



Vlaanderen
is wetenschap

20_048_1
WL rapporten

Modellering Bovenschelde in Wallonië

Modelbeschrijving

DEPARTEMENT
**MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Modellering Bovenschelde in Wallonië

Modelbeschrijving

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 2020
D/2020/3241/116

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vanderkimpfen, P.; Pereira, F.; Mostaert, F. (2020). Modellering Bovenschelde in Wallonië: Modelbeschrijving. Versie 4.0. WL Rapporten, 20_048_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2020R20_048_1
Keywords (3-5):	Bovenschelde, Haut-Escout, model, 1D, Mike11		
Kennisdomeinen	Waterbeheer > Hydraulica > Hydrodynamische modellen > Numerieke modelleringen		
Tekst (p.):	35	Bijlagen (p.):	40
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

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

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Pereira, F.	Getekend door: Fernando Pereira (Signature) Getekend op: 2020-07-02 07:50:56 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Fernando Pereira</i>
Projectleider:	Vanderkimpfen, P.	Getekend door: Paul Vanderkimpfen (Signature) Getekend op: 2020-06-30 15:26:03 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Paul Vanderkimpfen</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2020-07-01 07:47:28 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---

Abstract

Het Waterbouwkundig Laboratorium beschikt over een 1D hydrodynamisch model van de Bovenschelde in Vlaanderen. Met het oog op de studie van de nieuwe stuwen en vispassages in Vlaanderen is het wenselijk om het bestaande model in opwaartse richting uit te breiden, om de eventuele impact van randeffecten te minimaliseren. Daarom werd ook een sterk vereenvoudigd model van de Haut-Escaut in Wallonië opgebouwd.

Er werden twee modelversies opgesteld. De eerste versie geeft de historische toestand (voor de vernieuwing van de sites van Kain en Hérinnes) weer. De tweede versie geeft de toekomstige toestand (na afronding van de vernieuwing van de sites van Kain en Hérinnes) weer.

Het model van de historische toestand werd gevalideerd aan de hand van historische wassen en geeft het gedrag van de Haut-Escaut vrij goed weer. De resultaten voor het afwaartse pand (van Kain tot Hérinnes) zijn betrouwbaarder dan die voor het opwaartse pand (vanaf de grens met Frankrijk tot Kain).

Het model van de toekomstige toestand kon nog niet gevalideerd worden, aangezien de werken in Hérinnes nog in uitvoering zijn en pas in de loop van 2021 afgerond zullen worden.

Het nieuwe model voor de Haut-Escaut in Wallonië vormt een op zichzelf staand geheel. Het werd opgebouwd met dezelfde software en modelleringstechniek als het model voor de Bovenschelde in Vlaanderen. Hierdoor kunnen beide modellen achteraf op eenvoudige wijze samengevoegd worden.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VIII
Lijst van de figuren	IX
1 Inleiding	1
1.1 Kader.....	1
1.2 Indeling van het rapport.....	1
2 Beschrijving studiegebied.....	2
2.1 Situering.....	2
2.1.1 Stroomgebiedsdistrict Schelde.....	2
2.1.2 Stroomgebied Schelde.....	3
2.2 Bekken van Schelde en Leie.....	4
2.2.1 Begrenzing	4
2.2.2 Reliëf	5
2.2.3 Hydrografie	6
2.2.4 Bodemgebruik	7
2.2.5 Overstromingen.....	7
2.3 Waterlopen.....	8
2.3.1 Haut-Escaut	8
2.3.2 Kanalen	9
2.3.3 Onbevaarbare waterlopen	9
2.4 Kunstwerken	11
2.4.1 Stuw-sluiscplex op de Haut-Escaut te Kain	11
2.4.2 Stuw-sluiscplex op de Haut-Escaut te Hérinnes.....	13
3 Beschikbare gegevens	15
3.1 Topografie en bathymetrie.....	15
3.2 Hydrologische gegevens	15
3.2.1 Debietmetingen	15
3.2.2 Waterstandsmetingen	17
3.3 Scheepvaart	17
4 Modelbeschrijving	19

4.1	Algemeen.....	19
4.2	Software	19
4.3	Geografische referentie en tijdszone	20
4.4	Hydrologische deelbekkens.....	20
4.5	Waterlopen.....	20
4.6	Dwarssecties	21
4.6.1	Herkomst en naamgeving.....	21
4.6.2	De hydraulische weerstand	22
4.6.3	Het plaatsen van 'markers' en processed data	22
4.7	Overstromingsgebieden	23
4.8	Hydraulische structuren	24
4.8.1	Algemeen.....	24
4.8.2	Weirs.....	24
4.8.3	Control structures.....	25
4.9	Randvoorwaarden	27
4.9.1	Opwaartse en zijdelingse randvoorwaarden.....	27
4.9.2	Afwaartse randvoorwaarden.....	28
5	Kalibratie en validatie	29
5.1	Werkwijze	29
5.2	Kalibratie.....	29
5.2.1	Perioden	29
5.2.2	Resultaten.....	30
5.3	Validatie.....	30
5.3.1	Perioden	30
5.3.2	Resultaten.....	30
5.4	Numerieke stabiliteit	33
5.4.1	Hoge afvoeren	33
5.4.2	Lage afvoeren	33
6	Conclusies en aanbevelingen	34
6.1	Conclusies	34
6.2	Aanbevelingen	34
7	Referenties	35
Bijlage A	Sturingsregels	B1
	Model historische toestand.....	B1
	Model toekomstige toestand	B3
Bijlage B	Grafieken kalibratie en validatie	B9

Augustus 2010	B10
November 2010.....	B19
Januari 2011	B28
Bijlage C Lengteprofielen	B37
Augustus 2010	B38
November 2010.....	B39
Januari 2011	B40

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Bekken Escaut – deelbekkens	10
Tabel 2 – Beschikbare debietmetingen (bevaarbare waterlopen).....	15
Tabel 3 – Beschikbare debietmetingen (onbevaarbare waterlopen).....	16
Tabel 4 – Beschikbare waterstandsmetingen (bevaarbare waterlopen)	17
Tabel 5 – Overzicht van gemodelleerde deelbekkens.....	20
Tabel 6 – Overzicht van gemodelleerde waterlopen	20
Tabel 7 – Overzicht van weirs.....	25
Tabel 8 – Overzicht van control structures (model historische toestand)	26
Tabel 9 – Overzicht van control structures (model toekomstige toestand)	26
Tabel 10 – Herkomst van opwaartse randvoorwaarden.....	27
Tabel 11 – Overzicht van rainfall runoff links.....	27
Tabel 12 – Overzicht van opwaartse randvoorwaarden	28
Tabel 13 – Herkomst van afwaartse randvoorwaarden (model historische toestand)	28
Tabel 14 – Herkomst van afwaartse randvoorwaarden (model toekomstige toestand).....	28
Tabel 15 – Overzicht van afwaartse randvoorwaarden (model historische toestand).....	28
Tabel 16 – Overzicht van afwaartse randvoorwaarden (model toekomstige toestand)	28
Tabel 17 – Overzicht kalibratieperioden (Vlaanderen)	29
Tabel 18 – Overzicht gekalibreerde ruwheid (Vlaanderen).....	30
Tabel 19 – Overzicht validatieperioden (Wallonië)	30

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Stroomgebiedsdistrict Schelde	2
Figuur 2 – Rivierbekkens in Wallonië	3
Figuur 3 – Bekken Escaut-Lys – administratieve grenzen en waterwegen	4
Figuur 4 – Bekken Escaut-Lys – reliëf	5
Figuur 5 – Bekken Escaut-Lys – hydrografie	6
Figuur 6 – Bekken Escaut-Lys – bodemgebruik	7
Figuur 7 – Bekken Escaut-Lys – overstromingen	8
Figuur 8 – Bekken Escaut – deelbekkens.....	10
Figuur 9 – Oude (afgebroken) stuw op de Haut-Escaut te Kain	12
Figuur 10 – Stuw-sluiscomplex op de Haut-Escaut te Kain	12
Figuur 11 – Oude (afgebroken) stuw op de Haut-Escaut te Hérinnes.....	14
Figuur 12 – Stuw-sluiscomplex op de Haut-Escaut te Hérinnes.....	14
Figuur 13 – Ligging meetposten	16
Figuur 14 – Scheepsbewegingen op de Haut-Escaut en het Canal Nimy-Blaton-Péronnes.....	18
Figuur 15 – Modelversies	19
Figuur 16 – Correctie van dwarsprofielen	21
Figuur 17 – Voorbeeld van ‘markers’ voor linker- en rechteroever.....	23
Figuur 18 – Waterstand te Maulde in november 2010.....	31
Figuur 19 – Waterstand te Kain (opwaarts stuw) in november 2010	32
Figuur 20 – Waterstand te Kain (afwaarts stuw) in november 2010	32

1 Inleiding

1.1 Kader

Het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) beschikt over een 1D hydrodynamisch model van de Bovenschelde in Vlaanderen. Met het oog op de studie van de nieuwe stuwen en vispassages in Vlaanderen is het wenselijk om het bestaande model in opwaartse richting uit te breiden, om de eventuele impact van randeffecten te minimaliseren. Daarom werd ook een sterk vereenvoudigd model van de Haut-Escaut in Wallonië opgebouwd.

1.2 Indeling van het rapport

Dit rapport beschrijft de opbouw van het 1D model van de Haut-Escaut in Wallonië. Hoofdstuk 2 bevat een beschrijving van het studiegebied. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de gegevens die gebruikt werden bij de opbouw van het model. In hoofdstuk 4 wordt een gedetailleerde beschrijving gegeven van de opbouw van het model. De kalibratie en validatie van het model worden besproken in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies en aanbevelingen.

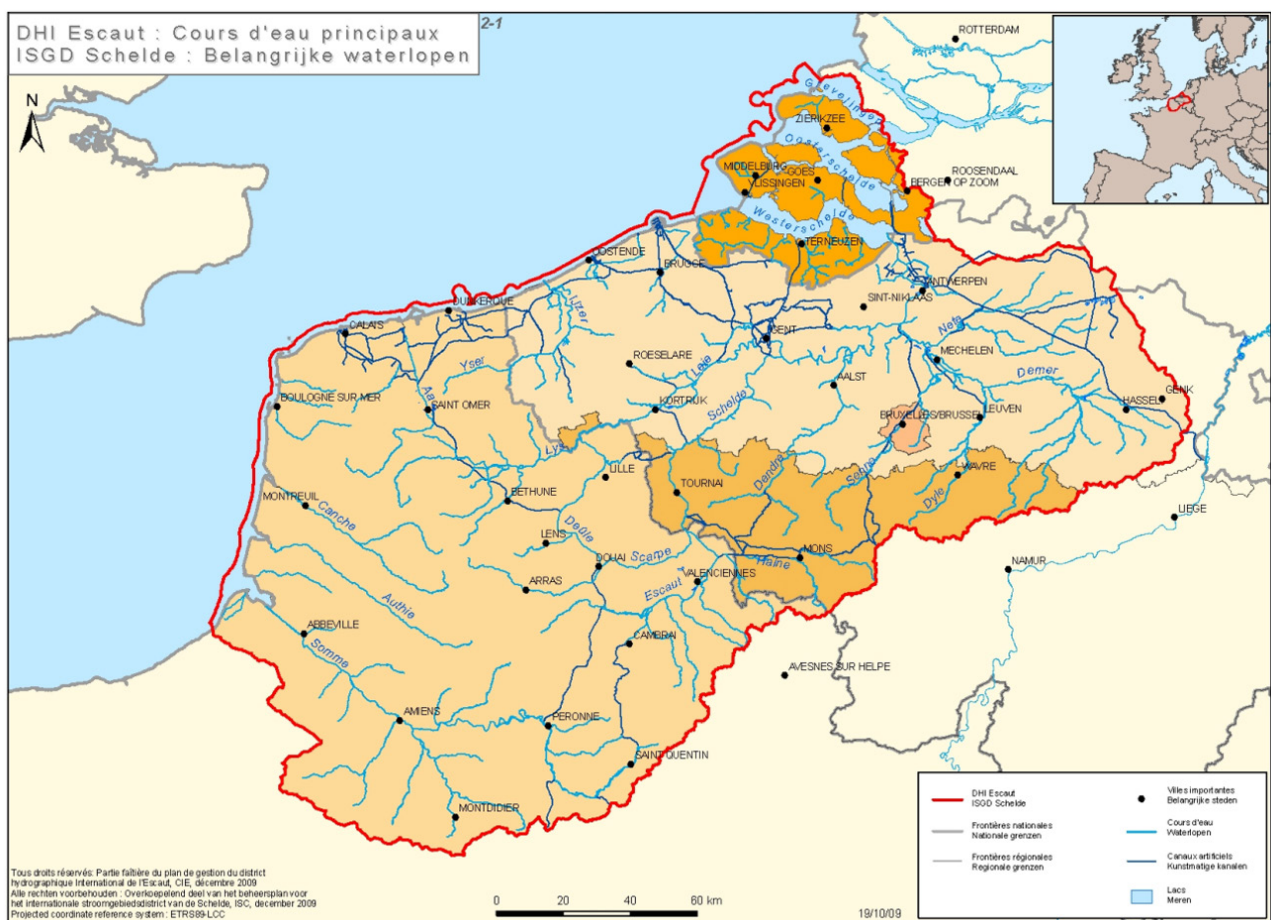
2 Beschrijving studiegebied

2.1 Situering

2.1.1 Stroomgebiedsdistrict Schelde

Het studiegebied bevindt zich in het internationale stroomgebiedsdistrict van de Schelde (Figuur 1). Dit heeft een oppervlakte van 36.500 km², waarvan ongeveer een tiende in Wallonië ligt. Het Waalse deel van het internationale stroomgebiedsdistrict van de Schelde wordt gevormd door delen van het stroomgebied van de Schelde en haar zijrivieren, samen met het bijbehorende grondwater.

Figuur 1 – Stroomgebiedsdistrict Schelde (bron: Grenzeloze Schelde)



2.1.2 Stroomgebied Schelde

Het Waalse deel van het stroomgebied van de Schelde is verder onderverdeeld in vijf bekkens (Figuur 2): 1. Escaut-Lys (Schelde en Leie), 2. Dendre (Dender), 3. Senne (Zenne), 4. Dyle-Gette (Dijle en Gete) en 5. Haine (Hene).

De bekkens van de Dendre, Senne en Dyle-Gette wateren af naar de Zeeschelde (Escaut Maritime) in Vlaanderen. Het bekken van de Haine watert af naar de Haut-Escaut (Bovenschelde) in Frankrijk. Deze studie heeft enkel betrekking op het bekken van Escaut-Lys.

Figuur 2 – Rivierbekkens in Wallonië (bron: CREL)



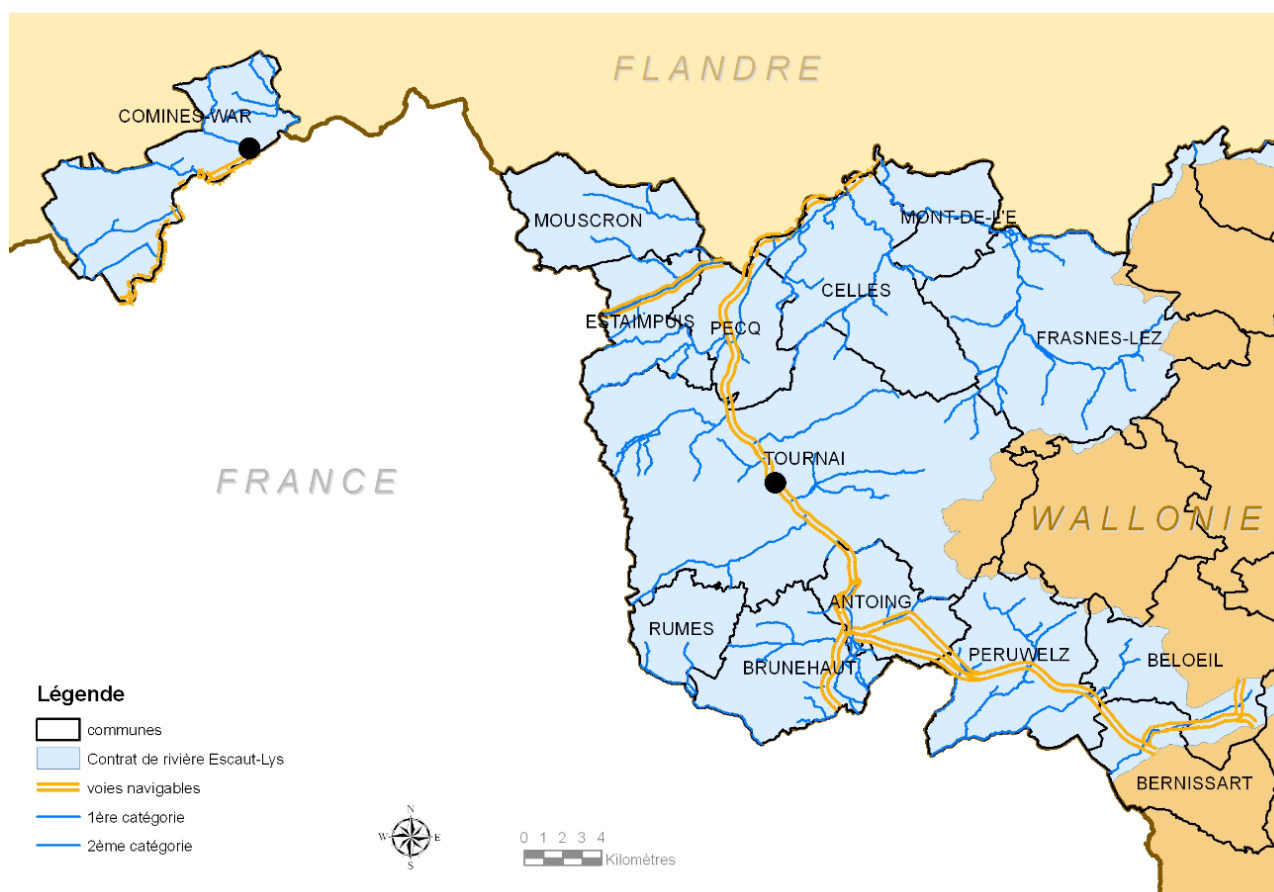
2.2 Bekken van Schelde en Leie

In de volgende paragrafen wordt een korte beschrijving gegeven van de fysische kenmerken van het bekken Escaut-Lys. Deze beschrijving is grotendeels gebaseerd op de actieplannen van het “Contrat de Rivière Escaut-Lys” (CREL, 2014, 2017 en 2020). De figuren (met uitzondering van Figuur 4) werden ongewijzigd overgenomen uit deze documenten.

2.2.1 Begrenzing

Het bekken Escaut-Lys is gelegen in het westelijke deel van de provincie Hainaut (Henegouwen) en heeft een oppervlakte van 770 km². Het strekt zich uit over het grondgebied van 19 gemeenten. Het bekken van de Escaut bevindt zich rondom de stad Tournai (Doornik) en het bekken van de Lys nabij de gemeente Comines-War. Figuur 3 toont de administratieve grenzen en de waterwegen.

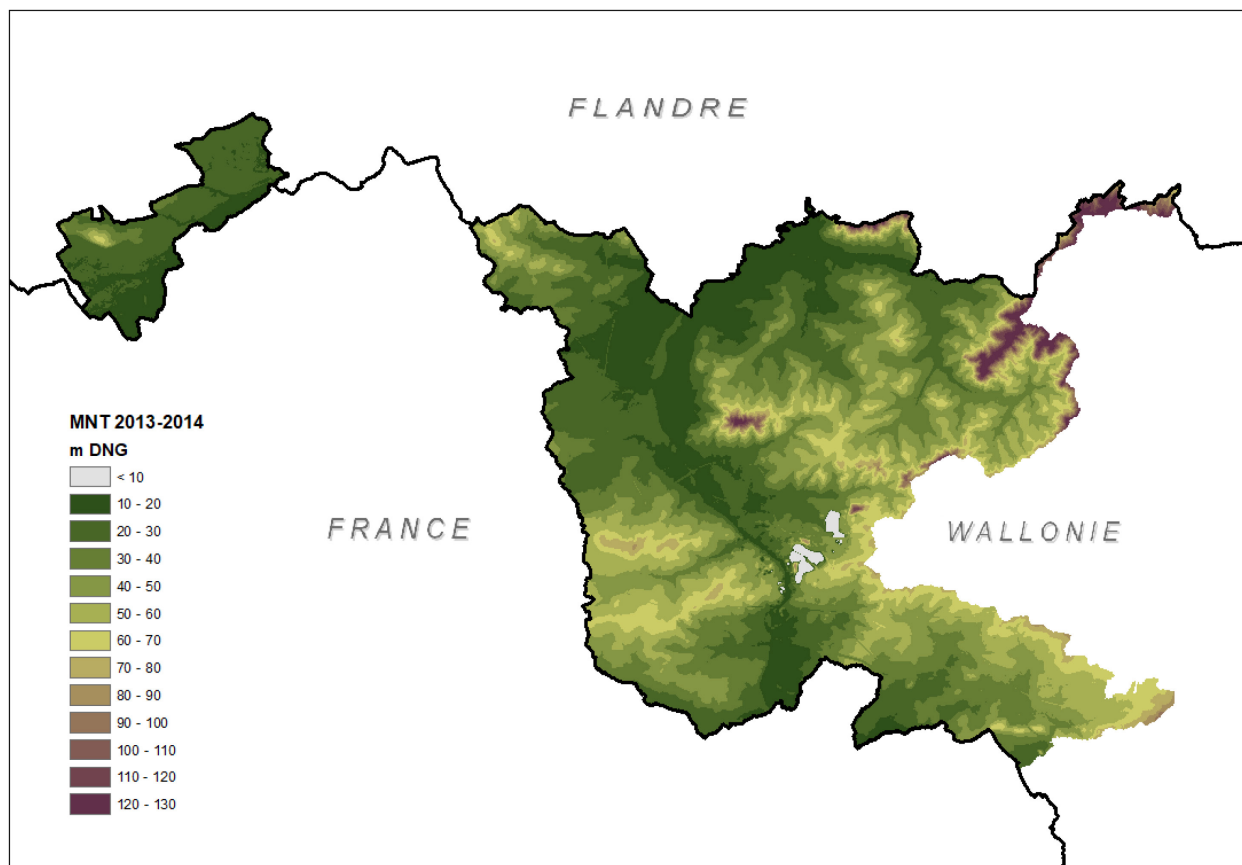
Figuur 3 – Bekken Escaut-Lys – administratieve grenzen en waterwegen (bron: CREL)



2.2.2 Reliëf

Het bekken Escaut-Lys bestaat grotendeels uit riviervalleien met hier en daar een getuigenheuvel: de Mont de l'Enclus (Kluisberg) in het noorden en de Mont Saint-Aubert in het centrum. Het reliëf wordt getoond in Figuur 4. De hoogte varieert van ongeveer 10 mTAW in de valleien van de waterlopen tot meer dan 140 mTAW op de heuveltoppen. In de omgeving van Antoing liggen een aantal grote steengroeven, die tot ver onder het natuurlijke maaiveld uitgegraven werden.

Figuur 4 – Bekken Escaut-Lys – reliëf (bron: Schenke (2014), MNT 2013-2014)



De belangrijkste vallei (die van de Haut-Escaut) is van zuid naar noord georiënteerd. Zowel in het zuiden als in het noorden is de vallei enkele kilometers breed. Tussen Antoing en Tournai is de vallei plaatselijk zeer smal. Hier doorsnijdt ze de tertiaire (zand) en secundaire (mergel) afzettingen, waardoor de primaire gesteenten (kolenkalk) dicht bij het oppervlak komen te liggen. In deze regio bevinden zich de steengroeven waar de “pierre de Tournai” (“Doornikse steen”) ontgonnen wordt.

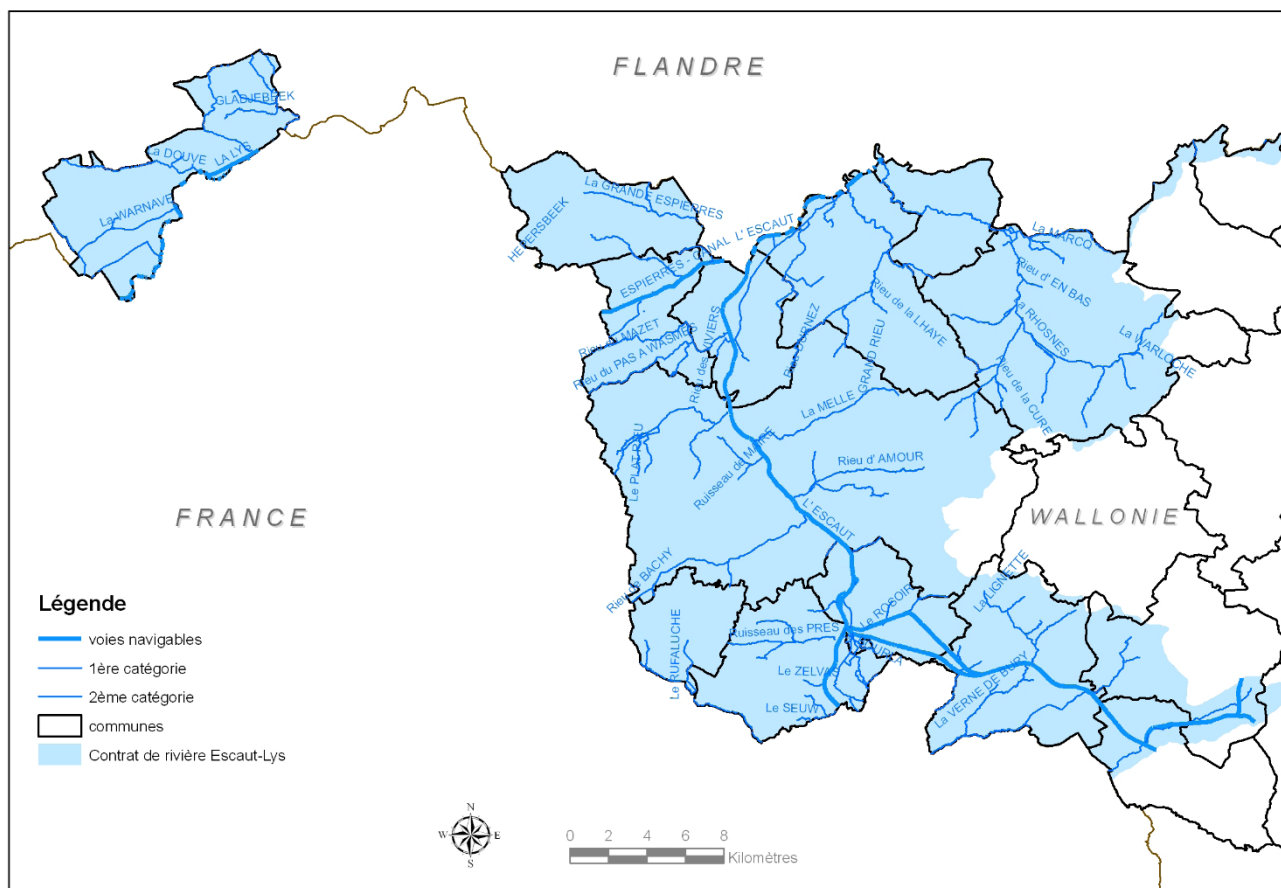
2.2.3 Hydrografie

De belangrijkste waterlopen in het bekken Escaut-Lys worden weergegeven in Figuur 5. De hoofdwaterlopen zijn de gekanaliseerde **Haut-Escaut** (Bovenschelde) en **Lys Mitoyenne** (Grensleie). Daarnaast zijn er ook nog een aantal kanalen en onbevaarbare waterlopen.

De belangrijkste kanalen zijn het **Canal de L'Espierres** (Spierekanaal) op de linkeroever van de Haut-Escaut in het noorden en het **Canal Nimy-Blaton-Péronnes** op de rechteroever van de Haut-Escaut in het zuiden. In het zuidoosten van het bekken vinden we ook zeer korte stukjes van het **Canal Blaton-Ath** en het **Canal Pommeroeul-Condé**.

De grootste onbevaarbare waterlopen (eerste categorie) zijn de **Rieu du Pas à Wasmes** en de **Grande Espierres** (Grote Spierebeek) op de linkeroever van de Haut-Escaut en de **Rieu de L'Haye** en de **Rhosnes** (Ronne) op de rechteroever van de Haut-Escaut. Deze onbevaarbare waterlopen monden allemaal uit ten noorden van Tournai.

