



Comité intercommunautaire pour l'assainissement du Lac du Bourget

Mission de maîtrise d'œuvre pour les travaux de protection contre les inondations et de restauration de la Leysse aval

Etude d'Avant-Projet modificatif

Notice
X.001085.001 – DIGP 2020-680A



Mission de maîtrise d'œuvre pour les travaux de protection contre les inondations et de restauration de la Leysse aval

Etude d'Avant-Projet modificatif

Notice

X.001085.001 – DIGP 2020-680A

MAÎTRE D'ŒUVRE	Groupement SUEZ Consulting / CNR
-----------------------	---

CONTRÔLE QUALITÉ	NOM	DATE	SIGNATURE
RÉALISÉ PAR	Yoann LAFFONT / Luc DURON / Hélène CHAPUIS	21/10/2020	
VÉRIFIÉ PAR	Hélène CHAPUIS / Christophe MOIROUD / Romain GRANJON	21/10/2020	
APPROUVÉ PAR	Christophe MOIROUD	21/10/2020	

INDICE DU DOCUMENT	DATE	DÉSIGNATION DE LA RÉVISION
-	18/09/2020	Première émission du document
A	21/10/2020	Prise en compte des remarques du Cisalb

Sommaire

Sommaire	3
1 Introduction	8
1.1 Localisation du secteur d'étude	9
1.2 Objectifs et enjeux du projet	11
1.3 Hors périmètre de la mission	12
1.4 Documents d'entrée	12
2 Analyse des données existantes et diagnostic	13
2.1 Historique des aménagements et description des ouvrages	13
2.1.1 <i>Historique du secteur d'étude</i>	13
2.1.2 <i>Fonctionnement hydromorphologique</i>	15
2.1.3 <i>Ouvrages du site</i>	17
2.2 Données géotechniques issues de l'étude des systèmes d'endiguement	20
2.2.1 <i>Contexte géologique</i>	20
2.2.2 <i>Synthèse des reconnaissances géotechniques et géophysiques</i>	20
2.3 Diagnostic des digues	22
2.3.1 <i>Digue rive droite (SE2.2 aval)</i>	22
2.3.1 <i>Digue rive gauche (SE5 aval)</i>	27
2.4 Données environnementales	30
2.4.1 <i>Habitats aquatiques et rivulaires</i>	30
2.4.2 <i>Continuités écologiques</i>	32
2.4.3 <i>Espèces exotiques envahissantes</i>	34
2.4.4 <i>Espèces protégées et habitats d'intérêts communautaires</i>	34
2.5 Données topographiques	35
2.6 Données hydrologiques	36
2.6.1 <i>Station du pont du Tremblay</i>	36
2.6.2 <i>Débits issus de l'étude Hydrolac</i>	36
2.6.3 <i>Comparaison des débits de pointe</i>	37
2.7 Contraintes, usages et servitudes	38
2.7.1 <i>Réseaux</i>	38
2.7.2 <i>Usages des abords du site et occupation du sol</i>	41
3 Approche méthodologique pour la définition des scénarios	43
4 Etude hydraulique	44
4.1 Fonctionnement de la plaine de pré-marquis	44
4.1.1 <i>Principe de fonctionnement de la plaine et interactions</i>	44
4.1.2 <i>Fonctionnement du seuil de pré-marquis en état actuel</i>	45
4.2 Résultats sur l'état actuel	47
4.2.1 <i>Débordements rive droite</i>	48
4.2.2 <i>Débordements rive gauche</i>	48
4.3 Scénario 1	49
4.4 Scénario 2	49
4.5 Scénario 3 – Solution de base	49
4.6 Scénario 3 – variante 1	52
5 Description technique des scénarios d'aménagement	55
5.1 Objectifs de l'aménagement	55
5.2 Scénario 1	56
5.2.1 <i>Rive droite</i>	56
5.2.2 <i>Rive gauche</i>	57
5.2.3 <i>Lit mineur</i>	57
5.3 Scénario 2 – Elargissement minimum	59
5.3.1 <i>Rive droite</i>	59
5.3.2 <i>Rive gauche</i>	59
5.3.3 <i>Lit mineur</i>	60
5.4 Scénario 3 – Elargissement optimum	62
5.4.1 <i>Rive gauche – Solution de base</i>	62
5.4.2 <i>Rive droite – Solution de base</i>	65
5.4.3 <i>Lit mineur et berge rive gauche – solution de base</i>	74
5.4.4 <i>Variantes du scénario 3</i>	78
5.4.5 <i>Options : creusement de chenaux secondaires</i>	80
6 Vérification/Justification de la stabilité des ouvrages	82
6.1 Stabilité au glissement	82

6.2	Erosion interne	84
6.3	Erosion externe	86
7	Prescriptions techniques pour les aménagements.....	90
7.1	Travaux préparatoires	90
7.2	Réfection et renforcement des digues.....	90
7.3	Génie écologique.....	95
7.3.1	<i>Protection de berge en génie écologique</i>	95
7.3.2	<i>Intégration des talus des digues</i>	96
7.3.3	<i>Restauration hydro-morphologique et création/diversification d'habitats piscicoles</i>	97
7.3.4	<i>Restauration des corridors écologiques</i>	98
7.3.5	<i>Gestion de la végétation post-travaux</i>	100
7.4	Gestion des ouvrages traversants.....	100
7.5	Dévoisement des réseaux.....	100
8	Organisation des travaux.....	101
8.1	Mouvement de terres et réemploi des matériaux.....	101
8.2	Pistes pour le phasage	103
8.3	Accès à la zone de travaux	105
8.4	Planning d'exécution	106
9	Procédures réglementaires.....	107
10	Reconnaisances complémentaires	107
10.1	Limite du présent rapport	107
10.2	Mission G2 PRO et Reconnaissances de sols.....	107
10.3	Missions G3 – G4	108
10.4	Reconnaisances des réseaux / ouvrages traversants.....	108
10.5	Reconnaisances enrobés piste cyclable	108
11	Estimation financière.....	109
11.1	Méthode d'estimation et prix de référence	109
11.2	Niveau de détail des plans et métrés	111
11.3	Estimation stade AVP.....	112
11.3.1	<i>Scénario 1</i>	113
11.3.2	<i>Scénario 2</i>	113
11.3.3	<i>Scénario 3 – Solution de base</i>	113
11.3.4	<i>Scénario 3 – options</i>	114
11.4	Incertitudes, enjeux et aléas.....	114
11.4.1	<i>Géotechnique – Mouvement des terres</i>	114
11.4.2	<i>Réseaux</i>	114
11.4.3	<i>Variabilité des prix</i>	115
11.4.4	<i>Aléa climatique et hydrologique</i>	115
12	Analyse comparative des scénarios	116
13	Points d'attention/ajustements complémentaires en phase PRO	121
	Annexes	122
	Annexe 1 : Etude hydraulique.....	123
	Annexe 2 : Etude géotechnique.....	124
	Annexe 3 : Dossier de plans – Scénario 3	125
	Annexe 4 : Interfaces du projet (scénario 3) avec les réseaux	126
	Annexe 5 : Estimation financière.....	127

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du site d'étude.....	9
Figure 2 : Localisation du secteur d'étude par rapport aux systèmes d'endiguements de l'ensemble Leysse-Hyères.....	10
Figure 3 : Principe général des 3 scénarios d'aménagement à étudier.....	11
Figure 4 : Lit de la Leysse en tresses et premiers travaux de correction visibles en amont du secteur d'étude en 1708, probablement au droit de l'actuelle zone d'activité des Landiers sud (Archives Départementales de la Savoie).	13
Figure 5 : Profil en travers de la plaine alluviale au droit du PKL5.544 (topographie Lidar de 2013 et levé Hydrotopo de 2014).	13
Figure 6 : Evolution historique du système d'endiguement SE2.2 (étude Acthys diffusion, 2015).	14
Figure 7 : Evolution des fonds au droit du secteur d'étude entre 1990 et 2019.	15
Figure 8 : Ecart altimétriques entre le fond de la Leysse, la crête digue rive gauche (levés Hydrotopo) et la plaine alluviale en rive gauche (levé Lidar de 2013).	16
Figure 9 : Travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères à Chambéry, l'aval de l'autoroute (A41/A43).	18
Figure 10 : Sensibilité de la trame verte.....	33
Figure 11 : Hydrogrammes du Ruisseau des Marais.....	36
Figure 12 : Hydrogrammes de la Leysse (aval pont A43/A41).....	37
Figure 13 : Comparaison des estimations des débits de pointe des crues caractéristiques.....	37
Figure 14 : Vue schématique des échanges et des sections de contrôle.....	45
Figure 15 : Profil en long des niveaux d'eau Q100 du modèle « fond 1990 » et de l'état actuel.....	46
Figure 16 : Comparaison des zones inondables pour la Q100.....	46
Figure 17 : Profil en long du niveau d'eau Q100 état actuel et des digues (haut = rive droite, bas = rive gauche).....	47
Figure 18 : Cartographie des zones inondées en rive droite par la crue Q100 en état actuel.....	48
Figure 19 : Cartographie des zones inondées en rive gauche par la crue Q100 en état actuel.....	48
Figure 20 : Localisation du linéaire à rehausser en rive droite pour le scénario 1.....	49
Figure 21 : Vue en plan des lignes de construction à l'aval du seuil de pré-marquis (blanc = sc3.1, rouge = sc3.2).....	50
Figure 22 : Profil en travers état initial et scénario 3 (sc3.1 et sc3.2).....	50
Figure 23 : Profil en long des niveaux d'eau pour la crue Q100 sur sc1., sc3.1 et sc3.2.....	50
Figure 24 : Profil en long des vitesses pour la crue Q100 sur sc1., sc3.1 et sc3.2.....	51
Figure 25 : Comparaison des vues en plan des vitesses pour la Q100 sur les modèles sc3.1 et sc3.2.....	51
Figure 26 : Localisation du linéaire à rehausser en rive droite pour le scénario 3.....	52
Figure 27 : Comparaison des bathymétries pour 2 fermetures différentes de la digue du scénario 3 variante 1.....	53
Figure 28 : Profil en long des niveaux pour la Q100 sur les modèles sc3bis.1 et sc3bis.2.....	53
Figure 29 : Localisation du linéaire à rehausser en rive droite pour le scénario 3 – variante1.....	54
Figure 30 : Scénario 1, profil courant.....	56
Figure 31 : Scénario 1, localisation des linéaires d'application.....	58
Figure 32 : Scénario 2, profil courant, amont du coude de Villarcher.....	59
Figure 33 : Scénario 2, localisation des linéaires d'application.....	61
Figure 34 : Scénario 3, solution de base, rive gauche – profil type limons/argiles.....	62
Figure 35 : Scénario 3, solution de base, rive gauche – profil type GSB.....	63
Figure 36 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil courant.....	66

Figure 37 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type aval du pont de l'autoroute.	67
Figure 38 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type : bras mort.....	67
Figure 39 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type : courbure de Villarcher.	68
Figure 40 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type double-digue.....	68
Figure 41 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type : digue élargie sans réseau.	69
Figure 42 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type : courbure du Tremblay.	69
Figure 43 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type : amont pont du Tremblay.....	70
Figure 44 : Coupe type de la piste cyclable en rive droite.	70
Figure 45 : Scénario 3, solution de base : localisation des tronçons (partie amont).	72
Figure 46 : Scénario 3, solution de base : localisation des tronçons (partie aval).....	73
Figure 47 : Scénario 3, solution de base, lit mineur – profil type : confortement du fond du lit.	74
Figure 48 : Scénario 3, solution de base, lit mineur – profil en long du confortement du fond du lit.	74
Figure 49 : Principe général d'arasement de la digue actuelle en rive gauche.	75
Figure 50 : Scénario 3, solution de base, rive gauche – profil type au droit de l'élargissement.....	75
Figure 51 : Scénario 3, solution de base, rive gauche – profil type : resserrement aval du « casier Vicat », début de l'élargissement.	76
Figure 52 : Scénario 3, principe de diversification du lit mineur avec déport du chenal en rive gauche et banquette en rive droite.	77
Figure 53 : Scénario 3, variante 1 : Localisation.....	78
Figure 54 : Scénario 3, variante 2, rive droite – profil type.	79
Figure 55 : Scénario 3, variante 2 : Localisation.....	79
Figure 56 : Scénario 3, option 1, chenal secondaire à l'intérieur de la courbure de Villarcher – localisation.....	81
Figure 57 : Scénario 3, option 2, chenal secondaire à l'intérieur de la courbure du Tremblay – localisation.....	81
Tableau 58 : Hypothèses géotechniques pour les matériaux rapportés de la rive gauche.....	82
Tableau 59 : Hypothèses géotechniques pour les matériaux rapportés de la rive droite.....	83
Figure 60 : Points de prise en compte des vitesses dans le modèle hydraulique pour le dimensionnement des protections de talus.....	87
Figure 61 : Arbres remarquables impactés par le projet (scénario 3).....	90
Figure 62 : Principe de traitement des ouvrages traversants – Tête amont – Côté Leyse.....	93
Figure 63 : Localisation des dévoiements provisoires de la piste cyclable.....	105

Liste des tableaux

Tableau 1 : Investigations géotechniques et géophysiques effectuées en 2015 et 2016.	20
Tableau 2 : Investigations géotechniques et géophysiques effectuées en 2015 et 2016.	21
Tableau 3 : Caractéristiques mécaniques des sols retenus pour les calculs – système SE 5.....	21
Tableau 4 : Décompte des souches présente sur le SE2.2.....	22
Tableau 5 : Synthèse de la sensibilité à l'érosion interne – Système SE2.2 aval.	26
Tableau 6 : Synthèse de la sensibilité au glissement de talus – Système SE2.2 aval.....	27
Tableau 7 : Synthèse de la sensibilité au glissement de talus – Système SE5.....	30
Tableau 8 : Sensibilité de la trame verte.....	33
Tableau 9 : Données des crues (loi de Gumbel - septembre à août) calculées sur 50 ans (Source : Banque Hydro).....	36
Tableau 10 : Données module et basses eaux (Source : Banque Hydro).....	36
Tableau 11 : Correspondance des noms des scénarios et des modèles.....	44

Tableau 12 : Impacts des débits pour la Q100 sur les différents scénarios	52
Tableau 13 : Données d'entrée pour la vérification de la protection à l'érosion externe	86
Tableau 14 : Vitesses d'écoulement à l'état projeté.	87
Tableau 15 : Comparaison vitesse actuelle et projet	87
Tableau 16 : Dimensionnement des enrochements en pied de talus RG côté Leysse	88
Tableau 17 : Dimensionnement des enrochements en pied de talus RD côté Leysse	89
Tableau 18 : Synthèse des mouvements de terres – Scénario 1	101
Tableau 19 : Synthèse des mouvements de terres – Scénario 2	102
Tableau 20 : Synthèse des mouvements de terres – Scénario 3 (solution de base).	102
Tableau 21 : Propositions/pistes de réflexion pour le phasage des trois scénarios.	104
Tableau 22 : Calendrier d'exécution (scénario 3).	106
Tableau 23 : Estimation financière au stade AVP.....	112
Tableau 24 : Critères et sous-critères pour la comparaison des scénarios.....	116

1 Introduction

Depuis 2005, l'agglomération du Grand Chambéry a entrepris un ambitieux programme de travaux de protection contre les inondations. A ce jour, il s'est traduit par la réalisation :

- des travaux de la confluence Leysse-Albanne (2007),
- des travaux du bras de décharge de Technolac (2006-2008),
- des travaux du tronçon 1 du secteur dit « de la confluence Leysse-Hyères », qui s'étend du Pont-des-Allobroges à l'aval immédiat du pont de l'A41 (tronçon jugé prioritaire et d'enjeu majeur, terminé en 2018),
- des études de conception du tronçon 2 du secteur de la confluence Leysse-Hyères, s'étendant sur l'Hyères de l'amont du pont d'Hyères jusqu'à la confluence avec la Leysse (étude Projet réalisée en 2020).

Par ailleurs, en 2014, une étude pour la restauration des systèmes d'endiguement du bassin chambérien a été entreprise, comprenant notamment la mise à jour des documents réglementaires propres aux ouvrages (diagnostic initial et Visites Techniques Approfondies, études de danger des digues classées, etc.), des études d'avant-projet sur les secteurs non traités précédemment et l'analyse coût/bénéfices correspondant à ces avant-projets.

L'étude de danger du système d'endiguement SE2 a mis en avant des scénarios inacceptables sur le secteur dit de la « Leysse aval ». Situé à l'aval immédiat du tronçon 1 de la confluence Leysse Hyères, ce secteur s'étend sur 2.8km entre le pont de l'A41 et le pont du Tremblay. Les risques identifiés sont liés à la présence de points de débordement en crue et à l'état très dégradé des endiguements (végétation omniprésente, risques importants d'érosion interne et externe). Dans ce cadre, un avant-projet a été produit en 2016 pour répondre à l'objectif de mise en conformité hydraulique (suppression des points de débordement) et de confortement des endiguements sur ce secteur.

Le CISALB, opérateur GEMAPI et gestionnaire de ces endiguements depuis 2019, a décidé d'engager une mission de maîtrise d'œuvre conception sur ce secteur de la Leysse aval, comprenant :

- une étude d'avant-projet modificatif (AVPm), dont l'objet est essentiellement d'intégrer l'objectif de restauration environnementale de la Leysse et d'optimiser les interfaces avec les réseaux qui engendraient des surcoûts importants dans l'avant-projet initial, et des analyses coûts/bénéfices sommaires des scénarios,
- une étude de projet et l'analyse coût/bénéfice associée,
- les études environnementales et les dossiers réglementaires associés.

Le groupement SUEZ Consulting (mandataire) et CNR Ingénierie (Compagnie Nationale du Rhône) a été retenu pour la réalisation de cette mission.

Le présent rapport concerne l'étude d'avant-projet modificatif (AVPm) pour la protection contre les inondations et la restauration de la Leysse aval.

Il permet :

- L'analyse des contraintes liées au secteur d'étude,
- La définition et l'analyse comparative de 3 scénarios d'aménagement répondant aux besoins et attentes du maître d'ouvrage,
- D'estimer le coût prévisionnel de chacun de ces scénarios.

1.1 Localisation du secteur d'étude

Le secteur d'étude porte sur un linéaire de 2.8 km, entre le pont de l'A41, à l'amont (PKL6.250) et le pont du Tremblay à l'aval (PKL3.430), sur les communes de la Motte-Servolex et Voglans (73).

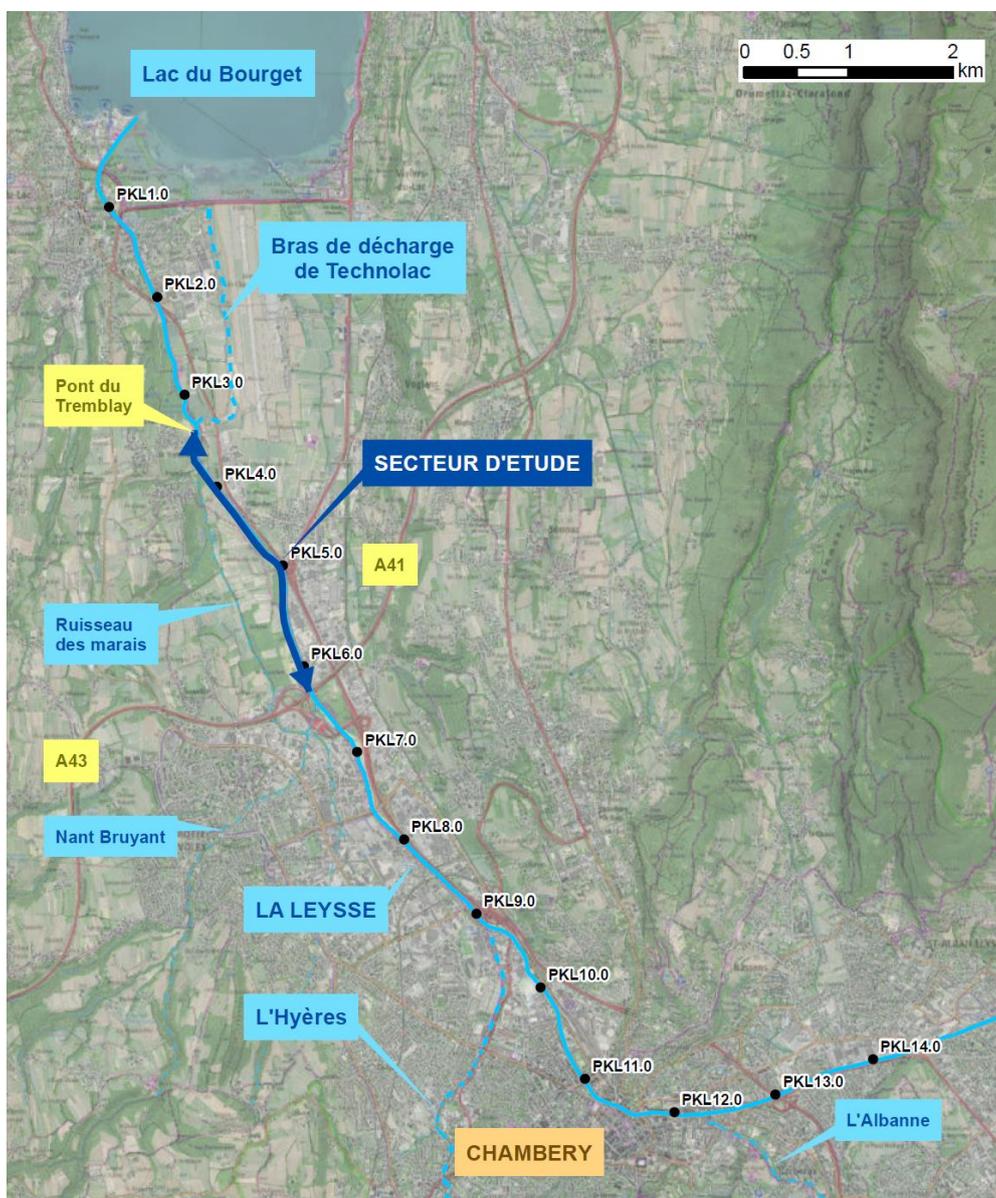


Figure 1 : Localisation du site d'étude.

Au droit du secteur d'étude, la Leysse reçoit un affluent, le ruisseau des Marais, qui conflue en rive gauche au PKL3.8.

La Leysse est endiguée en rive gauche de l'amont du secteur jusqu'à la confluence du ruisseau des marais (système d'endiguement SE5) et en rive droite sur la totalité du secteur d'étude (système d'endiguement SE2, sous-système SE2.2.). Le projet intéresse :

- le lit de la Leysse et l'endiguement rive droite (partie aval du SE2.2) sur la totalité du linéaire d'étude,
- l'endiguement gauche (partie aval du SE5) du PKL5.65 (limite des travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères à Chambéry, cf. § 2.1.3.2) jusqu'à la confluence du ruisseau des marais.

La carte suivante localise les digues du secteur d'étude à l'échelle des systèmes d'endiguement de l'ensemble Leysse-Hyères.

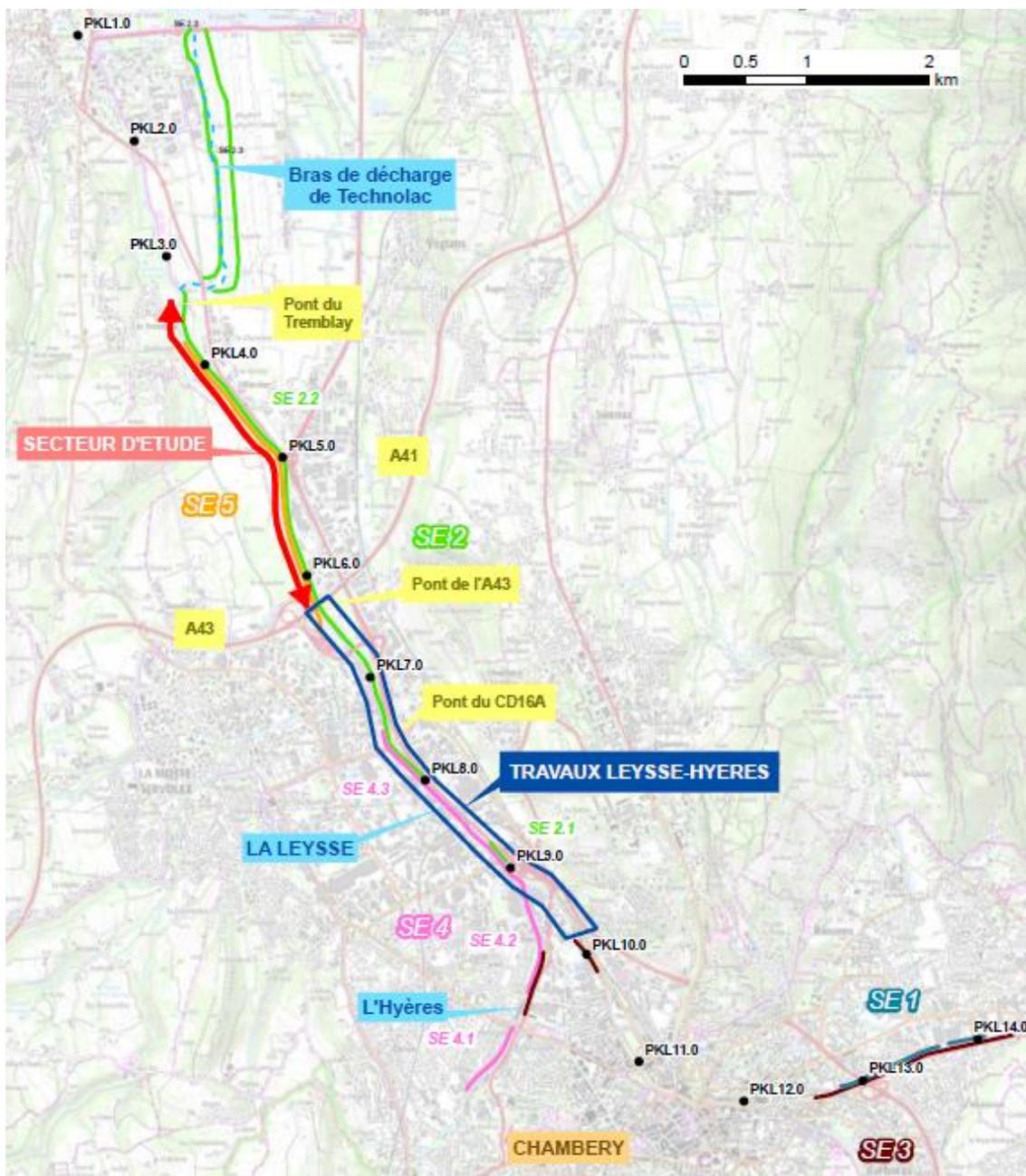


Figure 2 : Localisation du secteur d'étude par rapport aux systèmes d'endiguements de l'ensemble Leysse-Hyères

Le système d'endiguement SE2, en rive droite, débute en amont du secteur d'étude et s'étend plus à l'aval jusqu'au lac du Bourget, en rive droite du bras de décharge de Technolac. Le sous ensemble SE2.2, s'étend du PKL8.0 jusqu'à l'entrée du bras de décharge de Technolac, au PKL3.3. A l'amont du secteur d'étude le SE2.2 a fait l'objet de travaux de confortement qui se sont achevés en 2018. Ce système protège la plaine alluviale rive droite de la Leysse, comprenant notamment la zone d'activité des Landiers et la zone d'activité de la Prairie.

Le système SE5 s'étend en rive gauche du pont de l'A41 jusqu'à la confluence du ruisseau des marais, au PKL3.8. Il protège la plaine agricole de Pré-marquis. A l'amont du PKL5.65, il a fait l'objet de travaux (élargissement, confortement et création du déversoir de Pré-Marquis, cf. § 2.1.3.2).

1.2 Objectifs et enjeux du projet

Les objectifs du projet sont multiples :

- **Hydrauliques** : l'objectif est de réduire la vulnérabilité de la zone protégée, en garantissant (à minima pour la rive droite) un niveau de protection équivalent à celui de la ligne d'eau de la crue centennale, avec une revanche de sécurité de 0.30 m ;
- **Sûreté des systèmes d'endiguement** : il s'agit d'assurer la remise à niveau des digues, conformément à la réglementation en vigueur et en cohérence avec leur classement ;
- **Écologiques** : l'objectif est de diversifier les habitats aquatiques et rivulaires (enjeu de la trame verte) par des actions sur la morphologie du lit et des berges et des actions de végétalisation et de génie écologique, en cohérence avec les deux objectifs précédents, et en intégrant le fonctionnement hydro-morphologique de l'hydrosystème et la gestion des milieux pour garantir une pérennité des actions sur le long-terme.

Ces trois objectifs doivent être étudiés en intégrant la présence des réseaux existants secs et humides.

L'objectif de l'étude d'avant-projet modificatif est de proposer et d'analyser à minima 3 scénarios de protection et restauration :

- Scénario 1 – Réfection de l'endiguement rive droite sans emprise sur la section hydraulique et absence d'intervention sur la rive gauche,
- Scénario 2 – Réfection de l'endiguement rive droite par confortement du talus amont, réfection de l'endiguement rive gauche avec un élargissement minimal pour compenser l'emprise des travaux de la rive droite sur la section d'écoulement,
- Scénario 3 – Réfection de l'endiguement rive droite par confortement du talus amont, réfection de l'endiguement rive gauche avec un élargissement optimal permettant des gains hydrauliques et écologiques.

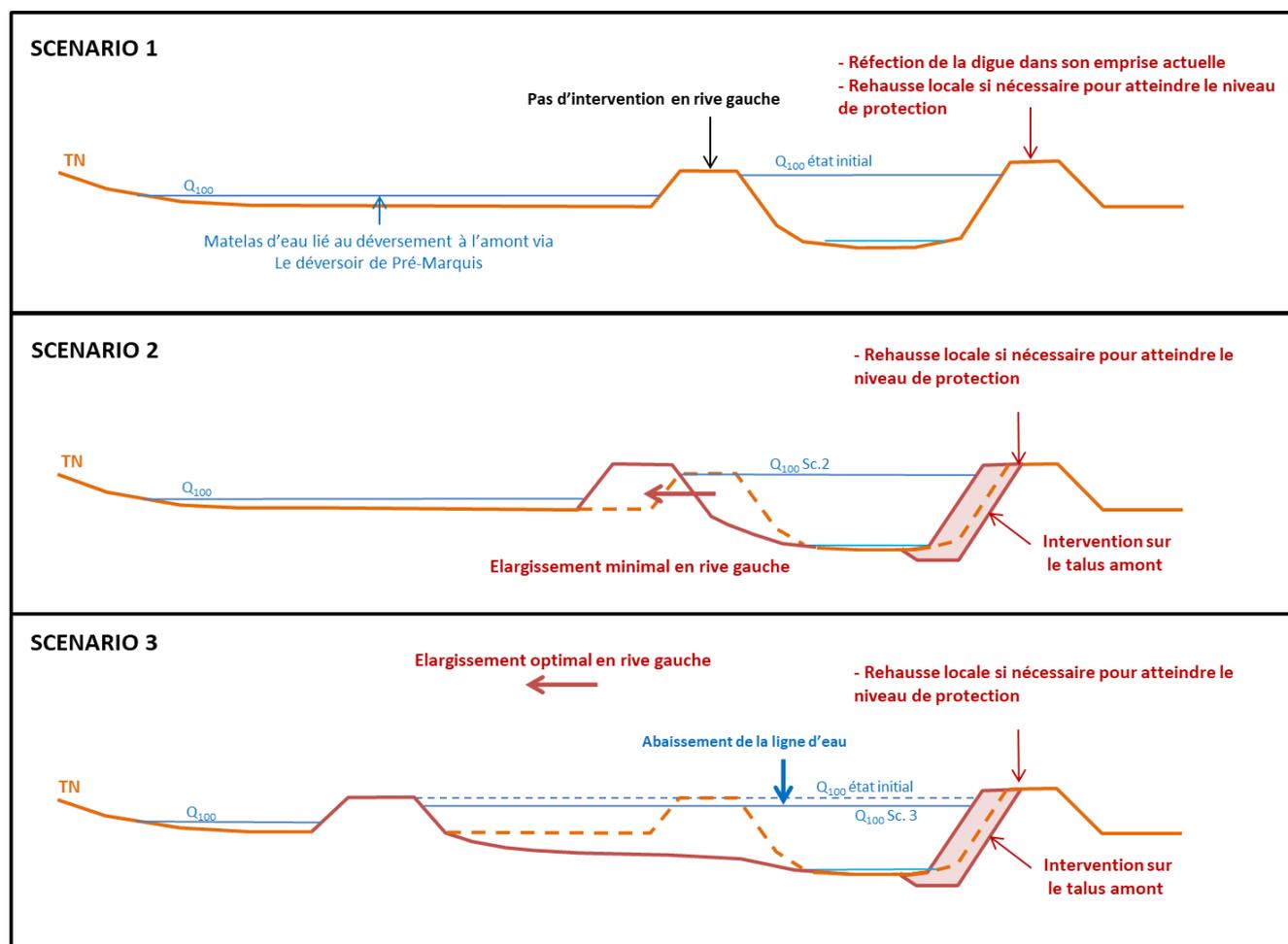


Figure 3 : Principe général des 3 scénarios d'aménagement à étudier.

La définition des scénarios et leur analyse doit permettre de retenir le meilleur compromis entre :

- Atteinte des objectifs de sûreté hydraulique,
- Impacts écologiques et paysagers en phase travaux et gains pour la diversité des habitats naturels après-travaux, à court et long terme,
- Interfaces avec les activités et infrastructures, notamment les réseaux, très structurants sur le site,
- Enjeu foncier et financier.

1.3 Hors périmètre de la mission

- Dévoiement des réseaux secs et humides :

La définition des linéaires de réseaux à dévoyer et le chiffrage de ces dévoiements n'est pas inclus dans la mission. Une analyse des réseaux concernés par le projet est effectuée dans le cadre de la mission ; une réunion sera programmée par le CISALB avec les concessionnaires concernés en vue de ces dévoiements préalables.

1.4 Documents d'entrée

L'étude d'avant-projet modificatif s'appuie sur l'ensemble des diagnostics et études effectués précédemment sur le secteur. Ces documents d'entrée sont listés ci-après :

Documents généraux :

- [DA1] Chambéry Métropole – Aménagement de la Leysse aval à Chambéry (73) – Notice avant-projet SE2.2 – CNR – DI-IEH 2016-512-02,
- [DA2] Chambéry Métropole – Etude pour la restauration des systèmes d'endiguement du bassin Chambérien – Etude de danger système d'endiguement SE2 – CNR – DI-ECS 2016-184-02,
- [DA3] SICEC – Renaturation de la Leysse et du ruisseau des marais en aval de l'autoroute A43 – Avant-Projet, Rapport technique – Biotec, Hydrolac, Malavoi – 03.103-AVP-101 – 2005.

Données hydrologiques et hydrauliques :

- [DA4] Phase 1 du TRI « Réalisation des Prestations nécessaires à l'élaboration des cartes de surfaces inondables pour la cartographie des inondations dans le cadre de la directive inondation » – Hydrolac pour DDT Savoie – octobre 2013
- BanqueHydro, station V1315020 « La Leysse à la Motte-Servolex (Pont du Tremblay), dernière consultation : août 2020

Données géotechniques et géophysiques :

- Chambéry Métropole – Étude du système d'endiguement de la Leysse et de l'Hyères, Reconnaissances Géotechnique Dignes 2.2 et 2.3 et 5 – Rapports d'étude Géotechniques Mission G1 – C.15.52066 – Hydrogéotechnique – 2016,
- Chambéry Métropole – Auscultation des digues de la Leysse et de l'Hyères – Résultats des reconnaissances géophysiques, Système d'endiguement S2.2 et S5 – IMG – 15/G/038 – 2016.

Données topographiques et/ou bathymétriques :

- DREAL – Levé Lidar du secteur de Chambéry – IMAO – 2013,
- Chambéry Métropole – Cours d'eau de l'agglomération de Chambéry – Plan topographique – Rivière la Leysse – Pont de l'A43 au Pont du Tremblay, GEODE, 2015,
- Chambéry Métropole – Levé topographique de la Leysse PKL6.015 à PKL0.01 – Hydrotopo – 2015,
- CISALB – Levé topographique par photogrammétrie, Rivière Leysse – Société VR3D-SAS – VR377 – 2020.

Données historiques :

- Chambéry Métropole – Etude pour la restauration des systèmes d'endiguement du bassin Chambérien – Etude Historique – Acthys diffusion, 2015. + Fonds d'archives associé,
- IGN – Photographies aérienne historiques – <https://remonterletemps.ign.fr/>
- Archives Départementales de la Savoie – Mapped originale (plan cadastral) de la commune de La Motte-Monfort – <https://enligne.savoie-archives.fr>

Publications scientifiques :

- GIREL J., Aménagements anciens et récents. Incidence sur l'écologie d'un corridor fluvial : la Leysse dans le bassin Chambérien. – Revue d'écologie Alpine, Grenoble, tome I, p.81-95.– 1991.

2 Analyse des données existantes et diagnostic

2.1 Historique des aménagements et description des ouvrages

2.1.1 Historique du secteur d'étude

A la fin du XVII^{ème} siècle, la Leysse à l'aval de Chambéry présente un lit de tressage à chenaux multiples. Les apports massifs en charge grossière, favorisés par le déboisement des versants, ont abouti à la formation d'un cône de déjection en surélévation sur la plaine alluviale, donnant lieu à des changements de lit fréquents. Les différentes données historiques et topographiques disponibles laissent supposer que le lit mineur s'est déplacé sur toute la largeur de la plaine alluviale ; des tracés historiques sont présumés au pied du flanc est, mais aussi au droit de l'emplacement actuel du ruisseau des marais (cf. [DA3]).



Figure 4 : Lit de la Leysse en tresses et premiers travaux de correction visibles en amont du secteur d'étude en 1708, probablement au droit de l'actuelle zone d'activité des Landiers sud (Archives Départementales de la Savoie).

Le cadastre Sarde de 1732 (plus ancien plan historique consulté au droit du secteur d'étude) montre un tracé chenalisé et rectiligne de la Leysse aval, correspondant peu ou prou au tracé actuel. Des sinuosités sont encore visibles en amont immédiat du secteur, au droit de la confluence du Nant Bruyant. Compte-tenu de cette chenalisation et de la situation surélevée du lit par rapport aux thalwegs de la plaine alluviale (cf. figure ci-après), ce tracé résulte vraisemblablement d'une première correction du lit de la Leysse dont les endiguements, sans doute partiels, dateraient du début du XVIII^{ème} siècle.

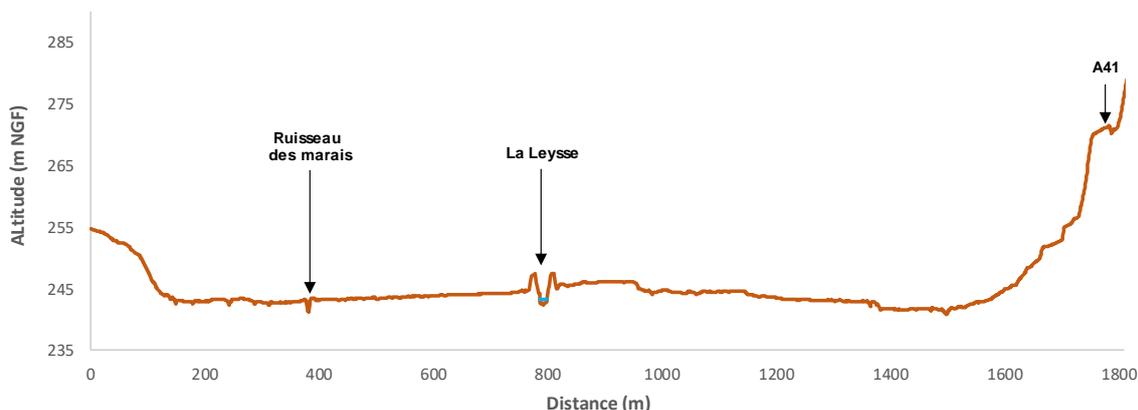


Figure 5 : Profil en travers de la plaine alluviale au droit du PKL5.544 (topographie Lidar de 2013 et levé Hydrotopo de 2014).

Les travaux d'endiguement général de la Leysse ont lieu sur la période 1866-1870. A l'amont immédiat du secteur, les sinuosités relictuelles sont rectifiées. La largeur du lit mineur est fixée à 10 m. Une risberme est créée sur un certain nombre de profils, protégée par un perré en pierre sèche.

Durant la période allant de 1870 à 1952, les apports de sédiments grossiers, toujours importants malgré un début de reboisement des versants à partir de la fin du XIX^{ème} siècle, occasionnent des exhaussements du profil en long qui engendrent des travaux de curages réguliers. Les déblais du lit mineur sont employés en renfort des digues ; de nombreux travaux de réparations font suite aux brèches provoquées par les crues successives au cours de cette période.

En 1952 ont lieu d'importants travaux de curage et de rehausse des digues qui font suite à plusieurs projets avortés au cours des décennies précédentes. Le curage d'un volume de 260 000 m³ entre la confluence de l'Hyères et le lac du Bourget est pratiqué, sur une hauteur moyenne de 1.4 m. La largeur du lit au plafond est portée à 16 m. Des gabions sont utilisés en protection des talus amonts.

Par la suite, des années 1960 à 1990, la poursuite d'un abaissement du fond de l'ordre d'1 m à 2 m est noté, vraisemblablement lié à des opérations de dragages, correspondant à volume total estimé à 120 000 m³ ((cf. [DA3])).

De 1975 à 1978 ont lieu les travaux visant à dévoyer les rejets d'assainissement de l'agglomération vers le Rhône via la galerie de l'Epine, afin de résoudre les problèmes d'eutrophisation du lac du Bourget. Au droit du secteur d'étude, ils se traduisent par le passage de la conduite de 1200 mm de diamètre dans le corps de la digue rive droite sur sa partie amont (cf. § 2.7.1.1).

De 1982 à 1985, des travaux de confortement des berges sont menés, ainsi que l'aménagement de pistes d'exploitation en crêtes des digues sur l'ensemble du linéaire.

Du 14 au 15 février 1990 survient la dernière crue majeure (période de retour de 30 ans sur la base de l'hydrologie retenue pour cette étude), qui a occasionné des dommages importants sur les ouvrages avec une rupture de digue en rive droite à l'aval du pont du Tremblay.

La piste cyclable reliant Chambéry à Aix-les-Bains/Le Bourget-du-Lac est aménagée en crête de la digue rive droite au cours des années 1990.

Les travaux du bras de décharge de Technolac à l'aval du secteur d'étude sont réalisés en 2006. Parallèlement, le tablier du pont du Tremblay est rehaussé de 80 cm pour augmenter le tirant d'air et réduire les risques de mise en charge en crue.

Les derniers travaux d'aménagement de la Leysse sur le secteur sont ceux réalisés en 2018, dans la continuité desquels s'inscrit la présente étude. Ils ont consisté, en une réfection de l'endiguement rive gauche en arrière des anciennes installations de l'entreprise Vicat jusqu'au PKL5.65, afin d'élargir l'espace de liberté de la Leysse. Le déversoir de Pré-Marquis a été aménagé au sein de cet endiguement au PKL5.95. En rive droite, un massif de coupure a été positionné au PKL6.05 pour dévier le lit de la Leysse dans cet espace de liberté retrouvé, jusqu'au PKL5.65. Ces aménagements sont décrits de façon plus détaillée au § 2.1.3.2.

La figure 6 fait figurer, sur un profil en travers, les travaux successifs de confortement de l'endiguement rive droite (SE2.2).

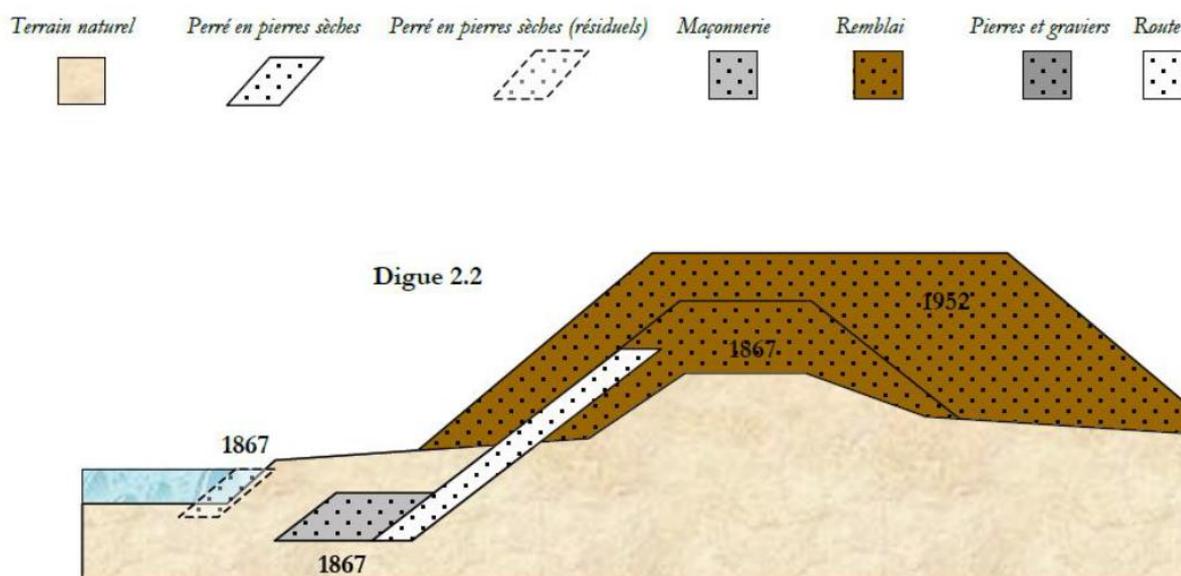


Figure 6 : Evolution historique du système d'endiguement SE2.2 (étude Acthys diffusion, 2015).

Concernant l'occupation de la plaine alluviale, elle est essentiellement agricole jusqu'à la première moitié du XX^{ème} siècle. Elle commence à s'urbaniser à partir des années 1960 avec l'arrivée des premières installations industrielles en rive droite dans la zone des Landiers, puis l'installation de la carrière GRA (Vicat) au cours des années 1970. Les travaux de l'autoroute A41 (limite amont du secteur) sont achevés en 1977. La voie rapide urbaine (VRU) est mise en service jusqu'au carrefour de Villarcher au début des années 1980, puis prolongée au-delà avec le passage en autopont et l'aménagement du rondpoint de Villarcher en 1991. Alors que la zone des Landiers Nord, s'est fortement développée au-delà de la VRU au cours des années 1980, les activités commerciales ne s'implantent entre la Leysse et la VRU, sur l'amont du secteur, qu'entre la fin des années 1990 et le début des années 2000 (concession automobile Jean Lain notamment). La plaine en rive gauche a quant à elle conservée son occupation agricole ou naturelle tout au long de la période. Un recalibrage du ruisseau des marais a été effectué à la fin des années 1970 pour favoriser un drainage des terres (Girel, 1991).

2.1.2 Fonctionnement hydromorphologique

Les travaux de curages réguliers de la Leysse de la fin du XIX^{ème} et dans la première moitié du XIX^{ème} siècle témoignent de l'importance du transport solide par charriage et de la forte tendance à l'exhaussement du profil en long sur cette période (cf. § précédent).

Parallèlement, le reboisement progressif et continu des versants a engendré une réduction drastique de la production primaire de sédiments grossiers. Le bassin versant de la Leysse ne connaîtrait aujourd'hui plus qu'une seule source de production primaire grossière située sur le Haut-Bassin du Merderet (affluent rive droite de l'Hyères), sur le flanc nord de la pointe de la Gorgeat (cf. [DA3]).

Par ailleurs l'endiguement général de la Leysse à la fin du XIX^{ème} et les travaux de curages qui ont suivi ont également eu pour effet de réduire drastiquement les sources sédimentaires internes. Si les plans associés aux travaux d'endiguement de 1866-1870 laissent apparaître de très nombreux bancs alluviaux alternés, ces macro-formes alluviales sont aujourd'hui quasiment absentes de la Leysse, à l'exception notable des abords du pont du Tremblay.

Entre les importants travaux de curages de 1952 (cf. § précédent) et 1990, une incision d'1 à 2 m est notée au droit du secteur d'étude, liée à des travaux de curage sur toute la période, représentant un volume total estimé à environ 120 000 m³ entre Chambéry et le lac du Bourget (SICEC, 2005). Depuis le début des années 1990, le profil en long de la Leysse au droit du secteur d'étude montre une relative stabilité. Sur la période 1990-1999, des incisions et des exhaussement modérés, de l'ordre de 20 à 30 cm sont notés (SICEC, 2005), qui semble traduire une respiration du profil en long.

Les évolutions récentes du profil en long (1990 – 2019) montrent des mouvements liés à des conditions locales d'écoulement, dans une tendance globale à la stabilité :

- Incision autour du PKL5.65, favorisé par le rétrécissement de section à l'aval immédiat du secteur élargi en 2018 (40 à 50 cm),
- Exhaussement à l'entrée du bras de décharge de Technolac lié à l'élargissement de la section et/ou à la perte de charge induite par l'ouvrage d'alimentation lorsqu'il est en fonctionnement.

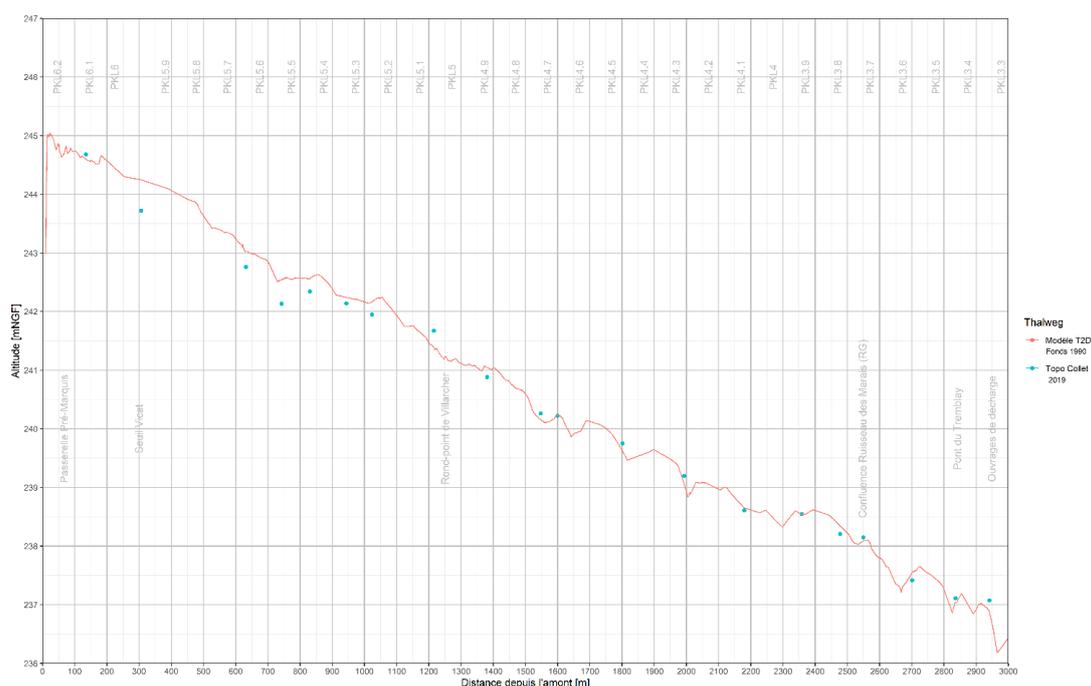


Figure 7 : Evolution des fonds au droit du secteur d'étude entre 1990 et 2019.



Banc alluvial à l'amont immédiat du pont du Tremblay (à gauche), dépôt et bancs alluviaux à l'entrée du bras de décharge de Technolac (à droite).

Le différentiel altimétrique entre le fond de la Leysse et sa plaine alluviale témoigne d'une incision historique plus prononcée vers l'aval du secteur.

