COLLECTIVITE DE CORSE

RD39 - RECONSTRUCTION DU PONT DE CASALUNA

DOSSIER D'AUTORISATION AU TITRE DE LA LOI SUR L'EAU (ART. L214-1 A 6 ET R214-1 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT)

ANNEXE 1 - NOTICE HYDRAULIQUE

Mandataire :

INTERVIA Etudes
Groupe MERLIN

INTERVIA ETUDES
Multiparc du Salaison, Bât 9
145 rue de la Marbrerie
34740 VENDARGUES
Téléphone : 04.67.91.29.90
E-mail : intervia@intervia-etudes.fr

Co-traitants :

MÉDIATERRE conseil
IMS RN Ingénierie des Mouvements de Sol et des Risques Naturels
AGENCE IKI ARCHITECTES

Sous-traitant :

biotope

GROUPE MERLIN/Réf doc : 14190012-EP-Casaluna-1.2-Hydrau-ind B.docx

Ind	Etabli par	Approuvé par	Date	Objet de la révision
A	C. LOMBARD / C. JOUVE	C. JOUVE	25/04/2019	1ère émission
B	C. LOMBARD / C. JOUVE	C. JOUVE	12/06/2019	Mise à jour

Tableau de Synthèse des Modifications

Paragraphes Modifiés	Motif de la modification
Révision A du 25/04/2019	
Tous	Première Emission du document

Révision B du 12/06/2019	
Tous	Mise à jour des résultats de l'étude hydraulique après prise en compte des profils supplémentaires

SOMMAIRE

1 PREAMBULE 5

2 DONNEES DE BASE DE L'ETUDE 6

2.1 ETUDE HYDROLOGIQUE – BRL – 2018 6
2.2 RELEVES TOPOGRAPHIQUES 2019 6
2.3 VISITE DE TERRAIN DU 27 MARS 2019 9
2.3.1 SECTEUR EN AMONT DU PONT 9
2.3.2 SECTEUR AU DROIT DU PONT 11
2.3.3 SECTEUR EN AVAL DU PONT 15

3 METHODOLOGIE DE MODELISATION HYDRAULIQUE 17

3.1 PROFILS EN TRAVERS HYDRAULIQUE 17
3.2 EVALUATION DE LA VARIATION TRANSVERSALE DE LA RUGOSITE 18
3.3 MODELISATION ET SIMULATION HYDRAULIQUE « ETAT SANS PONT » 19
3.4 MODELE « ETAT FUTUR » AVEC PROJET PONT CASALUNA ET COTE SOUS POUTRE DE 250.88 NGF (PONT1 AVEC UNE PILE CENTRALE 20
3.5 MODELE « ETAT FUTUR » AVEC PROJET PONT CASALUNA ET COTE SOUS POUTRE DE 250.85 NGF (PONT2 SANS PILE CENTRALE) 21

4 PRINCIPAUX RESULTATS ET LIGNES D'EAU 22

4.1 RESULTATS DU MODELE SANS PONT 23
4.2 RESULTATS DU MODELE PONT1 AVEC PILE CENTRALE 26
4.3 RESULTATS DU MODELE PONT2 SANS PILE CENTRALE 29

5 CHAMP DES VITESSES D'ECOULEMENT DANS LE SECTEUR DU PONT DE CASALUNA 32

5.1 VITESSES D'ECOULEMENT DU MODELE SANS PONT 32
5.2 VITESSES D'ECOULEMENT DU MODELE PONT1 AVEC PILE CENTRALE 36
5.3 VITESSES D'ECOULEMENT DU MODELE PONT2 SANS PILE CENTRALE 39

6 GLOSSAIRE CONCERNANT HEC-RAS 42

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : DEBITS DE POINTE DE LA CASALUNA – ETUDE HYDROLOGIQUE - BRL – 2018....6
FIGURE 2 : VUE EN PLAN DES RELEVES TOPOGRAPHIQUES 2019....7
FIGURE 3 : LOCALISATION DES PROFILS EN TRAVERS TOPOGRAPHIQUES SUR FOND GOOGLE EARTH....8
FIGURE 4 : SECTEUR AMONT - GENERAL ET PT8....9
FIGURE 5 : SECTEUR AMONT PT7 A PT4....10
FIGURE 6 : SECTEUR AMONT PT3 A PT1....11
FIGURE 7 : SECTEUR AU DROIT DU PONT EXISTANT....11
FIGURE 8 : SECTEUR AU DROIT DU PONT EXISTANT ET DU PONT PROVISOIRE....12
FIGURE 9 : SECTEUR AU DROIT DU PONT ET SOUS LE PONT....13
FIGURE 10 : SECTEUR SOUS LE PONT ET EN AVAL DU PONT....14
FIGURE 11 : SECTEUR AVAL PT10 A PT13....15
FIGURE 12 : SECTEUR AVAL PT14 A PT17....16
FIGURE 13 : GEOMETRIE DU MODELE HEC-RAS....18
FIGURE 14 : RUGOSITE DU MODELE HYDRAULIQUE....19
FIGURE 15 : MODELISATION DU PONT1 AVEC UNE PILE CENTRALE....20
FIGURE 16 : MODELISATION DU PONT2 SANS PILE CENTRALE....21
FIGURE 17 : RESULTATS PRINCIPAUX DU MODELE SANS PONT POUR Q100 ANS....23
FIGURE 18 : LIGNE D'EAU POUR LA CRUE DE PERIODE DE RETOUR T100ANS – MODELE SANS PONT....24
FIGURE 19 : RESULTATS DU MODELE HEC-RAS POUR Q100 ANS AVEC MODELE SANS PONT....25
FIGURE 20 : RESULTATS PRINCIPAUX DU MODELE PONT1 AVEC UNE PILE CENTRALE POUR Q100 ANS....26
FIGURE 21 : LIGNE D'EAU POUR Q100 ANS - MODELE PONT1 AVEC UNE PILE CENTRALE....27
FIGURE 22 : RESULTATS HEC-RAS POUR Q100 ANS DU MODELE PONT1 AVEC UNE PILE CENTRALE....28
FIGURE 23 : RESULTATS PRINCIPAUX DU MODELE PONT2 SANS PILE CENTRALE POUR Q100 ANS....29
FIGURE 24 : LIGNE D'EAU POUR Q100 ANS – MODELE PONT2 SANS PILE CENTRALE....30
FIGURE 25 : RESULTATS HEC-RAS POUR Q100 ANS DU MODELE PONT2 SANS PILE CENTRALE....31
FIGURE 26 : VITESSES D'ECOULEMENT DU MODELE SANS PONT POUR LA CRUE Q100 ANS....32
FIGURE 27 : CHAMP DES VITESSES SUR LE PROFIL 8 POUR LA CRUE DE PERIODE DE RETOUR T100ANS....33
FIGURE 28: CHAMP DES VITESSES SUR LE PROFIL 9 POUR LA CRUE DE PERIODE DE RETOUR T100ANS....34
FIGURE 29: CHAMP DES VITESSES SUR LE PROFIL 10 POUR LA CRUE DE PERIODE DE RETOUR T100ANS....35
FIGURE 30 : CARACTERISTIQUES DES ECOULEMENTS AU PASSAGE DU PONT1 AVEC PILE CENTRALE POUR Q100 ANS....36
FIGURE 31 : REPARTITION TRANSVERSALE DES VITESSES EN ENTREE DU PONT1 POUR LA CRUE Q100 ANS....37
FIGURE 32 : REPARTITION TRANSVERSALE DES VITESSES EN SORTIE DU PONT1 POUR LA CRUE Q100 ANS....38
FIGURE 33 : CARACTERISTIQUES DES ECOULEMENTS AU PASSAGE DU PONT2 SANS PILE CENTRALE POUR Q100 ANS....39
FIGURE 34 : REPARTITION TRANSVERSALE DES VITESSES EN ENTREE DU PONT2 POUR LA CRUE Q100 ANS....40
FIGURE 35 : REPARTITION TRANSVERSALE DES VITESSES EN SORTIE DU PONT2 POUR LA CRUE Q100 ANS....41

1 PREAMBULE

La présente notice hydraulique de l'étude préliminaire a pour objet de présenter les données de base, la méthodologie et les principaux résultats de l'étude hydraulique du Pont de Casaluna sur la rivière Casaluna (commune de Gavignano).

L'étude hydraulique s'appuie sur les éléments suivants :

- Une campagne de reconnaissance topographique spécifique réalisée par le cabinet de géomètres SIBELLA,
- Une visite de terrain exécutée fin mars 2019 par un ingénieur hydraulicien spécialiste des études de rivière,
- Une modélisation hydraulique réalisée avec le logiciel d'écoulement en rivière HEC-RAS.

L'objectif final de l'étude hydraulique préliminaire est de préciser les niveaux d'eau et charges hydrauliques immédiatement en amont de l'ouvrage de franchissement afin de fournir les éléments pour définir la cote sous poutre à envisager pour la réalisation du Pont de Casaluna.

2 DONNEES DE BASE DE L'ETUDE

Le domaine de la présente étude hydraulique s'étend environ :

- sur 410 m en amont du Pont de Casaluna,
- sur 390 m en aval du Pont de Casaluna.

Les données de base de l'étude comprennent essentiellement :

- L'Etude hydrologique sur le bassin versant du Golo – BRL Ingénierie – Mai 2018
- La campagne de reconnaissance topographique du cabinet de géomètres SIBELLA (transmise fin février 2019 au Cabinet MERLIN + compléments sur 8 profils mi-avril 2019)
- La visite de terrain exécutée le mercredi 27 mars 2019.

2.1 ETUDE HYDROLOGIQUE – BRL – 2018

Une étude hydrologique a été réalisée sur le bassin versant du Golo au printemps 2018 par BRL Ingénierie à la demande de la DDTM2B.

Les débits de pointe pour les périodes de retour 10 ans, 30 ans, 50 ans et 100 ans ont été déterminés sur la base de la méthode SHYREG-débit régionalisée. Cette méthode a été choisie car elle est applicable sur les bassins versants non jaugés et son utilisation sur les bassins jaugés (S>5 km²) permet alors de garantir une homogénéité de traitement sur tout le bassin versant. De plus, cette méthode est moins sensible aux problèmes d'échantillonnage que les ajustements statistiques ou la méthode Gradex. Enfin sur le bassin versant de la Casaluna, la chronique de débits disponible dans la banque HYDRO était insuffisante pour l'estimation des débits de référence.

Les débits de crue calculés pour la Casaluna à la confluence avec le Golo sont présentés dans le tableau suivant.

Nom	Code	Superficie-Banque	Qp 10 ans (m^3/s)	Qp 30ans (m^3/s)	Qp 50ans (m^3/s)	Qp 100 ans (m^3/s)
Casaluna à la confluence avec le Golo	CASALUNA	99.4	230	395	485	640

Figure 1 : Débits de pointe de la Casaluna – Etude hydrologique - BRL – 2018

2.2 RELEVES TOPOGRAPHIQUES 2019

Les relevés topographiques ont été réalisés en janvier 2019 couvrant le secteur suivant :

- 410 m en amont du Pont de Casaluna,
- 390 m en aval du Pont de Casaluna.

17 profils en travers ont ainsi été réalisés par le géomètre sur l'ensemble du linéaire, espacés de 50m environ. 8 profils en travers ont été complétés (mi-avril 2019) sur la base des résultats de l'étude préliminaire de modélisation hydraulique afin de couvrir l'ensemble de l'enveloppe de la crue Q100. Enfin, un levé de l'ouvrage actuel est également disponible.

