

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI  
PROGETTO ESECUTIVO**

**Riqualficazione Ambientale Val Lemme**

**Relazione idraulica scogliera**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. P.P. Marcheselli	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	R I	D P 0 4 0 0	0 0 3	A

**Progettazione :**

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione a seguito di Istruttoria ITF IG5101E11ISDP0400002A	Foltran	20/02/2013	Panizza	20/02/2013	E.Pagani <i>EP</i>	20/02/2013	
A01	Modalità realizzative scogliera-Verifica di stabilità scogliera	Foltran	01/03/2013	Panizza	01/03/2013	A.Palomba <i>AP</i>	01/03/2013	

n. Elab.:	File: IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01
-----------	---------------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme</p>	<p>Foglio 2 di 226</p>

## INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	IL SITO DI INTERVENTO	4
2.1	Inquadramento geografico	4
2.2	Topografia del sito	5
2.3	Disposizione di progetto deposito di smarino	6
3.	CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA	9
3.1	Caratteristiche morfometriche del bacino	9
3.2	Portate di progetto	10
4.	ANALISI IDRAULICA STATO ATTUALE T. LEMME	11
4.1	Simulazione dello stato attuale	11
5.	ANALISI IDRAULICA STATO DI PROGETTO T. LEMME	17
5.1	Simulazione dello stato di progetto	17
5.2	Opere di protezione in massi naturali	18
5.3	Erosione in alveo	19
6.	OPERE PROVVISORIALI IN ALVEO	21
7.	VERIFICA STABILITÀ SCOGLIERA	26
7.1	Parametri geotecnici di riferimento	27
7.2	Il codice SLOPE 2005 ver. 2005.24 REV 28	29
7.2.1	Normative di riferimento	29
7.2.2	Definizioni	29
7.2.3	Introduzione all'analisi di stabilità	29
7.2.4	Metodo equilibrio limite (LEM)	30
7.2.5	Metodo dei conci	30
7.2.6	Metodo di JANBU (1967)	31
7.3	Scenario 0 – Back Analysis	32
7.4	Scenario 1 – Condizione di scavo	33
7.5	Scenario 2 – Stato di esercizio con azioni sismiche	34
7.6	Scenario 3 – Stato di esercizio condizioni di rapido svaso	37

## ALLEGATI

**Allegato 1: Descrizione del codice di calcolo monodimensionale**

**Allegato 2: Risultati modello monodimensionale – Stato di fatto**

**Allegato 3: Risultati modello monodimensionale – Stato di progetto**

**Allegato 4: Risultati modello monodimensionale – Opere provvisoriali in alveo – Stato di fatto e stato di progetto**

**Allegato 5: Risultati verifica di stabilità scogliera –SCENARIO 0**

**Allegato 6: Risultati verifica di stabilità scogliera –SCENARIO 1**

**Allegato 7: Risultati verifica di stabilità scogliera –SCENARIO 2**

**Allegato 8: Risultati verifica di stabilità scogliera –SCENARIO 3**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme	Foglio 3 di 226

## 1. PREMESSA

I lavori di riqualificazione ambientale Cementir, nell'ambito della realizzazione della tratta A.V./A.C. Milano – Genova Terzo Valico dei Giovi, prevedono il deposito in sponda sinistra al torrente Lemme del materiale proveniente dallo smarino della nuova galleria dell'Alta Velocità.

Tale deposito si sviluppa alla base del fronte di cava esistente ed è contenuto al piede da una struttura in terra rinforzata, disposta in posizione arretrata ma prospiciente al t. Lemme; la sponda sinistra del t. Lemme verrà protetta dall'azione idrodinamica delle acque del Torrente Lemme tramite una scogliera in massi di cava di lunghezza pari a 417 m, collocata in sponda sinistra ad esterno curva, nel tratto in cui il t. Lemme maggiormente si avvicina al fronte di abbancamento.

Il materiale di smarino è sistemato in banche della larghezza di 3 m, alternate a scarpate aventi pendenza di 22.5° e altezza di 4.14 m, a formare un accumulo degradante in direzione Nord.

Oggetto della presente relazione è:

- la definizione dei livelli idrici del torrente Lemme necessari al dimensionamento della difesa spondale in sponda sinistra al t. Lemme;
- l'analisi dei fenomeni di erosione della difesa spondale;
- la definizione delle opere provvisionali in alveo per la realizzazione della scogliera;

La realizzazione della scogliera al piede del deposito avverrà previa realizzazione in alveo di una pista provvisoria di altezza 50 cm che consenta il transito dei mezzi e l'esecuzione dei lavori in condizioni asciutte. I dettagli esecutivi delle opere provvisionali previste sono riportati per fasi successive nella tavola specifica.

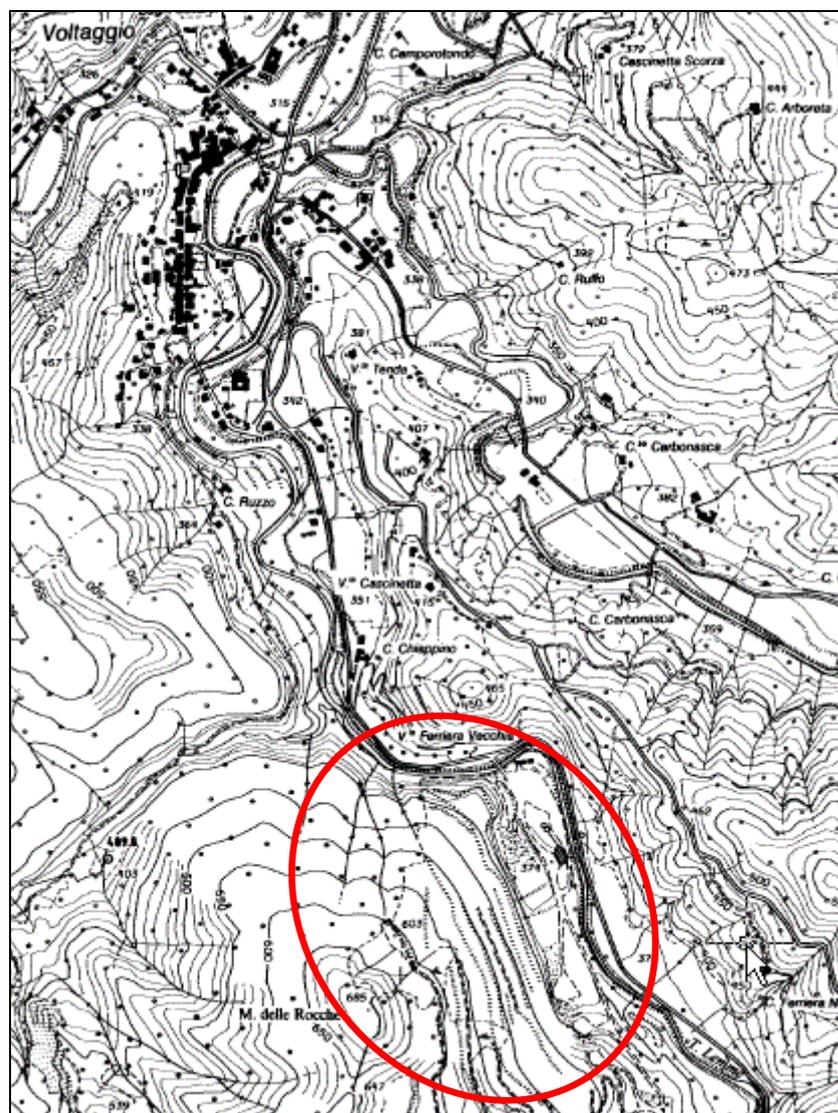
Le verifiche idrauliche del torrente Lemme sono condotte attraverso il calcolo del profilo di rigurgito in moto permanente nella configurazione attuale dell'alveo e nello stato di progetto.

Lo studio idraulico di riferimento è il Sottoprogetto SP 1.4 – Attività di Pianificazione del Bacino del Fiume Po – Rete idrografica minore naturale e artificiale – Monografia del Torrente Lemme, redatto nell'ottobre 2002 dall'Autorità di Bacino del Fiume Po; la portata di progetto utilizzata è quella della stazione di Voltaggio, posta a valle del deposito, pari a 276 m<sup>3</sup>/s per tempo di ritorno 500 anni.

## 2. IL SITO DI INTERVENTO

### 2.1 Inquadramento geografico

Il sito di intervento è posto in Comune di Voltaggio, Provincia di Alessandria, sul Torrente Lemme, come rappresentato nella figura seguente su base CTR della Regione Piemonte e nella successiva ripresa aerofotografica relativa all'area di deposito del materiale.



**Figura 1** – Localizzazione del sito di intervento su base CTR della Regione Piemonte

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	Foglio 5 di 226



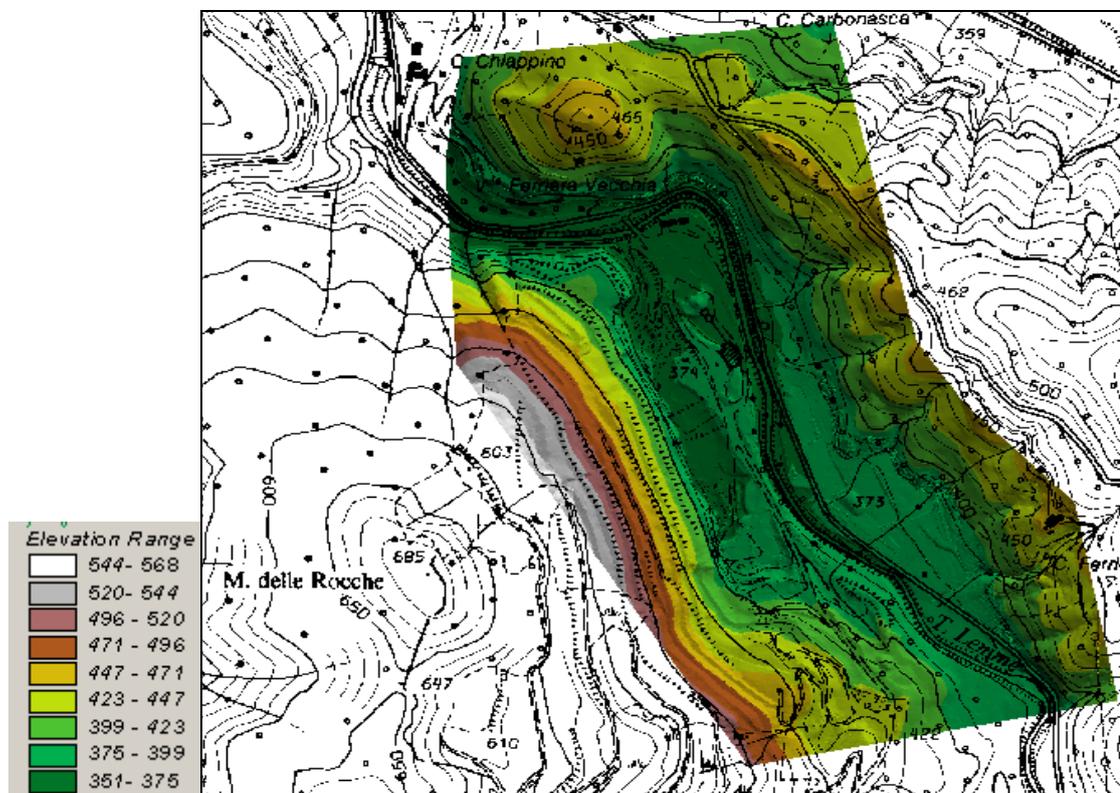
**Figura 2** – Ripresa aerofotografica dell'area di deposito del materiale

## 2.2 Topografia del sito

La topografia del sito è nota a mezzo di un accurato rilievo di dettaglio effettuato appositamente per il progetto che ha consentito di rilevare un congruo numero di punti quotati.

Operando su tali dati di base e con il supporto delle informazioni deducibili dalla Carta Tecnica Regionale e dai sopralluoghi in sito, è stata ricostruita la geometria complessiva (DEM) del terreno per mezzo di una modellazione tridimensionale su supporto informatico; dal modello digitale del terreno sono state ricavate le sezioni trasversali necessarie per l'implementazione del modello idraulico monodimensionale, come è illustrato nei capitoli successivi.

Nella **Figura 3** è riportato il modello digitale del terreno ricostruito dal rilievo appoggiato sulla CTR.



**Figura 3** – Modello digitale del terreno sovrapposto su base CTR georeferenziata

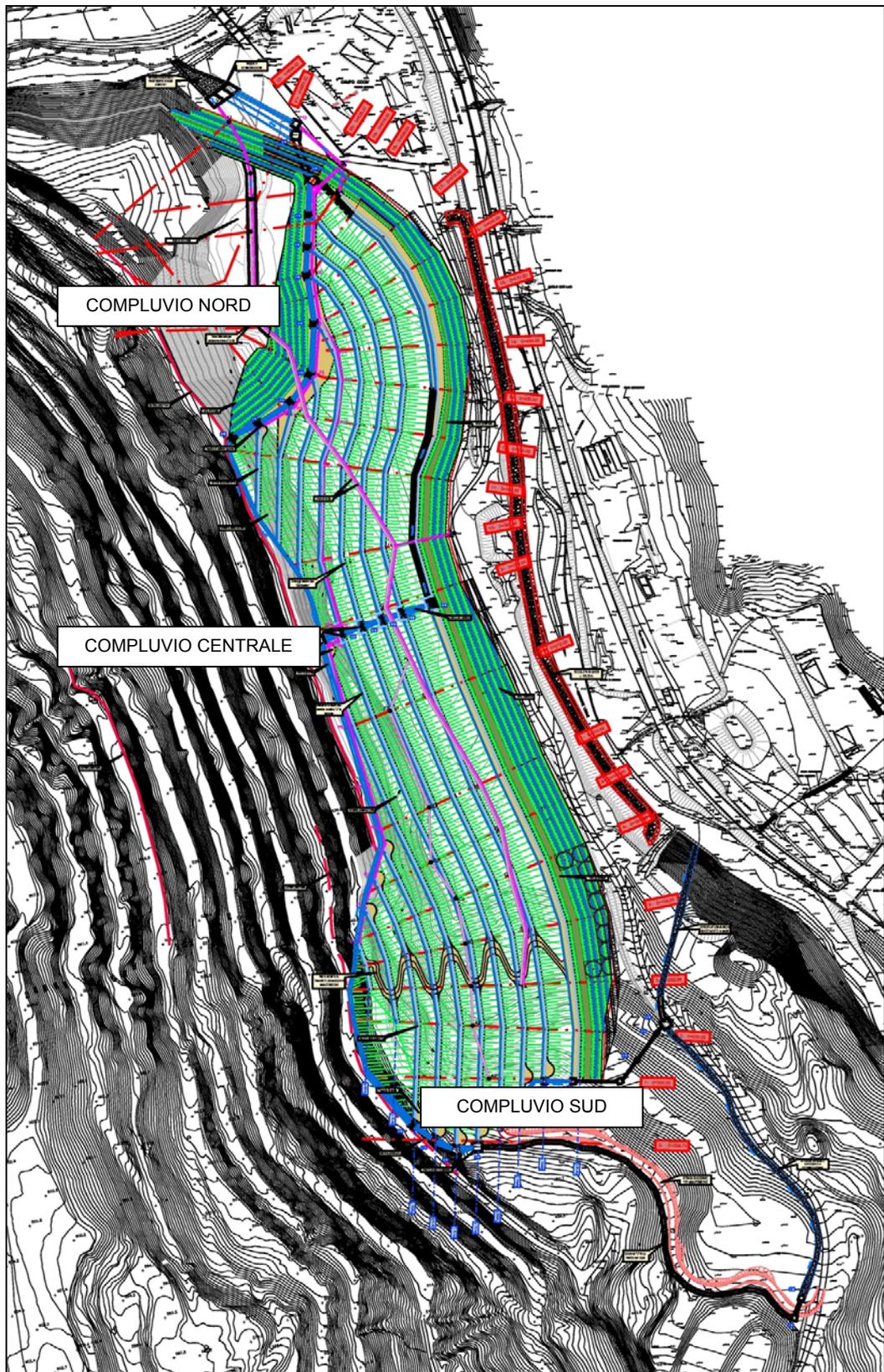
### 2.3 Disposizione di progetto deposito di smarino

Il deposito in sponda sinistra al torrente Lemme del materiale proveniente dallo smarino della nuova galleria dell'alta velocità sarà disposto in modo da riprodurre quanto più possibile la sistemazione originaria del versante, precedente alla realizzazione della cava.

La **Figura 4** riporta la carta IGM in scala 1:25000 del 1955 relativa all'area di deposito (in rosso le sezioni della modellazione idraulica); la figura 5 riporta la sistemazione di progetto del deposito. È possibile osservare la similarità tra la disposizione di progetto e quella naturale del 1955, anche in termini di riproduzione dei compluvi principali nord, centrale e sud.



Figura 4 – Carta IGM scala 1:25000. Disposizione originaria versante



**Figura 5** – Disposizione di progetto deposito di smarino

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme</p>	<p>Foglio 9 di 226</p>

### 3. CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA

#### 3.1 Caratteristiche morfometriche del bacino

Il bacino imbrifero del Torrente Lemme, con sezione di chiusura in prossimità di V.la Ferriera Vecchia, si estende per una superficie di 18.60 km<sup>2</sup>; l'asse del bacino è orientato in direzione Sud Est - Nord Ovest; lo spartiacque dei tributari di destra orografica tocca in successione il P.so La Bocchetta, il M. Poggio, il M. Calvo, il M. Cavetti, l'abitato di Fraconalto, il Bric Albergorosso. Lo spartiacque degli affluenti di sinistra tocca il M. Lecco, il M. Taccone, il M. delle Figne, il Bric Tavolin, il Bric della Croce e il M. delle Rocche.

Il bacino, scarsamente urbanizzato, è delimitato ad Ovest dal bacino del torrente Gorzente, ad Est dal bacino del torrente Scrivia e a Sud dal bacino del torrente Verde, appartenente al versante tirrenico.

Il reticolo idrografico di superficie è caratterizzato dalla presenza di un'asta principale e da una serie di affluenti minori situati principalmente sulla sponda sinistra; fra questi il principale risulta essere il rio Lavagetta.

La lunghezza dell'asta principale è di circa 6.1 km e la pendenza media è 0.065, la pendenza media dei versanti è pari al 55% circa. L'altitudine massima è di 1172 m. s.l.m., la sezione di chiusura è a 357.73 m s.l.m. e l'altezza media del bacino è di 615 m s.l.m.

Il tratto del torrente Lemme oggetto di verifica risulta caratterizzato dalla presenza, in sponda destra, della viabilità rappresentata dalla strada provinciale SP160 di Val Lemme e dal cantiere operativo COP 1 - Finestra Val Lemme, in sponda sinistra da un'area golenale di larghezza variabile che costituisce il piede della cava Cementir.

Le sezioni del corso d'acqua sono di forma sostanzialmente regolare con larghezze al fondo variabili tra 10 m e 15 m circa.

La pendenza media del fondo alveo nel tratto in esame è pari a circa 2.0%.

Il fondo è costituito prevalentemente da ciottoli di medie dimensioni, con scarsa vegetazione arborea e arbustiva e risulta sgombro da grossi depositi nella parte a monte, mentre è contraddistinto dalla presenza di cumuli di materiale nel tratto terminale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme	Foglio 10 di 226

### 3.2 Portate di progetto

Lo studio di riferimento per il tratto oggetto di intervento, come pure del resto dell'asta, è il Sottoprogetto SP 1.4 – Attività di Pianificazione del Bacino del Fiume Po – Rete idrografica minore naturale e artificiale – Monografia del Torrente Lemme, redatto nell'ottobre 2002 dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Lo studio SP1.4 valuta, utilizzando diverse metodologie idrologiche di correlazione afflussi-deflussi, le portate in corrispondenza di quattro sezioni di chiusura: immediatamente a monte dell'abitato di Voltaggio (sez.64 di riferimento SP1.4), a valle di Gavi (sez.26), a Francavilla Bisio (sez.9) ed in immissione in Orba (sez.1).

La sezione di Voltaggio, pur trovandosi molto a valle rispetto all'area oggetto di intervento, è da considerarsi come sezione di riferimento; il valore di portata risulterà cautelativo, a favore di sicurezza.

Dopo una serie di valutazioni, lo studio riporta (in Tabella 16) i valori delle portate al colmo di piena di riferimento per assegnato tempo di ritorno; la sezione 64 è quella relativa a Voltaggio.

Portata [m <sup>3</sup> /s]	Sezioni di Chiusura			
	1	9	26	64
Q(20)	513	408	370	152
Q(100)	747	592	532	217
Q(200)	839	666	599	244
Q(500)	949	753	676	276

**Tabella 1** – Portate al colmo di piena per assegnato tempo di ritorno (Tabella 16-SP1.4)

Per la sezione di Voltaggio le portate di riferimento sono: 152 m<sup>3</sup>/s per tempo di ritorno 20 anni, 217 m<sup>3</sup>/s per tempo di ritorno 100 anni, 244 m<sup>3</sup>/s per tempo di ritorno 200 anni, 276 m<sup>3</sup>/s per tempo di ritorno 500 anni.

La modellazione idraulica è stata sviluppata utilizzando, come portata di riferimento, la portata cinquecentennale, indicata dallo studio SP 1.4, pari a 276 m<sup>3</sup>/s.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme</p>	<p>Foglio 11 di 226</p>

#### **4. ANALISI IDRAULICA STATO ATTUALE T. LEMME**

Al fine di effettuare un completo ed esauriente studio modellistico del comportamento idraulico del corpo idrico nel tratto in esame si è scelto di condurre un'analisi monodimensionale del deflusso.

Il codice di calcolo HEC-RAS descritto in allegato, permette di ricavare informazioni accurate sui livelli che si instaurano in corrispondenza di determinate sezioni trasversali.

##### **4.1 Simulazione dello stato attuale**

Il torrente Lemme è stato schematizzato nella zona di interesse utilizzando il modello digitale del terreno ricavato dal rilievo topografico.

Come già descritto, dal DEM sono state estratte 32 sezioni trasversali sufficienti a schematizzare adeguatamente la geometria del sistema, come mostra la figura seguente.

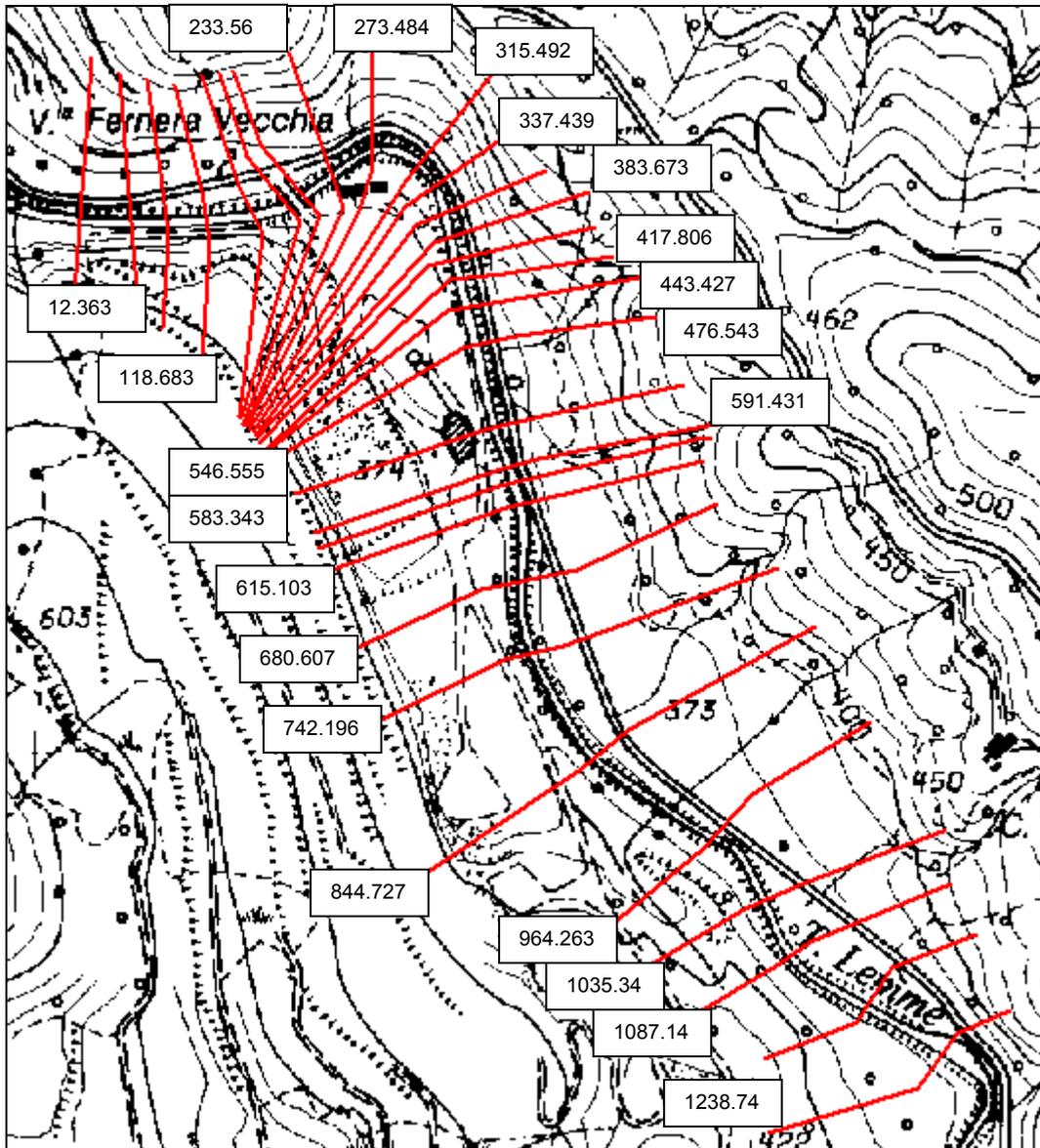


Figura 6 – Sezioni trasversali modello

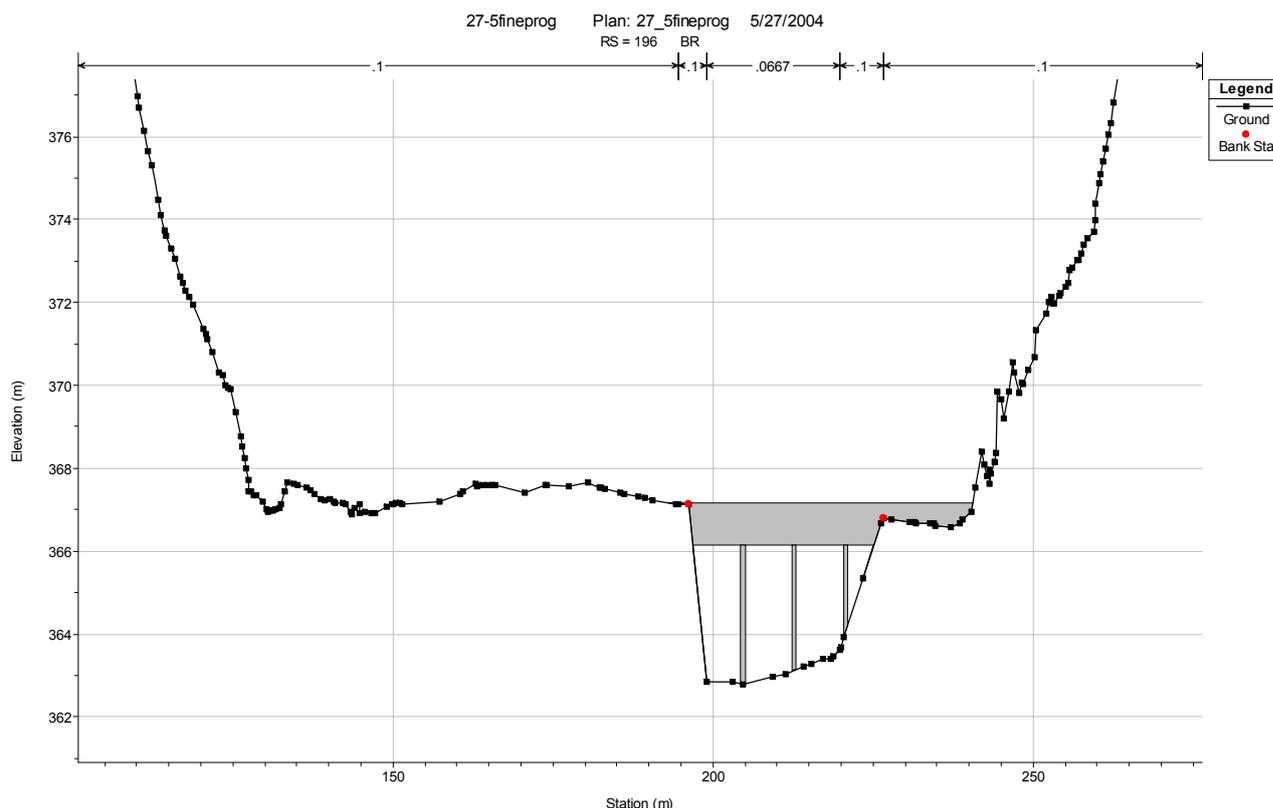
Si è utilizzato un coefficiente di scabrezza di Strickler pari a  $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per il fondo alveo e pari a  $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per le sponde e le golene.

Tali scabrezze sono motivate dal grado di cautela ricercato dai progettisti nel dimensionamento della scogliera in progetto. Si è, inoltre, voluto tenere in conto, per mezzo della scabrezza, del contributo, in termini di incremento di livelli liquidi, dei fenomeni di trasporto solido e di flottante, significativi per eventi estremi quali quelli oggetto di modellazione.

Risulta infine evidente che l'impegno complessivo della geometria del canale, dal punto di vista delle scabrezze, risulta considerevole per portate di questa entità.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	Foglio 13 di 226

Sono stati inseriti nel modello anche la struttura del ponte di accesso al cantiere TAV alla sezione 196, come schematizzato nella figura che segue, e la soglia di fondo alla sezione 591.93.



**Figura 7** – Ponte di accesso al cantiere TAV, inserito nel modello monodimensionale

La simulazione è stata realizzata in moto stazionario per tempo di ritorno 500 anni.

Come condizione al contorno è stata imposta la pendenza di fondo.

Di seguito vengono riportati, in tabella, i risultati della simulazione, in planimetria, l'andamento dei tiranti d'acqua lungo l'alveo, per il tratto oggetto di simulazione, e i profili longitudinali. La planimetria riporta anche la localizzazione del cantiere operativo TAV COP1 – Finestra Val Lemme in sponda destra al Lemme. Tutte le simulazioni condotte mostrano che il cantiere TAV non è coinvolto da fenomeni alluvionali dovuti alle piene del torrente Lemme.

Si rimanda agli allegati per la visualizzazione dei risultati mediante le sezioni trasversali.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
lemme	1238.742	TR500 SP14	276.00	378.80	382.13	381.57	382.77	0.018286	3.54	77.92	31.79	0.72
lemme	1163.789	TR500 SP14	276.00	378.07	381.16		381.55	0.013051	2.77	99.76	47.70	0.61
lemme	1087.149	TR500 SP14	276.00	376.59	380.45		380.72	0.008389	2.32	119.04	52.78	0.49
lemme	1035.341	TR500 SP14	276.00	375.52	379.82		380.23	0.010295	2.83	97.45	36.52	0.55
lemme	964.263	TR500 SP14	276.00	374.39	378.58		379.29	0.016124	3.74	73.75	23.74	0.68
lemme	844.727	TR500 SP14	276.00	372.07	376.74	376.05	377.30	0.016426	3.32	83.19	33.70	0.67
lemme	742.196	TR500 SP14	276.00	371.55	374.84	374.30	375.50	0.018685	3.59	76.83	30.83	0.73
lemme	680.607	TR500 SP14	276.00	370.13	374.26	373.14	374.65	0.008906	2.80	107.44	48.18	0.51
lemme	615.103	TR500 SP14	276.00	369.26	373.65	372.28	374.08	0.008478	2.90	98.00	34.14	0.51
lemme	596.430	TR500 SP14	276.00	369.25	373.25	372.27	373.87	0.013145	3.49	82.45	29.81	0.61
lemme	591.93		Inl Struct									
lemme	591.431	TR500 SP14	276.00	367.23	372.10		372.66	0.010883	3.31	83.27	22.01	0.54
lemme	583.343	TR500 SP14	276.00	366.50	372.07	370.36	372.56	0.009136	3.12	88.58	21.64	0.49
lemme	546.555	TR500 SP14	276.00	366.54	371.34	370.31	372.10	0.015416	3.87	71.63	21.30	0.65
lemme	476.543	TR500 SP14	276.00	365.81	371.02		371.33	0.006085	2.76	154.98	88.76	0.43
lemme	443.427	TR500 SP14	276.00	365.61	370.67	369.55	371.08	0.008133	3.10	138.33	106.03	0.49
lemme	417.806	TR500 SP14	276.00	365.76	370.27	369.59	370.82	0.012213	3.47	112.41	97.46	0.58
lemme	402.166	TR500 SP14	276.00	365.63	370.15	369.41	370.62	0.010529	3.25	124.27	106.30	0.55
lemme	383.673	TR500 SP14	276.00	365.20	370.02	368.81	370.43	0.008664	3.06	131.36	103.54	0.50
lemme	362.700	TR500 SP14	276.00	364.82	369.73	368.76	370.23	0.010229	3.34	124.25	112.96	0.55
lemme	337.439	TR500 SP14	276.00	364.73	369.11	368.39	369.88	0.016654	3.97	85.81	103.13	0.69
lemme	315.492	TR500 SP14	276.00	364.84	368.10	368.07	369.33	0.034393	4.92	56.26	23.42	0.98
lemme	273.484	TR500 SP14	276.00	364.03	368.29	366.77	368.56	0.005698	2.32	119.33	41.99	0.41
lemme	233.560	TR500 SP14	276.00	362.93	367.63	366.38	368.21	0.011656	3.38	82.42	29.29	0.57
lemme	209.689	TR500 SP14	276.00	362.82	367.59	365.96	367.94	0.006463	2.65	108.32	38.33	0.45
lemme	199.689	TR500 SP14	276.00	362.78	367.59	365.79	367.86	0.004987	2.36	129.14	59.30	0.40
lemme	196		Bridge									
lemme	193.69	TR500 SP14	276.00	362.67	366.54	365.74	367.16	0.015077	3.49	78.98	28.07	0.67
lemme	178.689	TR500 SP14	276.00	362.39	366.02		366.86	0.023950	4.07	67.87	27.88	0.83
lemme	158.118	TR500 SP14	276.00	362.00	365.81		366.40	0.014963	3.40	81.06	29.71	0.66
lemme	118.683	TR500 SP14	276.00	361.10	364.79	364.42	365.65	0.023015	4.10	67.33	25.85	0.81
lemme	84.832	TR500 SP14	276.00	360.19	363.81	363.62	364.76	0.029506	4.32	63.83	27.38	0.90
lemme	55.661	TR500 SP14	276.00	358.42	363.02	362.77	363.92	0.027167	4.20	65.74	27.38	0.86
lemme	12.363	TR500 SP14	276.00	357.73	362.34	361.63	362.94	0.015958	3.45	80.10	29.59	0.67

**Tabella 2 – Modello RAS - Stato attuale – TR=500 anni - Tabella risultati**

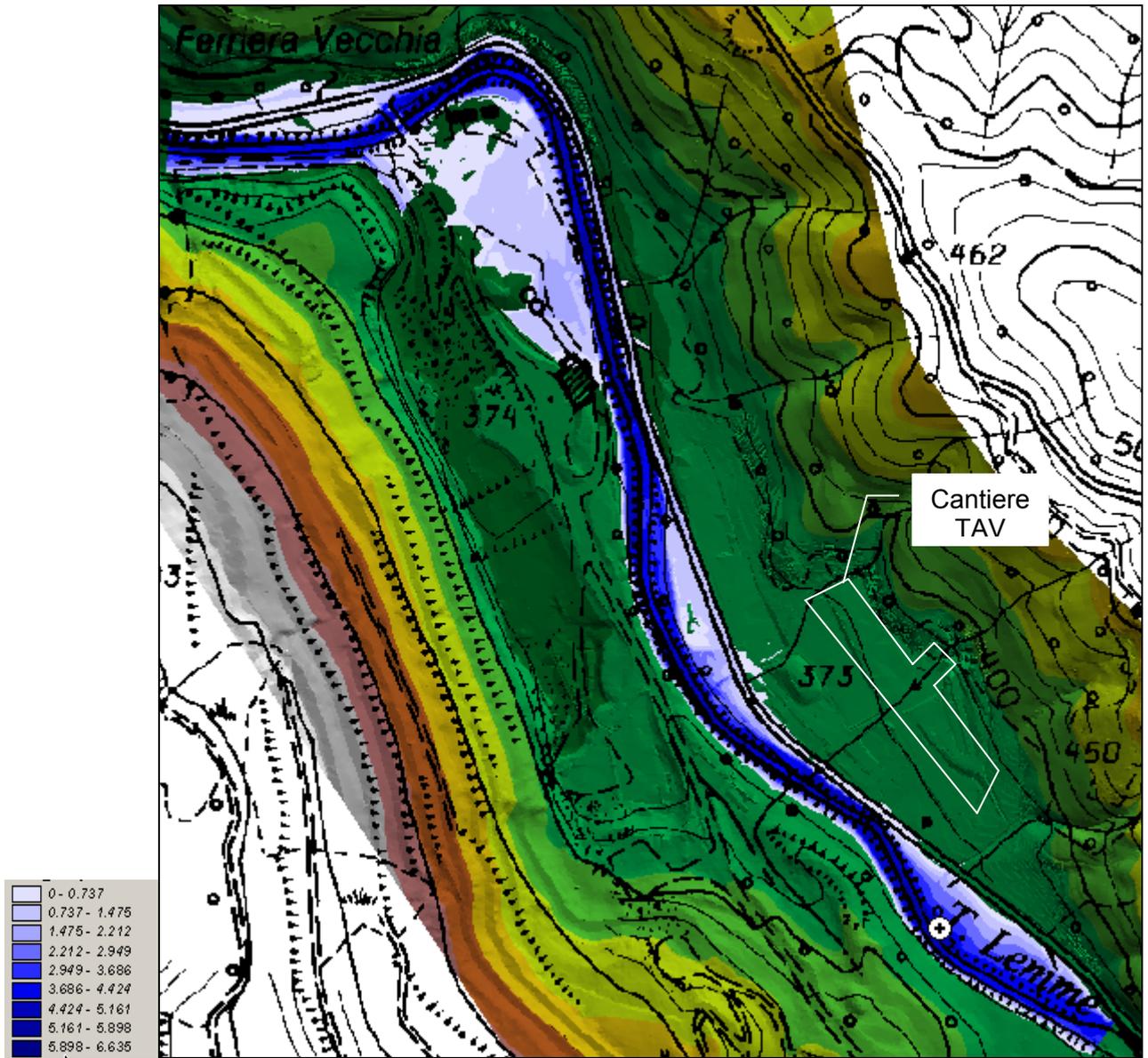


Figura 8 – Stato attuale - TR=500 anni - Carta dei tiranti (m)

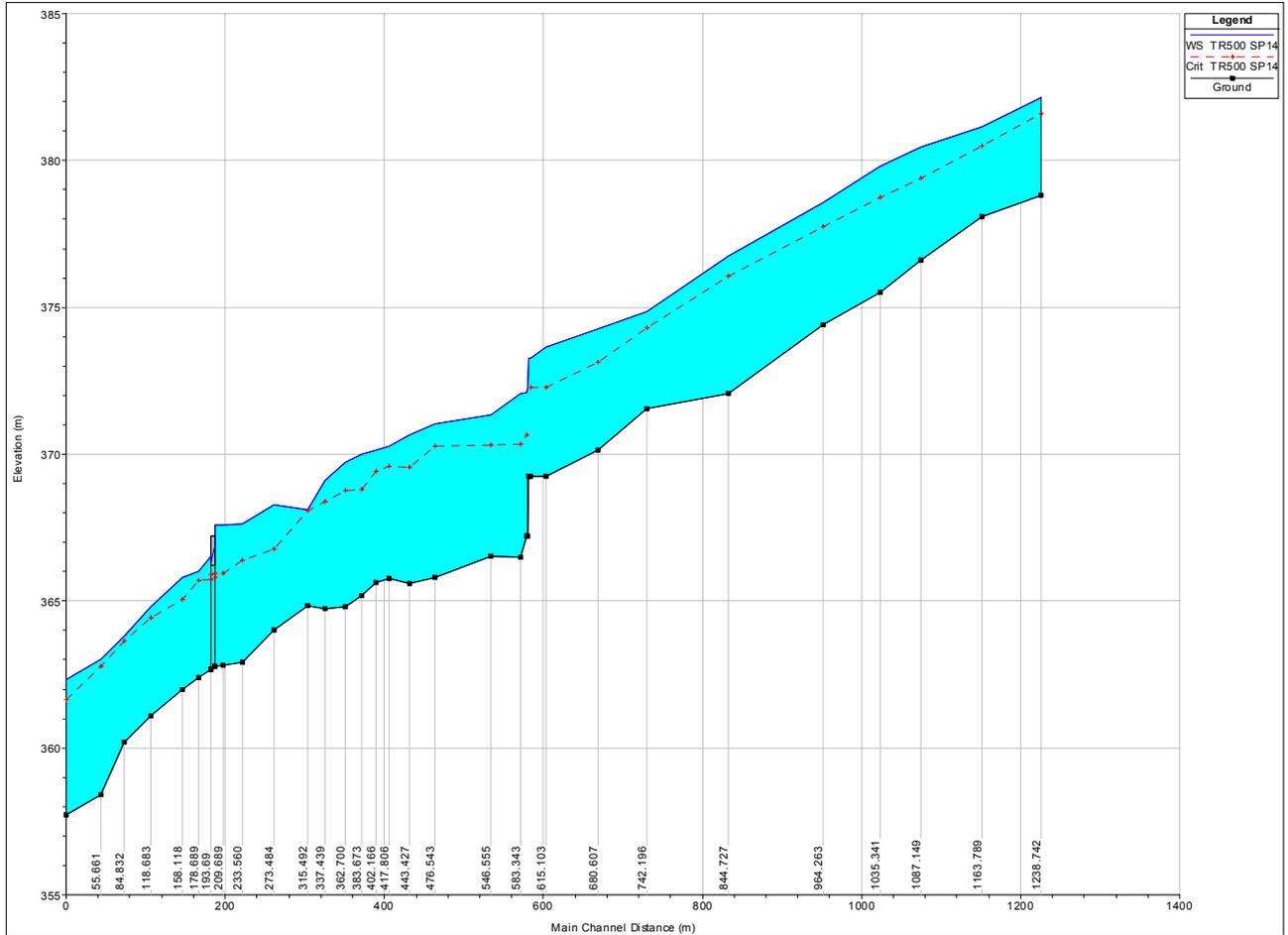


Figura 9 – Modello RAS – Stato attuale – TR=500 anni - Profilo longitudinale

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	
Foglio 17 di 226	

## 5. ANALISI IDRAULICA STATO DI PROGETTO T. LEMME

### 5.1 Simulazione dello stato di progetto

Lo stato di progetto prevede la realizzazione della difesa spondale in massi di cava in sponda sinistra, in progetto, senza modifica alla quota di fondo alveo e quindi al profilo di fondo del t. Lemme.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chrl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
lemme	1238.742	TR500 SP14	276.00	378.80	382.13	381.58	382.77	0.018292	3.54	77.91	31.78	0.72
lemme	1163.789	TR500 SP14	276.00	378.07	381.16		381.55	0.013007	2.76	99.87	47.72	0.61
lemme	1087.149	TR500 SP14	276.00	376.59	380.46		380.73	0.008283	2.31	119.57	52.87	0.49
lemme	1035.341	TR500 SP14	276.00	375.52	379.84		380.24	0.010044	2.81	98.33	36.67	0.55
lemme	964.263	TR500 SP14	276.00	374.39	378.73		379.38	0.014086	3.56	77.44	24.19	0.64
lemme	844.727	TR500 SP14	276.00	372.65	376.28	376.13	377.16	0.025118	4.15	66.57	31.22	0.91
lemme	742.196	TR500 SP14	276.00	371.47	374.65	373.98	375.24	0.013357	3.39	81.39	31.16	0.67
lemme	680.607	TR500 SP14	276.00	370.13	374.01	373.14	374.49	0.010230	3.11	94.95	47.36	0.59
lemme	615.103	TR500 SP14	276.00	369.26	373.57	372.06	373.95	0.006062	2.76	102.37	34.23	0.47
lemme	596.430	TR500 SP14	276.00	369.25	373.18	372.16	373.79	0.010268	3.47	82.78	29.64	0.60
lemme	591.93		Inl Struct									
lemme	591.431	TR500 SP14	276.00	367.23	371.85		372.43	0.008800	3.37	81.82	21.62	0.55
lemme	583.343	TR500 SP14	276.00	366.50	371.83	370.18	372.34	0.007505	3.19	86.65	21.34	0.50
lemme	546.555	TR500 SP14	276.00	366.54	371.30	370.12	372.01	0.009983	3.73	74.29	20.92	0.61
lemme	476.543	TR500 SP14	276.00	365.81	370.83	369.75	371.37	0.007075	3.40	105.12	51.15	0.54
lemme	443.427	TR500 SP14	276.00	365.61	370.62	369.55	371.09	0.009109	3.25	121.59	80.31	0.51
lemme	417.806	TR500 SP14	276.00	365.76	370.28	369.59	370.82	0.012039	3.45	111.44	86.03	0.58
lemme	402.166	TR500 SP14	276.00	365.63	370.14	369.41	370.62	0.010599	3.25	122.22	99.33	0.55
lemme	383.673	TR500 SP14	276.00	365.20	370.02	368.81	370.43	0.008664	3.06	131.36	103.54	0.50
lemme	362.700	TR500 SP14	276.00	364.82	369.73	368.76	370.23	0.010229	3.34	124.25	112.96	0.55
lemme	337.439	TR500 SP14	276.00	364.73	369.11	368.39	369.88	0.016654	3.97	85.81	103.13	0.69
lemme	315.492	TR500 SP14	276.00	364.84	368.10	368.07	369.33	0.034393	4.92	56.26	23.42	0.98
lemme	273.484	TR500 SP14	276.00	364.03	368.29	366.77	368.56	0.005698	2.32	119.33	41.99	0.41
lemme	233.560	TR500 SP14	276.00	362.93	367.63	366.38	368.21	0.011656	3.38	82.42	29.29	0.57
lemme	209.689	TR500 SP14	276.00	362.82	367.59	365.96	367.94	0.006463	2.65	108.32	38.33	0.45
lemme	199.689	TR500 SP14	276.00	362.78	367.59	365.79	367.86	0.004987	2.36	129.14	59.30	0.40
lemme	196		Bridge									
lemme	193.69	TR500 SP14	276.00	362.67	366.54	365.74	367.16	0.015077	3.49	78.98	28.07	0.67
lemme	178.689	TR500 SP14	276.00	362.39	366.02		366.86	0.023950	4.07	67.87	27.88	0.83
lemme	158.118	TR500 SP14	276.00	362.00	365.81		366.40	0.014963	3.40	81.06	29.71	0.66
lemme	118.683	TR500 SP14	276.00	361.10	364.79	364.42	365.65	0.023015	4.10	67.33	25.85	0.81
lemme	84.832	TR500 SP14	276.00	360.19	363.81	363.62	364.76	0.029506	4.32	63.83	27.38	0.90
lemme	55.661	TR500 SP14	276.00	358.42	363.02	362.77	363.92	0.027168	4.20	65.74	27.38	0.86
lemme	12.363	TR500 SP14	276.00	357.73	362.34	361.63	362.94	0.015958	3.45	80.10	29.59	0.67

Tabella 3 – Modello RAS - Stato di progetto –Tabella risultati

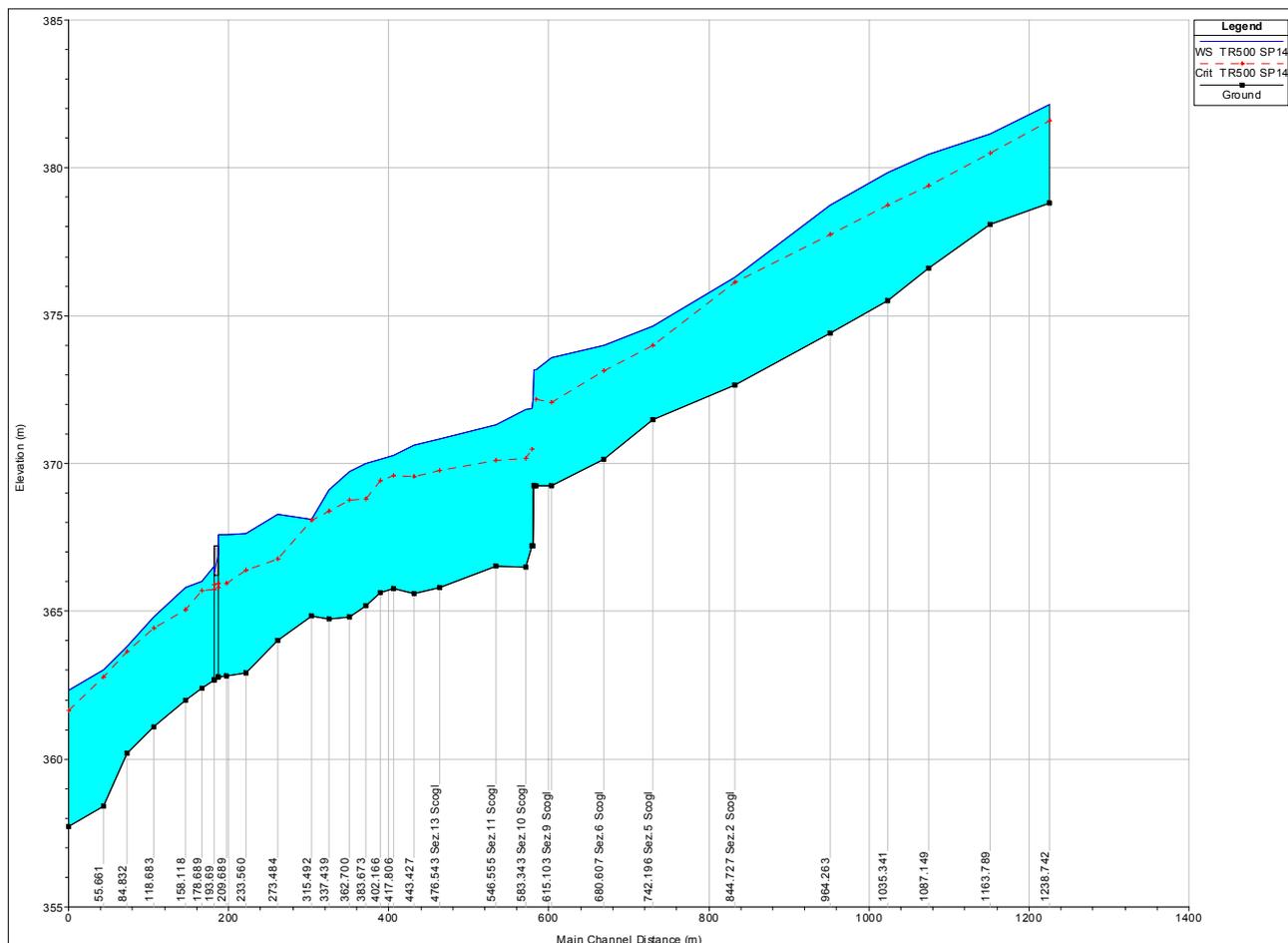


Figura 10 – Modello RAS - Stato di progetto - Profilo longitudinale

## 5.2 Opere di protezione in massi naturali

Nei casi in cui sia necessario realizzare delle opere di protezione delle sponde o del fondo di un corso d'acqua con strutture permeabili, deformabili e isolate, quali le scogliere in pietrame sciolto, occorre determinare le condizioni di equilibrio del singolo masso soggetto alle forze idrodinamiche della corrente che tendono a metterlo in movimento.

Si tratta cioè di determinare le dimensioni minime del singolo masso, e conseguentemente il suo peso, in grado di garantire le condizioni di stabilità in presenza di una corrente caratterizzata da una velocità media  $v$ .

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	Foglio 19 di 226

Le formule di uso più comune, derivate dagli studi di Shields sul trasporto solido, definiscono la velocità critica  $v_{cr}$  che dà luogo al moto in funzione del diametro equivalente  $d$  della particella immersa nella corrente secondo la seguente espressione

$$v_{cr} = k \cdot d^{0.5}$$

con  $v_{cr}$  espresso in m/s e  $d$  in metri.

Il coefficiente  $k$  assume valori variabili fra 4 e 8; nella comune pratica progettuale<sup>1</sup> si assume per  $k=5$ .

Assumendo come velocità critica la velocità della corrente e risolvendo l'espressione secondo  $d$ , si ottiene la dimensione minima del masso da utilizzare nel caso esaminato.

La velocità che interessa è quella al fondo: nel caso in cui il battente idrico sia molto maggiore della dimensione del materiale la velocità al fondo può essere assunta pari al 75% della velocità media; nel caso in cui invece la dimensione del materiale sia confrontabile con la profondità della corrente è bene assumere come velocità al fondo la velocità media.

Assumendo cautelativamente un valore della velocità critica pari alla velocità media della corrente, pari a circa 5 m/s, come risulta dalla simulazione di progetto per  $Tr = 500$  anni, si ottiene un peso minimo del singolo masso di circa 1.5 tonnellate.

### 5.3 Erosione in alveo

Ai fini della valutazione dell'erosione in alveo dovuta alla presenza di elementi rigidi (platee, fondazioni di argini, briglie ecc.) si fa riferimento al caso più significativo del deflusso attraverso una soglia a stramazzo (o briglia).

Per la determinazione della massima profondità di erosione al piede si è fatto riferimento alla formula di Schoklitsch<sup>2</sup>, alla base di tutti i successivi studi di settore, espressa nella seguente forma

<sup>1</sup> L. Da Deppo-C. Datei-P. Salandin: Sistemazione dei corsi d'acqua, Cortina edizioni, Padova 1997.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	Foglio 20 di 226

$$y_s = 4.75 \cdot H^{0.2} \cdot q^{0.57} \cdot d_{90}^{-0.32} - y_0$$

dove  $H[m]$  è la differenza fra i peli liberi a monte e a valle della briglia,  $q[m^2/s]$  è la portata per unità di larghezza della briglia,  $d_{90}[mm]$  è il diametro del vaglio che consente il passaggio del 90% in peso del materiale che costituisce il fondo e  $y_0[m]$  è la profondità della corrente a valle della briglia.

La tabella seguente riporta i valori di calcolo per la simulazione di progetto con  $Tr = 500$  anni, da cui risulta una massima erosione del fondo in corrispondenza della protezione spondale di 0.71 m; il livello di estradosso della fondazione della scogliera posto a un metro di profondità rispetto al fondo alveo risulta quindi sufficientemente cautelativo.

$H$	(m)	0.78
$q$	( $m^2/s$ )	30
$d_{90}$	(mm)	150
$y_0$	(m)	5.61
$y_s$	(m)	0.71

**Tabella 4** – Scalzamento difesa spondale

La parete dello scavo viene rivestita con un geotessile nontessuto, ai fini della ripartizione dei carichi e del drenaggio della struttura, come riportato a pag. 150 fig. 122A) del Manuale di Ingegneria Naturalistica della Regione Piemonte, Assessorato Ambiente, Direzione Tutela e Risanamento Ambientale 'Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di Ingegneria Naturalistica', a cura di Luca De Antonis e Vincenzo Maria Molinari.

<sup>2</sup> A.Schoklitsch: Kolkbildung unter Überfallstrahlen, Die Wassewirtschaft (1932)

A. Schoklitsch: Stauraumverlandung und Kolkabwehr, Julius Springer, Wien (1935)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme
	Foglio 21 di 226

## 6. OPERE PROVVISORIALI IN ALVEO

Si prevede la realizzazione di una pista in alveo da realizzarsi con materiale granulare stabilizzato, avente lo scopo di consentire il transito degli automezzi per il trasporto del materiale e di deviare la corrente di magra dall'area di intervento; la pista avrà altezza 50 cm rispetto al fondo alveo e larghezza 3.00 m e disterà circa 8-10 m dalla linea di sponda a seguito di sbancamento. La realizzazione della scogliera avverrà per tratti successivi di 10 m da monte verso valle, con modalità operative del tipo cuci-scuci in grado di finalizzare il singolo tratto di scogliera nel giro di pochi giorni, minimizzando il tempo di apertura del fronte di scavo. L'accesso alla pista in alveo avverrà mediante una rampa che si sviluppa lungo la sponda del t. Lemme a partire da una viabilità esistente. In condizioni di alti tiranti il cantiere in alveo dovrà essere rimosso tempestivamente e dovrà essere evacuata la zona. **Si evidenzia che questa tematica dovrà essere presa in considerazione nel Piano di Sicurezza e Coordinamento, con particolare riferimento alla procedura da adottare in previsione di alti tiranti ed evento di piena.**

Il tempo di ritorno dell'evento associato alla fase provvisoria usualmente si calcola come il tempo di ritorno avente lo stesso rischio dell'opera di progetto a vita intera. Dato un tempo di vita dell'opera generale ( $N_{og}$ ), in questo caso la scogliera, pari a 100 anni, e un tempo di ritorno dell'evento di piena di progetto fissato a 500 anni ( $TR_{og}$ ), si può calcolare il rischio di superamento ( $R_{og}$ ) della portata cinquecentennale in 100 anni di servizio dell'opera generale secondo la seguente formula:

$$R_{og} = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR_{og}}\right)^{N_{og}} = 1 - \left(1 - \frac{1}{500}\right)^{100} = 0.18$$

con  $R_{og}$  il rischio di superamento dell'evento associato al tempo di ritorno  $T_{Rog}$  (pari a 500 anni) in  $N_{og}$  anni (pari a 100 anni).

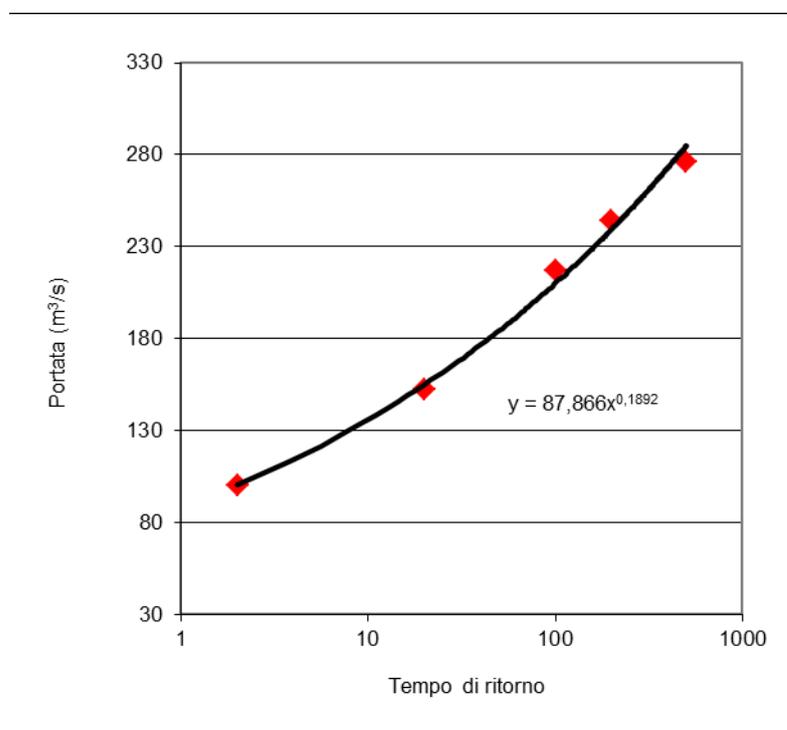
Per la realizzazione della scogliera si ipotizza una durata del cantiere di 3 mesi, durante la quale l'opera provvisoria sarà attiva; eseguendo il calcolo a ritroso, noto il tempo di vita dell'opera provvisoria ( $N_{op} = 3 \text{ mesi} = 0,25 \text{ anni}$ ), si va a calcolare il tempo di ritorno della portata che risulta avere lo stesso rischio di superamento dell'opera generale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	Foglio 22 di 226

$$0.18 = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR_{op}}\right)^{N_{op}} = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR_{op}}\right)^{0.25}$$

Il tempo di ritorno ( $TR_{op}$ ) dell'evento di piena di riferimento per il progetto della pista di cantiere è pari a circa 2 anni.

Utilizzando i valori di portata, riportati nello studio SP1.4 per la sezione di chiusura di Voltaggio (cfr. § 3.2), per i tempi di ritorno 20, 100, 200 e 500 anni, si è eseguita una regressione lineare, al fine di individuare il valore di portata relativo al tempo di ritorno di progetto per la pista di cantiere, pari a 2 anni; il valore ottenuto è pari a  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 11** – Regressione lineare portate SP1.4 a Voltaggio

Per tale portata il tirante idrico in corrispondenza della scogliera è pari a circa 2 m. Non è pensabile di realizzare la pista all'asciutto, in quanto per contenere tale livello occorrerebbe fare una pista alta 2 m; tale ingombro occuperebbe quasi interamente l'alveo, alzando ulteriormente i livelli idrici. Il fondo in roccia rende inoltre difficoltoso piantare dispositivi provvisori quali palancole per realizzare la scogliera all'asciutto. Si accetta quindi che la pista di spessore 50 cm in

misto stabilizzato possa essere trascinata per eventi di piena; si lavorerà solo in condizioni di bassi battenti, per conci brevi (10 m).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
lemme	1238.742	TR 2	100.00	378.80	381.00	380.43	381.26	0.012393	2.24	44.64	27.44	0.56
lemme	1163.789	TR 2	100.00	378.07	380.01	379.59	380.23	0.015038	2.05	48.83	41.05	0.60
lemme	1087.149	TR 2	100.00	376.59	378.85	378.35	379.08	0.014703	2.12	47.06	36.38	0.60
lemme	1035.341	TR 2	100.00	375.52	377.98	377.43	378.29	0.015559	2.46	40.59	25.84	0.63
lemme	964.263	TR 2	100.00	374.39	376.96	376.23	377.30	0.012645	2.56	39.12	19.13	0.57
lemme	844.727	TR 2	100.00	372.07	375.32	374.73	375.62	0.015496	2.42	41.30	25.52	0.61
lemme	742.196	TR 2	100.00	371.55	373.50	373.16	373.84	0.019438	2.59	38.57	26.55	0.69
lemme	680.607	TR 2	100.00	370.13	372.55	372.06	372.81	0.013829	2.25	44.37	28.56	0.58
lemme	615.103	TR 2	100.00	369.26	371.86	371.03	372.09	0.008824	2.11	47.35	23.91	0.48
lemme	596.430	TR 2	100.00	369.25	371.57	370.92	371.88	0.012800	2.47	40.43	20.81	0.57
lemme	591.93	Inl Struct										
lemme	591.431	TR 2	100.00	367.23	370.16	369.14	370.43	0.009024	2.28	43.80	18.61	0.48
lemme	583.343	TR 2	100.00	366.50	370.14	368.91	370.35	0.006676	2.03	49.14	19.28	0.41
lemme	546.555	TR 2	100.00	366.54	369.78	368.70	370.06	0.008793	2.35	42.63	17.15	0.47
lemme	476.543	TR 2	100.00	365.81	369.19	368.00	369.47	0.008164	2.32	43.15	17.06	0.47
lemme	443.427	TR 2	100.00	365.61	368.92	367.71	369.19	0.008277	2.32	43.09	16.72	0.46
lemme	417.806	TR 2	100.00	365.76	368.55	367.83	368.91	0.014284	2.66	37.59	17.76	0.58
lemme	402.166	TR 2	100.00	365.63	368.31	367.63	368.68	0.014786	2.70	37.03	17.84	0.60
lemme	383.673	TR 2	100.00	365.20	368.13	367.20	368.43	0.010756	2.46	40.72	17.85	0.52
lemme	362.700	TR 2	100.00	364.82	367.81	366.99	368.18	0.012592	2.70	37.08	16.19	0.57
lemme	337.439	TR 2	100.00	364.73	367.44	366.77	367.84	0.014727	2.78	36.03	16.99	0.61
lemme	315.492	TR 2	100.00	364.84	366.77	366.62	367.37	0.030676	3.41	29.29	18.62	0.87
lemme	273.484	TR 2	100.00	364.03	366.25	365.72	366.48	0.012390	2.12	47.07	30.89	0.55
lemme	233.560	TR 2	100.00	362.93	365.62	364.96	365.95	0.013344	2.55	39.16	19.49	0.57
lemme	209.689	TR 2	100.00	362.82	365.39	364.67	365.65	0.010399	2.25	44.46	23.82	0.53
lemme	199.689	TR 2	100.00	362.78	365.32	364.54	365.55	0.009359	2.13	47.00	25.07	0.50
lemme	196	Bridge										
lemme	193.69	TR 2	100.00	362.67	365.08	364.43	365.37	0.012039	2.38	42.08	22.92	0.56
lemme	178.689	TR 2	100.00	362.39	364.59	364.38	365.09	0.026895	3.13	31.99	21.62	0.82
lemme	158.118	TR 2	100.00	362.00	364.28	363.83	364.61	0.016577	2.53	39.47	24.79	0.64
lemme	118.683	TR 2	100.00	361.10	363.54	363.15	363.92	0.018302	2.71	36.90	22.82	0.68
lemme	84.832	TR 2	100.00	360.19	362.43	362.38	363.03	0.037792	3.43	29.13	21.71	0.95
lemme	55.661	TR 2	100.00	358.42	361.60	361.25	362.11	0.025410	3.15	31.77	19.36	0.78
lemme	12.363	TR 2	100.00	357.73	360.87	360.31	361.19	0.015942	2.51	39.83	24.22	0.62

Tabella 5 – Modello RAS - Stato attuale – TR=2 anni - Tabella risultati

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min.Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
lemme	1238.742	TR 2	100.00	378.80	381.00	380.43	381.26	0.012393	2.24	44.64	27.44	0.56
lemme	1163.789	TR 2	100.00	378.07	380.01	379.59	380.23	0.015038	2.05	48.83	41.05	0.60
lemme	1087.149	TR 2	100.00	376.59	378.85	378.35	379.08	0.014708	2.13	47.05	36.37	0.60
lemme	1035.341	TR 2	100.00	375.52	377.98	377.43	378.29	0.015632	2.47	40.51	25.81	0.63
lemme	964.263	TR 2	100.00	374.39	377.03	376.23	377.34	0.011507	2.47	40.43	19.33	0.55
lemme	844.727	TR 2	100.00	372.07	375.38	374.91	375.70	0.016817	2.49	40.17	25.76	0.64
lemme	742.196	TR 2	100.00	371.63	373.57	373.21	373.90	0.018204	2.54	39.30	26.68	0.67
lemme	680.607	TR 2	100.00	370.13	372.64	372.16	372.90	0.013952	2.26	44.22	28.70	0.58
lemme	615.103	TR 2	100.00	369.26	371.88	371.15	372.13	0.010171	2.21	45.35	23.96	0.51
lemme	596.430	TR 2	100.00	369.25	371.60	370.94	371.91	0.012821	2.47	40.43	20.85	0.57
lemme	591.93		Int Struct									
lemme	591.431	TR 2	100.00	367.23	370.25	369.23	370.51	0.009099	2.28	43.92	18.79	0.48
lemme	583.343	TR 2	100.00	366.50	370.23	368.96	370.43	0.006376	2.00	49.96	19.40	0.40
lemme	546.555	TR 2	100.00	366.59	369.86	368.83	370.15	0.009255	2.38	42.05	17.27	0.49
lemme	476.543	TR 2	100.00	365.81	369.27	368.07	369.54	0.008039	2.30	43.45	17.23	0.46
lemme	443.427	TR 2	100.00	365.61	368.97	367.84	369.26	0.008841	2.36	42.36	16.87	0.47
lemme	417.806	TR 2	100.00	365.76	368.63	367.87	368.97	0.013450	2.60	38.53	18.02	0.56
lemme	402.166	TR 2	100.00	365.73	368.30	367.77	368.72	0.018250	2.88	34.72	17.80	0.66
lemme	383.673	TR 2	100.00	365.20	368.13	367.20	368.43	0.010756	2.46	40.72	17.85	0.52
lemme	362.700	TR 2	100.00	364.82	367.81	366.99	368.18	0.012592	2.70	37.08	16.19	0.57
lemme	337.439	TR 2	100.00	364.73	367.44	366.77	367.84	0.014727	2.78	36.03	16.99	0.61
lemme	315.492	TR 2	100.00	364.84	366.77	366.62	367.37	0.030676	3.41	29.29	18.62	0.87
lemme	273.484	TR 2	100.00	364.03	366.25	365.72	366.48	0.012390	2.12	47.07	30.89	0.55
lemme	233.560	TR 2	100.00	362.93	365.62	364.96	365.95	0.013344	2.55	39.16	19.49	0.57
lemme	209.689	TR 2	100.00	362.82	365.39	364.67	365.65	0.010399	2.25	44.46	23.82	0.53
lemme	199.689	TR 2	100.00	362.78	365.32	364.54	365.55	0.009359	2.13	47.00	25.07	0.50
lemme	196		Bridge									
lemme	193.69	TR 2	100.00	362.67	365.08	364.43	365.37	0.012039	2.38	42.08	22.92	0.56
lemme	178.689	TR 2	100.00	362.39	364.59	364.38	365.09	0.026895	3.13	31.99	21.62	0.82
lemme	158.118	TR 2	100.00	362.00	364.28	363.83	364.61	0.016577	2.53	39.47	24.79	0.64
lemme	118.683	TR 2	100.00	361.10	363.54	363.15	363.92	0.018302	2.71	36.90	22.82	0.68
lemme	84.832	TR 2	100.00	360.19	362.43	362.38	363.03	0.037792	3.43	29.13	21.71	0.95
lemme	55.661	TR 2	100.00	358.42	361.60	361.25	362.11	0.025411	3.15	31.77	19.36	0.78
lemme	12.363	TR 2	100.00	357.73	360.87	360.31	361.19	0.015941	2.51	39.83	24.22	0.62

**Tabella 6 – Modello RAS – Fase operativa – TR=2 anni - Tabella risultati**

La successiva tabella riporta il confronto tra i livelli del torrente Lemme in condizioni di piena con tempo di ritorno di 2 anni (portata pari a 100 m<sup>3</sup>/s) in condizioni attuali e a seguito della realizzazione della pista di cantiere. Si osserva che l'ostruzione in alveo dovuta alla pista non accresce sensibilmente la pericolosità idraulica delle opere, in quanto l'incremento di livello è contenuto in un valore medio di 6.5 cm e massimo di 9 cm.

	Stato attuale	Fase operativa	Confronto
River Sta	W.S. Elev (msmm)	W.S. Elev (msmm)	Delta (m)
1238.742	381.00	381.00	0.00
1163.789	380.01	380.01	0.00
1087.149	378.85	378.85	0.00
1035.341	377.98	377.98	0.00
964.263	376.96	377.03	0.07
844.727	375.32	375.38	0.06
742.196	373.50	373.57	0.07
680.607	372.55	372.64	0.09
615.103	371.86	371.88	0.02
596.43	371.57	371.60	0.03
591.93			
591.431	370.16	370.25	0.09

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	Foglio 25 di 226

583.343	370.14	370.23	0.09
546.555	369.78	369.86	0.08
476.543	369.19	369.27	0.08
443.427	368.92	368.97	0.05
417.806	368.55	368.63	0.08
402.166	368.31	368.30	-0.01
383.673	368.13	368.13	0.00
362.7	367.81	367.81	0.00
337.439	367.44	367.44	0.00
315.492	366.77	366.77	0.00
273.484	366.25	366.25	0.00
233.56	365.62	365.62	0.00
209.689	365.39	365.39	0.00
199.689	365.32	365.32	0.00
193.69	365.08	365.08	0.00
178.689	364.59	364.59	0.00
158.118	364.28	364.28	0.00
118.683	363.54	363.54	0.00
84.832	362.43	362.43	0.00
55.661	361.60	361.60	0.00
12.363	360.87	360.87	0.00

**Tabella 7** – Confronto livelli di piena in stato attuale con presenza della pista provvisoria in alveo(TR=2 anni)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme	Foglio 26 di 226

## 7. VERIFICA STABILITÀ SCOGLIERA

In questa sede verranno effettuate le verifiche di stabilità della scogliera in progetto in sponda sinistra del Torrente Lemme, al piede della zona di intervento dell'abbancamento; le attività in progetto prevedono lo scavo di parte della scarpata naturale costituente la sponda stessa dell'alveo inciso del torrente.

La sponda attuale non è soggetta a fenomeni di instabilità; si è proceduto quindi ad effettuare una attività di back analysis al fine di determinare i parametri geotecnici del materiale che costituisce la sponda del torrente, rappresentato dai materiali soprastanti il substrato roccioso presente a fondo alveo.

Tale verifica, definita come "SCENARIO 0", è stata condotta in quelle che si possono definire "condizioni ordinarie" della sponda nel corso dell'anno: si è prevista la presenza di una piezometrica di base all'interno del materiale di sponda e un modesto tirante idraulico nel corso d'acqua. La geometria del pendio attuale proviene dalle tavole di progetto delle sezioni della scogliera e da quelle di progetto dell'abbancamento; cautelativamente è stata selezionata la sezione n° 3 di progetto della scogliera che risulta essere quella più sfavorevole in quanto presenta la pendenza maggiore e la massima altezza rispetto al fondo alveo.

Lo scenario legato alla fase di scavo viene invece denominato "SCENARIO 1". I parametri geotecnici individuati nello SCENARIO 0 vengono qui applicati per verificare la permanenza di condizioni di stabilità anche nella fase di scavo. Le condizioni al contorno sono invece leggermente differenti in quanto è stata eliminata la piezometrica di base: le fasi di scavo di cantiere verranno infatti condotte in regime di magra in alveo e contributo nullo dell'acquifero superficiale.

Entrambe le verifiche sono state condotte alla ricerca del puro equilibrio tra le forze agenti che creano instabilità e le forze resistenti. Un fattore di sicurezza pari a 1 è infatti sufficiente per determinare l'equilibrio stabile in condizioni attuali (SCENARIO 0) mentre, per la fase di cantiere, si ritiene idoneo tale valore in quanto si procederà con scavo a conci di pochi metri di lunghezza in modo da ultimare tutte le operazioni di realizzazione della scogliera nel giro di poche ore. Quando il primo concio di opera sarà ultimato si procederà con il concio successivo e quindi con le nuove fasi di scavo, posa dei massi e successivo condizionamento fino alla fine dell'intera opera.

I risultati prodotti dallo SCENARIO 1 in esame sono estendibili anche alle sezioni di scavo necessarie per la realizzazione della pista di cantiere a mezza costa, con fronti di scavo inclinati a

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	Foglio 27 di 226

45°. Il materiale in questione infatti è lo stesso, inoltre il fronte di scavo della scogliera risulta con inclinazione paragonabile a quella della pista stessa.

Passando poi alla condizione di esercizio, sono state effettuate ulteriori due verifiche di stabilità, una in caso di sisma e una, in assenza di sisma e condizione di rapido svasso a seguito della piena con tempo di ritorno del T. Lemme pari a  $T_r = 500$  anni; esse vengono rispettivamente identificate con "SCENARIO 2" e "SCENARIO 3". Il fattore di sicurezza di riferimento, in accordo con la normativa vigente, è assunto pari a  $F_s = 1.3$ .

### 7.1 Parametri geotecnici di riferimento

La scogliera in esame presenta un corpo principale scavato nella sponda esistente e un piede di base alloggiato nel bedrock sottostante. Le superfici di scivolamento a minor coefficiente di stabilità si svilupperanno quindi essenzialmente nello strato superficiale della sponda esistente.

In base a quanto affermato in Relazione Geotecnica, l'angolo di attrito medio attribuibile allo strato di materiali della sponda è pari a  $\varphi' = 35^\circ$ : Tale valore emerge dalla correlazione di De Mello (1971) sui dati provenienti dalle prove SPT condotte all'interno dei fori di sondaggio.

Tale valore risulta comunque insufficiente a garantire la stabilità anche in condizioni attuali; nello SCENARIO 0 si è allora cercato un minimo contributo di coesione che potesse riproporre la condizione di stabilità che di fatto sussiste in stato attuale, poiché, come detto, non si accertano fenomeni di instabilità della sponda sinistra Lemme.

In base alla back analysis condotta, in accordo anche a quanto evidenziato in Relazione Geotecnica, i parametri geotecnici di riferimento per la sponda del t. Lemme risultano i seguenti:

angolo di attrito	$\varphi' = 35^\circ$ ,
coesione	$c' = 5 \text{ kPa}$ ,
peso di volume saturo	$\gamma_{SAT} = 22 \text{ kN/m}^3$
peso di volume anidro	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ .

Con tali caratteristiche geomeccaniche e a fronte di attività di scavo estremamente limitate nel tempo e nello spazio, lo SCENARIO 1 presenta un fronte in condizioni di equilibrio limite con un valore risultante del coefficiente di sicurezza pari a  $F_S = 1.03$ .

Per gli altri scenari (SCENARIO 2 e 3) i parametri geotecnici di riferimento, in accordo con la relazione geotecnica, sono i seguenti:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	Foglio 28 di 226

#### MATERIALE SPONDA T. LEMME

angolo di attrito	$\varphi' = 35^\circ$ ,
coesione	$c' = 0 \text{ kPa}$ ,
peso di volume saturo	$\gamma_{\text{SAT}} = 22 \text{ kN/m}^3$
peso di volume anidro	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

#### BEDROCK

angolo di attrito	$\varphi' = 30^\circ$ ,
coesione	$c' = 20 \text{ kPa}$ ,
peso di volume saturo	$\gamma_{\text{SAT}} = 23 \text{ kN/m}^3$
peso di volume anidro	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$

Segue una breve descrizione del codice di calcolo SLOPE 2005 ver. 2005.24 REV 28 utilizzato per le verifiche e i risultati delle verifiche stesse.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	Foglio 29 di 226

## 7.2 Il codice SLOPE 2005 ver. 2005.24 REV 28

### 7.2.1 Normative di riferimento

#### **D.M. LL.PP. del 11/03/1988**

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

#### **D.M. LL.PP. del 14/02/1992**

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

#### **D.M. 9 Gennaio 1996**

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

#### **D.M. 16 Gennaio 1996**

Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi

#### **D.M. 16 Gennaio 1996**

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

#### **Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.**

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

#### **Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.**

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

### 7.2.2 Definizioni

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

### 7.2.3 Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	Foglio 30 di 226

Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

#### 7.2.4 Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ .

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

#### 7.2.5 Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;

$n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riquilifica ambientale Val Lemme	Foglio 31 di 226

( $n-1$ ) forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 ( $n-1$ ) forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;  
 ( $n-1$ ) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;  
 una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .  
 Complessivamente le incognite sono ( $6n-2$ ).

mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$   
 Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$   
 Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$   
 Equazioni relative al criterio di rottura  $n$   
 Totale numero di equazioni  $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a  
 $i = (6n-2) - (4n) = 2n-2$ .

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a ( $n-2$ ) in quando si fa l'assunzione che  
 $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali  
 totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui  
 vengono eliminate le ( $n-2$ ) indeterminazioni.

### 7.2.6 Metodo di JANBU (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia  
 (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente  
 valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme
	Foglio 32 di 226

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_o F$$

dove  $f_o$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

### 7.3 Scenario 0 – Back Analysis

La sezione di riferimento utilizzata è la n° 3 relativa al progetto della scogliera, in quanto più cautelativa in termini di pendenza del fronte in stato attuale e di altezza rispetto al letto del torrente Lemme.

In questo scenario, considerato “medio annuo”, è prevista un’altezza d’acqua in alveo tipica di un regime di flusso ordinario, con una piezometrica di base alimentante il torrente stesso.

La geometria del fronte di scavo è quella indisturbata ante operam.

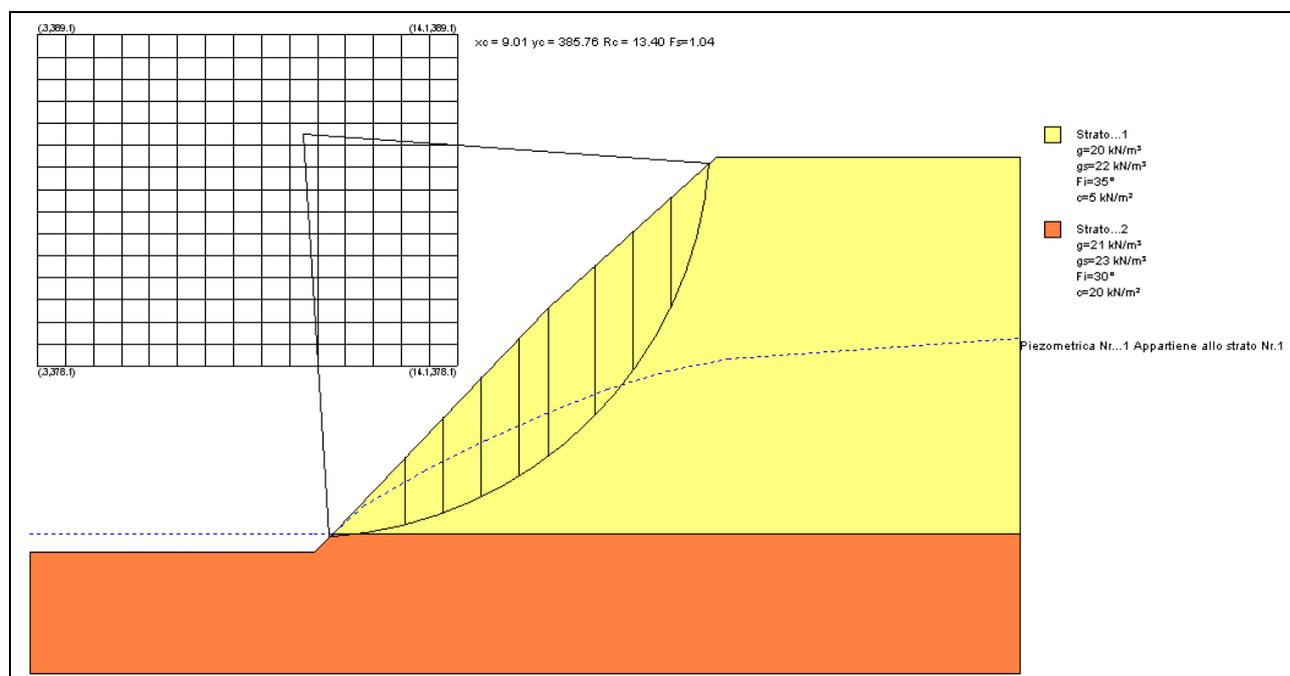
La verifica di stabilità condotta è volta alla ricerca del minimo parametro di coesione che in condizioni “normali” consente il bilanciamento delle forze agenti con le resistenti; tale back analysis consente quindi di fotografare la realtà in termini di parametri geotecnici caratteristici del terreno di copertura.

L’equilibrio limite viene raggiunto mediante l’utilizzo dei seguenti parametri geotecnici per la sponda t. Lemme:

angolo di attrito	$\varphi' = 35^\circ$ ,
coesione	$c = 5 \text{ kPa}$ ,
peso di volume saturo	$\gamma_{\text{SAT}} = 22 \text{ kN/m}^3$
peso di volume anidro	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Fattore di sicurezza minimo  $F_S = 1.04$ .

Di seguito la rappresentazione della superficie di scivolamento più cautelativa. Si veda poi in allegato al fondo il listato di output del codice di calcolo.



#### 7.4 Scenario 1 – Condizione di scavo

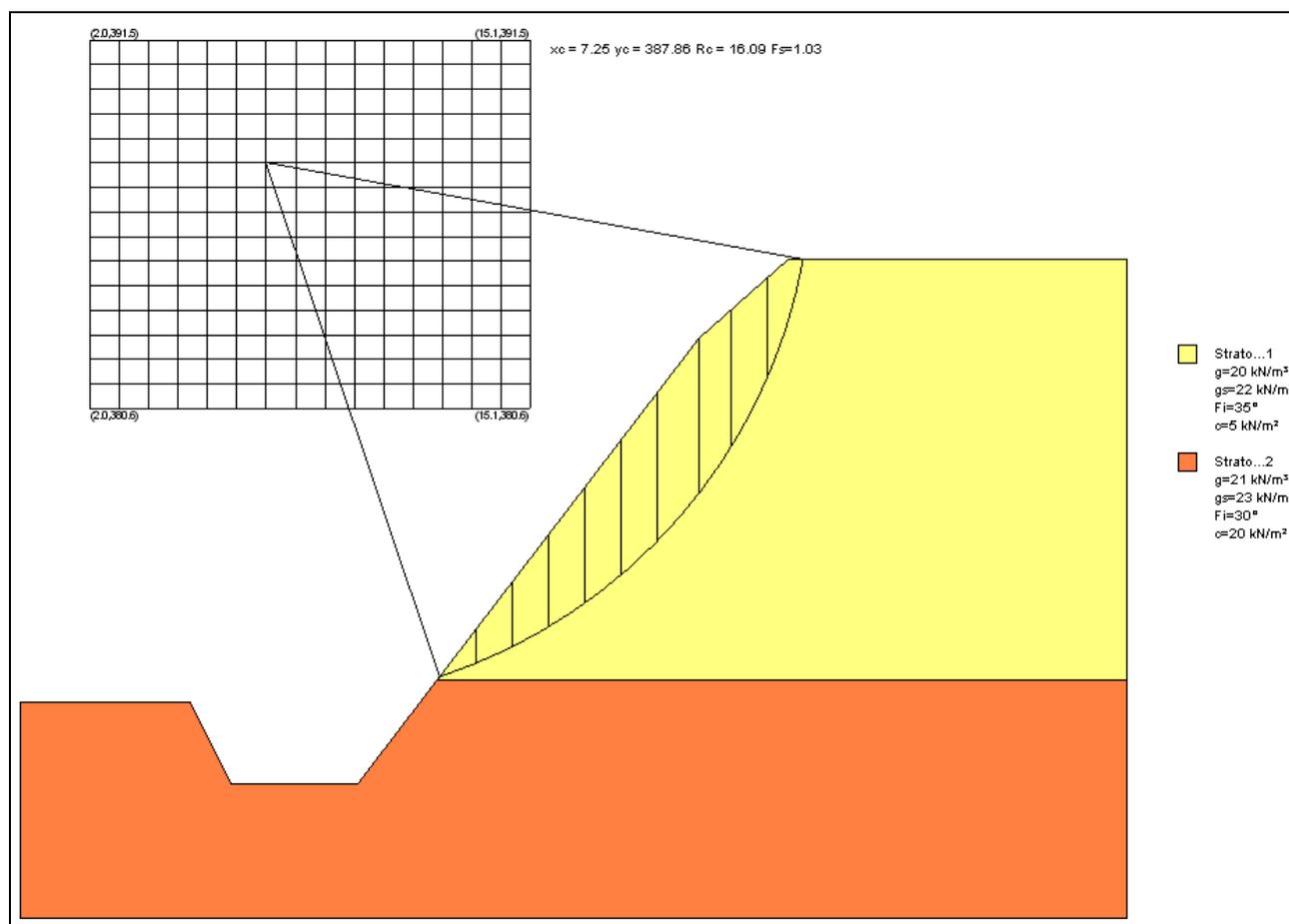
Sulla medesima sezione di riferimento (n° 3) viene condotta la verifica di stabilità in condizioni di scavo. La fase di lavoro prevede uno scavo per conchi di lunghezza limitata in modo da terminare la posa della scogliera in brevissimo tempo lasciando un fronte di scavo aperto di modeste dimensioni per un periodo molto limitato. In questo modo, tenendo anche conto del fatto che le lavorazioni verranno eseguite in condizioni idrogeologiche favorevoli, è possibile stimare assenza di acquifero alimentante il torrente e tiranti idrici in alveo in regime di magra. Con queste approssimazioni è ragionevole accettare un coefficiente di sicurezza per la stabilità dello scavo prossimo all'equilibrio limite e cioè tale da garantire esclusivamente l'equilibrio delle forze agenti con quelle resistenti.

Ovviamente i parametri geotecnici utilizzati sono quelli della back analysis ovvero dello scenario 0 per la sponda t. Lemme:

angolo di attrito	$\varphi' = 35^\circ$ ,
coesione	$c = 5 \text{ kPa}$ ,
peso di volume saturo	$\gamma_{\text{SAT}} = 22 \text{ kN/m}^3$
peso di volume anidro	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

In queste condizioni si ottiene effettivamente l'equilibrio statico delle forze in gioco con un fattore di sicurezza minimo  $F_s = 1.03$ . Lo scavo risulta pertanto in equilibrio per il breve periodo per il quale rimane aperto.

Di seguito la rappresentazione della superficie di scivolamento più cautelativa. Si veda poi in allegato al fondo il listato di output del codice di calcolo.



## 7.5 Scenario 2 – Stato di esercizio con azioni sismiche

In questo scenario si analizza il comportamento della sponda del T. Lemme a lavori compiuti e quindi con la scogliera interamente realizzata. In queste condizioni, che vengono definite di esercizio, si esclude la possibilità di generazione di superfici di scivolamento nel corpo della scogliera, caratterizzata dalla presenza di massi ciclopici, e ci si concentra sulle condizioni di stabilità al piede della stessa.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme	Foglio 35 di 226

Allo scopo è stata determinata la quota del tetto del bedrock in base all'analisi delle cassette dei sondaggi limitrofi e delle sezioni tomografiche di riferimento. In prossimità della sezione n° 3 della scogliera essa può essere ragionevolmente assunta pari a 372.50 m s.l.m. ovvero di poco superiore al letto del torrente.

Trattandosi di una condizione di esercizio a lungo termine l'analisi è stata condotta in presenza di accelerazioni sismiche secondo quanto imposto dalla normativa. Il D.M. 16/1/1996, al paragrafo D afferma che: "nella progettazione e nella costruzione dei muri di sostegno in zone sismiche deve tenersi conto dell'influenza delle azioni sismiche agenti in direzione orizzontale".

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte considerando un sistema di forze orizzontali dato da:  $F C W i = \times$  con  $C = (S - 2) / 100$ , dove C rappresenta il coefficiente di intensità sismica e W il peso complessivo delle masse.

Per la zona in cui ricadono le opere (comune di Voltaggio, zona 3), si può assumere  $S = 6$ . Pertanto il coefficiente sismico orizzontale, da applicare alla massa del terreno, risulta pari a 0.04.

Il pendio della sponda sinistra del T. Lemme è stato quindi verificato in condizioni sismiche con  $a_g = 0.04 g$ . I parametri geotecnici di riferimento sono i seguenti:

#### MATERIALE DI SPONDA T. LEMME

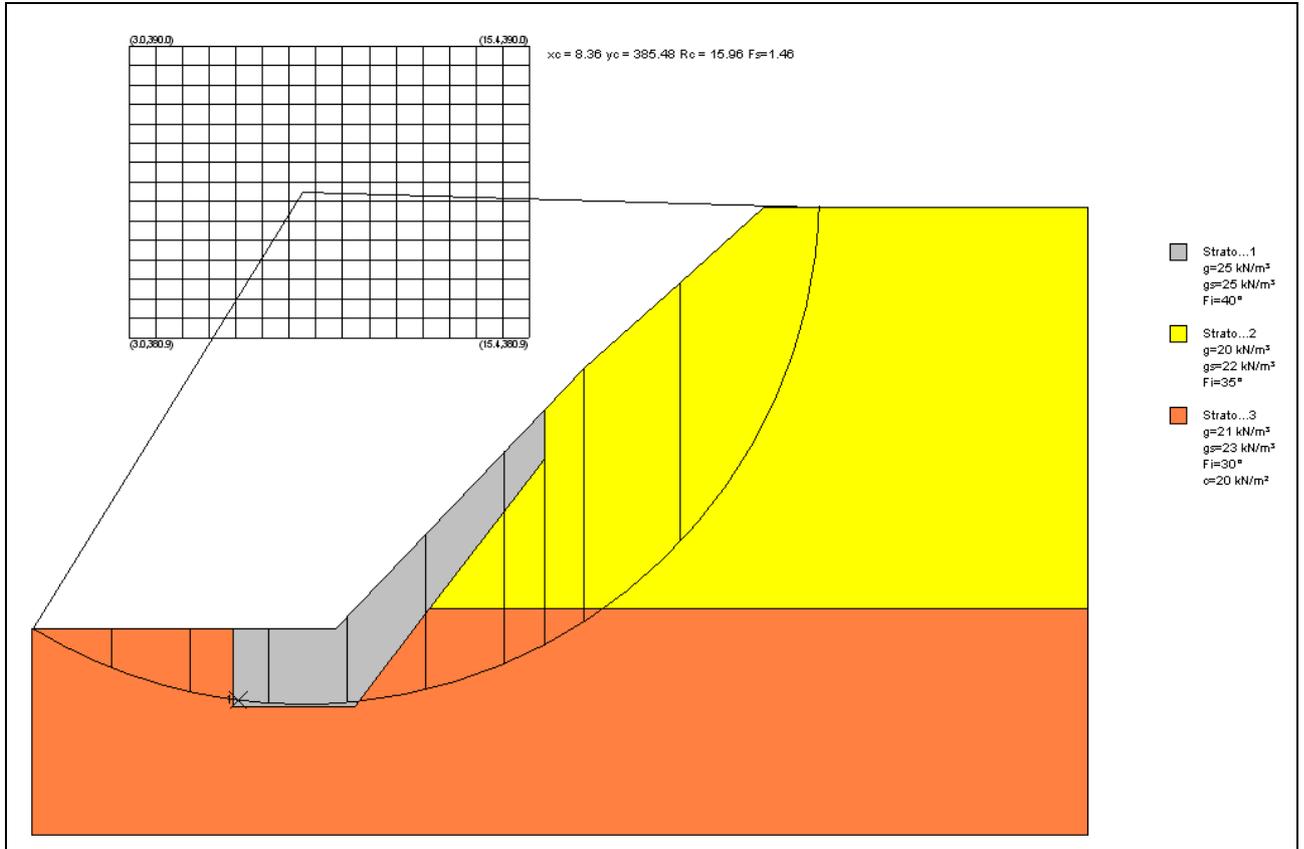
angolo di attrito	$\varphi' = 35^\circ$ ,
coesione	$c' = 0 \text{ kPa}$ ,
peso di volume saturo	$\gamma_{SAT} = 22 \text{ kN/m}^3$
peso di volume anidro	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

#### BEDROCK

angolo di attrito	$\varphi' = 30^\circ$ ,
coesione	$c' = 20 \text{ kPa}$ ,
peso di volume saturo	$\gamma_{SAT} = 23 \text{ kN/m}^3$
peso di volume anidro	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$

Il coefficiente di sicurezza risultante è pari a  $F_S = 1.46$ . La scogliera in fase di esercizio risulta quindi verificata in quanto il fattore di sicurezza è superiore al valore di riferimento  $F_S = 1.3$ .

Di seguito la rappresentazione della superficie di scivolamento più cautelativa. Si veda poi in allegato al fondo il listato di output del codice di calcolo.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme	Foglio 37 di 226

## 7.6 Scenario 3 – Stato di esercizio condizioni di rapido svaso

Anche in questo scenario si analizza il comportamento della sponda del T. Lemme a lavori compiuti e quindi con la scogliera interamente realizzata. In analogia allo scenario precedente, si esclude la possibilità di generazione di superfici di scivolamento nel corpo della scogliera, caratterizzata dalla presenza di massi ciclopici, e ci si concentra sulle condizioni di stabilità al piede della stessa.

Ciò che contraddistingue questo scenario è la condizione di rapido svaso che si genera a seguito del passaggio della piena con assegnato tempo di ritorno e in assenza di accelerazioni sismiche. Cautelativamente, si è deciso di utilizzare come quota di saturazione della sponda a tergo scogliera il livello risultante della piena con tempo di ritorno  $T_r = 500$  anni pari a 375.99 m s.l.m. in corrispondenza della sezione n° 3 di riferimento.

Il rapido svaso, a favore di sicurezza, prevede terreno a tergo pendio completamente saturo e alveo in regime di magra.

I parametri geotecnici di riferimento sono i seguenti:

### MATERIALE DI SPONDA T. LEMME

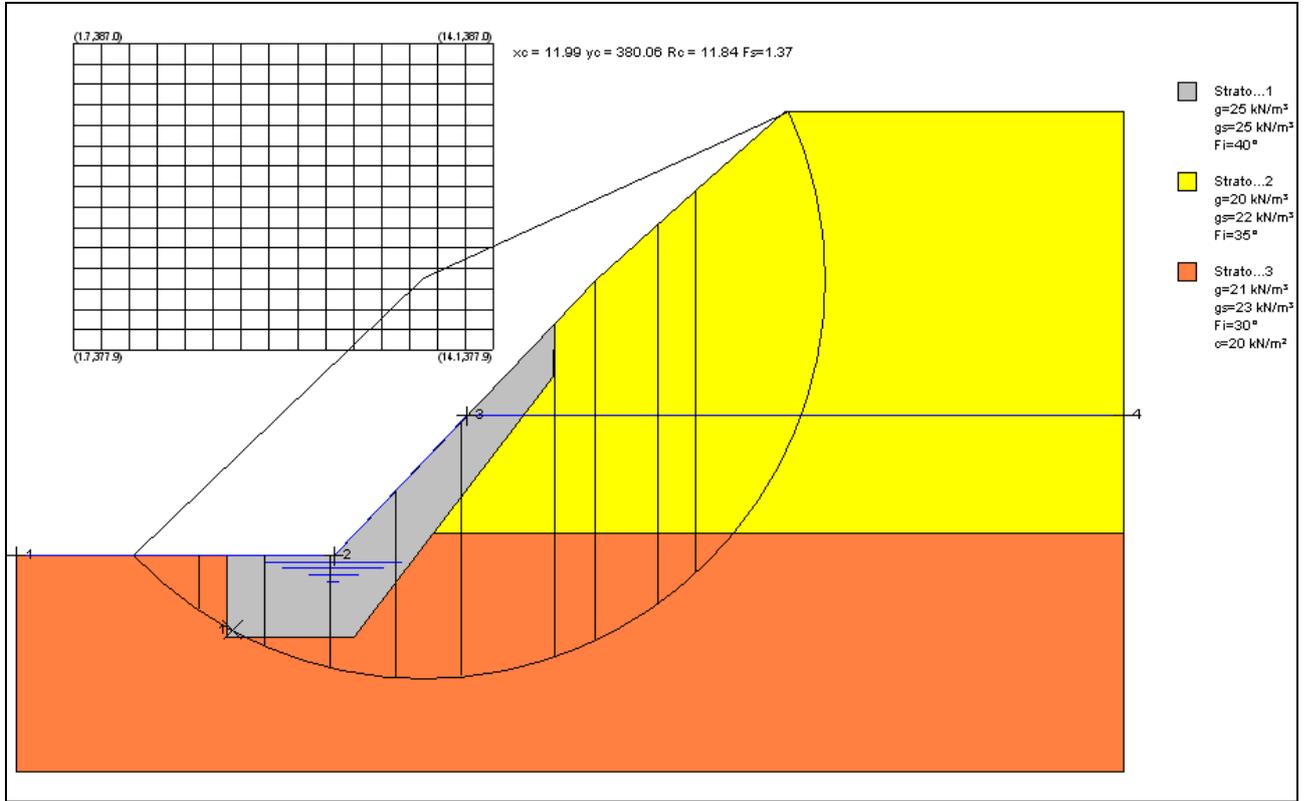
angolo di attrito	$\varphi' = 35^\circ$ ,
coesione	$c' = 0$ kPa,
peso di volume saturo	$\gamma_{SAT} = 22$ kN/m <sup>3</sup>
peso di volume anidro	$\gamma = 20$ kN/m <sup>3</sup>

### BEDROCK

angolo di attrito	$\varphi' = 30^\circ$ ,
coesione	$c' = 20$ kPa,
peso di volume saturo	$\gamma_{SAT} = 23$ kN/m <sup>3</sup>
peso di volume anidro	$\gamma = 21$ kN/m <sup>3</sup>

Il coefficiente di sicurezza risultante è pari a  $F_S = 1.37$ . La scogliera in fase di esercizio risulta quindi verificata anche in condizioni di rapido svaso in quanto il fattore di sicurezza è superiore al valore di riferimento  $F_S = 1.3$ .

Di seguito la rappresentazione della superficie di scivolamento più cautelativa. Si veda poi in allegato al fondo il listato di output del codice di calcolo.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme</p>	<p>Foglio 39 di 226</p>

**ALLEGATO 1**

Descrizione del codice di calcolo monodimensionale

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme	Foglio 40 di 226

## 7.7 Il codice di calcolo utilizzato: HEC-RAS

### 7.7.1 Caratteristiche generali di HEC-Ras

Il modello matematico-numerico utilizzato per le simulazioni del sistema idraulico oggetto di studio è il codice *HEC-RAS River Analysis System*, sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineering – Hydrologic Engineering Center. La versione del software utilizzata è la 4.1.0, aggiornata al gennaio 2010.

HEC-RAS consente il calcolo idraulico monodimensionale di canali naturali e artificiali, sia in condizioni di moto permanente che di moto vario, tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo (ponti, tombini, briglie, sfioratori ecc.) eventualmente presenti nel sistema. Possono essere modellati sia canali singoli che reti di canali naturali o artificiali, chiusi o aperti, con l'integrazione di profili di corrente lenta, veloce o di tipo "misto".

Concluse le operazioni di calcolo è possibile ottenere una serie di elaborati finali per la consultazione dei risultati ottenuti e per la visualizzazione grafica in formati compatibili con i software di disegno automatico o quelli relativi a sistemi informativi territoriali.

### 7.7.2 Definizione della geometria del sistema

La prima fase necessaria all'implementazione del modello consiste nel creare la geometria del sistema, ossia nel disegnare l'alveo da analizzare, tracciando il sistema dei corsi d'acqua e le loro connessioni, secondo la direzione di scorrimento dell'acqua.

Successivamente si provvede ad inserire le sezioni trasversali, definendo le quote e le distanze progressive dal punto di origine della sezione, convenzionalmente individuato in sponda sinistra, e ad indicare le distanze reciproche procedendo in senso contrario a quello dello scorrimento dell'acqua. Per ogni sezione si identificano, mediante l'inserimento della distanza progressiva specifica, l'alveo e le zone golenali.

L'operazione termina con l'inserimento dei dati di scabrezza dell'alveo e delle sponde, secondo il coefficiente  $n$  di *Manning* o il  $K_s$  di *Strickler*. In Figura 12 è possibile vedere un esempio di geometria del sistema e in Figura 2 è esemplificata la finestra in cui vengono immessi i dati relativi alle sezioni trasversali.

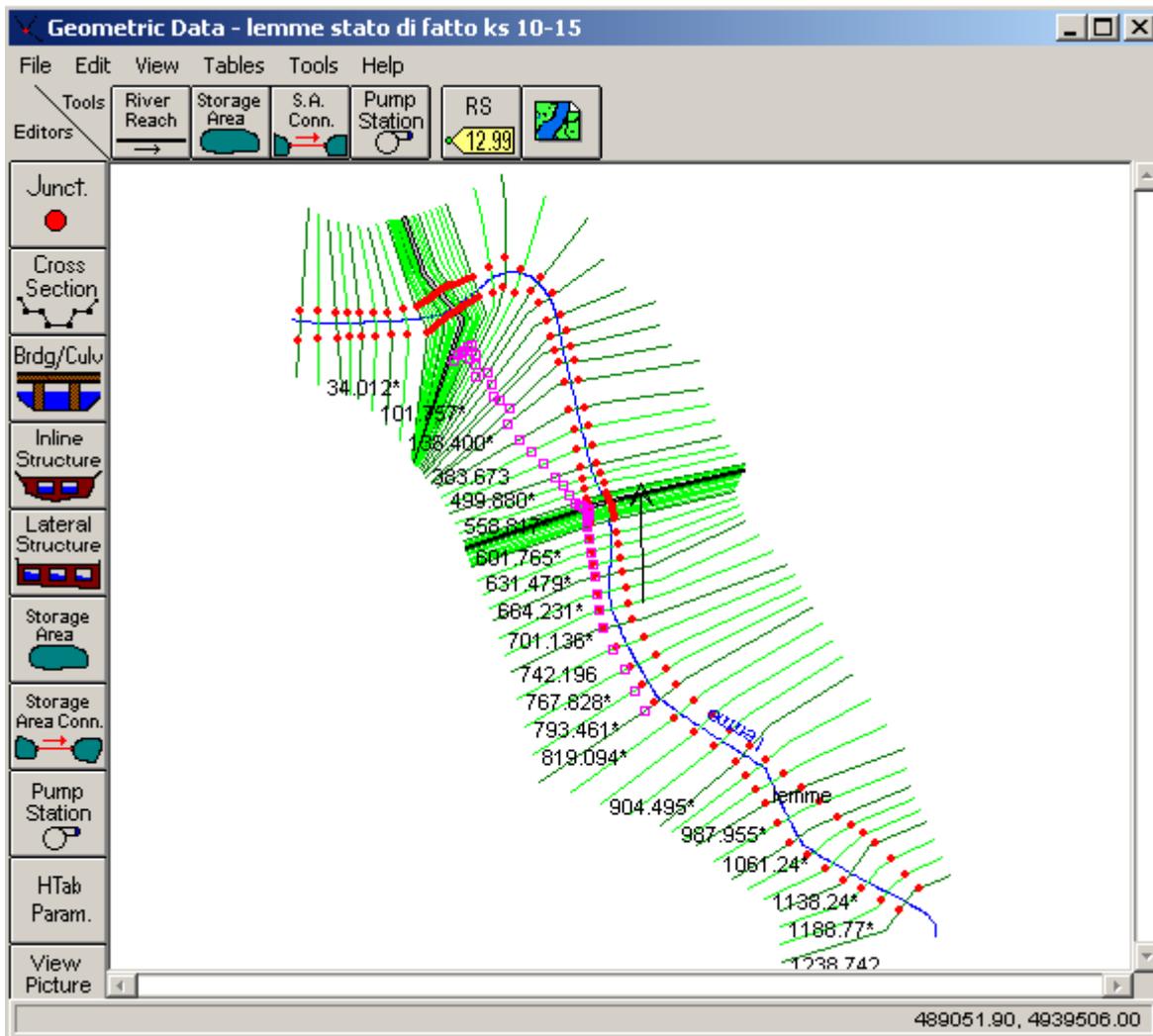


Figura 12 – Definizione della geometria del sistema.

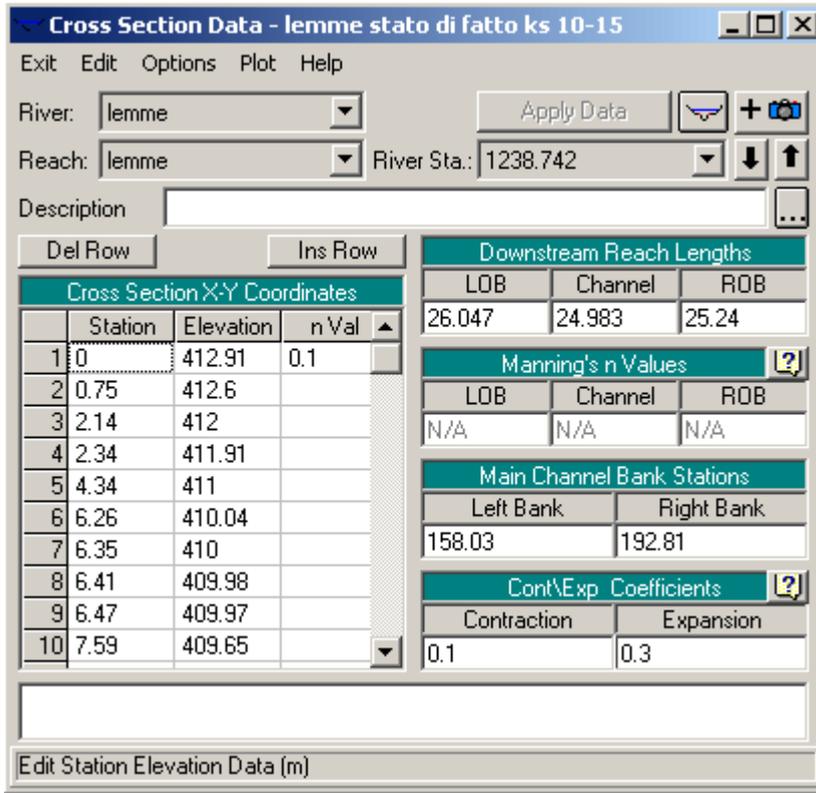


Figura 13 – Editor delle sezioni trasversali.

Il programma, al termine dell'inserimento delle informazioni geometriche, restituisce il grafico delle sezioni e il profilo altimetrico dell'alveo, come si può vedere in Figura 14 e in Figura 4.

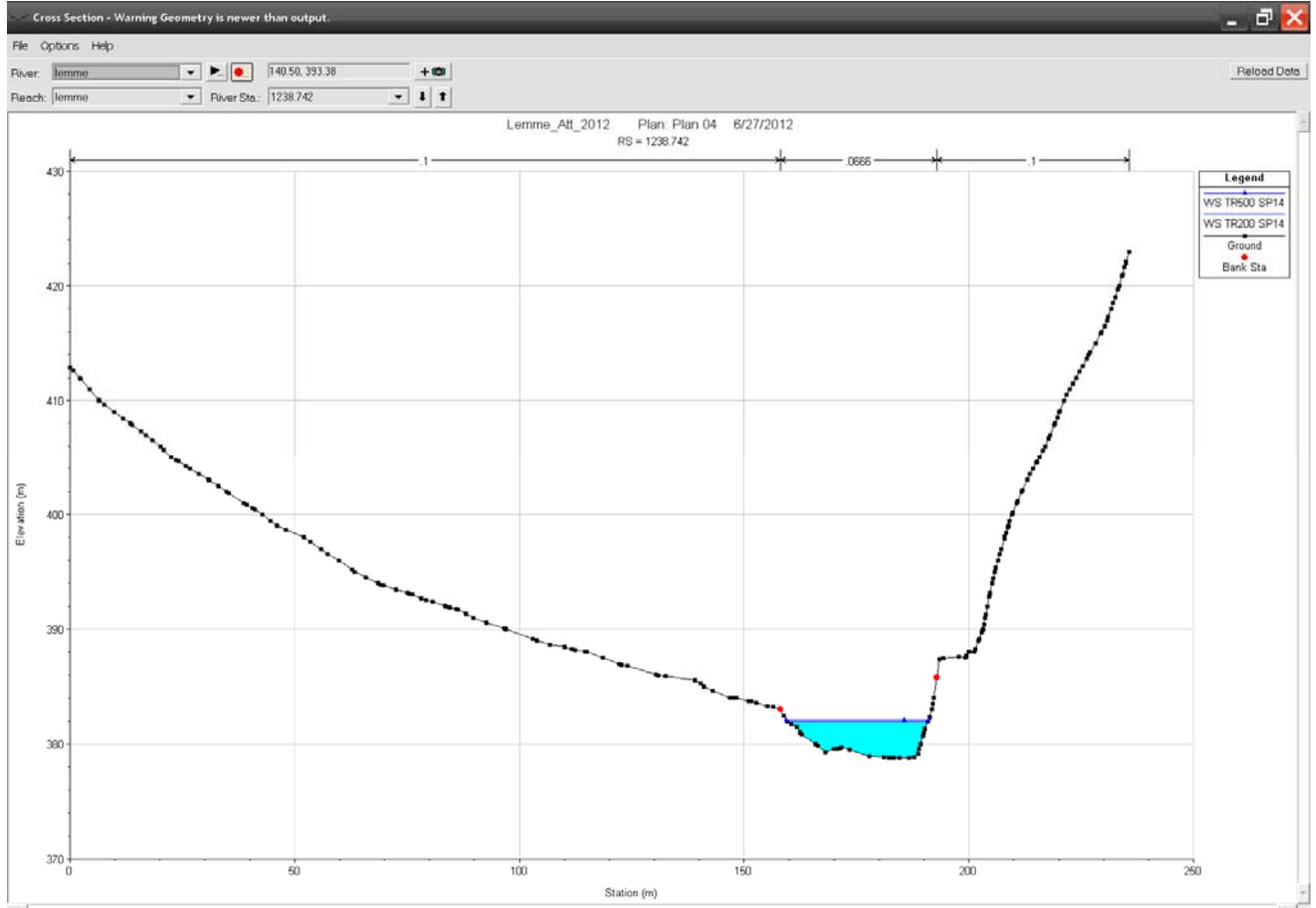


Figura 14 – Visualizzazione grafica delle sezioni trasversali.

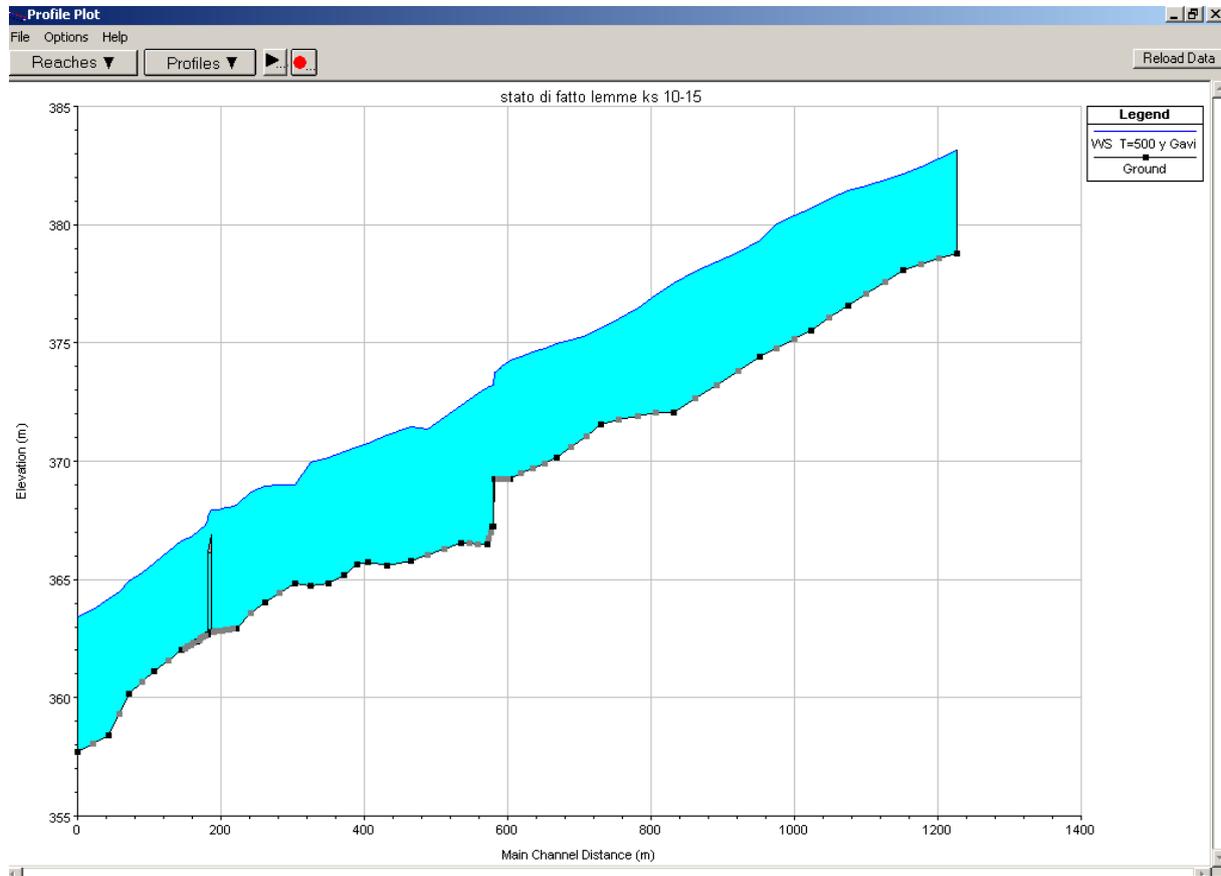


Figura 15 – Visualizzazione grafica del profilo longitudinale.

All'interno della geometria che schematizza il sistema è possibile inserire le strutture presenti lungo il corso d'acqua, come ponti o tombini, o strutture fittizie come gli stramazzi laterali (lateral weir); questi ultimi vengono utilizzati per simulare il sormonto del rilevato arginale da parte della superficie idrica e possono essere o meno collegati a delle aree di immagazzinamento (storage area) in relazione alla configurazione del terreno circostante, adatta o meno a contenere in un'area finita la quantità d'acqua in uscita. Nelle Figure seguenti sono illustrate una sezione caratterizzata dalla presenza di un ponte ed una planimetria che chiarisce il modo di utilizzo di lateral weir e storage area.

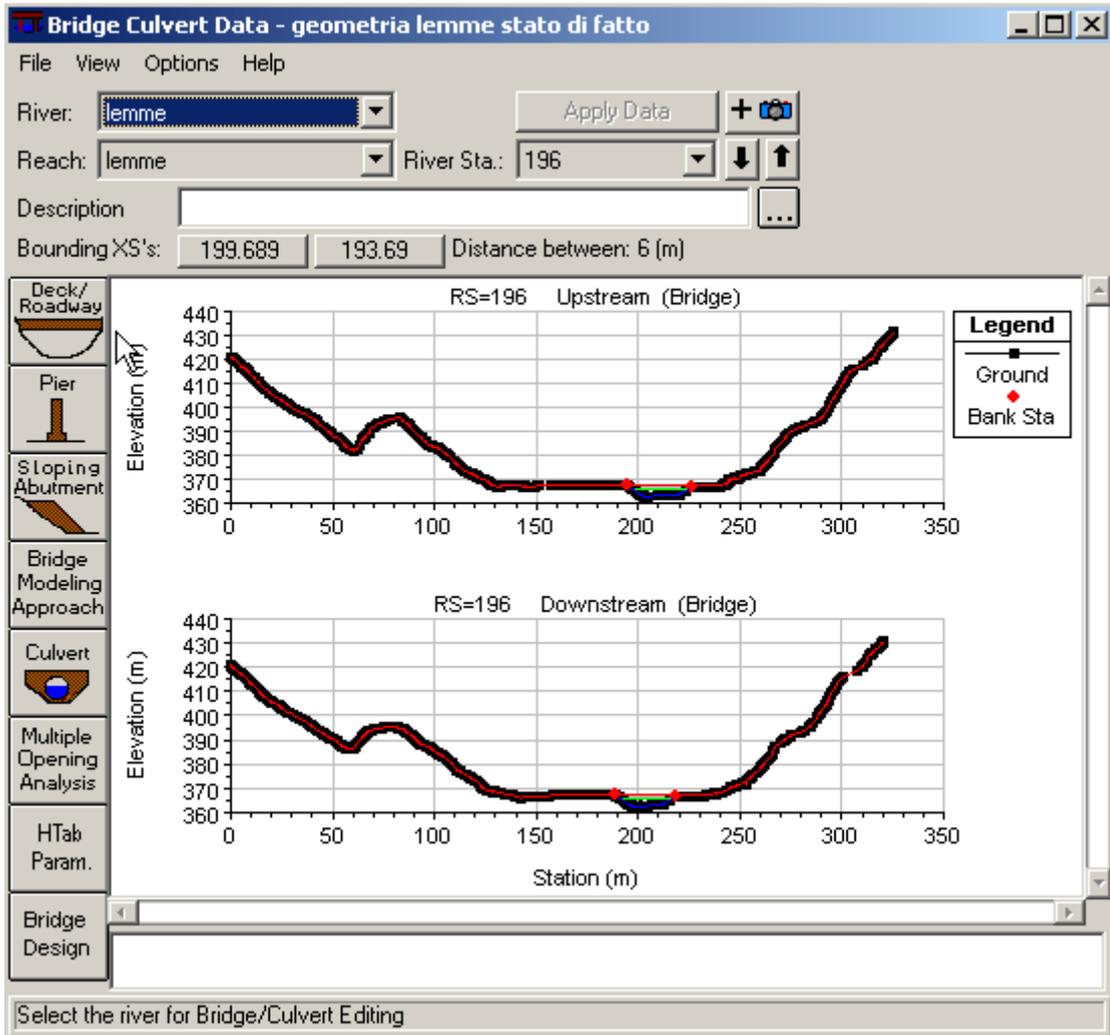


Figura 16 – Visualizzazione grafica di un ponte.

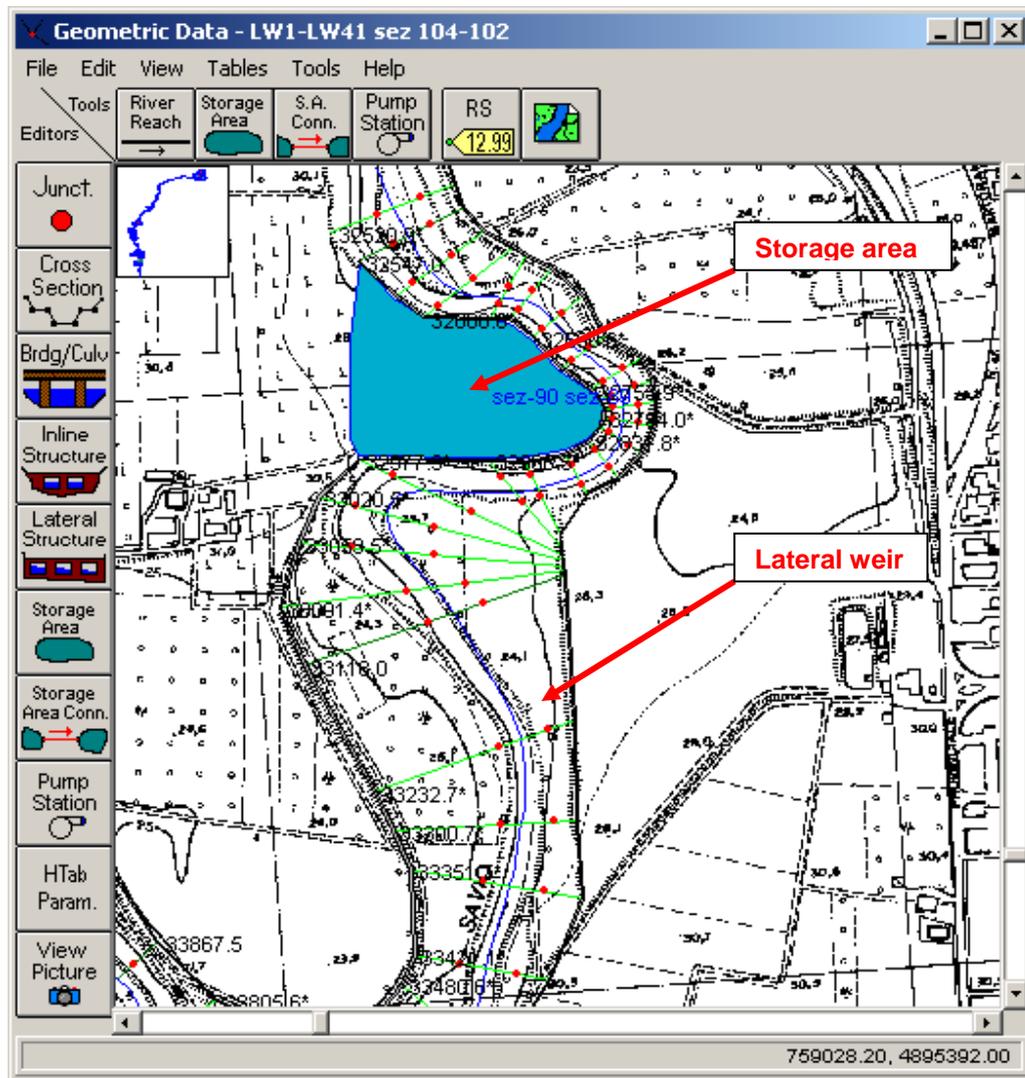


Figura 17 – Particolare planimetrico raffigurante gli stramazzi laterali e un'area di immagazzinamento (storage area).

### 7.7.3 Calcolo del profilo idraulico a moto permanente

Il calcolo del livello del pelo libero si basa sulla risoluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia, valuta le perdite di carico mediante l'equazione di Manning, e tiene conto di perdite localizzate a mezzo di opportuni coefficienti moltiplicativi del carico cinetico. L'equazione del momento è utilizzata ogni volta in cui il profilo del moto subisce brusche variazioni, ad esempio in corrispondenza di ponti, confluenze o risalti idraulici.

L'applicazione del modello si basa sulla divisione del corso d'acqua in esame in tronchi di ampiezza tale da poter approssimare i valori medi della sezione e delle velocità a quelli presenti agli estremi e quindi di eseguire i calcoli su aree il cui flusso è assimilabile a quello del moto uniforme.

L'equazione applicata tra due sezioni consecutive è la seguente:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme
	Foglio 47 di 226

$$h_{i-1} = h_i + h_e + h_f$$

ovvero:

$$z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e + h_f$$

dove:

V = velocità media della sezione,

V<sub>1,2</sub> = velocità medie calcolate,

α<sub>1,2</sub> = coefficiente di Coriolis,

h<sub>e</sub> = perdita di energia relativa alla variazione del corso d'acqua,

h<sub>f</sub> = perdita di energia per attrito,

z<sub>1,2</sub> = termini geodetici agli estremi del tronco in esame.

I valori di h<sub>e</sub> e h<sub>f</sub> sono così calcolati:

$$h_f = S_f \Delta\chi = \frac{1}{2} (S_{f(i)} - S_{f(i-1)}) \Delta\chi$$

dove:

$$S_f = \frac{V^2}{\chi^2 R} = \frac{V^2}{c^2 R^3}$$

$$h_e = C_i \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \approx C_i \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}$$

in cui C<sub>i</sub> rappresenta un coefficiente relativo alle perdite di carico per espansione e contrazione i cui valori variano tra 0 per alveo prismatico e 0.5 per allargamento a 90°.

Il programma, partendo dalle caratteristiche di una sezione nota, determina il termine geodetico incognito in una sezione successiva attraverso la soluzione iterativa delle tre equazioni elencate in precedenza: viene ipotizzato un livello zip del pelo libero della sezione incognita di cui si conoscono solo geometria, distanza e valori di scabrezza, che viene utilizzato per calcolare tutti i parametri necessari ad applicare l'equazione dell'equilibrio energetico. In tale equazione viene considerata come incognita il valore di z<sub>2</sub>, di cui viene calcolato un valore di prima approssimazione z<sub>c</sub>. Dal confronto tra i valori zip e z<sub>c</sub> emerge l'entità dell'errore: se risulta maggiore di 0.003 m la zip viene corretta ed il procedimento ripetuto; l'operazione viene reiterata fino a quando non si rientra nei valori di tolleranza definiti ed il risultato viene accettato.

#### 7.7.4 Calcolo del profilo idraulico a moto vario

Le leggi fisiche che governano il flusso in un corso d'acqua sono il principio di conservazione della massa e quello di conservazione del momento; tali leggi sono matematicamente espresse secondo equazioni differenziali.

#### Equazione di continuità

Si consideri il volume di controllo illustrato in Figura 18. In corrispondenza del punto centrale del volume di controllo la portata e l'area interessata dal deflusso sono indicati rispettivamente come  $Q(x,t)$  e  $A_T$ . La conservazione della massa implica che la variazione del flusso netto che attraversa il volume di controllo deve eguagliare la variazione dell'acqua immagazzinata all'interno del volume stesso.

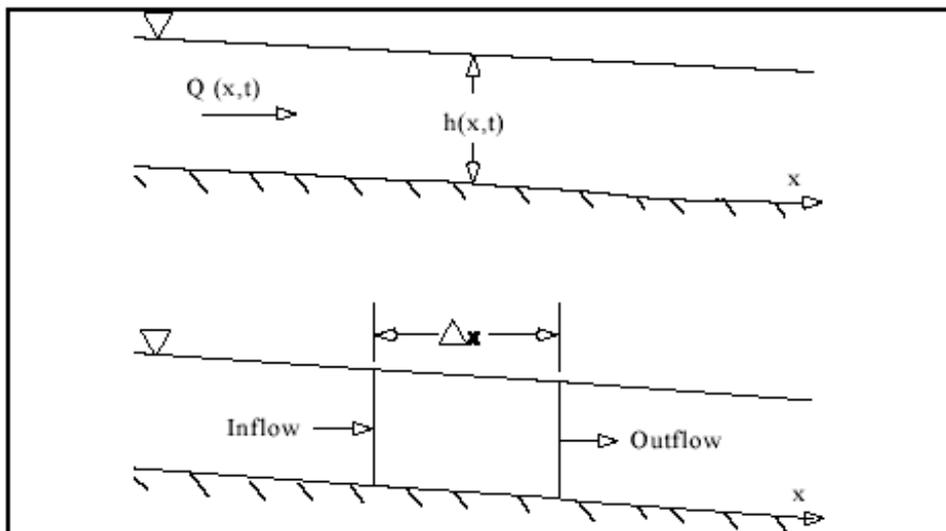


Figura 18 – Volume elementare per l'ottenimento delle equazioni di continuità e del momento.

La variazione di portata in ingresso può essere scritta come:

$$Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}$$

la variazione di portata in uscita è:

$$Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}$$

e la variazione di acqua immagazzinata vale:

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} \Delta x$$

Assumendo il  $\Delta x$  sufficientemente piccolo la variazione della massa all'interno del volume di controllo viene espressa dall'equazione:

$$\rho \frac{\partial A_T}{\partial t} \Delta x = \rho \left[ \left( Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) - \left( Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) + Q_l \right]$$

dove  $Q_l$  rappresenta il flusso laterale che entra nel volume di controllo e  $\rho$  è la densità del fluido. Semplificando e dividendo il tutto per  $\rho \Delta x$  si ottiene la forma finale dell'equazione di continuità:

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l$$

nella quale  $q_l$  costituisce l'apporto di flusso laterale per unità di lunghezza.

### Equazione del momento

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme	Foglio 49 di 226

La conservazione del momento è espressa dalla seconda legge di Newton come:

$$\sum F_x = \frac{d\vec{M}}{dt}$$

Essa implica che la somma della variazione netta del flusso di momento all'interno del volume di controllo e di tutte le forze esterne agenti sul volume deve essere pari alla velocità di immagazzinamento del momento. Le forze esterne considerate sono quelle dovute alla pressione, alla gravità e all'attrito.