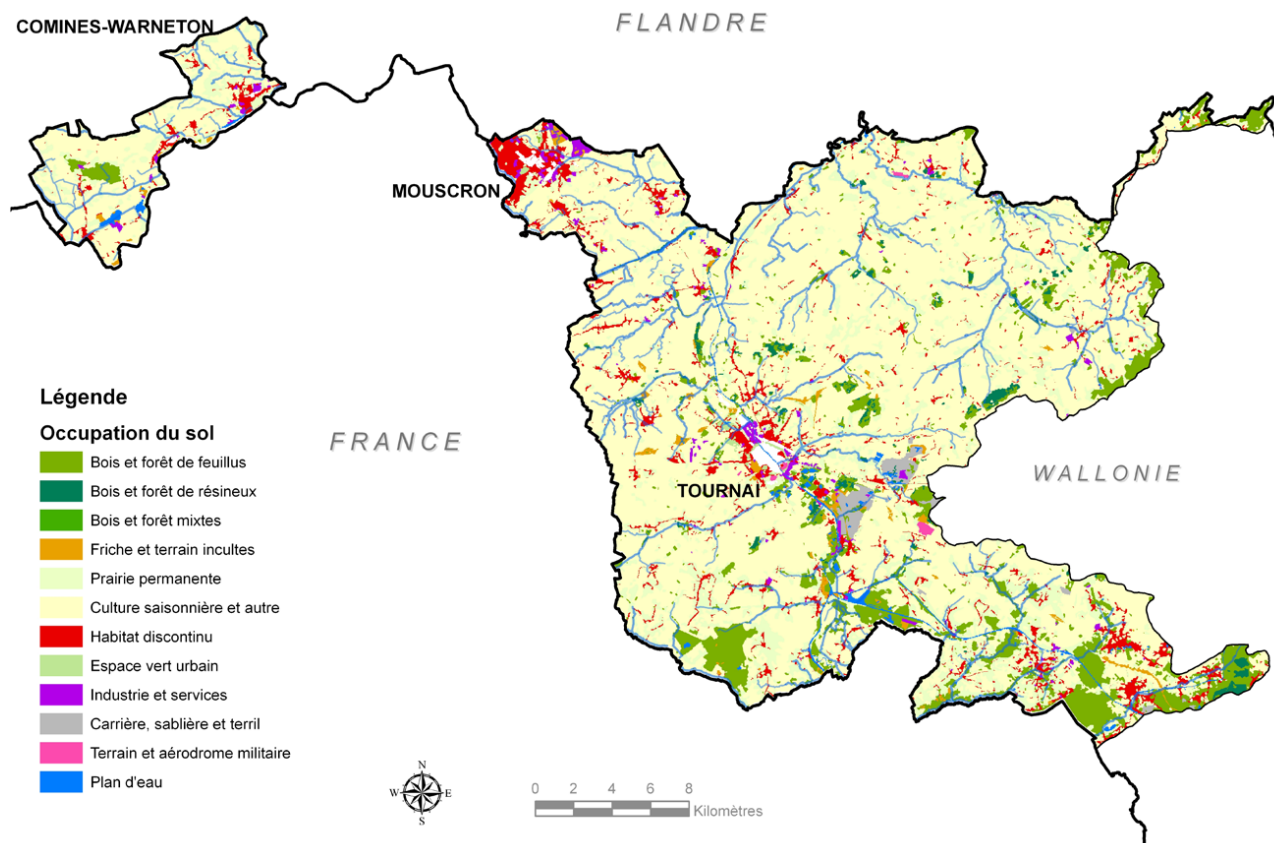
Figuur 5 – Bekken Escaut-Lys – hydrografie (bron: CREL)



2.2.4 Bodemgebruik

Figuur 6 geeft een overzicht van het bodemgebruik in het bekken Escaut-Lys. Met uitzondering van de stedelijke kernen van Tournai en Mouscron (Moeskroen), is het bekken vooral landelijk van aard. Het grootste deel van de oppervlakte wordt gebruikt voor landbouw (43% akkerbouw en 14% weiden). In het zuiden komen ook nog grote bossen voor (11% loofbos en 2% naaldbos). De geürbaniseerde zones beslaan 23% van de oppervlakte. Een deel van de resterende 7% bestaat uit steengroeven en terrils.

Figuur 6 – Bekken Escaut-Lys – bodemgebruik (bron: CREL)

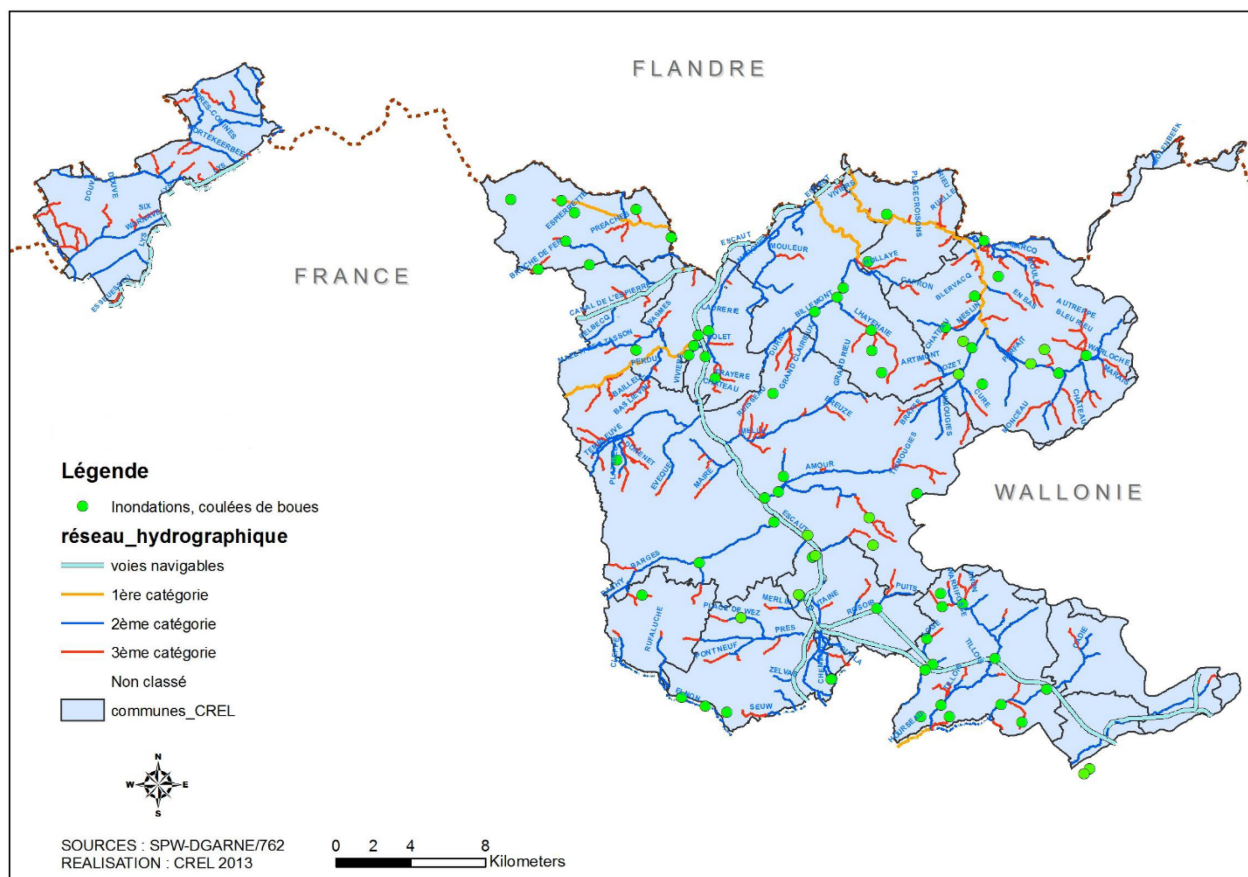


2.2.5 Overstromingen

In het bekken Escaut-Lys doen zich regelmatig overstromingen voor. Het gaat zowel om fluviale als pluviale overstromingen. De pluviale overstromingen gaan vaak gepaard met modderstromen. De belangrijkste knelpunten worden weergegeven in Figuur 7. Daarnaast zijn er ook heel wat vochtige valleigebieden, met een permanent hoge grondwaterstand.

Volgens de “cartographie des zones inondables” (overstromingsgevaarkaarten) (GW, 2016) heeft het grootste deel van de vallei van de Haut-Escaut een lage fluviale overstromingsfrequentie ($T = 100$ jaar). Enkel in het uiterste zuiden zijn er enkele zones met een gemiddelde ($T = 50$ jaar) of een hoge ($T = 25$ jaar) overstromingsfrequentie.

Figuur 7 – Bekken Escaut-Lys – overstromingen (bron: CREL)



2.3 Waterlopen

Deze studie heeft enkel betrekking op het bekken van de Escaut. In de volgende paragrafen worden dan ook enkel de waterlopen in dat bekken besproken.

2.3.1 Haut-Escaut

De Escaut (Schelde) ontspringt in Noord-Frankrijk ten noorden van Saint-Quentin op 100 meter boven de zeespiegel. Vanaf de bron tot Gent spreken we van de Haut-Escaut (Bovenschelde). Het traject van de Haut-Escaut is 165 km lang.

Het waterpeil van de Haut-Escaut in Wallonië wordt geregeld door de stuw-sluiscplexen van Kain en Hérinnes. Het stuw-sluiscplex van Antoing werd in de jaren 90 van de vorige eeuw opgeheven en afgebroken. Om de diepgang te verzekeren, werd het pand tussen Fresnes (Frankrijk) en Antoing met ongeveer een meter verdiept.

In Wallonië is de Haut-Escaut over de volledige lengte gekanaliseerd en bevaarbaar voor schepen van klasse Va. In het kader van het project “Seine-Escaut-Est” zal de Haut-Escaut bevaarbaar gemaakt worden voor schepen van klasse Vb. Dit behelst het wegwerken van een aantal obstakels (waaronder de bekende “Pont des Trous” in Tournai) en de vernieuwing van de stuw-sluiscplexen in Kain en Hérinnes.

2.3.2 Kanalen

Canal de L'Espierres

Het Canal de L'Espierres vormt het oostelijke deel van de verbinding tussen de Haut-Escaut in Espierres (Spiere) en de Deûle in Marquette-lez-Lille. Het westelijke deel ligt op Frans grondgebied en bestaat uit het Canal de Roubaix en het afwaartse, gekanaliseerde deel van de Marque.

Het Canal de L'Espierres werd in 1843 in gebruik genomen. Het werd vooral gebruikt om steenkool uit de Waalse steenkoolbekkens naar Noord-Frankrijk te transporteren. In 1985 werd het kanaal buiten dienst gesteld. In 2011 werd het, na bagger- en herstellingswerken, terug opengesteld voor de pleziervaart.

Canal Nimy-Blaton-Péronnes

Het Canal Nimy-Blaton-Péronnes vormt het westelijke deel van de verbinding tussen de Haut-Escaut in Péronnes en de Sambre (Samber) in Charleroi. Het oostelijke deel bestaat uit het Canal du Centre en het opwaartse deel van het Canal Charleroi-Bruxelles (Kanaal Brussel-Charleroi).

Het Canal Mons-Condé werd rond 1810 aangelegd om steenkool uit de Waalse steenkoolbekkens naar de Haut-Escaut te kunnen transporteren. Het westelijke deel lag op Frans grondgebied. In 1826 werd dit deel vervangen door het Canal Pommeroeul-Antoing, dat volledig op Belgisch grondgebied gelegen was. De restanten van beide kanalen zijn inmiddels buiten gebruik.

Het Canal Nimy-Blaton-Péronnes is de vervanger van het Canal Mons-Condé en het Canal Pommeroeul-Antoing. Het verbindt Nimy (ten noorden van Mons) via Pommeroeul en Blaton met Péronnes (ten zuiden van Antoing). In Pommeroeul is er een verbinding met het Canal Pommeroeul-Condé in het zuiden en in Blaton met het Canal Blaton-Ath in het noorden. Het traject Nimy-Blaton werd in 1955 in gebruik genomen en het traject Blaton-Péronnes in 1964. Het kanaal is bevaarbaar voor schepen van klasse IV. Het is verbonden met de Haut-Escaut via de sluizen van Maubray en Péronnes.

Het Canal Blaton-Ath vormt de verbinding met de Dendre in Ath (Aat). Het werd aangelegd in 1866 en wordt momenteel bijna alleen nog voor pleziervaart gebruikt.

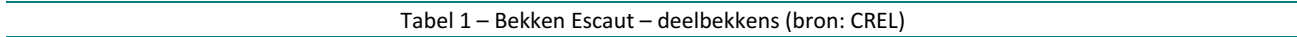
Het Canal Pommeroeul-Condé vormt de verbinding met de Haut-Escaut in Condé (Frankrijk). Het werd geopend in 1982. Het Belgische deel is bevaarbaar voor schepen van klasse V en het Franse deel voor schepen van klasse IV. Het Franse deel is echter aangeslibt met vervuild slib van de Haine en sedert 1995 terug gesloten voor de scheepvaart.

In het kader van het project "Seine-Escaut-Est" zal het Canal Pommeroeul-Condé gebaggerd en terug opengesteld worden. In een vervolgetraject zou het Canal Nimy-Blaton-Péronnes eventueel ook verbreed kunnen worden tussen Nimy en Pommeroeul.

2.3.3 Onbevaarbare waterlopen

De belangrijkste onbevaarbare waterlopen in het bekken van de Escaut en de bijhorende deelbekkens worden getoond in Figuur 8. Een aantal van deze deelbekkens zijn minder relevant in het kader van deze studie. De deelbekkens EL05R en EL06R in het zuidoosten wateren af naar de Haut-Escaut in Frankrijk en het deelbekken EL07R in het zuidwesten watert af naar de Scarpe in Frankrijk. De deelbekkens EL16R, EL17R, EL20R en EL22R monden uit in de Haut-Escaut, afwaarts van de debietmeter in Bossuit. Hun invloed is dus reeds opgenomen in het model van de Bovenschelde in Vlaanderen. De deelbekkens in het uiterste noordoosten (waarvan de code begint met EL_VL) wateren af naar de Zeeschelde (Escaut Maritime) in Vlaanderen. Tabel 1 geeft een overzicht van de kenmerken van de resterende deelbekkens. Een deel van de deelbekkens op de linkeroever van de Haut-Escaut loopt door in Frankrijk of Vlaanderen. De oppervlaktes in de tabel slaan enkel op het gedeelte van het deelbekken dat in Wallonië gelegen is.

Figuur 8 – Bekken Escaut – deelbekkens (bron: CREL)



10 WL2020R20_048_1 Definitieve versie

2.4 Kunstwerken

Deze studie focust op de bevaarbare waterlopen en de Haut-Escaut in het bijzonder. In de volgende paragrafen worden dan ook enkel de kunstwerken op de Haut-Escaut besproken.

2.4.1 Stuw-sluiscomplex op de Haut-Escaut te Kain

De kunstwerken op het stuw-sluiscomplex te Kain worden getoond in Figuur 9 en Figuur 10. De nieuwe stuw is in werking sedert begin 2017, maar de waterkrachtcentrale en de vispassages werden pas officieel in gebruik genomen in juni 2018. Hierna worden de belangrijkste kenmerken beschreven.

Sluis

De bestaande sluis is 125 m lang, 14 m breed en heeft een verval van 1,6 m. Ze is uitgerust met puntdeuren aan beide zijden. De sluis is geschikt voor het versassen voor schepen van klasse Va. In de toekomst zal ze vervangen worden door een nieuwe sluis die geschikt is voor het versassen van schepen van klasse Vb.

Oude stuw

De oude stuw bestond uit 1 hefdeur (18 m breed) met bovenaan een regelklep (10 m breed). Het streefpeil bedroeg eerst 15,0 en later 14,9 mTAW. Na voltooiing van de nieuwe stuw werd de oude stuw afgebroken en vervangen door een waterkrachtcentrale.

Nieuwe stuw

De nieuwe stuw bestaat uit 2 identieke kleppen, elk 12 m breed. De vaste drempel ligt op 11,0 mTAW. Het streefpeil bedroeg 14,9 mTAW en werd in 2020 verhoogd tot 15,0 mTAW.

Waterkrachtcentrale

De waterkrachtcentrale bestaat uit 3 identieke parallelle vijzels, die als turbine werken. Elke vijzel wordt aangedreven door een debiet van 5 m³/s en levert een vermogen van 57 kW.

Vispassages

De site is uitgerust met 2 gelijkaardige vertical slot vispassages: 1 naast de nieuwe stuw en 1 naast de waterkrachtcentrale. De vispassage naast de nieuwe stuw is ontworpen voor een debiet van 0,7 m³/s, vergezeld van een aparte lokstroom van 2,5 m³/s. De vispassage naast de waterkrachtcentrale is ontworpen voor een debiet van 0,6 m³/s, vergezeld van een aparte lokstroom van 2,5 m³/s.

Prioriteit

Afhankelijk van het beschikbare debiet worden de kunstwerken in onderstaande volgorde geactiveerd:

1. sluis
2. vispassage naast stuw
3. lokstroom naast stuw
4. vispassage naast waterkrachtcentrale
5. lokstroom naast waterkrachtcentrale
6. waterkrachtcentrale

Figuur 9 – Oude (afgebroken) stuw op de Haut-Escaut te Kain (bron: JP Cuvelier)



Figuur 10 – Stuw-sluiscomplex op de Haut-Escaut te Kain (bron: Vameco Diksmuide by Upperview)



2.4.2 Stuw-sluiscomplex op de Haut-Escaut te Hérinnes

De kunstwerken op het stuw-sluiscomplex te Hérinnes worden getoond in Figuur 11 en Figuur 12. De nieuwe stuw is in werking sedert midden 2019. De vispassages en de waterkrachtcentrale zijn nog in aanbouw en zullen vermoedelijk in de loop van 2021 in dienst gesteld worden. Hierna worden de belangrijkste kenmerken beschreven.

Sluis

De bestaande sluis is 125 m lang, 14 m breed en heeft een verval van 1,9 m. Ze is uitgerust met puntdeuren aan beide zijden. De sluis is geschikt voor het versassen voor schepen van klasse Va. In de toekomst zal ze vervangen worden door een nieuwe sluis die geschikt is voor het versassen van schepen van klasse Vb.

Oude stuw

De oude stuw bestond uit 1 hefdeur (18 m breed) met bovenaan een regelklep (10 m breed). Het streefpeil bedroeg 13,3 mTAW. Na voltooiing van de nieuwe stuw werd de oude stuw afgebroken. Ze wordt momenteel vervangen door een waterkrachtcentrale.

Nieuwe stuw

De nieuwe stuw bestaat uit 2 identieke kleppen, elk 12 m breed. De vaste drempel ligt op 9,12 mTAW. Het streefpeil bedroeg 13,3 mTAW en werd in 2020 verhoogd tot 13,4 mTAW.

Waterkrachtcentrale

De waterkrachtcentrale is momenteel in aanbouw. Ze zal bestaan uit 3 parallelle vijzels, die als turbine werken. Elke vijzel zal aangedreven worden door een debiet van 5 m³/s.

Vispassages

De site zal uitgerust worden met 2 gelijkaardige vertical slot vispassages: 1 naast de nieuwe stuw en 1 naast de waterkrachtcentrale. De vispassage naast de nieuwe stuw is ontworpen voor een debiet van 0,7 m³/s, vergezeld van een aparte lokstroom van 2,5 m³/s. De vispassage naast de waterkrachtcentrale is ontworpen voor een debiet van 0,6 m³/s, eveneens vergezeld van een aparte lokstroom van 2,5 m³/s.

Prioriteit

Afhankelijk van het beschikbare debiet zullen de kunstwerken in onderstaande volgorde geactiveerd worden:

1. sluis
2. vispassage naast stuw
3. lokstroom naast stuw
4. vispassage naast waterkrachtcentrale
5. lokstroom naast waterkrachtcentrale
6. waterkrachtcentrale

Figuur 11 – Oude (afgebroken) stuw op de Haut-Escaut te Hérinnes (bron: Focus-WTW)



Figuur 12 – Stuw-sluiscomplex op de Haut-Escaut te Hérinnes (bron: Artes Group)



3 Beschikbare gegevens

3.1 Topografie en bathymetrie

Er waren twee gedetailleerde gegevensbronnen beschikbaar: een Digitaal Terrein Model (DTM) van Wallonië en bathymetrische opmetingen van de Haut-Escaut.

Het “Modèle Numérique de Terrain de la Wallonie” (RELIEF_WALLONIE_MNT_2013_2014) (Schenke, 2014) is gebaseerd op Lidar metingen, uitgevoerd in de periode 2013-2014. Het is beschikbaar onder verschillende vormen, waaronder een regelmatig rooster met een resolutie van 1 m. Dit rooster werd opgevraagd via het Geoportail de la Wallonie (<http://geoportail.wallonie.be>).

Het bodempeil van de Haut-Escaut werd recent (november 2019) opgemeten vanaf de grens met Frankrijk tot in Bossuit. De ruwe metingen werden verwerkt tot een regelmatig rooster met een resolutie van 0,5 m. Dit rooster werd ter beschikking gesteld door de Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies Hydrauliques (DGO2) van de Service Public de Wallonie (SPW).

3.2 Hydrologische gegevens

3.2.1 Debietmetingen

Het debiet van de Haut-Escaut wordt achtereenvolgens gemeten in Frankrijk, Wallonië en Vlaanderen. Tabel 2 geeft een overzicht van de beschikbare meetreeksen en Figuur 13 toont de ligging van de meetposten.

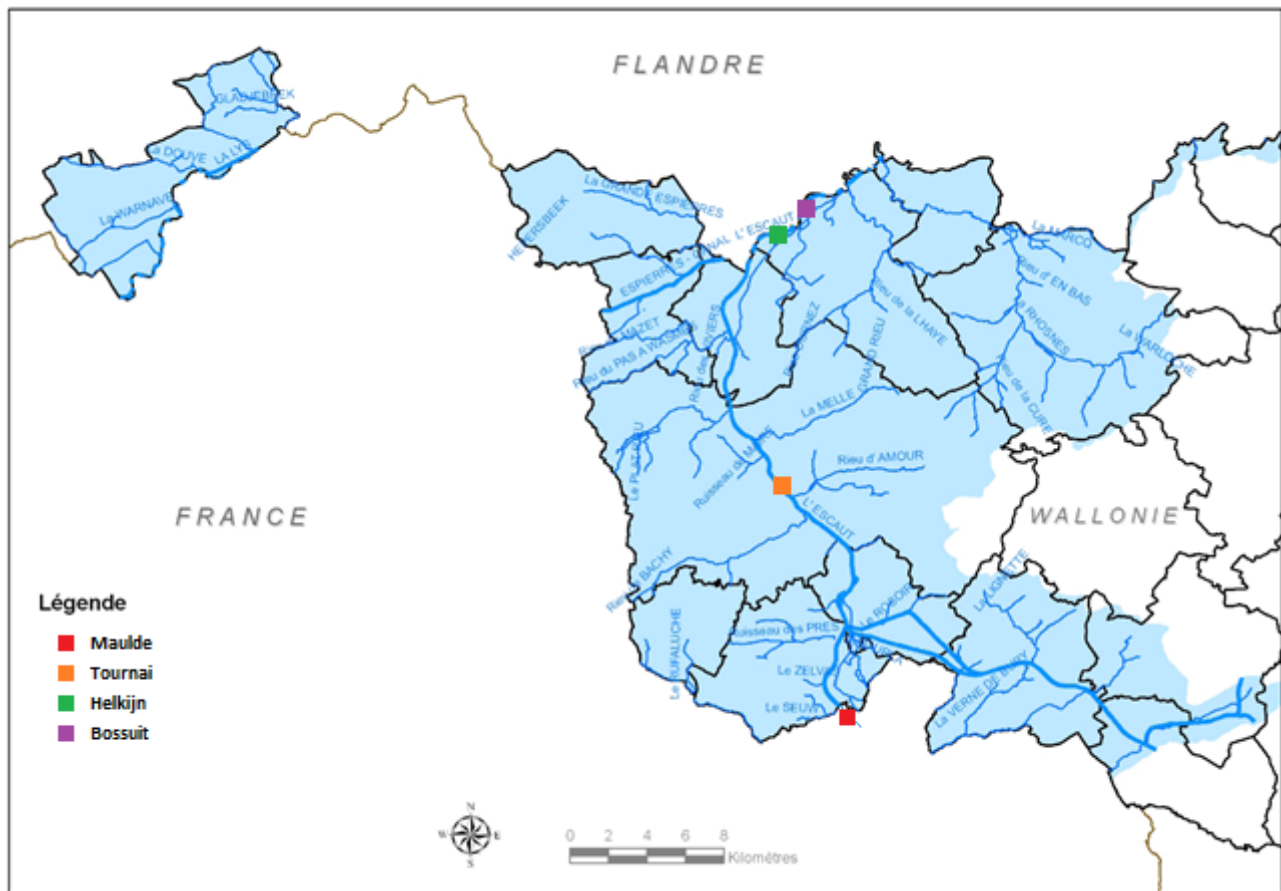
Tabel 2 – Beschikbare debietmetingen (bevaarbare waterlopen)

Meetpost	Waterloop	Locatie	Beheerder
E240041101	Haut-Escaut	Maulde	DREAL
3282	Haut-Escaut	Tournai	SPW-DGO2
Bos05m	Bovenschelde	Helkijn	HIC
HIS_Bos05a	Bovenschelde	Bossuit	HIC

De debietmetingen op de Bovenschelde in Vlaanderen gebeurden tot eind 2013 in Bossuit. Vanaf begin 2014 gebeuren de metingen in Helkijn. De nieuwe meetpost in Helkijn ligt ongeveer 2 km opwaarts van de oude meetpost in Bossuit. Langsheen dit traject is er haast geen zijdelingse instroming, zodat de debietreeksen van Bossuit en Helkijn samengevoegd kunnen worden.

Er staan ook een aantal debietmeters op onbevaarbare zijlopen. Deze worden opgesomd in Tabel 3. Zoals reeds vermeld in paragraaf 2.3.3, mondt de Verne Blanche uit in de Haut-Escaut in Noord-Frankrijk en monden de Rhosnes en de Rieu de L'Haye uit afwaarts Bossuit.

Figuur 13 – Ligging meetposten



Tabel 3 – Beschikbare debietmetingen (onbevaarbare waterlopen)

Meetpost	Waterloop	Locatie	Beheerder
L6450	Espierres	Estaimpuis	SPW-DGO3
L7650	Grande Espierres	Dottignies	SPW-DGO3
L6910	Pas à Wasmes	Pecq	SPW-DGO3
L5412	Rhosnes	Amougies	SPW-DGO3
L6920	Rieu de L'Haye	Escanaffles	SPW-DGO3
L7880	Rieu des Barges	Ere	SPW-DGO3
L7890	Rieu des Barges	Froidmont	SPW-DGO3
L5961	Verne Blanche	Wiers	SPW-DGO3

3.2.2 Waterstandsmetingen

De waterstand op de Haut-Escaut wordt eveneens gemeten in Frankrijk, Wallonië en Vlaanderen. Tabel 4 geeft een overzicht van de beschikbare meetreeksen. Waterstandsmetingen op- en afwaarts van kunstwerken werden mee in de lijst opgenomen en worden in cursief lettertype weergegeven.

Tabel 4 – Beschikbare waterstandsmetingen (bevaarbare waterlopen)

Meetpost	Waterloop	Locatie	Beheerder
E240041101	Haut-Escaut	Maulde	DREAL
3276	<i>Haut-Escaut</i>	<i>Kain (opwaarts stuw)</i>	<i>SPW-DGO2</i>
3274	<i>Haut-Escaut</i>	<i>Kain (afwaarts stuw)</i>	<i>SPW-DGO2</i>
bos05m	Bovenschelde	Helkijn	HIC
HIS_bos05a	Bovenschelde	Bossuit	HIC
K06_WM206	<i>Spierekanaal</i>	<i>Spiere-Helkijn (afw sluis)</i>	<i>VMM</i>
WW003	<i>Kanaal Bossuit-Kortrijk</i>	<i>Bossuit (afwaarts sluis)</i>	<i>EMT</i>

De waterpeilmetingen op de Bovenschelde in Vlaanderen gebeurden tot eind 2013 in Bossuit. Vanaf begin 2014 gebeuren de metingen in Helkijn. De nieuwe meetpost in Helkijn ligt ongeveer 2 km opwaarts van de oude meetpost in Bossuit. Het verschil in waterpeil tussen beide meetposten varieert in functie van het debiet en kan oplopen tot enkele dm bij hoge afvoeren. De waterpeilreeksen van Bossuit en Helkijn kunnen dus niet zomaar samengevoegd worden.

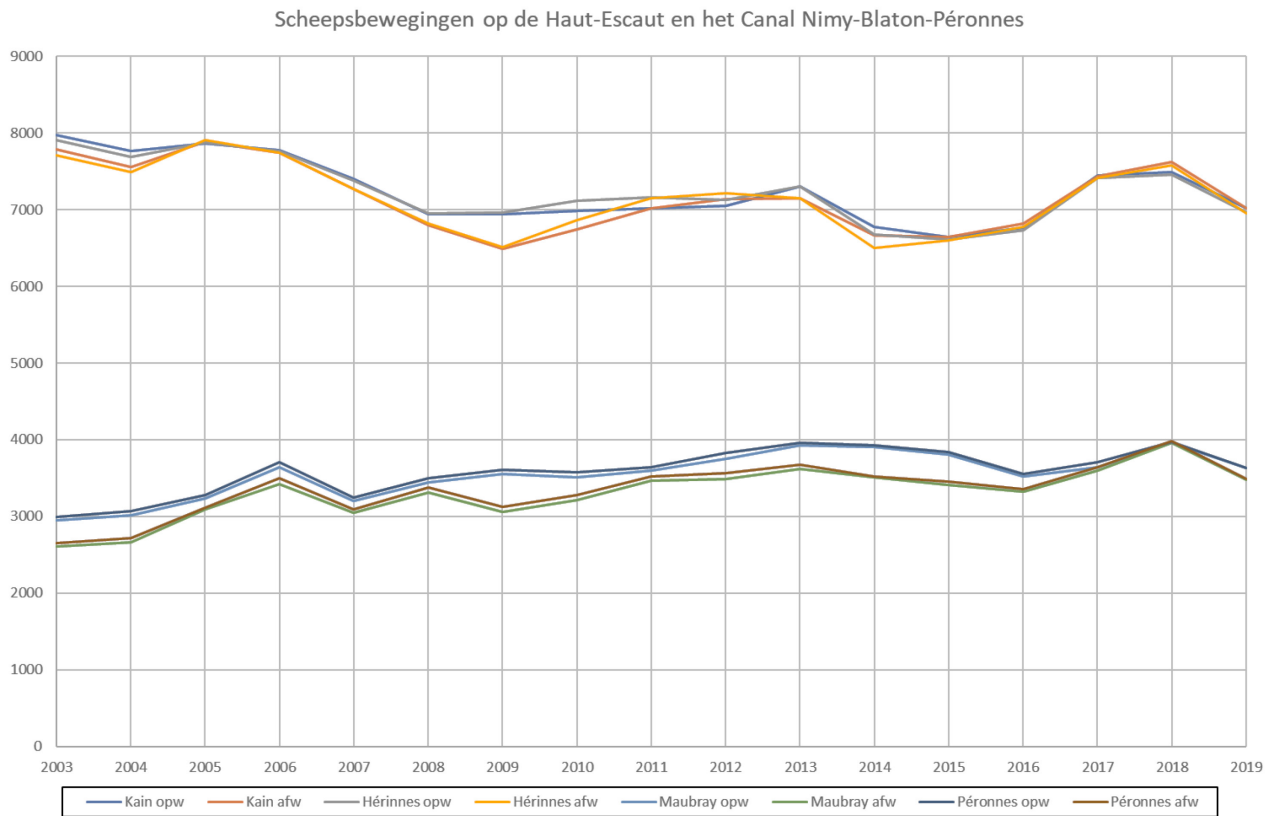
In de meetstations op de onbevaarbare waterlopen, opgesomd in Tabel 3, gebeuren ook waterpeilmetingen. Aangezien de onbevaarbare waterlopen niet gemodelleerd zullen worden, zijn deze metingen niet relevant.