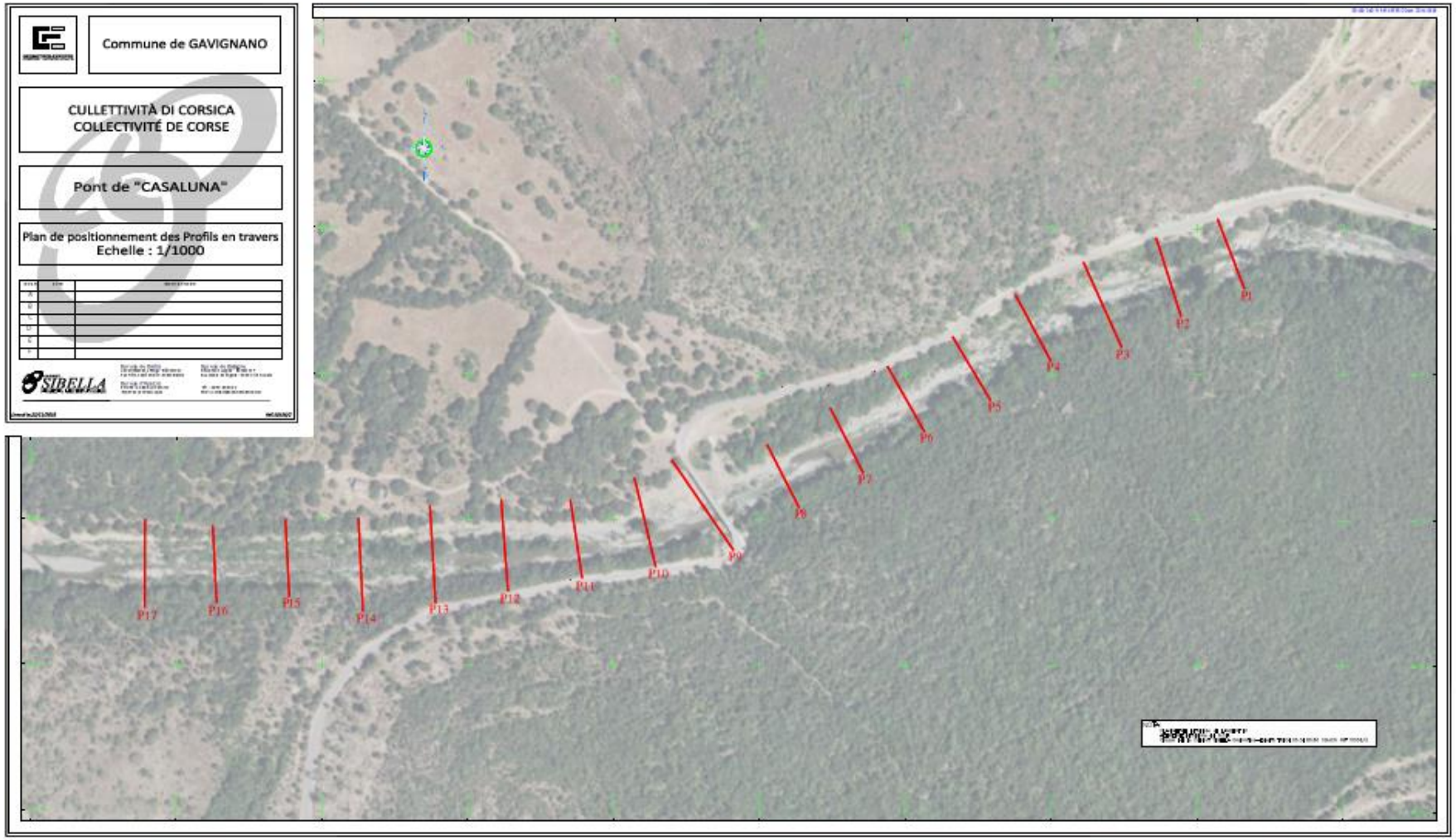

Figure 2 : Vue en plan des relevés topographiques 2019

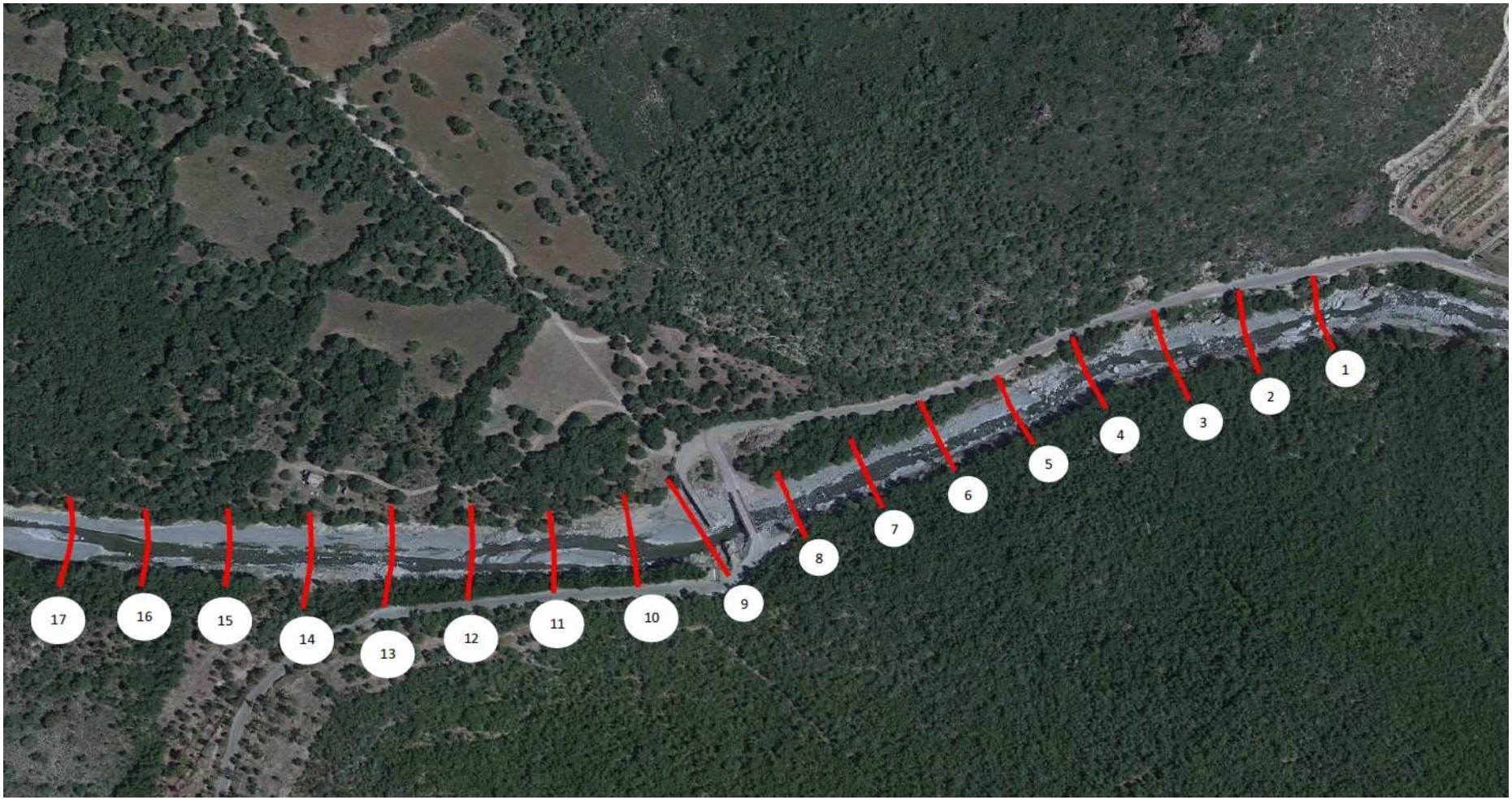

Figure 3 : Localisation des profils en travers topographiques sur fond google earth

2.3 VISITE DE TERRAIN DU 27 MARS 2019

Une visite de terrain a été réalisée par l'ingénieur hydraulicien sur la journée du 27 mars 2019. Cette visite avait notamment pour objet de préciser l'état morphologique de la rivière en amont, en aval et au droit du pont de CASALUNA et de rendre compte de l'état de rugosité de la rivière à la fois en fond de lit mineur et au niveau des berges rive gauche et rive droite de la rivière.

Cette visite de terrain a permis de couvrir l'ensemble du périmètre de l'étude hydraulique des profils en travers PT1 à PT17, soit environ 800 m de rivière.

Les photographies ci-après rendent compte de cette visite en considérant successivement :

- ✓ Le secteur en amont du pont (PT8 à PT1) avec un cheminement de l'aval vers l'amont en rive droite de la rivière et retour par la route,
- ✓ Le secteur situé au droit du pont (PT9),
- ✓ Le secteur en aval du pont (PT10 à PT17) avec un cheminement en rive droite du lit mineur de l'amont vers l'aval et retour par cette même rive.

2.3.1 SECTEUR EN AMONT DU PONT

Les photographies ci-après rendent compte du secteur de la rivière situé en amont du pont.

Figure 4 : Secteur amont - General et PT8

Figure 5 : Secteur amont PT7 a PT4

Figure 6 : Secteur amont PT3 a PT1

2.3.2 SECTEUR AU DROIT DU PONT

Figure 7 : Secteur au droit du pont existant

Figure 8 : Secteur au droit du pont existant et du pont provisoire

Figure 9 : Secteur au droit du pont et sous le pont

Figure 10 : Secteur sous le pont et en aval du pont

2.3.3 SECTEUR EN AVAL DU PONT

Figure 11 : Secteur aval PT10 a PT13

Figure 12 : Secteur aval PT14 a PT17

3 METHODOLOGIE DE MODELISATION HYDRAULIQUE

La modélisation hydraulique a été réalisée avec le logiciel d'écoulement en rivière HEC-RAS. Ce logiciel, de type filaire, permet la modélisation des écoulements dans le lit mineur et notamment sous le pont de Casaluna.

La méthodologie de modélisation repose essentiellement sur 4 étapes principales :

- définition des profils en travers hydrauliques de la rivière,
- évaluation pour chaque profil de la variation transversale de la rugosité,
- modélisation et simulation du modèle sans le pont,
- établissement des modèles « état futur» avec les différentes propositions pour le pont de Casaluna projet.

Le calage du modèle n'est pas possible étant donné qu'aucune laisse de crue n'a été observée.

3.1 PROFILS EN TRAVERS HYDRAULIQUE

Pour les besoins de la modélisation, 17 profils en travers ont été relevés par le géomètre. Cela représente un maillage topographique suffisant pour pouvoir procéder à des interpolations.

Suite à l'analyse de la topographie, des photographies aériennes, complétée par la visite de terrain, il apparaît que le domaine de l'étude comprend au niveau morphologique plusieurs secteurs assez nettement différenciés en matière d'écoulement et de définition des profils en travers hydrauliques :

- Le secteur en amont du pont de Casaluna entre PT1 et PT5 se traduit par la présence dans le lit mineur de nombreux rochers. De plus, sur ce secteur, la rive droite a une pente très forte jusqu'à la route D39. Au niveau des profils 6 et 7, les rochers sont moins présents, mais réapparaissent au niveau et en aval du profil 8.
- Le secteur au droit du pont correspond au profil PT9. Ce profil correspond sensiblement au secteur du pont. A cet endroit le lit mineur s'élargit d'une dizaine de mètres.
- Le secteur des profils PT9 à PT12 se distingue par une végétation sur les berges qui est moins importante qu'à l'amont ; de plus, le lit mineur est plus large et présente moins de rochers. Sur ce secteur en aval du pont, la rive gauche est plus escarpée que la rive droite.
- Le secteur des profils PT13 à PT17 est assez homogène dans son évolution : le lit s'élargit, les berges présentent la même végétation.
- Le profil PT17 constitue l'extrémité aval du modèle de l'étude hydraulique du pont de Casaluna.

De façon générale, une différence assez nette est observée entre l'amont du pont et l'aval, en termes de topographie et de morphologie de la rivière.

La figure suivante présente la géométrie du modèle réalisé sur HEC-RAS.

Figure 13 : Géométrie du modèle HEC-RAS

3.2 EVALUATION DE LA VARIATION TRANSVERSALE DE LA RUGOSITE

L'évaluation de la rugosité de la rivière est un point important dans le cadre d'une modélisation hydraulique de rivière.

