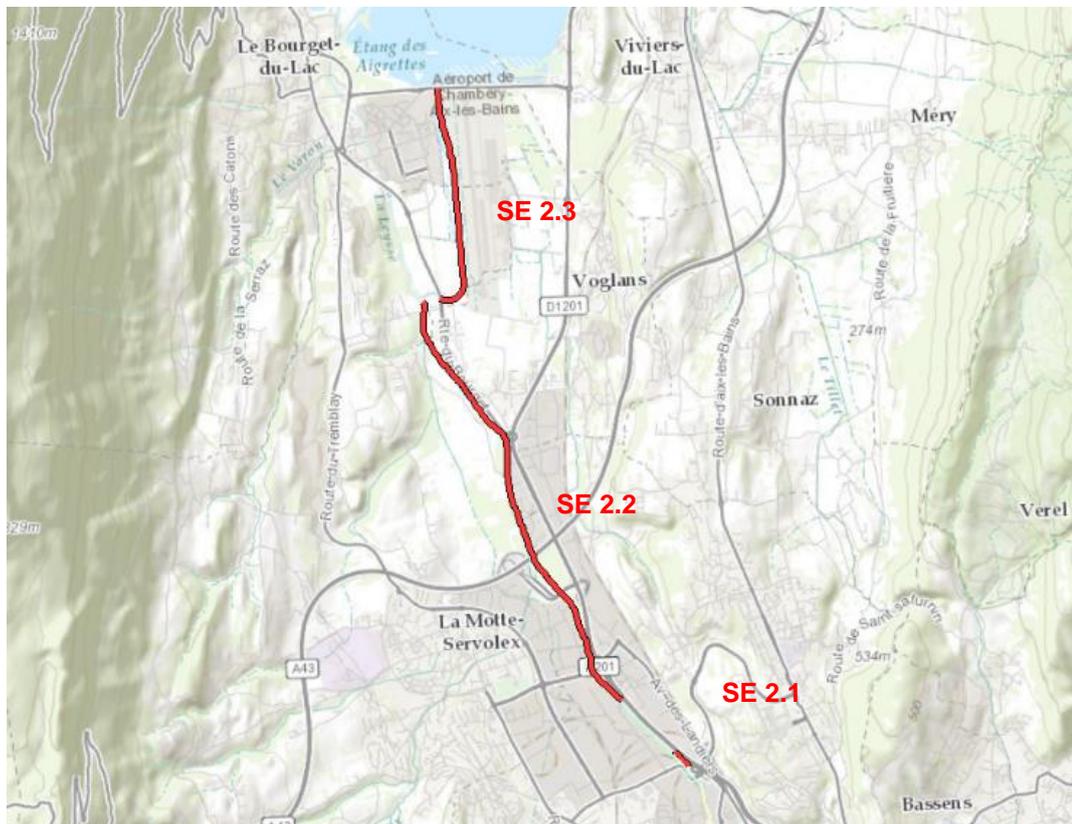


Etude pour la restauration des systèmes d'endiguement du bassin Chambérien

Etude de Dangers Système d'Endiguement SE2

Mars 2019



Documents de référence

- Code de l'environnement
- Décret n°2007-1735 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques
- Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques
- Arrêtés préfectoraux du 29 février 2008 fixant des prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques,
- Arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu,
- Circulaire du 8 juillet 2008 sur le contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques
- Arrêté du 21 mai 2010 définissant l'échelle de gravité des événements ou évolutions concernant un barrage ou une digue ou leur exploitation

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

Etude de Dangers

Système d'Endiguement SE2

DI-ECS 2016-184-02 Mars 2019

INTERLOCUTEUR DI	Sophie TROSSAT/Zoé LAURENT - 04 72 00 69 69		
	CNR Ingénierie Entité MOE : DIGP 2 rue André Bonin, 69316 Lyon cedex 04		
MAITRE D'OUVRAGE	CHAMBERY METROPOLE - Direction de la gestion des cours d'eau et protection contre les crues		
ADRESSE	106 Allée des Blachères, 73026 Chambéry		
INTERLOCUTEUR	M GUAY Christophe		
RÉFÉRENCE DU CONTRAT	Offre 5867 en date de Mars 2014 – Marché n°14063 notifié le 31/07/2014 Marché Bon de commande 18CGCE02665 de septembre 2018		
NIVEAU DE CONFIDENTIALITÉ	<input type="checkbox"/> CONFIDENTIEL	<input type="checkbox"/> INTERNE	<input checked="" type="checkbox"/> PUBLIC

CONTRÔLE QUALITÉ	NOM	DATE	SIGNATURE
RÉALISÉ PAR	Sophie TROSSAT/Zoé LAURENT	Mars 2019	
VÉRIFIÉ PAR	Jacques DE SAINT SEINE / Sophie TROSSAT	Mars 2019	
APPROUVÉ PAR	Sophie TROSSAT/Zoé LAURENT	Mars 2019	

HISTORIQUE DU DOCUMENT		
INDICE	DATE	DÉSIGNATION DE LA RÉVISION
-01	13/06/2016	Version initiale
-02	Mars 2019	Intégration des remarques de la DREAL (courrier + réunion) au titre du décret 2015-526

Sommaire

0 RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE DE DANGERS.....	17
0.1 Le contexte législatif et réglementaire	17
0.2 Présentation des ouvrages objet de l'étude	17
0.2.1 <i>Présentation des endiguements de Chambéry</i>	17
0.2.2 <i>Projet Leysse-Hyères</i>	18
0.2.3 <i>Labélisation PSR (Plans de Submersion Rapide)</i>	19
0.2.4 <i>Objectif de l'étude de dangers globale</i>	19
0.3 Zone protégée par l'endiguement SE 2	20
0.4 Niveau de protection, danger et sureté	20
0.4.1 <i>Définitions</i>	20
0.4.2 <i>Cas des digues de Chambéry</i>	21
0.5 Démarche de réalisation de l'étude de dangers	21
0.6 Résultats de l'étude de dangers des digues	23
0.6.1 <i>ERC retenus</i>	23
0.6.2 <i>Résultats des simulations</i>	23
0.6.1 <i>Résultats des simulations</i>	27
0.7 Bilan de la sûreté des endiguements	27
1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS	28
1.1 Le statut de Chambéry Métropole	28
1.2 Gestionnaires de Réseaux et propriétaires de parcelle	28
1.3 Classement des ouvrages	29
1.3.1 <i>Classement suivant le décret 2007</i>	29
1.3.2 <i>Arrêté préfectoral</i>	29
1.3.3 <i>Classement suivant le décret 2015</i>	29
1.3.4 <i>Zones protégées</i>	30
1.4 Identification du rédacteur de l'Etude de Dangers	30
1.5 Documents associés	31
2 OBJET DE L'ETUDE.....	32
2.1 Contexte	32
2.1.1 <i>Endiguements concernés</i>	32
2.1.2 <i>Projet Leysse-Hyères</i>	32
2.1.3 <i>Présentation SE2 et Zone protégée</i>	36
2.1.4 <i>Labélisation PSR (Plans de Submersion Rapide)</i>	36
2.2 Objectif de l'étude	37
2.3 PPRI	37
2.4 Caractéristiques principales du système	37
2.5 Les niveaux de protection, danger et sureté	40
2.5.1 <i>Définitions</i>	40
2.5.2 <i>Cas des digues de Chambéry</i>	40
3 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DE L'OUVRAGE DE PROTECTION ET DE SON ENVIRONNEMENT	42
3.1 Description des organes de l'ouvrage de protection	42
3.1.1 <i>Localisation</i>	42
3.1.2 <i>Sous-tronçons étudiés</i>	42
3.1.3 <i>Géométrie</i>	43
3.1.4 <i>Constitution des digues</i>	45
3.1.5 <i>Les ouvrages annexes</i>	56
3.1.6 <i>Bras de décharge</i>	64
3.2 Calculs de stabilité des digues	67
3.2.1 <i>Les mécanismes de désordres et rupture – les configurations à tester</i>	67
3.2.2 <i>Les différents comportements en phase de crue</i>	68
3.2.3 <i>Stabilité à la charge hydraulique</i>	69
3.2.4 <i>Stabilité vis-à-vis de la surverse</i>	71
3.2.5 <i>Stabilité au glissement</i>	72

3.2.6	<i>Stabilité vis-à-vis du risque d'érosion interne – gradient critique</i>	75
3.2.7	<i>Stabilité à l'érosion externe du talus amont – coté rivière</i>	79
3.2.8	<i>Bilan général sur la stabilité des digues</i>	80
3.3	Analyse fonctionnelle de l'ouvrage	83
3.3.1	<i>Analyse fonctionnelle externe</i>	84
3.3.2	<i>Analyse fonctionnelle interne</i>	84
3.4	Description de l'environnement de l'ouvrage	85
3.4.1	<i>Méthodologie de description des enjeux humains</i>	85
3.4.2	<i>Populations et infrastructures dans le périmètre d'étude</i>	85
3.4.3	<i>Estimation de la population en arrière des digues pour une crue centennale</i>	90
3.4.4	<i>Description des sources d'agression</i>	93
4	PRESENTATION DE LA POLITIQUE DE PREVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS (PPAM) ET DU SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE (SGS)	95
4.1	L'organisation de Chambéry Métropole	95
4.1.1	<i>Les missions de Chambéry Métropole</i>	95
4.1.2	<i>L'organisation de Chambéry Métropole</i>	95
4.1.3	<i>L'organisation de la direction de la gestion des cours d'eau et protection contre les crues</i>	96
4.2	L'obligation réglementaires vis-à-vis des risques	96
4.2.1	<i>Cadre réglementaire applicable à Chambéry Métropole</i>	96
4.2.2	<i>Plan de Prévention</i>	98
4.2.3	<i>Information des risques aux citoyen</i>	98
4.3	L'organisation du contrôle et de la surveillance des ouvrages	99
4.3.1	<i>Définition des états de gestion</i>	99
4.3.2	<i>Organisation générale hors crue</i>	100
4.3.3	<i>Organisation de la surveillance et de la conduite selon les états hydrométéorologiques</i>	100
4.4	Les dispositions à prendre par le gestionnaire local en cas d'évènement exceptionnel, d'anomalie ou de non-conformité	103
4.4.1	<i>Evènements exceptionnels</i>	103
4.4.2	<i>Anomalies ou non-conformités</i>	104
4.5	Les périodicités des visites	104
4.5.1	<i>Périodicité des tournées et visites pour les ouvrages</i>	104
4.5.2	<i>Périodicité de contrôle des équipements hydromécaniques</i>	105
4.6	Les conditions de réalisation des visites et contenu des rapports	105
4.6.1	<i>Contenu et périodicité des rapports de surveillance</i>	105
4.6.2	<i>Contenu, périodicité et conditions de réalisation de la visite technique approfondie</i>	105
4.6.3	<i>Contenu des Visites particulières</i>	106
4.6.4	<i>Contenu du Rapport de crue</i>	106
4.6.5	<i>Contenu du Registre</i>	106
4.6.6	<i>Dispositifs de mesure</i>	106
4.7	La maintenance et la sureté	107
4.7.1	<i>La maintenance</i>	107
4.7.2	<i>La sûreté</i>	108
4.7.3	<i>Le génie civil</i>	109
4.8	Traçabilité	109
5	IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS	110
5.1	Identification et caractérisation des potentiels de dangers liés aux ouvrages	110
5.1.1	<i>Potentils de dangers internes aux digues</i>	110
5.1.2	<i>Cas de l'endiguement 2</i>	110
5.2	Les potentiels de dangers externes	111
5.2.1	<i>Potentils de danger externes aux digues</i>	111
5.2.2	<i>Les scénarios d'érosion interne suite à une agression externe</i>	111
5.2.3	<i>Les scénarios d'érosion externe du talus amont</i>	112
5.2.4	<i>Le scénario d'érosion externe du talus aval</i>	113
5.3	Conclusion sur les principaux modes de défaillance	114
6	CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS	118

6.1	Analyse hydrologique	118
6.1.1	Les données hydrométriques.....	118
6.1.2	Régime de la Leysse.....	118
6.1.3	Débits caractéristiques de crue	119
6.1.4	Les crues historiques	120
6.1.5	Influence du lac	121
6.2	Analyse hydraulique	121
6.2.1	Le code de calculs Telemac-2D.....	121
6.2.2	Emprise du modèle.....	121
6.2.3	La topologie du modèle – les données topographiques utilisées	122
6.2.4	Modélisation des ponts et ouvrages	122
6.2.5	Le calage du modèle.....	123
6.2.6	Description de la propagation de la crue de projet et déversements.....	123
6.2.7	Influence du déversoir SE 5 et zones inondées avant l'atteinte du niveau de protection.....	129
6.2.8	Crue supérieure au niveau de protection	136
6.2.9	Crue supérieure au niveau de danger (Q1000).....	140
6.3	Les séismes	150
6.3.1	Position des ouvrages vis-à-vis des séismes	150
6.3.2	La stabilité des digues au séisme	151
6.3.3	Evolution de la réglementation	151
6.4	Les risques de mouvements de terrain.....	151
6.5	Les risques de chablis.....	151
6.6	Les évolutions morphologiques du lit.....	152
7	ETUDE ACCIDENTOLOGIQUE ET RETOUR D'EXPERIENCE	153
7.1	Présentation de la démarche.....	153
7.1.1	Obligations réglementaires.....	153
7.1.2	Méthodologie.....	153
7.2	Défaillances, accidents, incidents et évolutions lentes survenus sur les ouvrages	153
7.2.1	EISH	153
7.2.2	Crues et brèches historiques sur les systèmes	154
7.2.3	Autres Événements particuliers survenus sur le site	157
7.3	Synthèse de l'accidentologie générale	158
7.3.1	Synthèse de l'accidentologie générale au niveau de Chambéry	158
7.3.2	Conclusion et retour d'expérience.....	160
8	IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES RISQUES EN TERMES DE PROBABILITE D'OCCURRENCE, D'INTENSITE ET CINETIQUE DES EFFETS, ET DE GRAVITE DES CONSEQUENCES.....	161
8.1	Présentation de la démarche mise en œuvre.....	161
8.1.1	Principe et mise en œuvre de la méthode APR.....	161
8.1.2	Principe et mise en œuvre de la méthode des nœuds papillon	163
8.1.3	Moyens mobilisés pour dérouler la méthodologie	163
8.1.4	Cas des digues de protection contre les inondations	165
8.1.5	Evaluation de la criticité des ERC : principe et mise en œuvre	167
8.2	Présentation des résultats issus de l'analyse des risques.....	173
8.2.1	Types de situations dangereuses pouvant survenir sur les digues	173
8.2.2	Cas des systèmes des digues de protection de Chambéry.....	173
8.2.3	Accidents potentiels rencontrés sur l'ouvrage	177
8.3	Bilan de l'analyse des risques	178
8.4	Scénarios d'accidents retenus	178
8.4.1	ERC 1 : Rupture par brèche.....	178
8.4.2	ERC 2 : Rupture par surverse	181
8.4.3	ERC 3 : Rupture pour une crue supérieure à la crue de danger.....	183
8.4.4	Criticité des scénarios de rupture	183
9	ETUDE DE REDUCTION DES RISQUES.....	184
9.1	Respect des barrières de sécurités identifiées	184
9.2	Confortement des ouvrages existants	184

9.3 Niveaux de protection et danger actuels.....	185
9.4 Uniformisation du niveau de protection	185
10 CARTOGRAPHIE ET DESCRIPTION DES RESULTATS	187
10.1 Simulations des ruptures	187
10.2 Rupture par brèche SE2.2 aval – Jean Lain	187
10.3 Rupture par brèche SE2.2 aval – Rond-Point Villarcher	192
10.4 Rupture par surverse	195
ANNEXES.....	204

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des 5 systèmes d'endiguement du système global « Leysse-Hyères ».....	18
Figure 2 : Zone protégée et écoulements – SE 2	20
Figure 3 : Cartographie des écoulements – Rupture par brèche SE2. 2 aval Jean Lain – jour 2, 17h0024	
Figure 4 : Cartographie des écoulements – Rupture par brèche SE2.2 aval Rond-Point Villarcher – jour 2, 14h30.....	25
Figure 5 : Cartographie des écoulements – Rupture par surverse - Leysse – jour 2, 13h00	26
Figure 6 : Zone protégée et écoulements – SE 2	30
Figure 7 : Localisation du dispositif de protection concerné par l'étude de dangers (en noir) par rapport aux 5 systèmes d'endiguement du système global « Leysse-Hyères ».	32
Figure 8 : Secteur 9 - Principe d'aménagement.....	34
Figure 9 : Localisation des secteurs de travaux – Projet Leysse - Hyères	35
Figure 10 : Zone protégée et écoulements – SE 2	36
Figure 11 : Localisation des systèmes d'endiguements et du projet Leysse / Hyères 1/2	38
Figure 12 : Localisation des systèmes d'endiguements et du projet Leysse / Hyères 2/2	39
Figure 13 : Profil en long SE2.2 et SE2.1.....	40
Figure 14 : Profil en long SE2.2 aval.....	41
Figure 15 : Profil en long SE2.3	41
Figure 16 : Exemple de profil géophysique croisé à un sondage carotté – Digue SE 1.2.....	46
Figure 17 : Profil type – Digue SE 2.1	47
Figure 18 : Composition des digues reconstruites – Profil type 1	48
Figure 19 : Profil en travers de la composition des digues reconstruites – Profil type 2	49
Figure 20 : Profil en travers type de la composition des digues confortées.....	49
Figure 21 : Profil en travers type du corroi	50
Figure 22 : Découpage en sous tronçon – projet Leysse-Hyères – 1/2.....	51
Figure 23 : Découpage en sous tronçon – projet Leysse-Hyères – 2/2.....	52
Figure 24 : Geotech2 – secteur Rond-Point Villarcher PKL4.981 – Modèle TALREN.....	54
Figure 25 : Pont SNCF (O17) – vue amont – P67 – environ 500 m en aval du SE 2.1	56
Figure 26 : Pont Du CD 16 A (O18) – vue amont – P87 – Sous-système concerné en amont : SE 2.257	
Figure 27 : Passerelle de la Motte (O19) – vue amont – P96 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2.....	57
Figure 28 : Pont de l'échangeur (O20) – vue amont – P110 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2.....	57
Figure 29 : Passerelle de l'échangeur (O21) – vue amont – P112 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2.....	58
Figure 30 : Pont de l'A43 (O22) – vue amont – P121 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.258	
Figure 31 : Passerelle du Pré Marquis (O23) – vue amont – P123 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2.....	58
Figure 32 : Pont Tremblay – vue amont – PKL3.435 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.259	
Figure 33 : Pont Bras de décharge – vue amont – PKBDL2.435 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.3.....	59

Figure 34 : Ouvrage aval bras de décharge – vue amont – PKBDL0.036– Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.3.....	60
Figure 35 : Seuil aval Pont CD16A / seuil 11 – vue amont – P89 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2.....	61
Figure 36 : Seuil aval Echangeur Laboisse / seuil 10 – vue amont – P58 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.1.....	61
Figure 37 : Emissaire 1200 mm – vue amont – 87 – Sous-systèmes concernés : aucun	62
Figure 38 : Photo et profil en travers topographique – Ouvrage d'alimentation du bras de décharge ..	65
Figure 39 : Types de digue étudiés	67
Figure 40 : Illustration des conditions d'écoulement préférentiel sous l'ouvrage	68
Figure 41 : Mécanismes d'initiation d'érosion interne	75
Figure 42 : Analyse fonctionnelle externe	84
Figure 43 : Cartographie des ICPE présentent en zone protégée	89
Figure 44 : Zone protégée SE2 – 1/2	91
Figure 45 : Zone protégée SE2 – 2/2	92
Figure 46 : Canalisations de transport de matières dangereuses.....	94
Figure 47 : Organigramme des instances décisionnelles de Chambéry Métropole.....	96
Figure 48 : Endiguement SE2.2 aval.....	111
Figure 49 : Synthèse des Potentiels de danger – SE 2.1	115
Figure 50 : Synthèse des Potentiels de danger – SE 2.2 aval.....	116
Figure 51 : Synthèse des Potentiels de danger – SE 2.3	117
Figure 52 : Débit moyen mensuel sur la Leysse au Pont du Tremblay – Période 1969 – 2015 – Données HYDRO	119
Figure 53 : Hydrogramme de la Leysse et ces principaux affluents pour la crue de 1990	120
Figure 54 : Plan de localisation - contour extérieur du modèle en bleu et cours d'eau en violet.....	122
Figure 55 : Hyères – cartographie des débordements– t = t0+16h30	124
Figure 56 : Hyères – cartographie des débordements– t = t0+22h30	124
Figure 57 : Hyères – cartographie des débordements– t= t0+1j06h30.....	125
Figure 58 : Leysse Médiane – cartographie des débordements – t= t0+2j11h30min	125
Figure 59 : Leysse aval – cartographie des débordements – t = t0+15h50.....	126
Figure 60 : Leysse aval – cartographie des débordements – t = t0+17h30	126
Figure 61 : Leysse aval – cartographie des débordements – t = t0 + 1j01h15.....	127
Figure 62 : Leysse aval – cartographie des débordements – t = t0+1j03h30	127
Figure 63 : Leysse aval – cartographie des débordements – t = t0+1j06h30	128
Figure 64 : Leysse aval – cartographie des débordements – t = t0+2 j 11 h 30min (maximum de la crue)	129
Figure 65 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+ 15 h 50	130
Figure 66 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+ 16 h 50	130
Figure 67 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+ 19h30	131
Figure 68 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+1 j 7 h	131
Figure 69 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+1 j 8 h 30	132
Figure 70 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+1 j 9 h 30	132

Figure 71 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+2 j 11 h 30min (maximum de la crue).....	133
Figure 72 : Leysse aval – Zone inondée avant atteinte du niveau de protection – Q30 (maximum de la crue)	134
Figure 73 : Leysse aval – Zone inondée avant atteinte du niveau de protection – Q50 (maximum de la crue)	135
Figure 74 : Leysse aval – Zone inondée avant atteinte du niveau de protection – Q80 (maximum de la crue)	135
Figure 75 : Hyères – cartographie des débordements– t = t0+23h15	137
Figure 76 : Hyères – cartographie des débordements– t= t0+1j02h30.....	137
Figure 77 : Hyères – cartographie des débordements– t= t0+1j04h40.....	138
Figure 78 : Leysse Médiane – cartographie des débordements – t= t0+1j3h30min	138
Figure 79 : Leysse Médiane – cartographie des débordements – t= t0+1j10h30min	139
Figure 80 : Leysse Médiane – cartographie des débordements – t= t0+1j12h50min	139
Figure 81 : Leysse aval – cartographie des débordements – t = t0+1j05h30	140
Figure 82 : Leysse aval – cartographie des débordements – t = t0+1j13h50 (maximum de crue).....	140
Figure 83 : Leysse aval– SE2 et SE5 – Cartographie des hauteurs d'eau Q1000 – Jour 1 17h45.....	141
Figure 84 : Leysse aval – SE2 et SE5 – Cartographie des hauteurs d'eau Q1000 – Jour 1, 19h30...	142
Figure 85 : Leysse aval – SE2 et SE5 – Cartographie des hauteurs d'eau Q1000 – Jour 1, 20h30...	142
Figure 86 : Leysse aval – SE2 et SE4 – Cartographie des hauteurs d'eau - Q1000 Jour 2, 2h00.....	143
Figure 87 : Leysse aval – SE2 et SE5 – Cartographie des hauteurs d'eau - Q1000 Jour 2, 5h00.....	143
Figure 88 : Leysse aval – SE2 aval et SE5 – Cartographie des hauteurs d'eau Q1000 - Jour 2, 8h00	144
Figure 89 : Leysse amont – SE2 aval et SE5 - Cartographie des hauteurs d'eau Q1000 – Jour 2, 11h25.....	144
Figure 90 : Leysse amont – SE2 aval et SE5 - Cartographie des vitesses Q1000 – Jour 2, 11h25 ..	145
Figure 91 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 1 15h50 - Q1000.....	146
Figure 92 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 1 16h15 - Q1000.....	146
Figure 93 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 1 17h40 - Q1000.....	147
Figure 94 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 1 19h30 - Q1000.....	147
Figure 95 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 1 22h00 - Q1000.....	148
Figure 96 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 2 0h55 - Q1000.....	148
Figure 97 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 2 1h30 - Q1000.....	149
Figure 98 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Enveloppe maximale des hauteurs d'eau - Q1000	149
Figure 99 : Hyère et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3 – Vitesses maximales Q1000	150
Figure 100 : Zone de sismicité régionale	151
Figure 101 : Photo du désordre recensé dans le EISH sur le SE 2.2 amont – avril 2015	154

Figure 102 : Brèches aux digues 2.1 et 2.2 lors des crues de 1864, 1870, 1896, 1899, 1909, 1910 et 1918 (Geoportail.gouv.fr. & ACTHYS)	157
Figure 103 : Exemple de représentation graphique du nœud papillon	164
Figure 104 : Schématisation du scénario d'accident lié à la rupture par brèche	180
Figure 105 : Schématisation du scénario de rupture par surverse	182
Figure 106 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche – jour 2 – 5h20.....	188
Figure 107 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche - jour 2, 6h00	189
Figure 108 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche – jour 2, 7h20.....	189
Figure 109 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche - jour 2, 11h00	190
Figure 110 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche – jour 2, 15h30.....	191
Figure 111 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche – jour 2, 17h00 (enveloppe maximale).....	192
Figure 112 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Rond-Point Villarcher brèche – jour 2, 5h20193	
Figure 113 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Rond-Point Villarcher brèche – jour 2, 6h00193	
Figure 114 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Rond-Point Villarcher brèche – jour 2, 7h00194	
Figure 115 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Rond-Point Villarcher brèche – jour 2, 10h194	
Figure 116 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Rond-Point Villarcher brèche – jour 2, 14h30195	
Figure 117 : Cartographie des brèches – scénario rupture par surverse – 1/2	196
Figure 118 : Cartographie des brèches – scénario rupture par surverse – 2/2	196
Figure 119 : Cartographie des écoulements – Surverse – Hyères – jour 1, 16h00	197
Figure 120 : Cartographie des écoulements – Surverse – Hyères – jour1, 16h30	198
Figure 121 : Cartographie des écoulements – Surverse – Hyères – jour 1, 19h30	198
Figure 122 : Cartographie des écoulements – Surverse – Hyères – jour2, 1h50	199
Figure 123 : Cartographie des écoulements – Surverse – Hyères – jour2, 11h30 (maximum de crue)199	
Figure 124 : Cartographie des écoulements – Surverse - Leysse – jour 1, 17h20.....	200
Figure 125 : Cartographie des écoulements – Surverse - Leysse – jour 1, 18h.....	200
Figure 126 : Cartographie des écoulements – Surverse - Leysse – jour1, 18h00.....	201
Figure 127 : Cartographie des écoulements – Surverse – Leysse – jour 2, 00h30	201
Figure 128 : Cartographie des écoulements – Surverse – Leysse – jour 2, 1h45.....	202
Figure 129 : Cartographie des écoulements – Surverse - Leysse – jour 2, 2h30.....	202
Figure 130 : Cartographie des écoulements – Surverse - Leysse – jour 2, 13h00 (maximum de crue)203	

Liste des tableaux

Tableau 1 : Définitions des niveaux de crue sur le secteur SE 2. (*débit calculé par modélisation 2D au droit du pont Tremblay)	21
Tableau 2 : Échelle de gravité	22
Tableau 3 : Grille de criticité proposée	22
Tableau 4 : Grille de criticité proposée – Classement des ERC testés	27
Tableau 5 : Classement des digues de protection contre les inondations – Décret 2007-1735.....	29
Tableau 6 : Classement des digues de protection contre les inondations – Décret 2015-526.....	29
Tableau 7 : Numérotation des secteurs de travaux et état d’avancement.	34
Tableau 8 : Présentation des systèmes d’endiguement et des tronçons (en rouge) concernés par le projet Leysse-Hyères	37
Tableau 1 : Définitions des niveaux de crue sur le secteur SE 2. (*débit calculé par modélisation 2D au droit du pont Tremblay)	42
Tableau 10 : Linéaire par communes des sous-systèmes d’endiguement étudiés	42
Tableau 11 : Caractéristiques profils types – Système 2.1	43
Tableau 12 : Géométrie des digues – Secteur SE 2.2 aval	45
Tableau 13 : Géométrie des digues – Système 2.3	45
Tableau 14 : Caractéristiques mécaniques des sols retenus pour les calculs – système 2.1	47
Tableau 15 : Répartition des types de travaux effectués par secteur.	47
Tableau 16 : Profil en travers de la composition des digues reconstruites – Profil type 1.....	48
Tableau 17 : Composition des digues reconstruites – Profil type 2	49
Tableau 18 : Composition des digues confortées – Profil type	49
Tableau 19 : Composition du corroi	50
Tableau 20 : Caractéristiques mécaniques des sols retenus pour les calculs – système 2.2 aval	53
Tableau 21 : Caractéristiques mécaniques des sols retenus pour les calculs – système 2.3	54
Tableau 22 : Désordres observés – Système 2.1	55
Tableau 23 : Désordres observés – Système 2.2 aval	55
Tableau 24 : Désordres observés – Système 2.3	56
Tableau 25 : Caractéristiques des ponts et passerelles sur la zone d’étude.....	60
Tableau 26 : Caractéristiques des seuils transversaux sur la zone d’étude	61
Tableau 27 : Réseaux traversants présents sur le système 2.1	62
Tableau 28 : Réseaux présents sur le système 2.2 aval	63
Tableau 29 : Réseaux présents sur le système 2.3	64
Tableau 30 : Répartition des débits et gestions des clapets – Ouvrage de décharge.....	66
Tableau 31 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers de la digue – S2.1	70
Tableau 32 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers de la digue – S2.2 amont ...	70
Tableau 33 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers de la digue – S2.2 aval	70
Tableau 34 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers la digue – S2.3	71
Tableau 35 : Points de surverse sur les digues	72
Tableau 36 : Coefficients partiels et de modèle – ELU stabilité d’ensemble (glissement)	73

Tableau 37 : Coefficients de sécurité calculés - Etude de la stabilité au glissement – Système 2.1.....	73
Tableau 38 : Coefficients de sécurité calculés - Etude de la stabilité au glissement – système 2.2 amont	74
Tableau 39 : Coefficients de sécurité calculés - Etude de la stabilité au glissement – système 2.2 aval	74
Tableau 40 : Coefficients de sécurité calculés – Etude de la stabilité au glissement – système 2.3	75
Tableau 41 : Synthèse de l'érosion interne – Système 2.1	77
Tableau 42 : Synthèse de l'érosion interne – Système 2.2 aval	78
Tableau 43 : Synthèse de l'érosion interne – Système 2.3.....	79
Tableau 44 : Synthèse des risques de ruptures – système 2.1	81
Tableau 45 : Synthèse des risques de ruptures – système 2.2 amont.....	82
Tableau 46 : Synthèse des risques de ruptures par tronçons – système 2.2 aval	82
Tableau 47 : Synthèse des risques de ruptures – système 2.3	83
Tableau 48 : Enjeux recensés dans la zone d'étude.....	85
Tableau 49 : Typologie des bâtiments d'habitation recensés dans la zone d'étude	86
Tableau 50 : Typologie des principales activités rencontrées dans le territoire d'étude.....	86
Tableau 51 : Typologie des surfaces cultivées	87
Tableau 52 : Caractéristiques des ICPE présents sur la zone protégée	88
Tableau 53 : Nombre maximum potentiellement impacté par une crue de la Leysse sur le secteur d'étude.....	90
Tableau 54 : Communes constituant Chambéry Métropole.....	95
Tableau 55 : Obligation du gestionnaire d'un système d'endiguement Décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007.....	97
Tableau 56 : Obligation du gestionnaire d'un système d'endiguement Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015.....	98
Tableau 57 : Périodicité des tournées	104
Tableau 58: Identification et caractérisation des potentiels de dangers permettant la libération de tout ou partie de l'eau	110
Tableau 59: Conduites traversantes sur le secteur d'étude.....	112
Tableau 60 : Stations limnimétriques sur le bassin de la Leysse.....	118
Tableau 61 : Débits de pointe sur la Leysse et ces principaux affluents	119
Tableau 62 : Débits des crues de 1990, 1991 et 1992 des cours d'eau sur le bassin chambérien.....	121
Tableau 63 : Lignes d'eau du lac	121
Tableau 64 : Déversements – Etat avec projet Leysse Hyères sans rupture	123
Tableau 65 : Déversements – Etat avec projet Leysse Hyères sans rupture – Q200	136
Tableau 66 : Plus forts séismes ressentis sur les départements Savoie et Haute Savoie depuis 1992	158
Tableau 67 : Formalisme d'un tableau d'Analyse Préliminaire des Risques (APR)	162
Tableau 68 : Identification des Situations dangereuses et Potentiels de dangers pouvant intervenir sur une digue de protection contre les inondations.....	166
Tableau 69 : Échelle de probabilité de l'évènement initiateur	167
Tableau 70 : Barrières de sécurité et niveau de confiance	169
Tableau 71 : Probabilité d'occurrence d'un évènement	170
Tableau 72 : Échelle de gravité	171

Tableau 73 : Grille de criticité proposée	172
Tableau 74 : Situations dangereuses sur les endiguements 1/3	173
Tableau 75 : Situations dangereuses sur les endiguements 2/3	174
Tableau 76 : Situations dangereuses sur les endiguements 3/3	174
Tableau 77 : Localisation des brèches	177
Tableau 78 : Elément initiateur et Situations dangereuses sur les endiguements ERC1 – Rupture par brèche.....	178
Tableau 79 : Elément initiateur et Situations dangereuses sur les endiguements ERC2 – Rupture par surverse.....	181
Tableau 80 : Criticité des scénarios	183
Tableau 1 : Définitions des niveaux de crue sur le secteur SE 2. (<i>*débit calculé par modélisation 2D au droit du pont Tremblay</i>)	185
Tableau 82 : Temps de début de rupture des surverses	195

Sigles et Acronymes

[AF]	Analyse Fonctionnelle
[APR]	Analyse Préliminaire des risques
[CNR]	Compagnie Nationale du Rhône
[DA]	Document Associé
[DDT]	Direction Départementale des Territoire
[DI-ECS]	Direction de l'Ingénierie de la CNR – Etude Conception Service
[DI-CEN]	Direction de l'Ingénierie de la CNR – Cours d'Eau et Navigation
[EISH]	Evènement Important pour la Sûreté Hydraulique.
[EPCI]	établissement public de coopération intercommunale
[ERC]	Evènement Redouté Central
[GTR]	Guide Terrassement Routier
[FC]	Fonction de Contrainte
[FP]	Fonction Principale
[ICPE]	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
[INB]	Installation Nucléaire de Base
[NC]	Niveau de Confiance
[PAPI]	Programme d'actions de prévention des inondations
[PJ X]	Pluie maximale journalière de période de retour X années
[PK]	Point Kilométrique
[PCS]	Plan Communal de Sauvegarde
[PSR]	Plan Submersion Rapide
[PSH]	Précurseur de la Sûreté Hydraulique
[RS]	Rapport de Surveillance
[SE]	Système d'Endiguement
[SGS]	Système de Gestion de la Sécurité
[SICEC]	Syndicat Intercommunal des Cours d'Eau du bassin Chambérien
[TMD]	Transport de Matières Dangereuses
[TN]	Terrain Naturel
[TRI]	Territoire Risque Inondation
[VRU]	Voie Rapide Urbaine
[VTA]	Visites Techniques Approfondies

Documents associés

- [DA1] Décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement
- [DA2] Circulaire du 16 avril 2010 relative aux études de dangers des digues de protection contre les inondations fluviales
- [DA3] Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques
- [DA4] Arrêté préfectoral n° Préfectoral DDT/SEEF n°2012-322 et n°2012-323 de notification du classement des digues en B
- [DA5] Etude pour la restauration des systèmes d'endiguement du bassin Chambérien - Consigne de surveillance générale et système 2. En Période Normale et En crue - Octobre 2015 – CNR pour Chambéry Métropole – DI-IEH 2015-363-03
- [DA6] 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
- [DA7] Phase 1 du TRI « Réalisation des Prestations nécessaires à l'élaboration des cartes de surfaces inondables pour la cartographie des inondations dans le cadre de la directive inondation » – Hydrolac pour DDT Savoie – octobre 2013
- [DA8] BEGUIN R., Étude multi-échelle de l'érosion de contact au sein des ouvrages hydrauliques en terre, Thèse, 2011
- [DA9] MALLET T., DEGOUTTE G., ROYET P., Niveaux de protection, de sûreté et de danger pour les digues fluviales : définitions, conséquences et responsabilités, Colloque sur les Dignes maritimes et fluviales de protection contre les submersions, Aix-en-Provence, 12-14 Juin 2013
- [DA10] Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai. Comité Français des Barrages et Réservoirs. DRAFT Juin 2010
- [DA11] Etude d'avant-projet – Volet hydraulique et hydro-morphologique – Projet d'aménagement hydraulique de la zone de confluence Leysse-Hyères – Hydrolac pour Chambéry Métropole - 2009
- [DA12] Etude historique – Etude pour la restauration des systèmes d'endiguement du bassin Chambérien – Rapport principal, FIH par systèmes d'endiguement, note complémentaire et annexes – Acthys Diffusion pour Chambéry Métropole – Octobre 2015
- [DA13] Dossiers d'ouvrages – Etude pour la restauration des systèmes d'endiguement du bassin Chambérien –CNR pour Chambéry Métropole – Octobre 2015
- [DA14] DECLARATION - EISH SE2 T2 030415 –Chambéry Métropole – 2 avril 2015 et Courrier de réponse DREAL Direction Sûreté des Ouvrages Hydraulique du 15 avril 2015
- [DA15] Etude du Schéma Général de gestion du risque d'inondation sur l'Agglomération Chambérienne - Phase 1 : Position du Problème - Phase 2 : Etude des scénarios Hydrolac – Avril 1999
- [DA16] Etude de danger du Dossier PSR des aménagements de Tranche 2 prévus sur la Leysse – Note de vulnérabilité – N° 14A026 – Décembre 2015

Site internet de référence

- [W1] <http://www.chambery-metropole.fr/11-organisation-politique-de-la-communaute-d-agglomeration.htm>
- [W2] http://www.chambery-metropole.fr/uploads/Externe/9f/PUB_FICHER_165_1398757201.pdf
- [W3] <http://www.legifrance.gouv.fr>
- [W4] <http://www.franceseisme.fr/donnees/intensites/carte.php>
- [W5] <http://www.savoie.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-risques-naturels-et-technologiques/Risques-naturels-et-technologiques/Les-risques-majeurs/Dossier-departemental-des-risques-majeurs>
- [W6] http://www.chambery.fr/uploads/Externe/92/EJO_PDF_84_1328096299.pdf

0 RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE DE DANGERS

0.1 Le contexte législatif et réglementaire

La loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 et les décrets n°2007-1735 et n°2015-526 rénovent en profondeur les règles de sécurité et de sûreté des ouvrages hydrauliques (barrages de retenue et digues de protection des populations).

Ces textes posent le principe d'un recensement des ouvrages hydrauliques et imposent aux propriétaires, exploitants ou concessionnaires d'une digue de classe A, B, ou C, une étude de dangers.

Cette étude doit exposer les risques que présentent les ouvrages pour la sécurité publique, directement ou indirectement, en cas d'accident. Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité d'occurrence de ces accidents potentiels et les effets de ces accidents.

0.2 Présentation des ouvrages objet de l'étude

0.2.1 Présentation des endiguements de Chambéry

D'une manière générale les digues de protection ont pour fonction principale de retenir les eaux des cours d'eau en crue. Celles qui font l'objet de cette étude (système d'endiguement) s'inscrivent dans un ensemble plus global de 5 systèmes SE 1 à SE 5 qui constituent le dispositif de protection de l'agglomération chambérienne contre les inondations de la Leysse et de l'Hyères. Le plan suivant présente l'ensemble de ces tronçons et la localisation globale du projet.

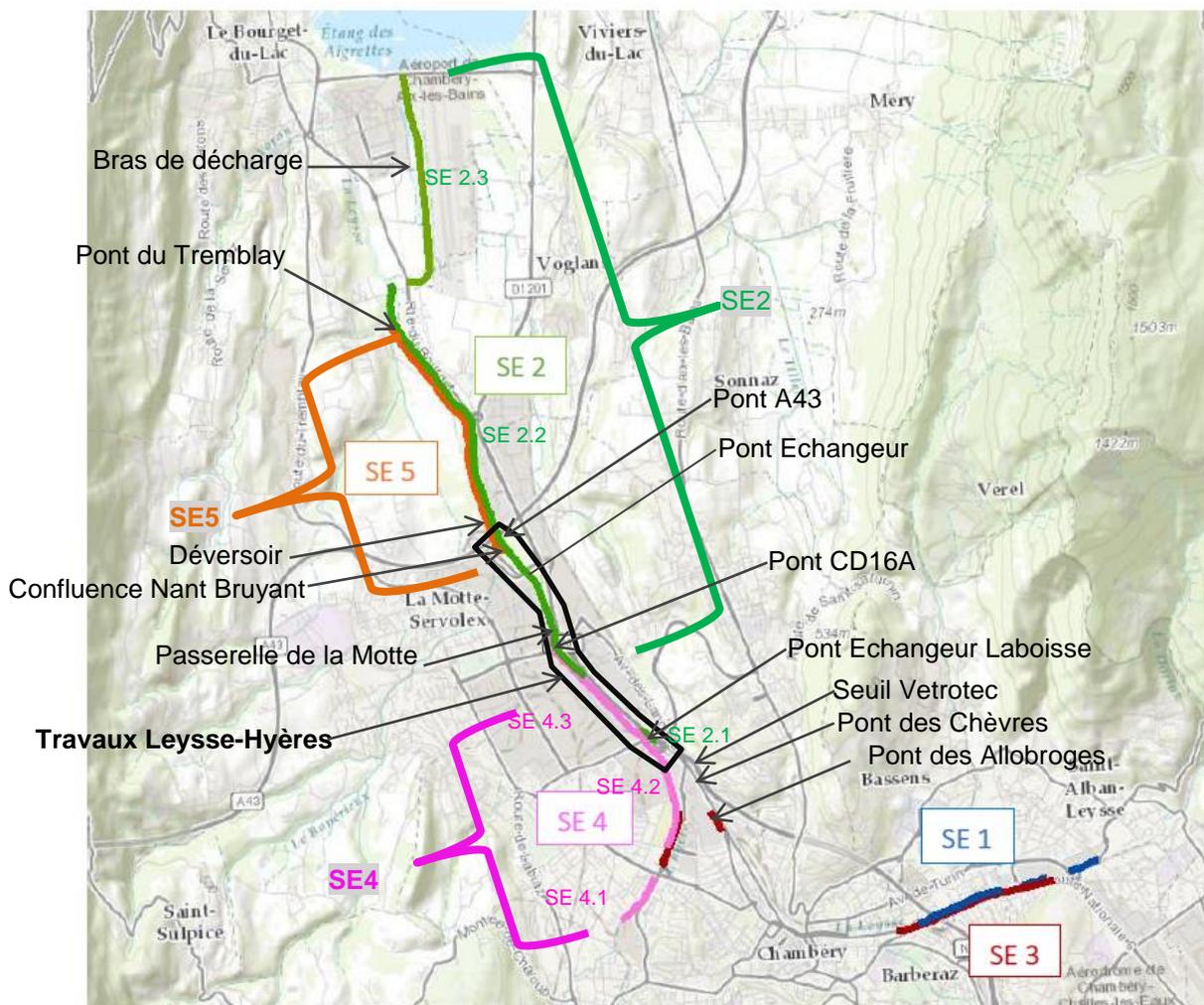


Figure 1 : Localisation des 5 systèmes d'endiguement du système global « Leysse-Hyères ».

0.2.2 *Projet Leysse-Hyères*

L'étude du schéma général de gestion du risque d'inondation sur l'agglomération chambérienne, réalisée en 2000 par Hydrolac et CNR pour le SICEC (nouvellement Chambéry Métropole), a mis en évidence les faiblesses du système de protection des digues chambériennes contre les inondations de la Leysse et de l'Hyères. Un certain nombre de scénarios d'aménagement a été testé afin d'améliorer la protection de l'agglomération. Le scénario principal retenu permet de satisfaire les exigences suivantes :

- Suppression des points de débordement pour des **crues de période de retour de 100 ans** avec prise en compte d'une revanche de 30 cm entre la crête des endiguements (cru de danger) et la crue de projet (cru de protection) ;
- Réduction significative du risque de mise en charge de l'ouvrage de couverture de la Leysse ;
- Dimensionnement des nouveaux ouvrages hydrauliques franchissant la Leysse (siphons).

Le projet d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères se concentre sur la Leysse depuis le pont des Allobroges jusqu'à l'aval de l'A43 (cf. Annexe 1 : Plan d'ensemble de l'aménagement)

Annexe 2 : Cartographies des propriétaires des parcelles

Annexe 3 : Diagnostic géotechnique de la digue SE 2

Annexe 4 : Analyse fonctionnelle des ouvrages

Annexe 5 : Plans des stations hydrométriques

Annexe 6 : Calage du modèle Hydraulique

Annexe 7 : Echelle de magnitude et classe des séismes

).

Une partie des travaux a déjà été engagée en 2015. Une autre partie est en cours de réalisation et sera terminée d'ici à fin 2017.

De l'amont vers l'aval, les travaux consistent principalement à :

- Réduire les déversements au droit du pont des Chèvres en abaissant le lit de la rivière d'environ 1.5 m depuis le pont des Allobroges jusqu'au seuil Vetrotec (amont direct de la confluence Leysse-Hyères).
- Elargir le lit de la Leysse :
 - En rive gauche (SE 4.3), de l'aval du pont de l'échangeur Laboisse jusqu'à l'aval du Pont SNCF, et entre le pont de l'échangeur et le pont de l'A43 ;
 - En rive droite (SE 2.2 amont), de l'amont du pont CD16A jusqu'au pont de l'échangeur ;
- Conforter les digues et berges (SE 2.2 amont, SE 4.3 et SE 5) quasiment sur tout le linéaire de l'amont du pont du CD16 A jusqu'à l'A43 sur les deux rives.
- Créer un ouvrage de déversement des eaux (SE5) en rive gauche en aval de l'A43.
- Renaturer écologiquement le cours d'eau sur tout le linéaire des travaux.

Ce projet concerne les secteurs SE 2.2 amont et SE 2.1.

0.2.3 Labélisation PSR (Plans de Submersion Rapide)

La labélisation PSR est nécessaire à l'obtention des subventions pour financer les travaux du projet Leysse-Hyères. En annexe du dossier « Label PSR » présenté par Chambéry Métropole en décembre 2015, une étude de dangers partielle traitant les secteurs SE 4.3 et SE 2.2 amont a été transmise au service de l'état. Cette étude de dangers traitait conjointement l'état initial avant aménagement et état aménagé avec les travaux de la confluence Leysse-Hyères. Les services de l'état ont émis un certain nombre de remarques dans un courrier du 13 avril 2016 à intégrer dans l'étude de dangers globale.

0.2.4 Objectif de l'étude de dangers globale

Dans ce contexte de labélisation et conformément aux articles R 214-115 à R. 214-117 du code de l'environnement, à l'arrêté du 12 juin 2008 [DA2] et à la circulaire du 16 avril 2010 [DA3], définissant le plan de l'étude de dangers relatif à la sécurité et à la sûreté des digues de protection, Chambéry Métropole, en tant que gestionnaire, réalise une série de 4 études de dangers sur ses 4 endiguements classés ou identifiés comme ouvrage B. Etant donné l'enchaînement de l'étude générale, les études de dangers des systèmes suivants sont menées en premier lieu :

- Rive droite de la Leysse : Système d'endiguement SE 2 ;
- Rive gauche de l'Hyères et de la Leysse : Système d'endiguement SE 4.

Le document concerne l'étude de dangers du système d'endiguement SE 2 classé B par arrêté préfectoral (cf. §1.2).

La présente étude de dangers traite de l'état actuel des ouvrages ce qui correspond à :

- L'état aménagé par le projet Leysse-Hyères sur le secteur SE2.2 amont et SE 2.1 ;
- L'état initial pour le secteur SE2.2 en aval de l'A43 et sur le secteur SE2.3.

A noter que le tronçon SE 5, étant classé D par l'arrêté n°2012-321, ne fait pas partie de cette étude de dangers. La mise en place d'un seuil déversant sur cet endiguement ne remet pas en cause son classement (cf. 6.2.7).

0.3 Zone protégée par l'endiguement SE 2

La zone protégée par le système SE2 a été définie par la DDT 73 en annexe de l'arrêté de classement des digues [DA4] à partir des résultats de modélisation du TRI. Les limites du SE2 ont été validées avec les services de l'état et DDT sur le terrain. La modélisation 2D réalisée dans le cadre de la présente EDD confirme cette zone protégée puisque l'emprise des inondations résultant des brèches simulées est globalement incluse dans cette zone protégée.

Le système SE2 comprend 3 sous-systèmes (SE2.1, SE2.2 et SE2.3) et protège la plaine alluviale de la Leysse aval. Le linéaire total de ce système est de 8 km. Les débordements par-dessus les endiguements s'écoulent ensuite dans la plaine du Belle-Eau (appelée aussi plaine des Landiers). La plaine de Belle-Eau et le talweg naturel de la Leysse débouchent dans le lac du Bourget.

Le SE2 protège une surface de 6,44km², et une population d'environ 1 200 habitants (comptage des habitants suivant le décret 2007). Les principaux enjeux sont les zones d'activités et commerciales des Landiers situées sur les communes du Bourget-du-Lac, Chambéry, la Motte Servolex, Voglans et Viviers-du-Lac. La description précise des enjeux est présentée dans le paragraphe 3.4.

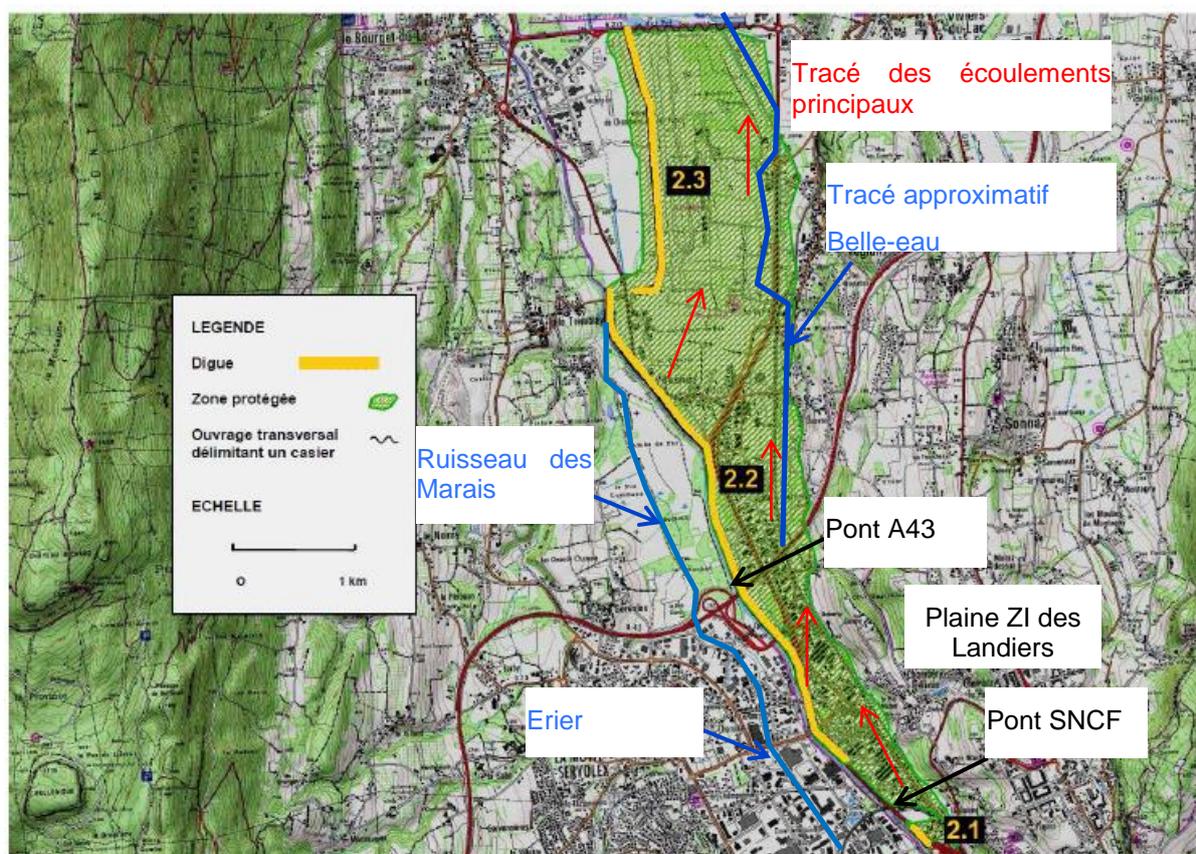


Figure 2 : Zone protégée et écoulements – SE 2

0.4 Niveau de protection, danger et sureté

0.4.1 Définitions

En crue, différents niveaux d'eaux sont identifiés réglementairement :

- Niveau de sureté : Situation jusqu'à laquelle la probabilité de rupture de la digue est négligeable (bornée à 5% par la réglementation) ;
- Niveau de protection : Niveau relevant d'un engagement du maître d'ouvrage, ce niveau est inférieur ou égal au niveau de sureté.
- Niveau de dangers : Situation au-delà de laquelle la rupture de l'ouvrage est quasi-certaine (bornée à 50% par la réglementation).

Deux typologies d'endiguement sont distinguées :

Cas 1 : Dignes état actuel en mauvais état. Dans ce cas la rupture de l'ouvrage peut se produire avant la surverse par-dessus l'ouvrage

Cas 2 : Dignes rénovées ou projet. Le risque de rupture peut apparaître principalement du fait d'une surverse.

0.4.2 Cas des digues de Chambéry

Le tableau suivant présente les niveaux de sureté, protection (ou protection apparent pour le cas des digues dégradées) et niveau de danger conformément aux nouvelles recommandations du décret 2015.

Digue	Etat de la digue	Niveaux d'eau correspondant	Niveau de sureté	Niveau de protection	Niveau de danger
SE2.1	Digue reconstruire ou confortée	Cas 2	Q100	Q100	Q200 (385 m ³ /s)*
SE2.2 amont	Digue reconstruire ou confortée	Cas 2	Q100 (368 m ³ /s)*	Q100	Q200
SE2.2 aval	Digue dégradée	Cas 1	Q10 (193 m ³ /s)*	Q10	Q30 (286 m ³ /s)*
SE2.3	Digue récente	Cas 2	Q100	Q100	Q200

Tableau 1 : Définitions des niveaux de crue sur le secteur SE 2. (*débit calculé par modélisation 2D au droit du pont Tremblay)

Le niveau de protection a été choisi équivalent au niveau de sûreté.

Dans le cas des digues récentes. Il est associé à la Q100. Au-delà de Q200, le niveau de danger est atteint.

Il a été choisi de retenir un niveau de sureté bien inférieur pour les digues anciennes, à savoir Q10. Au-delà de Q30, il est pris comme hypothèse qu'une brèche est susceptible de se créer sur le SE2.2 aval, comme ce fut le cas pour la crue de 1990.

0.5 Démarche de réalisation de l'étude de dangers

L'étude de dangers des digues de protection du système d'endiguement de Magland doit exposer les risques que présentent ces ouvrages pour la sécurité publique, directement ou indirectement en cas d'accident.

Deux accidents potentiels génériques peuvent avoir une incidence sur la population avoisinante. Il s'agit de :

- la rupture des digues par brèches ;
- la rupture des digues par surverse.

L'identification des différentes causes possibles de ces accidents potentiels est au cœur de l'étude de dangers. Il s'agit de toutes les identifier.

La méthode utilisée, qui vise à l'identification exhaustive des scénarios de défaillances, part du constat que les accidents potentiels identifiés sont les résultats d'un dysfonctionnement d'un ou de plusieurs ouvrages couplés à un épisode climatique plus ou moins important.

Une fois l'identification menée, on adjoint à chacune de ces situations dangereuses, une criticité qui est définie par un couple de valeurs : la fréquence d'apparition de la situation dangereuse ou probabilité et la gravité de l'accident associé, évaluée en fonction du nombre de personnes impactées.

Plus précisément, la gravité G des conséquences est qualifiée au regard :

- de l'importance des enjeux (populations) ;

Classes de gravité des conséquences (par ordre décroissant)	Nombre de personnes exposées en zone à cinétique rapide	Nombre de personnes exposées en zone à cinétique lente
5. désastreux	≥ 1000	≥ 10000
4. catastrophique	≥ 100 et < 1000	≥ 1000 et < 10000
3. important	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1000
2. sérieux	≥ 1 et < 10	≥ 10 et < 100
1. modéré		≥ 1 et < 10

Tableau 2 : Échelle de gravité

- de l'intensité de l'onde de submersion évaluée par sa hauteur sur la base des résultats des simulations des écoulements du cours d'eau par modèles mathématiques hydrauliques (voir §10) ;
- de la cinétique du phénomène hydraulique évaluée par le temps de propagation de l'onde.

Le croisement probabilité / gravité permet de définir la criticité d'une situation dangereuse en fonction de 3 zones :

- la zone du risque acceptable** pour laquelle l'ouvrage est réputé sûr compte tenu de la nature des dangers, des conséquences potentielles et, le cas échéant, des mesures nominales existantes (procédures d'exploitation, de maintenance, de surveillance...), celles-ci ayant démontré leur efficacité. Dans ce cas, aucune mesure supplémentaire de réduction du risque n'est donc nécessaire.
- la zone du risque intermédiaire** pour laquelle les situations localisées dans cette zone font l'objet de mesures exceptionnelles, ciblées, telle qu'une surveillance renforcée,.... Les actions à mener par le responsable de l'ouvrage doivent aboutir à un niveau de risque aussi bas qu'il est raisonnablement possible.
- la zone du risque inacceptable** pour laquelle l'exploitant doit proposer des mesures de réduction du risque, lesquelles, une fois mises en œuvre, réduiront de manière conséquente soit la probabilité d'occurrence de l'accident, soit son niveau de gravité, voire les deux.

La grille de criticité suivante est retenue dans le cadre de la présente étude de dangers :

Criticité	Probabilité d'occurrence du scénario			
	Très peu probable (inférieur à 5.10^{-3})	Peu probable (entre 0.01 et 5.10^{-3} exclus)	Possible (entre 0.1 et 0.01 exclus)	Probable (supérieure à 0.1)
Probabilité limite	5.10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1
5				
4				
3				
2				
1				

Tableau 3 : Grille de criticité proposée

On constate qu'au-delà de l'évènement de période de retour de 200 ans (probabilité de 5.10^{-3}), l'évènement est considéré de criticité acceptable quel que soit la gravité qui lui est associée. La crue de danger de période de retour 200 ans a ainsi été retenue pour cet aménagement, la crue de projet générale de la Leysse étant la crue d'occurrence centennale.

0.6 Résultats de l'étude de dangers des digues

0.6.1 ERC retenus

L'analyse de la stabilité des ouvrages du système SE 2 conclut sur leur instabilité à l'érosion interne, à l'érosion externe et aux glissements sur certaines portions pour des crues inférieures à la crue centennale. Parmi toutes les situations dangereuses à l'origine des deux accidents potentiels identifiés ou événements redoutés centraux (ERC) – rupture par brèche ou rupture par surverse - seules sept d'entre elles ont été retenues, les autres ayant été écartées du fait de leur faible probabilité d'occurrence. Elles sont réparties de la façon suivante :

- ERC1 - brèches : à l'origine de la rupture de la digue par brèche, six situations dangereuses ont été identifiées :
 - Une érosion externe du talus amont du fait de fortes vitesses en crue,
 - Un affouillement du fait des fortes vitesses en pied de talus,
 - La formation d'un conduit préférentiel des eaux par les racines,
 - Une fuite ou rupture d'une canalisation traversant le corps de la digue,
 - La formation d'un renard du fait d'une érosion interne (suffusion ou érosion de contact),
 - Un glissement du talus aval du fait d'une charge hydraulique importante ;
- ERC2 - surverse : à l'origine de la rupture par surverse, la situation dangereuse identifiée est :
 - Une crue supérieure à la crue de danger des ouvrages.

Ces situations ont été cotées afin d'évaluer leur criticité selon 2 critères :

- La probabilité d'occurrence initiale de l'évènement, associée à la crue à l'origine de la transformation de cette situation dangereuse en accident.
- La gravité des conséquences en considérant la cinétique et l'intensité de l'onde issues de la rupture de la digue.

A noter, que conformément au courrier de la DREAL reçu le 13 avril 2016, un ERC a été rajouté pour étudier la crue supérieure à la crue de danger.

- ERC3 – crue supérieure à la crue de danger.

Les ERC testés sont localisés aux points suivants :

- ERC brèche :
 - SE2.2 aval au niveau de Jean Lain PKL6.12 ;
 - SE2.2 aval au niveau du Rond-Point de Villarcher PKL5.05.
- ERC surverse :
 - SE2.2 aval au droit du PKL3.9.
- ERC crue supérieure à crue de danger.

De cette analyse, il ressort que 3 scénarios de risques, ERC brèche SE2.2 aval Jean Lain, ERC brèche SE2.2 Rond-point Villarcher et ERC surverse, sont jugés comme étant **inacceptables**.

0.6.2 Résultats des simulations

Cas de la rupture par brèche :

SE 2.2 aval - Jean Lain :

La probabilité de l'évènement est de 10^{-1} (crue de l'ordre de Q30 correspondant à la crue de 1990).

Les barrières de sécurités permettant de décaler l'évènement à 10^{-2} sont la surveillance en crue et l'intervention d'une entreprise de Travaux Public sachant qu'un stock de matériaux est à disposition. Ces deux barrières ont à elles-deux un indice de confiance de 1.

Les secteurs vulnérables sont la ZI des Landiers et la plaine du Belle Eau en aval de l'A43 en cas de rupture des endiguements. Le nombre de personnes directement exposées à l'onde de submersion étant supérieur à 1 000, conduisant à une gravité de 5, et l'onde de submersion étant de faible intensité et la cinétique rapide, la criticité de ce scénario n'est pas acceptable.

La carte de la Figure 3 présente un aperçu du scénario de propagation de l'onde et les contours de la zone inondée.

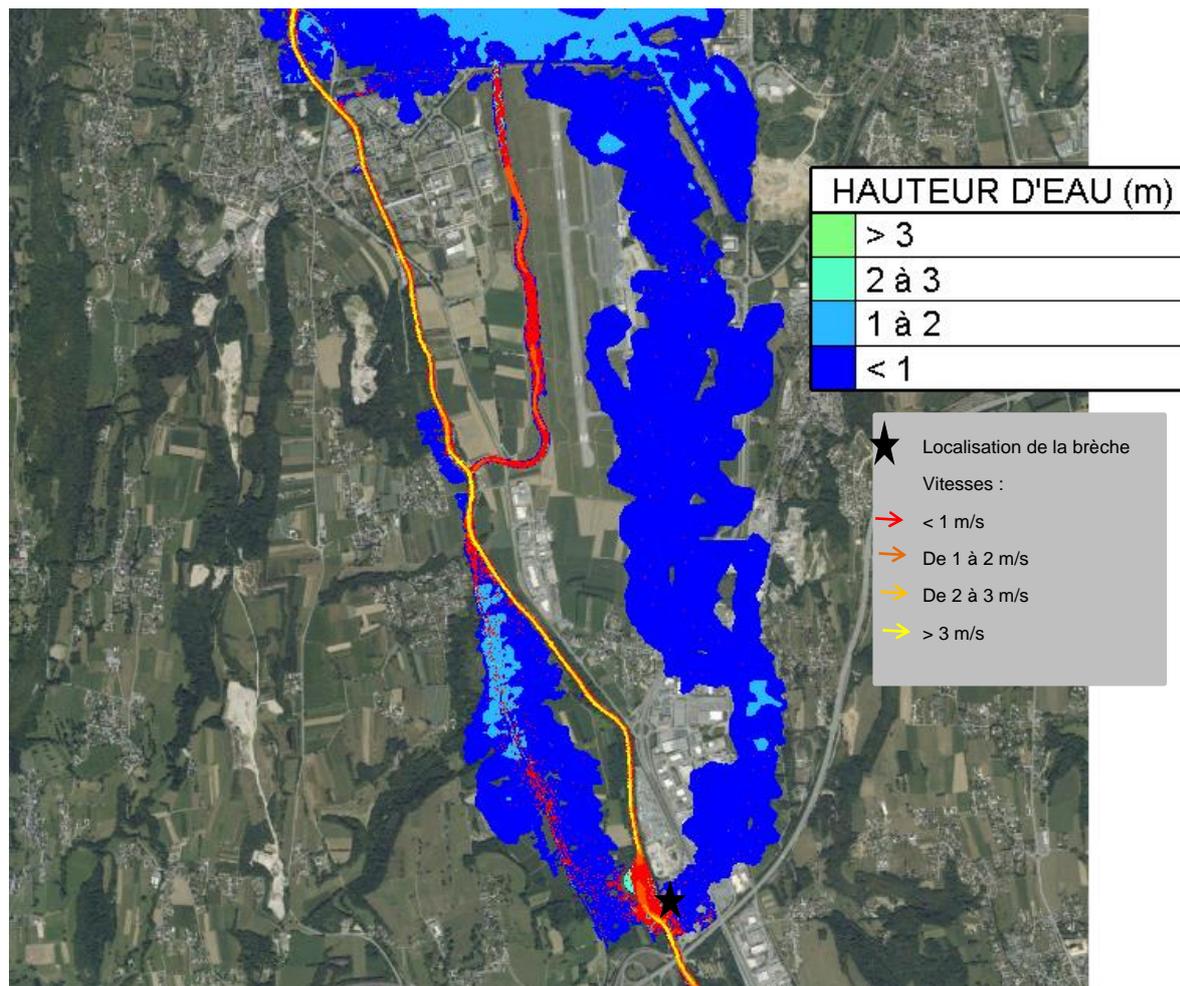


Figure 3 : Cartographie des écoulements – Rupture par brèche SE2. 2 aval Jean Lain – jour 2, 17h00

SE 2.2 aval – Rond-Point Villarcher :

La probabilité de l'évènement est de 10^{-1} (crue de l'ordre de Q30 correspondant à la crue de 1990).

Les barrières de sécurités permettant de décoter l'évènement à 10^{-2} sont la surveillance en crue et l'intervention d'une entreprise de Travaux Public sachant qu'un stock de matériaux est à disposition. Ces deux barrières ont à elles-deux un indice de confiance de 1.

Les secteurs vulnérables sont la ZI des Landiers et la plaine du Belle Eau en aval de l'A43 en cas de rupture des endiguements. Le nombre de personnes directement exposées à l'onde de submersion étant supérieur à 1 000, conduisant à une gravité de 5, l'onde de submersion étant de faible intensité et la cinétique rapide, la criticité de ce scénario n'est pas acceptable

La carte de la Figure 4 présente un aperçu du scénario de propagation de l'onde et les contours de la zone inondée.

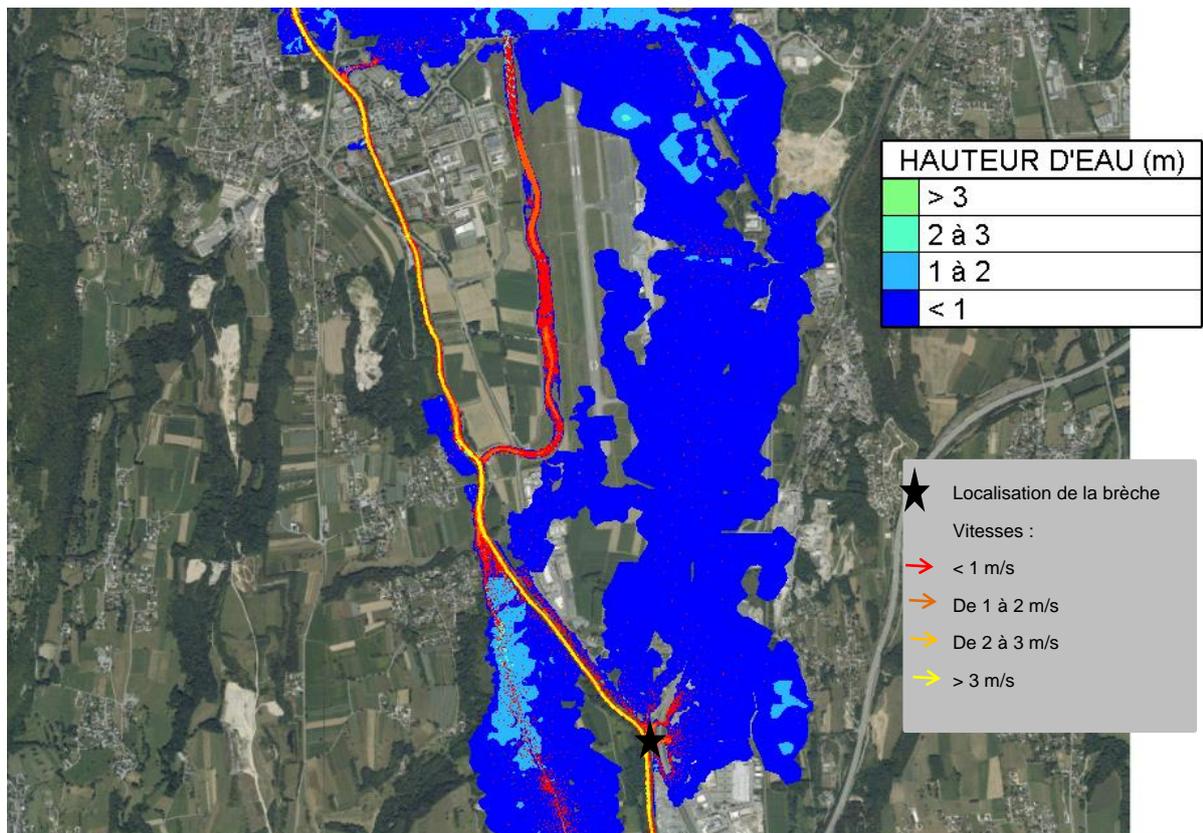


Figure 4 : Cartographie des écoulements – Rupture par brèche SE2.2 aval Rond-Point Villarcher – jour 2, 14h30

Cas de la rupture par surverse:

SE2.2 aval :

La probabilité de l'évènement est de 10^{-2} (crue de l'ordre de Q100).

Les secteurs vulnérables sont la ZI des Landiers et la plaine du Belle Eau en cas de rupture des endiguements. Le nombre de personnes directement exposées à l'onde de submersion étant supérieur à 1000, conduisant à une gravité de 5, l'onde de submersion étant de faible intensité et la cinétique rapide, la criticité de ce scénario n'est pas acceptable.

La plaine des Landier n'est pas inondée préalablement aux surverses par l'amont.

La carte de la Figure 5 présente un aperçu du scénario de propagation de l'onde et les contours de la zone inondée.

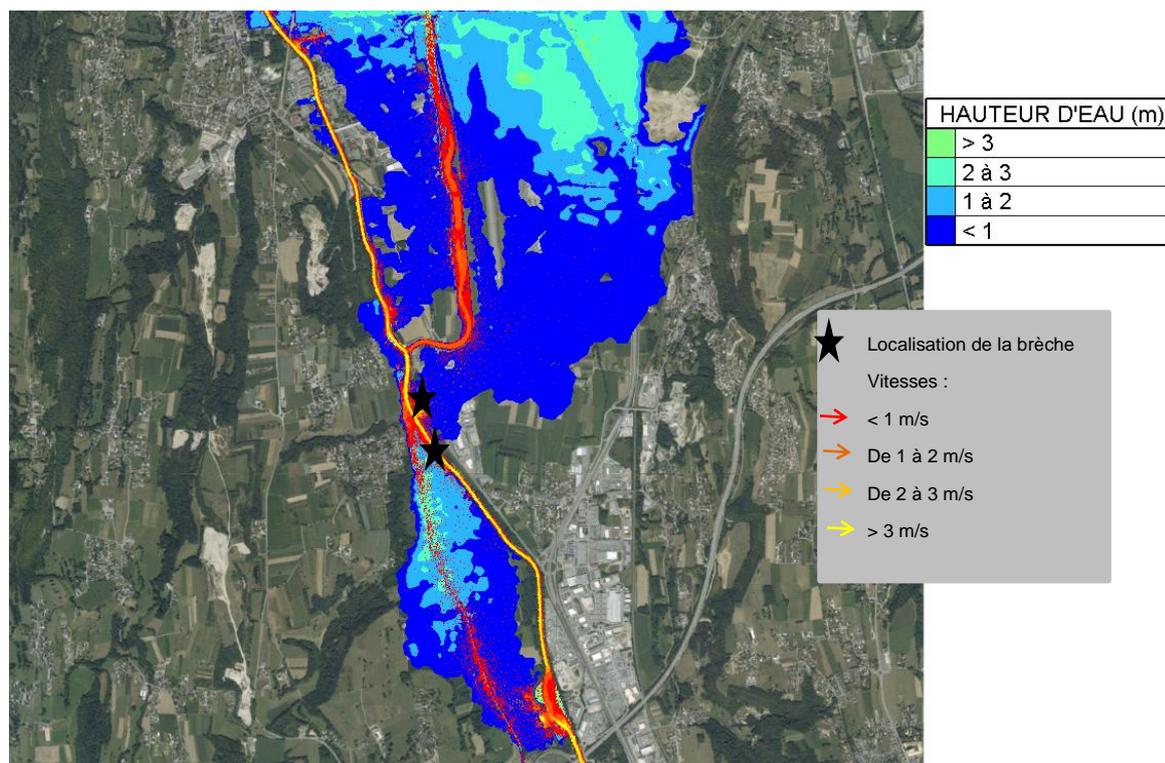


Figure 5 : Cartographie des écoulements – Rupture par surverse - Leysse – jour 2, 13h00

Cas de la rupture pour une crue supérieure à la crue de danger :

Le scénario de rupture pour une crue supérieure à la crue de danger doit être étudié dans le cadre des études de danger. Pour le système SE2, la période de retour de la crue de danger est variable suivant les tronçons. La crue de danger la plus faible sur l'ensemble des endiguements est la crue Q30 sur le SE 2.2 aval. La surverse apparaît à Q60 toujours sur le SE2.2 aval. Le scénario ERC surverse, réalisé pour une crue d'occurrence Q99, correspond donc au cas de rupture pour une crue supérieure à la crue de danger sur l'endiguement SE2.

0.6.1 Résultats des simulations

Le tableau suivant présente la criticité des ERC testés :

Criticité	Probabilité d'occurrence du scénario			
	Très peu probable (inférieur à 5.10 ⁻³)	Peu probable (entre 0.01 et 5.10 ⁻³ exclus)	Possible (entre 0.1 et 0.01 exclus)	Probable (supérieure à 0.1)
Probabilité limite	5.10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1
5		ERC breche SE 2.2 aval Jean Lain ERC breche SE 2.2 aval Villarcher	ERC surverse SE 2.2 aval	
4				
3				
2				
1				

Tableau 4 : Grille de criticité proposée – Classement des ERC testés

Ainsi les 3 scénarios testés sont de criticité inacceptable.

0.7 Bilan de la sûreté des endiguements

A l'issue de cette analyse de risques, il peut être conclu que les ouvrages présentent un niveau de sécurité :

- SE 2.1 : acceptable ;
- SE 2.2 amont : acceptable ;
- SE 2.2 aval : non acceptable (digues anciennes);
- SE 2.3 : acceptable.

L'étude accidentologique, qui relève un nombre important de brèches lors des crues passées, confirme l'état de fragilité des digues de protection anciennes, fragilité structurelle mais aussi conjoncturelle du fait d'un manque d'entretien et d'une maintenance peu efficace, notamment avant 1990.

