

Avant-Projet des ouvrages de délestage du canal de la Bourne

Rapport d'Avant-Projet

CONSULTING

SAFEGE
Universaône
18 rue Félix Mangini
69009 LYON

Agence Rhône Alpes

SAFEGE SAS - SIÈGE SOCIAL
Parc de l'île - 15/27 rue du Port
92022 NANTERRE CEDEX
www.safège.com

Version : 2

Date : 13/03/2020

Nom Prénom : Caroline EUVRARD

Visa : Vincent JOUVE

Vérification des documents IMP411

Numéro du projet : 18CRA226

Intitulé du projet : Avant-Projet des ouvrages de délestage du canal de la Bourne

Intitulé du document : Rapport d'Avant-Projet
--

Version	Rédacteur NOM / Prénom	Vérificateur NOM / Prénom	Date d'envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES Documents de référence / Description des modifications essentielles
0	Caroline EUVRARD	Vincent JOUVE	29/03/2019	Version initiale
1	Caroline EUVRARD	Vincent JOUVE	04/04/2019	Prise en compte des remarques du client
2	Vincent JOUVE	Murielle Meissonnier	13/03/2020	Reprise conclusions suite aux remarques DREAL du 23/01/2020

Sommaire

1.....	Contexte.....	1
2.....	Présentation du canal de la Bourne.....	3
2.1	Présentation générale de l'ouvrage.....	3
2.2	Présentation du bief amont et de ses ouvrages.....	4
3.....	Synthèse du dimensionnement hydraulique	6
4.....	Gestion des niveaux d'alerte	7
4.1	Enjeux à protéger.....	7
4.2	Elaboration d'une procédure d'alerte et d'un plan d'intervention en cas de déclenchement du seuil d'alerte	8
4.3	Mise en place de points de mesure du niveau d'eau	8
5.....	Ouvrages de délestage	9
5.1	Localisation	9
5.2	Délestage du Tarze – Auberives en Royans	9
5.3	Délestage de la Bourne – Saint Nazaire en Royans	12
6.....	Ouvrages de surverse	16
6.1	Localisation	16
6.2	Solutions techniques pour les surverses	16
6.3	Surverse en amont du tunnel du Servant.....	18
6.4	Surverse en amont du tunnel de Manne.....	19
6.5	Surverse en aval du tunnel Odier.....	21
7.....	Réhausses	23
7.1	Types de réhausses envisagées	23
7.2	Dimensionnement des réhausses.....	26
8.....	Coûts et scénarios d'aménagement	27

Tables des illustrations

Figure 1 : Tracé du Canal de la Bourne.....	3
Figure 2 : Localisation des tunnels et des aqueducs (source : SCP, 2014).....	5
Figure 3 : Exemple de capteur de niveau d'eau.....	8
Figure 4 : Localisation des zones de délestage.....	9
Figure 5 : Section du canal au niveau de l'ouvrage de délestage du Tarze	10
Figure 6 : Vue 3D de l'ouvrage de rejet au Tarze	10
Figure 7 : Demi-section du Tarze au niveau de la restitution des eaux du délestage.....	11
Figure 8 : Ligne d'eau dans le Tarze pour 6m ³ /s.....	12
Figure 9 : Section du canal au niveau du délestage de la Bourne	12
Figure 10 : Modélisation des écoulements au niveau de l'ouvrage de délestage de la Bourne	13
Figure 11 : Vues 3D de l'ouvrage de délestage de la Bourne ; depuis l'aval en haut ; depuis l'amont en bas.....	13
Figure 12 : Plan des installations de rejet à la Bourne des eaux de l'ouvrage de délestage de la Bourne.....	14
Figure 13 : Dimensions caractéristiques du brise charge USBR type VI.....	15
Figure 14 : Localisation des zones de surverse.....	16
Figure 15 : Résistance des techniques de génie végétal.....	17
Figure 16 : Vue aérienne de la surverse en amont du tunnel du Servant.....	18
Figure 17 : Sections du canal au niveau de la surverse en amont du tunnel du Servant.....	18
Figure 18 : Vue aérienne et modélisation des écoulements dans la zone de surverse en amont du tunnel du Servant	19
Figure 19 : Vue aérienne de la surverse en amont du tunnel de Manne	19
Figure 20 : Modélisation des écoulements dans le canal au niveau de la zone de surverse en amont du tunnel de Manne.....	20
Figure 21 : Ecoulements dans la zone de surverse située en amont du tunnel de Manne	20
Figure 22 : Vue aérienne de la surverse en aval du tunnel Odier	21
Figure 23 : Sections du canal au niveau de la surverse en aval du tunnel Odier	21
Figure 24 : Modélisation des écoulements au niveau de la surverse en aval du tunnel Odier.....	22
Figure 25 : PK 1076 avant réhausse	23
Figure 26 : Exemple de réhausse sur le PK 1076.....	24
Figure 27 : PK 1150 avant réhausse	24
Figure 28 : PK 1150 après réhausse.....	24
Figure 29 : réhausse parapet PK 1076.....	25
Figure 30 : Réhausse parapet PK 1150	25
Figure 31 : Réhausse parapet PK 1571	25
Figure 32 : Réhausse parapet PK 1619	26

Table des tableaux

Tableau 1 : Synoptique des aménagements prévus sur le canal de la Bourne et des niveaux d'eau	6
Tableau 2 : Enjeux à protéger et implantation des capteurs de niveau d'eau	7
Tableau 3 : Caractéristiques de l'ouvrage de délestage du Tarze	9
Tableau 4 : Caractéristiques de l'ouvrage de délestage de la Bourne	12
Tableau 5 : Caractéristiques de la surverse en amont du tunnel du Servant	18
Tableau 6 : Caractéristiques de la surverse en amont du tunnel de Manne	20
Tableau 7 : Caractéristiques de la surverse en aval du tunnel Odier	22

Table des annexes

Annexe 1 Carnet de plans
Annexe 2 Note de dimensionnement hydraulique
Annexe 3 Calcul des réhausses
Annexe 4 Estimation financière détaillée

1 CONTEXTE

Dans le cadre du décret 2007-1735 du 11 Décembre 2007 et l'arrêté ministériel du 29 février 2008, fixant les prescriptions relatives à la sécurité et sûreté des ouvrages hydrauliques, le Syndicat d'Irrigation Drômois, a confié à la Société du Canal de Provence (pour la période 2011 – 2016) et à la société SAFEGE (pour la période 2017- 2022), la réalisation de plusieurs dossiers réglementaires (diagnostic initial de sûreté, VTA, consignes écrites, ...).

Le diagnostic de sûreté, mené en 2012, a permis de dresser un état des lieux du canal de la Bourne. Ce diagnostic révèle un ouvrage ancien qui, malgré une surveillance continue des agents d'exploitation, nécessite des travaux de confortement. Le diagnostic met également en évidence la nécessité de réaliser une étude hydraulique spécifique, visant à ouvrir des axes de réflexion quant à la politique d'aménagement à suivre, (réflexions sur le fonctionnement hydraulique du canal) et les travaux assurant la sécurisation du canal.

Une étude de modélisation du fonctionnement du canal de la Bourne (SCP, mai 2014) a permis de mieux appréhender le fonctionnement hydraulique du canal en l'état actuel (entre la prise d'eau et l'aqueduc de Saint-Nazaire). Les modélisations réalisées mettent en évidence que la capacité maximale du canal, avant débordement, est de l'ordre 6,1 m³/s, ce qui correspond aux constatations faites sur site : début de débordement du canal pour un débit de à 6,25 m³/s (Valeur est nettement inférieure à l'autorisation de prélèvement de 1874 : 7 m³/s).

Les tronçons identifiés comme limitant par la modélisation corroborent les observations faites sur le terrain par l'exploitant. Il s'agit :

- De deux zones sensibles car urbanisées :
 - Traversée d'Auberives,
 - Lieu-dit Clairivaux.
- De deux zones situées en amont de tunnels et / ou d'aqueducs :
 - En amont du tunnel de Barmier,
 - En amont de l'aqueduc de Saint Nazaire.
- De plusieurs zones localisées, en aval du tunnel des Falaises, au niveau du pont du Falconnet.

Une étude de faisabilité (SCP, mai 2014) a permis de définir les ouvrages de délestage nécessaires à la sécurisation du fonctionnement du canal de la Bourne.

Ces études ont permis au S.I.D. de définir une stratégie d'aménagement (annexe n°3 : SID octobre 2017) afin de sécuriser le fonctionnement du canal de la Bourne, en cas d'apports d'eaux pluviales excessifs ou d'incidents sur le canal (obstacles), le fonctionnement du canal sans diminuer la capacité de celui-ci :

- L'aménagement de la prise d'eau,
- La création de 2 ouvrages de décharge et de rehausses,
- La création d'ouvrages de débordement,
- La gestion des ouvrages de franchissement du canal,
- La limitation des apports pluviaux dans le canal,
- La prévention des Risques.

Rapport d'Avant-Projet

Avant-Projet des ouvrages de délestage du canal de la Bourne



La présente étude consiste en la réalisation d'un Avant-Projet pour les travaux de :

- Création de 2 ouvrages de décharge et des rehausses,
- Création d'ouvrages de débordement.

Ainsi que l'inventaire des rejets d'eaux pluviales dans le canal et des possibilités de détournement.

2 PRESENTATION DU CANAL DE LA BOURNE

2.1 Présentation générale de l'ouvrage

Construit entre 1876 et 1879 d'après le projet des ingénieurs de Montrond et de Montgolfier, le canal de la Bourne est un canal revêtu de béton long de 45 km (hors réseaux de canaux secondaires et tertiaires).

Il prend naissance en amont du barrage d'Auberives en Royans, et s'achève au niveau de la commune de Chabeuil. Ses eaux circulent en gravitaire ou sous pression, à ciel ouvert ou en conduite.

Le canal est composé de deux biefs :

- Le bief amont, qui s'étend de la prise (PK 0) jusqu'à l'usine hydroélectrique d'Ecancière (PK19),
- Le bief aval, qui s'étend de l'usine d'Ecancière (PK19) jusqu'à la réserve de Freydier (PK45).

L'eau du canal provient de la rivière Bourne, dans laquelle 7 m³/s sont prélevés en amont du barrage d'Auberives en Royans.

Outre le canal principal, les réseaux d'irrigation sont constitués de canaux secondaires et tertiaires qui permettent la distribution de l'eau dans toute la plaine valentinoise. A cet effet, 12 stations de pompage prélèvent l'eau le long du canal, pour alimenter un réseau souterrain de canalisations sous pression.

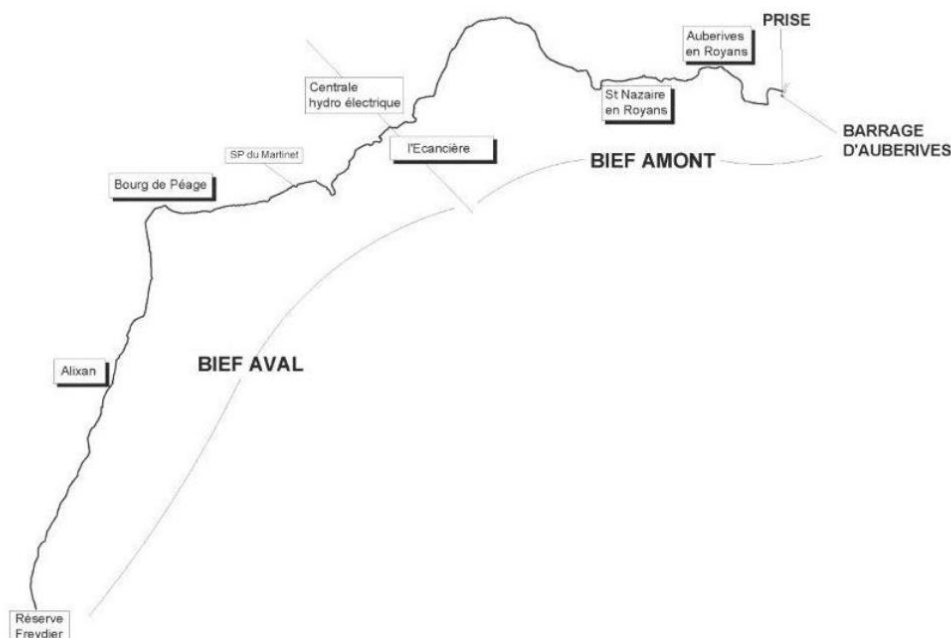


Figure 1 : Tracé du Canal de la Bourne

La présente étude porte uniquement sur le bief amont du canal, et plus précisément sur le tronçon compris entre la prise et l'aqueduc de Saint-Nazaire en Royans.

