



CONSEIL DÉPARTEMENTAL DES VOSGES

DIRECTION DES ROUTES ET DU PATRIMOINE

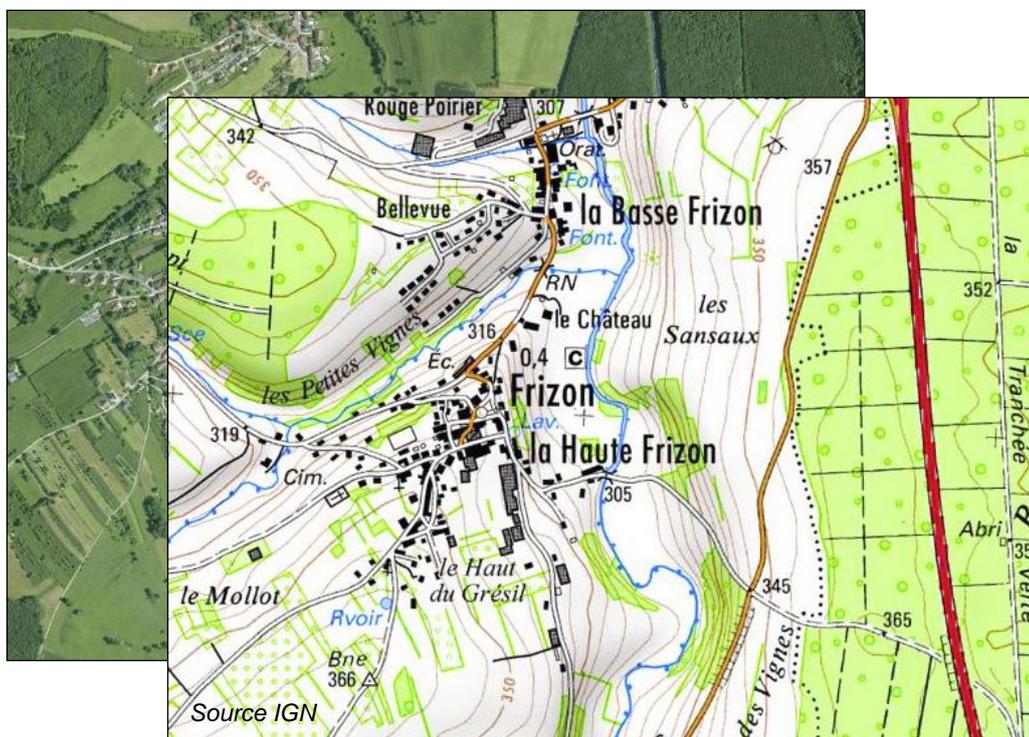
SERVICE INGÉNIERIE ROUTIÈRES

8, RUE DE LA PRÉFECTURE

88088 EPINAL CEDEX 9

CONFORTEMENT DE L'OUVRAGE P1218 (RD6) SUR L'AVIÈRE À FRIZON (88)

NOTE DE CALCULS HYDRAULIQUES VÉRIFICATION DU DIMENSIONNEMENT DE L'AMÉNAGEMENT



Version n°2 - 26 avril 2018

SOMMAIRE

1. PRÉAMBULE	4
2. ETUDE HYDRAULIQUE DES AMÉNAGEMENTS	5
2.1 LOCALISATION DE L'AMÉNAGEMENT	5
2.2 DÉTERMINATION DES DÉBITS DE PROJET	6
2.2.1 Bassin versant de l'Avière	6
2.2.2 Débits de projet	8
2.3 DESCRIPTION DE L'OUVRAGE ET DE L'AMÉNAGEMENT PROJETÉ	9
2.3.1 Ouvrage P1218	9
2.3.2 Secteur d'étude	9
2.3.3 Aménagement projeté	12
2.3.1 Phase travaux.....	14
3. ETUDE HYDRAULIQUE DES AMÉNAGEMENTS	16
3.1 SITUATIONS ÉTUDIÉES	16
3.2 MÉTHODOLOGIE	16
3.3 HYPOTHÈSES	17
3.4 RÉSULTATS DE MODÉLISATION	17
3.4.1 Situation avant aménagement.....	19
3.4.2 Situation après aménagement	21
3.4.3 Situation en phase travaux.....	24
3.5 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE HYDRAULIQUE.....	28
4. ÉTUDE DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE.....	29
4.1 CONTINUITÉ PISCICOLE	29
4.1.1 Contexte et méthodologie	29
4.1.2 Résultats de modélisation	30
4.2 CONTINUITÉ SÉDIMENTAIRE	31
4.3 SYNTHÈSE DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE	31

FIGURES

Figure 1 : Plan de situation (source IGN)	5
Figure 2 : Bassin versant de l'Avière (source AERM).....	7
Figure 3 : Photographies de l'ouvrage P1218	9
Figure 4 : Positionnement des profils en travers	10
Figure 5 : Profil en long de l'Avière (source CD 88)	11
Figure 6 : Plan de l'aménagement de l'ouvrage P1218 (source CD 88).....	13
Figure 7 : Positionnement des batardeaux (source Bonini).....	15
Figure 8 : Comparaison des limites de crue pour le débit exceptionnel – Situation avant aménagement.....	20
Figure 9 : Comparaison des limites de crue pour le débit exceptionnel – Situation initiale et phase travaux.....	27

TABLEAUX

Tableau 1 : Données de la station hydrologique A4632010 (source BanqueHydro).....	6
Tableau 2 : Débits de projet ajustés	8
Tableau 3 : Coefficients de rugosité retenus (Manning).....	17
Tableau 4 : Tableau de résultats de modélisation à l'intérieur de l'ouvrage	18
Tableau 5 : Synthèse des incidences - crue exceptionnelle	23
Tableau 6 : Synthèse des incidences – Étiage Qmna5.....	23
Tableau 7 : Synthèse des incidences pour la phase travaux - crue exceptionnelle	26
Tableau 8 : Synthèse des incidences pour la phase travaux – Étiage Qmna5.....	26

ANNEXES

- Annexe 1 :** Tableaux de résultats de modélisation pour la crue exceptionnelle (Q100 x1.3)
Annexe 2 : Tableaux de résultats de modélisation pour le débit d'étiage quinquennal (Qmna5)
Annexe 3 : Tableaux de résultats de modélisation pour le débit moyen interannuel x2 (Module x2)

1. PRÉAMBULE

Le Conseil Départemental des Vosges a pour projet le confortement de l'ouvrage P1218 situé sur la Route Départementale n°6, sur la commune de Frizon. Cet ouvrage permet le franchissement de la rivière l'Avière.

Cet aménagement prend place dans le cadre de la réalisation d'un itinéraire « 400 tonnes » à destination de l'Union des Industries et Métiers de la Métallurgie (UIMM) et plus particulièrement de l'entreprise CRYO.

L'ouvrage en place ne présentant pas les caractéristiques suffisantes pour le passage des convois, il est envisagé de réaliser un radier en béton armé en forme de U avec parafouilles pour reprendre les efforts de décompression de la pile centrale.

La présente note de calculs a pour objectif de vérifier le dimensionnement hydraulique de l'aménagement. Il s'agit de définir l'incidence de l'ouvrage sur les écoulements de l'Avière en période de crue et en période d'étiage.

Les points suivants seront développés :

- Étude de l'ouvrage en situation initiale
- Étude de l'ouvrage après aménagement
- Étude de l'ouvrage en phase travaux
- Étude de la continuité écologique