- *Flusso del momento*

Il flusso entrante nel volume di controllo può essere scritto come:

$$\rho \left[ QV - \frac{\partial QV}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right]$$

mentre quello uscente come:

$$\rho \left[ QV + \frac{\partial QV}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right]$$

Quindi il flusso netto di momento relativo al volume di controllo è:

$$- \rho \frac{\partial QV}{\partial x} \Delta x$$

Poiché il momento del fluido nel volume di controllo è pari a  $\rho Q \Delta x$ , il tasso di accumulo del fluido diventa:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Q \Delta x) = \rho \Delta x \frac{\partial Q}{\partial t}$$

e il momento del flusso:

$$\rho \Delta x \frac{\partial Q}{\partial t} - \rho \frac{\partial QV}{\partial x} \Delta x$$

- *Pressione*

Assumendo che la distribuzione delle forze di pressione sia idrostatica e che la pressione totale sia data dall'integrale del prodotto della pressione per l'area lungo la sezione trasversale, la forza di pressione può essere scritta:

$$F_p = \int_0^h \rho g (h - y) T(y) dy$$

in cui  $h$  è il tirante idrico,  $y$  la distanza dalla linea di Talweg, e  $T(y)$  una funzione che collega la larghezza della sezione trasversale alla dal fondo (Cfr. Figura 19)

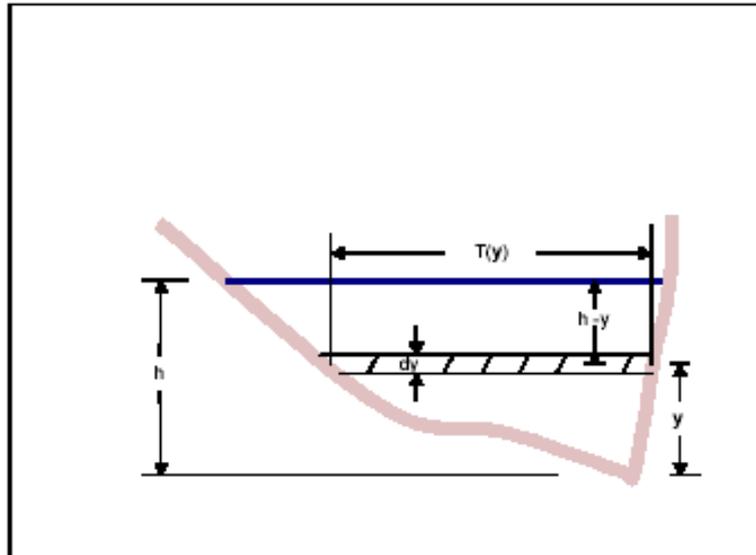


Figura 19 – Definizione delle forze di pressione.

Se con  $F_p$  si indica la pressione in direzione  $x$  al centro del volume di controllo, la forza a monte può essere espressa come:

$$F_p - \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}$$

mentre quella a valle del volume di controllo risulta essere:

$$F_p + \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}$$

La somma delle forze di pressione che agiscono sul volume di controllo diventa:

$$F_{pn} = \left| F_p - \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right| - \left| F_p + \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right| + F_B$$

nella quale  $F_B$  rappresenta la forza esercitata dalle sponde sul fluido in direzione  $x$ . Semplificando, l'equazione diventa:

$$F_{pn} = -\frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} + F_B$$

Combinando con la prima equazione scritta:

$$F_{pn} = -\rho g \Delta x \left[ \frac{\partial h}{\partial x} \int_0^h T(y) dy + \int_0^h (h-y) \frac{\partial T(y)}{\partial x} dy \right] + F_B$$

Il primo integrale altro non è che l'area della sezione trasversale, mentre il secondo integrale, moltiplicato per  $-\rho g \Delta x$  indica la forza esercitata dal fluido sulle sponde, uguale e contraria a  $F_B$ . La pressione netta risulta:

$$F_{Pn} = -\rho g A \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x$$

- *Forza gravitazionale*

La forza dovuta all'azione dell'accelerazione di gravità sul volume di controllo, in direzione x è pari a:

$$F_g = \rho g A \sin \theta \Delta x$$

con  $\theta$  angolo tra l'orizzontale e la linea di pendenza del fondo del corpo idrico. Per fiumi naturali tale angolo è molto piccolo ed il seno diventa approssimabile con la tangente  $\tan \theta = -\partial z_0 / \partial x$  con  $z_0$  quota del fondo. L'espressione della forza gravitazionale diventa:

$$F_g = -\rho g A \frac{\partial z_0}{\partial x} \Delta x$$

- *Forza d'attrito*

Le forze d'attrito tra il canale ed il fluido sono rappresentate dall'equazione:

$$F_f = -\tau_0 P \Delta x$$

con  $\tau_0$  tensione tangenziale media e P perimetro bagnato. Il segno negativo indica che con il flusso nel senso delle x positive la forza agisce in direzione opposta. La tensione tangenziale può essere espressa in termini di coefficiente di resistenza  $C_D$  :

$$\tau_0 = \rho C_D V^2$$

$C_D$  può essere correlato al coefficiente di Chezy, C, mediante:

$$C_D = \frac{g}{C^2}$$

Inoltre l'equazione di Chezy può essere scritta come:

$$V = C \sqrt{R S_f}$$

e la forza di attrito diventa:

$$F_f = -\rho g A S_f \Delta x$$

con  $S_f$  pendenza e R raggio idraulico. Per porre in relazione la pendenza e la portata viene utilizzata l'equazione di Manning:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} i^{1/2}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme

Foglio  
52 di  
226

Tornando all'equazione di conservazione del momento, uguagliando il flusso alla sommatoria delle forze esterne si ottiene:

$$\rho \Delta x \frac{\partial Q}{\partial t} = -\rho \frac{\partial QV}{\partial x} \Delta x - \rho g A \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x - \rho g A \frac{\partial z_0}{\partial x} \Delta x - \rho g A S_f \Delta x$$

L'altezza del tirante idrico,  $z$ , è pari a  $z_0+h$ ; quindi la pendenza della superficie d'acqua risulta:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x}$$

Sostituendo nell'equazione precedente e semplificando si ottiene l'equazione finale della conservazione del momento:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

Le equazioni di continuità e di conservazione del momento vengono approssimate alle differenze finite e risolte iterativamente secondo uno schema implicito a quattro punti (box scheme), come illustrato in Figura 20.

Il codice differenzia il flusso nel canale e nelle golene per cui le equazioni, alle differenze finite e non infinitesimali, diventano:

$$\Delta Q + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} \Delta x_c + \frac{\Delta A_g}{\Delta t} \Delta x_g + \frac{\Delta S}{\Delta t} \Delta x_g - \overline{Q_l} = 0$$

$$\frac{\Delta(Q_c \Delta x_c + Q_g \Delta x_g)}{\Delta t \Delta x_e} + \frac{\Delta(\beta V Q)}{\Delta x_e} + g \overline{A} \left( \frac{\Delta z}{\Delta x_e} + \overline{S_f} + \overline{S_h} \right) = 0$$

dove il pedice  $c$  indica il canale e il pedice  $g$  indica la golena, la soprallineatura indica il valore medio nel tratto di integrazione, e:

$S$  area della sezione che invasa ma non contribuisce al flusso;

$\beta$  coefficiente di Coriolis calcolato come:

$$\beta = \frac{(V_c Q_c + V_g Q_g)}{QV}$$

$\overline{S_h}$  perdite di energia non dovute all'attrito (espansioni, contrazioni, strutture);

$\Delta x_e$  distanza equivalente calcolata come:

$$\Delta x_e = \frac{\overline{A_c} \Delta x_c + \overline{A_g} \Delta x_g}{\overline{A}}$$

Secondo lo schema adottato i valori delle funzioni e delle derivate utilizzate nelle equazioni vengono valutati in un punto interno alla cella caratterizzante la schematizzazione,  $(n+\theta)Dt$  e nei termini delle equazioni entrano i valori calcolati in  $(n+1)Dt$ . Si ottiene così un sistema di equazioni simultanee, che consente alle informazioni provenienti da tutto il sistema in esame di influenzare la soluzione in ogni punto di calcolo.

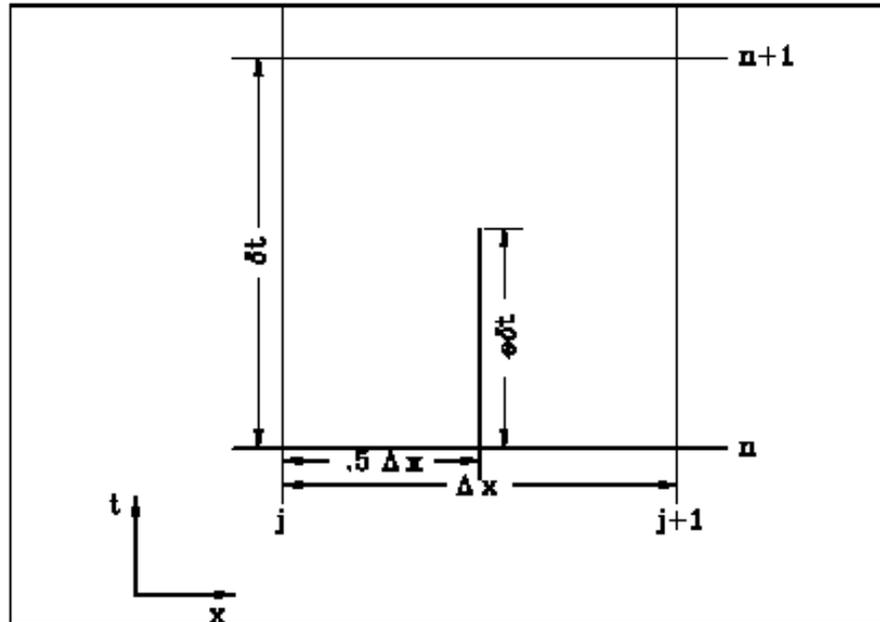


Figura 20 – Elemento caratteristico della schematizzazione alle differenze finite.

### 7.7.5 Visualizzazione dei risultati

I risultati vengono visualizzati in tabella e graficamente. Esempi del formato con cui vengono restituiti i risultati sono disponibili nelle Figure precedenti. L'ultima tipologia di rappresentazione, riportata nella figura seguente, permette di visualizzare in assonometria l'area in fase di studio.

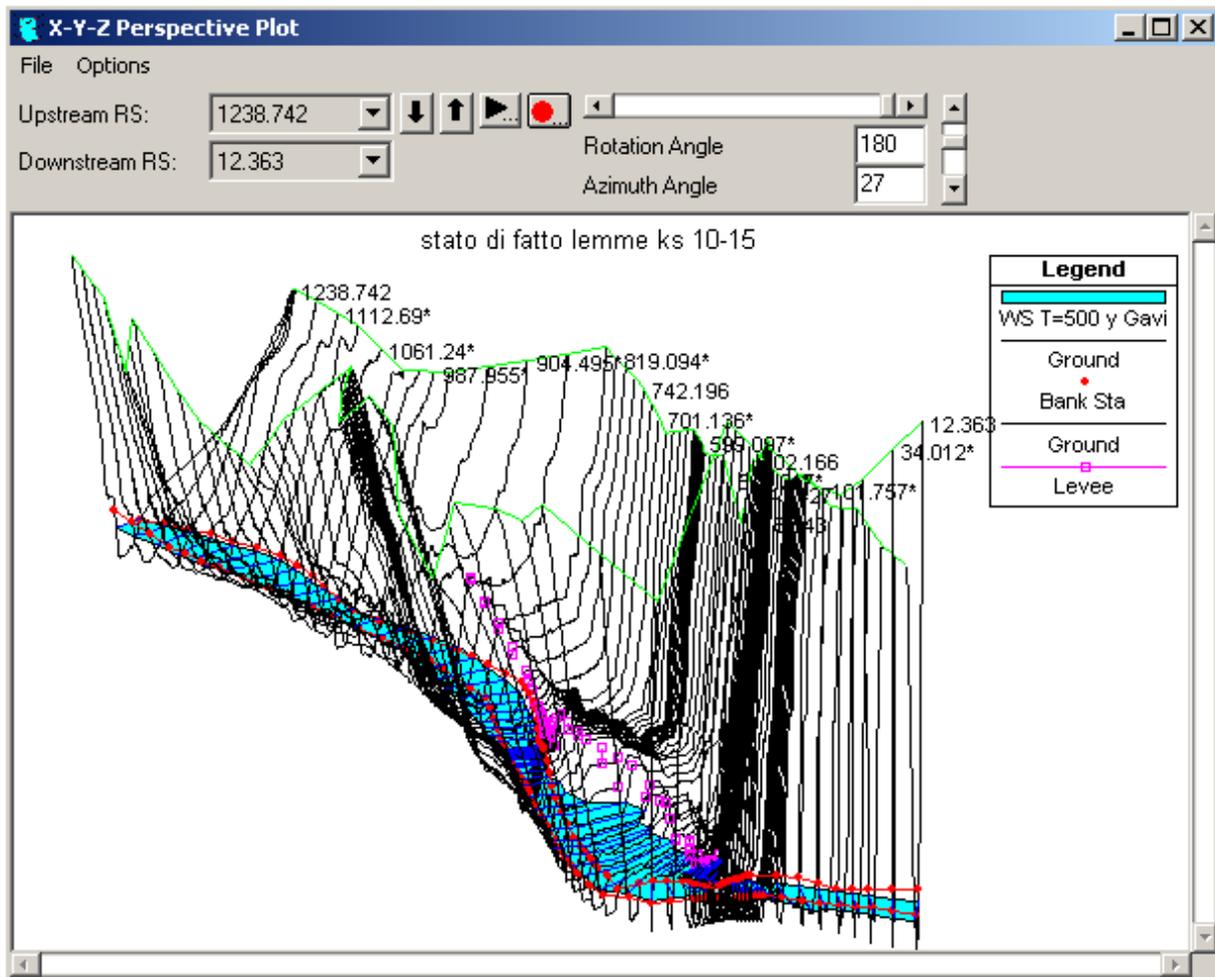


Figura 21 – Rappresentazione tridimensionale dei risultati.

## 7.8 Costruzione del modello

La schematizzazione del corso d'acqua ricavata mediante le tecniche descritte nel paragrafo precedente va chiaramente integrata con l'inserimento delle strutture presenti. Queste sono costituite dal ponte di accesso al cantiere TAV e da una soglia alla sez. 591.93, immesse nel modello grazie al rilievo.

HEC-RAS calcola le perdite di energia dovute ai ponti secondo tre contributi. Il primo contributo consiste nelle perdite che si verificano immediatamente a valle della struttura dove generalmente si verifica un'espansione del flusso; il secondo termine è costituito dalle perdite dovute alla struttura stessa, che possono essere calcolate con diversi metodi; l'ultimo contributo è dovuto alle perdite che avvengono a monte della struttura dove il flusso generalmente si contrae per passare attraverso la luce del ponte. Per poter stimare i termini sopra descritti è necessario utilizzare quattro sezioni per ogni struttura, come illustrato in Figura 22.

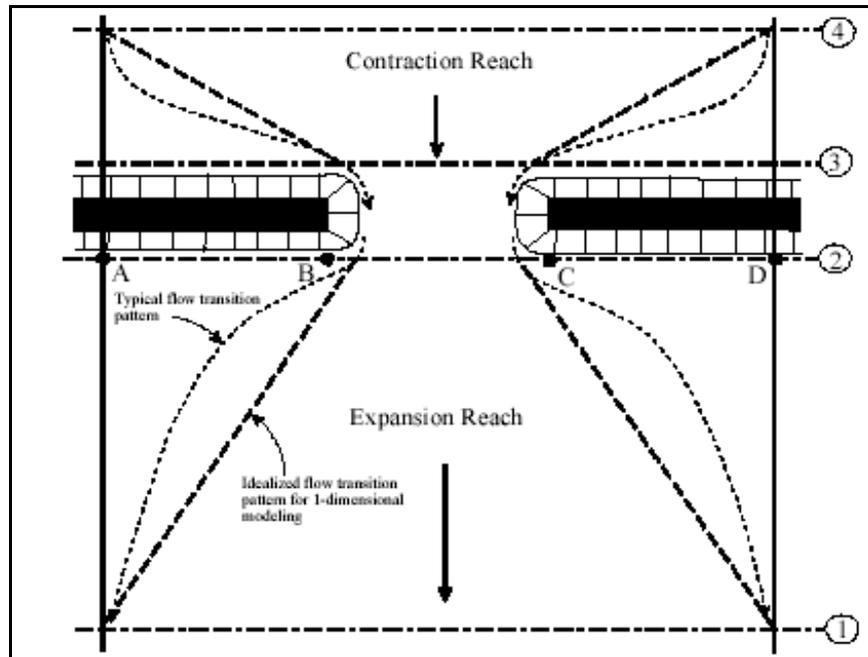


Figura 22 – Posizione delle sezioni trasversali in corrispondenza di un ponte.

La sezione 1 deve essere collocata sufficientemente a valle rispetto alla struttura in modo da non essere influenzata dall'espansione del flusso; analogamente la sezione 4 deve essere collocata a monte del ponte ad una distanza tale da non rientrare nella zona di contrazione del flusso; le sezioni 2 e 3 sono invece poste immediatamente a valle e a monte della struttura. Queste sezioni devono essere tracciate in fase di costruzione della geometria facendo riferimento alla tipologia di attraversamento e quindi all'entità del restringimento rispetto al deflusso indisturbato.

Per quanto concerne il calcolo del profilo idraulico attraverso un ponte il codice di calcolo possono essere scelte diverse formulazioni, in relazione alla natura del deflusso, sia esso libero o in pressione. Nel caso di deflusso libero le perdite di carico attraverso il ponte possono essere calcolate secondo il bilancio dell'energia, il bilancio del momento, l'equazione di Yarnell e il metodo FHWA; quest'ultimo, come quello di Yarnell ma meno noto, è un metodo empirico molto utilizzato negli Stati Uniti. Per il deflusso in pressione è possibile fare ancora uso del bilancio energetico oppure un altro approccio è quello di utilizzare separatamente le equazioni che regolano il moto in pressione e lo sfioro.

La scelta del metodo di calcolo dipende di volta in volta dalla configurazione geometrica e dalla tipologia di struttura; assume un ruolo di certa importanza la sensibilità e l'esperienza del modellista.

## 7.9 Il modulo HEC-Georas

HEC-GeoRAS è un'estensione di ArcView sviluppata dall'US Army Corps of Engineers, che permette di generare la geometria di un modello di HEC-RAS a partire da un DEM. Definendo una serie di shape file di ArcView l'estensione genera le sezioni (estraendole dal DEM), calcola le distanze tra una sezione e le successive, nomina le sezioni e i tratti di fiume e dà inoltre la possibilità di assegnare le bank, le ineffective flow area, i levee, storage area e le scabrezze.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme
	Foglio 56 di 226

Innanzitutto si definisce una linea che rappresenta il fiume (stream) e che indica all'incirca la linea di talweg. Successivamente vengono digitalizzate le tracce delle sezioni da estrarre (xscutlines) e le linee di flusso (flowpath). Queste ultime individuano il percorso dell'acqua nel canale principale e, volendo, nelle due zone golenali. Le distanze tra le sezioni vengono calcolate lungo queste linee.

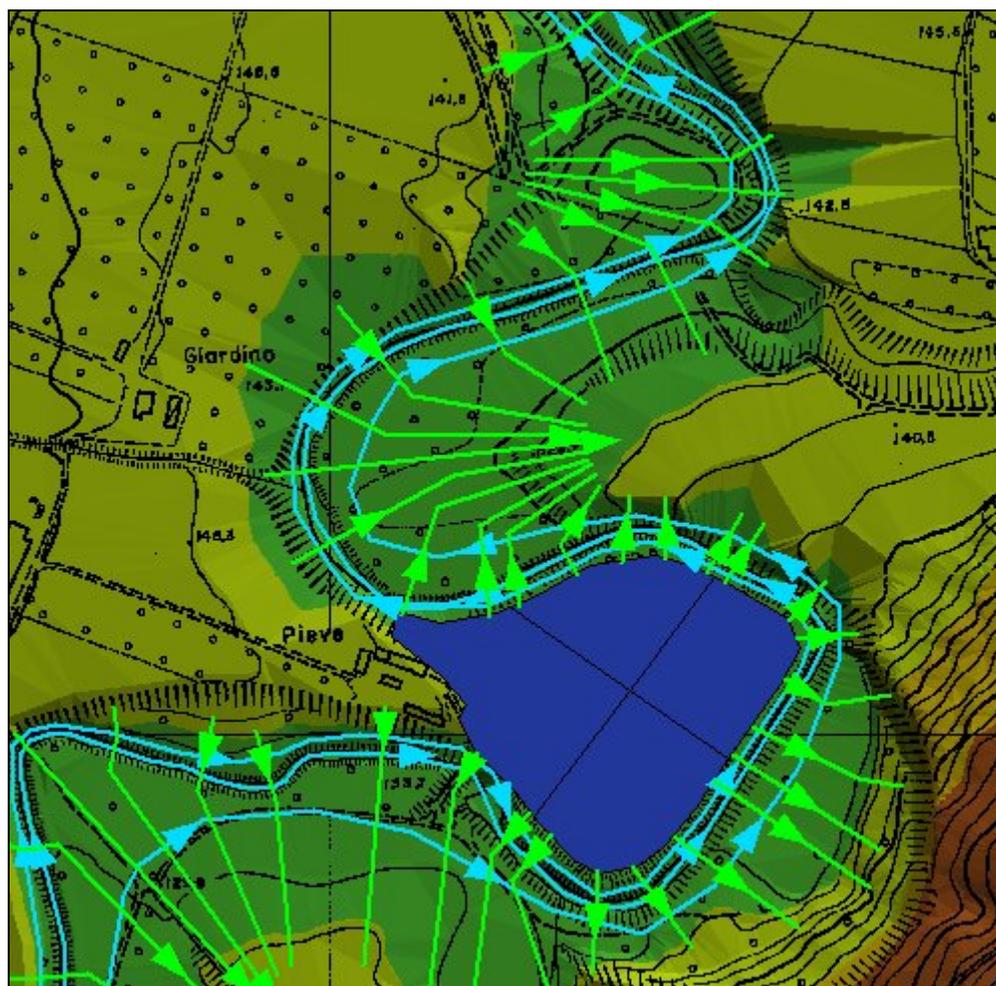


Figura 232 - Esempio di creazione dei file in Georas: sono visibili i file per i flowpath (in azzurro), le sezioni trasversali (in verde, orientate da sinistra a destra) e le storage area (in blu). Sullo sfondo sono riconoscibili la CTR e il DEM.

Nella Figura 232 sono state definite anche delle Storage Area che sono essenzialmente delle zone di accumulo in cui il modello HEC-RAS risolve l'equazione di continuità. In alcuni casi è stato necessario l'introduzione di questo tipo di schematizzazione perché le sole sezioni non erano in grado di ben rappresentare il deflusso della piena. Nell'esempio riportato il passaggio d'acqua attraverso la zona golenale (taglio di meandro) non è rappresentabile in maniera soddisfacente solo mediante sezioni.

HEC-GeoRAS genera un file direttamente importabile in HEC-RAS per la definizione della geometria del modello.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme
	Foglio 57 di 226

HEC-GeoRAS oltre ad essere un pre-processor di HEC-RAS è anche un post-processor, infatti permette l'importazione dei risultati di HEC-RAS e fornisce una serie di strumenti per la definizione delle aree allagate. Innanzitutto genera un TIN a partire dalle tracce delle sezioni utilizzate nel modello a cui assegna una quota pari al livello raggiunto nel profilo esportato da HEC-RAS. Per la determinazione dei tiranti d'acqua vengono rasterizzati i TIN dei livelli e del terreno e viene effettuata la sottrazione, il risultato è un grid che individua le altezze d'acqua su tutta l'area allagata (Figura 243).

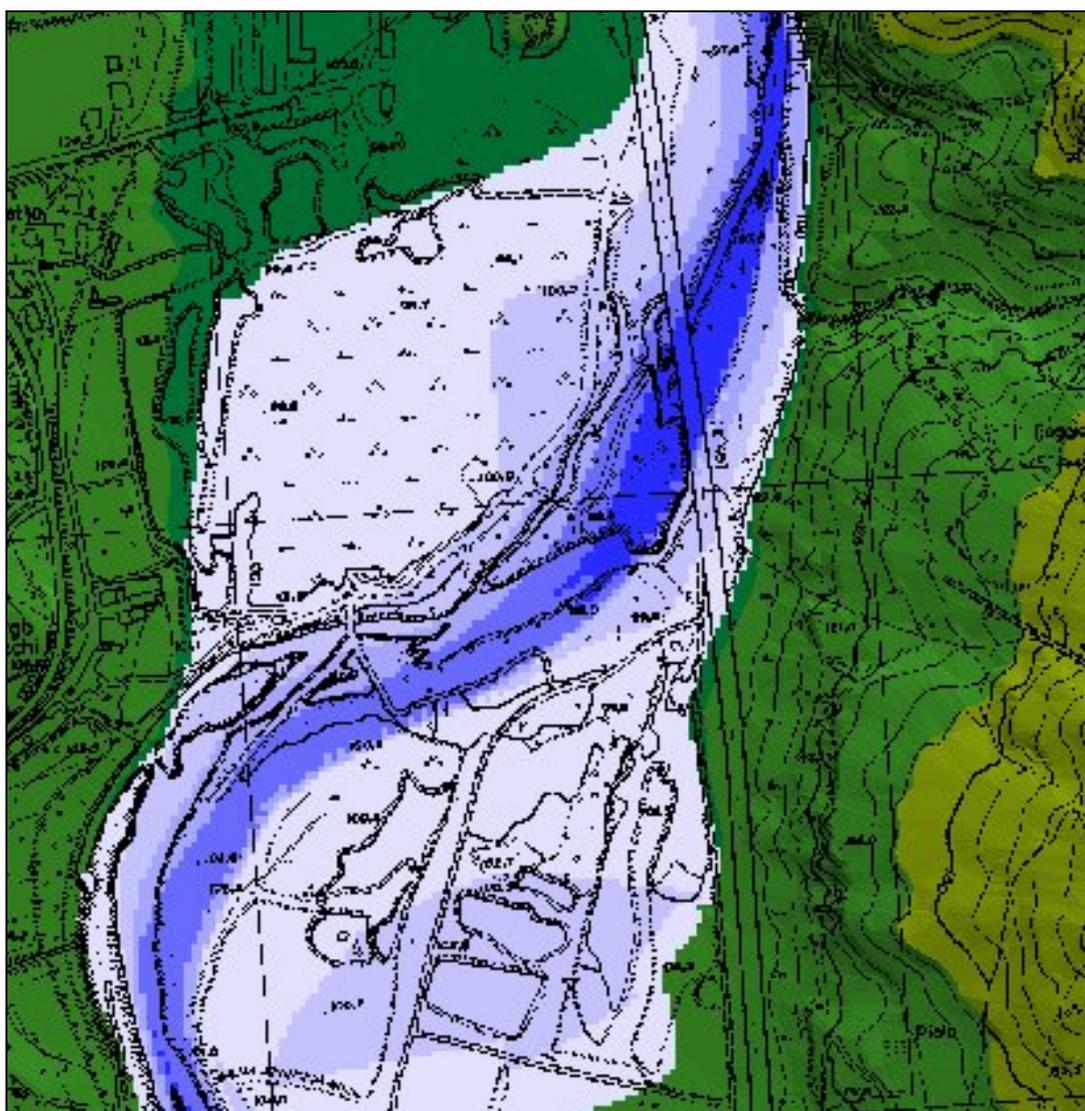
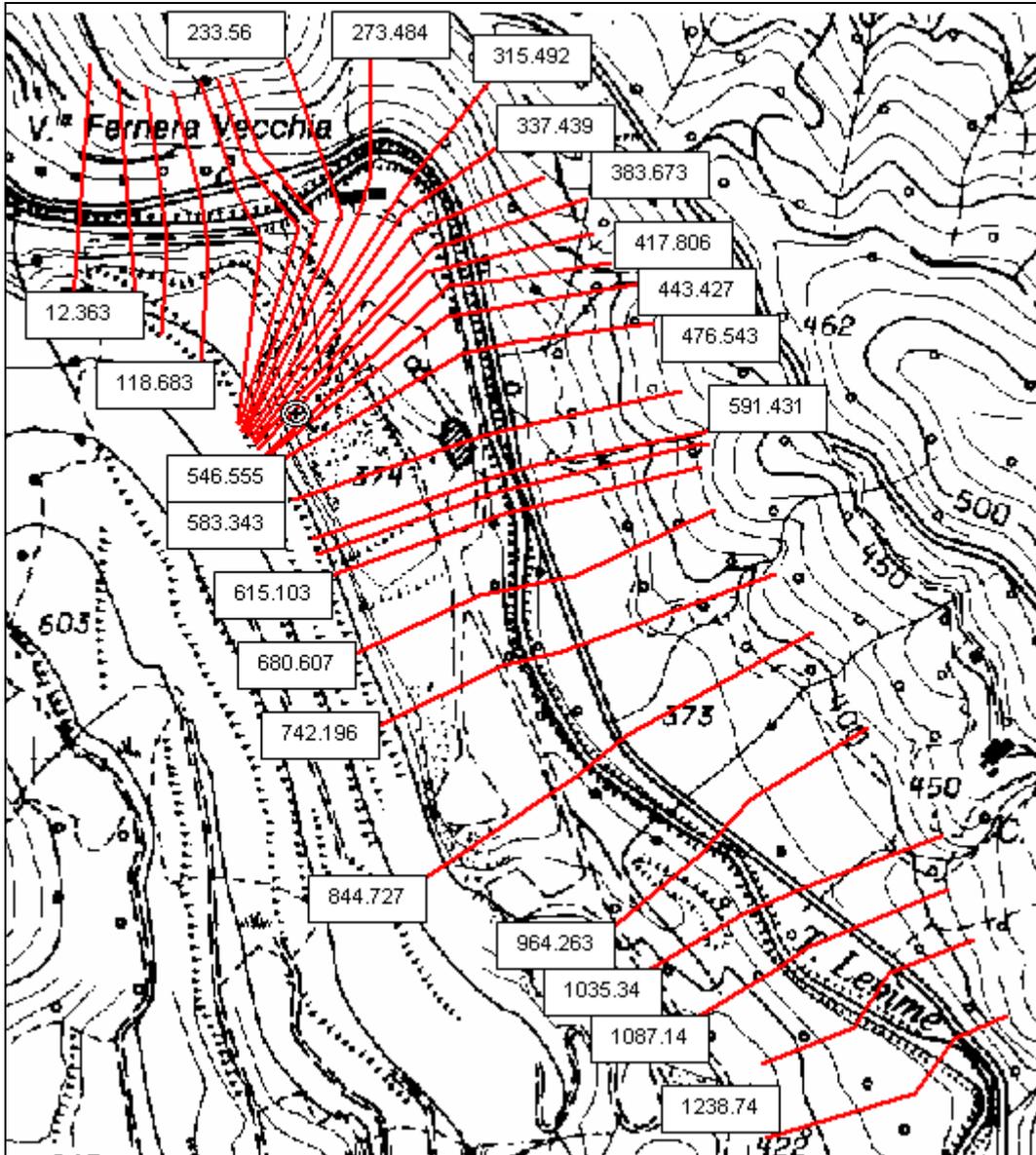


Figura 243 - Esempio di rappresentazione grafica dei risultati con Georas: sono visibili le zone interessate da esondazione e, in tonalità d'azzurro, la profondità del tirante d'acqua.

È possibile importare anche la distribuzione della velocità, il risultato va però preso con molta cautela, infatti in corrispondenza delle sezioni il valore è correttamente quello determinato dal modello idraulico, allontanandosi dalle sezioni il valore perde velocemente significatività.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme</p>	<p>Foglio 58 di 226</p>

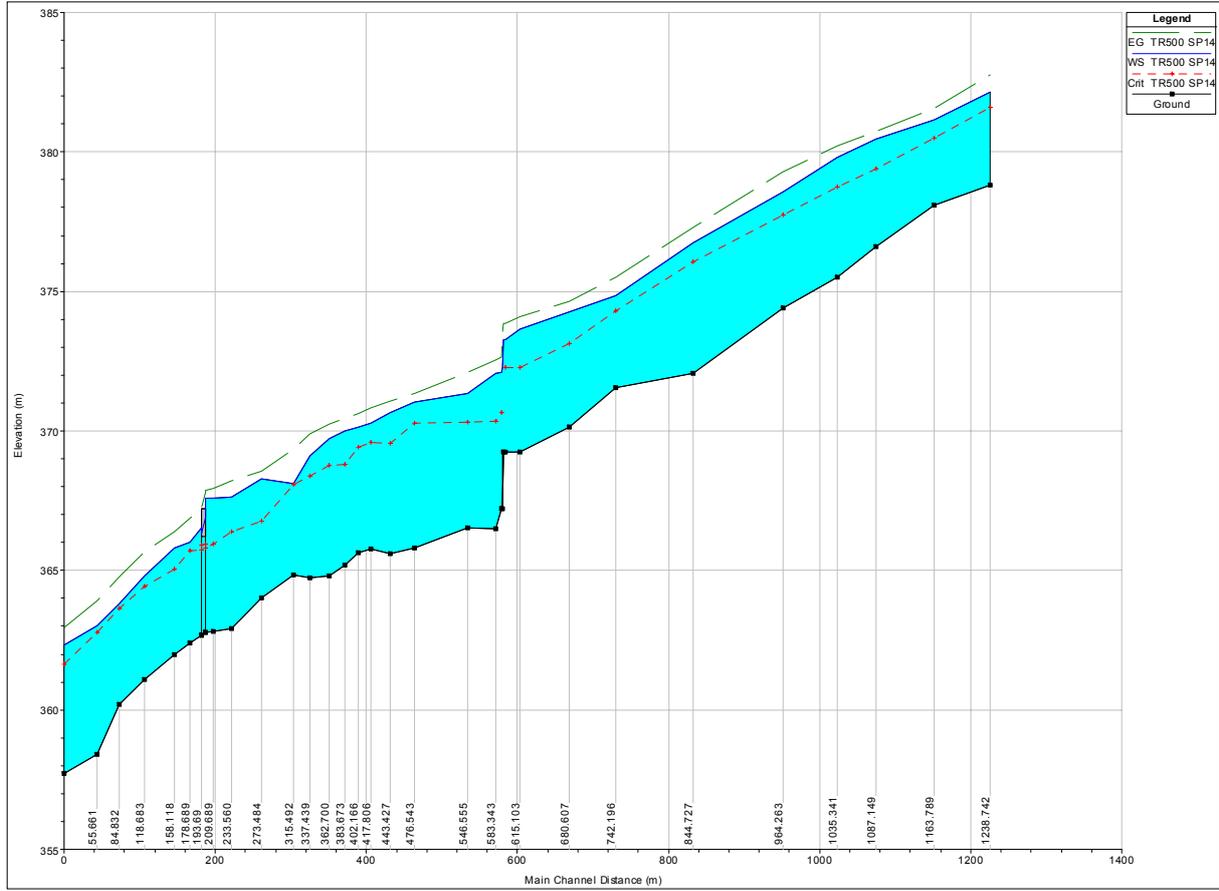
**ALLEGATO 2**  
Risultati modello monodimensionale  
Stato di fatto

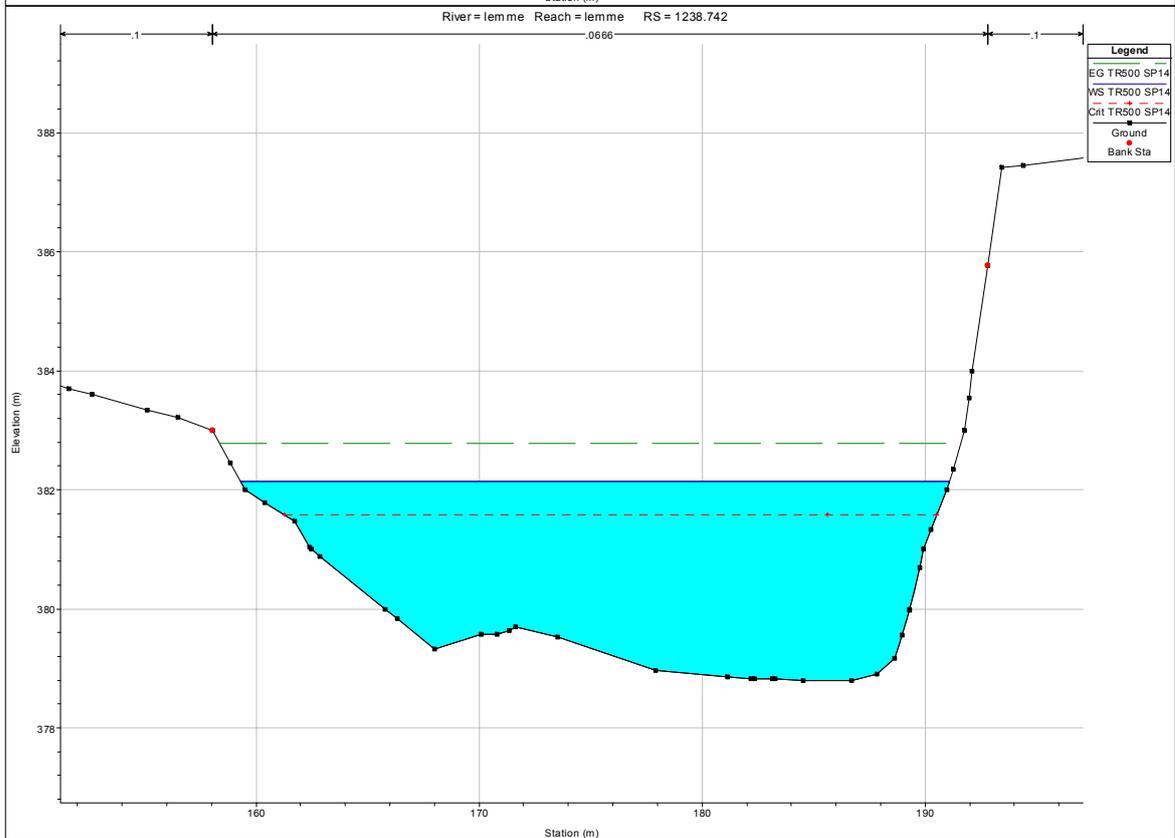
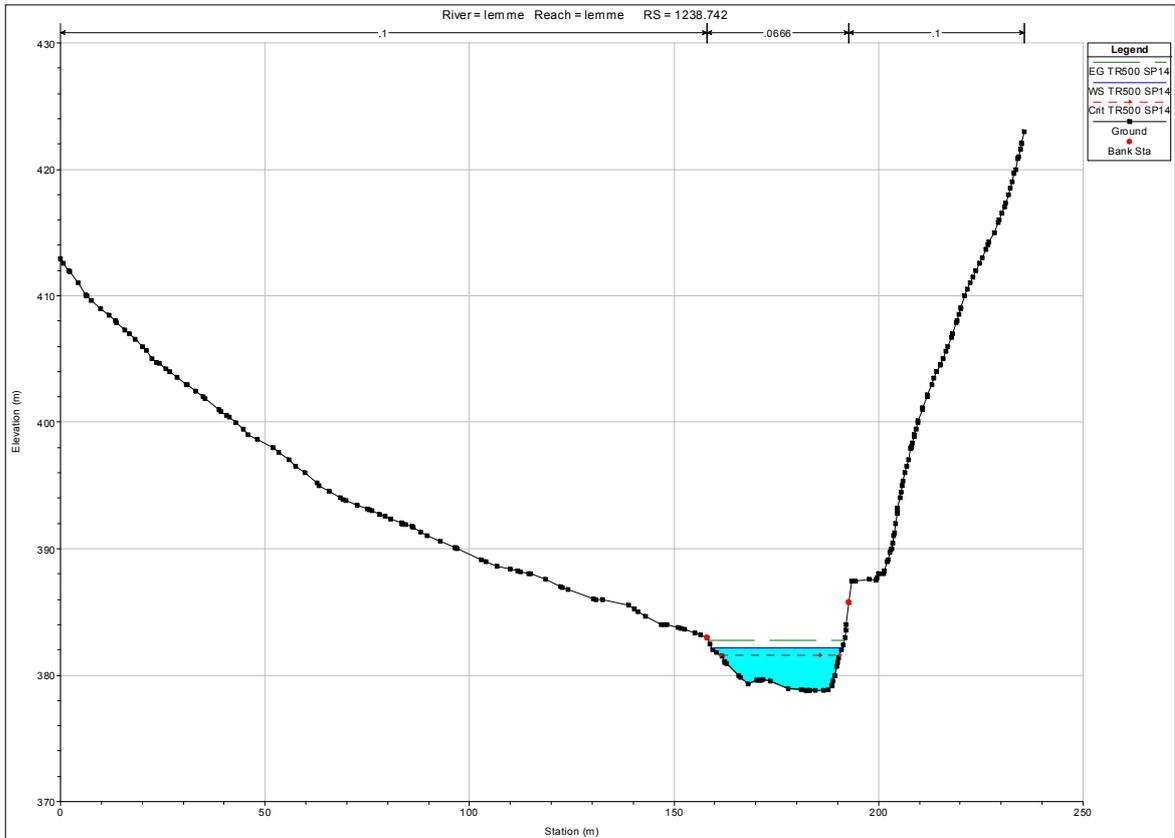


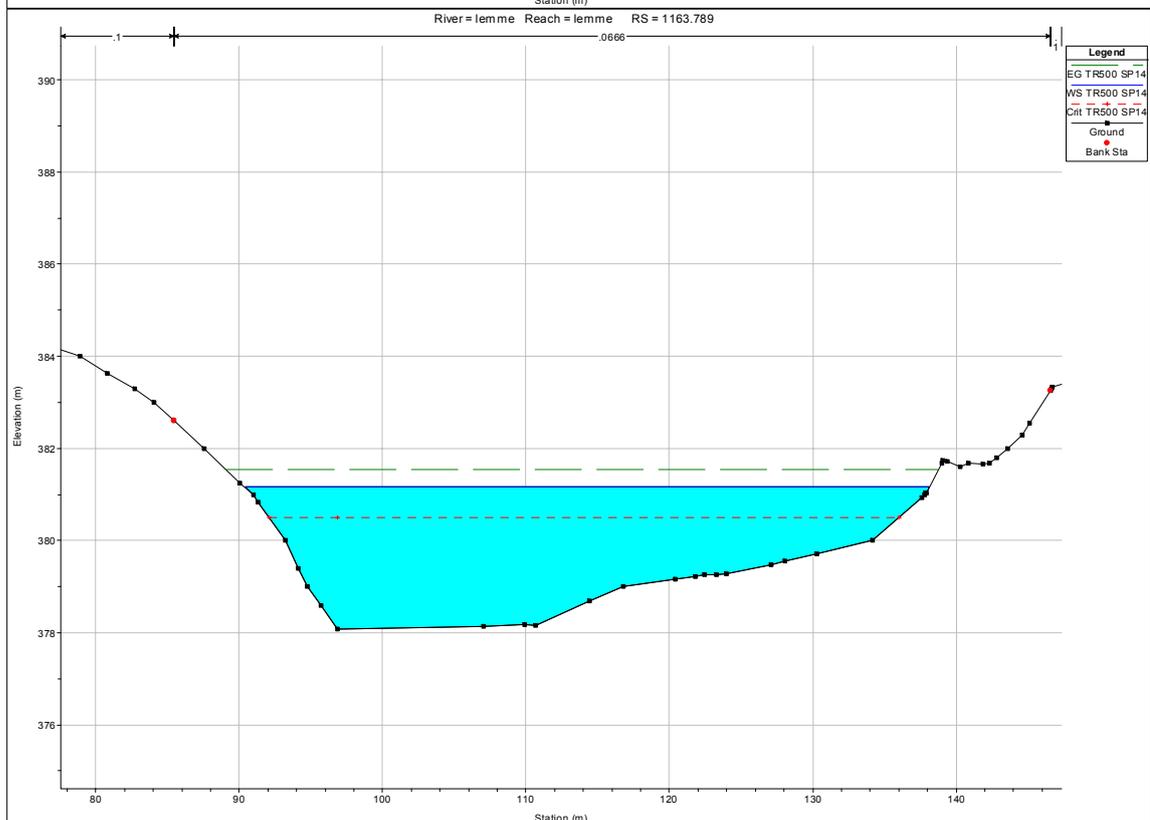
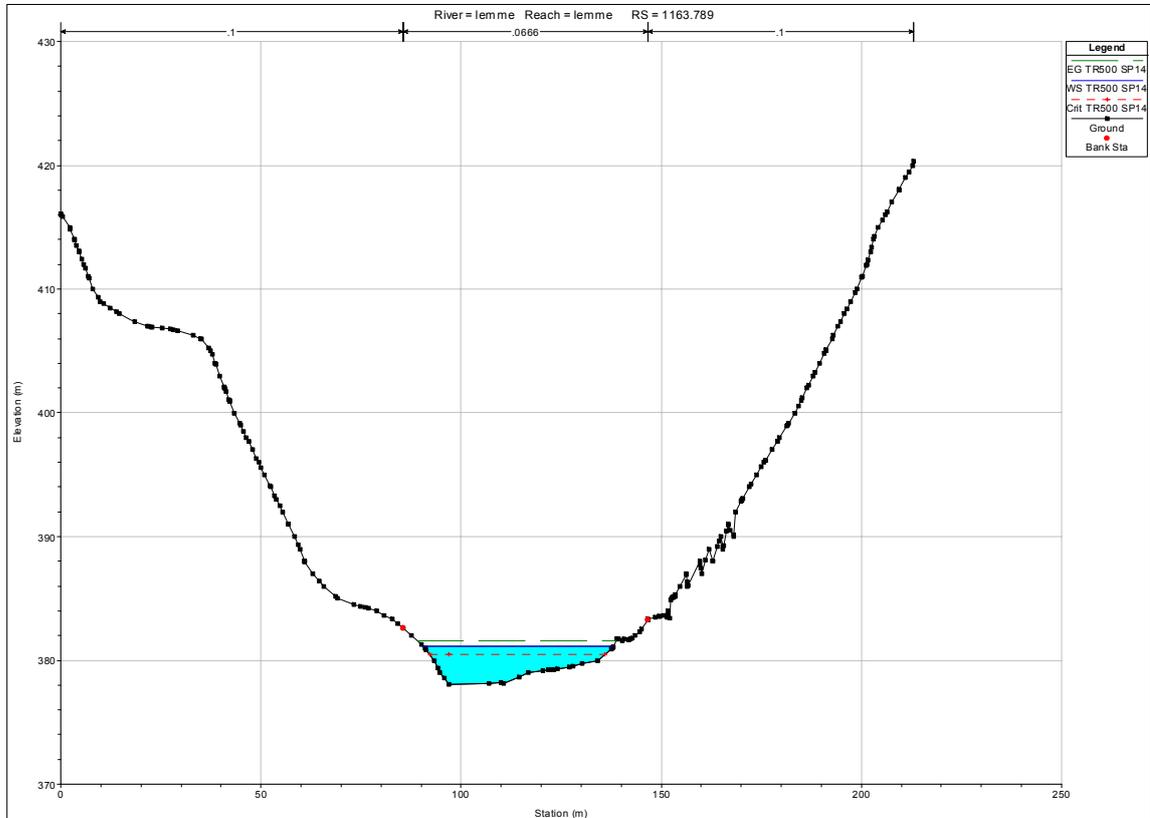
Ubicazione sezioni trasversali

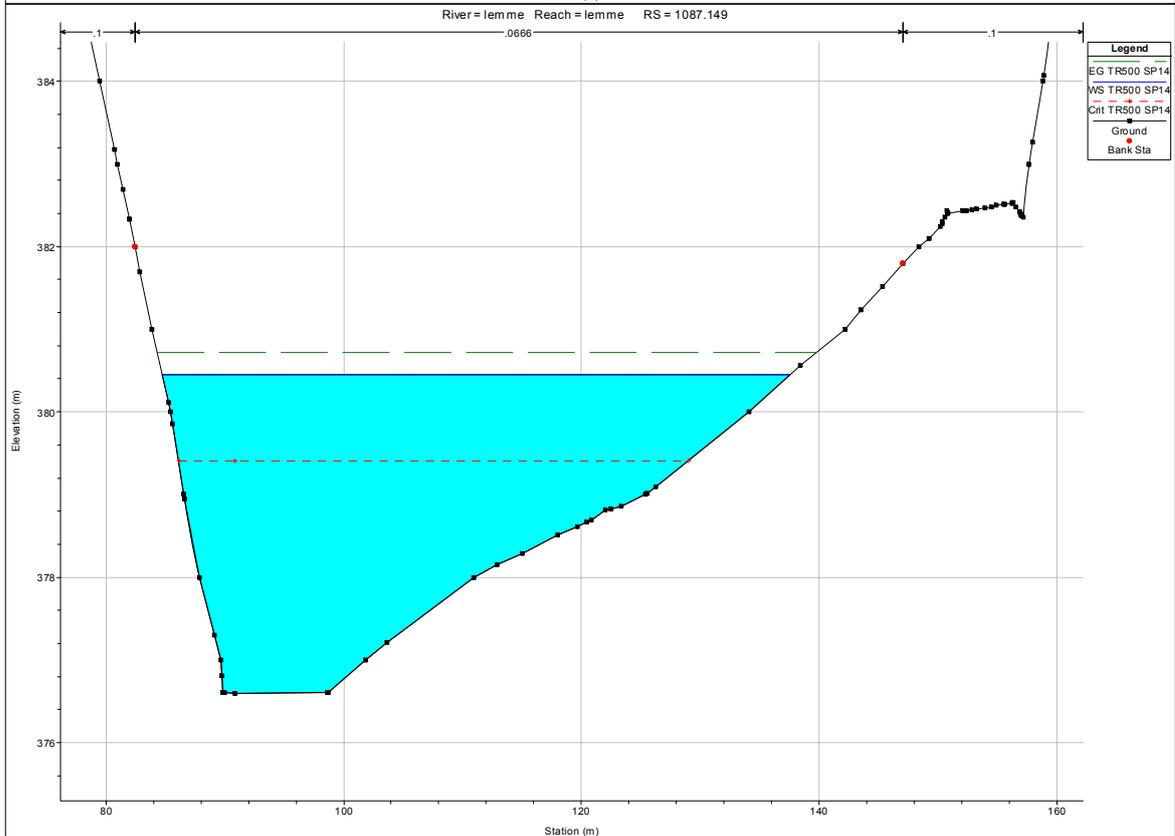
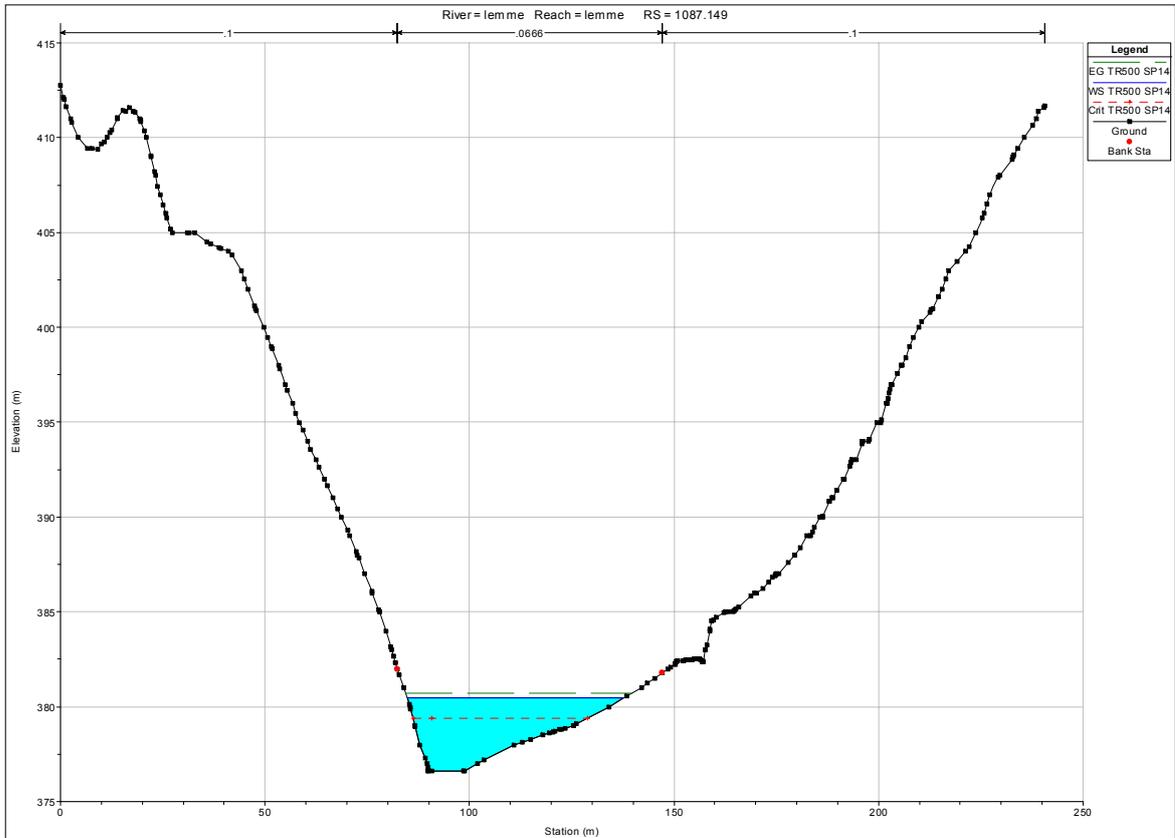
**TEMPI DI RITORNO 500 ANNI – Stazione di Voltaggio. Sottoprogetto SP1.4**  
*Profilo di calcolo torrente Lemme. Stato attuale*

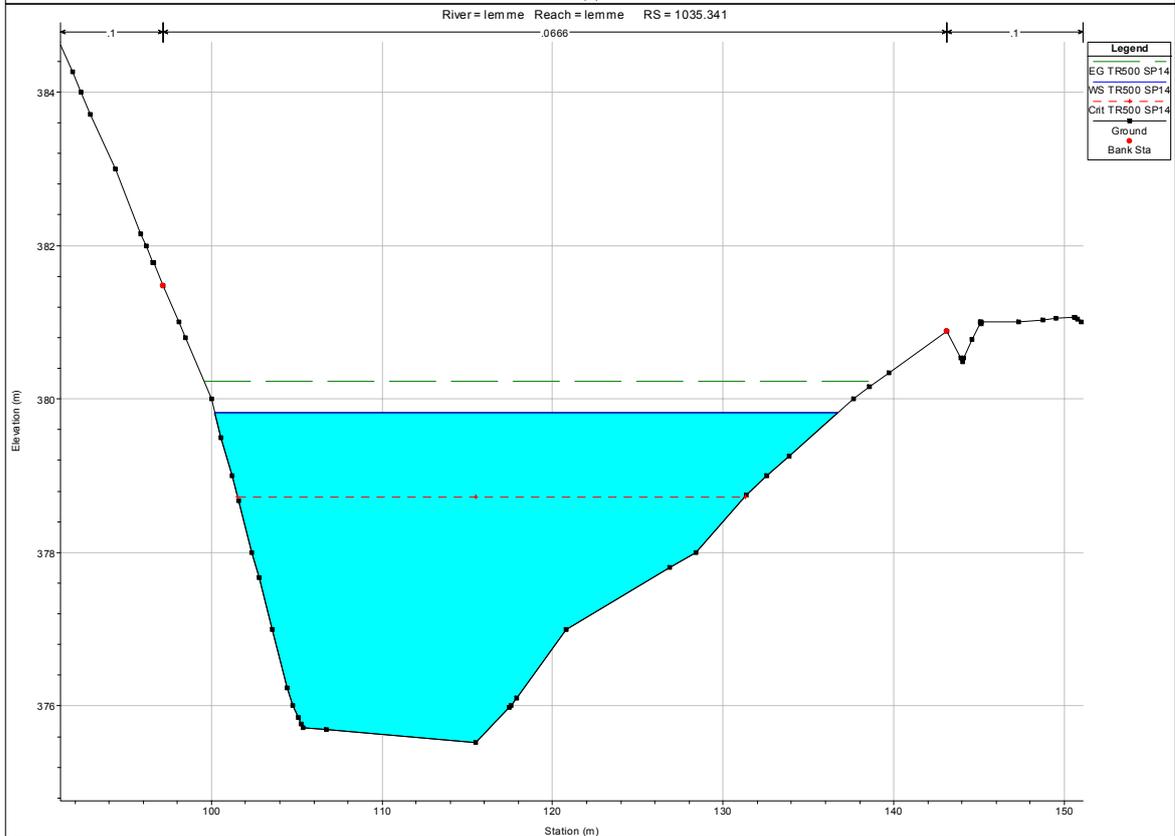
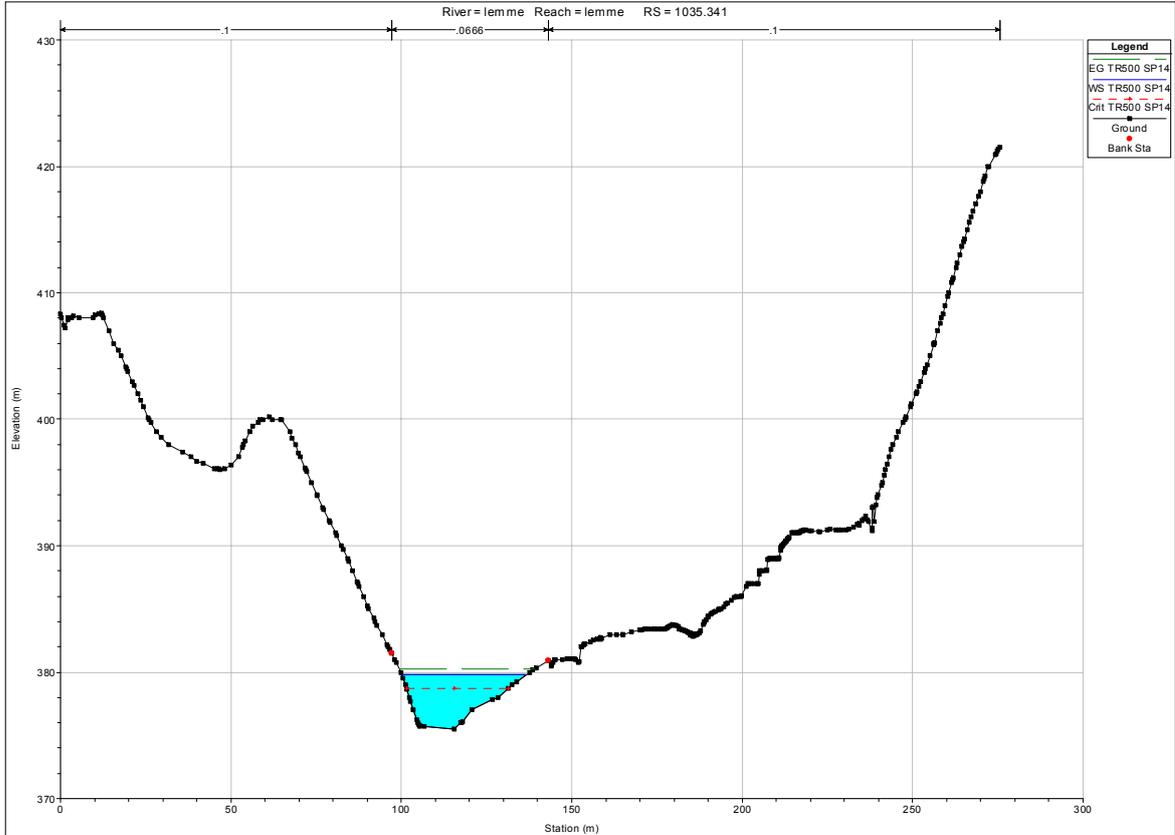
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
lemme	1238.742	TR500 SP14	276.00	378.80	382.13	381.57	382.77	0.018286	3.54	77.92	31.79	0.72
lemme	1163.789	TR500 SP14	276.00	378.07	381.16		381.55	0.013051	2.77	99.76	47.70	0.61
lemme	1087.149	TR500 SP14	276.00	376.59	380.45		380.72	0.008389	2.32	119.04	52.78	0.49
lemme	1035.341	TR500 SP14	276.00	375.52	379.82		380.23	0.010295	2.83	97.45	36.52	0.55
lemme	964.263	TR500 SP14	276.00	374.39	378.58		379.29	0.016124	3.74	73.75	23.74	0.68
lemme	844.727	TR500 SP14	276.00	372.07	376.74	376.05	377.30	0.016426	3.32	83.19	33.70	0.67
lemme	742.196	TR500 SP14	276.00	371.55	374.84	374.30	375.50	0.018685	3.59	76.83	30.83	0.73
lemme	680.607	TR500 SP14	276.00	370.13	374.26	373.14	374.65	0.008906	2.80	107.44	48.18	0.51
lemme	615.103	TR500 SP14	276.00	369.26	373.65	372.28	374.08	0.008478	2.90	98.00	34.14	0.51
lemme	596.430	TR500 SP14	276.00	369.25	373.25	372.27	373.87	0.013145	3.49	82.45	29.81	0.61
lemme	591.93			Inl Struct								
lemme	591.431	TR500 SP14	276.00	367.23	372.10		372.66	0.010883	3.31	83.27	22.01	0.54
lemme	583.343	TR500 SP14	276.00	366.50	372.07	370.36	372.56	0.009136	3.12	88.58	21.64	0.49
lemme	546.555	TR500 SP14	276.00	366.54	371.34	370.31	372.10	0.015416	3.87	71.63	21.30	0.65
lemme	476.543	TR500 SP14	276.00	365.81	371.02		371.33	0.006085	2.76	154.98	88.76	0.43
lemme	443.427	TR500 SP14	276.00	365.61	370.67	369.55	371.08	0.008133	3.10	138.33	106.03	0.49
lemme	417.806	TR500 SP14	276.00	365.76	370.27	369.59	370.82	0.012213	3.47	112.41	97.46	0.58
lemme	402.166	TR500 SP14	276.00	365.63	370.15	369.41	370.62	0.010529	3.25	124.27	106.30	0.55
lemme	383.673	TR500 SP14	276.00	365.20	370.02	368.81	370.43	0.008664	3.06	131.36	103.54	0.50
lemme	362.700	TR500 SP14	276.00	364.82	369.73	368.76	370.23	0.010229	3.34	124.25	112.96	0.55
lemme	337.439	TR500 SP14	276.00	364.73	369.11	368.39	369.88	0.016654	3.97	85.81	103.13	0.69
lemme	315.492	TR500 SP14	276.00	364.84	368.10	368.07	369.33	0.034393	4.92	56.26	23.42	0.98
lemme	273.484	TR500 SP14	276.00	364.03	368.29	366.77	368.56	0.005698	2.32	119.33	41.99	0.41
lemme	233.560	TR500 SP14	276.00	362.93	367.63	366.38	368.21	0.011656	3.38	82.42	29.29	0.57
lemme	209.689	TR500 SP14	276.00	362.82	367.59	365.96	367.94	0.006463	2.65	108.32	38.33	0.45
lemme	199.689	TR500 SP14	276.00	362.78	367.59	365.79	367.86	0.004987	2.36	129.14	59.30	0.40
lemme	196			Bridge								
lemme	193.69	TR500 SP14	276.00	362.67	366.54	365.74	367.16	0.015077	3.49	78.98	28.07	0.67
lemme	178.689	TR500 SP14	276.00	362.39	366.02		366.86	0.023950	4.07	67.87	27.88	0.83
lemme	158.118	TR500 SP14	276.00	362.00	365.81		366.40	0.014963	3.40	81.06	29.71	0.66
lemme	118.683	TR500 SP14	276.00	361.10	364.79	364.42	365.65	0.023015	4.10	67.33	25.85	0.81
lemme	84.832	TR500 SP14	276.00	360.19	363.81	363.62	364.76	0.029506	4.32	63.83	27.38	0.90
lemme	55.661	TR500 SP14	276.00	358.42	363.02	362.77	363.92	0.027167	4.20	65.74	27.38	0.86
lemme	12.363	TR500 SP14	276.00	357.73	362.34	361.63	362.94	0.015958	3.45	80.10	29.59	0.67

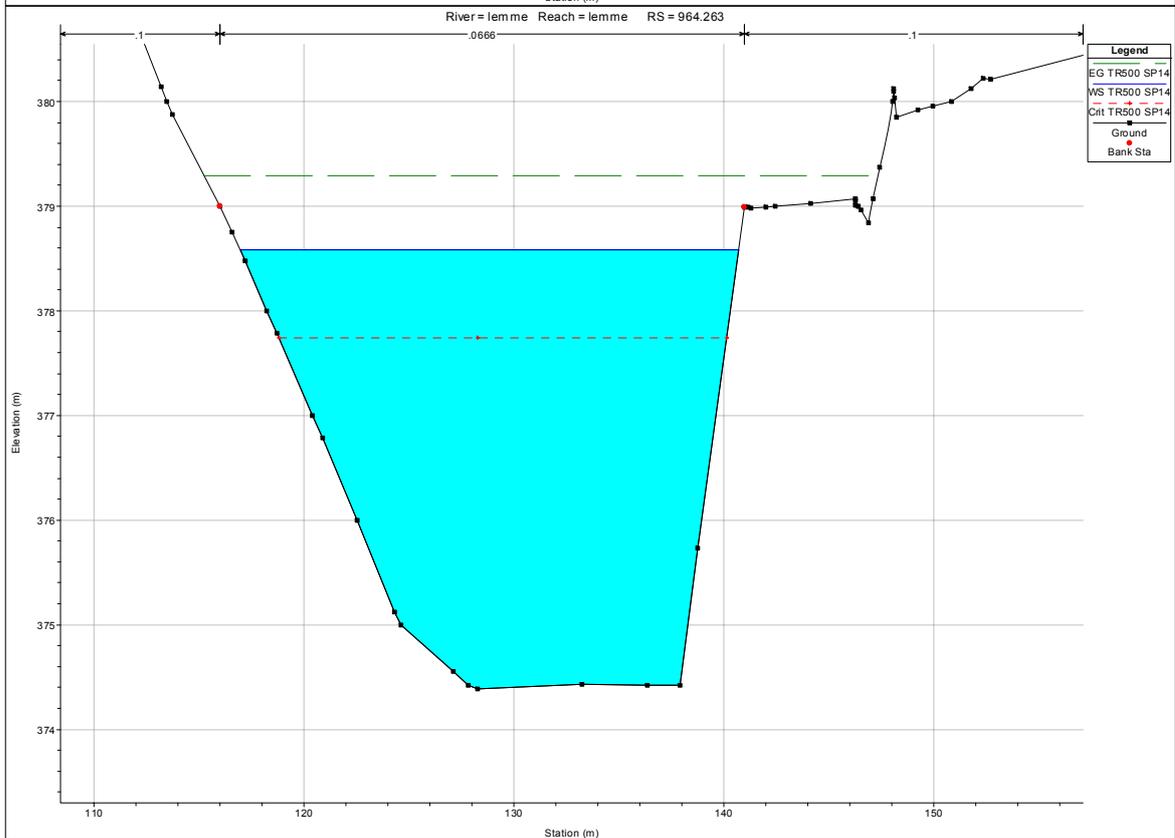
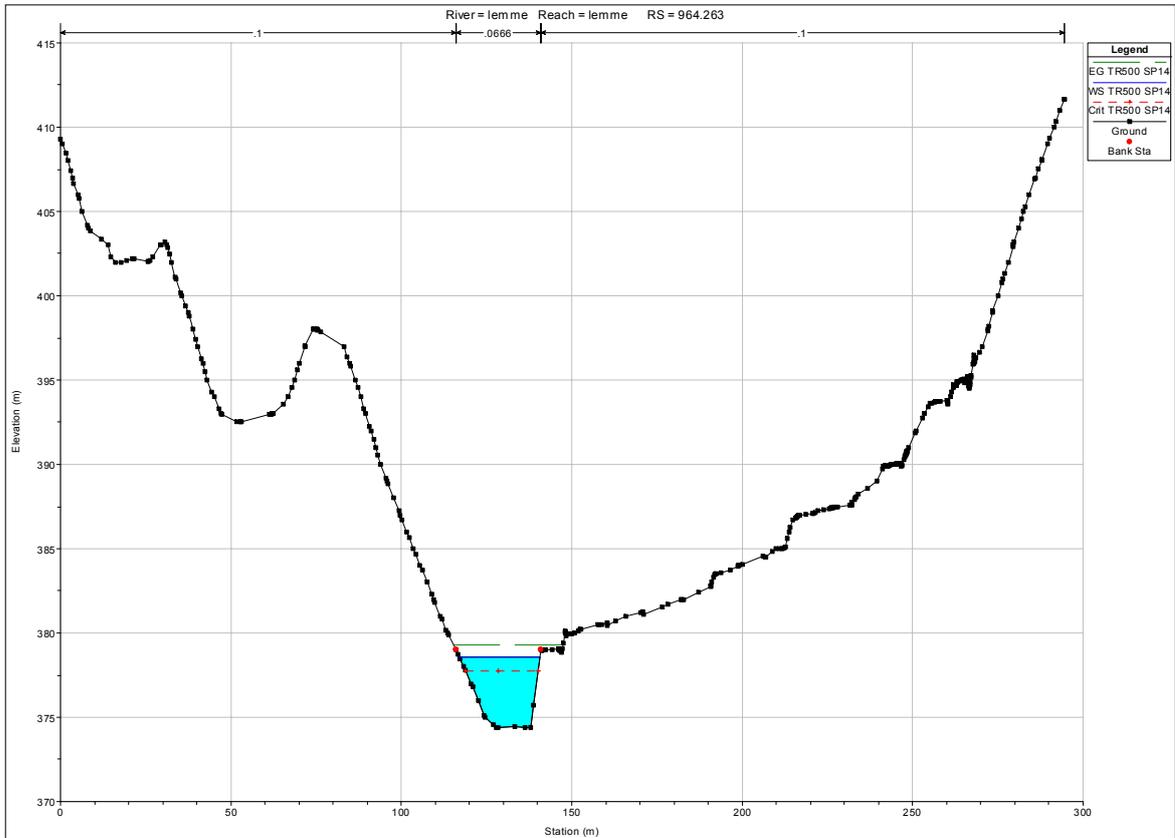


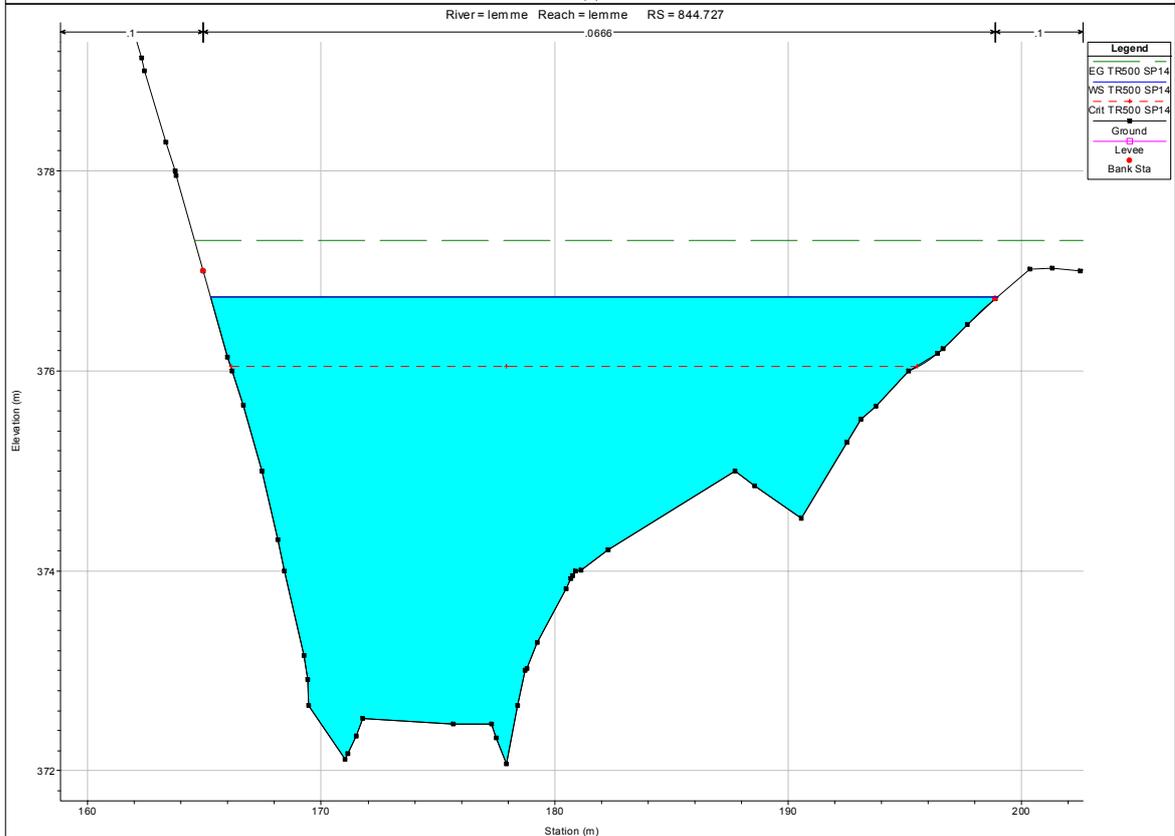
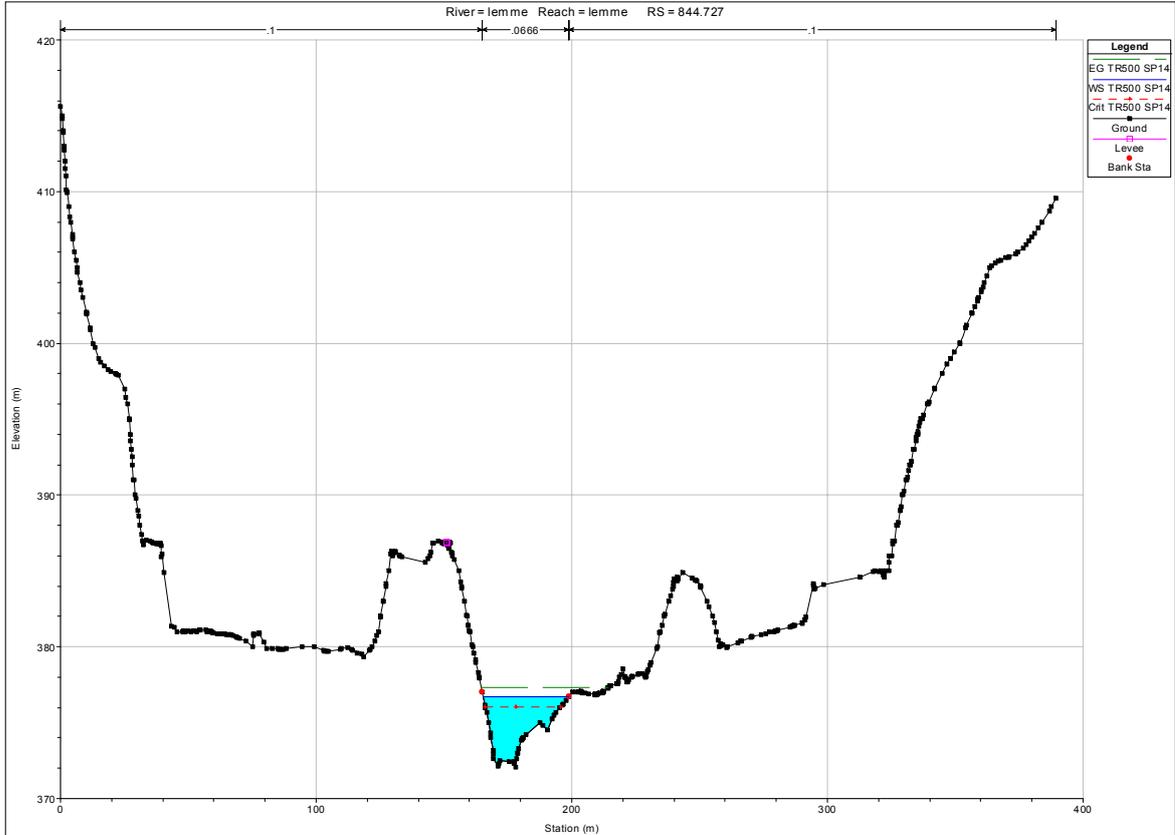


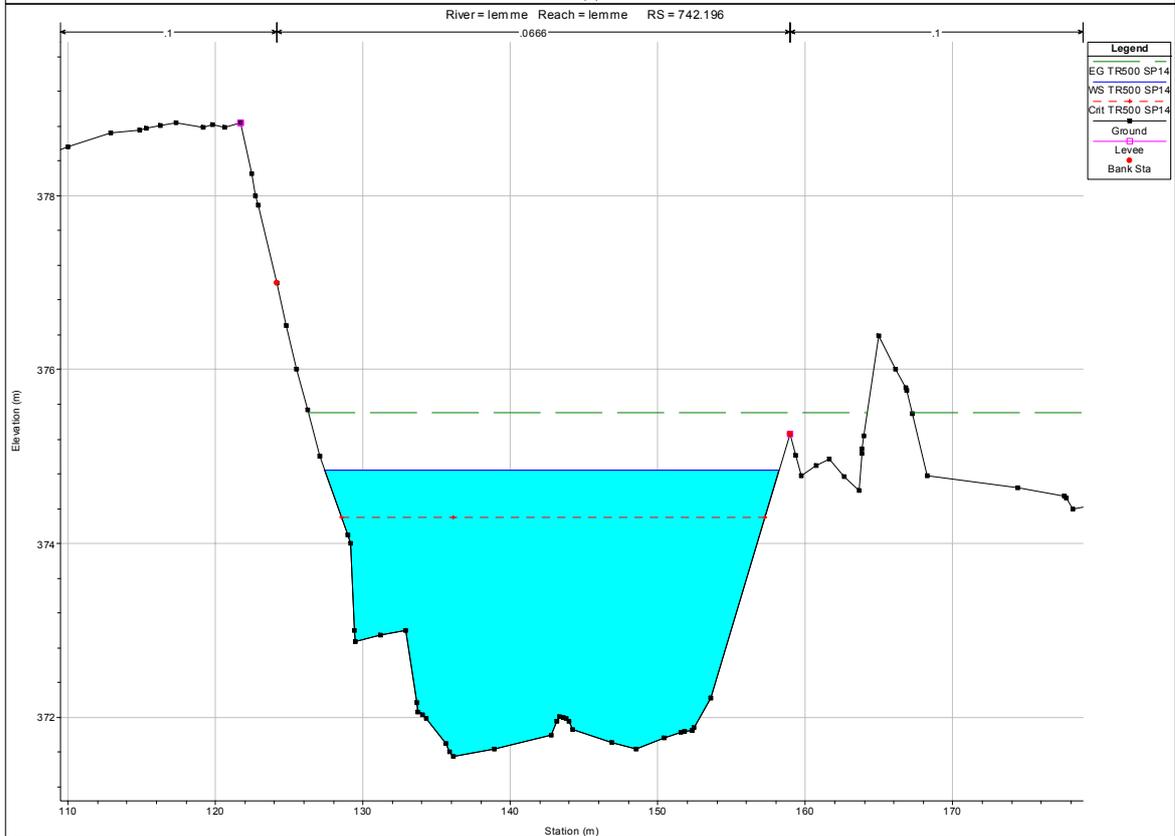
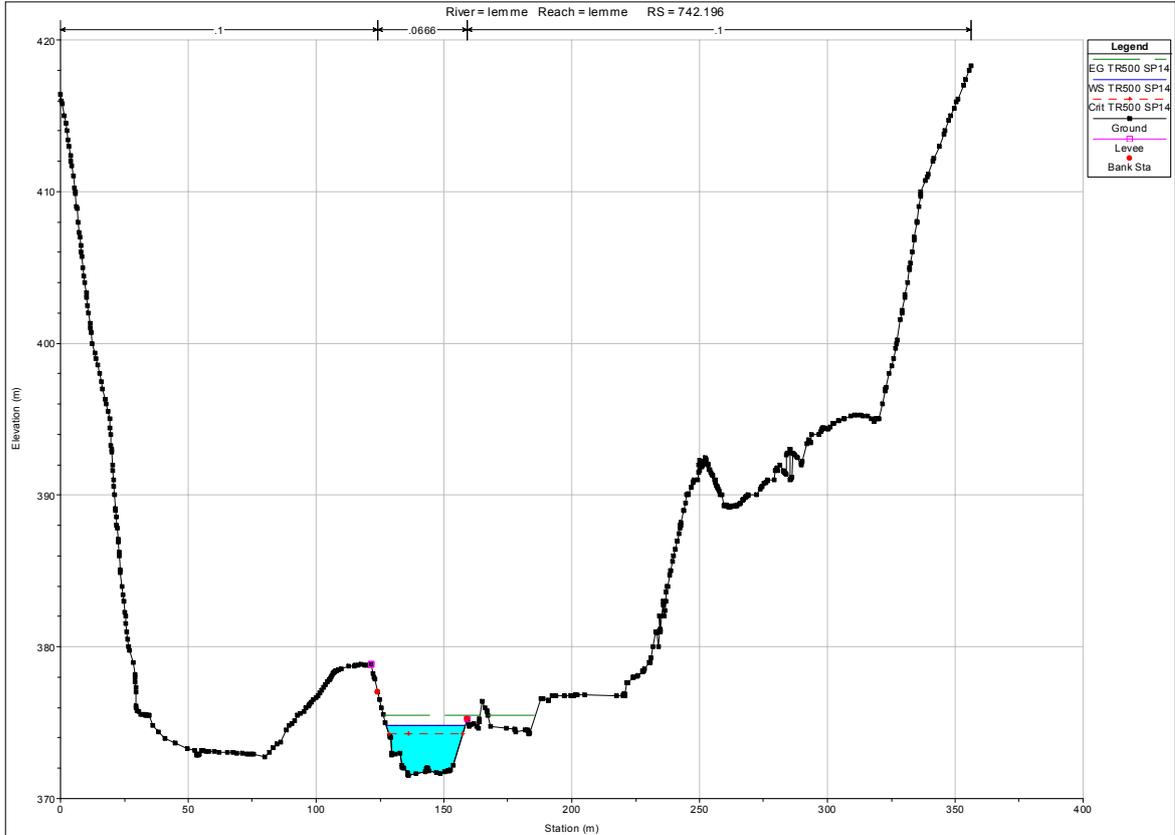


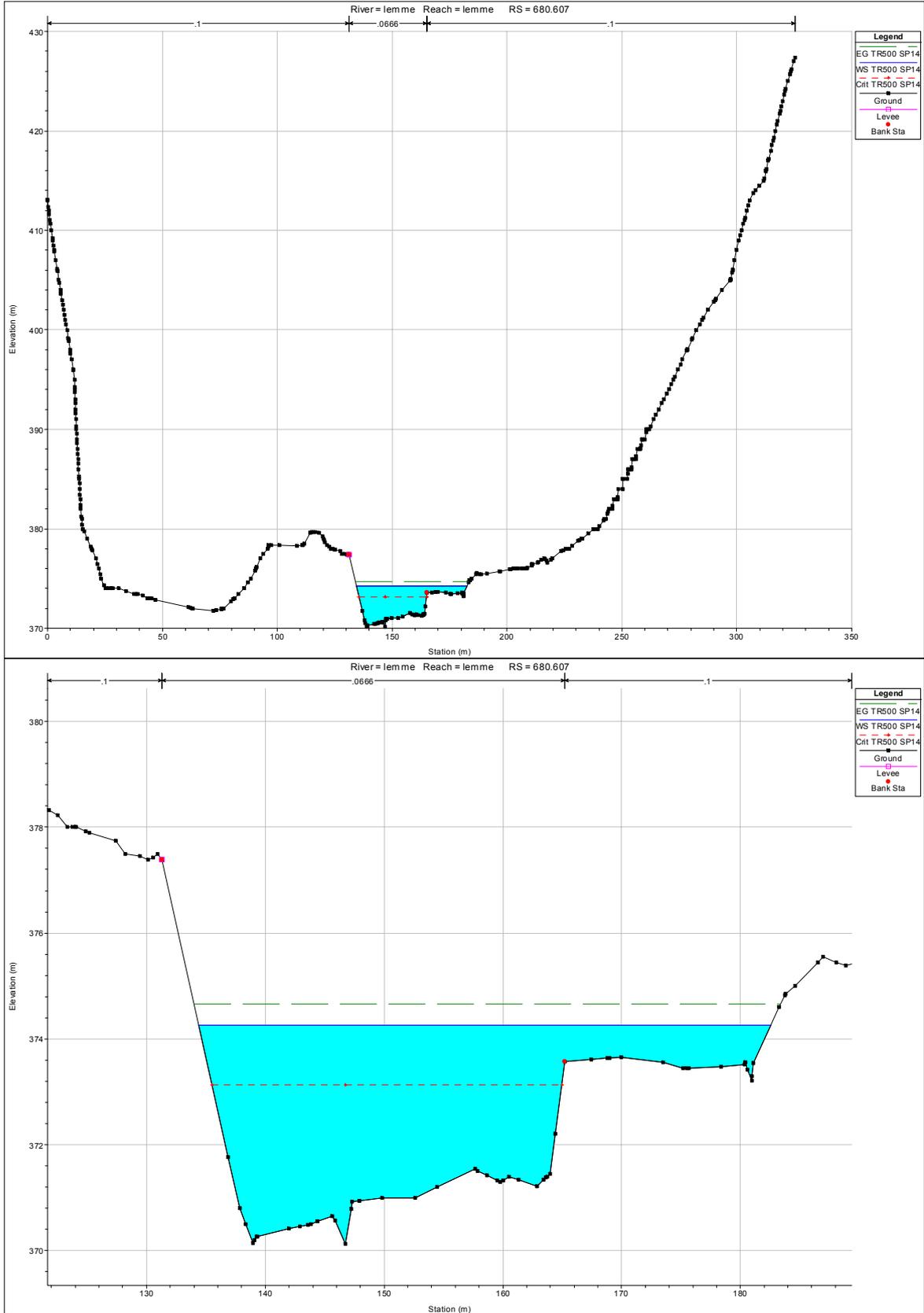


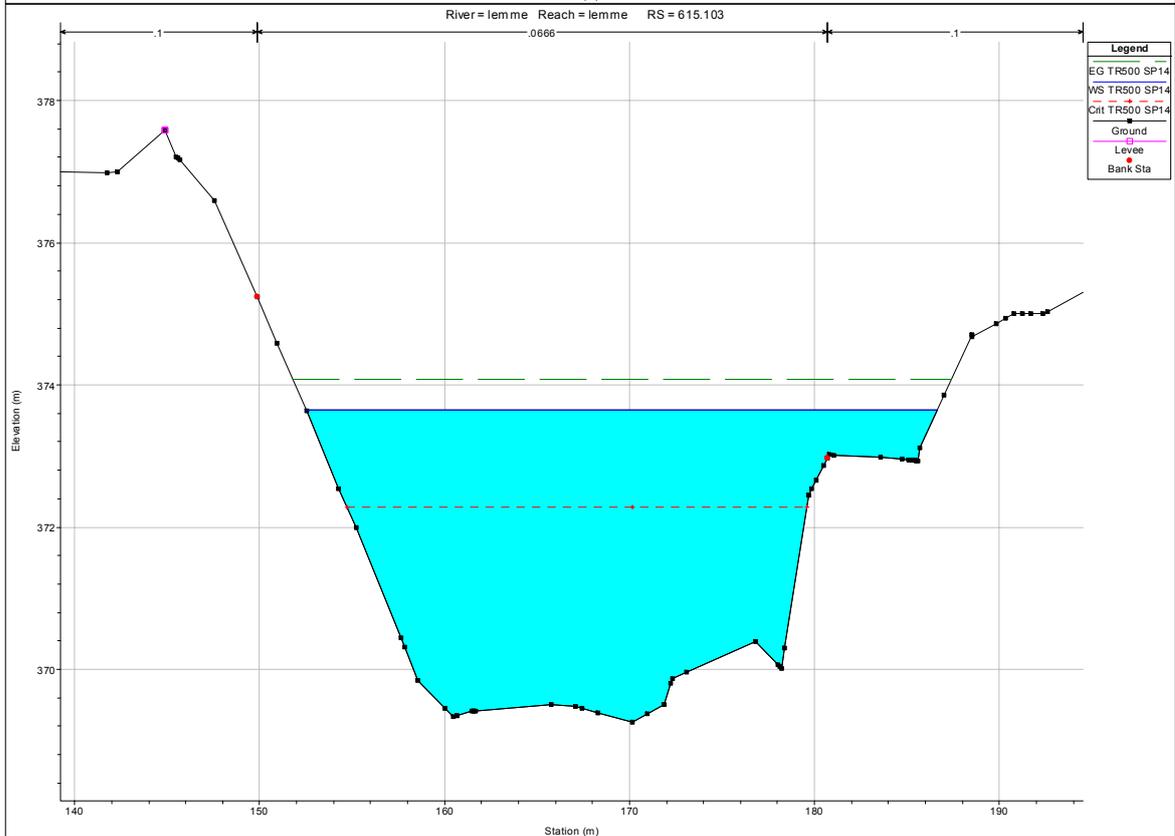
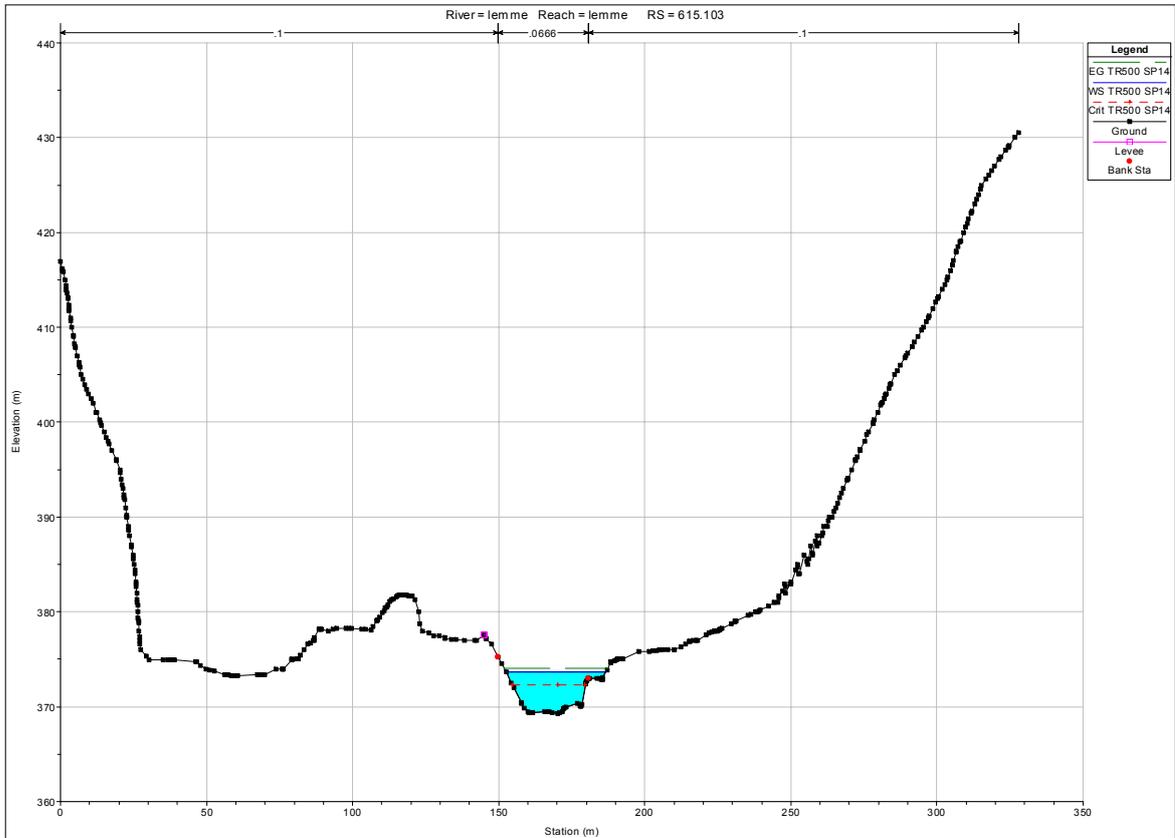


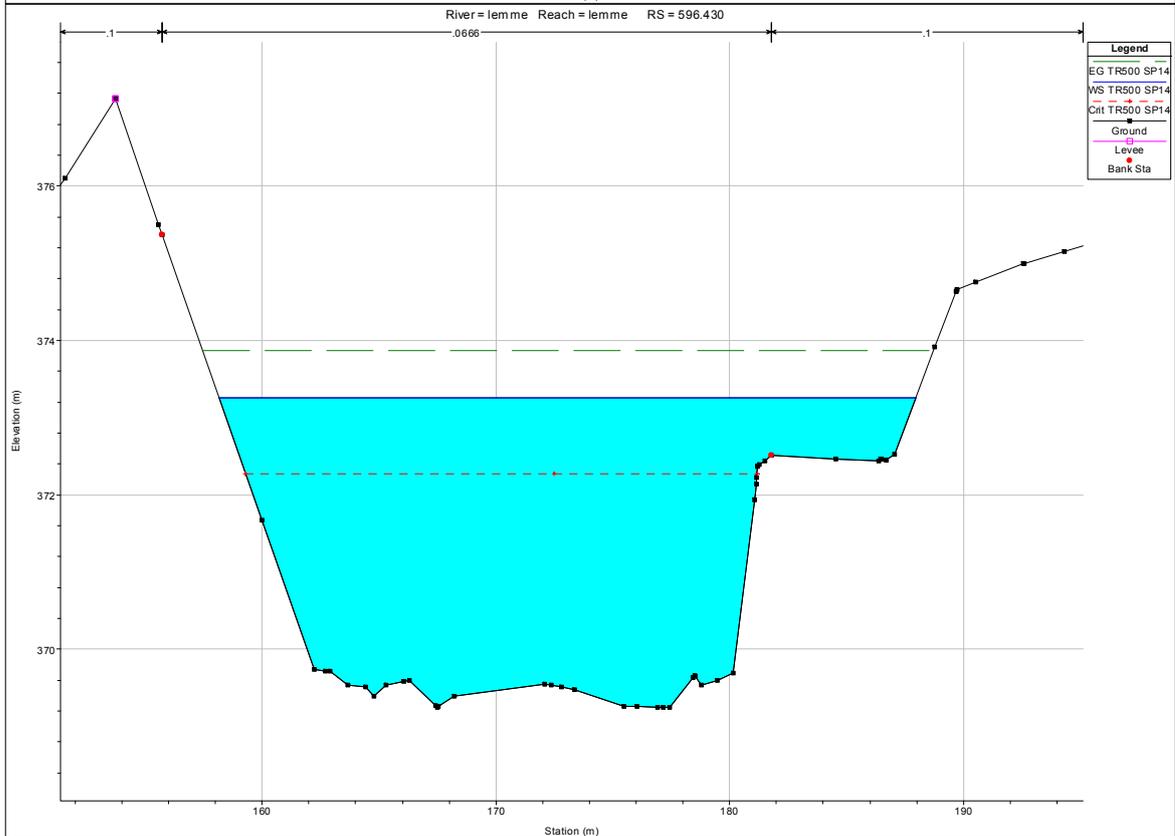
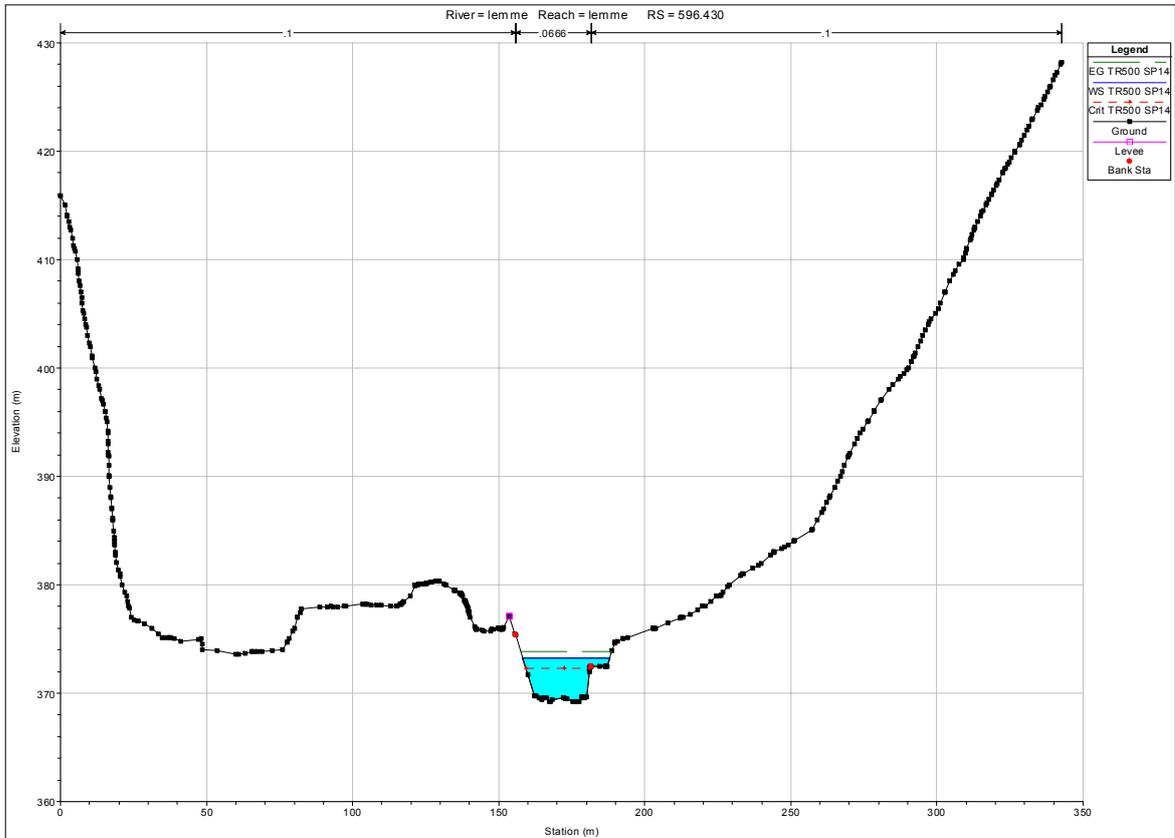


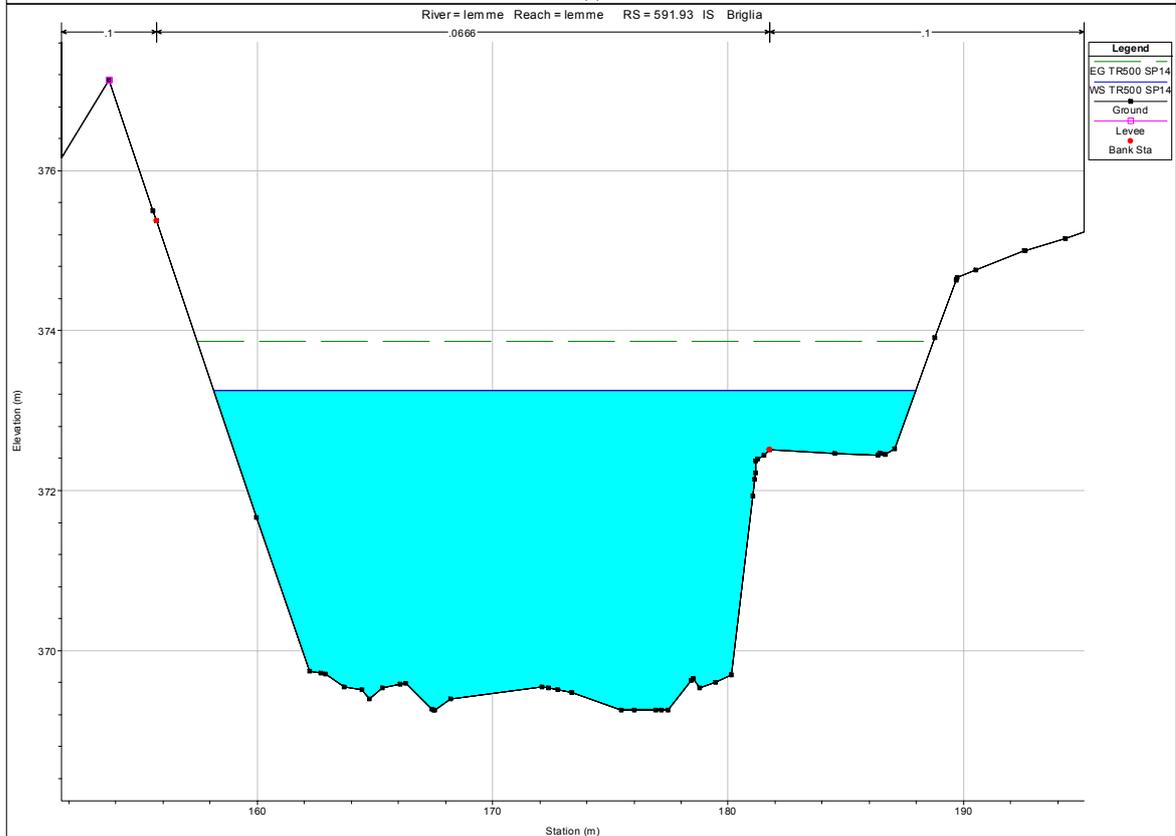
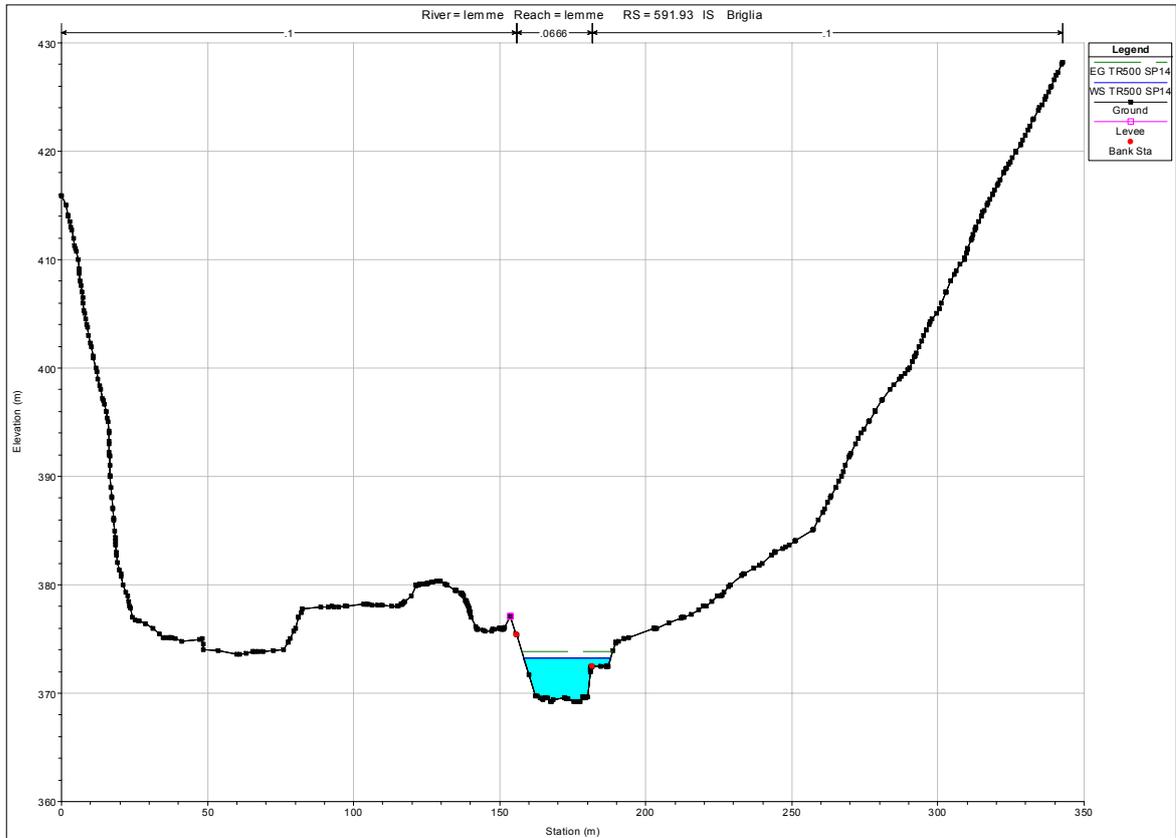


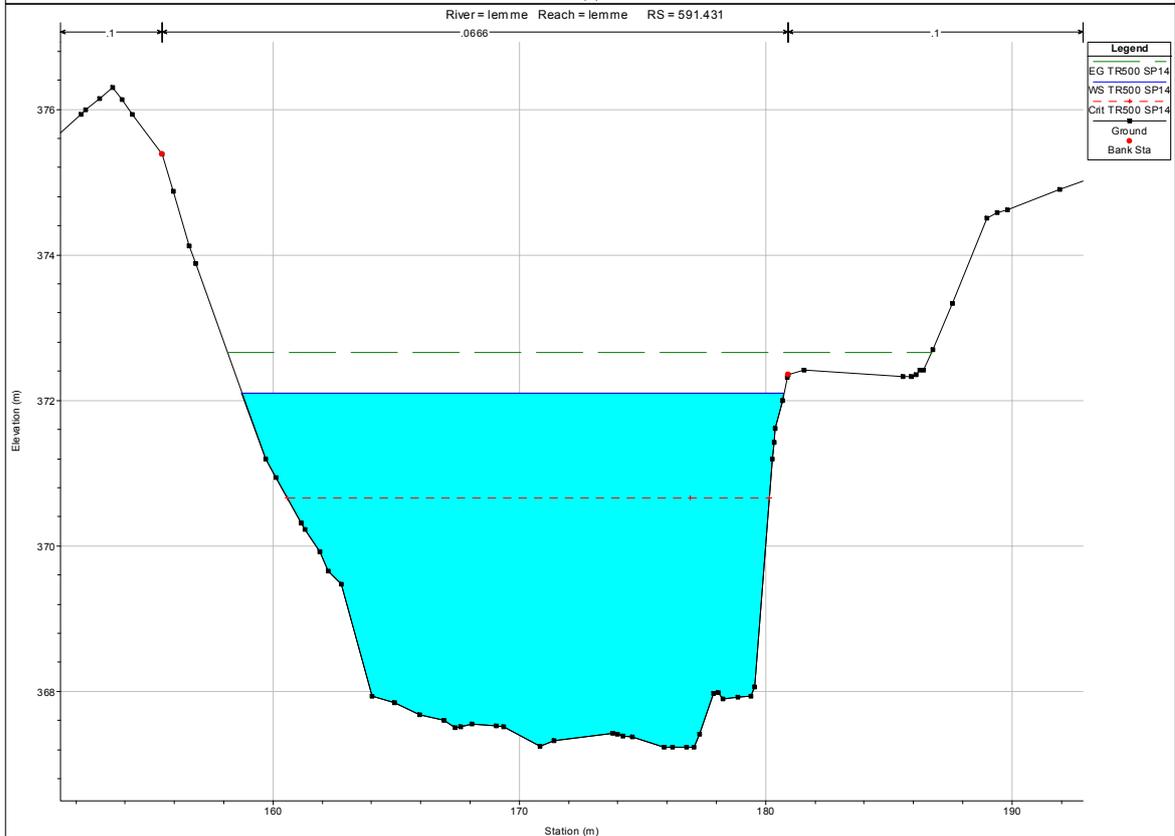
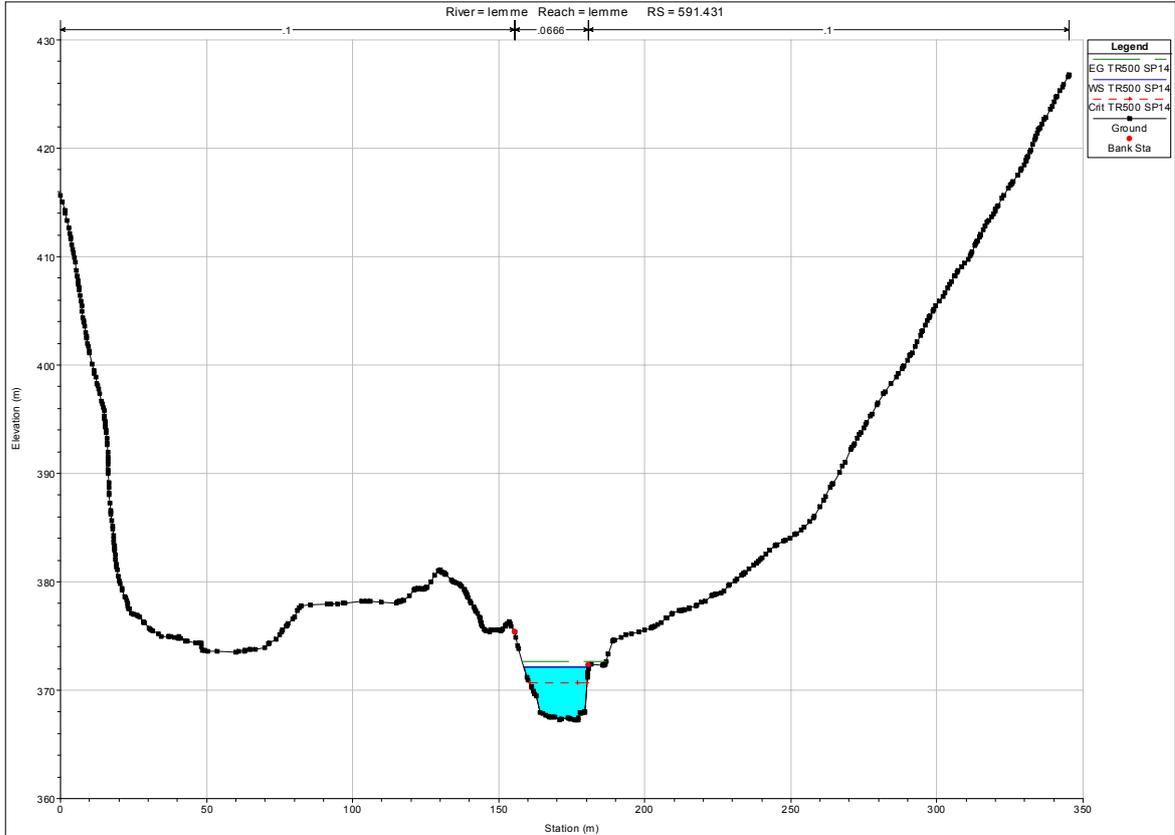


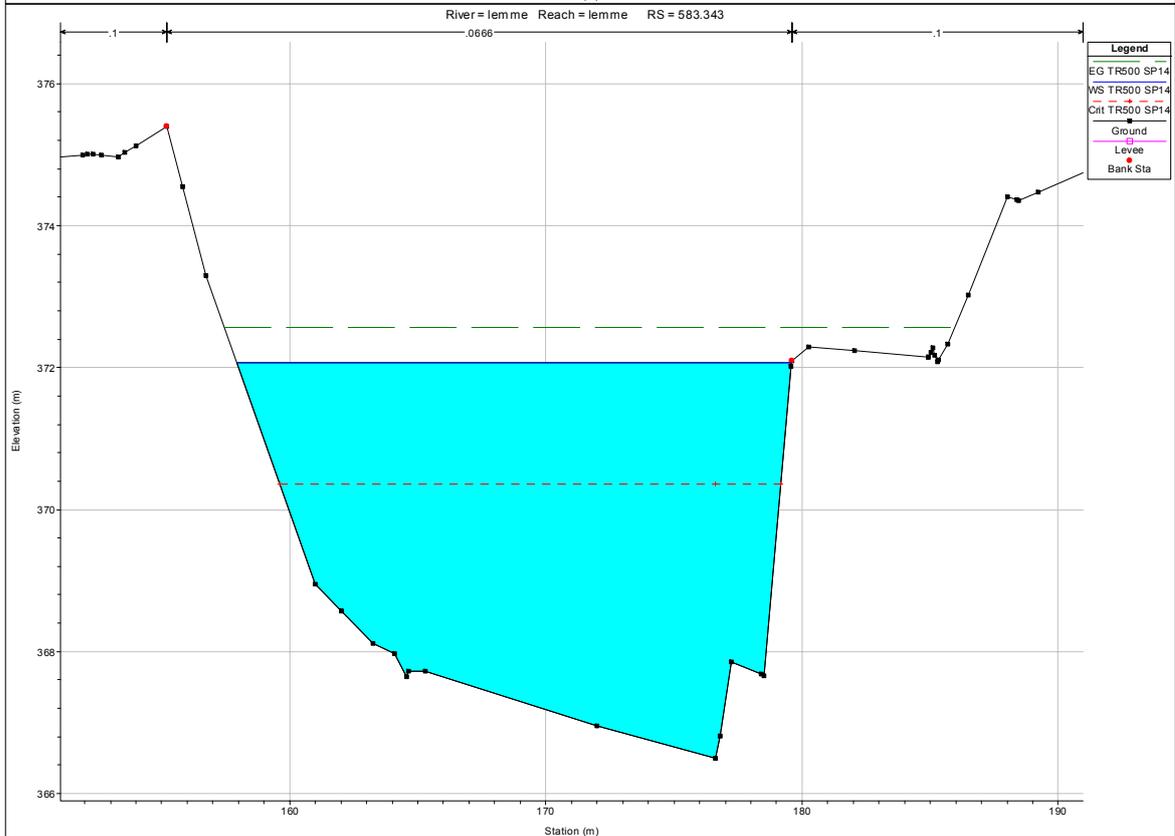
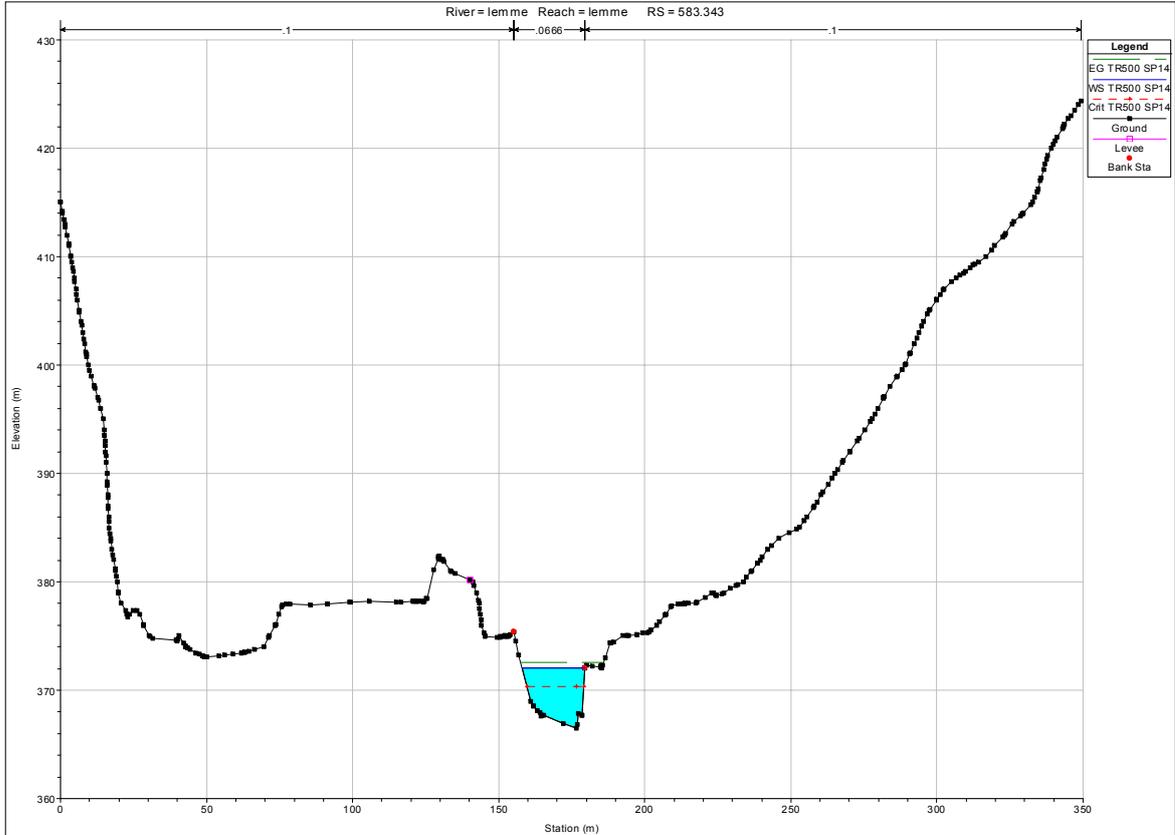


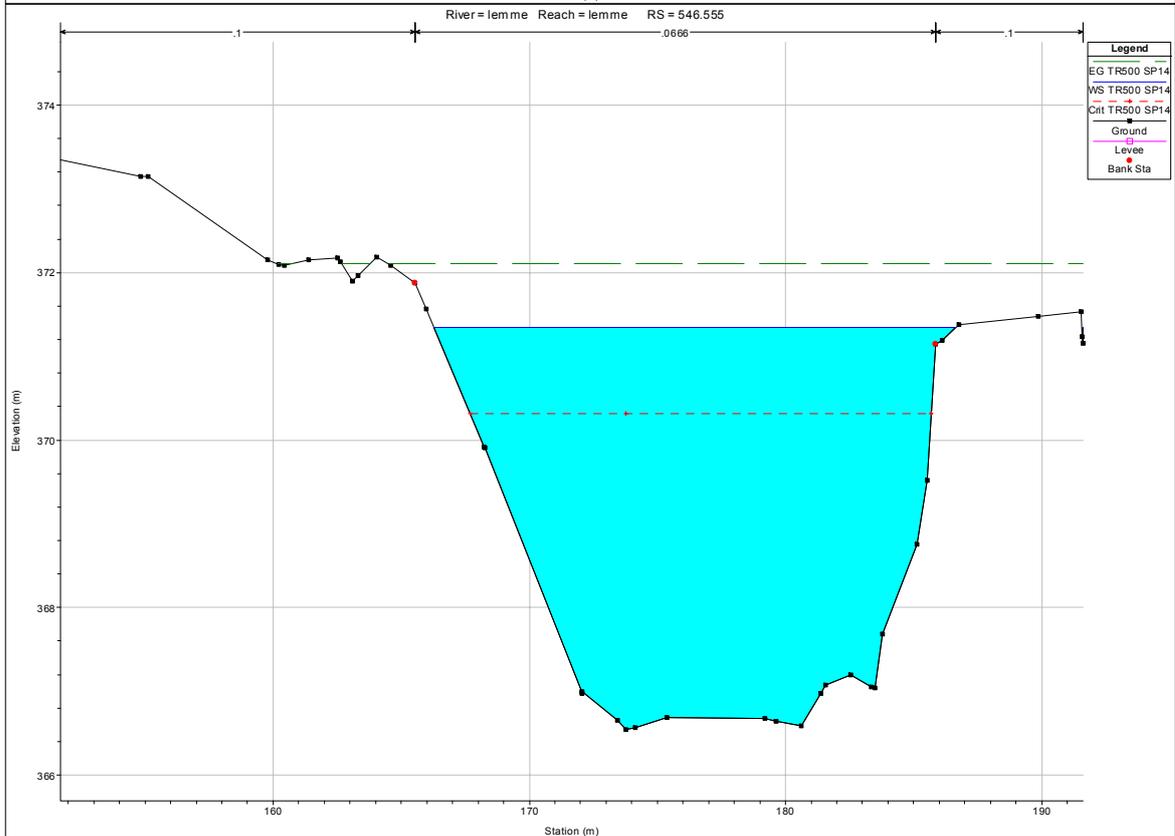
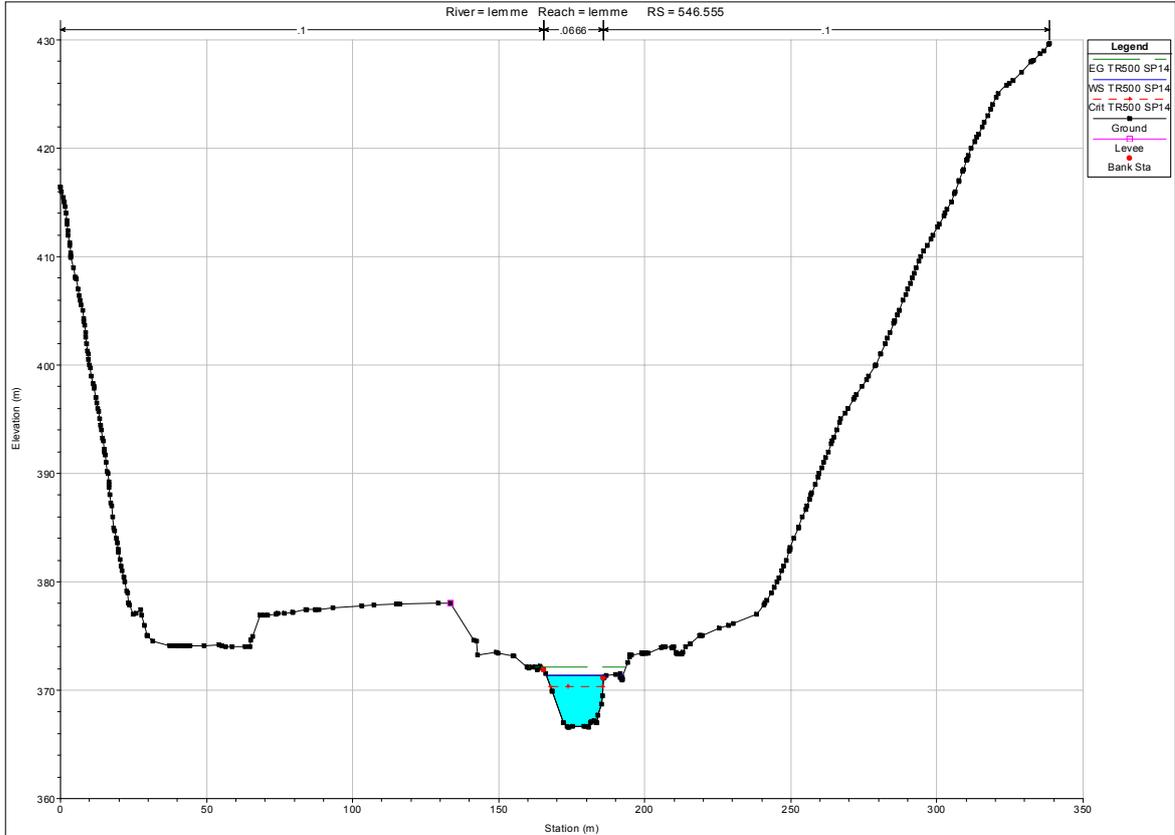


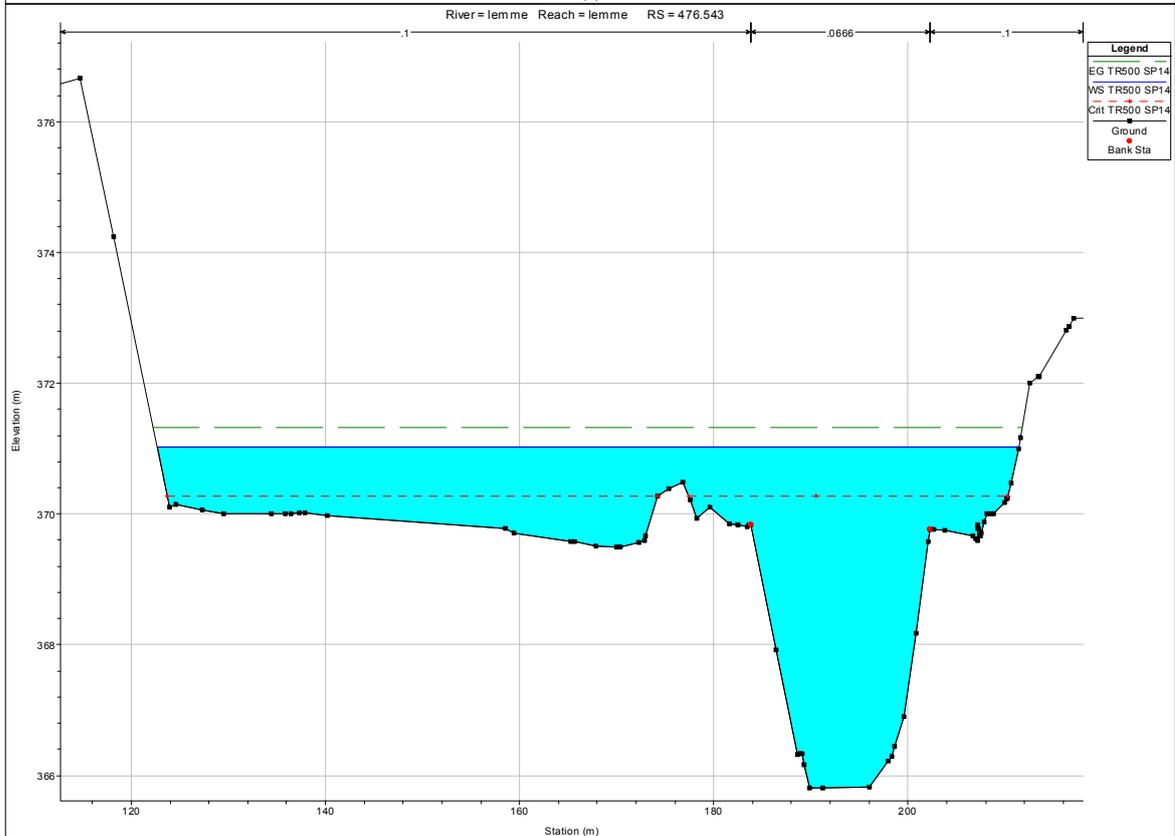
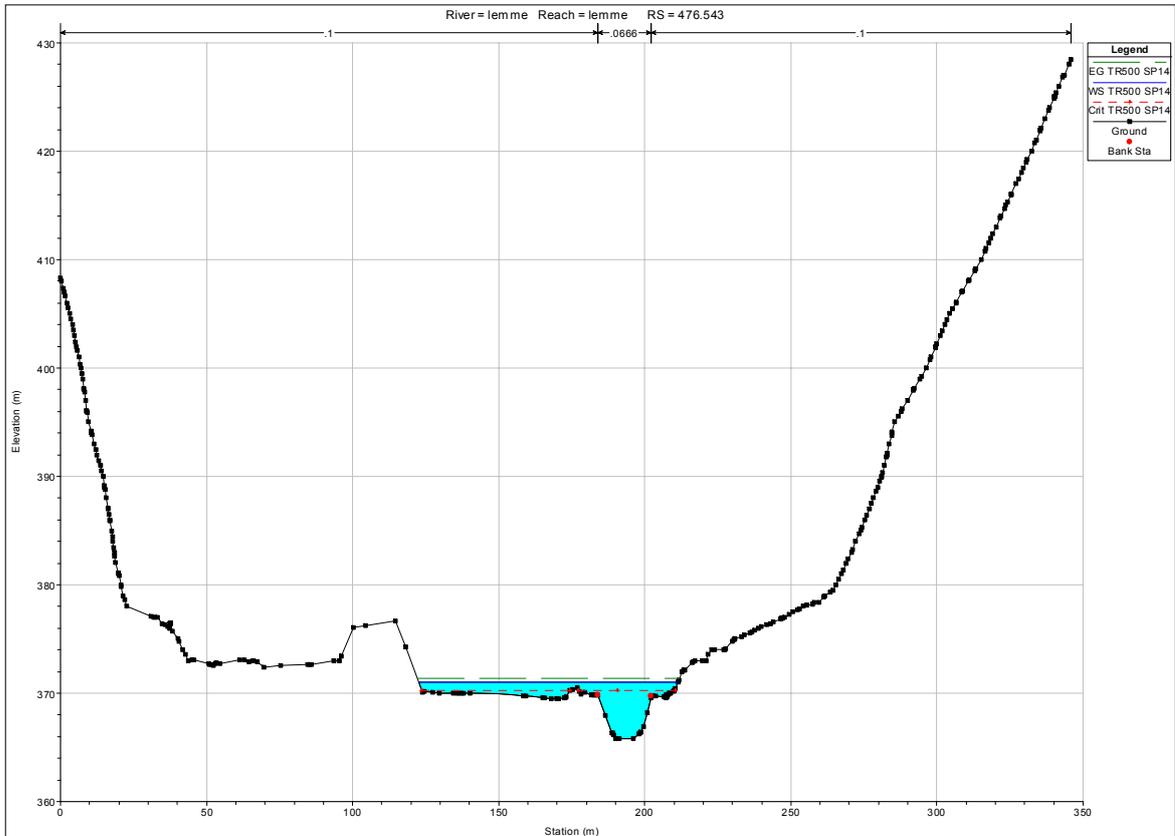


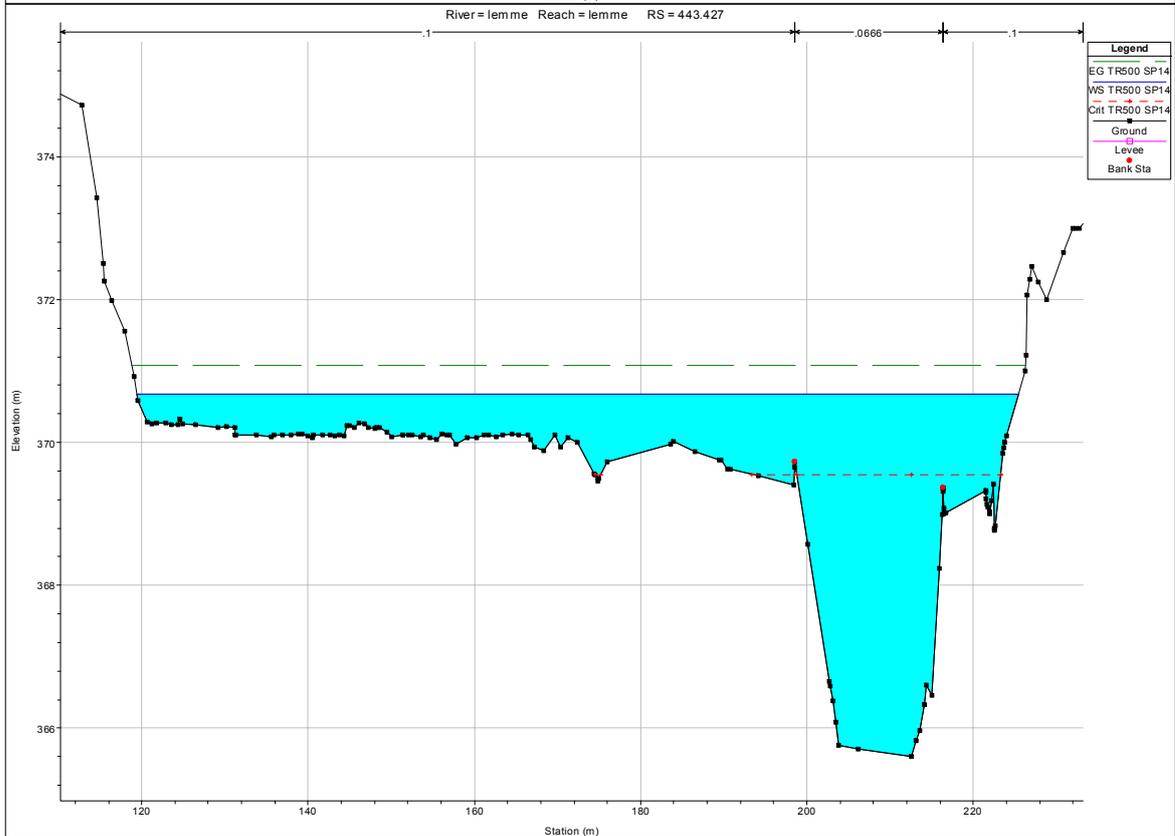
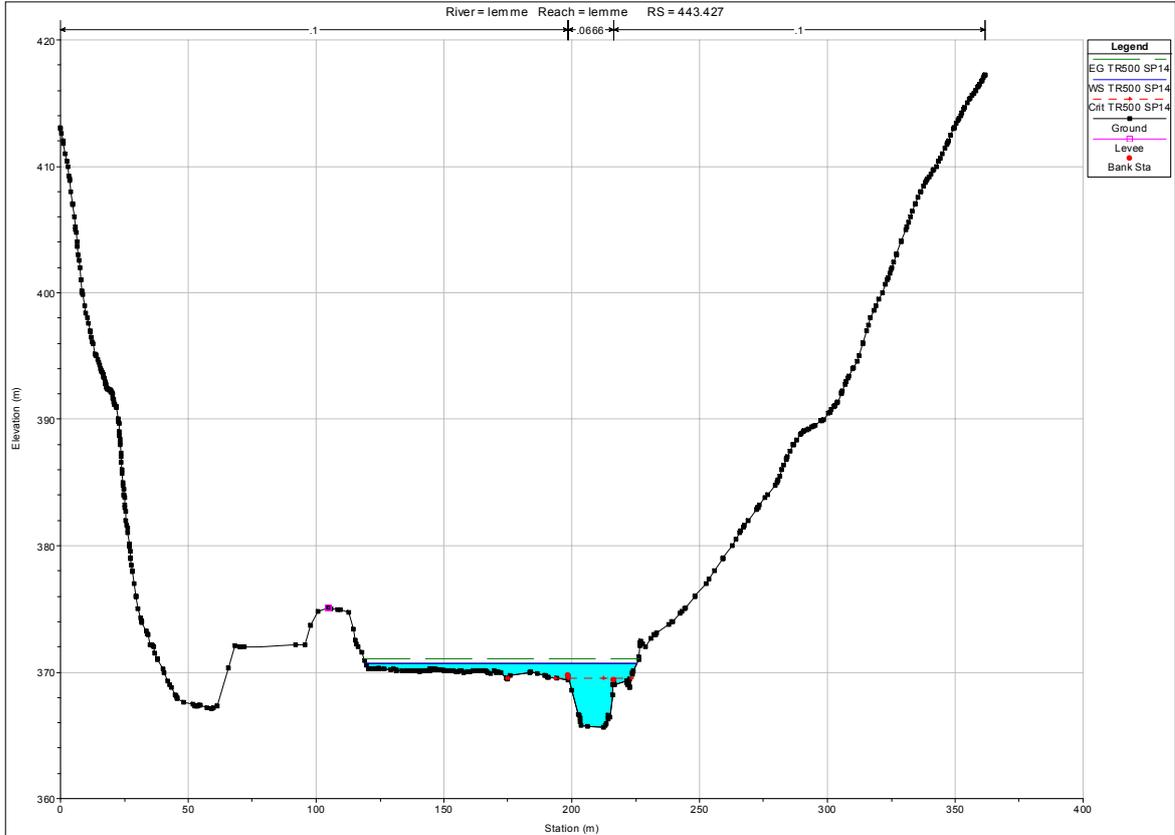