2.2 Présentation du bief amont et de ses ouvrages

Le bief amont présente un linéaire de 8 450 m, entre la prise dans la rivière Bourne et l'aqueduc de Saint-Nazaire. Ce tronçon est constitué d'une succession de huit tunnels, deux aqueducs et canaux à ciel ouvert.

En fonction de la topographie de la zone traversée et des ouvrages environnants, on distingue les portions suivantes sur l'ensemble du linéaire étudié :

- De la prise jusqu'au PK 2, après quelques passages en tunnel (tunnel des Falaises et tunnel du Mas), le canal traverse des zones agricoles. On note la présence d'un déversoir en rive gauche, en aval immédiat du tunnel des Falaises,
- Du PK 2 au PK 3, le canal longe la D531, avec deux passages en tunnel (tunnel de Servant et tunnel d'Auberives),
- Du PK 3 au PK 3.5, le canal se situe dans le village d'Auberives en Royans ; il est à noter que les jardins des riverains sont au même niveau que les rives du canal,
- Du PK 3.5 au PK 6, en aval de l'aqueduc du Tarze, le canal se situe à flanc de coteau avec une rive gauche en remblai. Il traverse trois tunnels (tunnel de Barmier, tunnel de Manne et tunnel des Allemands),
- Du PK 6 au PK 7.5, le canal traverse le tunnel Odier, puis le lieu-dit Clairivaux et longe la D532 sur sa rive gauche,
- Du PK 7.5 au PK 8.5, le canal se situe dans la ville de Saint-Nazaire. Il franchit l'aqueduc du même nom,
- Exemple de En aval de l'aqueduc, le canal est à flanc de coteau, il domine la D532 en rive droite, et traverse deux tunnels (tunnels de Saint-Nazaire 1 et 2).

Le tronçon étudié a pour vocation principale le transport de l'eau. Il existe cependant des prélèvements d'eau sur cette partie du canal : une quinzaine de particuliers, 3 agriculteurs et 2 carrières.

De manière générale, le canal en section courante subit une érosion qui fragilise les berges et peut conduire à terme à des risques d'instabilité. Ce type d'érosion, bien que présent sur tout le linéaire, reste toutefois plus prononcé sur le tronçon amont.

Le canal est un ouvrage en terre revêtu de béton. Il fait régulièrement l'objet de confortements par technique de béton projeté. Les principaux défauts apparents sont :

- Des zones de faïençage avec des fissures plus ou moins ouvertes,
- Des défauts de plaques avec des zones entières de béton qui se déchaussent.

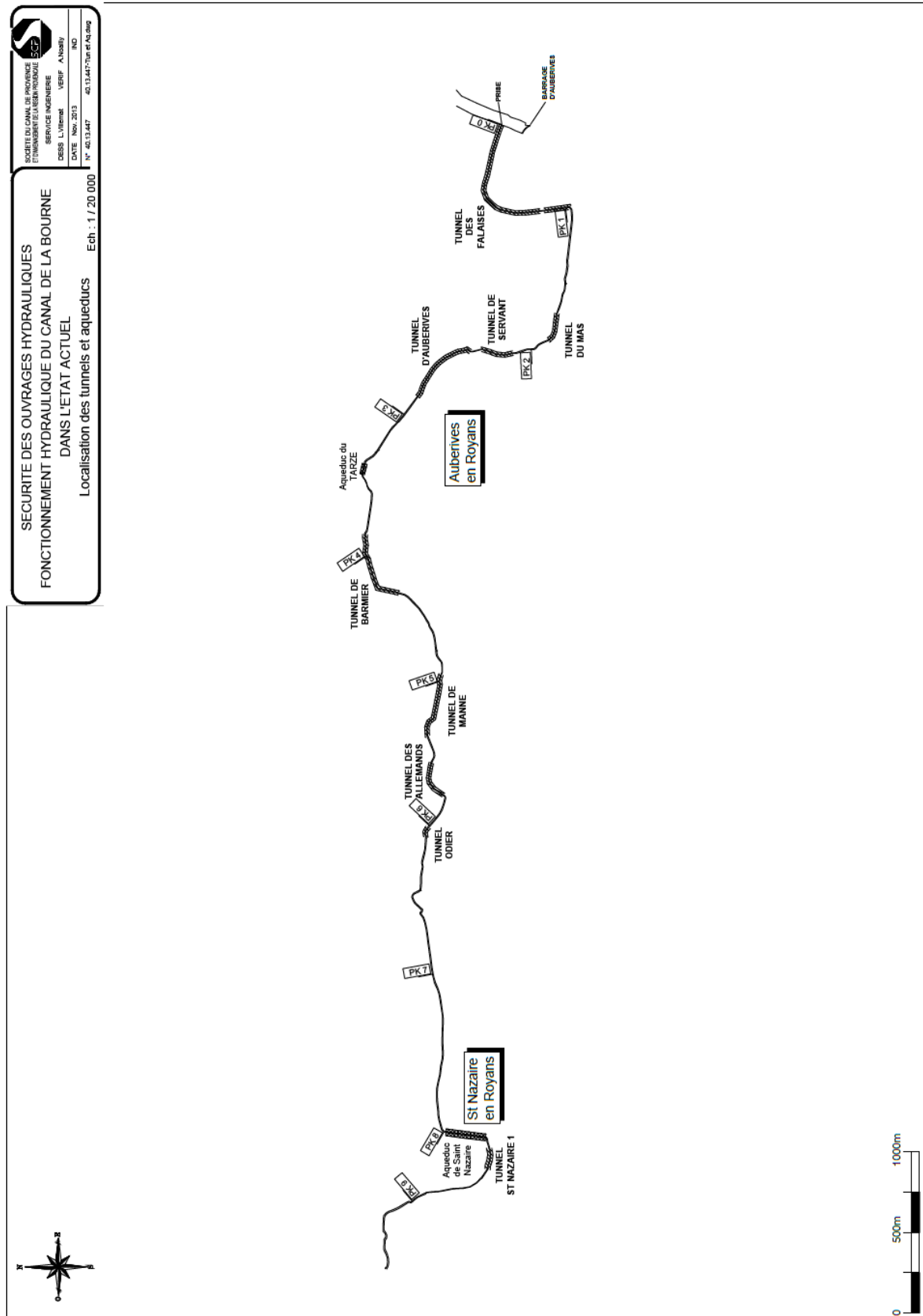


Figure 2 : Localisation des tunnels et des aqueducs (source : SCP, 2014)

3 SYNTHESE DU DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

L'objectif du présent plan d'aménagements est l'amélioration de la sécurité du canal de la Bourne (Tronçon de la prise d'eau à St Nazaire en Royans) afin de faire face aux :

- Conséquences des apports pluviaux dans le canal,
- Evènements accidentels (effondrement dans un tunnel, chute d'un véhicule dans le canal, chute d'arbres dans le canal, glissement de terrains dans le canal etc...) pouvant réduire partiellement ou totalement la capacité de transit du canal.

Le dimensionnement hydraulique des ouvrages de délestage et de surverse a été réalisé grâce à une modélisation des différents scénarios d'écoulement à l'aide du logiciel HEC-RAS.

Le détail des modélisations est disponible en annexe 2 dans la note hydraulique.

Le tableau ci-dessous récapitule les aménagements prévus en couleur (vert pour les surverses et bleu pour les délestages) et les enjeux protégés.

Tableau 1 : Synoptique des aménagements prévus sur le canal de la Bourne et des niveaux d'eau

Ouvrages	PK		ZFE début		ZFE fin		Z EQ6		Z baj. RG		Evènement redouté	Solution d'évacuation	Tps de mise à sec [min]		
	PK début	PK fin	ZFE début	ZFE fin	Z EQ6 début	Z EQ6 fin	Z baj. RG début	Z baj. RG fin					début par l'amont	fin par l'amont	par l'aval
Tunnel des falaises	0	1053	192.74	192.74			194.25	194.81	194.81				0		
Tunnel du Mas	1723	1910	192.6	192.64	194.10		194.01	195.2	194.39						
Surverse amont Servant	2079	2103	192.044	192.23	194.18		194.07	194.03				Q6.5+10cm	29		
Tunnel de Servant	2157	2344	192.41	192.4	193.95	193.86	195.27	195.69							
Digue RG	2344	2432	192.4	192.21	193.86	193.84	195.69	194.13	193.81		Rupture digue RG sans enjeu				
Tunnel d'Auberives	2432	2904	192.21	192.05	193.84	193.64	194.13	193.81							
Digues en RG	2904	3443	192.05	191.91	193.65	193.45	193.81	193.72			inondations maisons	Mesure de niveau	43	51	45
Délestage Tarze	3443	3445	191.91	191.9	193.45	193.45	193.72	193.79					0		0
Aqueduc du Tarze	3445	3505	191.92	191.87	193.45	193.41	193.9	193.84							
Digues en RG	3505	3911	191.87	191.77	193.41	193.37	193.84	193.38			inondations maisons	Mesure de niveau	1	10	
Tunnel du Barmier	3911	4378	191.77	191.66	193.37	193.19	193.38	192.68							
Digues en RG	4378	4936	191.66	191.5	193.19	193.02	192.68	194.18			inondations route+maisons	Mesure de niveau	29	32	
Surverse amont Manne	4936	4962	191.5	191.48	193.21	193.21	194.18	194.13				Q6.5+10cm			
Tunnel de Manne	5021	5428	191.47	191.15	193.02	192.90	193.43	192.72							
Digues en RG	5428	5611	191.15	191.17	192.90	192.88	192.72	193.26			inondations route	Mesure de niveau	36	37	
Tunnel des Allemands	5611	5871	191.17	191.1	192.88	192.82	193.26	192.82							
Digues en RG	5871	6066	191.1	191.11	192.82	192.77	192.82	193.23			inondations route + maisons	Mesure de niveau	42	47	
Tunnel Odier	6104	6179	191.11	191.03	192.77	192.75	193.23	192.79							
Digues en RG	6179	6290	191.03	191.01	192.75	192.75	192.79	192.62			inondations route+maisons	Mesure de niveau	49	51	
Surverse aval Odier	6290	6420	191.01	190.98	192.91	192.91	192.62	192.58				Q6.5+10cm			
Digue en rive gauche	6420	8038	190.98	191.01	192.75	192.48	192.58	192.62			inondations maisons RG	Mesure de niveau	54		135
Délestage Bourne	8038	8076	190.62	190.62	192.48	192.48	192.62	192.58					0		0
Aqueduc de Saint Nazaire	8097	8337	190.62	190.48	192.40	192.07	192.83	192.41							
Tunnel Saint Nazaire 1	8397		190.47				192.43								

4 GESTION DES NIVEAUX D'ALERTE

4.1 Enjeux à protéger

Les principaux enjeux, situés le long du canal de la Bourne et menacés par un débordement, sont rassemblés dans le tableau ci-dessous ; dans la colonne intitulée « Evènement redouté ».

Les aménagements prévus sont signalés en couleur : en vert les surverses et en bleu les ouvrages de délestage. Les capteurs de niveau d'eau seront implantés en aval des enjeux à protéger listés ci-dessous.

