

ANNEXE 1

Etude pour la restauration des systèmes d'endiguement du bassin Chambérien

Localisation des Systèmes d'Endiguements

Chambéry Métropole

Octobre 2014/STR/I.00846.001PL0001B

Système de digue	Dénomination	N° tronçon	Début	Fin	linéaire (km)
1	Leysse RD en amont de la couverture (Pont de la Libération)	1.1	Pont RD912	Pont de la Trousse	0.3
		1.2	390m aval pont de la Trousse	700m aval pont de la Trousse	0.31
		1.3	50 amont Pont de la rue Jean Pierre Gustin	200m en aval du pont de la RN201	0.81
2	Leysse RD de la confluence Leysse/Hyères au bras de décharge	2.1	Berge sur 500 m	200m aval confluence Leysse/Hyères	0.21
		2.2	1150m aval confluence Leysse/Hyères	100m aval Pont Tremblay	4.5
		2.3	Bras de décharge en aval du pont Tremblay	Bras de décharge au droit de la D1211	2.64
3	Leysse RG de l'aval du pont de la Trousse à la confluence avec l'Hyères Hyères RD en aval du pont d'Hyères	3.1	Leysse RG - 190 m aval pont de la Trousse	Leysse RD - 220 m amont pont de Serbie	1.69
		3.2	Leysse RG - pont des Allobroges	Leysse RG - 310 m aval pont des Allobroges	0.32
		3.3	Hyères RD - 110 m aval Pont d'Hyères	Hyères RD - 630 m amont confluence	0.54
4	Leysse RG de l'aval de la confluence avec l'Hyères à la confluence avec Nant Bruyant Hyères RG du Foray à la confluence avec la Leysse	4.1	Hyères RG - 650m amont pont Hyères	Hyères RG - pont Hyères	0.65
		4.2	Hyères RG - pont des Chevaliers	Leysse RG - Confluence Leysse/Hyères	1
		4.3	Leysse RG - confluence Leysse/Hyères	Leysse RG - 120 m aval pont RD16A	1.6
5	Leysse RG aval confluence avec Nant Bruyant	5	Confluence Nant Bruyant	Confluence ruisseau Marais	2.6
					17.17

Légende

▲ Points singuliers

Système de digue

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Projet confluence Leysse Hyeres

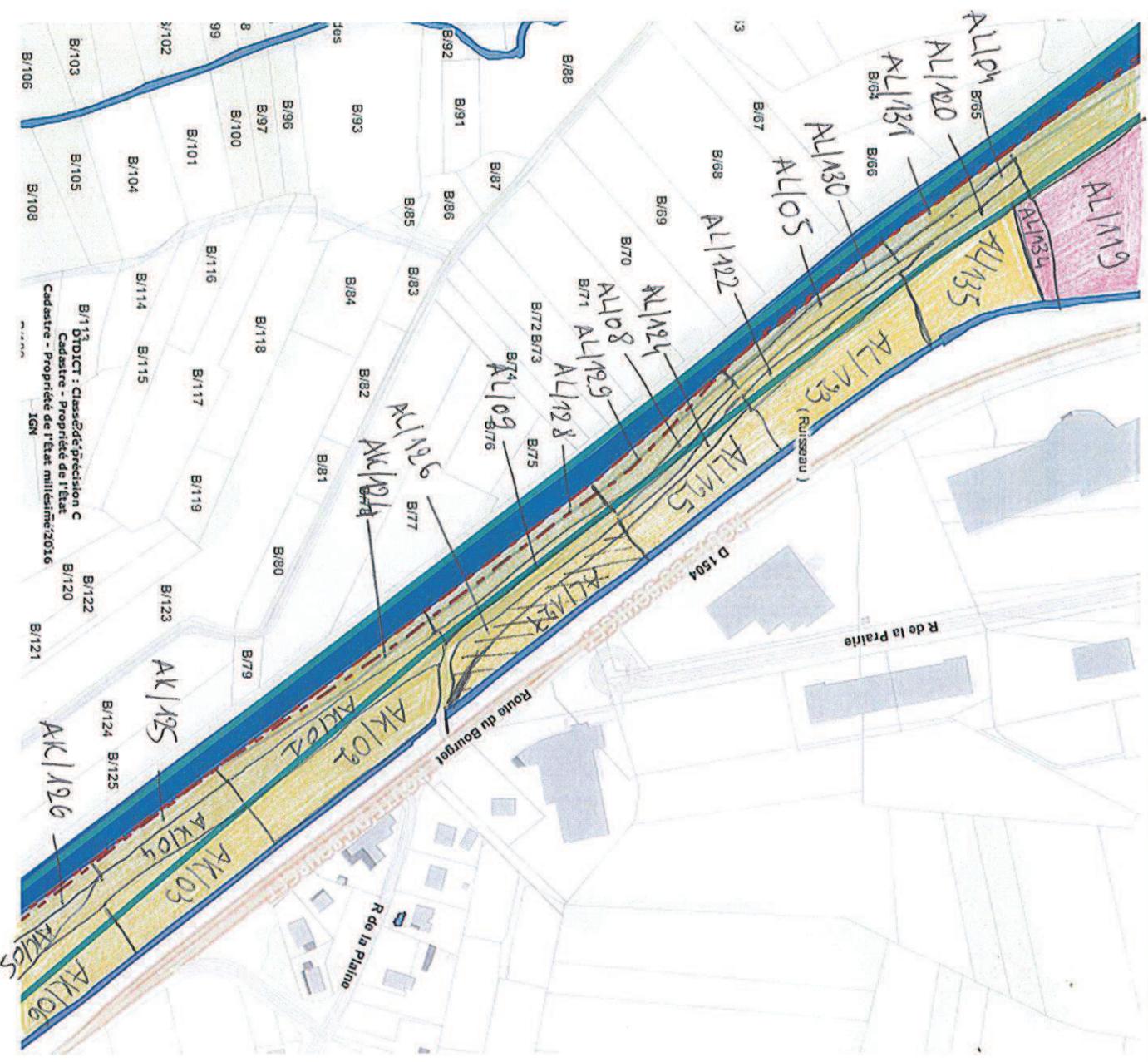
- AVP
- AVP + PRO + DCE

0 0.175 0.35 0.7 1.05 1.4 Kilomètres

ANNEXE 2

SE 2.2- aval – Liste des propriétaires

Vogllans



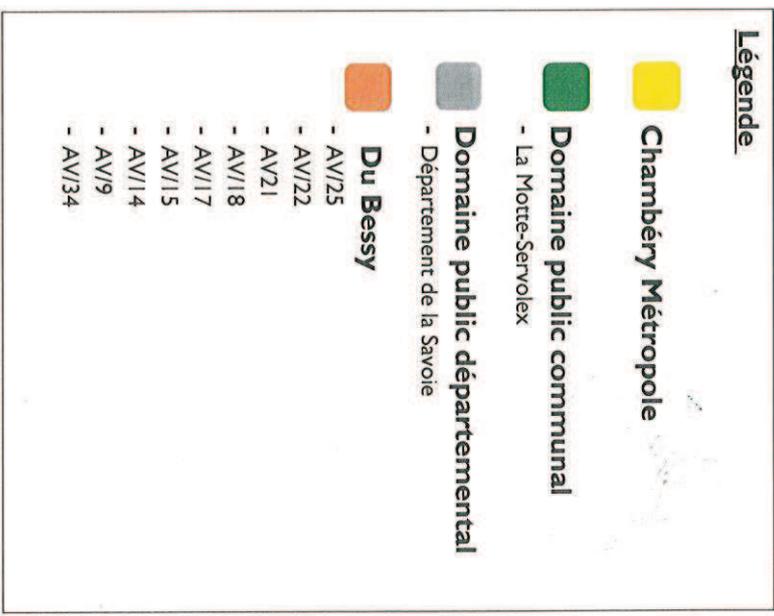
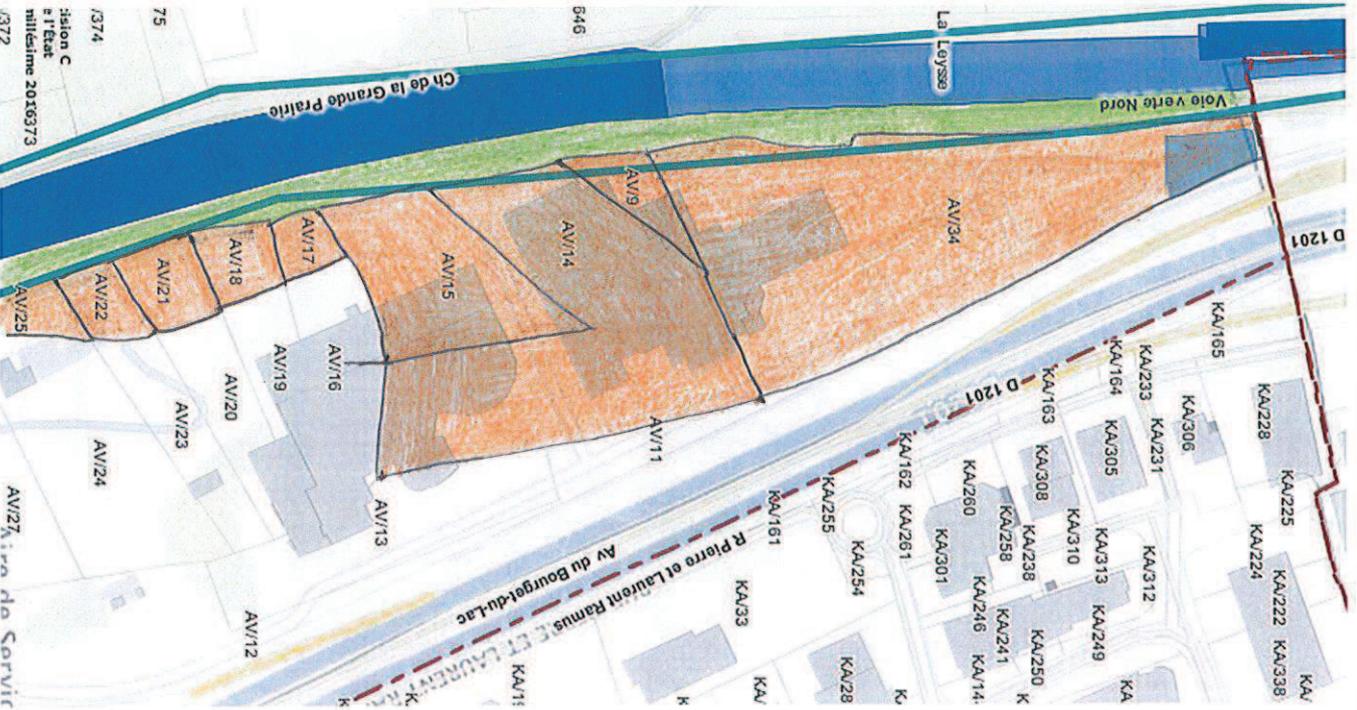
Légende

- Communauté d'agglo Lac du Bourget
- AL/127 → vendu à GRTgaz
- AL/126
- AL/133
- AL/09
- AL/128
- AL/125
- AL/124
- AL/08
- AL/129
- AL/123
- AL/122
- AL/05
- AL/130
- AL/135
- AL/120
- AL/04
- AL/131
- AL/124
- AL/132
- AL/02

- Domaine privé**
- Mme Sulpice • AL/134 • AL/119

SE 2.2 - aval – Liste des propriétaires

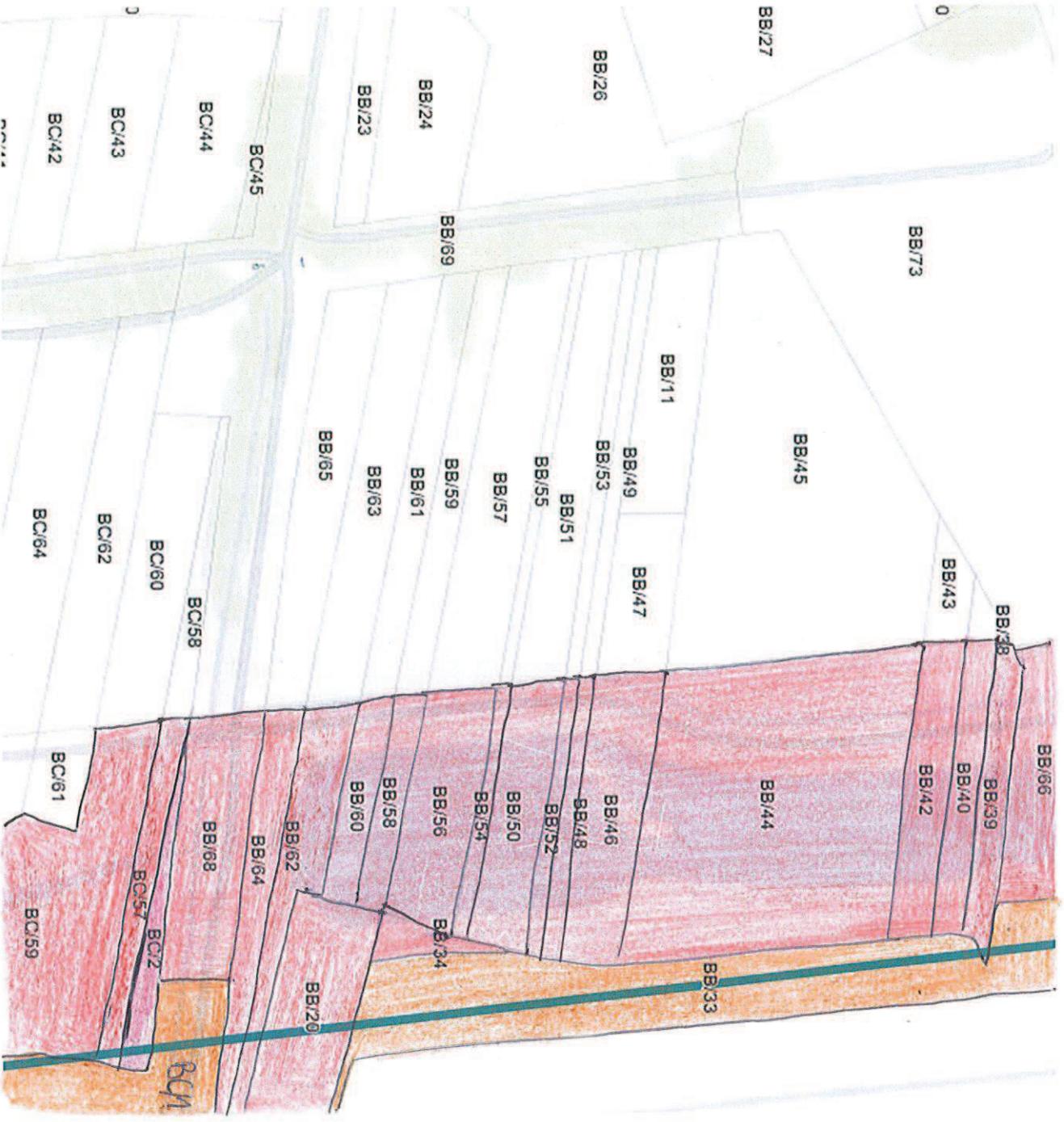
La Motte-Servolex



AV/25
AV/24
AV/23
AV/20
AV/19
AV/18
AV/17
AV/16
AV/15
AV/14
AV/13
AV/12
AV/11
AV/10
AV/9
AV/8
AV/7
AV/6
AV/5
AV/4
AV/3
AV/2
AV/1
AV/0
AV/374
AV/373
AV/372

SE 2.3 – Liste des propriétaires

La Motte-Servolex



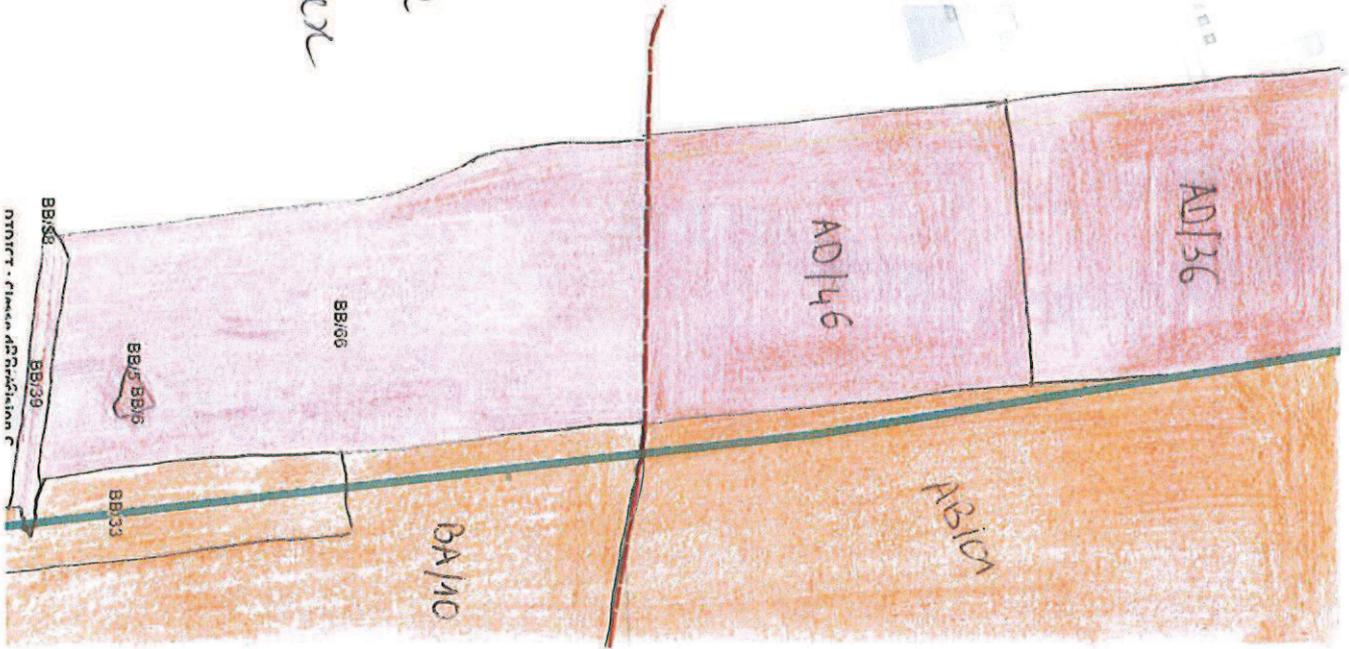
Légende

- Domaine privé**
- Mr Degrange • BC/2
- Département de la Savoie**
- B/33
- Sypartec**
SM Aménag Promotion Parc Technolog Bourget du Lac
- BC/59
- BC/57
- BB/64
- BB/62
- BB/20
- B/139

SE 2.3 – Liste des propriétaires

Le Bourget du Lac

La note
suivra



BB/38
BB/39
BB/36
BB/33

Légende

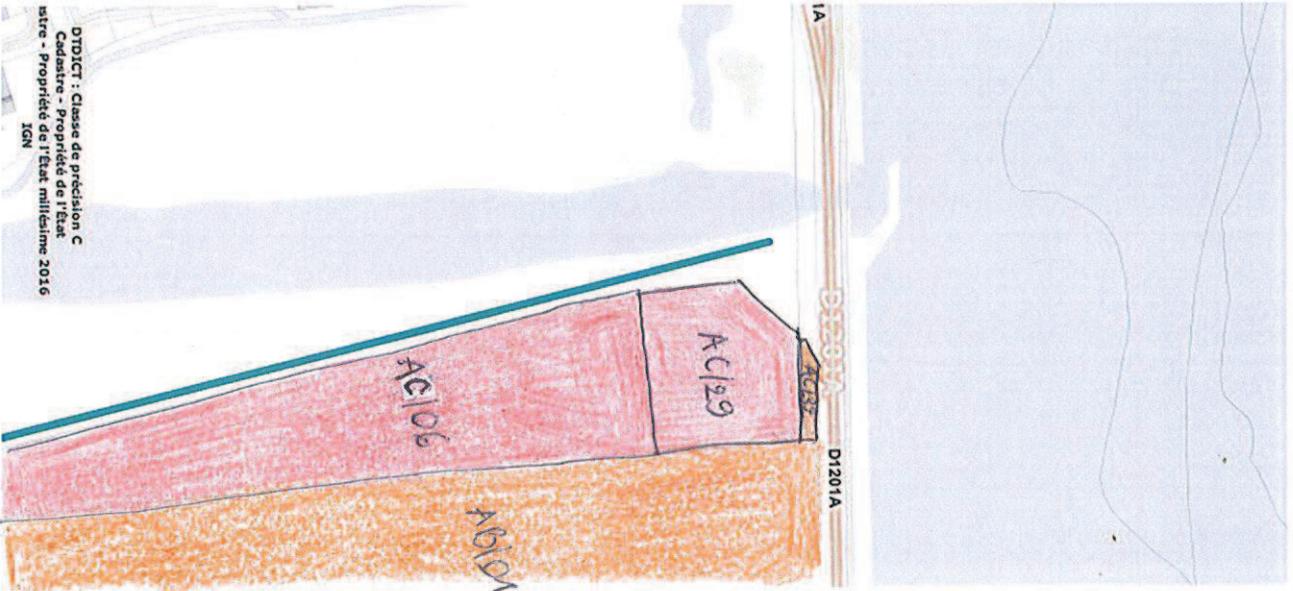
-  Département de la Savoie
 - BA/10
 - AB/10
-  Sypartec SIV Aménageur Promotion Parc Technolog Bourget du Lac
 - BB/39
 - BB/36
 - AD/46
 - AD/36

SE 2.3 – Liste des propriétaires

Le Bourget du Lac



DTDiCT : Classe de précision C
 Cadastre - Propriété de l'Etat
 Cadastre - Propriété de l'Etat millésime 2016
 IGN



DTDiCT : Classe de précision C
 Cadastre - Propriété de l'Etat
 Cadastre - Propriété de l'Etat millésime 2016
 IGN

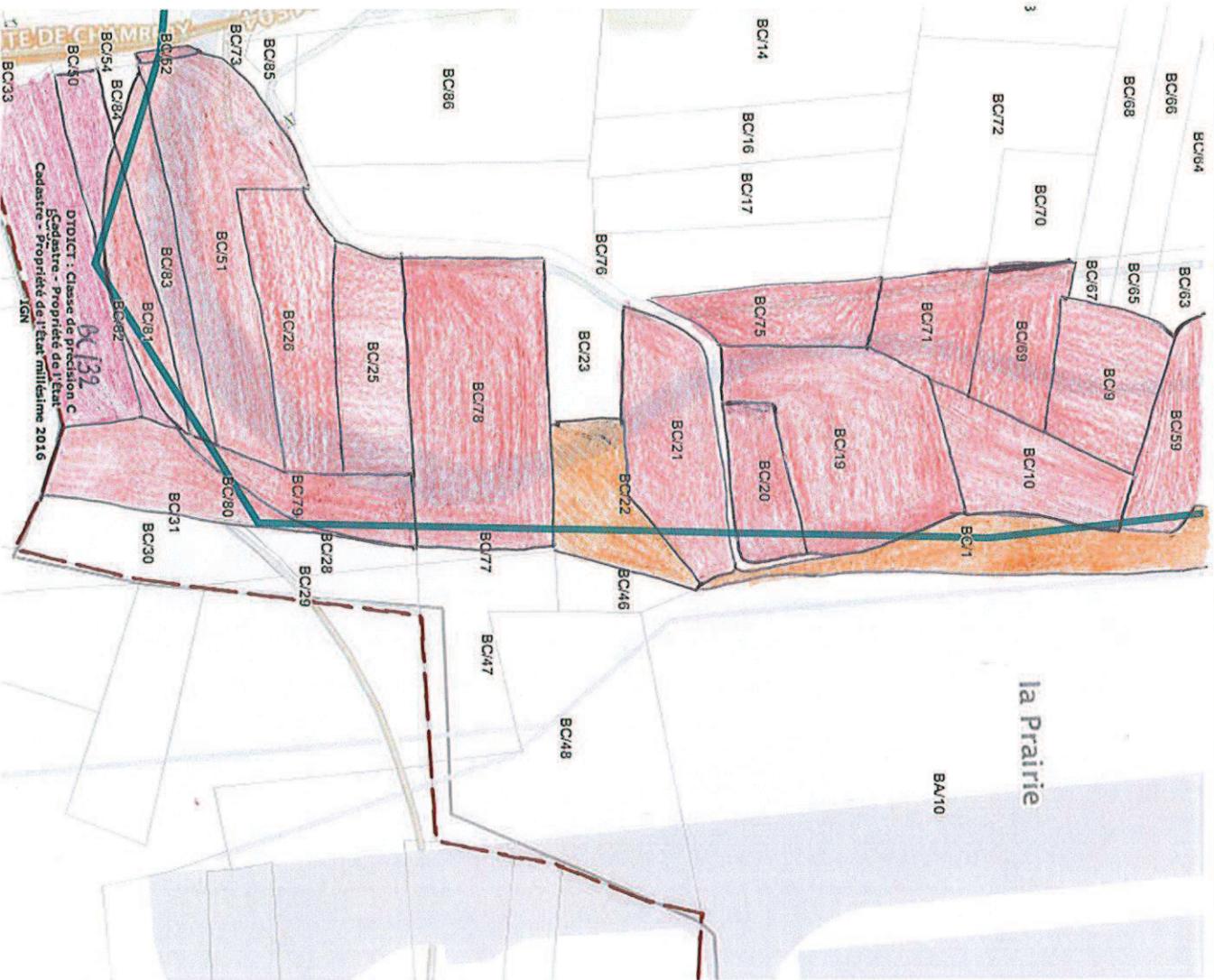
Légende

- Domaine public départemental**
D1201A

- Syntotec
 - AD136
 - AD102
 - AC106
 - AC129
- Département de la Savoie
 - AC132
 - AB104

SE 2.3 – Liste des propriétaires

La Motte-Servolex



Légende

■ **Domaine privé**

- Mr Lespagne & Mme Mathieu • BC/82
- Mme Fontamaron • BC/32

Département de la Savoie

- BC/22

- BC/1

■ **Sypartec**

SM Aménég Promotion Parc Technolog Bourget du Lac

- BC/52

- BC/51

- BC/83

- BC/81

- BC/80

- BC/79

- BC/78

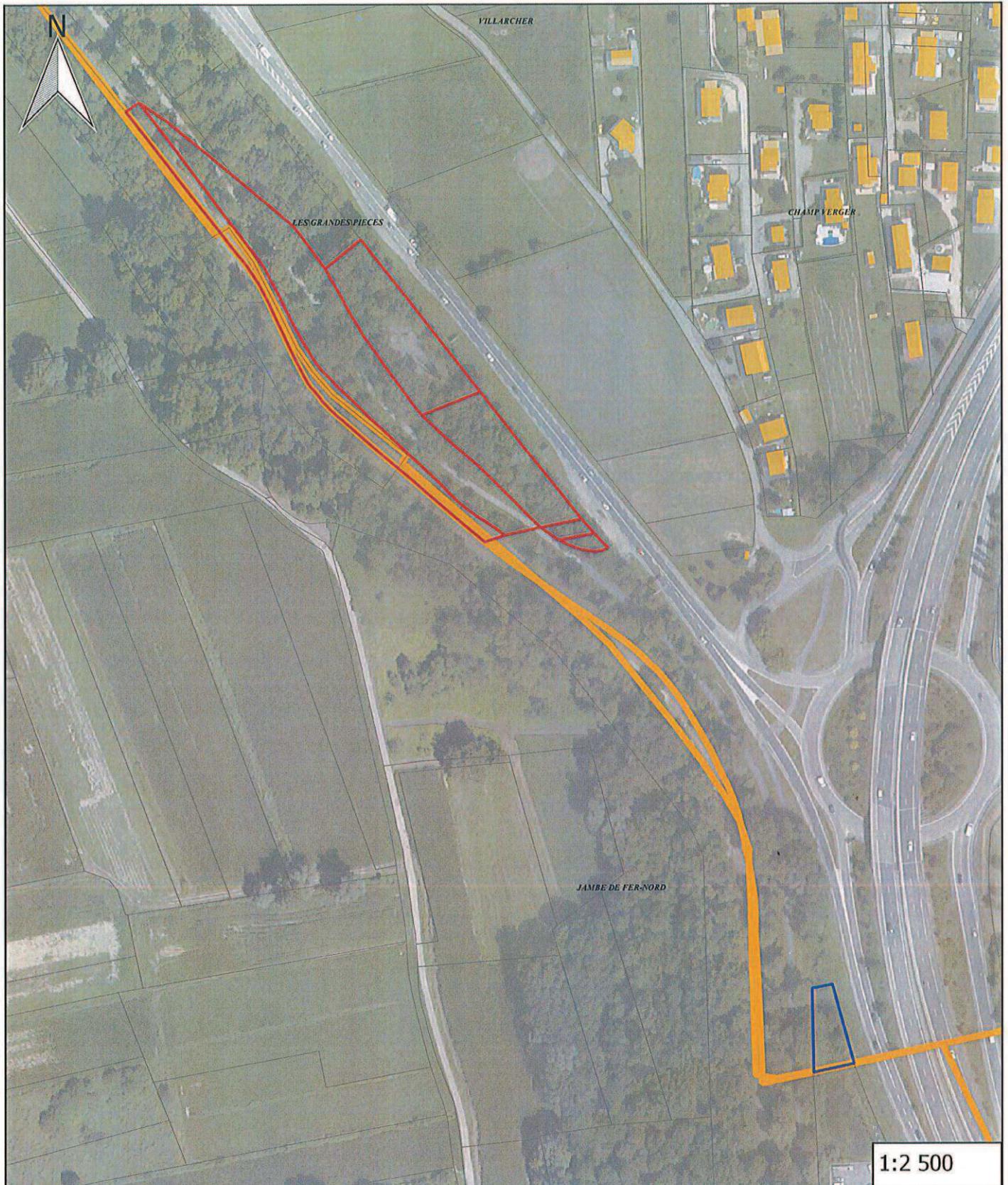
- BC/21

- BC/20

- BC/19

- BC/10

- BC/59

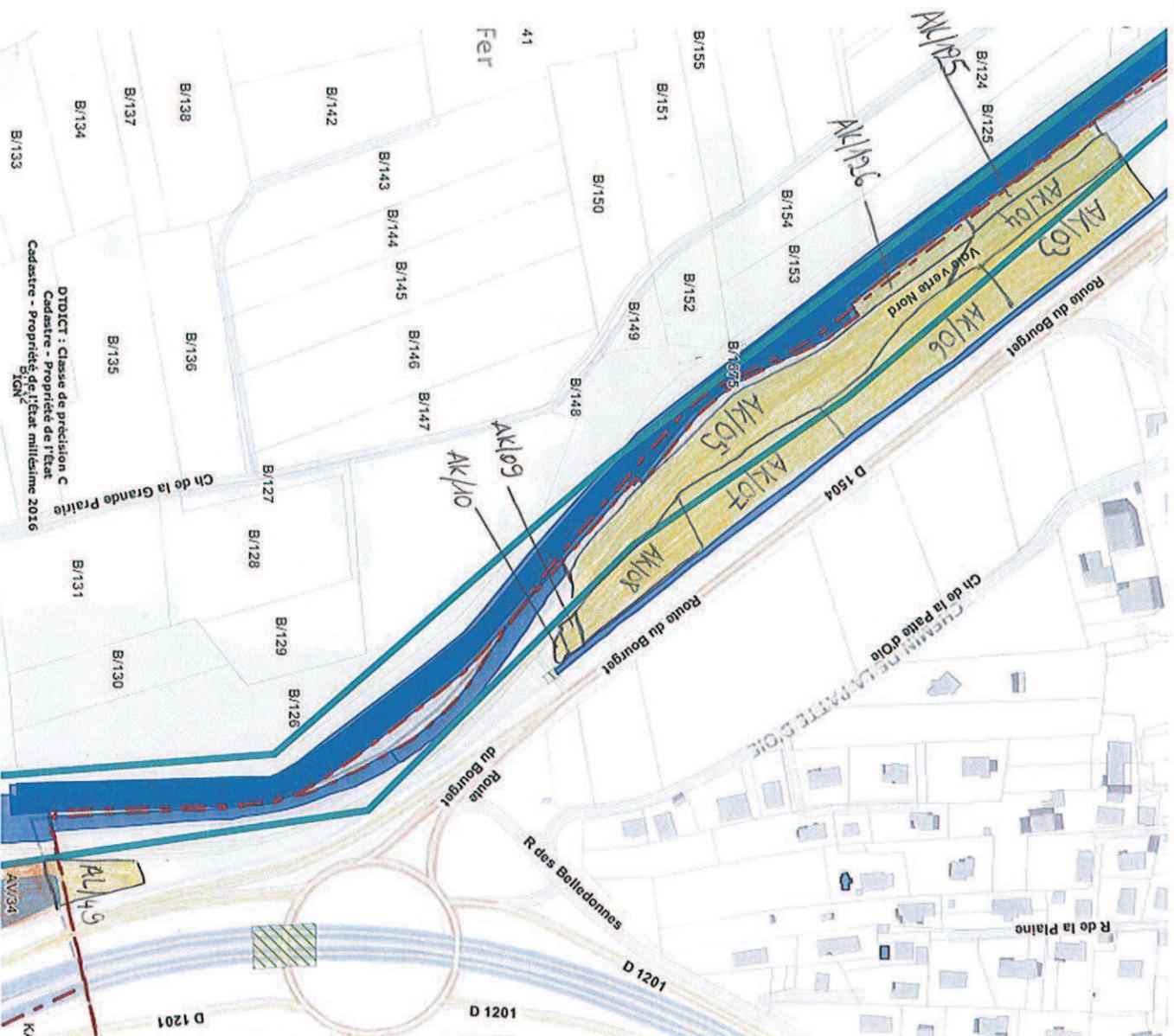


Légende

- Parcelles CALB
- Parcelle CG 73

SE 2.2- aval – Liste des propriétaires

Vogllans



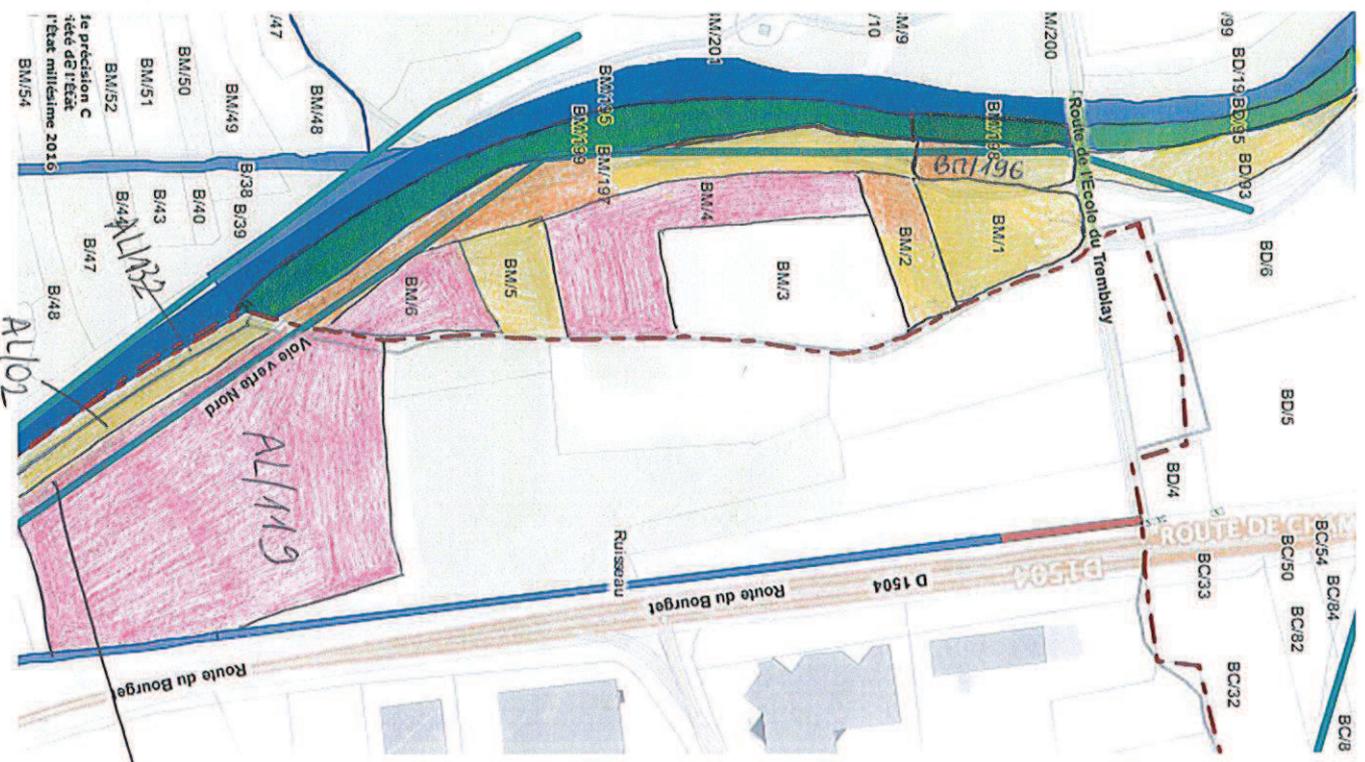
Légende

- Communauté d'agglomération Lac du Bourget
- AK/01
- AK/02
- AK/03
- AK/04
- AK/05
- AK/06
- AK/07
- AK/08
- AK/09
- AK/10
- AK/126
- AK/125
- AK/124
- AK/149 → Département du Savoie

OTDICT : Classe de précision C
Cadastré - Propriété de l'Etat
Cadastré - Propriété de l'Etat
militaire 2016
IGN

SE 2.2- aval – Liste des propriétaires

Vogllans / Chambéry



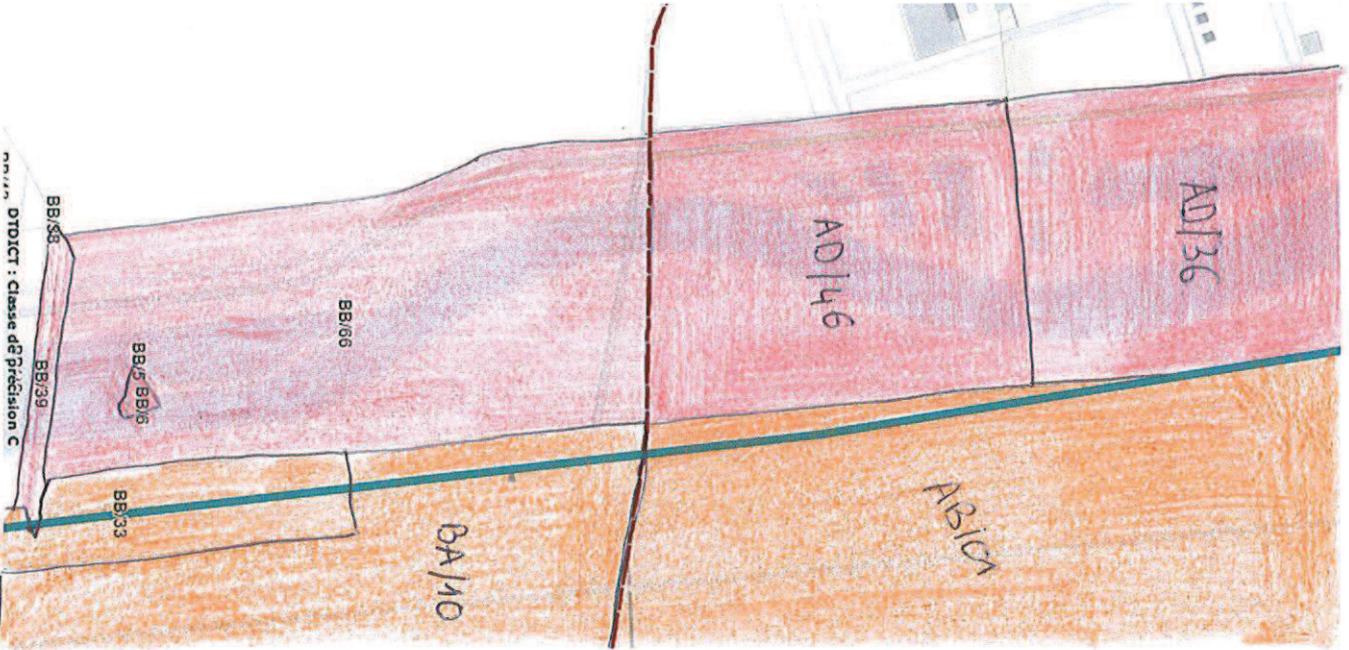
AL134

Légende

- Chambéry Métropole
Communauté d'agglomération Lac du Bourget
- Domaine public communal
- Domaine privé**
- Mr Bonfils & Mme Arbarcaz • BM/6
- Mr & Mme Bel • BM/4
- Domaine public dpt*
Département de la Savoie
- BM/2 • BM/197

SE 2.3 – Liste des propriétaires

Le Bourget du Lac

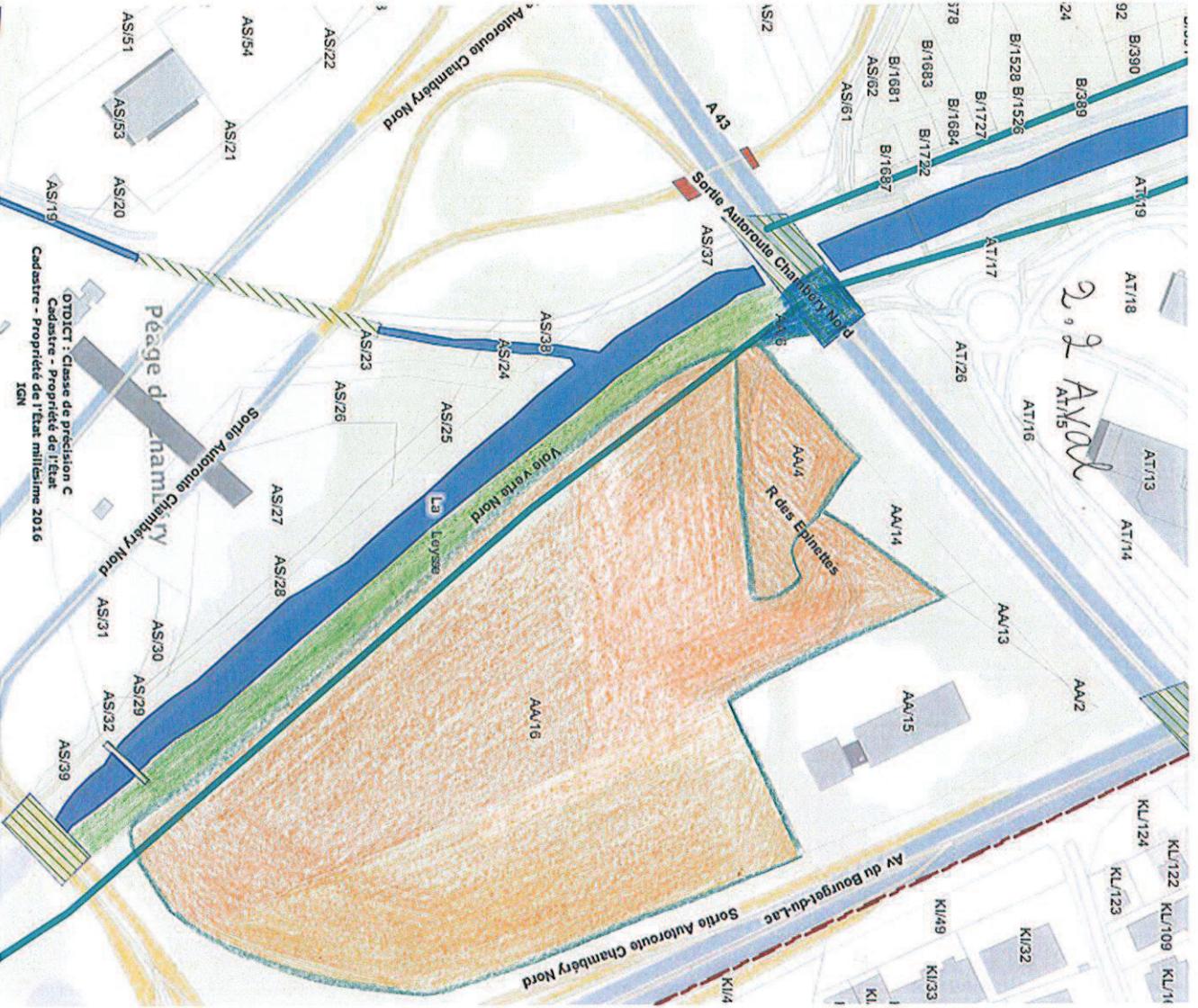


Légende

-  **Département de la Savoie**
 - BA/10
 - AB/01
-  **Sypartec**
SM Aménag Promotion Parc Technolog Bourget du Lac
 - BB/39
 - BB/66
 - AD/46
 - AD/36

SE 2.2- amont – Liste des propriétaires

Chambéry la note servalax

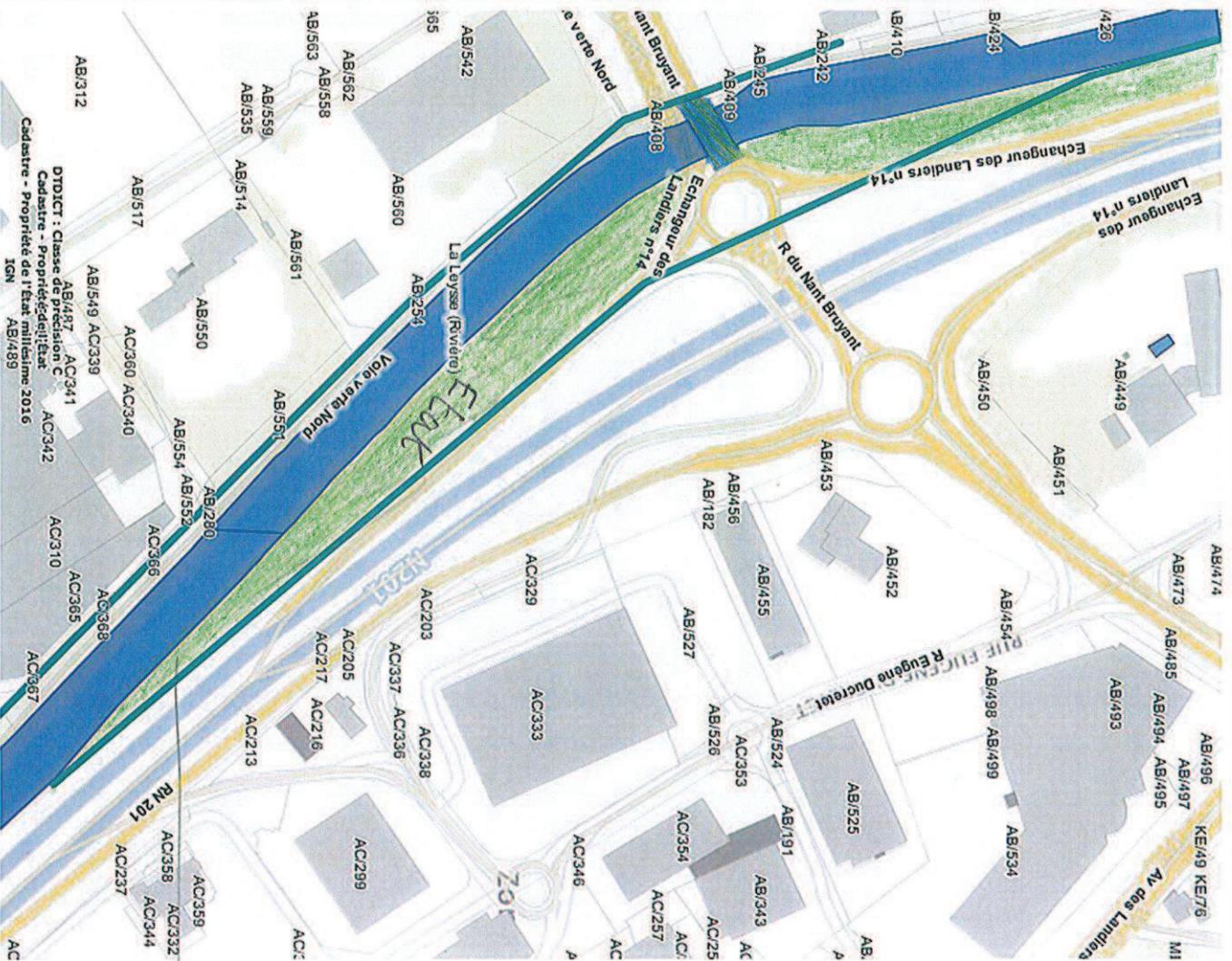


Légende

- **Société d'Aménagement de la Savoie**
AA/4 + AA/16
- **Domaine public communal**
- Chambéry la note servalax
- **Services de l'Etat**
- Etat Ministère de l'Urbanisme et du Logement • AA/6
- DIRCE • A43

SE 2.2 - amont – Liste des propriétaires

Chambéry



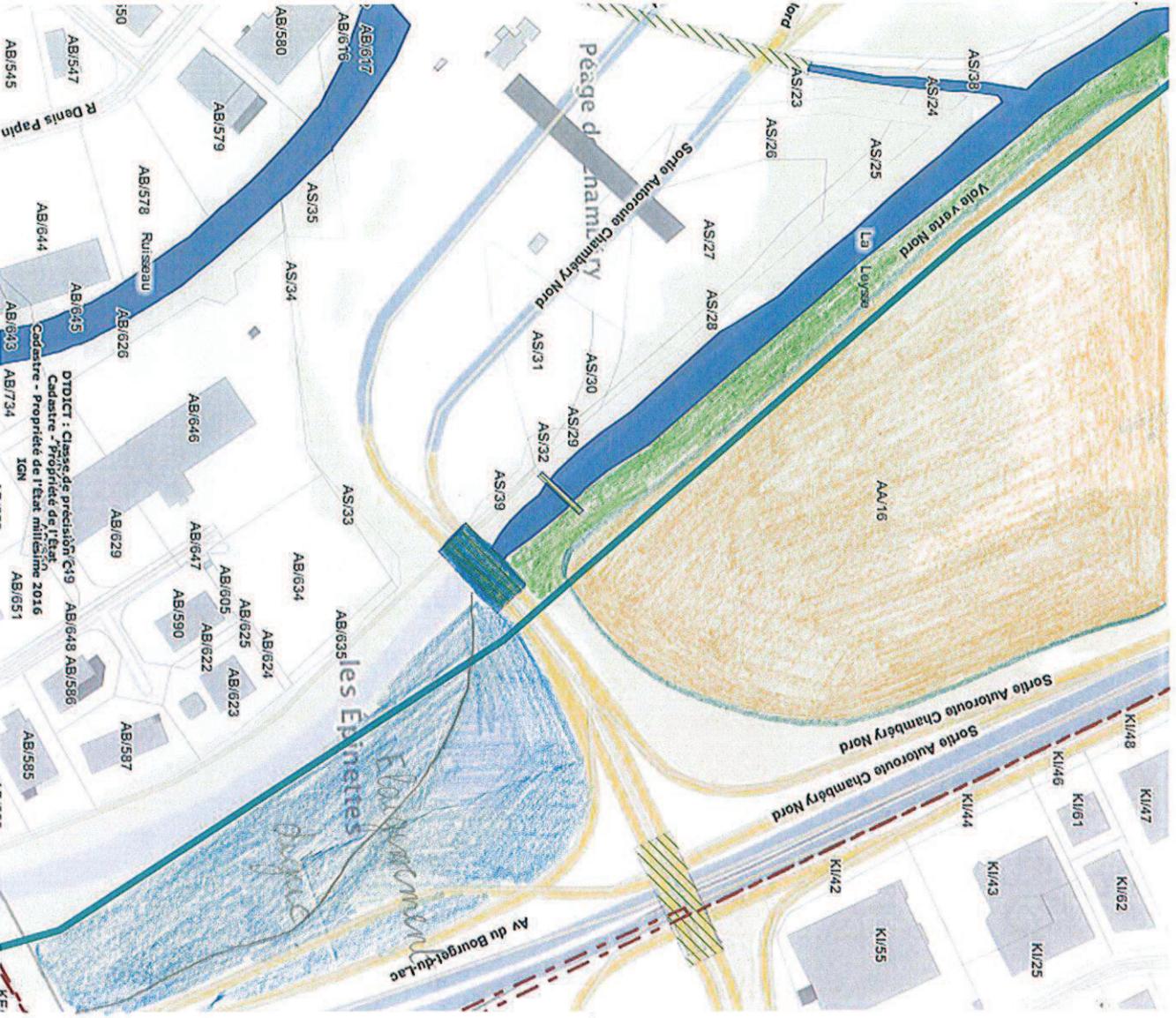
Etat

Légende

- Domaine public-communal**
- Chambéry
- Services de l'Etat**
- DIRCE • Echangeurs des Landiers n°14

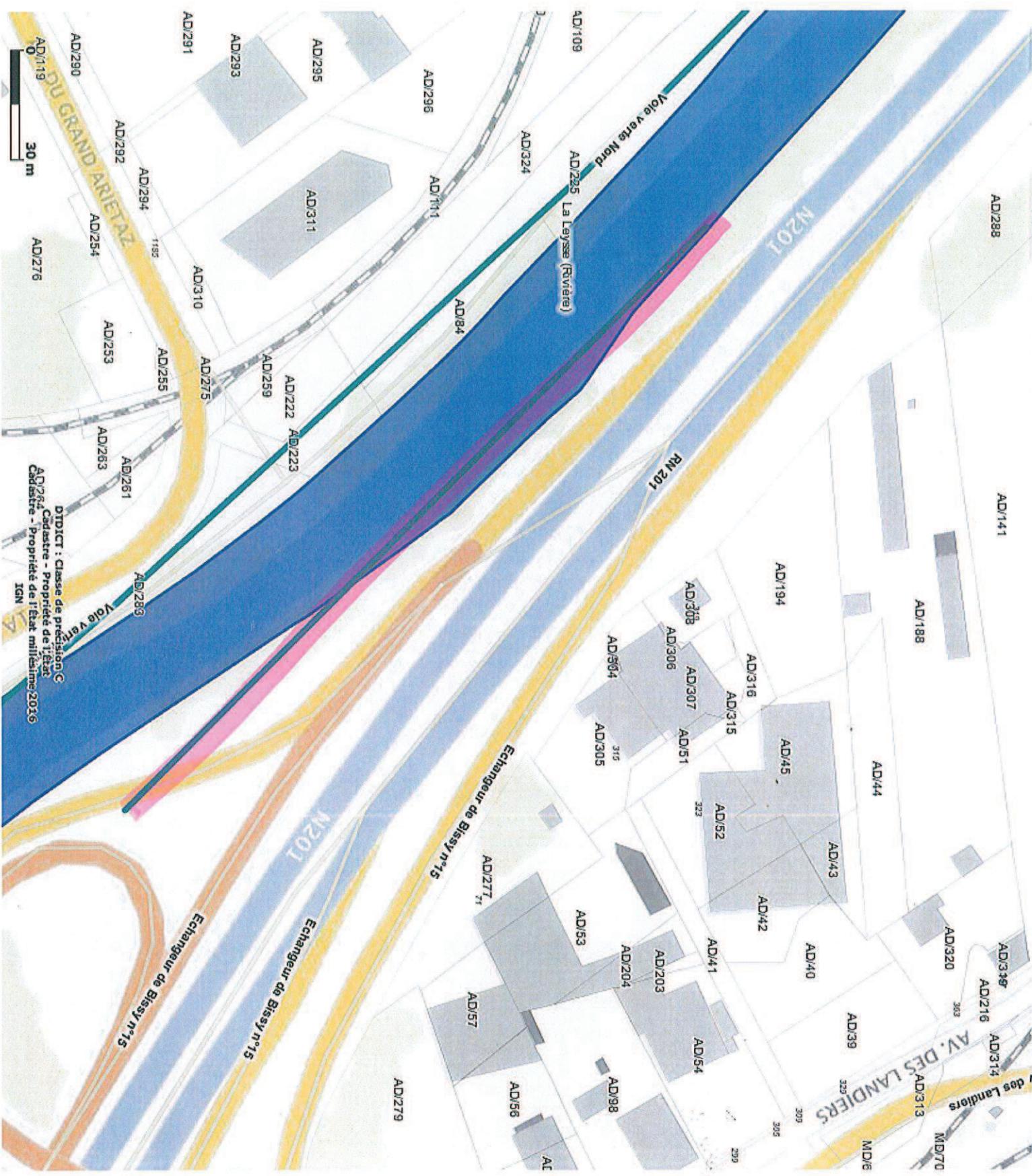
SE 2.2- amont – Liste des propriétaires

Chambéry *La note servalax*



Légende

- Société d'Aménagement de la Savoie
AA/16
- Domaine public communal
- Chambéry *La note servalax*
- Services de l'Etat
- DIRCE • Sortie Autoroute Chambéry Nord



0 30 m

DU GRAND ARIETAZ

Voie verte Nord
AD/225 La Leyesse (Rivière)

N201

RW 201

Echangeur de Bissy n°15

Echangeur de Bissy n°15

AV. DES LANDIERS
des Landiers

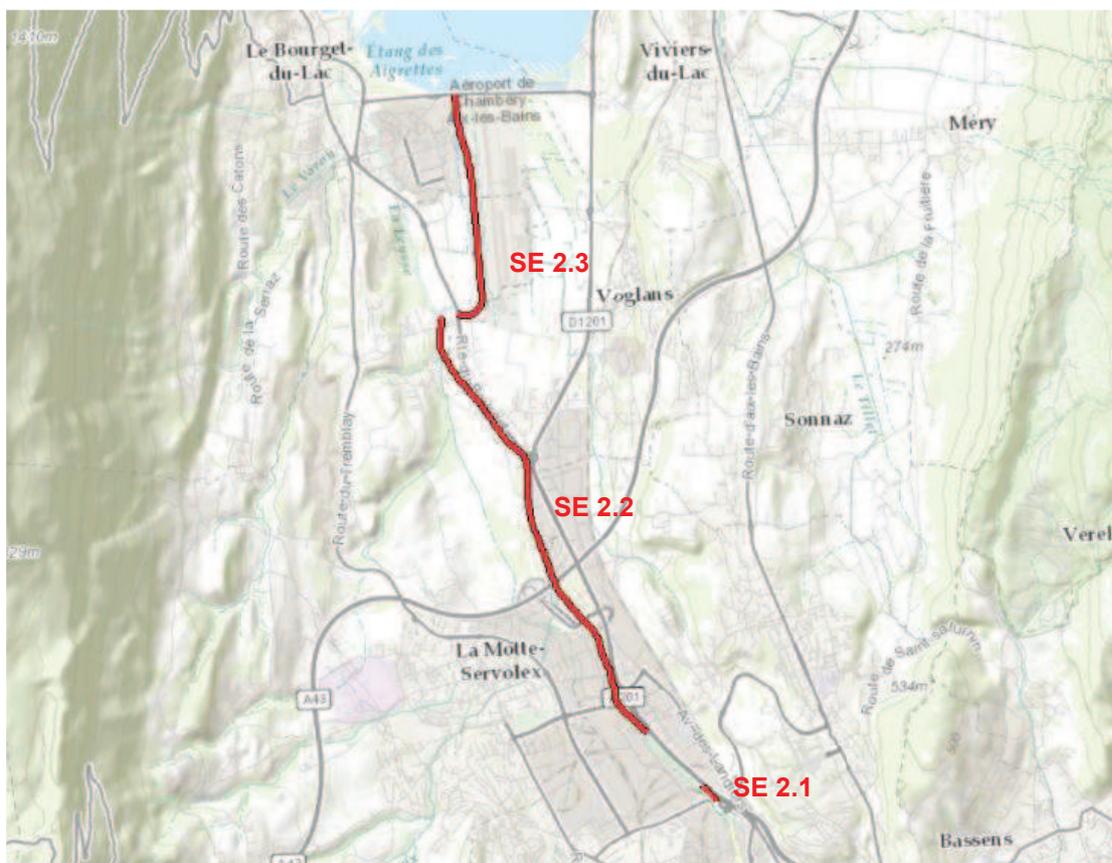
DT/DCT : Classe de précision C
AD/284 Cadastre - Propriété de l'Etat
Cadastre - Propriété de l'Etat millésime 2016
IGN

DIRCE
à l'état
DP

ANNEXE 3

ETUDE DE DANGER DES DIGUES DE LA LEYSSE ET DE L'HYERES

Rapport de diagnostic SE2



ETUDE DE DANGER DES DIGUES DE LA LEYSSE ET DE L'HYERES

Rapport de diagnostic SE2

DI-ECS 2016-182-00 Juin 2016

INTERLOCUTEUR DI	Sophie Trossat - 04 26 23 17 79
	CNR Ingénierie DI-ECS 2 rue André Bonin, 69316 Lyon cedex 04

MAITRE D'OUVRAGE	CHAMBERY METROPOLE - <i>Direction de la gestion des cours d'eau et protection contre les crues</i>					
ADRESSE	350 Quai Charles Ravet, 73000 Chambéry					
INTERLOCUTEUR						
RÉFÉRENCE DU CONTRAT						
NIVEAU DE CONFIDENTIALITÉ	<input type="checkbox"/>	CONFIDENTIEL	<input type="checkbox"/>	INTERNE	<input checked="" type="checkbox"/>	PUBLIC

CONTRÔLE QUALITÉ	NOM	DATE	SIGNATURE
RÉALISÉ PAR	Joël RECCO	Juin 2016	
VÉRIFIÉ PAR	Sophie TROSSAT	Juin 2016	
APPROUVÉ PAR	Sophie TROSSAT	Juin 2016	

HISTORIQUE DU DOCUMENT

INDICE	DATE	DÉSIGNATION DE LA RÉVISION
-00	01/06/2016	Version initiale

SOMMAIRE

1	OBJET DU DOCUMENT	11
2	DESCRIPTION DES OUVRAGES	12
2.1	Vue d'ensemble	12
2.2	Inspection visuelle	15
3	ANALYSE DES DONNÉES	16
3.1	Analyse structurale et topographique	16
3.1.1	SE 2.1	16
3.1.2	SE 2.2 aval	18
3.1.3	SE 2.3	22
3.2	Campagne géophysique	23
3.2.1	SE 2.1	23
3.2.2	SE 2.2 aval	24
3.2.3	SE 2.3	24
3.3	Reconnaitances géotechniques	25
3.3.1	SE 2.1	25
3.3.2	SE 2.2 aval	25
3.3.3	SE 2.3	27
4	HYPOTHÈSES HYDRAULIQUES	28
4.1	Hydrologie du secteur	28
4.1.1	Analyse des crues	28
4.1.2	Crues récentes et désordres associés	29
4.2	Niveaux en amont de la digue	29
4.3	Niveaux de saturation en aval de la digue	31
5	STABILITÉ AU GLISSEMENT – DIGUES EN TERRE	31
5.1	SE 2.1	32
5.1.1	Coupes étudiées	32
5.1.2	Données géotechniques retenues	34
5.1.3	Résultats des calculs	34
5.1.4	Conclusion – Stabilité au glissement	34
5.2	SE 2.2 aval	35
5.2.1	Coupes étudiées	35
5.2.2	Données géotechniques retenues	38
5.2.3	Résultats des calculs	39
5.2.4	Conclusion - Stabilité au glissement	40
5.3	SE 2.3	40
5.3.1	Coupe étudiée	40
5.3.2	Données géotechniques retenues	41
5.3.3	Résultats des calculs	41
5.3.4	Conclusion – Stabilité au glissement	41
6	ENRACINEMENT DES ARBRES DANS LA DIGUE	41
7	SATURATION DES DIGUES	43
7.1	Calculs	43
7.1.1	SE 2.1	43
7.1.2	SE 2.2 aval	43
7.1.3	SE 2.3	44
8	ÉROSION INTERNE – DIGUES EN TERRE	44
8.1	Définition	44
8.2	Méthodologie et profils types	45