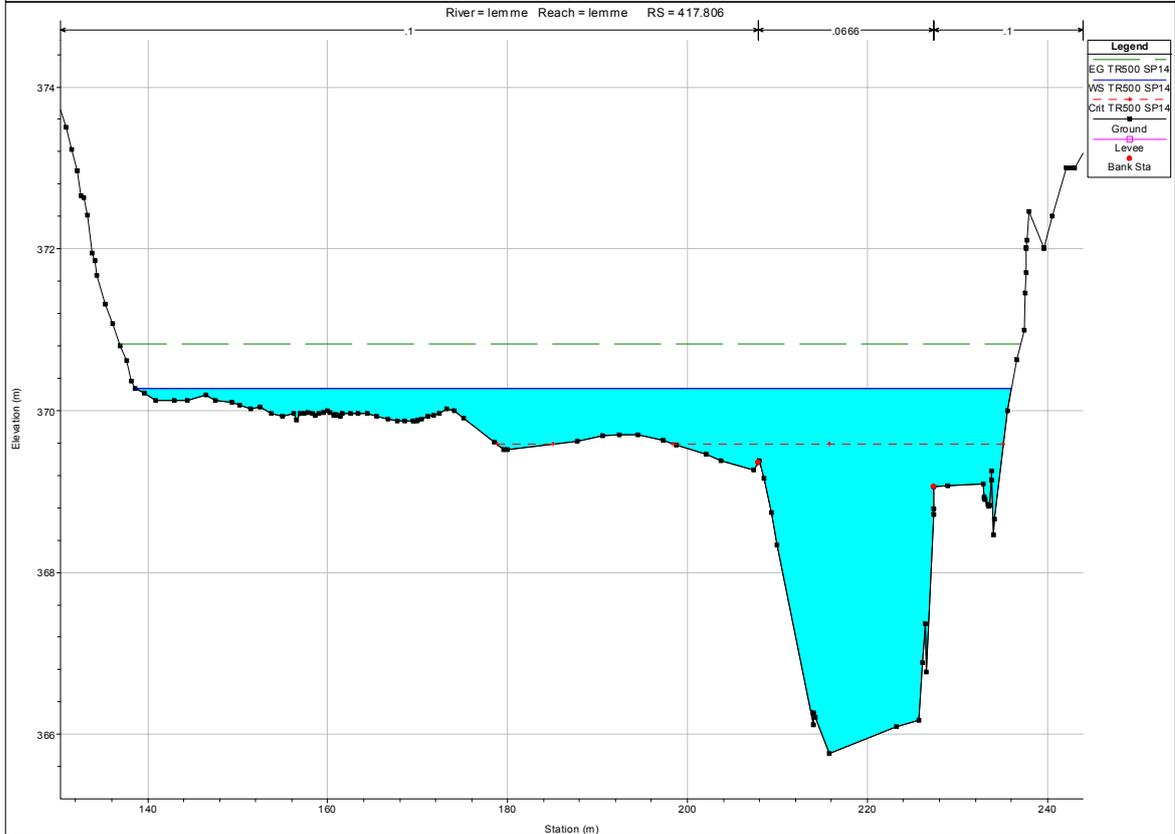
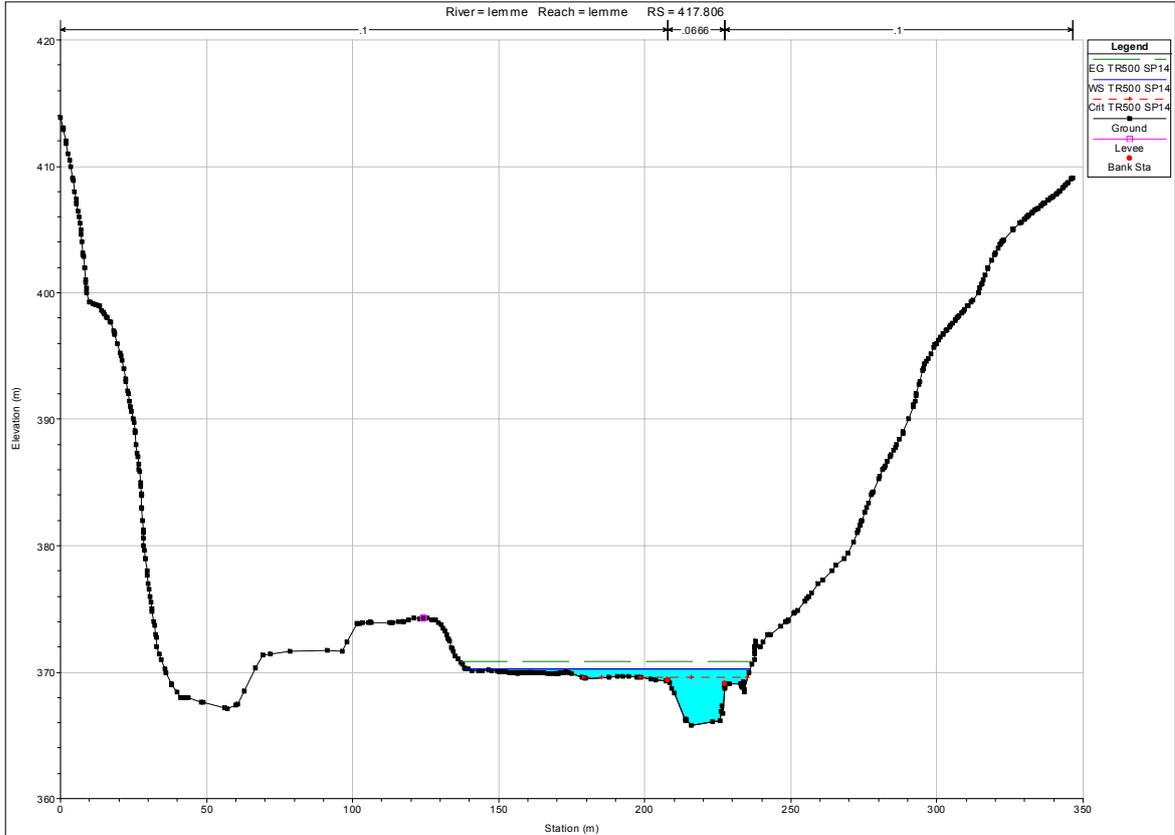


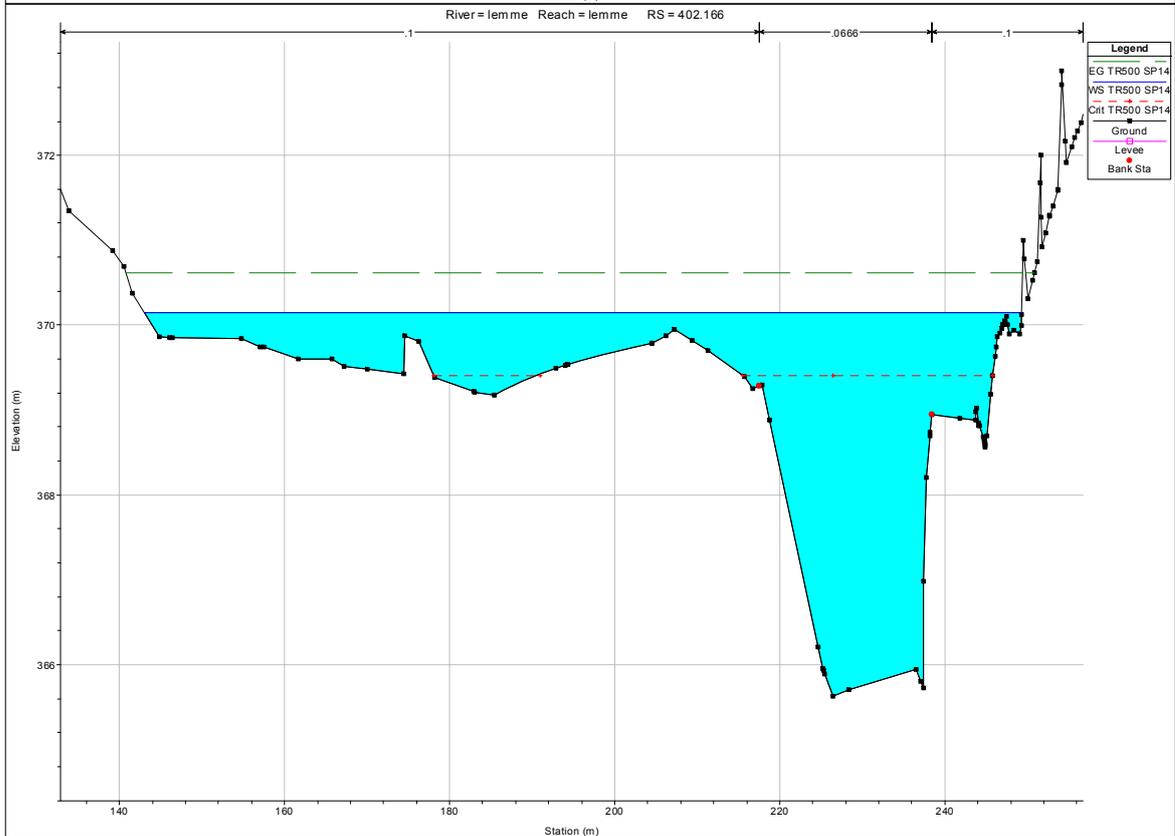
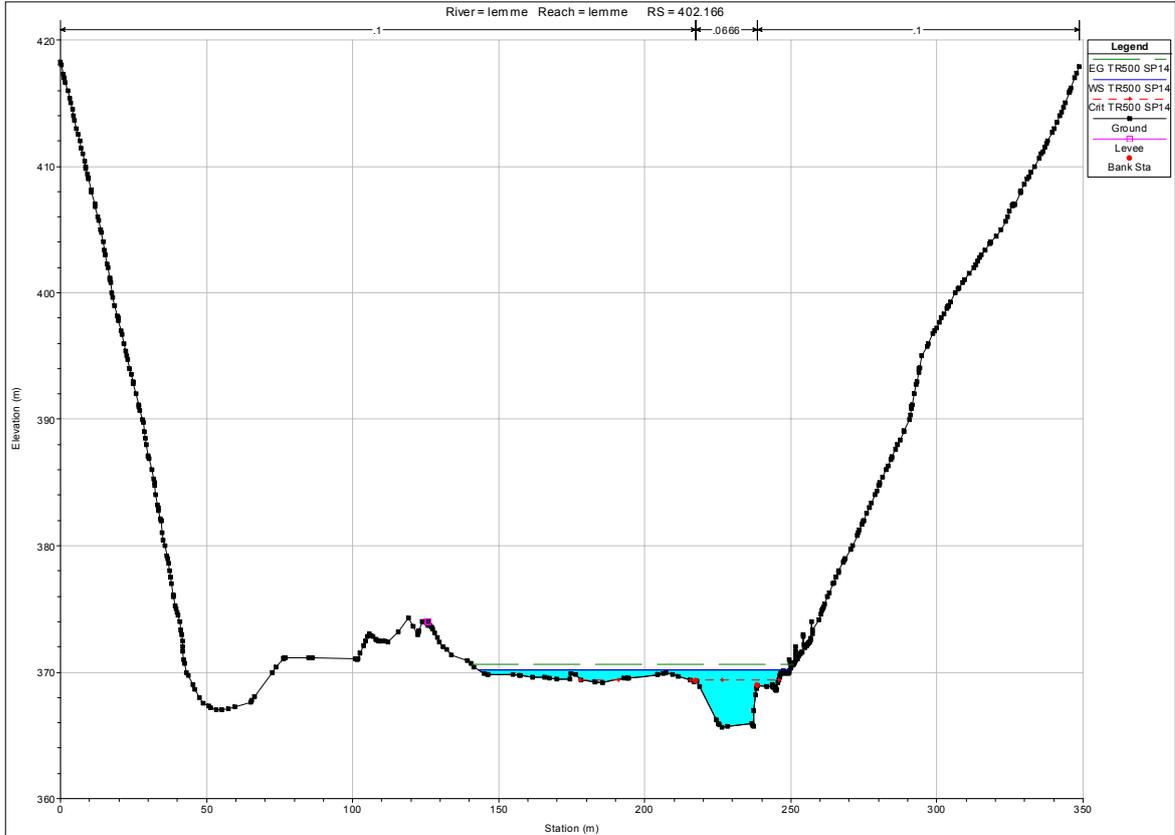


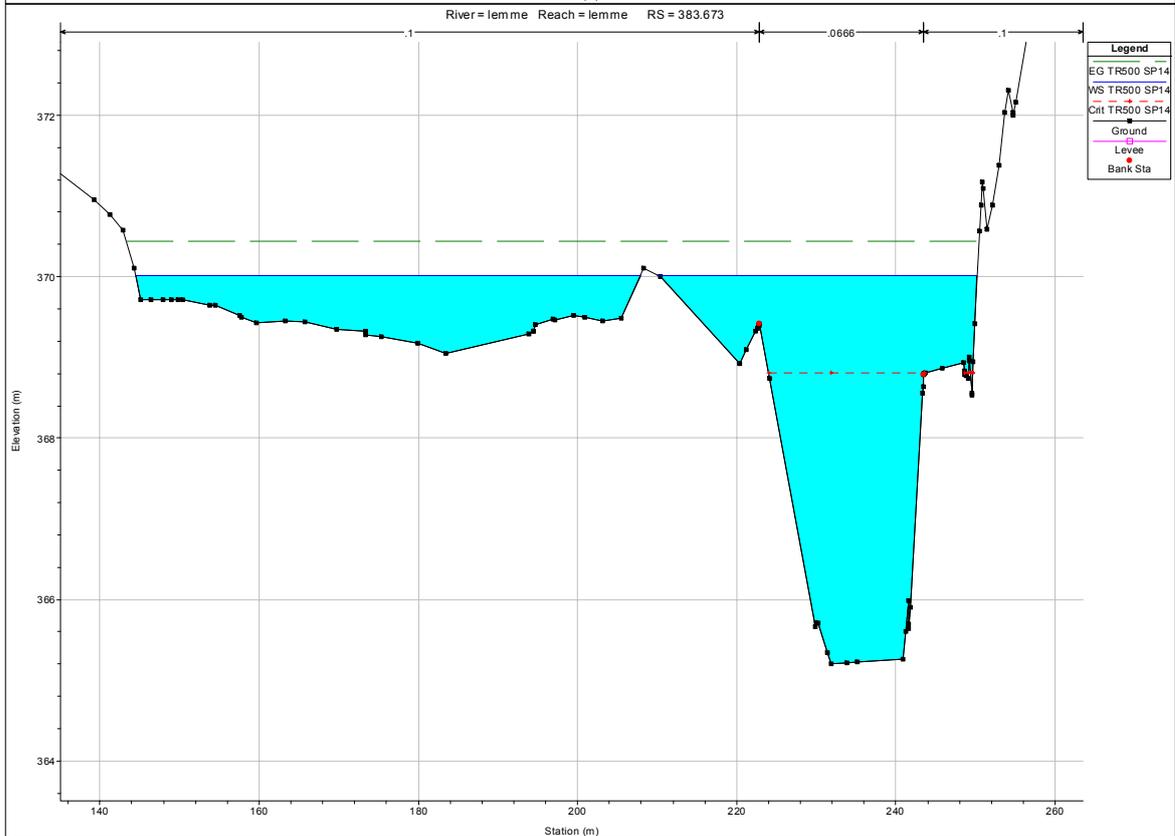
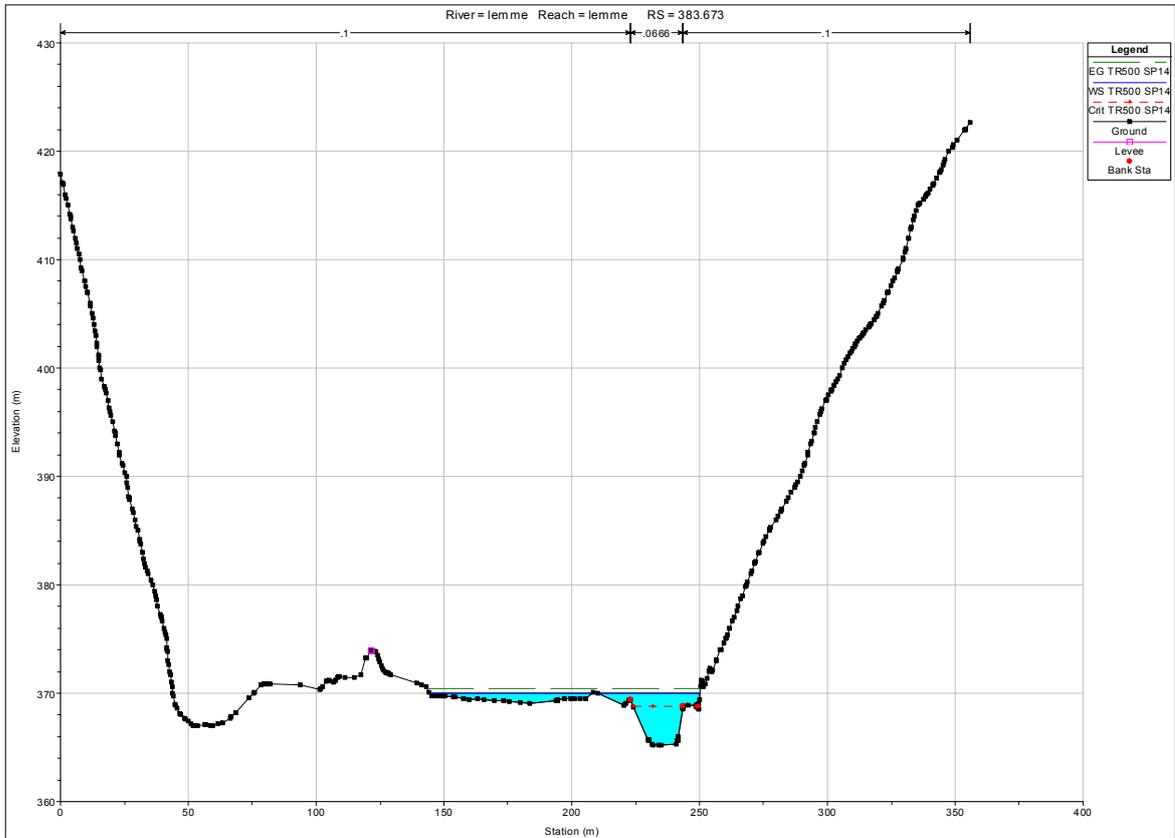


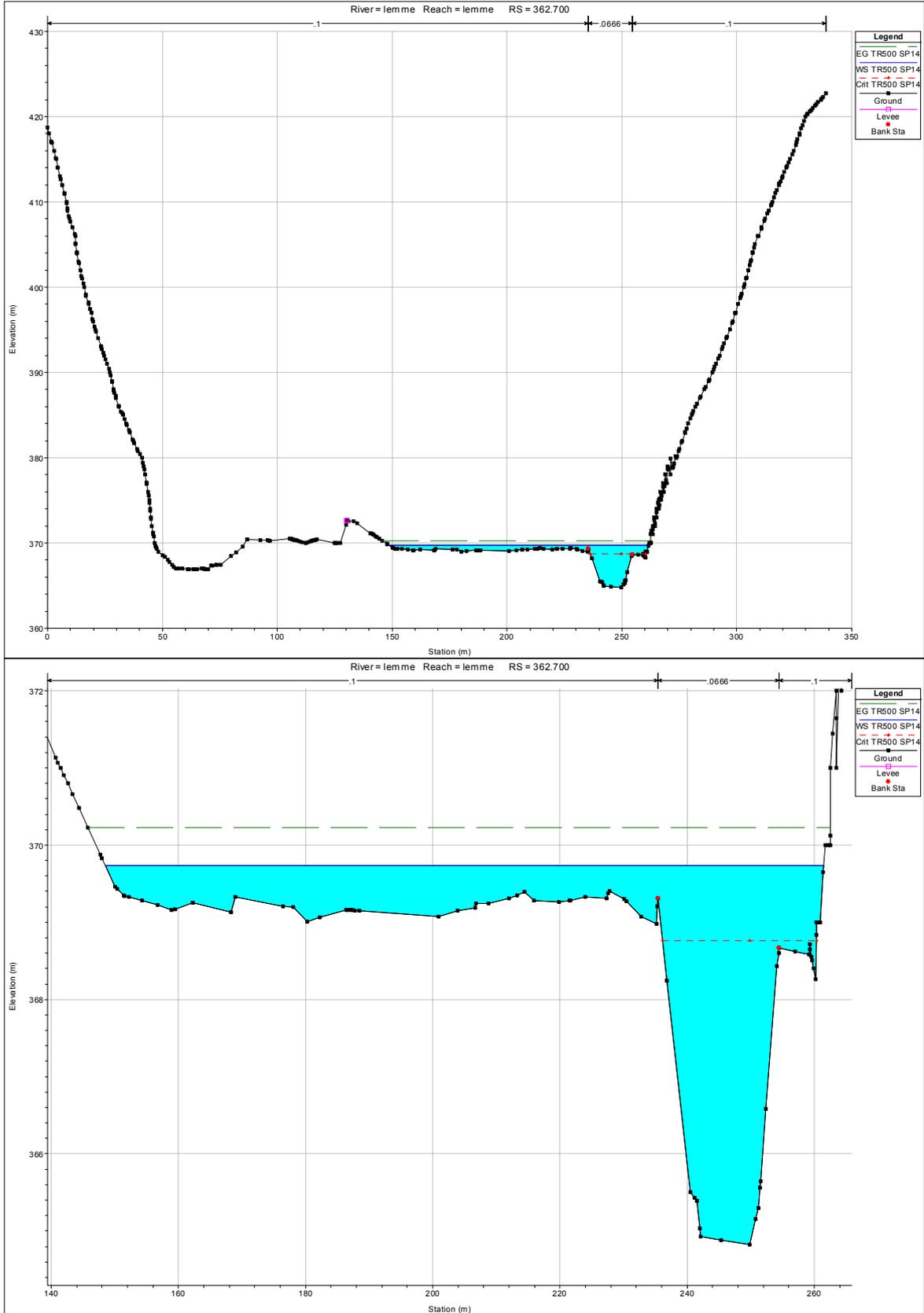


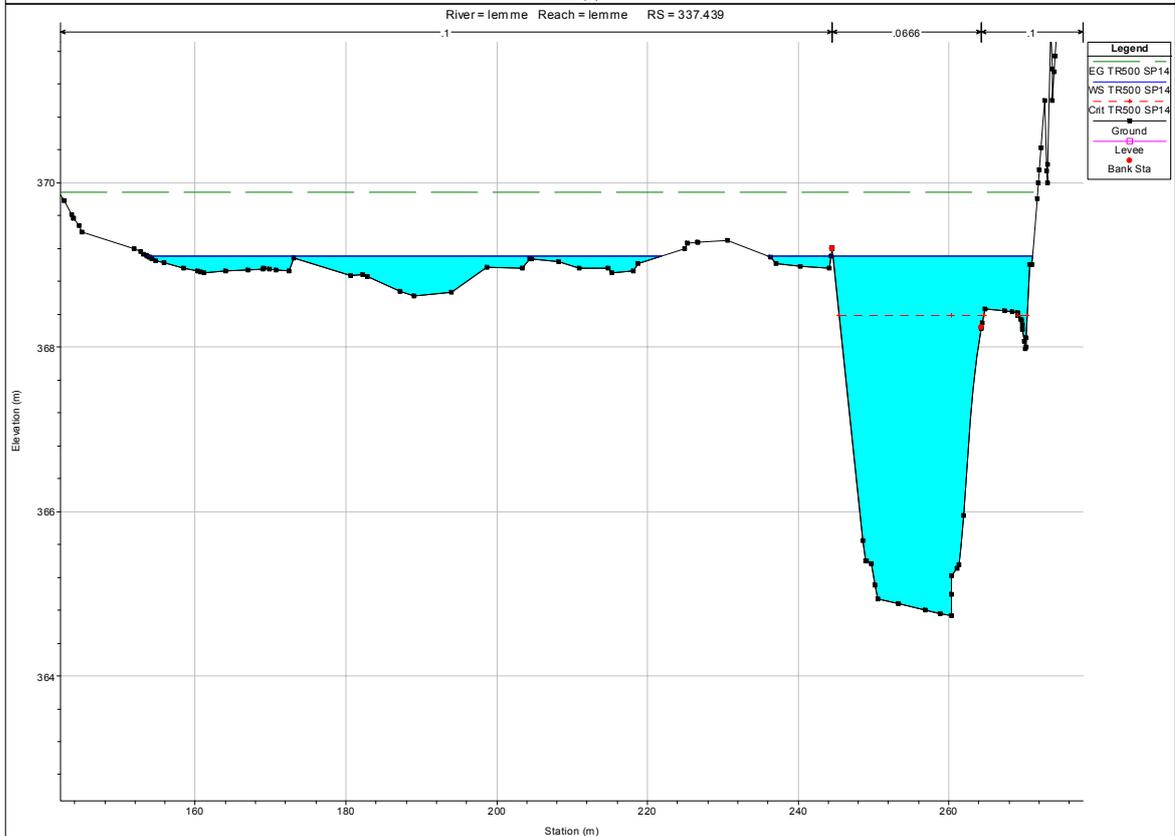
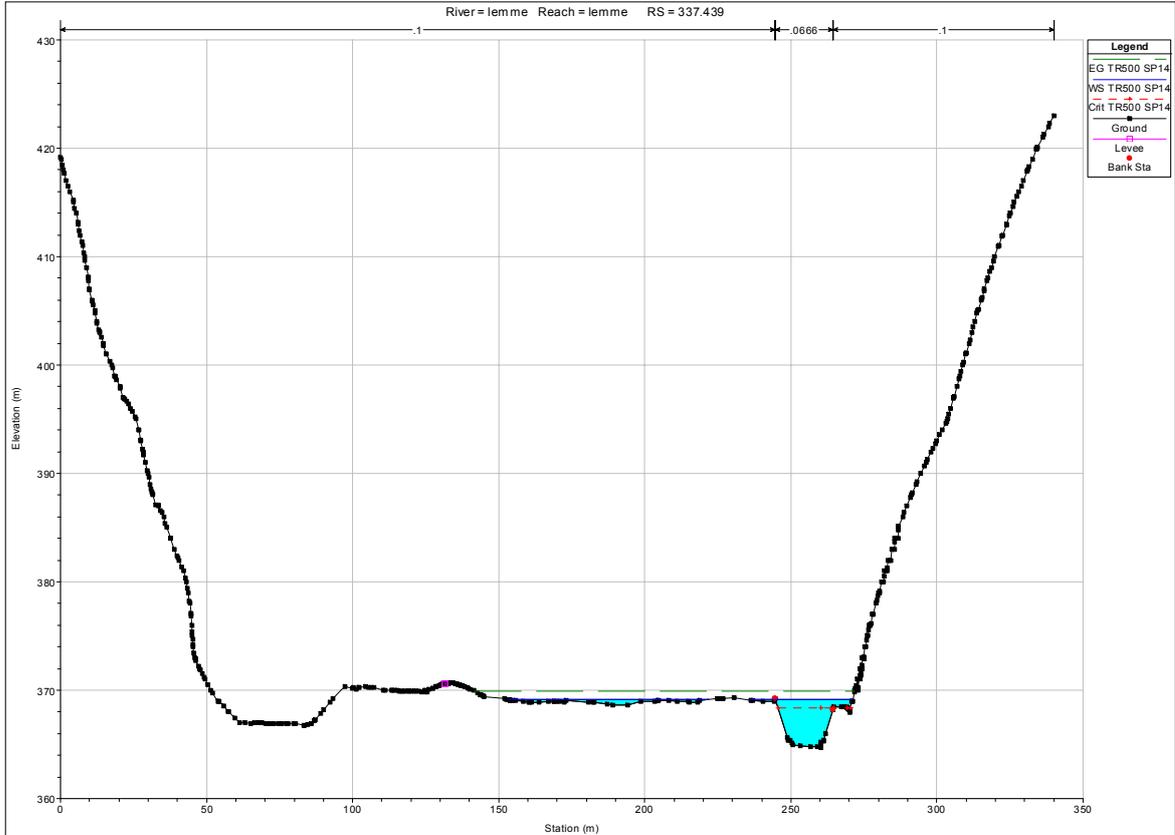


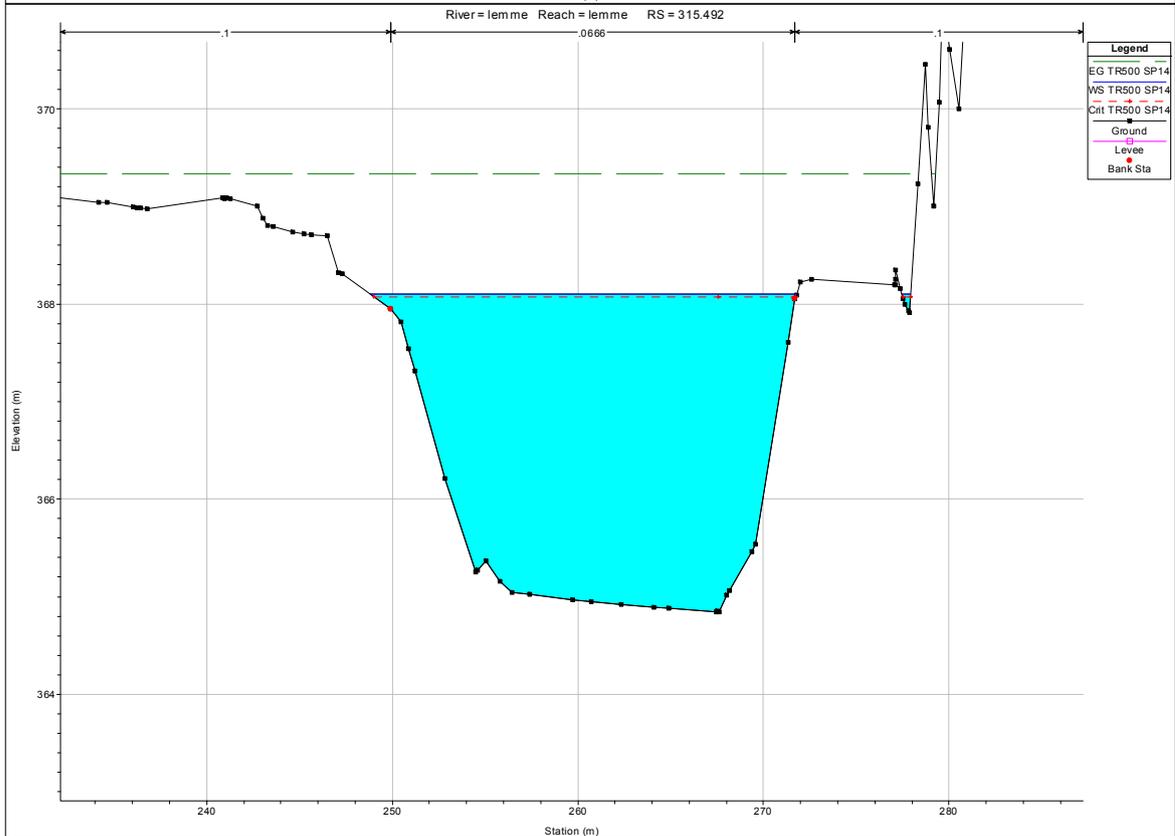
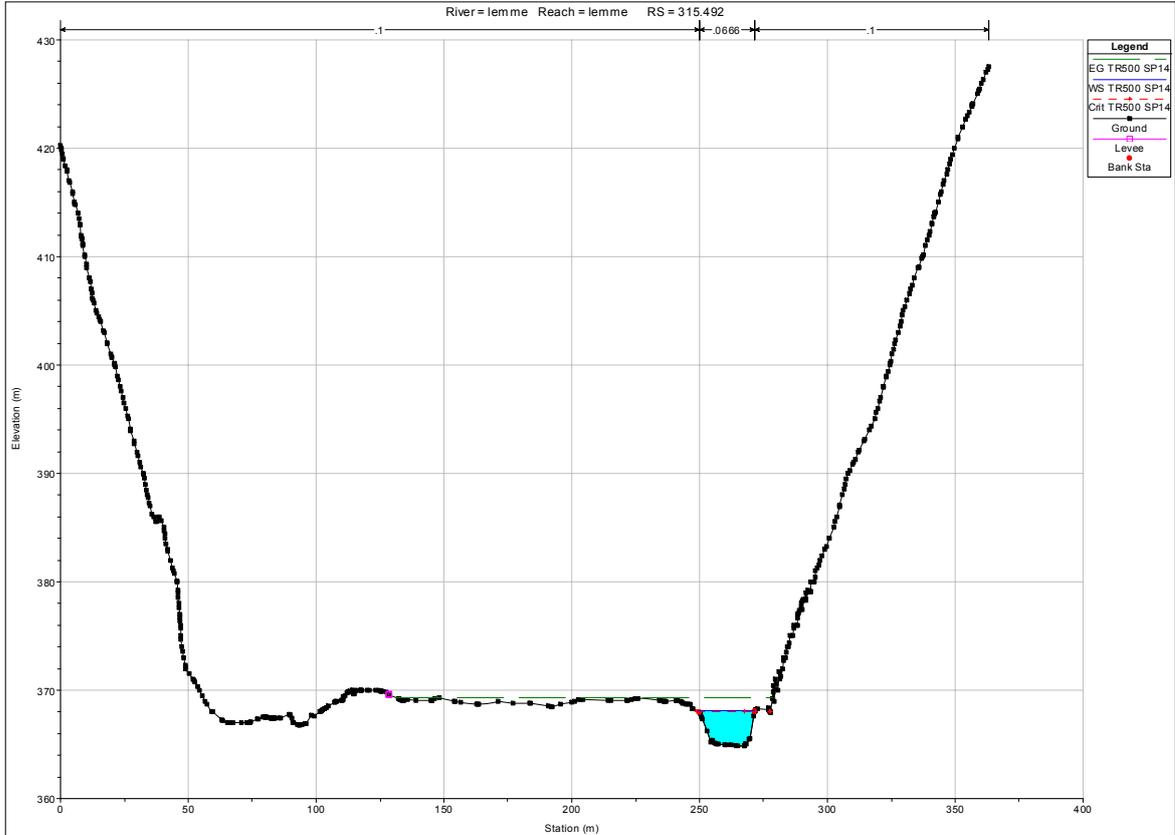


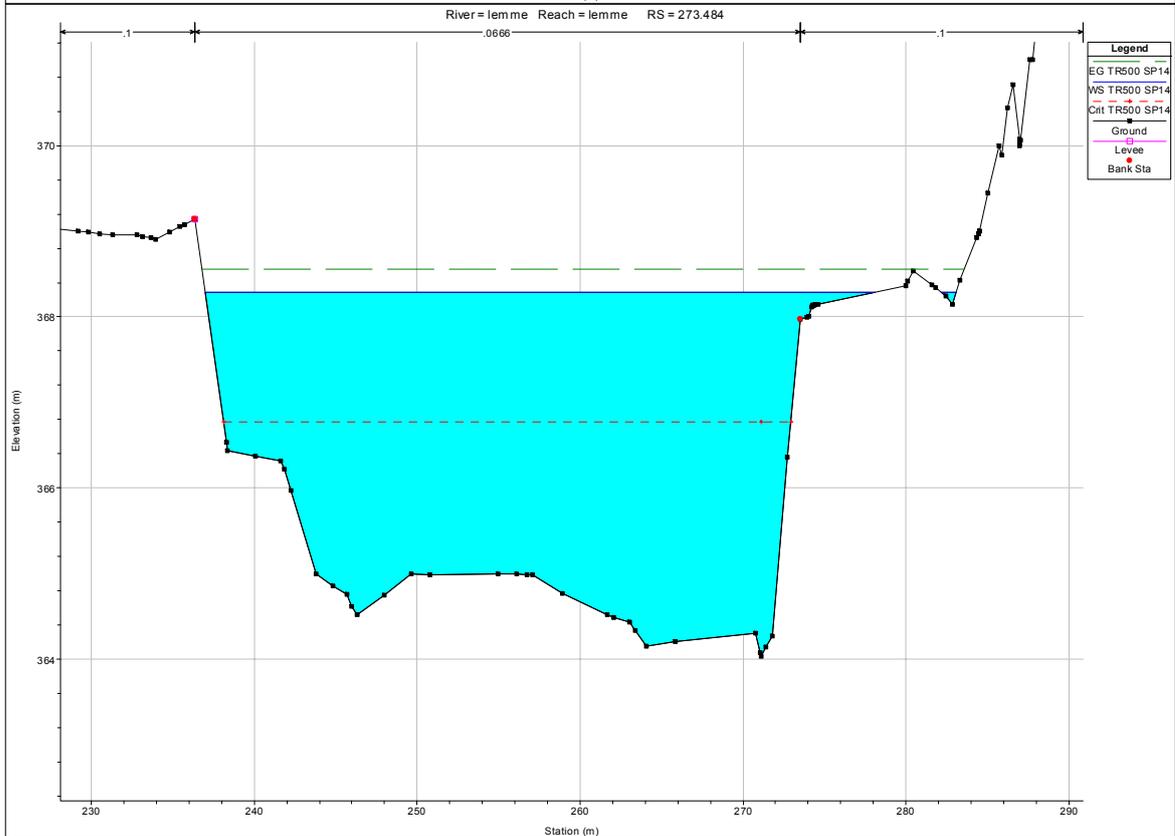
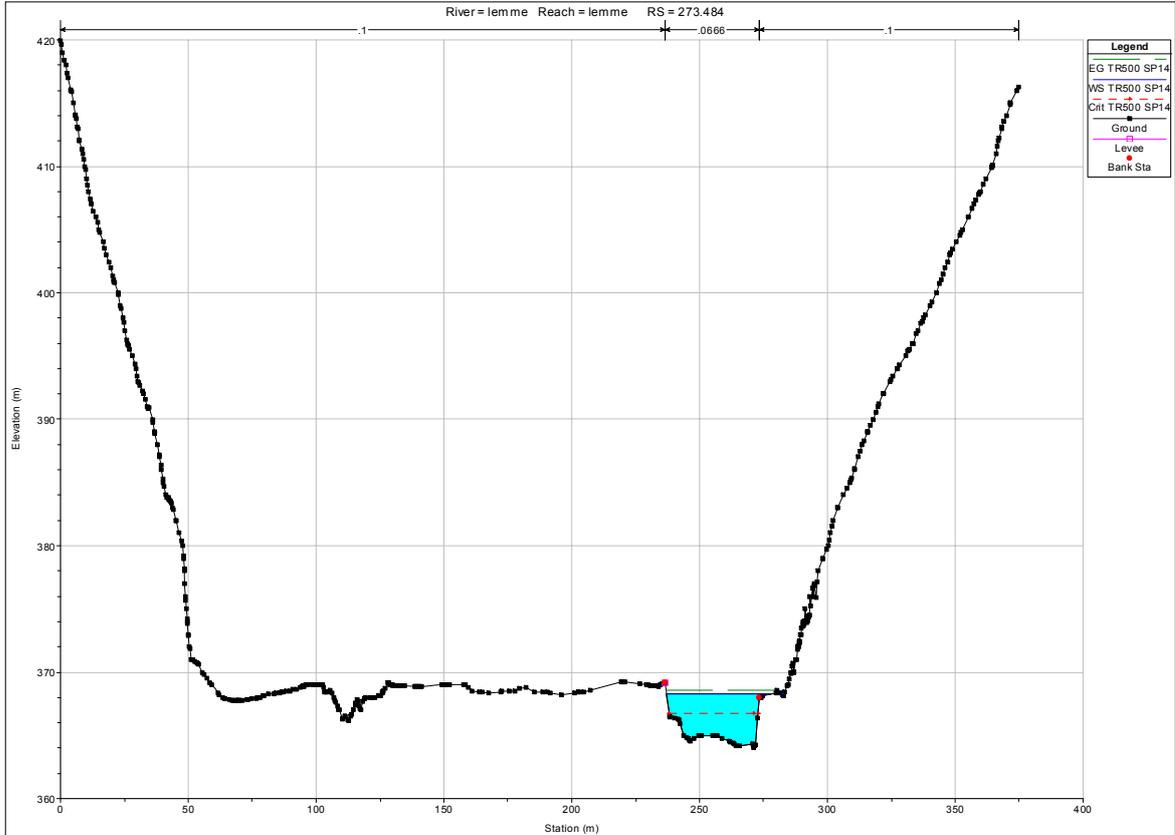


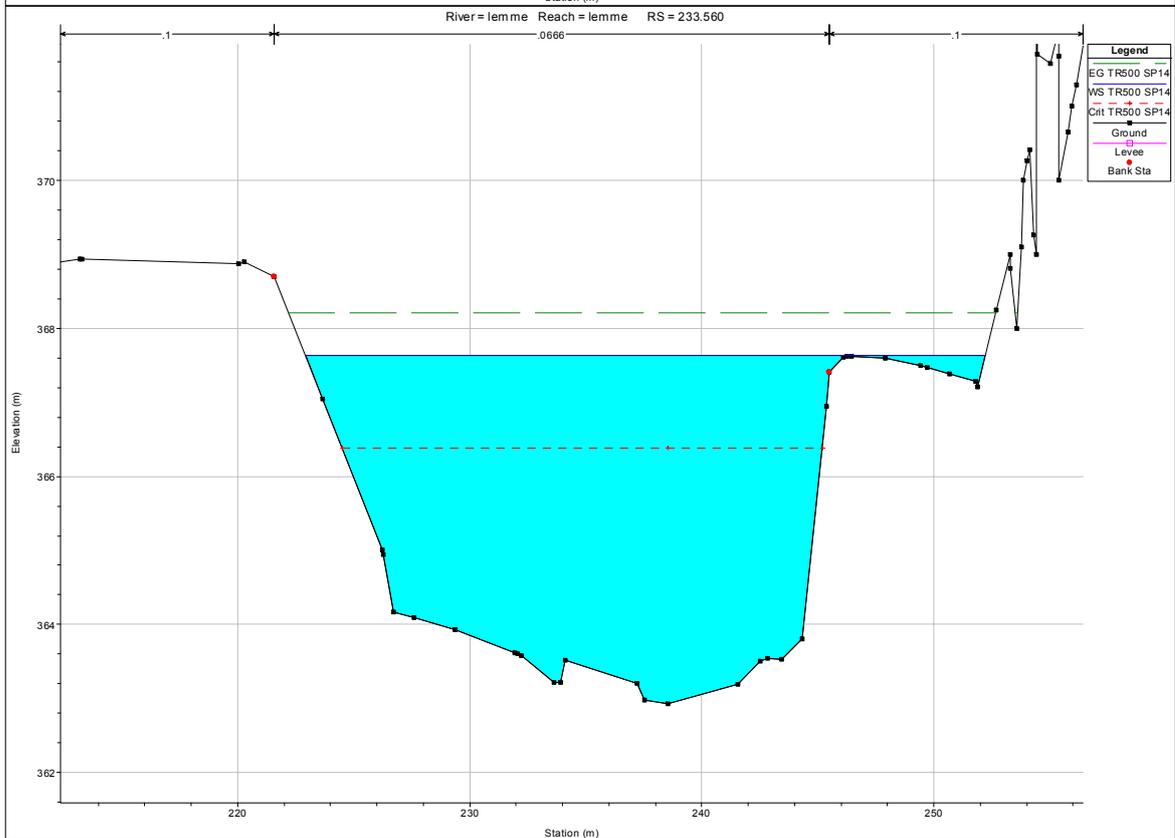
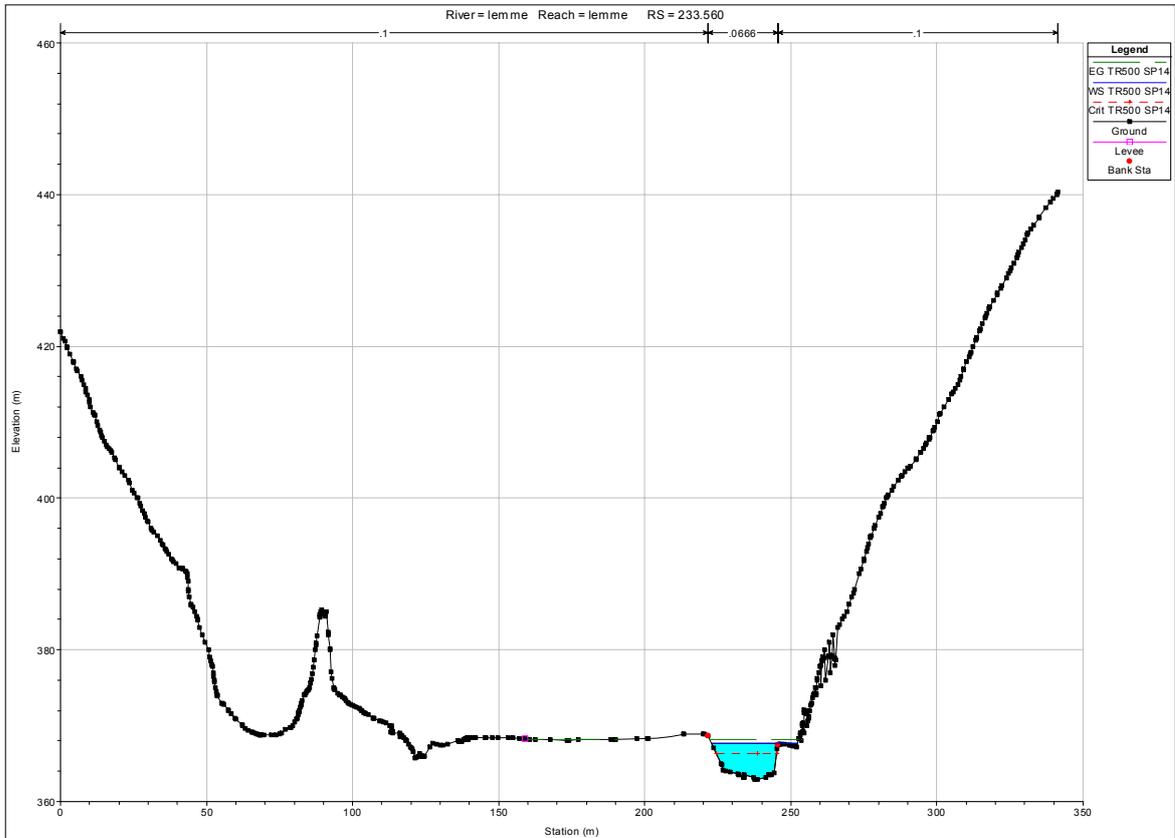


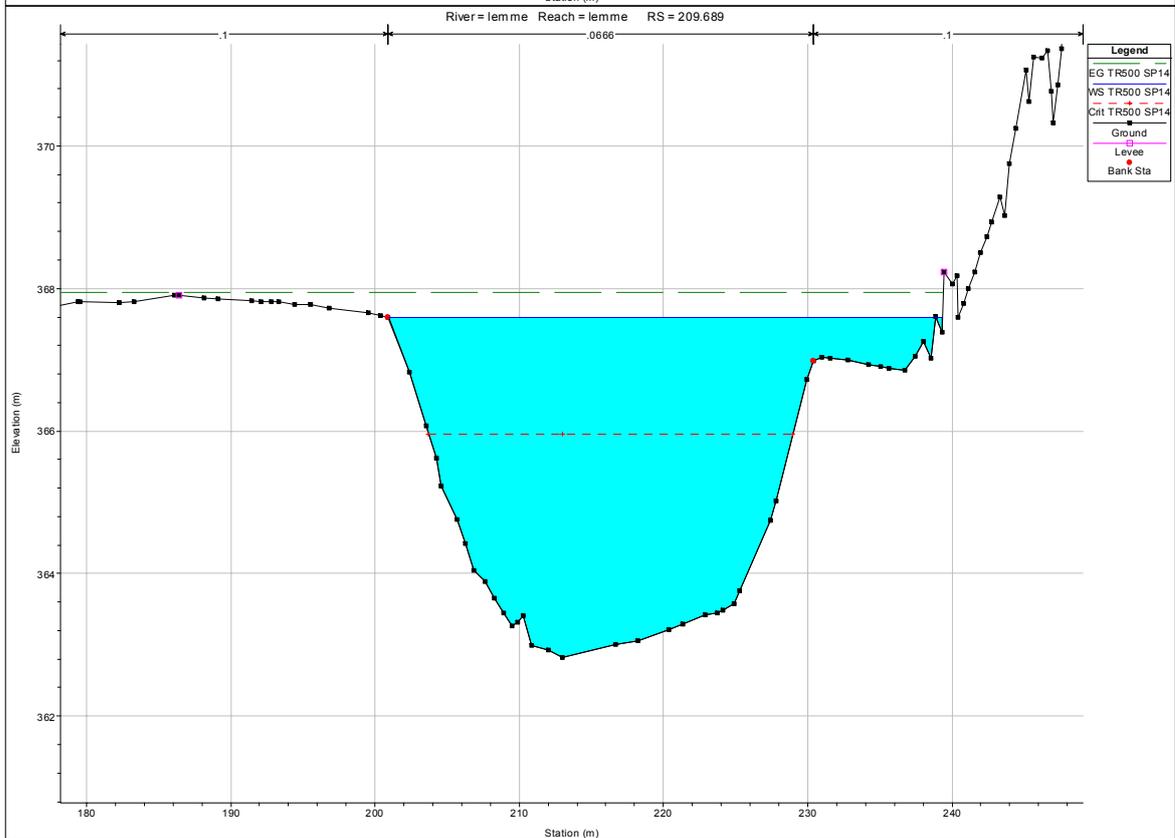
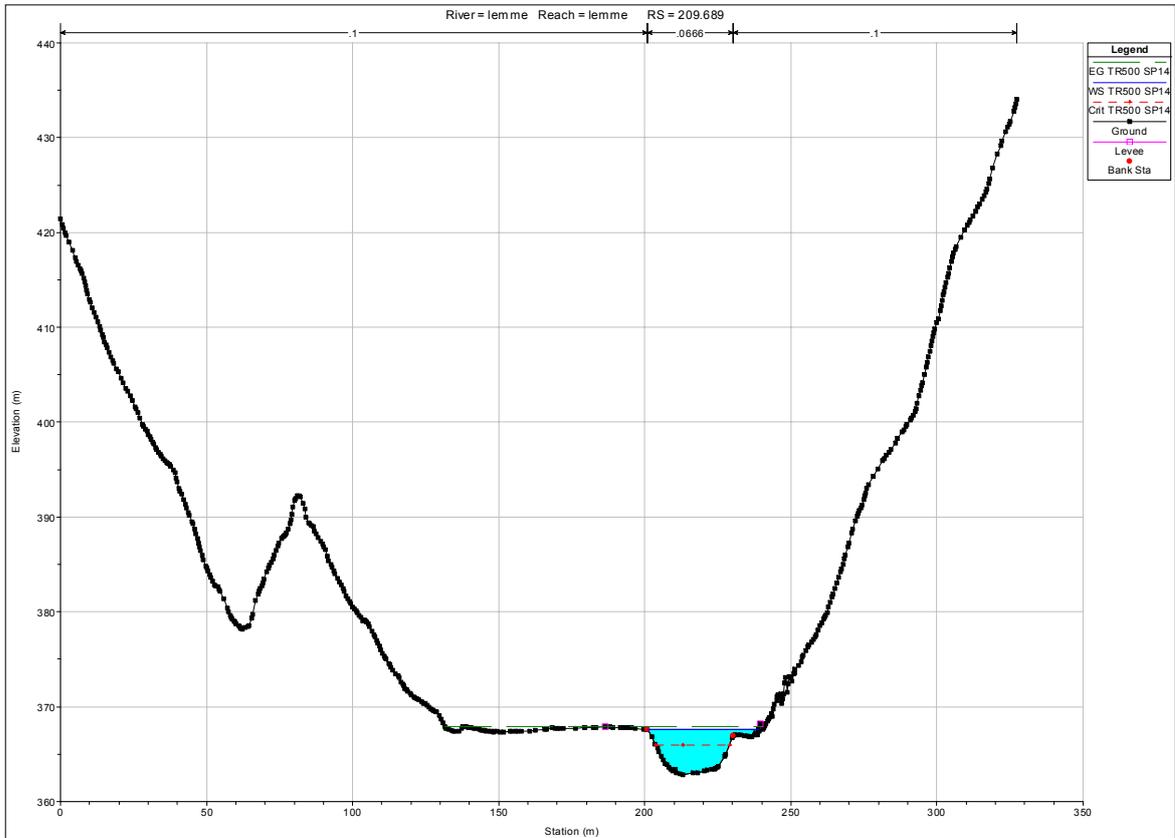


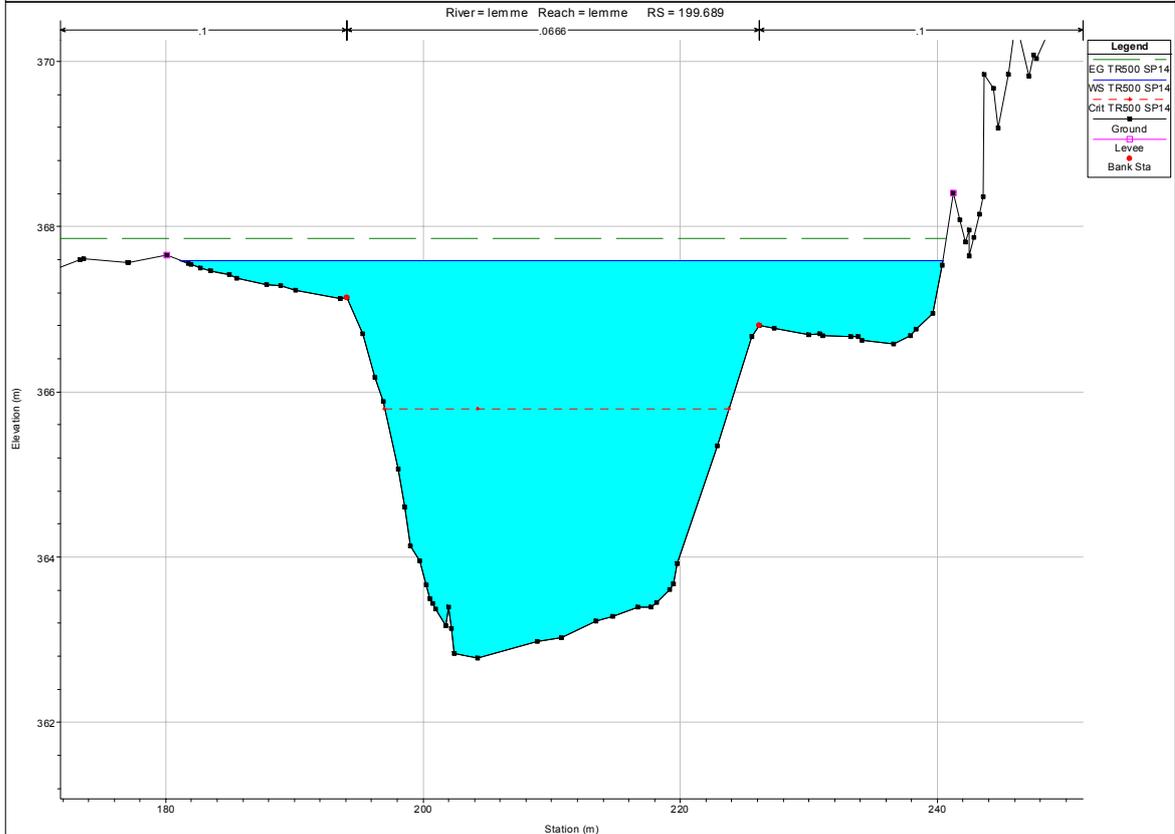
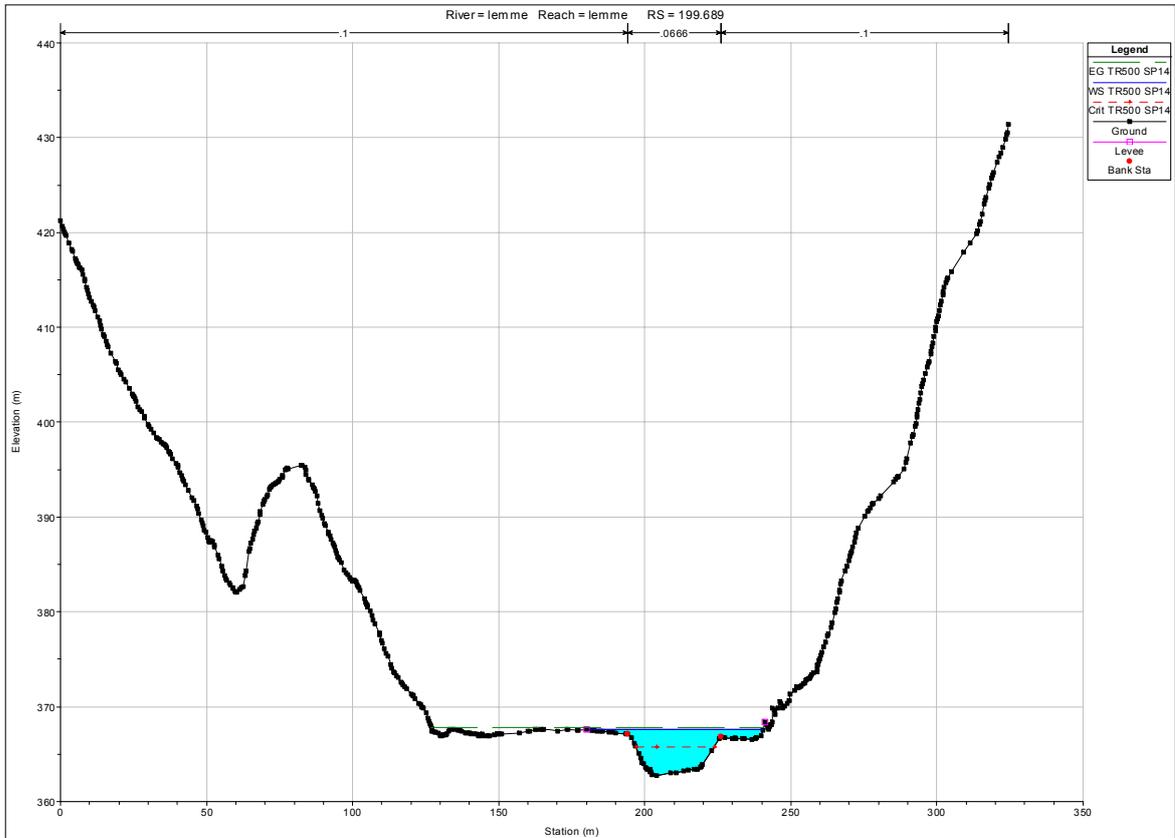


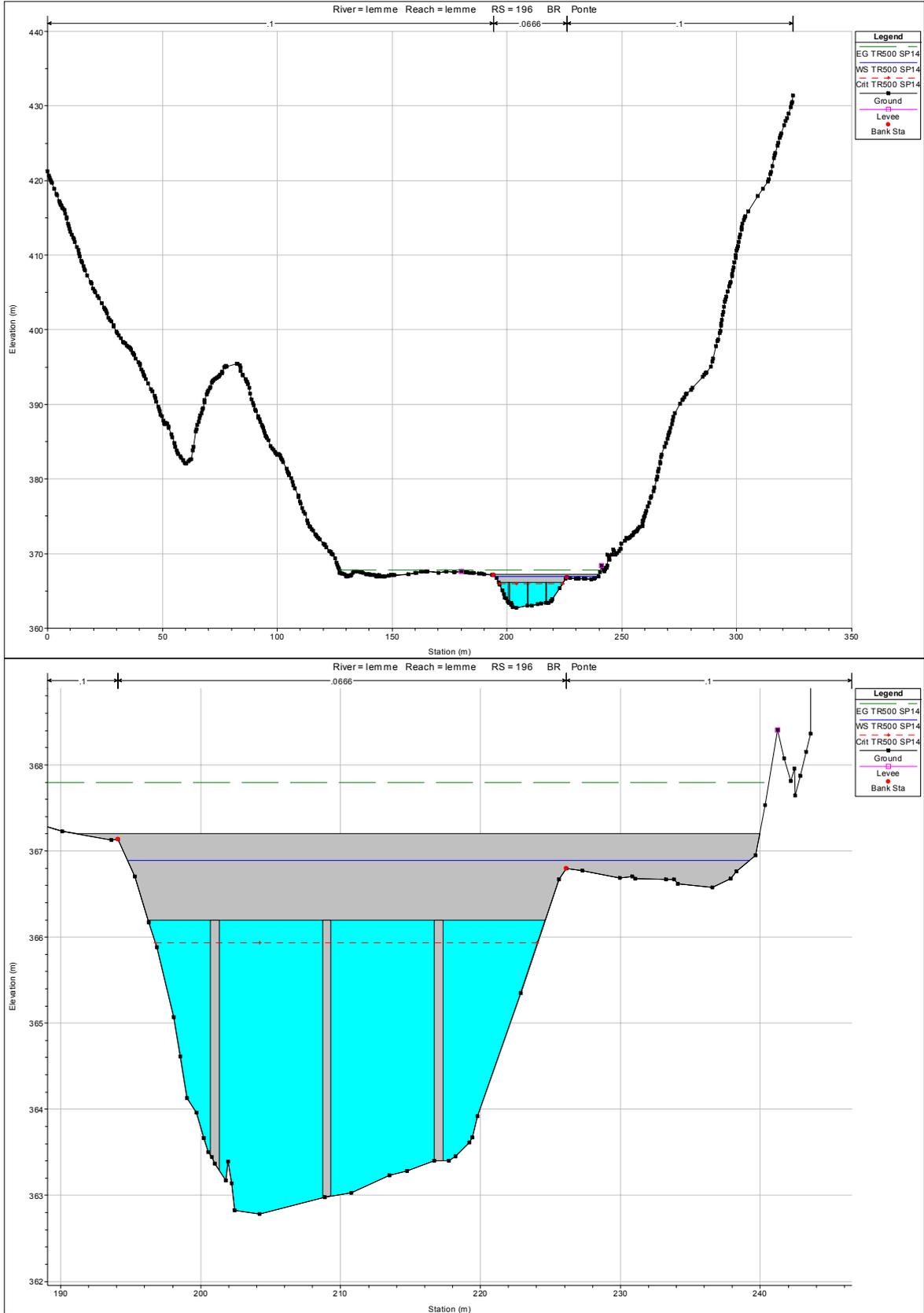


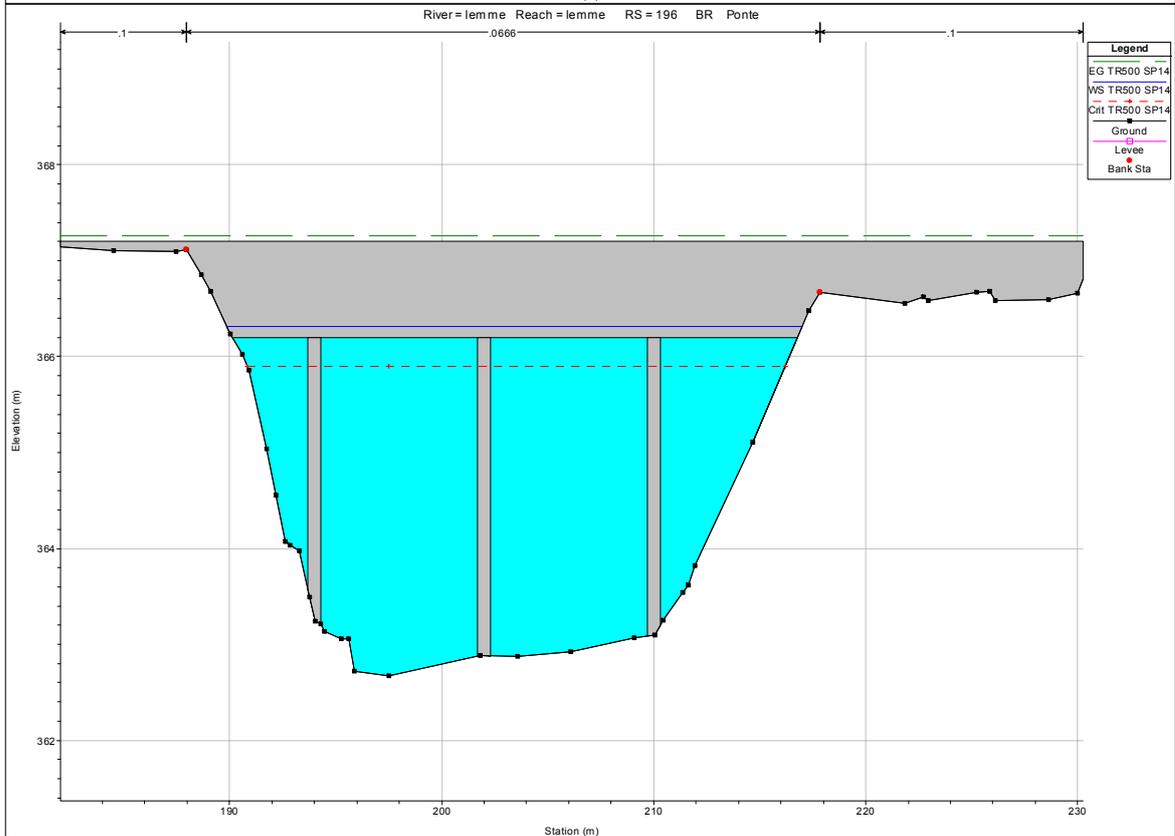
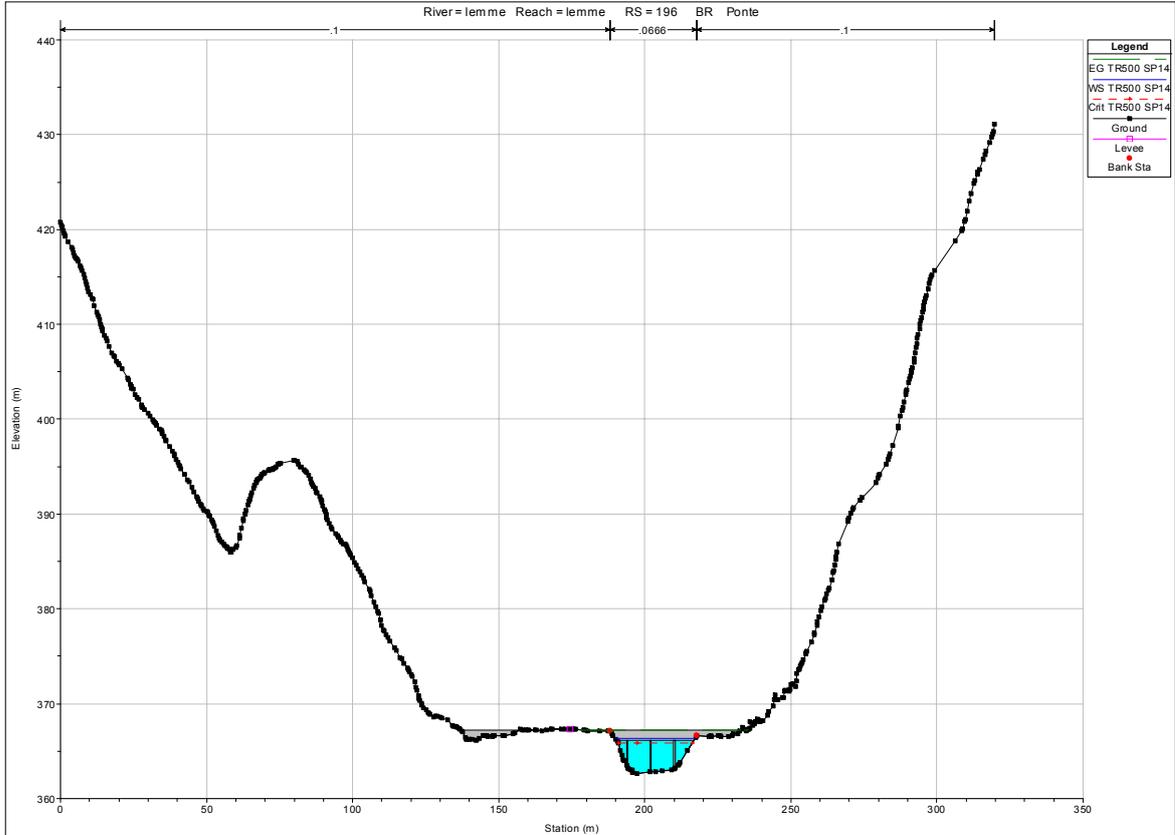


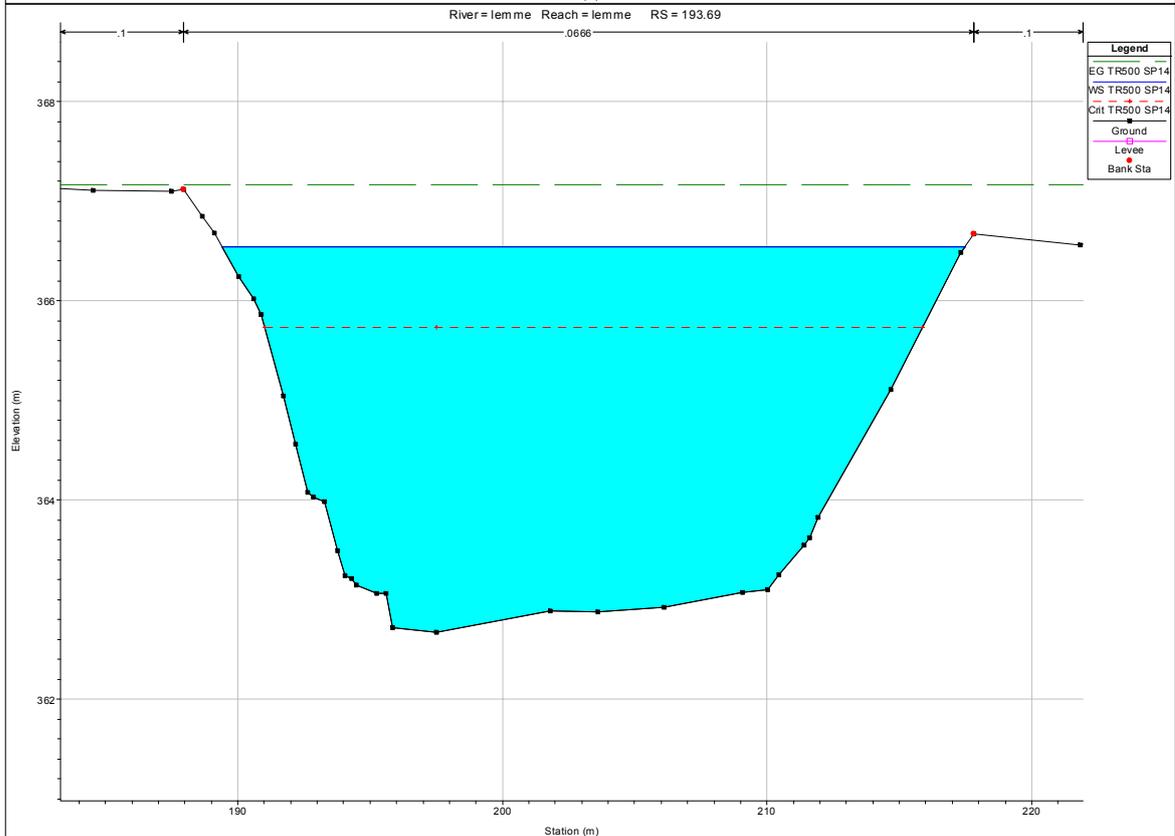
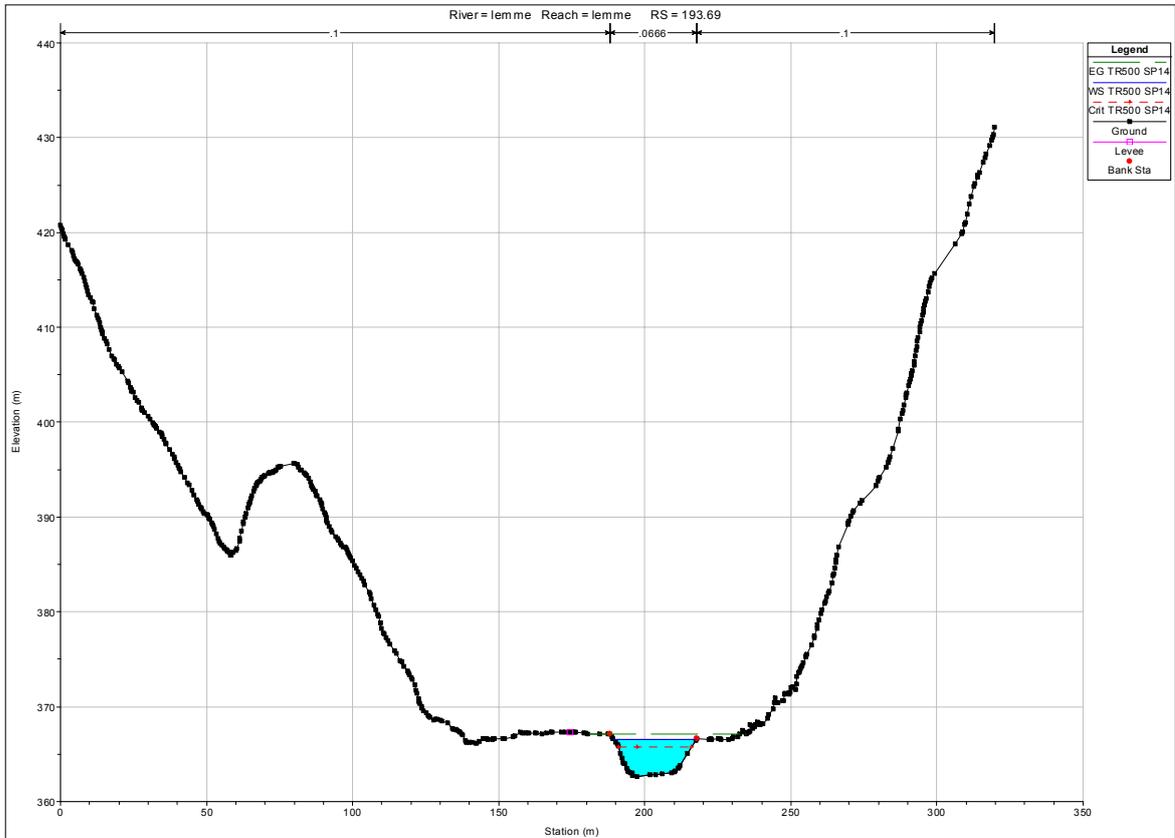


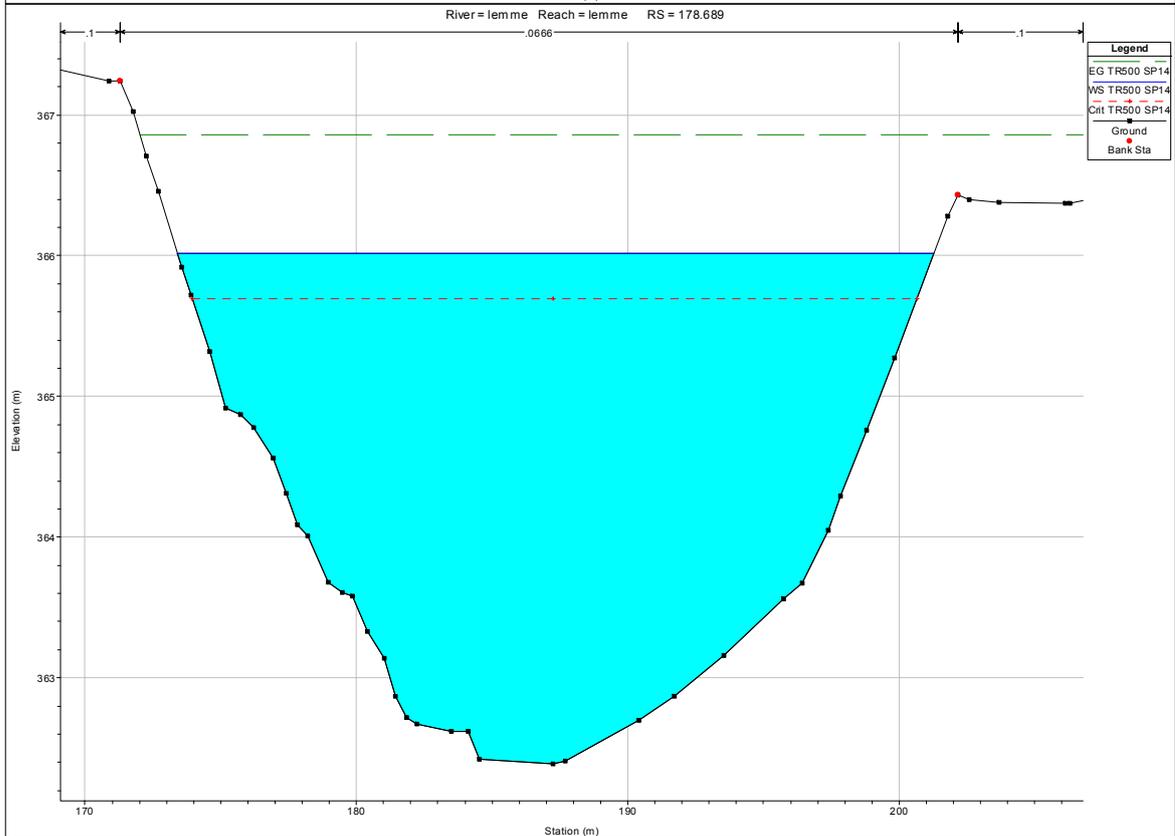
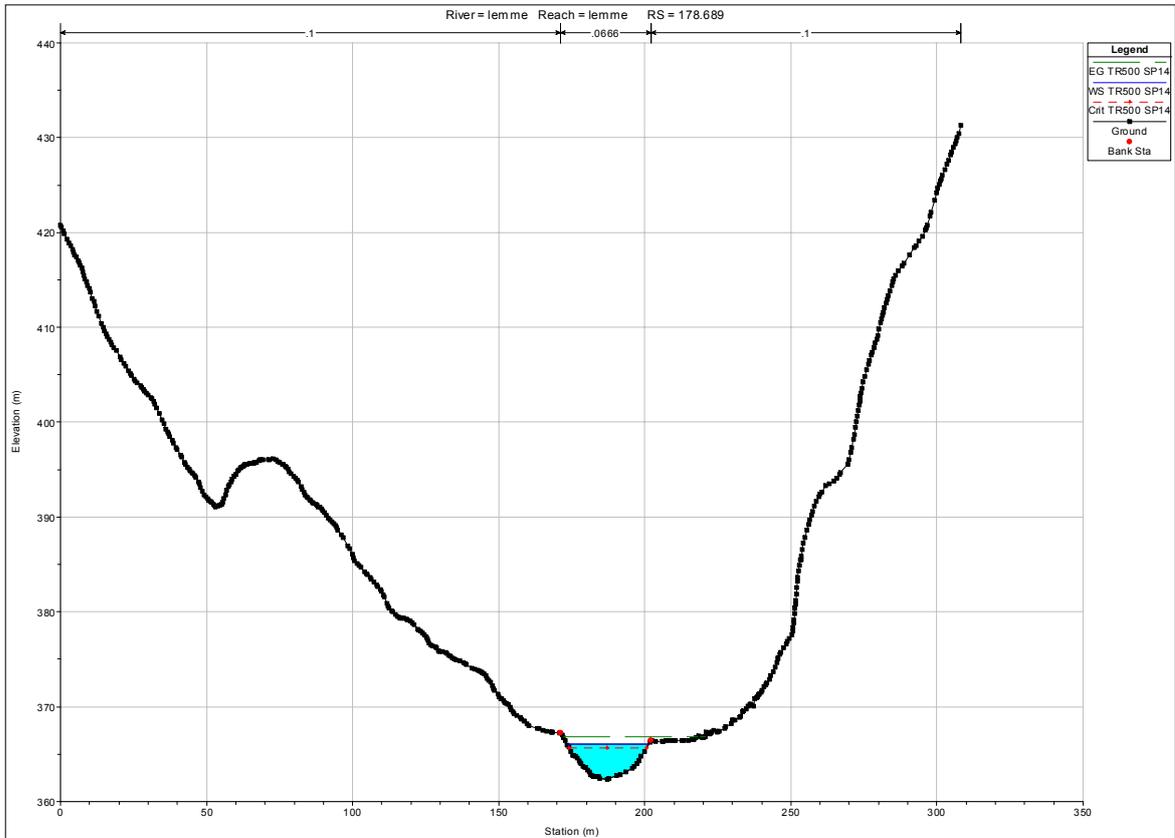


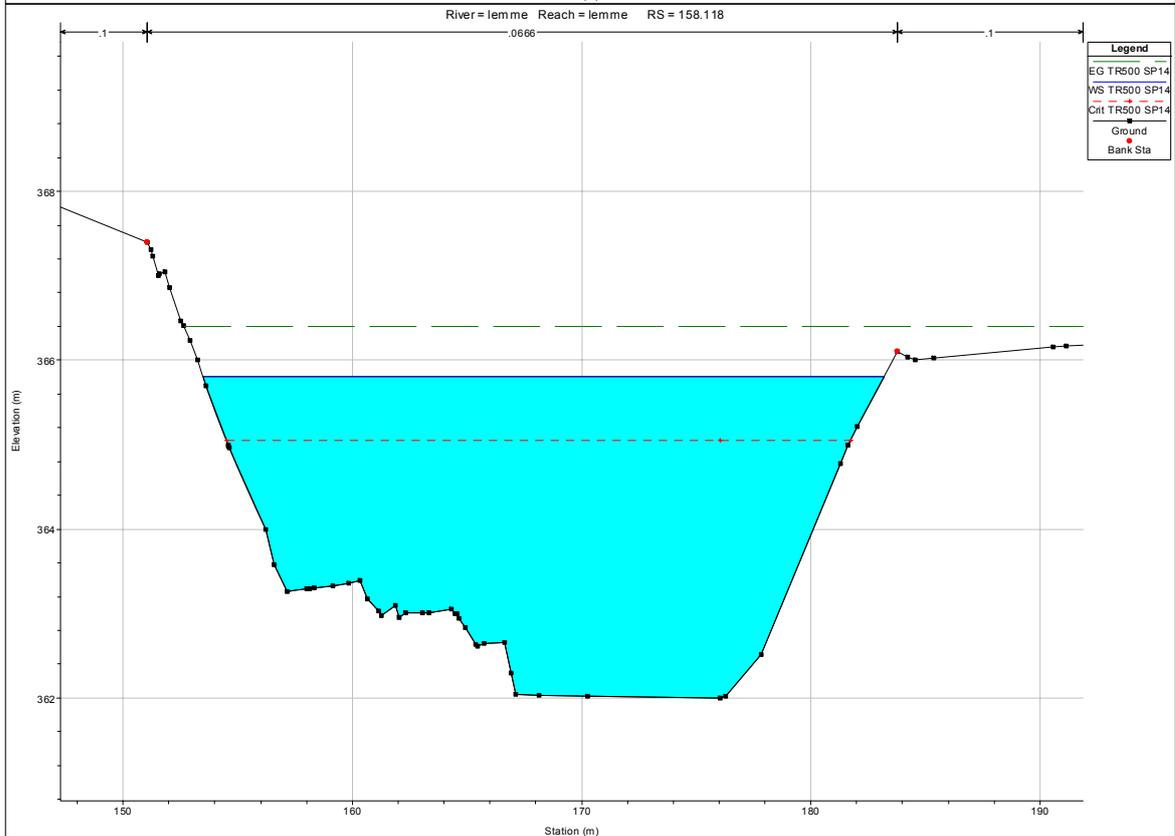
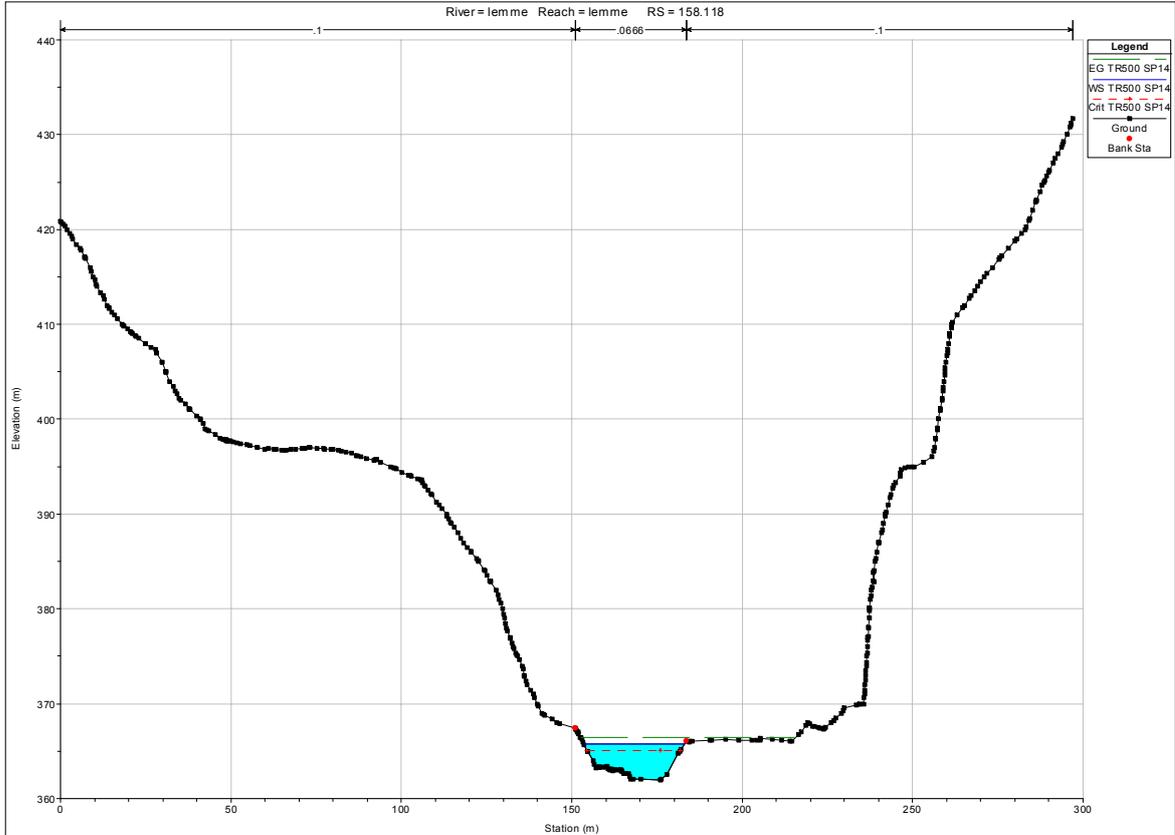


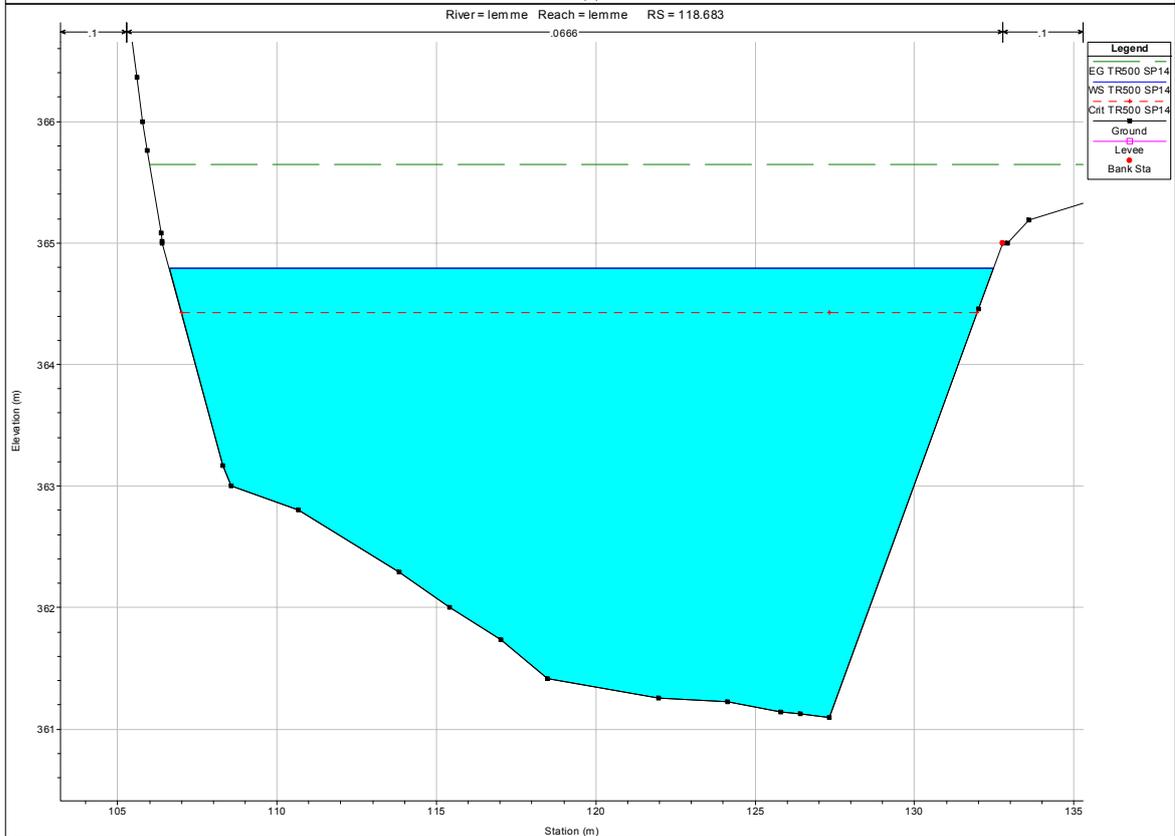
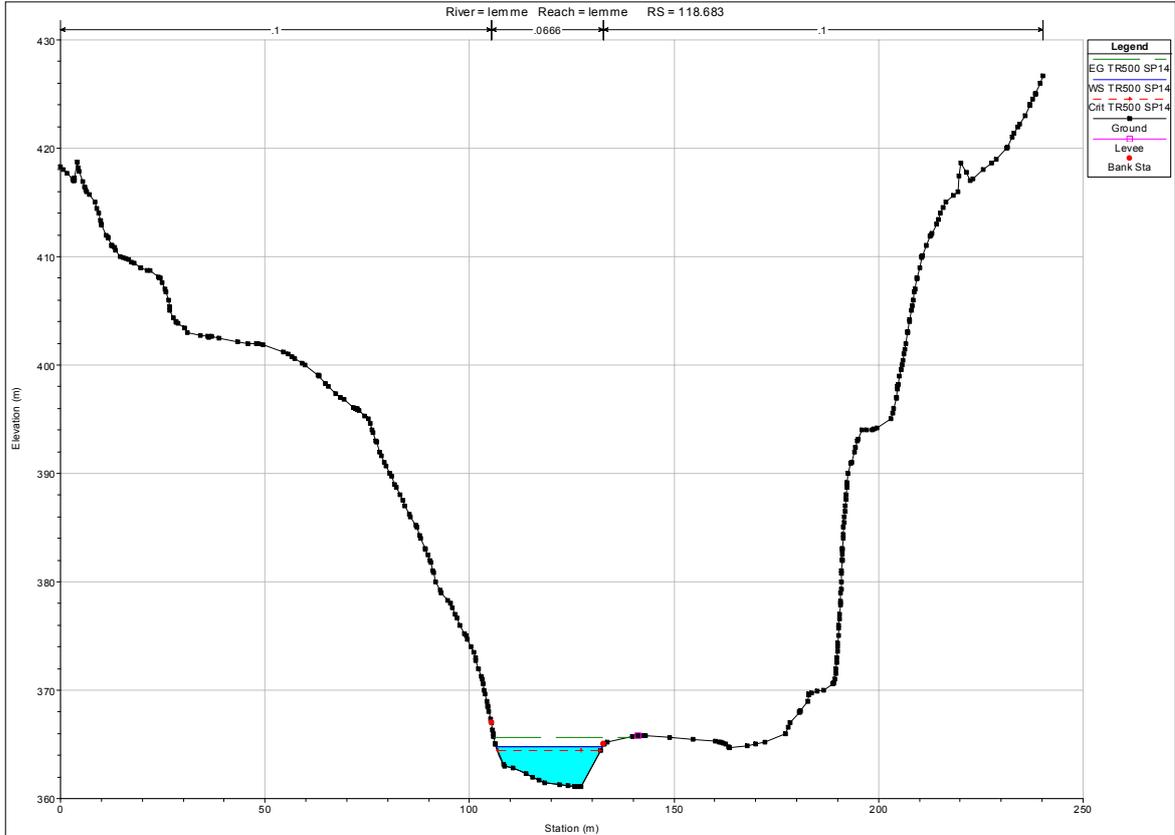


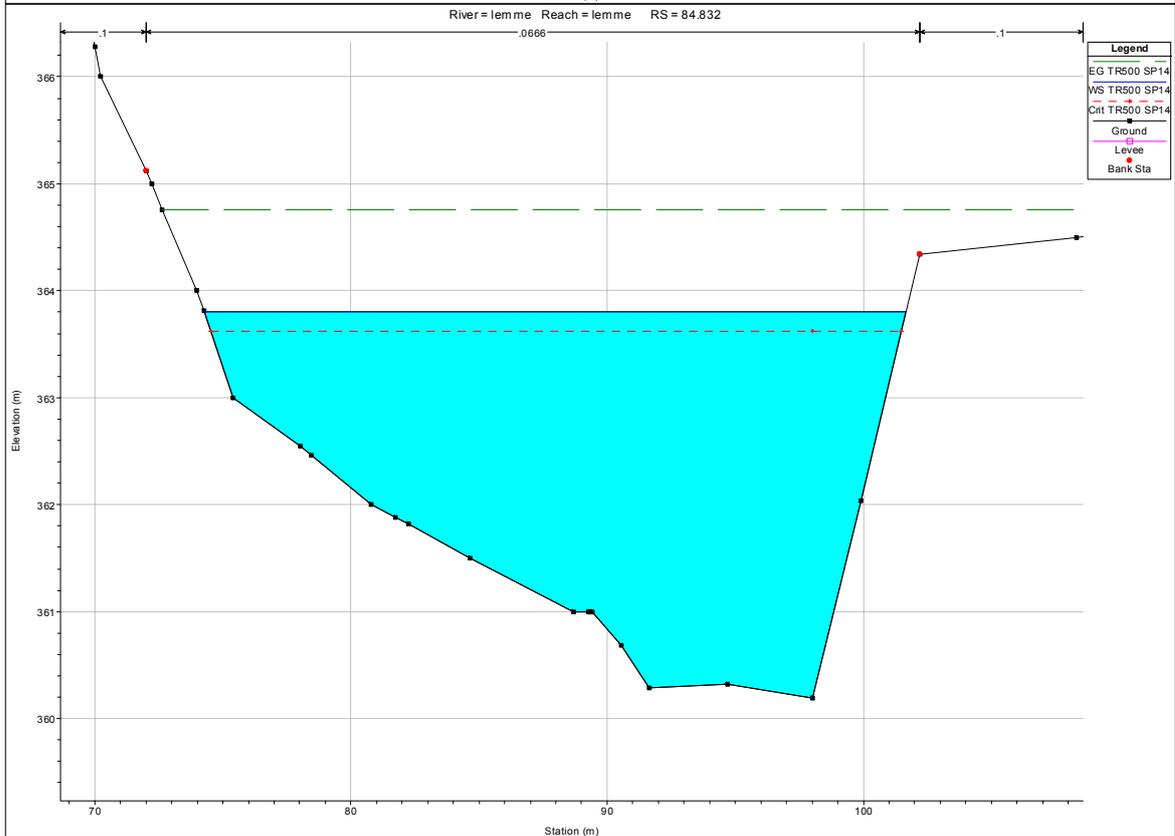
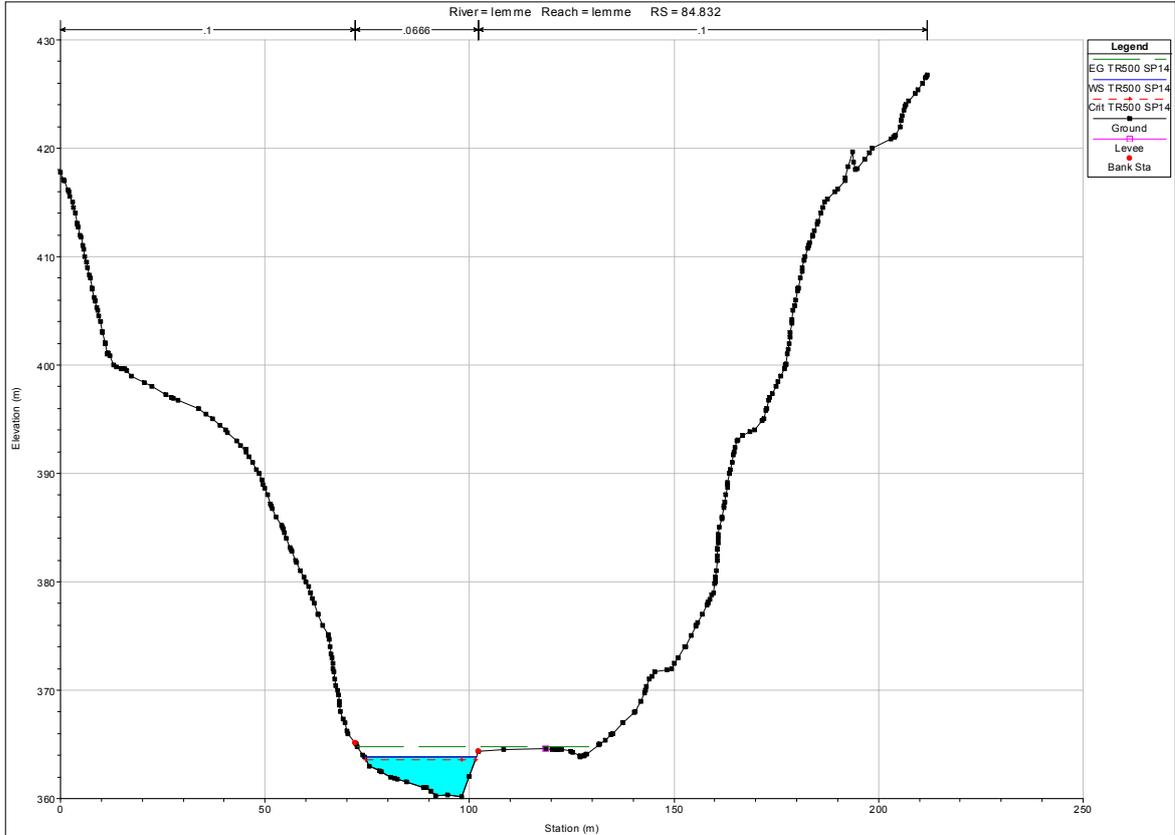


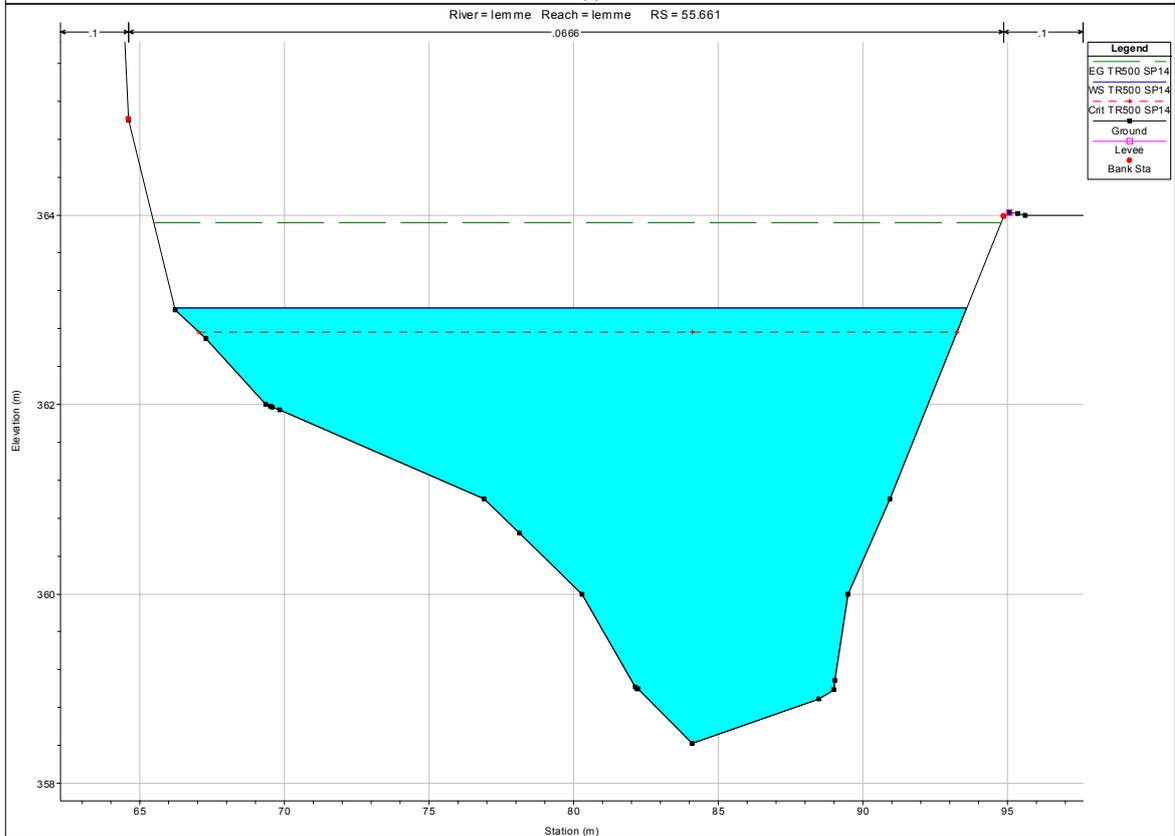
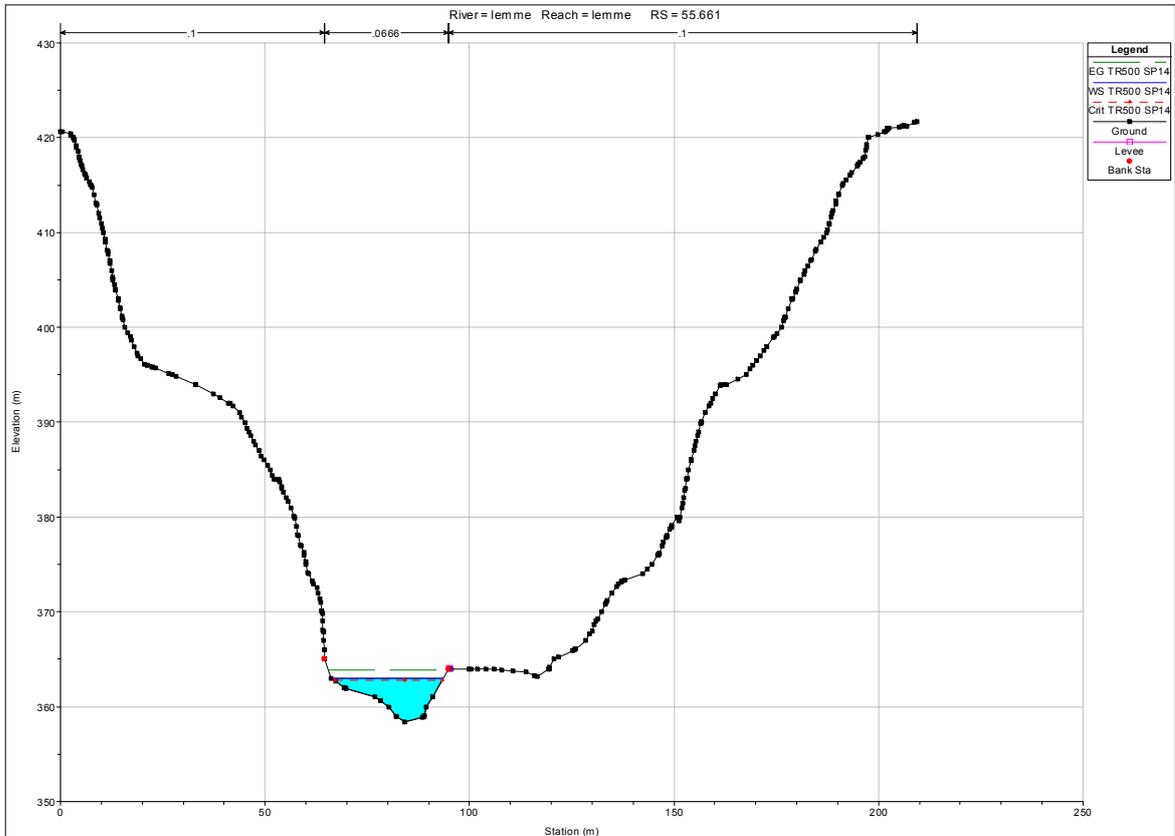


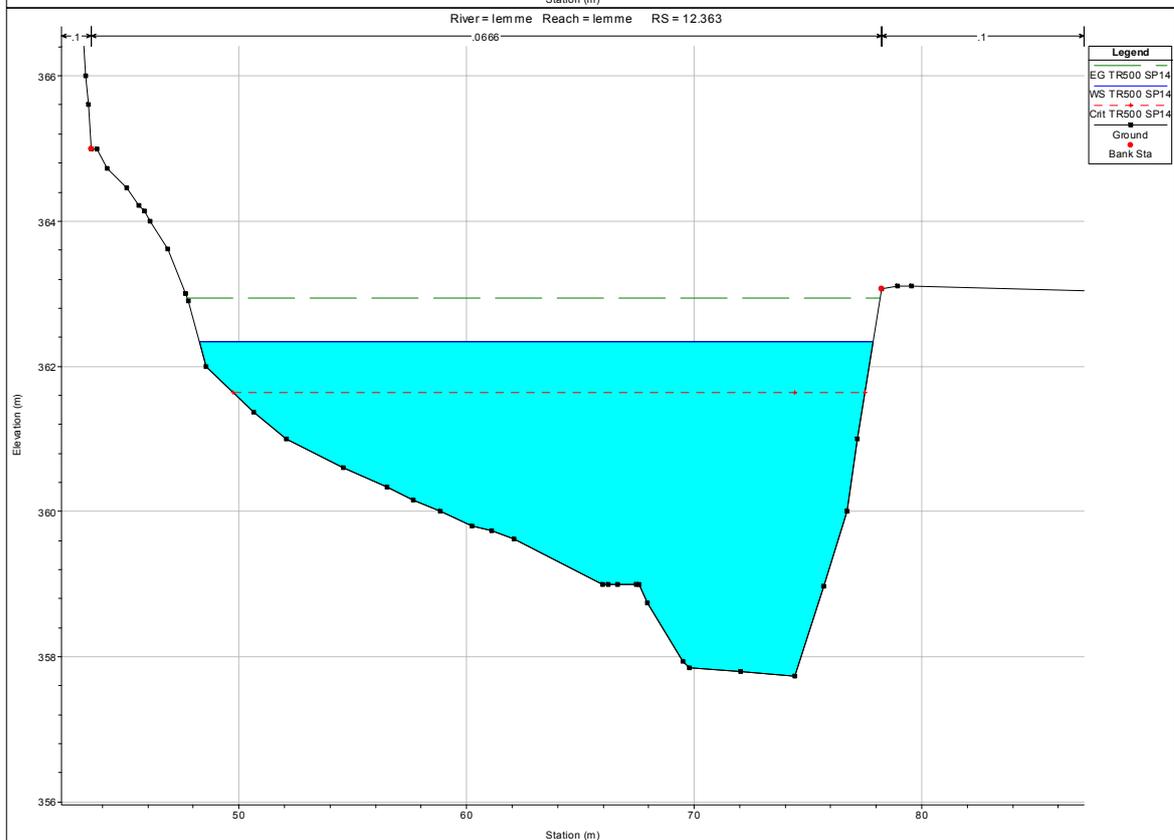
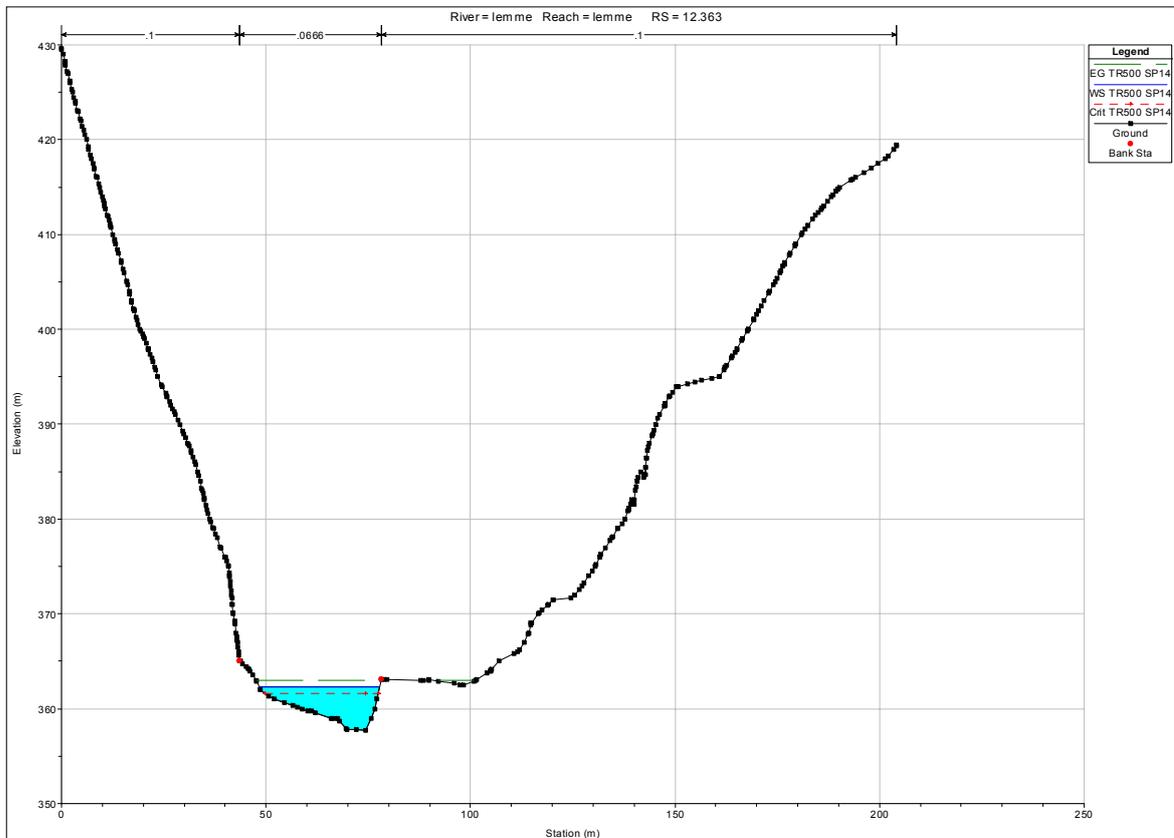










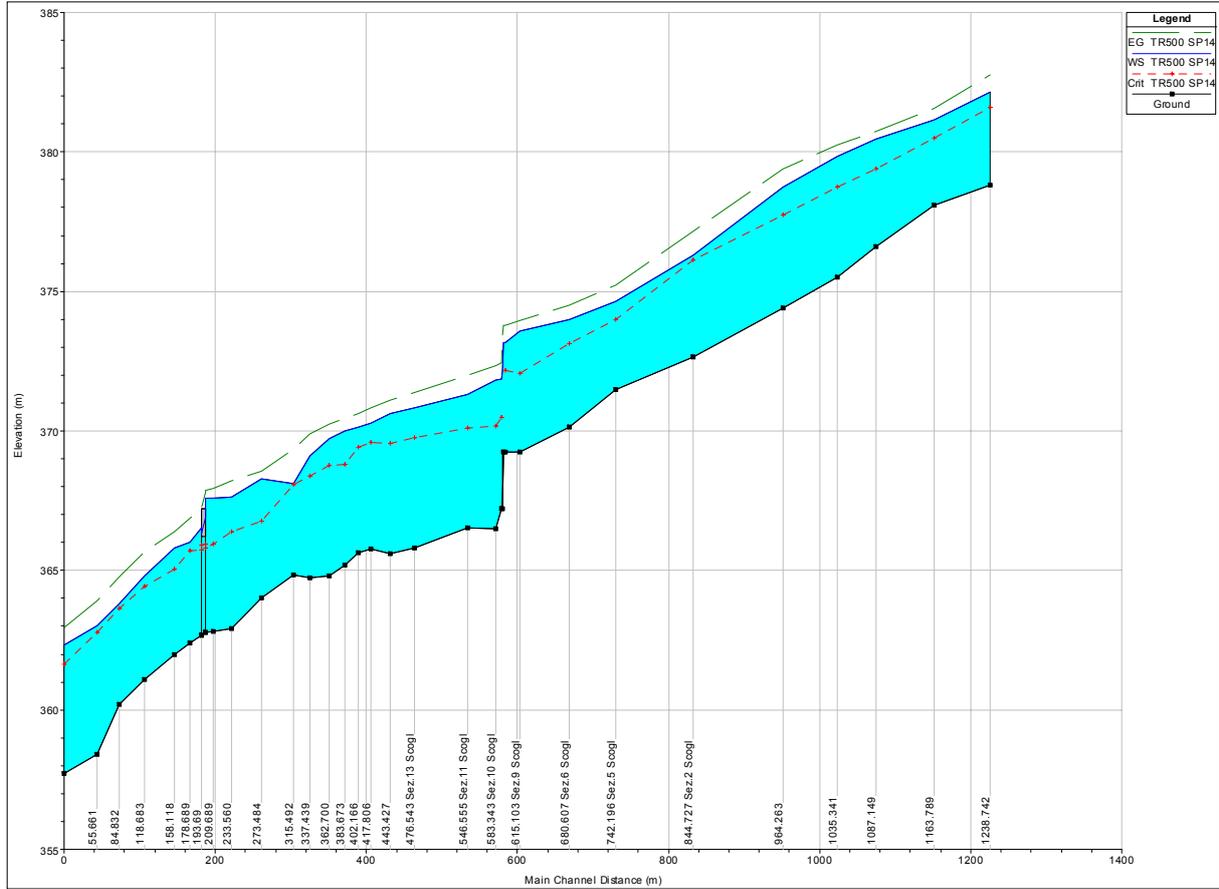


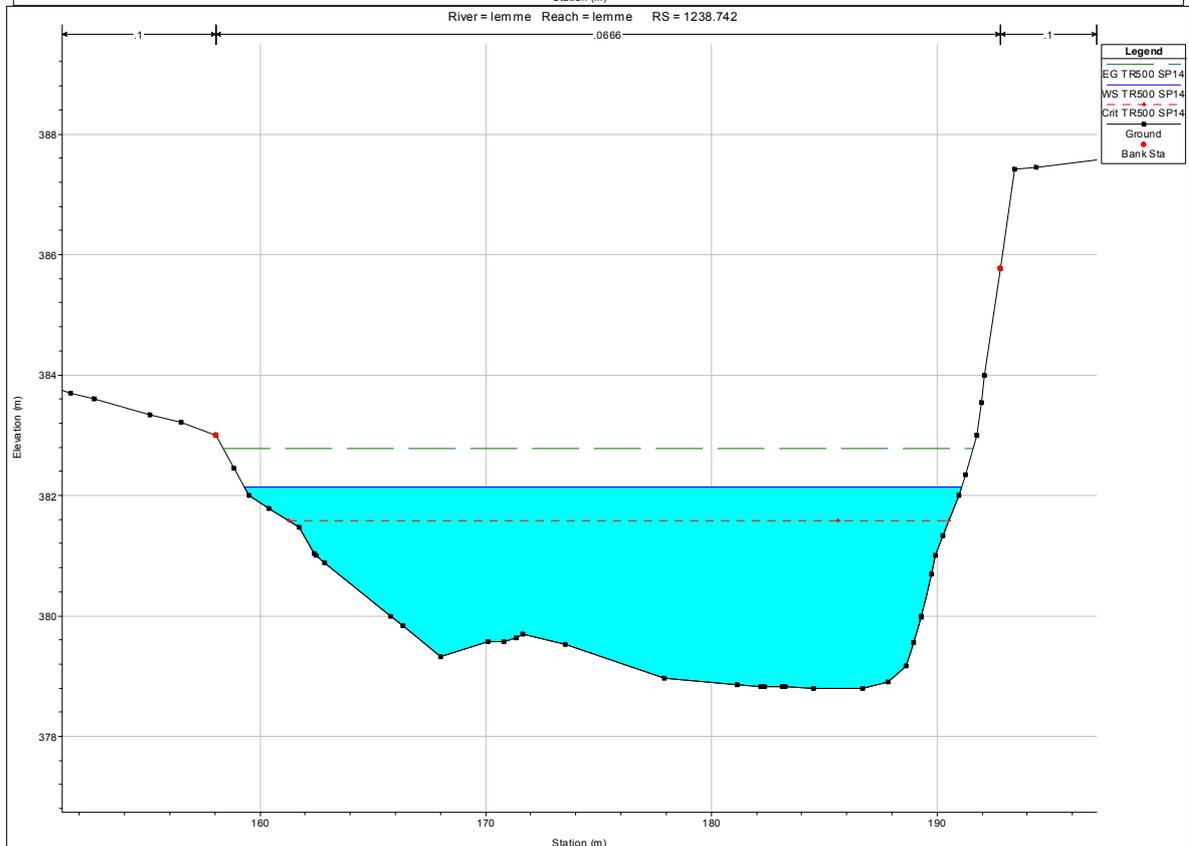
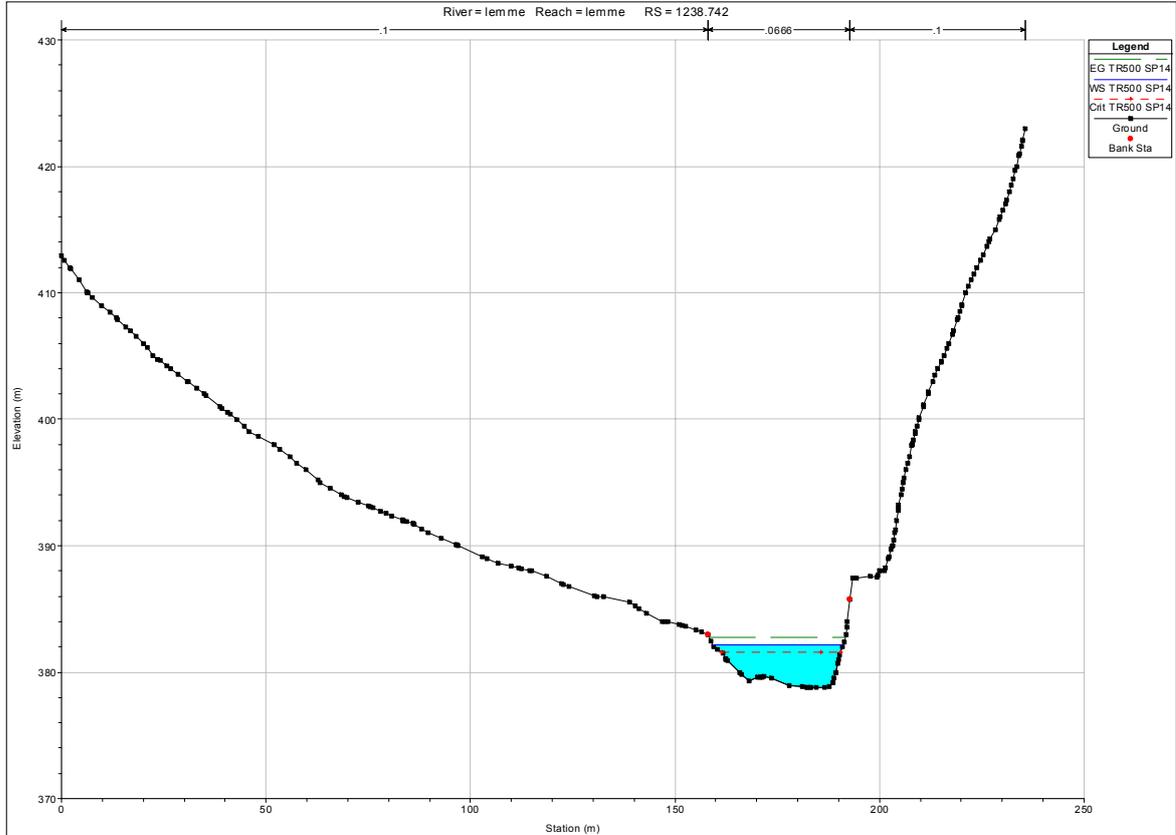
<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme</p>	<p>Foglio 97 di 226</p>

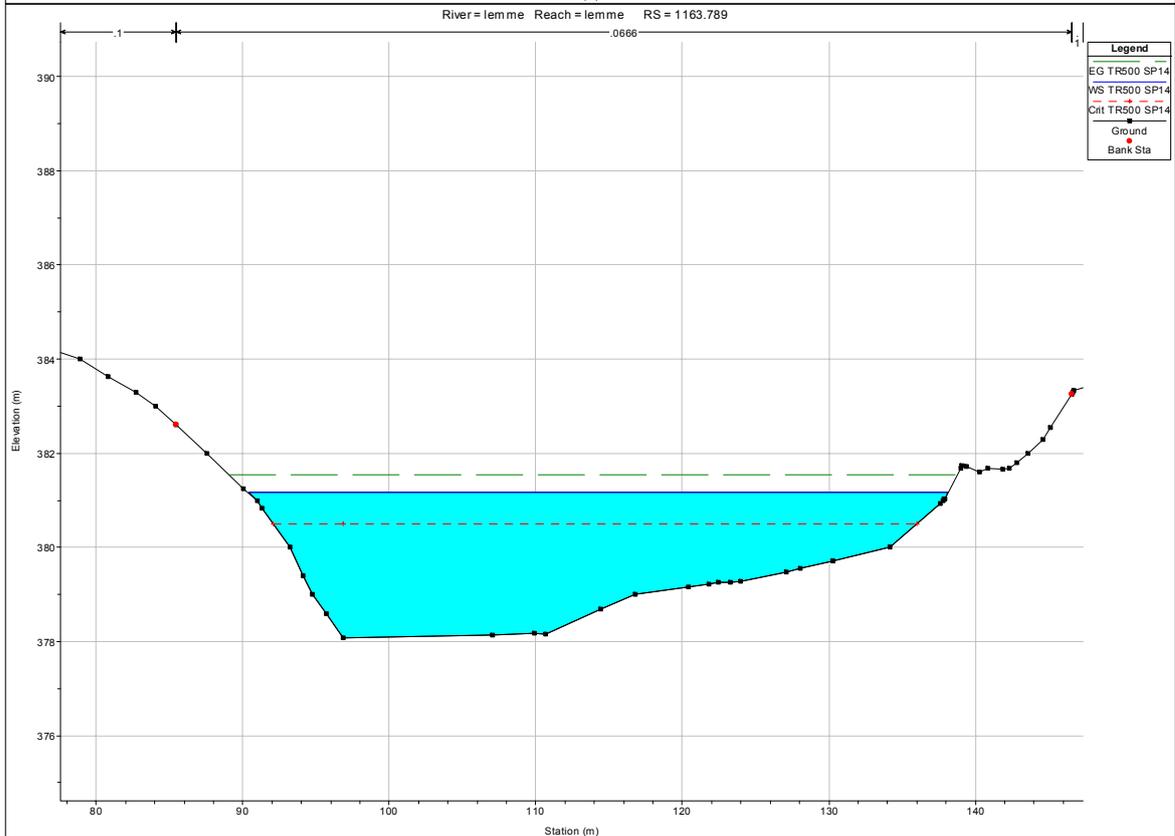
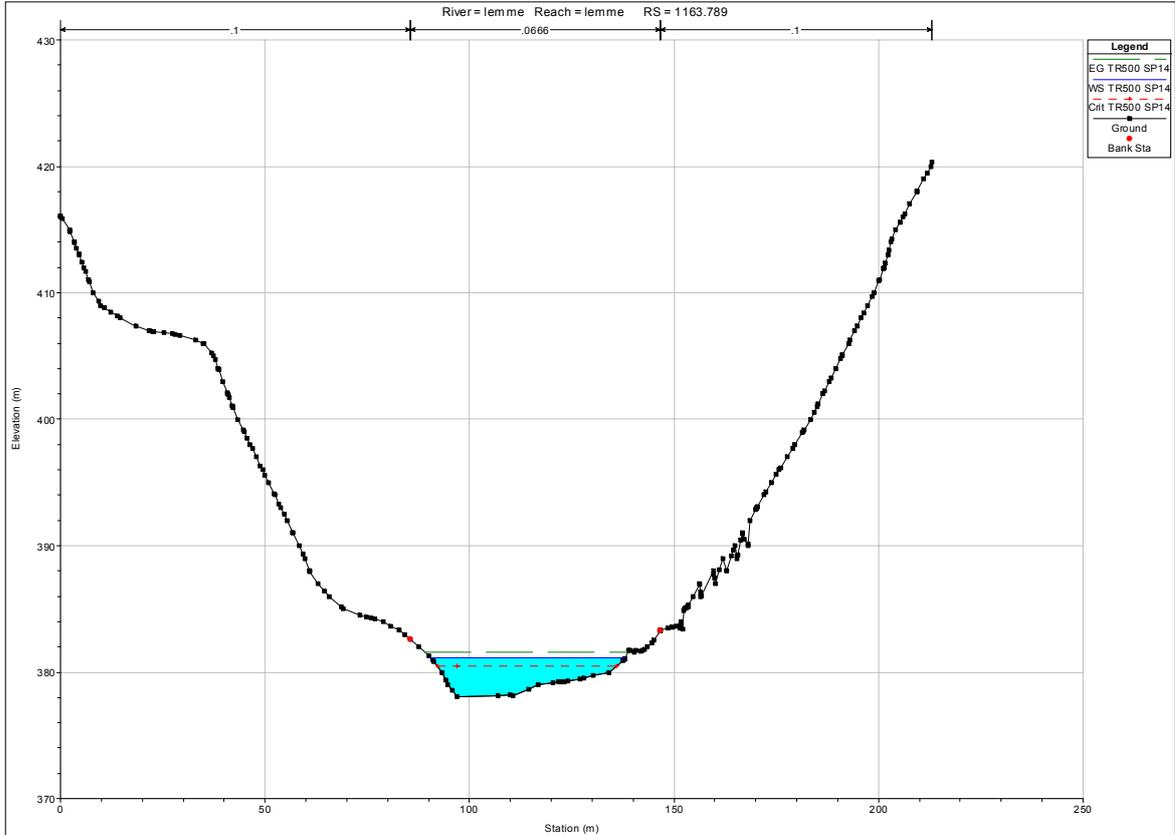
**ALLEGATO 3**  
Risultati modello monodimensionale  
Stato di progetto

