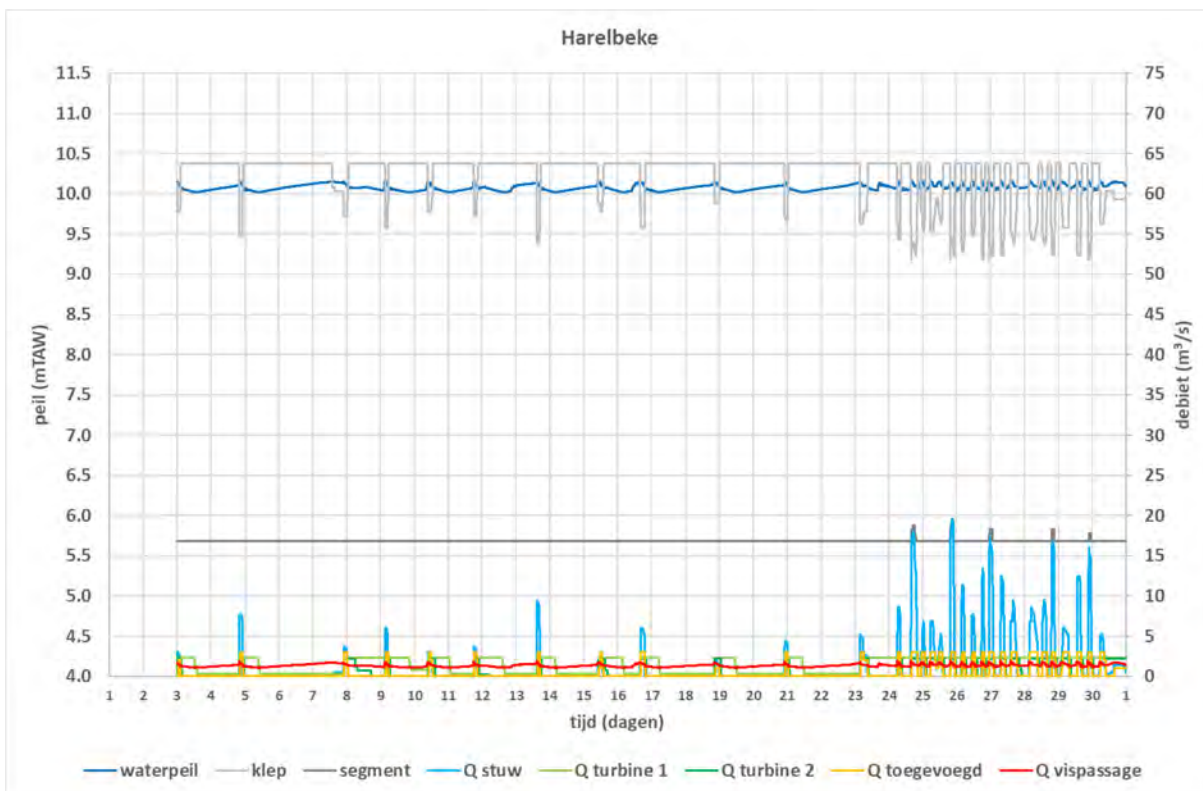
Figuur 178 – Oktober 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



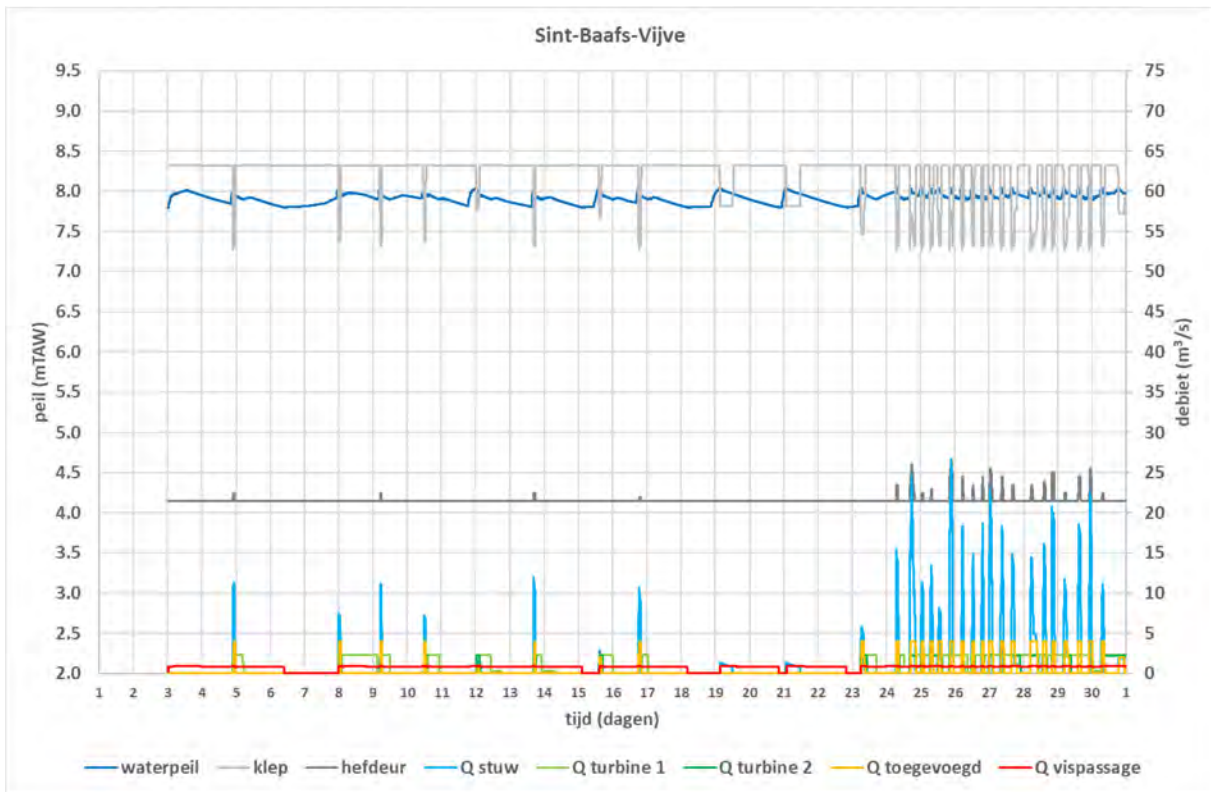
Figuur 179 – November 2019 – Menen (reeks 1)



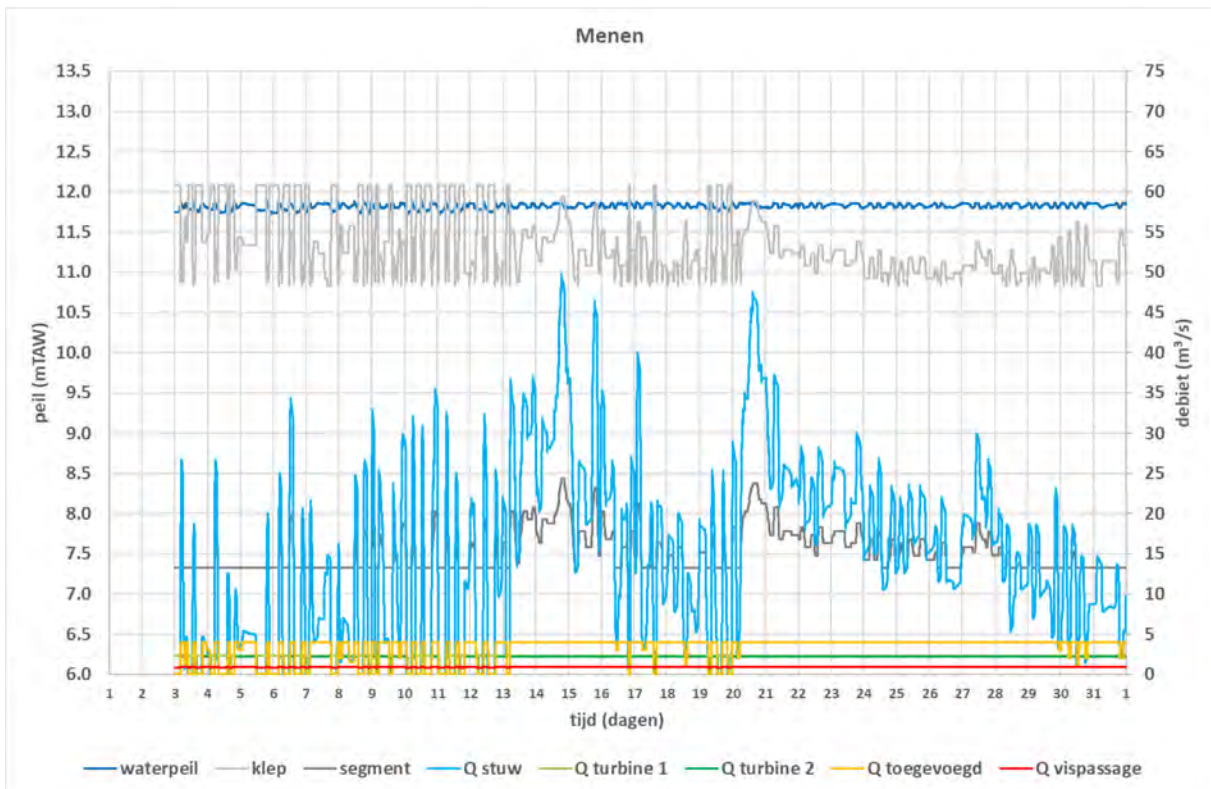
Figuur 180 – November 2019 – Harelbeke (reeks 1)



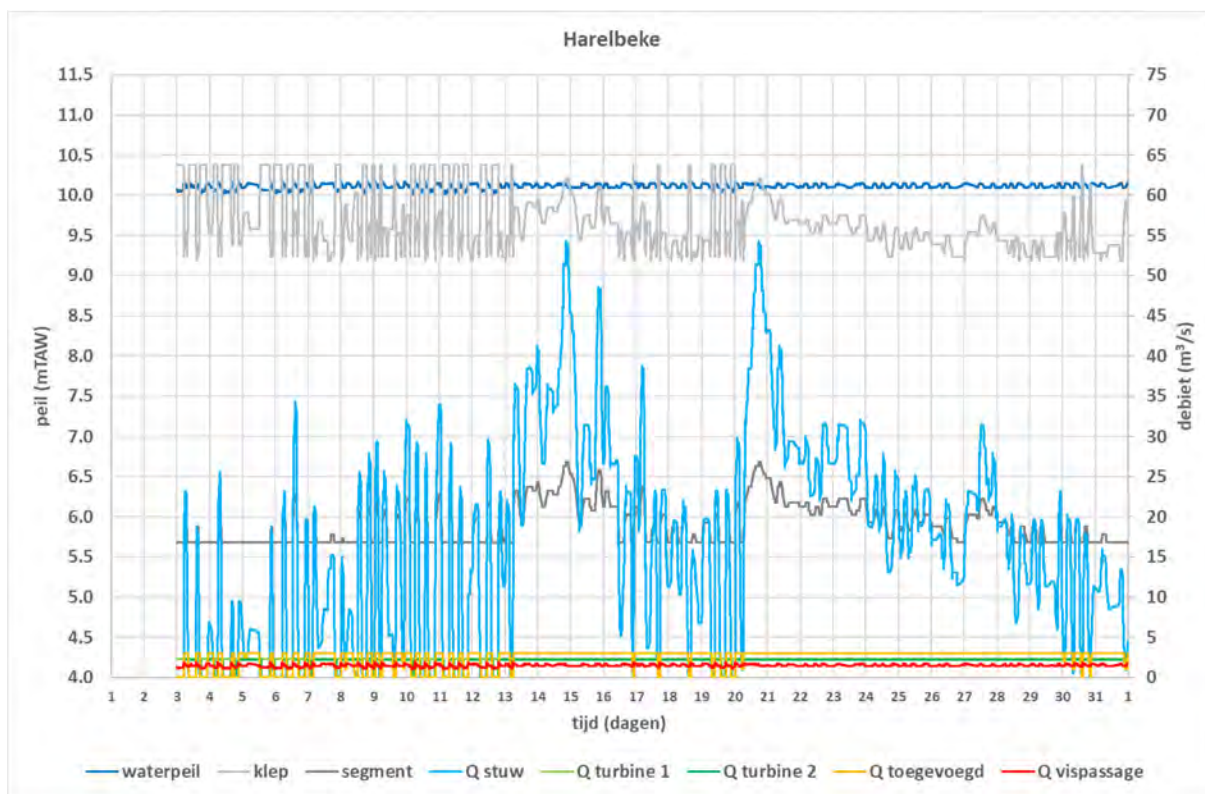
Figuur 181 – November 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)



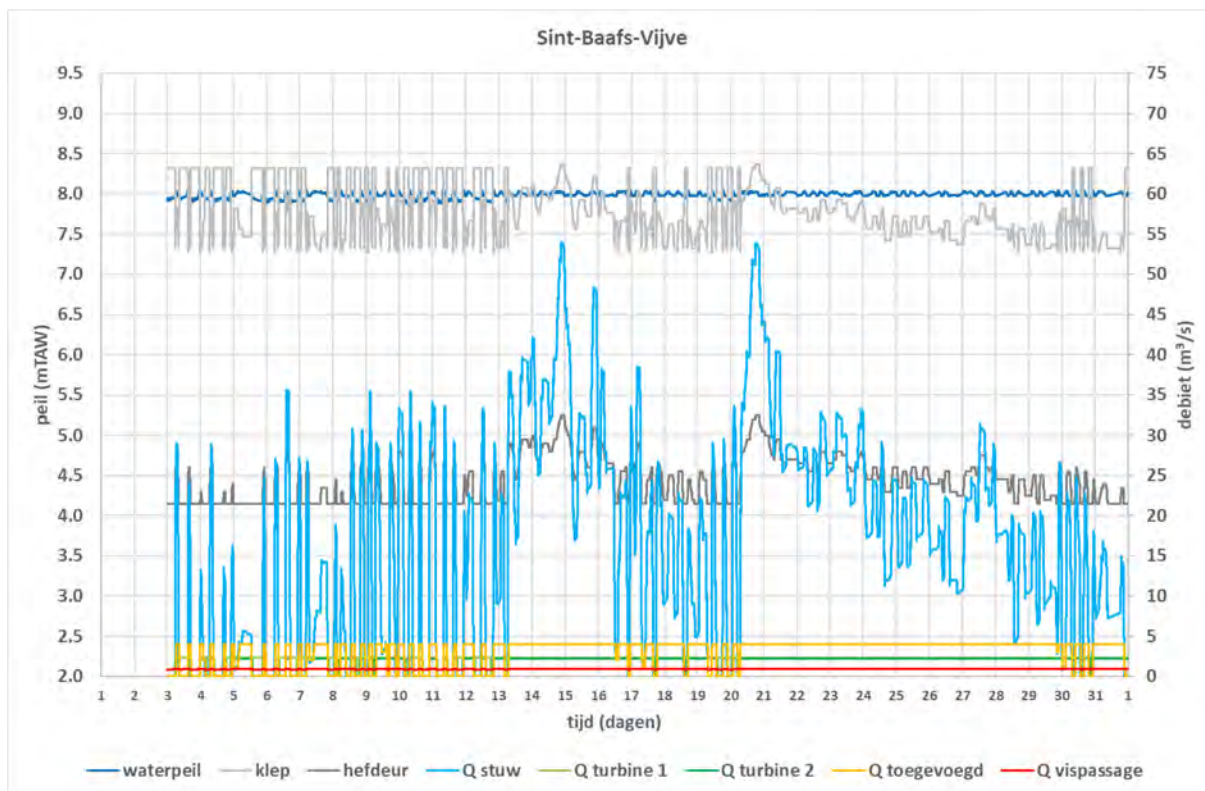
Figuur 182 – December 2019 – Menen (reeks 1)



Figuur 183 – December 2019 – Harelbeke (reeks 1)