8.3	Érosion par suffusion.....	46
8.3.1	Méthodes d'évaluation.....	46
8.3.2	Synthèse des résultats - Sensibilité à l'érosion par suffusion du système d'endiguement 2.....	47
8.4	Érosion de contact.....	50
8.4.1	Méthodes d'évaluation.....	50
8.4.2	Synthèse des résultats - Sensibilité à l'érosion de contact du système d'endiguement 2.....	51
8.5	Érosion de conduit	52
8.5.1	Méthode d'évaluation	52
8.5.2	Synthèse des résultats - Sensibilité à l'érosion de conduit.....	52
8.6	Critère de Lane	54
8.7	Claquage hydraulique.....	56
8.8	Érosion régressive	57
8.8.1	Méthodes d'évaluation.....	57
8.8.2	Synthèse des résultats - Sensibilité à l'érosion régressive	57
8.9	Synthèse de l'érosion interne	57
9	Erosion externe du talus amont	59
9.1	Affouillement	59
9.1.1	Système 2.1.....	60
9.1.2	Système 2.2 aval.....	60
9.1.3	Système 2.3.....	60
9.2	Erosion externe du talus amont	60
9.2.1	Système 2.1.....	61
9.2.2	Système 2.2 aval.....	61
9.2.3	Système 2.3.....	62
10	SYNTHESE	62
10.1	Système 2.1	62
10.2	Système 2.2 aval.....	63
10.3	Système 2.3	63

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Zone protégée et écoulements – SE 2	12
Figure 2 : Système 2.1 - digue RD de la Leysse	13
Figure 3 : Système 2.2 aval - Digue RD de la Leysse	14
Figure 4 : Système 2.3 – Digue RD du bras de décharge de la Leysse.....	15
Figure 5 : Profil topographique – système 2.1 – PKL 8.83 – STTP60.....	17
Figure 6 : Profil topographique – système 2.1 – PKL 8.91 – STTP57.....	17
Figure 7 : Profil topographique – système 2.1 – PKL8.88 – STTP59.....	18
Figure 8 : Profil topographique secteur Jean Lain – système 2.2 aval – PKL5.444 – PM720	19
Figure 9 : Profil topographique secteur rond-point Villarcher – système 2.2 aval – PKL4.981 – PM130019	
Figure 10 : Profil topographique secteur Villarcher - système 2.2 aval – PKL4.653 – PM1600.....	20
Figure 11 : Profil topographique secteur double digue - système 2.2 aval – PKL4.208 – PM2050	20
Figure 12 : Profil topographique secteur Double Digue – système 2.2 aval – PKL4.145 – PM2130	21
Figure 13 : Profil topographique secteur Tremblay – système 2.2 aval – PKL3.543 – PM2680	21
Figure 14 : Profil topographique système 2.3 – CD112.5 – PKBDL0.005 – PM2450	23
Figure 15 : Profil géotechnique (Geotech1) – SE 2.1	25
Figure 16 : Profil géotechnique (Geotech2) – SE 2.1	25
Figure 17 : Profil géotechnique (Geotech1) – Secteur topographique Bras de décharge de la Leysse – SE 2.3	28
Figure 18 : Hydrogramme de la Leysse et ces principaux affluents pour la crue de 1990.....	29
Figure 19 : Geotech1 – STTP57 – PKL8.91 - Modèle TALREN.....	32
Figure 20 : Geotech1 – STTP59 – PKL8.88 – Modèle TALREN.....	33
Figure 21 : Geotech2 – STTP57 – PKL8.91 – Modèle TALREN.....	33
Figure 22 : Geotech2 – STTP59 – PKL8.88 – Modèle TALREN.....	33
Figure 23 : Geotech1 – secteur Jean Lain PKL5.444 - Modèle TALREN.....	35
Figure 24 : Geotech2 – secteur Rond-Point Villarcher PKL4.981 – Modèle TALREN	36
Figure 25 : Geotech3 – secteur Villarcher PKL4.208 – Modèle TALREN	36
Figure 26 : Geotech3 - secteur Villarcher PKL4.653 – Modèle TALREN	36
Figure 27 : Geotech4 – secteur Tremblay PKL3.543 – Modèle TALREN	37
Figure 28 : Geotech5 – secteur Rond-Point Villarcher PKL4.981 – Modèle TALREN	37
Figure 29 : Geotech6 – secteur Villarcher PKL4.208 – Modèle TALREN	37
Figure 30 : Geotech6 – secteur Villarcher PKL4.653 – Modèle TALREN	38
Figure 31 : Geotech1 – système 2.3 – PKBDL 1.16 – PM1350 – Modèle TALREN	41

Figure 32 : Mécanismes d'initiation d'érosion interne	45
Figure 33 : courbes granulométriques – système 2.2 aval	48
Figure 34 : Claquage hydraulique - Configuration requise	56
Figure 35 : Explication de la formule - Profondeur d'affouillement	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : tableau de description des sous-systèmes.....	11
Tableau 2 : Désordres observés – Système 2.1.....	15
Tableau 3 : Désordres observés – Système 2.2 aval.....	16
Tableau 4 : Désordres observés – Système 2.3.....	16
Tableau 5 : Caractéristiques profils types – Système 2.1.....	18
Tableau 6 : Caractéristiques profils types – Système 2.2 aval.....	22
Tableau 7 : Caractéristiques profil type – Système 2.3.....	23
Tableau 8 : Profil géotechnique (Geotech1) – secteur topographique Jean Lain – SE 2.2 aval.....	26
Tableau 9 : Profil géotechnique (Geotech2) – Secteur topographique Rond-Point Villarcher – SE 2.2 aval.....	26
Tableau 10 : Profil géotechnique (Geotech3) – Secteur topographique Villarcher – SE 2.2 aval.....	26
Tableau 11 : Profil géotechnique (Geotech4) – Secteur topographique Tremblay – SE 2.2 aval.....	26
Tableau 12 : Profil géotechnique (Geotech5) – Secteur topographique Rond-Point Villarcher – SE 2.2 aval.....	26
Tableau 13 : Profil géotechnique (Geotech6) – Secteur topographique Villarcher – SE2.2 aval.....	26
Tableau 14 : Caractéristiques mécaniques des sols – Système d’endiguement 2.2 aval.....	27
Tableau 15 : Niveau d’eau en amont de la digue – système 2.1.....	30
Tableau 16 : Niveaux d’eau en amont de la digue – système 2.2 aval.....	30
Tableau 17 : Niveau d’eau en amont de la digue – système 2.3.....	30
Tableau 18 : Niveau de la nappe en aval de la digue – système 2.1.....	31
Tableau 19 : Niveau de la nappe en aval de la digue – système 2.2 aval.....	31
Tableau 20 : Niveau aval de la digue – système 2.3.....	31
Tableau 21 : Coefficients partiels et de modèle – ELU stabilité d’ensemble (glissement).....	32
Tableau 22 : Récapitulatif des profils types à étudier – système 2.1.....	32
Tableau 23 : Caractéristiques mécaniques des sols retenus pour les calculs – système 2.1.....	34
Tableau 24 : Coefficients de sécurité calculés - Etude de la stabilité au glissement – Système 2.1	34
Tableau 25 : Récapitulatif des profils types à étudier – système 2.2 aval.....	35
Tableau 26 : Caractéristiques mécaniques des sols retenus pour les calculs – système 2.2 aval.....	39
Tableau 27 : Coefficients de sécurité calculés - Etude de la stabilité au glissement – système 2.2 aval.....	40
Tableau 28 : Récapitulatif des profils types à étudier – système 2.3.....	40
Tableau 29 : Caractéristiques mécaniques des sols retenus pour les calculs – système 2.3.....	41
Tableau 30 : Coefficient de sécurité calculés – Etude de la stabilité au glissement – système 2.3.....	41
Tableau 31 : Référencement de la végétation (Arbeausolutions) – système 2.1.....	42

Tableau 32 : Référencement de la végétation (Arbeausolutions) – système 2.2 aval	42
Tableau 33 : Référence de la végétation (Arbeausolutions) – Système 2.3	42
Tableau 34 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers des digues – S2.1	43
Tableau 35 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers des digues – S2.2 aval	44
Tableau 36 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers la digue – S2.3.....	44
Tableau 37 : Sensibilité à la suffusion des différents sols étudiés – Système 2.2 aval.....	49
Tableau 38 : Sensibilité à l'érosion de conduit – système 2.2 aval	51
Tableau 39 : Réseau présent sur le système 2.1	52
Tableau 40 : réseaux présent sur le système 2.2 aval	53
Tableau 41 : réseau présent sur le système 2.3.....	54
Tableau 42 : sensibilité au critère de Lane – système 2.1.....	55
Tableau 43 : sensibilité au critère de Lane – système 2.2 aval	55
Tableau 44 : sensibilité au critère de Lane – système 2.3.....	55
Tableau 45 : Synthèse de l'érosion interne – Système2.1	58
Tableau 46 : Synthèse de l'érosion interne – Système 2.2 aval.....	58
Tableau 47 : Synthèse de l'érosion interne – Système 2.3	59
Tableau 48 : Profondeur des fonds mobilisés par l'écoulement – Système 2.1	60
Tableau 49 : Profondeur des fonds mobilisés par l'écoulement – Système 2.2 aval	60
Tableau 50 : Profondeur des fonds mobilisés par l'écoulement – Système 2.3.....	60
Tableau 51 : Caractéristiques théoriques des enrochements de protection du talus amont – système 2.1	61
Tableau 52 : Caractéristiques théoriques des enrochements de protection du talus amont – système 2.2 aval	61
Tableau 53 : Caractéristiques théoriques des enrochements de protection du talus amont – système 2.3	62
Tableau 54 : Synthèse des risques de ruptures – système 2.1.....	62
Tableau 55 : Synthèse des risques de ruptures par tronçons – système 2.2 aval	63
Tableau 56 : Synthèse des risques de ruptures – système 2.3.....	63

DOCUMENTS ASSOCIES

- [DA1] Diagnostic initial de sécurité valant VTA – Etat des lieux – hiérarchisation et plan de gestion Visite – CNR/Arbeausolutions pour Chambéry Métropole – DI-CEN 2015-237-01 – mai 2015
- [DA2] Rapport d'étude géophysique – IMG – 15G038 – 2015/2016
- [DA3] Rapport d'étude géotechnique – C.15.52066 – Hydrogéotechnique – 2016
- [DA4] Diagnostic de la végétation – Arbeausolutions – 2015

GLOSSAIRE, NOTATIONS

Termes d'analyse

Anomalie : Évènement qui indique un comportement ou une situation anormale ou inattendue.

Auscultation : Surveillance et suivi dans le temps, à l'aide d'instruments de mesure, de divers paramètres de comportement de l'ouvrage, de sa fondation et de son environnement, sur une longue période de la vie de l'ouvrage (exemple : niveau piézométrique, mouvement, jaugeage).

Incident (déf. procédure CSO P053) : Est considéré comme incident sur un ouvrage de génie civil, toute anomalie suspectée ou avérée relative à la géométrie ou au comportement de l'ouvrage.

Termes de conception

Corps de digue : Ensemble des différents matériaux (sables et graviers, limons ...) constituant la digue, inclus dans la forme trapézoïdale de l'ouvrage.

Clés : Masque de sables graviers de bonnes caractéristiques mécaniques disposés soit sur la partie amont du noyau de digue, soit sur la partie aval de digue, dont les fonctions ont un double objectif de protection mécanique et filtre.

Noyau : partie centrale interne de la digue, constitué par un matériau relativement peu perméable, permettant de rabattre la ligne de charge et limiter les débits de percolation à travers l'ouvrage.

Termes de contrainte

Vitesse d'entraînement critique : Vitesse d'écoulement à partir de laquelle une particule de sol peut être détachée mécaniquement de ses voisines sous l'effet d'une circulation d'eau.

Charge restante : Charge piézométrique mesurée dans le pied de l'ouvrage par rapport à la charge entre le plan d'eau (PE) et le niveau du contre-canal (CC), en équilibre avec la nappe phréatique. Elle peut être exprimée sous la forme d'un pourcentage de la charge globale et définie de la manière suivante :

$$\frac{(H_{\text{aval}} - H_{\text{contre-canal}})}{(H_{\text{PE amont}} - H_{\text{contre-canal}})} \times 100$$

Termes de désordre/constat

Résurgence : Apparition dans le talus de digue aval d'un écoulement aérien issu de circulations d'eau souterraines sous ou dans l'ouvrage hydraulique

Colmatage : Obturation progressive, totale ou partielle, des circulations d'eau transitant à travers ou à la surface d'un élément de drainage (clé drainante, drain, ...) d'un ouvrage hydraulique.

Entraînement des fines : migration de particules de matériaux extraits du noyau ou de la fondation de la digue ; l'une des manifestations physiques du phénomène d'érosion interne.

Loupe de glissement (d'arrachement, de solifluxion): petite masse glissée de terrain formant grossièrement une demi-sphère convexe vers le bas et dégageant une niche d'arrachement.

Affaissement : Dépression ténue, plus ou moins circulaire pouvant être observée sur les parements ou la crête de digues, avec ou sans lien avec un phénomène d'érosion

Décrochement : Plan souvent vertical le long duquel deux compartiments de sol coulissent l'un par rapport à l'autre.

Trou : Dépression marquée, plus ou moins circulaire pouvant être observé sur les parements ou la crête de digues, avec ou sans lien avec un phénomène d'érosion.

1 OBJET DU DOCUMENT

Conformément à l'arrêté du 16 Juin 2009, fixant des prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques, le service Infrastructures et Equipements Hydrauliques de la direction de l'ingénierie (DI-IEH), réalise, pour le compte de Chambéry Métropole, le diagnostic des digues de la Leysse et de l'Hyères. Cette protection, est située sur différentes communes de Savoie (73). Le linéaire d'étude est constitué de :

- La digue en rive gauche de la Leysse en amont de Chambéry (73), dénommée SE3.1
- La digue en rive droite de la Leysse en amont de Chambéry (73) et constituée par les systèmes SE1.1, SE1.2 et SE1.3,
- La digue en rive gauche de la Leysse en aval de Chambéry (73) constituée par les systèmes SE 4.2, SE4.3 et SE 5,
- La digue en rive droite de la Leysse en aval de Chambéry (73) constituée par les systèmes SE2.1, SE2.2 aval et SE2.3,
- La digue en rive gauche de l'Hyères (73) constitué par les systèmes SE4.1 et SE4.2.

Ce document a pour objet d'évaluer les différents risques d'instabilités du système d'endiguement rive droite de la Leysse en aval de Chambéry sur le système 2. Le tableau suivant décrit les limites de chaque sous-tronçon constituant le système d'endiguement 2. La cartographie suivante précise la localisation de ces sous-tronçons.

Description						
Système de digue	Dénomination	N° tronçon	Début	Fin	Linéaire total (km)	hauteur digue maxi (m)
2	Leysse RD de la confluence Leysse/Hyères au lac du Bourget	SE 2.1	200m aval confluence Leysse/Hyères	410m aval confluence Leysse/Hyères	0.21	1.5
		SE 2.2 aval	1150m aval confluence Leysse/Hyères	100m aval pont Tremblay	4.5	4
		SE 2.3	Bras de décharge en aval du pont Tremblay	Bras de décharge au droit de la D1211	2.64	1

Tableau 1 : tableau de description des sous-systèmes

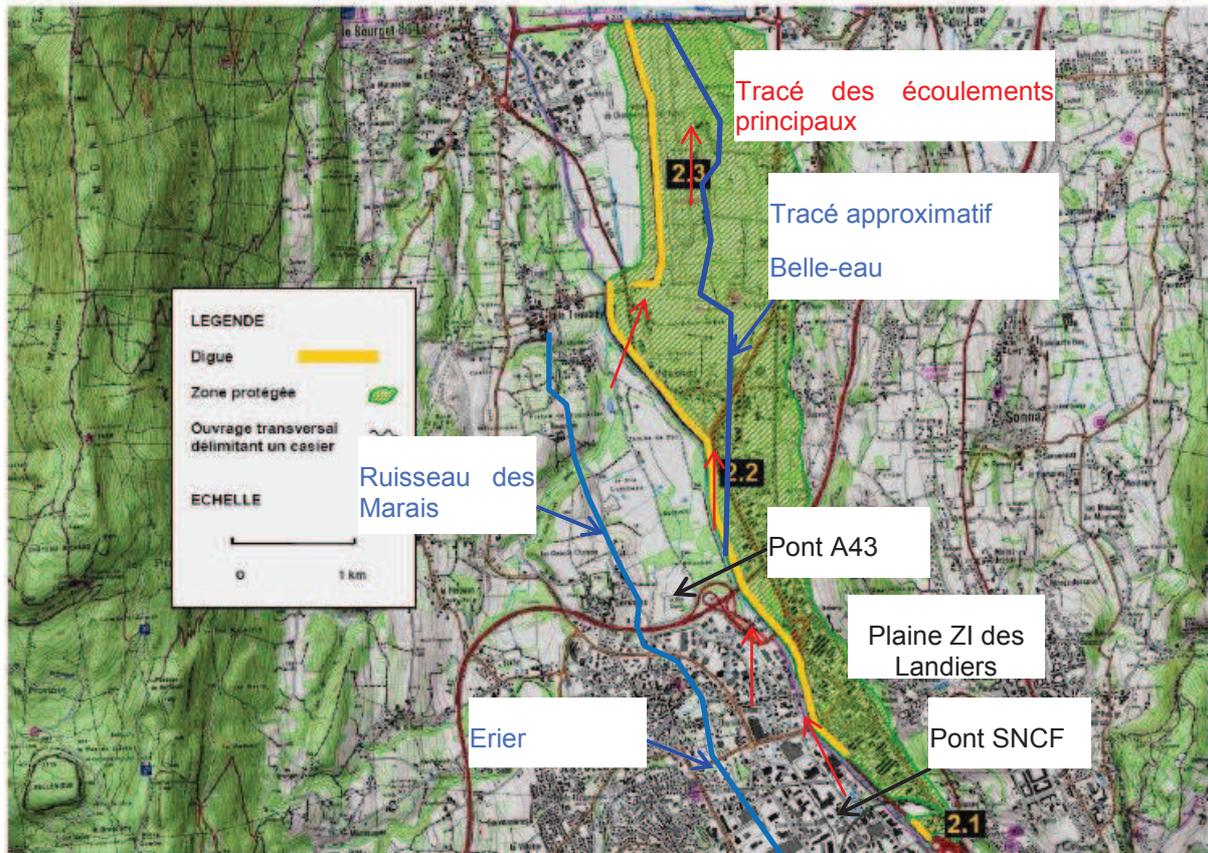


Figure 1 : Zone protégée et écoulements – SE 2

2 DESCRIPTION DES OUVRAGES

2.1 Vue d'ensemble

- Digue RD de la Leysse S2.1

Le système d'endiguement de **la VRU**, est classé sous le système 2.1 et se situe sur la commune de Chambéry en Savoie (73). Il se situe en rive droite de 200m en aval de la confluence Leysse Hyères à 410m en aval de cette même confluence, entre les PK 8.97 et PK 8.76 (linéaire de 210m). Ce tronçon a 2 principaux profils topographiques principaux décrit dans la partie suivante.

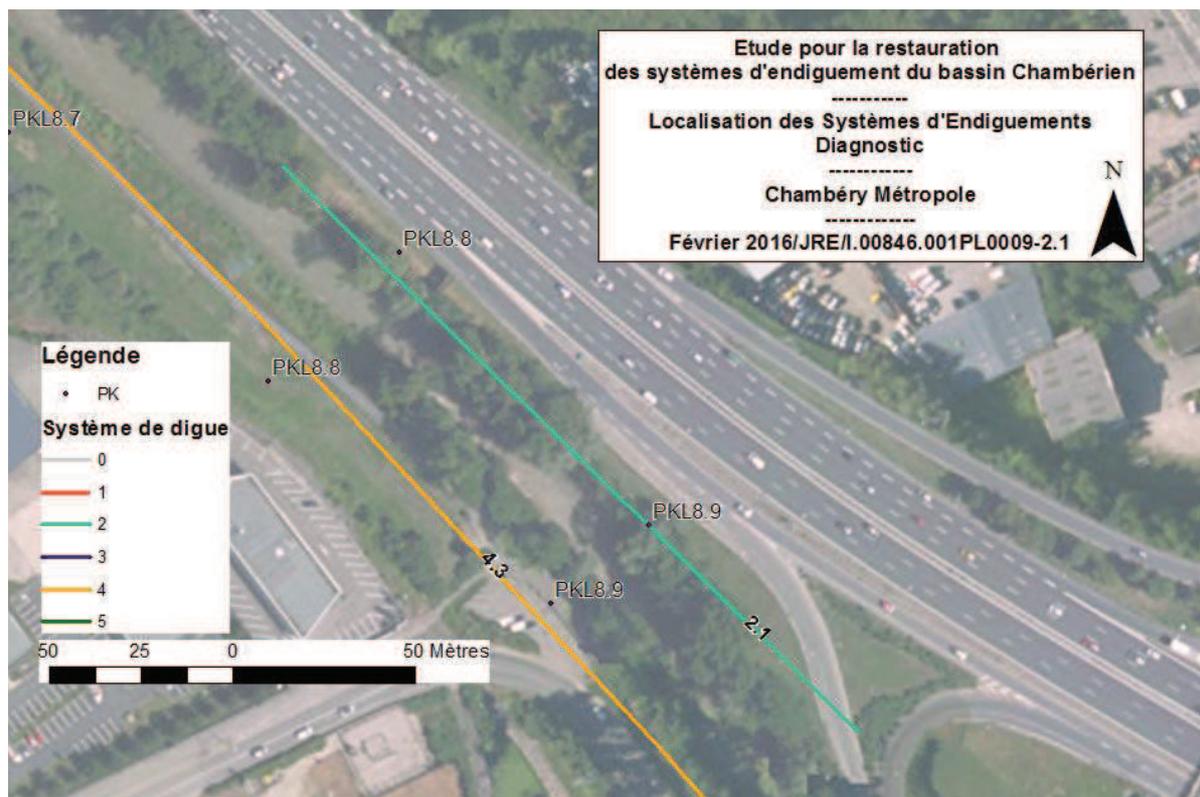


Figure 2 : Système 2.1 - digue RD de la Leysse

- Digue RD de la Leysse S2.2 aval

Le système d'endiguement 2.2 aval se situe en rive droite de la Leysse, sur les communes de Chambéry, la Motte Servolex et Voglans en Savoie (73). Il se situe 1150 m en aval de la confluence Leysse Hyères et 100m en aval du pont du Tremblay, entre les PKL 8.0 et PKL 3.5 (linéaire de 4.5 km). Cependant seul la partie en aval du pont de l'A41 sera traité (du PKL6.3 au PKL 3.5 soit un linéaire de 2.8km), la partie en amont a déjà été étudié. Ce tronçon est découpé en plusieurs sous-tronçons décrit dans la partie suivante.

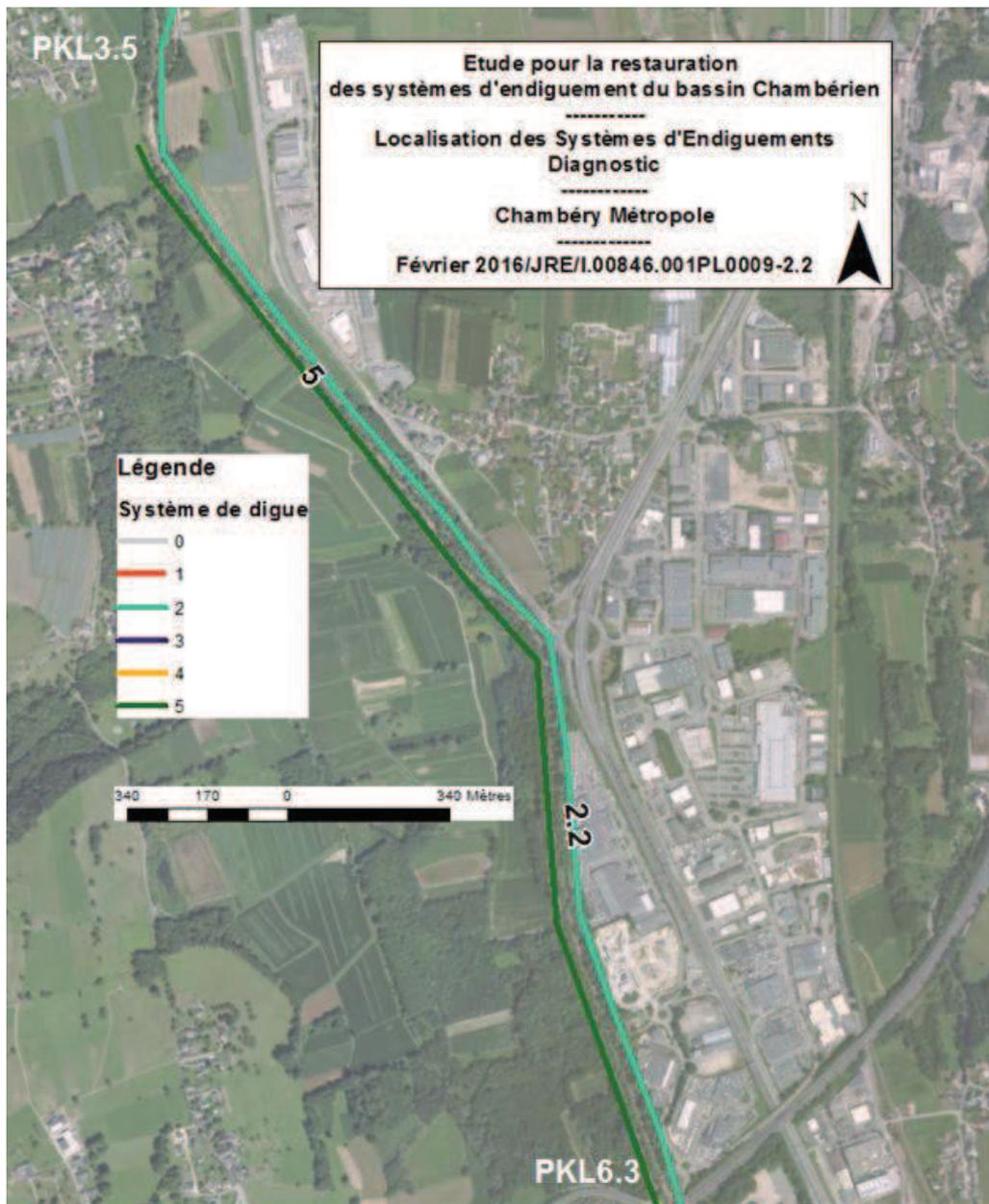


Figure 3 : Système 2.2 aval - Digue RD de la Leysse

- Digue RD de la Leysse S2.3

Le système d'endiguement du bras de décharge est classé sous le système 2.3, et se situe sur les communes de la Motte Servolex et du Bourget de Lac en Savoie (73). Il se situe rive droite du bras de décharge de la Leysse depuis l'aval du pont du Tremblay jusqu'à l'amont immédiat de la RD 1211, entre les PKBDL 2.5 et PKBDL 0 (linéaire de 2.5 km).

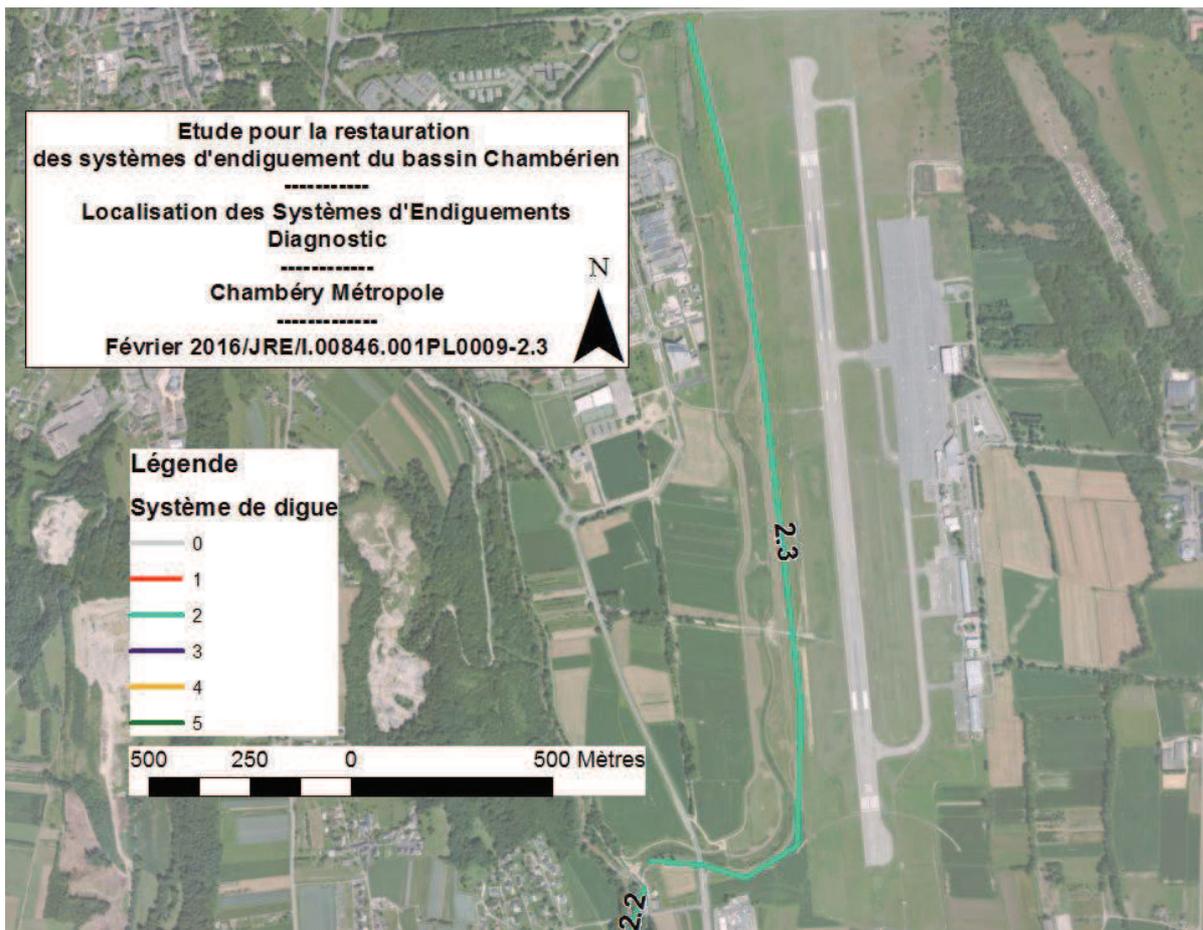


Figure 4 : Système 2.3 – Digue RD du bras de décharge de la Leysse

Le compte-rendu de la VTA de 2015 ([DA1]) ainsi que les fiches de synthèse de chacun des linéaires expliquent en détails les caractéristiques géométriques ainsi que le revêtement des talus.

2.2 Inspection visuelle

La dernière visite technique approfondie a été réalisée en mai 2015. Ci-après sont listés les différents désordres observés.

- SE 2.1

Secteur Concerné	Localisation	Désordre
Système 2.1	Talus amont	Présence d'arbres de tailles adultes, risque d'arrachement, embâcles
	Talus aval	raide par endroit
		entaille local du talus, tenu par un muret en béton
	Crête	passage étroit sur une quinzaine de mètre
conduite de distribution de gaz dans l'axe de l'ouvrage		

Tableau 2 : Désordres observés – Système 2.1

- SE 2.2 aval

Secteur Concerné	Localisation	Désordre
Système 2.2 aval	Talus amont	Végétation importante, arbres morts, souches
		pente très raide
		érosion importante
		Affaissement du talus par endroit
	Talus aval	fluage/solifluxion
		pente raide
		Végétation importante, arbres morts, souches
	Crête	piste cyclable
dévers marqué, fissures longitudinales sur l'enrobé de la piste		

Tableau 3 : Désordres observés – Système 2.2 aval

- SE 2.3

Secteur Concerné	Localisation	Désordre
Système 2.3	talus amont	talus localement un peu raide
		très légère érosion superficielle
	talus aval	talus localement un peu raide
		très légère érosion superficielle
		piétinement d'animaux
	crête	piétinement d'animaux

Tableau 4 : Désordres observés – Système 2.3

Tous les désordres énoncés ci-dessus sont cartographiés dans le compte-rendu de la VTA de 2015.

3 ANALYSE DES DONNÉES

Le but de cette partie est d'analyser les différentes données disponibles concernant les digues auscultées afin d'en connaître la composition interne. Cette analyse mène à la définition de profils types représentatifs des différents faciès de digue rencontrés. Ces profils sont utilisés par la suite dans des calculs de stabilité.

3.1 Analyse structurale et topographique

3.1.1 SE 2.1

D'un point de vue topographique, on distingue deux structures du talus amont très différentes. Sur la partie amont du secteur entre les PM0 et PM175 se trouvent des blocs pluri-décimétriques non liés en base et affleurant localement sur les parois de la digue. Sur la partie aval entre les PM 175 à PM 240, la digue est soutenue par un empierrement sur l'intégralité de sa hauteur. Ce dernier profil (Figure 5) est plus stable grâce à ces enrochements, d'autant plus que la largeur de crête est importante (5 à 6m), il ne sera pas étudié en stabilité.

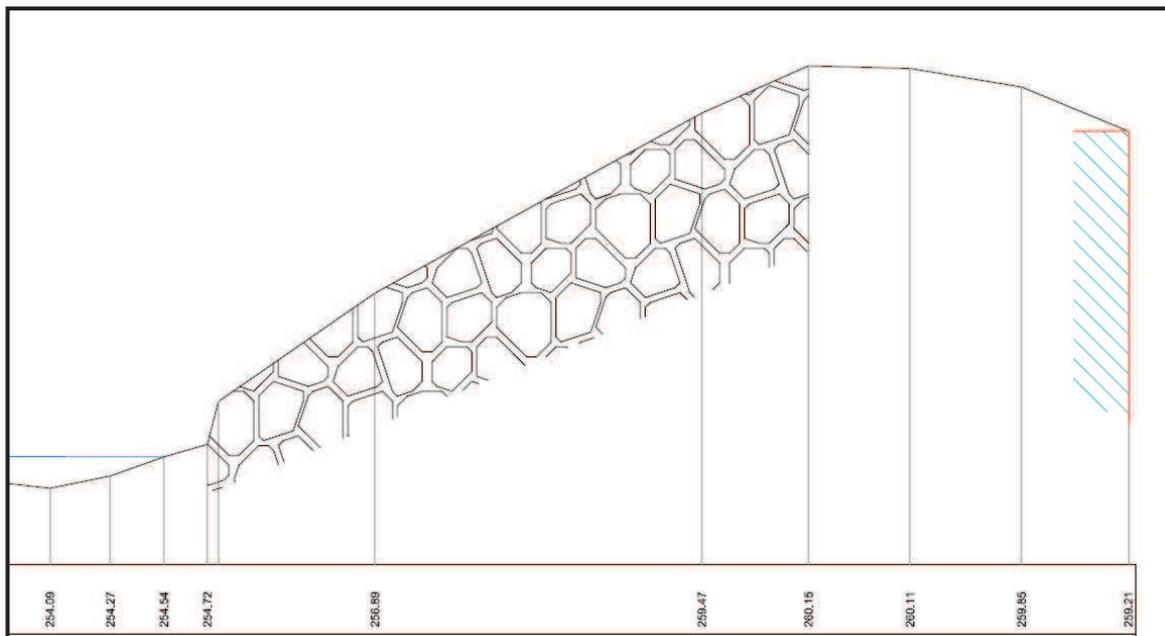


Figure 5 : Profil topographique – système 2.1 – PKL 8.83 – STTP60

Les profils critiques qui sont étudiés se situent donc sur la partie amont. Hormis le fait que le talus amont ne soit pas enroché, deux profils se distinguent, l'un avec une large crête, et l'autre avec une crête beaucoup plus faible et des pentes de talus aval plus importantes. Le premier profil étudié dispose d'une large crête, mais d'une pente du talus amont très importante. La relève topographique ne permet pas d'identifier le niveau du terrain neutre, mais celui-ci se situe 1.5m plus bas avec une pente relativement douce.

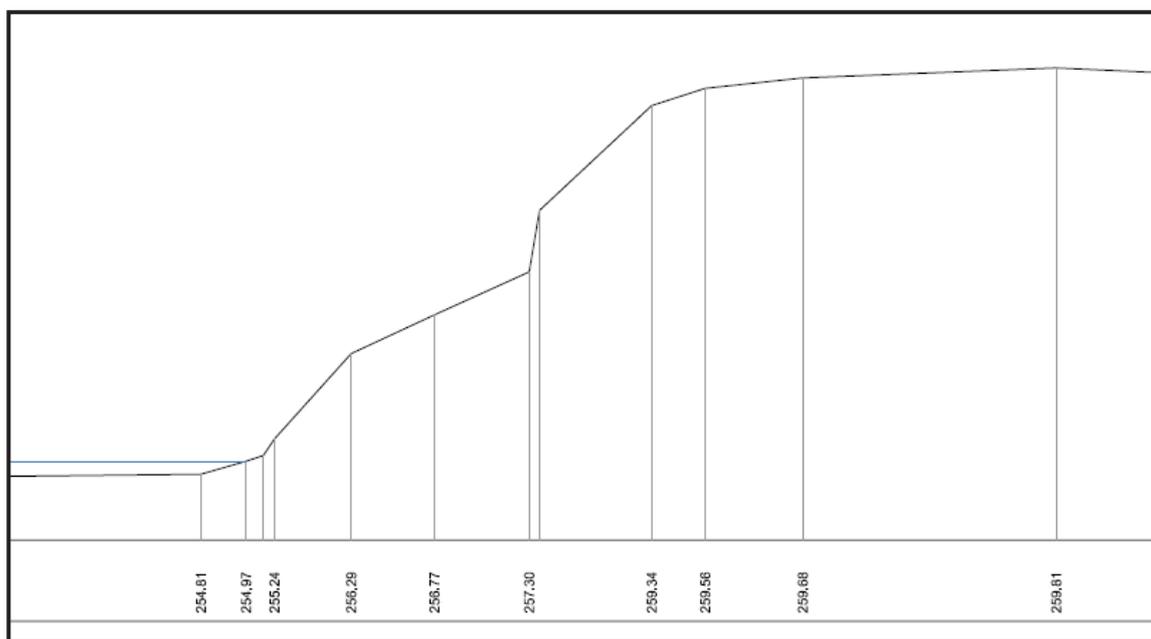


Figure 6 : Profil topographique – système 2.1 – PKL 8.91 – STTP57

Le second profil est lui caractérisé par sa faible crête. Là non plus la relève topographique ne nous permet pas d'identifier le terrain neutre, mais il se situe 1.5m plus bas avec une pente élevée de quasi 1/1.

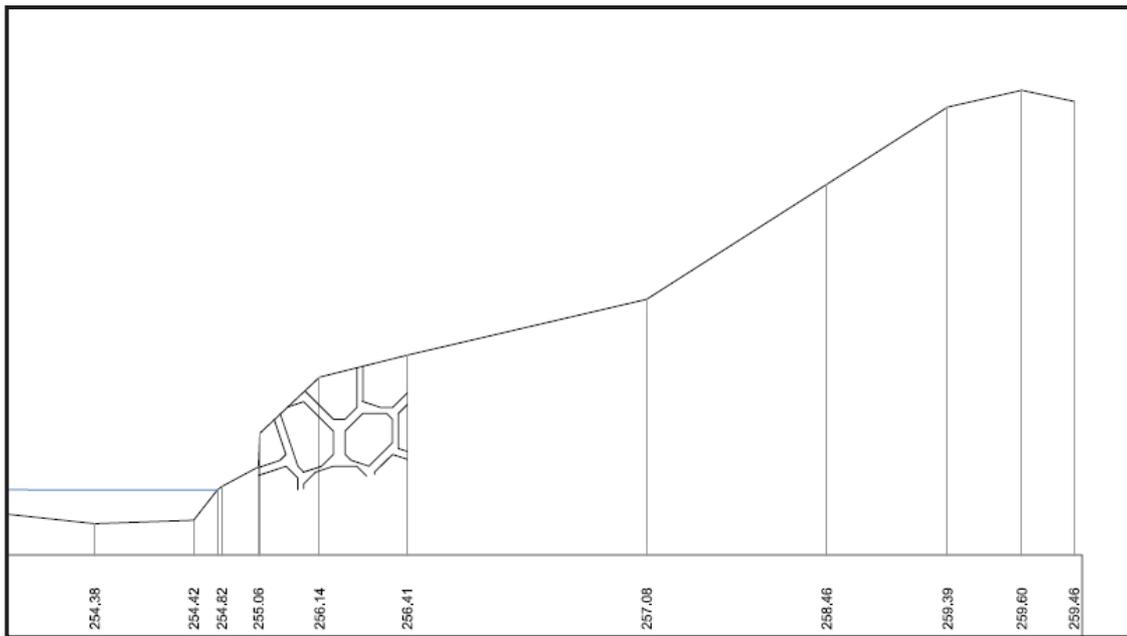


Figure 7 : Profil topographique – système 2.1 – PKL8.88 – STTP59

- Récapitulatif des principales caractéristiques géométriques :

Nom de la digue ou du tronçon de digue	Longueur du tronçon (m)	Pente Talus amont (H/V)	Pente talus aval (H/V)	Hauteur par rapport TN aval (m)	Largeur en crête (m)	Protection amont	PK début	PK fin
S2.1 amont	175	3/2 à 1/1	de 3/1 à 1/1 muret bétonné entaille la digue localement	1.5 à 2 m	1 à 6	enrochement en partie inférieur	9	8.82
S2.1 aval	240	3/2 à 1/2	de 3/1 à 1/1 muret bétonné entaille la digue localement	1.5 à 2 m	3 à 6	enrochement	8.82	8.58

Tableau 5 : Caractéristiques profils types – Système 2.1

3.1.2 SE 2.2 aval

Ce système d'endiguement concerne la digue en rive droite de la Leysse sur 2.8km. La digue composant ce système d'endiguement peut alors être divisée en 5 secteurs d'un point de vue topographique. Ces tronçons sont les suivants :

- Secteur Jean Lain : Ce premier secteur à proximité du concessionnaire Jean Lain jusqu'au rond-point de Villarcher se situe entre les **PKL 6.2 et PKL 5.1**. La largeur de crête est d'environ 5 à 6m, et la hauteur de digue de 3m. Les caractéristiques géométriques sont résumées dans le Tableau 6. Le profil le plus défavorable vis-à-vis des pentes de talus et de largeur de crête sur ce secteur est le suivant :

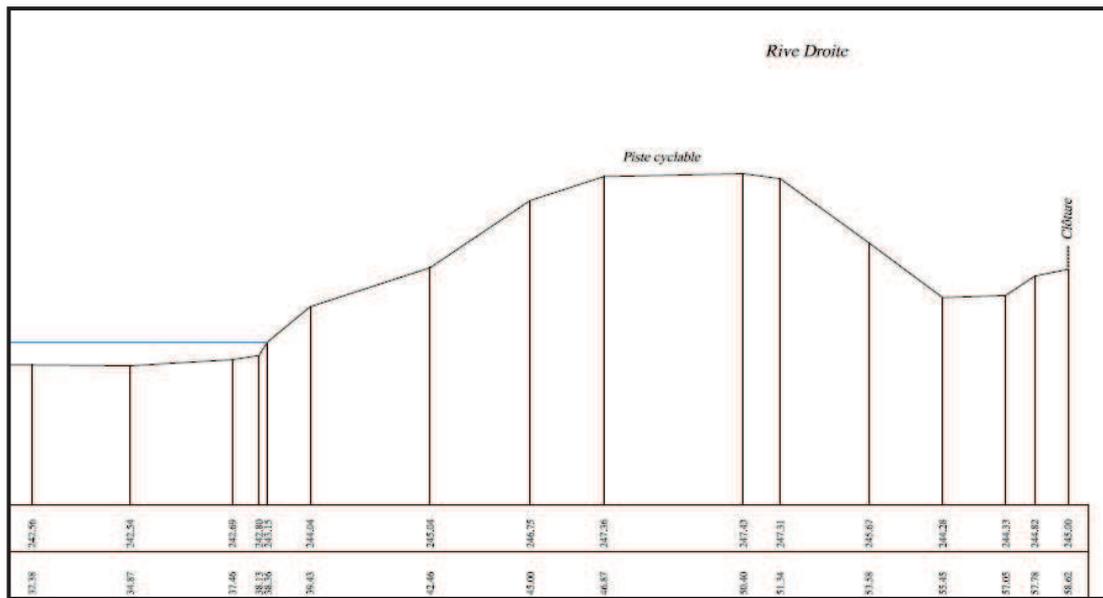


Figure 8 : Profil topographique secteur Jean Lain – système 2.2 aval – PKL5.444 – PM720

- Secteur rond-point Villarcher :** Cette digue constitue un point critique du linéaire de l'endiguement puisqu'à ce niveau les pentes amont et aval des talus sont très raides, de plus la largeur de crête est elle aussi très étroite. Le secteur se situe entre les **PKL5.1 et PKL4.9**. Au droit de Villarcher, le tracé de la rivière effectue un virage d'un angle d'environ 60°. La digue étant située dans l'extrados du virage, c'est donc une zone où l'érosion externe peut être très importante. Les profils topographiques et le diagnostic de sécurité permettent de mettre en évidence les caractéristiques géométriques résumées dans le Tableau 6. Le profil le plus défavorable vis-à-vis des pentes de talus et de la largeur en crête sur ce tronçon est le suivant :

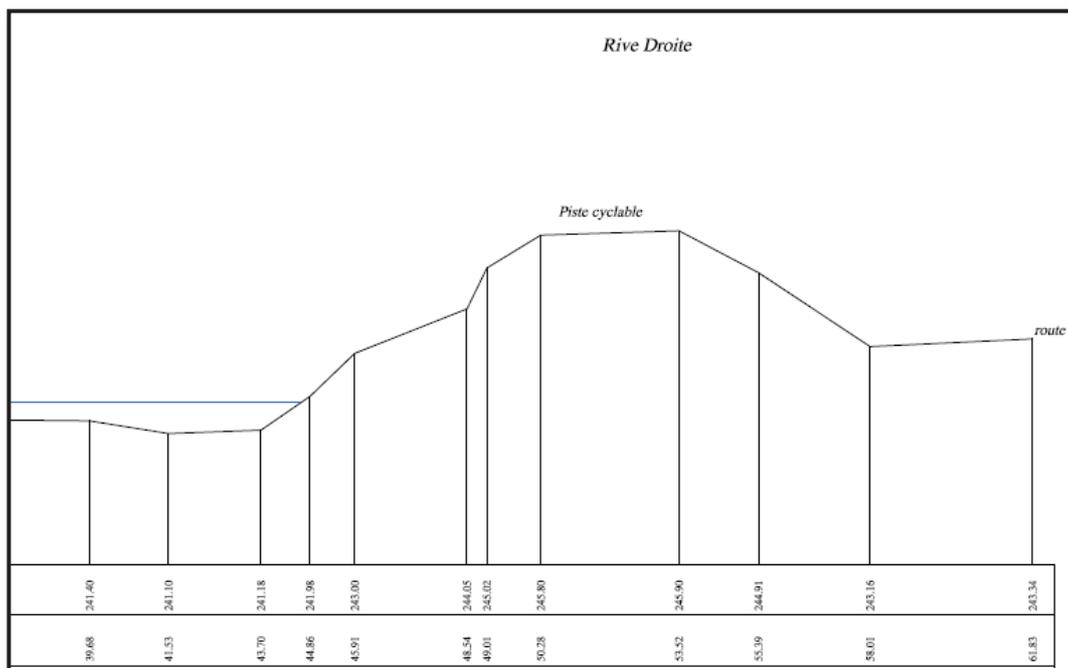


Figure 9 : Profil topographique secteur rond-point Villarcher – système 2.2 aval – PKL4.981 – PM1300

- Secteur Villarcher : Le troisième secteur, celui de Villarcher présente des caractéristiques également spécifiques avec des fortes pentes de talus mais il présente une largeur de crête plus importante. Il se situe entre les **PKL4.9 et PKL4.2**. Deux profils topographiques extrêmes sont retenus, l'un pour la pente du talus amont l'autre pour celle du talus aval :

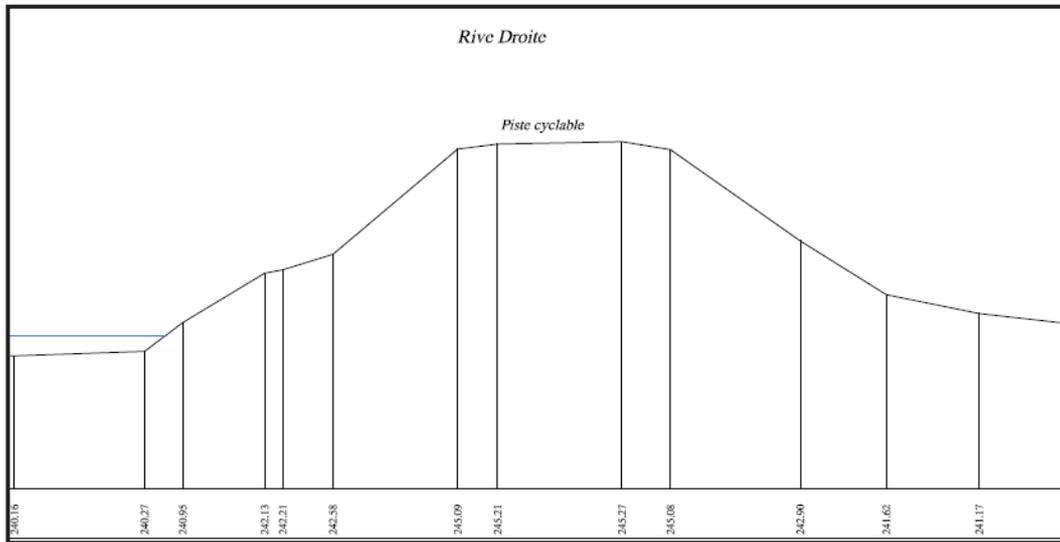


Figure 10 : Profil topographique secteur Villarcher - système 2.2 aval – PKL4.653 – PM1600

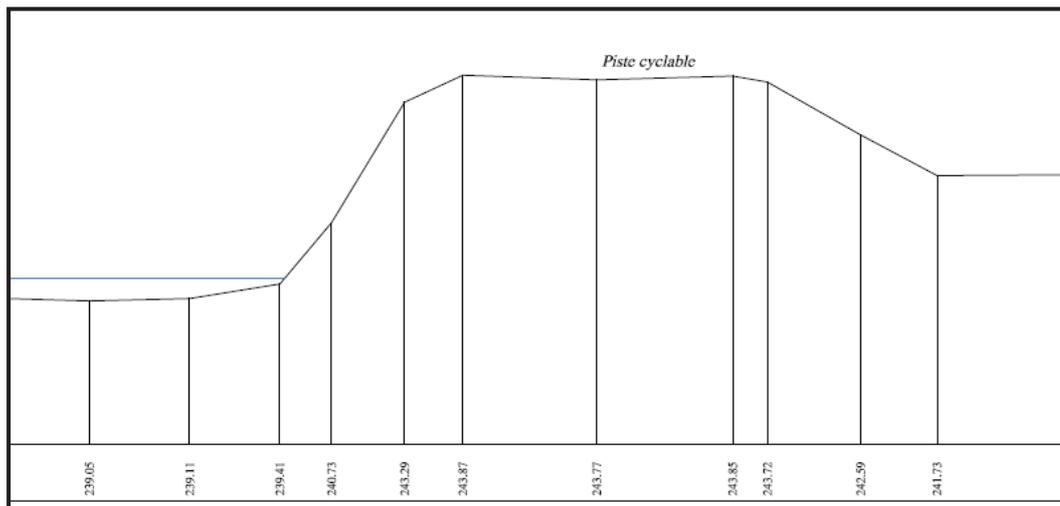


Figure 11 : Profil topographique secteur double digue - système 2.2 aval – PKL4.208 – PM2050

- Secteur double digue : Le quatrième secteur est présent sur une petite section entre les **PKL4.2 et PKL4**, et est spécifique car il présente une double digue. De par sa forme, ce secteur présente moins de danger que les précédents. Les profils topographiques et le diagnostic de sécurité permettent de mettre en évidence les caractéristiques présentées dans le Tableau 6.

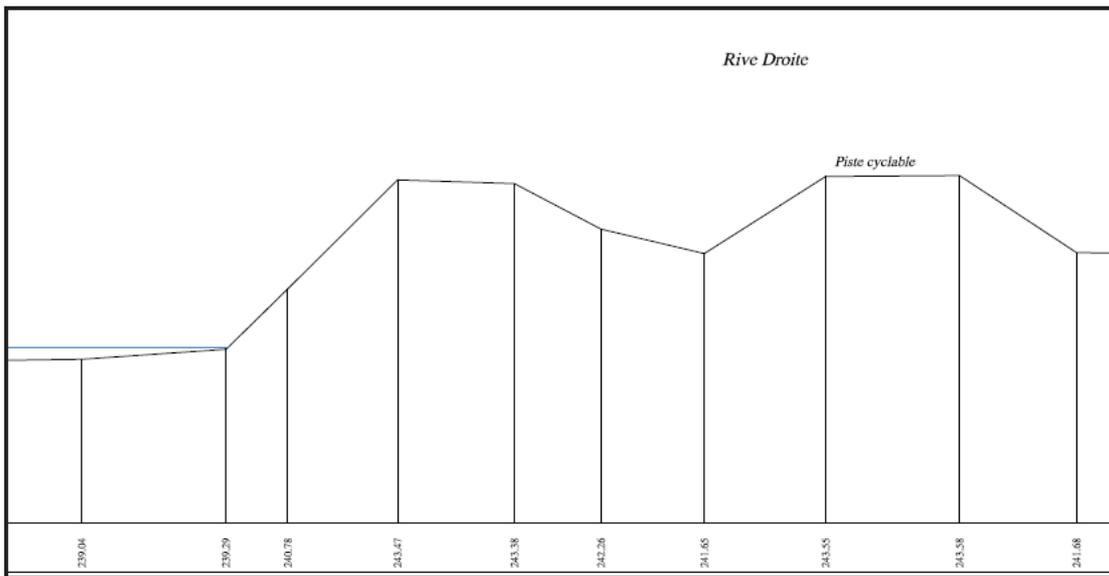


Figure 12 : Profil topographique secteur Double Digue – système 2.2 aval – PKL.145 – PM2130

- **Secteur Tremblay** : Le cinquième et dernier secteur présente un profil de digue large avec des pentes plus faibles que les secteurs précédents. Le profil le plus défavorable, vis-à-vis des pentes de talus et de la largeur en crête sur ce tronçon est le suivant :

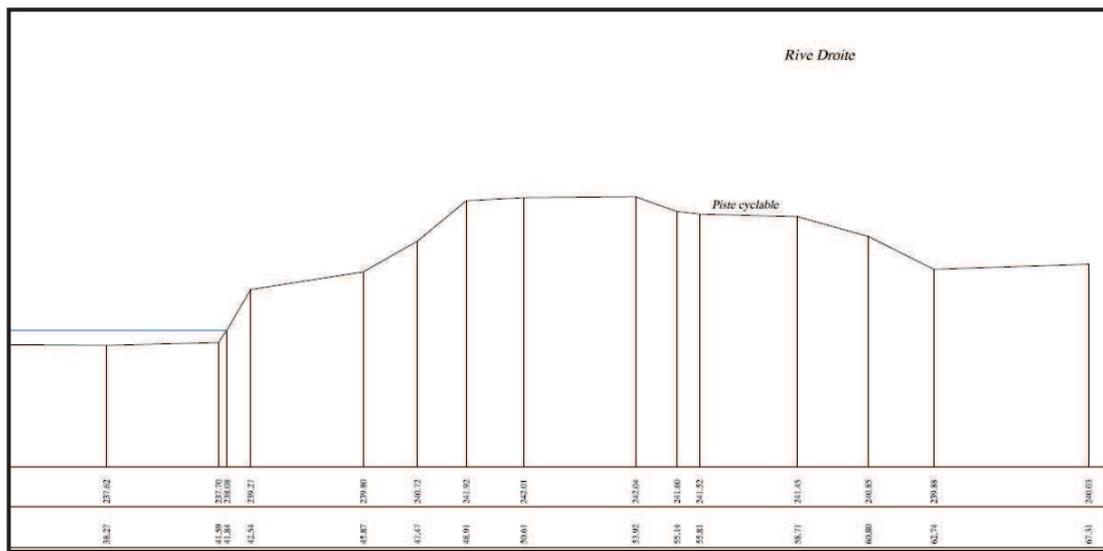


Figure 13 : Profil topographique secteur Tremblay – système 2.2 aval – PKL3.543 – PM2680

- Récapitulatif des principales caractéristiques géométriques :

Nom de la digue ou du tronçon de digue	Longueur du tronçon (m)	Pente Talus amont (H/V)	Pente talus aval (H/V)	Hauteur par rapport TN aval (m)	Largeur en crête (m)	Protection amont	PKL début (PM)	PKL fin (PM)
Secteur Jean Lain	1100	3/2 à 1/1	1/1	3	5 à 6	protection non visible à l'exception de quelques enrochements en pieds	6.2 (80)	5.1 (1150)
Secteur rond-point de Villarcher	200	1/1 à subvertical	1/1	3	3	protection non visible à l'exception de quelques enrochements en pieds	5.1 (1150)	4.9 (1350)
Secteur Villarcher	700	3/2 à subvertical	3/2	2	8 à 10	protection non visible à l'exception de quelques enrochements en pieds	4.9 (1350)	4.2 (2050)
Secteur double digue	200	3/2	3/2 à 1/1	2	15	protection non visible à l'exception de quelques enrochements en pieds	4.2 (2050)	4 (2250)
Secteur Tremblay	600	3/2	3/2	2	10 à 15	protection non visible à l'exception de quelques enrochements en pieds	4 (2250)	3.4 (2850)

Tableau 6 : Caractéristiques profils types – Système 2.2 aval

3.1.3 SE 2.3

Ce système d'endiguement est un peu particulier car il concerne la rive droite du bras de décharge de la Leysse. Ce tronçon n'est donc pas tout le temps en eaux (sauf la partie la plus en aval, proche du lac) mais seulement lorsque le niveau de la Leysse est trop important et que les vannes en amont sont ouvertes pour soulager le débit de la Leysse. Cette digue est longue 2.5 km et on identifie un seul secteur d'un point de vue topographique. C'est le profil le plus défavorable décrit ci-dessous qui sera étudié.

- Profil topographique : Ce profil se situe au PKBDL 1.16. La largeur de crête est de l'ordre de 4m avec une hauteur par rapport au terrain neutre de 1.5m

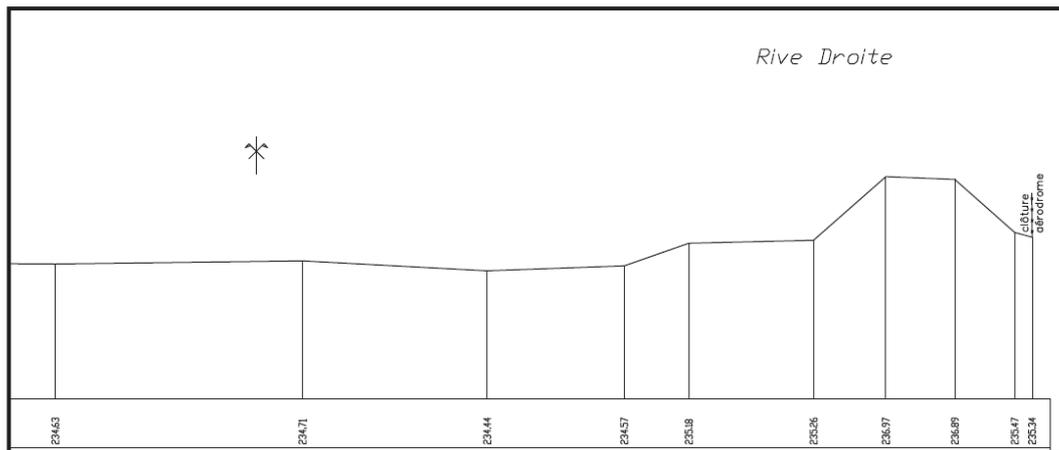


Figure 14 : Profil topographique système 2.3 – CD112.5 – PKBDL0.005 – PM2450

- Récapitulatif des principales caractéristiques géométriques

Nom de la digue ou du tronçon de digue	Longueur du tronçon (m)	Pente Talus amont (H/V)	Pente talus aval (H/V)	Hauteur par rapport au TN aval (m)	Largeur en crête (m)	Protection amont	PKBDL début (PM)	PKBDL fin (PM)
Bras de décharge	2500	3/2 Local. 1/1	3/2 Local. 1/1	1.5 à 2	3 à 4	pas de protection	2.5 (0)	0 (2500)

Tableau 7 : Caractéristiques profil type – Système 2.3

3.2 Campagne géophysique

Une investigation géophysique a été réalisée du 25 au 31 août 2015 afin de déterminer les couches de matériaux constitutifs de la digue d'une manière continue et de repérer les zones d'anomalies susceptibles d'échapper à la campagne de sondages géotechniques ponctuelle. Les résultats de cette campagne permettent de :

- reconnaître le zonage de la digue grâce aux premières identifications de différentes couches de matériaux constitutifs de la digue ;
- cibler les zones nécessitant des reconnaissances complémentaires ;
- cerner les caractéristiques des matériaux de la digue en corrélation avec les résultats des autres sondages géotechniques.

3.2.1 SE 2.1

Sur ce système d'endiguement, 1 panneau de tomographie électrique (panneaux électriques) a été réalisé à la maille 2.5m pour un linéaire total de 240m :

- 1 profil longitudinal couvrant tout le tronçon 2.1 de 240m.

L'implantation détaillée des profils est présentée dans le rapport [DA2].

- Geotech1 : PM0 à PM240 : Le corps de la digue est moyennement résistif de type sablo-graveleux, les fondations sont-elles moins résistives de type limon sableux ;
- Geotech2 : PM95 : Ce profil décrit une anomalie au PM95 où la digue est peu résistive en son sommet, puis très peu résistive dans ses fondations.

Les anomalies sont définies comme correspondant à des variations brutales de résistivité de la digue ainsi que des faciès électriques différents de ceux décrit ci-dessus. Celles-ci traduisent l'hétérogénéité de la digue.