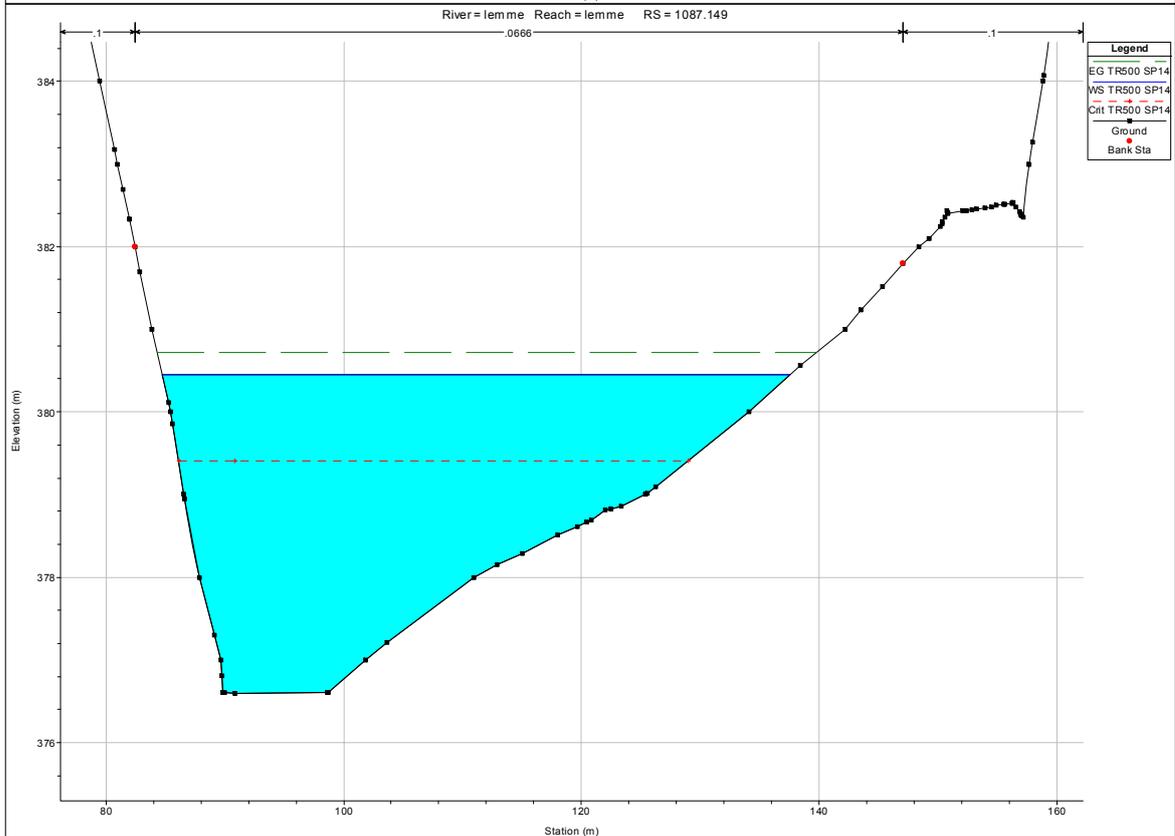
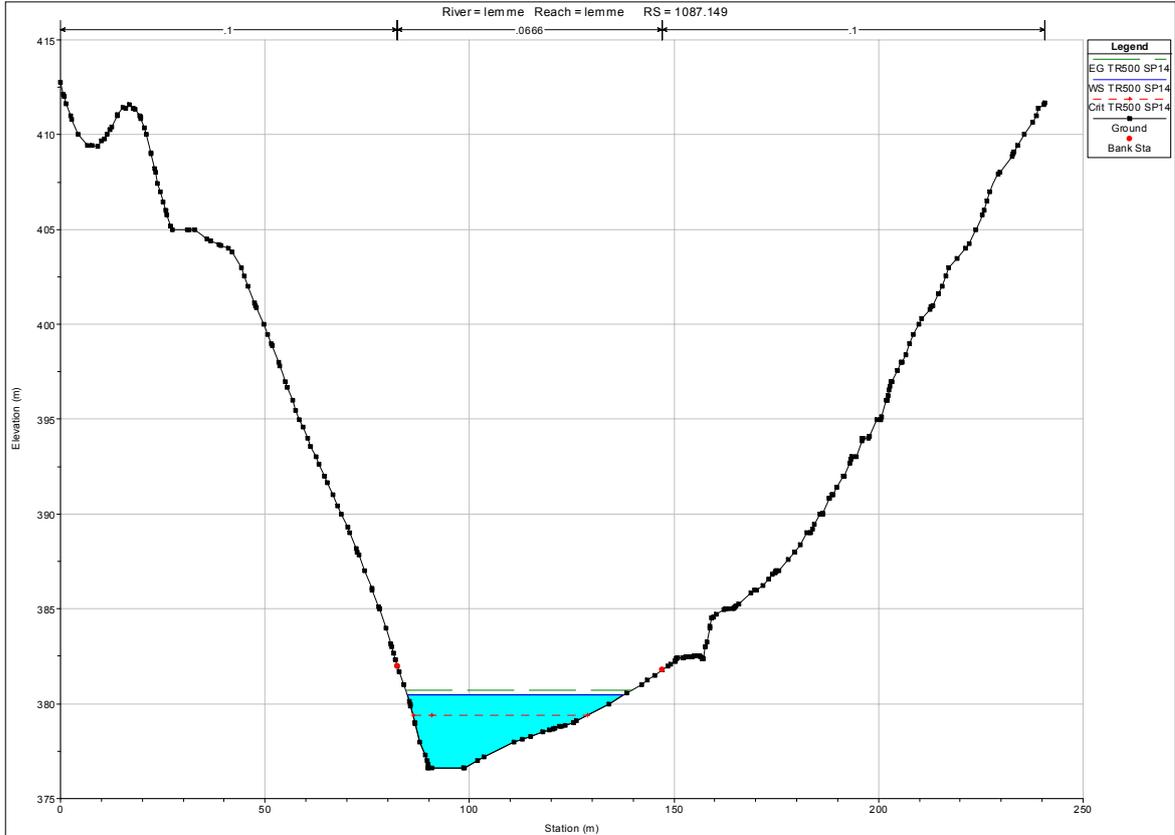
**TEMPI DI RITORNO 500 ANNI – Stazione di Voltaggio. Sottoprogetto SP1.4**
*Profilo di calcolo torrente Lemme. Stato di progetto*

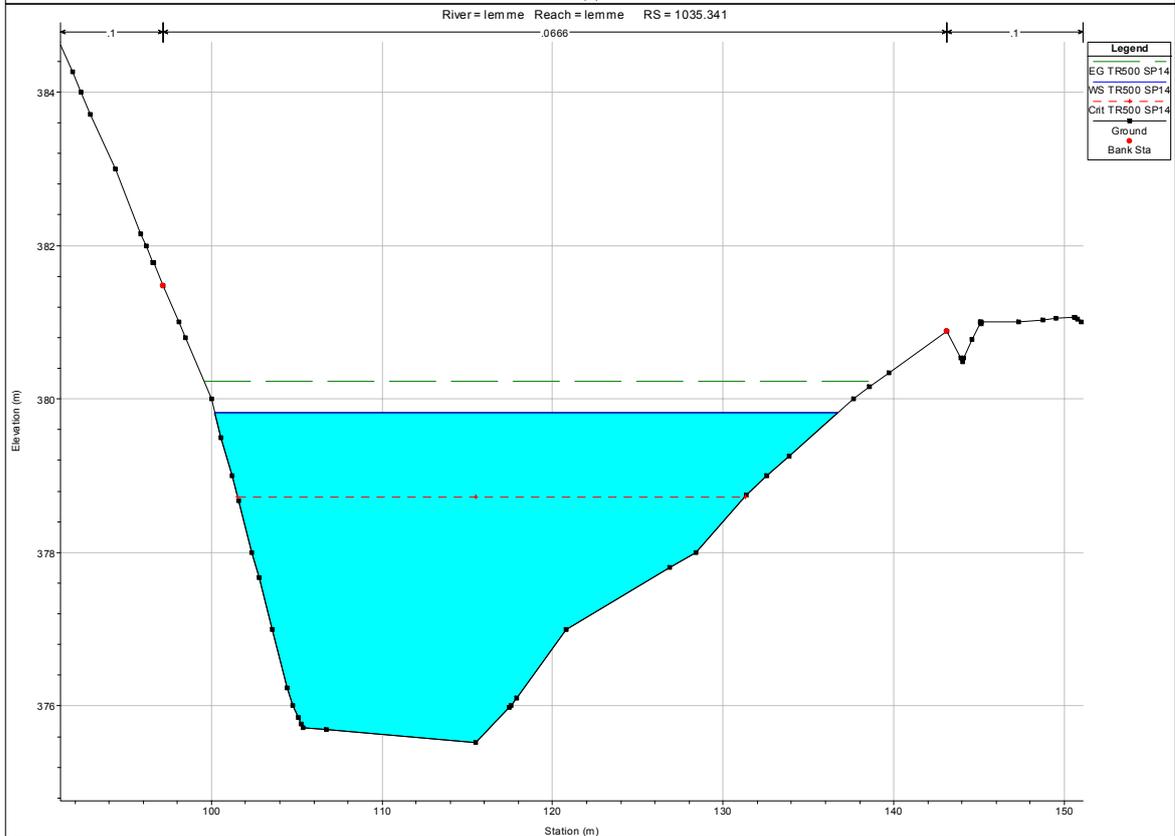
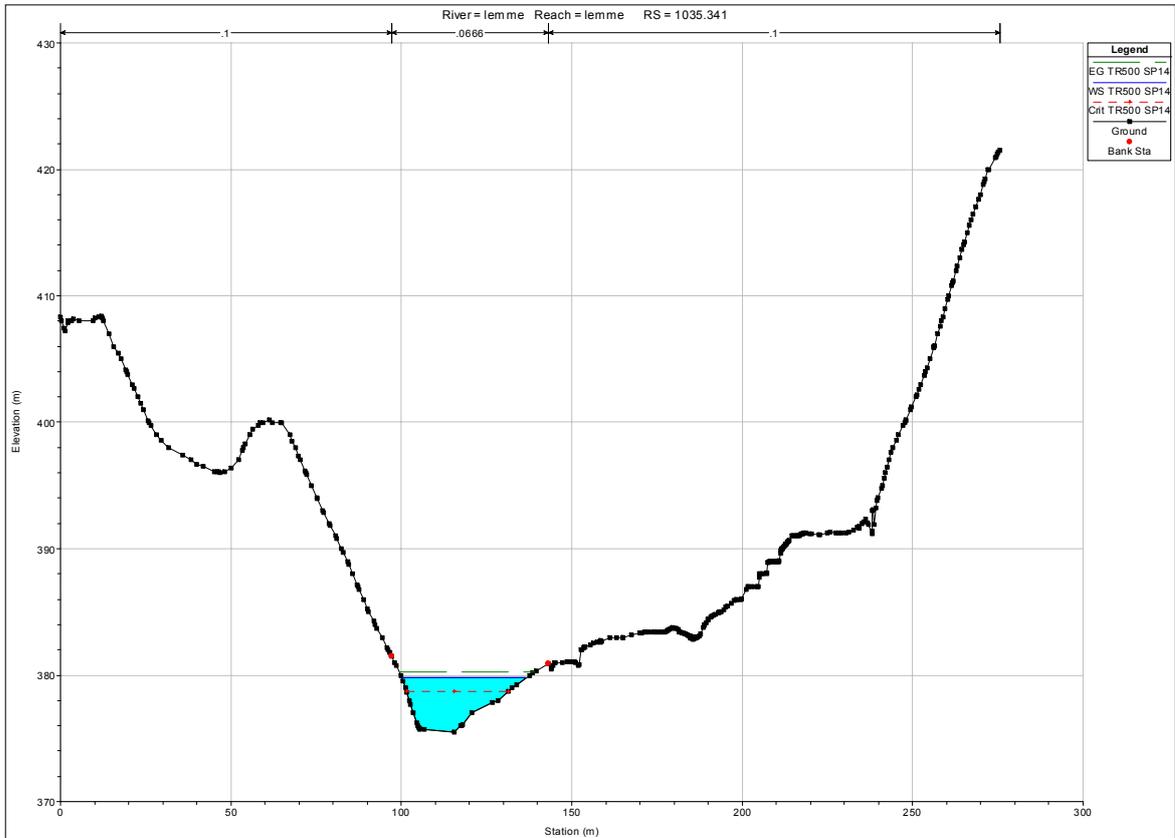
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
lemme	1238.742	TR500 SP14	276.00	378.80	382.13	381.58	382.77	0.018292	3.54	77.91	31.78	0.72
lemme	1163.789	TR500 SP14	276.00	378.07	381.16		381.55	0.013007	2.76	99.87	47.72	0.61
lemme	1087.149	TR500 SP14	276.00	376.59	380.46		380.73	0.008283	2.31	119.57	52.87	0.49
lemme	1035.341	TR500 SP14	276.00	375.52	379.84		380.24	0.010044	2.81	98.33	36.67	0.55
lemme	964.263	TR500 SP14	276.00	374.39	378.73		379.38	0.014086	3.56	77.44	24.19	0.64
lemme	844.727	TR500 SP14	276.00	372.65	376.28	376.13	377.16	0.025118	4.15	66.57	31.22	0.91
lemme	742.196	TR500 SP14	276.00	371.47	374.65	373.98	375.24	0.013357	3.39	81.39	31.16	0.67
lemme	680.807	TR500 SP14	276.00	370.13	374.01	373.14	374.49	0.010230	3.11	94.95	47.36	0.59
lemme	615.103	TR500 SP14	276.00	369.26	373.57	372.06	373.95	0.006062	2.76	102.37	34.23	0.47
lemme	596.430	TR500 SP14	276.00	369.25	373.18	372.16	373.79	0.010268	3.47	82.78	29.64	0.60
lemme	591.93											
lemme	591.431	TR500 SP14	276.00	367.23	371.85		372.43	0.008800	3.37	81.82	21.62	0.55
lemme	583.343	TR500 SP14	276.00	366.50	371.83	370.18	372.34	0.007505	3.19	86.65	21.34	0.50
lemme	546.555	TR500 SP14	276.00	366.54	371.30	370.12	372.01	0.009983	3.73	74.29	20.92	0.61
lemme	476.543	TR500 SP14	276.00	365.81	370.83	369.75	371.37	0.007075	3.40	105.12	51.15	0.54
lemme	443.427	TR500 SP14	276.00	365.61	370.62	369.55	371.09	0.009109	3.25	121.59	80.31	0.51
lemme	417.806	TR500 SP14	276.00	365.76	370.28	369.59	370.82	0.012039	3.45	111.44	86.03	0.58
lemme	402.166	TR500 SP14	276.00	365.63	370.14	369.41	370.62	0.010599	3.25	122.22	99.33	0.55
lemme	383.673	TR500 SP14	276.00	365.20	370.02	368.81	370.43	0.008664	3.06	131.36	103.54	0.50
lemme	362.700	TR500 SP14	276.00	364.82	369.73	368.76	370.23	0.010229	3.34	124.25	112.96	0.55
lemme	337.439	TR500 SP14	276.00	364.73	369.11	368.39	369.88	0.016654	3.97	85.81	103.13	0.69
lemme	315.492	TR500 SP14	276.00	364.84	368.10	368.07	369.33	0.034393	4.92	56.26	23.42	0.98
lemme	273.484	TR500 SP14	276.00	364.03	368.29	366.77	368.56	0.005698	2.32	119.33	41.99	0.41
lemme	233.560	TR500 SP14	276.00	362.93	367.63	366.38	368.21	0.011656	3.38	82.42	29.29	0.57
lemme	209.689	TR500 SP14	276.00	362.82	367.59	365.96	367.94	0.006463	2.65	108.32	38.33	0.45
lemme	199.689	TR500 SP14	276.00	362.78	367.59	365.79	367.86	0.004987	2.36	129.14	59.30	0.40
lemme	196											
lemme	193.69	TR500 SP14	276.00	362.67	366.54	365.74	367.16	0.015077	3.49	78.98	28.07	0.67
lemme	178.689	TR500 SP14	276.00	362.39	366.02		366.86	0.023950	4.07	67.87	27.88	0.83
lemme	158.118	TR500 SP14	276.00	362.00	365.81		366.40	0.014963	3.40	81.06	29.71	0.66
lemme	118.683	TR500 SP14	276.00	361.10	364.79	364.42	365.65	0.023015	4.10	67.33	25.85	0.81
lemme	84.832	TR500 SP14	276.00	360.19	363.81	363.62	364.76	0.029506	4.32	63.83	27.38	0.90
lemme	55.661	TR500 SP14	276.00	358.42	363.02	362.77	363.92	0.027168	4.20	65.74	27.38	0.86
lemme	12.363	TR500 SP14	276.00	357.73	362.34	361.63	362.94	0.015958	3.45	80.10	29.59	0.67

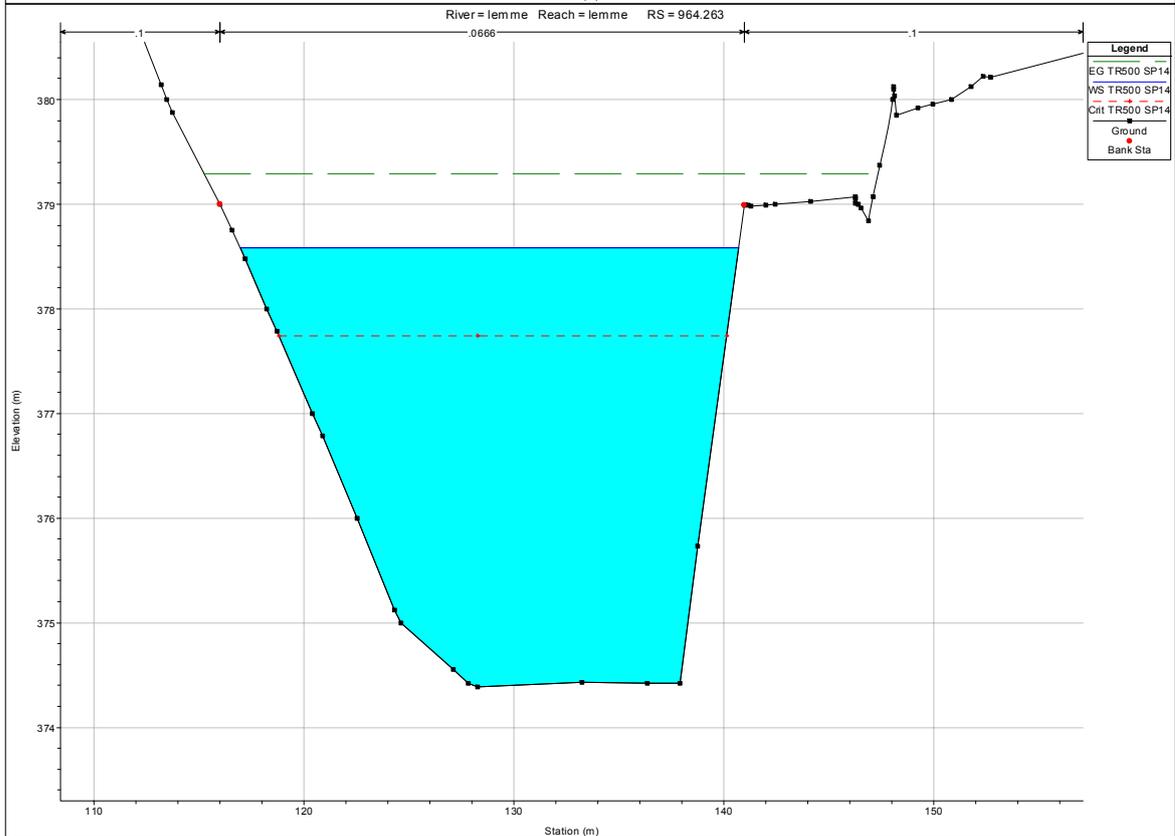
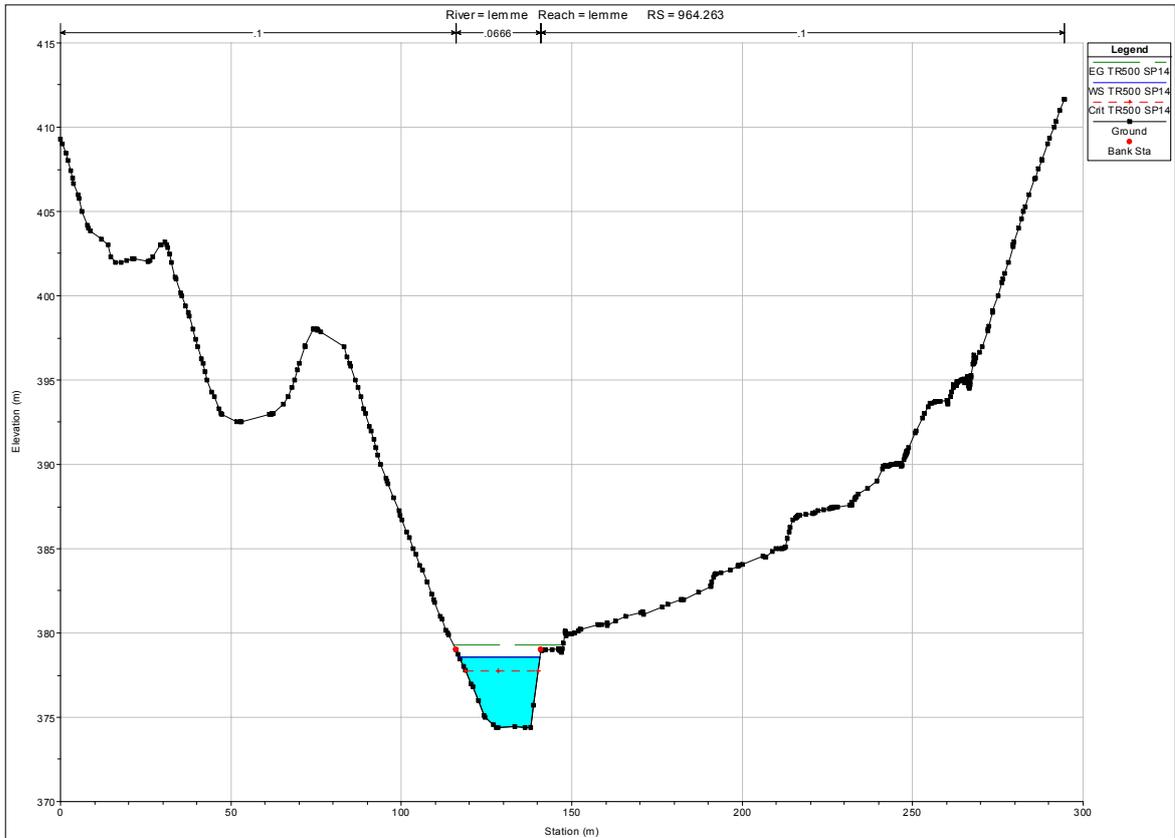


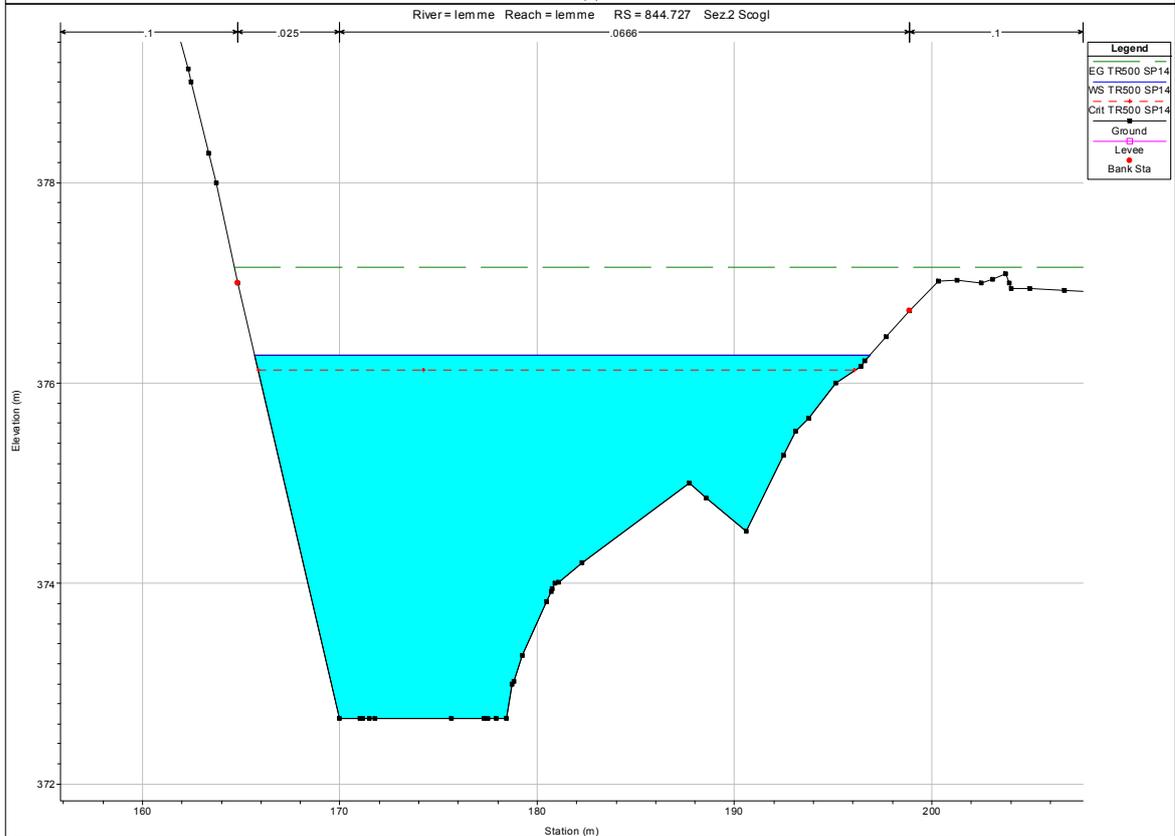
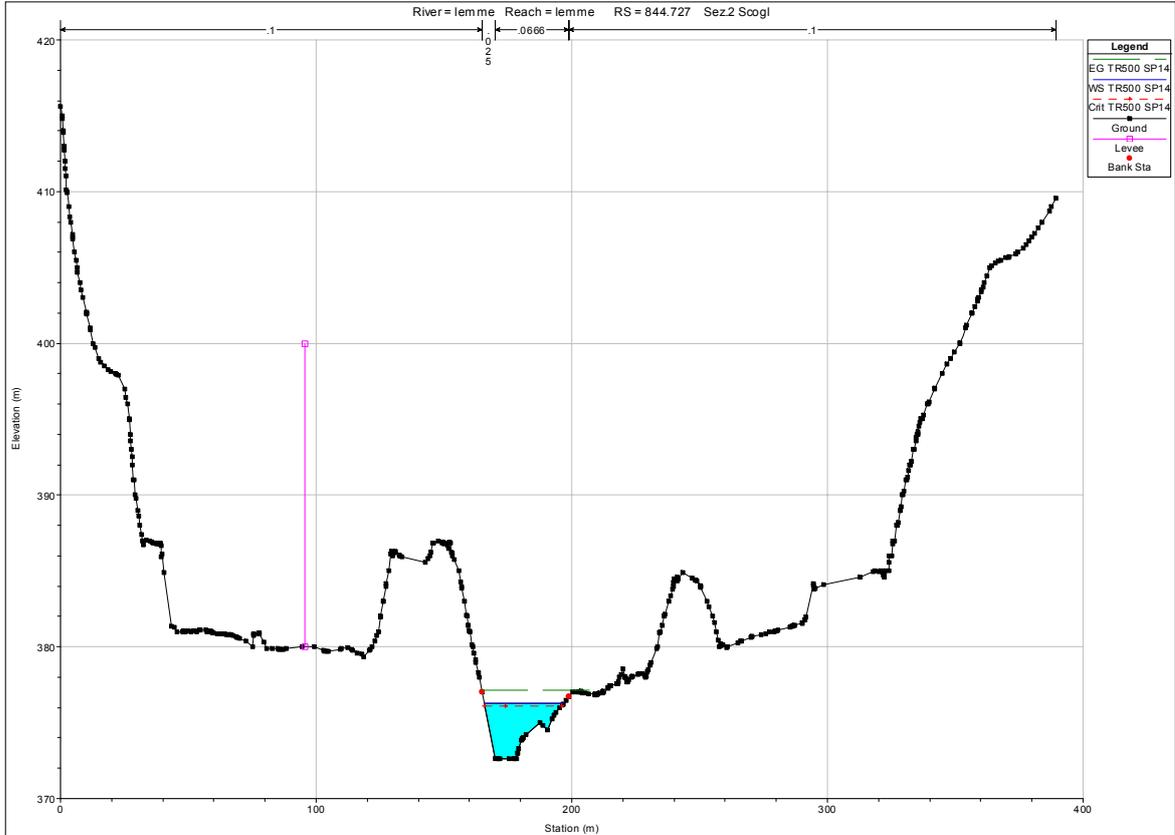


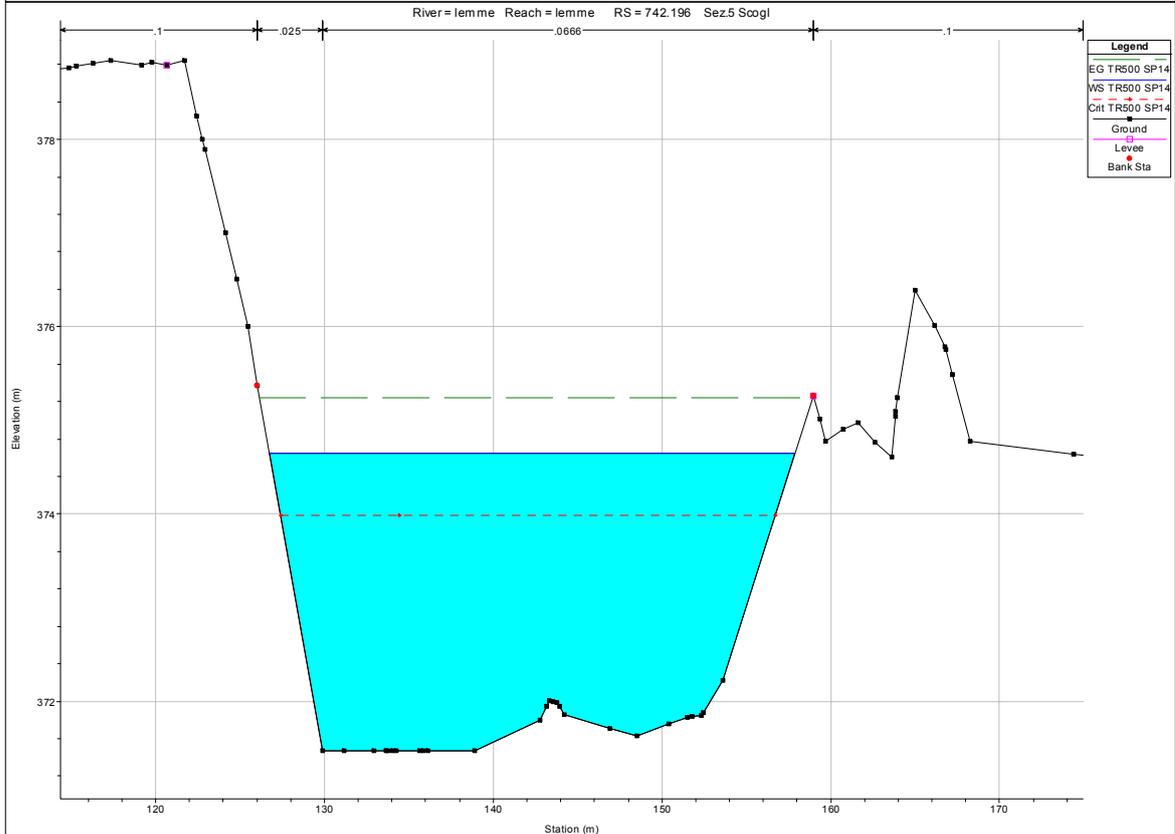
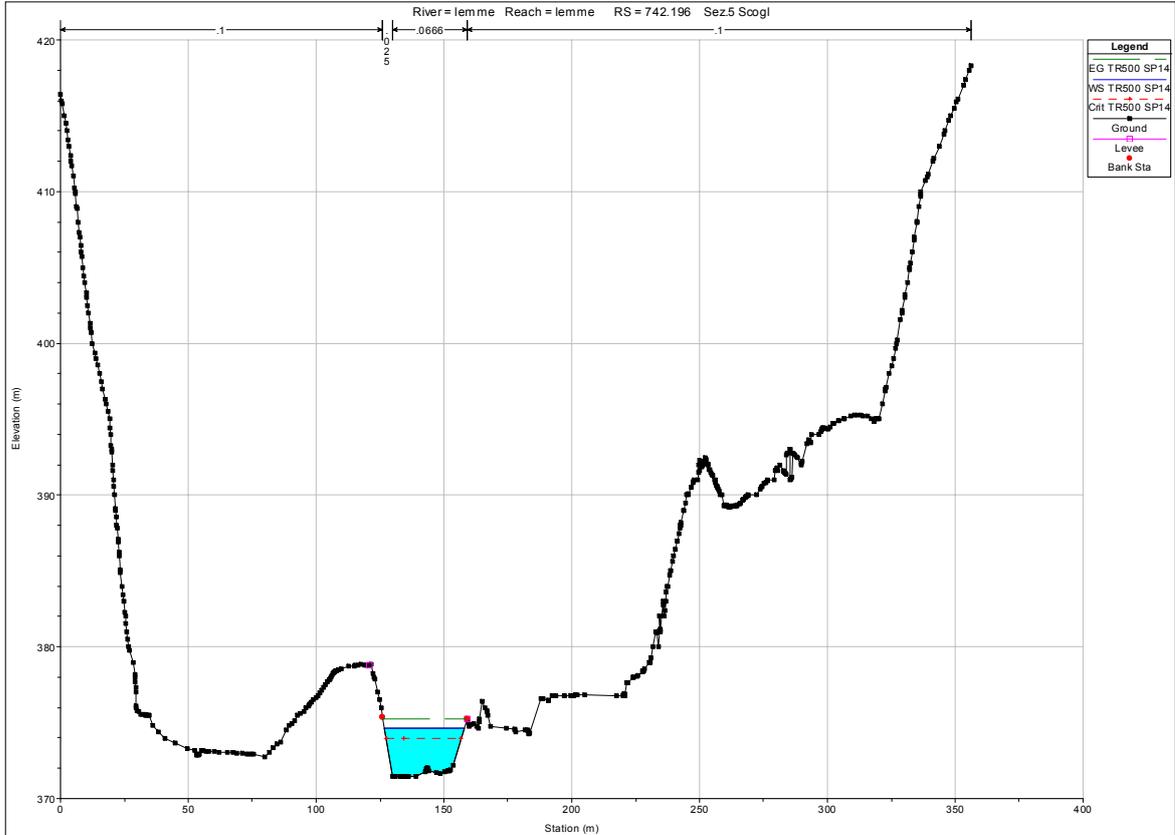


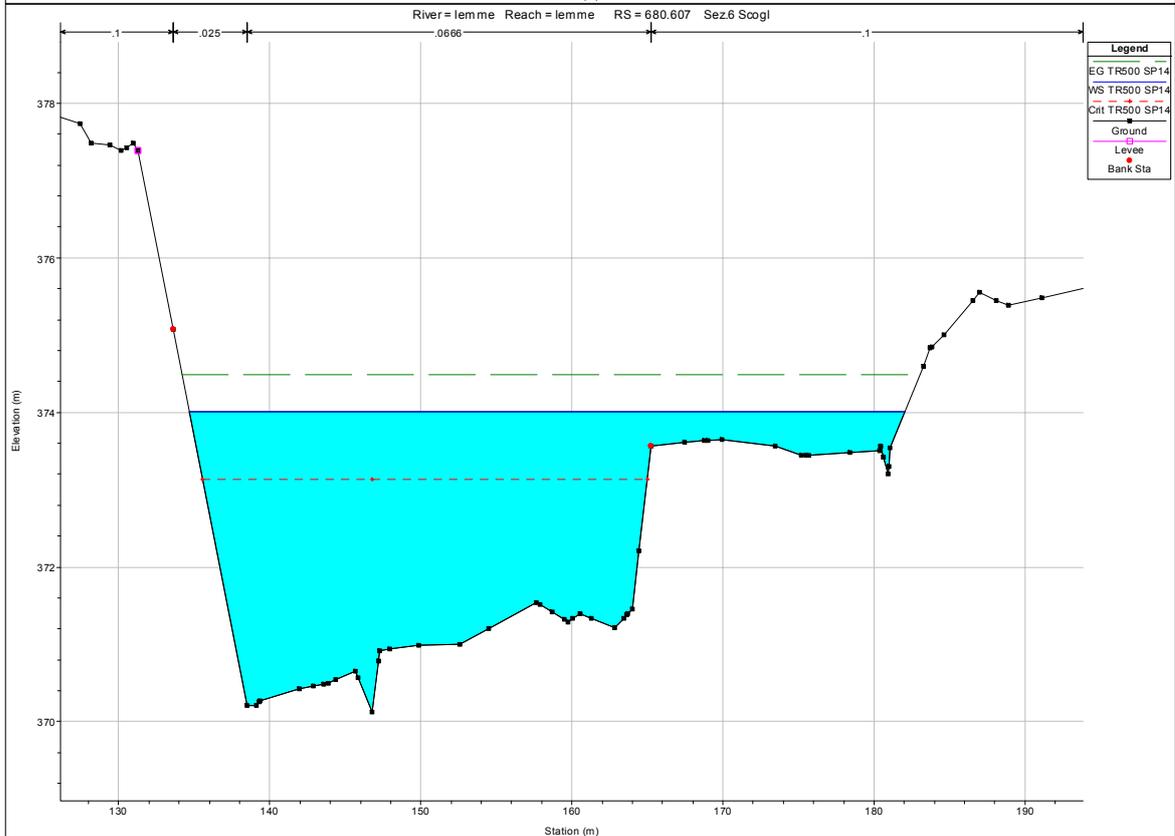
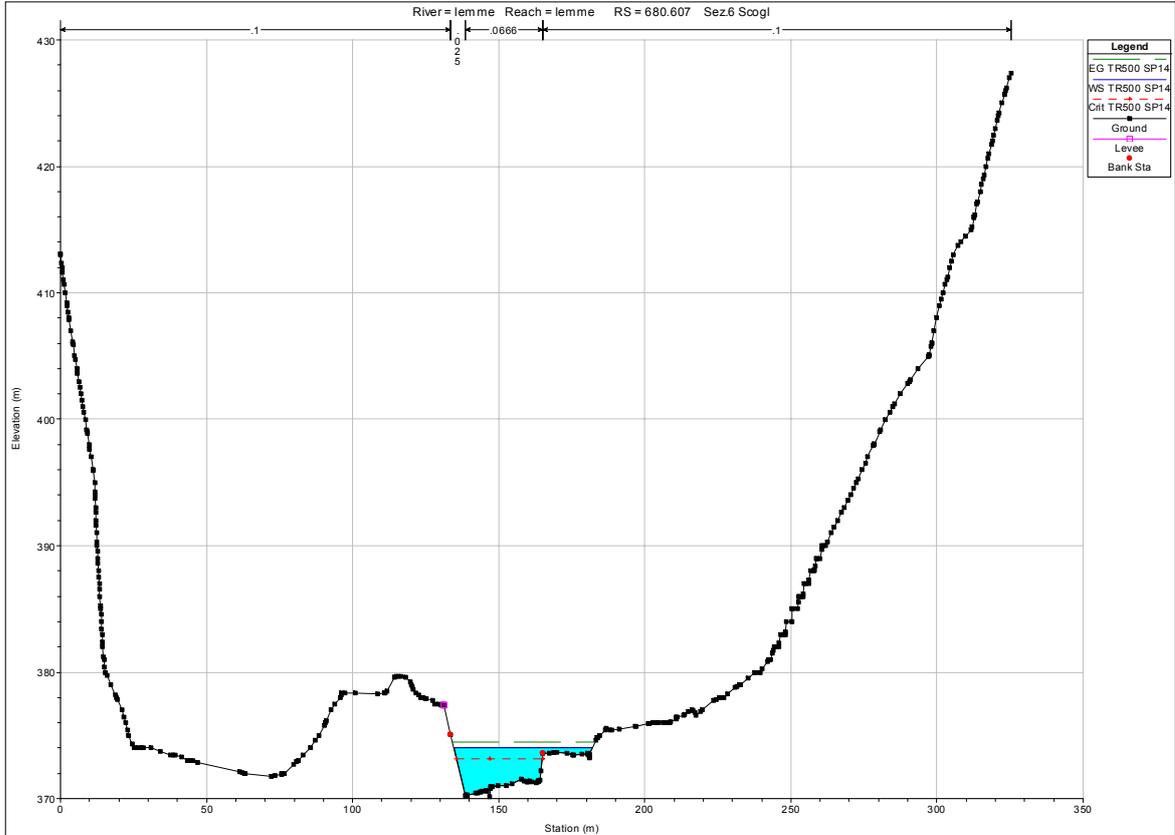


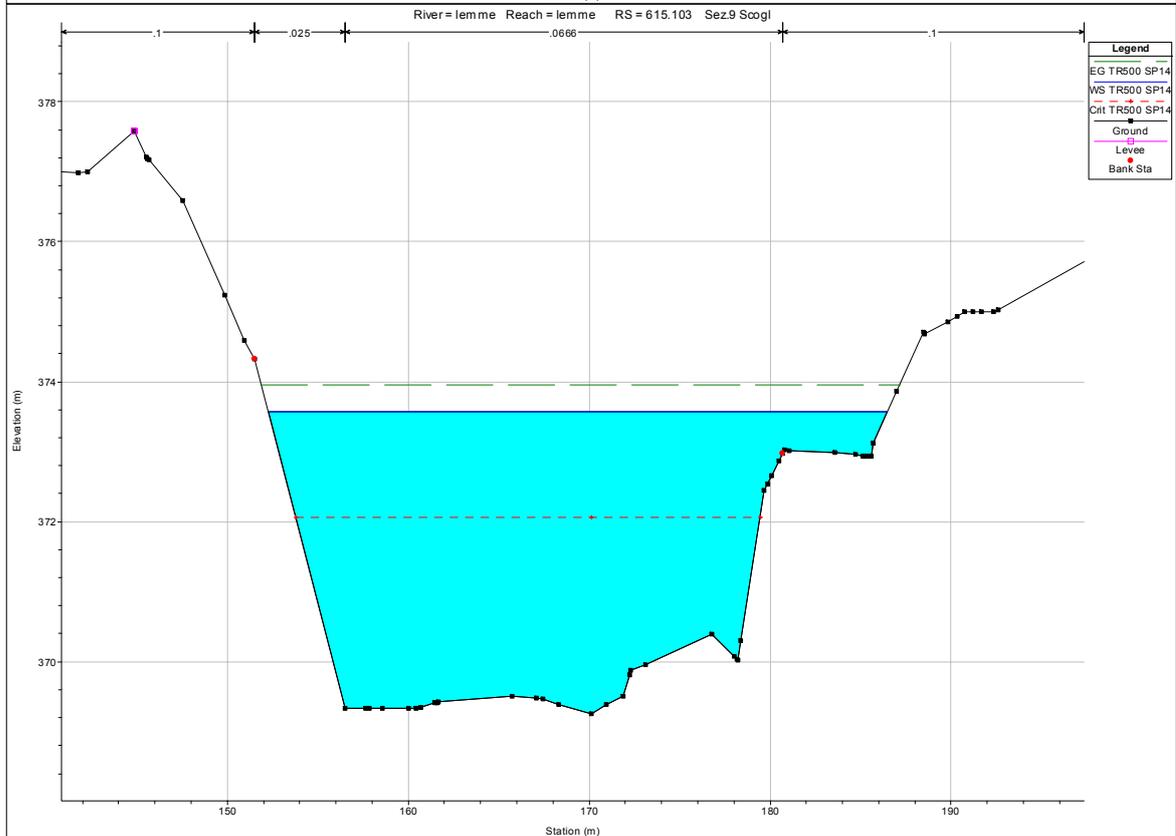
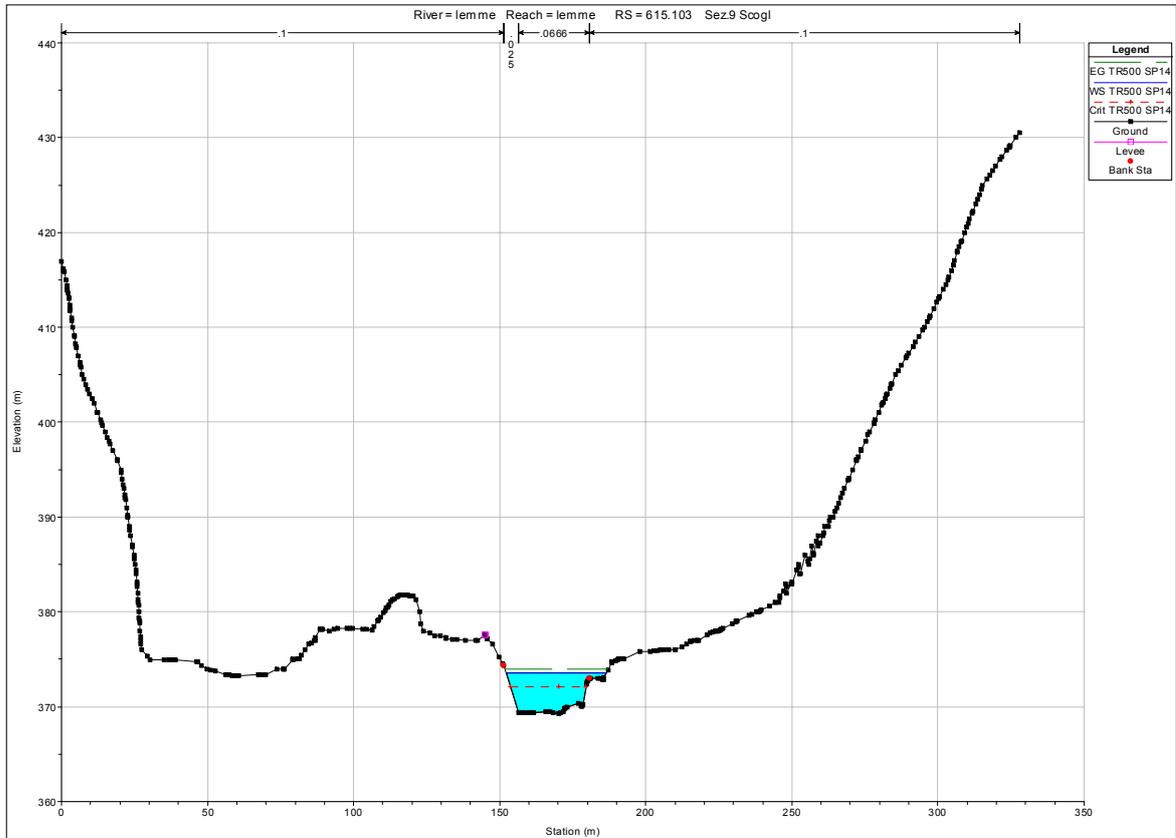


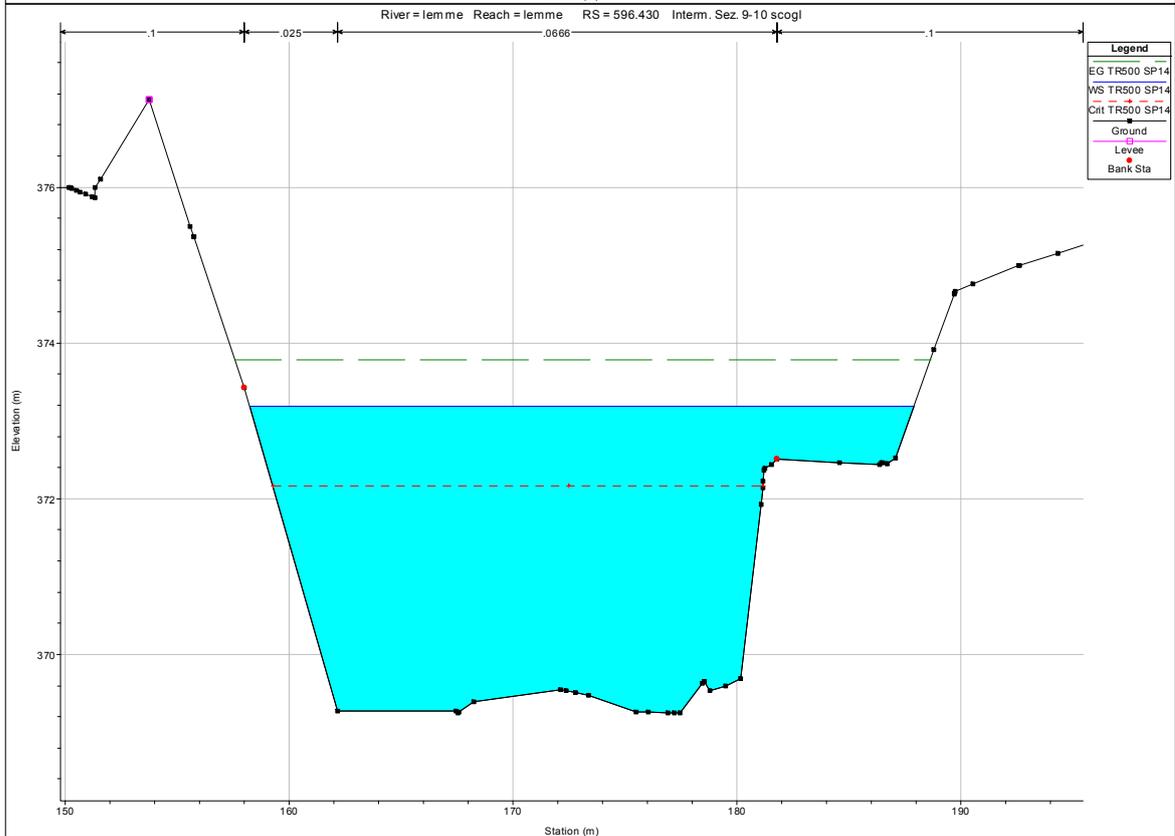
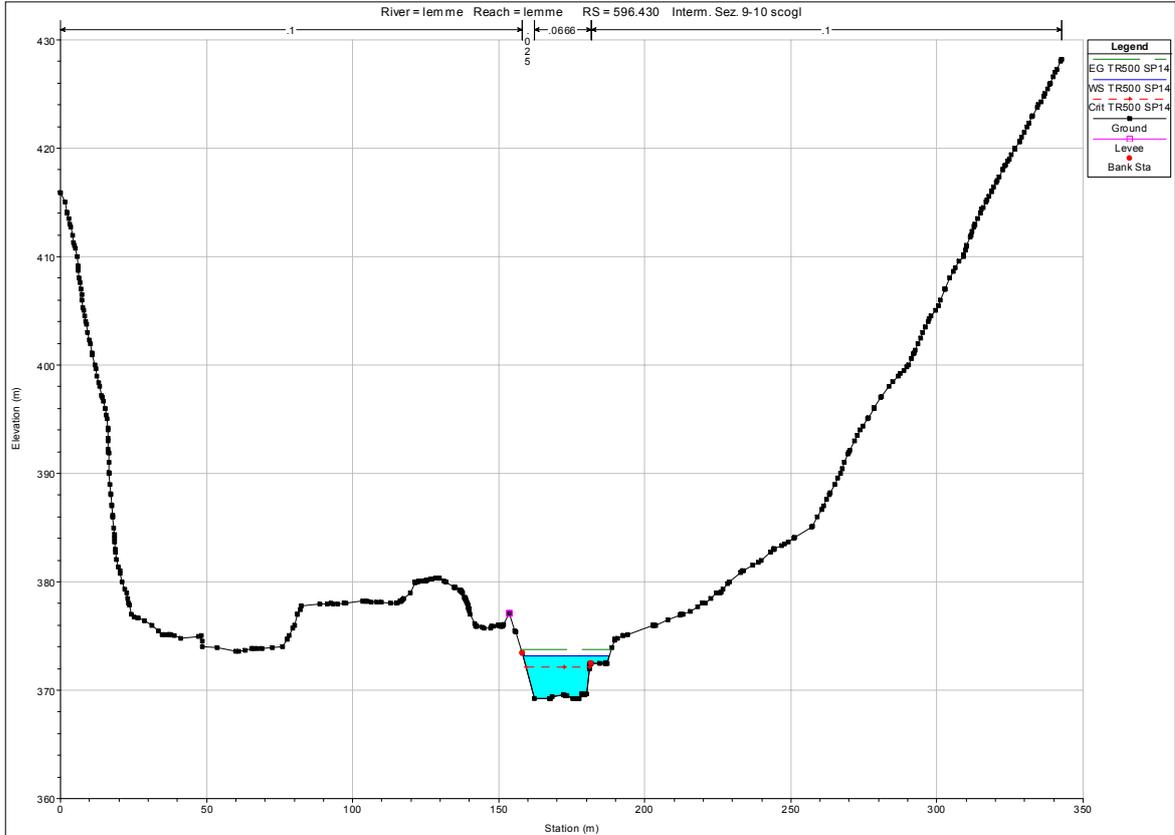


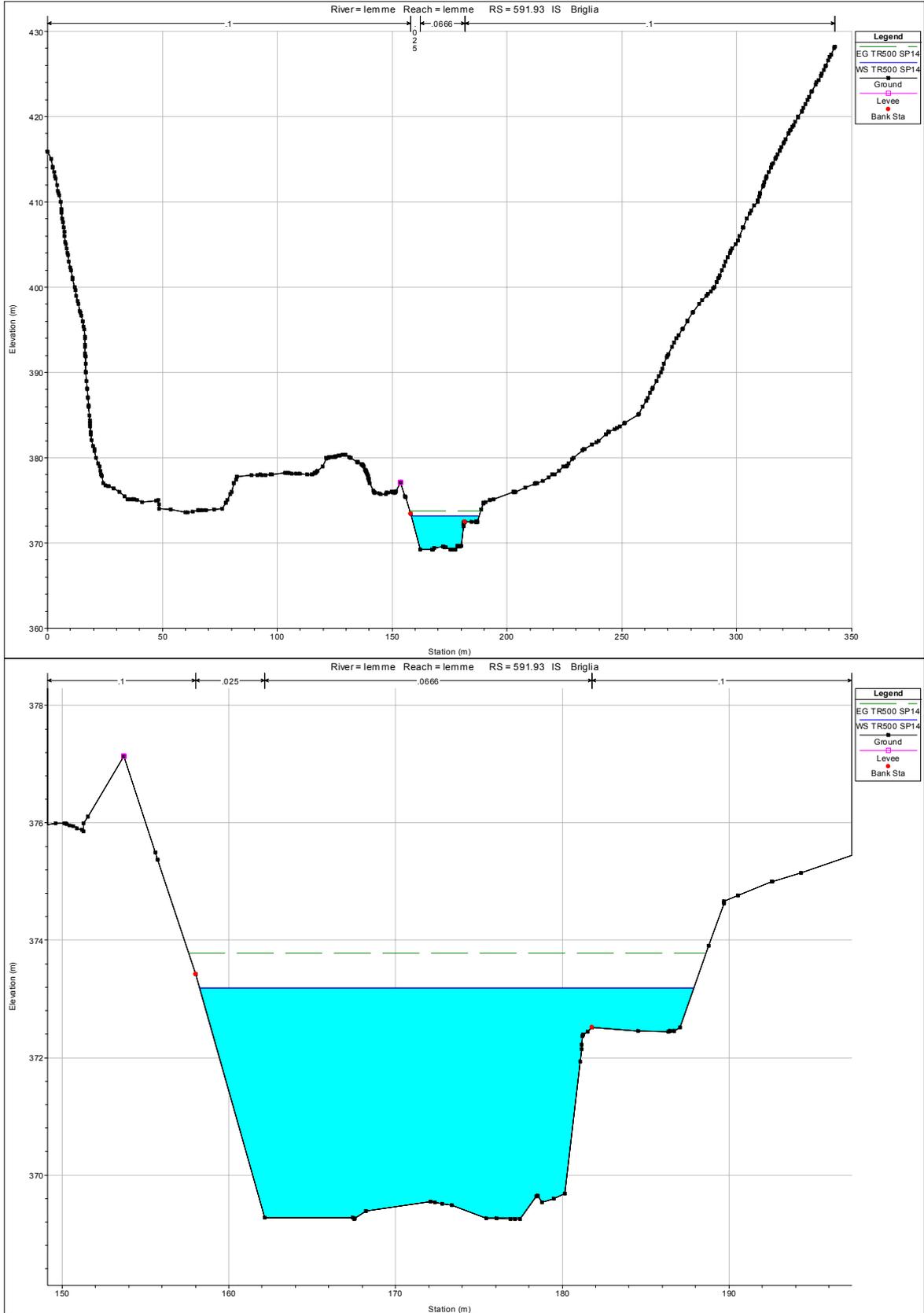


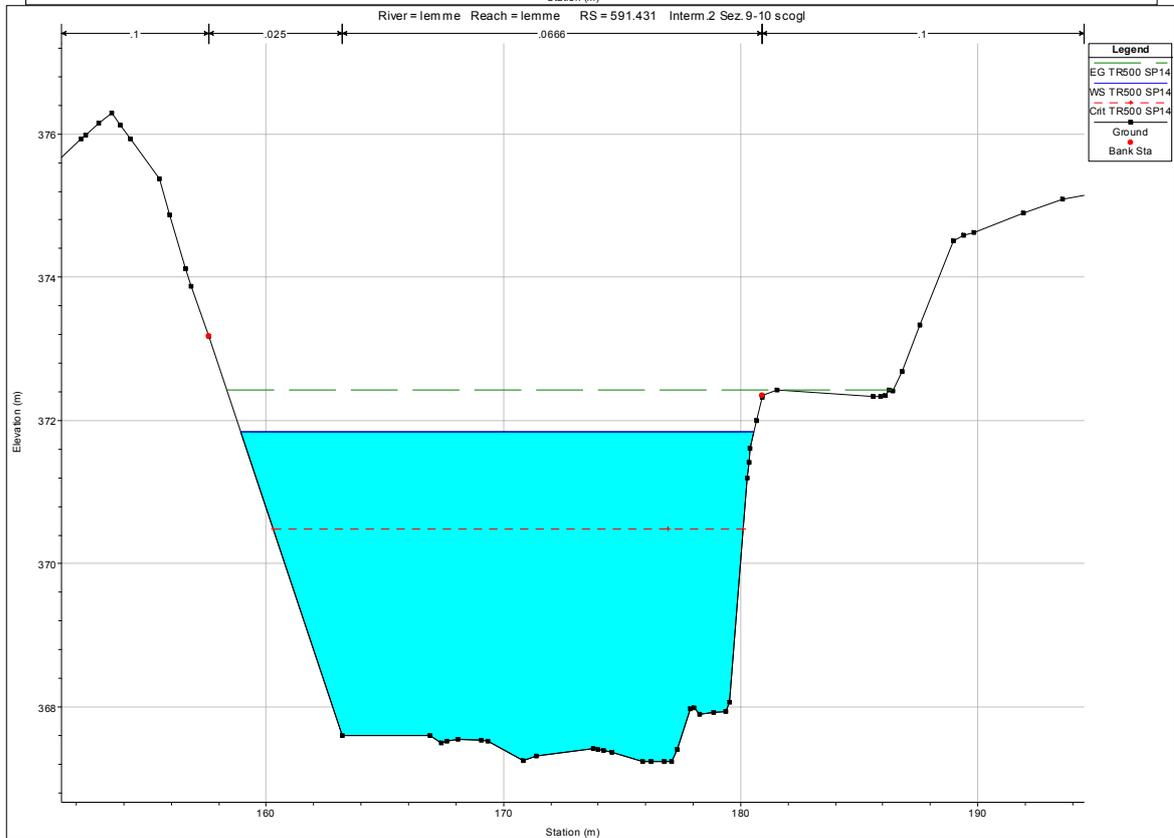
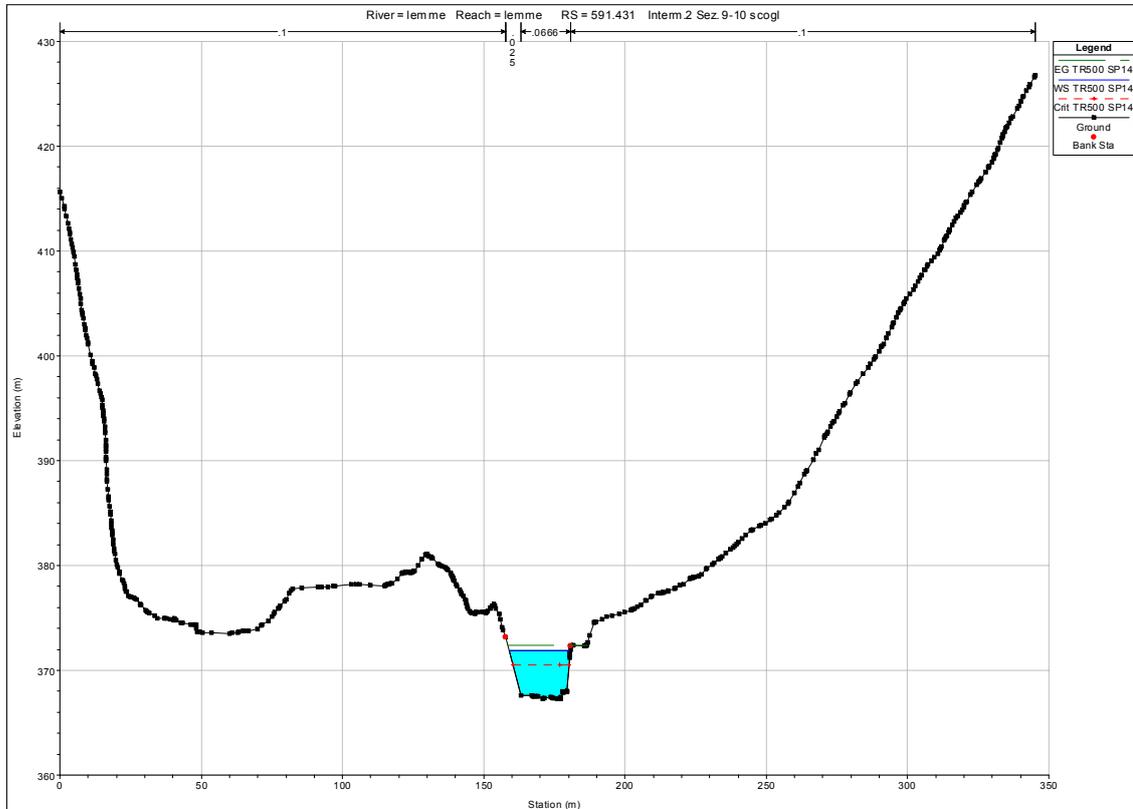


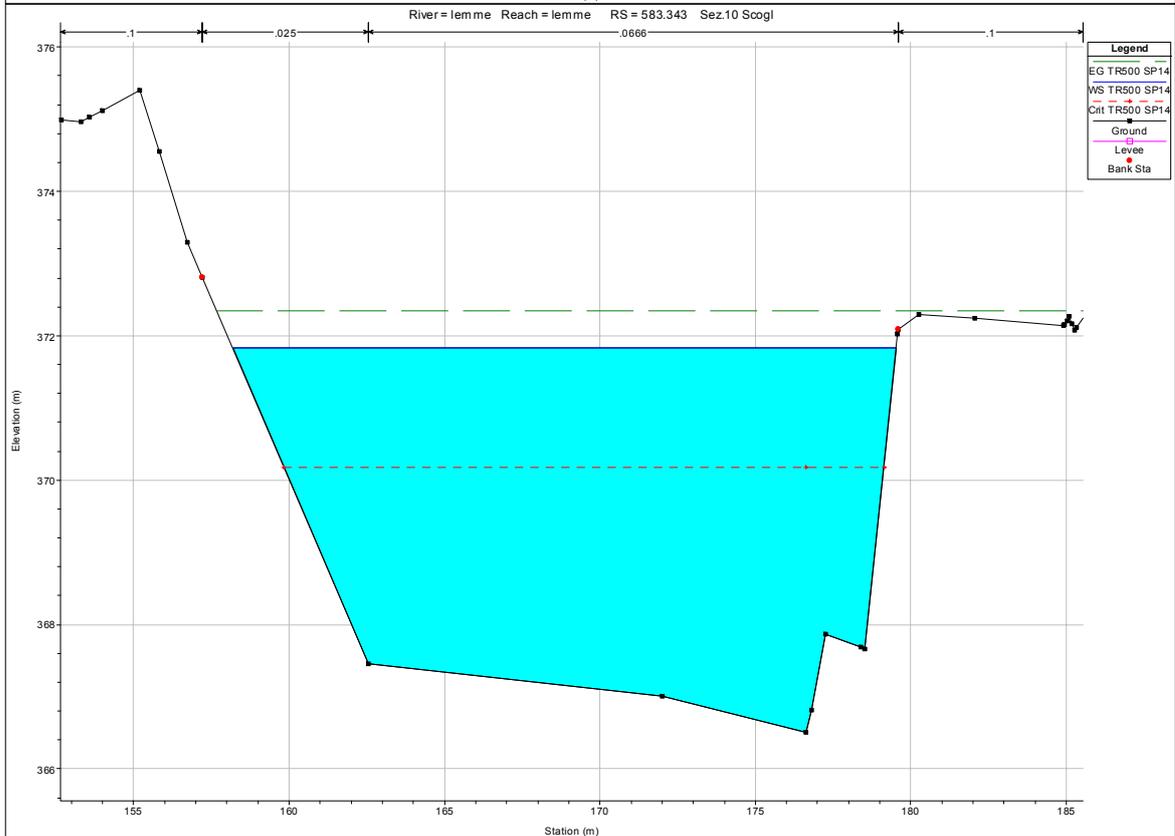
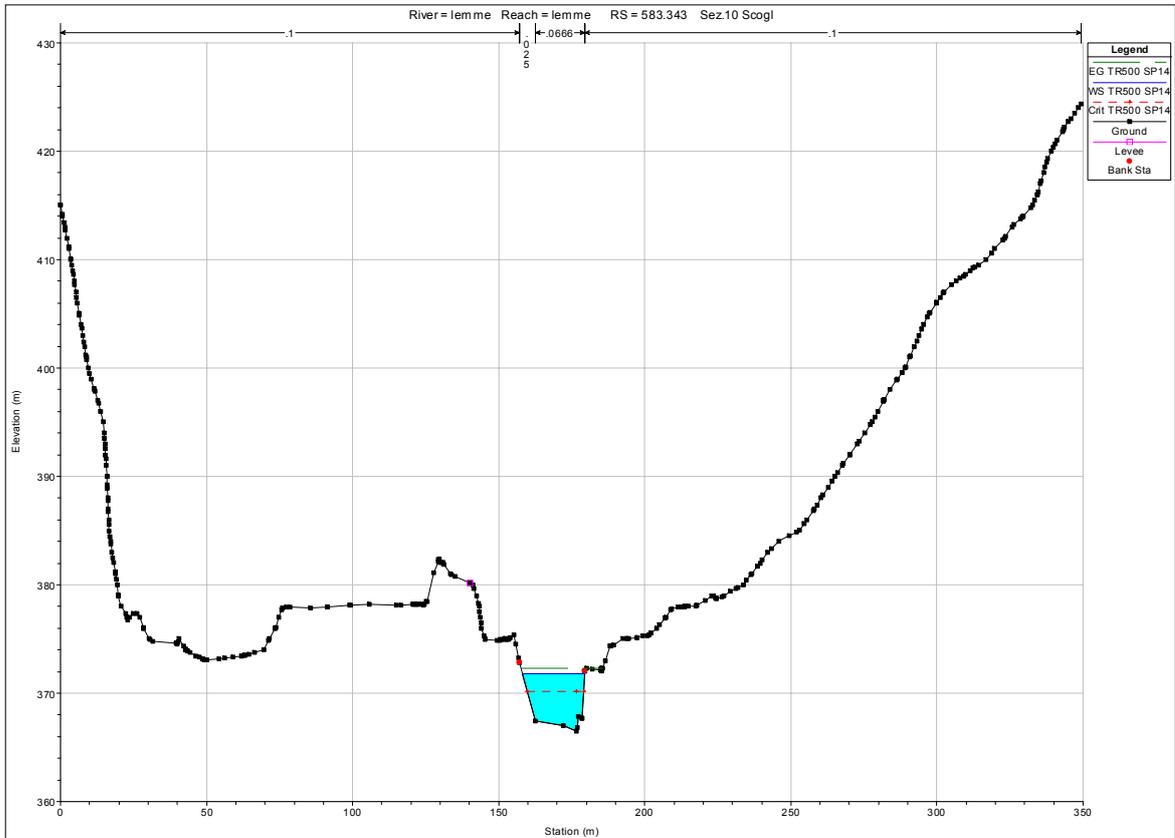


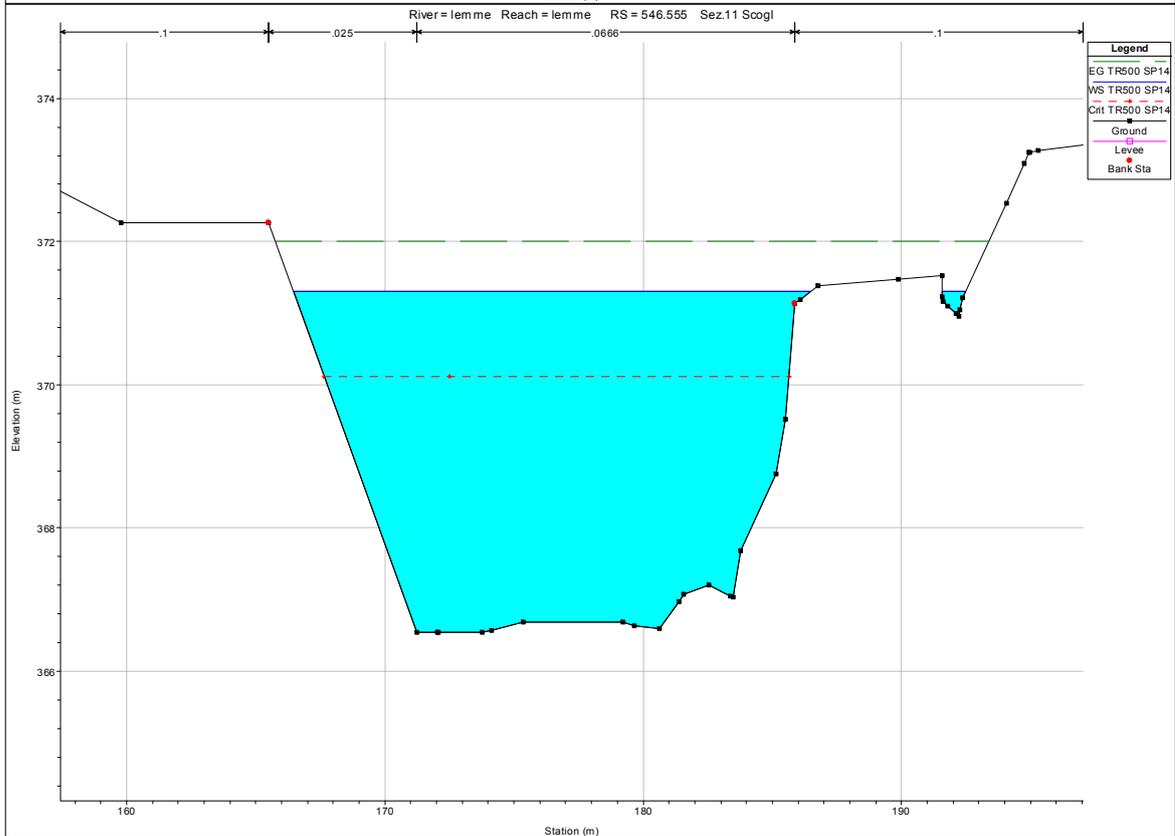
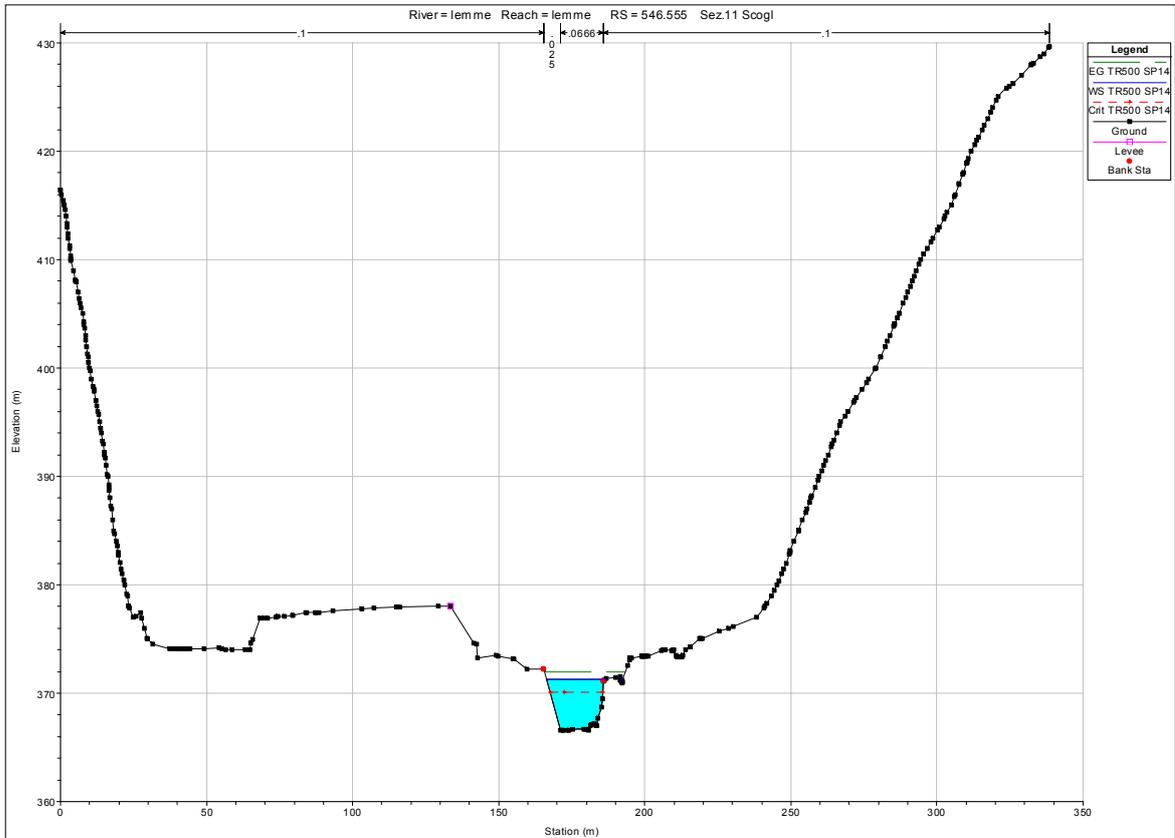


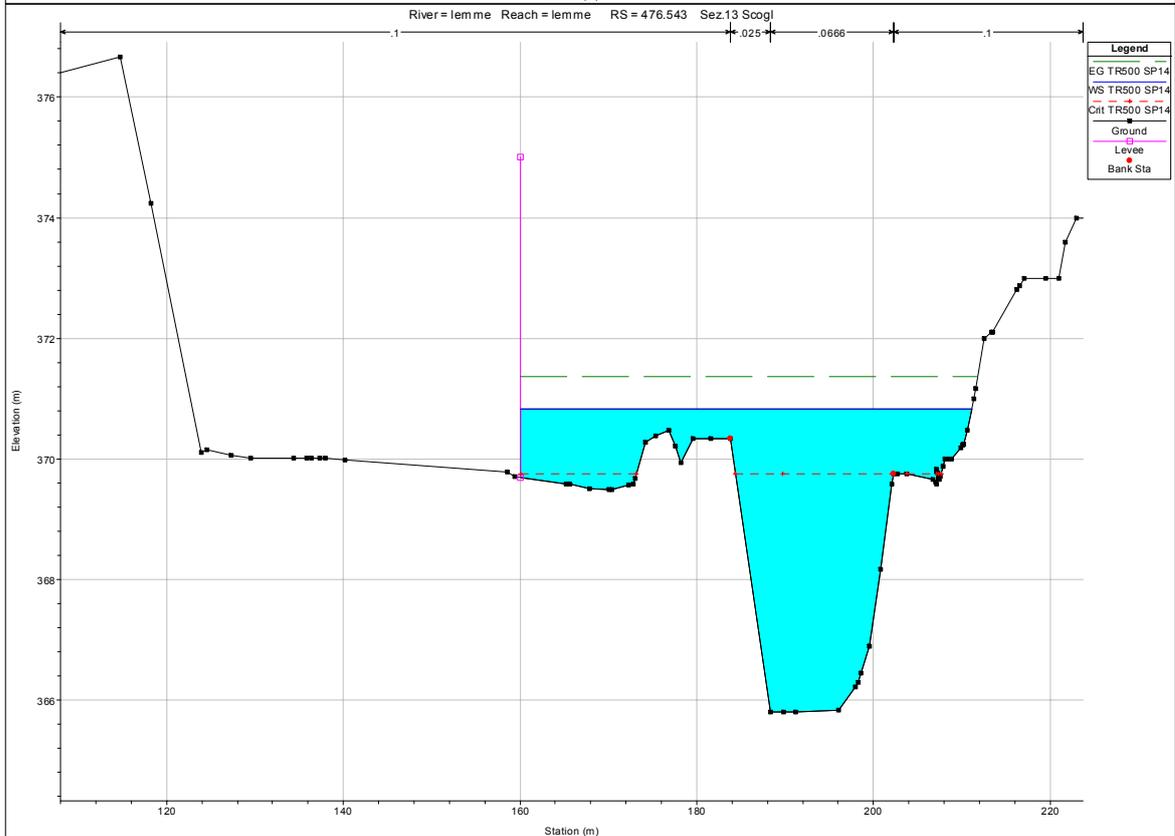
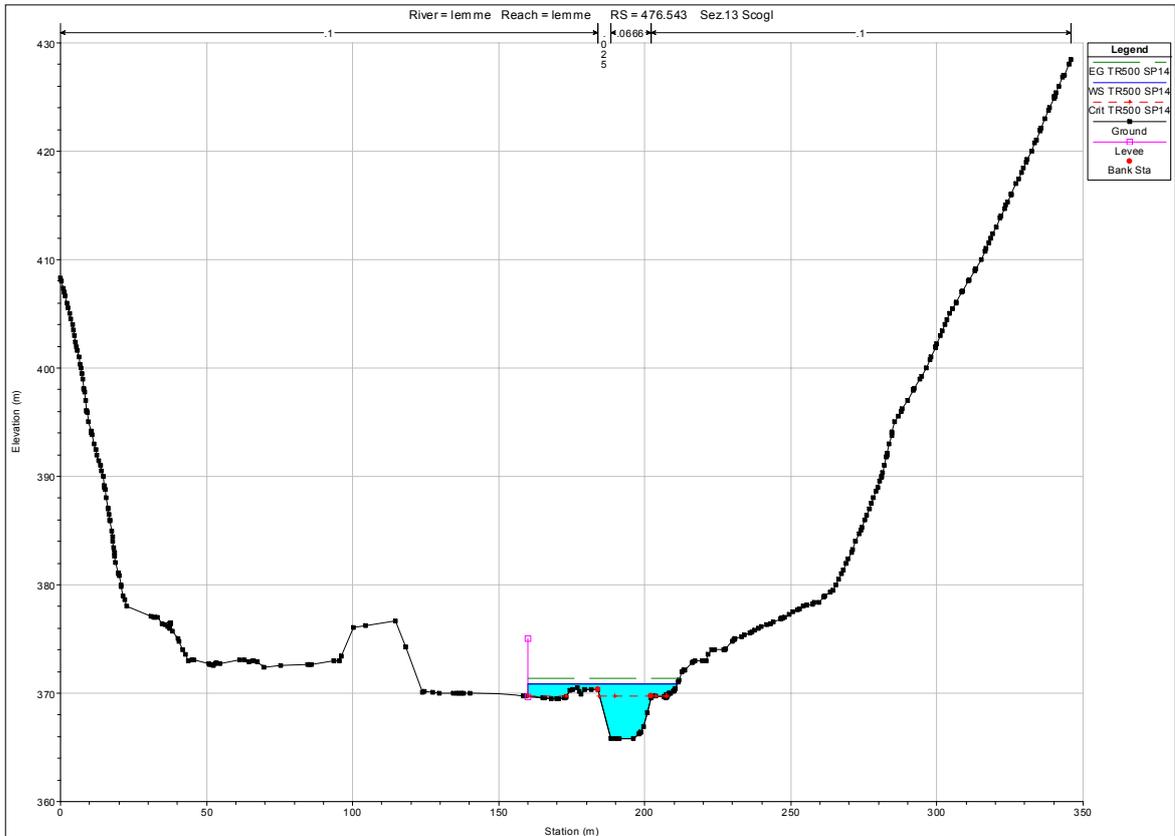


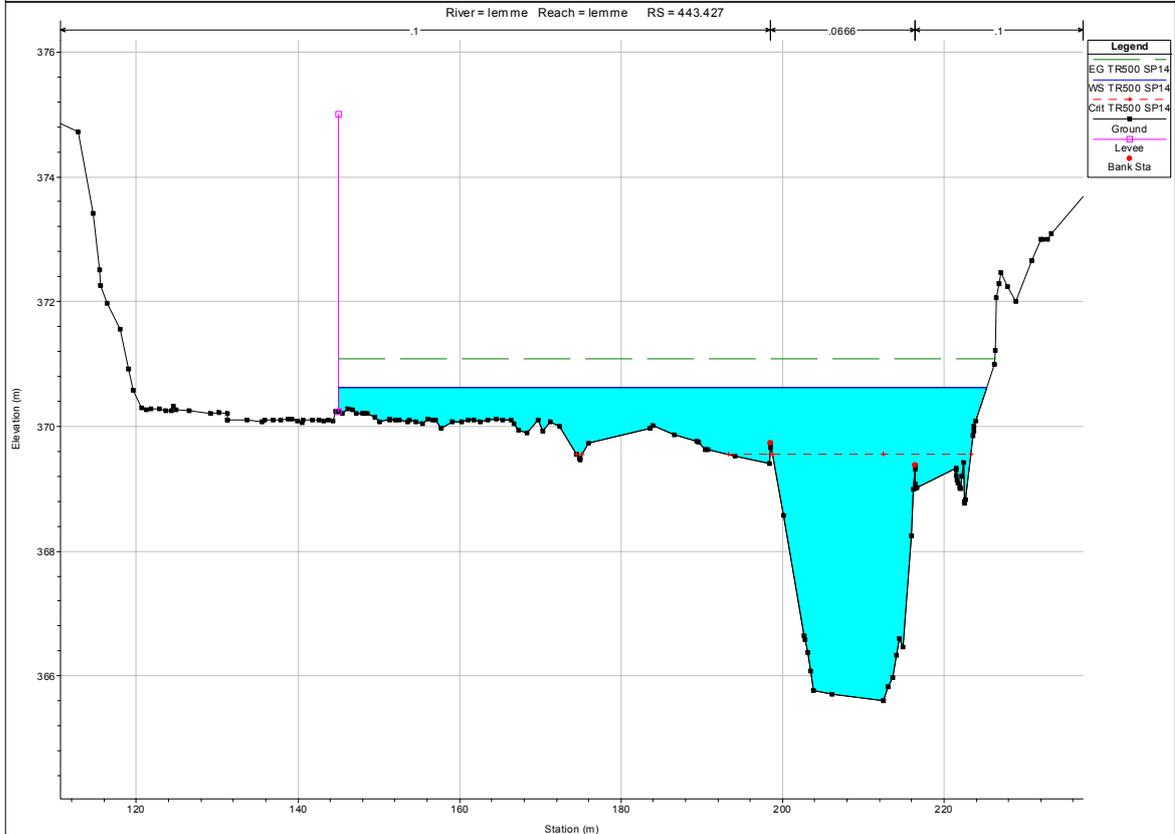
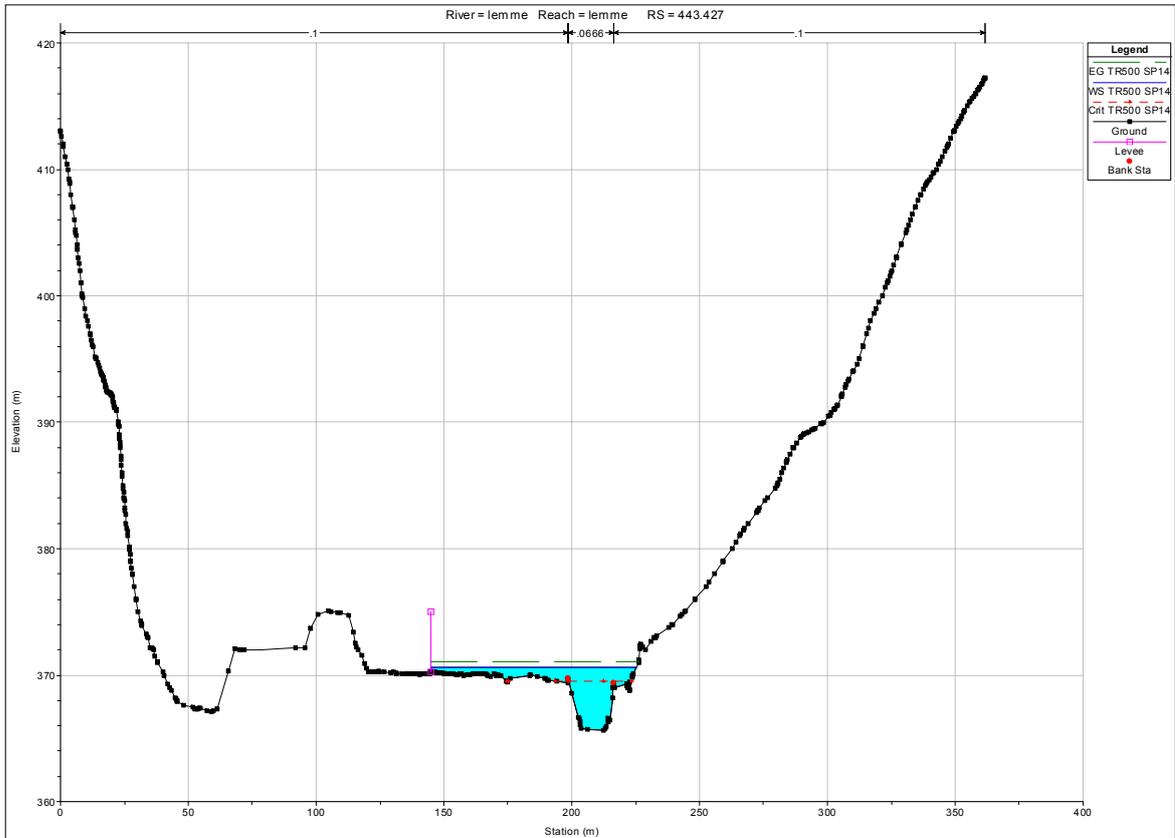


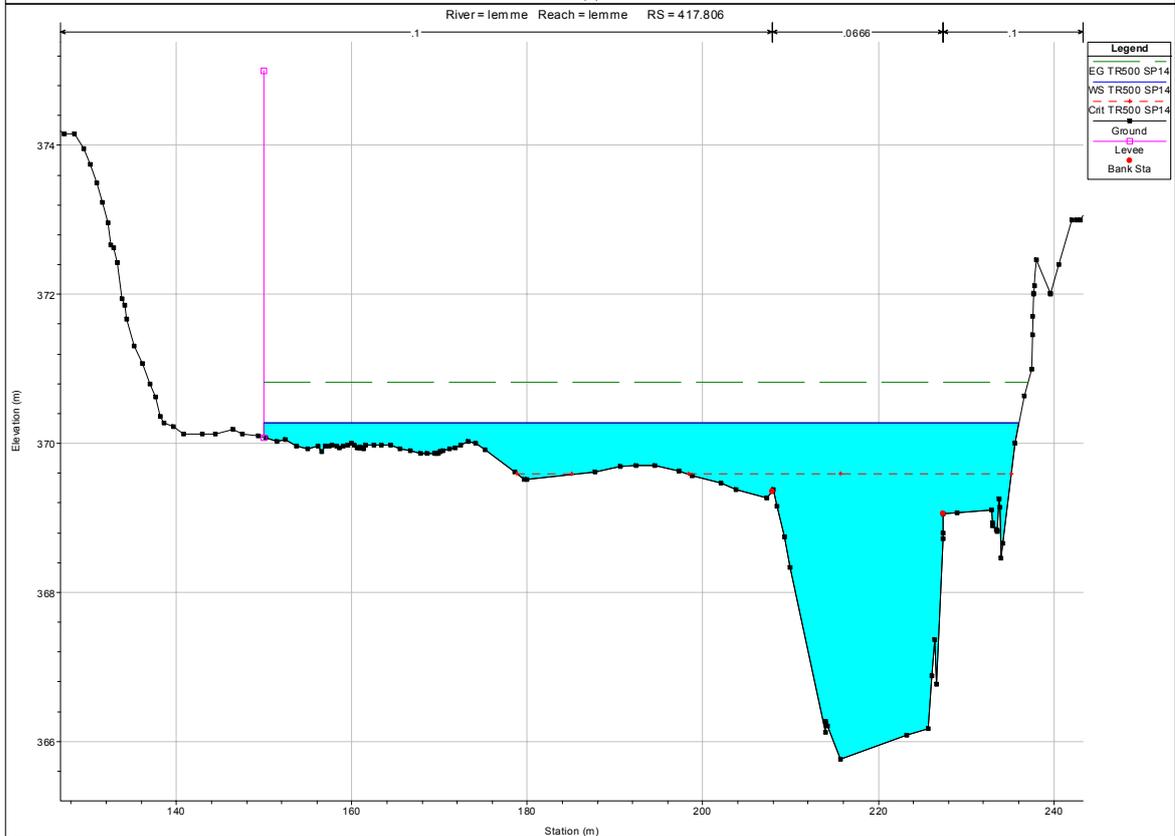
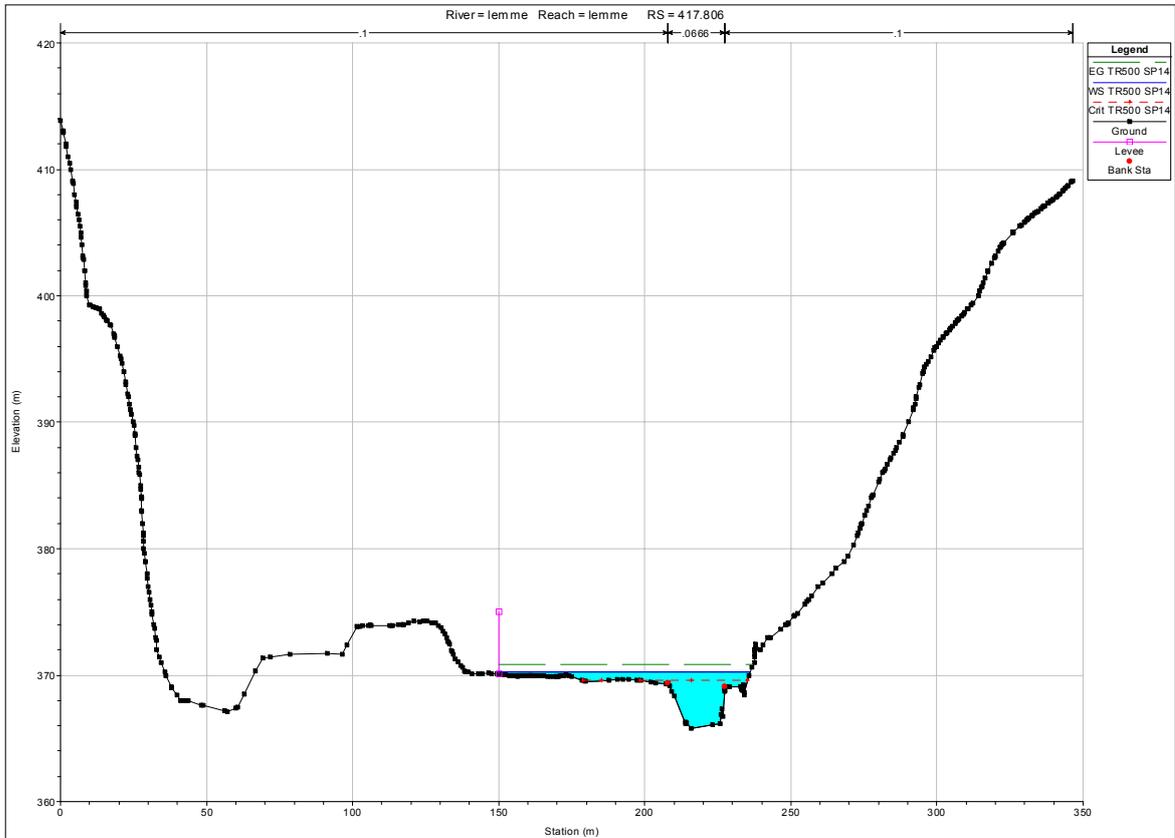


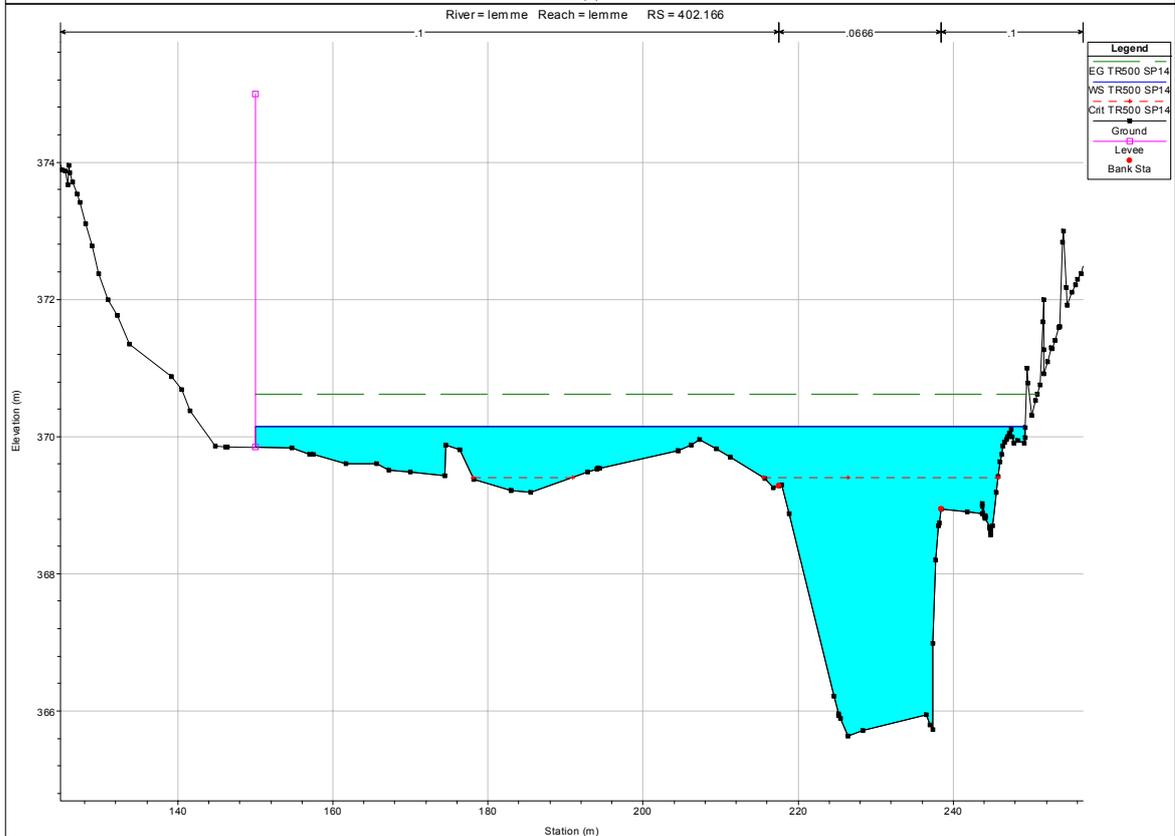
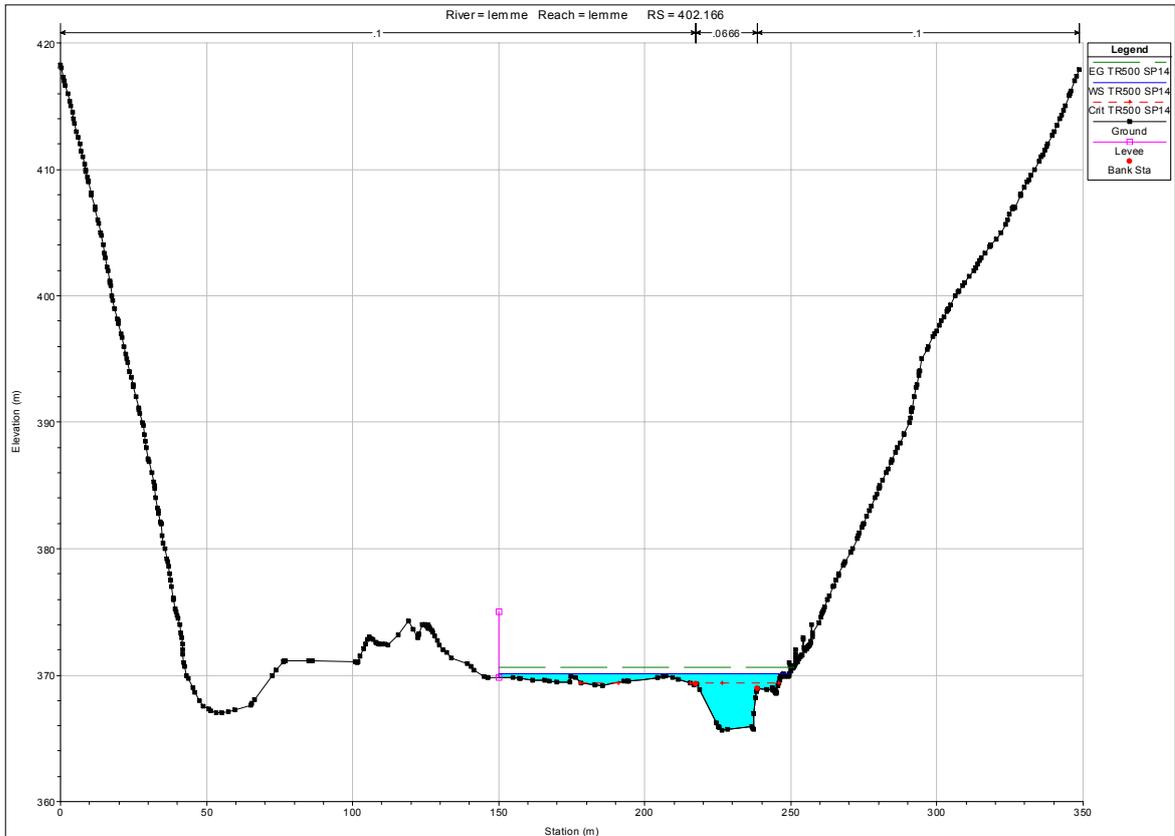


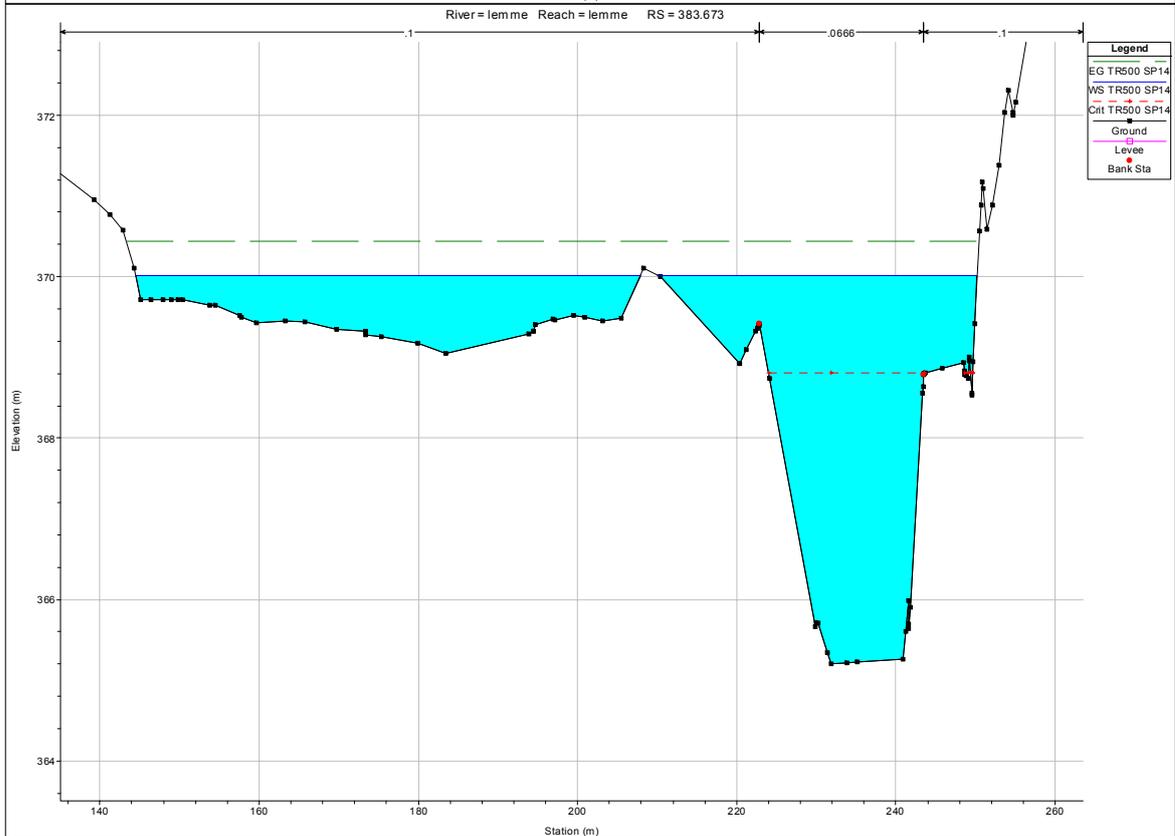
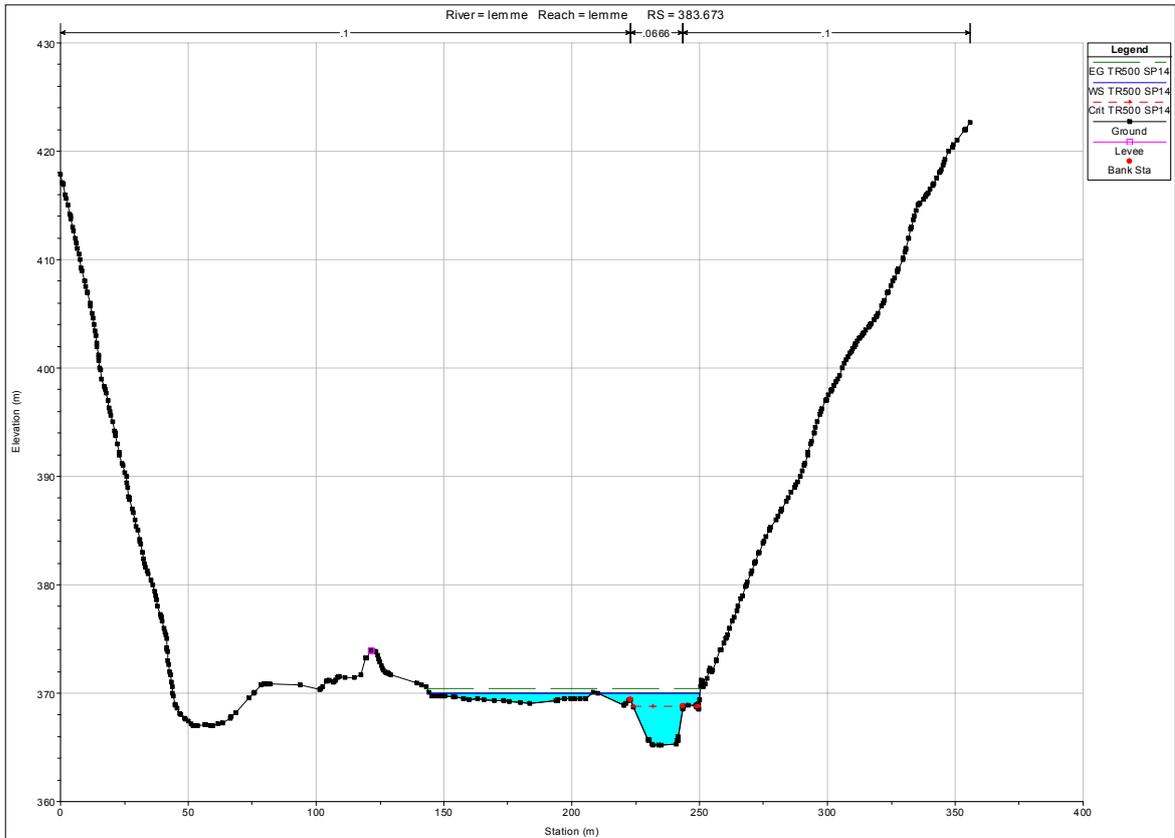


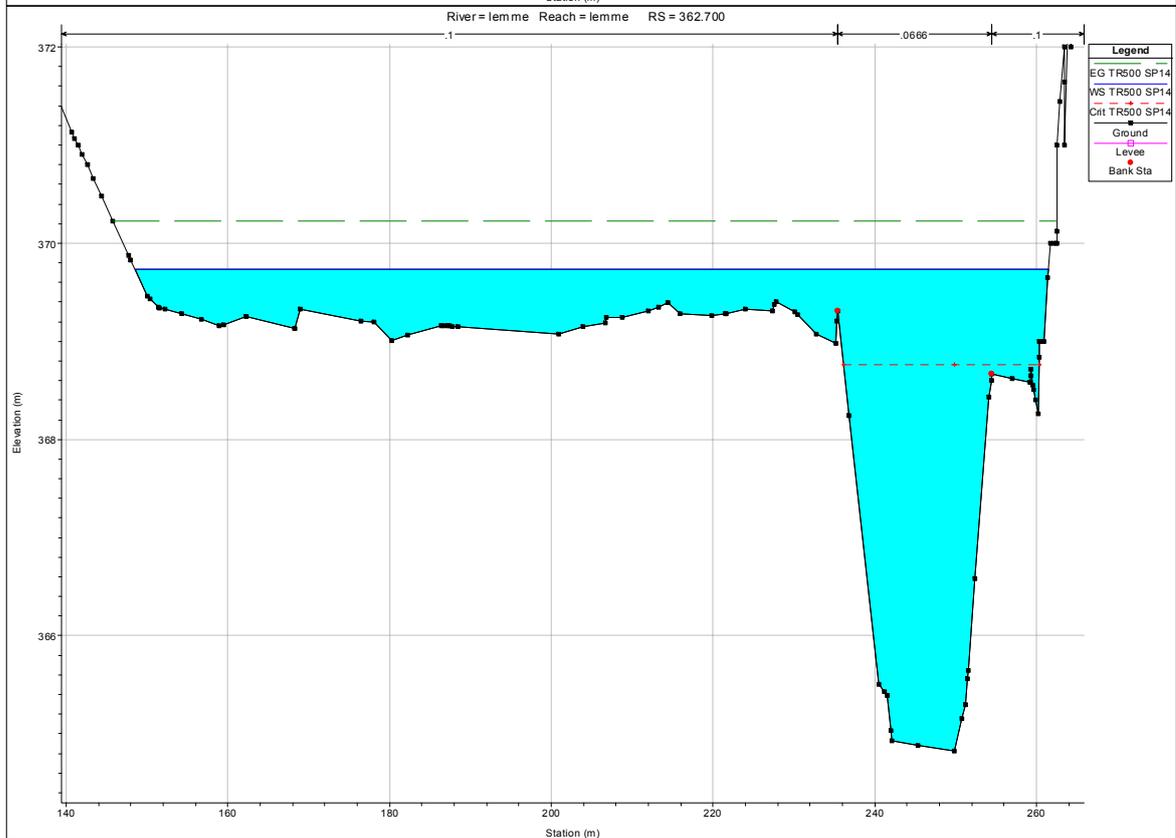
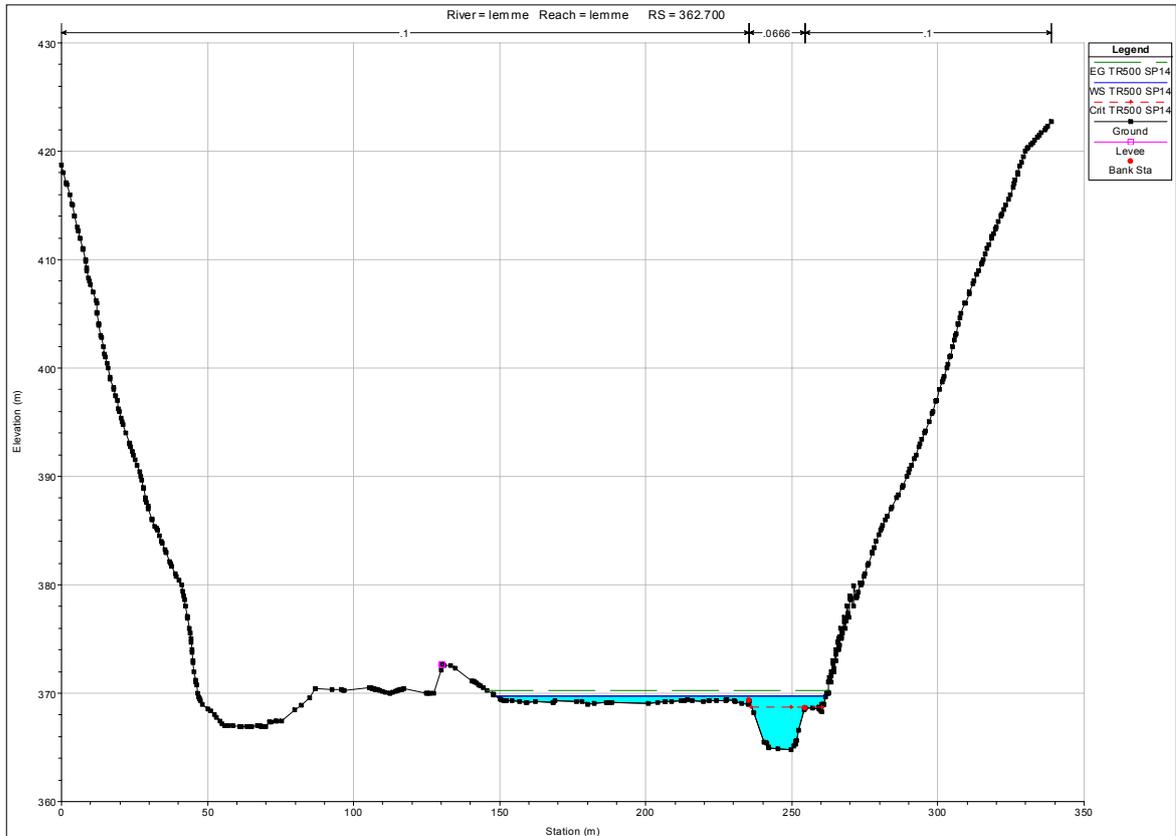


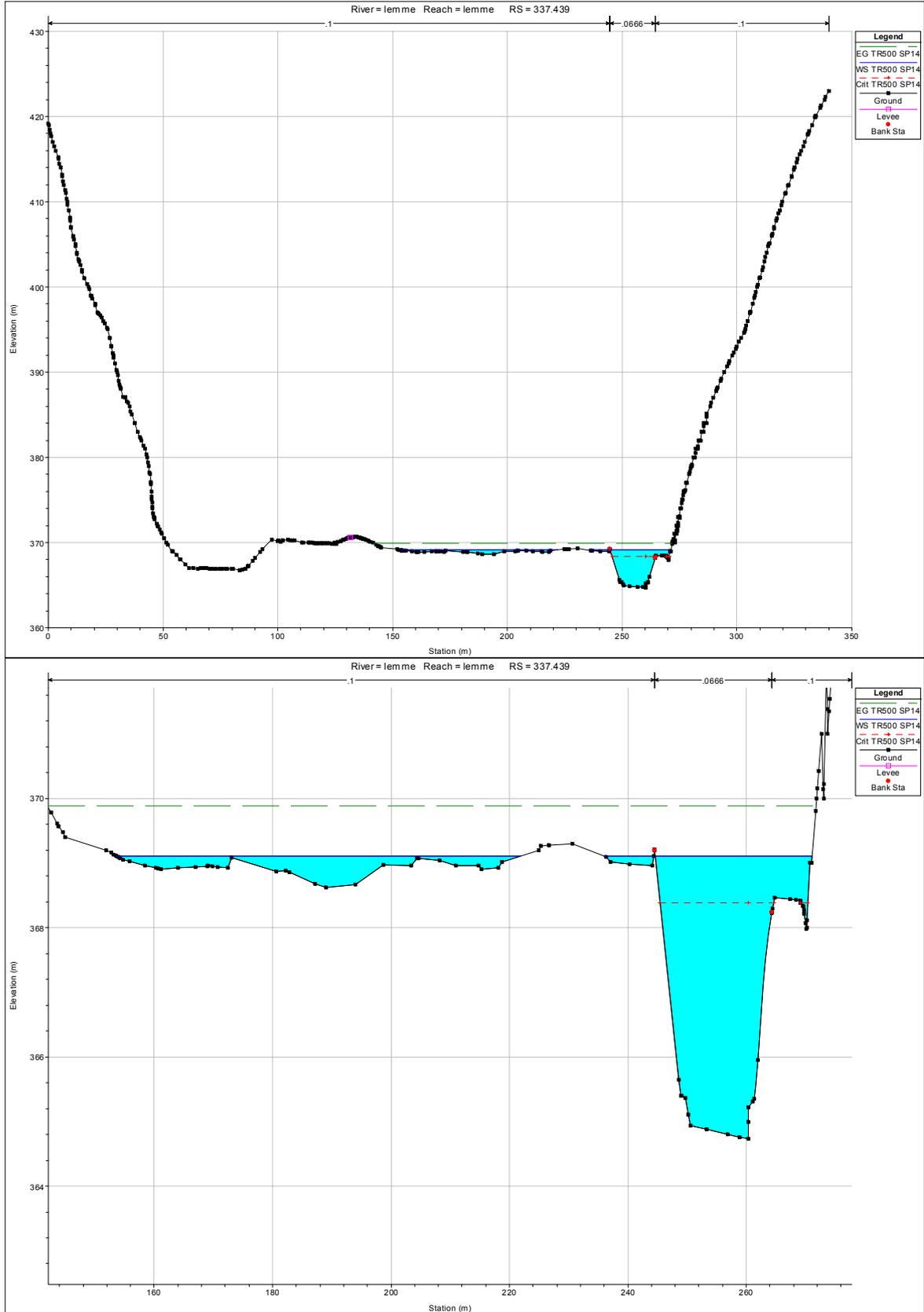


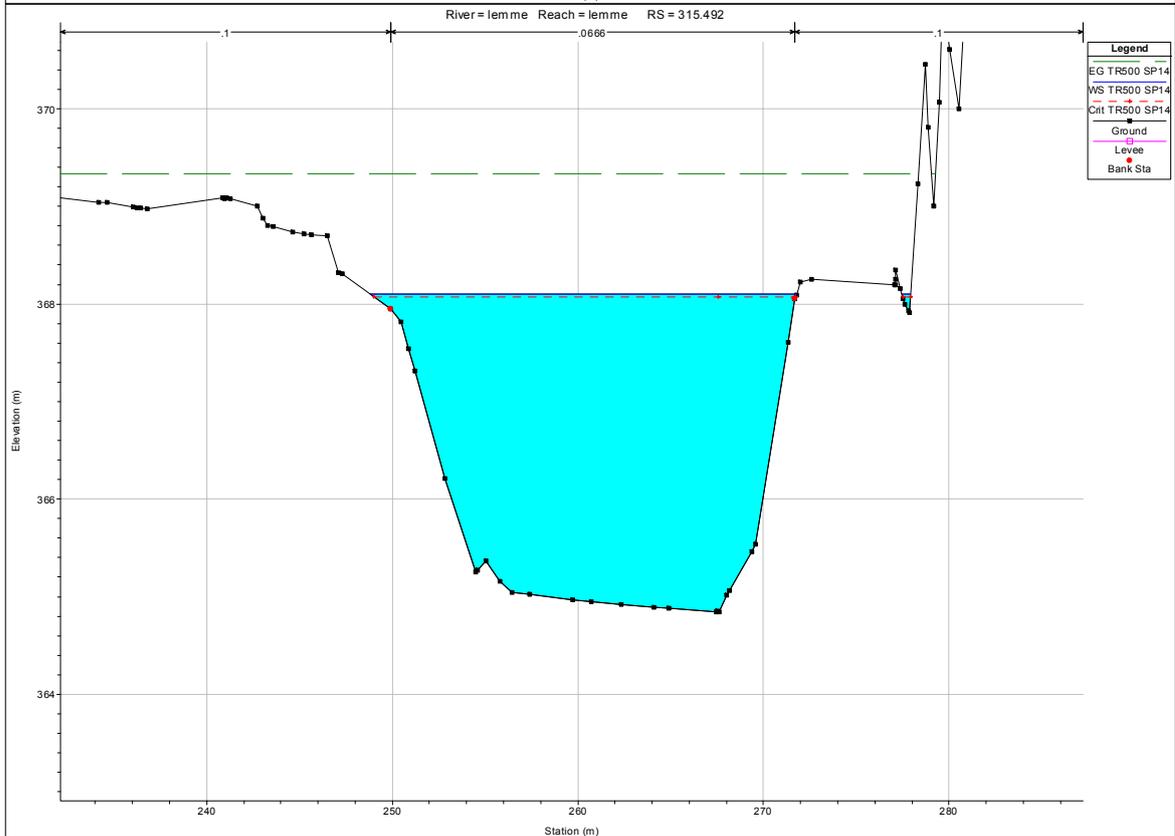
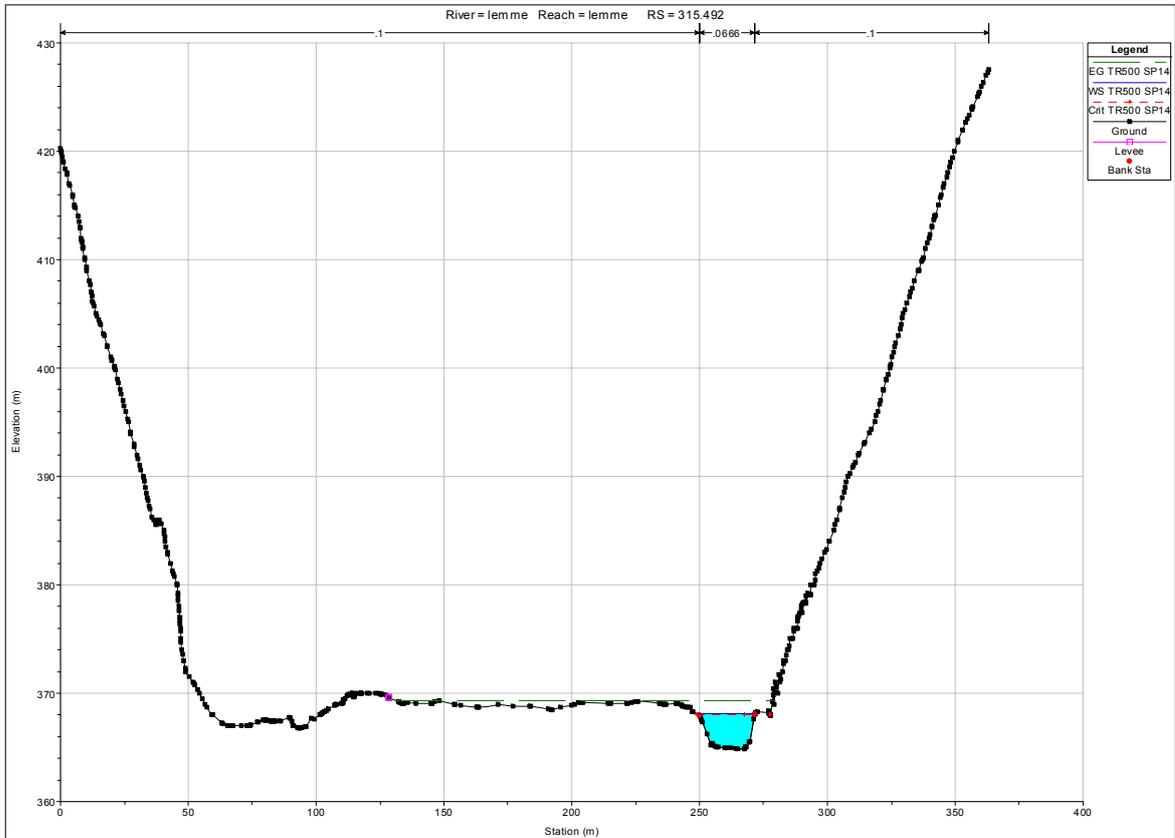


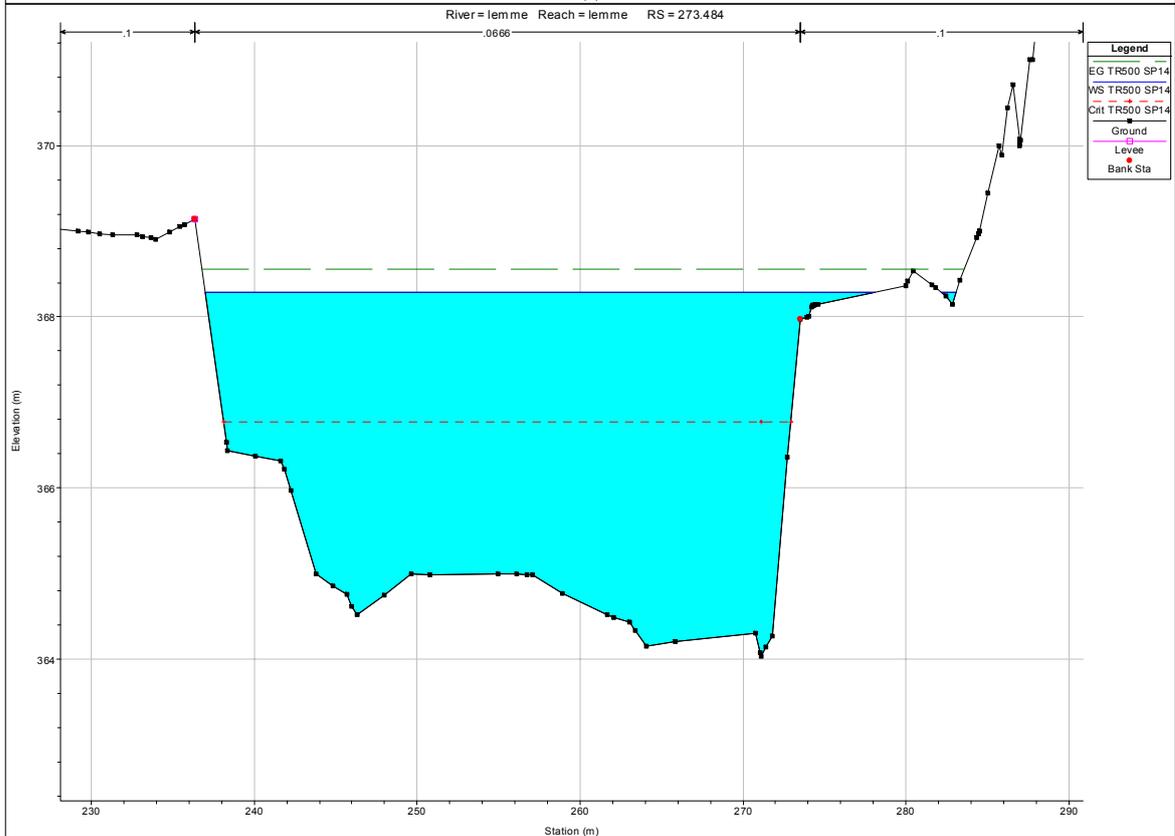
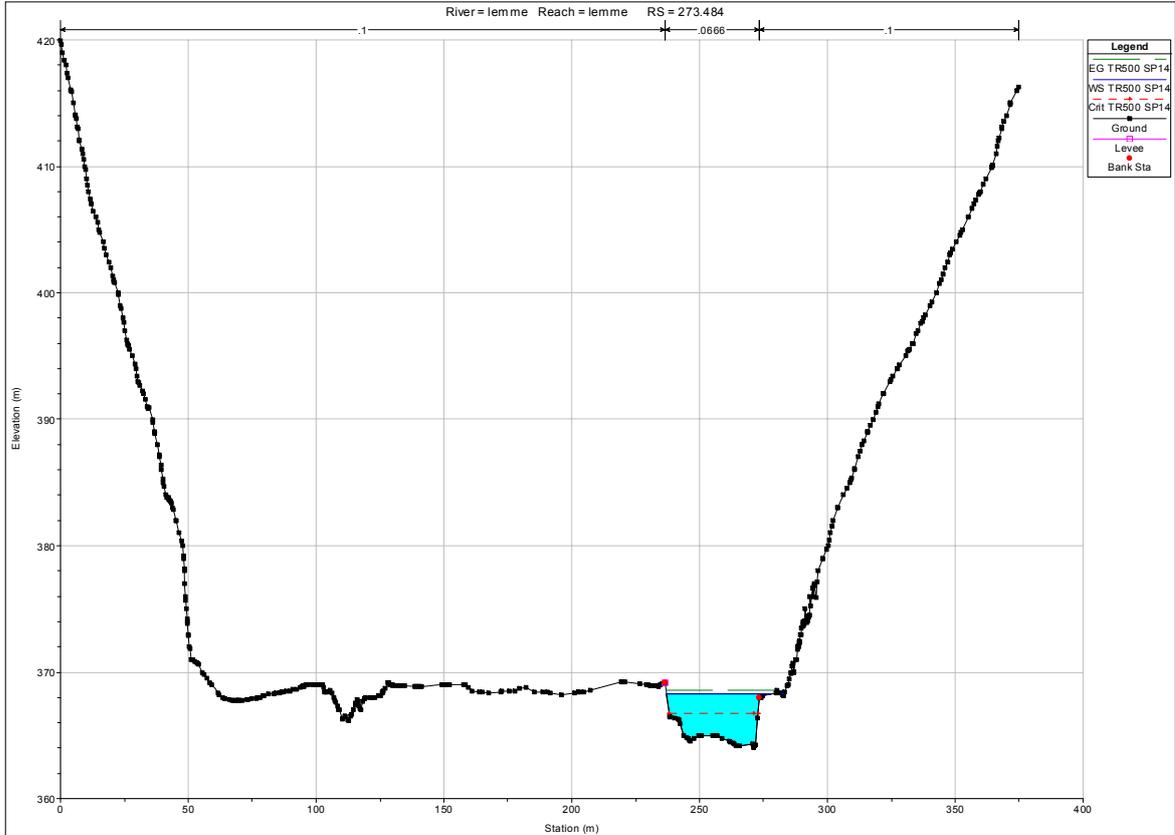


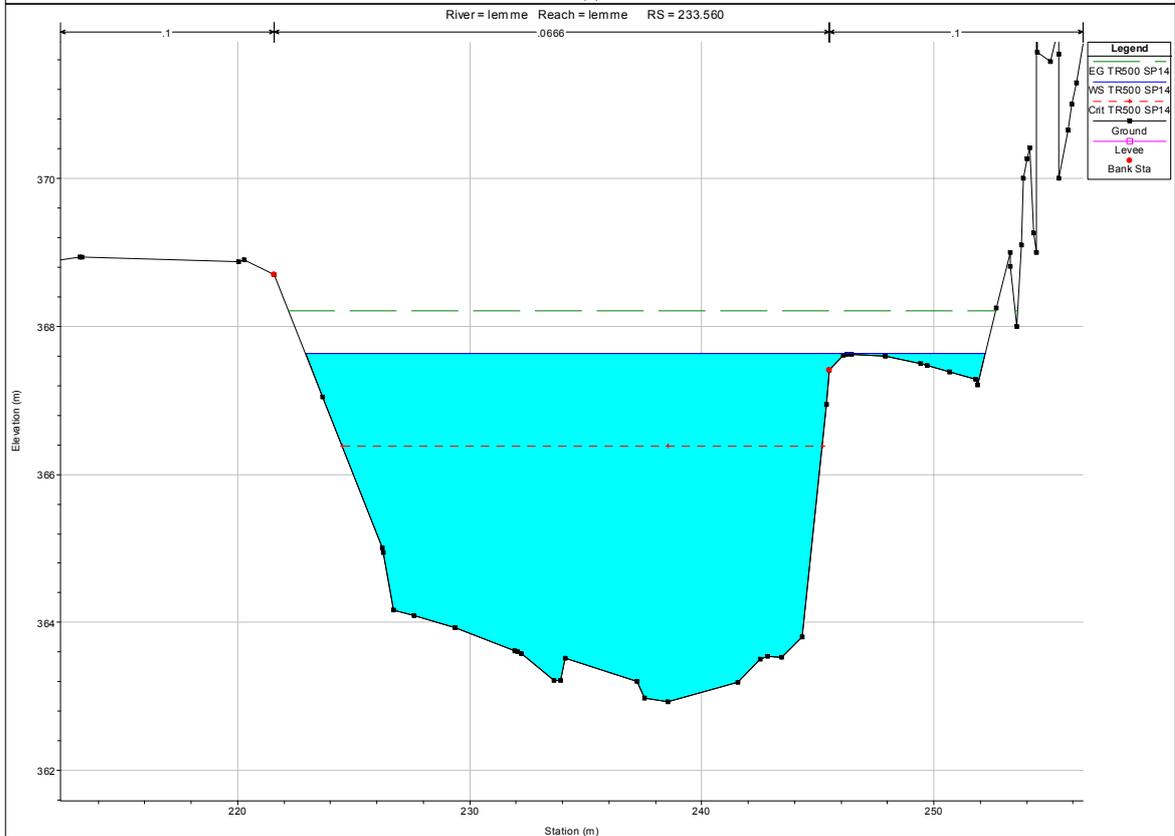
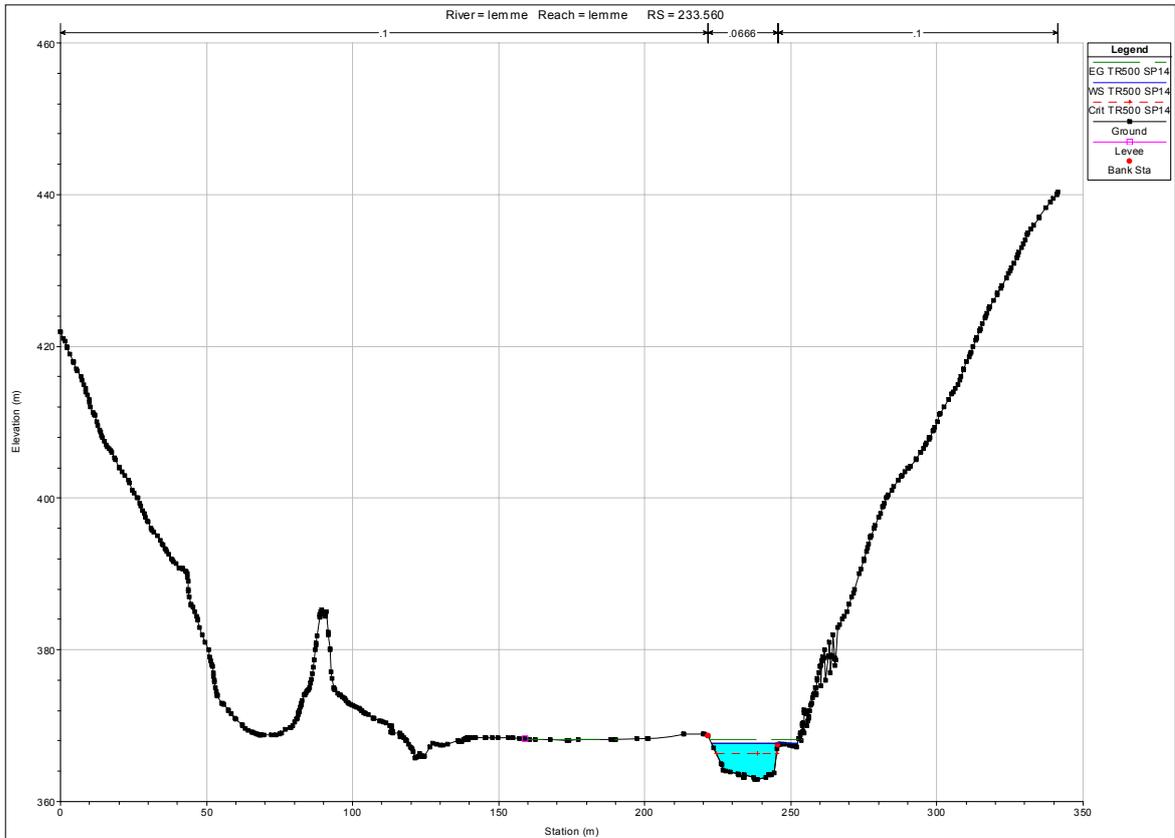