Cette évaluation a été réalisée à partir :

- de l'analyse de la topographie,
- de l'analyse de la photographie aérienne,
- de la visite de terrain.

Pour chaque profil en travers hydraulique, la rugosité (paramètre K de STRICKLER ou n = 1 / K de MANNING) a été estimée de manière différenciée suivant qu'il s'agisse :

- de la berge gauche,
- du fond du lit mineur,
- de la berge rive droite.

La méthode d'évaluation utilisée pour la définition des rugosités caractéristiques est celle de COWAN. Cette méthode prend en compte les paramètres suivants :

- coefficient n0 : nature du fond ou des parois,
- coefficient n1 : irrégularité de surface du fond ou des parois,
- coefficient n2 : variations de formes et de dimensions de la section mouillée,
- coefficient n3 : influence des obstructions de la section mouillée,
- coefficient n4 : influence de la végétation,
- coefficient m5 : facteur correctif traduisant l'influence des méandres.

En outre, compte tenu de la présence sur certains secteurs du lit mineur, d'un fond avec des cailloux de diamètres assez importants, le paramètre n0 de la méthode de COWAN a été évalué à partir de deux formules qui lient :

- le diamètre moyen des cailloux,
- le coefficient de rugosité K de STRIKLER

Ces deux formules donnant des résultats assez équivalents pour des diamètres compris entre 0.30 m et 1.00 m, ont été utilisées dans le cadre de l'application de la méthode de COWAN.

Les évaluations (pour chaque profil en travers hydraulique) ont été réalisées sous forme de fiche et figurent en annexe 1 ainsi que l'estimation de la rugosité en fonction du diamètre moyen des cailloux en fond de lit et un tableau récapitulatif général des rugosités prises en compte dans la modélisation hydraulique. Ce dernier tableau figure ci-après :

Désignation		K = Rugosité de Strickler		
PT	RS	lit majeur rive gauche	lit mineur fond	lit majeur rive droite
PT01	1793	10.0	13.3	10.5
PT02	1747	9.5	13.9	9.5
PT03	1697	9.3	14.7	10.3
PT04	1647	9.5	13.3	9.5
PT05	1596	9.3	13.3	10.0
PT06	1546	9.5	14.7	9.5
PT07	1496	9.5	16.1	9.5
PT08	1446	10.5	14.7	10.0
PT09	1387	11.1	17.5	11.1
PT10	1345	9.5	16.9	11.1
PT11	1296	10.0	16.1	11.8
PT12	1247	9.5	18.2	9.5
PT13	1198	9.5	16.7	10.0
PT14	1148	9.5	17.2	10.0
PT15	1098	9.5	17.5	9.5
PT16	1048	9.5	18.5	9.5
PT17	1000	9.5	19.2	9.5

Figure 14 : Rugosité du modèle hydraulique

3.3 MODELISATION ET SIMULATION HYDRAULIQUE « ETAT SANS PONT »

La modélisation hydraulique a été réalisée avec le logiciel d'écoulement en rivière HEC-RAS. Le modèle « état sans pont » comprend au total 17 profils en travers hydrauliques. Les profils hydrauliques correspondent à ceux résultants de la topographique 2019.

Quatre débits ont été simulés sur ce modèle pour différentes périodes de retour :

- Pour T=10 ans, le débit simulé est le débit de pointe Qp=230 m^3/s,
- Pour T=30 ans, le débit simulé est le débit de pointe Qp=395 m^3/s,
- Pour T=50 ans, le débit simulé est le débit de pointe Qp=485 m^3/s,
- Pour T=100 ans, le débit simulé est le débit de pointe Qp=640 m^3/s.

3.4 MODELE « ETAT FUTUR » AVEC PROJET PONT CASALUNA ET COTE SOUS POUTRE DE 250.88 NGF (PONT1 AVEC UNE PILE CENTRALE

Une première solution de pont a été modélisée avec une pile centrale et une cote sous poutre de 250.88 NGF correspondant au niveau d'eau de la crue T100 ans immédiatement en amont du pont (remous d'exhaussement) et une revanche de 1 m en termes de tirant d'air. La figure suivante rend compte de la modélisation du PONT1 :

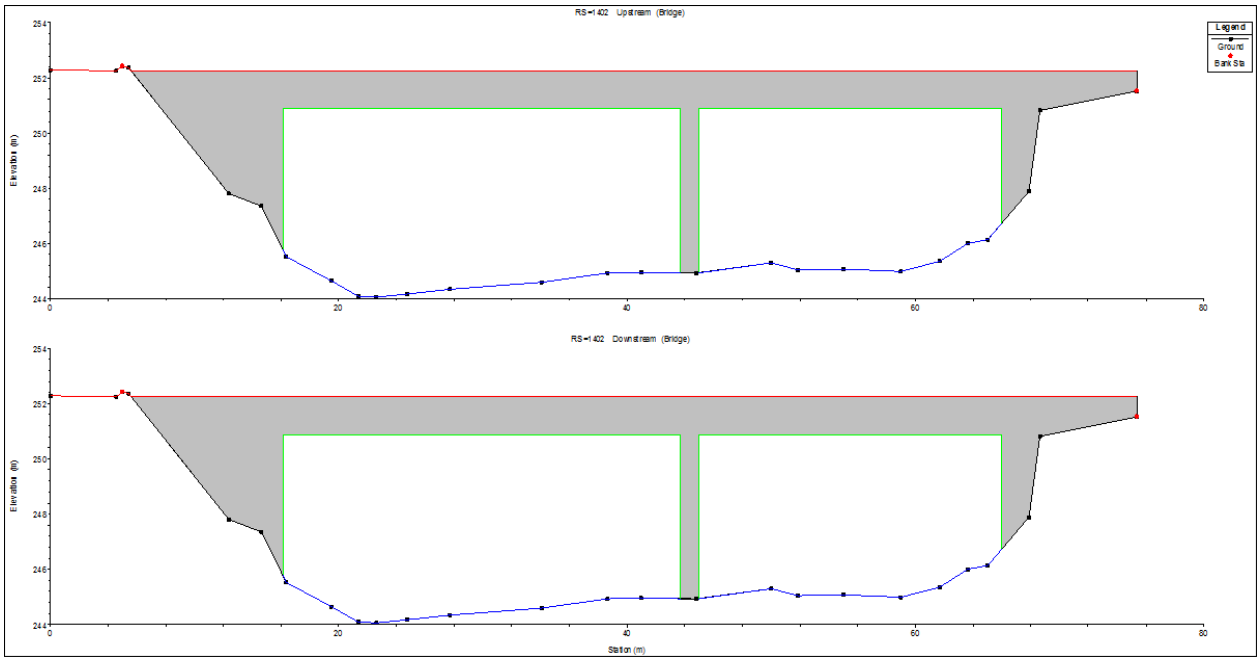

Figure 15 : Modélisation du PONT1 avec une pile centrale

3.5 MODELE « ETAT FUTUR » AVEC PROJET PONT CASALUNA ET COTE SOUS POUTRE DE 250.85 NGF (PONT2 SANS PILE CENTRALE)

Une deuxième solution de pont a été modélisée sans pile centrale et avec une cote sous poutre de 250.85 NGF correspondant au niveau d'eau de la crue T100 ans immédiatement en amont du pont (remous d'exhaussement) et une revanche de 1 m en termes de tirant d'air. La figure suivante rend compte de la modélisation du PONT2 :

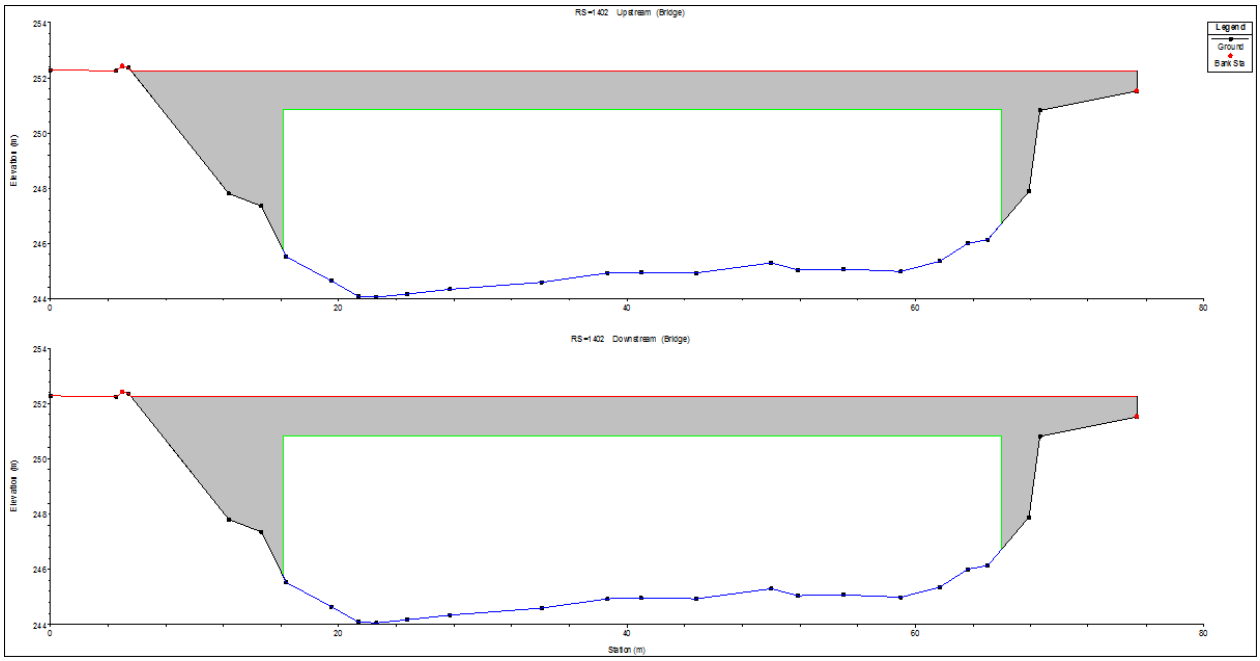

Figure 16 : Modélisation du PONT2 sans pile centrale

4 PRINCIPAUX RESULTATS ET LIGNES D'EAU

Les principaux résultats de l'étude hydraulique du Pont de Casaluna concernent successivement :

- le modèle « état sans pont » ;
- le modèle « état futur » du pont de Casaluna avec une cote sous poutre de 250.88 NGF (PONT1 avec une pile centrale) ;
- le modèle « état futur» du pont de Casaluna avec une cote sous poutre de 250.86 NGF (PONT2 sans pile centrale).

Les pages suivantes rendent compte (pour T100 ans) des niveaux d'eau, des charges hydrauliques, des hauteurs d'eau et des lignes d'eau, pour chaque modèle.

- Pour le modèle « sans pont » :

  On observe une diminution de la hauteur d'eau au niveau du profil 8. Cela est dû à un rétrécissement de la section d'écoulement entre ce profil et le suivant. Au niveau du pont (profil 9), la hauteur atteinte pour la crue centennale est de 249.75 NGF et la charge hydraulique est de 250.06 NGF. Les tableaux de résultats ainsi que les profils en long issus de la modélisation sont présentés en annexe 2 pour les crues de périodes de retour inférieures à T100 ans.

- Pour le modèle « état futur » du pont de Casaluna avec une cote sous poutre de 250.88 NGF (PONT1 avec une pile centrale) :

  Les tableaux de résultats issus de la modélisation et la ligne d'eau pour Q100 ans sont présentés dans le présent mémoire.

- Pour le modèle « état futur» du pont de Casaluna avec une cote sous poutre de 250.86 NGF (PONT2 sans pile centrale) :

  Les tableaux de résultats issus de la modélisation et la ligne d'eau pour Q100 ans sont présentés dans le présent mémoire.