3.2.2 SE 2.2 aval

Sur ce système d'endiguement, 6 panneaux de tomographie électrique (panneaux électriques) ont été réalisés à la maille 2.5 m pour un linéaire total de 3100 ml :

- 1 profil longitudinal couvrant tout le tronçon 2.2 aval sur 2950 ml
- 1 profil transversal au droit du PM 395 pour le tronçon 2.2 aval sur un linéaire de 30 ml.
- 1 profil transversal au droit du PM 1435 pour le tronçon 2.2 aval sur un linéaire de 30 ml.
- 1 profil transversal au droit du PM 1935 pour le tronçon 2.2 aval sur un linéaire de 30 ml.
- 1 profil transversal au droit du PM 2300 pour le tronçon 2.2 aval sur un linéaire de 30 ml.
- 1 profil transversal au droit du PM 2800 pour le tronçon 2.2 aval sur un linéaire de 30 ml.

L'implantation détaillée des profils est présentée dans le rapport [DA2].

- Geotech1 : PM0 à PM1300 : La digue présente une couche résistive en crête de 2 à 3m d'épaisseur correspondant à un sol grossier (graviers, cailloux), ensuite une couche moins résistive de 2 à 3m également composé de matériaux plus fin (limons) et ensuite des sols de fondations résistifs.
- Geotech2 : PM1300 à PM2020 : La digue présente une couche résistive en crête de 2 à 4m d'épaisseur, ensuite le reste des fondations est faiblement à très faiblement résistif (limons ou argiles)
- Geotech3 : PM2020 à PM2105 : Le corps de digue présente des matériaux peu résistifs (sable, limon), les fondations sont-elles plus résistives (gravier).
- Geotech2 : PM2105 à PM2750 : mêmes caractéristiques que PM1300 à PM2020.
- Geotech4 : PM2750 à PM2950 : Le corps de digue est résistif (enrochements, gravier) de 4 à 6m et ensuite des fondations toujours résistive mais un peu moins (matériaux sableux)

3.2.3 SE 2.3

Sur ce système d'endiguement, un profil Electromagnétique a été réalisé sur un linéaire de 2300ml (entre PKBDL 2.5 et PKBDL 0.2) soit sur la quasi-totalité du système :

- 1 profil longitudinal couvrant tout le tronçon 2.3 sur 2300ml

L'implantation détaillée des profils est présentée dans le rapport [DA2].

- Geotech1 : PM0 à PM2500 : D'après l'étude électromagnétique on distingue clairement un profil type pour la composition de la digue, avec le corps de digue plus résistif constitué de sable ou de galets, et des fondations elles moins résistives de type limons ou argile. Il y a parfois des portions où le sommet de la digue semble plus résistif ou inversement que sur le reste de la section, mais cela reste très local.

3.3 Reconnaissances géotechniques

3.3.1 SE 2.1

Aucun sondage de géotechnique n'a été effectué sur ce système d'endiguement. Toutes les caractéristiques de sols qui seront prises pour la suite des études sont estimées à partir de la géophysique, et des sondages géotechniques effectués à proximité sur le système 2.2, les couches de sols sélectionnées sont les suivantes :

Profondeur	couche géologique	Source
0 - 2.5 m	Graves sablo-limoneuse gris	géophysique
2.5 - 7m	Limon sableux gris à cailloutis et cailloux	

Figure 15 : Profil géotechnique (Geotech1) – SE 2.1

Profondeur	couche géologique	Source
0 - 1 m	Graves sablo-limoneuse gris	géophysique
1 - 5 m	Limon sableux gris à cailloutis et cailloux	
5 - 7 m	argiles limoneuses grises	

Figure 16 : Profil géotechnique (Geotech2) – SE 2.1

3.3.2 SE 2.2 aval

Les résultats de l'étude géophysique ont permis d'orienter les types et la localisation des sondages ainsi que les essais à mener. Les travaux de reconnaissance sur la Leysse et l'Hyères ont été réalisés entre octobre 2015 et mars 2016. Les reconnaissances concernant le SE 2.2 aval comprennent :

- six sondages carottés descendus de 7 à 10 m (SC1) de profondeur ;
- deux sondages au pénétromètre dynamique descendus à 7 m de profondeur ou au refus ;
- un sondage destructif.

Les travaux d'essais en laboratoires ont été réalisés entre février et mars 2016. Ils comportent :

- 16 analyses granulométriques ;
- 13 analyses sédimentométriques. 15 analyses demandés, mais les analyses du SC2 couche de graves sablo-limoneuse de 4.4 à 5.5m et SC5 couche de sable limoneux à cailloutis et cailloux de 1.5 à 2.1m n'ont pas été effectués à cause de la granulométrie trop importante.
- 7 analyses de cisaillements. 8 analyses demandés mais la couche de limon sableux fin beige du SC5 n'est pas exploitable car pas assez de quantité de sol pour faire l'essai.

Tous les résultats des reconnaissances, comprenant notamment le tableau des essais réalisés pour chaque carotte, sont donnés dans le document référencé [DA3].

3.3.2.1 Granulométrie et étude des carottes

Suivant l'analyse des reconnaissances géophysiques, la digue du système 2.2 aval s'établit en 4 tronçons représentée par 4 profils géotechniques type distincts. Les sondages carottés SC1 et SC2 ont été réalisés sur le premier profil (Geotech1), le second profil (Geotech2) a été établi grâce au SC5. Le profil numéro 3 (Géotech3) n'a pu faire l'objet de sondage carotté sur sa section du fait de la présence de réseaux. Son profil type a été reconstitué grâce à l'étude géophysique et aux sondages carottés effectués à proximité. Le SC6 a lui été réalisé sur le quatrième tronçon (Géotech4).

Les SC3 et SC4 se trouvent également sur le deuxième tronçon de digue, mais ils correspondent à des profils particuliers qui présentent les anomalies de structure de la digue.

A partir de ces sondages carottés ainsi que de l'étude géophysique, 2 autres profils sont identifiés. Les profils Geotech5 (PM1310 à PM1325) et Geotech6 (PM1935) représentant des anomalies dans la composition des digues (profils géotechnique particulier) sont étudiés.

L'étude du système d'endiguement est donc divisée en 6 profils.

Conclusion :

D'un point de vue géotechnique et géophysique six profils types sont proposés pour ce système. Ces profils types sont les suivants :

Profondeur	couche géologique	Source
0 - 1.5 m	Graves sablo-limoneuse gris	SC1/SC2
1.5 - 3.5 m	Limon sableux gris à cailloutis et cailloux	
3.5 - 7.5 m	Graves sablo-limoneuse gris	

Tableau 8 : Profil géotechnique (Geotech1) – secteur topographique Jean Lain – SE 2.2 aval

Profondeur	couche géologique	Source
0 - 0.6 m	Graves sablo-limoneuse gris	SC5
0.6 - 2.1 m	Limon sableux gris à cailloutis et cailloux	
2.1 - 6.6 m	Argile limono graveleuse gris/vert	

Tableau 9 : Profil géotechnique (Geotech2) – Secteur topographique Rond-Point Villarcher – SE 2.2 aval

Profondeur	couche géologique	Source
0 - 2 m	Limon sableux gris à cailloutis et cailloux	Géophysique
2 - 6 m	Graves sablo-limoneuse gris	
6 - 8 m	Sable fin marron beige à cailloutis et cailloux	

Tableau 10 : Profil géotechnique (Geotech3) – Secteur topographique Villarcher – SE 2.2 aval

Profondeur	couche géologique	Source
0 - 2 m	Graves sablo-limoneuse gris	SC6
2 - 4 m	Sable fin marron beige à cailloutis et cailloux	
4 - 6 m	Sable Gris/gris vert	

Tableau 11 : Profil géotechnique (Geotech4) – Secteur topographique Tremblay – SE 2.2 aval

Profondeur	couche géologique	Source
0 - 2 m	argiles limono graveleuse gris/vert	Géophysique
2 - 6 m	Graves sablo-limoneuse gris	

Tableau 12 : Profil géotechnique (Geotech5) – Secteur topographique Rond-Point Villarcher – SE 2.2 aval

Profondeur	couche géologique	Source
0 - 1 m	Graves sablo-limoneuse gris	SC4
1 - 3 m	Limon sableux gris à cailloutis et cailloux	
3 - 4.5 m	Graves sablo-limoneuse gris	
4.5 - 6.5 m	Limon sableux fin beige à cailloutis et cailloux	

Tableau 13 : Profil géotechnique (Geotech6) – Secteur topographique Villarcher – SE2.2 aval

Tous les profils géotechniques correspondent à la lithologie se situant en arrière de la couche en enrochements, coté protégé. Il convient donc d'ajouter les enrochements conformément aux profils en travers géophysiques relevés, sur le talus amont des profils type pour l'étude de stabilité, hormis pour le profil Géotech4 qui se situe sur le secteur du Tremblay au droit duquel aucun enrochement n'est pas observé.

Pour les profils Geotech3 et Geotech5, la lithologie de la digue n'étant pas basée sur des sondages carottés, une attention particulière sera apportée à l'interprétation des résultats des calculs de stabilité.

3.3.2.2 Pénétromètre

Deux essais pénétrométriques ont été effectués sur le tronçon Geotech2, au PM 2255 et PM2665. Le premier essai reprend bien la lithologie observée par les essais géophysiques avec une couche résistante sur le sommet de digue puis des fondations plus molles de type sable ou limon. Le second essai ne reprend pas aussi bien les observations et décrit une succession de couches dures et molles en crête et dans ses fondations, alors que la géophysique indique une crête avec des fondations faiblement à très faiblement résistantes.

3.3.2.3 Sondage destructif

Un unique sondage destructif a été effectué au PM 2255 au même point que le sondage pénétrométrique. Une première couche de sable est identifiée en crête de digue, avec ensuite des fondations moins résistantes type limoneuse, ce qui correspond aux observations du pénétromètre et de la géophysique.

3.3.2.4 Essais de cisaillement - Caractéristiques mécaniques des matériaux

Les caractéristiques mécaniques des sols fins constituant le corps de digue ont été évaluées par des essais de cisaillements à la boîte de Casagrande. Ces essais permettent de mesurer les paramètres intrinsèques effectifs des sols testés et seront utilisés lors des modélisations de stabilité.

Les essais de cisaillement direct réalisés sont synthétisés dans le Tableau 14.

Sondages	Profondeur (m)	couche géologique	cohésion (c' en kPa)	angle de frottement (en °)	Poids volumique (γ en kN/m ³)
SC1	3.9	limon sableux	8	34.7	20.5
SC2	1.85	limon sableux gris à cailloutis et cailloux	6	33	19.7
SC2	4.75	Grave sablo-limoneuse gris	6	37	22.4
SC3	6.3	Argile limono graveleuse gris,vert	15	26	19.9
SC4	3.8	limon sableux gris à cailloutis et cailloux	12	32	20.2
SC6	1.65	sable fin marron beige à cailloutis et cailloux	17	27	19.5
SC6	6.5	Sable gris foncé à cailloutis et cailloux	3	29	21.2

Tableau 14 : Caractéristiques mécaniques des sols – Système d'endiguement 2.2 aval

3.3.3 **SE 2.3**

Les résultats de l'étude géophysique ont permis d'identifier les couches de sols et d'orienter les types et la localisation des sondages ainsi que les essais possible de mener. Il a finalement été décidé de ne pas réaliser de sondage carotté car cette digue est faiblement sollicitée par l'eau et donc moins sensible au phénomène d'érosion.

Les travaux de reconnaissance sur la Leysse et l'Hyères ont été réalisés entre octobre 2015 et mars 2016. Les seuls reconnaissances concernant le SE 2.3 comprennent :

- Un sondage tarière descendus à 7m de profondeur ;
- Un sondage au pénétromètre dynamique descendu à 7 m de profondeur ;

Aucun essai en laboratoire n'a été réalisé car aucun sondage carotté n'a été demandé.

Tous les résultats des reconnaissances, comprenant notamment le tableau des essais réalisés pour chaque carotte et les emplacements des sondages, sont donnés dans le document référencé [DA3].

3.3.3.1 Granulométrie et étude des carottes

Aucun sondage carotté n'a été effectué sur ce tronçon de digue. Les caractéristiques des sols sont donc établies à partir de l'étude géophysique et de l'essai pénétrométrique et de tarière décrit dans les parties suivantes, la composition de sols retenue est la suivante :

Profondeur	couche géologique	Source
0 - 1 m	sable limoneux à cailloutis et cailloux	pénétromètre, tarière, géophysique
1 - 7 m	Argile limono graveleuse gris/vert	

Figure 17 : Profil géotechnique (Geotech1) – Secteur topographique Bras de décharge de la Leysse – SE 2.3

3.3.3.2 Pénétromètre

Un sondage pénétrométrique a été réalisé au PM2240, au même niveau que le sondage par tarière. Les résultats obtenus ne sont pas conforme à ce que l'on peut attendre d'après la géophysique. En effet, on retrouve bien une couche résistive, mais celle-ci se situe à environ 2.5m de profondeur alors qu'elle devrait se situer en crête de digue, tandis qu'en crête de digue les matériaux sont relativement peu résistif d'après le sondage pénétrométrique. Des fondations plus peu résistives sont cependant retrouvées comme attendu.

3.3.3.3 Tarière

Un sondage par tarière a été réalisé au même endroit que le sondage pénétrométrique. Ce sondage indique sur la globalité de l'échantillon analysé des matériaux de type argileux, avec cependant présence de quelques cailloutis sur la couche supérieure de la digue, ce qui confirme la résistivité plus importante de la géophysique. On ne retrouve pas la partie plus résistante du sondage pénétrométrique, mais bien les fondations faiblement résistive argileuses.

4 HYPOTHÈSES HYDRAULIQUES

4.1 Hydrologie du secteur

4.1.1 Analyse des crues

La Leysse est un affluent de type fluvio-nival. Son débit moyen est relativement stable tout au long de l'année hormis en été où une baisse notable est observée. Ses crues se produisent généralement en hiver avec les épisodes de pluie intense mais peuvent aussi être marquées en fin de printemps, à la fonte des neiges. L'Hyères, affluent de la Leysse, est aussi de type fluvio-nival. En partie du fait de la petite taille de son bassin versant, ce cours d'eau réagit très rapidement aux précipitations avec des temps de réponse pouvant être de deux heures. Le graphique suivant présente les hydrogrammes de la crue de 1990 de la Leysse au pont du Tremblay extraits de la base de données HYDRO, de l'Hyères et de l'Albanne, ses deux affluents principaux.

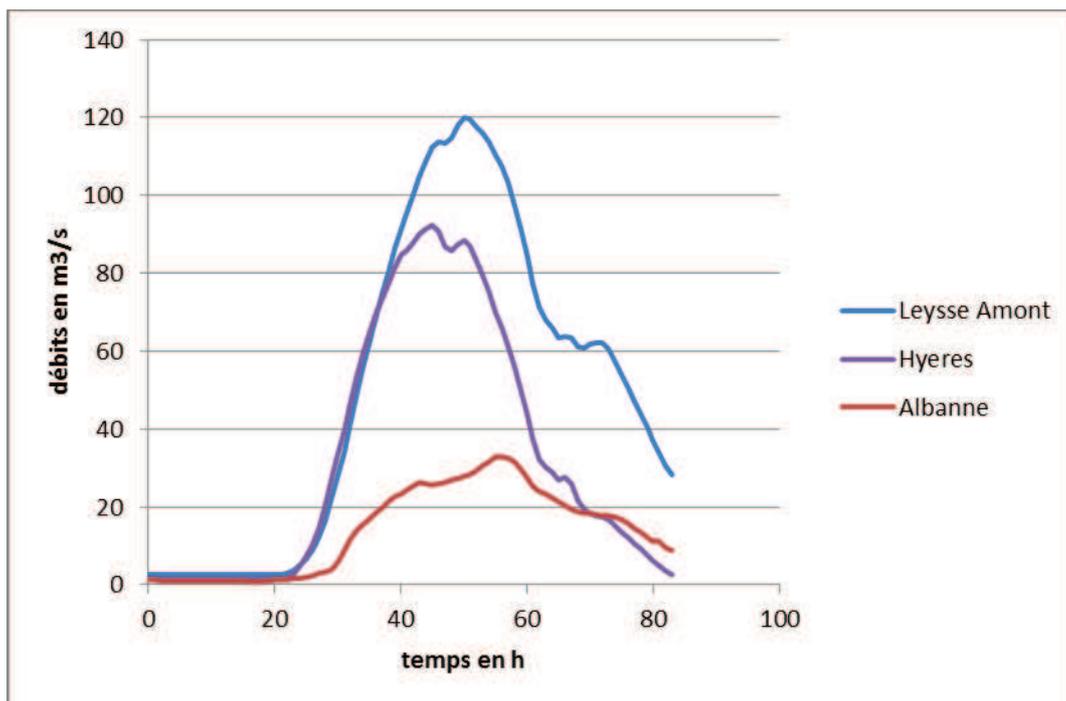


Figure 18 : Hydrogramme de la Leysse et de ses principaux affluents pour la crue de 1990

4.1.2 Crues récentes et désordres associés

Depuis 1980, les plus fortes crues observées sont celles de février 1990 et décembre 1991, résultant de fortes précipitations. L'évènement de novembre 1992, d'intensité moindre, s'est caractérisé par des précipitations soutenues sur 3 mois précédant l'évènement.

La loi d'ajustement de Gumbel a permis d'estimer la période de retour de la crue de 1990 :

- Période de retour d'environ 50 ans sur la Leysse amont et sur l'Hyères ;
- Période de retour d'environ 30 ans au pont Tremblay.

Lors de la crue de 1990 une brèche s'est formée au droit du Pont Tremblay, en lieu et place des vannes d'entrée du bras de décharge.

4.2 Niveaux en amont de la digue

Dans le cadre de la présente étude, et compte tenu des dernières recommandations (juin 2010) pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai du CFBR (Comité Français des Barrages et Réservoirs), les scénarii hydrauliques suivants ont été considérés :

- Conditions hydrauliques normale d'exploitation (Q_{10})
- Conditions hydrauliques en situation exceptionnelle de crue (Q_{100}) ;
- Conditions hydrauliques en situation extrême de crue (limite avant la surverse, point bas du tronçon étudié).

Pour chacun des linéaires étudiés, la cote en amont de la digue est déterminée grâce au modèle hydraulique Telemac2D calculant les niveaux pour chacune des situations. Les cotes prises en compte correspondent aux valeurs prises au droit de chaque profil topographique considéré comme le plus défavorable. Ces niveaux sont présentés dans les tableaux suivants pour les différents systèmes :

nom du profil topographique	PKL	cote radier (mNGF)	Cote Q10 (mNGF)	Cote Q100 (mNGF)	Cote limite surverse* (mNGF)
S2.1 STTP57	8.91	254.78	257.76	258.99	259.76
S2.1 STTP59	8.88	254.38	257.15	258.38	259.55

Tableau 15 : Niveau d'eau en amont de la digue – système 2.1

Nom du profil topographique	PKL	Cote radier (mNGF)	Cote Q10 (mNGF)	Cote Q100 (mNGF)	Cote limite surverse* (mNGF)
Jean Lain	5.444	242.54	245.95	247.04	247.43
Rond-Point Villarcher	4.981	241.1	244.55	245.60	245.9
Villarcher 1	4.208	239.05	242.54	243.42	243.87
Villarcher 2	4.653	240.16	243.65	244.71	245.27
Tremblay	3.543	237.62	240.57	241.97	242.04

Tableau 16 : Niveaux d'eau en amont de la digue – système 2.2 aval

Nom du profil topographique	PKLBD	Cote radier (mNGF)	Cote Q10 (mNGF)	Cote Q100 (mNGF)	Cote limite surverse* (mNGF)
S2.3	1.16	234.44	235.5	236.3	236.97

Tableau 17 : Niveau d'eau en amont de la digue – système 2.3

*La cote prise en compte dans le modèle TALREN sera inférieure de 0.05m à celle indiquée pour le bon fonctionnement du calcul.

4.3 Niveaux de saturation en aval de la digue

Aucun piézomètre n'est disponible sur les linéaires de digues étudiés. Pour l'étude de stabilité, le niveau de saturation coté protégé sera pris au pied du talus aval.

nom du profil topographique	PKL	Cote niveau de nappe aval (mNGF)
S2.1 STTP57	8.91	258.22
S2.1 STTP59	8.88	258.26

Tableau 18 : Niveau de la nappe en aval de la digue – système 2.1

nom du profil topographique	PKL	Cote niveau de nappe aval (mNGF)
Jean Lain	5.444	244.28
Rond-Point Villarcher	4.981	243.16
Villarcher 1	4.208	241.75
Villarcher 2	4.653	240.93
Tremblay	3.543	239.88

Tableau 19 : Niveau de la nappe en aval de la digue – système 2.2 aval

nom du profil topographique	PKLBD	cote niveau de la nappe aval (mNGF)
S2.3	1.16	235.3

Tableau 20 : Niveau aval de la digue – système 2.3

5 STABILITÉ AU GLISSEMENT – DIGUES EN TERRE

La stabilité au glissement des digues étudiées a été évaluée par la méthode de Bishop des glissements circulaires via le logiciel TALREN (de la société TERRASOL).

Il est à noter que la méthode des coefficients partiels a été utilisée. D'après cette méthode la sécurité des calculs réside dans les points décrits ci-dessous :

- Les valeurs caractéristique des c' , φ' et poids volumique sont divisées par des coefficients partiels (Tableau 21 suivant l'eurocode 7) ;
- L'application d'un coefficient sur le modèle ;
- Les coefficients partiels dépendent des situations (normale, transitoire, exceptionnelle, extrême, accidentelle) ;
- **Le coefficient de sécurité requis doit être supérieur ou égal à 1,0.**

Les coefficients de sécurité partiels utilisés sont conformes aux « Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai ».

Situation		Coefficient partiel sur le poids volumique	Coefficient partiel sur la cohésion (c') et tanφ	Coefficient de modèle
a	Normale d'exploitation (Q10)	1,00	1,25	1,20
b	Exceptionnelle de crue (Q100)	1,00	1,10	1,20
c	Extrême de crue (Extrême)	1,00	1,00	1,10

Tableau 21 : Coefficients partiels et de modèle – ELU stabilité d'ensemble (glissement)

Ces coefficients sont importants pour la partie calculs 5.1.3.

5.1 SE 2.1

5.1.1 Coupes étudiées

D'après les analyses topographiques et géophysiques, les profils types à étudier sont les suivants.

Système d'endiguement	Tronçon géotechnique	PM (m)	Secteur topographique	Commentaires
2.1	Geotech1	0 à 240	S2.1 STTP57	Profil type
			S2.1 STTP59	
	Geotech2	95	S2.1 STTP57	Profil spécifique
			S2.1 STTP59	

Tableau 22 : Récapitulatif des profils types à étudier – système 2.1

La modélisation numérique portera sur 4 profils types à étudier. Les données de sols sont issues des sondages carottés du système 2.2 qui se trouve à proximité.

- Geotech1 : PM 0 à 240 : STTP57

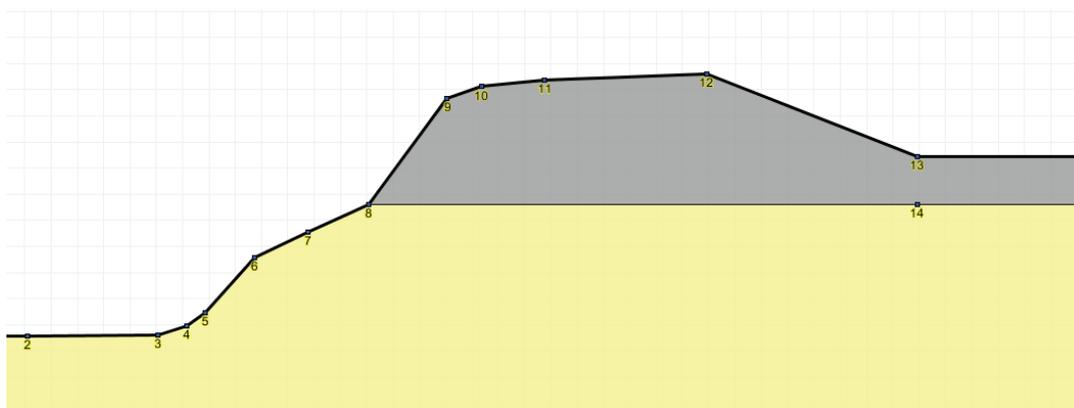


Figure 19 : Geotech1 – STTP57 – PKL8.91 - Modèle TALREN

- Geotech1 : PM 95 : STTP59

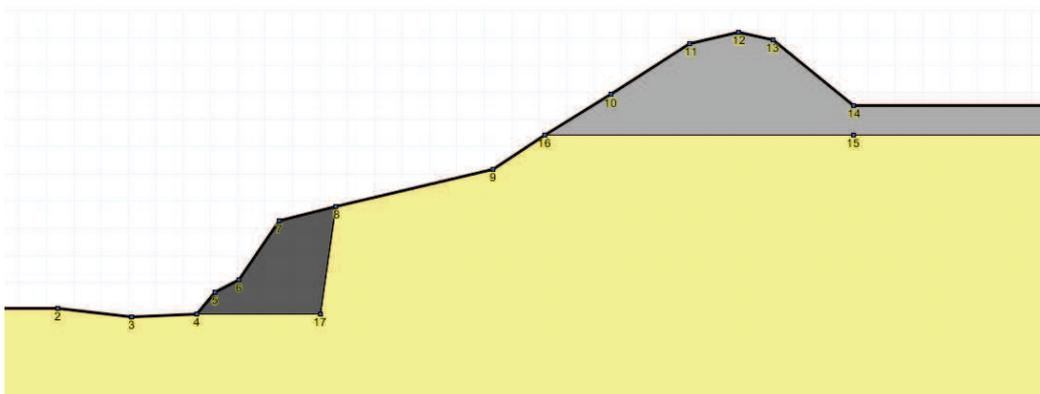


Figure 20 : Geotech1 – STTP59 – PKL8.88 – Modèle TALREN

- Geotech2 : PM 0 à 240 : STTP57

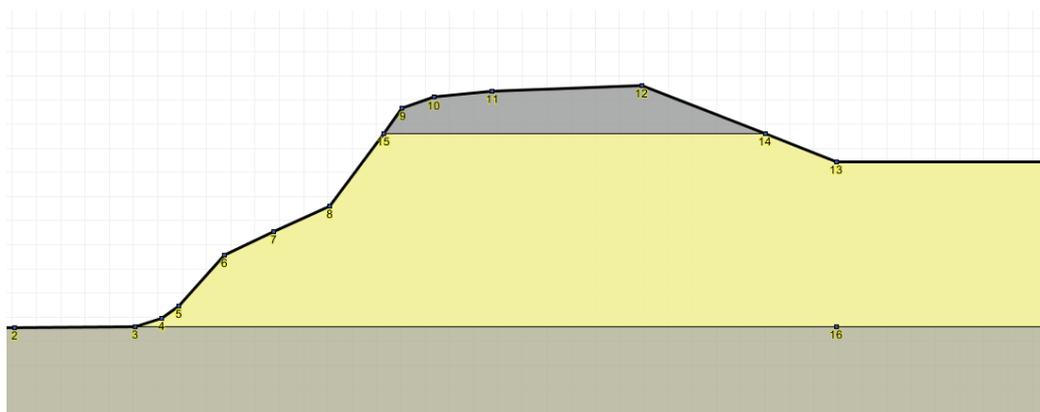


Figure 21 : Geotech2 – STTP57 – PKL8.91 – Modèle TALREN

- Geotech2 : PM 95 : STTP59

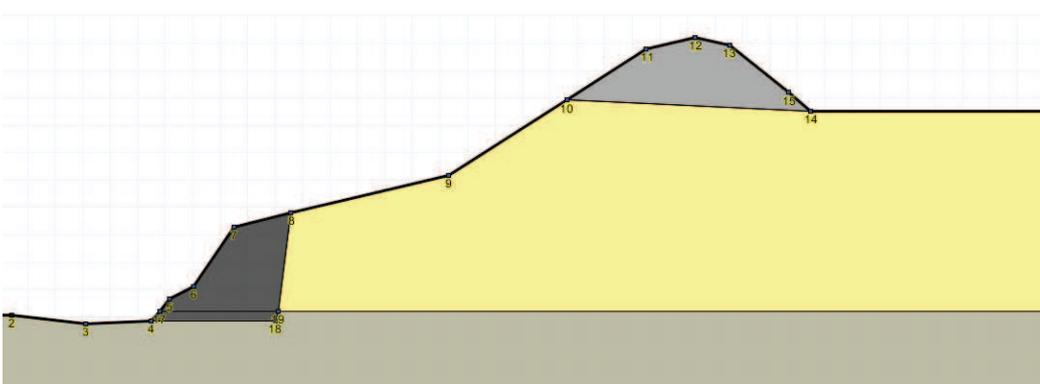


Figure 22 : Geotech2 – STTP59 – PKL8.88 – Modèle TALREN

5.1.2 Données géotechniques retenues

Profondeur	Description	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	
-	enrochement	20	0	45	
Geotech1					
0 à 2.5m	Graves sablo-limoneuse gris	22.4	0	37	
2.5 à 7m	Limon sableux gris à cailloutis et cailloux	19.751	2	33	
Geotech2					
0 à 1m	Graves sablo-limoneuse gris	22.4	0	37	
1 à 5m	Limon sableux gris à cailloutis et cailloux	19.8	2	33	
5 à 7m	argiles limoneuses grises	19.9	5	26	

Tableau 23 : Caractéristiques mécaniques des sols retenus pour les calculs – système 2.1

Les profils présentant des enrochements en pied, ceux qui ont été repéré lors de la VTA.

Les cohésions retenues sont bien inférieures à celles évaluées par les essais de cisaillement. Ceci s'explique par le fait que les essais à la boîte, du fait de la difficulté de drainage, peuvent être surévalués. Afin de rester cohérent et dans un objectif sécuritaire, les cohésions sont pris égal à 0 pour les sols graveleux, 2 pour les sables limoneux et 5 pour les limons argileux et argiles.

5.1.3 Résultats des calculs

Les résultats du calcul du coefficient de stabilité sont présentés dans le tableau suivant.

Profil Géotechnique	Profil topographique	PKL	PM	Talus aval			Talus amont
				Q10	Q100	Extrême	
Geotech1	STTP57	8.91	65	1.45	1.65	1.51	0.86
Geotech1	STTP59	8.88	92	1.03	1.15	0.99	1.02
Geotech2	STTP57	8.91	65	1.6	1.7	1.55	0.93
Geotech2	STTP59	8.88	92	1.08	1.22	1.02	1.05

Tableau 24 : Coefficients de sécurité calculés - Etude de la stabilité au glissement – Système 2.1

Les calculs de stabilité révèlent que pour le profil STTP57, le talus amont est sensible au glissement lors de décrue rapide quel que soit le profil géotechnique. Ce résultat n'est pas surprenant car ce profil type a été sélectionné en raison de sa forte pente amont. Son talus aval est lui stable grâce à l'importante crête de digue et les faible pentes.

Le profil STTP59 est lui stable sur son talus amont. Le talus aval est instable seulement pour un cas de crue extrême et avec le profil Geotech1, pour tous les autres cas il est stable.

5.1.4 Conclusion – Stabilité au glissement

Le système d'endiguement est stable au phénomène de glissement au niveau du talus aval, et peut apparaître seulement dans les cas extrêmes. En ce qui concerne le talus amont, l'instabilité peut être présente sur les profils les plus défavorables. Ce phénomène est donc à surveiller et il peut être nécessaire de reprendre les parties les plus défavorables.

5.2 SE 2.2 aval

5.2.1 Coupes étudiées

L'analyse des données disponibles (topographiques, géotechniques, géophysiques) a permis de définir les profils types représentatifs des différents tronçons de la digue (profils géotech 1 à 4) et de faire ressortir des zones potentiellement instables (profils géotech 5 et 6). Ainsi, des calculs de stabilité au glissement sont menés sous Talren pour chaque profil géotechnique identifié, et ainsi déterminer la capacité de la digue à résister au glissement.

Système d'endiguement	Tronçon géotechnique	PM (m)	Secteur topographique	Commentaires
2.2 aval	Geotech1	0 à 1300	Jean Lain	Profil type
	Geotech2	1300 à 2020 + 2105 à 2750	Rond-Point Villarcher	Profil type
	Geotech3	2020 à 2105	Villarcher	Profil type réparti sur 2 profils topo différents
	Geotech4	2750 à 3000	Tremblay	Profil type
	Geotech5	1320	Rond-Point de Villarcher	Profil spécifique
	Geotech6	1935	Villarcher	Profil spécifique réparti sur 2 profils topo différents

Tableau 25 : Récapitulatif des profils types à étudier – système 2.2 aval

La modélisation numérique portera alors sur 8 profils de digue à étudier (profils différents suivant la topographie et la géotechnique)

Les profils en travers types utilisés sont les suivants :

- Geotech1 : PM0 à PM1310 (secteur Jean Lain)

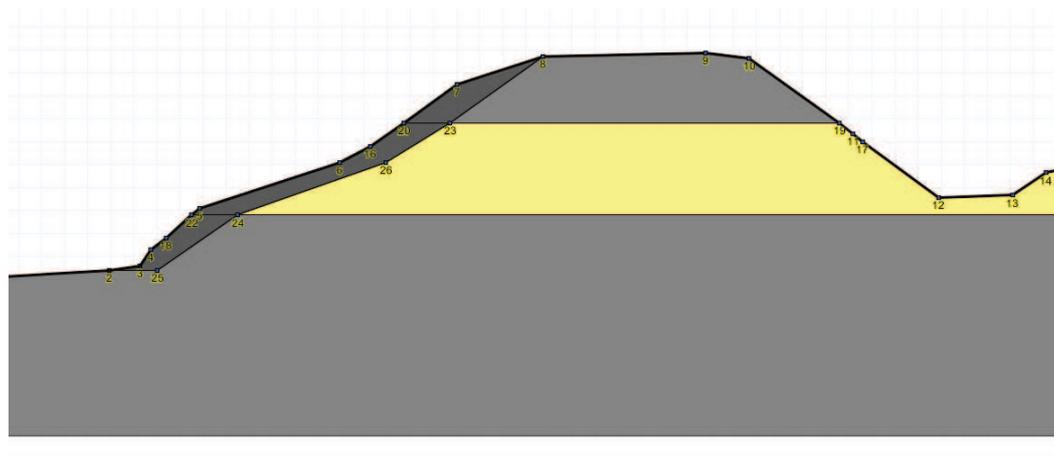


Figure 23 : Geotech1 – secteur Jean Lain PKL5.444 - Modèle TALREN

- Geotech2 : PM1325 à PM2020 + PM2105 à PM2750 (secteur Rond-Point Villarcher)

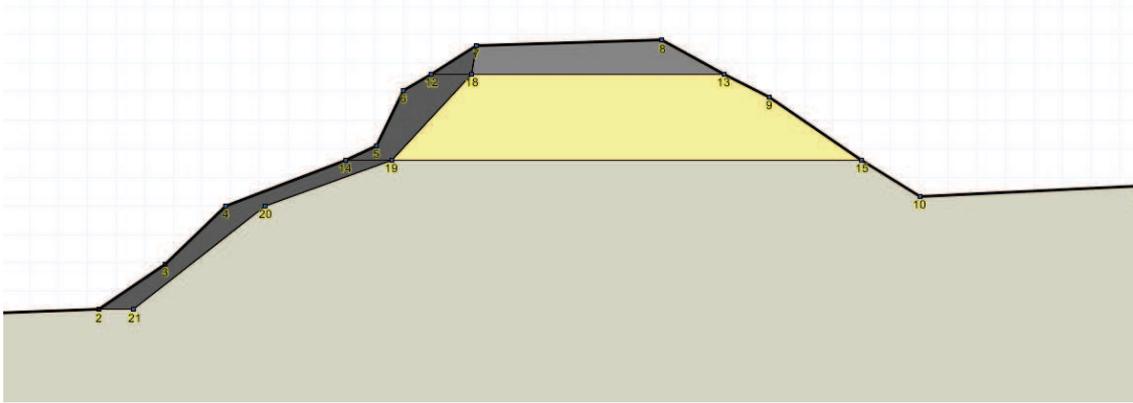


Figure 24 : Geotech2 – secteur Rond-Point Villarcher PKL4.981 – Modèle TALREN

- Geotech3 : PM2020 à PM2105 (secteur Villarcher)

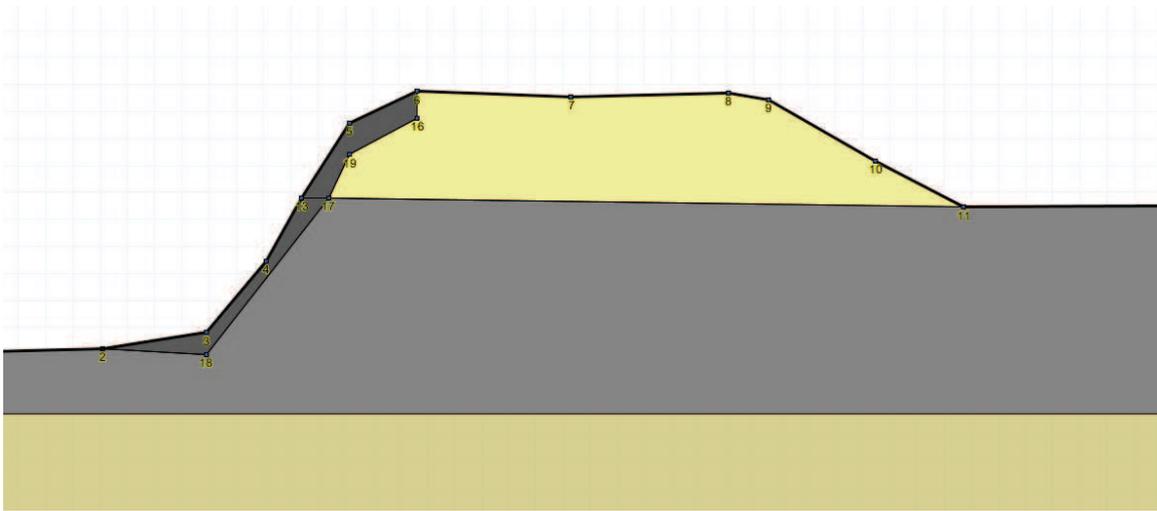


Figure 25 : Geotech3 – secteur Villarcher PKL4.208 – Modèle TALREN

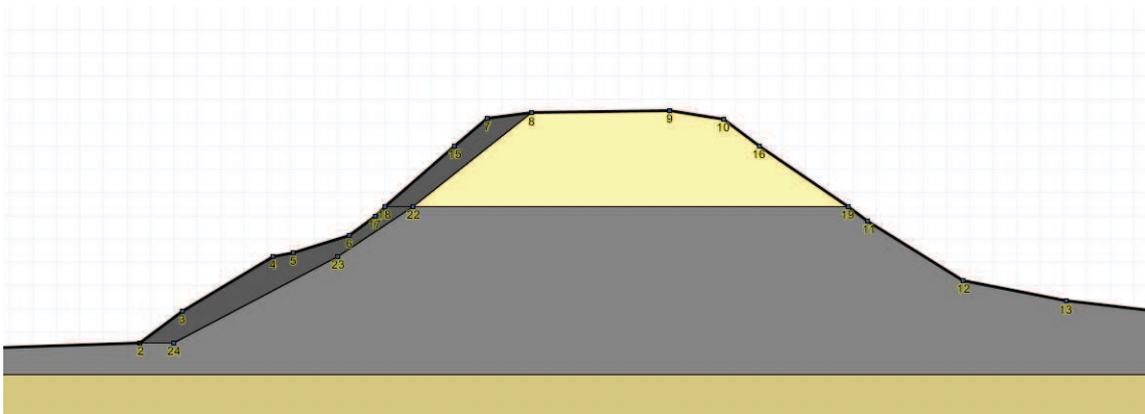


Figure 26 : Geotech3 - secteur Villarcher PKL4.653 – Modèle TALREN

- Geotech4 : PM2750 à PM3000 (secteur Tremblay)

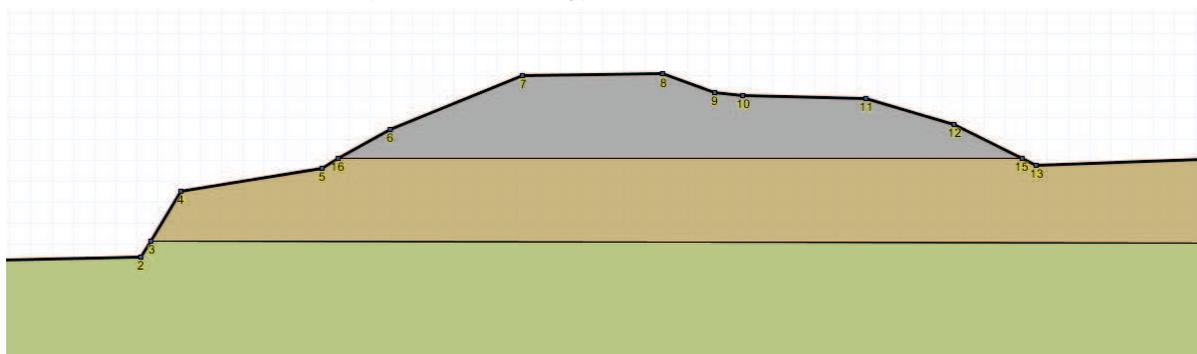


Figure 27 : Geotech4 – secteur Tremblay PKL3.543 – Modèle TALREN

- Geotech5 : PM1320 (secteur Rond-Point Villarcher)

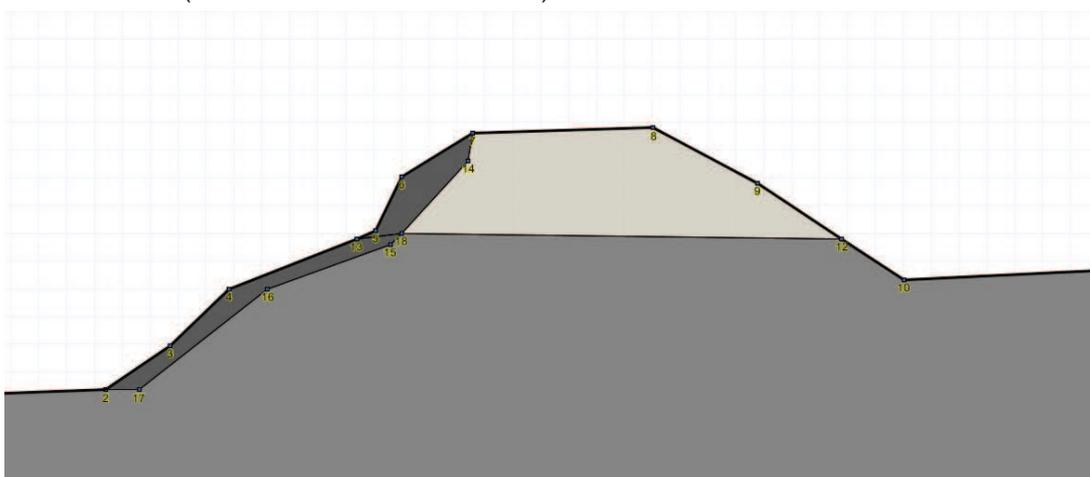


Figure 28 : Geotech5 – secteur Rond-Point Villarcher PKL4.981 – Modèle TALREN

- Geotech6 : PM1935 (secteur Villarcher)

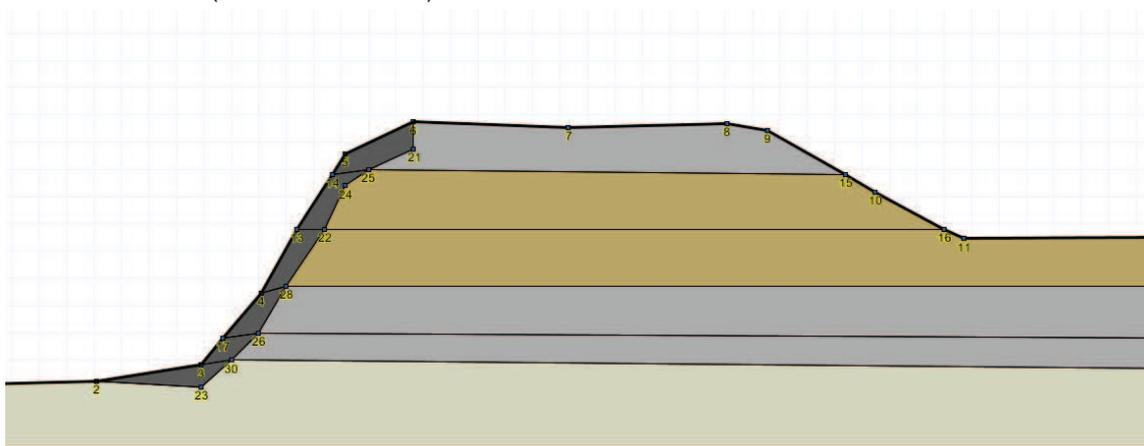


Figure 29 : Geotech6 – secteur Villarcher PKL4.208 – Modèle TALREN

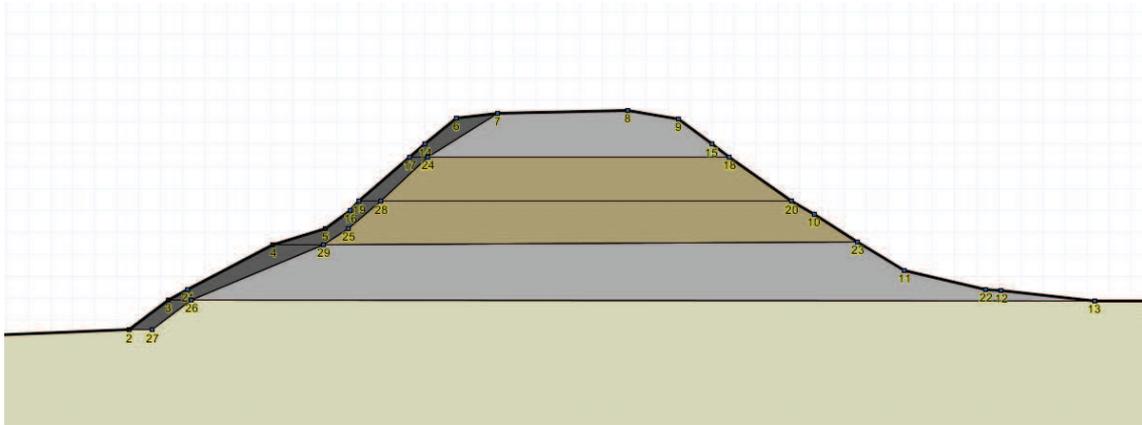


Figure 30 : Geotech6 – secteur Villarcher PKL4.653 – Modèle TALREN

5.2.2 Données géotechniques retenues

Le tableau suivant récapitule les compositions de sols retenues. Celles-ci se basent sur les essais pratiqués ainsi que sur des valeurs types. Les valeurs de la cohésion ont été minimisées vis-à-vis des essais de cisaillement pour raison de sécurité.

Profondeur	Description	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	
-	enrochement	20	0	45	
Geotech1 - Jean Lain					
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					
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					
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					
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					
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	

Tableau 26 : Caractéristiques mécaniques des sols retenus pour les calculs – système 2.2 aval

Certains profils possèdent une protection du talus amont (enrochements, perrés ...). Pour la plupart des cas, elles n'ont pas été repérées lors de la VTA, mais les sondages géophysiques en coupe montrent clairement leur présence sauf pour le secteur du Tremblay.

Les cohésions retenues sont bien inférieures à celles évaluées par les essais de cisaillement. Ceci s'explique par le fait que les essais à la boîte, du fait de la difficulté de drainage, peuvent être surévalués. Afin de rester cohérent et dans un objectif sécuritaire, les cohésions sont pris égal à 0 pour les sols graveleux, 2 pour les sables limoneux et 5 pour les limons argileux et argiles.

5.2.3 Résultats des calculs

Le détail des résultats du calcul du coefficient de stabilité est présenté dans le tableau suivant.

Profil Géotechnique	secteur topographique	PKL	PM	Talus aval			Talus amont
				Q10	Q100	Extrême	
Géotech1	Jean Lain	5.444	720	1.06	1.06	1.2	1.14
Géotech2	Rond-point Villarcher	4.981	1300	1.17	1.19	1.28	1.05
Géotech3	Villarcher 1	4.208	1840	1.57	1.69	1.93	0.84
	Villarcher 2	4.653	1600	0.99	1.04	1.16	0.84
Geotech4	Tremblay	3.543	2680	1.44	1.64	1.96	1.44
Geotech5	Rond-point Villarcher	4.981	1300	1.2	1.22	1.33	0.97
Geotech6	Villarcher 1	4.208	1840	1.36	1.46	1.67	0.83
	Villarcher 2	4.653	1600	0.98	1.02	1.12	0.9

Tableau 27 : Coefficients de sécurité calculés - Etude de la stabilité au glissement – système 2.2 aval

Les calculs de stabilité révèlent que pour la quasi-totalité des profils (sauf celui de Jean Lain et du Tremblay) les talus amont sont sensibles au glissement. Cela est cohérent avec les VTA, les pentes de talus amont sont très fortes et semble avoir été fortement érodé. En ce qui concerne les talus avals, malgré des crêtes de digues étroites et des pentes par endroit forte ils sont en majorité stables. Seul le profil de Villarcher avec les compositions de sol Geotech3 et Geotech6 est instable, ce qui est cohérent par rapport aux pentes très fortes relevées sur le secteur. A noter que l'instabilité est visible pour la Q10 car les coefficients de sécurité requis pour l'ouvrage sont supérieurs du fait de la fréquence plus importante des crues.

5.2.4 Conclusion - Stabilité au glissement

Les tronçons de digues instables au glissement d'après les calculs effectués avec le logiciel TALREN 4, suivant la constitution des digues et leur géométrie sont :

- Géotech3 – Villarcher 1 : Talus amont ;
- Geotech3 – Villarcher 2 : Talus amont et talus aval lors de Q10 ;
- Geotech5 – Rond-Point Villarcher : Talus amont ;
- Geotech6 – Villarcher 1 : Talus amont ;
- Geotech6 – Villarcher 2 : Talus amont et talus aval Q10.

Le système d'endiguement 2.2 aval est donc sensible au phénomène de glissement et plus particulièrement sur la partie amont de la digue.

5.3 SE 2.3

5.3.1 Coupe étudiée

D'après les analyses topographiques et géophysiques, il y a un seul profil à étudier pour tout le tronçon.

Système d'endiguement	Tronçon géotechnique	PM (m)	Secteur topographique	commentaire
2.3	Geotech1	0 à 2500	S2.3	Profil type

Tableau 28 : Récapitulatif des profils types à étudier – système 2.3

La modélisation numérique est le suivant :

- Geotech1 : PM0 à PM 2500

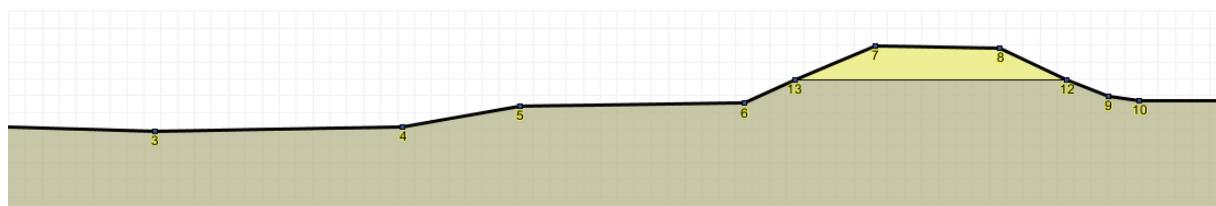


Figure 31 : Geotech1 – système 2.3 – PKBDL 1.16 – PM1350 – Modèle TALREN

5.3.2 Données géotechniques retenues

Seulement 2 couches de sols sont retenues pour décrire ce système. Aucun sondage carotté n'a été effectué sur ce système, les sols sont alors choisies à partir de la géophysique, des essais pénétrométriques et tarière. Les caractéristiques des sols sont elles établies à partir des SC à proximité du système 2.2.

Geotech1					
Profondeur	Description	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	
0 à 1m	sable limoneux à cailloutis et cailloux	19.8	2	33	
1 à 7m	Argile limono graveleuse gris/vert	19.9	5	26	

Tableau 29 : Caractéristiques mécaniques des sols retenus pour les calculs – système 2.3

5.3.3 Résultats des calculs

Profil Géotechnique	secteur topographique	PKBDL	PM	Talus aval			Talus amont
				Q10	Q100	Extrême	
Geotech1	S2.3	1.16	1350	1.78	1.91	2.09	2.16

Tableau 30 : Coefficient de sécurité calculés – Etude de la stabilité au glissement – système 2.3

5.3.4 Conclusion – Stabilité au glissement

Conclusion : D'après les calculs de stabilités effectués, il n'y a aucun risque au glissement, les coefficients sont tous bien supérieur à 1.

6 ENRACINEMENT DES ARBRES DANS LA DIGUE

Une expertise a été réalisée par Arbeausolutions (Réf.[DA4]) sur les linéaires de digue concernés par ce diagnostic.

Les conclusions portent sur cinq types de risques que comporte la présence de végétation sur les digues :

- Erosion interne : la présence de systèmes racinaires dans la digue augmente le risque d'érosion de conduit (voir paragraphe 8.4.2.3).
- Erosion externe : phénomène d'affouillement dû à la formation de courants tourbillonnaires induits par la présence de souches/arbres sur le talus cote amont ; la présence d'arbres penchés accompagne le risque d'arrachement du parement amont ; la présence de racines pouvant détériorer le revêtement du parement amont.
- Instabilité en crue : arrachement d'un arbre pouvant porter atteinte à la géométrie de l'ouvrage et causer sa ruine ; chute d'un arbre dans le cours d'eau créant un embâcle pouvant modifier l'écoulement.
- Instabilité à la décrue : la détérioration du revêtement du parement amont par les systèmes racinaires entraîne une infiltration d'eau saturant le corps de l'ouvrage ; le poids des arbres sur un ouvrage en terre saturé.

- Surverse : chute d'un arbre en crête créant un point bas sur l'ouvrage ; embâcle mettant en charge l'ouvrage (hausse du niveau de l'eau).

Afin de synthétiser les données, les Tableau 31, Tableau 32 et Tableau 33 localisent et priorisent la végétation à risque suivant les systèmes.

	nombre d'arbres					
	bon état sanitaire	malade	gros	mort	penché	souche
coté rivière	87	1	16	2	5	4
coté terre	0	0	0	0	0	0

Tableau 31 : Référencement de la végétation (Arbeausolutions) – système 2.1

Présence d'arbres pouvant entrainer des instabilités seulement sur le côté amont.

	nombre d'arbres					
	bon état sanitaire	malade	gros	mort	penché	souche
coté rivière	507	0	27	0	12	19
coté terre	286	3	27	0	12	3

Tableau 32 : Référencement de la végétation (Arbeausolutions) – système 2.2 aval

La végétation est très dense sur le système d'endiguement 2.2 aval, beaucoup d'arbres en mauvais états sont présent sur le côté amont de la digue.

	nombre d'arbres					
	bon état sanitaire	malade	gros	mort	penché	souche
coté rivière	4	0	0	0	1	0
coté terre	0	0	0	0	0	0

Tableau 33 : Référence de la végétation (Arbeausolutions) – Système 2.3

La digue du système 2.3 ne présenta pas d'arbres de grosses dimensions qui peuvent poser problème, il est cependant composé de nombreuses ronces et arbustes ce qui est moins problématique à l'érosion de conduit par exemple.

7 SATURATION DES DIGUES

7.1 Calculs

La durée de la crue de projet Q100 ans est de 12 heures (0.5 jours). On peut approximer les conditions d'écoulement dans le corps de digue avec la loi de Darcy.

On retiendra que :

Loi de Darcy $v = k \times i$

avec

- v : vitesse de l'eau,
- i : gradient hydraulique
- k : coefficient de perméabilité du sol

Or $v = L/Dt$, et $i = Dh / L$

(L : trajet de l'eau dans le sol, Dt : durée du trajet, Dh : différence de charge hydraulique)

Donc $Dt = L / (k \times i) = L^2 / (k \times Dh)$

Les valeurs de perméabilité sont évaluées en fonction du matériau type constituant les digues.

7.1.1 SE 2.1

Les deux profils géotechniques présente des caractéristiques similaires dans le corps de la digue avec des matériaux à prédominances sablo-graveleuse.

profil géotechnique	secteur topographique	L (m)	H (m)	type de sol	Perméabilité (m/s)	t (s)	t (j)
Geotech1	S2.1 STTP57	9.8	0.77	sable/gravier	0.01	1.25E+04	0.14
Geotech2	S2.1 STTP59	4.8	0.12	sable/gravier	0.01	1.92E+04	0.22

Tableau 34 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers des digues – S2.1

En comparaison à la durée de montée d'une crue centennale (0.5 jour), les digues ont le temps d'atteindre le niveau de saturation. Cependant ces valeurs sont à prendre avec précaution car il n'y a pas de sondages sur ce système d'endiguement, les sols étant estimé d'après la géophysique et les SC du 2.2. De plus, les valeurs de perméabilité retenues sont surement surévaluées car bien supérieures à celles mesurées par essais Lefranc.

7.1.2 SE 2.2 aval

Le tableau suivant récapitule les durées d'écoulement nécessaires à l'établissement du régime permanent au sein des différentes digues étudiées :

profil géotechnique	secteur topographique	L (m)	H (m)	type de sol	Perméabilité (m/s)	t (s)	t (j)
Geotech1	Jean Lain	16	3	limon sableux	1.00E-04	8.53E+05	9.88
Geotech2	Rond-point Villarcher	12	2.5	sable limoneux	1.00E-04	5.76E+05	6.67
Geotech3	Villarcher 1	12.5	1.8	sable limoneux	1.00E-04	8.68E+05	10.05
	Villarcher 2	21	3.8	gravier	1.00E-01	1.16E+03	0.01
Geotech4	Tremblay	17	2.1	sable/gravier	1.00E-02	1.38E+04	0.16
Geotech5	Rond-point Villarcher	12	2.5	argile	1.00E-07	5.76E+08	6666.67
Geotech6	Villarcher 1	12.5	1.8	sable limoneux	1.00E-04	8.68E+05	10.05
	Villarcher 2	21	3.8	sable	1.00E-02	1.16E+04	0.13

Tableau 35 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers des digues – S2.2 aval

On en déduit que les digues composées de matériaux grossiers peuvent être saturées très rapidement. Par mesure de sécurité, les valeurs de perméabilité sont retenues en fonction de la couche constituant la majorité du corps de la digue, ce qui ne reflète pas la totalité de la digue. A noter que les coefficients de perméabilité retenus sont bien supérieurs à ceux mesurés par les essais Lefranc. Ainsi, les perméabilités et donc les temps de saturations surévalués.

Les digues qui seront potentiellement saturées par une crue sont celles de Villarcher 2 au PKL4.653 avec les profils Geotech3 et 6 ainsi que le profil du Tremblay avec la composition Geotech4. Les autres digues ne sont pas saturées par le passage d'une crue.

7.1.3 SE 2.3

secteur topographique	PKLBD	L (m)	H (m)	type de sol	Perméabilité (m/s)	t (s)	t (j)
S2.3	1.16	11.8	1.1	sable limoneux	1.00E-04	1.27E+06	14.65

Tableau 36 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers la digue – S2.3

La digue est composée de matériaux fin, et est faiblement en charge même lors de crue centennale, le temps de saturation est donc important sur ce système et la digue n'est pas entièrement saturée lors du passage d'une crue centennale.

8 ÉROSION INTERNE – DIGUES EN TERRE

8.1 Définition

L'analyse de l'érosion interne présentée dans ce diagnostic fait référence aux éléments connus à ce jour, notamment au dernier bulletin de l'ICOLD (01/2013) et le guide ERINOH (07/2014). Ce phénomène est, en effet, encore mal connu et fait l'objet de nombreux projets de recherche et développement actuellement en cours.

Il existe quatre mécanismes d'érosion interne (Figure 32) :

- La suffusion opère lorsque la fraction fine a la capacité de circuler au travers de la structure porteuse d'un sol.
- L'érosion de contact s'opère lorsque les conditions de filtre entre deux couches de sol ne sont pas respectées. Une circulation d'eau à l'interface entre les deux couches de sol pourra emporter les particules fines ;
- L'érosion de conduit consiste à l'érosion des parois d'un défaut préexistant dans l'ouvrage ;

- L'érosion régressive (de surface ou de conduit) est l'entraînement de particules à partir de l'exutoire qui crée une cavité qui va progresser vers l'amont, soutenue par un toit constitué d'une couche imperméable ;

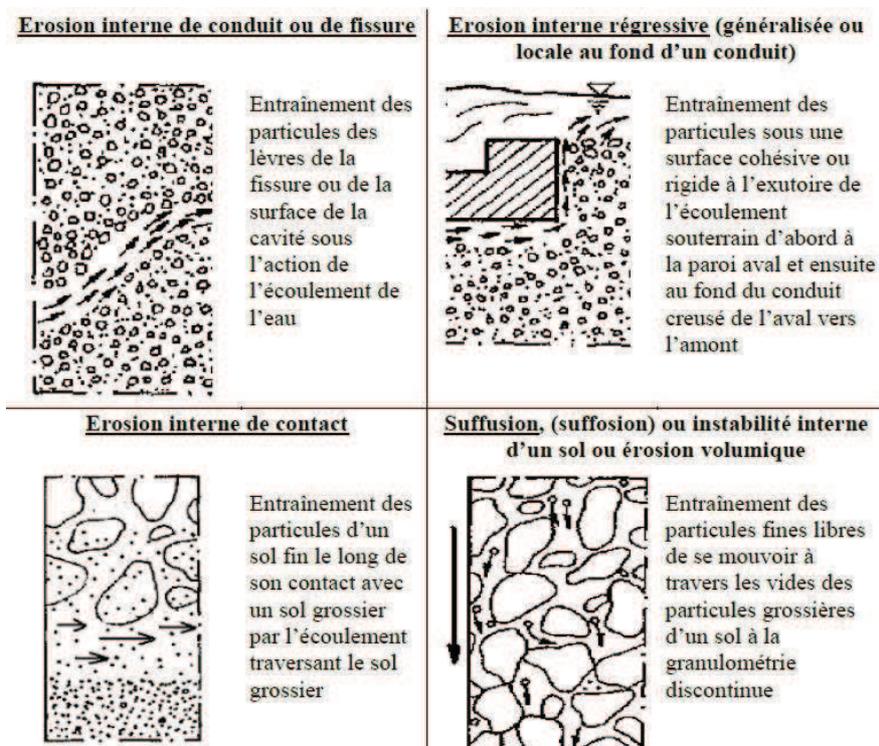


Figure 32 : Mécanismes d'initiation d'érosion interne

Les deux premiers phénomènes se développent le long de zones de faiblesses (interface sol/ Génie Civil, racines, terriers). Une fois le processus initié son évolution et ses conséquences dépendent des conditions hydrauliques (vitesse, charge) et des paramètres physiques de l'eau (température, viscosité).

