



Syndicat Mixte d'Aménagement  
de l'Arve et de ses Affluents

Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents

# Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville

## Construction du modèle hydraulique

Notice  
I.001094.001 – DIGP 2021-834-02









# Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville

## Construction du modèle hydraulique

### Notice

I.001094.001 – DIGP 2021-834-02

<b>MAÎTRE D'ŒUVRE</b>	<b>Groupement SUEZ Consulting / CNR / BIOTEC</b>
-----------------------	--

<b>CONTRÔLE QUALITÉ</b>	<b>NOM</b>	<b>DATE</b>	<b>SIGNATURE</b>
<b>RÉALISÉ PAR</b>	-01 Luc DURON	-01 11/05/2021	-01 
	-02 Emilio CORRALES	-02 02/02/2023	-02 
<b>VÉRIFIÉ PAR</b>	-01 Sophie TROSSAT	-01 18/05/2021	-01 
	-02 Yoann LAFFONT	-02 02/02/2023	-02 
<b>APPROUVÉ PAR</b>	-01 Sophie TROSSAT	-01 18/05/2021	-01 
	-02 Yoann LAFFONT	-02 02/02/2023	-02 

<b>INDICE DU DOCUMENT</b>	<b>DATE</b>	<b>DÉSIGNATION DE LA RÉVISION</b>
<b>-01</b>	18/05/2021	Version initiale
<b>-02</b>	02/02/2023	Version intégrant remarques du SM3A du 10/01/2023



# Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
1.1	Périmètre de l'étude AVP	5
1.2	Documents de référence	6
<b>2</b>	<b>Données d'entrée</b>	<b>7</b>
2.1	Hydrologie	7
2.1.1	Introduction	7
2.1.2	Débits moyens mensuels	7
2.1.3	Débits de crue	8
2.2	Caractéristiques des épis	10
<b>3</b>	<b>Rappel sur le modèle Telemac-2D</b>	<b>11</b>
3.1	Logiciel de modélisation Telemac-2D	11
3.2	Emprise du modèle et frontières	11
3.3	Maillage et bathymétrie	12
3.4	Calage hydraulique du lit mineur du Borne	12
<b>4</b>	<b>Construction du modèle AVP</b>	<b>13</b>
4.1	Reprise du maillage	13
4.2	Modification du secteur aval	13
4.3	Intégration des épis	14
4.3.1	Correction de la bathymétrie sur les épis	16
4.4	Correction altimétrique en rive gauche du pont royal	17
4.5	Coefficient de frottement du modèle AVP	17
<b>5</b>	<b>Analyse des résultats</b>	<b>17</b>
5.1	Etude des niveaux d'eau	18
5.1.1	Crue Q10	18
5.1.2	Crue Q100	19
5.2	Etude des vitesses	21
5.2.1	Au milieu de la rivière	21
5.2.2	Au droit des épis	22
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>24</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Localisation du secteur d'étude. ....	5
Figure 2 : Débits moyens mensuels à Saint-Jean-de-Sixt (données calculées sur 58 ans, source : Banque Hydro) .....	7
Figure 3 : Débits moyens mensuels à Sallanches (données calculées sur 57 ans, source : Banque Hydro).....	7
Figure 4 : Comparaison des débits de pointe estimés à Saint-Pierre-en-Faucigny (les étiquettes correspondent à la période de retour en années) .....	9
Figure 5 : Hydrogrammes de l'Arve et du Borne pour une crue centennale du Borne.....	10
Figure 6 : Vue en plan et coupes de principe d'un épi.....	10
Figure 7 : Emprise du modèle (polygone mauve) (Source : [DA3]) .....	11
Figure 8 : Vue en plan du maillage avec un zoom autour du pont de l'Europe (Source : [DA3]) .....	12
Figure 9 : Vue en plan des lignes de contraintes pour la reprise du maillage à l'aval du pont de Toisinges .....	13
Figure 10 : Maillage et bathymétrie/topographie du modèle AVP en aval du pont de Toisinges .....	14
Figure 11 : Vue en plan de l'emprise de la reprise du maillage (rouge) et de la localisation des épis (jaune).....	15
Figure 12 : Vue en plan du maillage complet (bleu), du maillage régulier ajouté (noir) et de la limite de modification du maillage (orange) .....	16
Figure 13 : Correction altimétrique par rapport au niveau de mai .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 14 : Vue en plan des corrections altimétriques (en m) appliquées aux épis (et isolignes du nouveau modèle en noir) .....	16
Figure 15 : Vue en plan des lignes 3D (en jaune) pour intégrer la modification de la piste cyclable sous le pont royal.....	17
Figure 16 : Profil en long des niveaux d'eau Q10 et du fond .....	18
Figure 17 : Profil en long de l'impact en niveau du projet pour la Q10 .....	19
Figure 18 : Profil en long des niveaux d'eau Q100 et du fond .....	20
Figure 19 : Profil en long de l'impact en niveau du projet pour la Q100 .....	20
Figure 20 : Profil en long des vitesses de l'état actuel et de l'état projet pour la Q100 .....	21
Figure 21 : Profil en long des vitesses de l'état actuel et de l'état projet pour la Q100 .....	22
Figure 22 : Profil en long du fond (B) et des vitesses (M) avec et sans épis pour la rive droite en Q10 .....	22
Figure 23 : Profil en long du fond (B) et des vitesses (M) avec et sans épis pour la rive gauche en Q10 .....	23
Figure 24 : Profil en long du fond (B) et des vitesses (M) avec et sans épis pour la rive droite en Q100 .....	23
Figure 25 : Profil en long du fond (B) et des vitesses (M) avec et sans épis pour la rive gauche en Q100 .....	24

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Ouvrages concernés par l'étude. ....	6
Tableau 2 : Transposition des débits mensuels moyens (en m <sup>3</sup> /s) de mai et juillet .....	8
Tableau 3 : Débits caractéristiques des crues du Borne utilisés pour les EDD (Source : [DA3]).....	8
Tableau 4 : Débits de pointe de l'étude EDF des crues du Borne .....	8
Tableau 5 : Débits de pointe de l'étude ETRM/TEREO des crues du Borne .....	8
Tableau 6 : Débits de pointe de l'Arve, du Borne et du Bronze pour les crues du Borne .....	9
Tableau 7 : Liste des conditions aux limites du modèle hydraulique .....	12

# 1 Introduction

Dans le cadre du Programme d'Action de Prévention des Inondations (PAPI) du territoire du SAGE de l'Arve, et dans la continuité des études de dangers engagées en 2017 sur les endiguements de ce même territoire, le Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents (SM3A) souhaite engager des travaux de confortement et reconstruction des digues du Borne et de l'Arve, pour un niveau de protection centennal. Trois systèmes d'endiguements sont concernés :

- SE – ARVE-RG-BONNE-26.24 – BONNEVILLE ENTRE ARVE ET BORNE,
- SE – ARVE-RG-STPIE-24.17 – SAINT-PIERRE ENTRE ARVE ET BORNE,
- SE – ARVE RD-BONNE-25.79 – BONNEVILLE AYZE.

La mission de maîtrise d'œuvre complète sur les digues du Borne, ainsi que la mission de maîtrise d'œuvre conception au stade avant-projet (AVP) a été confiée au groupement SUEZ Consulting / CNR / Biotec.

**Le présent rapport concerne le modèle hydraulique Telemac-2D réalisé pour l'étude d'Avant-Projet (AVP) de confortement et reconstruction des digues du Borne.**

## 1.1 Périmètre de l'étude AVP

Le secteur d'étude de l'AVP porte sur un linéaire de 1 350 m entre le pont de la RD1203 (pont Royal) et la confluence avec l'Arve. Il intéresse les deux systèmes d'endiguement qui jouxtent le Borne sur ce linéaire :

- En rive droite, le système ARVE-RG-BONNE-26.24 – BONNEVILLE ENTRE ARVE ET BORNE,
- En rive gauche, le système ARVE-RG-STPIE-24.17 – SAINT-PIERRE ENTRE ARVE ET BORNE.

Le tableau 1 et la figure 1 ci-dessous localisent le secteur d'étude et les digues concernées, ainsi que l'ensemble des systèmes d'endiguement du secteur. Cette localisation fait référence à des points métriques qui suivent l'axe du Borne et dont l'origine est la confluence, au croisement des axes du Borne et de l'Arve (PM croissants de l'aval vers l'amont).

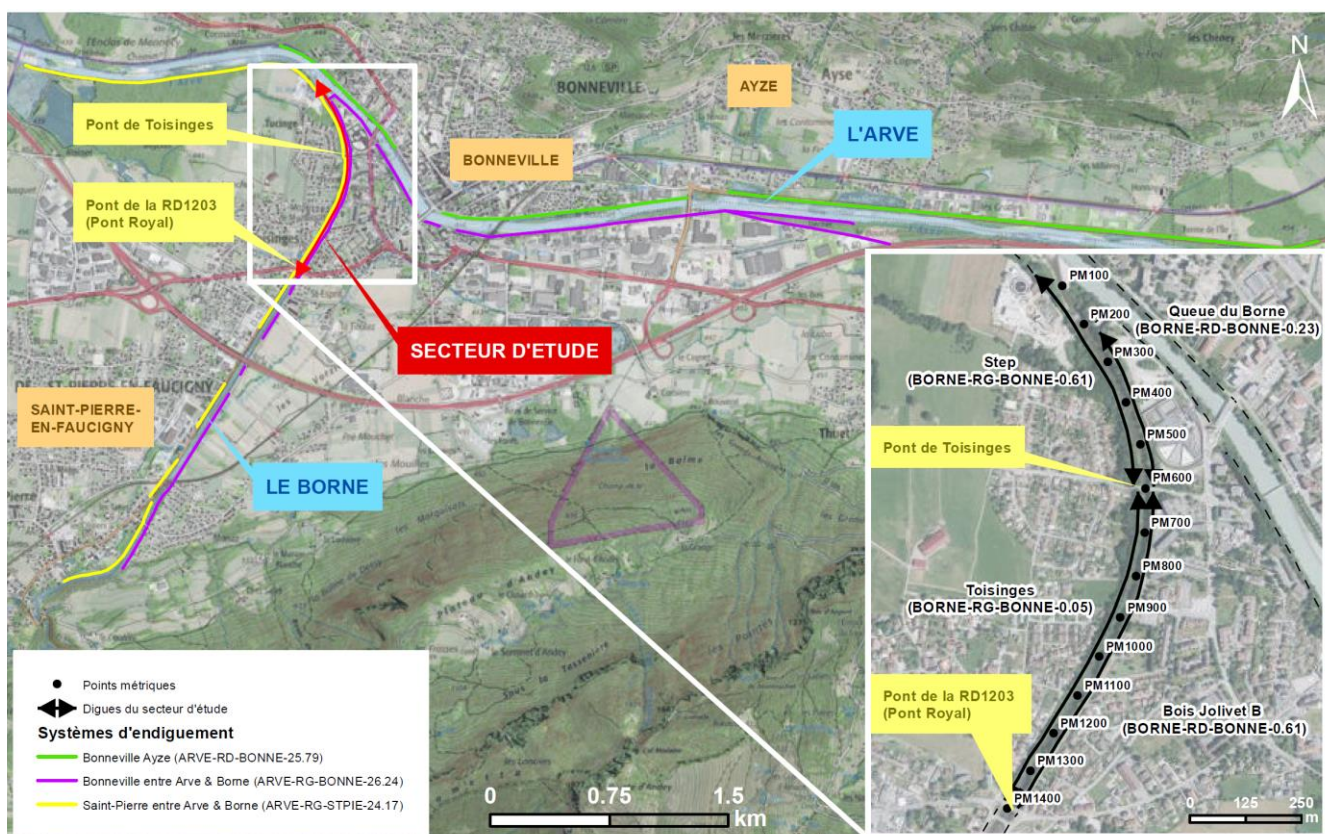


Figure 1 : Localisation du secteur d'étude.