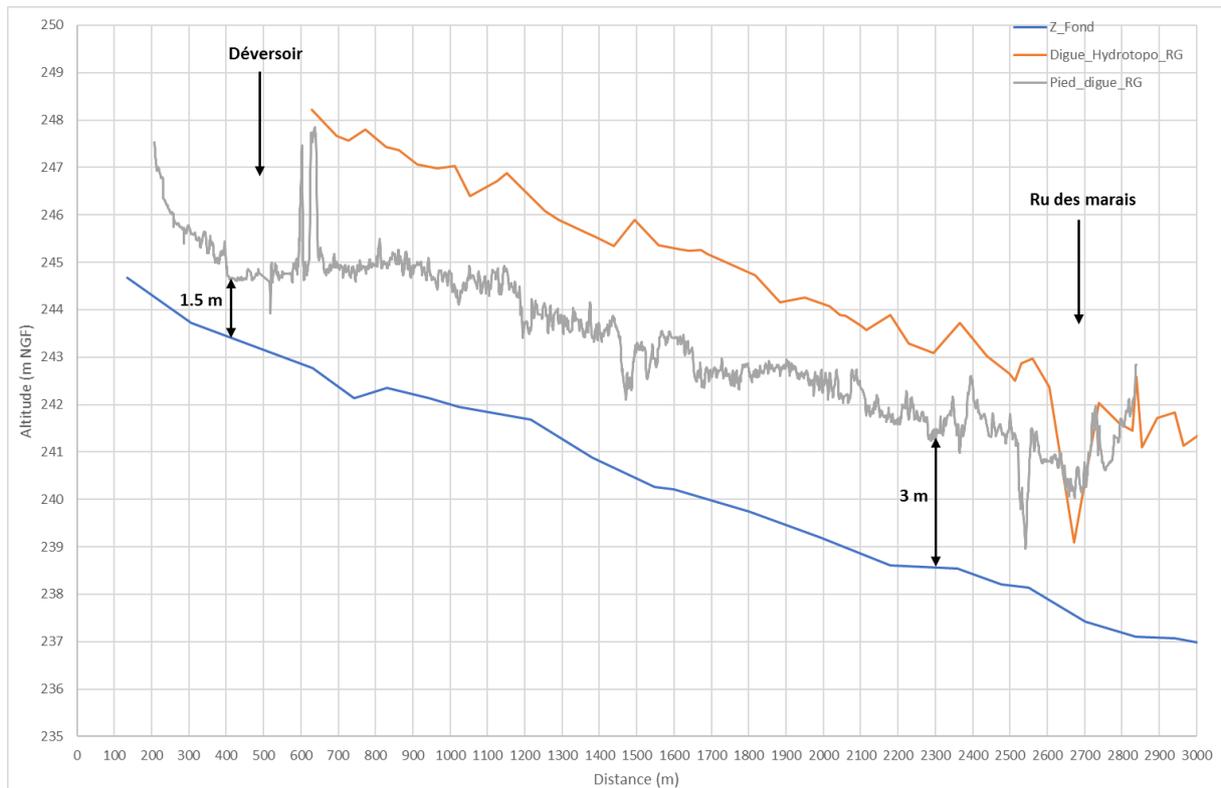
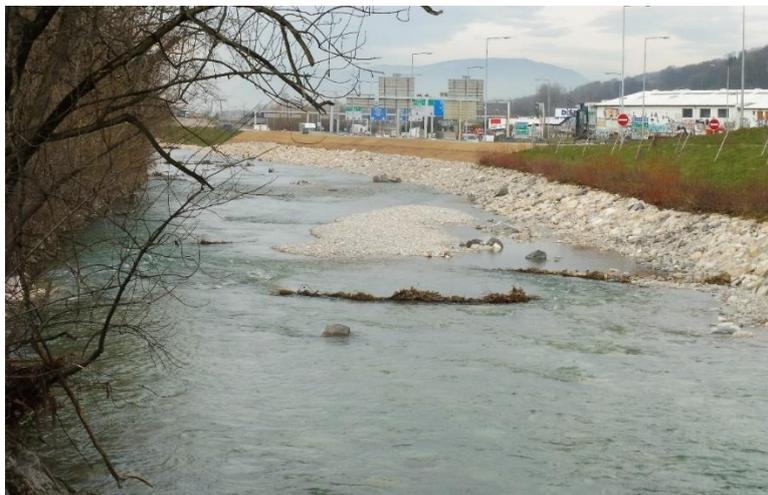


Figure 8 : Ecart altimétriques entre le fond de la Leysse, la crête digue rive gauche (levés Hydrotopo) et la plaine alluviale en rive gauche (levé Lidar de 2013).

Les données granulométriques disponibles sur le secteur (cf. [DA4]) rapportent un diamètre médian (D_{50}) d'environ 75 mm pour les alluvions de la couche de surface. Dans cette même étude, la vitesse critique de charriage a été estimée à 3 m/s.

Au droit des secteurs de travaux de la tranche 1, la succession de crues entre le 15 décembre 2017 et le 4 janvier 2018 a entraîné des mouvements de matériaux d'origine interne (travaux fraîchement achevés) en provenance de la respiration du lit et d'origine externe (réactivation d'apports en tête de bassin versant). Par observation sur le terrain, le débit de début d'entraînement peut être estimé à environ 70 m³/s.



Dépôts après reprise du transport solide lors de la crue de janvier 2018, au droit des travaux de la tranche 1 (aval du pont du CD16A, le 14/01/2018).

2.1.3 Ouvrages du site

2.1.3.1 Ouvrages de franchissement de la Leysse

Le secteur d'étude est encadré par deux ouvrages de franchissement qui constituent ses limites amont et aval (le pont de l'autoroute et le pont du Tremblay) ; un troisième ouvrage est présent dans la partie amont (passerelle de Pré-Marquis). Ces ouvrages sont décrits brièvement ci-après.

- Le pont de l'autoroute (A41), au PKL6.25 :

Les culées de l'ouvrage sont en retrait par rapport aux digues de la Leysse, des piles sont en crêtes de digues, protégées par un perré enroché. Altimétrie de la face inférieure du tablier : (251.82) à (251.96).



Vue depuis l'aval du pont de l'autoroute (à gauche) et vue aérienne depuis l'amont (à droite).

- Le pont du Tremblay (RD11), au PKL3.43 :

Ce pont n'a pas de pile dans la Leysse. Le tablier a été rehaussé de 80 cm dans les années 2000. Altimétrie de la face inférieure du tablier : (241.83).



Pont du Tremblay, vues vers l'aval.

- La passerelle de Pré-Marquis, au PKL6.18 :

Il s'agit d'une passerelle piétonne et cycliste qui permet de connecter la rive gauche à la piste cyclable en crête de digue de l'endiguement rive droite. Altimétrie de la face inférieure du tablier : entre (250.50) et (250.70).



Passerelle de Pré Marquis vue du pont de l'Autoroute (à gauche, source : Google Earth) et vue depuis l'ouvrage (à droite).

2.1.3.2 Travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères à Chambéry

Dans le cadre des travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères à Chambéry, la partie amont du secteur d'étude (du pont de l'Autoroute au PKL5.65) a fait l'objet de plusieurs aménagements, achevés en décembre 2017, et visibles sur la carte ci-après.

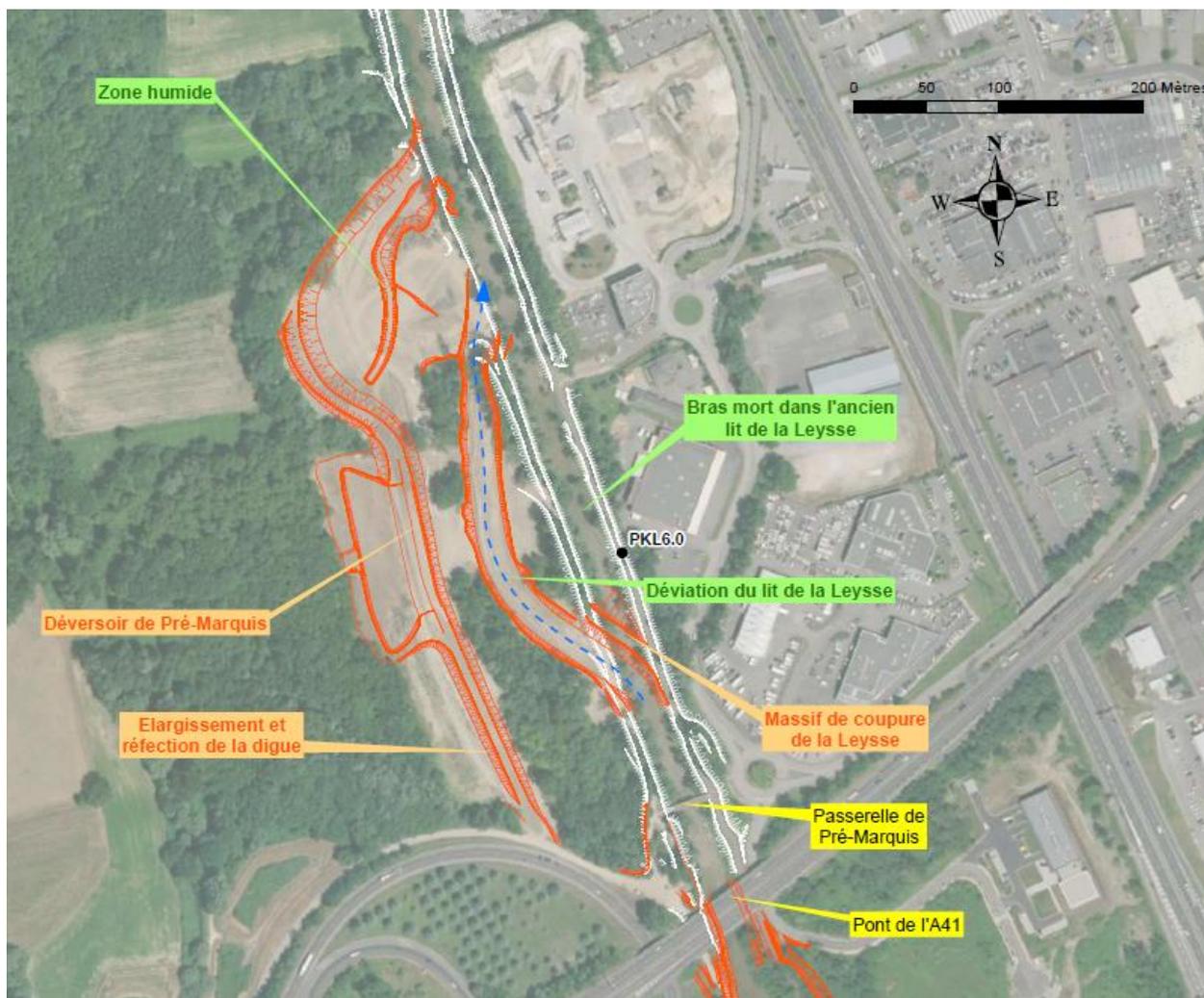


Figure 9 : Travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères à Chambéry, l'aval de l'autoroute (A41/A43).

- Réfection de l'endiguement rive gauche (SE5), en amont du PKL5.65 :

Le nouvel endiguement a été positionné une centaine de mètres en arrière de la digue d'origine, afin d'élargir l'espace de liberté de la Leysse. Le couronnement est positionné à une altimétrie correspondant au niveau de la crue centennale avec une revanche de 0.3 m. L'ouvrage a une largeur en crête de 6m. Une butée de pied en enrochements est présente au raccordement de l'ouvrage avec la digue d'origine à l'aval.

- Déversoir de Pré-Marquis

Une surverse a été aménagée dans la nouvelle digue rive gauche, entre les PKL5.9 et 6.0, sur une longueur de 90 m, pour permettre l'inondation contrôlée de la plaine de Pré-marquis. L'altimétrie de cette surverse est réglée à la cote (247.27) par la présence d'une poutre béton de 10 cm de large. Le fonctionnement hydraulique de cet ouvrage et de l'inondation de la plaine est décrit au paragraphe 4.1.



Déversoir de Pré-Marquis. A droite : début de surverse lors de la crue de Janvier 2018.

- Massif de coupure, nouveau lit de la Leysse, et restauration écologique

Dans une optique de diversification des milieux, un massif de coupure a été aménagé au PKL6.55 afin de dévier le lit de la Leysse vers l'espace de liberté retrouvé en rive gauche. L'arase de l'ouvrage de coupure a été positionnée à l'altimétrie de $Q_{100} + 30$ cm, soit un niveau compris entre (249.6) à l'amont et (249.2) à l'aval.

L'ancien lit déconnecté sur un linéaire d'environ 200 m a donné naissance à un bras mort lentique. En rive gauche, entre le nouveau lit et la digue, une zone humide a été restaurée par le déblai d'anciens dépôts d'argiles liés aux installations Vicat voisines. Les déblais ont été réutilisés dans la réalisation des digues du projet (économie circulaire).



Vue aérienne de la nouvelle digue rive gauche et de la zone humide restaurée (à gauche) et ancien lit de la Leysse (à droite).

Lors de ces travaux, aucune réfection de la digue rive droite n'a été entreprise au droit du secteur d'étude. La digue rive droite, de part et d'autre du massif de coupure, fait donc partie intégrante du périmètre du projet.

2.2 Données géotechniques issues de l'étude des systèmes d'endiguement

2.2.1 Contexte géologique

La zone d'étude est inscrite dans une zone d'épandage torrentielle post glaciaire (Würm) à la confluence des rivières de la Leysse et de l'Hyères, dans la basse vallée Chambérienne. La partie la plus en aval du secteur d'étude se situe dans une zone de transition entre les alluvions lacustres du lac du Bourget et cette zone d'épandage.

La zone de confluence de la Leysse et de l'Hyères s'inscrit, sous d'éventuels limons de recouvrement et/ou remblais d'aménagement, au sein des alluvions Quaternaires récentes, sablo graveleuses en tête puis franchement graveleuses plus en profondeur, au sein desquels viennent s'intercaler de manière aléatoire des lentilles sablo limoneuses, voir argileuses.

Le substratum marno-calcaire d'âge secondaire se trouve plus en profondeur, et ne semble pas intéresser directement la zone d'étude.

2.2.2 Synthèse des reconnaissances géotechniques et géophysiques

Des reconnaissances géophysiques par panneaux électriques ont été réalisées en août 2015 sur l'ensemble du système d'endiguement SE2.2 (un profil longitudinal entre PKL6.27 et PKL 3.32 et 5 profils transversaux), ainsi que sur le secteur SE5 (un profil longitudinal entre PKL6.37 et 3.72 et 4 profils transversaux).

Des reconnaissances géotechniques ont également été menées entre octobre 2015 et mars 2016, comprenant :

- 6 sondages carottés rive droite et 3 en rive gauche,
- 4 essais Lefranc en RD,
- 2 sondages au pénétromètre dynamique en RD et 5 en RG,
- 1 sondage destructif en RD,
- 4 sondages à la tarière en RG,
- Prélèvements et essais laboratoire.

L'ensemble de ces reconnaissances ont déjà été interprétées dans le cadre du document [DA1].

Tableau 1 : Investigations géotechniques et géophysiques effectuées en 2015 et 2016.

Type	Système d'endiguement	Technique/Méthode	Localisation
Géophysique	SE2.2 (rive droite)	Panneaux électriques	Profil en long Profils en travers : PKL6.21 ; PKL5.875 ; PKL4.835 ; PKL3.97 ; PKL3.47
		Méthode électromagnétique DUALEM	Profil en long
	SE5 (rive gauche)	Géoradar	Profil en long
		Panneaux électriques	Profils en travers : (PKL5.94*) ; PKL5.42 ; PKL5.0
Géotechnique	SE2.2 (rive droite)	Sondages carottés	PKL6.22 ; PKL5.905 ; PKL4.865 ; PKL4.365 ; PKL3.972 ; PKL3.543
		Essais Lefranc	PKL4.865 : 2-3 m de profondeur et 6-7 m de profondeur PKL3.972 : 2-3 m de profondeur et 6-7 m de profondeur
		Pénétromètre dynamique	PKL4.039 ; PKL3.658
	SE5 (rive gauche)	Sondages destructifs	PKL4.039
		Sondages carottés	(PKL5.95*) ; PKL5.6 ; PKL 5.4
		Tarières	PKL5.315 ; PKL4.99 ; PKL4.865 ; PKL4.53
	Pénétromètre dynamique	PKL5.315 ; PKL5.16 ; PKL4.99 ; PKL4.865 ; PKL4.53	

* = Hors secteur d'étude

Aucune reconnaissance géotechnique complémentaire n'ayant été réalisée depuis, la synthèse des reconnaissances du [DA1] est reprise ci-dessous et sert de données d'entrée pour le présent AVP modificatif. Les tableaux ci-après présentent ces hypothèses pour chacun des 2 secteurs d'endiguement.

SE 2.2 aval (Rive Droite)

6 profils géotechniques (Geotech1 à 6) ont été retenus, avec les caractéristiques représentatives suivantes de masse volumique, de cohésion et d'angle de frottement, récapitulées dans le tableau ci-après (issues de l'analyse des différents essais réalisés lors de la campagne de reconnaissance) :

Tableau 2 : Investigations géotechniques et géophysiques effectuées en 2015 et 2016.

Profondeur	Description	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
-	Enrochement	20	0	45
Geotech1 - Jean Lain - PM0 à PM1310				
0 à 1.5m	Graves sablo-limoneuse gris	22.4	0	37
1.5 à 3.5m	Limon sableux gris à cailloutis et cailloux	19.8	2	33
3.5 à 7.5m	Graves sablo-limoneuse gris	22.4	0	37
Geotech2 - Rond-Point Villarcher - PM1325 à PM2020 et PM2105 à PM2750				
0 à 0.6m	Grave limono-sableuse gris	22.4	0	37
0.6 à 2.1m	Sable limoneux à cailloutis et cailloux	19.8	2	33
2.1 à 6.6m	Argile limono graveleuse gris/vert	19.9	5	26
Geotech3 - Villarcher - PM2020 à PM2105				
0 à 2m	Sable limoneux à cailloutis et cailloux	19.8	2	33
2 à 6m	Grave limono-sableuse gris/brun	22.4	0	37
6 à 8m	Sable fin marron beige à rare cailloutis et cailloux	19.5	5	27
Geotech4 - Tremblay - PM2750 à PM3000				
0 à 2m	Divers sablo/graveleux	22.4	0	37
2 à 4m	Sable fin marron beige à cailloutis et cailloux	19.5	5	27
4 à 6m	Sable Gris/gris vert	21.2	3	39
Geotech5 - Rond-Point Villarcher - PM1310 à PM1325				
0 à 2m	Argiles limoneuses grises	19.9	5	26
2 à 6m	Grave limono-sableuse gris/brun	22.4	0	37
Geotech6 - Villarcher				
0 à 1m	Graves sablo-limoneuse gris	22.4	0	37
1 à 3m	Sable limoneux à cailloutis et cailloux marron	19.8	2	33
3 à 4.5m	Graves sablo-limoneuse gris	22.4	0	37
4.5 à 6.5m	Limon sableux fin beige à cailloutis et cailloux	20.2	2	32

SE 5 (Rive Gauche)

De la même manière que pour SE2, pour le système 5 (rive gauche), 4 profils géotechniques ont été retenus :

Tableau 3 : Caractéristiques mécaniques des sols retenus pour les calculs – système SE 5

Profondeur	Description	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Geotech1				
0 - 2m	Graves sablo-limoneuse gris	22.4	0	37
2 - 4m	Limon silteux marron beige à gravier et cailloux	20	2	32
4 - 7m	Argiles limoneuses marron gris	20.4	5	33
Geotech2				
0 - 3m	Graves sablo-limoneuse gris	22.4	0	37
3 - 6m	Argiles limoneuses marron gris	20.4	5	33
Geotech3				
0 - 2.75m	Graves sablo-limoneuse gris	22.4	0	37
2.75 - 3.75m	Limon silteux marron beige à gravier et cailloux	20	2	32
2.75 - 6m	Graves sablo-limoneuse gris	22.4	0	37
Geotech4				
0 - 3m	Graves sablo-limoneuse gris	22.4	0	37
3 - 6m	Limon silteux marron beige à gravier et cailloux	20	2	32

2.3 Diagnostic des digues

Cette partie est essentiellement un rappel synthétique du diagnostic effectué dans le cadre des études de dangers des systèmes d'endiguement et de l'AVP de 2016. Par ailleurs, une sectorisation plus détaillée est proposée et quelques compléments issus d'observations plus récentes sont formulés.

2.3.1 Digue rive droite (SE2.2 aval)

2.3.1.1 Zone protégée et classement

L'ensemble du système d'endiguement SE2 protège une surface de 6.44 km², et une population d'environ 24 800 habitants. Les principaux enjeux sont les zones d'activités et commerciales des Landiers situées sur les communes du Bourget-du-Lac, Chambéry, la Motte-Servolex, Voglans, Viviers-du-Lac. Ce système et ses sous-systèmes (SE 2.2 et SE 2.1), sont classés B par l'Arrêté Préfectoral n°2020-00468.

2.3.1.2 Morphologie

La digue rive droite présente les caractéristiques suivantes :

- Hauteur : 3 à 5.5 m (1.5 à 4 m par rapport à la plaine),
- Largeur en crête : 3 à 6 m, surlargeurs ponctuelles atteignant 10 m,
- Revêtement en crête : revêtement en enrobé puis béton de la piste cyclable, à l'exception des 100 derniers mètres à l'amont du pont du Tremblay qui sont sans revêtement,
- Pentes du talus amont : 3H/2V à subvertical,
- Protection du talus amont : Néant, à l'exception de quelques rustines d'enrochements de dimensions variables. On note la présence locale résiduelle d'anciennes protections (perrés en pied de berge, gabions, etc.),
- Pentes du talus aval : 3H/2V en moyenne, proche de 1H/1V localement,
- Protection du talus aval : Néant.

2.3.1.3 Végétation

Des coupes significatives ont été pratiquées sur les deux talus de la digue depuis le diagnostic de 2015/2016.

Aujourd'hui, le talus aval présente assez peu d'arbres sur pieds. 5 à 7 gros sujets sont présents au droit du PKL6.1 le long de la rue des Epinettes (5 sujets environ), plusieurs autres sont présents en pied du talus aval entre le coude de Villarcher et le PKL4.35.

La végétation sur pied reste beaucoup plus abondante sur le talus amont (environ 300 sujets). Leur répartition sur l'ensemble du linéaire est assez hétérogène (présence de trouées).

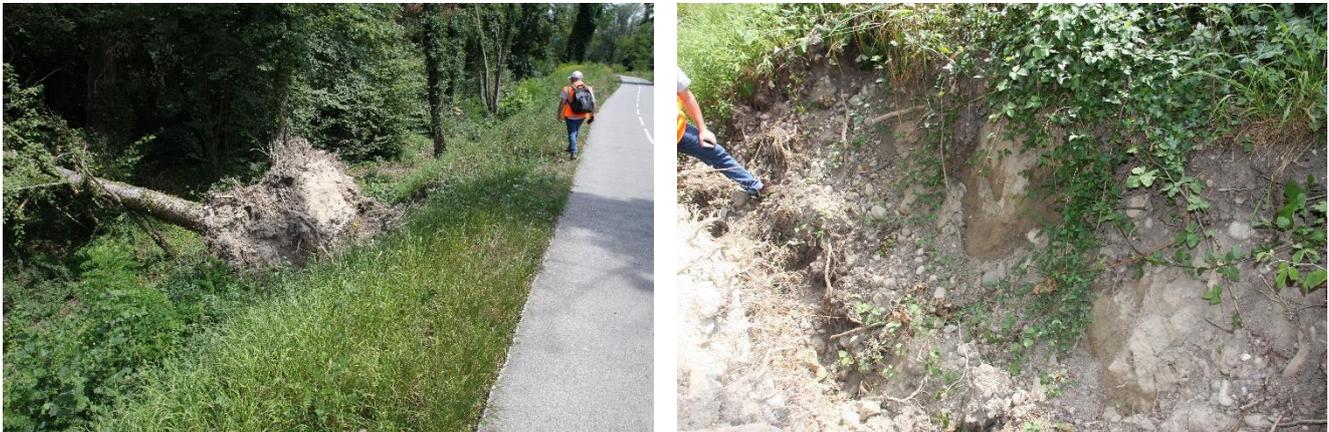
Par ailleurs, le CISALB a effectué en février et mars 2020 un décompte des souches de diamètre supérieur à 20 cm présentes sur l'ensemble de la digue, par tronçon de 100 m. Le tableau ci-après synthétise ces résultats pour l'ensemble du linéaire.

Tableau 4 : Décompte des souches présente sur le SE2.2.

	Diamètre (cm)			TOTAL
	20-50	50-100	> 100	
Talus amont	911	262	71	1244
Talus aval	618	208	34	860
Total général	1529 (73 %)	470 (22%)	105 (5%)	2104



A gauche : Vue aérienne permettant de distinguer, sur la digue rive droite au premier plan, le talus aval sans végétation arborée du talus amont. A droite : peuplier noir sur le talus amont à l'amont du pont du Tremblay.



Arbres déchaussés sur le talus aval de la digue rive droite lors de la tempête de juillet 2019 au PKL4.68 (les arbres ont été débités et évacués depuis et les loupes comblées).

2.3.1.4 Synthèse des désordres/anomalies

Talus amont :

- Nombreuses anses d'érosion,
- Importante végétation et souches en décomposition favorisant les risques de formation d'érosion de conduit,
- Pente très raide des talus avec de nombreux faciès sub-verticaux,
- Amorces de loupe de glissement observées en 2020.

Crête :

- Dévers marqué sur la piste cyclable, nombreuses fissures du revêtement et des accotements témoignant d'affaissement de la digue.

Talus aval :

- Pas d'indices liés à la présence éventuelle de phénomènes de Renard,
- Nombreux indices de fluage/solifluxion du talus aval affectant la crête de talus. Les facteurs défavorables identifiés sont :
 - Faiblesse des caractéristiques des matériaux constitutifs de la digue,
 - Talus raide,
 - Circulation d'engins d'entretien inadapté à la capacité de portance de la digue,
 - Présence d'arbres de gros diamètres générateurs d'efforts déstabilisateurs.

- Lors de la crue du 4 janvier 2018, des infiltrations d'eau avec des venues d'eau ont été observées sur une longueur de 200 m sur le secteur de la courbure de Villarcher, avec deux points principaux d'exsurgence. L'origine de ces venues d'eau ne peut être affirmée avec certitude. Les écoulements sont restés cantonnés en pied d'ouvrage. L'eau ne s'est troublée à aucun moment (aspect cristallin) et le comportement des venues d'eau semble plus avoir suivi les variations de la pluviométrie lors de l'évènement, que les variations de niveau hydraulique dans la rivière. La présence le long de la digue à cet endroit du réseau d'assainissement de la voirie qui était saturé au moment des observations vient alimenter la réflexion. Bien que l'analyse technique de ces venues d'eau puisse laisser penser à une origine plus probable du réseau d'assainissement routier saturé que de la Laysse par circulation interne dans la digue, leur présence témoigne tout de même d'une certaine sollicitation de l'ouvrage par ces phénomènes associés aux fortes pluies qui accompagnent l'évènement hydraulique.



Vue de la digue rive au droit du coude de Villarcher et venues d'eau (cerclees en rouge) au pied de la digue au pic de la crue du 4 janvier 2018.



Fissure sur le talus amont rive droite au PKL5.85 survenues en février 2020.

2.3.1.5 Description du linéaire

Le linéaire de la digue rive droite est décrit selon 9 tronçons qui présentent des caractéristiques particulières, de l'amont vers l'aval :

- **Du PKL6,24 au PKL6.09 – du pont de l'Autoroute au massif de coupure de la Leysse (150 ml).** Ce tronçon est marqué par :
 - La présence de la passerelle cyclable de Pré-marquis (cf. § 2.1.3.1),
 - Une pente de talus aval plus douce et quasi-dépourvue de végétation ou souches (notamment du fait de l'entretien lié à la ligne électrique qui le survole) (cf. § 2.7.1.5).
- **Du PKL6.06 au PKL5.82 – Tronçon au droit du bras mort/ancien lit de la Leysse (240 ml).**
 - Suite aux travaux de 2018, ce tronçon n'est plus soumis aux vitesses d'écoulement en crue et ne présente plus de risque d'érosion externe.
- **Du PKL5.82 au PKL5.06 – secteur « Jean Lain », de la sortie du bras mort au coude de Villarcher (760 ml).** Ce secteur est marqué par :
 - De nombreux signes d'érosion externe,
 - La présence d'un fossé en pied de talus, au droit de la concession automobile Jean Lain.
- **Du PKL5.06 au PKL4.89 – courbure de la Leysse au droit du rond-point de Villarcher (170 ml).** Ce secteur est marqué par :
 - Une situation en extrados de la Leysse qui favorise l'érosion externe,
 - Des portions de talus amont quasi-verticales avec la présence d'ancien Gabion,
 - Une largeur de digue très étroite,
 - La proximité des voies de circulation avec la bretelle d'insertion de la VRU en pied de talus aval.
- **Du PKL4.89 au PKL4.18 – de la courbure de Villarcher à la double digue (710 ml).**
- **Du PKL4.18 au PKL4.03 : double digue (150 ml).**
 - La digue côté Leysse est marquée par une végétation arborée importante sur ses deux talus.
- **Du PKL4.03 au PKL3.72 – de la double digue au droit de la confluence du ruisseau des marais (sur la rive opposée) (310 ml).** Ce secteur est marqué par :
 - Une largeur en crête plus importante,
 - La présence à certains endroits d'un cavalier irrégulier côté Leysse.
- **Du PKL3.72 au PKL3.55 – courbure du Tremblay (150 ml).** Ce tronçon est marqué par :
 - Une situation en intrados de la Leysse, qui limite les risques d'érosion externe,
 - Une largeur en crête plus importante,
 - Des pentes de talus plus douces,
 - La présence d'un banc alluvionnaire important en pied de talus amont.
- **Du PKL3.55 au PKL3.43 – amont pont du Tremblay (115 ml).** Ce secteur est marqué par l'absence de la piste cyclable en crête à l'amont du pont du Tremblay.



Fossé entre la digue à la concession Jean Lain – Talus amont subvertical de la courbure de Villarcher, anciens gabions.



Secteur de la double digue vue vers l'amont (à gauche) et vers l'aval (à droite).



Bloc épars en pied de talus amont à l'aval de la courbure de Villarcher (à gauche) et cavalier côté Leysse sur le secteur entre la double digue et la courbure du Tremblay (à droite).

2.3.1.6 Risque d'érosion interne, d'érosion externe et stabilité interne des talus

Pour plus de détails sur cette partie, on pourra se référer au rapport de diagnostic des endiguements [DA2].

Le **risque d'érosion interne** a été évalué suivant une initiation par suffusion, érosion de conduit, érosion régressive et de claquage hydraulique.

Le tableau ci-après reprend par profil géotechnique la synthèse de l'évaluation du risque d'érosion interne pour chacun des phénomènes.

Tableau 5 : Synthèse de la sensibilité à l'érosion interne – Système SE2.2 aval.

Sensibilité à l'érosion interne											
Secteur	Profil	PM	Secteur topographique	Critère de Lane	Suffusion	Erosion de contact	Erosion de conduit	Erosion régressive	Claquage hydraulique	Observations	
Système 2.2aval Aval RD	Geotech1 SC1, SC2	PM0 à PM1310	Jean Lain	Instable Q10 Instable Q100	Non concluant	Faible	Elevée	Inexistant	Inexistant	Végétation très importante	
	Geotech2 SC5	PM1325 à PM2020 + PM2105 à PM2750	Rond-Point Villarcher	Instable Q10 Instable Q100	Faible à modérée	Modéré	Elevée	Inexistant	Inexistant	Végétation très importante	
	Geotech3 Aucun SC	PM2020 à PM2105	Villarcher 1	Stable Q10 Instable Q100	Modérée	Faible	Elevée	Inexistant	Inexistant	Pas de Sondage Carotté donc estimation de la suffusion	
			Villarcher 2	Stable Q10 Instable Q100							Végétation très importante
	Geotech4 SC6	PM2750 à PM3000	Tremblay	Stable Q10 Stable Q100	Faible	Faible	Elevée	Inexistant	Inexistant	Végétation très importante	
	Geotech5 aucun SC	PM1310 à PM1325	Rond-Point Villarcher	Instable Q10 Instable Q100	Faible	Elevée	Elevée	Inexistant	Inexistant	Pas de Sondage Carotté donc estimation de la suffusion	
Geotech6 SC4	PM1935	Villarcher 1	Stable Q10 Instable Q100	Modérée	Faible	Elevée	Inexistant	Inexistant	Végétation très importante		

Les risques les plus élevés concernent donc l'érosion de conduit, sur tous les secteurs et l'érosion de contact (plus particulièrement sur le secteur du rondpoint de Villarcher) ; du fait de la présence de remblais hétérogènes et d'une importante végétation arborée.

L'évaluation du **risque d'érosion externe** a été basé sur l'appréciation de 2 critères : la profondeur d'affouillement en pied de l'ouvrage et la stabilité à l'érosion du talus amont. Une profondeur d'affouillement en pied a été estimée en moyenne à 1.5m sur le système SE2.2 pour les crues décennales et centennales. Le talus amont, en l'absence de gros enrochements, est instable (analyse faite à partir de la formule d'Isbach).

La stabilité des talus au glissement a également été étudiée. Les coefficients de sécurité obtenus à partir des modélisations Talren sont rappelés ci-dessous.

Tableau 6 : Synthèse de la sensibilité au glissement de talus – Système SE2.2 aval.

Profil Géotechnique	Secteur topographique	PKL	PM	Talus aval			Talus amont
				Q10	Q100	Extrême	
Géotech1	Jean Lain	5.444	720	1.21	1.06	1.2	1.14
Géotech2	Rond-point Villarcher	4.981	1300	1.33	1.19	1.28	1.05
Géotech3	Villarcher 1	4.208	1840	1.79	1.69	1.93	0.84
	Villarcher 2	4.653	1600	1.19	1.04	1.16	0.84
Geotech4	Tremblay	3.543	2680	1.64	1.64	1.96	1.44
Geotech5	Rond-point Villarcher	4.981	1300	1.36	1.22	1.33	0.97
Geotech6	Villarcher 1	4.208	1840	1.55	1.46	1.67	0.83
	Villarcher 2	4.653	1600	1.11	1.02	1.12	0.9

NB : Les coefficients inférieurs à 1,0 ne respectent pas les recommandations du CFBR.

Les coefficients obtenus sont dans pratiquement tous les cas non conformes pour le talus amont (à l'exception des profils géotechniques 1, 2, 3 avec les PKL 5.444 ; 4.981 et 3.543).

Il y a localement des coefficients de stabilité non conformes pour le talus aval (au PKL 4.653 avec les profils géotechniques 3 et 6).

2.3.1 Digue rive gauche (SE5 aval)

2.3.1.1 Zone protégée et classement

La digue rive gauche fait partie du système d'endiguement SE5. La zone protégée s'étend sur une surface de 1.31 km² sur la commune de la Motte-Servolex. Elle comprend essentiellement la plaine de Pré-Marquis occupée par des terrains agricoles ou naturels. Cette plaine est inondable via le déversoir de Pré-Marquis à partir d'un débit de 200 m³/s. Le système d'endiguement SE5 est classé en D par l'Arrêté Préfectoral DDT/SEEF n°2012-321.

2.3.1.2 Morphologie

La digue rive gauche présente les caractéristiques suivantes :

- Hauteur : 3.5 à 6.5 m (1 à 4 m par rapport à la plaine),
- Largeur en crête : 2 à 4 m, à l'exception de certains points bas et de l'extrémité aval où la largeur est fortement réduite (parfois moins de 1m). Absence de véritable ségonnal.
- Revêtement en crête : Néant (piste ou ancienne piste d'exploitation).
- Pentes du talus amont : 1H/1V à subvertical,
- Protection du talus amont : Néant, à l'exception de quelques rustines d'enrochements de dimensions variables. On note la présence d'anciens gabion et d'un mur béton à mi-talus entre les PKL4.8 et 4.7.
- Pentes du talus aval : 3H/2V en moyenne, proche de 1H/1V localement,
- Protection du talus aval : Néant.

2.3.1.3 Végétation

A l'exception de la crête de digue sur le linéaire amont, occupée par la piste agricole (chemin de la grande prairie), l'ensemble de la digue est occupé par une végétation arborée très importante.

Pour le diagnostic de la végétation établi dans le cadre des EDD, un comptage des arbres a été effectué début 2015. 2572 arbres étaient dénombrés sur l'ensemble du SE5 (tronçons hors secteur d'étude compris), soit près d'un arbre au mètre linéaire. En tenant compte des abattages annoncés pour l'automne-hiver 2015 et sans tenir compte de rejets ou d'abattages ultérieurs éventuels, cette densité est abaissée à environ 0.85 arbres par mètre linéaire, permettant d'estimer une quantité de l'ordre de 1500 sujets sur le secteur d'étude.



A gauche : vue aérienne de la Leysse dans le sens amont aval (digue RG à gauche de l'image) ; à droite : talus amont de la rive gauche vue de la rive opposée.

2.3.1.4 Synthèse des désordres/anomalies

Talus amont :

- Erosion/affouillement marqué du talus. Quelques niches d'effondrements localisées dans les zones les plus sous-cavées,
- Importante végétation arborée, souches en cours de décomposition.

Crête :

- Importante végétation arborée,
- Nombreuses souches en cours de décomposition,
- Nombreux indices de racines traversantes. Points bas.

Talus aval :

- Importante végétation arborée,
- Nombreuses souches en cours de décomposition.

2.3.1.5 Description du linéaire

Le linéaire de la digue rive droite est décrit selon 5 tronçons qui présentent des caractéristiques particulières, de l'amont vers l'aval :

- à l'amont du PKL5.65 ; hors secteur d'étude (digue reprise dans le cadre des travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères à Chambéry).
- **PKL5.65 à PKL5.40 – Secteur avec piste en crête de digue (chemin de la grande prairie) (250 ml) :**
 - Morphologie assez régulière comparativement au reste du linéaire.
- **PKL5.40 à PKL4.63 – Secteur sans piste en crête de digue, le long des secteurs boisés (760 ml) :**
 - Morphologie très hétérogène,
 - Largeur importante à l'intérieur du coude de Villarcher, alternant avec des secteurs très étroits,
 - Présence d'un mur de soutènement (gabions puis béton).
- **PKL4.63 à PKL3.90 – Secteur le long des terrains agricoles (730 ml) :**
 - Digue assez étroite,
 - Plusieurs points bas.
- **PKL3.90 à PKL3.74 – Amont de la confluence du ruisseau des marais (160 ml) :**
 - Au droit de boisements,
 - Digue très étroite,
 - Nombreux points bas.



A gauche : piste en crête de digue sur le premier tronçon ; à droite : arbres tombés suite aux orages du 1^{er} juillet 2019.



Mur de soutènement du second tronçon, vue depuis la crête (à gauche) et depuis le lit (à droite).



A gauche : tronçon le long des terres agricoles, vue depuis la crête de digue ; à droite : rustines d'enrochements en pied de talus amont.

2.3.1.6 *Risque d'érosion interne, d'érosion externe et stabilité interne des talus*

Pour plus de détails sur cette partie, on pourra se référer au rapport de diagnostic des endiguements [DA2].

Le **risque d'érosion interne** a été évalué très sommairement du fait de la difficulté d'interprétation des sondages (très faibles taux de récupération). Cependant, la digue ayant été réalisée à partir de remblais divers plus ou moins bien compactés, le risque d'érosion interne existe. De plus, la très dense végétation arborée constitue un facteur de risque d'érosion de conduit très important.

L'évaluation du **risque d'érosion externe** a été basé sur l'appréciation de 2 critères : la profondeur d'affouillement en pied de l'ouvrage et la stabilité à l'érosion du talus amont. Une profondeur d'affouillement en pied a été estimée en moyenne à 1.5 m sur le système SE5 pour les crues décennales et centennales. Le talus amont, en l'absence de gros enrochements, est instable (analyse faite à partir de la formule d'Isbach).

La stabilité des talus au glissement a également été étudiée. Les coefficients de sécurité obtenus à partir des modélisations Talren sont rappelés ci-dessous.

Tableau 7 : Synthèse de la sensibilité au glissement de talus – Système SE5

Secteur topographique	PKL	PM	Talus aval			Talus amont
			Q10	Q100	Extrême	
PM 770	5.578	770	2	2.08	2.5	1.83
PM 770	5.578	770	2.19	0.94	1.12	1.25
PM 940	5.41	940	-	-	-	0.71
PM 1770	4.579	1170	0.83	0.83	0.9	0.89

De la même manière que pour le système SE2.2, les coefficients de stabilité ne sont généralement pas conformes sur les tronçons étudiés, tant pour le talus aval (de manière quasi généralisée) que pour le talus amont (de manière plus éparse).

2.4 Données environnementales

Ce diagnostic s'appuie sur les premiers résultats des inventaires naturalistes menés par le bureau d'étude Tereo dans le cadre de la présente mission de Maîtrise d'œuvre de mai 2019 à mai 2020, et sur une visite de terrain effectuée le 18 juillet 2019. Les prises de vues qui illustrent ce chapitre (sauf vue aérienne) sont issues de cette visite (débit moyen journalier de 0.73 m³/s à la station du pont du Tremblay).

2.4.1 Habitats aquatiques et rivulaires

Le secteur d'étude (hors secteur restauré précédemment, cf. 2.1.3.2) est marqué par la linéarité du tracé du lit et des berges. La diversité morphologique est très faible, ce qui se traduit par la pauvreté des habitats aquatiques et rivulaires. Le lit est principalement caractérisé par une succession de radiers peu marqués et de plats lenticules à faiblement courants, où la lame d'eau d'étiage s'étale sur toute la largeur du lit (15 à 20 m) et sur une faible hauteur. L'espacement moyen de ces radiers est d'environ 200 m. Le levé Hydrotopo de 2015 permet d'identifier, sous cette lame d'eau d'apparence assez homogène, des sinuosités peu marquées dont la longueur d'onde moyenne est du même ordre de grandeur (230 m).

Les berges sont raides (pied de talus des digues) et dépourvues de végétation, dominées par des blocs. Très localement sur l'aval du secteur, des entrelacs de racines d'aulnes apportent une diversité des habitats de berge.



Plats lenticules / faiblement courants.



Radiers faiblement marqués.



Blocs à l'interface terre/eau et restes d'anciens perrés en pierre de taille de 1870 ou postérieurs.

Deux secteurs sont toutefois caractérisés par une diversité un peu plus importante, lié aux deux uniques sinuosités du tracé des digues : le coude de Villarcher, et le coude du PKL3.6, à l'amont du Tremblay. Ces deux variations du tracé permettent :

- la présence de bancs alluvionnaires en convexité présentant des pentes plus douces à l'interface terre/eau,
- la présence d'hélophyte (phragmites, phalaris, agrostis) en berges de ces bancs (par ailleurs largement envahis par des espèces exotiques envahissantes en partie haute,
- un pincement de la lame d'eau, des radiers et des mouilles plus marquées.



Radier et banc alluvionnaire de convexité à l'aval immédiat du coude de Villarcher.



Radier et banc alluvionnaire de convexité à l'amont du pont du Tremblay.

Par ailleurs, l'observation du secteur restauré lors des travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères à Chambéry, du PKL6.13 au PKL5.65, permet de mettre en évidence :

- un retour rapide d'une diversité morphologique sur le nouveau lit de la Leysse libéré dans sa dynamique latérale (diversité d'écoulement, dépôts alluvionnaires de faible altimétrie et de granulométrie variée, berges sous-cavées),
- une colonisation spontanée rapide des habitats humides restaurés, permettant le retour d'habitats absents du secteur (herbiers aquatiques à utriculaire sur l'ancien lit, roselières à massettes sur les dépôts

alluvionnaires à la sortie de l'ancien lit et dans la fosse de dissipation du déversoir de Pré-marquis, colonisation de la zone humide en rive droite par des saules arbustifs et arborés et des héliophytes).



Diversité morphologique en entrée et en sortie du nouveau lit de la Leysse.



Herbiers aquatiques sur l'ancien lit (bras mort) et colonisation du bouchon alluvial en sortie par des massettes.



Zone humide restaurée.

2.4.2 Continuités écologiques

2.4.2.1 Trame bleue

Le linéaire d'étude ne présente aucun n'ouvrage susceptibles d'affecter la continuité piscicole.

2.4.2.2 Trame verte

Les boisements situés sur les digues et localement en pied des digues sont vieillissants, dégradés par l'abondance d'espèces exotiques envahissantes et à faible potentiel de biodiversité. Toutefois, dans le contexte agricole, en rive gauche, et urbanisé en rive droite, ces boisements jouent un rôle notable de corridor écologique.

De ce point de vue, des secteurs de sensibilité différentes peuvent être établis en fonction de la présence ou non de boisements sur les talus des digues, dans la plaine en pied des digues et de largeur (transversale par rapport à la Leysse) de ces boisements. Les secteurs les plus sensibles seront ceux sur lesquels les boisements rivulaires se cantonnent à la stricte emprise des digues, et pour lesquels les travaux sont susceptibles d'engendrer une destruction quasi-totale (plus ou moins temporaire selon les scénarios) de la trame verte.

Tableau 8 : Sensibilité de la trame verte.

PKL Amont	PKL Aval	Importance du corridor		Sensibilité
		Rive gauche	Rive droite	
6.24	5.65	Boisements étendus dans la plaine, cordon boisé sur la rive gauche de l'ancien lit.	Cordon boisé en pied de digue	
5.65	5.40	Boisement en pied de digue assez étroit.	Boisement peu dense sur le talus aval et dans le fossé en pied de digue.	
5.40	4.63	Boisement très large dans la plaine.	Boisement limité à l'emprise de la digue à l'amont du coude de Villarcher en rive droite, puis boisement étroit en pied de digue à l'aval du coude de Villarcher.	
4.63	4.37	Boisement limité à l'emprise de la digue.	Boisement étroit en pied de digue.	
4.37	3.9	Boisement limité à l'emprise de la digue.	Boisement limité au talus amont de la digue.	
3.9	3.74	Boisement large à l'amont de la confluence du ruisseau des marais.	Boisement limité au talus amont de la digue.	
3.74	3.43	Cordon boisé peu dense rive gauche mais hors emprise des digues.	Boisement limité à l'emprise de la digue en RD sauf amont immédiat du pont du Tremblay.	

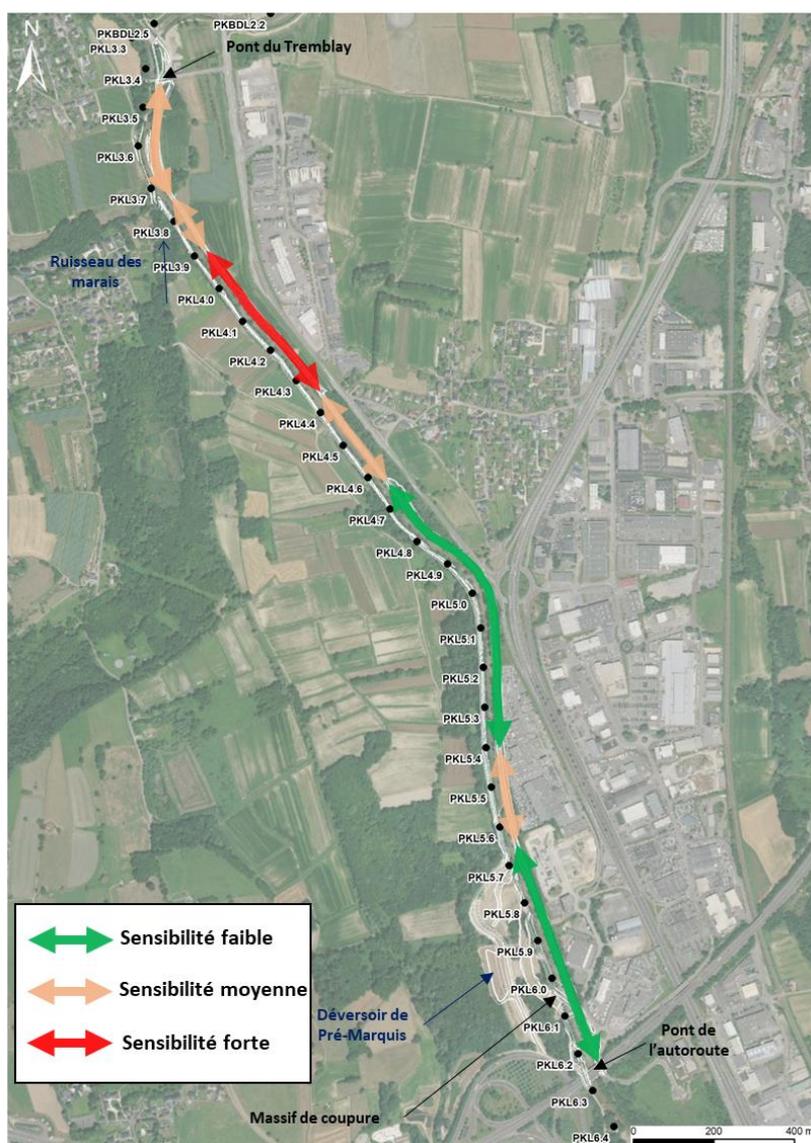


Figure 10 : Sensibilité de la trame verte.

2.4.2.3 Trame noire

La trame noire concerne la circulation des chiroptères. Elle est assez analogue à la trame verte, au détail près qu'elle est dégradée par la présence d'éclairage nocturne. De ce point de vue, les boisements de l'aval du secteur d'étude, plus éloigné des zones urbanisées (secteur Jean-Lain) et des voies de circulation présente un enjeu plus fort.

2.4.3 Espèces exotiques envahissantes

Les deux espèces exotiques envahissantes présentant le caractère monopoliste le plus important et le plus néfaste pour la biodiversité présentes sur le secteur d'étude sont :

- La renouée du japon : on désigne couramment sous ce nom un complexe d'espèces qui s'hybrident entre elles, dont la renouée du Japon n'est que l'une des composantes, parfois regroupées sous l'appellation renouée de Bohème (*Fallopia x bohemica*). Elle se reproduit essentiellement par voie végétative, via ses parties souterraines (rhizomes) qui possède une très forte capacité de rejet.
- L'arbre à papillon ou buddleia de David (*Buddleja davidii*). Contrairement à la renouée du japon, cet arbuste se dissémine essentiellement par voie sexuée. Il possède une forte capacité de colonisation de milieux minéraux (enrochements notamment).



Foyer de renouée du Japon.

Le secteur d'étude est actuellement assez préservé de la colonisation par ces deux espèces (quelques foyers isolés). Un traitement spécifique de ces foyers est à effectuer et une vigilance est à apporter pendant les travaux pour ne pas favoriser leur extension (compte-tenu des faibles volumes en jeu, il s'agira d'un déblai sélectif avec évacuation en décharge).

Par ailleurs, d'autres espèces exotiques envahissantes sont notées sur le site :

- Le robinier faux-acacia : très présent et relativement intégré au sein des boisements autochtones,
- L'ambrosie à feuille d'armoise : cette espèce, allergène présente un enjeu sanitaire. Elle peut s'implanter facilement sur les sols nus après travaux et doit faire l'objet de mesures spécifiques (fauche/arrachage avant la période de floraison). Elle est assez sensible à la concurrence par d'autres espèces,
- Les astéracées américaines (solidages, vergerettes, etc.). Ces espèces rudérales sont très présentes dans les ourlets hygrophiles. Elles peuvent présenter des foyers assez denses et localisés ou être relativement intégrées parmi les espèces autochtones.
- Des espèces plus marginales : Impatience de l'Himalaya, Vigne vierge, Onagre, etc.

2.4.4 Espèces protégées et habitats d'intérêts communautaires

Les principaux enjeux liés aux espèces protégées identifiées par Tereo lors des inventaires 2019-2020 sont :

- Amphibiens :
 - Alyte accoucheur (*Alytes obstetricans*) : il s'agit de l'enjeu principal de la zone restreinte (lit et digues). Il se reproduit dans les anciens enrochements en pied de digue (dépressions en eau isolées de la Leysse, non liés aux boisements),
 - Grenouille agile (*Rana dalmatina*), grenouille rousse (*Rana temporaria*) et triton palmé (*Lissotriton helveticus*) dans la plaine alluviale.

- Flore :
 - Une espèce protégée (nivéole d'été) était répertoriée sur le talus aval de la digue RD à l'aval du coude de Villarcher ; elle n'est plus présente en 2020.
- Chiroptères :
 - Plusieurs espèces protégées présentes sur le site. Enjeu fort lié aux boisements situés entre la Leysse et le ruisseau des marais en amont immédiat de la confluence,
 - Enjeu de continuité écologique (cf. § précédent).
- Reptiles :
 - Couleuvre vipérine (*Natrix maura*), présence très probable sur tout le linéaire de la Leysse (reproduction certaine à l'amont et habitats favorable sur tous le linéaire),
 - 4 autres espèces protégées à enjeu moins fort.

Enfin, l'ensemble des boisements sur les digues et longeant les digues, bien que d'état dégradé, est classé habitat d'intérêt communautaire au titre de la directive habitats faune flore de l'union européenne. Ce sont les seuls habitats d'intérêt communautaire recensés sur le site.

2.5 Données topographiques

Les données topographiques et/ou bathymétriques mises à disposition par le maître d'ouvrage pour cette étude sont les suivantes :

- DREAL – Levé Lidar du secteur de Chambéry – IMAO – 2013,
- Chambéry Métropole – Cours d'eau de l'agglomération de Chambéry – Plan topographique – Rivière la Leysse – Pont de l'A43 au Pont du Tremblay, GEODE, 2015,
- Chambéry Métropole – Levé topographique de la Leysse PKL6.015 à PKL0.01 – Hydrotopo – 2015,
- CISALB – Levé topographique par photogrammétrie, Rivière Leysse – Société VR3D-SAS – VR377 – 2020.

Pour la construction du modèle hydraulique, les données suivantes ont été utilisées :

- Levés Hydrotopo et Géode de 2015 entre les crêtes de digues,
- Plans de récolement de la tranche conditionnelle 2 des travaux d'aménagement de la confluence Leysse Hyères pour les secteurs concernés par ces travaux,
- Levé Lidar de 2013 pour la plaine.