3.3 Scheepvaart

De gegevens over de scheepvaart op de Haut-Escaut werden overgenomen uit de statistische jaarboeken van de Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies Hydrauliques (DGO2) van de Service Public de Wallonie (SPW) voor de periode 2003-2019 (MRW 2003-2008 en SPW 2009-2019). De cijfers worden samengevat in Figuur 14.

Het totale aantal scheepsbewegingen op de Haut-Escaut (sluizen van Kain en Hérinnes) schommelt rond de 7000 per jaar in op- en afwaartse richting. Er zijn geen grote verschillen tussen de sluizen. Het totale aantal scheepsbewegingen op het westelijke deel van het Canal Nimy-Blaton-Péronnes (sluizen van Maubray en Péronnes) ligt rond de 3500 per jaar in beide richtingen. Ook hier zijn er geen grote verschillen tussen de sluizen. Ongeveer de helft van het scheepsverkeer op de Haut-Escaut in Wallonië is dus afkomstig uit het Canal Nimy-Blaton-Péronnes en de andere helft uit de Haut-Escaut in Frankrijk of de Bovenschelde in Vlaanderen.

Figuur 14 – Scheepsbewegingen op de Haut-Escaut en het Canal Nimy-Blaton-Péronnes (bron: SPW-DGO2)

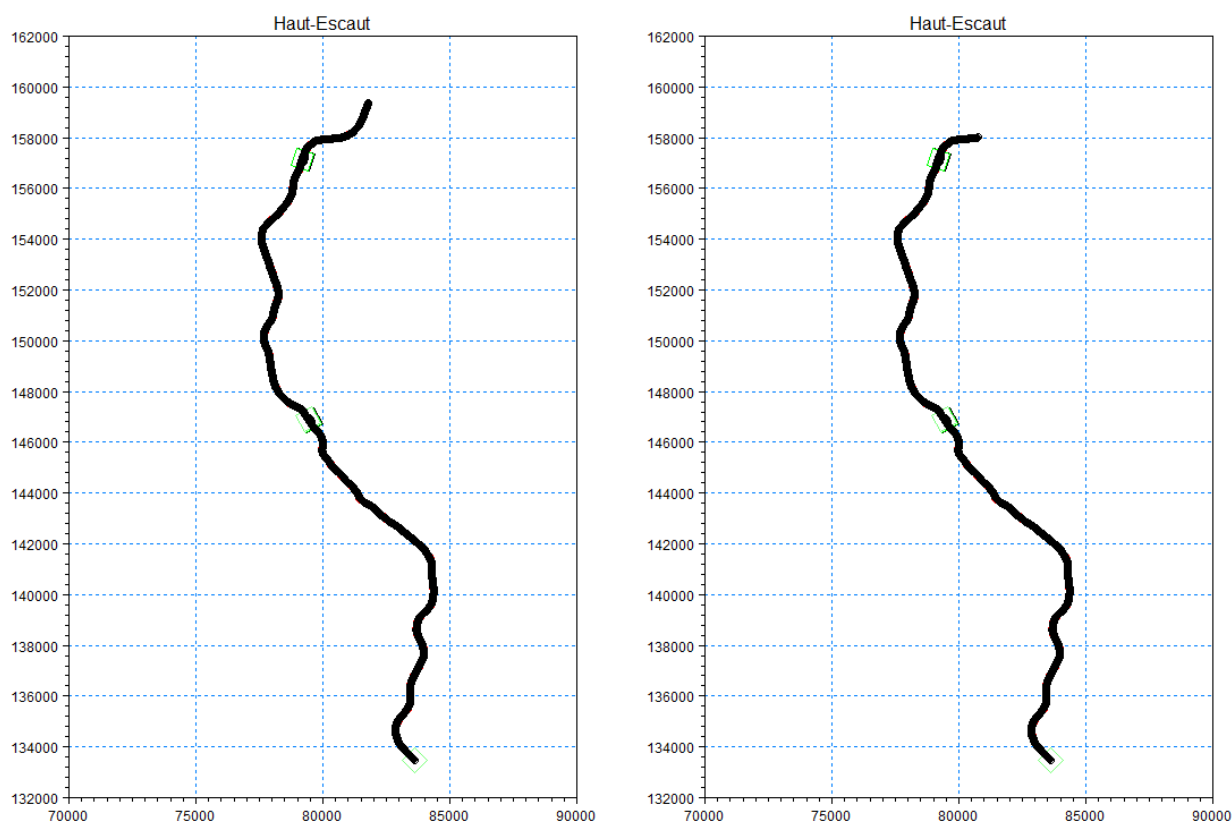


4 Modelbeschrijving

4.1 Algemeen

Aangezien de meeste gevalideerde meetreeksen afkomstig zijn uit de periode voor de vernieuwing van de stuw-sluiscplexen van Kain en Hérinnes, werden twee modelversies opgebouwd. De eerste “historische” versie bevat de oude kunstwerken en is bedoeld voor de modelkalibratie en -validatie. De tweede “toekomstige” versie bevat de nieuwe kunstwerken (inclusief de nog niet volledig afgewerkte) en is bedoeld voor studiewerk. De eerste modelversie loopt tot Bossuit (vroegere meetpost HIC). De tweede versie werd met ongeveer 2 km ingekort tot Helkijn (huidige meetpost HIC). De uitgestrektheid van beide modelversies wordt getoond in Figuur 15.

Figuur 15 – Modelversies (links = historisch, rechts = toekomstig)



4.2 Software

De software gebruikt voor de 1D-hydrodynamische berekeningen is Mike11, versie 2017 SP2 (DHI, 2017).

Voor de verwerking van de gegevens in GIS wordt gebruik gemaakt van ArcMap 10.3 SP1 (ESRI, 2015).

4.3 Geografische referentie en tijdszone

Het horizontale coördinatenstelsel is Lambert 1972 en het verticaal referentievlak is TAW.

De gebruikte tijdsreferentie is UTC+1 (winteruur).

4.4 Hydrologische deelbekkens

Het bekken opwaarts van de debietmeter in Bossuit/Helkijn werd gesplitst in twee deelbekkens: het bekken opwaarts van de debietmeter in Maulde en het bekken tussen de debietmeter in Maulde en de debietmeter in Bossuit/Helkijn. Beide bekken kregen een voorlopige naam, opgebouwd volgens de algemene principes voor de naamgeving van deelbekken in Vlaanderen.

In eerdere studies werd de oppervlakte van het deelbekken opwaarts van de debietmeter in Bossuit/Helkijn ingeschat op 5227 km². De oppervlakte van het deelbekken opwaarts van de debietmeter in Maulde bedraagt volgens de beheerder (DREAL) 4099 km². De oppervlakte van het tussenliggende bekken bedraagt dan 1128 km². Dit is veel meer dan de 387 km² uit Tabel 1. Dit laatste cijfer is zeker onderschat omdat het westelijke deel van het deelbekken, dat in Frankrijk gelegen is, niet meegeteld werd. Volgens een ruwe inschatting op basis van GIS tools zou de oppervlakte van het volledige deelbekken ongeveer 500 km² bedragen. Er is dus een verschil in de wijze waarop de oppervlakte van het deelbekken opwaarts van de debietmeter in Maulde bepaald werd door verschillende instanties. Voorlopig werd de waarde van DREAL weerhouden.

De kenmerken van de hydrologische deelbekken worden samengevat in Tabel 5.

Tabel 5 – Overzicht van gemodelleerde deelbekken

Naam	Beschrijving	Oppervlakte (km ²)
F06ESC000000	Opwaarts Maulde	4099
W06ESC000000	Maulde – Bossuit/Helkijn	± 500

4.5 Waterlopen

Het model bevat slechts één waterloop. De lengte waarover die gemodelleerd werd, verschilt wel naargelang de modelversie. Tabel 6 geeft een overzicht van de gemodelleerde trajecten in beide versies.

Tabel 6 – Overzicht van gemodelleerde waterlopen

Waterloop	Gedeelte gemodelleerd	Categorie	Gemodelleerde lengte (km)
Haut-Escaut (historisch)	Grens Frankrijk - Bossuit	0	31,7
Haut-Escaut (toekomstig)	Grens Frankrijk - Helkijn	0	29,9

4.6 Dwarssecties

4.6.1 Herkomst en naamgeving

De dwarssecties in Mike11 worden aangeduid door middel van de naam van de waterloop, een Topo ID en een chainage.

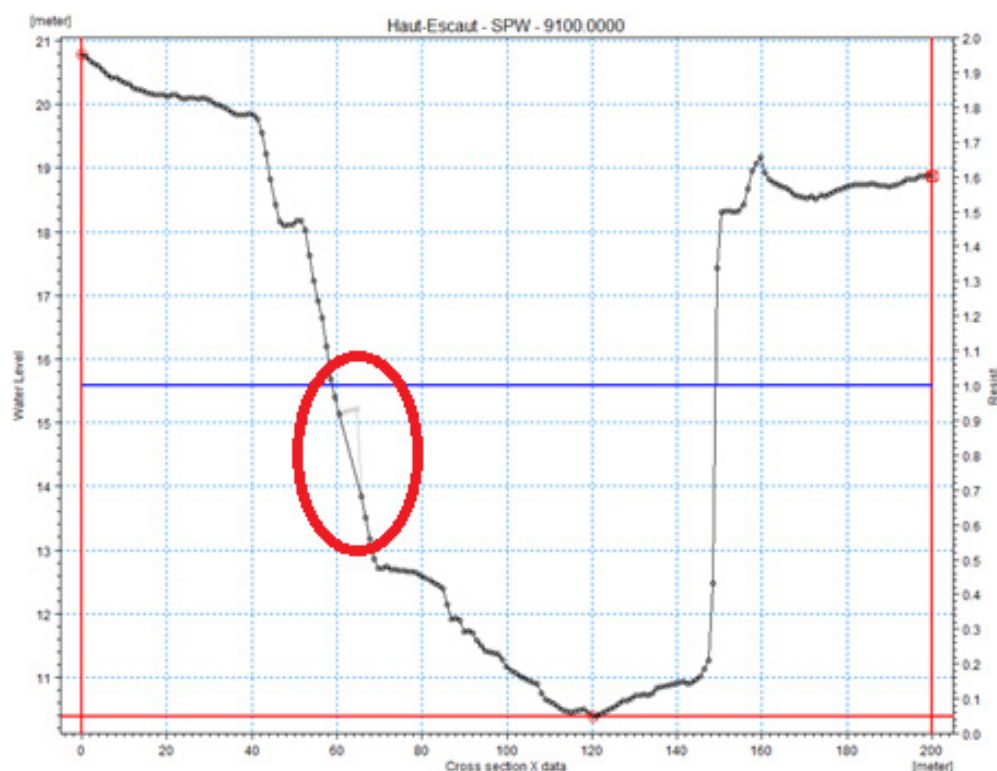
De naam van de gemodelleerde waterloop stemt overeen met de werkelijke naam van de waterloop. De bevaarbare waterlopen hebben slechts één naam. De zijrivieren worden genoemd volgens de naam van de zijrivier ter hoogte van de monding.

De Topo ID bevat informatie over het jaar van de metingen en eventueel over de bron van de gegevens.

De chainage is de cumulatieve afstand tussen de secties langs een vooraf gedefinieerde as van de waterloop. Deze afstand kan gemeten worden van opwaarts naar afwaarts, of omgekeerd. Wanneer de meest afwaartse sectie van de rivier chainage 0 krijgt, is de 'flow direction' 'negative'. Wanneer de meest opwaartse sectie van de rivier chainage 0 krijgt, is de 'flow direction' 'positive'. De waarden van de chainages worden afgerond zonder decimalen.

De dwarssecties in het 1D model van de Haut-Escaut werden afgeleid uit de topografische gegevens beschreven in paragraaf 3.1 d.m.v. een aantal bewerkingen in een GIS-omgeving. In een eerste stap werden de oeverzones van de Haut-Escaut uitgeknipt uit het DTM. De oeverzones werden gedefinieerd als een strook met een breedte van 1000 m aan weerszijden van de as van de Haut-Escaut. Vervolgens werden de hoogtegegevens die binnen de bedding van de Haut-Escaut gelegen zijn vervangen door de bathymetrische gegevens. Tenslotte werden uit het gecombineerde gegevensbestand dwarsprofielen afgeleid. De dwarsprofielen bevinden zich loodrecht de as van de Haut-Escaut, hebben een onderlinge afstand van 100 m en een breedte van 200 m.

Figuur 16 – Correctie van dwarsprofielen (grijs = ruw, zwart = gecorrigeerd)



Een aantal berekende dwarsprofielen vertonen een horizontale schouder op de overgang tussen de oevers (uit het DTM) en de bedding (uit de bathymetrische opmetingen). Alhoewel niet volledig uitgesloten kan worden dat deze het gevolg zijn van een specifieke inrichting van de oever (bv een plasberm of een drasberm), lijkt het toch waarschijnlijker dat het gaat om artefacten. Wanneer de bathymetrische gegevens niet helemaal doorlopen tot aan de oeverlijn, dan blijft een deel van het wateroppervlak uit het DTM behouden en wordt het verkeerdelijk geïnterpreteerd als bodem. De schouders werden dan ook manueel weggewerkt door het verwijderen van een aantal punten uit het dwarsprofiel, net boven en net onder het wateroppervlak. Figuur 16 geeft een voorbeeld van een dergelijke correctie.

4.6.2 De hydraulische weerstand

De hydraulische weerstand (radius type) kan in Mike11 op twee manieren worden weergegeven. De eerste manier is via de 'hydraulische straal' (hydraulic radius) zoals in België meestal wordt gebruikt, een tweede mogelijkheid is de 'resistance radius' (waarvoor geen Nederlandse vertaling bestaat). Beide grootheden worden berekend op basis van de geometrie van de dwarssectie (en eventueel op basis van de relatieve weerstand), maar via formules die iets verschillend zijn. Voor de juiste formules wordt verwezen naar de Mike11 reference manual (DHI, 2017). Over het algemeen is de 'resistance radius' geschikt voor secties met een belangrijke variatie in de geometrie (zoals de stroming in het winterbed of over de oever), daar waar de hydraulische straal meer geschikt is voor diepe, smalle uniforme secties.

Standaard wordt in Mike11 de 'resistance radius' vooropgesteld. Omdat de hydraulische straal echter meer gekend is bij ons en ook in de belangrijkste literatuur over hydraulica en omdat dus de Manningwaarden uit de literatuur (die als startwaarden worden gebruikt voor de kalibratie) in principe enkel geldig zijn bij het gebruik van de hydraulische straal, wordt in deze studie voor alle waterloopsecties van het zomerbed de hydraulische straal gebruikt.

De keuze tussen de hydraulische straal en de 'resistance radius' kan zijn invloed hebben op de waarden van de afgeijkte Manningwaarden. Zo is het mogelijk dat bij het gebruik van de 'resistance radius' andere Manningwaarden worden gevonden dan bij het gebruik van de hydraulische straal. Het verschil tussen beide is bovendien afhankelijk van de geometrie van de sectie.

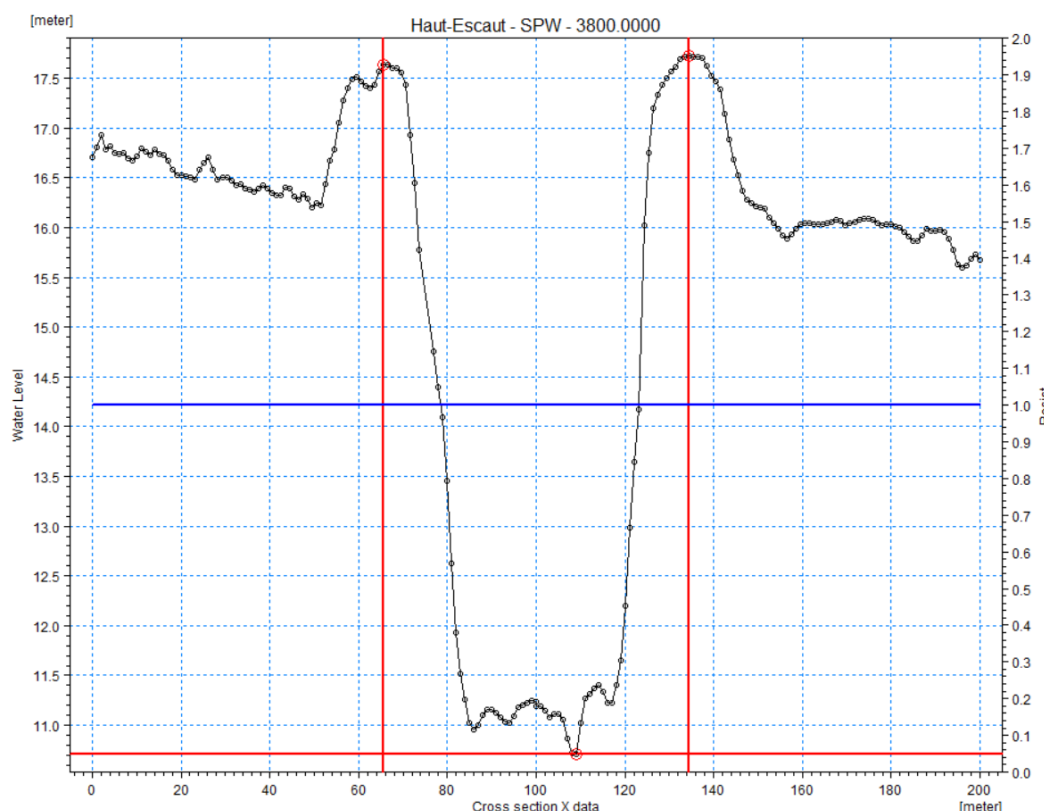
De hydraulische weerstand van de dwarssecties in het 1D model van de Haut-Escaut werd bepaald door kalibratie. De gekalibreerde waarden worden beschreven in paragraaf 5.1.

4.6.3 Het plaatsen van 'markers' en processed data

Een groot aantal van de gemeten dwarssecties hebben aan linker- en/of rechteroever delen van het maaiveld die lager gelegen zijn dan de maximale terreinhoogte aan het talud. Wanneer het waterpeil stijgt tot boven die lager gelegen delen maar onder de oeverwal blijft, zal het softwarepakket Mike11 onder normale omstandigheden toch water laten stromen over deze gebieden. Daarom werden alle dwarssecties voorzien van markers voor linker- en rechteroever. Op deze manier wordt tijdens de berekening enkel de geometrie van de sectie 'binnen' deze markers in rekening genomen. Een voorbeeld van de positie van deze markers wordt gegeven in Figuur 17 voor de Haut-Escaut met chainage 3800 meter.

Mike11 houdt inwendig enkel de zogenaamde 'verwerkte' gegevens bij van de dwarsdoorsneden (processed data). De geometrische gegevens die door de gebruiker worden ingegeven, de ruwe data, worden omgezet in grootheden die rechtstreeks bruikbaar zijn in het numerieke schema van het programma (natte oppervlakte, kombergingsbreedte, doorvoercapaciteit, ...). Bij het berekenen van de 'processed data' houdt Mike11 rekening met de positie van deze markers.

Figuur 17 – Voorbeeld van 'markers' voor linker- en rechtoever



Mike11 berekent de processed data voor elke dwarssectie voor een discreet aantal waterhoogtes. Tussen deze waterhoogtes worden de processed data bekomen via lineaire interpolatie. Voor de keuze van de waterhoogtes voorziet het programma in drie mogelijkheden:

- Automatisch: De waterhoogtes worden door Mike11 zelf geselecteerd. Als voor de hydraulische weerstand de 'resistance radius' wordt gebruikt, worden deze punten geselecteerd op basis van de variatie in kombergingsbreedte en bij gebruik van de hydraulische straal op basis van de variatie in de doorvoercapaciteit (conveyance). De dichtheid van de gekozen waterhoogtes wordt groter, naarmate de kombergingsbreedte of de doorvoercapaciteit sneller verandert.
- Equidistant: De waterhoogtes worden geselecteerd met gelijke tussenafstanden en dit tussen de minimale en maximale hoogte van de dwarssectie.
- Ingegeven door de gebruiker: Hierbij worden per sectie alle waterhoogtes handmatig ingegeven.

Bij de opmaak van de hydrodynamische modellen van het WL wordt standaard gebruik gemaakt van de tweede optie (equidistant).

4.7 Overstromingsgebieden

De overstromingsgebieden in de vallei van de Haut-Escaut werden niet in het model opgenomen. Omdat de kans op het voorkomen van fluviale overstromingen vanuit de Haut-Escaut vrij laag is (zie paragraaf 2.2.5), vormt dit geen ernstige beperking voor het gebruik van het model. Bij het doorrekenen van gebeurtenissen met een terugkeerperiode van 25 jaar of meer, bestaat wel de kans dat de waterstanden in het uiterste zuiden (tussen Maulde en Antoing) overschat zullen worden, door het ontbreken van de overstromingsgebieden in deze regio.

4.8 Hydraulische structuren

4.8.1 Algemeen

Om de kunstwerken te modelleren, werd gebruik gemaakt van volgende modelementen:

- 'Weirs'
- 'Control structures'

In de volgende paragrafen wordt elk van deze modelementen verder toegelicht.

4.8.2 Weirs

In Mike11 zijn er vier mogelijkheden om vaste overlaten (weirs) via modelementen voor te stellen:

- broad crested weir
- weir formula 1 (Villemonthe)
- weir formule 2 (Honma)
- special weir

Het modelement 'special weir' wordt enkel gebruikt als geen enkele van de drie andere formuleringen in staat is het Qh verband van de overlaat voor modulaire (of volkomen) stroming nauwkeurig te beschrijven. Dit kan enkel worden vastgesteld als dit Qh-verband via fysische laboratoriumproeven werd bepaald. Voor onderhavige studie was dit niet het geval.

De 'broad crested weir' (overlaat met brede drempel) wordt gebruikt als kan verondersteld worden dat de overlaat in de richting van de stroming lang genoeg is opdat de kritische waterhoogte zich zou kunnen instellen. De verliezen worden aangeduid met een intredeverliescoëfficiënt ζ_1 (gebruikt in geval van modulaire of volkomen stroming) en een uittredeverliescoëfficiënt ζ_2 (bijkomend gebruikt in geval van onvolkomen stroming).

Bij de 'weir formula 1' en 'weir formule 2' worden de verliezen (bij volkomen stroming) aangeduid met een debietscoëfficiënt C_d . Bij onvolkomen stroming zijn de verliezen functie van de opwaartse en afwaartse waterhoogte. Een dergelijke formulering stemt overeen met de 'klassieke' overlaatformules en leent zich eenvoudiger voor de voorstelling van overlaten in dunne wand.

Omdat de ladingsverliezen bij gebrek aan gegevens niet in detail gekend zijn, worden in deze studie de overlaten systematisch voorgesteld door middel van het modelement 'broad crested weir' waarbij voor de verliescoëfficiënten de standaardwaarden van 0,5 voor het intredeverlies en 1 voor het uittredeverlies worden behouden.

In het model van de Haut-Escaut werden de deuren van de sluizen in Kain en Hérinnes als overlaten gemodelleerd. De breedte van de overlaten werd gelijk gesteld aan de breedte van de sluizen. Aangezien het kruinpeil van de deuren niet bekend was, werd de hoogte van de overlaten voorlopig ingesteld op 50 mTAW. Er kan dus geen water over de sluisdeuren stromen.

In Tabel 7 wordt een overzicht gegeven van de in het hydrodynamische model aanwezige weir modelementen. Per weir worden volgende gegevens weergegeven:

- de positie van de structuur: naam van de waterloop en chainage
- een identificatie (ID)
- de drempelhoogte (mTAW)
- de drempelbreedte (m)

Tabel 7 – Overzicht van weirs

Waterloop	Chainage	ID	Drempelhoogte (mTAW)	Drempelbreedte (m)
Sluis-Kain	130	Kain_sluis_deur	50,00	14,00
Sluis-Hérinnes	130	Herinnes_sluis_deur	50,00	14,00

4.8.3 Control structures

Control structures worden gebruikt voor de modellering van kunstwerken met beweegbare onderdelen. Zowel structuren met onderstroming als overstorting (of een combinatie van beide) kunnen met dit modelement worden gemodelleerd.

De oude stuwen in Kain en Hérinnes werden gemodelleerd door middel van een 'sluice gate' (hefdeur) en een 'overflow structure' (regelklep). De nieuwe stuwen werden gemodelleerd door middel van 2 'overflow structures' (stuwkleppen). De drempelhoogte en de breedte zijn gebaseerd op de beschrijving in paragraaf 2.4. De minimale en maximale standen van de hefdeuren, regelkleppen en stuwkleppen waren niet bekend en werden geschat.

Alle andere kunstwerken (vispassages, lokstromen en turbines) werden weergegeven door een 'discharge control structure'. De nominale debieten werden overgenomen uit de beschrijving in paragraaf 2.4.

De schutverliezen van de sluizen werden geschat op basis van de afmetingen van de sluizen en het verval (beiden beschreven in paragraaf 2.4) en de trafiekgegevens (beschreven in paragraaf 3.3). Bij de berekening werd verondersteld dat elk schip afzonderlijk geschat wordt. In werkelijkheid worden kleinere schepen vaak samen geschat. Daar staat tegenover dat de pleziervaart niet opgenomen is in de statistieken. De berekende schutverliezen bedragen 1,3 m³/s voor de sluis van Kain en 1,4 m³/s voor de sluis van Hérinnes. Lekverliezen werden niet afzonderlijk begroot.

Het gedrag van elk kunstwerk wordt bepaald door een aantal sturingsregels. De stuwen bewegen op- en neer om het waterpeil opwaarts van de stuw zo dicht mogelijk in de buurt van het streefpeil te houden. De exacte sturingsregels waren niet bekend en werden vervangen door enkele zeer eenvoudige regels. Indien het waterpeil meer dan 5 cm afwijkt van het streefpeil, dan bewegen de stuwen 5 cm omhoog of omlaag. Indien de afwijking minder dan 5 cm bedraagt, dan blijven de stuwen in rust.

De vispassages, de lokstromen en de turbines worden in- of uitgeschakeld op basis van de toestand in de Haut-Escaut. Daarbij worden de prioriteitsregels beschreven in paragraaf 2.4 toegepast. De verschillende kunstwerken worden ingeschakeld zodra het debiet over de stuwen gedurende meer dan 10 minuten hoger is dan het nominale debiet van het kunstwerk. De kunstwerken worden uitgeschakeld wanneer het waterpeil opwaarts van de site onder een bepaalde drempel zakt.

In Tabel 8 en Tabel 9 worden voor elke control structure volgende gegevens weergegeven:

- de positie van de structuur: naam van de waterloop en chainage
- een identificatie (ID)
- het type: overflow (overstorting), underflow (onderstroming), sluice (hefdeur), radial gate (segmentklep) of discharge (debiet)
- de drempelbreedte en -hoogte of het debiet

De gedetailleerde sturingsregels worden beschreven in Bijlage A.