Tableau 1 : Ouvrages concernés par l'étude.

Rive Borne	Systèmes d'endiguement	Digue	Limite amont		Limite aval (PM)	
RD	ARVE-RG-BONNE-26.24 : Bonneville Entre Arve et Borne	Bois Jolivet B	PM1380	Pont RD1203	PM600	Pont de Toisinges
		Queue du Borne	PM600	Pont de Toisinges	PM210	Confluence
RG	ARVE-RG-STPIE-24.17 : Saint Pierre en Faucigny entre Arve et Borne	Toisinges	PM1380	Pont RD1203	PM600	Pont de Toisinges
		STEP	PM600	Pont de Toisinges	PM50	Confluence

Le modèle hydraulique réalisé inclut ce secteur mais l'emprise du modèle est plus large afin d'inclure la plaine d'inondation et un plus long secteur du Borne et de l'Arve (pour plus de détails voir la partie 3.2).

## 1.2 Documents de référence

- [DA1] CNR pour SM3A, Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St Pierre en Faucigny, Etude de Dangers, Système d'endiguement « Bonneville entre Arve et Borne » - ARVE-RG-BONNE-26.24 – ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE – CNR – DIGP 2018-318-04, Juillet 2019.
- [DA2] CNR pour SM3A, Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St Pierre en Faucigny, Etude de Dangers, Système d'endiguement « Saint Pierre en Faucigny entre Arve et Borne » - ARVE-RG-STPIE-24.1 – BORNE ET ARVE RIVE GAUCHE – CNR – DIGP 2018-1017-03, Juillet 2019.
- [DA3] CNR pour SM3A, Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St Pierre en Faucigny, Etude hydraulique – Calage du modèle – Annexe 5 – DIGP 2018-734-03, Décembre 2018
- [DA4] EDF pour SM3A, Etude des crues extrêmes du Borne à Saint-Pierre-en-Faucigny (149 km<sup>2</sup>) par la méthode SCHADEX, H-44200966-2020-000007 A, Janvier 2020.
- [DA5] TERE0/ETRM pour SM3A, Étude hydrogéomorphologique du bassin versant du Borne Phase 1 - Synthèse des données existantes Diagnostic du territoire – Janvier 2020

## 2 Données d'entrée

### 2.1 Hydrologie

Dans cette partie, l'hydrologie est étudiée pour les faibles débits et pour les crues. Pour les crues, les différentes sources de données hydrologiques sont comparées, avant de présenter les données retenues.

#### 2.1.1 Introduction

Le débit en entrée du modèle Telemac-2D correspond au débit à Saint-Pierre-en-Faucigny au pont de la RD12 (noté  $Q_{SPF}$ ), qui draine un bassin versant de 149.0 km<sup>2</sup>. En amont, la station hydrométrique (DREAL) de Saint-Jean-de-Sixt (dont le débit est noté  $Q_{SJS}$ ) correspond à un bassin versant de 65.1 km<sup>2</sup>.

#### 2.1.2 Débits moyens mensuels

Afin de modéliser certains comportements hydrauliques moyens, le débit moyen mensuel est estimé sur le Borne et l'Arve. La Figure 2 et la Figure 3 correspondent respectivement à la répartition des débits mensuels sur le Borne et sur l'Arve, à la station hydrométrique en amont du modèle hydraulique.

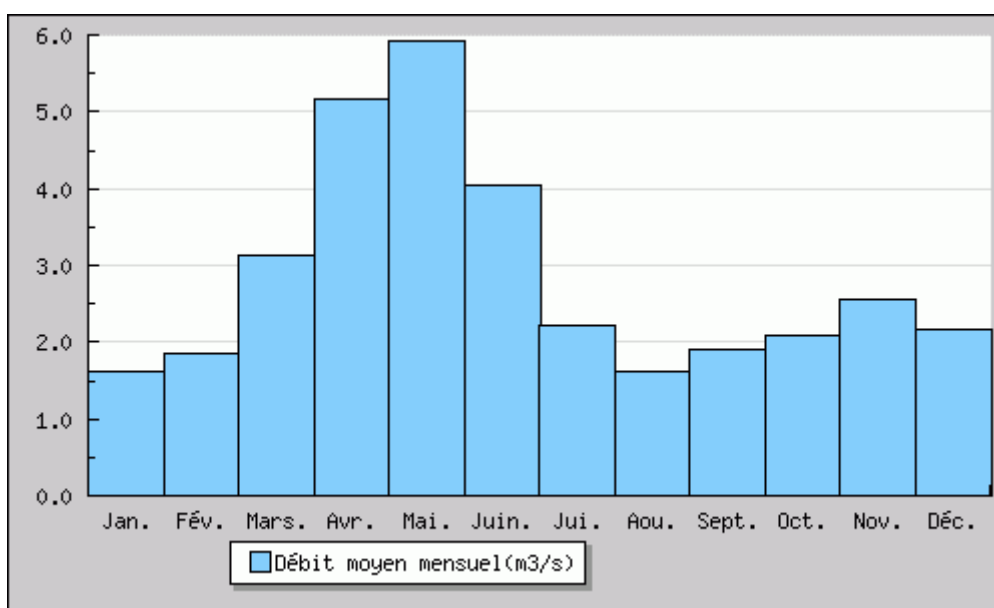


Figure 2 : Débits moyens mensuels à Saint-Jean-de-Sixt (données calculées sur 58 ans, source : Banque Hydro)

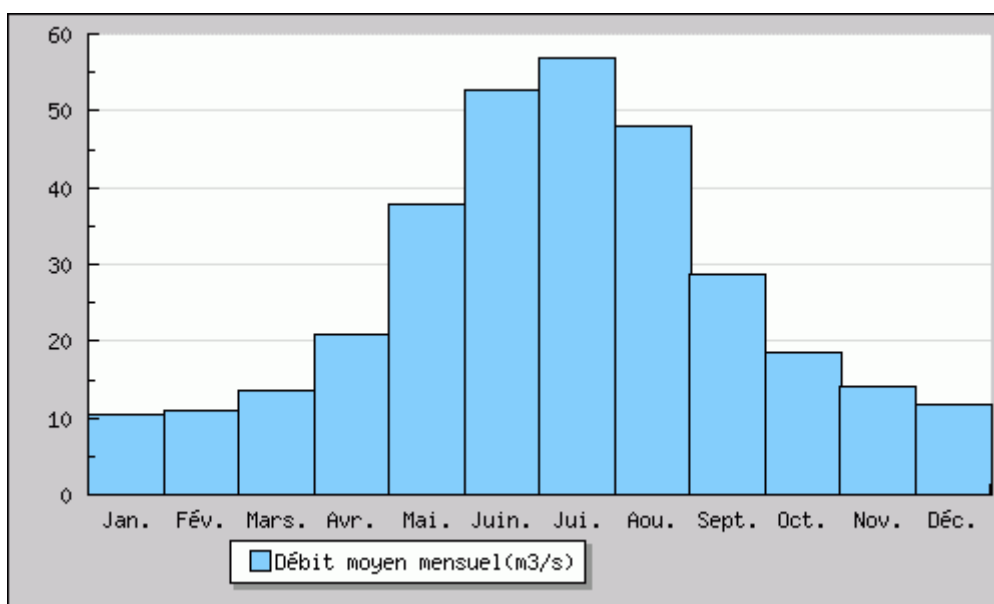


Figure 3 : Débits moyens mensuels à Sallanches (données calculées sur 57 ans, source : Banque Hydro)



Les débits moyens mensuels sont estimés à l'amont du modèle hydraulique, à l'aide de la similitude de bassin. Le Tableau 2 présente la transposition des débits mensuels moyen de mai et juillet.

	Saint-Jean-de-Sixt	Amont modèle Borne	Sallanches	Amont modèle Arve
<b>Mois \ Surface BV</b>	65.1 km <sup>2</sup>	149.0 km <sup>2</sup>	567 km <sup>2</sup>	1348 km <sup>2</sup>
Mai	5.91	13.5	57	135.5
Juillet	2.21	5.1	37.9	90.1

Tableau 2 : Transposition des débits mensuels moyens (en m<sup>3</sup>/s) de mai et juillet

### 2.1.3 Débits de crue

#### 2.1.3.1 Données EDD

Pour rappel, les hypothèses de débits de pointe à Saint-Pierre-en-Faucigny des crues du Borne utilisés dans le cadre des EDD, extraites elles-mêmes d'anciennes études EDF, sont précisés dans le Tableau 3.

Période de retour [ans]	Arve	Borne	Bronze
<b>10</b>	525.0	120.0	9.8
<b>100</b>	691.0	180.0	13.0
<b>1000</b>	767.0	230.0	13.0

Tableau 3 : Débits caractéristiques des crues du Borne utilisés pour les EDD (Source : [DA3])

#### 2.1.3.2 Etude EDF

Dans l'étude hydrologiques réalisée par EDF [DA4], les débits de crues extrêmes du Borne à Saint-Jean-de-Sixt (65.1 km<sup>2</sup>) sont déterminés par la méthode SCHADEX. Ensuite les résultats sont ensuite transposés à Saint-Pierre-en-Faucigny (149 km<sup>2</sup>) au moyen de la formule Myer modifiée pour tenir compte de la partie karstique dans la transposition. Ainsi l'équation suivante est utilisée :

$$Q_{SPF} = (Q_{SJS} + Q_{iseuil}) \left( \frac{Surface_{SPF}}{Surface_{SJS}} \right)^k - Q_{iseuil}$$

Avec  $Q_{iseuil} = 11.8$  et les surfaces de bassin versant indiquées dans la partie 2.1.1. La valeur de l'exposant a été expertisé et une valeur différente pour la crue décennale a été retenue (voir Tableau 4).

Les résultats de la méthode SCHADEX et de la transposition à Saint-Pierre-en-Faucigny sont présentés dans le Tableau 4.

Période de retour [ans]	Saint-Jean-de-Sixt	Saint-Pierre-en-Faucigny	k
<b>10</b>	55	113.5	0.76
<b>100</b>	93	178.4	0.72
<b>1000</b>	135	254.7	0.72

Tableau 4 : Débits de pointe de l'étude EDF des crues du Borne

#### 2.1.3.3 Etude ETRM/TEREO

L'étude ETRM/TEREO [DA5] présente des débits de pointe élevés pour la crue centennale, comme le présente le Tableau 5.

Période de retour [ans]	Saint-Jean-de-Sixt	Saint-Pierre-en-Faucigny
<b>10</b>	75	126
<b>100</b>	155	260

Tableau 5 : Débits de pointe de l'étude ETRM/TEREO des crues du Borne



### 2.1.3.4 Comparaison des débits de pointe

Les données présentées dans les paragraphes précédents sont combinées sur le même graphique Gumbel sur la Figure 4. La comparaison montre un faible écart entre les hypothèses EDD et l'étude EDF.

