



Vlaanderen
is wetenschap



17_045_1
WL rapporten

Slim stuwen – fase 1

Debietschommelingen op de Leie te Menen

DEPARTEMENT
**MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Slim stuwen – fase 1

Debietschommelingen op de Leie te Menen

Vanderkimpen, P.; Pereira, F.; Mostaert, F.

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 2018
D/2018/3241/161

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vanderkimpfen, 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.

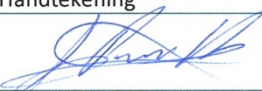
Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	DVW – afdeling Bovenschelde	Ref.:	WL2018R17_045_1
Keywords (3-5):	Stuwen, Leie, Lys, Deûle, Menen		
Tekst (p.):	29	Bijlagen (p.):	-
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s)	Vanderkimpfen, P.
-----------	-------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Pereira, F.	
Projectleider:	Vanderkimpfen, P.	

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	
-----------------	--------------	--



Abstract

Op de Leie doen zich vanaf de grens met Wallonië en Frankrijk grote debietschommelingen voor, zelfs bij droog weer. Deze studie heeft tot doel de oorzaken van deze debietschommelingen te identificeren en oplossingen te zoeken om deze debietschommelingen op korte termijn zo veel mogelijk te voorkomen of te dempen. Uit de analyse blijkt dat de debietschommelingen vermoedelijk ontstaan en versterkt worden in Frankrijk en Wallonië. De stuw van Menen lijkt geen grote rol te spelen in dit proces. Om de oorzaken van de debietschommelingen weg te nemen is intergewestelijke en internationale samenwerking dan ook noodzakelijk. Om de debietschommelingen te kunnen dempen in Vlaanderen zijn bijkomende bergingsvoorzieningen langs de Leie nodig.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Doelstelling	1
2 Studiegebied	2
3 Gegevens	4
3.1 Hydrometrie	4
3.2 Kunstwerken.....	5
3.2.1 Afmetingen	5
3.2.2 Sturing.....	5
3.2.3 Metingen	5
4 Methodologie	7
4.1 Analyseperiode.....	7
4.2 Debietmeters.....	7
4.3 Stuwen.....	7
4.4 Numerieke modellering.....	8
4.4.1 Model.....	8
4.4.2 Modelgebied.....	8
4.4.3 Randvoorwaarden	9
4.4.4 Kunstwerken.....	9
4.4.5 Sturingsregels	9
5 Resultaten.....	12
5.1 Neerslag.....	12
5.2 Debietmeters.....	13
5.2.1 Wambrechies.....	13
5.2.2 Armentières	13
5.2.3 Bousbecque	13
5.2.4 Menen.....	13
5.2.5 Vergelijking	13
5.3 Stuwen.....	17

5.3.1	Quesnoy	17
5.3.2	Armentières	18
5.3.3	Comines	19
5.3.4	Menen.....	19
5.3.5	Vergelijking	20
5.4	Vergelijking debietmeters en stuwen.....	22
5.5	Numerieke modellering	22
5.5.1	Synthetische randvoorwaarden	22
5.5.2	Historische randvoorwaarden	24
6	Conclusies	27
7	Aanbevelingen	28
8	Referenties	29

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Parameters huidige peilregeling Menen.....	10
Tabel 2 – Parameters peilregeling type Harelbeke	11
Tabel 3 – Parameters gemengde regeling.....	11
Tabel 4 – Vergelijking volumes debietmeters	13

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Waterlopen.....	2
Figuur 2 – Stuwen en sluizen	3
Figuur 3 – Meetposten	4
Figuur 4 – Modelgebied.....	8
Figuur 5 – Pluviometer Geluwe	12
Figuur 6 – Debietmeter Wambrechies	14
Figuur 7 – Debietmeter Armentières	14
Figuur 8 – Debietmeter Bousbecque.....	15
Figuur 9 – Debietmeter Menen	15
Figuur 10 – Vergelijking debietmeters	16
Figuur 11 – Stuw Quesnoy.....	17
Figuur 12 – Stuw Armentières	18
Figuur 13 – Stuw Comines	19
Figuur 14 – Stuw Menen	20
Figuur 15 – Vergelijking stuwen	21
Figuur 16 – Vergelijking debietmeters en stuwen.....	21
Figuur 17 – Huidige peilregeling met synthetische randvoorwaarden	22
Figuur 18 – Peilregeling type Harelbeke met synthetische randvoorwaarden (met rusttijd)	23
Figuur 19 – Peilregeling type Harelbeke met synthetische randvoorwaarden (zonder rusttijd).....	23
Figuur 20 – Gemengde regeling met synthetische randvoorwaarden.....	24
Figuur 21 – Huidige peilregeling met historische randvoorwaarden	25
Figuur 22 – Peilregeling type Harelbeke met historische randvoorwaarden (met rusttijd)	25
Figuur 23 – Peilregeling type Harelbeke met historische randvoorwaarden (zonder rusttijd).....	26
Figuur 24 – Gemengde regeling met historische randvoorwaarden	26

1 Doelstelling

Op de Leie doen zich vanaf de grens met Wallonië en Frankrijk grote debietschommelingen voor, zelfs bij droog weer. Deze schommelingen zorgen voor hinder bij werken aan de stuw (de stuw kan niet langdurig in een vaste stand worden gezet) en afwaarts van de stuw (sterke peilschommelingen, evenredig met de debietschommelingen, bemoeilijken de installatie van nieuwe bruggen, werken vanaf pontons, oeverwerken, ...). Daarnaast creëren de schommelingen ook een belangrijk veiligheidsrisico: een eventuele uitval van de sturing van de stuw zal immers zeer snel resulteren in aanzienlijke variaties van het waterpeil opwaarts van de stuw. Een plotse afname van het debiet en het waterpeil zou kunnen leiden tot problemen voor de scheepvaart (onvoldoende diepgang), terwijl een plotse toename zou kunnen leiden tot wateroverlast (schade aan infrastructuur en risico op overstroming). In de nabije toekomst zal in Harelbeke een vistrap gebouwd worden en zullen er ook turbines geïnstalleerd worden. Iets later zal ook in Sint-Baafs-Vijve een vistrap gebouwd worden. Om een goede werking van de vistrappen en turbines te verzekeren, moeten de debietschommelingen bij droog weer zoveel mogelijk beperkt worden.

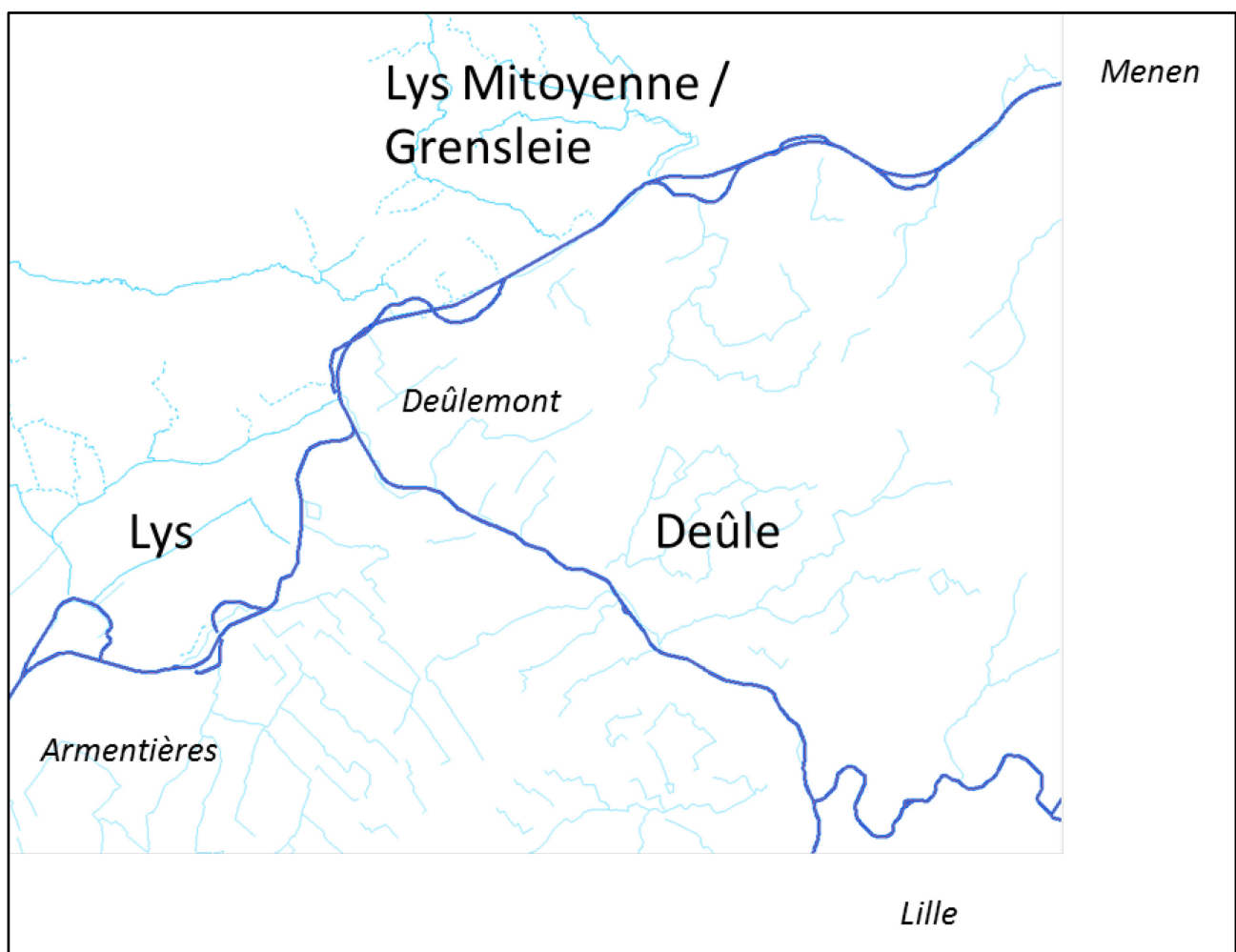
Deze studie heeft tot doel de oorzaken van de debietschommelingen op de Leie afwaarts Menen te identificeren en oplossingen te zoeken om deze schommelingen op korte termijn zo veel mogelijk te voorkomen of te dempen.

2 Studiegebied

De Leie wordt gevoed door de bovenloop van de Leie of Lys in Frankrijk en haar zijloop, de Deûle. De Deûle mondt uit in de Leie te Deûlemont. Het gedeelte van de Leie tussen Armentières en Menen vormt de grens tussen België en Frankrijk en wordt ook de Grensleie of Lys Mitoyenne genoemd.

Het studiegebied omvat de Leie van Armentières tot Menen en de Deûle van Lille tot Deûlemont. De waterlopen in het studiegebied worden weergegeven in Figuur 1.

Figuur 1 – Waterlopen

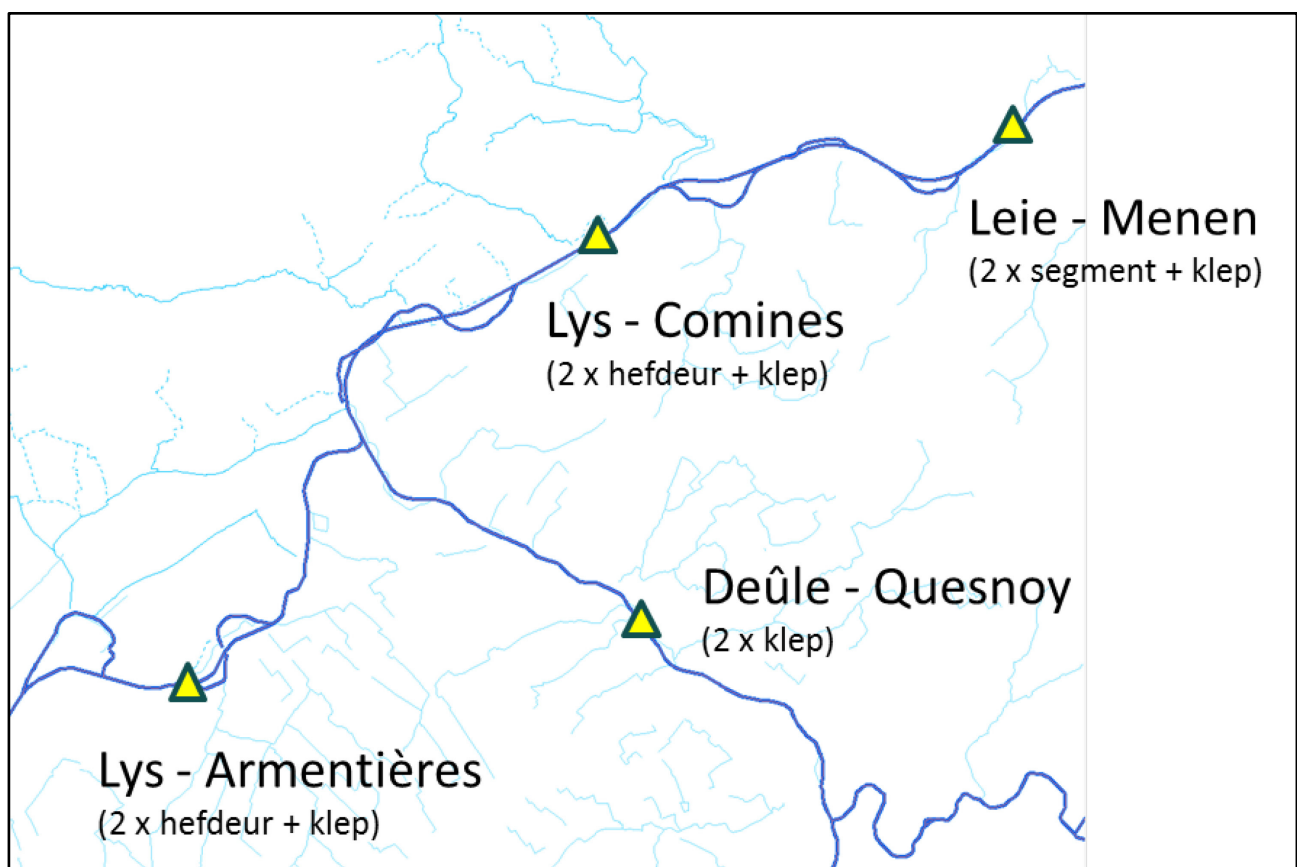


De Leie en de Deûle zijn beiden gekanaliseerd en bestaan uit een aaneenschakeling van bevaarbare panden, onderling gescheiden door complexen van stuwen en sluizen. In het studiegebied bevinden zich volgende stuwen en sluizen:

- Quesnoy: sluis + dubbele stuw
- Armentières: sluis + dubbele stuw
- Comines: sluis + dubbele stuw
- Menen: sluis + dubbele stuw

De ligging van deze stuwen en sluizen wordt weergegeven in Figuur 2.