Tableau 2 : Enjeux à protéger et implantation des capteurs de niveau d'eau

Ouvrages	PK début	PK fin	Evènement redouté	Solution d'évacuation
Tunnel des falaises	0	1053		
Tunnel du Mas	1723	1910		
Surverse amont Servant	2079	2103		Q6.5+10cm
Tunnel de Servant	2157	2344		
Digue RG	2344	2432	Rupture digue RG sans enjeu	
Tunnel d'Auberives	2432	2904		
Digues en RG	2904	3443	inondations maisons	Mesure de niveau
Délestage Tarze	3443	3445		
Aqueduc du Tarze	3445	3505		
Digues en RG	3505	3911	inondations maisons	Mesure de niveau
Tunnel du Barmier	3911	4378		
Digues en RG	4378	4936	inondations route+maisons	Mesure de niveau
Surverse amont Manne	4936	4962		Q6.5+10cm
Tunnel de Manne	5021	5428		
Digues en RG	5428	5611	inondations route	Mesure de niveau
Tunnel des Allemands	5611	5871		
Digues en RG	5871	6066	inondations route + maisons	Mesure de niveau
Tunnel Odier	6104	6179		
Digues en RG	6179	6290	inondations route+maisons	Mesure de niveau
Surverse aval Odier	6290	6420		Q6.5+10cm
Digue en rive gauche	6420	8038	inondations maisons RG	Mesure de niveau
Délestage Bourne	8038	8076		
Aqueduc de Saint Nazaire	8097	8337		
Tunnel Saint Nazaire 1	8397			

4.2 Elaboration d'une procédure d'alerte et d'un plan d'intervention en cas de déclenchement du seuil d'alerte

Les capteurs de niveau d'eau signaleront toute hausse du niveau du canal, et au-dessus d'un seuil prédéfini pour chaque capteur, une alerte SMS est envoyée au prestataire en charge de la surveillance du canal.

En cas de déclenchement du seuil d'alerte le prestataire de suivi du canal peut procéder à la fermeture de la vanne de prise d'eau par commande à distance.

Le risque de rupture d'une digue du canal ne pouvant être écarté, afin de se prémunir contre cette éventualité, les capteurs de niveau signaleront également toute baisse rapide d'un niveau d'eau de plus de 10cm/heure dans le canal, et ce pour tous les capteurs de niveau.

La procédure d'intervention dans le cas d'un abaissement du plan d'eau laissant présager la rupture d'une digue est identique à celle en cas de hausse du niveau. La priorité reste de fermer au plus vite la prise d'eau du canal. Les délais d'intervention sont les mêmes.

La commande de la vanne de fermeture du canal est motorisée et doublée d'une possibilité de commande manuelle sur site. Nous attirons l'attention sur le fait que le déclenchement manuel est associé à un contrôle de l'absence d'enjeux à l'aval.

Une procédure détaillée d'intervention en cas d'alerte de dépassement du niveau d'eau sera réalisée par le maître d'ouvrage dans le cadre des consignes de surveillance de l'ouvrage.

4.3 Mise en place de points de mesure du niveau d'eau

Chaque point de mesure sera équipé d'un capteur de niveau de type sonde à ultrasons.

Les capteurs seront autonomes, alimentés par un panneau solaire et une batterie, et transmettront au fur et à mesure les données acquises au système de supervision. Ils seront équipés d'un dispositif de test automatique régulier permettant de s'assurer de leur bon fonctionnement.

Gamme capteurs de niveau autonomes avec modem intégré LNU06V3



Caractéristiques

- Paramétrage sans fils par Rfid
- Communication : GSM/GPRS en 3G - Sigfox
- Mémoire : 500 000 mesures
- Entrées : Alimentation externe (5Vcc...30Vcc), 2 Contacts 1Hz, T°C numérique
- Sorties : 1 voltage (5Vcc), 1 switch, 1 open drain
- Étanchéité IP68
- Batterie lithium, longue durée
- Tableaux de conversions intégrés (hauteur, débit, volume)

Le LNU06V3 est un de nos nouveaux capteurs de niveau par imagerie acoustique, particulièrement adapté au mesure de niveau dans des environnements difficiles. Entièrement autonome avec sa batterie longue durée, son enregistreur et son modem intégré. Simple d'installation et d'utilisation, la programmation se fait en sécurité en liaison en radio sans action physique sur le capteur.

Figure 3 : Exemple de capteur de niveau d'eau

5 OUVRAGES DE DELESTAGE

5.1 Localisation

Les ouvrages de délestage sont positionnés au niveau des aqueducs du Tarze, à Auberives en Royans, et de la Bourne à Saint-Nazaire-en-Royans, comme illustré sur le plan ci-dessous :



Figure 4 : Localisation des zones de délestage

5.2 Délestage du Tarze – Auberives en Royans

5.2.1 Caractéristiques générales

L'ouvrage de délestage du Tarze est situé entre les PK 3443 et 3445. Ses caractéristiques sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Caractéristiques de l'ouvrage de délestage du Tarze

Délestage du Tarze	
Localisation	En amont de l'aqueduc du Tarze, en rive droite du canal
PK canal	3443 à 3445
Dimensions	Ouverture de 0.75 par 1.5 m
Côte du radier	191.96 mNGF
Débit évacué	6 m ³ /s
Rejet au Tarze	Chenal d'évacuation en gabions en marches d'escaliers

La section du canal au niveau de l'aménagement est la suivante :

PK : 3 445

aqueduc du tarze

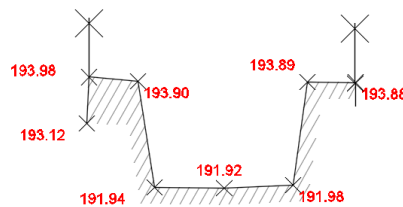


Figure 5 : Section du canal au niveau de l'ouvrage de délestage du Tarze

Pour l'évacuation des eaux, il est prévu une noue rugueuse permettant la maîtrise des vitesses. Les vitesses seront dissipées dans un chenal en marches d'escaliers en gabions avant restitution des eaux au Tarze. Le schéma ci-dessous illustre les aménagements prévus :

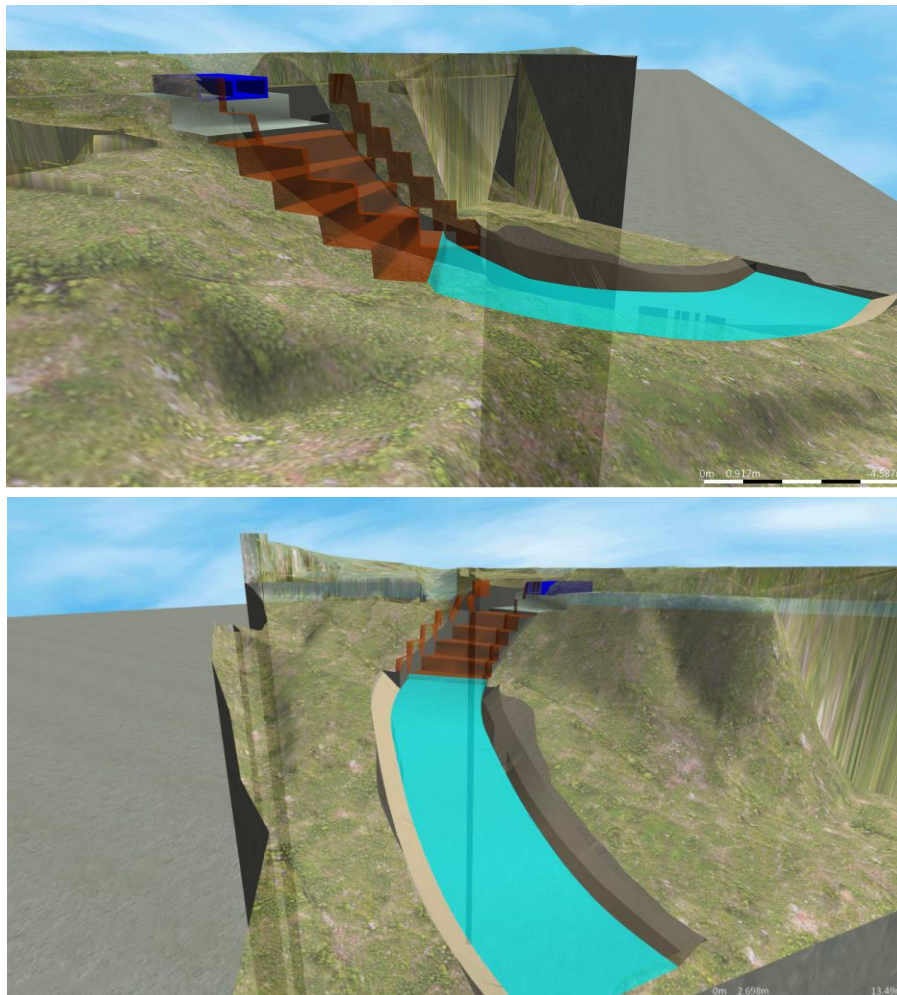


Figure 6 : Vue 3D de l'ouvrage de rejet au Tarze

5.2.2 Dimensionnement du rejet au Tarze

Les écoulements en sortie de la vanne de délestage sont recueillis dans une fosse de dissipation, depuis laquelle ils sont dirigés vers le chenal d'évacuation en gabions en passant sur un seuil épais.

On utilise la formule de Bazin pour calculer l'épaisseur de la lame d'eau sur ce seuil épais :

$$Q_{dev} = 0,385 L h_0 \sqrt{2 g h_0}$$

Avec :

- Q_{dev} le débit transitant sur le déversoir, en m³/s,
- 0.385 le coefficient de seuil caractéristique d'un seuil épais, sans unité
- L la largeur déversante sur le seuil, en mètres
- g l'accélération de la pesanteur en m/s²
- h_0 la hauteur d'eau sur le seuil, en mètres.

La largeur retenue pour le seuil est de 6 mètres, ce qui correspond à une lame d'eau de 0.7 m.

Le chenal conduisant au Tarze est constitués de gabions agencés en marches d'escalier afin de casser les vitesses. Il s'agit d'éléments de 2x1m, avec un recouvrement de 0.5m entre gabions.

Le chenal est fermé de part et d'autre par des murs en L de 3.2m de haut et de 15 à 20 cm d'épaisseur.

5.2.3 Incidence du rejet sur le Tarze

Le débit de 6 m³/s évacué dans le Tarze représente un apport important pour ce cours d'eau.

Il a été calculé la ligne d'eau lors du passage de 6m³/s dans le lit du Tarze à l'aide de la formule de Manning Strickler :

$$Q = K . A . i^{0.5} . R h^{2/3}$$

Avec :

Q le débit, en m³/s

K le coefficient de rugosité de Strickler

A l'aire de la section d'écoulement, en m²

i la pente hydraulique, en m/m

Rh le rayon hydraulique, en m

La section du Tarze modélisée s'appuie sur les levés topographiques complémentaires. L'hypothèse est faite d'une symétrie entre les deux rives. La demi section modélisée est présentée en rouge ci-dessous :

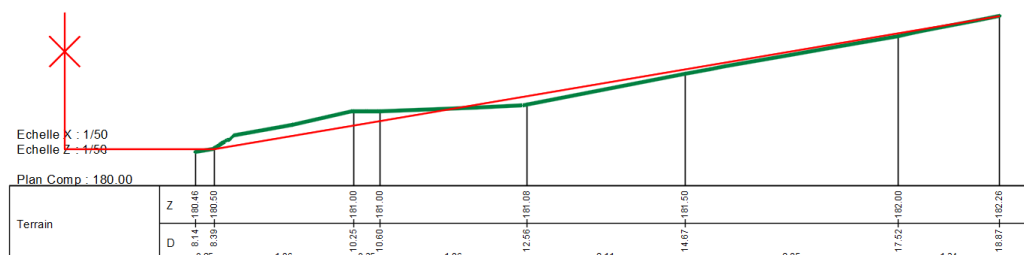


Figure 7 : Demi-section du Tarze au niveau de la restitution des eaux du délestage

Pour la rugosité on retient un coefficient de Strickler de 15, correspondant à une rugosité importante et un passage des écoulements à la fois en lit mineur et en lit majeur du Tarze.

La formule de Manning nous donne une hauteur d'eau de 87 cm. Il est entendu que l'ouverture des vannes sera progressive : 1^{ère} vanne en 10 min, suivie de la 2^e vanne en 10 min également).