Pour l'initiation des deux derniers phénomènes deux conditions doivent être remplies :

- la condition géométrique : les pores du sol les plus grossiers ne doivent pas retenir les particules les plus fines (règle des filtres) ;
- la condition hydraulique : la vitesse de circulation doit être suffisante pour arracher et entraîner les particules.

8.2 Méthodologie et profils types

Tout comme pour l'analyse de stabilité au glissement, les profils types de digues identifiés au paragraphe 5.1 sont testés aux différents mécanismes d'érosion interne.

Les quatre risques d'érosion interne sont évalués indépendamment les uns des autres :

- Pour chaque couche de matériaux identifiée en ce qui concerne la suffusion ;
- A l'interface entre les couches pour l'érosion de contact ;
- Au droit des singularités pour ce qui concerne l'érosion de conduit ;
- Grâce à la capacité d'un sol à développer un conduit pour l'érosion régressive.

Les mécanismes d'initiation sont calculés à partir de critères géométriques et sont ensuite croisés aux données hydrauliques et à la cohésion des matériaux.

Enfin un tableau permettra de croiser ces risques entre eux et de les confronter à la géométrie des digues afin de cerner les zones les plus sensibles si elles existent.

La sensibilité à l'érosion interne sera traitée grâce aux feuilles de calcul proposées par le CACOH, celles-ci se basent sur les rapports de l'ICOLD¹ et d'ERINOH².

8.3 Érosion par suffusion

8.3.1 Méthodes d'évaluation

La suffusion entraîne l'érosion sélective des particules les plus fines à travers la matrice constituée d'éléments plus grossiers formant le squelette du sol. Ce phénomène se développe au sein d'une masse de sol dont la granulométrie n'assure pas l'autofiltration. Pour l'initiation d'érosion interne par suffusion les conditions suivantes doivent être satisfaites :

- Les dimensions des particules fines doivent être inférieures à celle du matériau constituant la matrice principale du sol examiné ;
- La quantité des particules fines doit être inférieure à celle nécessaire pour remplir les vides du squelette solide de la matrice du sol examiné ;
- La vitesse d'écoulement doit être significative afin d'imposer aux particules fines une contrainte plus importante que la contrainte appliquée par le sol environnant.

Les essais granulométriques des sols de la digue permettent une première évaluation de leur sensibilité à l'érosion par suffusion (condition géométrique).

Les méthodes suivantes sont proposées dans la feuille de calcul du CACOH :

- Méthode de Kezdi ;
- Méthode de Sherard ;
- Méthode de Kenney & Lau ;
- Méthode de Kenney and Lau fusionnée avec celle de Kezdi (Li and Fannin);
- Méthode de Burenkova
- Probabilité de Wan et Fell

La routine utilise la synthèse de Chapuis (1992) pour simplifier l'interprétation des trois premiers critères cités ci-dessus. Celle-ci consiste à étudier la pente de la courbe granulométrique.

Chacun des critères étudiés caractérise l'échantillon comme « stable » si celui-ci l'est pour la majorité des granulométries de l'échantillon, dans le cas contraire il est « instable ». Lorsqu'il n'est pas possible de trancher, l'échantillon est « non concluant ».

Nous obtenons alors 6 classifications (une pour chaque critère étudié) pour un même échantillon. Avec ces 6 classifications, nous procédons de la même manière pour conclure sur la stabilité de l'échantillon. Si 4 critères ou plus déterminent l'échantillon comme « stable » alors il est conclu comme « stable », de même pour « instable ». L'échantillon est classé « non concluant » lorsque :

- Il comporte 3 critères « stables » et 3 critères « instables » ;
- Il comporte 2 critères ou plus classés « non concluant ».

Lorsque les particules grossières sont noyées parmi les particules fines, le sol n'est plus sensible à la suffusion. Le phénomène de suffusion est constaté pour un pourcentage limite de particules fines compris entre 20% (granulométrie étalée) et 35% (granulométrie étroite), au-delà, la fraction fine forme la matrice du sol.

¹ CIGB ICOLD, Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundation, Bulletin 1xx, Internal erosion processes and engineering assessment, 22 January 2013.

² DEROO L. FRY J.-J. Projet national ERINOH Thème H Erosion interne – Approches et besoins en matière d'ingénierie, Juillet 2014.

8.3.2 Synthèse des résultats - Sensibilité à l'érosion par suffusion du système d'endiguement 2

8.3.2.1 Système 2.1

Le risque d'érosion par suffusion ne peut être appréhendé par les méthodes classiques granulométriques sur ce secteur du fait de l'absence de reconnaissance géotechnique.

Cependant grâce à l'étude géophysique réalisée et en fonction des SC réalisés à proximité sur le système 2.2 aval, la composition des sols est estimée. Les sols sélectionnés tels que graves sablo-limoneuse et argile limono graveleuse sont stables d'après les calculs. Pour ce qui est de la couche de limon sableux gris, elle est inexploitable à cause de son faible taux de récupération (les caractéristiques des sols étudiés sont décrites dans la partie suivante Système 2.2 Aval).

Conclusion : Il n'y a pas de sondage carotté sur ce système d'endiguement, il n'est donc pas possible de conclure rigoureusement sur la suffusion. Mais d'après les sondages à proximité le système est stable à ce phénomène.

8.3.2.2 Système 2.2 Aval

Les échantillons analysés lors des essais granulométriques sont ceux des sondages SC1, SC2, SC3, SC4, SC5 et SC6. Ci-après les courbes granulométriques obtenues.

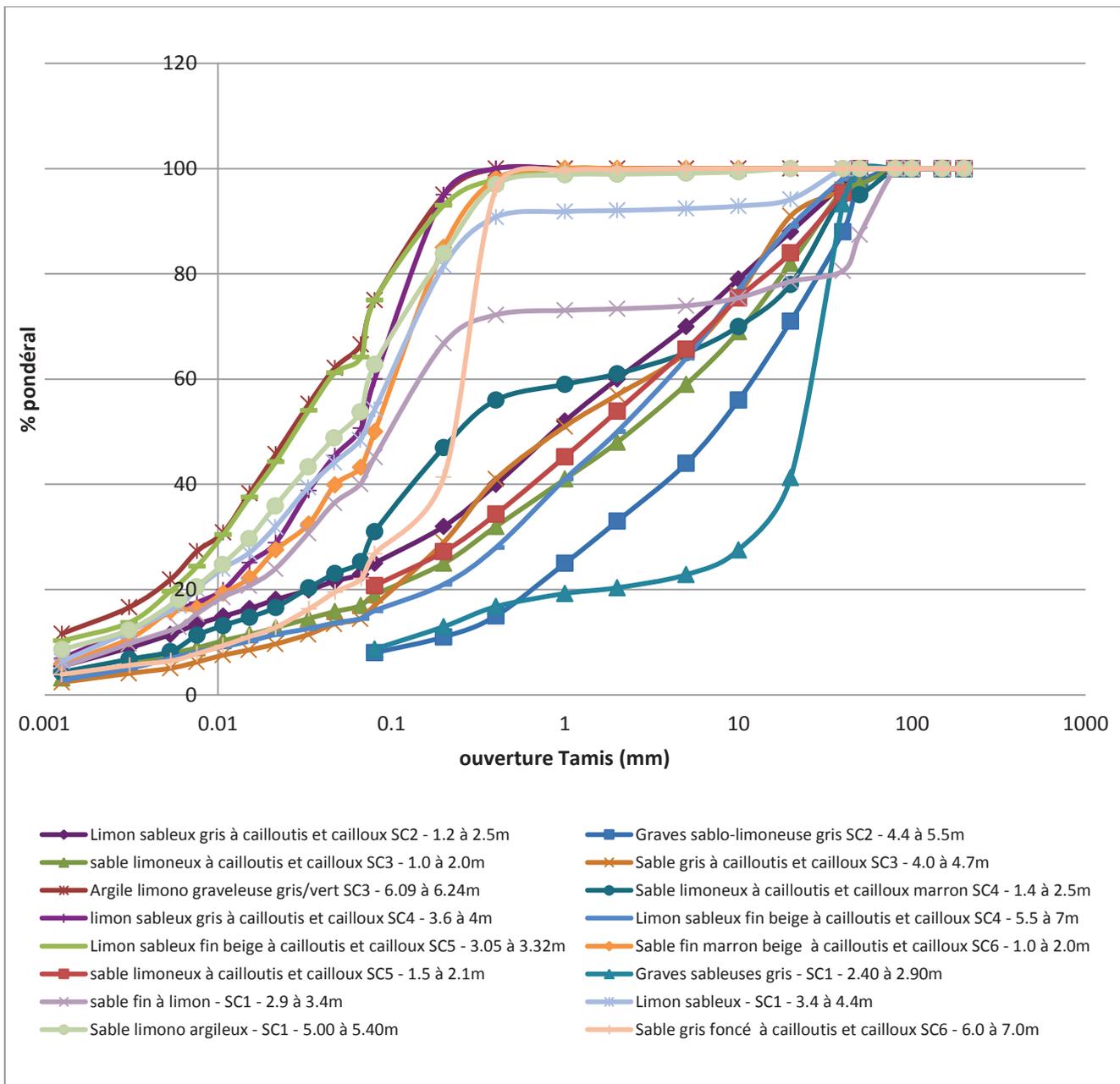


Figure 33 : courbes granulométriques – système 2.2 aval

Il y a en totalité 16 granulométries effectuées.

Grâce à cette comparaison des granulométries, 3 types de sols sont identifiables. Nous remarquons 7 sols avec une granulométrie fine de type limon ou argile. Ensuite 6 sols avec des caractéristiques intermédiaires et 2 couches de sols aux caractéristiques plus grossières composées essentiellement de graves. En ce qui concerne la stabilité à la suffusion, ces caractéristiques sont liées. Les sols principalement composés de fines (sols composant les couches du SC1 hormis les graves sableuses grises, le sable fin marron beige SC6, limon sableux gris SC4, limon sableux fin beige SC5, Argile limono graveleuse gris/vert SC3) sont stable puisque les plus grosses particules sont noyées dans une matrice de particules fines.

Les sols les plus grossiers constitués de graves (grave sableuse gris SC1, grave sablo-limoneuse SC2) sont eux aussi stable puisque leur pourcentage de particules fines est très faible, la matrice est donc essentiellement grossière.

Les sols intermédiaires sont d'après les calculs, quant à eux tous instables. Ils disposent en effet de particules plus fines et de particules plus grossières et le mouvement de ces particules fines est probable. Cependant pour beaucoup de ces sols le pourcentage de récupération est faible et il n'est pas possible de conclure. De plus, certains sols ont un pourcentage de particules fines faibles (<20%), et ne font donc pas parti des sols sensibles à la suffusion.

La sensibilité à la suffusion est d'autant plus forte si les sols considérés sont en charge. Pour une crue Exceptionnel centennale c'est toujours le cas, pour une crue décennale il peut s'agir de la moitié de la couche de sol.

Sondage	Echantillon	Profondeur (m)	% de récupération	en charge Q10	en charge Q100	% de particules fines (<0.08mm)	Stabilité à la suffusion	profil géotechnique associé
SC1	Graves sableuse gris	2.4 à 2.9	100	oui	oui	9	stable	Geotech1
	sable fin à limon	2.9 à 3.4	100	oui	oui	45	stable	Geotech1
	Limon sableux	3.4 à 4.4	100	oui	oui	54	stable	Geotech1
	Sable limono argileux	5 à 5.4	100	sous lit de rivière	sous lit de rivière	63	stable	Geotech1
SC2	Limon sableux gris à cailloutis et cailloux	1.20 à 2.50	30	50 % de la digue	oui	25	instable	Geotech1, 2, 3
	Graves sablo-limoneuse gris	4.40 à 5.50	40	oui	oui	8	stable	Geotech1, 2, 3, 4, 5, 6
SC3	sable limoneux à cailloutis et cailloux	1.0 à 2.0	80	50 % de la digue	oui	19	stable	Geotech2
	Sable gris à cailloutis et cailloux	4.0 à 4.7	100	oui	oui	17	stable	Geotech2
	Argile limono graveleuse gris/vert	6.09 à 6.24	85	sous lit de rivière	sous lit de rivière	75	stable	Geotech2, 5
SC4	Sable limoneux à cailloutis et cailloux marron	1.4 à 2.5	50	oui	oui	31	instable	Geotech6
	limon sableux gris à cailloutis et cailloux	3.6 à 4	90	oui	oui	60	stable	Geotech6
	Limon sableux fin beige à cailloutis et cailloux	5.5 à 7	90	sous lit de rivière	sous lit de rivière	16	stable	Geotech6
SC5	sable limoneux à cailloutis et cailloux	1 à 2.5	50	50 % de la digue	oui	20	non concluant	Geotech2
	Limon sableux fin beige à cailloutis et cailloux	3.05 à 3.32	100	oui	oui	75	stable	Geotech2
SC6	Sable fin marron beige à cailloutis et cailloux	1 à 2	100	50 % de la digue	oui	50	stable	Geotech4, 3
	Sable gris foncé à cailloutis et cailloux	6 à 7	75	sous lit de rivière	sous lit de rivière	27	instable	Geotech4

Tableau 37 : Sensibilité à la suffusion des différents sols étudiés – Système 2.2 aval

Beaucoup d'échantillons ont un pourcentage de récupération faible (<90%), une partie de l'échantillon n'est pas exploité et les analyses granulométriques sont donc faussées. Il n'est donc pas possible de déterminer la stabilité pour un certain nombre d'échantillon.

Conclusion :

- **SC1** : Les 4 couches de sols étudiés sont exploitables car le pourcentage de récupération de chacune d'elle est de 100%. 3 des 4 échantillons sont stables car le pourcentage de particules fine est supérieur à 35%, la matrice est donc composée de fines. L'autre échantillon est composé d'une matrice grossière, et donc stable également.
- **SC2** : Les 2 échantillons prélevés ont un pourcentage de récupération bien trop faible pour être exploitable ;
- **SC3** : l'échantillon de sable limoneux à cailloutis et cailloux qui constituent le corps de la digue est instable. Les 2 autres échantillons sont eux stable ;
- **SC4** : l'échantillon de sable limoneux est instable, mais son pourcentage de récupération est très faible. Les deux autres couches qui sont composés de limon sont eux stable ;
- **SC5** : le premier échantillon n'est pas concluant à cause de son faible taux de récupération, l'échantillon prélevé plus en profondeur est lui stable grâce à sa matrice de particules fines ;
- **SC6** : échantillon stable avec une matrice principalement composée de fines.

Le risque de suffusion est difficile à estimer car les couches sujet à ce phénomène ont un faible taux de récupération. Ce phénomène est cependant à surveiller sur ce système d'endiguement.

8.3.2.3 Système 2.3

Le risque d'érosion par suffusion ne peut être appréhendé par les méthodes classiques granulométriques sur ce secteur du fait de l'absence de reconnaissance géotechnique.

Il a été mis en évidence dans la partie précédente que pour une crue centennale la digue n'est pas saturé, ce qui réduit considérablement le risque de suffusion sur ce tronçon. De plus le lit de la rivière est en eau seulement lorsque la Leysse est en situation de crue.

8.4 Érosion de contact

8.4.1 Méthodes d'évaluation

L'érosion de contact est induite par le détachement progressif de particules à l'interface entre deux milieux de granulométries différentes soumis à un écoulement parallèle. Ainsi, une fois que le phénomène d'érosion de contact se déclenche, les fines à l'interface entre les deux couches sont détachées et transportées à travers les pores d'une couche de gravier ou sable grossier. Ce phénomène induit un lessivage des particules les plus fines du sol.

Le critère utilisé est la règle de filtre de Terzaghi, retenue dans la routine élaborée par le CACOH, et qui consiste à dire que :

- Si le rapport du diamètre D_{15} des matériaux grossiers sur le diamètre d_{85} des matériaux fins est inférieur ou égal à 4, la migration des particules fines dans la porosité du sol grossier est impossible, quel que soit la charge hydraulique.
- Si ce rapport (D_{15}/d_{85}) est compris entre 4 et 20, le risque d'érosion de contact est lié également à la charge hydraulique, l'évaluation de ce risque est alors plus complexe.
- Si le rapport est supérieur à 20, le contraste granulométrique est suffisamment grand pour que les particules fines ne ressentent plus l'influence géométrique des grains grossiers. L'érosion des particules fines est alors fonction de la vitesse d'écoulement dans le sol.

Cette méthode d'évaluation du risque d'érosion de contact est applicable dans la configuration « sol grossier sur sol fin », dans le cas inverse, « sol fin sur sol grossier », la même règle de filtre est appliquée. Cependant, concernant la condition hydraulique d'initiation, peu de données expérimentales sont disponibles, les formules proposées dans la routine sont donc à prendre avec précaution.

8.4.2 Synthèse des résultats - Sensibilité à l'érosion de contact du système d'endiguement 2

8.4.2.1 Système 2.1

De la même manière que pour la suffusion, aucun sondage carotté n'ayant été effectué il faut se référer aux caractéristiques de sols du système 2.2. Les risques d'instabilités à l'érosion de contact sont décrits dans la partie suivante Système 2.2 aval. Pour ce tronçon 2.1, seule l'interface « sable limoneux à cailloutis et cailloux / argile limoneuse grises » présente un risque, cependant cette interface se situe sous le terrain naturel.

Conclusion : Le risque d'érosion de contact est faible sur le système d'endiguement 2.1.

8.4.2.2 Système 2.2 aval

L'érosion de contact a été considérée par rapport aux profils géotechniques établis pour les modèles simplifiés TALREN. Le tableau ci-dessous reprend tous les cas où il y a une couche de sol grossier avec une couche de sol plus fine.

Profil géotechnique	Echantillon	Type	Profondeur (m)	D15 (mm)	d85 (mm)	D15/d85	Sensibilité à l'EC
Geotech1 SC2, SC1	Graves sablo-limoneuse gris	sol grossier	0 à 1.5	0.4	-	0.024	Nulle
	Limon sableux gris à cailloutis et cailloux	sol fin	1.5 à 3.5	-	17		
Geotech2 SC5	Grave limono-sableuse gris/brun	sol grossier	0 à 0.6	0.4	-	0.020	Nulle
	sable limoneux à cailloutis et cailloux	sol fin	0.6 à 2.1	-	20		
	sable limoneux à cailloutis et cailloux	sol grossier	0.6 à 2.1	0.07	-	7.0	Oui
	Limon sableux fin beige à cailloutis et cailloux	sol fin	2.1 à 6.6	-	0.01		
Geotech3 Aucun SC	sable limoneux à cailloutis et cailloux	sol fin	0.6 à 2.1	-	20	0.020	Nulle
	Grave limono-sableuse gris/brun	sol grossier	0 à 0.6	0.4	-		
	Grave limono-sableuse gris/brun	sol grossier	0 à 0.6	0.4	-	2.0	Nulle
	Sable fin marron beige à cailloutis et cailloux	sol fin	2 à 4	-	0.2		
Geotech4 SC6	Divers sablo/graveleux	sol grossier	0 à 2	0.4	-	2	Nulle
	Sable fin marron beige à cailloutis et cailloux	sol fin	2 à 4	-	0.2		
Geotech5 profil particulier aucun SC	argiles limoneuses grises	sol fin	2.1 à 6.6	-	0.01	40	Oui
	Grave limono-sableuse gris/brun	sol grossier	0 à 0.6	0.4	-		
Geotech6 SC4	Graves sablo-limoneuse gris	sol grossier	0 à 1	0.4	-	0.01	Nulle
	Sable limoneux à cailloutis et cailloux marron	sol fin	1 à 3	-	40		
	Graves sablo-limoneuse gris	sol grossier	3 à 4.5	0.4	-	0.022	Nulle
	Limon sableux fin beige à cailloutis et cailloux	sol fin	4.5 à 6	-	18		

Tableau 38 : Sensibilité à l'érosion de conduit – système 2.2 aval

La plupart des couches de sols ne sont pas **sensibles à l'érosion de conduit**. Le profil geotech2 est sujet à ce phénomène. Le profil 5 est lui très sensible à ce phénomène puisque d'après le profil type, 2 couches de

granulométrie très différentes sont en contacts. Ce résultat est à relativiser sachant qu'aucun sondage carotté n'a pu être réalisé à cet endroit et le profil type géotechnique a été établi à partir des reconnaissances géophysiques.

En conclusion, les sols testés sont stables vis-à-vis de l'érosion de contact. Sur le profil géotech5, une vérification avec un sondage serait nécessaire pour conclure sur l'instabilité du profil.

8.4.2.3 Système 2.3

Nous n'avons pas de sondage carotté concernant le système d'endiguement 2.3, et donc pas d'informations pour conclure sur la sensibilité à l'érosion de contact. Cependant le sondage au pénétromètre dynamique et le sondage par tarière nous indiquent que la structure du sol est faiblement différente entre le corps de la digue (majoritairement sableuse) et ses fondations (majoritairement limoneuses), ce qui **réduit le risque d'instabilité de digue à cause de l'érosion de contact**.

8.5 Érosion de conduit

8.5.1 Méthode d'évaluation

Ce phénomène est par définition lié à une anomalie ponctuelle, géologique ou géométrique, ou à un défaut de réalisation. Il peut se développer dans les sols cohésifs ou dans des sols contenant suffisamment de fines pour qu'un conduit puisse se former sans s'effondrer.

Les anomalies qui pourraient entraîner une érosion de conduit sont :

- Des ouvrages traversant (buses, aqueduc, ...)
- Une végétation dense et imposante
- Des terriers d'animaux

La présence d'ouvrages maçonnés au travers de la digue entraîne des défauts associés :

- A l'interface ouvrage/digue : des tassements différentiels peuvent potentiellement influencer sur l'état de contrainte dans le remblai (zone de remblai déconfiné autour de l'ouvrage maçonné)
- A des défauts dans l'ouvrage traversant (fissure, fuites...)

8.5.2 Synthèse des résultats - Sensibilité à l'érosion de conduit

La localisation de l'ensemble des ouvrages traversant l'endiguement est présenté dans le rapport de la VTA de 2015.

8.5.2.1 Système 2.1

Les réseaux sur le système d'endiguement 2.1 sont présentés dans le Tableau 39.

PKL	réseau longitudinale	réseau traversant	catégorie	type	diamètre	écoulement	utilisation
8.9	-	FD 200	RHF Réseau Hydraulique Fermé	CON CONduite d'eau	200	PRE sous PREssion	EDI Eau de Distribution
8.8		conduite de gaz DN400	RTE Réseau de Télécom et d'Energie	GDF	250	-	-

Tableau 39 : Réseau présent sur le système 2.1

Il y a présence de système(s) traversant le corps de la digue pouvant créer l'érosion de conduit. Il faudrait avoir l'information sur la profondeur de ceux-ci pour conclure plus précisément. La présence d'arbres de grande dimensions favorise également l'érosion de conduit, cependant il n'a pas de végétation sur le talus amont, le système racinaire n'est pas traversant.

Conclusion : Le risque d'instabilité à l'érosion de conduit est présent, mais relativement faible. Le critère de Lane, calculant la stabilité à l'érosion interne en fonction de la géométrie de la digue et des gradients hydrauliques s'appliquant sur l'ouvrage, permettra de conclure définitivement sur le risque d'instabilité à l'érosion interne.

8.5.2.2 Système 2.2 aval

PKL	réseau longitudinale	réseau traversant	catégorie	type	diamètre	écoulement	utilisation
4.4	-	branchement poteau incendie	RHF Réseau Hydraulique Fermé	CON CONduite d'eau	-	GRA GRAvitaire	EDI Eau de Distribution
4.2	-	Ø400 (certainement sous le lit de la rivière)	RTE Réseau de Télécom et d'Energie	GDF	400	-	-
4.1 à 7.5	B Ø1200	traversant au PKL 4.1	RHF Réseau Hydraulique Fermé	CON CONduite d'eau	1200	GRA GRAvitaire	EUS Eau Usées, assainissement
5.8 à 7.3	FG300	semi traversant (talus aval) au PKL 5.8	RHF Réseau Hydraulique Fermé	CON CONduite d'eau	300	PRE sous PREssion	EDI Eau de Distribution
4.9 à 5.8	MT 3x240 + 25 Alu	semi traversant (talus aval) au PKL 4.9	RTE Réseau de Télécom et d'Energie	EFT ligne EdF et/ou pTd	-	-	-

Tableau 40 : réseaux présent sur le système 2.2 aval

Sur le système d'endiguement 2.2 aval, peu de réseaux traversant sont présent et ne devrait pas affecter la stabilité de la digue. Cependant des réseaux sont présents dans le corps de la digue longitudinalement, notamment l'émissaire des eaux usées avec un diamètre très important qui peut affecter la stabilité.

La végétation sur cette digue est également très problématique. Une végétation très dense est présente sur les talus amont et aval avec parfois la présence d'arbres de grosses dimensions avec un système racinaire important favorisant l'érosion de conduit.

Le système d'endiguement 2.2 aval est donc très sensible à l'érosion de conduit.

8.5.2.3 Système 2.3

PKBDL	réseau longitudinale	réseau traversant	catégorie	type	diamètre	écoulement	utilisation
2.3	-	France Telecom	RTE Réseau de Télécom et d'Energie	EFT ligne EdF et/ou pTd	-	-	-
2.3	-	FD Ø200	RHF Réseau Hydraulique Fermé	CON CONduite d'eau	200	GRA	EDI
0.9	-	MT 3x150 + 25 Alu (1 PQ Ø160)	RTE Réseau de Télécom et d'Energie	EFT ligne EdF et/ou pTd	160	-	-
0	-	France Telecom	RTE Réseau de Télécom et d'Energie	EFT ligne EdF et/ou pTd	-	-	-

Tableau 41 : réseau présent sur le système 2.3

Il y a présence de quelques réseaux traversant sur ce système d'endiguement qui peuvent favoriser le risque d'érosion de conduit, mais puisque la digue est rarement en charge (que lorsque la Leysse est en crue) **ce risque est limité.**

Le risque d'érosion de conduit est d'autant plus limité que la végétation est beaucoup plus faible comparé aux autres systèmes d'endiguement.

8.6 Critère de Lane

Le critère de Lane est un critère général pour déterminer la stabilité d'une digue à l'érosion interne. Lorsqu'aucune donnée sur les sols n'est disponible. Ce critère se base plus sur la géométrie des digues.

Lane a défini des règles empiriques en comparant la charge hydraulique au cheminement hydraulique sous l'ouvrage. La constante de Lane est le rapport C (inverse du gradient critique i_c) qui se définit de la manière suivante :

$$C = (\Sigma V + 0.33 \Sigma I) / H$$

Avec :

V : le cheminement vertical

I : le cheminement horizontal

H : la charge sur la digue

Il n'y a pas de risque de Renard si les coefficients atteignent les valeurs suivantes :

Silts – sables fins C = 8.5

Sables fins C = 7

Sables et graviers moyens C = 3.5

Sables, gros graviers et galets C = 3

nom du profil	PKL	Risque de Renard Q10	Risque de Renard Q100
S2.1 STTP57	8.91	non	non
S2.1 STTP59	8.88	non	non

Tableau 42 : sensibilité au critère de Lane – système 2.1

Le lit de la rivière étant fortement creusé par rapport au terrain naturel, même lors de crues centennales la digue est faiblement en charge, c'est pourquoi le risque de renard est nul pour Q10 et Q100.

Conclusion : Le système d'endiguement 2.1 n'est pas sensible au phénomène d'érosion interne.

nom du profil	PKL	Risque de Renard Q10	Risque de Renard Q100
Jean Lain	5.444	oui	oui
Rond-point Villarcher	4.981	oui	oui
Villarcher 1	4.208	non	oui
Villarcher 2	4.653	non	oui
Tremblay	3.543	non	non

Tableau 43 : sensibilité au critère de Lane – système 2.2 aval

Les profils des digues étant relativement étroit sur le système d'endiguement 2.2 aval, il n'est pas étonnant de voir que la sensibilité est importante pour une crue centennale voire une crue décennale sur certains profils. Il est rappelé que ce critère est très encadrant. Nous retiendrons principalement de ce calcul que le secteur du Tremblay ne présente pas de risque d'instabilité à l'érosion.

nom du profil	PKL	Risque de Renard Q10	Risque de Renard Q100
S2.3	0.05	oui	oui

Tableau 44 : sensibilité au critère de Lane – système 2.3

Le profil critique du système d'endiguement 2.3 est sensible au critère de Lane pour des crues décennales et centennales. Il faut cependant rappeler que ce critère est très encadrant, et que cette digue est en charge seulement lors de crues.

8.7 Claquage hydraulique

Le claquage hydraulique se produit lorsqu'une couche imperméable, type argile limoneuse, ne permet pas la remontée de la nappe en aval de la digue. Dans ce cas, la charge en aval de la digue devient très importante et des sous pressions peuvent engendrer le claquage hydraulique à l'aval de la digue.

La configuration nécessaire au phénomène de claquage hydraulique est présentée sur la Figure 34.

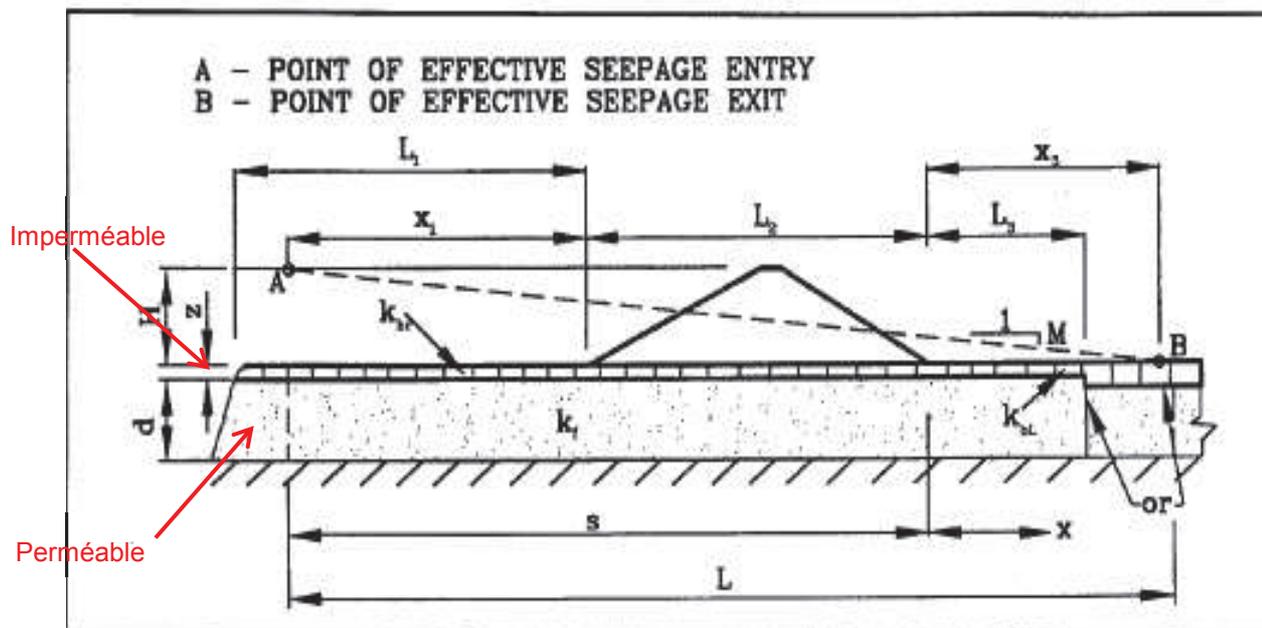


Figure 34 : Claquage hydraulique - Configuration requise

Sur toutes les configurations étudiées, il n'y a pas de couche d'argile ou de matériaux imperméable en pied de digue au-dessus d'une couche perméable. La configuration la plus souvent présente est une fondation en matériaux fin, mais pas de couche perméable en dessous.

Le risque de phénomène de claquage hydraulique est absent sur l'ensemble des systèmes d'endiguements étudiés.

8.8 Érosion régressive

8.8.1 Méthodes d'évaluation

Le guide ERINOH précise que l'érosion régressive s'initie sous les conditions suivantes :

1. Les matériaux sont pulvérulents (sans cohésion) ;
2. Les écoulements diffus (ravinement) débouchent à l'aval, ou débouchent dans un milieu présentant des vides suffisants pour accueillir les particules érodées (rocher fissuré, alluvions grossières...).
3. Présence d'un toit (couche d'argile, ouvrage maçonné) claqué par les sous-pressions capable de soutenir le conduit.

L'érosion régressive peut être de surface (ravinement) ou de conduit (initiation du conduit sur le talus aval ou dans un milieu pouvant accueillir les particules érodées).

L'érosion régressive est évaluée seulement sur les secteurs présentant un talus aval.

8.8.2 Synthèse des résultats - Sensibilité à l'érosion régressive

Erosion régressive de conduit

L'érosion régressive de conduit peut se développer dans un ouvrage composée d'une couche imperméable (argile) reposant sur un sol sableux. Celle-ci s'initie par le claquage de la couche imperméable puis progresse dans le sol sableux vers l'amont sous la condition de la tenue du conduit.

D'après les reconnaissances géotechniques et les profils types réalisés, aucun d'entre eux ne présente une configuration permettant l'initiation d'une érosion régressive de conduit. En effet, comme expliqué pour le claquage hydraulique les sols contenant de l'argile sont en fondation.

Le risque d'érosion régressive de conduit est inexistant sur les linéaires étudiés.

Erosion régressive de surface

L'érosion régressive de surface nécessite un écoulement sur le parement aval de la digue pour se développer. Aucun désordre de ce type n'a été repéré lors de la VTA. **Le risque d'érosion régressive de surface est à ce jour inexistant.**

Il est cependant à surveiller sur le système du bras de décharge car pour un temps de retour de Q100 il y a surverse.

Il convient tout de surveiller tout signe de ravinement sur le talus aval pendant et après une crue mettant en charge la digue.

8.9 Synthèse de l'érosion interne

Les résultats des études de chacun des tronçons de digue pour chaque phénomène d'érosion interne sont résumés dans les tableaux suivant.

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 2.1	Geotech1	65	S2.1 STTP57	stable	stable	stable	stable	Inexistant	Inexistant	Pas de sondages carottés pour évaluer la composition.
		92	S2.1 STTP59							
	Geotech2	65	S2.1 STTP57							
		92	S2.1 STTP59							

Tableau 45 : Synthèse de l'érosion interne – Système2.1

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 2.2	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 Végétation très importante
			Villarcher 2	Stable Q10 Instable Q100						
	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 Végétation très importante
Geotech6 SC4	PM1935	Villarcher 1	Stable Q10 Instable Q100	Modérée	Faible	Elevée	Inexistant	Inexistant	Végétation très importante	
		Villarcher 2	Stable Q10 Instable Q100							

Tableau 46 : Synthèse de l'érosion interne – Système 2.2 aval

Sensibilité à l'érosion interne									
Secteur	Localisation	PM	critère de Lane	Suffusion	Erosion de contact	Erosion de conduit	Erosion régressive	Claquage hydraulique	Observations
Système 2.3	Bras de décharge Leysse RD	0 à 2500	Instable Q10 Instable Q100	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Pas de sondages carottés donc estimation de la structure des sols

Tableau 47 : Synthèse de l'érosion interne – Système 2.3

9 Erosion externe du talus amont

9.1 Affouillement

L'étude de l'affouillement du lit de la rivière, pouvant impacté le pied de digue amont, nécessite la connaissance de la lithologie du lit de la rivière.

Afin d'évaluer l'épaisseur des fonds perturbés par l'écoulement, la relation suivante est utilisée :

$$Y = 0.73 \times \frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/6}} \quad (1)$$

Avec : q débit réduit (=débit/largeur cours d'eau) en m³/s, d₅₀ diamètre moyen en m.

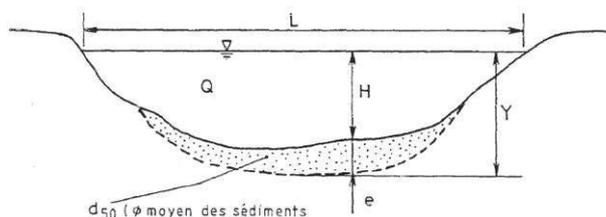


Fig. 6 : Fonds non perturbés en période de crue

Figure 35 : Explication de la formule - Profondeur d'affouillement

Cette formule n'est a priori pas adaptée pour le calcul d'affouillement sur un tronçon homogène de cours d'eau. En effet, celle-ci s'applique pour le calcul au droit d'un rétrécissement. Les résultats ci-après sont donc à considérés avec précaution.

9.1.1 Système 2.1

nom du profil	PKL	d50 (m)	Q10 (m3/s)	hauteur d'eau HQ10 (m)	Affouillement Q10 (m)	Q100 (m3/s)	hauteur d'eau HQ100 (m)	Affouillement Q100 (m)
S2.1 STTP57	8.91	0.05	168	3.06	1.93	340	4.19	2.68
S2.1 STTP59	8.883	0.05	168	2.93	1.61	340	4.09	3.11

Tableau 48 : Profondeur des fonds mobilisés par l'écoulement – Système 2.1

Les calculs ont été menés en considérant un diamètre moyen des particules composant le lit de la rivière de 5 cm. D'après les résultats, l'affouillement est compris entre 2.68 et 3.11m au maximum qui sont des valeurs très élevées. Dans les faits, l'armage de la Leysse permet de réduire ce phénomène. De plus, la formule utilisée s'applique majoritairement au droit des ponts. Nous retiendrons en moyenne un affouillement d'environ 1.5 m voire 2 m.

9.1.2 Système 2.2 aval

nom du profil	PKL	d50 (m)	Q10 (m3/s)	hauteur d'eau HQ10 (m)	Affouillement Q10 (m)	Q100 (m3/s)	hauteur d'eau HQ100 (m)	Affouillement Q100 (m)
Jean Lain	5.444	0.05	180	3.41	1.62	290	4.51	1.47
Rond-point Villarcher	4.981	0.05	180	3.45	1.78	290	4.50	1.53
Villarcher 1	4.208	0.05	180	3.49	1.91	290	4.37	2.02
Villarcher 2	4.653	0.05	180	3.49	1.72	286	4.55	1.25
Tremblay	3.543	0.05	190	2.96	1.45	356	4.35	0.64

Tableau 49 : Profondeur des fonds mobilisés par l'écoulement – Système 2.2 aval

D'après les calculs, l'affouillement sur la Leysse est de 2.02m au maximum. L'armage de la Leysse permet de réduire ce phénomène, nous retiendrons en moyenne un affouillement d'environ 1 m voire 1.5 m.

Remarque : Au niveau du Tremblay le débit est beaucoup plus important par rapport aux sections en amont, cela est dû à l'apport d'une autre rivière, le « ruisseau des marais ».

9.1.3 Système 2.3

nom du profil	PKBDL	d50 (m)	Q10 (m3/s)	hauteur d'eau HQ10 (m)	Affouillement Q10 (m)	Q100 (m3/s)	hauteur d'eau HQ100 (m)	Affouillement Q100 (m)
S 2.3	0.05	0.05	23.2	2.34	0	56	4.08	0

Tableau 50 : Profondeur des fonds mobilisés par l'écoulement – Système 2.3

Ce système étant un bras de décharge et non la rivière, même en période de crue les vitesses sont très faibles, d'autant plus que le lit de ce bras est large. Les affouillements calculés sont nuls, il n'y a aucun risque.

9.2 Erosion externe du talus amont

Les cours d'eau étudiés sont de type fluvial à forte pente, les vitesses d'écoulement sont donc importantes et le transport solide bien présent. C'est pourquoi, le revêtement du parement amont des digues subit de fortes sollicitations.

La VTA a mis en évidence des érosions du talus amont et les fortes pentes de celui-ci.

La formule d'Isbach, accompagnée de la correction de Lane permet de caractériser les enrochements nécessaires à la protection du talus amont des digues. A noter que la correction de Lane est applicable seulement si l'angle d'équilibre du talus est inférieur à l'angle d'équilibre limite du sol. Or les talus étant fortement érodés, et la présence de gabions par endroit définit un angle d'inclinaison très important, parfois plus important que l'angle d'équilibre théorique du sol. Nous avons pris comme hypothèse 45° comme angle d'équilibre du sol angle ce qui est adapté pour les enrochements et une masse volumique de ceux-ci de 2600kg/m³. Pour les cas où la pente du talus est plus importante que l'angle limite, nous prendrons un angle du talus de 44° sachant qu'il faudra ainsi surestimer les valeurs d'enrochements.

L'étude concerne les valeurs au droit des profils topographiques critiques. Les cas spécifiques (virage prononcé du cours d'eau, aval d'un pont) seront évoqués lors de l'avant-projet. Les résultats sont résumés dans les tableaux suivant.

9.2.1 Système 2.1

nom du profil	PKL	vitesse majorée Q10 (m/s)	vitesse majorée Q100 (m/s)	Poids moyen d'un enrochement W50 (kg)	Taille théorique d'un enrochement (m)
S2.1 STTP57	8.91	3.612	4.44	939 (Q10) / 3240 (Q100)	0.77 (Q10) / 1.16 (Q100)
S2.1 STTP59	8.883	3.84	4.452	271 (Q10) / 659 (Q100)	0.53 (Q10) / 0.7 (Q100)

Tableau 51 : Caractéristiques théoriques des enrochements de protection du talus amont – système 2.1

Conclusion : Sur ce tronçon, les vitesses d'écoulement sont très importantes ce qui implique ces fortes valeurs de poids et tailles d'enrochements. Pour le profil topographique avec un angle de talus important (STTP57) les valeurs sont très imposantes, il semble donc nécessaire d'adoucir la pente par endroit.

9.2.2 Système 2.2 aval

nom du profil	PKL	vitesse majorée Q10 (m/s) (x1.2)	vitesse majorée Q100 (m/s) (x1.2)	Poids moyen d'un enrochement W50(kg)	Taille théorique d'un enrochement (m)
Jean Lain	5.444	2.304	3.024	16 (Q10) / 81.8 (Q100)	0.2 (Q10) / 0.35 (Q100)
Rond-point Villarcher	4.981	2.52	2.988	615.63 (Q10) / 1711 (Q100)	0.67 (Q10) / 0.95 (Q100)
Villarcher 1	4.208	3.432	4.164	2477 (Q10) / 7901 (Q100)	1.1 (Q10) / 1.5 (Q100)
Villarcher 2	4.653	2.736	3.156	91.48 (Q10) / 215.49 (Q100)	0.37 (Q10) / 0.48 (Q100)
Tremblay	3.543	2.532	3.384	75.05 (Q10) / 427.61 (Q100)	0.5 (Q10) / 0.6 (Q100)

Tableau 52 : Caractéristiques théoriques des enrochements de protection du talus amont – système 2.2 aval

Conclusion :

- **Jean Lain : La taille et le poids des enrochements est faible sur ce secteur car la pente du talus amont n'est pas très importante ;**
- **Rond-point Villarcher : Les vitesses relevées sont plus faible sur cette section, mais les pentes de talus étant très importante il faut des enrochements de poids et de tailles importants. Sur ce secteur-là se trouve des gabions, ce qui justifie la pente importante ;**
- **Villarcher 1 : D'après les relèves topographiques, la pente du talus est très importante et supérieur à 45°. Le critère de Lane ne peut donc pas être évalué c'est pourquoi le poids et la taille des enrochements sont sous-estimés. Il faut noter que sur ce secteur la vitesse est également très importante, de l'ordre de 4 m/s. Les enrochements à retenir doivent donc être très imposant ;**
- **Villarcher 2 : Il faut sélectionner pour ce secteur des enrochements de 215kg de diamètre 50cm ;**

- Tremblay : Malgré les pentes de talus plus faible, il convient de choisir des enrochements assez importants, d'autant plus que d'après la géophysique ce secteur de digue n'a pas été protégé par des enrochements.

9.2.3 Système 2.3

nom du profil	PKBDL	vitesse majorée Q10 (m/s)	vitesse majorée Q100 (m/s)	Poids moyen d'un enrochement W50 (kg)	Taille théorique d'un enrochement (m)
S2.3	0.05	0.32	0.41	< 1 kg	< 1 m

Tableau 53 : Caractéristiques théoriques des enrochements de protection du talus amont – système 2.3

Conclusion : comme expliqué précédemment pour le calcul d'affouillement, les vitesses sont très faibles. Il n'est donc même pas nécessaire d'enrocher ce système.

10 SYNTHÈSE

Les synthèses graphiques des études sont également disponibles en Annexe.

Concernant tous les linéaires de digue étudiés, la végétation est actuellement très importante et doit être limitée sur les digues. Un déboisement est nécessaire, accompagné de dessouchages.

10.1 Système 2.1

respect de la stabilité vis-à-vis du phénomène de					
profil géotechnique	secteur topographique	Glissement talus amont	Glissement talus aval	Erosion Interne	Erosion Externe
Geotech1	STTP57	instable décrue rapide	stable	stable	instable
	STTP59	stable	stable Q10, Q100 instable Qext	stable	instable
Geotech2	STTP57	instable décrue rapide	stable	stable	instable
	STTP59	stable	stable	stable	instable

Tableau 54 : Synthèse des risques de ruptures – système 2.1

Le système d'endiguement est stable au phénomène de part ces topologies, mais aussi grâce à la faible mise en charge de la digue, et ce même pour des crues centennales. Au contraire il est instable à l'érosion externe, en effet sur ce tronçon les vitesses d'écoulements sont très rapides et les pentes de talus parfois raides ce qui nécessite de lourds enrochements sur les talus mais aussi des renforcements dans le lit pour éviter un trop fort affouillement.

Concernant les glissements de talus, du côté aval le risque est très faible. Il y a un risque seulement pour les crues extrêmes dans le cas du premier profil géotechnique et sur le profil STTP59. Sur le talus amont, le profil STTP57 avec les pentes critiques est instable aux décrues rapides.

10.2 Système 2.2 aval

respect de la stabilité vis-à-vis du phénomène de					
profil géotechnique	secteur topographique	Glissement talus amont	Glissement talus aval	Erosion Interne	Erosion Externe
Geotech1	Jean Lain	stable	stable Q10 stable Q100	non stable à l'érosion de conduit	instable
Geotech2	Rond-Point Villarcher	stable	stable Q10 stable Q100	non stable à l'érosion de conduit et risque de suffusion	instable
Geotech3	Villarcher	instable	instable Q10 stable Q100	non stable à l'érosion de conduit	instable
Geotech4	Tremblay	stable	stable Q10 stable Q100	stable au critère de Lane	instable
Geotech5	Rond-Point Villarcher	instable	stable Q10 stable Q100	non stable à l'érosion de conduit et de contact	instable
Geotech6	Villarcher	instable	instable Q10 stable Q100	non stable à l'érosion de conduit et risque de suffusion	instable

Tableau 55 : Synthèse des risques de ruptures par tronçons – système 2.2 aval

Le système d'endiguement présente sur la quasi-totalité de son linéaire des risques de ruptures. Qu'il s'agisse d'érosion interne, externe ou de stabilité au glissement l'état actuel des digues, de pas leur géométrie et leur constitution présentent un risque de rupture important en cas de crue décennale ou centennale.

10.3 Système 2.3

respect de la stabilité vis-à-vis du phénomène de					
profil géotechnique	secteur topographique	Glissement talus amont	Glissement talus aval	Erosion Interne	Erosion Externe
Geotech1	S2.3	stable	stable	stable	stable

Tableau 56 : Synthèse des risques de ruptures – système 2.3

L'étude au glissement des talus amont et aval n'a pas été effectuée, mais le système est stable aux phénomènes d'érosion interne et externe et il n'y a aucun risque de glissement des talus amont et aval d'après l'étude TALREN.

L'énergie au cœur des territoires

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

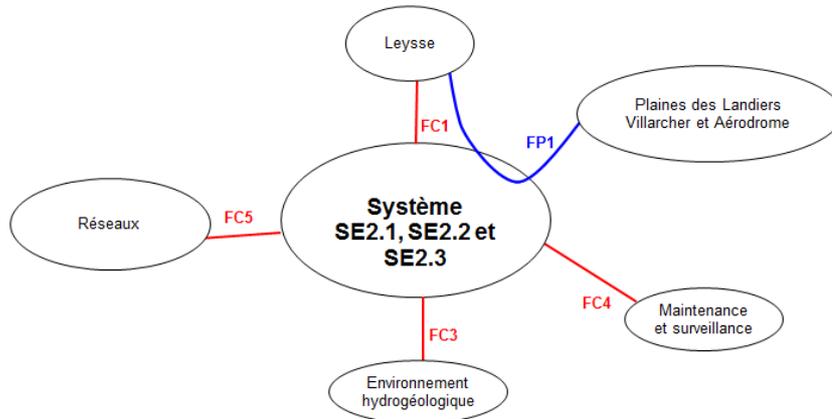
cnr.tm.fr

L'énergie est notre avenir, économisons-la !



ANNEXE 4

Annexe 4 : Analyse Fonctionnelle des ouvrages



FP1 L'ouvrage constitue la protection de la plaine des Landiers contre les inondations de la Leysse

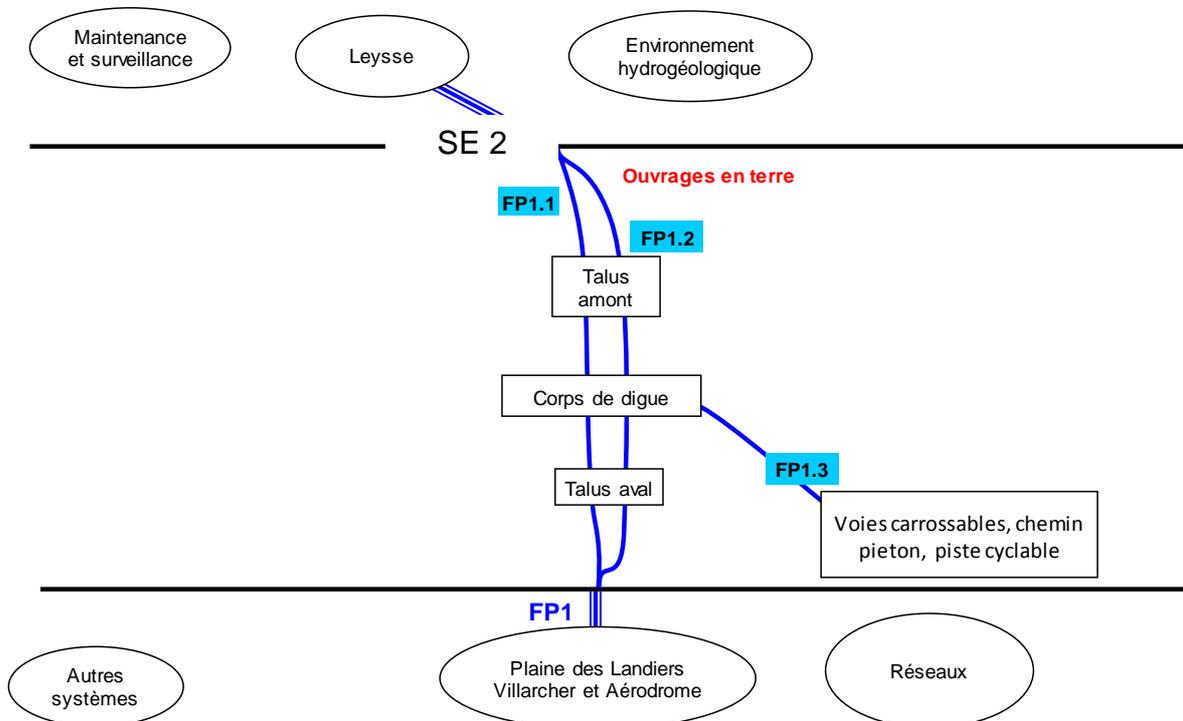
FC1 L'ouvrage de protection résiste aux pressions de l'eau

FC2 L'ouvrage constitue avec les autres systèmes d'endiguement SE4 et SE5 et remblai une continuité dans la protection contre le risque d'inondations

FC3 L'ouvrage est solidaire de l'environnement hydrogéologique

FC4 L'ouvrage est maintenu et surveillé

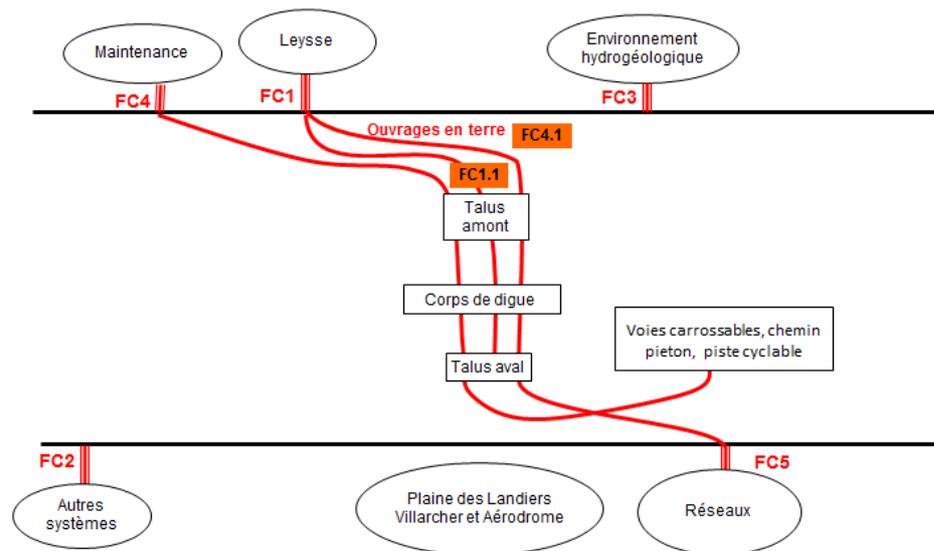
FC5 Les réseaux présents dans la digue sont connus et surveillés



FP1.1 Les talus amont, aval et le corps de digue retiennent l'eau de la Leysse

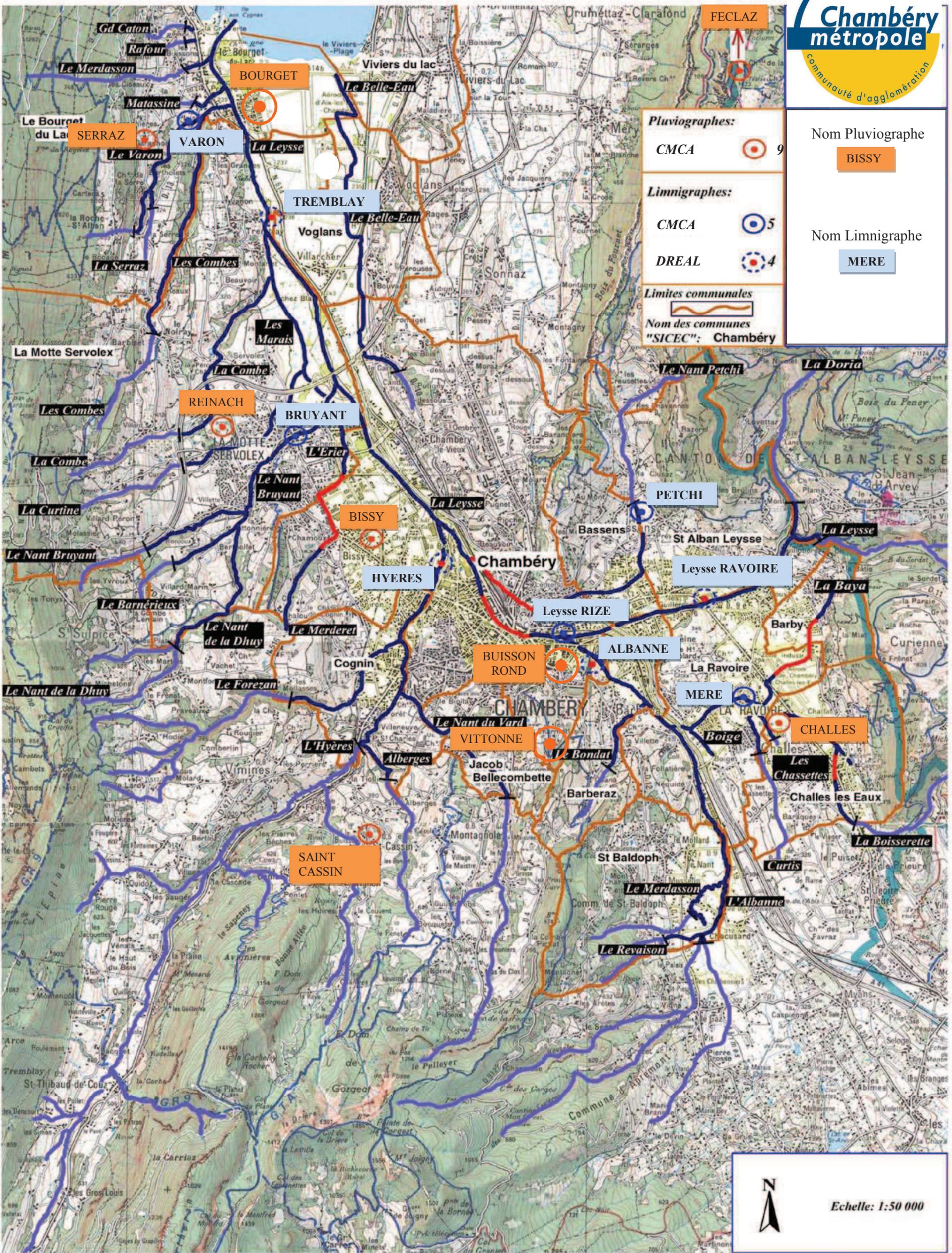
FP1.2 Les talus amont, aval et le corps de digue sont solidaires et assurent la stabilité de la digue

FP1.3 La digue est solidaire des voies carrossables et de l'embarcadère qu'elle supporte



- FC1** L'ouvrage de protection résiste aux pressions de l'eau
FC1.1 Les talus amont, aval et le corps de digue résistent aux pressions d'eau
FC2 L'ouvrage constitue avec les autres systèmes d'endiguement SE4 et SE5 et remblai une continuité dans la protection contre le risque d'inondations
FC3 L'ouvrage est solidaire de l'environnement hydrogéologique
FC4 L'ouvrage est maintenu et surveillé
FC4.1 Les talus amont, aval et le corps de digue sont maintenus et surveillés

ANNEXE 5



Pluviographes:
 CMCA 9

Limnigraphes:
 CMCA 5
 DREAL 4

Limites communales

Nom des communes "SICEC": Chambéry

Nom Pluviographe
BISSY

Nom Limnigraphe
MERE

Echelle: 1:50 000

ANNEXE 6

Annexe 6 : Calage du modèle Hydraulique

1 CONTEXTE ET OBJECTIF

1.1 Modélisations hydrauliques existantes

Depuis les années 1990, l'ensemble des modélisations menées sur le bassin Chambérien a été réalisée par la société Hydrolac. Différents modèles à une dimension (1D) ont été construits. Les résultats ont permis de :

- Tracer les cartes d'inondations du PPR Chambérien entre 1996 et 1998 (ref. E11, E12, E12, E21-E22) ;
- Définir le schéma directeur des aménagements en 1999 (ref. E18) ;
- Dimensionner le projet Leysse Hyères en 2009 (ref. E23) ;
- Tracer les zones d'inondations du TRI en 2014 (ref. E35).

Le calage de ces modèles est en grande partie basé sur la crue de 1990 pour les crues de la Leysse et sur la crue de 1991 pour le calage des affluents, en particulier l'Albanne. L'ensemble de ces modélisations intègre les écoulements à surface libre mais aussi les réseaux pluviaux tels que celui en rive droite au droit du pont des Chèvres et celui en rive gauche, qui se rejette dans l'Erier.

1.2 Objectif de la modélisation et du calage

Le modèle hydraulique à 2 dimensions (2D) construit pour les études de danger doit être représentatif des écoulements de **l'Hyères et de la Leysse** en crue. Les apports des autres affluents et des bassins versants intermédiaires sont intégrés mais ne font pas l'objet d'une modélisation précise.

Etant donné le contexte des études antérieures, notamment l'étude ayant servi au dimensionnement des ouvrages hydrauliques de protection du projet Leysse-Hyères, il est nécessaire d'assurer la cohérence entre le nouveau modèle 2D et les modélisations précédentes. A cette fin il convient d'intégrer, pour le calage et les simulations sur le modèle 2D construit dans le cadre de la présente étude :

- Les hydrogrammes précédemment utilisés ;
- Les résultats des modélisations 1D Hydrolac.

1.3 Méthodologie du calage

L'objectif du calage est d'adapter les coefficients de rugosité du lit et la modélisation des ouvrages (ponts principalement) afin de reproduire les lignes d'eau et les zones de surverses observées ou simulées au cours des crues passées (1990), tout en gardant un sens physique sous-jacent aux coefficients utilisés. Dans le cadre de la présente étude, la méthodologie a été appliquée en deux temps :

1. **Calage** sur la plus forte crue récente connue à savoir la crue de 1990 pour la Leysse et l'Hyères. Les données de comparaison sont les zones inondables, les laisses de crue et les résultats du modèle 1D Hydrolac. Pour cette partie un modèle assez représentatif des fonds de 1990 a été construit.
2. **Vérification du calage** en comparant les résultats du modèle 2D CNR avec les résultats du modèle 1D Hydrolac pour l'état aménagé de la Leysse en crue centennale.

1.4 Choix du logiciel de modélisation

La présente étude s'intéresse à la fois à la modélisation des écoulements dans le lit endigué mais aussi à la propagation (ondes de rupture probables ou crues déversantes) dans le champ majeur.

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

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

Le logiciel utilisé est le logiciel TELEMAC 2D, développé par EDF – LNHE et distribué par SOGREAH.

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

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

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

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

2 COLLECTES DES DONNEES

2.1 Données de calages disponibles

2.1.1 Crue de 1990 – données observées

Les données observées sont principalement extraites du tome 1 du PPRI (Ref E9) et de l'étude Historique d'Acthys Diffusion (ref E51).

2.1.1.1 Limnigrammes et hydrogrammes

Les enregistrements disponibles sont situés sur la Leysse au pont Tremblay et sur l'Albanne à Buisson Rond (Ref E9).

Cependant, au pont Tremblay, une panne de limnigramme (cf. figure suivante) a rendu l'enregistrement non utilisable sur une bonne partie de la crue.