Les digues SE2.1, SE 2.2 amont et SE 2.3, récemment mises en place, présentent un bon niveau de sûreté par rapport à la grille de criticité proposée. Les barrières de sécurité prévues sont suffisantes pour maintenir un niveau de risque acceptable. L'entretien et la maintenance des endiguements et de leurs ouvrages annexes feront l'objet d'une vigilance particulière de la part du gestionnaire.

En revanche, sur le tronçon SE 2.2 aval, l'étude a révélé que le risque de rupture des ouvrages par surverse était non négligeable. Au vue des visites des sites et du retour d'expérience sur les ruptures de digues Chambériennes, le risque de rupture par brèche semble également fort. Des mesures seront donc à envisager sur ces autres secteurs et concerneront principalement :

1. Le confortement des ouvrages existants ;
2. L'uniformisation des niveaux de protection et de danger.

Un avant-projet est en cours de réalisation sur ces secteurs. Il permettra de préciser les solutions techniques à envisager et présentera une estimation du coût de réalisation.

1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

1.1 Le statut de Chambéry Métropole

Le gestionnaire du système d'endiguement et maître d'ouvrage de la présente étude de dangers est Chambéry Métropole.

Le gestionnaire est joignable aux coordonnées suivantes :

CHAMBERY METROPOLE

Direction de la gestion des cours d'eau et protection contre les crues

350 Quai Charles Ravet, 73000 Chambéry

Tél : 04 79 71 84 84 / Fax : 04 79 71 84 85

Email : cours.eau@chambery-metropole.fr

Chambéry Métropole est un Etablissement Public de Coopération Intercommunale (EPCI).

- Code SIREN 247 300 098.
- Adresse : 350 Quai Charles Ravet, 73000 Chambéry (CHAMBERY METROPOLE - Direction de la gestion des cours d'eau et protection contre les crues)
- Code NAF : 8411Z

1.2 Gestionnaires de Réseaux et propriétaires de parcelle

Un travail est en cours à Chambéry Métropole sur le recensement exhaustif des gestionnaires de réseaux et sur les propriétaires. Actuellement plus de 200 propriétaires et 14 gestionnaires ont été identifiés sur l'ensemble des systèmes d'endiguement. Un classeur présentant la liste complète des propriétaires/gestionnaires est disponible au bureau du gestionnaire et l'ensemble des informations est renseigné dans le SIRS.

Sur le SE2, les propriétaires ou acteurs suivants ont été recensés :

- Chambéry métropole ;
- Domaine Privé ;
- Domaine public ;
- Entreprises privées ;
- Service de l'état.

Une cartographie présentant la localisation de chaque propriétaire est présentée en Annexe 2.

Sur l'endiguement, les exploitants des réseaux suivants sont présents :

- Réseaux de surface : EDF ;
- Réseaux gaz : GDF ;
- Réseaux télécom : SFR et France Télécom ;
- Réseaux d'eaux usées et d'eaux pluviales : Chambéry Métropole service des eaux ;
- Piste cyclable : Chambéry Métropole service cours d'eau.

Le détail de ces réseaux est explicité dans le paragraphe 3.1.5.

Deux pôles de convention sont actuellement mis en place. Le premier pôle de convention concerne les concessionnaires des réseaux. L'objectif est de faire signer les conventions afin de définir les règles et préciser les rôles exacts des concessionnaires. Les propriétaires sont responsables de leurs réseaux en cas de défaillance de la digue. En tant que gémapien, Chambéry Métropole, contribue à informer, via les conventions, les propriétaires sur leur obligation vis-à-vis de la réglementation en vigueur. Le travail de recensement des conventions est actuellement en cours.

Le second pôle de convention concerne les propriétaires des parcelles. Actuellement, plus de 60% des conventions ont été signées. L'avancement total de signature des conventions est donc actuellement estimé à 70%.

1.3 Classement des ouvrages

1.3.1 Classement suivant le décret 2007

Le classement des systèmes d'endiguement issu du décret n° 2007-1735 est rappelé dans le tableau suivant:

CLASSE	Caractéristiques de l'ouvrage et populations protégées
A	Ouvrage pour lequel $H \geq 1$ et $P \geq 50\ 000$
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel $H > 1$ et $1\ 000 \leq P < 50\ 000$
C	Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel $H > 1$ et $10 \leq P < 1\ 000$
D	Ouvrage pour lequel soit $H < 1$ soit $P < 10$

Tableau 5 : Classement des digues de protection contre les inondations – Décret 2007-1735

En considérant que :

- H est la hauteur de l'ouvrage exprimée en mètres et définie comme la plus grande hauteur mesurée verticalement entre le sommet de l'ouvrage et le terrain naturel du côté de la zone protégée à l'aplomb de ce sommet.
- P est la population maximale exprimée en nombre d'habitants résidents dans la zone protégée, en incluant notamment les populations saisonnières.

1.3.2 Arrêté préfectoral

Les digues étudiées ont été classées par le préfet (Réf. [DA4]) en se référant au le décret N °2007-1735. C'est ainsi que le système d'endiguements nommé SE2 « Rive droite de la Leyse jusqu'au pont Tremblay» et ses sous-systèmes d'endiguement (SE 2.2 et SE 2.1), sont classés B par Arrêté Préfectoral DDT/SEEF n°2012-322 [DA4].

1.3.3 Classement suivant le décret 2015

Un nouveau décret, publié en mai 2015 (décret n° 2015-526) permet de revoir le classement des ouvrages suivant une nouvelle grille présentée dans le tableau suivant.

CLASSE	POPULATION PROTÉGÉE par le système d'endiguement ou par l'aménagement hydraulique
A	$P \geq 30\ 000$
B	$3\ 000 \leq P < 30\ 000$
C	$30 \leq P < 3\ 000$

Tableau 6 : Classement des digues de protection contre les inondations – Décret 2015-526

En considérant que P correspond à la population maximale exprimée en nombre d'habitants qui résident et travaillent dans la zone protégée, en incluant notamment les populations saisonnières.

Sont exclues de ce classement, les digues dont la hauteur est inférieure à 1.5 m par rapport au terrain naturel aval (à moins que le gestionnaire de l'ouvrage ne le demande).

Suivant cette nouvelle réglementation (décret n° 2015-526), le système d'endiguement SE 2 serait classé en B sachant que moins de 30 000 personnes sont localisées dans les zones protégées suivant le nouveau principe de comptage des populations du décret 2015 (cf. 3.4.1).

1.3.4 Zones protégées

La zone protégée par le système SE2 a été définie par la DDT 73 en annexe de l'arrêté de classement des digues [DA4] à partir des résultats de modélisation du TRI. Les limites du SE2 ont été validées avec les services de l'état et DDT sur le terrain. La modélisation 2D réalisée dans le cadre de la présente EDD confirme cette zone protégée puisque l'emprise des inondations résultant des brèches simulées est globalement incluse dans cette zone protégée.

Le système SE2 comprend 3 sous-systèmes (SE2.1, SE2.2 et SE2.3) et protège la plaine alluviale de la Leysse aval. Le linéaire total de ce système est de 8 km. Les débordements par-dessus des endiguements s'écoulent ensuite dans la plaine du Belle-Eau (appelée aussi plaine des Landiers). La plaine de Belle-Eau et le talweg naturel de la Leysse débouchent dans le lac du Bourget.

Le SE2 protège une surface de 6,44km², et une population d'environ 1 200 habitants (comptage des habitants suivant le décret 2007). Les principaux enjeux sont les zones d'activités et commerciales des Landiers situées sur les communes du Bourget-du-Lac, Chambéry, la Motte Servolex, Voglans et Viviers-du-Lac. La description précise des enjeux est présentée dans le paragraphe 3.4.

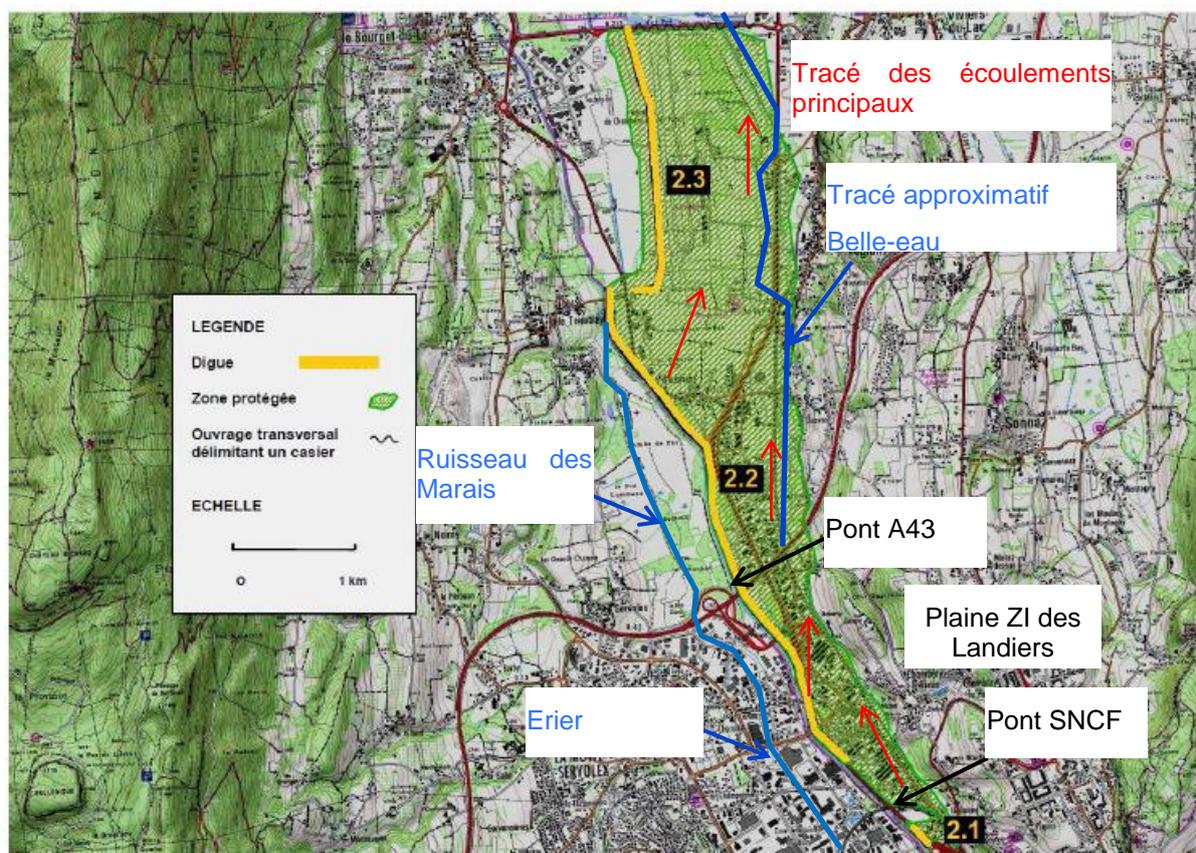


Figure 6 : Zone protégée et écoulements – SE 2

1.4 Identification du rédacteur de l'Etude de Dangers

La Direction de l'Ingénierie de la CNR intervient en tant que prestataire pour le compte de Chambéry Métropole direction de la gestion des cours d'eau et protection contre les crues pour la rédaction de cette Etude De Dangers. La CNR est inscrite dans la liste des organismes ayant reçu l'agrément du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie pour réaliser ces études (**Arrêté du 15 novembre 2012 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques**).

1.5 Documents associés

Les documents associés à cette étude de danger sont précisés au début de ce rapport. Il est à noter que le document [DA15] : Etude du Schéma Général de gestion du risque d'inondation sur l'Agglomération Chambérienne - Phase 1 : Position du Problème - Phase 2 : Etude des scénarios Hydrolac – Avril 1999 est une étude hydrologique datant de 1999. Il pourrait être intéressant de s'intéresser à son actualisation lors de la réactualisation de l'EDD.

2 OBJET DE L'ETUDE

2.1 Contexte

2.1.1 Endiguements concernés

D'une manière générale les digues de protection ont pour fonction principale de retenir les eaux des cours d'eau en crue. Celles qui font l'objet de cette étude (système d'endiguement SE2) s'inscrivent dans un ensemble plus global de 5 systèmes SE 1 à SE 5 qui constituent le dispositif de protection de l'agglomération chambérienne contre les inondations de la Leysse et de l'Hyères. Le plan suivant présente l'ensemble de ces tronçons et la localisation globale du projet de travaux Leysse-Hyères.

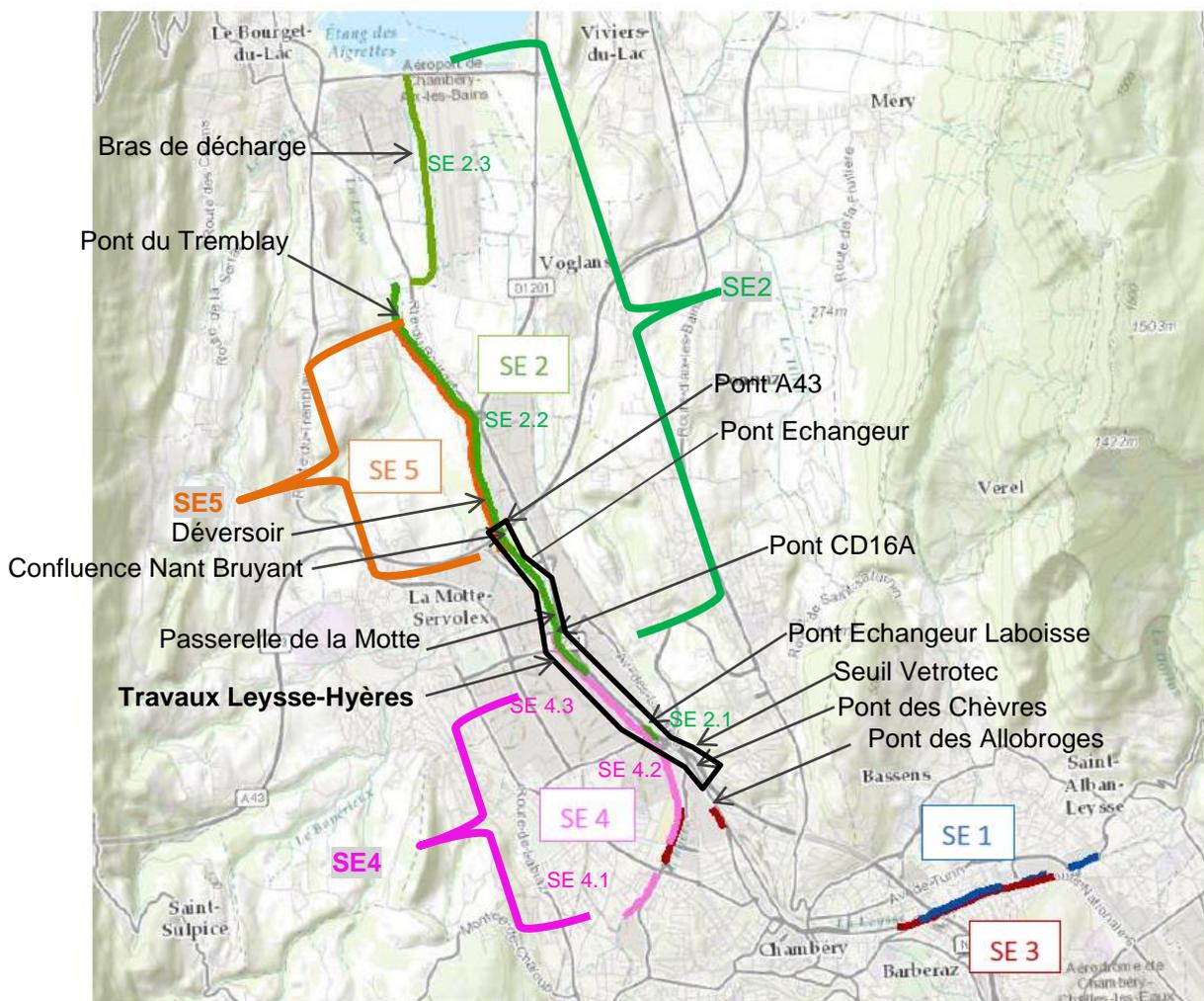


Figure 7 : Localisation du dispositif de protection concerné par l'étude de dangers (en noir) par rapport aux 5 systèmes d'endiguement du système global « Leysse-Hyères ».

2.1.2 Projet Leysse-Hyères

L'étude du Schéma général de gestion du risque d'inondation sur l'agglomération chambérienne, réalisée en 2000 par Hydrolac et CNR pour le SICEC (nouvellement Chambéry Métropole), a mis en évidence les faiblesses du système de protection des digues chambériennes, contre les inondations de la Leysse et de l'Hyères. Un certain nombre de scénarios d'aménagement a été testé afin d'améliorer la protection de l'agglomération. Le scénario principal retenu permet de satisfaire les exigences suivantes :

- Suppression des points de débordement pour des **crues de période de retour de 100 ans** avec prise en compte d'une revanche de 30 cm entre la crête des endiguements (crue de danger) et la crue de projet (crue de protection) ;
- Réduction significative du risque de mise en charge de la couverture de la Leysse ;
- Dimensionnement des nouveaux ouvrages hydrauliques franchissant la Leysse (siphons).

Outre l'objectif hydraulique de ce projet, les autres objectifs poursuivis par cet aménagement sont les suivants :

- Objectif morphologique :
 - Pérennisation de l'équilibre géomorphologique actuellement en place sur la Leysse.
- Objectif renaturation (Reconquête d'axe de vie) :
 - Restauration et diversification des faciès hydro-écologique,
 - Restauration du corridor alluvial et aquatique.
- Objectif préservation des axes de circulation (voie verte).

Ces aménagements concernent principalement la Leysse mais aussi les affluents tels que le Nant Petchi ou l'Albanne.

Le projet d'aménagement de la confluence Leysse-Hyères se concentre sur la Leysse depuis le pont des Allobroges jusqu'à l'aval de l'A43 (cf. Annexe 1 : Plan d'ensemble de l'aménagement

Annexe 2 : Cartographies des propriétaires des parcelles

Annexe 3 : Diagnostic géotechnique de la digue SE 2

Annexe 4 : Analyse fonctionnelle des ouvrages

Annexe 5 : Plans des stations hydrométriques

Annexe 6 : Calage du modèle Hydraulique

Annexe 7 : Echelle de magnitude et classe des séismes

et Figure 9). Cette emprise correspond à la partie aval des aménagements prévus dans le cadre du schéma directeur.

Ce périmètre a été scindé en deux tranches :

- Première tranche en 2015: amont du pont SNCF, réalisée
- Deuxième tranche en cours et fin prévisionnelle fin 2017 : depuis le pont SNCF jusqu'en aval immédiat du pont de l'autoroute A43, en cours de réalisation.

De l'amont vers l'aval, les travaux consistent à :

- Réduire les déversements au droit du pont des Chèvres en abaissant le lit de la rivière d'environ 1.5 m depuis le pont des Allobroges jusqu'au seuil Vetrotec (amont direct de la confluence Leysse-Hyères).
- Elargir le lit de la Leysse :
 - En rive gauche, de l'aval du pont de l'échangeur Laboisse jusqu'à l'aval du Pont SNCF, et, entre le pont de l'échangeur et le pont de l'A43 ;
 - En rive droite, de l'amont du pont CD16A jusqu'au pont de l'échangeur ;
- Conforter les digues et les berges sur quasiment tout le linéaire de l'amont du pont du CD16A jusqu'à l'A43 sur les deux rives.
- Créer un ouvrage de déversement des eaux en rive gauche en aval de l'A43.
- Renaturer écologiquement le cours d'eau sur tout le linéaire des travaux.

Ce projet concerne le secteur SE2.2 amont et le secteur SE2.1.

Le tableau suivant présente les limites des différents secteurs de travaux.

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 SE2.1	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 7 : Numérotation des secteurs de travaux et état d'avancement.

La figure suivante présente le principe du déversoir rive gauche en cours de réalisation sur le secteur 9 des travaux Leysse Hyères correspondant au SE 5.

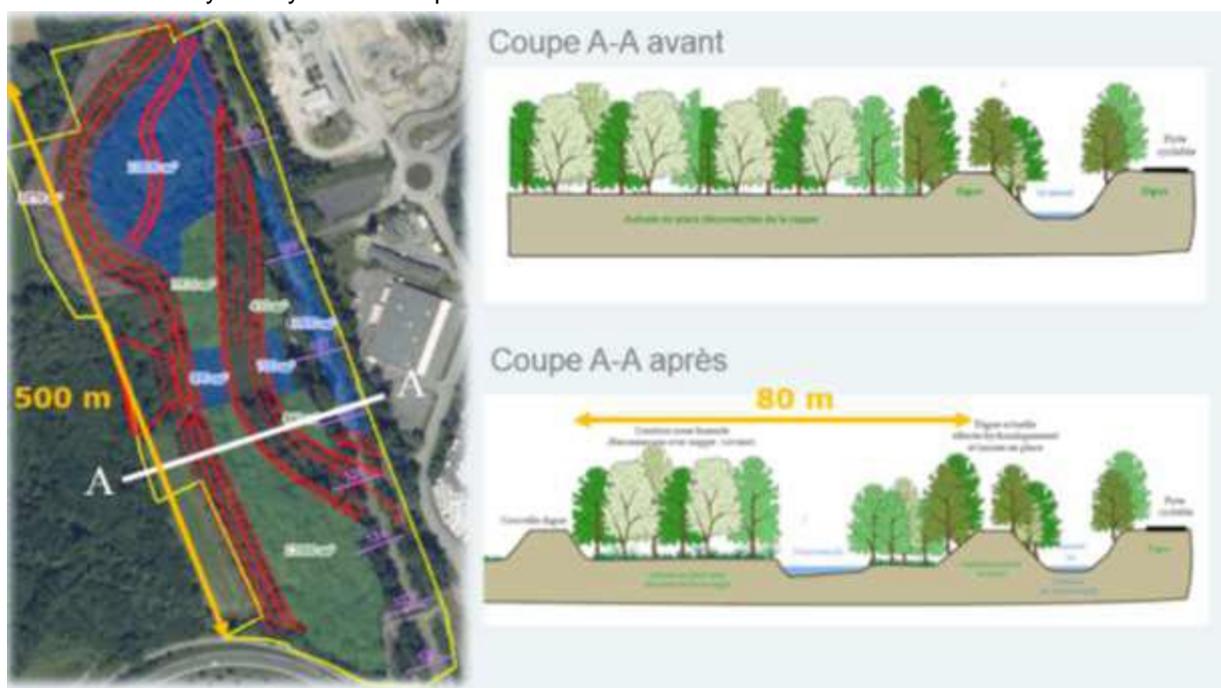


Figure 8 : Secteur 9 - Principe d'aménagement

La figure suivante localise les différents secteurs de travaux sur une vue cartographique aérienne.

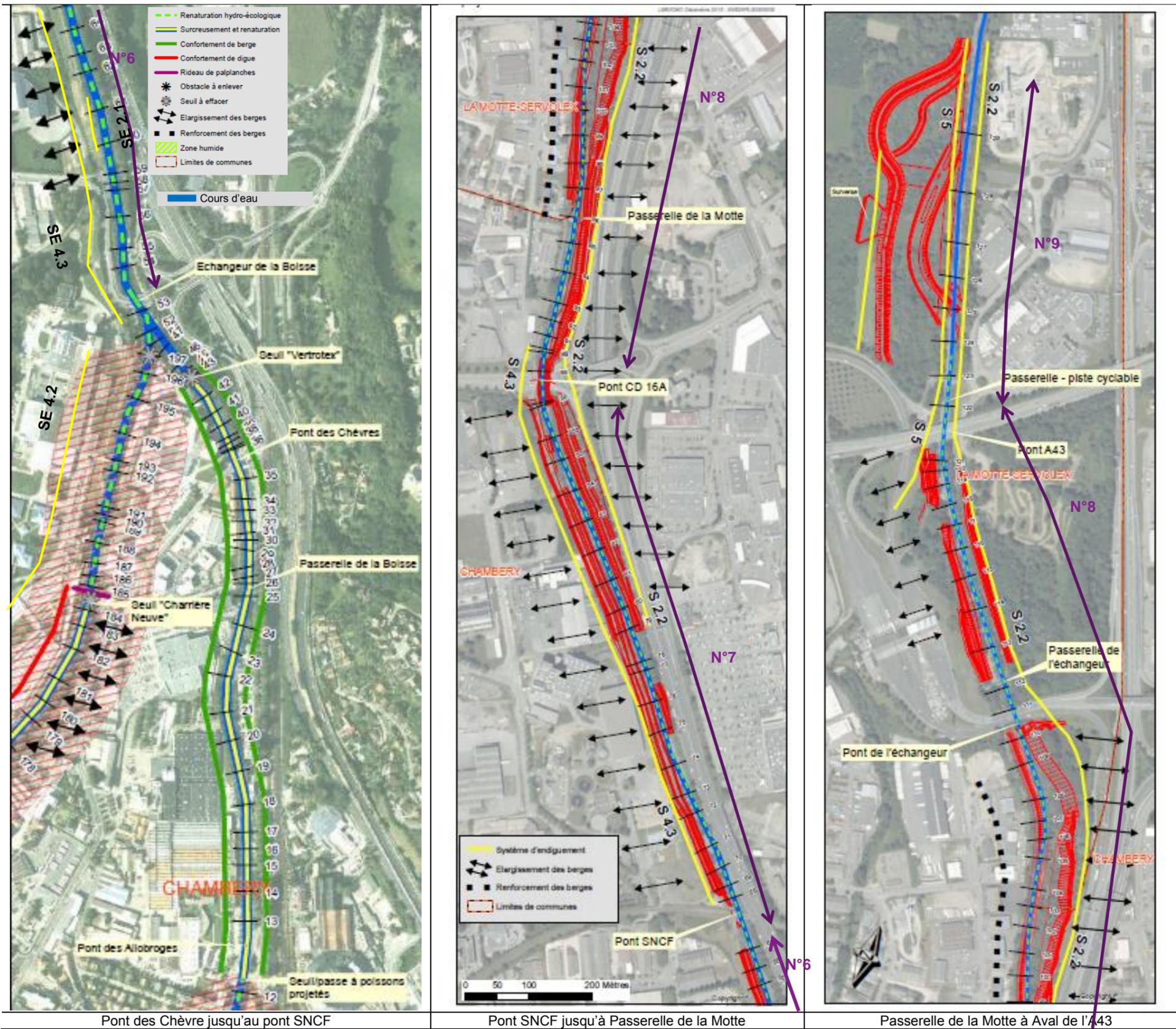


Figure 9 : Localisation des secteurs de travaux – Projet Leysse - Hyères

2.1.3 Présentation SE2 et Zone protégée

La zone protégée par le système SE2 a été définie par la DDT 73 en annexe de l'arrêté de classement des digues [DA4] à partir des résultats de modélisation du TRI. Les limites du SE2 ont été validées avec les services de l'état et la DDT sur le terrain. La zone protégée a été délimitée sur la base du contour transmis par la DDT, et comparée aux études récentes. En effet, la modélisation 2D réalisée dans le cadre de la présente EDD confirme cette zone protégée puisque l'emprise des inondations résultant des brèches simulées est globalement incluse dans cette zone protégée.

Le système SE2 comprend 3 sous-systèmes (SE2.1, SE2.2 et SE2.3) et protège la plaine alluviale de la Leysse aval. Le linéaire total de ce système est de 8 km. Les débordements par-dessus les endiguements s'écoulent ensuite dans la plaine du Belle-Eau (appelée aussi plaine des Landiers). La plaine de Belle-Eau et le talweg naturel de la Leysse débouchent dans le lac du Bourget.

Le SE2 protège une surface de 6,44km², et une population d'environ 1 200 habitants (comptage des habitants suivant le décret 2007). Les principaux enjeux sont les zones d'activités et commerciales des Landiers situées sur les communes du Bourget-du-Lac, Chambéry, la Motte Servolex, Voglans et Viviers-du-Lac. La description précise des enjeux est présentée dans le paragraphe 3.4.

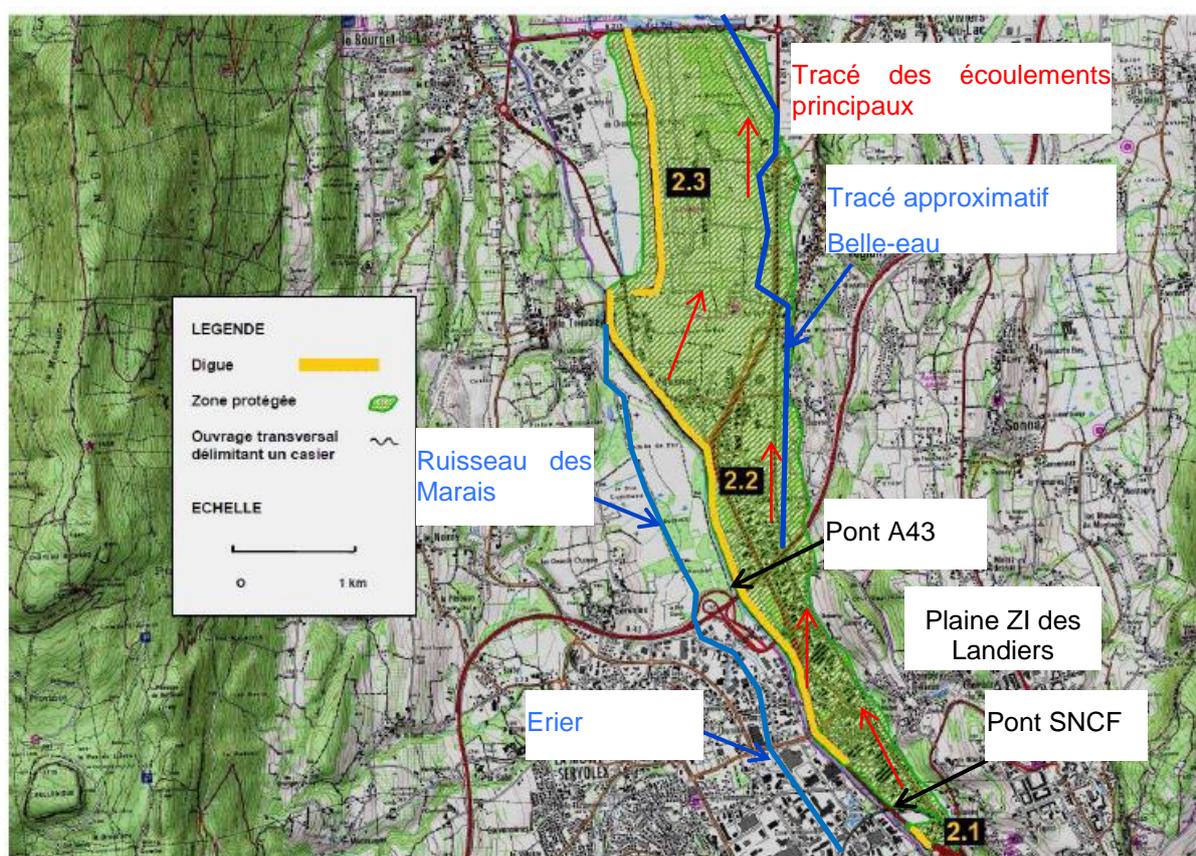


Figure 10 : Zone protégée et écoulements – SE 2

2.1.4 Labélisation PSR (Plans de Submersion Rapide)

La labélisation PSR est nécessaire à l'obtention des subventions pour financer les travaux du projet Leysse-Hyères. En annexe du dossier « Label PSR » présenté par Chambéry Métropole en décembre 2015, une étude de dangers partielle traitant les secteurs SE 4.3 et SE 2.2 amont a été transmise au service de l'état. Cette étude de dangers traitait conjointement l'état initial avant aménagement et état aménagé avec les travaux de la confluence Leysse-Hyères. Les services de l'état ont émis un certain nombre de remarques dans un courrier du 13 avril 2016 à intégrer dans l'étude de dangers globale.

2.2 Objectif de l'étude

Conformément aux articles R 214-115 à R. 214-117 du code de l'environnement, à l'arrêté du 12 juin 2008 [DA2] et à la circulaire du 16 avril 2010 [DA3], définissant le plan de l'étude de dangers relatif à la sécurité et à la sûreté des digues de protection, Chambéry Métropole, en tant que gestionnaire, réalise une série de 4 études de dangers sur ses 4 endiguements classés ou identifiés comme ouvrage B. Etant donné l'enchaînement de l'étude générale, les études de dangers des systèmes suivants ont été menées en premier lieu et présentées début juillet 2016 :

- Rive droite de la Leysse médiane et aval : Système d'endiguement SE 2 ;
- Rive gauche de l'Hyères et de la Leysse : Système d'endiguement SE 4.

Une deuxième série d'étude de danger a été produite au deuxième semestre 2016. Elle concerne :

- Rive droite de la Leysse amont : Système d'endiguement SE 1 ;
- Rive gauche de la Leysse amont et Rive droite de l'Hyères: Système d'endiguement SE 3.

Le document concerne l'étude de dangers du système d'endiguement SE 2 classé B par arrêté préfectoral (cf. §1.2). Il s'agit de la première étude de dangers du système d'endiguement.

La présente étude de dangers traite de l'état actuel des ouvrages ce qui correspond à :

- L'état aménagé par le projet Leysse-Hyères sur le secteur SE2.2 amont et SE 2.1 ;
- L'état initial pour le secteur SE2.2 en aval de l'A43 et sur le secteur SE2.3.

A noter que le tronçon SE 5, étant classé D par l'arrêté n°2012-321, ne fait pas partie de cette étude de dangers. La mise en place d'un seuil déversant sur cet endiguement ne remet pas en cause son classement (cf. 6.2.7.1).

2.3 PPRI

Le PPRI du bassin Chambérien ne prend pas en compte les ruptures sur les systèmes d'endiguements liées à une surverse ou une défaillance interne ou externe des ouvrages. Il date de 1999 et a été révisé partiellement le 7 décembre 2011.

2.4 Caractéristiques principales du système

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des systèmes d'endiguement en termes de localisation et de géométrie. Les sous tronçons concernés par le projet Leysse-Hyères sont présentés en rouge sur ce tableau.

Description								
Système de digue	Dénomination	N° tronçon	Début	Fin	linéaire total (km)	hauteur digue maxi (m)	PK Amont/Aval	Profils STTP Amont/Aval
2	Leysse RD de la confluence Leysse/Hyères au lac du Bourget	SE 2.1	200 m aval confluence Leysse/Hyères	410m aval confluence Leysse/Hyères	0.21	1.5	PKL9/PKL8.75	P55/P61
		SE 2.2 amont	1150m aval confluence Leysse/Hyères	Pont de l'A43	1.7	4	PKL8/PKL6.3	P79/P121
		SE 2.2 aval	1150m aval confluence Leysse/Hyères	100m aval Pont Tremblay	2.8	4	PKL6.3/PKL3.45	-
		SE 2.3	Bras de décharge en aval du pont Tremblay	Bras de décharge au droit de la D1211	2.64	1	BDL2.5/BDL0	-

Tableau 8 : Présentation des systèmes d'endiguement et des tronçons (en rouge) concernés par le projet Leysse-Hyères

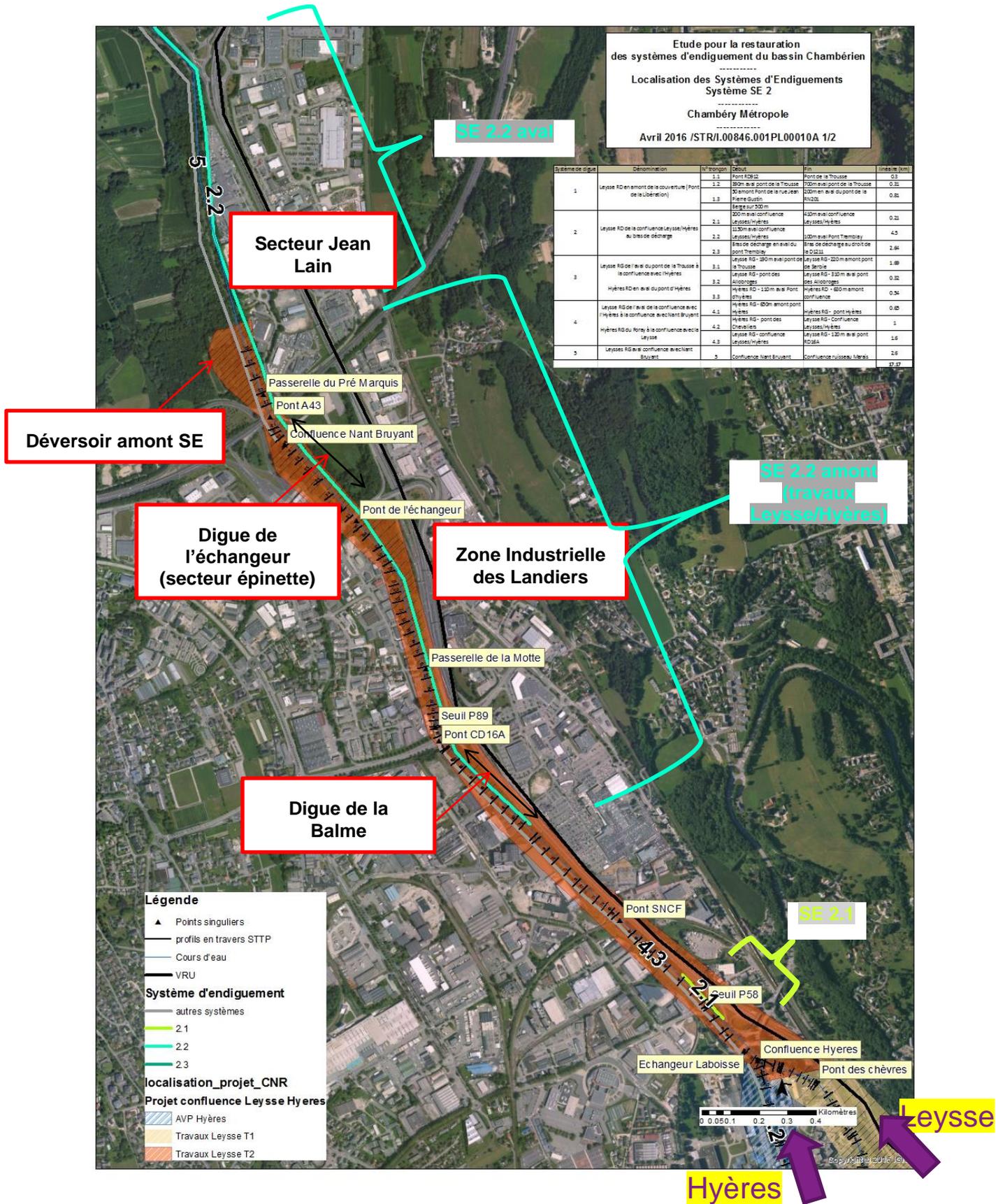


Figure 11 : Localisation des systèmes d'endiguements et du projet Laysse / Hyères 1/2

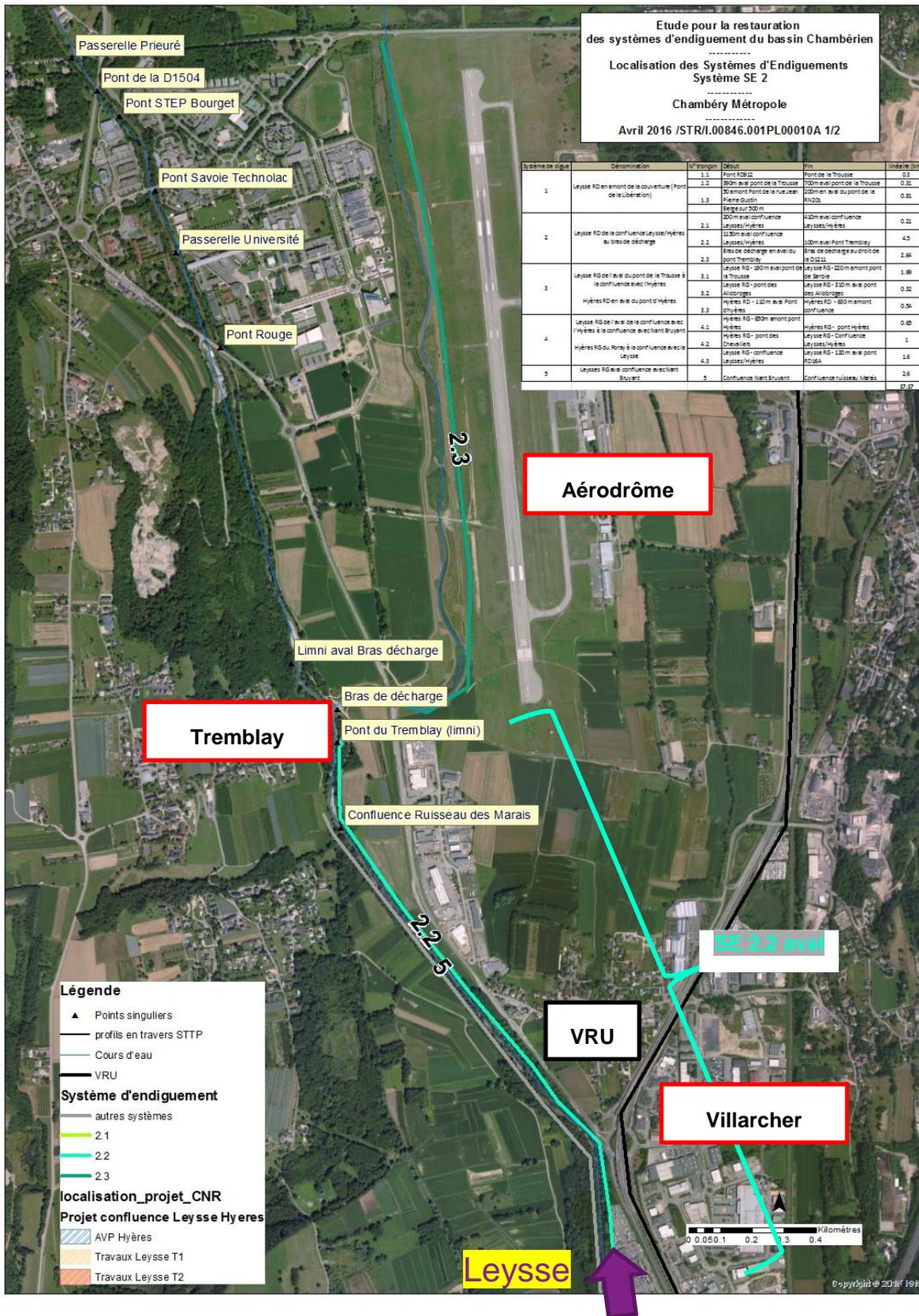


Figure 12 : Localisation des systèmes d'endiguements et du projet Leysse / Hyères 2/2

2.5 Les niveaux de protection, danger et sureté

2.5.1 Définitions

En crue, différents niveaux d'eaux sont identifiés réglementairement :

- Niveau de sureté : Situation jusqu'à laquelle la probabilité de rupture de la digue est négligeable (bornée à 5% par la réglementation) ;
- Niveau de protection : Niveau relevant d'un engagement du maitre d'ouvrage, ce niveau est inférieur ou égal au niveau de sureté.
- Niveau de dangers : Situation au-delà de laquelle la rupture de l'ouvrage est quasi-certaine (bornée à 50% par la réglementation).

Deux typologies d'endiguement sont distinguées :

Cas 1 : Dignes état actuel en mauvais état. Dans ce cas la rupture de l'ouvrage peut se produire avant la surverse par-dessus l'ouvrage

Cas 2 : Dignes rénovées ou projet. Le risque de rupture peut apparaître principalement du fait d'une surverse.

2.5.2 Cas des digues de Chambéry

L'endiguement SE2 ne présente pas de déversoir de sécurité. La figure suivante expose le profil en long des digues du SE4 ainsi que les niveaux Q10, Q30, Q100 et Q200 calculés grâce au modèle hydraulique décrits dans le chapitre 6. En face du système SE2 se trouve les systèmes SE4 et SE5. Le système SE5 présente un déversoir de sécurité mais n'est pas classé car il ne protège pas de population.

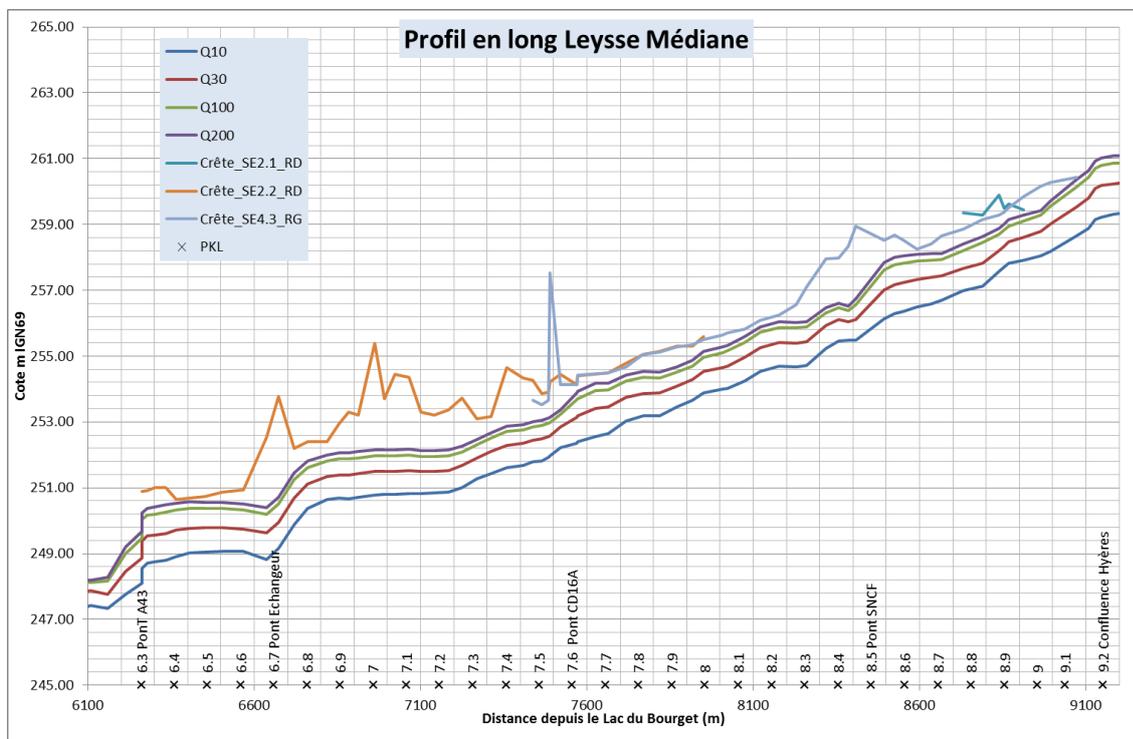


Figure 13 : Profil en long SE2.2 et SE2.1

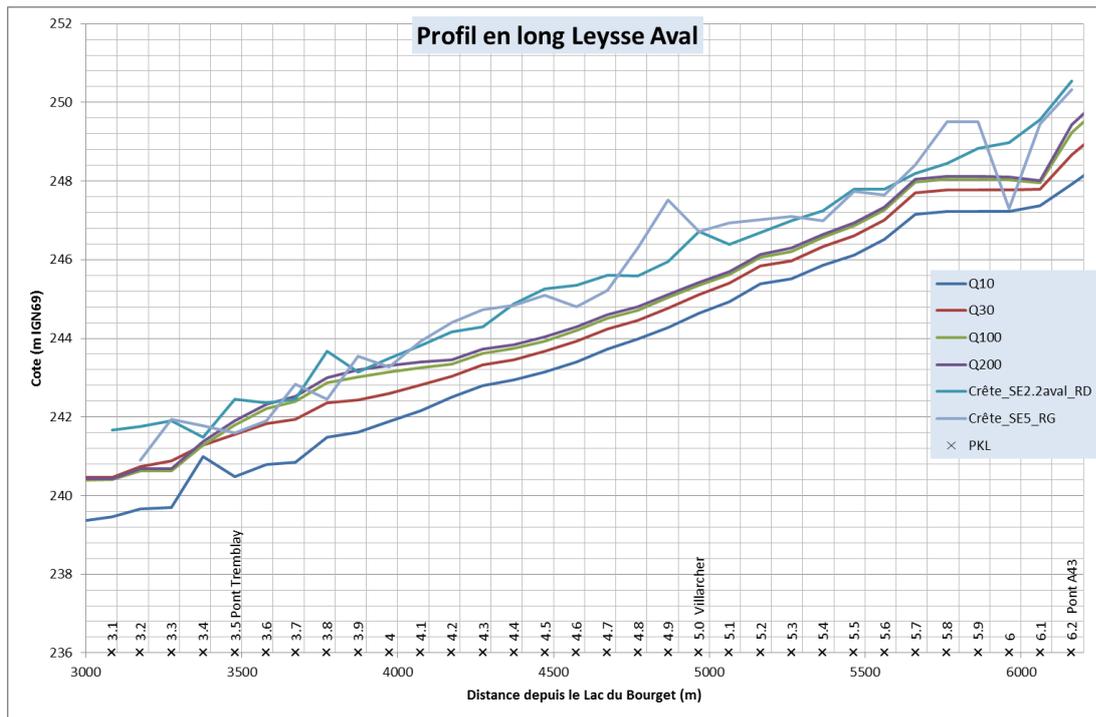


Figure 14 : Profil en long SE2.2 aval

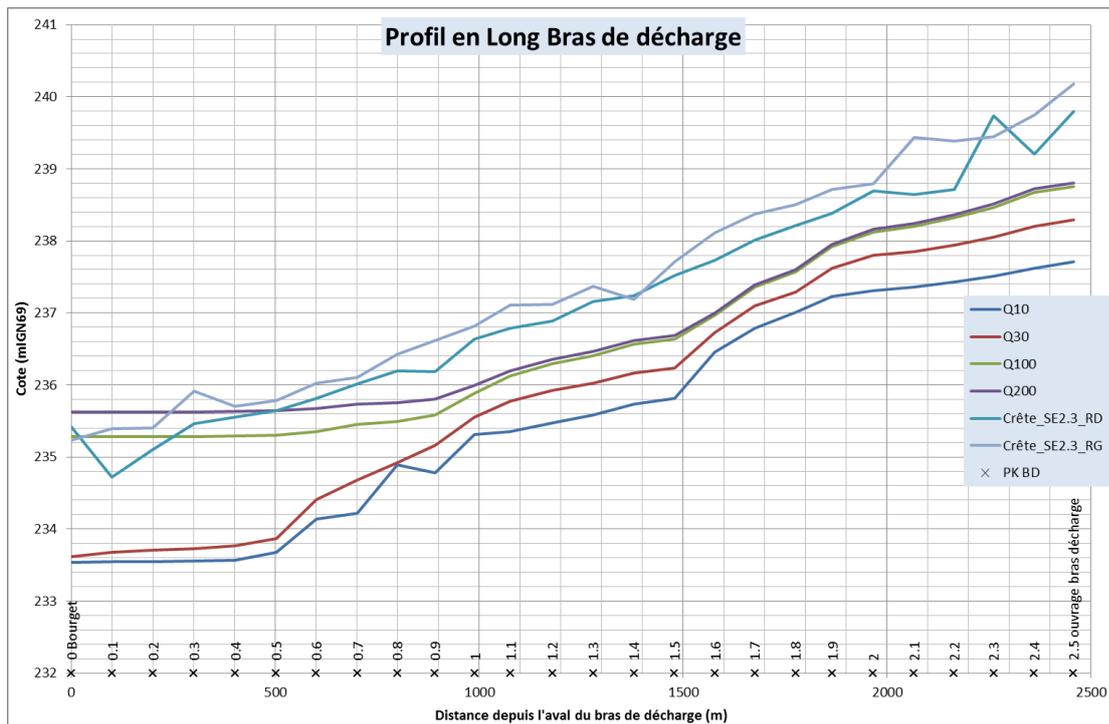


Figure 15 : Profil en long SE2.3

L'analyse des profils en long en lien avec l'étude de la stabilité des ouvrages précédente a permis de définir les différents niveaux relatifs aux digues. Le tableau suivant présente les différents cas des niveaux de crue en fonction de l'état et de la typologie des digues sur le système 2. Les niveaux d'eau choisis sont tirés de l'analyse de stabilité du chapitre 3 et de l'analyse des débordements du chapitre 6.

Digue	Etat de la digue	Niveaux d'eau correspondant	Niveau de sûreté	Niveau de protection	Niveau de danger
SE2.1	Digue reconstruire ou confortée	Cas 2	Q100	Q100	Q200 (385 m ³ /s)*
SE2.2 amont	Digue reconstruire ou confortée	Cas 2	Q100 (368 m ³ /s)*	Q100	Q200
SE2.2 aval	Digue dégradée	Cas 1	Q10 (193 m ³ /s)*	Q10	Q30 (286 m ³ /s)*
SE2.3	Digue récente	Cas 2	Q100	Q100	Q200

Tableau 9 : Définitions des niveaux de crue sur le secteur SE 2. (*débit calculé par modélisation 2D au droit du pont Tremblay)

Le niveau de protection a été choisi équivalent au niveau de sûreté.

Dans le cas des digues récentes. Il est associé à la Q100. Au-delà de Q200, le niveau de danger est atteint.

Il a été choisi de retenir un niveau de sûreté bien inférieur pour les digues anciennes, à savoir Q10. Au-delà de Q30, il est pris comme hypothèse qu'une brèche est susceptible de se créer sur le SE2.2 aval, comme ce fut le cas pour la crue de 1990.

3 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DE L'OUVRAGE DE PROTECTION ET DE SON ENVIRONNEMENT

Toutes les cotes indiquées dans ce document sont exprimées dans le système de nivellement IGN69.

3.1 Description des organes de l'ouvrage de protection

La rubrique 3 de l'arrêté de 2008 [DA2] précise que l'ouvrage doit être « décrit sous les aspects suivants : génie civil, fondation.... Le fonctionnement et les modes d'exploitation sont également présentés. ».

3.1.1 Localisation

Le tableau suivant présente les linéaires concernés par commune pour les trois sous-systèmes d'endiguement étudiés :

	Commune	Linéaire en m
SE2.1	Chambéry	210
SE2.2	La Motte Servolex	1825
SE2.2	Voglans	1750
SE2.2	Chambéry	925
SE2.3	Le Bourget du Lac	1000
SE2.3	La Motte Servolex	1640

Tableau 10 : Linéaire par communes des sous-systèmes d'endiguement étudiés

3.1.2 Sous-tronçons étudiés

Du fait des travaux de la confluence Leysse-Hyères et des configurations spécifiques de chaque tronçon en termes d'accès et de réseaux, les types de données disponibles sur la composition des

ouvrages sont très variables. La description des ouvrages est découpée suivant les sous-systèmes suivants :

- **SE 2.1** : La particularité de ce tronçon est sa proximité avec la VRU et le nombre importants de réseaux qui n'ont pas permis d'effectuer de reconnaissances géotechniques ;
- **SE 2.2 amont** : Le secteur est modifié dans le cadre du projet Leysse-Hyères ;
- **SE 2.2 aval** : Un réseau longitudinal de diamètre 1200 mm réduit les possibilités d'inspection.
- **SE 2.3** : Le secteur ayant récemment été mis en place, seules des reconnaissances géotechniques légères (tarrières et pénétromètres) ont pu être menées.

3.1.3 Géométrie

3.1.3.1 Système de repérage des profils topographiques homogènes

Le système de repérage est basé sur les PK. Ces PK sont matérialisés tous les 100 m sur le terrain par une borne, un clou ou autre. Sur chaque profil, la correspondance entre PM et PK est affiché. Les PM ont été rendus nécessaires lors de la phase d'étude géophysique. Il suffit donc sur le terrain de se repérer par rapport au PK pour trouver le PM. Exemple le PM90 se situe au PKL14.062. L'opérateur sur le terrain se rend à la borne PKL14 fait 62 m à la roulette et se trouve précisément au PM90.

3.1.3.2 SE2.1

D'un point de vue topographique, le diagnostic géotechnique DI-ECS 2016-182 présenté en Annexe 3 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. Les principales caractéristiques de ces deux sous-tronçons sont rappelées dans le tableau ci-dessous.

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 11 : Caractéristiques profils types – Système 2.1

Sur ce tronçon, dans le cadre du projet Leysse Hyères, il est prévu de renforcer le talus amont et de créer une étanchéité via une géo-membrane étanche jusqu'à la crête de l'ouvrage les tronçons présentant une faible épaisseur de digue (entre les profils P57 et P60).

3.1.3.3 SE2.2 amont

Le paragraphe décrit les ouvrages réalisés ou en cours de réalisation dans le cadre du projet Leysse Hyères et précise leurs dimensions. La cartographie des Figure 22 et Figure 23 permettent de localiser les sous-secteurs dont il est question dans le présent paragraphe (exemple : ZI des Landiers 1 et 2 ou Dignes de la Balme, etc).

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 mise hors d'eau 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 (Landiers, Epinettes,...). Le présent paragraphe s'attache à la description des travaux en cours sur le secteur SE 2.2 amont. Le descriptif des aménagements sur les autres tronçons est présenté en Annexe 9.

Secteur 7 : Du pont SNCF au pont du CD16a (P68 à P89)

Ce secteur s'étend sur environ 1 150 m.

Les travaux hydrauliques prévus sont les suivants :

- **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.
- **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)

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

- **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.

3.1.3.4 SE2.2 aval

Le diagnostic géotechnique DI-ECS 2016-182 présenté en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** permet de scinder le tronçon en 5 secteurs décrits dans le tableau ci-dessous. On retiendra que les pentes des talus sont très raides et la largeur en crête est très faible sur le secteur du rond-point de Villarcher.

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 et Gabions éventrés	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 12 : Géométrie des digues – Secteur SE 2.2 aval

3.1.3.5 SE2.3

Le diagnostic géotechnique met en évidence un seul tronçon homogène. Les pentes de talus et la largeur en crête sont relativement confortables.

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	3/2	1.5 à 2	3 à 4	pas de protection	2.5 (0)	0 (2500)

Tableau 13 : Géométrie des digues – Système 2.3

3.1.4 Constitution des digues

3.1.4.1 Reconnaissances de sol

Sur le secteur SE 2.2 amont, du fait de leur reconstruction actuelle, les digues n'ont pas fait l'objet de reconnaissances spécifiques. Un contrôle géotechnique des ouvrages exécutés est prévu à l'issue de la finalisation des travaux.

Sur les autres secteurs (SE2.1, SE 2.2 aval et SE 2.3), des reconnaissances géophysiques et géotechniques ont été menées afin de mieux cerner la composition des sols.

La méthodologie d'analyse a été la suivante :

1. Tout d'abord, une investigation géophysique générale, réalisée du 25 au 31 aout 2015, a eu pour objectif 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.

La reconnaissance générale est réalisée via le relevé d'un profil en long des digues par panneaux électriques ou dual EM. La technique dual EM est utilisée principalement sur les zones à plus faible enjeu (SE2.3 et SE5).

2. Les profils en long des digues ont été analysés afin d'orienter la disposition des sondages géotechniques suivant les objectifs suivants :

- Caractériser les sols des profils en travers type géotechniques identifiés ;
- Caractériser les anomalies géophysiques repérées ;
- Intégrer les problématiques de réseaux.

Les reconnaissances géotechniques étaient principalement orientées sur les sondages carottés lorsque les accès et les contraintes réseaux le permettaient. Dans le cas contraire, ou lorsque les enjeux sur les digues étaient plus faibles (notamment SE 5), les reconnaissances suivantes ont pu être menées :

- Tarières et pénétromètres manuels ;
- Pénétromètres dynamiques ;
- Sondages destructifs.

3. Les sols prélevés ont fait l'objet de caractérisations par des essais en laboratoire : granulométrie, sédimentométrie et cisaillement. Des essais in situ ont aussi été réalisés sur certaines portions de digue afin d'évaluer la perméabilité des sols (essais LeFranc).

4. Une reconnaissance géophysique précise a ensuite été menée. L'objectif était de relever des profils en travers par panneau électrique au droit des sondages carottés réalisés lors de la campagne géotechnique.

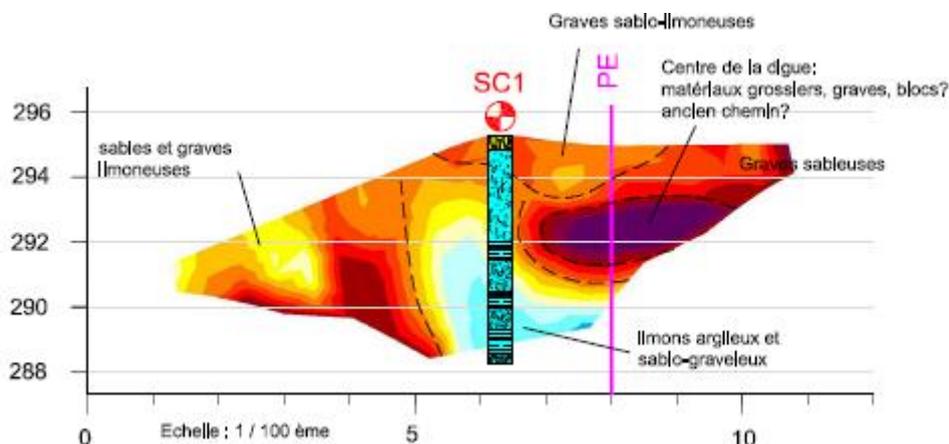


Figure 16 : Exemple de profil géophysique croisé à un sondage carotté – Digue SE 1.2

Les profils géophysiques, sondages géophysiques et essais en laboratoire ou in situ réalisés sur l'endiguement sont détaillés dans le diagnostic géotechnique de l'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

3.1.4.2 SE 2.1

Sur ce secteur, aucune reconnaissance géotechnique n'a pu être menée étant donné la présence de réseaux dans le corps de la digue. La composition de la digue est évaluée uniquement à partir d'un profil en long géophysique qui fait ressortir deux profils géotechniques distincts. Le tableau suivant présente les caractéristiques mécaniques de sols retenues pour ces deux profils types géotechniques.

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

Afin de pallier aux risques de résurgence en pied de talus aval (digues de faible largeur) et au risque d'érosion liées aux vitesses fortes du lit de la rivière, des travaux d'étanchéité et de protection du parement amont sont prévus dans le cadre du projet Leysse-Hyères au-dessus des enrochements en place. Le profil suivant présente le principe appliqué qui consiste à fixer une protection en matelas Gabion sur une géomembrane étanche. Dans le projet, les pentes de talus à 1/1 (profil STTP 57) sont adoucies à 3/2 pour permettre une bonne stabilité des protections hydrauliques en partie supérieure de talus.

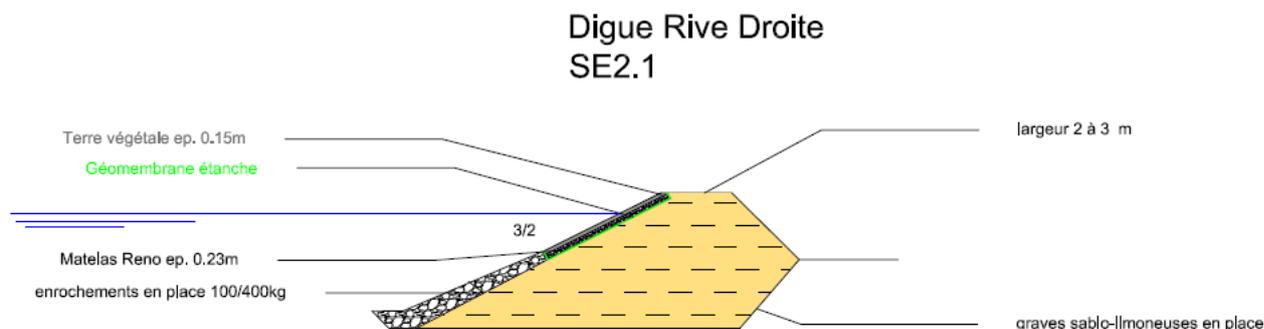


Figure 17 : Profil type – Digue SE 2.1

3.1.4.3 SE2.2 amont

Les travaux sur les digues du secteur SE 2.2 consistent soit en un renforcement, soit en une reconstruction. Le tableau suivant récapitule le linéaire de chaque tronçon :

Secteurs	SE	Rive	Localisation STTP	Ouvrage	Action	Cours d'eau	Linéaire affecté (m)
8	2.2	D	P113 à P121	Digue Sud ZI des Landiers 1	Confortement	Leysse	330
8	2.2	D	P108 à P110	Digue Sud ZI des Landiers 2	Reconstruction	Leysse	100
8	2.2	D	P99 à P107	Digue Sud ZI des Landiers 2	Elargissement et courroie limon	Leysse	320
8	2.2	D	P96 à P98	Digue Sud ZI des Landiers 2	Reconstruction	Leysse	170
8	2.2	D	P89 à P95	Digue Sud ZI des Landiers 2	Elargissement et reconstruction digue	Leysse	200
7	2.2	D	P81 – 85bis	Digue de la Balme (3)	Reconstruction	Leysse	300
6	-	D	P60 à P61	Berge	Elargissement	Leysse	50

Tableau 15 : Répartition des types de travaux effectués par secteur.

Les profils types suivant ont été adoptés et adaptés géométriquement en fonction des caractéristiques topographiques et géotechniques effectives des berges le long de la Leysse :

Dans le cas d'une reconstruction

Le profil type de la figure suivante s'applique aux secteurs de reconstruction.

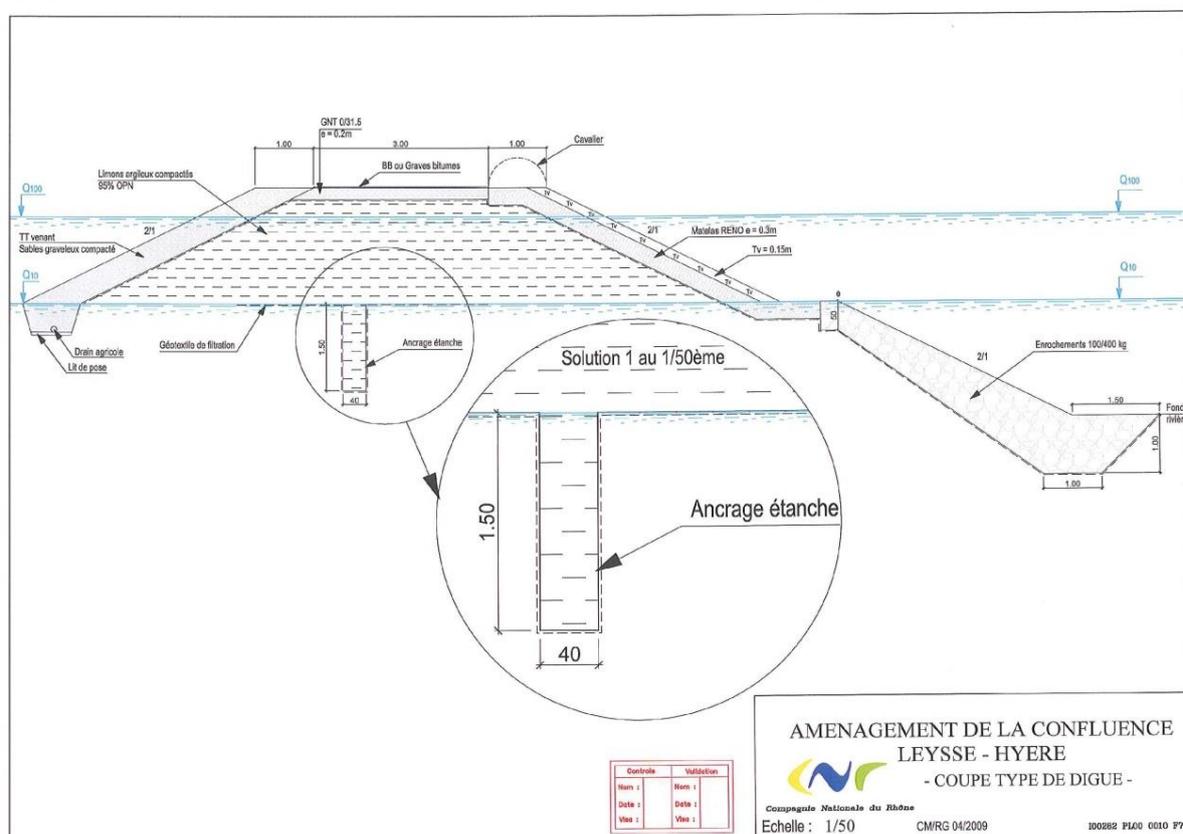


Figure 18 : Composition des digues reconstruites – Profil type 1

La largeur en crête de l'ouvrage est de 5 m. Un ancrage étanche a été rajouté pour rallonger le chemin hydraulique en crue afin de diminuer les risques d'érosion interne sur les digues.

Les principales caractéristiques de l'ouvrage de protection sont récapitulées dans le tableau ci-après :

Noyau de la protection	Limons compactés à 95 % de l'OPN
Constitution de la protection principale	Matelas RENO (0.23 m d'épaisseur) assis sur géotextile de filtration
Protection du talus aval de digue	Clé drainante en matériaux sablo-graveleux
Constitution de la butée de pied (pied de berge – talus amont)	Enrochements libres 60/300 kg

Tableau 16 : Profil en travers de la composition des digues reconstruites – Profil type 1.