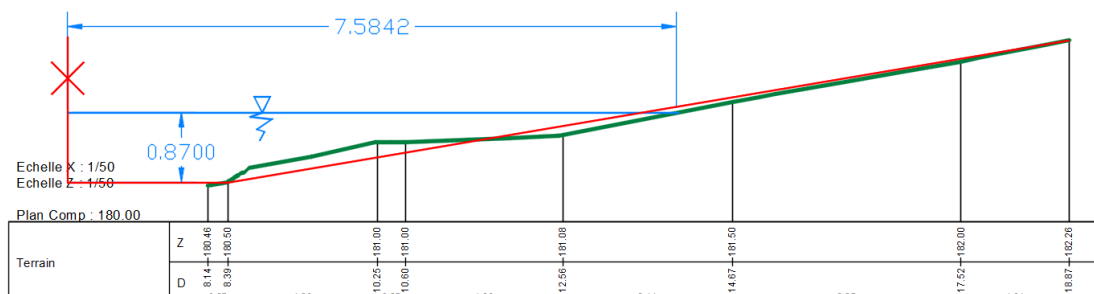


Figure 8 : Ligne d'eau dans le Tarze pour 6m3/s

La ligne d'eau s'étend largement sur le talus, et les écoulements issus du délestage n'arriveront donc pas directement dans le lit du Tarze mais dans un matelas d'eau amortissant leur impact. Il n'est donc pas nécessaire de prévoir un aménagement du lit mineur du Tarze.

5.3 Délestage de la Bourne – Saint Nazaire en Royans

Le délestage de la Bourne est compris entre les PK 8038 et 8076, en amont immédiat de l'aqueduc de Saint-Nazaire.

Les caractéristiques de l'ouvrage de délestage de la Bourne sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Caractéristiques de l'ouvrage de délestage de la Bourne

Délestage de la Bourne	
Localisation	En amont de l'aqueduc de Saint Nazaire, en rive droite du canal
PK canal	8038 à 8076
Dimensions	2 buses de DN 1200 mm
Côte du radier	190.61 mNGF
Débit évacué	6 à 6.5 m3/s
Rejet à la Bourne	2 canalisations de 108ml conduisant à un bassin de dissipation cerné d'un merlon en terre avant surverse au niveau de la falaise

Au droit de la zone de délestage le profil du canal est le suivant :

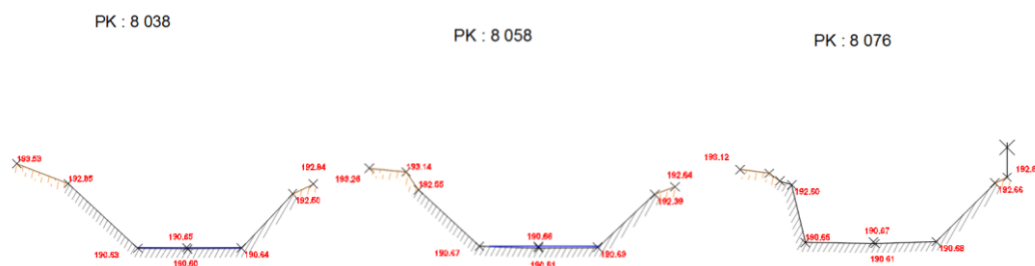


Figure 9 : Section du canal au niveau du délestage de la Bourne

Les résultats de la modélisation des écoulements au niveau de la zone de surverse sont présentés ci-dessous :

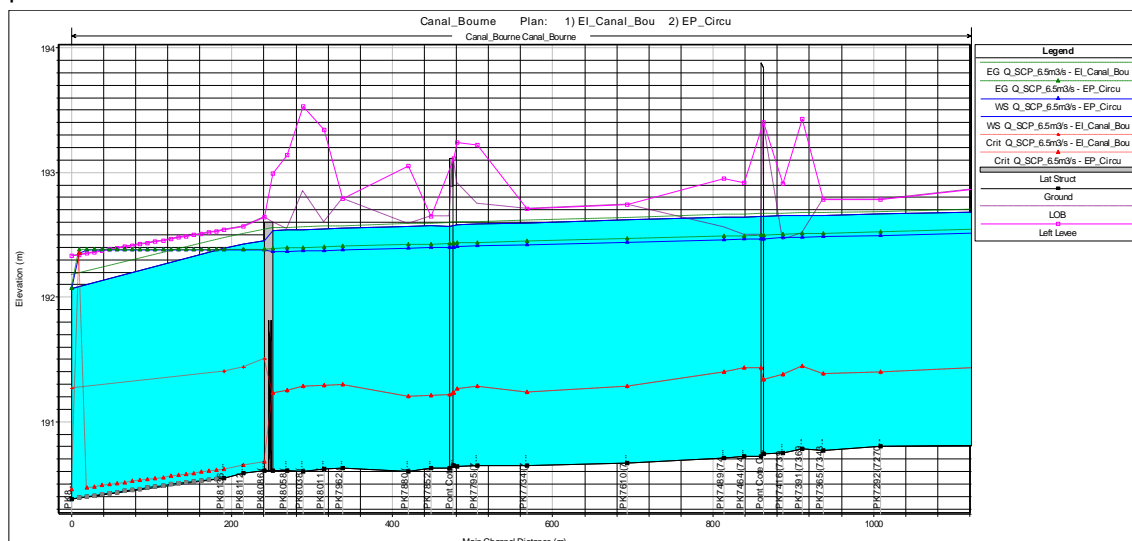


Figure 10 : Modélisation des écoulements au niveau de l'ouvrage de délestage de la Bourne

Le rejet des eaux du canal à la Bourne s'effectue via deux conduites sur 70 ml environ. Celles-ci permettent de guider les eaux jusqu'à une zone de dissipation d'énergie, créée par l'ajout d'un merlon de terre. Les eaux sont ensuite orientées le long de la falaise depuis laquelle elles se déversent dans la Bourne.

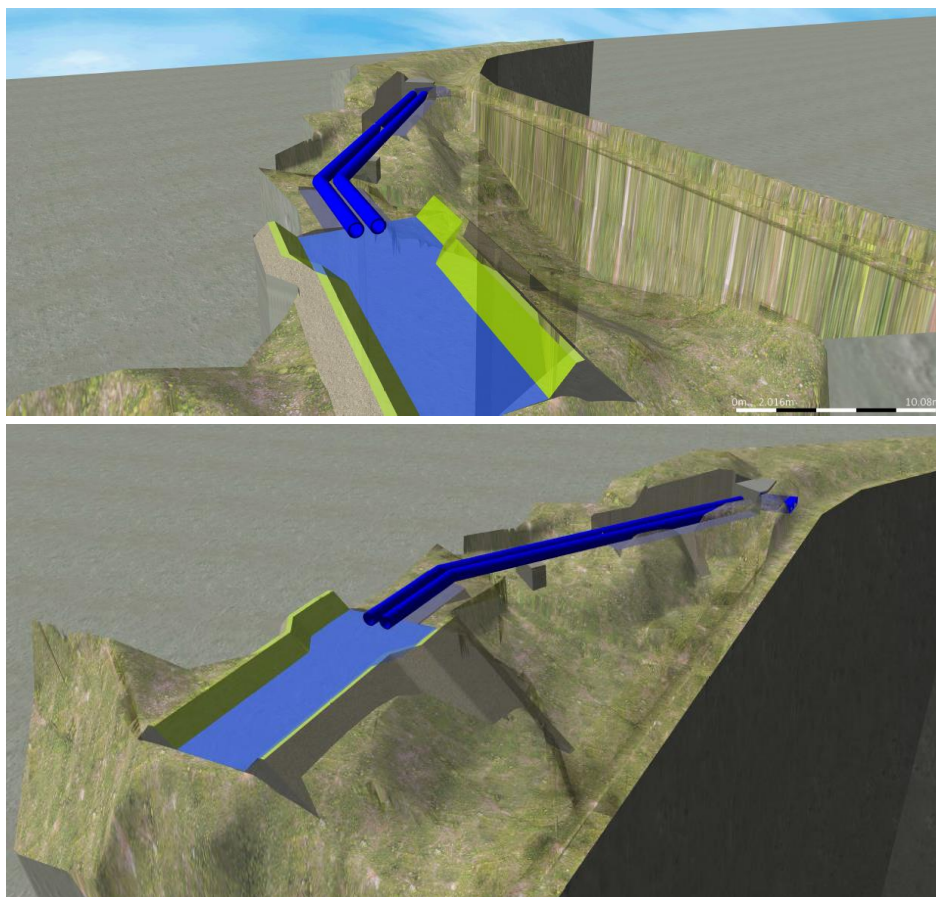


Figure 11 : Vues 3D de l'ouvrage de délestage de la Bourne ; depuis l'aval en haut ; depuis l'amont en bas

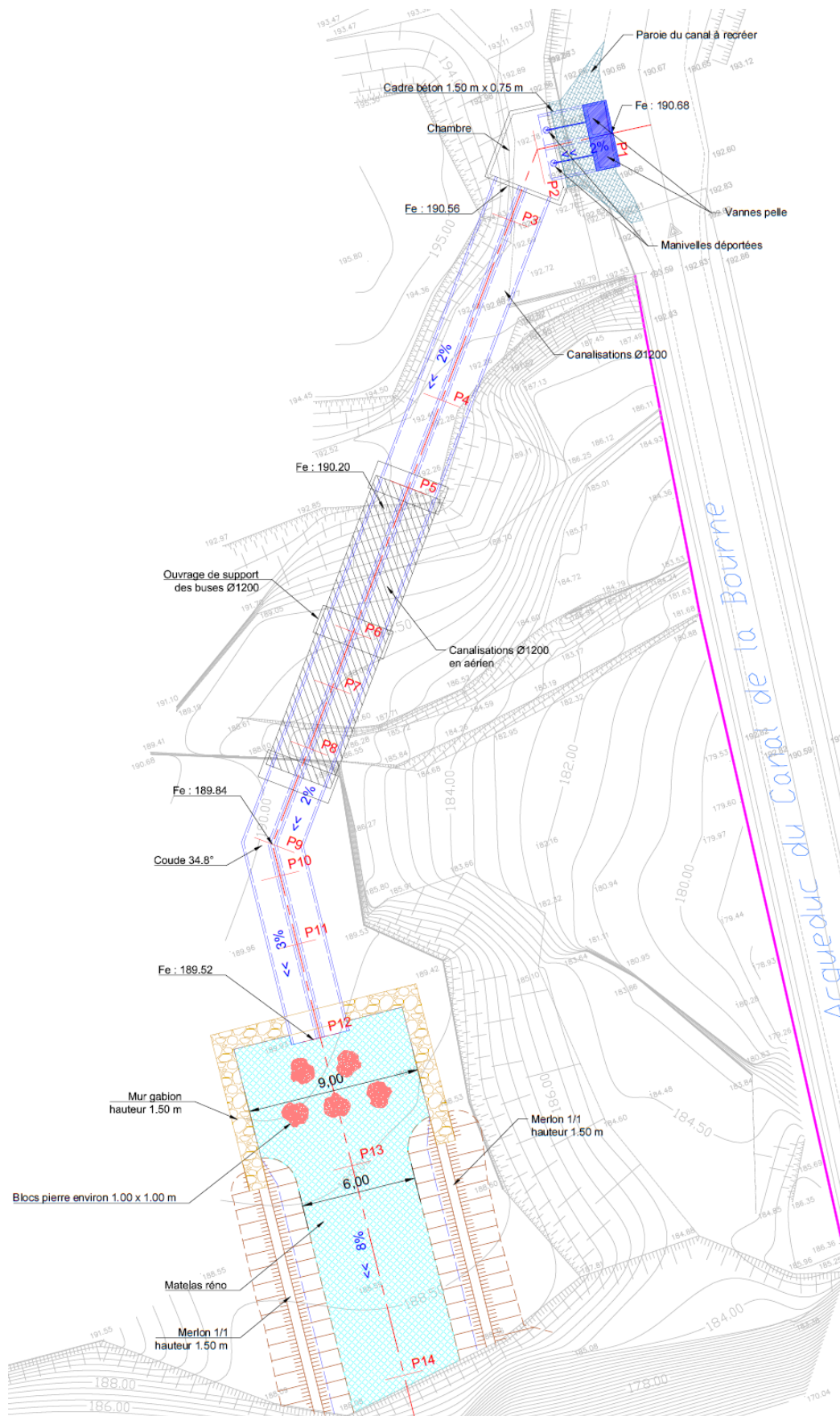
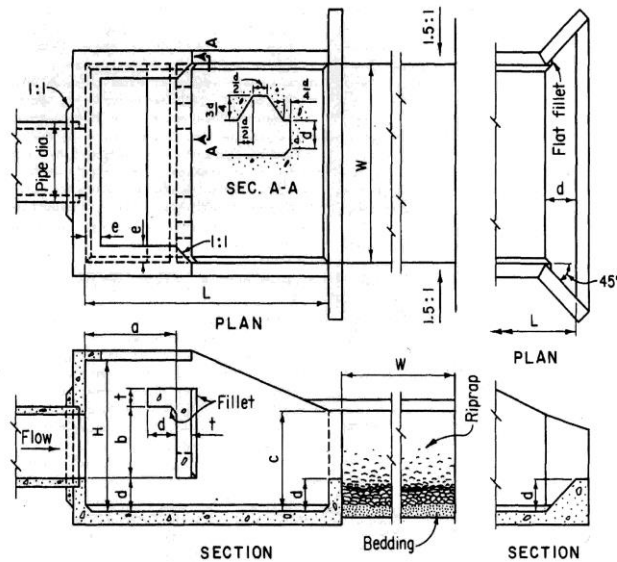


Figure 12 : Plan des installations de rejet à la Bourne des eaux de l'ouvrage de délestage de la Bourne

Variante pour l'ouvrage de restitution des eaux à la Bourne :

A la place de la zone de dissipation d'énergie il pourra être envisagé la mise en place d'un brise charge hydraulique USBR type VI, pouvant être préfabriqué et gruté sur site.