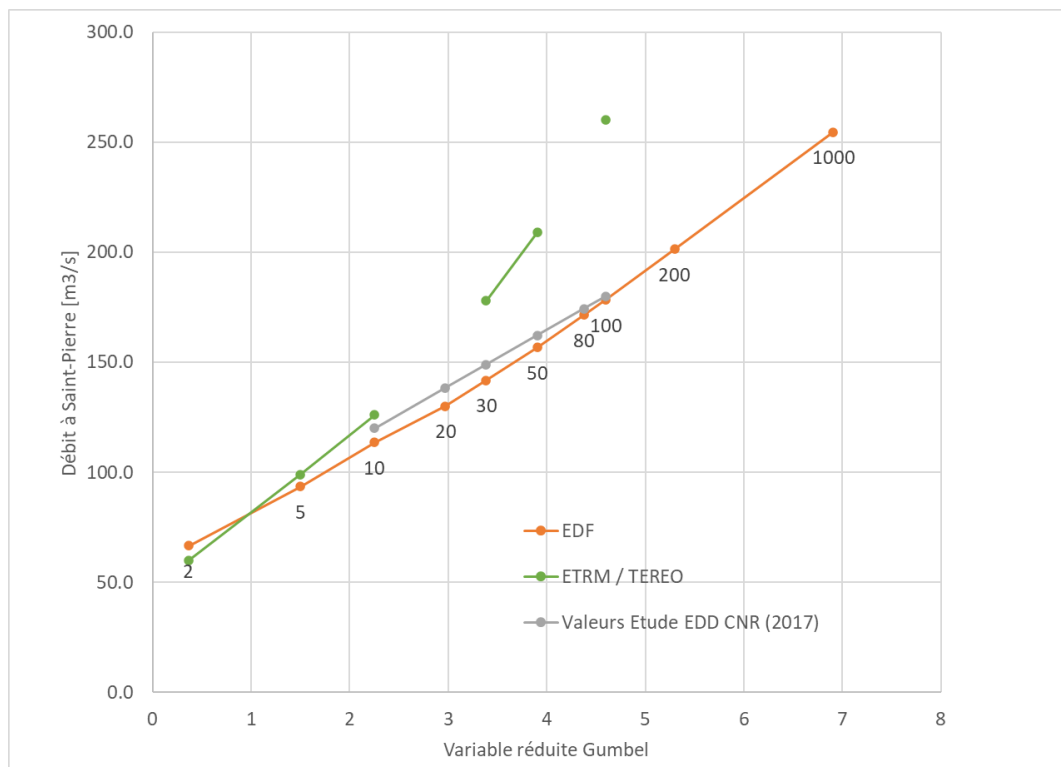


Figure 4 : Comparaison des débits de pointe estimés à Saint-Pierre-en-Faucigny (les étiquettes correspondent à la période de retour en années)

### 2.1.3.5 Débits de pointe caractéristiques retenus

L'étude EDF avec la méthode SCHADEX est jugée la plus pertinente et est retenue pour la présente étude par le SM3A. Les débits concomitants de l'Arve sont issus des scénarios établis dans le cadre de l'EDD des digues de la confluence Arve-Borne.

Le tableau ci-dessous précise les débits de pointe pour les différentes crues caractéristiques.

Période de retour Borne [ans]	Période de retour Arve [ans]	Arve (Bonneville) [m³/s]	Borne (Saint-Pierre-en-Faucigny) [m³/s]	Bronze [m³/s]
2	2	380.4	66.6	7.2
5	5	475.5	93.5	8.8
10	10	<b>525.0</b>	<b>113.5</b>	<b>9.8</b>
20	20	630.7	130.0	10.8
30	30	691.5	141.9	13.0
50	30	691.0	156.6	13.0
80	30	691.0	171.4	13.0
100	30	<b>691.0</b>	<b>178.4</b>	<b>13.0</b>
200	50	767.0	201.4	13.0
1000	50	767.0	254.7	13.0

Tableau 6 : Débits de pointe de l'Arve, du Borne et du Bronze pour les crues du Borne

### 2.1.3.6 Hydrogrammes de crue retenus

Les hydrogrammes sont repris des calculs EDD, eux-mêmes extraits des résultats des modélisations ISL. Seul l'hydrogramme du Borne a été mis à jour pour correspondre aux résultats de l'étude EDF récente. Le décalage observé de 2.5h entre les pointes de l'Arve et du Borne est **conservé**. Enfin les hydrogrammes sont construits par homothétie pour que la pointe corresponde aux valeurs du Tableau 6. La Figure 5 présente les hydrogrammes de la crue Q100 du Borne.

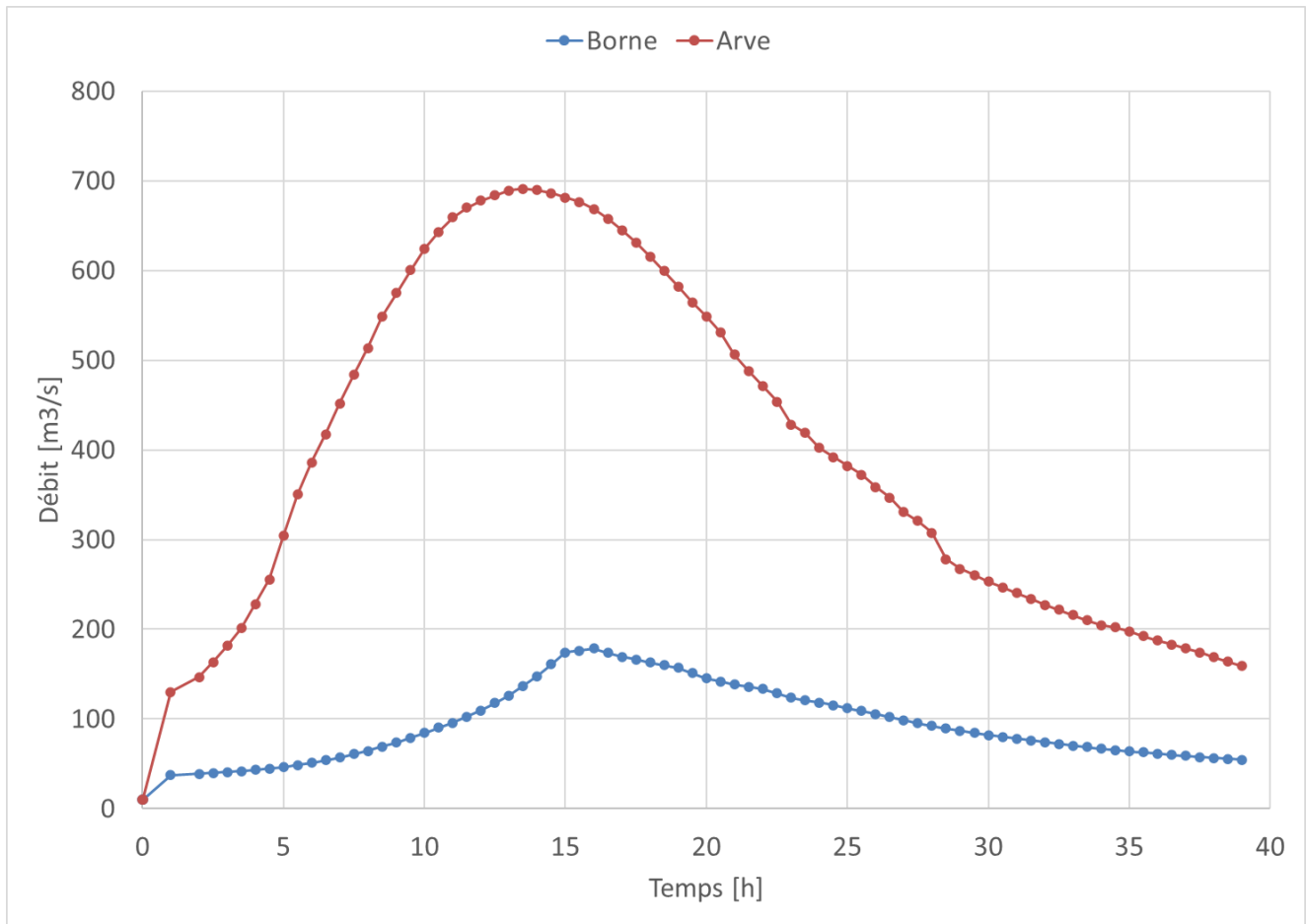


Figure 5 : Hydrogrammes de l'Arve et du Borne pour une crue centennale du Borne

## 2.2 Caractéristiques des épis

Les caractéristiques (dimension et cote) des 41 épis sont précisés sur la Figure 6. Leur localisation est précisée sur la Figure 11.

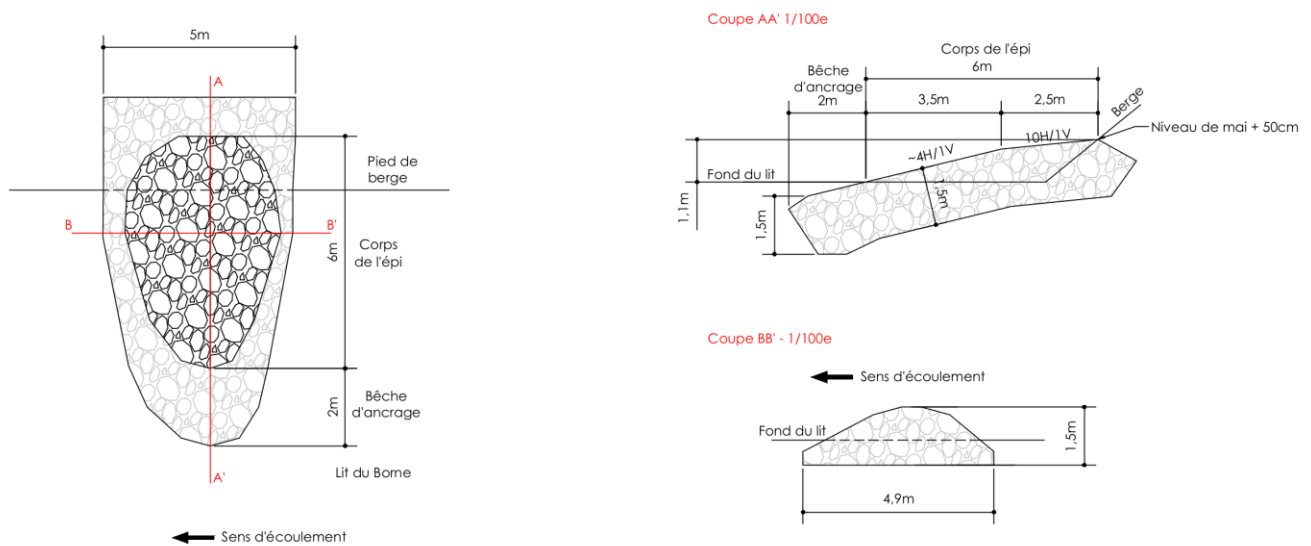


Figure 6 : Vue en plan et coupes de principe d'un épi

### 3 Rappel sur le modèle Telemac-2D

Le modèle Telemac-2D qui a été adapté pour intégrer l'AVP du Borne correspond au modèle réalisé par CNR pour les études de danger ([DA1] et [DA2]). Ce modèle dit « état actuel » ou « modèle EDD » est présenté dans cette partie.

#### 3.1 Logiciel de modélisation Telemac-2D

Le présent modèle hydraulique doit permettre de modéliser les écoulements dans le lit endigué mais aussi la propagation (ondes de rupture probables ou crues déversantes) dans le champ majeur.

L'utilisation d'un modèle hydraulique bidimensionnel (2D) semble la plus appropriée afin de représenter le plus pertinemment les écoulements à la fois dans le lit endigué mais aussi dans le lit majeur protégé.

La modélisation 2D du lit endigué présente également un intérêt notable puisqu'il permet de connaître le champ des vitesses en tout point du domaine modélisé, (et non une vitesse moyennée sur une section comme dans une approche 1D) et ainsi de mieux comprendre et appréhender les mécanismes d'érosion des berges.

Le logiciel utilisé est le logiciel TELEMAC 2D, développé par un consortium dont EDF et Artelia font partie.

Ce logiciel utilise la méthode des éléments finis pour résoudre les équations de Saint Venant bidimensionnelles sur un maillage à base triangulaire : ce type de modélisation permet d'étudier de façon précise la dynamique des écoulements aussi bien dans le lit ordinaire que dans la plaine inondable, et permet de connaître en tout point du domaine modélisé la hauteur d'eau et la vitesse (moyennée sur la hauteur) en direction et en intensité.