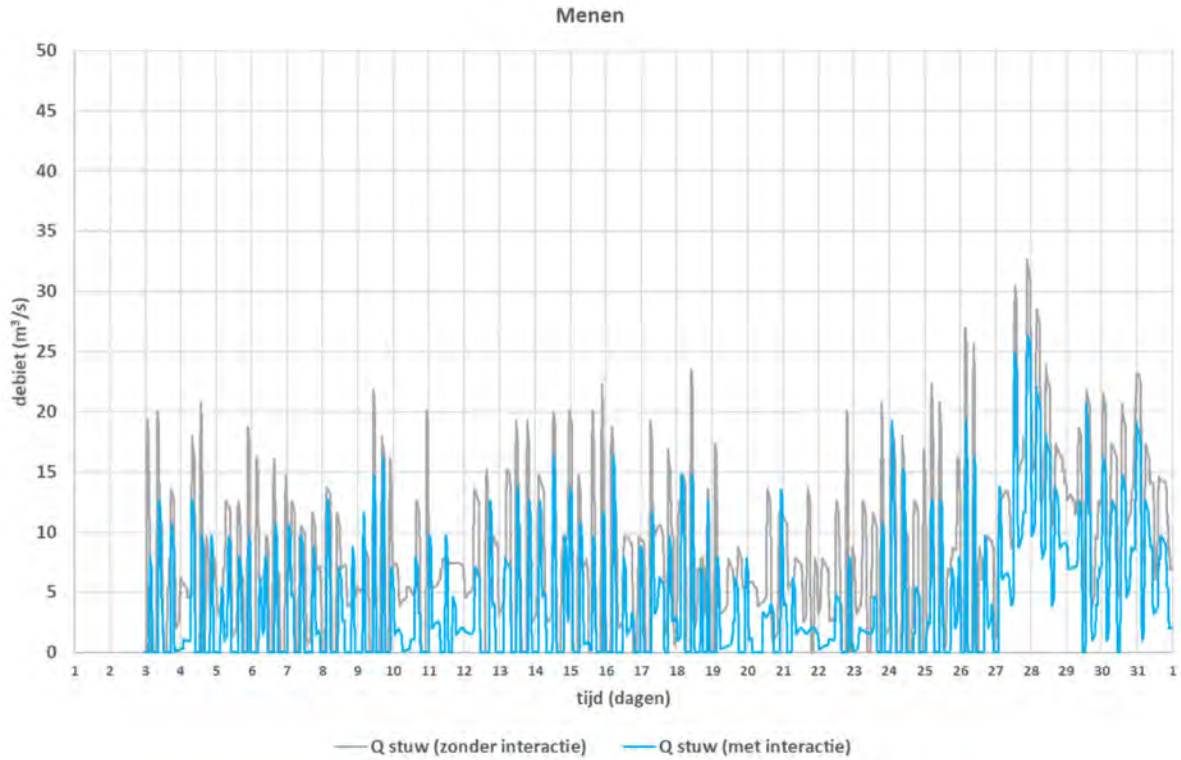


Figuur 184 – December 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 1)

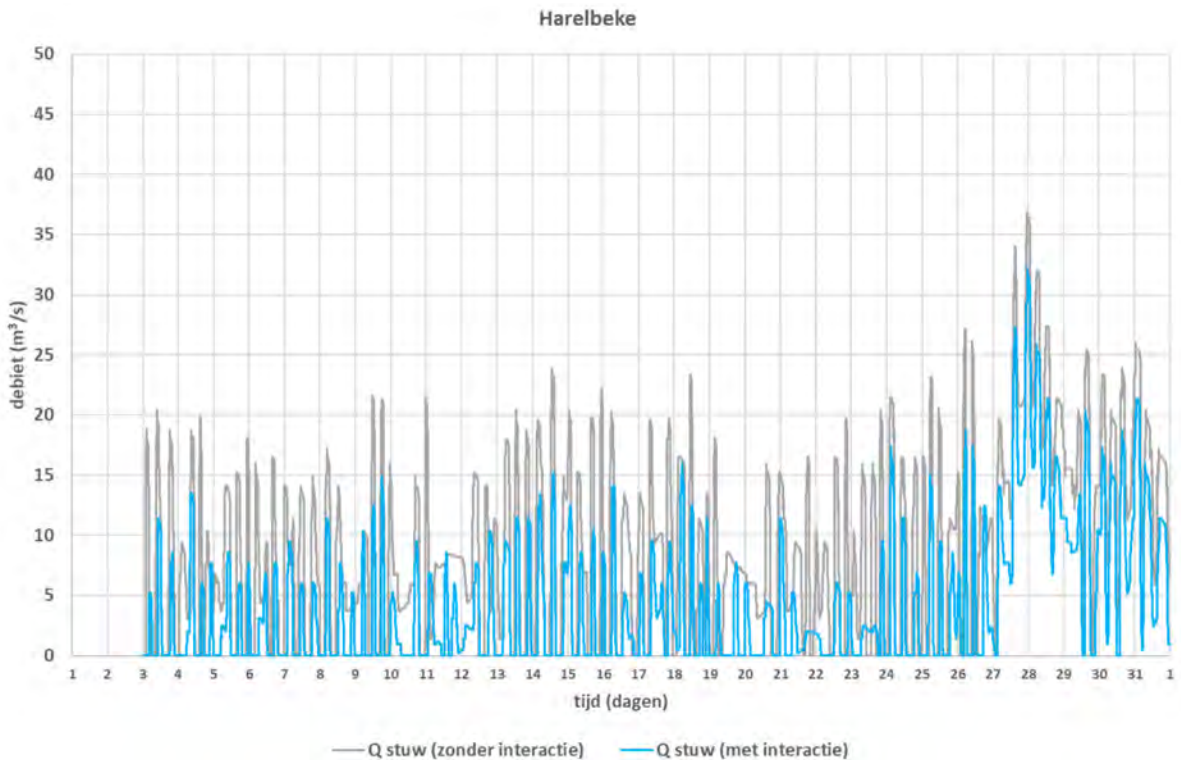


Bijlage 2 Interactie – figuren reeks 2

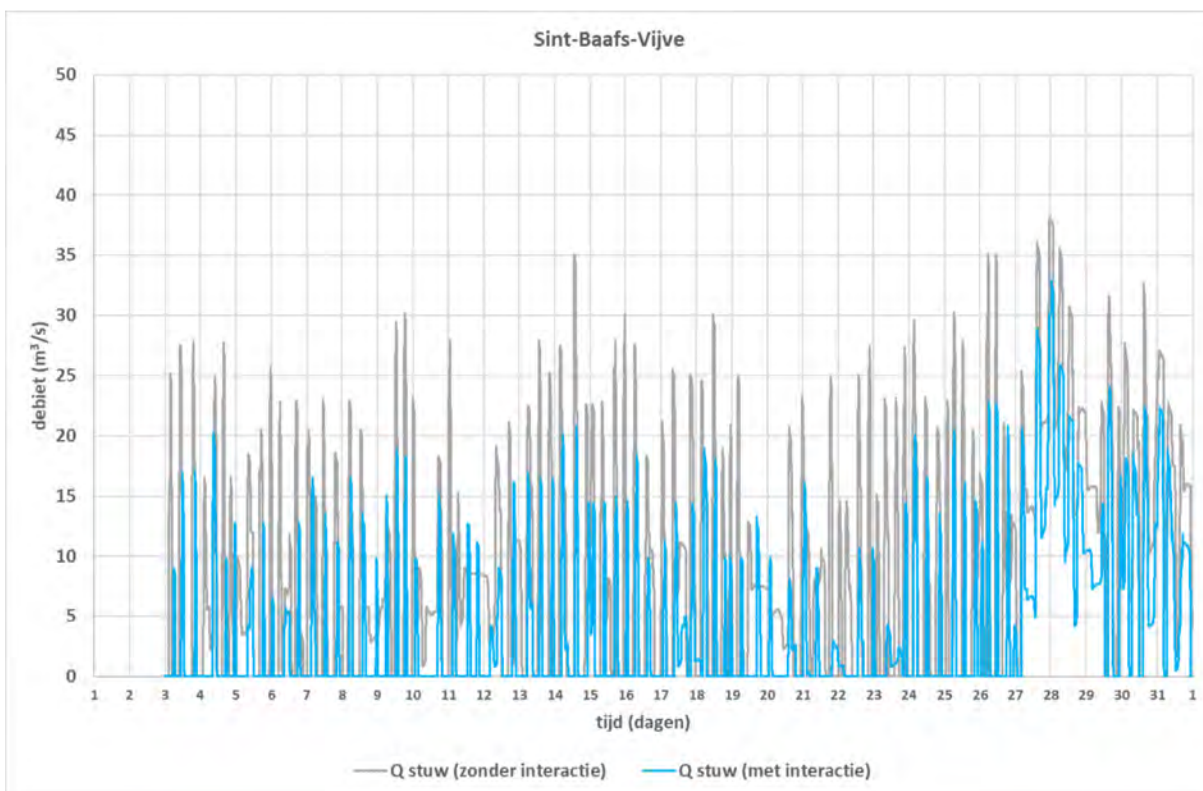
Figuur 185 – Januari 2019 – Menen (reeks 2)



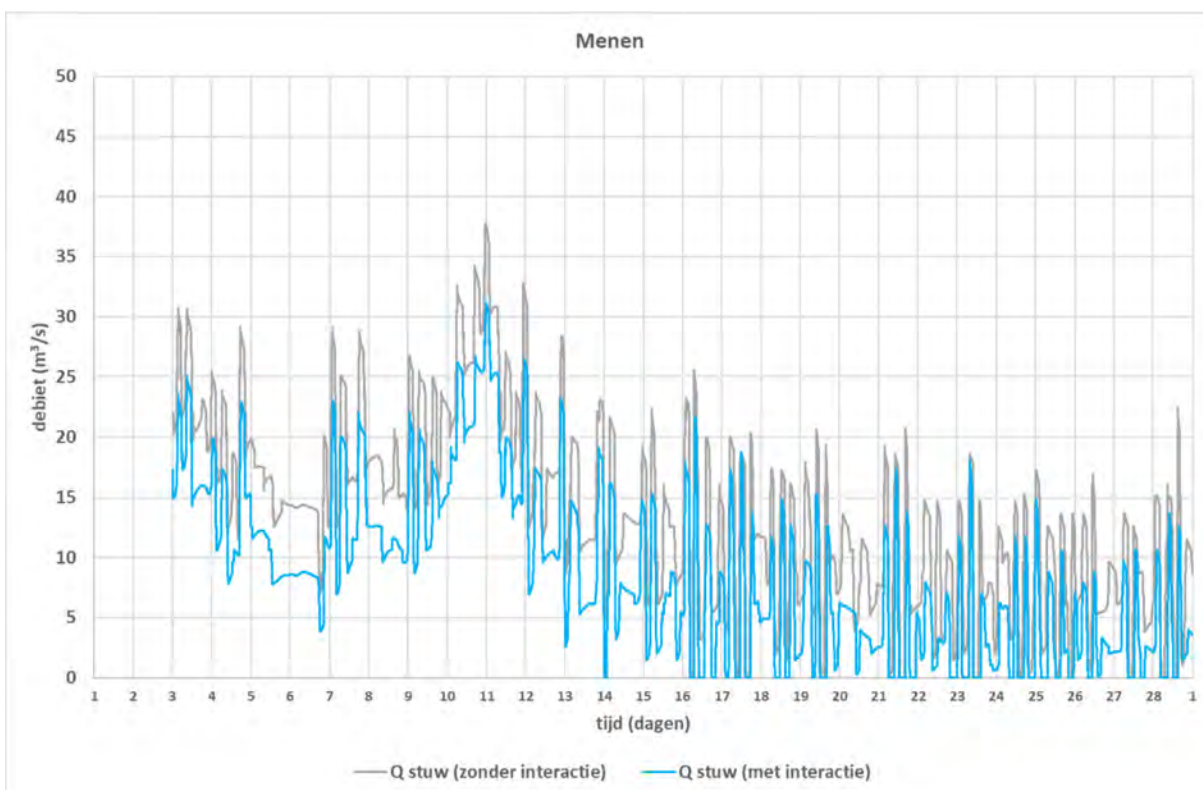
Figuur 186 – Januari 2019 – Harelbeke (reeks 2)



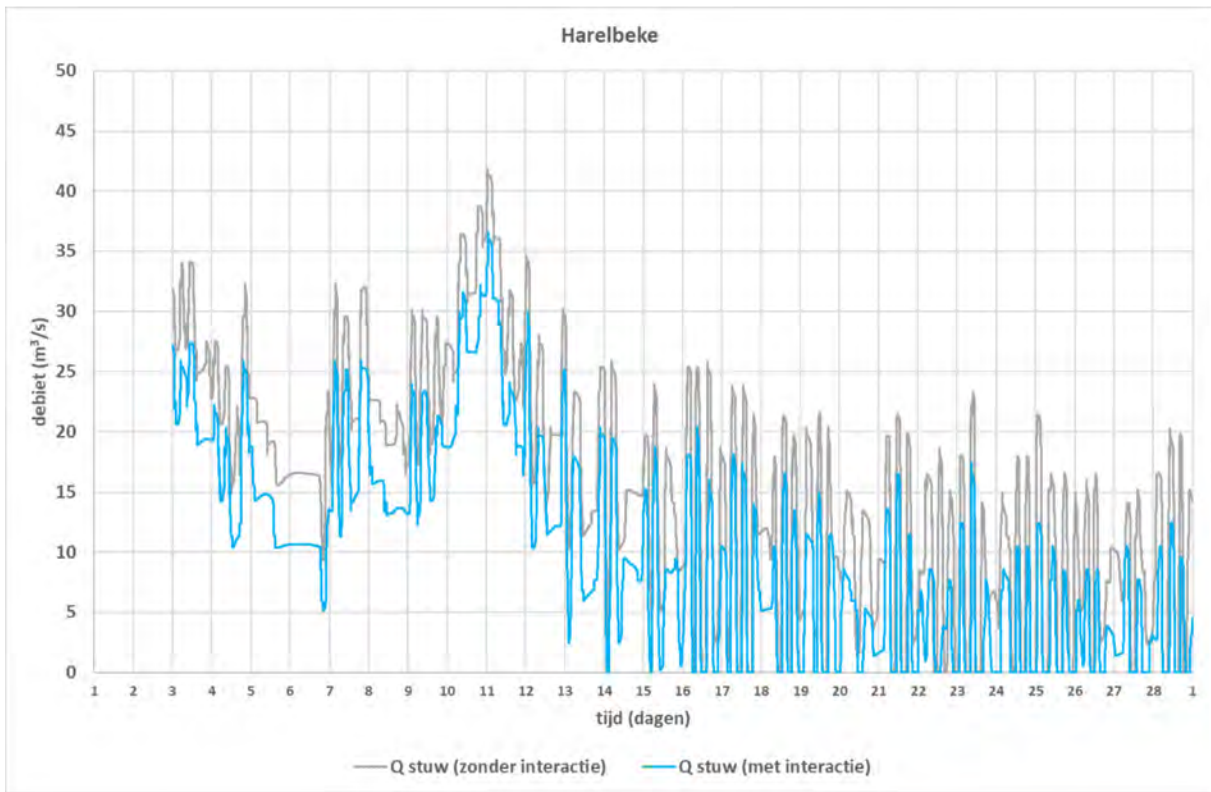
Figuur 187 – Januari 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