Pour la CAO/DAO, les données suivantes ont été utilisées :

- Levés Hydrotopo et Géode de 2015 pour les digues (depuis le pied de talus aval) et le lit de la Leysse,
- Plans de récolement de la tranche conditionnelle 2 des travaux d'aménagement de la confluence Leysse Hyères pour les secteurs concernés par ces travaux,
- Levé Lidar de 2013 pour la plaine.

Le levé VR3D de 2020, qui porte sur la digue rive droite uniquement, a été réalisé au cours de l'étude. Une comparaison a été effectuée avec le modèle numérique de terrain réalisé pour la CAO/DAO à partir des levés hydrotopo et Géode. Cette comparaison a montré des écarts mineurs, hormis sur des secteurs de végétation plus importante où le levé par photogrammétrie est potentiellement moins précis. Il a été choisi de ne pas utiliser cette donnée à ce stade.

2.6 Données hydrologiques

2.6.1 Station du pont du Tremblay

La station du pont du Tremblay se situe juste à l'aval immédiat du secteur d'étude. Celle-ci est gérée par la DREAL (Auvergne-Rhône-Alpes) et est une station de référence pour la Leysse. Les débits caractéristiques sont résumés dans le Tableau 9 pour les crues et dans le tableau 10 pour les débits plus faibles.

Tableau 9 : Données des crues (loi de Gumbel - septembre à août) calculées sur 50 ans (Source : Banque Hydro)

Fréquence	QIX (m ³ /s)
Xo	89.800
Gradex	28.500
Biennale	100.0 [93.00;110.0]
Quinquennale	130.0 [120.0;150.0]
Décennale	150.0 [140.0;180.0]
Vicennale	170.0 [160.0;210.0]
Cinquantennale	200.0 [180.0;240.0]
Centennale	Non calculée

Tableau 10 : Données module et basses eaux (Source : Banque Hydro)

Débit caractéristique	Valeur (m ³ /s)
Module	6.220 [5.620;6.880]
QMNA5	0.680 [0.540;0.820]

2.6.2 Débits issus de l'étude Hydrolac

Les débits de la station Hydro du Pont du Tremblay (voir point précédent) n'ont pas été réutilisés en l'état. En concertation avec le Maître d'ouvrage, il a été décidé que la présente étude se base sur les résultats hydrologiques Hydrolac [DA4], qui ont servi en particulier aux calculs des Etudes de dangers (EDD) [DA2], à l'établissement du Schéma Directeur et qui ont été critiqués (surtout les débits de la Leysse, en aval des projets d'aménagement).

Les débits imposés sur le modèle Hydrolac ont été propagés aux frontières du modèle, cela fait partie des données d'entrée utilisées par CNR. Ainsi les figures suivantes présentent les hydrogrammes du ruisseau des Marais et de la Leysse au pont de l'A43/A41.

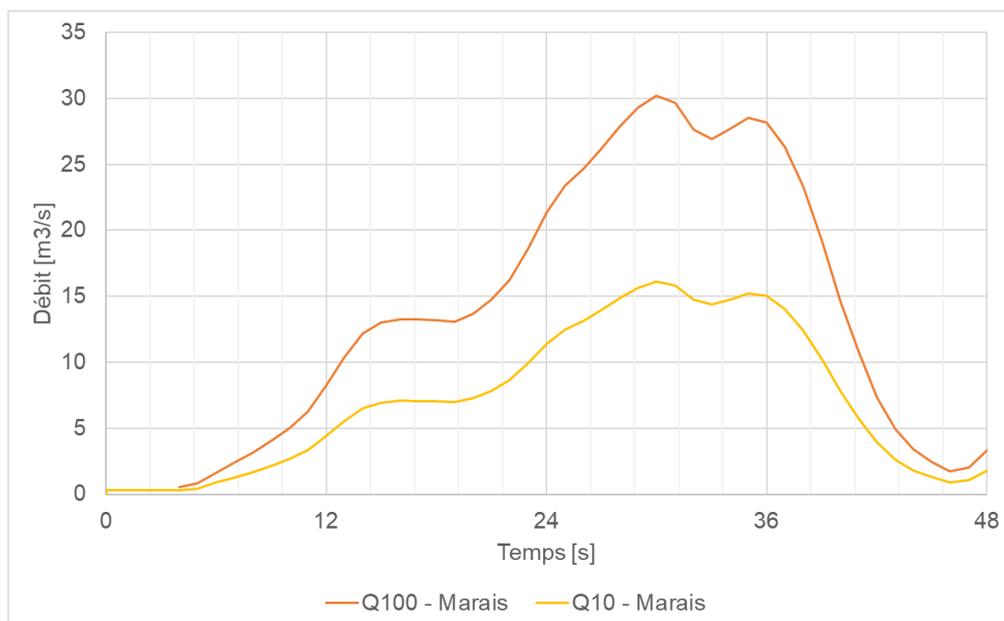


Figure 11 : Hydrogrammes du Ruisseau des Marais

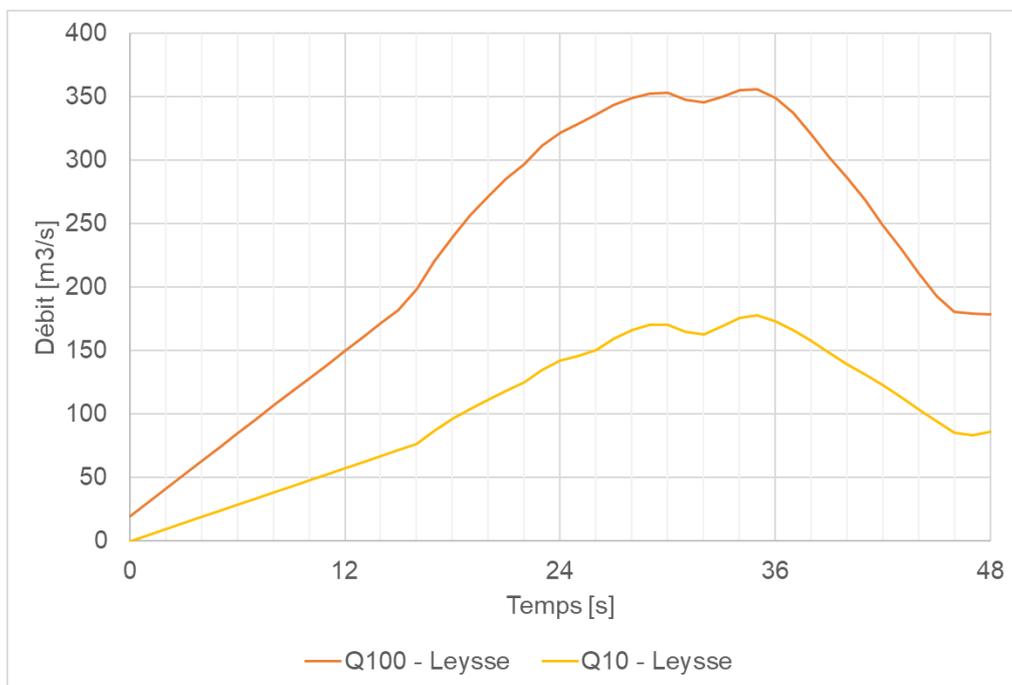


Figure 12 : Hydrogrammes de la Laysse (aval pont A43/A41)

2.6.3 Comparaison des débits de pointe

Comme présenté ci-avant les débits retenus sont plus élevés que les différentes estimations et peuvent paraître sécuritaires. Mais ces valeurs sont les seules à tenir compte des projets d'aménagement amont qui reportent plusieurs débordements dans le lit de la Laysse. Les travaux de confortement conduisent donc à augmenter le débit pour les occurrences faibles. La figure 13 compare les différentes sources de données pour les crues caractéristiques.

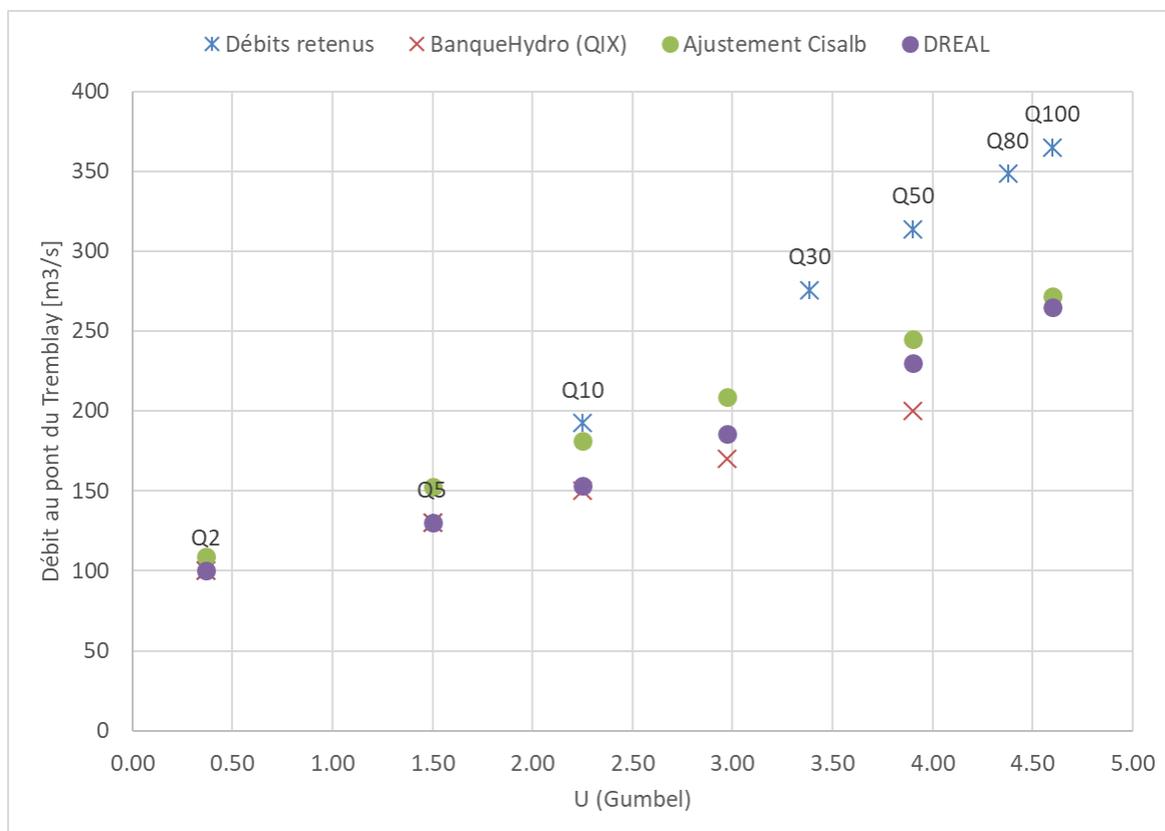


Figure 13 : Comparaison des estimations des débits de pointe des crues caractéristiques

2.7 Contraintes, usages et servitudes

2.7.1 Réseaux

Les données sur la présence de réseaux sont issues des réponses fournies par les différents concessionnaires suite à la Demande de Travaux (DT) établie par le CISALB en juin 2019. Des plans complémentaires ont par la suite été obtenus par le CISALB auprès du Service des Eaux de Chambéry (plans au format des DWG des réseaux d'eau potable, plans de récolement du réseau d'assainissement).

Le plan en annexe 4 localise les réseaux qui interfèrent avec l'emprise du projet (scénario 3) et la classe de précision associée.

2.7.1.1 Assainissement

L'agglomération de Chambéry dispose d'une station d'épuration située en rive droite de la Leysse, à l'aval du pont SNCF (alentours du PKL8.1). Depuis 1978, les eaux traitées ne sont plus rejetées vers la Leysse mais acheminées jusqu'au Bourget-du-Lac puis transférées au Rhône via une galerie sous le mont du Chat.

L'acheminement depuis la STEP jusqu'au Bourget du Lac se fait via une conduite en béton armé d'un diamètre de $\varnothing 1200$ mm. Au droit du secteur d'étude, cette conduite se situe dans le corps de la digue rive droite, sur un linéaire d'au moins 2 km. Le concessionnaire de cette conduite est le service des eaux du Grand Chambéry.

La présence de ce réseau dans le corps de digue constitue l'une des contraintes majeures de ce projet, du fait du coût rédhibitoire qu'engendrerait son dévoiement et qui interdit une reprise complète de la digue.

Les données disponibles à ce stade (plans en classe C) ne permettent pas une bonne localisation de la conduite en planimétrie et altimétrie au sein du corps de digue, ni d'identifier le point précis où elle quitte la digue (autour du PKL4.2). Des informations ponctuelles (position des tampons, photos des travaux de 2015, cf. ci-dessous) indiquent à certains endroits une localisation à une faible profondeur (environ 80 cm) sous la crête de digue et proche du talus amont. Au stade avant-projet, c'est cette hypothèse défavorable pour le dimensionnement du projet qui a été retenue.

En vue de la phase projet, un levé de classe A sera indispensable pour affiner le dimensionnement.



A gauche : travaux sur le réseau d'assainissement en septembre 2015 aux alentours du PKL4.2. A droite : buse béton $\varnothing 1200$ déposée dans le cadre des tranches de travaux précédentes.

Des réseaux d'eaux usées sont également identifiés :

- En pied de la digue rive droite, sur 150 m depuis le pont de l'Autoroute (PKL6.25 à 6.10, interfaces potentielles avec le projet) ; vers l'aval, il s'éloigne en suivant la rue des Epinettes,
- Dans la berge rive gauche entre la confluence du ruisseau des marais et le pont du Tremblay (hors emprise des systèmes d'endiguement, non concerné par le projet),
- Rejet en rive gauche à l'amont immédiat du pont du Tremblay.

Ces réseaux sont gérés par le Service des Eaux du Grand Chambéry ; les plans fournis ont une précision de classe C.

2.7.1.2 Adduction d'Eau Potable (AEP)

Des réseaux AEP sont identifiés :

- Dans le corps de la digue rive droite, entre les PKL6.2 et 5.8 (non traversant, interface certaine avec le projet),

- Au pied de la digue rive droite sur environ 250 m à hauteur du coude de Villarcher (interface potentielle avec le projet).

La précision des plans consultés correspond à la classe C.

2.7.1.3 Eaux pluviales

Un fossé à ciel ouvert est présent en pied de la digue rive droite au droit de la zone d'activité des Landiers nord (concessions Jean Lain). A l'aval du PKL5.490, ce fossé récupère les eaux pluviales issues de la zone d'activité. Il longe la digue jusqu'à l'aval immédiat de la courbure de Villarcher.

2.7.1.4 Transport et distribution de gaz

Un gazoduc, constitué de deux conduites DN400 traverse la Laysse au PKL4.240. Un poste de détente est présent en contrebas de la digue au droit du PKL4.35, relié au gazoduc par une conduite DN100.

GRT Gaz, concessionnaire de ces ouvrages ne transmet pas les plans en retour des DT. Le risque d'interface avec les endiguements est à priori faible, du fait de la profondeur supposée du gazoduc. La liaison entre le poste de détente et le gazoduc se fait à distance de la digue, au droit des terrains agricoles (source : CISALB). Un levé de classe A sera à effectuer avec le concessionnaire pour évaluer ces interfaces.



Poste de détente et bornes du gazoduc GRT Gaz.

Les réseaux de distribution reliés au poste de détente n'intéressent pas la zone du projet.

2.7.1.5 Réseaux électriques

Plusieurs réseaux électriques sont présents sur le site d'étude :

- Une ligne aérienne haute tension (63 KV, concessionnaire : RTE), traverse la Laysse à l'aval immédiat du pont de l'autoroute. Un pylône est présent en pied du talus aval de la digue rive droite. La hauteur entre la ligne et la crête de digue rive gauche est de 17 à 20 m d'après les profils fournis par le concessionnaire,



Pylône de la ligne HT à l'aval immédiat du pont de l'autoroute (source : GoogleEarth).

- Une ligne souterraine moyenne tension (concessionnaire : ENEDIS) est présente dans la digue rive gauche du pont de l'autoroute jusqu'aux environs du PKL5.6,
- Une ligne souterraine moyenne tension (ENEDIS) est présente dans la digue rive droite du PKL5.87 jusqu'au rondpoint de Villarcher,

- Une ligne aérienne moyenne tension (ENEDIS) traverse la Leysse en diagonale du PKL5.6 en rive gauche au PKL5.55 en rive droite. Un pylône est présent au pied de chacune des deux digues, côté plaine,



Pylônes moyenne tension de part et d'autre des digues de la Leysse au PKL5.6 et au PKL5.55.

- Des réseaux moyennes et basses tensions traversent la Leysse au droit du pont du Tremblay, probablement en aérien le long du tablier (à confirmer auprès du concessionnaire ENEDIS).



Passage supposé des lignes HTA le long du tablier du pont du Tremblay.

La plupart des réseaux électriques listés ci-dessus se situeront en interface forte avec le projet ; certains nécessiteront des déviements préalables.

2.7.1.6 Réseaux de télécommunications

Les réseaux de télécommunications les plus proches de l'emprise projet passent en souterrain au droit de la rue des épinettes et s'approchent de la digue rive droite aux abords du PKL6.2 (Concessionnaire : Orange, Précision : Classe C).

2.7.1.7 Réseaux viaires

- Voie verte :

La voie verte reliant Chambéry à Aix-les-Bains en passant par le Bourget du Lac emprunte la crête de la digue rive droite sur la quasi-totalité du linéaire d'étude. Elle ne quitte celle-ci que sur les 100 mètres situés en amont immédiat du pont du Tremblay.

Sur l'amont du linéaire d'étude, elle est constituée en surface d'un revêtement en enrobé dont l'aspect relativement dégradé reflète les mouvements du terrain et les désordres de la digue sous-jacente. Sur l'aval du linéaire d'étude, elle présente un revêtement en béton assez préservé. Deux rampes d'accès cyclables sont présentes, depuis la rue des épinettes à l'amont et au droit du rondpoint de Villarcher.

Cette piste cyclable est sous maîtrise d'ouvrage du département de la Savoie. Sa fréquentation est très importante, tant pour les loisirs que pour les trajets professionnels/étudiants entre le centre urbain de Chambéry et le technopôle de Technolac. L'intégration et le maintien en sécurité de cet usage en phase chantier constitue

l'un des enjeux majeurs du projet en phase travaux. Le trafic moyen annuel est de l'ordre de 1000 personnes/jour mais il peut dépasser 3000 personnes/jour en période estival.



Voie verte sur la partie aval du secteur (vue vers l'amont).

- Voies de circulation routières :

Le secteur d'étude est traversé par les ponts de l'autoroute A41 et de la RD11 (cf. § 2.1.3.1). D'autres voies routières passent à proximité du projet :

- la RD1504 et la bretelle d'accès à la VRU au droit du rond-point de Villarcher,
- la rue des Epinettes à l'amont du secteur.

2.7.1.8 Autres réseaux

Une conduite d'alimentation d'un lavoir, traversante sous la Leysse, est repérée sur les plans du service des eaux au PKL4.4. Le lavoir va être déconnecté de ce réseau pour être raccordé au réseau AEP. Toutefois, la commune souhaite conserver ce réseau traversant qui devra être traité dans le cadre du projet.

Il est possible que d'autres anciens réseaux traversants non répertoriés soient découverts dans les digues en phase travaux. L'analyse des données géophysiques (cf. § 0) permet d'identifier des zones suspectes en différents points :

- PKL4.982 – 4.967 vers 2.5 à 3 m de profondeur (PM1300 – 1315),
- PKL 4.967 – 4.932 (PM1315 – 1350),
- PK4.932 – 4.922 (PM1350 -1360),
- PKL4.877 – 4.807 (PM1405 – 1475, PM1410 et PM1425),
- PK4.495 et 4.410 (PM1790 – 1875, PM1760),
- PK4.359 (PM1923),
- PK4.337 (PM1945),
- PKL4.257 (PM2025),
- PKL4.185 (PM2097),
- PKL4.177 (PM2105),
- PKL4.167 (PM2115),
- PKL3.542 (PM2740).

Les éventuels anciens réseaux traversants découverts devront être traités (comblement) pour garantir l'étanchéité de la digue.

2.7.2 Usages des abords du site et occupation du sol

2.7.2.1 Activité agricole

En rive gauche, 17 parcelles cadastrées dont l'occupation du sol est agricole jouxtent le système d'endiguement SE5, du PKL5.600 au PKL5.380, puis du PKL4.630 au PKL3.900 (au moins 10 propriétaires différents d'après les données transmises par le CISALB). La surface agricole entre la digue existante (SE5) et le ruisseau des marais est d'environ 45 ha.

En rive droite, 9 parcelles cadastrées d'occupation agricole sont dénombrées le long du SE2.2, à l'aval du PKL4.350. La surface agricole entre la digue (SE2.2) et la RD1504 est d'environ 7 ha.

2.7.2.2 Zone d'activité des Landiers

La zone d'activité des Landiers nord jouxte le secteur d'étude à l'est, au pied de la digue rive droite (SE2.2), du PKL5.600 au PKL5.200.

Plusieurs activités jouxtent la zone d'étude, parmi lesquelles, d'amont en aval :

- Supermarché Promocash,
- Motel Fast Hotel,
- Concession automobile Jean Lain,
- Granulats Vicat,
- Concessions automobile Jean Lain.

2.7.2.3 Voie cyclable

La voie cyclable reliant Chambéry à Aix-les-Bains via le Bourget du Lac est présente en crête de la digue rive droite sur la quasi-totalité du linéaire (cf. § 2.7.1.7).

3 Approche méthodologique pour la définition des scénarios

Ce paragraphe présente le déroulement de la démarche qui a mené à la définition des scénarios tel que présentés dans les paragraphes qui suivent. Cette démarche a été structurée par 5 réunions de travail et d'échange dans les locaux du CISALB (le 27/05/19, le 20/08/19, le 05/12/19, le 22/01/20, le 28/01/20, le 11/02/20) et trois réunions par visioconférence (le 25/03/20, 15/04/20, 07/05/20).

La conception des différents scénarios (et variantes) d'avant-projet s'est déroulée de la façon suivante :

1^{ère} étape :

- Recalage du modèle, définition du fonctionnement et contraintes hydrauliques en l'état actuel (niveaux vitesses, débits d'inondation de la plaine de pré-marquis, point de débordement et revanches actuelles des ouvrages, identification des sections de contrôle) ;
- Analyse et définition des solutions permettant le confortement et la mise à niveau de la digue rive droite sans emprise sur la section hydraulique (scénario 1) ;
- Analyse et recherche des solutions permettant de minimiser l'emprise du confortement en rive droite sur la section d'écoulement sans dévoiement du réseau d'assainissement Ø1200 (scénarios 1 et 2),
- Analyse de la topographie et des potentialités d'élargissement en rive gauche,
- Pré-chiffrage des différentes solutions,
- Choix des principes retenus pour les différents scénarios (palplanches pour le scénario 1, géomembrane/GSB pour les scénarios 2 et 3, tracés de l'élargissement en RG pour le scénario 3).

2^{ème} étape :

- Préanalyse de l'incidence des différents scénarios,
- Choix des scénarios à modéliser : pas de simulation du scénario 1, identique à l'état initial, pas de simulation du scénario 2 qui présente de faibles gains environnementaux tout en ayant une incidence forte en phase travaux), simulation de 2 variantes de tracés pour le scénario 3,
- Définition des gabarits hydrauliques d'état projeté.

3^{ème} étape :

- Analyse des résultats des simulations de l'état projeté,
- Adaptation locale des scénarios de projet sur la base des résultats (rélargissement local pour abaissement des vitesses notamment),
- Travail sur les modalités de réalisation, notamment contraintes d'accès et maintien de l'usage de la piste cyclable, dans le scénario 3 (réalisation d'un épaulement du talus aval avec réfection de la piste cyclable sur cet épaulement),
- Optimisations du scénario 3 au droit de profils particuliers.

4^{ème} étape :

- Plans et métrés détaillés du scénario 3 (et variantes),
- Optimisation des scénarios 1 et 2 sur la base du travail effectué sur le scénario 3,
- Chiffrage des 3 scénarios.

4 Etude hydraulique

Le modèle hydraulique utilisé pour la conception est issu de l'EDD [DA2], qui est un modèle faisant référence pour le secteur. Ce modèle TELEMAC-2D inclut la plaine d'inondation et repose sur une bathymétrie Hydrotopo datant de 2015. Pour plus de détails sur la construction et le calage du modèle, on se reportera à la lecture de l'annexe 1.

La crue de projet est une crue centennale telle que définie dans la partie hydrologique (§2.6.2). Le débit de pointe correspondant au pont du Tremblay est estimé à 365 m³/s. Toutes les valeurs de niveau présentée dans cette partie sont les résultats bruts de calculs, sans revanche supplémentaire.

Le modèle hydraulique présente des incertitudes qu'il convient de préciser afin de quantifier la précision des résultats. Ces incertitudes portent sur les données d'entrée du modèle hydraulique (état bathymétrique, son évolution dans le temps non prise en compte et hydrogrammes en particulier) et la précision intrinsèque des résultats du modèle hydraulique. L'hydrologie retenue semble plutôt sécuritaire. Mais pour rappel, le calage montre que les différences de niveaux calculées et observées sont d'environ 20-30 cm pour une forte crue, ce qui révèle l'ordre de grandeur de l'incertitude, équivalent à la revanche de 30 cm retenue pour le dimensionnement des ouvrages (cf. § 5.1).

En préambule de la partie hydraulique, la correspondance des noms des scénarios et des différents modèles présentés dans ce rapport est précisée dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Correspondance des noms des scénarios et des modèles

Nommage scénario	Nom(s) modèle(s) Telemac correspondant
Scénario 1	sc1.3, sc1.4
Scénario 2	Non simulé
Scénario 3 – solution de base	sc3.1, sc3.2
Scénario 3 – variante 1	sc3.1bis, sc3.2bis
Scénario 3 – variante 2	Non simulé

4.1 Fonctionnement de la plaine de pré-marquis

4.1.1 Principe de fonctionnement de la plaine et interactions

Le tronçon d'étude peut être schématiquement représenté par 2 branches parallèles :

- La Leysse utilisée pour propager le débit, avec de fortes vitesses,
- La plaine de pré-marquis stockant temporairement un volume d'eau.

Ces 2 branches possèdent des interactions entre elles. Tout d'abord le débit dans la Leysse, qui dimensionnera directement les endiguements, est dicté par l'équilibre qui se crée à l'amont avec le déversoir de pré-marquis. Ce dernier détermine le débit entrant dans la plaine. Etant donné que le seuil de pré-marquis ne sera pas repris dans le cadre de ce projet, il convient donc que les travaux n'abaissent pas significativement le niveau au droit de ce dernier, pour éviter de modifier cet équilibre.

La figure 14 présente également d'autres sections de contrôle pouvant impacter les niveaux, comme la fermeture de la plaine qui peut avoir tendance à augmenter la rétention d'eau en montant les niveaux dans la plaine de pré-marquis, ou le resserrement au niveau du pont du Tremblay.

La plaine d'inondation de pré-marquis permet de délester le tronçon de la Leysse de manière significative. En revanche, l'effet de laminage de la crue sur l'aval reste faible, car le volume stocké est faible par rapport à celui de la crue, d'autant plus que la crue présente 2 pics successifs (la plaine étant déjà remplie avant le second pic). Ainsi la partie à l'aval de la confluence avec le ruisseau des Marais n'est que peu influencée par la répartition du débit entre la Leysse et la plaine de pré-marquis.

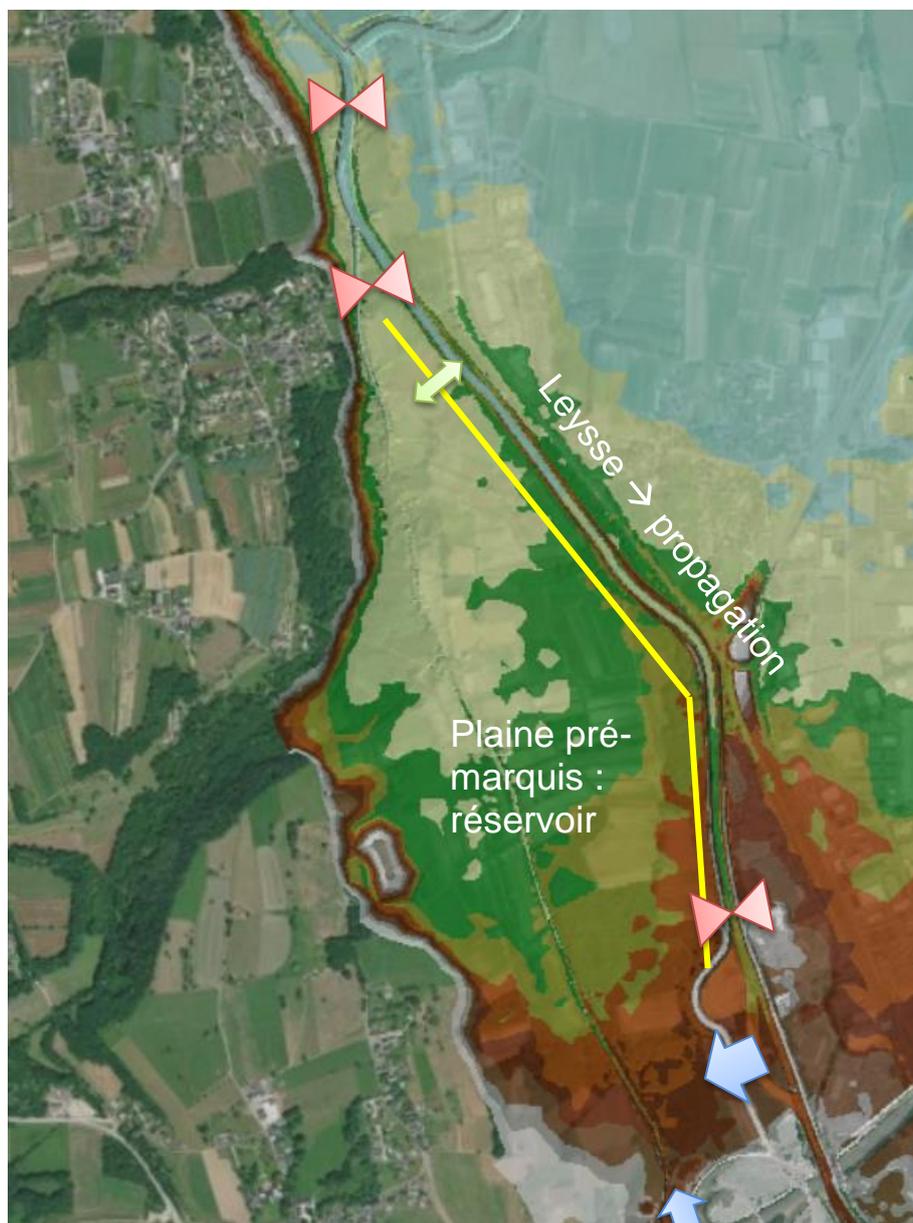


Figure 14 : Vue schématique des échanges et des sections de contrôle

4.1.2 Fonctionnement du seuil de pré-marquis en état actuel

Le seuil déversant de la plaine de Pré-marquis a été construit dans le cadre des travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères à Chambéry. Ce seuil permet de décharger la Leysse en aval du pont de l'A43 dès que le débit dépasse 200 m³/s, la cote d'exécution de l'arase du seuil étant calée à 247.27 m NGF. Ce débit correspond à une période de retour de 10-15 ans. L'inondation de la plaine de pré-marquis se trouve aggravée dès l'atteinte de ce débit, mais l'emprise de la zone inondable change peu (les hauteurs d'eau cependant sont augmentées) pour de plus fortes crues, voir par exemple la Q100 sur la figure 16.

On note toutefois qu'en allant vers l'aval, l'effet du seuil de pré-marquis dans la Leysse n'est plus ressenti à cause des échanges entre le ruisseau des Marais et la Leysse (voir la Figure 15, en aval de x=2100 m).

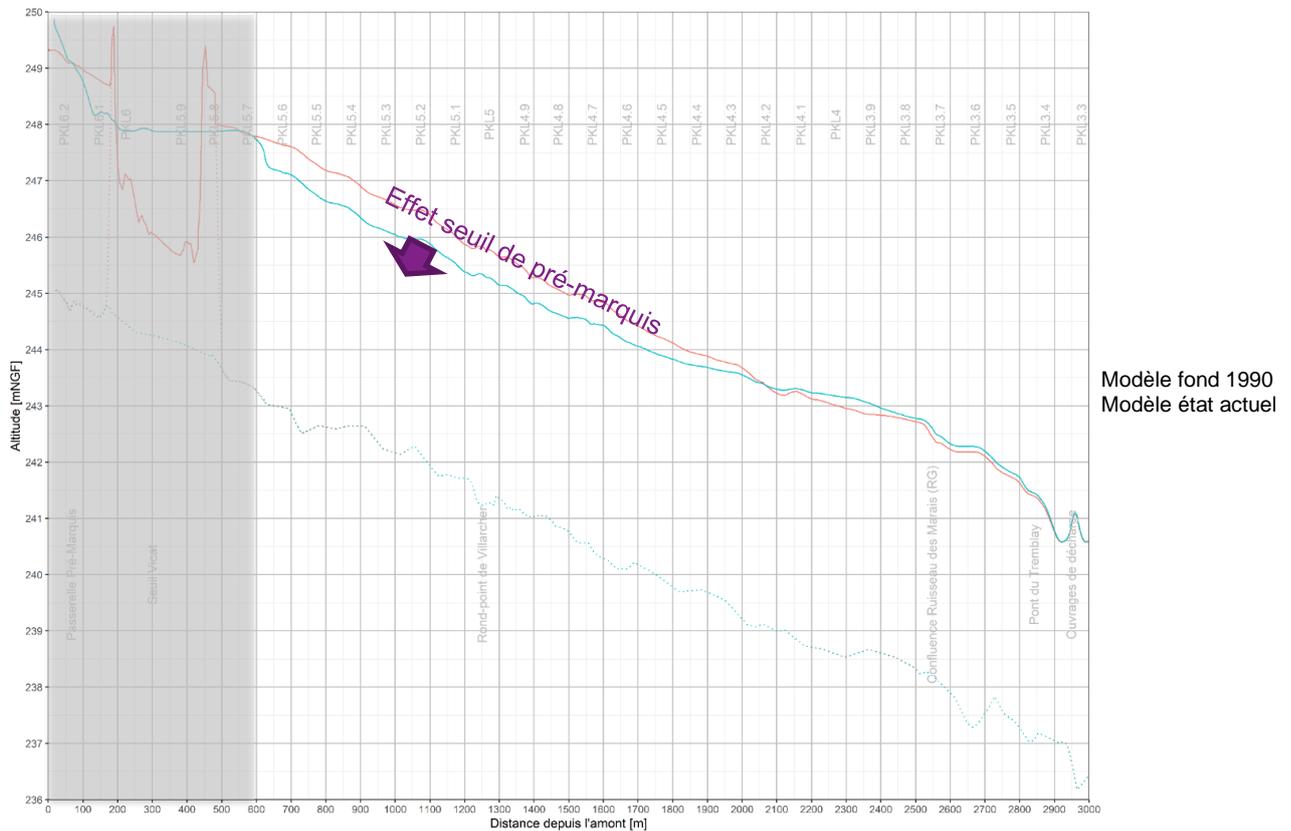


Figure 15 : Profil en long des niveaux d'eau Q100 du modèle « fond 1990 » et de l'état actuel

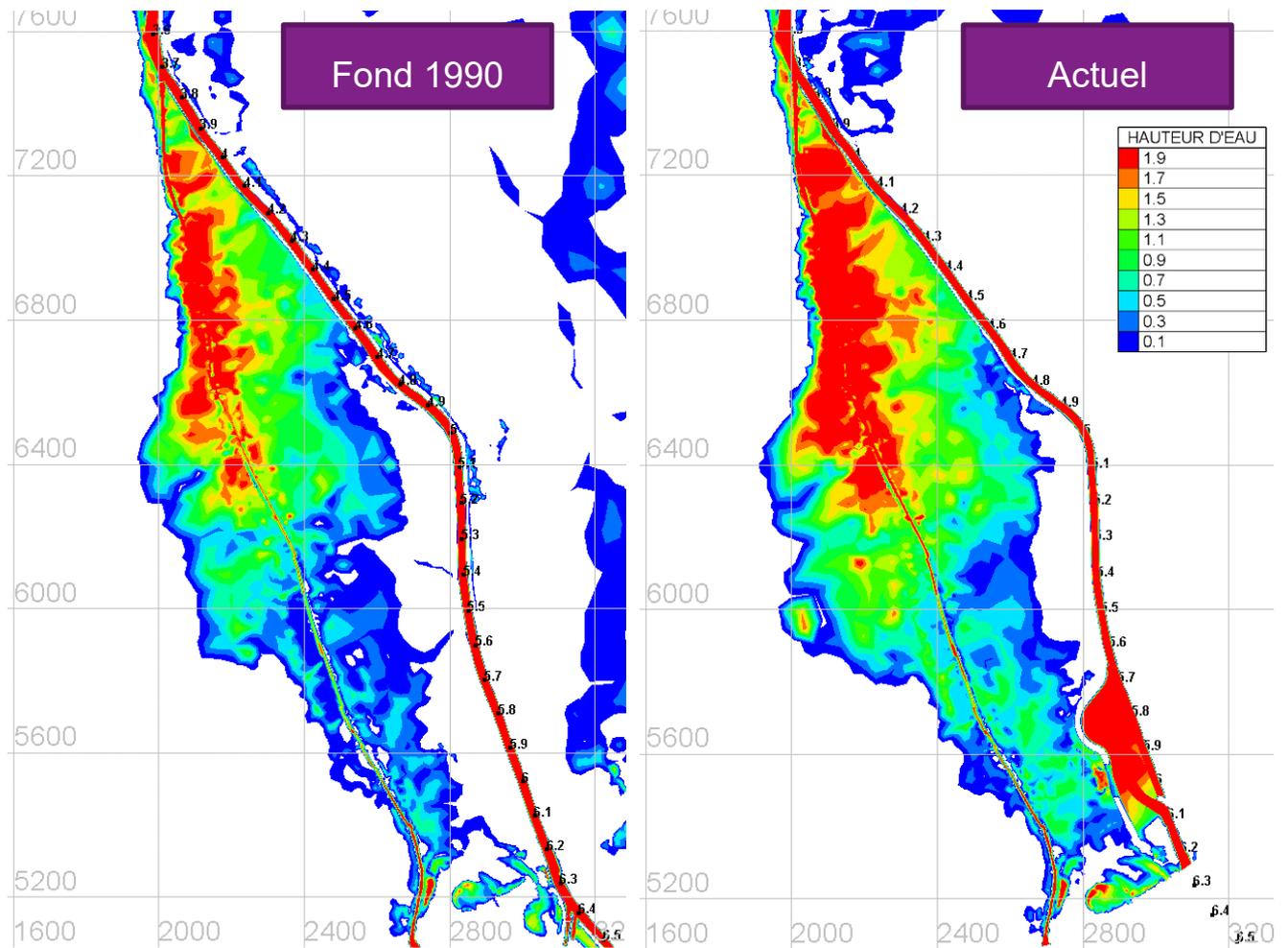


Figure 16 : Comparaison des zones inondables pour la Q100.

4.2 Résultats sur l'état actuel

Afin d'analyser les débordements sur l'état actuel, les niveaux d'eau sont comparés aux crêtes de digue sur la figure 17.

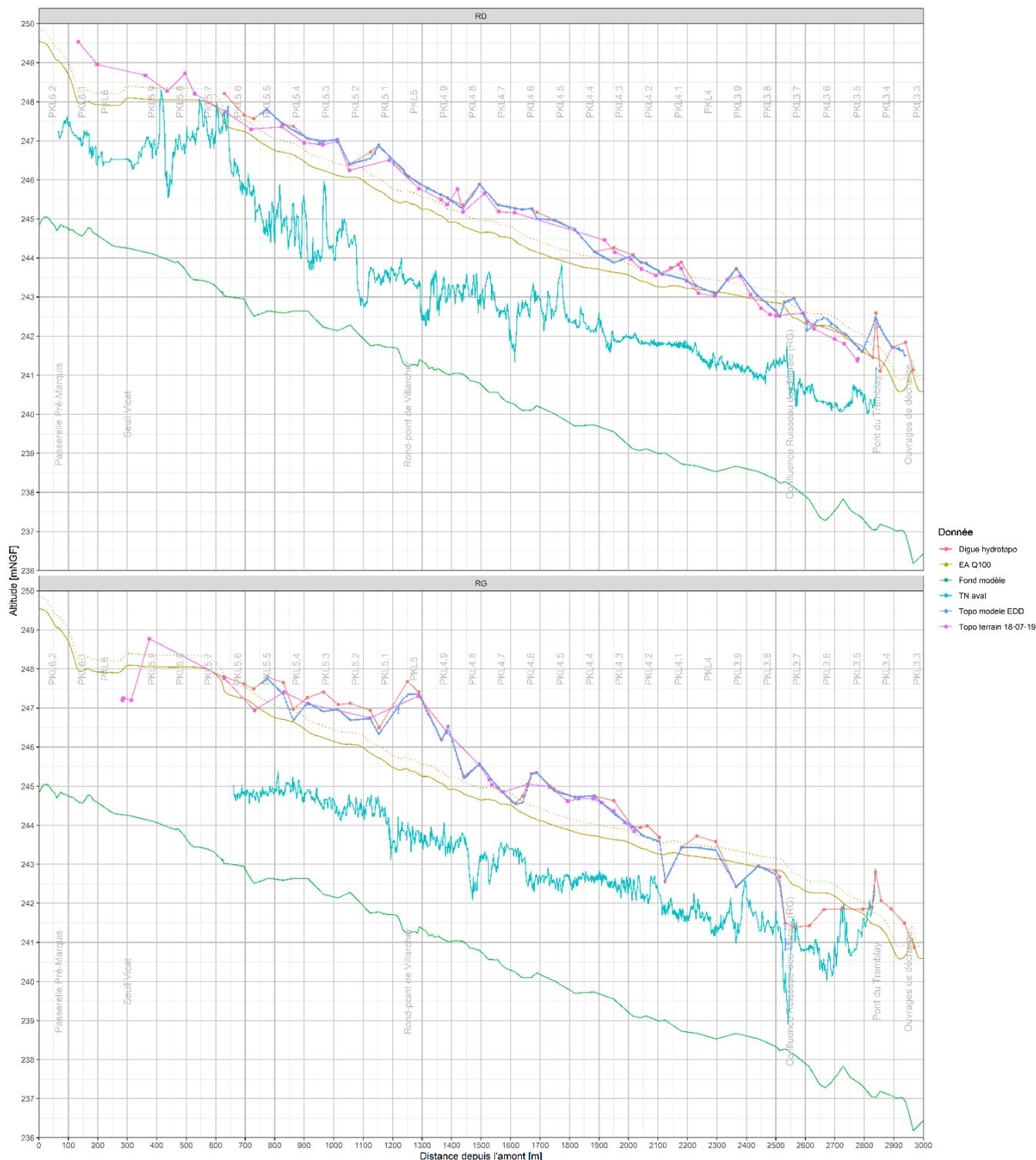


Figure 17 : Profil en long du niveau d'eau Q100 état actuel et des digues (haut = rive droite, bas = rive gauche)

Dans l'état actuel, le Pont du Tremblay disposerait d'un tirant d'air d'environ 50 cm pour la Q100, étant donné que la cote inférieure du tablier est à 241.88 m NGF.

4.2.1 Débordements rive droite

En rive droite, les débordements dans l'état actuel se concentrent entre la confluence avec le ruisseau des Marais et le pont du Tremblay.



Figure 18 : Cartographie des zones inondées en rive droite par la crue Q100 en état actuel

4.2.2 Débordements rive gauche

En rive gauche, les débordements se concentrent également en aval, mais principalement en amont du ruisseau des Marais cette fois-ci.

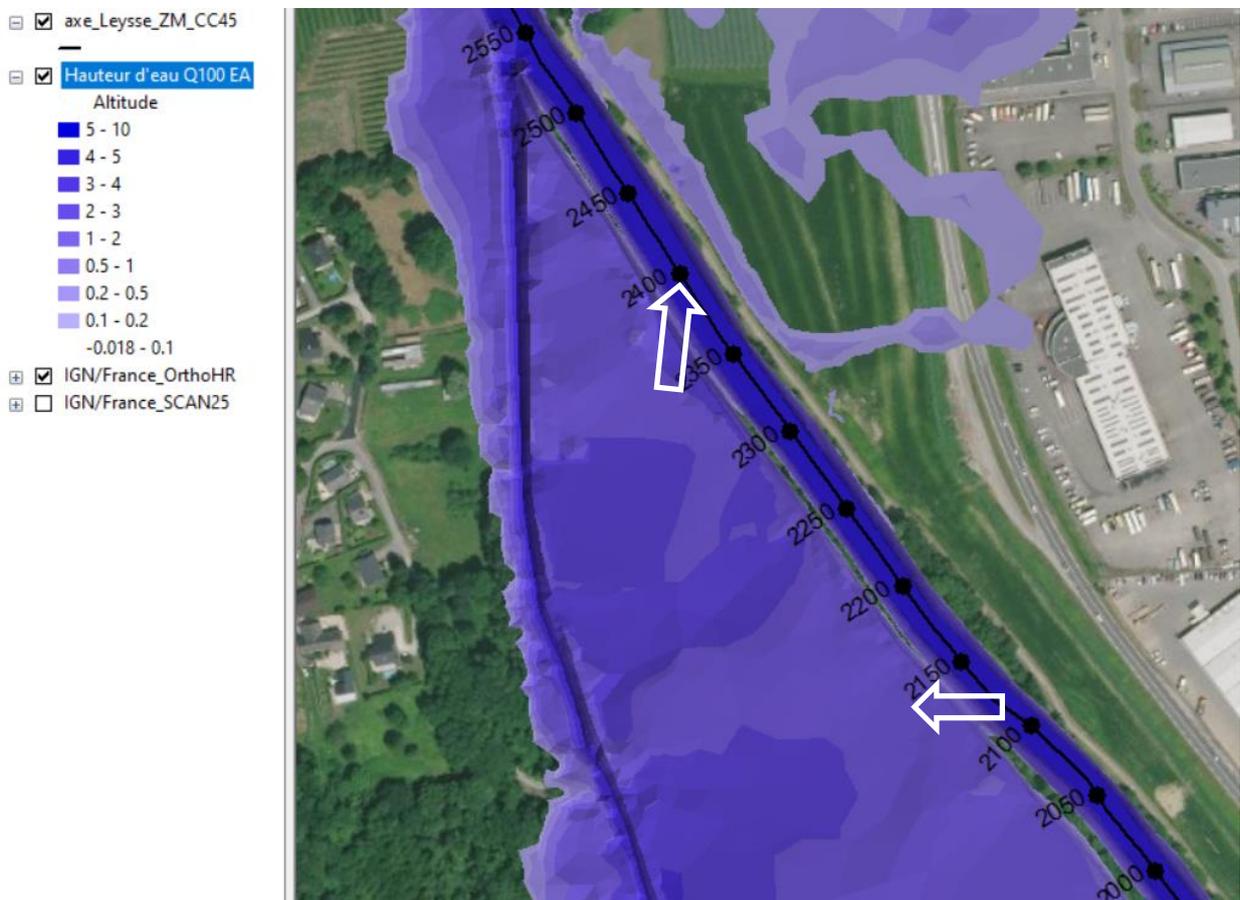


Figure 19 : Cartographie des zones inondées en rive gauche par la crue Q100 en état actuel

4.3 Scénario 1

Le scénario 1 correspond au confortement (et à la rehausse lorsque nécessaire) de l'endiguement rive droite sans emprise sur la section d'écoulement. Il est donc équivalent à l'état initial hydrauliquement.

La crête de digue est à rehausser sur la partie aval, sur un linéaire cumulé de 830 m.

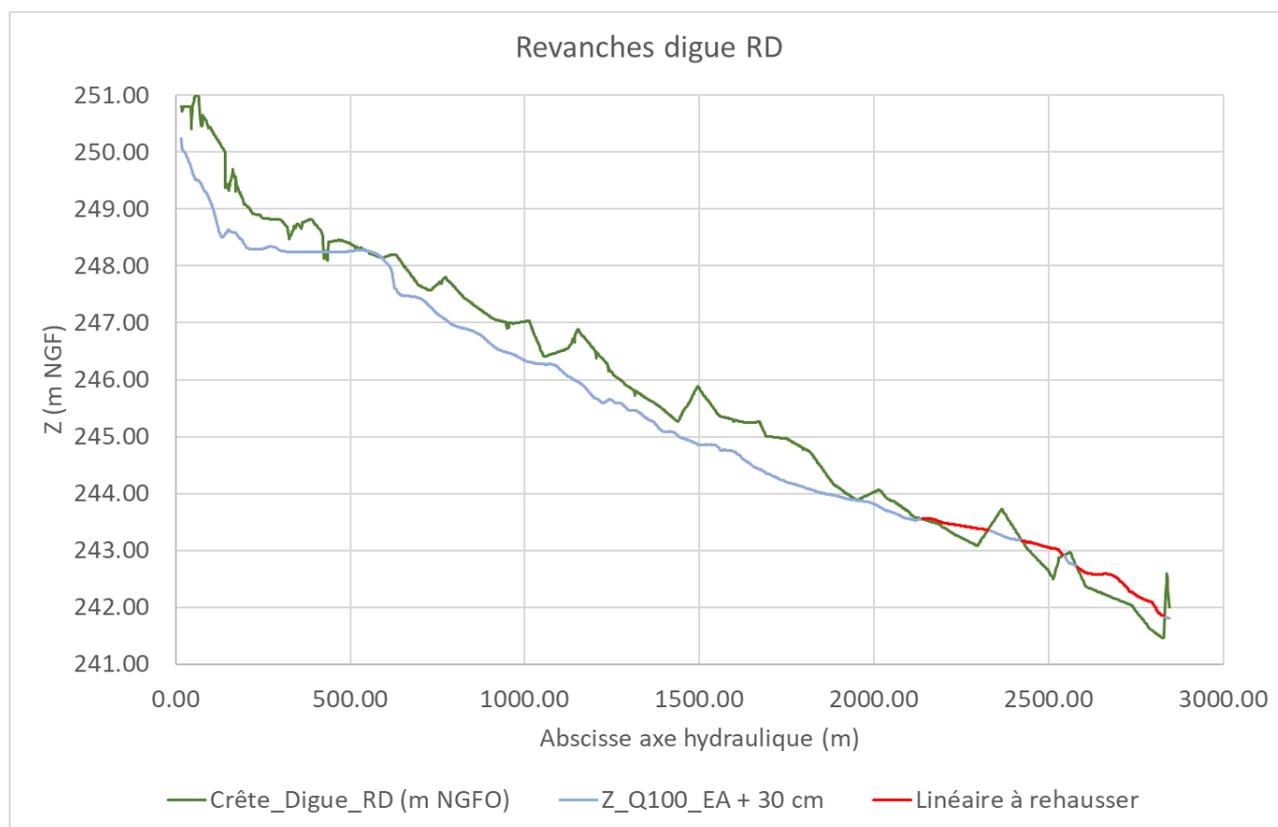


Figure 20 : Localisation du linéaire à rehausser en rive droite pour le scénario 1

4.4 Scénario 2

Le scénario 2 correspond à l'élargissement minimum de digue en rive gauche permettant de compenser l'emprise du confortement de la rive droite sur la section d'écoulement. A l'instar du scénario 3, il implique un déboisement des deux rives, pénalisant sur le plan environnemental et paysager. Contrairement au scénario 3, la section et la largeur du lit restituées sont identiques à l'état initial. Aussi l'impact environnemental à court et moyen terme n'est pas compensé par des gains significatifs en termes d'habitats naturels. En outre, ces caractéristiques hydrauliques sont proches de celles du scénario 1 (sections d'écoulement équivalente). Par conséquent, il a été choisi de ne pas simuler ce scénario. Pour le dimensionnement et le chiffrage des protections et confortement de digues, les niveaux et vitesses ont été supposés équivalents à ceux de l'état initial.

4.5 Scénario 3 – Solution de base

Le scénario 3 correspond à l'écartement optimal de la digue rive gauche permettant de compenser l'emprise du confortement de la rive droite sur la section d'écoulement et d'envisager des aménagements hydro-écologiques dans le lit de la rivière. Cet élargissement peut permettre localement des gains hydrauliques notables mais ne doit pas modifier sensiblement l'équilibre des débits entre la Leysse et le seuil de pré-marquis, comme présenté dans la partie 4.1.1.

Le premier modèle **sc3.1** a été construit en conservant la géométrie de la section de contrôle actuelle entre les profils PKL5.684 et PKL5.578 comme illustré sur la figure 21. Comme attendu, étant donné que le gain en section est significatif sur le tronçon intermédiaire (secteur de Villarcher) ; la ligne d'eau est fortement impactée au droit du PKL5.5 (voir la figure 23). En conséquence le fonctionnement du seuil de pré-marquis est légèrement altéré et les vitesses au niveau de cette section de contrôle atteignent jusqu'à 6 m/s, comme illustré sur la Figure 24.