Le profil type de la figure suivante s'applique au secteur ZI des Landiers 2 (P108 à P110 – RD)

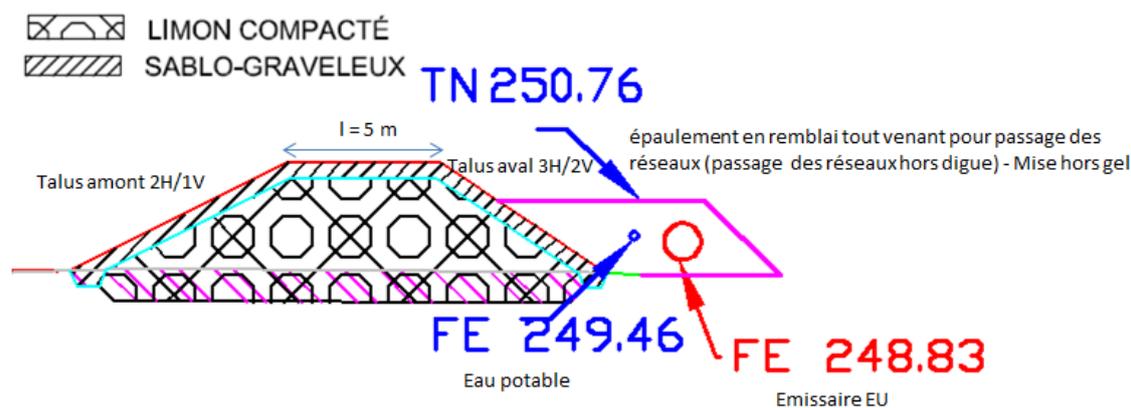


Figure 19 : Profil en travers de la composition des digues reconstruites – Profil type 2

Les principales caractéristiques de l'ouvrage de protection sont récapitulées dans le tableau ci-après :

Noyau de la protection	Limons compactés à 95 % de l'OPN
Constitution de la protection du talus amont de digue	Couverture en matériaux sablo-graveleux compactés
Constitution de la protection du talus aval de digue	Couverture en matériaux sablo-graveleux compactés

Tableau 17 : Composition des digues reconstruites – Profil type 2

Dans le cas de confortement d'ouvrages existants conservés

Le profil type de l'épaulement type des secteurs confortés sont présentés sur la figure suivante :

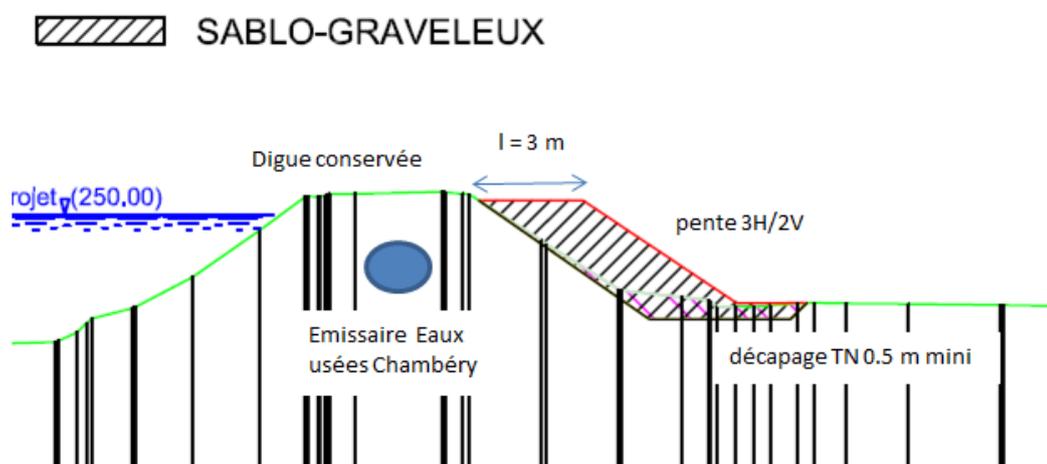


Figure 20 : Profil en travers type de la composition des digues confortées

Les principales caractéristiques de l'ouvrage de protection sont récapitulées dans le tableau ci-après :

Nature de l'épaulement en pied de talus aval de digue	Matériaux sablo-graveleux compactés
Largeur de l'épaulement	3 m

Tableau 18 : Composition des digues confortées – Profil type

Corroi sur talus amont secteur Digue Sud ZI des Landiers 1 – P99 à P 107

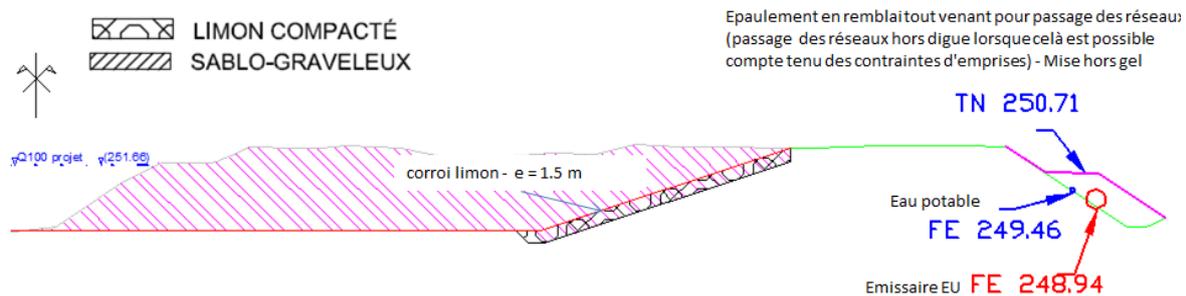


Figure 21 : Profil en travers type du corroi

Nature du corroi d'étanchéité sur le talus amont de digue	Matériaux limono-argileux compactés à 95 % de l'OPN
Epaisseur du corroi	1.5 m

Tableau 19 : Composition du corroi

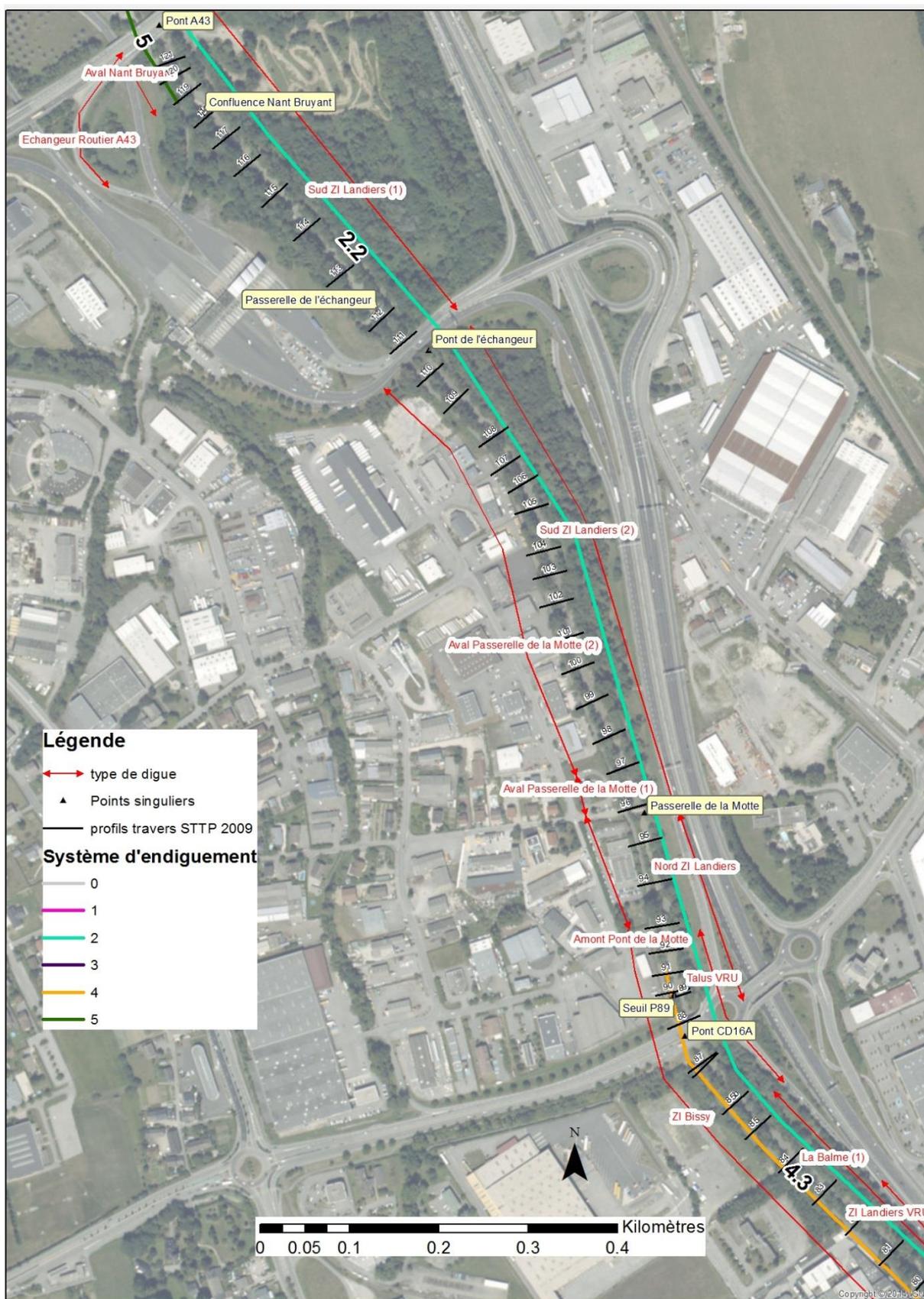
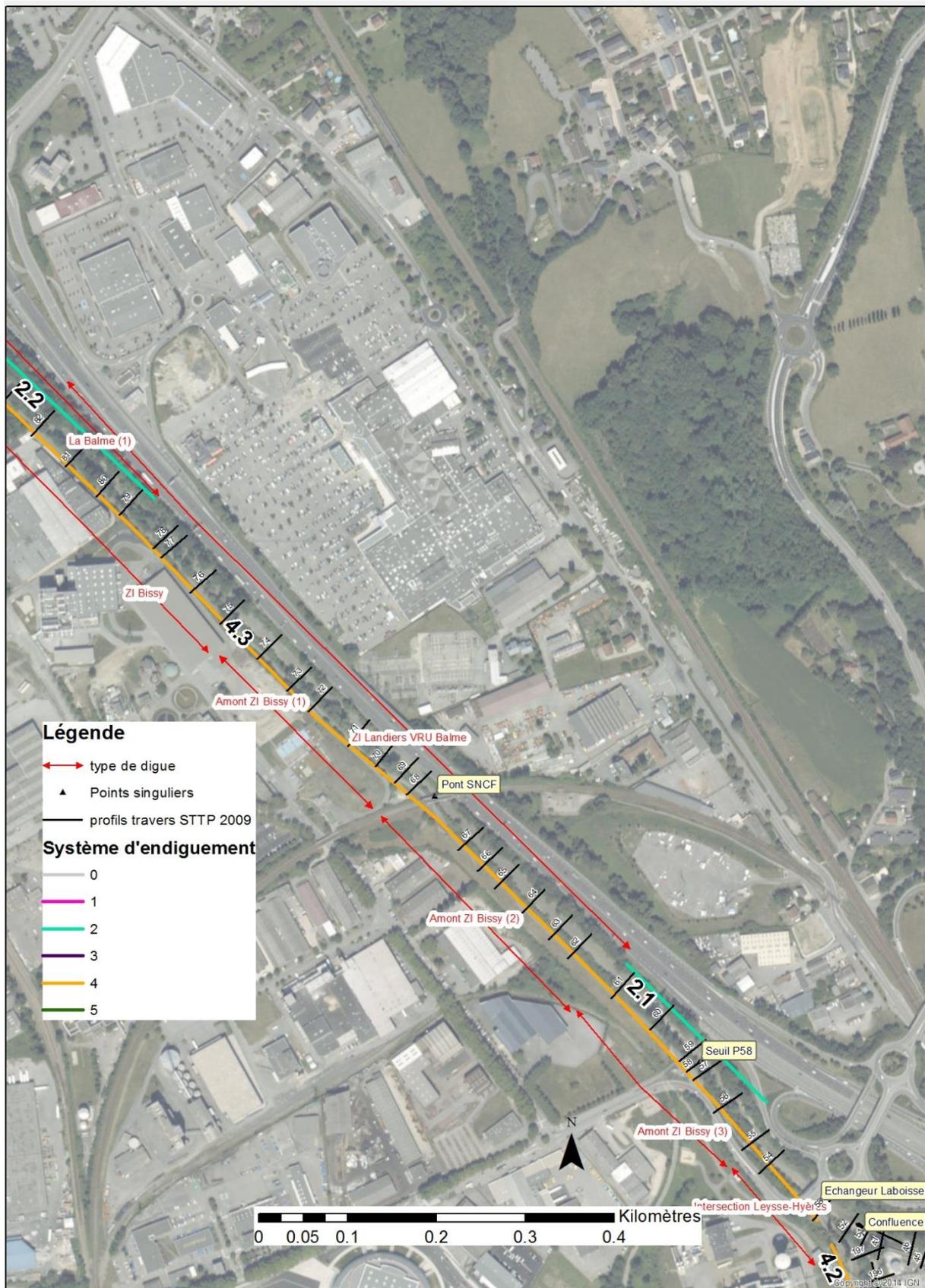


Figure 22 : Découpage en sous tronçon – projet Leysse-Hyères – 1/2



3.1.4.4 SE 2.2 aval

L'analyse combinée des reconnaissances géotechniques et géophysiques a permis d'identifier 6 profils géotechniques différents sur le linéaire du tronçon. Le tableau suivant précise les caractéristiques des sols retenues pour les différentes couches repérées grâce aux sondages.

La composition des sols peut être synthétisée de la manière suivante :

- Une première couche graveleuse est présente sur le premier mètre pour quasiment tous les profils types. Cette couche est souvent corrélée avec la présence d'une piste cyclable ;
- Sous cette couche, le cœur de la digue est constitué en majorité de limon sableux ;
- Les fondations peuvent être graveleuses (profil géotech 1, 5 et 6), sableuses (profil géotech 3 et 4) voire argileuses (profil géotech 2).

Les profils géophysiques ont permis de compléter l'analyse en mettant en évidence la présence d'une couche en enrochement sur le talus amont.

A noter que les cohésions retenues sont bien inférieures à celles évaluées par les essais de cisaillement. Les essais à la boîte, du fait de la difficulté de drainage, peuvent être surévalués. Afin de rester cohérent avec les valeurs communément admises 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.

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

Le profil en travers suivant présente un des profils type retenu (Géotech2) au droit du Rond-Point Villarcher

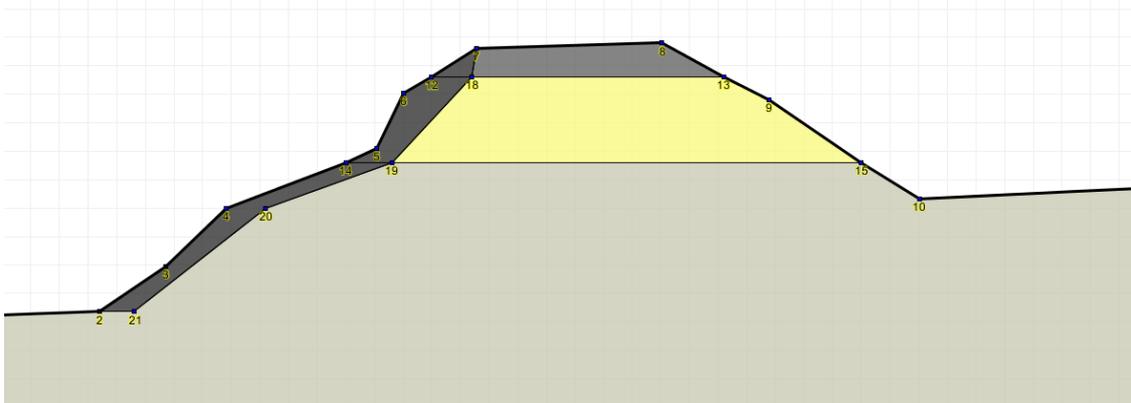


Figure 24 : Géotech2 – secteur Rond-Point Villarcher PKL4.981 – Modèle TALREN

Les essais Lefranc effectués dans le corps de digue ont donné l'estimation moyenne suivante de la perméabilité :

Secteur Pont Tremblay : Digue : $k = 2 \times 10^{-6}$ m/s / Fondation : $k = 2 \times 10^{-5}$ m/s

Secteur Villarcher : Digue : $k = 2 \times 10^{-6}$ m/s / Fondation $k = 8 \times 10^{-6}$ m/s

Il s'agit de sols peu perméables.

3.1.4.5 SE 2.3

Sur ce secteur, du fait des faibles possibilités d'accès, aucun sondage carotté n'a pu être foré. La composition de la digue est évaluée à partir d'un profil en long géophysique et de sondages à la tarière et pénétrométriques.

A partir de ces données géotechniques et géophysiques, il est apparu que les digues étaient relativement homogènes sur tout le linéaire. Ainsi un seul profil géotechnique est identifié. Le tableau suivant présente les caractéristiques mécaniques de sols retenues pour ce profil type géotechnique.

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

3.1.4.6 Synthèse des observations – typologie des désordres VTA 2015

Une Visite Technique Approfondie a été effectuée en mars 2015 [DA6]. Elle couvre les secteurs SE2.1, SE2.2 aval et SE 2.3. A l'occasion de cette VTA, l'endiguement du SE 2.2 amont a été inspecté **avant travaux**. Les travaux de confortement et de reconstruction du SE 2.2 amont étant en cours, aucune observation de désordre n'a encore été réalisée.

- SE 2.1 et SE 2.2 aval :

De la visite de terrain de 2015, il ressort que les digues de la Leysse n'ont pas fait l'objet d'un entretien continu et régulier. Il n'a pas été mis en évidence de traces explicites traduisant la présence de phénomènes de renard.

Sur les secteurs **SE 2.1 et SE 2.2 aval**, on distingue les typologies de désordres suivantes :

Erosion récurrente plus ou moins marquée du pied de berge, qui entraîne, par un effet domino, la ruine du pied de digue sus jacent Ce phénomène est largement facilité par l'absence de protection, des pentes de talus très raides et des vitesses fortes en crue, ce qui conduit à une déstabilisation importante (glissement) de la partie supérieure du talus.

Affaissement, mouvement et fissuration de la crête de berge notamment sur le secteur de Jean Lain. D'après les documents d'archives, il est souvent fait allusion dans les archives à des tourbes (sables argileux organiques ?), comme matériaux constitutifs du corps de digue et dont la dégradation dans le temps conduit à des affaissements des crêtes de digue qui ont fait régulièrement l'objet de rehaussement.

La végétation : La crête de talus côté rivière est très arborée (gros diamètres de 5 à 30 cm, avec un système racinaire probablement largement étendu au sein de la digue). Certains de ces arbres peuvent présenter des signes de faiblesses. Les récents travaux de maintenance engagés par le gestionnaire ont permis de réduire considérablement la proportion des arbres dangereux sur les endiguements Se1 à SE4.

Les tableaux suivants détaillent ces désordres par rapport à leur position sur la digue sur les deux endiguements SE 2.1 et SE 2.2 aval.

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	

Tableau 22 : Désordres observés – Système 2.1

Secteur Concerné	Localisation	Désordres
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	dévers marqué, fissures longitudinales sur l'enrobé de la piste

Tableau 23 : Désordres observés – Système 2.2 aval

- SE 2.2 amont :

Ce secteur fait l'objet de travaux de confortement et de restructuration. Ainsi, aucun désordre n'est signalé.

- SE 2.3 :

Ce secteur fait l'objet d'un entretien régulier et les désordres observés n'engagent pas la stabilité des ouvrages car ils sont traités dans le temps avant qu'ils ne deviennent préjudiciables à la tenue de l'ouvrage.

Les typologies de désordres rencontrées sont :

Erosion superficielle, liée à du ruissellement. Ce type de désordre est à surveiller lors des prochaines visites.

Talus localement raide D'une manière générale les talus ont des pentes de 3/2, ce qui est acceptable vis-à-vis des matériaux en place. La raideur de certains tronçons n'est pas problématique dans la mesure où les vitesses dans le bras de décharge sont faibles.

Piétinements d'Animaux : Des traces de présence d'animaux ont été observées. Il ne s'agit pas d'animaux fouisseurs. Le risque pour la digue est donc plus lié au tassement qui n'est pour l'instant pas visible. Ce point est à surveiller lors des prochaines visites.

Le tableau suivant détaille ces désordres par rapport à leur position sur la digue.

Secteur Concerné	Localisation	Désordres
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
	crête	piétinement d'animaux

Tableau 24 : Désordres observés – Système 2.3

3.1.5 Les ouvrages annexes

Le long du linéaire du SE3, on recense des ouvrages de franchissements, des seuils et des réseaux. Aucun n'épis n'est localisé sur le linéaire. Les désordres liés aux ouvrages (érosion, glissement, végétation) sont inventoriés dans la partie VTA présentée au chapitre 7. A noter qu'aucun terrier n'a été recensé sur le tronçon d'étude.

3.1.5.1 Ouvrages de franchissements

Sur le linéaire d'étude, 7 ponts et 3 passerelles permettent le franchissement de la Leysse et du bras de décharge. Les figures suivantes précises leur forme générale en vue amont.

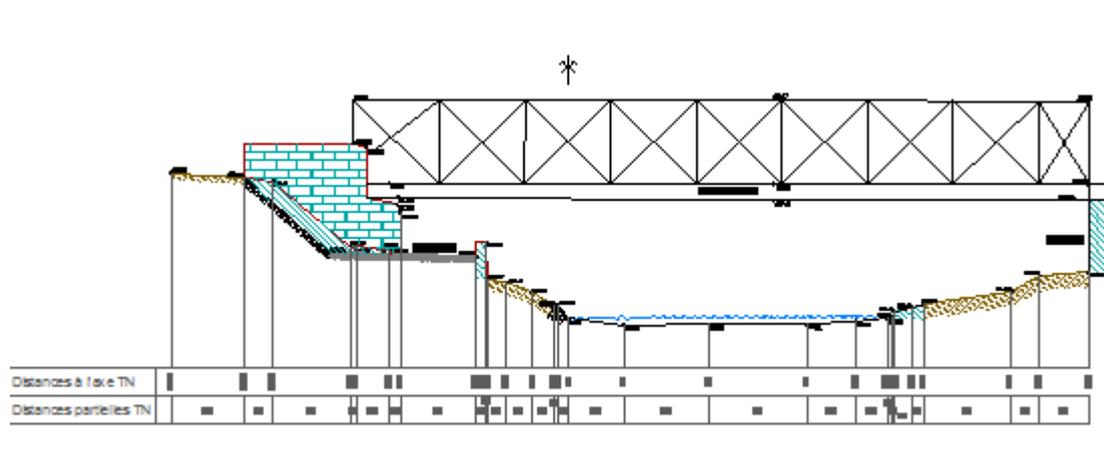


Figure 25 : Pont SNCF (O17) – vue amont – P67 – environ 500 m en aval du SE 2.1

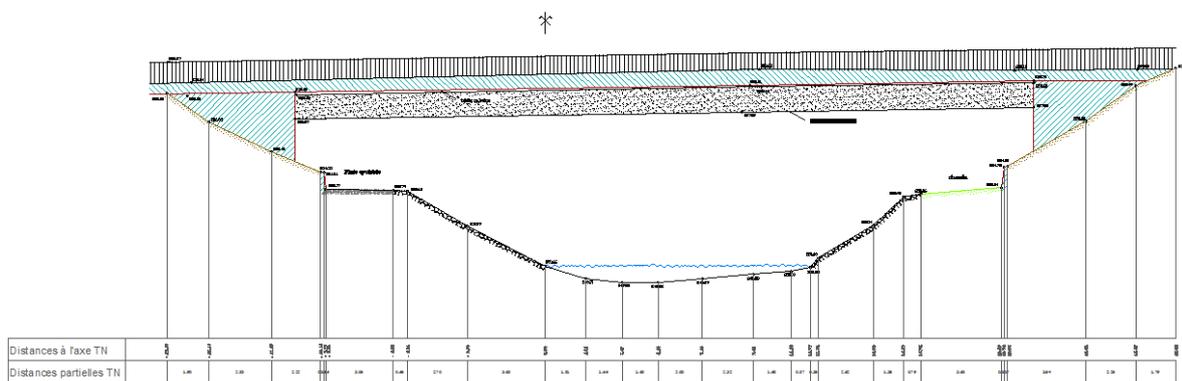


Figure 26 : Pont Du CD 16 A (O18) – vue amont – P87 – Sous-système concerné en amont : SE 2.2

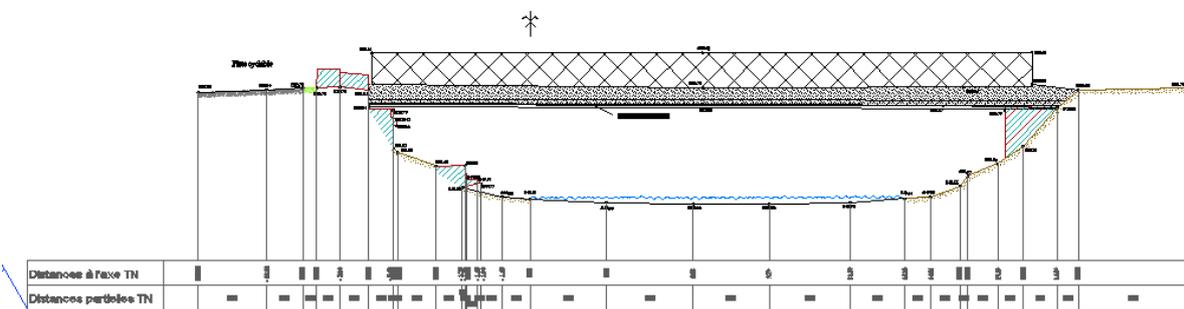


Figure 27 : Passerelle de la Motte (O19) – vue amont – P96 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2

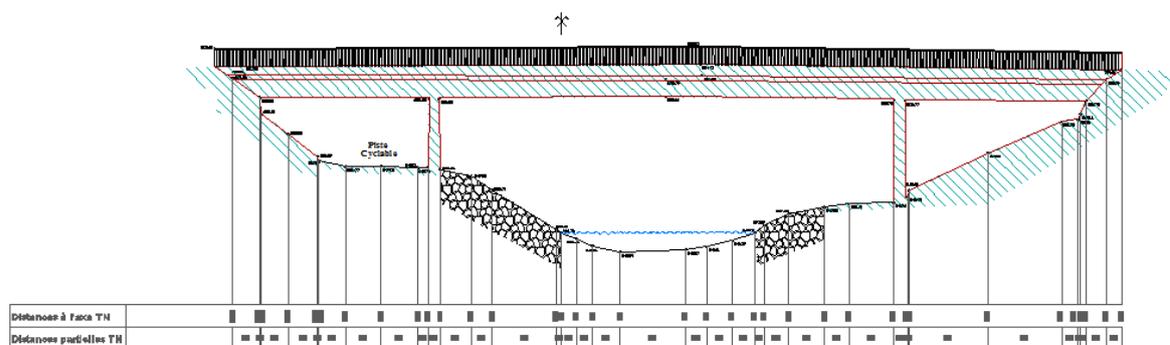


Figure 28 : Pont de l'échangeur (O20) – vue amont – P110 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2

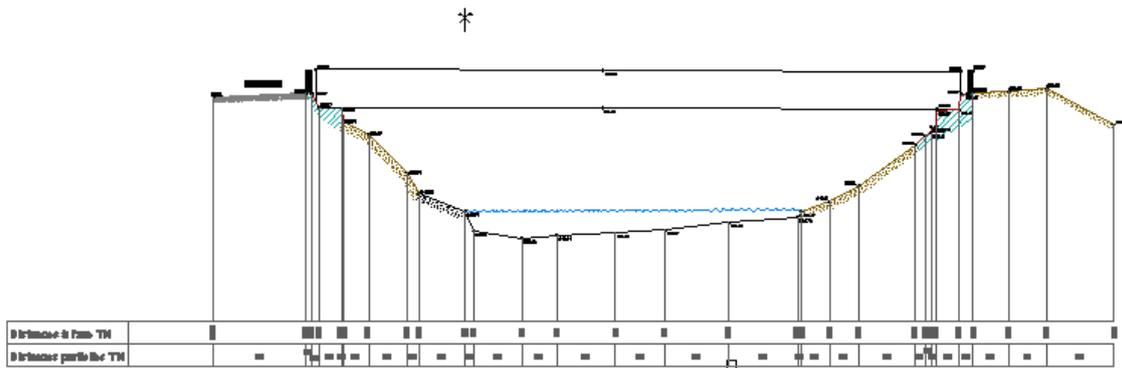


Figure 29 : Passerelle de l'échangeur (O21) – vue amont – P112 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2

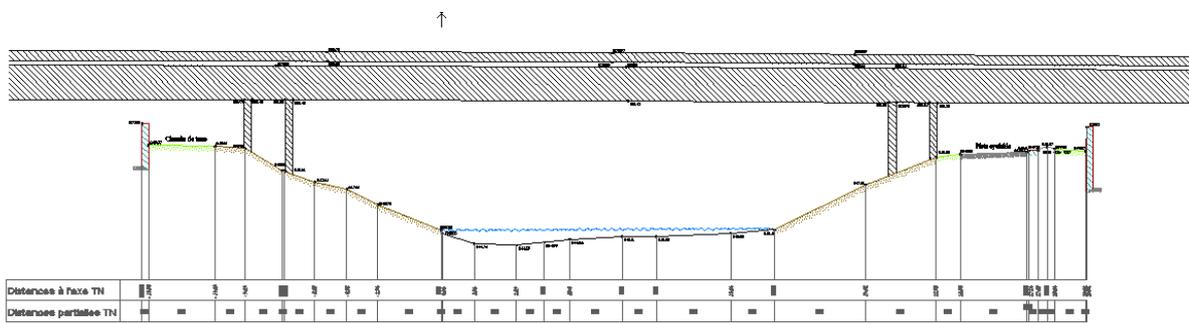


Figure 30 : Pont de l'A43 (O22) – vue amont – P121 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2

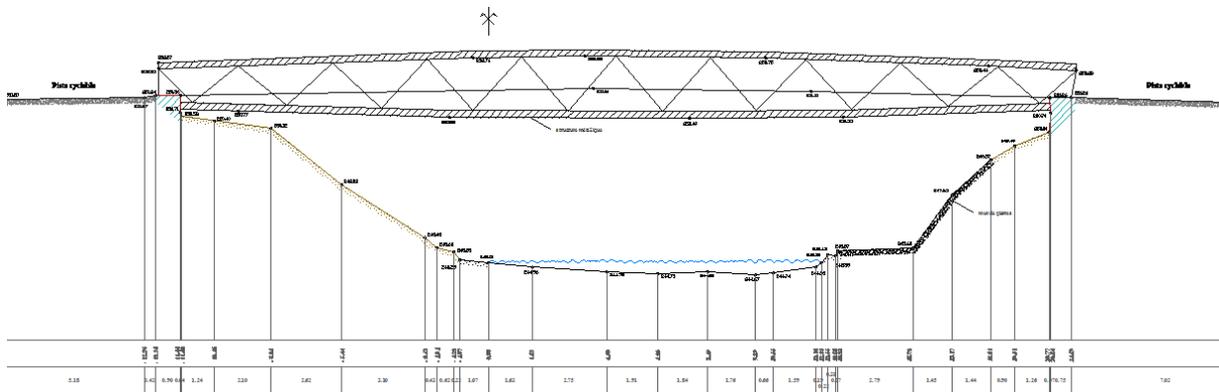


Figure 31 : Passerelle du Pré Marquis (O23) – vue amont – P123 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2

PKL3.435

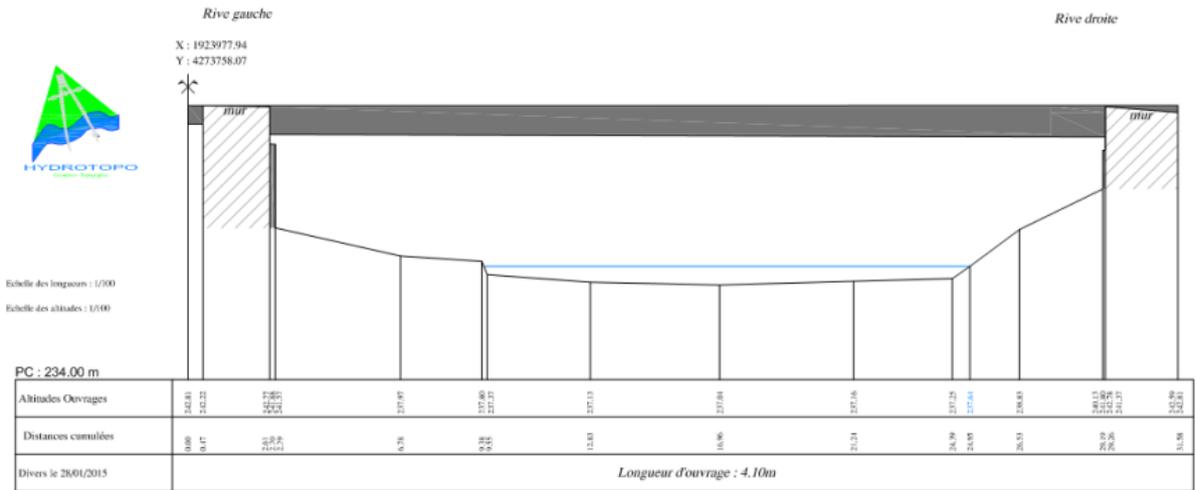


Figure 32 : Pont Tremblay – vue amont – PKL3.435 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2

PK BDL2.342

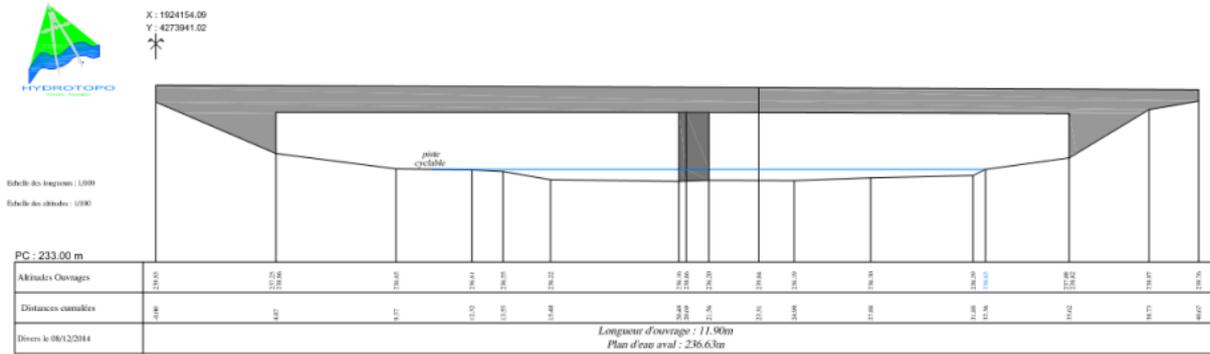


Figure 33 : Pont Bras de décharge – vue amont – PKBDL2.435 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.3

PK BDL0.036

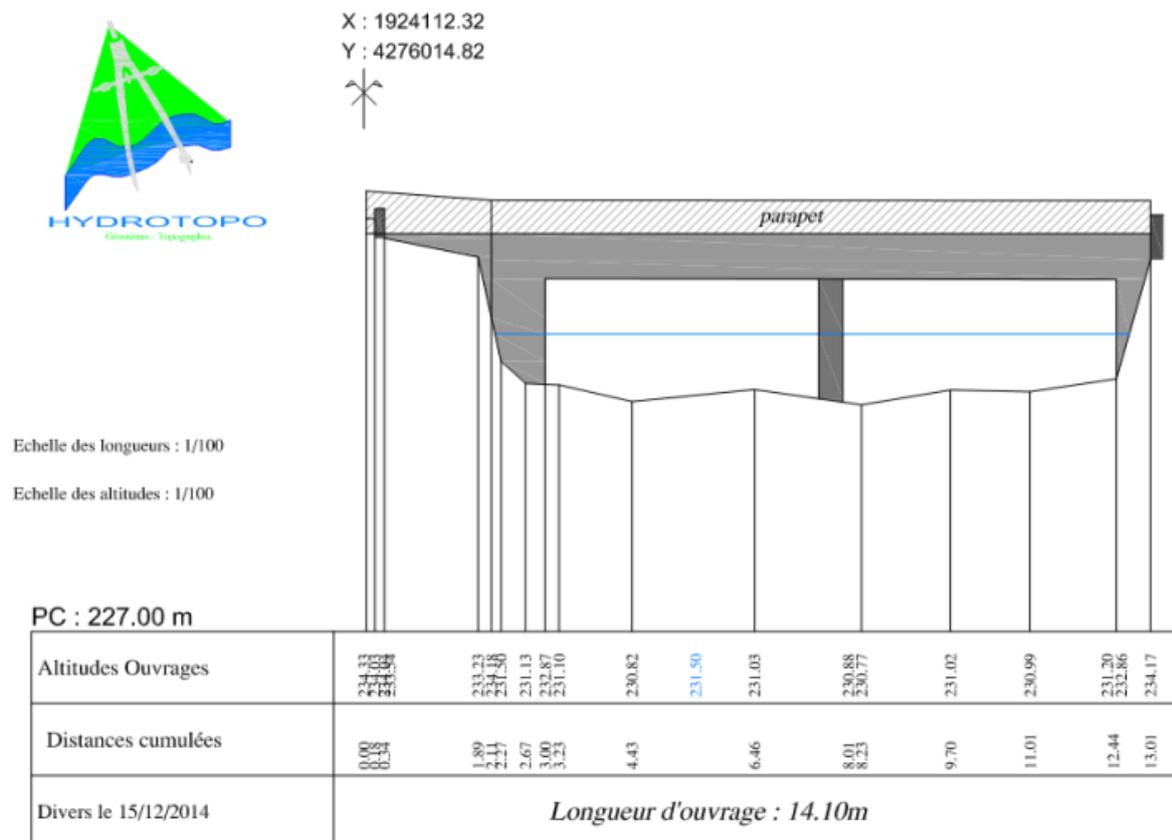


Figure 34 : Ouvrage aval bras de décharge – vue amont – PKBDL0.036– Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.3

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques principales de ces ouvrages de franchissement.

Nom du pont	Sous poutre du tablier		Epaisseur totale tablier		Numéro Ouvrage	Sous-système	Profil STTP	PK
	(m IGN 69)	Nature du tablier	(m)					
Ouvrage aval Bras décharge	232.86	Béton	0.75		PKBDL0.036	SE 2.3	-	PKBDL0.036
Pont Bras décharge	238.86	Béton			PKBDL2.342	SE 2.3	-	PKBDL2.342
Pont Tremblay	241.88	Béton	0.9		PKL3.435	SE 2.2	-	PKL3.435
Passerelle Pré Marquis A43	250.54	Tablier Béton / sous poutre métallique	<0.1		OA23	SE 2.2	P123	PKL6.17
Passerelle de l'échangeur	251.35	Béton	2.2		O22	SE 2.2	P121	PKL6.3
Echangeur	251.49	Béton	<0.1		O21	SE 2.2	P112	PKL6.68
Echangeur	252.78	Béton	1.5		O20	SE 2.2	P110	PKL6.76
Passerelle de la motte	252.99	Béton + canalisation	0.7		O19	SE 2.2	P96	PKL7.31
CD16A	256.97	Tablier Béton / sous poutre métallique	1.7		O18	SE 2.2 / SE 4.3	P87	PKL7.6
Pont SNCF	257.43	Métallique	0.6		O17	SE 2.1 / SE 4.3	P67	PKL8.54
Echangeur la Boisse	263.12	Béton	1.8		O16	SE 4.3	P53	PKL9.13

Tableau 25 : Caractéristiques des ponts et passerelles sur la zone d'étude

De ces ouvrages, celui qui est le plus défavorable vis-à-vis du tirant d'air est le pont SNCF, sachant qu'il se met en charge pour des crues de période de retour comprises entre 80 et 100 ans. Le risque d'embâcle sous cet ouvrage est donc non négligeable.

3.1.5.2 Seuils transversaux

Sur le linéaire d'étude, 2 seuils transversaux sont répertoriés.

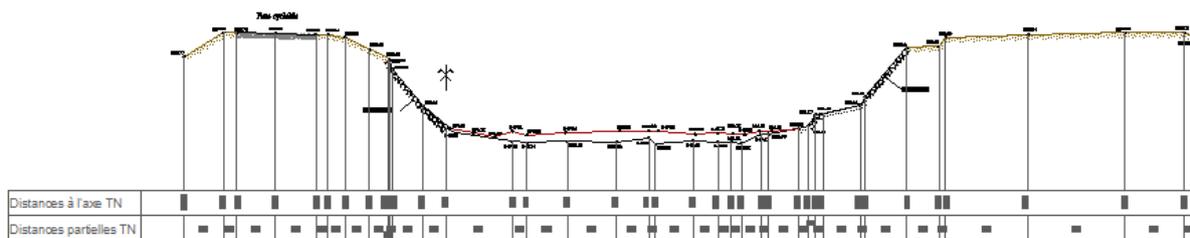


Figure 35 : Seuil aval Pont CD16A / seuil 11 – vue amont – P89 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.2

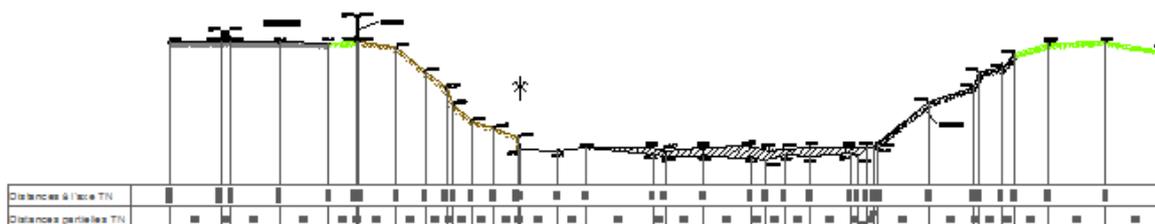


Figure 36 : Seuil aval Echangeur Laboisse / seuil 10 – vue amont – P58 – Sous-systèmes concernés en amont : SE 2.1

Nom du seuil	Cote du Radier (m IGN 69)	Nature du radier	Numéro seuil	Sous-système	Profil STTP	PK
Aval DC16A	249.82	Béton	Seuil 11	SE 2.2	P89	PKL7.56
Aval Echangeur Laboisse	254.95	Béton	Seuil 10	SE 2.1	P58	PKL8.95

Tableau 26 : Caractéristiques des seuils transversaux sur la zone d'étude

Le seuil au P58 est construit pour permettre le passage d'une conduite transversale. Le seuil au P89 semble être en place pour maintenir l'ouvrage de franchissement du CD16A.

Les seuils transversaux, s'ils se déchaussent, peuvent entraîner des risques d'érosion régressive ayant comme impact l'affouillement d'une digue et sa rupture potentielle.

Ce risque d'affouillement semble néanmoins assez limité pour les raisons suivantes :

- les seuils semblent plus avoir été créés pour limiter les affouillements des culées du pont et protéger le passage de conduite ;
- les fonds de la Leyse évoluent peu (cf. § 6.6) ;
- les seuils sont de faibles hauteurs.

3.1.5.3 Conduites et réseaux englobants

3.1.5.3.1 Réseaux longitudinaux

Sur le secteur du SE 2, la Leyse est parcourue par des réseaux longitudinaux. Il s'agit principalement de réseaux de surface type télécom ou électrique, longitudinaux, de faibles diamètres et non impactant pour la structure de la digue. Ces réseaux ne présentent pas de risque particulier pour la stabilité des ouvrages.

En revanche il est noté la présence d'un réseau d'eaux usées appelé aussi « émissaire », de diamètre 1200 mm, en béton armé, situé longitudinalement dans le corps de digue sur une grande partie de son linéaire. De par sa taille importante et étant situé dans le corps de digue, ce réseau peut présenter un risque d'instabilité pour l'endiguement SE2.2 aval.

3.1.5.3.2 Réseaux transversaux

SE 2.1

Sur le SE 2.1, deux réseaux traversants semblent présenter un risque relativement faible pour la stabilité de la digue sachant qu'ils semblent être implantés en fondation. Leurs caractéristiques principales sont résumées dans le tableau suivant.

PKL	réseau longitudinale	réseau traversant	catégorie	type	Diamètre (mm)	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 27 : Réseaux traversants présents sur le système 2.1

SE 2.2 amont

Sur le SE 2.2 amont, un réseau traversant a été recensé mais ne présente pas de risque par rapport à la stabilité de la digue :

- Passage de l'émissaire de diamètre 1200 mm entre le P87 et le P88 sous le pont du CD16A. Il n'y a pas de risque d'instabilité des digues car le passage s'opère sous le pont puis sous la berge rive droite (non classée en digue).



Figure 37 : Emissaire 1200 mm – vue amont – 87 – Sous-systèmes concernés : aucun

3.1.5.3.3 SE 2.2 aval

Le tableau suivant présente les principaux réseaux transversaux rencontrés. Sur ce tableau, deux réseaux ont une direction transversale à l'écoulement. Leur profondeur d'enfouissement n'est pas connue. Il s'agit :

- Du passage de l'émissaire de diamètre 1200 mm au PKL 4.1 ;
- Du passage de la conduite de gaz au PKL4.2.

PKL	réseau longitudinale	réseau traversant	catégorie	type	Diamètre (mm)	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	<i>traversant au PKL 4.1</i>	RHF Réseau Hydraulique Fermé	CON CONduite d'eau	1200	GRA GRAvitaire	EUS Eau Usées, assainissement
5.8 à 7.3	FG300	<i>semi traversant (talus aval) au PKL 5.8</i>	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	<i>semi traversant (talus aval) au PKL 4.9</i>	RTE Réseau de Télécom et d'Energie	EFT ligne EdF et/ou pTd	-	-	-

Tableau 28 : Réseaux présents sur le système 2.2 aval

3.1.5.3.4 SE 2.3

Le tableau suivant présente les principaux réseaux transversaux rencontrés. Sur ce tableau, un réseau a une direction transversale à l'écoulement. Cet ouvrage est situé sous l'ouvrage, dans sa fondation. Il s'agit :

- du passage de la conduite eau au PK2.3.

PKLBD	réseau longitudinale	réseau traversant	catégorie	type	Diamètre (mm)	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 GRAvitaire	EDI Eaux de Distribution
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 29 : Réseaux présents sur le système 2.3

3.1.6 Bras de décharge

Un ouvrage d'alimentation d'un bras de décharge a été réalisé en aval du pont Tremblay (entre les systèmes SE2.2 et SE2.3), l'objectif du bras étant de diminuer les débits dans la Leysse en aval, et ainsi mieux protéger la zone de Savoie Technolac. L'ouvrage est constitué de 2 vannes clapets déversant de 1.5 m de hauteur par 7.5 m de largeur. Les clapets initialement en position haute, s'abaissent automatiquement et progressivement à partir d'un débit de 280 m³/s dans la Leysse au pont du Tremblay afin de maintenir au maximum 240 m³/s dans la Leysse en aval du bras de décharge.





Echelle des longueurs : 1/100
Echelle des altitudes : 1/100

PC : 233.00 m

Altitudes Ouvrages	233.00	237.23	237.31	237.36	236.60	236.52	236.59	236.53	237.60	237.36	236.74	237.35	237.36			
Distances cumulées	0.00	2.35	5.68	7.54	8.24	9.25	9.68	10.05	10.85	15.06	14.30	15.19	15.67	16.38	17.44	17.86

Figure 38 : Photo et profil en travers topographique – Ouvrage d'alimentation du bras de décharge

Afin de répondre aux différentes situations pouvant se présenter lors de l'exploitation et la maintenance de cet équipement, plusieurs modes de fonctionnement sont prévus :

- En automatique

Dans ce mode de fonctionnement les manœuvres des vannes clapets sont réalisées automatiquement en fonction des consignes préalablement établies et des mesures de niveaux.

L'ensemble de ces données sont intégrées par un automate programmable qui déclenche les ouvertures et fermetures des clapets.

Le fonctionnement des deux vannes clapets peut être simultané ou alterné avec un alignement automatique de leurs positions afin de conserver un écoulement uniforme sur tout le barrage.

Toute anomalie en crue et hors crue est notifiée au gestionnaire via des alertes SMS.

- En manuel

Dans ce mode de fonctionnement, les vannes clapets sont manœuvrées volontairement par un opérateur par l'intermédiaire de l'armoire de commande.

- En secours

En cas d'avarie sur le système de contrôle commande, il est possible d'abaisser les vannes clapets en libérant les vérins par action sur des robinets d'huile situés sur la centrale hydraulique.

- En sécurité anti-crue

En cas d'avarie sur le système de commande ou de régulation, le barrage est équipé de deux flotteurs anti-crue dont la fonction est d'abaisser les vannes clapets si le niveau amont est supérieur à une consigne préalablement définie et ceci sans intervention extérieure ni apport d'énergie.

- Répartition des débits :

Le tableau ci-dessous présente la répartition des débits entre la Leysse et le Bras de décharge pour différentes périodes de retour de crue.

Période de retour indicative (ans)	Débit dans le bras de décharge (m ³ /s)	Gestion des clapets	Surverse actuelle
2	0,5	Clapets levés	
5	11		
10	18		
20	30		
30	39		
40	45	Effacement progressif des clapets	Débordement
	50		
50	60		
	70		
	80		
	90		
75	100		
	110		
	120	Clapets abaissés	
100	133		

Tableau 30 : Répartition des débits et gestions des clapets – Ouvrage de décharge

3.2 Calculs de stabilité des digues

Les résultats concernant les calculs de stabilité sont issus :

- Du rapport du Diagnostic géotechnique de l'Erreur ! Source du renvoi introuvable. pour les systèmes SE2.1, SE2.2 aval et SE2.3.
- Du projet d'aménagement Leysse-Hyères pour le système SE2.2 amont ;

3.2.1 Les mécanismes de désordres et rupture – les configurations à tester

Les différents mécanismes de dégradation à envisager sont les suivants :

- Surverse,
- Rupture par glissement du talus amont lors d'une décrue rapide,
- Rupture par glissement du talus aval liée à une charge hydraulique excessive,
- Erosion interne,
- Erosion externe du talus amont,
- Affouillement du pied amont.

Les digues du SE2 ne sont en charge qu'à partir d'une crue décennale Q10. Or ils ne restent pas en charge tout au long de cette crue (qui est d'environ 60h). Ainsi, les temps de saturation des digues ne période de crue restent supérieurs à la durée des crues.

D'après les investigations géotechniques effectuées, on retiendra les deux types de digues suivantes :

- Digue limono-sableuse sur limons sableux / silteux,
- Digue limono-sableuse / silteuses sur graves sableuses.

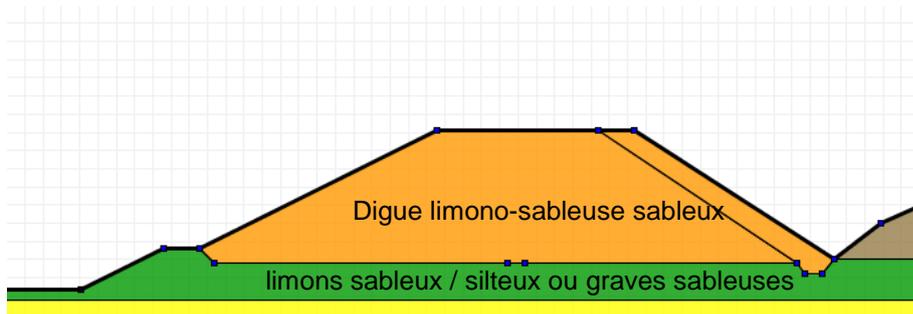


Figure 39 : Types de digue étudiés

3.2.2 Les différents comportements en phase de crue

L'écoulement se diffuse progressivement de l'amont vers l'aval de la digue :

- Dans le corps de digue,
- A l'interface digue – sol en place,
- Dans le sol en place à plus ou moins grande profondeur (cheminement préférentiel)

Il s'établit alors un régime d'écoulement permanent selon un réseau de lignes de courant et d'équipotentiels hydrauliques (lignes de charge), qui peut générer une instabilité du talus aval.

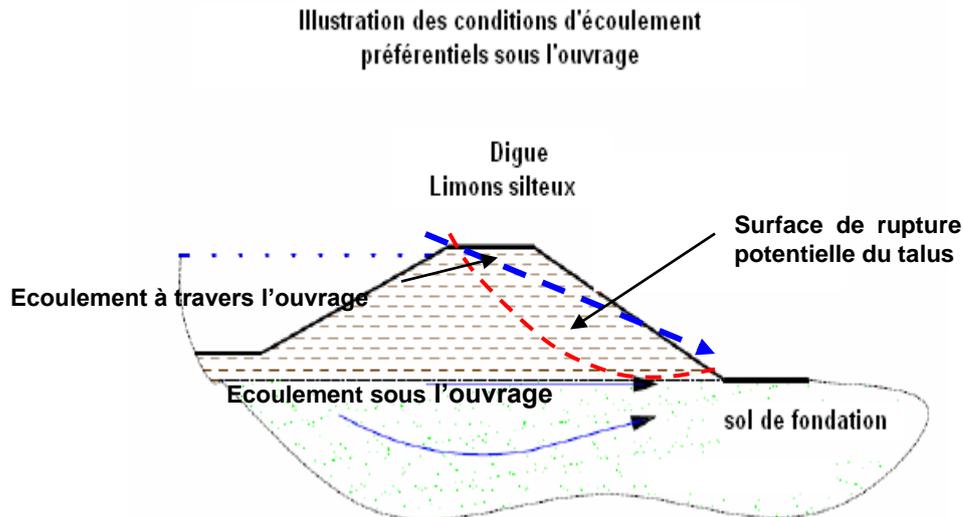


Figure 40 : Illustration des conditions d'écoulement préférentiel sous l'ouvrage

3.2.2.1 Dignes et sols en place constitués par des limons sableux / silteux

Le mécanisme de rupture est la rupture d'ensemble : **glissement du talus aval** sous la charge hydraulique (cf schéma précédent). Le calcul de stabilité fait appel à la méthode de glissement circulaire (Bishop). Le coefficient de sécurité minimum correspondant au cercle de rupture potentiel le plus défavorable. Ce cercle de glissement le plus défavorable dépend de la géométrie (hauteur, largeur, inclinaison), des caractéristiques mécaniques drainées des matériaux (φ' et c') et du gradient hydraulique local en partie aval de la digue.

3.2.2.2 Digue en limons sableux / silteux sur graves sableuses

L'écoulement se développe très rapidement sous la digue compte tenu du différentiel de perméabilité entre les matériaux du corps de digue et le substrat drainant. Les mécanismes de rupture peuvent être :

- Soit une **rupture d'ensemble par glissement circulaire** (corps de digue non drainé, graves sableuses drainées),
- Soit un **glissement plan sur la fondation** (rare).

3.2.2.3 Dignes hétérogènes

Les hétérogénéités de perméabilité de la digue se rencontrent dans les cas suivants :

- A) Présence d'un ouvrage enterré traversant (canalisation)

Les interfaces sols / béton ou sol / métal dans les tranchées de réseaux induisent des risques d'instabilité sur les digues. Les difficultés de compactage des tranchées de réseaux expliquent très souvent la présence de niveaux décomprimés au niveau du lit de pose du réseau et dans la première couche compactée au-dessus de ce dernier. En effet, les sols ne sont pas généralement comprimés afin de ne pas endommager les conduites. Le faible compactage peut générer des tassements différentiels excessifs et compromettre l'intégrité des ouvrages, et ce plus particulièrement pour les réseaux humides, auquel s'ajoute les risques de fuite.

B) Hétérogénéité des corps de digue

On pense plus particulièrement :

- A la présence de niveaux décomprimés (mauvais compactage, niveaux lâches...),
- Matériaux du corps ou de la fondation de la digue très hétérogènes (présence de niveaux graveleux à sablo graveleux drainants dans ou en fondation de l'ouvrage),
- A la présence d'une dégradation localisée, liée à l'action humaine (travaux dans la digue, terriers d'animaux fouisseurs),
- A la présence de racines d'arbres décomposées,
- Aux raccordements de tronçons de digue neuve avec des ouvrages existants, aux secteurs de digues ayant subies des réparations d'urgence faisant suite à l'apparition de brèches, ou de tassement de la crête de digue.

Dans ces deux cas d'hétérogénéité du corps de digue, le **risque de rupture préférentiel est l'érosion interne** (phénomène de renard hydraulique). Les hétérogénéités pré-citées constituent des zones d'écoulements préférentielles lors des crues en l'absence de dispositifs d'étanchement particuliers (écran anti-renard, bétonnage pleine fouille des tranchées de réseaux...). Selon la charge hydraulique et la nature des matériaux, le gradient hydraulique critique peut être localement atteint. Cela entraîne la migration de particules dans le corps de digue et l'apparition de niveaux décomprimés ou de conduits d'écoulement dans lesquels le phénomène s'auto-entretient et tend à s'amplifier rapidement dans le temps.

Mais dans les cas critiques et suite à une sollicitation extrême et déclenchante, le phénomène peut s'emballer de manière exponentielle jusqu'à **l'apparition d'une brèche puis l'effondrement de la digue par érosion interne régressive**.

3.2.2.3.1 Conclusions sur la saturation des ouvrages en crue

Les niveaux graveleux, les niveaux lâches, les réseaux enterrés transverses, disséminés au sein de la masse de la digue peuvent constituer des chemins d'écoulement préférentiels (drains), s'ils sont interconnectés, et peuvent largement accélérer la mise en charge de l'ouvrage.

Les graves sableuses de fondation peuvent être considérées comme très drainantes et constituent le cheminement d'écoulement préférentiel en période de crue.

3.2.3 Stabilité à la charge hydraulique

3.2.3.1 Loi de Darcy

Selon l'étude hydraulique du schéma d'aménagement directeur (cf. [DA15]), la durée de la crue de projet Q100 ans (368 m³/s calculé au Pont Tremblay) est de 60 heures (2,5 jours) et la montée de crue est de 24 h. 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 (m/s),
- i : gradient hydraulique (m/m)
- k : coefficient de perméabilité du sol (m/s)

Or $v = L/\Delta t$, et $i = \Delta h / L$

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

Donc $\Delta t = L / (k \times i) = L^2 / (k \times \Delta h)$

Les chapitres suivants fixent le comportement prévisible de chacun des ouvrages étudiés lors de la crue.

3.2.3.2 Comportement des ouvrages étudiés en période de crue

Dans les calculs, les valeurs de perméabilité ont été augmentées d'un facteur 10 pour tenir compte :

- D'une éventuelle anisotropie de perméabilité des matériaux,
- D'éventuelles hétérogénéités dans le corps de digue,
- D'un éventuel décolmatage des sols graveleux (plus de fines) dans les sols de fondation.

Rappelons, à titre indicatif, que les investigations géotechniques et géophysiques ont mis en évidence la présence de milieux lâches ou à plus forts indices des vides.

3.2.3.2.1 Caractéristiques géotechniques des digues sur le secteur 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	5.00E-04	2.49E+05	2.89
Geotech2	S2.1 STTP59	4.8	0.12	sable/gravier	5.00E-04	3.84E+05	4.44

Tableau 31 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers de la digue – S2.1

En comparaison à la durée de montée d'une crue centennale (1 jour), les digues n'ont pas le temps d'atteindre leur niveau de saturation en partie grâce aux dispositions constructives.

3.2.3.2.2 Caractéristiques géotechniques des digues sur le secteur SE 2.2 amont

Les dispositions constructives permettent de respecter des temps de saturation supérieurs ou égal au temps de montée de la crue de 20 h. Ainsi les digues ne sont pas entièrement saturées au passage de la pointe de crue, ce qui limite le risque d'instabilité des ouvrages.

secteur topographique	L (m)	H (m)	type de sol	Perméabilité (m/s)	t (s)	t (j)
P116	5	2	Sable et limons	5.00E-05	2.50E+05	2.89
P109	5	3.5	Sable et limons	5.00E-05	1.43E+05	1.65
P83	6	3.5	Sable et limons	5.00E-05	2.06E+05	2.38

Tableau 32 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers de la digue – S2.2 amont

3.2.3.2.3 Caractéristiques géotechniques des digues sur le secteur 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	5.00E-05	1.71E+06	19.75
Geotech2	Rond-point Villarcher	12	2.5	sable limoneux	5.00E-05	1.15E+06	13.33
Geotech3	Villarcher 1	12.5	1.8	sable limoneux	5.00E-05	1.74E+06	20.09
	Villarcher 2	21	3.8	gravier	1.00E-03	1.16E+05	1.34
Geotech4	Tremblay	17	2.1	sable/gravier	5.00E-04	2.75E+05	3.19
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	5.00E-05	1.74E+06	20.09
	Villarcher 2	21	3.8	sable	1.00E-04	1.16E+06	13.43

Tableau 33 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers de la digue – S2.2 aval

Les temps de saturations sont tous supérieurs à la période de la crue.

3.2.3.2.4 Caractéristiques géotechniques des digues sur le secteur 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	5.00E-05	2.53E+06	29.30

Tableau 34 : Temps avant saturation de la digue – écoulement à travers la digue – S2.3

La digue est composée de matériaux fins, et elle 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.

3.2.4 Stabilité vis-à-vis de la surverse

3.2.4.1.1 Description du phénomène

Il y a surverse lorsque la submersion s'effectue sur la digue en charge hydraulique.

Les digues en terre non revêtues ne résistent généralement pas à la surverse. L'érosion se développe soit à partir de la crête de digue par arrachement des matériaux soit à l'aval de la digue par érosion régressive à partir d'une érosion de pied.

En effet, l'écoulement sur le talus aval, qui est d'autant plus rapide que l'inclinaison est forte, est très érosif soit pour le parement aval de la digue, soit pour le pied de digue en raison de la dissipation d'énergie. Dans tous les cas, on assiste à des arrachements de matériaux puis une érosion régressive depuis l'aval. Lorsque la digue est étroite, cette érosion, gagne rapidement toute la crête de digue et il se produit une brèche. Lorsque la digue est large, la rupture du talus aval ne crée pas immédiatement de brèche et un profil d'équilibre précaire peut s'établir sans rupture immédiate.

Les facteurs qui tendent à réduire le risque d'instabilité vis-à-vis du risque de surverse sont :

- Une certaine protection de surface grâce à la végétation herbacée dense (Nb : les arbres sont au contraire source de turbulence). La digue résistera mieux en cas de faible déversement mais reste très vulnérable.
- L'établissement, en pied de digue, d'un matelas d'eau obtenu naturellement par la propagation de l'inondation dans la plaine depuis l'aval ou grâce à un déversement contrôlé via un déversoir

Les facteurs qui tendent à augmenter le risque d'instabilité vis-à-vis du risque de surverse sont :

- La présence de gros arbres dans la digue et en particulier en partie haute du talus aval. Leur arrachement risque d'entraîner la souche et un bloc de terre important et ainsi de créer un affaissement local de la crête de digue dans lequel l'eau peut s'engouffrer et créer une brèche.
- Les points bas.

3.2.4.1.2 Le risque d'instabilité à la surverse des ouvrages étudiés

SE2.2 aval et SE2.3

Etant données leurs constitutions et s'agissant d'ouvrage en terre, les digues en état initial ne sont pas résistantes à la surverse.

Le tableau suivant présente les points de surverse sur le SE 2. L'ensemble des points de surverse est explicité dans la rubrique 6 de la présente étude de dangers.

Localisation débordement	Rive	Profil STTP	PK	Ordre des débordements	Temps d'apparition	Débit dans le cours d'eau associé (m ³ /s)	Période de retour	Tronçon de rivière	SE
Amont Pont Tremblay	D	-	L3.8	L5	1 j 1h30	340	Q60	Leysse aval	2.2
Amont Pont Tremblay	D	-	L3.5	L7	1 j 02h30	360	Q80	Leysse aval	2.2
Aval lac du Bourget	D	-	BD0.2	L9	-	-	entre Q30 et Q100	Bras décharge	2.3

Tableau 35 : Points de surverse sur les digues

SE2.2 amont et SE 2.1

Les digues du SE2.2 amont et du SE 2.1 ne sont pas résistantes à la surverse. Cependant les calculs ont permis de vérifier que les crues ne surversaient pas sur les digues jusqu'à une crue de période de retour 200 ans.

Sur l'ensemble du projet Leysse-Hyères, trois emplacements privilégiés seront prévus ou conservés pour permettre une surverse latérale des débits excédentaires en cas de crue d'intensité supérieure à celle de la crue de référence :

- A l'amont proche du pont des Allobroges : fonctionnement comparable à celui constaté dans l'état actuel, c'est-à-dire déversement majoritairement vers le côté gauche (terrain de l'entreprise anciennement OCV) ;
- A l'amont proche du pont des Chèvres côté rive droite : comme dans la situation actuelle, déversement via la voie ferrée vers l'axe hydraulique dit "Landiers-Belle Eau" ;
- A l'amont immédiat du pont du CD 16A au droit du point bas de la piste cyclable : comme indiqué ci-avant, ce point bas sera rehaussé (de 0,20 m environ) jusqu'au niveau de la crue centennale. La crête et le talus aval de la digue rive gauche devront être protégés.

3.2.5 Stabilité au glissement

3.2.5.1 Présentation des phénomènes

On distingue :

A) les instabilités du talus amont

La stabilité du talus amont est étudiée en cas d'abaissement rapide de la charge amont (décrue rapide). Il en résulte l'apparition d'un « gradient hydraulique inverse » dirigé du talus vers la rivière, les pressions interstitielles à l'intérieur de la digue n'ayant pas eu le temps de se dissiper.

Etant donné les temps de saturation généralement relativement lent (souvent plus d'une journée d'après le §3.2.3), il est peu probable qu'un glissement du talus amont soit observé lors d'un abaissement rapide du plan d'eau. De plus la décrue s'opère relativement lentement avec une décrue sur 20 h. Les calculs sont néanmoins réalisés.

B) les instabilités du talus aval

La stabilité du talus aval concerne l'ensemble du talus. Les calculs sont menés sur les digues présentant un dénivelé significatif par rapport au terrain naturel aval. En effet, lorsque la digue ne présente que 50 cm de hauteur par rapport au terrain naturel aval, le risque de glissement est quasi nul.

3.2.5.2 Méthode utilisée et coefficients requis

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 pour les systèmes SE 2.1, SE 2.2 aval et SE 2.3. Lors du rapport de diagnostic, une première série de calcul a été réalisée sur le SE 2.2 aval. Les calculs ont été affinés pour l'étude de dangers. Ce sont ces derniers calculs qui font foi. D'après cette méthode la sécurité des calculs réside dans les points décrits ci-dessous :

- Les valeurs caractéristiques des c' , ϕ' et le poids volumique sont divisés par des coefficients partiels (Tableau 36 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.**

Pour le secteur SE 2.2 aval, la méthode traditionnelle est utilisée. Le Tableau 36 présente les coefficients requis en fonction des différentes situations testées.

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

Situation		Méthode coefficient Partiel / FS = 1			Méthode Traditionnelle pour SE 2.2 amont
		Coefficient partiel sur le poids volumique	Coefficient partiel sur la cohésion (c') et tanφ	Coefficient de modèle	FS
a	Normale d'exploitation (Q10)	1,00	1,25	1,20	1.5
b	Exceptionnelle de crue (Q100)	1,00	1,10	1,20	1.3
c	Extrême de crue (Extrême)	1,00	1,00	1,10	1.1

Tableau 36 : Coefficients partiels et de modèle – ELU stabilité d'ensemble (glissement)

3.2.5.3 Le risque d'instabilité au glissement des ouvrages étudiés

Les résultats sont extraits du diagnostic de l'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** pour SE 2.2 aval, SE 2.1 (talus aval) et SE 3. Les calculs de l'état projet SE 2.1 (talus amont), SE2.2 amont sont extraits de l'Annexe 10.

SE2.1

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 (193 m3/s pont Tremblay)	Q100 (368 m3/s)	Extrême	
Geotech1	STTP57	8.91	65	1.45	1.65	1.51	1
Geotech1	STTP59	8.88	92	1.03	1.15	0.99	1.03
Geotech2	STTP57	8.91	65	1.6	1.7	1.55	1.04
Geotech2	STTP59	8.88	92	1.08	1.22	1.02	1.06

Tableau 37 : Coefficients de sécurité calculés - Etude de la stabilité au glissement – Système 2.1

Les calculs de stabilité révèlent que les profils ne sont pas sensibles au glissement lors d'une décrue rapide du fait des protections en enrochement et dispositions constructives en matelas gabion sur le profil STTP59.

Le talus aval du profil STTP59 est en limite d'instabilité en crue extrême (limite de déversement). La crue Q200 étant entre 10 et 40 cm sous la crête de digue, il n'y a pas de risque d'instabilité jusqu'à Q200 inclus.

Le système d'endiguement est **stable au phénomène de glissement du talus aval et du talus amont.**

NB : les valeurs données dans le diagnostic géotechnique ont été réactualisées dans l'EDD. Certaines différences entre les deux documents peuvent donc apparaître. **C'est bien les valeurs de l'EDD qui font foi.** Cependant, au moment de la rédaction de l'EDD, des travaux sur le SE2.1 ont eu lieu, ces résultats ne sont donc plus d'actualité.

SE2.2 amont

Les calculs ont été réalisés avec la méthode traditionnelle. Le tableau suivant présente les résultats sur trois profils extrêmes testés pour le talus aval (cf. Annexe 10).

	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

Tableau 38 : Coefficients de sécurité calculés - Etude de la stabilité au glissement – système 2.2 amont

Dans tous les cas la stabilité du talus aval est assurée jusqu'à crue extrême (supérieure à Q200).

Du fait des pentes douces adoptées et des enrochements mis en place, la stabilité sur le talus amont est assurée jusqu'à Q200.

SE2.2 aval

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

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.

SE2.3

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

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 40 : Coefficients de sécurité calculés – Etude de la stabilité au glissement – système 2.3

Conclusion : D'après les calculs de stabilité effectués, le système d'endiguement SE2.3 ne présente pas de risque d'instabilité au glissement, les coefficients de sécurité calculés étant tous bien supérieur à 1.

3.2.6 Stabilité vis-à-vis du risque d'érosion interne – gradient critique

3.2.6.1.1 Description des phénomènes

L'analyse de l'érosion interne présentée dans le diagnostic de l'Erreur ! Source du renvoi introuvable. 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 41) :

- 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'entraînement des particules et la création d'un conduit préférentiel des eaux à l'interface avec la paroi 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 ;

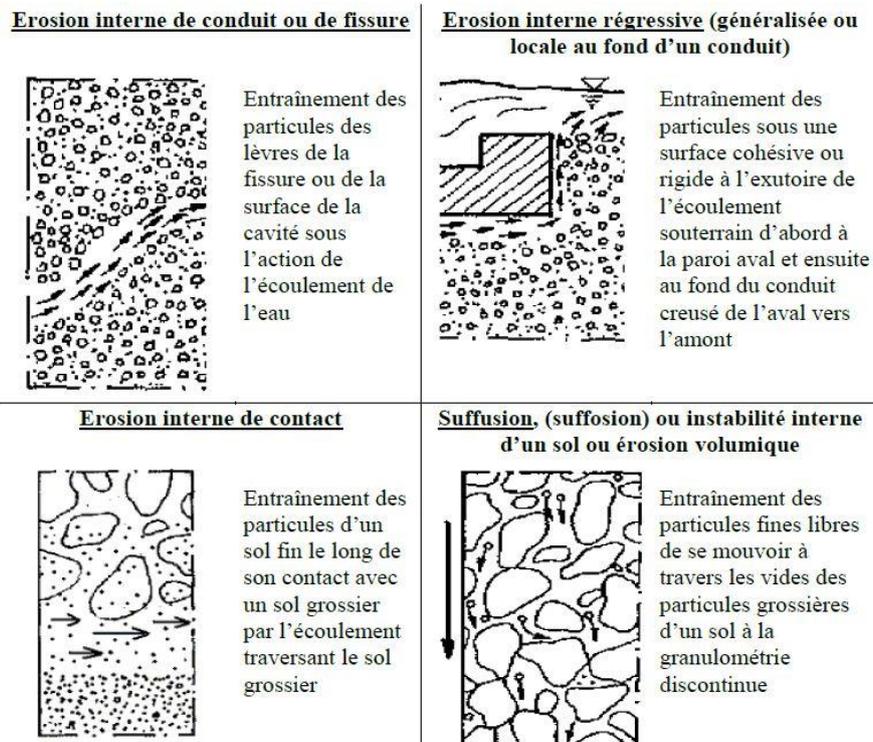


Figure 41 : Mécanismes d'initiation d'érosion interne

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.

3.2.6.1.2 Méthodologie et profils types

Tout comme pour l'analyse de stabilité au glissement, les profils types de digues identifiés au paragraphe 3.1.4 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 et faciliter une 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 calculs proposées par le CACOH, celles-ci se basent sur les rapports de l'ICOLD¹ et d'ERINOH².

3.2.6.1.3 Critère de Lane

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 :

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

Avec :

V : le cheminement vertical (m/s)

I : le cheminement horizontal (m)

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

Ce critère géométrique est d'une manière générale plus sécuritaire que les critères granulométriques évoqués dans le paragraphe 3.2.6.1.1. Il est aussi évalué dans le diagnostic et il est utilisé pour évaluer le risque d'érosion interne dans le cas où les critères granulométriques du paragraphe 3.2.6.1.1 ne sont pas respectés.

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.

3.2.6.1.4 Le risque d'érosion interne des ouvrages étudiés

SE 2.1 :

N'effectuant pas de modification sur le corps de l'ouvrage, les conclusions sur le risque d'érosion interne évaluées dans le diagnostic sont reprises dans le tableau ci-dessous.

On retiendra principalement que :

- Du fait des dimensions relativement confortables des digues avec des largeurs importantes et pentes de talus faible, le risque d'érosion interne est faible.
- Au droit de deux conduites traversantes, le coefficient de Lane étant respecté, le risque de rupture semble relativement limité, d'autant plus que les conduites sont a priori enfouies en fondation.

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	Relativement limité	Inexistant	Inexistant	Pas de sondages carottés pour évaluer la composition.
		92	S2.1 STTP59							
	Geotech2	65	S2.1 STTP57							
		92	S2.1 STTP59							

Tableau 41 : Synthèse de l'érosion interne – Système2.1

SE 2.2 amont :

Protection vis-à-vis des animaux fouisseurs :

Du fait de la végétation dense, les VTA n'ont pas mis en évidence la présence de terrier sur les digues. Cependant, le projet ayant une optique de végétalisation modérée des digues, des grillages anti-fouisseurs ont été prévus afin de prévenir le risque de terrier qui pourrait apparaître avec le changement de végétation sur les talus et la proximité de forêts propice à la présence de blaireaux. Ces grillages sont positionnés sur les talus amont et/ou aval. Les talus amont, protégés par des matelas gabillon, évite, par leur composition, la création de terriers.

A noter qu'entre les profils P99 et P107, les digues sont larges et situées dans un milieu péri-urbain, milieu non propice à la présence d'animaux fouisseurs. Par conséquent ces talus ne sont pas protégés par un tapis anti-fouisseur.

Erosion interne :

Les nouveaux ouvrages ont pour mission de contenir les écoulements en période de crue de référence à savoir la crue de **période retour centennale**. Ils sont implantés en lieu et place après décapage et purges complémentaires si nécessaire selon la présence de matériaux décomprimés, organiques, des ouvrages existants.

Ces ouvrages n'ont cependant pas vocation à couper les écoulements souterrains (comme les ouvrages existants d'ailleurs), et par conséquent n'empêchent pas d'éventuelles inondations des terrains situés en arrière de la digue par remontée de la nappe phréatique.

Ils satisfont aux objectifs de stabilité vis-à-vis des phénomènes d'érosion interne suivants :

- gradient hydraulique critique,
- estimation du trajet et du temps de percolation de l'écoulement à travers la digue lors d'un épisode de crue de fréquence centennale.

Les dispositions constructives permettant d'augmenter le gradient critique et d'atteindre la stabilité jusqu'à la crue de période de retour 200 ans sont :

- un ancrage étanche sous le cœur de la digue dans le cas d'une reconstruction ;
- une augmentation de la largeur de la digue dans le cas d'un confortement.

SE 2.2 aval :

Les conclusions sur le risque d'érosion interne évaluées dans le diagnostic sont rappelées dans le tableau ci-dessous.

On retiendra principalement que :

- Tous les secteurs présentent un risque d'érosion interne :
- Ce risque est plus prononcé au droit du rond-point de Villarcher et au droit des conduites traversantes ;
- La limite de stabilité semble proche de Q10.

Pour rappel, le critère de Lane étant très encadrant, nous retenons principalement que, s'il est respecté, il n'y a pas de risque d'érosion interne.

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 42 : Synthèse de l'érosion interne – Système 2.2 aval

SE 2.3 :

Les conclusions sur le risque d'érosion interne évaluées dans le diagnostic sont rappelées dans le tableau ci-dessous.

On retiendra principalement que ce secteur ne présente pas de risque particulier à l'érosion interne. Ceci s'explique par le caractère récent de la construction (1994) et les dimensions relativement confortables de la digue au regard des matériaux qui la constitue.

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 43 : Synthèse de l'érosion interne – Système 2.3

3.2.7 Stabilité à l'érosion externe du talus amont – coté rivière

3.2.7.1.1 Description des phénomènes

On distingue :

A) Les affouillements du lit de la rivière

Ce phénomène correspond au creusement du lit de la rivière et il est lié à la composition des sols du lit et des vitesses en crue. Le risque est présent sur les digues dans la mesure où aucune bêche de protection anti-affouillement n'est présente en pied de digue.

Les matériaux constitutifs du talus amont des digues ne sont pas dimensionnés pour encaisser un affouillement du lit.

B) L'érosion externe

Ce type d'instabilité est largement représenté sur la zone d'étude. Elle résulte de l'emportement des matériaux du parement amont des digues du fait des fortes vitesses de la rivière et ce du fait :

- de l'absence pure et simple de protection ;
- de protections hydrauliques (enrochements) mal dimensionnées, ne permettant pas de résister à des fortes crues.

3.2.7.1.2 Le risque d'instabilité par érosion externe du talus amont des digues étudiées

SE2.1

Dans l'état actuel, le pied de l'ouvrage est protégé par des enrochements type 100/400 kg pouvant résister aux vitesses de la rivière en crue (3.7 m/s), en considérant une pente moyenne du pied de talus de 3/2. La protection en matelas gabion en partie supérieure permet de prolonger la protection de la berge coté rivière jusqu'à la crête de l'ouvrage.

SE2.2 aval

Les vitesses dans la rivière atteignent 3.5 m/s en crue centennale voire plus. La stabilité des talus pour ces vitesses nécessite la mise en place de blocs d'une taille minimum de 60/300kg ou des techniques végétales spécifiques. Les talus amont n'étant pas ou peu protégés, les digues sont instables à l'érosion externe. Ce phénomène est le plus marqué dans l'extrados des virages lorsqu'ils ne sont pas ou mal protégés. Ceci est en partie le cas au droit du rond-point de Villarcher où les protections en gabions sont éventrées.

SE2.2 amont

Les protections sont calées pour des vitesses moyennes dans la Leysse de 3.5 m/s avec un coefficient de sécurité de 1.2 soit pour une vitesse de 4.2 m/s. Les berges et les digues sont donc protégées du côté rivière :

- en partie basse, par des enrochements libres correctement calibrés,
- en partie médiane/haute par des techniques mixtes ou végétales :
 - Si les talus sont raides (3/2), des protections en matelas gabillon sont prévues ;
 - Si les talus sont plus doux (2/1), les talus sont enlimonés et végétalisés.

D'une manière générale, les parties inférieures des berges seront protégées par des enrochements libres de granulométrie 60 / 300 kg, couchés à 2H/1V (voir 3H/2V selon les contraintes du site) sur le talus dessouché, décapé de toute terre végétale et convenablement réglé.

Les calculs montrent que les épaisseurs d'enrochements ne peuvent descendre à moins de 80 cm dans les parties inférieures des talus, les plus sollicitées. La limite supérieure des enrochements a été calée jusqu'au niveau de la Q2 voire de la Q10 selon les enjeux présents aux abords de la Leysse.

Les dimensions de la bêche d'ancrage (en matériaux de granulométrie identique) seront les suivantes :

- Largeur de la base inférieure de la bêche : 1,3 m,
- Largeur de la base supérieure de la bêche : 3,5 m.

Outre son ancrage dans le lit de la rivière (1 m / niveau fond de la rivière recalibrée), le sabot de pied sera protégé des affouillements par un dispositif fusible constitué par un tapis d'enrochement (ou de gros galets) de plus faible granulométrie (5 – 25 kg).

Les calculs ont permis de montrer que **la stabilité mécanique des ouvrages était encore assurée pour une crue de période de retour 200 ans**. Au-delà, les risques de défaillance de la stabilité mécanique sont possibles. Le risque le plus marqué est l'érosion externe des protections du talus amont sachant que les vitesses dans la rivière augmentent significativement. Par exemple le modèle hydraulique calcule une augmentation de + 1 m/s en moyenne entre Q200 et Q1 000, ce qui ne permet pas la stabilité des ouvrages mis en place dans le cadre du projet Leysse-Hyères.

SE2.3

Le système est beaucoup moins sujet au risque d'instabilité du talus amont sachant que les vitesses de la rivière sont beaucoup moins élevées (0.3 à 0.5 m/s) et que les pentes des talus sont relativement douces. Il n'y a donc pas de risque d'instabilité du talus amont sur ce secteur.

3.2.8 Bilan général sur la stabilité des digues

Les conclusions sur les risques d'instabilité des digues identifiées sont rappelés dans les tableaux suivant par secteur. La cartographie de synthèse, associée aux autres risques sur les ouvrages, est présentée dans le paragraphe 5.3.