Les hypothèses de modélisation présentées ci-dessus permettent de résoudre avec une grande précision les écoulements à surface libre. En revanche, la représentation du réseau d'eaux pluviales n'est pas accessible directement avec ce type d'outils de modélisation.

La comparaison directe des résultats fournis par deux calculs distincts (reposant sur le même maillage de calcul) permet une grande finesse d'analyse en termes d'impact : cette démarche est utilisée notamment pour étudier de façon comparative l'incidence hydraulique de différentes variantes d'aménagements, ou encore pour étudier l'incidence d'aménagements par comparaison de l'état aménagé avec l'état de référence.

La modélisation fine du secteur d'étude à partir d'un outil de modélisation 2D permet également la réalisation de cartographies et d'animations représentant l'évolution des côtes, des hauteurs d'eau et des vitesses des écoulements en crue. Ces cartographies et animations sont des outils puissants de communication lors de réunions publiques et comités de pilotage

#### 3.2 Emprise du modèle et frontières

Le modèle construit initialement couvre le lit mineur de l'Arve sur 9.2 km et celui du Borne sur 4.2 km. Le champ majeur du modèle couvre la zone d'expansion maximale de la crue modélisée la plus forte. La Figure 7 superpose l'emprise du modèle avec l'orthophoto.

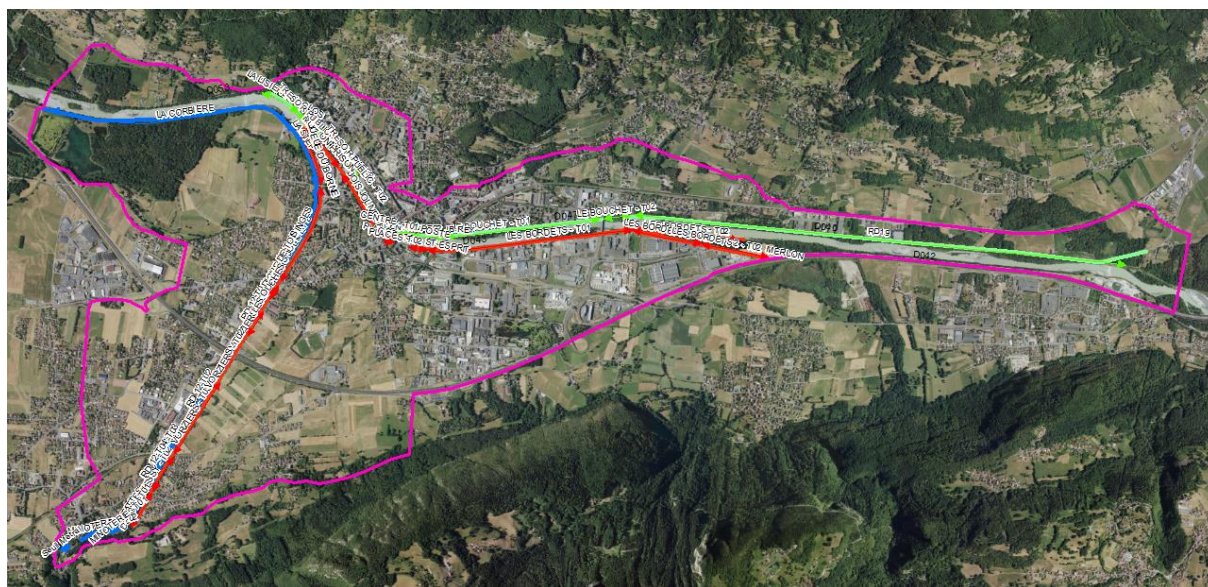


Figure 7 : Emprise du modèle (polygone mauve) (Source : [DA3])



Les conditions aux limites imposées aux extrémités du modèle sont précisées dans le tableau suivant :

Frontière	Type	PK
<b>Amont Arve</b>	Débit imposé	33.310
<b>Aval Arve</b>	Cote aval imposée (courbe de tarage)	24.110
<b>Amont Borne</b>	Débit imposé	4.200
<b>Bronze</b>	Injection débit	30.800

Tableau 7 : Liste des conditions aux limites du modèle hydraulique

### 3.3 Maillage et bathymétrie

Le **maillage** a été construit sur la base des données topographiques et bathymétriques disponibles. De plus, des lignes de contrainte ont été utilisées pour suivre le tracé des digues et des ruptures de pente. La Figure 8 superpose les données utilisées avec le maillage généré (en blanc).

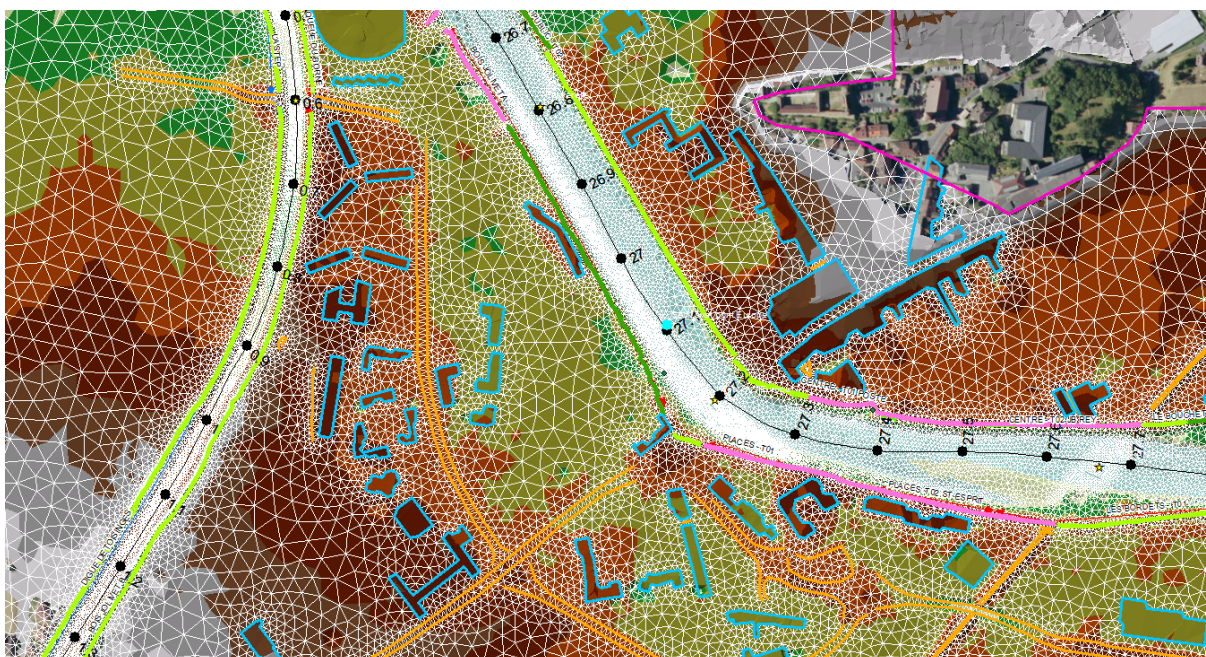


Figure 8 : Vue en plan du maillage avec un zoom autour du pont de l'Europe (Source : [DA3])

Sur le Borne, la **bathymétrie** est issue des 35 profils en travers SINTEGRA de **2015**. Sur les parties hors d'eau (berges), le LIDAR a été utilisé pour compléter les données bathymétriques.

### 3.4 Calage hydraulique du lit mineur du Borne

L'objectif du calage est d'adapter les coefficients de rugosité du lit, voire la modélisation des ouvrages (buses et ponts principalement), afin de reproduire les lignes d'eau et les zones de surverses observées ou simulées au cours des crues passées ou modélisées, tout en gardant un sens physique sous-jacent aux coefficients utilisés.

Etant donné l'absence de laisses exploitables sur le tronçon du Borne, l'évènement de mai 2015 n'a pas pu être exploité sur le Borne. Le modèle Telemac-2D a plutôt été calé sur un **modèle 1D existant** pour les débits de **140 et 180 m³/s**. Ces débits correspondent respectivement à une période de retour de 25 ans et de 100 ans.

Pour rappel, un frottement homogène de **22 m<sup>1/3</sup>/s** dans le lit mineur a été retenu, sachant que les écarts de niveaux entre le modèle Telemac-2D et le modèle 1D sont centrées autour de zéro et il s'agit d'une valeur cohérente pour ce type de cours d'eau.



## 4 Construction du modèle AVP

### 4.1 Reprise du maillage

Afin de représenter l'AVP du Borne, le maillage du modèle initial (voir partie 3) a été repris :

1. dans sa globalité sur le secteur aval du pont de Toisinges (PM 600 à 0m) ;
2. dans la partie lit mineur sur le secteur des épis (PM 1380 à 440m).

Sur l'Arve, la bathymétrie représente l'état actuel et le maillage n'a pas été modifié.

### 4.2 Modification du secteur aval

Concernant le secteur aval du pont de Toisinges, les lignes de contrainte utilisées pour la construction du maillage AVP sont présentées sur la Figure 9.



Figure 9 : Vue en plan des lignes de contraintes pour la reprise du maillage à l'aval du pont de Toisinges

Sur ce secteur et dans le lit mineur du Borne, la seule modification bathymétrique concerne le seuil transversal qui est introduit entre les PM 450 et PM 400. Sur les berges et les crêtes de digues, les lignes 3D permettent de construire la nouvelle topographie du modèle, comme l'illustre la Figure 10.



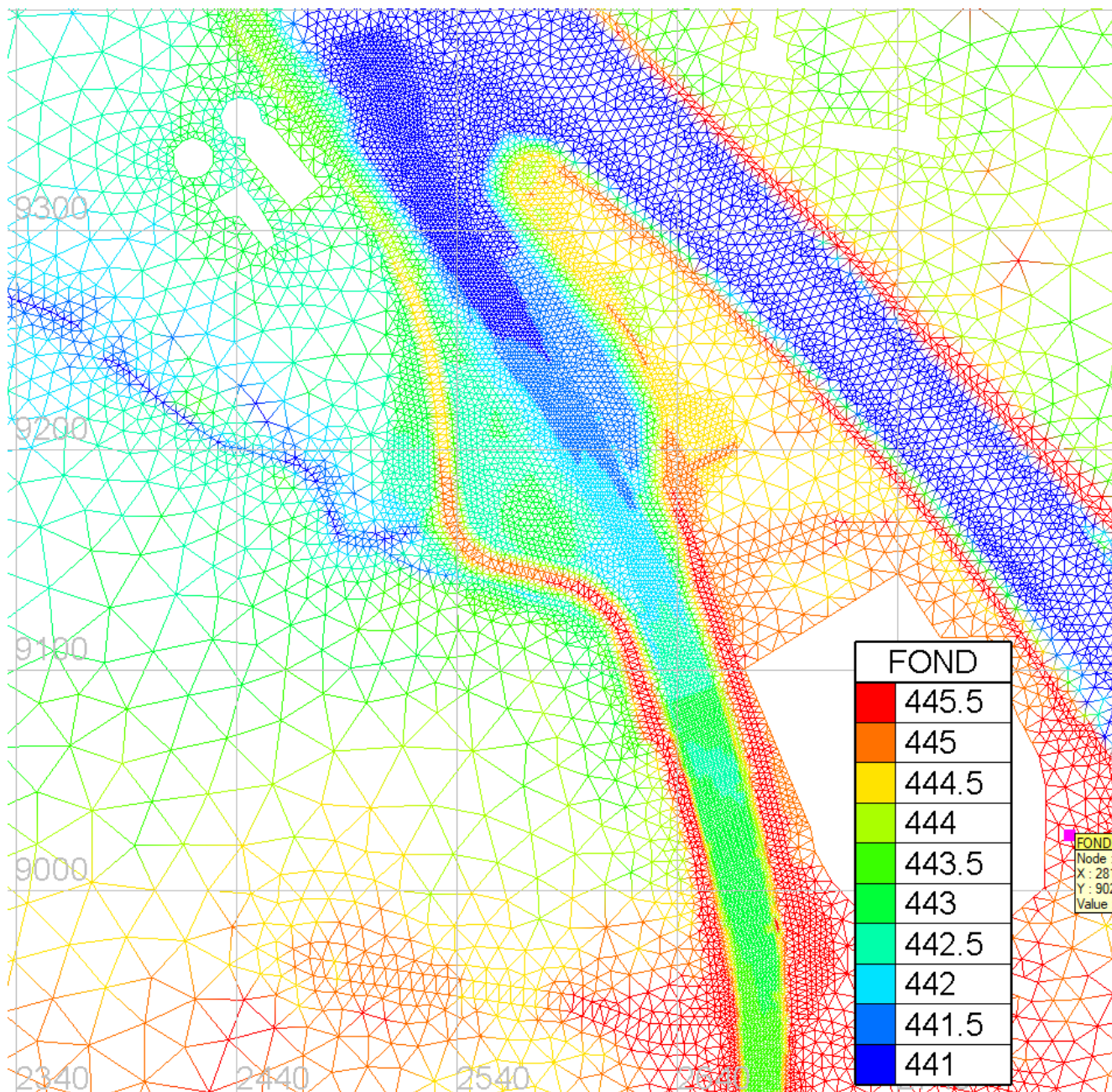


Figure 10 : Maillage et bathymétrie/topographie du modèle AVP en aval du pont de Toisinges