Le logiciel HEC-RAS utilisé pour l'étude hydraulique est un logiciel d'écoulement à surface libre développé aux Etats-Unis et non traduit en français. Pour la lecture des lignes d'eau, les équivalences sont :

- *EG : Energy Grade* *charge hydraulique,*
- *WS : water Surface* *niveau d'eau,*
- *Crit WS :* *niveau critique (relatif à la hauteur critique),*
- *Ground :* *cote de fond du lit mineur,*

Concernant les tableaux des valeurs caractéristiques des écoulements, il convient de se reporter au glossaire en fin de mémoire pour la signification des intitulés.

4.1 RESULTATS DU MODELE SANS PONT

Le tableau suivant rend compte des résultats principaux du modèle sans pont pour la crue Q100 ans.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Niveaux d'eau (m)
P1	1793	Qp100	640	256.40
P2	1747	Qp100	640	255.49
P3	1697	Qp100	640	254.61
P4	1647	Qp100	640	253.75
P5	1596	Qp100	640	252.93
P6	1546	Qp100	640	252.23
P7	1496	Qp100	640	251.39
P8	1446	Qp100	640	250.19
P9	1387	Qp100	640	**249.75**
P10	1345	Qp100	640	249.28
P11	1296	Qp100	640	248.54
P12	1247	Qp100	640	248.04
P13	1198	Qp100	640	247.55
P14	1148	Qp100	640	247.16
P15	1098	Qp100	640	246.65
P16	1048	Qp100	640	246.08
P17	1000	Qp100	640	245.51

Figure 17 : Resultats principaux du modele sans pont pour Q100 ans

La ligne d'eau et le tableau des résultats complets pour la crue Q100 ans figurent pages suivantes.

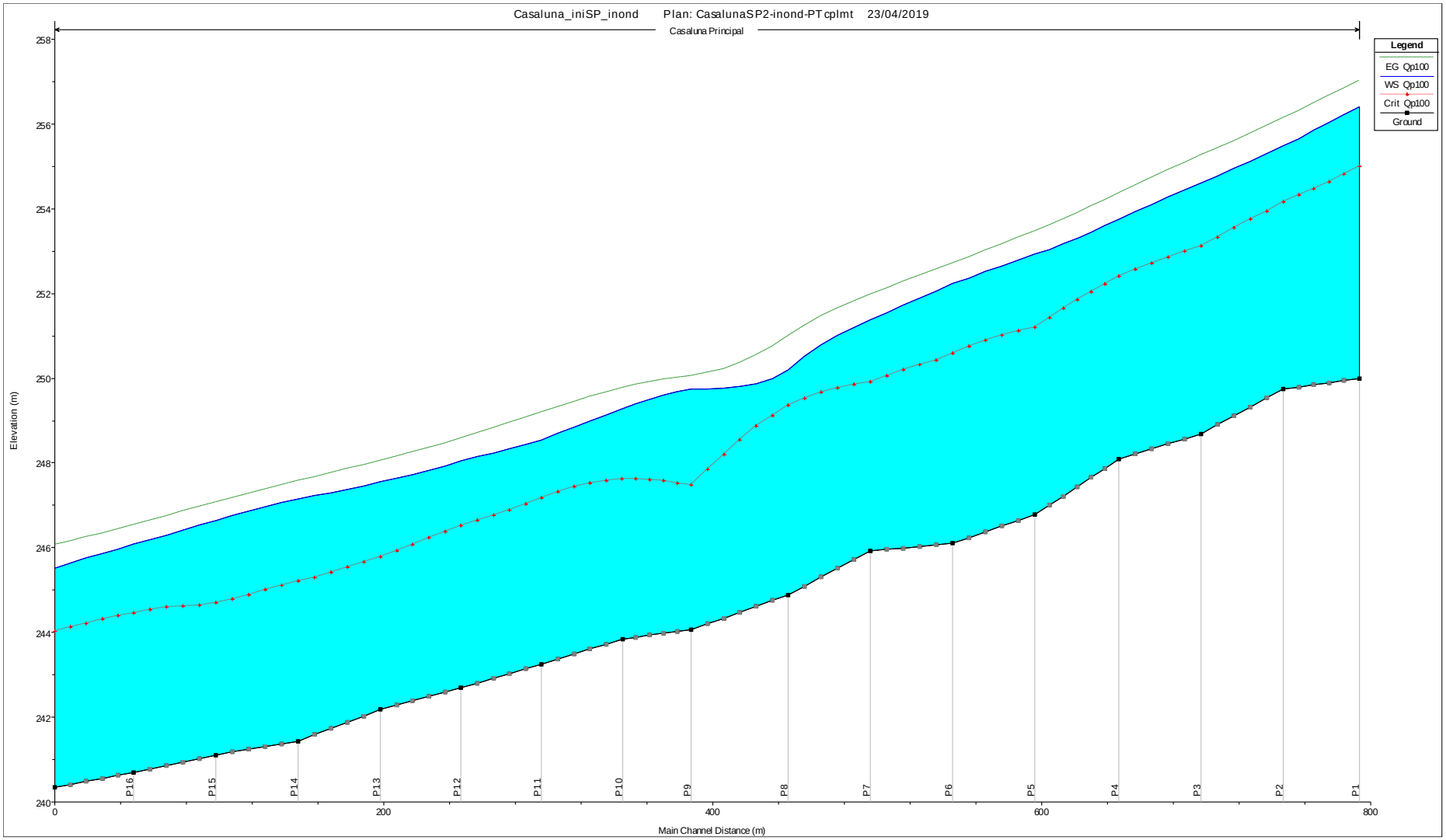

Figure 18 : Ligne d'eau pour la crue de période de retour T100ans – Modele sans pont

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
P1	1793	Qp100	640	250.00	256.40	255.00	257.02	0.020495	3.49	183.54	50.84	0.59
P2	1747	Qp100	640	249.74	255.49	254.17	256.14	0.017601	3.59	178.28	47.50	0.59
P3	1697	Qp100	640	248.69	254.61	253.12	255.26	0.016646	3.56	179.90	47.43	0.58
P4	1647	Qp100	640	248.09	253.75	252.40	254.36	0.018309	3.46	185.06	52.07	0.59
P5	1596	Qp100	640	246.78	252.93	251.20	253.46	0.014595	3.22	198.61	50.51	0.52
P6	1546	Qp100	640	246.10	252.23	250.58	252.71	0.014155	3.08	208.06	54.58	0.50
P7	1496	Qp100	640	245.92	251.39	249.92	251.97	0.014192	3.38	189.22	51.53	0.56
P8	1446	Qp100	640	244.89	250.19	249.35	251.00	0.025554	3.99	160.31	47.81	0.70
P9	1387	Qp100	640	244.06	**249.75**	247.47	250.06	0.004092	2.47	259.29	58.94	0.38
P10	1345	Qp100	640	243.85	249.28	247.63	249.77	0.009856	3.11	205.72	52.87	0.50
P11	1296	Qp100	640	243.25	248.54	247.17	249.20	0.013215	3.61	177.43	47.40	0.60
P12	1247	Qp100	640	242.70	248.04	246.52	248.58	0.011961	3.24	197.48	53.75	0.54
P13	1198	Qp100	640	242.18	247.55	245.78	248.06	0.009355	3.14	203.77	50.51	0.50
P14	1148	Qp100	640	241.44	247.16	245.20	247.57	0.00904	2.84	225.19	58.47	0.46
P15	1098	Qp100	640	241.11	246.65	244.70	247.08	0.010469	2.90	220.89	59.05	0.48
P16	1048	Qp100	640	240.70	246.08	244.46	246.53	0.01049	2.98	214.48	58.99	0.50
P17	1000	Qp100	640	240.34	245.51	244.03	246.06	0.009998	3.30	194.17	48.97	0.53

Figure 19 : Résultats du modèle HEC-RAS pour Q100 ans avec Modèle sans pont

4.2 RESULTATS DU MODELE PONT1 AVEC PILE CENTRALE

Le tableau suivant rend compte des résultats principaux du modèle PONT1 avec une pile centrale pour la crue Q100 ans.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Niveaux d'eau (m)
P1	1793	Qp100	640	256.39
P2	1747	Qp100	640	255.50
P3	1697	Qp100	640	254.64
P4	1647	Qp100	640	253.78
P5	1596	Qp100	640	252.98
P6	1546	Qp100	640	252.23
P7	1496	Qp100	640	251.37
P8	1446	Qp100	640	249.97
P9AM	1407	Qp100	640	**249.88**
PONT1	1402		Bridge	
P9	1387	Qp100	640	**249.75**
P10	1345	Qp100	640	249.28
P11	1296	Qp100	640	248.53
P12	1247	Qp100	640	248.04
P13	1198	Qp100	640	247.55
P14	1148	Qp100	640	247.15
P15	1098	Qp100	640	246.64
P16	1048	Qp100	640	246.05
P17	1000	Qp100	640	245.51

Figure 20 : Resultats principaux du modele PONT1 avec une pile centrale pour Q100 ans

Le niveau d'eau pour la crue Q100 ans en aval du PONT1 est de 249.74 NGF avec un niveau d'eau en amont du pont de 249.88 NGF (remous d'exhaussement au niveau du profil P9AM). En considérant une revanche de 1 m pour le tirant d'air, **la cote sous poutre du PONT1 est de 250.88 NGF**

Le remous d'exhaussement du PONT1 pour la crue Q100 ans est de 0.14 m avec une pile centrale.

La ligne d'eau et le tableau des résultats complets pour la crue Q100 ans figurent pages suivantes.