Tabel 8 – Overzicht van control structures (model historische toestand)

Waterloop	Chainage	ID	Type	Drempel-breedte (m)	Drempel-hoogte (mTAW)	Debiet (m³/s)
Haut-Escaut	16250	Kain_oudestuw_hef_deur	Sluice	18,00	10,50	-
Haut-Escaut	16250	Kain_oudestuw_wip_klep	Overflow	10,00	14,00	-
Haut-Escaut	27950	Herinnes_oudestuw_hef_deur	Sluice	18,00	8,81	-
Haut-Escaut	27950	Herinnes_oudestuw_wip_klep	Overflow	10,00	12,31	-
Sluis-Kain	130	Kain_sluis_verlies	Discharge	-	--	1,3
Sluis-Herinnes	130	Herinnes_sluis_verlies	Discharge	-	-	1,4

Tabel 9 – Overzicht van control structures (model toekomstige toestand)

Waterloop	Chainage	ID	Type	Drempel-breedte (m)	Drempel-hoogte (mTAW)	Debiet (m³/s)
Haut-Escaut	16250	Kain_stuw1_klep	Overflow	12,00	11,00	-
Haut-Escaut	16250	Kain_stuw2_klep	Overflow	12,00	11,00	-
Haut-Escaut	16250	Kain_vistrap1_schuif	Discharge	-	-	0,7
Haut-Escaut	16250	Kain_lokstroom1_schuif	Discharge	-	-	2,5
Haut-Escaut	27950	Herinnes_stuw1_klep	Overflow	12,00	9,12	-
Haut-Escaut	27950	Herinnes_stuw2_klep	Overflow	12,00	9,12	-
Haut-Escaut	27950	Herinnes_vistrap1_schuif	Discharge	-	-	0,7
Haut-Escaut	27950	Herinnes_lokstroom1_schuif	Discharge	-	-	2,5
Centrale-Kain	90	Kain_turbine1_schuif	Discharge	-	-	5,0
Centrale-Kain	90	Kain_turbine2_schuif	Discharge	-	-	5,0
Centrale-Kain	90	Kain_turbine3_schuif	Discharge	-	-	5,0
Centrale-Kain	90	Kain_vistrap2_schuif	Discharge	-	-	0,6
Centrale-Kain	90	Kain_lokstroom2_schuif	Discharge	-	-	2,5
Centrale-Herinnes	90	Herinnes_turbine1_schuif	Discharge	-	-	5,0
Centrale-Herinnes	90	Herinnes_turbine2_schuif	Discharge	-	-	5,0
Centrale-Herinnes	90	Herinnes_turbine3_schuif	Discharge	-	-	5,0
Centrale-Herinnes	90	Herinnes_vistrap2_schuif	Discharge	-	-	0,6
Centrale-Herinnes	90	Herinnes_lokstroom2_schuif	Discharge	-	-	2,5
Sluis-Kain	130	Kain_sluis_verlies	Discharge	-	-	1,3
Sluis-Herinnes	130	Herinnes_sluis_verlies	Discharge	-	-	1,4

4.9 Randvoorwaarden

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen opwaartse randvoorwaarden (inclusief de zijdelingse instroomdebieten) en afwaartse randvoorwaarden.

4.9.1 Opwaartse en zijdelingse randvoorwaarden

Aan de opwaartse en zijdelingse randen van het model worden debieten opgelegd. Indien beschikbaar wordt gebruik gemaakt van gemeten reeksen. Een aantal zijdelingse randen worden niet bemeten. Voor deze randen worden de debietreeksen berekend door middel van herschaling van debietreeksen van naburige bemeten deelstroomgebieden.

Uit een vergelijking van de debietreeksen van Maulde (DREAL) en Tournai (SPW-DGO2) bleek dat er geen grote verschillen waren tussen beide reeksen. De meetreeks van Tournai heeft wel minder ontbrekende perioden en minder schommelingen en uitschieters dan de meetreeks van Maulde. Daarom werd ervoor gekozen de meetreeks van Tournai op te leggen aan de opwaartse modelrand, aan de grens met Frankrijk. Tussen de grens en Tournai wordt geen zijdelingse instroming toegevoegd, aangezien die al vervat zit in de meetreeks van Tournai.

Uit een vergelijking van de meetreeksen van Tournai (SPW-DGO2) en Bossuit/Helkijn (HIC) bleek dat het debiet met ongeveer 25% toeneemt tussen beide meetlocaties. De zijdelingse instroming tussen Tournai en de afwaartse modelrand werd dan ook ingeschat als 25% van de meetreeks van Tournai. Omdat de zijdelingse instroming geschat werd door directe vergelijking van meetreeksen, was het ook niet langer nodig de oppervlakte van alle deelbekkens (waarvan een deel in Frankrijk gelegen is) exact te bepalen.

In Tabel 10 wordt een overzicht gegeven van de gebruikte metingen en de toegepaste herschalingen.

Tabel 10 – Herkomst van opwaartse randvoorwaarden

Deelbekken	Meting / herschaling	Meetpost
F06ESC000000	Meting	3282 (Tournai)
W06ESC000000	Herschaling	3282 (Tournai)

De gemeten of herschaalde debieten worden in Mike11 ingegeven als 'rainfall-runoff links' in het netwerk bestand. In Tabel 11 wordt een overzicht gegeven van de rainfall-runoff links.

Tabel 11 – Overzicht van rainfall runoff links

Deelbekken	Oppervlakte (km ²)	Waterloop	US Chainage	DS Chainage
F06ESC000000	4099	Haut-Escout	0	0
W06ESC000000	500	Haut-Escout	16300	29800

Mike11 heeft opwaartse randvoorwaarden nodig aan alle vrije opwaartse randen van het hydrodynamische model. Aangezien de meetreeks van Tournai reeds opgelegd wordt door middel van een rainfall runoff link in het netwerk bestand, werd in het randvoorwaarden bestand een constant debiet gelijk aan nul ingegeven. Tabel 12 geeft een overzicht van de opwaartse randvoorwaarden in het randvoorwaarden bestand.

Tabel 12 – Overzicht van opwaartse randvoorwaarden

Beschrijving	Type	Waterloop	Chainage	ID	Q (m ³ /s)
Open	Inflow	Haut-Escaut	0	Frankrijk	0

4.9.2 Afwaartse randvoorwaarden

Aan de afwaartse rand van het model worden gemeten waterstanden opgelegd. In het model van de historische toestand werd gebruik gemaakt van de meetreeks van de meetpost in Bossuit (HIC). In het model van de toekomstige toestand werd overgeschakeld op de meetreeks van de meetpost in Helkijn (HIC). Tabel 13 en Tabel 14 geven een overzicht van de afwaartse randvoorwaarden in beide modelversies.

Tabel 13 – Herkomst van afwaartse randvoorwaarden (model historische toestand)

Waterloop	Locatie	Meetpost
Bovenschelde	Bossuit	HIS_bos05a (Bossuit)

Tabel 14 – Herkomst van afwaartse randvoorwaarden (model toekomstige toestand)

Waterloop	Locatie	Meetpost
Bovenschelde	Helkijn	bos05m (Helkijn)

De afwaartse randvoorwaarden worden in Mike11 ingegeven als een tijdreeks in het randvoorwaarden bestand. Tabel 15 en Tabel 16 geven een overzicht van de afwaartse randvoorwaarden in het randvoorwaarden bestand van beide modelversies.

Tabel 15 – Overzicht van afwaartse randvoorwaarden (model historische toestand)

Beschrijving	Type	Waterloop	Chainage	ID	H
Open	Water Level	Haut-Escaut	31700	Bossuit	Time Series

Tabel 16 – Overzicht van afwaartse randvoorwaarden (model toekomstige toestand)

Beschrijving	Type	Waterloop	Chainage	ID	H
Open	Water Level	Haut-Escaut	29900	Helkijn	Time Series

5 Kalibratie en validatie

5.1 Werkwijze

In het bestaande model van Leie en Bovenschelde in Vlaanderen werd de hydraulische ruwheid van de Bovenschelde tussen de debietmeter in Bossuit en de stuw van Kerkhove door kalibratie bepaald. Aangezien de Haut-Escaut in Wallonië kenmerken heeft die vergelijkbaar zijn met die van de Bovenschelde in Vlaanderen, kan men verwachten dat de ruwheid vergelijkbaar is.

Voor de kalibratie van de ruwheid van een gestuwde waterloop zijn vooral de waterstanden aan het opwaartse einde van elk pand geschikt. Voor het opwaartse pand van de Haut-Escaut zijn dat de metingen in Maulde (DREAL) en voor het afwaartse pand de metingen afwaarts van de stuw van Kain (SPW-DGO2).

De waterstanden op- en afwaarts van de stuw van Kain zijn beschikbaar tot begin 2018. De metingen bestaan uit relatieve metingen t.o.v. een lokaal referentiepeil. De referentiepeilen opgegeven door de beheerder van de data (SETHY) bedragen 14,0 mTAW voor de metingen opwaarts van de stuw en 12,45 mTAW voor de metingen afwaarts van de stuw. Na omrekening liggen de absolute waterpeilen dicht bij het streefpeil, zoals verwacht.

De waterstanden in Maulde zijn enkel beschikbaar voor de jaren 2010 en 2011. De metingen bestaan eveneens uit relatieve metingen t.o.v. een lokaal referentiepeil. Volgens de informatiefiche van het station bedraagt het referentiepeil 14,5 mIGN69, d.w.z. 16,15 mTAW. Het gebruik van deze waarde leidt tot absolute waterpeilen die ver boven het streefpeil van 15,0 mTAW gelegen zijn. Het naburige station op de Scarpe in Mortagne-du-Nord is in hetzelfde pand gelegen. Voor dit station wordt een referentiepeil van 13,29 mIGN69 of 14,94 mTAW opgegeven. Deze waarde is wel realistisch. Aangezien de meetposten van DREAL meestal het streefpeil als referentiepeil gebruiken en het streefpeil bij de meetposten op de Haut-Escaut in Maulde en de Scarpe in Mortagne-du-Nord hetzelfde is, werd het referentiepeil van de meetpost op de Scarpe ook toegepast op de meetpost op de Haut-Escaut.

Omwille van de beperkte duur van de meetreeks van Maulde, de onzekerheid met betrekking tot het referentiepeil en het vereenvoudigde karakter van de modellering, werd geen uitgebreide kalibratie doorgevoerd. De ruwheid van de Bovenschelde in Vlaanderen werd opgelegd aan de Haut-Escaut in Wallonië en daarna werden met deze ruwheid een aantal validatieberekeningen uitgevoerd.

De validatieberekeningen werden uitgevoerd met het model van de historische toestand. Daarna werden ook nog enkele stabiliteitstesten uitgevoerd met het model van de toekomstige toestand.

5.2 Kalibratie

5.2.1 Perioden

De perioden die gebruikt werden voor de kalibratie van het model van de Bovenschelde in Vlaanderen worden weergegeven in Tabel 17.

Tabel 17 – Overzicht kalibratieperioden (Vlaanderen)

Naam	Type	Begin	Einde
Januari 2003	Was	20/12/2002 02:00	10/01/2003 02:00
November 2010	Was	05/11/2010 00:00	30/11/2010 00:00

5.2.2 Resultaten

De vroeger uitgevoerde kalibraties leidden tot de Manning-ruwheidscoëfficiënten vermeld in Tabel 18.

Tabel 18 – Overzicht gekalibreerde ruwheid (Vlaanderen)

Waterloop	US Chainage	DS Chainage	Ruwheid (Manning)
Bovenschelde	5024	13639	0,025

5.3 Validatie

5.3.1 Perioden

De perioden die gebruikt werden voor de validatie van het model van de Haut-Escaut in Wallonië worden weergegeven in Tabel 19.

Tabel 19 – Overzicht validatieperioden (Wallonië)

Naam	Type	Begin	Einde
Augustus 2010	Kleine was	01/08/2010 00:00	25/08/2010 00:00
November 2010	Grote was	01/11/2010 00:00	25/11/2010 00:00
Januari 2011	Gemiddelde was	01/01/2011 00:00	25/01/2011 00:00

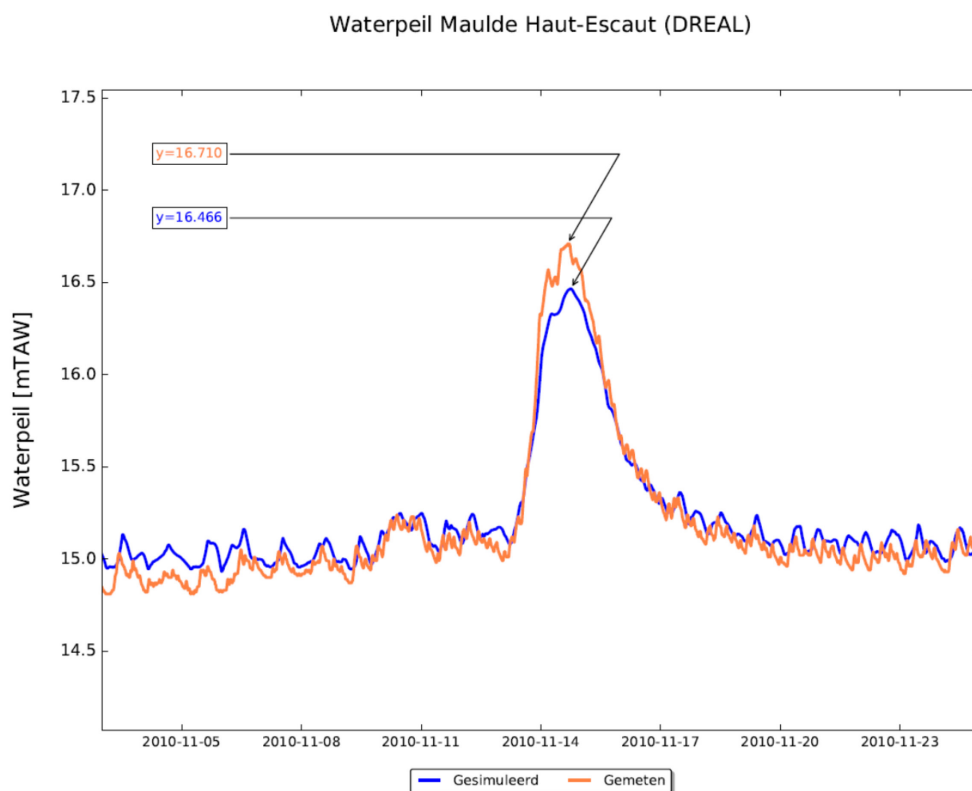
Tijdens de wassen van augustus 2010, november 2010 en januari 2011 bedroeg de uurgemiddelde piekafvoer in Tournai respectievelijk 110, 167 en 146 m³/s en de 15-minutelijkse piekafvoer in Bossuit/Helkijn respectievelijk 130, 220 en 184 m³/s. Op basis van de statistische analyse voor Bossuit/Helkijn, gepubliceerd op waterinfo.be, hadden deze gebeurtenissen een terugkeerperiode van respectievelijk ongeveer 1 jaar, 4 jaar en 2 jaar.

5.3.2 Resultaten

De modelresultaten werden geëvalueerd door de berekende waterstanden te vergelijken met de gemeten waterstanden in Maulde en Kain (op- en afwaarts van de stuw). Als bijkomende controle werden de berekende debieten ook nog vergeleken met de gemeten debieten in Maulde, Tournai en Bossuit.

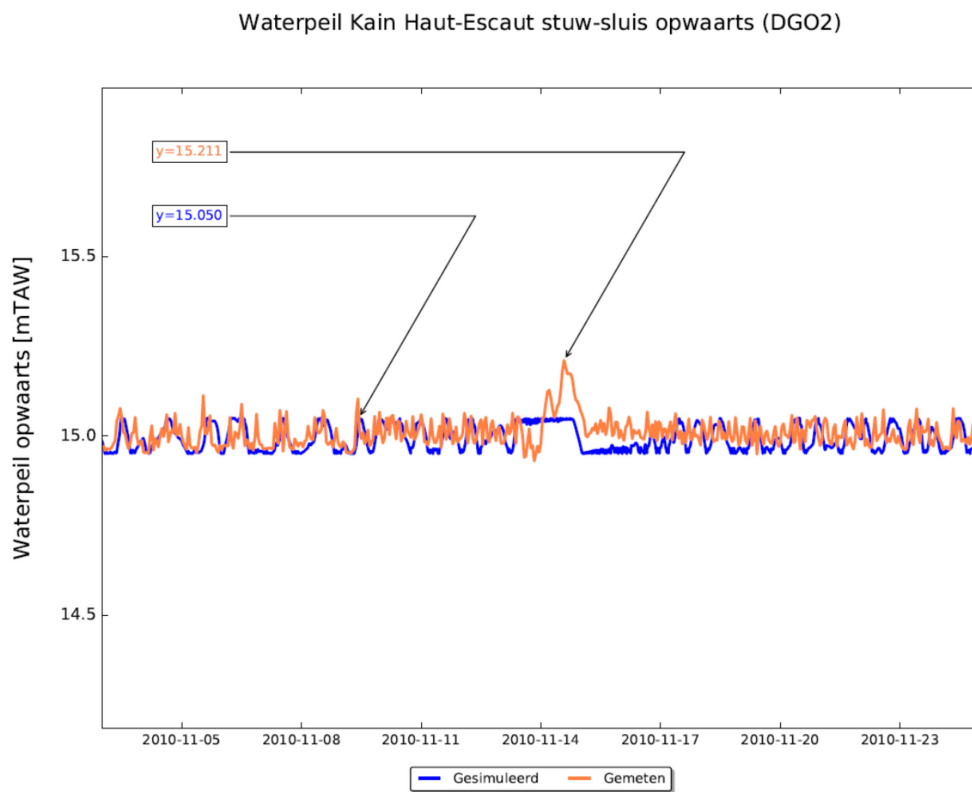
Bij wijze van voorbeeld worden in Figuur 18 t.e.m. Figuur 20 de grafieken met de waterstanden voor de grootste was (november 2010) getoond. De volledige set grafieken is opgenomen in Bijlage B. De lengteprofielen met de maximale waterstanden langsheen de Haut-Escaut zijn beschikbaar in Bijlage C.

Figuur 18 – Waterstand te Maulde in november 2010

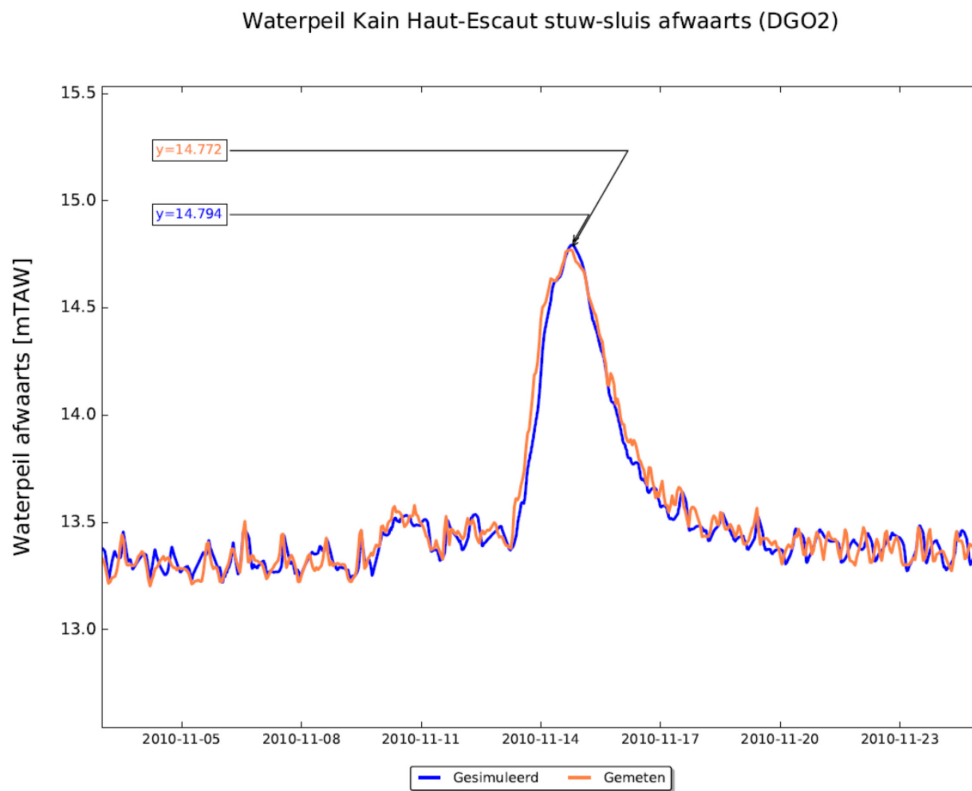


De waterstand in Maulde wordt bij alle gebeurtenissen onderschat. De onderschatting varieert van een 5-tal cm voor de was van augustus 2010 tot 20 cm voor de was van november 2010. De onderschatting zou het gevolg kunnen zijn van een onderschatting van de ruwheid, maar ook van andere factoren zoals de onzekerheid m.b.t. het referentiepeil, het ontbreken van de bruggen in het model, een onderschatting van de waterstand opwaarts van de stuw van Kain of wijzigingen in de bathymetrie tussen 2010 en 2019. Omwille van het beperkte belang van het pand opwaarts van Kain voor de studie van de Bovenschelde in Vlaanderen, werden geen pogingen ondernomen om de modelresultaten te verfijnen.

Figuur 19 – Waterstand te Kain (opwaarts stuw) in november 2010



Figuur 20 – Waterstand te Kain (afwaarts stuw) in november 2010



De gemodelleerde waterstand opwaarts van de stuw van Kain blijft altijd binnen de toegelaten variatie t.o.v. het streefpeil. Voor de was van augustus 2010 geldt dat ook voor de metingen. De metingen voor de was van januari 2011 vertonen een kortstondige stijging met 5 cm en die voor de was van november 2010 een kortstondige stijging met 15 cm. Dit wijst erop dat het gedrag van de oude stuw in het model niet helemaal overeenstemt met de werkelijkheid. In het model opent de stuw te snel en/of te ver. Aangezien de stuw inmiddels reeds afgebroken is, is het weinig zinvol deze afwijkingen verder te onderzoeken.

De gemodelleerde waterstand afwaarts van de stuw van Kain stemt zeer goed overeen met de metingen voor de wassen van november 2010 en januari 2011. In de meetreeks voor de was van augustus 2010 ontbreken helaas een aantal metingen tijdens de piek van de was, zodat de nauwkeurigheid van het model voor deze was niet met zekerheid vastgesteld kan worden.

Aan de opwaartse modelrand, nabij Maulde, werd de debietreeks van Tournai opgelegd. Ter controle werden de opgelegde debieten vergeleken met de meetreeks van Maulde. Voor alle onderzochte wassen is het opgelegde debiet iets hoger dan het gemeten debiet. Het verschil is afkomstig van de zeer beperkte zijdelingse instroming tussen Maulde en Tournai.

De gemodelleerde debieten in Tournai stemmen zeer goed overeen met de gemeten debieten. Dit is uiteraard gewoon het gevolg van het feit dat de debietreeks van Tournai opgelegd werd als opwaartse randvoorwaarde.

De gemodelleerde debieten in Bossuit zijn 5 tot 10 m³/s hoger dan de gemeten debieten. Dit betekent dat de zijdelingse instroming tussen Tournai en Bossuit licht overschat werd. De schommelingen in de berekende debieten worden veroorzaakt door schommelingen in het opgelegde waterpeil aan de afwaartse modelrand.

5.4 Numerieke stabiliteit

Het model van de toekomstige toestand werd niet gebruikt bij de kalibratie en validatie. Om de numerieke stabiliteit van dit model te evalueren werd het onderworpen aan een reeks testsimulaties met hoge en lage afvoeren.

5.4.1 Hoge afvoeren

Het model werd doorgerekend met de 3 wassen die ook gebruikt werden bij de validatie. Ter aanvulling werd ook nog de was van maart 2019 (met een piekafvoer van 114 m³/s in Tournai) doorgerekend. Alle gebeurtenissen konden doorgerekend worden met een tijdstap van 2 minuten.

Aangezien het model van de Haut-Escaut in Wallonië bedoeld is als uitbreiding van het bestaande model van de Bovenschelde in Vlaanderen en dit laatste gebruik maakt van een tijdstap van 2 minuten, werden geen pogingen ondernomen om de tijdstap nog verder te verhogen.

5.4.2 Lage afvoeren

Het model werd doorgerekend met een nuldebiet als opwaartse randvoorwaarde en een constant peil van 11,46 mTAW (= streefpeil pand Hérinnes-Kerkhove) als afwaartse randvoorwaarde. Deze gesimuleerde droogteperiode die ongeveer drie weken aanhield, kon eveneens doorgerekend worden met een tijdstap van 2 minuten.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Er werd een sterk vereenvoudigd 1D hydrodynamisch model van de Haut-Escaut in Wallonië opgebouwd. Van dit model werden twee versies gemaakt. De eerste versie geeft de historische toestand (voor de vernieuwing van de sites van Kain en Hérinnes) weer. De tweede versie geeft de toekomstige toestand (na afronding van de vernieuwing van de sites van Kain en Hérinnes) weer.

Het model van de historische toestand werd gevalideerd aan de hand van historische wassen en geeft het gedrag van de Haut-Escaut vrij goed weer. De resultaten voor het afwaartse pand (van Kain tot Hérinnes) zijn betrouwbaarder dan die voor het opwaartse pand (vanaf de grens met Frankrijk tot Kain).

Het model van de toekomstige toestand kon nog niet gevalideerd worden, aangezien de werken in Hérinnes nog in uitvoering zijn en pas in de loop van 2021 afgerond zullen worden.

Het nieuwe model voor de Haut-Escaut in Wallonië vormt een op zichzelf staand geheel. Het werd opgebouwd met dezelfde software en modelleringstechniek als het bestaande model voor de Bovenschelde in Vlaanderen. Hierdoor kunnen beide modellen achteraf op eenvoudige wijze samengevoegd worden.

6.2 Aanbevelingen

De modellen bevatten enkel de hoofdwaterloop en de belangrijkste kunstwerken. Ze zijn dus enkel geschikt voor het bestuderen van het globale gedrag van de Haut-Escaut tijdens gebeurtenissen die geen overstromingen veroorzaken. Kleinere kunstwerken (bv. bruggen) werden niet in de modellen opgenomen. Ze zijn dus niet geschikt voor de gedetailleerde evaluatie van lokale ingrepen.

Het model van de toekomstige toestand bevat vele nieuwe kunstwerken, waarvan de precieze sturingsregels (nog) niet bekend waren. Van zodra alle werkzaamheden afgerond zijn, zou dit model geactualiseerd moeten worden op basis van de werkelijke sturingsregels. Daarna zou het gevalideerd moeten worden d.m.v. een aantal recente gebeurtenissen.

7 Referenties

Schenke, C. (2014). Relief de la Wallonie - Modèle Numérique de Terrain (MNT) 2013-2014. Service Public de Wallonie, Secrétariat Général, Département de la Géomatique, Direction de la Géométrologie.

CREL (2014). Protocole d'accord 2014-2016. Contrat de Rivière Escaut-Lys.

CREL (2017). Protocole d'accord 2017-2019. Contrat de Rivière Escaut-Lys.

CREL (2020). Protocole d'accord 2020-2022. Contrat de Rivière Escaut-Lys.

DHI (2017). MIKE11. A modelling system for rivers and channels. Reference manual. Danish Hydraulic Institute.

ESRI (2015). ArcGIS 10.3.1 for desktop. Environmental Systems Research Institute.

GW (2016). Arrêté du Gouvernement Wallon adoptant les plans de gestion des risques d'inondation en ce compris les cartographies des zones soumises à l'aléa d'inondation et du risque de dommages dus aux inondations (M.B. 21.03.2016).

MRW (2003-2008). Statistiques de navigation en Wallonie - rapport annuel. Ministère de la Région Wallonne, Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies Hydrauliques.

SPW (2009-2019). Transport fluvial de marchandises en Wallonie - Rapport Statistique. Service Public de Wallonie, Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies Hydrauliques.