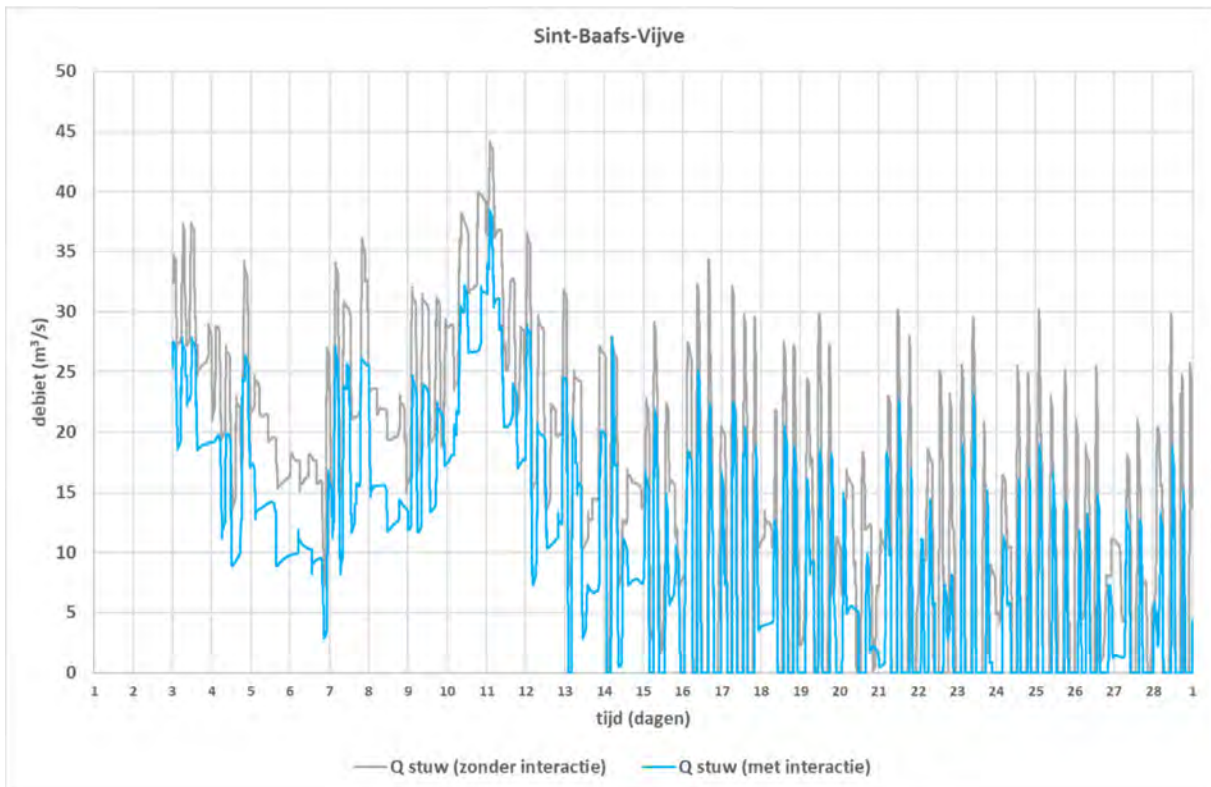
Figuur 188 – Februari 2019 – Menen (reeks 2)



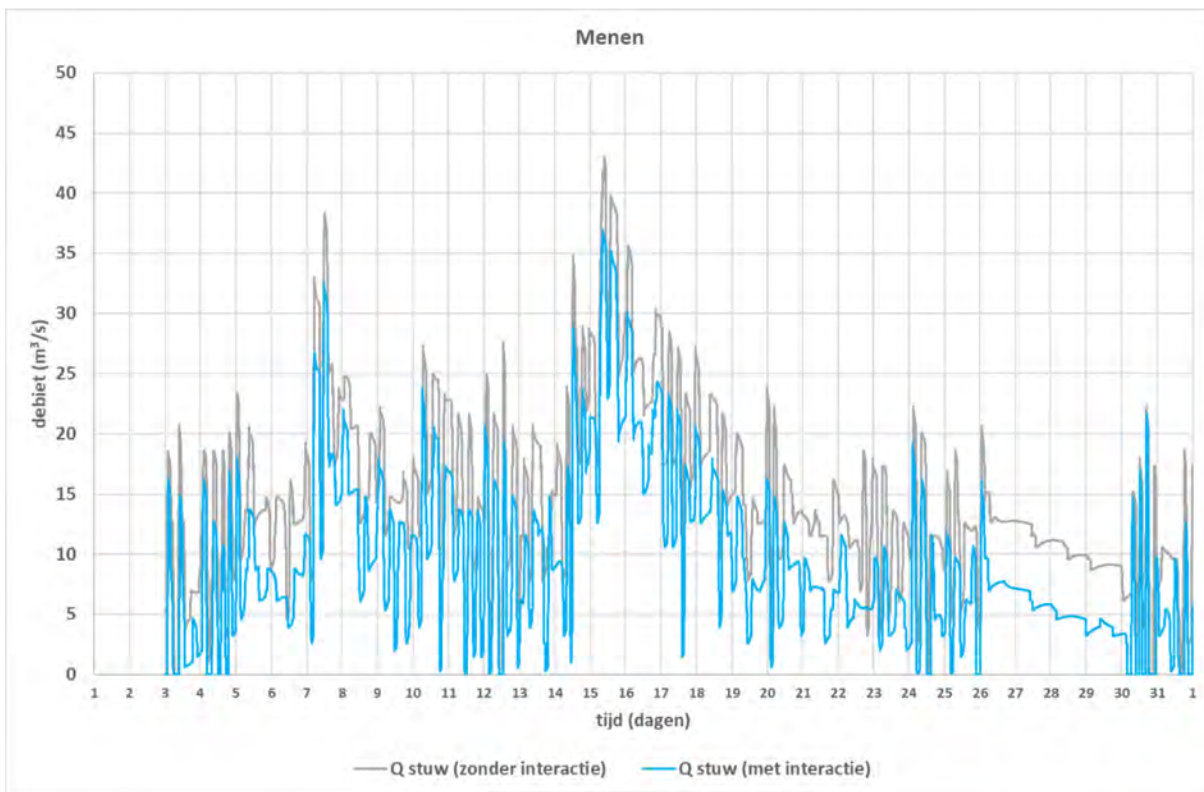
Figuur 189 – Februari 2019 – Harelbeke (reeks 2)



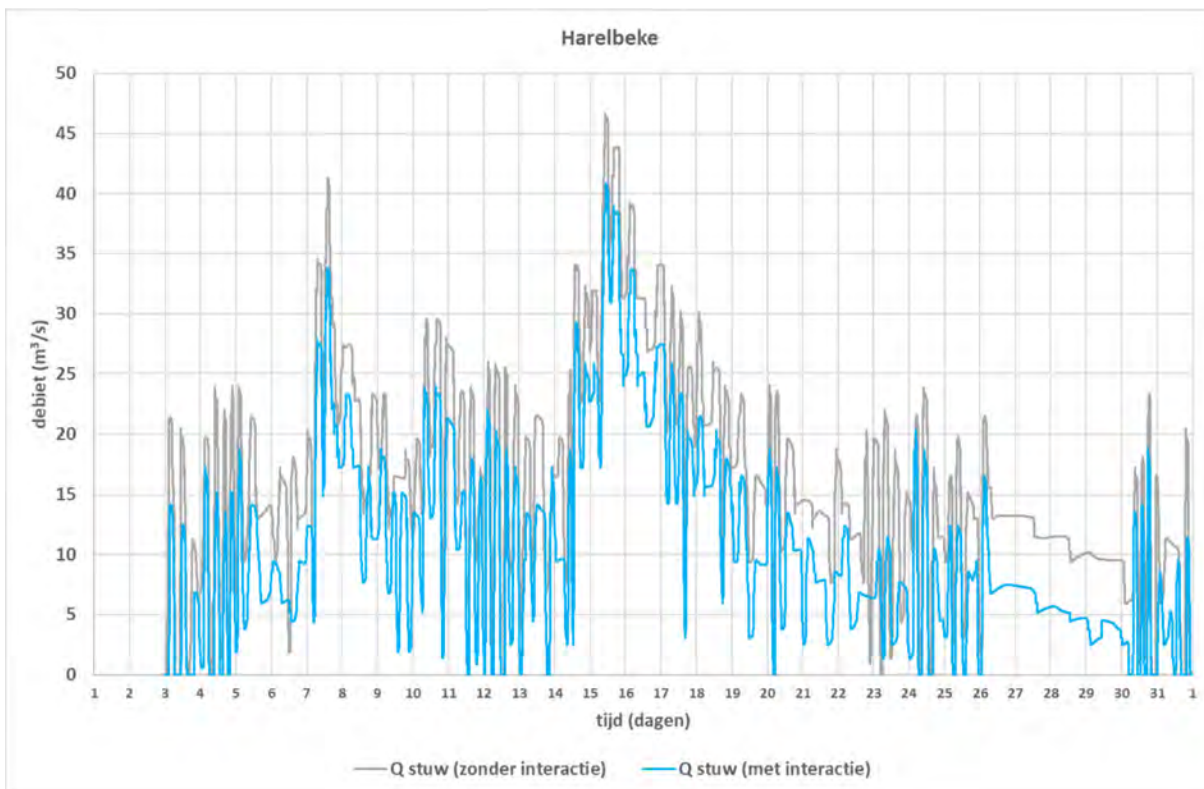
Figuur 190 – Februari 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



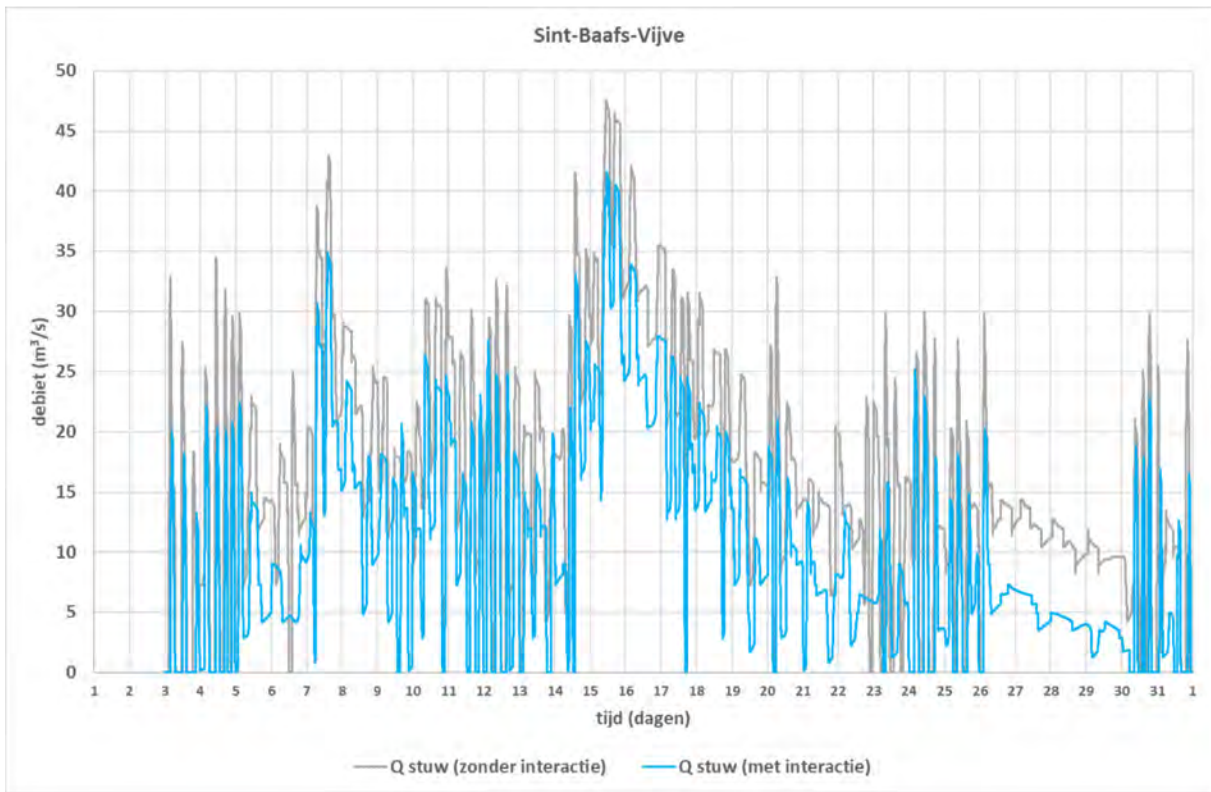
Figuur 191 – Maart 2019 – Menen (reeks 2)



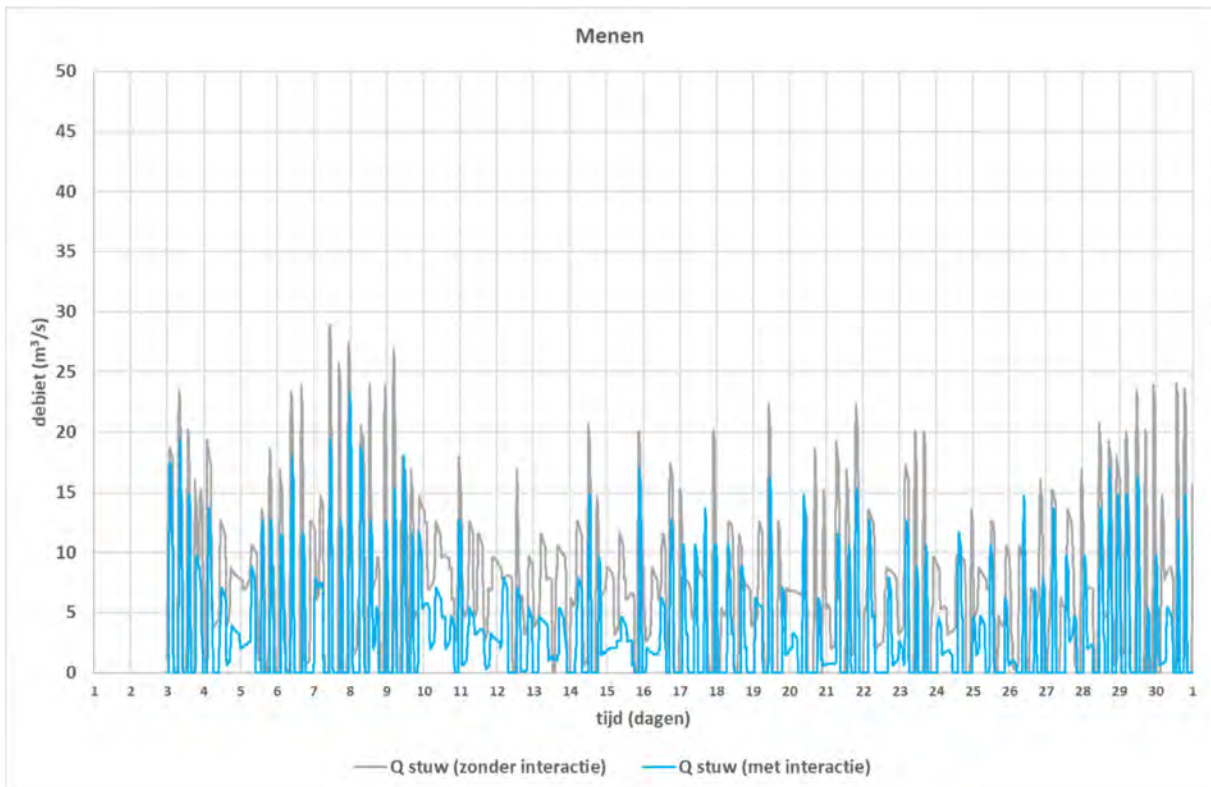
Figuur 192 – Maart 2019 – Harelbeke (reeks 2)