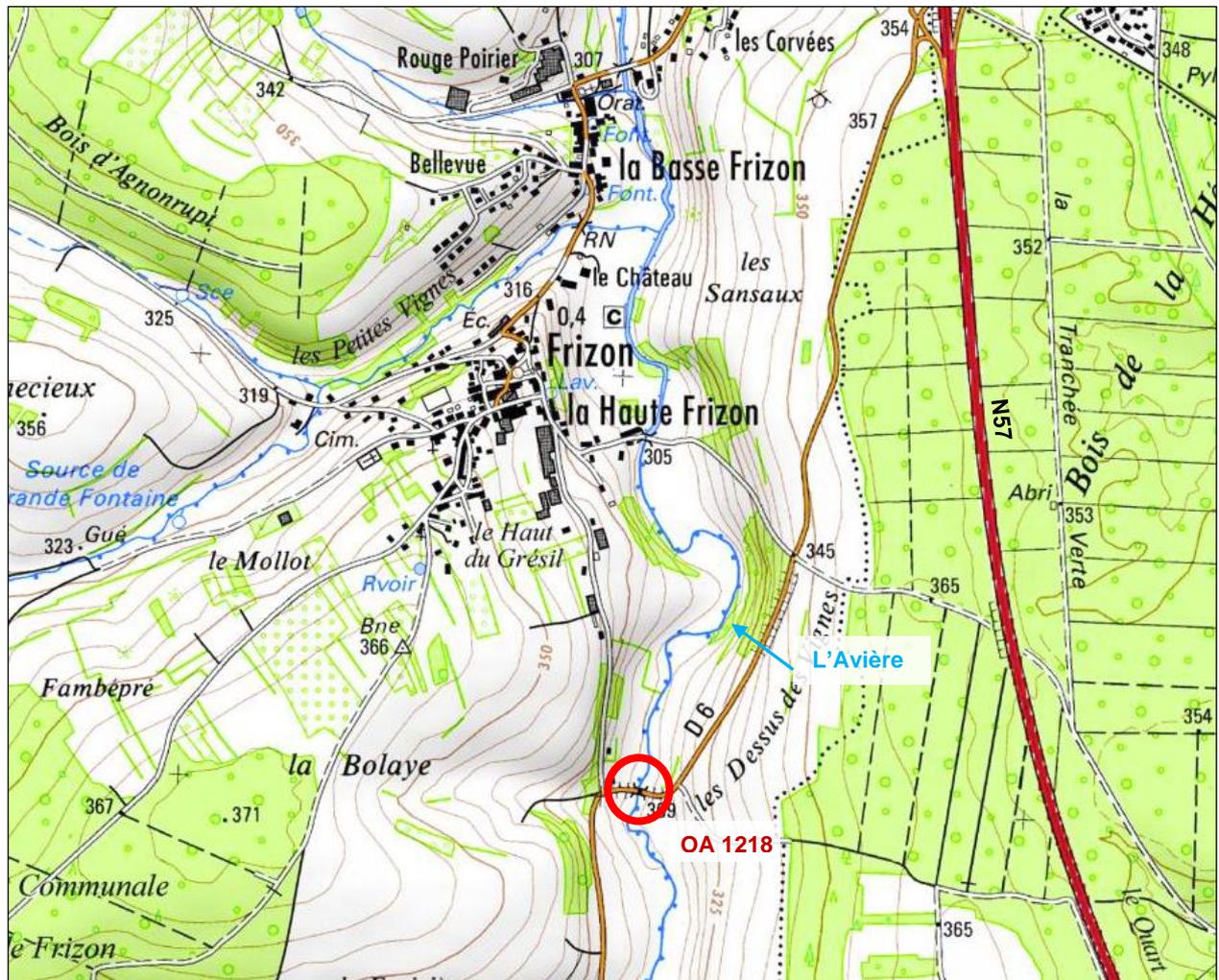
2. ETUDE HYDRAULIQUE DES AMÉNAGEMENTS

2.1 LOCALISATION DE L'AMÉNAGEMENT

L'ouvrage P1218 sur l'Avière est situé sur le territoire communal de Frizon et plus particulièrement sur la route départementale n°6 (PR19+437).

La commune de Frizon est localisée à environ 15 km au nord d'Épinal, à proximité de la RN 57.

Figure 1 : Plan de situation (source IGN)



2.2 DÉTERMINATION DES DÉBITS DE PROJET

2.2.1 Bassin versant de l'Avière

Le cours d'eau l'Avière prend naissance sur le territoire communal de Renauvoid dans les Vosges. Il s'écoule vers le nord pour confluer en rive gauche avec la Moselle, après un parcours d'environ 28 km.

Son bassin versant présente une superficie globale de 108.9 km².

Ce bassin versant est coupé sur sa partie amont par le Canal de l'Est (branche sud). L'étang-réservoir de Bouzey, servant notamment à l'alimentation du Canal, est positionné en barrage sur l'Avière (environ 2 km de sa naissance).

Une station hydrologique est positionnée sur l'Avière à Frizon, en aval de la traversée du bourg (station A4632010). Les données caractéristiques du cours d'eau à cette station sont les suivantes :

Tableau 1 : Données de la station hydrologique A4632010 (source BanqueHydro)

Code station	A4632010
Disponibilité des données	1970- 2017 (Intervalle de confiance : 95 %)
Superficie du bassin versant à la station	105 km ²

Débits caractéristiques (Loi de Galton - Données calculées sur 48 ans)	
Module (débit moyen interannuel)	1.3 m ³ /s
QMNA2 (débit d'étiage biennal)	0.310 m ³ /s
QMNA5 (débit d'étiage quinquennal)	0.240 m ³ /s

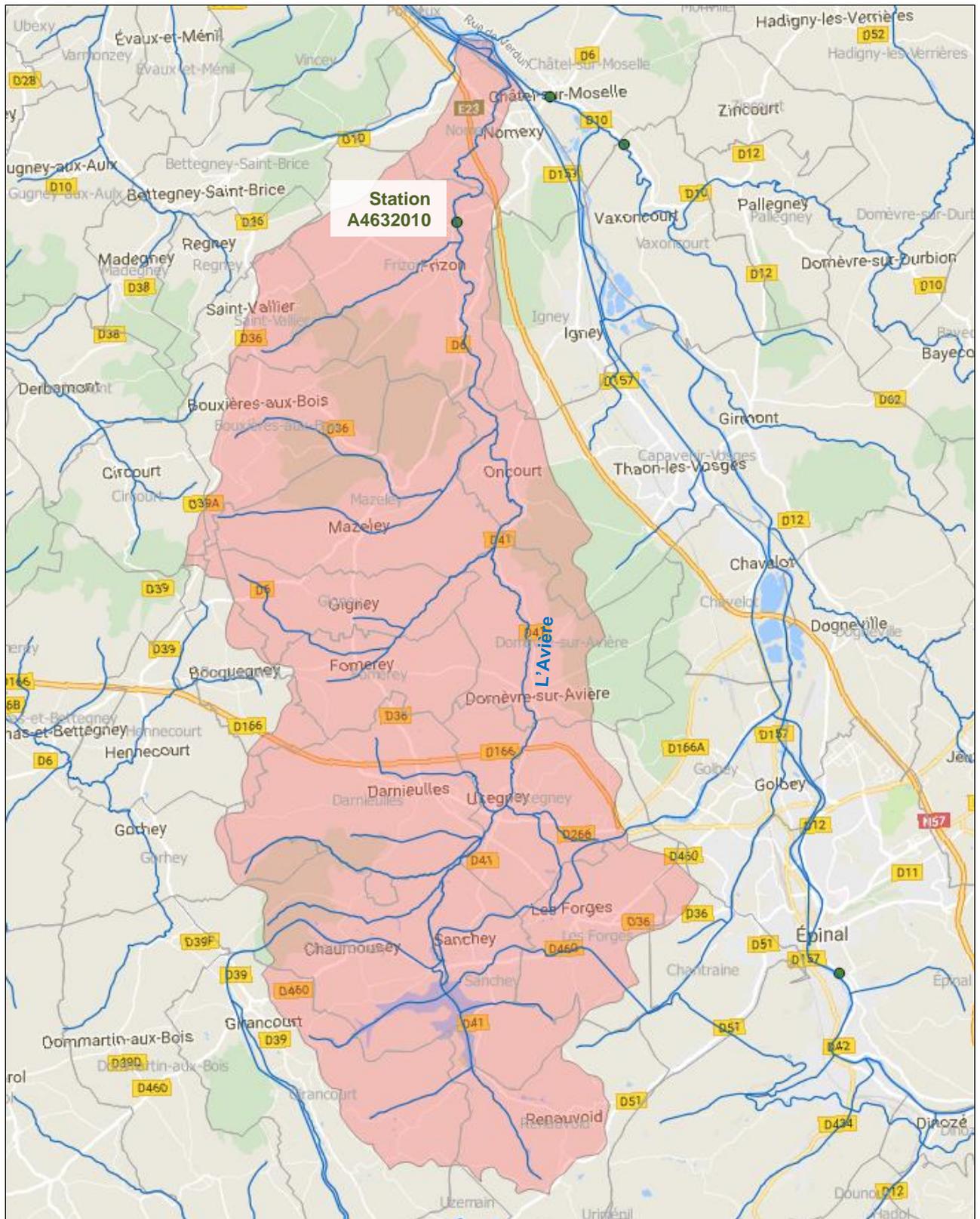
Débits de crue (débit instantané maximal) (Loi de Gumbel - Données calculées sur 46 ans)	
Débit de crue biennale	23 m ³ /s
Débit de crue quinquennale	35 m ³ /s
Débit de crue décennale	42 m ³ /s
Débit de crue vicennale	49 m ³ /s
Débit de crue cinquantennale	58 m ³ /s
Débit de crue centennale	Non calculée

Le débit le plus important enregistré à cette station est de 75.40 m³/s, le 3 octobre 2006.

Par manque d'observation répétée d'évènements exceptionnels, la valeur de débit centennal n'est pas définie. Une extrapolation des données existantes via une courbe de tendance de type logarithmique permet une estimation du débit centennal à cette stations : **66 m³/s**.

En page suivante, le plan du bassin versant de l'Avière :

Figure 2 : Bassin versant de l'Avière (source AERM)



2.2.2 Débits de projet

L'incidence des aménagements projetés sur les écoulements de l'Avière seront définis pour le débit de crue dit « exceptionnel », correspondant au débit de crue centennal multiplié par un coefficient de 1.3.

Les conditions d'écoulement à l'étiage quinquennal (Qmna5) seront également étudiées, en particulier pour l'évaluation de l'incidence sur la continuité écologique.

La station hydrologique de Frizon est positionnée en aval de l'ouvrage P1218 et intègre les écoulements du ruisseau le Poinçot, dont la confluence avec l'Avière se fait en rive gauche, dans le centre de Frizon (bassin versant de 105 km²).

Le bassin versant de l'Avière au droit de l'ouvrage P1218 est de **94.3 km²**.

Les débits de projet sont calculés sur la base du débit spécifique défini pour chaque débit étudié (ratio des surfaces respectives à la station et au droit de l'ouvrage).