Figuur 2 – Stuwen en sluizen



3 Gegevens

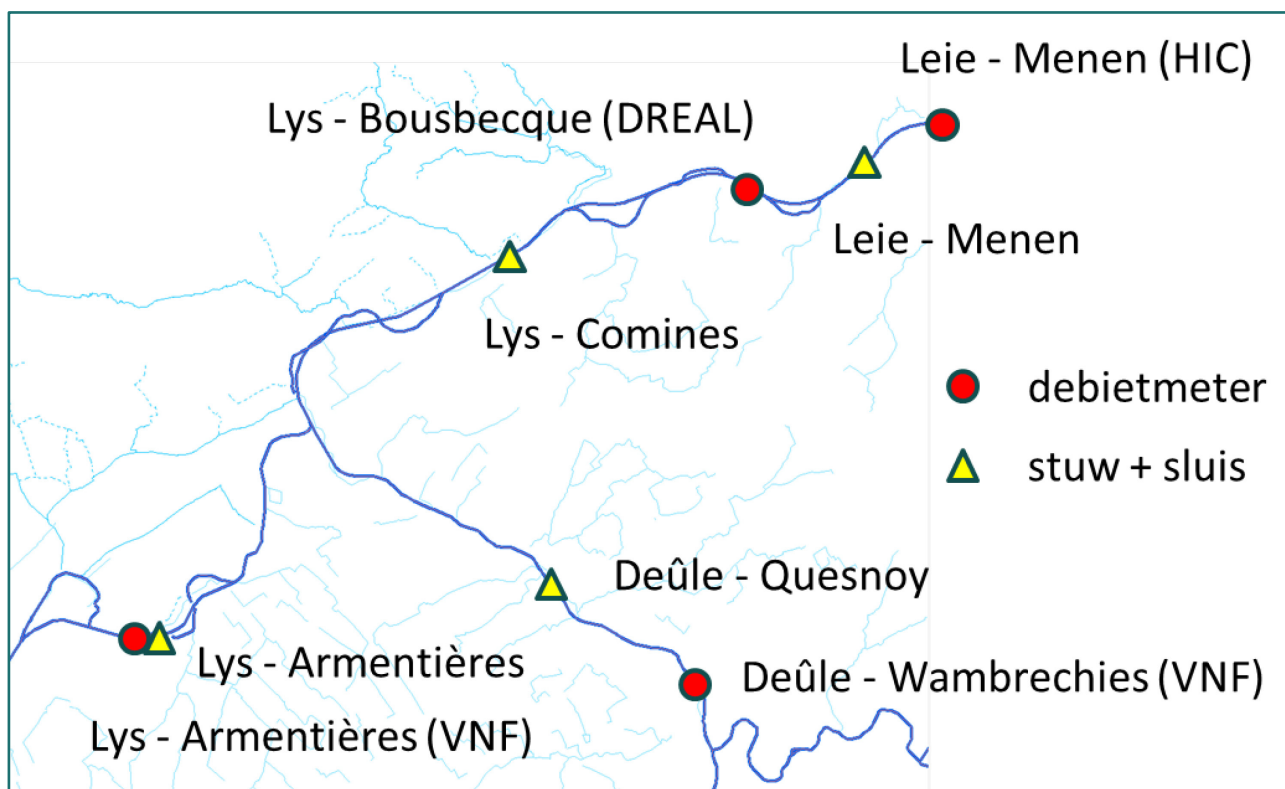
3.1 Hydrometrie

Op een aantal locaties worden waterpeilen en debieten gemeten door verschillende organisaties:

- Deûle te Wambrechies (VNF)
- Lys te Armentières (VNF)
- Lys te Bousbecque (DREAL)
- Leie te Menen (HIC)

De ligging van de meetposten wordt getoond in Figuur 3. De niet-gevalideerde metingen van Menen worden in real time gepubliceerd op het publiek toegankelijke deel van de website “waterinfo.be”. De niet-gevalideerde metingen van Armentières en Wambrechies worden in real time gepubliceerd op het beperkt toegankelijke deel van waterinfo.be. De metingen van Bousbecque zijn nog niet beschikbaar op waterinfo.be, maar de meest recente waarden kunnen geraadpleegd worden op “vigicrues.gouv.fr”.

Figuur 3 – Meetposten



3.2 Kunstwerken

3.2.1 Afmetingen

De afmetingen van de stuwen werden afgeleid uit plannen die ter beschikking gesteld werden door VNF (Armentières en Quesnoy), SPW (Comines) en DVW (Menen). Het merendeel van deze plannen werd verzameld in het kader het project “Hydrodynamische modellering van de Leie en de Deûle in Noord-Frankrijk” (Pereira et al., 2009).

De site van Armentières omvat een sluis en twee stuwen in parallel. Elke stuw bestaat uit een kleine klep die bovenop een hefdeur gemonteerd is. Elke klep is 13,3 m breed en elke hefdeur 14 m.

De site van Quesnoy omvat een sluis en twee stuwen in parallel. Elke stuw bestaat uit een grote klep. Elke klep is 8,4 m breed. De stuwen werden volledig vernieuwd in 2009.

De site van Comines omvat een sluis en twee stuwen in parallel. Elke stuw bestaat uit een kleine klep die bovenop een hefdeur gemonteerd is. Elke klep is 10 m breed en elke hefdeur 12,5 m.

De site van Menen omvat een sluis en twee stuwen in parallel. Elke stuw bestaat uit een kleine klep die bovenop een segment gemonteerd is. Elke klep is 10,3 m breed en elk segment 12,5 m.

3.2.2 Sturing

Elke stuw probeert een min of meer constant waterpeil in het pand opwaarts van de stuw te handhaven:

- Quesnoy: 14,72 m IGN69 ($\approx$ 16,37 m TAW)
- Armentières: 12,67 m IGN69 ($\approx$ 14,32 m TAW)
- Comines: 12,9 m TAW (officieel), 13,18 m TAW (voor midden 2017), 13,06 m TAW (na midden 2017)
- Menen: 11,83 m TAW

De stuwen van Menen en Comines worden volledig automatisch gestuurd, zonder enige tussenkomst van de operatoren. De stuwen van Quesnoy en Armentières worden naar verluidt eveneens automatisch gestuurd. Het is echter nog niet helemaal duidelijk wat dit precies inhoudt en of er een tussenkomst van de operatoren vereist is. Bijkomend overleg met VNF is noodzakelijk om dit volledig uit te klaren.

De precieze regels die gebruikt worden om de stuwbewegingen te controleren zijn voor de meeste stuwen niet bekend. Enkel voor de stuw van Menen werd het volledige sturingsprogramma ter beschikking gesteld door EMT (EMT, 2018).

3.2.3 Metingen

Ter hoogte van de stuwen worden waterpeilen en soms ook klepstanden opgemeten:

- Quesnoy: waterstand opwaarts, waterstand afwaarts en klepstanden
- Armentières: waterstand opwaarts, waterstand afwaarts en klepstanden
- Comines: waterstand opwaarts en waterstand afwaarts
- Menen: waterstand opwaarts, waterstand afwaarts en klepstanden

De gegevens m.b.t. de stuw van Menen zijn allemaal in real time beschikbaar via het besturings- en bewakingssysteem “abba”. De waterstanden op- en afwaarts van de stuw en de klepstanden worden elke minuut opgeslagen.

De waterstanden op- en afwaarts van de stuw van Comines kunnen in real time geraadpleegd worden op het beperkt toegankelijke deel van waterinfo.be. Ze zijn beschikbaar met een interval van 15 minuten. De klepstanden kunnen afgelezen worden in het bedieningsgebouw van de stuw, maar worden niet digitaal opgeslagen. Ze werden gedurende enkele dagen manueel geregistreerd door de sluiswachters. Dit

gebeurde met hoge frequentie (ongeveer 15 minuten) wanneer de stuw in beweging was en met lage frequentie (1 tot 2 uur) wanneer de stuw niet in beweging was. De klepstanden werden enkel geregistreerd tijdens de bedieningsuren van de sluis (van 6 uur tot 22 uur).

De gegevens m.b.t. de stuwen van Armentières en Quesnoy worden continu geregistreerd, maar zijn niet publiek toegankelijk. Deze gegevens werden opgevraagd bij VNF. De waterstanden op- en afwaarts van de stuwen werden ter beschikking gesteld met een regelmatig interval van 15 minuten. De klepstanden van Armentières werden aangeleverd met een onregelmatig tijdsinterval. Vermoedelijk worden ze enkel opgeslagen wanneer er een wijziging optreedt. De klepstanden van Quesnoy werden deels met een regelmatig interval en deels met een onregelmatig interval aangeleverd.

4 Methodologie

4.1 Analyseperiode

Alle analyses werden uitgevoerd op de periode van 24 april tot en met 1 mei 2018.

4.2 Debietmeters

De neerslag in het studiegebied werd geraamd op basis van de metingen van de pluviometer van VMM in Geluwe, nabij Menen. De afvoeren gemeten door de verschillende debietmeters werden vergeleken met de neerslag en met elkaar.

4.3 Stuwen

Aan de hand van de waterstanden op- en afwaarts van een stuw en de klepstanden van de stuw kunnen de debieten ter hoogte van de stuw berekend worden.

Voor een stuw met enkel vrije stroming over een klep bedraagt het debiet:

$$Q_{over} = C_{d1} B h^e \quad (1)$$

met	Q_{over}	= debiet over de stuw (m ³ /s)
	B	= breedte van de stuw (m)
	h	= dikte van de overstortende laag (m)
	C_{d1}	= debietscoëfficiënt
	e	= exponent

Voor een stuw met enkel verdronken stroming onder een hefdeur of een segment bedraagt het debiet:

$$Q_{onder} = C_{d2} B h \sqrt{2 g (H_{opw} - H_{afw})} \quad (2)$$

met	Q_{onder}	= debiet onder de stuw (m ³ /s)
	B	= breedte van de stuw (m)
	h	= hefhoogte (m)
	C_{d2}	= debietscoëfficiënt
	H_{opw}	= waterstand opwaarts van de stuw (m TAW)
	H_{afw}	= waterstand afwaarts van de stuw (m TAW)

Voor een stuw met gelijktijdige stroming over een klep en onder een hefdeur of segment kan het totale debiet benaderend geschat worden als:

$$Q = Q_{over} + Q_{onder} \quad (3)$$

met	Q	= totale debiet over en onder de stuw (m ³ /s)
-----	---	---

De debietscoëfficiënten en exponent uit de bovenstaande vergelijkingen zijn afhankelijk van vele factoren (waaronder vorm en stand van de klep, hefdeur of segment). Als eerste benadering kunnen literatuurwaarden gebruikt worden, maar voor gedetailleerde analyses is een kalibratie op een schaalmodel wenselijk.

De situaties met enkel stroming over een klep of enkel stroming onder een hefdeur of segment kunnen vrij goed beschreven worden met bovenstaande formules. De tussenliggende situatie met gelijktijdige stroming over een klep en onder een hefdeur of segment is moeilijker te beschrijven. Het eenvoudigweg optellen van de debieten berekend met formules voor beide deelstromen kan leiden tot een onderschatting van het totale debiet. Voor een nauwkeurige inschatting van het debiet in dergelijke overgangsregimes is een kalibratie op een schaalmodel nodig.

4.4 Numerieke modellering

4.4.1 Model

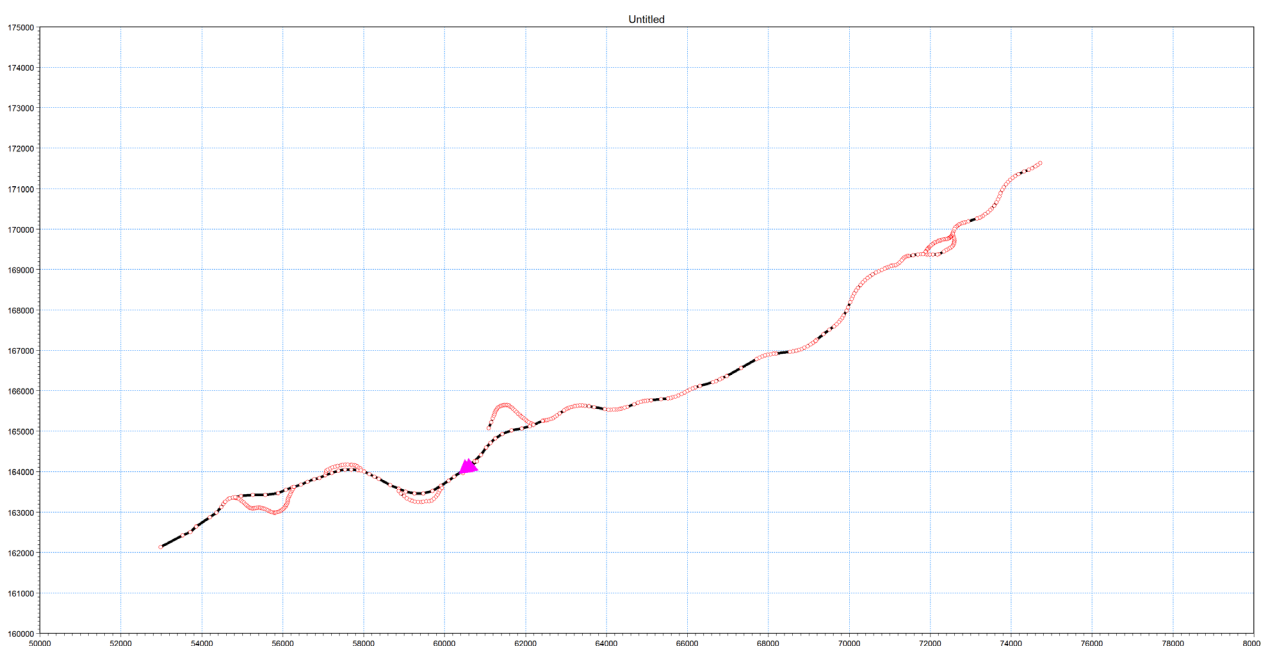
Het gedrag van de stuw van Menen werd ook geëvalueerd aan de hand van een sterk vereenvoudigd numeriek model. Dit model bestaat uit delen van het bestaande numerieke model van Leie, Bovenschelde en Gentse Kanalen (versie 2015).