## 4.3 Intégration des épis

### 4.3.1 Modification du maillage

La Figure 11 localise les 41 épis et l'emprise de la modification du maillage pour les intégrer au modèle.





Figure 11 : Vue en plan de l'emprise de la reprise du maillage (rouge) et de la localisation des épis (jaune)

Afin de modéliser les épis et d'avoir plus de souplesse lors de la construction du maillage, un maillage régulier en lit mineur a été généré. La taille des mailles a été fixée à 2m longitudinalement et 1.5m transversalement. La Figure 12 présente en vue en plan le maillage régulier inséré dans le modèle global.



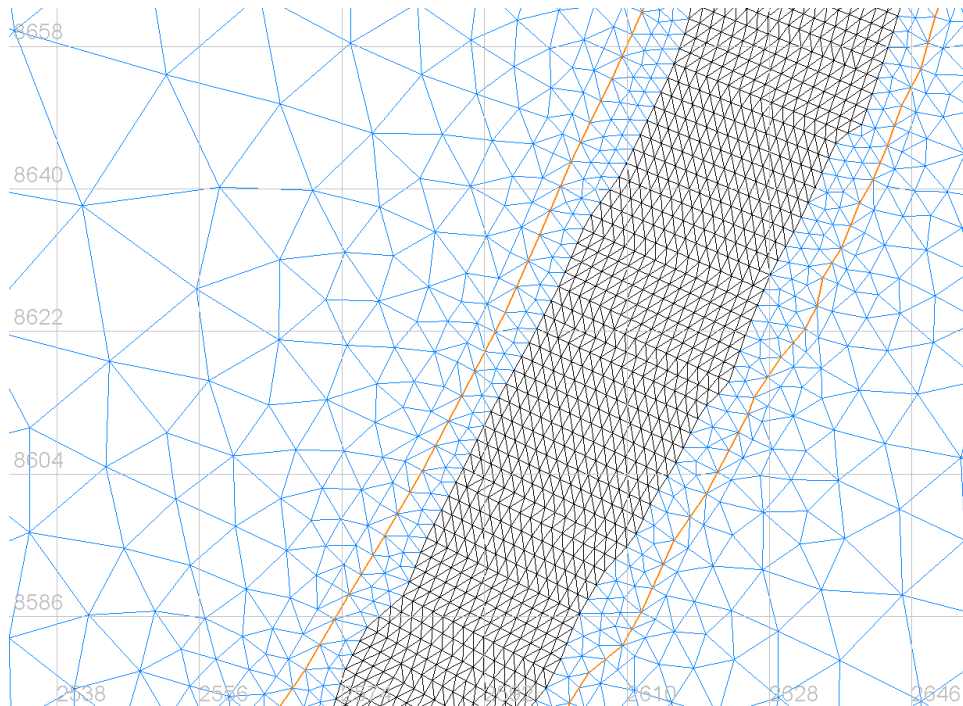


Figure 12 : Vue en plan du maillage complet (bleu), du maillage régulier ajouté (noir) et de la limite de modification du maillage (orange)

### 4.3.2 Correction de la bathymétrie sur les épis

Une fois le maillage adapté, la bathymétrie a été corrigée au niveau des épis. Etant donné la taille des mailles et la taille des épis (voir Figure 6), les niveaux sont modifiés sur 2 rangées longitudinalement de 3 nœuds consécutifs transversalement. L'altitude des nœuds est calculée relativement au niveau moyen de mai (voir les débits dans la partie 2.1.2), conformément à et à la coupe schématique de la Figure 6.

La figure suivante présente le maillage avec le différentiel bathymétrique suite à la correction sur les épis. Comme attendu, on note 6 nœuds par épi, dont l'altitude a été exhaussée.

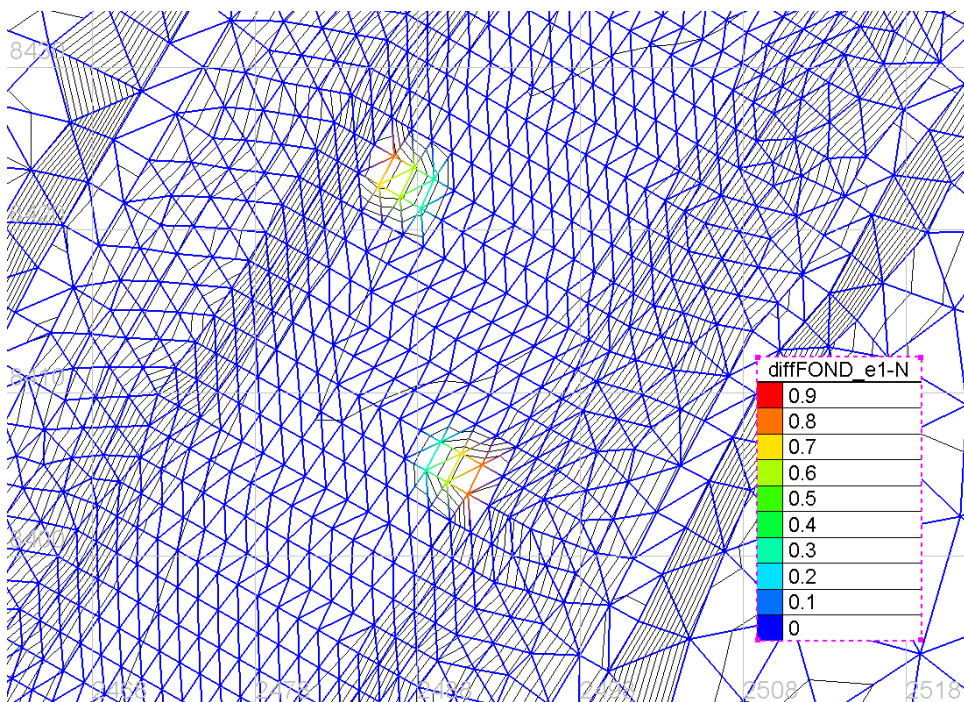


Figure 13 : Vue en plan des corrections altimétriques (en m) appliquées aux épis (et isolignes du nouveau modèle en noir)

## 4.4 Correction altimétrique en rive gauche du pont royal

Au droit du pont royal, le maillage n'a pas été adapté mais la topographie a été revue en rive gauche pour suivre les lignes de contrainte 3D du projet. La Figure 14 présente ces lignes de contrainte 3D sur le maillage Telemac-2D.



Figure 14 : Vue en plan des lignes 3D (en jaune) pour intégrer la modification de la piste cyclable sous le pont royal

## 4.5 Coefficient de frottement du modèle AVP

Le calage du modèle initial (voir la partie 3.4) a été repris en l'état.

Ainsi le coefficient de frottement en lit mineur est pris égal à **22 m<sup>1/3</sup>/s**.

Dans la partie actuellement boisée en rive gauche où un élargissement est prévu (PM 400 à PM200), le Strickler initial de 16 m<sup>1/3</sup>/s a été conservé, cette hypothèse est conservatrice.

## 5 Analyse des résultats

Tous les calculs ont été réalisés avec la version V7P2R0 de Telemac-2D.

Les résultats sont exploités sur la crue décennale (Q10) et la crue centennale (Q100) du Borne (voir les valeurs de débits dans le Tableau 6).



## 5.1 Etude des niveaux d'eau

### 5.1.1 Crue Q10

La crue décennale du Borne a été modélisée sur le modèle précédent (modèle EDD, dit « état actuel ») et le modèle AVP (dit « état projet ») afin de faire des comparaisons. Les 2 lignes d'eau sont superposées sur la Figure 15 et sont comparées en relatif sur la Figure 16.