Le calcul pour le débit de crue exceptionnelle est le suivant :

- Le débit spécifique pour la période de retour centennale à la station A4632010 est de 0.629 m³/s/km² :

$$66 \text{ m}^3/\text{s} / 105 \text{ km}^2 = 0.629 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2 \quad \text{soit } 0.0063 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ha}$$

- Ce débit spécifique appliqué au droit de l'ouvrage P1218 donne un débit de projet centennal de 59.3 m³/s :

$$0.629 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2 \times 94.3 \text{ km}^2 = \mathbf{59.3 \text{ m}^3/\text{s}}$$

- Le débit de dimensionnement (débit exceptionnel) est par conséquent de 77.1 m³/s :

$$59.3 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.3 = \mathbf{77.1 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Les différents débits caractéristiques définis de manière similaire sont les suivants :

Tableau 2 : Débits de projet ajustés

Débits caractéristiques	
QMNA2 (débit d'étiage biennal)	0.278 m ³ /s
QMNA5 (débit d'étiage quinquennal)	0.216 m ³ /s
Module (débit moyen interannuel)	1.17 m ³ /s

Débits de crue (débit instantané maximal)	
Débit de crue annuelle	14.9 m ³ /s
Débit de crue centennale	59.3 m ³ /s
Débit exceptionnel (débit de dimensionnement)	77.1 m ³ /s

2.3 DESCRIPTION DE L'OUVRAGE ET DE L'AMÉNAGEMENT PROJETÉ

2.3.1 Ouvrage P1218

L'ouvrage P1218 se présente sous la forme d'un ouvrage composé de 2 arches d'une largeur de 8 m, et d'une hauteur maximale d'environ 5.40 m.

En basses eaux, on note la présence de banquettes latérales qui se sont formées à l'intérieur des 2 arches.

Figure 3 : Photographies de l'ouvrage P1218

Vue depuis l'amont



Vue depuis l'aval



2.3.2 Secteur d'étude

Le tronçon de l'Avière étudié s'étend sur une longueur de 130 m, réparti sur 65 m en amont et en aval de l'ouvrage.

Le cours d'eau sur ce secteur présente une pente moyenne de 0.28%. On note la présence d'un bas fond (surcreusement) en sortie de l'ouvrage, probablement dû à l'accélération des écoulements transitant dans l'ouvrage.

Le profil en long est visible sur le profil de rendu de modélisation en figure 5.

Le tronçon étudié a été découpé en **14 profils en travers**, du profil n°1000 en aval au profil n°1009.4 en amont. Ces profils ont été définis sur la base des relevés topographiques et bathymétriques locaux.

Le positionnement des profils en travers est visible sur le plan de rendu de modélisation en figure 4.

Figure 4 : Positionnement des profils en travers

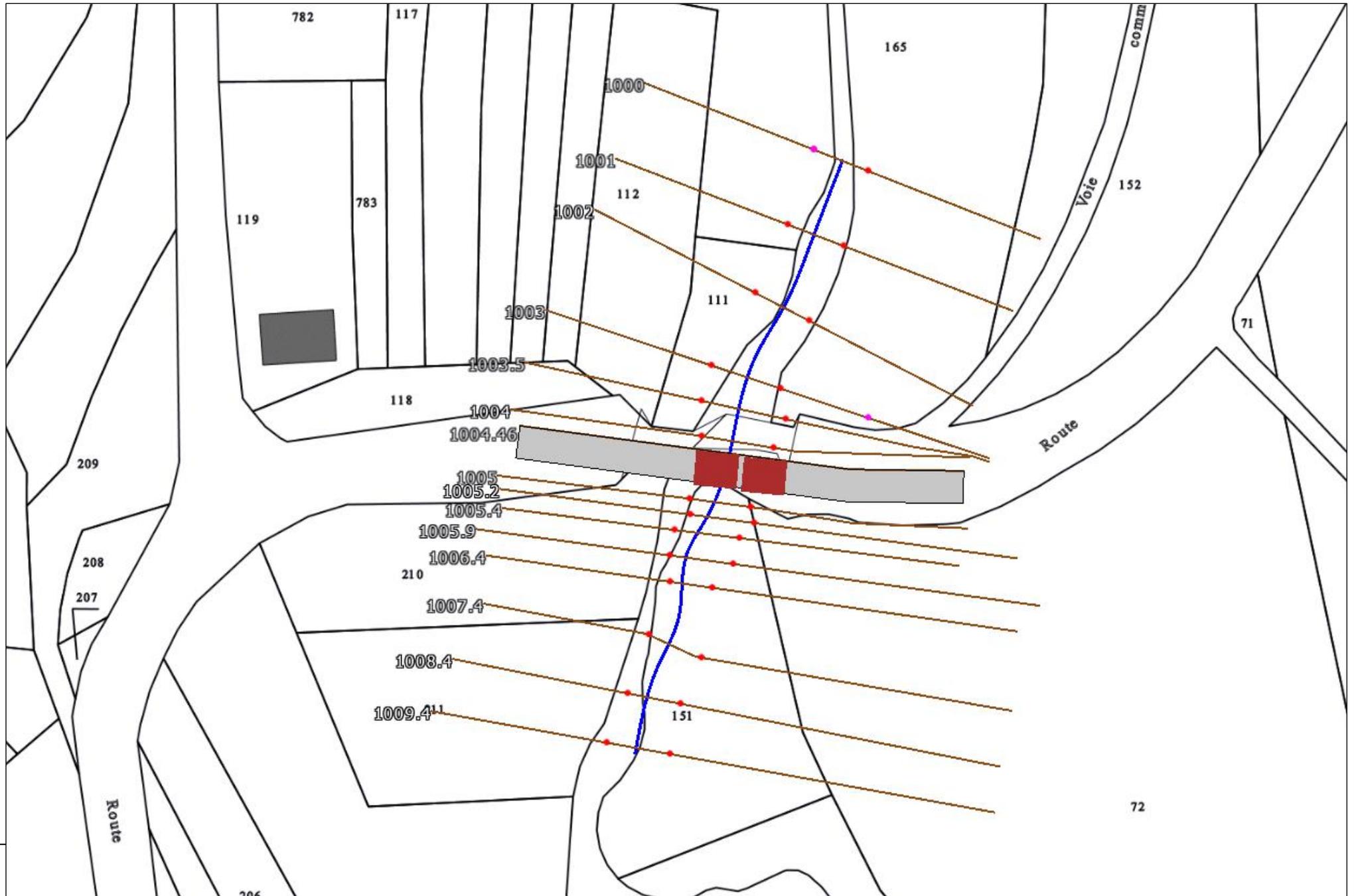
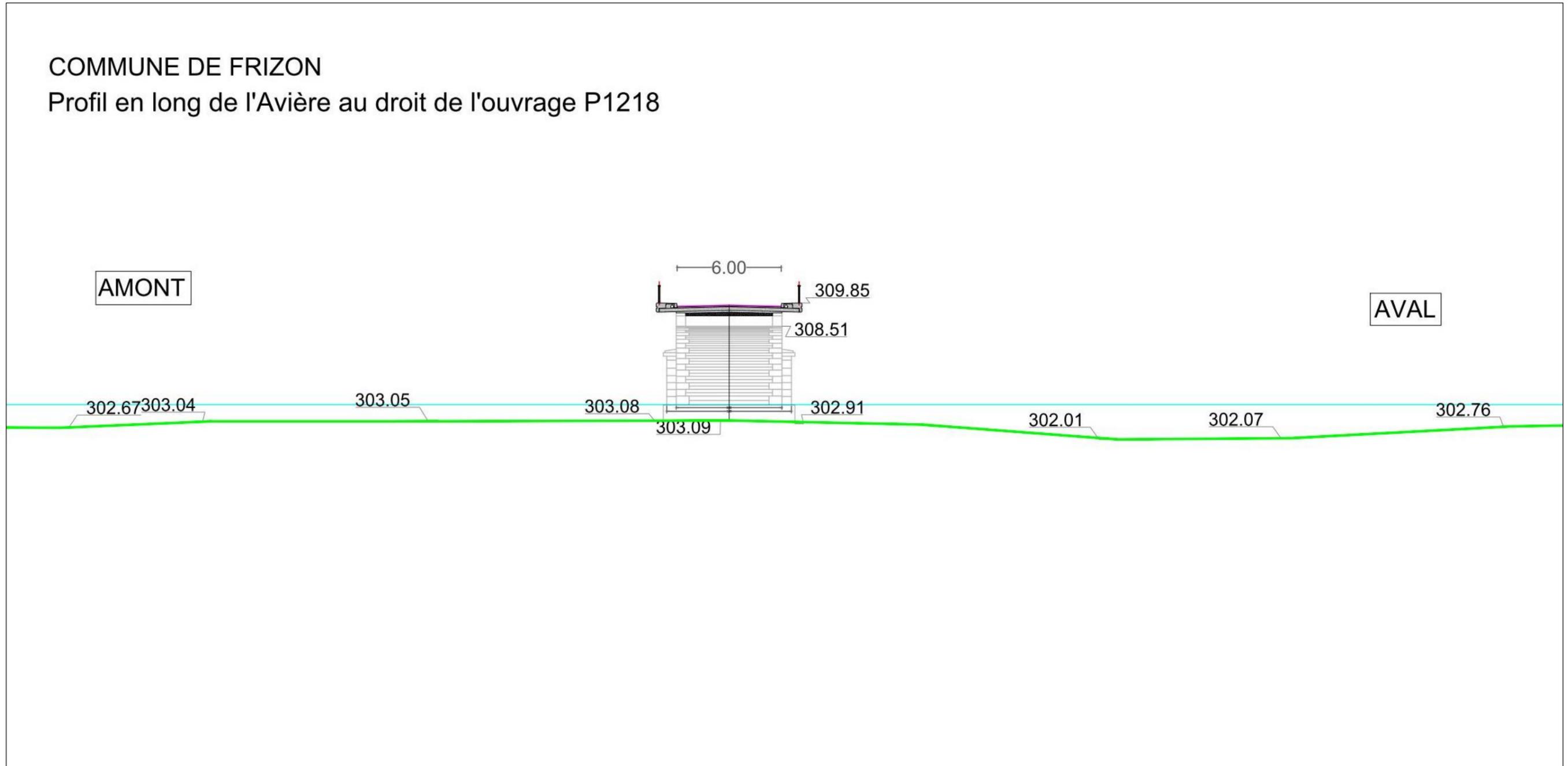


Figure 5 : Profil en long de l'Avière (source CD 88)



2.3.3 Aménagement projeté

L'aménagement projeté correspond à la mise en place d'un radier en béton armé en forme de U avec parafouilles.