Afin de limiter les vitesses, un compromis a été recherché pour modifier l'équilibre des débits entre la Leysse et le seuil de pré-marquis de manière acceptable. Pour ce modèle nommé **sc3.2**, la section de contrôle a été élargie d'une largeur de digue en rive gauche comme illustré sur les figures suivantes. Cette modification conduit à des

vitesse maximale de l'ordre de 5 m/s et à une augmentation du débit dans la Laysse d'environ 30 m³/s, ce qui est jugé acceptable.

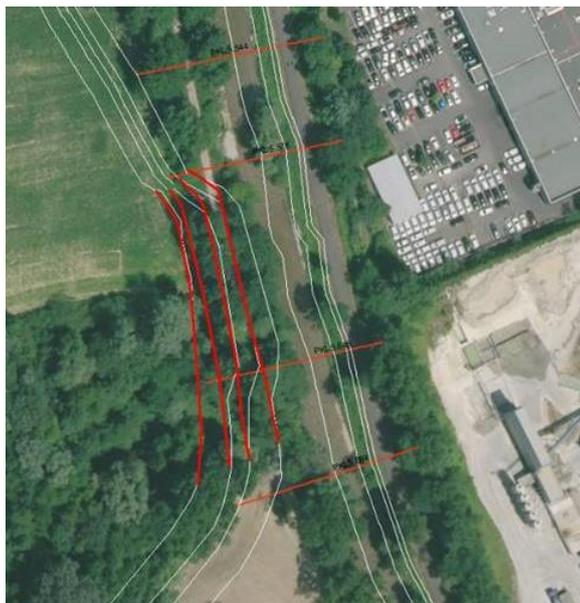


Figure 21 : Vue en plan des lignes de construction à l'aval du seuil de pré-marquis (blanc = sc3.1, rouge = sc3.2)

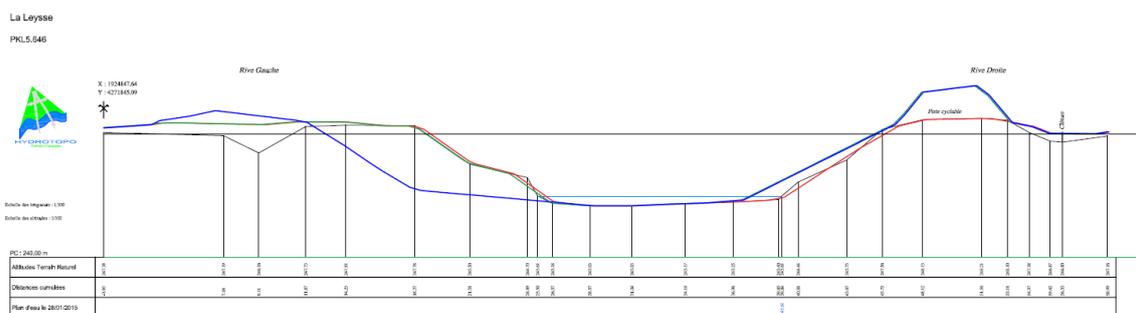


Figure 22 : Profil en travers état initial et scénario 3 (sc3.1 et sc3.2)

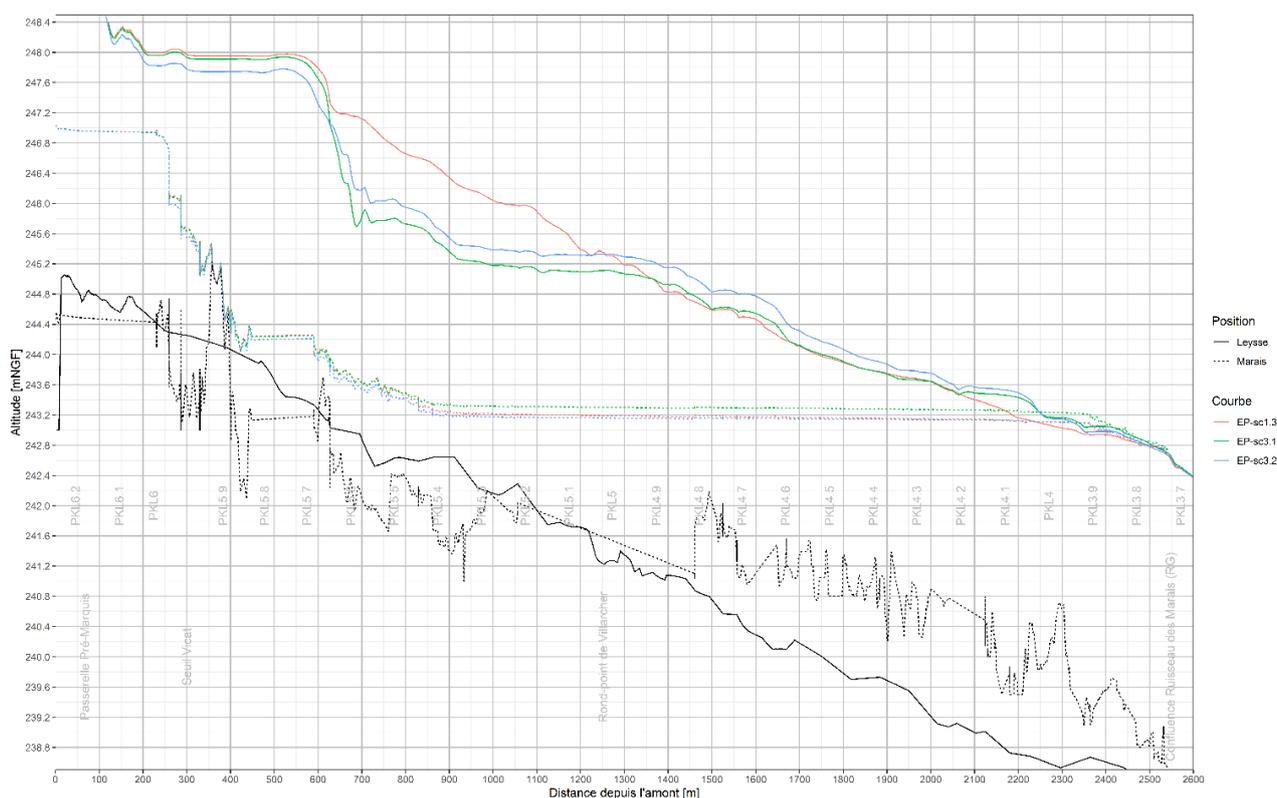


Figure 23 : Profil en long des niveaux d'eau pour la crue Q100 sur sc1., sc3.1 et sc3.2



Figure 24 : Profil en long des vitesses pour la crue Q100 sur sc1., sc3.1 et sc3.2

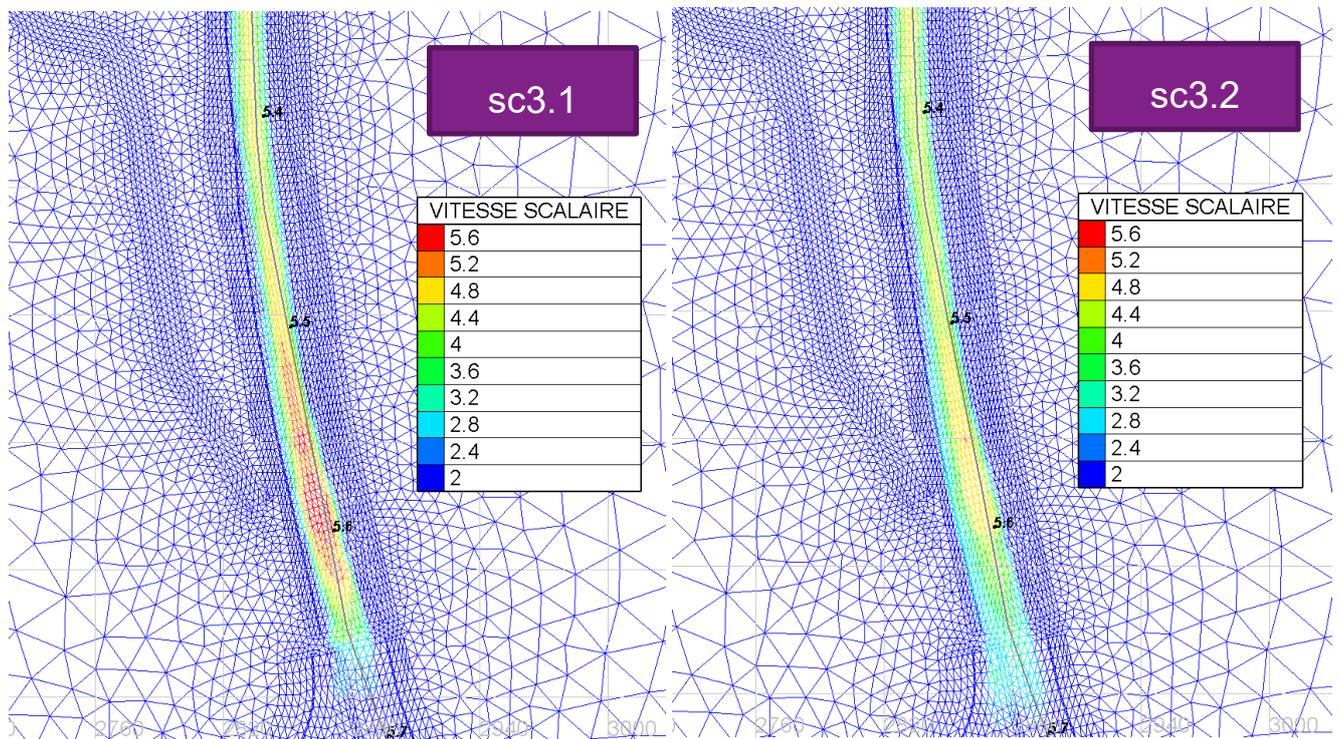


Figure 25 : Comparaison des vues en plan des vitesses pour la Q100 sur les modèles sc3.1 et sc3.2

Description	sc1.3	sc3.1	sc3.2
	Suppression des débordements RD et RG	Scénario d'élargissement initial	Élargissement de la section de contrôle aval casier VICAT
Débit déversoir pré-marquis	105 m³/s	97 m³/s	67 m³/s
Impact sur débit déversoir pré-Marquis par rapport au sc1.3	-	-8 m³/s	- 37 m³/s
Vitesses max à la sortie du casier Vicat	3.8 m/s	6 m/s	5.1 m/s
Vitesses max dans la courbure de Villarcher	4.2 m/s	2.4 m/s	2.4 m/s
Impact sur les niveaux sur la partie aval par rapport au sc1.3	-	nul à +5 cm	+30 cm

Tableau 12 : Impacts des débits pour la Q100 sur les différents scénarios

Sur la Figure 23 présentant le profil en long des niveaux, la ligne d'eau est plus élevée sur le modèle sc3.2 qui inclut l'élargissement de la section entre les PKL5.684 et PKL5.578. Cette différence s'explique par le « sur-débit » passant dans la Leysse, car le fonctionnement du seuil de pré-marquis est modifié (environ -30 m³/s par rapport au cas sc3.1).

Pour le scénario 3 « solution de base », la crête de digue est à rehausser sur la partie aval, sur un linéaire cumulé de 850 m.

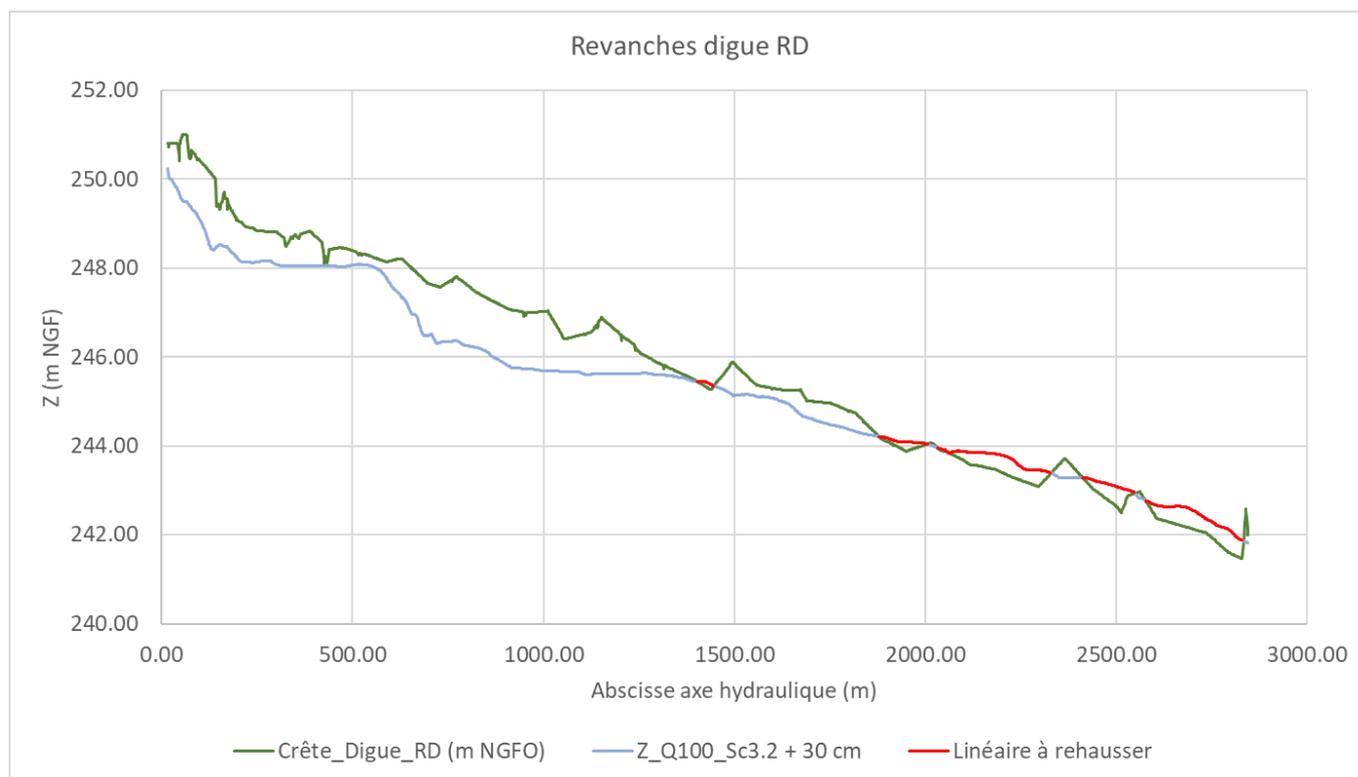


Figure 26 : Localisation du linéaire à rehausser en rive droite pour le scénario 3

4.6 Scénario 3 – variante 1

La variante 1 correspond à un projet plus ambitieux que la solution de base sur la partie aval : la digue est mise en retrait de 50 m (espace de liberté, possibilité de reconstruire une trame verte d'une dizaine d'hectares). Dans les éléments investigués, la position de la fermeture de la digue a été étudiée et est présentée ci-après. Deux alternatives : fermeture proche du ruisseau des Marais (sc3bis.1) ou 500 m plus en amont (sc3bis.2) sont comparées sur la figure 27.

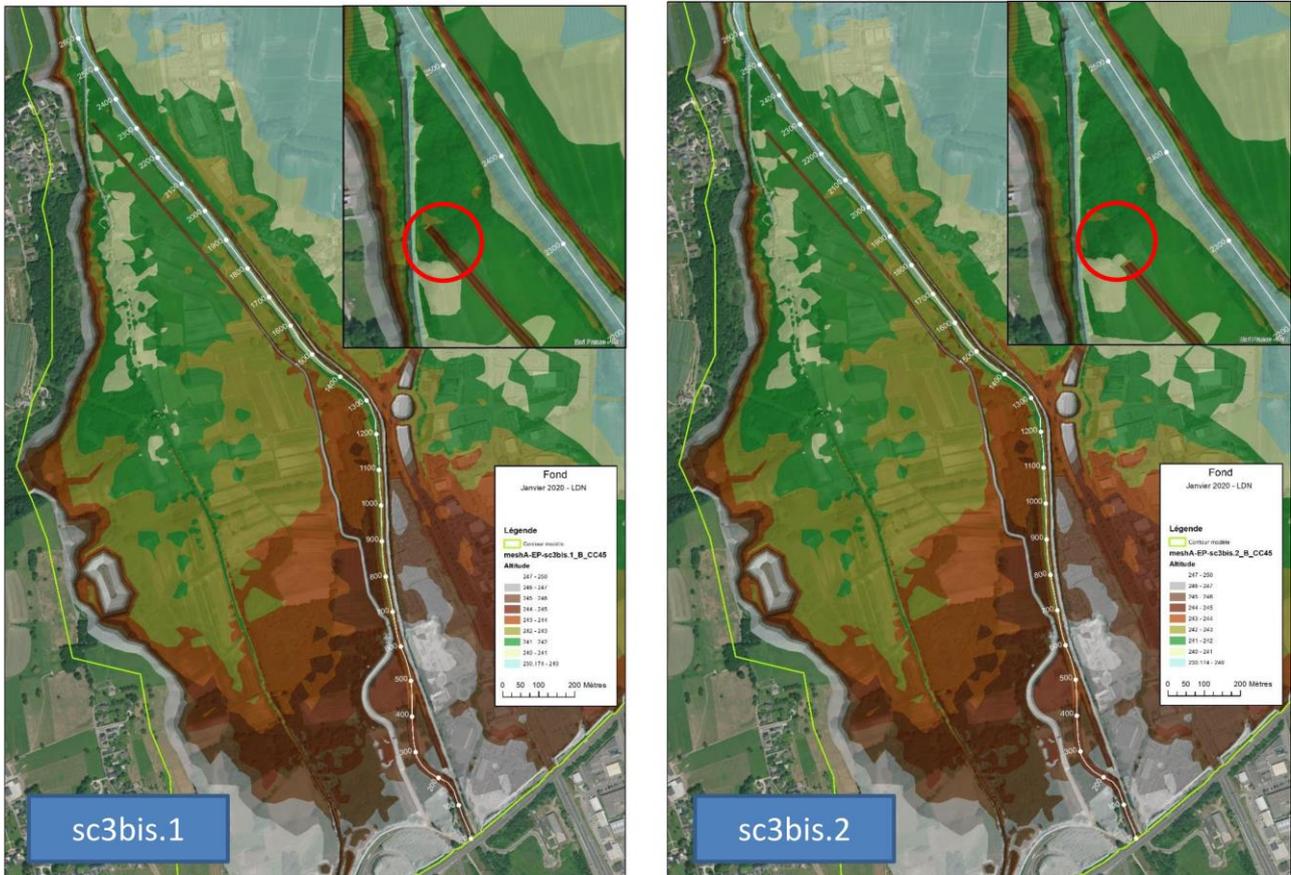


Figure 27 : Comparaison des bathymétries pour 2 fermetures différentes de la digue du scénario 3 variante 1

Les résultats montrent que les niveaux dans la plaine de pré-marquis sont fortement aggravés par une « fermeture étroite », voir figure 28. Dans la Leyse les résultats sont très légèrement différents car la confluence est déplacée de quelques centaines de mètres entre les 2 scénarios comparés. Etant donné ces impacts et puisque la plaine de pré-marquis est inondée tôt (voir §4.1.2), il semble plus judicieux d'avoir une fermeture en amont comme le sc3bis.2.

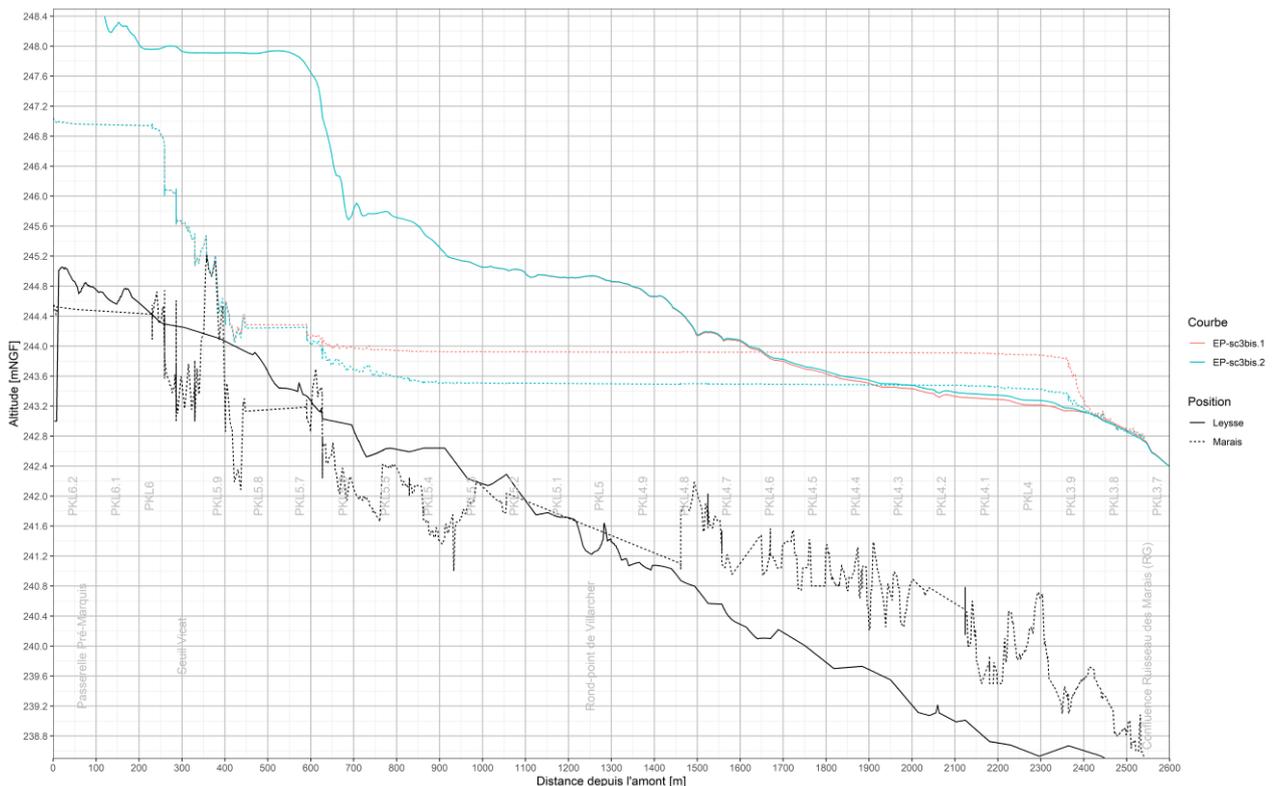


Figure 28 : Profil en long des niveaux pour la Q100 sur les modèles sc3bis.1 et sc3bis.2

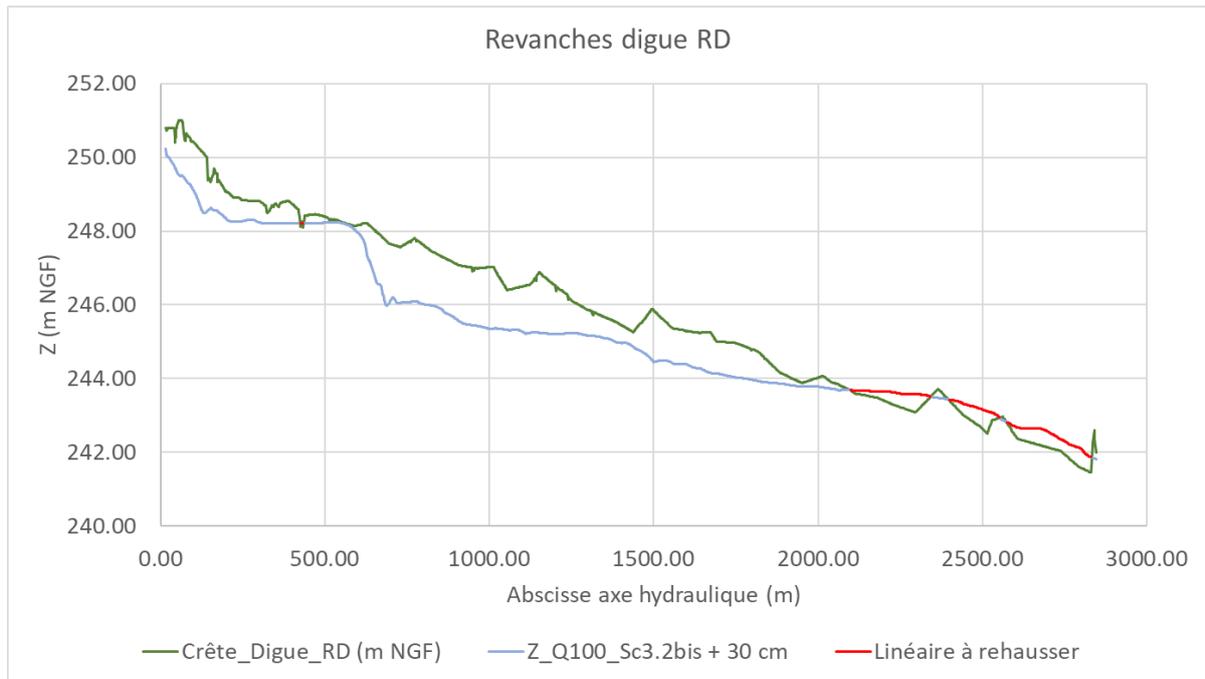


Figure 29 : Localisation du linéaire à rehausser en rive droite pour le scénario 3 – variante1

Pour le scénario 3 « solution de base », la crête de digue est à rehausser sur la partie aval, sur un linéaire cumulé de 670 m.

NB : A ce stade, la simulation de cette variante ne tient pas compte de l'élargissement de la section à réaliser entre les PKL5.684 et PKL5.578 pour retrouver des vitesses acceptables sur ce linéaire.

5 Description technique des scénarios d'aménagement

5.1 Objectifs de l'aménagement

Sûreté hydraulique

Les résultats des modélisations hydrauliques sur l'état actuel laissent apparaître un certain nombre de points de débordement pour la crue de projet (cf. § 4.2), ce qui engendre un risque inacceptable concernant la digue rive droite (ouvrage classé B, SE2.2).

Afin de garantir une cohérence à l'échelle du bassin chambérien, le niveau de protection du projet exigé par le MOA pour la **rive droite** est le suivant :

Niveau de protection homogène sur l'ensemble de la rive droite :
Niveau de la ligne d'eau en crue de projet Q100 (*) avec une revanche de 30 cm

(*) Débit de la Leysse au pont du Tremblay = **365 m³/s**

Cette revanche de 30 cm est équivalente à l'ordre de grandeur de l'incertitude sur les niveaux en sortie du modèle hydraulique (cf. § 4). En intégrant les sujétions liées au traitement de la crête de digue (couche de fondation de la piste cyclable notamment), d'ancrage supérieur des GSB (épaisseur de la couche de confinement), et la topographie, les caractéristiques suivantes ont été retenues, en concertation avec le maître d'ouvrage :

- Altimétrie de l'ouvrage fini équivalente au niveau de Q100 + 30 cm, ou supérieure lorsque cette altimétrie est supérieure à ce niveau dans l'état actuel,
- Etanchéité des ouvrages portée jusqu'au niveau de Q100 sans revanche.

Pour les scénarios qui prévoient la réfection de l'endiguement **rive gauche** (SE5, classé D), il a été décidé en concertation avec le maître d'ouvrage de fixer le niveau suivant :

Niveau de la crête de digue rive gauche :
Niveau de la ligne d'eau en crue de projet Q100 (*) sans revanche

(*) Débit de la Leysse au pont du Tremblay = **365 m³/s**

Cette absence de revanche implique un risque de déversement lié aux incertitudes du modèle et aux phénomènes transitoires pouvant apparaître pour un débit inférieur à celui de Q₁₀₀. **Ce choix vise à assurer une sécurité supplémentaire de la digue rive droite en provoquant la rupture par déversement en rive gauche, plus précocement qu'en rive droite.** En outre ce choix permet :

- De s'inscrire en cohérence avec les choix d'aménagement antérieurs d'une plaine agricole inondable mais protégée pour les faibles crues (Q < 200 m³/s),
- De protéger les terres agricoles des vitesses d'écoulement par déversement latéraux jusqu'à la crue de projet.

Restauration environnementale et intégration des talus des digues

L'objectif de restauration environnementale concerne essentiellement le scénario prévoyant un élargissement du lit de la Leysse (scénario 3). Il s'agit :

- De minimiser autant que possible l'impact du projet en phase travaux et à court-terme,
- De restaurer un meilleur fonctionnement hydro-morphologique de la Leysse par un élargissement local et contrôlé de son espace de liberté,
- D'améliorer le degré de naturalité des berges et du lit en agissant sur la morphologie (adoucissement, augmentation du linéaire de berges),
- D'améliorer la diversité des habitats alluviaux (boisement alluviaux arborés et arbustifs, milieux humides, hélrophytes, etc.),
- D'améliorer la diversité des écoulements dans le lit mineur.

Pour les scénarios 1 et 2, qui prévoient une conservation de la section du lit actuel, les potentialités de restauration sont réduites. L'objectif écologique se limite alors essentiellement à l'intégration écologique des protections mises en œuvre sur les talus notamment :

- Restauration d'un cordon arbustif en pied de berge,
- Intégration des talus aval et des protections sur la partie supérieure des talus amont des digues par enherbement.

Ces objectifs d'intégration s'appliquent également au scénario 3.

5.2 Scénario 1

L'objectif du scénario 1 est d'assurer l'objectif de sûreté hydraulique de l'endiguement rive droite (SE2.2), sans intervention sur la rive gauche (conservation du SE5 dans son état actuel).

Du fait de cet absence d'élargissement en rive gauche, les solutions retenues ne doivent pas avoir d'emprise sur la section d'écoulement afin de ne pas aggraver les niveaux de crue.

Pour rappel, une reprise intégrale de l'endiguement dans son emprise actuelle est rendue impossible sur l'essentiel du linéaire par la présence du réseau d'assainissement Ø1200 dont le dévoiement engendre des coûts prohibitifs.

5.2.1 Rive droite

5.2.1.1 Conception générale – Profil courant

La solution retenue consiste essentiellement en la mise en œuvre d'un rideau de palplanches auto-stable dans le corps de la digue existante.

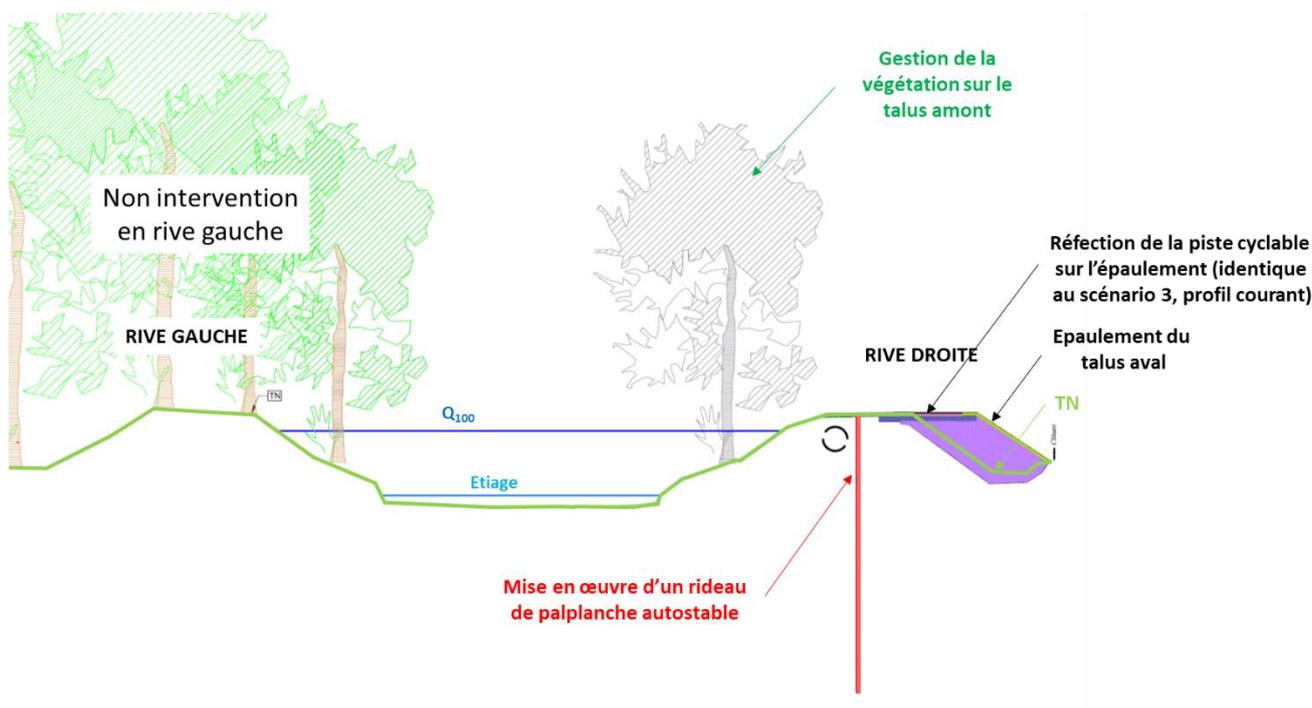


Figure 30 : Scénario 1, profil courant.

Afin de permettre le battage des palplanches tout en maintenant l'usage de la piste cyclable pendant la durée des travaux, un épaulement est réalisé côté talus aval, sur lequel est refaite la piste cyclable, afin de libérer l'emprise côté talus amont. Les caractéristiques de cet épaulement, identique à celui du scénario 3, sont précisées au paragraphe 5.4.2.1.

Par ailleurs, une rehausse de l'endiguement est nécessaire sur un linéaire de 830 m pour garantir le niveau de protection de Q_{100} avec une revanche de 30 centimètres. Lorsque le profil courant s'applique, un cavalier d'une largeur de 4 m est réalisé en crête de l'endiguement, arasé au niveau de protection, au centre duquel sont battues les palplanches.

Dans ce scénario, les risques d'érosion externe, qui restent présents sur le talus amont, ne constituent plus une menace pour la stabilité de l'ouvrage ; les palplanches étant autostables. Toutefois, si la localisation du réseau d'assainissement Ø1200 (à préciser au stade PRO) ne permet pas de battre les palplanches entre le réseau et la Leysse (situation illustrée sur le profil type ci-dessus, et jugée la plus probable sur la base des éléments connus), ce dernier restera exposé à l'érosion. Par ailleurs, l'implantation des palplanches devra être effectuée à

une distance minimale de 1.5 m par rapport au réseau pour éviter tout désordre sur ce dernier lors de la mise en œuvre.

En outre, une érosion du talus amont jusqu'au rideau de palplanches serait très préjudiciable pour l'intégration environnementale et paysagère de l'ouvrage. La végétation du talus amont, en ce qu'elle constitue un facteur d'aggravation de ce risque, devra faire l'objet d'une gestion particulière (abattage des gros sujets vieillissants).

5.2.1.2 Profils particuliers

Les profils particuliers concernent les secteurs pour lesquels une solution moins coûteuse et plus intégrée que l'application du profil courant permet de répondre aux exigences de sûreté de la digue rive droite sans emprise sur la section d'écoulement. Il s'agit :

- Du tronçon allant du pont de l'autoroute, au PKL6.240, au massif de coupure de la Leysse au PKL6.110 (110 mètres linéaires) : sur ce secteur assez court un confortement du talus amont avec mise en œuvre d'une géomembrane / GSB peut être réalisé en suivant une pente de 3H/2V au plus près du terrain naturel,
- Du tronçon situé au droit de l'ancien lit court-circuité de la Leysse (bras mort), du PKL6.010 au PKL5.820 (190 mètres linéaires) : sur ce secteur qui ne participe pas à l'écoulement en crue, un confortement par épaulement du talus amont peut-être mis en œuvre,
- Du tronçon situé à l'intérieur de la courbure du Tremblay, du PKL3.715 au PKL3.550 (165 mètres linéaires) : l'absence de problématique d'érosion externe sur ce secteur et les caractéristiques géométriques du profil permettent d'épauler le talus amont sans impacter significativement la section d'écoulement,
- Du tronçon situé à l'amont immédiat du pont du Tremblay, du PKL3.550 au PKL3.435 (115 mètres linéaires) : de façon analogue au tronçon situé à l'aval du pont de l'autoroute, le confortement peut être réalisés au moyen d'une géomembrane/GSB, au plus près du terrain naturel, en suivant une pente de 3H/2V.

Les solutions prescrites pour ces quatre secteurs sont strictement identiques à celles développées dans la cadre du scénario 3, seuls changent les niveaux de crues et donc les altimétries du projet (limite supérieure des enrochements, limite de l'étanchéité, crête de la digue lorsque la revanche n'est pas assurée par la géométrie initiale). Pour le détail de ces profils particuliers, on se reportera donc à la lecture du paragraphe 5.4.2.2.

5.2.2 Rive gauche

Dans ce scénario, aucune intervention n'est réalisée sur la digue rive gauche. Les points de débordement et les risques de rupture de l'ouvrage subsistent à l'état projet. L'endiguement SE5 n'étant pas classé au sens du décret n°2015-526, il n'a à ce jour pas fait l'objet d'une étude de danger et son niveau de protection actuel n'est pas défini. Sur la base des données disponible, il semble raisonnable de penser que ce niveau se situe autour de Q_{10} . Pour rappel, la mise en charge de cette digue commence dès un débit inférieur à la crue bisannuelle (Q_2). Pour l'analyse cout bénéfice (ACB) sommaire du scénario, une probabilité de rupture de 50% à Q_{30} a été considérée.

5.2.3 Lit mineur

Ce scénario de conception n'engendrant aucun gain de section hydraulique, les actions préconisées pour la diversification des écoulements se limitent à la mise en œuvre de blocs pour créer des abris piscicoles.

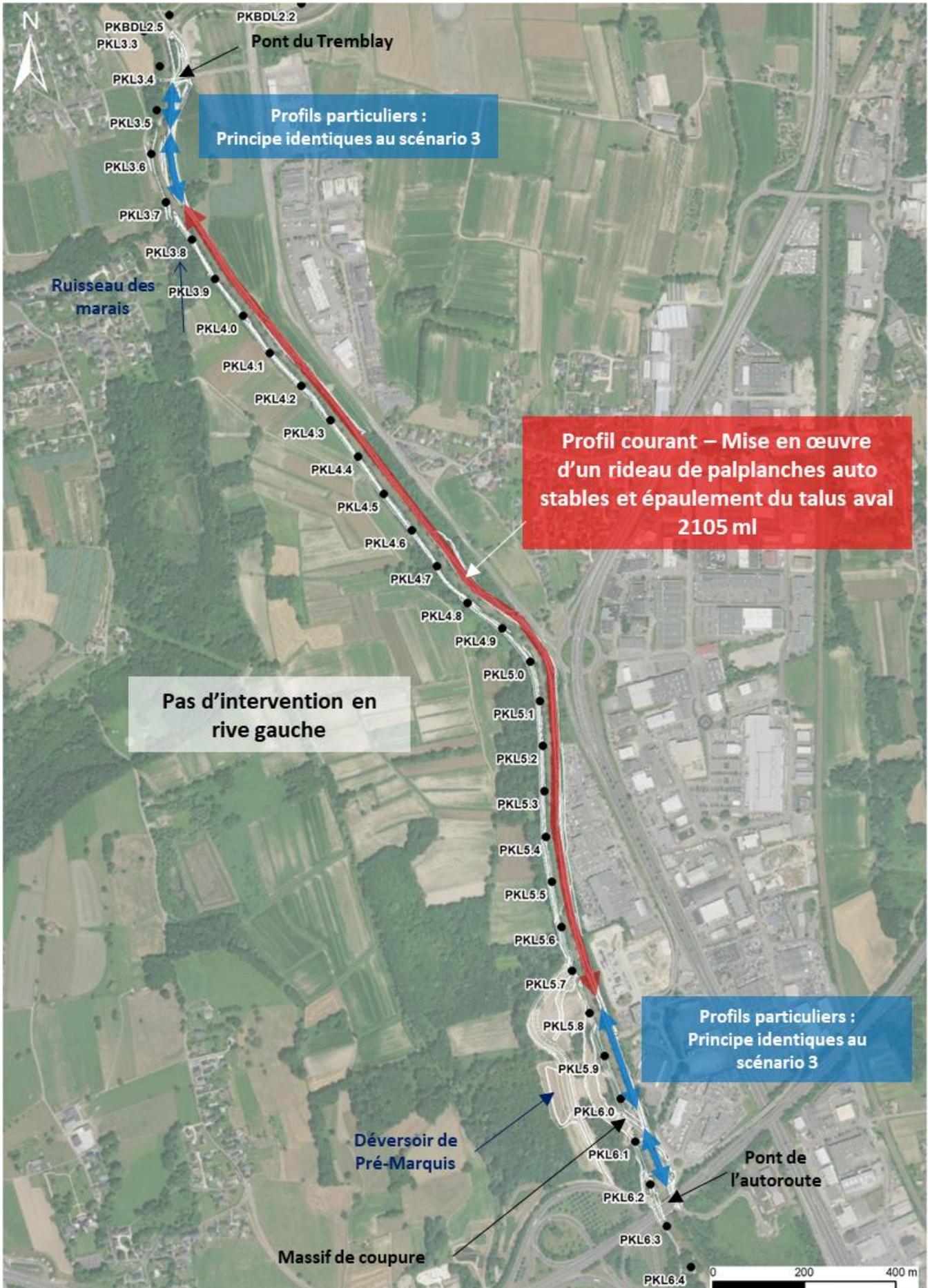


Figure 31 : Scénario 1, localisation des linéaires d'application.

5.3 Scénario 2 – Elargissement minimum

L'objectif du scénario 2 est de rechercher des optimisations permettant l'atteinte des objectifs de sûreté hydraulique en rive droite, à moindre coût par rapport au scénario 1, en passant par un épaulement du talus amont afin de ne pas dévier le réseau d'assainissement Ø1200.

L'emprise de cet épaulement du talus amont sur la section d'écoulement est compensée en rive gauche par un élargissement minimal permettant la non-aggravation des niveaux de crue.

5.3.1 Rive droite

Les profils établis pour le scénario 3 ont été conçus dans une optique d'optimisation des emprises du confortement de la rive droite sur la section d'écoulement. Les solutions préconisées sur la rive droite pour le scénario 2 sont strictement identiques à celles du scénario 3, seuls changent les niveaux de crues et donc les altimétries du projet (limite supérieure des enrochements, limite de l'étanchéité, crête de la digue lorsque la revanche n'est pas assurée par la géométrie initiale). On se reportera donc à la lecture du paragraphe 5.4.2.

5.3.2 Rive gauche

5.3.2.1 Conception générale

L'objectif pour la rive gauche est d'assurer la protection de la plaine agricole, par une réfection de l'ouvrage dans son emprise actuelle, en compensant l'emprise du confortement de la rive droite sur la section par un déblai équivalent dans la digue rive gauche. Un élargissement côté aval est par ailleurs nécessaire pour assurer l'étanchéité de l'ouvrage. Il n'est pas refait d'endiguement à l'aval du PKL3.900.

La protection du talus amont est semblable au profil courant de la rive droite :

- Enrochements 60/300 kg jusqu'au niveau de Q_2 ,
- Géogrille tridimensionnelle, ou matelas Réno sur les secteurs les plus sollicités hydrauliquement, du niveau de Q_2 de Q_{100} .

Les caractéristiques géométriques du talus amont sont les suivantes :

- Pentes du talus inférieur enroché : 2H/1V,
- Pente du talus supérieur : variable, inférieure à 2H/1V.

Côté talus aval, un épaulement avec des matériaux de types argiles-limons est réalisé pour assurer l'étanchéité de l'ouvrage. La piste d'exploitation (+ piste agricole à l'amont du PKL5.410) est positionnée en crête de cet épaulement (mise en œuvre de GNT sur 40 centimètres d'épaisseur). Une tranchée est réalisée au centre de la piste, comblée avec un mélange GNT ciment pour porter l'étanchéité jusqu'à la crête de l'ouvrage, soit au niveau de la crue de projet (sans revanche). Les caractéristiques géométriques de l'épaulement sont les suivantes :

- Pente du talus : 3H/2V,
- Largeur en crête : 4 m.

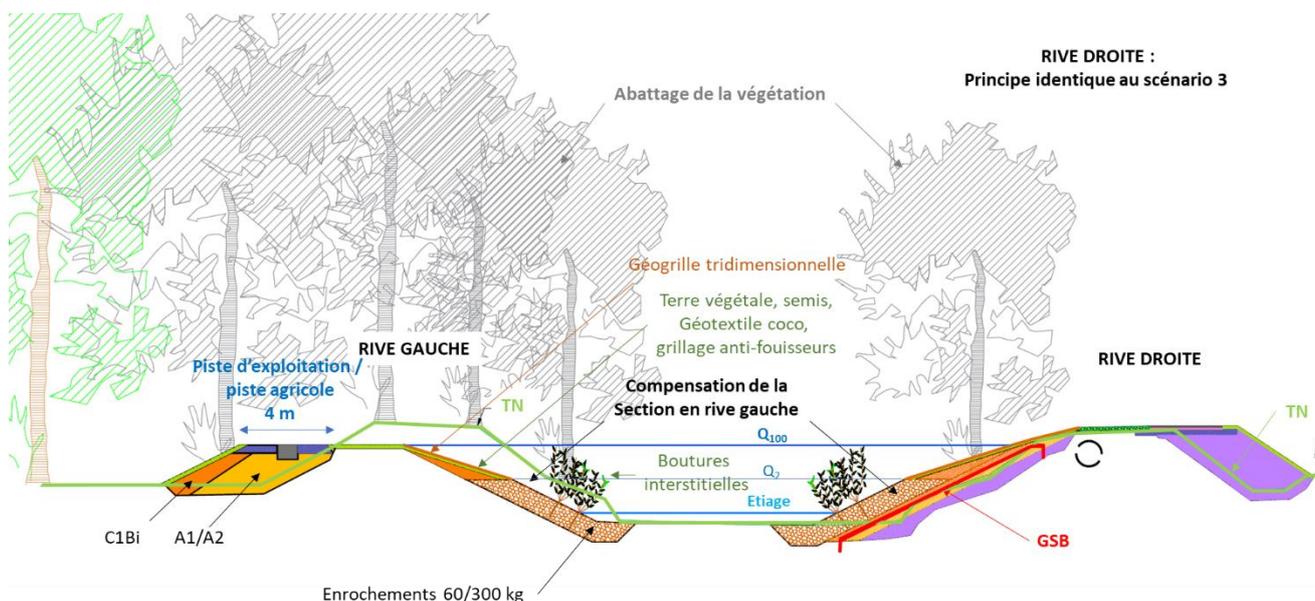


Figure 32 : Scénario 2, profil courant, amont du coude de Villarcher.

A l'aval de la courbure de Villarcher, la digue actuelle est plus étroite, ce qui conduit pour la plupart des profils à réaliser un déblai quasi intégral de l'ancienne digue et à reconstituer une digue de 4 m en crête derrière l'existante.

5.3.2.2 Intégration écologique des talus

En partie inférieure des talus, les enrochements seront percolés avec des matériaux sablo-graveleux issus du lit, puis végétalisés avec des boutures interstitielles de saules arbustifs afin de :

- Recréer un cordon rivulaire arbustif,
- Lutter contre l'implantation des espèces exotiques envahissantes, notamment le *Buddleia de David* (*Buddleia davidii*).

Les parties supérieures des talus, qu'elles soient protégées par des matelas Réno ou de la géogrille tridimensionnelle, seront intégrées par un semis herbacé, après mise en œuvre de terre végétale et d'un géotextile biodégradable coco 740 g/m².

5.3.3 Lit mineur

Ce scénario de conception n'engendrant aucun gain de section hydraulique et aucune possibilité d'impulser des sinuosités du lit, les actions préconisées pour la diversification des écoulements se limitent à la mise en œuvre de blocs pour créer des abris piscicoles.

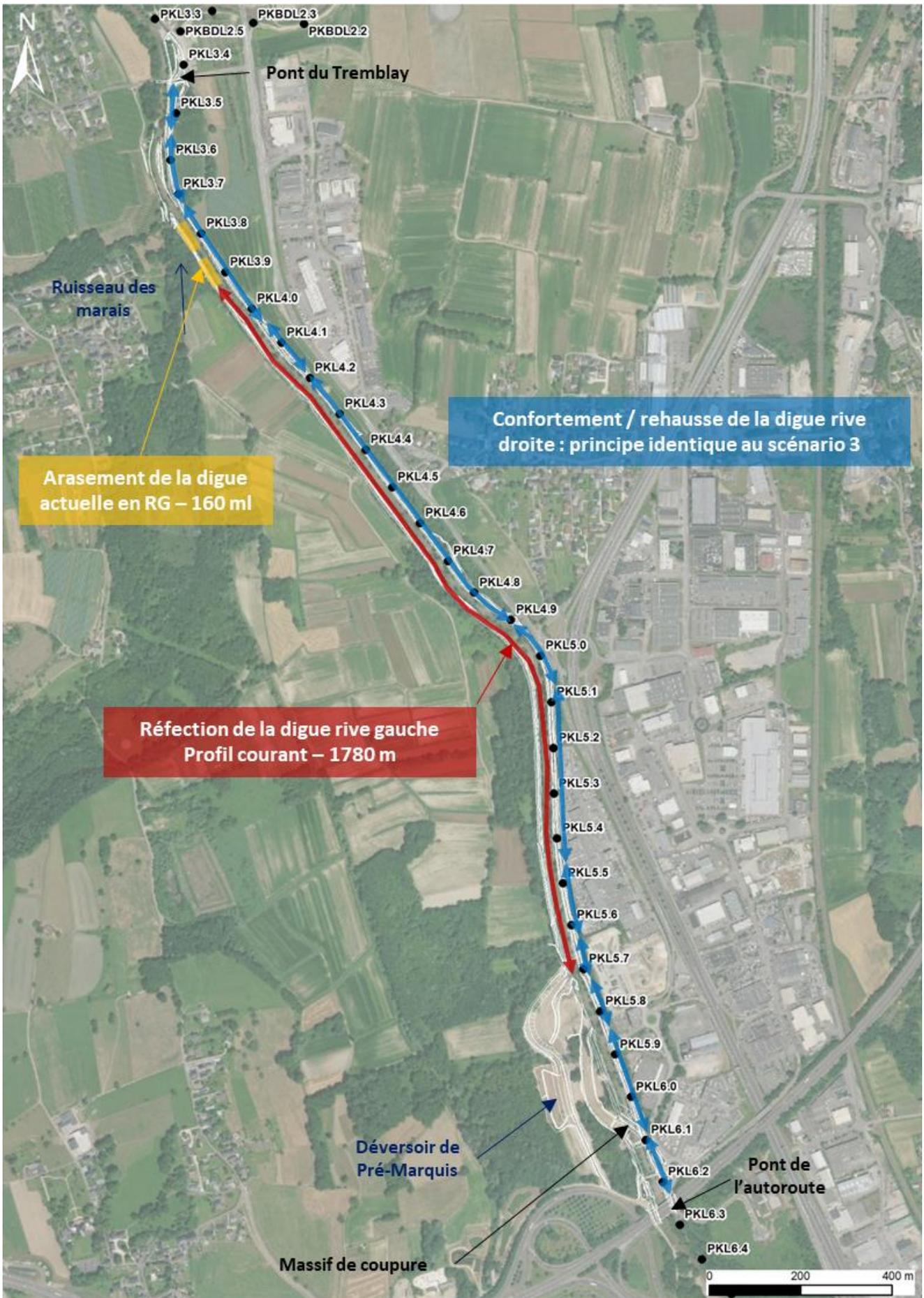


Figure 33 : Scénario 2, localisation des linéaires d'application.

5.4 Scénario 3 – Elargissement optimum

A l'instar du scénario 2, l'objectif en rive droite est d'optimiser les coûts, sans dévoiement du réseau d'assainissement, par un épaulement du talus amont.

En rive gauche, il s'agit en revanche d'élargir le tracé du système d'endiguement SE5 pour permettre :

- Des gains hydrauliques en termes de niveaux et vitesses de crues,
- Des gains environnementaux significatifs.

Ce scénario est conçu comme un optimum entre :

- Gains hydrauliques et environnementaux,
- Coûts financiers et fonciers de l'aménagement.

Le dossier de plans en annexe 3 illustre les dispositifs techniques préconisés pour tous les aménagements prescrits dans le cadre de ce scénario 3.

5.4.1 Rive gauche – Solution de base

5.4.1.1 Conception générale

L'intégralité de la digue rive gauche est arasée suivant une pente régulière entre le pied de talus amont (côté plaine) et le pied de talus aval (côté cours d'eau).

Une nouvelle digue est recréée dans la plaine :

- A proximité de la digue actuelle à l'amont du PKL5.645,
- En arrière des boisements alluviaux présents dans la plaine puis le long de la piste agricole (chemin de Pré-Marquis du PKL5.645 eu PKL4.630),
- A l'arrière immédiat de la digue actuelle du PK4.630 au PK3.900.