- Système 2.1 :

respect de la stabilité vis-à-vis du phénomène de						
profil géotechnique	secteur topographique	Surverse	Glissement talus amont	Glissement talus aval	Erosion Interne	Erosion Externe
Geotech1	STTP57	instable	stable	stable	Limité au droit des conduites	stable
	STTP59	instable	stable	stable Q10 , Q100/Q200 instable Qext	stable	stable
Geotech2	STTP57	instable	stable	stable	Limité au droit des conduites	stable
	STTP59	instable	stable	stable	stable	stable

Tableau 44 : Synthèse des risques de ruptures – système 2.1

- Système 2.2 amont :

respect de la stabilité vis-à-vis du phénomène de						
profil géotechnique	secteur topo	Surverse	Glissement talus amont	Glissement talus aval	Erosion Interne	Erosion Externe
Confortement	S2.2 amont	Instable (surverse > Q200)	Stable (adoucissement pente si nécessaire)	Stable Adoucissement pente aval	Stable Elargissement + Protection anti-fouisseur	Stable jusqu'à Q200 (adoucissement pente si nécessaire)
Reconstruction	S2.2 amont	Instable (surverse > Q200)	Stable (enrochements)	Stable Adoucissement pente aval	Stable Elargissement et Ancrage étanche + Protection anti-fouisseur	Stable jusqu'à Q200 (enrochements)

Tableau 45 : Synthèse des risques de ruptures – système 2.2 amont

- Système 2.2 aval :

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

Tableau 46 : Synthèse des risques de ruptures par tronçons – système 2.2 aval

- Système 2.3 :

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

Tableau 47 : Synthèse des risques de ruptures – système 2.3

De ces tableaux il en ressort que :

- Le **risque de rupture à la surverse** est effectif pour une crue débordante car les digues ne sont pas dimensionnées pour résister à la surverse.
- Le risque **d'érosion externe**, très marqué sur tout le linéaire du secteur SE 2.2 aval est effectif pour des crues proches de Q10. Le secteur du Rond-Point de Villarcher, étant situé dans l'extrados d'un virage de la Leysse, est particulièrement sensible à ce risque.
- Les secteurs dont le talus amont peut rompre par **glissement du fait d'une décrue rapide** sont les suivants :

- SE 2.2 aval : Villarcher
- SE 2.2 aval : Rond-Point de Villarcher ;

A noter que ce risque de décrue rapide est peu prononcé sur les digues de Chambéry car la décrue s'opère en 20h environ, ce qui laisse le temps à l'ouvrage d'évacuer les eaux de saturations.

- Le risque de **rupture par glissement** du talus aval est effectif sur les tronçons suivants :
 - SE 2.2 aval : Secteurs Villarcher et Rond-Point Villarcher pour Q100 voire Q10 ;
- Le risque **d'érosion interne** a été synthétisé à partir des critères géométriques, critère de Lane et des conditions de filtre en base. Il en ressort que les digues SE 2.2 aval sont instables pour des crues inférieures à la centennale. En effet les critères géométriques non respectés sont indépendants du gradient de crue. Les secteurs les plus critiques sont :
 - SE 2.2 aval : Rond-Point de Villarcher
 - SE 2.2 aval : au droit des conduites traversantes ;

3.3 Analyse fonctionnelle de l'ouvrage

L'étude de dangers a pour objectif d'exposer les risques que présentent les ouvrages pour la sécurité publique, directement ou indirectement, en cas d'accident que la cause soit externe ou interne aux ouvrages.

Dans ce cadre, l'analyse fonctionnelle doit permettre de mieux comprendre les relations existantes entre les différents composants des ouvrages afin de déceler les répercussions de leurs défaillances sur le fonctionnement général des ouvrages et de leur environnement.

Le principe de l'analyse fonctionnelle repose sur la décomposition du système selon les fonctions qu'il assure. Elle établit de façon systématique et exhaustive les relations fonctionnelles à l'intérieur et à l'extérieur d'un système.

Une fonction est définie comme les actions d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimés en termes de finalité. Au sens de la même norme, l'analyse fonctionnelle est alors définie comme une démarche qui consiste à recenser, ordonner, caractériser, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions.

L'analyse fonctionnelle externe des digues est présentée dans le corps du rapport. L'analyse fonctionnelle interne est annexée au présent rapport (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Le but de cette méthode d'analyse est de représenter le cheminement des fonctions à travers les équipements constituant l'ouvrage. Cela permet de voir la contribution de ces équipements vis-à-vis de toutes les fonctions de l'ouvrage.

L'arborescence technique identifiée dans cette analyse fonctionnelle sera ainsi exploitée, de façon systématique, dans l'Analyse Préliminaire des Risques.

3.3.1 Analyse fonctionnelle externe

Le but de cette méthode d'analyse est de représenter graphiquement l'interaction des ouvrages avec les éléments extérieurs. Cette analyse permet de déterminer les Fonctions Principales (FP) et les Fonctions de Contraintes (FC) des ouvrages vis à vis des éléments du milieu extérieur.

Ont été identifiés les milieux extérieurs suivants :

- **Endiguements SE 2.1, SE 2.2 et SE 2.3 ;**
- **Plaines des Landiers, Villarcher et Aéroport (Zone industrielle, Habitation, Voie Ferrée, VRU, piste cyclable) ;**
- **Leysse ;**
- **Maintenance et surveillance ;**
- **Environnement hydrogéologique.**

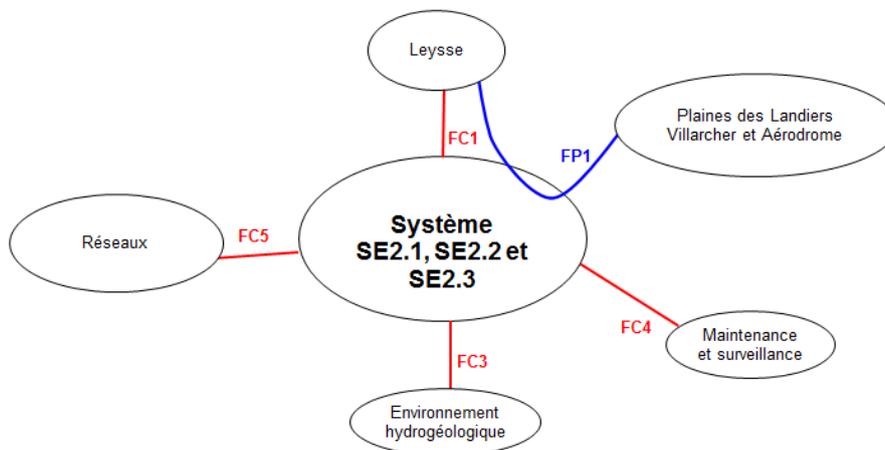


Figure 42 : Analyse fonctionnelle externe

FP1 L'ouvrage constitue la protection de la plaine des Landiers, Villarcher et de l'Aéroport 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 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.

Lorsque les systèmes d'endiguement ont été découpés par rive, la rive opposée a bien été prise en compte dans les différentes analyses, notamment dans la modélisation hydraulique. Les profils en long des deux rives sont présentés dans la rubrique 2.

3.3.2 Analyse fonctionnelle interne

Se référer à l'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** du rapport.

3.4 Description de l'environnement de l'ouvrage

La description de l'environnement consiste dans un premier temps à identifier les enjeux exposés aux dangers potentiellement générés par les ouvrages hydrauliques :

- les enjeux humains (populations communales, effectifs des entreprises, des principaux ERP et des équipements touristiques) ;
- les voies de circulations ;
- les sites industriels.

La description de l'environnement consiste dans un second temps à identifier les sources potentielles d'agressions externes pouvant impacter les ouvrages de l'aménagement :

- les ICPE et les INB dont les zones d'effet pourraient impacter les ouvrages ;
- les modes de transport de matières dangereuses (principalement par voie navigable et par canalisation).

3.4.1 Méthodologie de description des enjeux humains

Les données suivantes sont collectées :

- les populations résidentes de chaque commune présente dans le périmètre de l'EDD ;
- Les zones industrielles présentes dans le périmètre de l'EDD ;
- Les Etablissements Recevant du Public (ERP) les plus importants en capacité d'accueil et situés dans le périmètre d'étude (établissements scolaires et médicaux, centres commerciaux, équipements touristiques).

Cette tâche a été réalisée par SEPIA CONSEIL qui présente l'ensemble des enjeux dans une note de vulnérabilité présentée en Annexe 11. A noter que les scénarios exposés en partie 4 de cette note sont relatifs au dossier PSR. Le chapitre suivant est un extrait de cette note.

3.4.2 Populations et infrastructures dans le périmètre d'étude

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

	Rive droite
Habitations	95
Entreprises (<i>présentes en rez-de-chaussée</i>)	158
Etablissements publics	5
Total	258

Tableau 48 : Enjeux recensés dans la zone d'étude

Habitations

On dénombre un total de 95 bâtiments d'habitation dans la zone prospectée. Leurs caractéristiques principales sont recensées dans le tableau suivant.

	Rive droite	Proportion
Logements individuels	90	95 %
<i>dont logements de plain-pied (absence de zone refuge)</i>	31	
Bâtiments d'habitat collectif	5	5 %
<i>Nombre total de logements collectifs</i>	0	
<i>dont logement aux rez-de-chaussée</i>	0	
Nombre total de bâtiments touchés	95	

Tableau 49 : Typologie des bâtiments d'habitation recensés dans la zone d'étude

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).

Entreprises

On dénombre un total de 137 entreprises. Les activités rencontrées le plus fréquemment sont listées dans le tableau ci-dessous

	Rive droite	Proportion
Commerces de gros non alimentaires	40	29%
Commerces de détail et stations-services	44	32%
Concessions et garages automobiles	31	23%
Siège de sociétés de construction	5	4%
Activité de restauration	11	8%
Activités de bureau	4	3%
Services de transport et Poste	2	1%
Autres activités		0%

Tableau 50 : Typologie des principales activités rencontrées dans le territoire d'étude

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...

Zones d'activités

Les entreprises sont en grande partie concentrées dans les Zones d'Activités des Landiers (Nord et Sud) en rive droite.

Principaux Établissements Recevant du Public

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

- 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

Equipements publics

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

- En rive droite :
 - Les deux postes de transformation THT situé 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

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 droite	Proportion
Maïs grain et ensilage	76	60%
Prairies permanentes	27	21%
Blé tendre	13	10%
Autres oléagineux	4	3%
Orge	3	2%
Autres céréales	3	2%
Arboriculture et vergers	1	1%
Légumes-Fleurs		0%
Total	127	

Tableau 51 : Typologie des surfaces cultivées

ICPE

Une cartographie et le tableau des ICPE présents sur la zone sont exposés ci-dessous. Le nombre de personnes impactées est inclus dans le calcul des activités économiques. Les données disponibles datent de 2015.

Site	Commune	INSEE	Système
Concession Citroen	CHAMBERY	73065	2
Ancienne station service AS24	CHAMBERY	73065	2
Société des Enrobés Alpins	VOGLANS	73329	2
CARREFOUR STATIONS SERVICE	BASSENS	73031	2
TOTAL MARKETING FRANCE	CHAMBERY	73065	2
CARREFOUR STATIONS SERVICE	CHAMBERY	73065	2
TRADITION TRAITEUR	CHAMBERY	73065	2
GRANULATS VICAT	LA MOTTE SERVOLEX	73179	2
BESSONE S.A. A SUPPRIMER	CHAMBERY	73065	2
MITHIEUX	CHAMBERY	73065	2
AXE AUTO	VOGLANS	73329	2
APPLICOLOR	VOGLANS	73329	2
SOCIETE DES ENROBES ALPINS	VOGLANS	73329	2
SCEA LA VOGLANAISE D ELEVAGE	VOGLANS	73329	2
AEROPORT CHAMBERY AIX - BP AIR BP	VIVIERS DU LAC	73328	2

Tableau 52 : Caractéristiques des ICPE présents sur la zone protégée

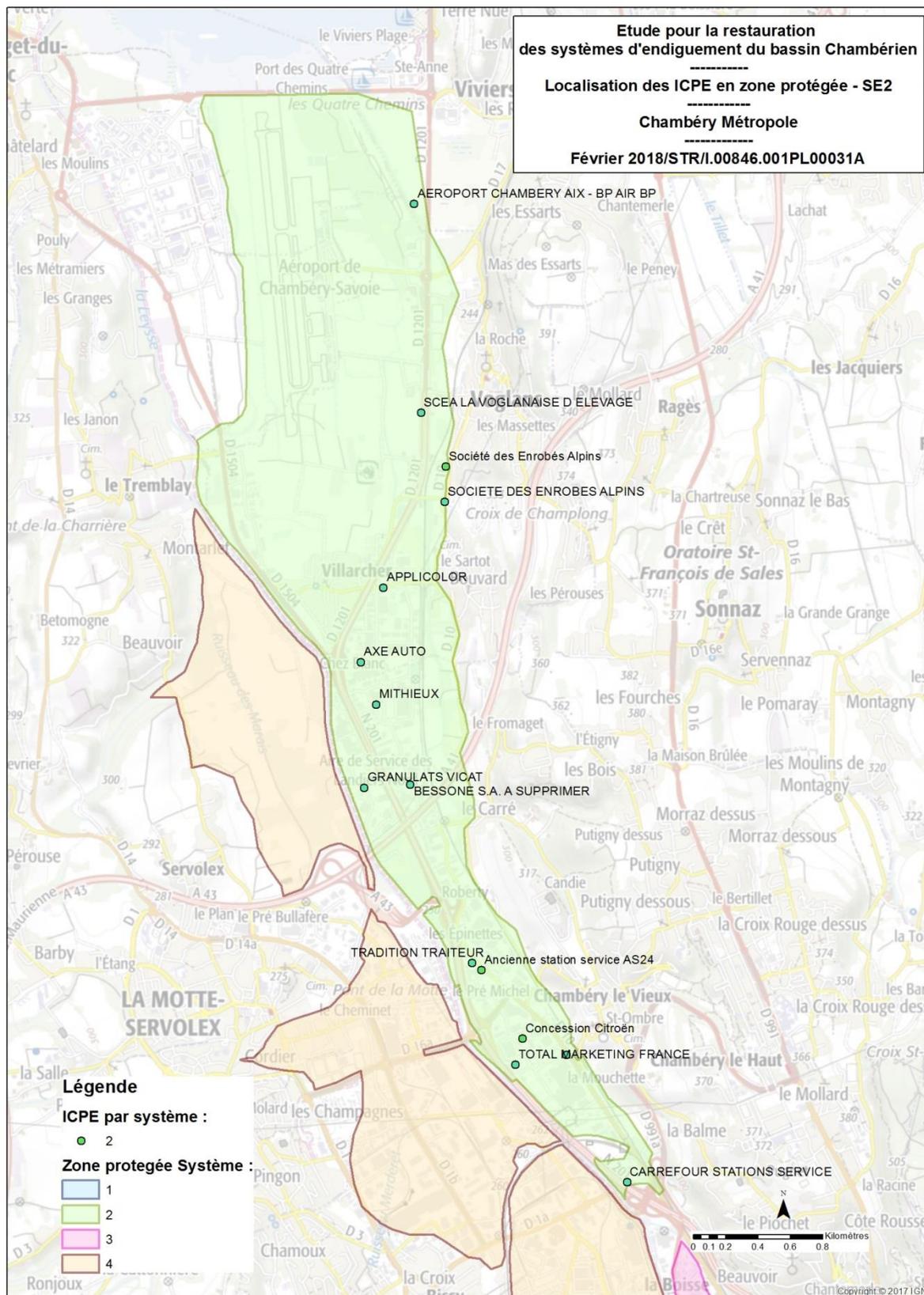


Figure 43 : Cartographie des ICPE présent en zone protégée

3.4.3 Estimation de la population en arrière des digues pour une crue centennale

Le nombre de personnes protégées et pouvant être impactées en cas d'inondation se décline en quatre catégories :

- Personnes résidant dans la zone protégée ;
- Personnes travaillant dans la zone protégée ;
- Personnes susceptibles d'être présentes dans les ERP localisés dans la zone protégée (hors salariés) ;
- Personnes circulant sur la Voie Rapide Urbaine.

Le tableau suivant présente le nombre maximum de personnes pouvant être impactée par une inondation suivant la zone protégée définie dans l'arrêté de 2007 :

	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
Personnes circulant sur la VRU	2.85
TOTAL	Env. 24.800

Tableau 53 : Nombre maximum potentiellement impacté par une crue de la Leysse sur le secteur d'étude

Ce nombre est un extrema. Le calcul du nombre réel de personnes impactées par les inondations en fonction des scénarios de rupture retenu est détaillé dans la rubrique 8.

Au cours de la rédaction de l'EDD, différents travaux ont été engagés. A ce jour, seul SE2.2 aval n'a pas subi de travaux. La population approximative impactée par une crue a été estimée à 1/3 de la population totale de la zone protégée, soit environ 8 000 personnes.

Les cartographies suivantes présentent l'emprise de la zone protégée (en rive droite en trait plein orange). Les scénarios de rupture présentés font référence au SE2.2 amont avant confortement. A noter que la carte ci-dessous présente simultanément l'enveloppe de toutes les ruptures de la rive droite en amont du pont de l'autoroute, sans rupture en rive gauche et l'enveloppe de toutes les ruptures de la rive gauche SE4 sans rupture en rive droite.

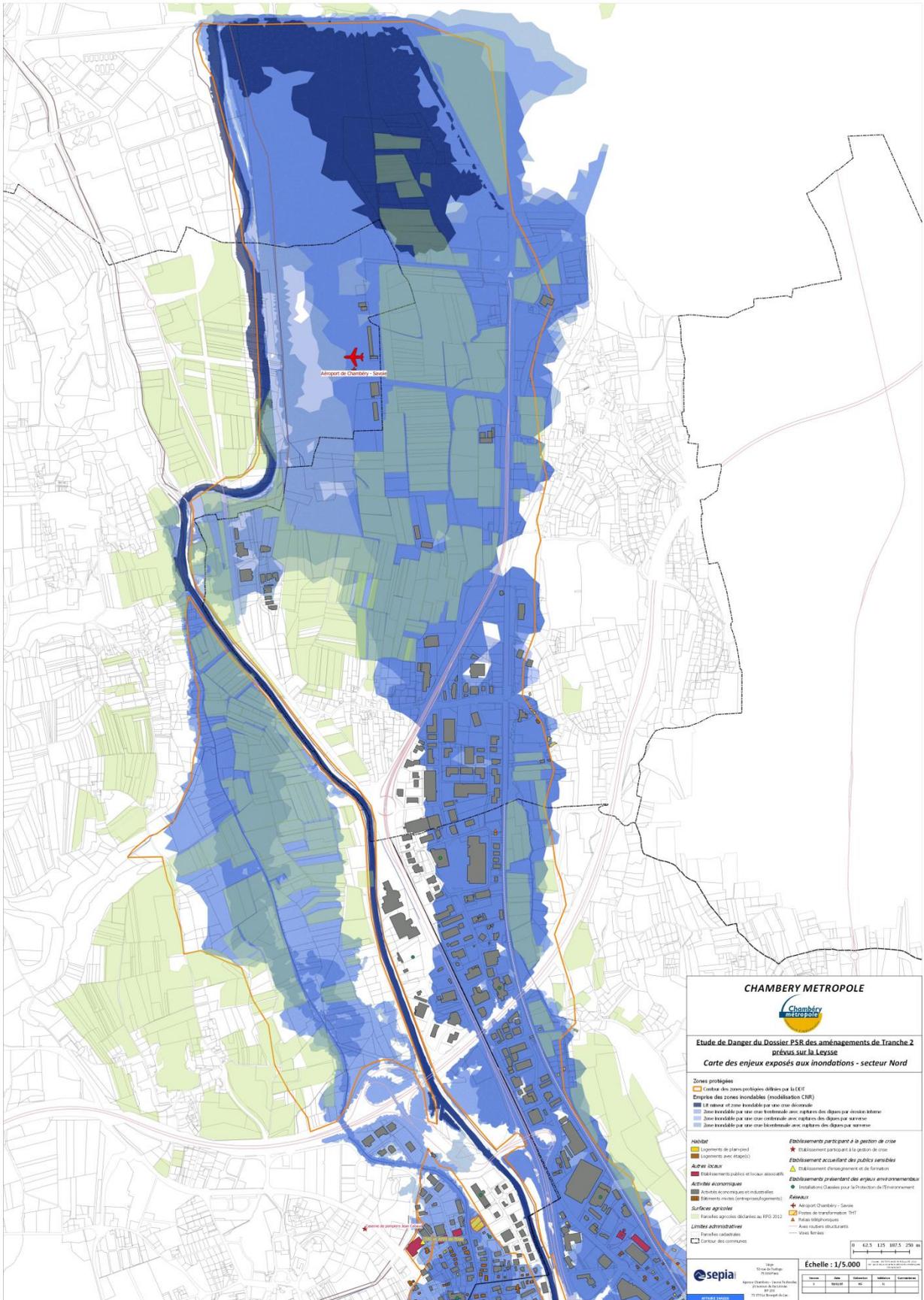


Figure 44 : Zone protégée SE2 – 1/2

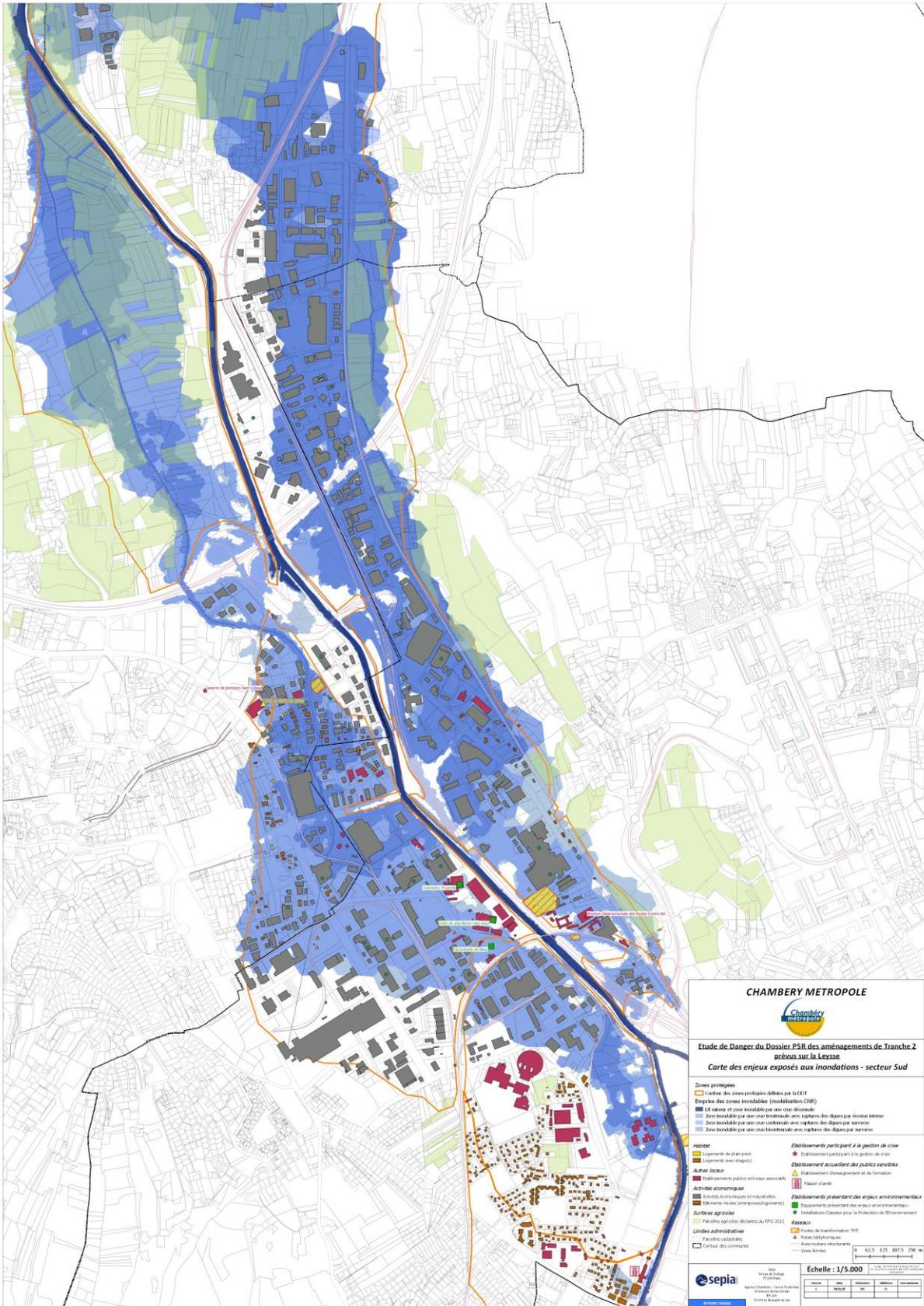


Figure 45 : Zone protégée SE2 – 2/2

3.4.4 Description des sources d'agression

Ce chapitre a pour objectif de lister les agresseurs potentiels pouvant impacter la digue. Ces agresseurs sont des installations classées de type SEVESO, des installations nucléaires de base (INB), les modes de transport de marchandises dangereuses (par voie ferrée, fluviale, routière ou par canalisations).

Sites SEVESO

Aucun site SEVESO n'a été recensé dans le périmètre d'étude.

Installation Nucléaire de Base

Aucune INB n'a été recensé dans le périmètre d'étude.

Transport de Marchandises Dangereuses

Le transport de marchandise dangereuse peut se produire au droit des ponts situés sur la zone d'étude à savoir :

- Pont A43 : Voie de circulation à double sens sur 2 voies ;
- Pont de l'échangeur : Voie de circulation à double sens ;
- Pont du Bras de décharge : Voie de circulation à double sens ;
- Exutoire du bras de décharge : Voie de circulation à double sens ;
- Pont SNCF et Voie SNCF : Transport ferroviaire passager et fret ;
- Pont de l'échangeur Laboisie : voie de circulation à double sens.

Le pont Tremblay et les passerelles piétonnes ne sont pas considérés comme pouvant recevoir un transport de marchandise dangereuse étant donné leur faible gabarit.

Canalisations de marchandises dangereuses

Une canalisation de gaz est recensée à proximité de la zone d'étude. Elle ne constitue pas un risque d'agression pour les endiguements étudiés du fait de son éloignement par rapport à la zone d'étude.

Les autres réseaux présents dans la digue et notamment les canalisations de gaz de plus petit calibres sont répertoriés dans le paragraphe 3.1.4.

Réseaux de gaz de petite taille

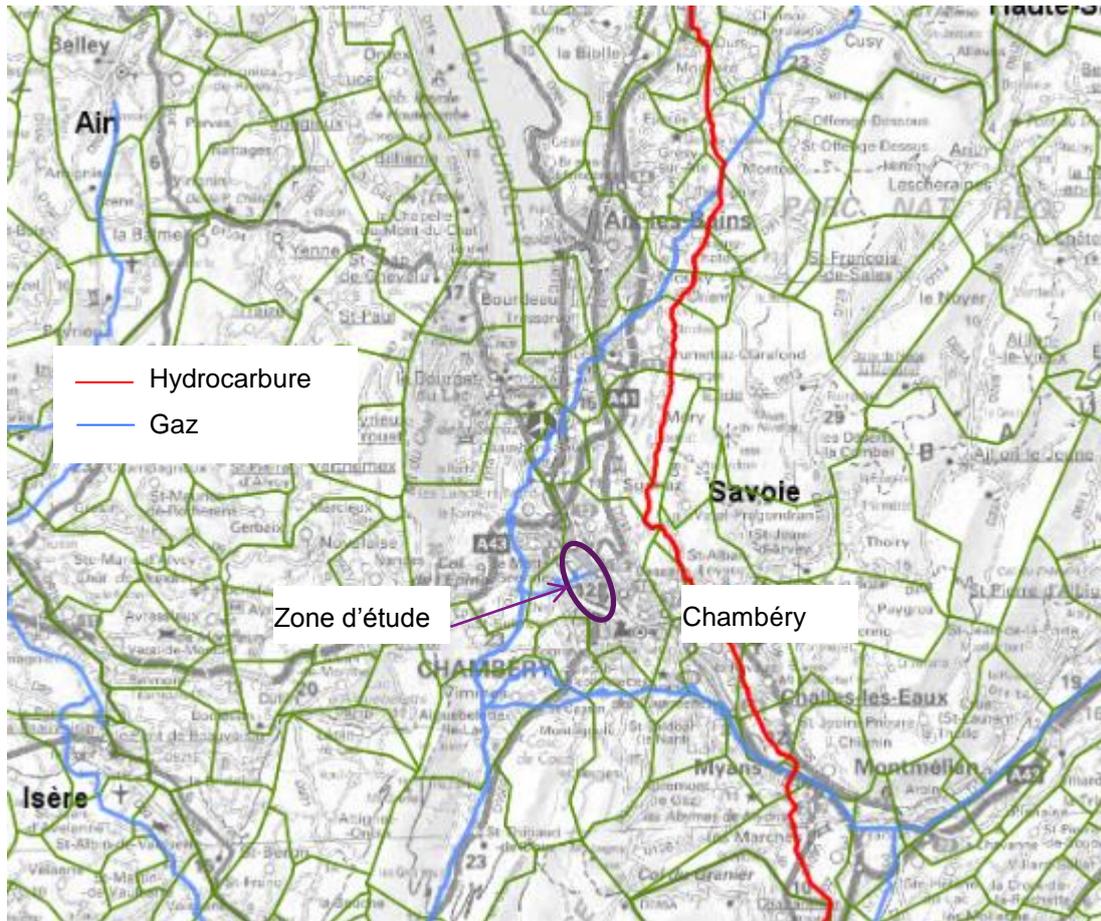
Aucun réseau de gaz n'a été recensé sur ou à proximité immédiate de l'endiguement.

Barrage ou Retenue d'eau

En amont du système, aucune retenue d'eau ou barrage n'est recensé.

Affluents et érosions externes du talus aval

Sur l'endiguement, deux affluents se rejettent dans la Leysse : le Nant Bruyant au niveau du PKL 6.4 et le Ruisseau des Marais au niveau du PKL 3.6. Les apports de ces deux affluents situés en rive gauche ont été intégrés dans les crues de la Leysse. Ces affluents ne sont pas de nature à dégrader le talus externe du système en place.



Carte publiée par l'application CARTELIE © Ministère de l'Égalité des territoires et du Logement / Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie SG/SPSSI/PSI/PSI1 - CP21 (DOM/ETER)

Figure 46 : Canalisations de transport de matières dangereuses

4 PRESENTATION DE LA POLITIQUE DE PREVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS (PPAM) ET DU SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE (SGS)

L'article Art. R. 214-116.-I du nouveau Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 précise que l'étude de dangers : « (...) justifie que les ouvrages sont adaptés à la protection annoncée et qu'il en va de même de leur entretien et de leur surveillance. »

L'objectif de cette rubrique est donc de présenter l'organisation du gestionnaire des ouvrages sur la base du projet de consigne qui est en cours de validation auprès de la DREAL.

4.1 L'organisation de Chambéry Métropole

4.1.1 Les missions de Chambéry Métropole

Les principales compétences de Chambéry métropole sont :

- l'eau (distribution et assainissement) ;
- la gestion des cours d'eau et protection contre les crues ;
- les déchets (collecte, recyclage, compostage, incinération) ;
- les transports (transports en commun, facilitation du cyclisme urbain). Le réseau d'autobus est exploité sous la marque STAC (Service de transport de l'agglomération chambérienne) par une société concessionnaire. Les actions en faveur des déplacements à vélo sont la réalisation de voies cyclables et d'une vélostation, gérée par l'agence Écomobilité.

Chambéry métropole s'occupe aussi :

- de certains équipements de loisirs (piscine, patinoire) ;
- du développement économique ;
- de la politique de la ville ;
- de l'habitat ;
- de l'environnement.

4.1.2 L'organisation de Chambéry Métropole

La communauté d'agglomération regroupe les 24 communes représentant une population de 129 000 habitants :

Chambéry (siège)	La Motte-Servolex	Thoiry
Barberaz	Puygros	La Thuile
Barby	La Ravoire	Verel-Pragondran
Bassens	Saint-Alban-Leyse	Vimines
Challes-les-Eaux	Saint-Baldoph	
Cognin	Saint-Cassin	
Curienne	Saint-Jean-d'Arvey	
Les Déserts	Saint-Jeoire-Prieuré	
Jacob-Bellecombette	Saint-Sulpice	
Montagnole	Sonnaz	

Tableau 54 : Communes constituant Chambéry Métropole

Le Conseil communautaire est composé de conseillers communautaires représentant chacune des communes de l'agglomération en fonction de sa population. Chambéry Métropole dénombre soixante-seize conseillers communautaires qui sont répartis selon la démographie des villes la constituant.

Le Conseil communautaire élit, à bulletin secret au scrutin majoritaire à 2 voire 3 tours, un président et des vice-présidents, qui constituent le Bureau. Le nombre de vice-présidents est limité à 15. Le Bureau est complété par d'autres membres. Le Conseil communautaire crée également des commissions qui sont des groupes de travail chargés de préparer les décisions prises par Chambéry métropole.

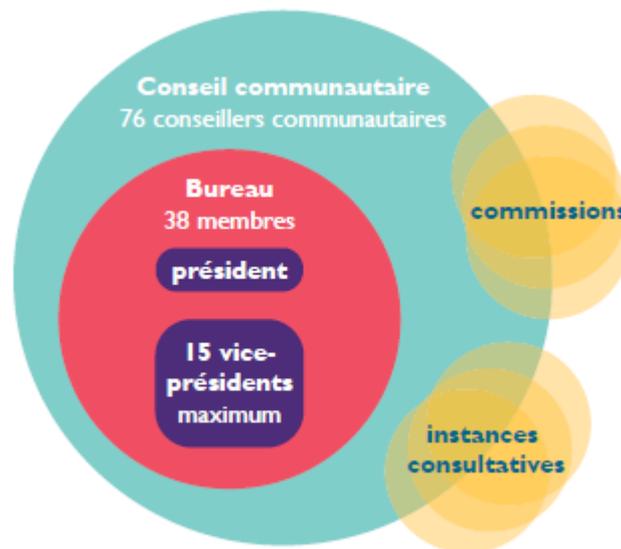


Figure 47 : Organigramme des instances décisionnelles de Chambéry Métropole

4.1.3 L'organisation de la direction de la gestion des cours d'eau et protection contre les crues

Le responsable des ouvrages d'endiguement faisant l'objet de l'étude de dangers est la direction de la gestion des cours d'eau et protection contre les crues.

4.1.3.1 Personnels

Le service est constitué de 9 personnes dont 8 affectées à la gestion des digues :

- un directeur de service,
- un technicien,
- une « brigade bleue » constituée de 6 personnes. Etant donné les états de congés, maladie et temps de récupération, seul 5 personnes pourraient être assignées au dispositif de surveillance.

4.1.3.2 Périmètre d'intervention

Le service gestion des cours d'eau intervient dans la lutte contre les risques d'inondations et assure l'entretien des cours d'eau de l'agglomération sur 160 km de cours d'eau (soit 320 km de berges).

4.2 L'obligation réglementaires vis-à-vis des risques

4.2.1 Cadre réglementaire applicable à Chambéry Métropole

Les textes en vigueur à considérer sont les suivants :

- Article L.211-3-III du Code de l'Environnement ;
- Articles R.214-112 à R.214-117 du Code de l'Environnement ;
- Décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le Code de l'Environnement ;
- Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydraulique comprenant

notamment des adaptations et des simplifications de certaines règles de sûreté des ouvrages hydrauliques issues du décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007.

Le tableau suivant présente les obligations en termes de texte réglementaires vis-à-vis du décret Décret n° 2007-1735 encore en vigueur sur les endiguements de Chambéry.

Classe de l'ouvrage	A	B	C	D	Commentaires
Examen CTBOH du projet nouveau ou modification	Oui	Non	Non	Non	-
Dossier d'ouvrage	Oui	Oui	Oui	Oui	Version papier
Registre de l'ouvrage	conseillé	conseillé	conseillé	conseillé	
Consignes de surveillance	Oui	Oui	Oui	Oui Pas d'approbation	Approbation préalable du Préfet
Visites techniques approfondies	Oui 1 an	Oui 1 an	Oui 2 ans	Oui pas de transmission au préfet 5 ans	Transmis au Préfet
Rapport de surveillance (RS)	Oui 1 an	Oui 5 ans	Oui 5 ans	non	Transmis au Préfet Organisme agréé
Revue de sûreté	Oui 5 ans après mise en eau 10 ans	Oui 5 ans après mise en eau 10 ans	non	non	Transmis au Préfet Organisme agréé
Déclaration des événements (EISH/PSH)	Oui	Oui	Oui	Oui	Transmis au Préfet
Etude de danger	Oui tous les 10 ans	Oui tous les 10 ans	Oui tous les 10 ans	non	Transmis au Préfet Organisme agréé

Tableau 55 : Obligation du gestionnaire d'un système d'endiguement Décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007

Les dispositions réglementaires du décret n° 2015-526 du 12 mai 2015, applicable une fois que les endiguements auront été autorisés au titre du décret 2007, sont présentées ci-dessous :

Classe de l'ouvrage	A	B	C	Commentaires
Examen CTBOH du projet nouveau ou modification	Non	Non	Non	-
Dossier d'ouvrage	Oui	Oui	Oui	Version papier non obligatoire
Registre de l'ouvrage	obligatoire	obligatoire	obligatoire	
Consignes de surveillance	Oui	Oui	Oui	Droit de regard et examen attentif de l'administration
Visites techniques approfondies	Oui Au moins une VTA doit être réalisée durant la période couverte par chaque RS et après évènement significatif	Oui Au moins une VTA doit être réalisée durant la période couverte par chaque RS et après évènement significatif	Oui Au moins une VTA doit être réalisée durant la période couverte par chaque RS et après évènement significatif	Transmis au Préfet
Rapport de surveillance (RS)	Oui Une fois tous les 3 ans	Oui Une fois tous les 5 ans	Oui Une fois tous les 6 ans	Transmis au Préfet
Déclaration des événements (EISH/PSH)	Oui	Oui	Oui	Transmis au Préfet
Etude de danger	Oui tous les 10 ans	Oui tous les 15 ans	Oui tous les 20 ans	Transmis au Préfet Organisme agréé

Tableau 56 : Obligation du gestionnaire d'un système d'endiguement Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015

4.2.2 Plan de Prévention

Le Code de l'Environnement relatif aux risques naturels impose de réaliser et de mettre en application des plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR), tels que les inondations, ou encore feux de forêt.

Une fois ces plans approuvés par les autorités compétentes de l'état, ils deviennent servitude d'utilité publique, et s'imposent à tout document d'urbanisme existant.

La commune de Chambéry est inscrite au plan, de prévention des risques naturels « Plan de Prévention du risque inondation sur Chambéry ».

Ce plan de prévention a été approuvé par arrêté préfectoral le 25 juin 1999 et actualisé le 7 décembre 2011.

4.2.3 Information des risques aux citoyen

La prévention et l'information des risques inondations aux citoyens sont relayées par différents modes de communication :

- **Au niveau Départemental**, La préfecture via le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) informe le citoyen des risques pouvant l'affecter. Le document décrit les risques majeurs que sont les risques naturels et technologiques et leur localisation commune par commune. Il précise les mesures de prévention, notamment la vigilance météorologique, les modalités d'alerte et d'information des populations et l'organisation des secours en cas de risque majeur. Les événements et catastrophes majeurs survenus sur le département sont aussi mentionnés dans le document. Ce document est établi par le préfet et transmis aux maires de chaque commune concernée. Il est consultable sur le site internet de la préfecture de Savoie [W5].
- **Au niveau local** :

- le **Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM)**, établi par le maire sur la base des informations transmises par le préfet, apporte davantage de précisions sur les risques affectant la commune et présente les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde existantes et les consignes de sécurité associées.
Ce document est établi par le maire et est consultable en mairie.
Le DICRIM de la commune de Chambéry a été établi en 2012 ([W6]) et celui de la Motte Servolex en novembre 2013.
 - Dans le cas où les communes sont dotées d'un Plan de Prévention des Risques Naturels, la Mairie met en place un **Plan Communal de Sauvegarde (PCS)**. L'objectif est de mettre en œuvre une organisation prévue à l'avance, au niveau communal, en cas de survenance d'un événement. L'organisation prévue va coordonner les moyens et les services pour optimiser la réactivité de la commune.
Le PCS de la commune de Chambéry a été approuvé par le Conseil Municipal en décembre 2011, celui de la Motte Servolex en septembre 2013.
 - Sur les territoires à risque d'inondation, la municipalité a également la responsabilité d'inventorier et de matérialiser des repères de crue et d'informer régulièrement les populations vis-à-vis du risque inondation.
- **Les établissements scolaires via le Plan Particulier de Mise en Sûreté (PPMS)** : chaque établissement scolaire doit mettre en place un plan particulier de mise en sûreté face aux risques majeurs (circulaire de l'éducation nationale du 29/05/2002). Ce plan prévoit le déclenchement de l'alerte en cas de risque majeur, des consignes de sécurité, mise en sûreté du personnel et des élèves.

4.3 L'organisation du contrôle et de la surveillance des ouvrages

4.3.1 Définition des états de gestion

L'exploitation des ouvrages est gérée par le technicien de rivière en relation avec les agents de la brigade bleue suivants deux axes :

- La surveillance et la maintenance ;
- La sûreté en crue.

Les décisions sont validées par le directeur de service.

Les crues de la Leysse et de l'Hyères sont très rapides. En effet, le bassin versant de la Leysse est relativement peu étendu. Les temps de réponse entre la pointe du hyétogramme à Voglans et l'hydrogramme de l'Hyères à Charrière Neuve peuvent être restreints à 2h. Du fait de ces temps de réponse faibles et étant donné la taille de l'équipe relativement restreinte (cf. paragraphe 4.3.2), la surveillance réalisée par le service cours d'eau s'appuiera sur les Plans Communaux de Sauvegarde (P. C. S.).

Chambéry Métropole n'a pas vocation à être un centre de prévision des crues. La station de Voglans de Météo France donne des prévisions mais ne sont pas transmises à Chambéry Métropole. La présente consigne précise les différents états de gestion en utilisant les moyens de prévision à sa disposition à savoir carte de vigilance Météo France et divers sites météorologiques ainsi que les alertes préfectorales.

L'étude des endiguements et les études de danger en cours permettront de définir les côtes de sûreté sur chaque système d'endiguement. A l'issue de ces études, des échelles limnimétriques seront implantées sur des points caractéristiques afin de permettre aux agents sur le terrain de déterminer si les niveaux de sûreté sont dépassés ou non en état d'alerte. A l'heure de la rédaction de cette consigne, ces échelles limnimétriques ne sont pas encore mises en place.

Etat normal (hors crue) :

Cet état correspond à une situation normale sans alerte préfectorale ni de vigilance orange.

Etat d'alerte:

Cet état est déclaré si l'une des conditions suivantes est réalisée :

- Vigilance orange Météo France ;
- Etat d'alerte préfecture.

Etat de Crue:

Cet état est déclaré si :

- Les niveaux des cours d'eau sont supérieurs à Q5.

Etat de crue avéré:

Cet état est déclaré si l'une des conditions suivantes est réalisée :

- Niveau de la crue de sureté atteint.

Pour rappel, la crue de sureté correspond à la crue pour laquelle l'ouvrage est encore stable.

Etat de danger:

Cet état est déclaré si l'une des conditions suivantes est réalisée :

- Désordre observé sur l'un des ouvrages ;
- Niveau de la crue de danger atteint.

La crue de danger est la crue au-delà de laquelle la stabilité de l'ouvrage n'est plus assurée.

4.3.2 Organisation générale hors crue

En état normal, le suivi des ouvrages est assuré par le service Gestion des cours d'eau et de protection contre les crues de Chambéry Métropole.

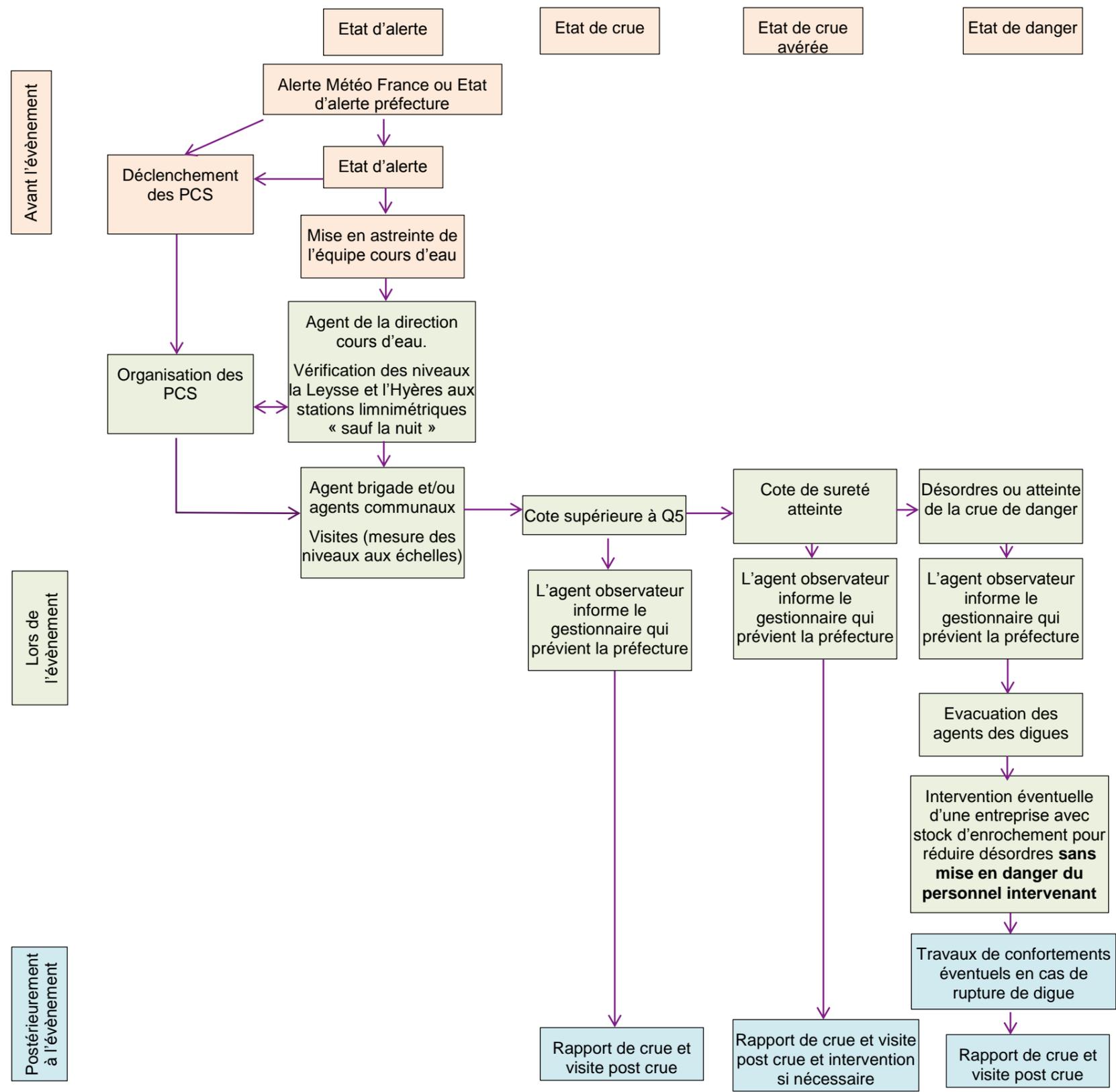
Les tâches de chaque intervenant et/ou entité sont décrites ci-après.

Le technicien est chargé de l'organisation de la réalisation des visites et les VTA.

Les agents techniques : réalisent les opérations de surveillance courantes sur les digues.

4.3.3 Organisation de la surveillance et de la conduite selon les états hydrométéorologiques

Chambéry Métropole est gestionnaire de digues récentes et anciennes. L'organisation est basée sur les endiguements les plus pénalisants à savoir les endiguements anciens. Par conséquent, sur les digues réhabilitées, ces consignes sont très sécuritaires.



Lors d'une alerte météo France orange ou lorsqu'une alerte préfecture est déclarée, les P.C. S. doivent en principe être en alerte tout comme l'équipe cours d'eau de Chambéry Métropole. Chambéry Métropole informe les communes qu'elle est en état d'alerte.

4.3.3.1 Localisation des ressources

Suivant les états de gestion, les intervenants sont principalement localisés au bureau à Chambéry Métropole en période ouvrable, ou à leur domicile en cas d'astreinte.

A partir d'un état d'urgence, une cellule des agents du service cours d'eau de Chambéry Métropole est constituée et des déplacements sont prévus sur les ouvrages suivant les cas.

Les échanges avec le personnel opérationnel sur les ouvrages sont établis par téléphone.

A ce personnel s'ajoute les agents communaux des P.C.S. échangeant aussi par téléphone.

La liste des communes concernées par chaque système d'endiguement est précisée dans les consignes de surveillances propres aux Systèmes d'Endiguements (S.E.).

4.3.3.2 Coordonnées des différents intervenants

Les coordonnées des différents intervenants sont présentées en annexe des consignes de surveillance.

4.3.3.3 Organisation spécifique : nuits, week-ends, jours fériés

Le personnel du service cours d'eau n'interviendra pas sur le terrain la nuit pour des raisons de sécurité. En journée, jours fériés et week-end, une astreinte est organisée. Cette astreinte est mise en place à condition que les prévisions météorologiques soient connues avant le vendredi 12h, heure de fermeture des bureaux de Chambéry Métropole. Dépassé cette heure, aucune mise en astreinte ne peut être programmée. Les horaires des agents en période d'astreinte est conforme à la réglementation du code du travail.

4.3.3.4 Etat normal

Cet état est décrit dans le paragraphe 4.3.2.

4.3.3.5 Etat d'alerte

En état d'alerte, le Service cours d'eau assure la surveillance des bulletins vigilance Météo France et des bulletins d'alertes préfectoraux.

Il relève aussi les niveaux d'eaux mesurés par le réseau hydrographique disponible à Chambéry Métropole.

Les P.C.S. ont été déclenchés. Chambéry Métropole informe les communes qu'elle est en état d'alerte.

Une équipe de deux personnes sur le terrain (agents communaux issus des P.C.S. ou agents de la brigade bleu) fait une visite des digues en se focalisant sur les points singuliers sur chaque système d'endiguement. Les cartes issues des VTA 2015 jointes en annexes des consignes propres aideront à localiser ces points.

A l'occasion de ces visites, les niveaux au droit des échelles limnimétriques seront relevés, lorsque les échelles seront installées.

4.3.3.6 Etat de crue

Les agents sur le terrain continuent de relever les niveaux au droit des échelles limnimétriques.

Si, lors des relevés des échelles limnimétriques, le niveau observé dépasse le niveau de Q5, les agents de terrains préviennent Chambéry Métropole qui informe la préfecture.

Une fois la crue passée, une visite post crue des digues sollicitées est engagée et un rapport de crue est rédigé. Suivant les évolutions observées suite à la visite, des mesures topographiques seront prévues pour quantifier les éventuels mouvements du fond de la rivière.

4.3.3.7 Etat de crue avérée

En cas de désordre ou de risque de départ de brèche ou de dépassement de la cote de sureté :

- L'agent observateur prévient prioritairement et successivement :
 - Le service cours d'eau de Chambéry Métropole qui se charge de prévenir la préfecture ;
 - Directement la préfecture en cas de problème de communication avec le service cours d'eau de Chambéry Métropole.

Les calculs de stabilité et le dimensionnement des ouvrages est prévu pour une saturation des ouvrages et donc pour le passage d'une crue lente. Néanmoins, dans le cas d'une crue dépassant les 60h, durée de la crue de 1990, les actions suivantes sont envisagées :

- Deuxième visite sur site ;
- Pré-alerte de l'entreprise de travaux publique du contrat cadre.

Une fois la crue passée, une visite post crue des digues sollicitées est engagée et un rapport de crue est rédigé. Le rapport rédigé post-crue sera adressé pour information à la DREAL et à la Préfecture. Suivant les évolutions observées suite à la visite, des mesures topographiques seront prévues pour quantifier les éventuels mouvements du fond de la rivière.

4.3.3.8 Etat de danger

A l'atteinte de la crue de danger.

- Le gestionnaire prévient la préfecture de cet état de danger avec une probabilité de rupture forte.
- Si des désordres observés, types affouillement, peuvent être traités par un apport de matériaux afin de prévenir un éventuel départ de brèche, une entreprise de travaux publique (cf. paragraphe suivant) pourra intervenir à la condition qu'il n'y ait pas de **mise en danger du personnel** et que l'ouvrage, sur lequel l'intervention est envisagée, supporte la charge d'un véhicule adapté.

Une fois la crue passée, une visite post crue des digues sollicitées est engagée et un rapport de crue est rédigé. Le rapport rédigé post-crue sera adressé pour information à la DREAL et à la Préfecture.

Suivant les évolutions observées suite à la visite, des mesures topographiques seront prévues pour quantifier les éventuels mouvements du fond de la rivière.

En cas de désordres sur les digues, des solutions de confortements pourront être envisagés postérieurement à la crue. Il peut s'agir :

- En cas d'affouillement sur le talus amont : une recharge en enrochement pourrait être réalisée via un stock d'enrochements prévu à cet effet en rive droite du pont Tremblay ;
- En cas de glissement ou affaissement du talus aval : un massif de confortement en matériaux idoines.
- Brèche totale : reconstruction de la digue.

4.3.3.9 Contrat cadre entreprise travaux publique

Un marché d'intervention en urgence pour les entreprises de travaux publique est en cours d'élaboration. Dans ce contrat, il est prévu une phase de mise en alerte et une phase de travaux.

4.4 Les dispositions à prendre par le gestionnaire local en cas d'évènement exceptionnel, d'anomalie ou de non-conformité

4.4.1 Evènements exceptionnels

Aléa sismique :

En cas de séisme de magnitude supérieure à 5 sur l'échelle de Richter dans un rayon de moins de 100km, les ouvrages feront l'objet de visites et de campagnes de mesures immédiates ou différées. Les actions à entreprendre pourront être de deux types :

- Une inspection visuelle des digues,
- Des tournées d'auscultation et de surveillance avec appui d'experts si nécessaire (bureaux d'étude extérieurs),

Si les dégâts importants sont décelés, les actions entreprises et les constatations font l'objet d'un compte-rendu adressé au service de contrôle.

Crue :

En cas de crue, dont l'état est décrit en 4.3.1, mettant en charge l'ouvrage, une inspection visuelle est réalisée sur les parties ouvrages en terre.

4.4.2 Anomalies ou non-conformités

Les zones d'incident répertoriées peuvent faire l'objet de visites particulières au rythme préconisé par l'expertise ou le diagnostic correspondant et renseignées dans le Rapport de Surveillance.

Les anomalies constatées font l'objet d'une analyse et d'une évaluation pouvant conduire à une information de l'autorité de contrôle et suivant l'importance, sous forme d'évènement Précurseur de la Sûreté Hydraulique ou d'Evènement Important pour la Sûreté Hydraulique, conformément à la réglementation.

Les actions entreprises et les constatations donnent lieu à un compte-rendu adressé au service de contrôle.

Parmi ces actions, il peut être procédé à la mise en place de moyens de mesures spécifiques pour suivre l'évolution de paramètres physiques (dans le domaine génie civil, il s'agit de dispositifs d'auscultation complémentaires).

4.5 Les périodicités des visites

4.5.1 Périodicité des tournées et visites pour les ouvrages

Type de visite	Contrôles de l'état général des ouvrages	Périodicité	Intervenant sur site	Analyse / validation	restitution
Tournées périodiques du gestionnaire	Constat d'éventuelles anomalies lors des tournées périodiques du gestionnaire.	Annuelle ⁽¹⁾	Agent brigade	Technicien (analyse)	Constat
Tournées périodiques spécifiques pour évènement particulier ou incident ⁽²⁾	Contrôle visuel dans le cadre du suivi de l'évènement particulier. En outre, des mesures d'auscultation peuvent être décidées dans le cadre du suivi.	A adapter en fonction de l'importance de l'incident	Agent brigade	Technicien (analyse)	Constat Eventuellement suivi via une fiche terrain (cf. annexe des consignes par système)
VTA	Voir la consigne générale pour description du parcours	Annuelle	Gestionnaire ou bureau d'étude extérieur	Technicien et directeur (analyse)	Compte-rendu de VTA
Visite spécifique suite à évènement particulier ou exceptionnel (crue, séisme, autre évènement)	Les actions sont décidées en fonction de la gravité de la situation.	Définie pour chaque évènement de manière à assurer la continuité et la sûreté des ouvrages	Gestionnaire ou bureau d'étude extérieur	Technicien et directeur	Rapport d'évènement particulier ou rapport de crue

Tableau 57 : Périodicité des tournées

⁽¹⁾ La visite annuelle est complétée par la présence de l'équipe tout au long de l'année de par les différentes activités d'entretien enregistrées dans la base de données.

⁽²⁾ En cas de crue généralisée sur l'ensemble de la Leyse et l'Hyères, les systèmes d'endiguements à regarder dans un second temps sont :

- SE3.1 : Les largeurs de crêtes de digues semblent confortables au regard de la charge potentielle sur l'ouvrage ;
- SE4.1 : Les largeurs de crêtes de digues semblent confortables au regard de la charge potentielle sur l'ouvrage ;
- SE 5 : Etant donné les enjeux faibles en aval de la digue.

4.5.2 Périodicité de contrôle des équipements hydromécaniques

1 fois par an et après chaque évènement particulier et exceptionnel pour le bras de décharge (SE2.3).

4.6 Les conditions de réalisation des visites et contenu des rapports

4.6.1 Contenu et périodicité des rapports de surveillance

Les rapports de surveillance sont élaborés par le gestionnaire qui les communique au service du contrôle tous les 5 ans suivant les décrets 2015-256 et 2007-1735 pour les ouvrages de classe B.

Les rapports de surveillance rendent compte des éléments suivants :

- La surveillance, l'entretien des ouvrages au cours de la période de référence,
- Les EISH,
- Les évènements et incidents significatifs,
- Les évènements exceptionnels,
- Les travaux et études effectués directement par le propriétaire ou le gestionnaire ou bien par une entreprise,
- L'avis sur l'état de l'ouvrage ;

En annexe de ce rapport, un extrait du registre de l'ouvrage sera présenté.

4.6.2 Contenu, périodicité et conditions de réalisation de la visite technique approfondie

Les ouvrages de génie civil sont visités par un bureau d'étude extérieur en association avec un agent du service cours d'eau de Chambéry Métropole qui possède une connaissance de l'ouvrage.

La VTA, d'une périodicité 5 ans suivant le nouveau décret 2015-526 pour les ouvrages classés et tous les ans suivant le décret 2007-1735 pour les ouvrages de classe B (tous excepté le SE 5), comprend les éléments suivants :

- le cheminement à pied du linéaire en tête et parements amont et aval, fossé de ressuyage ;
- le repérage par rapport aux bornes mise en place ;
- le nivellement des échelles.

Le plan d'accès aux digues, le matériel nécessaire à l'intervention, les fiches SIRS à remplir et les grilles de mesure des échelles limnimétriques sont fournis en annexe des consignes propres à chaque système.

Les visites se feront à pied en fin d'hiver début de printemps avant la reprise de la végétation et avant les crues de fonte des neiges (la digue aura été fauchée à l'automne). La visite sera menée par 3 personnes, une par face d'ouvrage.

Les comptes-rendus des VTA sont rédigés par le bureau d'étude ou le Service cours d'eau de Chambéry Métropole, puis transmis à Chambéry Métropole pour relecture et communication aux services de contrôle.

Ils énumèrent les observations, les éventuels désordres observés, leurs origines possibles et les suites à donner en matière de surveillance, de gestion, d'auscultation, de diagnostic ou de confortement d'un point de vue génie civil. Ils portent un avis sur l'état de l'ouvrage et son fonctionnement.

4.6.3 Contenu des Visites particulières

Les ouvrages et notamment les zones d'anciens incidents répertoriées, font l'objet d'une inspection détaillée après un épisode de crue.

Le déroulement de ces visites est équivalent à celui d'une VTA. Cette visite sera menée par les agents du service cours d'eau de Chambéry Métropole.

Le plan d'accès aux digues, le matériel nécessaire à l'intervention, les fiches SIRS à remplir et les grilles de mesure des échelles limnimétriques sont fournis en annexe des consignes propres à chaque système. Ces visites comprennent :

- le cheminement à pied du linéaire en tête et parements amont et aval, fossé de ressuyage ;
- le repérage par rapport aux bornes mises en place ;
- le nivellement des échelles ;
- la vérification de la non-obstruction des clapets du bras de décharge pour le SE 2.3.

4.6.4 Contenu du Rapport de crue

Un rapport de crue doit également être rédigé par le gestionnaire pour chaque système d'endiguement dont l'état de crue a été déclaré, tel que défini par la présente procédure.

Le rapport de crue relate tous les éléments observés :

- Suivi des données hydrométriques et météorologiques (graphiques, bulletins),
- Grilles d'observation remplies pendant la surveillance,
- Mesures effectuées pendant la surveillance,
- Commentaires des observateurs,
- Rapport de gestion des éventuels incidents,
- Rapport de la visite particulière.

4.6.5 Contenu du Registre

Pour les digues de protection contre les inondations, le décret 2007-1735 préconise la réalisation d'un registre. Ce registre est rendu obligatoire avec le décret 2015-526.

« Le concessionnaire tiendra également à jour un registre sur lequel seront inscrits les principaux renseignements relatifs aux travaux, à l'exploitation, à la surveillance, à l'entretien de l'ouvrage et de son dispositif d'auscultation, aux conditions météorologiques et hydrologiques et à l'environnement de l'ouvrage.

Le propriétaire ou l'exploitant ou le gestionnaire tient à jour les dossiers, document et registre prévus (...) les conserve de façon à ce qu'ils soient accessibles et utilisables en toutes circonstances et tenus à la disposition du service de l'Etat chargé du contrôle. »

Ce registre sera tenu à l'aide du logiciel SIRS digue sachant que chaque intervention sur les ouvrages est renseignée dans le logiciel.

4.6.6 Dispositifs de mesure

Lors des visites, les observateurs pourront s'appuyer sur les dispositifs de mesure suivants :

- PK disposés tous les 100 m. Ces PK sont matérialisé par des bornes géomètres en bordure de piste piétonne ou route et par des spits sur la piste cyclable.
- Echelles limnimétriques : actuellement seul le secteur SE2.3 possède un réseau d'échelles limnimétriques. Les autres échelles seront implantées à l'issu de l'établissement des études de danger des différents systèmes d'endiguement. Les positions des échelles envisagées sont présentées au paragraphe 4.3.1.

4.7 La maintenance et la sureté

4.7.1 La maintenance

4.7.1.1 Accès immédiats et circulation

Les accès et les cheminements normalement employés sur les digues feront l'objet d'un entretien régulier (1 fois/an).

4.7.1.2 Dispositifs de mesure

L'entretien des organes d'auscultation concerne :

- les échelles limnimétriques ;
- les bornes.

Les échelles limnimétriques doivent être lisibles depuis les pistes d'accès. Un nettoyage sera effectué au moins une fois par an.

De même, toutes les indications relatives au repérage sur site (bornes, panneaux,...) devront être maintenues en bon état de lisibilité.

4.7.1.3 Entretien de la végétation

Les contraintes de sécurité obligent à interdire le développement de la végétation sur les ouvrages, et les digues en terre en particulier. Ceci afin de limiter :

- Le risque d'érosion interne par conduit au sein de l'ouvrage ;
- Le risque d'arrachage d'une partie de la digue au droit des arbres penchés en crue (Chablis).

Sont distinguées les digues nouvellement modifiées et les digues plus anciennes :

- Sur les digues nouvellement créées, il est impératif de maintenir une végétation herbacée rase par des opérations de fauche et/ou de broyage. Une opération par an sera nécessaire pour remplir cet objectif.
- Sur les digues anciennes, il est impératif de limiter la présence de végétation arborescente et de procéder une fois par an au débroussaillage de la végétation arbustive et herbacée. C'est dans cet objectif que depuis 10 ans, la collectivité intervient sur cette végétation par débroussaillage et abattage de sujets qui présentent des risques de chute, d'arrachement du parement ou masquent la visibilité de l'ouvrage. Ces interventions sont menées en régie par la brigade d'entretien ou par le biais de marchés publics confiés à des entreprises privées.

Le plan de gestion de la végétation mené par Arbeausolutions prévoit les actions sur chaque système d'endiguement. Les principales actions proposées concernent:

- En action rapide :
 - L'abattage voir le dessouchage d'arbres penchés pouvant gêner l'écoulement des crues ;
 - La dévitalisation de certains arbres afin notamment d'éviter les rejets.
- A moyen terme :
 - La réduction de densité d'arbres via un abattage des sujets dont le diamètre est supérieur à 30 cm ;
 - La purge des souches en voie de décomposition ;
- En phase d'entretien, l'abattage des sujets dont le diamètre viendrait à dépasser les 20 cm.

Ces actions sont détaillées par tronçon sur le document « Recommandation de gestion de la végétation » rédigé par Arbeausolutions.

4.7.1.4 Entretien du lit de la rivière

Les fonds de la Leysse, et donc les éventuelles érosions ou atterrissements, sont visibles hors période de crue. Chambéry Métropole dispose d'un système GPS permettant de réaliser des levés topographiques en autonomie. Le système de borne mis en place permet de resituer rapidement les profils et d'effectuer une comparaison des fonds sur deux campagnes de mesure. Ainsi, de par les visites périodiques et post crues, Chambéry Métropole est en mesure d'identifier les secteurs problématiques et d'effectuer un suivi de l'évolution des fonds. Si une évolution des fonds prononcée de la rivière est remarquée suite à ces relevés, l'intervention d'une entreprise de travaux publique sera envisagée.

4.7.2 La sûreté

La sûreté est au cœur de deux des missions du service gestion des cours d'eau qui consistent en :

- La protection contre les inondations, télésurveillance ;
- La prévision des crues.

4.7.2.1 Les ESSH/ESSN et PSH/EISH

4.7.2.1.1 Rappel des obligations du gestionnaire de digue

Les déclarations d'incident doivent suivre l'arrêté du 21 mai 2010 définissant l'échelle de gravité des événements ou évolutions concernant un barrage ou une digue ou leur exploitation et mettant en cause ou étant susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens et précisant les modalités de leur déclaration.

Rappel de l'article 2 (concernant les digues uniquement) :

« Les événements ou évolutions à déclarer, concernant (...) une digue ou son exploitation et mettant en cause ou étant susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens, sont les suivants :

a) Les événements importants pour la sûreté hydraulique (EISH) :

Le propriétaire ou l'exploitant de tout ouvrage hydraulique ou, pour un barrage concédé en application de la loi du 16 octobre 1919 susvisée, le concessionnaire, ci-après désigné « le responsable », déclare les événements à caractère hydraulique intéressant la sûreté hydraulique relatifs à une action d'exploitation, au comportement intrinsèque de l'ouvrage ou à une défaillance d'un de ses éléments, lorsque de tels événements ont au moins l'une des conséquences suivantes :

- atteinte à la sécurité des personnes (accident, mise en danger ou mise en difficulté) ;
- dégâts aux biens (y compris lit et berges de cours d'eau et retenues) ou aux ouvrages hydrauliques ;
- pour un barrage, une modification de son mode d'exploitation ou de ses caractéristiques hydrauliques (cote du plan d'eau...).

(...) ».

Rappel de l'article 3 :

« Toute déclaration d'un EISH est adressée au préfet. Elle est accompagnée d'une proposition de classification selon le niveau de gravité conforme aux échelles figurant aux articles 4 et 5. »

Rappel de l'article 6 :

« La déclaration d'un EISH, à compter de la date à laquelle le responsable de l'ouvrage a pris connaissance de l'événement, s'effectue :

- de façon immédiate pour les événements de couleur rouge ;
- dans les meilleurs délais pour les événements de couleur orange, sans toutefois excéder une semaine.

Pour les barrages, la déclaration des EISH de couleur jaune s'effectue dans un délai d'un mois à compter de la date à laquelle le responsable a pris connaissance de l'événement.

Pour les digues, les EISH de couleur jaune font l'objet d'une déclaration annuelle auprès du préfet.

Le préfet valide la proposition de niveau de classification de l'EISH et la notifie au responsable ou notifie à ce dernier un autre niveau de classification.

Le cas échéant, le préfet notifie au responsable le délai au terme duquel celui-ci doit lui transmettre un rapport précisant les circonstances de l'événement, analysant ses causes et indiquant les mesures prises ou envisagées pour éviter qu'il ne se reproduise. »

4.7.2.1.2 Organisation générale de Chambéry Métropole

L'information externe concerne les services de contrôle, DREAL.

Les délais de la déclaration des EISH (Evénements Importants pour la Sûreté Hydraulique) conformément aux textes réglementaires cités dans le paragraphe précédents sont les suivants :

- immédiatement pour les événements de couleur rouge (correspondant au délai de transmission d'un fax),

- dans les meilleurs délais, pour les événements de couleur orange, c'est-à-dire dans des délais d'une transmission dans les conditions horaires de fonctionnement des services (1 semaine),
- annuel pour les événements de couleur jaune.

En fonction de l'importance de la crue, un rapport de crue est transmis aux autorités de tutelles. Il comporte une analyse hydrologique et une analyse des incidents d'exploitation (faits marquants d'exploitation et les dommages aux ouvrages et aux digues).

4.7.2.1.3 EISH rencontrés

Un EISH (référence [DA14]) a été déclaré en avril 2015 sur le système SE 2.2 au niveau de la digue ZI des Landiers (2) entre le pont de l'échangeur et le pont de l'A43 repéré lors de la VTA 2015, aux environs du P111. Cette portion de digue est en cours de reconstruction dans le cadre du projet Leysse-Hyères.

4.7.3 Le génie civil

Le gestionnaire est responsable de la fiabilité et de la sûreté des ouvrages et de leur maintien en bon état de fonctionnement. Les services de l'état, par le biais des services de contrôle, s'assurent que le gestionnaire remplit convenablement sa mission.

La transparence est une des conditions nécessaires à l'exercice des missions de chacun, c'est pourquoi les relations entre gestionnaire et service de contrôle sont fréquentes sous différentes formes.

Le gestionnaire diffuse aux services de contrôle avec une périodicité qui dépend du classement des ouvrages les rapports de surveillance. Il les informe par ailleurs des anomalies ou dysfonctionnements qui se produisent et plus généralement des faits marquants qui émaillent la vie des ouvrages. C'est le cas par exemple des conditions de survenue et des conséquences des crues significatives.

Le concessionnaire informe également les services de contrôle des opérations de maintenance qu'il réalise et soumet à leur autorisation les travaux de modification des ouvrages.

De leur côté les services de contrôle réalisent périodiquement des inspections des aménagements qui font l'objet d'un rapport. Ils s'assurent au cours de ces visites du bon entretien des ouvrages, de leur bon fonctionnement et plus généralement de la manière dont le concessionnaire s'acquitte de sa mission.

4.8 Traçabilité

Suivant le cadre réglementaire, le gestionnaire se doit de transmettre les documents relatifs à la gestion de son ouvrage.

On notera la transmission récente des éléments suivants aux services de l'état sur l'ensemble des cinq systèmes d'endiguement :

- Rapports de surveillance en décembre 2014 traitant des opérations de maintenance et de surveillance ainsi que les crues observées et les principaux incidents sur la période 2012-2014 ;
- Un diagnostic de Sûreté initial valant VTA en mai 2015 ;
- Le projet de consigne de surveillance en octobre 2015 ;
- Le projet de dossier d'ouvrage en octobre 2015 ;
- Vis-à-vis de la sûreté hydraulique, un EISH classé jaune a été déclaré en avril 2015.

5 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS

L'étude de dangers doit prendre en compte l'ensemble des potentiels de dangers des différents composants des ouvrages, du fait de leur présence ou de leur fonctionnement. La caractérisation de ces potentiels de dangers est essentiellement liée au risque de libération de tout ou partie de l'eau du cours d'eau.

Dans un premier temps, nous allons identifier et caractériser les potentiels de dangers liés aux digues et à leurs composants susceptibles de permettre la libération de tout ou partie de l'eau en cas de crue, ainsi que les situations dangereuses pouvant provoquer cette libération. Dans un second temps, nous identifierons et caractériserons les potentiels de dangers externes, c'est-à-dire non liés aux digues en objet.

Les potentiels de dangers constituent une donnée d'entrée fondamentale de l'analyse des risques et servent en particulier à l'élaboration de la rubrique 8.

5.1 Identification et caractérisation des potentiels de dangers liés aux ouvrages

5.1.1 Potentiels de dangers internes aux digues

Les situations dangereuses et les potentiels de dangers internes associés sont :

- Une **érosion interne de l'ouvrage**. Le potentiel de danger dans ce cas peut est :
 - La présence d'une interface entre deux couches de sols, constitutives de la digue et/ou de sa fondation, de granulométrie très différente ;
 - La présence d'une couche de sol du corps de digue suffusive.
- Un **glissement général du talus aval**. Le potentiel de danger dans ce cas peut est :
 - la présence d'une ou plusieurs couches de sol dont les caractéristiques de sol ne permettent pas la stabilité de l'ouvrage en crue.

5.1.2 Cas de l'endiguement 2

Nous avons listé dans le Tableau 58, les différents composants susceptibles de permettre la libération de tout ou partie de l'eau du cours d'eau suite à différentes situations dangereuses identifiées dans le même tableau.

Ces potentiels de dangers sont ensuite caractérisés par l'hydrogramme et la propagation de l'onde de crue issus de ces situations dangereuses à l'aide d'un modèle de propagation des crues.

Nom de l'ouvrage	Composants (susceptibles de permettre la libération de tout ou partie de l'eau)	Situation dangereuse
SE 2.2 aval	Digue sèche en remblai	Rupture (totale ou partielle) de la digue par érosion interne
SE 2.2 aval	Digue sèche en remblai	Rupture (totale ou partielle) de la digue par glissement du talus

Tableau 58: Identification et caractérisation des potentiels de dangers permettant la libération de tout ou partie de l'eau

Les secteurs identifiés comme plus sensibles sont rappelés dans la conclusion du diagnostic des digues au paragraphe 3.2.8 à savoir :

- Secteur du rond-point de Villarcher ;
- Secteur de Villarcher.

5.2 Les potentiels de dangers externes

5.2.1 Potentiels de danger externes aux digues

Les situations dangereuses et les potentiels de dangers externes associés sont :

- **Erosion interne de l'ouvrage.** Le potentiel de danger dans ce cas peut est :
 - La présence de racines entraînant un chemin préférentiel des eaux ;
 - La présente de terriers d'animaux fouisseur ;
 - La présence d'ouvrages traversants sans système anti-renard.
- **Erosion externe du talus amont.** Le potentiel de danger dans ce cas peut est :
 - Une crue avec des vitesses importantes pouvant avoir pour conséquence :
 - ▶ Un affouillement du pied de talus
 - ▶ Un transport solide important ;
 - Un chablis entraînant le talus en crue ;
 - Un abaissement subit du niveau d'eau du fait de la rupture d'une digue en aval.
- **Erosion externe du talus aval.** Le potentiel de danger dans ce cas peut est :
 - La surverse d'une crue supérieure à la crue de danger ;
 - Des embâcles au droit d'un ouvrage de franchissement entraînant une surverse ;
 - Le disfonctionnement de l'ouvrage d'alimentation du bras de décharge ;
 - Des vitesses fortes sur le talus aval causées par le débordement d'autres secteurs plus en amont.

5.2.2 Les scénarios d'érosion interne suite à une agression externe

5.2.2.1 Végétation

Au niveau des digues (SE 2.1 et SE 2.2 aval), la végétation est très dense autant sur le parement amont qu'aval et même en crête. Etant donné la configuration géométrique des digues, cette agression locale du talus peut constituer une zone de fragilité sur les secteurs qui ne sont pas considérés comme une digue élargie.