Structure basic dimensions	calculated
W	4.30 m
H	3.23 m
L	5.74 m
a	2.15 m
b	1.61 m
c	2.15 m
d	0.72 m
e	0.36 m
t	0.36 m



Maximum discharge	6.5 m ³ /s
Diameter of the pipe	1 697 mm
Velocity at the end of the conduit	2.9 m/s
Area of flow	2.26 m ²
Equivalent depth of flow at the end of the conduit	0.71 m
Froude Number	1.00

Figure 13 : Dimensions caractéristiques du brise charge USBR type VI

6 OUVRAGES DE SURVERSE

6.1 Localisation

Les ouvrages de surverse sont localisés sur la vue en plan ci-dessous : en amont du tunnel de Servant, en amont du tunnel de Manne et en aval du tunnel Odier.



Figure 14 : Localisation des zones de surverse

6.2 Solutions techniques pour les surverses

6.2.1 Génie végétal

Au vu de la faible épaisseur des lames d'eau transitant dans les zones de surverse, il est envisagé la mise en œuvre de protections des zones de déversement grâce à des techniques de génie végétal.

Pour cela les contraintes tractrices dans les zones de déversement sont estimées ci-dessous.

En écoulement uniforme, la contrainte tractrice au fond du lit peut être calculée à partir de la formule suivante :

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R \cdot j$$

Où :

- τ = la contrainte tractrice (N/m²) ;
- ρ = la masse volumique de l'eau (kg.m³) ;
- g = l'accélération de pesanteur (m/s²) ;
- R = le rayon hydraulique (m) ;
- j = la perte de charge linéaire (adimensionnel).

Des hypothèses de calcul permettent de simplifier cette expression : la ligne d'énergie (j) est parfois remplacée par la pente (i) du cours d'eau pour simplifier les calculs (équivalent à se placer dans le cas d'un écoulement uniforme). Sur les cours d'eau suffisamment larges ($L > 20 R$), on peut remplacer le rayon hydraulique (R) par la hauteur d'eau (h). Au vu des largeurs importantes des déversoirs et des faibles épaisseurs des lames d'eau, cette approximation est valable dans le cas de la présente étude.

Les contraintes tractrices supportées par les différentes techniques de génie végétal sont présentées ci-dessous :

❶ Récapitulatif des valeurs limites de contraintes tractrices en fonction de l'âge. Les nouvelles valeurs limites sont en gras et les valeurs de rupture d'ouvrage sont soulignées. Les chiffres entre parenthèse renvoient aux références d'où sont issues les valeurs. Les lettres renvoient au cours d'eau concerné.

Techniques	Contrainte tractrice [N/m²]					
	Moins de 1 an après la réalisation	1 à 2 ans après la réalisation	3 à 4 ans après la réalisation	5 à 6 ans après la réalisation	3 à 4 ans après la réalisation	9 ans et plus après la réalisation
Plantation d'hélophytes	5 ^(a)		30 ^(a)			
Ensemencement	20 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	100 ^(a)			
Fascine d'hélophytes	30 ^(a)	30 ⁽²⁾	60 ^(a)			
Clayonnage et tressage	10 ^{(2)(a)}	120 ^(a)	120 ^{(1)(3)(a)}			
Bouture	75 ⁽⁷⁾	150 ⁽¹⁾	165 ⁽¹⁾			
Saule jeune (moins de 2 ans)	100 ⁽⁴⁾		140 ⁽⁷⁾			800 (20 ans) ⁽⁷⁾
Lit de plants et plançons jusqu'en pied de berge	108 ^(a)	134 ^(a)	150 ^(a)			
Lit de plants et plançons avec fascine de saule en pied de berge	141 ^(a)	172 ^(a)	116 ^(a) (rupture fascine)			
Lit de plants et plançons avec enrochement en pied de berge	196 ^(a) ; 37 ^(a)	204 ^(a)	212 ^(a)			77 ^(a)
Fascine de saule en pied de berge	141 ^(a) ; 50 ^(a)	240 ^(a) ; 116 ^(a)	> 300 ⁽⁷⁾			98 ^(a)
Couche de branches à rejets avec enrochement en pied de berge	244 ^(c)	300 ^{(2)(7)(a)}	450 ⁽²⁾	51 ^(a)		
Caisson en bois végétalisé	500 ⁽²⁾	60 ⁽²⁾	600 ⁽²⁾	153 ^(a)	109 ^(a) ; 381 ^(a)	98 ^(a)
Enrochement végétalisé	200 ^(a)	300 ⁽²⁾	350 ⁽²⁾			
Enrochement nu	250 ^(a)	250 ^(a)	250 ^(a)			

1 : (Faber, 2004) ; 2 : (Venti *et al.*, 2003) ; 3 : (Florineth, 1982, 1995) ; 4 : (Adam *et al.*, 2008) 5 : (Gerstgraser, 1998) ; 6 : (Witzig, 1970) ; 7 : (Lachat, 1994) ; 8 : (Schiechl et Stern, 1996) ; 9 : (Gerstgraser, 2000).
a : Arve ; b : Avançon d'Anzeindaz ; c : Bens ; d : Dadon ; e : Gelon ; f : Guiers vif ; g : Néphaz ; h : Pamphiot ; i : Petite Gryonne ; j : Volane ; k : Isère.

SCIENCES EAUX & TERRITOIRES – ARTICLE HORS SÉRIE N° 27 – 2016

Technique	Résistance mécanique τ en N/m²		
	A la réalisation	1 à 2 ans après	3 ou 4 ans après
Enherbement	4 ⁽³⁾ -20 ⁽³⁾	25-30 ⁽³⁾	30 ⁽³⁾ -100 ⁽²⁾
Boutures	10 ⁽³⁾	60 ⁽³⁾ -150 ⁽¹⁾	60 ⁽³⁾ -165 ⁽¹⁾
Boudin d'hélophytes	10 ⁽³⁾ -30 ⁽²⁾	20-30 ⁽³⁾	50 ⁽³⁾ -60 ⁽¹⁾
Clayonnages	10 ^(2,3)	10-15 ⁽³⁾	10 ⁽³⁾ -120 ⁽¹⁾
Fascinés	20 ⁽³⁾ -60 ⁽²⁾	50 ⁽³⁾ -60 ⁽³⁾	80 ⁽²⁾ -250 ⁽⁴⁾
Saules		50-70 ⁽⁴⁾	100-140 ⁽⁴⁾ 800 (20 ans) ⁽⁴⁾
Plantation d'arbre	20 ⁽²⁾		120 ⁽²⁾
Lit de plants et plançons	20 ^(2,3)	120 ⁽³⁾	140 ^(2,3)
Couche de branches à rejet	50 ^(2,3) -150 ⁽³⁾	150 ⁽³⁾ - 300 ⁽³⁾	300 ^(2,3) -450 ⁽³⁾
Caissons végétalisés	500 ⁽³⁾	600 ⁽³⁾	600 ⁽³⁾
Enrochements	Végétalisés	100 ⁽³⁾ -200 ⁽²⁾	100 ⁽³⁾ -300 ⁽³⁾
	Nus	250 ⁽²⁾	250 ⁽²⁾

(1) Faber 2004 (2) Schiechl et Stern 1996 (3) Venti et al 2003 (4) Lachat 1994

Figure 15 : Résistance des techniques de génie végétal

Les valeurs des contraintes tractrices obtenues pour les trois zones de surverses sont de l'ordre de 1000 N/m².

Dans ces conditions l'usage des techniques végétales n'est pas adapté. Il sera mis en œuvre des matelas Reno, permettant une résistance suffisante aux contraintes induites par les écoulements.

6.2.2 Matelas Reno

Les matelas mis en œuvre pour la protection des talus des zones de surverse seront des nappes de gabions d'une épaisseur de 30cm.

6.3 Surverse en amont du tunnel du Servant

L'ouvrage de surverse en amont du tunnel du Servant est situé entre les PK 2079 et 2103.

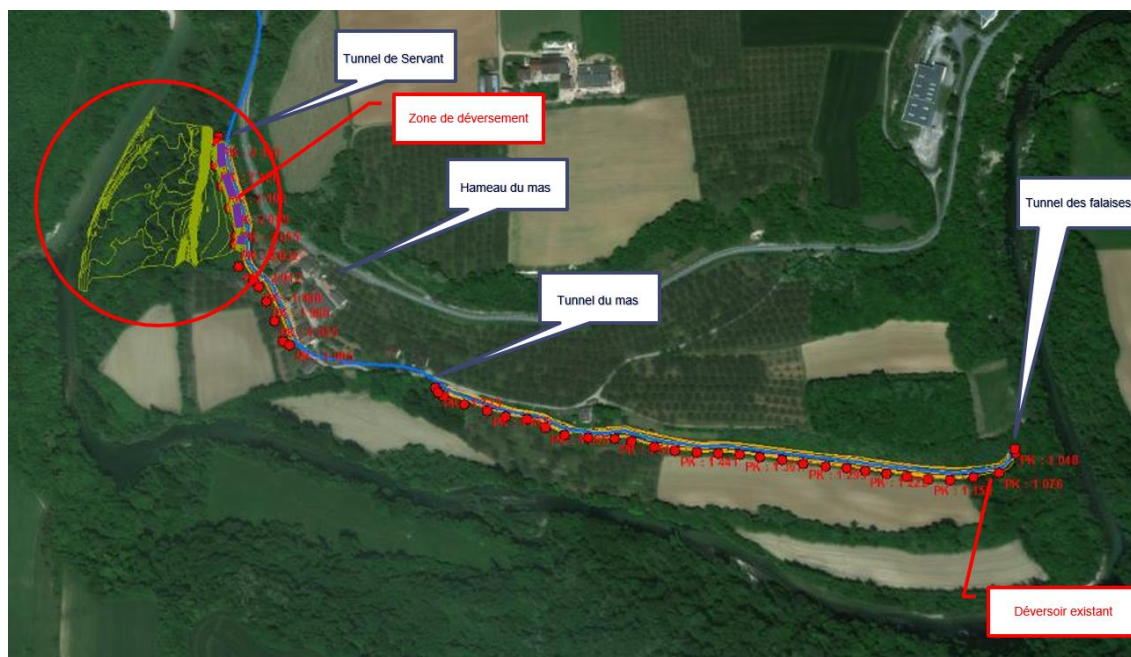


Figure 16 : Vue aérienne de la surverse en amont du tunnel du Servant

Les caractéristiques de la surverse sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Caractéristiques de la surverse en amont du tunnel du Servant

Surverse en amont du tunnel du Servant	
Longueur de la zone déversante	95 m
Débit transitant par la surverse	5.9 m ³ /s
Hauteur de la lame d'eau	15 cm
Réhausse de la ligne d'eau en amont	5 à 20 cm
PK canal	2079 à 2103

Le canal a une section trapézoïdale sur la section déversante. Les sections concernées sont présentées ci-dessous :