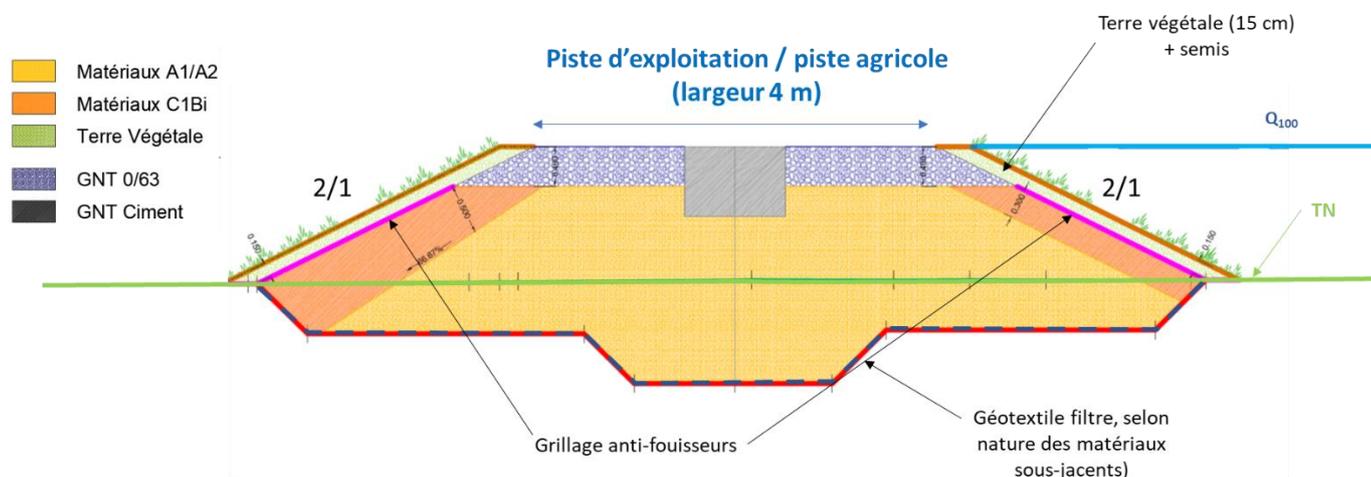
Son couronnement est positionné à une altimétrie équivalente au niveau de la crue centennale sans revanche (niveau Q_{100}), cf. 5.1. Son tracé et ses caractéristiques sont décrites ci-après.

Deux profils types sont appliqués :

- **Profil type 1 : Limons/argiles :**

Ce profil type s'applique aux tronçons 1 et 2. L'étanchéité est réalisée par un noyau en limons/argiles. Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont les suivantes :

- Largeur en crête : 4 m (4.3 m avec accotements en terre végétale),
- Pente des talus (amont et aval) : 2H/1V.



Le corps de digue est constitué en matériaux fins (peu perméables).

Des clés amont et aval (épaisseur respectivement 30 et 50 cm) sont réalisées en matériaux alluvionnaires afin de :

- Créer une carapace limitant les effets de dessiccation des argiles/limons et la fissuration, donc du risque d'érosion de conduit par fissure de dessiccation,
- Créer une recharge en matériaux grossiers sur le talus aval afin de filtrer les matériaux fins susceptibles d'être entraînés en cas d'initiation de l'érosion interne et donc stopper la progression de cette dernière. Cette recharge aval améliore également le drainage des charges hydrauliques restants et améliore la stabilité au glissement du talus aval,
- Limiter la création de terriers par les fousseurs en complément du grillage anti-fousseurs,
- Améliorer la tenue du talus aval en cas d'érosion régressive de talus (si une résurgence apparaissait en crue).

Cette solution constitue une optimisation financière si des matériaux de types limons-argiles (A1/A2) sont disponibles ou mobilisés par les déblais (cf. § 11.3.3). Les caractéristiques techniques des matériaux et les modalités constructives sont précisées au paragraphe 7.

- Profil type 2 : GSB

Ce profil type s'applique aux **tronçon 3 et 4**. L'étanchéité du talus amont est réalisée par un géo synthétique bentonitique (GSB). Le corps de digue est constitué de tout venant alluvionnaire. Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont les suivantes :

- Largeur en crête : 4 m (4.3 m avec accotements en terre végétale),
- Pente du talus amont : 2H/1V,
- Pente du talus aval : 3H/2V.

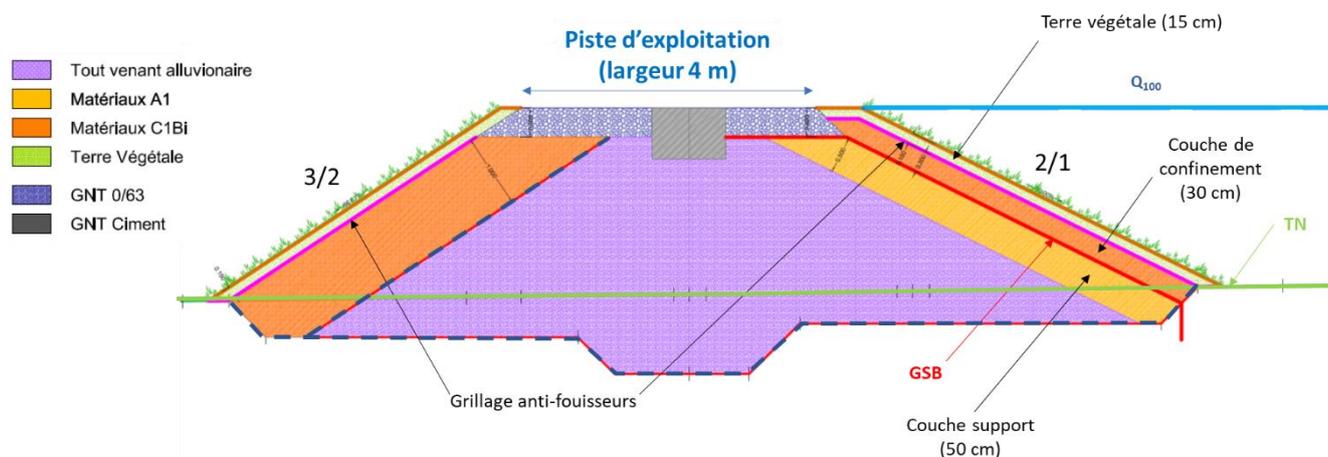


Figure 35 : Scénario 3, solution de base, rive gauche – profil type GSB.

Le GSB constitue l'étanchéité de la digue, il est l'élément primordial de la tenue de la digue en empêchant les venues d'eau en corps de digue. Il doit être mis en œuvre soigneusement et sa pérennité doit être assurée.

Il est mis en œuvre sur une couche support soigneusement préparée et compactée et doit également être recouvert d'une couche de confinement (cf § 7.2.1). Il est ancré, en partie basse suffisamment profondément pour limiter les contournements et en partie haute. Les dispositions constructives sont indiquées au §7.2.1.

Couche support GSB : Matériaux de type A1, épaisseur 50 cm

Couche de confinement GSB : 30 cm minimum – 50 cm préconisé.

Une clé aval en matériaux sablo-graveleux est également réalisée sur une épaisseur de 1 m pour des raisons similaires à celles indiquées pour le profil type 1 limons/argiles.

NB : Le profil type ci-dessus ainsi que les profils en travers en annexe 3 font apparaître une inversion des épaisseurs des couches support et de confinement du GSB. Les volumes considérés pour l'estimation financière sont valides.

Cette solution permet d'optimiser le réemploi des matériaux (utilisation de tout-venant issus des déblais dans le corps de digue) et de réduire légèrement l'emprise de la digue (pente du talus aval 3/2). Elle est particulièrement

intéressante si peu de matériaux limons-argiles sont disponibles. Les caractéristiques techniques des matériaux et les modalités constructives sont précisées au paragraphe 7.

Sur la base des hypothèses de réemploi des matériaux, émises à partir des données géotechniques disponibles (cf. 2.2.2), et des disponibilités du stock d'argiles du site de la Coua ou du Viviers-du-lac, les linéaires d'application suivants ont été pris en compte :

- Profil type 1 (limons/argiles) : à l'amont du PKL5.330 (tronçons 1 et 2, cf. ci-après) : 405 mètres linéaires,
- Profil type 2 (GSB) : à l'aval du PKL5.330 (tronçons 3 et 4, cf. ci-après) : 1370 mètres.

Ces linéaires seront à confirmer au stade projet à partir des données issues des campagnes de reconnaissance géotechniques complémentaires, dans une logique d'optimisation du réemploi des déblais et/ou des coûts financiers.

5.4.1.2 Sectorisation / caractéristiques particulières »

- Tronçon 1, du PKL5.680 au PKL5.645 (linéaire = 85 m)

La digue existante est décalée d'environ 6 m vers l'ouest afin de compenser l'emprise du confortement en rive droite sur la section hydraulique, tout en maintenant une section de contrôle afin de minimiser l'incidence sur les niveaux à l'amont et le fonctionnement du déversoir de Pré-Marquis. Sur ce tronçon seulement, la digue actuelle n'est pas intégralement déblayée ; la nouvelle digue est recrée par déblai du talus amont et épaulement du talus aval. Sur ce linéaire une protection en enrochement (300/1000 kg) du talus amont jusqu'au niveau de Q₂ est nécessaire (cf. § 5.4.3). La partie supérieure des talus est protégée par des matelas Réno entre les niveaux du Q₂ et Q₁₀.

A l'amont, la nouvelle digue vient se raccorder sur la digue aménagée dans le cadre des travaux de la tranche 2 de la confluence Leysse-Hyères. En altimétrie, le raccordement avec cet ouvrage positionné à Q₁₀₀+30 cm, s'effectue avec une pente de 5% sur 10 m.

Sur ce secteur la piste agricole (chemin de Pré Marquis) est maintenue en crête de l'ouvrage.

- Tronçon 2, du PKL5.645 au PKL5.330 (linéaire = 320 m)

La nouvelle digue est recrée en arrière des boisements présents en pied de la digue actuelle, soit 10 à 40 m à l'ouest de la digue actuelle sur l'amont, puis 120 m sur la partie aval.

Sur ce secteur la piste agricole (chemin de Pré-Marquis) est maintenue en crête de l'ouvrage, avant de quitter la digue via une rampe côté aval aménagée au bout du tronçon.

- Tronçon 3, du PKL5.330 au PKL4.630 (linéaire = 640 m)

La nouvelle digue est accolée à la piste agricole existante (chemin de Pré-Marquis), soit 30 à 130 m derrière la digue actuelle, avant de rapprocher du lit de la Leysse. L'usage de cette dernière est maintenu en pied du talus aval.

Une rampe d'accès au lit de la Leysse est à prévoir côté talus amont.

- Tronçon 4, du PKL4.630 au PKL3.900 (linéaire = 730 m)

La nouvelle digue est recrée en arrière immédiat de la digue actuelle démantelée. Elle se termine par une aire de retournement. Une géogrille tridimensionnelle sera mise en œuvre sur le talus amont sur ce secteur.

Une rampe d'accès est prévue côté aval aux environs du PK430.

- Tronçon 5, du PKL3.900 au PKL3.740 (linéaire = 160 m)

Sur ce linéaire, à l'amont de la confluence du ruisseau des marais, la digue actuelle est déposée sans réfection d'une nouvelle digue.

5.4.1.3 Traitement de la partie supérieure de la digue - Piste d'exploitation / piste agricole

La piste d'exploitation (+ piste agricole à l'amont PKL5.330) est positionnée en crête de de l'ouvrage, par la mise en œuvre de GNT sur 40 cm d'épaisseur (30cm de GNT 0-100 et 10cm de GNT 0-31,5mm). La largeur circulaire est de 4 m.

Compte tenu de l'altimétrie de l'ouvrage qui n'intègre pas de revanche au-dessus du niveau de la crue centennale en rive gauche et de la nécessité de recouvrir le GSB avec une couche de confinement, une tranchée (l x h = 1 m x 0.7 m) est réalisée au centre de la piste, comblée avec un mélange GNT ciment / bentonite / eau qui imprègnera le terrain et améliorera l'étanchéité jusqu'à la crête de l'ouvrage, soit au niveau de la crue de projet (sans

revanche). Cette tranchée doit être juxtaposée à la GSB, de manière à assurer une continuité de l'étanchéité jusqu'en crête de digue. Le détail de ce dispositif sera à valider en phase projet.

5.4.1.4 Intégration écologique des talus

En partie inférieure des talus, les enrochements seront percolés avec des matériaux sablo-graveleux issus du lit, puis végétalisés avec des boutures interstitielles de saules arbustifs afin de :

- Recréer un cordon rivulaire arbustif,
- Lutter contre l'implantation des espèces exotiques envahissantes, notamment le *Buddleia de David* (*Buddleia davidii*).

Des semis d'aulnes glutineux peuvent être réalisés ponctuellement dans les interstices des blocs ou des plantations de jeunes plans (à raison de quelques individus tous les 15 à 25 m de berge).

Les parties supérieures des talus, qu'elles soient protégées par des matelas Réno ou de la géogrigille tridimensionnelle, seront intégrées par un semis herbacé, après mise en œuvre de terre végétale et d'un géotextile biodégradable coco 740 g/m².

5.4.2 Rive droite – Solution de base

5.4.2.1 Conception générale – Profil courant

- Talus amont :

Sur le talus amont, un épaulement est réalisé, avec le double objectif d'assurer la protection de l'ouvrage vis-à-vis des phénomènes d'érosion externe et interne.

Pour rappel, sur le profil courant, l'emprise de cet épaulement est déterminée par la position du réseau d'assainissement (émissaire Ø1200) qui ne peut être dévié (localisation à préciser au stade au PRO). A ce stade, l'hypothèse d'une localisation assez défavorable, proche de la crête du talus amont, est intégrée.

Le choix d'une étanchéité par géomembrane / géo synthétique bentonitique permet de limiter fortement la largeur de cet épaulement du talus amont, et de réduire son emprise sur la section hydraulique. Elle permet également de s'affranchir en grande partie de la qualité des matériaux du corps de digue existant et de ses anomalies racines-trous... (pouvant être sujets à l'érosion interne comme indiqué dans le diagnostic [DA2]).

La protection vis-à-vis de l'érosion externe est réalisée par un enrochement du talus amont (avec sabot anti-affouillement en pied) jusqu'à l'altimétrie de la crue bisannuelle (Q₂) et par une géogrigille tridimensionnelle au-delà. Il s'agit principalement d'enrochements de type 300/1000 kgs dans la partie amont (secteur du pont de l'autoroute et PKL 5.69 à 5.44) sur une épaisseur de 1,10 m ou 60/300 kgs (sur le reste du linéaire) sur une épaisseur de 1,0 m.

Les caractéristiques géométriques sont les suivantes :

- Pente du talus inférieur (enrochements) : 2H/1V,
- Pente du talus supérieur : variable (comblement de l'espace entre la couche de confinement de la géomembrane /GSB, dont l'inclinaison est à 2H/1V et les enrochements qui sont en surimposition par rapport à ce talus à 2H/1V).

La mise en œuvre des couches techniques nécessitera une purge préalable du talus sur épaisseur minimum de 80 cm, afin d'extraire les souches, racines et restes des anciennes protections (blocs, gabions, etc.). Les souches les plus grosses, si elles ne peuvent être extraites sans mettre en péril la stabilité de l'ouvrage et du réseau adjacent devront être rognées.

La protection vis-à-vis de l'érosion interne est assurée par la présence d'une étanchéité amont en GSB. Cette étanchéité empêche la circulation d'eau dans le corps de digue et donc le risque d'érosion interne. Il s'agit donc de s'assurer de la mise en œuvre soignée du GSB et de sa pérennité tout au long de la vie de l'ouvrage. En effet, en cas de détérioration importante de dispositif d'étanchéité, la tenue de l'ouvrage n'est plus assurée.

La stabilité au glissement est également fortement améliorée par la présence de l'étanchéité amont, qui supprime la charge piézométrique défavorable à la tenue du talus aval.

Les mêmes dispositions constructives que pour la digue rive droite en GSB sont à mettre en place.

Le dispositif d'étanchéité en GSB s'arrête à la cote de Q100. L'ancrage du GSB en tête sera à adapter suivant la position de l'émissaire (ancrage en tranchée ou ancrage horizontal). De même, l'ancrage en pied du GSB devra être précisé au stade projet.

La zone de revanche de 30 cm est peu perméable, du fait de la nature des matériaux en place (à vérifier lors de l'exécution), du fait de la largeur importante (crête de digue + surlargeur de la déviation de la piste cyclable : environ 6 à 8 m au plus étroit au niveau du secteur du Tremblay, entre 10 et 15 m ailleurs). Dans le secteur du

Tremblay (où la crête de digue est plus étroite) et dans les zones où des matériaux très perméables sont découverts en crête de digue, on pourra réaliser les mêmes dispositions constructives qu'en rive gauche (avec une tranchée en tête rempli de sol, ciment, bentonite et eau).

Les ancrages en tête et en pied d'ouvrage devront être étudiés de manière plus approfondie dans les phases ultérieures d'étude. Les hypothèses actuellement prises, notamment pour l'ancrage en pied sont indiquées au § 7.2.1.3.

Il n'est pas prévu d'ancrer l'étanchéité du GSB sur un horizon étanche, les argiles graveleuses reconnues sont trop perméables et trop profondes. Ce dispositif ne traitera pas les remontées de nappe côté plaine.

Dans les secteurs où l'altimétrie actuelle de la crête de digue est supérieure au niveau de Q100 + 30 cm, l'altimétrie de l'ouvrage est conservée. Une rehausse modérée (30 cm maximum) est intégrée localement sur ces secteurs pour « lisser » les irrégularités actuelles de cette altimétrie de la crête.

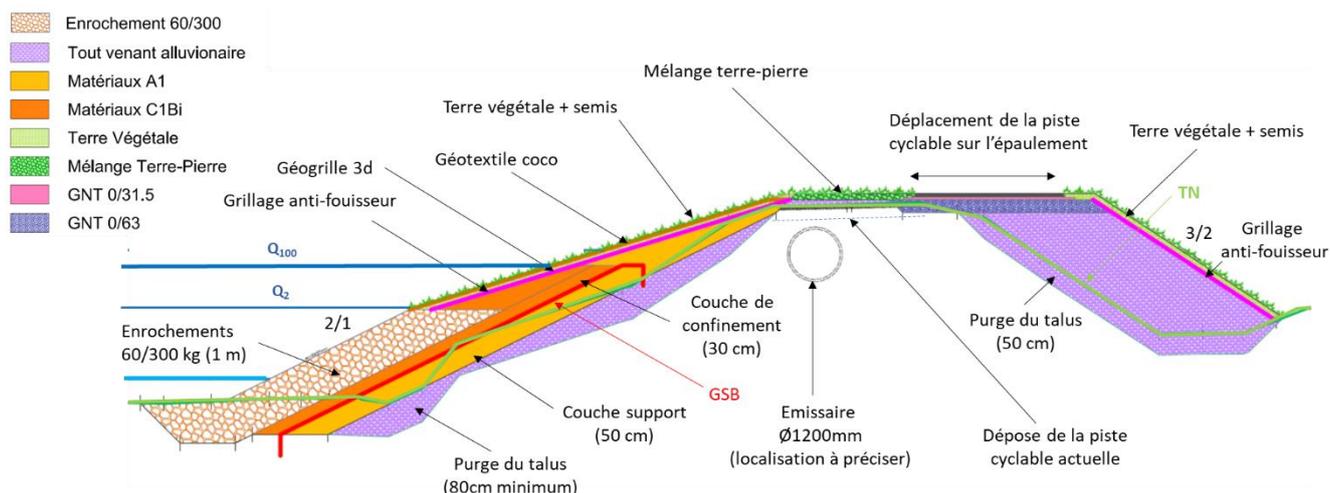


Figure 36 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil courant.

NB : Les profils types présentés dans ce chapitre ainsi que les profils en travers en annexe 3 font apparaître une inversion des épaisseurs des couches support et de confinement du GSB. Les volumes considérés pour l'estimation financière sont valides.

- Talus aval :

Un épaulement du talus aval est réalisé sur l'essentiel du linéaire, dont la nécessité est essentiellement guidée par l'impératif de maintien de l'usage de la piste cyclable durant la phase chantier. L'objectif est de réaliser l'épaulement en remblai à côté de la piste actuelle en maintenant son usage, puis de mettre en œuvre la nouvelle piste sur l'épaulement en libérant l'emprise de l'ancienne pour la réalisation des travaux sur le talus amont. En outre, cet épaulement permet d'améliorer la stabilité de l'ouvrage compte-tenu de sa largeur très réduite dans l'état actuel (cf. § 2.3.1.2).

L'étanchéité de l'ouvrage étant assurée par la géomembrane / GSB sur le talus amont, cet épaulement est réalisé avec du tout-venant alluvionnaire, afin d'optimiser le réemploi des matériaux issus du chantier. Ses caractéristiques géométriques sont les suivantes :

- Largeur en crête : 4.25 m depuis le bord de la piste cyclable actuelle,
- Pente du talus : 3H/2V.

Une purge préalable du talus et de l'assise de l'épaulement sera nécessaire, sur une épaisseur d'au moins 50 cm.

Au droit des installations Jean-Lain, la confection de cet épaulement se fera par remblai dans un fossé qui joue un rôle dans l'écoulement des eaux pluviales (cf. § 2.7.1.3). Le réseau d'eau pluviale sera à rétablir du PKL5.490 à 5.050, avec un exutoire dans le bassin existant (conduites à dimensionner).

5.4.2.2 Profils particuliers

- Tronçon aval pont de l'autoroute, du PKL6.240 au PKL 6.110 (linéaire = 130 m)

Sur ce tronçon qui s'étend du pont de l'autoroute au massif de coupure de l'ancien lit de la Leysse, l'emprise de l'épaulement du talus amont sur la section hydraulique ne peut pas être compensée par un élargissement en rive gauche (hors projet). Aussi, le profil-type diffère du profil courant par une pente de talus à 3H/2V qui permet d'inscrire le talus fini au plus proche du terrain naturel.

En outre, les vitesses d'écoulement en crue, élevée sur ce secteur, conduisent à modifier les caractéristiques de la protection (cf. § 0) :

- Enrochements 300/1000 kg sur une épaisseur de 1.1 m jusqu'au niveau de Q_2 ,
- Matelas Réno entre les niveaux de Q_2 et Q_{100} .

Sur ce secteur, l'épaulement du talus aval n'est présent que sur l'aval. En amont, la piste sera déviée en phase chantier le long de la rue des Epinettes, puis refaite en crête de l'endiguement à son emplacement actuel.

Par ailleurs, une réhausse de la crête de digue est nécessaire très ponctuellement sur ce secteur.

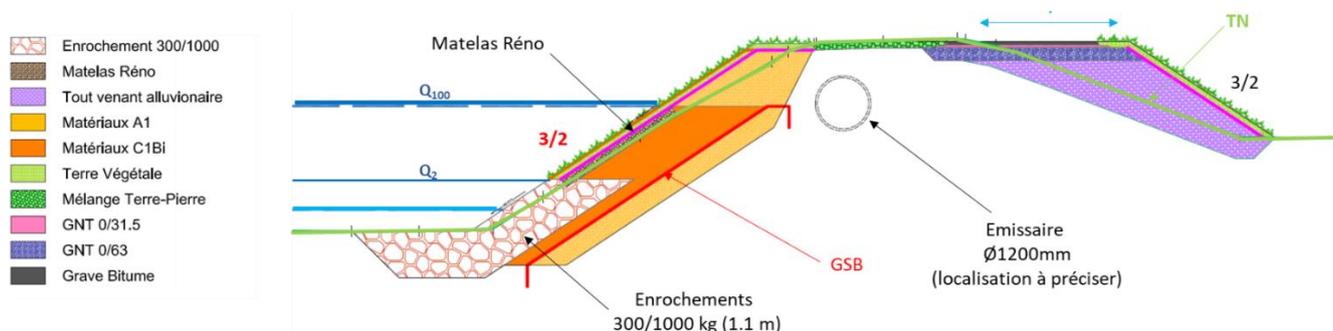


Figure 37 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type aval du pont de l'autoroute.

NB : L'ancrage du GSB en tête devra être particulièrement étudié sur ce secteur où l'émissaire est proche du talus de berge. Des adaptations seront réalisées en fonction de la disposition réelle sur site.

- Tronçon bras mort, du PKL6.010 au PKL5.820 (linéaire = 190 m)

Ce secteur correspond au linéaire au droit duquel le lit de la Leysse a été dévié lors de la tranche 2 des travaux d'aménagement de la confluence Leysse Hyères. Sur ce secteur, le talus amont n'est plus soumis aux écoulements lors des crues et le risque d'érosion externe est inexistant. En conséquence, le profil type diffère du profil courant par l'absence de protection vis-à-vis de l'érosion externe.

Par ailleurs, au droit du magasin Promocash, la réalisation de l'épaulement du talus aval nécessitera la mise en œuvre d'un mur de soutènement en gabion sur une soixantaine de mètres pour respecter les limites du foncier privé. Compte-tenu de la hauteur de ce mur (jusqu'à 2.7 m), il devra être surmonté d'un garde-corps.

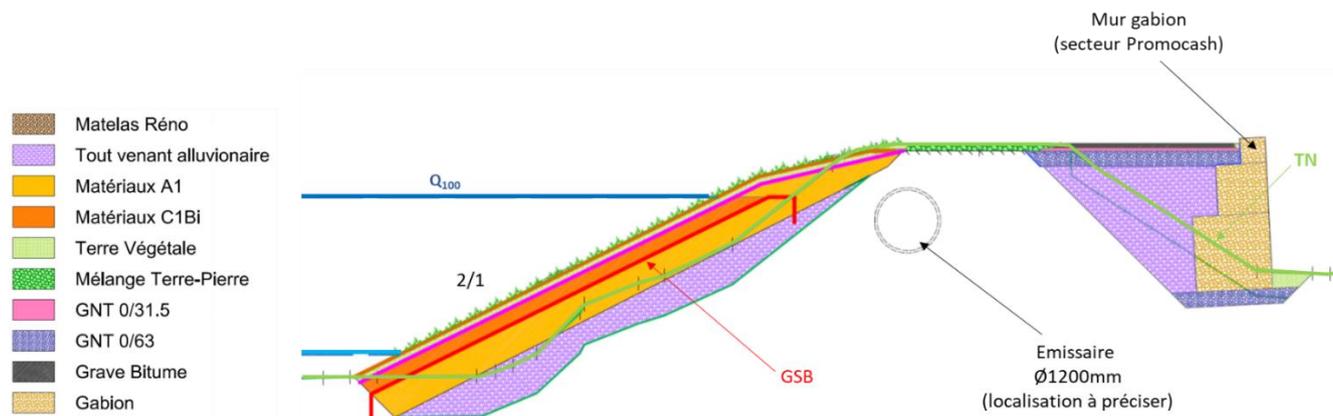


Figure 38 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type : bras mort.

- Tronçon resserrement aval du « casier Vicat », du PKL5.690 au PKL5.440 (linéaire = 250 m)

Les vitesses d'écoulement très importantes à l'état projeté au droit de ce secteur (cf. § 0) conduisent à porter la blocométrie de la protection en enrochements à 300/1000 kg et à remplacer la géogrille tridimensionnelle en partie supérieure du talus amont par des matelas Réno. En outre, le fond du lit de la Leysse fait également l'objet d'un confortement au droit de ce secteur (cf. § 5.4.3.1). Le profil est conforme au profil courant dans ses autres caractéristiques.

- Tronçon courbure de Villarcher, du PKL5.050 au PKL5.900 (linéaire = 150 m)

Ce secteur se caractérise, par la subverticalité du talus amont, une forte sollicitation par les vitesses d'écoulement en l'état actuel, due à la localisation en extrados de courbure, et par l'absence d'emprise côté aval permettant de réaliser l'épaulement sur ce côté de l'ouvrage (bretelle d'accès à la VRU).

Malgré l'abaissement très significatif des vitesses, engendré par l'élargissement en rive gauche au droit de ce secteur (cf. § 4.5), un parti sécuritaire est pris au droit de ce secteur sensible qui se traduit par :

- La mise en œuvre de matelas Réno en lieu et place de la géogridle tridimensionnelle sur la partie supérieure du talus amont,
- Le report de l'épaississement de la digue du côté aval vers le côté amont.

En phase chantier, la piste cyclable sera déviée provisoirement en pied d'endigement entre les rampes existantes, le long de la RD par comblement provisoire du fossé présent entre la RD et la digue. La piste cyclable définitive sera positionnée en crête de la digue. Un busage provisoire pour maintenir la fonction d'écoulement du fossé sera nécessaire.

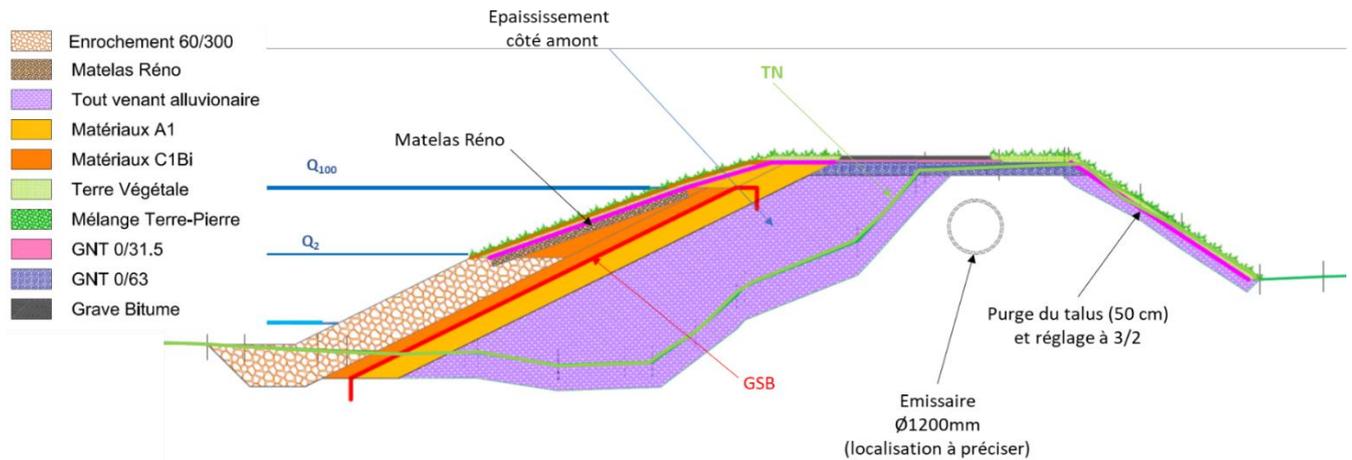


Figure 39 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type : courbure de Villarcher.

- Tronçon double digue, du PKL4.175 au PKL4.025 (linéaire = 150 m)

L'absence du réseau d'assainissement sur ce secteur (à vérifier au stade PRO pour l'extrémité amont) permet le déblai de la digue présente côté Leysse. L'emprise de la piste cyclable actuelle est conservée pour la l'accessibilité en phase chantier (pas de déblais dans la digue extérieur outre la purge du talus). Le profil type est conforme au profil courant pour ses autres caractéristiques.

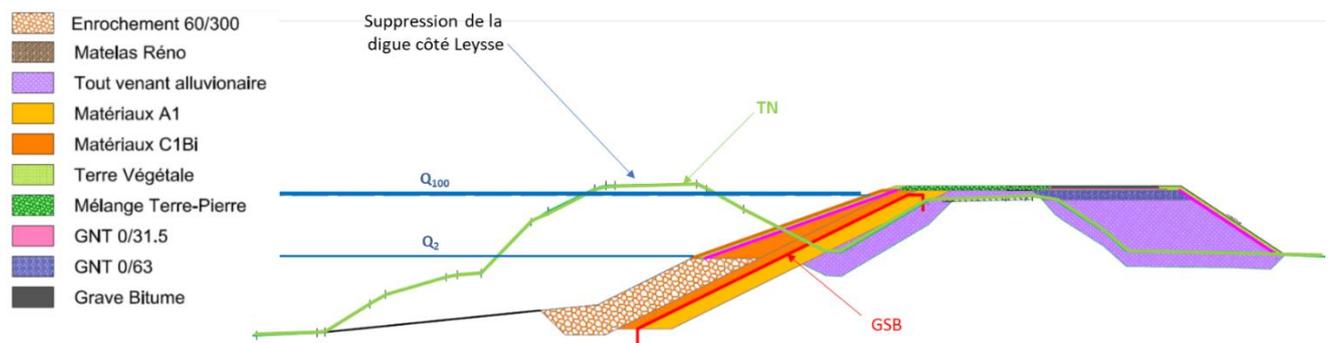


Figure 40 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type double-digue.

- Profil digue élargie sans réseau, du PKL4.025 au PKL3.715 (linéaire = 310 m)

De l'aval du tronçon de la double-digue jusqu'à la courbure du Tremblay, la digue actuelle se caractérise par une largeur en crête plus importante (avec localement présence d'un cavalier côté talus amont, une localisation de la piste cyclable côté talus aval, et l'absence du réseau d'assainissement). Cette géométrie autorise un déblai plus important dans la digue existante, permettant d'augmenter les gains de largeur et de section du lit mineur.

Afin de conserver des emprises confortables en phase chantier pour les travaux du talus amont, une largeur de 3 m est appliquée entre l'épaulement du talus aval et l'entrée en terre du déblais côté amont.

Le profil est semblable au profil courant dans ses autres caractéristiques.

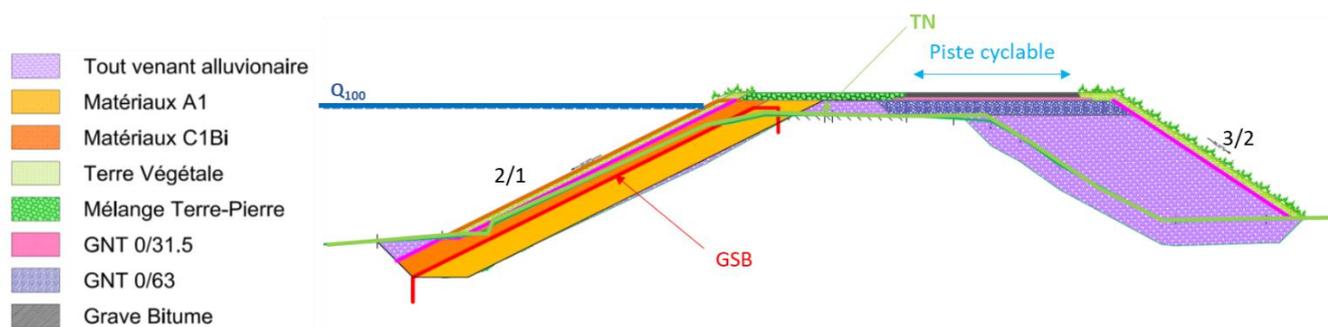


Figure 41 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type : digue élargie sans réseau.

- Tronçon courbure du Tremblay, du PKL3.715 au PKL3.550 (linéaire = 165 m)

Du fait de sa localisation en intrados de courbure et de son éloignement du courant principal (présence d'un important banc de convexité), les vitesses d'écoulement et le risque d'érosion externe est faible sur ce secteur. Il diffère du profil courant par :

- L'absence de protection vis-à-vis de l'érosion externe,
- L'absence du réseau d'assainissement.

En outre, du fait de la facilité d'accès par le banc alluvionnaire qui jouxte la digue, le maintien d'une largeur importante entre l'épaulement du talus aval et la piste cyclable projetée, n'est pas rendue nécessaire par les contraintes de réalisation du talus amont.

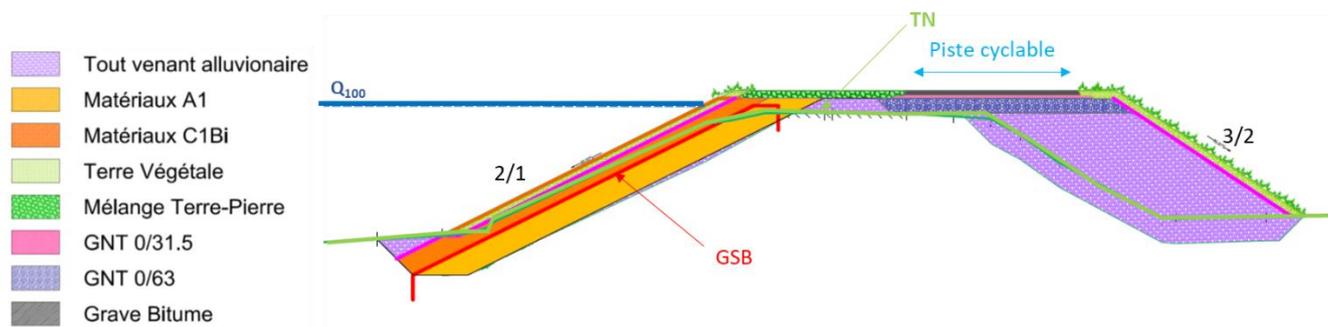


Figure 42 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type : courbure du Tremblay.

- Tronçon amont pont du Tremblay, du PKL3.550 au PKL3.435 (linéaire = 115 m)

A l'instar du secteur aval pont de l'Autoroute, l'emprise sur la section ne peut être compensée par élargissement en rive gauche. Il est par ailleurs crucial de ne pas engager la section hydraulique à l'amont de la section de contrôle constituée par le pont du Tremblay.

Afin d'inscrire le talus fini au plus proche du terrain naturel, et du fait de l'absence du réseau d'assainissement dans le corps de digue, dont la crête nécessite par ailleurs d'être réhaussée, la digue est reconstituée en déblai/remblai dans l'ouvrage existant. Ses caractéristiques géométriques sont les suivantes :

- Largeur en crête : 5.6 m,
- Pente des talus (amont et aval) : 3H/2V.

L'analyse des vitesses d'écoulement conduit à adopter :

- Une protection en enrochements 60/300kg jusqu'au niveau de Q2, comme sur le profil courant,
- La mise en œuvre de matelas Réno sur la partie supérieure du talus (entre les niveaux de Q2 et Q100).

La piste cyclable s'éloigne de la digue au début de ce secteur. Une rampe d'accès sera aménagée pour le raccordement entre la nouvelle piste, en crête de l'ouvrage sur le secteur précédent, et la piste existante au droit de ce secteur.

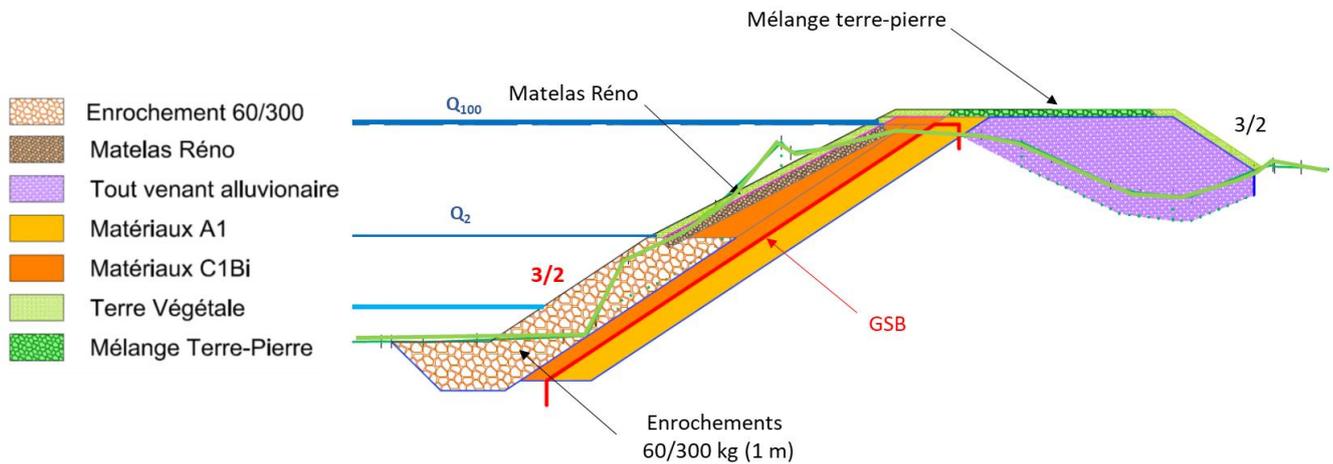


Figure 43 : Scénario 3, solution de base, rive droite – profil type : amont pont du Tremblay.

5.4.2.3 Piste cyclable

La piste cyclable actuelle sera déposée sur le linéaire où elle se situe en crête de digue, c'est-à-dire sur l'intégralité, à l'exception des 115 derniers mètres à l'amont du pont du Tremblay. Le revêtement (en enrobé à l'amont du PKL4.885, puis en béton à l'aval de ce point) ainsi que les couches de forme seront déposés.

La nouvelle piste cyclable comprendra :

- Une couche de fondation en GNT 0/63 cm sur 30 cm d'épaisseur et une couche de réglage en GNT 0/31.5 sur 5 cm d'épaisseur,
- Une bande de roulement de 3.5 m de largeur,
- Des accotements de 75 cm de largeur de part et d'autre de la bande de roulement.

Les accotements seront recouverts de terre végétale (15 cm) et ensemencés.

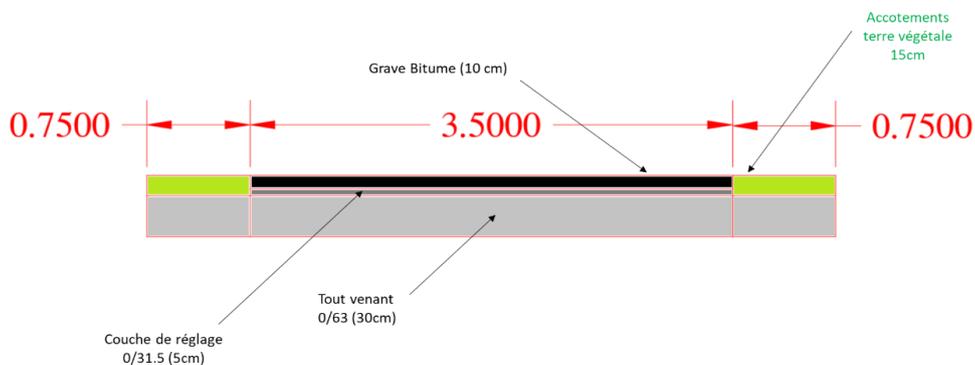


Figure 44 : Coupe type de la piste cyclable en rive droite.

5.4.2.4 Crête de digue / Accotements

La crête de digue côté talus amont (emplacement de l'actuelle piste-cyclable) sera recouverte d'un mélange terre-pierre sur a minima 15 cm d'épaisseur et un semis sera mis en œuvre pour :

- Permettre la circulation des engins d'entretien sur la crête de digue et l'accès au talus amont pour l'épareuse,
- Assurer une intégration paysagère environnementale aux abords de la nouvelle piste cyclable.

Selon la nature des matériaux en place sous le revêtement de l'ancienne piste cyclable (dégrafé et évacué), au droit des linéaires où l'altimétrie actuelle de la digue est supérieure au niveau de protection projet, un simple ensemencement pourra suffire.

5.4.2.5 Intégration environnementale des talus

En partie inférieure des talus, les enrochements seront percolés avec des matériaux sablo-graveleux issus du lit, puis végétalisés avec des boutures interstitielles de saules arbustifs afin de :

- Recréer un cordon rivulaire arbustif,
- Lutter contre l'implantation des espèces exotiques envahissantes, notamment le *Buddleia de David* (*Buddleia davidii*).

Des semis d'aulnes glutineux peuvent être réalisés ponctuellement dans les interstices des blocs ou des plantations de jeunes plans (à raison de quelques individus tous les 15 à 25 m de berge).

Au stade projet, il faudra s'assurer que la plantation de saules arbustifs sur les pieds de talus amont n'est pas susceptible d'engendrer une dégradation de la partie fonctionnelle de l'étanchéité en GSB (GSB sous 1 m d'épaisseur d'enrochements et 30 cm de couche de confinement).

Les parties supérieures des talus, qu'elles soient protégées par des matelas Réno ou de la géogrille tridimensionnelle, seront intégrées par un semis herbacé, après mise en œuvre de terre végétale et d'un géotextile biodégradable coco 740 g/m².

Les profils en travers type faisant apparaître cette intégration environnementale ainsi que celle du lit mineur sont visibles au § 5.4.3.3 ainsi que dans le dossier de plans en annexe 3.



Talus de digue enherbé dans le cadre des travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hères à Chambéry.

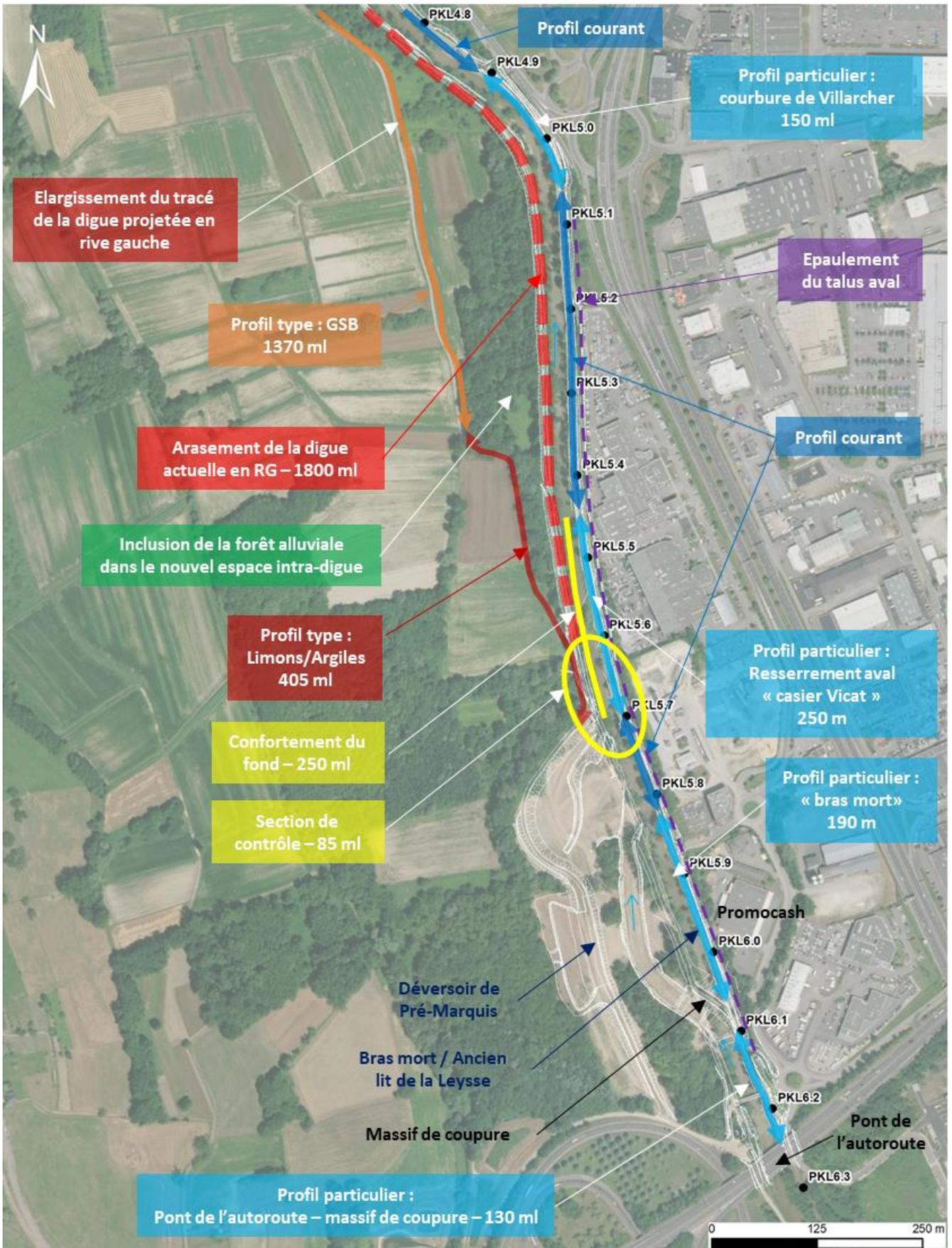


Figure 45 : Scénario 3, solution de base : localisation des tronçons (partie amont).

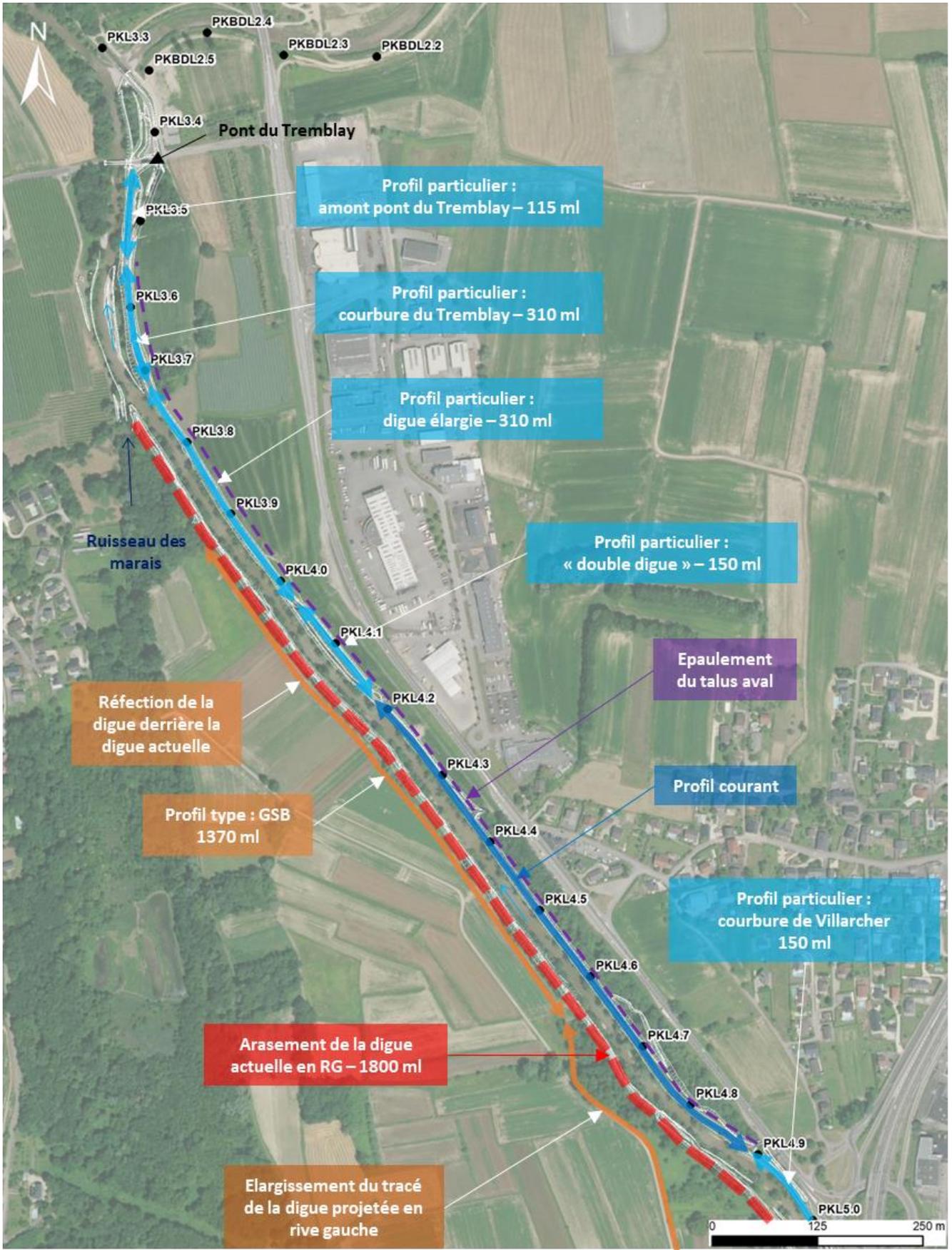


Figure 46 : Scénario 3, solution de base : localisation des tronçons (partie aval).

5.4.3 Lit mineur et berge rive gauche – solution de base

5.4.3.1 Confortement du fond – PKL5.690 à 5.440

Sur ce linéaire d'environ 250 m, les vitesses d'écoulement imposent un confortement du fond du lit de la Laysse (cf. § 4.5 et 6.3.1). Ce confortement sera mis en œuvre sous la forme d'un radier en enrochements 300/1000 kg sur une épaisseur de 1.1 m.

- Du PKL5.690 au PKL5.600 (resserrement pour conserver la section de contrôle à l'aval du « casier Vicat »), le radier se raccorde aux talus enrochés des deux berges, de blocométries équivalentes,
- Du PKL5.600 ou PKL5.440 (début de l'élargissement en rive gauche), une transition en enrochements 60/300 kg est mise en œuvre sur la berge rive gauche (talus de démantèlement de l'ancienne digue).

Selon la nature matériaux sous-jacents (la présence d'argiles proches sous le substrat grossier du fond du lit est fortement suspectée), une purge avec substitution par des matériaux graveleux issus du lit de la Laysse pourra être nécessaire au préalable.