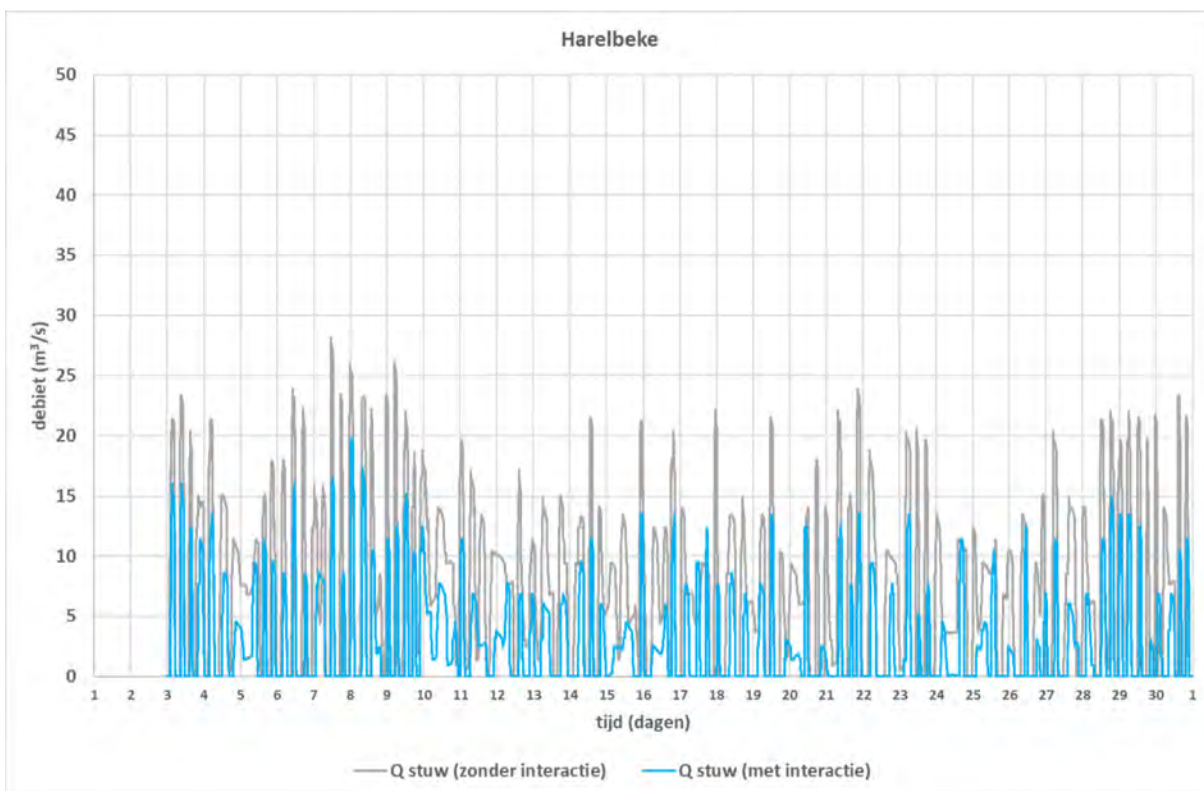
Figuur 193 – Maart 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



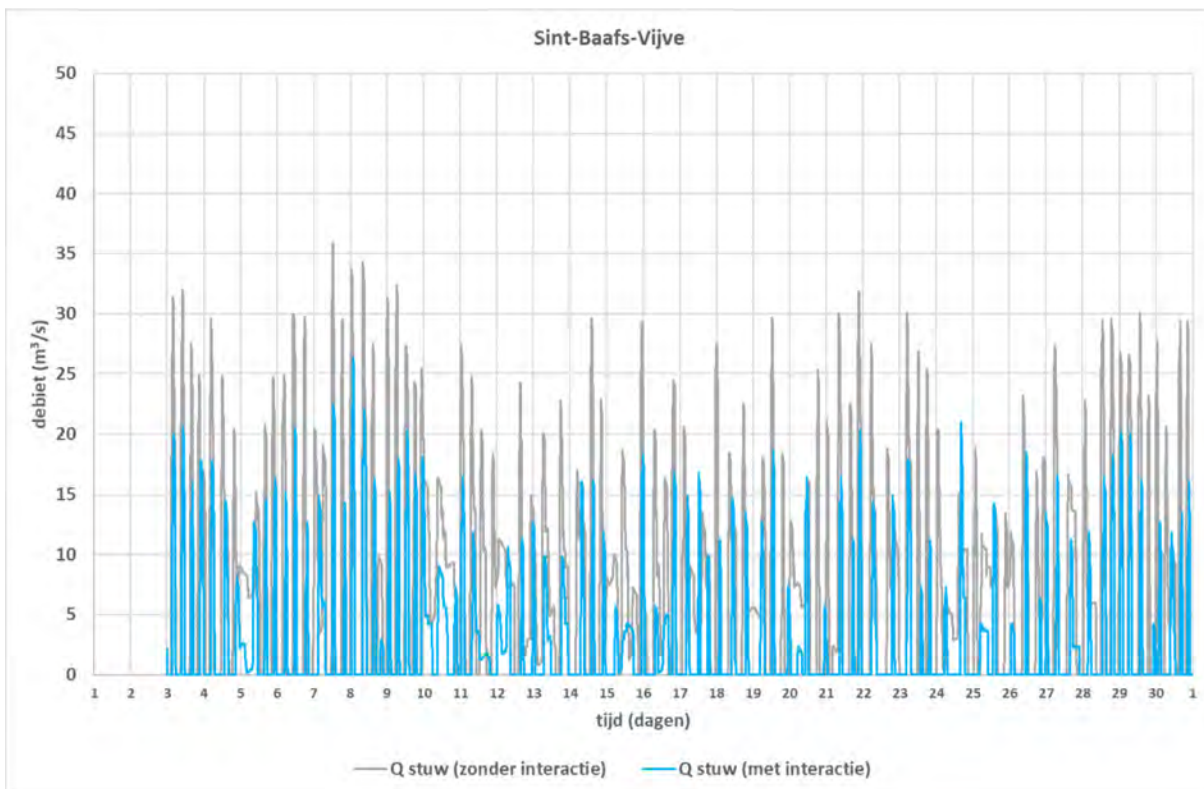
Figuur 194 – April 2019 – Menen (reeks 2)



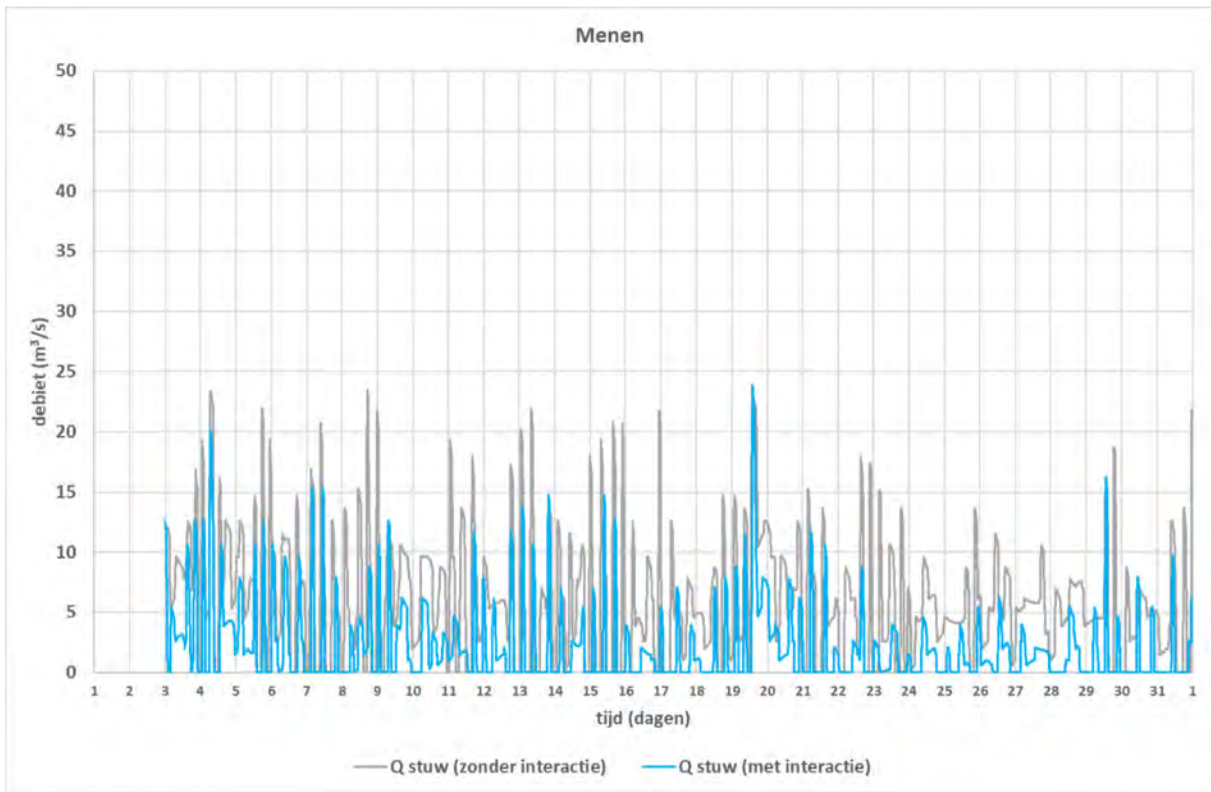
Figuur 195 – April 2019 – Harelbeke (reeks 2)



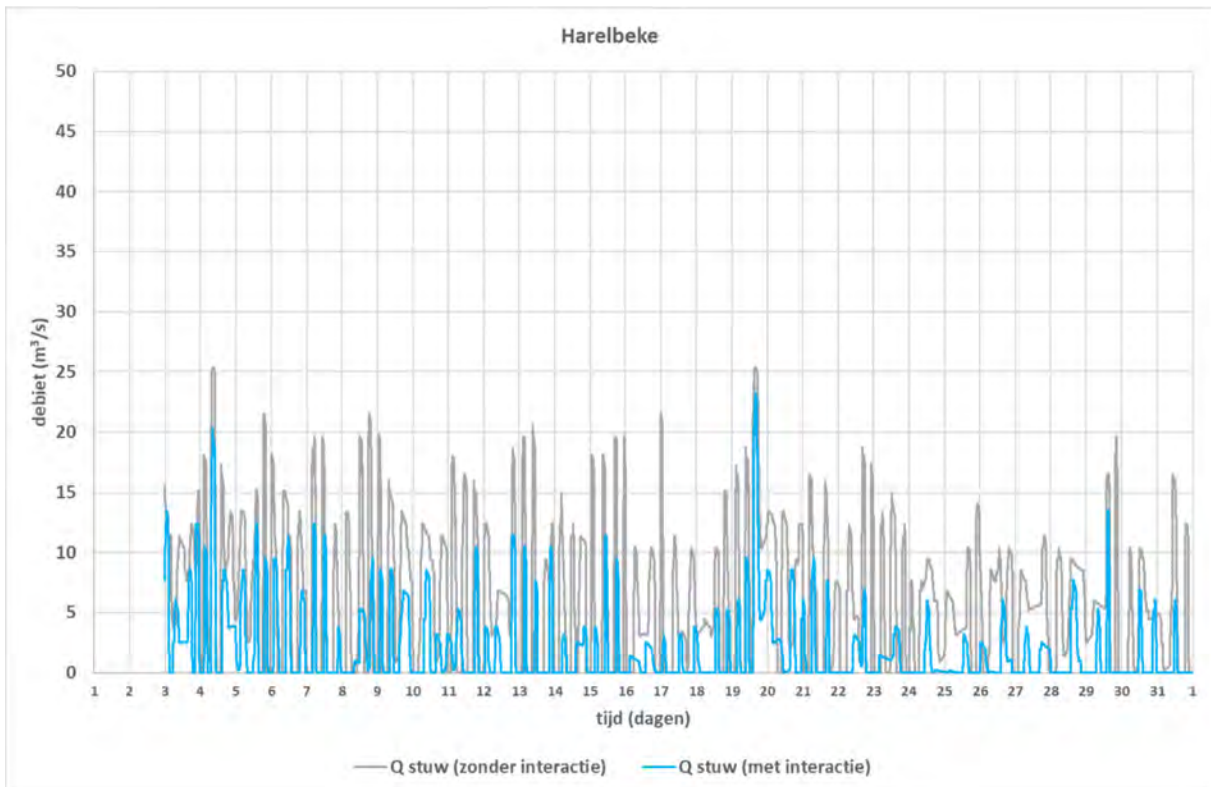
Figuur 196 – April 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



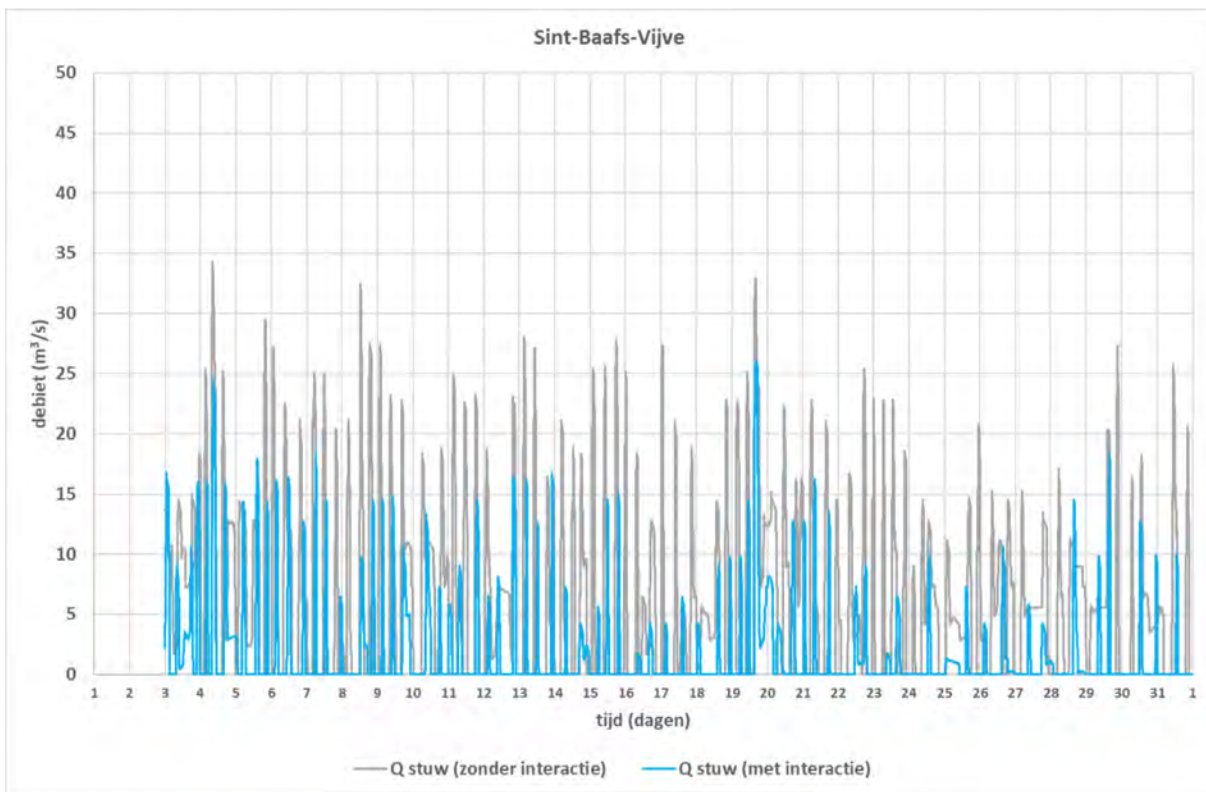
Figuur 197 – Mei 2019 – Menen (reeks 2)



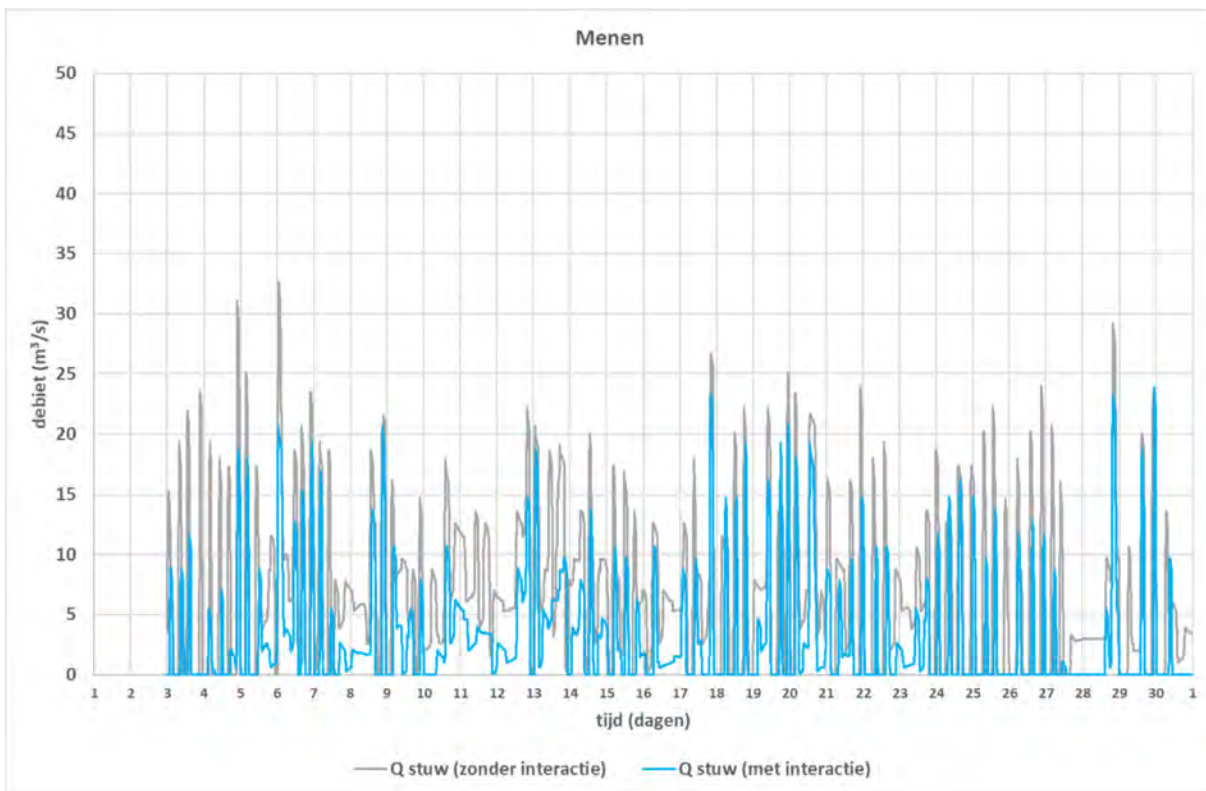
Figuur 198 – Mei 2019 – Harelbeke (reeks 2)