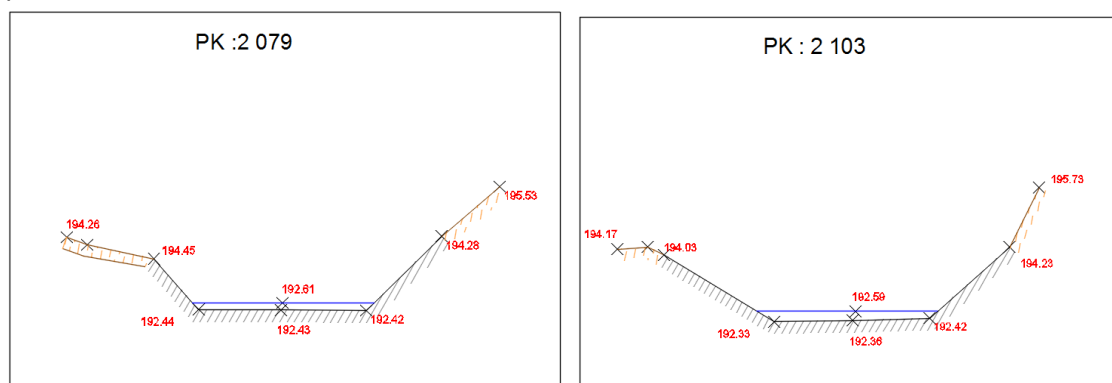


Figure 17 : Sections du canal au niveau de la surverse en amont du tunnel du Servant

La zone de surverse et les écoulements sont illustrés ci-dessous :

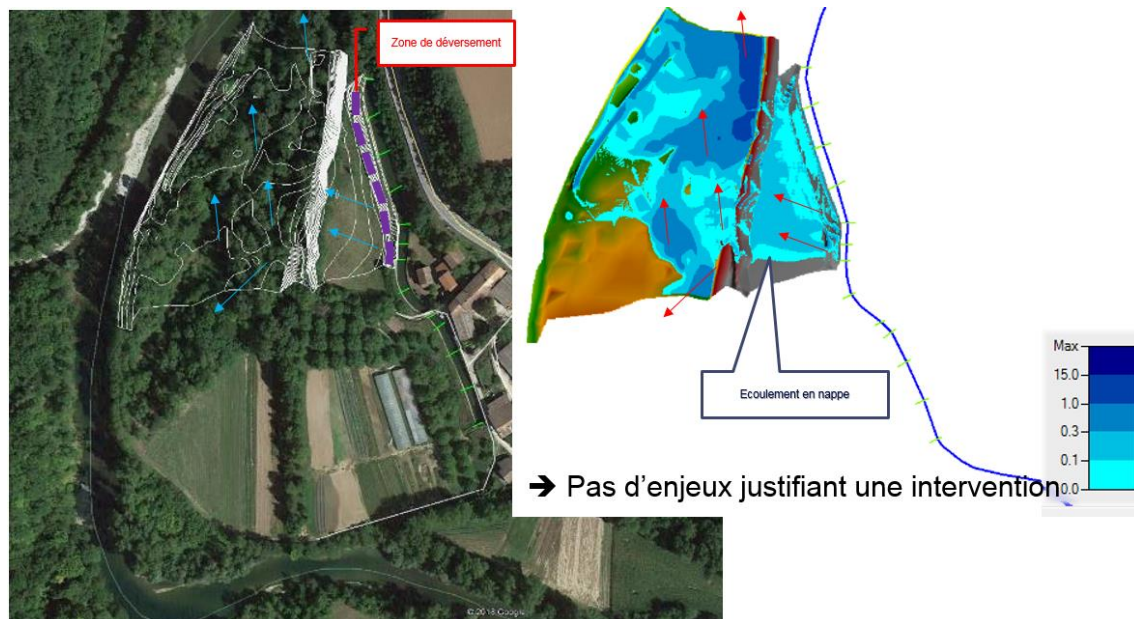


Figure 18 : Vue aérienne et modélisation des écoulements dans la zone de surverse en amont du tunnel du Servant

6.4 Surverse en amont du tunnel de Manne

L'ouvrage de surverse en amont du tunnel de Manne est situé entre les PK 4936 et 4962.

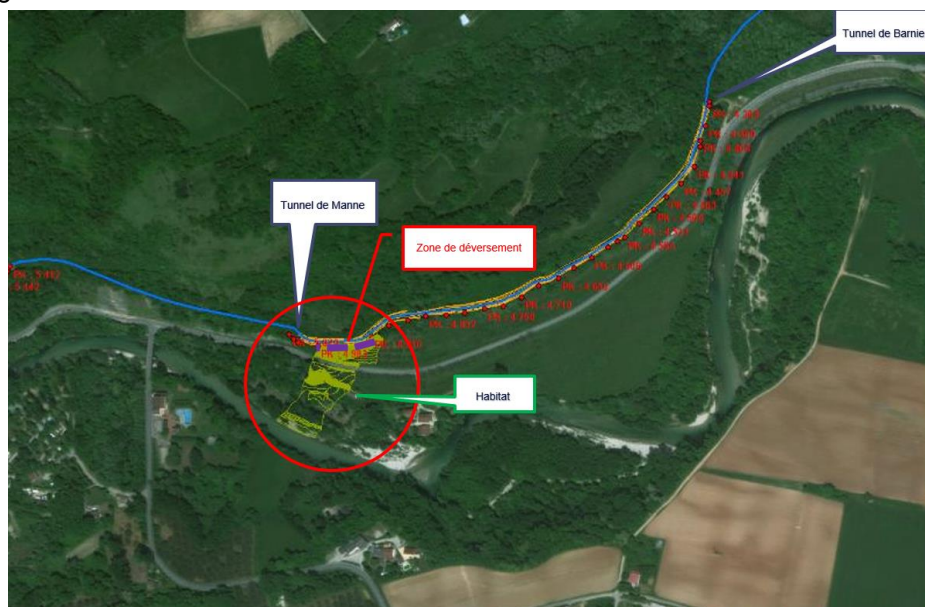


Figure 19 : Vue aérienne de la surverse en amont du tunnel de Manne

Ses caractéristiques principales sont rassemblées ci-dessous :

Tableau 6 : Caractéristiques de la surverse en amont du tunnel de Manne

Surverse en amont du tunnel de Manne	
Longueur de la zone déversante	70 m
Débit transitant par la surverse	6.4 m ³ /s
Hauteur de la lame d'eau	20 cm
Réhausse de la ligne d'eau en amont	20 à 30 cm
PK canal	4936 à 4962

Les résultats de la modélisation dans la zone de surverse sont présentés ci-dessous :

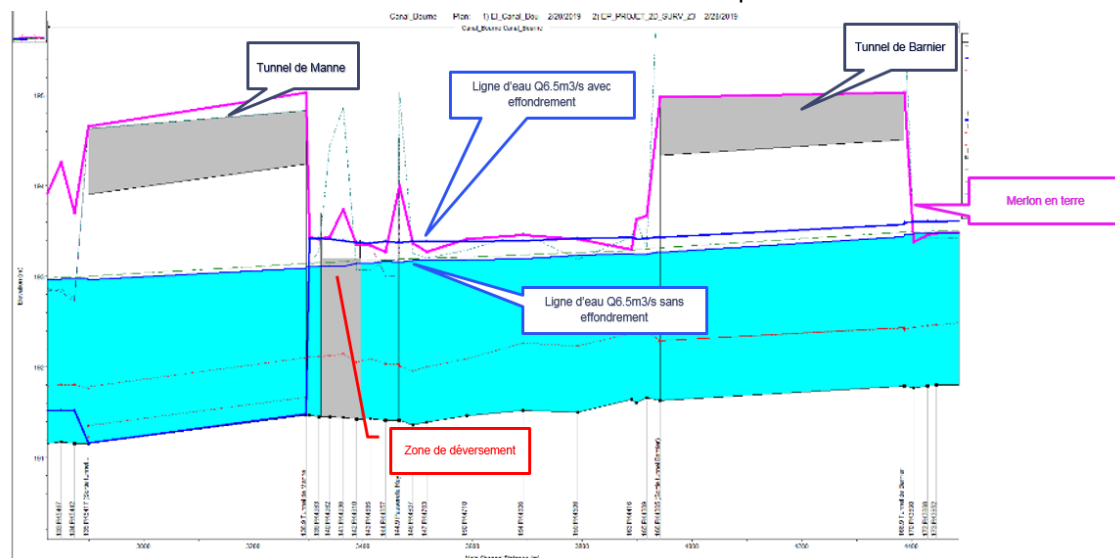


Figure 20 : Modélisation des écoulements dans le canal au niveau de la zone de surverse en amont du tunnel de Manne

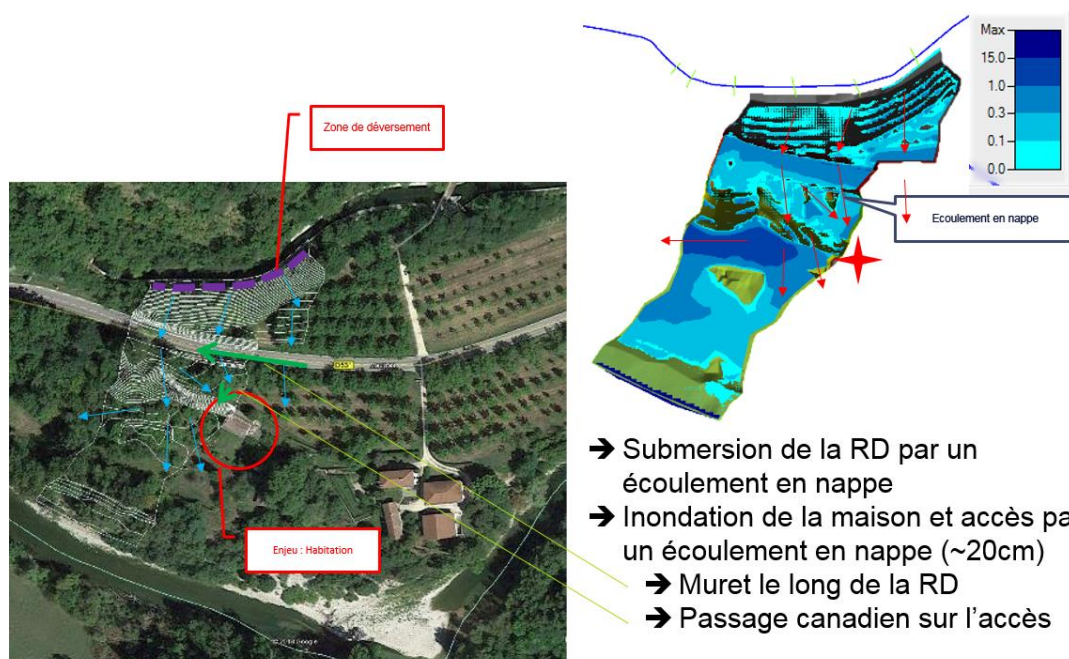


Figure 21 : Ecoulements dans la zone de surverse située en amont du tunnel de Manne

En raison d'habitations situées à proximité de la zone de déversement, la réalisation de cet aménagement est remise en cause. Cette solution fait l'objet d'un chiffrage détaillé, et l'opportunité de sa réalisation est étudiée dans la synthèse de la présente étude.