Bijlage A Sturingsregels

Model historische toestand

Kain_oudestuw_hef_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	H Haut-Escout 16100 > 15.05 EN GL Kain_oudestuw_wip_klep = 14.00	= 10.55
2	H Haut-Escout 16100 > 15.05 EN GL Kain_oudestuw_wip_klep > 14.00	↑ 0.05
3	H Haut-Escout 16100 < 14.95 EN Kain_oudestuw_hef_schuif > 10.50	↓ 0.05
4	Alle andere gevallen	=

Kain_oudestuw_wip_klep

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	GL Kain_oudestuw_hef_schuif > 10.50	GL Kain_oudestuw_hef_schuif + 3.50
2	H Haut-Escout 16100 > 15.05 EN GL Kain_oudestuw_hef_schuif = 10.50	↓ 0.05
3	H Haut-Escout 16100 < 14.95 EN GL Kain_oudestuw_hef_schuif = 10.50	↑ 0.05
4	Alle andere gevallen	=

Kain_sluis_verlies

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	Alle gevallen	= 1.3

Herinnes_oudestuw_hef_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	H Haut-Escout 27800 > 13.35 EN GL Herinnes_oudestuw_wip_klep = 12.31	= 8.86
2	H Haut-Escout 27800 > 13.35 EN GL Herinnes_oudestuw_hef_schuif > 8.81	↑ 0.05
3	H Haut-Escout 27800 < 13.25 EN GL Herinnes_oudestuw_hef_schuif > 8.81	↓ 0.05
4	Alle andere gevallen	=

Herinnes_oudestuw_wip_klep

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	GL Herinnes_oudestuw_hef_schuif > 8.81	Herinnes_oudestuw_hef_schuif + 3.50
2	H Haut-Escout 27800 > 13.35 EN GL Herinnes_oudestuw_hef_schuif = 8.81	↓ 0.05
3	H Haut-Escout 27800 < 13.25 EN GL Herinnes_oudestuw_hef_schuif = 8.81	↑ 0.05
4	Alle andere gevallen	=

Herinnes_sluis_verlies

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	Alle gevallen	= 1.4

Model toekomstige toestand

Kain_stuw1_klep

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	H Haut-Escaut 16100 > 15.05	↓ 0.05
2	H Haut-Escaut 16100 < 14.95	↑ 0.05
3	Alle andere gevallen	=

Kain_stuw2_klep

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	H Haut-Escaut 16100 > 15.05	↓ 0.05
2	H Haut-Escaut 16100 < 14.95	↑ 0.05
3	Alle andere gevallen	=

Kain_sluis_verlies

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	Alle gevallen	= 1.3

Kain_vistrap1_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10}$ Haut-Escout 16100 < 14.80	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum Kain_stuwi_klep > 0.7$	= 0.7
3	Alle andere gevallen	=

Kain_lokstroom1_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10}$ Haut-Escout 16100 < 14.82	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum Kain_stuwi_klep > 2.5$	= 2.5
3	Alle andere gevallen	=

Kain_vistrap2_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10}$ Haut-Escout 16100 < 14.84	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum Kain_stuwi_klep > 0.6$	= 0.6
3	Alle andere gevallen	=

Kain_lokstroom2_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10}$ Haut-Escout 16100 < 14.86	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum Kain_stuwi_klep > 2.5$	= 2.5
3	Alle andere gevallen	=

Kain_turbine1_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10}$ Haut-Escaut 16100 < 14.88	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum Kain_stuwi_klep > 5$	= 5
3	Alle andere gevallen	=

Kain_turbine2_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10}$ Haut-Escaut 16100 < 14.90	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum Kain_stuwi_klep > 5$	= 5
3	Alle andere gevallen	=

Kain_turbine3_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10}$ Haut-Escaut 16100 < 14.92	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum Kain_stuwi_klep > 5$	= 5
3	Alle andere gevallen	=

Herinnes_stuw1_klep

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	H Haut-Escout 27800 > 13.45	↓ 0.05
2	H Haut-Escout 27800 < 13.35	↑ 0.05
3	Alle andere gevallen	=

Herinnes_stuw2_klep

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	H Haut-Escout 27800 > 13.45	↓ 0.05
2	H Haut-Escout 27800 < 13.35	↑ 0.05
3	Alle andere gevallen	=

Herinnes_sluis_verlies

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	Alle gevallen	= 1.4

Herinnes_vistrap1_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10}$ Haut-Escout 27800 < 13.20	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum \text{Herinnes_stuwi_klep} > 0.7$	= 0.7
3	Alle andere gevallen	=

Herinnes_lokstroom1_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10}$ Haut-Escout 27800 < 13.22	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum \text{Herinnes_stuwi_klep} > 2.5$	= 2.5
3	Alle andere gevallen	=

Herinnes_vistrap2_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10}$ Haut-Escout 27800 < 13.24	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum \text{Herinnes_stuwi_klep} > 0.6$	= 0.6
3	Alle andere gevallen	=

Herinnes_lokstroom2_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10}$ Haut-Escout 27800 < 13.26	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum \text{Herinnes_stuwi_klep} > 2.5$	= 2.5
3	Alle andere gevallen	=

Herinnes_turbine1_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10} \text{ Haut-Escaut } 27800 < 13.28$	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum \text{Herinnes_stuwi_klep} > 5$	= 5
3	Alle andere gevallen	=

Herinnes_turbine2_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10} \text{ Haut-Escaut } 27800 < 13.30$	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum \text{Herinnes_stuwi_klep} > 5$	= 5
3	Alle andere gevallen	=

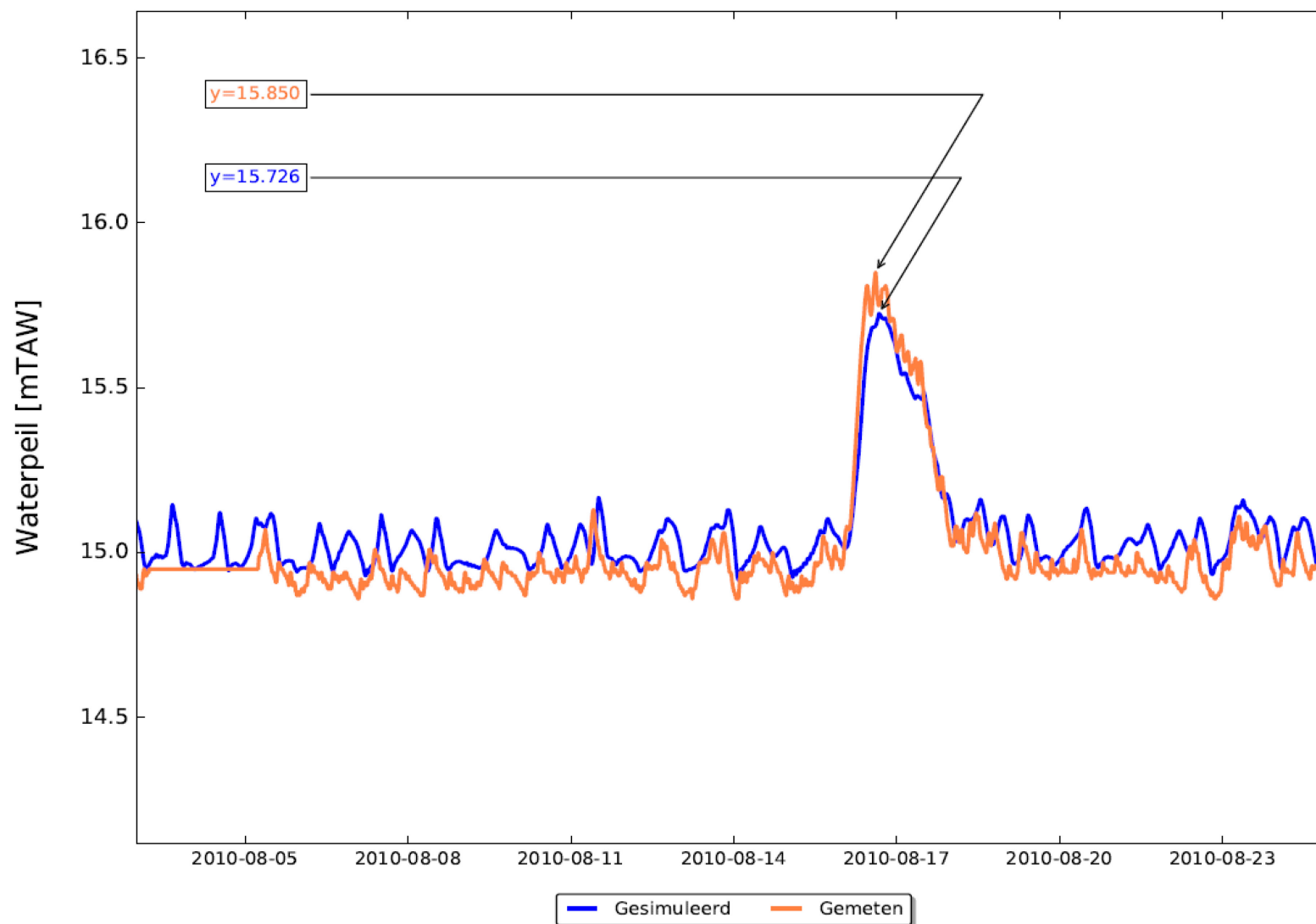
Herinnes_turbine3_schuif

Controle definitie	Voorwaarde	Controle strategie
1	$H_{\max,10} \text{ Haut-Escaut } 27800 < 13.32$	= 0
2	$Q_{\min,10} \sum \text{Herinnes_stuwi_klep} > 5$	= 5
3	Alle andere gevallen	=

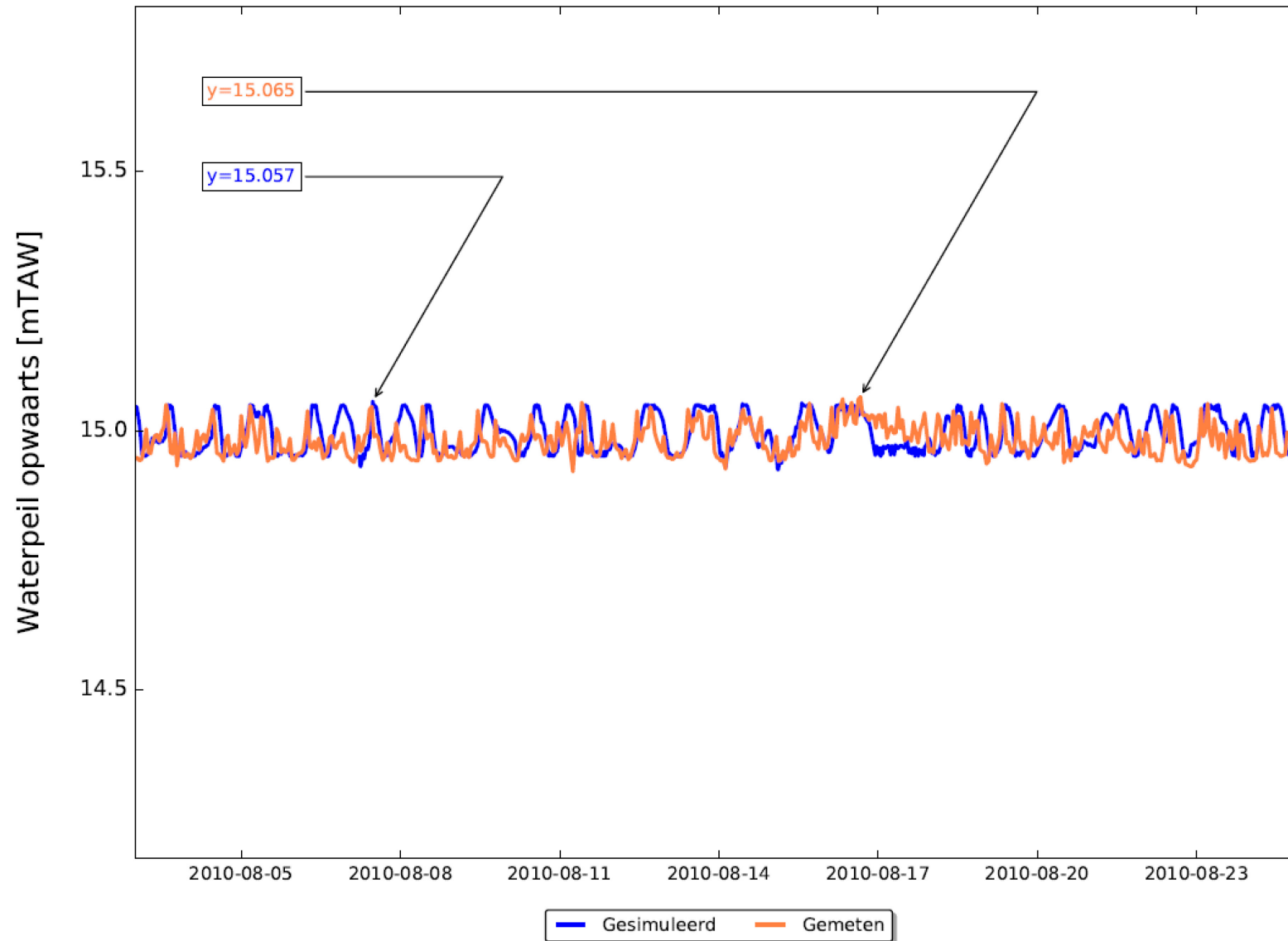
Bijlage B Grafieken kalibratie en validatie

Augustus 2010

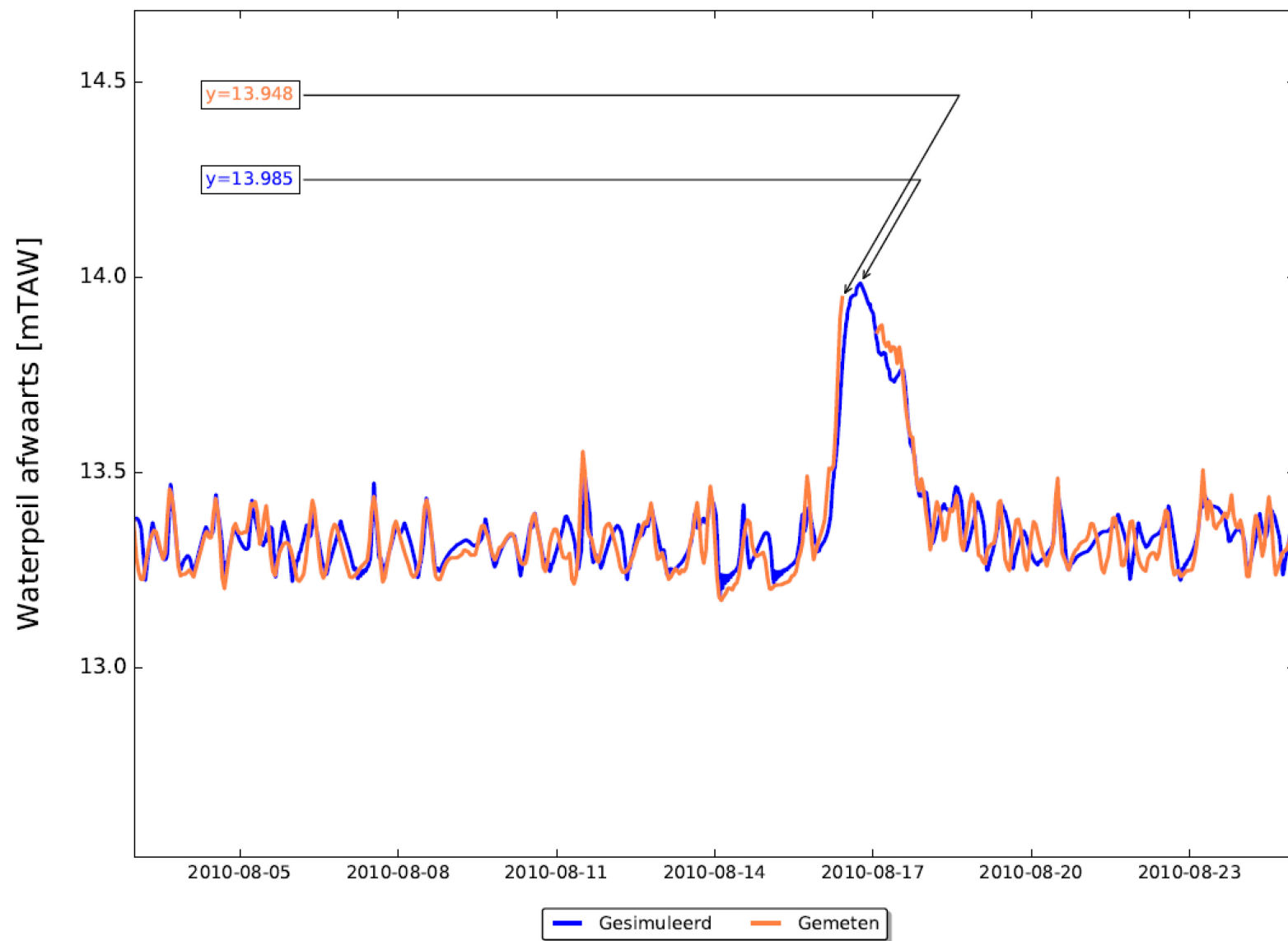
Waterpeil Maulde Haut-Escaut (DREAL)



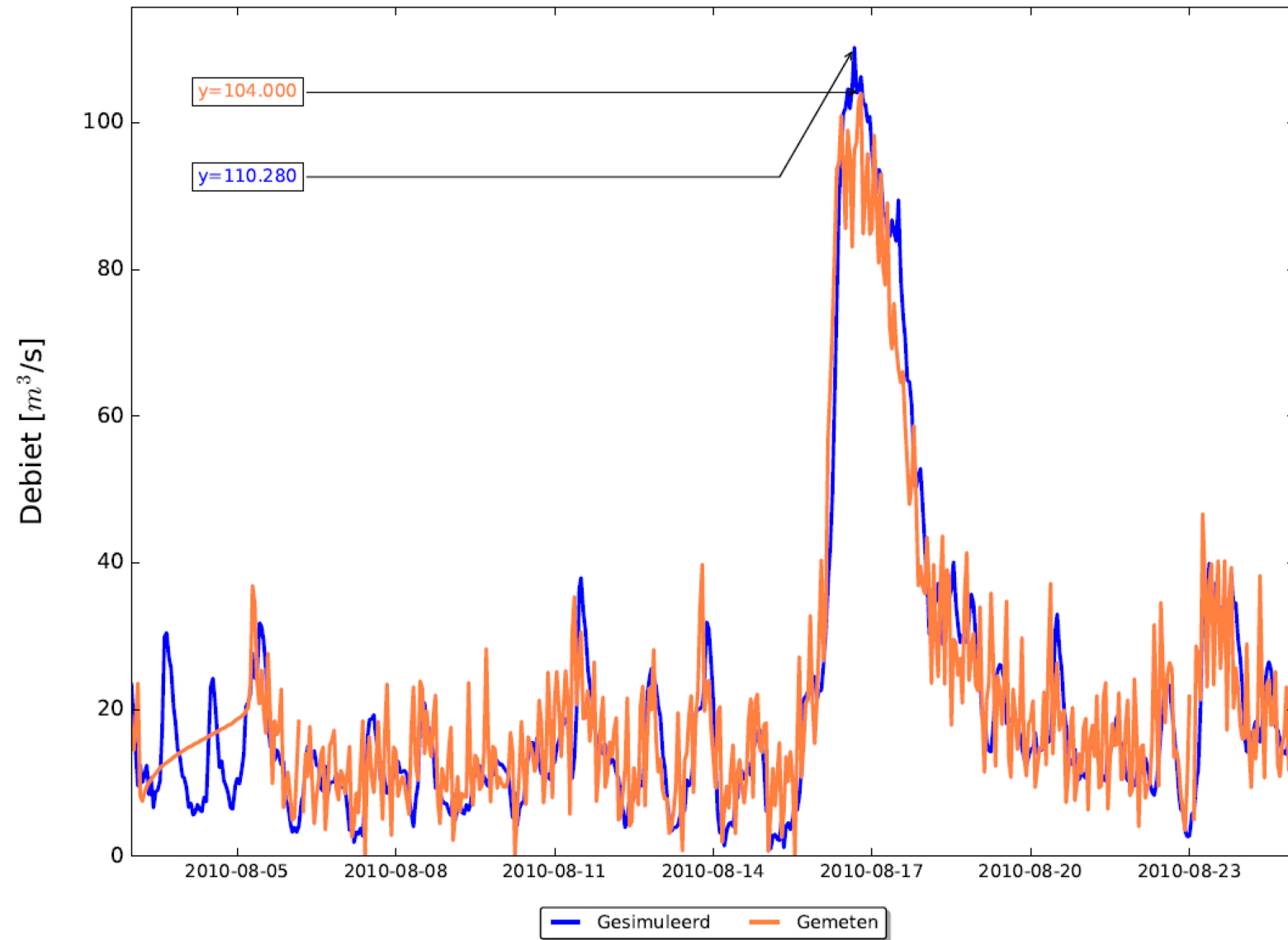
Waterpeil Kain Haut-Escaut stuw-sluis opwaarts (DGO2)



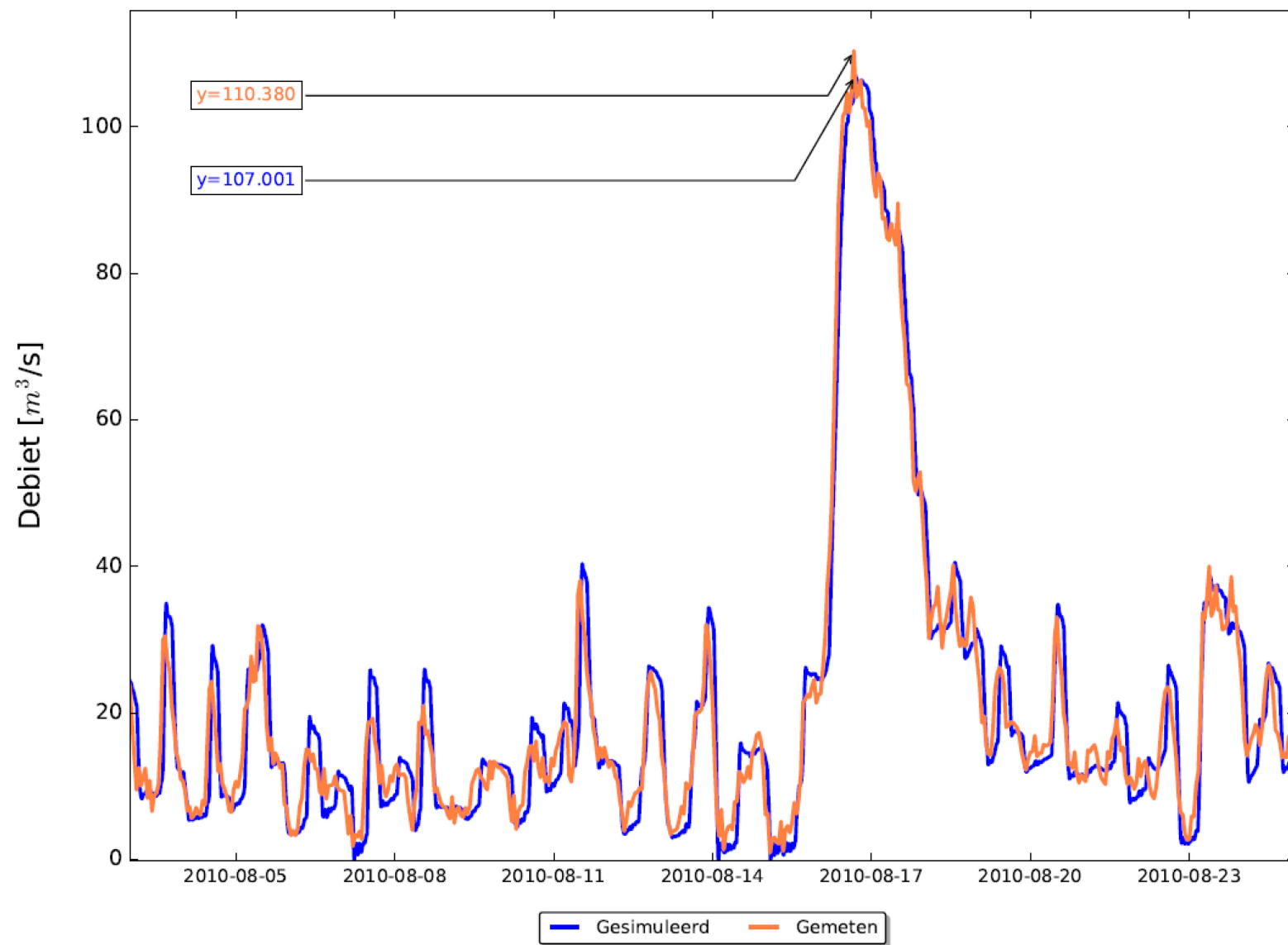
Waterpeil Kain Haut-Escaut stuw-sluis afwaarts (DGO2)



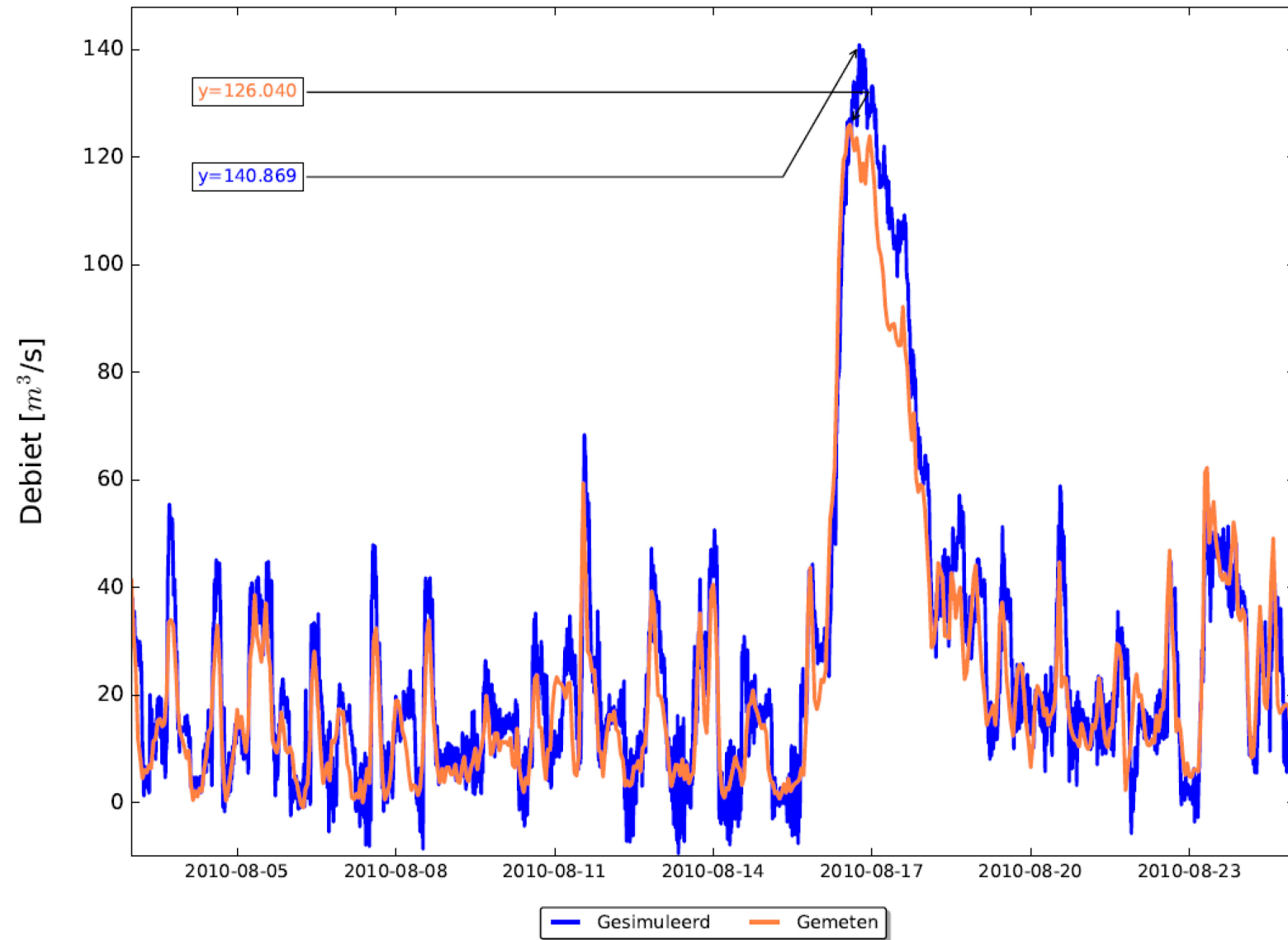
Debiet Maulde Haut-Escout (DREAL)



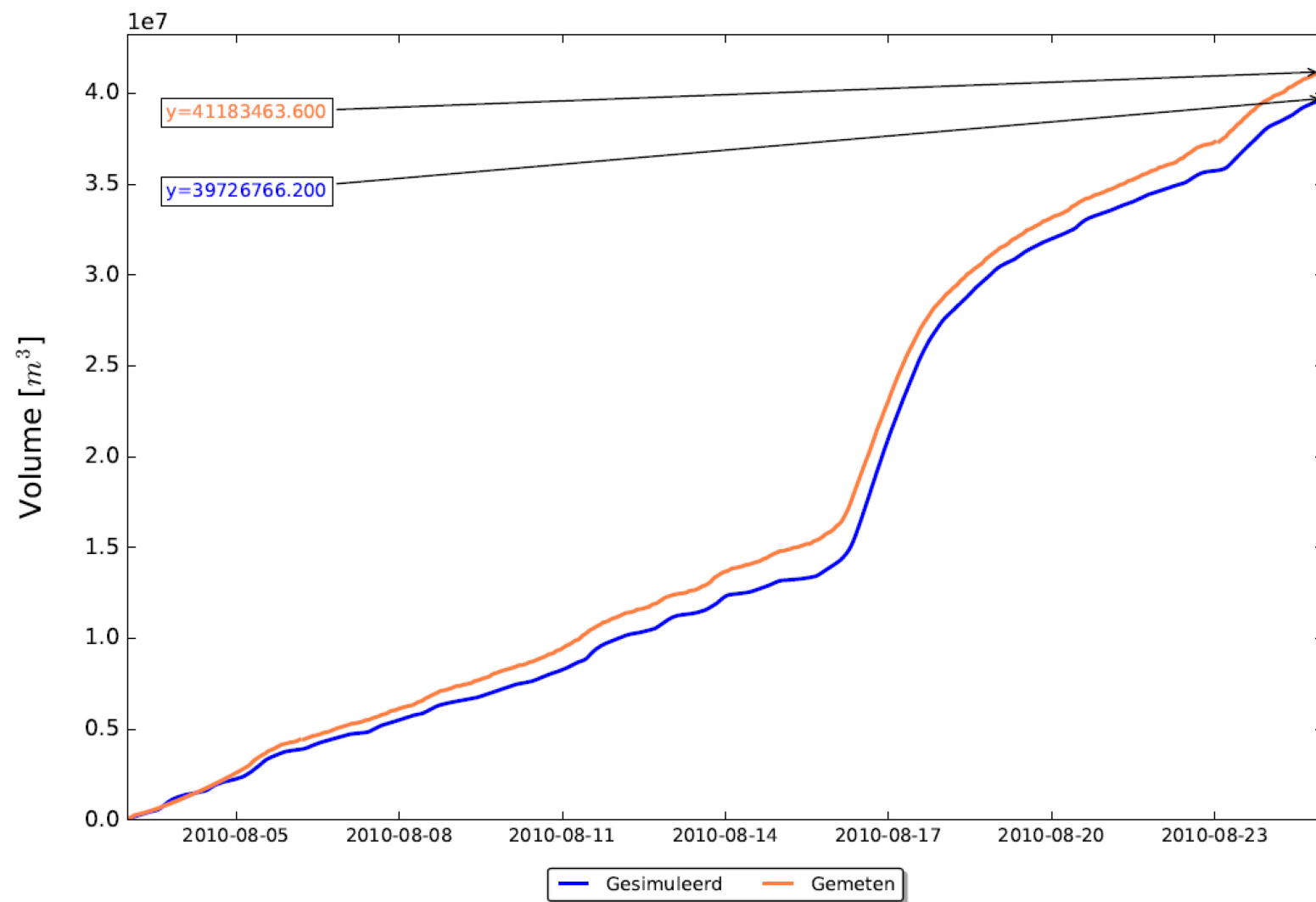
Debiet Tournai Haut-Escaut (DGO2)