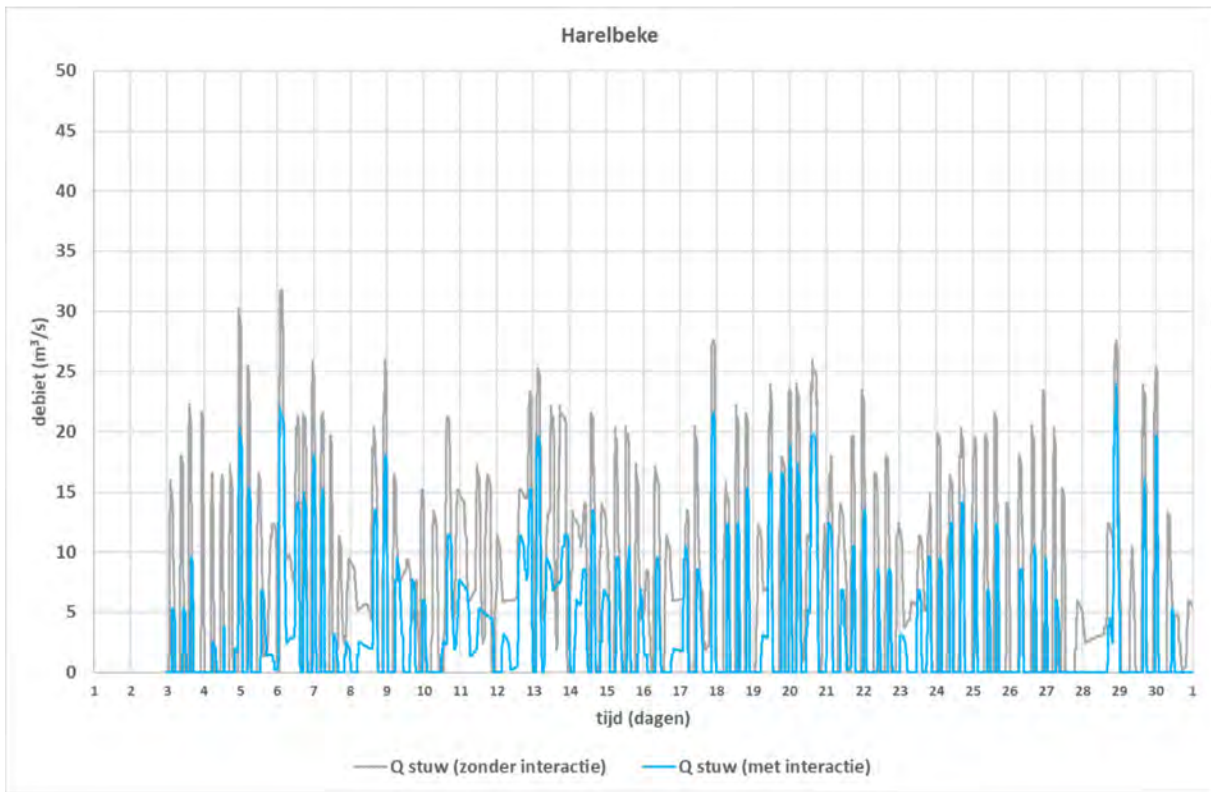
Figuur 199 – Mei 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



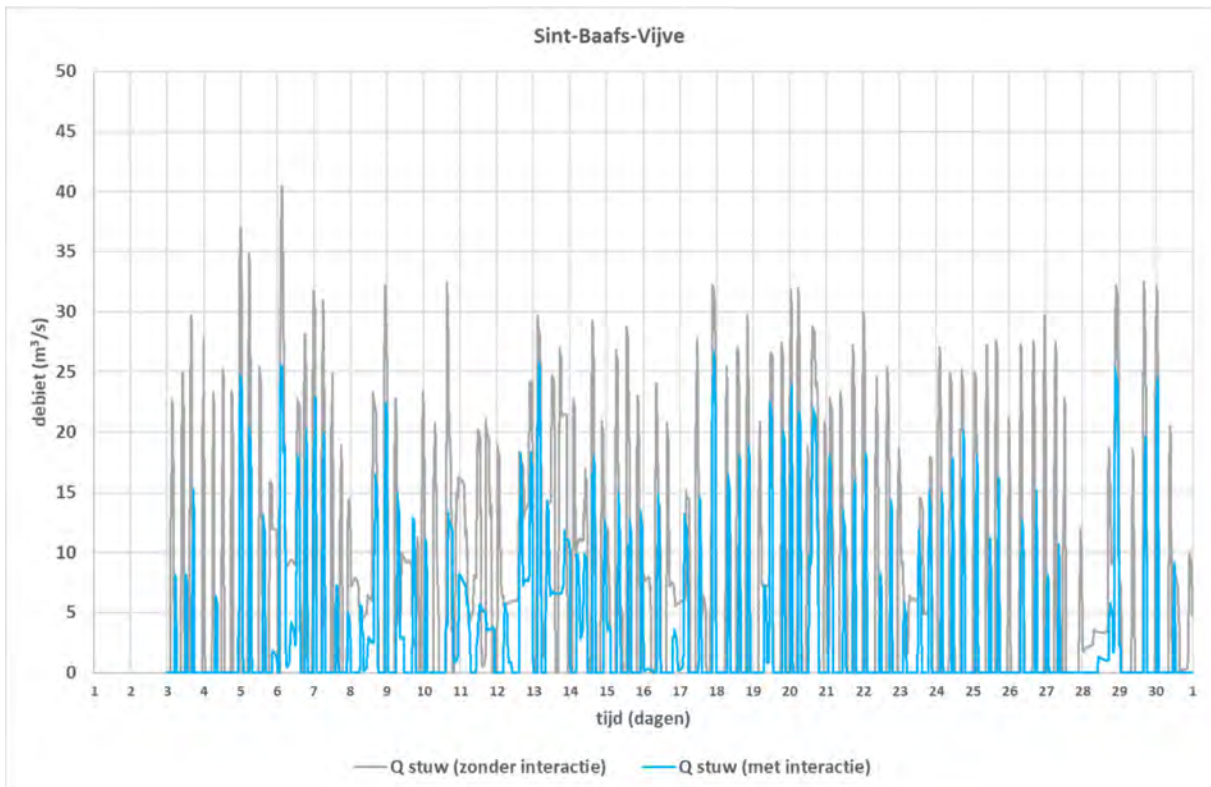
Figuur 200 – Juni 2019 – Menen (reeks 2)



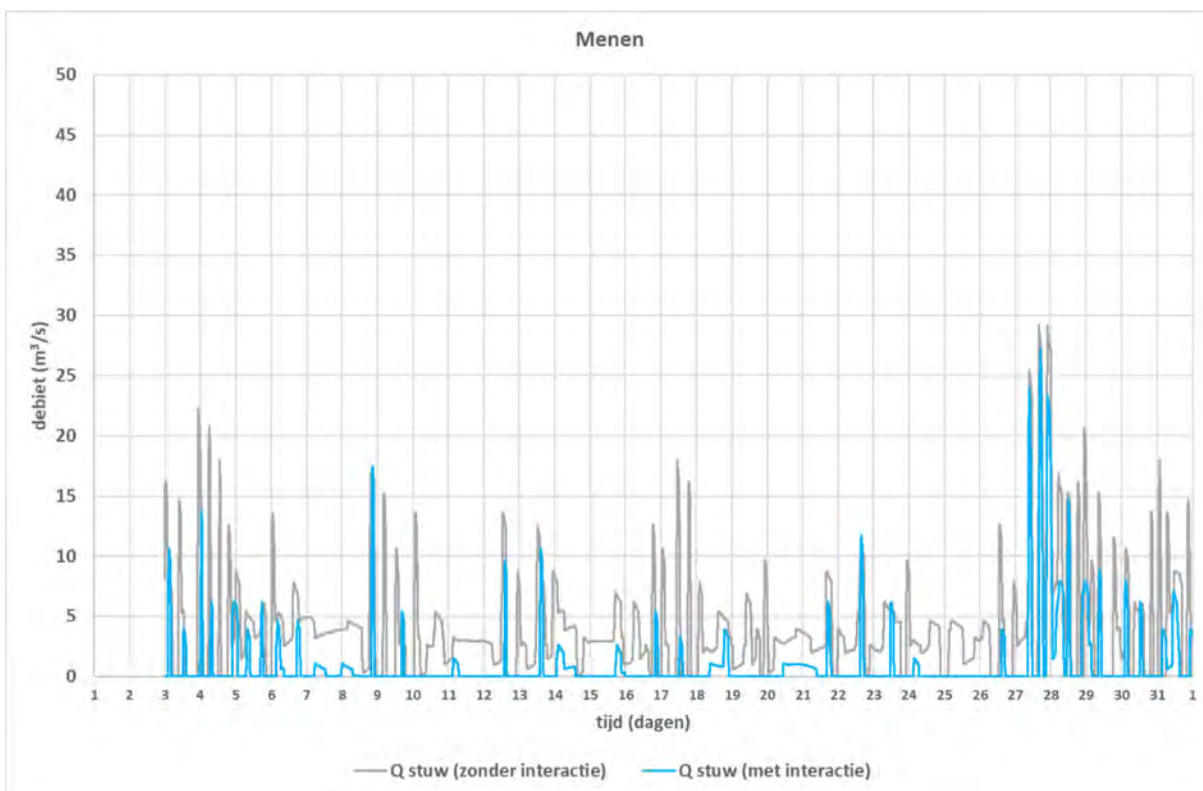
Figuur 201 – Juni 2019 – Harelbeke (reeks 2)



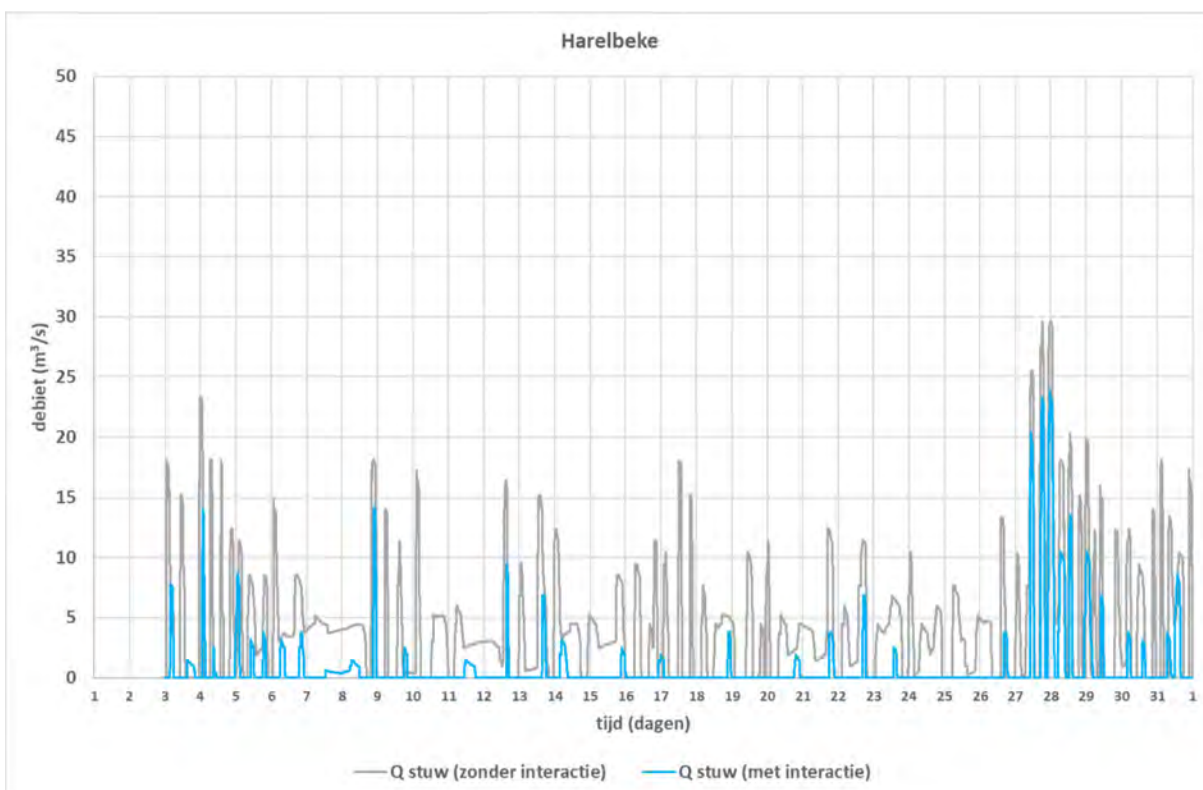
Figuur 202 – Juni 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



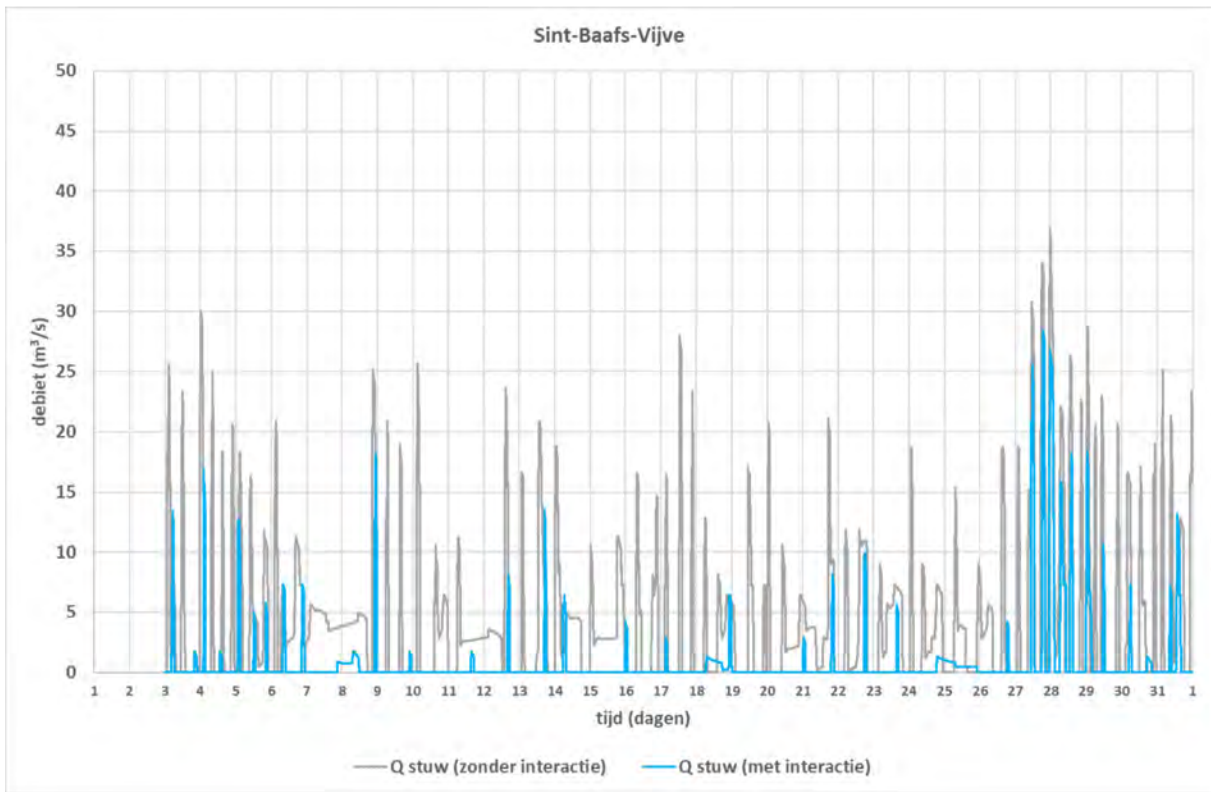
Figuur 203 – Juli 2019 – Menen (reeks 2)