6.5 Surverse en aval du tunnel Odier

L'ouvrage de surverse en aval du tunnel Odier est situé entre les PK 6147 et 6172. La zone de déversement est illustrée sur la figure ci-dessous :

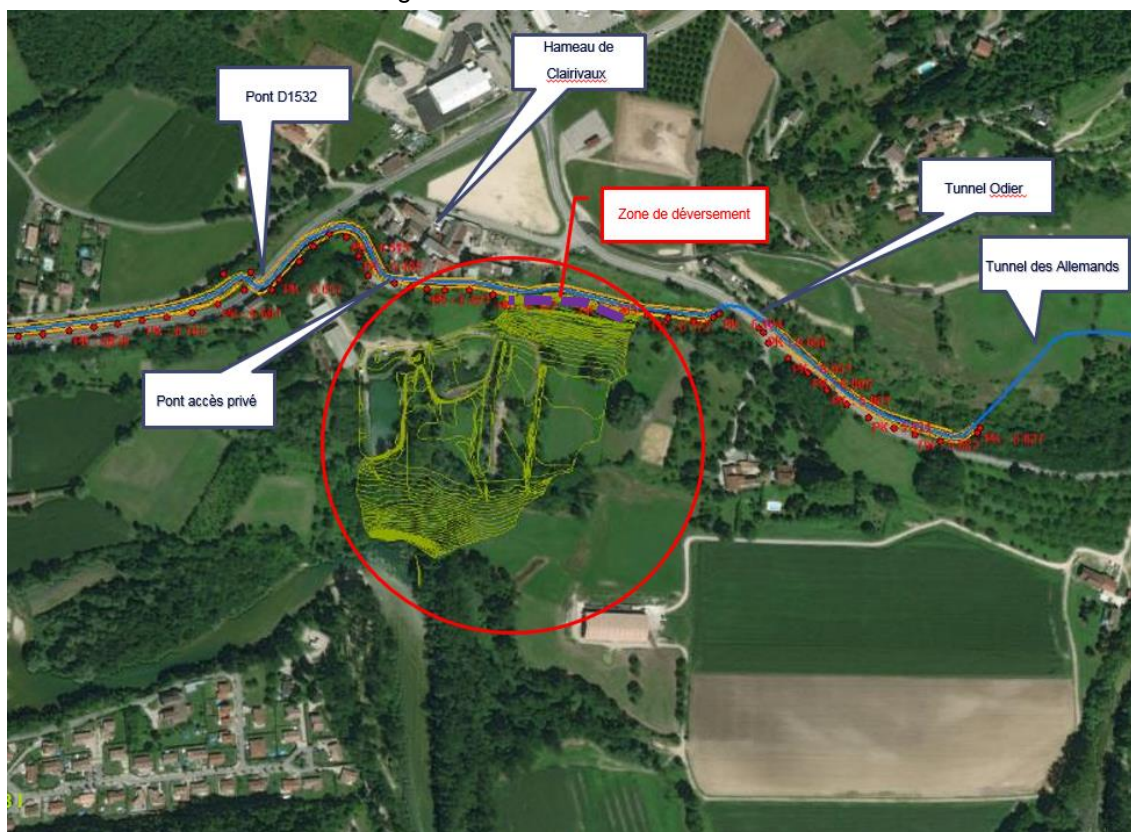


Figure 22 : Vue aérienne de la surverse en aval du tunnel Odier

Dans la zone de surverse en aval du tunnel Odier le canal a une forme trapézoïdale :

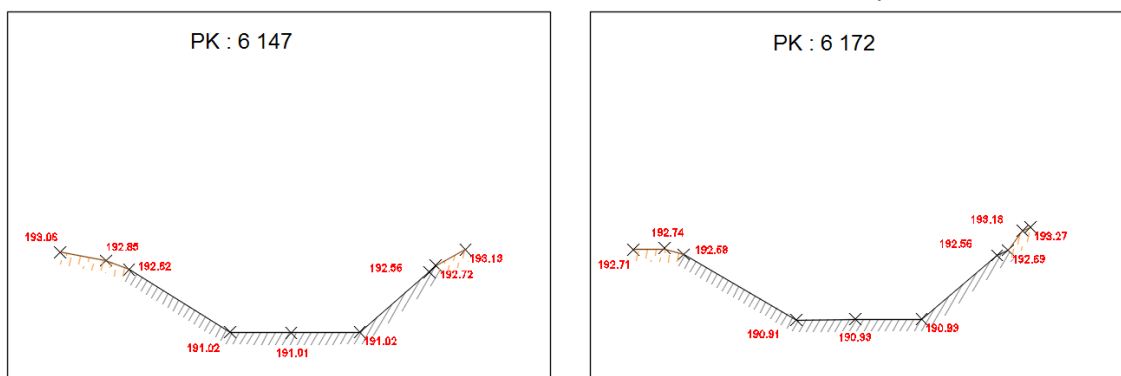


Figure 23 : Sections du canal au niveau de la surverse en aval du tunnel Odier

Les caractéristiques de la zone de surverse sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7 : Caractéristiques de la surverse en aval du tunnel Odier

Surverse en aval du tunnel Odier	
Longueur de la zone déversante	130 m
Débit transitant par la surverse	4.5 m ³ /s
Hauteur de la lame d'eau	10 cm
Réhausse de la ligne d'eau en amont	15 cm
PK canal	6147 à 6172

Les écoulements au niveau de la zone de surverse ont été modélisés et les résultats de cette modélisation sont présentés ci-dessous :

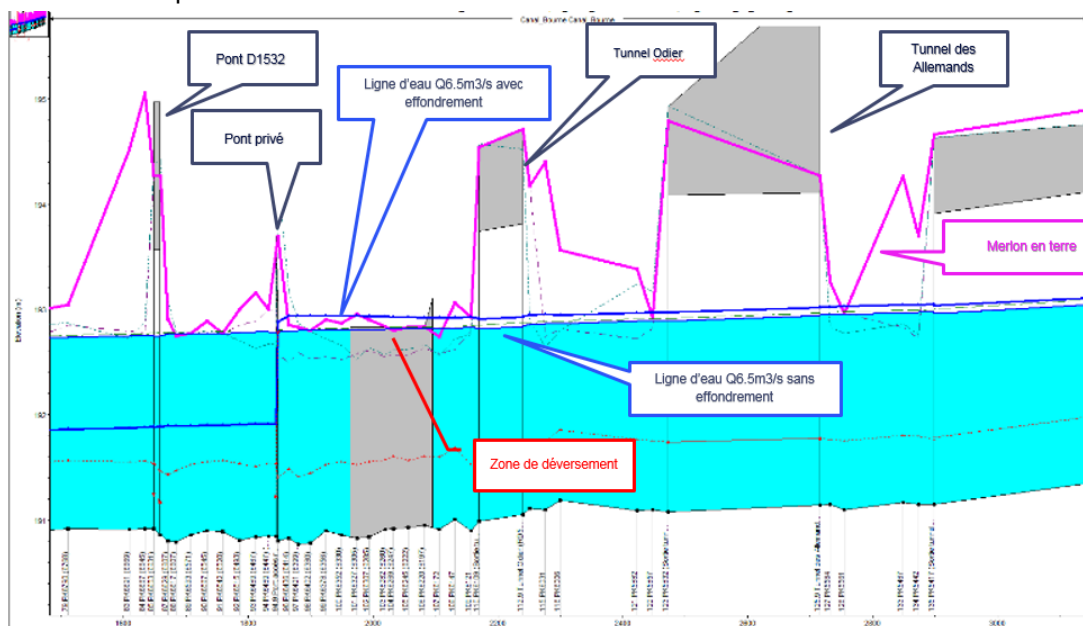
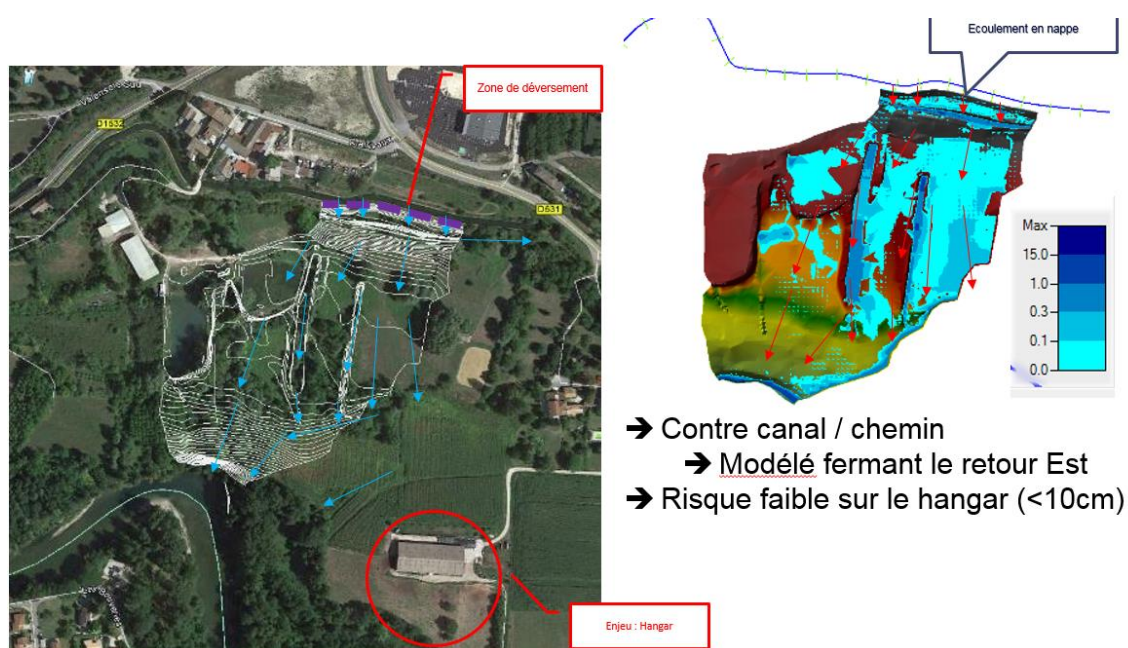


Figure 24 : Modélisation des écoulements au niveau de la surverse en aval du tunnel Odier



7 REHAUSSES

Des réhausses sont nécessaires pour assurer le fonctionnement du canal en toute sécurité lors du passage d'un débit de 6m³/s, ce qui correspond au fonctionnement nominal du canal. Des réhausses sont également nécessaires dans le cadre de l'aménagement de déversoirs et de surverses permettant d'évacuer les eaux du canal en cas d'obstruction de l'un des tunnels.

A partir des modélisations hydrauliques, il a été déterminé les zones à rehausser pour assurer une revanche de 10 cm, dans le cas d'un écoulement de 6m³/s comme en cas d'obstruction d'un tunnel.

Ces réhausses seront constituées de murets en béton. Les hauteurs de réhausses nécessaires vont de quelques centimètres à un peu plus d'un mètre, très ponctuellement.

Dans la mesure du possible et en accord avec la DREAL, les réhausses seront réalisées dans le cadre de la réfection du canal.

7.1 Types de réhausses envisagées

Différents types de réhausses ont été envisagées et analysées afin de déterminer la solution la plus adaptée aux particularités du canal.

7.1.1 Terre compactée revêtue de béton projeté

- Pour les profils type talus incliné en béton adossé à un remblai horizontal il est envisagé l'ajout de terre compactée sur le remblai existant puis son revêtement en béton projeté. On veillera à la bonne cohésion entre l'ancien remblai et le nouveau en scarifiant la couche supérieure du remblai d'origine.
- Pour les profils type talus incliné en béton adossé à un remblai incliné lui aussi nous préconisons un décapage du remblai existant sur une faible épaisseur puis son revêtement en béton projeté. On veillera à la bonne cohésion entre l'ancien remblai et le nouveau béton.
- Pour les profils avec un talus vertical en béton adossé à un remblai, on pourra choisir de rehausser le remblai et de le revêtir de béton, ou bien de seulement rehausser la partie en béton.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ○ Bonne résistance aux contraintes d'arrachement 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nécessite une emprise importante ○ Réalisable seulement sur une partie du linéaire (paroi du canal adossée à un remblai)