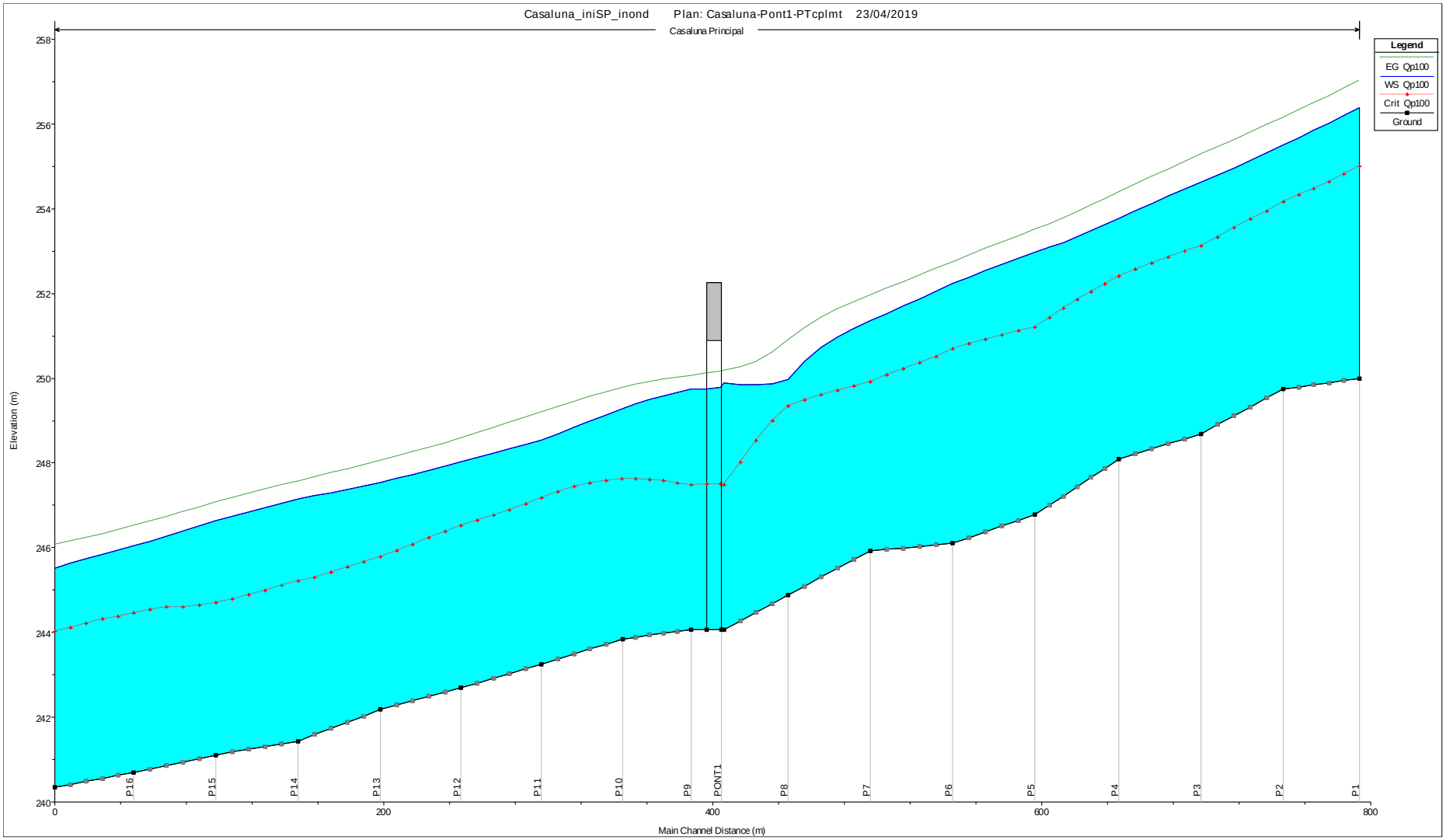

Figure 21 : Ligne d'eau pour Q100 ans - Modèle PONT1 avec une pile centrale

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
P1	1793	Qp100	640	250.00	256.39	255.00	257.01	0.020648	3.50	182.98	50.74	0.59
P2	1747	Qp100	640	249.74	255.50	254.17	256.15	0.017504	3.58	178.75	47.59	0.59
P3	1697	Qp100	640	248.69	254.64	253.12	255.27	0.016394	3.54	180.99	47.54	0.58
P4	1647	Qp100	640	248.09	253.78	252.40	254.38	0.018004	3.44	186.30	52.23	0.58
P5	1596	Qp100	640	246.78	252.98	251.20	253.50	0.014135	3.18	200.95	50.70	0.51
P6	1546	Qp100	640	246.10	252.23	250.69	252.74	0.01544	3.16	202.77	54.58	0.52
P7	1496	Qp100	640	245.92	251.37	249.92	251.96	0.014459	3.40	188.01	51.48	0.57
P8	1446	Qp100	640	244.89	249.97	249.34	250.90	0.030001	4.26	150.18	46.14	0.75
P9AM	1407	Qp100	640	244.06	**249.88**	247.47	250.17	0.003747	2.39	267.27	59.17	0.36
PONT 1	1402		Bridge									
P9	1387	Qp100	640	244.06	**249.75**	247.47	250.06	0.004094	2.47	259.25	58.93	0.38
P10	1345	Qp100	640	243.85	249.28	247.63	249.77	0.009865	3.11	205.65	52.86	0.50
P11	1296	Qp100	640	243.25	248.53	247.17	249.20	0.01324	3.61	177.31	47.40	0.60
P12	1247	Qp100	640	242.70	248.04	246.52	248.58	0.01198	3.24	197.27	53.70	0.54
P13	1198	Qp100	640	242.18	247.55	245.78	248.05	0.009383	3.14	203.51	50.48	0.50
P14	1148	Qp100	640	241.44	247.15	245.20	247.56	0.009082	2.85	224.78	58.43	0.46
P15	1098	Qp100	640	241.11	246.64	244.70	247.07	0.010554	2.91	220.19	58.98	0.48
P16	1048	Qp100	640	240.70	246.05	244.46	246.51	0.010707	3.01	212.71	58.78	0.51
P17	1000	Qp100	640	240.34	245.51	244.03	246.06	0.009998	3.30	194.17	48.97	0.53

Figure 22 : Résultats HEC-RAS pour Q100 ans du modèle PONT1 avec une pile centrale

4.3 RESULTATS DU MODELE PONT2 SANS PILE CENTRALE

Le tableau suivant rend compte des résultats principaux du modèle PONT2 sans pile centrale pour la crue Q100 ans.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Niveaux d'eau (m)
P1	1793	Qp100	640	256.41
P2	1747	Qp100	640	255.50
P3	1697	Qp100	640	254.64
P4	1647	Qp100	640	253.82
P5	1596	Qp100	640	252.97
P6	1546	Qp100	640	252.22
P7	1496	Qp100	640	251.34
P8	1446	Qp100	640	249.95
P9AM	1407	Qp100	640	**249.86**
PONT 2	1402		Bridge	
P9	1387	Qp100	640	**249.75**
P10	1345	Qp100	640	249.28
P11	1296	Qp100	640	248.54
P12	1247	Qp100	640	248.06
P13	1198	Qp100	640	247.57
P14	1148	Qp100	640	247.18
P15	1098	Qp100	640	246.68
P16	1048	Qp100	640	246.14
P17	1000	Qp100	640	245.51

Figure 23 : Resultats principaux du modele PONT2 sans pile centrale pour Q100 ans

Le niveau d'eau pour la crue Q100 ans en aval du PONT2 est de 249.75 NGF avec un niveau d'eau en amont du pont de 249.86 NGF (remous d'exhaussement au niveau du profil P9AM). En considérant une revanche de 1 m pour le tirant d'air, **la cote sous poutre du PONT2 est de 250.86 NGF**

Le remous d'exhaussement du PONT2 pour la crue Q100 ans est de 0.11 m sans pile centrale.

La ligne d'eau et le tableau des résultats complets pour la crue Q100 ans figurent pages suivantes.

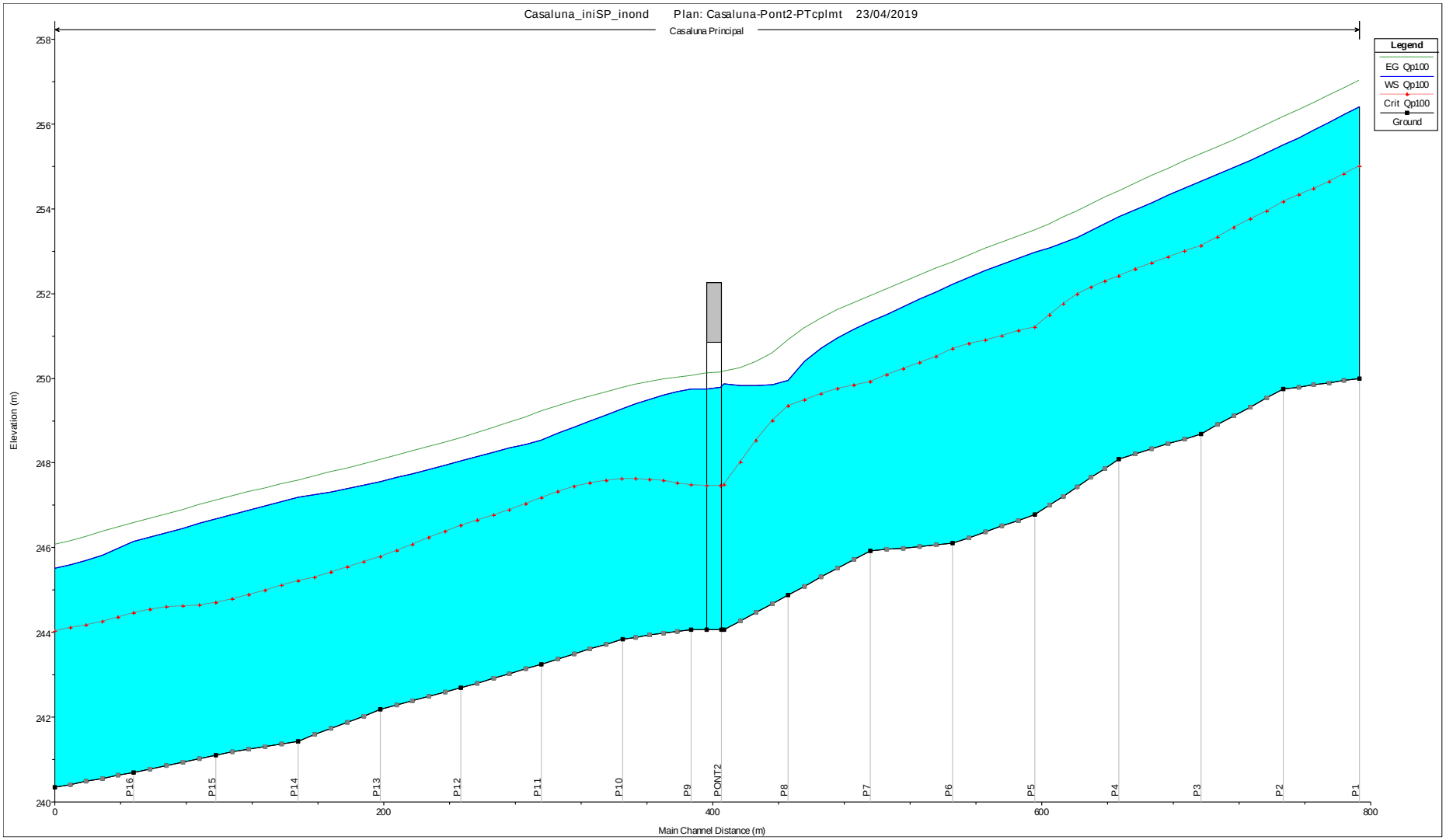

Figure 24 : Ligne d'eau pour Q100 ans – Modèle PONT2 sans pile centrale

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
P1	1793	Qp100	640	250.00	256.41	255.00	257.02	0.020401	3.48	183.87	50.89	0.58
P2	1747	Qp100	640	249.74	255.50	254.17	256.15	0.01747	3.58	178.92	47.62	0.59
P3	1697	Qp100	640	248.69	254.64	253.12	255.28	0.01631	3.53	181.36	47.58	0.58
P4	1647	Qp100	640	248.09	253.82	252.41	254.41	0.017464	3.39	188.57	52.53	0.57
P5	1596	Qp100	640	246.78	252.97	251.21	253.49	0.014183	3.19	200.69	50.68	0.51
P6	1546	Qp100	640	246.10	252.22	250.69	252.73	0.015516	3.16	202.42	54.55	0.52
P7	1496	Qp100	640	245.92	251.34	249.92	251.94	0.014799	3.43	186.51	51.42	0.58
P8	1446	Qp100	640	244.89	249.95	249.34	250.89	0.030445	4.28	149.42	46.08	0.76
P9AM	1407	Qp100	640	244.06	**249.86**	247.47	250.16	0.003798	2.41	266.03	59.14	0.36
PONT 2	1402		Bridge									
P9	1387	Qp100	640	244.06	**249.75**	247.47	250.06	0.004085	2.47	259.45	58.94	0.38
P10	1345	Qp100	640	243.85	249.28	247.63	249.77	0.009829	3.11	205.92	52.88	0.50
P11	1296	Qp100	640	243.25	248.54	247.17	249.21	0.013135	3.60	177.80	47.43	0.59
P12	1247	Qp100	640	242.70	248.06	246.52	248.59	0.011886	3.23	198.17	53.89	0.54
P13	1198	Qp100	640	242.18	247.57	245.78	248.07	0.009263	3.13	204.65	50.62	0.50
P14	1148	Qp100	640	241.44	247.18	245.20	247.59	0.008897	2.82	226.58	58.60	0.46
P15	1098	Qp100	640	241.11	246.68	244.70	247.10	0.010206	2.87	223.10	59.29	0.47
P16	1048	Qp100	640	240.70	246.14	244.46	246.58	0.010067	2.93	218.09	59.40	0.49
P17	1000	Qp100	640	240.34	245.51	244.03	246.06	0.009998	3.30	194.17	48.97	0.53

Figure 25 : Résultats HEC-RAS pour Q100 ans du modèle PONT2 sans pile centrale

5 CHAMP DES VITESSES D'ECOULEMENT DANS LE SECTEUR DU PONT DE CASALUNA

Les champs de vitesse d'écoulement sont établis sur le secteur du pont de Casaluna suivant les résultats des simulations « état sans pont » et « état futur» pour le PONT1 (avec pile centrale), puis pour le PONT2 (sans pile centrale), et ce, pour la crue de référence T100ans.