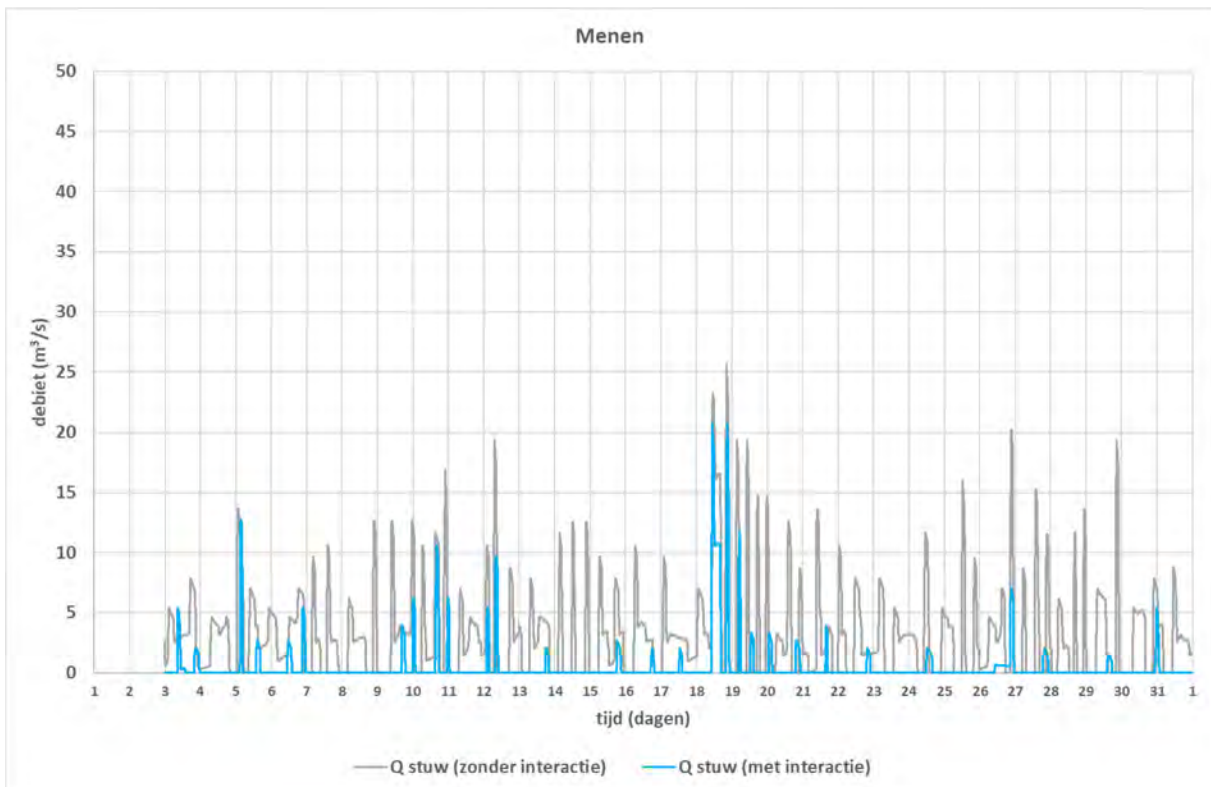
Figuur 204 – Juli 2019 – Harelbeke (reeks 2)



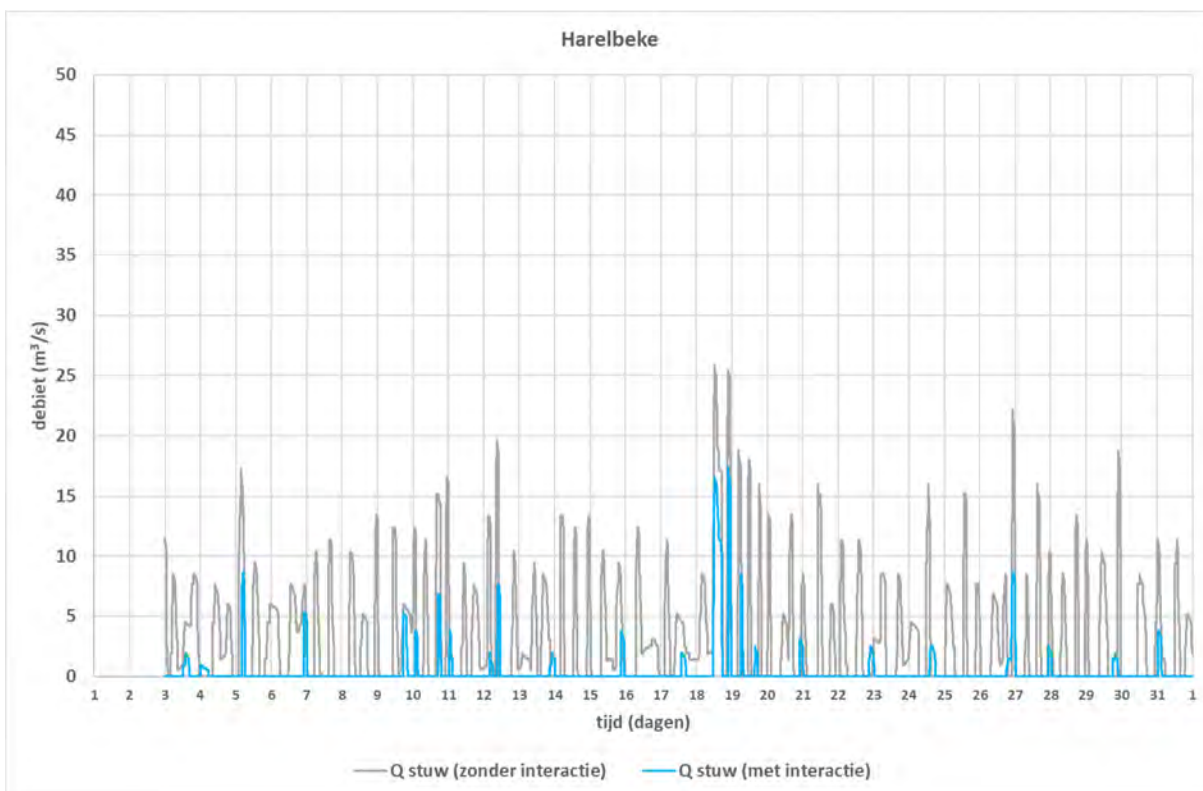
Figuur 205 – Juli 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



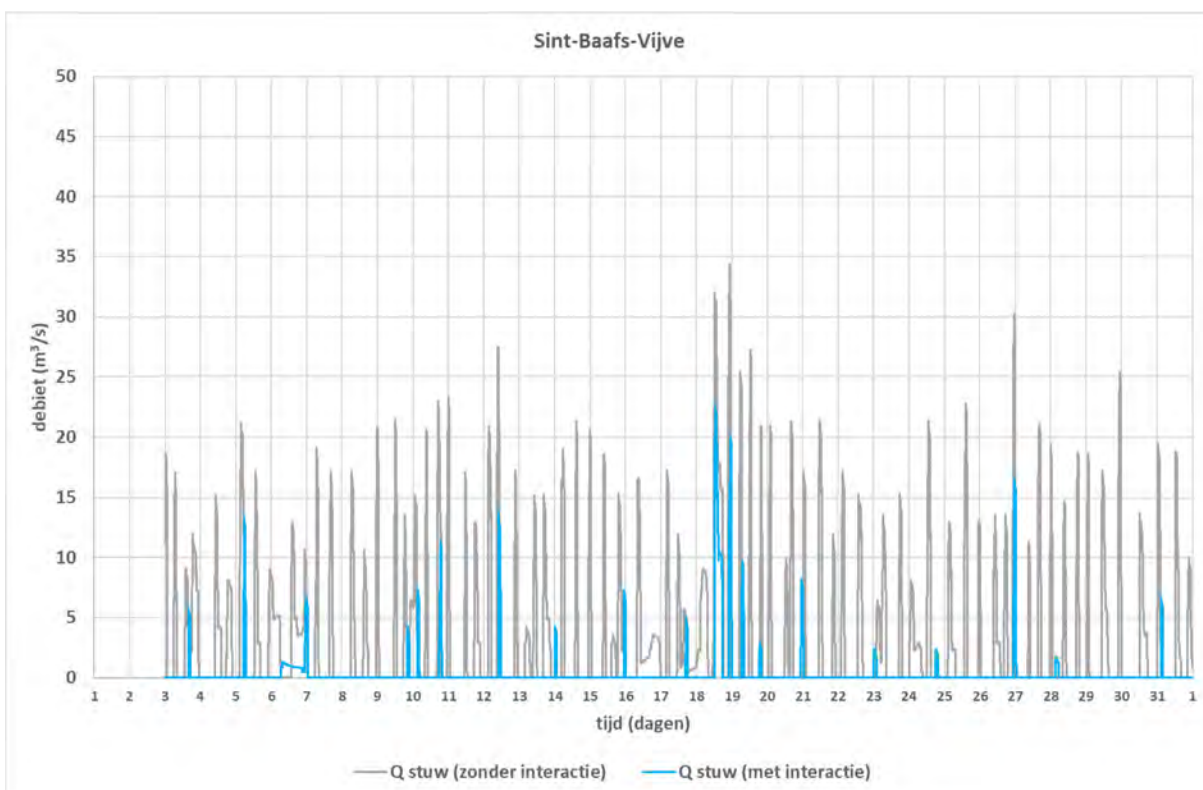
Figuur 206 – Augustus 2019 – Menen (reeks 2)



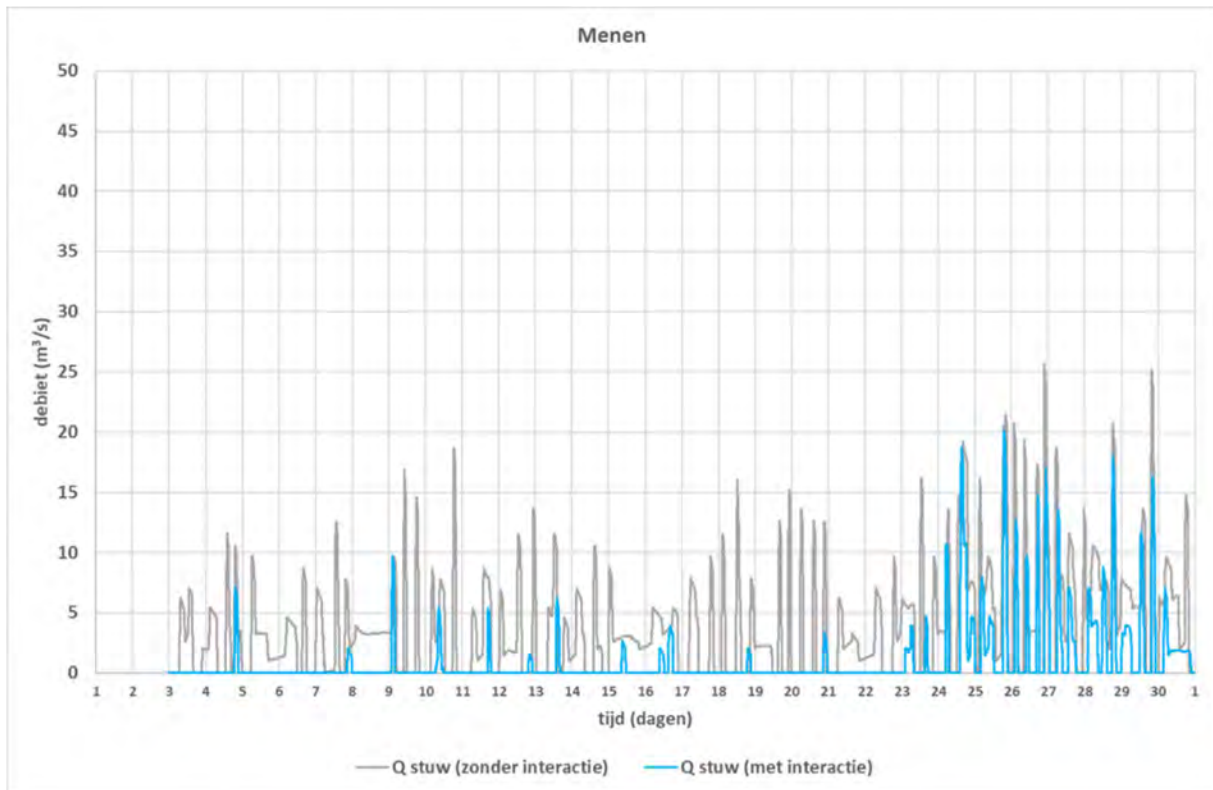
Figuur 207 – Augustus 2019 – Harelbeke (reeks 2)



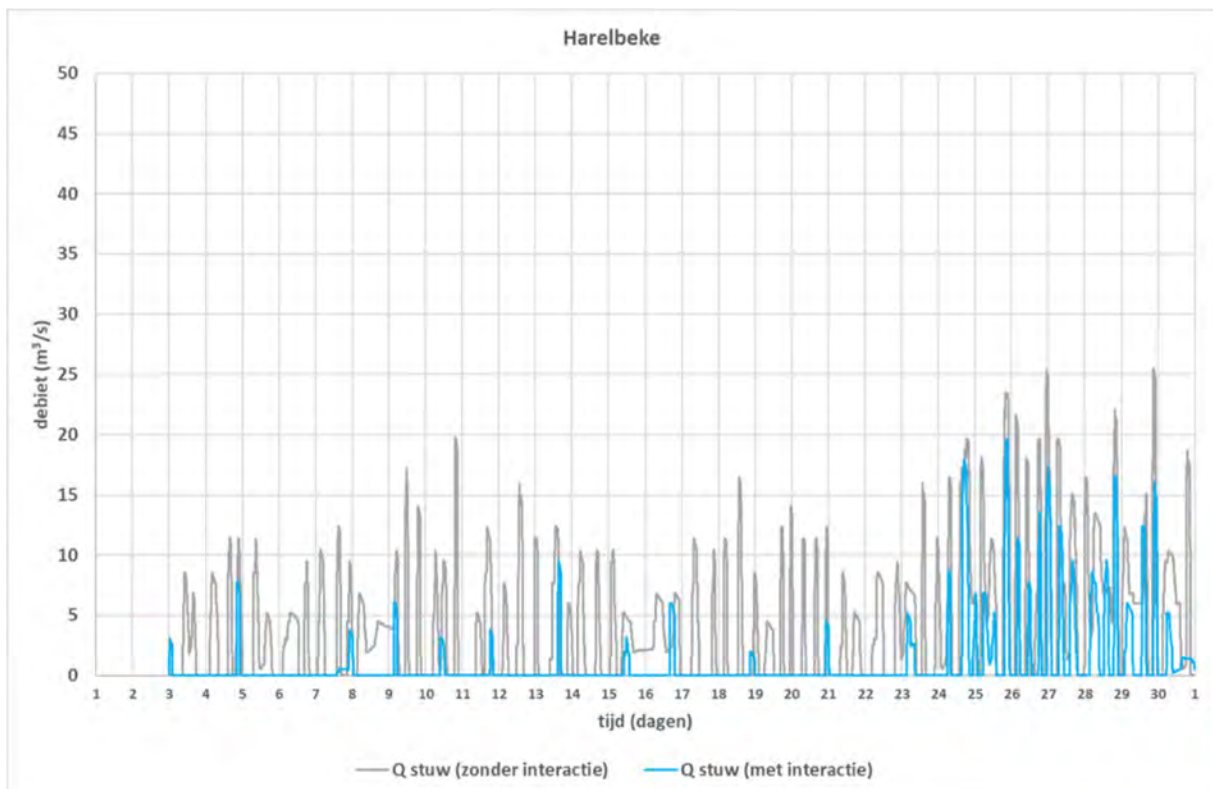
Figuur 208 – Augustus 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