Le projet comprend les interventions suivantes :

- Le retrait des banquettes naturelles qui se sont formées par le dépôt de sédiments sous les 2 voutes de l'ouvrage.
- La mise en place du radier béton au droit des 2 sections à une profondeur d'au minimum 30 cm sous la cote du fond de lit mineur initial.
- Une recharge sédimentaire sur 30 cm d'épaisseur en fond de l'ouvrage réaménagé. Il s'agit maintenir la continuité du fond de lit mineur. Les cotes altimétriques du radier de l'ouvrage et des sédiments sont calées par rapport à la pente initiale du cours d'eau.
- Un chenal d'étiage sera formé au centre de chaque section de l'ouvrage pour concentrer les écoulements en période d'étiage et éviter leur étalement.

Le reste de la structure de l'ouvrage existant n'est pas modifié : longueur couverte de l'ouvrage, toit des voutes, épaisseur tablier...

Le scénario étudié correspond à la remise en place des matériaux (banquettes / berges) retirés pour la mise en place des radiers. La section d'écoulement après aménagement sera légèrement réduite par rapport à la situation avant aménagement du fait des montant latéraux du radier en U.

La cote du fond de lit mineur après aménagement (y compris apport de sédiments) est calée sur la pente naturelle du cours d'eau (fond à la cote de 302.91 m en sortie). Cette cote correspond à cote du fond de lit en situation avant aménagement.

L'aménagement présente les dimensions présentées sur la coupe en page suivante. Les matériaux retirés et remis en place sont représentés en gris.

2.3.1 Phase travaux

La phase travaux comprend la mise en place de batardeaux en amont et aval de l'ouvrage.

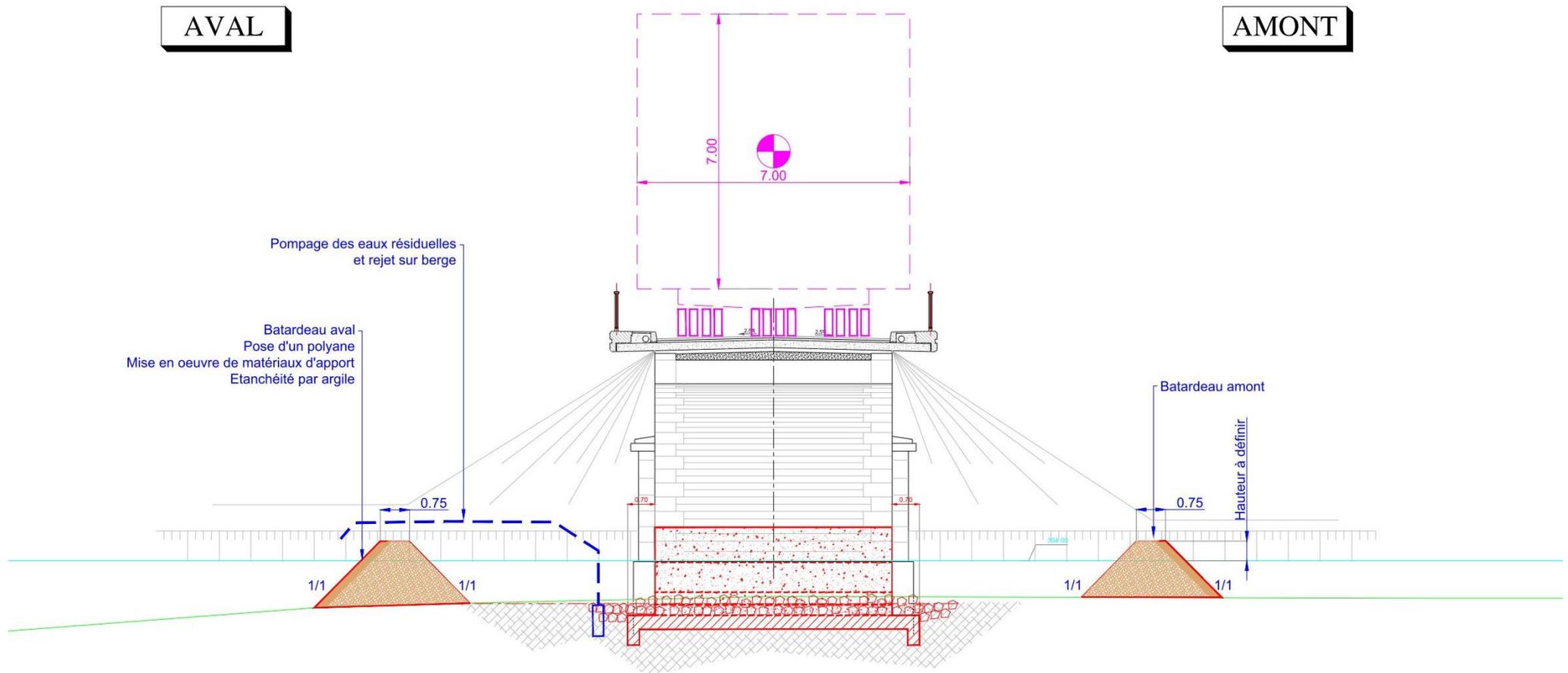
Ces batardeaux ont pour objectif d'isoler chacune des 2 sections d'écoulement, de manière alternée. Une section d'écoulement sera toujours libre pendant les travaux, afin de maintenir la continuité hydraulique et la continuité écologique.

Les batardeaux seront calés altimétriquement à la cote de la crue annuelle à laquelle est ajouté une marge de sécurité de 10 cm (cf. chapitre Étude hydraulique, Phase travaux).

Figure 7 : Positionnement des batardeaux (source Bonini)

COUPE TRANSVERSALE A-A

Echelle 1/100



3. ETUDE HYDRAULIQUE DES AMÉNAGEMENTS

3.1 SITUATIONS ÉTUDIÉES

Afin de définir l'incidence du projet, les 4 situations suivantes sont étudiées :

- **Situation avant aménagement** : il s'agit de la situation actuelle au moment de la présente étude. Les caractéristiques de l'ouvrage et du lit mineur correspondent aux levés topographiques et bathymétriques réalisés sur site.
- **Situation après aménagement** : il s'agit de la situation après mise en place des radiers bétons sous les 2 voutes de l'ouvrage, et la remise en place sous l'ouvrage des matériaux retirés dans le lit mineur.
- **Situation en phase travaux** : il s'agit de la situation une fois mis en place les batardeaux temporaires nécessaires à la réalisation de l'aménagement.

3.2 MÉTHODOLOGIE

L'influence de l'ouvrage et de l'aménagement projeté sur les écoulements est définie par l'intermédiaire d'une modélisation hydraulique réalisée avec le logiciel HEC-RAS, modèle hydraulique monodimensionnel adapté aux écoulements à surface libre.

L'incidence est déterminée sur la base des préconisations du Guide Technique de l'Assainissement Routier (SETRA, 2006).

Les critères à respecter pour définir la transparence hydraulique des ouvrages de rétablissement sont les suivants :

- Un taux de remplissage à l'intérieur de l'ouvrage de **75 % maximum** (tirant d'air de 25 % minimum) pour la crue de référence : ici il s'agit de la crue dite exceptionnelle (1.3 x Q100).
- Une vitesse d'écoulement de **4 m/s maximum** dans les ouvrages béton ou maçonnerie, afin d'éviter une usure prématurée de l'ouvrage.
- Une **absence de submersion de l'ouvrage** (déversement au-dessus de l'ouvrage) et une absence d'impact vis à vis des enjeux locaux.
- Une **absence de ressaut hydraulique** en entrée ou sortie de l'ouvrage, ainsi qu'une absence de chute, pour limiter l'apparition d'affouillements.

Du fait de l'absence de cote de crue répertoriée sur le tronçon considéré, le modèle hydraulique n'est pas calé. Par conséquent, des hypothèses défavorables concernant en particulier les coefficients de rugosité sont retenus.

Une modélisation hydraulique reste théorique. Elle permet avant tout d'orienter les choix d'aménagement et de définir l'incidence des aménagements projetés.

3.3 HYPOTHÈSES

Le fond du lit et les berges immédiates sont formés de galets et de sable, avec une prédominance d'éléments fins. Quelques arbres sont positionnés en haut de berge, autant en amont qu'en aval de l'ouvrage. Le lit majeur est ensuite composé de pré en herbe.

Le tableau suivant présente les valeurs de rugosité (Manning, « n ») retenues pour le lit mineur et le lit majeur :

Tableau 3 : Coefficients de rugosité retenus (Manning)

Situation	n
Lit mineur	0.04
Lit majeur – rive gauche et rive droite	0.05

Aucun embâcle ou obstacle non pérenne n'est pris en compte.

3.4 RÉSULTATS DE MODÉLISATION

Les tableaux de résultats sur l'ensemble du linéaire étudié sont joints en **annexe 1 et 2**.

Le tableau des résultats de modélisation à l'intérieur de l'ouvrage pour les différentes situations étudiées est visible en page suivante.