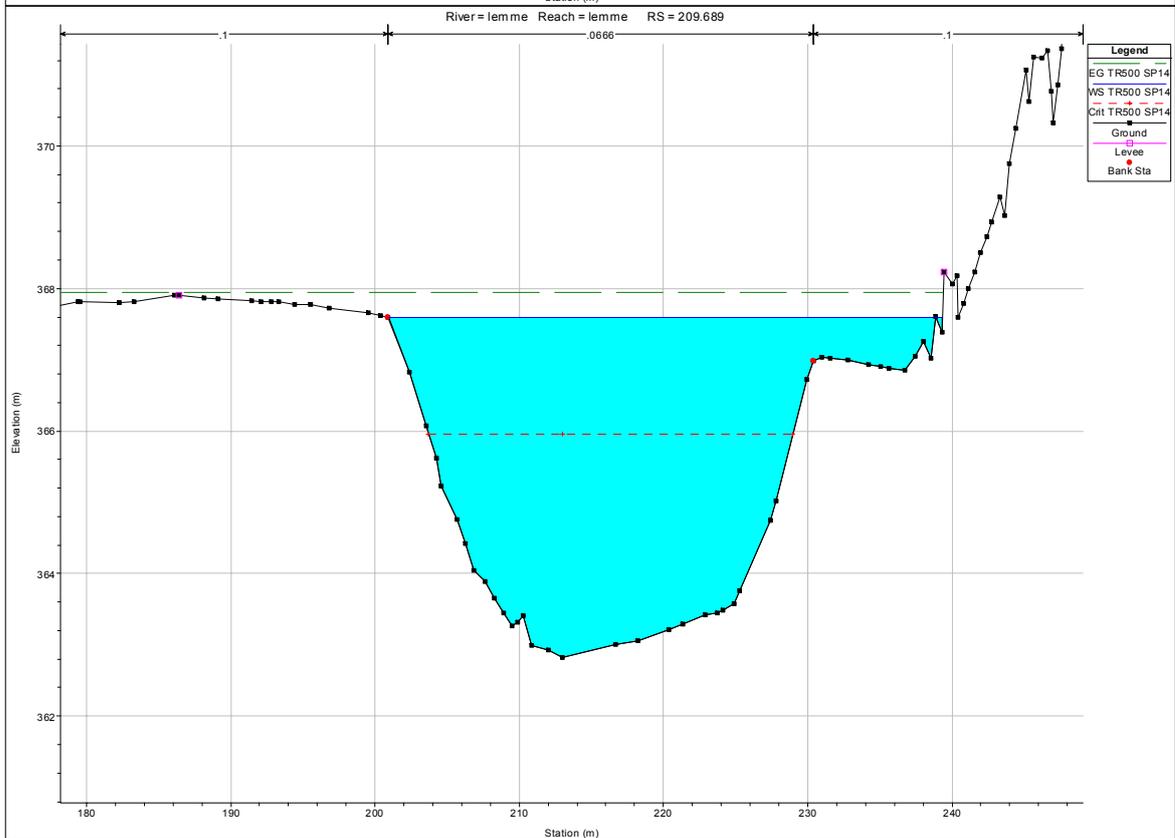
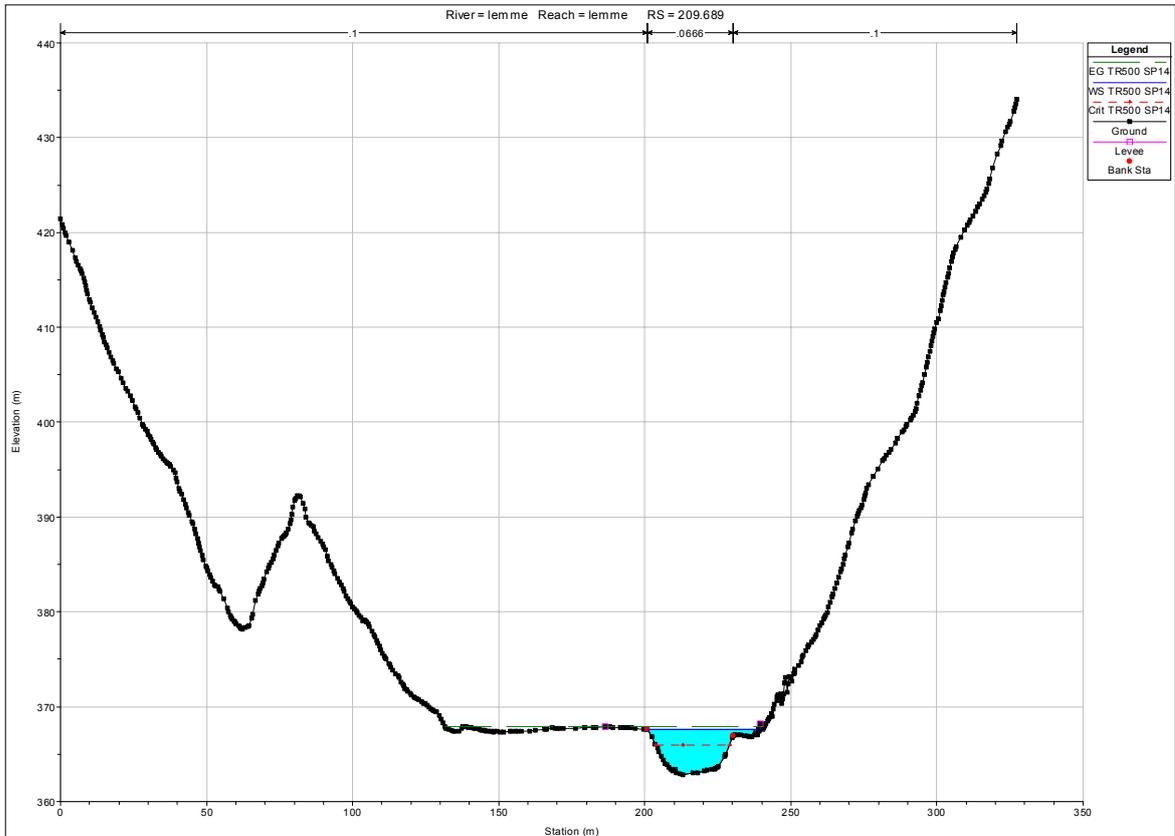


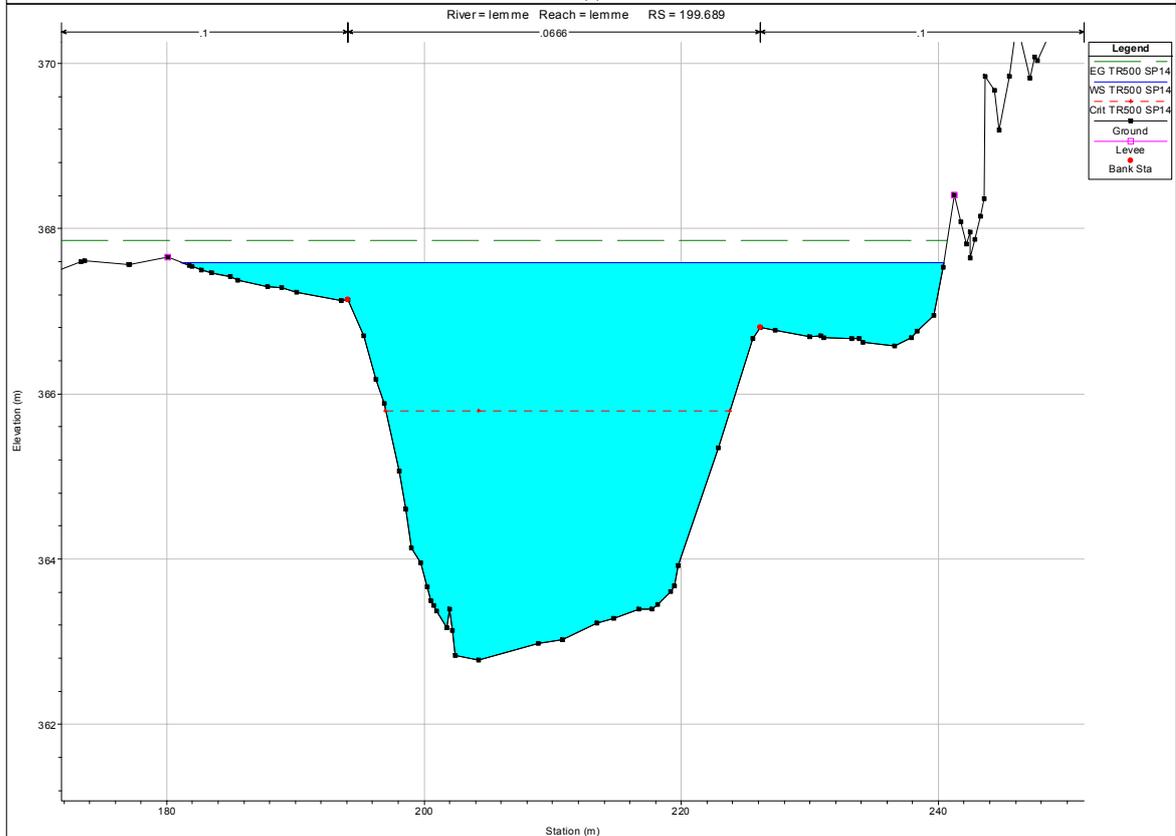
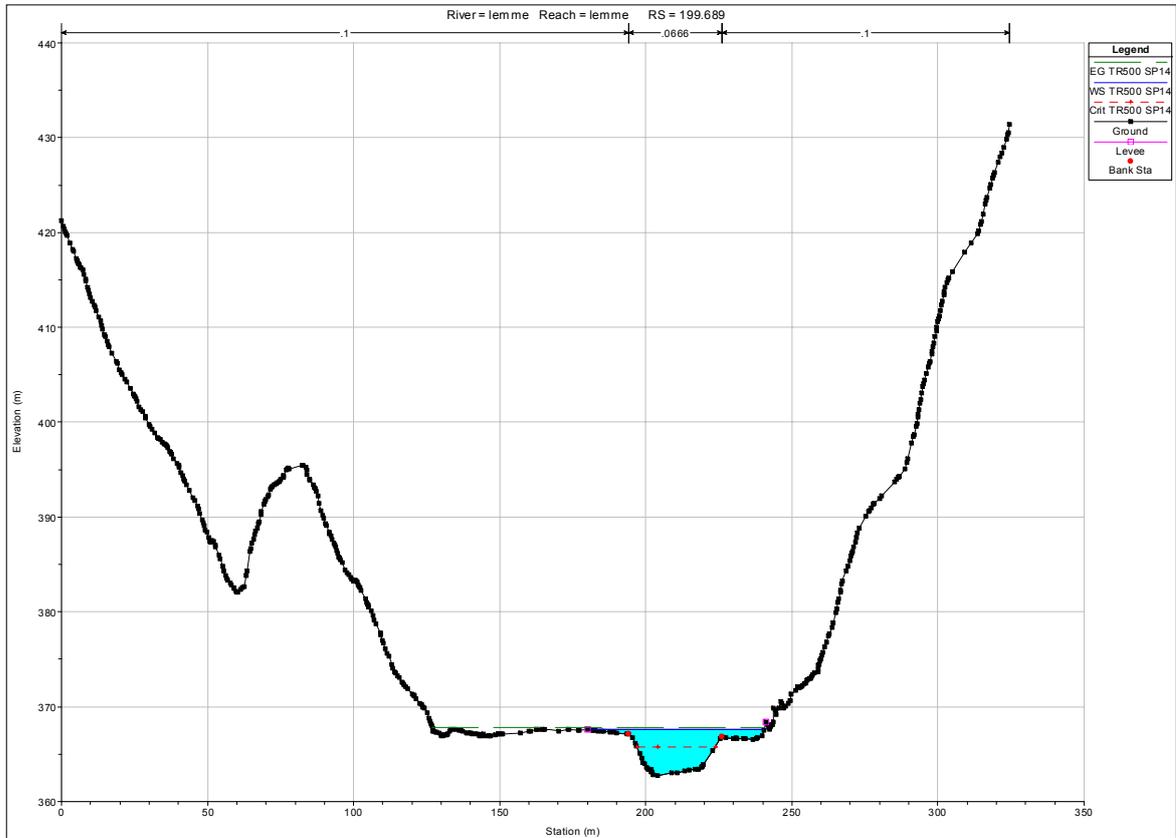


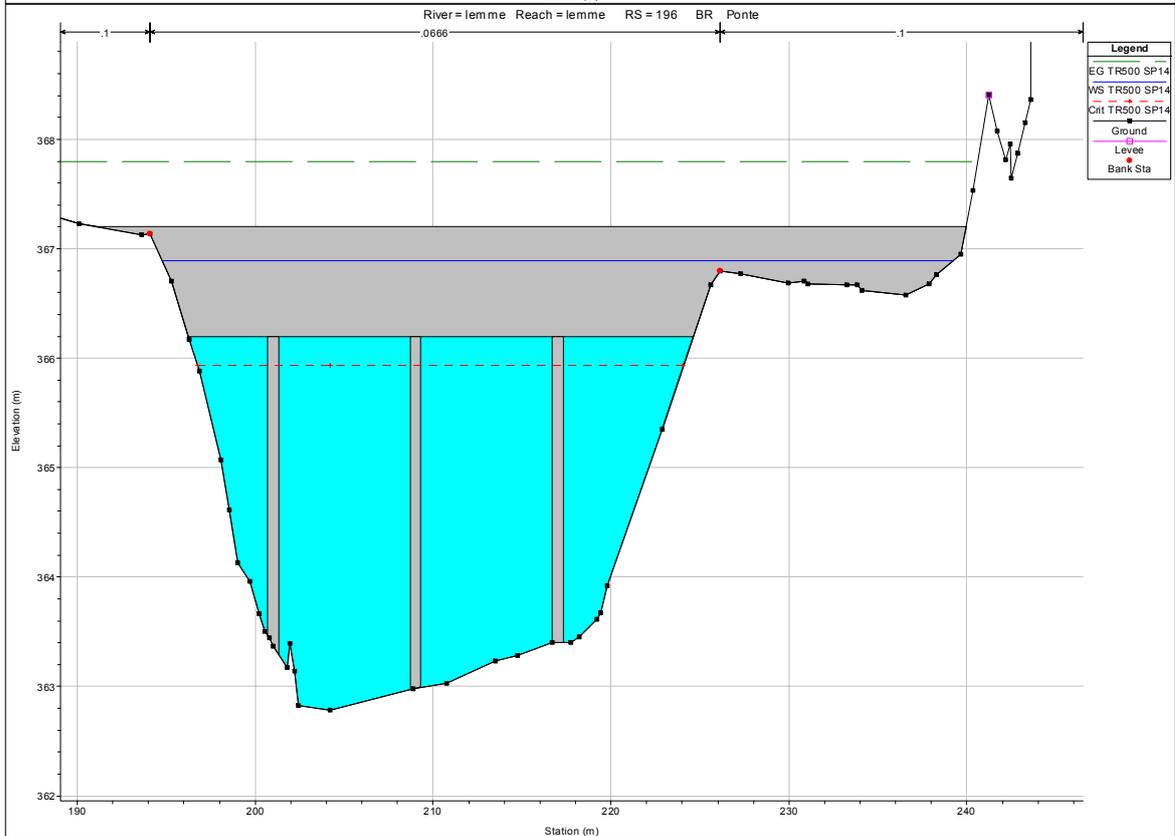
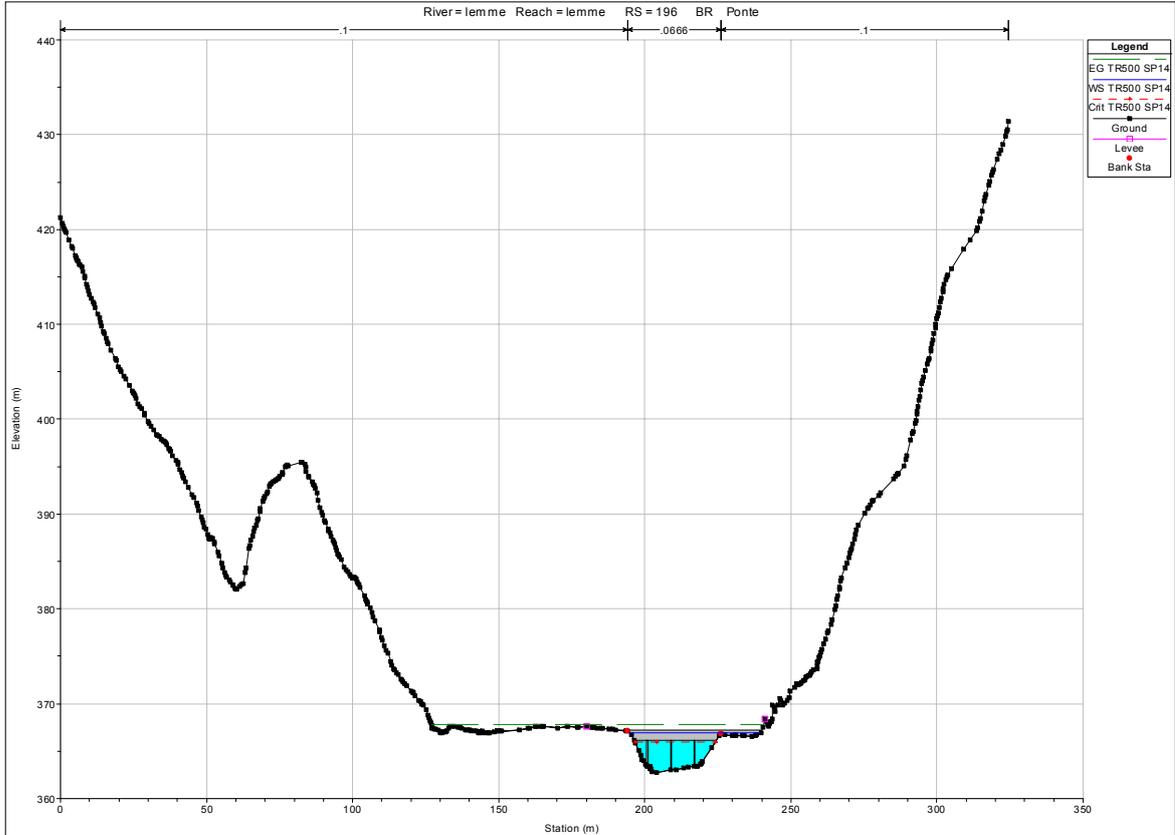


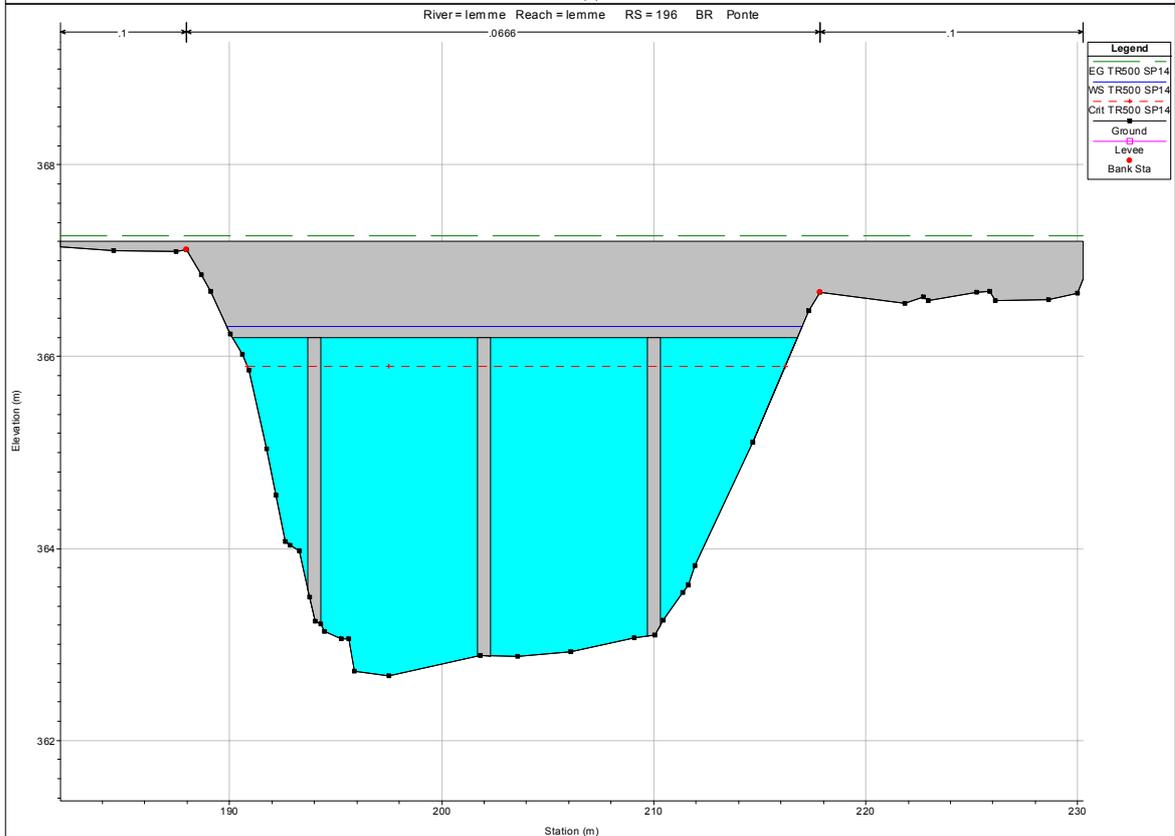
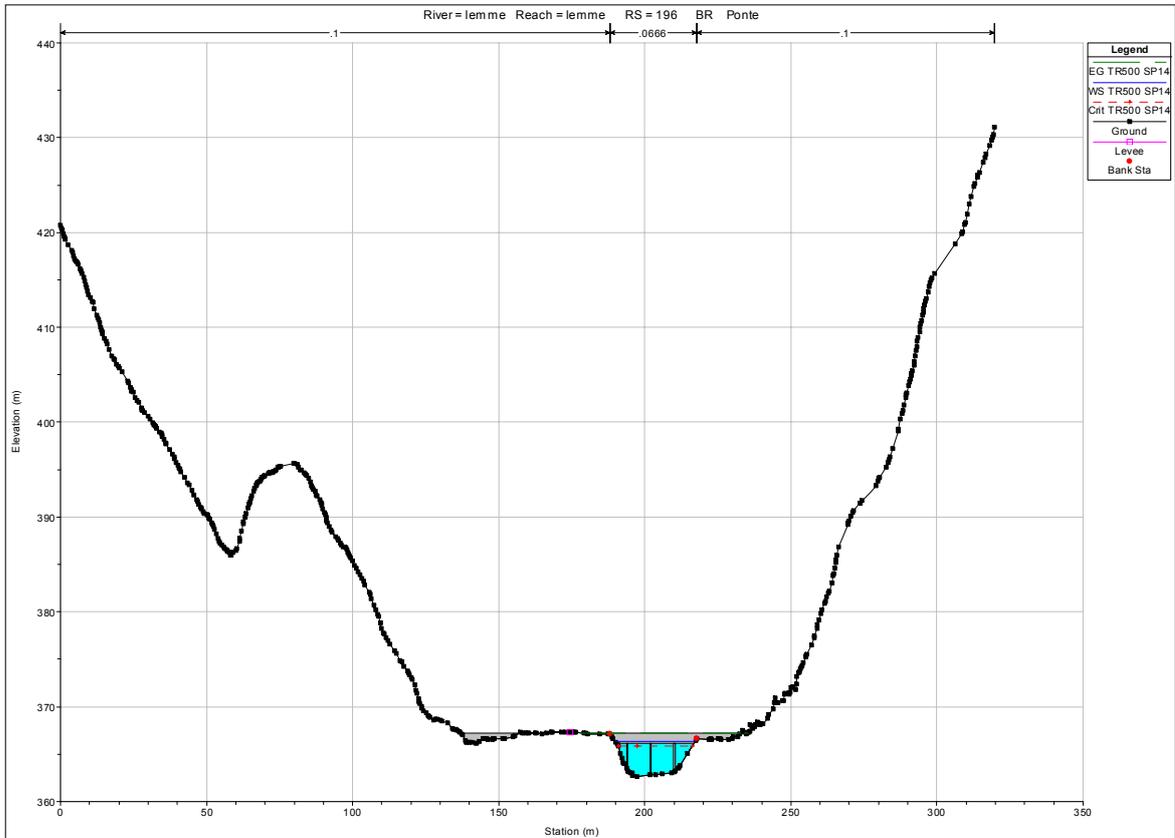


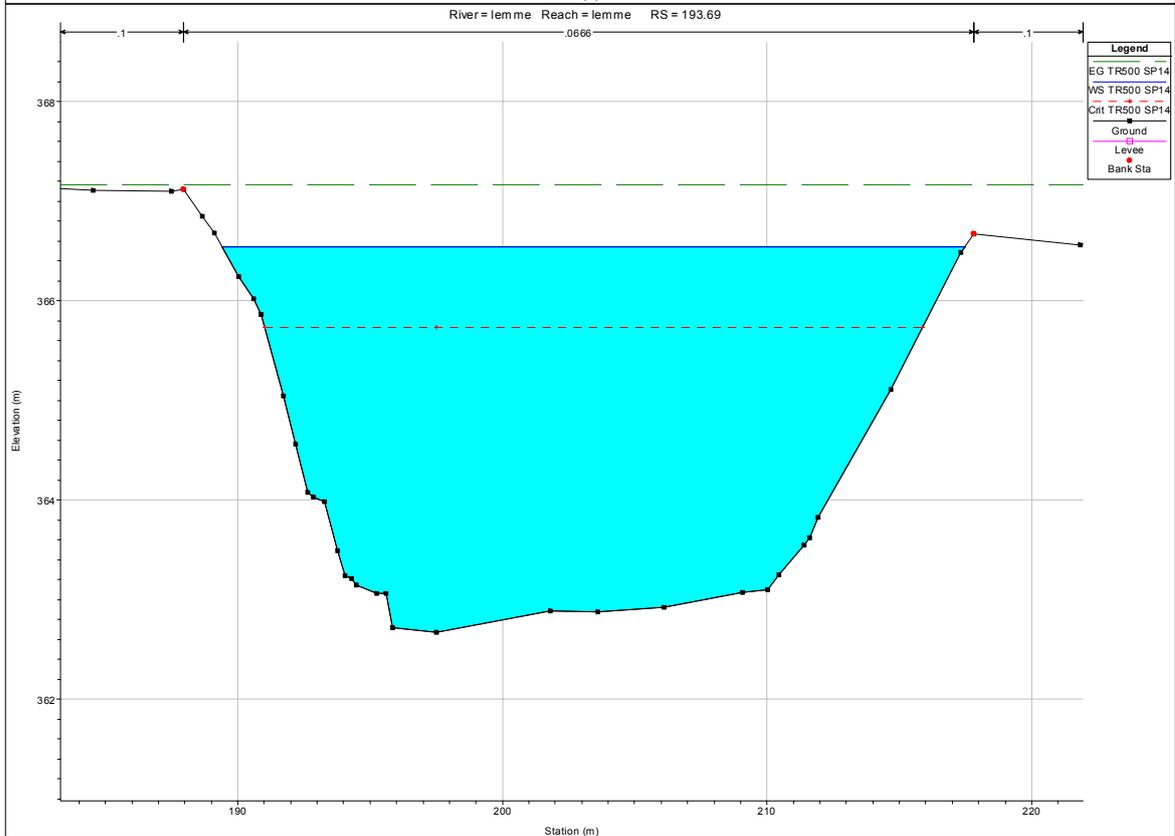
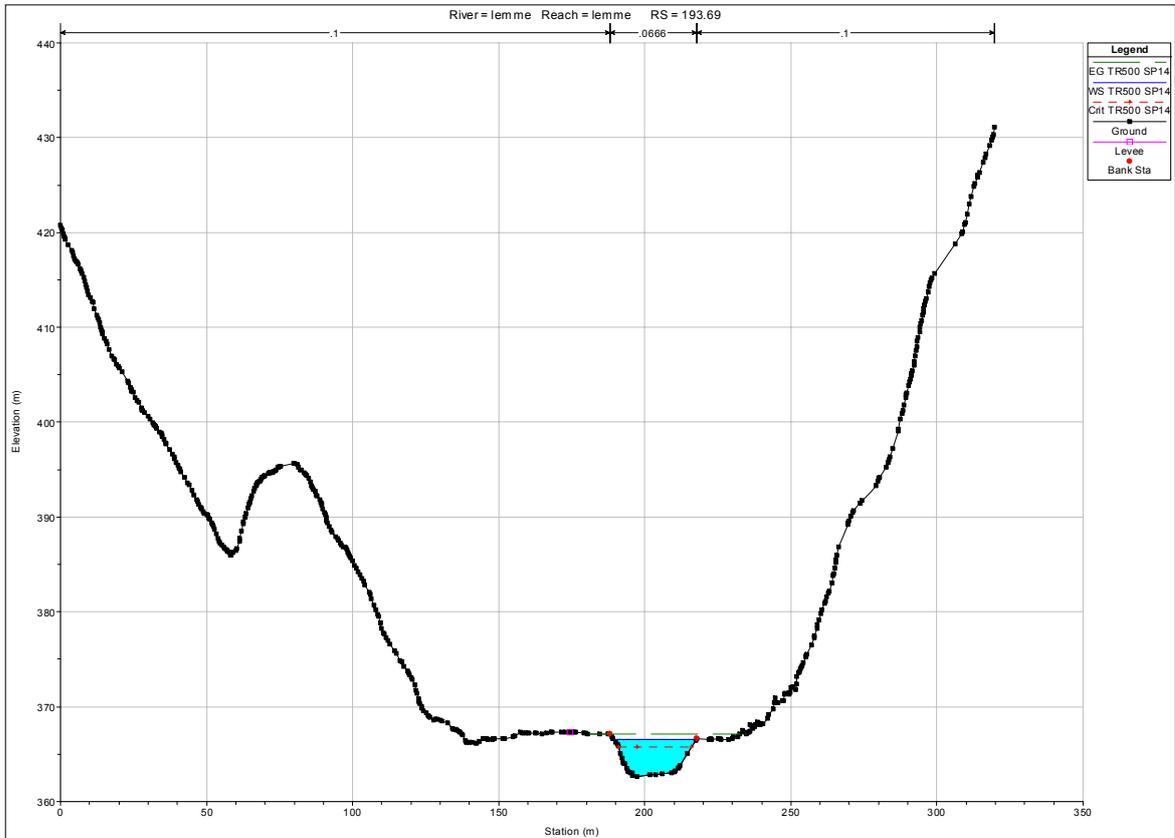


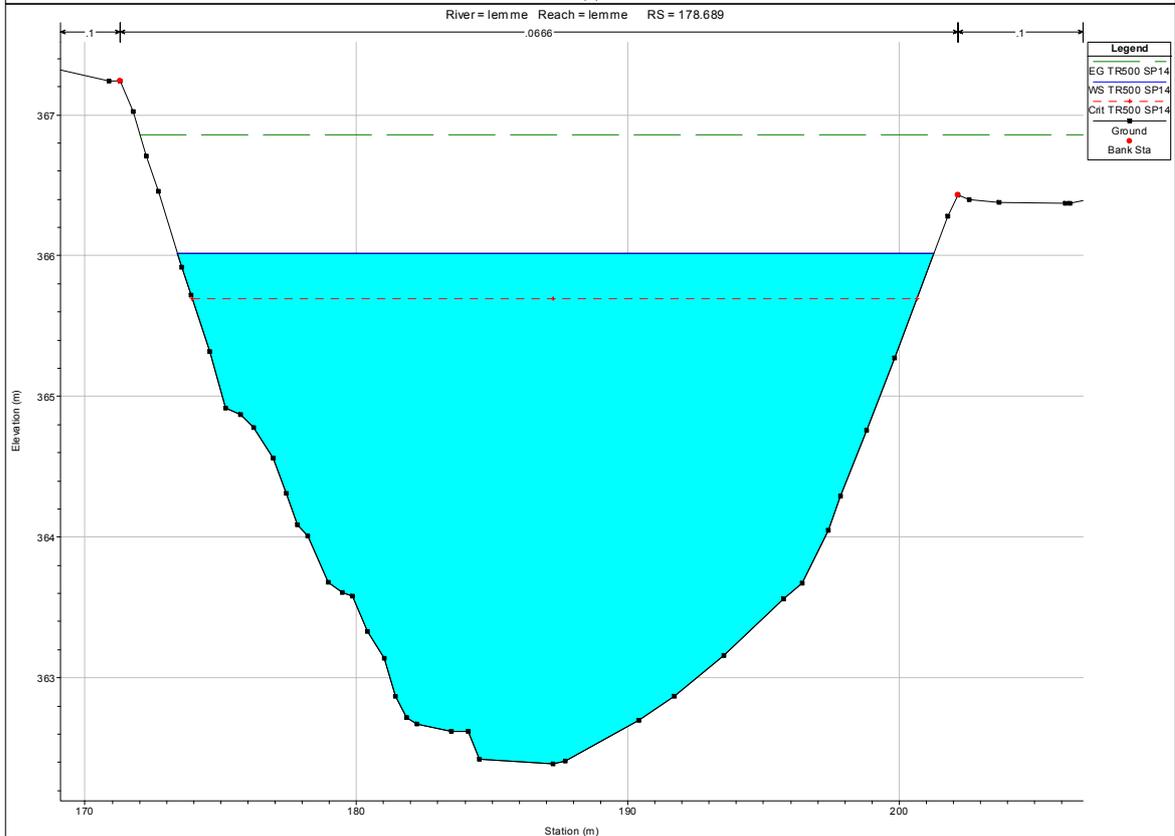
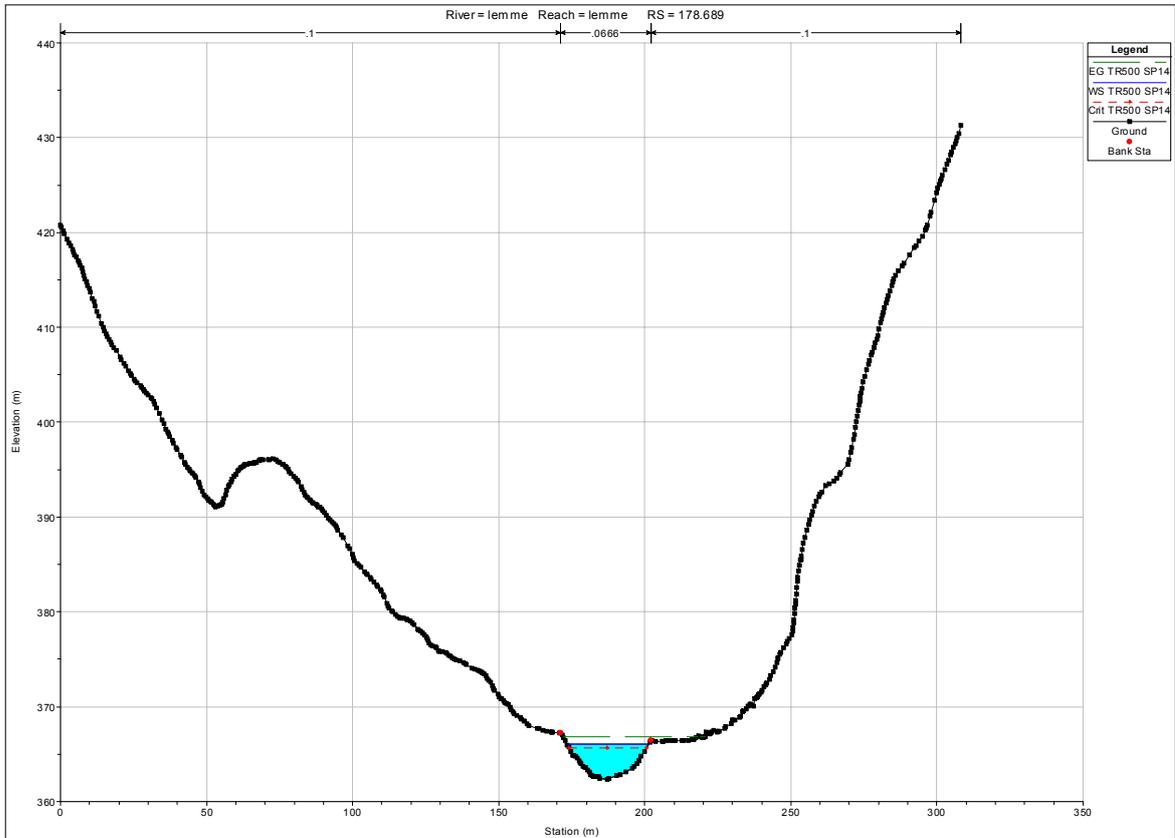


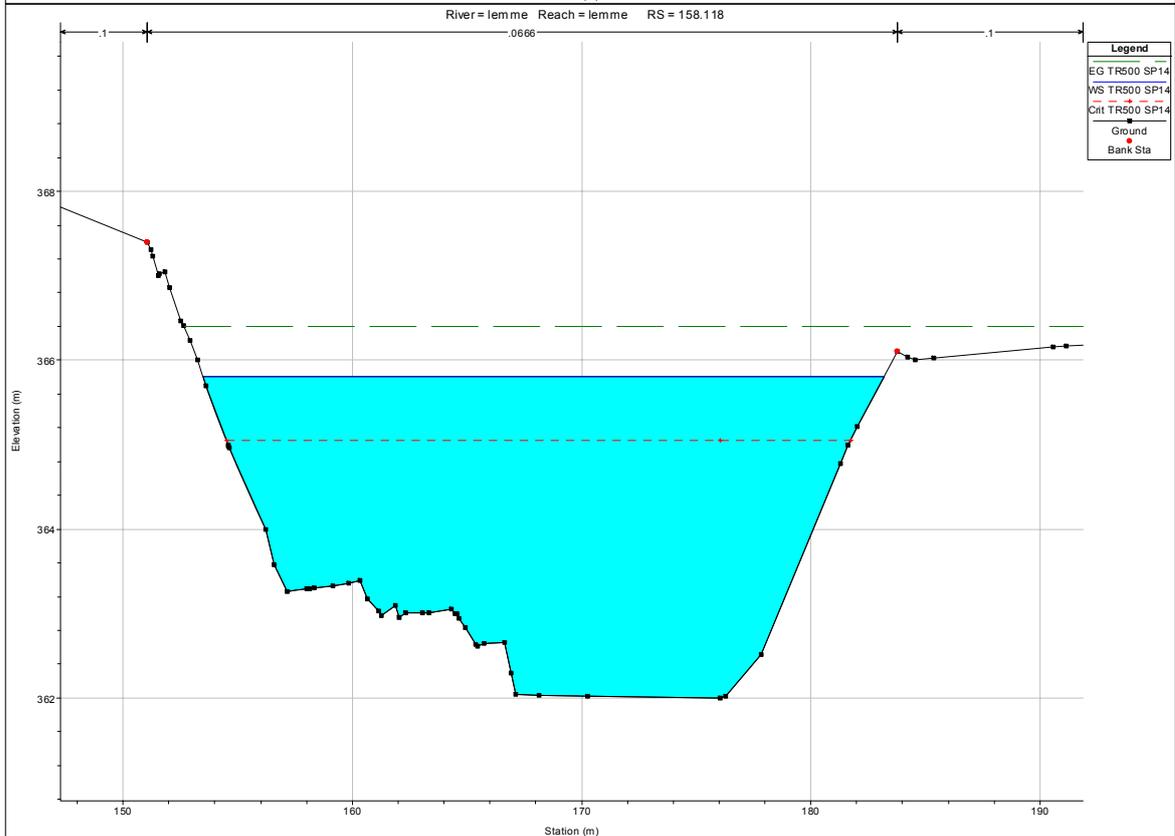
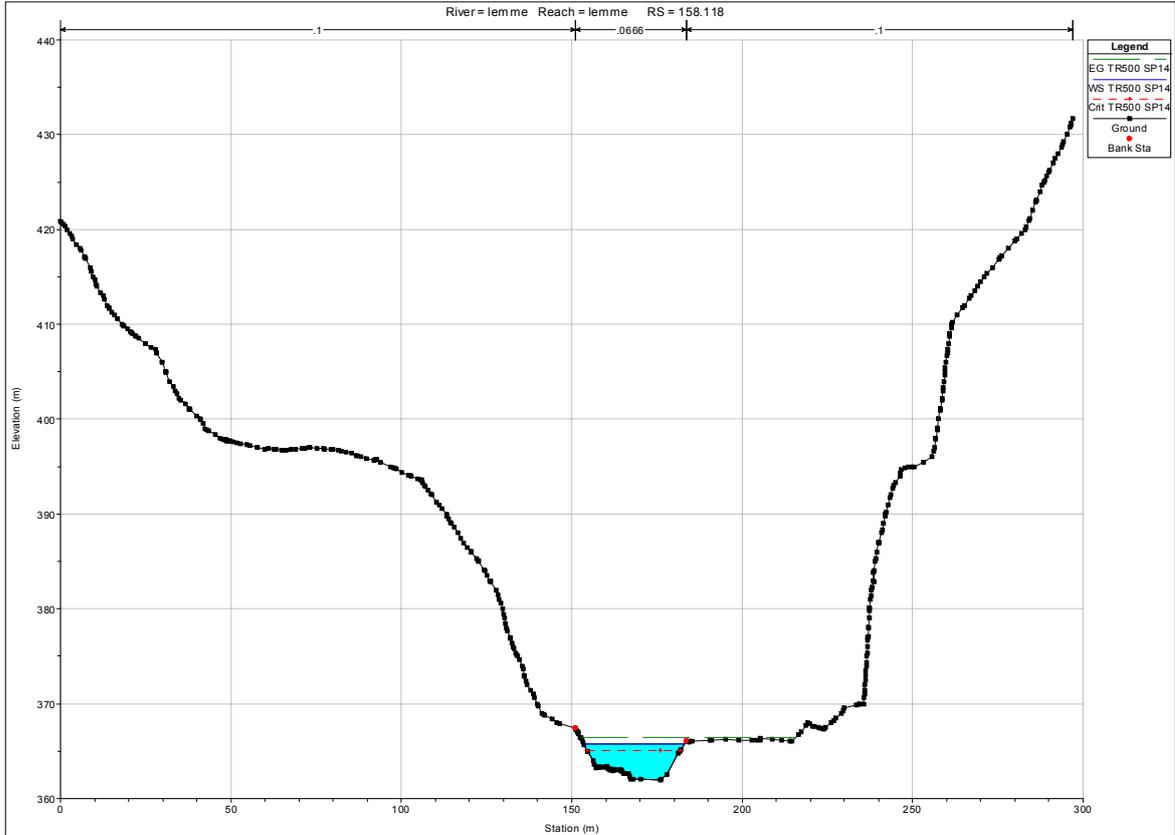


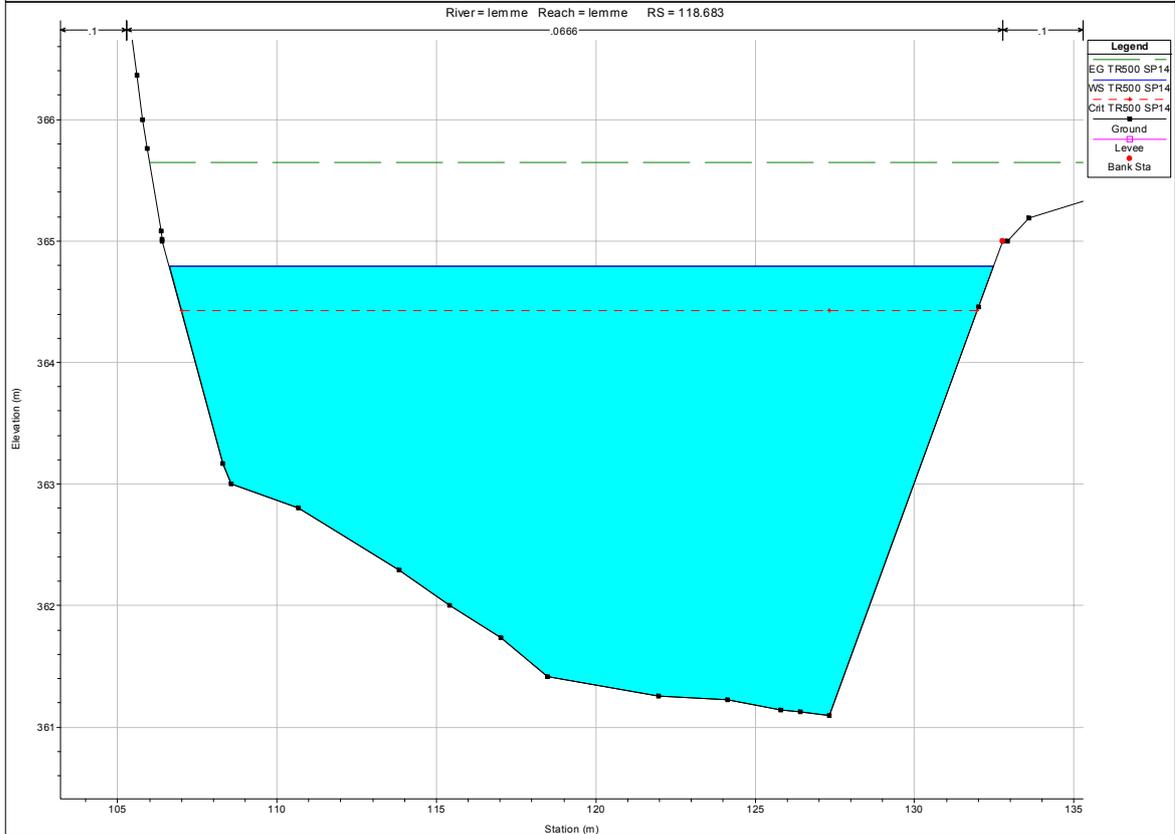
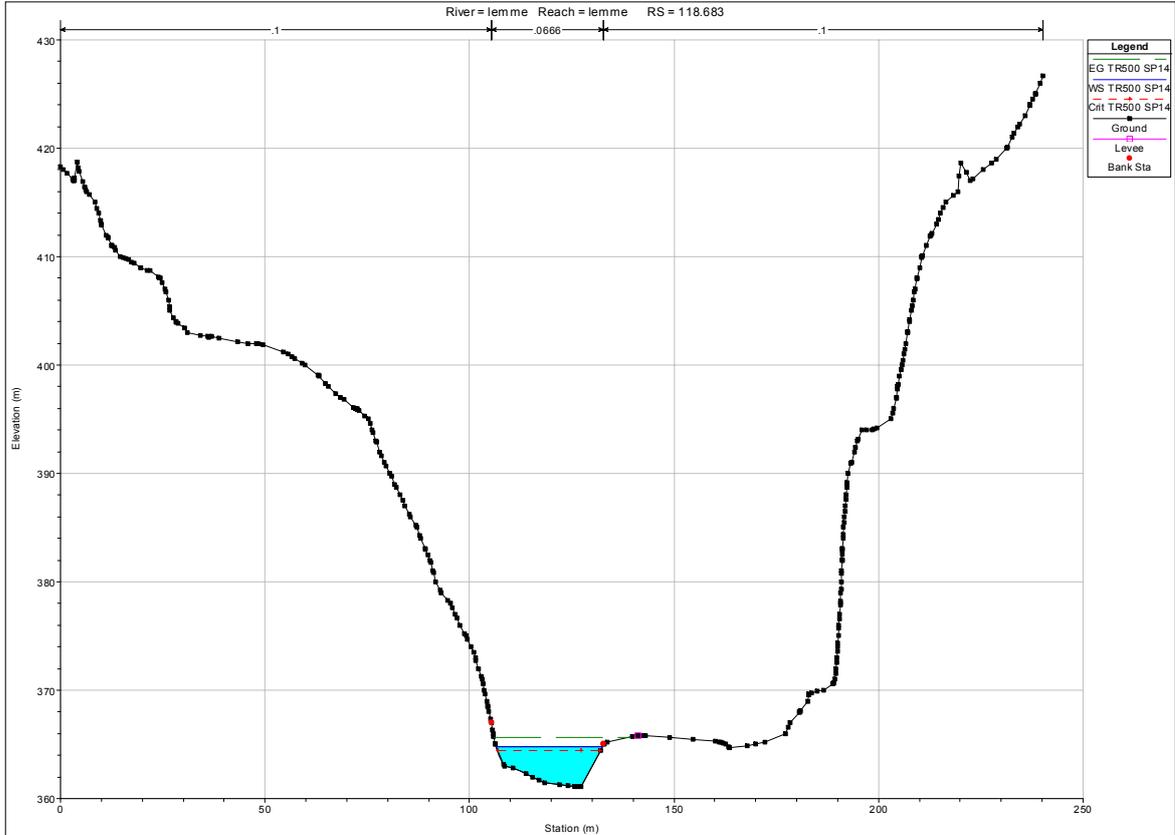


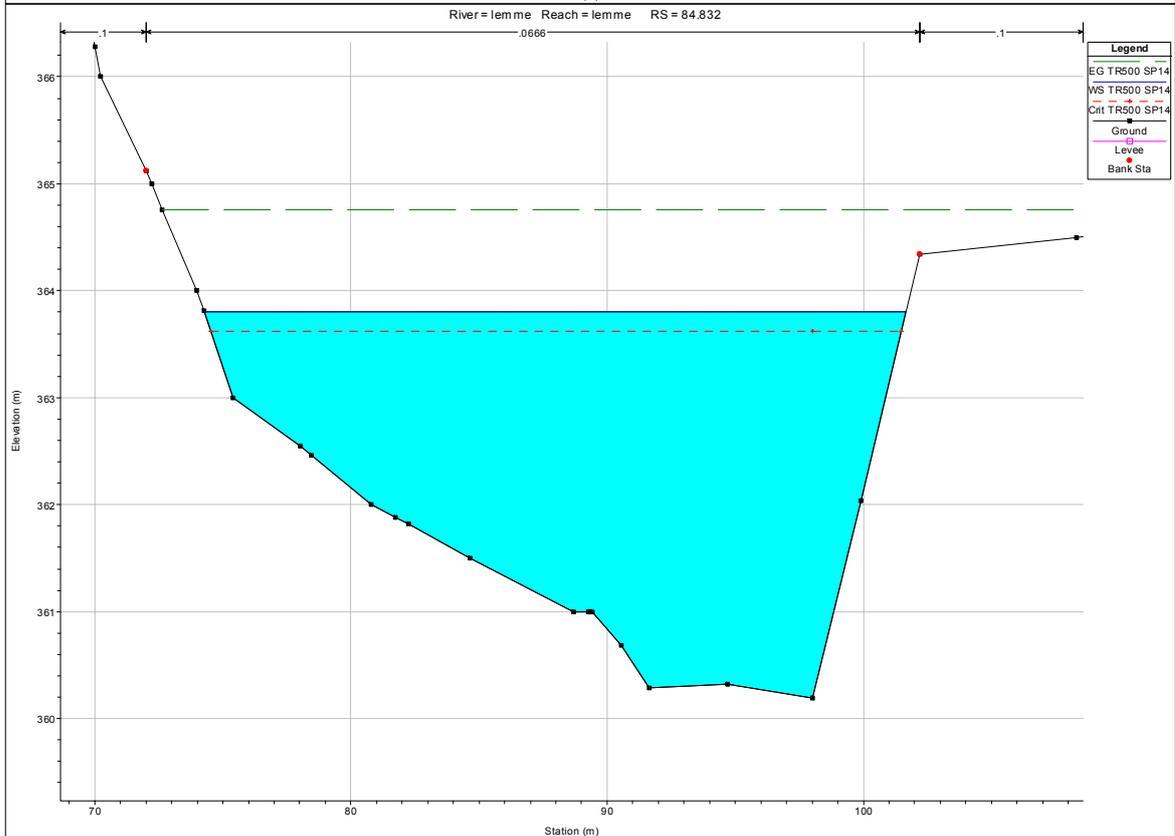
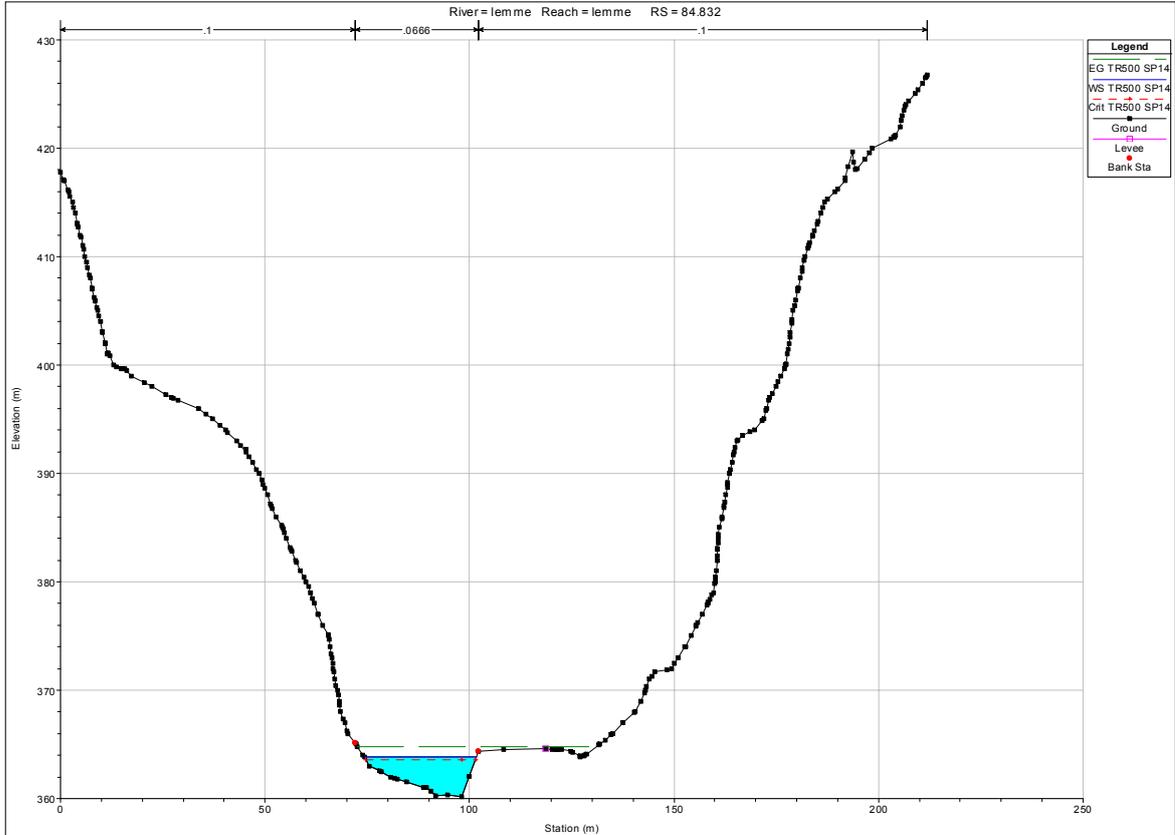


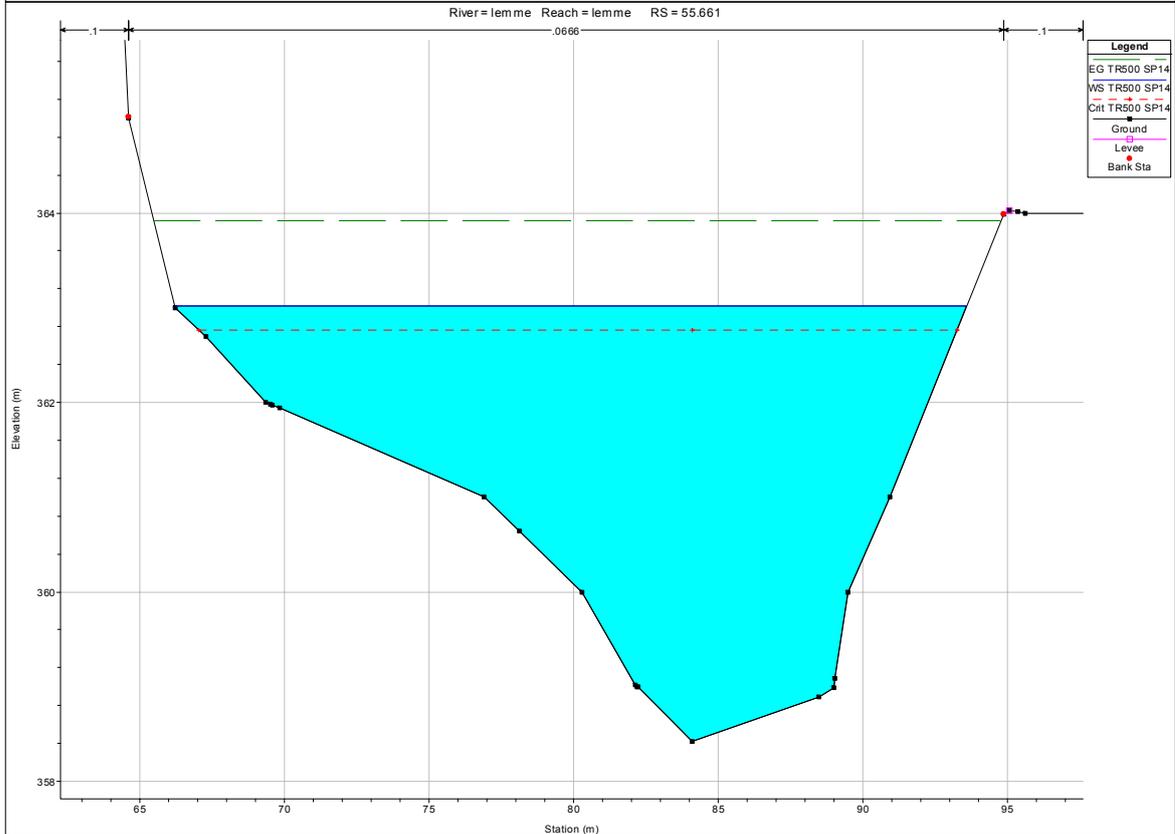
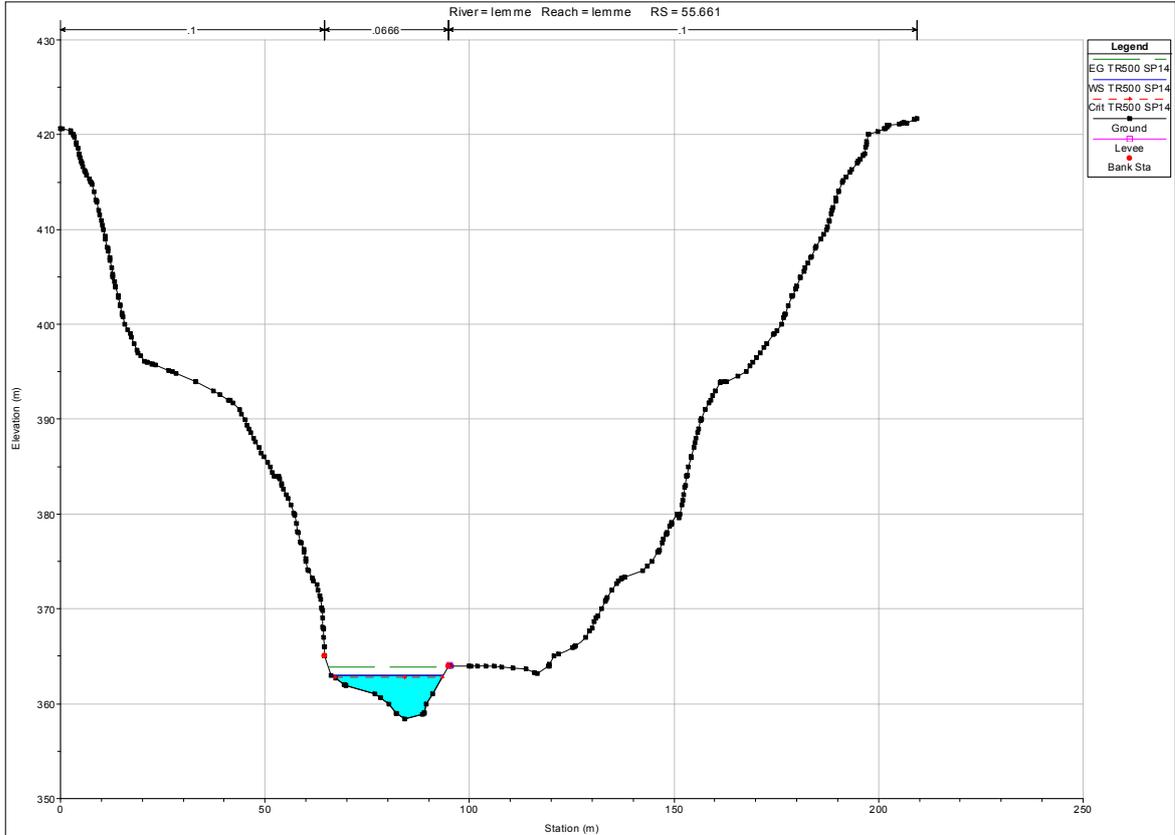


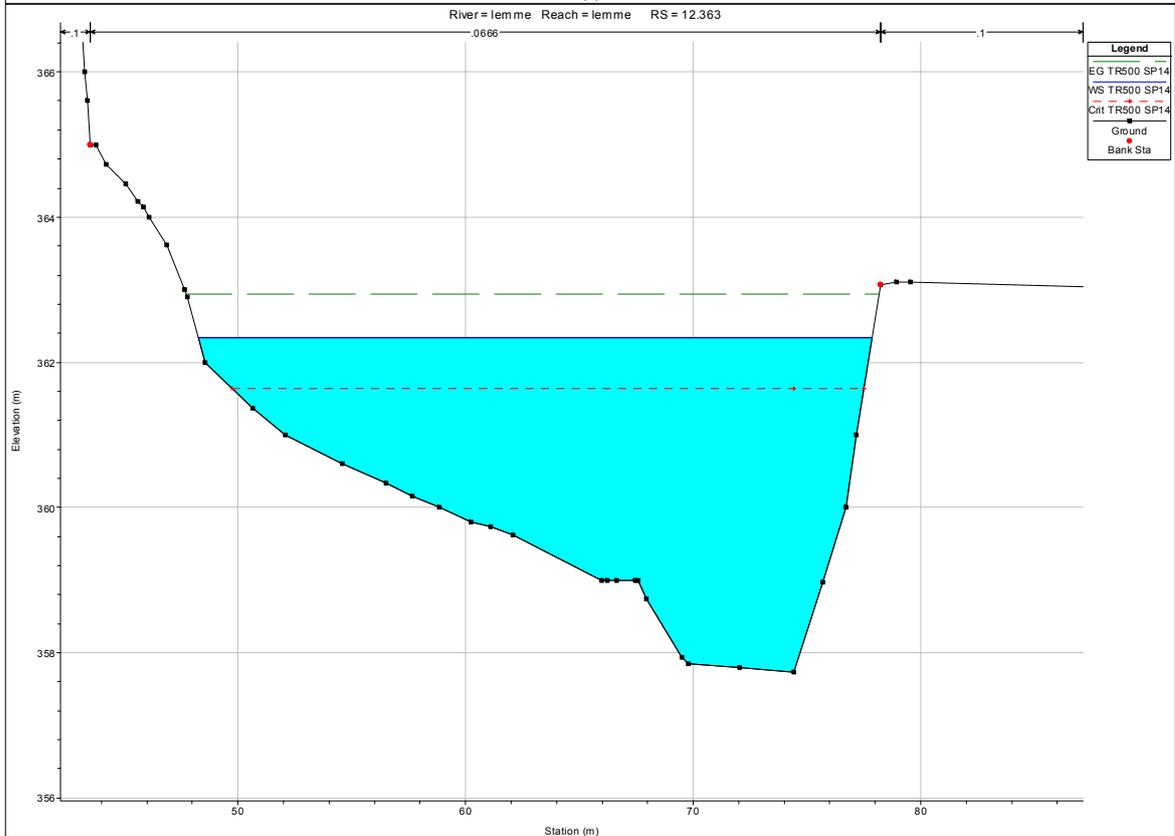
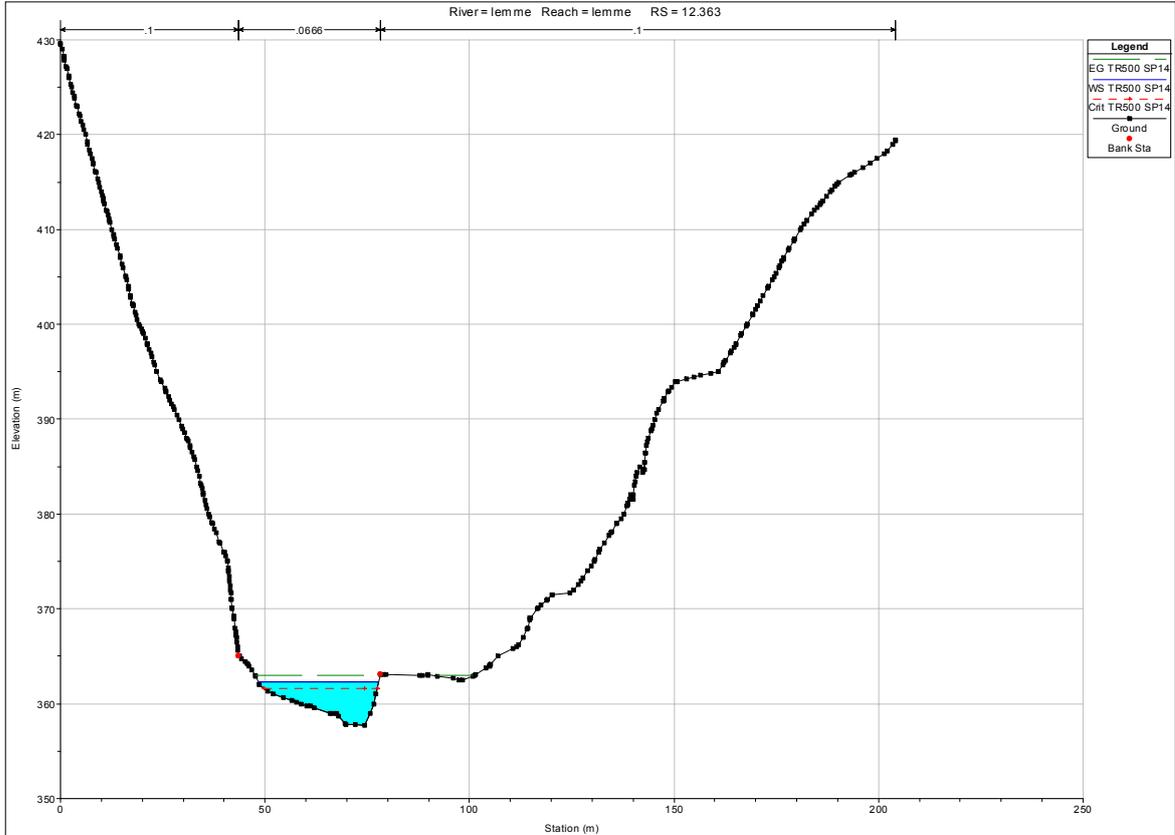












<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme</p>	<p>Foglio 135 di 226</p>

**ALLEGATO 4**  
 Risultati modello monodimensionale  
 Opere provvisorie in alveo  
 Stato di fatto e stato di progetto  
 TR=2 anni

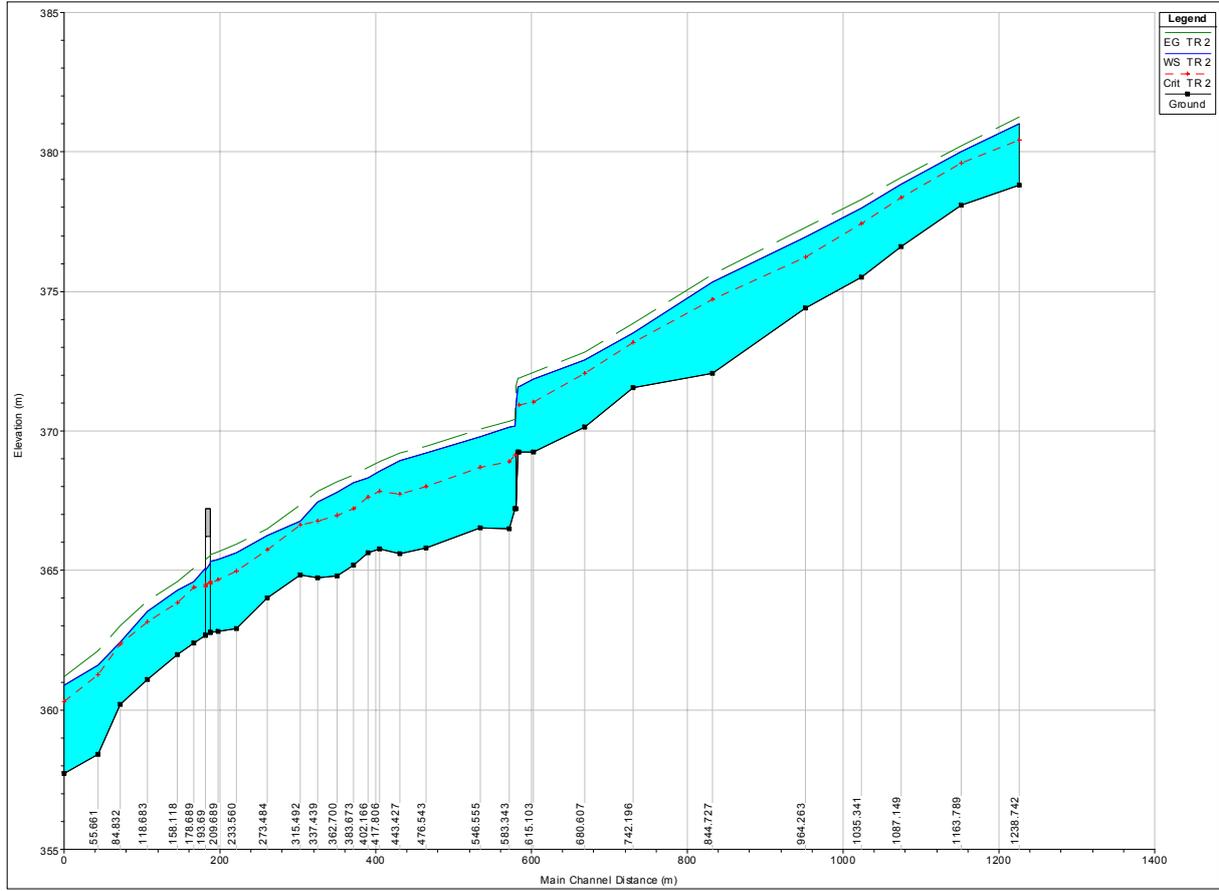
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualfica ambientale Val Lemme
	Foglio 136 di 226

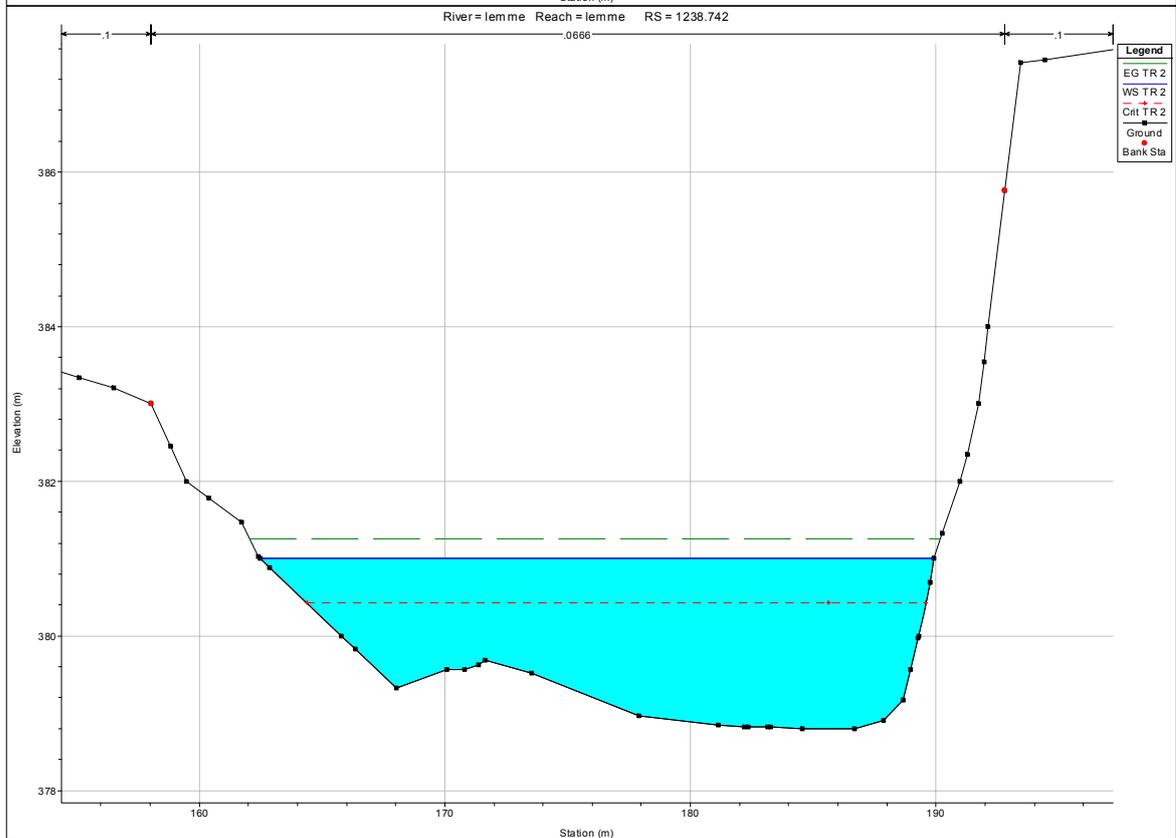
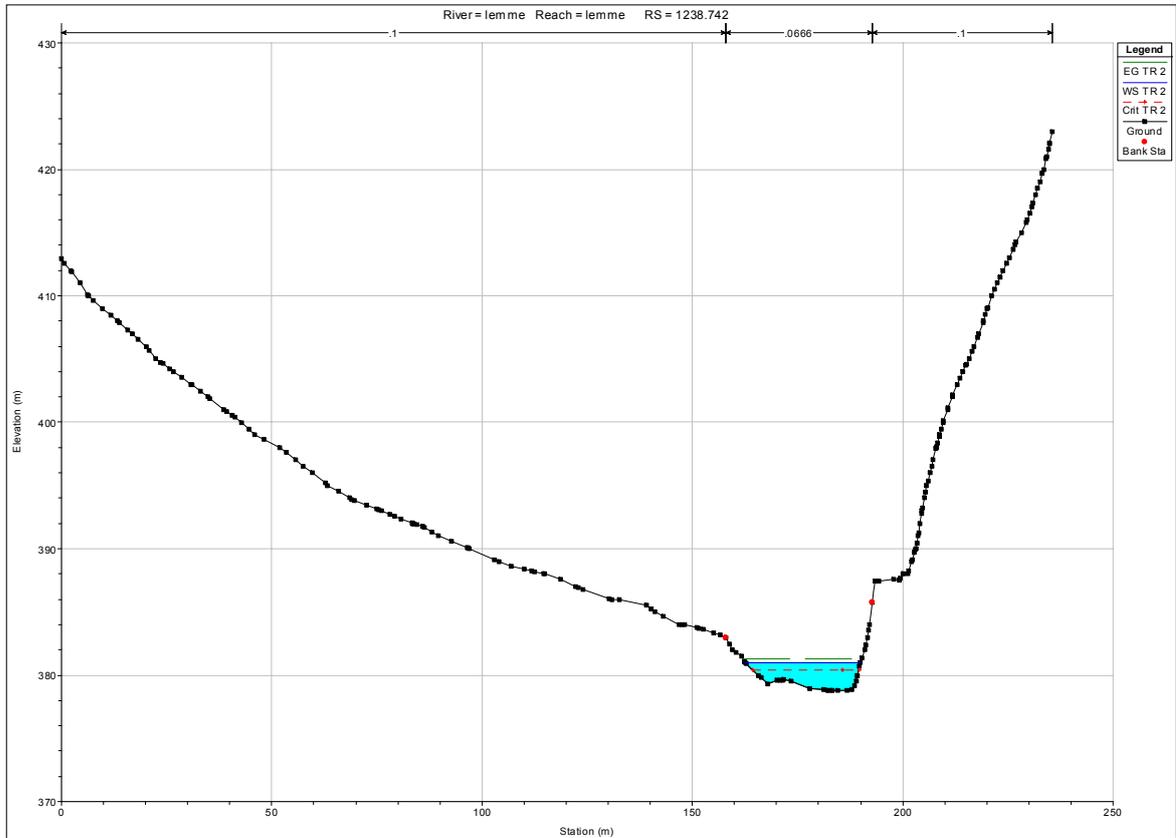
Nel presente allegato è riportato il confronto tra i livelli idrici del torrente Lemme nello stato attuale e quelli prodotti dall'opera provvisoria in alveo, costituita da una pista di accesso mezzi. Le verifiche sono condotte con  $T_r = 2$  anni. Nel seguito si riportano le sezioni trasversali riportanti i livelli relativi allo stato attuale e successivamente quelli dell'opera provvisoria.

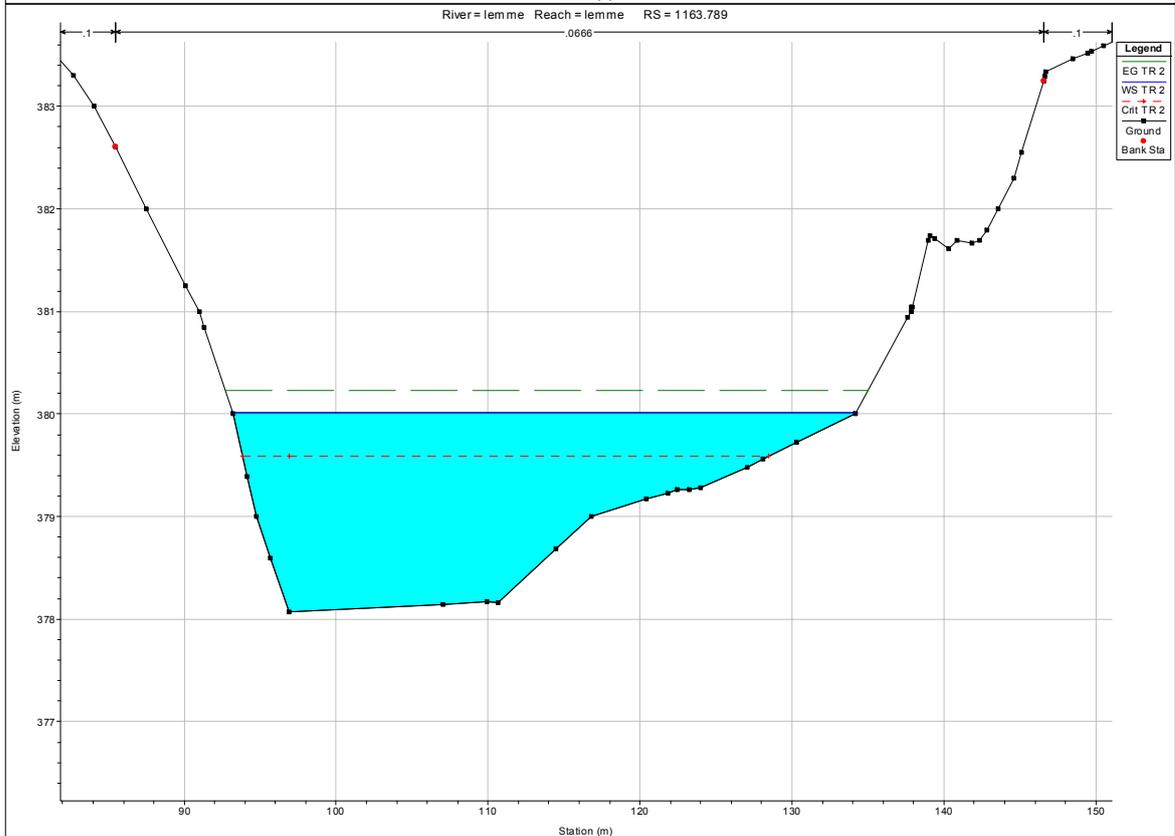
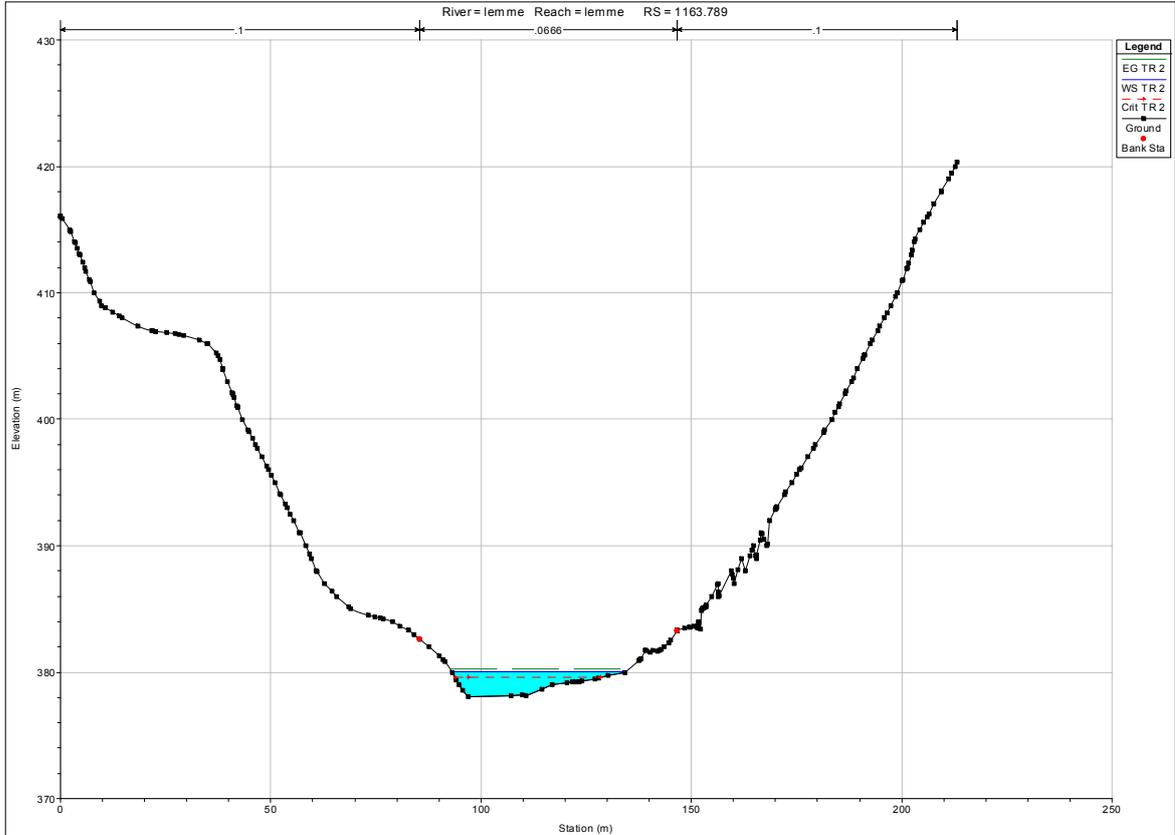
	Stato attuale	Fase operativa	Confronto
River Sta	W.S. Elev (msmm)	W.S. Elev (msmm)	Delta (m)
1238.742	381.00	381.00	0.00
1163.789	380.01	380.01	0.00
1087.149	378.85	378.85	0.00
1035.341	377.98	377.98	0.00
964.263	376.96	377.03	0.07
844.727	375.32	375.38	0.06
742.196	373.50	373.57	0.07
680.607	372.55	372.64	0.09
615.103	371.86	371.88	0.02
596.43	371.57	371.60	0.03
591.93			
591.431	370.16	370.25	0.09
583.343	370.14	370.23	0.09
546.555	369.78	369.86	0.08
476.543	369.19	369.27	0.08
443.427	368.92	368.97	0.05
417.806	368.55	368.63	0.08
402.166	368.31	368.30	-0.01
383.673	368.13	368.13	0.00
362.7	367.81	367.81	0.00
337.439	367.44	367.44	0.00
315.492	366.77	366.77	0.00
273.484	366.25	366.25	0.00
233.56	365.62	365.62	0.00
209.689	365.39	365.39	0.00
199.689	365.32	365.32	0.00
193.69	365.08	365.08	0.00
178.689	364.59	364.59	0.00
158.118	364.28	364.28	0.00
118.683	363.54	363.54	0.00
84.832	362.43	362.43	0.00
55.661	361.60	361.60	0.00
12.363	360.87	360.87	0.00

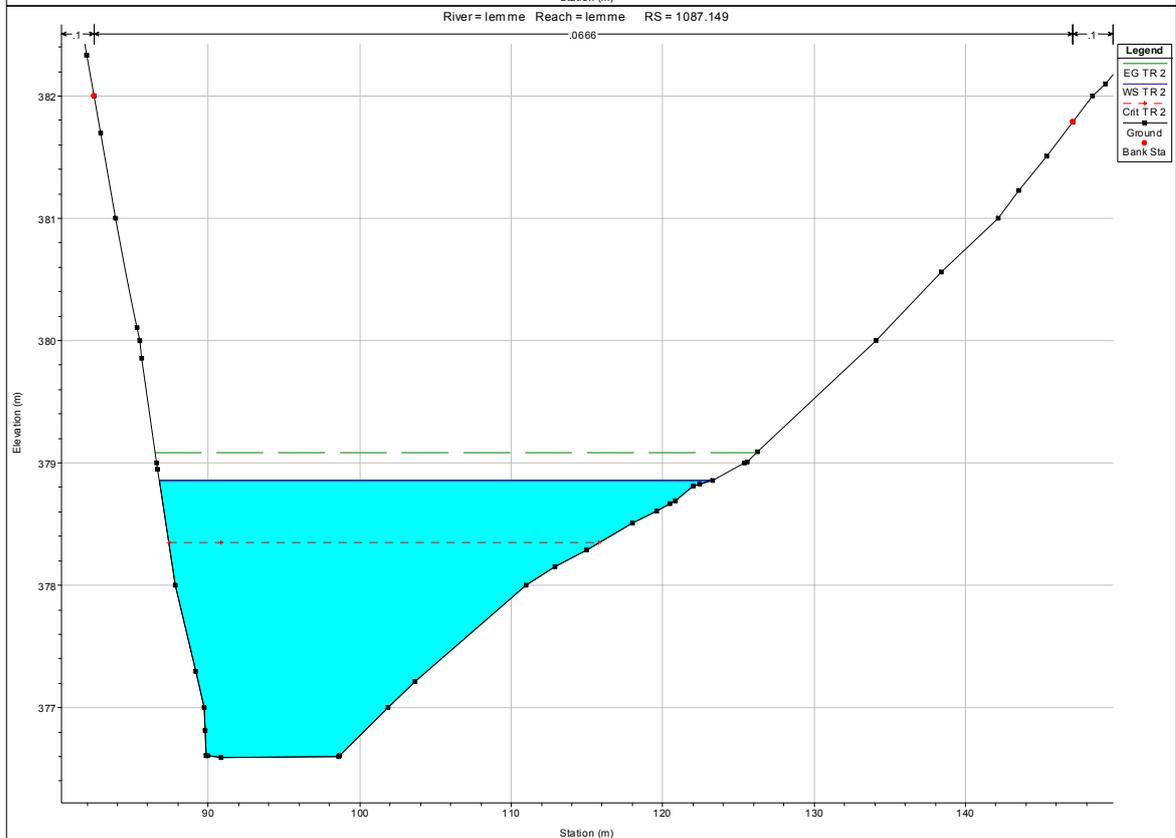
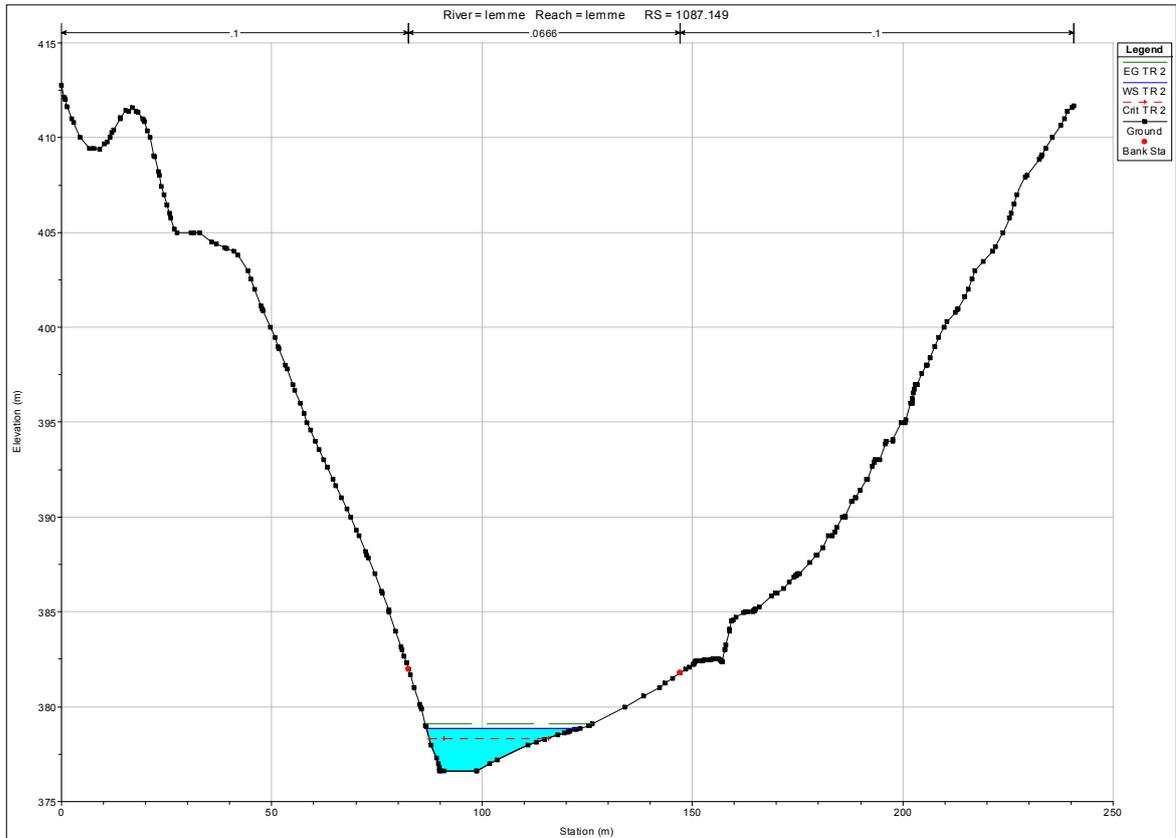
## 8. SIMULAZIONE TR 2 ANNI STATO ATTUALE

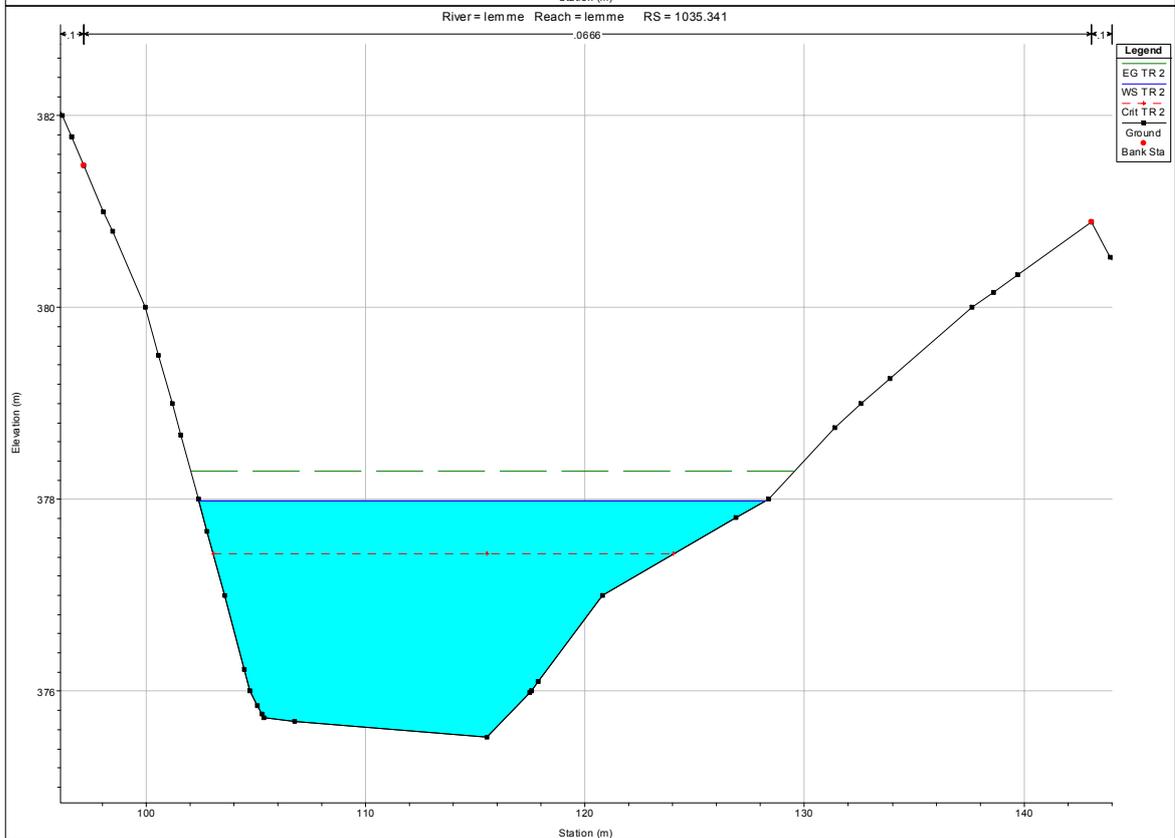
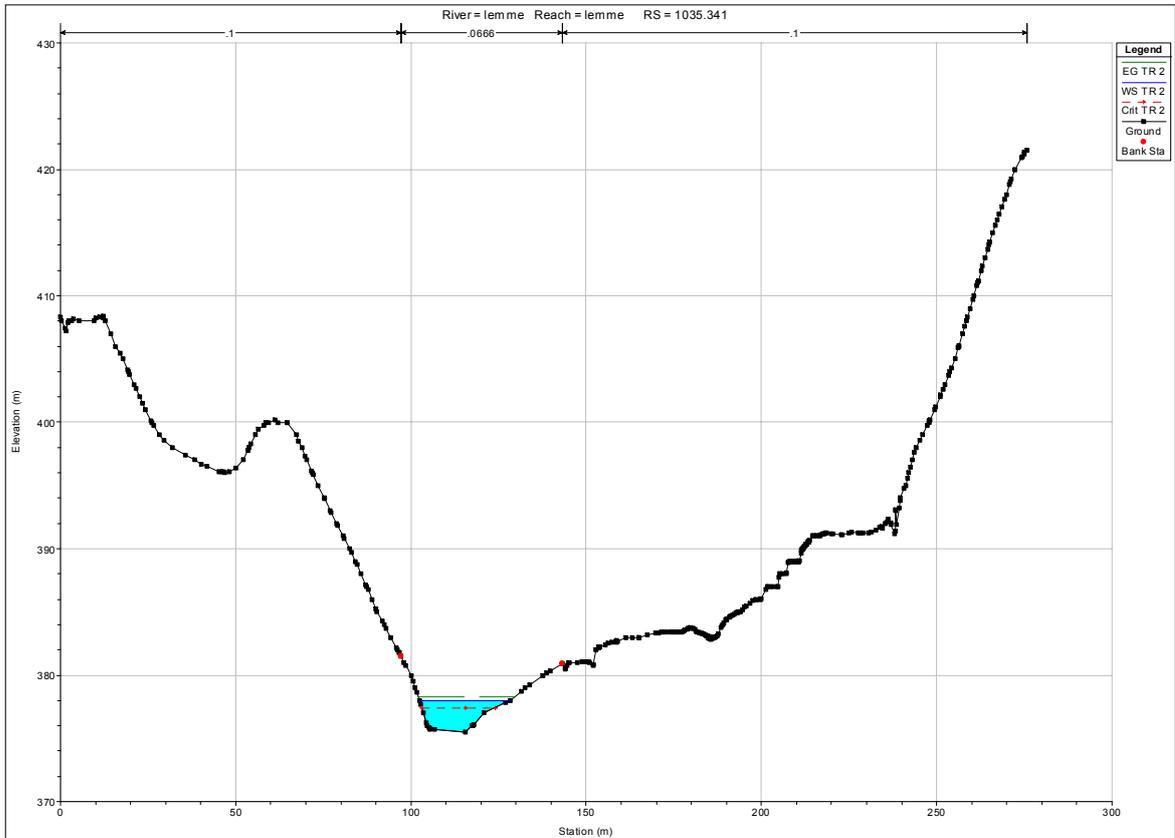
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
lemme	1238.742	TR 2	100.00	378.80	381.00	380.43	381.26	0.012393	2.24	44.64	27.44	0.56
lemme	1163.789	TR 2	100.00	378.07	380.01	379.59	380.23	0.015038	2.05	48.83	41.05	0.60
lemme	1087.149	TR 2	100.00	376.59	378.85	378.35	379.08	0.014703	2.12	47.06	36.38	0.60
lemme	1035.341	TR 2	100.00	375.52	377.98	377.43	378.29	0.015559	2.46	40.59	25.84	0.63
lemme	964.263	TR 2	100.00	374.39	376.96	376.23	377.30	0.012645	2.56	39.12	19.13	0.57
lemme	844.727	TR 2	100.00	372.07	375.32	374.73	375.62	0.015496	2.42	41.30	25.52	0.61
lemme	742.196	TR 2	100.00	371.55	373.50	373.16	373.84	0.019438	2.59	38.57	26.55	0.69
lemme	680.607	TR 2	100.00	370.13	372.55	372.06	372.81	0.013829	2.25	44.37	28.56	0.58
lemme	615.103	TR 2	100.00	369.26	371.86	371.03	372.09	0.008824	2.11	47.35	23.91	0.48
lemme	596.430	TR 2	100.00	369.25	371.57	370.92	371.88	0.012800	2.47	40.43	20.81	0.57
lemme	591.93		Inl Struct									
lemme	591.431	TR 2	100.00	367.23	370.16	369.14	370.43	0.009024	2.28	43.80	18.61	0.48
lemme	583.343	TR 2	100.00	366.50	370.14	368.91	370.35	0.006676	2.03	49.14	19.28	0.41
lemme	546.555	TR 2	100.00	366.54	369.78	368.70	370.06	0.008793	2.35	42.63	17.15	0.47
lemme	476.543	TR 2	100.00	365.81	369.19	368.00	369.47	0.008164	2.32	43.15	17.06	0.47
lemme	443.427	TR 2	100.00	365.61	368.92	367.71	369.19	0.008277	2.32	43.09	16.72	0.46
lemme	417.806	TR 2	100.00	365.76	368.55	367.83	368.91	0.014284	2.66	37.59	17.76	0.58
lemme	402.166	TR 2	100.00	365.63	368.31	367.63	368.68	0.014786	2.70	37.03	17.84	0.60
lemme	383.673	TR 2	100.00	365.20	368.13	367.20	368.43	0.010756	2.46	40.72	17.85	0.52
lemme	362.700	TR 2	100.00	364.82	367.81	366.99	368.18	0.012592	2.70	37.08	16.19	0.57
lemme	337.439	TR 2	100.00	364.73	367.44	366.77	367.84	0.014727	2.78	36.03	16.99	0.61
lemme	315.492	TR 2	100.00	364.84	366.77	366.62	367.37	0.030676	3.41	29.29	18.62	0.87
lemme	273.484	TR 2	100.00	364.03	366.25	365.72	366.48	0.012390	2.12	47.07	30.89	0.55
lemme	233.560	TR 2	100.00	362.93	365.62	364.96	365.95	0.013344	2.55	39.16	19.49	0.57
lemme	209.689	TR 2	100.00	362.82	365.39	364.67	365.65	0.010399	2.25	44.46	23.82	0.53
lemme	199.689	TR 2	100.00	362.78	365.32	364.54	365.55	0.009359	2.13	47.00	25.07	0.50
lemme	196		Bridge									
lemme	193.69	TR 2	100.00	362.67	365.08	364.43	365.37	0.012039	2.38	42.08	22.92	0.56
lemme	178.689	TR 2	100.00	362.39	364.59	364.38	365.09	0.026895	3.13	31.99	21.62	0.82
lemme	158.118	TR 2	100.00	362.00	364.28	363.83	364.61	0.016577	2.53	39.47	24.79	0.64
lemme	118.683	TR 2	100.00	361.10	363.54	363.15	363.92	0.018302	2.71	36.90	22.82	0.68
lemme	84.832	TR 2	100.00	360.19	362.43	362.38	363.03	0.037792	3.43	29.13	21.71	0.95
lemme	55.661	TR 2	100.00	358.42	361.60	361.25	362.11	0.025410	3.15	31.77	19.36	0.78
lemme	12.363	TR 2	100.00	357.73	360.87	360.31	361.19	0.015942	2.51	39.83	24.22	0.62

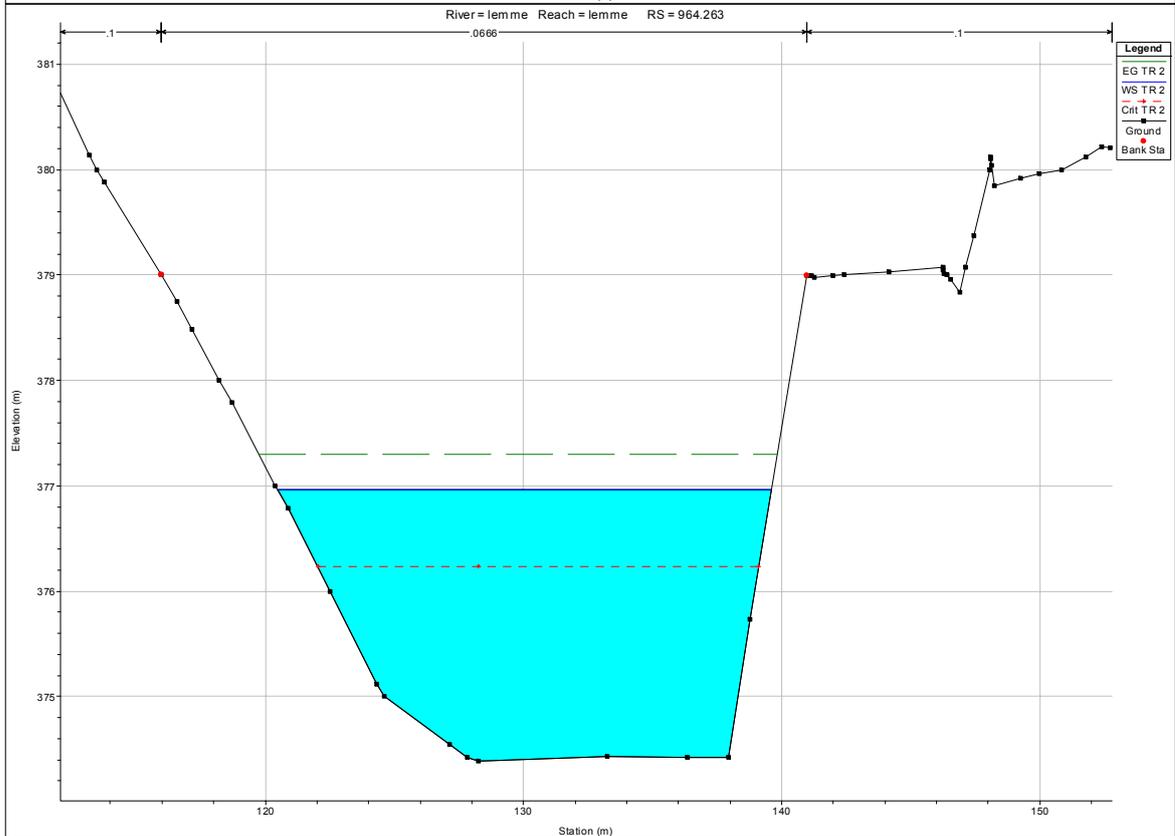
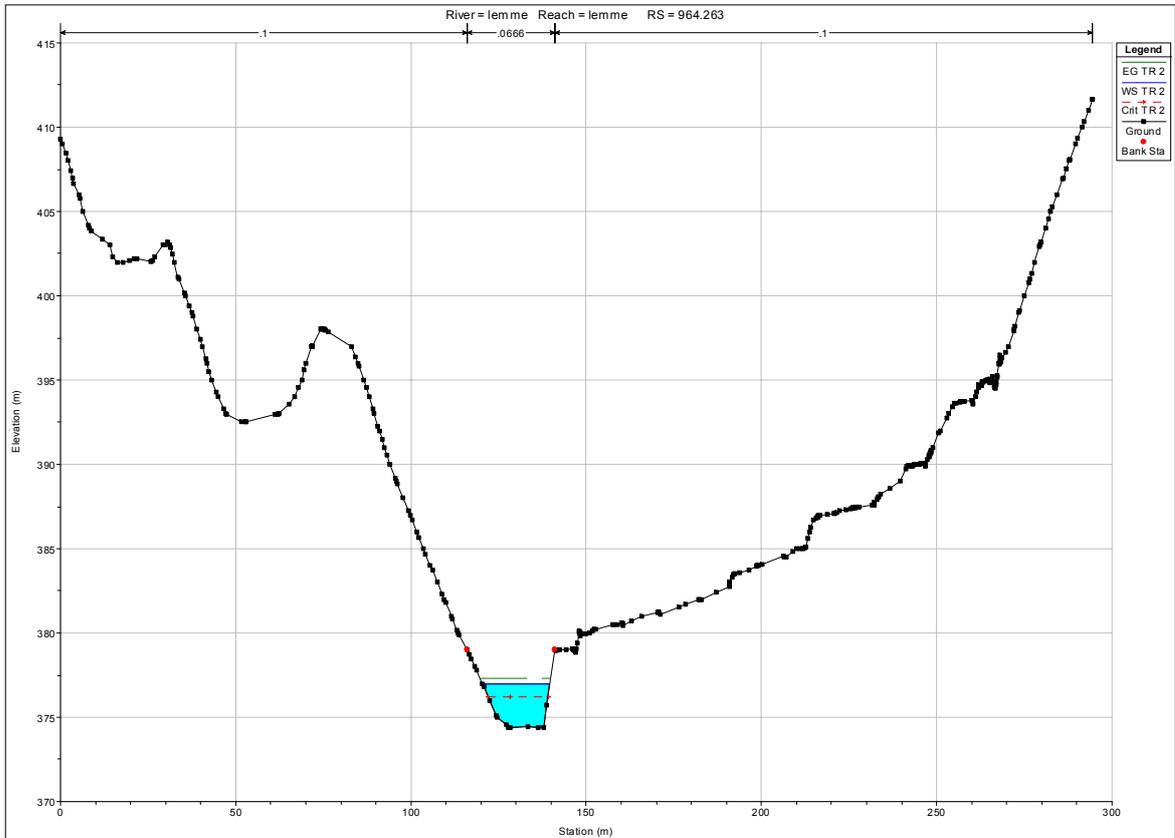


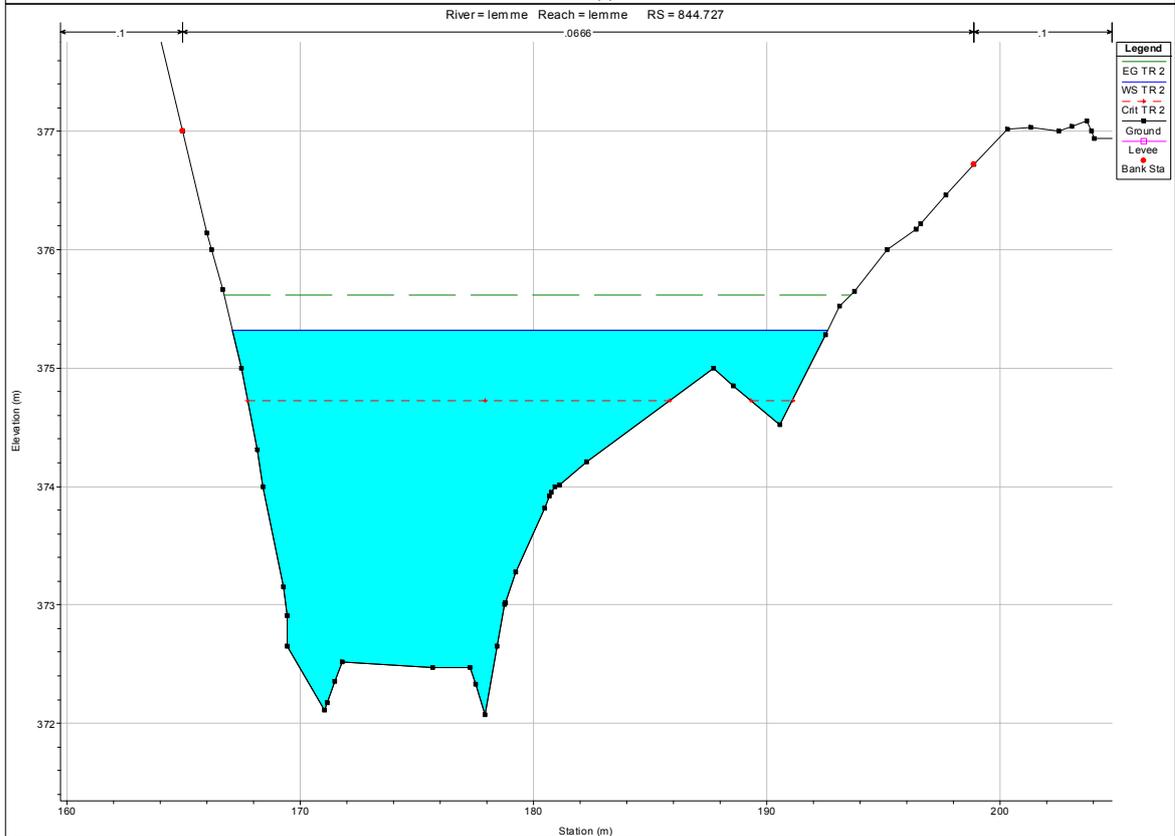
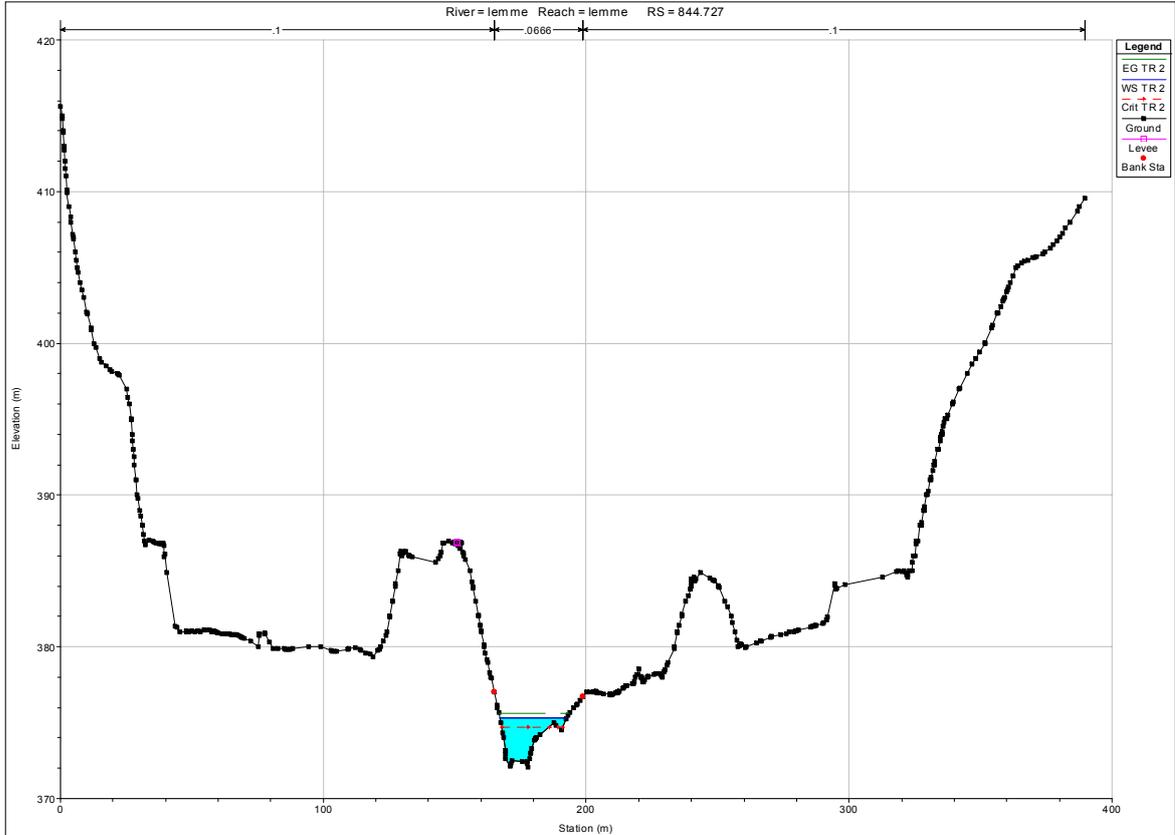


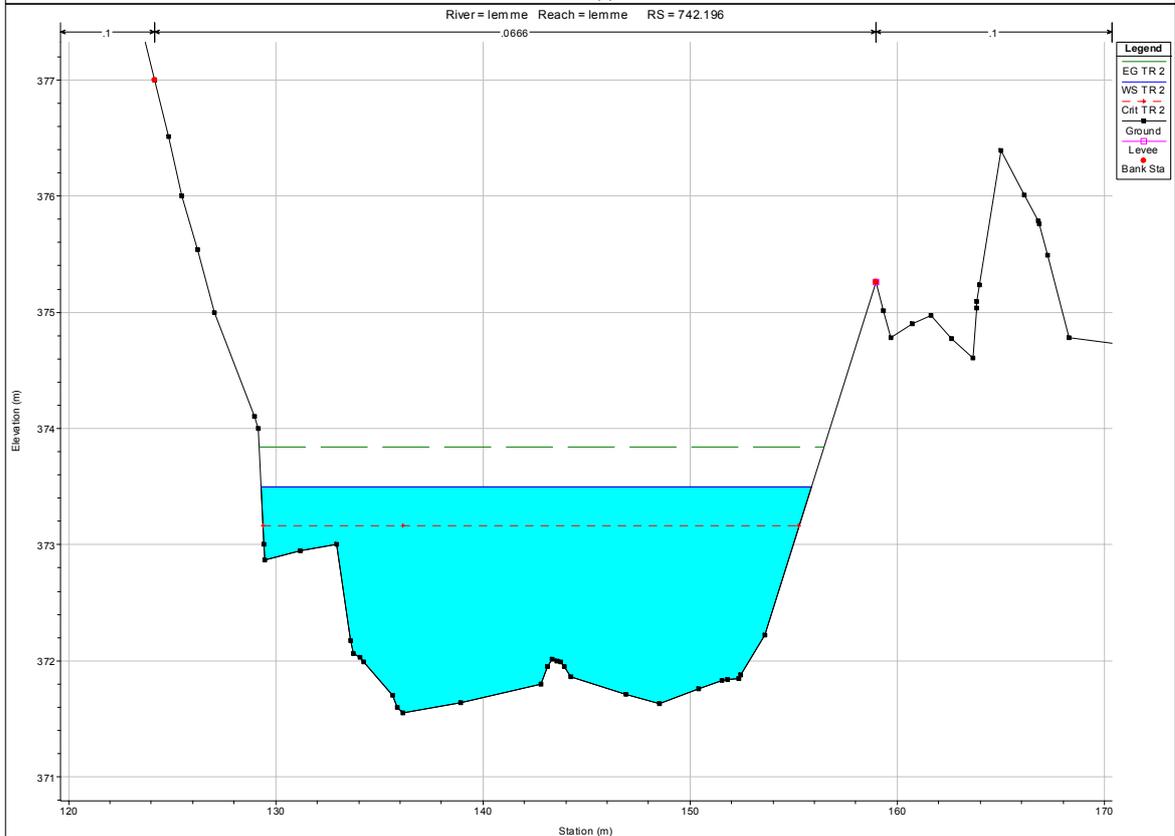
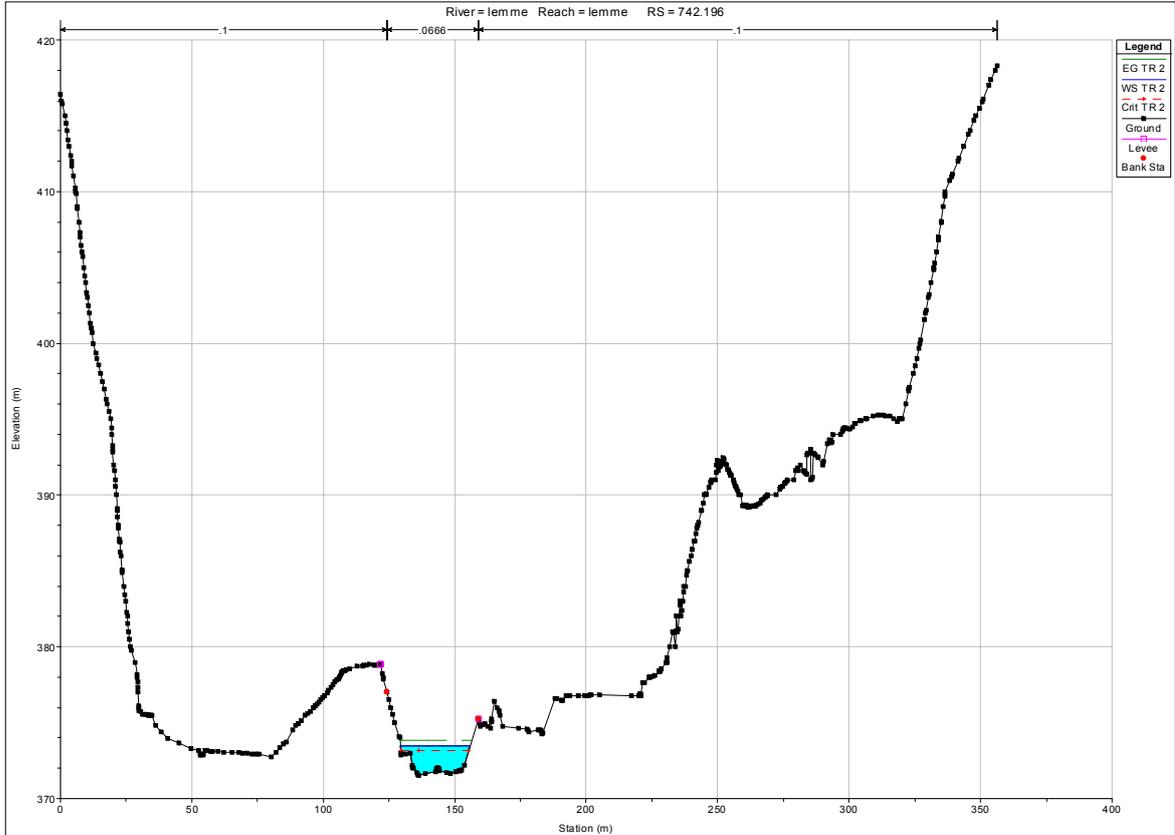


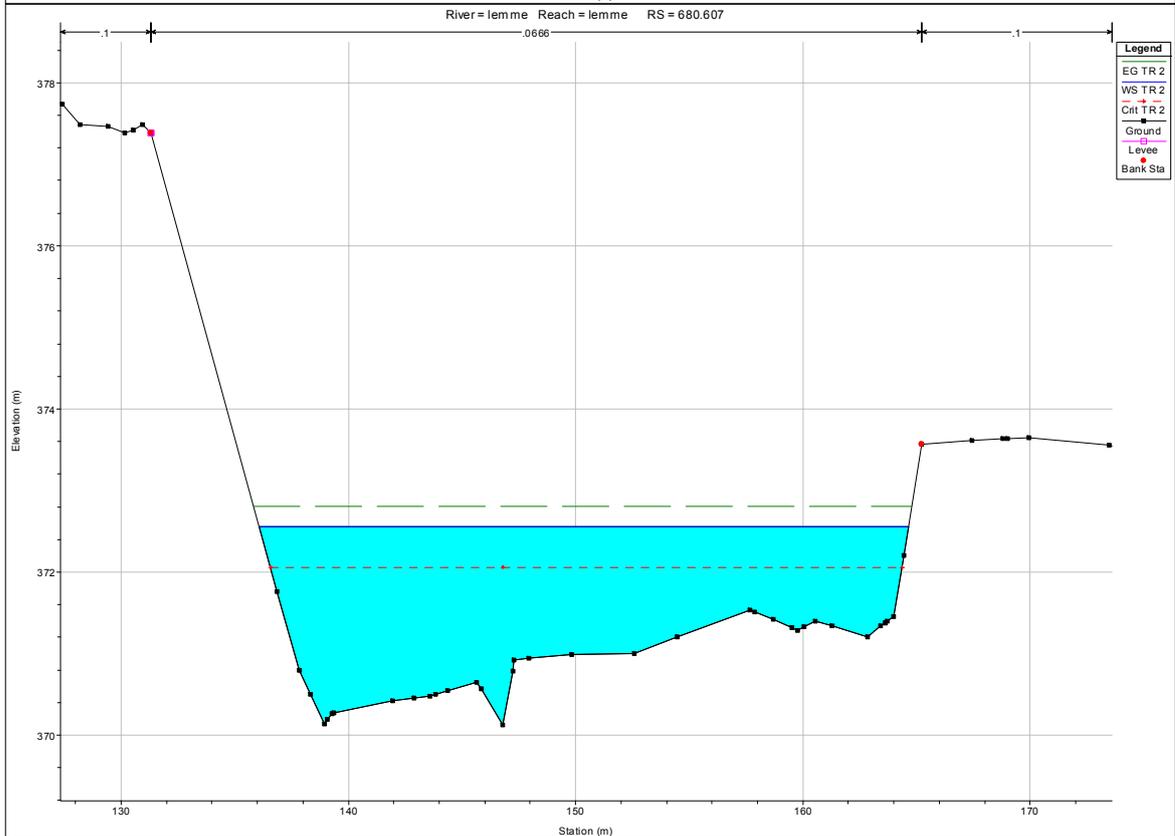
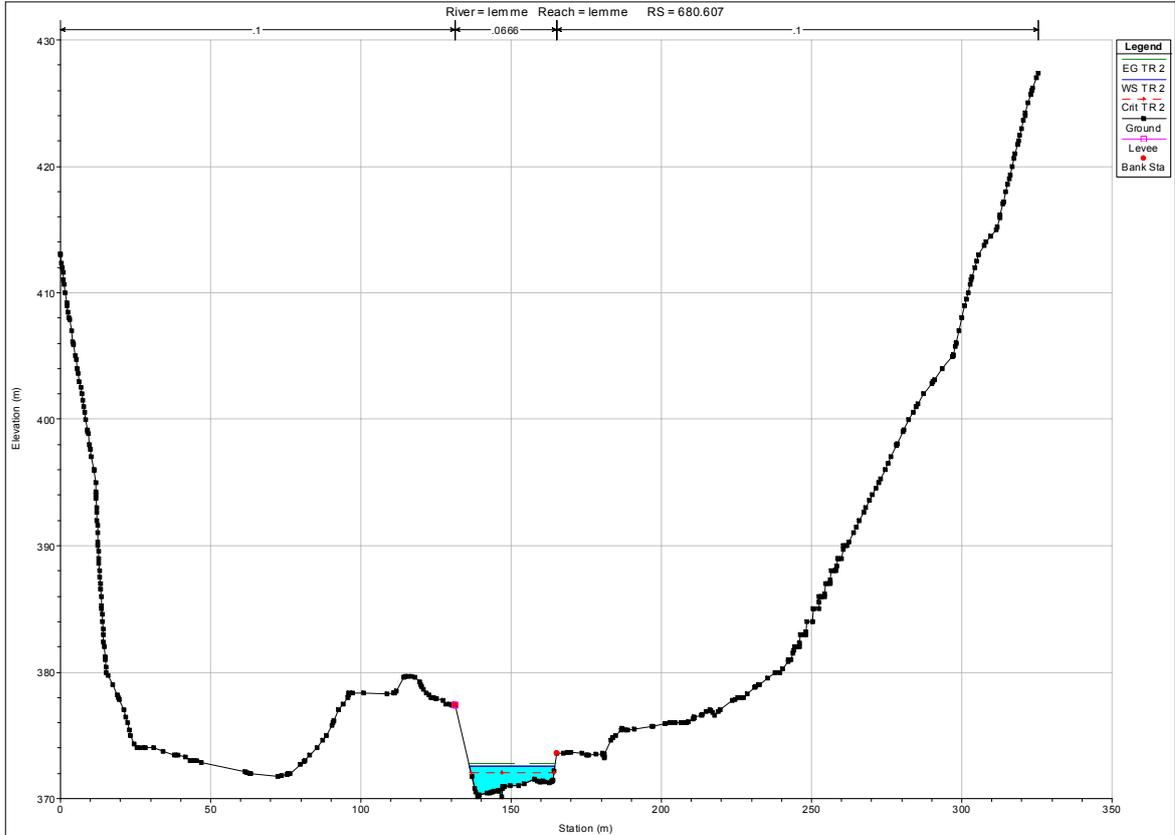


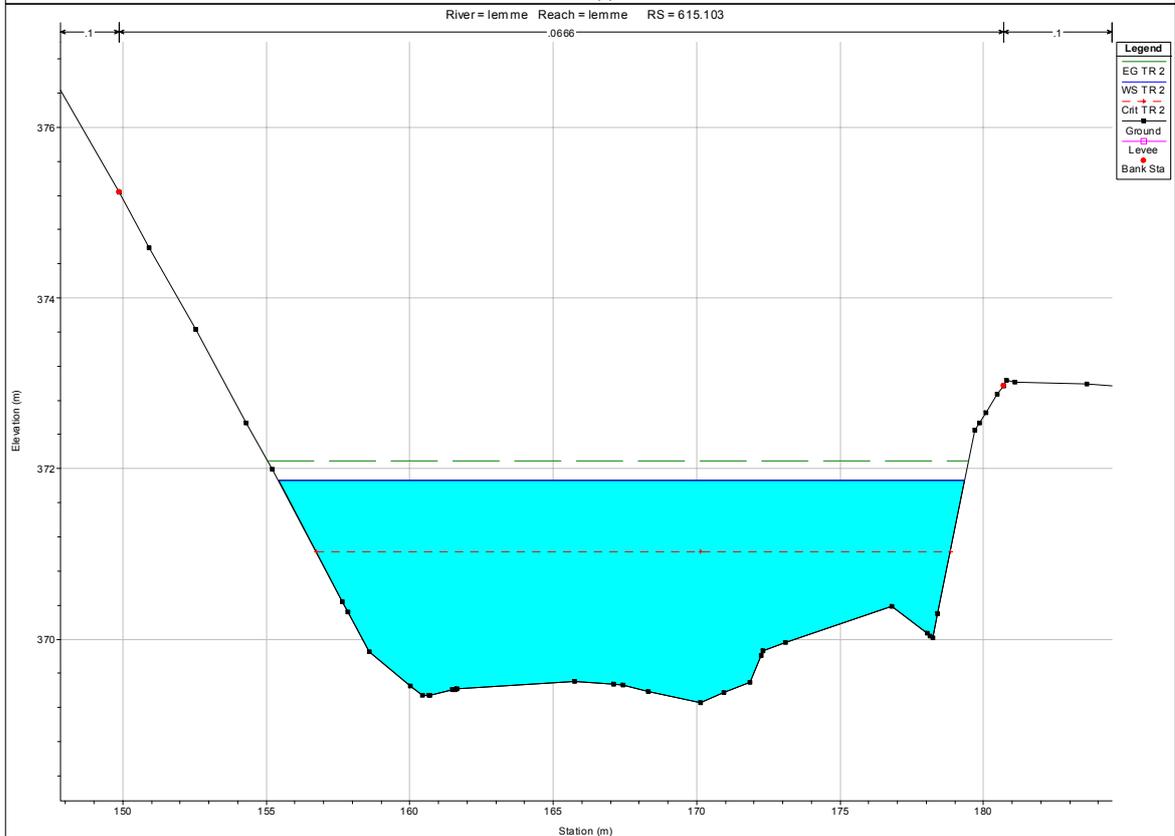
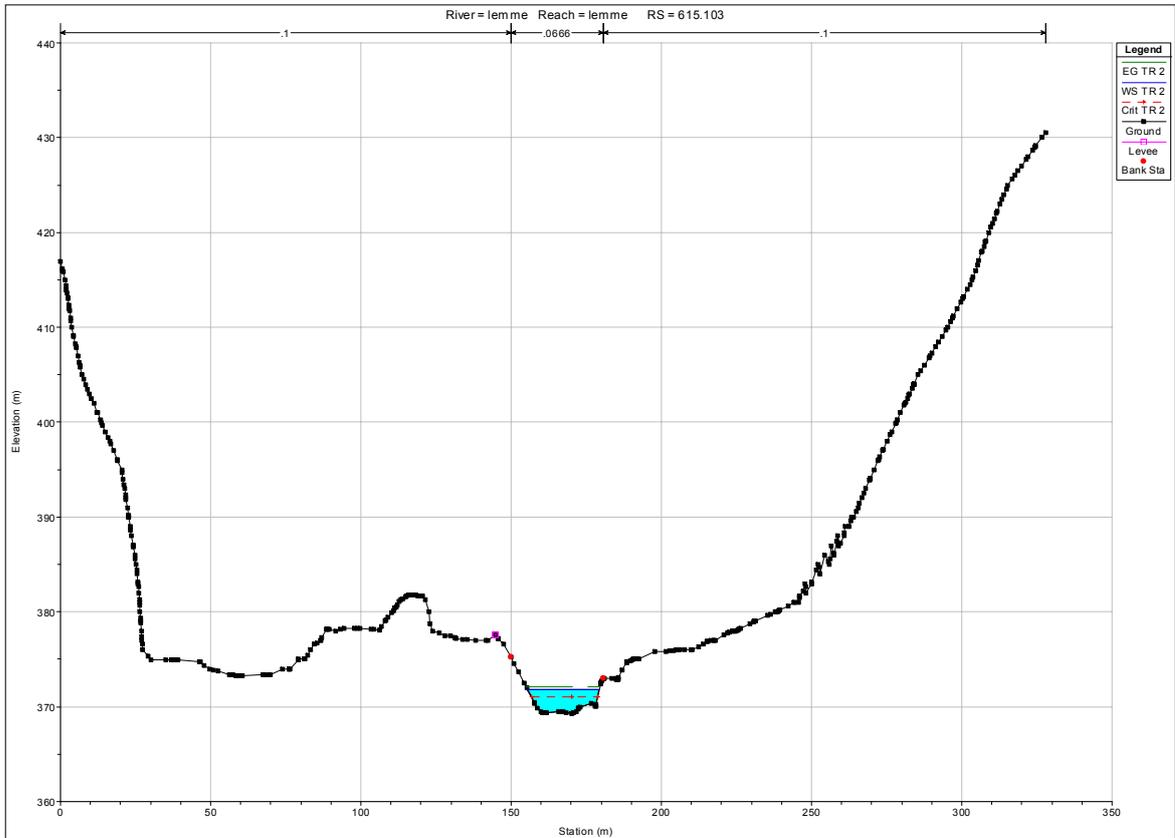