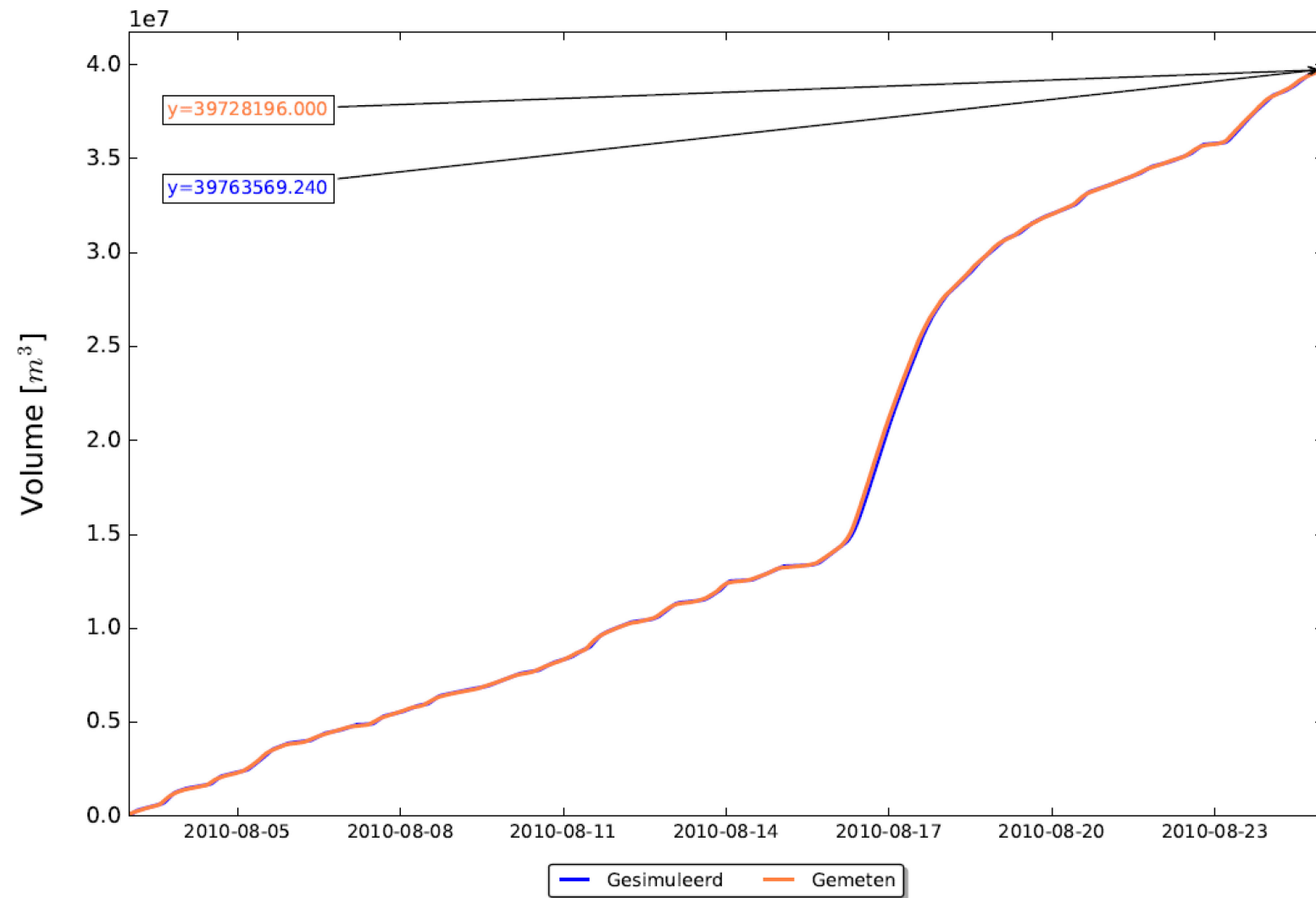
Debiet Bossuit Bovenschelde (HIC)



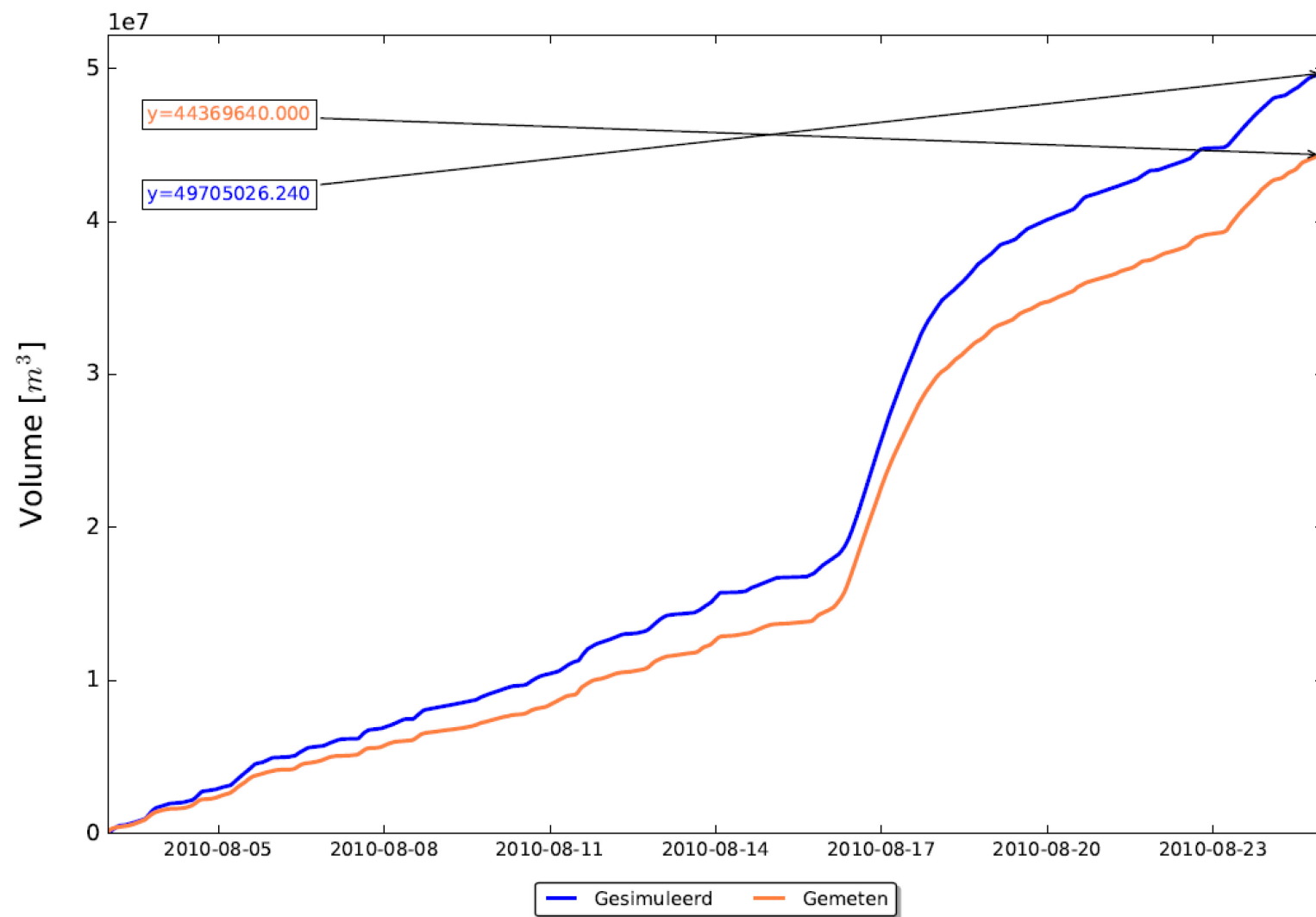
Volume Maulde Haut-Escout (DREAL)



Volume Tournai Haut-Escout (DGO2)

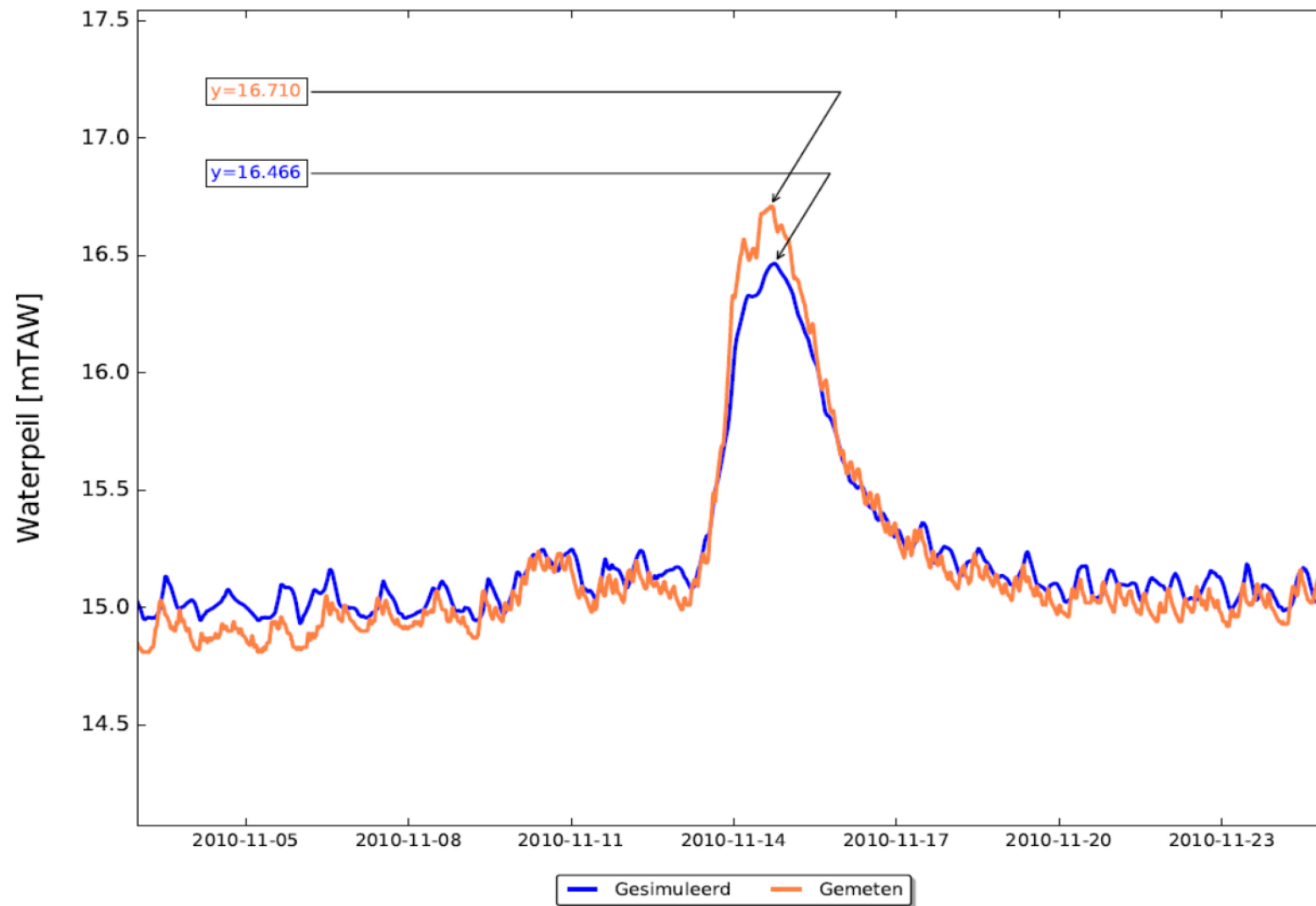


Volume Bossuit Bovenschelde (HIC)

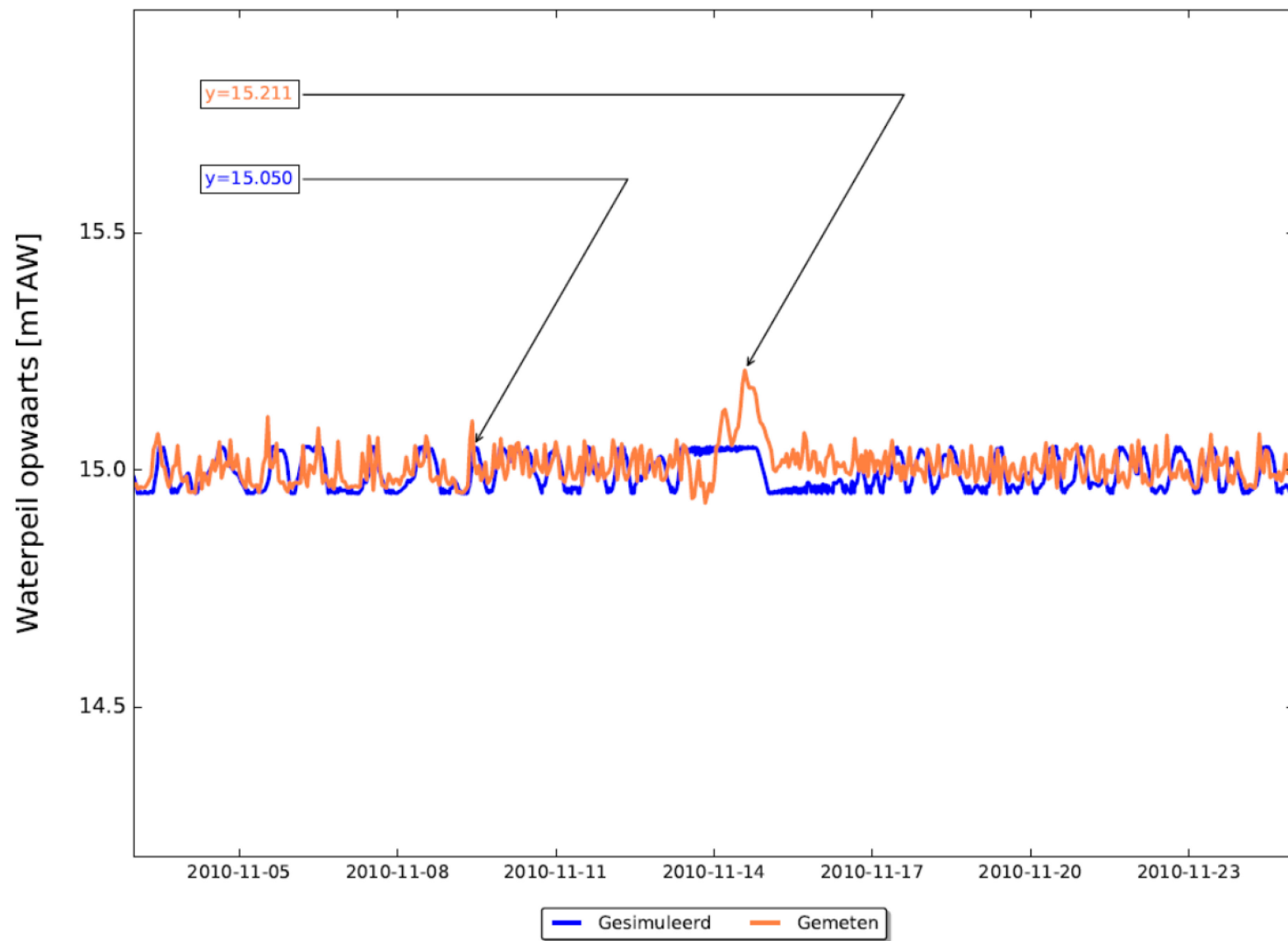


November 2010

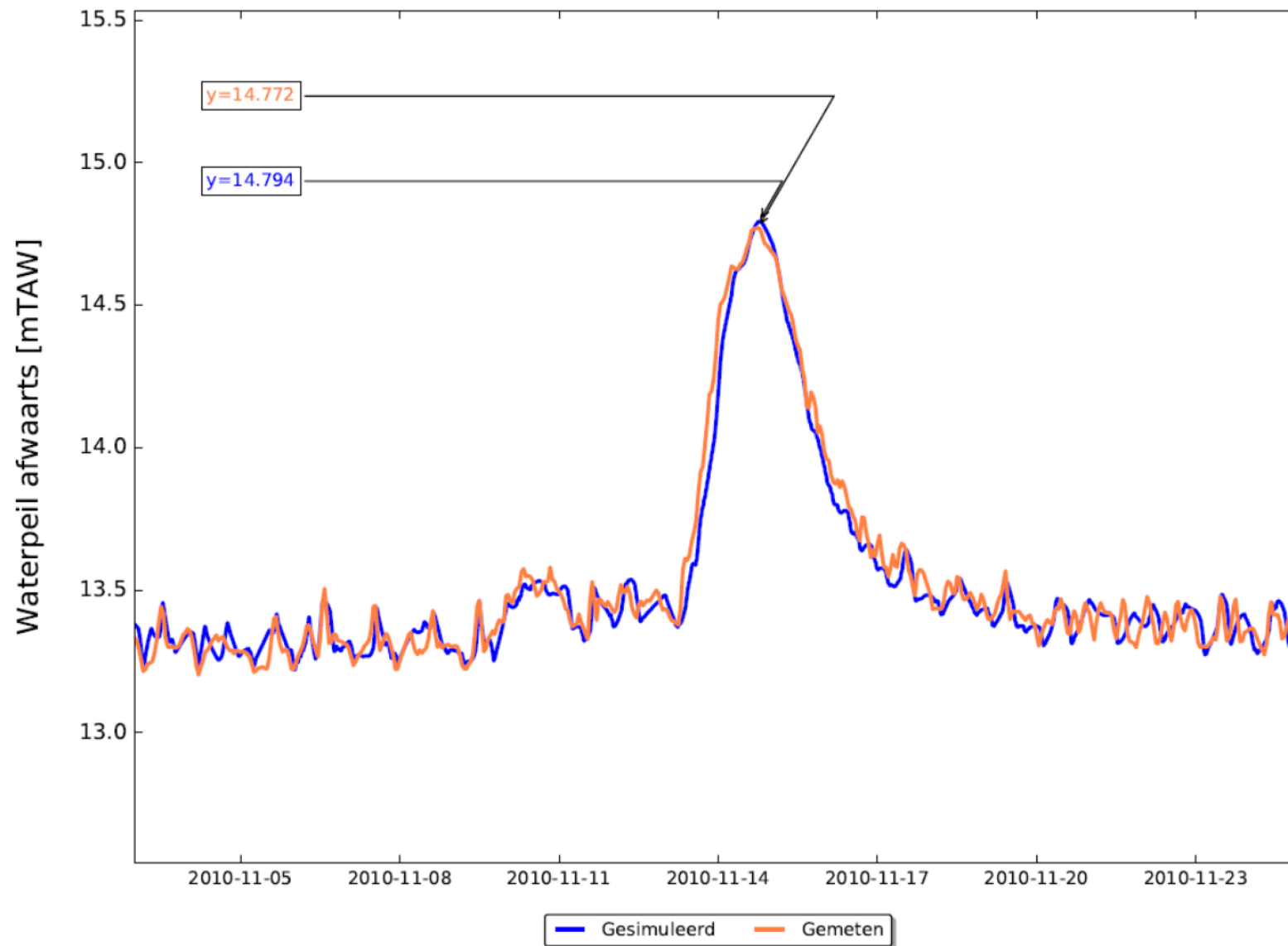
Waterpeil Maulde Haut-Escaut (DREAL)



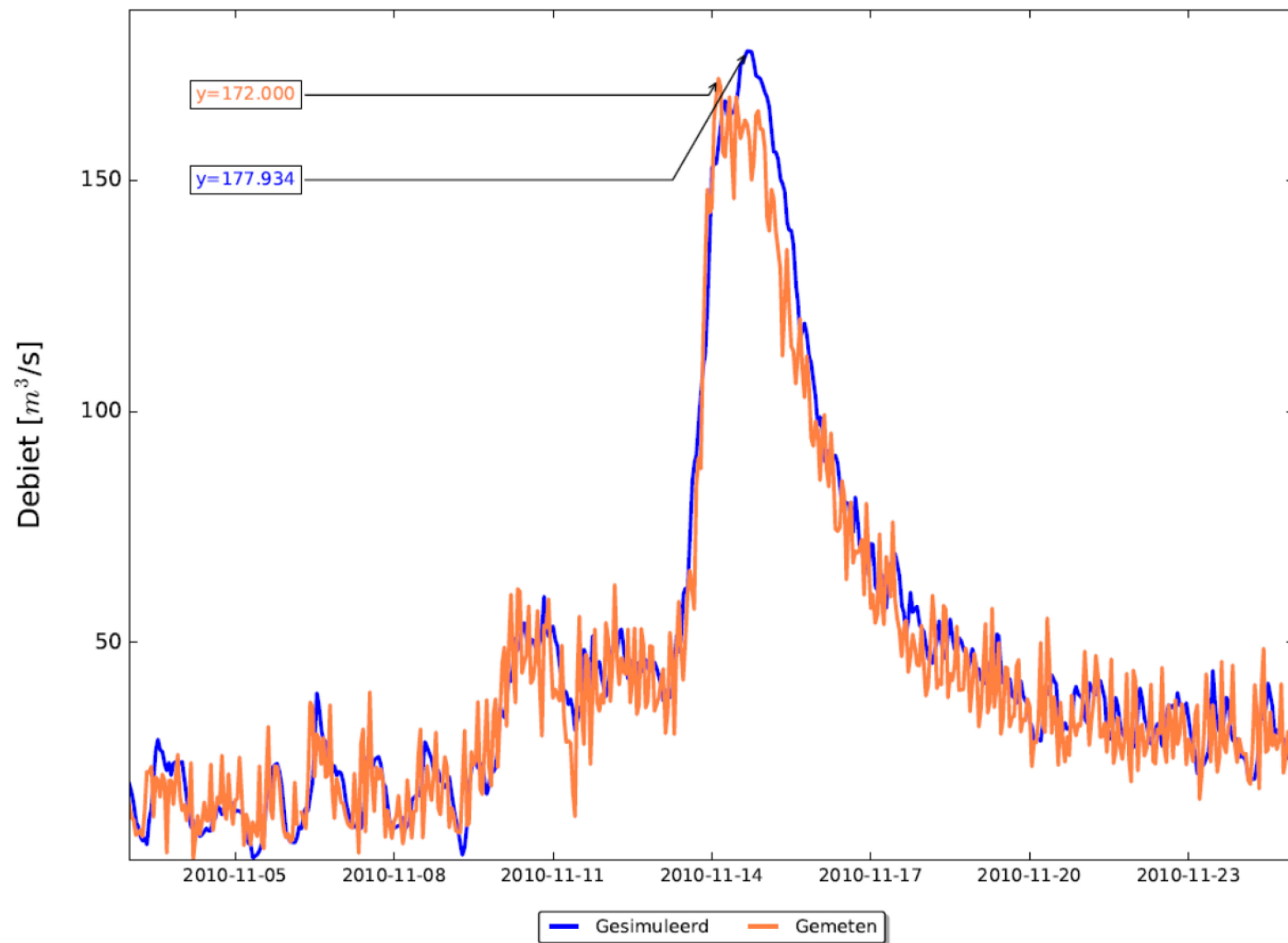
Waterpeil Kain Haut-Escaut stuw-sluis opwaarts (DGO2)



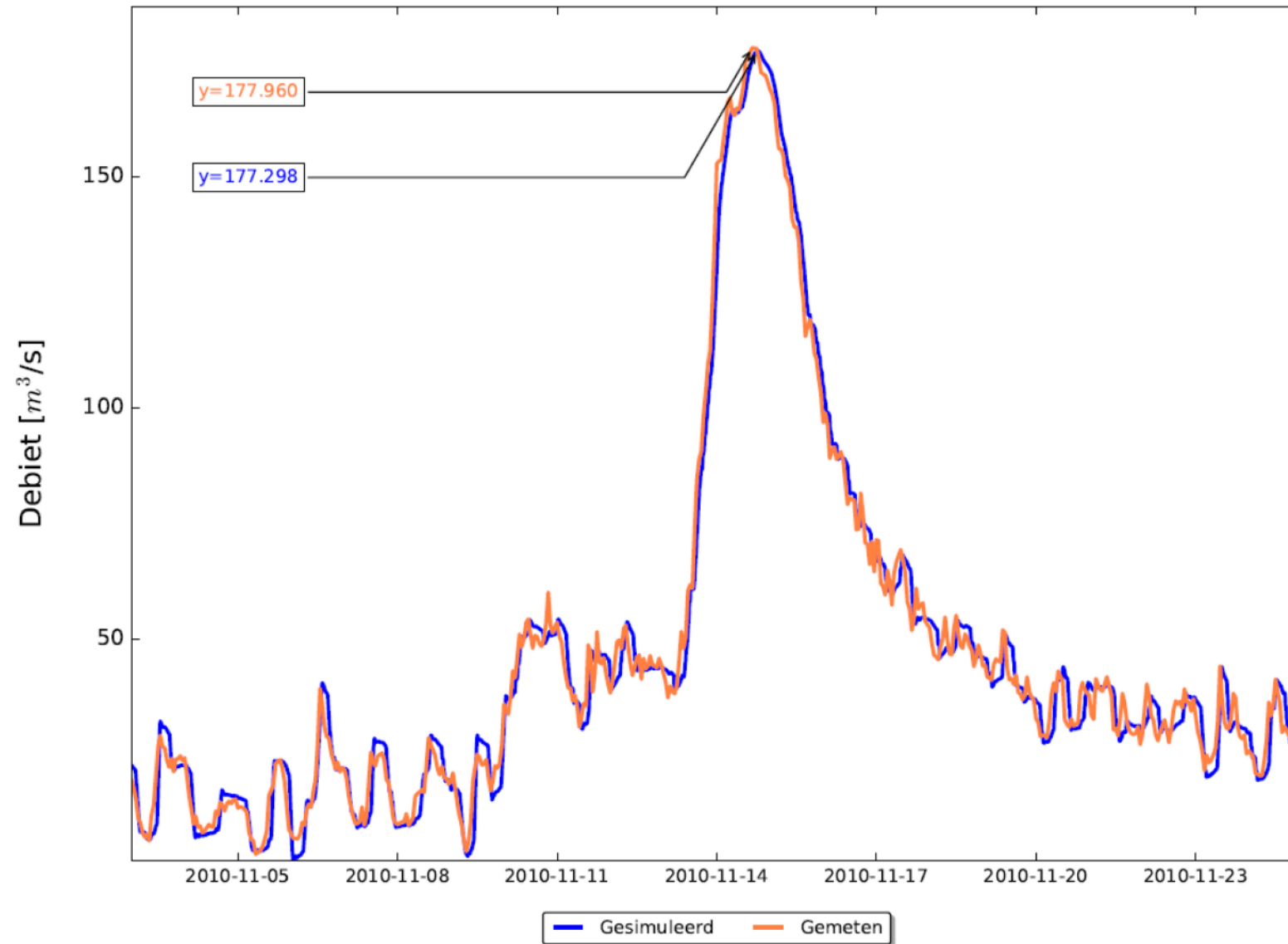
Waterpeil Kain Haut-Escaut stuw-sluis afwaarts (DGO2)



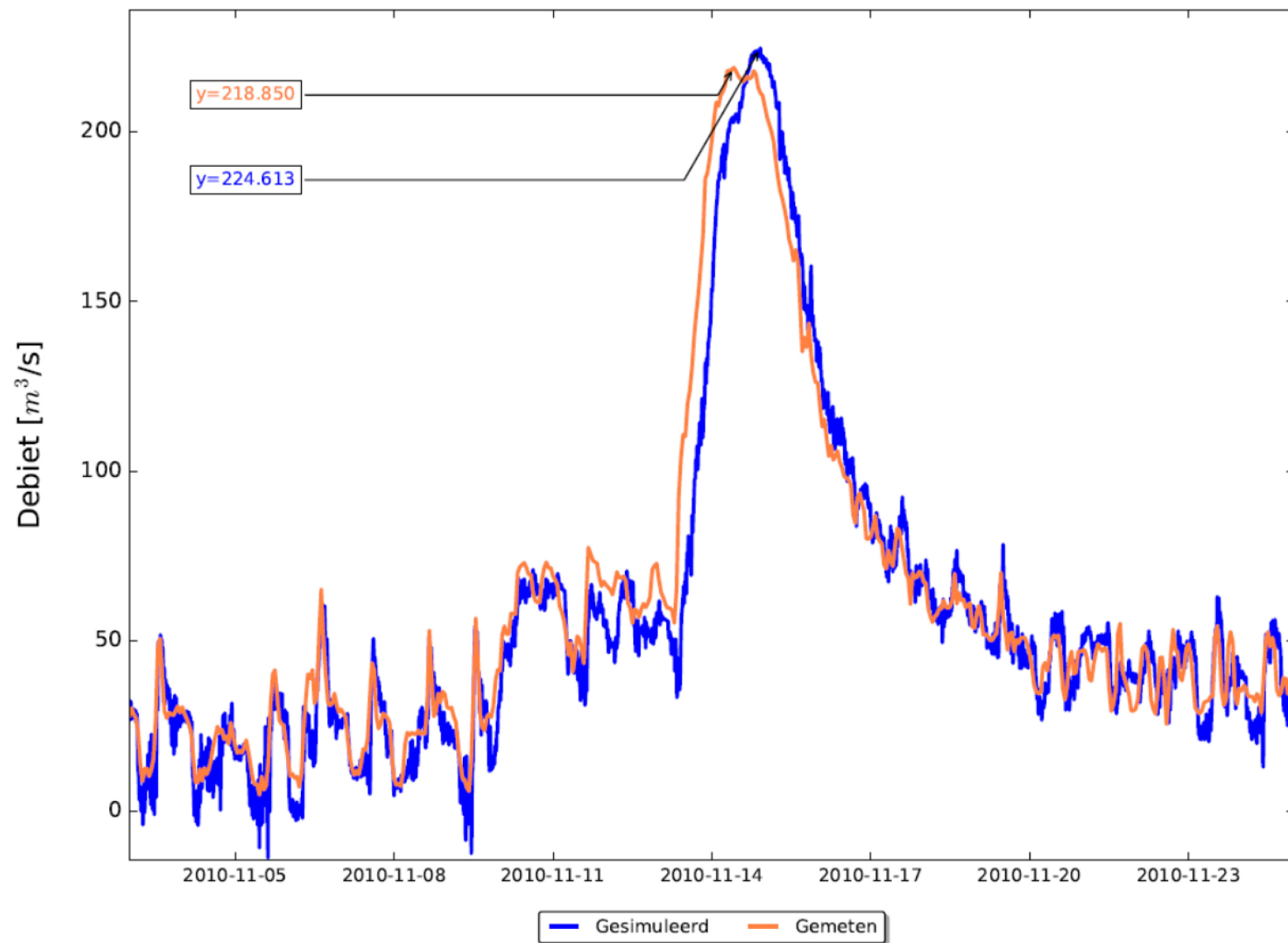
Debiet Maulde Haut-Escaut (DREAL)