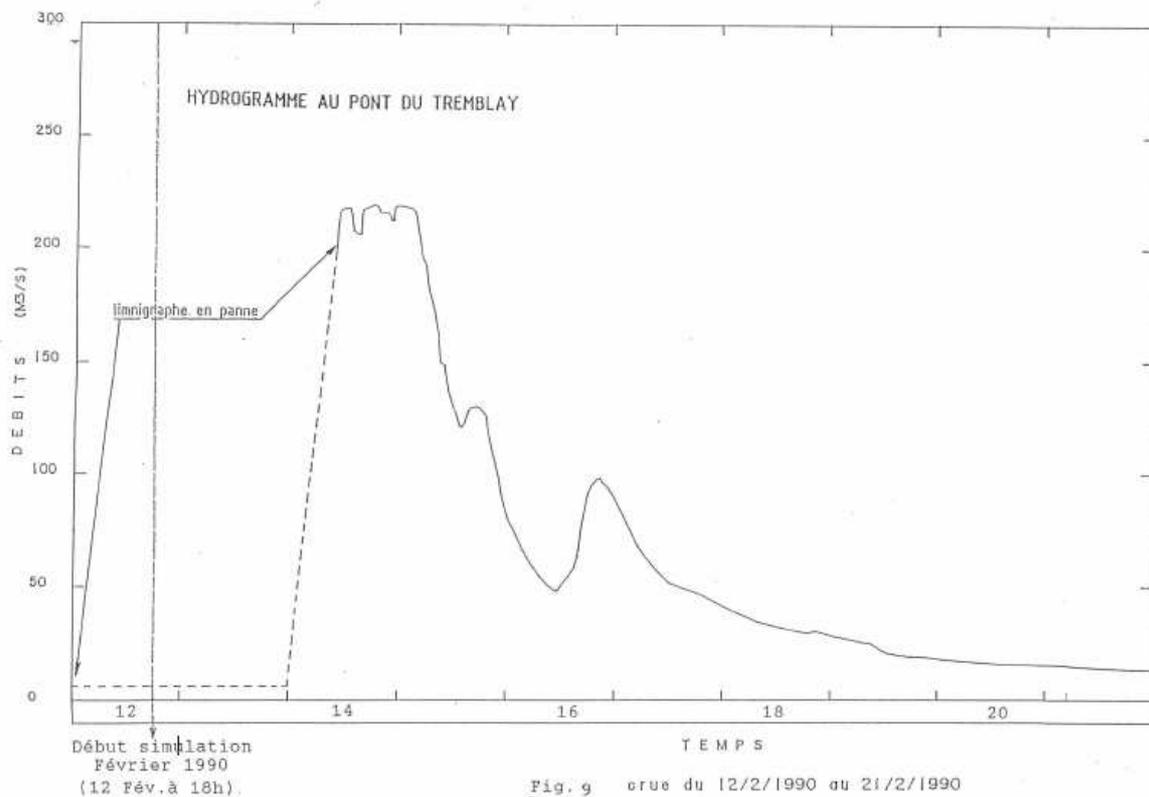


Figure 1 : Hydrogramme enregistré à la station du Tremblay

2.1.1.2 Laisses de crue

Sur l'ensemble de la zone d'étude, une dizaine de laisses de crue ont pu être repérées aux droits des ponts. Le tableau suivant les rappelle.

Nom	Z_Laisse90
Pont des Barillettes - RD912	301.35
Pont de la Trousse	298
Pont de la Martinière	287.78
Passerelle Sainte Thérèse	285.5
Pont de Serbie	277.25
Pont des Carmes	275.5
Pont des Allobroges Amont	264.9
Pont des Allobroges Aval	264.9
Pont des chèvres	262.32
Pont CD16A	253.15
Pont du Tremblay (limni)	241.53
Passerelle Université	237.65
Passerelle Prieuré	235.5

Tableau 1 : Leysse de crue de 1990

2.1.1.3 Zones inondables

Deux sources de données ont été retrouvées.

Dans l'étude Hydrolac PPR tome 1, une carte des zones inondables est présentée. Elle reste partielle et ne précise pas tous les débordements qui ont eu lieu. Les illustrations suivantes présentent des extraits de cette zone inondable (voir Figure 2, Figure 3 et Figure 4).



Figure 2 : Zone inondable – Crue de 1990 – PPRI – Tome 1 – Leysse en aval A43

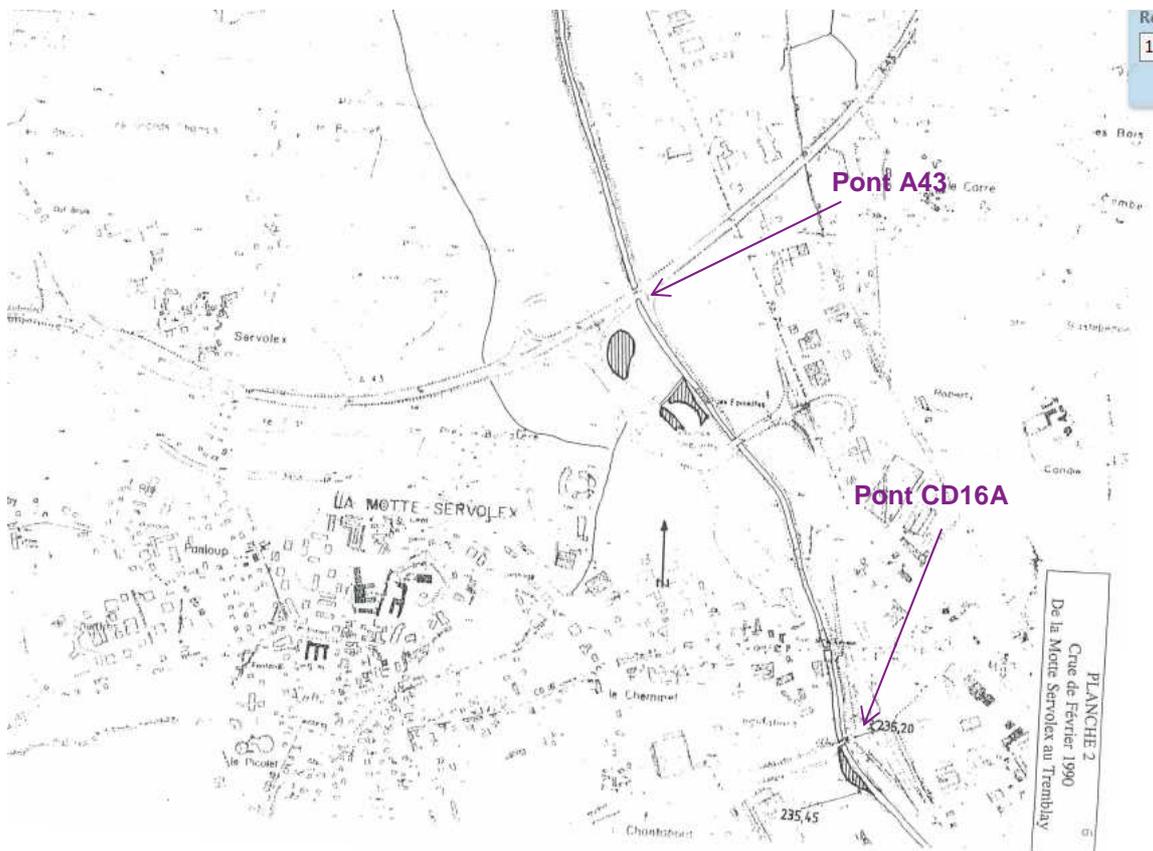


Figure 3 : Zone inondable – Crue de 1990 – PPRI – Tome 1 – Leysse de l'aval du pont SNCF à l'aval A43

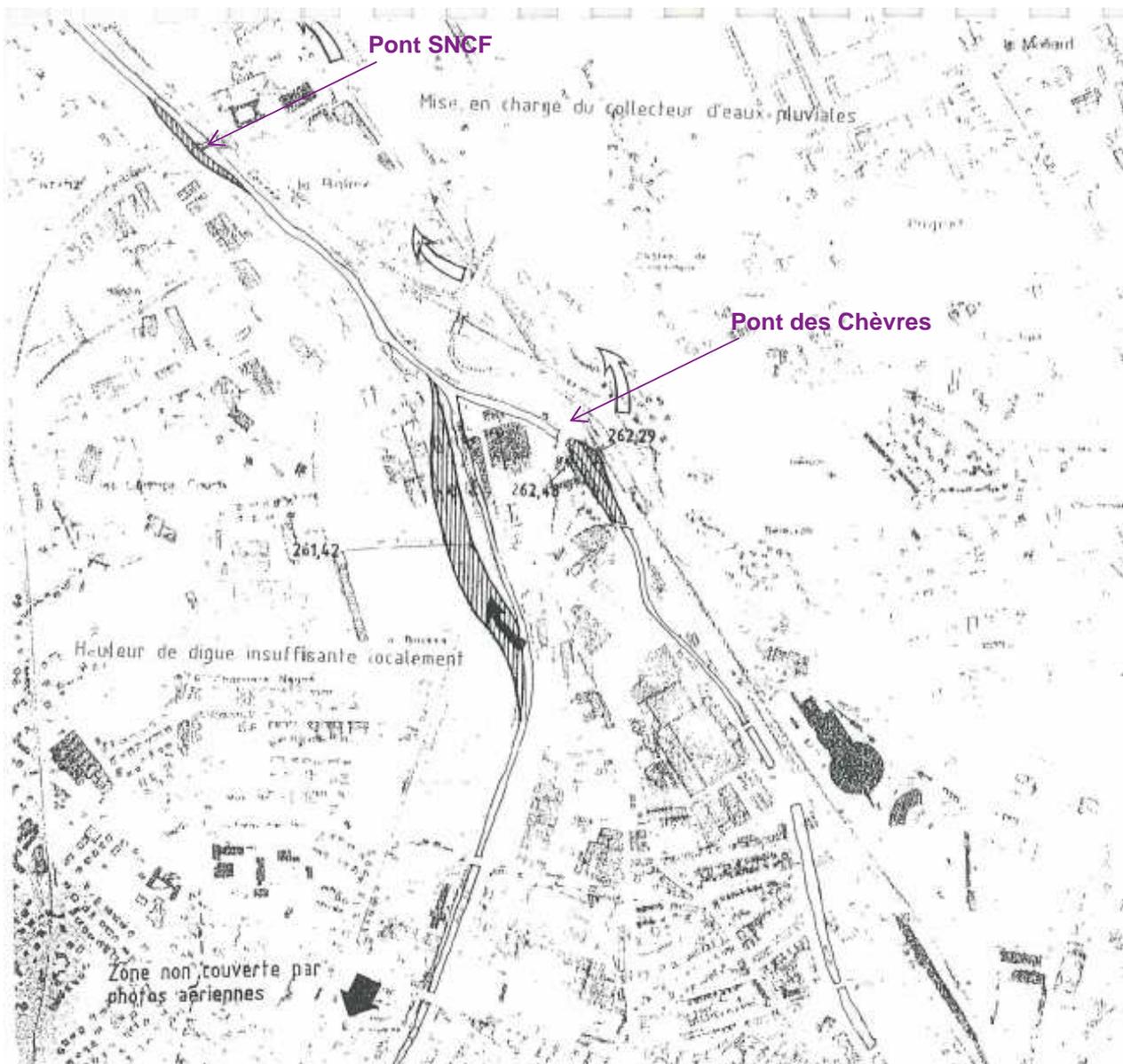


Figure 4 : Zone inondable – Crue de 1990 – PPRI – Tome 1 – Lysse de l'aval du pont des Allobroges jusqu'à l'aval du pont SNCF

Du fait de la nature partielle de ces informations, d'autres informations ont été recherchées dans les archives. C'est aux archives de la ville de Chambéry, qu'Acthys diffusion a retrouvé une cartographie de la zone inondable avec des photos des dégâts ainsi que des projets de confortement des ouvrages suite aux crues (Figure 5 et Figure 6).



Figure 5 : Zone inondable – Crue de 1990 – Mairie de Chambéry



Figure 6 : Zone inondable – Crue de 1990 – Vue Aérienne vers l'amont – Pont de l'échangeur

2.1.1.4 Débordements

La recherche aux archives a permis de compléter la connaissance des débordements. On retiendra les points importants suivants :

- **Albanne** : débordements sur les deux rives ne faisant pas l'objet d'un calage précis dans le cadre de la présente étude.
- **Leysse Amont Confluence** - Rive gauche de la Leysse au droit du pont des Chèvre : Inondation par le collecteur de de la VRU vers Nautiparc et Chamnord du fait **d'embâcle sous le pont.**
- **Leysse Amont Confluence** - Rive droite du pont des Chèvre en amont : léger débordement ;
- **Hyères** - Rive gauche : Débordement au droit du cimetière de Charrière Neuve ;
- **Hyères** - Rive droite : Débordement en aval du pont des Chevaliers Tireurs ;
- **Leysse Aval Confluence** - Rive gauche du pont du CD16A : débordement s'écoulant dans l'Eyrier ;
- **Leysse Aval Confluence** - Rive droite du pont Trembay : débordement suite à la rupture de la digue au droit du pont Tremblay ;
- **Erier/Ruisseau des Marais** : Débordements le long du trajet visible sur la vue aérienne.

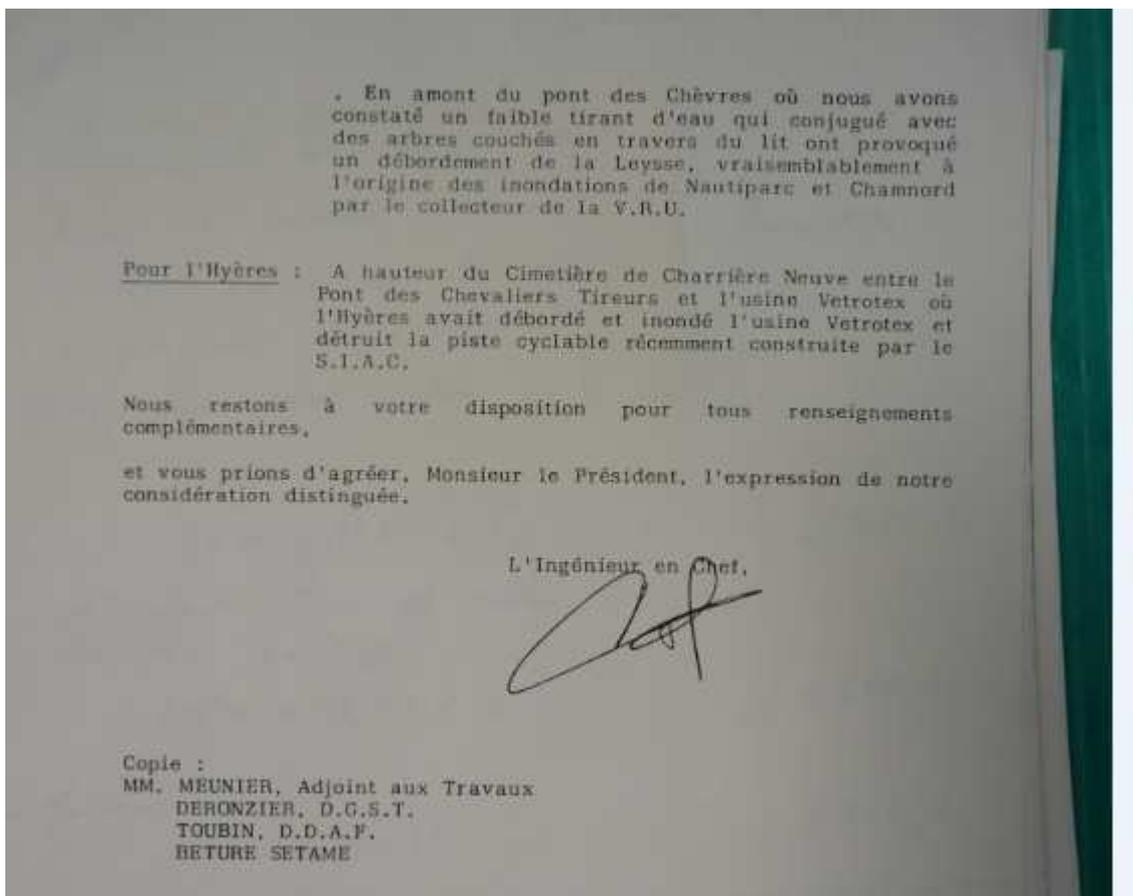


Figure 7 : Extrait du rapport « suite Inondation 14-15 février 1990 – Ville de Chambéry – service techniques division eaux et assainissement

2.1.2 Crue de 1990 – modèle 1D Hydrolac

Le modèle 1D Hydrolac utilisé pour le calage de la modélisation intègre des fonds de 1990. Une étude comparative a permis de vérifier que ces fonds ne sont pas très différents des fonds topographiques utilisés dans le modèle 2D.

Plusieurs recalages sur la crue de 1990 ont été réalisés par la société Hydrolac. Les derniers résultats issus de ce modèle ont été utilisés pour le calage du modèle 2D CNR. Il s'agit des résultats obtenus sur le modèle 1D Hydrolac 1996-1997 – Nouveau calage sur la crue de 1990 – fichier CHI –PL -90. La nature des résultats des simulations Hydrolac est la suivante :

- Profil en long depuis l'aval de l'A43 jusqu'à l'amont du pont des Allobroges sur la Leysse au droit des profils STTP ;
- Débits de déversements aux points de débordement identifiés par Hydrolac.

2.1.3 Etat projet – modèle 1D Hydrolac de 2009

Les profils en travers topographiques de l'état projeté et/ou réalisé suivant les endroits ont été rassemblés et intégrés dans le modèle 2D CNR.

Les données utilisées pour la vérification du calage sont principalement :

- Le profil en long du dossier projet de l'étude Hydrolac 2009 ;
- L'emprise de la zone inondable.

2.2 Données Topographiques

Pour les besoins de l'étude de danger, trois modèles différents ont été construits :

- Un modèle de l'état supposé de la crue de 1990 pour le calage de cette crue ;
- Un modèle de l'état initial avant aménagement de la Leysse suite au projet Leysse-Hyères ;
- Un modèle de l'état aménagé aussi appelé état projet intégrant les aménagements du projet Leysse-Hyères qui ont été réalisés ou en cours de réalisation.

2.2.1 Lit mineur - Modèle 1990 et état initial

Les données topographiques du lit mineur sont identiques pour le modèle 1990 et l'état initial. Les changements entre ces deux modèles résident dans la modélisation des seuils sur la partie amont de la Leysse, seuils situés dans le lit de la Leysse en biseau et qui n'étaient pas présent en 1990. L'autre différence est le bras de décharge qui n'est pas construit en 1990.

Il a été vérifié que l'évolution des fonds entre 1990 et 2009 (majorité des données), était très faible. On observe principalement un mouvement latéral du lit sans évolution du talweg ni de la section mouillée. Ainsi l'utilisation des profils 2009 n'engendre pas d'erreur majeure sur les calculs des niveaux d'eau.

Le tableau suivant (Tableau 2) présentent les dates des campagnes retenues pour la modélisation du lit mineur dans l'état initial et pour la crue de 1990 .

Cours d'eau	Partie du cours d'eau	Amont du tronçon	Aval du Tronçon	Système de digue	Société produisant la donnée	Année
Leysse amont confluence Hyères	lit mineur + digue	Amont Pont de la trousse	Pont Ferroviaire	1.1,1.2,1.3,3.1	Hydrotopo	2015
Leysse amont confluence Hyères	lit mineur + digue	Pont Ferroviaire	Amont couverture	-	Hydrotopo	2007
Leysse amont confluence Hyères	lit mineur + digue	Amont couverture	Confluence Hyères	3.2	STTP	2009
Leysse aval confluence Hyères	lit mineur + digue	Confluence Hyères	Pont du CD16A	4.3, 2.1	STTP	2009
Leysse aval confluence Hyères	lit mineur + digue	Pont du CD16A	aval A43	4.3, 2.2,5	STTP	2009
Leysse aval confluence Hyères	lit mineur + digue	aval A43	lac du Bourget	2.2,5	Hydrotopo	2014
Hyères	lit mineur + digue	Pont RD1006	Pont d'Hyères	4.1	STTP	2009
Hyères	lit mineur + digue	Pont d'Hyères	confluence Leysse	4.2, 3.3	STTP	2009
Bras de décharge	lit mineur + digue	Pont du Tremblay	lac du Bourget	2.3	Hydrotopo	2008

Tableau 2 : Topographie de l'état initial et de l'état de 1990

2.2.2 Lit mineur - Modèle projet

Les données de l'état projet sont extraites des plans récolements (FAMY) sur les secteurs où les travaux ont déjà été réalisés ou des profils projet pour les tronçons non encore aménagés.

Le tableau suivant (Tableau 3) présente les dates des campagnes retenues pour les fonds des lits mineurs de l'état aménagé.

Cours d'eau	Partie du cours d'eau	Amont du tronçon	Aval du Tronçon	Système de digue	Société produisant la donnée	Type de profil	Année	Pam	Paval
Leysse aval confluence Hyères	lit mineur + digues	aval couverture	aval confluence Hyère	2.1	FAMY	levés recolement	2015	P12	P51
Leysse aval confluence Hyères	lit mineur + digue	aval confluence Hyère	Amont pont SNCF	4.3	Etat actuel	levés	2014	P52	P68
Leysse aval confluence Hyères	Berge RG	aval confluence Hyère	Amont pont SNCF	4.3	FAMY	levés recolement	2014	P59	P68
Leysse aval confluence Hyères	lit mineur + digues	aval SNCF	CD16A	2.1, 2.2, 4.3	CNR	projet	2009	P68	P87
Leysse aval confluence Hyères	lit mineur + digues	CD16A	A43	2.1, 2.2, 4.3	CNR	projet	2009	P89	P120
Leysse aval confluence Hyères	lit mineur + digues	A43	aval A43	2.1, 2.2, 4.3	CNR	projet	2009	P121	P129

Tableau 3 : Topographie de l'état aménagé

Concernant le **champ majeur**, deux sources principales de données étaient disponibles :

- Levé LIDAR transmis par la DDT et datant de 2009 ;
- Levé LIDAR transmis par la DREAL datant de 2013.

Les sources de données les plus récentes ont été retenues à savoir 2013.

Concernant les endiguements situés à l'aval de la couverture jusqu'à l'aval de l'A43, d'autres sources ont été utilisées lorsqu'elles étaient disponibles :

- Plans topographiques STTP 2009 pour les pistes cyclables, murs et voies de circulations ;
- Plans topographiques Geode 2015 pour les digues en aval de l'A43.

3 CONSTRUCTION DES MODELES

3.1 Conditions aux limites

3.1.1 Points d'injection

Les hydrogrammes et cotes du lac issus des simulations des modèles hydrologiques Hydrolac sont injectés dans le modèle en condition aux limites au point suivant

- La Leysse au pont des Barillettes (pont de la RD912) ;
- L'Hyères au pont de la RD1006 ;
- L'Albanne à sa confluence avec la Leysse en aval du pont de Serbie ;
- Le Nant Petchi à sa confluence avec la Leysse ;
- Le Nant du Forézan à sa confluence avec l'Hyères à Cognin ;
- Le Nant Bruyant à sa confluence avec la Leysse en amont de l'A43 ;
- Le Ruisseau des Marais à sa confluence avec la Leysse au pont Tremblay.

La cote du lac du Bourget est appliquée dans le Lac.

Les ruissellements intermédiaires sont injectés au droit du Nant Pétchi et du Varon.

3.1.2 Hydrogrammes et limnigrammes

Les hydrogrammes et limnigrammes injectés sont présentés dans les figures suivantes pour les crues de 1990 et la crue centennale (Q100). Les niveaux de la crue centennale au Lac du Bourget sont appliqués même pour des crues inférieures. Les niveaux pour la crue millennale sont extraits de la modélisation d'une crue millennale du Rhône, ceux de la crue Q200 sont interpolés entre la crue millennale et la crue centennale. Ces hypothèses sont conservatives. Les hydrogrammes de la crue millennale et crue Q200 sont obtenus par homothétie de ceux de la crue centennale.

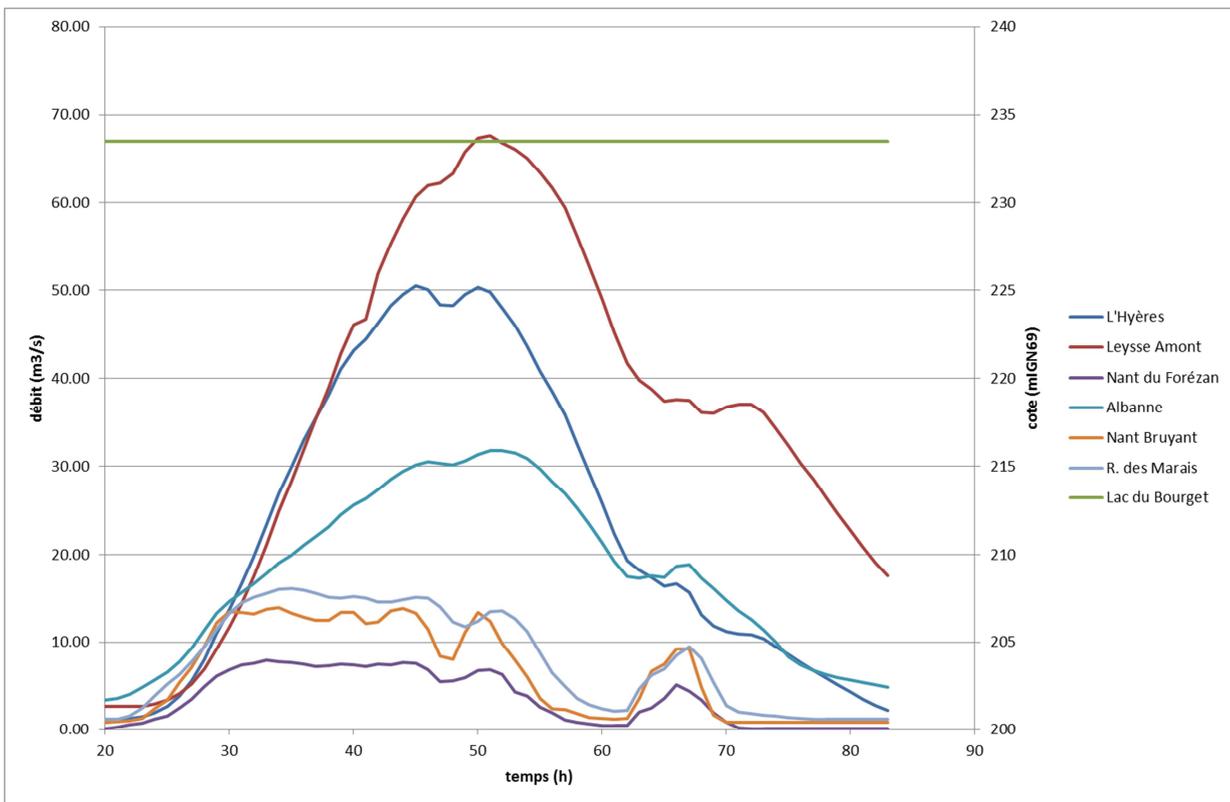


Figure 8 : Hydrogrammes Q10

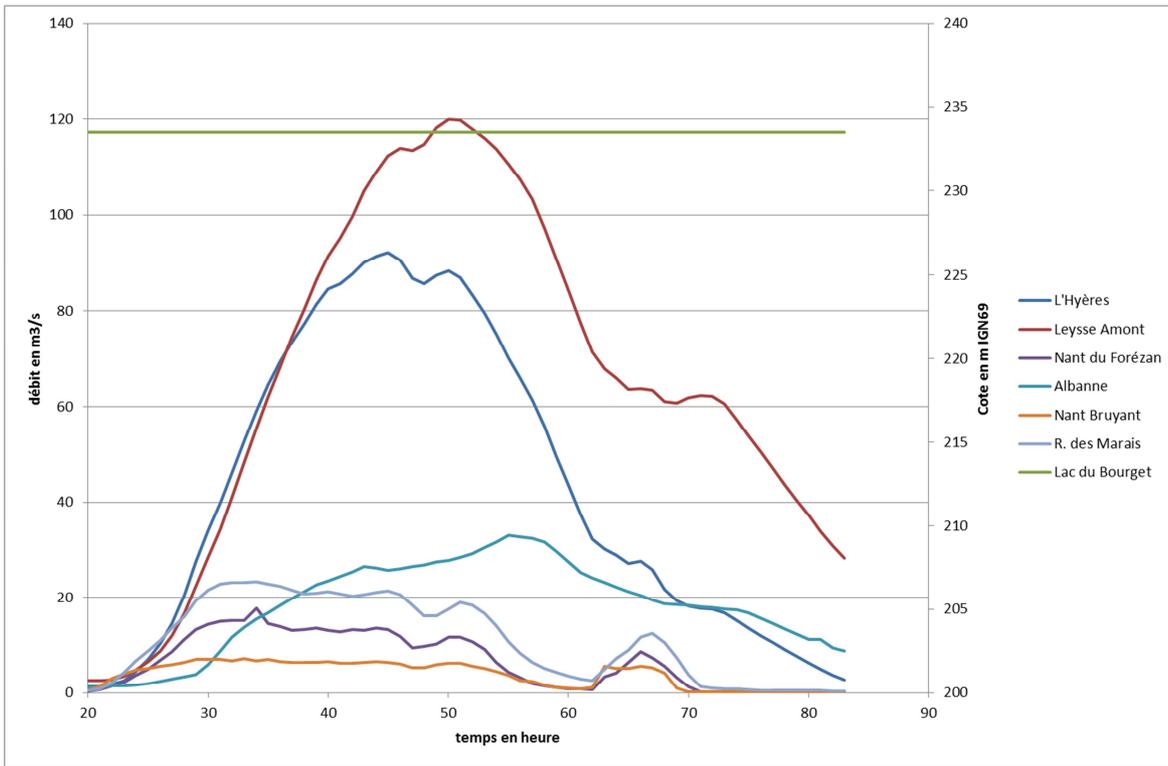


Figure 9 : Hydrogrammes de la crue de 1990

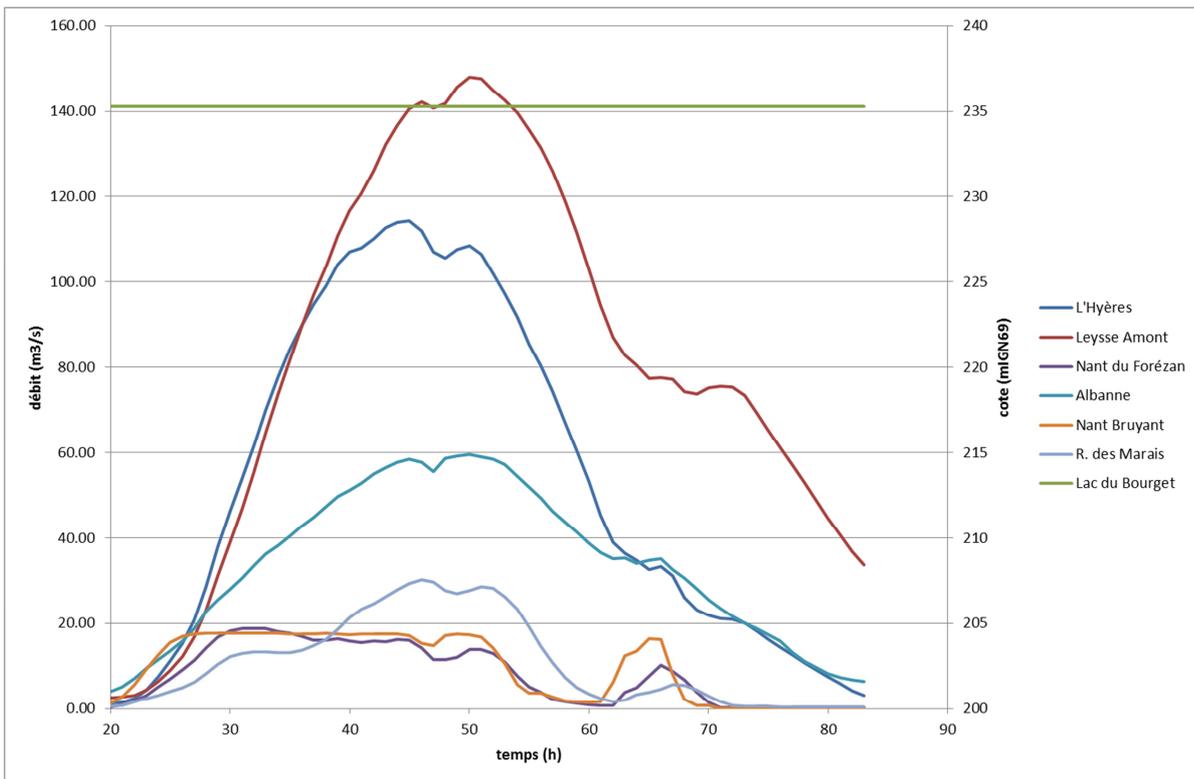


Figure 10 : Hydrogrammes Q100

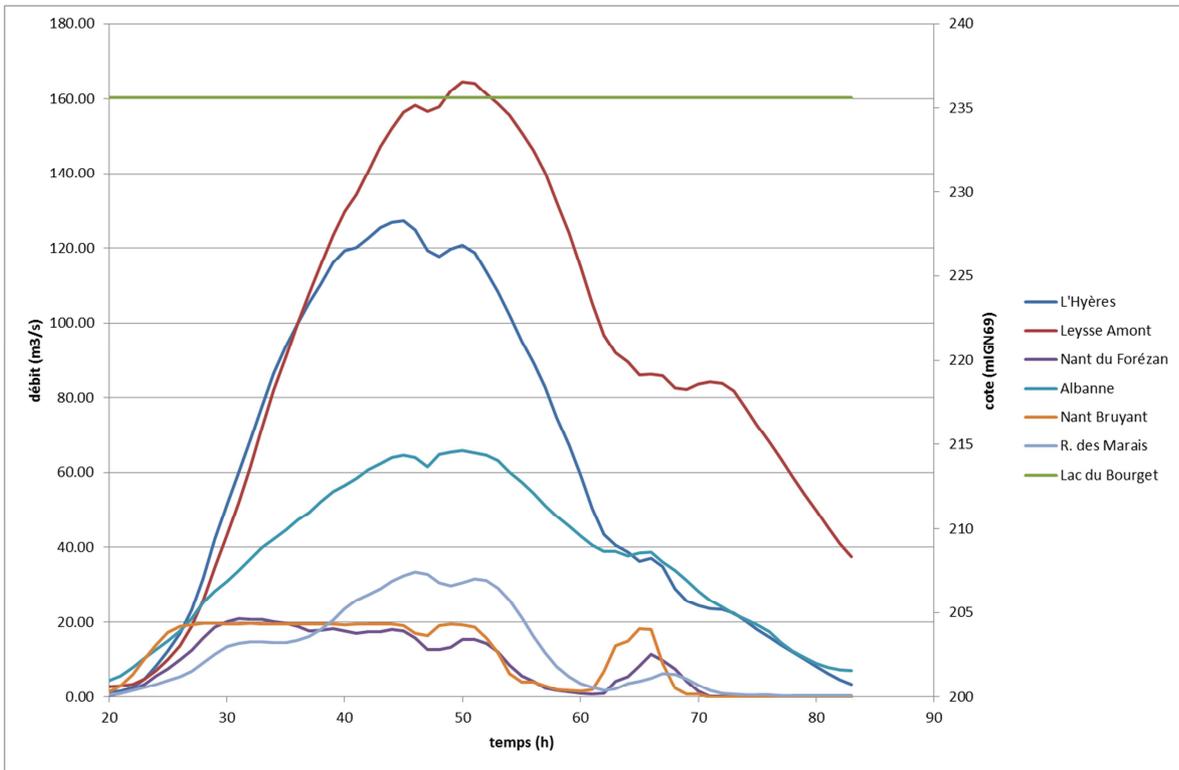


Figure 11 : Hydrogrammes Q200

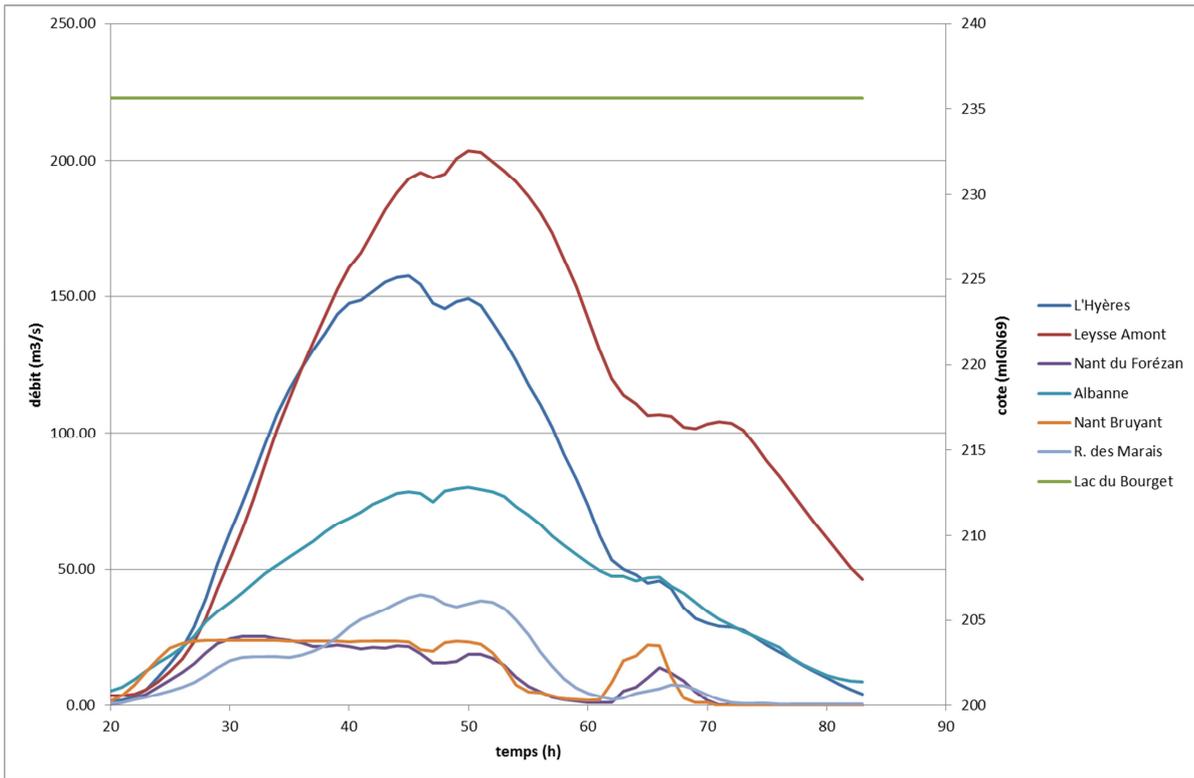


Figure 12 : Hydrogrammes Q1000

3.2 Emprise du modèles

Le modèle représente la Leysse depuis le Pont de la RD912 (pont des Barillettes, en amont du pont de la Trousse) jusqu'au lac du Bourget et l'Hyères depuis le pont de la RD1006 jusqu'à sa confluence avec la Leysse.

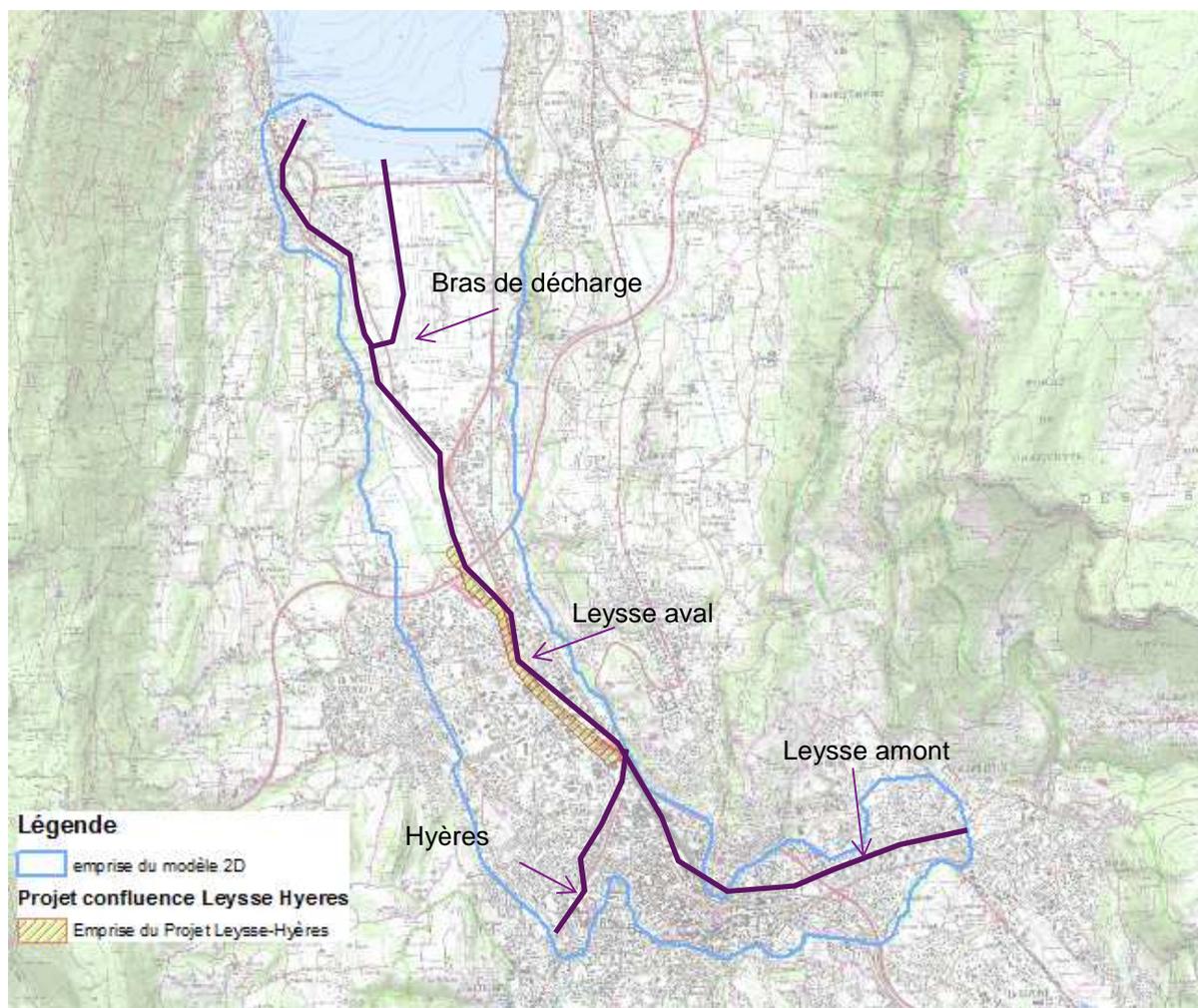


Figure 13 : Plan de localisation - contour extérieur du modèle en bleu et cours d'eau en violet

3.3 Maillage

Le maillage résulte d'un compromis entre la finesse de représentation de la topographie et le temps nécessaire à une simulation. Le maillage a été construit sur la base des informations topographiques citées précédemment. Les trois maillages ont été construits suivant les mêmes principes exposés ci-dessous.

3.3.1 Lit mineur

Dans les zones où les écoulements sont relativement bien canalisés (lit mineur de la Leysse et de l'Hyères et Erier), le maillage s'appuie sur des lignes directrices longitudinales, suivant la direction principale de l'écoulement. Ces lignes ont été construites à partir des profils en travers disponibles.

3.3.2 Dignes

Les digues sont des éléments topographiques caractérisés par une ligne directrice longitudinale et une faible largeur. Afin de les représenter au mieux, le maillage est également polarisé sur ces éléments. Les digues sont en général représentées par deux lignes de crête et deux lignes de bas de talus. La taille et la forme des mailles ont été adaptées pour représenter au mieux les phénomènes physiques caractéristiques de la proximité des digues, savoir :

- La direction privilégiée de l'écoulement dans le lit mineur
- Les forts gradients attendus de vitesse et de hauteur d'eau

Les routes ou talus ayant une influence sur les écoulements sont représentées de la même manière.

3.3.3 Bâtiments et obstacles à l'écoulement des crues

La topographie des bâtiments n'est pas intégrée spécifiquement dans la modélisation. La rugosité du lit a été ajustée pour représenter un encombrement du champ majeur.

En revanche, les murs ayant un impact significatifs sur les écoulements de la Leysse ou l'Hyères sont représentés dans la modélisation ; en particulier, le mur de la prison, le mur du cimetière de Charrière Neuve et les murs en bordure de rivière faisant office de cavalier de digue.

3.3.4 Champ majeur

Dans le lit majeur actif et dans les plaines, où il est plus difficile d'anticiper la direction de l'écoulement, il n'est pas souhaitable de « polariser » le maillage pour représenter de manière préférentielle une direction d'écoulement privilégiée : on cherche donc à définir les mailles les plus équilatères possibles. La taille des mailles est plus lâche au fur et à mesure que l'on s'éloigne du lit mineur ou des singularités topographiques (telles que digues, routes et autres éléments faisant obstacle à l'écoulement...).

3.3.5 Taille des mailles

La taille des mailles du modèle ou espacement entre deux points de calcul est en moyenne de :

- Lit mineur de la Leysse et de l'Hyères et digues : 5 m ;
- Remblais routiers et lit mineur de cours d'eau tel que l'Erier : entre 5 et 15 m
- Champ majeur : 75 m.

Le maillage total comprend 165 000 nœuds et 328 000 mailles.

3.3.6 Modélisation des ponts et ouvrages

Les ponts, dont la section n'était pas suffisante pour le passage des écoulements à surface libre, ont été modélisés spécifiquement. Il s'agit du :

- Pont de Serbie ;
- Couverture de Chambéry ;
- Pont des Allobroges ;
- Pont des Chèvres ;
- Pont SNCF.

De même, en état initial et en état projet, la consigne d'ouverture des clapets de l'ouvrage de décharge à l'aval du pont du Tremblay a été intégrée via un ouvrage vanné. La consigne d'ouverture des vannes a été implémentée dans le code de calcul afin de représenter au mieux les déversements dans le bras de décharge.

3.3.7 Cas du déversoir rive gauche en état projet

En rive gauche de la Leysse, la zone dite de « Pré Lombard » fera l'objet d'une opération de terrassement pour créer un nouveau lit à méandre afin de restaurer la dynamique fluviale. La réalisation de ce nouveau lit conduira à effacer la digue existante et s'accompagne de la mise en place d'un seuil déversant devant fonctionner pour une crue de période de retour proche de 30 ans.

La figure suivante présente une vue du maillage hydraulique représentant par une vue de dessus les travaux entrepris sur la Leysse sur ce secteur.

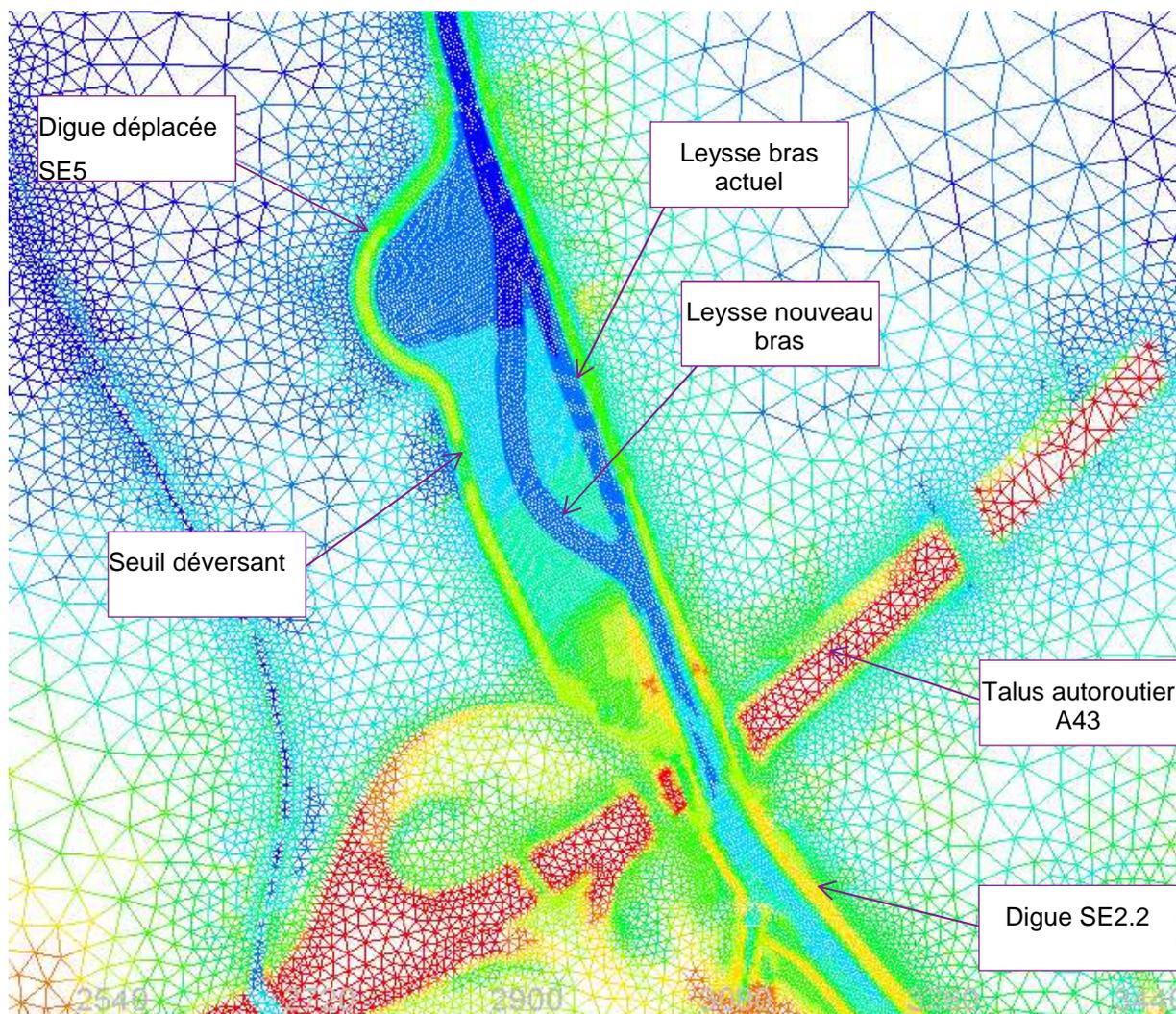


Figure 14 : Secteur 9 - Vue en plan du maillage 2D

4 RESULTATS DU CALAGE

4.1 Calage sur la crue de 1990

4.1.1 Hypothèses

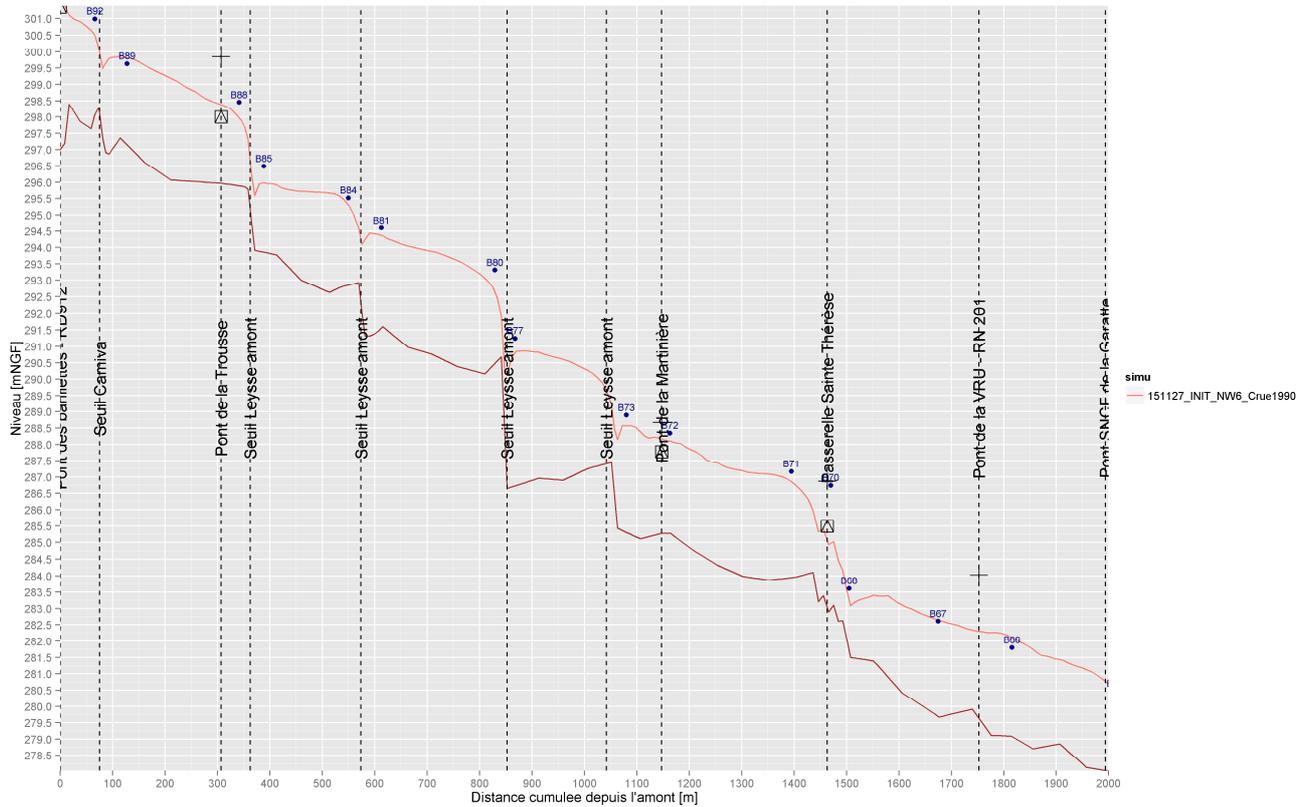
Les hypothèses de calculs pour la crue de 1990 sont les suivantes :

- Les fonds de l'état de 1990 sont très proches de l'état initial.
- il a été vérifié que la perte de charge aux ouvrages était pertinente, que les ouvrages soit en charge ou non.
- Des embâcles sont observés au droit du pont des chèvres ce qui réduit sa section.

4.1.2 Profil en long

Les profils en long depuis l'amont (pont de la RD912) jusqu'à l'aval de l'A43 sont présentés dans les figures suivantes

- Lignes rouge : Résultat modèle 2D ;
- Point bleu : Modèle Hydrolac 1996-1997 (nouveau calage sur la crue de 1990 – fichier CHI – PL90) ;
- Point triangle : Laisses de crue de 1990.



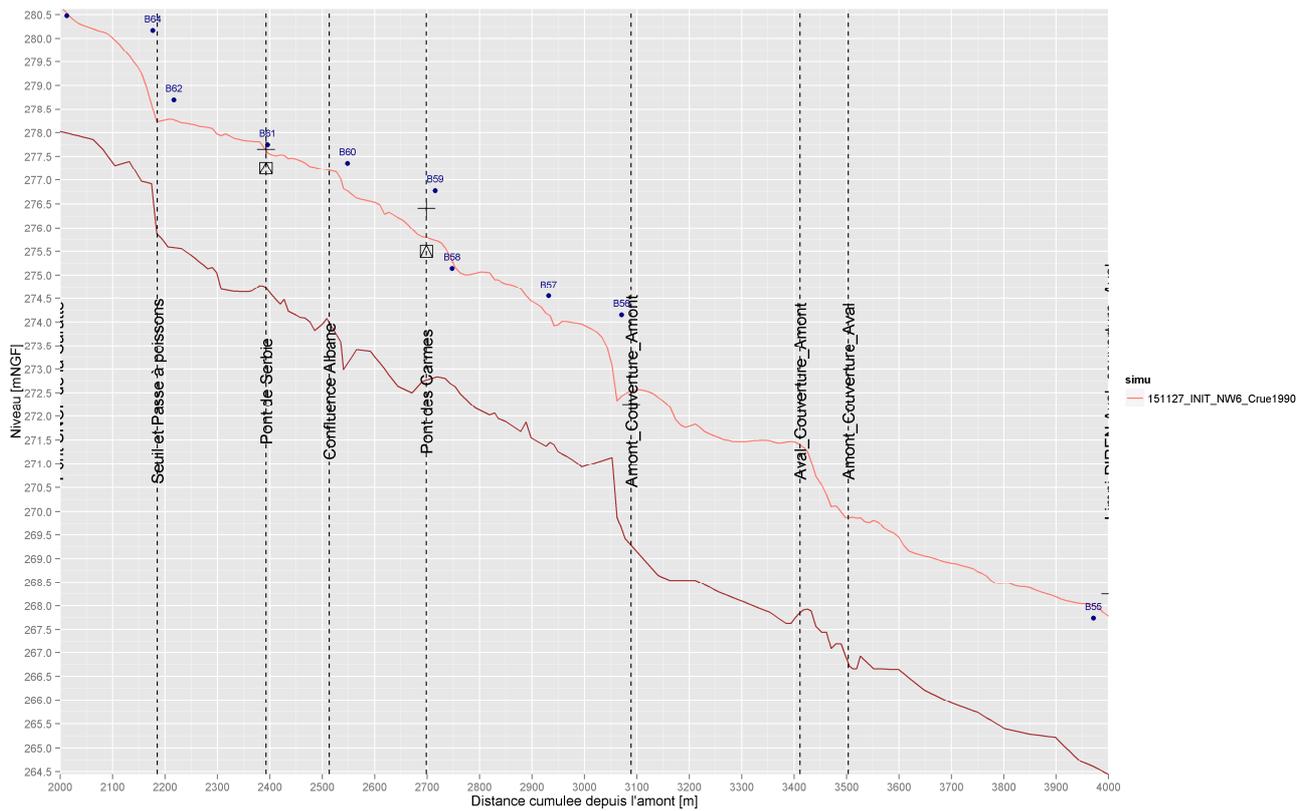


Figure 16 : Profil en long – Calage crue 1990 – Leysse 2 000m à 4 000 m



Figure 17 : Profil en long – Calage crue 1990 – Leysse 4 000m à 6 000 m

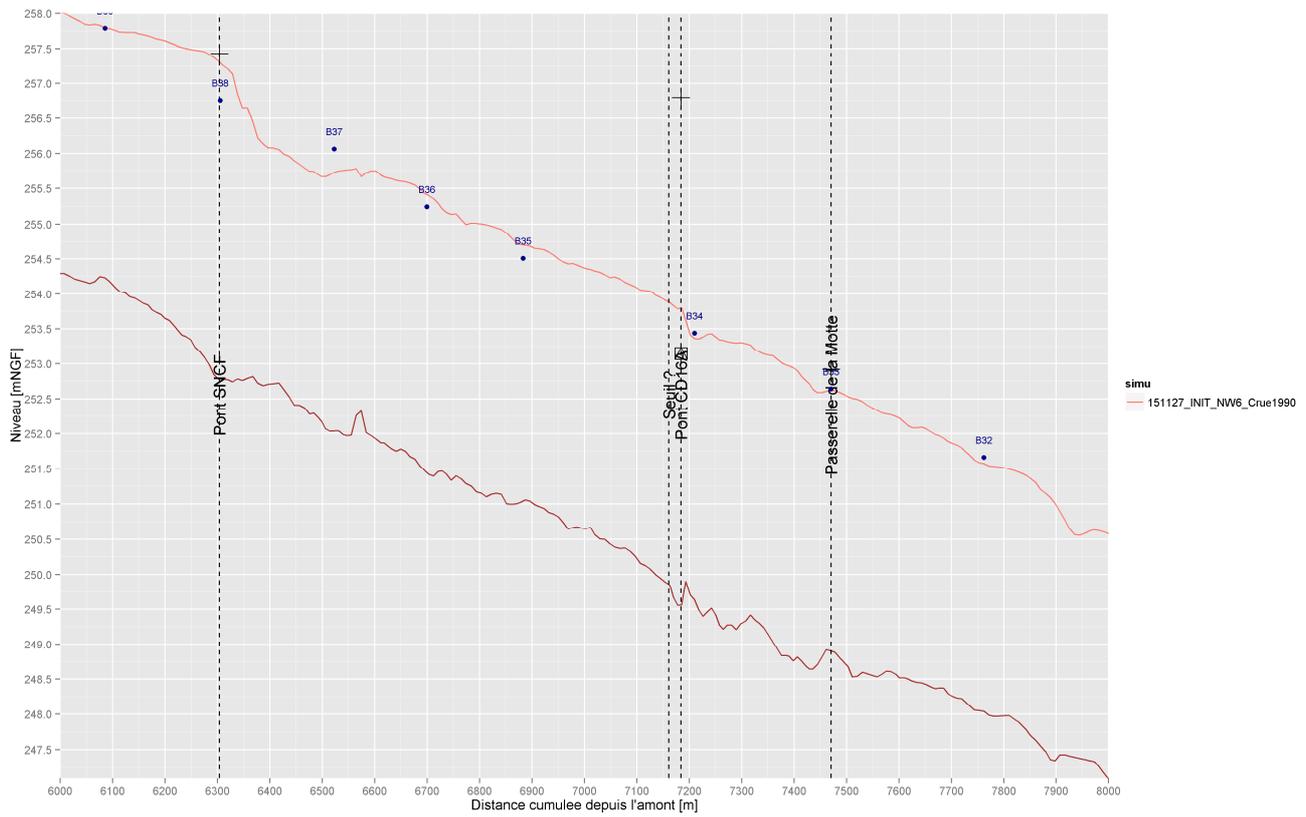


Figure 18 : Profil en long – Calage crue 1990 – Leysse 6 000m à 8 000 m

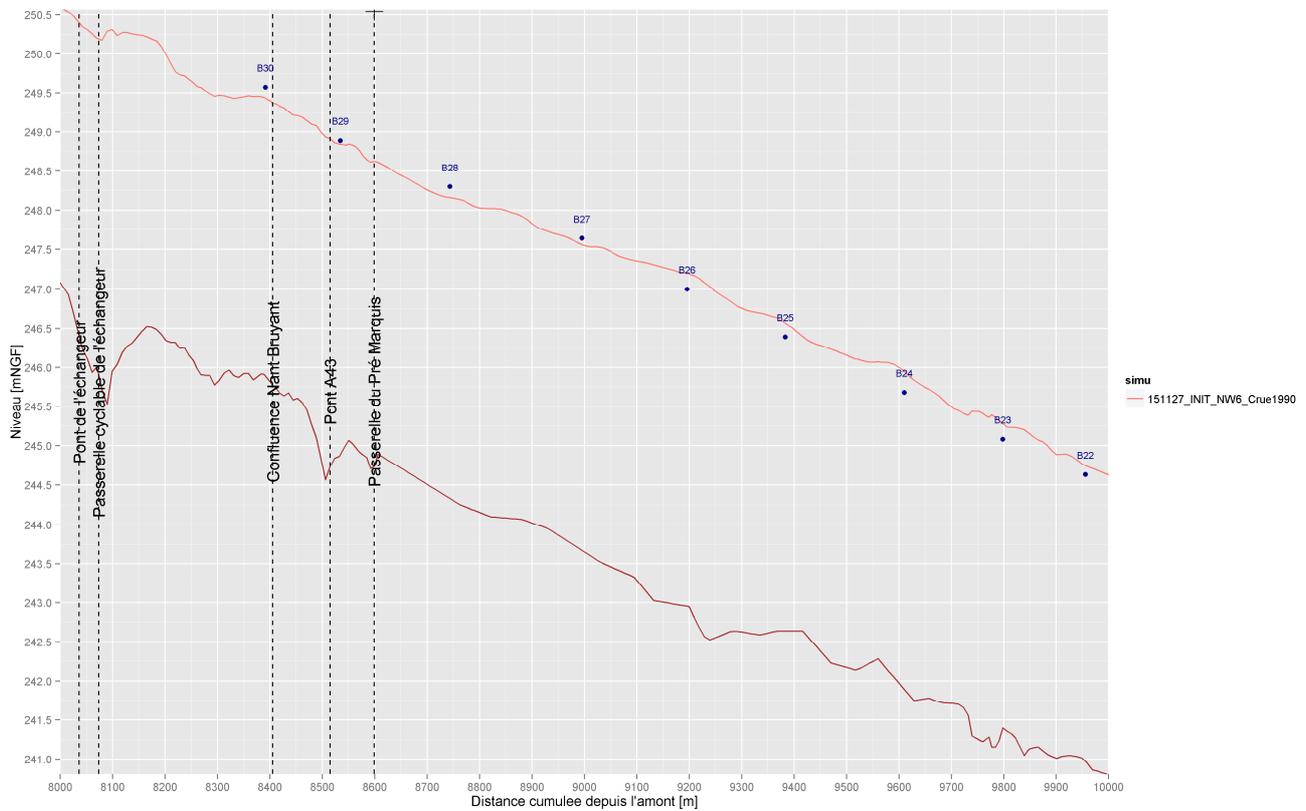


Figure 19 : Profil en long – Calage crue 1990 – Leysse 8 000m à 10 000 m

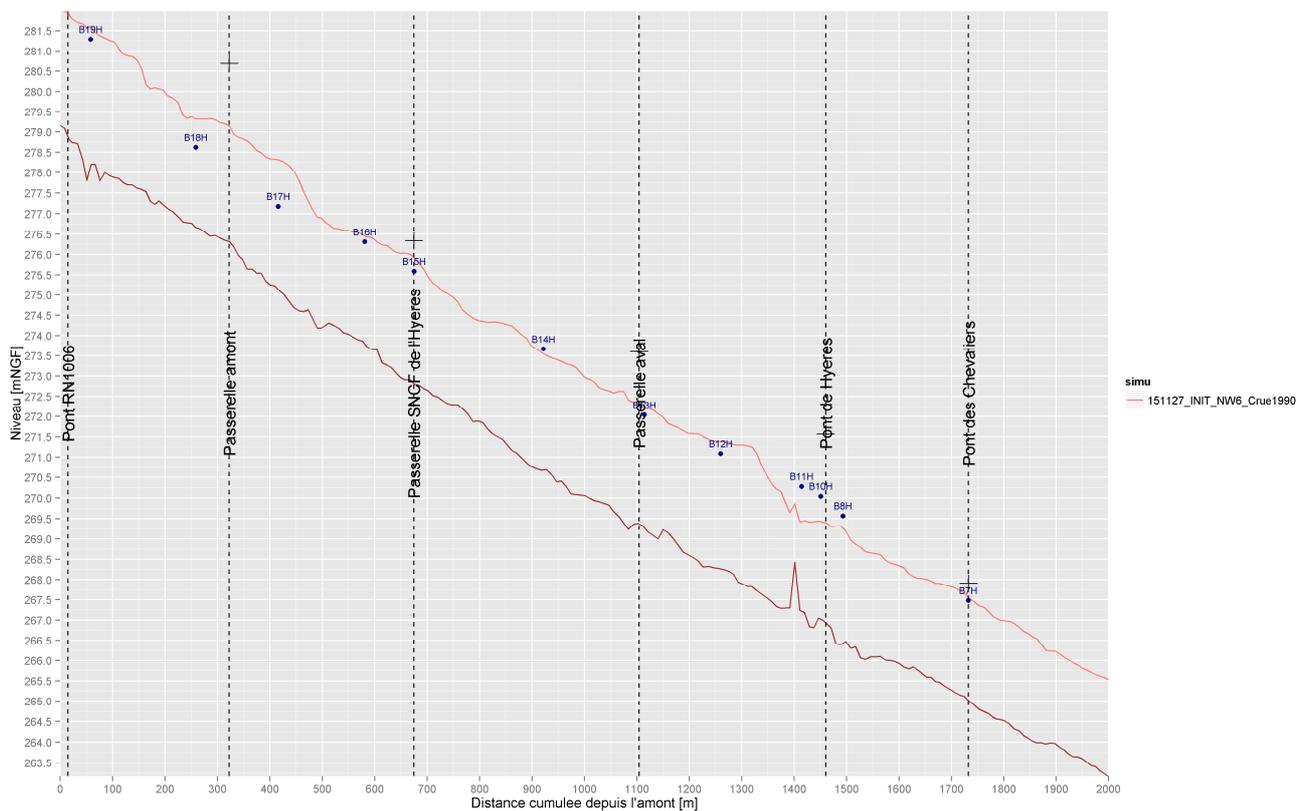


Figure 20 : Profil en long – Calage crue 1990 – Hyères 0 m à 2 000 m

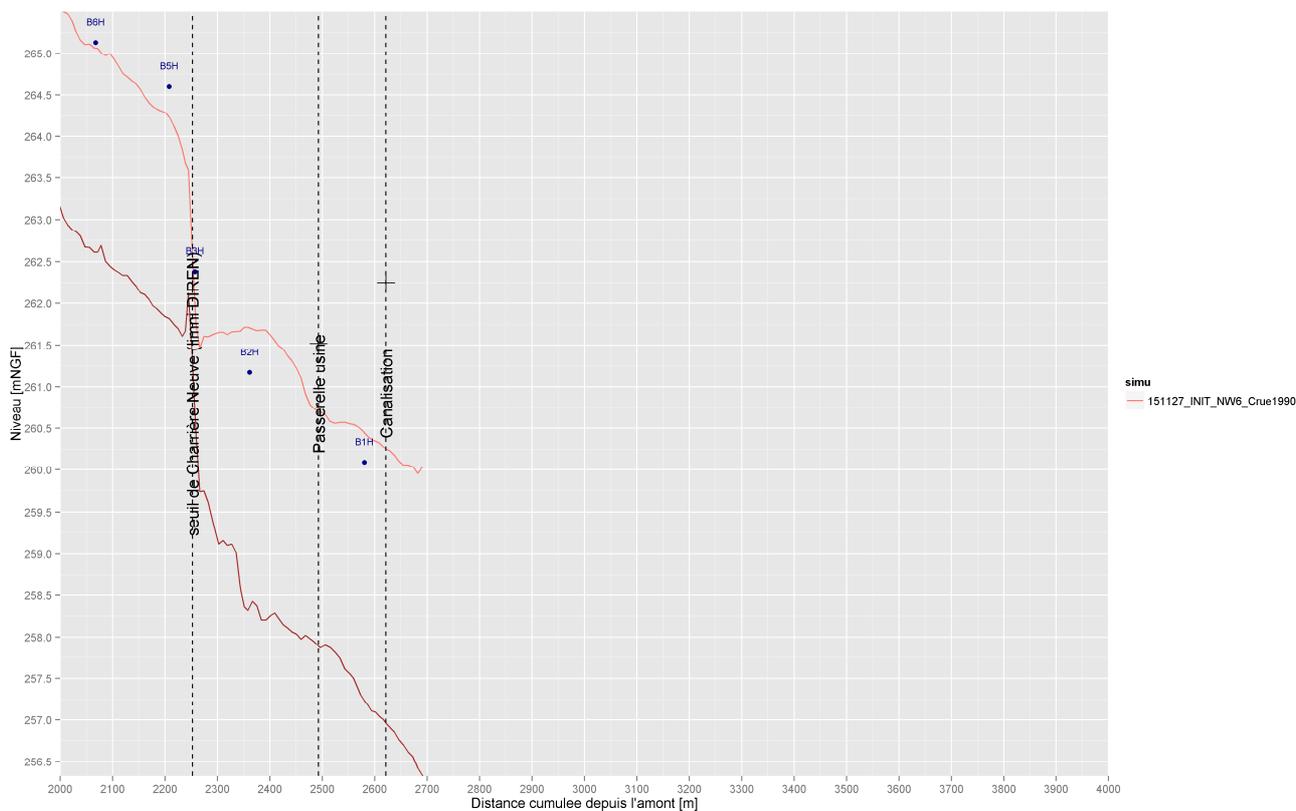


Figure 21 : Profil en long – Calage crue 1990 – Hyères 2 000 m à 4 000 m

Sur la Leysse

Du PM 0 au PM 4 000 : Les niveaux simulés par le modèle CNR 2D sont inférieurs ou égaux aux niveaux du modèle 1D Hydrolac mais les niveaux restent supérieurs aux laisses de crue observées.