Het numeriek model werd opgebouwd met het softwarepakket “Mike11” (versie 2012, SP3), ontwikkeld en verdeeld door het Danish Hydraulic Institute (DHI, 2012).

4.4.2 Modelgebied

Het modelgebied omvat de Leie van Comines tot Harelbeke, met inbegrip van de nog aangesloten meanders tussen Comines en Menen. De gemodelleerde panden en meanders worden getoond in Figuur 4. De roze driehoekjes stemmen overeen met de stuw en sluis van Menen.

Figuur 4 – Modelgebied



4.4.3 Randvoorwaarden

De opwaartse modelrand ligt net afwaarts van de stuw van Comines. Aan deze rand wordt een debiet opgelegd. De afwaartse modelrand ligt net opwaarts van de stuw van Harelbeke. Hier wordt een waterpeil opgelegd.

Het model werd doorgerekend met twee types randvoorwaarden: synthetische en historische. Bij de berekeningen met synthetische randvoorwaarden werd aan de opwaartse rand een sinusoidaal fluctuerend debiet ($0 - 70 \text{ m}^3/\text{s}$) opgelegd en aan de afwaartse rand een constant waterpeil (10,17 m TAW = streefpeil stuw Harelbeke). Bij de berekeningen met historische randvoorwaarden werd aan de opwaartse rand het gemeten debiet te Menen opgelegd en aan de afwaartse rand het gemeten waterpeil 650 m opwaarts van de stuw van Harelbeke. Voor de opwaartse rand werden de debietmetingen van Menen gebruikt en niet die van Bousbecque omdat beide reeksen zeer gelijkaardig zijn, de reeks van Menen een hogere resolutie heeft (15 minuten versus 1 uur) en de reeks van Bousbecque onvolledig is.

4.4.4 Kunstwerken

De afmetingen van de stuw van Menen (kleppen en hefdeuren) zijn zoals beschreven in paragraaf 3.2.1. De schutverliezen van de sluis van Menen werden ingesteld op $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

De bewegingssnelheid van de kleppen en hefdeuren werd geschat op basis van terreinmetingen. De snelheid van de kleppen werd gelijkgesteld aan 5 centimeter per minuut en die van de hefdeuren aan 10 centimeter per minuut. Voor het openen en het sluiten wordt dezelfde snelheid toegepast.

4.4.5 Sturingsregels

Voor de sturing van de stuw van Menen werden verschillende regelingen toegepast:

- de huidige peilregeling
- een peilregeling "type Harelbeke"
- een gemengde regeling (debietregeling met peilbegrenzing)

Het doorrekenen van de huidige peilregeling heeft tot doel na te gaan of de stuw van Menen debietschommelingen versterkt of niet.

De simulaties met de peilregeling "type Harelbeke" moeten toelaten na te gaan of bij een eventuele vervanging van de PLC van de stuw van Menen het sturingsalgoritme van de stuw van Harelbeke overgenomen zou kunnen worden.

De derde regeling heeft tot doel na te gaan of het mogelijk is de impact van de debietschommelingen te beperken indien de oorzaken niet op korte termijn weggenomen kunnen worden.

Huidige peilregeling

De huidige peilregeling werd afgeleid door analyse van het PLC-programma, ter beschikking gesteld door EMT (EMT, 2018). De werktijd bedraagt 40 seconden en de rusttijd 150 seconden. Aangezien het model draait met een tijdstap van 60 seconden, werd de werktijd gemakshalve gelijkgesteld aan 60 seconden. De overige parameters worden samengevat in Tabel 1.

Bemerk dat deze regeling geen rustzone bevat. In de zone rondom het streefpeil zal de stuw blijven bewegen, op voorwaarde dat er een duidelijke tendens is die deze beweging ondersteunt (stijgend voor openen en dalend voor sluiten). Indien er geen uitgesproken tendens is, dan zal de stuw niet bewegen.

Tabel 1 – Parameters huidige peilregeling Menen

Waterstand	Situatie	Tendens	Actie
		NVT	continu openen
REF + 10 cm	zeer hoog		
		> 0,02 cm/min	modulair openen
REF + 5 cm	hoog		
		> 0,02 cm/min	modulair openen
REF	streefpeil		
		< - 0,02 cm/min	modulair sluiten
REF – 5 cm	laag		
		< - 0,02 cm/min	modulair sluiten
REF – 10 cm	zeer laag		
		NVT	continu sluiten

Peilregeling “type Harelbeke”

De peilregeling “type Harelbeke” is gebaseerd op de beschrijving van de sturing van de tijdelijke stuw van Harelbeke (Cofely Fabricom, 2015). De voorgestelde initiële parameters bevatten een werktijd van slechts 3 seconden en een rusttijd van 180 seconden. De werktijd werd opnieuw opgetrokken tot 60 seconden. Voor de rusttijd werden twee waarden gebruikt: 150 seconden (zoals nu het geval is) en 0 seconden (om de impact van een snellere werking te onderzoeken). De overige parameters worden getoond in Tabel 2.

De regeling van het type Harelbeke heeft wel een rustzone rondom het streefpeil. Buiten deze zone zal de stuw bewegen, tenzij er een tendens is die tegen deze beweging ingaat (dalend bij openen en stijgend bij sluiten). Indien er geen tendens is, dan zal de stuw nog steeds bewegen.

Tabel 2 – Parameters peilregeling type Harelbeke

Waterstand	Situatie	Tendens	Actie
			continu openen
REF + 5 cm	++ IN = ++ UIT	> - 0,02 cm/min	
			discontinu openen
REF + 3 cm	+ IN = + UIT	> - 0,02 cm/min	
			rust
REF	streefpeil		
			rust
REF – 3 cm	- IN = - UIT	< 0,02 cm/min	
			discontinu sluiten
REF – 5 cm	-- IN = -- UIT	< 0,02 cm/min	
			continu sluiten

Gemengde regeling

De gemengde regeling is een debietregeling met peilbegrenzing. Zolang het waterpeil in beperkte mate afwijkt van het streefpeil, wordt een (discontinue) debietregeling toegepast. De stuw zal dan proberen zo lang mogelijk een debiet van 8 m³/s door te laten. Dit is het debiet dat nodig is voor een goede werking van de vistrap en de turbines in Harelbeke. Zodra het waterpeil te sterk begint af te wijken van het streefpeil, wordt automatisch terug oversgeschakeld op een (continue) peilregeling. Het debiet zal dan steeds sterker beginnen afwijken van het streefdebet. De parameters voor de peilbegrenzing worden opgesomd in Tabel 3.

Tabel 3 – Parameters gemengde regeling

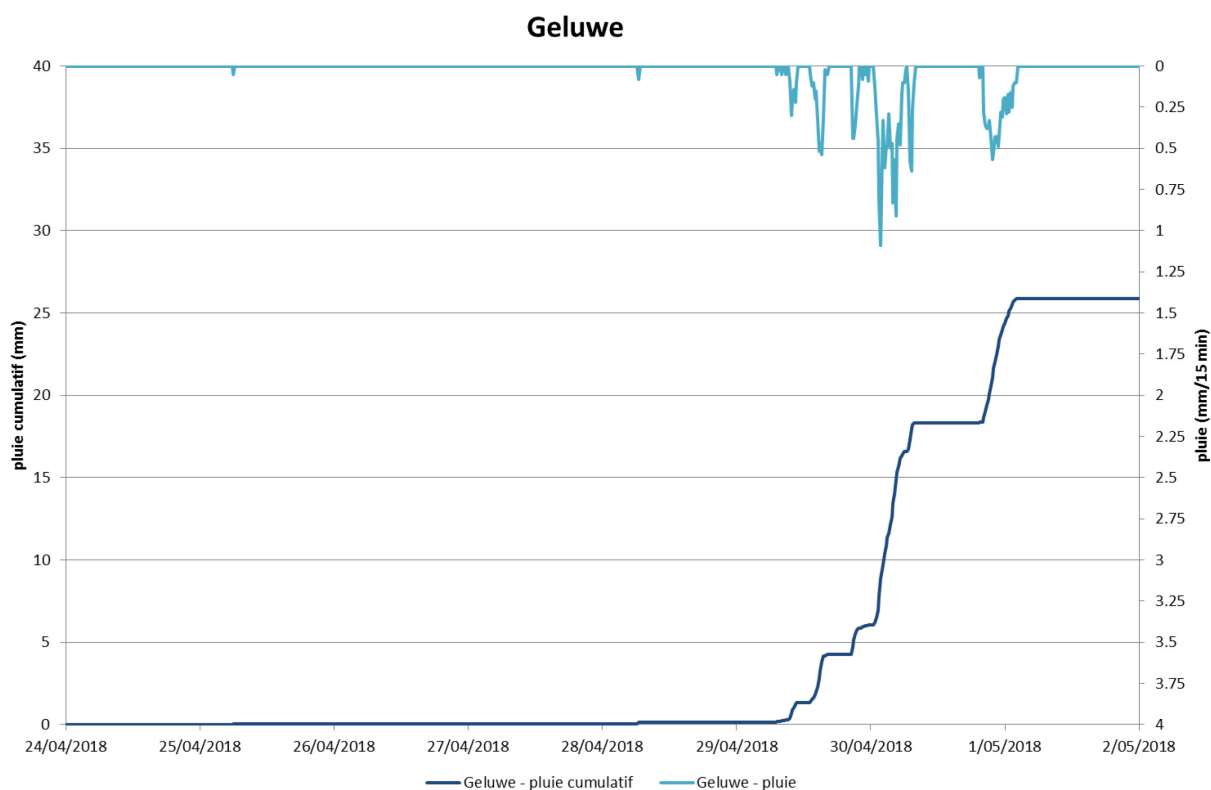
Waterstand	Situatie	Tendens	Actie
			continu openen
REF + 10 cm	++ IN = ++ UIT	> - 0,02 cm/min	
			debietsregeling
REF – 10 cm	-- IN = -- UIT	< 0,02 cm/min	
			continu sluiten

5 Resultaten

5.1 Neerslag

Figuur 5 toont de neerslag gemeten door VMM in Geluwe, nabij Menen.

Figuur 5 – Pluviometer Geluwe



Gedurende de eerste vijf dagen viel er geen neerslag. Gedurende de zesde en zevende dag viel er in totaal 26 mm neerslag.

5.2 Debietmeters

5.2.1 Wambrechies

Het debiet gemeten door VNF op de Deûle te Wambrechies wordt getoond in Figuur 6. Bij droog weer vertonen de metingen meerdere kleine piekjes per dag. Opvallend is dat de grootste piekjes zich steeds 's nachts voordoen. Bij regenweer zijn de afvoerpieken hoger.

5.2.2 Armentières

Het debiet gemeten door VNF op de Lys te Armentières wordt getoond in Figuur 7. Bij droog weer vertonen de metingen meerdere zeer kleine piekjes per dag. Bij regenweer varieert het debiet zeer geleidelijk.

5.2.3 Bousbecque

Het debiet gemeten door DREAL op de Lys te Bousbecque wordt getoond in Figuur 8. Zowel bij droog weer als bij regenweer vertoont het debiet meerdere zeer grote schommelingen per dag. Deze schommelingen lopen op tot 70 m³/s of meer. Ook hier lijken de grootste schommelingen zich vooral 's nachts voor te doen.

5.2.4 Menen

Het debiet gemeten door HIC op de Leie te Menen wordt getoond in Figuur 9. Het vertoont hetzelfde patroon als de metingen van DREAL te Bousbecque. De piekdebieten in Menen zijn iets kleiner dan die in Bousbecque.

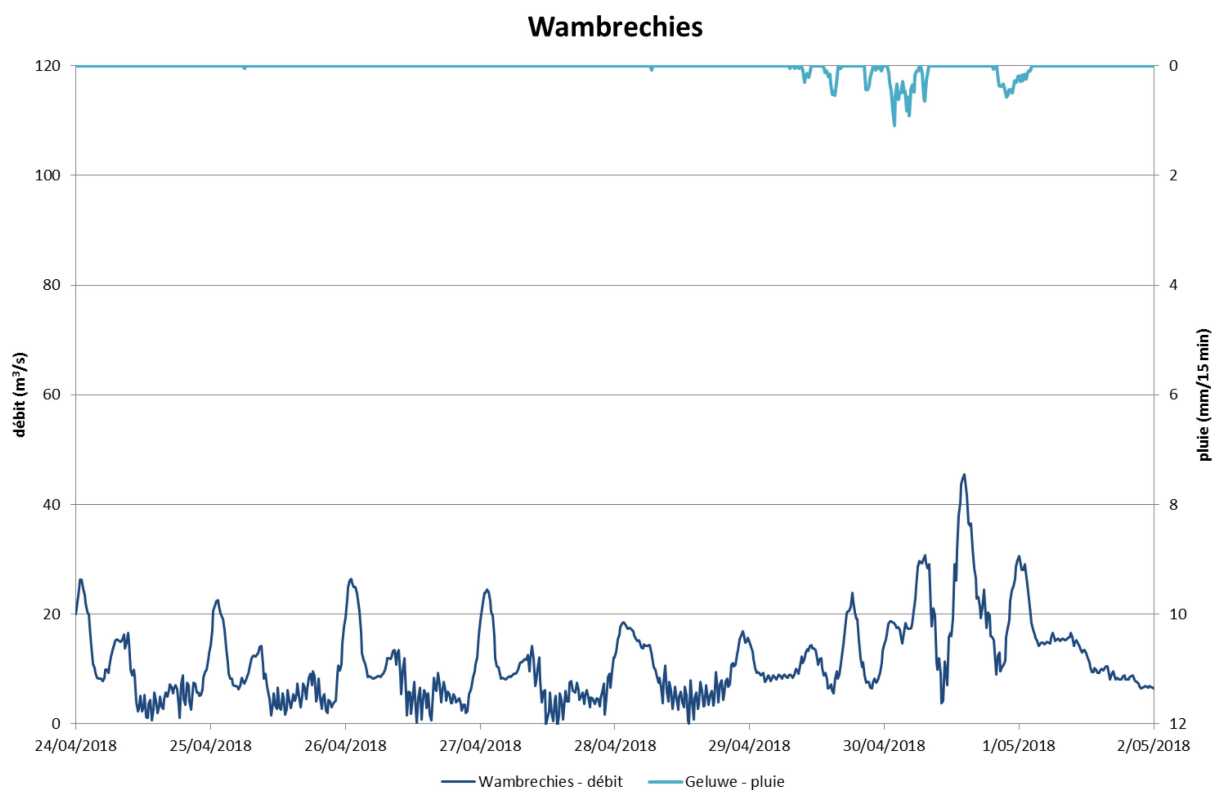
5.2.5 Vergelijking

De debieten van de meetstations in Wambrechies, Armentières, Bousbecque en Menen worden vergeleken in Figuur 10. De totale volumes voor de volledige analyseperiode worden vergeleken in Tabel 4.