Tableau 4 : Tableau de résultats de modélisation à l'intérieur de l'ouvrage

	Situation initiale				Situation après aménagement				Situation en phase travaux			
	Qmna5	Module	Crue annuelle	Crue exept. (Q100x1.3)	Qmna5	Module	Crue annuelle	Crue exept. (Q100x1.3)	Qmna5	Module	Crue annuelle	Crue exept. (Q100x1.3)
Cote du toit de la voute (m)	308.5	308.5	308.5	308.5	308.5	308.5	308.5	308.5	308.5	308.5	308.5	308.5
Cote radier (y compris sédiments) (m)	303.09	303.09	303.09	303.09	303.00	303.00	303.00	303.00	303.09	303.09	303.09	303.09
Hauteur de section (m)	5.41	5.41	5.41	5.41	5.5	5.5	5.5	5.5	5.41	5.41	5.41	5.41
Cote du niveau d'eau dans l'ouvrage (m)	303.34	303.68	305.05	306.06	303.34	303.68	305.05	306.07	303.34	303.68	305.07	306.18
Hauteur d'eau (m)	0.25	0.59	1.96	2.97	0.34	0.68	2.05	3.07	0.25	0.59	1.98	3.09
Taux de remplissage	5%	11%	36%	55%	6%	12%	37%	56%	5%	11%	37%	57%
Tirant d'air	95%	89%	64%	45%	94%	88%	63%	44%	95%	89%	63%	43%
Vitesse d'écoulement dans l'ouvrage (m/s)	0.05	0.12	0.48	1.71	0.03	0.09	0.45	1.62	0.05	0.12	0.48	1.64

Les tableaux de résultats complets sur l'ensemble du linéaire étudié pour la crue exceptionnelle et le Qmna5 sont joints en **annexe 1 et 2**.

3.4.1 Situation avant aménagement

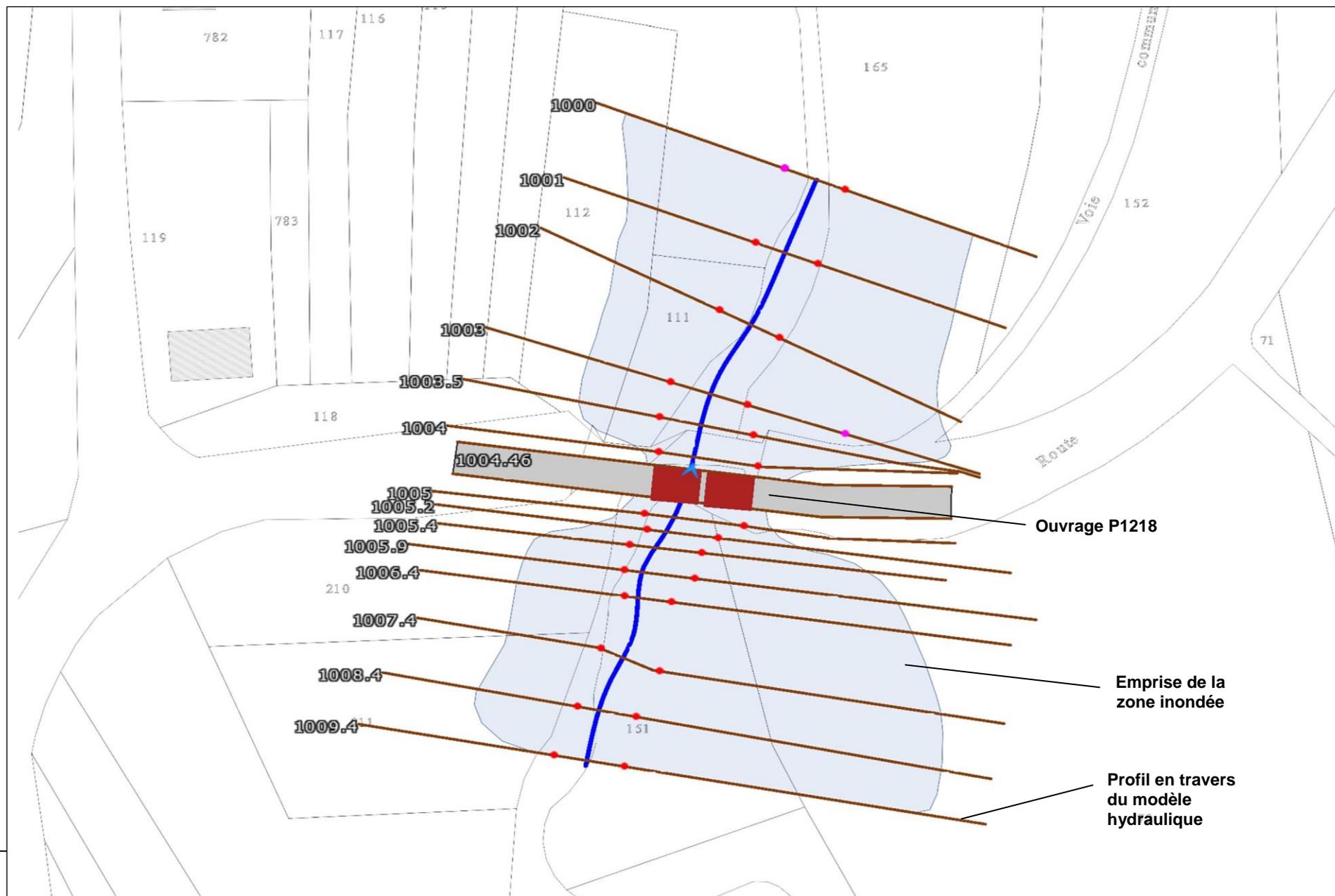
Pour le débit centennal et le débit exceptionnel, on observe un débordement du cours d'eau dans son lit majeur, autant en amont qu'en aval de l'ouvrage. Cette expansion de crue s'étend majoritairement en rive droite, le relief en rive gauche étant plus marqué.

L'écoulement emprunte les 2 voutes de l'ouvrage.

Il n'y a aucune construction ou installation (habitation, bâtiment quelconque, ...) dans le périmètre inondé. La seule habitation située à proximité de l'ouvrage est positionnée coté aval de l'ouvrage, à environ 75 m en rive gauche, en haut de talus et hors de la zone inondable.

En page suivante l'emprise de la zone inondée en situation avant aménagement.

Figure 8 : Comparaison des limites de crue pour le débit exceptionnel – Situation avant aménagement



3.4.2 Situation après aménagement

Les tableaux de synthèse des incidences sur les écoulements sont visibles en pages suivantes.

Les tableaux complets des résultats sont joints en **annexe 1 et 2**.

- Pour le débit de de crue exceptionnelle :

Les résultats concernant la validation du dimensionnement de l'ouvrage pour le débit dit exceptionnel (Q100 x 1.3) en situation après aménagement sont les suivants :

- On observe que **le taux de remplissage dans l'ouvrage pour le débit de dimensionnement reste inférieur à 75%**. Le tirant d'air est de **44%**.
- La vitesse d'écoulement est de **1.62 m/s**, **ce qui reste inférieur à la valeur maximale de 4 m/s préconisée**.
- **Aucun ressaut hydraulique n'est mis en évidence** en entrée ou sortie d'ouvrage (ligne d'eau régulière). Le régime d'écoulement reste fluvial aussi bien en amont qu'en aval et dans l'ouvrage.

Les incidences de l'aménagement sur les écoulements en crue sont les suivantes :

- À l'intérieur de l'ouvrage :
 - La ligne d'eau à l'intérieur de l'ouvrage augmente très légèrement d'environ 1 cm par rapport à la situation avant aménagement.
 - La vitesse d'écoulement dans l'ouvrage diminue pour passer de 1.71 m/s en situation initiale, à 1.62 m/s après aménagement.
- En amont et aval de l'ouvrage :
 - On observe une augmentation ponctuelle de la ligne d'eau de 4 cm en entrée d'ouvrage par rapport à la situation avant aménagement (profil n°1005), jusqu'à environ 5 m en amont de l'ouvrage. A ce profil la vitesse diminue de 0.71 m/s.
 - On observe une augmentation ponctuelle de la ligne d'eau de 1 cm en sortie d'ouvrage par rapport à la situation initiale (profil n°1004), jusqu'à environ 3 m en aval de l'ouvrage. A ce profil la vitesse diminue de 0.35 m/s.
 - Au-delà des profils n°1005 en amont et n°1004 en aval, pas de variation sensible de la hauteur d'eau ou de la vitesse d'écoulement (variation supérieure à 1 cm ou 0.01 m/s).
 - Les variations en amont et aval immédiat de l'ouvrage n'entraînent aucune variation des limites d'expansion de crue (aucune extension de la zone inondée). Aucune construction ou installation sensible n'est située dans le périmètre inondable

- **Pour le débit d'étiage Qmna5 :**

Pour le débit d'étiage quinquennal (Qmna5), le modèle hydraulique indique une hauteur d'eau de 34 cm et une vitesse d'écoulement de 0.03 m/s dans l'ouvrage après aménagement.

Les incidences de l'aménagement sur les écoulements à l'étiage sont les suivantes :

L'aménagement n'a aucune incidence sensible sur la ligne d'eau à l'intérieur de l'ouvrage par rapport à la situation avant aménagement.

La vitesse d'écoulement diminue légèrement pour passer de 0.05 m/s avant aménagement, à 0.03 m/s après aménagement.

En amont immédiat de l'ouvrage, la vitesse diminue très légèrement de 0.03 m/s.