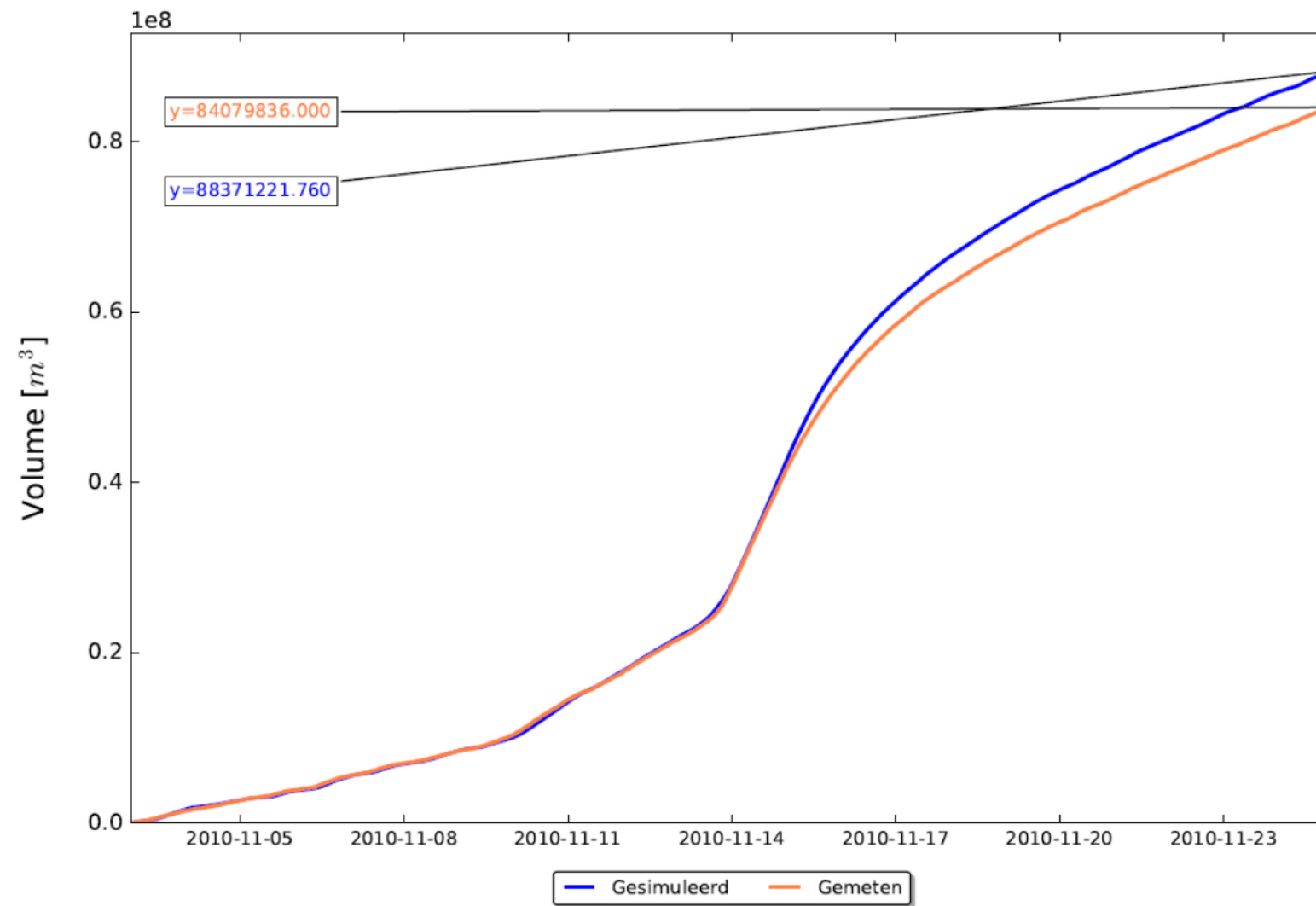
Debiet Tournai Haut-Escaut (DGO2)



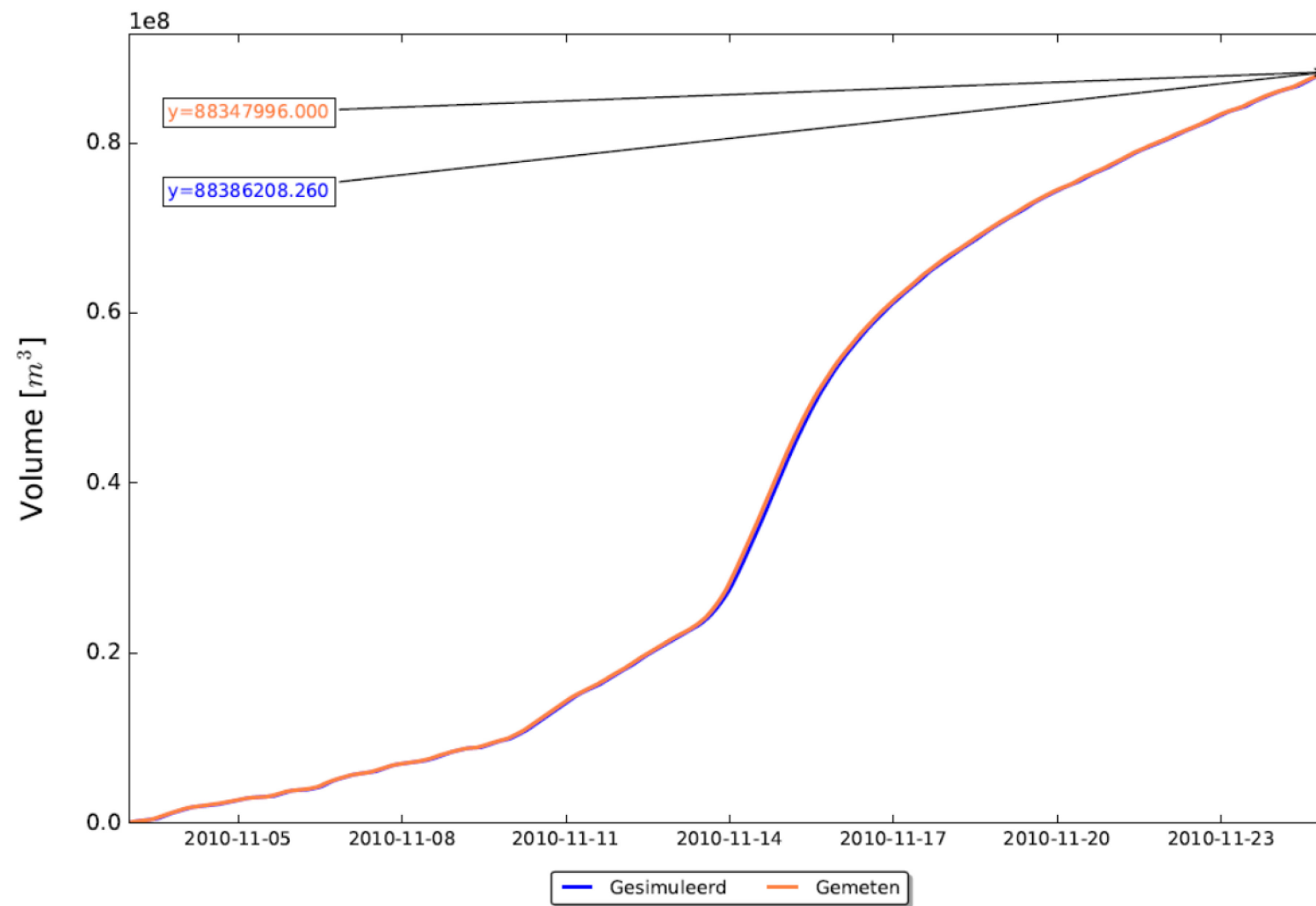
Debiet Bossuit Bovenschelde (HIC)



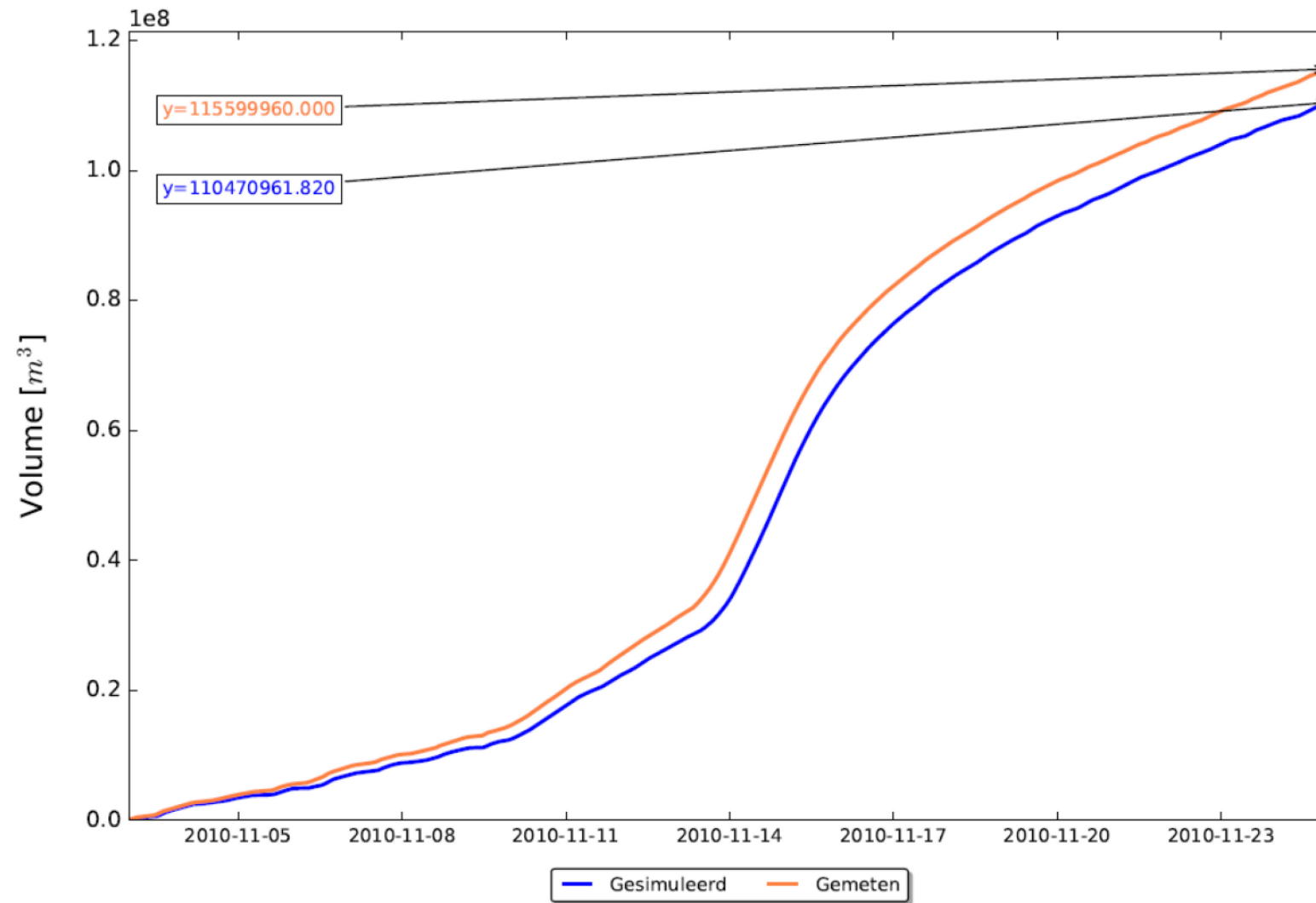
Volume Maulde Haut-Escout (DREAL)



Volume Tournai Haut-Escout (DGO2)

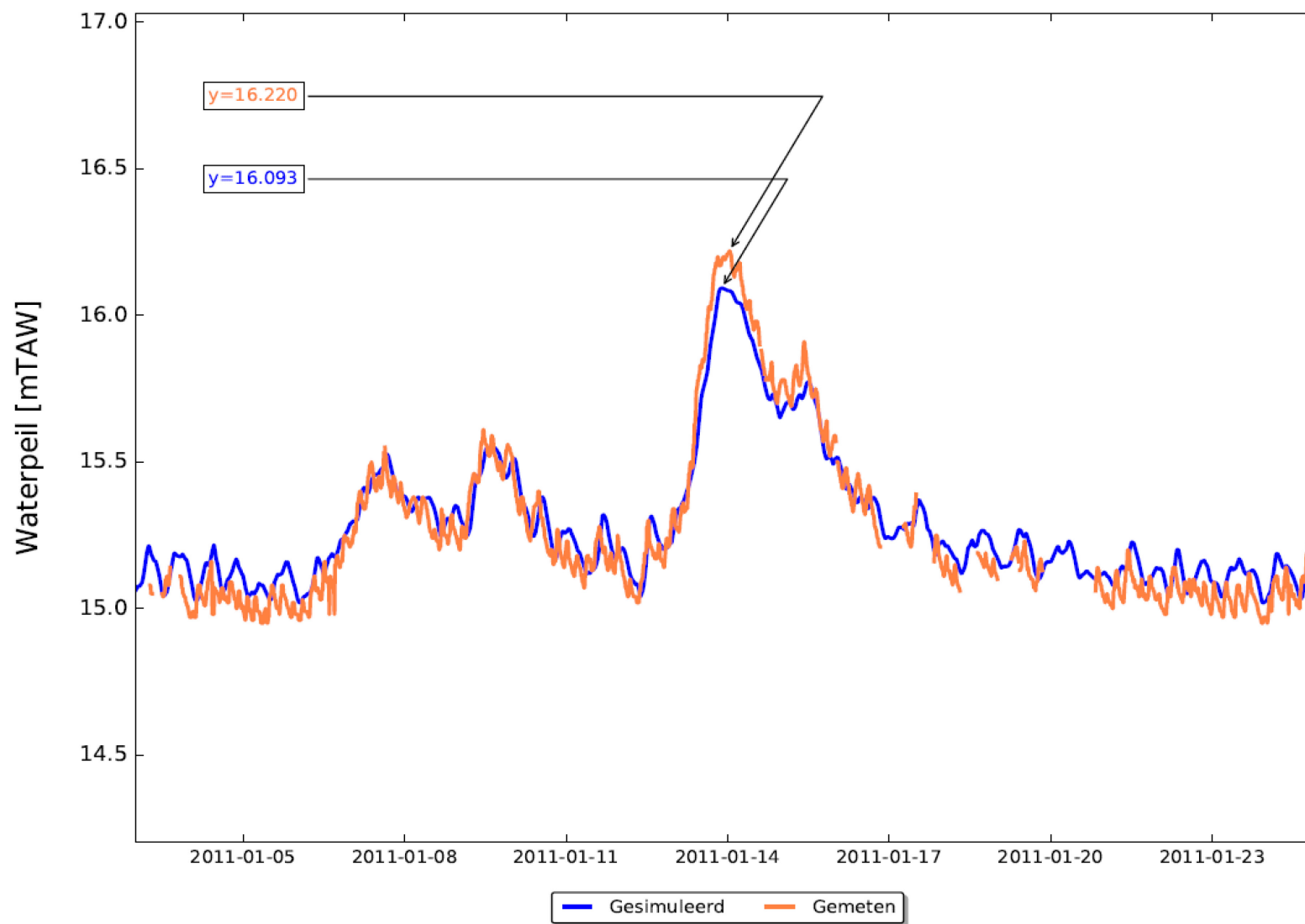


Volume Bossuit Bovenschelde (HIC)

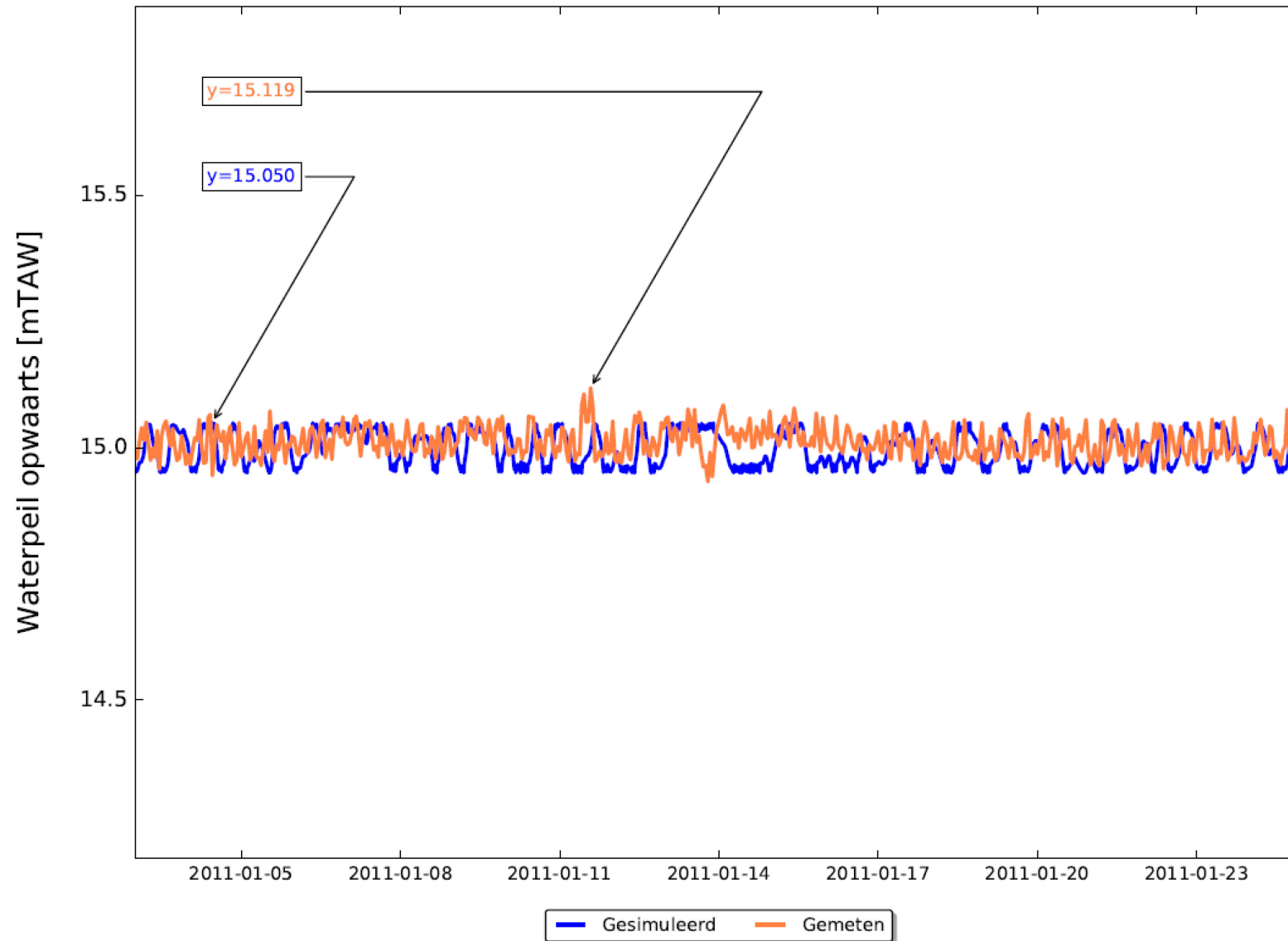


Januari 2011

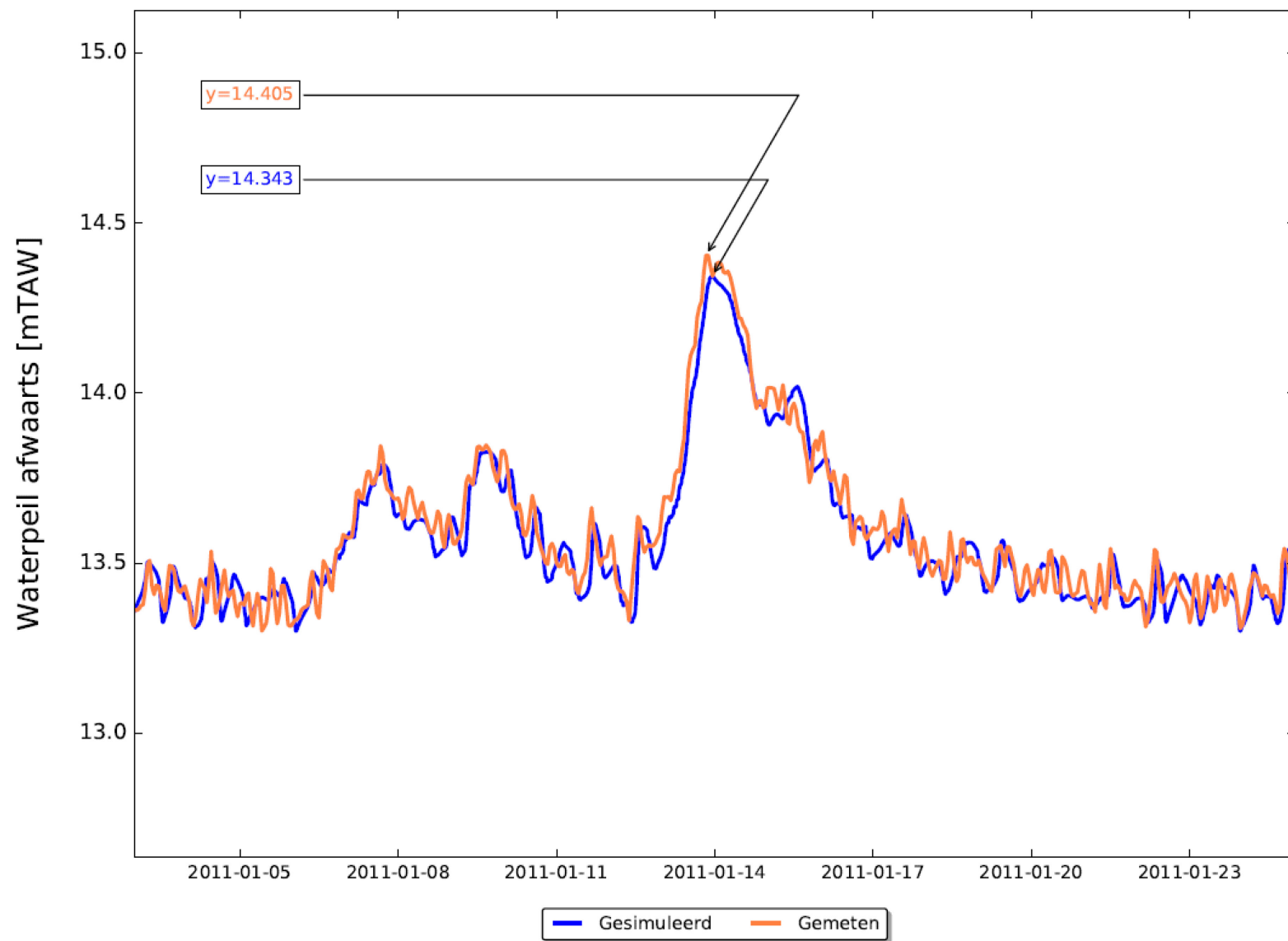
Waterpeil Maulde Haut-Escaut (DREAL)



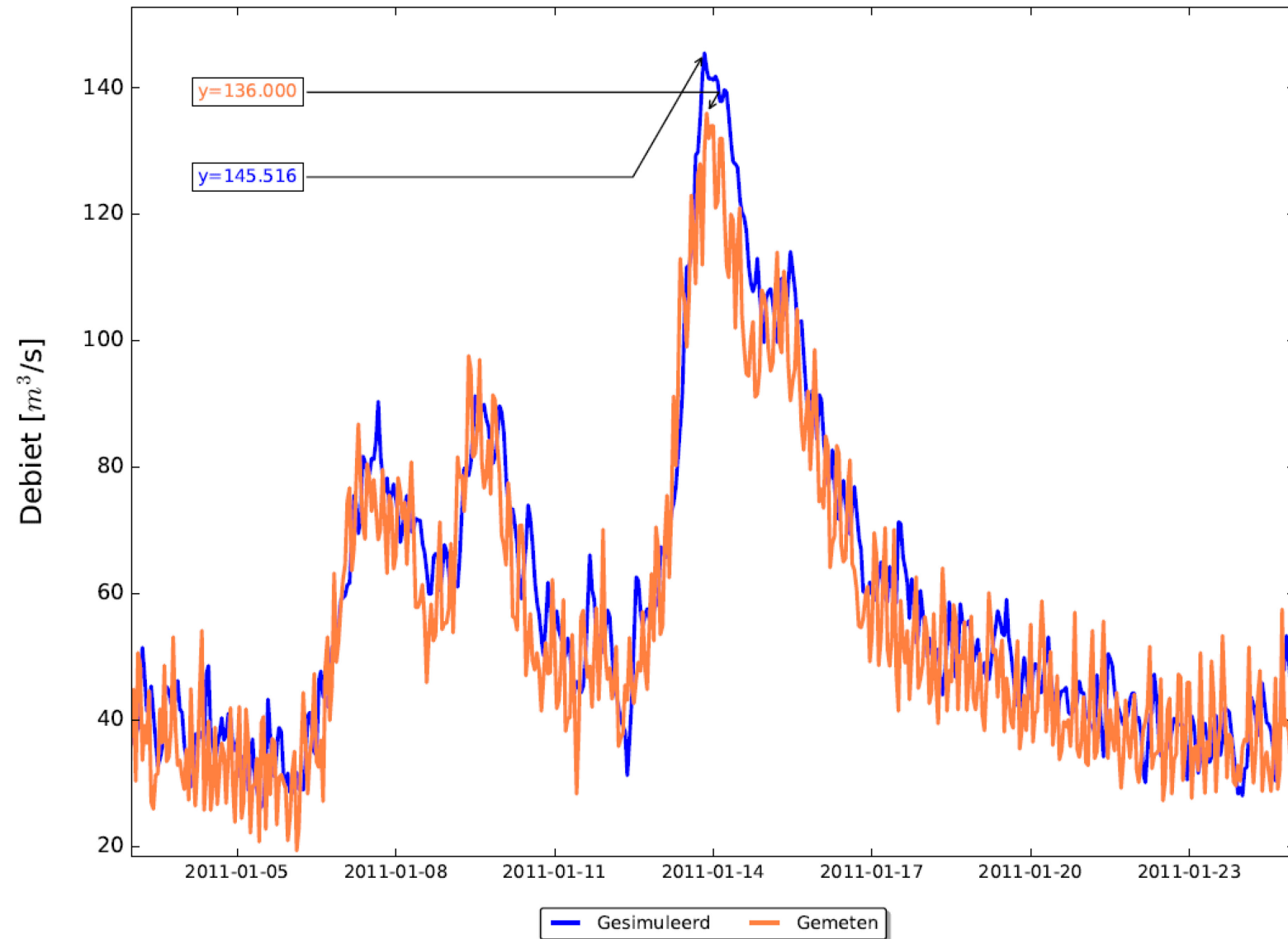
Waterpeil Kain Haut-Escout stuw-sluiz opwaarts (DGO2)