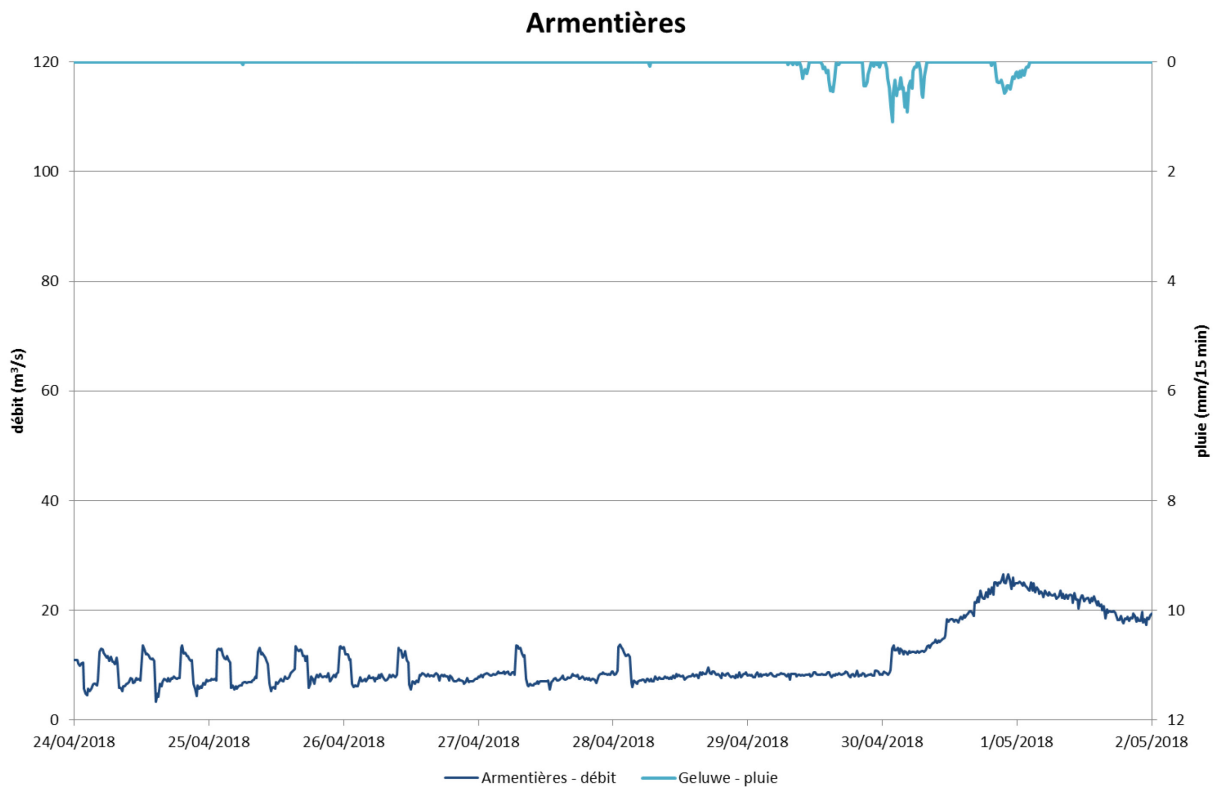
Tabel 4 – Vergelijking volumes debietmeters

Debietmeter	Volume (miljoen m ³)
Wambrechies	7,8
Armentières	7,7
Bousbecque	18,4
Menen	17,2

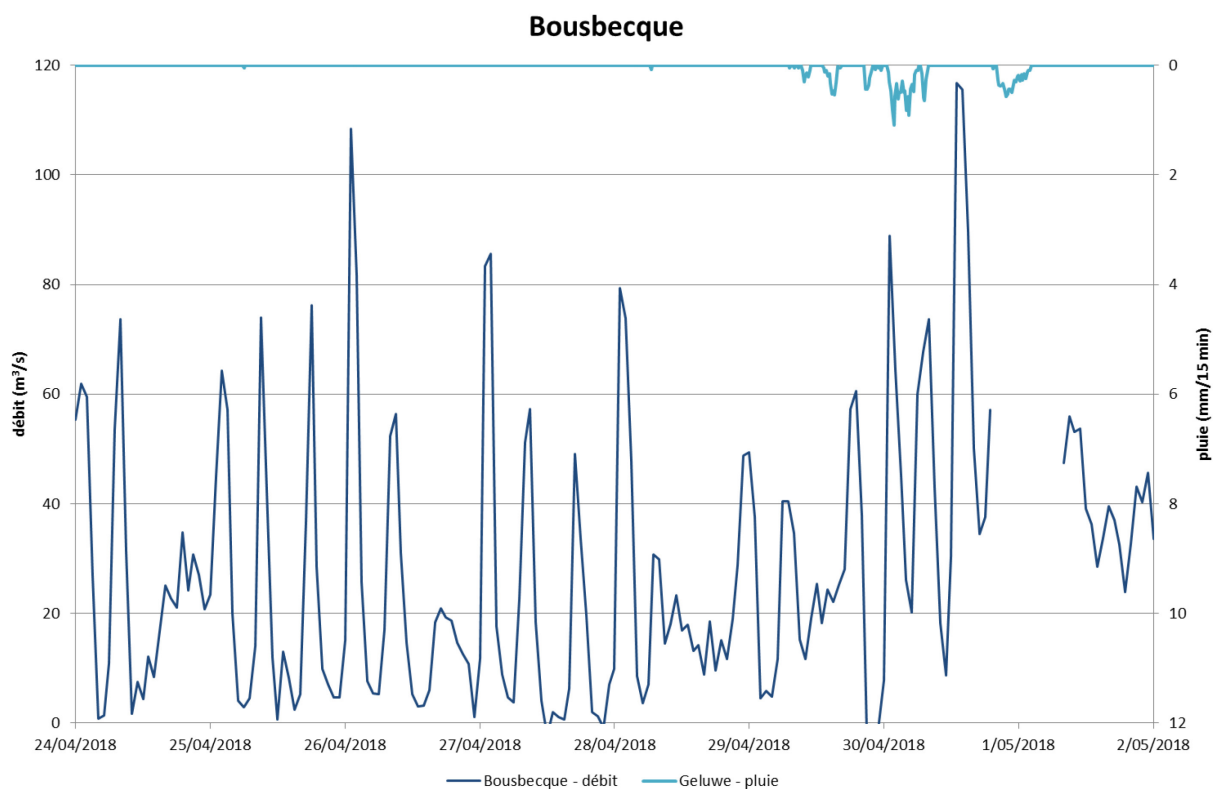
Figuur 6 – Debietmeter Wambrechies



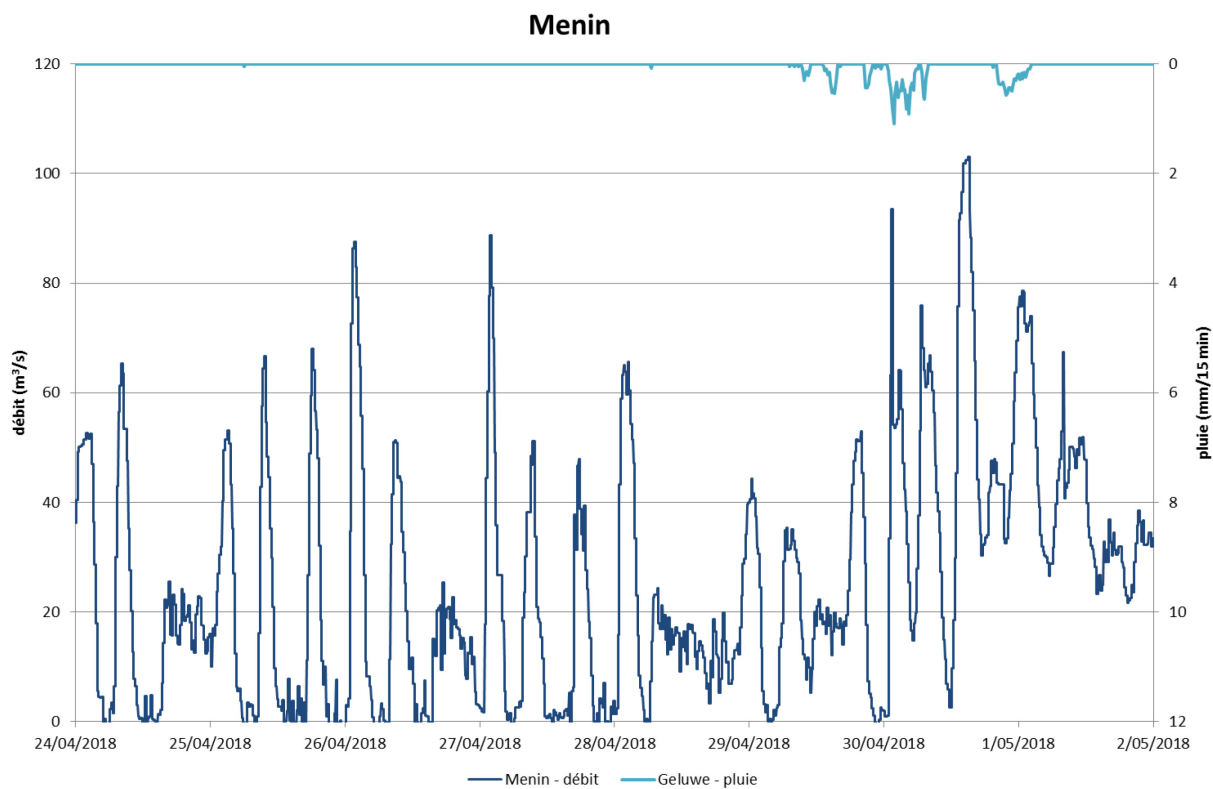
Figuur 7 – Debietmeter Armentières



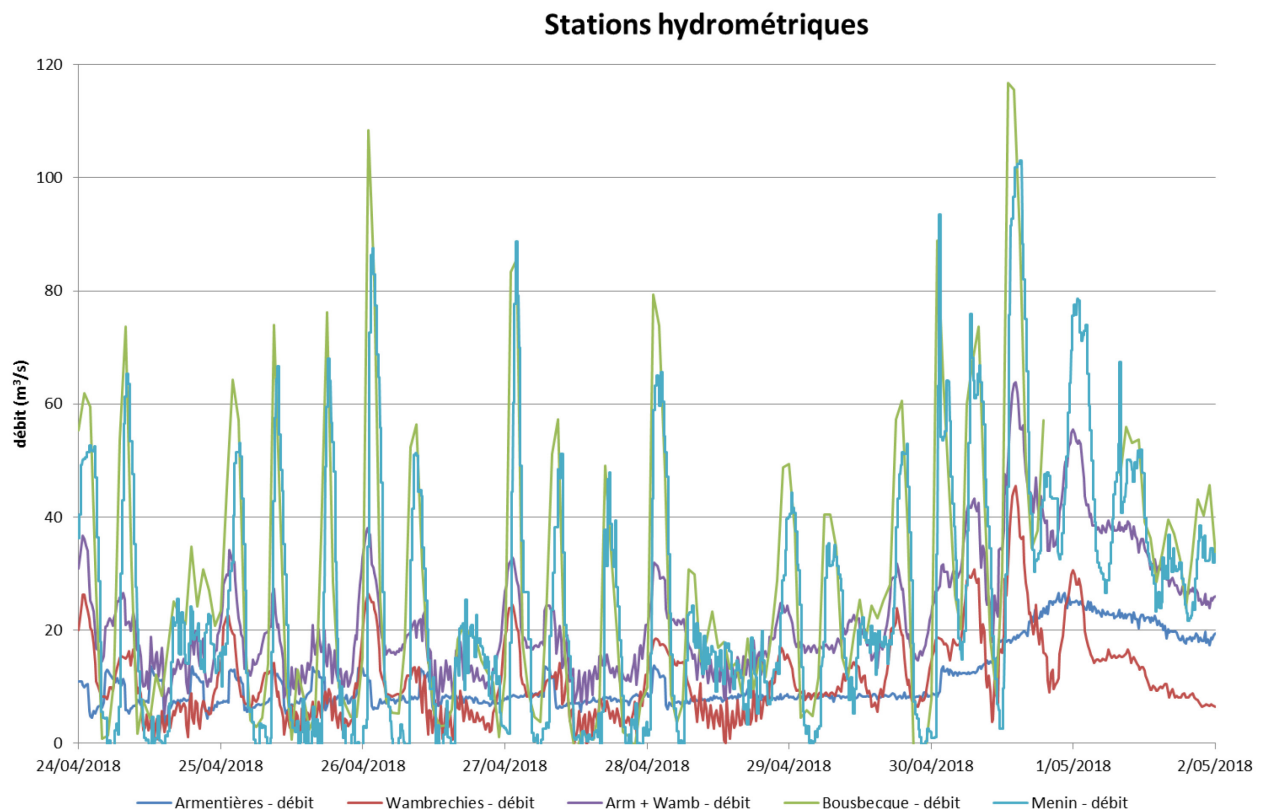
Figuur 8 – Debietmeter Bousbecque



Figuur 9 – Debietmeter Menen



Figuur 10 – Vergelijking debietmeters



De piekdebieten in Bousbecque zijn hoger dan de som van de piekdebieten in Armentières en Wambrechies. Uit deze vaststelling kan men reeds afleiden dat één van de stuwen (Armentières, Quesnoy, Comines of Menen) de afvoergolfjes die in Frankrijk gemeten worden versterkt. Op basis van deze metingen kan men nog niet met zekerheid zeggen welke stuw deze versterking veroorzaakt. De werking van een stuw beïnvloedt immers niet alleen het debiet in het pand afwaarts van de stuw, maar ook het debiet in het pand opwaarts van de stuw. De hoge debieten die waargenomen worden in Bousbecque kunnen dus zowel door de stuw van Comines als door de stuw van Menen veroorzaakt worden. Om hierover uitsluitsel te krijgen, moeten de debieten van elke stuw afzonderlijk berekend worden op basis van de waterstanden en de klepstanden.