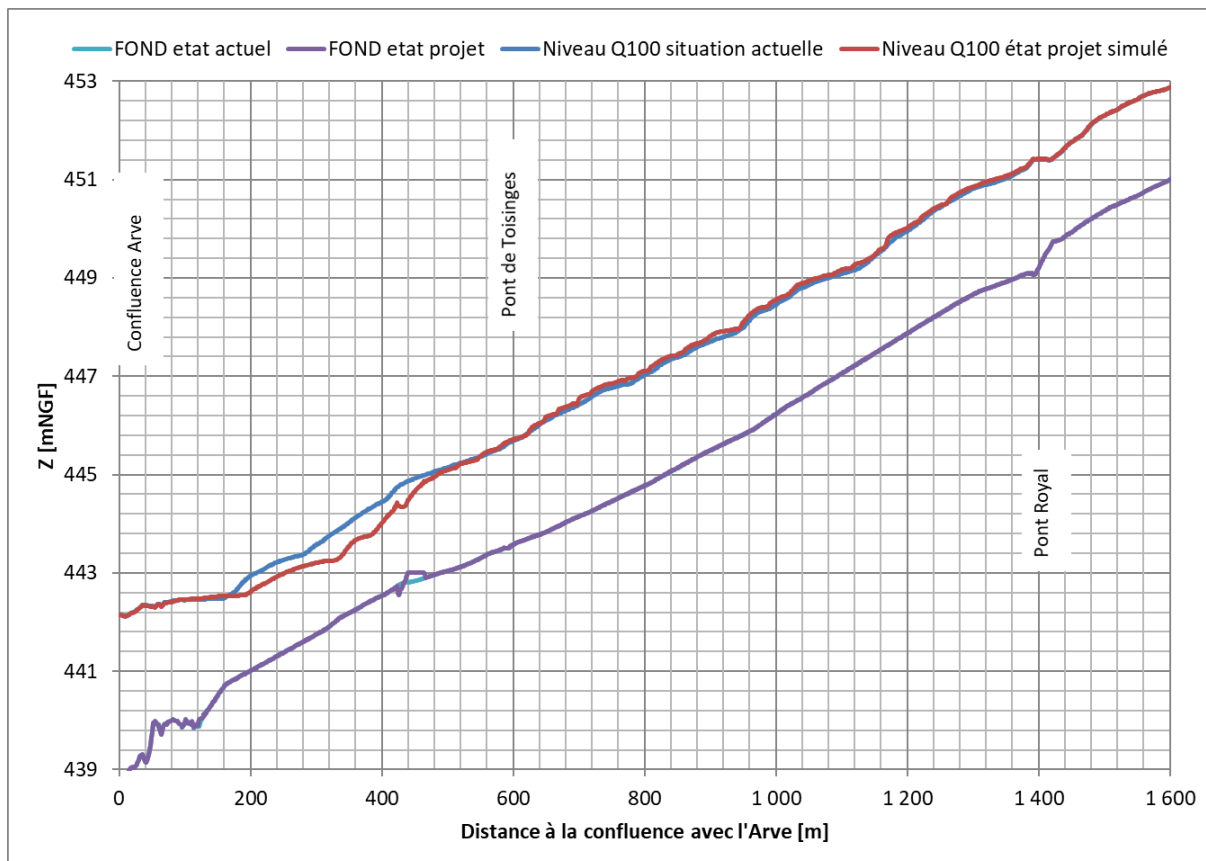


Figure 15 : Profil en long des niveaux d'eau Q10 et du fond

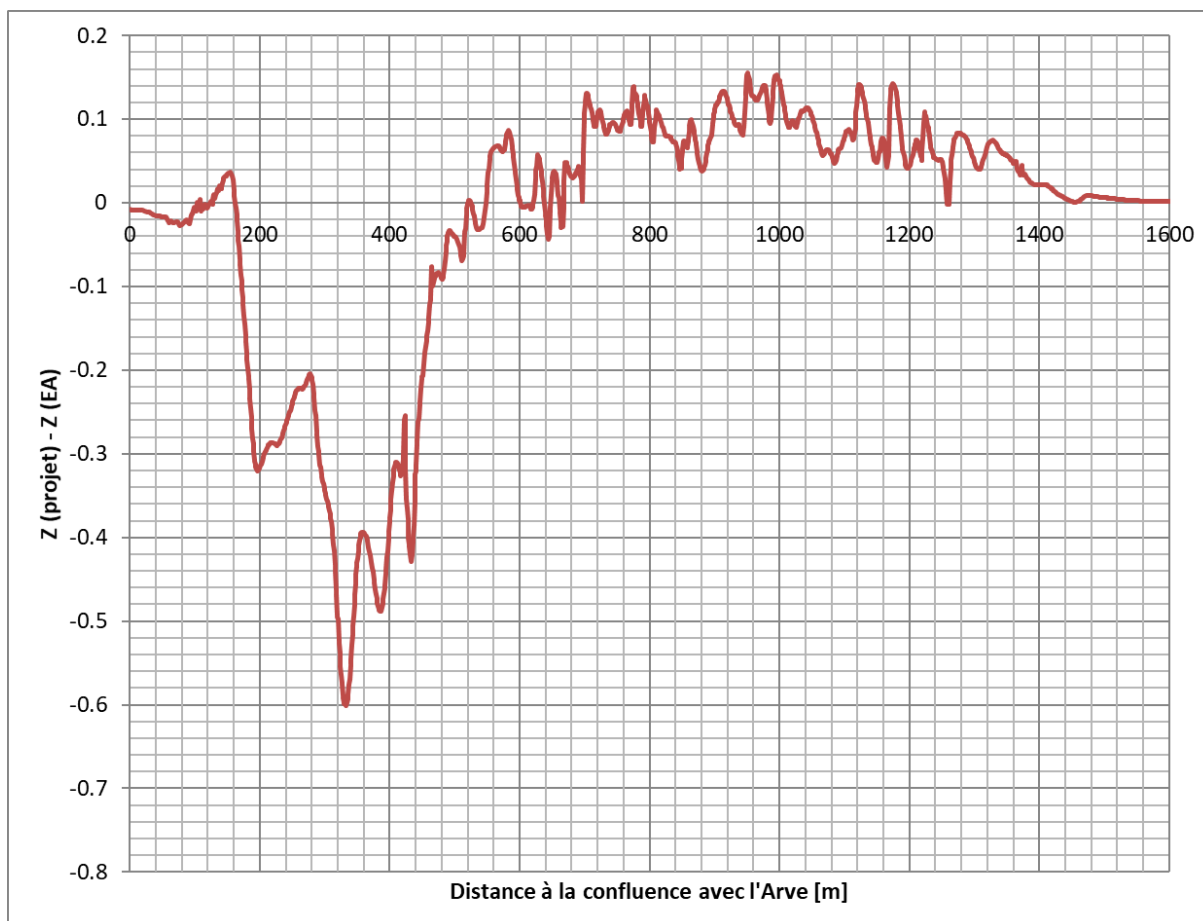


Figure 16 : Profil en long de l'impact en niveau du projet pour la Q10

La comparaison montre que l'impact des épis se cumule sur le linéaire équipé et n'excède pas 15cm localement (autour de PM 1000). Sur le secteur aval, l'élargissement en rive gauche et en rive droite permet d'abaisser significativement la ligne d'eau, allant jusqu'à -60cm.

Au droit du pont royal, les modifications bathymétriques ont un impact négligeable sur la ligne d'eau Q10 (moins de 2cm). Cet impact se superpose avec l'impact amont des épis.

### 5.1.2 Crue Q100

Les mêmes extractions que la crue Q10 sont réalisées sur la crue plus forte Q100. Les 2 lignes d'eau « état actuel » et « état projet » sont superposées sur la Figure 17 et sont comparées en relatif sur la Figure 18.

On note une efficacité plus modérée des épis sur la Q100, avec un exhaussement moins généralisé et aussi plus faible en amplitude que la Q10. Cela s'explique probablement par le fait que les épis sont davantage immergés pour la Q100 et donc en relatif moins impactant sur la ligne d'eau.

En revanche sur la partie aval du pont de Toisinges, la ligne d'eau est davantage abaissée à cause du projet, avec un minimum à -75cm.

A l'amont du pont royal, l'impact reste négligeable en Q100, avec moins de 4cm (impact incluant également le remous causé par les épis).

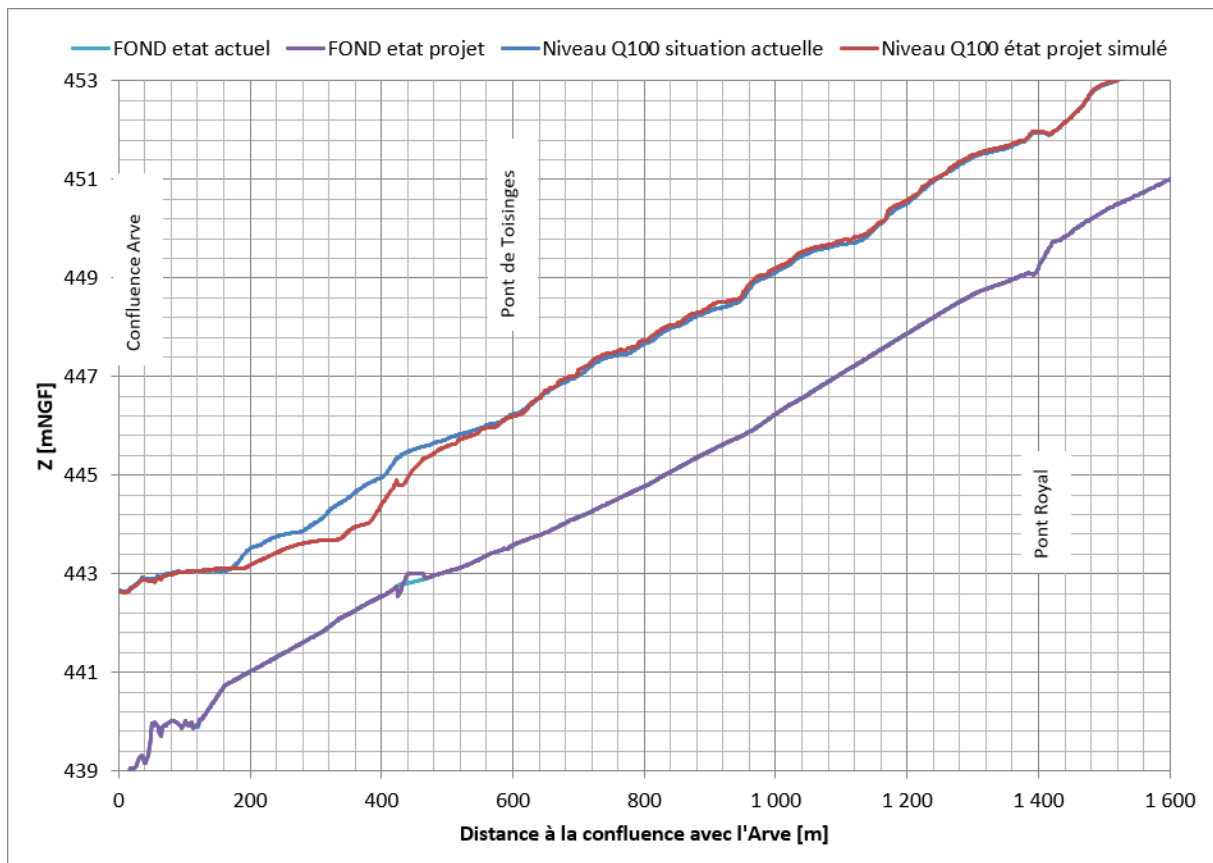


Figure 17 : Profil en long des niveaux d'eau Q100 et du fond

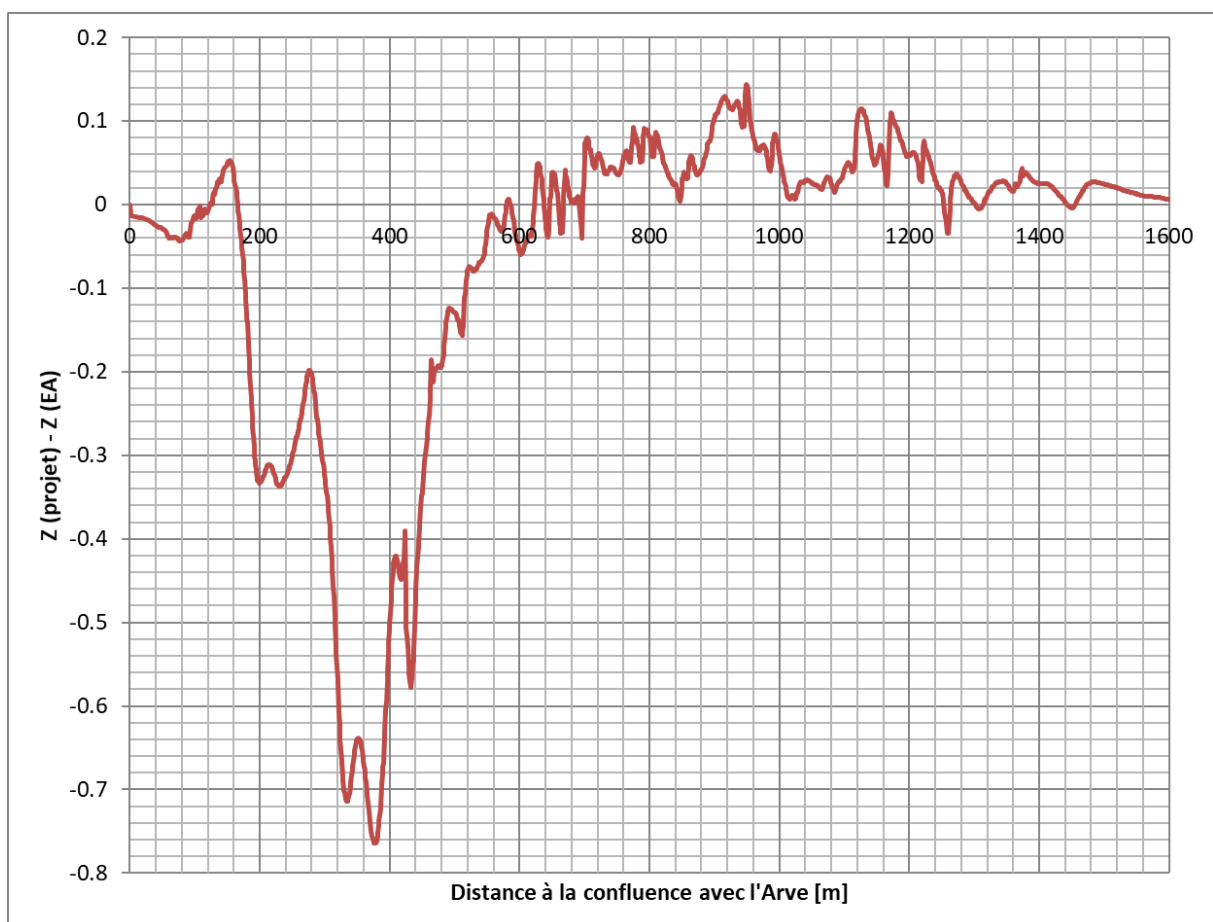


Figure 18 : Profil en long de l'impact en niveau du projet pour la Q100



## 5.2 Etude des vitesses

Etant donné qu'il s'agit d'un modèle hydraulique 2D, les vitesses sont moyennées sur la verticale. Le champ de vitesse scalaire est étudié en plan : longitudinalement et transversalement en traçant plusieurs profils en long à proximité des berges ou au niveau du centre de la rivière.