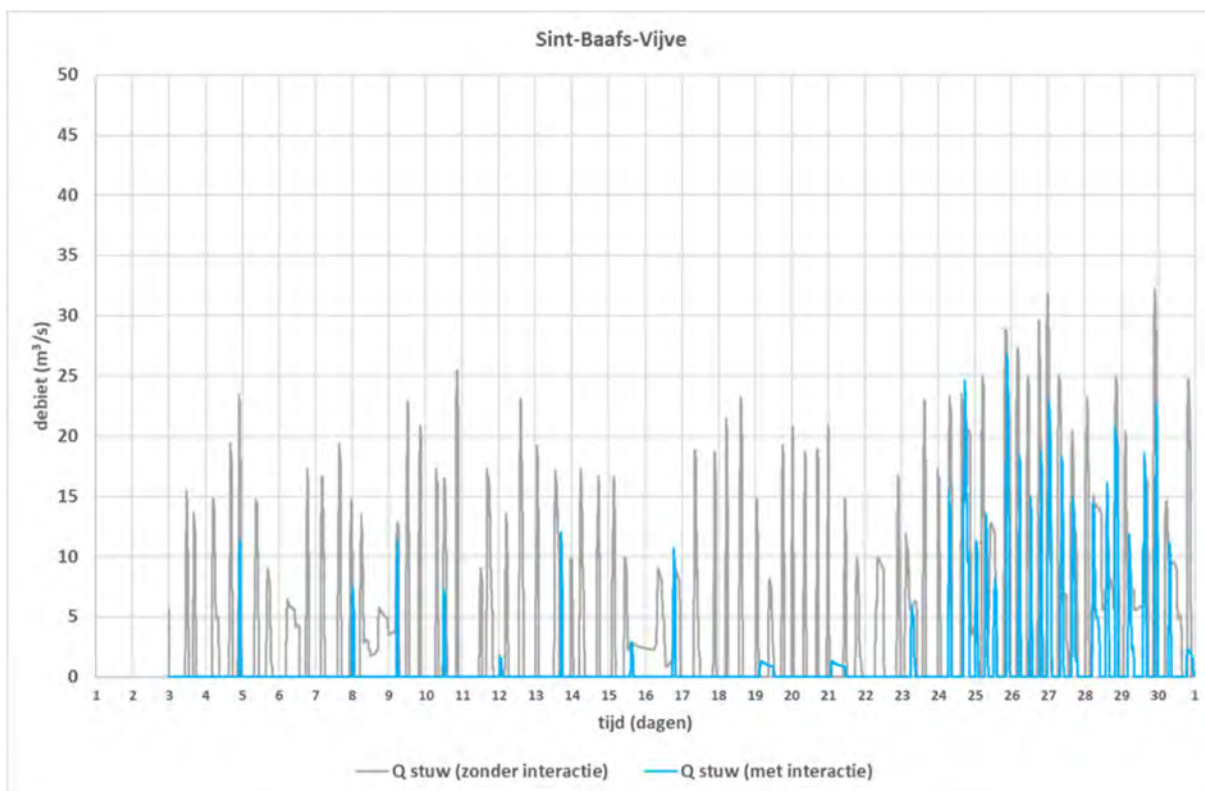
Figuur 209 – September 2019 – Menen (reeks 2)



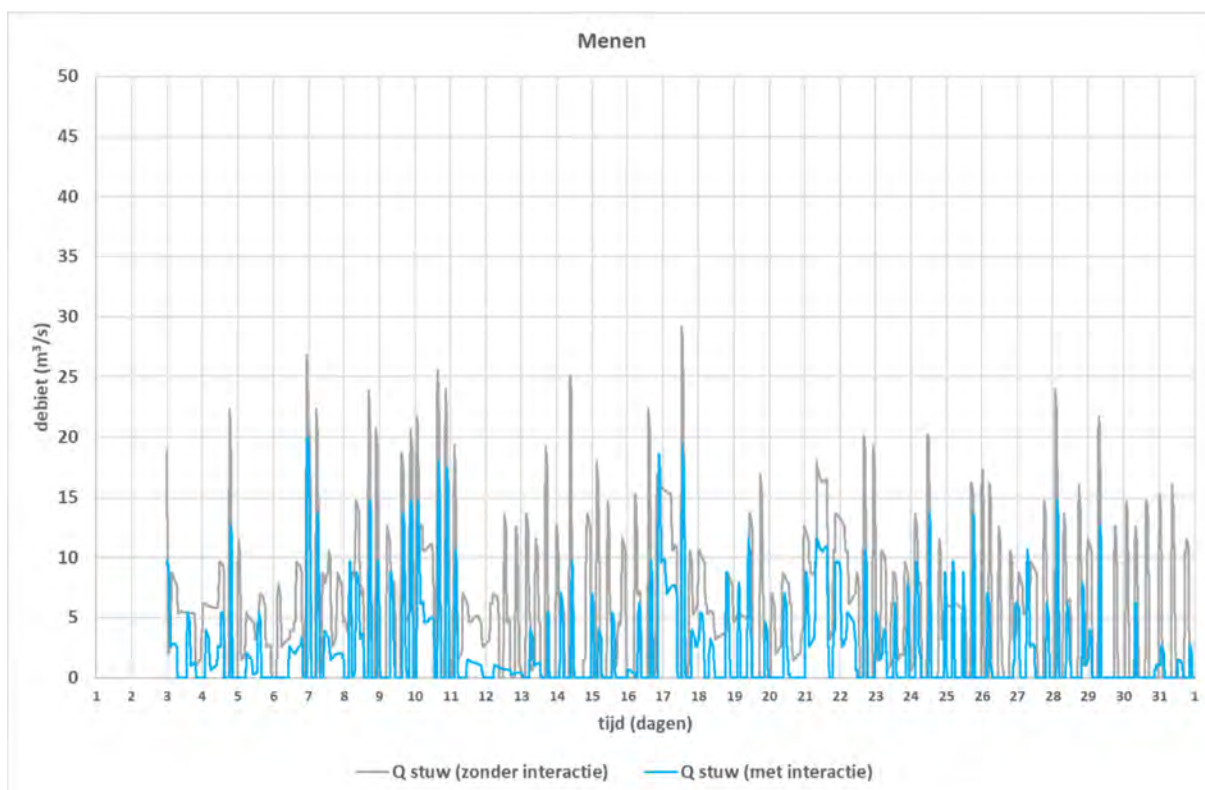
Figuur 210 – September 2019 – Harelbeke (reeks 2)



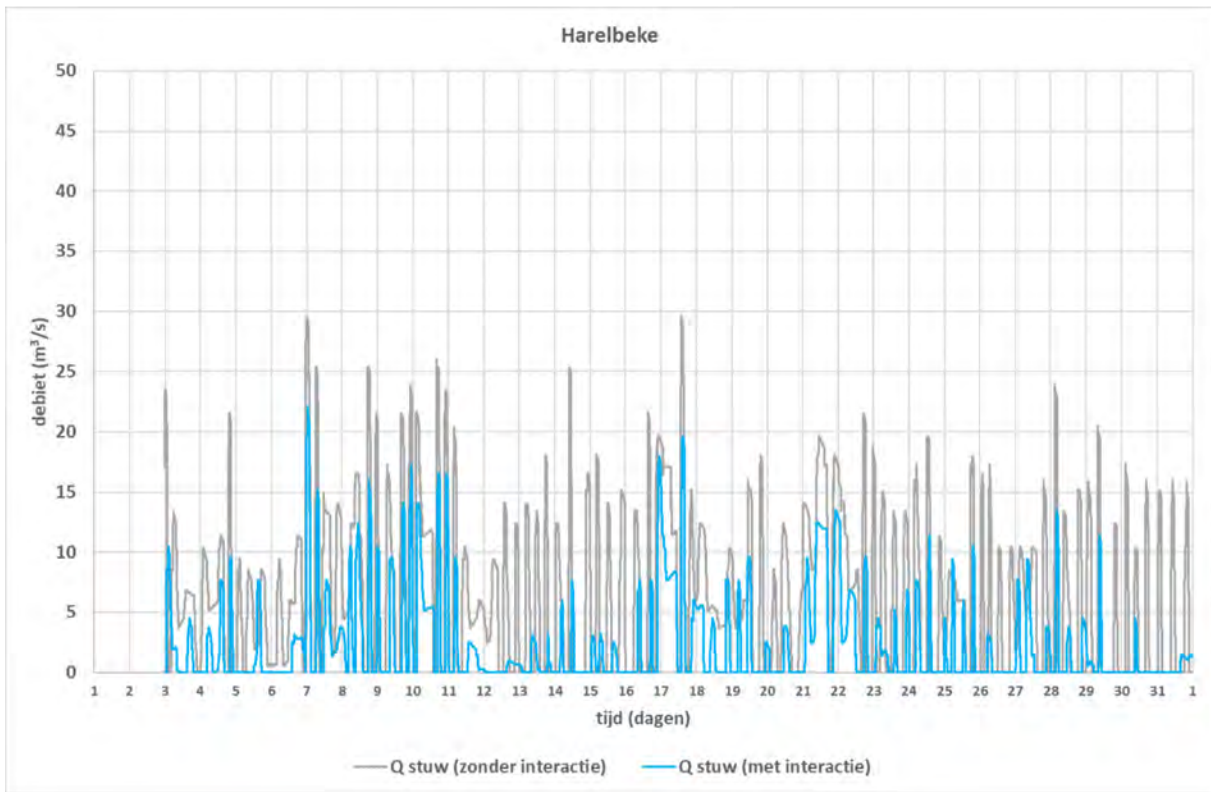
Figuur 211 – September 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



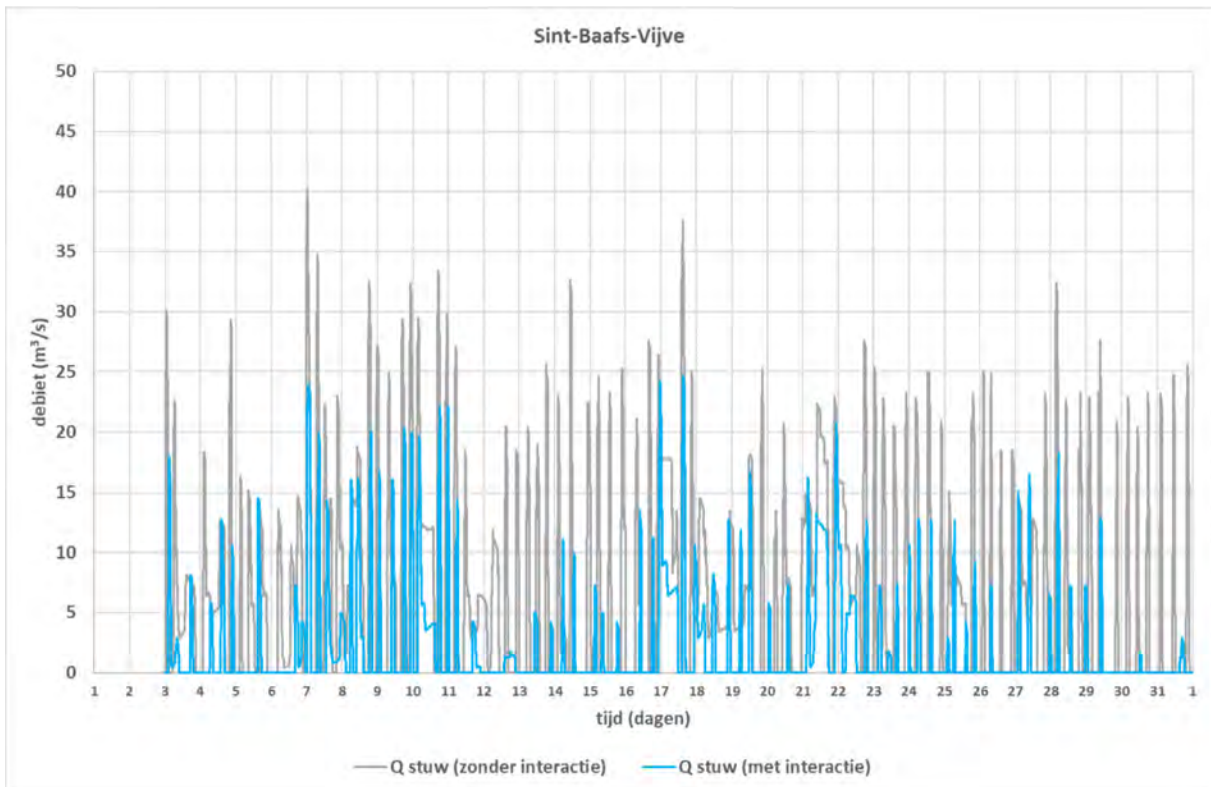
Figuur 212 – Oktober 2019 – Menen (reeks 2)



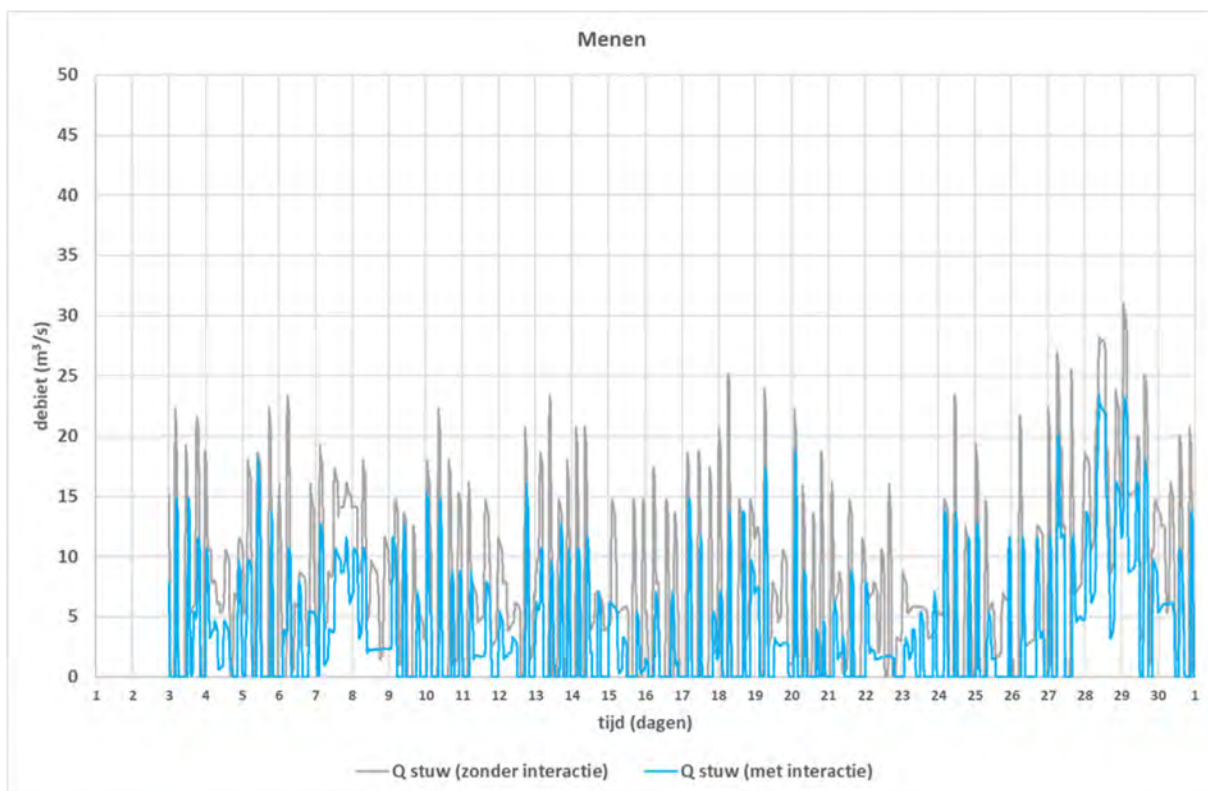
Figuur 213 – Oktober 2019 – Harelbeke (reeks 2)