In de meetreeks van Bousbecque ontbreken een aantal waarden. Het berekende volume is dus licht onderschat. Het totale volume in Bousbecque is hoger dan de som van de totale volumes in Wambrechies en Armentières (15,5 miljoen). Het verschil is waarschijnlijk afkomstig van de toevoer van onbemeten zijlopen. Het totale volume in Menen is iets lager dan dat in Bousbecque. Dit betekent dat de debieten van Bousbecque licht overschat zijn of die van Menen licht onderschat.

5.3 Stuwen

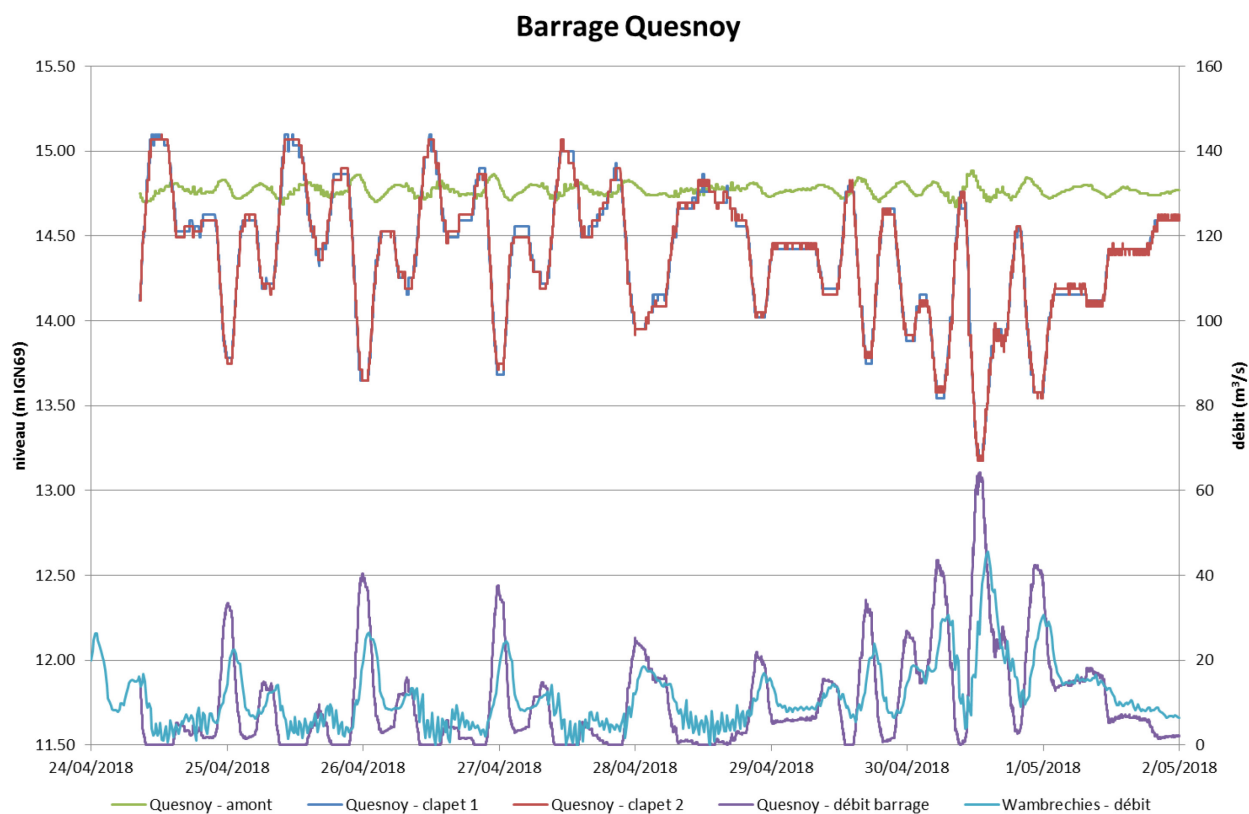
5.3.1 Quesnoy

De beschikbare waterstanden en klepstanden zijn relatieve gegevens: de waterstanden worden uitgedrukt t.o.v. het streefpeil en de klepstanden t.o.v. de minimale en maximale klepstand. Het opwaartse streefpeil is gekend, maar de minimale en maximale klepstanden moesten geschat worden op basis van plannen ter beschikking gesteld door VNF. De geschatte waarden bedragen 11,72 en 15,10 m IGN69.

Het debiet ter hoogte van de stuw werd berekend d.m.v. vergelijking 1. Bij gebrek aan ijkingsgegevens werden standaard waarden voor de debietscoëfficiënt C_{d1} (1,86) en de exponent e (1,5) gebruikt.

Het berekende debiet voor de stuw van Quesnoy wordt getoond in Figuur 11. Ter vergelijking wordt ook het gemeten debiet in Wambrechies, opwaarts van de stuw, getoond.

Figuur 11 – Stuw Quesnoy



De debietschommelingen bij de stuw van Quesnoy zijn iets groter dan die bij de debietmeter van Wambrechies. De schommelingen in Quesnoy lopen ook iets voor op die in Wambrechies. Hieruit kan men afleiden dat de debietschommelingen in Wambrechies veroorzaakt worden door de stuwbewegingen in Quesnoy en niet omgekeerd.

De stuwbewegingen in Quesnoy zijn het gevolg van de variatie van het waterpeil opwaarts van de stuw. Overdag treedt de stuw vaak al in beweging als het streefpeil met 10 cm overschreden wordt. 's Nachts gebeurt dit soms pas wanneer het streefpeil met 15 tot 20 cm overschreden wordt. De reden voor dit verschil is niet bekend. Het verklaart wel waarom de schommelingen 's nachts groter zijn dan overdag. De precieze sturingsregels van de stuw van Quesnoy werden nog niet opgevraagd bij VNF.

5.3.2 Armentières

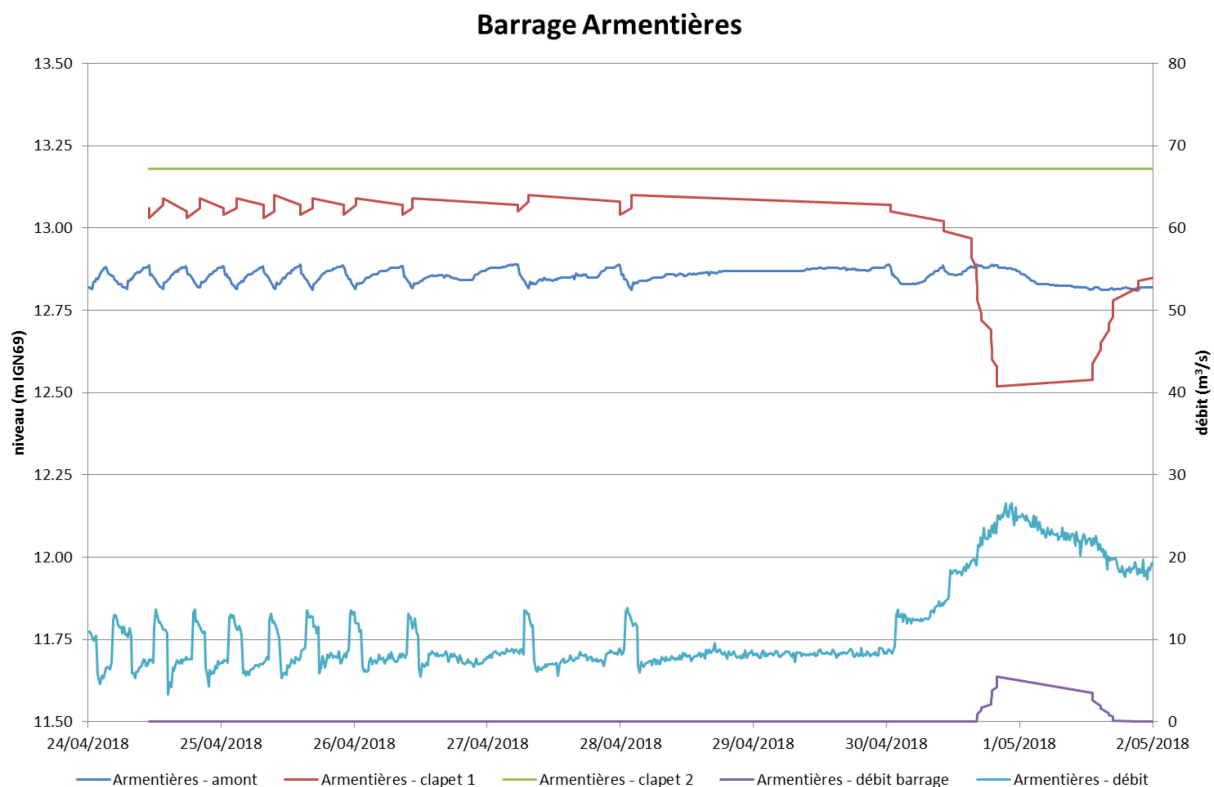
Er werden enkel gegevens voor één van de kleppen aangeleverd. Het is niet duidelijk of de tweede klep de eerste volgt of volledig dicht staat. De hefdeuren stonden tijdens de bestudeerde periode vermoedelijk volledig dicht.

De beschikbare waterstanden en klepstanden zijn opnieuw relatieve gegevens. Het opwaartse streefpeil is gekend, maar de minimale en maximale klepstanden moesten geschat worden op basis van plannen ter beschikking gesteld door VNF. De geschatte waarden bedragen 12,17 en 13,17 m IGN69.

Het debiet ter hoogte van de stuw werd berekend d.m.v. vergelijking 1. Bij gebrek aan ijkingsgegevens werden standaard waarden voor de debietscoëfficiënt C_{d1} (1,86) en de exponent e (1,5) gebruikt.

Het berekende debiet voor de stuw van Armentières wordt getoond in Figuur 12. Ter vergelijking wordt ook het gemeten debiet in Armentières, net opwaarts van de stuw, getoond.

Figuur 12 – Stuw Armentières



Een omrekening van de informatie aangeleverd door VNF naar absolute waarden leidt tot klepstanden die boven de opwaartse waterstand gelegen zijn, terwijl er afwaarts toch een debiet gemeten werd. Dit is enkel mogelijk indien de hefdeuren geopend worden vooraleer de kleppen volledig neergelaten zijn, hetgeen zeer onwaarschijnlijk is. Het probleem werd voorgelegd aan VNF. Zij hadden geen verklaring en suggereerden om enkel gebruik te maken van het gemeten debiet.

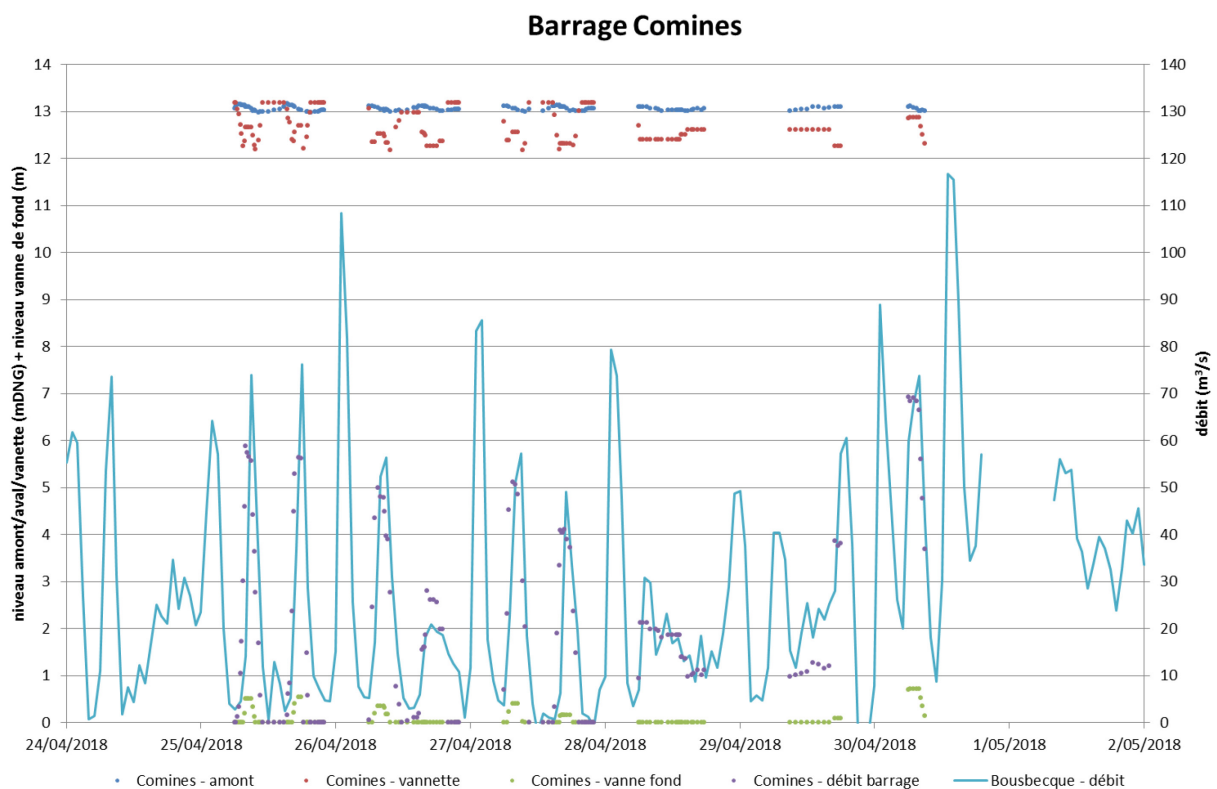
De debietmeter is net opwaarts van de stuw gelegen. De fluctuaties in het gemeten debiet lijken ook consistent te zijn met de beschikbare klepbewegingen. Men kan dus aannemen dat het gemeten debiet vrij goed overeenstemt met het debiet over de stuw. Er werden dan ook geen verdere pogingen ondernomen om het debiet over de stuw te berekenen.

5.3.3 Comines

Het debiet ter hoogte van de stuw werd berekend d.m.v. vergelijkingen 1, 2 en 3. De waarden voor de debietscoëfficiënten en de exponent werden afgeleid uit een ijkingsrapport voor de stuw van Sint-Baafs-Vijve (De Laet et al., 1988). Deze stuw is van hetzelfde type als die van Comines. De hoogte van de hefdeur is echter niet hetzelfde. De gebruikte waarden bedragen $C_{d1} = 1,86$, $e = 1,5$ en $C_{d2} = 0,81$.