Figure 48 : Endiguement SE2.2 aval

Les secteurs les plus problématiques sont identiques à ceux observés dans le diagnostic au paragraphe 3.2.8, à savoir :

SE 2.2 : Villarcher ;

SE 2.2 : Rond-point de Villarcher.

5.2.2.2 Terriers d'animaux fouisseurs

Sur la zone, des traces de présence d'animaux fouisseurs ont été repérés sur le SE 2.3 mais aucun terrier n'a été recensé.

5.2.2.3 Conduites traversantes

Sur le tracé des digues 5 conduites traversantes ont été recensées. Le tableau suivant résume leurs caractéristiques principales et leur position par rapport aux différents sous-systèmes.

SE	PKL	réseau longitudinal	réseau traversant	catégorie	type	diamètre	écoulement	utilisation
2.1	8.9	-	FD 200 En fondation	RHF Réseau Hydraulique Fermé	CON CONduite d'eau	200	PRE sous PREssion	EDI Eau de Distribution
2.1	8.8		conduite de gaz DN400 En fondation	RTE Réseau de Télécom et d'Energie	GDF	250	-	-
2.2	4.2	-	Ø400 (certainement sous le lit de la rivière)	RTE Réseau de Télécom et d'Energie	GDF	400	-	-
2.2	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
2.3	2.3	-	FD Ø200 En fondation	RHF Réseau Hydraulique Fermé	CON CONduite d'eau	200	GRA GRAvitaire	EDI Eaux de Distribution

Tableau 59: Conduites traversantes sur le secteur d'étude

Certaines de ces conduites présentent un risque très limité vis-à-vis des endiguements car situés en fondation. Il s'agit :

- SE 2.3 : PKL2.3 ;
- SE2.1 : Conduite de Gaz au PKL8.8 et Conduite d'eau potable PKL8.9.

5.2.3 Les scénarios d'érosion externe du talus amont

5.2.3.1 Fortes crues

Les crues de la Leyse peuvent atteindre 3.5 m/s en pied de talus en crue centennale et 5 m/s au centre. Dans ce cas, il existe un risque de déstabilisation des ouvrages sur les secteurs où les digues sont déjà fortement érodées. Ces fortes vitesses peuvent entraîner des risques d'affouillement.

Les secteurs les plus problématiques sont donc identiques à ceux observés dans le diagnostic au paragraphe 3.2.8 à savoir :

SE 2.2 : Rond-point de Villarcher.

5.2.3.2 Chablis

Comme exposé précédemment, la végétation est très dense sur l'ensemble des talus amont de la Leysse et de l'Hyères. Les arbres penchés dans le sens de l'écoulement ont fait l'objet d'un entretien par l'équipe de Chambéry Métropole. Le risque de chablis sur les digues est faible.

5.2.3.3 Décrue rapide

Un glissement peut se produire en cas de décrue très rapide. Si un tel glissement venait à se produire, la probabilité d'une nouvelle crue venant recharger la digue et créer une brèche est quasi nulle. Le risque peut donc être écarté.

5.2.3.4 Rupture d'un seuil transversal

Sur le secteur d'endiguement SE2, 2 seuils ont été recensés. La rupture d'un seuil transversal peut entraîner un abaissement brutal de la ligne d'eau et donc créer un affouillement en pied de talus. Sur le secteur, les seuils destinés à tenir les fonds, sont de faible hauteur. Le risque d'abaissement de la ligne d'eau suite à l'emportement du seuil est limité. À l'échelle d'une crue, le risque d'érosion régressive est faible. Ce risque peut donc être écarté.

5.2.4 Le scénario d'érosion externe du talus aval

5.2.4.1 Surverse

En cas de surverse, les digues ne sont pas dimensionnées pour résister à la surverse. Les secteurs les plus problématiques sont identiques à ceux observés dans le diagnostic au paragraphe 3.2.8 :

SE 2.2 aval : amont du Pont Tremblay (PKL3.8 et PKL3.5) ;

SE 2.3 : Partie terminale (PKBD0.2).

5.2.4.2 Transport solide

Tel exposé au chapitre 6, le transport solide de la Leysse est principalement interne et apparaît pour des crues dites morphogènes (Q2 et Q5). Pour les crues supérieures, les apports semblent très faibles et la rivière présenterait une relative stabilité.

5.2.4.3 Rupture d'une digue d'un autre tronçon

Les écoulements issus d'une rupture d'une digue plus en amont pourraient venir éroder le talus aval d'une digue du secteur étudié. Ceci engendrerait, par cascade, la rupture du système étudié.

Les digues en amont du système SE 2 sont celles du système SE 1. Ces digues sont situées environ 5 km en amont du SE 1. Par conséquent, il n'y a pas de risque de rupture successive car les tronçons sont déconnectés hydrauliquement.

5.2.4.4 Embâcles sous un ouvrage de franchissement

Sur le linéaire d'étude, le pont identifié comme potentiellement à risque vis-à-vis des embâcles est le pont SNCF, entre les profils P67 et P68 (cf. paragraphe 3.1.5.1) affectant le tronçon 4.3. Néanmoins ce pont a un tablier de faible épaisseur. Les embâcles semblent donc peu probables.

5.2.4.5 Disfonctionnement de l'ouvrage d'alimentation du bras de décharge

L'ouverture des vannes du bras de décharge est réglée de manière automatique. En cas d'impossibilité de fonctionnement en mode automatique, le gestionnaire est contacté via une alarme par texto. Dans ce cas, trois solutions sont envisageables :

- Le pilotage est possible :
 - o depuis le poste informatique de Chambéry Métropole Gestion des cours d'eau ;
- depuis le bras de décharge localement en manœuvrant les robinets d'huile situés sur la centrale hydraulique afin d'abaisser les clapets.

En cas d'avarie sur le système de commande ou de régulation, le barrage est équipé d'un ou deux flotteurs anti-crue dont la fonction est d'abaisser les vannes clapets si le niveau amont est supérieur à une consigne préalablement définie et ceci sans intervention extérieure ni apport d'énergie.

Ainsi, le risque de dysfonctionnement de l'ouvrage d'alimentation du bras de décharge est très peu probable.

5.3 Conclusion sur les principaux modes de défaillance

Ce paragraphe a permis de détailler l'ensemble des potentiels de danger pouvant impacter les endiguements du SE 2 et de les relier à une situation dangereuse.

1. **Les situations dangereuses** (qui peuvent conduire ou qui conduit à la perte d'une fonction principale). Les situations suivantes, représentatives des événements susceptibles d'impacter les ouvrages, sont à rechercher en priorité :
 - une érosion interne (phénomène de renard),
 - une érosion externe du talus amont de l'endiguement,
 - un glissement du talus aval,
2. **Les causes potentielles** (défaillance conduisant la situation dangereuse). Les causes suivantes, représentatives des situations dangereuses peuvent être liées à :
 - Causes internes à l'ouvrage :**
 - Une interface entre deux couches de sols, constitutives de la digue et/ou de sa fondation, de granulométrie très différente ;
 - Une couche de sol du corps de digue suffusive ;
 - Une ou plusieurs couches de sol dont les caractéristiques de sol ne permettent pas la stabilité de l'ouvrage en crue ;
 - Un parement amont de l'ouvrage non protégé.
 - Causes externes à l'ouvrage :**
 - une crue exceptionnelle ;
 - des vitesses fortes dans le lit mineur de la rivière en cas de crue exceptionnelle ;
 - la rupture d'une canalisation traversante ;
 - une végétation dense ;
 - la défaillance d'un ouvrage transversal dans le lit mineur.

3. Les conséquences ou accidents potentiels.

Les situations dangereuses peuvent conduire aux événements redoutés centraux suivants :

- la rupture de l'endiguement par brèche ;
- la rupture de l'endiguement par surverse.

Les cartographies suivantes présentent sur l'ensemble de la zone d'étude, les potentiels de dangers identifiés.

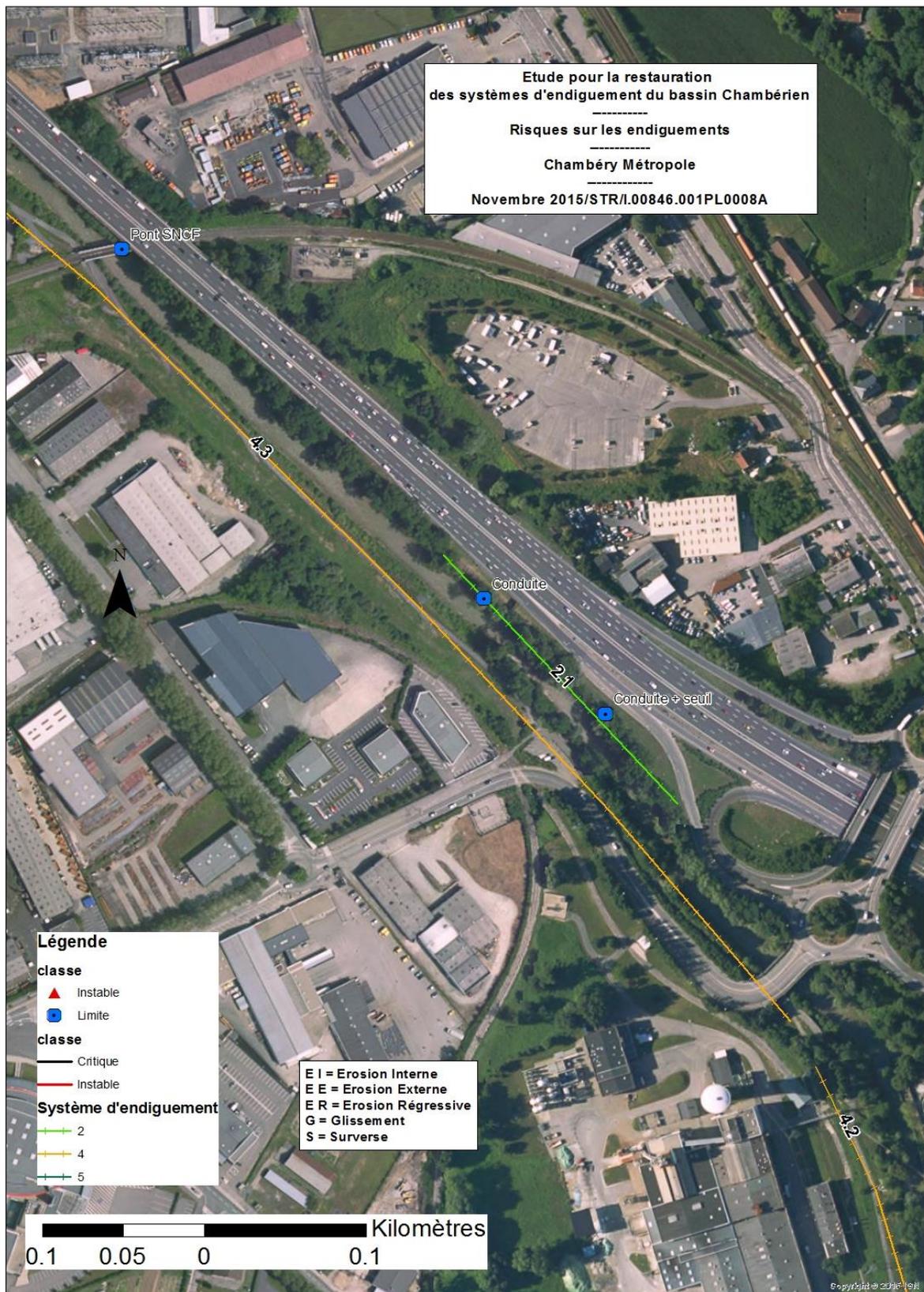


Figure 49 : Synthèse des Potentiels de danger – SE 2.1

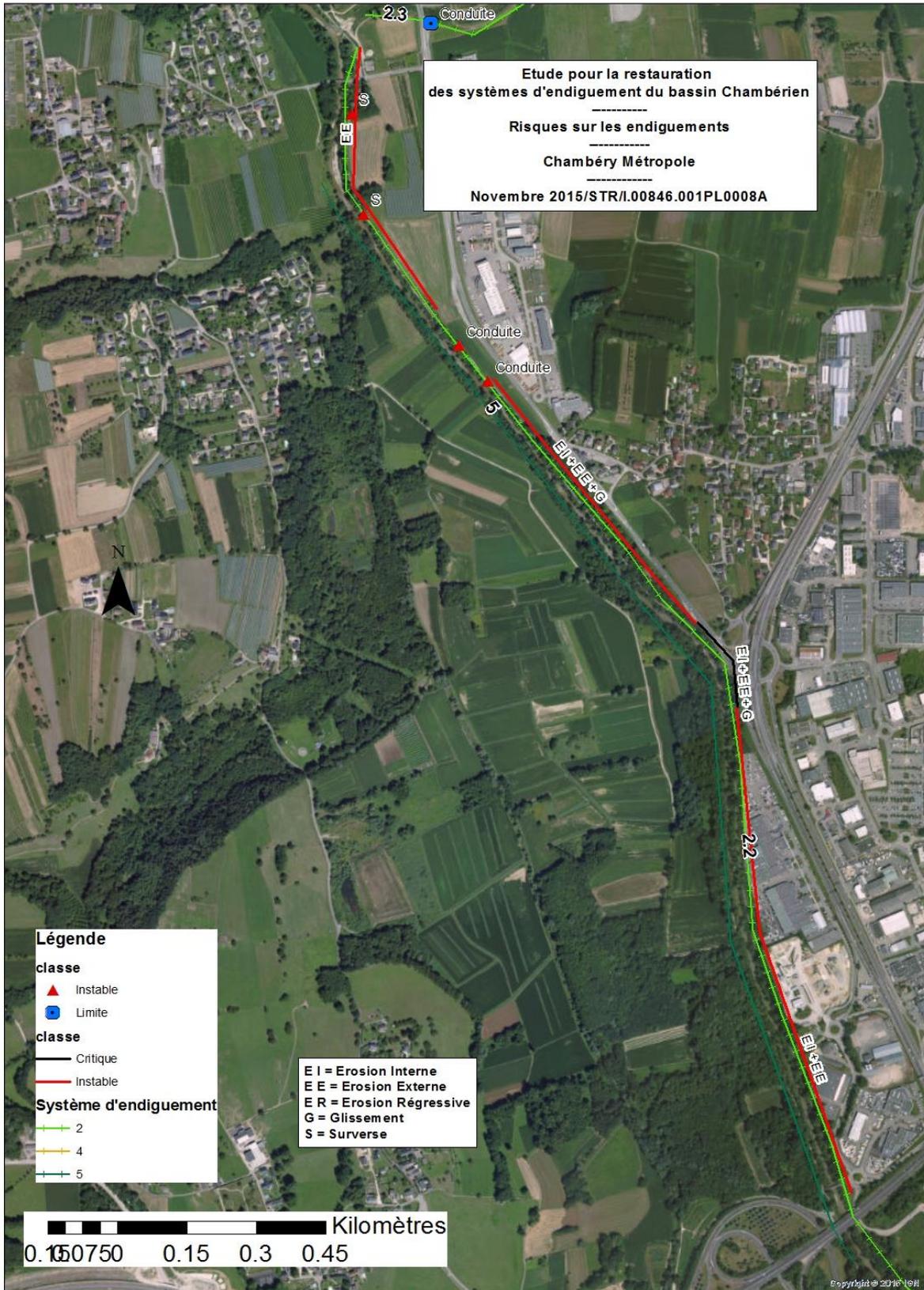


Figure 50 : Synthèse des Potentiels de danger – SE 2.2 aval



Figure 51 : Synthèse des Potentiels de danger – SE 2.3

6 CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS

Les sous-systèmes d'endiguement s'inscrivent dans un environnement qui est soumis à des aléas naturels, que ce soient les crues de la Leysse, les crues de ses affluents, la cote du lac du Bourget ou les séismes. Afin d'appréhender le comportement de ces endiguements dans ces différentes situations ainsi que la sensibilité du site à ces aléas, ce chapitre a pour finalité d'évaluer les caractéristiques physiques les plus extrêmes de ces phénomènes naturels.

6.1 Analyse hydrologique

6.1.1 Les données hydrométriques

Le bassin versant est instrumenté avec un ensemble de 9 stations disponibles. Le tableau suivant présente les principales caractéristiques de ces stations, en précisant si elles sont encore en fonctionnement.

Cours d'eau	Station	Gestionnaire	SBV km ²	Code	Coordonnées Lambert II		Altitude IGN69	Périodes de fonctionnement
					X	Y		
Leysse	Bout du Monde	DIREN	75	V1315040	884 006	2 071 100	320	1991 - 1994
	La Ravoire	DIREN	78	V1315050	883 050	2 070 195	300	1994 -
	Quai de la Rize	SICEC		-				1998 -
	Pt du Tremblay	DIREN	280	V1315020	875 713	2 075 959	237	1960 - 1989 - 1992 1969 - 1972 1996 - 1980 - 1984
Albanne	Buisson Rond	DIREN	46,5	V1318210	881 333	2 068 817	219	1986 -
Mère	La Ravoire	SICEC		-				1998 -
Nant Petchi	Bassens	SICEC		-				1998 -
Nant Bruyant	La Motte Servolex	SICEC		-				1998 -
Hyères	Charrière-Neuve	DIREN	75,2	V1316440	878 692	2 070 558	260	1996 -

Tableau 60 : Stations limnimétriques sur le bassin de la Leysse

La cartographie du bassin versant de la Leysse et la localisation des stations hydrométriques est présentée en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

La station de référence est la station du pont du Tremblay (BV de 280 km²), station située la plus en aval du bassin versant, en rive droite de la Leysse et en amont du bras de décharge.

6.1.2 Régime de la Leysse

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. Le graphique suivant présente les débits moyens mensuels de la Leysse au pont du Tremblay extraits de la base de données HYDRO :

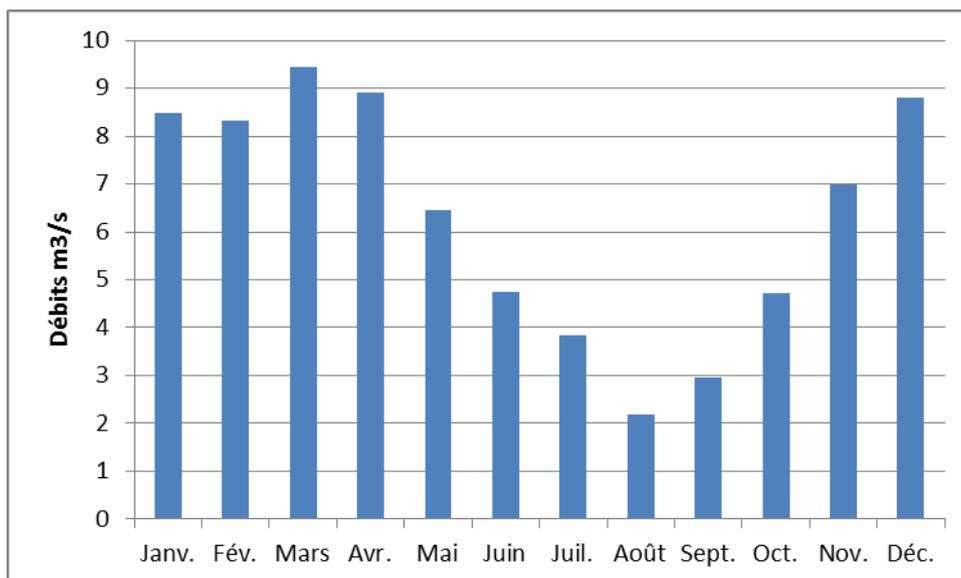


Figure 52 : Débit moyen mensuel sur la Leysse au Pont du Tremblay – Période 1969 – 2015 – Données HYDRO

6.1.3 Débits caractéristiques de crue

Les données hydrométriques recueillies à la station de référence du Tremblay ont été critiquées et analysées dans le cadre du volet Hydrologie de la phase 1 du TRI datant de 2013 et mené par Hydrolac pour la DDT Savoie [DA7].

En fonction de l'état de la Leysse, avant ou après aménagement de la Leysse, le débit au pont du Tremblay varie sachant que le projet, de par sa constitution, dévie une partie des déversements du pont des Chèvres dans la Leysse, ce qui augmente les apports en aval et notamment au pont Tremblay. On retiendra donc un débit Q100 de la Leysse au Pont Tremblay de :

- 370 m³/s environ en état initial ;
- 414 m³/s environ en état aménagé.

Le tableau suivant présente les débits caractéristiques de la Leysse et de ses principaux affluents l'Hyères et l'Albanne pour différentes périodes de retour, en amont du projet Leysse-Hyères.

	Débit en m3/s		
	Hyères	Leysse	Albanne
	Pont D1006	Pont des Barillettes	Confluence Leysse
Q10	50.5	67.6	31.8
Q100	114.4	147.9	59.6
Q1000	157.5	203.7	80.2

Tableau 61 : Débits de pointe sur la Leysse et ces principaux affluents

Les ajustements statistiques ont été réalisés avec la loi de Gumbel. La comparaison réalisée avec la loi de Galton donne des résultats similaires.

Le débit de pointe de la crue millénaire a été évalué par extrapolation de cette loi d'ajustement au pont du Tremblay. Le ratio entre la Q100 et la Q1000 à cette station a ensuite été actualisé sur les débits de la Leysse amont et de ses affluents, ce qui a permis de calculer un débit de pointe pour ces apports en Q1000.

Les apports des affluents secondaires de la Leysse et de l'Hyères sont aussi intégrés dans la modélisation, il s'agit du :

- Forezan ;
- Nant Pétchi ;
- Nant Bruyant ;
- Ruisseau des Marais.

Les hydrogrammes des crues caractéristiques ont été calculés par homothétie des hydrogrammes observés lors de la crue de 1990.

Le graphique ci-dessous présente les hydrogrammes de la crue de 1990 pour la Leysse amont et ces principaux affluents.

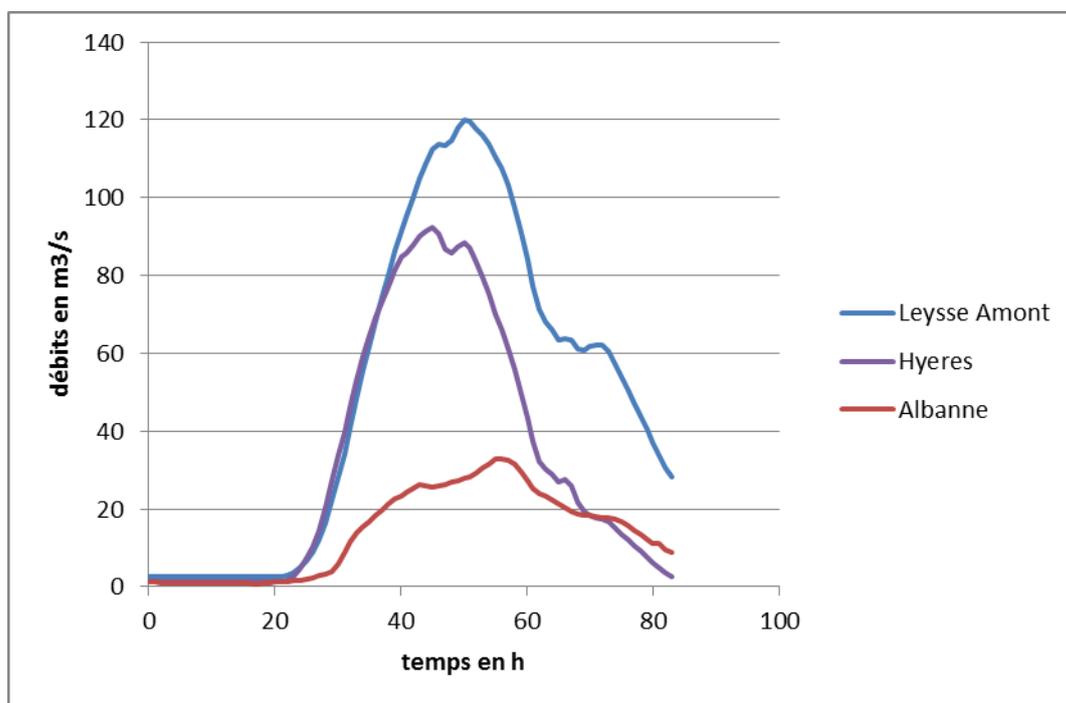


Figure 53 : Hydrogramme de la Leysse et de ses principaux affluents pour la crue de 1990

6.1.4 Les crues historiques

Les plus fortes crues de la Leysse se produisent généralement en hiver ou suite à des orages d'été, au mois de juillet ou septembre principalement.

Avant 1980, les plus fortes crues observées se sont produites en :

- 18 février 1812
- 18 janvier 1875
- janvier 1910
- janvier 1955
- septembre 1960
- décembre 1961
- décembre 1968 et d'avril 1970

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. Le tableau suivant présente les débits maximaux de crue observés à certaines stations caractéristiques pour ces trois évènements.

		Débit		
		m3/s		
		févr-90	déc-91	nov-92
Leysse	Pont du Tremblay	220	210	145
Leysse	Bout du monde	-	115	-
Leysse	Quai de la Rize	146	-	-
Leysse	Doria	12	-	-
Albanne	Buisson Rond	33	43.5	2.7
Hyères	Cognin	94	-	-
Belle-Eau		-	-	3.37

Tableau 62 : Débits des crues de 1990, 1991 et 1992 des cours d'eau sur le bassin chambérien

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.

6.1.5 Influence du lac

La cote du lac du Bourget influence les niveaux de la Leysse. Une étude de ces niveaux et de l'influence du lac sur les crues de la Leysse est présentée dans le rapport de phase 1 de l'étude hydraulique du TRI [DA7]. Ce rapport précise que de la crue de 1990 a été mesurée et celle de la crue centennale est extraite du PPRI. Pour la crue millennale, il est pris comme hypothèse que le Rhône est aussi en crue millennale. Le modèle hydraulique CNR a donc été utilisé pour estimer cette cote. Le tableau suivant présente les cotes retenues pour la suite de l'étude.

Période de retour	Evènement / source	Niveau du Lac du Bourget à la confluence avec la Leysse (m IGN 69)
30 à 50ans	Crue 1990 / mesure et TRI	233.96
100 ans	Q100 / PPRI et TRI	235.27
1000 ans	Q1000 Rhône / modèle CNR	235.62

Tableau 63 : Lignes d'eau du lac

6.2 Analyse hydraulique

6.2.1 Le code de calculs Telemac-2D

L'analyse du fonctionnement hydraulique du secteur des endiguements a été réalisé à l'aide du logiciel « Telemac-2D ». Ce code de calculs résout les équations de Barré-Saint-Venant en deux dimensions horizontales. Ses résultats principaux sont en chaque point du maillage de résolution (ensemble des points de calculs), la hauteur d'eau et la vitesse moyenne sur la verticale.

6.2.2 Emprise du modèle

Le modèle représente la Leysse depuis le Pont de la RD12 (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. Le modèle est un code de calcul à surface libre, il n'intègre pas le réseau pluvial. L'Erier est représenté dans la modélisation par un canal à ciel ouvert, ce qui peut expliquer certains débordements non observés dans la réalité. Le lit majeur, susceptible d'être immergé, est intégré dans le modèle afin de représenter les éventuels échanges avec le lit mineur par surverse.

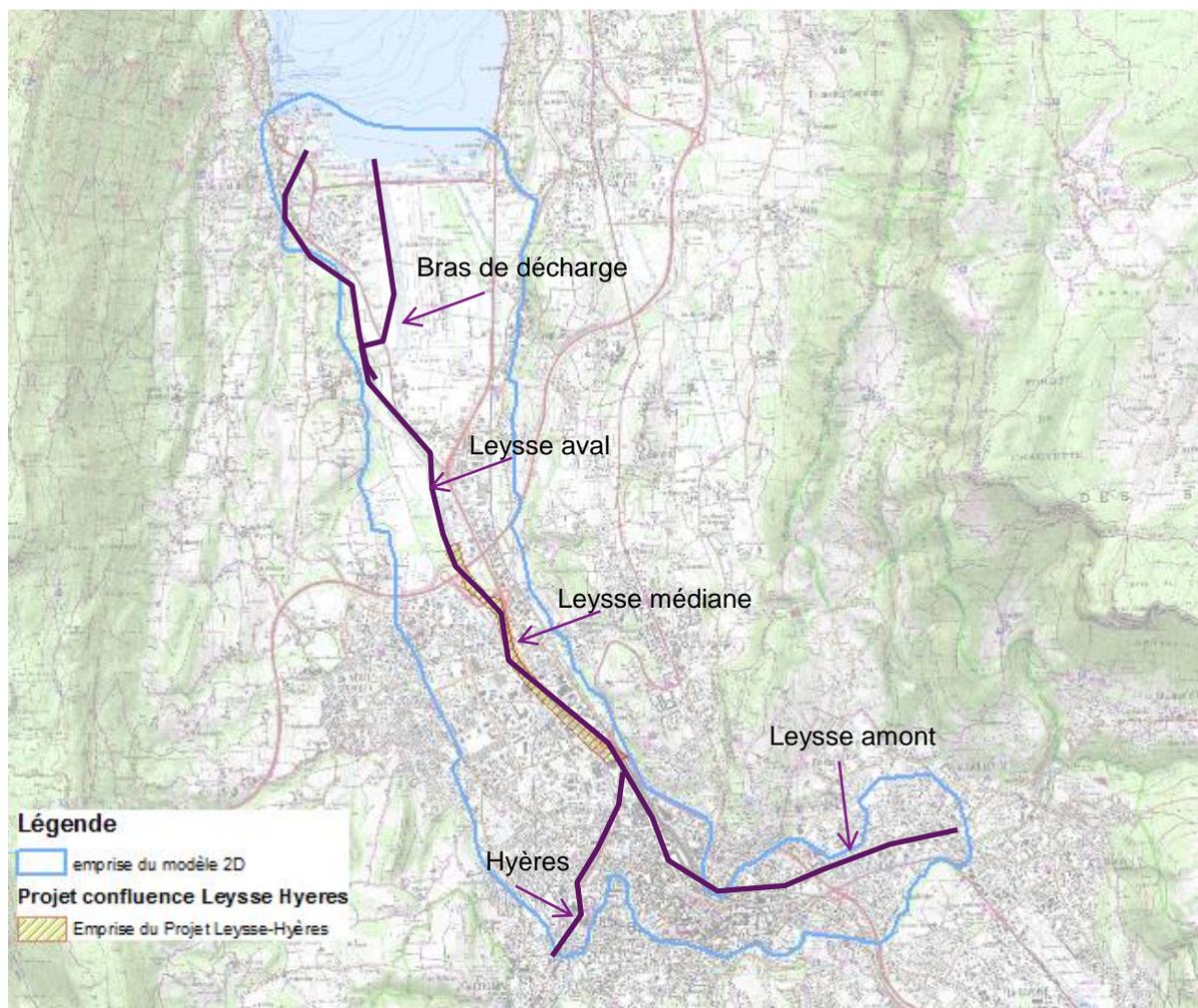


Figure 54 : Plan de localisation - contour extérieur du modèle en bleu et cours d'eau en violet

6.2.3 La topologie du modèle – les données topographiques utilisées

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

- Un modèle – dit « modèle 90 » - avec l'état supposé de la morphologie de la plaine alluviale et de son lit mineur lors de la crue de 1990 pour son calage sur cette crue ;
- Un modèle de l'état initial avant aménagement 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.

Le détail des données topographiques utilisées est précisé dans l'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

6.2.4 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 du bras de décharge 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.

6.2.5 Le calage du modèle

Le calage du modèle consiste à assigner aux paramètres de calage (principalement le coefficient de frottement sur le fond, ici le coefficient de Strickler) les valeurs qui permettent au modèle de reproduire aussi fidèlement que possible les écoulements naturels observés tout en gardant un sens physique sous-jacent.

Ces paramètres de calage ont été définis à l'aide du « modèle 90 » qui a été calé sur la crue de 1990. Les données de cette crue qui ont été retenues pour ce calage sont les repères de crue levés à la suite de cet événement et la ligne d'eau représentative de cette crue issue du modèle 1D ayant servi à l'étude de définition des aménagements.

Ce sont les valeurs de ces paramètres qui ont ensuite été utilisées dans les deux modèles état initial et état projet.

Le détail du calage et de la construction du modèle sont présentés dans l'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** On retiendra que le calage est précis à 30 cm près en moyenne.

6.2.6 Description de la propagation de la crue de projet et déversements

6.2.6.1 Description de la cinétique d'inondation

Le présent paragraphe explicite le mécanisme des écoulements d'une crue centennale en localisant les principales zones de débordement en intégrant la réalisation du projet Leysse-Hyères.

Les simulations réalisées ne prennent pas en compte les brèches potentielles issues de ces déversements.

Les premiers débordements apparaissent sur l'Hyères en rive gauche puis sur la Leysse amont et enfin sur la Leysse aval. Le tableau et les cartographies suivantes présentent la localisation des débordements et leurs caractéristiques principales. Lorsque les débordements sont situés sur une digue, la ligne est surlignée en orange (brèche potentielle de la digue qui n'a pas été modélisée dans la simulation présentée).

Localisation débordement	Rive	Profil STTP	PK	Ordre des débordements	Temps d'apparition	Débit dans le cours d'eau associé (m ³ /s)	Période de retour	Tronçon de rivière	SE
Cimetière Charrière Neuve	G	P177	H0.7	H1	15h30	80	Q20	Hyères	4.2
Cimetière Charrière Neuve	G	P186	H0.45	H2	15h30	80	Q20	Hyères	4.2
Déversoir	G	P127	L5.9	L1	15h50	200	Q10	Leysse aval	5
Amont Pont Tremblay	G	-	L4.1	L2	17h30	250	Q20	Leysse aval	5
Pont d'Hyères	D	P166	H1.3	H3	22h30	120	Q80	Hyères	-
Au pont de Serbie	D	-	L12.2	L3	1 j 00h30	125	Q50	Leysse amont	-
Amont Pont Tremblay	D	-	L3.9	L4	1j01h15	335	Q50	Leysse aval	2.2
Sur l'Albanne	G	-	-	L5	1 j 02h30	140	Q80	Leysse amont	-
Amont Pont Tremblay	D	-	L3.5	L6	1 j 03h30	360	Q80	Leysse aval	2.2
Aval lac du Bourget	D	-	BD0.2	L7	-	-	entre Q30 et Q100	Bras décharge	2.3

Tableau 64 : Déversements – Etat avec projet Leysse Hyères sans rupture

Hyères – SE 4.2 et SE 4.1 (rive gauche) et SE 3.3 rive droite :

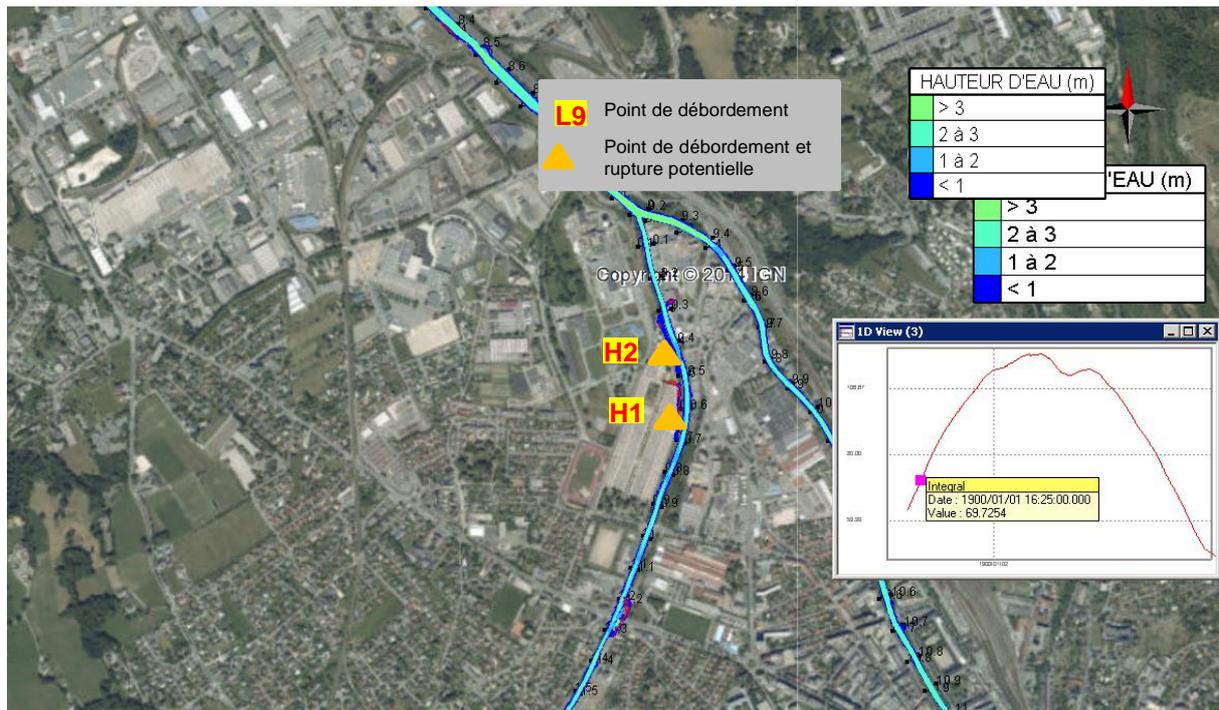


Figure 55 : Hyères – cartographie des débordements – $t = t_0 + 16h30$

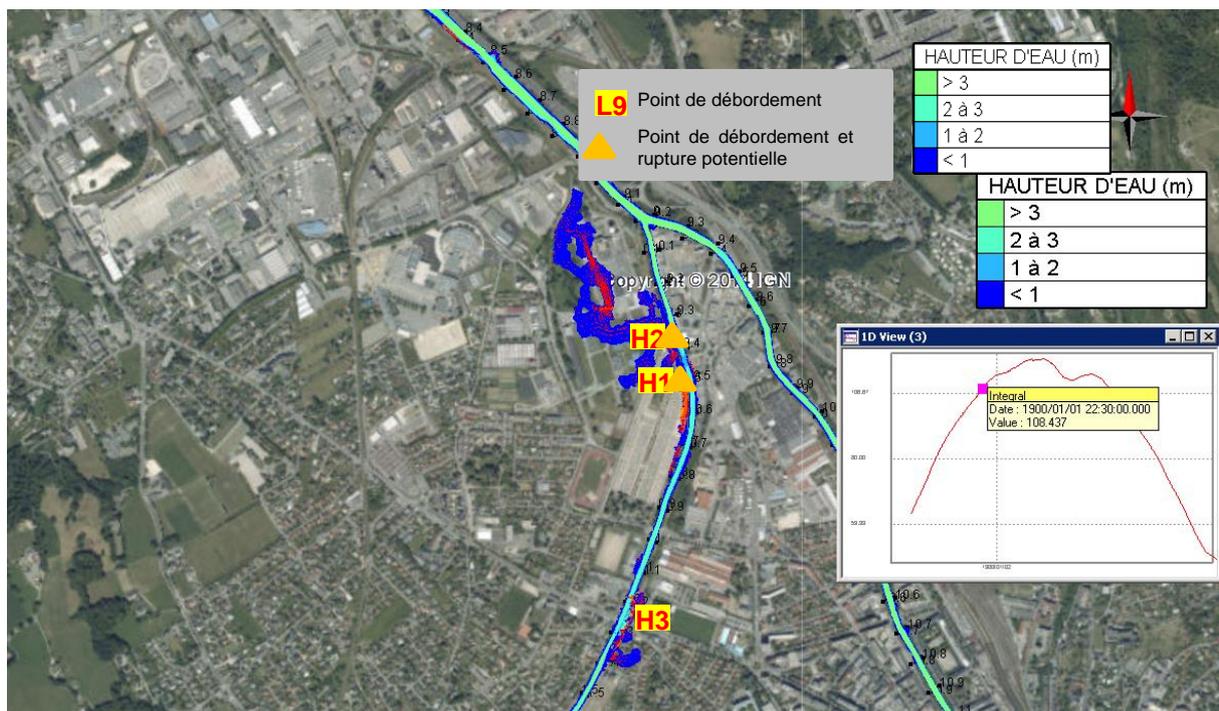


Figure 56 : Hyères – cartographie des débordements – $t = t_0 + 22h30$

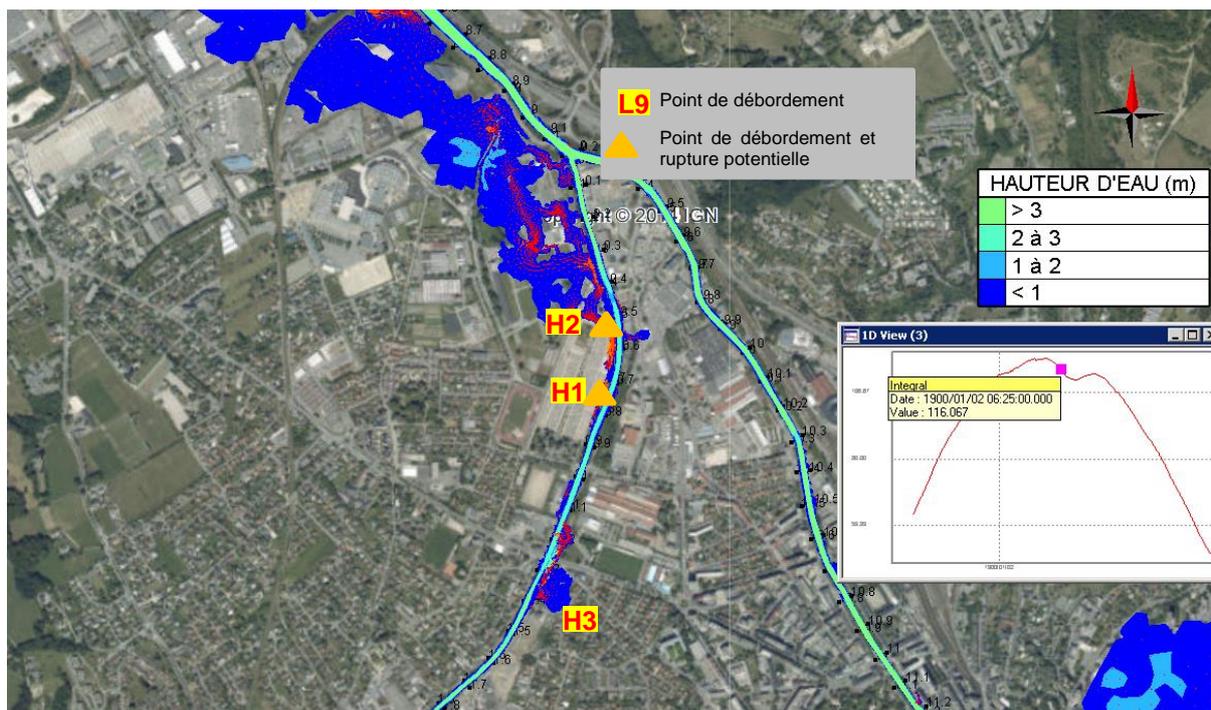


Figure 57 : Hyères – cartographie des débordements– $t = t_0 + 1j06h30$

Leyse Médiane – SE 4.3 (rive gauche), SE 2.1 et SE 2.2 amont (rive droite) :

Jusqu'à la crue de période de retour 200 ans, **aucun débordement n'est observé sur les endiguements de la Leyse médiane**. Seul la propagation des débordements de l'Hyères sont visibles. La figure suivante présente la carte de la zone inondable au droit de la Leyse Médiane à la pointe de la crue centennale.

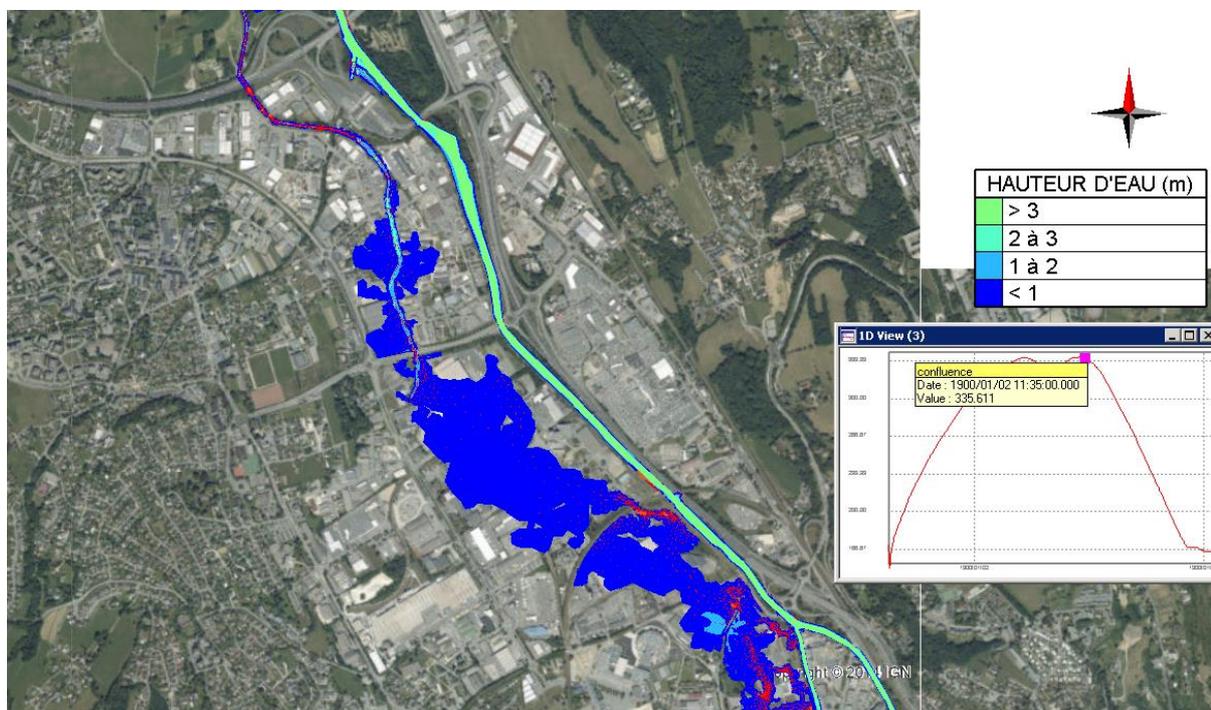


Figure 58 : Leyse Médiane – cartographie des débordements – $t = t_0 + 2j11h30min$

Leysse aval – SE 2.2 aval (rive droite) et SE 5 (rive gauche) :

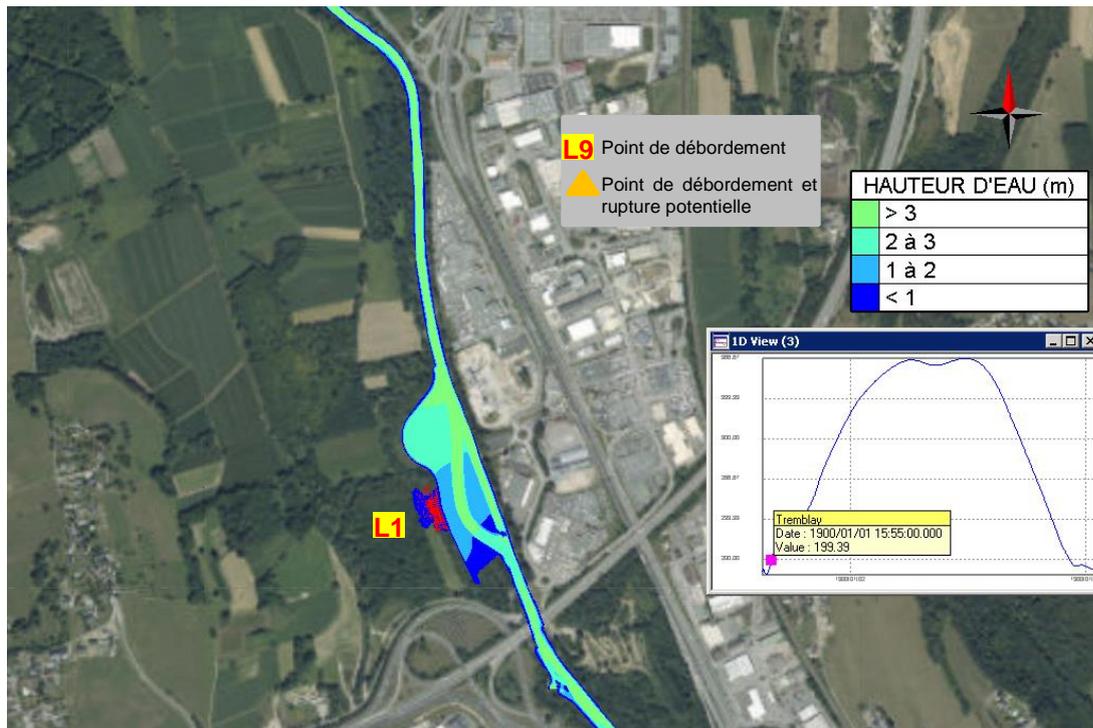


Figure 59 : Leysse aval – cartographie des débordements – $t = t_0+15h50$

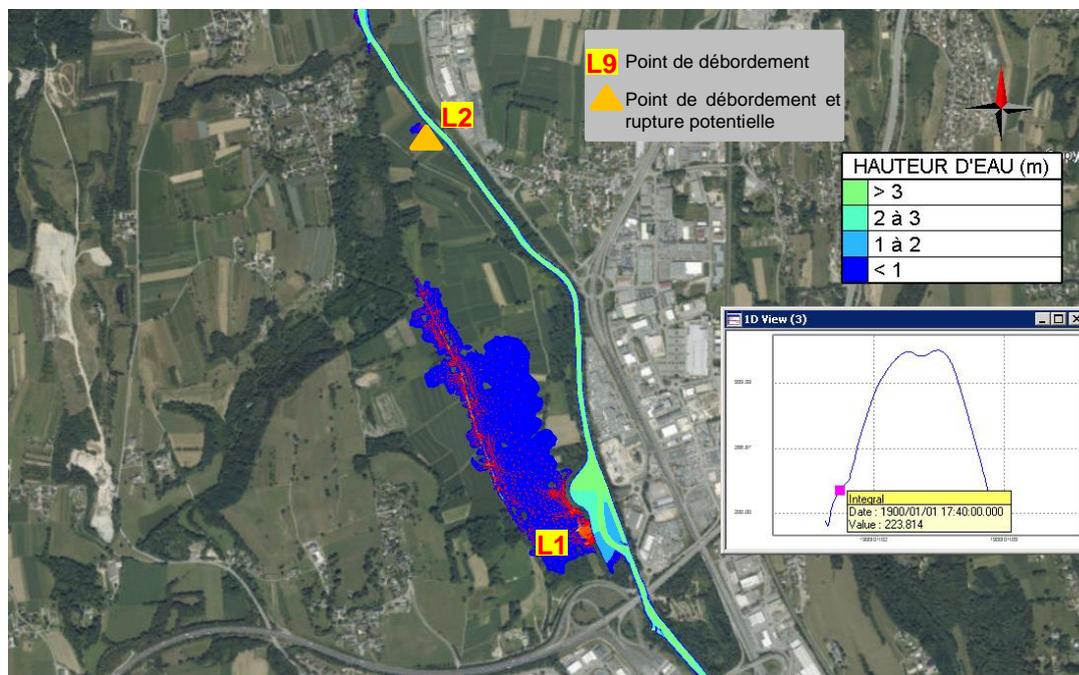


Figure 60 : Leysse aval – cartographie des débordements – $t = t_0+17h30$

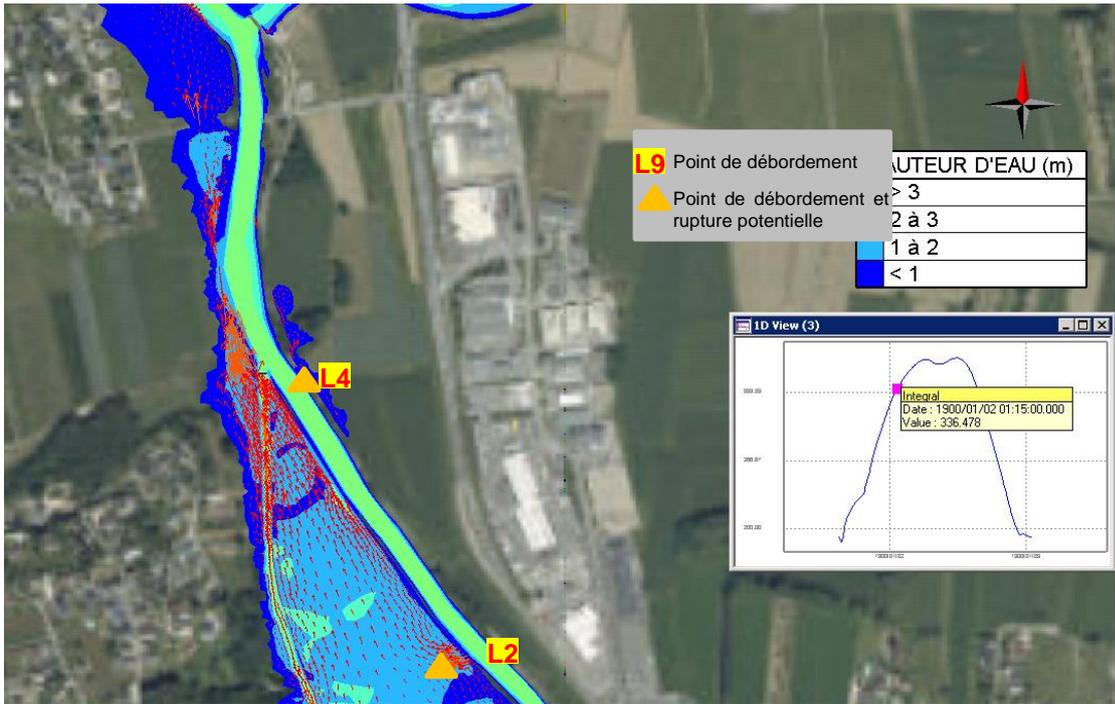


Figure 61 : Leysse aval – cartographie des débordements – $t = t_0 + 1j01h15$

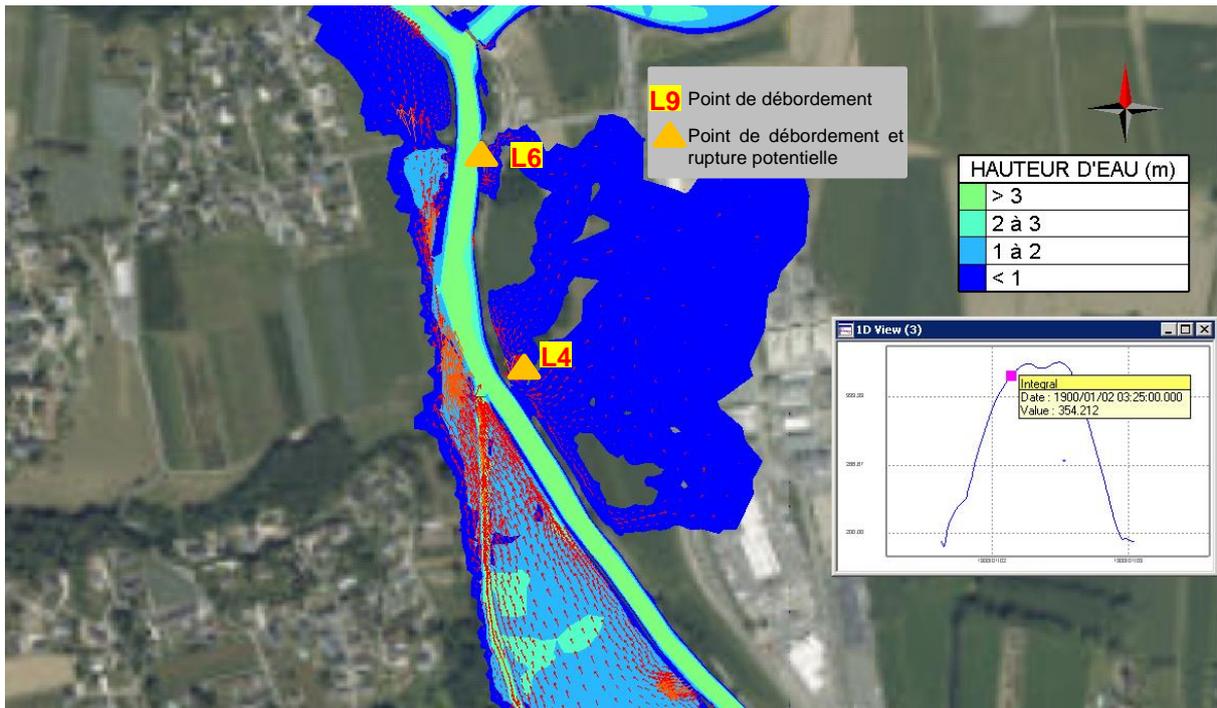


Figure 62 : Leysse aval – cartographie des débordements – $t = t_0 + 1j03h30$

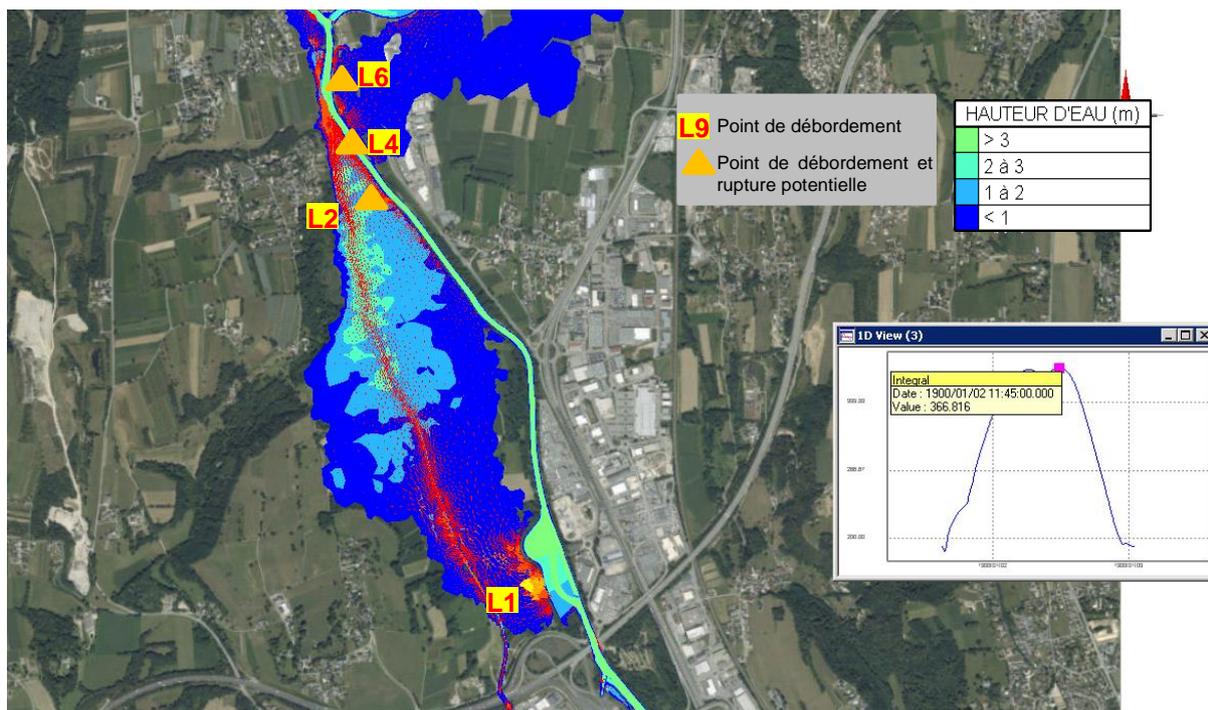


Figure 63 : Leysse aval – cartographie des débordements – $t = t_0 + 1j06h30$

Bras de décharge – SE 2.3 :

La digue du bras de décharge, sur sa partie terminale, est calée entre les cotes 234.6 m NGF et 235.1 m NGF. Hors la cote de la crue centennale du lac du Bourget est de 235.27 NGF. Par conséquent, des débordements se produisent en crue centennale au droit de la digue. Les niveaux de part et d'autres de la digue sont quasiment identiques car sous influence du lac. Le risque de rupture est donc faible sachant que la charge hydraulique est très faible et que les écoulements sur la digue sont inférieurs à 0.5 m/s.

Pour rappel, d'après le TRI [DA7], les temps de montées de crue du lac du Bourget varient entre 4 et 19 jours. N'étant pas en mesure de caler précisément le limnigramme du lac du Bourget, il a été pris comme hypothèse que le lac a atteint son niveau centennial tout au long de la crue de la Leysse. Cette hypothèse forte est sécuritaire dans la mesure où la concomitance d'une crue centennale de la Leysse et du Lac a une fréquence inférieure à 100 ans. Ainsi, dès le début de la simulation la digue est inondée sur sa partie terminale.

La figure suivante présente la cartographie des débordements sur le bras de décharge au maximum de la crue.

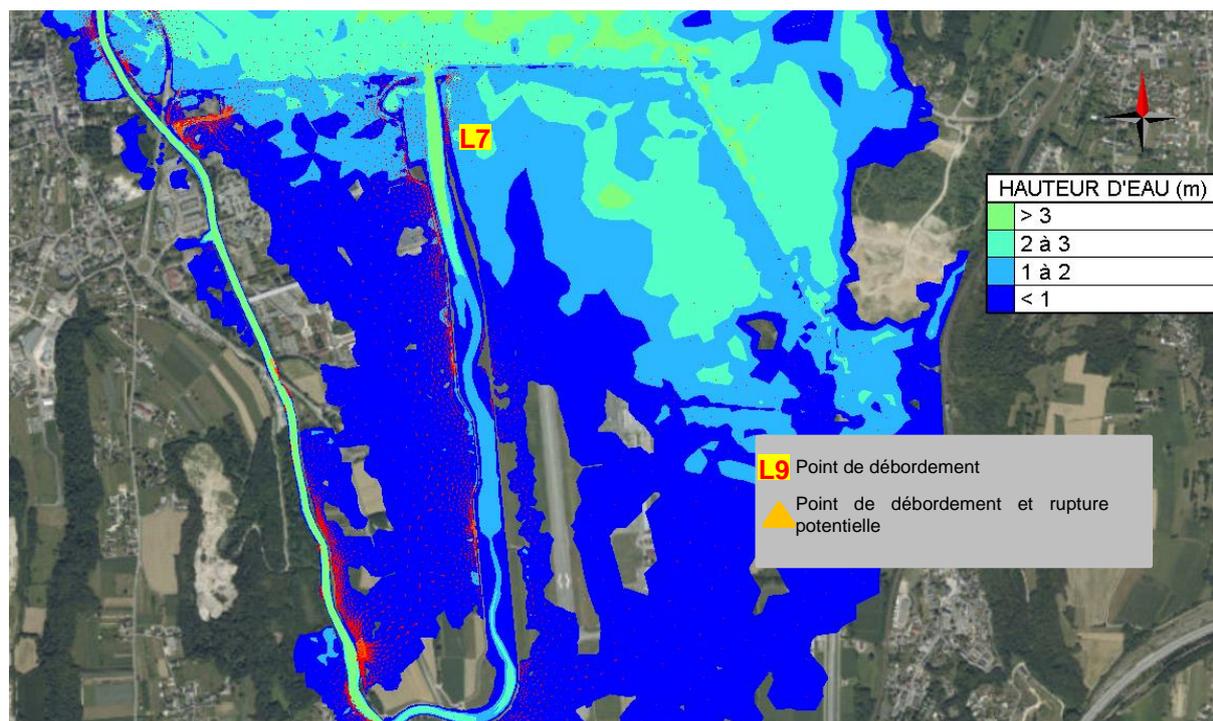


Figure 64 : Leysse aval – cartographie des débordements – $t = t_0 + 2 \text{ j } 11 \text{ h } 30 \text{ min}$ (maximum de la crue)

6.2.6.2 Conclusions sur les débordements

En crue centennale, le nombre de débordements est de 7 sur la Leysse et 3 sur l'Hyères. Sur ces 10 débordements, 6 sont localisés sur des digues.

Sur la Leysse aval, en rive gauche, les débordements sont importants du fait de la création du seuil déversant en aval de l'A43.

6.2.7 Influence du déversoir SE 5 et zones inondées avant l'atteinte du niveau de protection

6.2.7.1 Dynamique de propagation de la crue de projet au droit du déversoir SE 5

Comme explicité dans le chapitre 2, le niveau de protection est la crue centennale. La création d'un déversoir en aval de l'A43 en rive gauche sur le système SE 5 a pour conséquence d'inonder la plaine pour un débit supérieur à Q_{10} . L'inondation se propage en aval dans la plaine en arrière du système SE5. Du fait du terreplein de l'autoroute et des pentes fortes du ruisseau des marais, l'inondation ne se propage pas en amont du secteur 5. En revanche, la plaine voit son inondation augmentée par les eaux du ruisseau des Marais alimentées par l'Erier qui reçoit les débordements de l'Hyères.

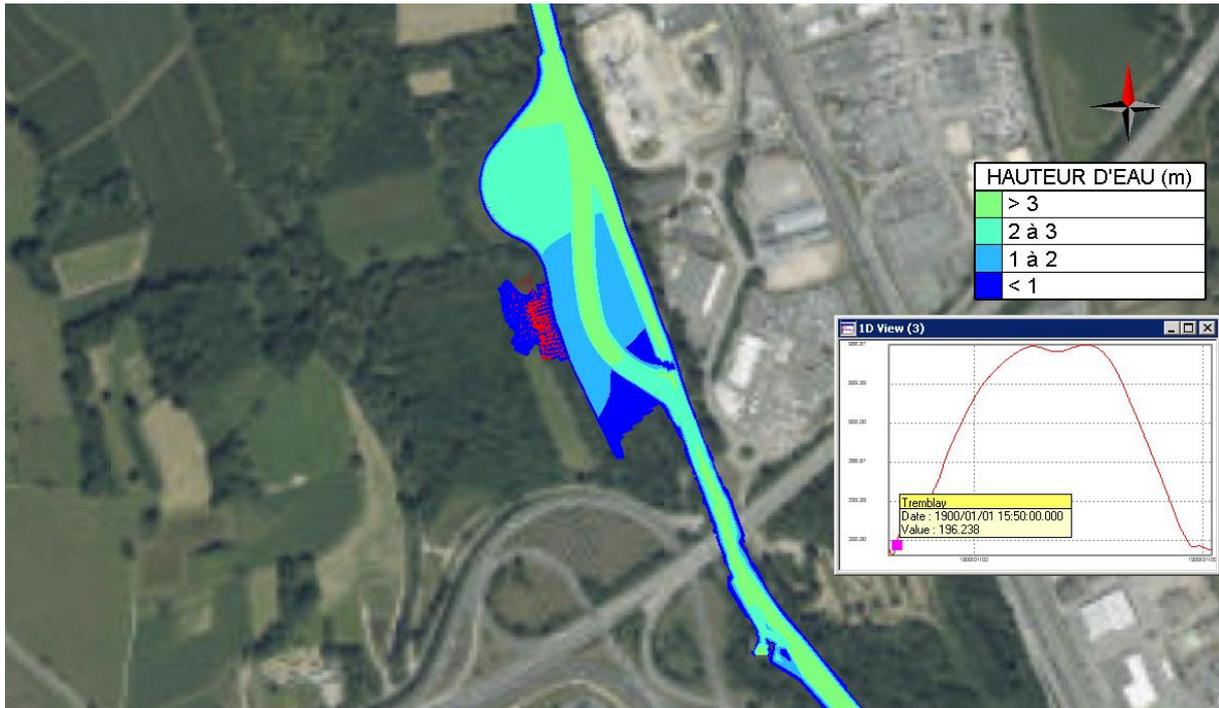


Figure 65 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+ 15 h 50

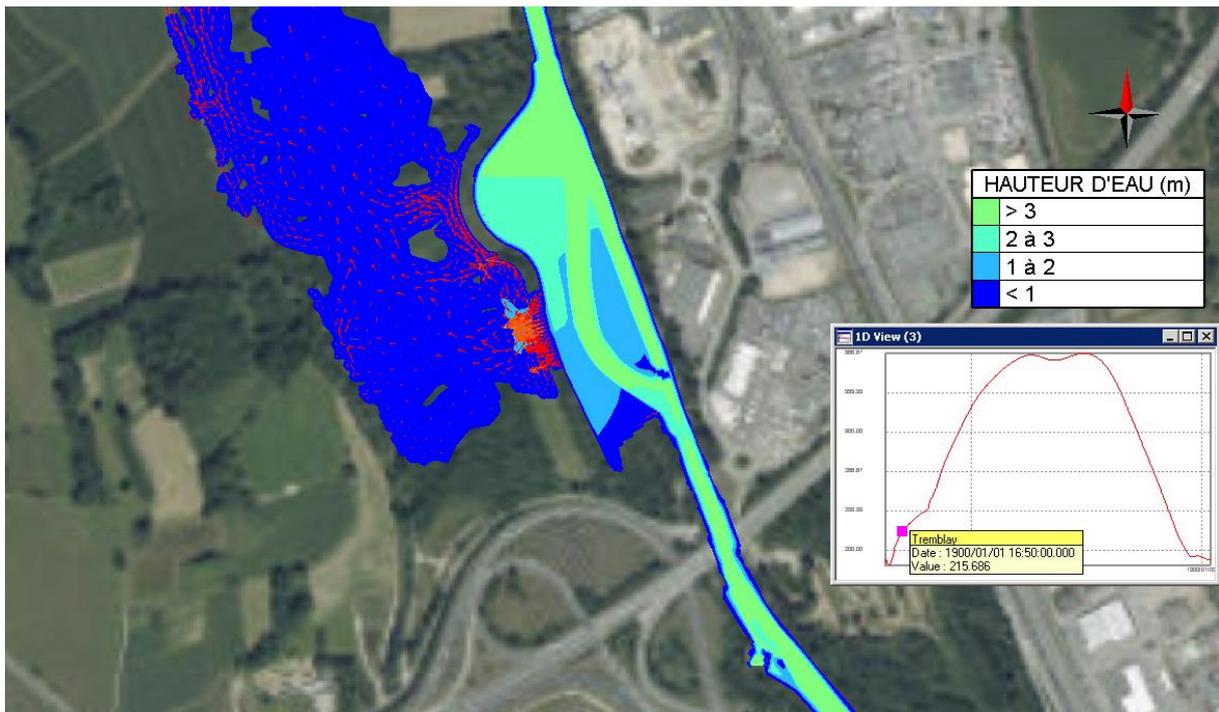


Figure 66 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+ 16 h 50

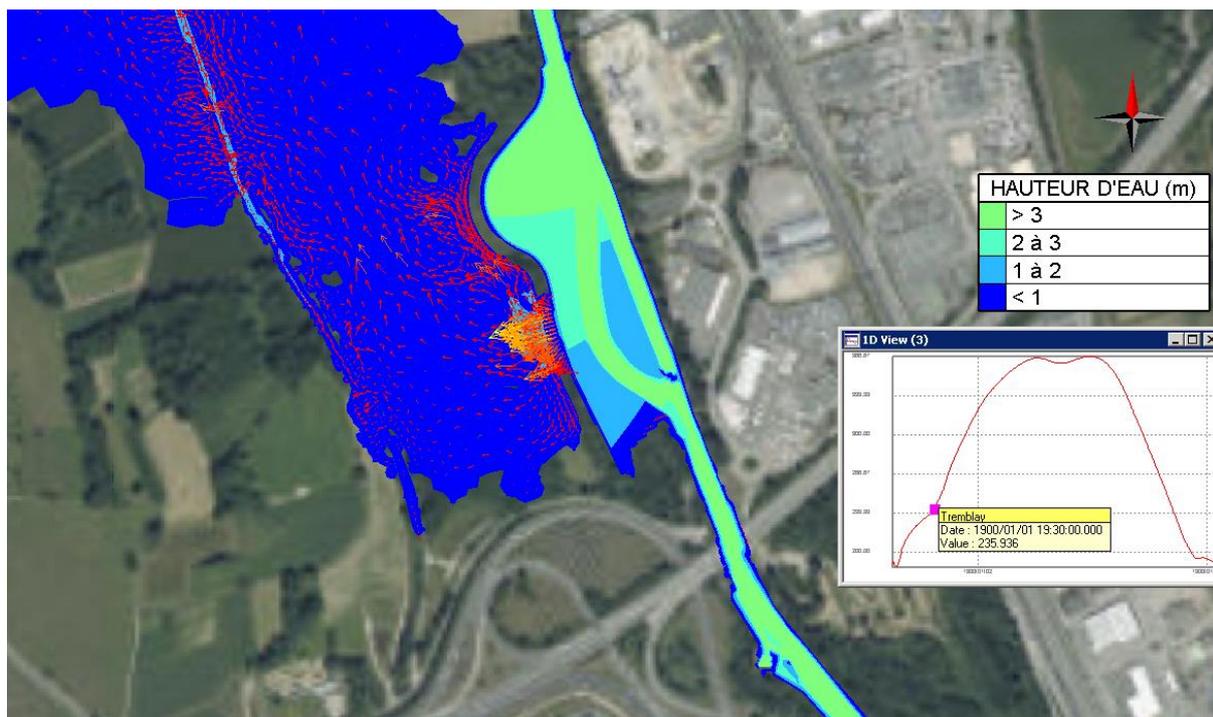


Figure 67 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+ 19h30

Début de l'alimentation de la plaine du SE 5 par l'inondation de l'Hyères via le ruisseau des Marais et l'Erier.