En pages suivantes, les tableaux de synthèse pour le débit de dimensionnement et le débit d'étiage quinquennal :

Tableau 5 : Synthèse des incidences - crue exceptionnelle

Situation après projet						
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)	Incidence / Sit. Avant projet	
					Cote crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	Q_except	77.1	306.3	1.21	0	0
1008.4	Q_except	77.1	306.28	1.35	0	0.01
1007.4	Q_except	77.1	306.27	1.38	0	0.01
1006.4	Q_except	77.1	306.23	1.71	0	0.01
1005.9	Q_except	77.1	306.22	1.56	0	0
1005.4	Q_except	77.1	306.21	1.57	0	0
1005.2	Q_except	77.1	306.08	2.13	0	0
1005	Q_except	77.1	306.06	2.03	0.04	-0.28
Ouvrage P1218	Q_except	77.1	306.07	1.62	0.01	-0.09
1004	Q_except	77.1	305.98	2.09	-0.01	0.08
1003.5	Q_except	77.1	306.05	1.43	0	0
1003	Q_except	77.1	306.06	1.4	0	0
1002	Q_except	77.1	306.04	1.48	0	0
1001	Q_except	77.1	306.01	1.64	0	0
1000	Q_except	77.1	305.98	1.77	0	0

Tableau 6 : Synthèse des incidences – Étiage Qmna5

Situation après projet						
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)	Incidence / Sit. Avant projet	
					Cote crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	Qmna5	0.22	303.38	0.22	0	0
1008.4	Qmna5	0.22	303.38	0.1	0	0
1007.4	Qmna5	0.22	303.37	0.16	0	0
1006.4	Qmna5	0.22	303.36	0.42	0	0
1005.9	Qmna5	0.22	303.34	0.38	0	0
1005.4	Qmna5	0.22	303.34	0.16	0	0.01
1005.2	Qmna5	0.22	303.33	0.32	-0.01	0.01
1005	Qmna5	0.22	303.33	0.18	0	-0.03
Ouvrage P1218	Qmna5	0.22	303.34	0.03	0	-0.02
1004	Qmna5	0.22	303.34	0.16	0	0.06
1003.5	Qmna5	0.22	303.34	0.04	0	0
1003	Qmna5	0.22	303.34	0.03	0	0
1002	Qmna5	0.22	303.34	0.04	0	0
1001	Qmna5	0.22	303.33	0.14	0	0
1000	Qmna5	0.22	303.32	0.35	0	0

3.4.3 Situation en phase travaux

La situation en phase travaux correspond à la situation avant aménagement, à laquelle a été ajoutée les batardeaux en amont et aval de l'ouvrage au droit d'une des 2 sections voutées. Ces batardeaux ont pour objectif d'isoler jusqu'à la crue annuelle chacune des sections de l'ouvrage alternativement pendant la durée des travaux.

La cote supérieure des batardeaux est calée sur la cote de la crue annuelle de l'Avière augmentée d'une marge de sécurité de 10 cm.

La modélisation des écoulements pour la crue de période de retour 1 an indique une cote de crue de 305.07 m. La cote supérieure préconisée pour les batardeaux est de **305.17 m NGF minimum**.

- **Pour le débit de de crue exceptionnelle :**

Les incidences de l'aménagement sur les écoulements en crue (Q100 x1.3) sont les suivantes :

- À l'intérieur de l'ouvrage :
 - Pour la crue exceptionnelle, les batardeaux mis en place en amont et aval de l'ouvrage sont submergés.
 - La mise en place des batardeaux au droit d'une des 2 sections entraine une hausse globale du niveau d'eau de 12 cm à l'intérieur de l'ouvrage par rapport à la situation avant aménagement.
 - La vitesse d'écoulement dans l'ouvrage diminue légèrement pour passer de 1.71 m/s en situation initiale, à 1.64 m/s.
 - Dans cette configuration l'ouvrage n'est pas submergé : le taux de remplissage est de 57 % (55 % en situation initiale).
- En amont et aval de l'ouvrage :
 - On observe une augmentation d'une hauteur maximale de 35 cm de la ligne d'eau en amont de l'ouvrage par rapport à la situation avant aménagement. Cette influence sur la ligne d'eau se fait ressentir jusqu'à environ 100 m en amont de l'ouvrage. Aucune construction ou installation sensible n'est présente dans ce périmètre.
 - Sur ce linéaire, la vitesse d'écoulement diminue d'environ 0.30 m/s, à l'exception de l'entrée de l'ouvrage (batardeau amont) où la vitesse augmente de 1.3 m/s pour atteindre 3.62 m/s.
 - En aval de l'ouvrage, aucune influence des batardeaux n'est observée, à l'exception de la sortie immédiate de l'ouvrage (batardeau aval) où la ligne d'eau baisse ponctuellement de 27 cm et la vitesse augmente 1.49 m/s pour atteindre 3.5 m/s.
 - L'augmentation de la ligne d'eau entraine une extension de la zone inondée en amont de l'ouvrage. Cette extension est comprise entre 3 et 4 m en rives gauche et droite (extension latérale totale inférieure à 10 m).
 - Aucune construction ou installation sensible n'est située dans le périmètre inondable.

Le plan comparatif des zones inondables est visible en figure 9.

- **Pour le débit d'étiage Qmna5 :**

Pour le débit d'étiage quinquennal (Qmna5), le modèle hydraulique indique une hauteur d'eau de 25 cm et une vitesse d'écoulement de 0.05 m/s dans l'ouvrage après mise en place des batardeaux.

Les incidences de l'aménagement sur les écoulements à l'étiage sont les suivantes :

L'aménagement n'a aucune incidence sensible sur la ligne d'eau et la vitesse à l'intérieur de l'ouvrage.

En amont de l'ouvrage, les batardeaux entraînent une hausse de la ligne d'eau d'environ 3 cm sur environ 20 m par rapport à la situation avant aménagement. Sur ce même linéaire, les vitesses d'écoulement diminuent légèrement.

Aucune incidence sensible n'est relevée en aval de l'ouvrage.

En pages suivantes, les tableaux de synthèse pour le débit de dimensionnement et le débit d'étiage quinquennal :

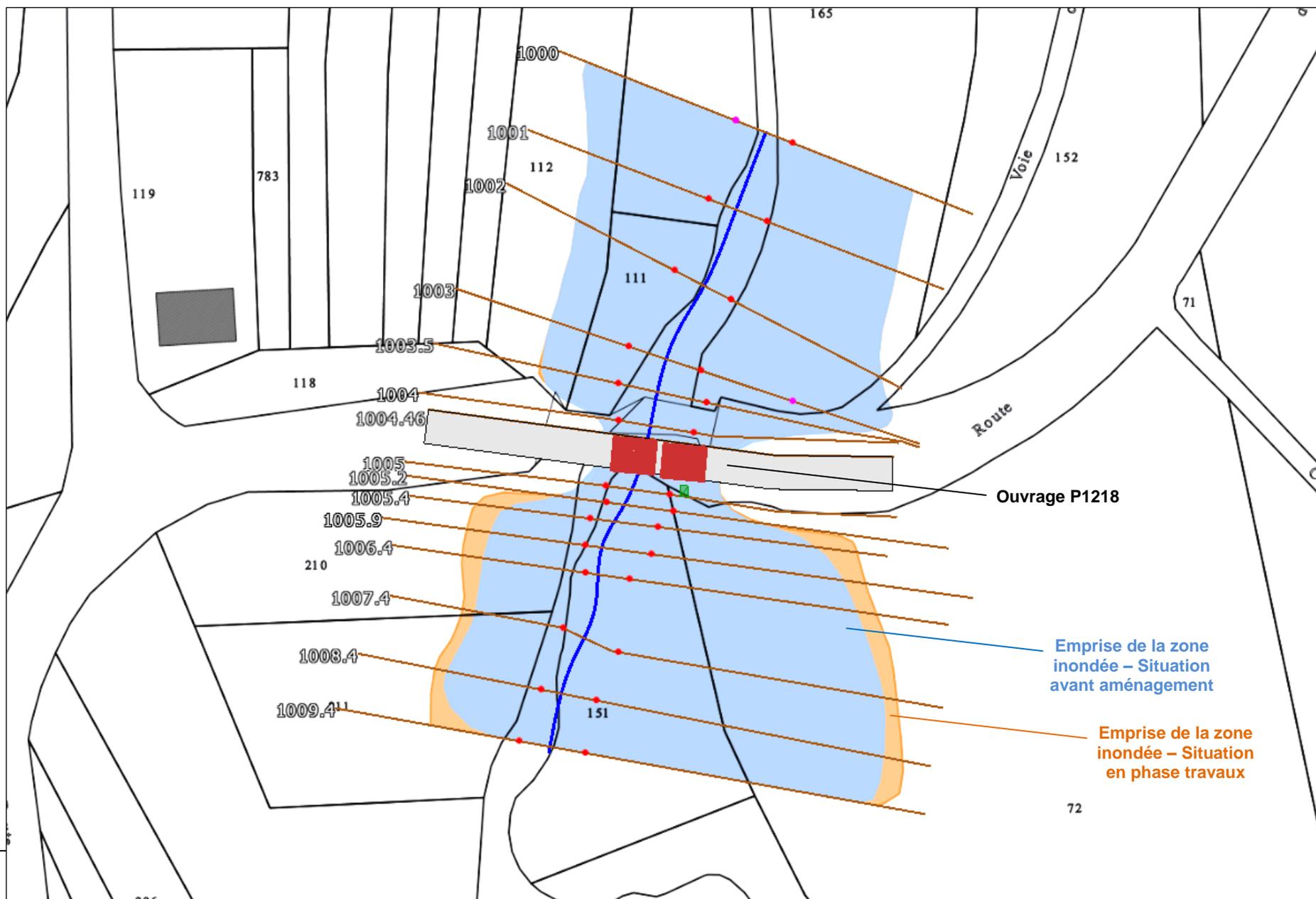
Tableau 7 : Synthèse des incidences pour la phase travaux - crue exceptionnelle