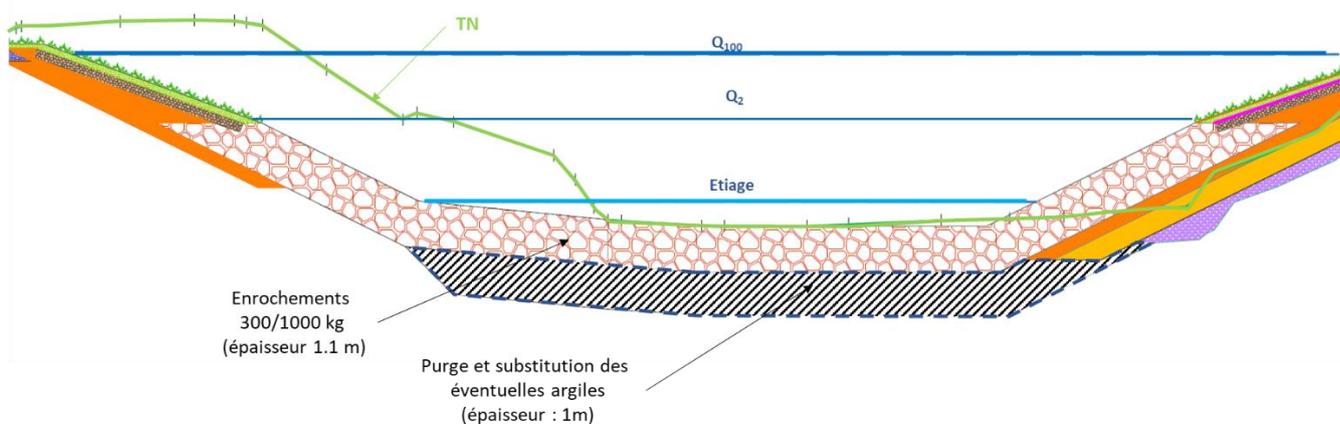


Figure 47 : Scénario 3, solution de base, lit mineur – profil type : confortement du fond du lit.

Des bèches seront réalisées en amont et en aval du radier (dans le profil en long de la rivière) afin de se raccorder au lit naturel de la rivière et d'éviter les affouillements en bord du radier. Suivant le pavage existant, des zones de transitions pourront être éventuellement mises en œuvre.

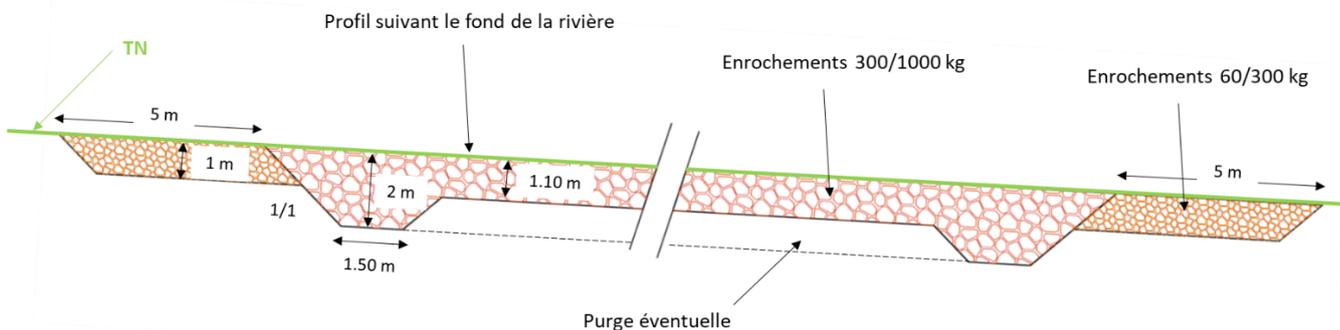


Figure 48 : Scénario 3, solution de base, lit mineur – profil en long du confortement du fond du lit.

5.4.3.2 Protections de berge et restauration du corridor boisé en rive gauche

La berge rive gauche est libérée par l'arasement de l'ancienne digue. Le principe général d'arasement est d'aboutir à une pente régulière entre les deux pieds de l'ouvrage. Les pentes restituées sont relativement douces :

- D'environ 10H/1V à l'amont de la courbure de Villarcher,
- D'environ 5H/1V à l'aval de ce point.

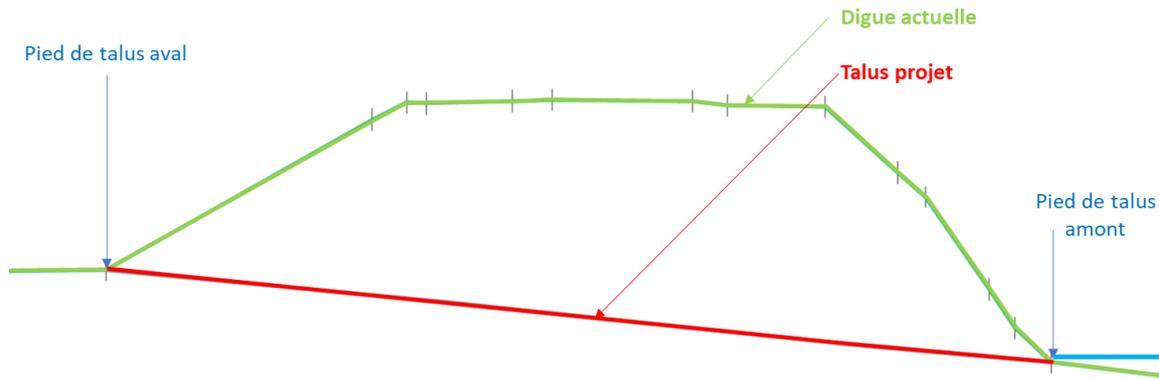


Figure 49 : Principe général d'arasement de la digue actuelle en rive gauche.

Ce principe d'arasement n'est pas respecté à l'amont du PKL5.690 (section de contrôle à l'aval du « casier Vicat », où la nouvelle digue rive gauche est décalée dans l'emprise de la digue actuelle.

La berge restituée sera traitée comme suit :

- Du PKL5.690 au PKL5.440 (linéaire = 250 m) :

Du PKL5.690 au PKL5.600 (section de contrôle resserrée), compte-tenu des vitesses d'écoulement importantes (cf. § 6.3.2), la partie inférieure du talus sera enrochée avec une blocométrie 300/1000 kg sur une épaisseur de 1.1 m, jusqu'au niveau de la crue biennale (cf. § ci-dessus). La partie supérieure du talus correspond à l'endiguement en rive gauche.

Du PKL5.600 au PKL5.440 (début de l'élargissement du tracé de la digue rive gauche, au droit du radier en enrochements), la transition avec le radier s'effectue par la mise en œuvre d'enrochements 60/300 kg jusqu'à une altimétrie d'1 m de hauteur par rapport au niveau du fond du lit, soit sur une largeur de 3 à 4 m. Ces enrochements seront percolés avec des matériaux sablo-graveleux issus du lit de la Leysse, et feront l'objet d'une plantation de boutures interstitielles de saules, pour recréer un cordon arbustif rivulaire.

Sur la partie supérieure du talus, où les vitesses d'écoulement restent importantes, une protection en génie écologique sera mise en œuvre : plantation de trois rangées de branches de saules, espacées de 3 m, et mise en œuvre de géotextile 900 g/m² avec fixation renforcée. En partie supérieure de la berge, où les vitesses d'écoulement sont moindres, des plantations arbustives et arborées seront effectuées, en transition entre les boisements arbustifs de pied de berge et la forêt alluviale laissée en place dans le nouvel espace intra-digue.

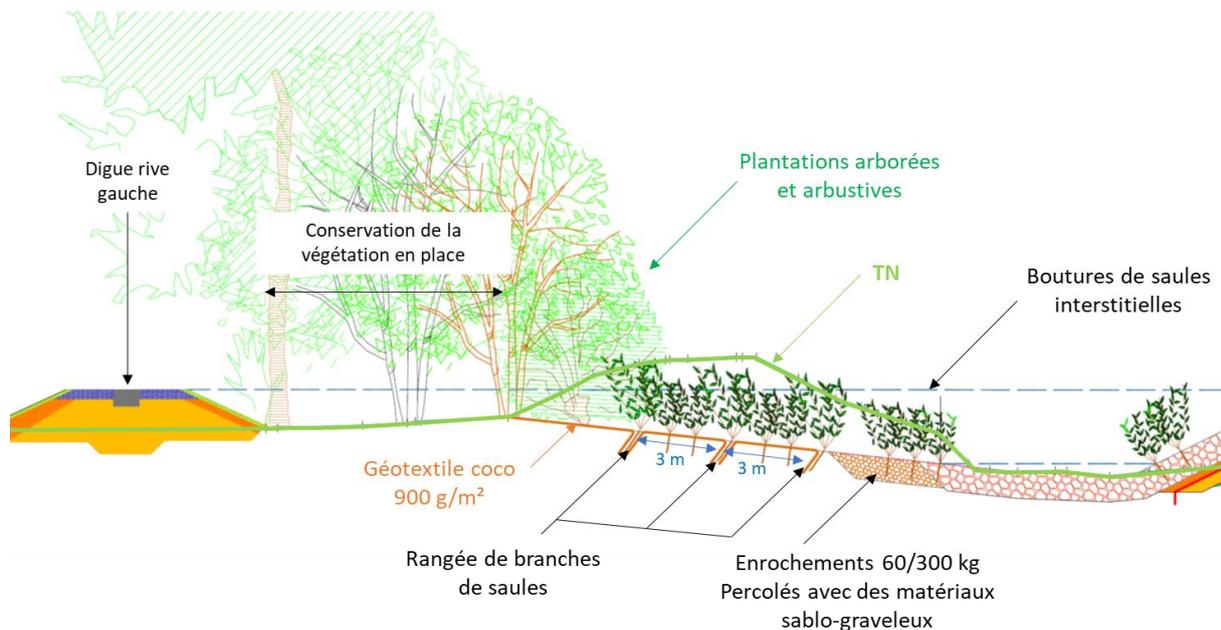


Figure 50 : Scénario 3, solution de base, rive gauche – profil type au droit de l'élargissement.

- Du PKL5.440 au PKL4.630 (linéaire = 810 m)

Sur ce tronçon, au droit duquel l'endiguement rive gauche est refait au loin dans la plaine et où les vitesses d'écoulement sont plus faibles, des érosions de berges sont possibles de façon contrôlée dans une optique de diversification de la morphologie des berges et de restauration du fonctionnement hydromorphologique de la Leyse. Aussi, sur ce secteur, la mise en place de protection contre l'érosion sur la berge n'est pas prévue. Des plantations de boutures de saules arbustifs seront effectuées en pied de talus ; des gros sujets (arbres tiges, grosses cépées) seront plantés en partie supérieure des talus.

Les vitesses atteintes sont au maximum de 3 à 3,5 m/s pour des pentes de talus de l'ordre de 8 à 10/1.

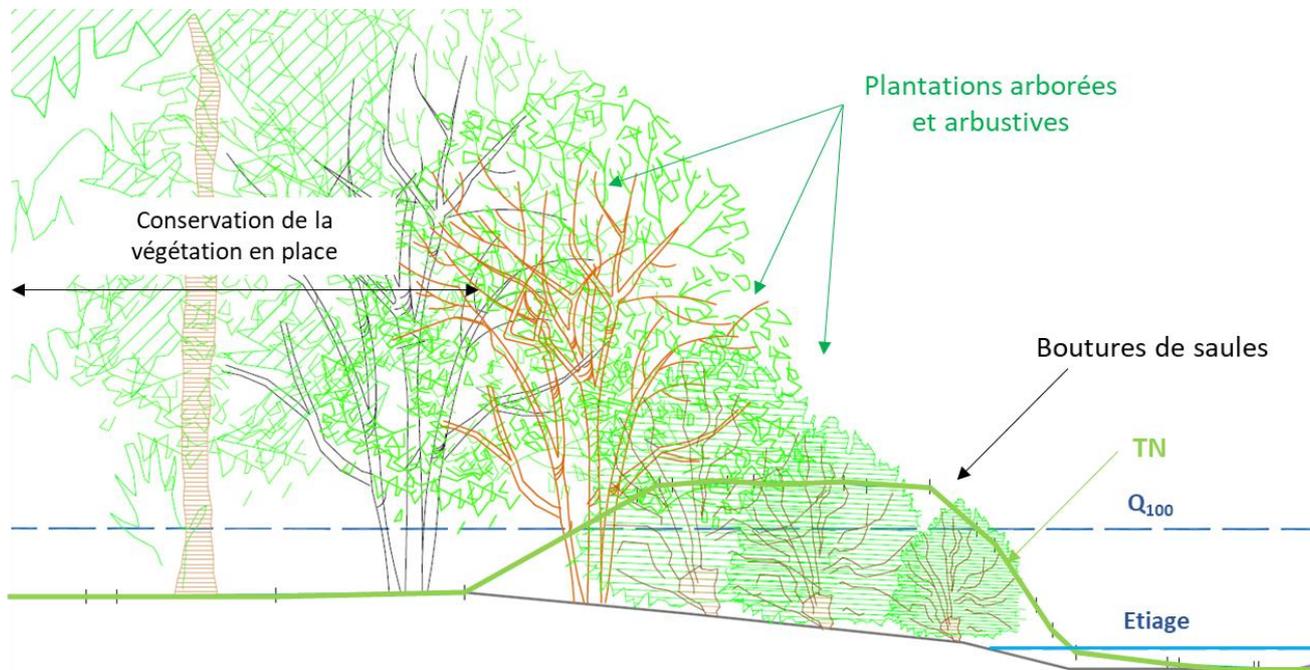


Figure 51 : Scénario 3, solution de base, rive gauche – profil type : resserrement aval du « casier Vicat », début de l'élargissement.

- Du PKL4.630 au PKL3.900 (linéaire = 730 m)

Sur ce secteur où la digue rive gauche se situe immédiatement en arrière de la berge libérée par l'arase de l'ancienne digue, un géotextile biodégradable coco 900 g/m² sera mis en œuvre sur le talus.

Le principe de végétalisation reste identique à celui du tronçon précédent. Toutefois compte tenu de la sensibilité de ce secteur en termes de corridor écologique (absence de boisements en arrière de la berge et de la digue en rive droite et en rive gauche), une grande vigilance sera à porter à ce tronçon.

- Du PKL3.900 au PKL3.740 (linéaire = 160 m)

Ce secteur correspond aux 160 m de berge en amont de la confluence du ruisseau des marais. Aucune digue n'est refaite au droit de ce tronçon. Le principe de végétalisation reste identique à celui du tronçon précédent, sans la mise en œuvre de géotextile coco.

5.4.3.3 Diversification hydroécologique du lit mineur

Les gains de sections engendrés par l'élargissement en rive gauche dans le scénario 3 permettent de réaliser une diversification de la morphologie du lit mineur et des écoulements, par la réalisation de banquettes alternées.

Cette diversification s'applique de l'aval du PKL5.440 (radier en enrochements) jusqu'au PKL3.740 (confluence du ruisseau des marais).

Il s'agit de tirer parti de l'emprise libérée par l'arasement de la digue actuelle en rive gauche, pour impulser des sinuosités dans le tracé du lit mineur. L'emplacement et la longueur d'onde de ces sinuosités se basent sur une accentuation des sinuosités visibles sur le thalweg actuel (respect de la position du thalweg et des longueurs d'onde).

Lorsque le thalweg projeté est déporté en rive gauche, un sur-déblais est pratiqué avec un raidissement de la partie inférieure du talus rive gauche, par rapport au profil courant. Sur la rive opposée, une banquette d'environ

5 m de large est confectionnée en remblais par-dessus le sabot de la digue rive droite. Ce remblai pourra se faire en réemployant les matériaux des pistes de chantier.

A l'inverse, lorsque le thalweg projeté est en rive droite, le chenal est positionné contre le talus enroché de la digue rive droite et le profil courant du talus rive gauche est respecté voire rechargé pour créer une banquette.

Au droit des secteurs les plus élargis (double-digue notamment) la banquette peut-être en position centrale, délimitant de bras de part et d'autre.

Ces banquettes seront consolidées par la mise en œuvre de fascines de saules en tête. Elles seront pour partie végétalisées avec des boutures de saules et pour partie laissées à la colonisation naturelle.

Les altimétries prescrites varient entre +0.7 et +1 m par rapport au niveau du fond. Les pentes de talus seront comprises entre 2H/1V et 4H/1V. La géométrie précise de ces banquettes sera à affiner au stade PRO puis EXE, notamment concernant l'altimétrie en relatif avec le plan d'eau d'étiage, en intégrant les données de niveau des levés Hydrotopo et Collet.

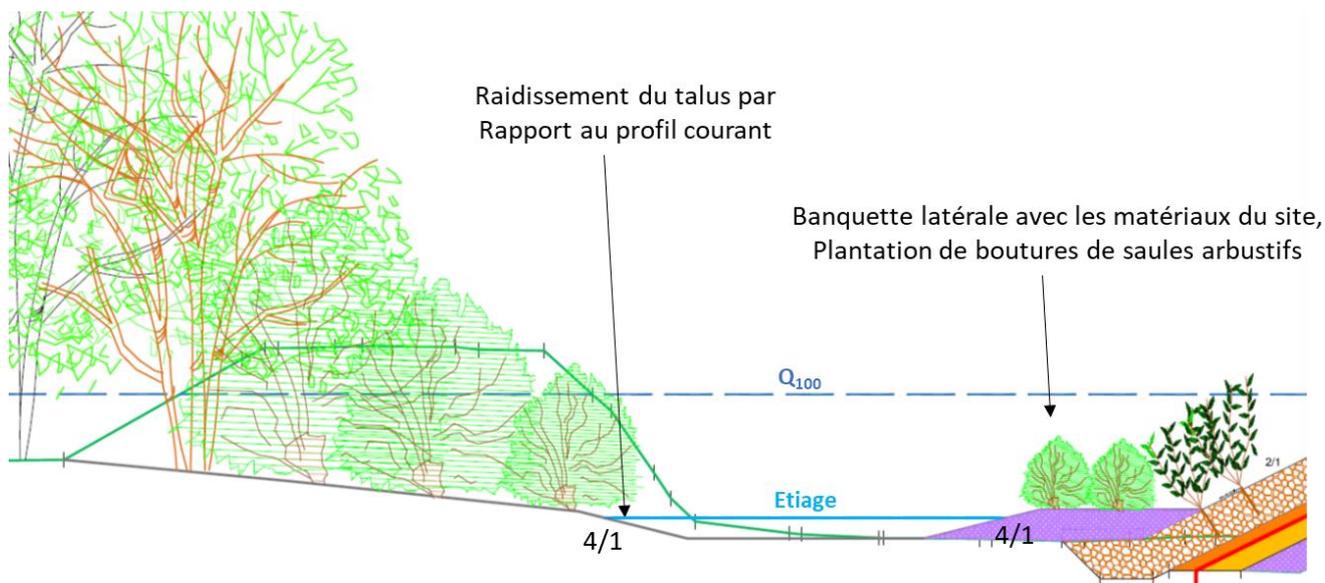


Figure 52 : Scénario 3, principe de diversification du lit mineur avec déport du chenal en rive gauche et banquette en rive droite.

En outre des blocs seront disposés dans le lit mineur pour créer des abris piscicoles et optimiser la diversification des écoulements.



Façonnage de banc alternés (travaux d'aménagement de la confluence Laysse-Hyères à Chambéry).

Le plan en annexe 3 illustre la localisation de ces banquettes.

5.4.4 Variantes du scénario 3

5.4.4.1 Variante 1 – Rive gauche : Elargissement de +50m

Cette variante diffère de la solution de base par le tracé de la nouvelle digue à l'aval du PKL4.630, qui reste écarté d'une cinquantaine de mètre de la digue actuelle, à l'intérieur de la plaine agricole.

L'objet de cette variante est d'augmenter les gains environnementaux du projet, par un élargissement plus important de l'espace de liberté de la Leysse, et plus cohérent avec l'élargissement pratiqué à l'amont. Ce tracé permet en outre une renaturation des terrains inclus dans l'espace intra-digue. Cette variante se traduit par ailleurs par une emprise plus importante sur le foncier privé agricole.

Malgré une légère déclivité du TN de la plaine depuis la Leysse vers le ruisseau des marais, les dimensions de l'ouvrage et les volumes de remblais sont assez similaires entre cette variante et la solution de base ; à ce stade, ils sont supposés équivalents.

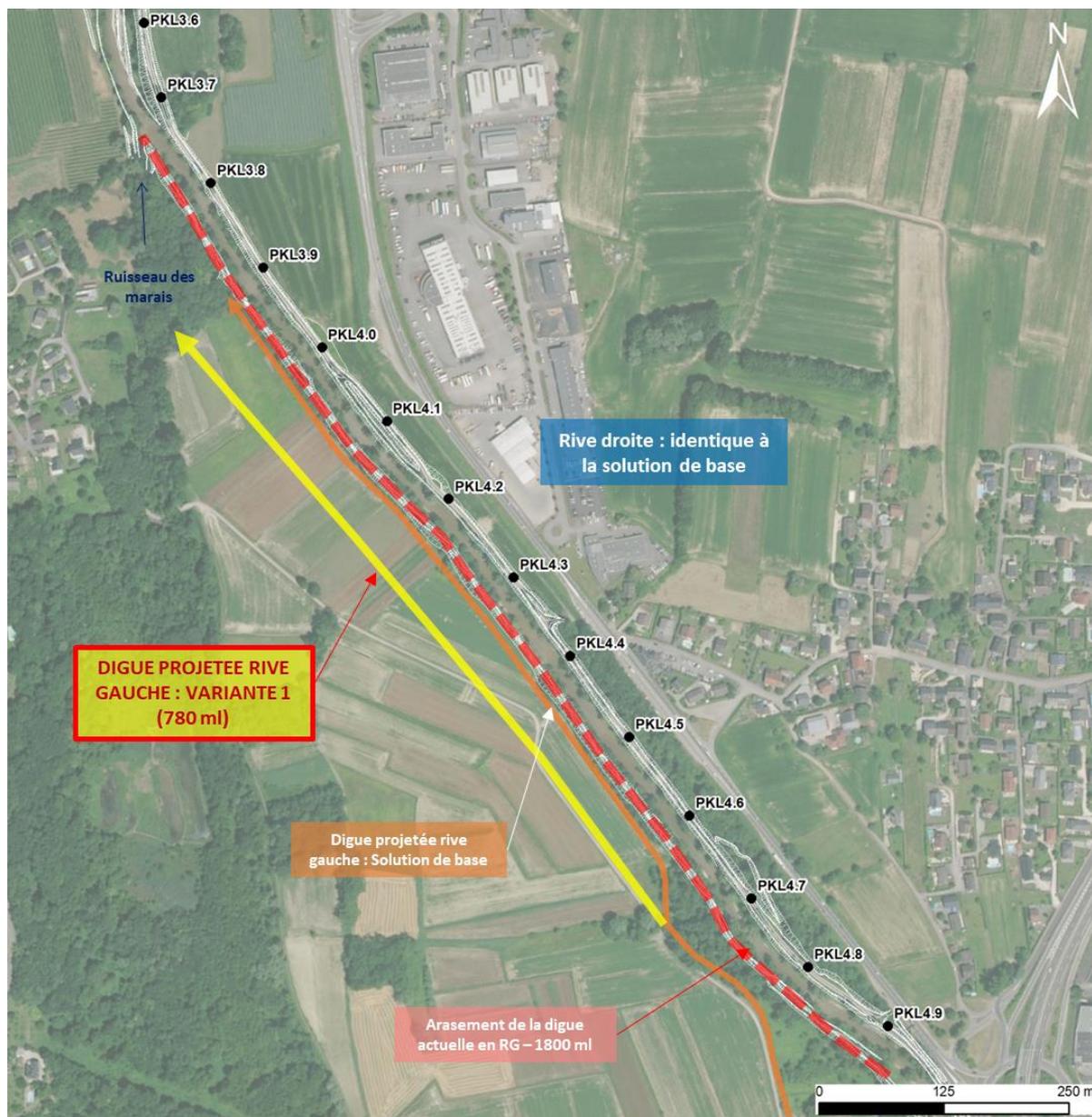


Figure 53 : Scénario 3, variante 1 : Localisation.

5.4.4.2 Variante 2 – Rive droite : Maintien de la piste cyclable et épaulement du talus amont (profils sans réseau d'assainissement)

Cette variante s'applique en rive droite du PKL4.260 (amont immédiat de la double digue) au PKL3.540, point où la piste cyclable actuelle quitte la digue à l'amont du pont du Tremblay. Sur ce linéaire de 720 m, la présence, de l'amont vers l'aval, de la double digue, puis d'une surlargeur en crête à gauche de la piste cyclable, puis enfin du banc alluvionnaire de la courbure du Tremblais, permet de rehausser la crête de l'ouvrage au niveau de protection (Q100+30cm) via un cavalier côté amont, tout en maintenant la piste cyclable à son emplacement actuel.

Les caractéristiques géométriques sont les suivantes :

- Largeur du cavalier en crête : 4m,
- Pente du talus amont : 2H/1V pour la partie inférieure, pente variable <math>< 2H/1V</math> en partie supérieure (cf. profil courant),
- Pente du talus aval : 3H/2V.

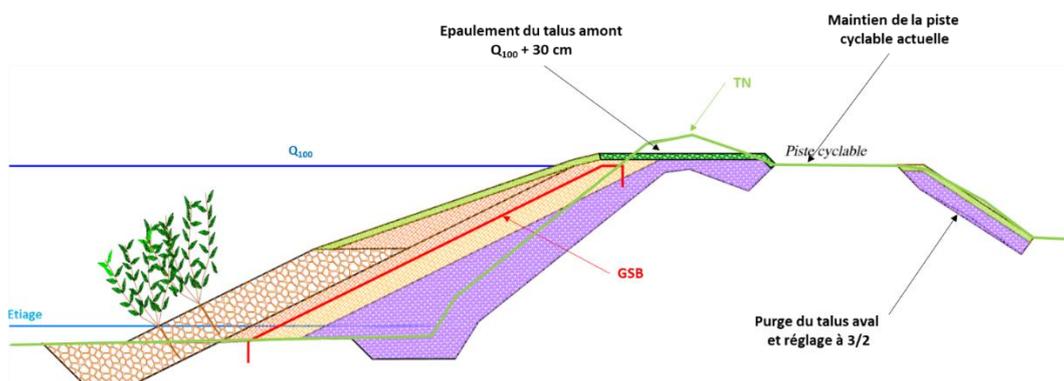


Figure 54 : Scénario 3, variante 2, rive droite – profil type.

Alors que, dans la solution de base, l'absence du réseau d'assainissement sur ce linéaire permet de réduire l'emprise du confortement sur la section hydraulique (voire d'engendrer des gains également côté rive droite au droit de la double digue), cette variante conduit à une emprise sur la section proche de celle du profil courant sur la totalité du linéaire.

En termes de volumes, cette variante se traduit par des besoins en tout venant alluvionnaire sensiblement supérieurs, du fait de la hauteur plus importante à épauler côté amont par rapport au côté aval.

Enfin, malgré le maintien de la piste cyclable à son emplacement actuel, le chantier impliquera un dévoiement provisoire en pied de la digue, en partie sur les terrains agricoles, et une reprise intégrale du revêtement de la piste.

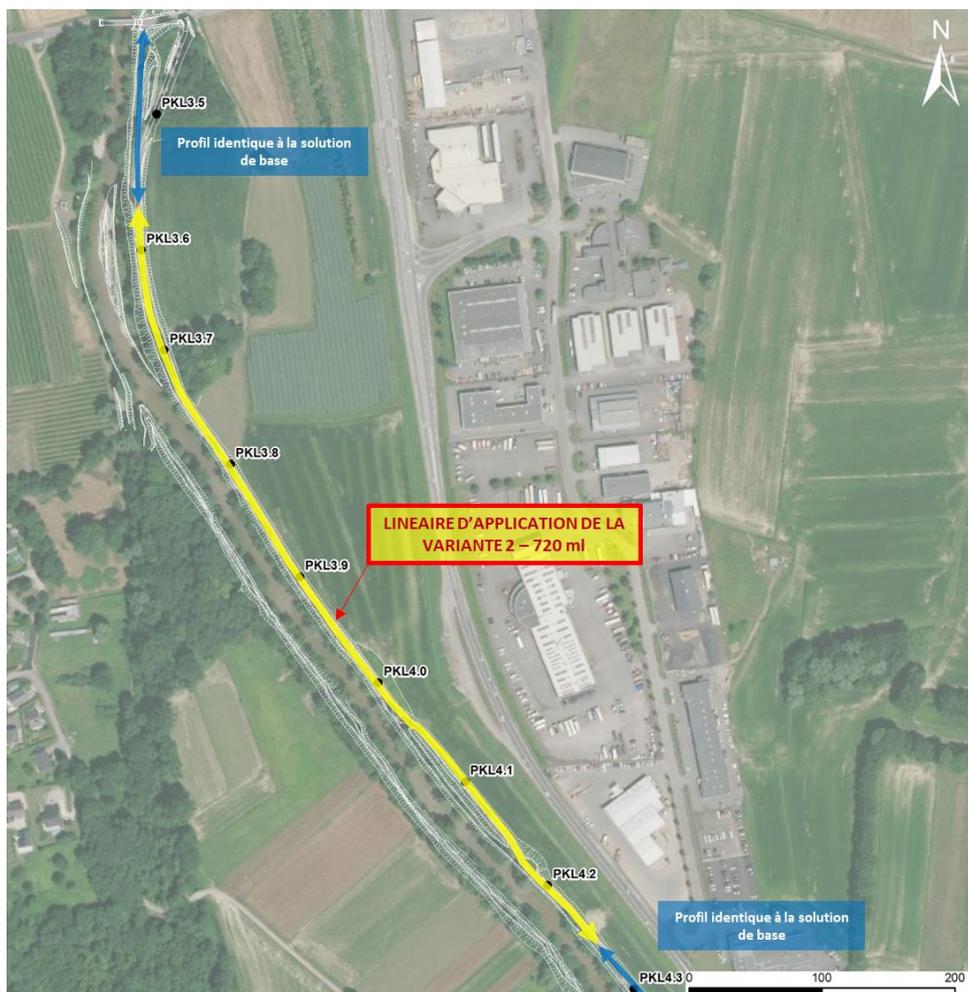


Figure 55 : Scénario 3, variante 2 : Localisation.

5.4.4.3 Autres variantes envisagées et non retenues

- Rive gauche : Maintien de la digue actuelle sur la partie aval avec aménagement d'une seconde surverse

L'objectif de cette variante était de permettre la conservation du corridor rivulaire sur le linéaire où il est limité à l'emprise de la digue (terrains agricoles jouxtant la digue, du PKL4.630 au PKL3.900).

Le rôle de l'ouvrage de surverse, aménagé à l'amont de ce secteur (PKL4.630) aurait été de compenser l'emprise du confortement rive droite sur la section hydraulique en délestant la Leysse, sans dépose de la digue rive gauche à l'aval.

L'analyse des résultats des simulations hydrauliques d'état initial et du scénario 3 base, ont montré que le niveau à l'aval de cette surverse potentielle est très fortement influencé par le retour à la Leysse du débit passant par la plaine de Pré-marquis. Par conséquent, les gains de niveaux attendus par l'aménagement de cette seconde surverse sont donc faibles à nuls ; la solution envisagée n'est donc pas viable.

- Rive gauche : Arasement de la digue actuelle sans réfection d'un ouvrage

L'objectif de cette variante était de limiter le linéaire de digue reconstruit et l'emprise sur les terres agricoles en ne reconstituant pas d'ouvrage sur la partie aval du secteur (aval du PKL4.630), voire sur la totalité du linéaire.

La plaine étant inondable via le déversoir de Pré-Marquis à l'amont dès un débit de 200 m³/s, en cohérence avec les aménagements réalisés précédemment, il apparaît que le projet ne doit pas engendrer d'inondation généralisée de la plaine pour un débit inférieur à 200 m³/s.

La confrontation des simulations d'état projet avec la topographie du terrain naturel (dont l'écart altimétrique avec le fond de la Leysse augmente de l'amont vers l'aval) montre que cette variante engendrerait une inondation des terrains agricoles dès un débit avoisinant la crue bisannuelle (Q_2), y compris si la digue est reconstruite jusqu'au PK4.630. De plus, les terrains agricoles seraient exposés, dès ces faibles débits, à des déversements latéraux et des vitesses d'écoulement non acceptables (érosion de la surface des terres).

- Rive droite : Confortement par le talus aval uniquement

Les solutions retenues pour la rive droite dans les 3 scénarios incluent la réalisation d'un épaulement du talus aval, réalisé en tout venant alluvionnaire.

L'objet de cette variante est de constituer cet épaulement avec des matériaux fins (limons-argiles) pour assurer l'étanchéité de la digue. Le corps de digue étant laissé en place, mais sans aucune possibilité de le renforcer, il s'agit donc de réaliser un épaulement qui se substitue à la digue actuelle.

Cette solution n'a pas été retenue pour les raisons suivantes :

- Emprise disponible trop faible pour recréer un épaulement de largeur suffisante pour garantir l'intégrité de l'ouvrage,
- Elle ne traite pas la problématique de l'érosion externe, qui compte tenu de la subverticalité du talus amont et de la présence du réseau d'assainissement dans la digue conduit nécessairement à une emprise importante côté talus amont,
- Les volumes de matériaux en jeu (environ 20 000 m³) imposent le recours à de l'apport externe et conduisent à des coûts élevés.

5.4.5 Options : creusement de chenaux secondaires

Le creusement de deux chenaux secondaires est proposé en option :

5.4.5.1 Option 1 : Intérieur de la courbure de Villarcher

Il s'agit de créer un bras secondaire à l'intérieur de la courbure de Villarcher, au sein du nouvel espace intra-digue élargi, dans une optique de diversification des habitats aquatiques, d'augmentation du linéaire de milieu rivulaire et de création d'un milieu annexe. L'entrée se ferait en amont de la courbure, au droit du PKL5.150, dans l'axe de l'écoulement afin de favoriser l'emprunt du bras en crue et sa pérennité.

Ses caractéristiques géométriques sont les suivantes :

- Longueur : 320 m,
- Largeur au plafond : 3 m,
- Largeur au miroir : environ 5 m
- Profondeur de terrassement : environ 2 m,

- Pentes des talus : 2H/1V.

L'implantation du chenal et sa largeur ont été choisies de façon à limiter les déboisements (passage dans les actuelles terres agricoles sur 85 m, largeur aux entrées en terre de 30 m). Toutefois, la situation de ce bras ne permet pas d'éviter toute incidence sur les boisements qui occupent 70% du linéaire.

En outre, selon la nature des matériaux sous-jacent, le creusement de ce chenal peut permettre d'optimiser les mouvements de matériaux en limitant le recours à de l'approvisionnement (volume total terrassé pour le chenal : 4000 m³).

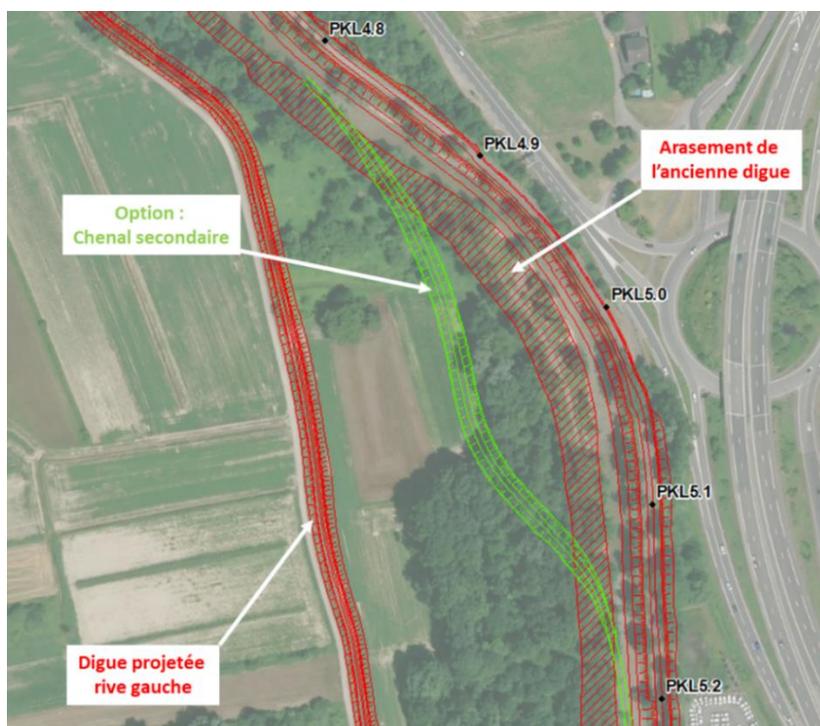


Figure 56 : Scénario 3, option 1, chenal secondaire à l'intérieur de la courbure de Villarcher – localisation.

5.4.5.2 Option 2 : Intérieur de la courbure du Tremblay

Il s'agit ici de créer un chenal secondaire à l'intérieur du banc alluvionnaire situé dans la courbure du Tremblay. Compte-tenu de la configuration du banc et de la digue rive droite, l'entrée du bras ne peut être positionnée qu'à l'intérieur de la courbure. Du fait de cette localisation très défavorable pour la pérennité du bras (forte propension à la sédimentation, dont témoignent les curages déjà réalisés par le Cisalb), cette option ne peut se concevoir que dans une logique de réemploi des matériaux et non dans un objectif de gains environnementaux et hydraulique à long terme, contrairement au chenal décrit au paragraphe précédent. Le volume de matériaux potentiellement récupérable est de l'ordre de 1300 m³.

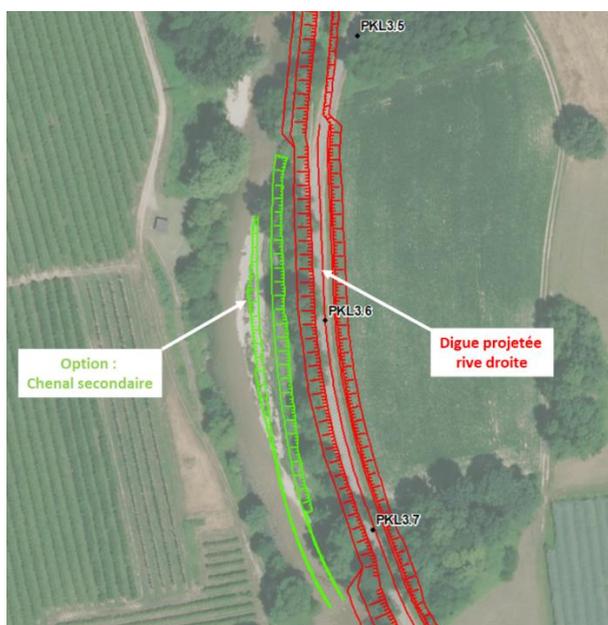


Figure 57 : Scénario 3, option 2, chenal secondaire à l'intérieur de la courbure du Tremblay – localisation.

6 Vérification/Justification de la stabilité des ouvrages

La vérification par le calcul de la stabilité des ouvrages, décrite dans les paragraphes qui suivent, concerne le scénario 3 (solution de base).

Si les scénarios 1 et 2 ainsi que les variantes du scénario 3 comportent, en rive droite, des profils similaires au scénario 3 base, les niveaux de mise en charge sont différents et les résultats donnés pour le scénario 3 base ne peut leur être appliqués.

En revanche, les principes énoncés au § 6.3 pour le dimensionnement des protections vis-à-vis de l'érosion externe restent identiques pour tous les scénarios, seule la valeur des paramètres hydrauliques varie.

6.1 Stabilité au glissement

6.1.1 Modélisation

L'annexe 2 détaille les calculs réalisés pour vérifier la stabilité au glissement des talus amont et aval du projet sur les secteurs SE2.2 et SE5.

La justification a été réalisée suivant les Recommandations pour la justification des barrages et digues en remblai du CFBR (juin 2010) suivant 3 conditions hydrauliques :

- Conditions hydrauliques normales d'exploitation (Q10) ;
- Conditions hydrauliques en situation exceptionnelle de crue. Les recommandations du CFBR stipulent que cette situation correspond à un niveau laissant encore une revanche pour se protéger. Les niveaux pris en compte sont donc les suivants : Q100 en rive droite, Q100 – 30 cm en rive gauche ;
- Conditions hydrauliques en situation extrême de crue (limite avant la surverse).

Deux modélisations ont été réalisées pour la digue de rive gauche (profil type GSB et profil type limons/argiles). Elles ont été réalisées avec une digue de hauteur identique égale à 3m. Quatre profils ont été modélisés en rive droite : PKL 5.444, 4.981, 3.906 et 3.480.

La stabilité du talus aval a été vérifiée, de même que la stabilité du talus amont. La stabilité du talus amont a été examinée dans des conditions particulièrement défavorables (en prenant en compte un delta de 1 m entre le niveau d'eau dans la Leysse et le niveau piézométrique dans le corps de digue).

Pour la rive gauche, l'option d'un niveau fixé à Q₁₀₀ sans revanche a été retenue en concertation avec la maîtrise d'ouvrage (cf.5.1). Ce choix qui ne comporte pas de marge par rapport aux incertitudes sur les lignes d'eau et par rapport aux phénomènes transitoires (vagues, etc.) vise à augmenter la sécurité de la rive droite en favorisant une rupture par surverse plus précoce en rive gauche. Il conduit à s'écarter des recommandations du CFBR, amenant à considérer une situation exceptionnelle de crue et une situation extrême de crue toutes deux confondues et correspondant à un débit de Q₁₀₀. Les coefficients de sécurité sous cette situation sont fournis dans le paragraphe suivant.

6.1.2 Conclusion

La conclusion de l'étude de stabilité au glissement est reprise ci-dessous :

- **Digue rive gauche :**

Tableau 58 : Hypothèses géotechniques pour les matériaux rapportés de la rive gauche

Profils en RG	Stabilité du talus aval			Stabilité talus amont
	Q10	Q100-30cm	Q100 = Extrême	
Profil type limon	1.17 à 1.18	1.31 à 1.36	1.57 à 1.63	1.03
Profil type GSB	1.03	1.16	1.39	1.14

Tous les coefficients sont conformes aux règles de l'art. Ils sont tous supérieurs à 1,0 (coefficient requis, intégrant déjà les coefficients partiels).

Les coefficients les plus faibles sont atteints en Q10. Cela s'explique par les jeux de coefficients partiels, qui intègrent plus de marge de sécurité pour la situation normale d'exploitation que pour les autres situations plus rares.

En considérant niveau Q₁₀₀ comme niveau exceptionnel de crue (au lieu de Q₁₀₀ – 30cm, voir plus haut), les coefficients de sécurité sont modifiés de la façon suivante :

Profils en RG	Q100 = niveau exceptionnel de crue
Profil type limon	1.30 à 1.35
Profil type GSB	1.16

Les coefficients sont également conformes aux règles de l'art. Ils sont tous supérieurs à 1,0 (coefficient requis, intégrant déjà les coefficients partiels).

NB : Ils sont quasi identiques à ceux en considérant Q₁₀₀-30cm comme niveau de crue exceptionnelle. En effet :

- pour le profil avec GSB, avec la présence de l'étanchéité, les cercles de glissement n'interceptent pas la ligne de saturation et sont donc très peu dépendants du niveau d'eau

- pour la digue de type limon, le cercle de glissement intercepte la ligne de saturation dans sa partie aval ; ce qui atténue les effets d'une augmentation du niveau d'eau du côté amont.

- **Digue rive droite**

Les résultats de la rive droite sont retranscrits dans le tableau ci-dessous.

Tableau 59 : Hypothèses géotechniques pour les matériaux rapportés de la rive droite

Profils en RD	Stabilité talus aval			Stabilité talus amont
	Niveau d'eau			
Implantation des profils	Q10	Q100	Extrême	
PKL 5.444	1.08	1.27	1.61	1.1
PKL 4.981	1.02	1.06	1.26	1.15
PKL 3.906	1.11	1.52	1.82	1.1
PKL3.480	1.49	1.53	1.84	0.98 (*)

Tous les coefficients sont supérieurs à 1,0 ou très proches.

(*) Le coefficient de sécurité obtenu pour la stabilité du talus amont du PKL3.480 est de 0,98 dans le cas d'une différence de charge de 1 m entre le corps de digue et le niveau d'eau dans la Leysse. Il est très proche de 1,0. Il est considéré comme acceptable. En effet, l'hypothèse d'une différence de niveau d'eau de 1 m entre le piézomètre amont et le niveau de la Leysse est une hypothèse conservatrice.

- **Synthèse :**

La stabilité au glissement des différents profils de confortement étudiés est vérifiée, aussi bien pour le talus amont que pour le talus aval.

Les études ultérieures devront vérifier les hypothèses prises ici et compléter les études sur les singularités notamment (qui ne sont pas englobées dans les coupes étudiées dans le présent document).

Dans la présente étude, les charges de circulation n'ont pas été intégrées. Elles devront être précisément définies au stade projet (notamment pour la piste agricole de rive gauche) et être intégrées au calcul de stabilité. Ces cas de charge se manifestant hors période de crue et étant englobés par les chargements de phase travaux, la justification de la tenue de la digue ne devrait pas poser de problème ; sauf éventuellement pour les talus les plus raides (exemple 3/2 dans le cas GSB), qui pourraient alors être adoucis (sans remise en question du projet).

6.2 Erosion interne

6.2.1 Secteur SE5 : digue en limon

L'approche suivant le critère de Lane n'est pas retenu pour le dimensionnement de la nouvelle digue créée en rive gauche. En effet, cette approche conduit à des surdimensionnements très importants et a été précisée par des approches plus récentes.

Le principe retenu est de prendre en compte l'état de l'art actuel en examinant chaque type d'initiation de l'érosion interne (suffusion, érosion de contact, érosion de conduit, érosion régressive, érosion de long des ouvrages traversants).

Suffusion :

Les matériaux mis en œuvre dans le corps de digues seront triés et de type limons. Le risque de suffusion peut donc être écarté.

Erosion de contact :

L'érosion de contact pourrait apparaître entre :

- les limons rapportés du corps de digue et des matériaux plus graveleux en fondations,
- les limons du corps de digue et la clé aval en graviers.

Les essais d'identification en phase de chantier permettront de vérifier si des conditions d'érosion de contact existent (si $D_{15}/d_{85} > 4$: risque d'érosion de contact). Auquel cas un géotextile filtrant sera mis en place.

Dans tous les cas de figure, l'érosion de contact et la suffusion étant des phénomènes majoritairement lents, pour des sollicitations de crues courtes comme cela est le cas pour les digues de la Leyse, et sur la base des dispositions constructives ci-dessus, ces 2 phénomènes peuvent être écartés.

Erosion de conduit :

L'érosion de conduit provient de défauts pré-existants : racines, terriers de fousseurs, fissures de tassements différentiels ou de dessiccation, défauts liés à la présence d'ouvrage traversant. Cette érosion apparait pour des matériaux suffisamment plastiques pour être capable de soutenir des fissures ouvertes (Indice de Plasticité >7). N'ayant pas à disposition d'essais de laboratoire avec Ip dans les limons, on fera l'hypothèse que cette hypothèse est vérifiée (certainement le cas pour des limons argileux).

La nouvelle digue ne comportera pas d'arbre (pas de risque lié aux racines) ; un grillage anti-fousseurs sera mis en place pour limiter le risque de terriers. Elle ne comportera pas non plus d'ouvrages traversants. Le compactage sera soigné de manière à éviter les tassements différentiels, de même que les raccordements devront être particulièrement soignés. La géométrie de la digue fait en sorte que le limon (pouvant être sujet à dessiccation) ne soit pas exposé, il est recouvert d'une couche de sables et graviers sur toute la surface de la digue ; ce qui écarte le risque d'ouverture de fissure de dessiccation.

Initiation :

Malgré toutes ces précautions et préconisations de travaux, si on fait l'hypothèse qu'un défaut traversant un de diamètre 0.5 cm apparaissait, on peut calculer la contrainte critique créée dans le sol :

$$\tau = \alpha \rho_w g i D / 4$$

$$\tau = 1 \times 1000 \times 9.81 \times 4 / 14 \times 0.5 \times 10^{-2} / 4 = 3.5 \text{ Pa}$$

Cette contrainte appliquée au sol (en périphérie du conduit) est à comparer à la contrainte résistante du sol, pour des matériaux limoneux de type A1.

Les valeurs de la littérature Icold, indique pour un le de 2-3, une contrainte critique de 1 à 5Pa. Toutefois, ces valeurs sont très faibles et difficilement mesurables (en limite d'effondrement). Aucun essais HET n'est disponible sur le site de la Leyse. Des essais HET ont été réalisés sur de nombreux matériaux avec un indice le de 2-3, cf. *Retour d'expérience sur 10 années de réalisation d'essais d'érosion sur des sols provenant d'ouvrages hydrauliques – R. Béguin – Congrès digue 2019*. Cette publication indique une valeur de résistance médiane de 50 Pa (soit au moins 10 fois supérieure à celle indiquée dans la littérature). Même en considérant une valeur sécuritaire de 25 Pa, la contrainte dans le sol est inférieure à la contrainte de résistance du sol.

Filtration / progression :

Il est également mis en œuvre un parement aval en sables et graviers d'épaisseur environ 80 cm pour stopper la progression de l'érosion de conduit (pas de débouché). Donc même en cas d'initiation d'une érosion de conduit,

celle-ci ne pourrait pas trouver de débouché et serait donc au moins partiellement filtré par la clé aval, ce qui limite fortement le risque de progression de l'érosion et donc de rupture.

NB : on a fait l'hypothèse conservatrice que la digue est saturée, or suivant le temps de la crue (estimée ici à 32h) et la perméabilité des matériaux (limons compactés $k=10^{-5}$ m/s), cela ne devrait pas être le cas.

Erosion régressive

Erosion régressive de conduit ou de toit qui peut apparaître dans un ouvrage composé d'une couche imperméable (argile) sur un sol sableux. Le diagnostic a écarté ce risque car les couches d'argile se trouvent en fondations.

L'érosion régressive de surface nécessite un écoulement sur le parement aval de la digue pour se développer. La réalisation de la digue dans les règles de l'art écarte ce risque à priori. Cela nécessitera dans tous les cas une surveillance pendant les phases de crues. La présence d'un parement aval en matériaux de type sablo-graveleux améliore également la tenue du talus à l'érosion régressive de talus en cas de résurgence.

Le long des ouvrages traversants

Aucun ouvrage traversant ne sera mis en place dans la digue rive gauche nouvellement créée, ce qui écarte d'office ce risque.

6.2.2 Secteur SE2.2 et SE5 : digue avec talus amont en GSB

Erosion de contact / Suffusion / Erosion de conduit / Erosion régressive de talus aval

La mise en place d'une étanchéité de type Géosynthétique Bentonitique sur le talus amont écarte le risque d'entrée d'eau dans le corps de digue et donc le risque d'érosion interne. **Il est donc primordial de toujours veiller au bon état du GSB.**

- par un respect des prescriptions des couches support, de confinement ; par un respect des contraintes de mise en œuvre (écarter les risques de détérioration à la mise en œuvre) lors de la phase travaux (surveillance des travaux primordiale),
- en limitant le risque de percement par des racines (choix des végétaux à planter adapté, entretien des végétaux pendant la vie de l'ouvrage),
- en limitant le risque de percement par des fousseurs (matériaux de confinement en matériaux meubles + grillage anti-fousseurs, surveillance en phase exploitation),
- en respectant les recouvrements minimaux (30 cm, jusqu'à 80cm en cas de charge lourde),
- en surveillant l'ouvrage en crue (apparition de fuites signe d'un défaut du GSB).

Erosion régressive de toit

Risque écarté suivant les mêmes raisons que pour les digues de rive gauche.

Le long des ouvrages traversants

Le raccordement du GSB au droit des ouvrages traversants devra être particulièrement soigné (cf § 7.2.1). Cela écartera ce risque.

6.3 Erosion externe

Le paragraphe ci-après présente les dimensionnements réalisés pour obtenir la blocométrie des enrochements nécessaires en fond de lit ou en talus amont de digue / berge.

Le poids et la taille des enrochements sont estimés à partir de la formule d'Isbach :

$$D_{50} = 0.7 \times \frac{\gamma}{\gamma' - \gamma} \times \frac{V^2}{2g} \qquad W_{50} = 0.5 \times \left(\frac{\pi}{6} + 1\right) \times \gamma' \times D_{50}^3$$

La correction de Lane est appliquée pour estimer la taille des enrochements suivant la pente du talus :

$$\lambda = \cos \alpha \times \sqrt{1 - \left(\frac{\tan \alpha}{\tan \phi}\right)^2}$$

Les épaisseurs d'enrochements sont déterminées en prenant une épaisseur minimale égale à $1,5 \times D_{50}$.

Les données d'entrée caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 13 : Données d'entrée pour la vérification de la protection à l'érosion externe

Symbole	Paramètre	Valeur
γ	poids spécifique de l'eau	1 t/m ³
γ'	poids moyen des enrochements	2.6 t/m ³
V	vitesse majorée de l'écoulement	varie selon l'intensité de la crue (en m/s)
α	angle du talus	0.46 rad (pente de 2/1)
ϕ	angle d'équilibre du matériau	0.70 rad (40°)

Suivant les recommandations du CFBR Justification pour les barrages et digues en remblai 2015 Tableau A6-6, pour un rapport de R/B au minimum de 8 (dans la courbe de Villarcher), le coefficient de sur-vitesse à appliquer est de $K = 1,0$. Pour plus de conservatisme, au droit du coude de Villarcher un coefficient de sur-vitesse de $K = 1.2$ sera pris en compte dans l'extrados de la courbe.