- Paroi en béton inclinée adossée à un remblai horizontal

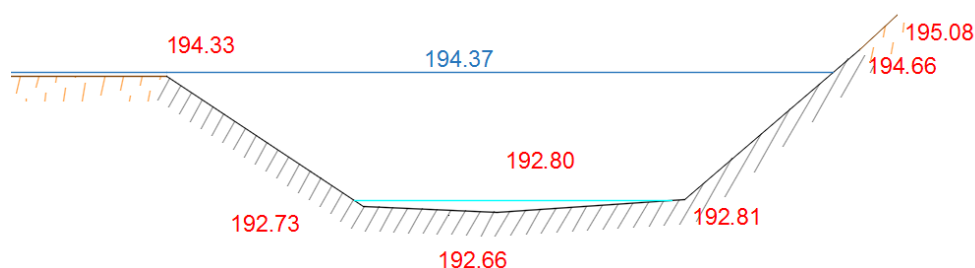


Figure 25 : PK 1076 avant réhausse

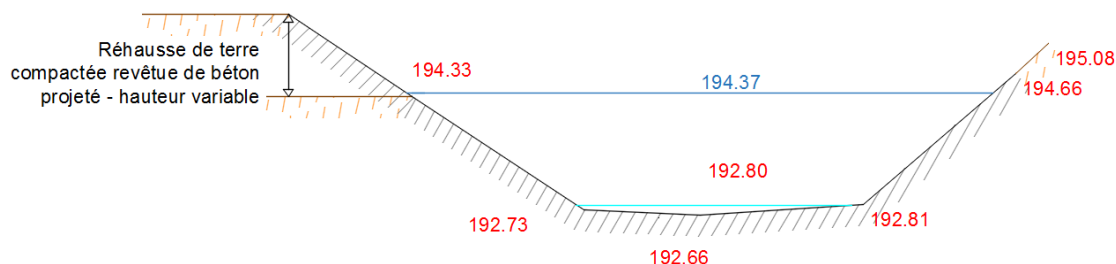


Figure 26 : Exemple de réhausse sur le PK 1076

- Paroi en béton inclinée adossée à un remblai incliné

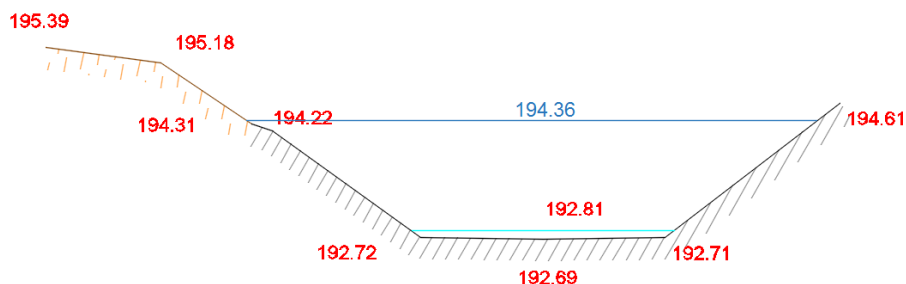


Figure 27 : PK 1150 avant réhausse

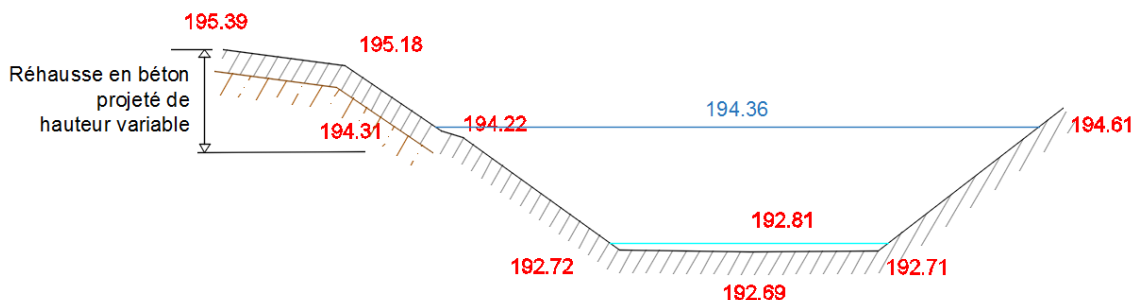


Figure 28 : PK 1150 après réhausse

7.1.2 Terre compactée revêtue d'un géotextile

Sur les zones où le canal est adossé à un remblai, il peut être envisagé de simplement réhausser le remblai en terre compactée, et de le revêtir au besoin d'un géotextile, en fonction des contraintes d'arrachement.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ○ Peu cher 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nécessite d'avoir un espace disponible suffisant ○ Applicable sur une partie du linéaire seulement ○ Doit résister aux contraintes d'arrachement

7.1.3 Parapet en béton

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ○ Nécessite peu d'emprise ○ Nécessite peu de matériaux ○ Applicable à l'ensemble du linéaire, quelle que soit la hauteur de la réhausse à réaliser ○ Bonne résistance aux contraintes d'arrachement 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nécessite une fondation en bon état, ou de repiquer le canal jusqu'à l'atteinte d'un support sain ○ Nécessite de réaliser une étanchéité de bonne qualité

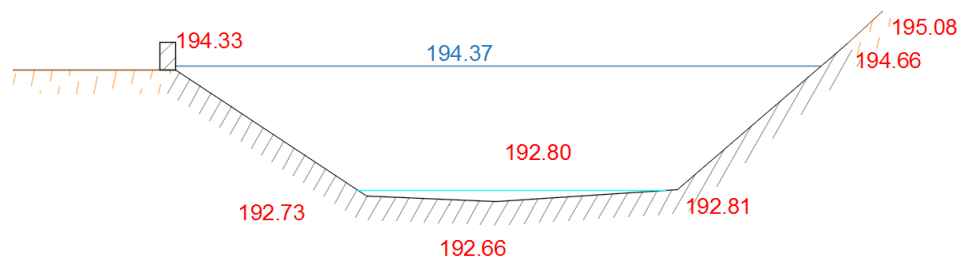


Figure 29 : réhausse parapet PK 1076



Figure 30 : Réhausse parapet PK 1150

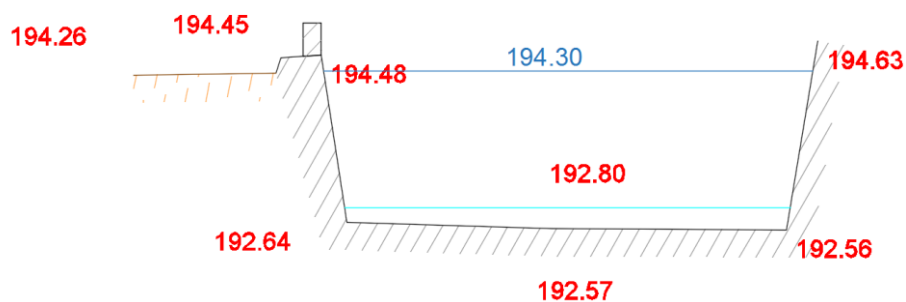


Figure 31 : Réhausse parapet PK 1571

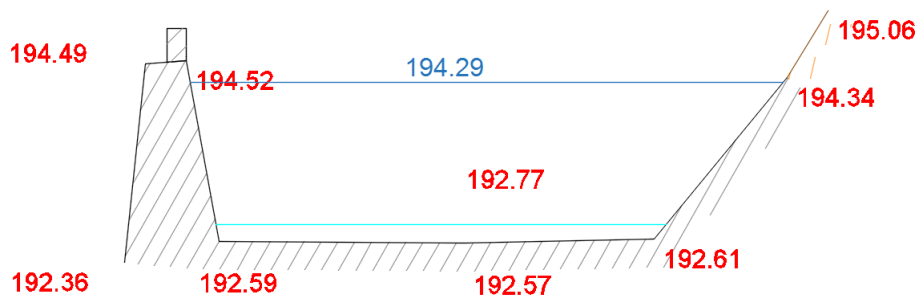


Figure 32 : Réhausse parapet PK 1619

7.1.4 Solution technique retenue

Au vu des faibles emprises disponibles en rive gauche du canal, la solution de réhausse par un muret en béton est retenue pour l'ensemble du linéaire à rehausser.

Cette solution est retenue car elle pourra être intégrée comme une plus-value à la réfection du canal prévue dans le cadre de son entretien courant.

De plus, il est d'autant plus important de limiter au maximum l'emprise des travaux que la végétation aux abords du canal est très dense et que les accès sont difficiles, deux éléments risquant d'entraîner des surcoûts importants.

7.2 Dimensionnement des réhausses

Le dimensionnement des réhausses a été réalisé en tenant compte des lignes d'eau lors du passage d'un débit de 6 m³/s avec une revanche de 10 cm, et dans le cas du fonctionnement de chacun des déversoirs et des délestages, de même avec une revanche de 10 cm.

En cas d'obstruction de l'un des tunnels ou de chute d'un embâcle dans le tunnel, il y a formation d'un « lac » depuis cet embâcle jusqu'au déversoir situé en amont. Il a été calculé la réhausse nécessaire pour contenir ce lac sans débordement et avec une réhausse de 10 cm. Cette hauteur de réhausse est comparée à la réhausse nécessaire au transit de 6m³/s avec une revanche de 10cm et le maximum des deux est retenu.

Suite à ces calculs, les hauteurs des réhausses nécessaires vont de quelques centimètres à, très ponctuellement, un mètre. Il est prévu des réhausses en béton d'une épaisseur de 30 cm.

Le linéaire à conforter est de 4200 mètres linéaires sur le tronçon amont, sur lequel porte la présente étude.

8 COUTS ET SCENARIOS D'AMENAGEMENT

Pour sécuriser les enjeux à proximité du canal vis-à-vis des risques de surverse suite à une obstruction accidentelle du canal, les scénarios d'aménagements envisagés sont les suivants :

- Scénario 1 : Réalisation de l'ensemble des aménagements en une seule opération
 - ▷ Avec le déversoir de Manne : 298 € HT / ml de réhausse (prix moyen)
 - ▷ Sans le déversoir de Manne : 305 € HT / ml de réhausse (prix moyen)
- Scénario 2 : Réalisation des ouvrages de surverse et de délestage en une seule opération et intégration des réhausses à la réfection du canal sur 10 ans
 - ▷ Avec le déversoir de Manne : 256 € HT / ml de réhausse (prix moyen)
 - ▷ Sans le déversoir de Manne : 262 € HT / ml de réhausse (prix moyen)

Les coûts des différents postes sont présentés ci-dessous :

Aménagement	Montant	
	avec Manne	sans Manne
REHAUSSES		
Réhausses indépendantes de la réfection du canal	1 251 800 € HT	1 282 200 € HT
Réhausses intégrées à la réfection du canal	1 074 000 € HT	1 100 600 € HT
OUVRAGES DE DELESTAGE		
Délestage de la Bourne	377 700 € HT	
Délestage du Tarze	208 600 € HT	
OUVRAGES DE SURVERSE		
Surverse en amont du tunnel de Servant	163 500 € HT	
Surverse en amont du tunnel de Manne	182 000 € HT	0 € HT
Surverse en aval du tunnel Odier	258 400 € HT	
DIPOSITIFS D'AUSCULTATION		
Capteurs de niveau d'eau	265 500 € HT	

L'estimation financière détaillée de chacun des postes du projet est disponible en annexe 5.

Le montant global de chacun des scénarios d'aménagement est le suivant :

	Réalisation des ouvrages et des réhausses en une seule opération (MOE agréée)	Réalisation des ouvrages et intégration des réhausses aux opérations de réfection du canal sur 10 ans (sous MOE agréé comme depuis 2019)
Avec le déversoir de Manne	2 707 500 € HT	1 455 700 € HT + 1 074 000 € HT sur 10 ans
Sans le déversoir de Manne	2 555 900 € HT	1 273 700 € HT + 1 100 600 € HT sur 10 ans

Nota : Nous attirons l'attention sur le fait que les prix de la présente estimation financière n'intègrent pas les acquisitions foncières potentiellement nécessaires à la réalisation du projet. Ils intègrent une majoration de 20 % pour la prise en compte des imprévus et aléas, et un pourcentage de maîtrise d'œuvre de 7 %. Tous les prix s'entendent hors taxes.

9 CONCLUSIONS

Le présent AVP a permis, de préciser et chiffrer les travaux à engager pour prévenir des déversements incontrôlés dans des zones potentiellement à enjeux :

Evènement	Réponse
Blocage brutal de l'écoulement (glissement de terrain, effondrement tunnel)	Télésurveillance des niveaux d'eau sur le linéaire pour fermeture de prise d'eau dans les meilleurs délais Zones de surverse maîtrisées
Rupture d'une digue	Astreinte et alerte via mesures de niveau et/ou services d'urgence pour : <ul style="list-style-type: none">- Fermer la prise d'eau- Ouvrir les ouvrages de délestage en capacité de vidanger le canal en amont et de limiter le volume déversé

La géométrie du canal permet d'envisager qu'une légère rehausse supplémentaire permette d'éviter un déversoir au droit du tunnel de Manne pour lequel la gestion des eaux de surverse est compliquée et pourrait amener à toucher une habitation.

La comparaison financière est aussi à l'avantage de cette option dont le coût global (environ 150 k€ moins élevé que la solution avec déversoir de manne) peut surtout être étalé sur plusieurs années. C'est donc cette option que nous recommandons pour les études futures.

ANNEXE 1

CARNET DE PLANS

ANNEXE 2

NOTE DE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

ANNEXE 3

CALCUL DES REHAUSSES

ANNEXE 4

ESTIMATION FINANCIERE DETAILLÉE