Situation en phase travaux						
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)	Incidence / Sit. Avant projet	
					Cote crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	Q_except	77.1	306.57	0.98	0.27	-0.23
1008.4	Q_except	77.1	306.56	1.08	0.28	-0.26
1007.4	Q_except	77.1	306.56	1.11	0.29	-0.26
1006.4	Q_except	77.1	306.54	1.33	0.31	-0.37
1005.9	Q_except	77.1	306.53	1.25	0.31	-0.31
1005.4	Q_except	77.1	306.52	1.26	0.31	-0.31
1005.2	Q_except	77.1	306.43	1.81	0.35	-0.32
1005	Q_except	77.1	305.92	3.62	-0.1	1.31
Ouvrage P1218	Q_except	77.1	306.18	1.64	0.12	-0.07
1004	Q_except	77.1	305.72	3.5	-0.27	1.49
1003.5	Q_except	77.1	306.05	1.43	0	0
1003	Q_except	77.1	306.06	1.4	0	0
1002	Q_except	77.1	306.04	1.48	0	0
1001	Q_except	77.1	306.01	1.64	0	0
1000	Q_except	77.1	305.98	1.77	0	0

Tableau 8 : Synthèse des incidences pour la phase travaux – Étiage Qmna5

Situation en phase travaux						
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)	Incidence / Sit. Avant projet	
					Cote crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	Qmna5	0.22	303.39	0.2	0.01	-0.02
1008.4	Qmna5	0.22	303.39	0.09	0.01	-0.01
1007.4	Qmna5	0.22	303.39	0.15	0.02	-0.01
1006.4	Qmna5	0.22	303.38	0.37	0.02	-0.05
1005.9	Qmna5	0.22	303.37	0.31	0.03	-0.07
1005.4	Qmna5	0.22	303.37	0.14	0.03	-0.01
1005.2	Qmna5	0.22	303.36	0.25	0.02	-0.06
1005	Qmna5	0.22	303.29	1.04	-0.04	0.83
Ouvrage P1218	Qmna5	0.22	303.34	0.05	0	0
1004	Qmna5	0.22	303.34	0.17	0	0.07
1003.5	Qmna5	0.22	303.34	0.04	0	0
1003	Qmna5	0.22	303.34	0.03	0	0
1002	Qmna5	0.22	303.34	0.04	0	0
1001	Qmna5	0.22	303.33	0.14	0	0
1000	Qmna5	0.22	303.32	0.35	0	0

Figure 9 : Comparaison des limites de crue pour le débit exceptionnel – Situation initiale et phase travaux



3.5 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE HYDRAULIQUE

- En situation **après aménagement**, l'ouvrage P1218 apparaît correctement dimensionné pour faire transiter le débit dit « exceptionnel » ($Q_{100} \times 1.3$) sans submersion et en conservant un tirant d'air suffisant. Les vitesses et régimes d'écoulement sont également satisfaisants vis-à-vis des préconisations du SETRA.

De plus, aucune incidence sur l'emprise de la zone inondée en amont de l'ouvrage n'est observée.

- Concernant la **phase travaux**, les batardeaux mis en place sont dimensionnés pour ne pas être submergés pour la crue annuelle. Une marge de sécurité de 10 cm est retenue.

Les batardeaux sont submergés pour la crue exceptionnelle ($Q_{100} \times 1.3$), mais l'ouvrage P1218 conserve un tirant d'air et une vitesse d'écoulement satisfaisants.

L'influence des batardeaux sur la ligne d'eau en période de crue est d'environ 30 cm et se fait ressentir sur un linéaire d'environ 100 m en amont de l'ouvrage. L'extension latérale de la zone inondable est inférieure à 5 m en rives gauche et droite. La zone inondable est uniquement constituée de prairies et aucune construction ou installation sensible n'y est présente.

4. ÉTUDE DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

L'ouvrage P1218 se situe sur le cours d'eau l'Avière, masse d'eau de surface au titre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (code FRCR242). Son état chimique est « Bon » et son état écologique est « Moyen », avec un objectif de Bon état fixé à 2027. C'est un affluent rive gauche de la Moselle (masse n°CR211, tronçon Moselle 4).

Ce cours d'eau est classé en liste 2 au titre de la continuité écologique : cours d'eau dans lesquels il est nécessaire d'assurer un transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs (différents lieux d'habitats, reproduction, ...).

L'ouvrage P1218 n'est pas répertorié dans la base de données ROE : référentiel des obstacles à l'écoulement (ONEMA/AFB).

4.1 CONTINUITÉ PISCICOLE

4.1.1 Contexte et méthodologie

L'Avière fait partie du domaine « salmonicole » : les caractéristiques naturelles du milieu conviennent aux exigences de la Truite fario et des espèces d'accompagnement.

Ce cours d'eau est classé en cours d'eau de deuxième catégorie : le groupe piscicole dominant est constitué de cyprinidés (poissons blancs).

D'après le PDPG « Moyenne Moselle » de la Fédération de Pêche des Vosges (Plan Départemental de Protection du milieu aquatique et de Gestion des ressources piscicoles), l'Avière présente une fonctionnalité jugée conforme, et aucun obstacle à la libre circulation des espèces piscicoles sur sa partie aval.

Les espèces repères recensées dans ce document pour le contexte « Moselle, Durbion et Avière » sont les suivantes : Truite Fario, Brochet, Ombre.

La continuité piscicole de l'ouvrage P1218 est évaluée pour un franchissement « toutes espèces ».

Les critères permettant de définir l'aspect franchissable de l'ouvrage du point de vue de la continuité piscicole sont les suivants :

- Absence de chute d'eau
- Hauteur d'eau suffisamment importante : épaisseur de la lame d'eau minimale de **0.20 cm** pour le débit d'étiage quinquennal
- Vitesse d'écoulement suffisamment faible : vitesse d'écoulement inférieure à **1.5 m/s** pour un débit égal à « 2 x le module » (débit moyen interannuel)
- Longueur couverte suffisamment faible (intensité lumineuse suffisante)
- Une puissance spécifique à l'intérieur de l'ouvrage inférieure à **100 W/m²**

La puissance spécifique permet d'évaluer la turbulence de l'écoulement. Elle est exprimée en W/m^2 et se calcule par la formule suivante :

$$\omega = \Phi_w \cdot g \cdot Q_b \cdot S / w$$

Avec : Φ_w : la masse volumique du fluide (1000 kg/m^3)

S : la pente moyenne de la ligne d'eau à pleins bords

g : l'accélération de la gravité (9.81 m/s^2),

w : la largeur moyenne du chenal à plein bord.

Q_b : le débit plein bord (m^3/s),

Les tableaux complets des résultats de modélisation sont joints en **annexe 1, 2 et 3**.

4.1.2 Résultats de modélisation

4.1.2.1 Caractéristiques de l'ouvrage après aménagement

L'ouvrage est calé sur la cote du fond de lit en situation initiale et sur la pente moyenne du cours d'eau, avec le radier béton enterré de 30 cm minimum. Aucune chute ni barrage n'est présent.

Avec une longueur couverte de 6 m et une ouverture de 5.4 m de hauteur, on peut considérer que l'ouvrage n'entraîne pas de baisse de luminosité préjudiciable pour la continuité écologique (rapport hauteur / longueur proche de 1).

La ligne d'eau reste globalement régulière, sans ressaut hydraulique (passage d'un écoulement torrentiel à fluvial).

4.1.2.2 Hauteurs d'écoulement pour le Qmna5

Après aménagement, les hauteurs d'écoulement pour l'étiage quinquennal sont les suivantes :

- La hauteur d'eau minimale sur le secteur d'étude est de **0.25 m** au droit du profil n°1005.9 (coté amont).
- La hauteur d'eau dans l'ouvrage est de **0.34 m** (vitesse d'écoulement de 0.03 m/s)

En phase travaux, les hauteurs d'écoulement pour l'étiage quinquennal sont les suivantes :

- La hauteur d'eau minimale sur le secteur d'étude est de **0.28 m** au droit des profils n°1005.9 et n°1009.4 (coté amont).
- La hauteur d'eau dans l'ouvrage est de **0.25 m** (vitesse d'écoulement de 0.05 m/s)

4.1.2.3 Vitesses d'écoulement pour 2x le Module

Après aménagement, les vitesses d'écoulement pour un débit égal à « 2x le module » sont les suivantes :

- La vitesse maximale sur le secteur d'étude est de **0.72 m/s** au droit du profil n°1006.4 (coté amont).
 - La vitesse dans l'ouvrage est de **0.14 m/s** (hauteur d'écoulement 0.93 m)
 - La puissance spécifique à l'intérieur de l'ouvrage est de **43 W/m²**
- En phase travaux, les vitesses d'écoulement pour un débit égal à « 2x le module » sont les suivantes :
 - La vitesse maximale sur le secteur d'étude est de **0.71 m/s** au droit du profil n°1006.4 (coté amont).
 - La vitesse dans l'ouvrage est de **0.17 m/s** (hauteur d'écoulement 0.93 m)
 - La puissance spécifique à l'intérieur de l'ouvrage est de **43 W/m²**

4.2 CONTINUITÉ SÉDIMENTAIRE

Les critères permettant de définir l'aspect franchissable d'un ouvrage du point de vue de la continuité sédimentaire sont les suivants :

- Absence de rupture de pente (respect de la pente naturelle du cours d'eau)
- Absence d'obstacle interceptant les sédiments
- Vitesse d'écoulement correspondant à la pente naturelle du cours d'eau et à la nature granulométrique du fond de lit mineur (entraînement des sédiments)

L'ouvrage est calé sur la cote du fond de lit en situation initiale et sur la pente moyenne du cours d'eau. Aucun barrage pouvant intercepter les sédiments ne sera mis en place.