Les vitesses observées à Q₁₀₀ projet sont indiquées ci-dessous pour les différents profils caractéristiques du secteur :

Tableau 14 : Vitesses d'écoulement à l'état projeté.

Profil	Secteur	Vitesse max (m/s)	V_pied_nvelle_digue_RG (m/s)	V_pied_talus_RG (m/s)	V_pied_talus_RD (m/s)
Profil STTP 124 - PKL6.116	Aval A43	6.05	-	-	3.02
PKL5.957	Bras mort	3.88	-	-	0.06
PKL5.646	Sortie casier Vicat	3.67	2.49	-	3.34
PKL5.555	Jean Lain	5.20	0.37	4.78	4.63
PKL5.544	Jean Lain	5.05	0.26	4.90	4.27
PKL5.444	Jean Lain	4.67	0.91	3.45	3.29
PKL4.981	Coude Villarcher	3.51	0.62	3.06	2.83
PKL4.653	Aval Villarcher	3.47	0.77	3.23	2.82
PKL4.089	Double digue	3.31	0.36	1.52	3.06
PKL3.906	Aval double digue	4.07	1.14	3.26	3.54
PKL3.658	Amont Tremblay	4.18	-	-	2.70
PKL3.606	Banquette amont Tremblay	3.65	-	-	0.53

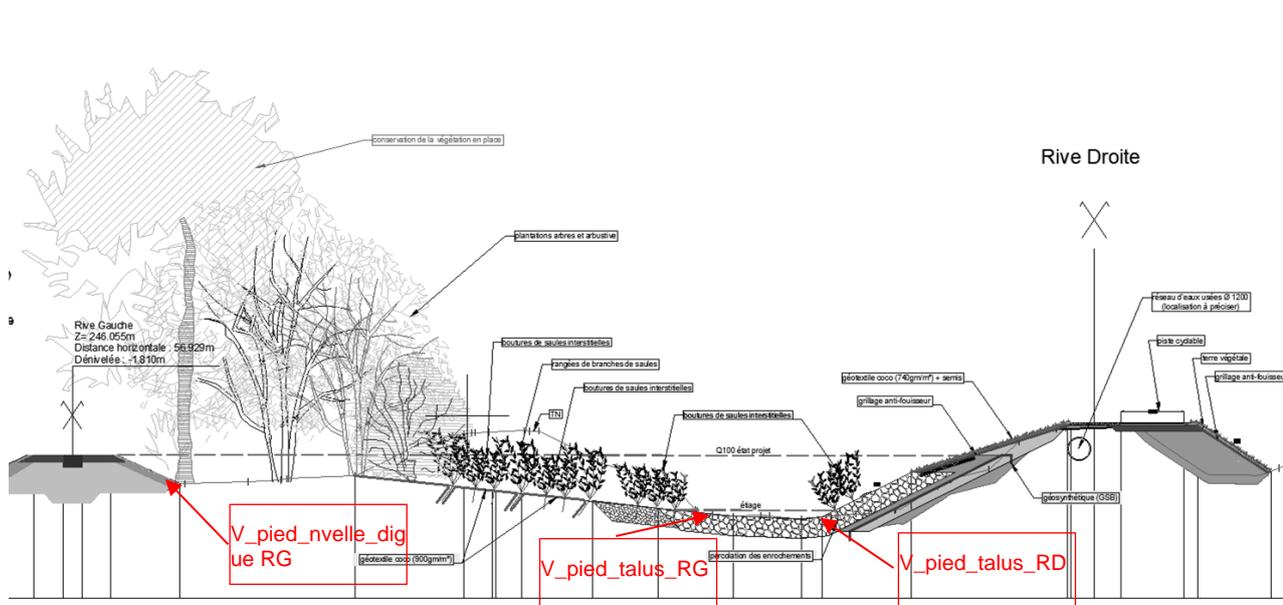


Figure 60 : Points de prise en compte des vitesses dans le modèle hydraulique pour le dimensionnement des protections de talus

6.3.1 Fond de la rivière

Les vitesses maximales sur la section augmentent fortement entre l'état actuel et l'état projeté Q100 pour les profils PKL5.555 et PKL 5.444 :

Tableau 15 : Comparaison vitesse actuelle et projet

	Vitesse max actuelle	Vitesse max Q100
PKL5.555	3.9 m/s	5.20 m/s
PKL5.544	4.01 m/s	5.05 m/s

Il convient donc de protéger le fond de la rivière contre l'affouillement au droit de ces profils spécifiques.

Pour les autres profils, malgré l'observation de vitesses fortes, sachant que ces vitesses n'augmentent pas de manière significative par rapport à l'état existant, il est fait l'hypothèse de ne pas conforter le fond de la rivière.

L'augmentation de vitesse de 3,9 à 5,2 m/s nécessite un poids moyen de blocs 2.4 fois plus élevé (pour 5.2 m/s, poids moyen des enrochements : 434 kgs en fond). Dans cette zone, il est préconisé la mise en place en fond de rivière d'un « radier de protection » constitué de 1,10 m d'enrochements 300/1000 kgs. L'enrochement sera assis sur un géotextile anti-poinçonnement et filtrant.

Linéaire concerné : 250 mètres entre PKL 5.69 et PKL5.44.

6.3.2 Secteur SE5 Rive gauche

Nouvelle digue

Les vitesses en pied de la nouvelle digue construite en rive gauche sont inférieures à 1 m/s sauf en extrémité amont du secteur (PKL 5.69 au PKL5.44) et aval secteur double digue (PKL 3.906).

Dans la zone amont (ressèment à l'aval du « casier Vicat »), le talus sera protégé par des matelas Reno.

Dans la zone aval, une protection par génie végétal (terre végétale + toile coco) peut être envisagée compte tenu des faibles vitesses observées (1.14m/s).

Pied de talus côté Leysse

Tableau 16 : Dimensionnement des enrochements en pied de talus RG côté Leysse

	Vitesse en pied talus RG	Pente talus	Poids moyen W50	Type protection Blocométrie
PKL5.555	4.78	10/1	279 kgs	300/1000 kgs
PKL5.544	4.90	10/1	316 kgs	300/1000 kgs
PKL5.444	3.45	10/1	38 kgs	10/60 kgs (*)
PKL4.981	3.06	10/1	19 kgs	10/60 kgs (*)
PKL4.653	3.23	6/1	28 kgs	10/60 kgs (*)
PKL4.089	1.52	4/1	-	
PKL3.906	3.26	8/1	28 kgs	10/60 kgs (*)

La hauteur de protection est calée à environ Q2, ce qui correspond surtout à une vitesse de l'ordre de 1,5 m/s en berge.

Les enrochements de type 10-60 kgs seront mis en œuvre sur une épaisseur de 50 cm et si nécessaire sur un géotextile.

Les enrochements 300/1000 kgs seront mis en œuvre sur une épaisseur de 1,10 m et sur un géotextile.

NB : (*) Comme indiqué dans le paragraphe 5.4.3.2, du PKL5.440 au PKL4.630 (linéaire = 810 m), il est fait le choix de ne pas mettre de protection minérale lorsque la pente du profil courant est respectée, la digue étant écartée du pied de berge RG de la Leysse. Dans le cadre des travaux de diversification hydro-écologique du lit mineur (cf. § 5.4.3.3), afin d'impulser une sinuosité du lit, la pente de cette berge pourra être plus raide localement (2H/1V). Dans ce cas, lorsque la nouvelle digue est proche de la berge (aval du PKL4.630), des enrochements 60/300 kg seront mis en œuvre sur le talus et en pied.

6.3.3 Secteur SE2.2. Rive droite

Tableau 17 : Dimensionnement des enrochements en pied de talus RD côté Leysse

Profil	V_pied_talus_RD (m/s)	Pente talus	Poids moyen	Type protection retenue Blocométrie	Protection partie supérieure
Profil STTP 124 - PKL6.116	3.02	3/2	86 kgs	300/1000kgs	Matelas Reno
PKL5.957	0.06	2/1	-	-	-
PKL5.646	3.34	2/1	83 kgs	300/1000kgs	Matelas Reno
PKL5.555	4.63	2/1 (3/1)	588 kgs (329 kgs)	300/1000kgs	Matelas Reno
PKL5.544	4.27	2/1 (3/1)	362 kgs (203 kgs)	300/1000kgs	Matelas Reno
PKL5.444	3.29	2/1	76 kgs	60/300 kgs	
PKL4.981	2.83 x 1.2 = 3.4	2/1	92 kgs	60/300 kgs	Matelas Reno
PKL4.653	2.82	2/1	30 kgs	60/300 kgs	
PKL4.089	3.06	2/1	49 kgs	60/300 kgs	
PKL3.906	3.54	2/1	117 kgs	60/300 kgs	
PKL3.658	2.70	2/1	23 kgs	60/300 kgs	
PKL3.606	0.53	2/1	-	-	-

Les enrochements de type 60-300 kgs seront mis en œuvre sur une épaisseur de 1 mètre et si besoin sur un géotextile.

Les enrochements 300/1000 kgs seront mis en œuvre sur une épaisseur de 1,10 m et sur un géotextile.

7 Prescriptions techniques pour les aménagements

7.1 Travaux préparatoires

7.1.1 Déboisement et nettoyage des emprises

Ces opérations regroupent :

- Le nettoyage et le défrichage des emprises,
- L'abattage des arbres,
- Le dessouchage (nombreuses souches en place sur les talus des digues, en plus de celles laissées par les arbres à abattre).

Compte-tenu du fort enjeu de préservation de la trame verte, une attention particulière devra être portée pour limiter les déboisements au strict nécessaire, en s'écartant le moins possible des emprises terrassées.

Des adaptations ponctuelles du tracé des digues pourront être prises en phase projet afin de préserver certains arbres remarquables identifiés dans le cadre des inventaires naturalistes (2019-2020).

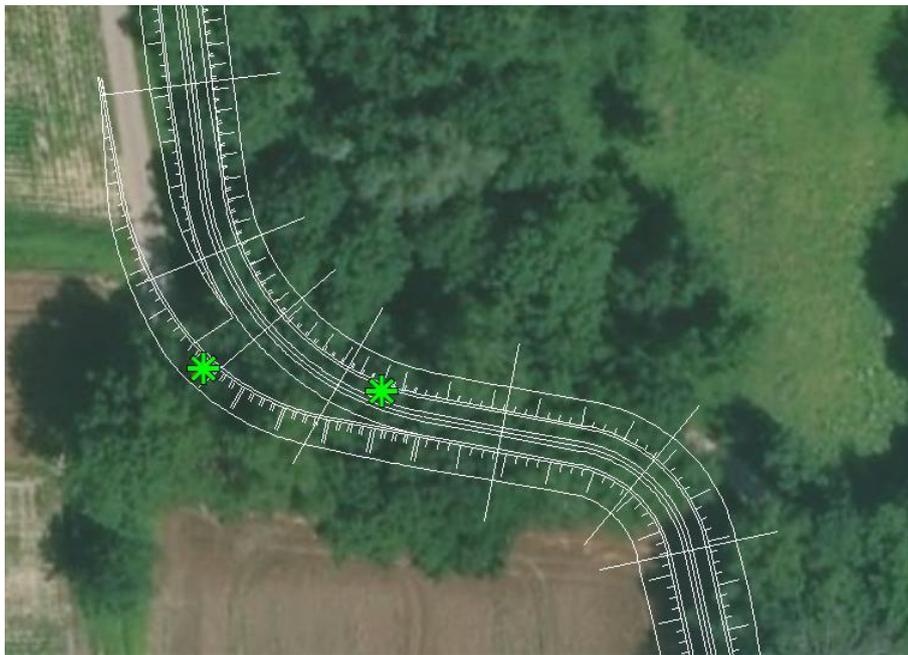


Figure 61 : Arbres remarquables impactés par le projet (scénario 3).

Le dessouchage sera une étape délicate en partie supérieure du talus amont de la digue rive gauche, aux abords du réseau d'assainissement (risque de déstabilisation de l'ouvrage pour les plus grosses souches). Les souches présentant le plus de risque seront maintenues en place et rognées.

7.1.2 Décapage de la terre végétale

Sur les emprises générant des gisements satisfaisants ou significatifs, la terre végétale sera préalablement décapée puis mise en dépôt provisoire pour être réutilisée dans le cadre du chantier.

7.2 Réfection et renforcement des digues

7.2.1 Géosynthétiques bentonitiques (GSB)

7.2.1.1 Comparatif GSB – Géomembrane PEHD / PVC /

Le tableau ci-dessous dresse une comparaison des différentes solutions d'étanchéité par géomembrane.

Type	Applications	Matériaux	Pose	Avantages	Inconvénients
GSB <i>NAUE</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▣ En casiers de décharge comme barrière passive en remplacement/complément de l'argile 	Couche de bentonite sodique naturelle/calciq en poudre/granulé, insérée entre 2 couches de géotextiles polypropylène. La cohésion de l'ensemble est assurée soit par aiguilletage/collage/couture.	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Pas de soudures aux liaisons ▣ Simple recouvrement ▣ Peu sensible aux conditions météorologiques 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Auto-cicatrisant ▣ Applicable sur des fortes pentes/ sous d'importantes épaisseurs de confinement ▣ Augmente angle de frottement avec les couches adjacentes 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Obligation de remblayer rapidement après la pose sous une certaine épaisseur ▣ L'échange cationique combiné à des cycles de dessiccation-hydratation affecte de manière irréversible le GSB qui ne pourra plus assurer sa fonction de barrière hydraulique.
Polyéthylène Haute Densité (PEHD) <i>Carbofol NAUE</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Protection environnement ▣ Stockage déchets notamment quand le contenu est agressif chimiquement 	Plastomères mono composant semi-cristalline homogène	Soudure double canal	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Très grande résistance chimique ▣ Empêche dispersion matières polluantes ▣ Inertie chimique 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Coef de dilatation thermique important ▣ Produit rigide
Polypropylène souple <i>Hydronap SIPLAST</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Tout type d'étanchéité/protection de l'environnement sauf en milieu agressif 	Plastomères mono composant homogène	Thermosoudures soudure double canal	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Résiste aux UV et à certaines agressions chimiques ▣ Souple et adaptable au support ▣ Ne contient pas de plastifiant ▣ Faible coef de dilatation thermique 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Résistance chimique limitée en milieu industriel ▣ Oxydation superficielle en cas de stockage long
Polyéthylène Haute Densité (PEHD) <i>Geonap SIPLAST</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Protection environnement ▣ Stockage déchets ▣ Contenu est agressif chimiquement 	Plastomères mono composant semi-cristalline homogène	Soudure double canal	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Résiste aux UV et à certaines agressions chimiques ▣ Inertie chimique 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Coef de dilatation thermique important ▣ Produit rigide
Polychlorure de vinyle (PVC) <i>INNOVEX</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Étanchéité ouvrage hydraulique (retenue eau, tunnels, canaux, ...) 	Plastomères matériau multi-composants chargé en plastifiant pour le rendre souple	Thermosoudures simple (manuel) ou double canal (machine)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Souplesse et possibilité de réaliser des ouvrages maçonnés (bétons enterrés ou à ciel ouvert) ▣ Possibilité de préfabrication en nappes de grande dimension 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Faible résistance chimique ▣ Pose plus longue (plus de soudure) ▣ Fragilisation par migration dans le temps des plastifiants sous l'effet d'agression chimique ou des UV
Géomembrane bitumineuse <i>COLETANCHE</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Étanchéité ouvrage hydraulique (retenue eau, tunnels, canaux, ...) ▣ Adapté sous une protection lourde 	À base de bitume oxydé (sans apport de polymères) ou élastomère (SBS avec ajout d'élastomère) renforcé par une armature en polyester	Soudure à la flamme	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Soudure plus simple et dépend moins des conditions climatiques lors de la pose ▣ Résistance poinçonnement élevée ▣ Homogène avec les enrobés à chaud 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Poids important ▣ Prix élevé malgré la possibilité d'économiser sur les géotextiles de protection

Il a été fait le choix de proposer une étanchéité de type GSB. Elle possède les avantages suivants par rapport à une étanchéité plus classique en géomembrane : facilité de pose (pas de soudure), capacité d'autocicatrisation, coût.



Pose de GSB lors de travaux d'endiguement dans le comté d'Aberdeen en Ecosse (source : NAUE).

7.2.1.2 Prescriptions pour le GSB

La réalisation de l'étanchéité en GSB devra respecter les Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par Géosynthétiques Bentonitiques – du Comité Français de Géosynthétiques - Fascicule N°12 de 981.

Des prescriptions complémentaires peuvent être indiquées par les fournisseurs de GSB (exemple : Naue...).

Le GSB sera mis en œuvre sur une pente maximale de 2H/1V. Certains tronçons (raccordement A43, secteur Tremblay) nécessitent une pente plus raide. Des dispositifs spéciaux de type géogrille de renforcement devront être dimensionnés pour ces cas particuliers.

Un GSB de type Bentofix X10F ou équivalent sera mis en œuvre.

Une attention particulière sera portée pour :

- Sécuriser le maintien de l'hydratation du GSB,
- Bon angle de friction avec la couche de confinement,
- Ecarter le risque d'échanges cationiques en cas de présence de sols riches en calcaire (hypothèse retenue suivant la réaction positive à l'acide de l'ensemble des échantillons testés lors des reconnaissances de sols de 2016).

7.2.1.3 Ancrage / Raccordement du GSB

Un bon ancrage du GSB sera réalisé en crête. Le schéma indiqué sur les plans pourra être adapté en fonction de l'implantation réel de l'émissaire d'eaux usées par exemple : on peut envisager soit un ancrage par tranchée soit un ancrage par lestage à plat au-delà de la crête de talus.

L'ancrage en pied du GSB reste à déterminer :

- Soit une longueur suffisante pour assurer un bon rabattement de la charge hydraulique (à déterminer avec un calcul d'écoulement de type Plaxis),
- Soit un ancrage jusqu'à un horizon peu perméable, si cela est assez proche.

L'hypothèse prise en compte ici est un ancrage d'environ 1 m sous le lit de la Leysse. Ce point devra être vérifié au stade projet.

Les raccords entre lés se font par chevauchement longitudinaux de 50 cm. Si des chevauchements transversaux sont nécessaires, ils seront traités sur site avec de la poudre de bentonite ou de la pâte de bentonite.

Les conditions climatiques devront être surveillées pendant la mise en œuvre du GSB.

7.2.1.4 Couche support

La couche support doit être dépourvue de débris, racines, branches, pierres ou roches anguleuses de plus de 50 mm, matières organiques.

La couche support doit être convenablement compactée.

Dans notre cas, le GSB est soumis à un gradient hydraulique important, la couche support ne peut pas être constituée de graviers ou de matériaux granulaires à cause de l'importance du taux de vides. Il est dans notre cas recommandé la mise en œuvre d'une couche support sur le fond de forme, dont les premiers 150 mm doivent avoir une distribution de granulométrie telle qu'au moins 80% du sol est inférieur à 0,2 mm avec une taille maximale de particules de 12 mm.

Les matériaux de type A1 conviennent pour cette application.

7.2.1.5 Couche de confinement

Le matériau de confinement doit être débarrassé de pierres ou de cailloux à bord anguleux ou tout autre matériau étranger pouvant endommager le GSB. Le matériau de confinement doit être un matériau respectant une uniformité de granulométrie, une teneur en eau et la compatibilité chimique. Les matériaux recommandés ont généralement une distribution de granulométrie comprise entre les fines et 25 mm. Les matériaux avec plus de 50% (en poids) supérieurs à 20 mm peuvent nécessiter la réalisation d'une planche d'essai sur site avec le matériau support, le matériau de confinement et les engins de mise en œuvre et de compactage.

Les matériaux de type C1Bi ou B5 peuvent convenir en écartant les matériaux les plus grossiers (Dmax observés autour de 50 à 70mm).

L'épaisseur minimale de la couche de confinement est de 30 cm afin de pouvoir circuler sur le GSB. Cette épaisseur minimale est portée à 50 cm dans notre cas afin de limiter la pénétration des racines dans le GSB.

7.2.1.6 Interface au droit des ouvrages traversants

Une attention particulière est à porter sur les ouvrages traversants, ils constituent souvent le point faible de la digue.

Un raccordement particulier est à réaliser au niveau de la tête amont de l'ouvrage (côté Leysse) suivant, par exemple, le schéma de principe ci-dessous.

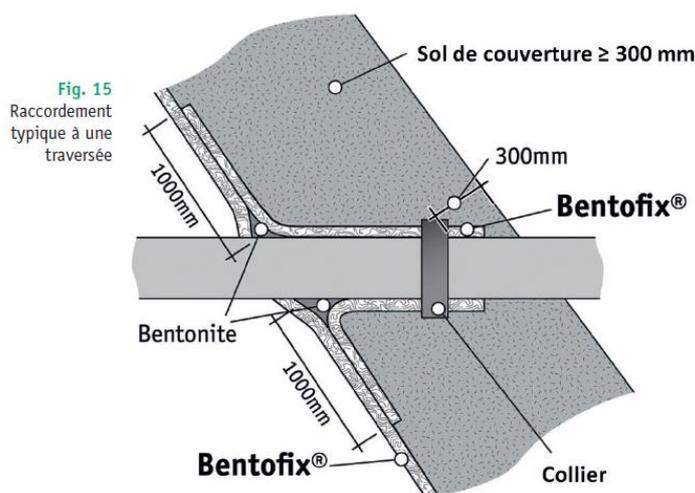


Figure 62 : Principe de traitement des ouvrages traversants – Tête amont – Côté Leysse

Sur le parement aval (côté plaine), une recharge d'épaisseur minimale 1,5 m en sables et graviers (avec géotextile de séparation) est à mettre en place. Elle permet d'éviter le débouché d'une fissure existante le long de l'ouvrage.

7.2.1.7 Interface post-travaux avec la végétation

Un entretien des parements de digue traité par une étanchéité en GSB sera nécessaire sur toute la vie de l'ouvrage. Pour garantir la pérennité de cette étanchéité, aucun système racinaire de ligneux ne devra s'installer sur les emprises de l'ouvrage. Les modalités d'entretien seront définies par le gestionnaire et pourront correspondre à une fauche tardive par an (à coordonner avec les VTA).

7.2.2 Matériaux à mettre en œuvre – Remblais

7.2.2.1 Matériaux du corps de digue dans le profil type digue limon (SE5 rive gauche)

Le corps de digue sera constitué de matériaux silteux/argileux de classe A1/A2. L'objectif est d'obtenir une perméabilité maximum de 10^{-6} m/s.

Les matériaux seront issus :

- Soit des déblais de la zone de travaux (au droit des endiguements existants ou de la berge RG),
- Soit d'une zone d'emprunt à définir avec le Maître d'Ouvrage.

Une nouvelle campagne de reconnaissance géotechnique est à prévoir pour définir plus précisément :

- La nature des matériaux de la zone d'emprunt,
- Repréciser les possibilités de réemploi des matériaux présents,
- Repréciser la nécessité de tri des matériaux à utiliser ou non,
- Repréciser les conditions de réemploi de ces matériaux (compactage...).

La définition de ces reconnaissances complémentaires est donnée au §10.1

7.2.2.2 Matériaux du corps de digue en cas d'étanchéité amont en GSB (SE5 rive gauche)

Le matériau de corps de digue dans ce cas peut être constitué de remblais tout-venant. Il s'agira de s'assurer de leur bon compactage et des caractéristiques mécaniques compatibles avec l'étude de stabilité (pour le profil GSB rive droite notamment : prise en compte de matériaux avec $c=0$ kPa et $\Phi = 35^\circ$).

7.2.2.3 Matériaux parement amont et aval (rive droite et rive gauche)

Les parements aval et amont de la digue rive gauche seront constitués par un matériau sablo-graveleux drainant qui récupère les eaux de ruissellement dans un dispositif de drainage en pied. Les remblais issus des travaux en rivière sur notre périmètre d'étude (endiguements existants...) de type C1Bi, conviennent généralement tout à fait pour ce type de travaux.

7.2.2.4 Matériaux épaulement pour épaulement et piste cyclable

Le matériau de l'épaulement dans ce cas peut être constitué de remblais de type alluvionnaires. Il s'agira d'assurer un bon compactage des matériaux et d'assurer un bon drainage dans le parement aval (épaisseur de 80 cm environ) de matériaux sablo-graveleux.

7.2.2.5 Traitement de la partie supérieure de la digue

Pour le traitement de la partie supérieure de la digue cf §5.4.1.3 (en mélange sol-bentonite-ciment), la réalisation devra être soignée et contrôlée par le MOE.

Le mélange doit permettre d'assurer une certaine étanchéité tout en ne créant pas de point dur dans la digue.

Une planche d'essai pourra être réalisée en phase de chantier afin de trouver les meilleures dispositions constructives (mise au point du dosage entre les différents matériaux, contrôle de la perméabilité obtenue, contrôle de la compacité...).

7.2.2.6 Modalités constructives :

Les matériaux du corps de digue seront soigneusement compactés :

- A 95 % de l'OPN pour le corps de digue en argile/limon,
- A 90 % de l'OPN pour les sables graveleux des parements amont et aval.

Les matériaux de remblais devront être exempts de matériaux évolutifs (organiques, ...). Les tourbes, terre végétale et remblais anthropiques au sens large du terme sont à proscrire.

7.2.3 Charges d'exploitation considérées

7.2.3.1 Piste cyclable / crête de digue RD

Il est fait l'hypothèse d'un chargement de type poids lourd (16t) simple essieu.

Dans la vérification de la stabilité, ces charges ne sont pas prises en compte (cf. § 6). Cette vérification sera à effectuer au stade PRO, après validation des hypothèses de chargement.

7.2.3.2 Crête digue RG

Pour la rive gauche, les hypothèses sont les suivantes : tracteur (5t) + remorque (32t sur 3 essieux) pour la partie piste agricole, et poids lourd (16t) simple essieu pour la partie piste d'exploitation.

Dans la vérification de la stabilité, ces charges ne sont pas prises en compte (cf. § 6). Cette vérification sera à effectuer au stade PRO, après validation des hypothèses de chargement.

7.2.4 Protection de talus

7.2.4.1 Géométrie des enrochements

Le type d'enrochements et leur épaisseur en fonction de la pente est donnée au § 6.3

La bêche d'ancrage à réaliser en pied de talus aura les dimensions minimales suivantes :

- Largeur de la base inférieure de la bêche : 1.3 m,
- Largeur de la base supérieure de la bêche : environ 4,3 m.

L'arase inférieure de la bêche dans le lit de la rivière se situera 1 m sous le fond de la rivière.

7.2.4.2 Qualité enrochements

Les enrochements retenus pour la conception répondront aux exigences des spécifications de la norme NF-EN 13383.

7.2.4.3 Matelas Reno

Les matelas Reno seront mis en œuvre, si besoin, sur un géotextile. Leur épaisseur est estimée à 0,23 m.

7.2.4.4 Grillage anti-fouisseurs

Un grillage anti-fouisseurs sera mis en œuvre pour limiter la dégradation des ouvrages, liée à la présence de différents animaux fouisseurs.

7.2.4.5 Géotextile

Des géotextiles pourront être nécessaires :

- En assise de digue pour assurer une séparation/filtration entre les matériaux rapportés et les matériaux en place,
- En talus de digue entre les matériaux du corps de digue et les clés amont et aval, éventuellement,
- En fond de fouille sous les enrochements, suivant la nature des terrains rencontrés, pour assurer les règles de filtre avec les enrochements. Il n'est en effet pas prévu de couche filtre en enrochements plus petits.

7.3 Génie écologique

7.3.1 Protection de berge en génie écologique

Les renforcements de berge par génie écologique seront basés sur des combinaisons de fascines de saules discontinues en pied de berge surmontées par des lits de branches de saules de bon diamètre (supérieur à 3 cm) jusqu'à Q2 afin d'obtenir un développement rapide et puissant dès les deux premières saisons de végétation. Les berges feront l'objet d'une protection renforcée en surface via des toiles coco fixées par un treillis de fil de fer.

Des bouturages et des plantations de jeunes plants forestiers compléteront le dispositif.

Ces solutions ont fait leur preuve sur la Leysse (aval rive gauche pont échangeur,) et sont prescrites essentiellement sur la rive gauche.



Berge rive gauche amont aval échangeur (dispositif constructif)



Berge rive gauche amont aval échangeur (N+1)



Berge rive gauche amont pont échangeur (N+3)

7.3.2 Intégration des talus des digues

Les pieds de berges associés à des parements de digue seront protégés avec des enrochements faisant l'objet d'une percolation de leurs interstices avec des graviers. Ces interstices sont ensuite bouturés avec des saules arbustifs (*S. pupurea*, *S. eleagnos*, *S. cinerea*, *S. daphnoïdes*, ...). Ces techniques permettent la mise en place d'une strate arbustive et permettront d'accélérer le colmatage des interstices par des fines permettant à des espèces spontanées de mieux s'installer.



Bouturage dans les enrochements à N+2 (à gauche : rive gauche aval pont des Allobroges, à droite : rive gauche amont pont CD16)

Sur les parements de digue, les protections prescrites sont soit des Matelas Réno sur les secteurs les plus exposés aux vitesses soit des géogrilles tridimensionnelles.

Leur intégration sera réalisée par la mise en œuvre de terre végétale sur une épaisseur de 10 cm sur les géogrilles et 20 cm sur les matelas Réno. Une toile coco fixera la terre végétale et le semis mésophile. Le rendu final sera une prairie mésophile comprenant également des espèces mellifères.



A gauche : Mise en place de la terre végétale sur les matelas Réno ; à droite : protection des terres végétales par des toiles coco.



Intégration des parements de digue (N+2)

7.3.3 Restauration hydro-morphologique et création/diversification d'habitats piscicoles

7.3.3.1 Réalisation de bancs (ou bombements) alternés

L'objectif de ces banquettes est de permettre d'amorcer un sous-méandrement du lit mineur. Leur forme présentera une certaine diversité (forme dissymétrique sur leur longueur et largeur, alternances et espacements irréguliers entre les rives).

Deux types de bancs alternés seront mis œuvre :

- Les bancs de galet à graviers : ils seront submergés environ 50 % du temps par la Leysse. Ils formeront le pavage du lit.
- Les banquettes végétalisées ponctuellement : la végétalisation respectera une stratification naturelle : saules pionniers et arbustifs. L'usage des saules devra être mesuré et réservé à la fixation en berge. L'objectif est également de procurer un ombrage sur la rivière. Des fascines pourront être utilisées sporadiquement en tête de bancs.

L'objectifs est de laisser ces formes fluviales se mettre en place au gré des crues morphogènes. Le degré de fixation de ces bancs et banquettes devra être faible.



Impulsion de bancs dans les convexités.

7.3.3.2 Diversification localisée des écoulements

Il s'agit de mettre en place des blocs correctement ancrés et/ou de souches de telle manière à créer des petites turbulences (favoriser un tri granulométrique à l'arrière, abri pour la faune piscicole, favoriser l'oxygénation des eaux). Une attention particulière devra être apportée sur leur emplacement.



Diversification locale des écoulements au moyen de blocs et d'épis en fascine de saules.

7.3.3.3 Abris sous berges

Il s'agit de créer des cavités constituées de racines de saules et de branches. Ces aménagements seront installés sous forme de banquettes fortement végétalisées subissant une concentration des écoulements. La hauteur

devra permettre une certaine dynamique de ces habitats c'est-à-dire être suffisamment importante afin d'amorcer une petite érosion en pied.



Lit la Leysse à l'amont du pont de l'échangeur après restauration hydro-morphologique (travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères).

7.3.4 Restauration des corridors écologiques

Un effort particulier est porté sur la restauration du corridor alluvial boisé à deux niveaux :

- à proximité de l'eau pour la restauration de la ripisylve,
- à un niveau plus éloigné de l'eau pour la restauration des boisements mixtes (scénario 3 essentiellement).

7.3.4.1 Restauration de la ripisylve :

L'objectif est de pouvoir reconstituer une strate le long des deux rives en pied de berge au contact le plus proche de l'eau (aux abords du lit mineur) afin de permettre un maximum d'ombrage sur le chenal en période estivale et de basses eaux. Le branchage de ces saules servira également de support pour la faune benthique pour le débit moyen.

Selon les emprises disponibles et la compatibilité hydraulique la largeur de ce corridor sera comprise entre 2 et 10 m. Cette largeur ne comprend pas les pieds de talus des digues qui sont traités en grande partie à base de saules (techniques végétales et mixtes).



Restauration de la ripisylve sur berge adoucie (travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères à Chambéry, amont du pont de l'échangeur).



Techniques mixtes (bouturage interstitiel sur enrochements) l'année de la plantation (à gauche) et deux ans après plantation (à droite).

7.3.4.2 **Boisements mixtes**

La restauration des boisements mixtes concerne essentiellement le scénario 3. Il s'agit, selon l'éloignement de la nappe phréatique, de reconstituer ces boisements par plantations d'essences forestières (y compris gros sujets) dans le nouvel espace intra-digue élargi en rive gauche.



Plantation de sujets arborés (travaux d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères à Chambéry).



Renforcement de la trame verte par des plantations.

7.3.5 Gestion de la végétation post-travaux

Une gestion de la végétation implantée par technique de génie écologique (saules arbustifs, plantation d'essences forestières, formations mésophiles, etc.) sera nécessaire pour garantir la performance hydraulique des ouvrages projetés, la stabilité des berges, l'intégrité des digues, le maintien des écosystèmes visés, la limitation des espèces exotiques envahissantes. Elle consistera à réaliser des fauches annuelles sur les parements de digue, bi-annuelles sur les berges, des recépages tous les 5 à 8 ans sur les formations arbustives et un suivi de la végétation arborée avec gestion des bois morts (dessouchage, sujets vieillissants, etc.). Une attention particulière sera aussi portée sur les interfaces entre la sédimentation et le développement des salicacées dans lit mineur (banquettes réalisées et banquettes formées spontanément). Des interventions pourront être nécessaires au gré de la nouvelle dynamique instaurée : arasement mécanique des banquettes non compatibles avec les sections d'écoulement, et remobilisation des matériaux *in situ* lors des crues morphogènes.

7.4 Gestion des ouvrages traversants

On peut se référer au paragraphe 7.2.1.6 pour ce qui est des ouvrages traversants.

7.5 Dévoiement des réseaux

Plusieurs réseaux sont en interface avec les différents scénarios de projet, listés au paragraphe 2.7.1 et visibles sur le plan en annexe 4.

La localisation de ces réseaux (pour ceux en classe de précision B et C) et la liste des réseaux à dévoyer sera à confirmer en lien avec les concessionnaires.

Les principaux réseaux à dévoyer ou en interface potentielle avec le projet sont :

- Pour la rive gauche (scénarios 2 et 3) :
 - Réseau Enedis moyenne tension souterrain, en amont du PKL5.59,
 - Pylône du réseau Enedis moyenne tension aérien au PKL5.59,
 - Gazoduc GRT Gaz au PKL4.23 (absence d'interface à vérifier).

- Pour la rive droite (tous scénarios) :
 - Réseau d'assainissement Ø1200 (SDE du Grand Chambéry, interface certaine, dévoiement impossible, localisation précise dimensionnante pour le projet),
 - Réseau AEP en amont du PKL5.87 (SDE du Grand Chambéry, interface quasi-certaine) et à l'amont immédiat de la courbure de Villarcher (absence d'interface à vérifier),
 - Réseaux de distribution de gaz (GRDF) en amont du PKL6.1, puis au droit de la courbure de Villarcher (absence d'interface à vérifier),
 - Eclairage public (commune de la Motte-Servolex) et réseaux Telecom (Orange SFR) en amont du PKL6.1 (absence d'interface à vérifier),
 - Réseau pluvial (fossé) du PKL5.55 au PKL4.9 (fossé comblé dans le cadre du projet, écoulement à rétablir),
 - Ancien réseau d'alimentation du lavoir de Villarcher au PKL4.41 à maintenir,
 - Gazoduc GRT Gaz au PKL4.23,
 - Réseaux souterrains moyenne tension (Enedis) et Telecom (Orange) au droit du pont du Tremblay (absence d'interface à vérifier).

Le dévoiement des réseaux n'est pas chiffré dans la présente étude.

8 Organisation des travaux

8.1 Mouvement de terres et réemploi des matériaux

8.1.1.1 Economie circulaire

Le mouvement des terres détaillée ci -après pour les différents scénarios est basé sur des hypothèses prises à ce stade d'étude. Compte-tenu des besoins spécifiques en termes de qualité et volume de matériaux pour construire les ouvrages, et au vu des gisements potentiels sur les emprises des déblais à réaliser, la réutilisation doit être au maximum favorisée afin de s'inscrire dans une économie circulaire autant que faire se peut. L'objectif est de réduire le plus possible les évacuations en décharge contrôlée des excédents et de limiter dans le même esprit les intrants.

Les leviers de cette économie circulaire en interne chantier sont les suivants :

- capacité à retraiter les matériaux *in situ* afin d'élaborer les matériaux nécessaires (par criblage essentiellement sur la base de procédure),
- disposer de plateforme dans l'emprise du projet afin d'optimiser les circulations et reprises des matériaux (minimum 1 ha),
- le phasage croisé avec le maintien de la sureté hydraulique des enjeux humains aux abords de la Leysse lors de l'intervention sur les systèmes d'endiguement sera prépondérant pour cette réutilisation (disposer des gisements de matériaux en premier pour la construction des ouvrages...).

Cette analyse devra être détaillée une fois le scénario retenu.

Pour sécuriser les besoins et les risques en termes de qualité, des leviers externes pourraient être étudiés mais nécessiteront une anticipation d'actions à une échelle territoriale faisant intervenir les collectivités territoriales, des maîtres d'ouvrage, les administrations (DDT) et peut être des acteurs privés.

Le but serait d'anticiper la disponibilité de matériaux limitants ou clef dans le chantier dans un rayon de proximité (inférieur à 15 – 20 kilomètres) afin de les stocker dans les emprises du chantier ou à proximité sur une plateforme à définir. Ces matériaux ne devraient pas être soumis à des coûts de mise en décharge. Selon leur nature, ils pourraient faire l'objet d'un traitement si besoin (à réaliser dans le cadre du chantier *in fine*). L'évacuation des excédents devraient répondre à une logique similaire et bénéficier à des opérations ultérieures du même ou d'autres maîtres d'ouvrage. L'objectif est de disposer un schéma de « circulation » des matériaux clefs avant le lancement des marchés afin d'éviter de se retrouver en réaction au stade de la consultation sur toute la chaîne : étude de la part des entreprises, jeu d'entreprises disposant des matériaux adhoc, sécurisation de la qualité.

Dans une opération de cette nature, les schémas peuvent être multiples. Le meilleur compromis doit être trouvé entre les enjeux financiers et la limitation des GES à l'échelle du chantier.

8.1.1.2 Stocks de matériaux disponibles

A ce stade, un seul stock de matériaux disponible pour le chantier est identifié. Il s'agit de matériaux argilo-limoneux, issus du dragage du canal de Terre-Nue, dont le volume est estimé à 8000 m³. Ce stock est situé sur la commune de Viviers-du-Lac.

8.1.1.3 Scénario 1

Le tableau ci-après synthétise les volumes de déblais/remblais en jeu pour le scénario 1.

Tableau 18 : Synthèse des mouvements de terres – Scénario 1

		Digue rive droite
DEBLAIS	Décapage terre végétale	5 500 m ³
	Déblais généraux	11 700 m ³
	TOTAL DEBLAIS	17 200 m³
REMBLAIS	Terre végétale	2 700 m ³
	Matériaux A1	3 400 m ³
	Matériaux C1Bi ou B5	1 800 m ³
	Tout-venant alluvionnaire	21 000 m ³
TOTAL REMBLAIS		28 900 m³

Les déblais sont essentiellement représentés par la purge des talus amont (80 centimètres d'épaisseur) et aval (50 centimètres d'épaisseur). La qualité des matériaux mobilisés est supposée médiocre (matériaux organiques,

souches, résidus des anciennes protections de berge). A ce stade, les possibilités de réemploi des déblais ont été supposés nuls. Sous cette hypothèse, la fourniture des matériaux s'élève à :

- 3 400 m³ de matériaux A1/A2 en provenance du stock de Viviers-du-Lac,
- 22 800 m³ de C1Bi, B5 ou tout venant alluvionnaire fourni par l'entreprise.

Les excédents à évacuer s'élèvent à 14 500 m³.

8.1.1.4 Scénario 2

Le tableau ci-après synthétise les volumes de déblais/remblais en jeu pour le scénario 2.

Tableau 19 : Synthèse des mouvements de terres – Scénario 2

	Digue rive gauche	Digue rive droite	TOTAL	
DEBLAIS	Décapage terre végétale	2 350 m ³	10 600 m ³	12 950 m ³
	Déblais généraux	66 500 m ³	41 700 m ³	108 250 m ³
	Matériaux contaminés par la renouée du Japon	-	50 m ³	50 m ³
	TOTAL DEBLAIS	68 850 m³	52 400 m³	121 200 m³
REMBLAIS	Terre végétale	3 500 m ³	5 400 m ³	8 900 m ³
	Matériaux A1	-	16 700 m ³	16 700 m ³
	Matériaux A1/A2	21 200 m ³	-	21 200 m ³
	Matériaux C1Bi ou B5	10 800 m ³	12 000 m ³	22 800 m ³
	Tout-venant alluvionnaire	-	31 600 m ³	31 600 m ³
TOTAL REMBLAIS	35 500 m³	65 700 m³	101 200 m³	

Les déblais sur la rive droite sont essentiellement représentés par la purge des talus amont (80 centimètres d'épaisseur) et aval (50 centimètres d'épaisseur). La qualité des matériaux mobilisés est supposée médiocre (matériaux organiques, souches, résidus des anciennes protections de berge). A ce stade, seul le réemploi d'une partie des matériaux issus des déblais de la rive gauche est considéré, avec un taux de réemploi évalué à 50 %, dont :

- 60% de limons (19 950 m³),
- 40% de graves (13 300 m³).

Dans ces conditions, l'approvisionnement en matériaux s'élève à :

- 8 000 m³ de matériaux A1/A2 en provenance du stock de Viviers-du-Lac,
- 9 950 m³ de matériaux A1/A2 fourni par l'entreprise,
- 41 100 m³ de C1Bi, B5 ou tout venant alluvionnaire fourni par l'entreprise.

Les excédents à évacuer s'élèvent à 76 100 m³.

8.1.1.5 Scénario 3 – solution de base

Le tableau ci-après synthétise les volumes de déblais/remblais en jeu pour le scénario 3 (solution de base).

Tableau 20 : Synthèse des mouvements de terres – Scénario 3 (solution de base).

	Digue projetée rive gauche	Ancienne digue rive gauche	Lit mineur	Digue rive droite	TOTAL	
DEBLAIS	Décapage terre végétale	6 150 m ³	-	10 600 m ³	16 750 m ³	
	Déblais généraux	9 500 m ³	57 750 m ³	8 500 m ³	41 750 m ³	117 300 m ³
	Matériaux contaminés par la renouée du Japon	-	-	-	50 m ³	50 m ³
	TOTAL DEBLAIS	15 650 m³	57 750 m³	3 250 m³	49 400 m³	126 050 m³
REMBLAIS	Terre végétale	2 000 m ³	-	5 400 m ³	7 400 m ³	
	Matériaux A1	2 700 m ³	-	16 700 m ³	19 400 m ³	
	Matériaux A1/A2	3 800 m ³	-	-	3 800 m ³	
	Matériaux C1Bi ou B5	7 000 m ³	-	-	12 000 m ³	19 000 m ³
	Tout-venant alluvionnaire	16 700 m ³	-	4 500 m ³	31 600 m ³	52 800 m ³
TOTAL REMBLAIS	32 200 m³	-	4 500 m³	65 700 m³	102 400 m³	

Les déblais sur la rive droite sont essentiellement représentés par la purge des talus amont (80 centimètres d'épaisseur) et aval (50 centimètres d'épaisseur). La qualité des matériaux mobilisés est supposée médiocre (matériaux organiques, souches, résidus des anciennes protections de berge). A ce stade, les possibilités de réemploi des déblais ont été supposés nuls.

Les déblais du lit mineur correspondent aux déblais d'ancrage du radier en enrochement. Ces matériaux, potentiellement nécessaires en substitution des argiles sous-jacentes ne sont pas comptés dans les matériaux réemployables. Les déblais/remblais liés à la diversification hydro-écologique du lit mineur sont à somme nulle et ne figurent pas dans les volumes indiqués ci-dessus.

Les déblais d'assise de la digue projetée en rive gauche (9500 m³) ont été considéré comme intégralement réutilisables (A1).

Pour les déblais de l'ancienne digue rive gauche, les hypothèses suivantes ont été établies :

- 25% du volume directement réutilisables, dont 60% de limons (8 650 m³) et 40% de graves (5 750 m³),
- Criblage de 75% du volume, générant :
 - 30 % de limons (13 150 m³),
 - 50 % de graves ou tout venant alluvionnaire (21 250 m³),
 - 20 % d'impropres à évacuer (8000 m³).

Dans ces conditions, les besoins en fournitures de matériaux sont les suivants :

- 8000 m³ de matériaux A1/A2 en provenance du stock de Viviers-du-Lac,
- 23 600 m³ de C1Bi ou tout venant alluvionnaire fourni par l'entreprise.

Le volume d'excédents à évacuer s'élève à 53 050 m³ (hors excédents liés à la dépose de la piste cyclable en rive droite et aux anciennes protections de berges).

Les hypothèses proposées ci-dessus seront à conforter en phase Projet à partir des campagnes de reconnaissances géotechniques complémentaires, dans une logique d'optimisation du réemploi des matériaux.

A ce stade, nous avons des incertitudes pour pouvoir affiner ces hypothèses. Par prudence et pour gérer ce risque, un approvisionnement de 10 000 m³ supplémentaire est comptabilisé dans les aléas (250 KE). Cette option induira une évacuation supplémentaire de 10 000 m³ (approvisionnement dans les aléas à hauteur de 50 k€).

8.1.1.6 Scénario 3 – variantes

A ce stade, les volumes de terrassement et les besoins en remblais pour la **variante 1** (élargissement de +50cm sur les terras agricoles) ont été considérés égaux à ceux de la solution de base (cf. § 11.2). Les mêmes hypothèses qu'énoncées ci-dessus ont été prises en compte pour le réemploi des matériaux.

La **variante 2** se traduit par une augmentation des volumes de tout-venant alluvionnaire de 3 600 m³, lié à une sur largeur de l'épaulement côté Leyse au détriment de l'épaulement côté val sur un linéaire de 720 m, et une augmentation équivalente du volume de matériaux fourni par l'entreprise.

8.1.1.7 Zone de prélèvement et de destination des matériaux

A ce stade, aucune zone de prélèvement n'est identifiée hors des emprises travaux à proximité des sites.

La mise en décharge des excédents inclut un transport sur une distance de 5 km.

8.2 Pistes pour le phasage

Le phasage du chantier devra permettre :

- Le maintien et la sécurisation de l'usage de la piste cyclable en rive droite (dévoisement sur l'épaulement, à réaliser avec des matériaux d'apport au début du chantier),
- D'assurer la sureté hydraulique (cote des crêtes de digue existante),
- De tenir compte des enjeux environnementaux.

Des proposition/pistes de réflexion de phasage sont proposées dans le tableau ci-après. Des optimisations des mouvements des terres afin de limiter le plus possible une évacuation de matériaux excédentaires devront être approfondies en PRO et DCE.

Tableau 21 : Propositions/pistes de réflexion pour le phasage des trois scénarios.

Etape	Localisation	Tâche	S1	S2	S3
1	Ensemble du site	Préparation des emprises, déviation des réseaux	X	X	X
2		Purges du talus	X	X	X
3	Talus aval RD	Réalisation de l'épaulement avec des matériaux d'apport	X	X	X
4		Mise en place de la nouvelle piste cyclable sur l'épaulement	X	X	X
5		Dépose de la piste cyclable actuelle	X	X	X
6	Talus aval RD	Réalisation des palplanches	X		
7	Digue projeté RG	Réalisation de la partie amont de la digue projetée en RG avec les matériaux issus du stock de Viviers			X
8	Ancienne digue RG	Arasement de la digue RG au droit du linéaire où la nouvelle digue a été réalisée (étape 7)			X
9	Ancienne digue RG	Arasement partiel de la digue RG au droit du linéaire où la nouvelle digue a été réalisée (étape 7)		X	
10	Talus amont RD	Purge du talus, travaux de confortement avec les matériaux issus de la digue rive gauche (étape 8)			X
11	Nouvelle digue RG	Réalisation du linéaire suivant à partir des matériaux issus de la digue rive gauche (étape 8)			X
12	Confortement digue RG	Réalisation du linéaire suivant à partir des matériaux issus de la digue rive gauche (étape 8)		X	
13	Ensemble du site	Avancement par plots en répétant les étapes 8 à 11			X

Pour le maintien de la continuité de la piste cyclable en phase travaux, des dévoiements seront nécessaires au droit des linéaires où le talus aval n'est pas épaulé, soit pour la solution de base et la variante 1 :

- de l'extrémité amont du secteur d'étude jusqu'à la rampe existante au PKL6.120, en utilisant l'accotement de la voirie existante (rue des épinettes),
- au droit de la courbure de Villarcher, entre les rampes existantes aux PKL5.05 et 4.89 (rampe aval à réaménager), en utilisant l'accotement de la voirie existante, puis un remblai provisoire du fossé présent en pied de la digue.

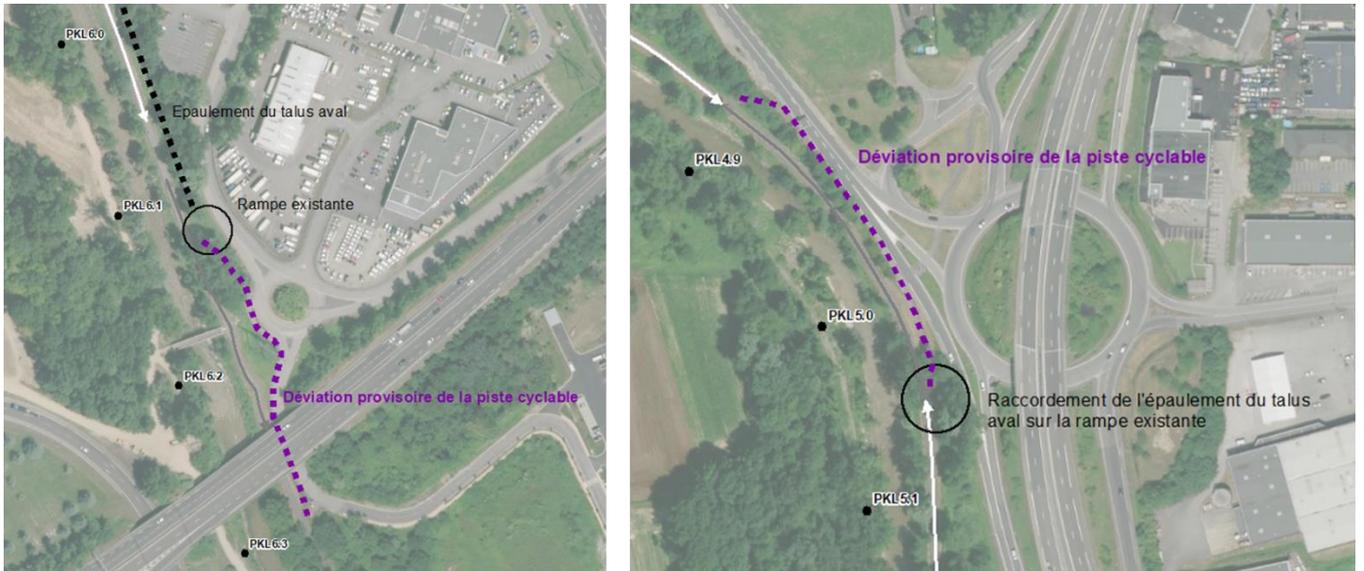


Figure 63 : Localisation des déviements provisoires de la piste cyclable.

Pour la variante 2, une déviation provisoire de la piste cyclable est également nécessaire en pied de digue sur tout le linéaire d'application de la variante, du PKL4.260 au PKL3.540.

8.3 Accès à la zone de travaux

Dans la logique du phasage envisagé, un accès est nécessaire depuis la rive droite à l'amont. Plusieurs accès sont possibles depuis la zone des Landiers nord :

- Rue des épinettes,
- Rampe au PKL5.860,
- Installations GRA (Vicat).

L'accès à la rive gauche pourra se faire depuis la rive droite via la Leysse, ou par le chemin de Pré Marquis.

8.4 Planning d'exécution

Le calendrier d'exécution proposé ci-après tient compte de rendements moyens pour la réalisation des travaux, des périodes de sensibilité environnementales et des contraintes saisonnières spécifique à certaines tâches (travail des argiles, végétalisation, etc.). Il est établi plus spécifiquement pour le scénario 3.

Tableau 22 : Calendrier d'exécution (scénario 3).