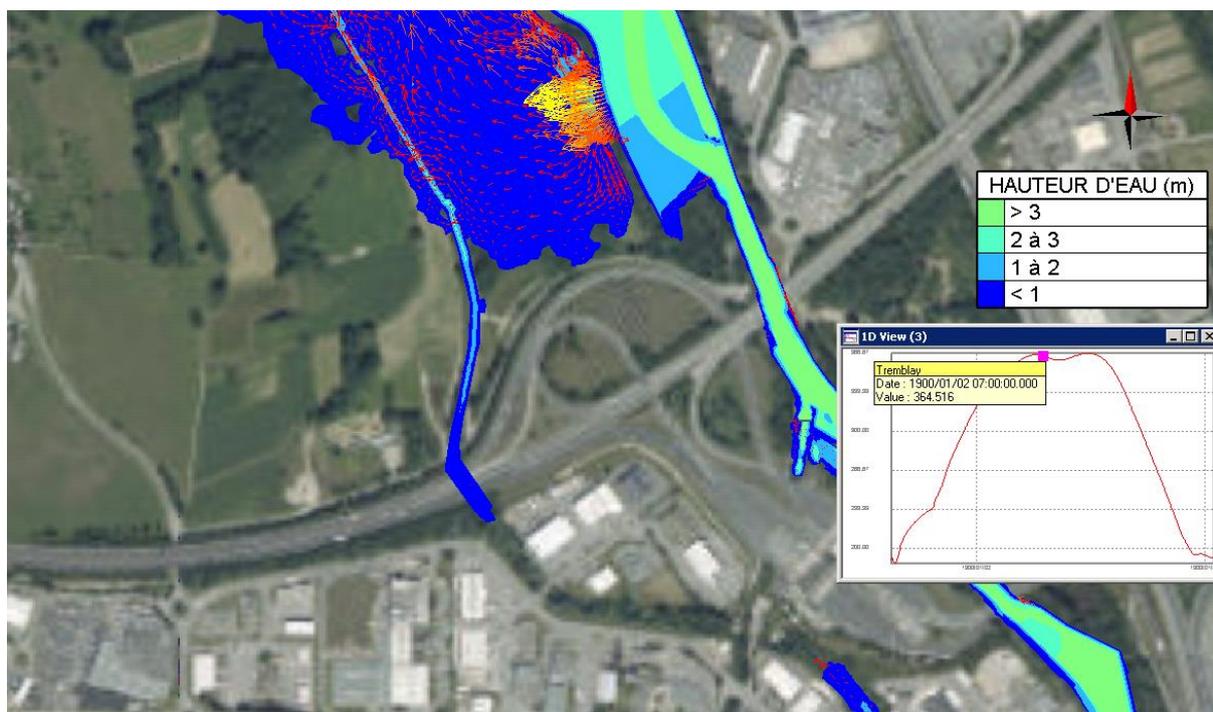


Figure 68 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+1 j 7 h

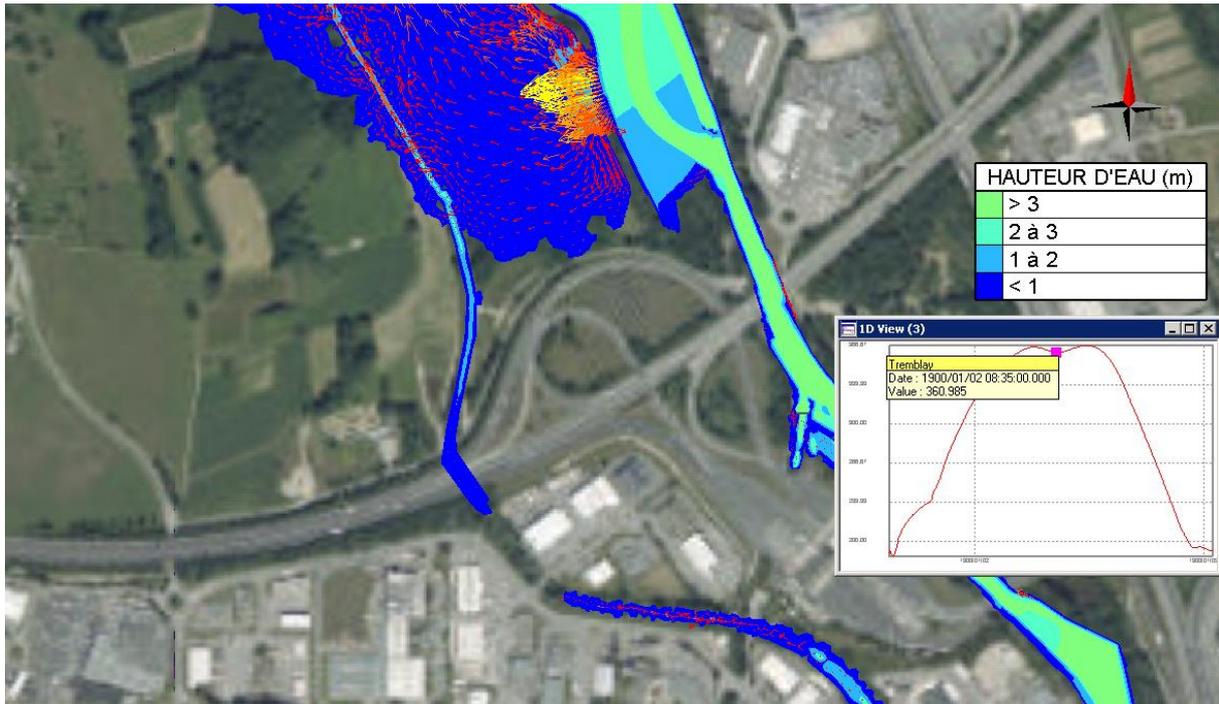


Figure 69 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+1 j 8 h 30

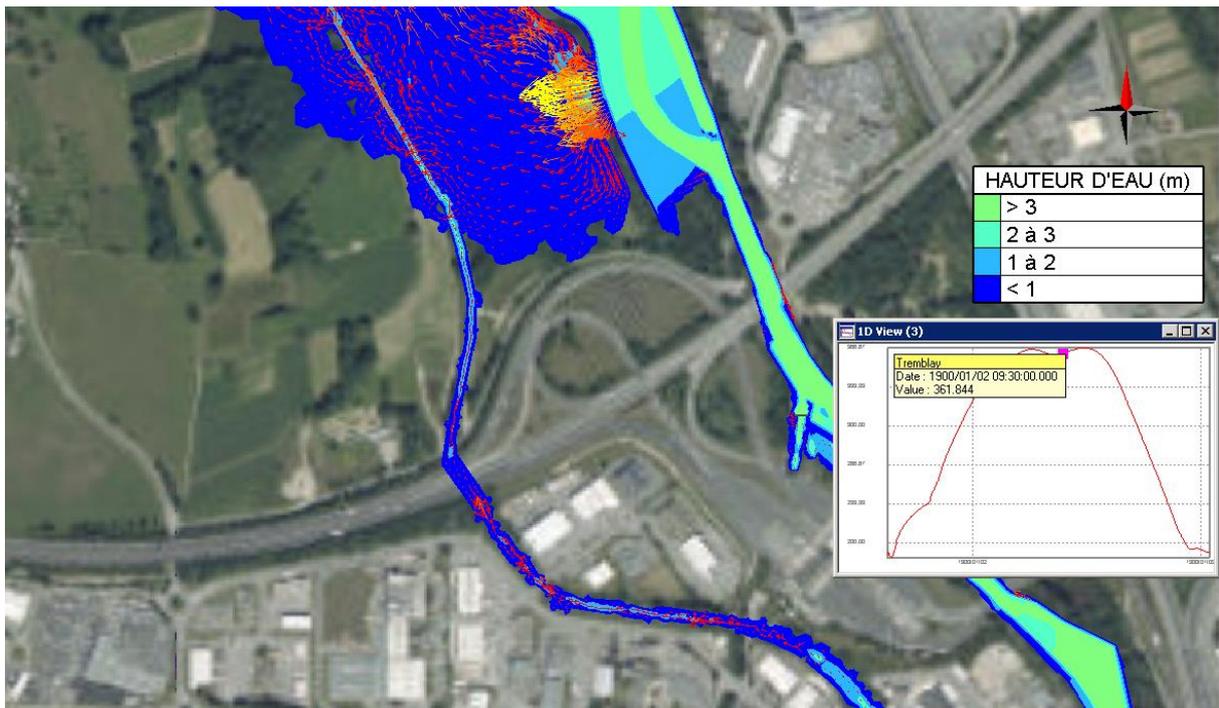


Figure 70 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+1 j 9 h 30

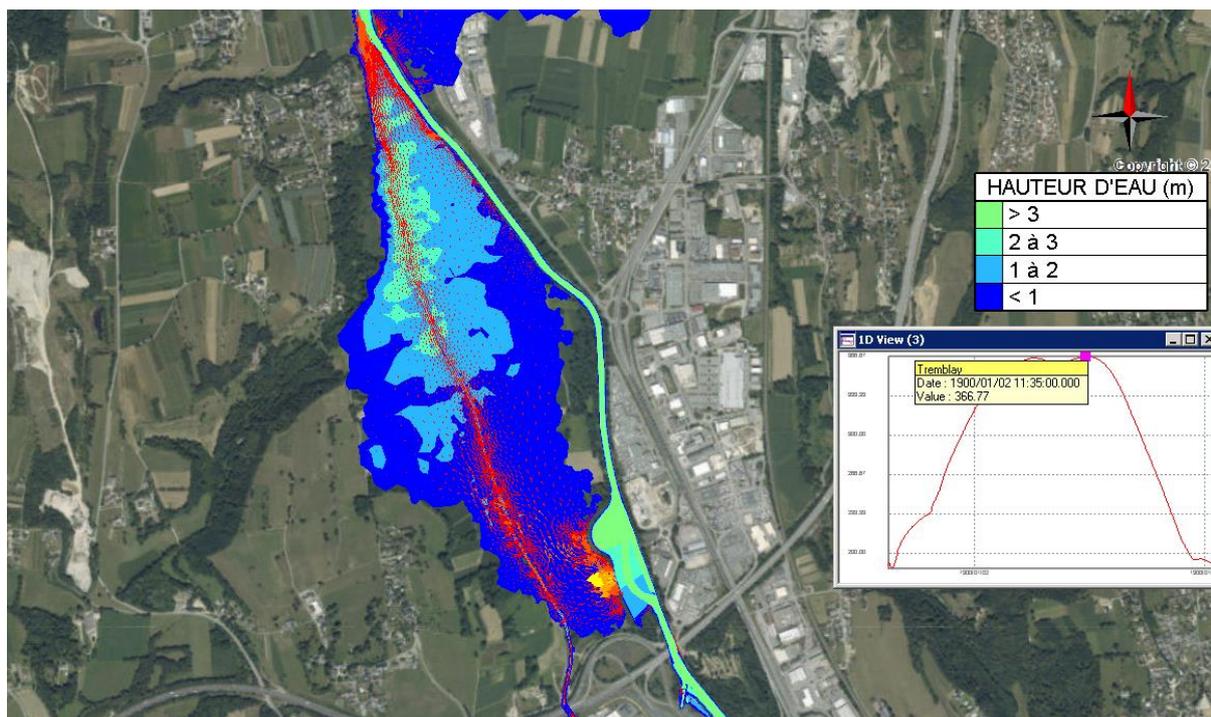


Figure 71 : Leysse aval – déversoir SE 5 – Q100 – t = t0+2 j 11 h 30min (maximum de la crue)

6.2.7.2 Zones inondées avant atteinte du niveau de protection

Les figures suivantes présentent les zones inondées avant atteinte du niveau de protection de 100 ans sur la Leysse sans modélisation de brèche liées aux débordements par-dessus les digues notamment SE2.2 aval et SE4.2.

Inondation pour Q30

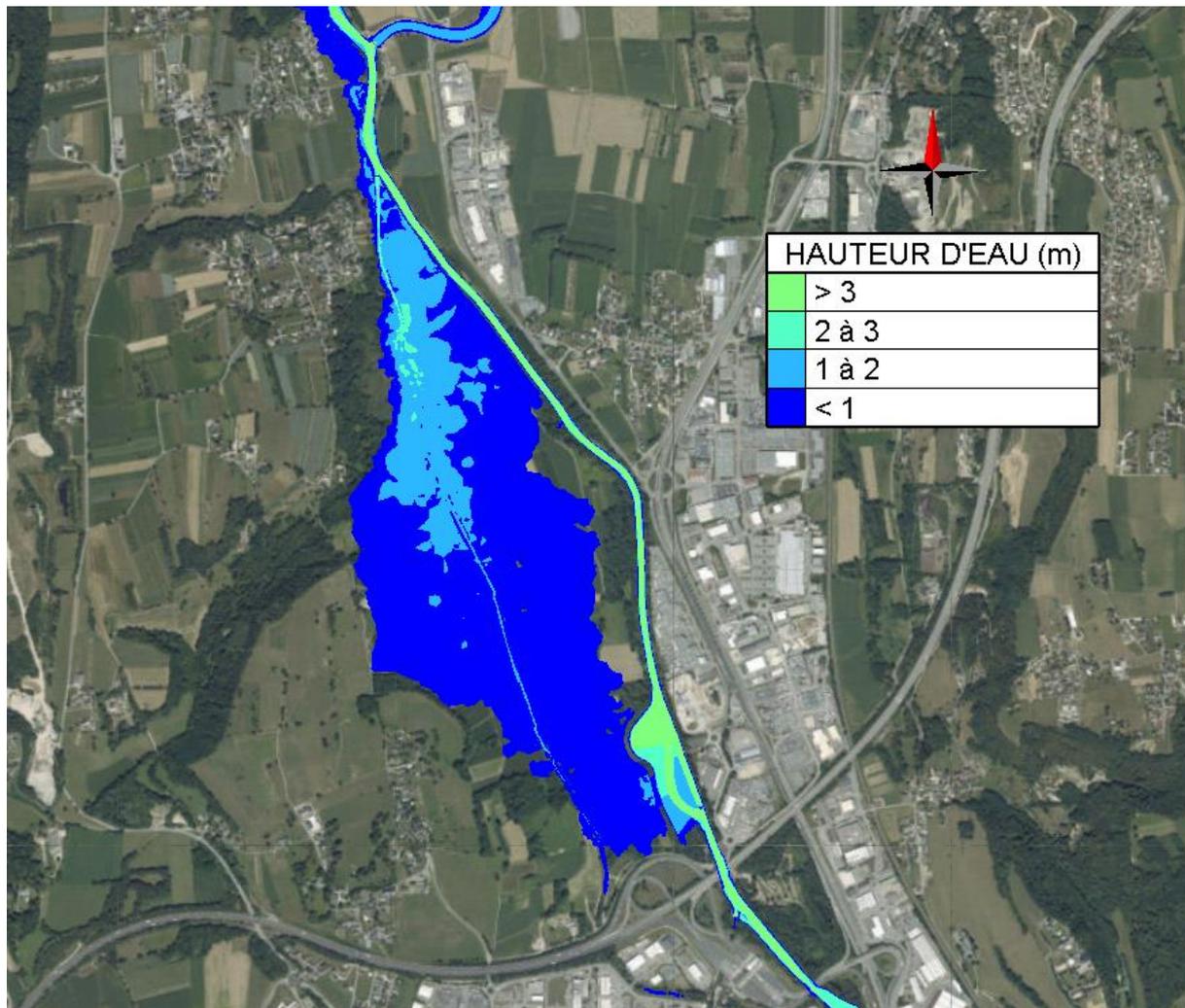


Figure 72 : Leysse aval – Zone inondée avant atteinte du niveau de protection – Q30 (maximum de la crue)

Inondation pour Q50

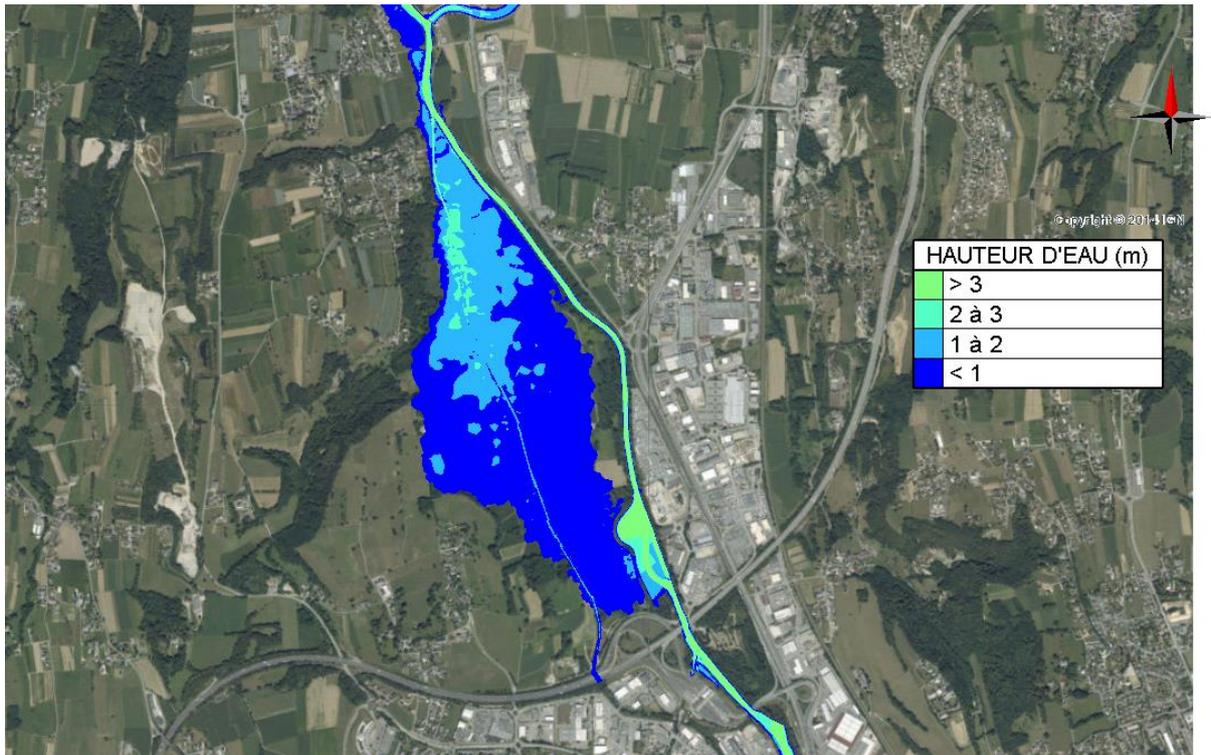


Figure 73 : Leysse aval – Zone inondée avant atteinte du niveau de protection – Q50 (maximum de la crue)

Inondation pour Q80

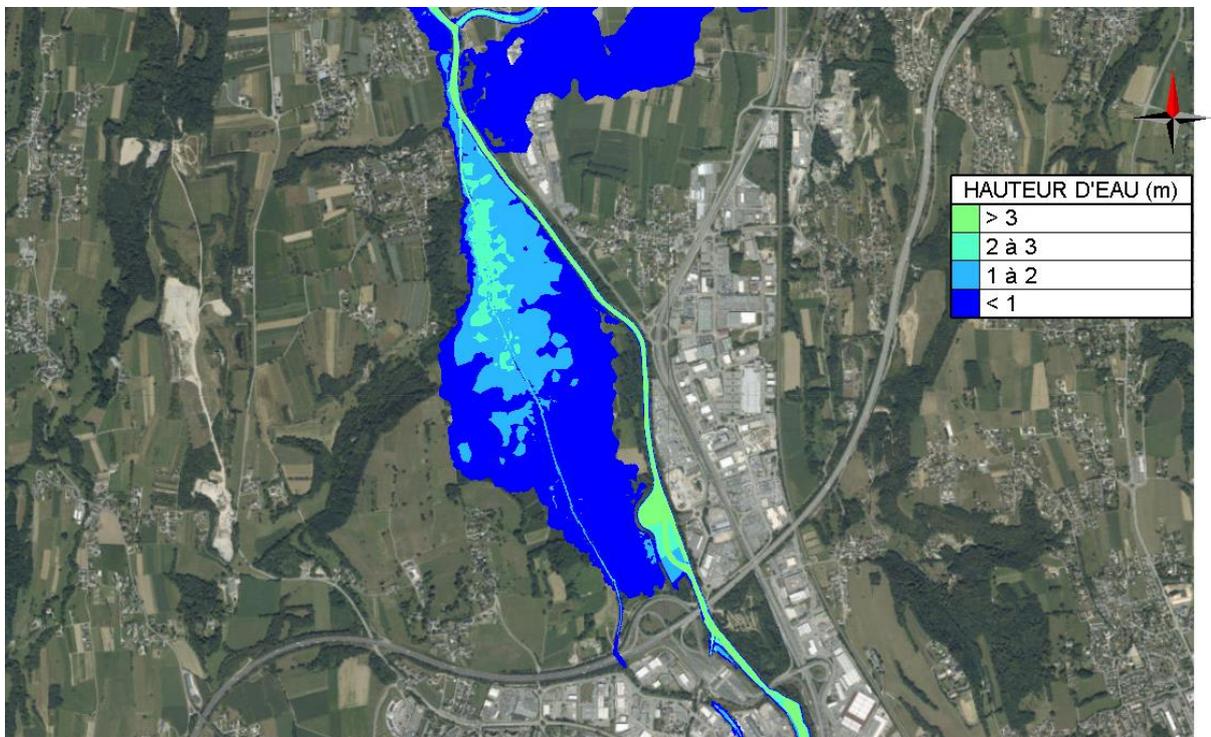


Figure 74 : Leysse aval – Zone inondée avant atteinte du niveau de protection – Q80 (maximum de la crue)

6.2.8 Crue supérieure au niveau de protection

6.2.8.1 Description de la cinétique de crue

La crue supérieure au niveau de protection présentée est la crue de période de retour 200 ans qui est la crue de danger.

Le présent paragraphe explicite le mécanisme des écoulements d'une crue bi-centennale en localisant les principales zones de débordement en intégrant la réalisation du projet Leysse-Hyères.

Les simulations réalisées ne prennent pas en compte les brèches potentielles issues de ces déversements.

Les débordements observés en crue centennale sont aussi observés en crue de période de retour 200 ans. Ainsi seuls les nouveaux débordements sont présentés.

Localisation débordement	Rive	Profil STTP	PK	Ordre des débordements	Temps d'apparition	Débit dans le cours d'eau associé (m ³ /s)	Période de retour	Tronçon de rivière	SE
Aval pont SNCF	G	-	L12.8	L8	1j03h15	155	Q150	Leysse amont	3.1
Aval pont Gambetta	D	-	L10.6	L9	1j03h15	155	Q150	Leysse amont	-
Aval pont Chevalier	D	P181	H0.6	H4	23h20	125	Q150	Hyères amont	aval 3.2
Aval pont Chevalier	G	P169	H1.2	H5	1j02h30	130	environ Q200	Hyères amont	4.2
Aval confluence	D	P55	L9.0	L10	1j03h30	350	environ Q150	Leysse médiane	-
Amont Pont Tremblay	D	-	L4.0	L11	1j05h30	380	Q150	Leysse aval	2.2
Autoroute	G	P121	L6.3	L12	1j10h30	370	Q200	Leysse médiane	5

Tableau 65 : Déversements – Etat avec projet Leysse Hyères sans rupture – Q200

Hyères – SE 4.2 et SE 4.1 (rive gauche) et SE 3.3 rive droite :

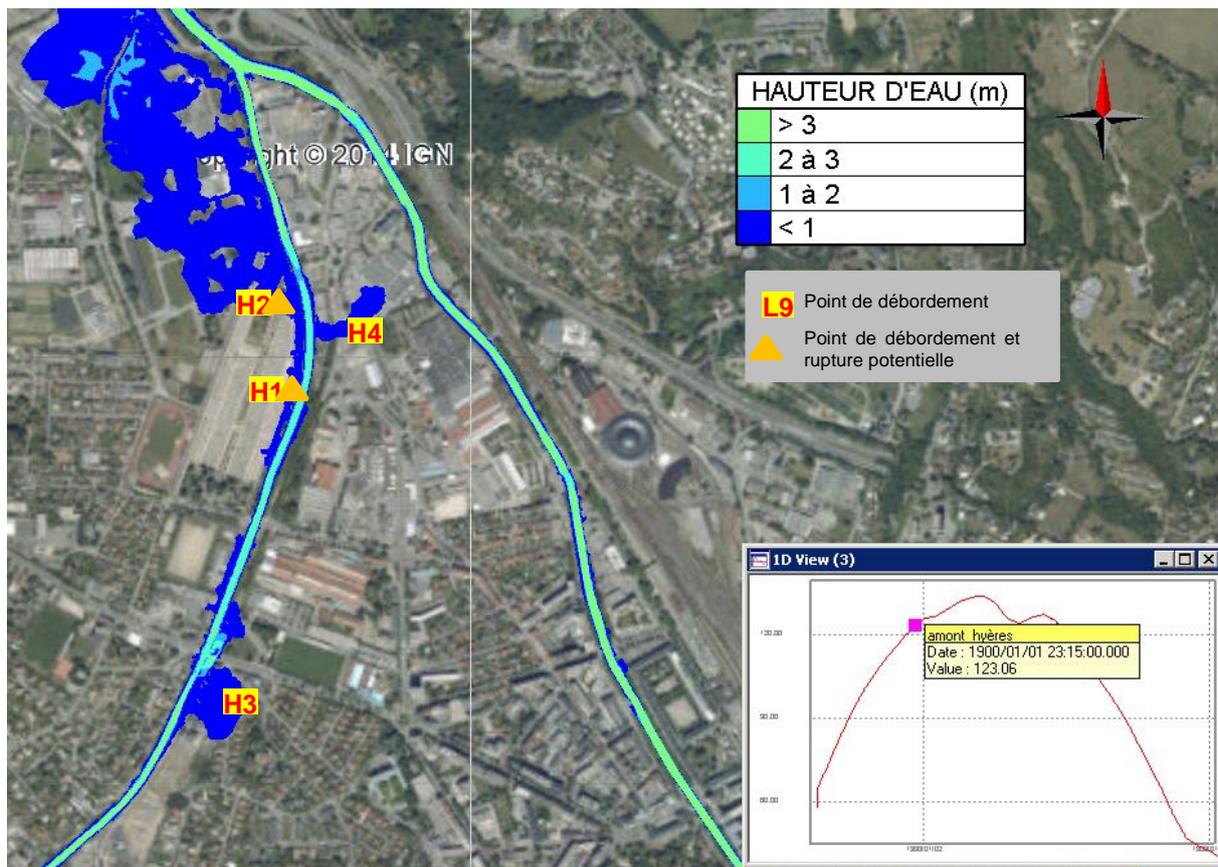


Figure 75 : Hyères – cartographie des débordements– t = t0+23h15

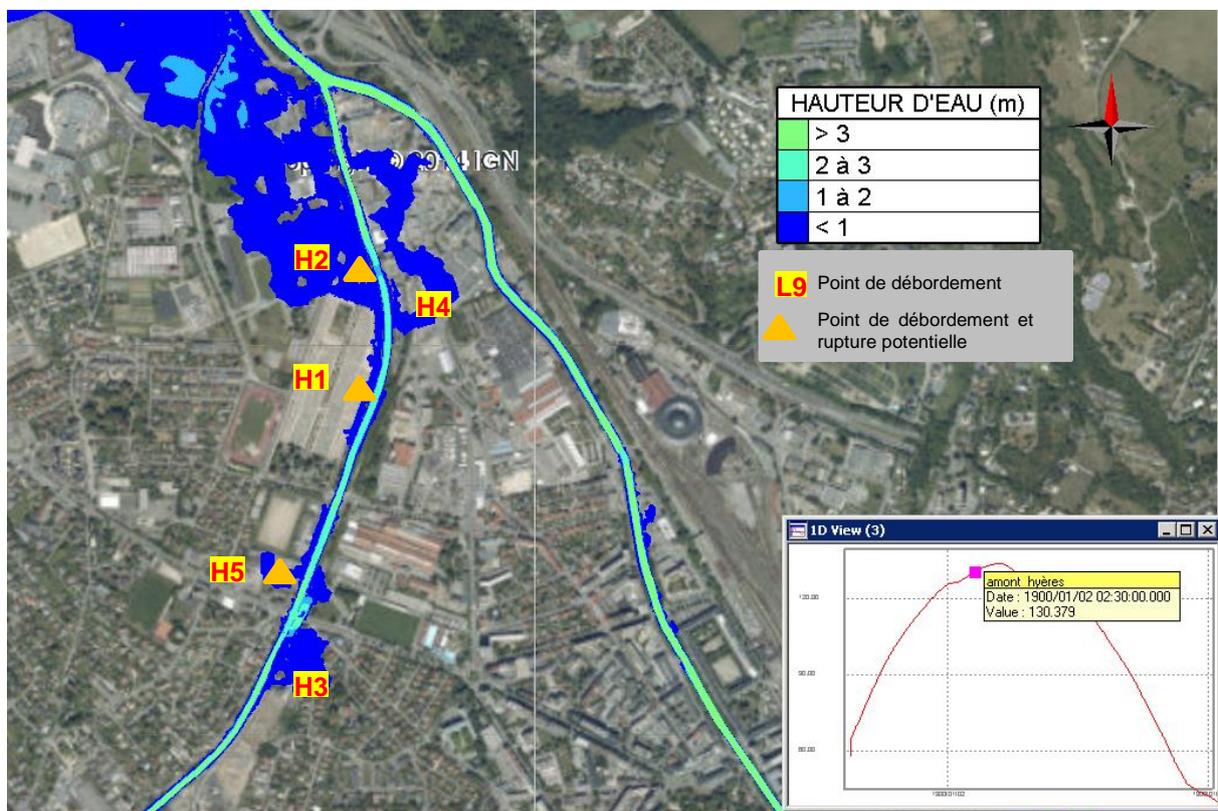


Figure 76 : Hyères – cartographie des débordements– t= t0+1j02h30

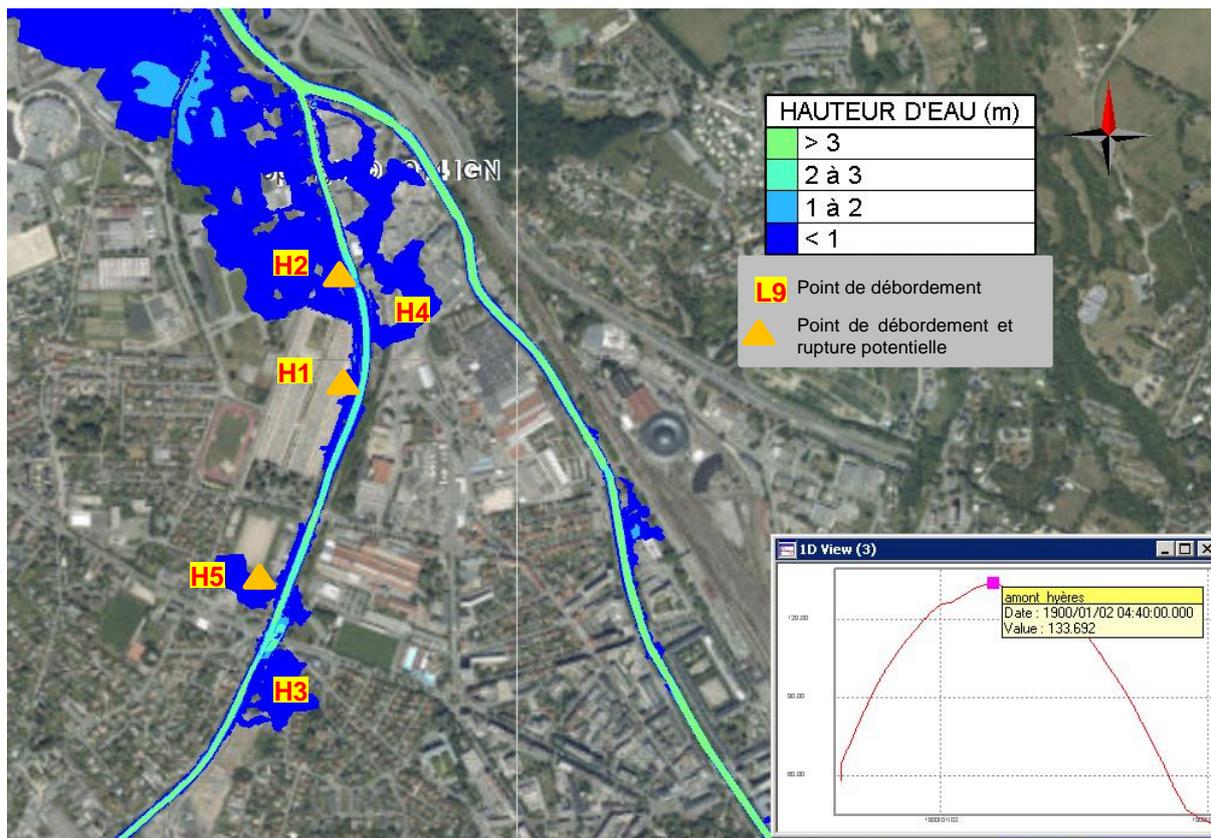


Figure 77 : Hyères – cartographie des débordements– t= t0+1j04h40

Leysse Médiane – SE 4.3 (rive gauche), SE 2.1 et SE 2.2 amont (rive droite) :

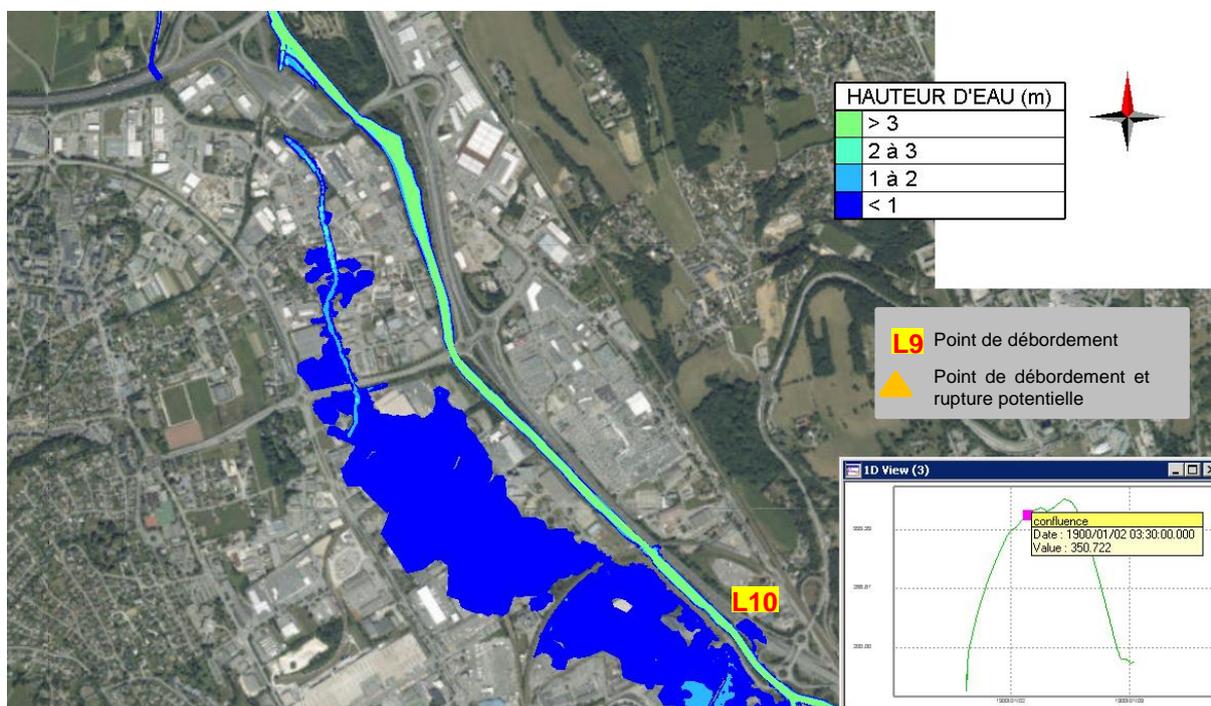


Figure 78 : Leysse Médiane – cartographie des débordements – t= t0+1j3h30min

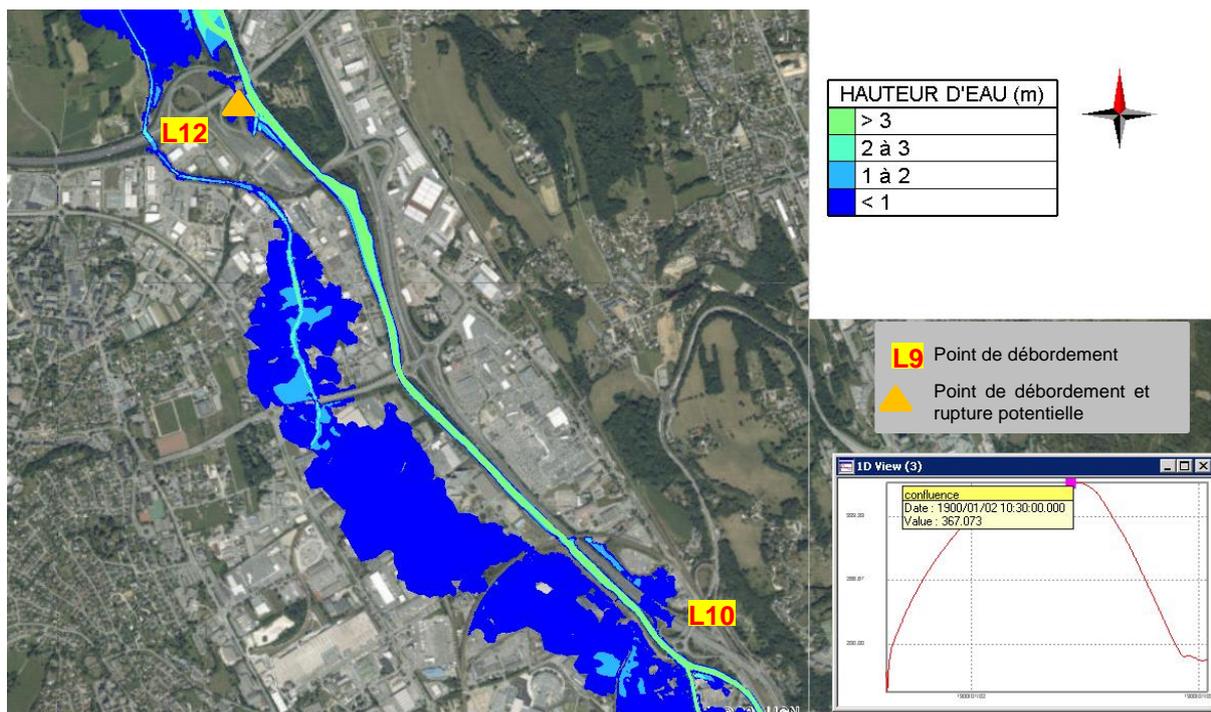


Figure 79 : Leysse Médiane – cartographie des débordements – $t = t_0 + 1j10h30min$

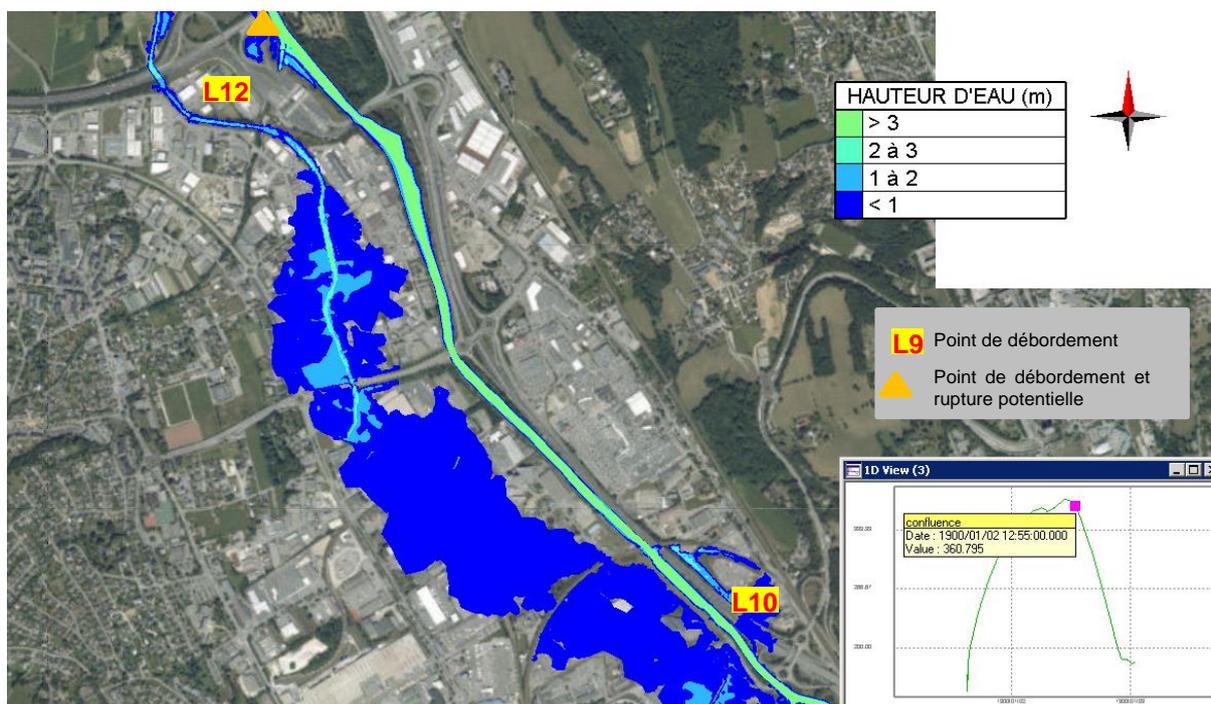


Figure 80 : Leysse Médiane – cartographie des débordements – $t = t_0 + 1j12h50min$

Leyse aval – SE 2.2 aval (rive droite) et SE 5 (rive gauche) :

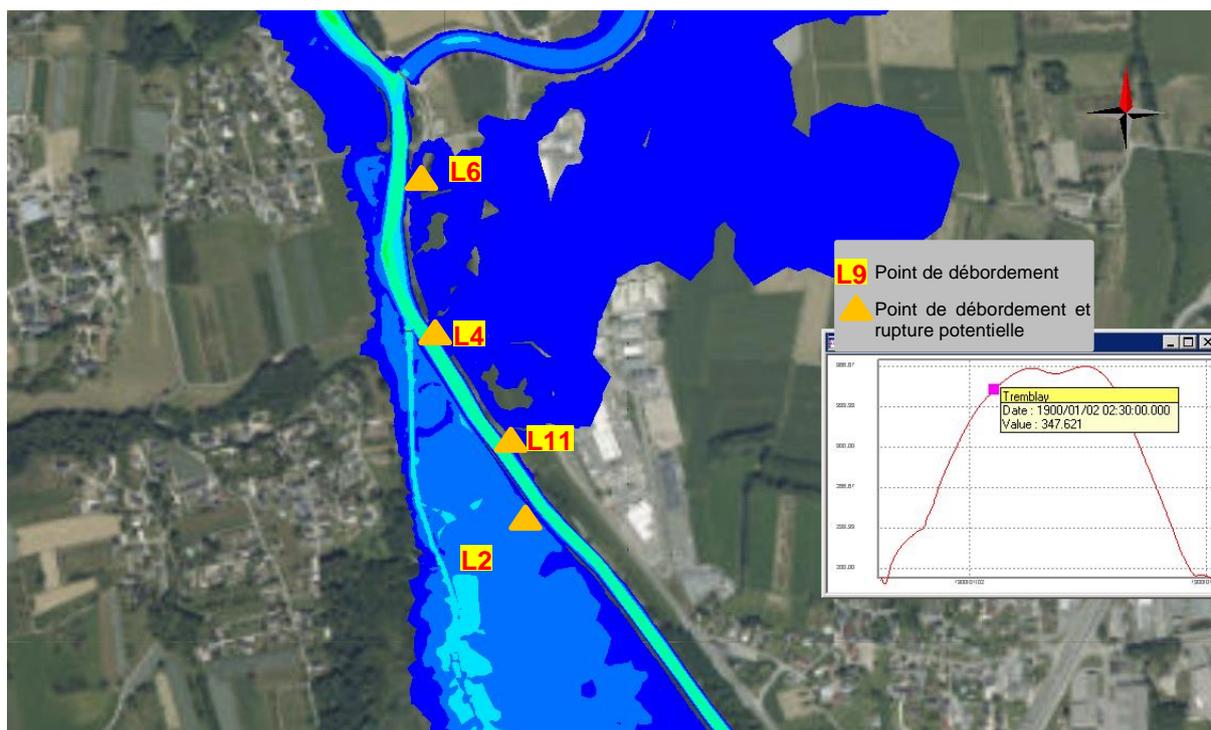


Figure 81 : Leyse aval – cartographie des débordements – $t = t_0 + 1j05h30$

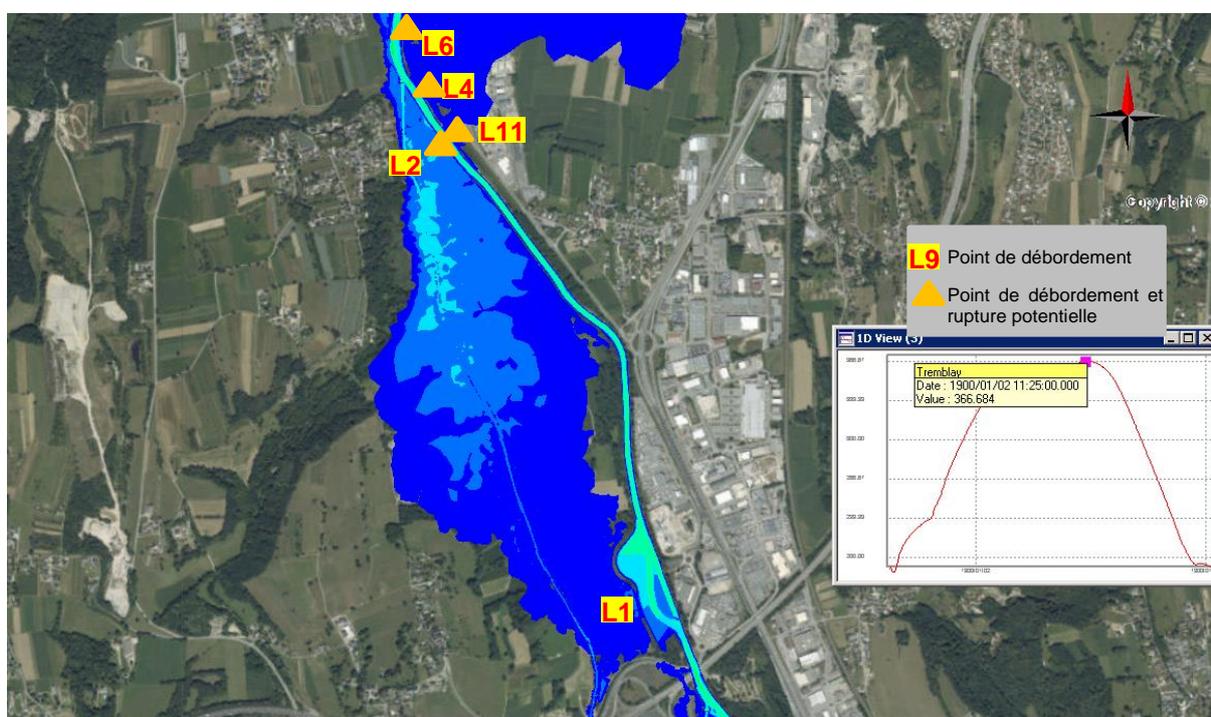


Figure 82 : Leyse aval – cartographie des débordements – $t = t_0 + 1j13h50$ (maximum de crue)

6.2.9 Crue supérieure au niveau de danger (Q1000)

La crue supérieure au niveau de danger présentée est la crue de période de retour 1000 ans. Elle a été modélisée en intégrant les ouvrages types ponts. Il est à noter que la Q1000 modélisée est une Q1000 à l'amont des systèmes d'endiguement. Du fait de la faible débitance de certains ponts,

notamment le pont des chèvres (en amont directe de la confluence Leysse Hyères), des débordements importants apparaissent en amont du système d'endiguement.

Le présent paragraphe explicite le mécanisme des écoulements de cette crue en localisant les principales zones de débordement.

Les débordements observés sont séparés entre la Leysse aval d'une part et la Leysse médiane et l'Hyères d'autre part.

6.2.9.1 Leysse aval

Sur la Leysse aval, les débordements, par ordre d'apparition sont :

- 1) Jour 1, 17h45 PKL 5.9 RG – SE5(cf. Figure 83);
- 2) Jour 1, 17h45 PKL 3.8 RG – SE5 (cf. Figure 83);
- 3) Jour 1, 17h45 PKBD 1.2 RG – Bras de décharge (cf. Figure 83);
- 4) Jour 1, 19h30 PKL 3 RD – Leysse aval bras de décharge (cf. Figure 84) ;
- 5) Jour 1, 20h30 PKL3.8 RD – SE 2.2 aval (cf. Figure 85) ;
- 6) Jour 1, 20h30 PKL2.5RD – SE 2.2 aval (cf. Figure 85) ;
- 7) Jour 2, 2h00 PKL 6.3 RG – SE 5 (cf. Figure 86) ;
- 8) Jour 2, 2h00 PKL 6.2 RG – SE 5 (cf. Figure 86) ;
- 9) Jour 2, 5h00 PKL 6.3 RD – SE2.2 aval (cf. Figure 87) ;

Les cartographies suivantes présentent l'enchaînement des débordements en rive gauche et droite de la Leysse au droit des systèmes SE2.2 aval, SE2.3 et SE5.

La cartographie Figure 89 présente l'enveloppe maximale de l'inondation en Q1000.

Les vitesses maximales en Q1000 restent en moyennes inférieures à 0.5 m/s dans la plaine. Au droit des surverses identifiées et de certains points de resserrement, les vitesses peuvent atteindre localement 1.5 m/s voire dépasser 2 m/s (cf. Figure 90).

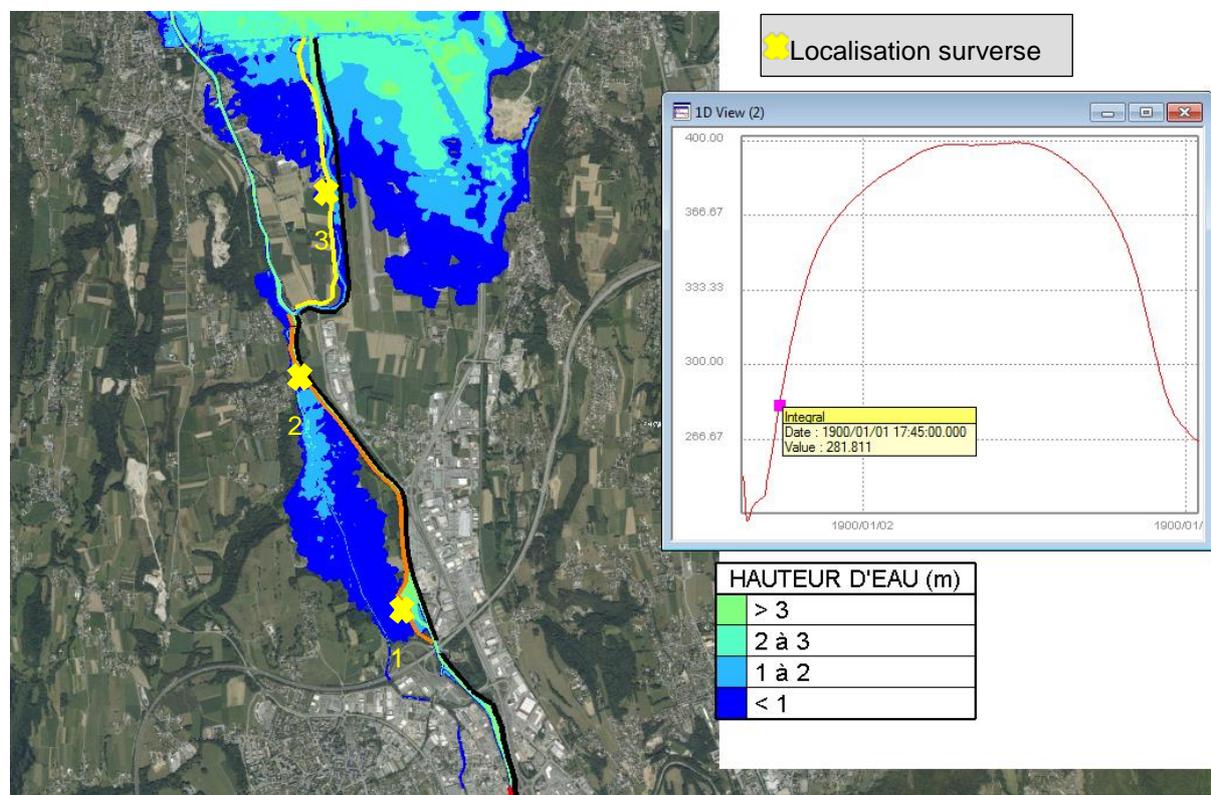


Figure 83 : Leysse aval– SE2 et SE5 – Cartographie des hauteurs d'eau Q1000 – Jour 1 17h45

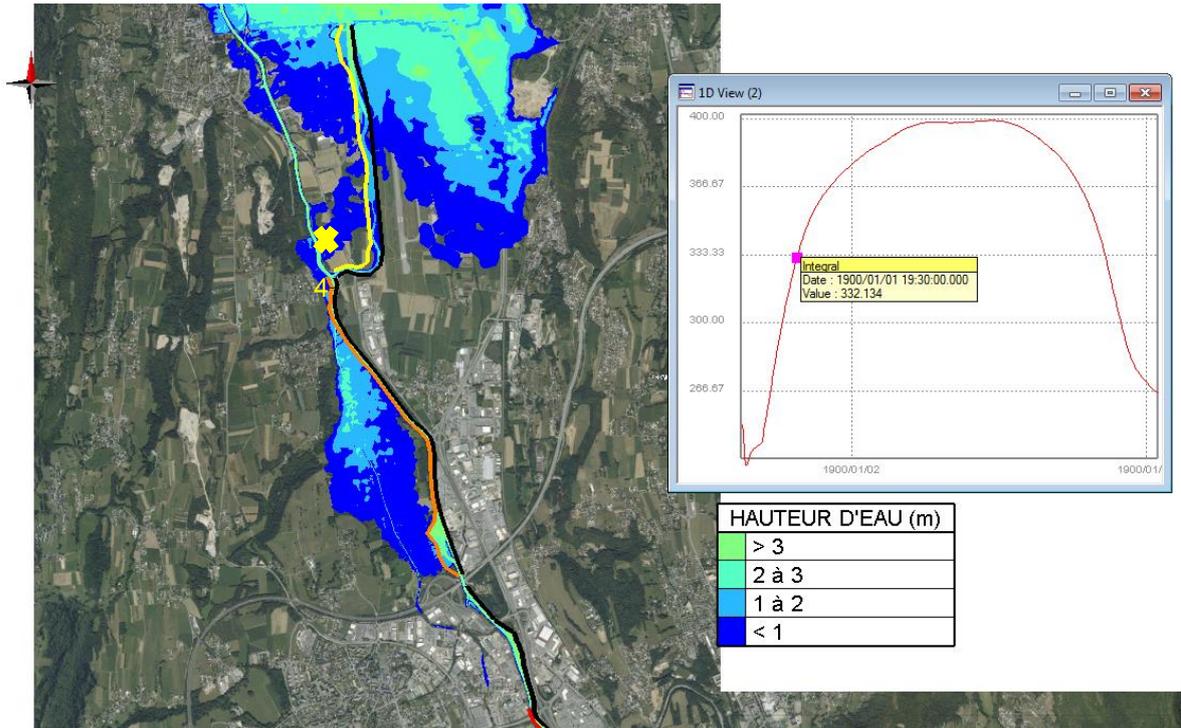


Figure 84 : Leysse aval – SE2 et SE5 – Cartographie des hauteurs d'eau Q1000 – Jour 1, 19h30

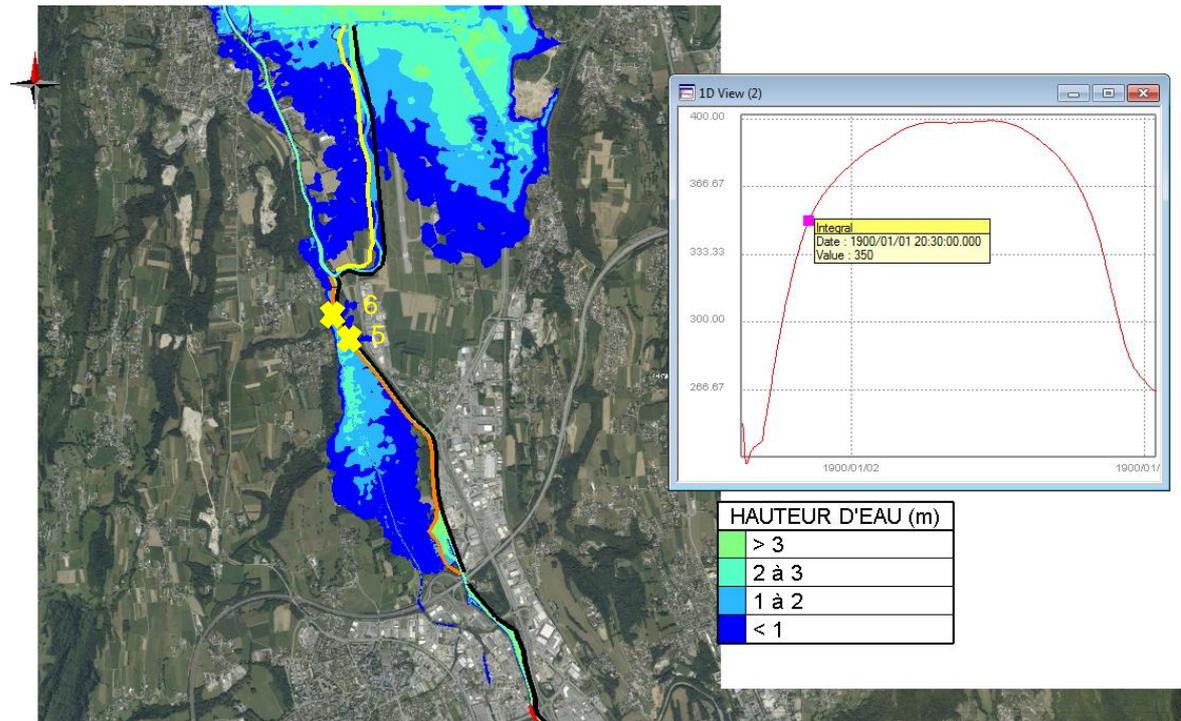


Figure 85 : Leysse aval – SE2 et SE5 – Cartographie des hauteurs d'eau Q1000 – Jour 1, 20h30

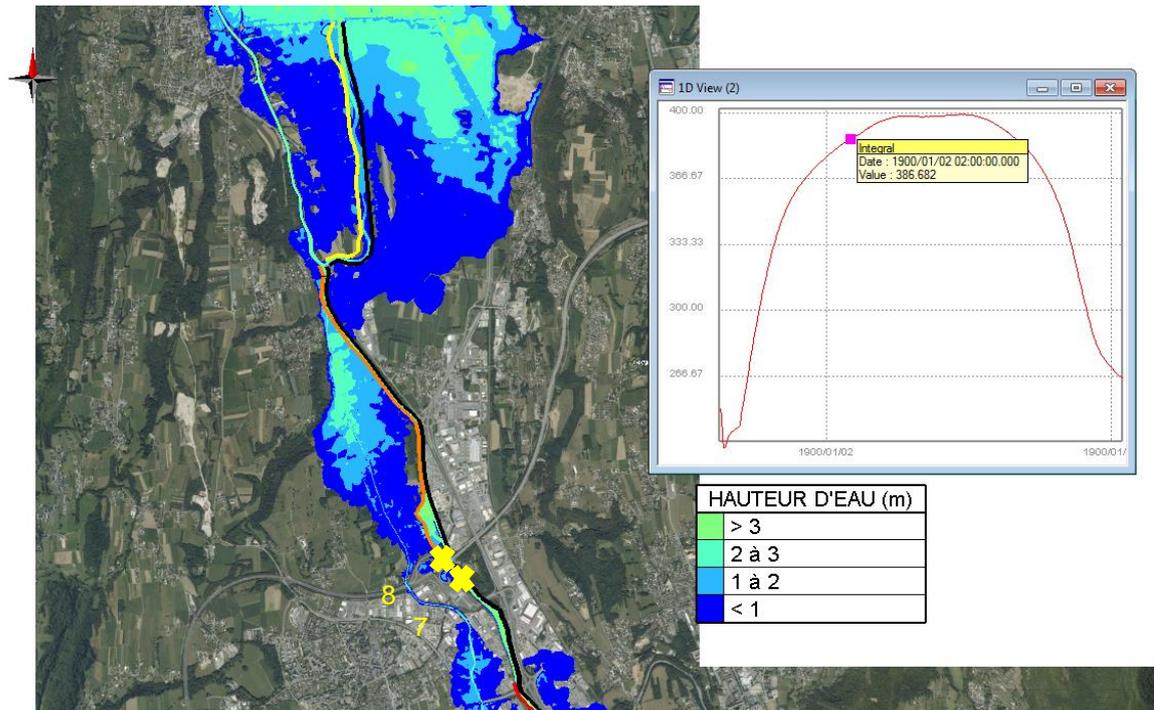


Figure 86 : Leysse aval – SE2 et SE4 – Cartographie des hauteurs d'eau - Q1000 Jour 2, 2h00

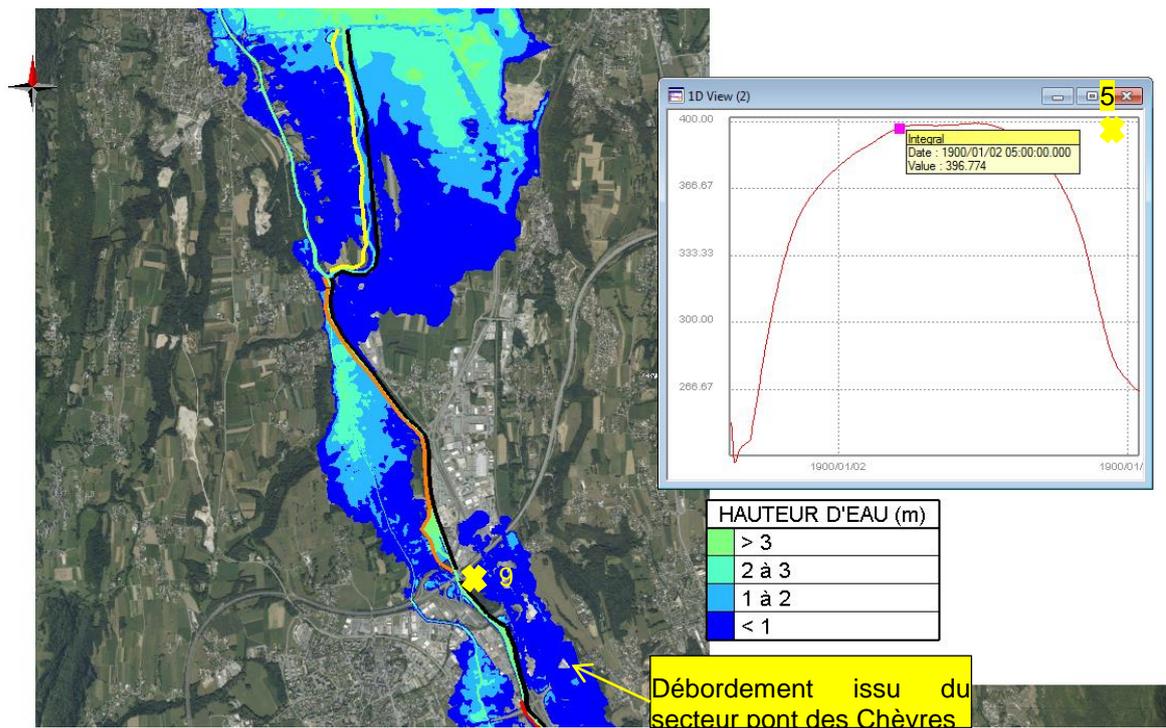


Figure 87 : Leysse aval – SE2 et SE5 – Cartographie des hauteurs d'eau - Q1000 Jour 2, 5h00

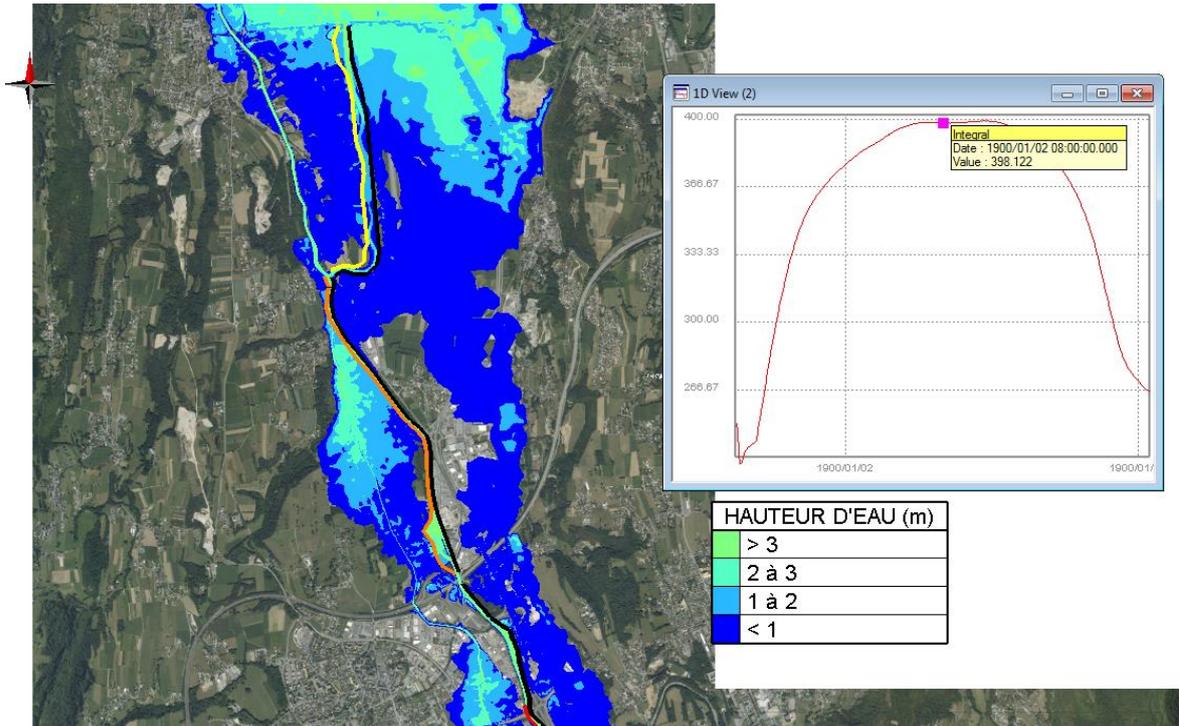


Figure 88 : Leysse aval – SE2 aval et SE5 – Cartographie des hauteurs d'eau Q1000 - Jour 2, 8h00

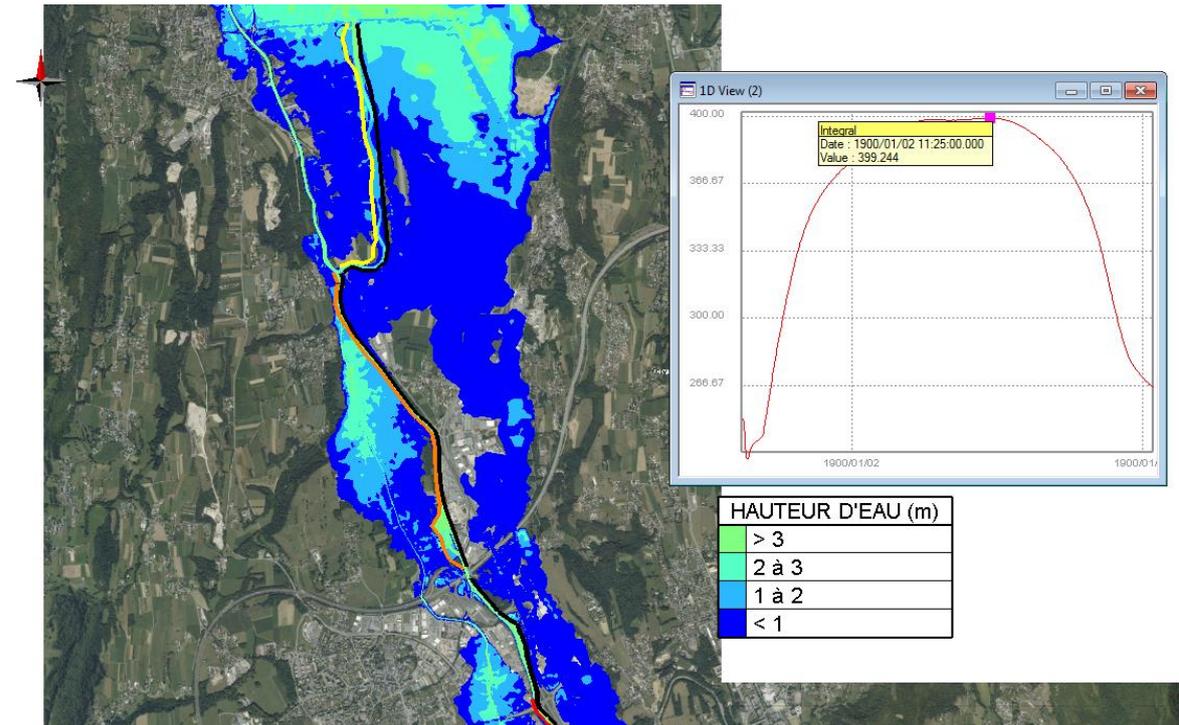


Figure 89 : Leysse amont – SE2 aval et SE5 - Cartographie des hauteurs d'eau Q1000 – Jour 2, 11h25

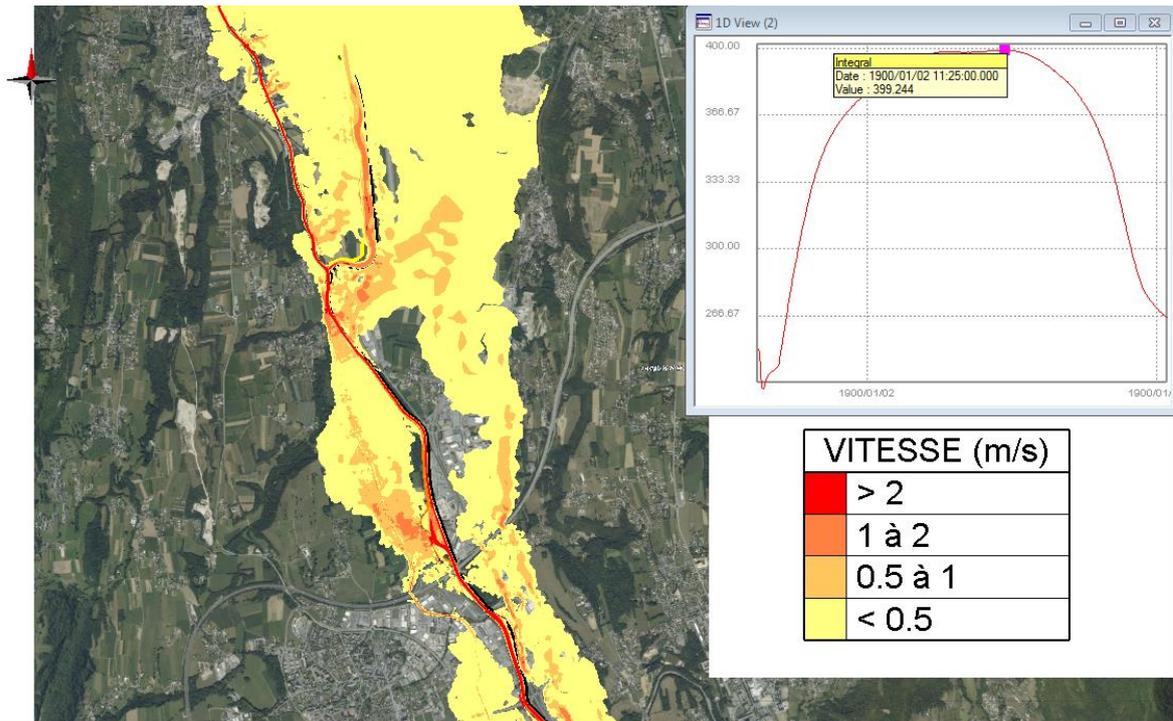


Figure 90 : Leysse amont – SE2 aval et SE5 - Cartographie des vitesses Q1000 – Jour 2, 11h25

6.2.9.2 Hyères et Leysse médiane

Sur le secteur de l'Hyères et de la Leysse médiane, les débordements, par ordre d'apparition sont :

- 1) Jour 1 15h50 PKH0.5 RG – SE4.2 (cf. Figure 91) ;
- 2) Jour 1 16h15 PKH 0.4 RG – SE 4.2 (cf. Figure 92) ;
- 3) Jour 1 16h15 PKH 1.4 RD – amont SE3.3 (cf. Figure 92);
- 4) Jour 1 17h40 PKH 0.5 RD – aval SE3.3 (cf. Figure 93) ;
- 5) Jour 1 17h40 PKH 1.2RD – amont SE3.3 (cf. Figure 93);
- 6) Jour 1, 19h30 PKL 9.3 RD – amont confluence Leysse Hyères (cf. Figure 94) ;
- 7) Jour 1, 19h30 PKH 1.2 RG – amont SE 4.2 (cf. Figure 94) ;
- 8) Jour 1, 22h00 PKL 8.0 RD – amont SE2.1 (cf. Figure 95) ;

Les cartographies suivantes présentent l'enchaînement des débordements en rive gauche et droite de la Leysse médiane et de l'Hyères au droit des systèmes SE2.1, SE2.2, SE4.1, SE4.2, SE4.3 et SE3.3.

La cartographie Figure 98 présente l'enveloppe maximale de l'inondation en Q1000.

Les vitesses maximales en Q1000 restent en moyennes inférieures à 0.5 m/s dans la plaine. Au droit des surverses identifiées et de certains points de resserrement, les vitesses peuvent atteindre localement 1.5 m/s voire dépasser 2 m/s (cf. Figure 99).