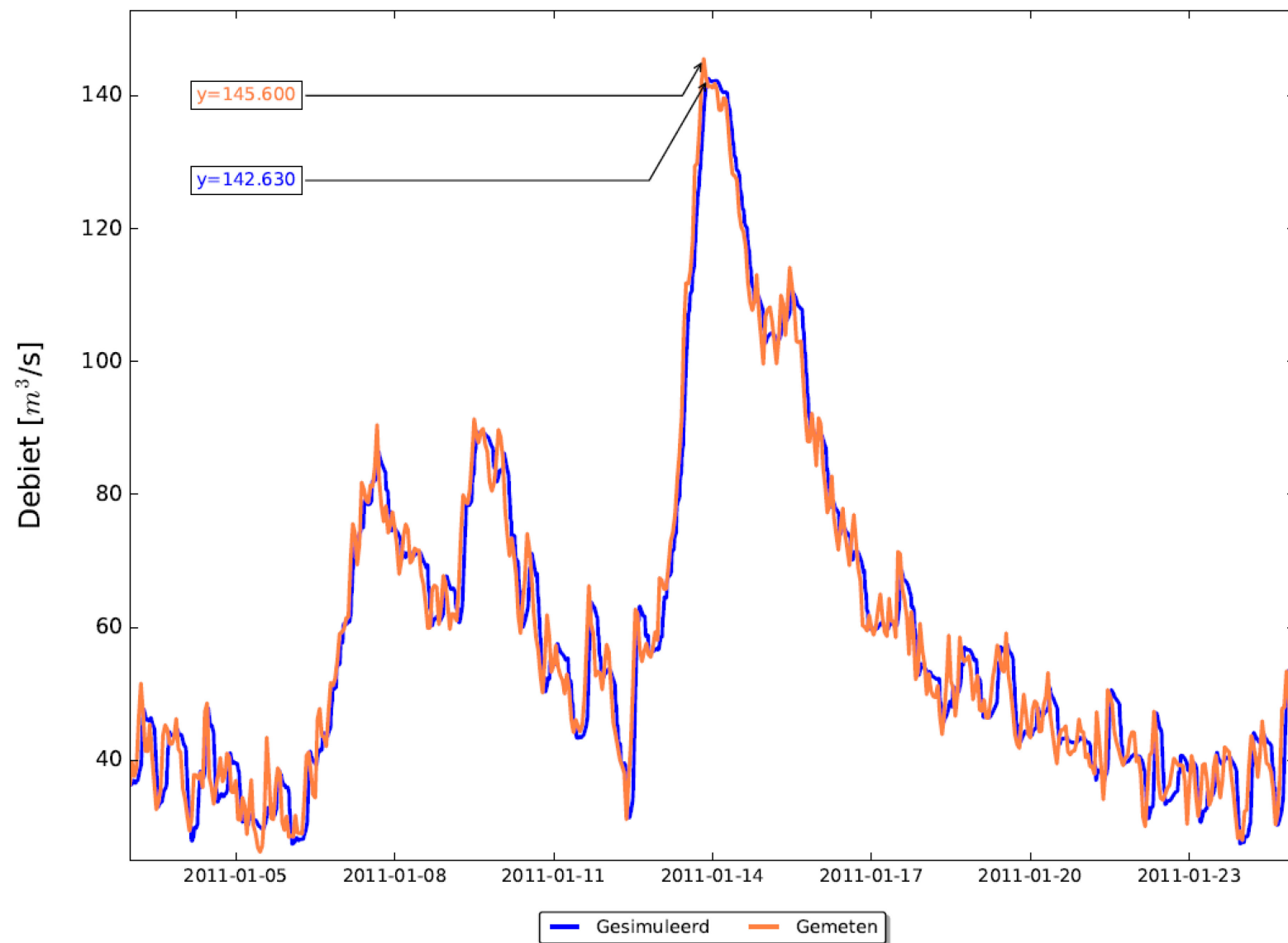
Waterpeil Kain Haut-Escaut stuw-sluiz afwaarts (DGO2)



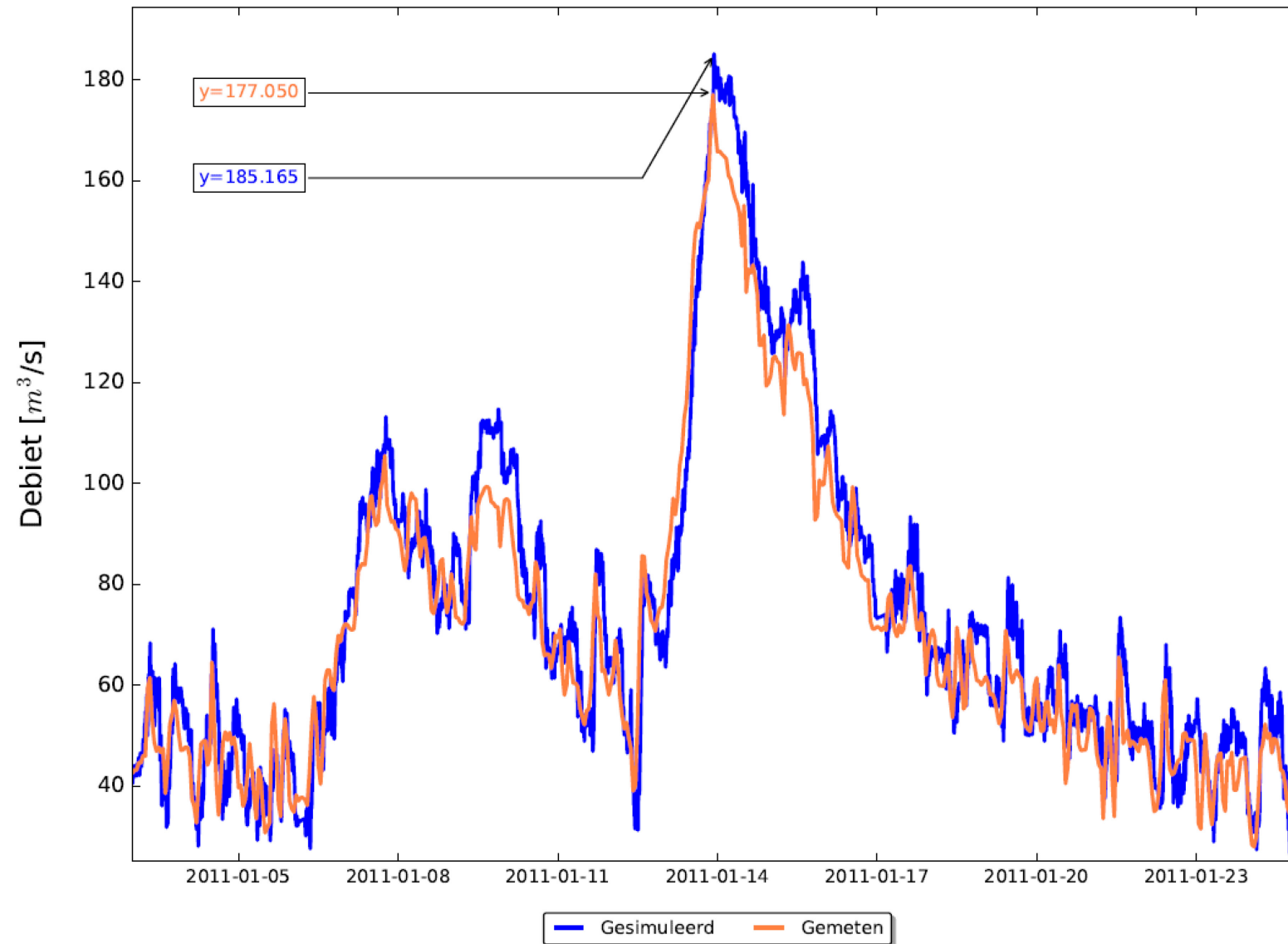
Debiet Maulde Haut-Escaut (DREAL)



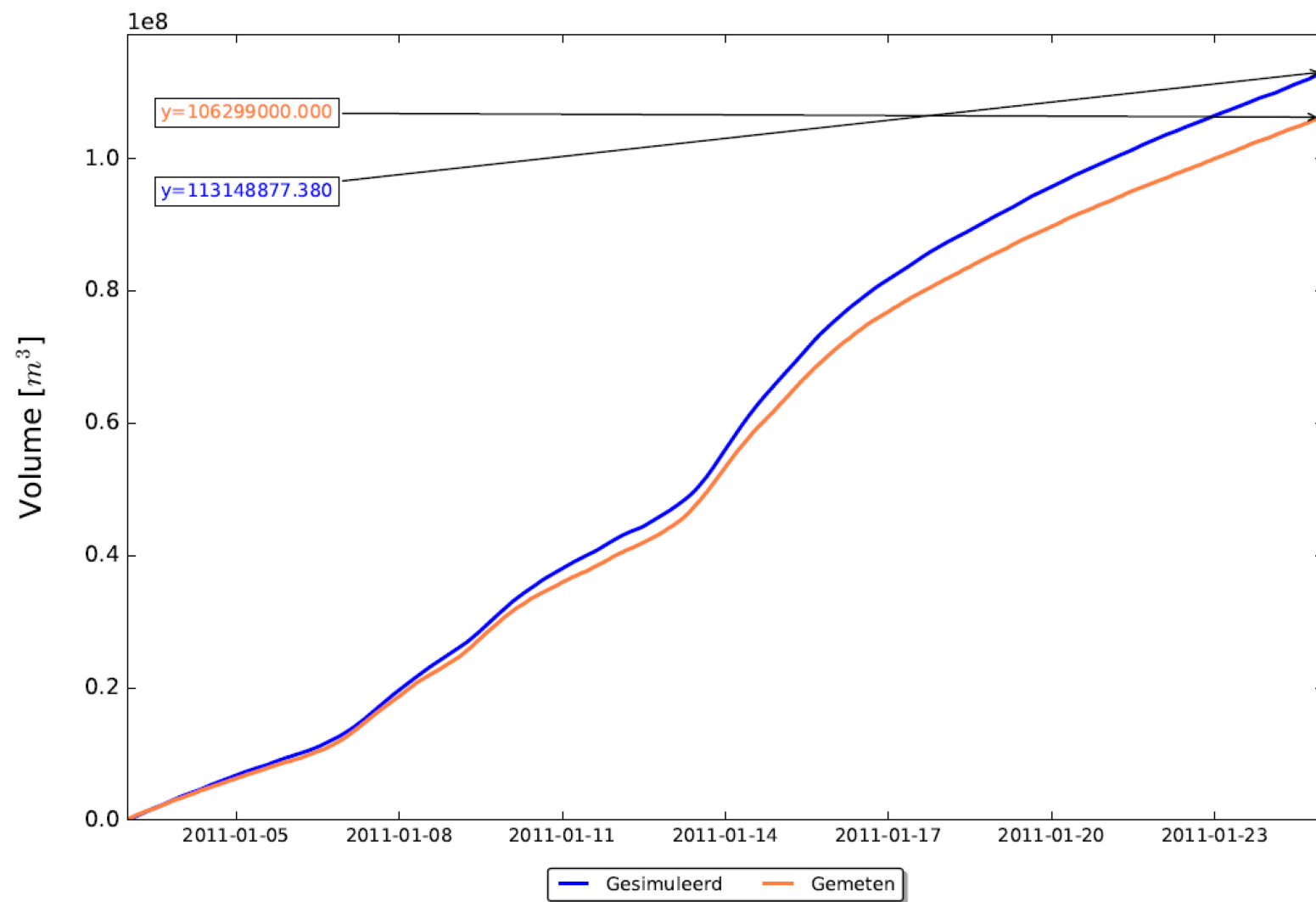
Debiet Tournai Haut-Escaut (DGO2)



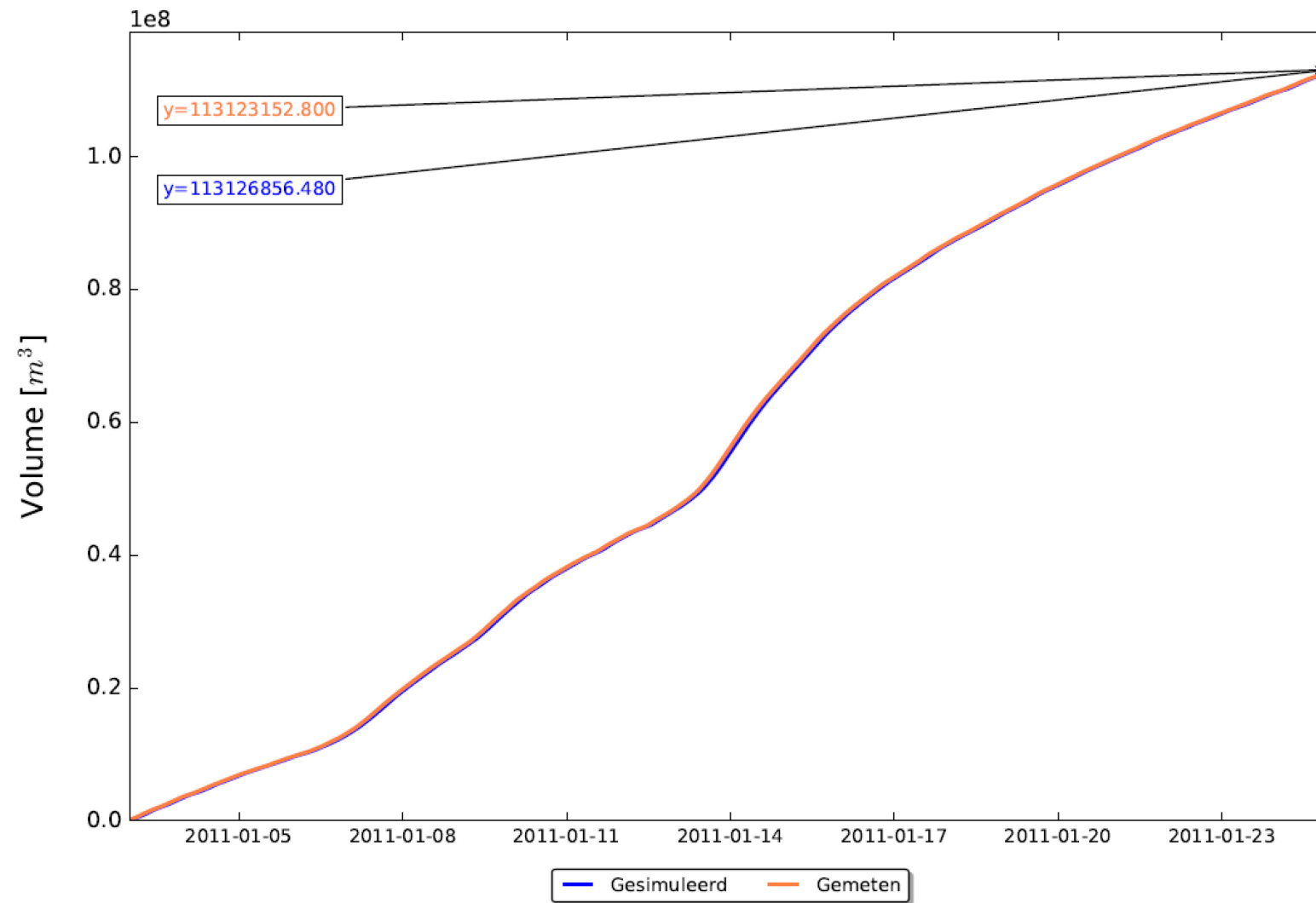
Debiet Bossuit Bovenschelde (HIC)



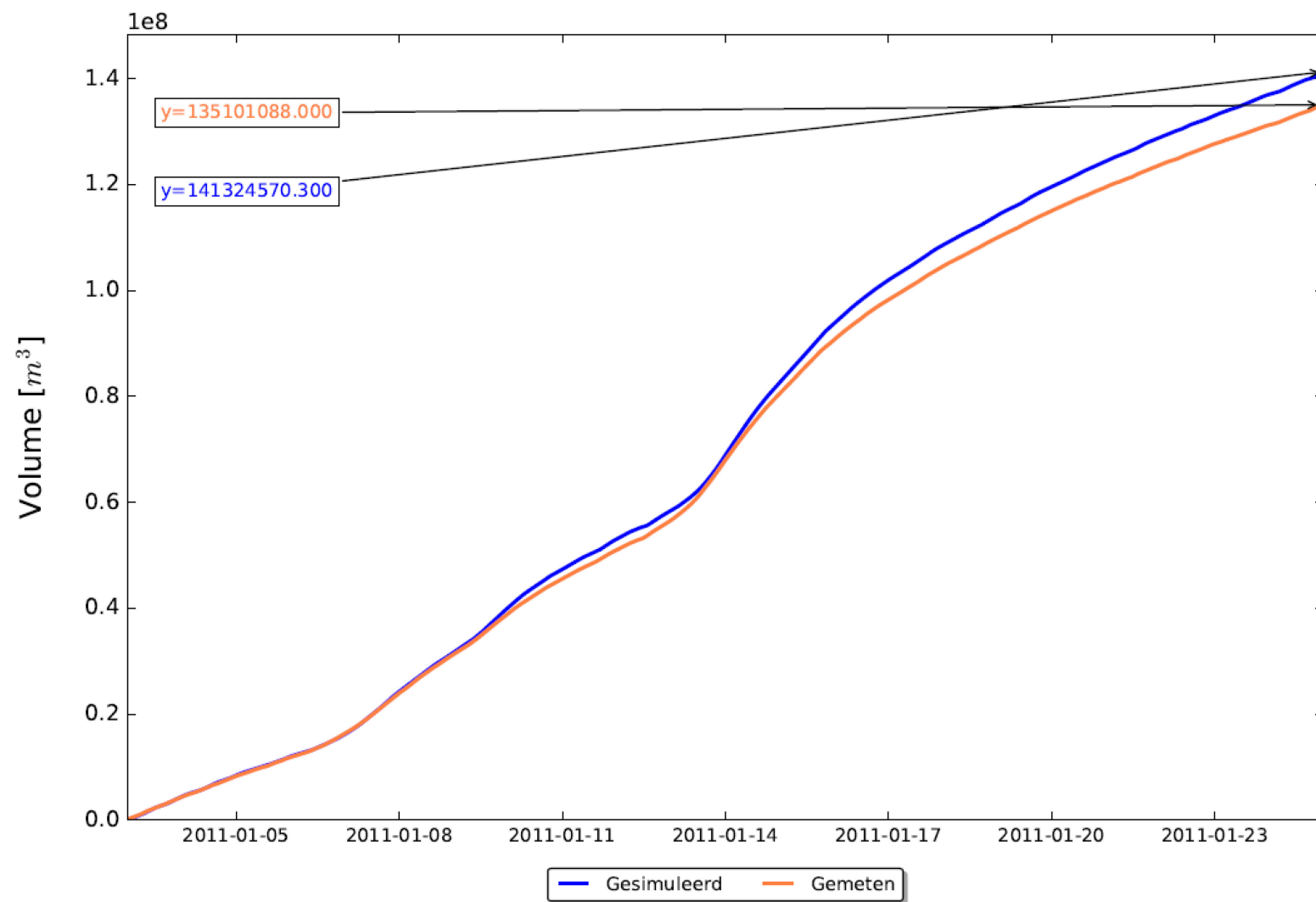
Volume Maulde Haut-Escaut (DREAL)



Volume Tournai Haut-Escout (DGO2)

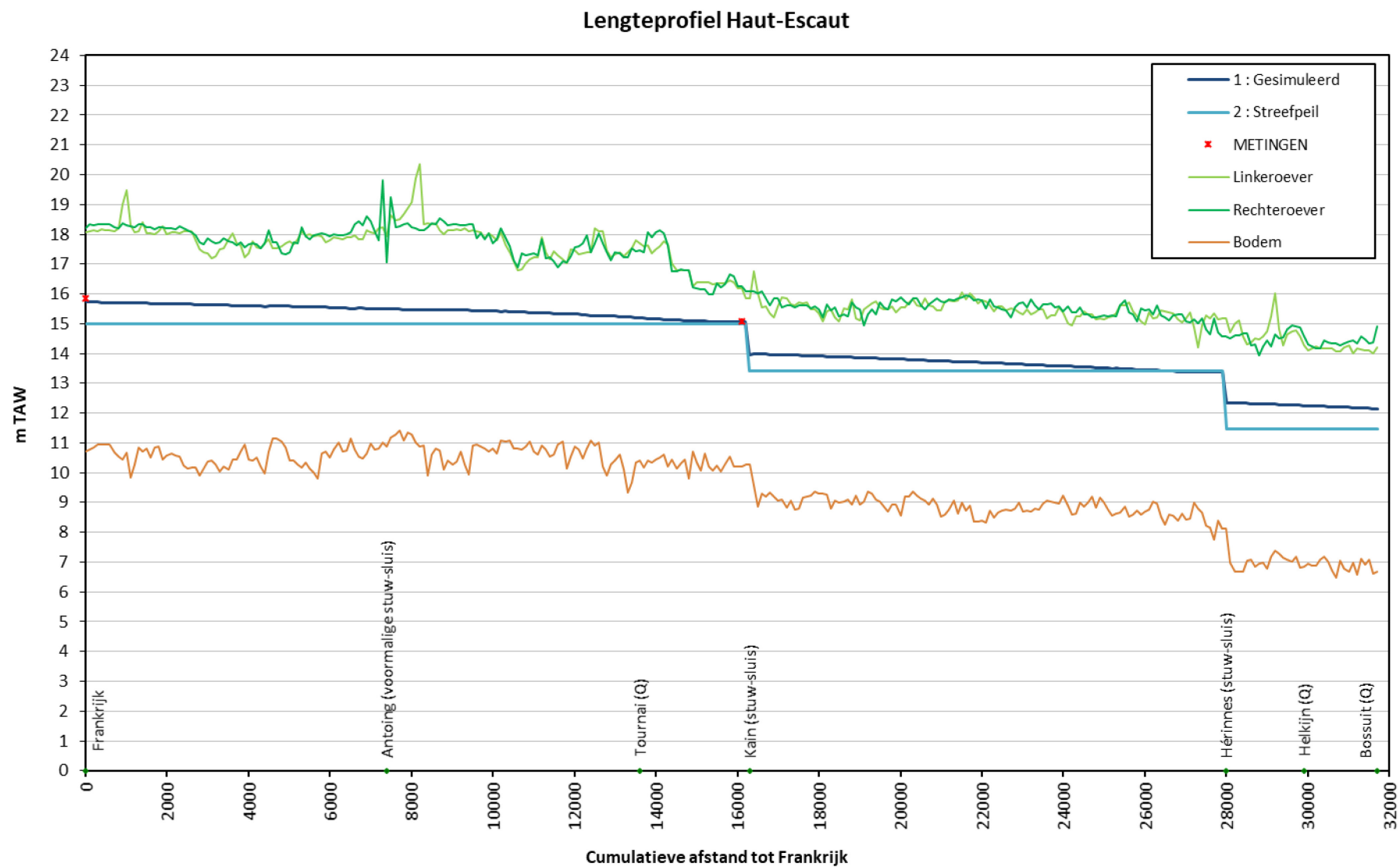


Volume Bossuit Bovenschelde (HIC)

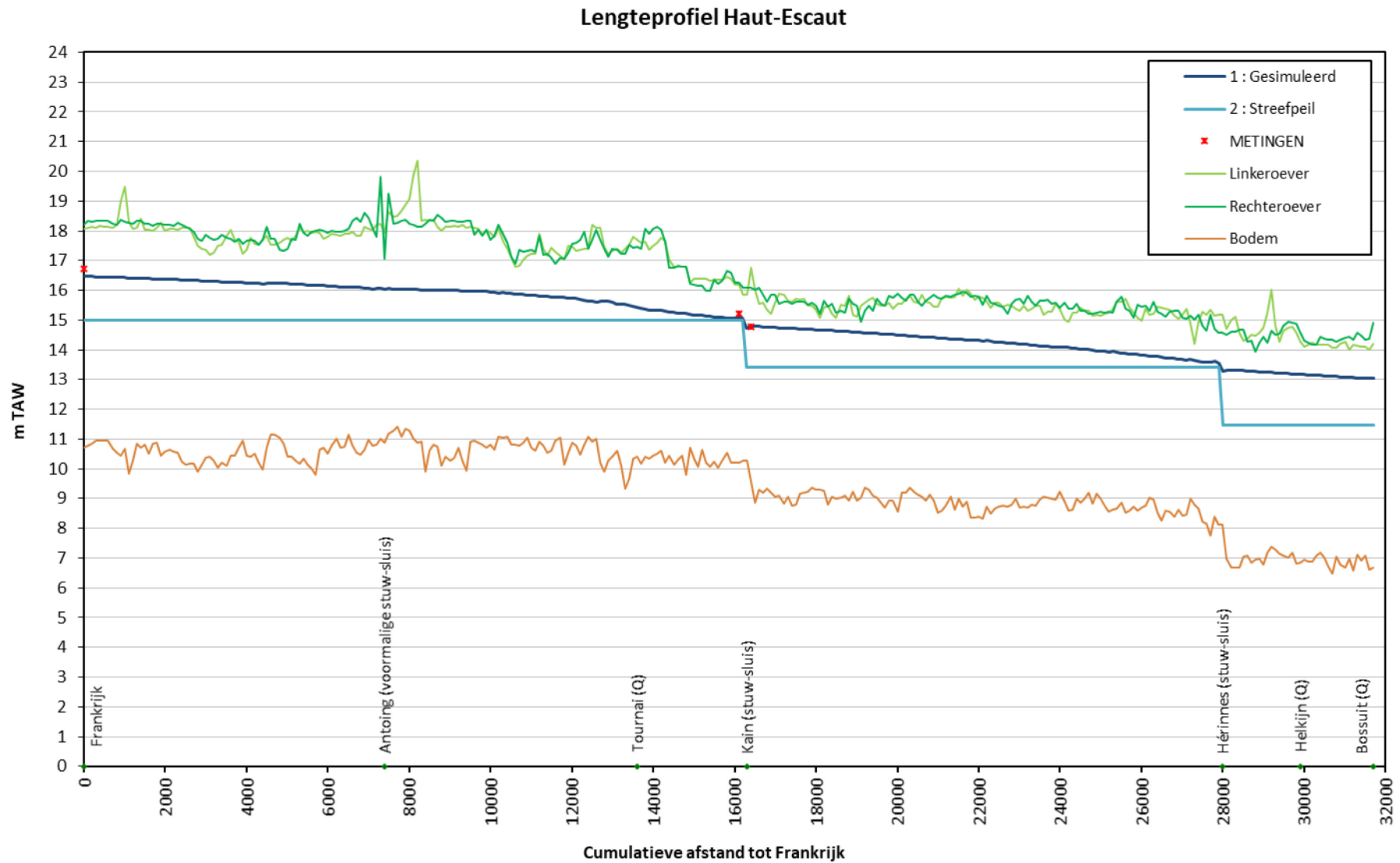


Bijlage C Lengteprofielen

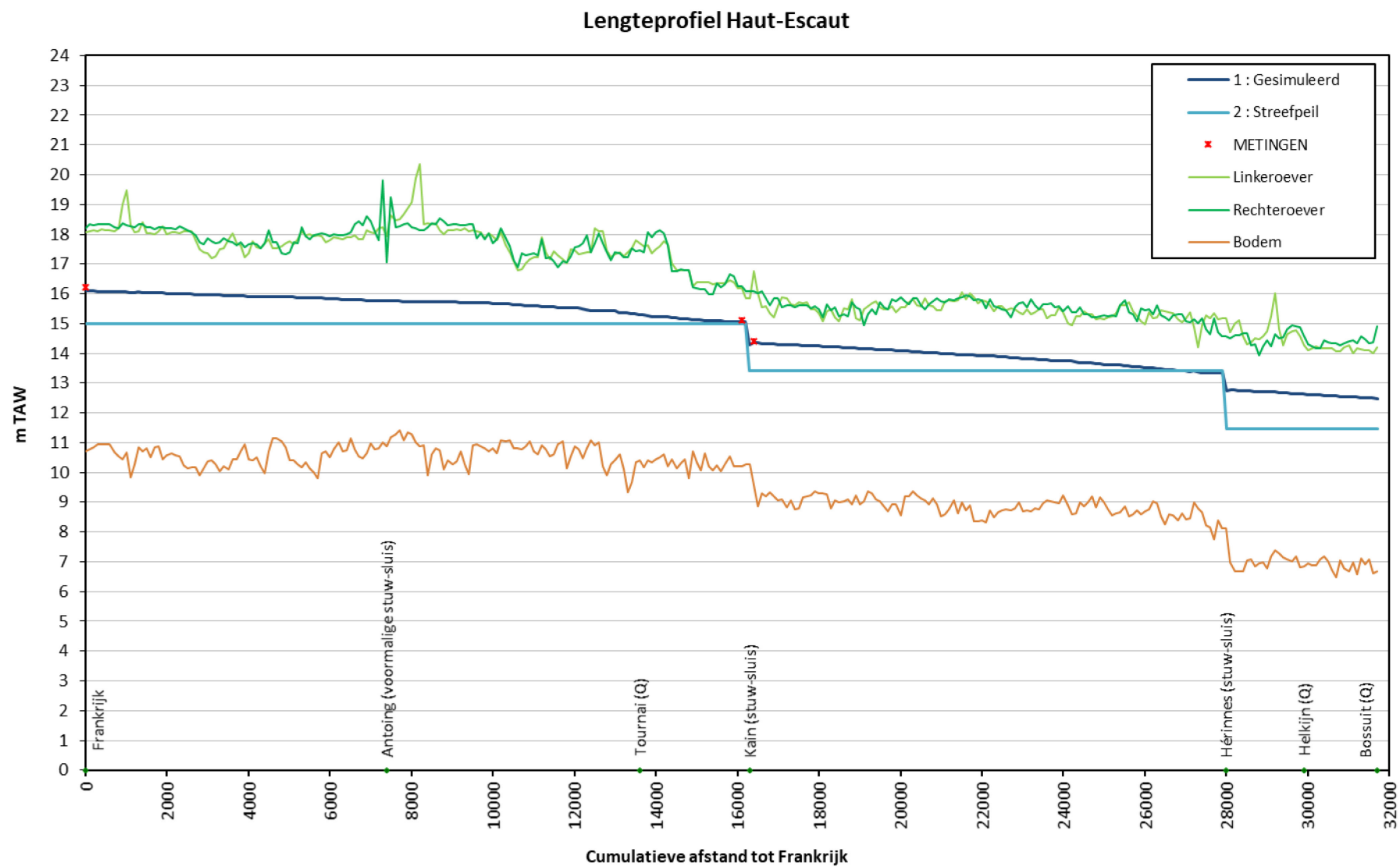
Augustus 2010



November 2010



Januari 2011



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