Het berekende debiet voor de stuw van Comines wordt getoond in Figuur 13. Ter vergelijking wordt ook het gemeten debiet in Bousbecque, afwaarts van de stuw, getoond.

Figuur 13 – Stuw Comines



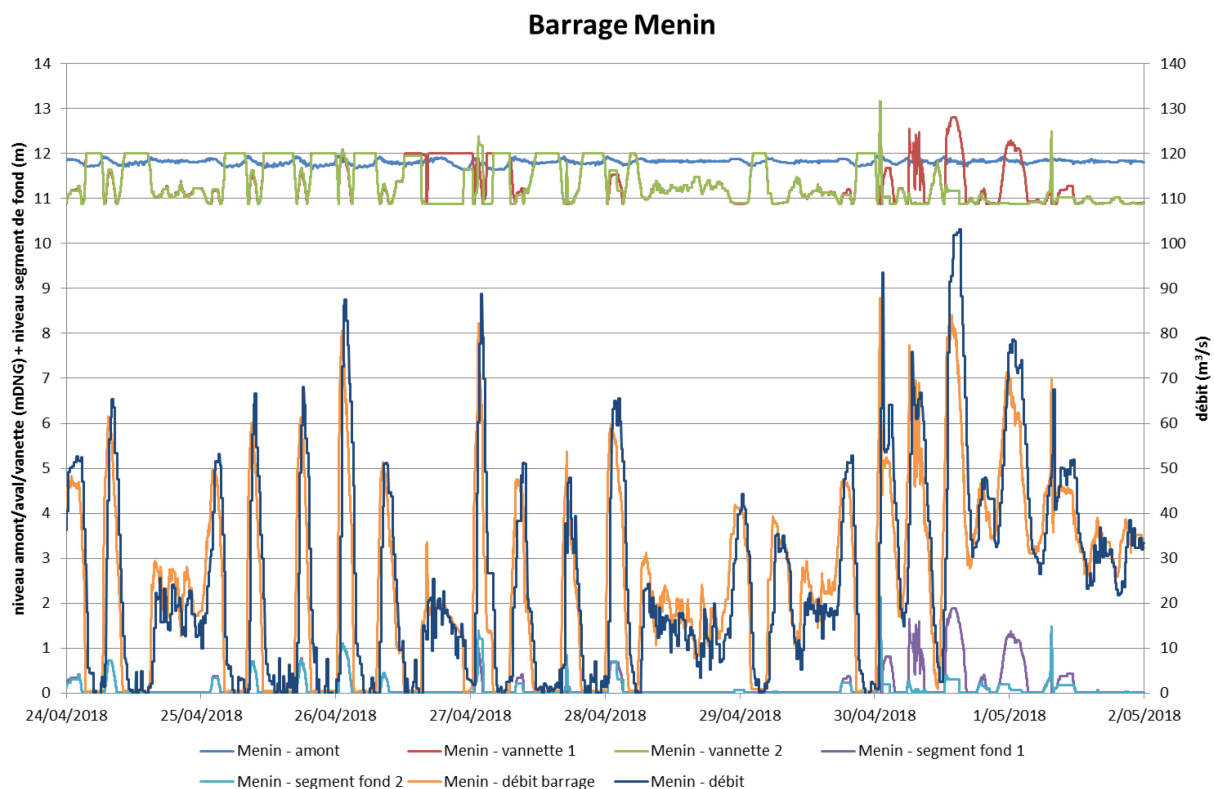
De berekende debieten voor de stuw van Comines zijn vergelijkbaar met de gemeten debieten in Bousbecque. Hieruit kan men afleiden dat de debietschommelingen in Bousbecque voor een groot deel veroorzaakt worden door de stuwbewegingen in Comines.

5.3.4 Menen

Het debiet ter hoogte van de stuw werd berekend d.m.v. vergelijkingen 1, 2 en 3. De waarden voor de debietscoëfficiënten en de exponent werden overgenomen uit documenten m.b.t. de sturing van de nieuwe stuwen van Oudenaarde (Egemin, 2007) en Harelbeke (Cofely Fabricom, 2016). Deze stuwen zijn van hetzelfde type als die van Menen. De gebruikte waarden bedragen $C_{d1} = 1,86$, $e = 1,5$ en $C_{d2} = 0,58$. De precieze herkomst van deze waarden is niet bekend.

Het berekende debiet voor de stuw van Menen wordt getoond in Figuur 14. Ter vergelijking wordt ook het gemeten debiet in Menen, afwaarts van de stuw, getoond.

Figuur 14 – Stuw Menen



De berekende debieten stemmen vrij goed overeen met de gemeten debieten. Enkel de allerhoogste pieken worden licht onderschat. Op 30 april is er een grotere onderschatting. Op die dag lijkt de werking van de stuw wel verstoord te zijn: de twee segmenten bewegen om onduidelijke redenen niet langer synchroon.

5.3.5 Vergelijking

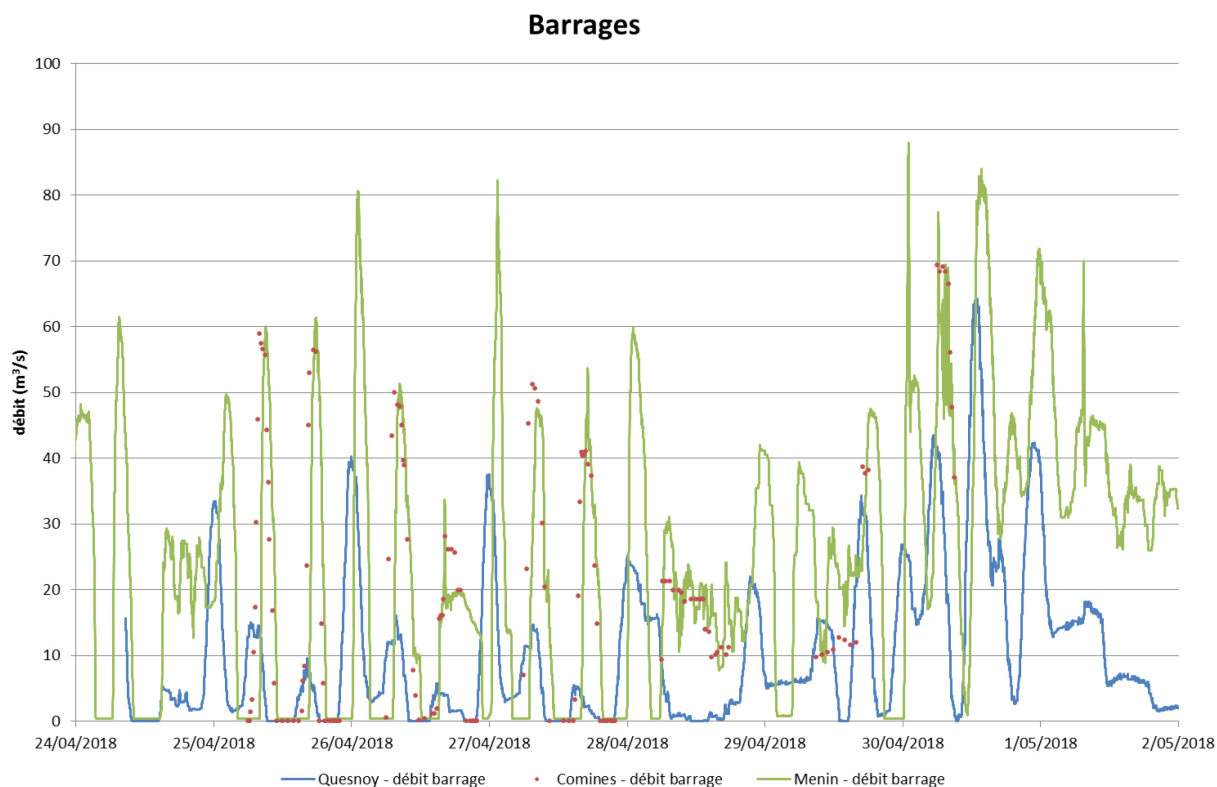
Figuur 15 toont een vergelijking van de berekende debieten voor de stuwen van Quesnoy, Comines en Menen.

De debietschommelingen in Comines zijn veel groter dan de debietschommelingen in Quesnoy. Aangezien we reeds weten dat de debietschommelingen in Armentières zeer beperkt zijn, wijst dit erop dat de schommelingen veroorzaakt door de stuw van Quesnoy aanzienlijk versterkt worden door de stuw van Comines.

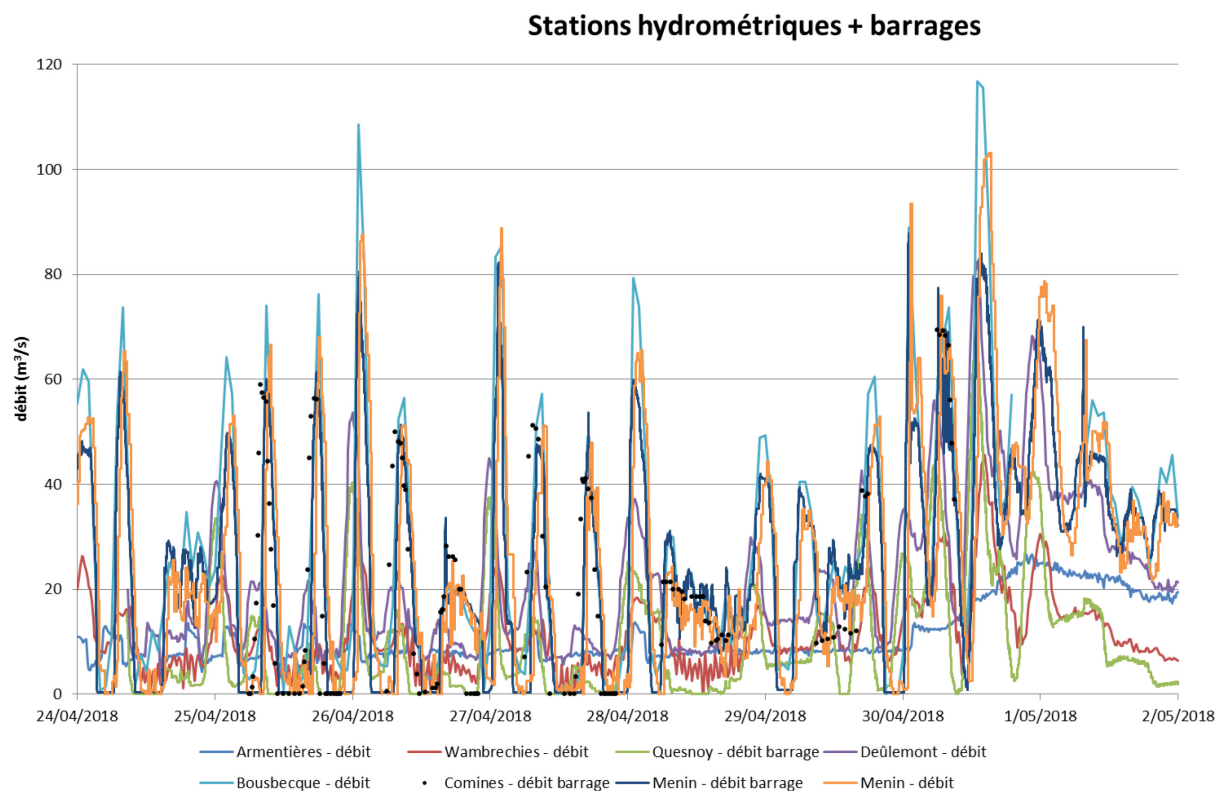
De debietschommelingen in Menen zijn van dezelfde grootteorde als de debietschommelingen in Comines. Bovendien treden ze iets later op. De stuw van Menen reageert dus vooral op de debietschommelingen afkomstig uit Comines en slaagt erin ze zonder al te veel versterking te verwerken.

Op sommige dagen (bv. 24 april in de namiddag en 28 april rond de middag) waren er weinig of geen debietschommelingen in Quesnoy. Op die dagen bleven ook de grote debietschommelingen in Comines en Menen achterwege. De kleine debietschommelingen in Quesnoy lijken dus te fungeren als trigger voor de grote debietschommelingen in Comines en Menen.

Figuur 15 – Vergelijking stuwen



Figuur 16 – Vergelijking debietmeters en stuwen



5.4 Vergelijking debietmeters en stuwen

Figuur 16 toont een samenvatting van alle gemeten (debietsmeters) en berekende (stuwen) debieten. Het debiet in Deûlemont bestaat uit de som van het gemeten debiet in Armentières en het berekende debiet in Quesnoy. De belangrijkste observaties werden reeds beschreven in 5.2.5 en 5.3.5.

5.5 Numerieke modellering

5.5.1 Synthetische randvoorwaarden

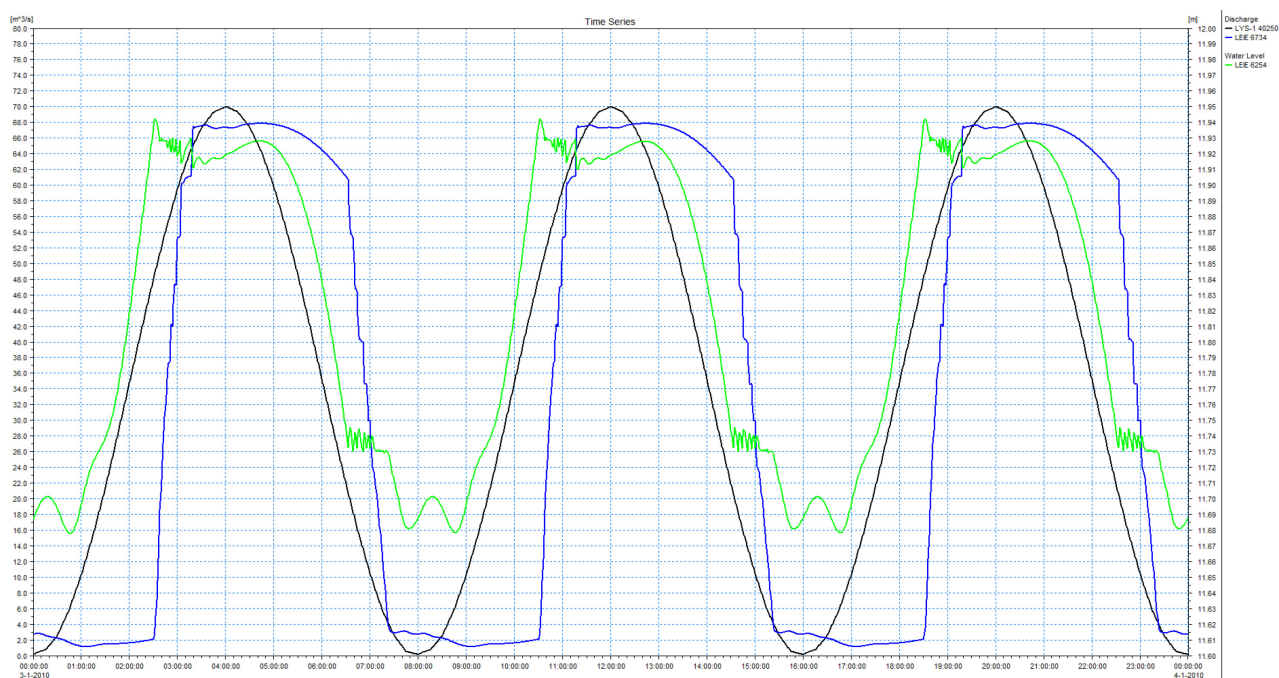
De resultaten van de berekeningen met synthetische randvoorwaarden worden getoond in Figuur 17 t.e.m. Figuur 20. Elke figuur toont het debiet aan de opwaartse modelrand (zwart), het debiet net afwaarts van de stuw van Menen (blauw) en het waterpeil net opwaarts van de stuw van Menen (groen).