### 5.2.1 Au milieu de la rivière

Le premier profil en long est réalisé le long de l'axe hydraulique.

#### 5.2.1.1 Crue Q10

L'extraction présentée sur la Figure 19 montre que la vitesse reste globalement autour de 3 m/s pour la crue décennale. En état projet, les vitesses sont nettement abaissées (environ -1 m/s) sur le secteur aval avec l'élargissement.

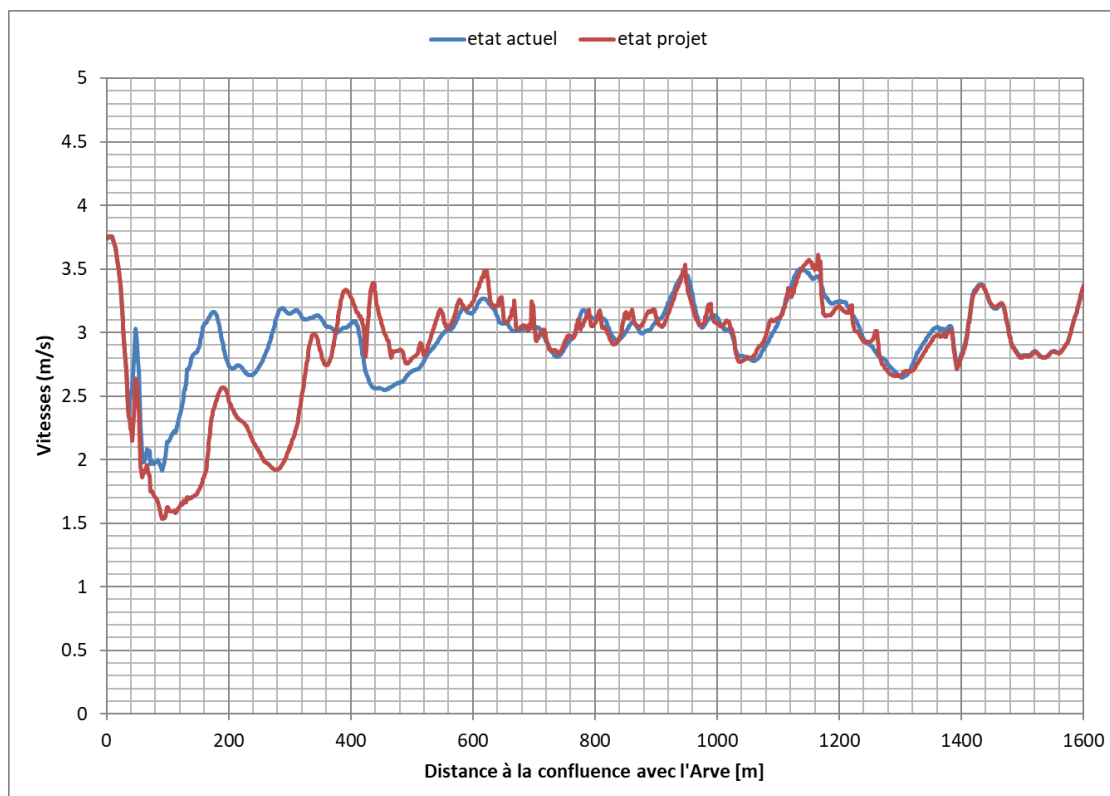


Figure 19 : Profil en long des vitesses de l'état actuel et de l'état projet pour la Q100

#### 5.2.1.2 Crue Q100

Sur la crue centennale, les vitesses au centre de la rivière sont plus fortes, globalement situées entre 3 et 4 m/s, comme le montre la Figure 20. A l'aval, l'impact du projet donne la même tendance que la Q10, avec un ralentissement des écoulements de l'ordre de -1m/s.

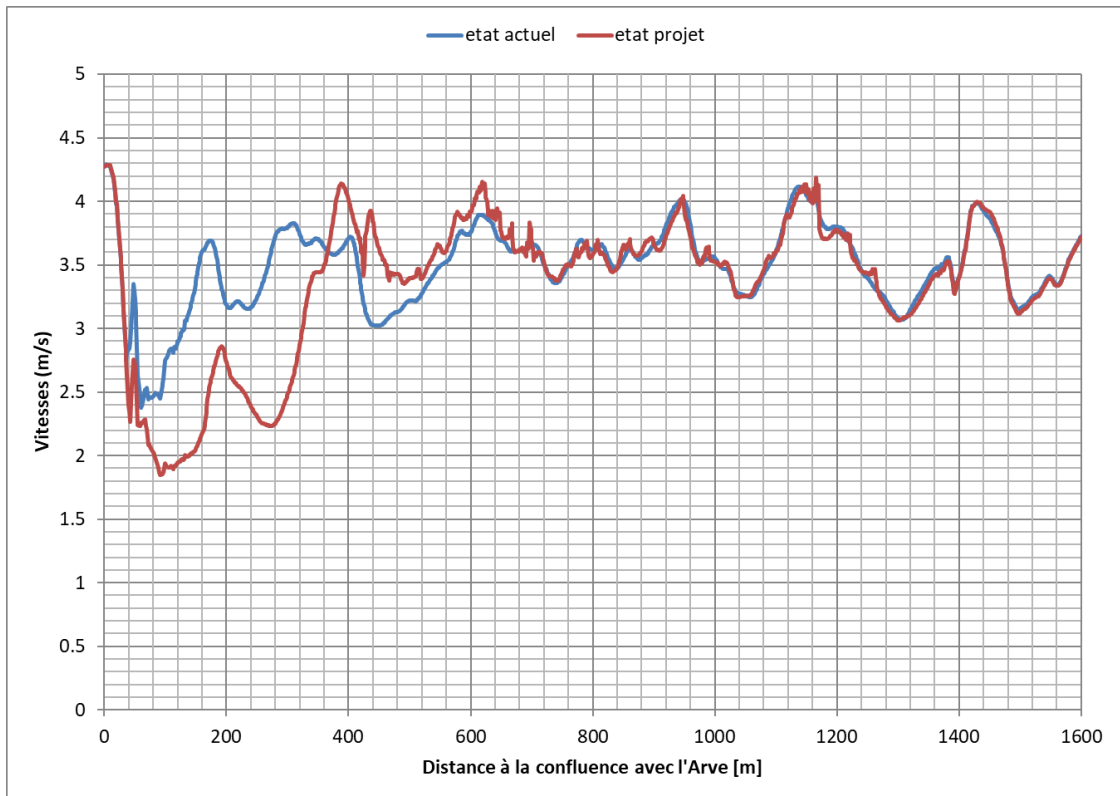


Figure 20 : Profil en long des vitesses de l'état actuel et de l'état projet pour la Q100

## 5.2.2 Au droit des épis

Le long des épis, deux profils en long sont tracés en rive droite et en rive gauche.

### 5.2.2.1 Crue Q10

Les 2 figures suivantes présentent les vitesses Q10 en état actuel et en état projet (avec les épis) pour chacune des 2 rives.

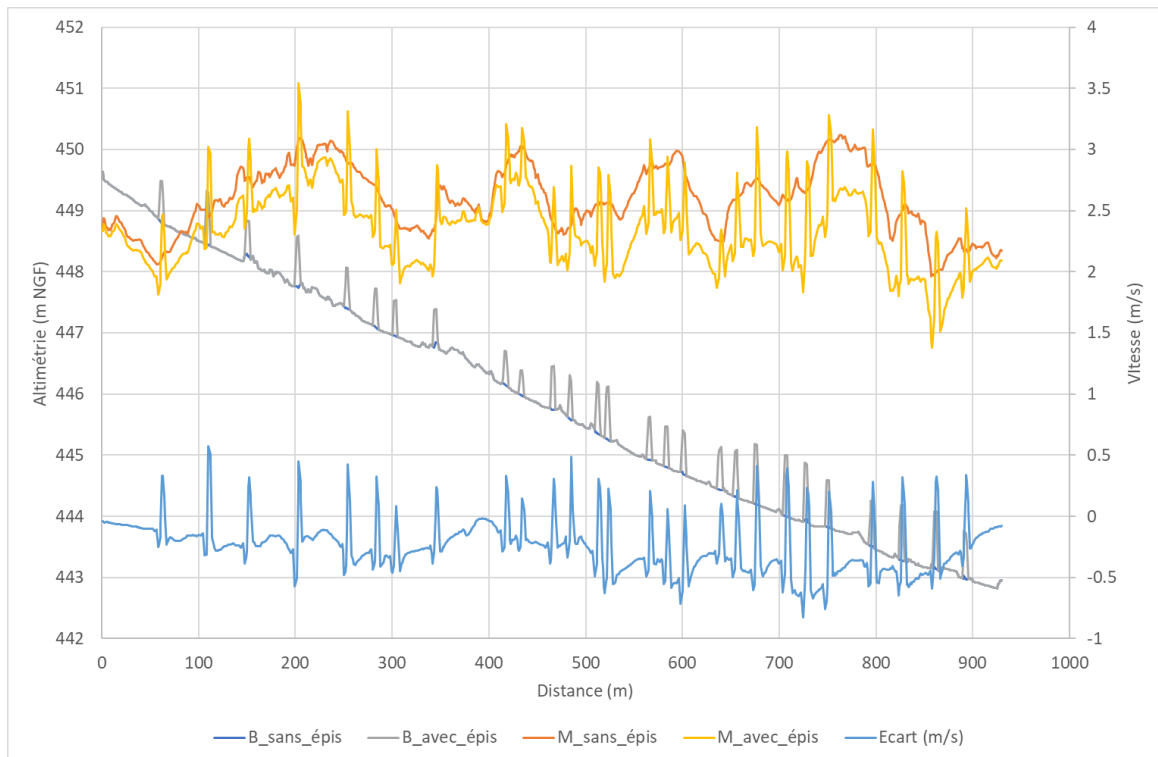


Figure 21 : Profil en long du fond (B) et des vitesses (M) avec et sans épis pour la rive droite en Q10