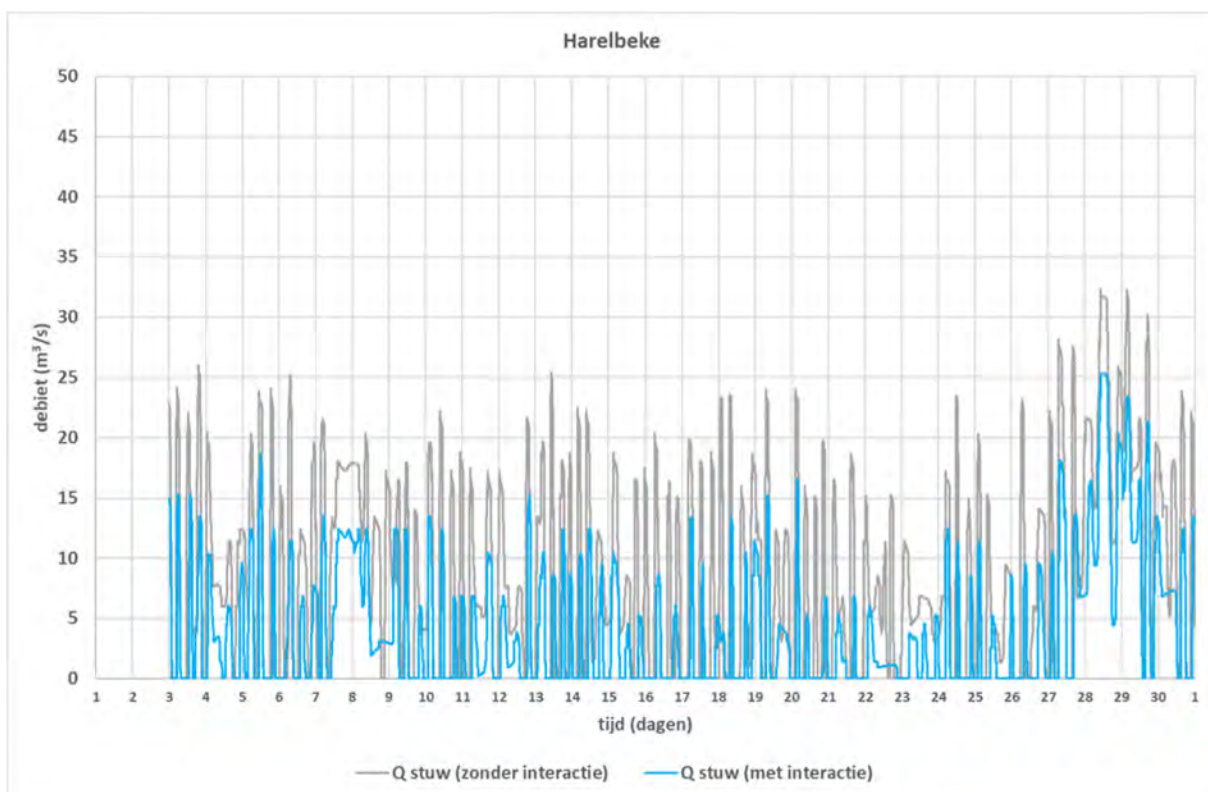
Figuur 214 – Oktober 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



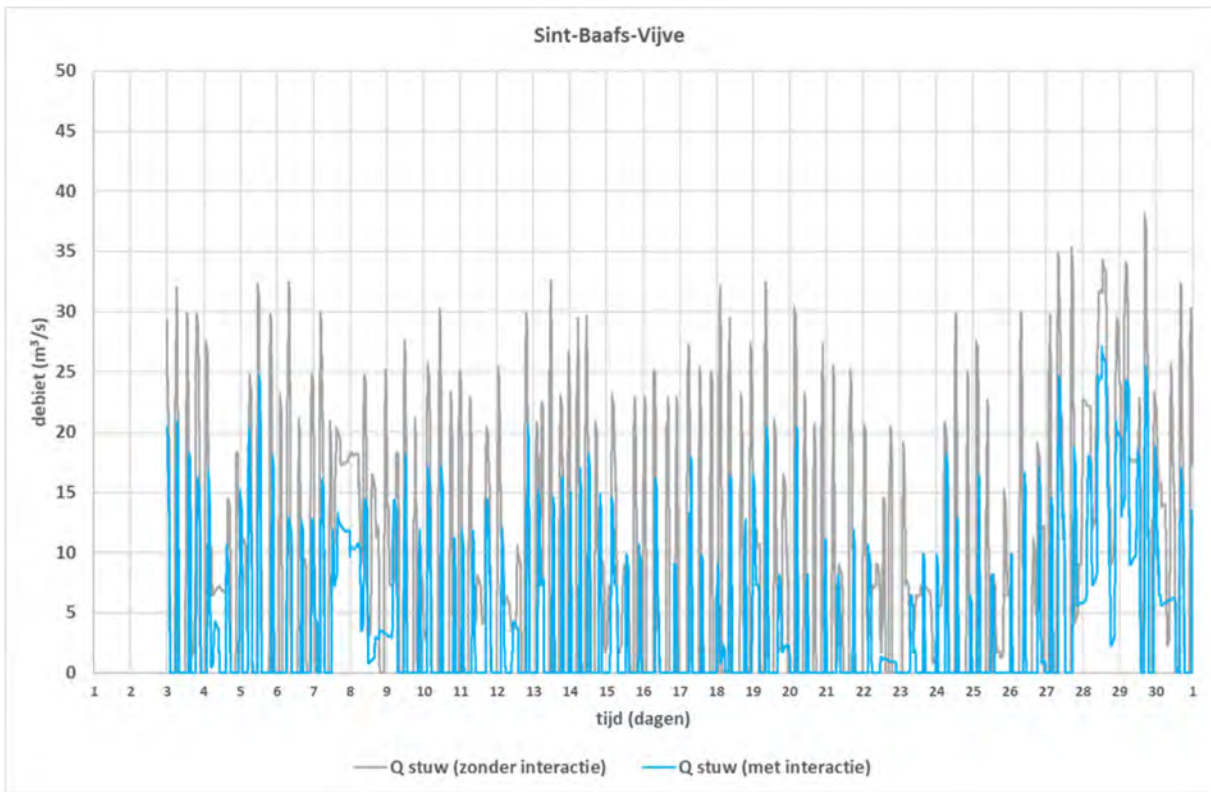
Figuur 215 – November 2019 – Menen (reeks 2)



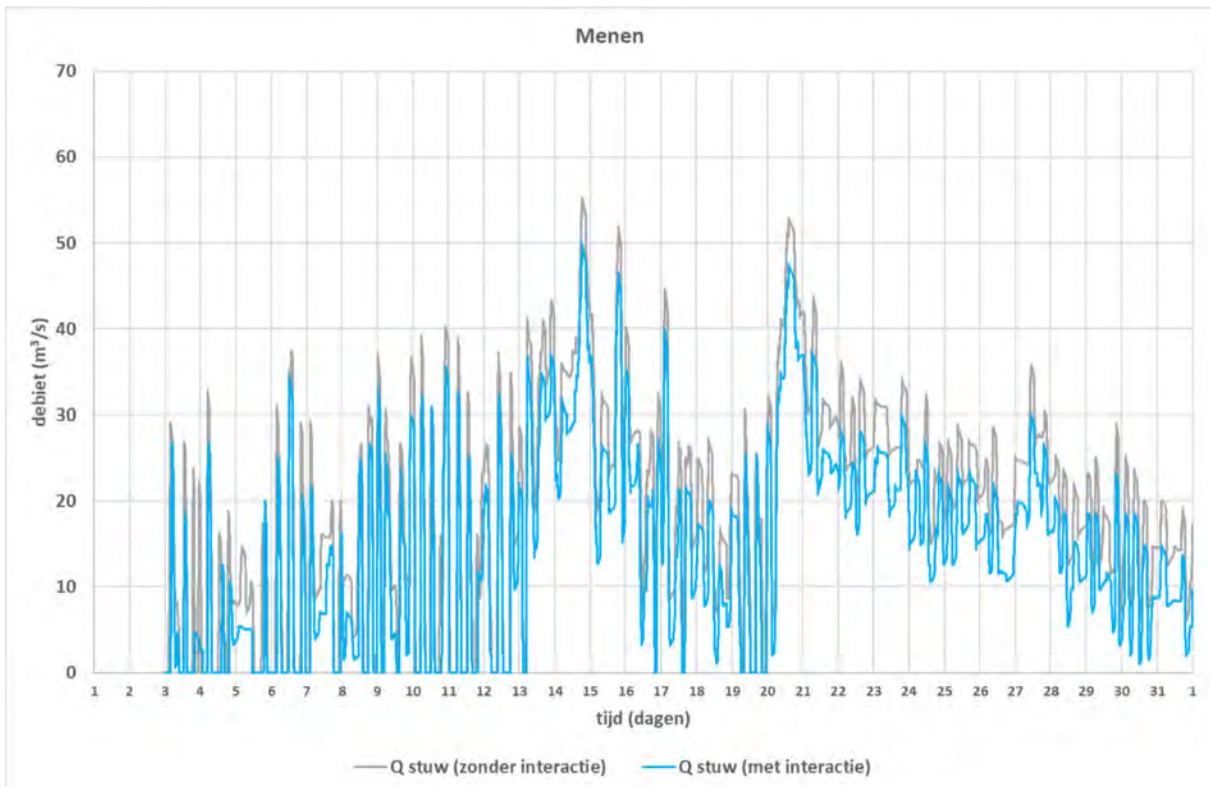
Figuur 216 – November 2019 – Harelbeke (reeks 2)



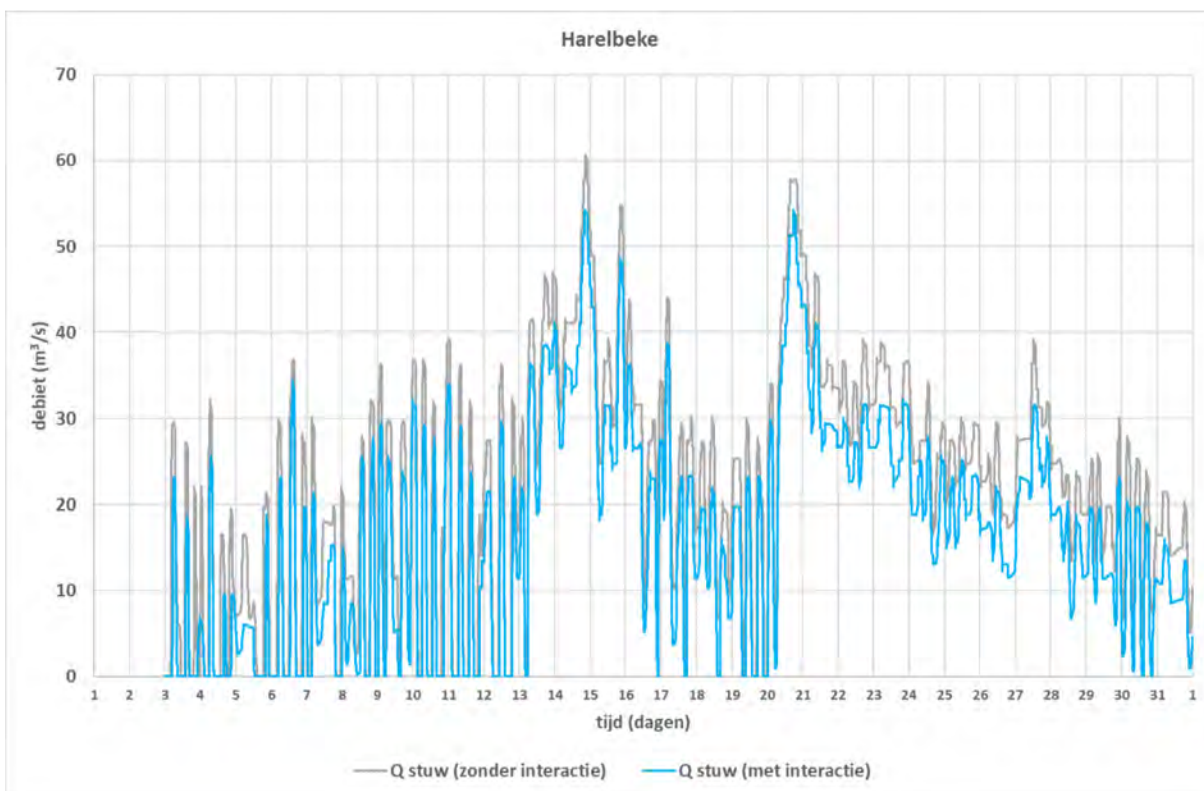
Figuur 217 – November 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



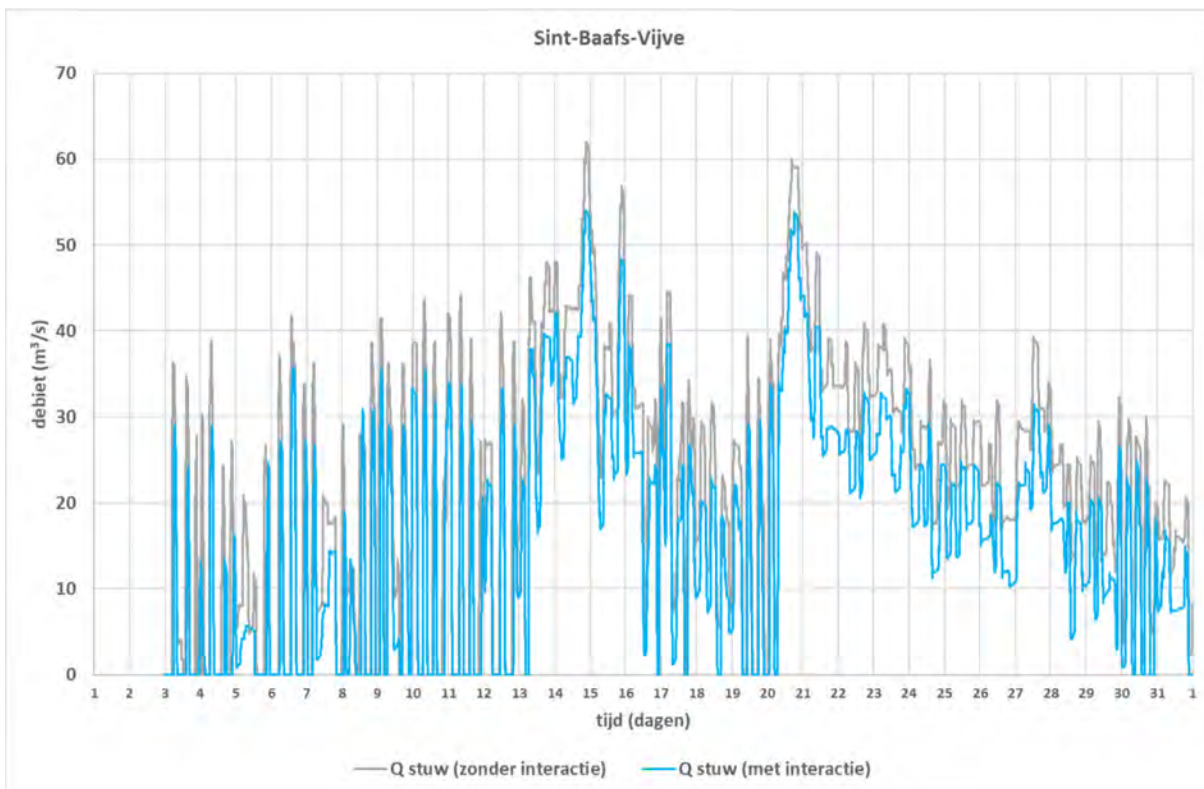
Figuur 218 – December 2019 – Menen (reeks 2)



Figuur 219 – December 2019 – Harelbeke (reeks 2)



Figuur 220 – December 2019 – Sint-Baafs-Vijve (reeks 2)



DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be