Uit Figuur 17 blijkt dat de huidige peilregeling geen versterking van de debietschommelingen veroorzaakt. Het waterpeil vertoont wel aanzienlijke variatie (tot 10 cm boven en onder het streefpeil).

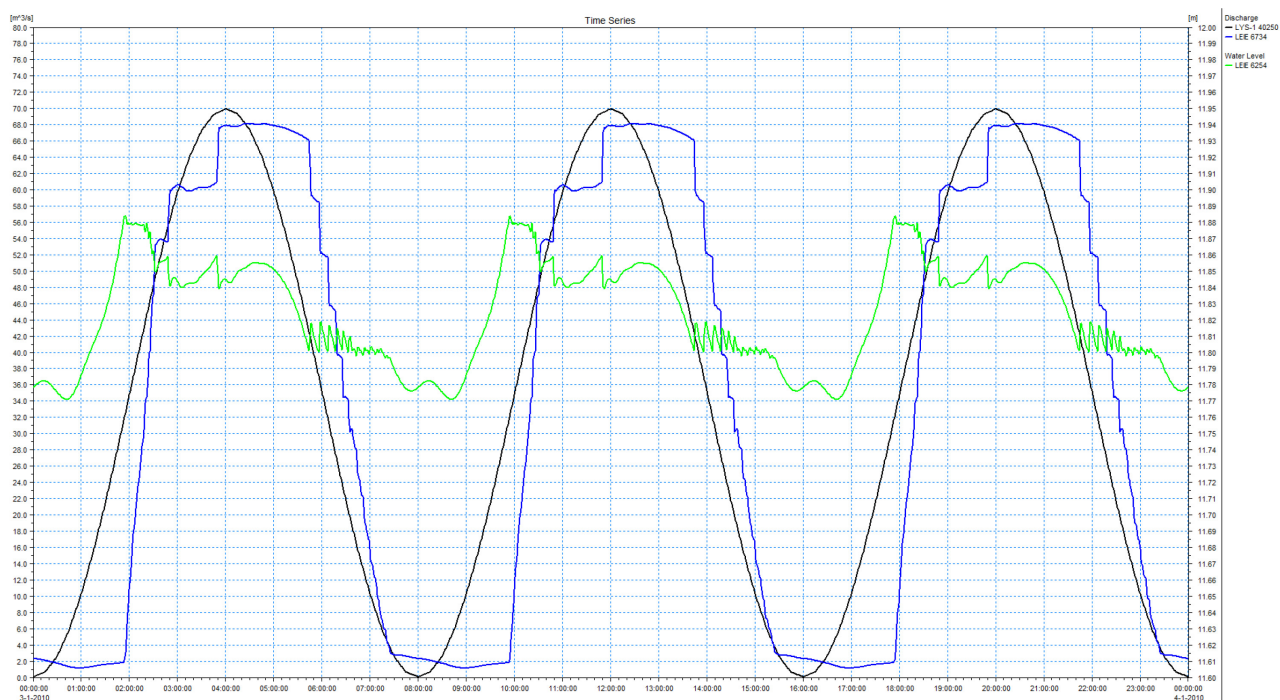
Figuur 18 toont aan dat ook een peilregeling volgens het algoritme van de stuw van Harelbeke succesvol kan zijn. De debietschommelingen worden niet versterkt en de variatie van het waterpeil blijft beperkt (slechts 5 cm boven en onder het streefpeil). Door het weglaten van de rusttijd (Figuur 19) treedt er een kleine versterking van de debietschommeling op. De variatie van het waterpeil verandert maar weinig.

Figuur 20 illustreert hoe een gemengde regeling korte periodes van watertekort zou kunnen overbruggen. Tijdens het begin van een afvoergolf wordt het inkomende debiet geborgen in het opwaartse pand. Het beschikbare volume is echter beperkt, waardoor het opwaartse waterpeil stijgt tot het maximaal toegelaten peil. Vervolgens wordt overgeschakeld op een peilregeling. Deze laat de rest van de afvoergolf haast ongewijzigd door. Na de piek van de afvoergolf begint het uitgaande debiet terug te dalen. Zodra het daalt tot onder het streefdebiet ($8 \text{ m}^3/\text{s}$) wordt het geborgen volume aangesproken om het uitgaande debiet aan te vullen. Daardoor zakt nu ook het waterpeil.

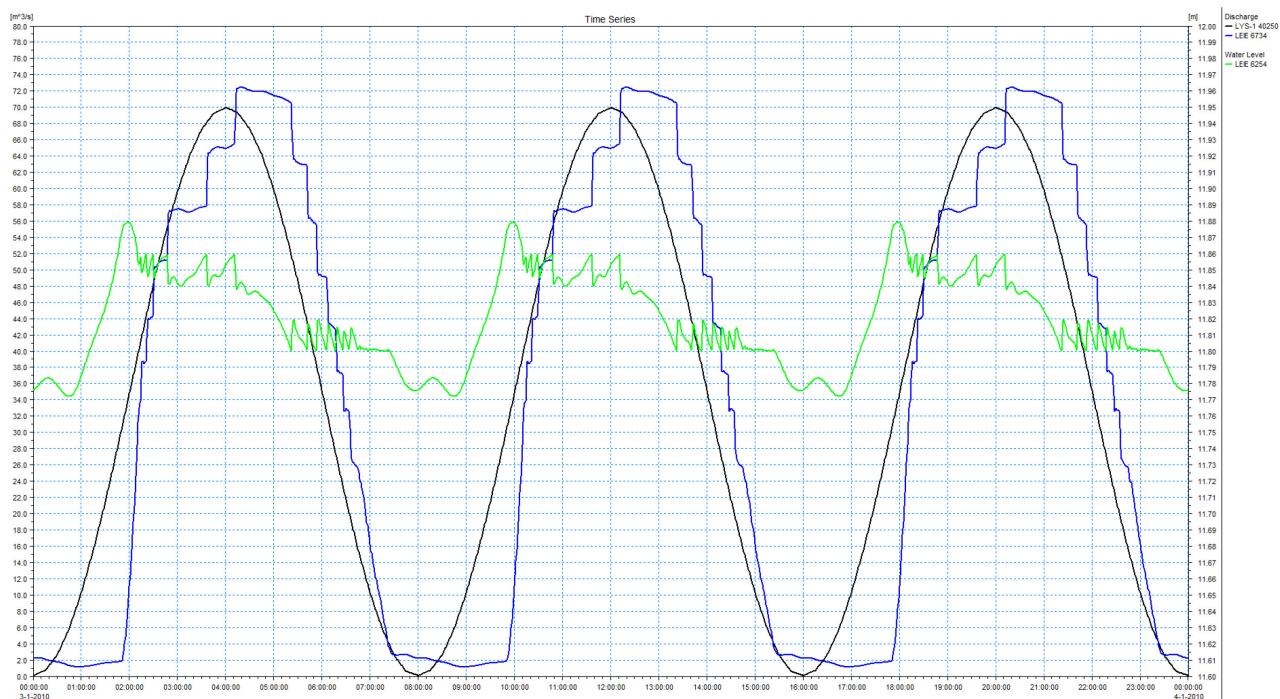
Figuur 17 – Huidige peilregeling met synthetische randvoorwaarden



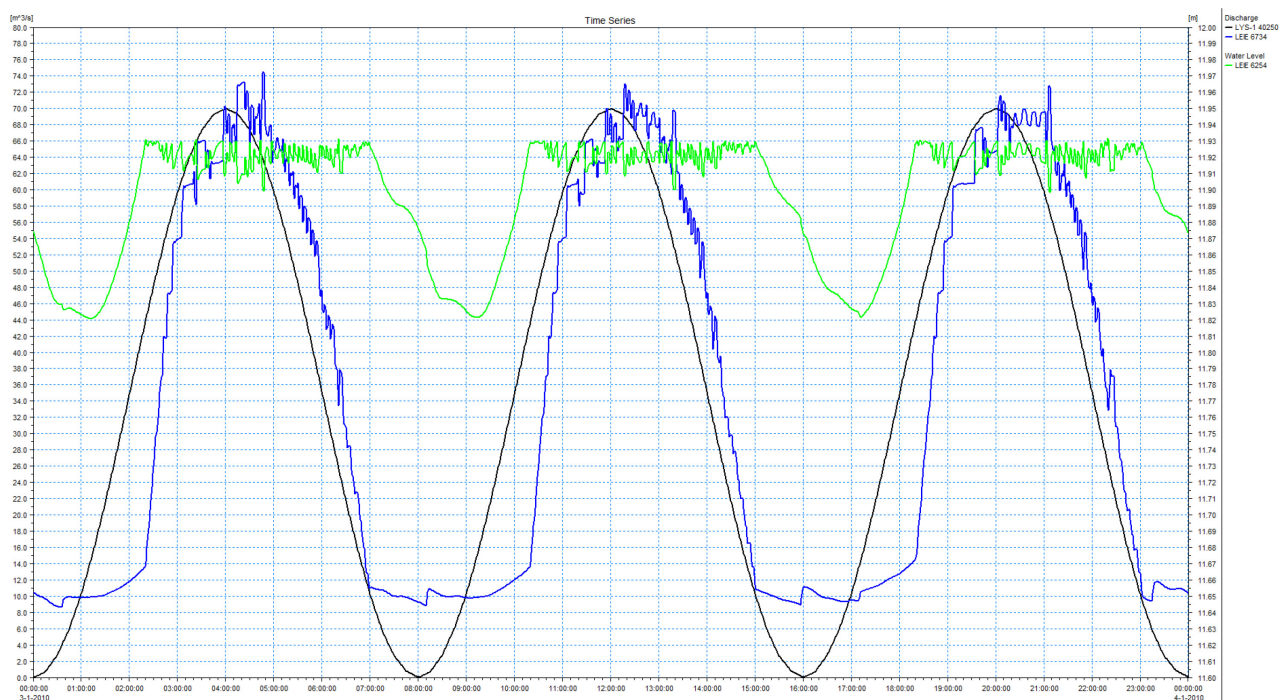
Figuur 18 – Peilregeling type Harelbeke met synthetische randvoorwaarden (met rusttijd)



Figuur 19 – Peilregeling type Harelbeke met synthetische randvoorwaarden (zonder rusttijd)



Figuur 20 – Gemengde regeling met synthetische randvoorwaarden



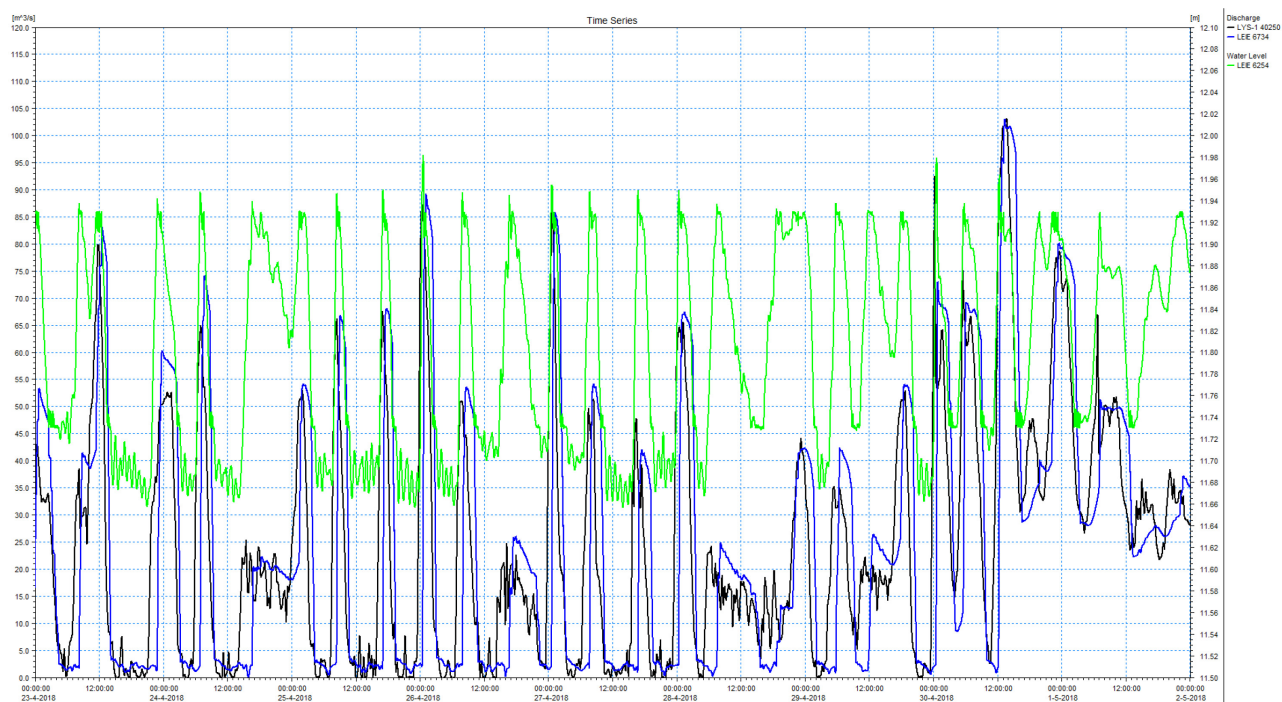
5.5.2 Historische randvoorwaarden

De resultaten van de berekeningen met de historische randvoorwaarden worden getoond in Figuur 21 t.e.m. Figuur 24.