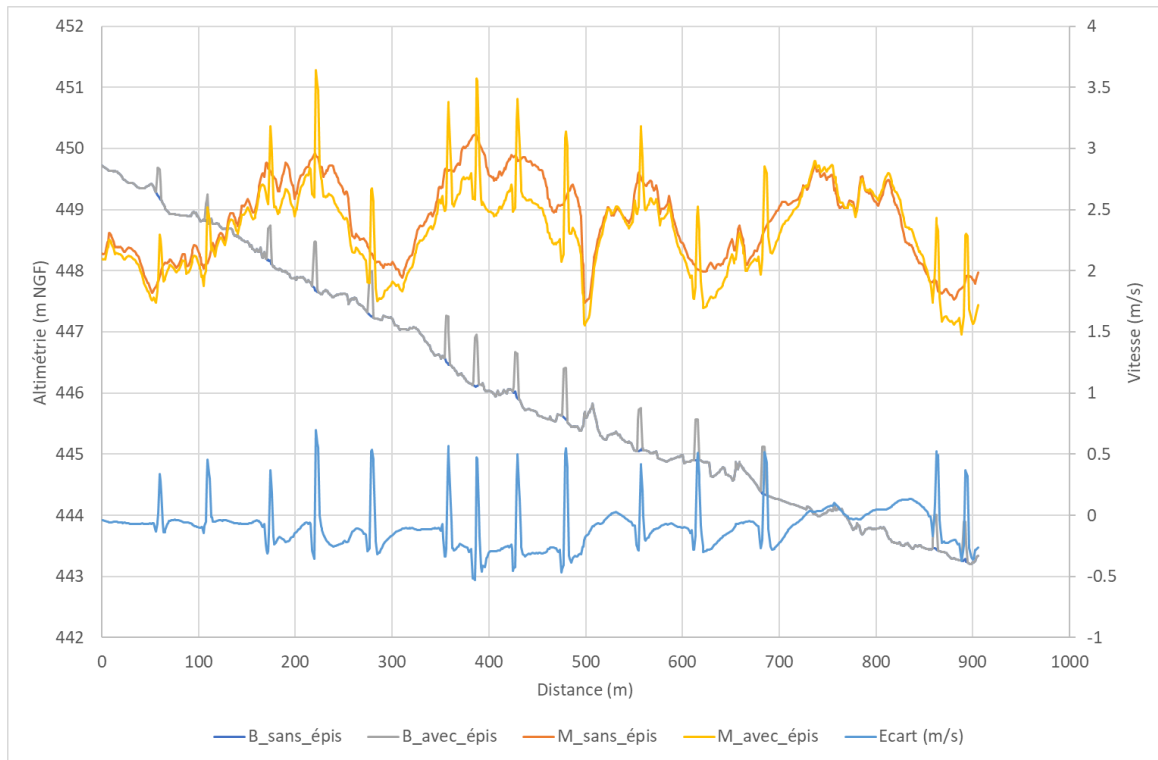


Figure 22 : Profil en long du fond (B) et des vitesses (M) avec et sans épis pour la rive gauche en Q10

En crue décennale, on note une vitesse plus faible à cause des épis (sauf ponctuellement sur les épis). Cette différence est d'autant plus forte qu'il y a une concentration d'épis, c'est ce qui explique l'abaissement plus fort en rive droite (27 épis au lieu de 14). En rive droite, l'écart en vitesse peut atteindre -0.5 m/s par rapport à l'état actuel.

### 5.2.2.2 Crue Q100

La Figure 23 et la Figure 24 présentent l'impact en vitesses le long de la berge rive droite et de la berge rive gauche respectivement, pour la Q100.

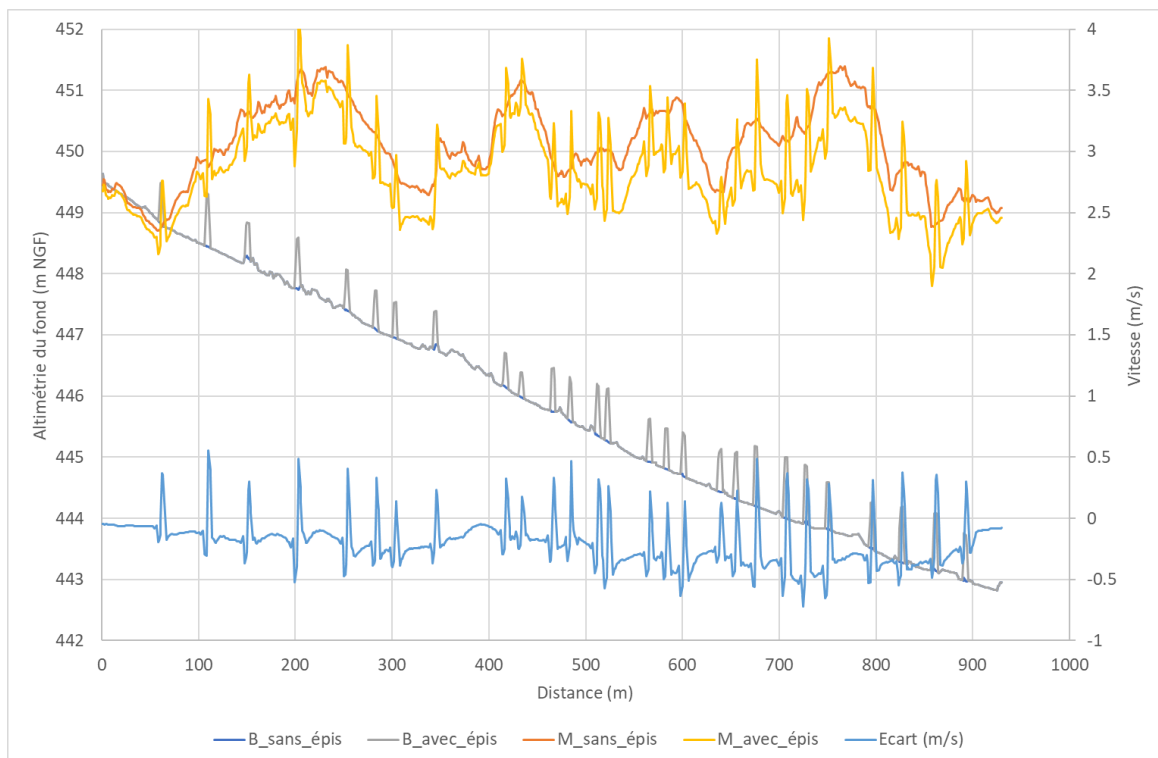


Figure 23 : Profil en long du fond (B) et des vitesses (M) avec et sans épis pour la rive droite en Q100

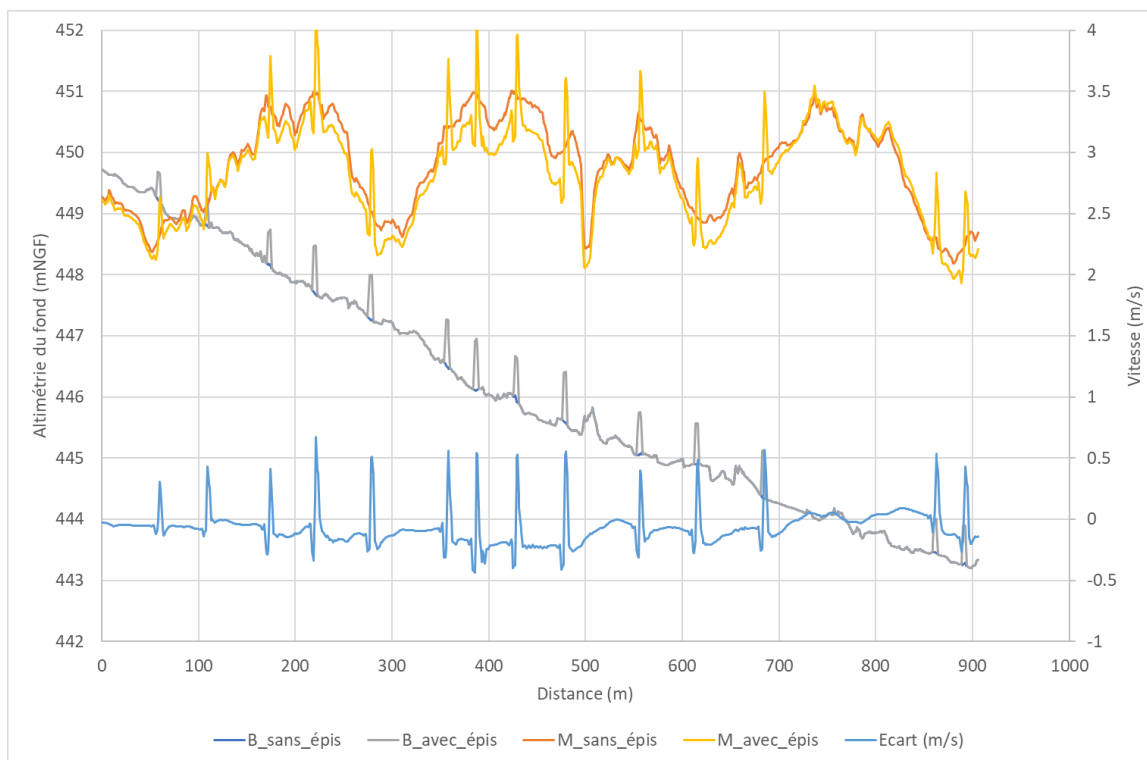


Figure 24 : Profil en long du fond (B) et des vitesses (M) avec et sans épis pour la rive gauche en Q100

Les résultats montrent que les vitesses sont plus fortes que la Q10 et sont proches des valeurs au centre de la rivière (voir Figure 20). Néanmoins en relatif, l'impact des épis sur les vitesses sur la Q10 et la Q100 sont très proches.

## 6 Conclusion

Le modèle Telemac-2D des précédentes EDDs a servi de base aux nouvelles modélisations. Ce modèle a été repris et modifié sur le Borne (du pont royal à la confluence avec l'Arve) pour intégrer l'AVP, en particulier les épis et l'élargissement en aval du pont de Toisings. Les modifications concernent le maillage et la bathymétrie/topographie au niveau du projet (épis et berges). La bathymétrie du lit mineur, le calage hydraulique et les paramètres numériques n'ont pas été modifiés, ce qui a permis de faire des comparaisons entre l'état actuel et l'état projet. Sur l'Arve, le modèle représente l'état actuel, sans intégration de travaux de l'AVP.

Les calculs hydrauliques ont été fait sur la nouvelle hydrologie, issue de l'étude EDF et les analyses concernent essentiellement la crue décennale et la crue centennale (dont le débit de pointe du Borne est estimé à 113.5 et 178.4 m<sup>3</sup>/s respectivement).

Concernant la ligne d'eau, le projet conduit à un exhaussement des niveaux de l'ordre de 10-15cm maximum à cause des épis. En amont du pont royal, l'impact des épis et de la prise en compte de la modification de la piste cyclable, en intégrant l'influence des épis, est très faible, ne dépassant pas 4cm en Q100. En aval du pont de Toisings, l'impact sur les niveaux d'eau est plus marqué : l'élargissement de la section hydraulique conduisant à un abaissement de l'ordre de 75cm en Q100.

Enfin les vitesses 2D dans le secteur ont été étudiées et les analyses montrent que les vitesses sont plutôt homogènes transversalement et varient longitudinalement en fonction du fond et des aménagements. Les épis ralentissent l'écoulement en aval de ceux-ci et leur impact cumulé se situe autour de -0.5 m/s pour la rive droite. En rive gauche, l'impact est moins marqué car les épis sont moins nombreux et donc plus espacés. A l'aval du pont de Toisings, l'élargissement impacte également fortement les vitesses, un ralentissement jusqu'à -1 m/s étant constaté sur le modèle.



## L'énergie au cœur des territoires

2 rue André Bonin  
69316 LYON CEDEX 04 - FRANCE  
Tél. : +33 (0) 472 00 69 69

***[cnr.tm.fr](http://cnr.tm.fr)***

*L'énergie est notre avenir, économisons-la !*