5.1 VITESSES D'ECOULEMENT DU MODELE SANS PONT

Les champs de vitesse sont relativement variables sur le secteur du pont compte tenu de la variation significative des sections d'écoulement. Les pages suivantes précisent les champs de vitesse des sections suivantes :

- PT8 : section située à environ 50 m en amont de l'entrée du pont,
- PT9 : section située immédiatement en aval de la sortie du pont,
- PT10 : section située à environ 50 m en aval de la sortie du pont.

Concernant le modèle « sans pont », il convient de noter les résultats suivants relatifs aux vitesses d'écoulement :

- Le régime d'écoulement est fluvial sur l'ensemble du secteur modélisé, le niveau d'eau étant toujours supérieur à la hauteur critique (le nombre de Froude restant toujours inférieur à 1) ;
- D'une manière générale, dans le lit mineur, la vitesse d'écoulement reste assez modérée (inférieure à 4 m/s),
- à l'amont du pont, la vitesse d'écoulement atteint son maximum à 4m/s au niveau du profil 8,
- au niveau du pont (profil 9), la vitesse est plus faible (2.47 m/s) dû à l'élargissement du lit.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
P1	1793	Qp100	640	256.40	255.00	3.49	183.54	50.84	0.59
P2	1747	Qp100	640	255.49	254.17	3.59	178.28	47.50	0.59
P3	1697	Qp100	640	254.61	253.12	3.56	179.90	47.43	0.58
P4	1647	Qp100	640	253.75	252.40	3.46	185.06	52.07	0.59
P5	1596	Qp100	640	252.93	251.20	3.22	198.61	50.51	0.52
P6	1546	Qp100	640	252.23	250.58	3.08	208.06	54.58	0.50
P7	1496	Qp100	640	251.39	249.92	3.38	189.22	51.53	0.56
P8	1446	Qp100	640	250.19	249.35	3.99	160.31	47.81	0.70
P9	1387	Qp100	640	**249.75**	247.47	**2.47**	259.29	58.94	**0.38**
P10	1345	Qp100	640	249.28	247.63	3.11	205.72	52.87	0.50
P11	1296	Qp100	640	248.54	247.17	3.61	177.43	47.40	0.60
P12	1247	Qp100	640	248.04	246.52	3.24	197.48	53.75	0.54
P13	1198	Qp100	640	247.55	245.78	3.14	203.77	50.51	0.50
P14	1148	Qp100	640	247.16	245.20	2.84	225.19	58.47	0.46
P15	1098	Qp100	640	246.65	244.70	2.90	220.89	59.05	0.48
P16	1048	Qp100	640	246.08	244.46	2.98	214.48	58.99	0.50
P17	1000	Qp100	640	245.51	244.03	3.30	194.17	48.97	0.53

Figure 26 : Vitesses d'écoulement du modèle sans pont pour la crue Q100 ans

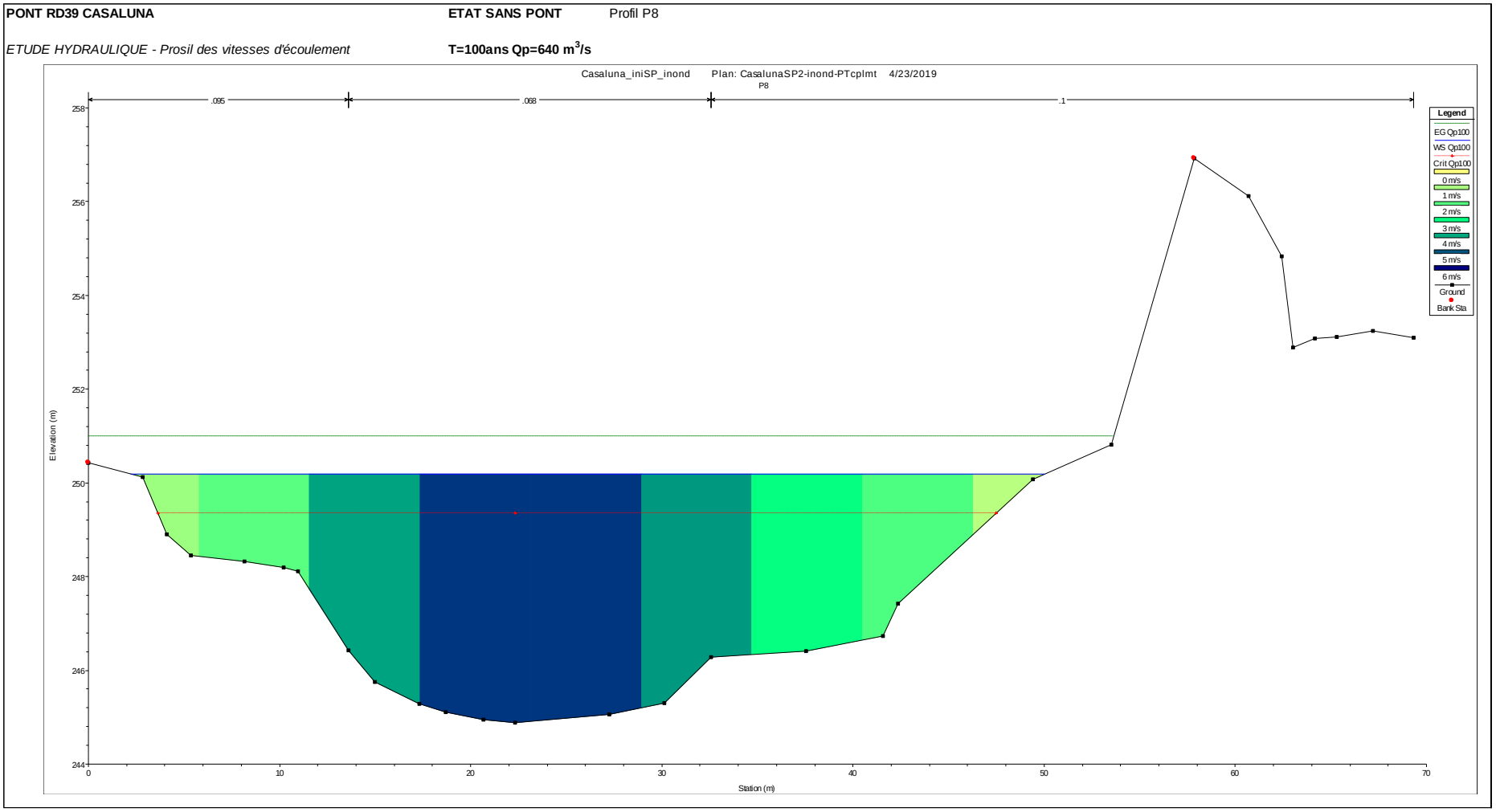

Figure 27 : Champ des vitesses sur le profil 8 pour la crue de période de retour T100ans

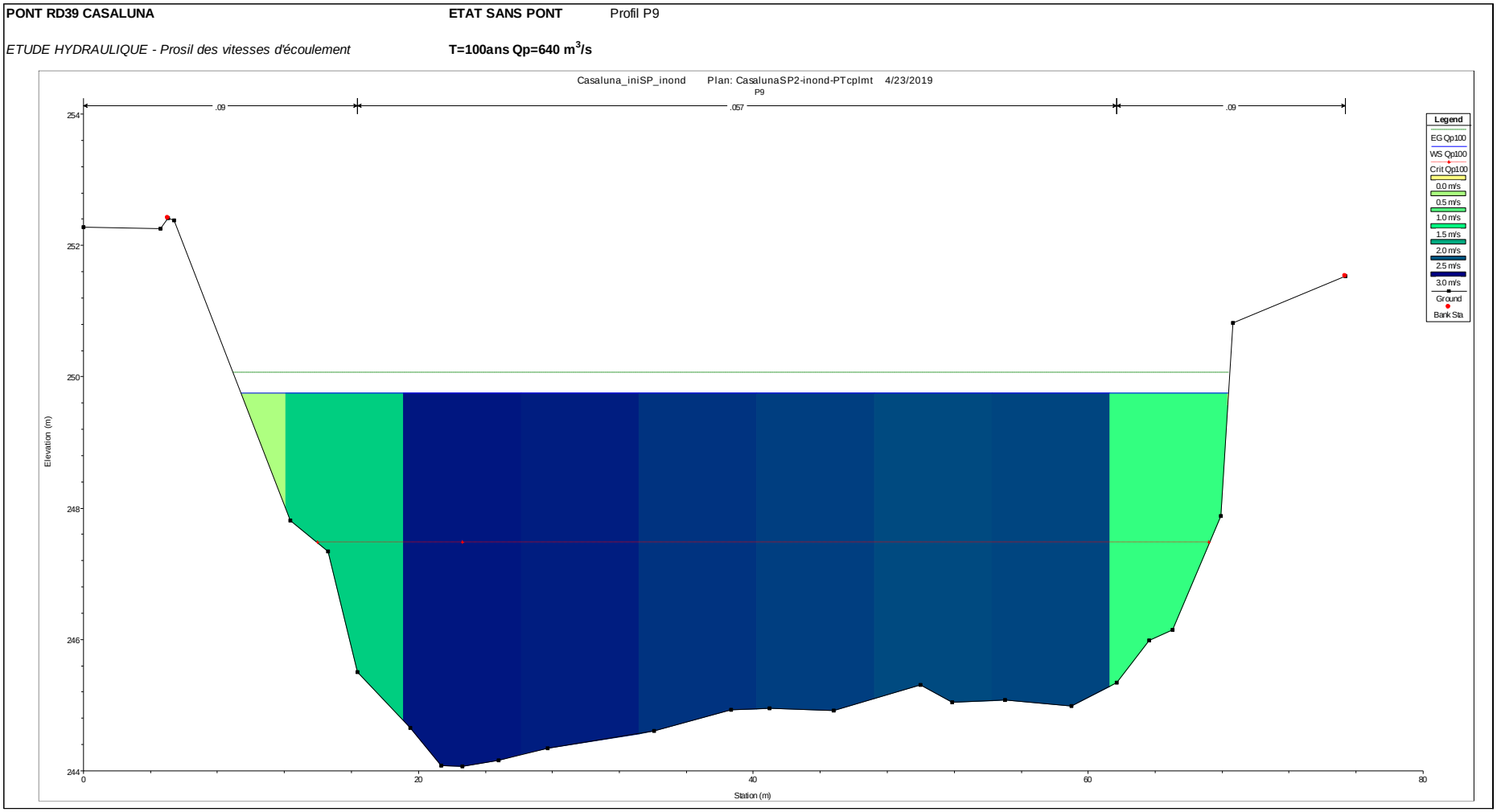

Figure 28: Champ des vitesses sur le profil 9 pour la crue de période de retour T100ans