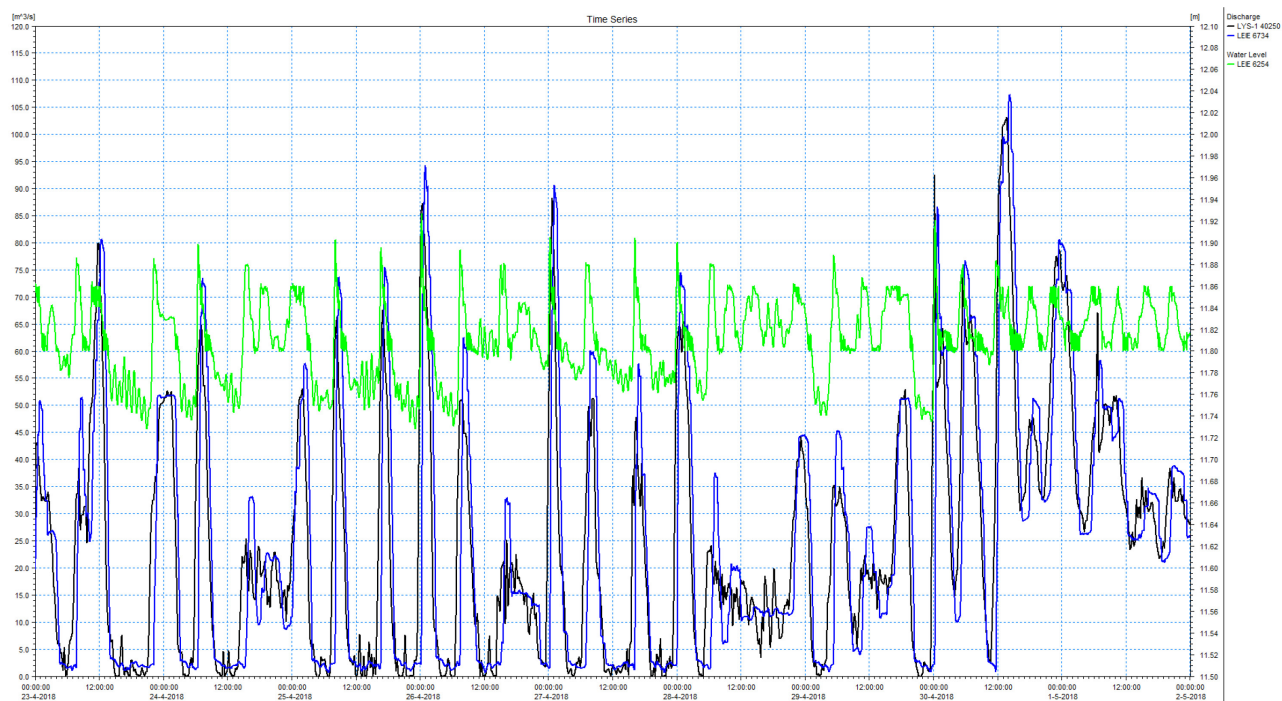
De resultaten voor de peilregelingen (Figuur 21, Figuur 22 en Figuur 23) zijn vergelijkbaar met die van de analyses met synthetische randvoorwaarden. De debietschommelingen worden zonder opvallende versterkingen doorgelaten. De waterpeilschommelingen zijn groter bij de huidige regeling dan bij de regeling van het type Harelbeke en het weglaten van de rusttijd heeft maar een beperkte invloed.

Figuur 24 toont de resultaten voor de gemengde regeling. Deze regeling laat toe om gedurende een periode van enkele uren een minimaal debiet van $8 \text{ m}^3/\text{s}$ te verzekeren. De droge perioden tussen de afvoergolven duren echter vaak langer, zodat het uitgaande debiet na verloop van tijd toch weer terugvalt tot op het niveau van het schutdebiet ($2 \text{ m}^3/\text{s}$). Om een continue afvoer te kunnen verzekeren, zouden in het pand Comines-Menen peilvariaties van meer dan 20 cm toegelaten moeten worden. Aangezien dit pand gelegen is op de grens met Wallonië en Frankrijk, is dit enkel mogelijk mits akkoord van alle betrokken waterbeheerders.

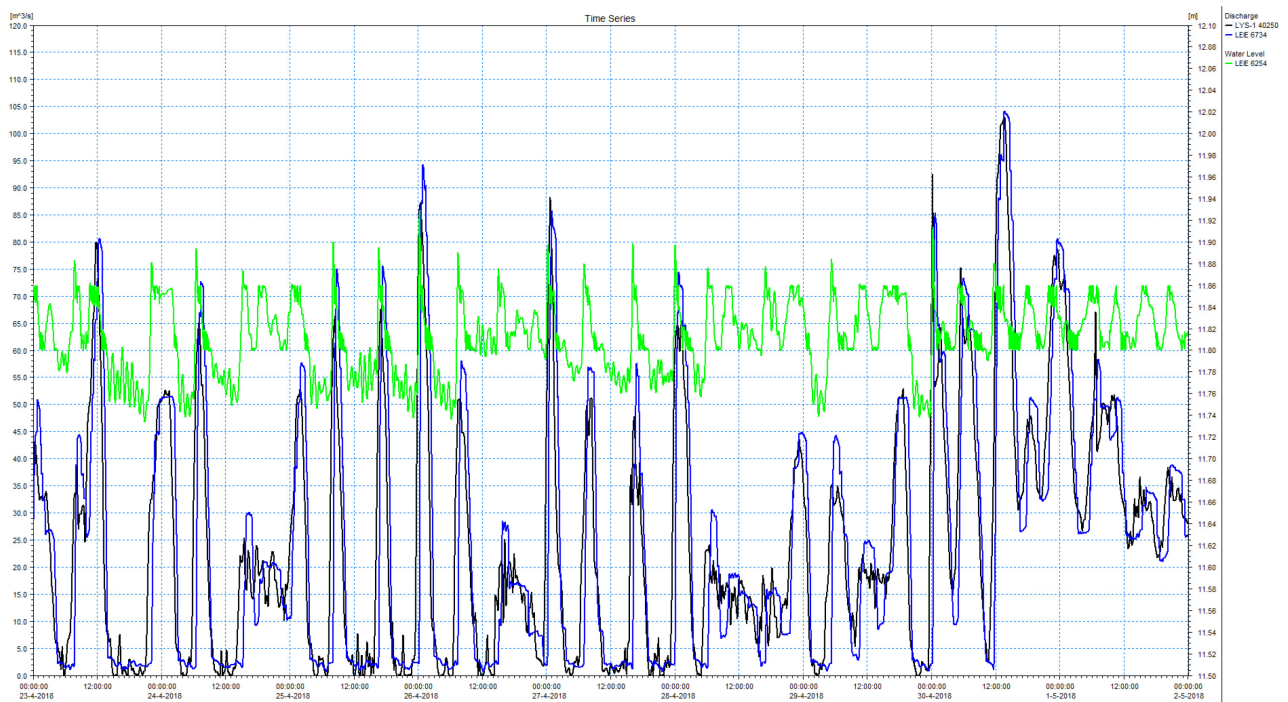
Figuur 21 – Huidige peilregeling met historische randvoorwaarden



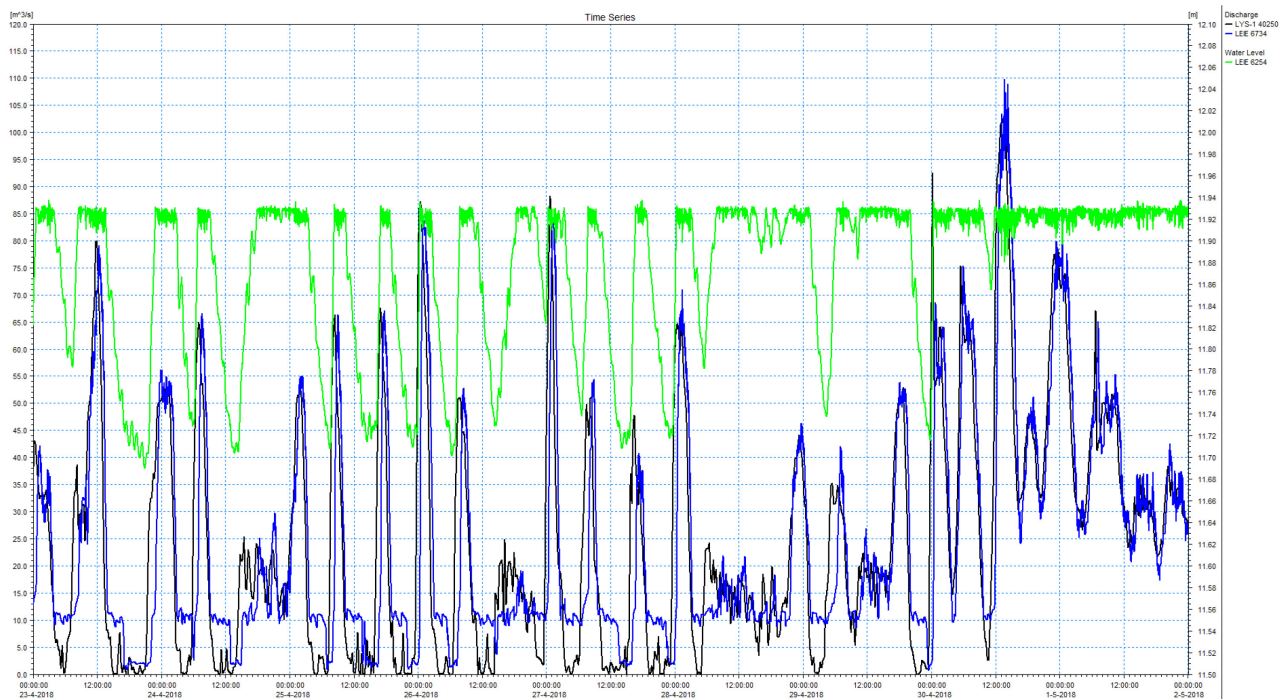
Figuur 22 – Peilregeling type Harelbeke met historische randvoorwaarden (met rusttijd)



Figuur 23 – Peilregeling type Harelbeke met historische randvoorwaarden (zonder rusttijd)



Figuur 24 – Gemengde regeling met historische randvoorwaarden



6 Conclusies

Uit de analyses beschreven in de vorige hoofdstukken kunnen volgende conclusies getrokken worden:

1. De debietschommelingen op de Leie afwaarts Menen staan los van de recente problemen met de sturing van de stuw van Menen. Ze treden immers al op van bij de start van de debietmetingen in Menen (in 2007).
2. De debietschommelingen op de Leie afwaarts Menen ontstaan buiten Vlaanderen. Vermoedelijk vinden ze hun oorsprong in de bewegingen van de stuw op de Deûle in Quesnoy.
3. De debietschommelingen op de Deûle in Quesnoy worden vermoedelijk versterkt door de bewegingen van de stuw op de Lys in Comines.
4. De debietschommelingen op de Lys in Comines worden vermoedelijk weinig of niet versterkt door de bewegingen van de stuw op de Leie in Menen.
5. Een goed afgestelde peilsturing in Menen zal de inkomende debietschommelingen niet versterken, maar ook niet dempen.
6. Een gemengde (combinatie van debiet en peil) sturing in Menen kan de impact van de debietschommelingen op de geplande vistrappen en turbines in Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve beperken, maar niet volledig opvangen.
7. Om de debietschommelingen op de Leie volledig te kunnen opvangen zijn bijkomende bergingsvoorzieningen noodzakelijk.

7 Aanbevelingen

Op basis van de reeds uitgevoerde analyses kunnen volgende aanbevelingen geformuleerd worden:

1. Onmiddellijk herstel en upgrade van de sturing van de stuw van Menen. De huidige problemen bemoeilijken overleg met de beheerders in Wallonië (SPW) en Frankrijk (VNF) en de beperkte toegang tot de sturingsparameters bemoeilijkt de optimalisatie van de lokale sturing.
2. Overleg met de waterbeheerders in Wallonië (SPW) en Frankrijk (VNF) om de problematiek onder de aandacht te brengen en ontbrekende gegevens (huidige sturingsregels Quesnoy, Armentières en Comines) op te vragen.
3. Uitwerken van een geoptimaliseerde lokale sturing voor de stuw van Menen. De sturing van de stuw in Harelbeke kan hierbij als vertrekpunt dienen.
4. Uitwerken van scenario's voor het dempen van de debietschommelingen. Dit kan gebeuren in het kader van het ontwerp van een vistrap te Menen of het project Rivierherstel Leie.
5. Uitwerken van een geoptimaliseerde lokale sturing voor de stuwen van Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve, om de geplande vistrappen en turbines optimaal te laten werken.
6. Aandringen op het aanpassen van de lokale sturing voor de stuwen van Quesnoy en Comines om debietschommelingen vanuit Frankrijk en Wallonië tot een minimum te beperken en de werking van de stuwen van Quesnoy, Comines en Menen beter op elkaar af te stemmen.
7. Onderzoek naar de mogelijkheden voor het uitwerken van een geoptimaliseerde regionale sturing voor een keten van stuwen (Leie, Bovenschelde en Dender).

8 Referenties

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

Cofely Fabricom (2016). Seine - Schelde, Leie te Harelbeke, Bouw van een stuwsluis, automatische sturing vistrap en turbines. Aanvulling werkdocument waterverhandeling.

De Laet, P.; Coen, I.; Verbist, F. (1988). Ijking van stuwen: stuw te St.-Baafs-Vijve. WL Rapporten, 449_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. België.

DHI (2012). Mike11, a modelling system for rivers and channels, reference manual, release 2012. Danish Hydraulic Institute: Hørsholm, Denmark.

Egemin (2007). Stuw Oudenaarde, PLC concept. Document A2506R_FSP_PLC(H)-E030.

EMT (2018). PLC sturing sluis en stuw Menen, GX Developer “Ladder” en “Device Comment”.

Pereira, F; Vereecken, H.; Mostaert, F. (2009). Hydrodynamische modellering van de Leie en de Deule in Noord-Frankrijk: Deelrapport 1: opzetten en kalibreren van het hydrodynamische model. Versie 2.0. WL Rapporten, 711-9. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

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