Du PM 4 000 au PM 10 000 : Les niveaux du modèle 2D sont alternativement plus élevés ou moins élevés que ceux calculés par le modèle Hydrolac.

Sur l'Hyères

Au niveau de la passerelle amont, située au profil P139, les niveaux du modèle 2D sont bien supérieurs à ceux du modèle 1D Abrassard. Sur ce secteur, la rivière est en régime normal et la pente de la ligne d'eau est parallèle à celle du fond contrairement à la pente de la ligne d'eau calculée par le modèle 1D pour laquelle on observe une cassure. La modélisation CNR, même si elle est différente de celle du modèle 1D semble davantage cohérente par rapport au fond. Les hypothèses de modélisation CNR ont donc été conservées, en particulier la rugosité des fonds. Les écarts sont peut être lié à cet endroit à des problématiques de sinuosité du lit que le modèle 2D est plus à même de bien représenter.

Du PM 2000 à 4000 m l'écart entre le modèle 1D et le modèle 2D est alternativement négatif ou positif.

4.1.3 Tableaux de comparaisons

Les tableaux suivants présentent les niveaux calculés par le modèle 2D pour la crue de 1990 par rapport aux laisses de crue mesurées (Tableau 4) puis par rapport au modèle 1D (Tableau 5).

Nom	Z_Laisse90	Z_Modèle_2D	Ecart (m) modèle 2D - Laisses	Ecart en valeur absolue (m) modèle 2D - Laisse
Pont des barillettes - RD912	301.35	301.41	0.06	0.06
Pont de la Trousse	298.00	298.38	0.38	0.38
Pont de la Martinière	287.78	288.17	0.39	0.39
Passerelle Sainte Thérèse	285.50	285.06	-0.44	0.44
Pont de Serbie	277.25	277.63	0.38	0.38
Pont des Carmes	275.50	275.79	0.29	0.29
Pont des Allobroges Aval	264.90	265.28	0.38	0.38
Pont des chèvres	262.32	262.19	-0.13	0.13
Pont CD16A	253.15	253.80	0.65	
Pont du Tremblay (limni)	241.53	241.30	-0.23	0.23
Passerelle Université	237.65	237.63	-0.02	0.02
Passerelle Prieuré	235.50	235.61	0.11	0.11
		Moyenne	0.20	0.26

Tableau 4 : Comparaison modèle 2D et laisses - crue 1990 - Leysse

La laisse de crue au droit du pont CD16 n'était pas cohérente avec la cartographie retrouvée, elle a donc été sortie du calcul de moyenne des comparaisons.

NOM	Ponts	Z_Modèle_1D	Z_Modèle_2D	Ecart (m) modèle 2D - modèle 1D	Ecart en valeur absolue (m) modèle 2D - modèle 1D
B93		301.48	301.21	-0.27	0.27
B92	Pont des barillettes - RD912	300.99	300.50	-0.49	0.49
B89		299.63	299.81	0.18	0.18
B88	Pont de la Trousse	298.45	297.97	-0.48	0.48
B85	Seuil Leysse amont	296.49	295.99	-0.50	0.50
B84	Seuil Leysse amont	295.52	295.30	-0.22	0.22
B81		294.6	294.37	-0.23	0.23
B80		293.31	292.62	-0.69	0.69
B77	Seuil Leysse amont	291.24	290.80	-0.44	0.44
B73	Seuil Leysse amont	288.89	288.57	-0.32	0.32
B72	Pont de la Martinière	288.34	288.10	-0.24	0.24
B71		287.17	286.85	-0.32	0.32
B70	Passerelle Sainte Thérèse	286.74	284.98	-1.76	
B68		283.61	283.24	-0.37	0.37
B67	Pont de la VRU	282.61	282.65	0.04	0.04
B66		281.8	282.11	0.31	0.31
B65	Pont SNCF de la Garatte	280.48	280.53	0.05	0.05
B64	Seuil Passe à Poisson	280.17	278.51	-1.66	
B62		278.7	278.26	-0.44	0.44
B61	Pont de Serbie	277.74	277.57	-0.17	0.17
B60	Confluence Albanne	277.35	276.77	-0.58	0.58

Tableau 5 : Comparaison modèle 2D et modèle 1D - crue 1990- Leysse 1/2

NOM	Ponts	Z_Modèle_1D	Z_Modèle_2D	Ecart (m) modèle 2D - modèle 1D	Ecart en valeur absolue (m) modèle 2D - modèle 1D
B59	Pont des Carmes	276.77	275.73	-1.04	
B58		275.14	275.30	0.16	0.16
B57		274.55	274.15	-0.40	0.40
B56	Amont Couverture	274.15	272.44	-1.71	
B55	Aval Couverture - station DIREN	267.74	268.01	0.27	0.27
B54		267.03	267.13	0.10	0.10
B53		266.33	266.50	0.17	0.17
B52	Pont des Allobroges Amont	265.5	265.74	0.24	0.24
B51	Passerelle Usine	264.74	264.83	0.09	0.09
B50		264.08	264.09	0.01	0.01
B49	Passerelle Cyclable	262.86	263.09	0.23	0.23
B48	Pont des chèvres	262.38	262.42	0.04	0.04
B45		260.8	260.48	-0.32	0.32
B44		260.47	260.02	-0.45	0.45
B42	Confluence Hyères	259.79	259.85	0.06	0.06
B41	Pont échangeur Laboisse	259.7	259.54	-0.16	0.16
B40		258.66	258.33	-0.33	0.33
B39		257.79	257.80	0.01	0.01
B38	Pont SNCF	256.76	257.29	0.53	0.53
B37		256.06	255.73	-0.33	0.33
B36		255.24	255.41	0.17	0.17
B35		254.51	254.70	0.19	0.19
B34	Pont CD16A	253.44	253.36	-0.08	0.08
B33		252.64	252.62	-0.02	0.02
B32		251.66	251.57	-0.09	0.09
B31		250.78	250.25	-0.53	0.53
B30	Confluence Nant Bruyant	249.57	249.43	-0.14	0.14
B29	Pont A43	248.89	248.85	-0.04	0.04
B28		248.3	248.16	-0.14	0.14
B27		247.64	247.56	-0.08	0.08
B26		247	247.20	0.20	0.20
B25		246.39	246.56	0.17	0.17
B24		245.68	245.95	0.27	0.27
B23		245.08	245.28	0.20	0.20
B22		244.63	244.74	0.11	0.11
			Moyenne	-0.20	0.24

Tableau 6 : Comparaison modèle 2D et modèle 1D - crue 1990- Laysse 2/2

NOM	Pont	Z_Laisse90	Z_Modèle_2D	Ecart (m) modèle 2D - modèle 1D	Ecart en valeur absolue (m) modèle 2D - modèle 1D
B19H		281.29	281.61	0.32	0.32
B18H		278.62	279.32	0.70	
B17H		277.18	278.32		
B16H		276.31	276.46	0.15	0.15
B15H	Passerelle SNCF de l'Hyères	275.59	275.93	0.34	0.34
B14H		273.67	273.56	-0.11	0.11
B13H	Passerelle aval	272.04	272.24	0.20	0.20
B12H		271.09	271.39	0.30	0.30
B11H		270.28	269.44	-0.84	
B10H	Pont d'Hyères	270.04	269.43	-0.61	
B8H		269.57	269.27	-0.30	0.30
B7H	Pont des Chevaliers	267.48	267.56	0.08	0.08
B6H		265.13	265.07	-0.06	0.06
B5H	Seuil de Charrière Neuve	264.6	264.23	-0.37	0.37
B3H		262.38	261.99	-0.39	0.39
B2H	Passerelle usine	261.17	261.71	0.54	0.54
B1H	Canalisation	260.09	260.44	0.35	0.35
			Moyenne	0.02	0.27

Tableau 7 : Comparaison modèle 2D et modèle 1D - crue 1990- Hyères

Les niveaux aux droits des ouvrages apparaissent très différents entre modèle 1D et modèle 2D. Ces écarts résultent très certainement de la modélisation des ouvrages qui est localement différente entre les modèles.

De même sur l'Hyères, au profil B18H correspondant à la passerelle amont déjà mentionnée, les écarts entre modèle 1D et modèle 2D ne sont pas interprétés plus avant. Le modèle 2D fournit des niveaux en cohérence avec l'écoulement de l'Hyères en régime normal et a donc été retenu comme référence.

En conclusion, en termes de niveaux, le calage du modèle 2D sur la crue de 1990 est en **moyenne inférieur de 25 cm sur la Leysse et de 30 cm sur l'Hyères au calage du modèle 1D**. Le modèle a tendance à surestimer les niveaux observés et sous-estimer les niveaux par rapport au modèle 1D Hydrolac. Ce calage est le meilleur compromis compte tenu des données disponibles et des incertitudes pesant sur ces dernières.

4.1.4 Zone inondable

La figure suivante présente la zone inondable calculée par le modèle hydraulique 2D pour la crue de 1990 en état 1990.

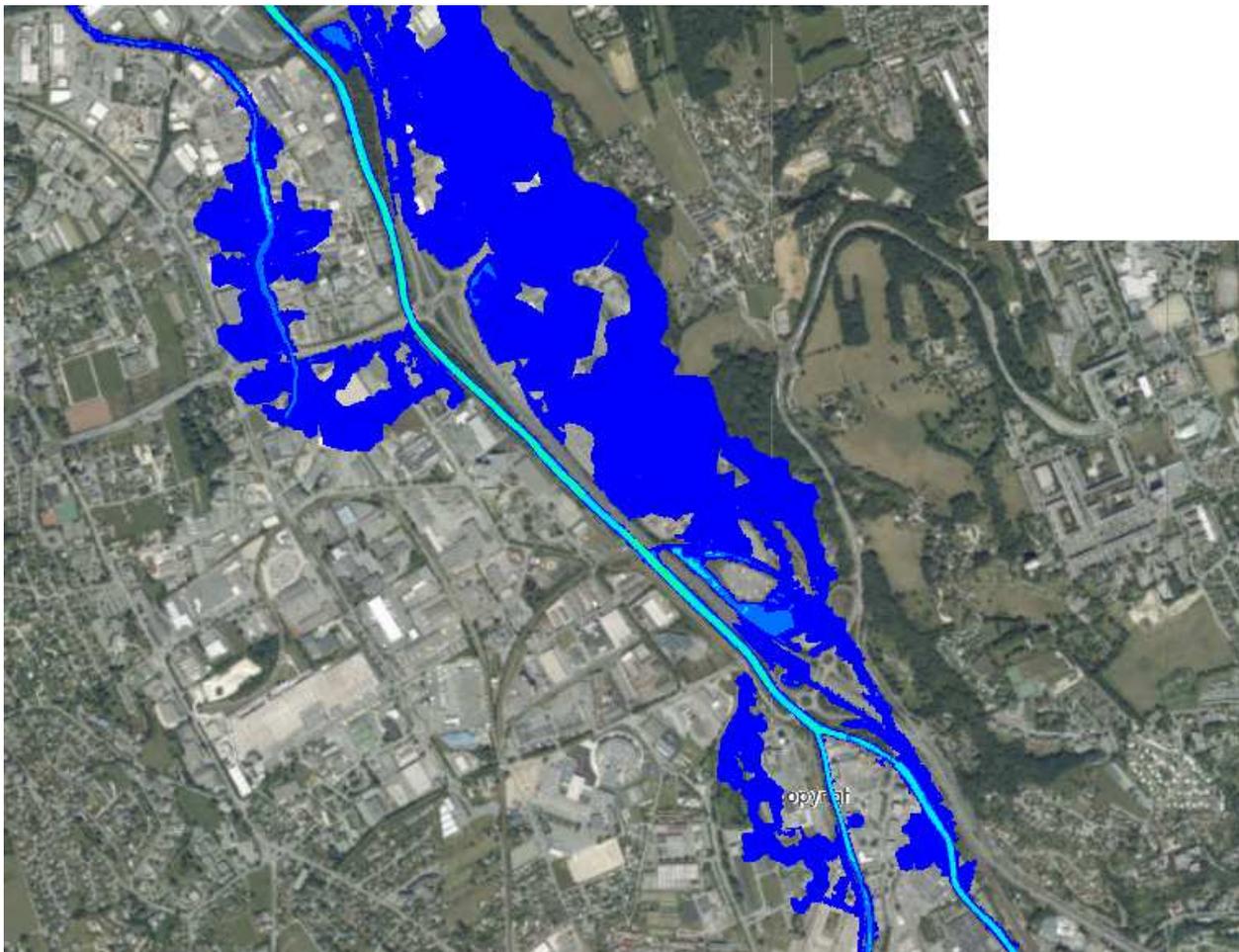


Figure 22 : Zone inondable – Crue 1990

La zone inondable calculée par le modèle 2D résulte des mêmes débordements que celle décrite dans les documents des archives de la ville de Chambéry (Figure 5), à savoir :

- Rive gauche et rive droite de l'Hyères,
- rive gauche et rive droite du pont des chèvres sur la Leysse amont,
- rive gauche de la Leysse en amont du pont du CD16A.

En revanche, l'emprise de la zone inondée est différente de celle appréciée à travers les documents d'archive . Cette observation trouve plusieurs explications :

- le modèle 2D n'intègre pas l'encombrement des bâtiments. Ainsi la zone inondable est plus étalée avec des vitesses et des hauteurs d'eau plus faibles que si des écoulements étaient intégrés.
- La répartition des débits, et donc des volumes et des hauteurs d'eau en surface ne tient pas compte du réseau d'eau pluviale

4.1.5 Débits de débordements

Les débits de la Leysse en amont et en aval des débordements ont été comparés à ceux du modèle 1DHydrolac. Les débits de débordements sont très proches de ceux calculés par le modèle 1D Hydrolac.

Les hydrogrammes calculés par le modèle 2D et les débits transmis par Hydrolac issus du dernier calage du modèle 1D sont présentés au droit du pont des Chèvres et au droit du CD16A.

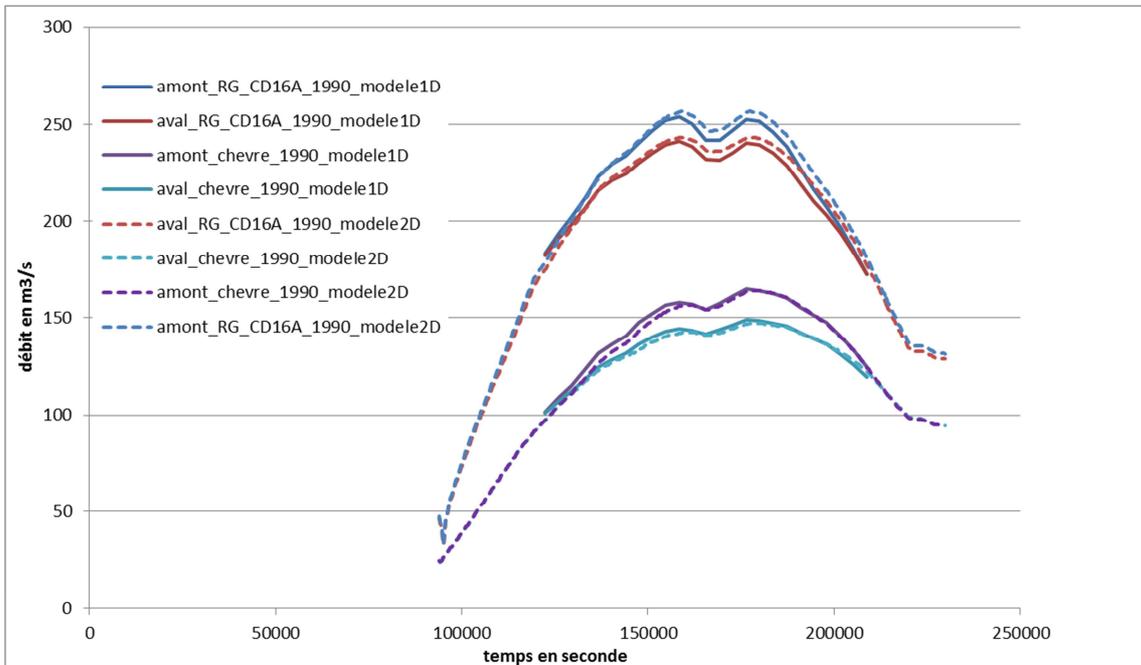


Figure 23 : Hydrogrammes de déversement – Pont des Chèvres et amont CD16A RG

Les écarts de débits sont inférieurs à 2 m³/s. La propagation de la crue est donc bonne et les débits de déversements très cohérents entre les deux types de modélisation.

4.1.6 Frottements résultants

Les valeurs des coefficients de Strickler utilisées dans les modèles 1D sont généralement plus faibles que celles utilisées dans les modèles 2D. Cette bonne pratique de modélisation traduit que le coefficient de Strickler modélise davantage de phénomènes de dissipation d'énergie en 1D qu'en 2D (en particulier parce que le modèle 2D résout numériquement plus d'équations, ce qui lui permet de prendre en compte explicitement certains phénomènes inaccessibles au modèle 1D). Le retour d'expérience CNR tend à démontrer que les écarts sont généralement entre 20 et 30 %.

Dans le lit mineur, les valeurs des coefficients de Strickler retenues pour la modélisation 2D varient entre 30, et 40, sur l'Hyères et la Leyse aval, pour des Strickler 1D variant entre 24 et 35. Le frottement en champs majeur est déterminé en fonction de l'occupation des sols suivant la règle suivante :

Type	Frottement retenu
Zone avec bâti dense	18
Zone industrielle et activité	48
Peri-urbain	36
Centre Ville	32
Zone boisée	16
Champ Pré	25

Tableau 8 : Frottements en champ majeur

Au droit des habitations ou lorsque la densité urbaine est forte, le coefficient de frottement a été augmenté à 18 pour prendre en compte l'encombrement créé par le bâti.

4.2 Validation du calage sur l'état projet Q100

4.2.1 Hypothèses

Le modèle utilisé pour cette simulation est le modèle état projet avec intégration des travaux sur l'Hyères. Le frottement du lit mineur et du champ majeur reste identique. Les changements effectués par rapport au frottement sont :

- Adaptation des frottements au droit de la zone de rétention dynamique et du seuil de déversement en aval de l'A43 RD ;
- Diminution des coefficients de rugosité sur les berges du fait de changement de végétalisation (passage d'une végétation arborée à une végétation arbustive voire herbacée) ;
- Intégration des non débordements de l'Hyères c'est-à-dire en considérant l'ensemble des travaux sur la Leysse et l'Hyères.

La crue étudiée est la crue de dimensionnement projet pour laquelle, par définition, aucun débordement n'est censé être observé.

4.2.2 Profil en long

Les figures suivantes présentent les profils en long depuis l'amont (pont de la RD912) jusqu'à l'aval de l'A43 permettant de comparer :

- Lignes rouge : Résultat modèle 2D ;
- Point bleu : Modèle Hydrolac (état projet : LEH Ref [41]) ;
- Point triangle : Laisses de crue de 1990.

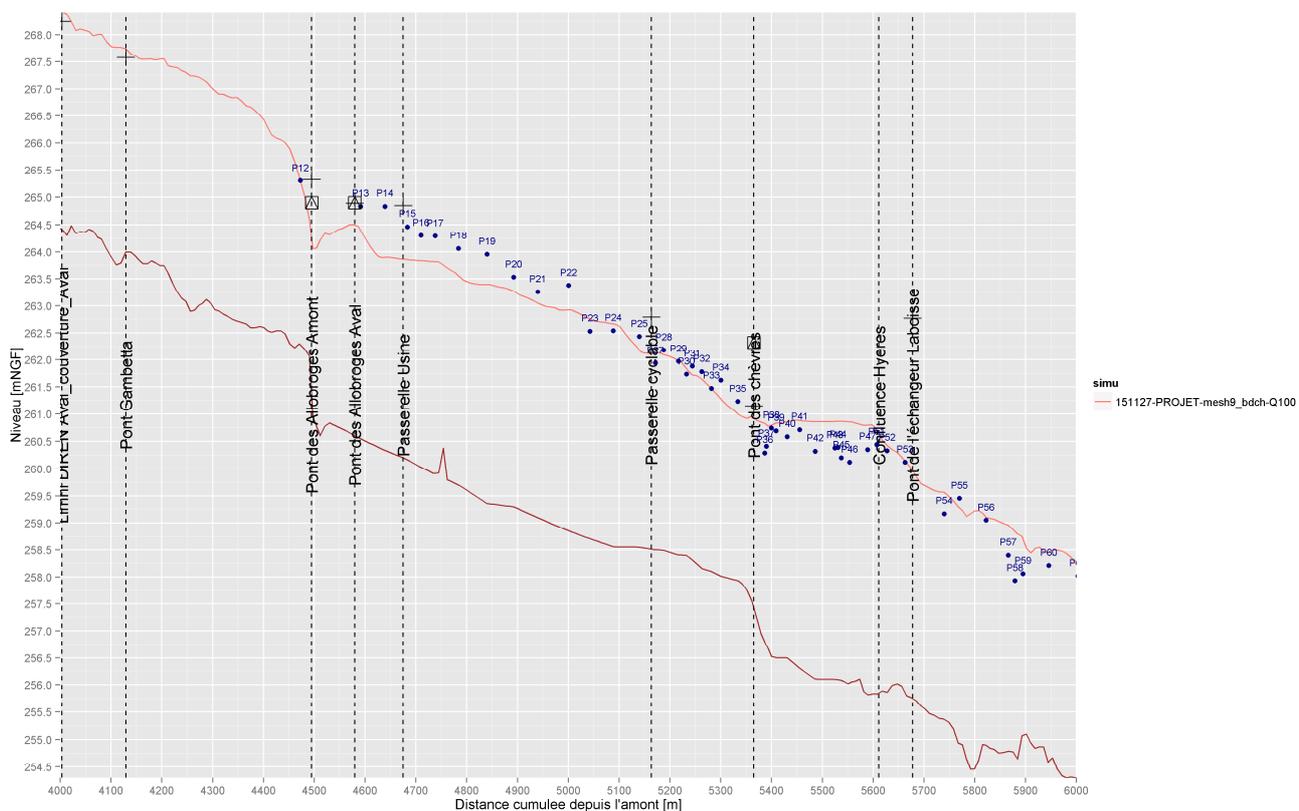


Figure 24 : Profil en long – Q100 – Etat projet – Leysse 4 000 m à 6 000 m

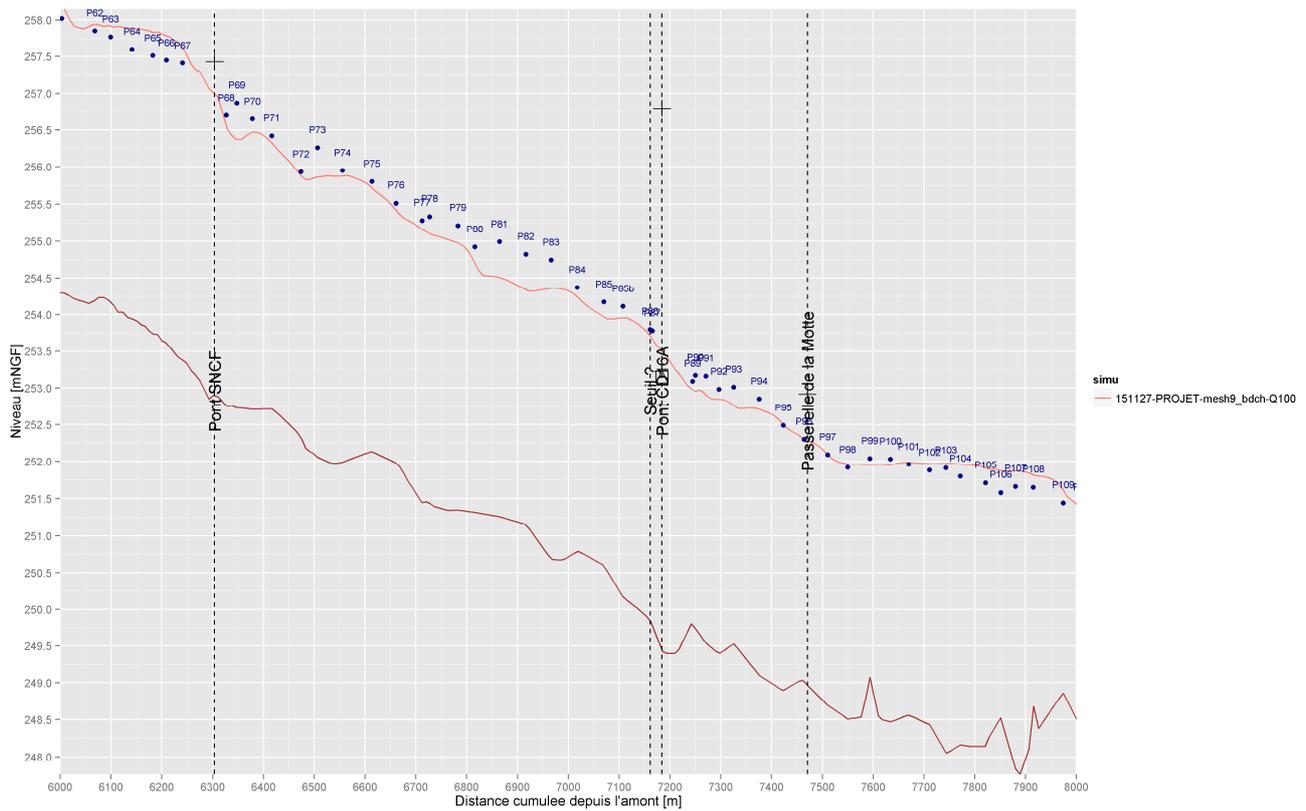


Figure 25 : Profil en long – Q100 – Etat projet – Leysse 6 000 m à 8 000 m

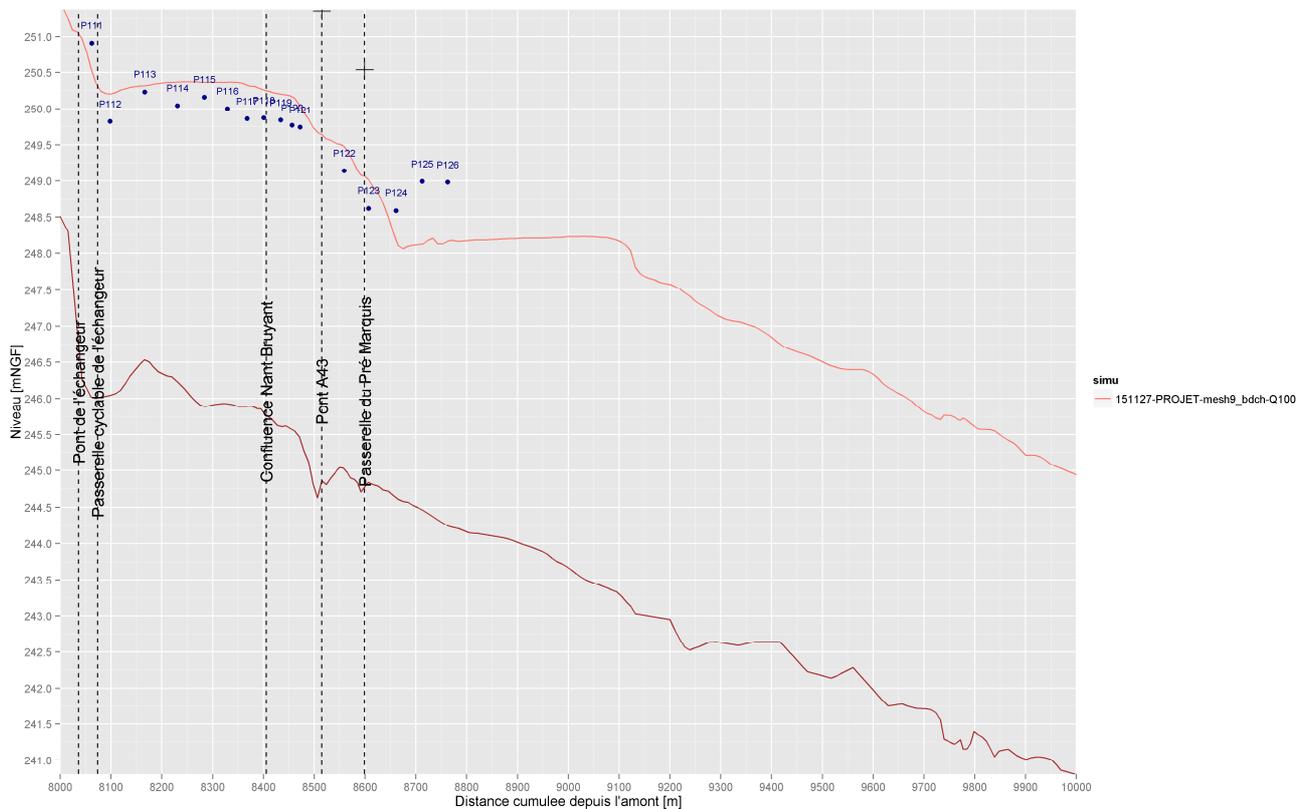


Figure 26 : Profil en long – Q100 – Etat projet – Leysse 8 000 m à 10 000 m

Du PM 4 000 au PM 6 000 : Du P12 au P23, les niveaux Hydrolac sont plus haut que ceux calculés par le modèle 2D. Les écarts sur ce tronçon s'expliquent par le fait que le projet initialement envisagé dans la

modélisation Hydrolac a connu des modifications en phase chantier (on rappelle que le projet est d'ores et déjà partiellement réalisé). La géométrie des modèles 1D et 2D n'est donc pas strictement équivalente sur le secteur considéré. Du P23 au P40, les niveaux du modèle 2D CNR sont alternativement au-dessus ou en-dessous des niveaux calculés par le modèle 1D Hydrolac. Ces écarts restent inférieurs à 25 cm.

Du PM 6 000 au PM 8 000 : Les niveaux du modèle 2D sont relativement proches du calcul Hydrolac (écarts inférieurs à 25 cm) excepté en amont du CD16a où, sur 3 profils (P81, P82, P83), l'écart est égal à 50 cm (sous-estimation des cotes 1D par le modèle 2D). Toutefois, la tendance contraire est observée pour la crue de 1990, où le modèle 2D CNR surestime de 25 cm les niveaux du modèle Hydrolac (profils B35 et B36). Par conséquent, il est décidé de ne pas modifier le frottement sur cette zone afin de ne pas dégrader le calage précédemment effectué, ce dernier constituant la référence pour la présente étude.

Du PM 8 000 au PM 10 000 : Les niveaux du modèle 2D sont alternativement supérieurs et inférieurs au modèle Hydrolac avec des écarts inférieurs à 25 cm en moyenne.

Sur l'ensemble du linéaire, en valeur absolue, les écarts entre modélisation 1D et modélisation 2D sont de **27 cm pour la crue Q100**

4.2.3 Zone inondable

La figure suivante présente la zone inondable calculée par le modèle hydraulique 2D pour la crue Q100 en état projet.

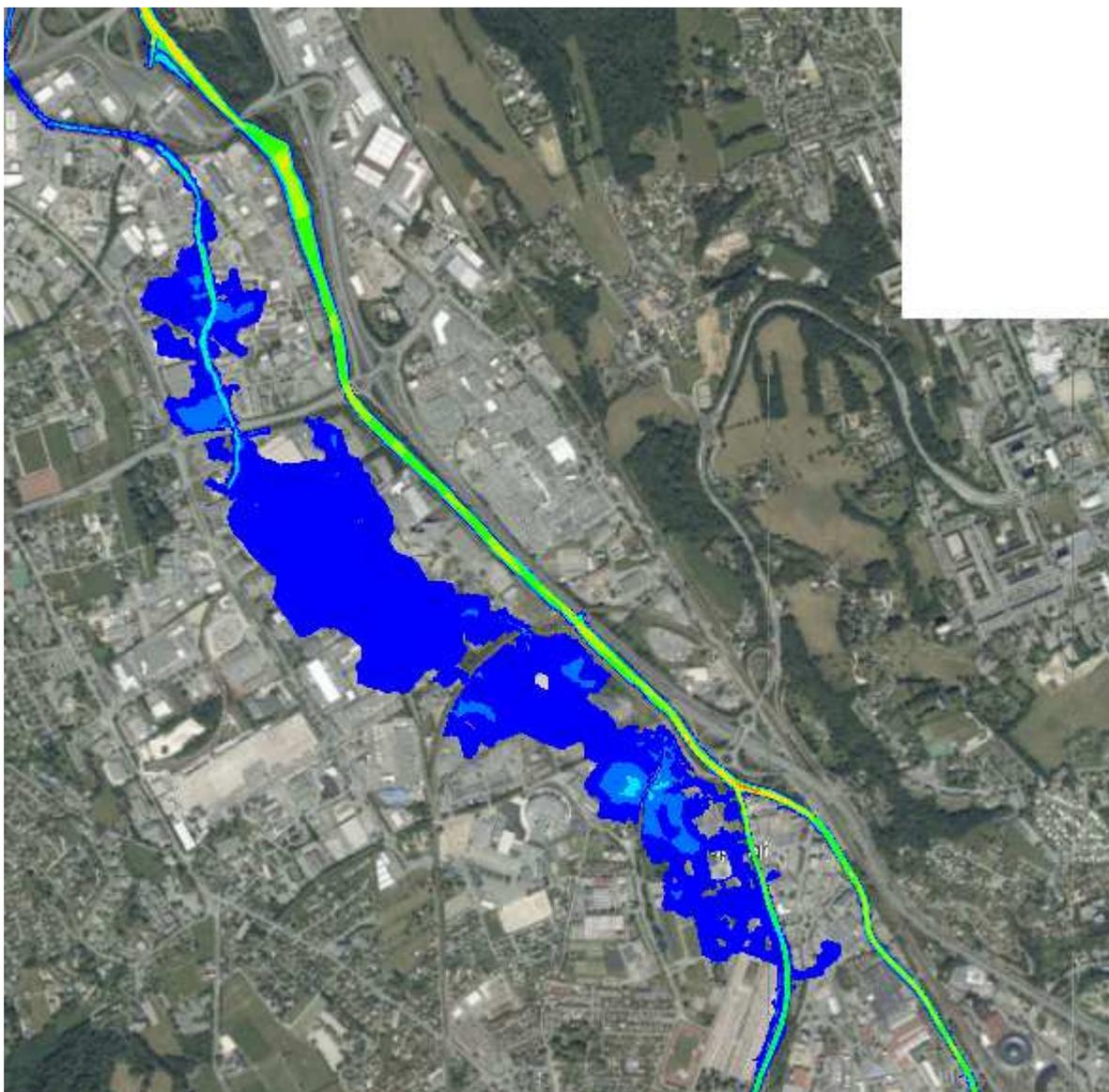


Figure 27 : Zone inondable – Crue Q100 – Etat projet

Cette carte permet de constater qu'il n'y a pas de débordement sur la Leysse en crue centennale. En revanche, des débordements sont observés en rive gauche de l'Hyères, ils représentent environ 7 m³/s, ce qui est en cohérence avec la modélisation 1D.

4.2.4 Adaptation du projet

Le modèle 2D étant choisi comme nouveau modèle de référence sur la zone d'étude, les différences constatées entre les niveaux simulés par le modèle 1D et le modèle 2D ont été analysées pour corriger les cotes de crêtes de digues. Ces dernières ont dû être adaptées pour prévenir d'éventuels débordements non appréhendés avec la modélisation 1D. Les adaptations du projet sont présentées dans le tableau suivant. Elles intègrent une revanche d'au moins 30 cm.

Localisation	Rive	Linéaire total (m)	Type d'ouvrage	cote de la ligne d'eau modèle 2D intégrant les travaux sur l'HyèresQ100	Cote crête projet	Cote proposée d'exhaussement	Linéaire d'intervention
Amont échangeur	droite	125	Digue	Entre 251 et 251.9	251.8	252.4	150 m
Amont A43	droite	161	Mur + digue	Entre 249.2 et 250.35	Mur : 250.2 Digue : entre 249.6 et 250.6	Mur : idem ou 250.4 ? Digue : 250.2 à 250.6	Mur : 40 m Digue : 100 m
A43 et Nant Bruyant	gauche	240	Mur + digue	Entre 249.2 et 250.35	Mur : 250.2 digue : 249.6	250.4	Mur : 40 m Digue : 200m
Déversoir aval A43	gauche	35	déversoir	-	247.54	-	75 m

Tableau 9 : Etat projet – Adaptation du projet pour respecter les revanches au droit des endiguements avec les nouvelles cotes calculées par la modélisation 2D

4.3 Conclusion sur le calage du modèle

Le modèle CNR 2D est calé par rapport au modèle 1D Hydrolac avec des écarts inférieurs à 25 cm en moyenne. Ces écarts peuvent atteindre 50 cm localement. Toutefois, ils ne sont pas systématiquement dans le même sens pour les différentes crues simulées. Par conséquent il n'est pas possible de conclure à un biais systématique de la modélisation. Il n'a donc pas été jugé utile de remettre en question la qualité du calage.

On retiendra donc pour la suite des calculs que la **précision du calage est de l'ordre de 25 cm sur la Leysse et de 30 cm sur l'Hyères**. Cette précision est à prendre en compte dans l'établissement des revanches de sécurité sur les crêtes de digue.

La figure suivante présente les frottements issus du calage.

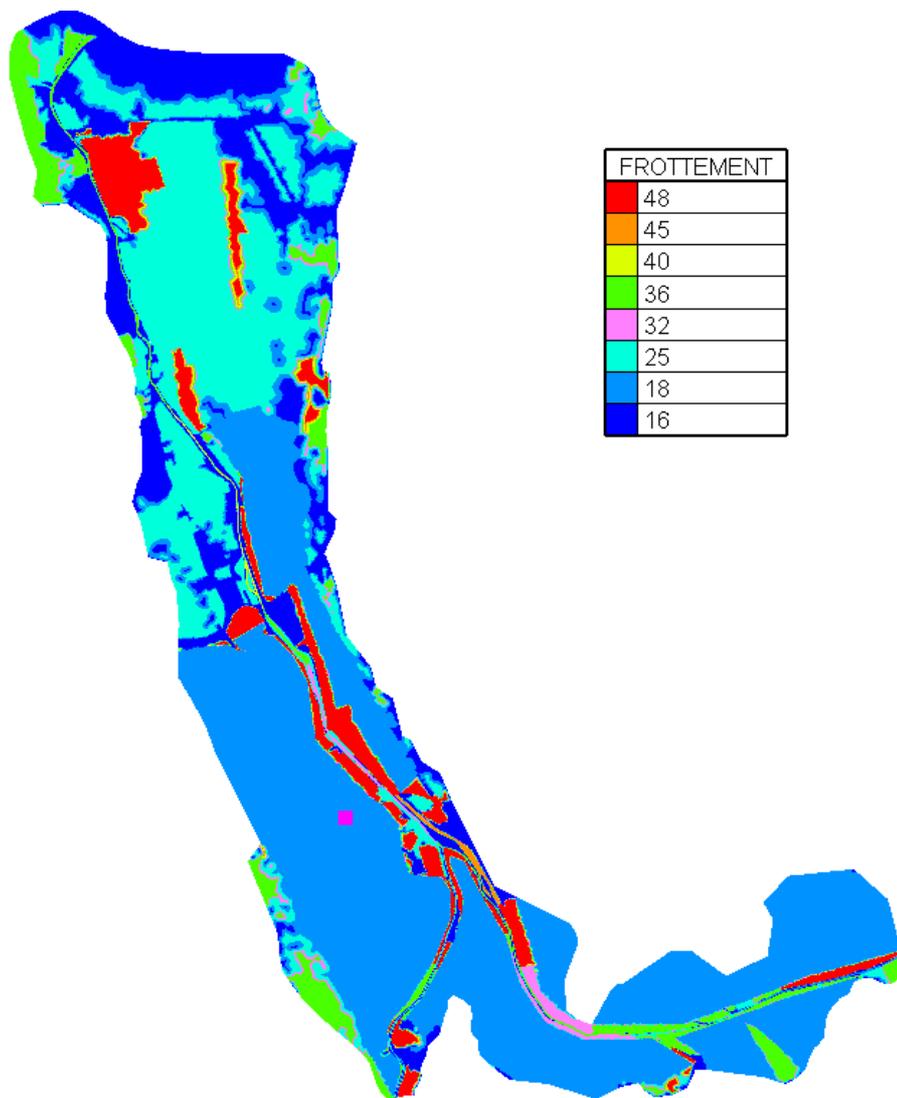


Figure 28 : Coefficients de Frottement - calage

5 DEBITS CARACTERISTIQUES INTERMEDIAIRES

Le paragraphe suivant a pour objectif de présenter les cartes de zone inondables (hauteurs d'eau) et les vitesses maximales pour les crues caractéristiques intermédiaires listées ci-dessous :

- Q10 ;
- Q30 ;
- Q50 ;
- Q80.

5.1 Hypothèses de calcul

Les calculs sont menés en régime transitoire. Les hydrogrammes d'entrée ont été calculées par homothétie des débits de pointe par rapport aux hydrogrammes de la crue de 1990. Les débits de pointe ont été estimés grâce à la loi de Gumbel interpolée entre les débits Q10 et Q100.

Les débordements éventuels ne sont pas suivis de brèche.

Les maillages utilisés sont celui de l'état initial (avant projet Leysse Hyères) et celui de l'état actuel avec projet Leysse Hyères.