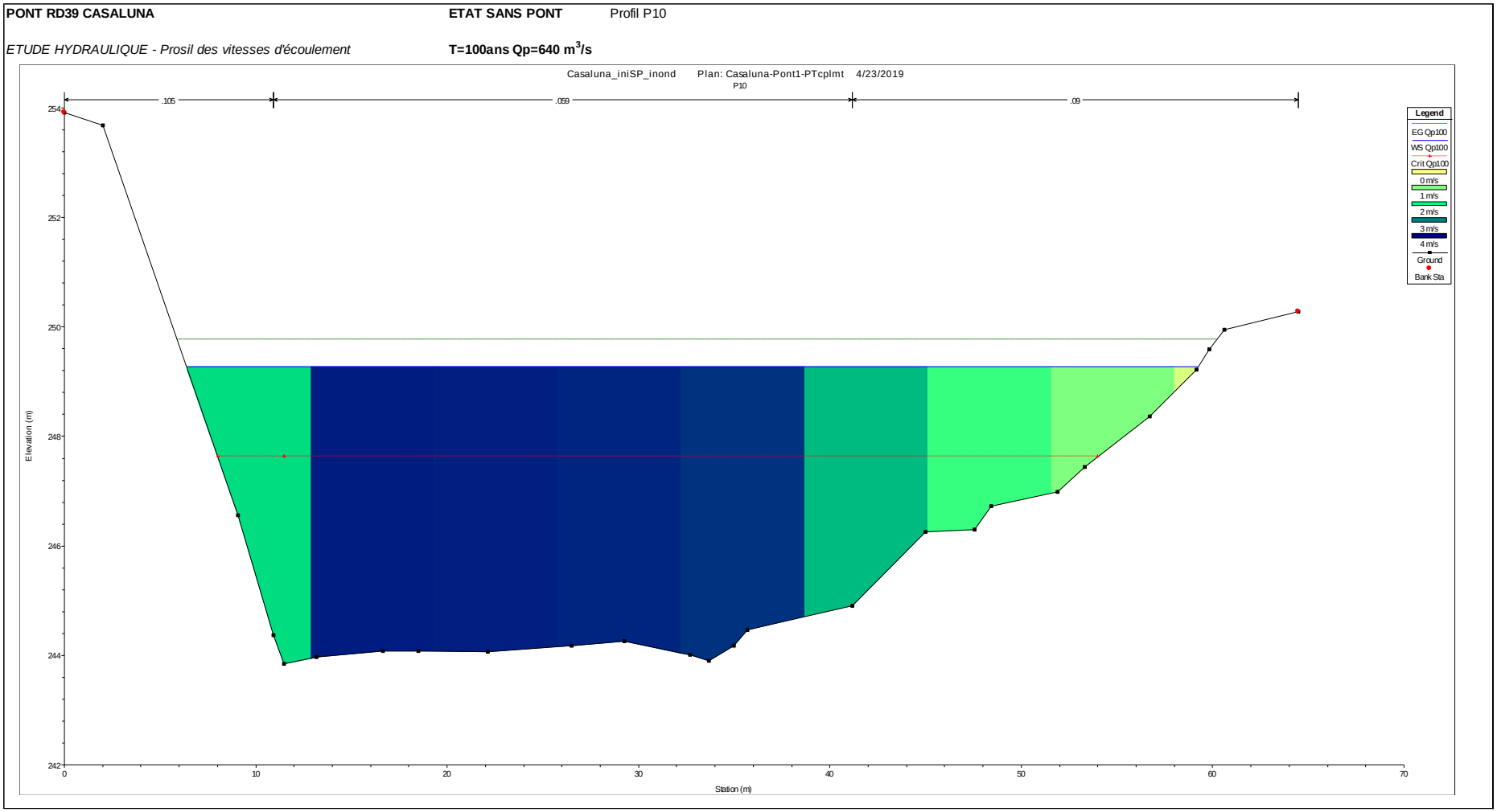

Figure 29: Champ des vitesses sur le profil 10 pour la crue de période de retour T100ans

5.2 VITESSES D'ECOULEMENT DU MODELE PONT1 AVEC PILE CENTRALE

Les caractéristiques des écoulements au passage du PONT1 avec une pile centrale et pour la crue Q100 ans figurent dans le tableau suivant :

Plan: Pont1-PTcplmt	Casaluna	Principal RS: 1402	Profile: Qp100	
E.G. US. (m)	250.17	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	**249.88**	E.G. Elev (m)	250.16	250.12
Q Total (m3/s)	640	W.S. Elev (m)	249.79	249.74
Q Bridge (m3/s)	640	Crit W.S. (m)	247.5	247.5
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	5.72	5.68
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.69	2.72
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	237.72	235.4
Weir Submerg		Froude # Chl	0.36	0.36
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	762.72	753.15
Min El Weir Flow (m)	252.26	Hydr Depth (m)	4.89	4.84
Min El Prs (m)	250.88	W.P. Total (m)	63.05	62.9
Delta EG (m)	0.12	Conv. Total (m3/s)	9488.6	9348.7
Delta WS (m)	0.14	Top Width (m)	48.63	48.63
BR Open Area (m2)	290.78	Frctn Loss (m)	0.04	0.04
BR Open Vel (m/s)	**2.72**	C & E Loss (m)	0	0.02
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	168.22	171.99
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	452.89	467.6

Figure 30 : Caractéristiques des écoulements au passage du PONT1 avec pile centrale pour Q100 ans

La vitesse d'écoulement au passage du PONT1 avec une pile centrale est de 2.72 m/s. Cette vitesse est un peu supérieure à celle du modèle sans pont au droit du profil P9 (et qui est de 2.47 m/s) compte tenu de la légère contraction des écoulements liée aux culées en rives gauche et droite et à la pile centrale. La vitesse d'écoulement reste néanmoins modérée au passage du PONT1 et l'écoulement conserve son caractère fluvial avec un nombre de Froude de 0.37 en sortie du pont.

Les deux figures, pages suivantes, rendent compte de la répartition transversale des vitesses d'écoulement au passage du PONT1 avec une pile centrale pour les sections situées respectivement :

- ✓ En entrée du pont
- ✓ En sortie du pont

En sortie du pont, la vitesse maximale est de 3.20 m/s au niveau du secteur qui présente le plus grand tirant d'eau. Au niveau de la pile centrale, cette vitesse est réduite à 1.53 m/s.

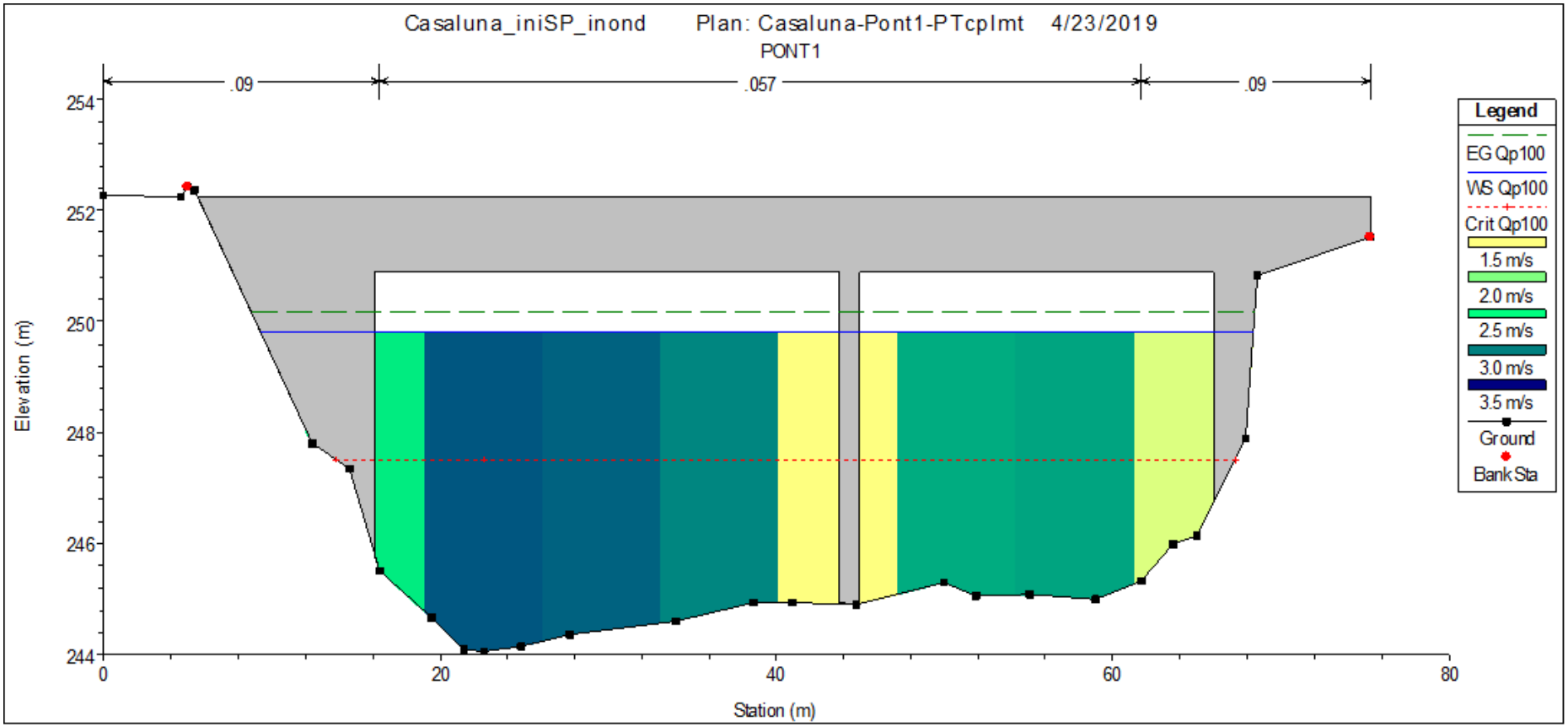

Figure 31 : Répartition transversale des vitesses en entrée du PONT1 pour la crue Q100 ans

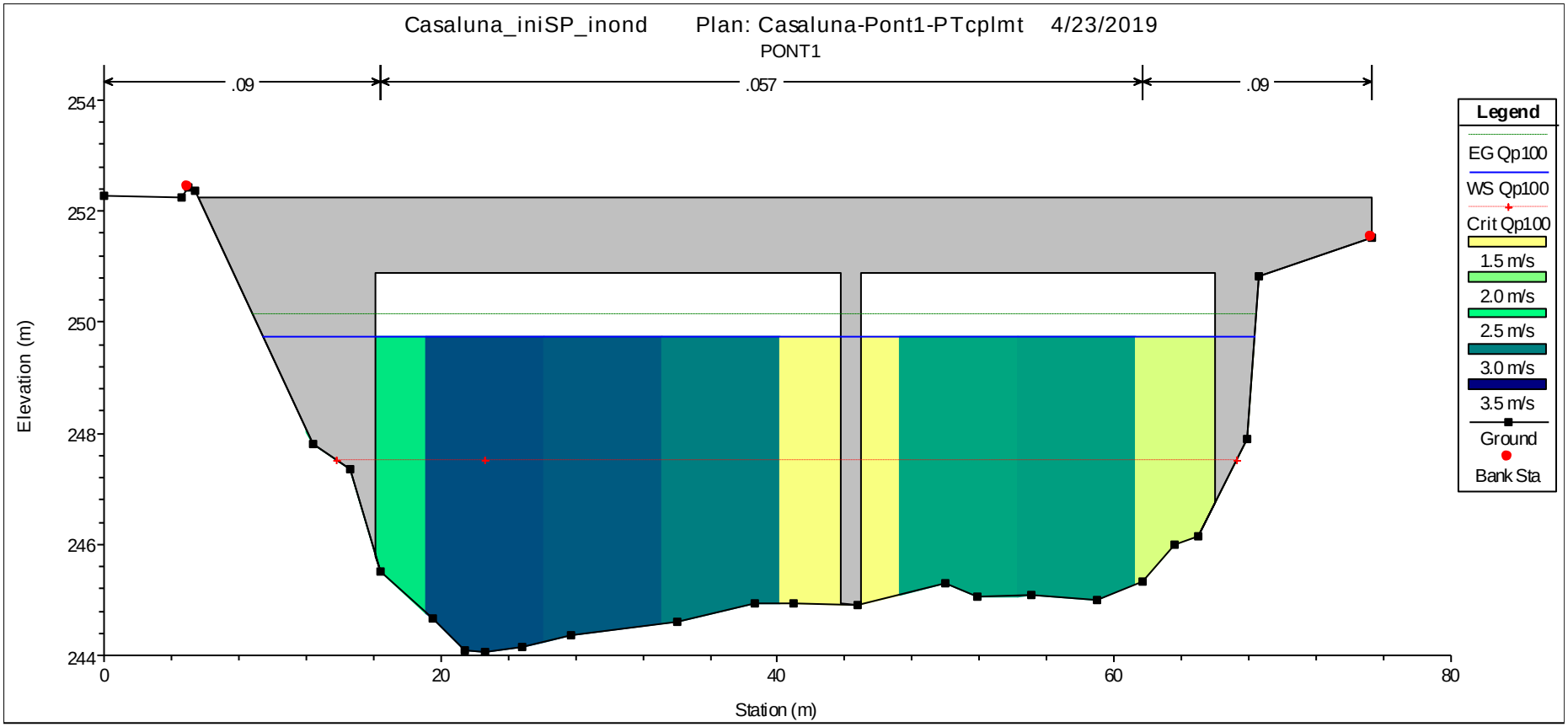

Figure 32 : Répartition transversale des vitesses en sortie du PONT1 pour la crue Q100 ans