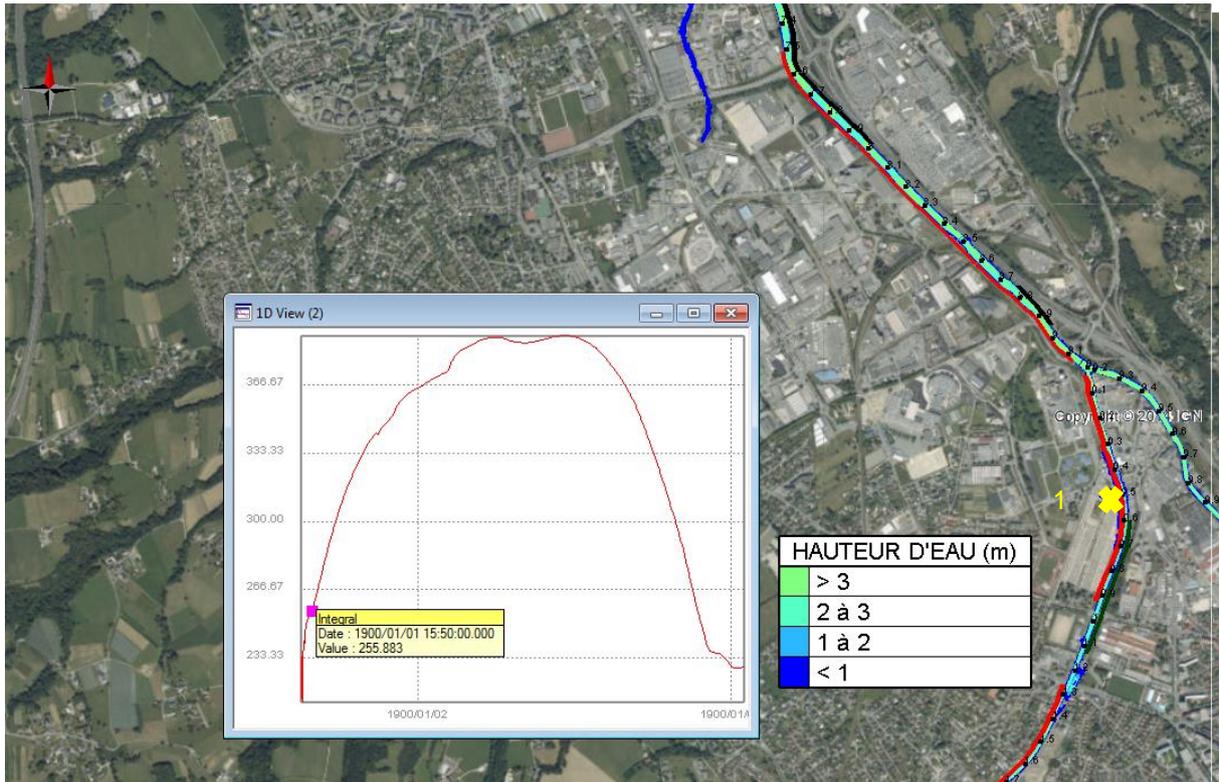


Figure 91 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 1 15h50 - Q1000

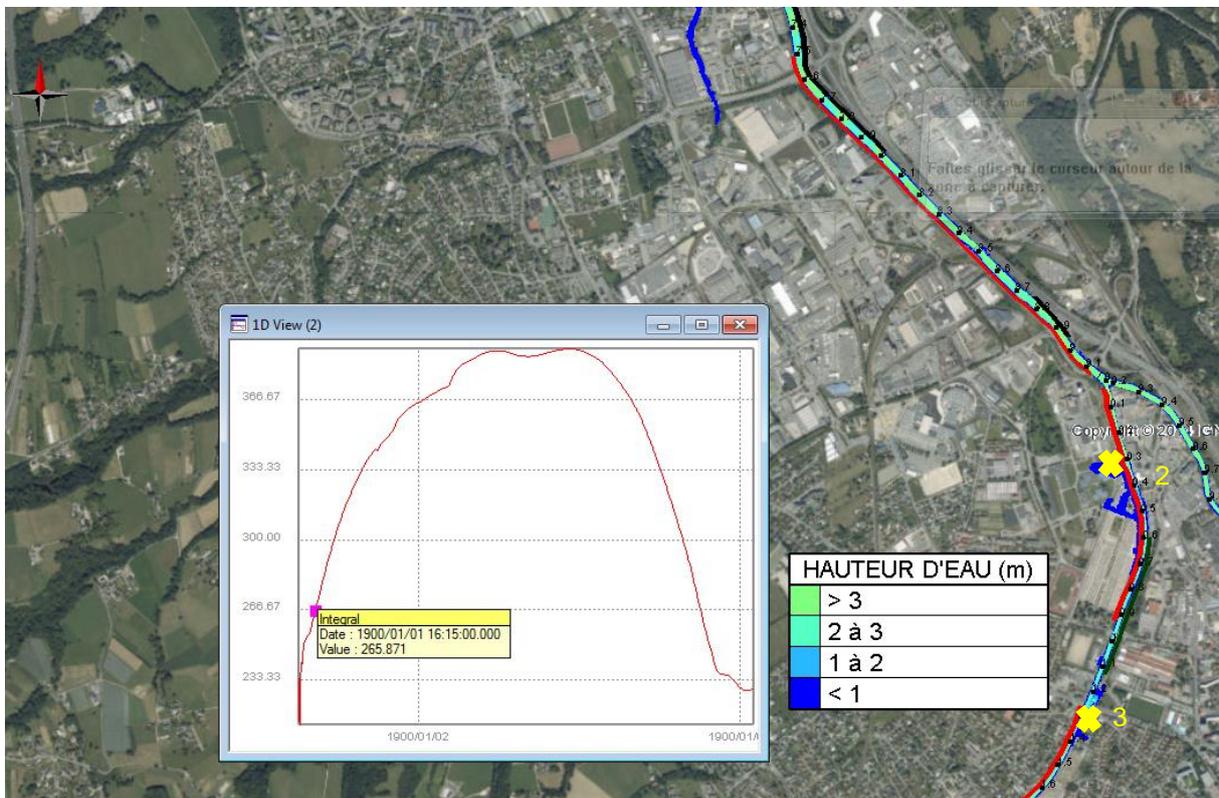


Figure 92 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 1 16h15 - Q1000

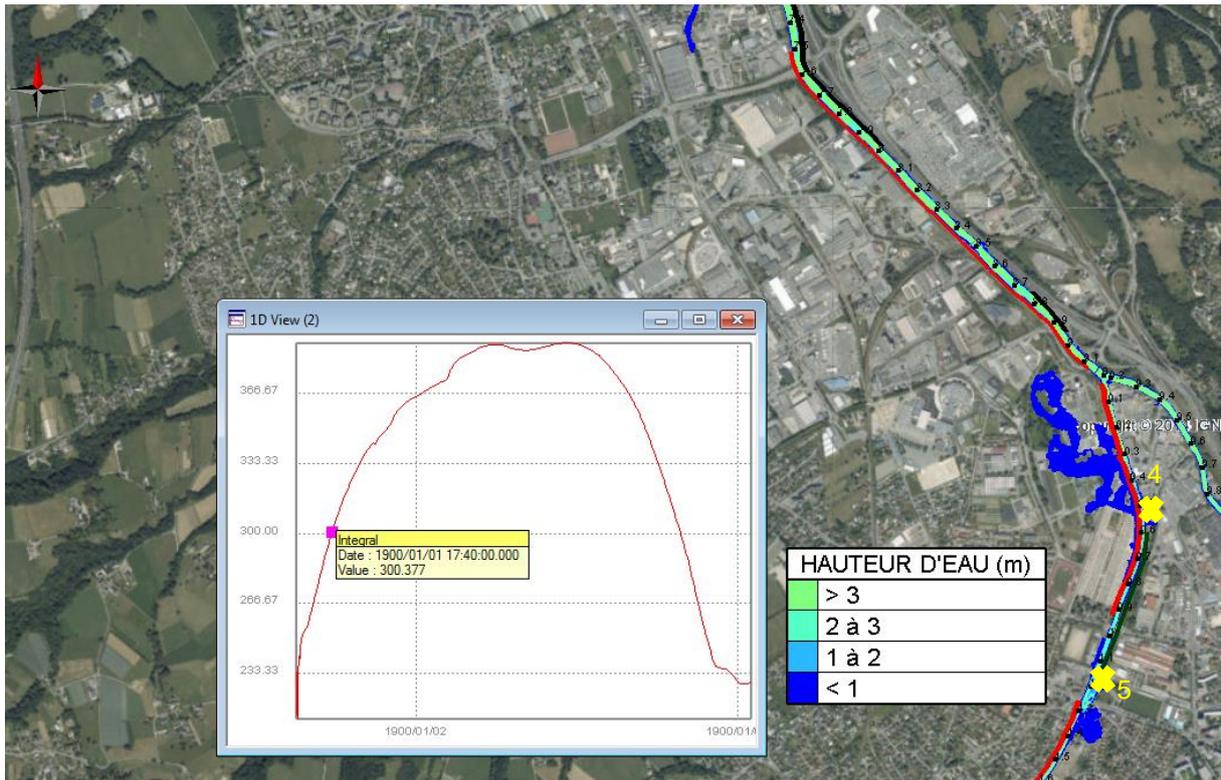


Figure 93 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 1 17h40 - Q1000

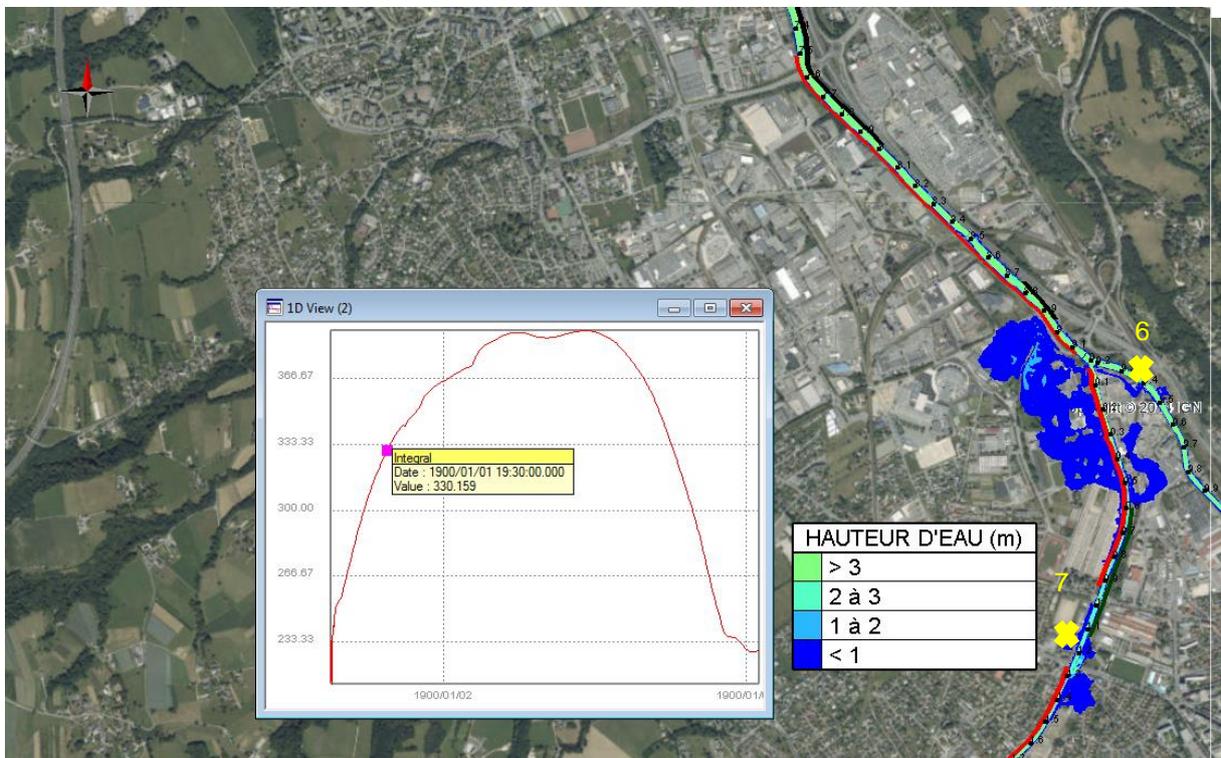


Figure 94 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 1 19h30 - Q1000

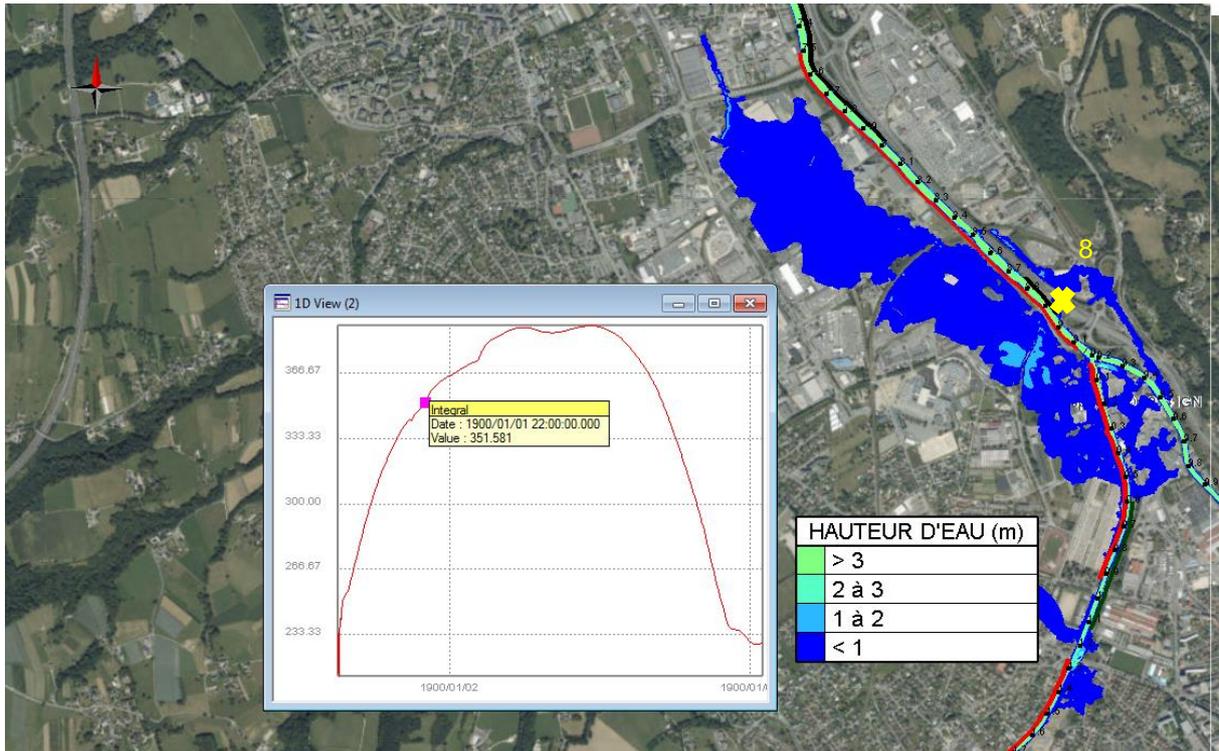


Figure 95 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 1 22h00 - Q1000

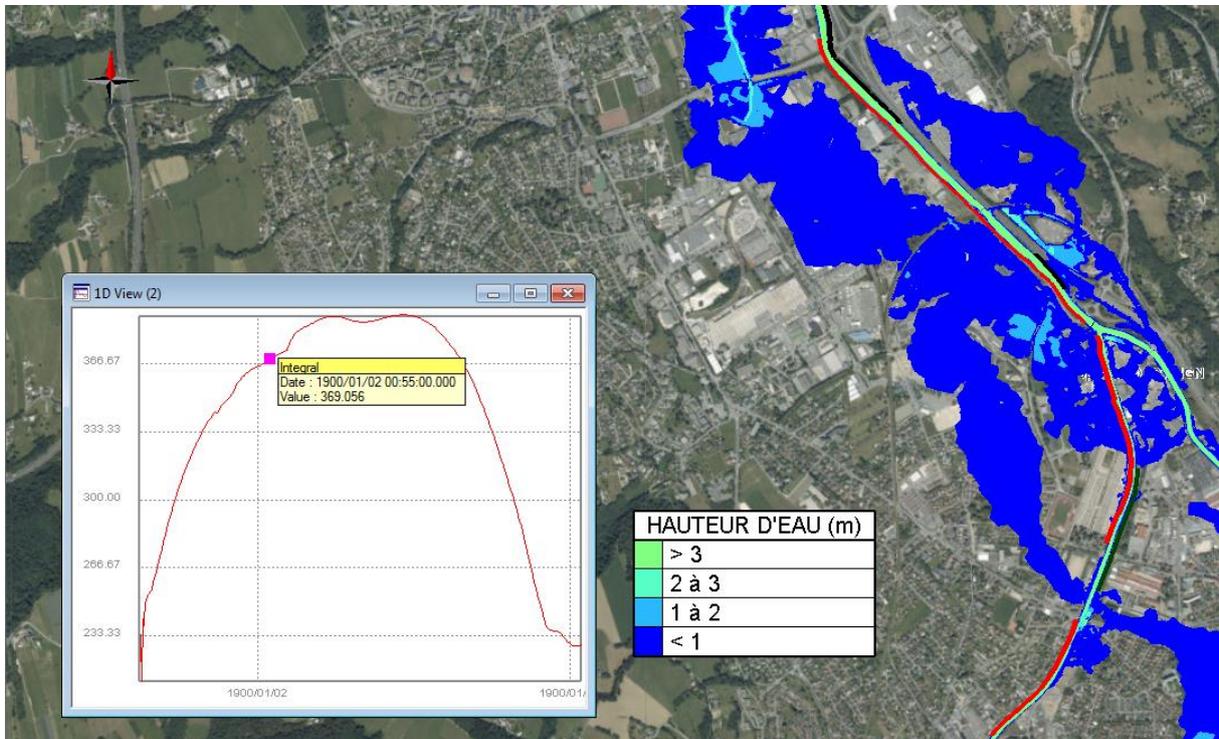


Figure 96 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 2 0h55 - Q1000

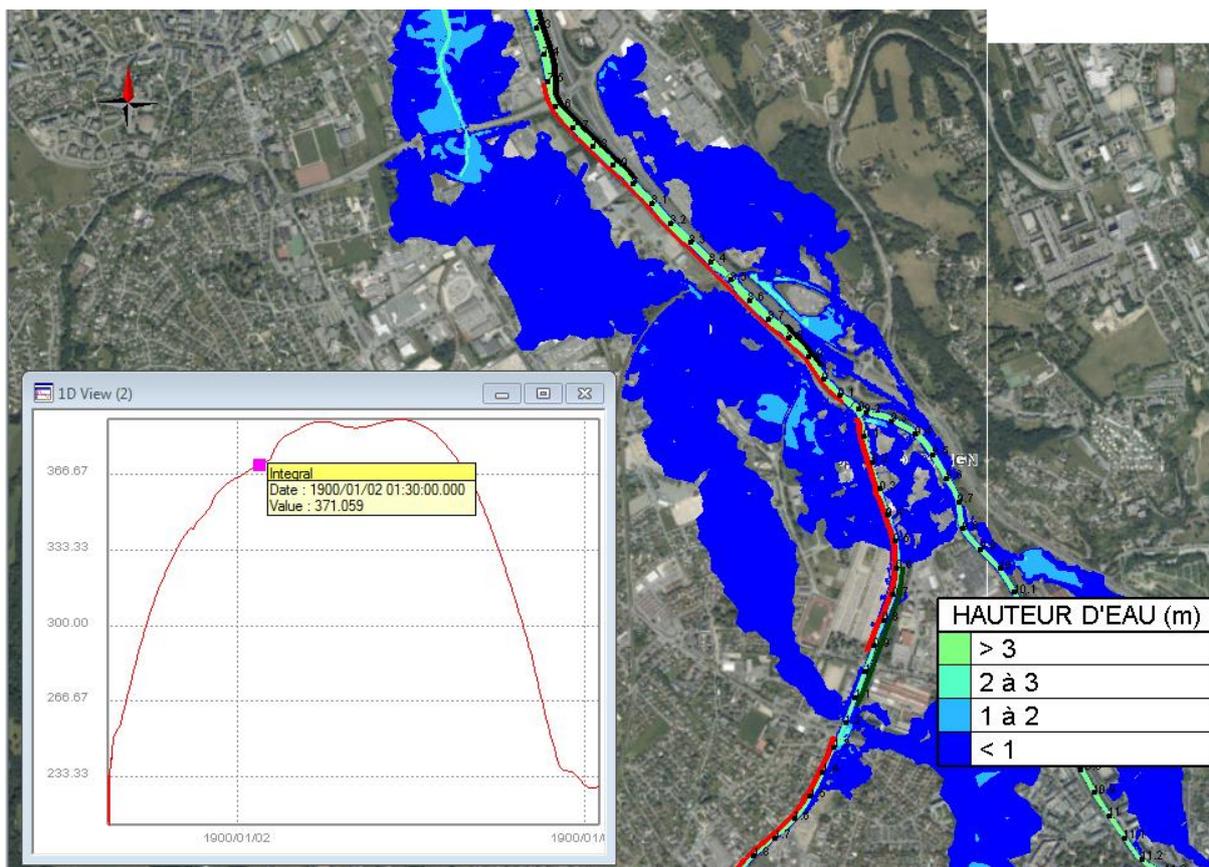


Figure 97 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Jour 2 1h30 - Q1000

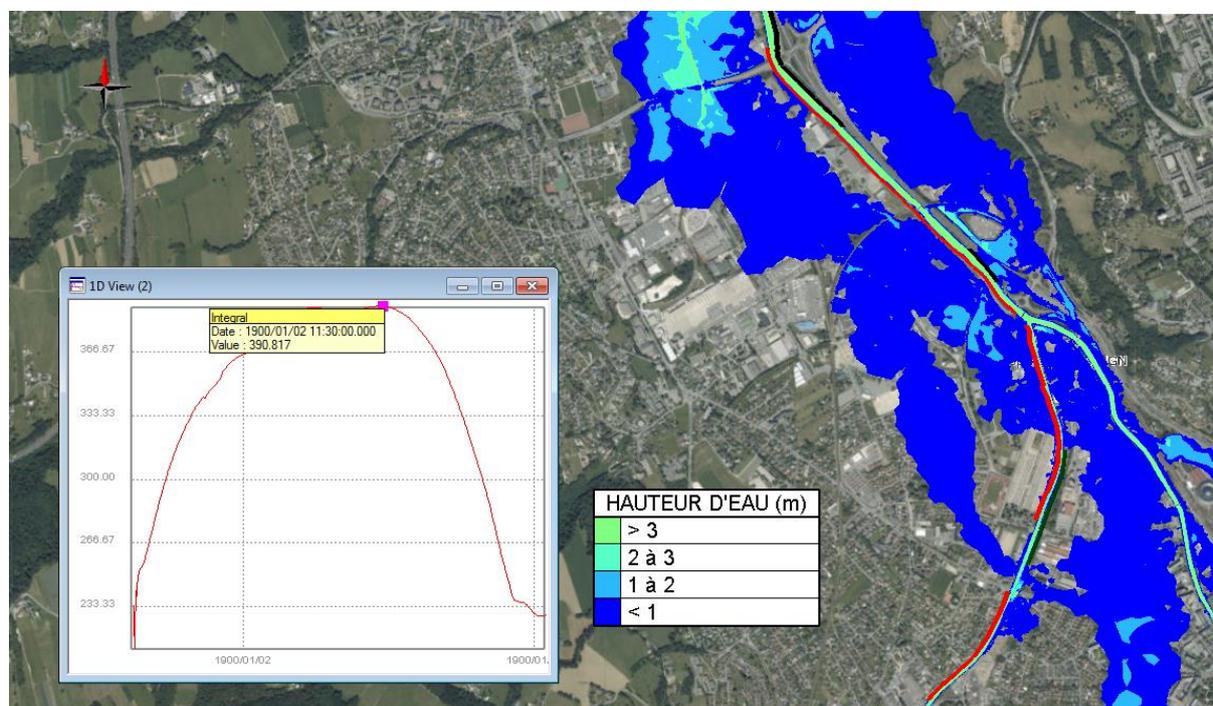


Figure 98 : Hyères et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3– Enveloppe maximale des hauteurs d'eau - Q1000

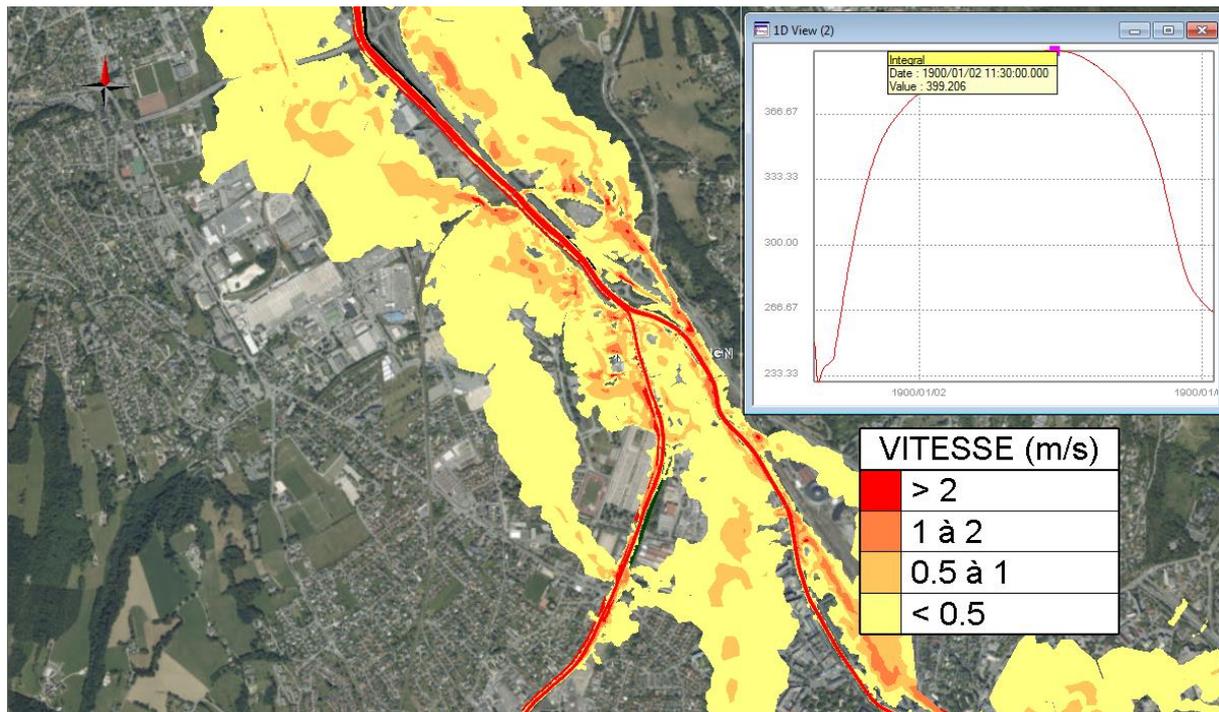


Figure 99 : Hyère et Leysse médiane – SE2.1, SE2.2, SE3.3, SE4.1, SE4.2, SE4.3 – Vitesses maximales Q1000

6.3 Les séismes

L'impact d'un séisme sur les ouvrages est étudié au titre des obligations de l'arrêté de 2008 [DA2].

6.3.1 Position des ouvrages vis-à-vis des séismes

La prise en compte de l'aléa séisme et la justification de stabilité des digues et barrages étaient jusqu'à présent peu codifiées et affaire de spécialistes.

Le décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010 a défini un nouveau zonage sismique de la France allant de la zone 1 (sismicité très faible) à la zone 5 (sismicité forte). Les ouvrages de Chambéry se situent en **zone 4** (sismicité moyenne).

L'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les échelles de magnitudes, d'intensité et le zonage sismique en vigueur en France jusqu'au 22 octobre 2010, ainsi que la carte du nouveau zonage depuis cette date. La carte suivante présente les zones de sismicité au niveau de Rhône Alpes suivant cette nouvelle réglementation. En référence à cette carte on note que le secteur de Chambéry se situe dans une zone de sismicité moyenne.

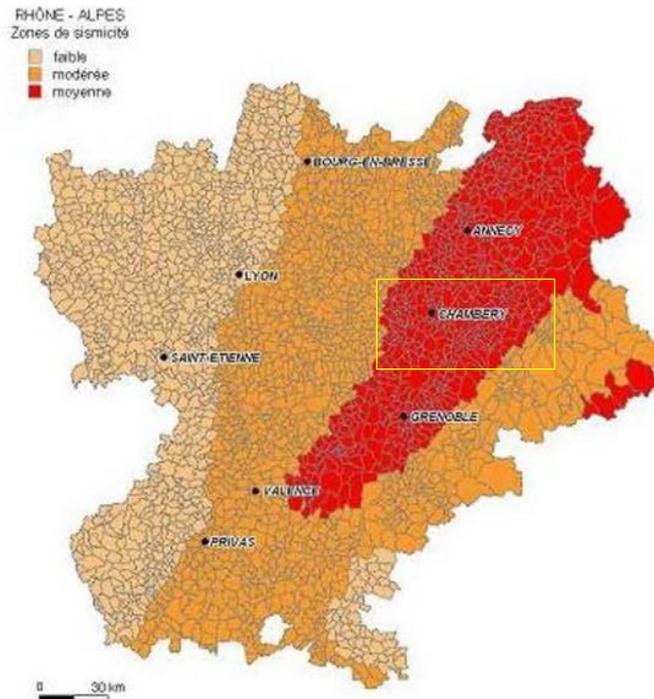


Figure 100 : Zone de sismicité régionale

6.3.2 La stabilité des digues au séisme

A l'heure actuelle, aucune note de calcul ne permet de justifier de la stabilité des digues de protection de la Leysse au séisme.

Notons cependant que l'évènement redouté associé au séisme doit conjuguer l'apparition d'une crue avec celle d'un séisme qui entraîne la rupture d'une digue. Cet évènement redouté semble, de fait, très peu probable sans que nous puissions en évaluer précisément la probabilité faute de données.

6.3.3 Evolution de la réglementation

Un projet d'arrêté ministériel fixe des prescriptions techniques auxquelles doivent satisfaire les barrages et les digues afin que leur sûreté soit assurée dans les cas de charge et d'exploitation prévisibles. Parmi les cas de charge et d'exploitation prévisibles, est abordé notamment le séisme. Chambéry Métropole engagera les études nécessaires pour y répondre. Ceci amènera Chambéry Métropole à compléter l'approche de la question sismique qui est faite dans ses études de dangers. Notamment, la concomitance des phénomènes crues et séismes sera analysée pour évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement redouté.

6.4 Les risques de mouvements de terrain

Un mouvement de terrain est un déplacement plus ou moins brutal du sol ou du sous-sol ; il est fonction de la nature et de la disposition des couches géologiques. Il est dû à des processus lents de dissolution ou d'érosion favorisés par l'action de l'eau et de l'homme.

Aucune zone présentant des risques d'instabilité (éboulement, affouillement ou glissement) n'a été identifiée sur les digues du secteur. Le risque vis-à-vis des effondrements ne nécessite donc pas d'étude complémentaire.

Les mouvements de terrains dont il est question ici concernent les versants. L'analyse de stabilité au glissement incluant la fondation est étudiée dans le chapitre 3.

6.5 Les risques de chablis

Un chablis est l'arrachement d'un arbre penché sur le talus amont de la digue suite à une crue entraînant l'emportement d'une partie de la digue et créant une brèche.

Comme exposé au chapitre 5, la végétation est très dense sur l'ensemble des talus amont de la Leysse et de l'Hyères. Les arbres penchés dans le sens de l'écoulement ont fait l'objet d'un entretien par l'équipe de Chambéry Métropole. Le risque de chablis sur les digues existe mais reste faible.

6.6 Les évolutions morphologiques du lit

La morphologie du site a été estimée précisément dans le cadre de l'étude d'avant-projet Leysse-Hyères [DA11]. Les évolutions morphologiques du lit décrites ci-dessous sont extraites de cette étude.

Tracé de la Leysse

La Leysse actuelle est positionnée en lit perché par rapport au talweg de la plaine et de la nappe alluviale. Cette situation n'est pas due à un sur-alluvionnement mais à une implantation sur la marge ouest de la vallée, largement au-dessus des points bas topographiques.

Le ruisseau de Belle-Eau pourrait correspondre au tracé relictuel de la Leysse originelle.

La position perchée de la Leysse explique la fréquence des débordements vers la basse plaine à l'est. D'autre part, cette position étant corrélative d'une pente longitudinale plus faible du lit le long de certains tronçons, elle a vraisemblablement favorisé la sédimentation alluviale, du moins lorsque la production de granulats par le bassin versant, autrefois très déboisé, était beaucoup plus intense que de nos jours.

Stock en place

Sur le bassin chambérien, il n'existe plus aujourd'hui qu'une seule source notable de production alluviale grossière primaire externe : le haut bassin des Merderet, affluent rive droite de l'Hyères. Cette évolution a été beaucoup plus marquée dans le temps et ce jusqu'à 1950. S'en est suivie une période de curage important de la Leysse puis l'urbanisation et la végétalisation du bassin versant ont progressivement tari ces apports extérieurs de matériaux. Les crues actuelles ne conduisent plus à un phénomène massif de sédimentation comme ce fut le cas par le passé.

En ce qui concerne les sources sédimentaires internes, un important stock de granulats est présent au fond du lit des cours d'eau du bassin chambérien, de l'Hyères et de la Leysse notamment.

Caractéristique et mouvement du fond du lit

Un tri granulométrique des fonds de la Leysse et de l'Hyères s'est organisé formant une armature qui peut être désagencée de manière assez fréquente (période de retour annuelle ou biennale).

Le calcul de la force tractrice confirme bien l'existence d'un transport solide notable par charriage pour des crues d'intensité minimale de l'ordre de l'occurrence quinquennale (Q5).

La vitesse de propagation de ce charriage est assez mal connue. On retiendra une évolution lente d'environ 30 à 200 mm. Cette évaluation est faite à partir des quelques données relatives aux vitesses de déplacement des granulats dans le cas de cours d'eau à charge grossière d'un type analogue à la Leysse.

7 ETUDE ACCIDENTOLOGIQUE ET RETOUR D'EXPERIENCE

Conformément à l'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu [DA2], la rubrique 7 « Etude accidentologique et retour d'expérience » doit décrire les défaillances, accidents, incidents et évolutions lentes survenus sur l'ouvrage.

7.1 Présentation de la démarche

7.1.1 Obligations réglementaires

La rubrique 7 de l'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers, impose au responsable mentionné au I de l'article R. 214-115 du code de l'environnement (concessionnaire d'un barrage de classe A ou B ou d'une digue de classe A, B ou C) les obligations suivantes :

- **Obligation n°1 : la description des défaillances, accidents, incidents et évolutions lentes survenus sur l'ouvrage (pour lequel l'étude de dangers doit être réalisée) ;**
- **Obligation n°2 : la description des scénarios d'événements de même nature ayant concerné d'autres ouvrages que celui objet de l'étude de dangers dès lors que le concessionnaire en a eu connaissance.**

7.1.2 Méthodologie

Nous avons donc analysé les événements significatifs survenus sur les endiguements SE 2.2 et SE 4.3 en nous appuyant sur les renseignements, analyses, mesures et retours d'expériences effectués disponibles et notamment l'étude historique effectuée dans le cadre de l'étude des systèmes d'endiguements [DA12] (obligation n°1).

Dans cette partie, nous mentionnerons les événements particuliers survenus sur le site tels que les crues d'importance significative et les séismes, y compris lorsqu'ils n'ont pas entraîné d'incident notable.

Dans un deuxième temps, nous évoquerons les événements ayant eu lieu sur d'autres tronçons de la Lysse et même plus généralement sur d'autres ouvrages du même type. Ces données permettront notamment d'éclairer sur la dynamique des phénomènes et leur occurrence.

7.2 Défaillances, accidents, incidents et évolutions lentes survenus sur les ouvrages

Nous nous appuyons sur l'étude historique, les fiches d'informations historiques [DA12], les dossiers d'ouvrage des systèmes d'endiguement [DA13] et sur les EISH répertoriés par Chambéry Métropole afin d'analyser les événements survenus sur les digues. Sur le sous-système de digue SE 2.2 amont, un EISH, datant d'avril 2015, a été signalé depuis sa mise en exploitation par Chambéry Métropole. Aucun incident n'a été recensé par Chambéry Métropole sur le système SE2.

Nous nous appuyons également sur le compte rendu du diagnostic initial valant visite technique approfondie [DA5] effectuée en mars 2015 par CNR et Arbeausolutions.

7.2.1 EISH

Un EISH (référence [DA14]) a été déclaré en avril 2015 sur le système SE 2.2 au niveau de la digue ZI des Landiers (2) (cf. Figure 22) entre le pont de l'échangeur et le pont de l'A43 repéré lors de la VTA 2015, aux environs du P111.

Il s'agit d'un glissement du parement amont de l'ouvrage avec apparition d'un fontis en crête. L'écaille en glissement est épaisse d'environ 1m30 et longue d'une quinzaine de mètres. A cet endroit, l'ouvrage est relativement large (crête >10m). Depuis cette date, le glissement a évolué mais le parement est toujours en place.

Dans le cadre du projet Leysse-Hyères, une reprise de cette portion de digue est en cours de réalisation (travaux en cours). A l'issue de ces travaux, la digue sera supprimée et reconstruite plusieurs dizaines de mètres en arrière.

Cet incident a été classé en jaune suivant la définition de l'article 5 de l'arrêté du 21 mai 2010. En effet, pour le moment, seule une partie de l'ouvrage (parement amont) est concernée par l'évènement. La digue présente une largeur d'environ 10 mètres à cet endroit.

Le classement de cet EISH a été validé le 15 avril 2015 par le préfet (par délégation de la directrice et par délégation, le Chef de l'unité Sécurité des Ouvrages Hydrauliques).



Figure 101 : Photo du désordre recensé dans le EISH sur le SE 2.2 amont – avril 2015

D'un point de vue sureté, l'EISH vient confirmer l'état de stabilité critique du SE 2.2 amont digue ZI des Landiers (2) déjà évalué dans les chapitres 3 et 5 justifiant les travaux du projet Leysse Hyères en cours.

7.2.2 Crues et brèches historiques sur les systèmes

7.2.2.1 Système 2

Crues

L'étude historique [DA12] a recensé 142 crues sur le système de digues S.2 depuis 1348 jusqu'à nos jours. Parmi ces crues, **seize** ont été mises en avant par rapport aux dégâts qu'elles ont générés sur le SE 2. Sur ces événements, les débits de pointe n'ont pu être retrouvés. Il est rappelé que les digues, dans leur configuration état initial avant travaux du Projet Leysse/Hyères, dateraient, d'après cette étude, de 1870 pour la plupart des secteurs, date à laquelle une série de redressements a été entreprise. Sur les secteurs ne faisant pas partie de ces travaux, les ouvrages dateraient de 1847. Des rectifications des ouvrages ont aussi été entreprises localement depuis ces dates pour conforter les ouvrages suite aux brèches observées. Les dates des crues significatives sur le SE 2.2 sont :

29-30/12/1801	15-18/02/1812	25/11/1849	13/03/1867
01/11/1870	10-13/05/1877	25-26/09/1896	14-15/01/1899
02/12/1909	18-19/01/1910	07/12/1913	07-08/03/1914
23/12/1918	13-14/02/1928	19-20/02/1940	14-15/02/1990

Dans cette liste ne figurent pas les crues de 1991 et 1992 car elles n'ont pas engendrées de dégâts sur les ouvrages.

Brèches

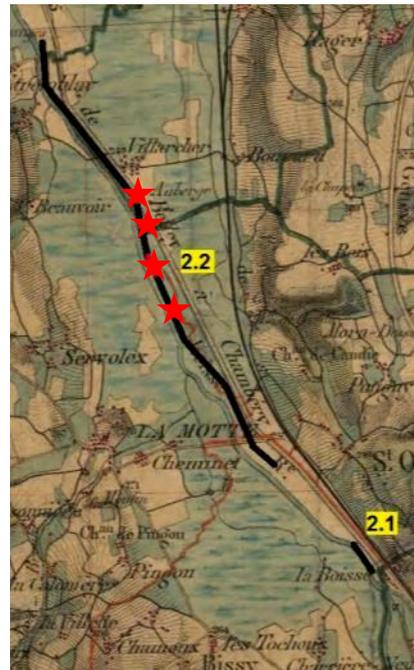
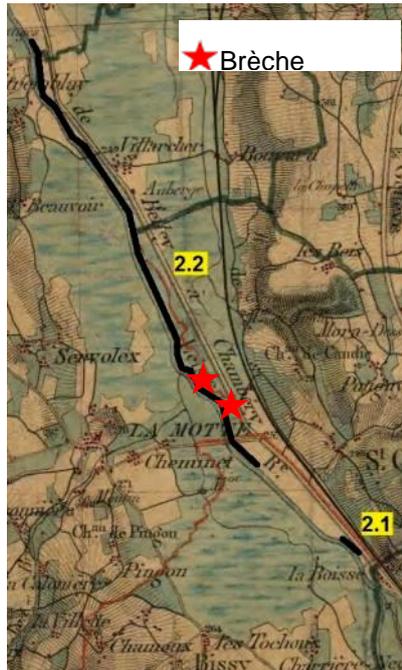
Les différentes données récoltées sur les Fiches d'Information Historiques (FIH) de l'étude historique ont été traitées afin de recenser les brèches survenues sur le système de digue et plus particulièrement au droit de la zone d'étude. Au total, depuis 1847 (date d'apparition des endiguements) à nos jours, soit sur moins de 200 ans, **42 brèches** ont été recensées sur le système SE 2. Ces 42 brèches ont été dénombrées sur 30 crues parmi 89 crues recensées entre 1847 et nos jours. Les figures suivantes présentent la localisation des brèches (étoile rouge) sur le système SE 2 pour les crues significatives pour lesquelles des informations de localisation ont été retrouvées.

Les emplacements principaux des brèches sur ce système sont :

- En amont et en aval du pont de la Motte (correspondant au pont du CD 16 A actuel) ;
- Au droit de Villarcher, situé en aval du pont de l'A43 ;
- Au droit du pont du Tremblay.

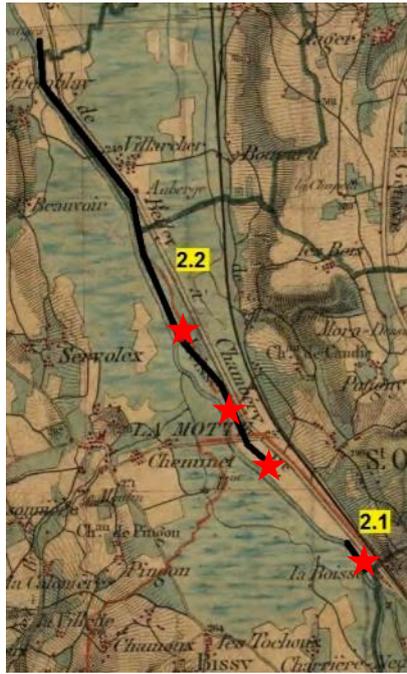
9 et 10 juin 1864

1^{er} novembre 1870

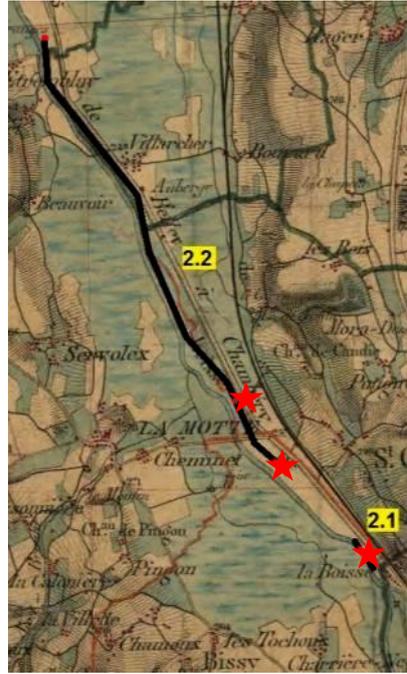


25 et 26 septembre 1896

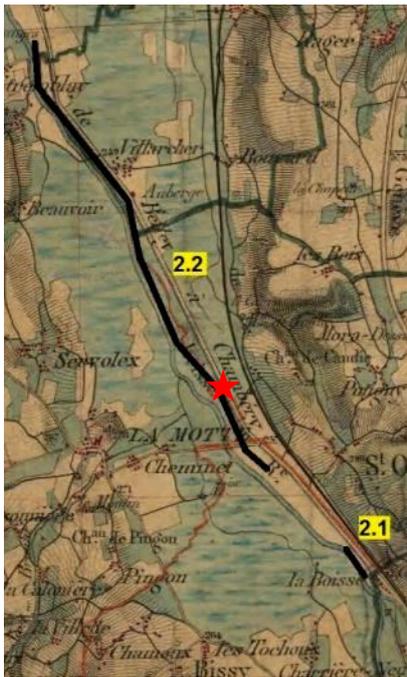
14 et 15 janvier 1899



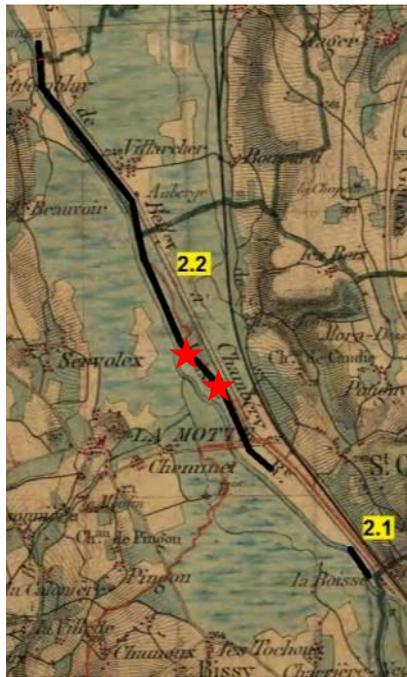
2 décembre 1909



26 juin 1910



23 décembre 1918



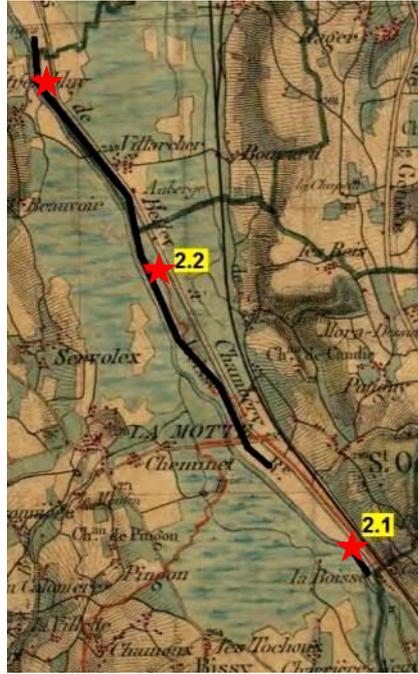


Figure 102 : Brèches aux digues 2.1 et 2.2 lors des crues de 1864, 1870, 1896, 1899, 1909, 1910 et 1918 (Geoportail.gouv.fr. & ACTHYS)

7.2.2.2 Conclusion

En conclusion, sur le secteur SE2, le linéaire total de brèches recensé est de 975 m. La largeur moyenne des brèches est entre 20 et 25 m. Les brèches sont souvent localisées aux mêmes endroits. Ceci peut s'expliquer par le méandrement de la Leysse mais surtout, sans doute, par l'hétérogénéité des réparations entreprises en urgence suite à l'apparition des brèches à la décrue voire en crue.

Les dégâts de ces ruptures sont multiples et plutôt d'ordre matériel :

- Coupures des voies de communications ;
- Ravinement et endommagements des voies de circulations ;
- Inondations des zones d'activités et habitations.

7.2.3 Autres Évènements particuliers survenus sur le site

Séismes survenus à proximité de la zone d'étude

Suivant les données du site France séismes, les séismes ressentis à proximité de la zone d'étude, depuis 20 ans, en Savoie, sont récapitulés dans le tableau suivant :

Date	Localisation épiscopentrale	Intensité épiscopentrale (MSK)	Autres départements touchés
03/02/1994	WNW Chambéry (départ.73)	3.6	Ain et Isère
28/08/1995	E Chambéry (départ.73)	3.3	
04/09/1995	WSW Albertville (départ.73)	4	
04/09/1995	WNW Albertville (départ.73)	3.8	Haute Savoie et Isère
15/05/1997	Sud Modane (départ.73)	3.9	
25/05/2003	Sud-Ouest de Modane (départ.73)	3.6	
12/06/2004	Séisme d' Albertville (départ.73)	3.2	Haute Savoie
10/04/2005	Nord-Ouest de Modane (départ.73)	3.4	
31/10/2005	Séisme d'Albertville (départ.73)	3.6	
17/02/2008	Séisme ENE Albertville (départ.73)	3.5	
30/06/2010	NE de Saint-Jean-de-Maurienne (départ.73)	4.3	
14/12/1994	ENE Annecy (départ.74)	4.6	Ain, Savoie, Drôme, Haute Savoie, Ardèche, Isère, Jura, Rhône
15/07/1996	NNW Annecy (départ.74)	5.2	Savoie, Drôme, Haute Savoie, Hautes Alpes, Isère, Jura, Loire, Rhône, Saône et Loire
08/09/2005	Séisme de Vallorcine (départ.74)	4.9	Ain, Doubs, Savoie, Drôme, Haute Savoie, Hautes Alpes, Ardèche, Isère, Territoire de Belfort, Haut Rhin, Côte d'Or, Rhône, Haute Saône, Saône et Loire

Tableau 66 : Plus forts séismes ressentis sur les départements Savoie et Haute Savoie depuis 1992

Aucun de ces séismes n'a affecté les digues. On note aussi qu'aucune crue recensée n'a eu lieu au cours de ces événements.

7.3 Synthèse de l'accidentologie générale

7.3.1 Synthèse de l'accidentologie générale au niveau de Chambéry

7.3.1.1 Méthodologie

Le traitement et l'analyse des données effectués sur les deux systèmes de digue sont menés sur les autres systèmes. Les défaillances, accidents et incidents survenus sur les cinq systèmes de digue de protection ont été identifiés à partir :

- Des EISH recensés ;
- De l'étude historique des ouvrages ;
- Des dossiers d'ouvrages ;
- Des études hydrauliques antérieures sur le secteur.

Cette étude est centrée sur les crues ayant eu réellement un impact aux ouvrages. Les ouvrages étudiés sont :

- les digues en remblai ;
- les seuils ;
- les ponts.

Les défaillances suivantes ont été recherchées :

- les brèches ;
- les érosions de berge ;
- les endommagements des digues (plus général que simplement érosion) ;
- les destructions des ponts ;
- les destructions de seuils transversaux.

Les éléments initiateurs ont été recherchés :

- Une crue exceptionnelle ;
- Une surverse ;
- Une conduite traversante ;
- La végétation ;
- La crue d'un affluent ;
- Des travaux sur les endiguements ou leurs ouvrages annexes.

Sur les brèches, le recensement a aussi porté sur la localisation et la largeur des brèches.

Lorsque le nombre de défaillances était connu, elles ont été renseignées et sont intégrées dans le comptage. En revanche, lorsqu'une phrase générique était mentionnée, du type « la crue a généré des érosions de berge », une seule défaillance est comptabilisée. Il se peut donc que le nombre de défaillances soit supérieur au nombre de crues recensées.

7.3.1.2 Analyse des données concernant les endiguements

Au total 107 défaillances ont été recensées depuis 1707 sur 53 crues parmi 146 crues dénombrées, 100 défaillances sont relatifs aux digues, 4 aux ponts et 3 aux seuils.

Toutes les défaillances sont liées à une crue. Pour environ 12% d'entre elles, les défaillances seraient consécutives à une surverse. Les 88 % des défaillances restantes seraient donc associés à une problématique d'érosion externe, d'érosion interne ou glissement. L'érosion externe pourrait être en cause sur environ 12% des cas. Le reste des incidents, soit environ 76%, serait dû à un phénomène d'érosion interne des digues ou à un glissement.

La fonction principale assurée par un endiguement est de retenir l'eau. La principale situation dangereuse pouvant conduire à la perte de cette fonction est a priori liée à la rupture de l'ouvrage par érosion interne (facteur prépondérant sur les digues en terre). Les causes principales sont l'apparition de phénomènes initiateurs comme les fuites, les fontis ou encore les dégradations de l'étanchéité.

Les autres situations dangereuses sont moins fréquentes mais sont liées à des phénomènes d'ampleur plus importante sur l'endiguement avec un risque de rupture si aucune intervention n'est réalisée :

- le risque de rupture de l'ouvrage par glissement (une partie des 76 %) : les phénomènes identifiés sont des zones de dégradation du remblai (tassement, affaissement, affouillement, effondrement ou glissement) pour lesquels des travaux de rechargement ou d'injection ont été réalisés afin d'éviter que les phénomènes ne conduisent à une rupture par instabilité du remblai.
- Le risque de rupture de l'ouvrage en cas d'érosion externe (12%) : les causes identifiées sont l'effondrement d'une partie du talus amont ou aval (érosion du talus suite à une décrue, un rejet non maîtrisé ou une chute d'arbre).
- Le risque de rupture par surverse (12%) dû à une crue d'occurrence supérieure à la crue de danger de l'ouvrage.

Jusque dans les années 1990, ces situations dangereuses n'ont pas été maîtrisées puisque 76 brèches ont été observées sur les endiguements de Chambéry. La maîtrise des situations dangereuses passe par :

- La mise en place de dispositions constructives sur les ouvrages ;
- La mise en place et l'application de consignes de surveillances.

Les brèches ont été recensées avant la mise en place de ces dispositions par le gestionnaire. Les travaux de confortement et la consigne décrite dans le chapitre 4 permettront à l'avenir de mieux maîtriser ces situations dangereuses afin de limiter au maximum le risque de rupture des ouvrages.

7.3.1.3 Cas des brèches

Les brèches représentent environ 71% des incidents survenus sur les digues chambériennes soit 76 défaillances sur les 100 défaillances relatives aux digues. Les autres défaillances survenues sur les digues sont des érosions ou des dégradations partielles n'entraînant pas de brèches. Les brèches observées sur la zone d'étude (42 brèches sur le SE2) représentent 55 % du nombre total de brèche recensé.

Certaines localisations des brèches sont récurrentes d'une crue à l'autre. On notera en particulier les secteurs sensibles suivant :

- au droit de l'actuel pont de l'échangeur,
- le secteur de Jean Lain,
- le rond point de Villarcher,
- le pont Tremblay.

La largeur des brèches varie entre 7 m (SE 4) et 76 m (SE 5). En moyenne, les largeurs de brèches varient entre 15 et 30 m.

Cela démontre que, d'une part les ouvrages ont une mauvaise stabilité mécanique et qu'ils sont conçus pour contenir les écoulements des crues de période de retour moyenne (surverse dans 12% des ruptures), et d'autre part, que la surveillance et l'auscultation des digues ainsi que les actions de réparations entreprises n'étaient pas suffisantes pour éviter la ruine des ouvrages.

7.3.2 Conclusion et retour d'expérience

L'analyse accidentologique des événements survenus sur des ouvrages gérés par Chambéry métropole confirme que les mécanismes et causes de rupture des ouvrages (érosion interne, externe, glissement), identifiés par l'accidentologie internationale, sont effectivement observés dans la vie des ouvrages chambériens.

Cette analyse met en évidence que ces mécanismes conduisent à une rupture de l'ouvrage puisque 76 brèches ont été recensées depuis ces 300 dernières années sur les 5 systèmes de digues Chambériennes.

D'une manière général, les retours d'expérience mettent en évidence les points suivants :

- les brèches font des dégâts importants, surtout matériels, aux voies de circulation et aux habitations ;
- le cout des réparations des digues est conséquent ;
- le risque lié à un mauvais confortement d'une brèche est important. Ce risque a été observé sur les digues Chambériennes, les brèches se produisant majoritairement aux mêmes endroits ;
- les digues, dans la plus part des cas, ne sont pas résistantes à la surverse ;
- l'évaluation du risque d'érosion interne est complexe et encore difficile à évaluer surtout sur les digues de protection contre les inondations qui ne sont en charge que peu de jours par an ;

un entretien régulier des digues allié à une gestion de la végétation raisonnée et une surveillance en crue limite le risque de rupture de l'ouvrage, ce qui n'était pas le cas sur les digues Chambériennes jusqu'à présent.

Plus précisément, sur les digues chambériennes, les brèches observées sont dues à une structure de digue qui n'était pas adéquate (érosion interne, perte de stabilité avant surverse) du fait :

- Soit à une construction d'ouvrage qui ne répondait pas aux règles de l'art ;
- Soit à des réparations réalisées rapidement en temps de crue ou très rapidement après ;
- Soit à un entretien et une surveillance qui ont fait défaut.

Une meilleure gestion du risque passe donc par :

- des retours d'expérience entre gestionnaires de digues de protection ;
- l'établissement de diagnostics et une sectorisation des digues dangereuses ;

- la remise en état des ouvrages défailants suivant un plan de gestion des risques inondation global et raisonné en intégrant la vulnérabilité des sites ;
- l'organisation d'actions d'entretien et de surveillance périodiques et efficaces.

8 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES RISQUES EN TERMES DE PROBABILITE D'OCCURRENCE, D'INTENSITE ET CINETIQUE DES EFFETS, ET DE GRAVITE DES CONSEQUENCES

8.1 Présentation de la démarche mise en œuvre

La démarche d'analyse de risques a été réalisée en trois étapes complémentaires :

- Identification des situations dangereuses et évaluation des accidents pouvant survenir sur les ouvrages, par la méthode de l'Analyse Préliminaire des Risques (APR),
- Analyse des scénarios conduisant à la libération non maîtrisée des eaux du cours d'eau en crue, par la méthode des nœuds papillon,
- Evaluation de la criticité de ces ERC en complétant les analyses précédentes par le croisement de la probabilité d'occurrence des situations dangereuses avec une estimation de la gravité de leurs conséquences sur la population environnante suite à une modélisation hydraulique.

8.1.1 Principe et mise en œuvre de la méthode APR

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) a été développée au début des années 1960 dans les domaines aéronautiques et militaires. Utilisée depuis dans de nombreuses autres industries, l'Union des Industries Chimiques (UIC) recommande son utilisation en France depuis le début des années 1980. L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) est une méthode d'usage très général couramment utilisée pour l'identification des risques au stade préliminaire de la conception d'une installation ou d'un projet, mais elle trouve également des applications dans le cas de systèmes existants afin de vérifier qu'ils ne génèrent pas de risques lors de leur exploitation. En ce sens, elle est particulièrement utile dans les situations suivantes :

- Au stade de la conception d'une installation, lorsque la définition précise du procédé n'a pas encore été effectuée. Elle fournit une première analyse de sécurité se traduisant par des éléments constituant une ébauche des futures consignes d'exploitation et de sécurité. Elle permet également de choisir les équipements les mieux adaptés.
- Dans le cas d'une installation complexe existante, au niveau d'une démarche d'analyse des risques. Comme l'indique son nom, l'APR constitue une étape préliminaire, permettant de mettre en lumière des éléments ou des situations nécessitant une attention plus particulière et en conséquence l'emploi de méthodes d'analyses de risques plus détaillées. Elle peut ainsi être complétée par une méthode de type AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et Criticité), arbre des défaillances, méthode du nœud papillon, par exemple.

L'Analyse Préliminaire des Risques est fondée sur les éléments préalablement établis dans le dossier d'étude de dangers, à savoir :

- L'analyse fonctionnelle de l'ouvrage et de son environnement (§3) ;
- Le Système de Gestion de la Sécurité (SGS) (§4) ;
- L'identification et la caractérisation des potentiels de dangers (§5) ;
- La caractérisation des aléas naturels (§6) ;
- L'étude accidentologique et le retour d'expérience (§7).

À partir de ces éléments et en particulier de l'analyse fonctionnelle de l'ouvrage et de son environnement, l'APR vise tout d'abord à identifier les situations dangereuses dans lesquelles pourraient se trouver l'ouvrage du fait de la défaillance d'un de ses organes ou éléments importants pour la sécurité. Dans le cadre de cette étude, une situation dangereuse est définie comme une situation qui, si elle n'est pas maîtrisée, pourrait conduire principalement à la libération de tout ou partie de l'eau du cours d'eau en crue.

Cette recherche des situations dangereuses doit aboutir à en déterminer les causes, puis à identifier les mesures ou barrières de sécurité existantes sur le système étudié.

Chaque organe et élément important pour la sécurité est passé en revue en examinant les situations de dangers potentiels de manière systématique, au regard du contexte d'exploitation, du retour d'expérience, des potentiels de dangers et des aléas naturels identifiés précédemment.

Ensuite, on identifie les conditions hydrauliques ou hydrométéorologiques susceptibles de transformer ces situations dangereuses en accident dont on évalue la gravité de l'incidence sur la population environnante.

La criticité de ces scénarios est alors évaluée en fonction de la gravité du phénomène et de l'occurrence de la situation dangereuse assortie de ses mesures de sécurité existantes. Si cette criticité est jugée moyenne ou forte, des propositions d'améliorations doivent alors être envisagées. A noter que ne sont pas considérés dans cette analyse les actes de malveillance, la chute d'aéronef et de façon générale, certains événements extrêmement improbables (chute de météorites,...).

Le formalisme de tableau suivant a été utilisé dans le cadre de cette étude :

Rep	Ouvrage	PK	Organes / Éléments importants pour la sécurité	Situation dangereuse	Cause potentielle	Débit	Accident potentiel	Probabilité	Traitement du risque : mesures existantes				Actuel			Criticité	Traitement du risque : mesures complémentaires
									Hors mesures de sécurité	Mesures techniques N° Intitulé	Mesures organisationnelles N° Intitulé	NC	Prob	Int - Cinet	Grav		

Tableau 67 : Formalisme d'un tableau d'Analyse Préliminaire des Risques (APR)

Les différentes colonnes utilisées comportent les éléments suivants :

- **Ouvrage** : désignation de l'ouvrage concerné ;
- **Organe** : un des organes, identifié dans l'analyse fonctionnelle interne de l'ouvrage, qui participe à la sureté de l'ouvrage ;
- **Situation dangereuse** : identification du dysfonctionnement de l'organe qui met l'ouvrage en situation dangereuse ;
- **Causes potentielles** : ensemble d'événements conduisant à la situation dangereuse ;
- **Débit de la Rivière / État hydraulique** : les débits envisagés pour chaque situation dangereuse sont le débit de la crue de projet, les débits intermédiaires (Q30);
- **Accident potentiel** : désignation de l'accident résultant de la situation dangereuse associée à la situation hydraulique ;
- **Probabilité hors mesures** : probabilité d'occurrence de l'accident évaluée hors mesures de sécurité existantes qui visent à réduire l'occurrence d'un tel phénomène ;
- **Traitement du risque / mesures existantes** : recensement des mesures techniques et organisationnelles - ou barrières de sécurité - adoptées pour éliminer ou maîtriser l'accident identifié. L'efficacité de ces barrières de sécurité (niveau de confiance NC) permet de réduire la probabilité d'occurrence de l'accident ;
- **Prob./Int./Grav** : appréciation de la probabilité d'occurrence de l'accident potentiel en tenant compte des barrières de sécurité existantes, de l'intensité de l'onde de submersion et de la gravité des conséquences de l'accident potentiel ;
- **Criticité** : croisement des cotations de l'occurrence de l'accident avec sa gravité associée pour en déterminer sa criticité (acceptable, intermédiaire ou inacceptable) ;
- **Mesures complémentaires** : identification de mesures complémentaires de réduction du risque dans le cas où le niveau de criticité de l'événement serait jugé inacceptable ou intermédiaire.

Si l'APR permet d'identifier les situations dangereuses pouvant survenir sur un système, en revanche cette méthode ne permet pas de caractériser finement l'enchaînement des évènements susceptibles de conduire à un accident majeur pour des systèmes complexes. Comme son nom l'indique, il s'agit à la base d'une méthode préliminaire d'analyse qui permet d'identifier des points critiques devant faire l'objet d'études plus détaillées.

De ce fait, pour compléter cette approche et analyser de façon combinatoire les événements identifiés, l'APR a été complétée par la méthode des nœuds papillon.

8.1.2 Principe et mise en œuvre de la méthode des nœuds papillon

La méthode des nœuds papillon est une méthode d'analyse des risques à la fois inductive et déductive qui combine des arbres de défaillances et des arbres d'évènements.

L'objectif de cette méthode consiste à :

- apporter une démonstration renforcée de la bonne maîtrise des risques en présentant clairement l'action des mesures de sécurité sur le scénario envisagé,
- sensibiliser les acteurs du système considéré sur la base d'un schéma détaillé, mais compréhensible pour tous.

Sur la base des situations dangereuses identifiées au titre de l'APR, le nœud papillon consiste à rechercher, par une construction graphique, toutes les combinaisons d'évènements qui peuvent conduire à l'apparition d'un accident.

La construction graphique est reprise de celle proposée par l'INERIS, et se présente sous la forme d'une double arborescence (Cf Figure 103). Cette méthode a été adaptée en précisant la situation initiale des ouvrages dans le scénario.

8.1.3 Moyens mobilisés pour dérouler la méthodologie

La méthodologie des études de dangers a été présentée par CNR et adaptée lors d'une première réunion à Chambéry Métropole.

Par suite, deux réunions ont été organisées avec les services de l'état DREAL et/ou DTT pour :

- Préciser les linéaires d'endiguement sur le terrain ;
- Proposer une grille de criticité adaptée aux besoins de Chambéry Métropole.

Au moins deux réunions de travail ont aussi été nécessaires pour définir avec le gestionnaire les consignes de surveillances et de la gestion en crue ainsi que les parades à mettre en place.

Enfin, les scénarios de défaillance ont été discutés entre CNR et Chambéry Métropole.

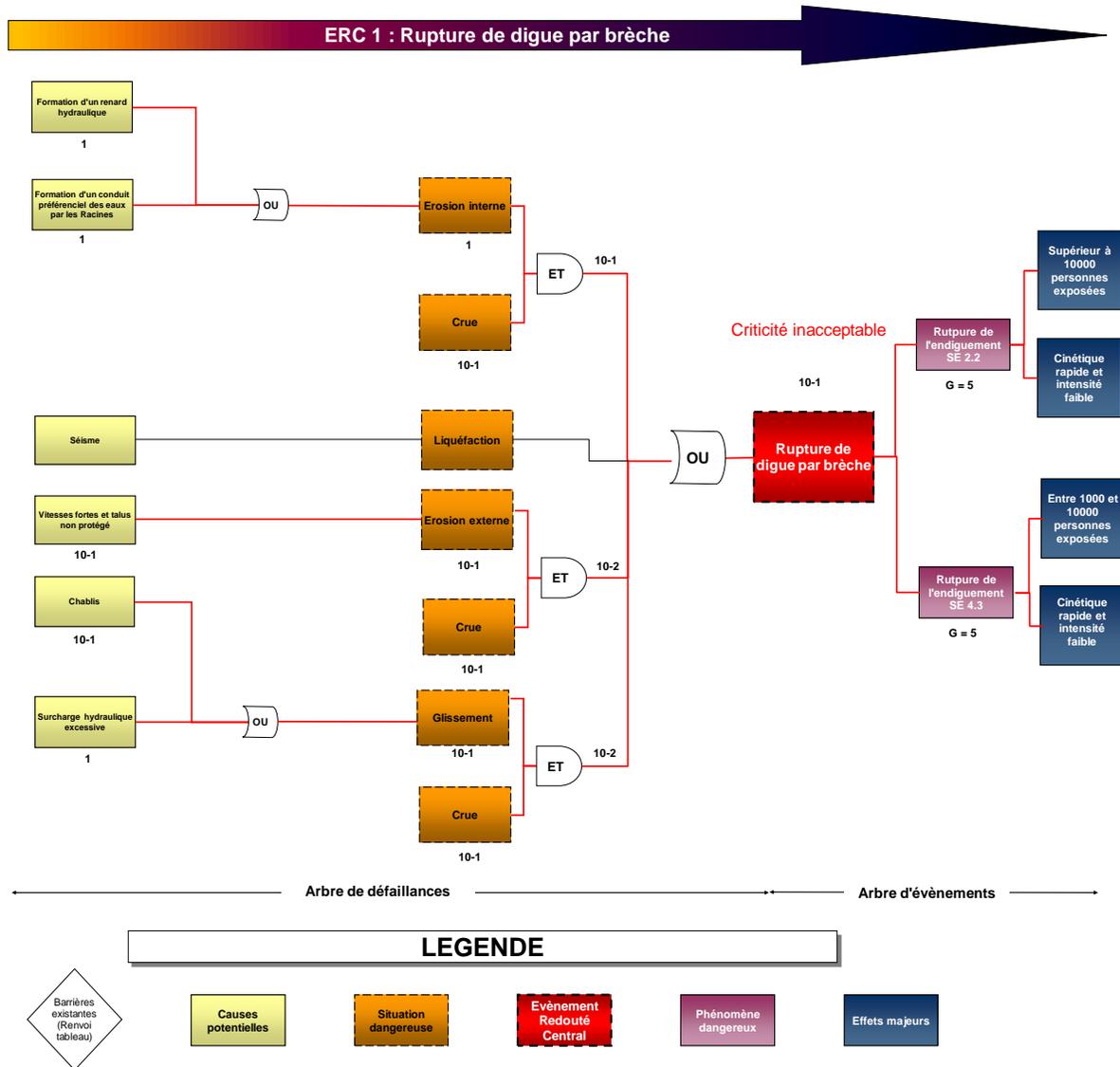


Figure 103 : Exemple de représentation graphique du nœud papillon

Le formalisme utilisé est le suivant :

- **Barrières existantes** : ce sont les mesures identifiées au titre de l'APR dont la mise en œuvre effective permet de fiabiliser le bon fonctionnement de l'organe ou plus globalement de l'ouvrage. Elles permettent donc de diminuer la probabilité d'occurrence des causes potentielles de défaillance de l'organe ou, plus globalement, de la situation dangereuse associée.
- **Niveau de Confiance (NC)** : les barrières ou mesures de sécurité existantes permettent, en fonction de leur fiabilité et de leur efficacité, de réduire la probabilité d'occurrence des situations dangereuses. Le niveau de confiance accordé à ces barrières tient compte de ces deux caractéristiques (fiabilité, efficacité) et peut donc changer d'une situation à l'autre en fonction de leur efficacité.
- **Causes potentielles** : ce sont les causes de défaillance d'un ou plusieurs organes pouvant conduire à l'apparition des situations dangereuses identifiées dans l'APR. Leur probabilité, identifiée dans le tableau de synthèse de l'APR, est rappelée sur le nœud papillon.
- **Situation dangereuse** : elle est issue de la conjugaison d'une ou de plusieurs causes potentielles de défaillance. Conjuguée avec un débit du cours d'eau, elle peut être à l'origine d'un accident potentiel.
- **Évènement Redouté Central : l'ERC** est au centre d'un nœud papillon. C'est un événement (rupture de l'endiguement, rupture d'une vanne du barrage,...) qui conduit à libérer tout ou partie de l'eau et à exposer des personnes à cet apport d'eau inopiné. Il est identifié par les causes qui sont à son origine (partie gauche du nœud papillon) et par sa gravité évaluée en fonction de ses effets sur la population environnante (partie droite du nœud papillon).
- **Phénomène dangereux** : deux phénomènes dangereux sont identifiés car un ERC peut avoir des conséquences à l'aval (liées à l'onde de submersion) et à l'amont (liées à la décrue rapide).
- **Effets majeurs et gravité** : ce sont les conséquences de l'ERC évaluées en fonction du nombre de personnes exposées par la libération de l'eau, par la cinétique de l'évènement et par l'intensité de l'onde.

8.1.4 Cas des digues de protection contre les inondations

L'arbre des causes suivant présente les différentes situations dangereuses pouvant survenir sur des digues de protection contre les inondations et leurs causes potentielles.

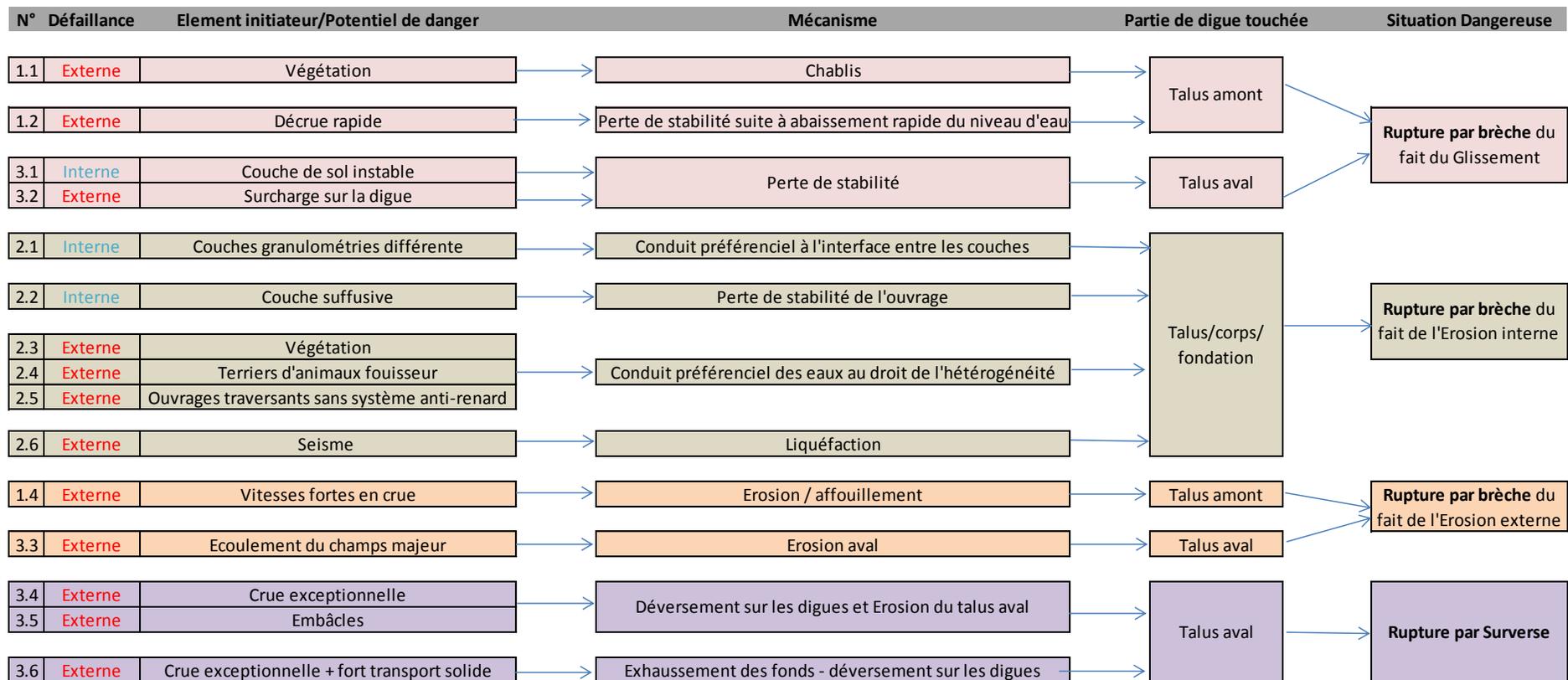


Tableau 68 : Identification des Situations dangereuses et Potentiels de dangers pouvant intervenir sur une digue de protection contre les inondations

8.1.5 Evaluation de la criticité des ERC : principe et mise en œuvre

8.1.5.1 Principe de la méthode

Chaque ERC a été évalué selon deux critères :

- La probabilité d'occurrence ;
- La gravité des conséquences en considérant la cinétique et l'intensité du phénomène.

La probabilité d'occurrence d'un ERC est celle de la situation dangereuse à l'origine de cet événement conjuguée avec celle de la condition hydrologique (débit du cours d'eau). La probabilité d'occurrence de la situation dangereuse est elle-même évaluée en fonction de celle de la ou les causes initiant cette situation.

Elle peut être diminuée du fait de la présence de barrières de sécurité mise en œuvre par le gestionnaire et considérées comme fiables et efficaces.

La gravité des conséquences est évaluée en fonction du nombre de personnes impactées par chacune des situations dangereuses qui aboutit à cet ERC.

De fait, un ERC induit par des situations dangereuses indépendantes, aura donc plusieurs cotations différentes et donc de criticité différentes.

8.1.5.2 Probabilité d'occurrence

La probabilité globale qu'un accident résultant des différents modes de défaillance identifiés, survienne est calculée de la façon suivante :

Probabilité globale de l'accident = Probabilité (événement initiateur) x Probabilité (mode de défaillance).

Avec :

- Probabilité (événement initiateur). Elle correspond à la probabilité d'occurrence de la crue déclenchant l'accident,
- Probabilité (mode de défaillance) qui peut être réduite grâce à la mise en place de barrières de sécurité.

8.1.5.2.1 Probabilité événement initiateur

La probabilité d'occurrence de l'évènement initiateur est reliée à la probabilité de la crue.

Période de retour an	Cotation en fréquence	NIVEAU
200	$5 \cdot 10^{-3}$	NIVEAU 1 : Très peu probable inférieur ou égal à $5 \cdot 10^{-3}$ /aménagement/an
100	10^{-2}	NIVEAU 2 : Peu Probable inférieur ou égal à 10^{-2} /aménagement/an (crue de projet)
10	10^{-1}	NIVEAU 3 : Possible Supérieur à 10^{-2} /aménagement/an
<10	1	NIVEAU 4 : Probable supérieur à 10^{-1} /aménagement/an

Tableau 69 : Échelle de probabilité de l'évènement initiateur

8.1.5.2.2 Probabilité mode de défaillance

La probabilité initiale de la défaillance de chaque organe identifiée dans l'arbre des causes de l'analyse de risques est établie :

- En fonction du retour d'expérience sur les digues Chambérienne.
- A dire d'expert dans le cas où aucun retour d'expérience n'est envisageable.

Cette probabilité est décrite pour chaque situation dangereuse.

8.1.5.2.3 Les barrières de sécurité

Afin de fiabiliser le fonctionnement de l'ensemble des ouvrages dont il a la charge, le maître d'ouvrage peut mettre en œuvre un certain nombre de mesures, ou barrières de sécurité, qui sont d'ordre technique ou d'ordre organisationnel.

Dans cette analyse de risques nous avons vu précédemment toute l'importance que revêtent ces barrières ou mesures de sécurité car elles permettent de décoter l'occurrence de certaines situations dangereuses dans la mesure où elles sont considérées comme efficaces et fiables. Le Niveau de Confiance (NC) accordé à ces mesures est donc un paramètre important qu'il s'agit d'évaluer en fonction de critères mesurables, et qui concerne essentiellement la fiabilité de la mesure. En effet, dans la mesure où une barrière n'est pas totalement efficace pour répondre à la situation donnée, elle ne sera pas évoquée pour décoter l'événement, ou elle le sera mais en complément d'autres barrières.