5.2 Cartographie des résultats

5.2.1 Etat initial

5.2.1.1 Q10

Hauteurs d'eau maximales

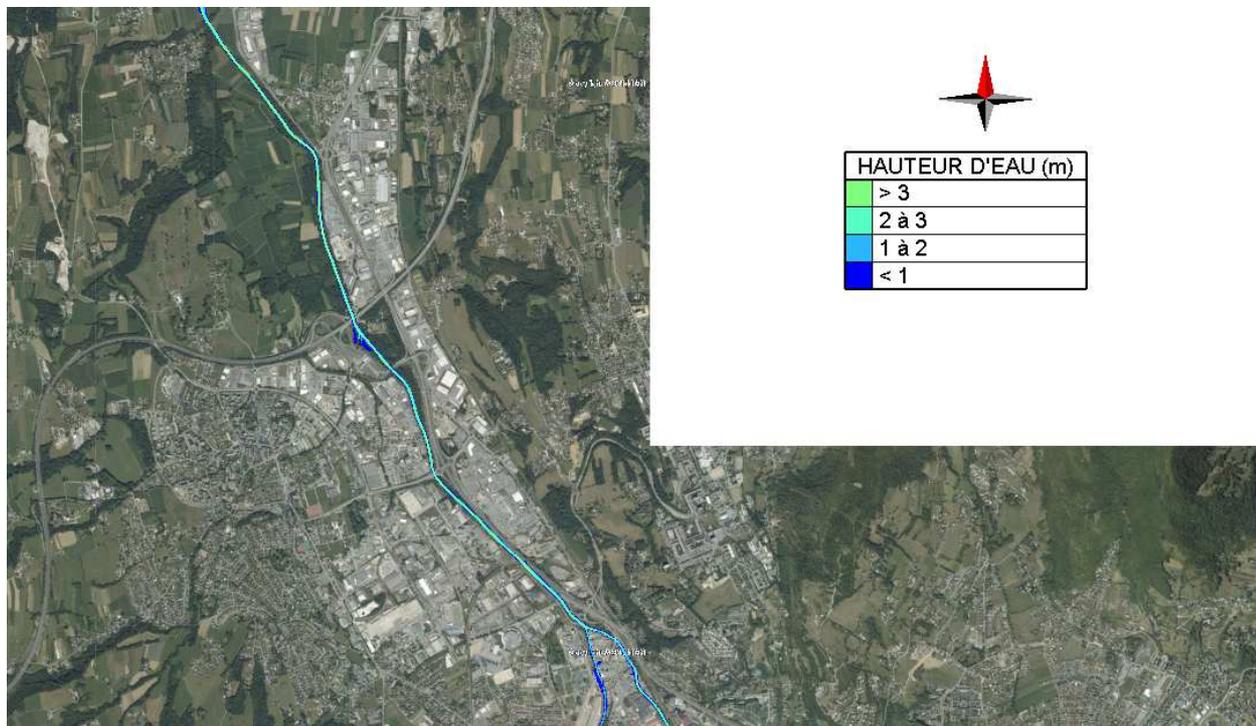


Figure 29 : Cartographie Q10 – Initial– Hauteurs d'eau maximales

Vitesses scalaires maximales

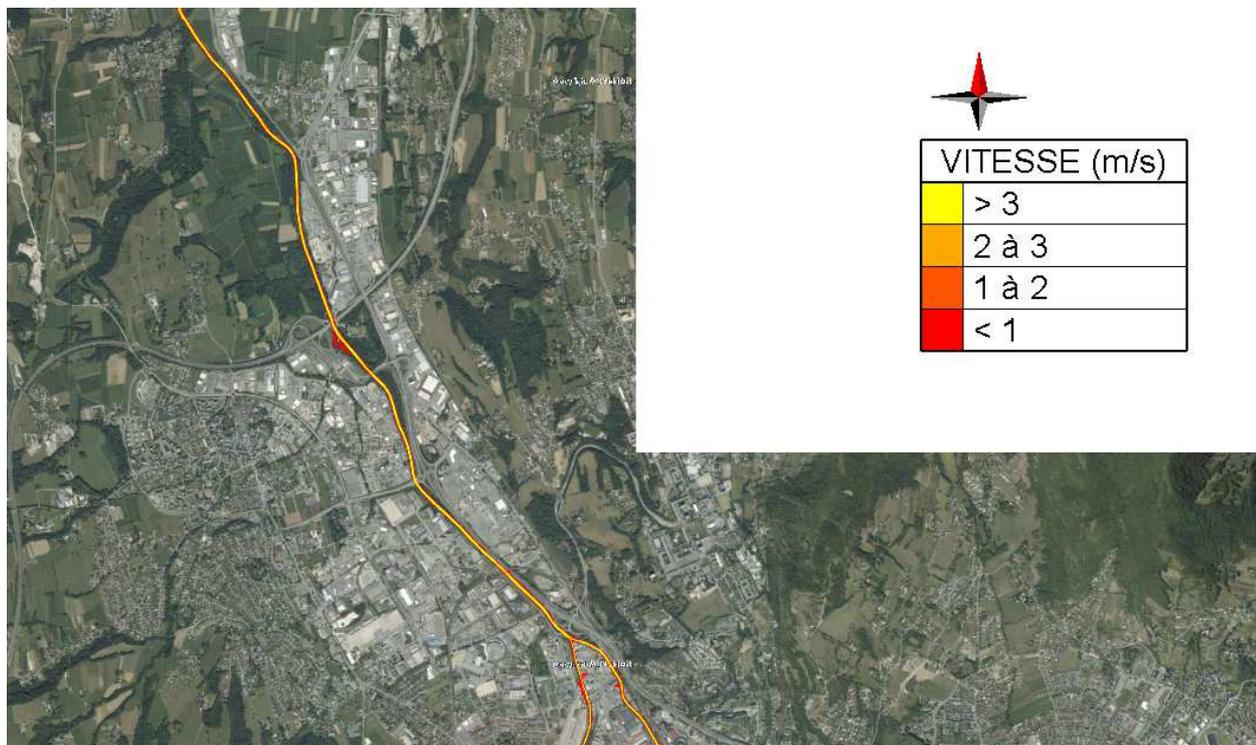


Figure 30 : Cartographie Q10 – Initial – Vitesses maximales

5.2.1.2 Q30

Hauteurs d'eau maximales

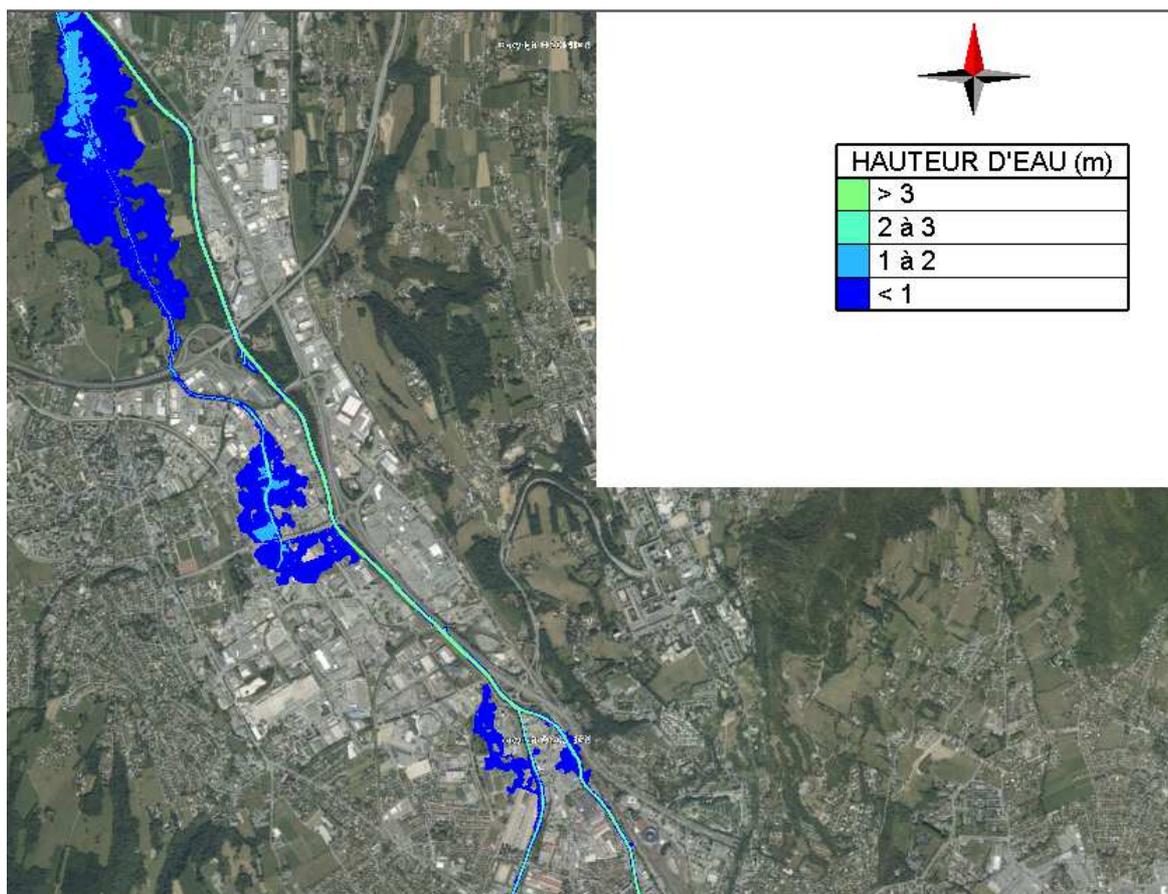


Figure 31 : Cartographie Q30 – Initial– Hauteurs d'eau maximales

Vitesses scalaires maximales

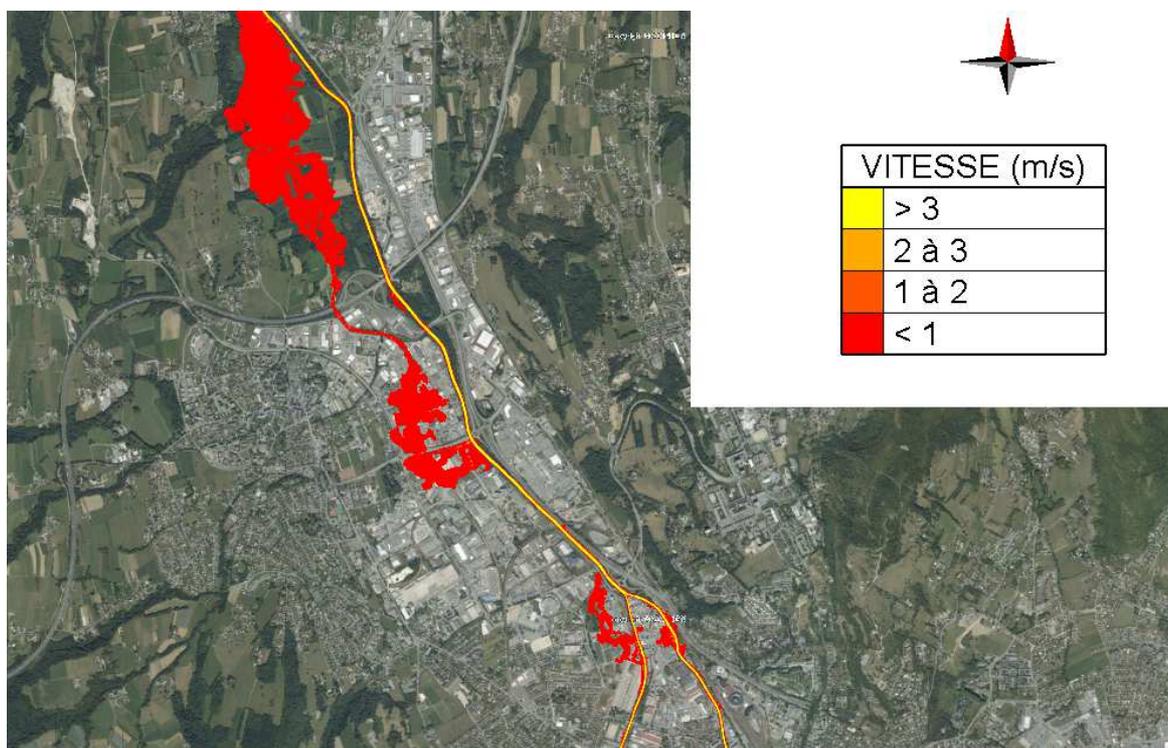


Figure 32 : Cartographie Q30 – Initial – Vitesses maximales

5.2.1.3 Q50

Hauteurs d'eau maximales

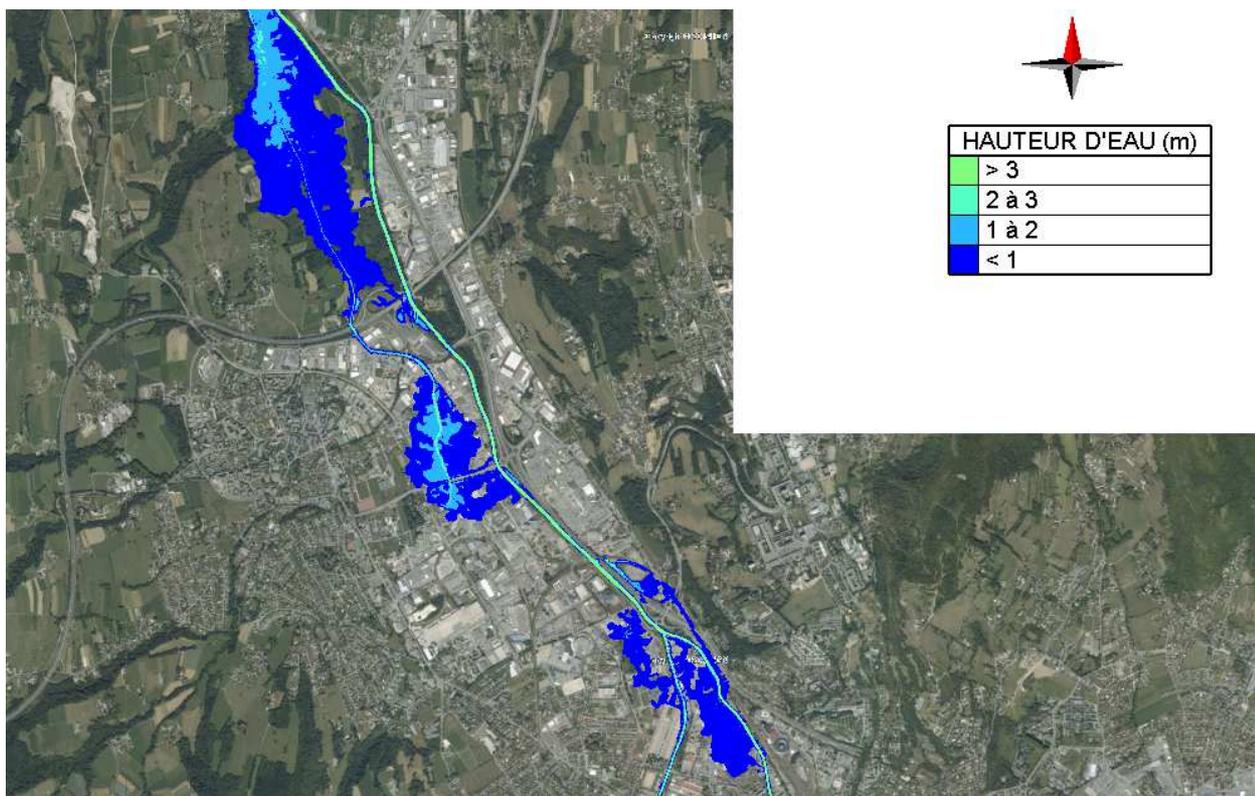


Figure 33 : Cartographie Q50 – Initial– Hauteurs d'eau maximales

Vitesses scalaires maximales

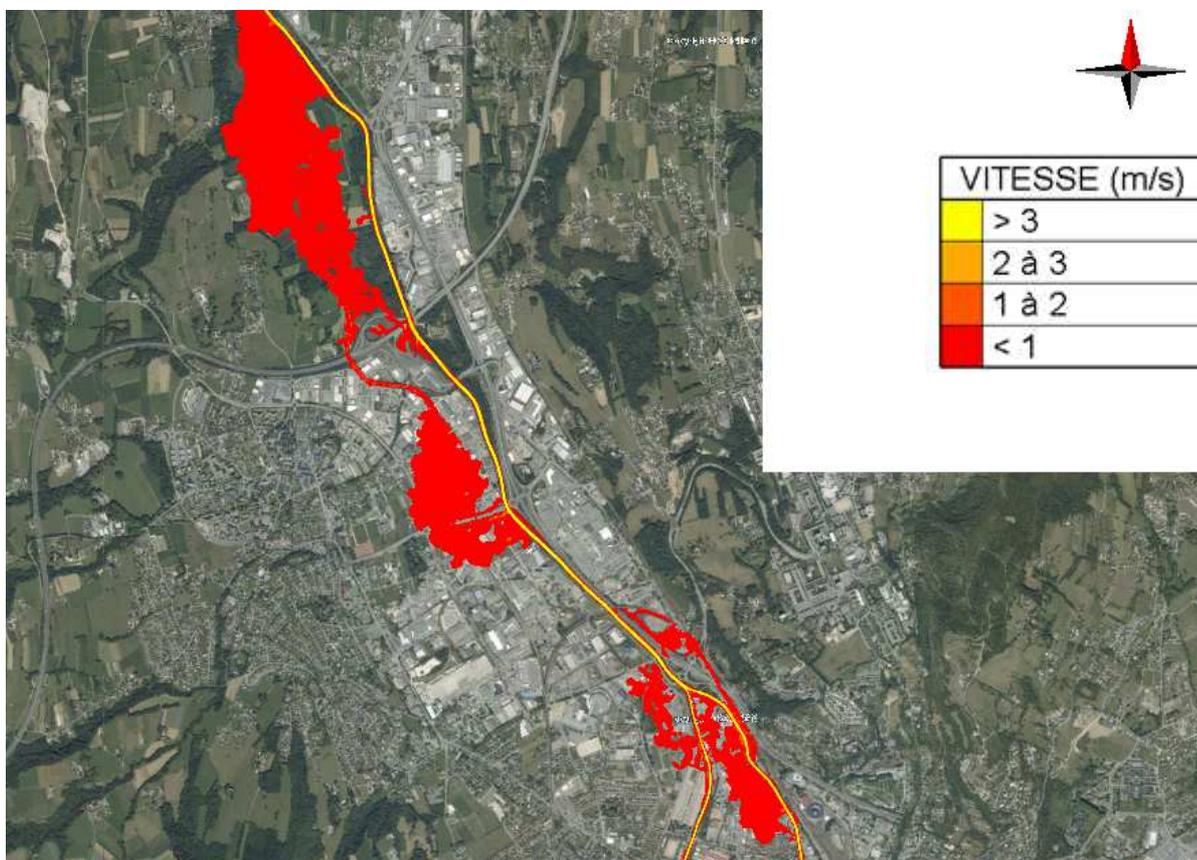


Figure 34 : Cartographie Q50 – Initial – Vitesses maximales

5.2.1.4 Q80

Hauteurs d'eau maximales

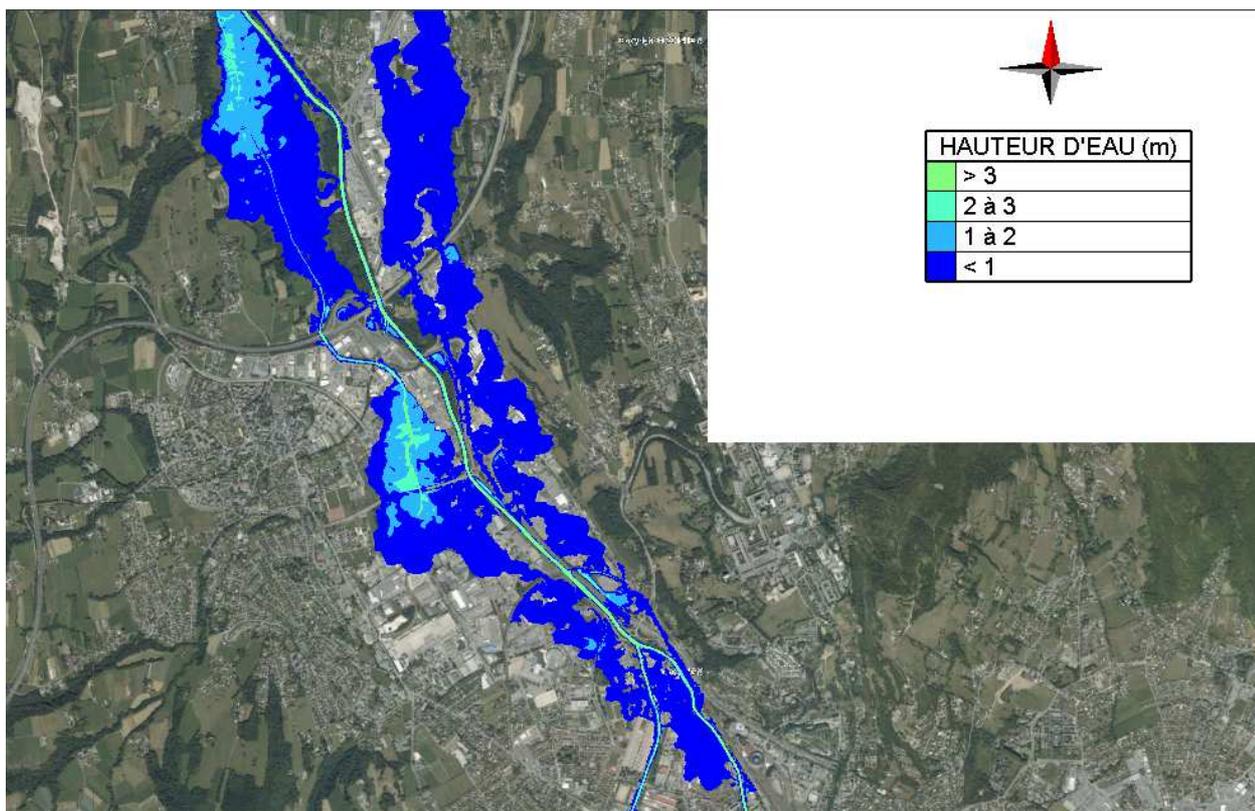


Figure 35 : Cartographie Q80 – Initial– Hauteurs d'eau maximales

Vitesses scalaires maximales

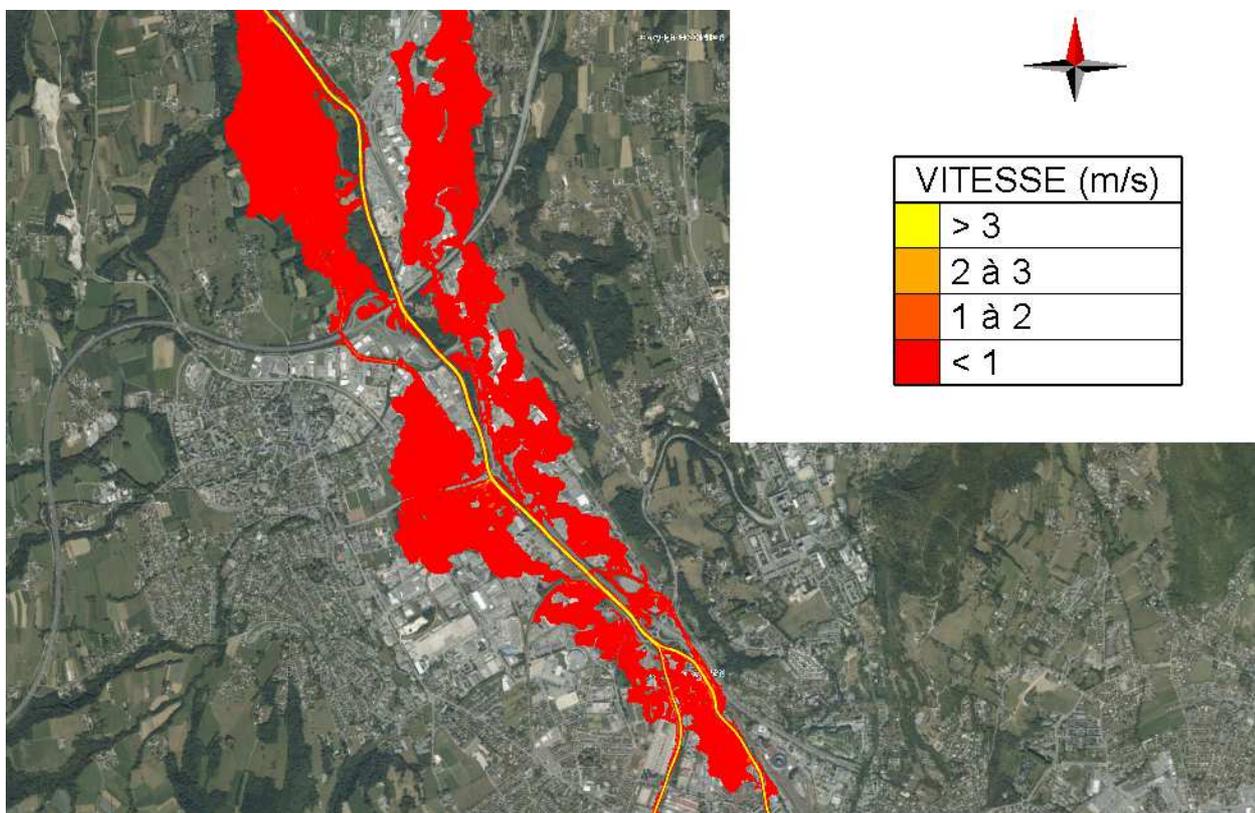


Figure 36 : Cartographie Q80 – Initial – Vitesses maximales

5.2.2 Etat actuel avec projet Leysse-Hyères

5.2.2.1 Q10

Hauteurs d'eau maximales

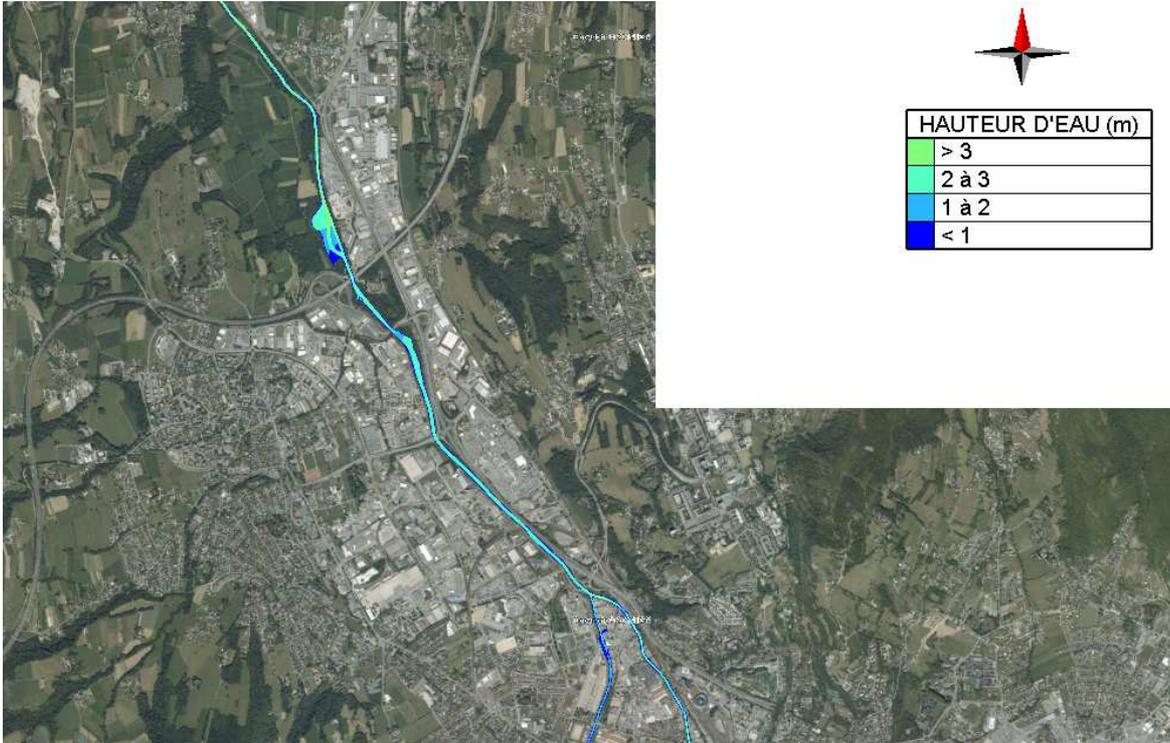


Figure 37 : Cartographie Q10 – actuel avec Projet Leysse – Hyères – Hauteurs d'eau maximales

Vitesses scalaires maximales

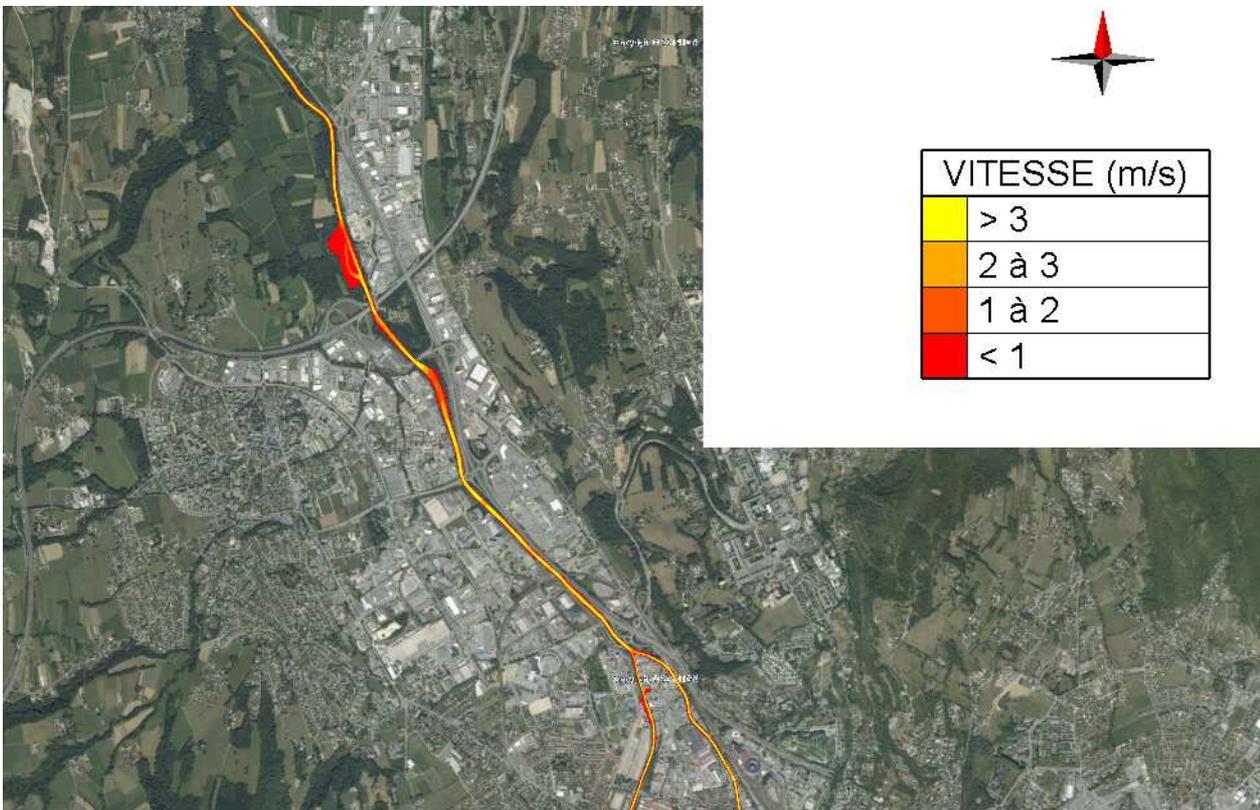


Figure 38 : Cartographie Q10 – actuel avec Projet Leysse – Hyères – Vitesses maximales

5.2.2.2 Q30

Hauteurs d'eau maximales

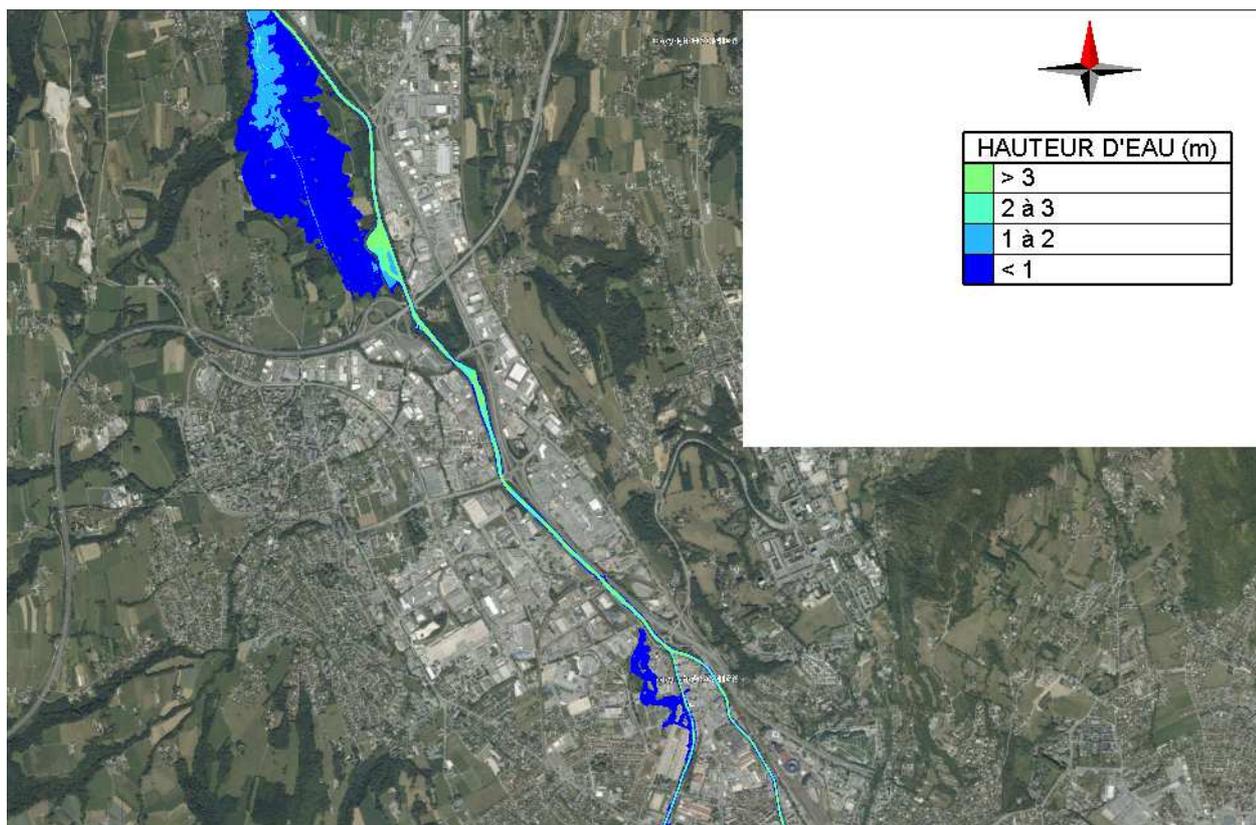


Figure 39 : Cartographie Q30 – actuel avec Projet Leysse – Hyères – Hauteurs d'eau maximales

Vitesses scalaires maximales

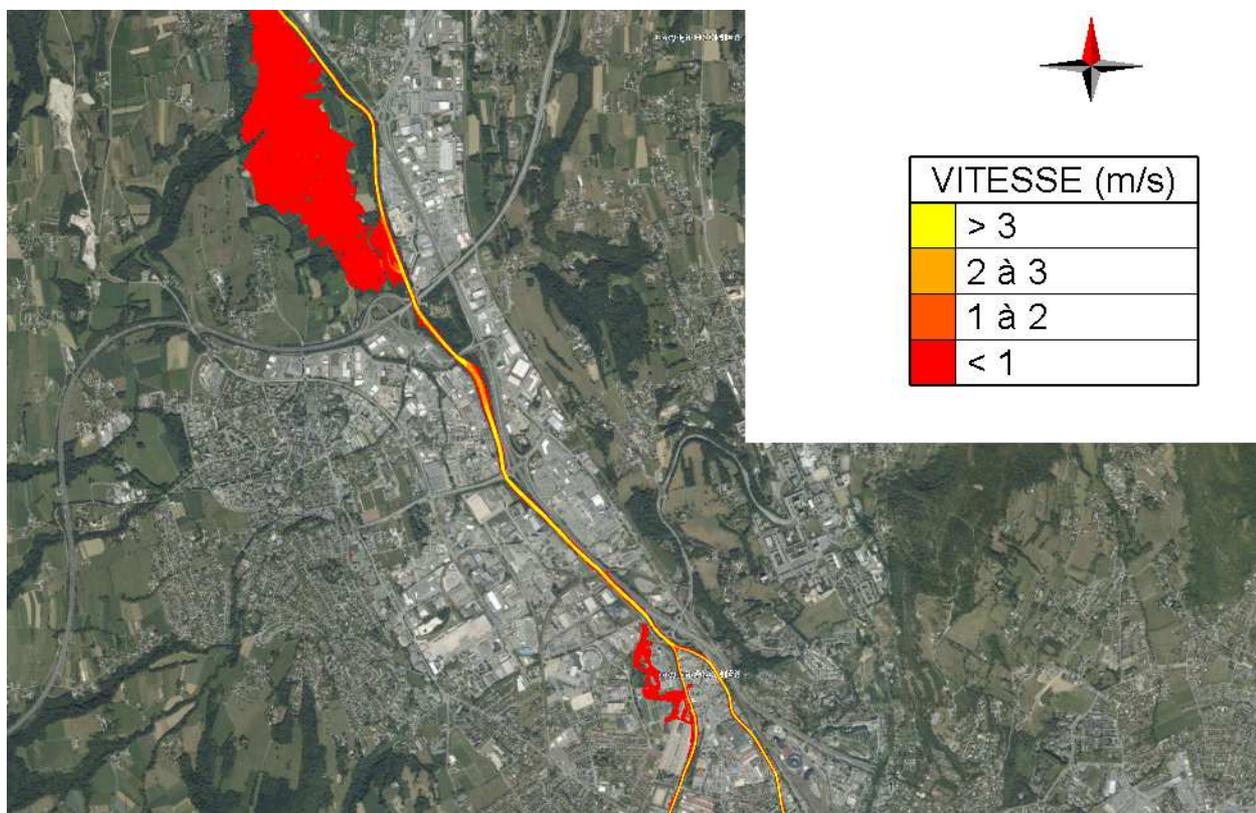


Figure 40 : Cartographie Q30 – actuel avec Projet Leysse – Hyères – Vitesses maximales

5.2.2.3 Q50

Hauteurs d'eau maximales

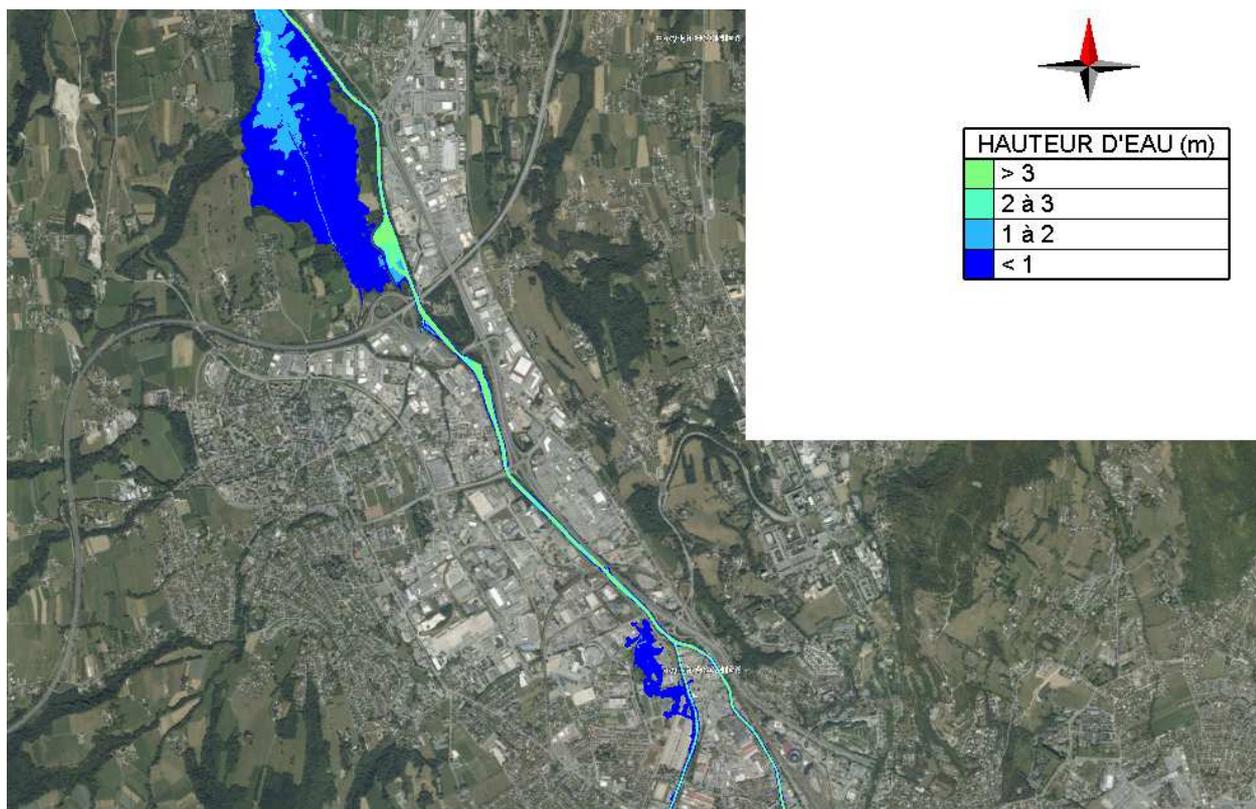


Figure 41 : Cartographie Q50 – actuel avec Projet Leysse – Hyères – Hauteurs d'eau maximales

Vitesses scalaires maximales

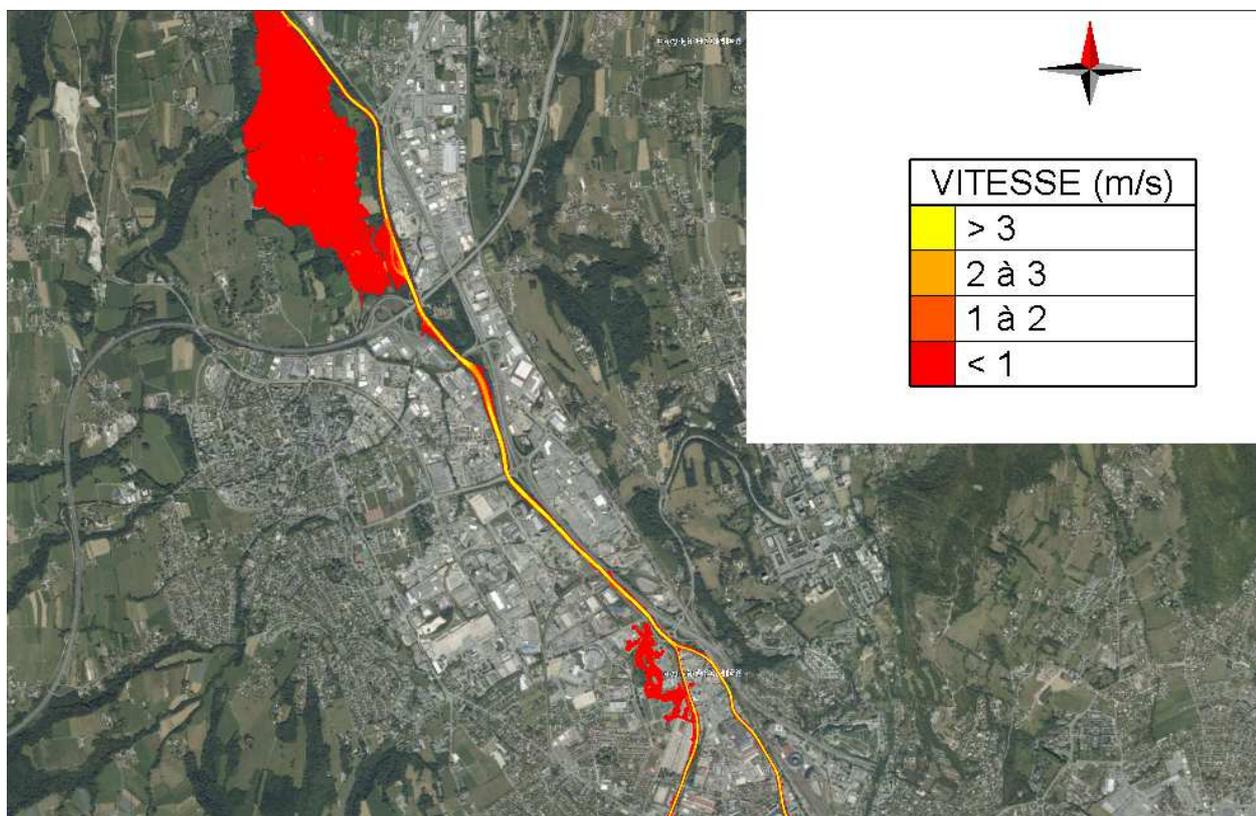


Figure 42 : Cartographie Q50 – actuel avec Projet Leysse – Hyères – Vitesses maximales

5.2.2.4 Q80

Hauteurs d'eau maximales

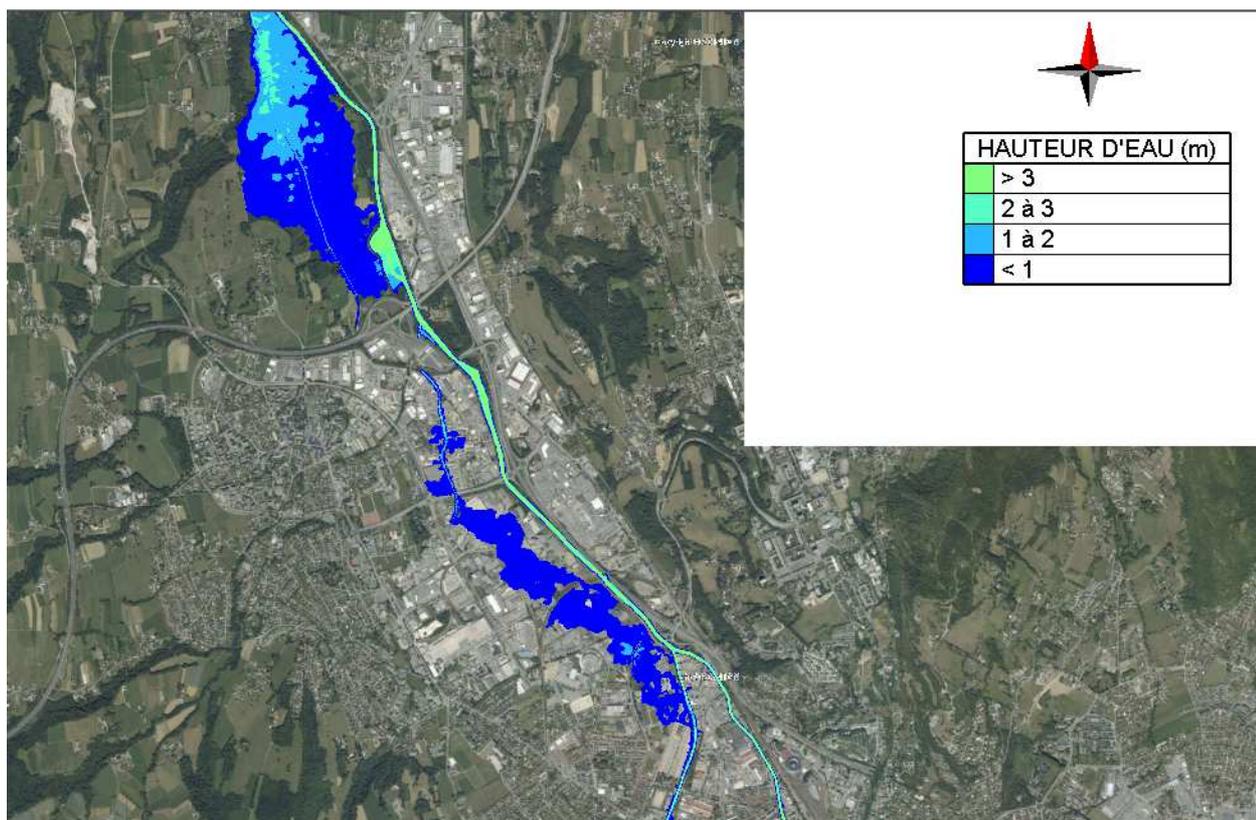


Figure 43 : Cartographie Q80 – actuel avec Projet Leysse – Hyères – Hauteurs d'eau maximales

Vitesses scalaires maximales

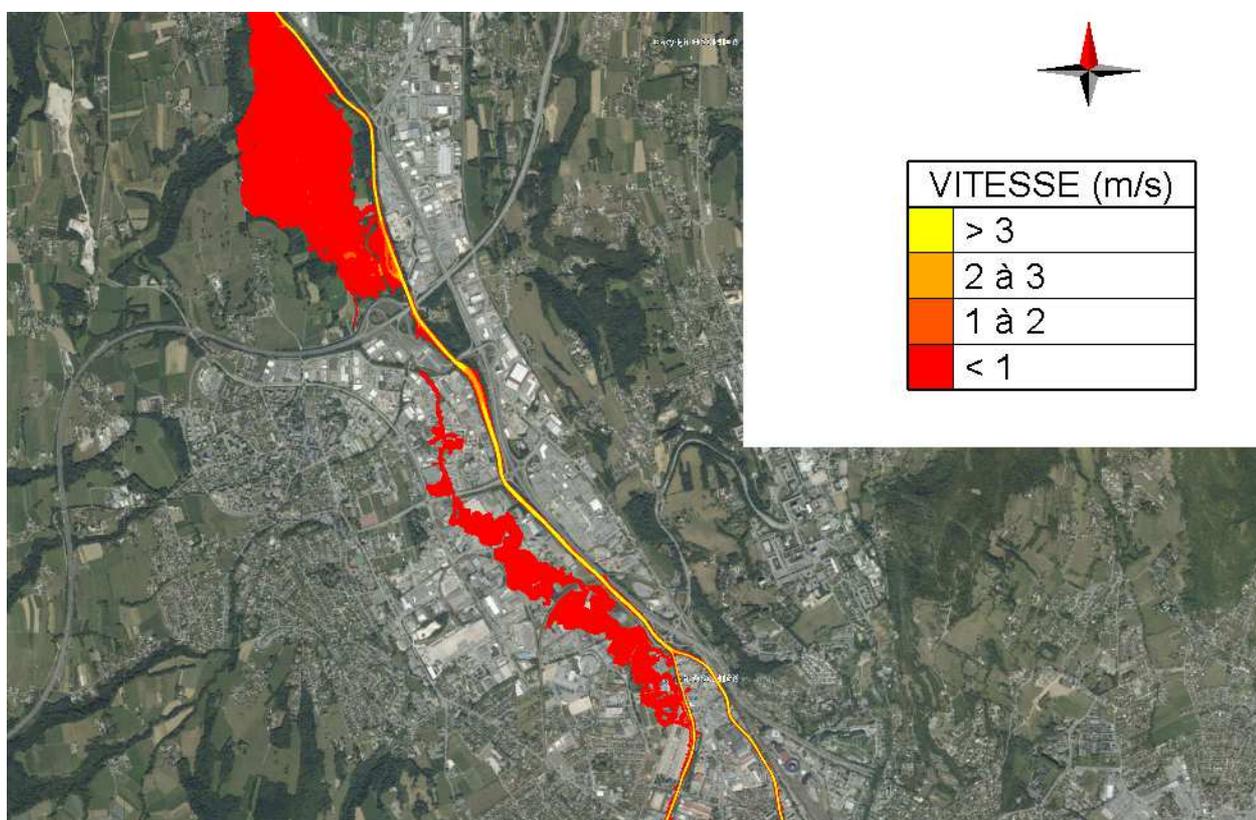


Figure 44 : Cartographie Q80 – actuel avec Projet Leysse – Hyères t – Vitesses maximales

Références bibliographiques (extrait de l'Annexe 2 des Dossiers d'ouvrages)

Numerotation	Titre	Rivière	Tronçon	Sujet	Type de document	Date	Organisme produisant la donnée	Propriétaire de la donnée
E18	Etude du Schéma Général de gestion du risque d'inondation sur l'Agglomération Chambérienne	Leysse	SE1.2, S1.3, SE2.1, SE2.2, SE2.3, SE3.1, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3, SE5 et diagnostic de digue sur SE4.1, SE2.2, SE2.1, SE5	Hydrologie, Hydraulique, Diagnostic digues	Phase 1 : Position du Problème Phase 2 : Etude des scénarios	avr-99	CNR/ Hydrolac	SICEC
E9	ETABLISSEMENT D'UN PLAN D'EXPOSITION AUX RISQUES D'INONDATION	Rivière Leysse et Affluents	SE1.2, S1.3, SE2.1, SE2.2, SE2.3, SE3.1, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3, SE5	Tome 1 I- HYDROLOGIE DU BASSIN CHAMBERIEN II- ETUDE DES CRUES HISTORIQUES : ENSEMBLE DU BASSIN CHAMBERIEN III- MODELISATION DES ECOULEMENTS CARACTERISTIQUES GENERALES	Rapport	mai-96	BE TURE	D.D.E. DE LA SAVOIE
E10	ETABLISSEMENT D'UN PLAN D'EXPOSITION AUX RISQUES D'INONDATION	Rivière Leysse et Affluents	SE1.2, S1.3, SE2.1, SE2.2, SE2.3, SE3.1, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3, SE5	Tome 2 I - MODELISATION DES BASSINS DE L'ALBANNE ET DE LA MERE II- MODELISATION DU BASSIN DU NANT BRUYANT	Rapport	juin-96	BE TURE	D.D.E. DE LA SAVOIE
E11	ETABLISSEMENT D'UN PLAN D'EXPOSITION AUX RISQUES D'INONDATION	Rivière Leysse et Affluents	SE1.2, S1.2, SE2.1, SE2.2, SE2.3, SE3.1, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3, SE5	Tome 3 I - MODELISATION DES BASSINS DE LA LEYSSE, L'HYERES ET LE RUISSEAU DES MARAIS	Rapport	juin-96	BE TURE	D.D.E. DE LA SAVOIE
E21	PLAN DE PROTECTION CONTRE LES RISQUES D'INONDATION DE LA LEYSSE A L'AVAL DE CHAMBERY	Leysse	SE4.2, SE 4.3, SE2.1, SE2.2, SE2.3?, SE5	Topographie, Hydraulique, Modélisation	RAPPORT DE PRESENTATION	mars-98	Hydrolac	D.D.E. DE LA SAVOIE
E22	PLAN DE PROTECTION CONTRE LES RISQUES D'INONDATION DE LA LEYSSE A L'AVAL DE CHAMBERY	Leysse	SE4.2, SE 4.3, SE2.1, SE2.2, SE2.3?, SE5	Topographie, Hydraulique, Modélisation	Annexes	mars-98	Hydrolac	D.D.E. DE LA SAVOIE
E23	PLAN DE PROTECTION CONTRE LES RISQUES D'INONDATION DE LA LEYSSE A L'AVAL DE CHAMBERY	Leysse	SE4.2, SE 4.3, SE2.1, SE2.2, SE2.3?, SE5	Topographie, Hydraulique, Modélisation	Plan de délimitation des bassins versants	mars-98	Hydrolac	D.D.E. DE LA SAVOIE
E35	PROJET D'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE DE LA ZONE DE CONFLUENCE LEYSSE-HYERES ETUDE DE L'AVANT-PROJET : VOLETS HYDRAULIQUE ET HYDROMORPHOLOGIQUE	Leysse - Hyères	SE4.3, SE2.2, SE2.1, SE4.2, SE3.2 SE3.2	Etude hydraulique	rapport + annexe	juil-09	Hydrolac	CHAMBERY METROPOLE

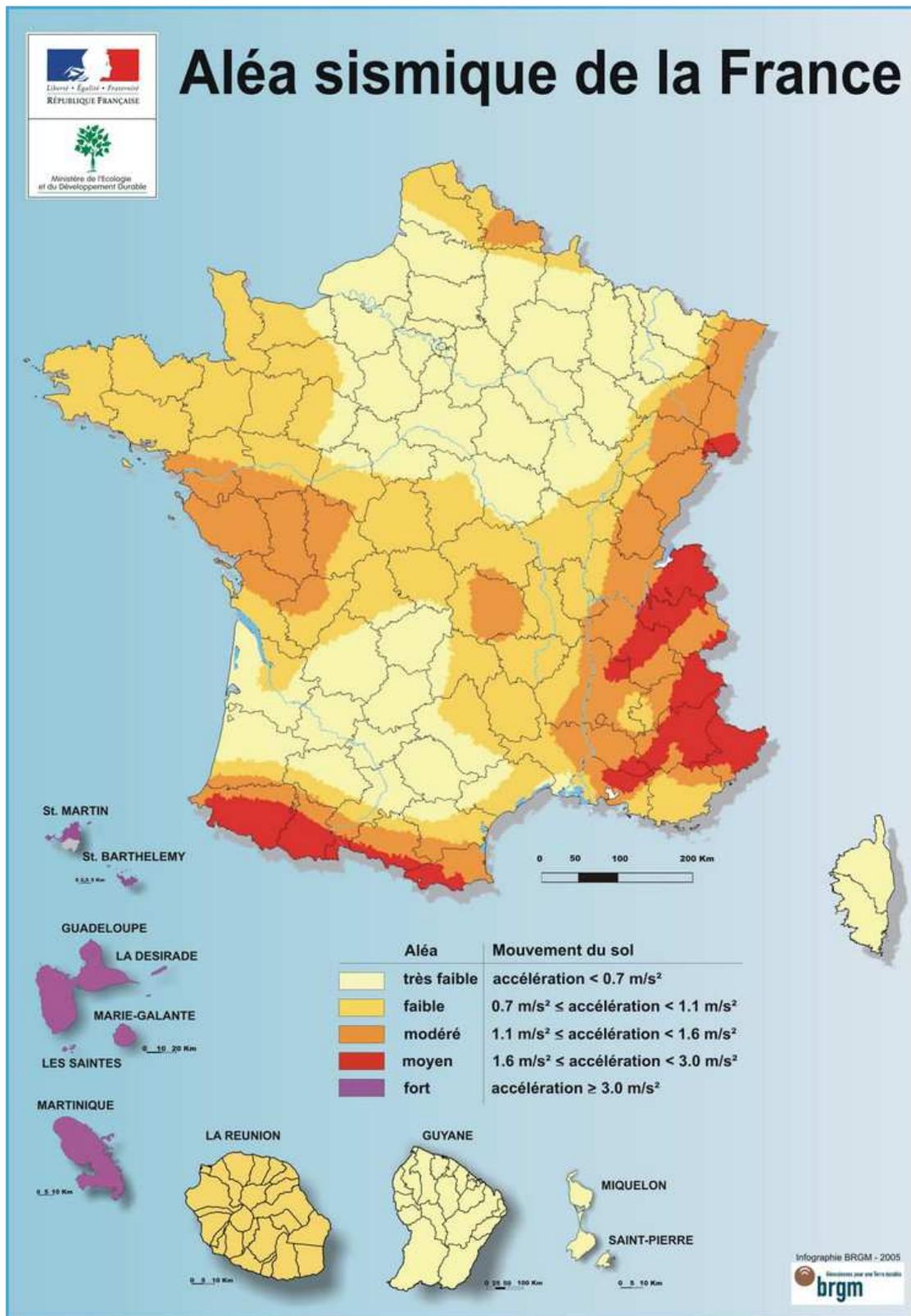
E41	AMENAGEMENT DE LA CONFLUENCE LEYSSE HYERES A CHAMBERY (73) NOTICE PROJET – Tranches 1 et 2	Leysse - Hyères	SE4.3, SE2.2, SE2.1, SE4.2, SE3.2 SE3.2	écologie, geotechnique, travaux, etude hydraulique	rapport + annexe + plans	juin-11	CNR, Hydrolac, Profil Etude	CHAMBERY METROPOLE
E51	Etude pour la restauration des systèmes d'endiguement du bassin chambérien Etude Historique - Note complémentaire	Leysse	SE1.2, S1.3, SE2.1, SE2.2, SE2.3, SE3.1, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3, SE5	Historique	Rapport	sept-15	Acthys Diffusion	Chambéry Métropole

ANNEXE 7

Annexe 7 : Force et zonage des séismes - Échelle de magnitude et d'intensité d'un séisme

ECHELLE DE MAGNITUDE (Echelle de RICHTER)			ECHELLE D'INTENSITE (Echelle MSK)	
Magnitude	Energie libérée	Nombre de séismes par an dans le monde		
0			I	Secousse non perceptible
1			II	Secousse à peine perceptible
2	E/900		III	Secousse faible ressentie de façon partielle
3	E/30		IV	Secousse largement ressentie
4	E	5000	V	Réveil des dormeurs
5	E x 30	1500	VI	Frayeur
6	E x 900	125	VII	Dommmages aux constructions
7		18	VIII	Destruction des bâtiments
8		1 (M≥8)	IX	Dommmages généralisés aux constructions
9			X	Destruction générale des bâtiments
			XI	Catastrophe
			XII	Changement de paysage

Aléa sismique de la France



Zonage sismique de la France (1=très faible à 5=fort)

(en vigueur depuis le 1^{er} mai 2011 tel que défini dans les décrets n° 2010-1254 et 2010-1255)

ANNEXE 8

Annexe 8 : Analyse préliminaire des risques

Analyse de risque : SE2

L'ouvrage digue est pris dans son entièté et on identifie les causes et les effets de ses propres dysfonctionnements sans prendre en compte les effets des dysfonctionnements des autres ouvrages de l'aménagement

Version Janvier 2019

N°	PK	Organes / Eléments importants pour la sécurité	Situation dangereuse	Cause potentielle	Débit du cours d'eau / Etat hydraulique	Accident potentiel	Probabilité initiale Hors mesures de sécurité	Traitement du risque : mesures existantes		Probabilité	Actuel		Criticité	Commentaires		
								Mesures techniques et organisationnelles	NC		Cheutique	Inensité			Grav.	
1		Talus amont	Rupture de l'ouvrage suite à un glissement du talus amont													
1.1	SE2.2 aval			Chablis	entre Q10 et Q100	Rupture de la digue par brèche	10-1	2.4 2.5	Surveillance hors crue Maintenance hors crue	1 1	5,10-3	Rapide	Faible	5	Acceptable	P=5,10-3 - surveillance et entretien G = 5 - supérieure à 1000 personnes exposées - cinétique rapide - intensité faible
1.2	Tous			Abaissement rapide du plan d'eau	Décrue	Sans effet : Décrue relativement lente	-									
1.3	SE2.2 aval : Rond Point Villacher et Villacher			Talus Raides et couches de sol instables	Entre Q10 et Q100	Rupture de la digue par brèche	10-1	2.1 2.2	Surveillance en crue Appel aux entreprises	1	10-2	Rapide	Faible	5	Inacceptable	P=10-2 - surveillance et entretien G = 5 - entre 1000 et 10000 personnes exposées : 4 - cinétique rapide - intensité faible
1.4	SE2.2 aval : Rond Point Villacher et Jean Lain			Géométrie de la protection amont pas suffisante jusqu'à Q100	entre Q10 et Q100	Rupture de la digue par brèche	10-1	2.1 2.2	Surveillance en crue Appel aux entreprises	1	10-2	Rapide	Faible	5	Inacceptable	P=10-2 - surveillance et entretien G = 5 - entre 1000 et 10000 personnes exposées : 4 - cinétique rapide - intensité faible
1.5	SE2.2 aval : Rond Point Villacher et Jean Lain			Mouvement du fond du lit	entre Q10 et Q100	Rupture par brèche du fait de l'effoulement du pied de talus entraînant la digue	10-1	2.1 2.2	Surveillance en crue Appel aux entreprises	1	10-2	Lent	Faible	5	Inacceptable	P=10-2 - surveillance et entretien G = 5 - entre 1000 et 10000 personnes exposées : 4 - cinétique rapide - intensité faible
1.6	PK17.55 PK16.95			Rupture du seuil transversal	En crue	sans objet - Phénomène pas à l'échelle d'une crue si pas de répétition de crue										Les dispositions à prendre en crue doivent être comme par le BICA, s'il n'est pas le cas, il faut prévoir un empiètement du seuil et de répétition de crue

N°	PK	Organes / Eléments importants pour la sécurité	Situation dangereuse	Cause potentielle	Débit du cours d'eau / État hydraulique	Accident potentiel	Probabilité initiale Hors mesures de sécurité	Traitement du risque : mesures existantes		Probabilité	Actuel		Criticité	Commentaires
								N°	Intensité		Chélique	Grav.		
2		Corps de digue	Rupture par érosion interne											
2.1/2.2	SE2.2 ax1 : Rond Point Villacher, Villacher et Jean Lain		Rupture par érosion interne suite à une agression externe	Formation de renflements (par exemple suite à une anomalie type de sulfatation ou érosion de contact)	entre Q10 et Q100	Rupture de la digue par brèche	10-1	2.1 2.2	Surveillance en crue Appel aux entreprises	10-2	Rapide	Faible	4	P=10-2 - surveillance et entretien G = 4 - entre 1000 et 10000 personnes exposées : 4 - cinétique rapide - intensité faible
2.3	SE2.2 ax1 : Rond Point Villacher, Villacher et Jean Lain			Formation d'un conduit préférentiel des eaux du fait de la présence de racines	entre Q10 et Q100	Rupture de la digue par brèche	10-1	2.1 2.2	Surveillance en crue Appel aux entreprises	10-2	Rapide	Faible	5	P=10-2 - surveillance et entretien G = 5 - entre 1000 et 10000 personnes exposées : 4 - cinétique rapide - intensité faible
2.4				Formation d'un conduit préférentiel des eaux du fait de la présence de racines	En crue	Sans objet : Pas de teniers observés lors des VTA	-							
2.5	SE2.2: PKL4.2 et 4.1		Rupture suite à un séisme - liquéfaction	Fuite ou rupture d'une canalisation traversant le corps de la digue	entre Q10 et Q100	Rupture de la digue par brèche	10-1	2.1 2.2	Surveillance en crue Appel aux entreprises	10-2	Rapide	Faible	5	P=10-2 - surveillance et entretien G = 5 - entre 1000 et 10000 personnes exposées : 4 - cinétique rapide - intensité faible
2.6				Séisme	Tous les débits	INONDATION par rupture potentielle des digues				x	x	x	x	Très peu d'incidence à faible débit et/ou surcote élevé.

ANNEXE 9

ANNEXE 9 : Description du projet Leysse-Hyères

Le paragraphe décrit les ouvrages réalisés ou à réaliser dans le cadre du projet Leysse Hyères et précise leurs dimensions.

Le projet présenté a pour principal objectif d'assurer la protection des personnes et des biens contre les risques de submersion **jusqu'au niveau de la crue de fréquence centennale** sur un secteur situé en aval de Chambéry qui a été particulièrement touché par les inondations de 1990.

Il est ainsi établi au bénéfice des populations des communes de Chambéry et de La motte-Servolex et vise à protéger des inondations une population de moins de 12 000 habitants pour un événement de fréquence de retour centennale.

Il permettra enfin, par la protection contre les inondations des voies routières, d'assurer la continuité des services de secours au bénéfice des populations sinistrées. Par ailleurs, il permet de réduire l'inondation dans les différentes zones d'activité (Bissy, Landiers, Epinettes,...).

0.1.1.1.1 Localisation

Le projet s'étend de l'amont du Pont des Allobroges jusqu'à l'aval de l'A43 sur les communes de Chambéry et de la Motte Servolex dans le département de la Savoie.

Ce périmètre a été scindé en deux tranches :

- Première tranche : amont du pont SNCF, **réalisée**
- Deuxième tranche : depuis le pont SNCF jusqu'en aval immédiat du pont de l'autoroute A43, **en cours de réalisation**.

Plus précisément, la numérotation des secteurs est donnée dans le tableau suivant :

n° de secteur	Ouvrages		N °de profils		SE concerné	Etat d'avancement des travaux
	Amont	Aval	Amont	Aval		
6	Confluence	Pont SNCF	P56	P67	SE4.3 et Se 2.1	Réalisés ou en cours de réalisation
7	Aval Pont SNCF	Aval Pont CD 16a	P68	P89	SE4.3 et 2.2	Commencés. Fin prévisionnelle des travaux d'ici fin 2017
8	Aval Pont CD 16a	Pont A43	P89	P121	SE4.3 et 2.2	
9	Pont A43	Dépôt aval rive gauche	P121	P129	SE5	

Tableau 1 : Numérotation des secteurs de travaux et état d'avancement.

0.1.1.1.2 Description générale des travaux par secteurs

Secteur 6 : « Confluence » – Pont SNCF – Profil P56 à P67 – SE 4.3 et SE 2.1

Sur le tronçon rive gauche (P59 à P67) le projet prévoit un élargissement de la berge rive gauche et un adoucissement du talus. Le pied de talus et la berge sont végétalisés.

Sur le tronçon rive droite (P56 à P60), le projet prévoit un confortement du talus amont au-dessus des enrochements en place et un adoucissement de ces talus.

Secteur 7 : Du pont SNCF au pont du CD16a (P68 à P89) – SE 4.3 et SE 2.2

Ce secteur s'étend sur environ 1 150 m.

Les travaux hydrauliques prévus sont les suivants :

En rive gauche (SE4.3) :

- **Entre P68 et P72**, sur 150 m, la berge est élargie, la piste cyclable abaissée et les pentes des talus adoucis et protégés par des dispositifs mixte enrochements libres / techniques végétales.
- **Reconstruction de la digue de Bissy entre le P73 et le P85bis**, sur 600m, l'aménagement consiste à élargir considérablement le lit actuel par une ouverture importante des berges et à

reculer les digues pour garantir une largeur du lit minimum de 17 m à 20 m. La partie inférieure de la berge est protégée par des enrochements libres.

En rive droite (SE 2.2) :

- **Déplacement de la digue de la Balme : Entre les profils P81 et P85bis**, la digue est reculée et la section hydraulique est augmentée. La partie inférieure de la berge est protégée par des enrochements libres.

Deux rives (SE 2.2 et 4.3) :

- **Sous le pont du CD 16 A – entre le P85 bis et le P89** : Une paroi clouée est mise en place afin de garantir une section d'écoulement suffisante sous le pont du CD 16A.
- Une passerelle provisoire sera mise en place de manière à permettre le basculement des usagers de la piste cyclable sur la rive opposée le temps de réaliser les travaux en rive gauche.

Secteur 8 : Pont du CD16a pont de l'A43 (P89 à P121) – SE 2.2 et fin du SE4.3

La longueur d'application des travaux s'établit à environ 1 250 m.

Les travaux hydrauliques prévus sont les suivants :

Travaux de terrassement et de protection des berges

Rive droite :

- **Du P88 au P95** : Elargissement du lit pour porter la largeur du lit du projet à 20 m / 21 m ;
- **Du P96 au P98** : Reconstruction en rive droite de la digue amont ZI des Landiers (2) ;
- **Du P99 au P107** : Réduction de la largeur des digues et étanchéité par un masque en limon ;
- **Du P100 au 110** : Elargissement important du lit à 35 m – 45 m ;
- **Du P108 au P110** Création d'une digue de fermeture qui viendrait buter sur l'actuel échangeur ;
- **Du P113 au P121** : Confortement de la digue côté aval par un épaulement drainant.

Rive gauche :

- **Du P96** (passerelle de la Motte) **au P110** (pont de l'échangeur): Abaissement de la piste cyclable comprenant un remblai partiel dans le lit de la Leysse ;
- **Du P111 au P121** : Modelage prononcé afin d'élargir la section hydraulique à partir de la passerelle de la piste cyclable :
 - En adoucissant largement les talus sur la partie amont, entre les profils P113 et P114,
 - En déplaçant et reconstruisant les digues existantes entre les profils P119-121, qui viendront se raccorder à la piste d'entretien existante au niveau du profil P121bis en amont immédiat pont de l'A43. **Cette portion de digue se situe sur le secteur SE 5.**

Secteur 9 : Aval pont de l'A43 (P121 à P129) – SE 5

Rive gauche :

- **Construction d'une digue et d'un seuil déversant**

La reconquête de l'espace en rive gauche se traduit par le décalage d'une centaine de mètre de la digue actuelle vers la plaine. La digue actuelle, calée à 249.3 m NGF sera arasée à une cote variant entre 246 et 246.5 m NGF. La nouvelle digue sera implantée depuis le talus de l'autoroute et prolongée pour se raccorder en aval du dépôt d'argile soit sur une longueur d'environ 500 m. La nouvelle digue est calée à 249.5 m NGF.

Elle comportera un seuil déversant fonctionnant dès la crue Q10. Le débit dérivé maximal vers la plaine du ruisseau des marais est de 100 m³/s. Ce seuil déversant permettra de décharger la digue rive droite en aval de l'A43 (SE2.2), ce qui réduira le risque de rupture de la digue et d'inondation de la plaine de Villarcher pour des crues inférieures à la crue de projet. En effet, la digue rive droite est très fortement sollicitée en crue et est sujette aux ruptures, comme cela a pu être constaté dans les conclusions de l'étude historique (Rubrique 7).

- **Déplacement d'un nouveau lit méandreux**

En rive gauche de la Leysse, la zone dite de « Pré Lombard » fera l'objet d'une opération de terrassement pour créer un nouveau lit à méandre afin de restaurer la dynamique fluviale. La réalisation de ce nouveau lit conduira à effacer la digue existante.