Planning Scénario 3 (avec ou sans variante)	Année N			Année N+1												Année N+2												Année N+3		
	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mar		
Période autorisée pour les déboisements				■	■	■									■	■	■													
Période autorisée pour les techniques végétales													■	■	■	■									■	■	■	■		
Période autorisée pour les travaux en fond de lit sans conditions							■	■	■	■	■	■						■	■	■	■	■	■							
Contraintes liées à l'exploitation de la piste cyclable				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Périodes favorables au travail des argiles							■	■	■	■	■	■						■	■	■	■	■	■							
Période de préparation/ installations/études	■																													
Gestion de la végétation et préparation des emprises (déboisement sur totalité emprise projet)				■	■										■	■														
Purges du talus amont RD				■																										
Réalisation de l'épaulement avec des matériaux d'apport					■	■	■																							
Mise en place de la nouvelle piste cyclable sur l'épaulement						■	■	■																						
Dépose de la piste cyclable actuelle								■	■																					
Réalisation de la partie amont de la digue projetée en RG avec les matériaux issus du stock de Viviers								■	■																					
Arasement de la digue RG au droit du linéaire où la nouvelle digue a été réalisée								■	■	■																				
Protection externe RD (Purge du talus, étanchéité, Réutilisation matériaux issus de la digue rive gauche, enrochements...)										■	■	■																		
Poursuite arasement de la digue RG																	■	■	■	■										
Réalisation digue partie aval avec réutilisation des matériaux arasement digue																		■	■	■	■	■	■							
Poursuite protection externe RD (Purge du talus, étanchéité, Réutilisation matériaux issus de la digue rive gauche, enrochements...)																							■	■	■					
Diversification du lit											■	■											■	■						
Génie écologique													■	■										■	■		■			

9 Procédures réglementaires

Les projets relevant d'une ou plusieurs catégories énumérées dans le tableau annexé à l'article R. 122-2 du code de l'environnement font l'objet d'une évaluation environnementale ou d'un examen au cas par cas, en fonction des critères et des seuils précisés dans ce tableau. Il est indiqué que les « installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers d'un cours d'eau sur une longueur de cours d'eau supérieur ou égale à 100 m » (catégorie 10) sont soumis au cas par cas. Le projet de travaux de protection contre les inondations et de restauration de la Leysse aval entre dans cette catégorie, puisqu'il prévoit des travaux dans le lit mineur de la Leysse sur environ 2,8 km.

Compte tenu de l'étendue et l'ampleur du projet et de son impact sur le secteur concerné, il a été décidé de réaliser un dossier d'autorisation environnementale comprenant les volets loi sur l'eau et les milieux aquatiques, dérogation « espèces et habitats protégés » (le cas échéant) et autorisation de défrichement. Dans ce cadre, des pièces complémentaires doivent être jointes au dossier d'autorisation. Il s'agit de :

- L'étude d'impact,
- L'étude de dangers,
- La déclaration d'utilité publique.

10 Reconnaissances complémentaires

10.1 Limite du présent rapport

Cette mission, qui nous a été confiée au stade AVP, a permis de définir les ouvrages permettant de répondre aux objectifs du projet : protection contre inondation et protection contre l'érosion externe des berges. Notre rapport d'étude se base sur les connaissances du sous-sol acquises à partir des investigations réalisées et des données de l'avant-projet de 2017 (mission géotechnique de type G1 ES au titre de la norme NF P 94-500).

Les principales incertitudes géotechniques du site qui subsistent à ce stade de la conception concernent l'hétérogénéité de terrains (nature et caractéristiques), les mouvements de terre, la fluctuation de la nappe, le rabattement de la nappe en cas de décrue rapide, ... Ces incertitudes peuvent avoir une incidence sur les méthodes d'exécution à retenir et le coût final du projet, incertitudes qu'il conviendra de lever avant la phase projet et dans tous les cas, avant la consultation des entreprises.

La norme NF P 94-500 précise que l'enchaînement des missions géotechniques suit les phases d'élaboration du projet. En conséquence, l'étude de projet géotechnique (G2 phase PRO) doit être réalisée par un bureau d'étude géotechnique. Elle permettra d'adapter les méthodes d'exécution à retenir pour ces ouvrages spécifiques (*soutènement, dispositif d'étanchéité, taux de réemploi des matériaux, ...*), ainsi que des incertitudes et des risques associés. Cette étude est indispensable avant la finalisation de la phase projet.

Pour la bonne maîtrise des incertitudes géotechniques résiduelles et des risques associés, les missions d'étude d'exécution géotechnique (mission G3) et de suivi géotechnique d'exécution (mission G4) sont également indispensables. Elles permettent de vérifier la conformité des ouvrages exécutés et en cas d'anomalie d'apporter les adaptations nécessaires pour atteindre les objectifs fixés en termes de comportement de l'ouvrage futur et de non atteinte à l'intégrité des ouvrages avoisinants.

10.2 Mission G2 PRO et Reconnaissances de sols

10.2.1 Reconnaissances complémentaires

Le programme prévisionnel de reconnaissance complémentaire comprend les sondages et essais définis ci-dessous. En vue de la réalisation de la mission G2-PRO, dès la phase de l'offre, l'entreprise doit proposer d'éventuelles adaptations au programme de reconnaissance proposé afin d'acquérir l'ensemble des données du sous-sol qui pourraient être rendues nécessaires à l'étude géotechnique G2 PRO.

Les reconnaissances actuelles concernent le tracé de la digue existante en rive gauche.

En phase PRO, les reconnaissances concerneront essentiellement la rive gauche, qui constituera le principal gisement de matériaux pour le chantier. Il s'agit de reconnaître :

- La qualité des sols des endiguements existants de manière plus précise, avec par exemple, des sondages carottés et analyses laboratoire de type (GTR, VBS, teneur en eau, Optimum Proctor pour les matériaux fins...) afin de préciser les possibilités de réutilisation des matériaux.

Le maillage des sondages pourrait être le suivant 1 sondage carotté tous les 150 m environ, soit une douzaine de sondages de 6 m de profondeur environ.

- La qualité des terrains d'assise de la future digue rive gauche : sondages à la pelle avec analyse laboratoire de type (GTR, VBS, teneur en eau, Optimum Proctor pour les matériaux fins...).

Le maillage pourrait être le suivant : 1 sondage à la pelle à 3 m de profondeur sur le linéaire de digue RG au large, soit une douzaine de sondages environ.

- La qualité des matériaux disponibles sur le stock géré par le maître d'ouvrage : analyse laboratoire de type (GTR, VBS, teneur en eau, Optimum Proctor pour les matériaux fins...).
- Une éventuelle zone d'emprunt de matériaux sur le site : sondages à la pelle sur des parcelles pouvant éventuellement être provisoirement utilisées pendant le chantier comme zone d'emprunt de matériaux, avec analyse laboratoire.

Les reconnaissances en rive droite concerneront la zone qui a fait l'objet de constats d'écoulement lors des crues de 2018 notamment. Ces reconnaissances devraient permettre de statuer si les écoulements observés provenaient du corps de digue (auquel cas le dispositif de prévu permettra de les stopper) ou s'il s'agit d'écoulements plus profonds qui pourraient nécessiter des renforcements locaux du soubassement de la digue.

10.2.2 Etudes G2-PRO

La réalisation des études géotechniques de projet de type G2 PRO doit être effectuée conformément à la norme NFP 94 500 en date du 30 novembre 2013.

Cette étude permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques à l'aide des connaissances du sous-sol acquises à partir des investigations disponibles et réalisées dans le cadre de ce marché. Elle permettra d'identifier des risques géotechniques et une meilleure maîtrise des incertitudes et des aléas inhérents à la géotechnique.

Les principaux aspects géotechniques du projet :

- Terrassement, réemploi des matériaux, vérification de la condition d'admission des déblais en décharge (déchets inertes),
- Stabilité des berges et des digues
- Dimensionnement des murs de soutènement (en gabions) / points particuliers (pylône...),
- Dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants (dimensionnement de la profondeur d'ancrage de l'étanchéité en GSB...).

10.3 Missions G3 – G4

Une mission G3 selon la norme NF P 94-500 est à prévoir dans le cadre du contrat de travaux (entreprise).

Une mission G4 selon la norme NF P 94-500 est à prévoir par le Maître d'Ouvrage pour le contrôle des travaux (en complément de la mission de maîtrise d'œuvre). Elle permettra de s'assurer notamment de la bonne mise en œuvre des matériaux.

10.4 Reconnaissances des réseaux / ouvrages traversants

Des reconnaissances seront à effectuer sur les réseaux du secteur d'étude :

- Localisation en classe A du réseau d'assainissement Ø1200 (point majeur et structurant pour le projet),
- Localisation en classe A des réseaux à dévier, en lien avec les concessionnaires concernés,
- Inspection des éventuels ouvrages traversants (état, risque de fuites...).

10.5 Reconnaissances enrobés piste cyclable

Des reconnaissances seront à effectuer sur les revêtements (béton et enrobés) de la piste cyclable pour recherche de pollution et détermination de l'évacuation en centre de déchets adapté. La présence d'amiante dans les revêtements peut notamment engendrer des surcoûts.

11 Estimation financière

11.1 Méthode d'estimation et prix de référence

L'ensemble des ouvrages projetés a été estimé selon les postes suivants :

N°	Désignation de la nature des travaux	Unité	PU (€ HT)
Groupe 100 - Prix généraux			
101	Installations générales de chantier	ft	7.00 %
102	Coordination des études et des documents d'exécution	ft	0.70 %
103	Travaux topographiques	ft	0.70 %
104	Mission G3 selon la norme NFP94500	ft	0.30 %
105	Documents de récolement	ft	0.10 %
106	PAQE	ft	0.05 %
107	Dépose provisoire et stockage du mobilier urbain	ft	0.25 %
108	Signalisation et clôtures de chantier	ft	0.25 %
109	Constats d'huissier avant et après travaux	ft	0.04 %
110	Contrôle des eaux et suivi de leur qualité	ft	0.04 %
111	Pêches électriques	u	1 000.00 €
Groupe 200 - Préparation des emprises			
201	Défrichage, nettoyage et préparation des emprises	m²	0.25 €
202	Abattage d'arbres (de diamètres entre 15 et 50cm)	u	18.00 €
203	Abattage d'arbres (de diamètres >50 cm)	u	75.00 €
204	Dessouchage d'arbres de diamètre >50 cm	u	30.00 €
205	Reconnaitances à la pelle	u	45.00 €
206	Dépose de clôtures	m	3.00 €
207	Soutènement / blindage provisoire	m²	75.00 €
208	Fourniture et mise en œuvre d'un drain diamètre 600mm	m	50.00 €
209	Réalisation d'une piste cyclable provisoire	m²	40.00 €
Groupe 300 - Fourniture et gestion des matériaux meubles			
301	Fourniture de terre végétale	m³	15.00 €
302	Fourniture A1/A2 par l'entreprise	m³	25.00 €
303	Fourniture C1Bi ou B5 par l'entreprise	m³	5.00 €
304	Fourniture D3 par l'entreprise	m³	12.00 €
305	Reprise de matériaux A1/A2 sur stock, transport depuis le Viviers-du-lac	m³	7.00 €
306	Installation atelier de criblage	ft	2 500.00 €
307	Criblage et mise en dépôt des matériaux issus des déblais	m³	2.50 €
308	Chaulage pour amélioration de la teneur en eau des matériaux fins	m³	60.00 €
Groupe 400 - Terrassements			
Déblais, démolition et tri			
401	Décapage et mise en dépôt de la terre végétale	m³	3.00 €
402	Déblais yc tri par nature et réalisation des identifications GTR	m³	3.00 €
403	Plus-value aux prix 401 et 402 pour déblais de petite masse	m³	3.50 €
404	Plus-value au prix 402 pour déblais de matériaux contaminés par la renouée du Japon	m³	0.50 €
405	Plus-value au prix 402 pour déblais d'encrochements (yc tri et stockage provisoire)	m³	1.00 €

406	Plus-value au prix 405 pour déblais d'enrochements contaminés par la renouée du Japon	m ³	2.00 €
407	Démolition des ouvrages en béton et structures maçonnées (yc canalisation)	m ³	10.00 €
408	Plus-value au prix 407 pour démolition au BRH	m ³	15.00 €
Remblais			
409	Compactage terrain d'assise de la digue rive gauche	m ²	0.30 €
410	Remblais généraux (limons, tout venant, corps digue)	m ³	3.00 €
411	Remblais spécifiques (clé amont / clé aval en sables et graviers / couche support GSB, matériaux de confinement)	m ³	6.00 €
412	Percolation des enrochements avec les matériaux du site	m ³	8.00 €
Evacuation et transport			
413	Evacuation et mise en décharge de déchets inertes (CET III)	m ³	5.00 €
414	Evacuation en décharge des produits de démolition non réemployable	m ³	16.00 €
415	Evacuation en décharge agréée de classe II (CET II)	m ³	100.00 €
416	Evacuation des matériaux contaminés par la renouée en décharge contrôlée	m ³	20.00 €
Groupe 500 - Protection de berge et génie civil			
501	Fourniture et mise en œuvre enrochements 60/300 KG	m ³	40.00 €
502	Fourniture et mise en œuvre enrochements 300/1000 KG	m ³	45.00 €
503	Fourniture et mise en œuvre de matelas Reno	m ³	150.00 €
504	Fourniture et mise en œuvre de géogrille 3d	m ²	3.00 €
505	Fourniture et mise en œuvre d'un rideau de palplanches	m ²	350.00 €
506	Fourniture et mise en œuvre d'un mur gabion	m ³	200.00 €
507	Création de dispositif anti-renard autour des réseaux traversants	u	2 000.00 €
Groupe 600 - Géotextiles et étanchéité			
601	Fourniture et mise en œuvre d'un GSB	m ²	25.00 €
602	Plus-value au prix 601 pour mise en œuvre du GSB sur talus raide (3/2)	m ²	10.00 €
603	Fourniture et mise en œuvre d'un géotextile filtre	m ²	2.00 €
604	Fourniture et mise en œuvre de grillage anti fouisseurs	m ²	3.50 €
605	Fourniture et mise en œuvre de géotextile coco 900 g/m ²	m ²	6.50 €
606	Fourniture et mise en œuvre d'une fixation renforcée	m ²	7.00 €
Groupe 700 - Pistes et voiries			
701	Couche de fondation de chaussée en grave naturelle 0/63	m ³	36.00 €
702	Couche de réglage 0/31.5	m ³	38.00 €
703	Grave bitume	m ³	180.00 €
704	Réglage et compactage du fond de forme de la chaussée	m ²	0.40 €
705	Fourniture et mise en œuvre en tranchée de mélange GNT ciment	m ³	40.00 €
706	Fourniture et mise en œuvre d'un mélange terre-pierre	m ³	15.00 €
707	Démolition de la voirie en bitume	m ²	3.00 €
708	Démolition de la voirie en béton	m ²	10.00 €
709	Plus-value aux prix 707 et 708 pour démolition de chaussée amiantée	m ²	68.00 €
710	Rehausse des tampons réseau d'assainissement	u	250.00 €
711	Fourniture et mise en œuvre d'un garde-corps	m	200.00 €
Groupe 800 - Végétalisation et hydro-écologie			
801	Mise en œuvre de terre végétale sur les talus	m ³	5.00 €
802	Ensemencements hydrauliques - 1er passage	m ²	0.40 €

803	Ensemencements hydrauliques - 2ème passage	m ²	0.20 €
804	Ensemencements manuels	m ²	1.00 €
805	Fourniture et mise en œuvre de boutures de saules arbustifs	u	3.00 €
806	Fourniture et mise en œuvre interstitielle de boutures de saules arbustifs	u	6.00 €
807	Fourniture et mise en œuvre de micropieux de saules arbustifs	u	13.00 €
808	Fourniture et mise en œuvre d'une rangée de branches	m	30.00 €
809	Fourniture et mise en œuvre de pieux de saules blancs et/ou de peupliers noirs	u	15.00 €
810	Fourniture et mise en œuvre de fascines de saules vivants double fagots issus de la Leyse	m	64.00 €
811	Arbustes mésophiles 100/120	u	20.00 €
812	Cépées mésophiles 175/200	u	120.00 €
813	Arbres spécimen 6/8	u	100.00 €
814	Jeunes plants forestiers en godets	u	6.00 €
815	Création d'abris piscicoles en blocs	u	30.00 €
Groupe 900 - Entretiens			
901	Fauche des enherbements	m ²	0.20 €
902	Passage pour arrosage des végétaux (yc génie végétal)	u	7 500.00 €
903	Garantie et entretien des végétaux terrestres	ft	10 % du montant des plantations
904	Garantie et entretien du génie végétal	ft	5 % du montant du génie écologique
905	Maintenance des géotextiles coco	ft	5 % du montant des géotextiles coco
906	Luttes contre les plantes exotiques envahissantes	ft	5 % du montant du génie écologique

Le niveau des prix unitaires proposés est basé d'une manière générale sur notre expérience de ce type de travaux (référence à des chantiers similaires antérieurs suivis par la Compagnie Nationale du Rhône, suivi du cours du marché des matières premières et des produits manufacturés entrant en compte dans la réalisation du projet (consultations préalables des entreprises)). Le retour d'expérience des travaux des dernières tranches de l'aménagement de la confluence Leyse-Hyères est notamment intégré.

Par ailleurs, **l'estimation financière ne comprend pas** :

- Les travaux de **dévolement préalable des réseaux**,
- Les **coûts d'achats des emprises foncières**.

11.2 Niveau de détail des plans et métrés

Le niveau de détail de l'estimation financière est pour partie lié à celui des plans et des métrés (estimation des quantités).

Le **scénario 3 (solution de base)** est celui qui présente le niveau de détail des plans et métrés le plus élevé :

- Niveaux de crues dimensionnants (Q₂ et crue de projet) issus de la modélisation hydraulique du scénario,
- Construction CAO/DAO du projet en trois dimensions, intégrant la totalité des couches du projet, avec restitution d'un profil en travers tous les 20 m.

La **variante 1 du scénario 3** est en grande partie identique à la solution de base. A ce stade, les quantités ont été supposées équivalentes. Ne sont donc pas pris en compte dans l'estimation de ce scénario :

- Les optimisations liées à l'abaissement des niveaux de la crue de projet du fait de l'élargissement supplémentaire,

- L'effet de l'altimétrie du terrain naturel sensiblement plus bas (environ 25 cm en moyenne) à l'emplacement de la nouvelle digue rive gauche dans cette variante par rapport à la solution de base.

La **variante 2 du scénario 3** diffère de la solution de base sur un linéaire de 720 m concernant la rive droite. L'incidence de cette variante sur les quantités a été estimée via 5 profils en travers sur ce linéaire ; les quantités étant prises en compte étant identiques à celles de la solution de base sur le reste du linéaire. Cette estimation n'intègre pas :

- L'incidence de la variante sur les niveaux de crues dimensionnants (variante non simulée hydrauliquement),
- L'évolution des coûts liés à des potentialités moindres concernant la diversification hydro-écologique du lit mineur sur 720 m de linéaire.

Concernant le **scénario 2**, les solutions retenues pour la rive droite sont identiques au scénario 3, solution de base. A ce stade, les quantités ont été considérées équivalentes, ce qui ne tient pas compte des écarts concernant les niveaux de crues dimensionnants (Q₂ et crue de projet), plus proches de ceux de l'état initial (scénario non simulé hydrauliquement). Concernant la rive gauche, les quantités ont été estimées via 6 profils en travers, sur la base des caractéristiques hydrauliques (niveaux et vitesses) de l'état initial.

Enfin, concernant le **scénario 1**, les quantités ont été considérées identiques à celle du scénario 3 (solution de base) pour les linéaires où les solutions retenues sont les mêmes, ainsi que pour l'épaulement du talus aval sur la totalité du linéaire. Comme précédemment, cela n'inclue pas les écarts liés aux niveaux de crues qui sont ici équivalents à ceux de l'état initial. Concernant, le profil courant (palplanches), les incertitudes sont liées principalement à la règle de dimensionnement retenue compte-tenu des données géotechniques disponibles (cf. § 0) et non au niveau de détail des plans.

11.3 Estimation stade AVP

La synthèse de l'estimation financière au stade avant-projet est synthétisée ci-dessous pour chaque scénario/variante retenu à ce stade, et sous-détaillée par groupe de prix. Cette estimation intègre une provision pour aléas (10% sur le scénario 3, y compris variantes, et 7.5% sur les autres scénarios) et travaux divers (2.5%).

Cette estimation concerne uniquement la partie travaux et n'intègre pas les missions de maîtrise d'œuvre, les reconnaissances complémentaires (géotechnique, topographique, réseaux ...), les acquisitions foncières, les missions de coordination (SPS, environnement, géotechnique, communication...).

Tableau 23 : Estimation financière au stade AVP.

Scénario / Variante	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3 Solution de base / Variante 1	Scénario 3 Variante 2
Groupe 100 - Prix généraux	996 800.00 €	566 800.00 €	569 300.00 €	598 900.00 €
Groupe 200 - Préparation des emprises	117 780.00 €	231 280.00 €	205 517.50 €	475 517.50 €
Groupe 300 - Fourniture et gestion des matériaux meubles	142 000.00 €	555 850.00 €	345 500.00 €	363 500.00 €
Groupe 400 - Terrassements	280 850.00 €	1 296 375.00 €	1 227 305.00 €	1 211 855.00 €
Groupe 500 - Protection de berge et génie civil	9 153 800.00 €	1 635 250.00 €	1 313 610.00 €	1 500 375.00 €
Groupe 600 - Géotextiles et étanchéité	294 650.00 €	1 322 750.00 €	1 545 400.00 €	1 544 400.00 €
Groupe 700 - Pistes et voiries	441 250.00 €	592 850.00 €	592 850.00 €	451 336.00 €
Groupe 800 - Végétalisation et hydro-écologie	38 688.00 €	238 468.00 €	547 318.00 €	547 318.00 €
Groupe 900 - Entretiens	48 620.00 €	82 320.00 €	205 620.00 €	205 620.00 €
Divers (2.5%)	287 860.95 €	163 048.58 €	163 810.51 €	172 470.54 €
Aléa (7.5%, 10% pour scénario 3)	863 582.85 €	489 145.73 €	655 242.05 €	689 882.15 €
TOTAL HT	12 665 881.80 €	7 174 137.30 €	7 371 473.06 €	7 761 174.19 €
TVA 20%	2 533 176.36 €	1 434 827.46 €	1 474 294.61 €	1 552 234.84 €
TOTAL TTC	15 199 058.16 €	8 608 964.76 €	8 845 767.68 €	9 313 409.03 €

11.3.1 Scénario 1

L'estimation du **scénario 1** (mise à niveau de la digue rive droite sans emprise sur la section d'écoulement) s'élève à **12.7 M€HT**. Le coût élevé de ce scénario est essentiellement lié à la fourniture et la mise en œuvre d'un rideau de palplanches qui représente 71% du montant total des travaux.

11.3.2 Scénario 2

L'estimation du **scénario 2** (élargissement minimum en rive gauche) au stade avant-projet s'élève à **7.17 M€HT** :

- 2.35 M€HT pour la rive gauche (32%),
- 4.82 M€HT pour la rive droite (68%).

Les plus gros postes correspondent :

- A la fourniture et la mise en œuvre des enrochements (23%),
- A la fourniture et la mise en œuvre du géosynthétique bentonitique (GSB) (12.6%).

11.3.3 Scénario 3 – Solution de base

L'estimation du **scénario 3** (élargissement optimal en rive gauche) au stade avant-projet s'élève à **7.37M€HT** :

- 1.17 M€HT pour la nouvelle digue projetée en rive gauche (16%),
- 1.26 M€HT pour l'arasement de l'ancienne digue rive gauche et le traitement de la nouvelle berge (plantations, génie écologique, protections, etc.) (17%),
- 0.33 M€HT pour le lit mineur (confortement du fond et diversification hydro-écologique) (4%),
- 4.61 M€HT pour la digue rive droite (63%).

Sur la globalité des travaux, les plus gros postes correspondent à :

- A la fourniture et la mise en œuvre des enrochements (17.7%),
- A la fourniture et la mise en œuvre du géosynthétique bentonitique (GSB) (15.5%).

- **Digue rive gauche :**

En considérant une section moyenne de l'ouvrage, et sur la base des hypothèses de prix énoncés au § 11.1, le coût rapporté au mètre linéaire pour chaque technique est de :

- 350 € HT/ml pour le profil type limons argiles en considérant l'utilisation des matériaux stockés au Viviers-du-Lac pour le corps de digue et la réutilisation de matériaux issus du chantier pour les clés drainantes (limité à un volume de 8000 m³, soit un linéaire d'environ 600 m),
- 595 € HT/ml pour le profil type limon argile en considérant la fourniture de matériaux par l'entreprise pour le corps de digue et la réutilisation de matériaux issus du chantier pour les clés drainantes,
- 387 € HT/ml pour le profil type GSB en considérant exclusivement la réutilisation de matériaux issus des déblais (tout venant dans le corps de digue, couche support et couche de confinement du GSB, clé drainante),
- 435 € HT/ml pour le profil type GSB en considérant la fourniture par l'entreprise des matériaux de la couche support (A1).

Ces coûts indicatifs n'incluent pas : les installations de chantier, les travaux préparatoires (déboisements, défrichements, etc.), le criblage des matériaux avant réemploi, l'évacuation des excédents, l'entretien des enherbements, les aléas. Ils ne tiennent pas compte des profils particuliers (matelas Reno et enrochements au droit de la section de contrôle à l'aval du casier « Vicat »).

Sur la même base, les hypothèses retenues dans l'estimation du scénario 3 (solution de base) conduisent à un coût moyen de 451 € HT/ml.

- **Piste cyclable :**

Les travaux liés directement ou indirectement à la gestion de l'usage piste cyclable représentent :

- 460 K€HT pour la réalisation de l'épaulement (y compris traitement du talus aval non lié à la piste),
- 87K€HT pour la dépose et l'évacuation de l'ancienne piste (y compris soubassement),
- 12 K€HT pour les déviations provisoires,

- 366 K€HT pour la mise en œuvre de la piste déplacée sur l'épaulement.

Le coût annoncé pour la dépose et l'évacuation de l'ancienne piste n'intègre pas les sujétions liées à l'éventuelle présence d'amiante dans les revêtements. Des analyses seront à faire pour s'assurer de l'absence d'amiante qui peut générer des surcoûts très importants, de l'ordre de 68€/m² pour la démolition.

Sur les 465K€HT directement liés à la piste cyclable (dépose, évacuation, déviations, nouvelle piste) :

- 298 K€HT correspondent au tronçon situé à l'amont du PKL4.360,
- 167 K€HT correspondent au tronçon situé à l'aval du PKL4.360.

11.3.4 Scénario 3 – options

Deux options ont été définies pour le scénario 3, correspondant au creusement de chenaux secondaires dans le nouvel espace intra-digue élargi à l'intérieur de la courbure de Villarcher (option 1) et dans le banc alluvionnaire à l'intérieur de la courbure du Tremblay (option 2).

Les coûts associés à ces options sont les suivants :

- **Option 1 : 15 K€ HT,**
- **Option 2 : 4.3 K € HT.**

Ces coûts intègrent la préparation des emprises et le déblai des chenaux. Selon la nature des matériaux sous-jacent (analyse géotechnique complémentaire à faire en vue du PRO), ces options sont susceptibles de générer des économies dans la fourniture des matériaux, ou a contrario un surcoût lié à une évacuation des déblais. Ces postes ne sont pas chiffrés pour les options à ce stade.

11.4 Incertitudes, enjeux et aléas

Le but du présent paragraphe est d'aborder les incertitudes existantes au stade des études et pouvant avoir un impact sur le chiffrage du projet. Ces incertitudes sont liées aux risques résiduels que comporte une telle opération. Les risques peuvent être endogènes (généré par l'opération elle-même) ou exogènes (risque généré par un facteur extérieur ayant un impact sur l'opération).

Ces éléments sont pris en compte dans les postes « Aléas et imprévus » et « Divers », estimés à ce stade des études à respectivement 7.5% et 2.5% du montant des travaux, à l'exception du scénario 3 (base et variantes) pour lequel un aléa de 10% est considéré, lié aux hypothèses prises sur les mouvements de matériaux (cf. § 8.1.1.4). La liste suivante n'est pas exhaustive. L'impact des facteurs identifiés ci-dessous peut être autre que financier (impact sur le délai par exemple).

11.4.1 Géotechnique – Mouvement des terres

Cet aléa est essentiellement lié aux hypothèses faites sur la qualité des déblais et leur possibilité de réemploi. Cette incertitude est assez importante compte-tenu du faible nombre de sondages géotechniques réalisés, notamment sur la rive gauche qui génère l'essentiel des déblais. Des reconnaissances complémentaires sont prescrites en vue de l'étude de Projet pour consolider ces hypothèses. En outre, du fait notamment du caractère très local des reconnaissances, ces hypothèses comportent toujours une part d'incertitude, particulièrement dans un milieu alluvionnaire. C'est pourquoi un suivi régulier des matériaux déblayés devra être réalisé tout au long du chantier pour garantir que les sols réutilisés soient de bonne qualité. Le Maître d'œuvre veillera à optimiser le rapport coût – qualité.

Pour le scénario 3, il est pris en compte un aléa de type 10000 m³ de matériaux non réutilisables et devant être fournis par l'entreprise (ce qui représente environ 300 K€ HT).

11.4.2 Réseaux

Les incertitudes sur la localisation des réseaux constituent l'un des principaux enjeux pour la suite de ce projet, avec la présence structurante de l'émissaire des eaux usées (Ø1200) dans le corps de la digue rive droite. Les hypothèses retenues à ce stade correspondent à une situation assez défavorable (localisation proche de la crête côté talus amont, maximisant les interfaces). La localisation réelle de cet ouvrage est susceptible d'avoir des incidences sur les volumes (et donc sur les coûts) mais aussi sur le gabarit hydraulique du projet.

En outre, l'analyse des réponses des différents concessionnaire aux Demande de Travaux (DT) a permis d'identifier des interfaces avec plusieurs autres réseaux (électrique, AEP, etc.). L'appréciation des interfaces réelles et dévoiements nécessaires (non chiffrés dans la présente estimation) est rendue difficile par le grand nombre de réseaux pour lesquels les plans transmis affichent une précision de classe B ou C. L'ampleur des dévoiement préalables peut avoir une incidence sur les délais de démarrage des travaux.

11.4.3 Variabilité des prix

Le prix de GSB / Géomembrane est apparu assez différent dans les références à disposition.

Le prix unitaire de GSB a été estimé entre 18 et 23€/m² par un fournisseur de GSB.

Des prix de géomembranes ont été trouvés entre 17 et 45€/m².

L'influence de ce prix unitaire étant assez forte sur le prix global (un delta de 20% sur le prix – 5€/m²) représente un montant de 190k€ dans le scénario 3. L'estimation de 25€/m² est assez prudente et prend en compte une mise en œuvre avec beaucoup de raccordements (tête / pied) par rapport à la surface fournie.

11.4.4 Aléa climatique et hydrologique

L'aléa climatique peut générer des surcoûts. La pluie, la neige, la survenue d'une crue pendant la durée des travaux, sont susceptibles de générer des arrêts de chantier.

En outre, certains postes, comme l'installation des GSB, qui nécessite un bon compactage des matériaux de la couche support, peuvent être affectés par une teneur en eau trop importante. L'estimation intègre le chaulage d'une partie des matériaux fins pour réduire ce risque.

11.4.4.1 Interfaces avec d'autres ouvrages

A ce stade, le détail des raccordements aux abords des ouvrages de franchissement de la Leysse (pont de l'autoroute, passerelle de Pré-Marquis, pont du Tremblay) n'a pas été étudié.

11.4.4.2 Interfaces avec des projets connexes

Les deux principaux projets d'aménagements identifiés à proximité du site sont

- Le réaménagement du nœud autoroutier de Chambéry,
- Le projet ferroviaire de liaison Lyon-Turin.

Les interfaces avec ces projets (notamment circulation en phase travaux) n'ont à ce stade pas été analysées.

11.4.4.3 Conjoncture – Covid-19

L'ensemble des références de prix utilisés pour l'estimation des coûts datent d'avant la crise sanitaire du Covid-19. Il est à craindre des sur-coûts de 2 types : liés aux protocoles sanitaires à mettre en place (gel, masque, distanciation sociale, aménagement base vie...) et liés à une modification de la concurrence (faillite peut-être de certains acteurs...).

Ce risque trop difficilement quantifiable, n'est pas intégré dans les estimations présentées.

12 Analyse comparative des scénarios

Une analyse multicritère est menée sur les trois scénarios de projet, ainsi que les deux variantes du scénario 3.

Des critères ont été définis pour analyser les différentes solutions. Pour chaque critère, des sous-critères permettent de détailler l'analyse. Les critères et sous-critères sont listés dans le tableau ci-après.

Tableau 24 : Critères et sous-critères pour la comparaison des scénarios.

Critère	Sous critère
Critère financier	Coût total des travaux
	Plan de financement et coût net pour le MOA (éligibilité aux financements AE RMC notamment, etc.)
Critère foncier	Emprise sur les terrains privés agricoles
	Emprise sur autres terrains privés
Critère hydraulique	Optimisation en termes de niveaux
	Incidences sur l'inondabilité et le fonctionnement de la plaine rive gauche (niveaux, vitesses)
	Gains hydro-écologique dans le lit-mineur
	Incidence sur la ripisylve et la trame verte en phase travaux/court-terme
Critère écologique et environnemental	Incidence sur la ripisylve et la trame verte à moyen/long-terme
	Intégration environnementale des talus
	Incidence sur les échanges Leysse/nappe
	Incidence sur les habitats patrimoniaux et espèces protégées
	Incidence sur le paysage
	Exposition à l'aléa hydrologique
Critère de complexité en phase chantier	Interface avec les réseaux
	Interface avec les usages (piste cyclable, etc.)
Critère technique	Caractère novateur / prises de risque
	Fonctionnement en économie circulaire / recours à de l'approvisionnement externe

Le détail de l'analyse par scénario est contenu dans le tableau ci-après.

	Sous critère	Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3 Solution de base		Scénario 3 Variante 1		Scénario 3 Variante 2	
		Intervention sur la rive droite uniquement, sans emprise sur la section hydraulique		Elargissement minimum		Elargissement optimum		Elargissement optimum + 50m sur les terres agricoles en RG (partie aval)		Absence d'épaulement du talus aval en RD et réalisation d'un cavalier côté amont sur 720 m	
		Note (1 à 5)	Commentaire	Note (1 à 5)	Commentaire	Note (1 à 5)	Commentaire	Note (1 à 5)	Commentaire	Note (1 à 5)	Commentaire
Critère financier	Coût total des travaux	1	- Coût total estimé à 12.7 M€, - Coût inférieur à l'avant-projet initial avec dévoiement du réseau d'assainissement.	5	- Coût total estimé à 7.17 M€ - Economie peu significative par rapport au scénario d'optimum écologique, - Montant supérieur à l'enveloppe prévisionnel (5M€).	4	- Coût total estimé à 7.37 M€	4	- Coût total estimé à 7.37 M€, - Coût équivalent à la solution de base.	3	- Coût total estimé à 7.76 M€, - Ecart non significatif avec la solution de base.
	Plan de financement et coût net pour le MOA (éligibilité aux financements AE RMC notamment, etc.)	1	Restauration type R1	2	Restauration type R1 Faible enjeu trame verte	4	Restauration type R2/R3	5	Restauration type R3	4	Restauration type R2/R3
Critère foncier	Emprise sur les terrains privés agricoles	4	- Emprise en RD, liée à l'épaulement du talus aval : environ 0.2 ha.	4	- Emprise en RD, liée à l'épaulement du talus aval : environ 0.2 ha, - Emprises en RG : environ 0.2 ha	3	- Emprise en RD, liée à l'épaulement du talus aval : 0.8 ha, - Emprise en rive gauche : 2.8 ha (1.4 ha consommés par les emprises de la digue + 1.4 ha de terrains inclus dans l'espace intradigue).	1	- Emprise en RD, liée à l'épaulement du talus aval : 0.8 ha, - Emprise en RG : 6.2 ha (1. ha consommés par les emprises de la digue + 4.7 ha inclus dans l'espace intra-digue).	4	- Limitation des emprises sur les terrains en RD : 0.02 ha, - Emprise en RG : 2.8 ha (cf. solution de base).
	Emprise sur autres terrains privés	4	- Emprises liées à l'épaulement du talus aval : emprises sur les lisères au droit des terrains GRA (Vicat) et Jean Lain, puis au droit du boisement du coude de Villarcher au PKL4.630 (environ 0.2 ha).	4	- Emprises liées à l'épaulement du talus aval : emprises sur les lisères au droit des terrains GRA (Vicat) et Jean Lain, puis au droit du boisement du coude de Villarcher au PKL4.630 (environ 0.2 ha), - Emprise sur terrains privés boisés en RG (environ 0.2 ha).	3	- Emprises liées à l'épaulement du talus aval : emprises sur les lisères au droit des terrains GRA (Vicat) et Jean Lain, puis au droit du boisement du coude de Villarcher au PKL4.630 (environ 0.2 ha), - Environ 3.6 ha de terrain cadastrés boisés inclus dans l'espace intra-digue.	3	Caractéristiques identiques à la solution de base.	3	Caractéristiques identiques à la solution de base.
Critère hydraulique	Optimisation en termes de niveaux	1	Pas d'abaissement des niveaux des crues (section d'écoulement identique à l'état initial, scénario non simulé hydrauliquement).	1	Pas d'abaissement des niveaux des crues (section d'écoulement identique à l'état initial, scénario non simulé hydrauliquement).	4	- Abaissement des niveaux de la crue de projet de l'ordre de 50 à 60 cm entre la section de contrôle (aval du "casier Vicat" et la courbure de Villarcher, - Exhaussement d'environ 20 cm entre la courbure de Villarcher et la confluence du ruisseau des marais	5	Par rapport à la solution de base, prolongation des gains de niveau jusqu'aux environs du PKL4.1.	3	Désoptimisation par rapport à la solution de base du fait d'une emprise plus importante sur la section sur 720 mètres linéaires (variante non simulée hydrauliquement).
	Incidences sur l'inondabilité et le fonctionnement de la plaine rive gauche (niveaux, vitesses)	1	- Maintien des points de débordement en rive gauche, - Probabilité non nulle de rupture par brèche de la digue RG, - Fonctionnement non modifié du déversoir de Pré-Marquis.	4	- Protection des déversements directs jusqu'à Q100.	4	- Protection des déversements directs jusqu'à Q100.	3	- Augmentation des niveaux dans la plaine par un resserrement de la section au droit de la confluence du ruisseau des marais.	4	Caractéristiques identiques à la solution de base.

Critère écologique et environnemental	Gains hydro-écologiques dans le lit mineur	1	Absence de gains hydro-écologiques dans le lit mineur.	1	Absence de gains hydro-écologiques dans le lit mineur.	4	- Diversification directe des habitats du lit mineur par la création de banquettes alternées, - Restauration d'un fonctionnement hydro-morphologique plus favorable par l'élargissement de l'espace de liberté, - Diminution importante du linéaire de berges enrochées.	5	Par rapport à la solution de base, augmentation de l'espace de liberté et allègement des protections de berge sur la partie aval.	3	Moindre élargissement du lit mineur sur 720 mètres, moindre potentiel hydro-écologique.
	Incidence sur la ripisylve et la trame verte en phase travaux/court-terme	4	- Maintien de la ripisylve en rive gauche, - Possibilité de maintien d'une partie de la végétation sur le talus de la digue rive droite.	1	- Déboisement nécessaire des deux systèmes d'endiguement.	1	- Déboisement nécessaire des deux systèmes d'endiguement.	1	- Déboisement nécessaire des deux systèmes d'endiguement.	1	- Déboisement nécessaire des deux systèmes d'endiguement.
	Incidence sur la ripisylve et la trame verte à moyen/long-terme	2	- Vieillesse de la végétation maintenue, - Nécessité d'une gestion en rive droite.	1	- Trame verte durablement entamée entre les PKL4.37 et 3.9.	4	- Amélioration du fonctionnement de la forêt alluviale par la remise d'environ 4 ha des boisements dans l'espace intradigue, - Restauration des boisements alluviaux sur berge naturelle sur environ 2 ha en rive gauche, et de cordon arbustif sur enrochements sur 0.5 ha en rive droite.	5	- Inclusion dans l'espace intra-digue de 4.7 ha supplémentaire, dont tout ou partie peut évoluer vers des boisements alluviaux.	4	Caractéristiques identiques à la solution de base.
	Intégration environnementale des talus	3	- Conservation de la végétation en rive gauche, et pour partie en rive droite, - Maintien du caractère artificiel des deux talus amont (raideur, protection résiduelles), - Risque de découverte des palplanches à moyen-long terme par l'érosion du talus amont.	4	- Adoucissement des deux berges, - Techniques mixtes sur l'essentiel du linéaire (boutures interstitielles sur enrochements en partie inférieure des talus, ensemencement en partie supérieure).	5	- Adoucissement des deux berges, - Techniques mixtes sur l'essentiel du linéaire (boutures interstitielles sur enrochements en partie inférieure des talus, ensemencement en partie supérieure).	5	Caractéristiques identiques à la solution de base.	5	Caractéristiques identiques à la solution de base.
	Incidence sur les échanges Leysse/nappe	1	- Coupures des échanges sur toute la rive gauche	3	- Maintien des échanges actuels	4	- Amélioration des échanges en rive gauche	5	- Amélioration des échanges en rive gauche, - Augmentation des surfaces d'échanges plus significatives en rive gauche via des débordements plus éloignés dans la plaine ?	4	Caractéristiques identiques à la solution de base.
	Incidence sur les habitats patrimoniaux et espèces protégées	3	- Incidence moindre en phase travaux (pas d'interface avec le lit mineur, pas d'intervention en rive gauche), - Aucun gain post travaux.	2	- Incidence importante en phase travaux (déboisement des deux berges, intervention dans le lit mineur), - Peu voire pas de gains post-travaux (se limite à l'intégration écologique des talus).	4	- Incidence forte en phase travaux (déboisement des deux berges, intervention dans le lit), - Gains importants post travaux : - Intégration d'environ 5.7 ha de forêt alluviale dans l'espace intradigue, - Restauration d'un corridor arboré en rive gauche et arbustif en rive droite, - Renaturation du lit mineur et de la berge en rive droite (adoucissement, substrat naturel, etc.) - Élargissement local de l'espace de liberté et amélioration du fonctionnement hydro-morphologique.	5	- Caractéristiques identiques à la solution de base, - Augmentation des gains post travaux par l'inclusion de 3.5 ha supplémentaires dans l'espace intra-digue et l'espace de liberté de la Leysse.	3	- Caractéristiques semblables à la solution de base, - Diminution des gains d'habitats pour le lit mineur par une emprise un peu plus importante du confortement rive droite sur un linéaire de 720 mètres.

	Incidence sur le paysage	2	- Maintien à moyen terme du rideau boisé (mais vieillissant) en RG, - Intégration médiocre de la rive droite, - A long terme, risque de découverte des palplanches par l'érosion du talus amont.	1	- Déboisement des deux rives, - Restauration de la ripisylve limitée aux pieds de talus (boisements arbustifs dans les enrochements).	3	- Incidence forte à court terme en phase travaux, par le déboisement des deux rives, - Restauration d'un corridor arboré en rive gauche et arbustif sur les deux berges, - Amélioration de l'aspect naturel de la rivière.	4	- Par rapport à la solution de base, augmentation de la surface d'espaces naturels et de la largeur du corridor.	3	Caractéristiques identiques à la solution de base.
Critère de complexité en phase chantier	Exposition à l'aléa hydrologique	5	- Faible exposition à l'aléa hydrologique (intervention en crête de digue et sur le talus aval).	1	- Travail en partie depuis le lit de la Leysse. Sur la partie aval, la digue rive gauche est quasi intégralement démontée pour sa réfection	2	- Travail en partie depuis le lit de la Leysse. Possibilité de réaliser la dépose de l'ancienne digue RG après création de la nouvelle digue à préciser en phase PRO (travail par plots).	2	Caractéristiques identiques à la solution de base.	2	Caractéristiques identiques à la solution de base.
	Interface avec les réseaux	2	- Interface forte avec l'émissaire des eaux usées pour le battage des palplanches, - Réseau exposé à l'érosion si impossibilité de mise en œuvre des palplanches entre la Leysse et le réseau, - Pas de dévoiement nécessaire en RG	3	- Complexité lié à la proximité de l'émissaire des eaux usées avec l'emprise de terrassement du talus amont, - Dévoiement préalable de réseaux en RG (électrique) et en RD (électrique, AEP).	3	- Complexité lié à la proximité de l'émissaire des eaux usées avec l'emprise de terrassement du talus amont, - Dévoiement préalable de réseaux en rive gauche (électrique) et en rive droite (électrique, AEP).	3	Caractéristiques identiques à la solution de base.	3	Caractéristiques identiques à la solution de base.
	Interface avec les usages (piste cyclable, etc.)	3	Interfaces importantes avec la piste cyclable ; nécessité d'un dévoiement local provisoire en phase travaux et réfection de la piste	3	Interfaces importantes avec la piste cyclable ; nécessité d'un dévoiement local et réfection de la piste	3	Interfaces importantes avec la piste cyclable ; nécessité d'un dévoiement local et réfection de la piste.	3	Interfaces importantes avec la piste cyclable ; nécessité d'un dévoiement local et réfection de la piste.	2	Interfaces importantes avec la piste cyclable ; dévoiements provisoires de la piste en phase travaux sur un linéaire plus important.
	Caractère novateur / prises de risque,	3	- Prise de risque faible pour la sûreté de l'ouvrage du fait de l'emploi généralisés des palplanches, - Caractère novateur faible à inexistant.	2	- Caractère novateur lié à l'emploi de géomembrane sur le talus amont RD, - Sûreté de l'ouvrage renforcée par la mise en œuvre de l'épaulement du talus aval.	2	- Caractère novateur lié à l'emploi de géomembrane sur les talus amont RD et RG, - Sûreté de l'ouvrage renforcée par la mise en œuvre de l'épaulement du talus aval.	2	Caractéristiques identiques à la solution de base.	2	Caractéristiques identiques à la solution de base.
Critère technique	Fonctionnement en économie circulaire / recours à de l'approvisionnement externe.	1	- Recours quasi exclusif a de l'approvisionnement externe	3	- Réemploi évalué à environ 30% des déblais totaux à ce stade, - Approvisionnement externe équivalent à environ 60% des besoins en remblais.	4	- Réemploi évalué à environ 45% des déblais totaux à ce stade, - Approvisionnement externe équivalent à environ 60% des besoins en remblais.	4	Caractéristiques similaires à la solution de base.	4	- Réemploi évalué à 45% des déblais, - Approvisionnement évalué à 35% des remblais.

Les tableaux ci-après présente pour chaque scénario et critère, la somme des notes qui figurent dans le tableau précédent, ramenée sur 20. Avec une pondération équivalente pour tous les critères, les résultats de la notation sont les suivants :

Même poids sur tous les critères						
Critère	Coef.	Notes ramenées /20				
		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3 Solution de base	Scénario 3 Variante 1	Scénario 3 Variante 2
Critère financier	1	4.0	14.0	16.0	18.0	14.0
Critère foncier	1	16.0	16.0	12.0	8.0	14.0
Critère hydraulique	1	4.0	10.0	16.0	16.0	14.0
Critère écologique et environnemental	1	9.1	7.4	14.3	17.1	13.1
Critère de complexité en phase chantier	1	13.3	9.3	10.7	10.7	9.3
Critère technique	1	8.0	10.0	12.0	12.0	12.0
Total	-	54.5	66.8	81.0	81.8	76.5

La solution la mieux notée correspond à la variante 1 du scénario 3 (emprise en rive gauche élargie de 50 m sur les terrains agricole en partie aval), très légèrement devant la solution de base.

En donnant une pondération supplémentaire au critère de l'emprise foncière, qui via les terrains agricoles est un levier majeur de l'acceptabilité sociale du projet, ainsi qu'au critère environnemental, les résultats sont les suivants :

Poids supplémentaire : foncier et environnement						
Critère	Coef.	Notes ramenées /20				
		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3 Solution de base	Scénario 3 Variante 1	Scénario 3 Variante 2
critère financier	1	4.0	14.0	16.0	18.0	14.0
Critère foncier	3	16.0	16.0	12.0	8.0	14.0
Critère hydraulique	1	4.0	10.0	16.0	16.0	14.0
Critère écologique et environnemental	3	9.1	7.4	14.3	17.1	13.1
Critère de complexité en phase chantier	1	13.3	9.3	10.7	10.7	9.3
Critère technique	1	8.0	10.0	12.0	12.0	12.0
Total	-	104.8	113.6	133.5	132.1	130.8

Avec cette pondération, la solution la mieux notée correspond à la solution de base du scénario 3.

13 Points d'attention/ajustements complémentaires en phase PRO

Les différents points d'attention et ajustements complémentaires, identifiés tout au long du présent rapport, sont rappelés ci-dessous en vue de la phase Projet :

- Reconnaissances géotechniques complémentaires,
- Reconnaissances complémentaires sur les réseaux (émissaire Ø1200, réseau de gaz traversant, etc),
- Adaptation du scénario de projet retenu à la localisation réelle du réseau d'assainissement, recherche d'optimisations des emprises sur le lit mineur et des volumes en cas de localisation favorable,
- Adaptation des épaisseurs des couches de support et de confinement des GSB,
- Vérification des niveaux à la crue de projet pour le projet retenu (modélisation hydraulique du projet) au stade PRO,
- Mise à jour des hypothèses sur le remploi des matériaux issus des déblais sur la base des reconnaissances géotechniques complémentaires, dans une logique d'optimisation du réemploi (y compris GNT issus de la fondation de la piste cyclable actuelle),
- Adaptation des linéaires d'application des profils types pour la rive gauche en fonction des taux de réemploi des matériaux de déblais, dans une logique d'optimisation des coûts,
- Précision des dispositions techniques pour le GSB, dans une logique d'optimisation des quantités :
 - Profondeur d'ancrage du GSB (à déterminer par un calcul d'écoulement en régime transitoire de type Plaxis),
 - Ancrage GSB en tête (en fonction de l'implantation de l'émissaire des eaux usées),
 - Validation du type de GSB en fonction des résultats des analyses d'eau et du calcul de stabilité du GSB (frottement / pente),
 - Gestion des racines (boutures de saules en pied de digue RD),
 - Possibilités d'optimisation des quantités.
- Précision des dispositions techniques de déviations de réseaux,
- Prise en compte des charges d'exploitation sur la digue (après validation des hypothèses),
- Précision des raccordements aux ouvrages de franchissement de la Leyse (pont de l'autoroute, passerelle de Pré-Marquis, pont du Tremblay),
- Définition, en concertation avec le MOA, des dépôts provisoires de matériaux et dépôts définitifs de matériaux excédentaires,
- Définition, en concertation avec le MOA, du phasage des travaux (déviations piste cyclable, maintien d'une protection contre les inondations, phasage des travaux en RD en fonction des contraintes sécurité sur la piste cyclable, phasage des travaux en fonction du mouvement de terre),
- Définition du plan de circulation,
- Evaluation précise des emprises ainsi que les emprises en phase chantier, notamment pour l'estimation des valeurs foncières (accès, zone d'emprunt, circulation...),
- Adaptations locales du projet pour prise en compte/éviter d'enjeux environnementaux (espèces protégées, arbres remarquables),
- Définition précise des altimétries du projet de diversification hydro-écologique du lit mineur (altimétrie des banquettes par rapport au débit d'étiage, analyse des débits correspondant aux différents levés, etc.),
- En fonction des adaptations du projet, vérification des caractéristiques hydrauliques à l'état projeté ; précision des modalités de fermeture de la digue dans la variante 1 du scénario 3 si retenu,
- Intégration paysagère de la digue rive droite aux abords de la piste cyclable projetée.

Annexes

Annexe 1 : Etude hydraulique.....	123
Annexe 2 : Etude géotechnique.....	124
Annexe 3 : Dossier de plans – Scénario 3	125
Annexe 4 : Interfaces du projet (scénario 3) avec les réseaux	126
Annexe 5 : Estimation financière.....	127

Annexe 1 : Etude hydraulique

Annexe 2 : Etude géotechnique

Annexe 3 : Dossier de plans – Scénario 3

Annexe	Plan	N°
3.1	Vue en plan (8 folios)	I.01085LEYAVP0001
3.2	Vue en plan d'ensemble	I.01085LEYAVP0011
3.3	Profils en travers type – Lit mineur et rive droite (11 folios)	I.01085LEYAVP0002
3.4	Profils en travers type – Rive gauche (3 folios)	I.01085LEYAVP0003
3.5	Coupes d'ensemble (2 folios)	I.01085LEYAVP0010
3.6	Cahier de profils détaillés – Rive droite (162 folios)	I.01085LEYAVP0005
3.7	Cahier de profils détaillés – Rive gauche (94 folios)	I.01085LEYAVP0006
3.8	Profil en long digue rive droite	I.01085LEYAVP0008
3.9	Profil en long digue rive gauche	I.01085LEYAVP0009
3.10	Diversification hydro-écologique du lit mineur (2 folios)	I.01085LEYAVP0007

Annexe 4 : Interfaces du projet (scénario 3) avec les réseaux

Annexe 5 : Estimation financière

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

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