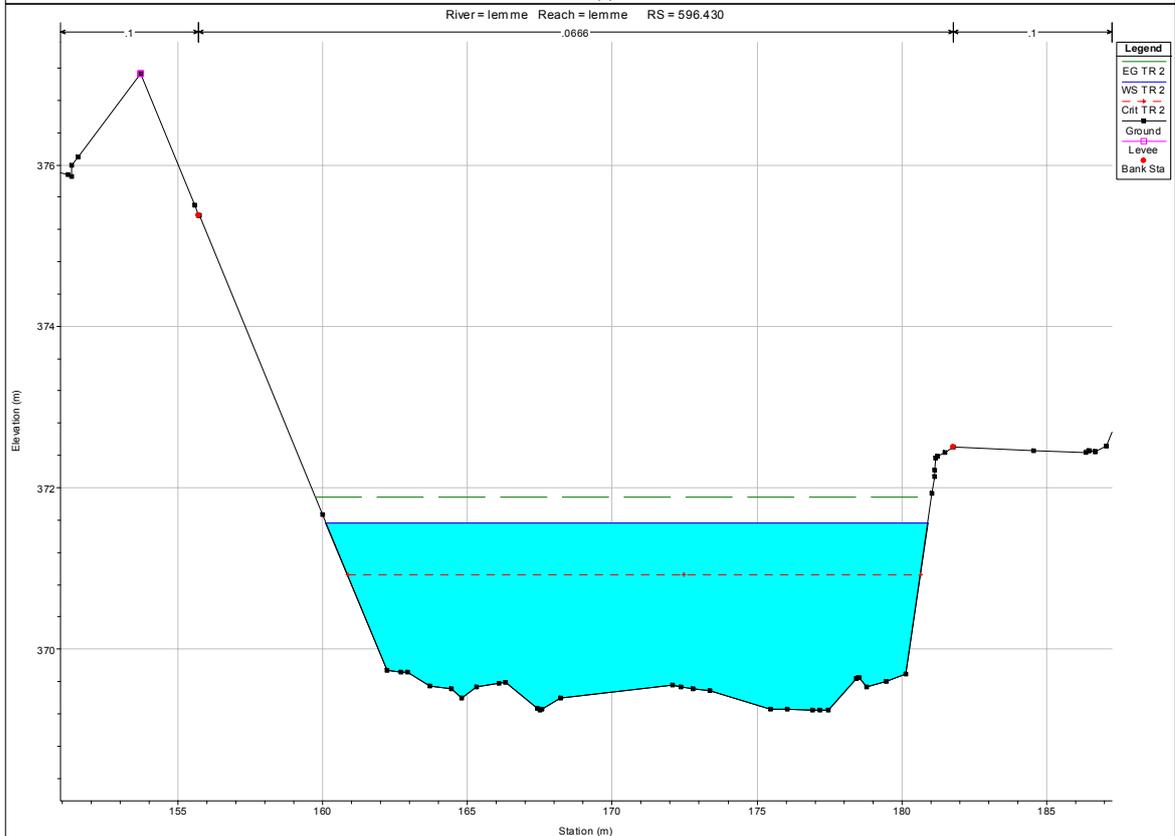
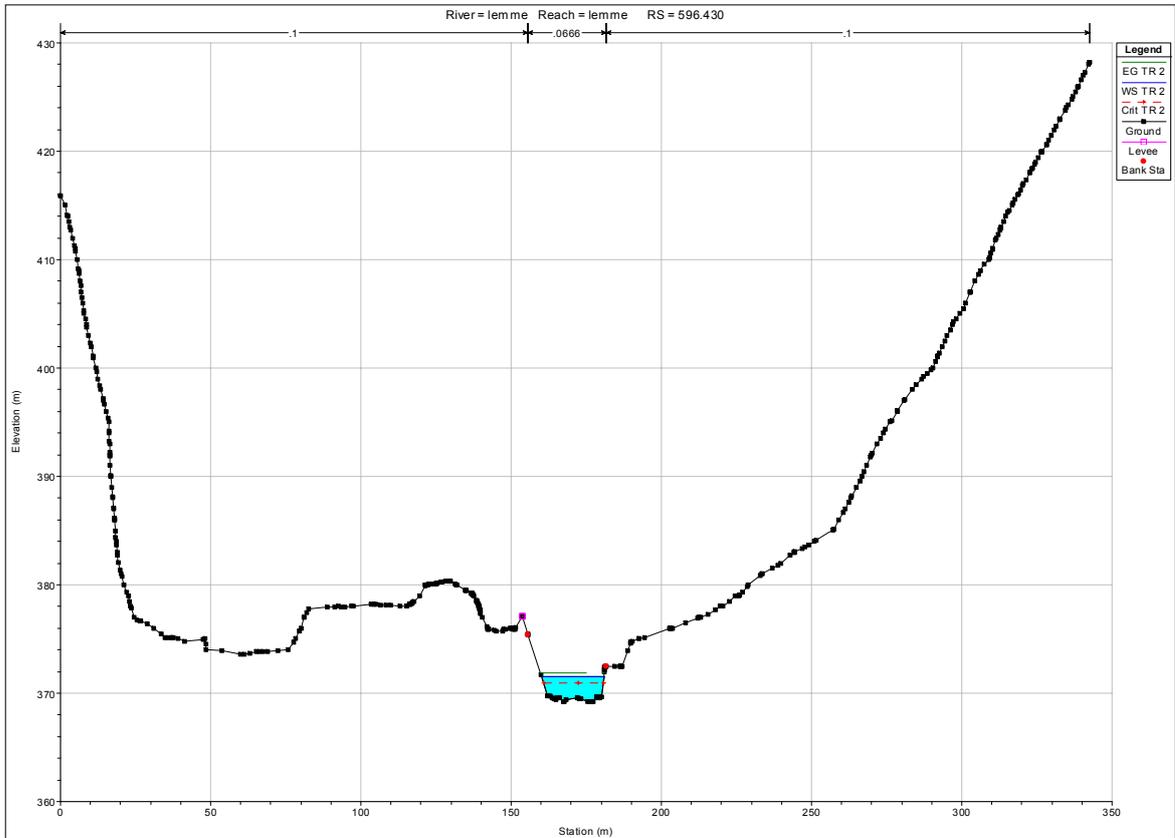


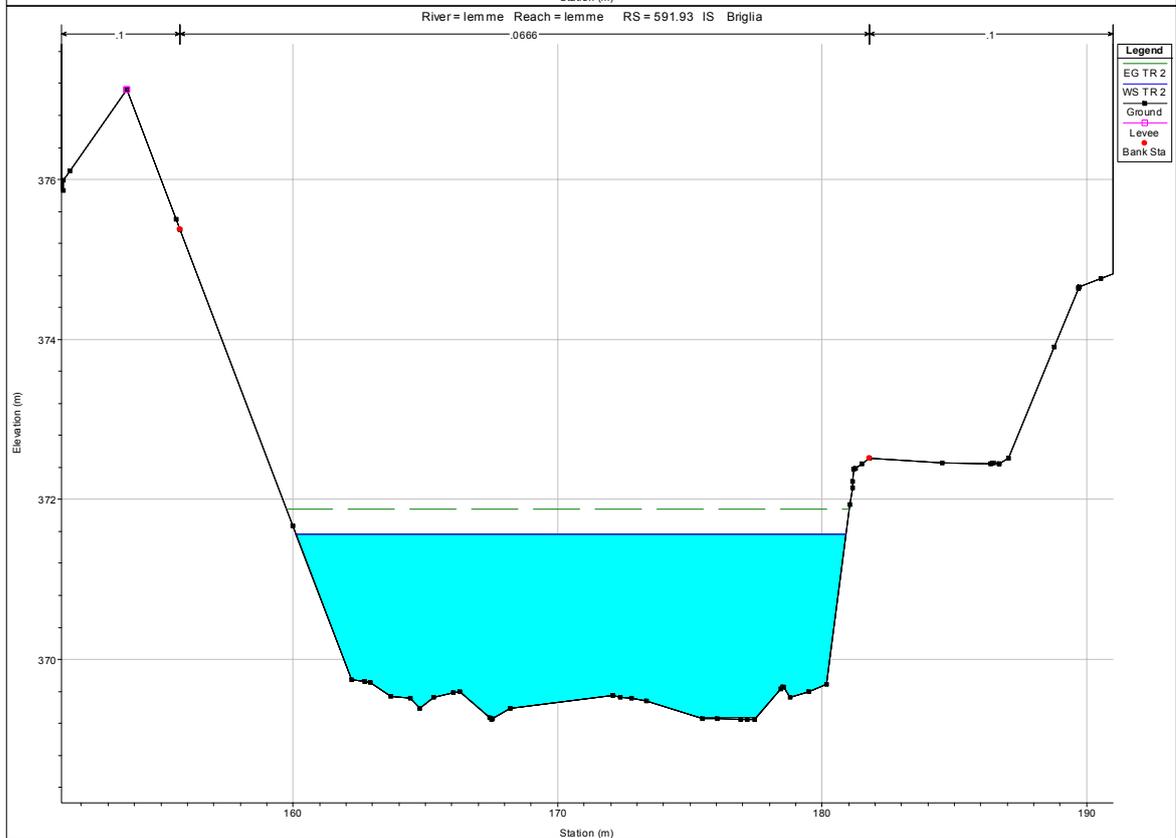
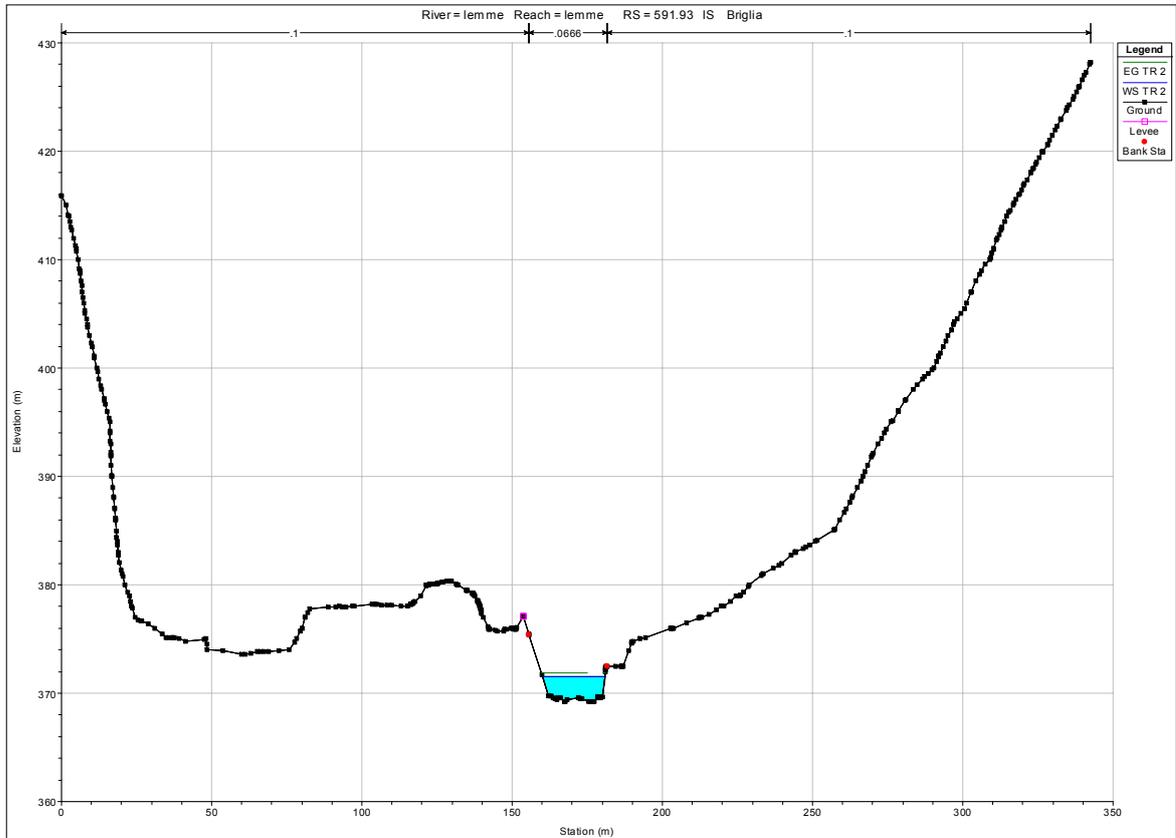


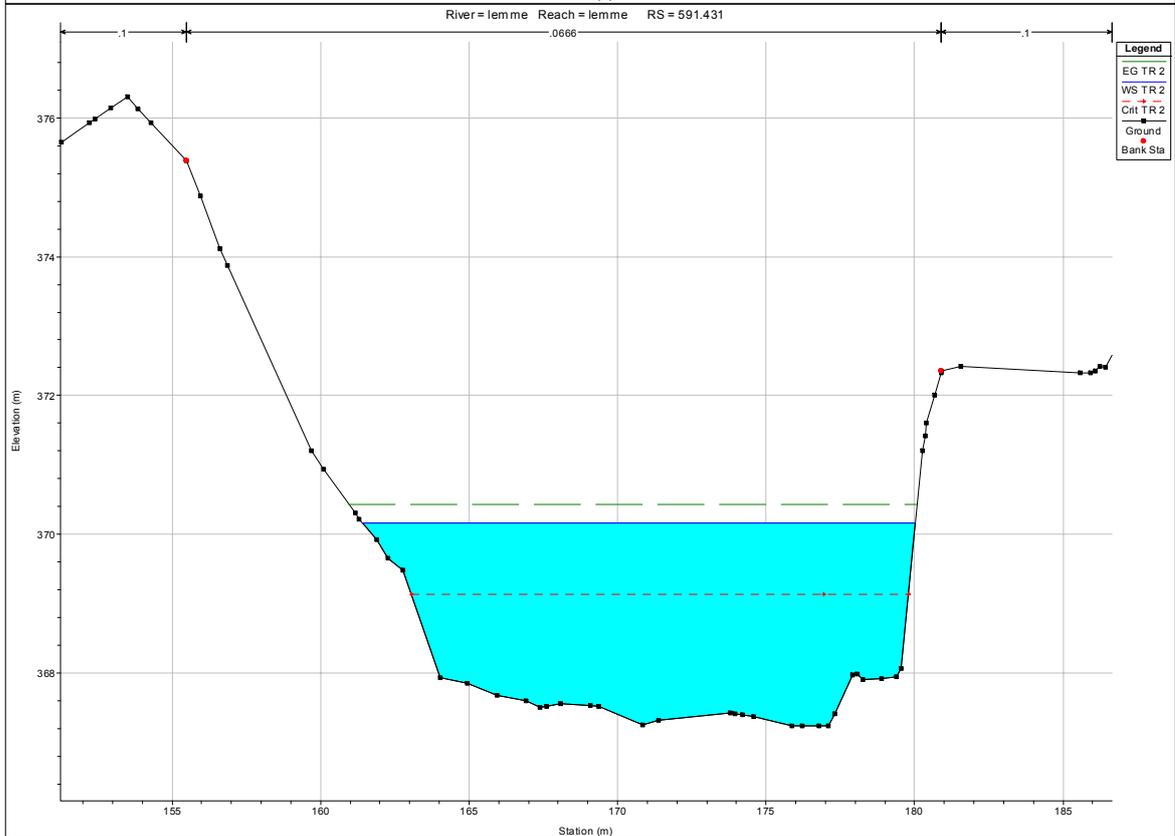
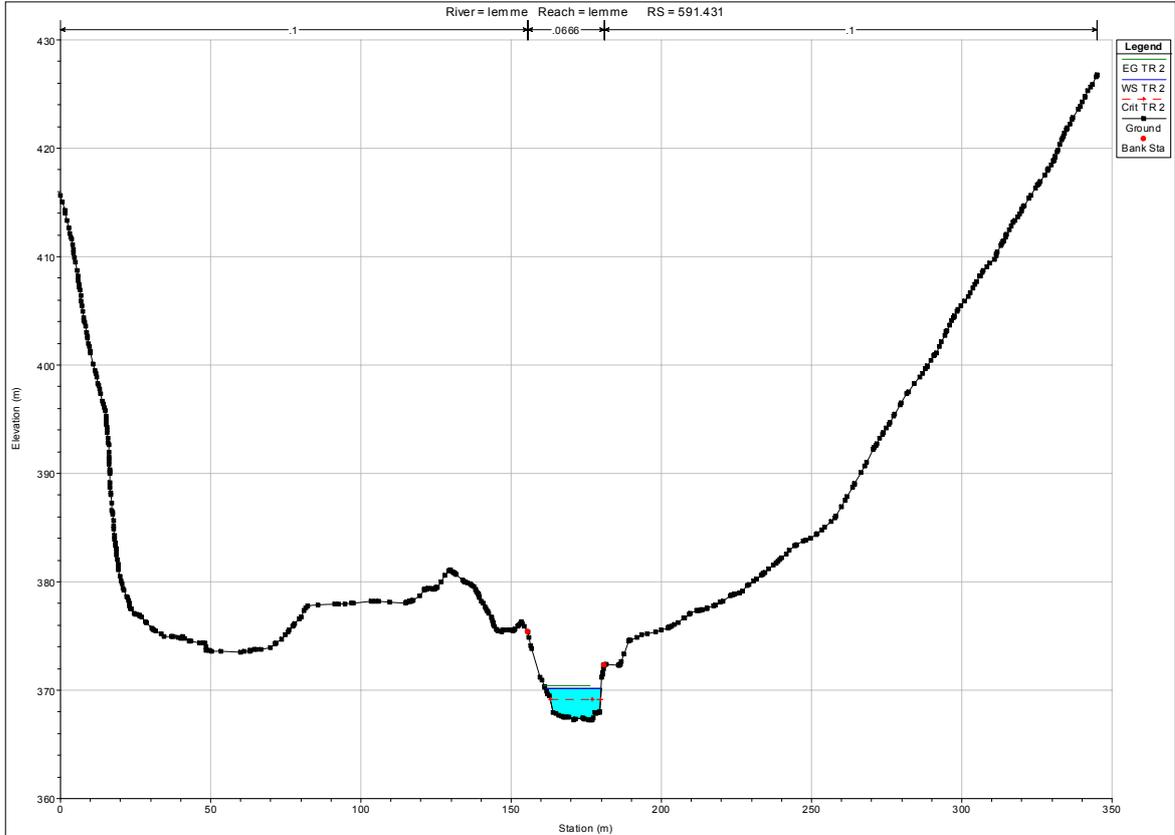


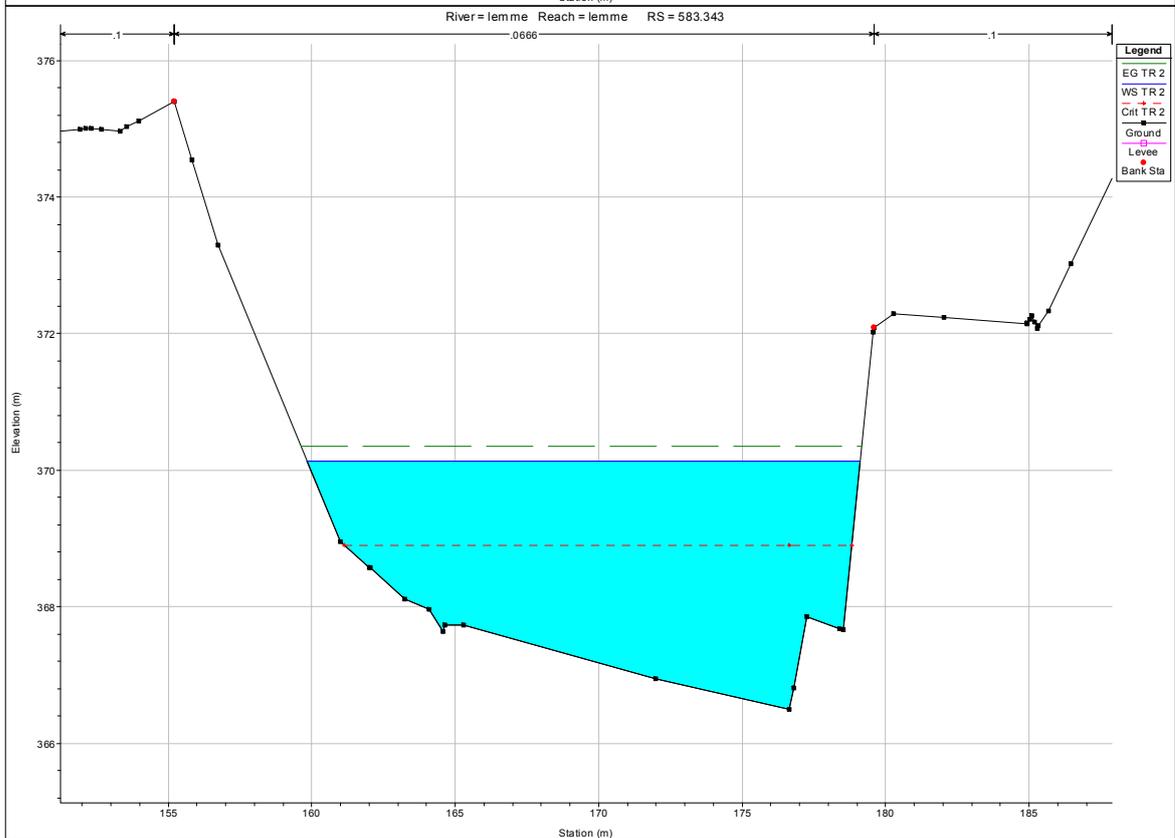
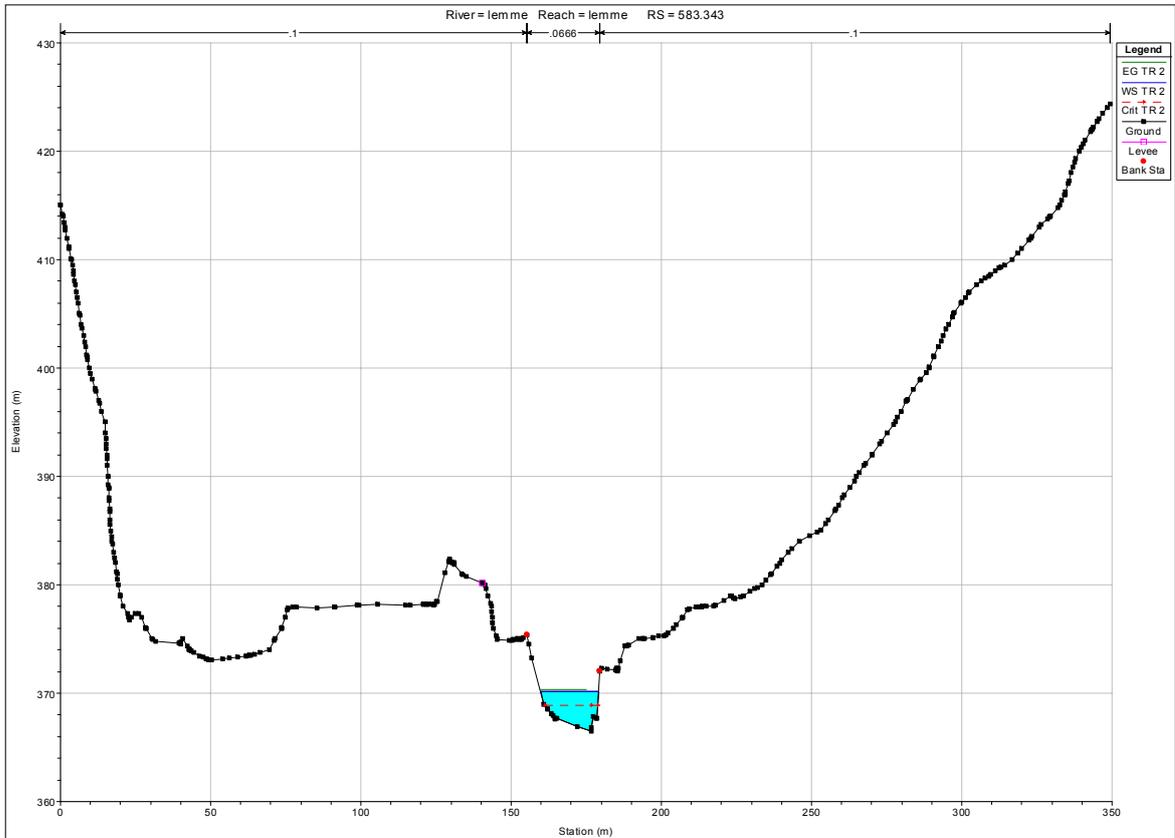


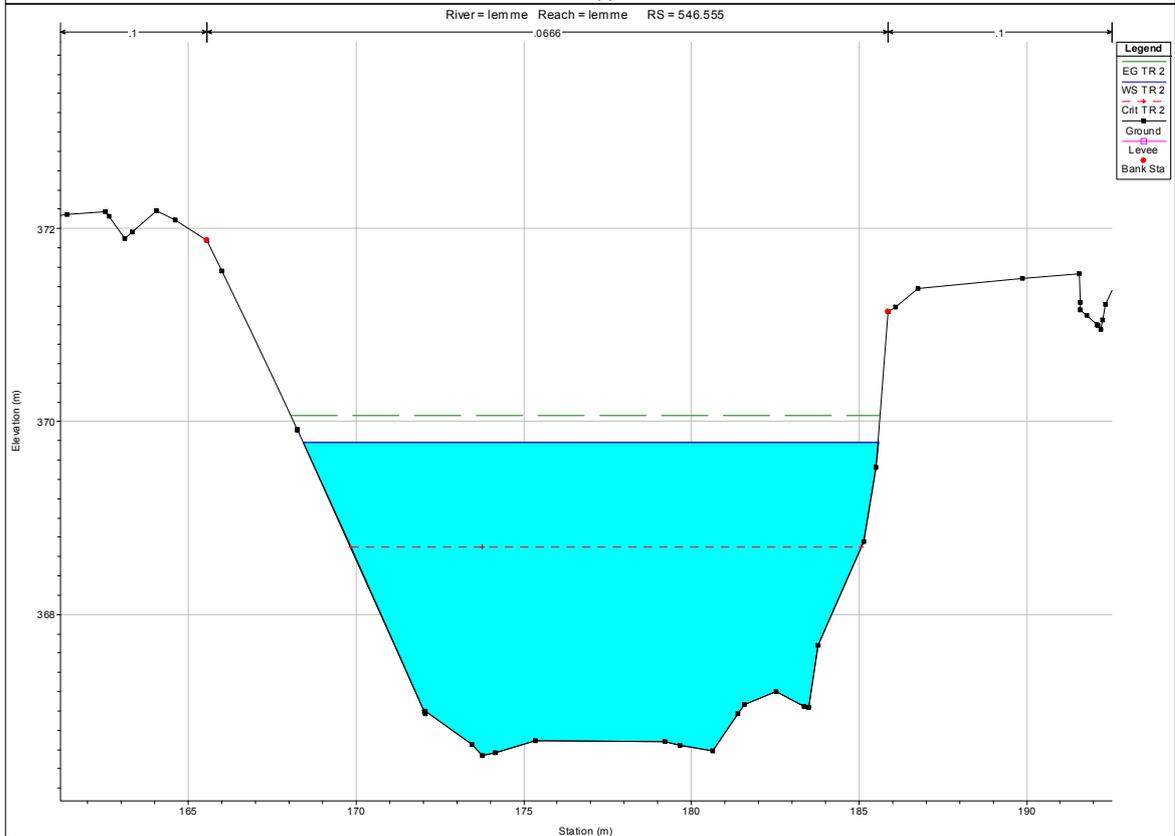
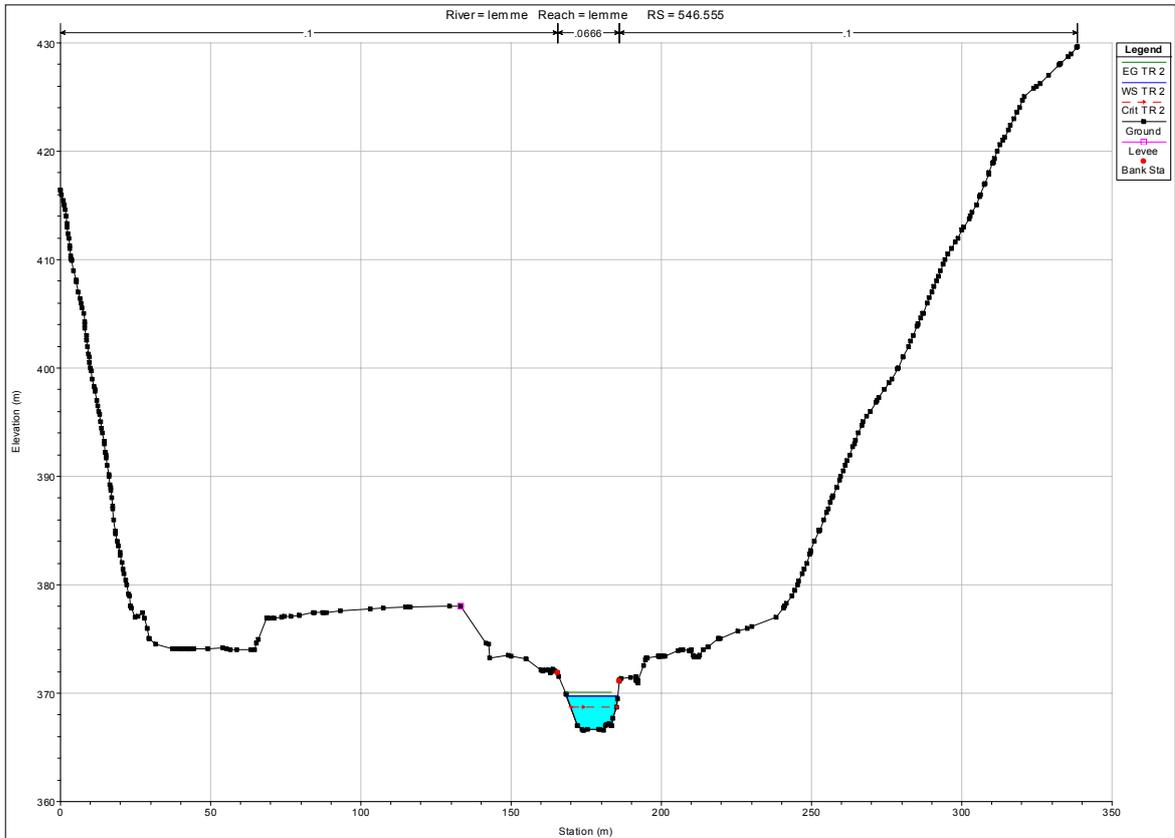


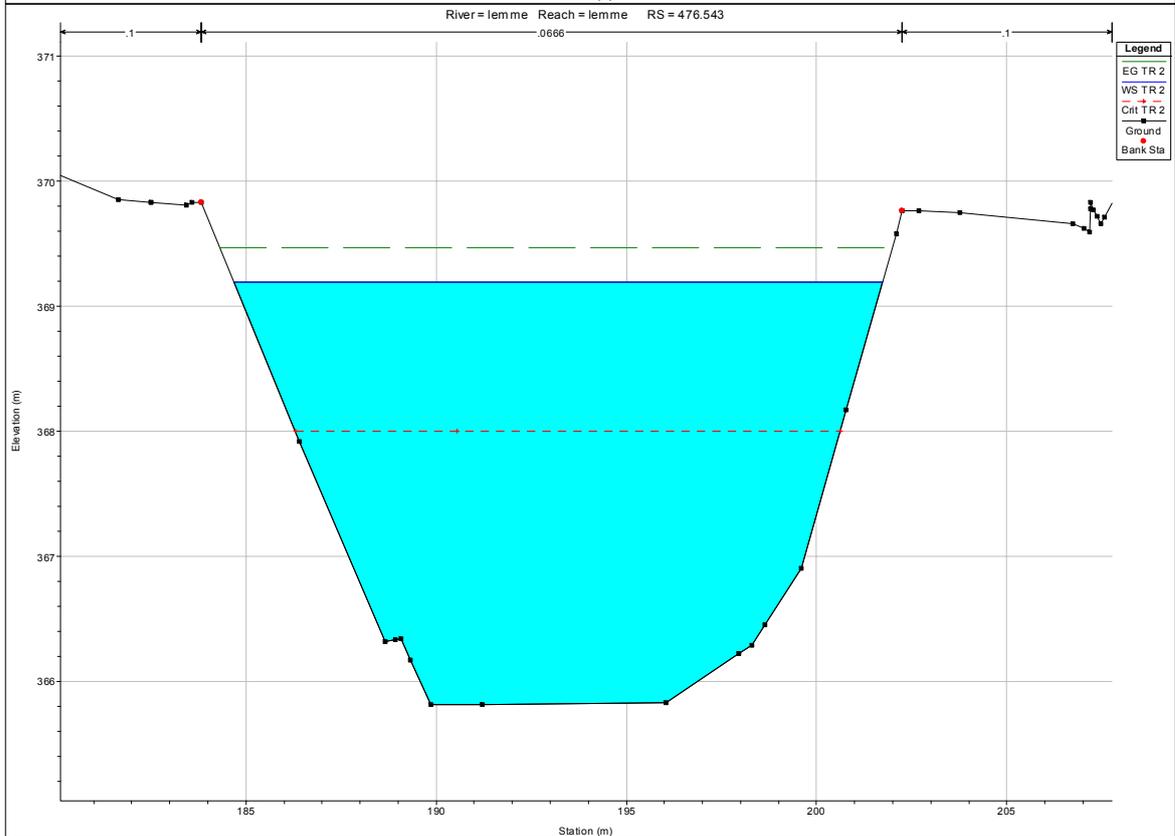
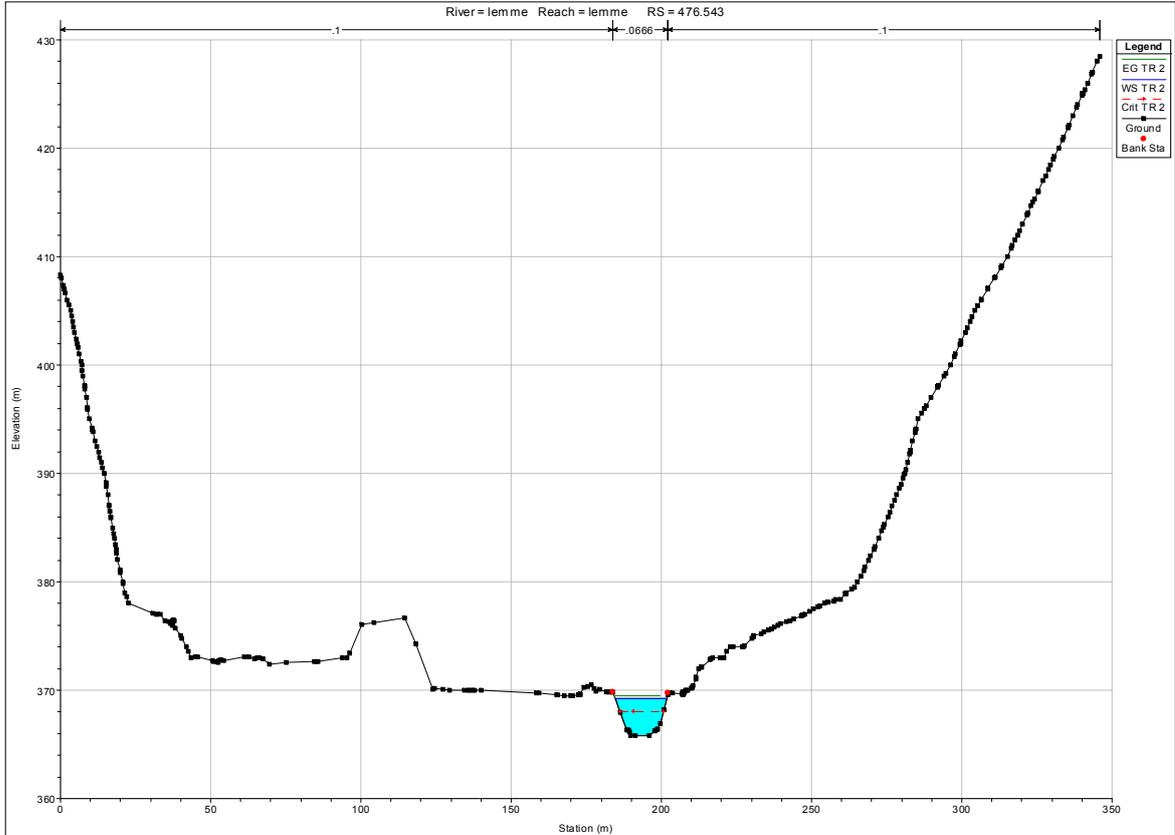


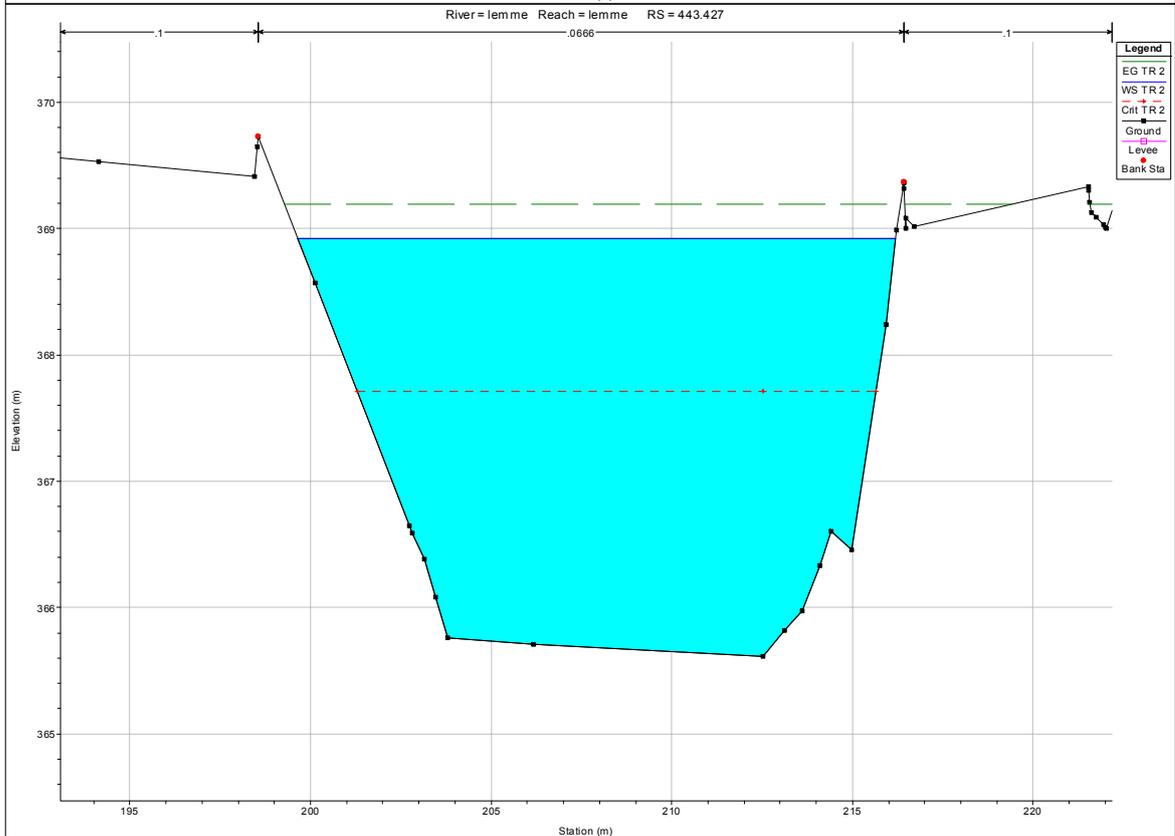
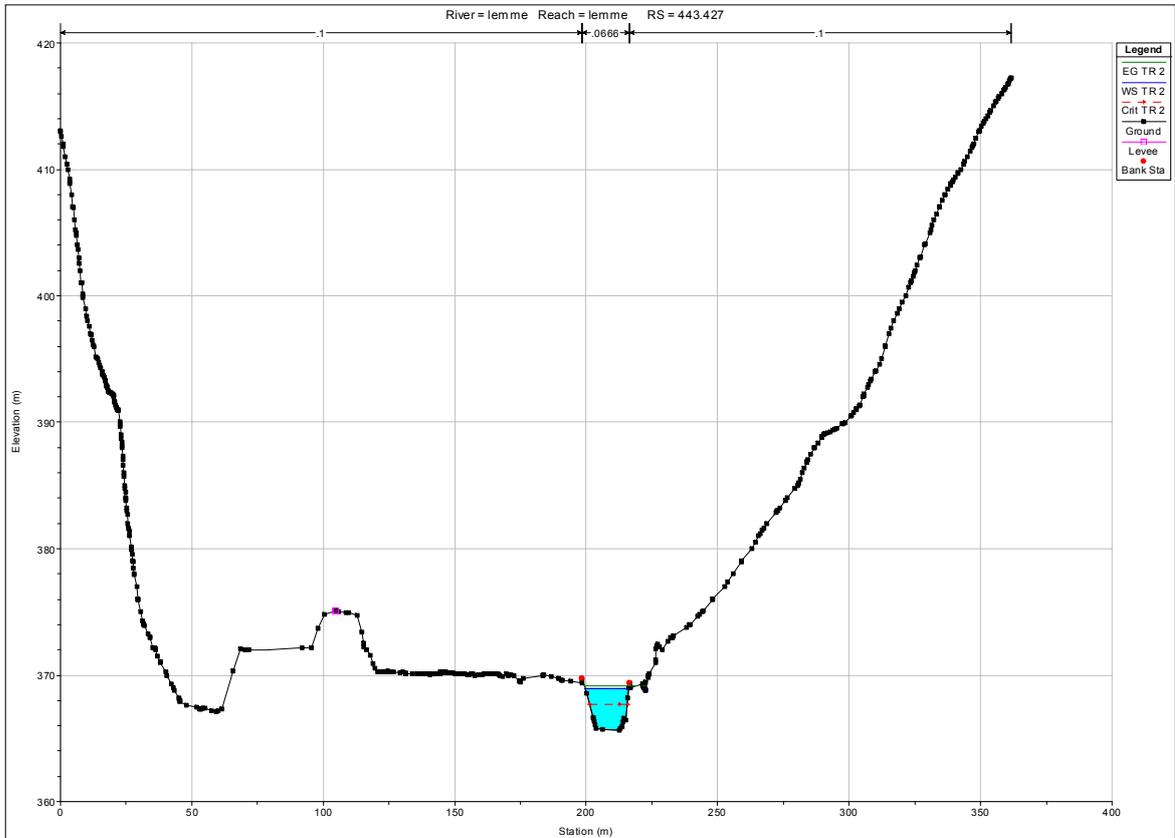


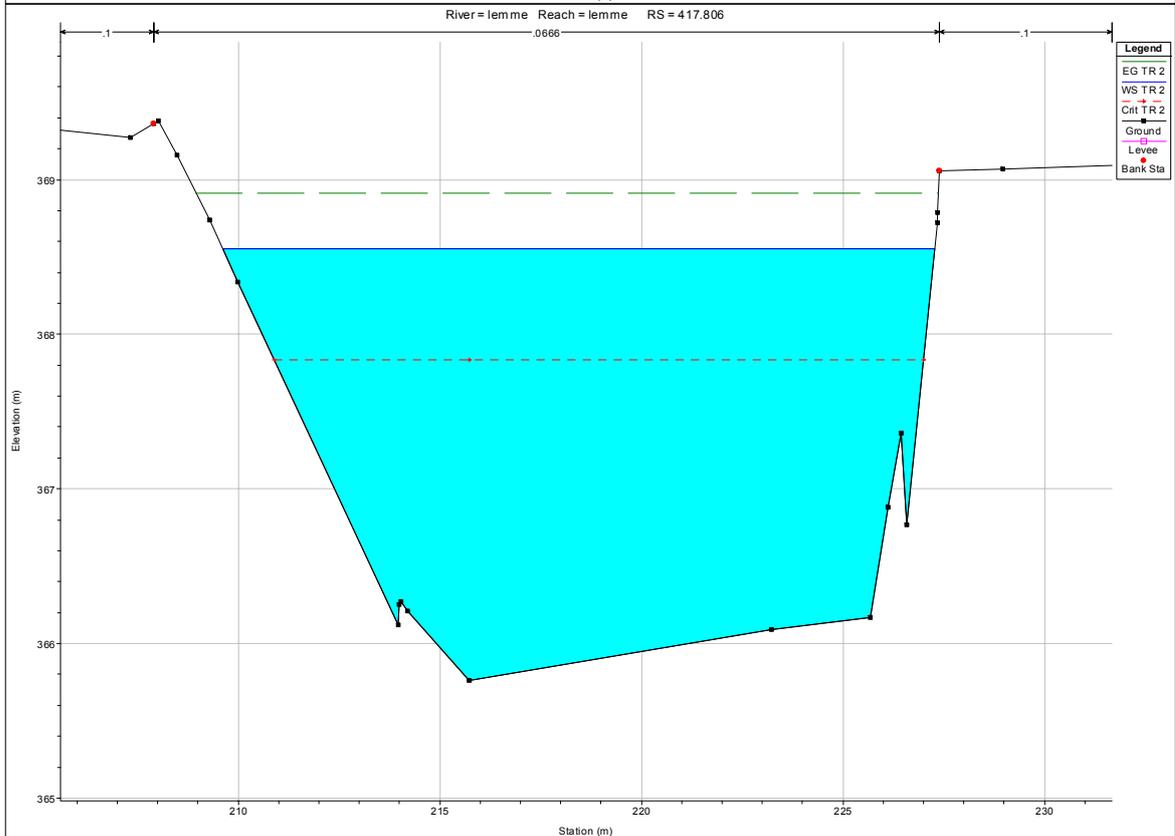
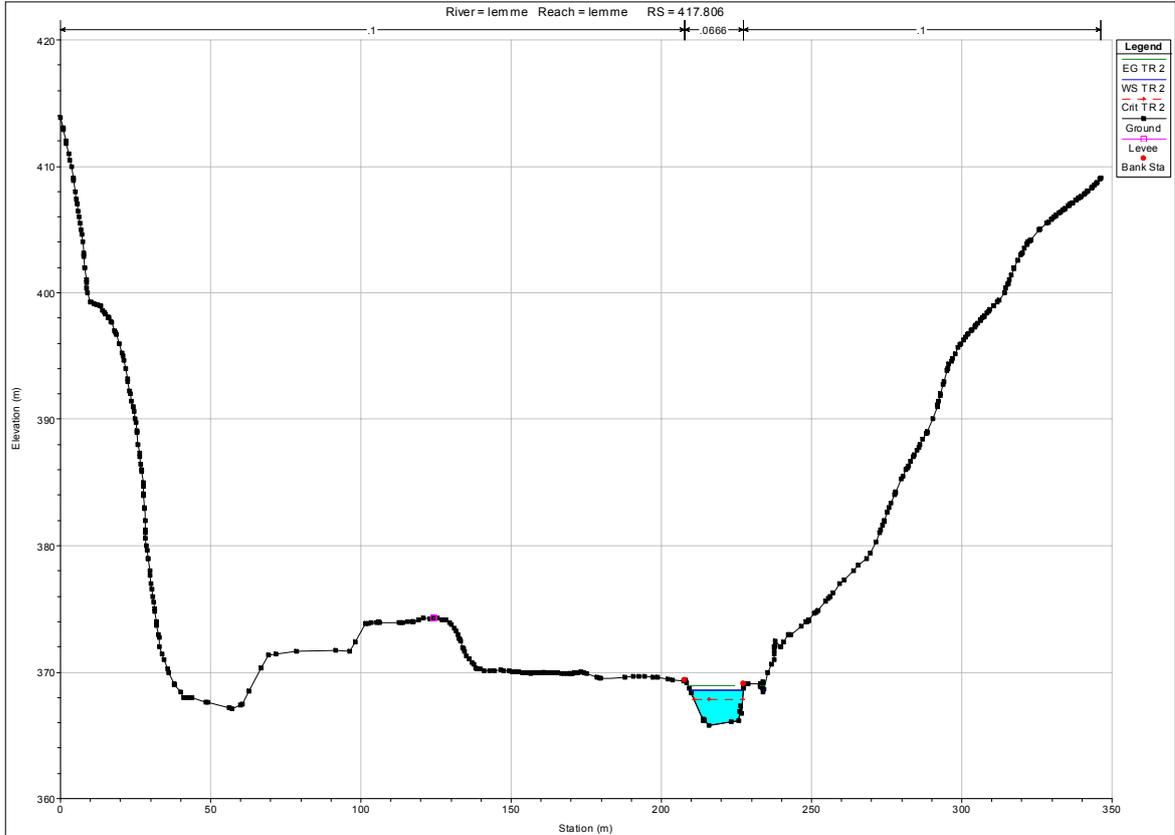


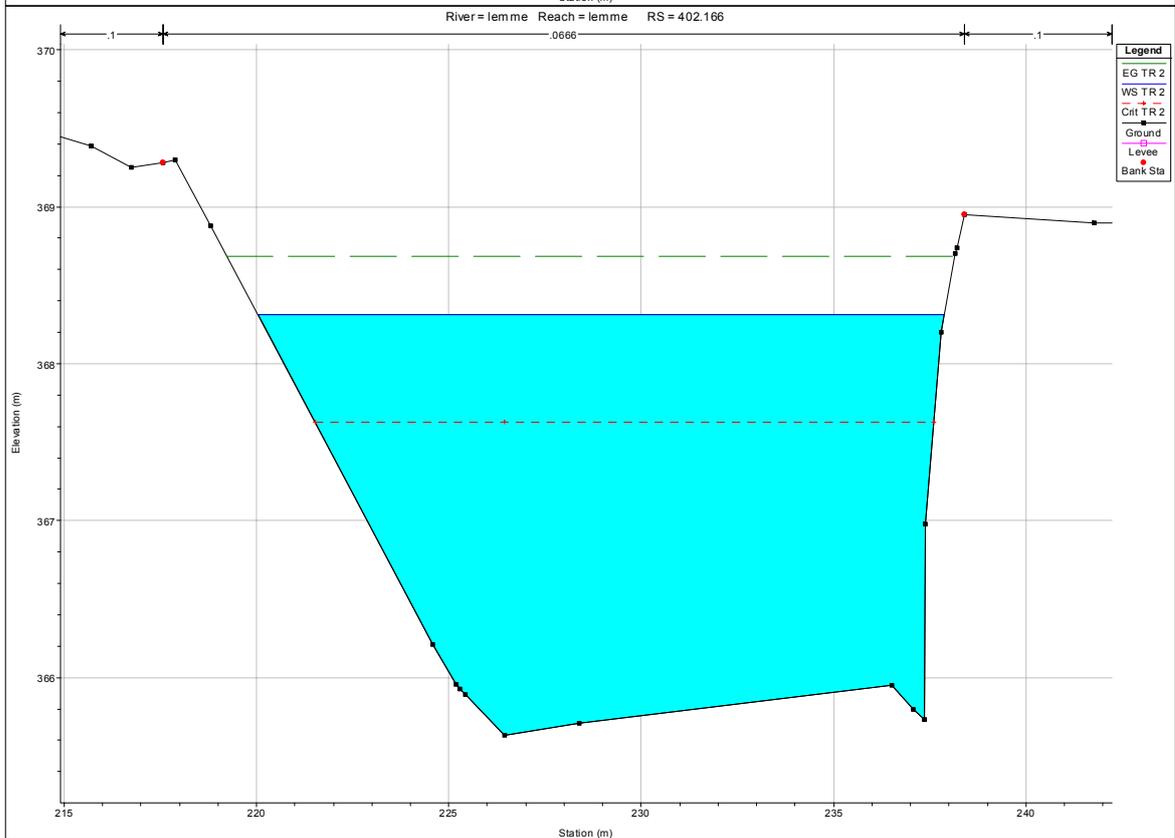
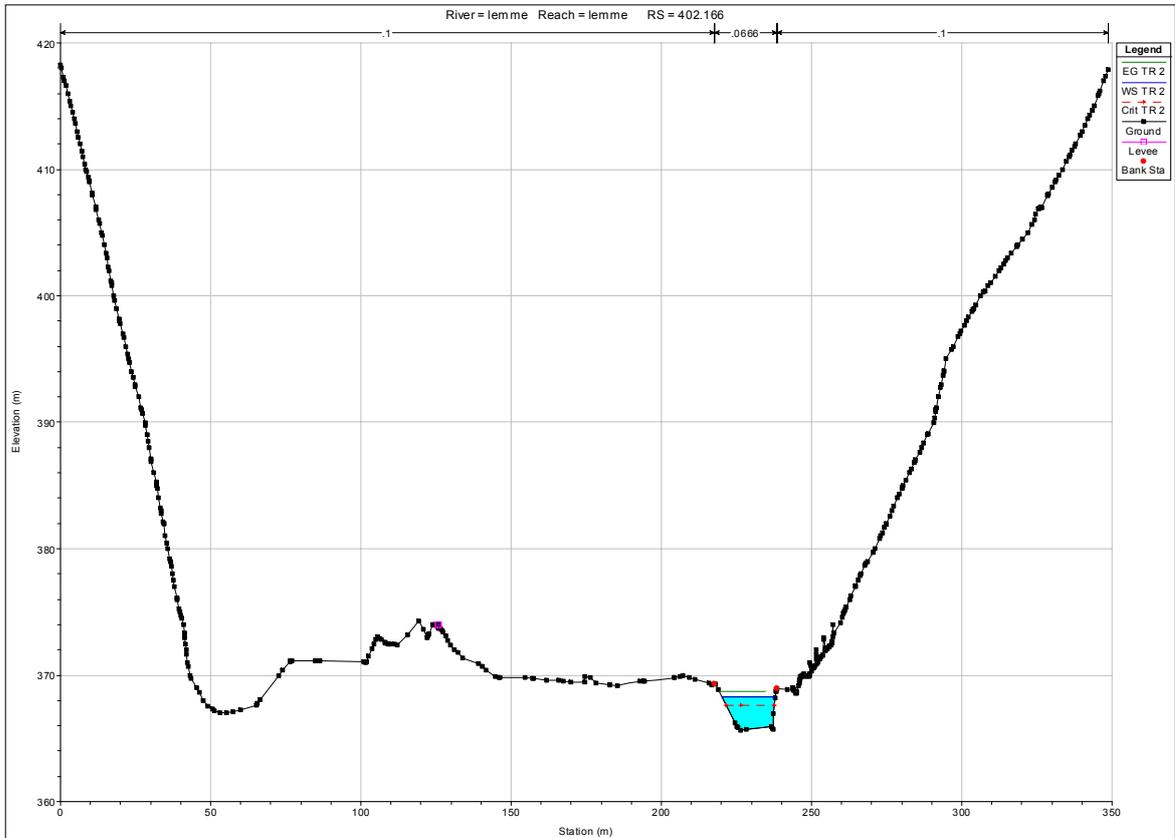


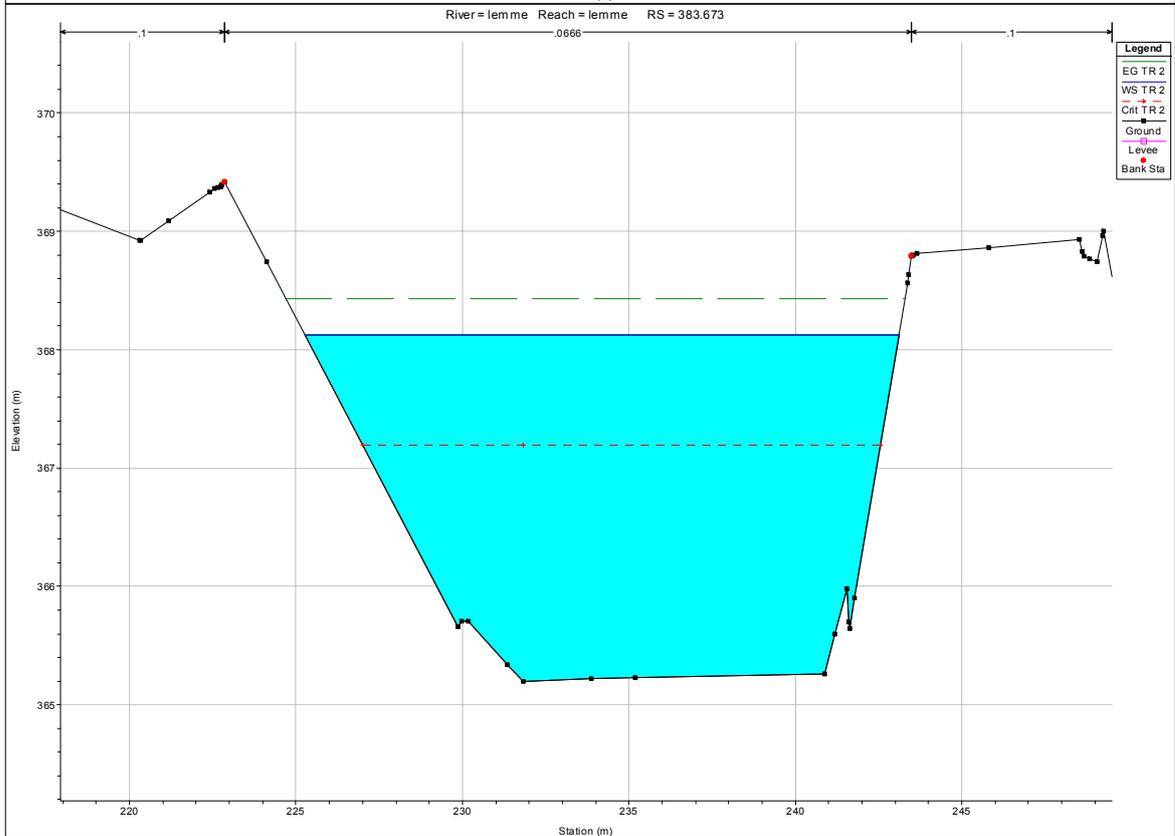
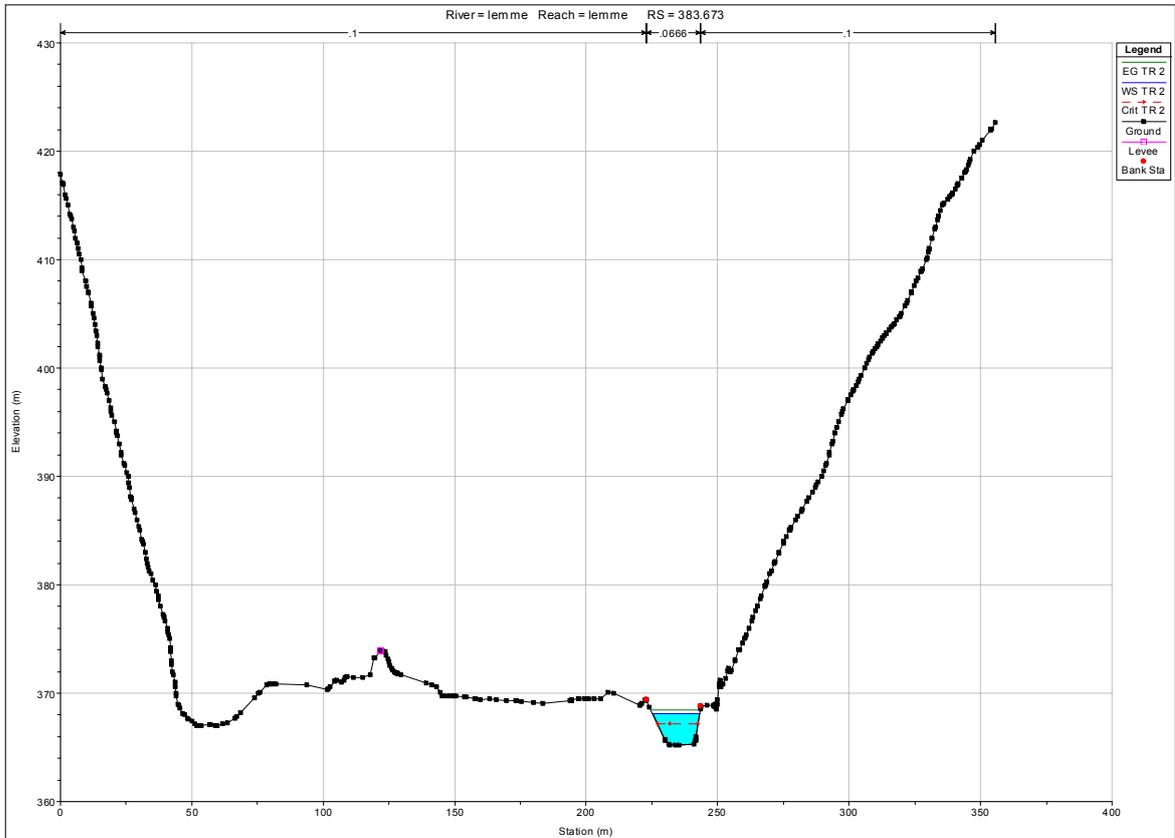


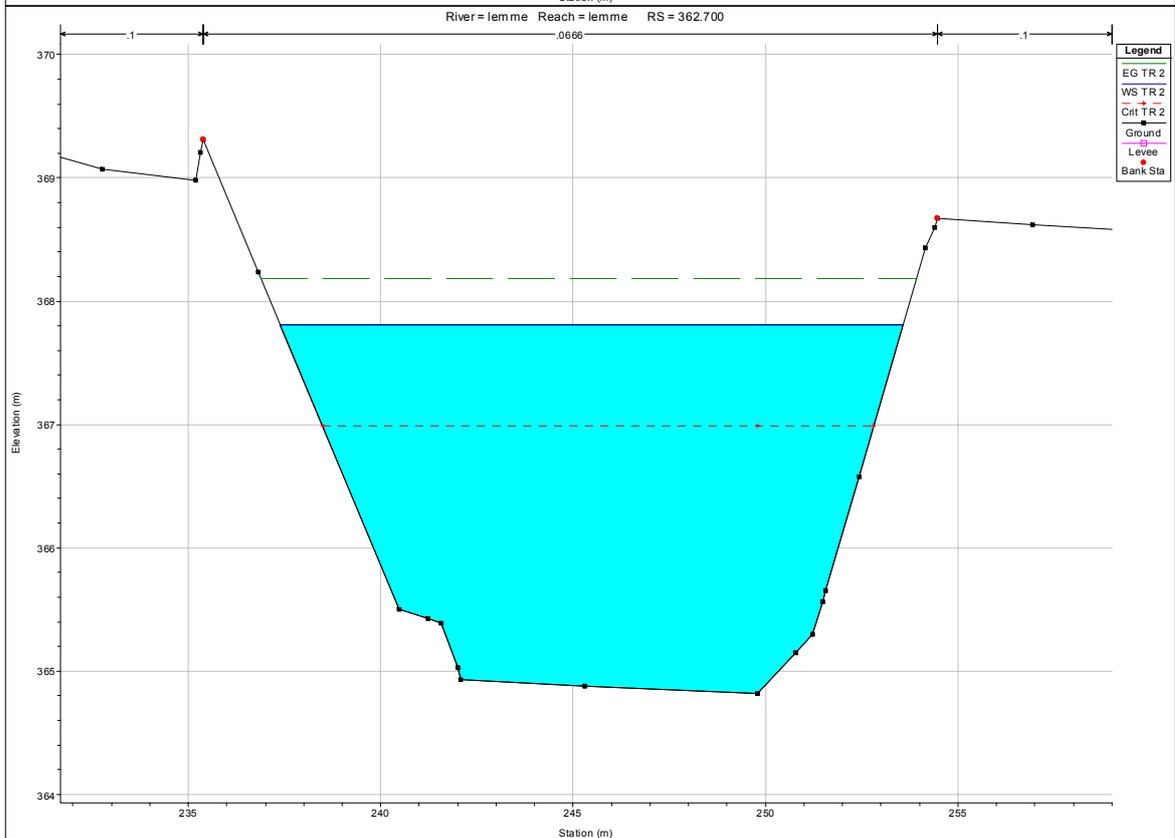
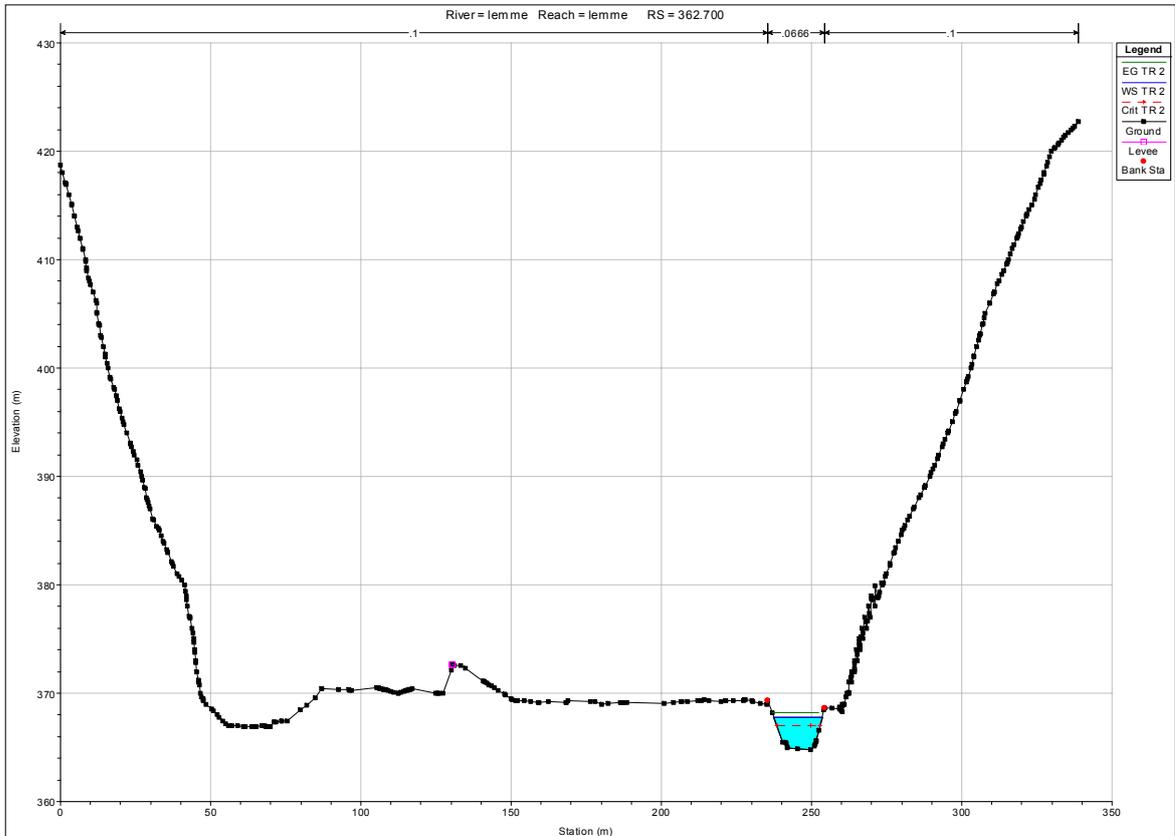


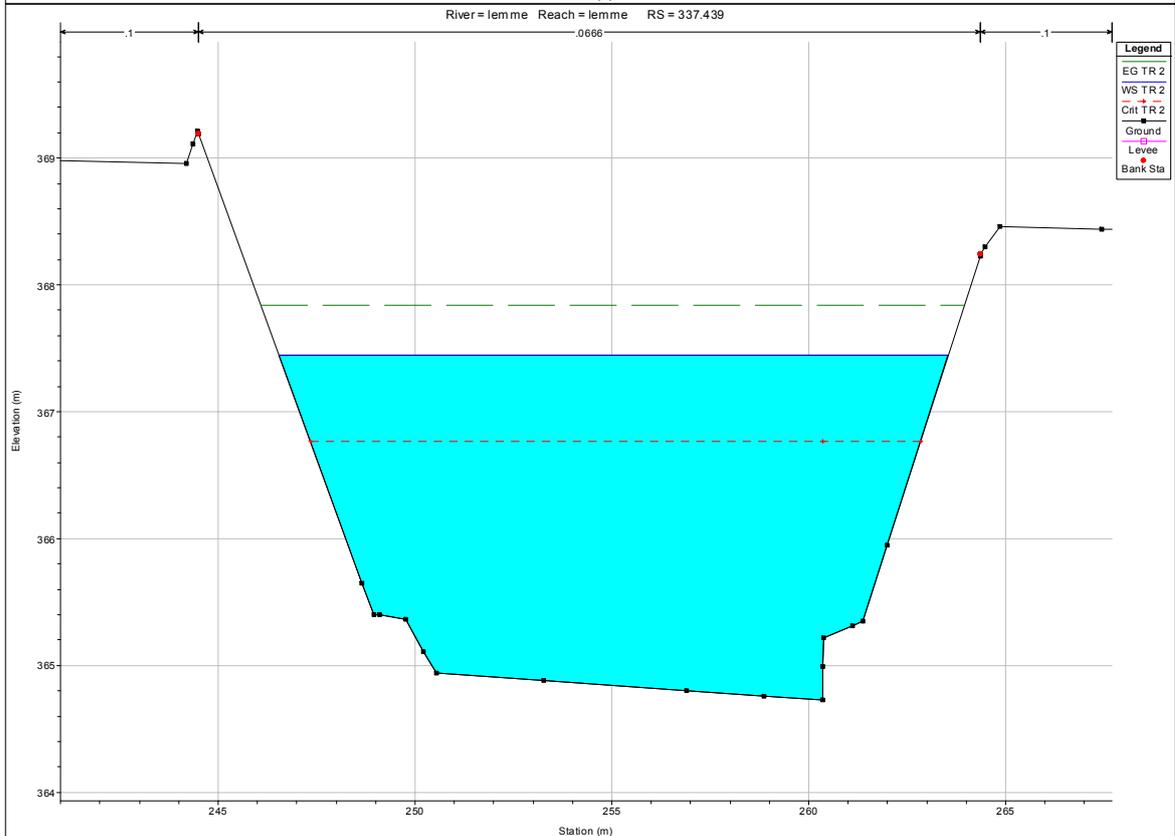
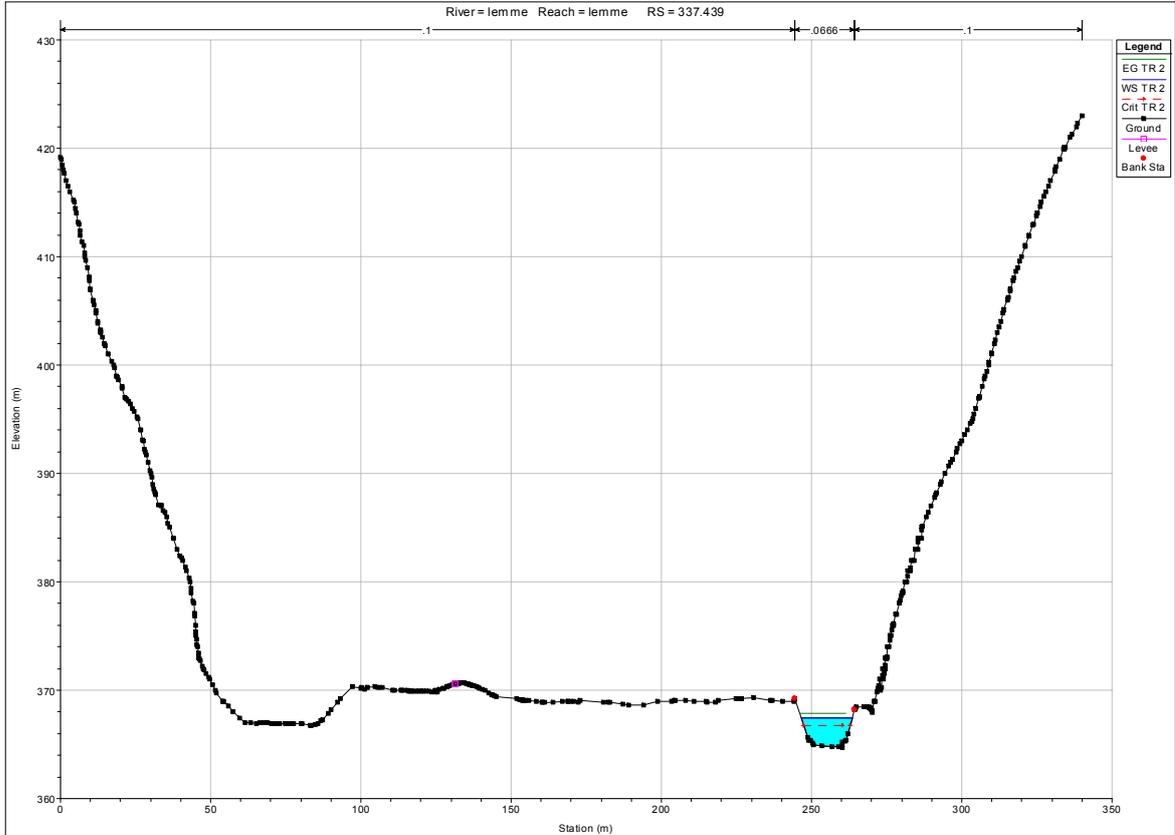


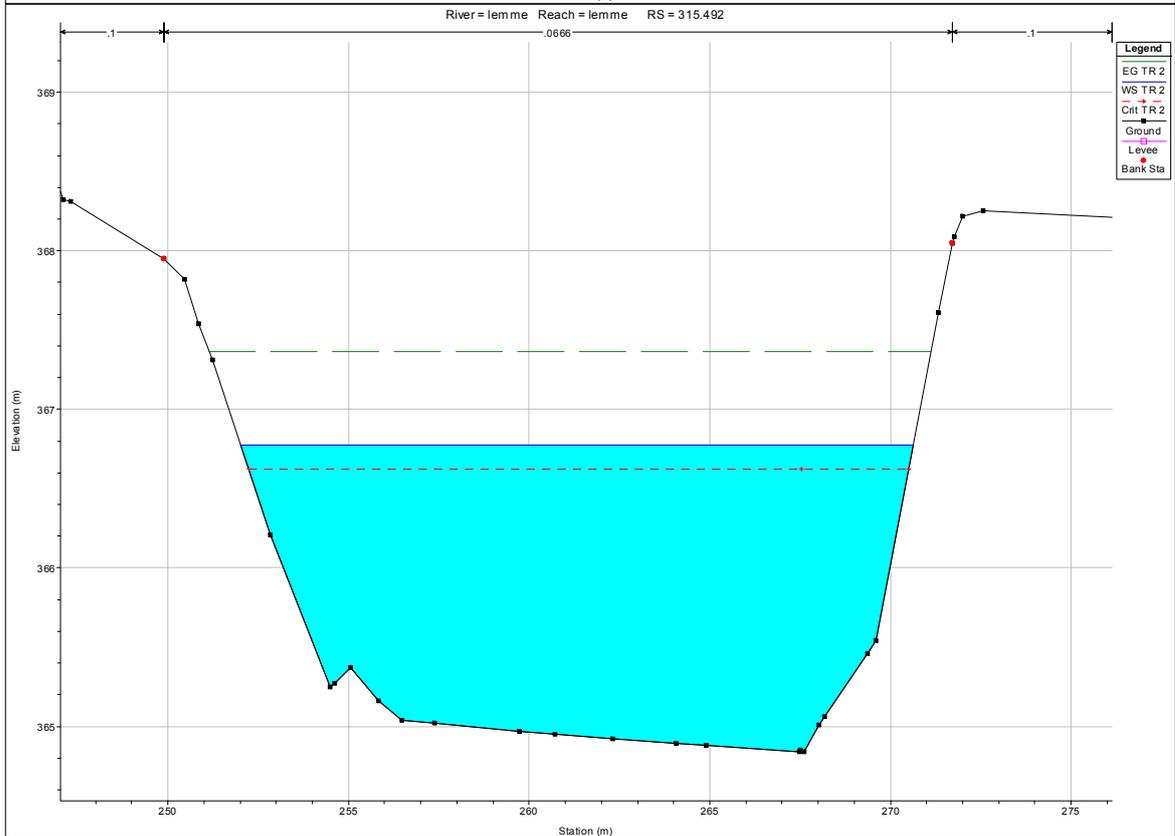
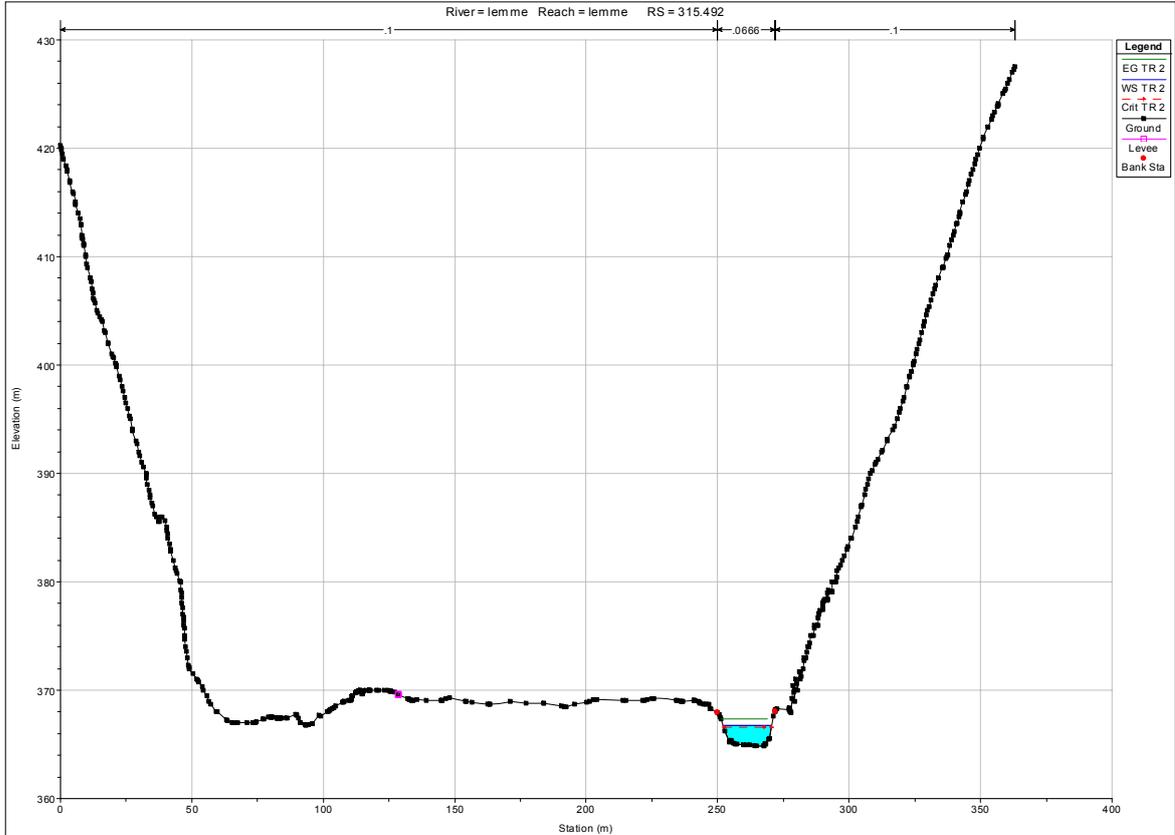


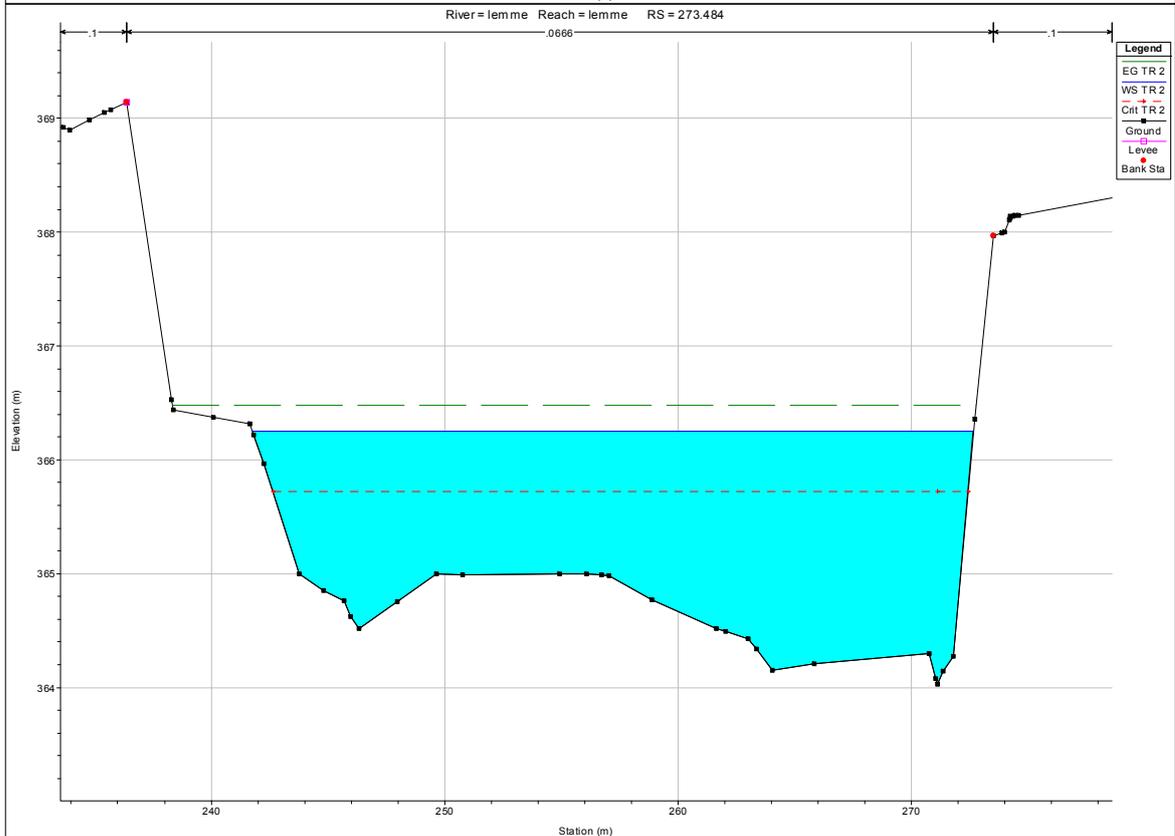
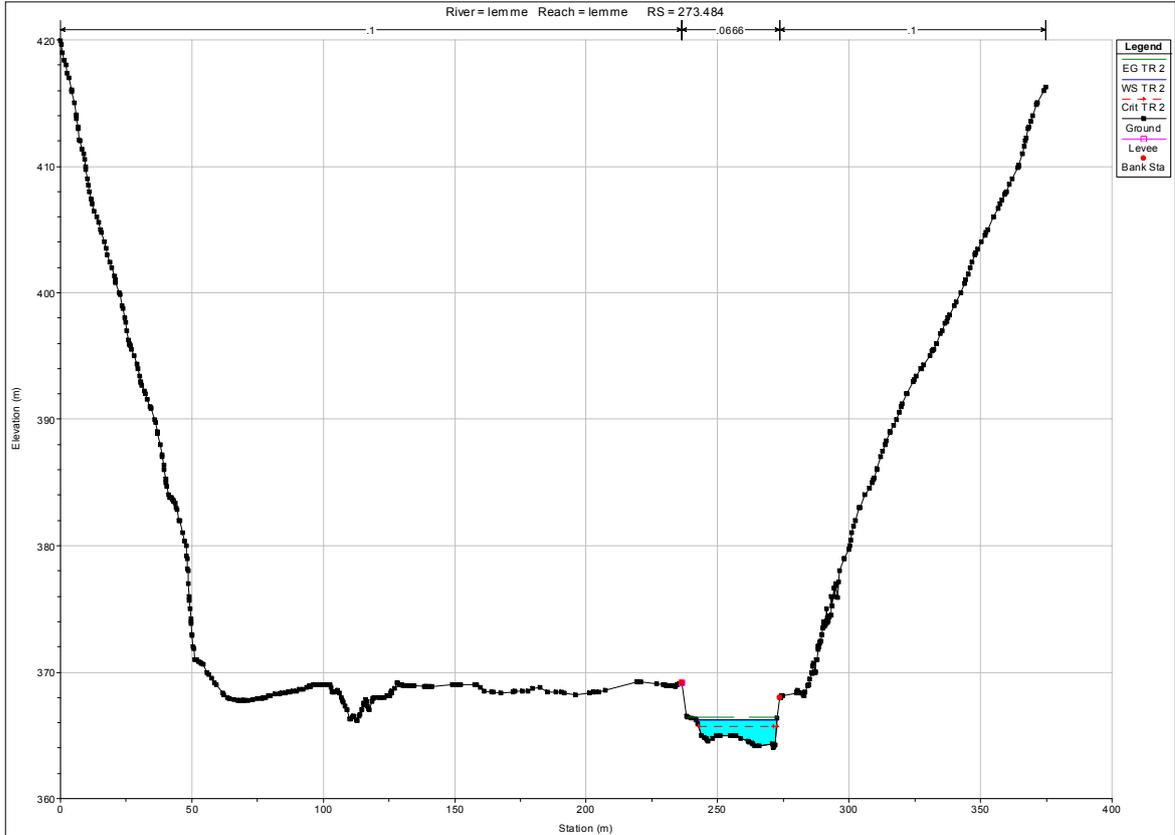


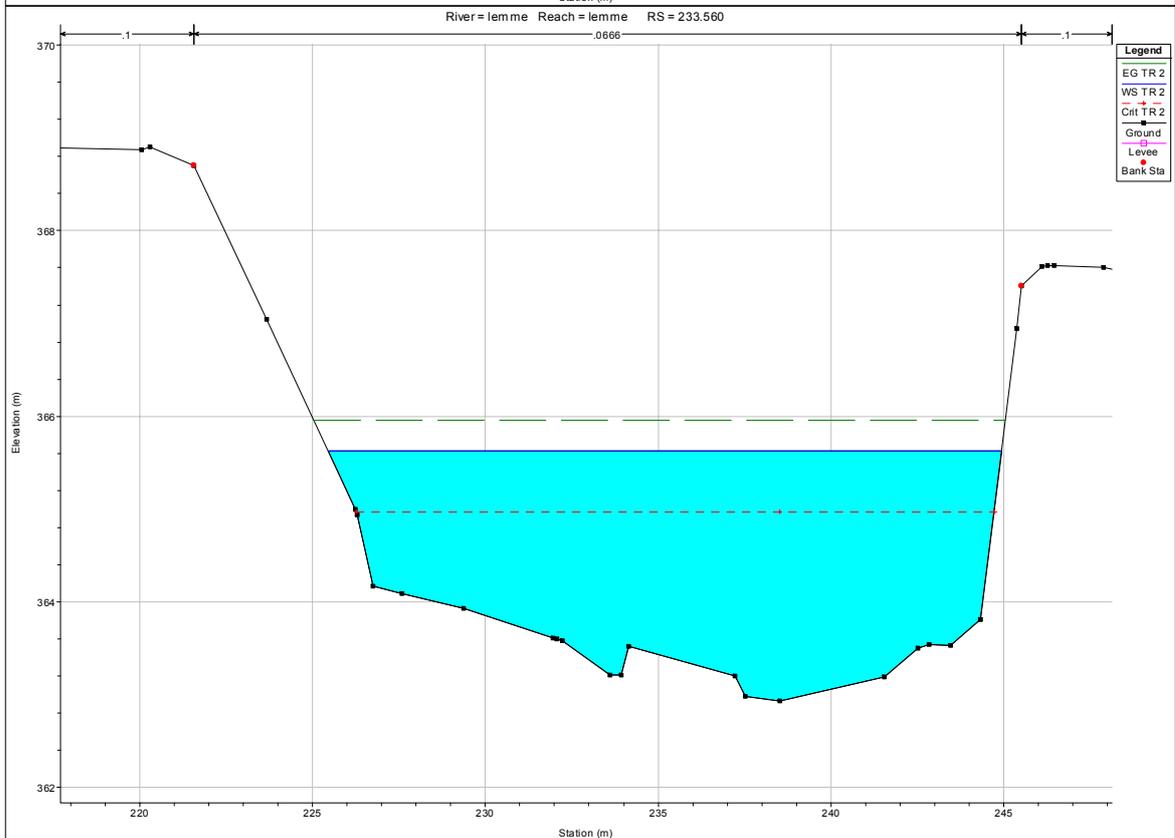
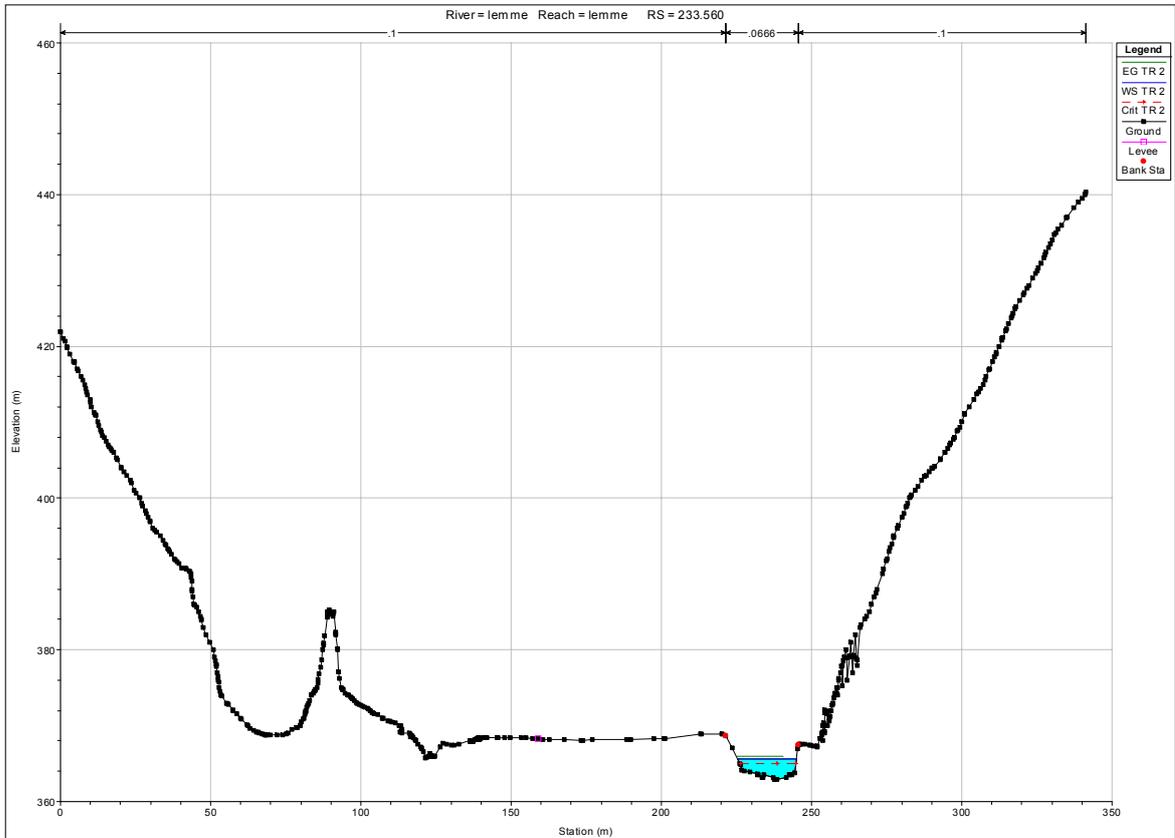


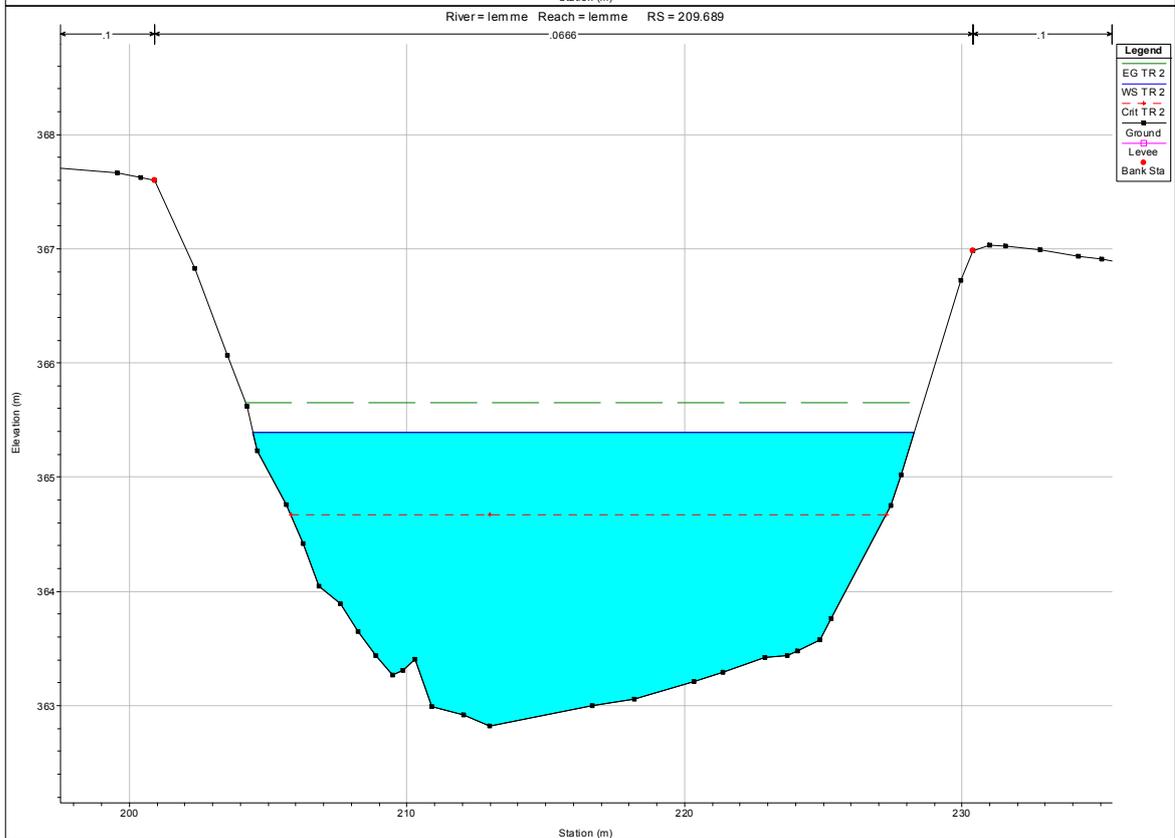
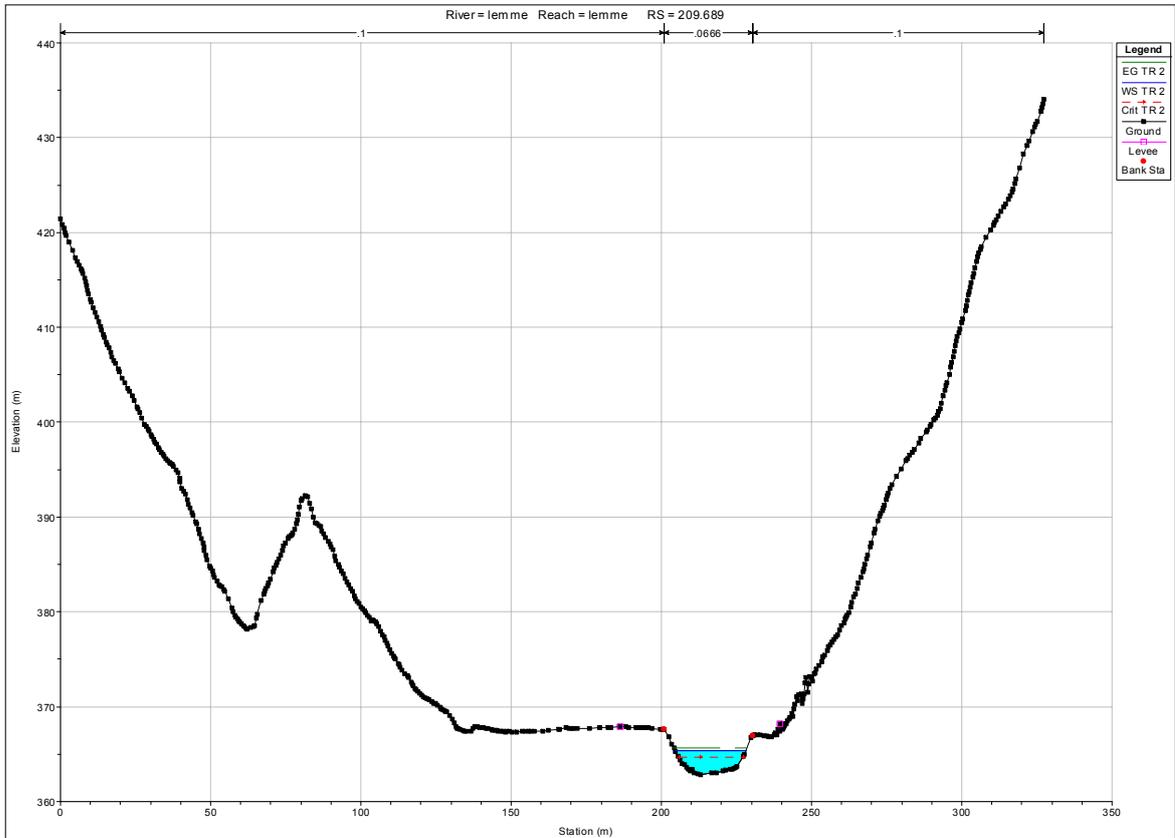


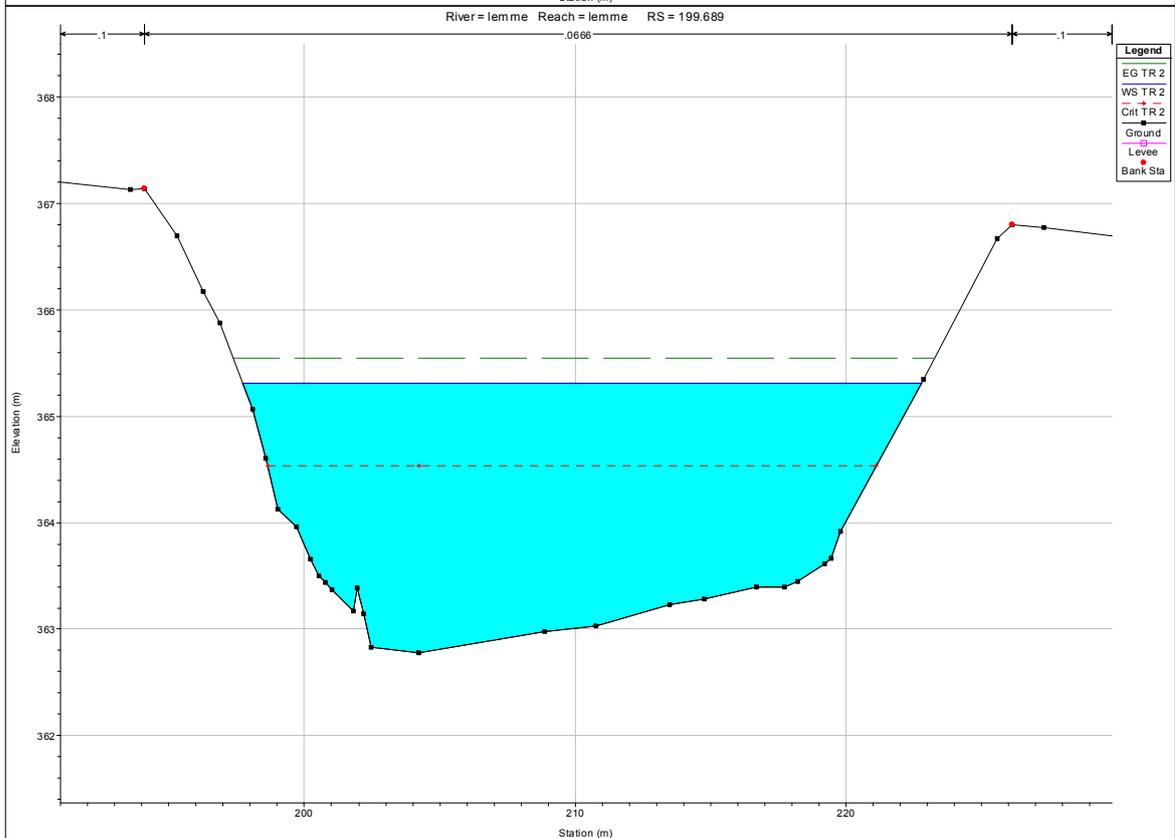
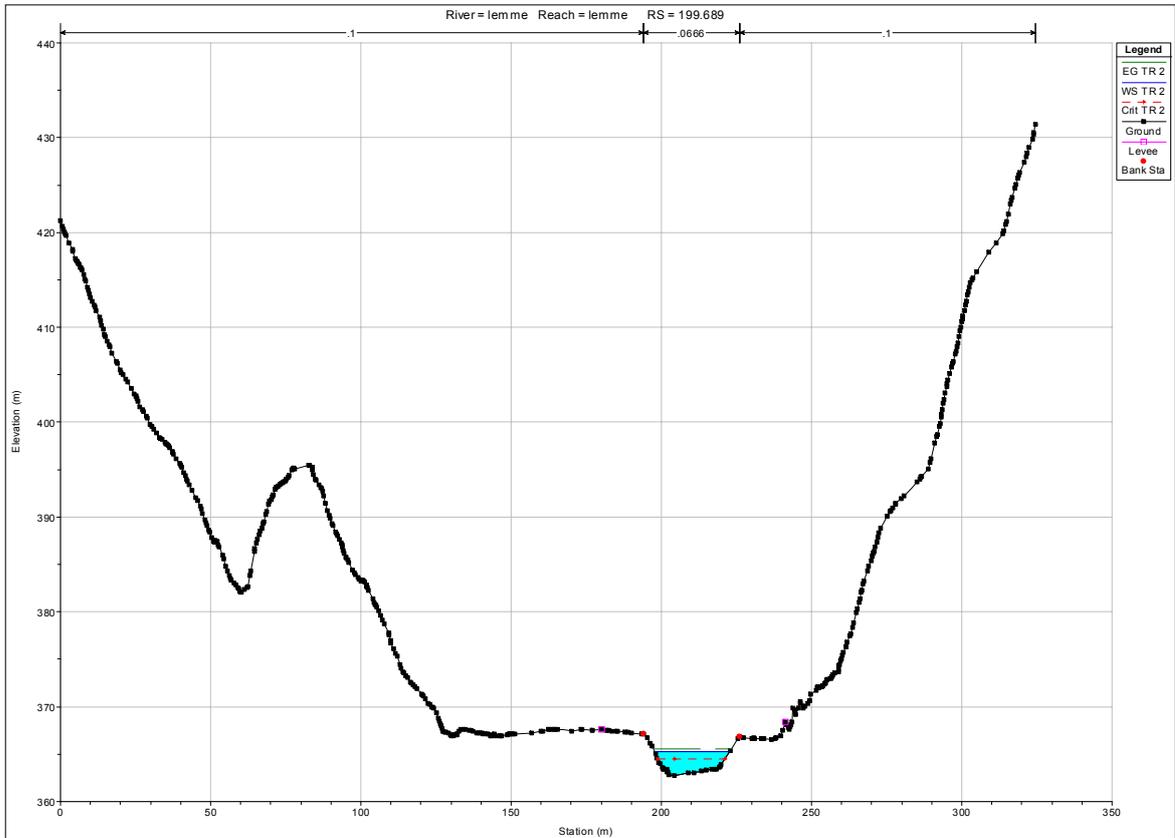


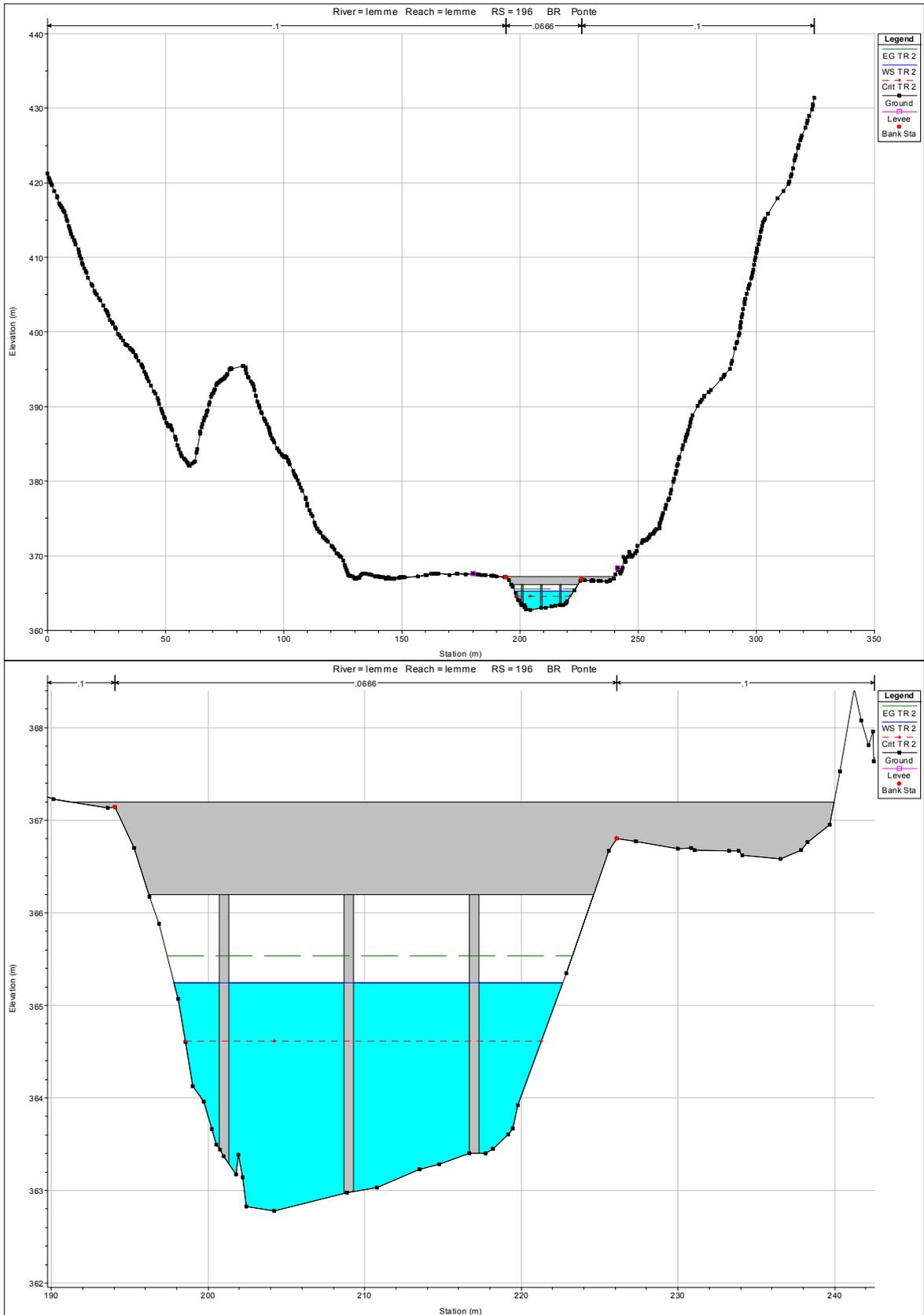


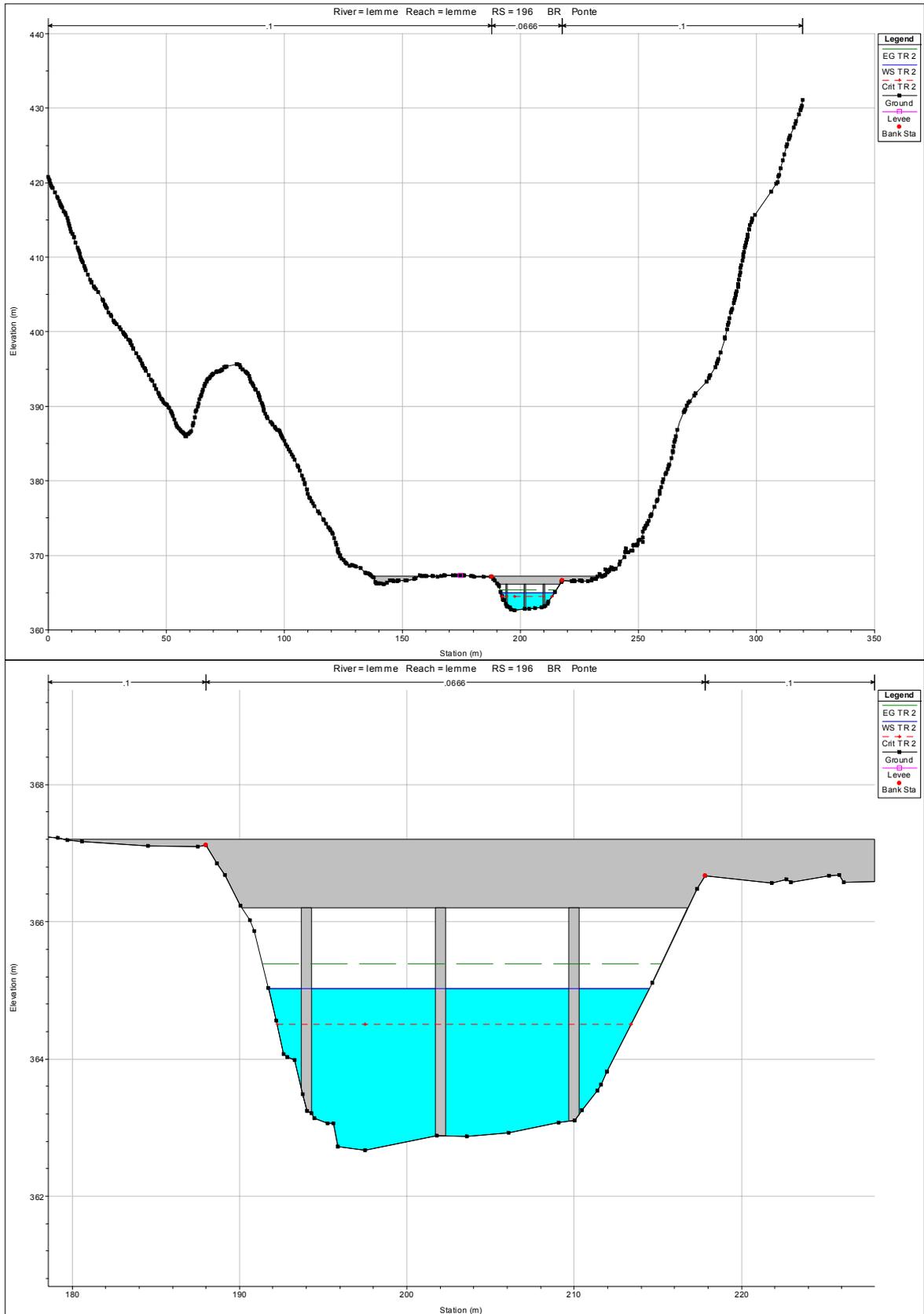


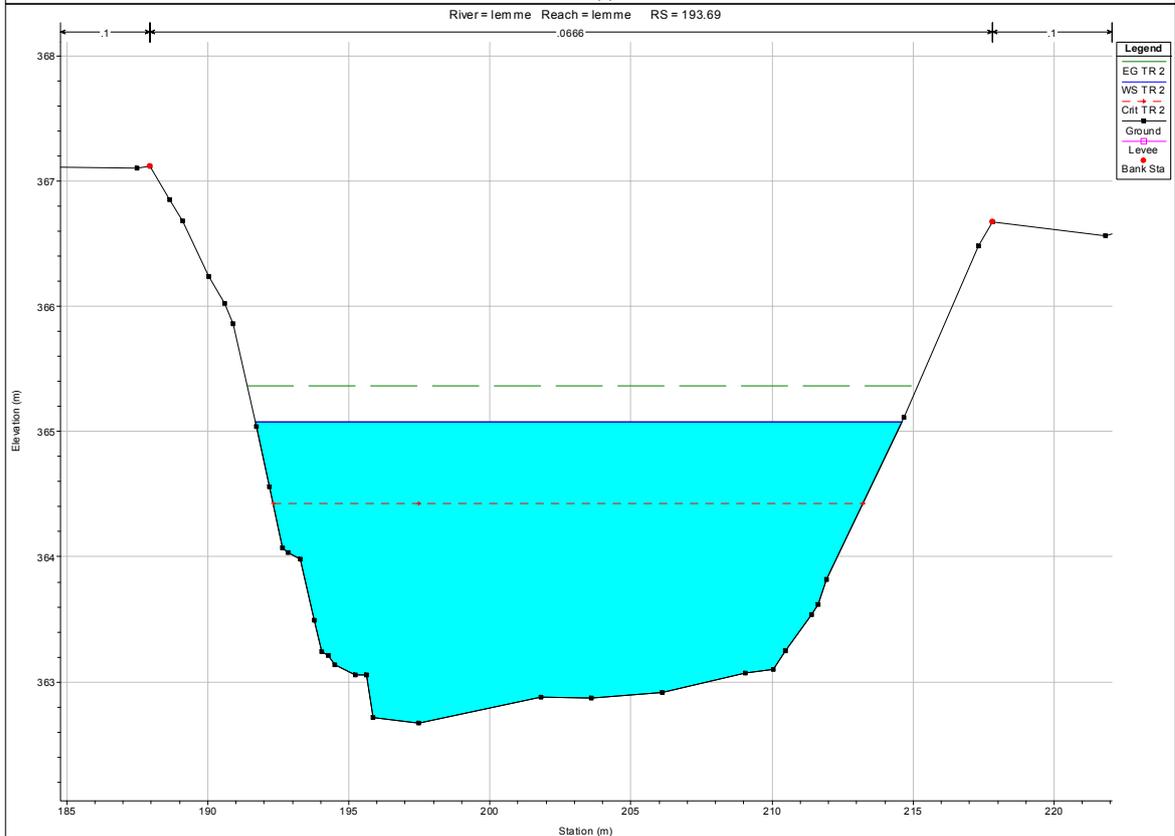
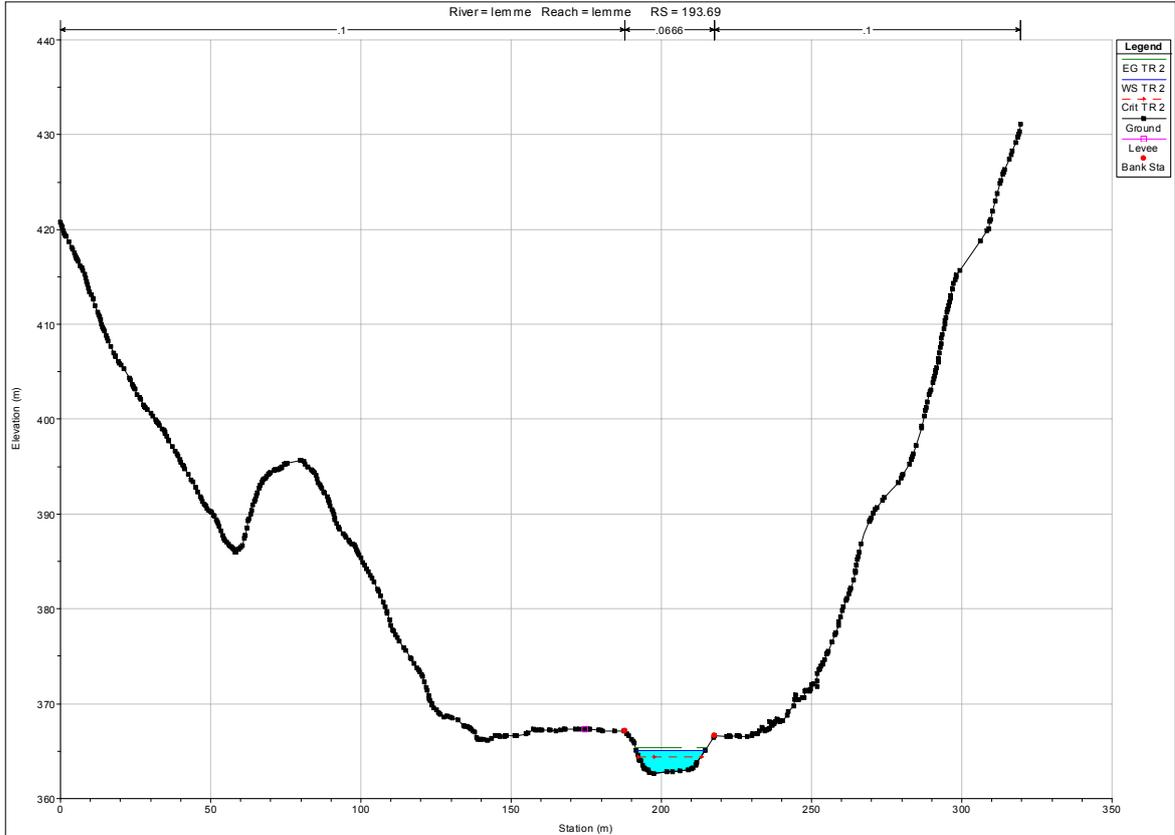


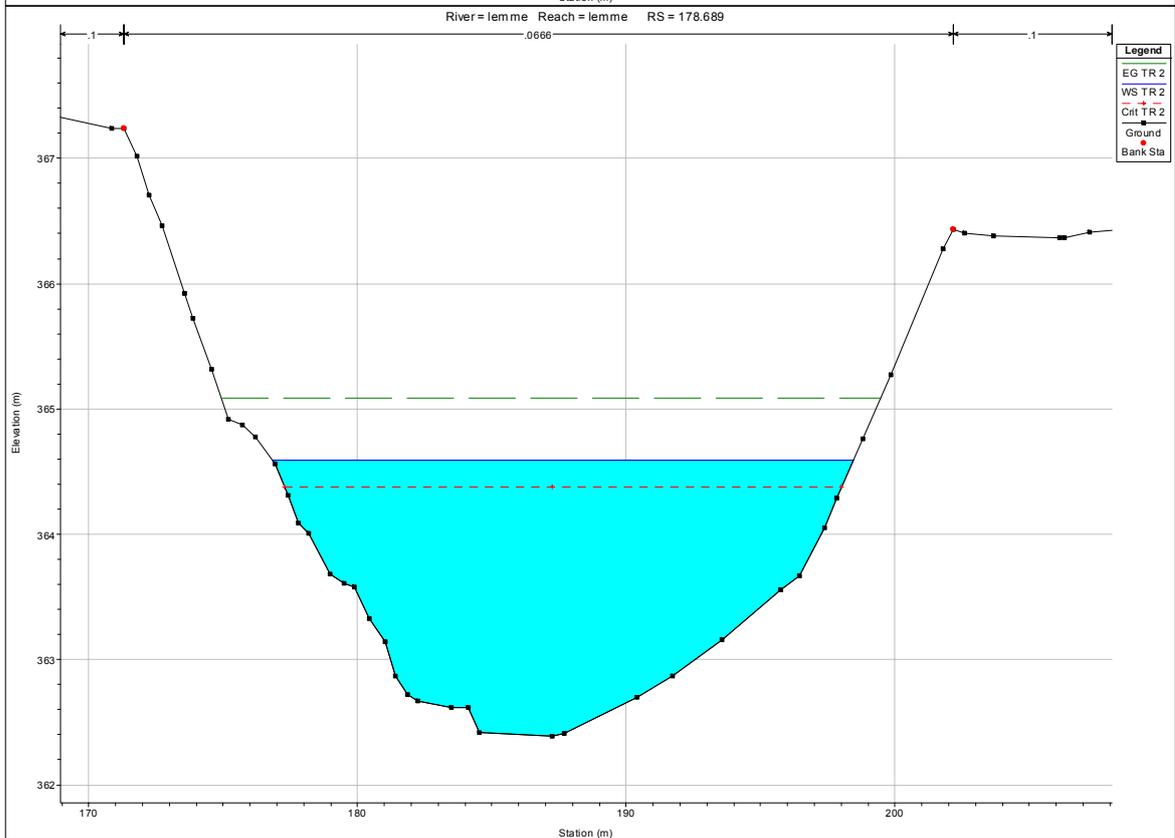
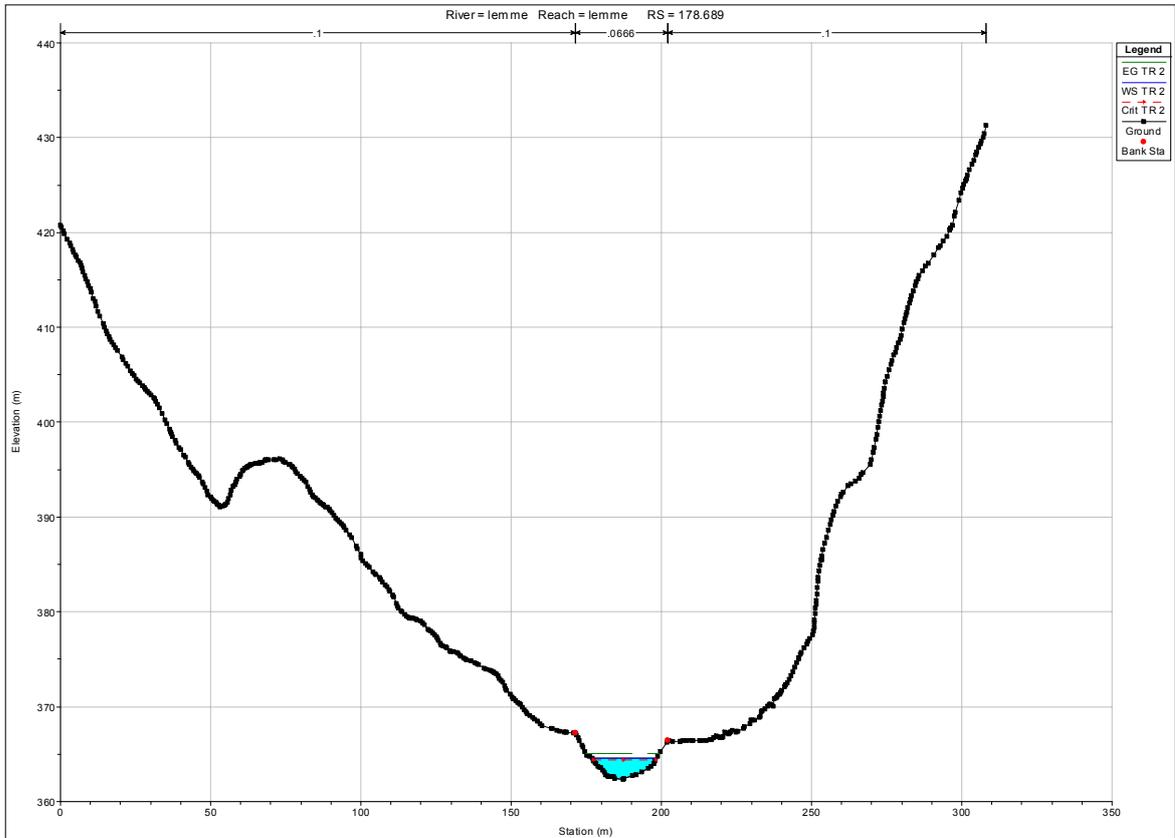


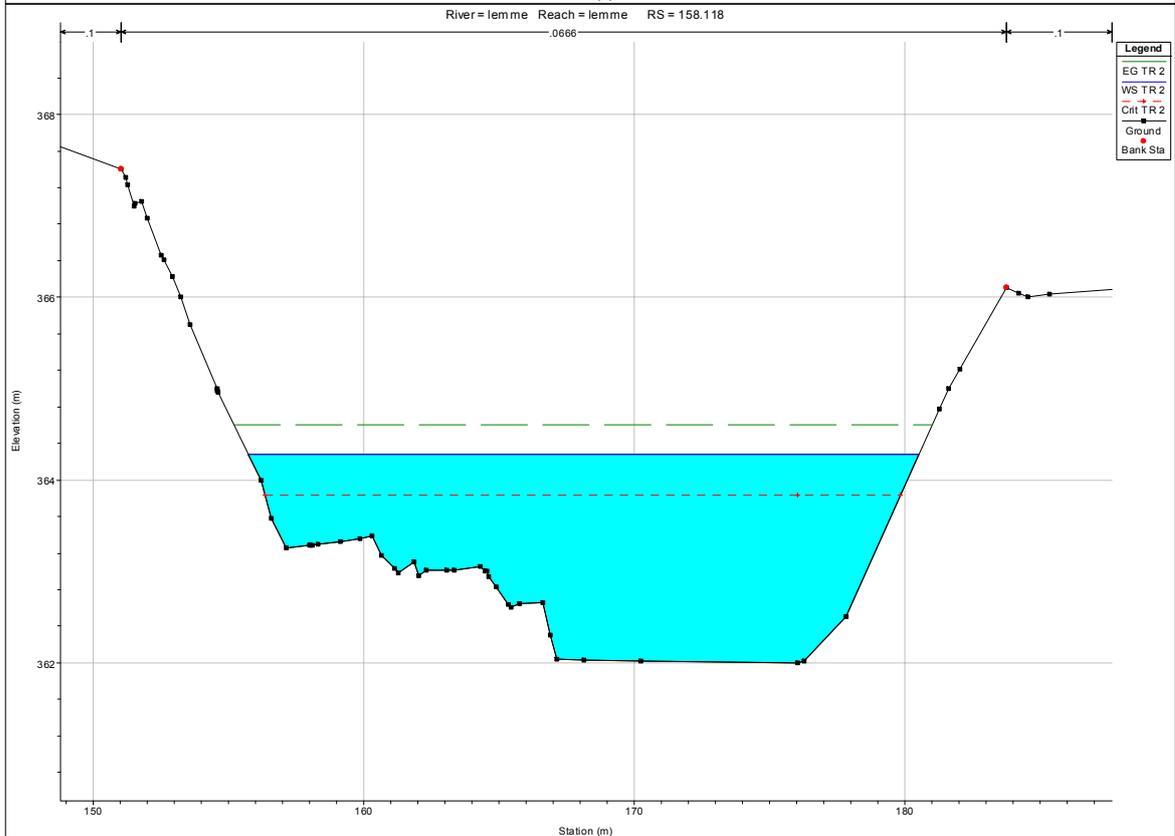
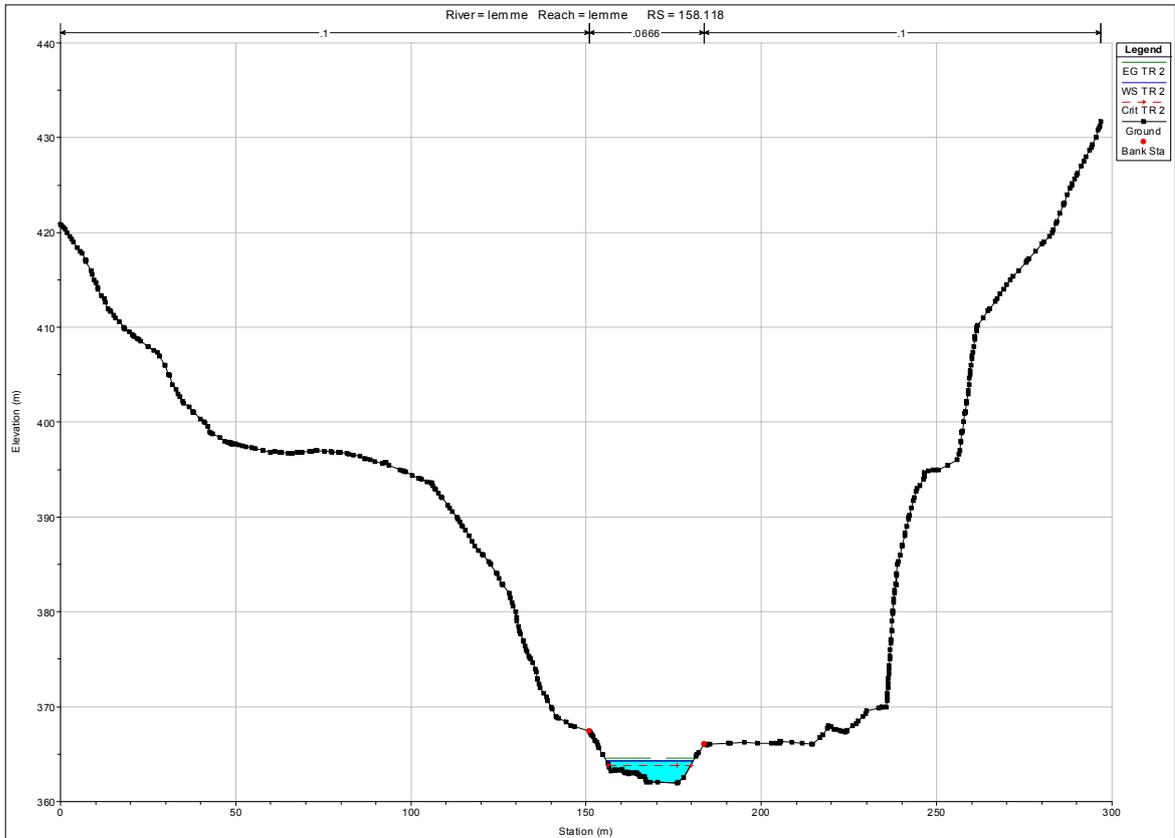