Le radier de l'ouvrage sera enterré de 30 cm pour permettre la continuité du fond du lit mineur amont/aval. Les matériaux apportés en fond de lit dans l'ouvrage seront issus des déblais extrait pour la mise en place de l'aménagement. Ils respecteront ainsi la granulométrie présente dans le cours d'eau en situation initiale.

La modalisation réalisée indique que l'incidence de l'aménagement pour la crue exceptionnelle est limitée : à l'intérieur de l'ouvrage la vitesse d'écoulement passe de 1.71 m/s en situation initiale à 1.62 m/s.

En amont et aval de l'ouvrage, aucune variation sensible n'est observée.

4.3 SYNTHÈSE DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

L'étude hydraulique réalisée indique que l'ensemble des critères de franchissabilité sont respectés (franchissement « toutes espèces »). :

- Lamme d'eau supérieure à 20 cm pour le Qmna5
- Vitesse d'écoulement inférieure à 1.5 m/s pour 2x le module
- Une puissance spécifique inférieure à 100 W/m²
- Une absence de chute et de ressaut hydraulique
- Un linéaire couvert limité
- Une pente et un calage de l'ouvrage respectant la pente naturelle du cours d'eau à l'état initial

L'ouvrage est par conséquent compatible avec la continuité écologique, aussi bien en situation après aménagement, qu'en phase travaux.

Annexe 1 : Tableaux de résultats de modélisation pour la crue exceptionnelle (Q100 x1.3)

**RESULTATS DE MODELISATION POUR LA CRUE EXCEPTIONNELLE
(Q100 x1.3)**

Situation initiale avant aménagement				
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	Q_except	77.1	306.3	1.21
1008.4	Q_except	77.1	306.28	1.34
1007.4	Q_except	77.1	306.27	1.37
1006.4	Q_except	77.1	306.23	1.7
1005.9	Q_except	77.1	306.22	1.56
1005.4	Q_except	77.1	306.21	1.57
1005.2	Q_except	77.1	306.08	2.13
1005	Q_except	77.1	306.02	2.31
Ouvrage P1218	Q_except	77.1	306.06	1.71
1004	Q_except	77.1	305.99	2.01
1003.5	Q_except	77.1	306.05	1.43
1003	Q_except	77.1	306.06	1.4
1002	Q_except	77.1	306.04	1.48
1001	Q_except	77.1	306.01	1.64
1000	Q_except	77.1	305.98	1.77

Situation après projet				
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	Q_except	77.1	306.3	1.21
1008.4	Q_except	77.1	306.28	1.35
1007.4	Q_except	77.1	306.27	1.38
1006.4	Q_except	77.1	306.23	1.71
1005.9	Q_except	77.1	306.22	1.56
1005.4	Q_except	77.1	306.21	1.57
1005.2	Q_except	77.1	306.08	2.13
1005	Q_except	77.1	306.06	2.03
Ouvrage P1218	Q_except	77.1	306.07	1.62
1004	Q_except	77.1	305.98	2.09
1003.5	Q_except	77.1	306.05	1.43
1003	Q_except	77.1	306.06	1.4
1002	Q_except	77.1	306.04	1.48
1001	Q_except	77.1	306.01	1.64
1000	Q_except	77.1	305.98	1.77

Situation en phase travaux				
Profil en travers	Crue	Débit (m ³ /s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	Q_except	77.1	306.57	0.98
1008.4	Q_except	77.1	306.56	1.08
1007.4	Q_except	77.1	306.56	1.11
1006.4	Q_except	77.1	306.54	1.33
1005.9	Q_except	77.1	306.53	1.25
1005.4	Q_except	77.1	306.52	1.26
1005.2	Q_except	77.1	306.43	1.81
1005	Q_except	77.1	305.92	3.62
Ouvrage P1218	Q_except	77.1	306.18	1.64
1004	Q_except	77.1	305.72	3.5
1003.5	Q_except	77.1	306.05	1.43
1003	Q_except	77.1	306.06	1.4
1002	Q_except	77.1	306.04	1.48
1001	Q_except	77.1	306.01	1.64
1000	Q_except	77.1	305.98	1.77

Annexe 2 : *Tableaux de résultats de modélisation pour le débit d'étiage quinquennal (Qmna5)*

**RESULTATS DE MODELISATION POUR LE DEBIT D'ETIAGE
QUINQUENNAL (Qmna5)**

Situation initiale avant aménagement				
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	Qmna5	0.22	303.38	0.22
1008.4	Qmna5	0.22	303.38	0.1
1007.4	Qmna5	0.22	303.37	0.16
1006.4	Qmna5	0.22	303.36	0.42
1005.9	Qmna5	0.22	303.34	0.38
1005.4	Qmna5	0.22	303.34	0.15
1005.2	Qmna5	0.22	303.34	0.31
1005	Qmna5	0.22	303.33	0.21
Ouvrage P1218	Qmna6	0.22	303.34	0.05
1004	Qmna5	0.22	303.34	0.1
1003.5	Qmna5	0.22	303.34	0.04
1003	Qmna5	0.22	303.34	0.03
1002	Qmna5	0.22	303.34	0.04
1001	Qmna5	0.22	303.33	0.14
1000	Qmna5	0.22	303.32	0.35

Situation après projet				
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	Qmna5	0.22	303.38	0.22
1008.4	Qmna5	0.22	303.38	0.1
1007.4	Qmna5	0.22	303.37	0.16
1006.4	Qmna5	0.22	303.36	0.42
1005.9	Qmna5	0.22	303.34	0.38
1005.4	Qmna5	0.22	303.34	0.16
1005.2	Qmna5	0.22	303.33	0.32
1005	Qmna5	0.22	303.33	0.18
Ouvrage P1218	Qmna6	0.22	303.34	0.03
1004	Qmna5	0.22	303.34	0.16
1003.5	Qmna5	0.22	303.34	0.04
1003	Qmna5	0.22	303.34	0.03
1002	Qmna5	0.22	303.34	0.04
1001	Qmna5	0.22	303.33	0.14
1000	Qmna5	0.22	303.32	0.35

Situation en phase travaux				
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	Qmna5	0.22	303.39	0.2
1008.4	Qmna5	0.22	303.39	0.09
1007.4	Qmna5	0.22	303.39	0.15
1006.4	Qmna5	0.22	303.38	0.37
1005.9	Qmna5	0.22	303.37	0.31
1005.4	Qmna5	0.22	303.37	0.14
1005.2	Qmna5	0.22	303.36	0.25
1005	Qmna5	0.22	303.29	1.04
Ouvrage P1218	Qmna6	0.22	303.34	0.05
1004	Qmna5	0.22	303.34	0.17
1003.5	Qmna5	0.22	303.34	0.04
1003	Qmna5	0.22	303.34	0.03
1002	Qmna5	0.22	303.34	0.04
1001	Qmna5	0.22	303.33	0.14
1000	Qmna5	0.22	303.32	0.35

Annexe 3 : *Tableaux de résultats de modélisation pour le débit moyen interannuel x2 (Module x2)*

**RESULTATS DE MODELISATION POUR LE DEBIT EGAL A 2x LE
MODULE (débit moyen interannuel)**

Situation initiale avant aménagement				
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	2x Module	2.34	303.97	0.41
1008.4	2x Module	2.34	303.96	0.35
1007.4	2x Module	2.34	303.96	0.47
1006.4	2x Module	2.34	303.93	0.72
1005.9	2x Module	2.34	303.93	0.53
1005.4	2x Module	2.34	303.93	0.42
1005.2	2x Module	2.34	303.92	0.46
1005	2x Module	2.34	303.92	0.42
Ouvrage P1218	2x Module	2.34	303.93	0.17
1004	2x Module	2.34	303.93	0.28
1003.5	2x Module	2.34	303.93	0.18
1003	2x Module	2.34	303.93	0.16
1002	2x Module	2.34	303.93	0.2
1001	2x Module	2.34	303.92	0.36
1000	2x Module	2.34	303.89	0.72

Situation après projet				
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	2x Module	2.34	303.97	0.41
1008.4	2x Module	2.34	303.97	0.35
1007.4	2x Module	2.34	303.96	0.46
1006.4	2x Module	2.34	303.93	0.72
1005.9	2x Module	2.34	303.93	0.53
1005.4	2x Module	2.34	303.93	0.42
1005.2	2x Module	2.34	303.92	0.45
1005	2x Module	2.34	303.92	0.42
Ouvrage P1218	2x Module	2.34	303.93	0.14
1004	2x Module	2.34	303.92	0.36
1003.5	2x Module	2.34	303.93	0.18
1003	2x Module	2.34	303.93	0.16
1002	2x Module	2.34	303.93	0.2
1001	2x Module	2.34	303.92	0.36
1000	2x Module	2.34	303.89	0.72

Situation en phase travaux				
Profil en travers	Crue	Débit (m3/s)	Cote de crue (m)	Vitesse (m/s)
1009.4	2x Module	2.34	303.97	0.41
1008.4	2x Module	2.34	303.97	0.35
1007.4	2x Module	2.34	303.96	0.46
1006.4	2x Module	2.34	303.93	0.71
1005.9	2x Module	2.34	303.94	0.52
1005.4	2x Module	2.34	303.94	0.41
1005.2	2x Module	2.34	303.93	0.45
1005	2x Module	2.34	303.89	0.98
Ouvrage P1218	2x Module	2.34	303.93	0.17
1004	2x Module	2.34	303.92	0.53
1003.5	2x Module	2.34	303.93	0.18
1003	2x Module	2.34	303.93	0.16
1002	2x Module	2.34	303.93	0.2
1001	2x Module	2.34	303.92	0.36
1000	2x Module	2.34	303.89	0.72