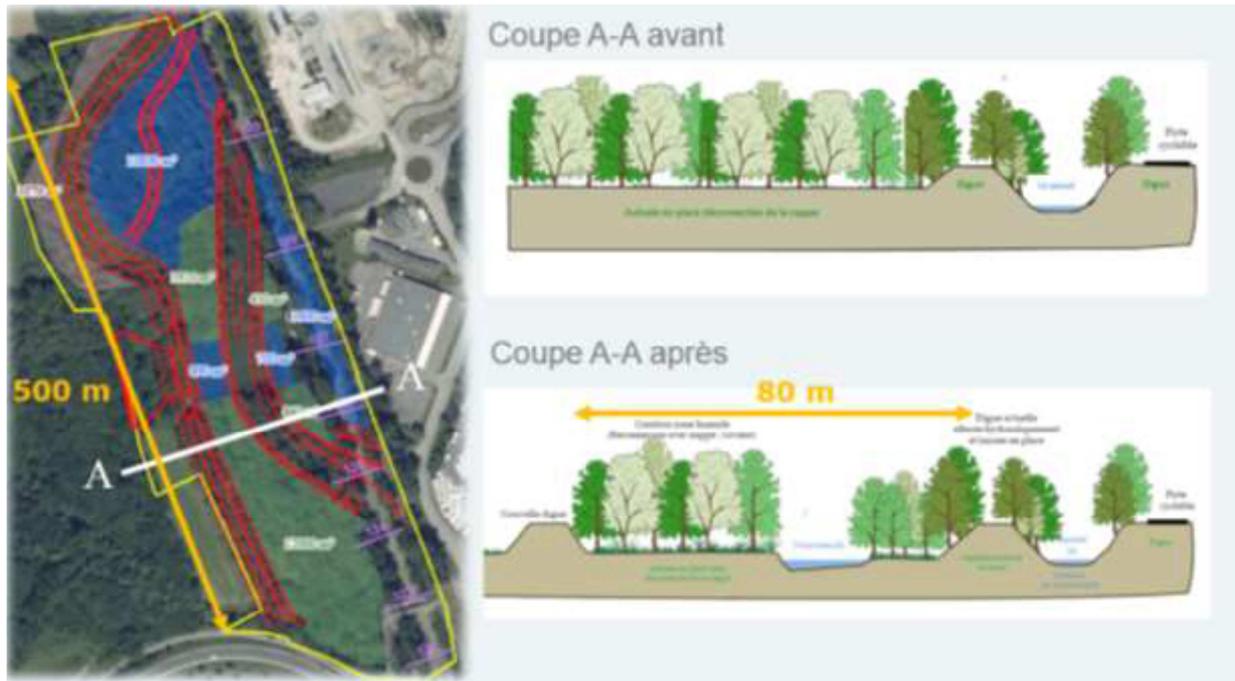


Figure 1 : Secteur 9 - Principe d'aménagement

ANNEXE 10

Annexe 10 : Stabilité au glissement en crue centennale et crue extrême en état projet – calcul Talren

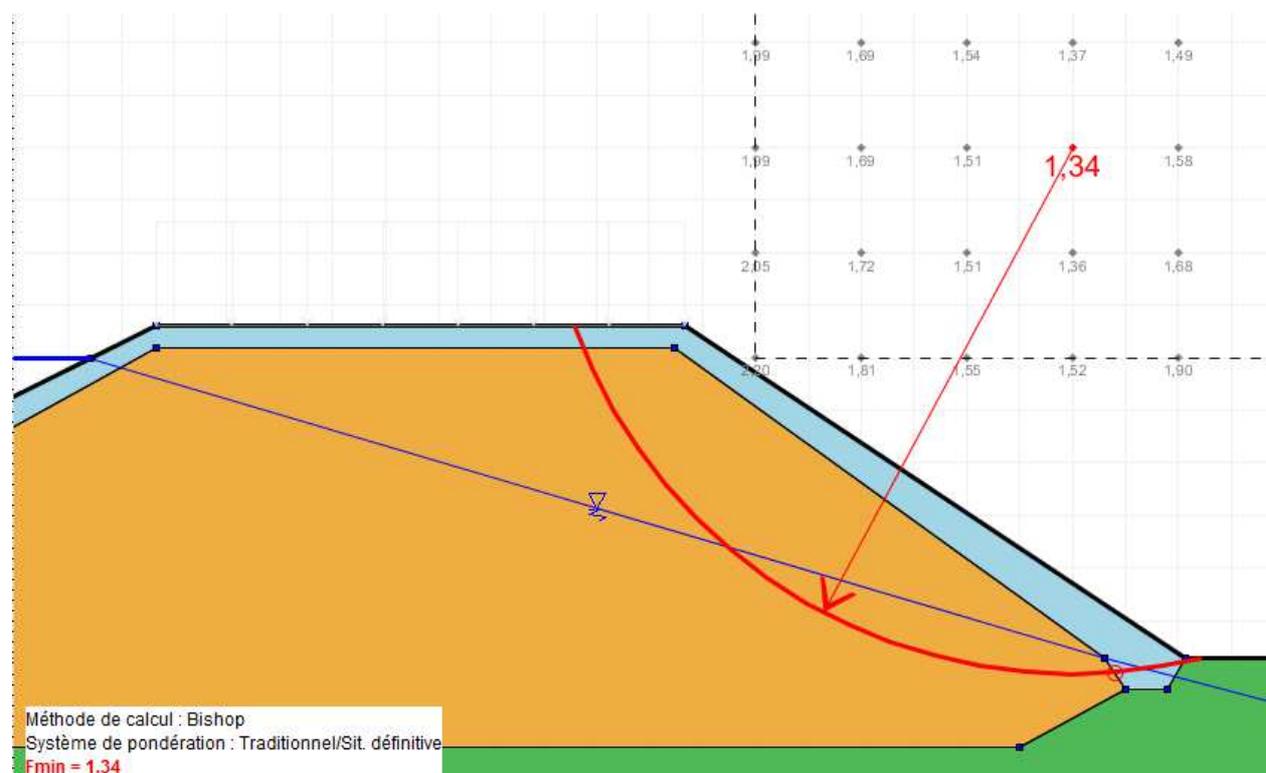
SE 2.2 amont

Récapitulatif des calculs de stabilité au glissement

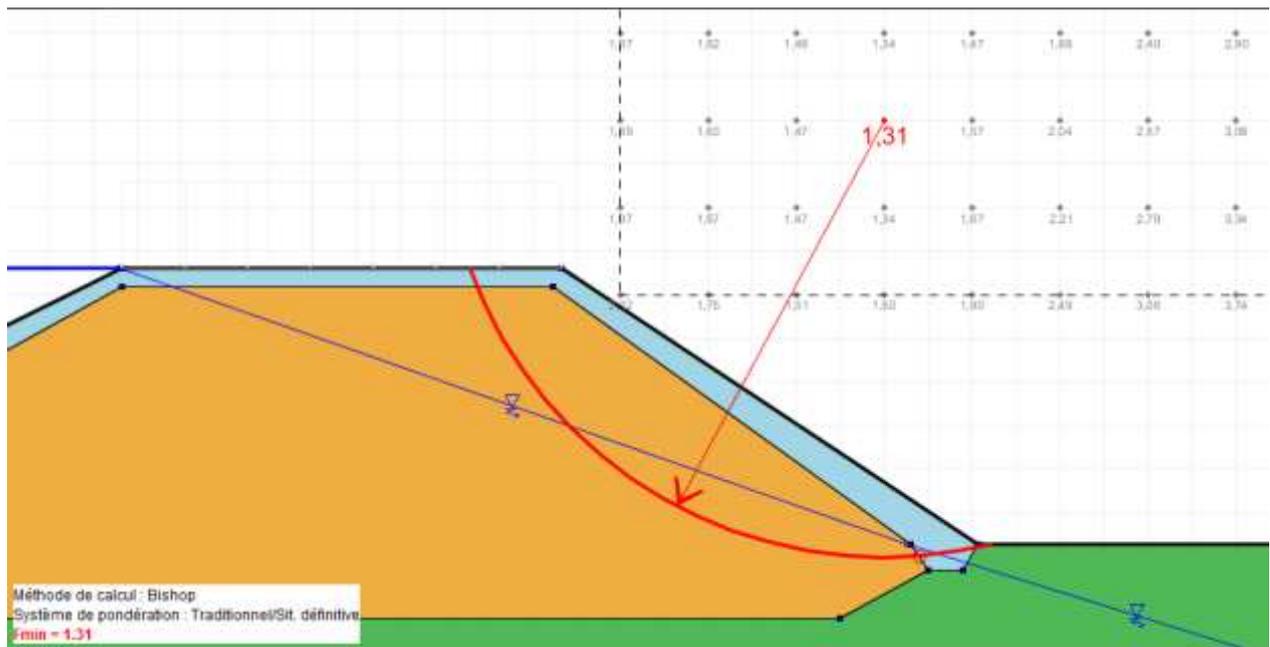
	Profil STTP	Rive	TALUS AVAL	
			Q100 (coef requis 1.3)	Crue extrême (coef requis 1.1)
			sans surcharge	sans surcharge
Digue amont Echangeur	P109	RD	1.34	1.31
Digue pont de la Motte	P96	RD	3	2.69
Digue VRU - saturé	P83	RD	1.3	1.2
Digue VRU - non saturé	P83	RD	1.43	1.43

La digue de la VRU est juste stable en crue centennale. Cependant, les hypothèses de sol saturé sont très défavorables. En prenant un sol non saturé, la stabilité augmente significativement et la digue est stable à une crue de période de retour centennale voir plus.

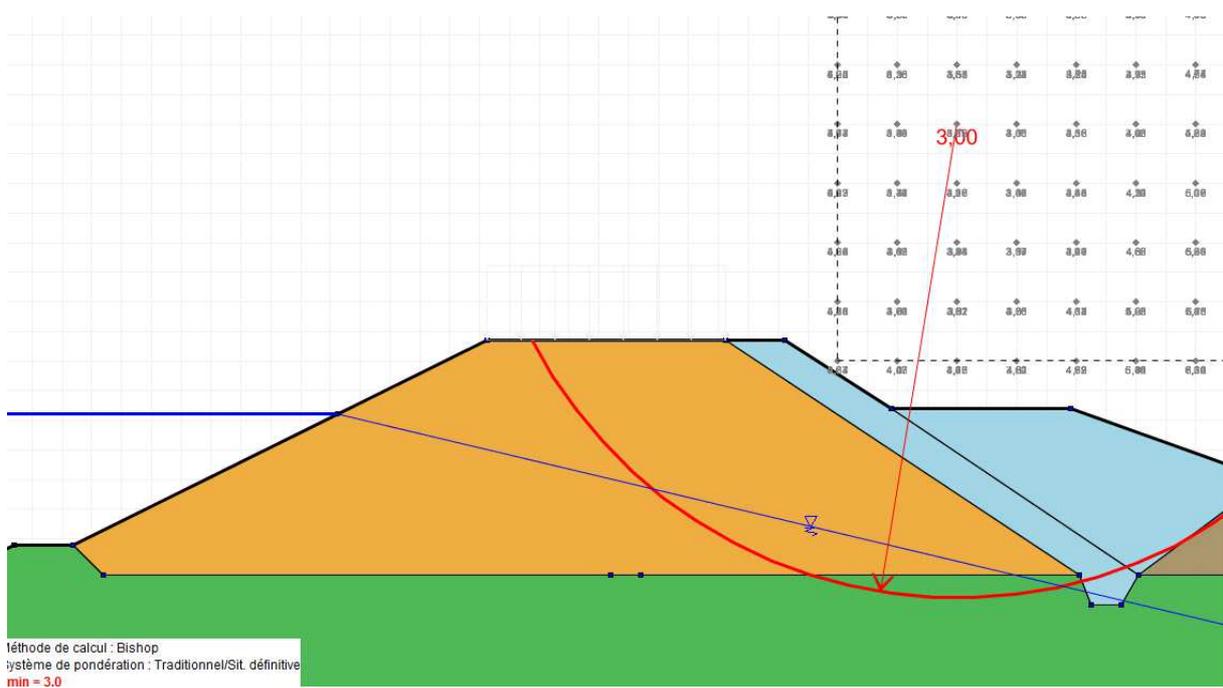
Etat projet - Talus aval – Profil Talren



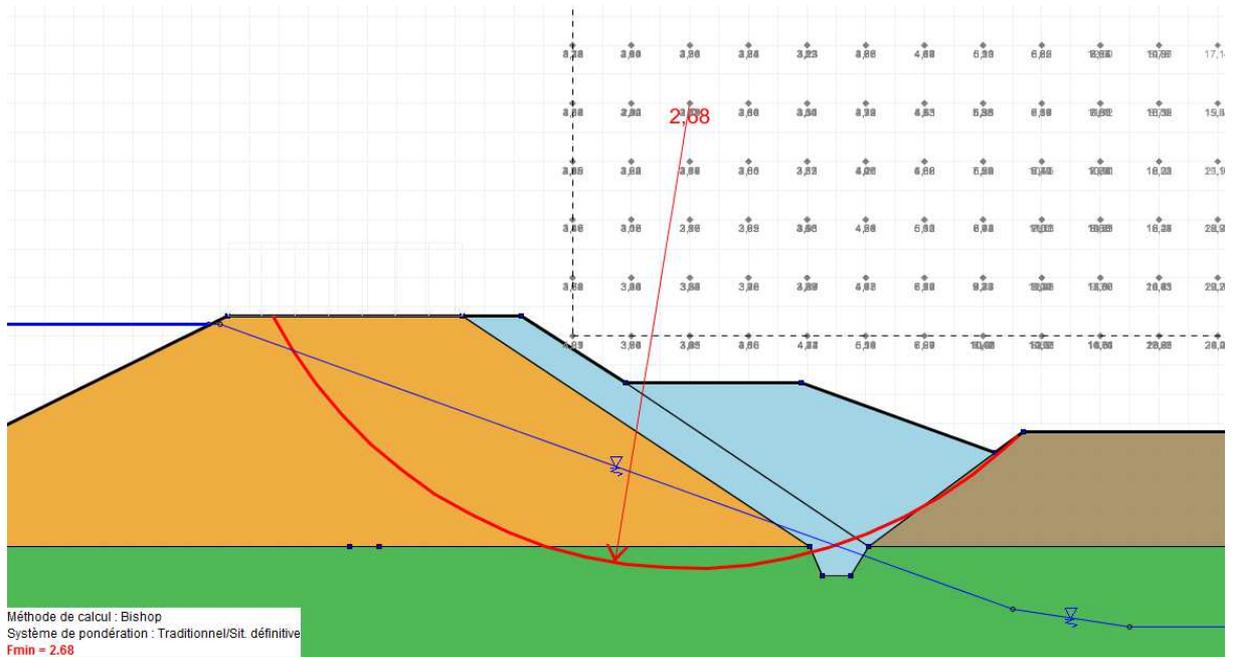
Digue amont Echangeur RD P109 – Crue centennale sans surcharge (coefficient de sécurité requis 1.3)



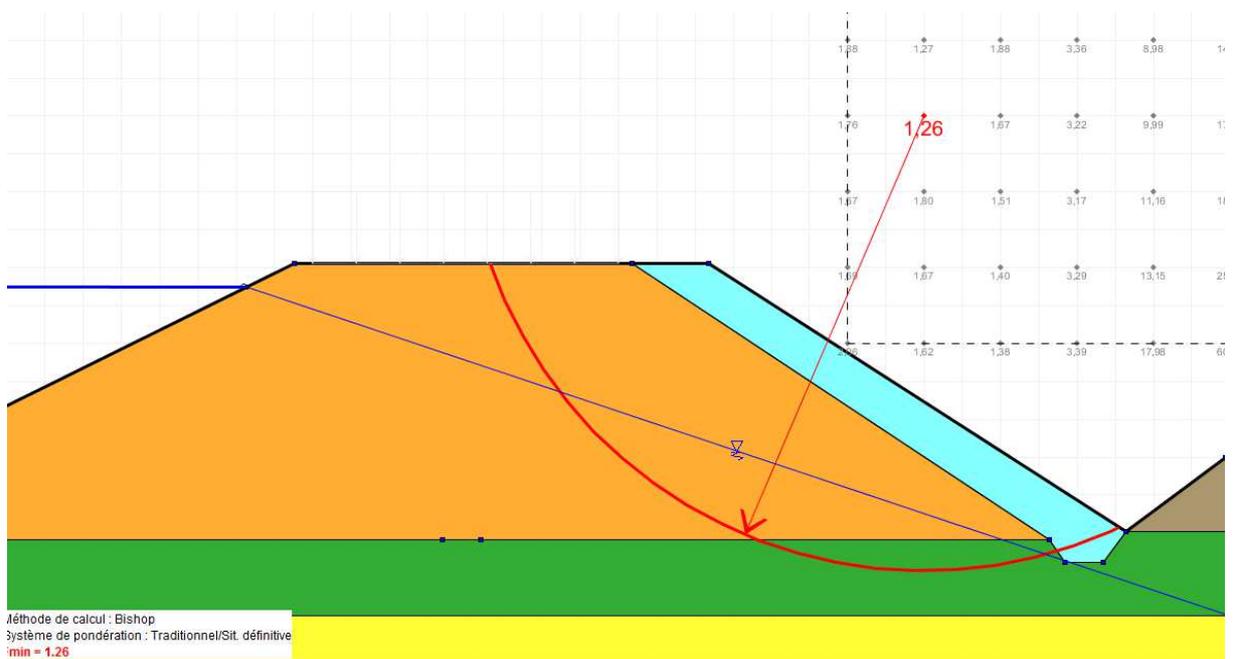
Digue amont Echangeur RD P109 – Crue extrême sans surcharge (coefficient de sécurité requis 1.1)



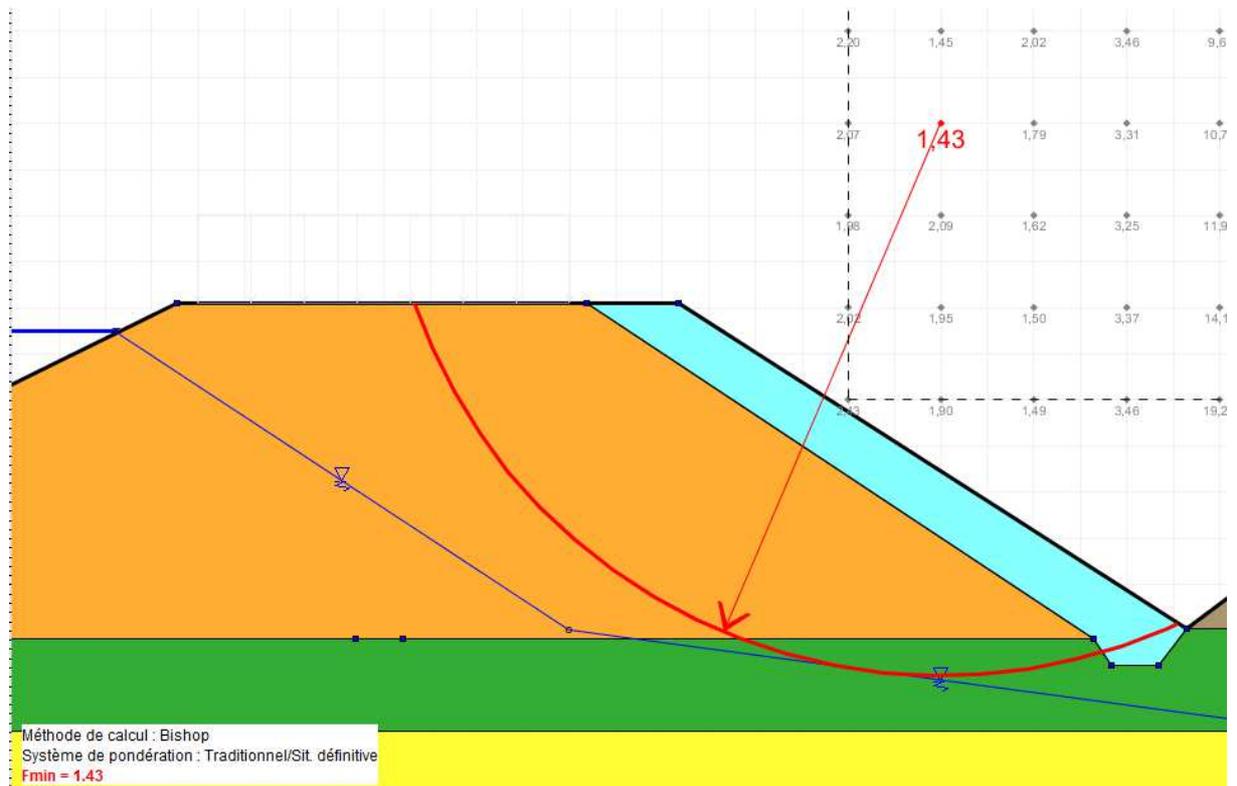
Digue du pont de la Motte P96 RD– Crue centennale sans surcharge (coefficient de sécurité requis 1.3)



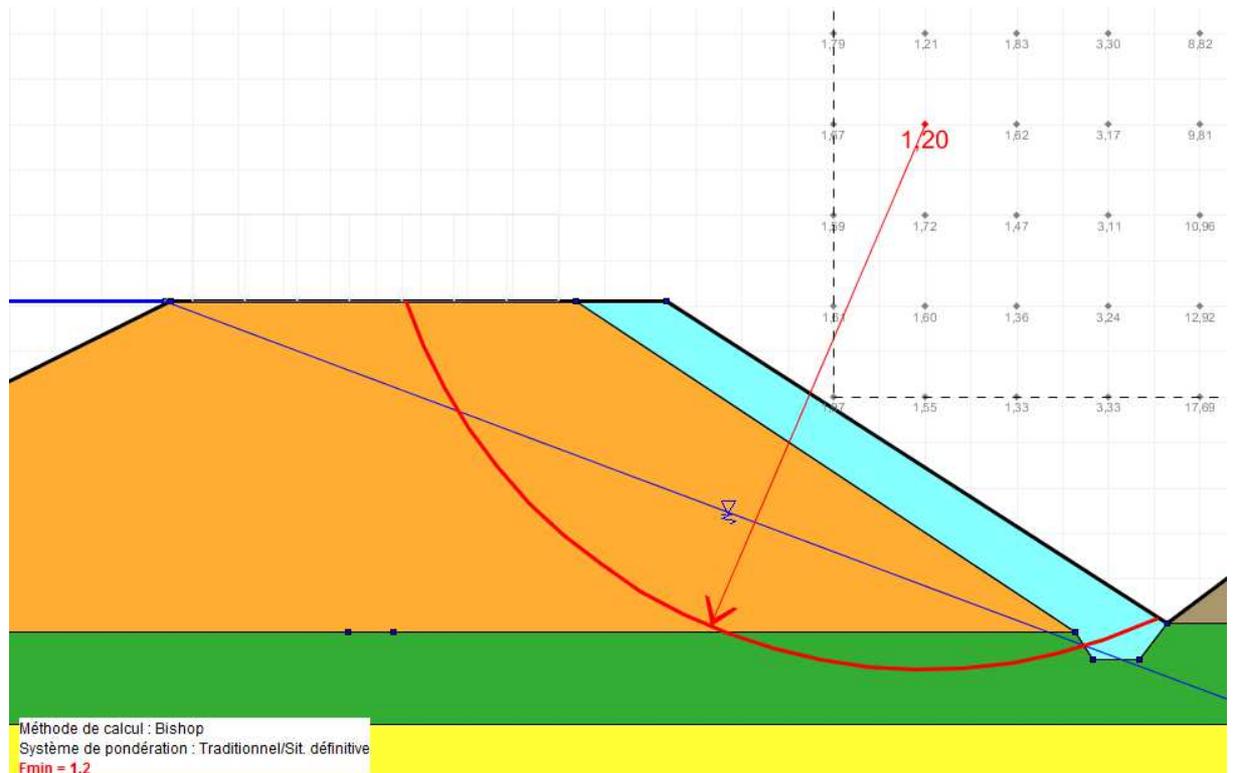
Digue du pont de la Motte P96 RD – Crue extrême sans surcharge (coefficient de sécurité requis 1.1)



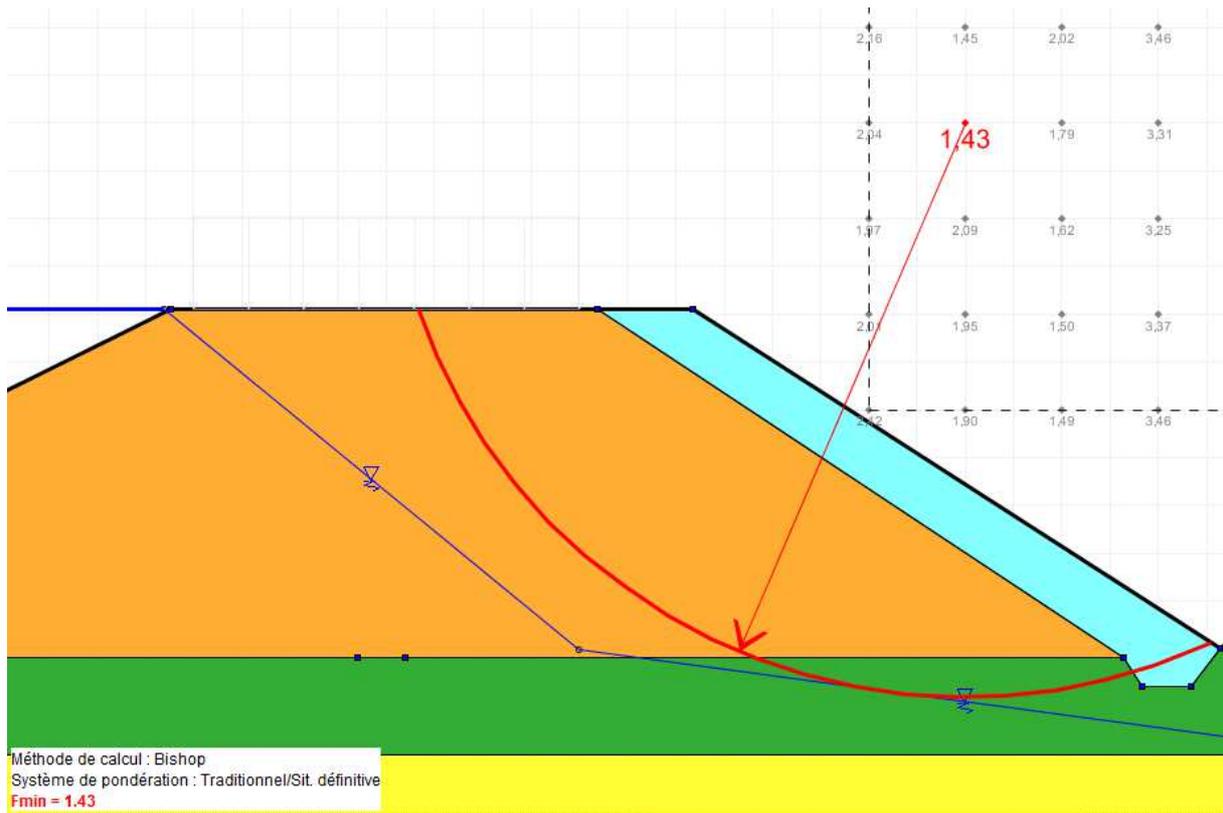
Digue VRU P83 RD– Crue centennale sans surcharge (coefficient de sécurité requis 1.3) – situation saturée



Digue VRU P83 RD- Crue centennale sans surcharge (coefficient de sécurité requis 1.3) situation non saturée (assez proche de la réalité vu les vitesses en crue)



Digue VRU P83 RD- Crue extrême sans surcharge (coefficient de sécurité requis 1.1) situation saturée



Digue VRU P83 RD– Crue extrême sans surcharge (coefficient de sécurité requis 1.1) situation non saturée (assez proche de la réalité vu les vitesses en crue)

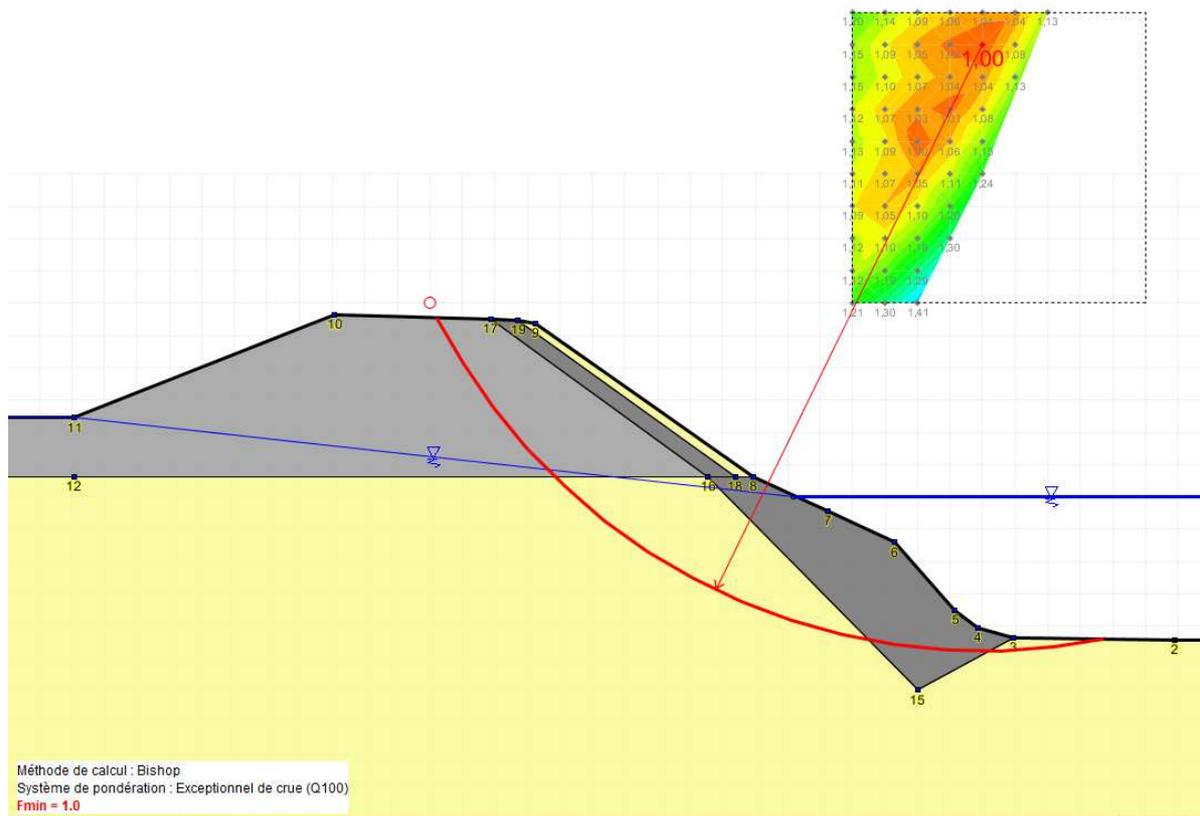
SE 2.1 (projet Leysse Hyères)

Récapitulatif des calculs de stabilité au glissement du talus amont

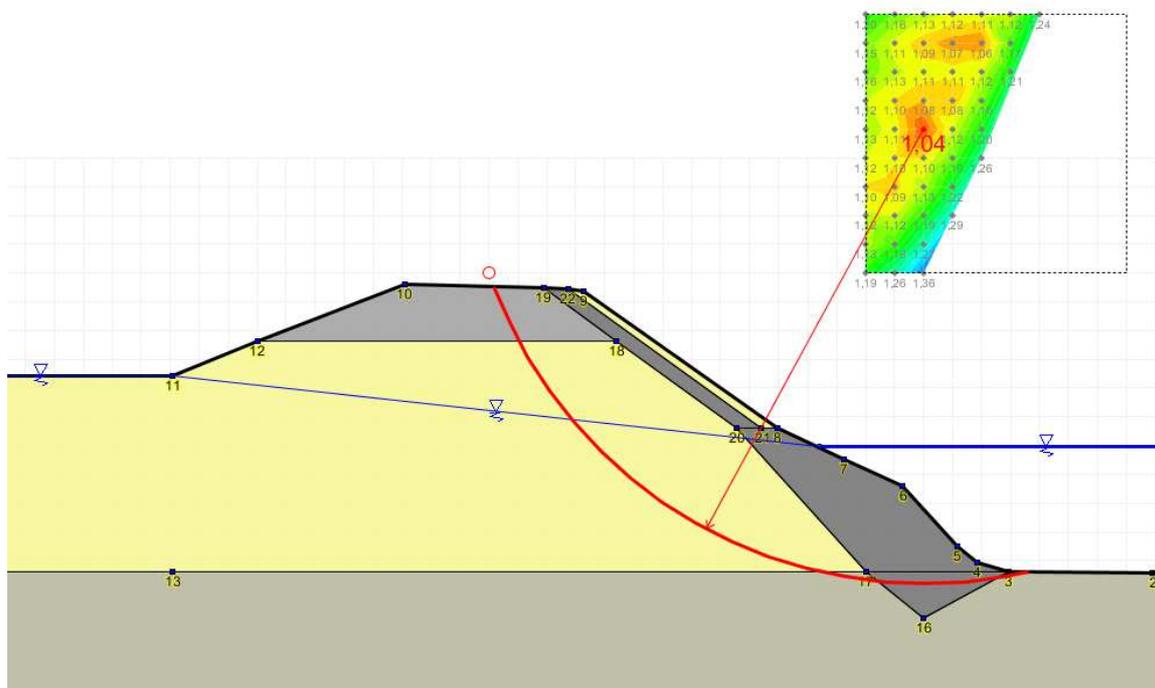
			TALUS AMONT
			Décru rapide (coef requis 1)
	Profil STTP	Rive	sans surcharge
SE 2.1 /géotech 1	P57	RD	1
SE 2.1 /géotech 2	P57	RD	1.04
SE 2.1 /géotech 1	P59	RD	1.03
SE 2.1 /géotech 2	P59	RD	1.06

Les calculs ne sont pas présentés pour le talus aval en état projet sachant que le talus aval n'est pas modifié par le projet.

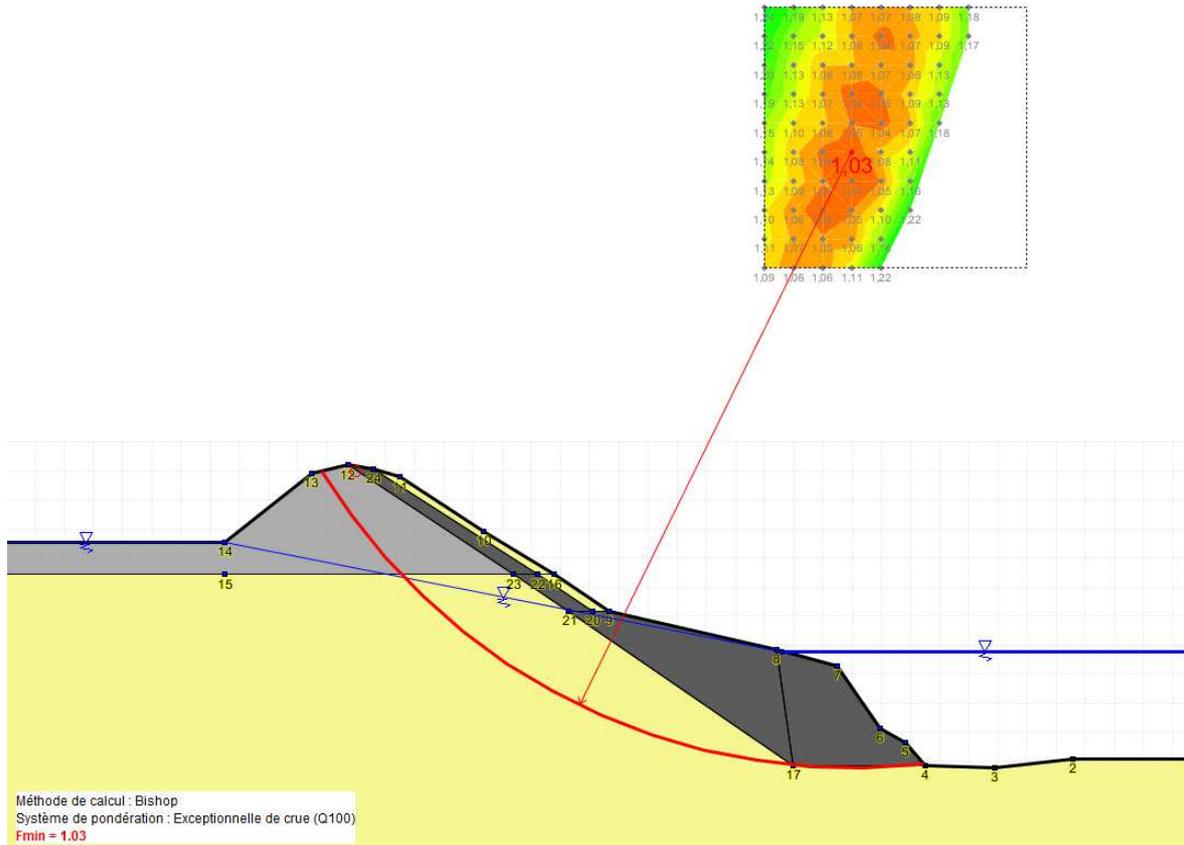
Etat projet - Talus amont– Profil Talren



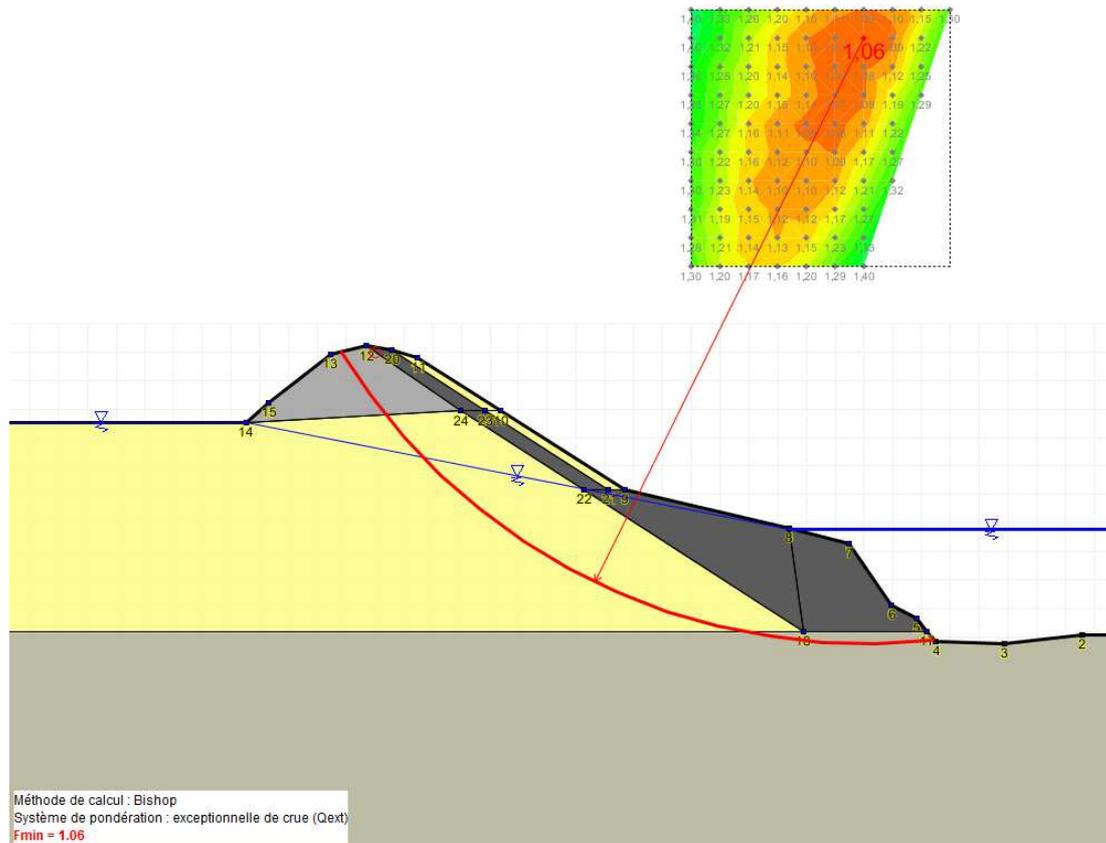
Profil STTP 57 – Geotech 1 – glissement talus amont



Profil STTP 57 – Geotech 2 – glissement talus amont



Profil STTP 59 – Geotech 1 – glissement talus amont



Profil STTP 59 – Geotech 2 – glissement talus amont

ANNEXE 11



Etude de danger du Dossier PSR des aménagements de Tranche 2 prévus sur la Leysse

Note de vulnérabilité

14A026
15/12/15
Version 2

Affaire suivie par :
Chef de projet : Sylvain MESLIER
Chargé d'étude : Hippolyte GRANADOS

Version	Date	Rédigé / relu par	Commentaires
1	15/12/15	HG/SM	
2	16/12/15	HG/SM	Ajout des populations exposées en zone inondable

Table des matières

TABLE DES MATIERES	2
LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET ANNEXES.....	3
1. CONTEXTE ET OBJECTIF.....	4
2. PRESENTATION DES ENJEUX EXPOSES AUX INONDATIONS.....	5
2.1. Périmètre d'étude	5
2.2. Cartographie des enjeux	5
2.3. Caractéristiques générales.....	5
2.4. Habitations	5
2.5. Entreprises.....	6
2.6. Etablissements et équipements publics	7
2.7. Surfaces cultivées	8
3. ESTIMATION DES POPULATIONS DANS LES ZONES PROTEGEES	9
3.1. Zones protégées considérées.....	9
3.2. Méthodologie	9
3.3. Zones protégées en rive droite de la Leysse	12
3.4. Zones protégées en rive gauche de la Leysse	15
ANNEXES.....	19

Liste des figures, tableaux et annexes

◆ Liste des figures

Figure 1 : Zones protégées en rive droite de la Leysse	12
Figure 2 : Zones protégées en rive gauche de la Leysse	15

◆ Liste des tableaux

Tableau 1 : Enjeux recensés dans la zone d'étude	5
Tableau 2 : Typologie des bâtiments d'habitation recensés dans la zone d'étude	6
Tableau 3 : Typologie des principales activités rencontrées dans le territoire d'étude	6
Tableau 4 : Populations résidant dans les zones protégées situées en rive droite de la Leysse.....	13
Tableau 5 : Employés travaillant dans les zones protégées situées en rive gauche de la Leysse et l'Hyères	13
Tableau 6 : Bilan des populations potentiellement présentes dans les zones protégées situées en rive droite de la Leysse	14
Tableau 7 : Populations résidant dans les zones protégées situées en rive gauche de la Leysse et l'Hyères.....	16
Tableau 8 : Employés travaillant dans les zones protégées situées en rive gauche de la Leysse et l'Hyères	16
Tableau 9 : Personnes potentiellement présentes dans les ERP situés dans les zones protégées situées en rive gauche de la Leysse et l'Hyères.....	17
Tableau 10 : Bilan des populations potentiellement présentes dans les zones protégées situées en rive gauche de la Leysse et l'Hyères	17

◆ Liste des annexes

Annexe 1 : Carte d'enjeux exposés aux inondations.....	19
Annexe 2 : Fiche indicateur P1 - Nombre de personnes habitant en zone inondable + part communale	19

1. Contexte et objectif

Cette note est établie pour permettre l'évaluation de la gravité des scénarios d'accident attendue dans l'Etude de Danger qui sera jointe à la demande de labellisation « Plan de Submersion Rapide » (PSR) » des aménagements de tranche 2 prévue sur la Leysse.

Elle décrit :

- La nature des enjeux exposés en zone inondable (aléas inondation avec rupture de brèche de période de retour 10,30, 100 et 200 ans).

Une carte de synthèse jointe à cette note permet de localiser ces enjeux par typologie.

- L'ordre de grandeur du nombre de personnes exposées, susceptibles d'être présents dans la zone protégée des systèmes d'endiguements concernés (en rive gauche : yc digues de la Leysse, de l'Hyères et en rive droite : digues de la Leysse).

Rq : l'ordre de grandeur du nombre de personnes exposées, susceptibles d'être concernés par les différents scénarios d'accident étudiés sera estimé et décrit ultérieurement dans un rapport complet.

2. Présentation des enjeux exposés aux inondations

2.1. Périmètre d'étude

Les enjeux exposés en zone inondable sont décrits dans ce chapitre.

La zone inondable considérée est l'enveloppe maximale étudiée dans le cadre de l'Etude de danger et correspondant à l'aléa inondation de période de retour 200 ans avec rupture de brèche par surverse (en rive gauche et en rive droite).

Des précisions sur la localisation et la typologie de ces aléas sont disponibles dans le rapport CNR.

Rq : Ce périmètre ne tient pas compte des zones éventuellement inondables par le ruisseau Merderet et le Nant Bruyant ou par une crue spécifique de l'Hyères.

2.2. Cartographie des enjeux

Deux cartes d'enjeux au format A0 sont jointes au présent rapport en Annexe 1. Ces cartes localisent les principaux enjeux de la zone d'étude, représentés par typologie.

Les zones inondables pour les aléas inondation de période de retour 10 ans, 30 ans (avec rupture de brèche par érosion interne), 100 ans (avec rupture de brèche par surverse), et 200 ans (avec rupture de brèche par surverse) sont également reportées sur la carte.

2.3. Caractéristiques générales

Le Tableau 1 ci-dessous présente la répartition des enjeux recensés dans la zone prospectée.

Tableau 1 : Enjeux recensés dans la zone d'étude

	Rive gauche	Rive droite	Total
Habitations	103	95	198
Entreprises (présentes en rez-de-chaussée)	130	158	288
Etablissements publics	10	5	15
Total	243	258	501

2.4. Habitations

2.4.1. Typologie des habitations

On dénombre un total de 198 bâtiments d'habitation dans la zone prospectée. Leurs caractéristiques principales sont recensées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Typologie des bâtiments d'habitation recensés dans la zone d'étude

	Rive gauche	Rive droite	Total	Proportion
Logements individuels	90	90	180	91 %
<i>dont logements de plain-pied (absence de zone refuge)</i>	19	31	50	
Bâtiments d'habitat collectif	13	5	18	9 %
<i>Nombre total de logements collectifs</i>	65	0	65	
<i>dont logement aux rez-de-chaussée</i>	17	0	17	
Nombre total de bâtiments touchés	103	95	198	

2.4.2. Caractéristiques des bâtiments

On note également que près d'un logement individuel sur deux (84 sur 180, soit 47%) n'est a priori pas habité au rez-de-chaussée (présence d'un garage, premier plancher habitable surélevé, ...).

Les deux tiers de ces logements (soit 132 au total) disposent d'un garage (soit en rez-de-chaussée, soit indépendant du bâtiment d'habitation et très rarement en sous-sol : 6 uniquement sur le périmètre).

De même, seule une dizaine de cave a été recensée.

12 habitations (soit 6% du total) ont un premier plancher surélevé. Généralement, cela correspond à une ou deux marches d'escaliers (soit une trentaine de cm maximum).

2.5. Entreprises

2.5.1. Typologie des activités

On dénombre un total de 288 entreprises. Les activités rencontrées le plus fréquemment sont listées dans le Tableau 3 ci-dessous

Tableau 3 : Typologie des principales activités rencontrées dans le territoire d'étude

	Rive gauche	Rive droite	Total	Proportion
Commerces de gros non alimentaires	29	40	69	24 %
Commerces de détail et stations-services	1	44	45	16 %
Concessions et garages automobiles	9	31	40	14 %
Siège de sociétés de construction	17	5	22	8 %
Activité de restauration	4	11	15	6 %
Activités de bureau	9	4	13	5 %
Services de transport et Poste	11	2	13	5 %
Autres activités			64	22 %

On constate que trois types d'activités (commerce de gros non alimentaire, commerces de détail et stations-services, garages et concessions automobiles) concentrent à elles seules plus de la moitié des entreprises de la zone d'étude.

Par ailleurs, différentes activités susceptibles d'être à l'origine de dommages monétaires importants en cas d'inondation sont recensées sur la zone : sites de stockage, commerces de gros, centre commercial Chamnord, grandes surfaces alimentaires...

2.5.2. Zones d'Activités

Ces entreprises sont en grande partie concentrées dans les Zones d'Activités de Bissy et de l'Érier en rive gauche et des Landiers (Nord et Sud) en rive droite.

2.6. Etablissements et équipements publics

2.6.1. Etablissements susceptibles d'accueillir un public sensible

Aucun établissement scolaire (école, crèche...) ni aucun établissement hospitalier ou maison de retraite ne sont recensés en zone inondable.

2.6.2. Etablissements publics

◆ En rive gauche

Les établissements publics (ou assimilés à des établissements publics) recensés en rive gauche de la Leysse sont les suivants :

- Centre des douanes et droits indirects
- Centre de Formation des Apprentis de l'Industrie et Association pour la Formation Professionnelle dans l'Industrie de l'Érier
- Centre de maintenance départemental de l'OPAC de Savoie
- Espace Rhône-Alpes
- Comité Intersyndical pour l'Assainissement du Lac du Bourget – CISALB
- Chambéry Métropole
- Centres de formation ECORIS et ABC Formation
- Centre de détention (en limite de la zone inondable considérée dans le cadre de l'étude)

◆ En rive droite

Les établissements publics recensés en rive droite de la Leysse sont les suivants :

- Chambéry Métropole
- Direction Départementale des Routes Centre-Est
- Centre technique Chambéry Alpes-Habitat

2.6.3. Equipements publics

Plusieurs équipements publics d'importance notable sont situés dans la zone inondable prospectée. Citons :

- En rive gauche :
 - La déchetterie de Bissy
 - L'unité de dépollution des eaux de Chambéry Métropole
 - Le poste de transformation THT de l'Érier
- En rive droite :
 - Les deux postes de transformation THT situés à l'amont du centre commercial des Landiers
 - La Voie Rapide Urbaine de Chambéry
 - La voie ferrée Chambéry - Aix les Bains/Le Revard
 - L'aéroport de Chambéry - Savoie

2.7. Surfaces cultivées

Les surfaces cultivées situées dans la zone d'étude ont été analysées à partir des données du Registre Parcellaire Graphique de 2012, qui recense les cultures principalement pratiquées sur chaque parcelle.

	Rive gauche	Rive droite	Total	Proportion
Maïs grain et ensilage	15	76	91	50%
Prairies permanentes	2	27	29	16%
Blé tendre	7	13	20	11%
Autres oléagineux	16	4	20	11%
Orge	6	3	9	5%
Autres céréales	4	3	7	4%
Arboriculture et vergers	1	1	2	1%
Légumes-Fleurs	2	0	2	1%
Total	53	127	180	100%

3. Estimation des populations dans les zones protégées

3.1. Zones protégées considérées

Ce chapitre vise à exposer la méthodologie utilisée et les résultats obtenus pour l'estimation des populations potentiellement présentes dans les zones protégées par les différents systèmes d'endiguement définies par la Direction Départementale des Territoires (cartographie des zones protégées transmise par mail le 27/11/15).

La délimitation des zones protégées est reportée sur la carte des enjeux jointe.

Rq : Ont été exclues pour cette estimation les zones protégées par les digues du Nant Bruyant.

3.2. Méthodologie

Le décret du 12 mai 2015 définit « la population protégée [comme] la population maximale exprimée en nombre d'habitants qui résident et travaillent dans la zone protégée, en incluant notamment les populations saisonnières ».

Compte tenu de l'occupation particulière des secteurs étudiés :

- en particulier en rive droite avec la présence de multiples établissements commerciaux susceptibles de recevoir un grand nombre de « visiteurs » sur la zone des Landiers
- et également en rive gauche, plutôt liés aux inondations par l'Hyères, avec la présence du Phare, de la Maison d'Arrêt,...

Il semble pertinent de compléter l'estimation par la prise en compte de ces populations « occasionnelles » mais susceptibles d'être présentes au moment de la survenance de l'accident.

3.2.1. Personnes résidant dans la zone protégée

3.2.1.1. Base de données carroyées INSEE

L'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques fournit un ensemble de données statistiques relatives à la composition et la répartition de la population du territoire français. Ces données peuvent notamment être récupérées sous la forme d'une couche SIG présentant un carroyage de 200 mètres de côté et fournissant des informations sur les populations résidant à l'intérieur de chaque carreau.

3.2.1.2. Méthodologie appliquée

Nous avons évalué le nombre d'habitants résidant en zone inondable selon la méthodologie décrite dans la « Fiche indicateur » P1 fournie en Annexes techniques du guide méthodologique relatif aux Analyses Multicritères d'actions de prévention des inondations publié en 2014 par le Commissariat Général au Développement Durable et présentée en Annexe 2.

Cette méthodologie se base sur un croisement entre les ilots INSEE et les contours des bâtiments de la zone protégée.

3.2.2. Personnes travaillant dans la zone protégée

3.2.2.1. Base de données « TRI emploi » - SIRENE

La base de données SIRENE de l'INSEE géoréférence, sous forme de points, toutes les activités économiques d'un territoire. Elle fournit une estimation de valeurs minimales et maximales du nombre d'employés pour chaque entité recensée.

Une couche SIG issue d'un traitement de cette base de données nous a été fournie par la DREAL Rhône-Alpes (couche « TRI Emploi »).

3.2.2.2. Méthodologie appliquée

De nombreuses entités correspondant à des activités purement administratives et n'ayant pas d'existence physique sont recensées dans la base de données sur les activités économiques issue de SIRENE fournie par la DREAL Rhône-Alpes: Sociétés Civiles Immobilières, Sociétés Civiles de Moyens, syndicats de copropriétés, activités de locations immobilières...

La base de données considérant au minimum 1 emploi par entité, la prise en compte de toutes ces activités entraînerait donc une surestimation du nombre d'emplois localisés sur le territoire (et le cas échéant en zone inondable). Nous avons donc fait le choix de ne pas tenir compte de toutes ces entités dans nos calculs.

3.2.3. Personnes potentiellement présentes dans les ERP en zone protégée (hors salariés déjà comptés par ailleurs)

3.2.3.1. Base de données du SDIS73

Le groupement prévention du Service Départemental d'Incendie et de Secours de la Savoie nous a transmis un extrait de sa base de données recensant l'intégralité des Etablissements Recevant du Publics ouverts sur les communes de Chambéry et La Motte-Servolex.

Cette base de données renseigne notamment sur l'effectif salarié de chaque ERP ainsi que sa capacité d'accueil maximale, estimée grâce à des ratios surfaciques.

3.2.3.2. Méthodologie appliquée

La méthode de calcul des capacités d'accueil des ERP utilisée par le SDIS (occupation surfacique maximale), affecte des valeurs à chaque établissement élevées (exemple : 13.190 personnes pour le centre commercial Chamnord, plus de 6000 pour Castorama, etc ...). En extrapolant cette approche à l'ensemble des Landiers, on obtiendrait une population exposée largement supérieure à la population totale de Chambéry ce qui peut paraître surestimé.

Pour l'ensemble des ERP à caractère commercial, nous proposons de considérer un taux de remplissage plus faible de chaque établissement, afin d'obtenir une estimation plus réaliste du nombre de personnes réellement susceptibles de s'y trouver.

Pour les ERP liés à des activités de loisir (stades, gymnases, Phare,...), nous avons appliqué un taux de remplissage de 50%.

Enfin, nous avons considéré que les établissements d'enseignement et la maison d'arrêt étaient quant à eux pleins à 100% de leurs capacités respectives.

3.2.4. Personnes circulant sur les axes structurants

3.2.4.1. Méthodologie appliquée

◆ Axes pris en compte

Le calcul des personnes circulant sur les axes de voirie prend en compte uniquement les routes non communales.

En effet, on considère que les usagers de ces dernières résident ou travaillent probablement dans la zone d'étude ; leur double comptabilisation entraînerait donc une surestimation de la population totale localisée en zone protégée.

Ainsi, seule la Voie Rapide Urbaine de Chambéry a été prise en compte dans ce calcul.

◆ Hypothèses de calcul

Afin d'estimer le nombre de personnes présentes dans leurs véhicules sur la chaussée à partir de ces données, nous nous sommes basés sur les hypothèses présentées dans la *Circulaire du 10/05/10 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003* :

Si l'axe de circulation concerné est susceptible de connaître des embouteillages fréquemment pour d'autres causes qu'un accident de la route ou qu'un événement exceptionnel du même type, compter 300 personnes permanentes par voie de circulation et par kilomètre exposé.

Exemple : autoroute à 2 fois 3 voies : compter 1800 personnes permanentes par kilomètre).

Sinon, compter 0,4 personne permanente par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour.

Exemple : 20 000 véhicules/j sur une zone de 2 km = $0.4 * 2 * 20000/100 = 160$ personnes.

La VRU ne connaissant pas d'embouteillages fréquents pour des raisons autres que des accidents de la route (ou autre événement exceptionnel), nous avons conservé cette hypothèse de 0,4 personne/km.

◆ Dossier de presse relatif à la Voie Rapide Urbaine de Chambéry

Afin d'estimer le nombre de personnes susceptibles de se trouver dans leur véhicule sur la chaussée durant une inondation, nous avons étudié le dossier de presse intitulé « *Voie rapide urbaine de Chambéry : des mesures concrètes pour améliorer la sécurité* » (Préfecture de Savoie, 2013), qui présente des informations chiffrées sur la fréquentation de la VRU.

Sur la période 2012-2013, les informations collectées étaient les suivantes :

- Longueur du tronçon VRU : 8 km, dont 7,5 km en zone protégée
- Trafic moyen quotidien : 47 500 véhicules par sens, soit 95 000 véhicules par jour au total
- Heures de pointe :
 - Matin (7h-9h) : 3 800 à 4 300 véhicules / h
 - Soir (3 à 4 heures de pointe) : 3 800 à 4 700 véhicules/h
- Trafic moyen le samedi en période hivernale :
 - Direction du Nord : 57 800 véhicules / j
 - Direction du Sud : 59 600 véhicules / j

3.3. Zones protégées en rive droite de la Leysse

3.3.1. Territoire concerné et zones protégées associée

Le présent paragraphe se concentre sur l'étude des zones protégées situées en rive droite de la Leysse, numérotées RD1 et RD2 sur la Figure 1 ci-dessous.



Figure 1 : Zones protégées en rive droite de la Leysse

3.3.2. Estimation de la population en zone protégée

3.3.2.1. Personnes résidant dans la zone protégée

L'estimation des populations résidant dans les zones protégées RD1 et RD2 d'après les données carroyées INSEE donne les résultats suivants :

Tableau 4 : Populations résidant dans les zones protégées situées en rive droite de la Leysse

Zone protégée	Population
RD1	13
RD2	803
TOTAL	816

3.3.2.2. Personnes travaillant dans la zone protégée

L'estimation des personnes travaillant dans les zones protégées RD1 et RD2 d'après la base de données TRI-Emploi donne les résultats suivants :

Tableau 5 : Employés travaillant dans les zones protégées situées en rive gauche de la Leysse et l'Hyères

Zone protégée	Emp. min.	Emp. max.	Emp. moy.
RD1	121	202	162
RD2	4.323	7.610	5.967
TOTAL	4.444	7.812	6.128

3.3.2.3. Personnes susceptibles d'être présentes dans les ERP localisés dans la zone protégée (hors salariés)

A partir des données contenues dans la base fournie par le SDIS 73 pour les différents ERP à caractère commercial localisés en rive droite de la Leysse (Zones d'Activités des Landiers Nord et Sud), **nous estimons qu'environ 12.000 à 15000 personnes sont susceptibles d'être présentes dans ces établissements.**

Les informations que nous avons pu collecter indiquent une fréquentation de 25 à 30 000 personnes par jour le samedi soit peut être 8 à 9000 personnes instantanément, au plus fort, pour le seul Centre Chamnord.

3.3.2.4. Personnes circulant sur la Voie Rapide Urbaine

En appliquant les hypothèses mentionnées en 3.2.4, le calcul du nombre de personnes susceptibles d'y circuler à un instant donné est le suivant :

$$0.4 * 7.5 * \frac{95.000}{100} = \mathbf{2.850 \text{ personnes}}$$

3.3.2.5. Bilan

Le Tableau 6 dresse le bilan des populations potentiellement localisées dans les zones protégées en rive droite de la Leysse.

Tableau 6 : Bilan des populations potentiellement présentes dans les zones protégées situées en rive droite de la Leysse

	Population
Personnes résidant en zone protégée	816
Personnes travaillant en zone protégée (valeur moyenne)	6.128
Personnes susceptibles de se trouver dans un ERP en zone protégée	15.000
Personnes circulant sur la VRU	2.850
TOTAL	Env. 24.800

3.4. Zones protégées en rive gauche de la Leysse

3.4.1. Territoire concerné et zones protégées associées

Le présent paragraphe se concentre sur l'étude des zones protégées situées en rive gauche de la Leysse, numérotées de RG1 à RG11 sur la Figure 2 ci-dessous.

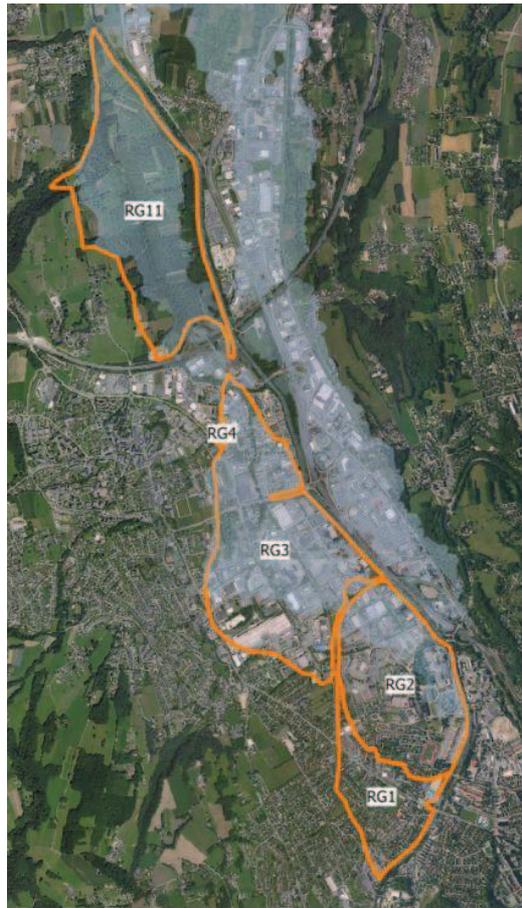


Figure 2 : Zones protégées en rive gauche de la Leysse

La zone RG11 étant occupée exclusivement par des surfaces cultivées, l'estimation des populations exposées concerne uniquement les zones RG1 à RG4.

3.4.2. Estimation de la population en zone protégée

3.4.2.1. Personnes résidant dans la zone protégée

L'estimation des populations résidant dans les zones protégées RG1 à RG4 d'après les données carroyées INSEE donne les résultats suivants :

Tableau 7 : Populations résidant dans les zones protégées situées en rive gauche de la Leysse et l'Hyères

Zone protégée	Population
RG1	833
RG2	1.498
RG3	445
RG4	786
TOTAL	3.562

3.4.2.2. Personnes travaillant dans la zone protégée

L'estimation des personnes travaillant dans les zones protégées RG1 à RG4 d'après la base de données TRI-Emploi donne les résultats suivants :

Tableau 8 : Employés travaillant dans les zones protégées situées en rive gauche de la Leysse et l'Hyères

Zone protégée	Emp. min.	Emp. max.	Emp. moy.
RG1	235	373	304
RG2	1159	2064	1611.5
RG3	3291	6161	4726
RG4	61	111	86
TOTAL	4.746	8.709	6.728

3.4.2.3. Personnes susceptibles d'être présentes dans les ERP localisés dans la zone protégée

On relève cinq ERP structurants en rive gauche de la Leysse. Le calcul des populations susceptibles de s'y trouver en cas d'inondations est détaillé dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Personnes potentiellement présentes dans les ERP situés dans les zones protégées situées en rive gauche de la Leysse et l'Hyères

Etablissement	Capacité d'accueil maximale	Fréquentation possible
Le Phare	7.229	3.615
Stade Mager	10.000	5.000
Gymnase Pierre de Coubertin	1.022	511
CFAI de l'Érier	686	686
Maison d'arrêt	119	119
TOTAL	19.056	9.931

Dans le même esprit que pour les établissements commerciaux, une hypothèse de 50% de fréquentation maximale et simultanée du Phare, du stade Mager et du Gymnase est proposée.

3.4.2.4. Personnes circulant sur les axes structurants

En rive gauche, aucun axe n'est concerné par ce calcul.

3.4.2.5. Bilan

Le Tableau 10 dresse le bilan des populations potentiellement localisées dans les zones protégées en rive gauche de la Leysse et l'Hyères.

Tableau 10 : Bilan des populations potentiellement présentes dans les zones protégées situées en rive gauche de la Leysse et l'Hyères

	Population
Personnes résidant en zone protégée	3.562
Personnes travaillant en zone protégée (valeur moyenne)	6.728
Personnes susceptibles de se trouver dans un ERP en zone protégée	9.931
TOTAL	Env. 20.200

4. Estimation des populations exposés aux inondations

Ce paragraphe présente les résultats de l'estimation du nombre de personnes susceptibles de se trouver dans les zones inondables dans les scénarios suivants :

- Crue trentennale avec rupture de digues par érosion interne en rive droite
- Crue trentennale avec rupture de digues par érosion interne en rive gauche
- Crue centennale avec rupture de digues par surverse

Ces estimations ont été réalisées indépendamment en rive droite et en rive gauche.

4.1. Populations exposées en rive droite

Le nombre de personnes potentiellement exposées en rive droite de la Leysse est donné dans le tableau suivant :

	Q30	Q100
Personnes résidant en zone inondable	387	719
Personnes travaillant en zone inondable (valeur moyenne)	3.710	3909
Personnes susceptibles de se trouver dans un ERP en zone inondable	9.081	9568
Personnes circulant sur les tronçons de la VRU en zone inondable	1.292	1.292
TOTAL	Env. 14 500	Env. 15 500

Remarque : Le scénario retenu pour la crue trentennale est le scénario avec rupture des digues par érosion interne en rive droite.

4.2. Populations exposées en rive gauche

Le nombre de personnes potentiellement exposées en rive droite de la Leysse est donné dans le tableau suivant :

	Q30	Q100
Personnes résidant en zone inondable	588	1.311
Personnes travaillant en zone inondable (valeur moyenne)	707	4.775
Personnes susceptibles de se trouver dans un ERP en zone inondable	0	686
TOTAL	Env. 1 300	Env. 6 800

Remarque : Le scénario retenu pour la crue trentennale est le scénario avec rupture des digues par érosion interne en rive gauche.

Annexes

Annexe 1 : Carte d'enjeux exposés aux inondations

Annexe 2 : Fiche indicateur P1 - Nombre de personnes habitant en zone inondable + part communale