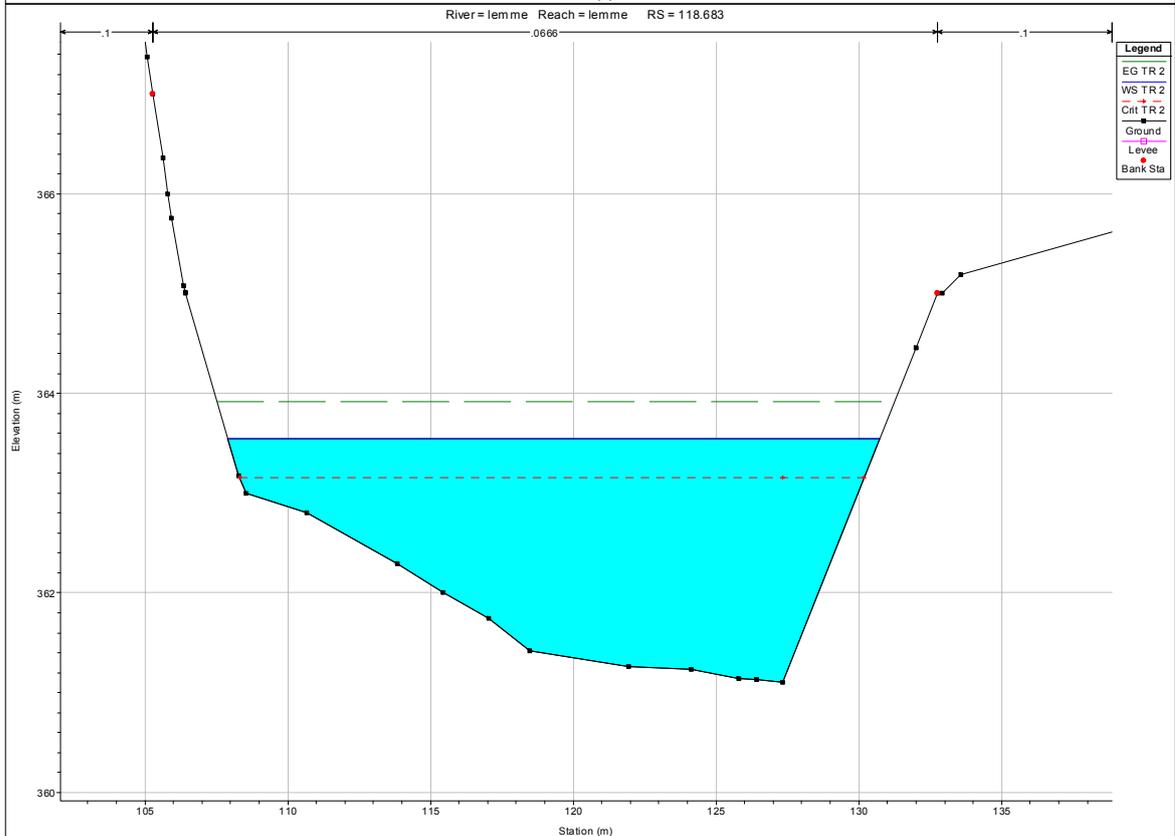
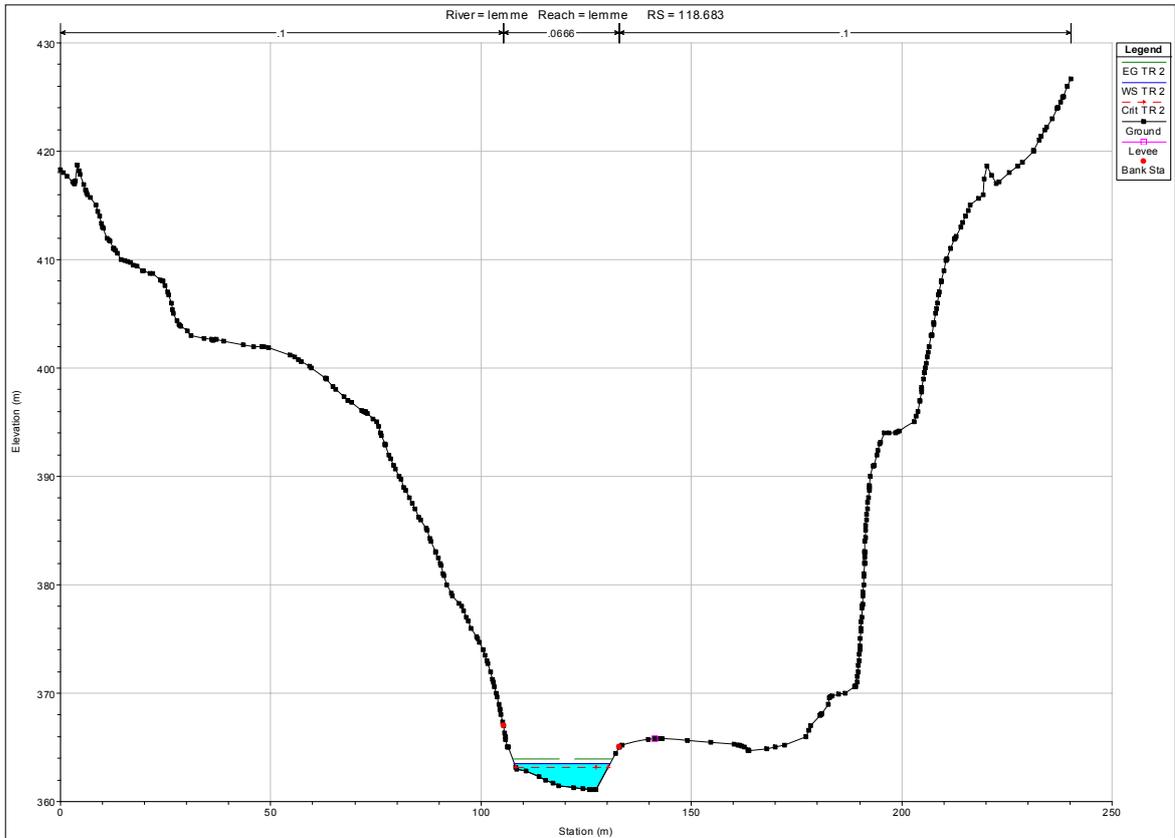


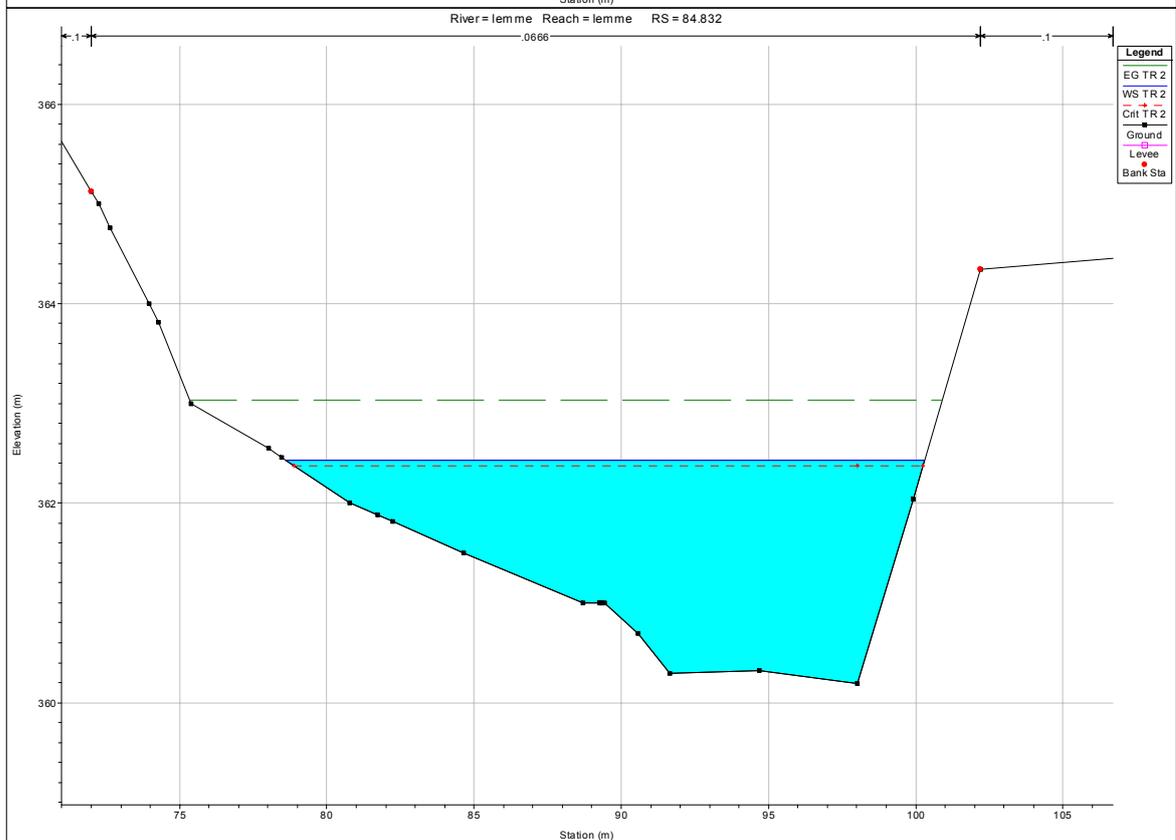
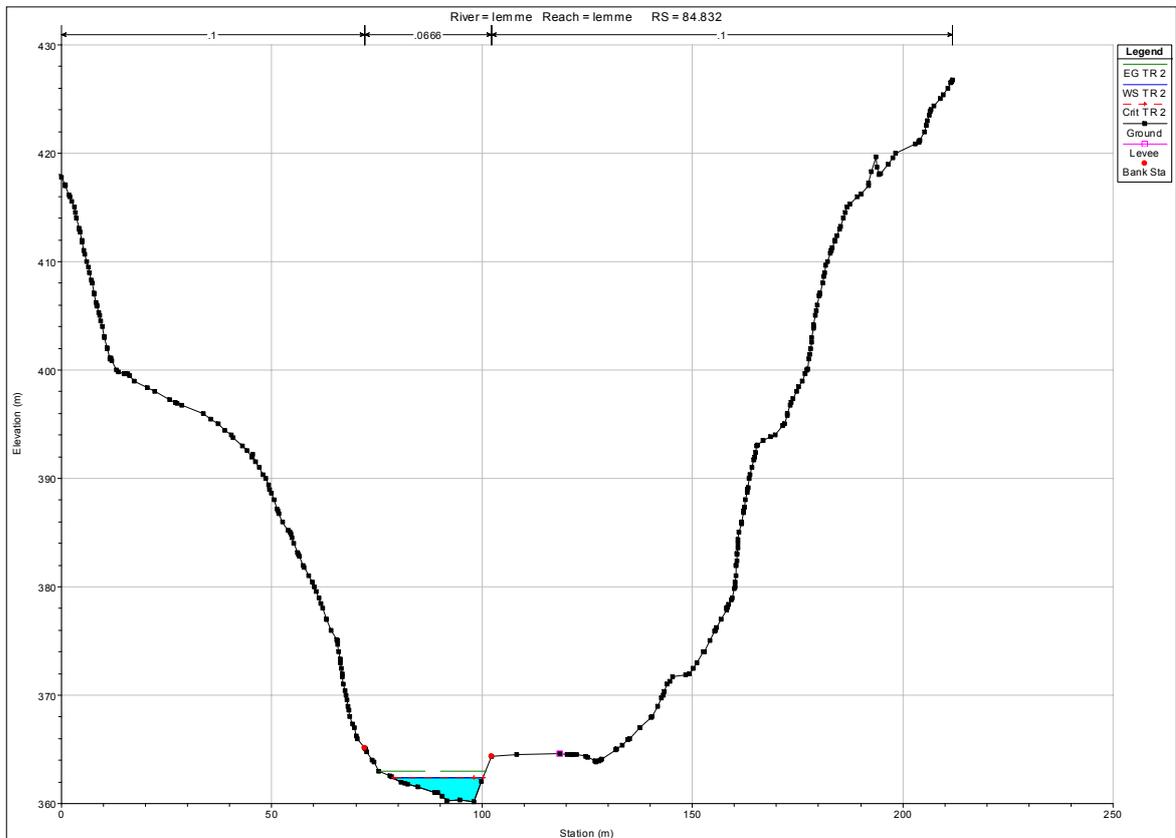


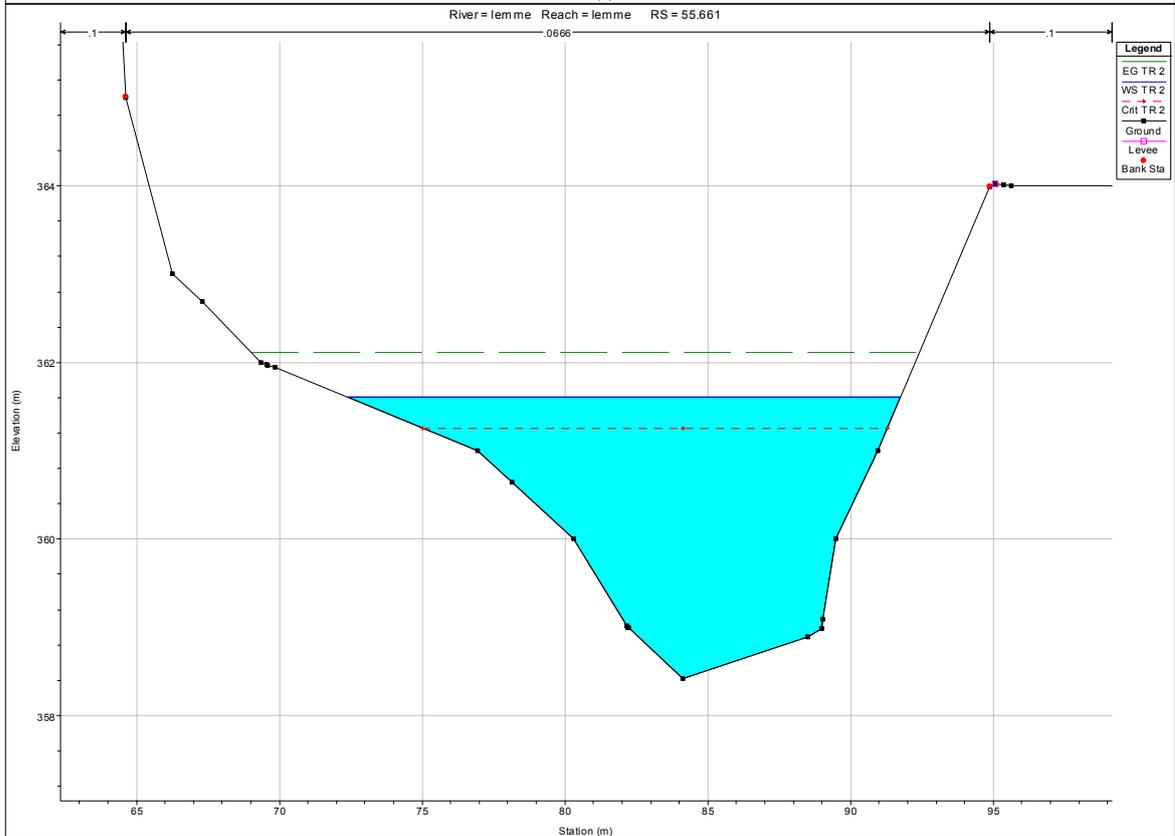
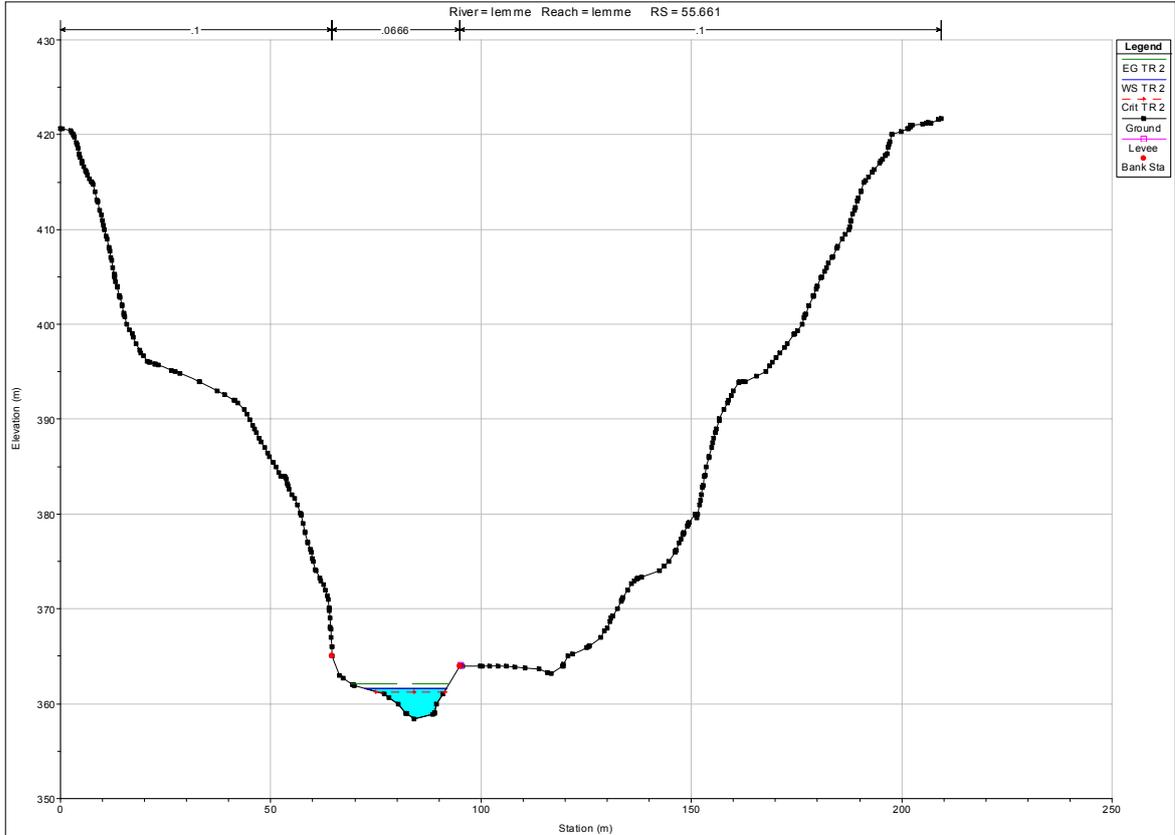


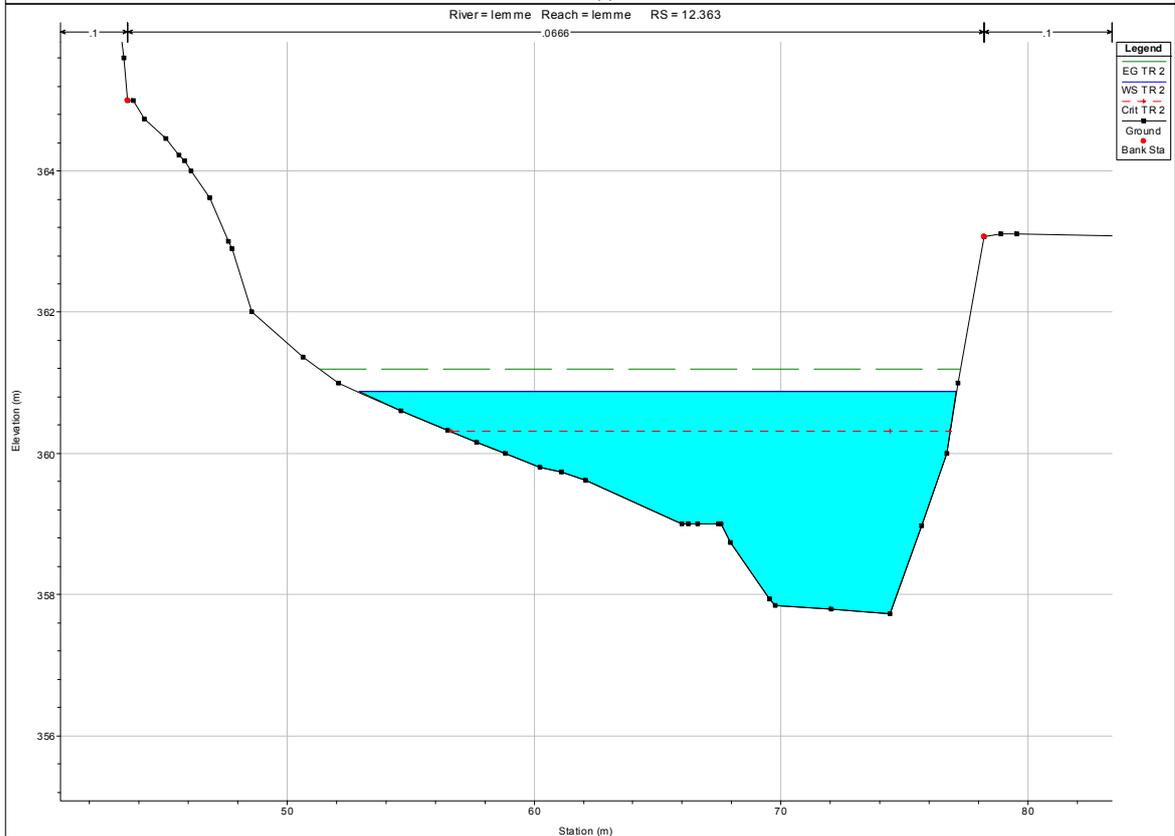
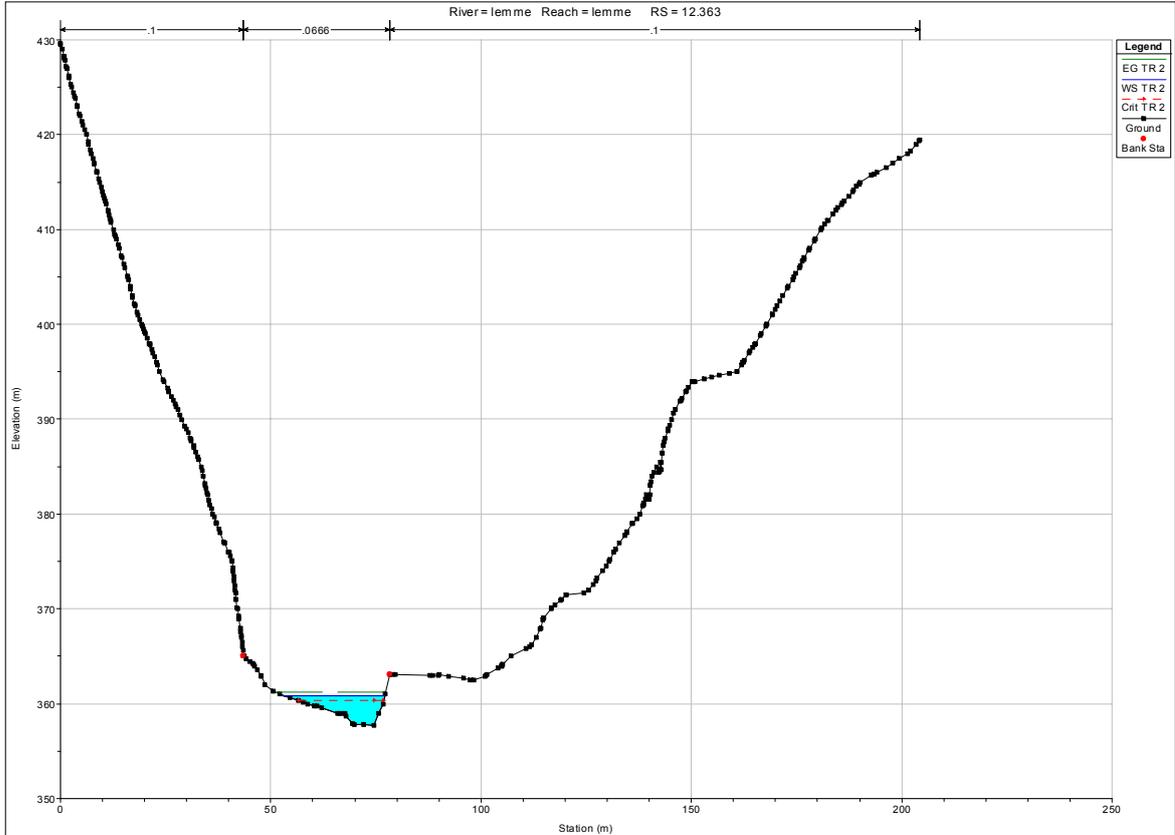






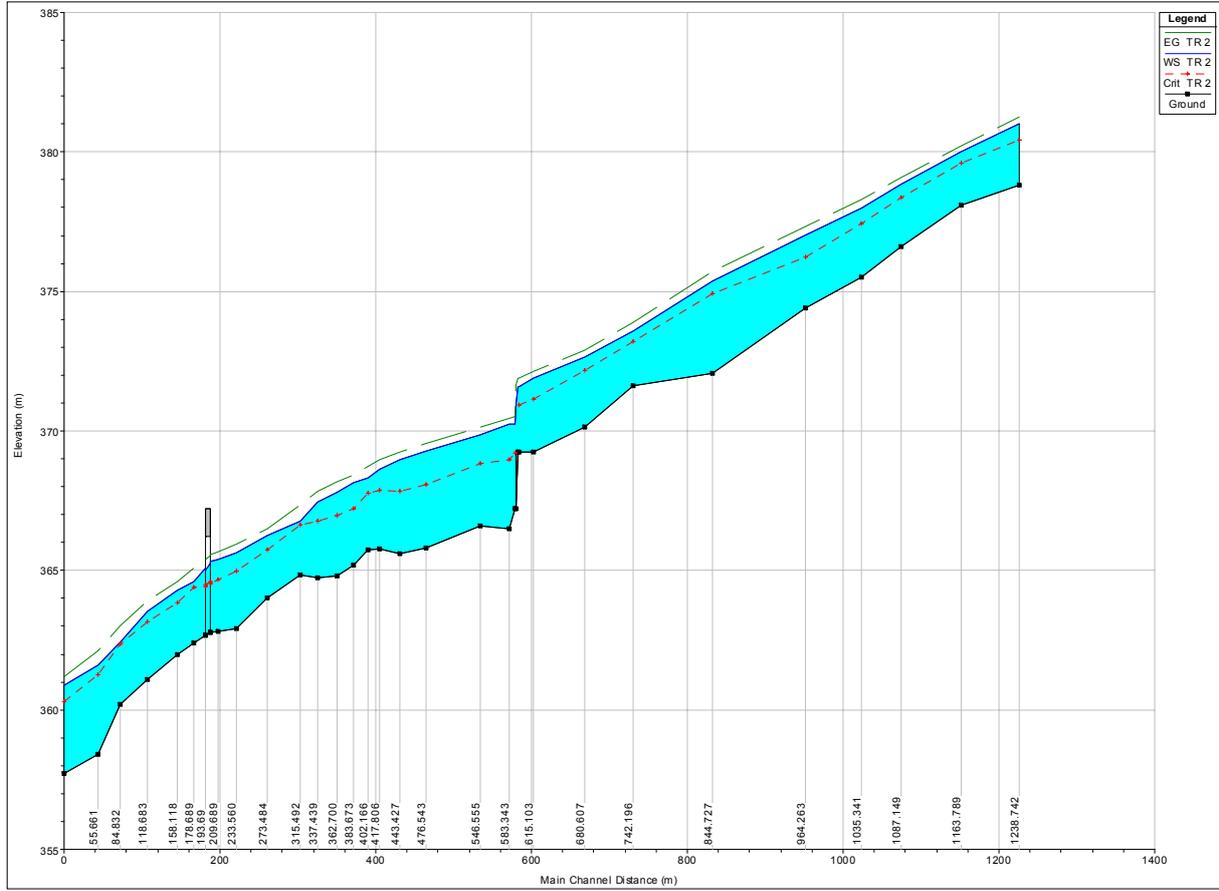


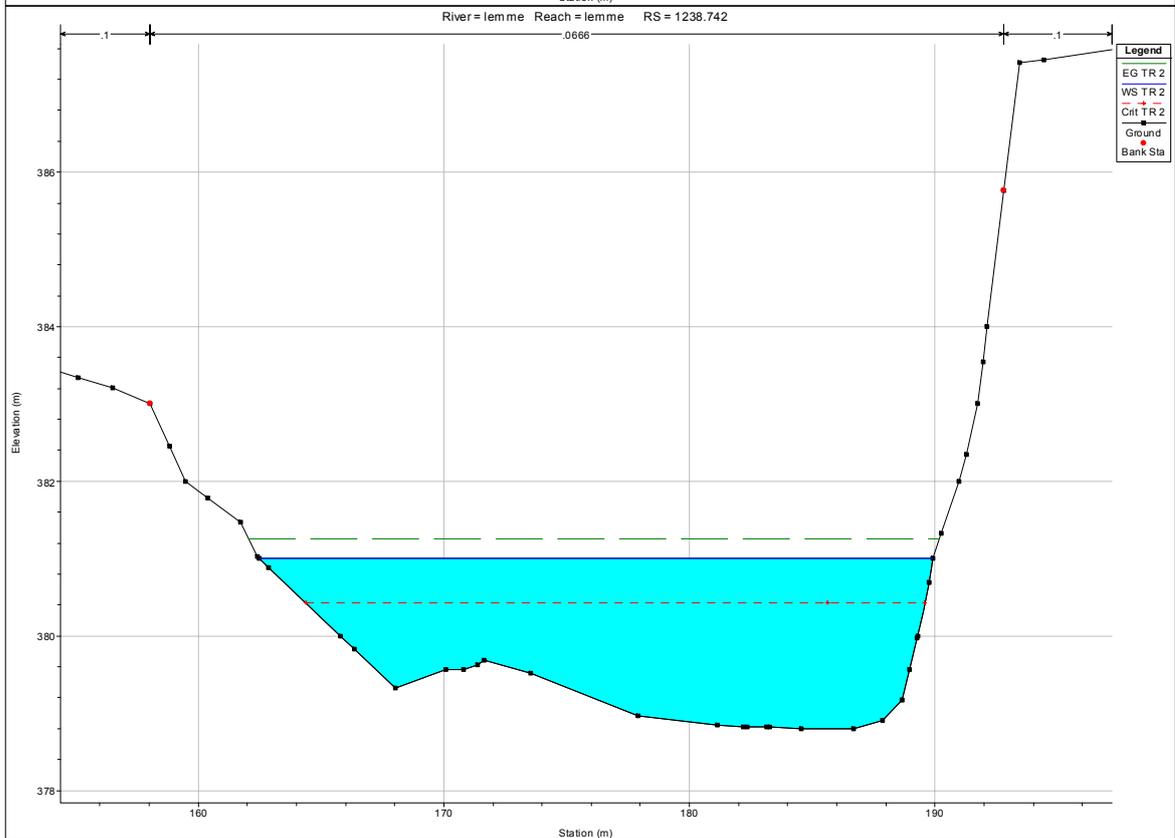
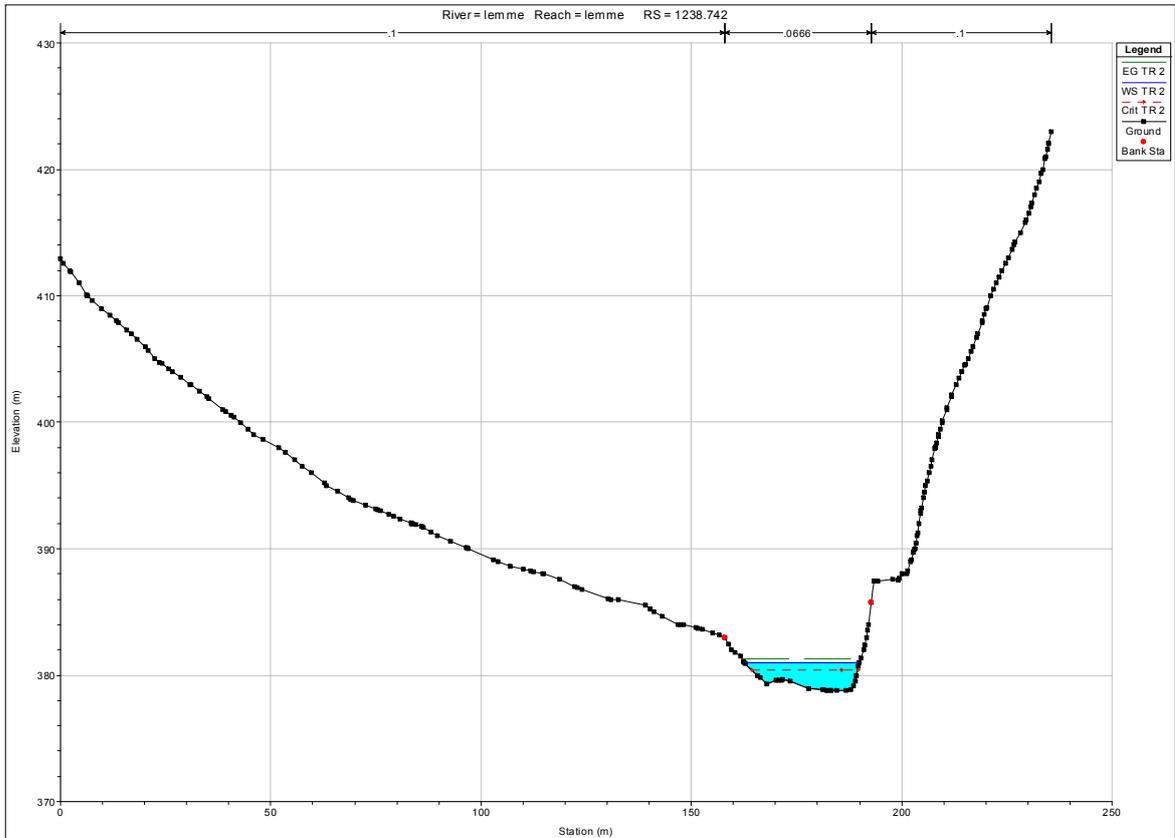


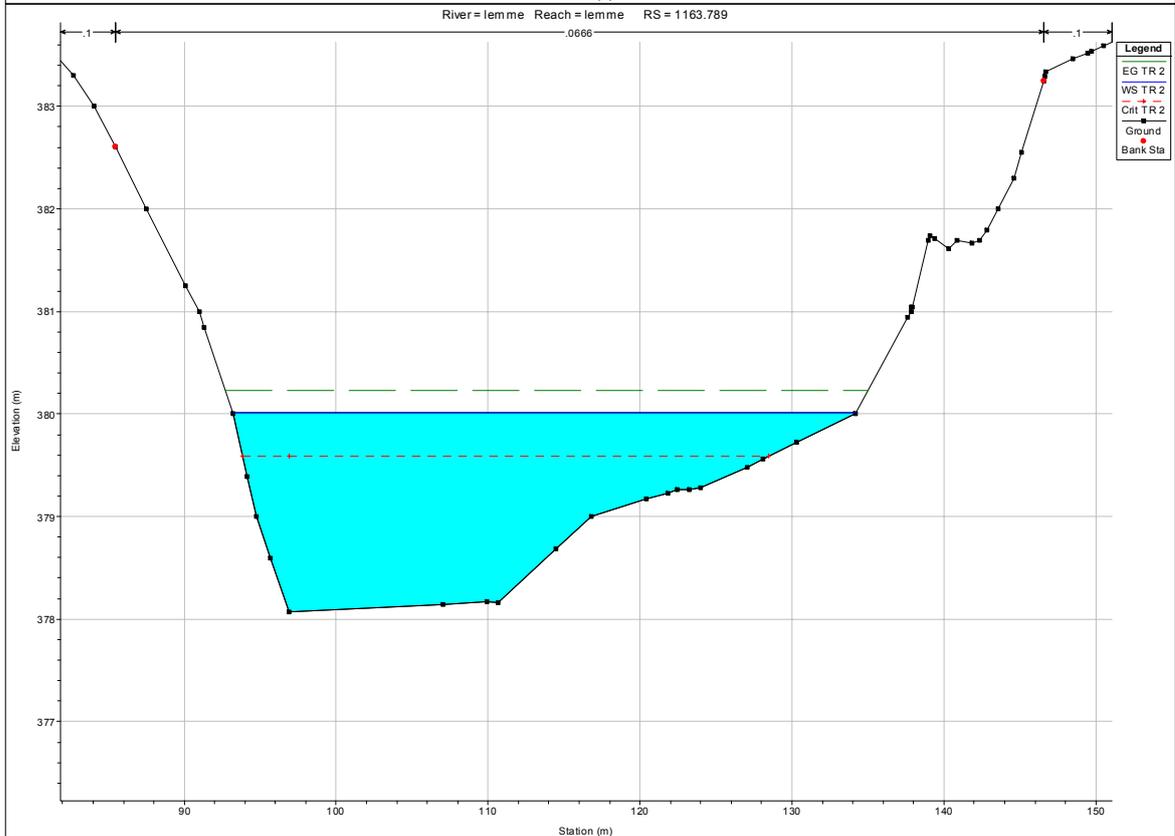
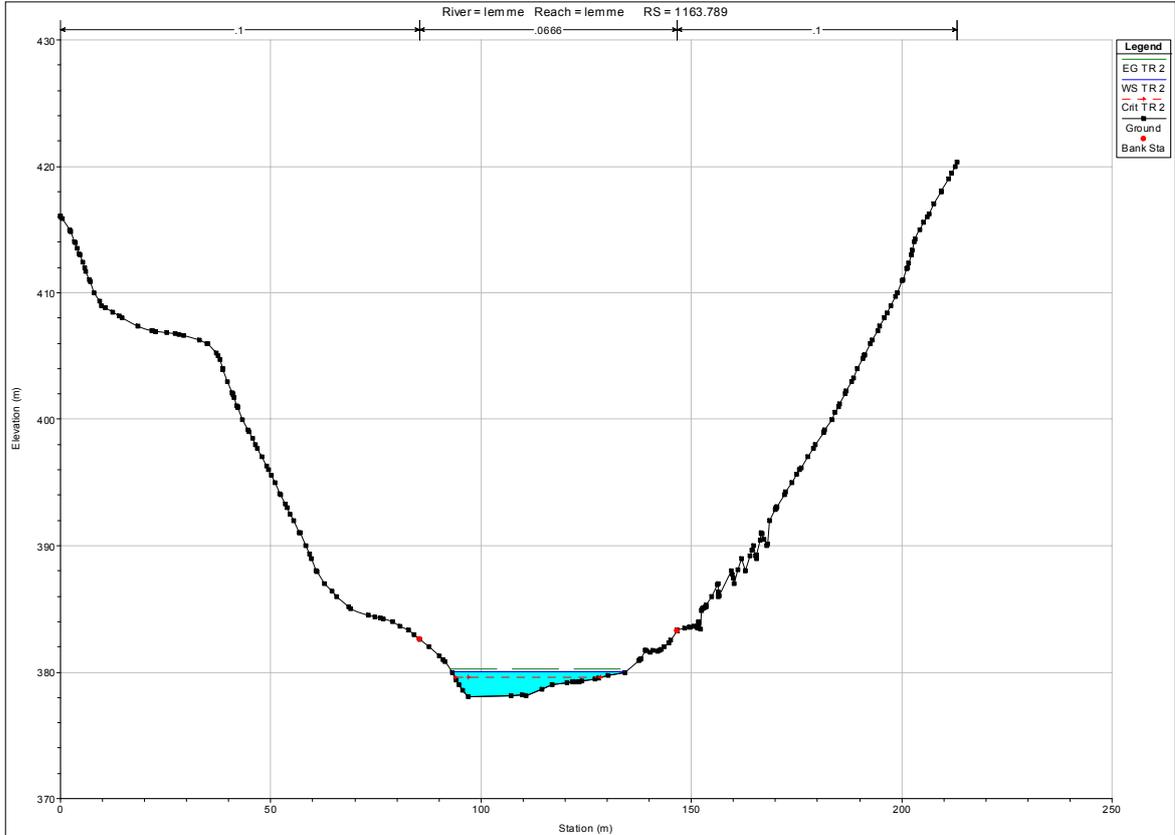


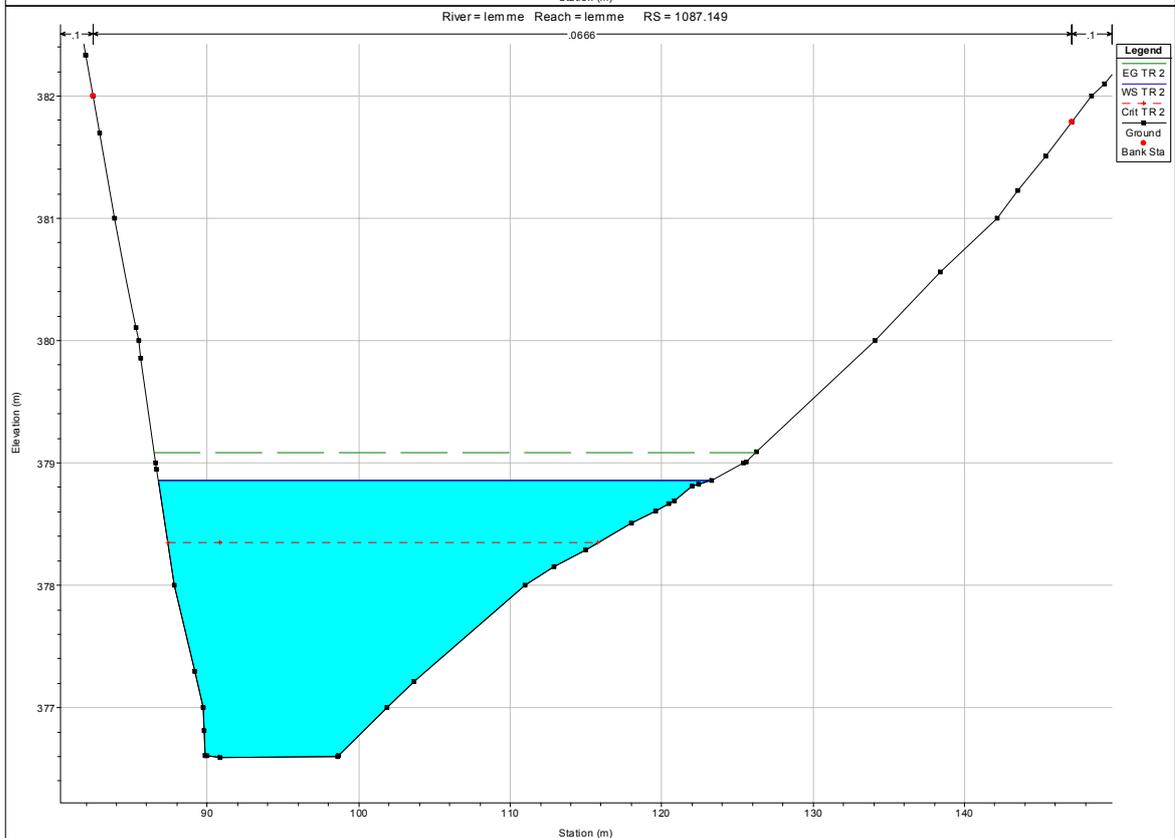
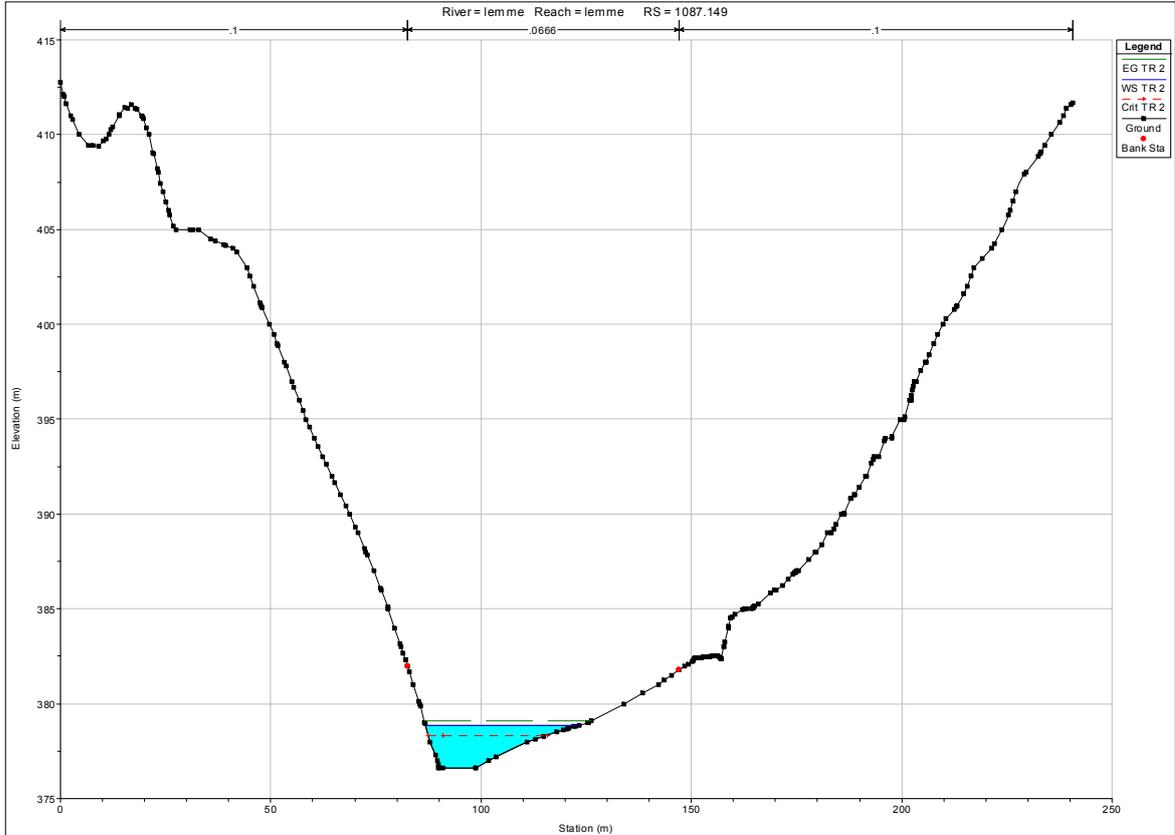
## 9. SIMULAZIONE TR 2 ANNI STATO DI PROGETTO

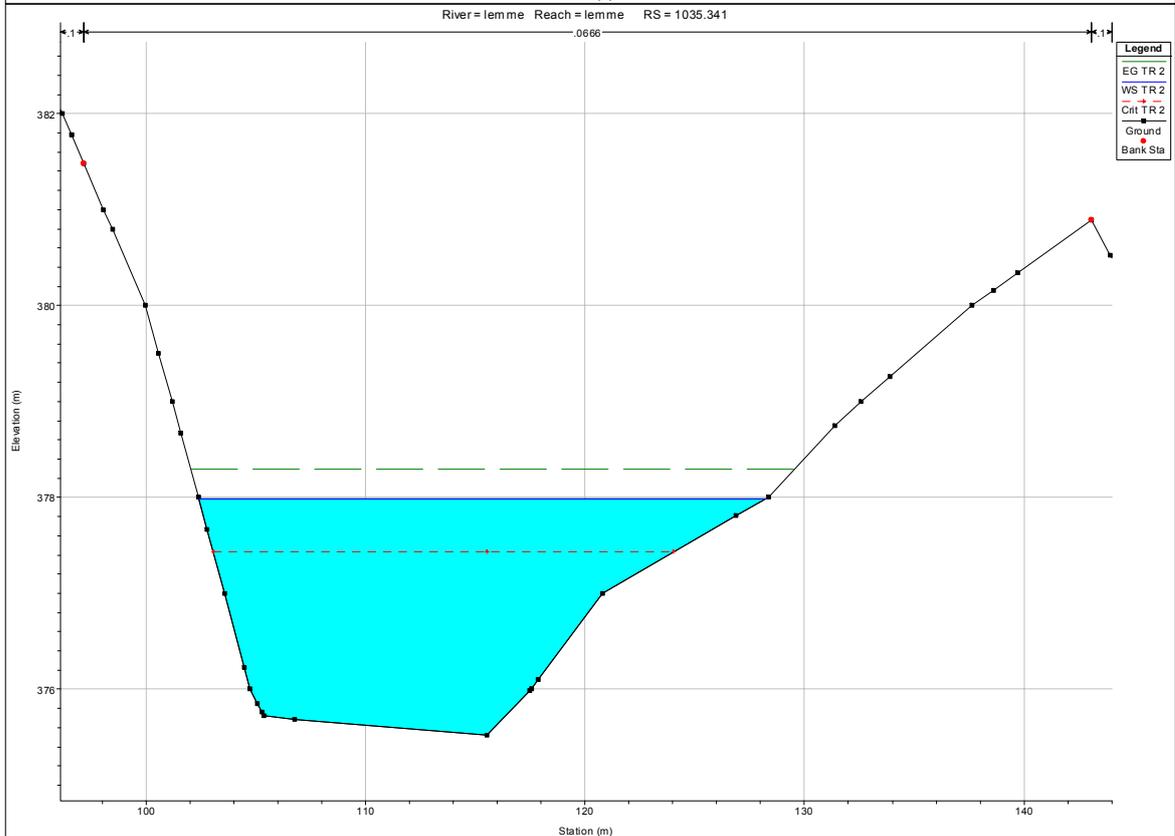
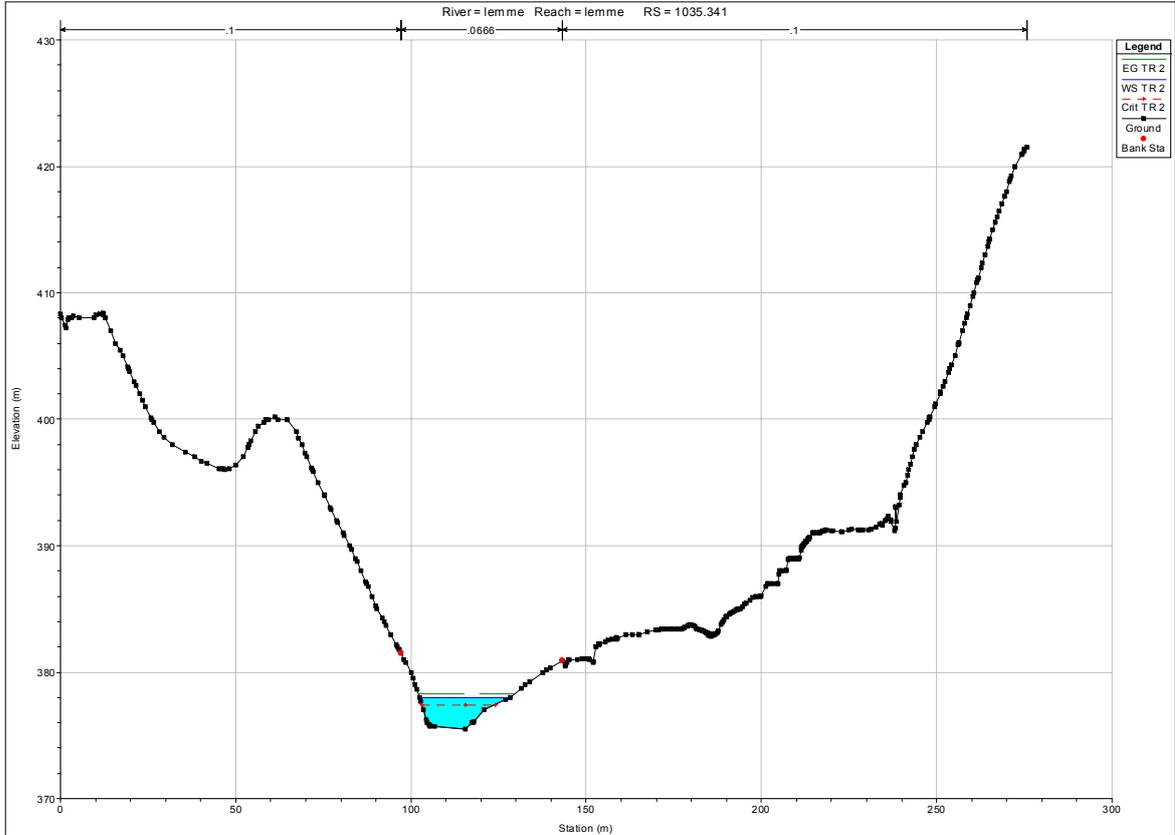
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
lemme	1238.742	TR 2	100.00	378.80	381.00	380.43	381.26	0.012393	2.24	44.64	27.44	0.56
lemme	1163.789	TR 2	100.00	378.07	380.01	379.59	380.23	0.015038	2.05	48.83	41.05	0.60
lemme	1087.149	TR 2	100.00	376.59	378.85	378.35	379.08	0.014708	2.13	47.05	36.37	0.60
lemme	1035.341	TR 2	100.00	375.52	377.98	377.43	378.29	0.015632	2.47	40.51	25.81	0.63
lemme	964.263	TR 2	100.00	374.39	377.03	376.23	377.34	0.011507	2.47	40.43	19.33	0.55
lemme	844.727	TR 2	100.00	372.07	375.38	374.91	375.70	0.016817	2.49	40.17	25.76	0.64
lemme	742.196	TR 2	100.00	371.63	373.57	373.21	373.90	0.018204	2.54	39.30	26.68	0.67
lemme	680.607	TR 2	100.00	370.13	372.64	372.16	372.90	0.013952	2.26	44.22	28.70	0.58
lemme	615.103	TR 2	100.00	369.26	371.88	371.15	372.13	0.010171	2.21	45.35	23.96	0.51
lemme	596.430	TR 2	100.00	369.25	371.60	370.94	371.91	0.012821	2.47	40.43	20.85	0.57
lemme	591.93		Inl Struct									
lemme	591.431	TR 2	100.00	367.23	370.25	369.23	370.51	0.009099	2.28	43.92	18.79	0.48
lemme	583.343	TR 2	100.00	366.50	370.23	368.96	370.43	0.006376	2.00	49.96	19.40	0.40
lemme	546.555	TR 2	100.00	366.59	369.86	368.83	370.15	0.009255	2.38	42.05	17.27	0.49
lemme	476.543	TR 2	100.00	365.81	369.27	368.07	369.54	0.008039	2.30	43.45	17.23	0.46
lemme	443.427	TR 2	100.00	365.61	368.97	367.84	369.26	0.008841	2.36	42.36	16.87	0.47
lemme	417.806	TR 2	100.00	365.76	368.63	367.87	368.97	0.013450	2.60	38.53	18.02	0.56
lemme	402.166	TR 2	100.00	365.73	368.30	367.77	368.72	0.018250	2.88	34.72	17.80	0.66
lemme	383.673	TR 2	100.00	365.20	368.13	367.20	368.43	0.010756	2.46	40.72	17.85	0.52
lemme	362.700	TR 2	100.00	364.82	367.81	366.99	368.18	0.012592	2.70	37.08	16.19	0.57
lemme	337.439	TR 2	100.00	364.73	367.44	366.77	367.84	0.014727	2.78	36.03	16.99	0.61
lemme	315.492	TR 2	100.00	364.84	366.77	366.62	367.37	0.030676	3.41	29.29	18.62	0.87
lemme	273.484	TR 2	100.00	364.03	366.25	365.72	366.48	0.012390	2.12	47.07	30.89	0.55
lemme	233.560	TR 2	100.00	362.93	365.62	364.96	365.95	0.013344	2.55	39.16	19.49	0.57
lemme	209.689	TR 2	100.00	362.82	365.39	364.67	365.65	0.010399	2.25	44.46	23.82	0.53
lemme	199.689	TR 2	100.00	362.78	365.32	364.54	365.55	0.009359	2.13	47.00	25.07	0.50
lemme	196		Bridge									
lemme	193.69	TR 2	100.00	362.67	365.08	364.43	365.37	0.012039	2.38	42.08	22.92	0.56
lemme	178.689	TR 2	100.00	362.39	364.59	364.38	365.09	0.026895	3.13	31.99	21.62	0.82
lemme	158.118	TR 2	100.00	362.00	364.28	363.83	364.61	0.016577	2.53	39.47	24.79	0.64
lemme	118.683	TR 2	100.00	361.10	363.54	363.15	363.92	0.018302	2.71	36.90	22.82	0.68
lemme	84.832	TR 2	100.00	360.19	362.43	362.38	363.03	0.037792	3.43	29.13	21.71	0.95
lemme	55.661	TR 2	100.00	358.42	361.60	361.25	362.11	0.025411	3.15	31.77	19.36	0.78
lemme	12.363	TR 2	100.00	357.73	360.87	360.31	361.19	0.015941	2.51	39.83	24.22	0.62

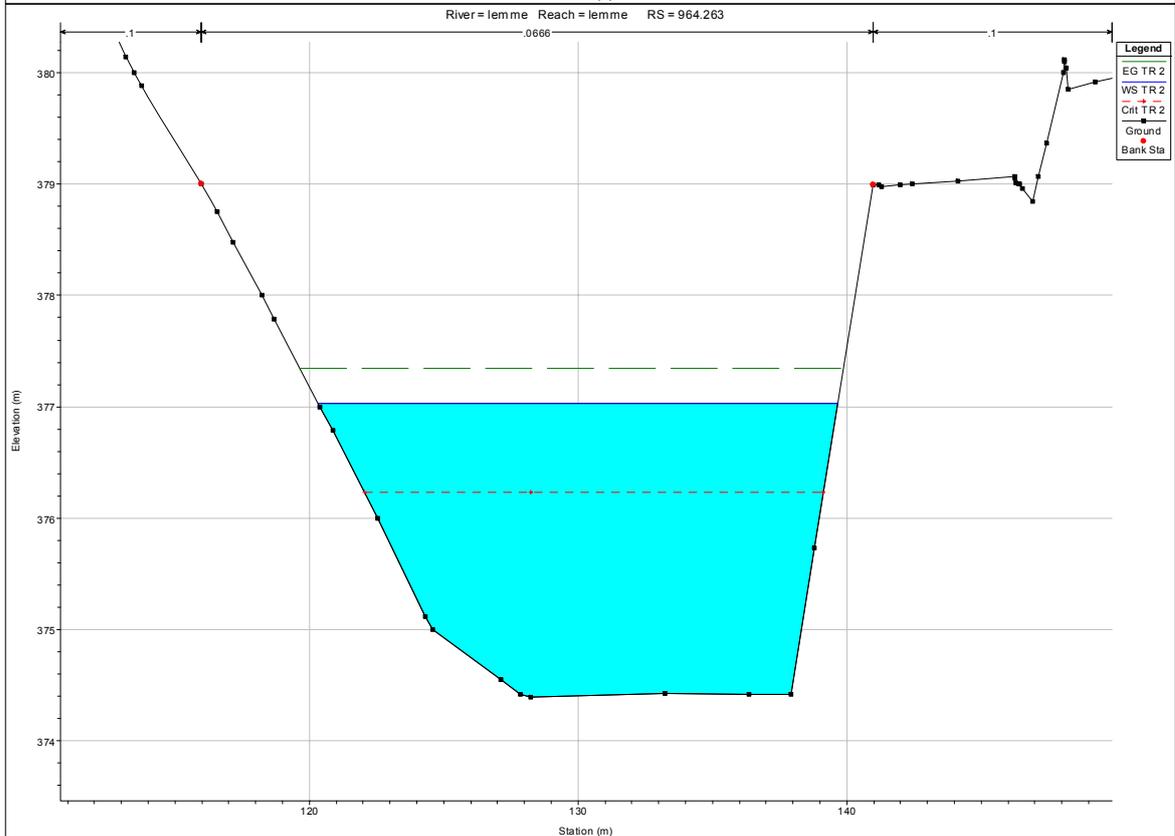
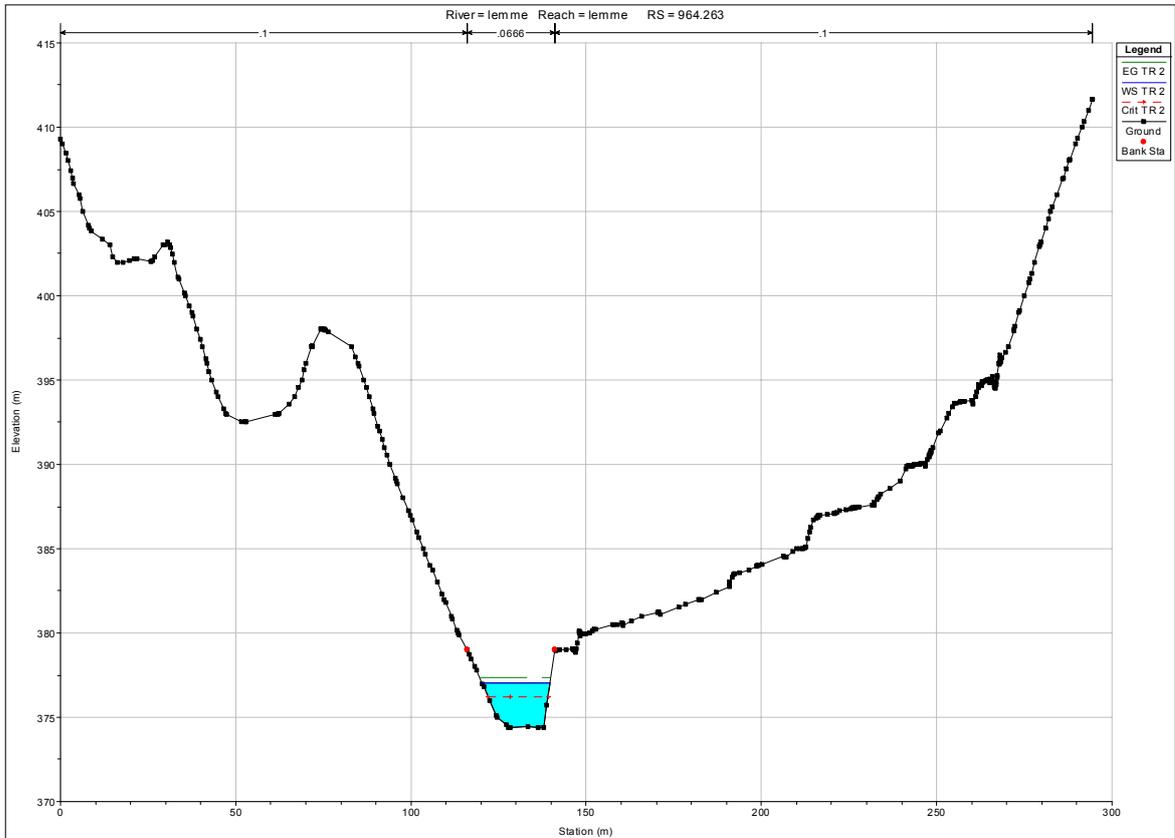


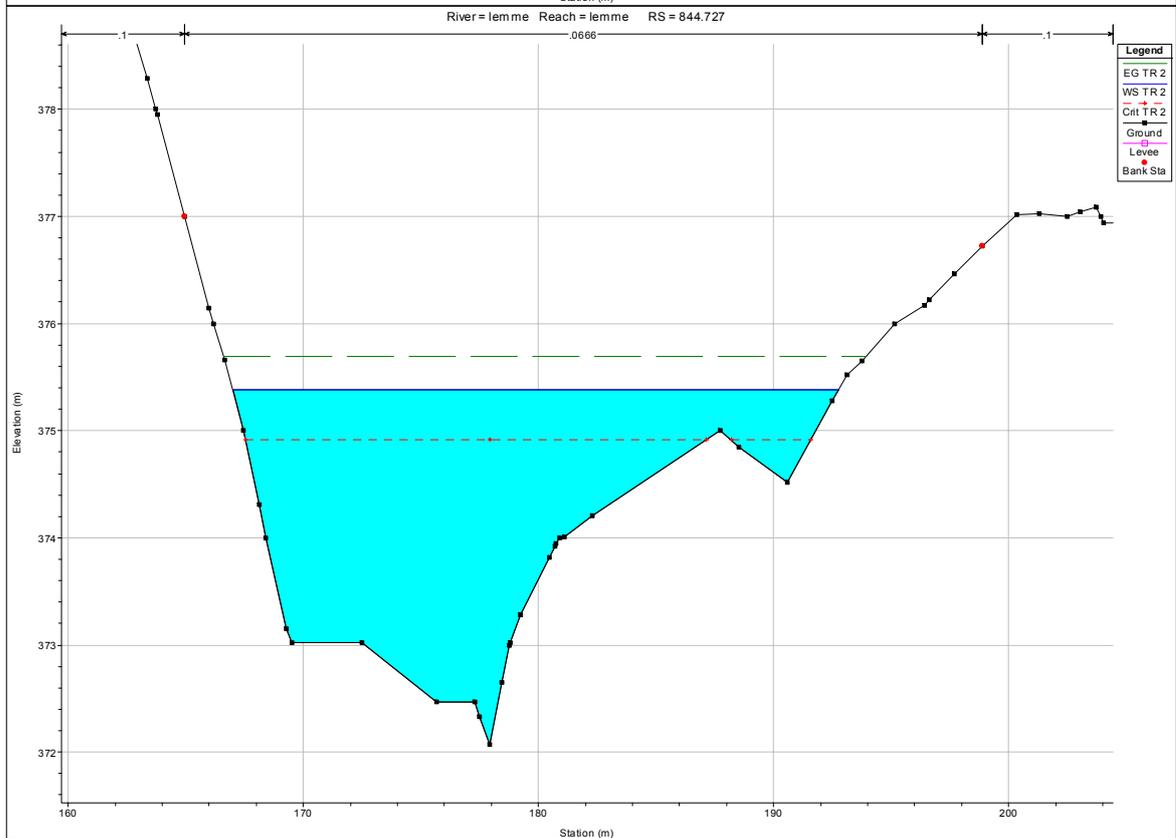
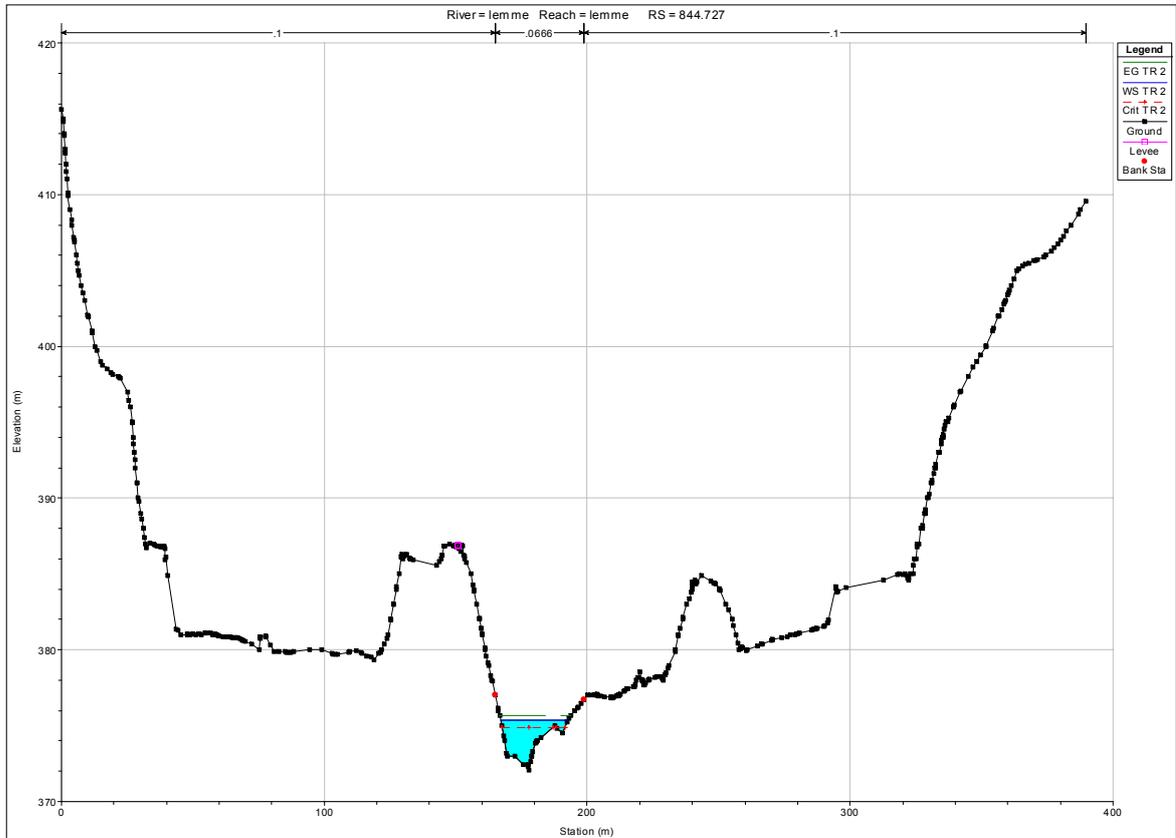


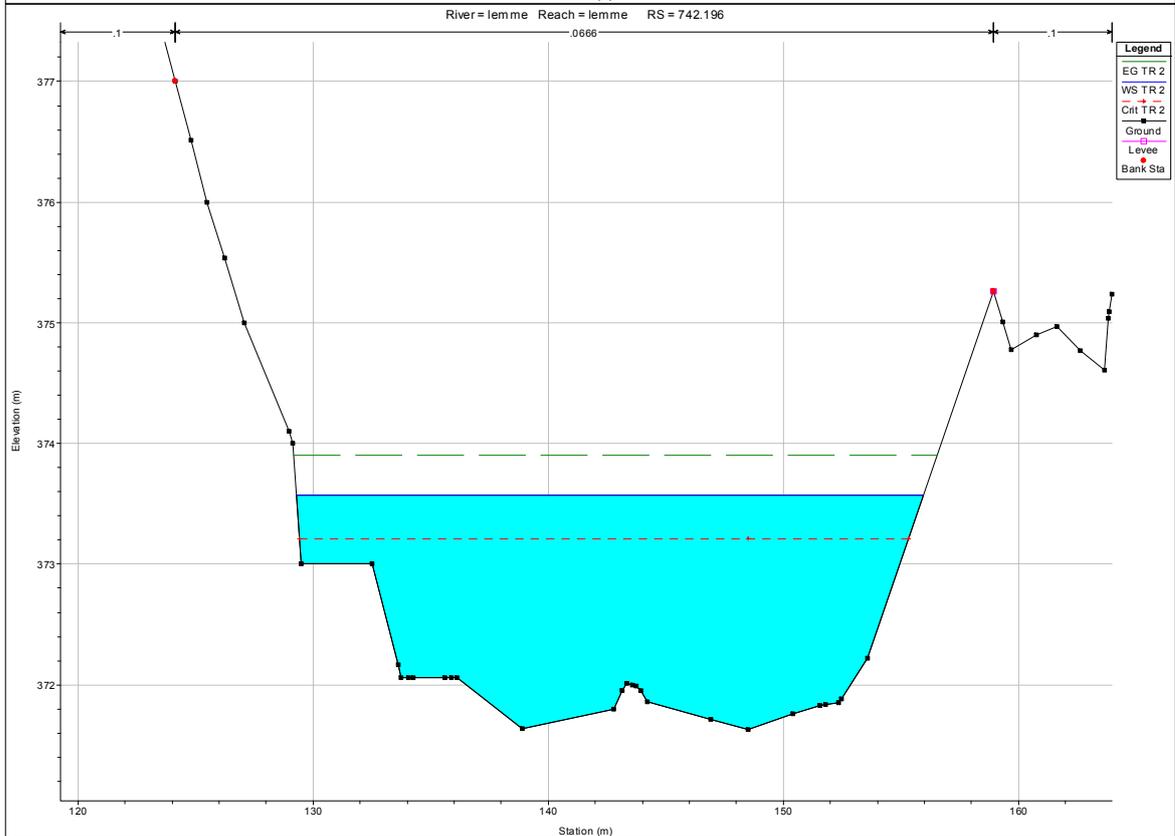
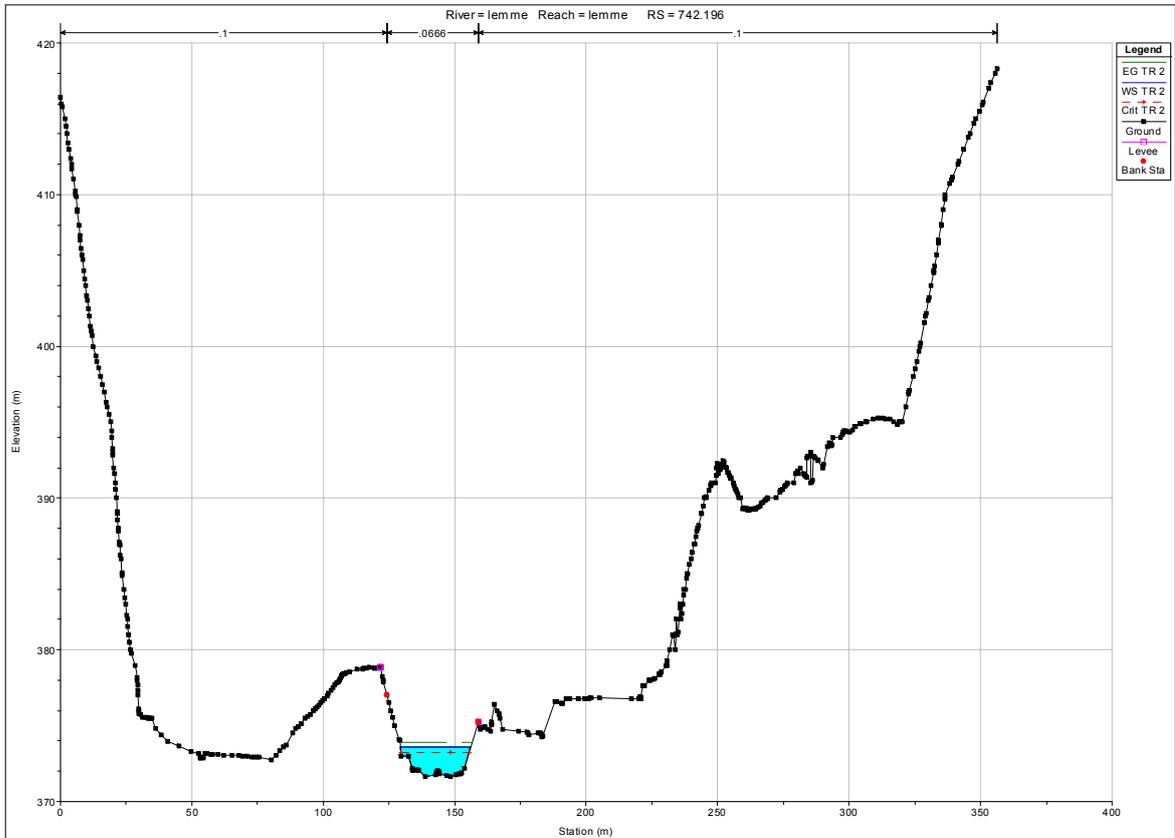


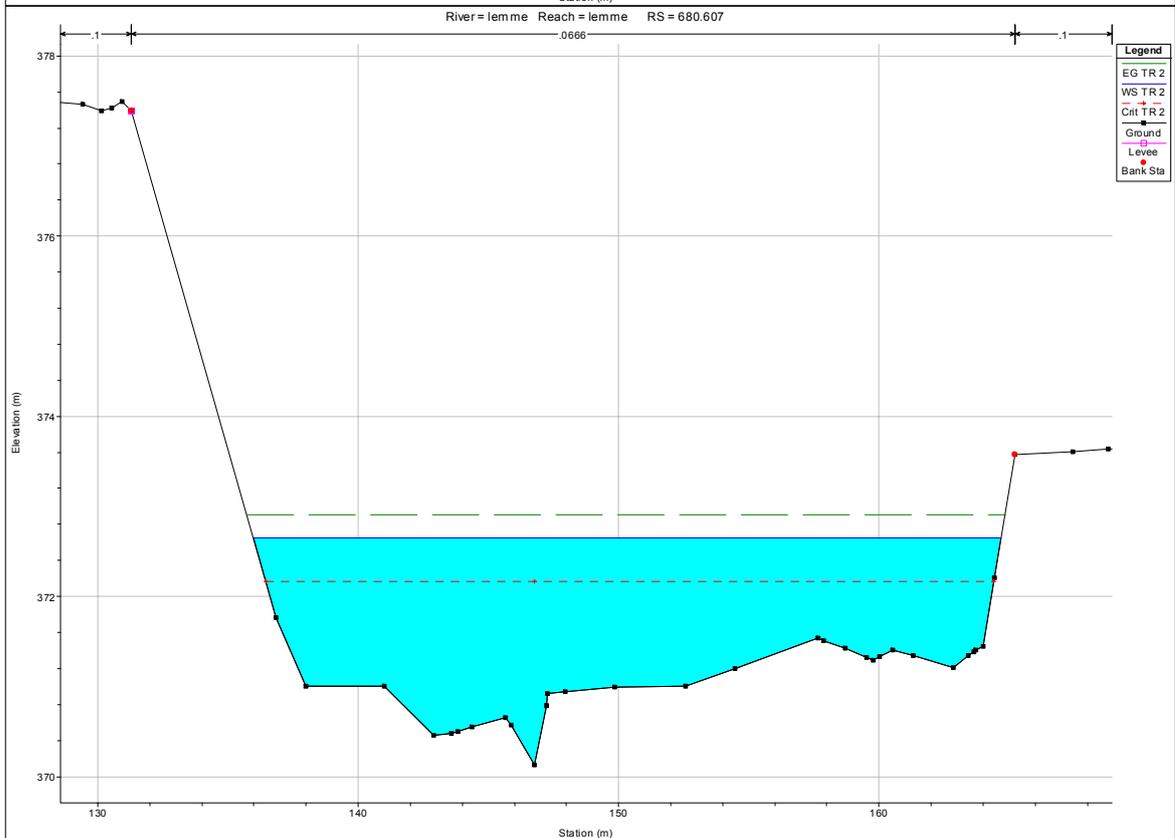
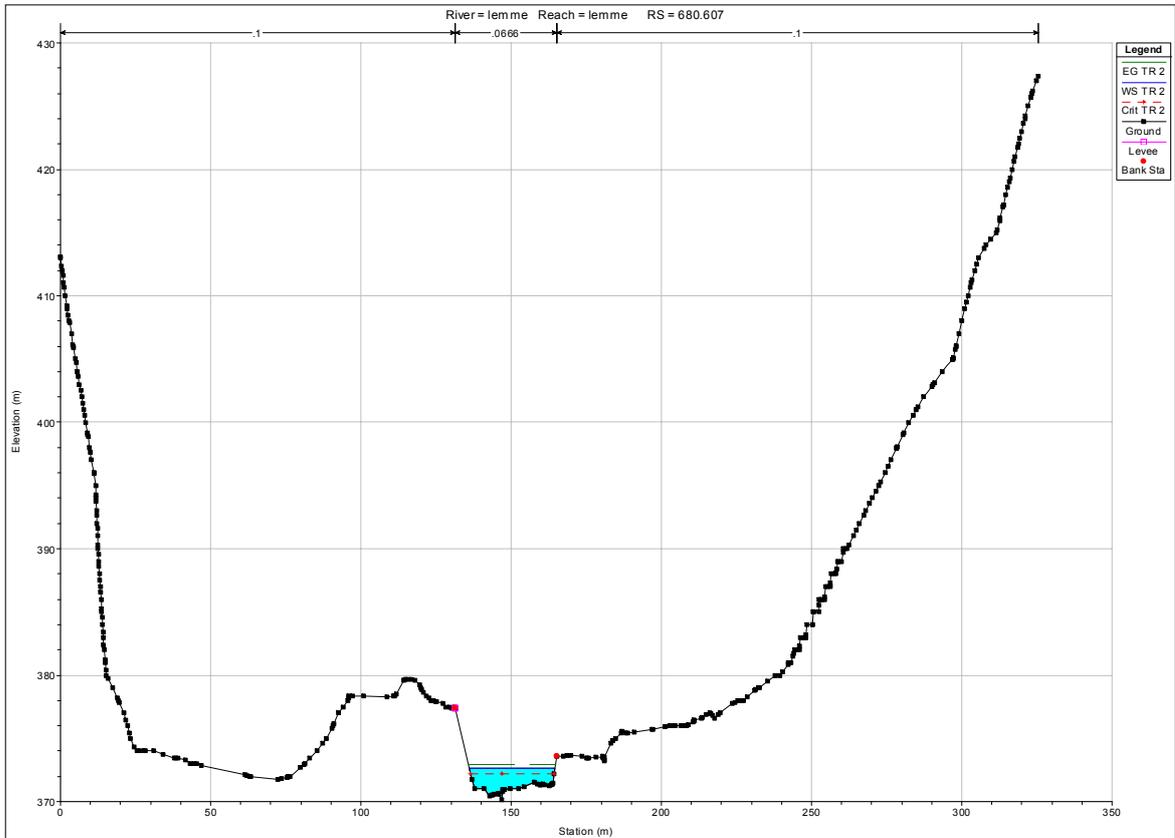


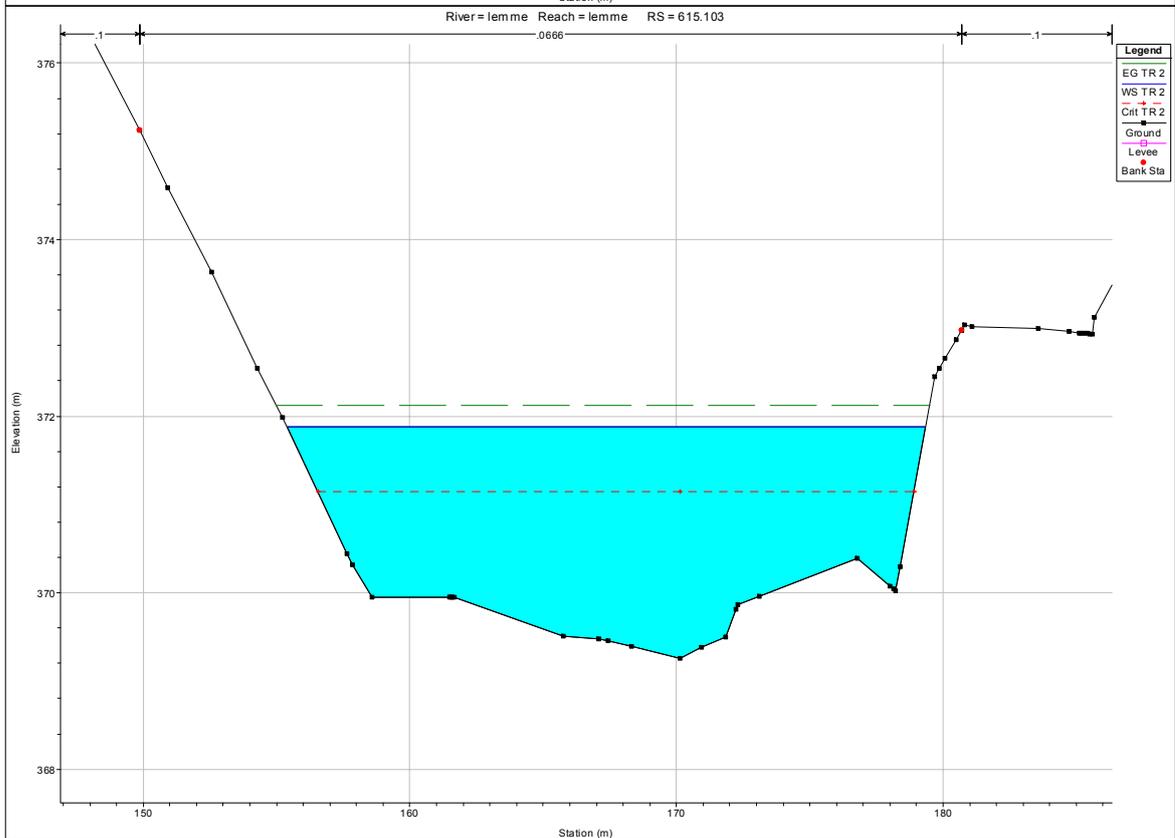
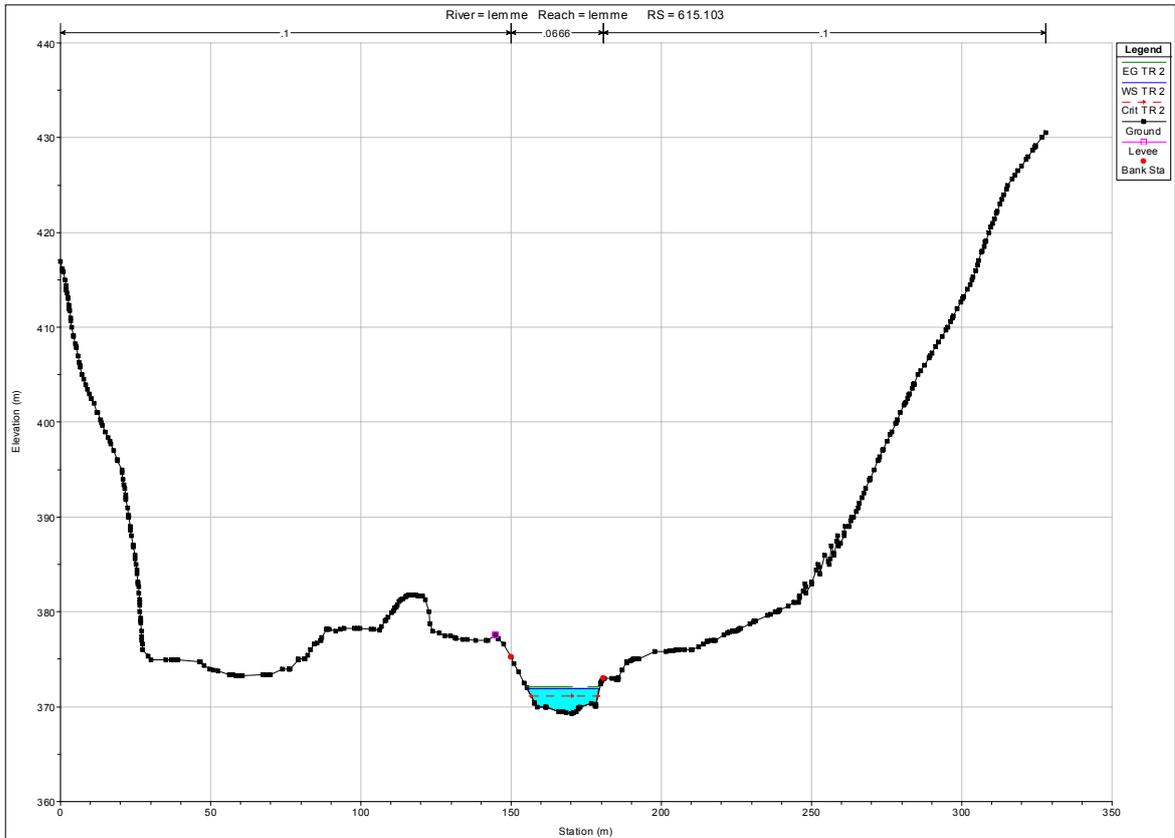


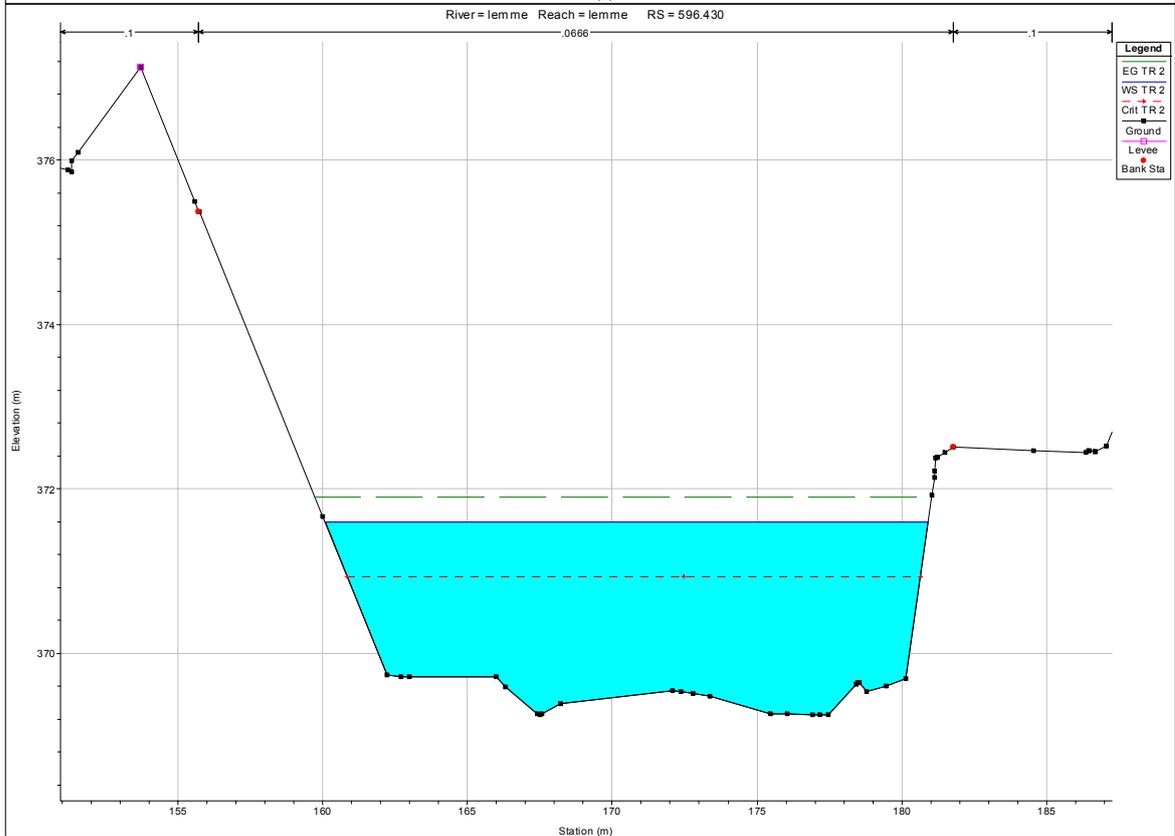
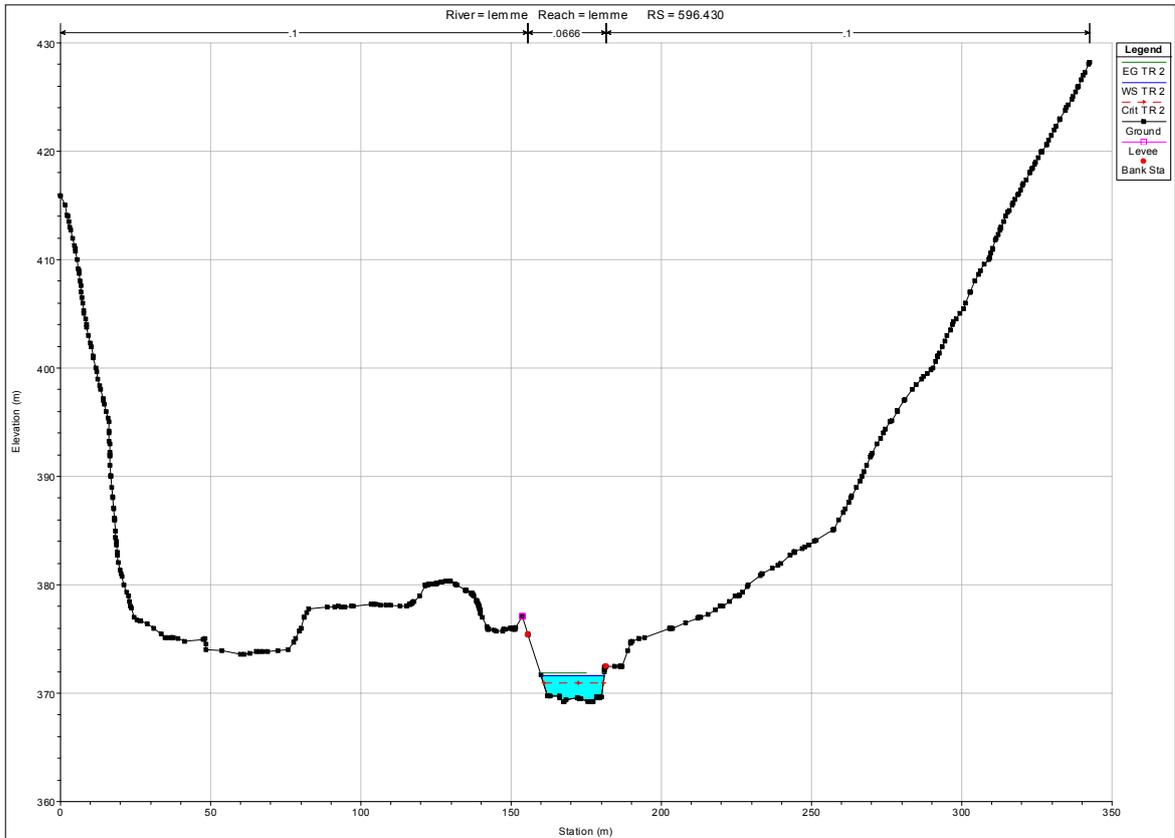


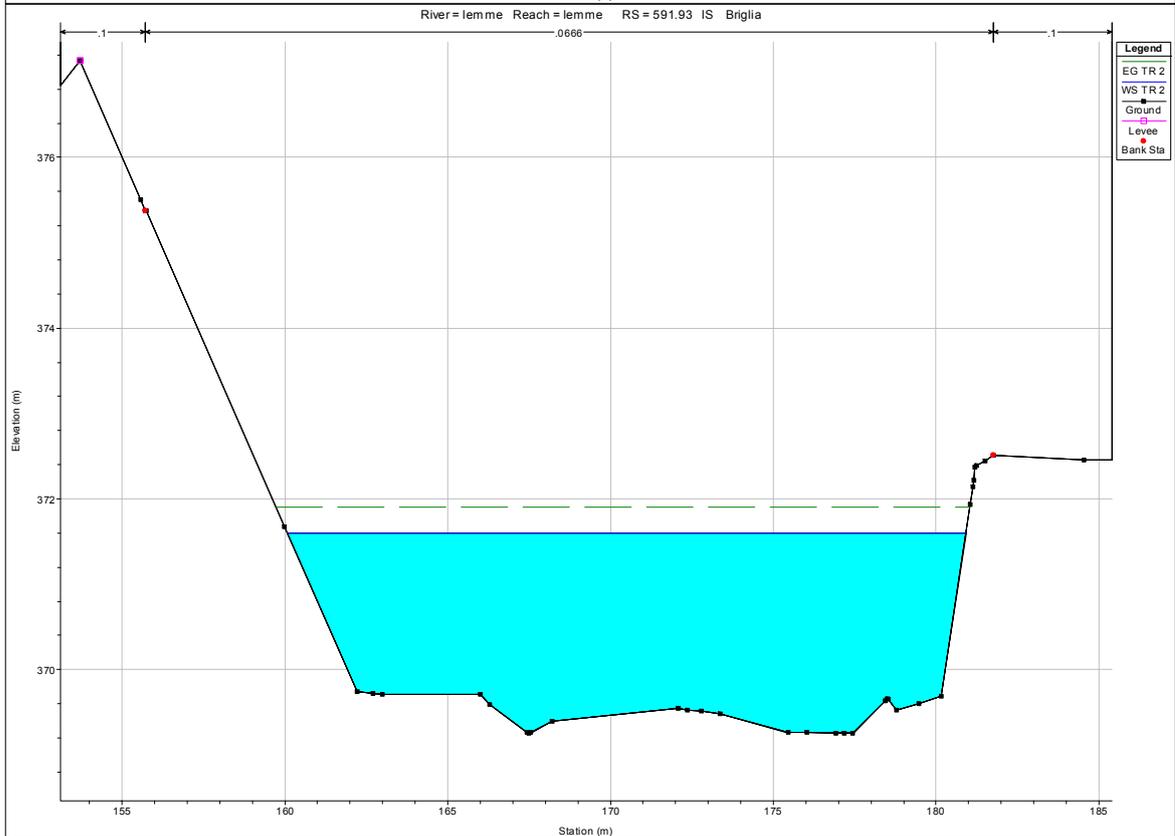
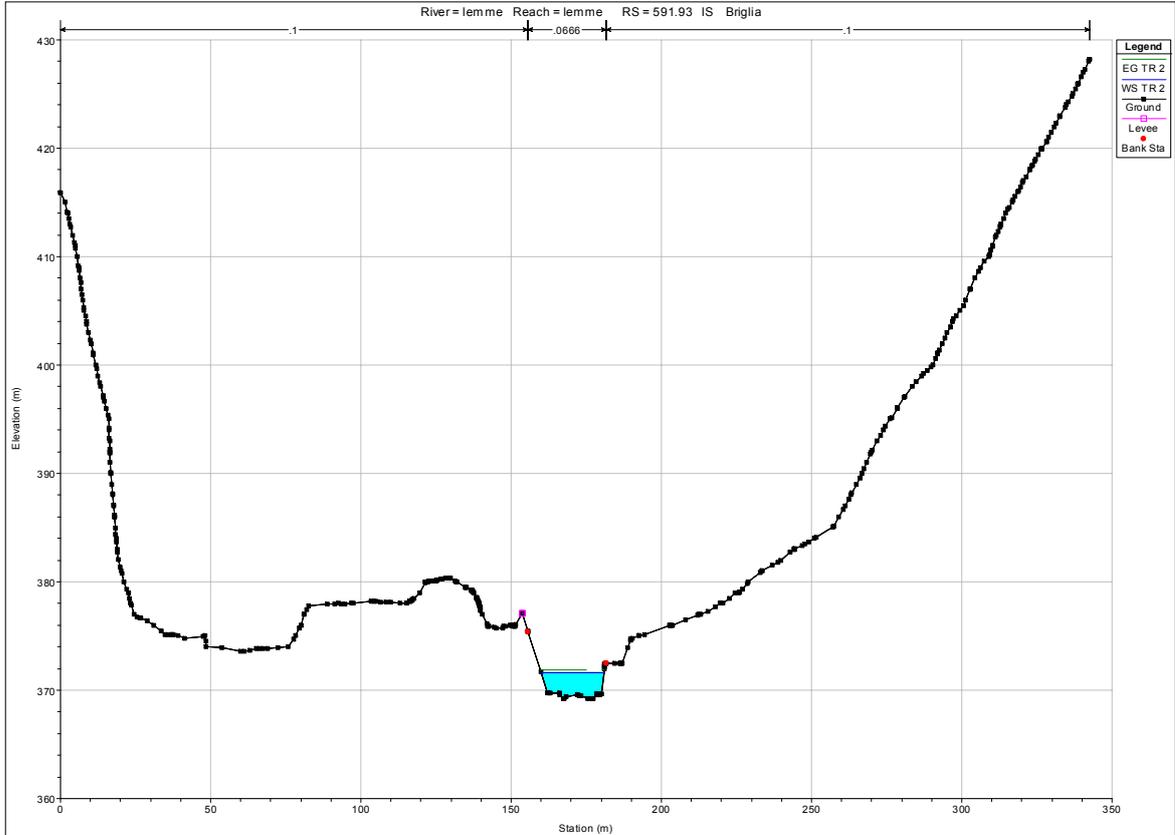


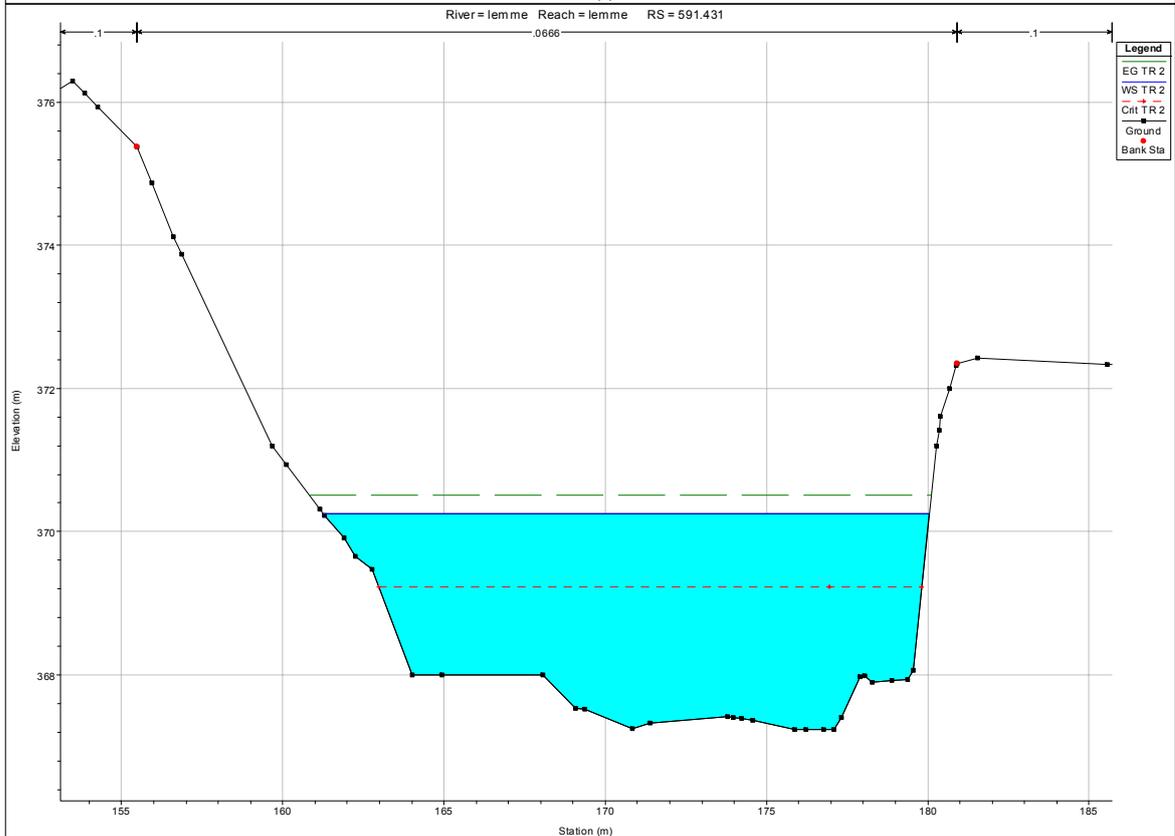
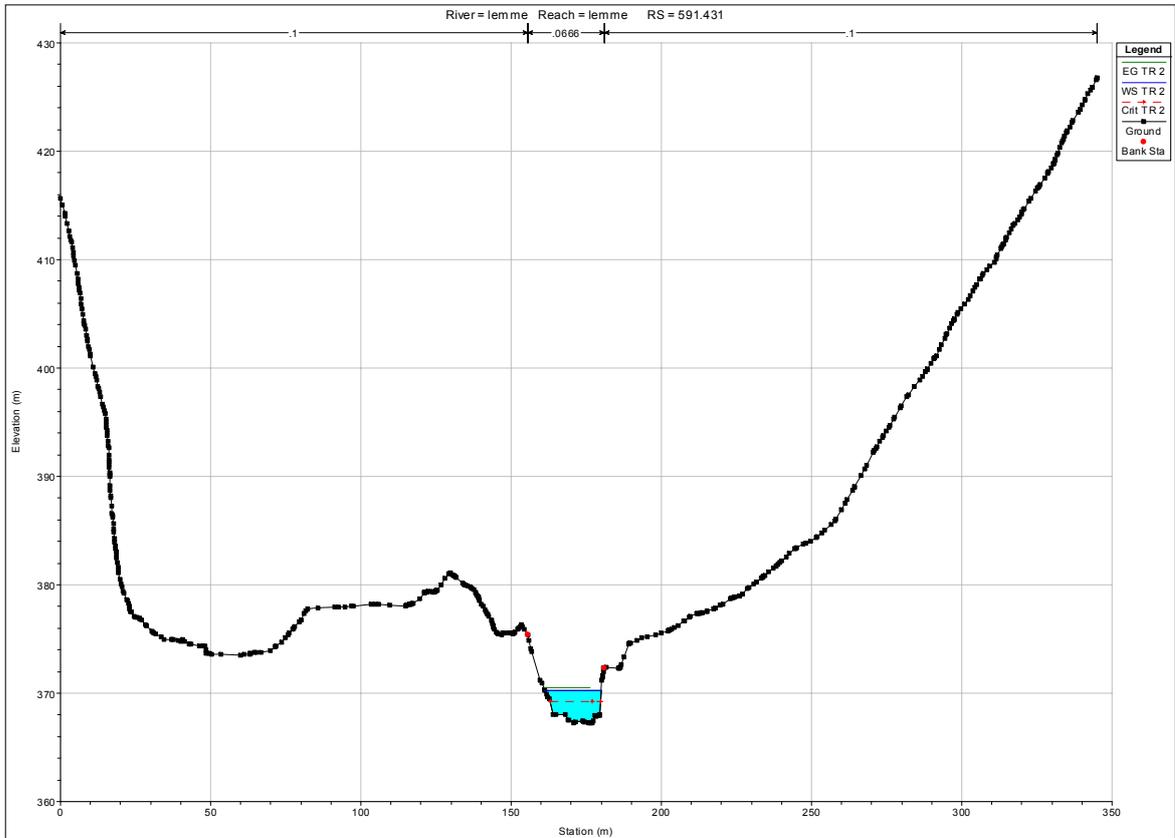


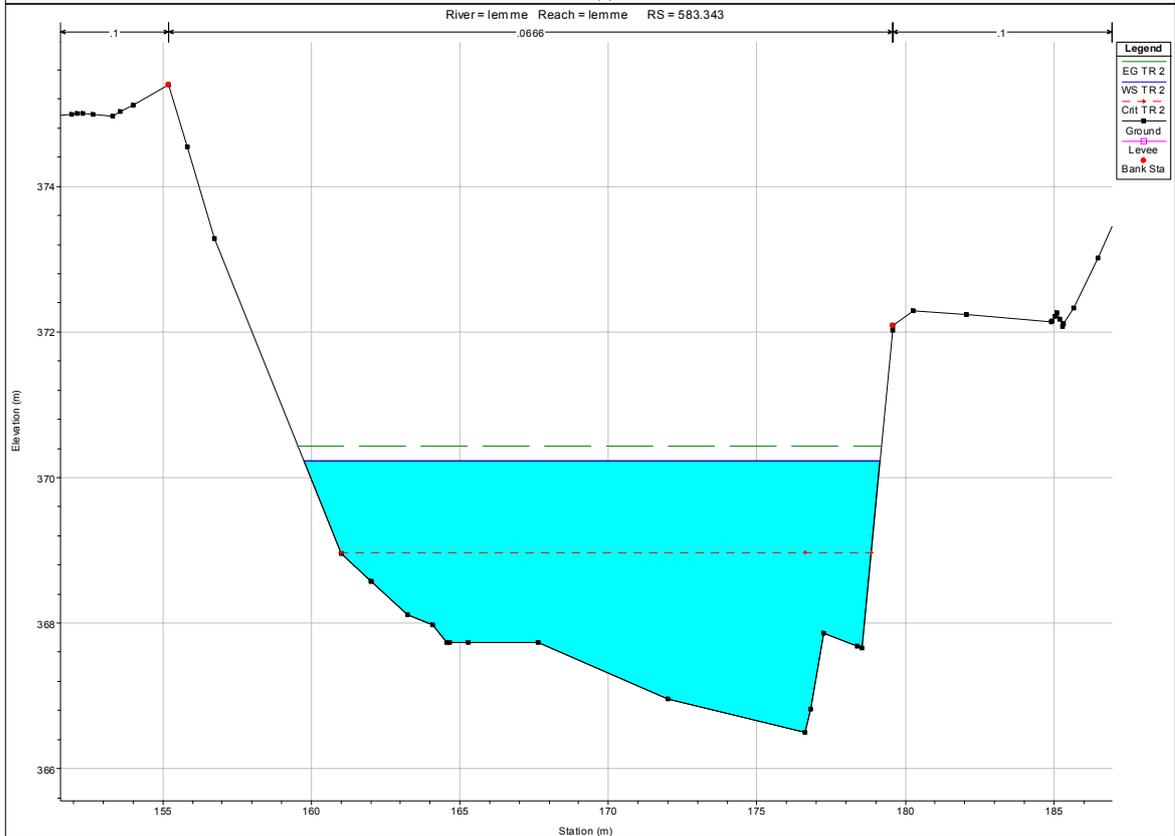
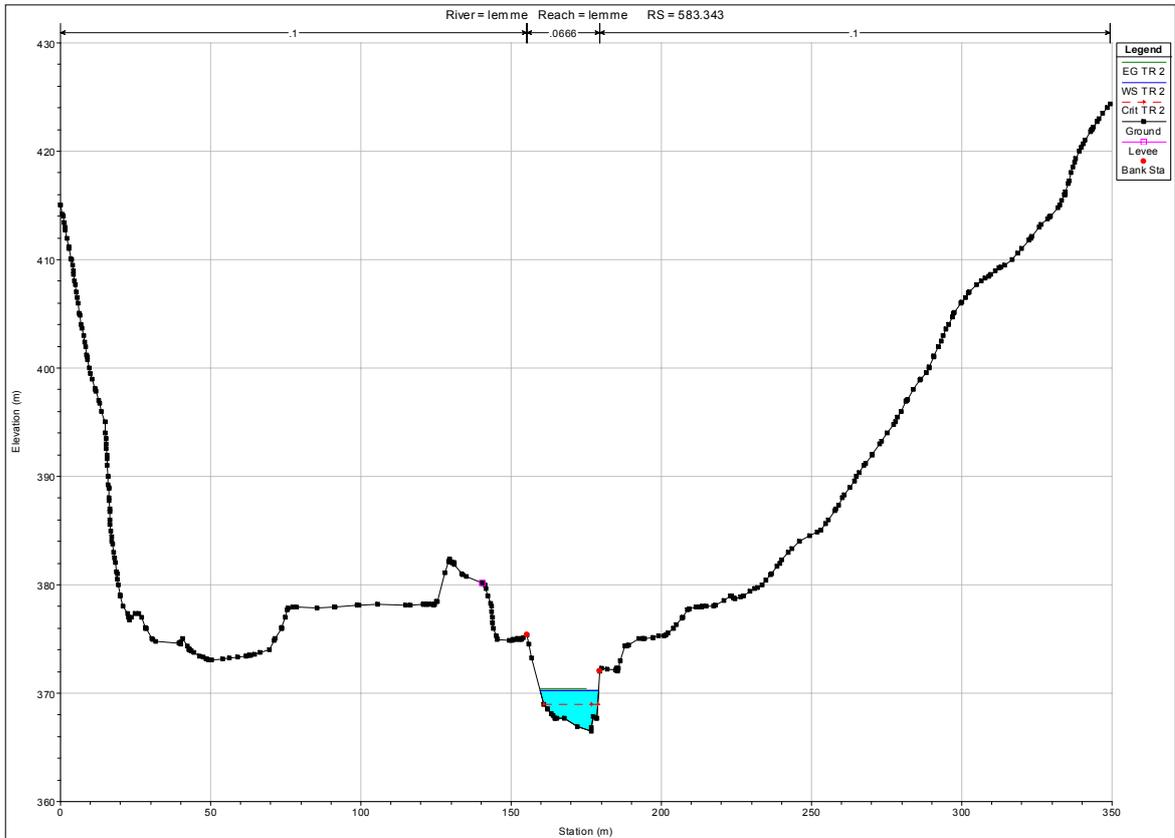


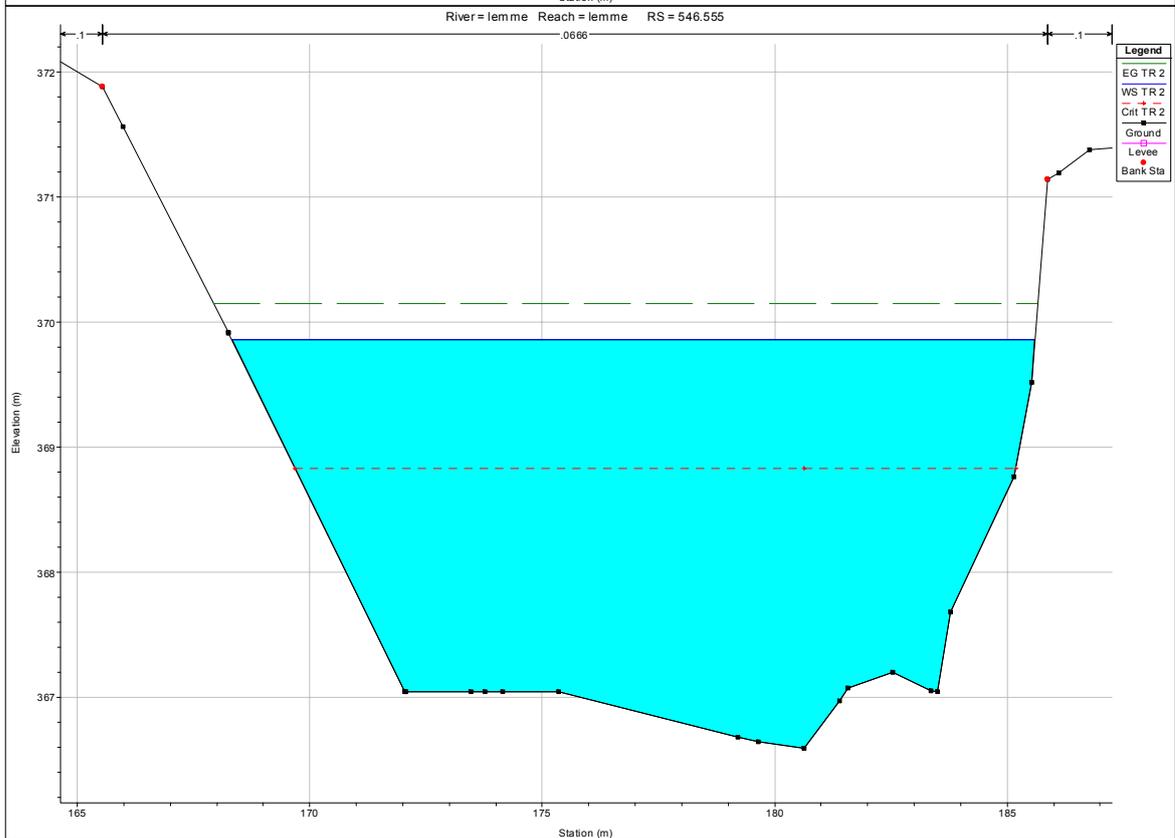
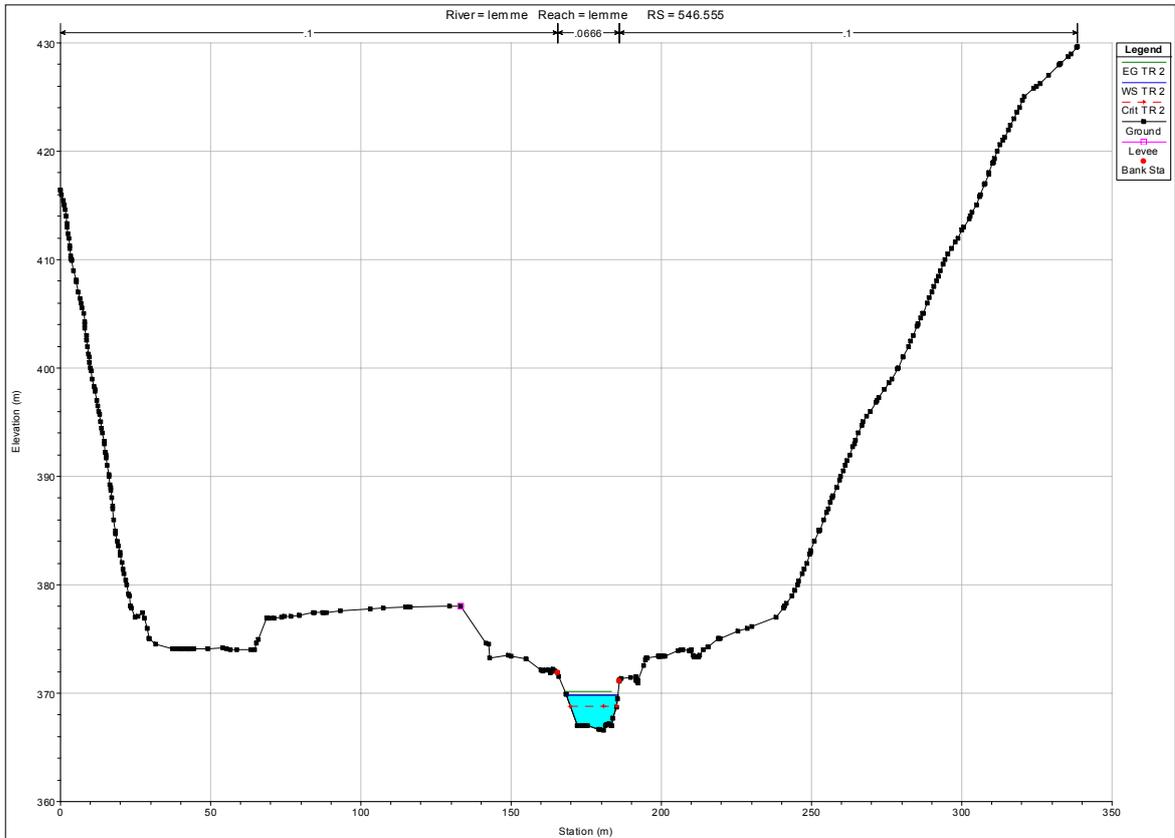


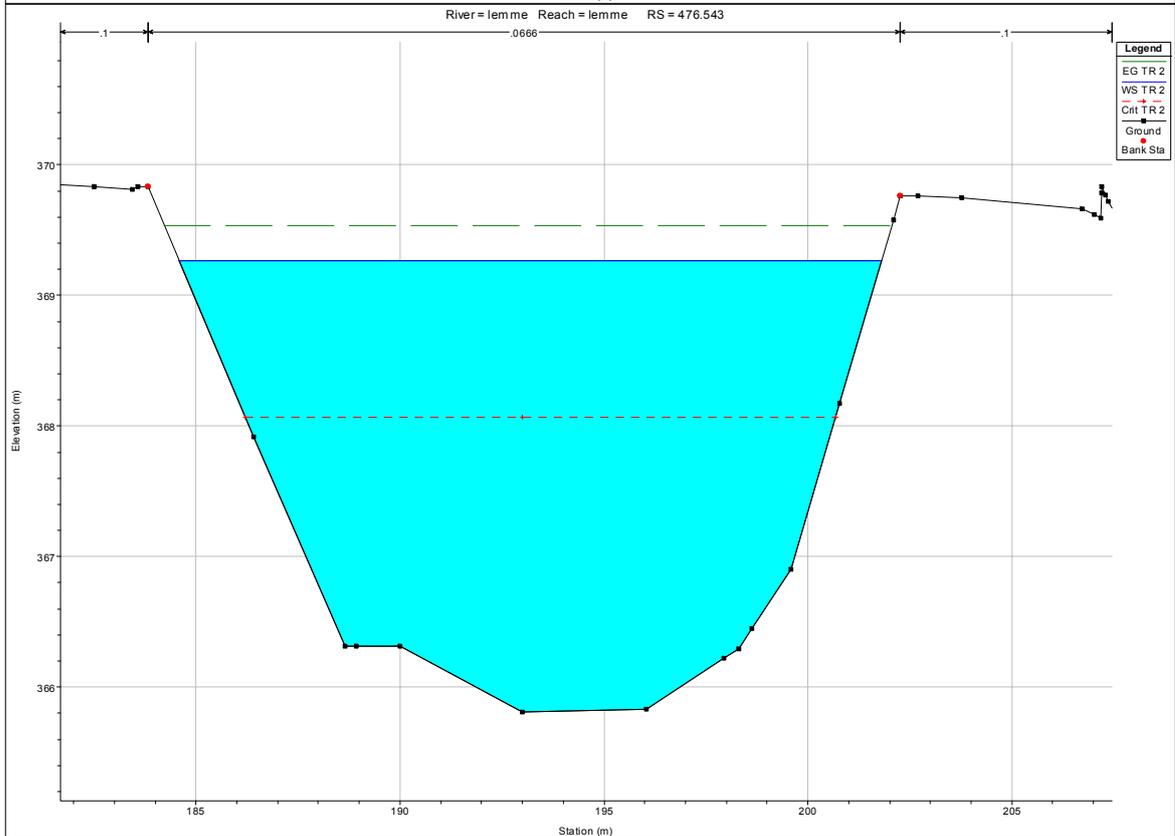
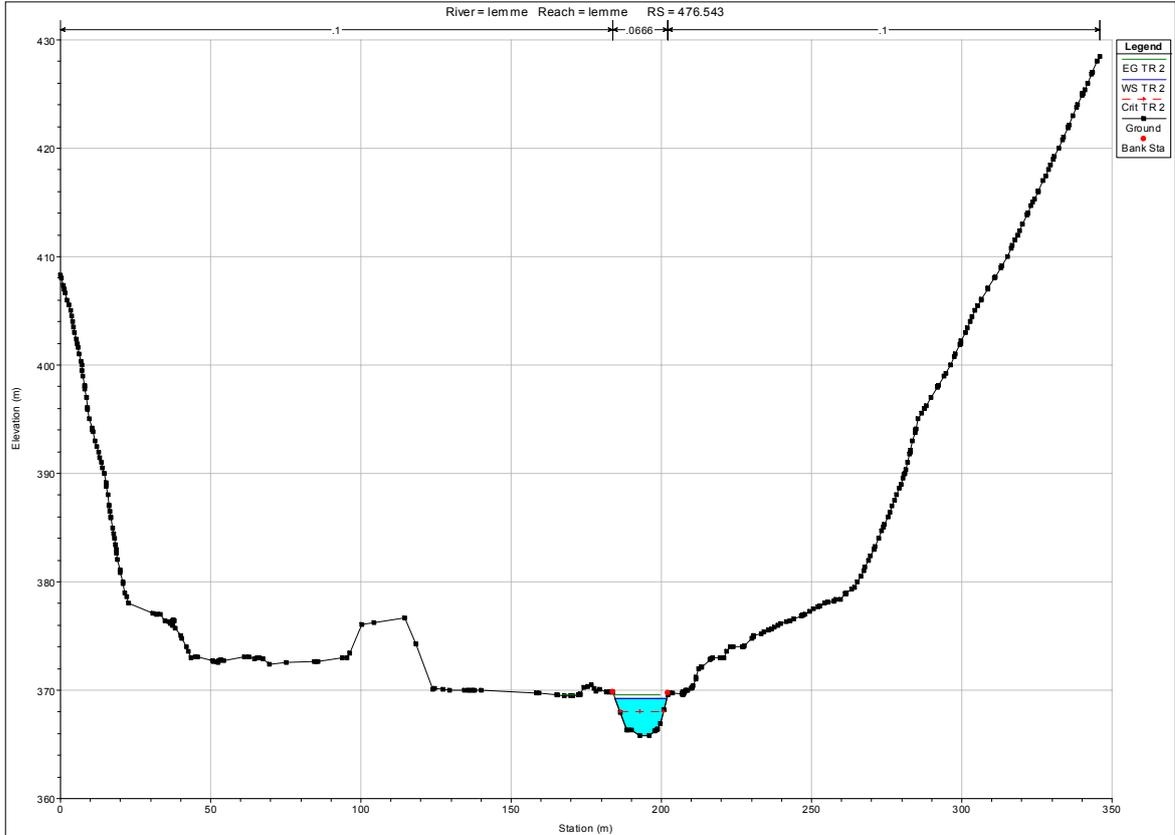


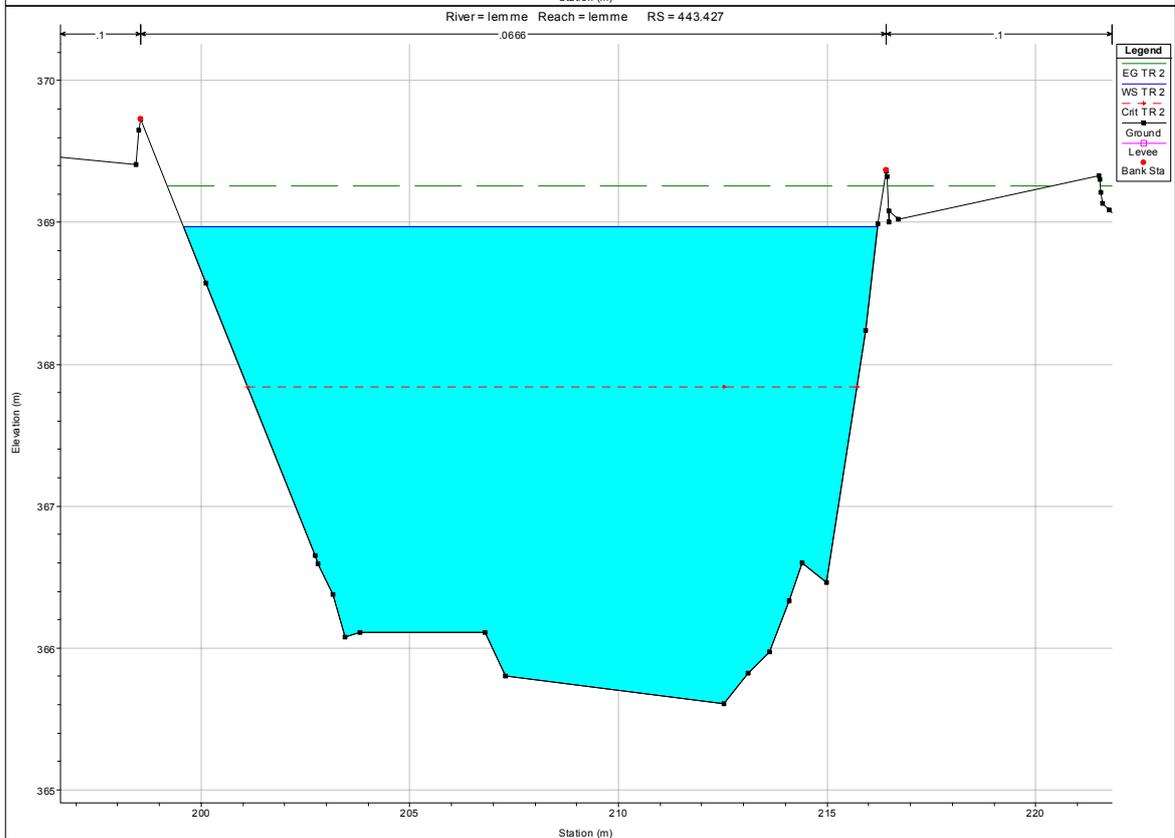
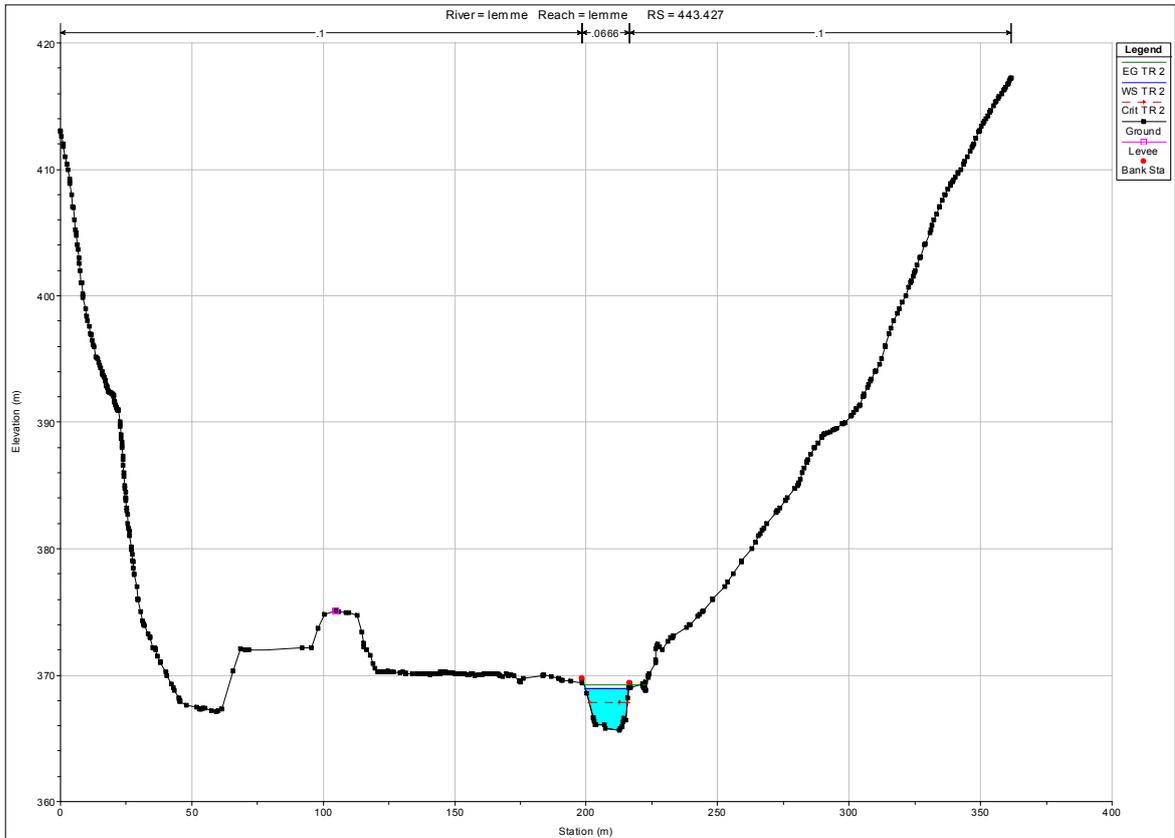