5.3 VITESSES D'ECOULEMENT DU MODELE PONT2 SANS PILE CENTRALE

Les caractéristiques des écoulements au passage du PONT2 sans pile centrale et pour la crue Q100 ans figurent dans le tableau suivant :

Plan: Pont2-PTcplmt	Casaluna	Principal RS: 1402	Profile: Qp100	
E.G. US. (m)	250.16	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	**249.86**	E.G. Elev (m)	250.14	250.11
Q Total (m3/s)	640	W.S. Elev (m)	249.79	249.75
Q Bridge (m3/s)	640	Crit W.S. (m)	247.46	247.46
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	5.73	5.69
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.62	2.64
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	243.95	242.05
Weir Submerg		Froude # Chl	0.35	0.35
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	773.79	765.9
Min El Weir Flow (m)	252.26	Hydr Depth (m)	4.89	4.85
Min El Prs (m)	250.86	W.P. Total (m)	57.63	57.55
Delta EG (m)	0.1	Conv. Total (m3/s)	10533.5	10406.7
Delta WS (m)	0.11	Top Width (m)	49.88	49.88
BR Open Area (m2)	296.72	Frctn Loss (m)	0.03	0.04
BR Open Vel (m/s)	**2.64**	C & E Loss (m)	0	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	153.24	155.99
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	402.04	412.44

Figure 33 : Caractéristiques des écoulements au passage du PONT2 sans pile centrale pour Q100 ans

La vitesse d'écoulement au passage du PONT2 sans pile centrale est de 2.64 m/s. Cette vitesse est un peu supérieure à celle du modèle sans pont au droit du profil P9 (et qui est de 2.47 m/s) compte tenu de la légère contraction des écoulements liée aux culées en rives gauche et droite. La vitesse d'écoulement reste néanmoins modérée au passage du PONT2 et l'écoulement conserve son caractère fluvial avec un nombre de Froude de 0.35 en sortie du pont.

Les deux figures, pages suivantes, rendent compte de la répartition transversale des vitesses d'écoulement au passage du PONT2 sans pile centrale pour les sections situées respectivement :

- ✓ En entrée du pont
- ✓ En sortie du pont

En sortie du pont, la vitesse maximale est de 2.96 m/s au niveau du secteur qui présente le plus grand tirant d'eau.

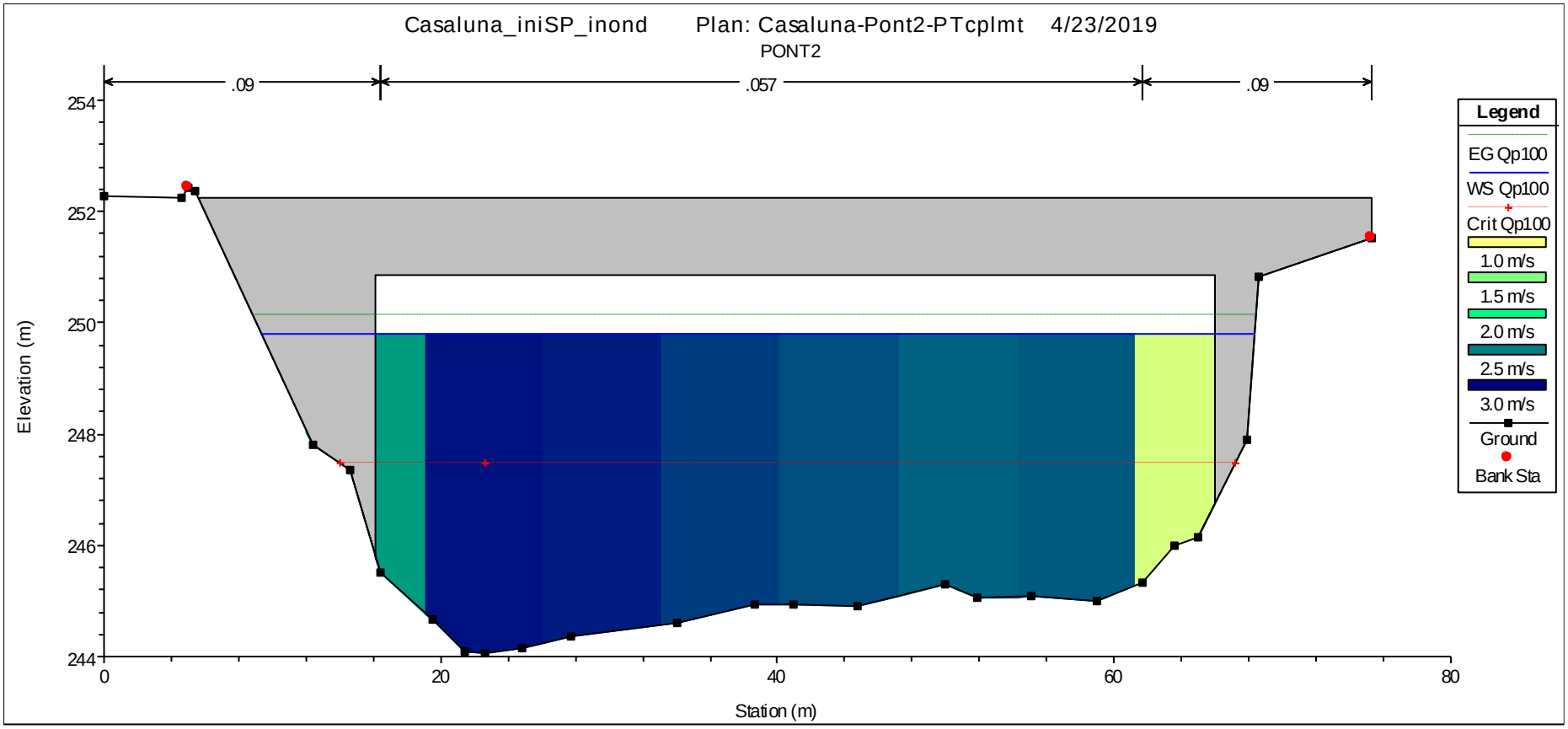

Figure 34 : Répartition transversale des vitesses en entrée du PONT2 pour la crue Q100 ans

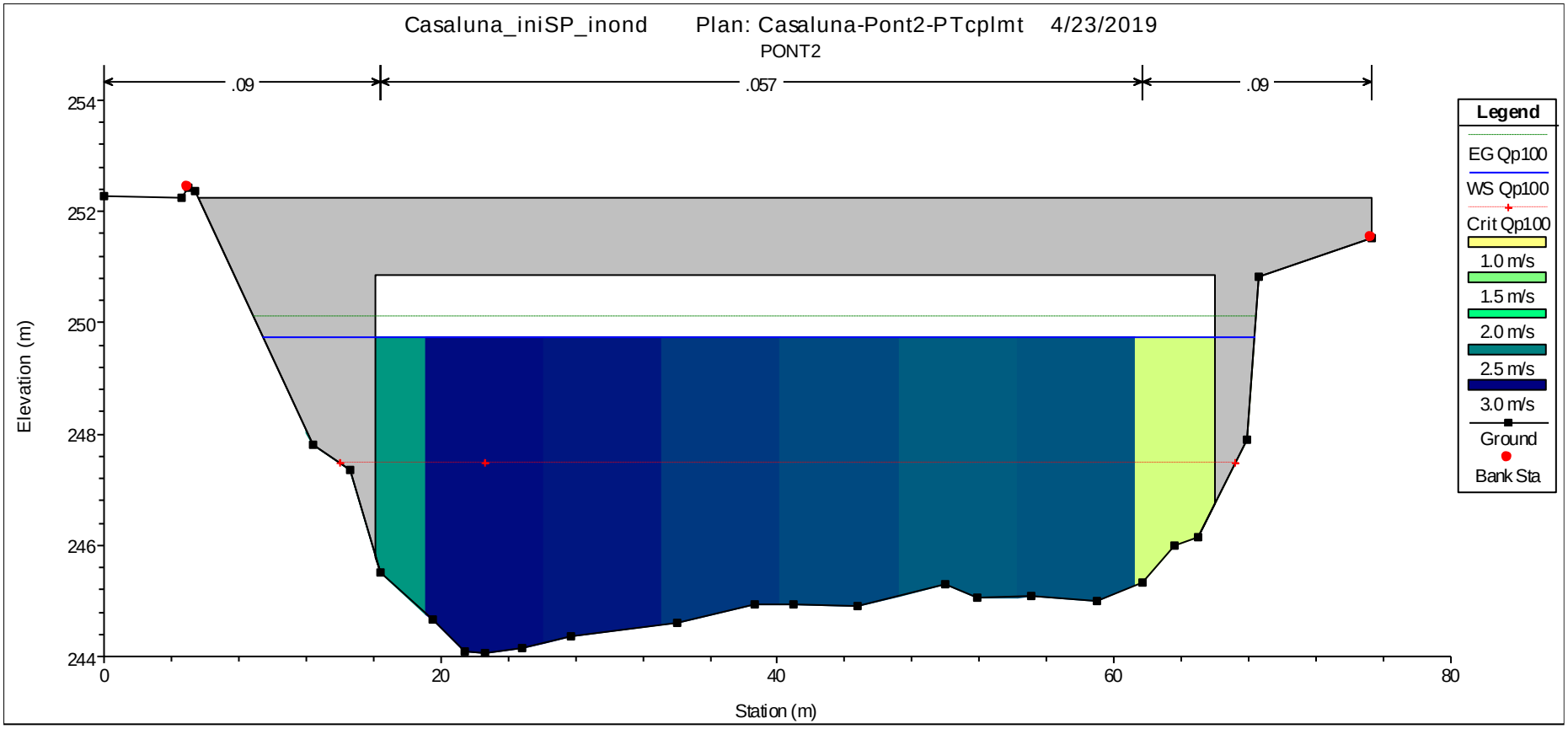

Figure 35 : Répartition transversale des vitesses en sortie du PONT2 pour la crue Q100 ans

6 GLOSSAIRE CONCERNANT HEC-RAS

Le logiciel HEC-RAS utilisé pour l'établissement du projet hydraulique est un logiciel d'écoulement à surface libre développé aux USA et non traduit en français.

Afin de facilité la lecture des tableaux et annexes, un glossaire même sommaire, peut s'avérer utile :

- EG : Energy Grade — charge hydraulique,
- WS : water Surface — niveau d'eau,
- Crit WS : — niveau critique (relatif à la hauteur critique),
- Ground : — cote fond des ouvrages,
- LOB : Left Over Bank — rive gauche,
- ROB : Right Over Bank — rive droite,
- Left Levee : — cote rive gauche avant débordement,
- Right Levee : — cote rive droite avant débordement,
- Reach : — bief,
- River Station : — numéro de station sur le bief,
- Profile : — nom de la simulation du modèle (par exemple SC00 T100),
- Q : — débit,
- Min Ch El : — cote de fond de la section,
- EG Slope : — pente de la ligne d'énergie hydraulique (ou charge hydraulique),
- Vel Chnl : — vitesse d'écoulement,
- Flow Area : — section d'écoulement,
- Top Width : — largeur au miroir ; largeur d'écoulement
- Froude # Chl : — nombre de Froude du chenal,
- Friction loss : — perte de charge,
- Channel : — chenal ou lit mineur,
- Junction : — confluence ou défluence entre biefs,
- Lateral structure : — ouvrage latéral,
- Inline structure : — ouvrage frontal,
- Bridge : — pont (ou autre type d'ouvrage),
- Weir : — déversoir,
- Depth : — profondeur (ou hauteur d'eau),
- Upstream : — amont,
- Downstream : — aval