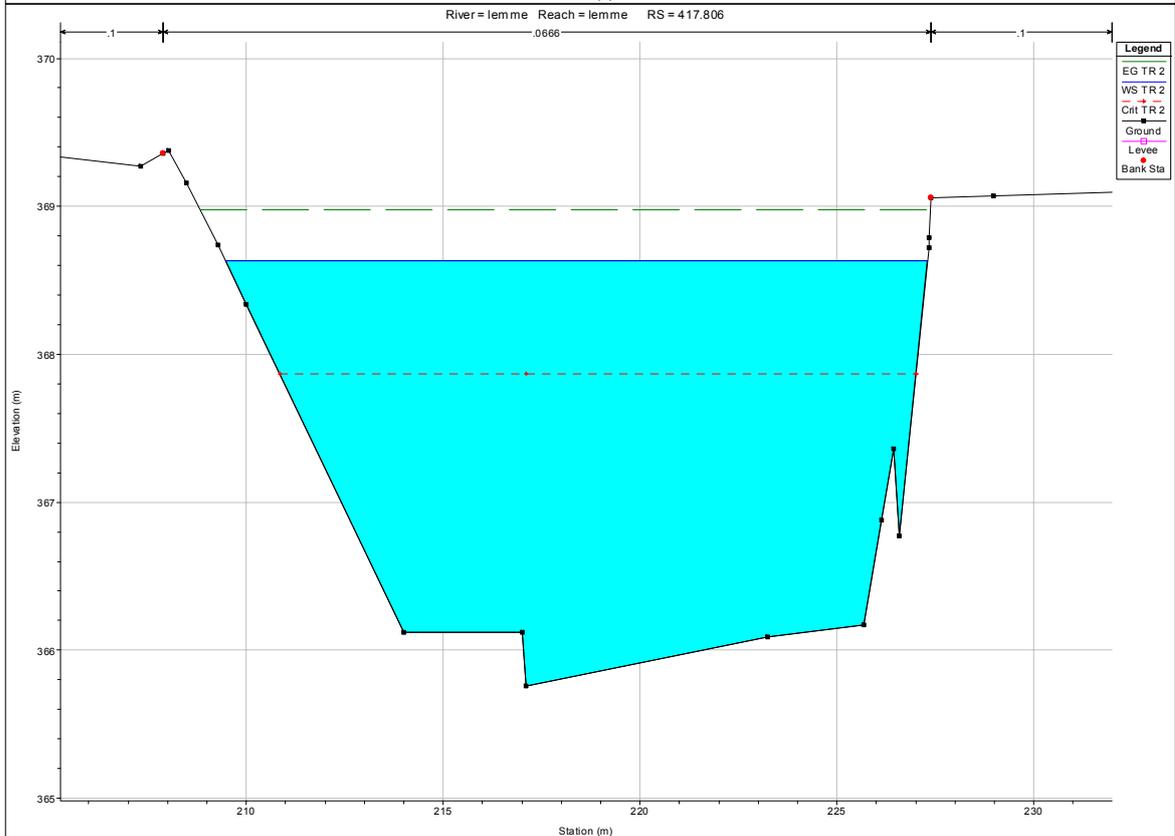
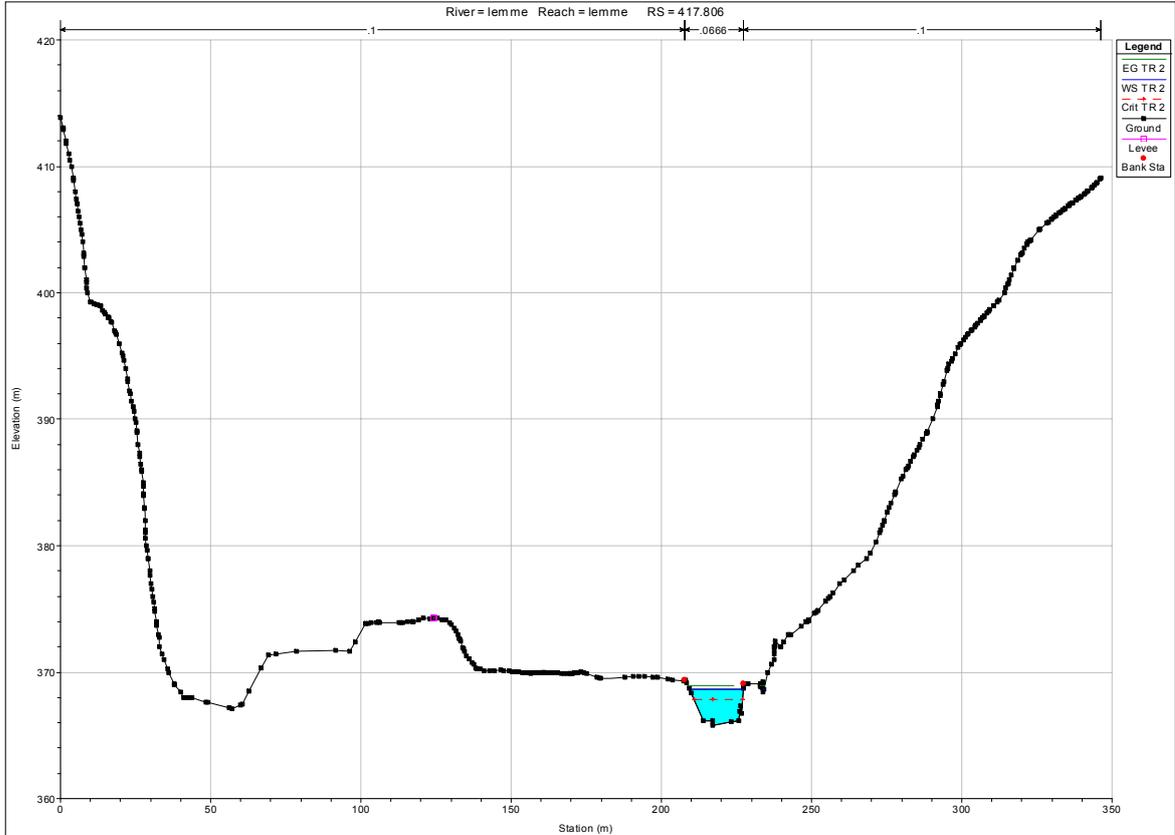


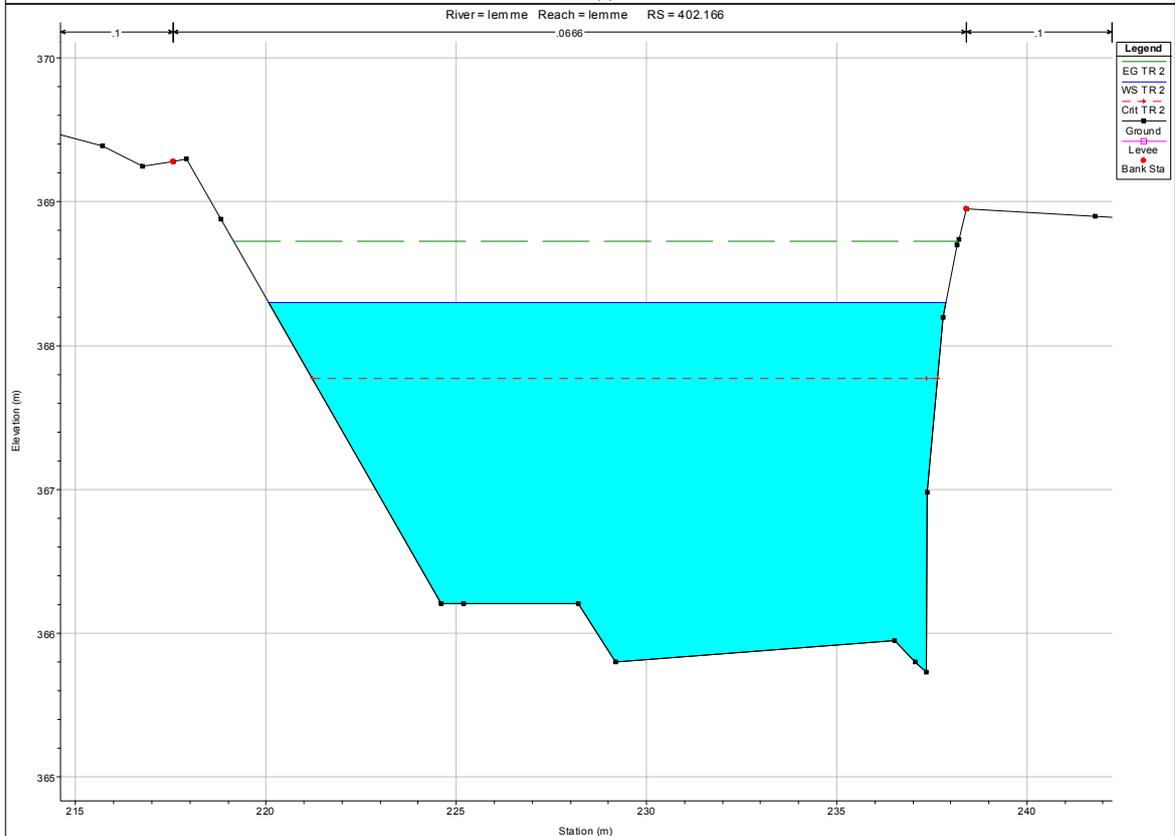
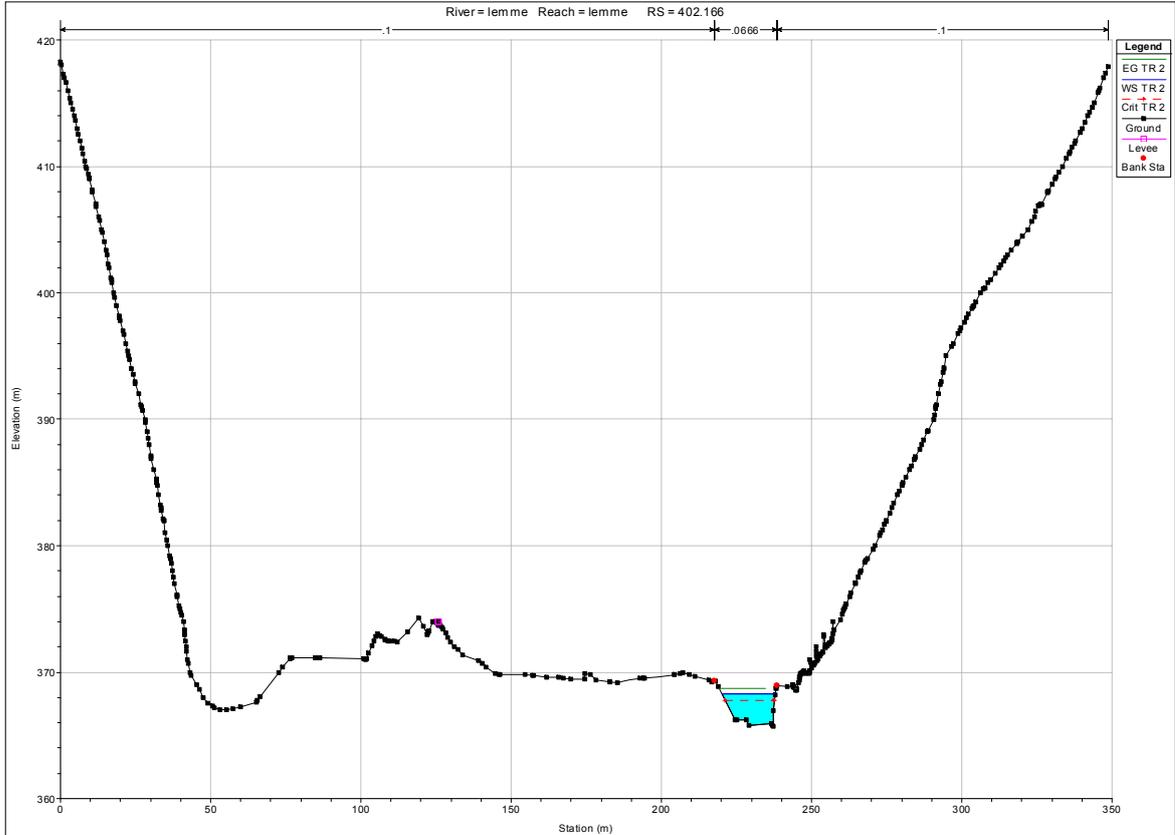


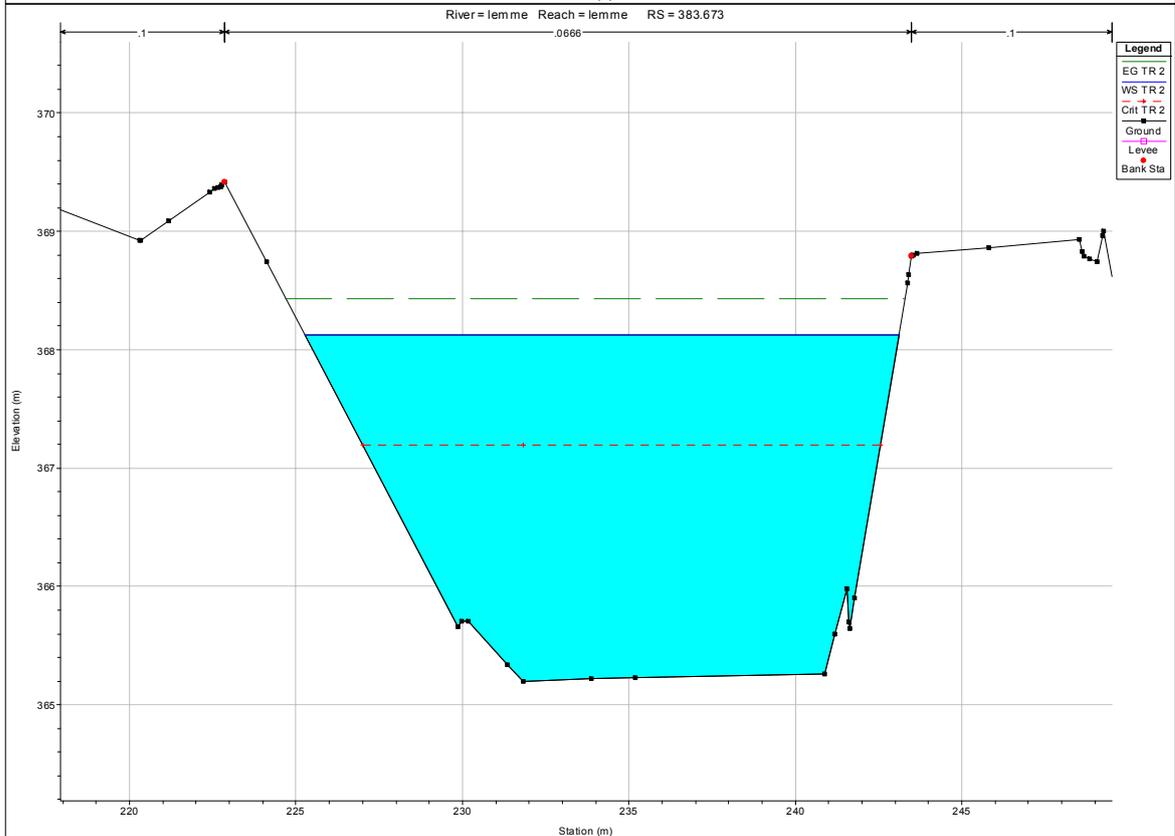
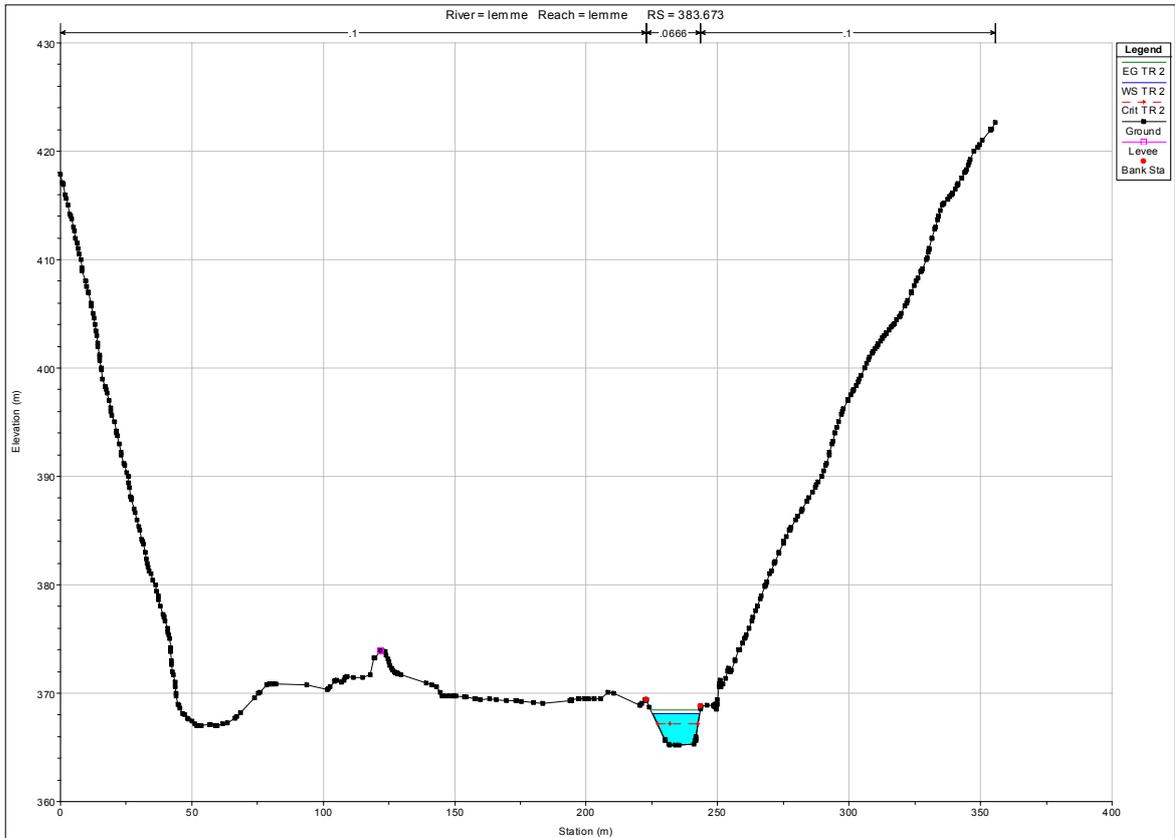


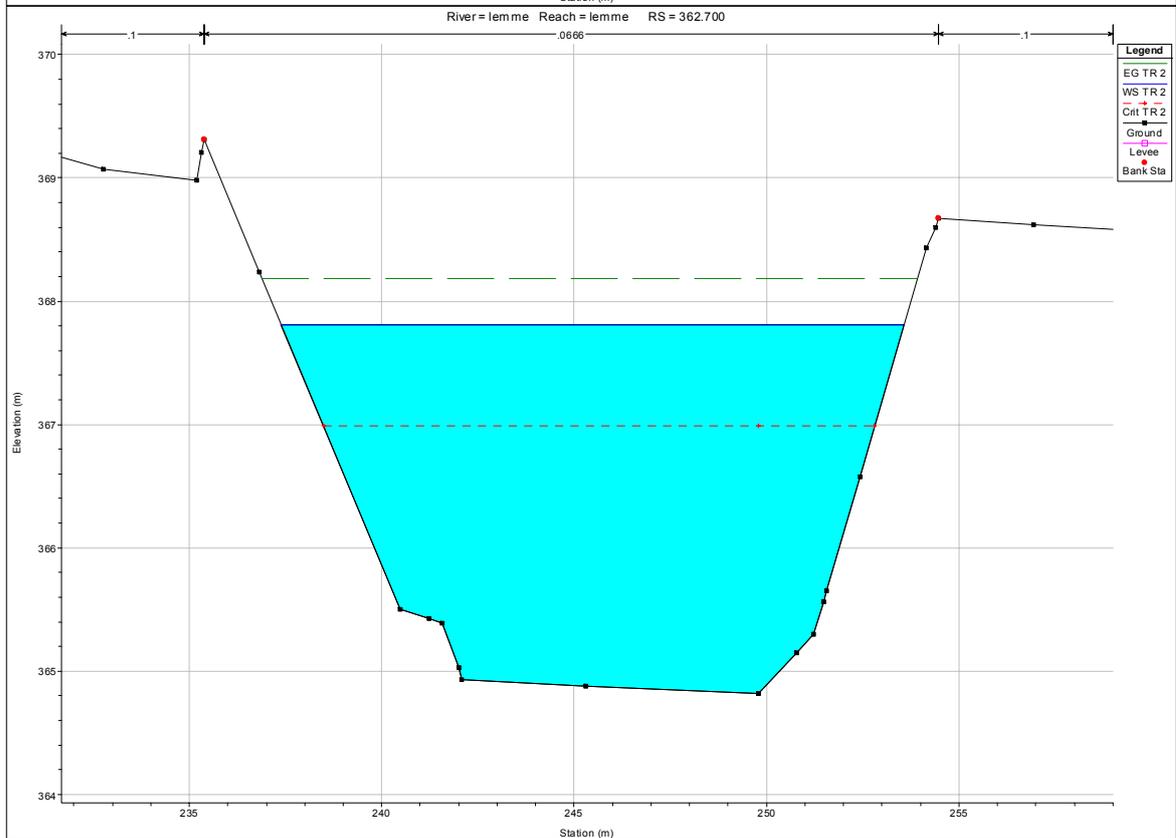
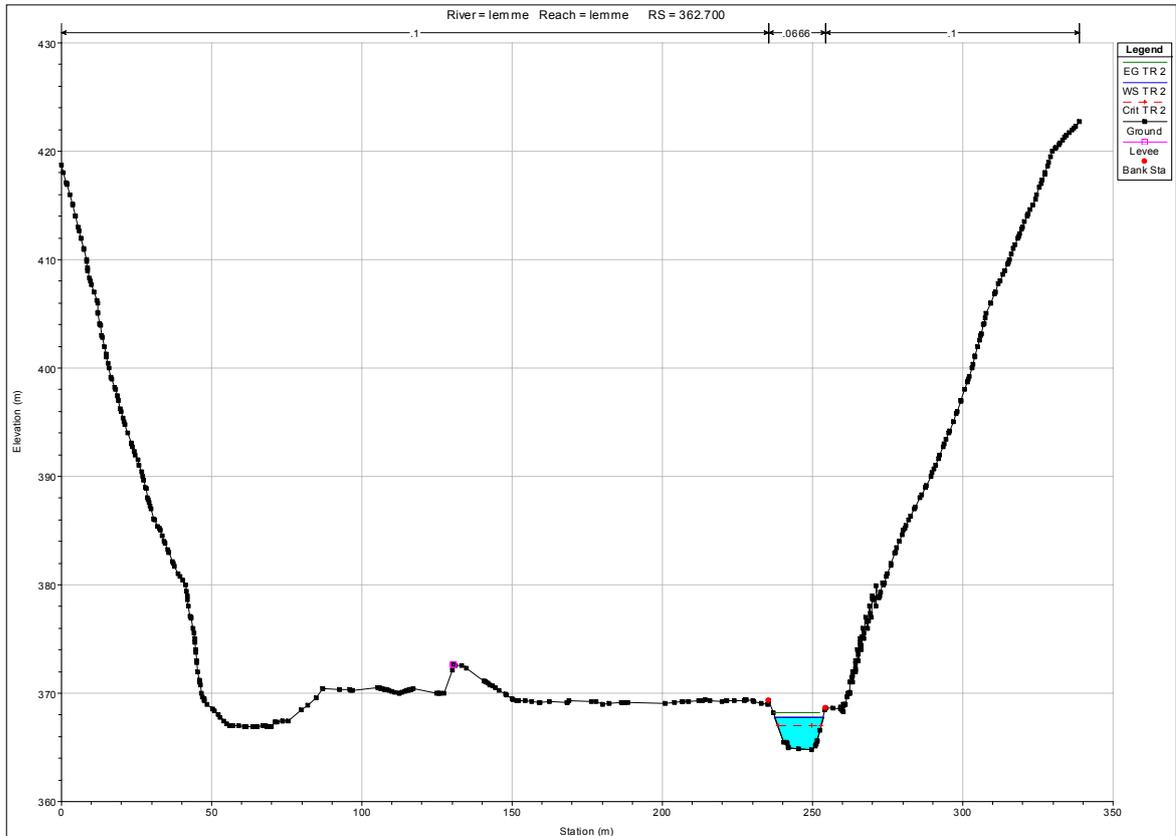


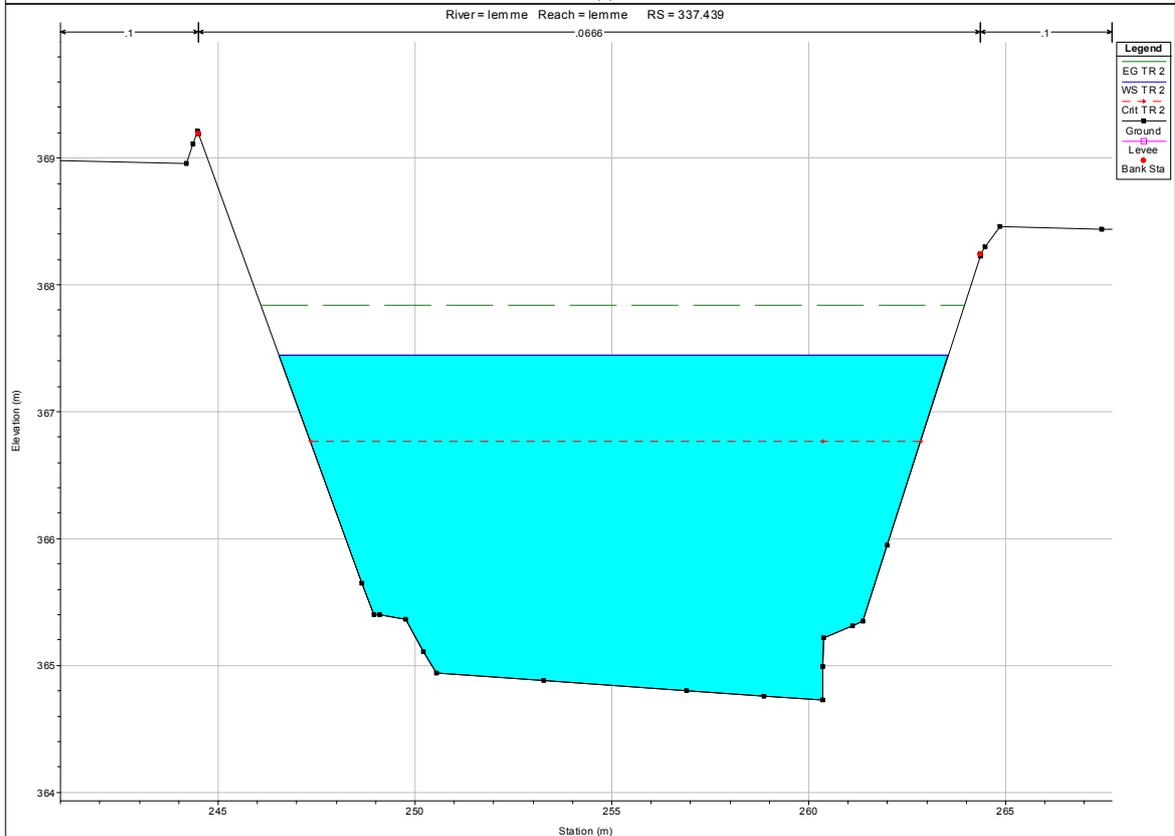
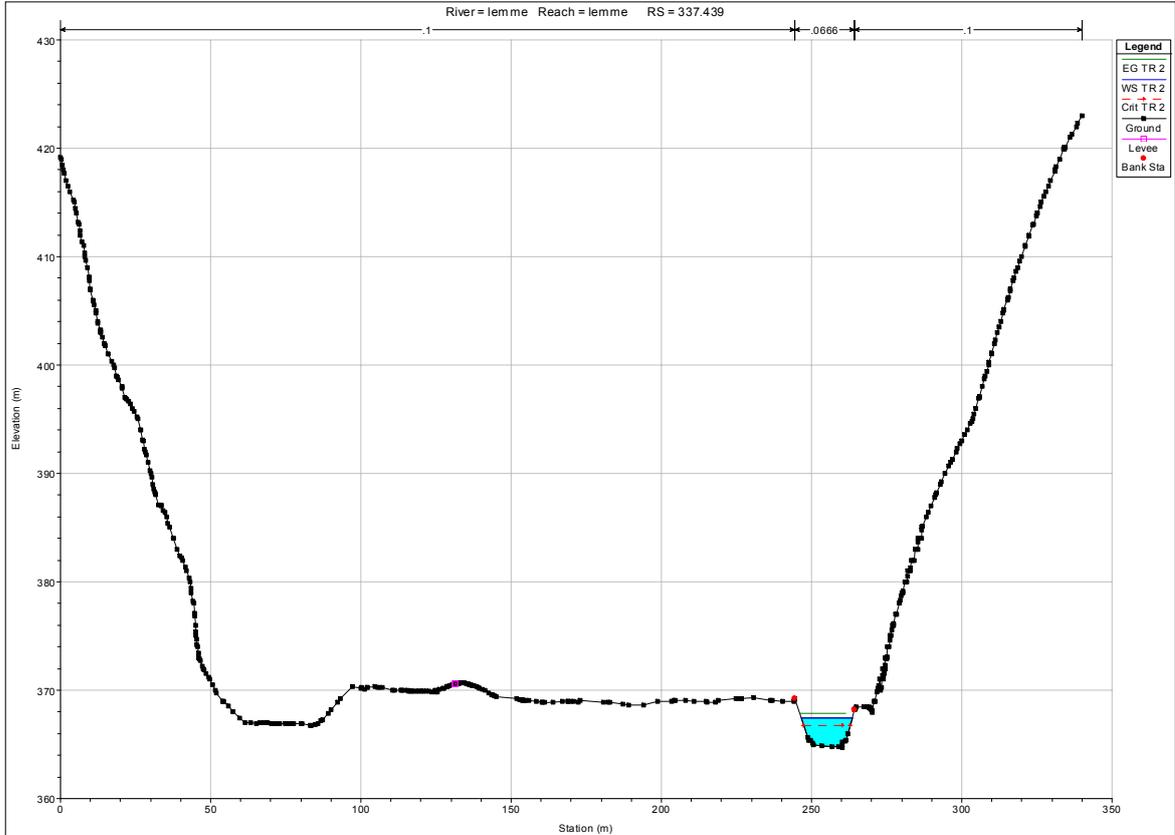


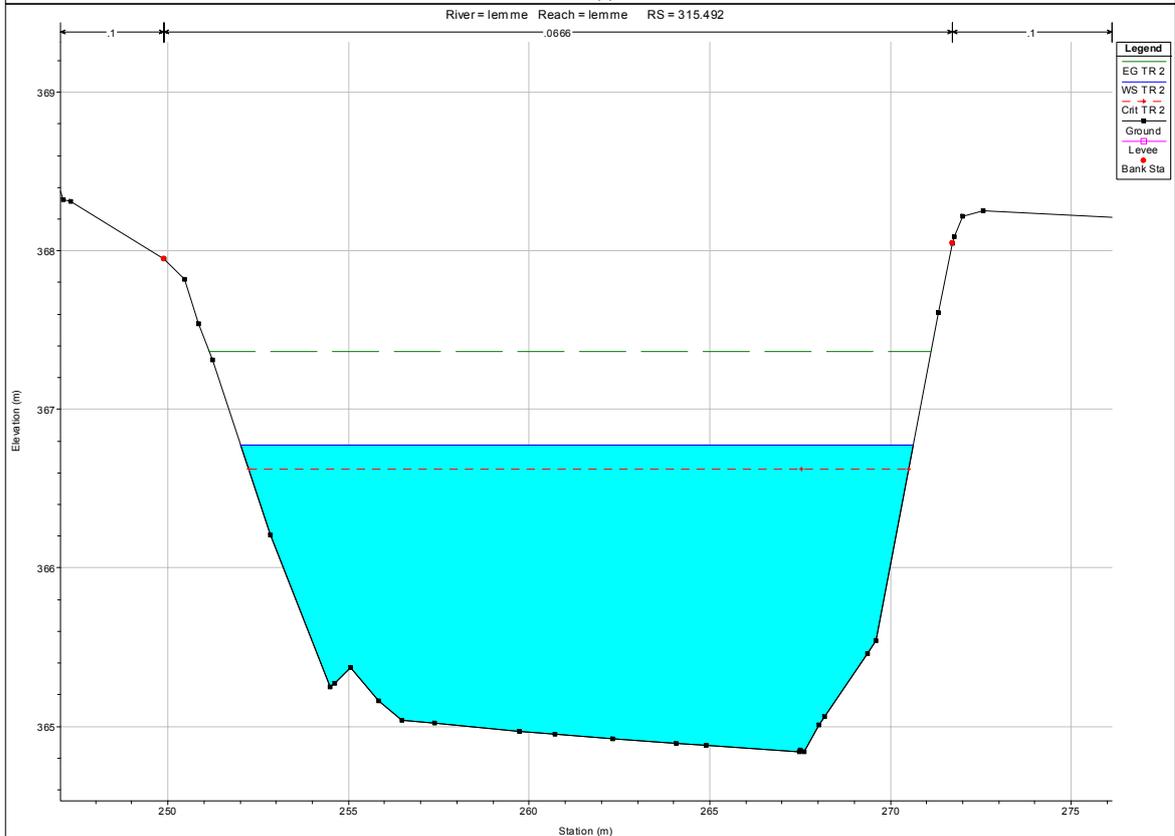
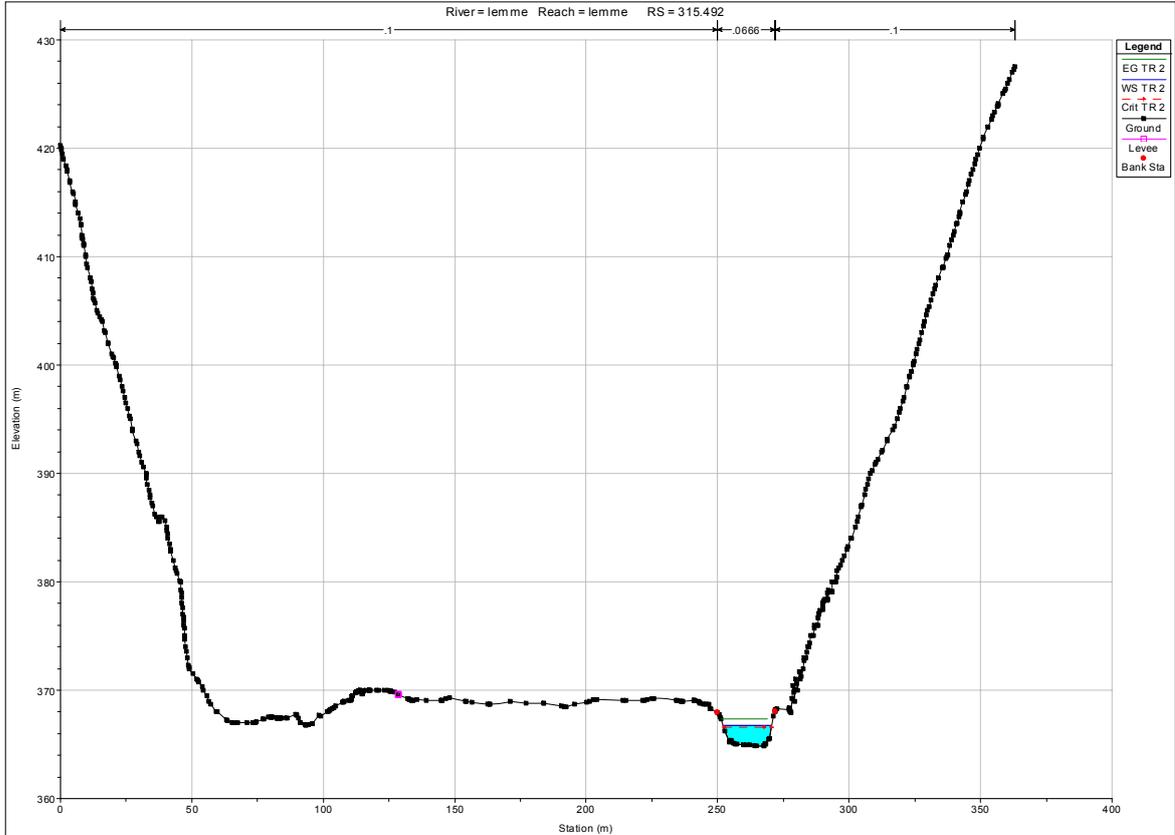


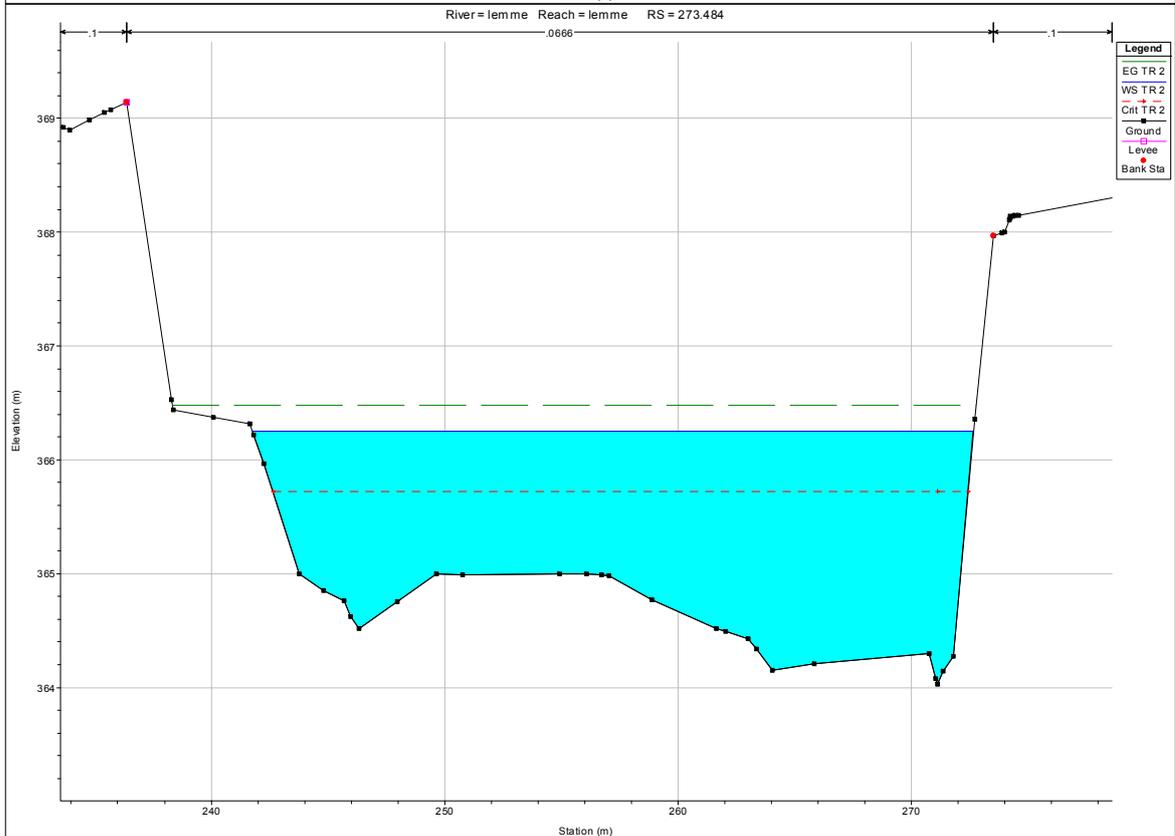
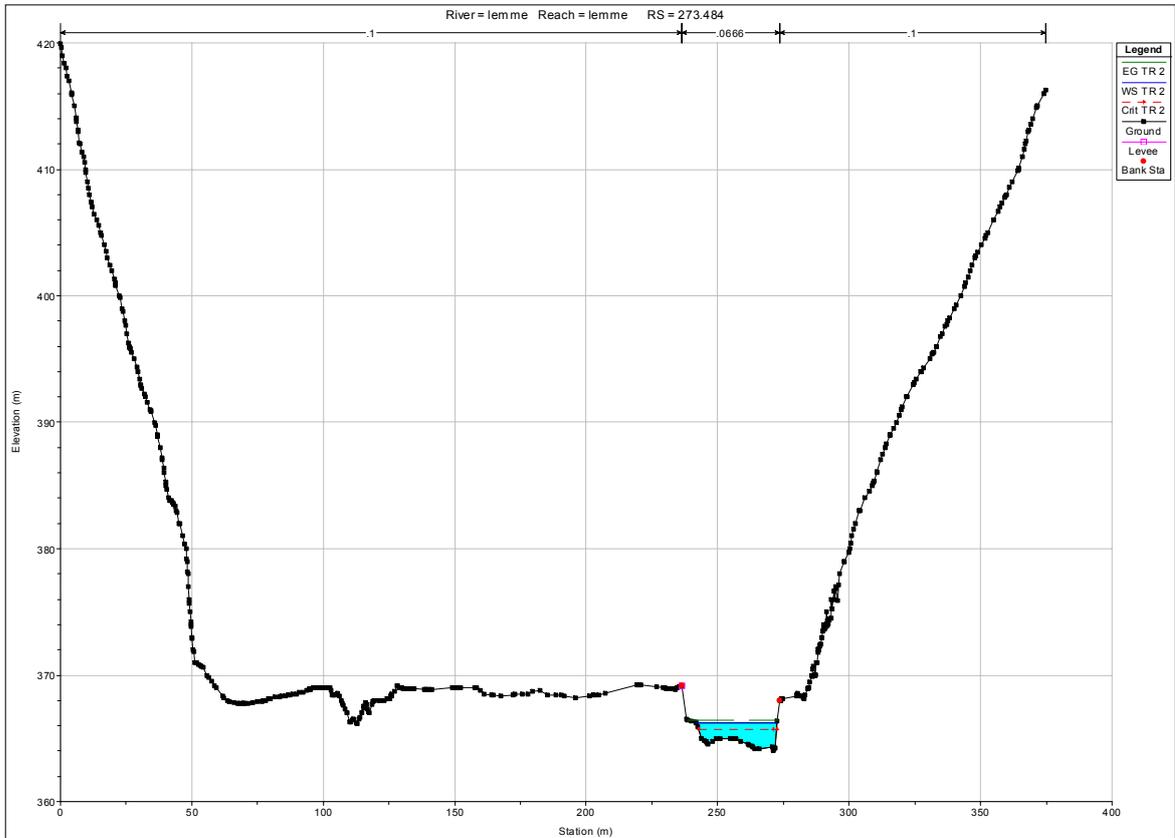


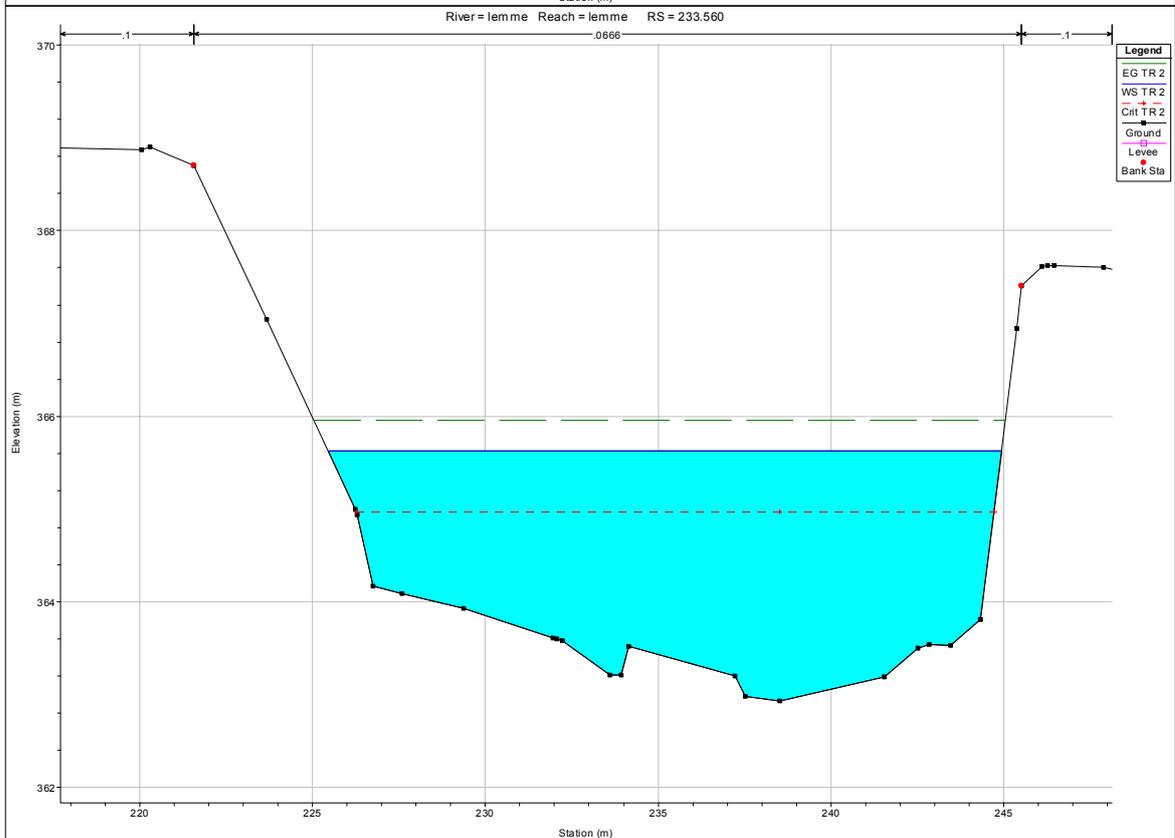
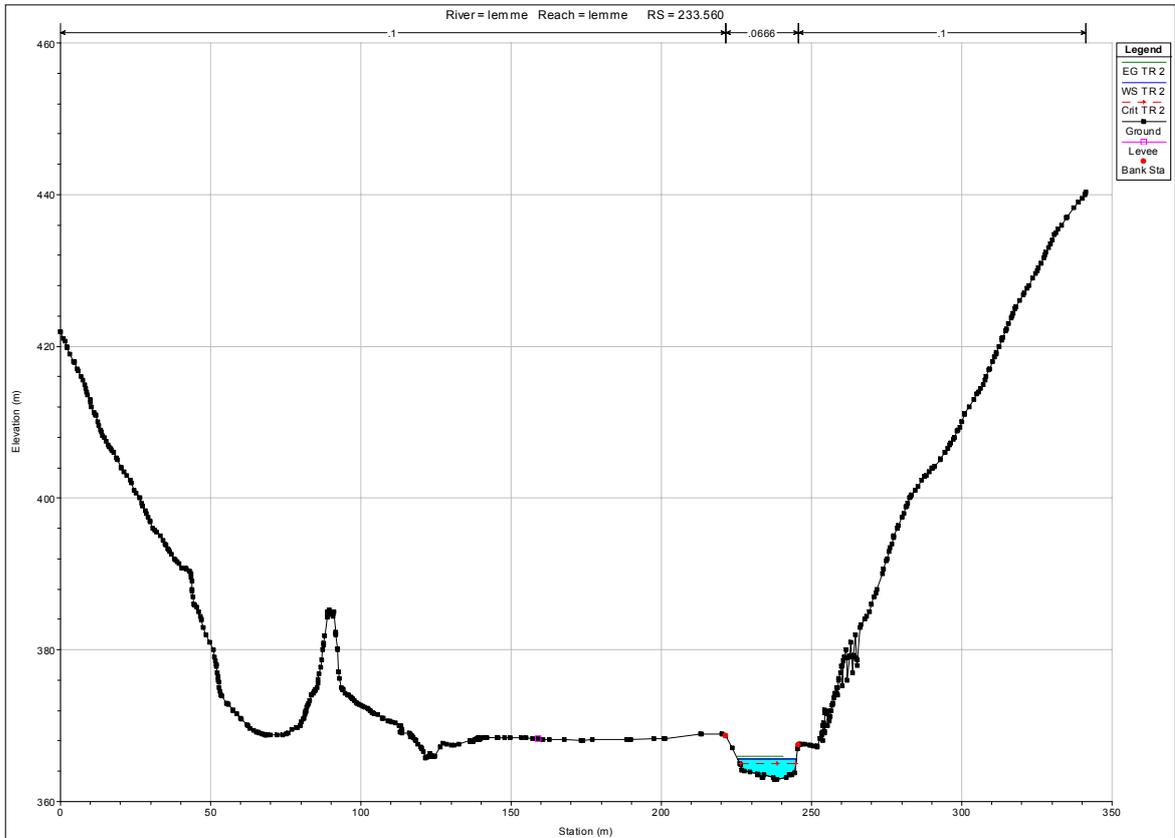


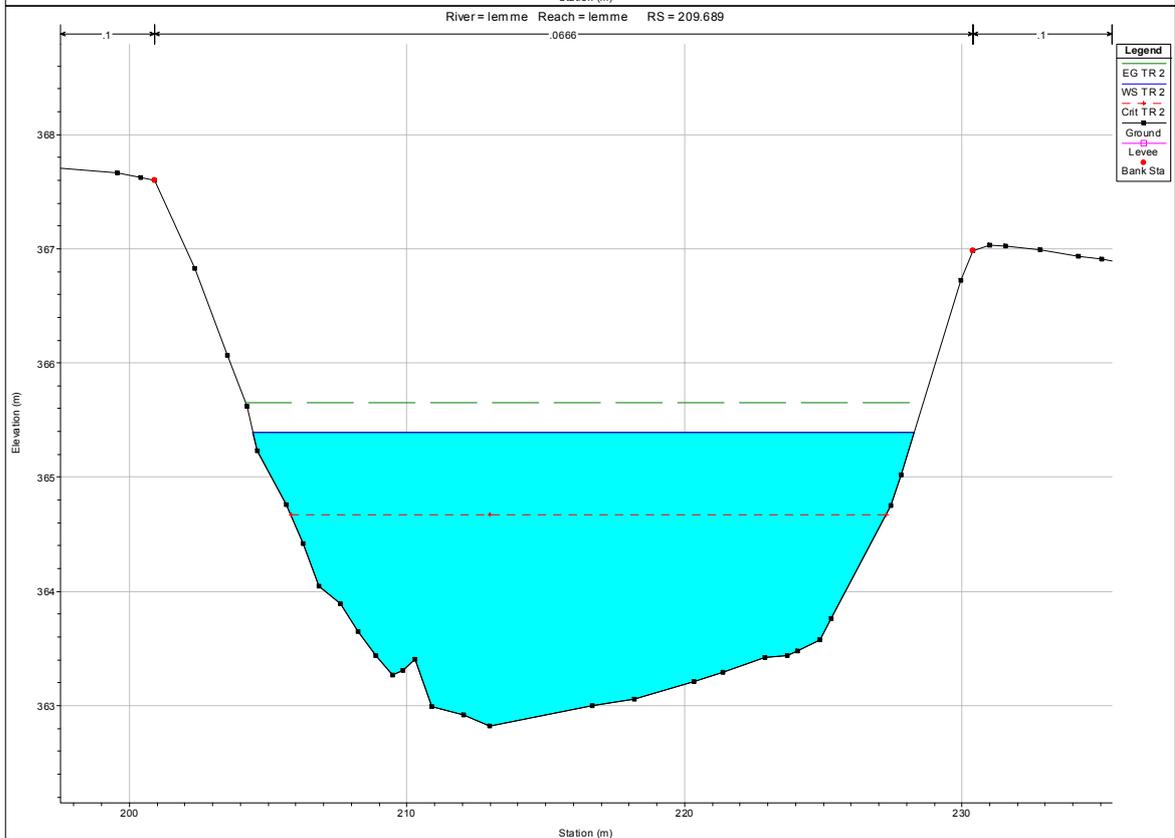
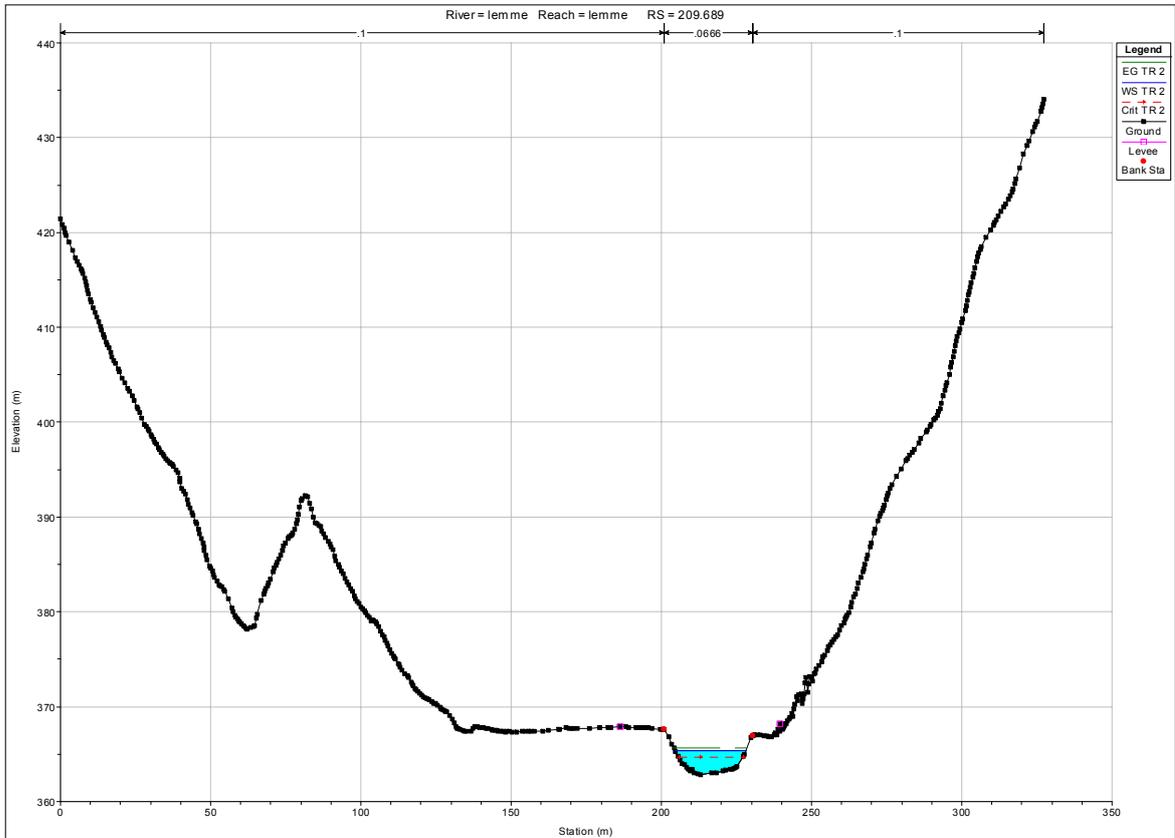


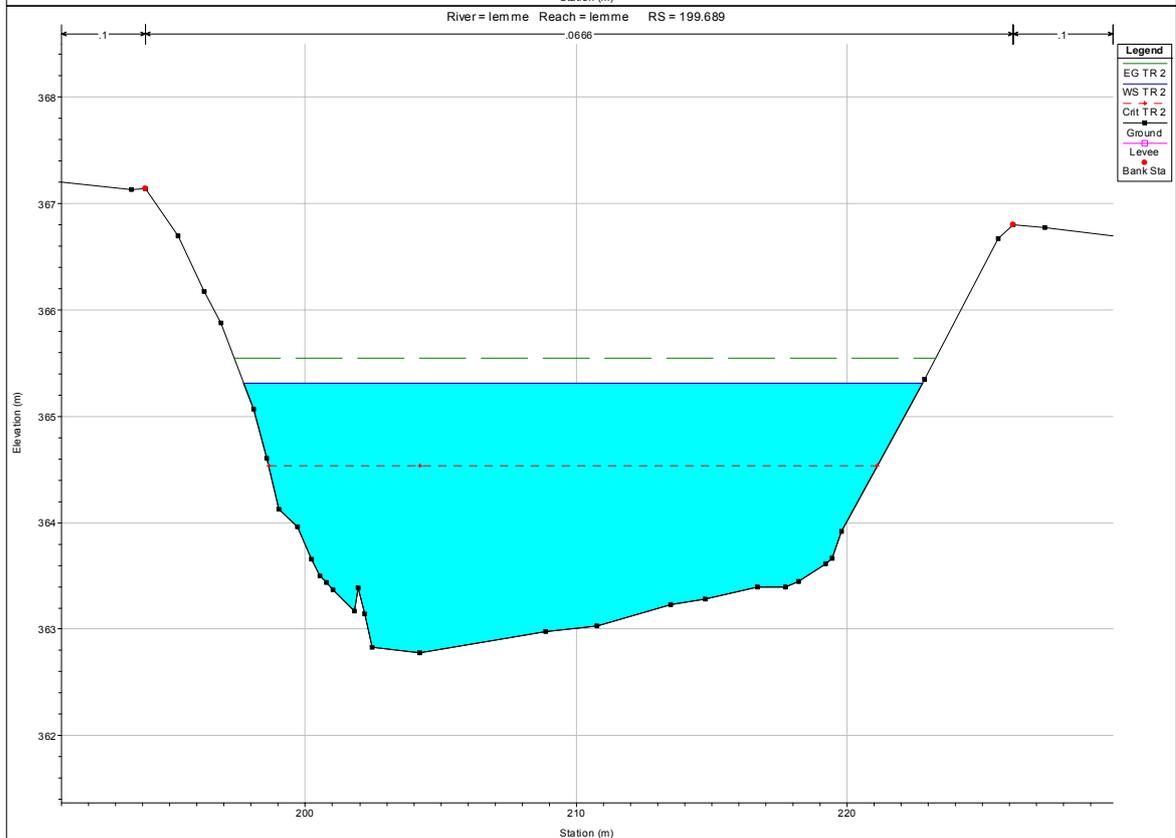
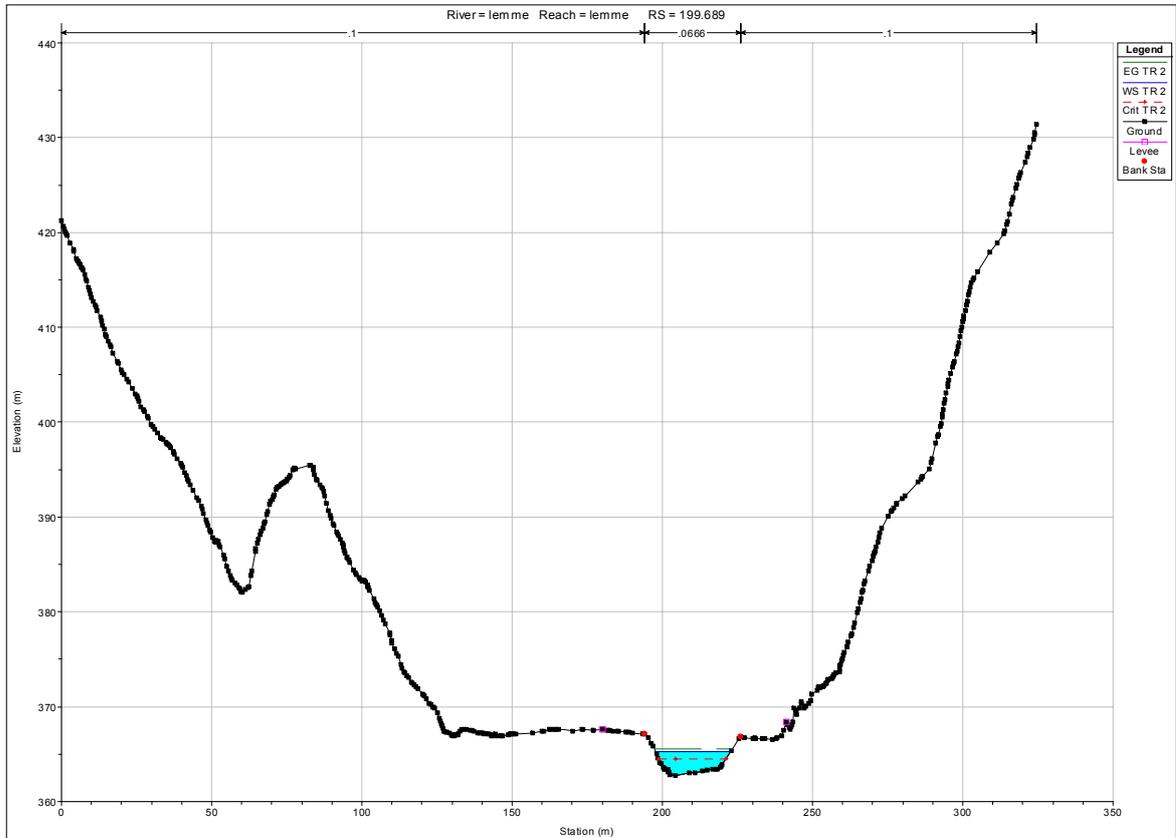


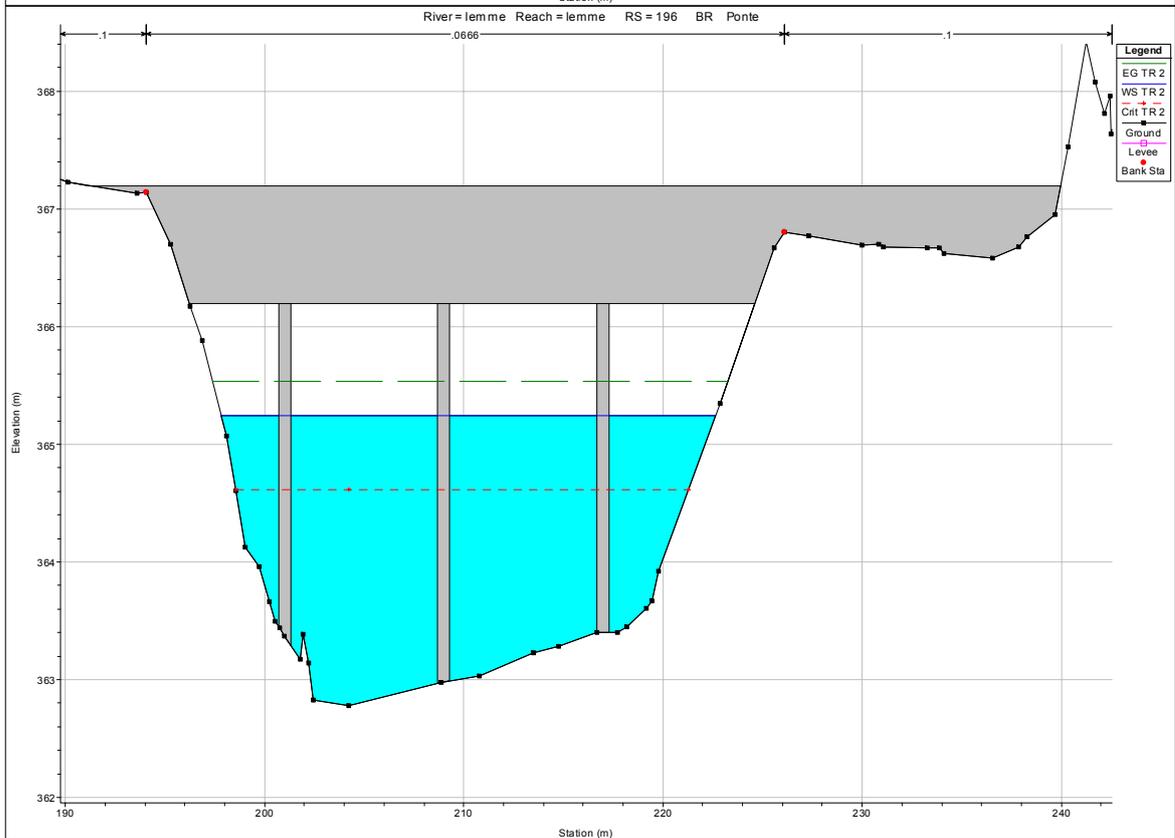
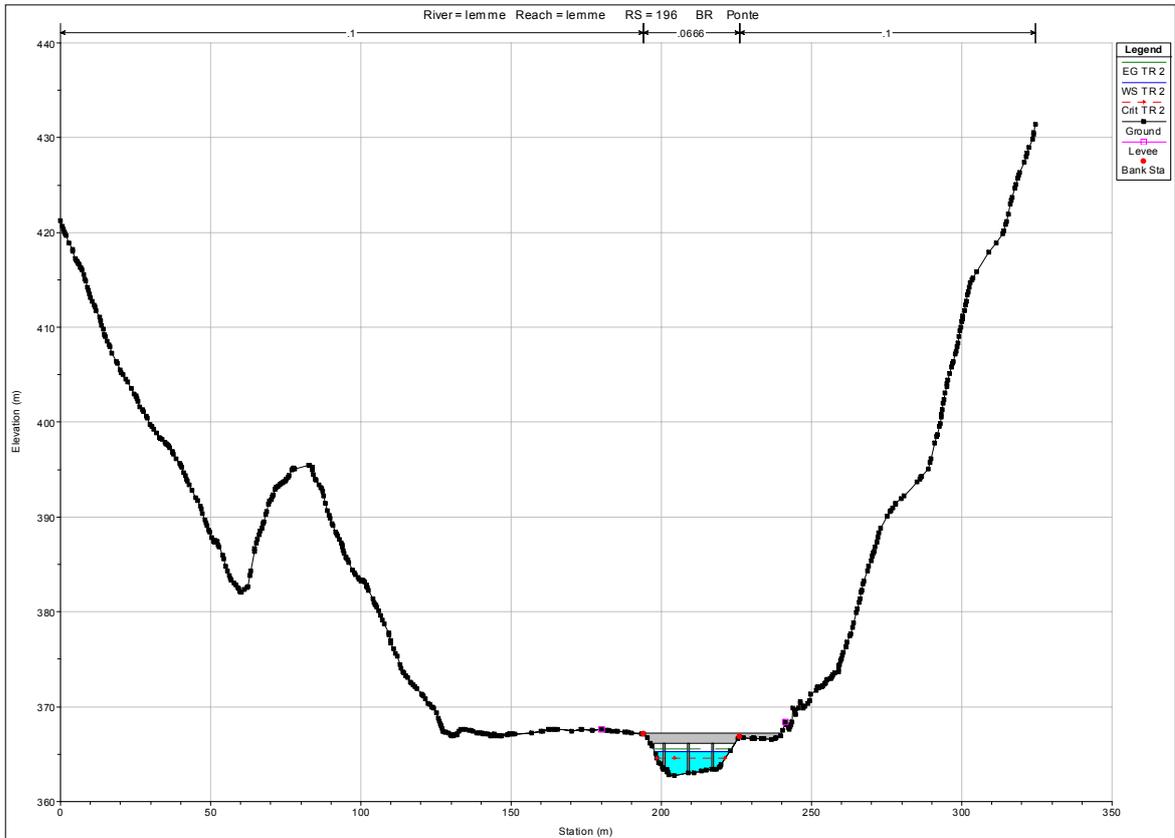


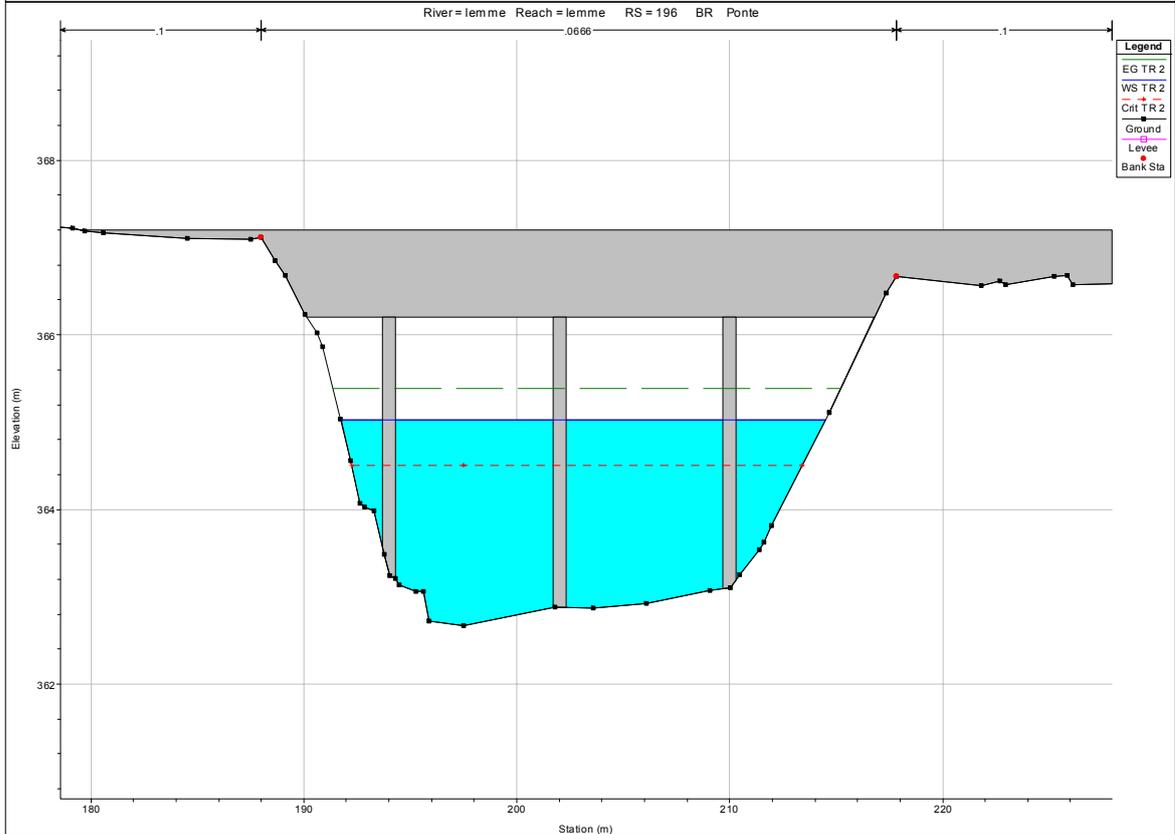
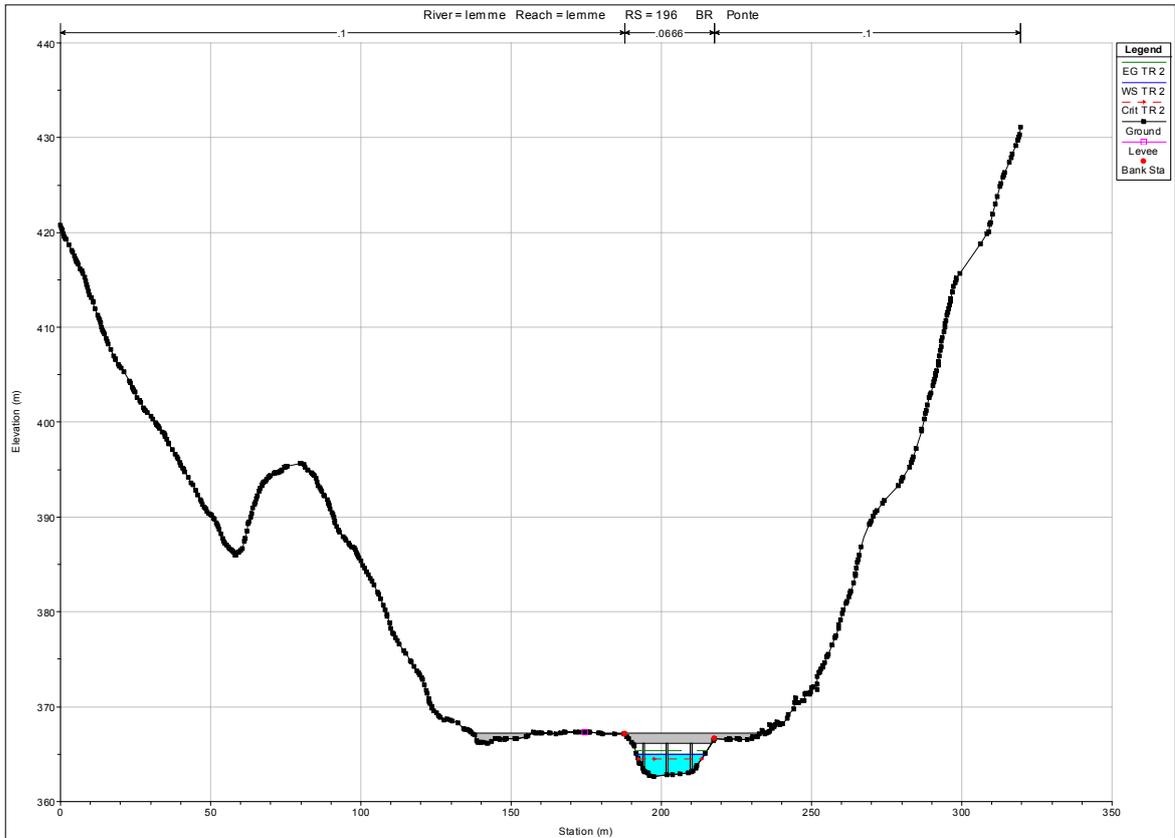


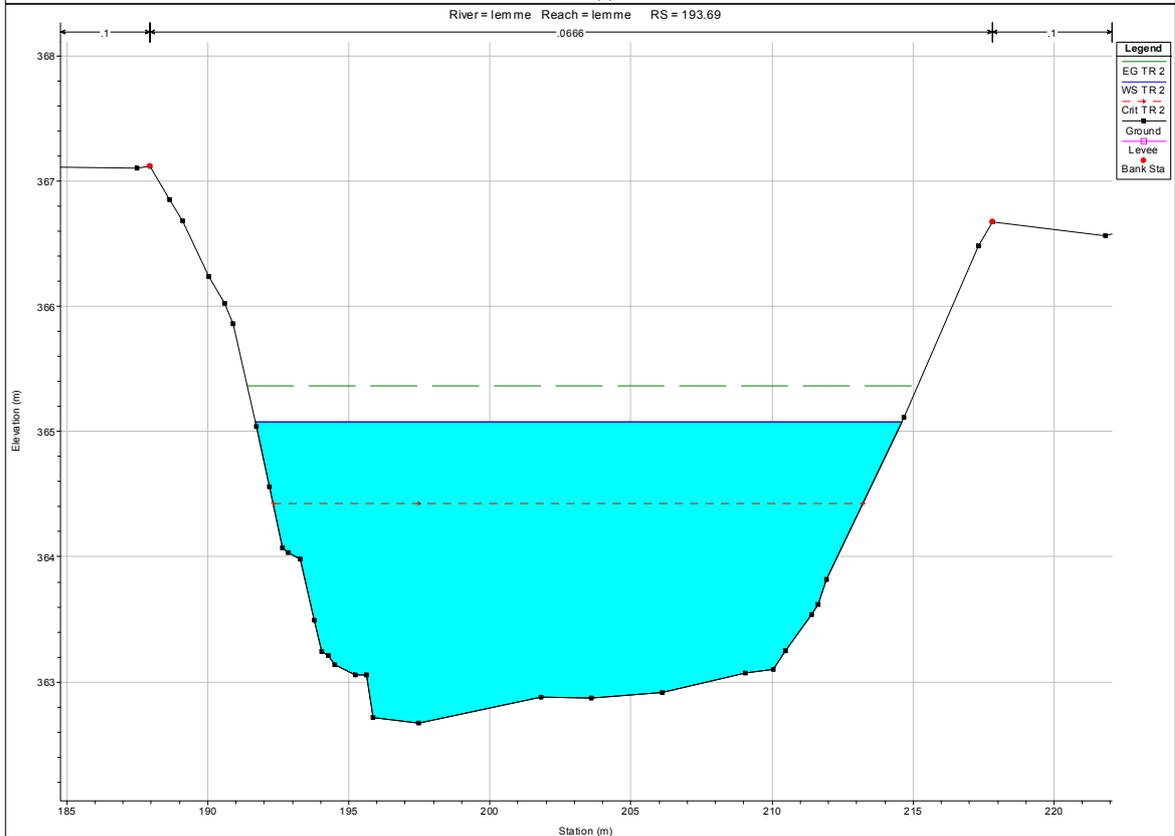
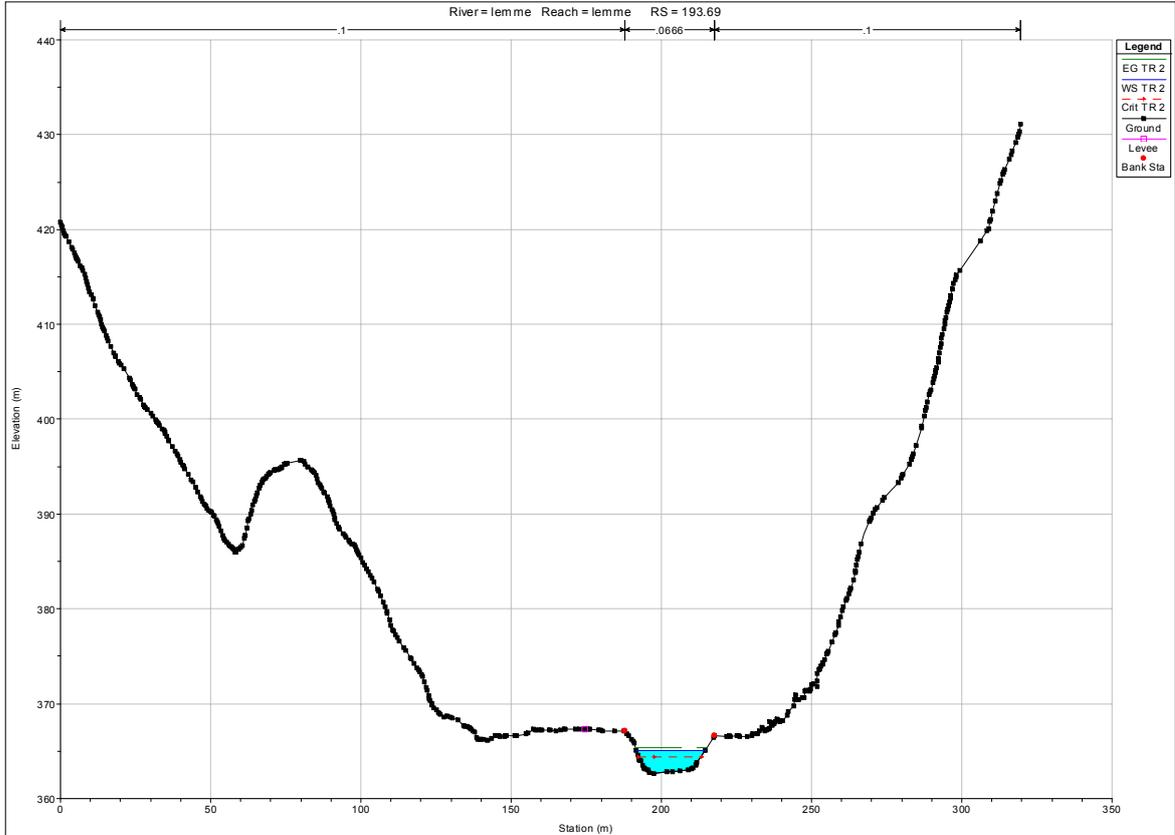


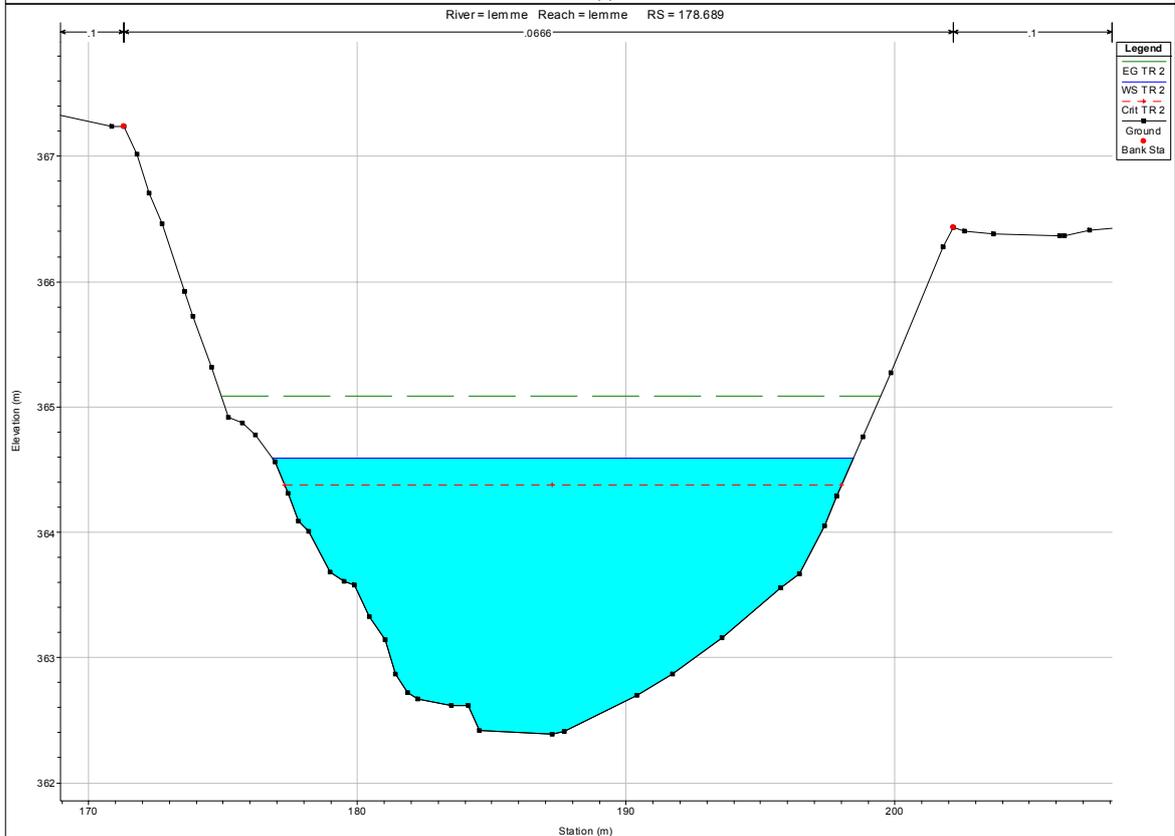
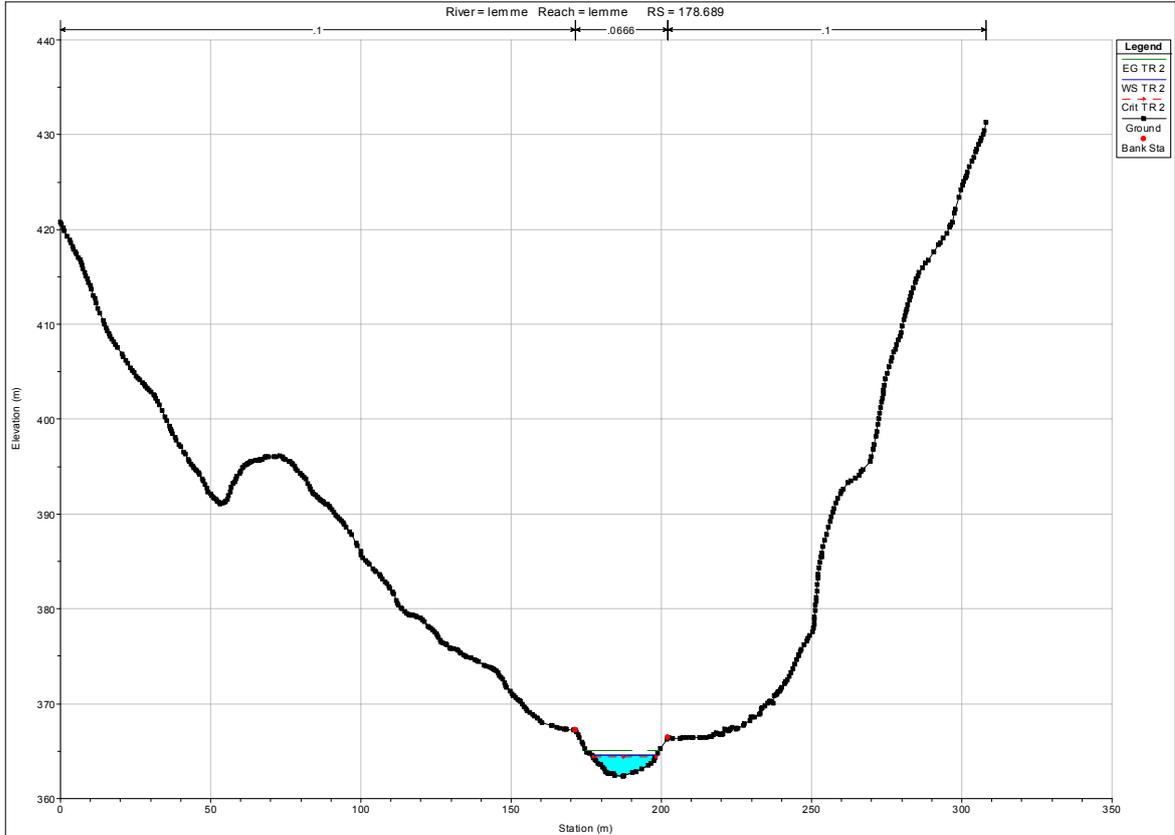


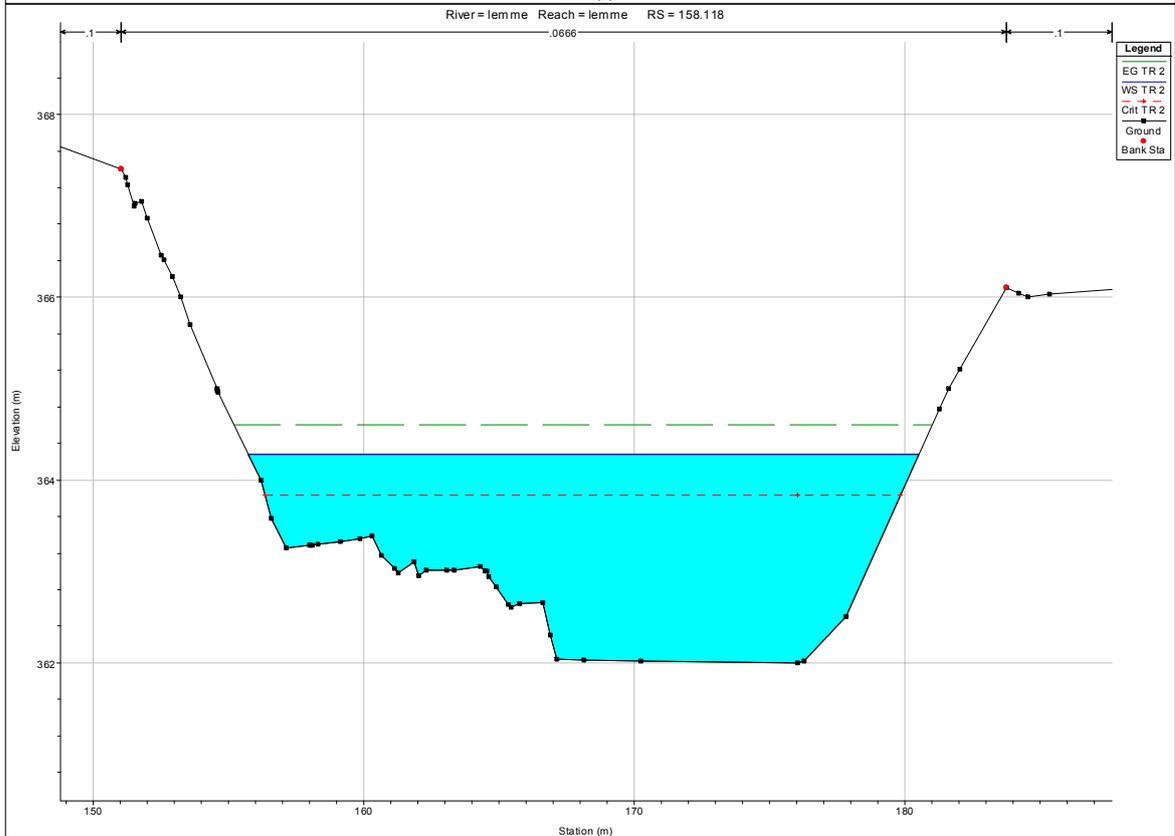
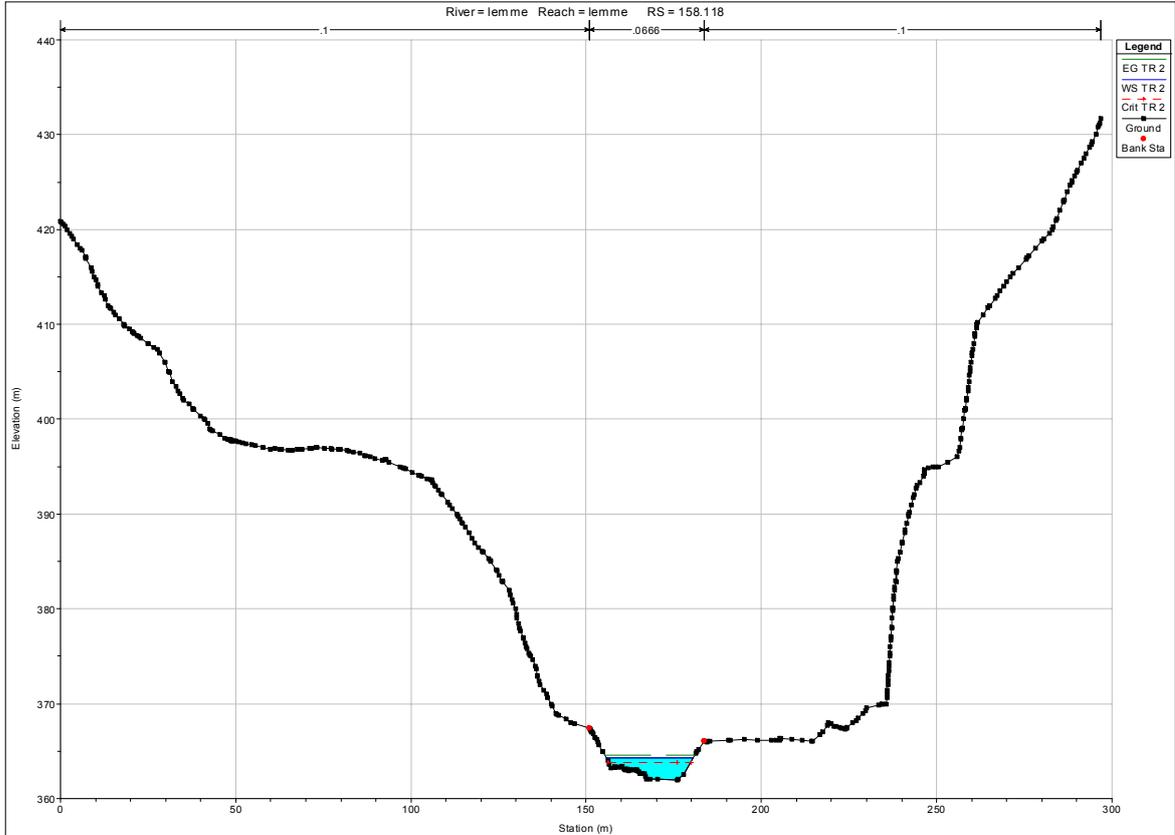


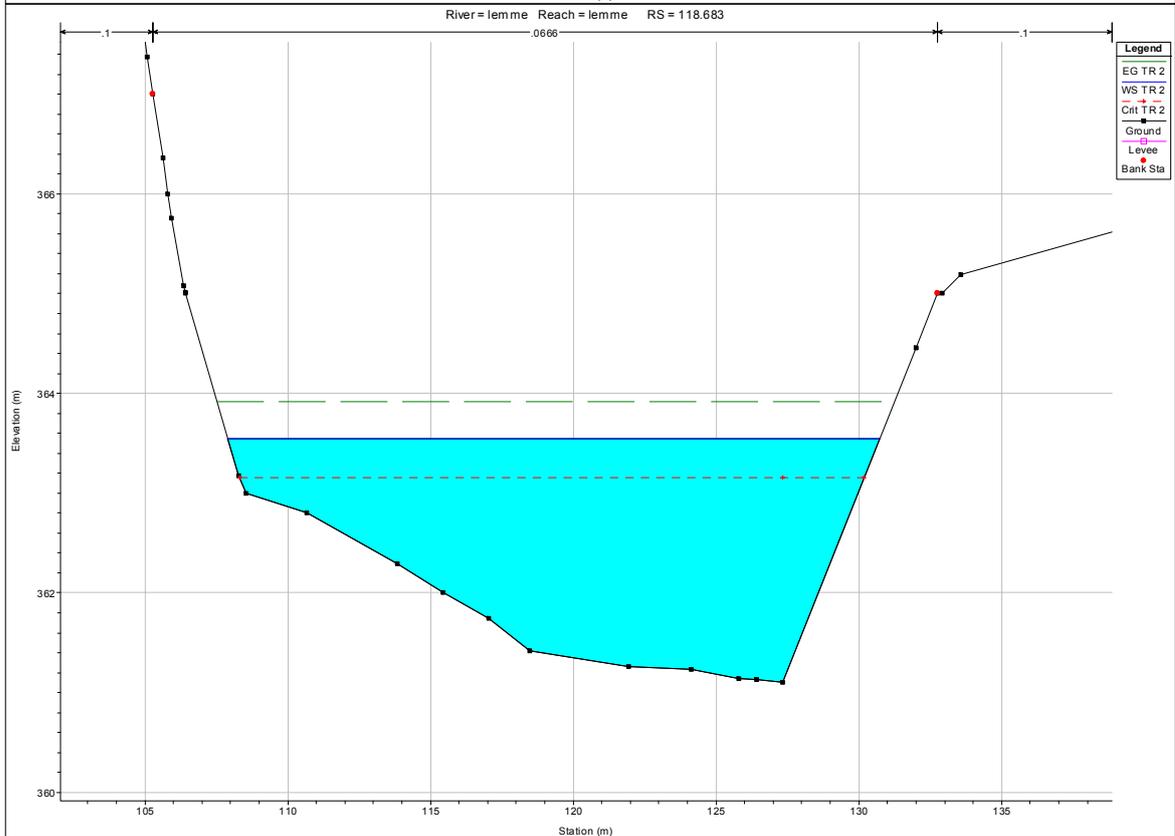
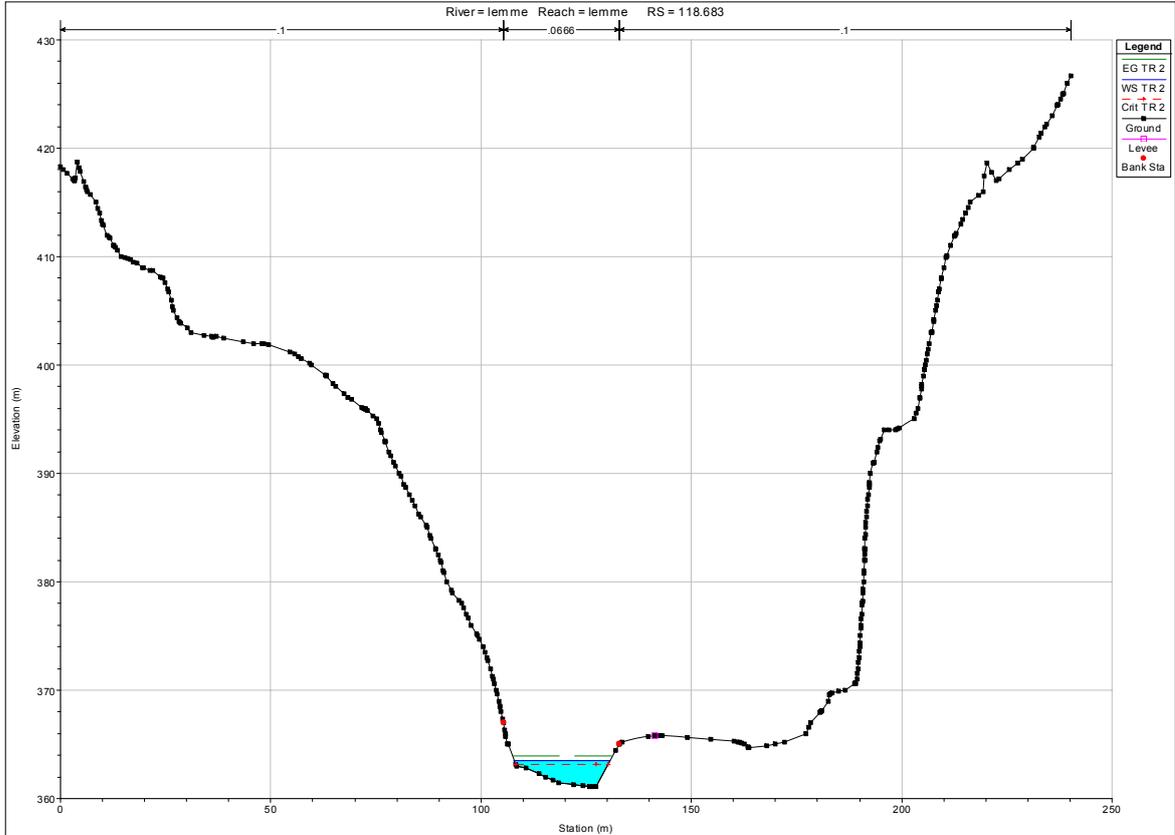


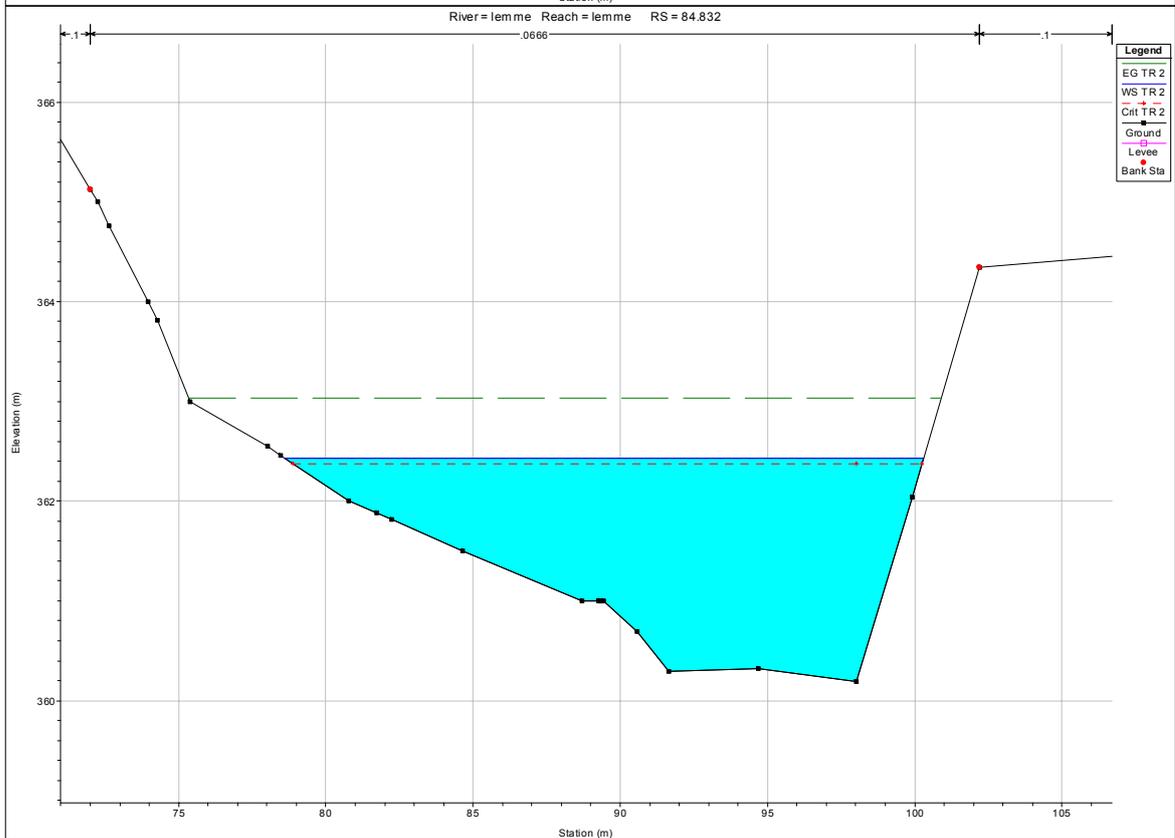
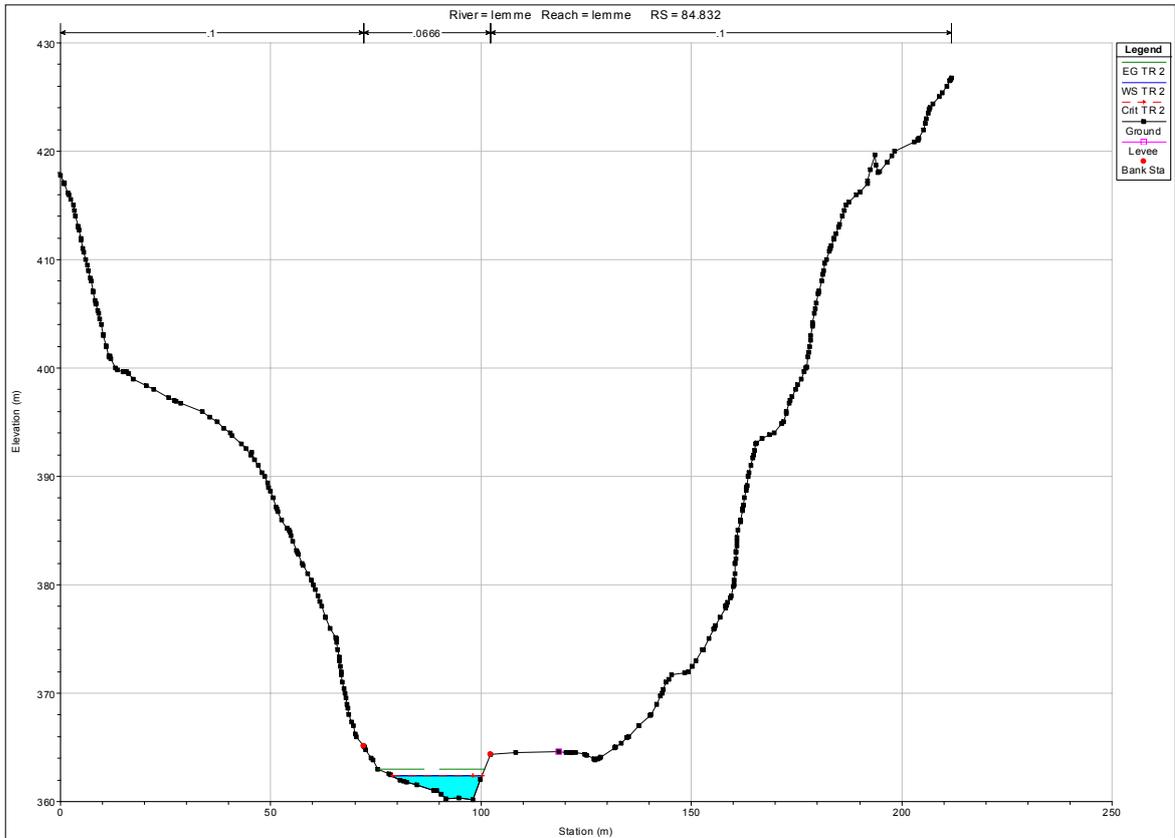


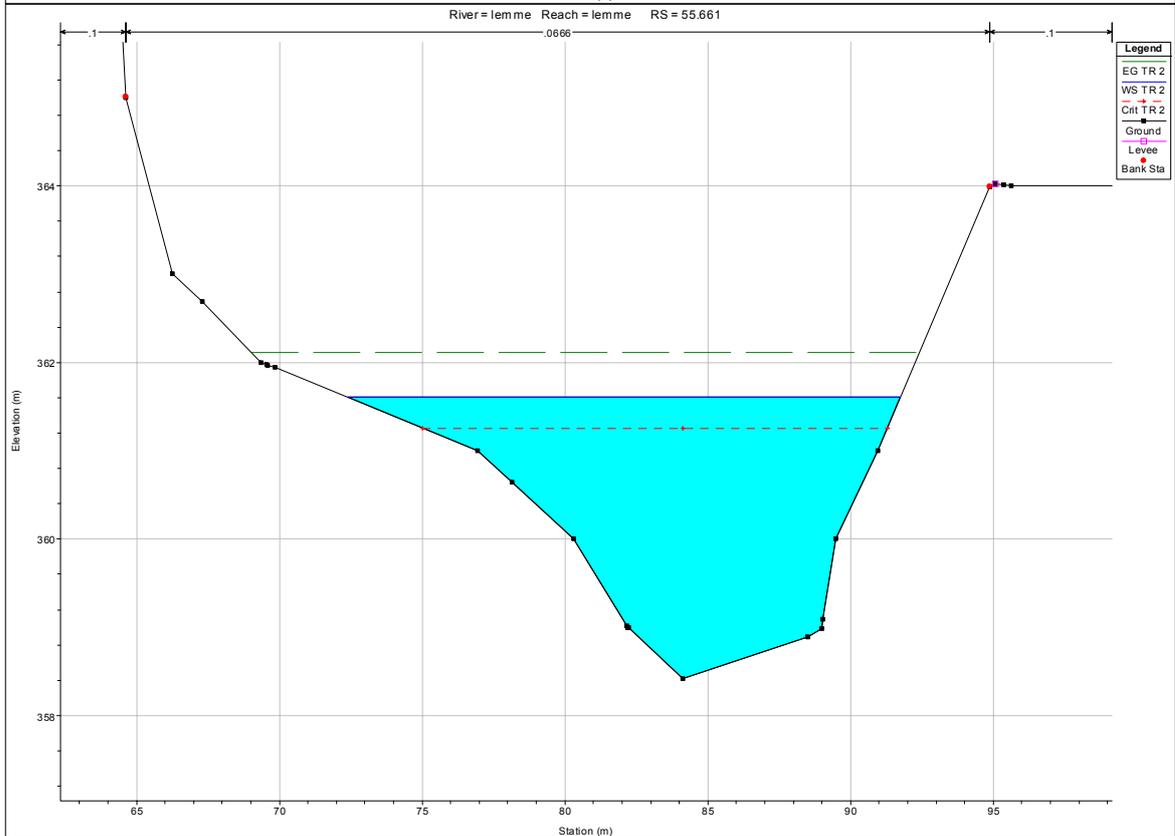
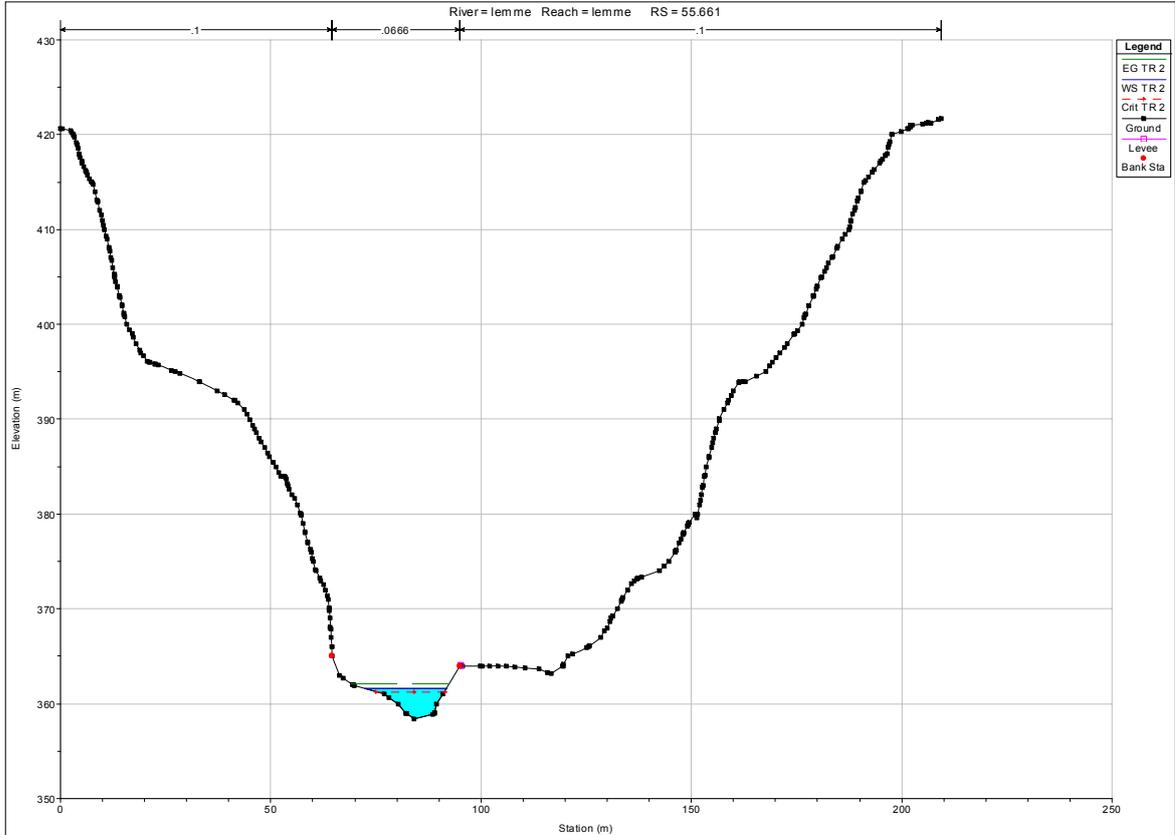


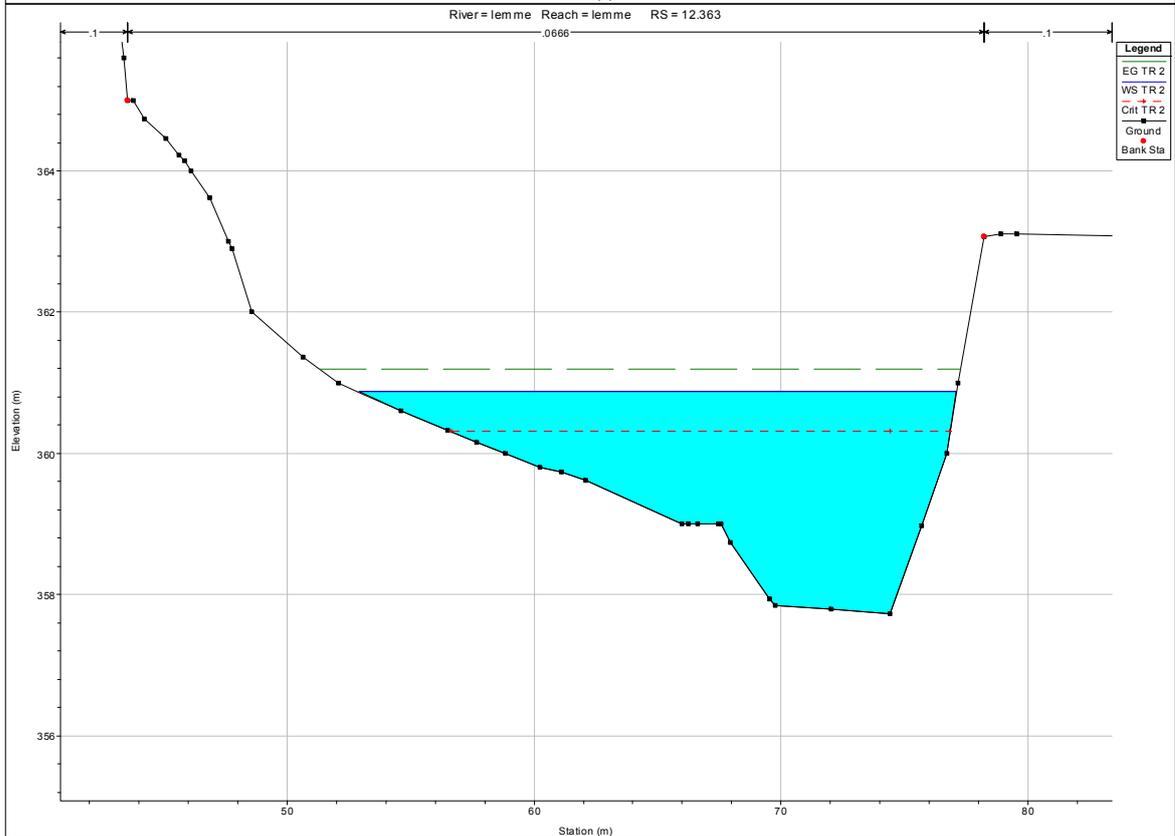
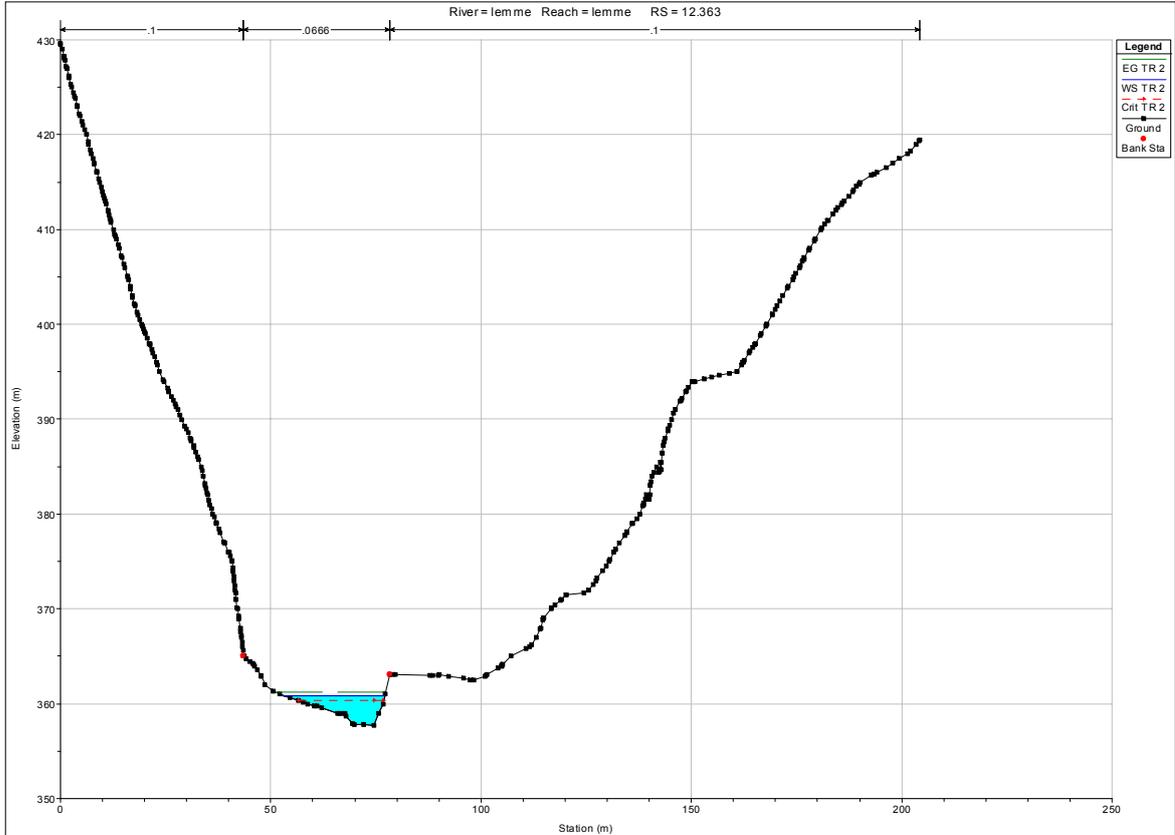












<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme</p>	<p>Foglio 211 di 226</p>

**ALLEGATO 5**  
 Risultati verifica di stabilità  
 scogliera  
**SCENARIO 0**





GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme

Foglio  
214 di  
226

Raggio superficie (m) 13.4

=====

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

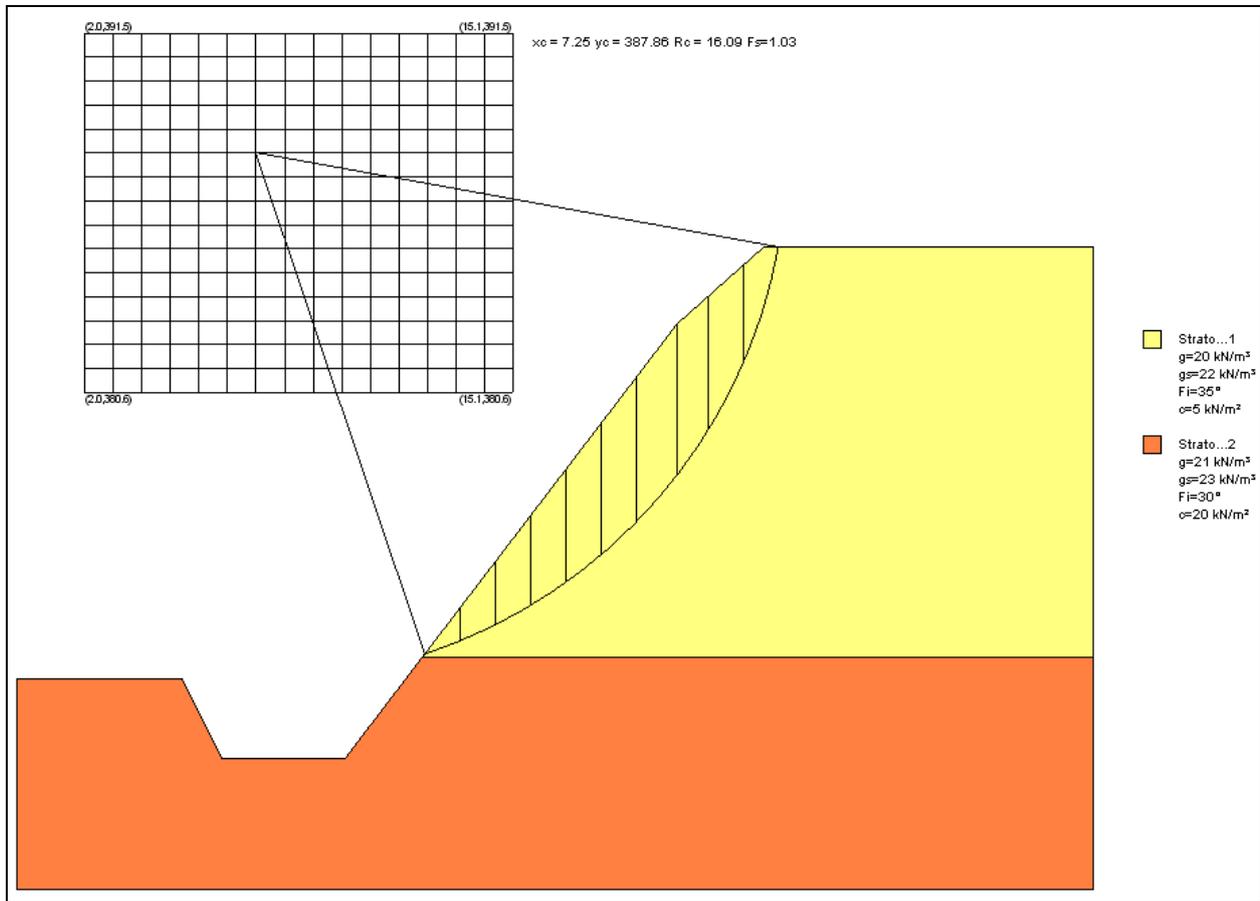
=====

**Analisi dei concii; superficie...xc = 9.011 yc = 385.761 Rc = 13.398 Fs=1.0402**

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0.1	3.8	0.11	0.12	0.0	0.0	20.0	30.0	0.0	0.0	2.4
2	2.4	9.3	2.43	59.04	0.0	0.0	5.0	35.0	22.9	30.6	39.2
3	1.25	17.3	1.31	68.33	0.0	0.0	5.0	35.0	20.9	38.6	40.5
4	1.25	23.0	1.36	89.96	0.0	0.0	5.0	35.0	23.9	52.5	54.5
5	1.25	29.0	1.43	107.82	0.0	0.0	5.0	35.0	25.1	64.7	69.1
6	0.95	34.5	1.15	90.67	0.0	0.0	5.0	35.0	18.1	56.2	63.1
7	1.56	41.4	2.07	156.26	0.0	0.0	5.0	35.0	23.5	101.9	125.4
8	1.25	50.0	1.95	121.46	0.0	0.0	5.0	35.0	5.0	87.0	126.6
9	1.25	59.4	2.46	105.88	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	77.8	151.2
10	1.25	75.2	4.91	65.46	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	36.8	227.5

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme</p>	<p>Foglio 215 di 226</p>

**ALLEGATO 6**  
 Risultati verifica di stabilità  
 scogliera  
**SCENARIO 1**



### Analisi di stabilità dei pendii con JANBU

Numero di strati 2.0  
 Numero dei conci 10.0  
 No sisma;

### Superficie di forma circolare

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore  $x_i$  (m) 2.05  
 Ordinata vertice sinistro inferiore  $y_i$  (m) 380.57  
 Ascissa vertice destro superiore  $x_s$  (m) 15.06  
 Ordinata vertice destro superiore  $y_s$  (m) 391.51  
 Passo di ricerca 10.0  
 Numero di celle lungo x 15.0  
 Numero di celle lungo y 15.0

### Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	0.0	371.87

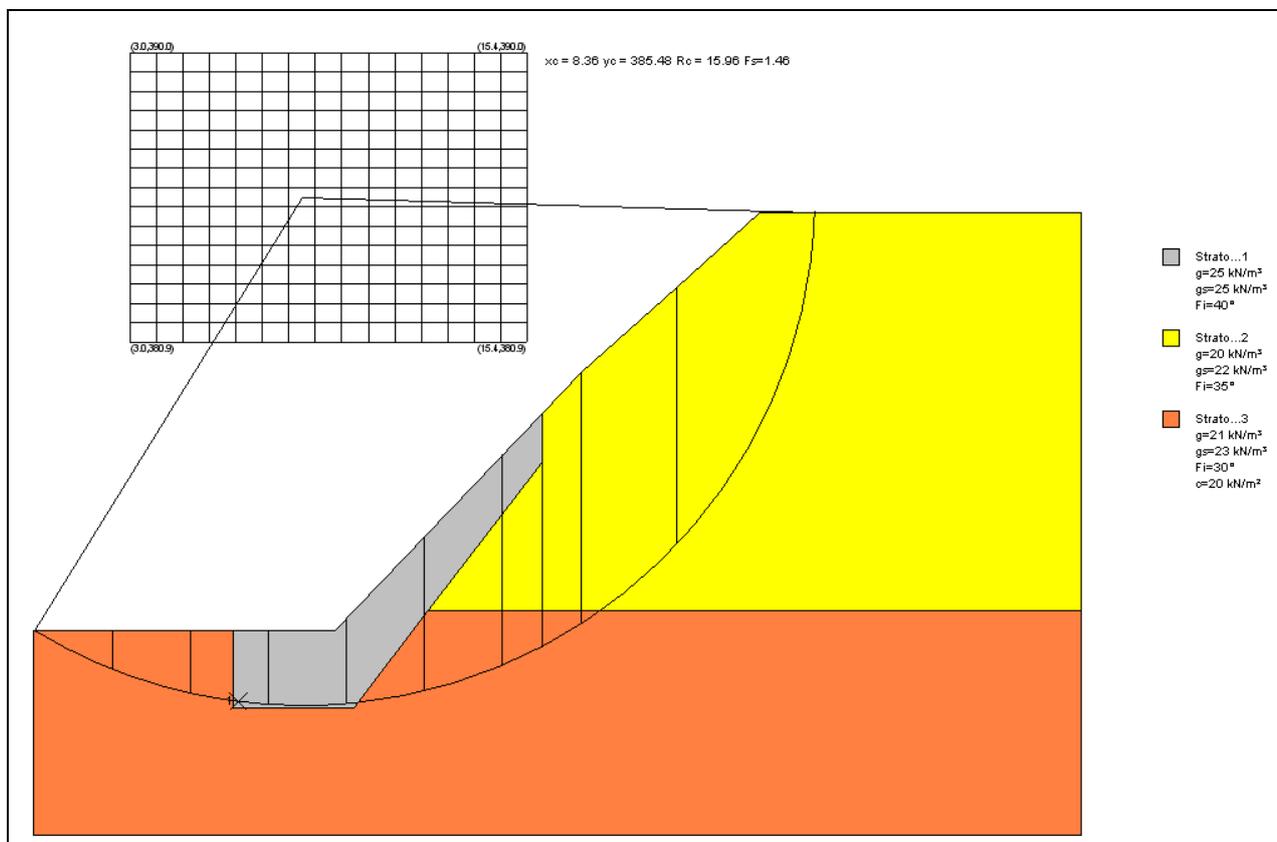



**Analisi dei conchi; superficie...xc = 7.25 yc = 387.865 Rc = 16.091 Fs=1.0305**

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.07	20.5	1.15	11.03	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	7.1	13.3
2	1.07	24.7	1.18	31.67	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	23.1	28.2
3	1.07	28.9	1.23	50.26	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	36.9	42.5
4	1.07	33.4	1.29	66.55	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	48.6	56.5
5	1.07	38.2	1.37	80.18	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	58.4	70.6
6	1.07	43.2	1.47	90.63	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	65.9	85.4
7	1.23	49.2	1.88	111.55	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	81.3	118.1
8	0.92	55.4	1.62	80.15	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	58.5	100.4
9	1.07	62.4	2.32	77.9	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	55.6	127.0
10	1.07	73.1	3.7	44.26	0.0	0.0	5.0	35.0	0.0	22.1	136.3

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme</p>	<p>Foglio 219 di 226</p>

**ALLEGATO 7**  
Risultati verifica di stabilità  
scogliera  
**SCENARIO 2**



### Analisi di stabilità dei pendii con JANBU

Numero di strati 3.0  
 Numero dei conci 10.0  
 Zona Sismica III (S=6)  
 Coefficiente azione sismica orizzontale (Kh)0.04

### Superficie di forma circolare

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore  $x_i$  (m) 3.0  
 Ordinata vertice sinistro inferiore  $y_i$ (m) 380.94  
 Ascissa vertice destro superiore  $x_s$ (m) 15.37  
 Ordinata vertice destro superiore  $y_s$  (m) 390.02  
 Passo di ricerca 10.0  
 Numero di celle lungo x 15.0  
 Numero di celle lungo y 15.0

**Vertici profilo**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	371.87
2	6.2	371.87
3	9.36	371.87
4	15.84	378.7
5	17.06	380.0
6	20.02	382.66
7	22.62	385.0
8	32.62	385.0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	371.87
2	6.2	371.87
3	6.21	369.45
4	9.95	369.45
5	12.27	372.5
6	15.83	377.17
7	15.84	378.7
8	17.06	380.0
9	20.02	382.66
10	22.62	385.0
11	32.62	385.0

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	371.87
2	6.2	371.87
3	6.21	369.45
4	9.95	369.45
5	12.27	372.5
6	32.62	372.5

**Stratigrafia**

=====

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

=====

Strato	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (kN/m <sup>3</sup> )	Gs (kN/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1		40	25	25	0.00	
2		35	20	22	0.00	
3	20	30	21	23	0.00	

### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato		1.46
Ascissa centro superficie	(m)	8.36
Ordinata centro superficie	(m)	385.48
Raggio superficie	(m)	15.96

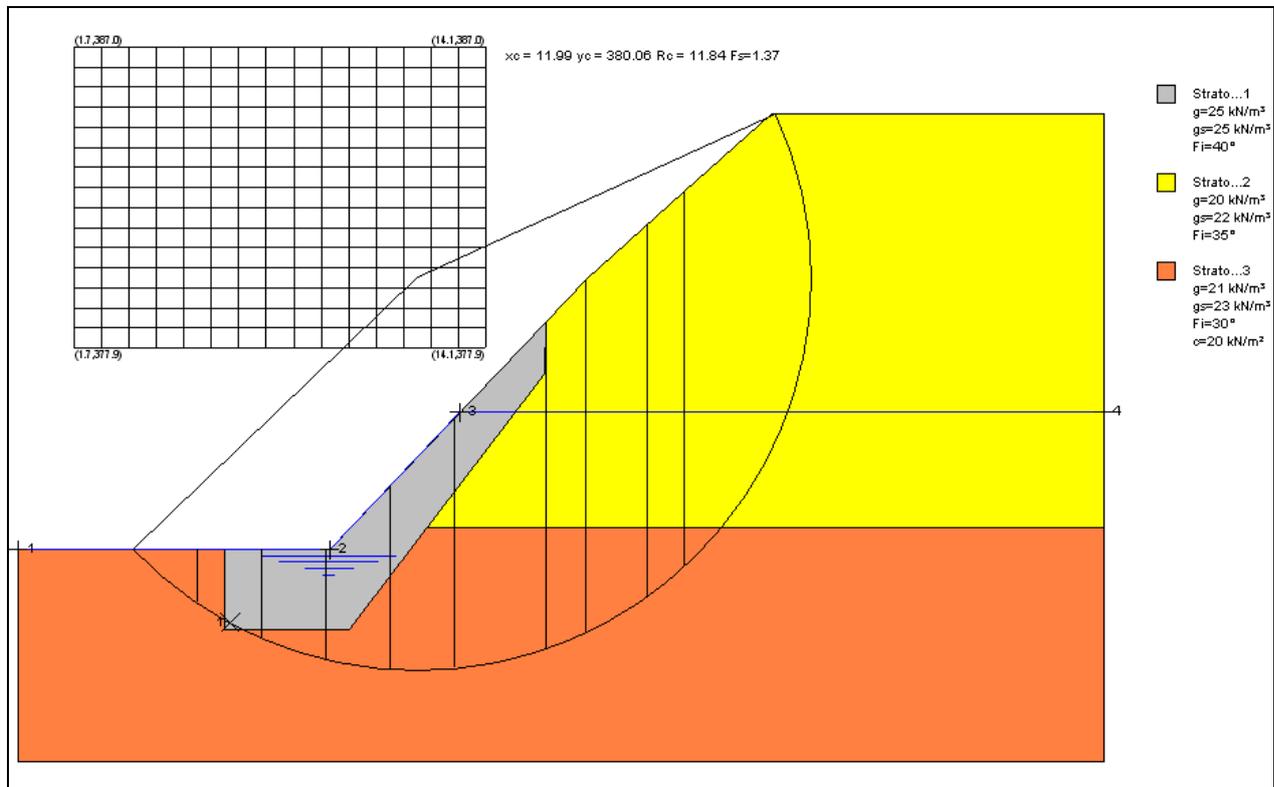
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

### Analisi dei concii; superficie...xc = 8.358 yc = 385.477 Rc = 15.961 Fs=1.4627

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	2.43	-26.6	2.72	34.38	1.38	0.0	20.0	30.0	0.0	79.7	92.1
2	2.43	-17.2	2.54	84.03	3.36	0.0	20.0	30.0	0.0	118.2	102.2
3	2.43	-8.2	2.45	111.85	4.47	0.0	20.0	30.0	0.0	127.5	101.7
4	2.43	0.6	2.43	142.96	5.72	0.0	0.0	40.0	0.0	142.0	97.7
5	2.43	9.4	2.46	221.78	8.87	0.0	20.0	30.0	0.0	202.3	138.0
6	2.43	18.4	2.56	312.27	12.49	0.0	20.0	30.0	0.0	272.2	180.1
7	1.25	25.5	1.38	186.31	7.45	0.0	20.0	30.0	0.0	159.6	108.8
8	1.22	30.5	1.42	187.14	7.49	0.0	20.0	30.0	0.0	159.1	114.4
9	2.96	40.0	3.86	482.16	19.29	0.0	0.0	35.0	0.0	424.7	318.4
10	4.29	67.6	11.27	611.21	24.45	0.0	0.0	35.0	0.0	670.3	1010.7

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51 01 E CV RI DP04 00 003_A01 Riqualifica ambientale Val Lemme</p>	<p>Foglio 223 di 226</p>

**ALLEGATO 8**  
 Risultati verifica di stabilità  
 scogliera  
**SCENARIO 3**



### Analisi di stabilità dei pendii con JANBU

```

=====
Numero di strati                3.0
Numero dei concii              10.0
No sisma;
Superficie di forma circolare
=====
  
```

### Maglia dei Centri

```

=====
Ascissa vertice sinistro inferiore xi (m)  1.68
Ordinata vertice sinistro inferiore yi(m) 377.94
Ascissa vertice destro superiore xs(m)   14.05
Ordinata vertice destro superiore ys      (m)   387.02
Passo di ricerca                  10.0
Numero di celle lungo x           15.0
Numero di celle lungo y           15.0
=====
  
```

### Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	0.0	371.87
2	6.2	371.87
3	9.36	371.87



4	15.84	378.7
5	17.06	380.0
6	20.02	382.66
7	22.62	385.0
8	32.62	385.0

**Falda**

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	371.87
2	9.36	371.87
3	13.26	375.99
4	32.62	375.99

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	371.87
2	6.2	371.87
3	6.21	369.45
4	9.95	369.45
5	12.27	372.5
6	15.83	377.17
7	15.84	378.7
8	17.06	380.0
9	20.02	382.66
10	22.62	385.0
11	32.62	385.0

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	371.87
2	6.2	371.87
3	6.21	369.45
4	9.95	369.45
5	12.27	372.5
6	32.62	372.5