Dans les tableaux suivants, les mesures de sécurité existantes sont listées pour les endiguements. On distinguera :

- **les mesures dites « techniques »** : ce sont des composants de sécurité intégrés aux différents ouvrages, ainsi que des actions de sécurité directes sur ces ouvrages ;
- **les mesures dites « organisationnelles »** : ce sont des procédures de sécurité qui interviennent :
 - soit en prévention et maintenance (afin de vérifier l'état des ouvrages, de former les intervenants, d'organiser la gestion de crise) ;
 - soit en gestion de la crise (afin d'en réduire les effets dommageables par une organisation prédéfinie) ;
 - soit en traçabilité et retour d'expérience (afin de vérifier l'efficacité de l'organisation et de tracer les incidents et accidents en vue d'un retour d'expérience).

Parmi l'ensemble de ces mesures, celles qui ont permis de décoter le plus fréquemment la probabilité initiale des situations dangereuses sur les ouvrages sont les suivantes :

- Conception spécifique d'ouvrages principaux et d'ouvrages annexes ;
- Contrôle et surveillance des ouvrages principaux et des ouvrages annexes ;
- Plan et procédure de maintenance ;
- Au droit des points singuliers et des zones d'incidents identifiés, contrôle et surveillance spécifiques via la mise en place d'un réseau d'échelle limnimétrique et d'une procédure spécifique de surveillance en temps de crue ;
- Appel à des entreprises identifiées en cas de crise.

Le tableau suivant décrit les barrières d'ordre techniques et organisationnelles qui vont permettre de réduire la probabilité d'occurrence de situations dangereuses à l'origine des ERC.. Ce tableau est basé sur les dispositions constructives exposées dans la rubrique 3 et intègre la consigne de maintenance et de surveillance exposée dans le chapitre 4. La dernière colonne du tableau précise le niveau de confiance appliqué à la barrière de sécurité. Certaines barrières ont un indice de confiance de 1 si elles sont appliquées simultanément, ce qui est le cas de la consigne en crue et de l'appel aux entreprises pour conforter les ouvrages.

La nouvelle consigne d'exploitation des digues vient d'être mise en place. N'ayant pas de retour d'expérience sur les interventions en crue depuis l'application de cette consigne, un niveau de confiance de 1 est accordé aux dispositions décrites en supposant que le maître d'ouvrage les exécutera correctement.

Mesures de sécurité - Digue		Description	Niveau de Confiance
1. Techniques			
1.1	Conception spécifique d'ouvrages principaux et d'ouvrages annexes	Existence de système anti-renard, clé aval en pied de talus aval de l'endiguement,...	1
1.2	Accès réglementé aux endiguements	Passage des engins légers	1
2. Organisationnelles			
2.1	Surveillance en crue	- Personnes sollicitables en cas d'alerte - Organisation des astreintes - Procédure d'intervention en crue - Surveillance renforcée en cas de crue longue - contrôle de la durée du ressyuage	1
2.2	Intervention d'entreprises identifiées en crue a partir du stock de matériaux disponible	En cas d'absolue nécessité et si pas de risque pour le personnel intervenant. - Présence d'un stock de matériaux - Appel à entreprise en cas de crue	
2.3	Conduite à tenir en cas d'incident sur un ouvrage		0
2.4	Contrôle et surveillance des ouvrages principaux et des ouvrages annexes hors crue	- observations visuelles - diagnostics - mesures - Visites Techniques Approfondies - surveillance spécifique des zones d'incidents sur les endiguements - surveillance du fond du lit	1
2.5	Maintenance des ouvrages principaux et des ouvrages annexes hors crue	- Entretien végétation - Entretien du fond du lit - Plan et procédure de maintenance	1
2.6	Surveillance et maintenance spécifiques des ouvrages traversants hors crue	Vérification des dispositions prises par les concessionnaires des réseaux. Validation par un bureau d'étude agréé digue.	1
2.7	Vérification des travaux de tiers sur les endiguements	Pour s'assurer que les travaux ne toucheront pas à la sureté des endiguements Contrôle de comptabilité entre la stabilité de l'ouvrage et la surcharge prévue réalisé en interne avant la délivrance d'autorisation de tous travaux sur les endiguements	1

Tableau 70 : Barrières de sécurité et niveau de confiance

8.1.5.2.4 Probabilité globale

Le retour d'expérience effectué sur les brèches dans la Rubrique 7, fait état de 76 brèches sur environ 300 ans. Au droit du secteur d'étude, le nombre de brèche estimé est de 42 répertoriées sur 30 crues parmi les 89 crues recensées. Les brèches observées peuvent être liées aux phénomènes d'érosion interne, surverse, glissement ou érosion externe. La répartition issue du retour d'expérience historique est la suivante :

- 76% par érosion interne et glissement. Le risque de rupture par glissement étant généralement moins fréquent d'après un retour d'expérience international, on retiendra les pourcentages suivants :
 - 50% pour l'érosion interne ;
 - 26% pour le glissement.
- 12% par surverse. A noter que ce risque est lié à la probabilité de la crue ;
- 12% par érosion externe. Il s'agit d'un phénomène entraînant moins rapidement la rupture d'un ouvrage.

Ainsi la probabilité moyenne d'une rupture sur les endiguements de la Leysse en cas de crue serait, par type de cause :

- Erosion interne de $42 \cdot 0.5 / 89$ soit 0.23 supérieure à 0.1 donc une probabilité de 1 ;
- Glissement de $0.26 \cdot 42 / 89$ soit 0.13 arrondi à 10^{-1} ;
- Surverse de $0.12 \cdot 42 / 89$ soit 0.056 arrondi à 10^{-1} ;
- Erosion Externe de $12 \cdot 42 / 89$ soit 0.056 arrondi à 10^{-1} .

Le dimensionnement du projet, basé sur la crue Q100, a montré que les aménagements peuvent théoriquement résister à une crue Q200 en tenant compte d'un certain nombre de barrières de sécurité.

Sans maintenance spécifique et sans surveillance, pour les ouvrages en place dans leur état initial, le retour d'expérience de la rubrique 7 a mis en évidence que le risque de rupture d'un ouvrage était fort. Nous retiendrons un risque de rupture supérieur à 1 fois tous les 10 ans soit une probabilité $P=1$. Cette probabilité est cohérente vis-à-vis du retour d'expérience sur les ruptures des digues Chambériennes à savoir 76 ruptures sur 210 ans soit une rupture tous les 3 ans en moyenne.

Sans maintenance spécifique et sans surveillance, pour des ouvrages bien dimensionnés comme ceux envisagés dans le cadre du projet Leyesse-Hyères, il peut être pris comme hypothèse que le risque est plus faible car les ouvrages ont des dispositions constructives spécifiques. Nous retiendrons un risque de rupture tous les 10 ans soit une probabilité de l'ordre de 10^{-1} .

La mise en place de mesures de maintenance et surveillance des ouvrages permettent de décoter la probabilité de 10^{-1} . En effet, les barrières de sécurité 2.5 et 2.6 du paragraphe précédent ont une fiabilité de 1.

La mise en place de mesures d'une surveillance renforcée en crue avec d'éventuelles actions sur les secteurs endommagés permettent de maintenir les caractéristiques de stabilité des ouvrages à leur état projet. En effet, ces mesures allient les barrières de sécurité 2.1 et 2.2 du paragraphe précédent, barrières qui ont, lorsqu'elles sont combinées, une fiabilité de 1.

Le tableau suivant synthétise les décotes potentielles sur les digues dans leur état initial et dans le cas d'une reconstruction ou d'un confortement.

	Digues Projet	Digues en état initial
Digue sans entretien ni maintenance	10^{-1}	1
Décote pour suivi et surveillance réguliers et maintenance et entretien courants	10^{-1}	10^{-1}
Décote pour surveillance renforcée – Etudes particulières – Diagnostic Dans le cas où $NC=1$	0.5	-
Probabilité résultante	$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-1}

Tableau 71 : Probabilité d'occurrence d'un évènement

8.1.5.3 Gravité des conséquences

La gravité des conséquences est qualifiée au regard :

- de l'importance des enjeux (populations, installations industrielles) tels que décrits par les cartes élaborées dans le § 3.3 « Description de l'environnement de l'ouvrage ».

- de la cinétique du phénomène en s'appuyant sur les résultats des modélisations, en dissociant :
 - les phénomènes lents définis suivant deux possibilités :
 - la zone est inondée par l'aval, engendrant des vitesses d'écoulement faibles dans la zone protégée,
 - le temps de propagation de l'onde entre le début de la brèche et l'atteinte des premières habitations est suffisamment long, 30 min, pour permettre l'évacuation des personnes ;
 - les phénomènes rapides liés à une rupture de l'endiguement par l'amont et avec des temps de propagations inférieurs à 30 min.
- de l'intensité du phénomène. Sont distingués les intensités faibles et fortes suivants les critères suivants:
 - L'intensité de la rupture est forte si la hauteur de submersion est supérieure à 1m ;
 - L'intensité de la rupture est faible si la hauteur de submersion est inférieure à 1m.

Nous proposons de reprendre la grille d'évaluation du guide de lecture annexé la circulaire du 8 juillet 2008, en distinguant les personnes exposées en zone cinétique rapide de celles situées en zone à cinétique lente (disposant de plus de temps pour se mettre à l'abri).

Classes de gravité des conséquences (par ordre décroissant)	Nombre de personnes exposées en zone à cinétique rapide	Nombre de personnes exposées en zone à cinétique lente
5. désastreux	≥ 1000	≥ 10000
4. catastrophique	≥ 100 et < 1000	≥ 1000 et < 10000
3. important	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1000
2. sérieux	≥ 1 et < 10	≥ 10 et < 100
1. modéré		≥ 1 et < 10

Tableau 72 : Échelle de gravité

8.1.5.4 Criticité des accidents potentiels

Chaque accident potentiel est quantifié par un couple «gravité - probabilité » (appelé aussi criticité) permettant d'identifier la zone de risque à laquelle il appartient parmi les trois zones suivantes :

- **la zone du risque acceptable** pour laquelle l'ouvrage est réputé sûr compte-tenu de la nature des dangers, des conséquences potentielles et, le cas échéant, des mesures nominales existantes (procédures d'exploitation, de maintenance, de surveillance...). Celles-ci ayant démontrées leur efficacité, aucune mesure supplémentaire de réduction du risque n'est donc nécessaire.
- **la zone du risque intermédiaire** pour laquelle les situations localisées dans cette zone font l'objet de mesures exceptionnelles, ciblées, telle qu'une surveillance renforcée,.... Les actions à mener par le responsable de l'ouvrage s'inscrivent sur le principe ALARP (« As Low As Reasonably Possible »), c'est-à-dire aboutir à un niveau de risque aussi bas qu'il est raisonnablement possible.
- **la zone du risque inacceptable** pour laquelle l'exploitant doit proposer des mesures de réduction du risque, lesquelles, une fois mises en œuvre, réduiront de manière conséquente soit la probabilité d'occurrence de l'accident, soit son niveau de gravité, voire les deux.

Le tableau suivant présente la grille de criticité proposée pour les digues Chambérienne. Cette grille est basée sur un objectif de protection à la crue centennale et intègre les risques jusqu'à la crue de période de retour 200 ans (5.10^{-3}). Le niveau de Q200 correspond au niveau de dangers sur les endiguements en état projet. Cette grille pourra être rediscutée lors de la révision de l'EDD.

Criticité	Probabilité d'occurrence du scénario			
	Très peu probable (inférieur à 5.10-3)	Peu probable (entre 0.01 et 5.10-3 exclus)	Possible (entre 0.1 et 0.01 exclus)	Probable (supérieure à 0.1)
Probabilité limite	5.10-3	10-2	10-1	1
5				
4				
3				
2				
1				

Tableau 73 : Grille de criticité proposée

8.2 Présentation des résultats issus de l'analyse des risques

8.2.1 Types de situations dangereuses pouvant survenir sur les digues

Le mode de défaillance des ouvrages ou perte de la fonction principale FP1 est :

- Rupture de l'endiguement entraînant la libération de l'eau dans la plaine.

8.2.2 Cas des systèmes des digues de protection de Chambéry

L'arbre des causes du paragraphe 8.2.2 a été utilisé pour identifier les causes potentielles organiques des différentes situations dangereuses.

La probabilité initiale de chaque cause a été ensuite évaluée et justifiée.

Il ressort de cette analyse 2 accidents potentiels (ERC) auxquelles sont associés 7 situations dangereuses. L'ensemble de l'analyse des risques est présentée dans l'Annexe 8.

A ces deux ERC, un ERC, passage de la crue supérieure à la crue de danger est testé suite aux recommandations de la DREAL dans le courrier du 13 avril 2016.

N°	PK	Organes / Éléments importants pour la sécurité	Situation dangereuse	Cause potentielle	Débit du cours d'eau / État hydraulique	Accident potentiel	Probabilité initiale Hors mesures de sécurité
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
1.2	Tous			Abaissement rapide du plan d'eau	Décrue	Sans effet : Décrue relativement lente	-
1.3	SE2.2 aval : Rond Point Villarcher et Villarcher			Talus Raides et couches de sol instables	Entre Q10 et Q100	Rupture de la digue par brèche	10-1
			Érosion externe - Rupture de l'ouvrage suite à un glissement/affouillement du talus amont				
1.4	SE2.2 aval : Rond Point Villarcher et Jean Lain			Ganulométrie de la protection amont pas suffisante jusqu'à Q100	entre Q10 et Q100	Rupture de la digue par brèche	10-1
			Affouillement				
1.5	SE2.2 aval : Rond Point Villarcher et Jean Lain			Mouvement du fond du lit	entre Q10 et Q100	Rupture par brèche du fait de l'affouillement du pied de talus entraînant la digue	10-1
1.6	PKL7.56 PKL8.95			Rupture d'un seuil transversal	En crue	sans objet - Phénomène pas à l'échelle d'une crue si pas de répétition de crue	

Tableau 74 : Situations dangereuses sur les endiguements 1/3

N°	PK	Organes / Éléments importants pour la sécurité	Situation dangereuse	Cause potentielle	Débit du cours d'eau / État hydraulique	Accident potentiel	Probabilité initiale Hors mesures de sécurité
2		Corps de digue					
			Rupture par érosion interne				
2.1/2.2	SE2.2 aval : Rond Point Villarcher, Villarcher et Jean Lain			Formation de renards (phénomène lent lié à une anomalie type suffusion ou érosion de contact)	entre Q10 et Q100	Rupture de la digue par brèche	10-1
			Rupture par érosion interne suite à une agression externe				
2.3	SE2.2 aval : Rond Point Villarcher, Villarcher et Jean Lain			Formation d'un conduit préférentiel des eaux par les racines	entre Q10 et Q100	Rupture de la digue par brèche	10-1
2.4				Formation d'un conduit préférentiel des eaux du fait de la présence de terriers	En crue	Sans objet : Pas de terriers observés lors des VTA	-
2.5	SE2.2: PKL4.2 et 4.1			Fuite ou rupture d'une canalisation traversant le corps de la digue	entre Q10 et Q100	Rupture de la digue par brèche	10-1
			Rupture suite à un séisme - liquéfaction				
2.6				Séisme	Tous les débits	INONDATION par rupture potentielle des digues	

Tableau 75 : Situations dangereuses sur les endiguements 2/3

N°	PK	Organes / Éléments importants pour la sécurité	Situation dangereuse	Cause potentielle	Débit du cours d'eau / État hydraulique	Accident potentiel	Probabilité initiale Hors mesures de sécurité
3		Talus aval					
			Rupture par charge hydraulique excessive				
3.1	SE 2.2 aval : Rond Point Villarcher et Villarcher			Perméabilité forte + Faible stabilité des matériaux	Q100	Rupture de la digue par brèche	10-2
			Rupture par surcharge physique sur piste risberme				
3.2				Surcharge physique	Tous les débits	Sans objet : accès réglementé	-
			Rupture par érosion externe				
3.3				Écoulement qui longe le talus aval de la digue du fait d'une inondation amont	Q10 à Q100	Sans effet : Vitesses en aval faibles	-
			Rupture par surverse				
3.4	SE 2.2 aval : amont du Pont Tremblay (PKL3.8 et PKL3.5)			Surverse liée à une crue	Q10 à Q100	Rupture de la digue par surverse	10-1
3.5	Pont SNCF			Risque d'embarquement d'un pont	Crue > Q100	Sans effet : Tablier de la passerelle de 0.6 m et grille laissant passer l'écoulement des eaux	-
3.6				Surverse liée à une crue + fort transport solide	Crue	Sans effet : Les apports de matériaux en amont sont faibles. Les risques d'atterrissements en crue aussi	-
3.7				Surverse liée à une crue + désordre sur l'ouvrage d'alimentation du bras de décharge	Q30	Rupture de la digue par surverse	10-3

Tableau 76 : Situations dangereuses sur les endiguements 3/3

Pour rappel, une probabilité de 5.10^{-3} correspond à une période de retour de 200 ans. Ainsi, si la probabilité d'un évènement est inférieure à 5.10^{-3} ($<5.10^{-3}$), sa période de retour est supérieure à 200 ans.

La justification des probabilités retenue est explicitée ci-dessous pour chaque mécanisme de rupture :

Glissement talus amont

Les calculs de stabilité ont montré que les secteurs du SE2.2 aval sont instables en cas de crue de première mise en charge (Q10). Il y a donc risque de brèche. Les deux secteurs identifiés comme sensibles sont Villarcher et Rond-Point de Villarcher.

Chablis : La végétation est très dense sur l'ensemble des talus amont de la Leysse. Les largeurs de digue sont globalement relativement faibles (rapport B/H < 8 voire 6). La probabilité initiale est donc de 10^{-1} . Les arbres penchés dans le sens de l'écoulement ont fait l'objet d'un entretien par l'équipe de Chambéry Métropole ce qui réduit grandement le risque de rupture lié à ce phénomène.

Sans objet :

- Glissement talus amont : Un glissement peut se produire en cas de décrue très rapide. Les digues étant relativement lente par rapport à la désaturation des terres, le risque est faible et peut être écarté.

Erosion externe

Sur le secteur SE 2.2 aval, le calcul de la formule d'Isbach a révélé que, la taille des matériaux disponibles sur les talus amont et l'état de dégradation des protections, ne semblaient pas suffisants pour résister à des vitesses de 3.5 m/s en bordure du lit de la rivière. Ces vitesses apparaissent pour des débits supérieurs à Q10, la probabilité d'occurrence de l'évènement est donc de 10^{-1} .

Sur les autres tronçons, SE2.1, SE 2.3 et du SE 2.2 amont, les protections semblent suffisamment bien dimensionnées par rapport aux vitesses calculées pour éviter le risque de rupture de l'endiguement. Dans ce cas, les dispositions constructives permettent d'augmenter la probabilité initiale à 10^{-2} .

Sans objet :

- Erosion externe du talus aval : les vitesses en pied de talus aval du fait d'une inondation amont, aval ou dû à un débordement d'un affluent, sont très faibles (inférieur à 0.5 m/s) de par les différents obstacles présents en champs majeur. Le risque n'est donc pas étudié.

Affouillement

Sur le système SE 2.2 aval, aucun dispositif de protection en pied n'est présent ou, lorsqu'il est présent, son état de dégradation est avancé. Ces ouvrages sont donc sensibles au risque d'affouillement. Il est pris comme hypothèse que la probabilité de rupture par affouillement est identique à celle de l'érosion externe à savoir 10^{-1} .

Sur ces autres tronçons, SE2.1, SE 2.3 et du SE 2.2 amont, les protections semblent suffisamment bien dimensionnées par rapport aux vitesses calculées pour éviter le risque de rupture de l'endiguement par affouillement. Dans ce cas, les dispositions constructives permettent d'augmenter la probabilité initiale à 10^{-2} .

Sans objet :

- Deux seuils sont présents sur le linéaire. Les seuils étant de faible hauteur le risque d'abaissement du plan d'eau suite à l'emportement du seuil est limité. A l'échelle d'une crue, le risque d'érosion régressive est faible. Si une deuxième crue venait à se produire avant réparation des seuils, le risque deviendrait non négligeable.

Erosion interne

Source extérieure

Conduites traversantes

Les conduites présentes sur des endiguements anciens (SE2.2 aval), n'ont a priori pas été enfouies avec des dispositions constructives particulières type anti-renard. La probabilité d'une rupture est estimée à 1 (probabilité de rupture par érosion inerte issue de l'accidentologie).

Dans le cas d'endigüements plus récents (SE2.3, SE 2.1 et SE2.2 amont), les dispositions constructives ont été mises en place, ce qui permet de décoter la probabilité à 10^{-1} .

Ces conduites sont en charge pour des crues entre Q10 et Q100, ce qui conduit à une probabilité de 10^{-2} pour les endigüements récents et 10^{-1} pour les endigüements plus anciens.

Erosion de conduit

Vis-à-vis du risque d'érosion de conduit, les secteurs les plus touchés sont ceux avec présence de végétations sur les parements amont et aval, à savoir SE 2.2 aval. La probabilité d'occurrence de l'évènement initial de 1 (probabilité de rupture par érosion inerme issue de l'accidentologie), associé à une crue de début de mise en charge entre Q10 et Q100 donne une probabilité résultante de 10^{-1} .

Les autres secteurs, SE 2.3, SE 2.1 et SE2.2 amont ne présentent pas de risque vis-à-vis de ces phénomènes sachant que la végétation et les espèces ligneuses sont entretenues.

Conditions internes

Les différents critères testés (suffusion et érosion de contact), ont révélé que le tronçon SE2.2 aval présentait un risque de rupture vis-à-vis de l'érosion interne. La probabilité d'occurrence de la rupture est de 1 (probabilité de rupture par érosion inerme issue de l'accidentologie), associé à une crue de début de mise en charge entre Q10 et Q100 donne une probabilité résultante de 10^{-1} .

Les autres secteurs SE 2.3, SE 2.1 et SE2.2 amont ne présentent pas de risque vis-à-vis de ces phénomènes.

Sans objet :

- Aucun terrier d'animal fouisseur n'a été recensé. Le risque est donc faible

Glissement talus aval

La raideur des talus rend une partie du SE2.2 aval sensible au glissement. La probabilité de rupture est au-dessus de Q100 soit une probabilité initiale de 10^{-2} .

Sans objet :

- Aucun risque d'instabilité n'est identifié vis-à-vis de la surcharge sur la digue dans la mesure où les pistes ne sont pas carrossables ou leur accès est réglementé.

Surverse

Crue supérieure au débit de danger de l'ouvrage :

Les digues de l'endigüement SE2 ne sont pas résistantes à la surverse. Le niveau de protection est variable suivant les endigüements. Nous retiendrons que celui du SE2.2 amont est autour de Q50 soit une probabilité de 10^{-1} .

Disfonctionnement de l'ouvrage d'alimentation du bras de décharge :

Le scénario de disfonctionnement du bras de décharge apparait pour une crue supérieure à Q30, début de fonctionnement de l'ouvrage, soit une occurrence de 10^{-1} . Etant donné les différentes solutions de secours permettant l'ouverture des vannes de l'ouvrage, la probabilité d'un disfonctionnement est peu probable soit 10^{-2} .

La probabilité globale de l'évènement est donc de 10^{-3} .

Sans objet :

- Surverse des écoulements au droit d'un pont obstrué par des embâcles : le pont le plus limitant sur la zone d'étude est la passerelle SNCF. Le risque d'embâcle sur l'ouvrage est limité pour les raisons suivantes
 - Le tablier de la passerelle est de 60 cm.
 - Au-dessus du tablier, les barrières sont assez minces et laissent passer l'écoulement ainsi que les bois potentiels.
- Surverse par exhaussement des fonds du lit : la Leysse a plutôt tendance à s'inciser. L'exhaussement maximum par charriage est estimé à 20 cm d'après les études Hydrolac (rubrique 6). Le charriage ne s'opérant pas nécessairement à la pointe de la crue, le risque d'exhaussement du lit et donc de surverse est très faible. Le suivi topographique réalisé par le gestionnaire permet de limiter fortement le risque.

8.2.3 Accidents potentiels rencontrés sur l'ouvrage

Les situations dangereuses étant établies, les risques qu'elles peuvent occasionner sur l'environnement a ensuite été évalué en fonction :

- de l'occurrence des débits ou des phénomènes climatiques à l'origine de la transformation de cette situation dangereuse en un Événement Redouté Central avec la libération de tout ou partie de l'eau du cours d'eau;
- de l'importance de la population touchée et donc de la gravité de l'événement.

L'analyse fait ressortir 3 accidents potentiels :

- **Rupture par brèche** pour les crues inférieures au débit de débordement de l'ouvrage ou voisin du débit de débordement.

Cet accident étant lié aux phénomènes suivants :

- Erosion interne ;
- Erosion externe ;
- Glissement.

Les localisations de ce type d'accident sont :

- SE 2.2 aval : PKL6.12 Secteur Jean Lain en aval de l'A43 ;
- SE 2.2 aval : PKL5.05 Secteur du Rond-Point de Villarcher.

Les ruptures vont engendrer l'inondation de la plaine des Landiers et du secteur de Villarcher.

- **Rupture par surverse** pour des crues supérieures au débit de danger des ouvrages :

Les localisations de ce type d'accident sont résumées dans le tableau suivant :

Localisation débordement	Rive	Profil STTP	PK	Tronçon de rivière	SE
Amont Pont Tremblay	D	-	L3.9	Leysse aval	2.2

Tableau 77 : Localisation des brèches

La rupture de l'endiguement SE 2.2 engendre l'inondation de la plaine des Landiers aval et du secteur de Villarcher ainsi que l'aérodrome.

- **Rupture pour une crue supérieure à la crue de danger.**

8.3 Bilan de l'analyse des risques

Sur la base des situations dangereuses et des accidents potentiels identifiés au titre de l'APR, l'analyse des risques associés aux endiguements été ensuite réalisée à l'aide de la méthode en nœud papillon.

Cette analyse fait apparaître deux « Événements Redoutés Centraux » :

- E.R.C. 1 : Rupture par surverse ;
- E.R.C. 2 : Rupture par brèche ;
- E.R.C. 3 : Rupture pour une crue supérieure à la crue de danger.

Ces ERC sont schématisés par les nœuds papillons qui regroupent les différentes situations à risques présentées précédemment.

8.4 Scénarios d'accidents retenus

L'analyse des risques permet d'identifier les scénarios susceptibles d'être, directement ou par effet domino, à l'origine d'une libération non maîtrisée des eaux (rupture de la digue).

Conformément à la rubrique 8 de l'arrêté de 2014 [DA9], l'ensemble des scénarios critiques et les scénarios de rupture des ouvrages font l'objet d'une étude de propagation de l'onde de submersion **reportée en rubrique 10**.

L'estimation de la population impactée par l'onde de rupture de chaque événement redouté central pourra être étudiée lors de la réactualisation de l'EDD.

8.4.1 ERC 1 : Rupture par brèche

8.4.1.1 Description

Cet événement redouté central correspond à une rupture des endiguements pour une cote de la ligne d'eau inférieure à la crête de l'endiguement ou équivalente. Les événements initiateurs suivants ont été relevés et sont résumés dans le tableau suivant :

Evènements initiateurs ou causes potentielles	Situation dangereuse	SE	Localisation
Vitesses fortes et talus non protégés	Erosion externe	2.2 aval	Rond-Point Villarcher et Jean Lain
Vitesses fortes et pied de talus non protégé	Affouillement	2.2 aval	Rond-Point Villarcher et Jean Lain
Formation d'un conduit préférentiel des eaux par les Racines	Erosion interne	2.2 aval	Endiguement hormis Tremblay
Formation d'un conduit préférentiel des eaux par rupture d'une conduite	Erosion interne	2.2 aval	4.2 et 4.1
Formation de renard hydraulique par érosion interne	Erosion interne	2.2 aval	Endiguement hormis Tremblay
Surcharge hydraulique excessive	Glissement	2.2 aval	Villarcher et Rond-point Villarcher
Talus Raides et non protégés	Glissement	2.2 aval	Villarcher et Rond-point Villarcher

Tableau 78 : Elément initiateur et Situations dangereuses sur les endiguements ERC1 – Rupture par brèche.

8.4.1.2 Simulations

Au vue des critères hydrauliques de maximiser les conséquences, les brèches seront localisées :

- Sur le SE 2.2 aval au droit du PKL6.12 ;
- Sur le SE 2.2 aval au droit du PKL5.05 ;

Pour les brèches sur le SE 2.2, la crue étudiée est la crue Q30 (équivalente à une crue de type 1990). Pour la crue Q30, les débordements sur l'Hyères débutent tout juste avec des hauteurs d'eau très

faible. Par conséquent, les ruptures associées ne sont pas représentées. Au final, 2 ruptures par brèche sont simulées à la pointe de la crue.

8.4.1.3 Analyse des résultats

La description de l'onde de rupture est présentée dans la Rubrique 10.

Sous-Endiguement SE2.2 aval – Jean Lain – PK6.12

L'évènement initial est de probabilité 10^{-1} sachant qu'il apparait pour une crue de période de retour Q30. En effet, il est pris comme hypothèse que la rupture peut se produire pour des évènements identiques à la crue de 1990, crue ayant provoquée une rupture au droit de l'actuel bras de décharge.

Les barrières de sécurités permettant de décoter l'évènement à 10^{-2} sont la surveillance en crue et l'intervention d'une entreprise de Travaux Public sachant qu'un stock de matériaux est à disposition.

La gravité de la rupture de la digue au PKL6.12 est de **niveau 5**. Le nombre de personnes exposées directement à l'onde de rupture de la digue concerne la plaine des Landiers et la route nationale 201, ce qui représente plus de **1 000 personnes**. L'onde de rupture est un phénomène de **cinétique rapide et d'intensité faible** (cf. 10.2) sachant qu'aucun débordement n'est observé sur cette rive avant la rupture, et, que le temps de propagation entre la brèche et les premiers ERP touchés est inférieur à 30 minutes. L'onde de rupture se propage dans la plaine avec des hauteurs inférieures à 1 m.

Une gravité de 5 combinée à une probabilité de 10^{-2} indique un Evènement Redouté Central de **criticité inacceptable**.

Sous-Endiguement SE2.2 aval – Rond-Point Villarcher – PK5.05

L'évènement initial est de probabilité 10^{-1} sachant qu'il apparait pour une crue de période de retour Q30. En effet, tout comme le secteur de Jean Lain, il est pris comme hypothèse que la rupture peut se produire pour des évènements identiques à la crue de 1990, crue ayant provoquée une rupture au droit de l'actuel bras de décharge.

Les barrières de sécurités permettant de décoter l'évènement à 10^{-2} sont la surveillance en crue et l'intervention d'une entreprise de Travaux Public sachant qu'un stock de matériaux est à disposition.

La gravité de la rupture de la digue au PKL6.12 est de **niveau 5**. Le nombre de personnes exposées directement à l'onde de rupture de la digue concerne la plaine des Landiers et la route nationale 201, ce qui représente plus de **1 000 personnes**. L'onde de rupture est un phénomène de **cinétique rapide et d'intensité faible** (cf. 10.3) sachant qu'aucun débordement n'est observé sur cette rive avant la rupture, et, que le temps de propagation entre la brèche et les premiers EPR est inférieur à 30 minutes. L'onde de rupture se propage dans la plaine avec des hauteurs inférieures à 1 m.

Une gravité de 5 combinée à une probabilité de 10^{-2} indique un Evènement Redouté Central de **criticité inacceptable**.

La figure suivante présente sous forme d'analyse en nœud papillon les différents ERC.

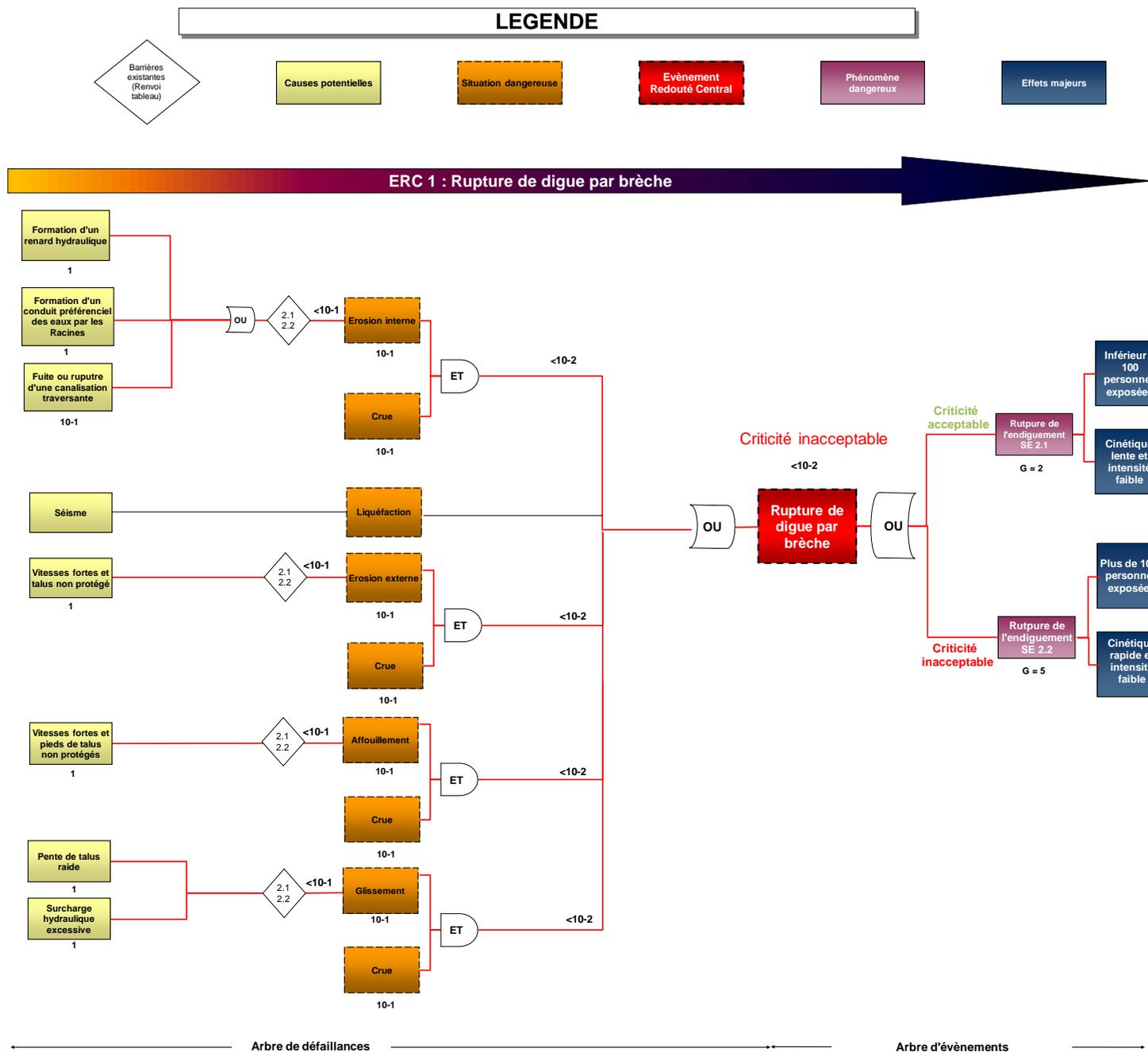


Figure 104 : Schématisation du scénario d'accident lié à la rupture par brèche

8.4.2 ERC 2 : Rupture par surverse

8.4.2.1 Description

Cet évènement redouté central correspond à une rupture des endiguements lorsque la cote de la ligne d'eau dépasse la crête de l'endiguement sachant que l'endiguement n'est pas résistant à la surverse.

Les événements initiateurs relevés sont résumés dans le tableau suivant :

Evènements initiateurs ou causes potentielles	Situation dangereuse	SE	Localisation
Crue supérieure à la crue de danger	Surverse	2.2 aval	PKL3.9 (Aval pont Tremblay)

Tableau 79 : Elément initiateur et Situations dangereuses sur les endiguements ERC2 – Rupture par surverse.

A noter que la rupture au PKL3.9 réduit les niveaux dans la Leysse, ce qui évite la rupture au PKL3.5.

8.4.2.2 Simulations

Les brèches sont effectuées au droit des points bas des digues du sous-endiguement SE2.2 aval, à savoir au PKL3.9 situés au niveau du pont Tremblay.

Les situations dangereuses identifiées peuvent se produire pour des crues comprises entre Q10 et Q100. La crue étudiée est la crue Q99, sachant que les débordements interviennent pour Q50. D'autres débordements surviennent sur les autres endiguements, pour des débits supérieurs ou égaux à Q50 (mais inférieurs à Q100). Les brèches liées à ces surverses sont également simulées. Il s'agit :

- De l'Hyères en rive gauche au P177 (PKH0.7 appelée H1) et P184 (PKH0.45 appelée H2) sur le secteur SE4.2 ;
- De la Leysse aval en rive gauche en amont du pont du Tremblay sur le SE 5 (PKL4.1 appelée L2).

Au final, 4 brèches par surverse sont simulées au temps de début de surverse.

8.4.2.3 Analyse des résultats

La description de l'onde de submersion est présentée dans la Rubrique 10.

Sous-Endiguement SE2.2 aval

Aucune mesure de sécurité n'est prise en compte étant donné le caractère de surverse qui ne peut être traité par une surveillance et une intervention en crue d'une entreprise de Travaux Publics.

La gravité de la rupture de la digue au PKL3.9 rive droite est de **niveau 5**. Le nombre de personnes exposées directement à l'onde de rupture de la digue concerne l'aval de la plaine des Landiers et la route nationale 201, ce qui représente **plus de 1 000 personnes**. L'onde de rupture est un phénomène de **cinétique rapide et d'intensité faible** (cf. §10.4). L'onde de submersion se propage dans la plaine avec des hauteurs de submersion inférieures à 1 m.

Une gravité de 5 combinée à une probabilité de 10^{-1} indique un Evènement Redouté Central de **criticité inacceptable**.

ERC 2 : Rupture de digue par surverse

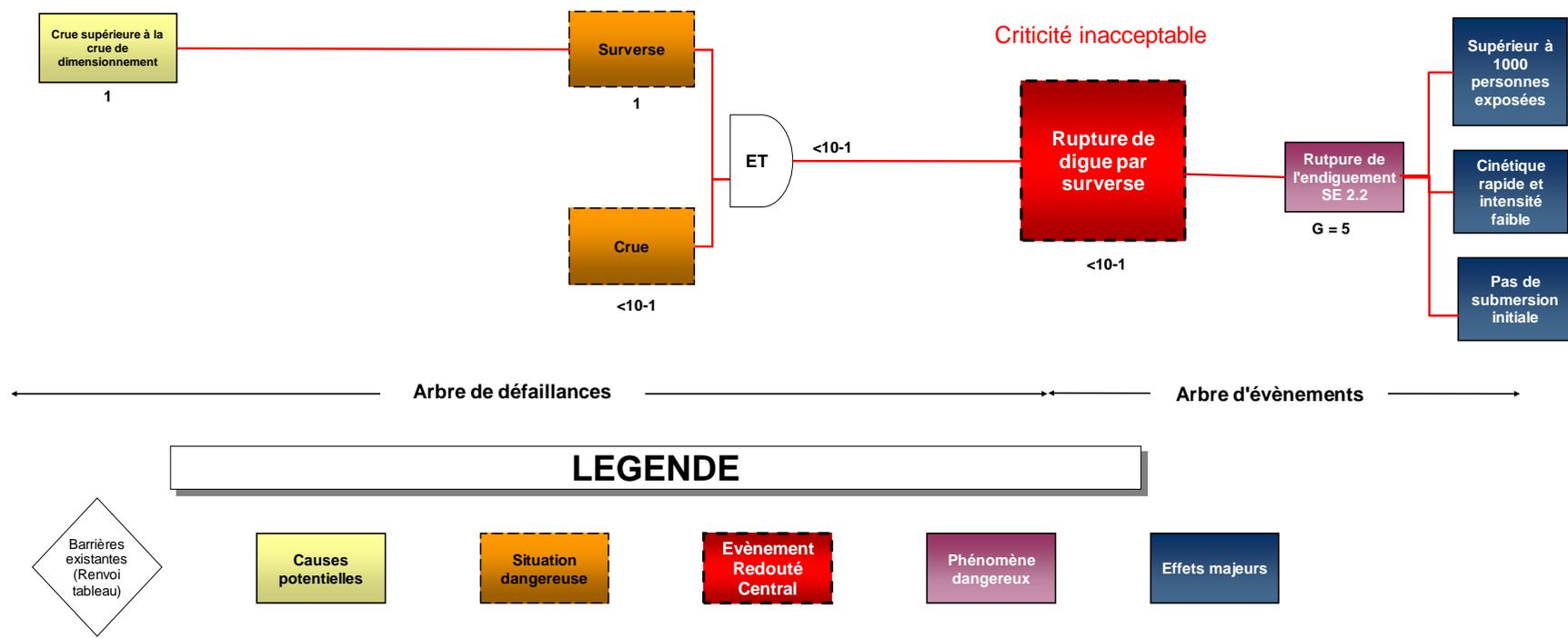


Figure 105 : Schématisation du scénario de rupture par surverse

8.4.3 ERC 3 : Rupture pour une crue supérieure à la crue de danger

Le scénario de rupture pour une crue supérieure à la crue de danger doit être étudié dans le cadre des études de danger. Pour le système SE2, la période de retour de la crue de danger est variable suivant les tronçons. La crue de danger la plus faible sur l'ensemble des endiguements est la crue Q30 sur le SE 2.2 aval. La surverse apparaît à Q60 toujours sur le SE2.2 aval. Le scénario ERC2, rupture par surverse, réalisé pour une crue d'occurrence Q99, correspond donc au cas de rupture pour une crue supérieur à la crue de danger sur l'endiguement SE2.

8.4.4 Criticité des scénarios de rupture

Le tableau suivant synthétise la criticité des ERC testés :

Criticité	Probabilité d'occurrence du scénario			
	Très peu probable (inférieur à 5.10 ⁻³)	Peu probable (entre 0.01 et 5.10 ⁻³ exclus)	Possible (entre 0.1 et 0.01 exclus)	Probable (supérieure à 0.1)
Probabilité limite	5.10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1
5		ERC breche SE 2.2 aval Jean Lain ERC breche SE 2.2 aval Villarcher	ERC surverse SE 2.2 aval	
4				
3				
2				
1				

Tableau 80 : Criticité des scénarios

9 ETUDE DE REDUCTION DES RISQUES

L'analyse des risques a permis d'identifier que deux ERC testés – rupture de digue par brèche (à deux endroits différents) et rupture de digue par surverse - sont de criticité inacceptable sur le secteur SE2.2 aval.

Sur les autres secteurs, SE2.1, SE2.2 amont et SE2.3, les ERC testés sont acceptables dans la mesure où des dispositions constructives ont été appliquées, que Chambéry Métropole assure la maintenance et la surveillance en crue et hors crue.

Le chapitre suivant présente certaines mesures de réduction des risques ou barrières de sécurité afin d'améliorer la criticité des scénarios de criticités inacceptables. Elles sont d'ordres techniques et organisationnelles :

1. Application de la nouvelle consigne de surveillance.
2. Confortement des ouvrages existants ;
3. Uniformisation des niveaux de protection et de danger.

9.1 Respect des barrières de sécurités identifiées

La probabilité d'apparition des scénarios de dysfonctionnement des digues a été décoté du fait de l'existence et de la mise en œuvre par Chambéry Métropole de barrières de sécurité.

Il s'agit en particulier, des barrières de sécurité suivantes :

- La surveillance en crue associée à l'intervention des entreprises ;
- La surveillance et le contrôle des ouvrages principaux hors crue et en particulier :
 - La surveillance de l'engravement du lit de la Leysse,
 - La surveillance de l'évolution des bèches sous-eaux.
- La maintenance des ouvrages principaux et des ouvrages annexes hors crue et notamment :
 - L'entretien de la végétation.
- La surveillance et la maintenance spécifiques des ouvrages traversants et notamment :
 - La vérification des travaux entrepris par les tiers en cas de désordres suite à une crue,
 - La remise en état rapide de seuils 2 en cas d'affouillement ou de destruction provoqué par une crue.
- Le maintien des dispositions constructives et notamment :
 - Observation du comportement des ouvrages neufs suites aux crues ;
 - Entretien de la végétation.

Il n'y a pas lieu de proposer d'autres mesures de réductions des risques sur ces tronçons dans la mesure où ces barrières sont bien appliquées par Chambéry Métropole.

9.2 Confortement des ouvrages existants

Sur le secteur SE2.2 aval, l'ERC brèche a été classé comme inacceptable. Un confortement ou une reconstruction des ouvrages est donc nécessaire pour atteindre un niveau de protection cohérent vis-à-vis des autres endiguements du système.

Les défaillances observées sur les digues concernaient principalement :

- Les risques d'érosion interne liés à une mauvaise composition du corps de digue, une végétation dense avec un système racinaire fourni et de nombreux réseaux situés dans le corps de l'endiguement ;
- Les risques d'érosion externe et affouillement dus aux fortes vitesses du cours d'eau qui entraînent les matériaux du parement amont ne possédant pas de protections hydrauliques.
- Les risques de glissement sur les parements de digue très raide ne permettant pas d'assurer une stabilité mécanique suffisante en crue.

Afin de répondre à ces problématiques, un avant-projet est en cours d'élaboration. Il permettra de préciser les solutions choisies et de proposer une estimation des solutions envisagées.

Les ouvrages envisagés dans l'avant-projet seront étanchés pour permettre un bon rabattement de la nappe en crue de projet. La compaction des couches de sol sera adaptée de manière à éviter les chemins hydrauliques préférentiels pouvant être à l'origine de l'érosion interne. Une attention particulière sera apportée au contrôle de la granulométrie des matériaux du corps de digue en fonction des sols de fondation rencontrés, l'objectif étant de limiter au maximum les risques d'érosion à l'interface entre les couches de sol et au sein d'une même couche de sol.

Les diagnostics visuels ont mis en évidence que les talus des digues présentaient des pentes très raides, entre 3/2 et 1/1 voire subverticales. L'objectif général est donc d'améliorer la stabilité de ces talus en optimisant leur dimension et leur pente, en accord avec les caractéristiques mécaniques des sols, afin d'éviter le risque de glissement de talus en cas de mise en charge de l'ouvrage pour la crue de projet.

Le modèle hydraulique a révélé des vitesses très importantes sur la rivière, pouvant atteindre 3.5 m/s en pied de talus. Les dimensions des pentes des talus et les matériaux des parements amont seront étudiés de manière à résister à ces fortes vitesses en crue de projet.

Une des grandes problématiques des digues Chambériennes est la végétation importante entraînant un système racinaire dense. Les mesures constructives, notamment de compactage, associées à une gestion de la végétation raisonnée, permettront d'éviter le développement racinaire aux seins des endiguements.

Les réseaux englobants, source de cheminement préférentiels des eaux et d'incident en cours d'exploitation, seront déviés du corps de l'ouvrage.

9.3 Niveaux de protection et danger actuels

Le tableau suivant présente les différents cas des niveaux de crue en fonction de l'état et de la typologie des digues sur le système 2. Les niveaux d'eau choisis sont tirés de l'analyse de stabilité du chapitre 3 et de l'analyse des débordements du chapitre 6.

Le tableau suivant présente les niveaux de sureté, protection (ou protection apparent pour le cas des digues dégradées) et niveau de danger conformément aux nouvelles recommandations du décret 2015.

Digue	Etat de la digue	Niveaux d'eau correspondant	Niveau de sureté	Niveau de protection	Niveau de danger
SE2.1	Digue reconstruire ou confortée	Cas 2	Q100	Q100	Q200 (385 m ³ /s)*
SE2.2 amont	Digue reconstruire ou confortée	Cas 2	Q100 (368 m ³ /s)*	Q100	Q200
SE2.2 aval	Digue dégradée	Cas 1	Q10 (193 m ³ /s)*	Q10	Q30 (286 m ³ /s)*
SE2.3	Digue récente	Cas 2	Q100	Q100	Q200

Tableau 81 : Définitions des niveaux de crue sur le secteur SE 2. (*débit calculé par modélisation 2D au droit du pont Tremblay)

Le niveau de protection a été choisi équivalent au niveau de sûreté.

Dans le cas des digues récentes. Il est associé à la Q100. Au-delà de Q200, le niveau de danger est atteint.

Il a été choisi de retenir un niveau de sureté bien inférieur pour les digues anciennes, à savoir Q10. Au-delà de Q30, il est pris comme hypothèse qu'une brèche est susceptible de se créer sur le SE2.2 aval, comme ce fut le cas pour la crue de 1990.

9.4 Uniformisation du niveau de protection

L'ERC surverse est non acceptable sachant que des débordements apparaissent pour une crue de période de retour d'ordre 50 ans au droit du pont Tremblay (PKL3.9 et PKL3.5).

Afin d'homogénéiser le niveau de protection en accord avec les autres endiguements du système, des modifications seront apportées au système hydraulique rivière/endiguement de manière à garantir une section hydraulique en accord avec les objectifs de protection à la crue de projet.

Un avant-projet est en cours d'élaboration. Il permettra de préciser les solutions choisies en accord avec les objectifs précités et de proposer une estimation des solutions envisagées.

10 CARTOGRAPHIE ET DESCRIPTION DES RESULTATS

10.1 Simulations des ruptures

Les simulations sont menées sur le modèle 2D de la plaine chambérienne.

Les phénomènes de rupture des endiguements sont différents suivant qu'il s'agit d'une érosion interne ou externe, d'un glissement ou d'une surverse. Par mesure d'homogénéité, la modélisation des brèches du TRI sera reprise, sachant qu'en termes de largeur de brèche, les valeurs retenues sont cohérentes avec le retour d'expérience sur les brèches chambériennes (cf. Rubrique 7). La modélisation est basée sur les hypothèses suivantes :

- Début de la brèche :
 - lorsque le débit de pointe atteint le point considéré pour les ruptures par brèches ;
 - lorsque le début de la submersion apparaît pour les ruptures par surverse ;
- Abaissement de la crête jusqu'à l'atteinte du terrain naturel aval ;
- Largeur de la brèche : 20 m ;
- Temps d'effacement complet : 1h. Dans le TRI cette durée varie entre 1h30 et 2h. Sachant que sur les cours d'eau d'Isère et de Haute Savoie, cette durée est plus proche de 30 min, nous avons décidé de retenir une valeur moyenne de 1h.

Ces hypothèses permettent de représenter une certaine dynamique de rupture, sachant que d'autres dynamiques de ruptures peuvent être susceptibles de se produire.

Les hypothèses ont été retenues de manière à garder une certaine cohérence vis-à-vis du TRI. L'hypothèse de largeur de brèche à 20 m était homogène à la largeur moyenne issue du retour d'expérience sur les digues Chambériennes (cf. chapitre 7). La simulation d'une largeur plus importante induirait une probabilité du scénario plus faible et donc un déclassement de sa criticité.

Aucune information n'était disponible quant au temps d'effacement complet de la digue. L'hypothèse d'1 heure nous a semblé cohérente vis-à-vis des ruptures de digue simulées sur le Rhône (crue de 2003 sur le bas-Rhône). Les récents retours d'expérience sur une cinétique d'élargissement en 100 à 200 cm/min, engendreraient une rupture complète en 10 à 20 min, ce qui est plus rapide que celle présentement simulée. Les scénarios simulés sont déjà tous classés en cinétique forte (cf. paragraphes suivants). Cette accélération de la cinétique de brèche, provoquant probablement des vitesses plus importantes dans la plaine, n'a donc pas de conséquence sur la classification de l'évènement et la gravité des conséquences. Lors de la révision de l'EDD, Chambéry Métropole se rapprochera des services de contrôle pour évaluer la pertinence de tester la sensibilité de ce paramètre.

La localisation des brèches répond à l'objectif de maximiser les conséquences en jouant sur les deux critères suivants :

- Hauteur maximale de la digue au-dessus du terrain naturel (TN). Cette configuration est susceptible de maximiser le débit déversé,
- Zone habitée en aval.

Les scénarios qui sont simulés sont rappelés ci-dessous :

- Rupture par brèche sur SE2.2 aval Jean Lain pour une crue Q30 ;
- Rupture par brèche sur SE2.2 aval Rond-point Villarcher pour une crue Q30 ;
- Rupture par surverse pour une crue Q99.

10.2 Rupture par brèche SE2.2 aval – Jean Lain

Ce scénario correspond à une rupture par érosion interne, externe ou glissement avant déversement.

La probabilité de l'aléa climatique pour lequel a lieu la brèche est la crue Q30, ce qui correspond à une probabilité de l'ordre de 10^{-1} . Pour la crue Q30, les débordements sur l'Hyères débutent tout juste avec des hauteurs d'eau très faible. Par conséquent, les ruptures associées ne sont pas représentées.

La rupture, localisée au PKL6.12, en face du déversoir du SE5 et en aval de l'A43, apparaît à la pointe de la crue, soit à 5h20 du deuxième jour de crue. A cette heure, les premiers débordements sur le seuil déversant en rive gauche ont déjà débutés. Les cartographies suivantes présentent la propagation de la rupture.

A 6h00, la brèche est initiée depuis 40 min. Les vitesses en aval direct de la brèche, dans la plaine, atteignent voire dépassent 1 m/s (flèches oranges foncées). Les hauteurs d'eau restent inférieures à 1m. Les établissements recevant du public sont touchés avant 30 min. **La cinétique de la rupture est donc rapide.**

Entre 6h et 7h20, les écoulements se propagent dans la plaine aval des Landiers dans le secteur de Jean Lain. Les vitesses atteignent ponctuellement 1.2 m/s au droit de la brèche et s'atténuent rapidement pour rester inférieures à 0.5 m/s dans la plaine. Les hauteurs d'eau sont inférieures à 1 m hormis très localement sur certains points bas.

Entre 7h20 et 11h00, les écoulements se propagent dans la plaine des Landiers sud. Les vitesses dans la plaine sont inférieures à 0.5 m/s et les hauteurs d'eau sont inférieures à 1 m sur la plus grande partie de la zone inondable. Vers 15h30, l'inondation rejoint celle du lac du Bourget.

Après 17h00, enveloppe de crue maximale, l'onde s'estompe.

En conclusion, la rupture par brèche au SE 2.2 aval – Secteur Jean Lain est **un phénomène de cinétique rapide et d'intensité faible** sachant que les hauteurs d'eau sont généralement inférieures à 1 m et la propagation initiale très rapide.

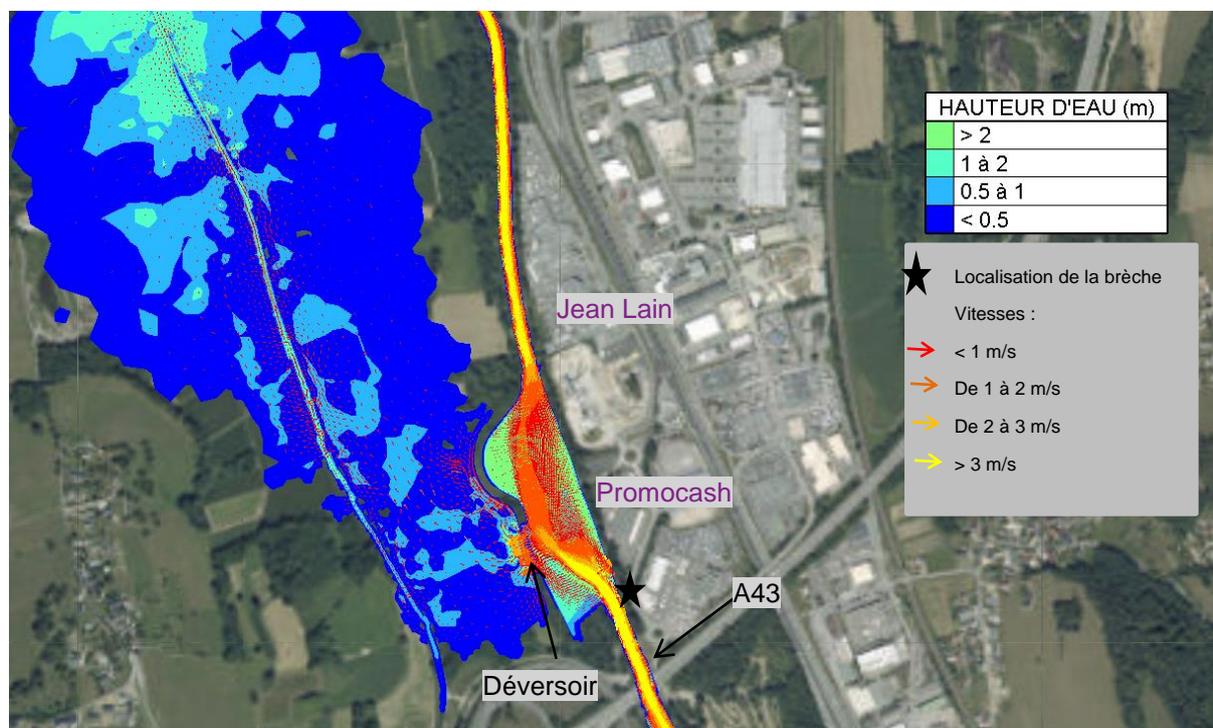


Figure 106 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche – jour 2 – 5h20

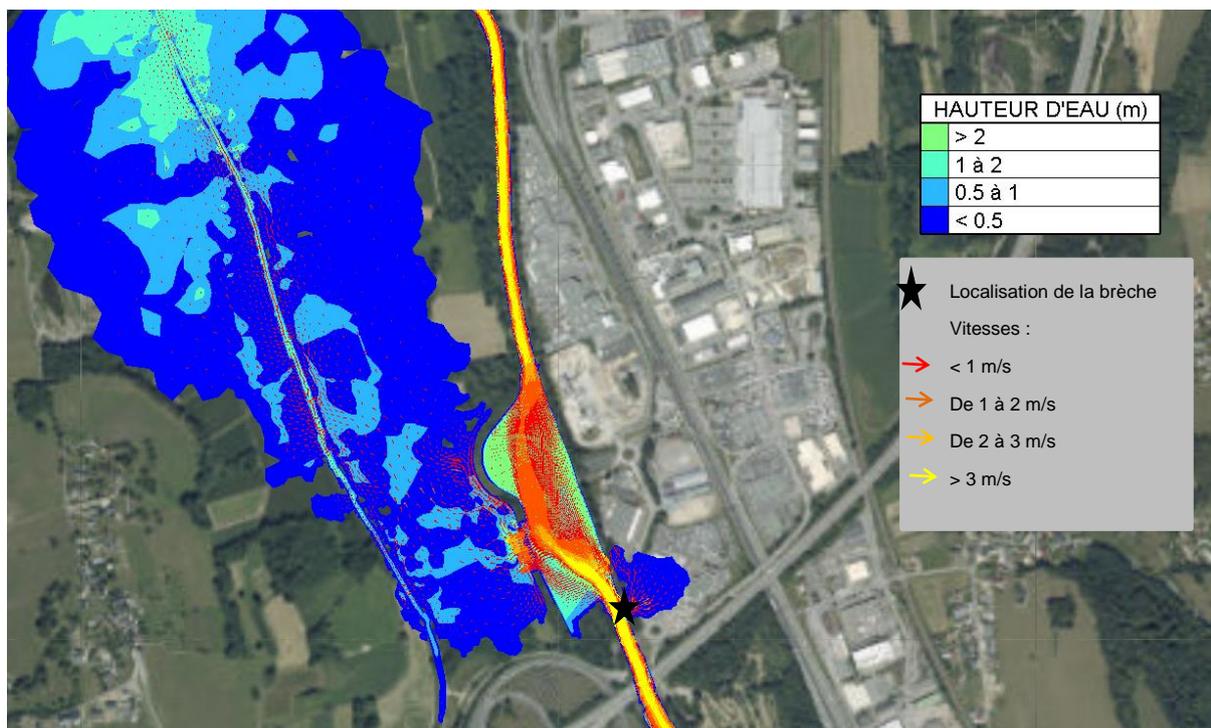


Figure 107 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche - jour 2, 6h00

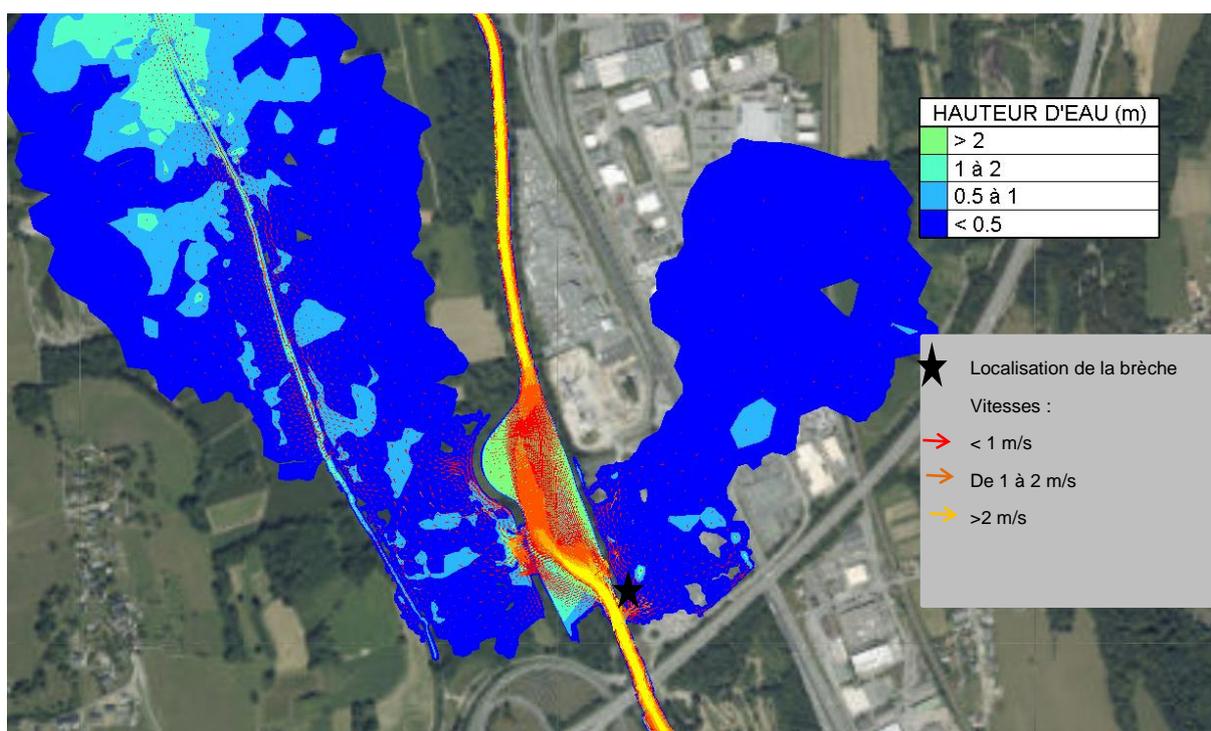


Figure 108 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche – jour 2, 7h20

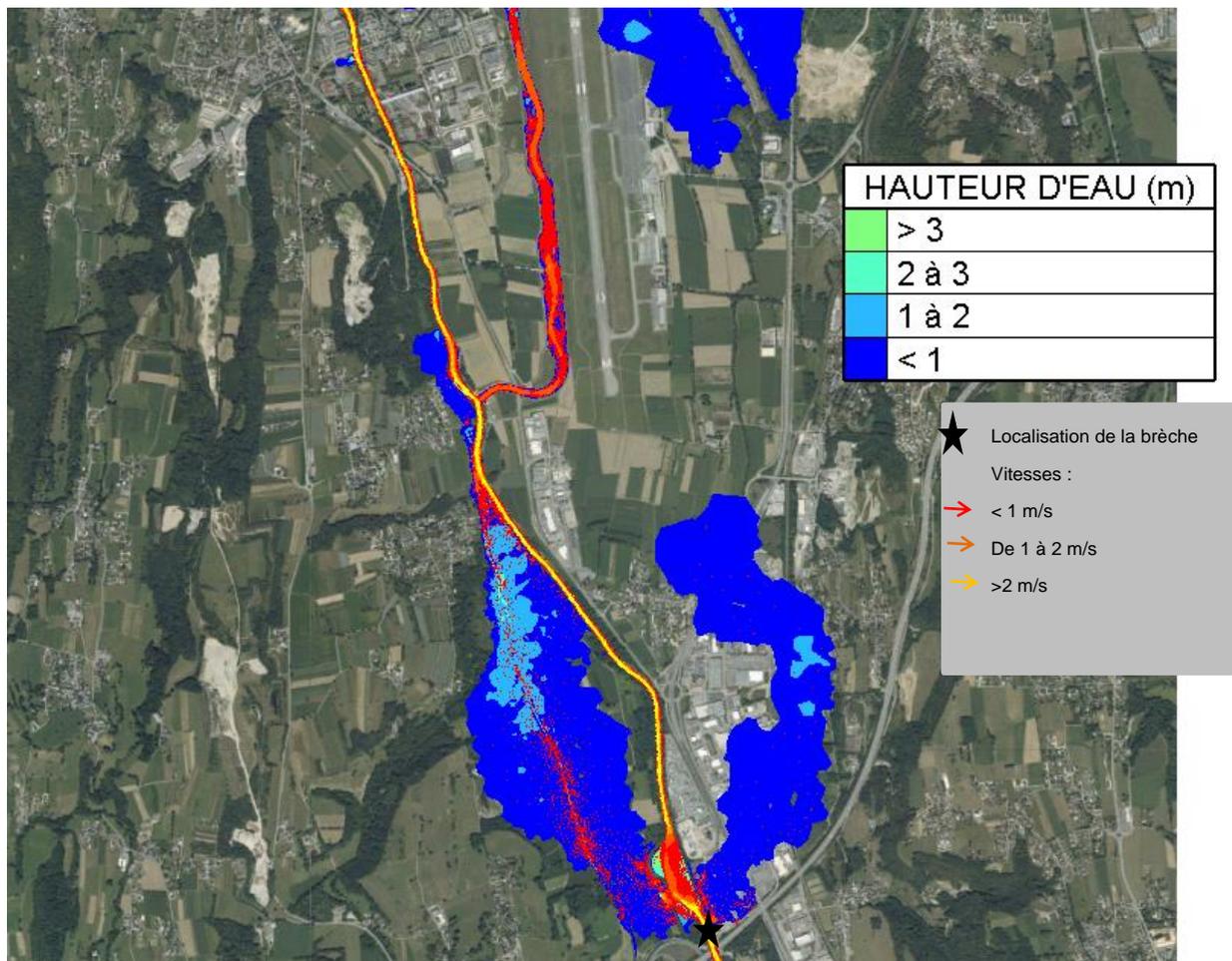


Figure 109 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche - jour 2, 11h00

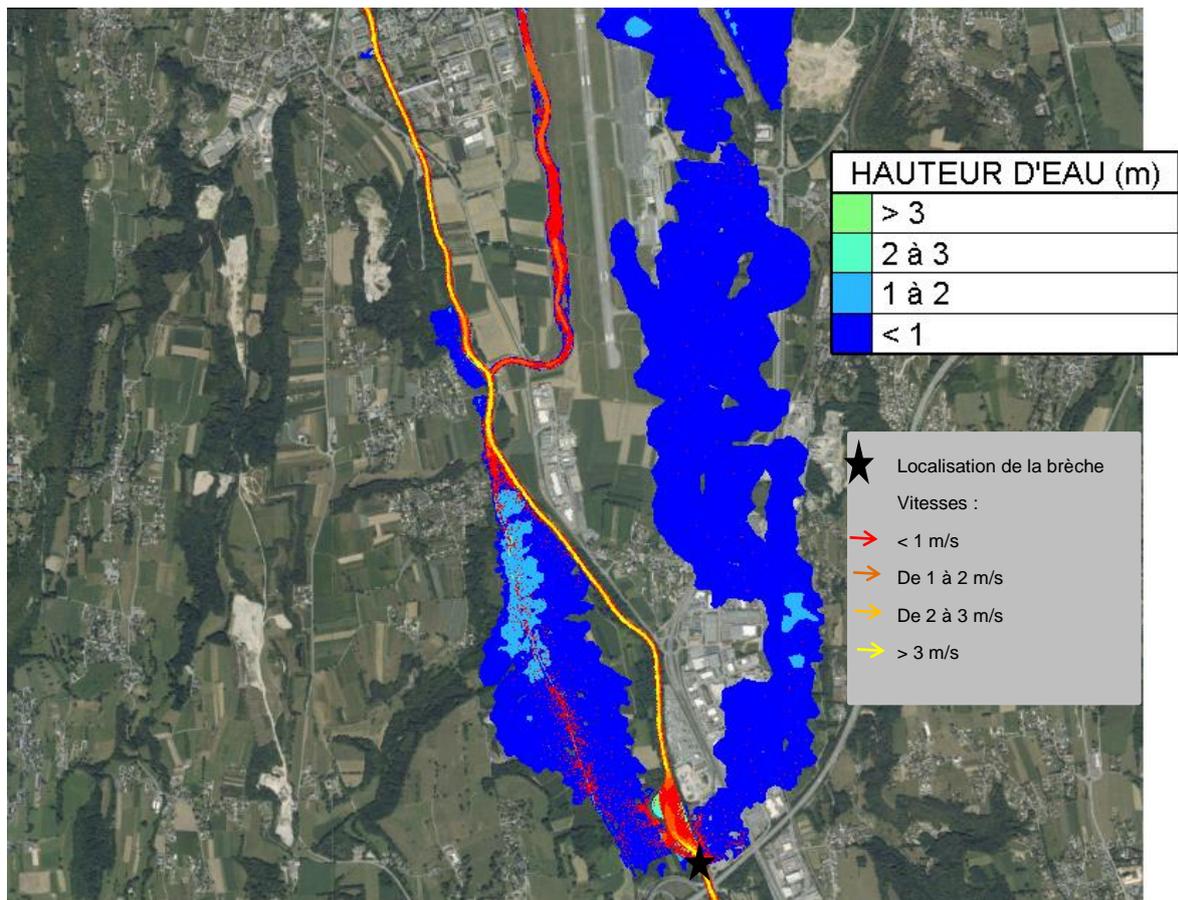


Figure 110 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche – jour 2, 15h30

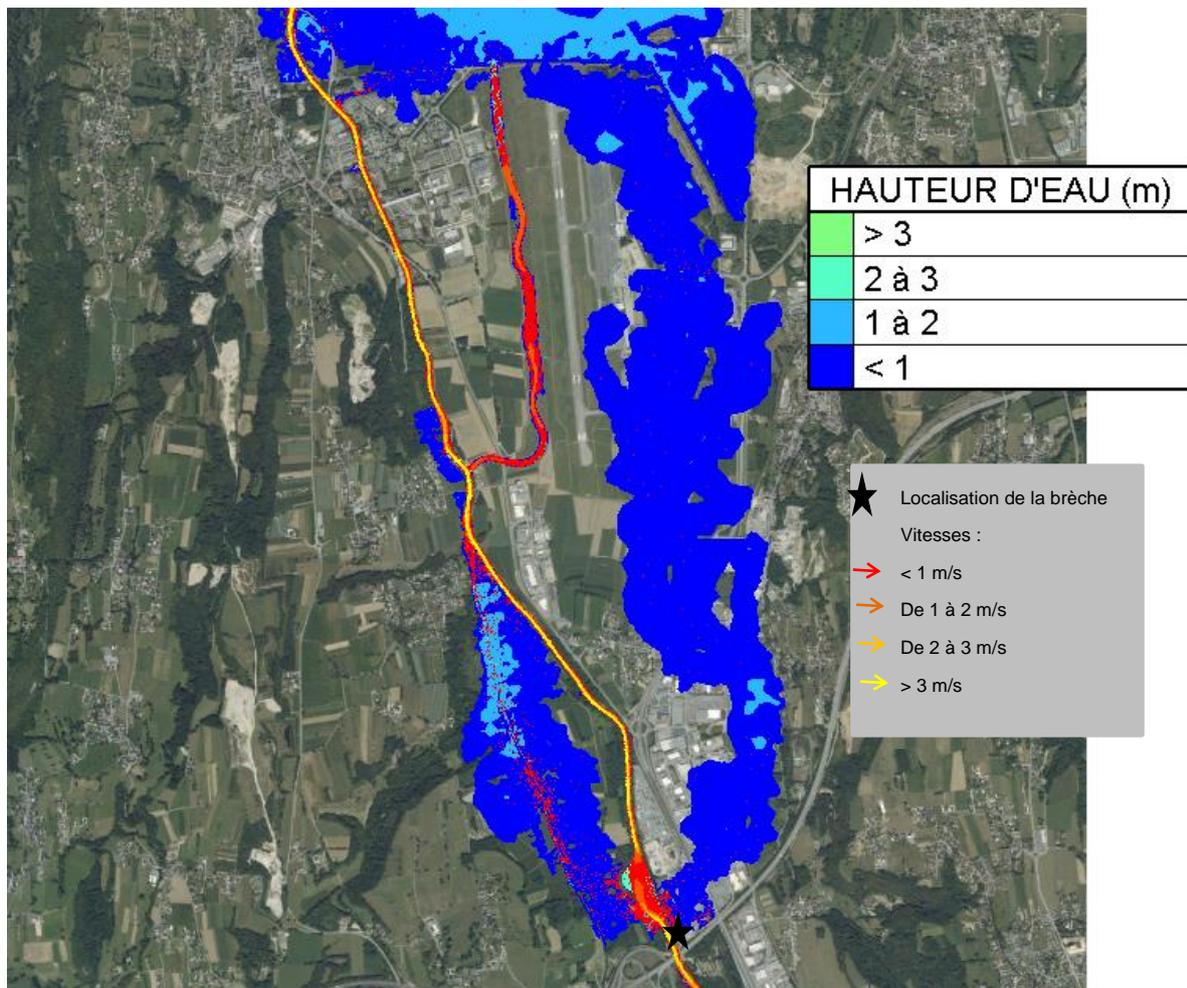


Figure 111 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Jean Lain brèche – jour 2, 17h00 (enveloppe maximale)

10.3 Rupture par brèche SE2.2 aval – Rond-Point Villarcher

Ce scénario correspond à une rupture par érosion interne, externe ou glissement avant déversement.

La probabilité de l'aléa climatique pour lequel a lieu la brèche est la crue Q30, ce qui correspond à une probabilité de l'ordre de 10^{-1} . Pour la crue Q30, les débordements sur l'Hyères débutent tout juste avec des hauteurs d'eau très faible. Par conséquent, les ruptures associées ne sont pas représentées.

La rupture, localisée au PKL5.05, au droit du rond-point de Villarcher, apparait à la pointe de la crue, soit à 5h20 du deuxième jour de crue. A cette heure, les premiers débordements sur le seuil déversant en rive gauche ont déjà débutés. Les cartographies suivantes présentent la propagation de la rupture.

A 6h00, la brèche est initiée depuis 40 min. Les vitesses en aval direct de la brèche, dans la plaine, atteignent voire dépassent 1 m/s (flèches oranges foncées). Les hauteurs d'eau restent inférieures à 1 m. Les établissements recevant du public et les habitations sont touchés avant 30 min. **La cinétique de la rupture est donc rapide.**

Entre 6h et 7h00, les écoulements se propagent dans la plaine aval des Landiers dans le secteur de Jean Lain. Les vitesses atteignent ponctuellement 1.2 m/s au droit de la brèche et s'atténuent rapidement pour rester inférieurs à 0.5 m/s dans la plaine. Les hauteurs d'eau sont inférieures à 1 m hormis très localement sur certains points bas.

Entre 7h20 et 10h00, les écoulements se propagent dans la plaine de Villarcher pour atteindre les débordements du lac du Bourget. Les vitesses dans la plaine sont inférieures à 0.5 m/s et les hauteurs d'eau sont inférieures à 1 m sur la plus grande partie de la zone inondable.

Après 14h30, pointe de la crue, l'onde s'estompe.

En conclusion, la rupture par brèche au SE 2.2 aval – Secteur Jean Lain est un **phénomène de cinétique rapide et d'intensité faible** sachant que les hauteurs d'eau sont généralement inférieures à 1 m et la propagation initiale très rapide.

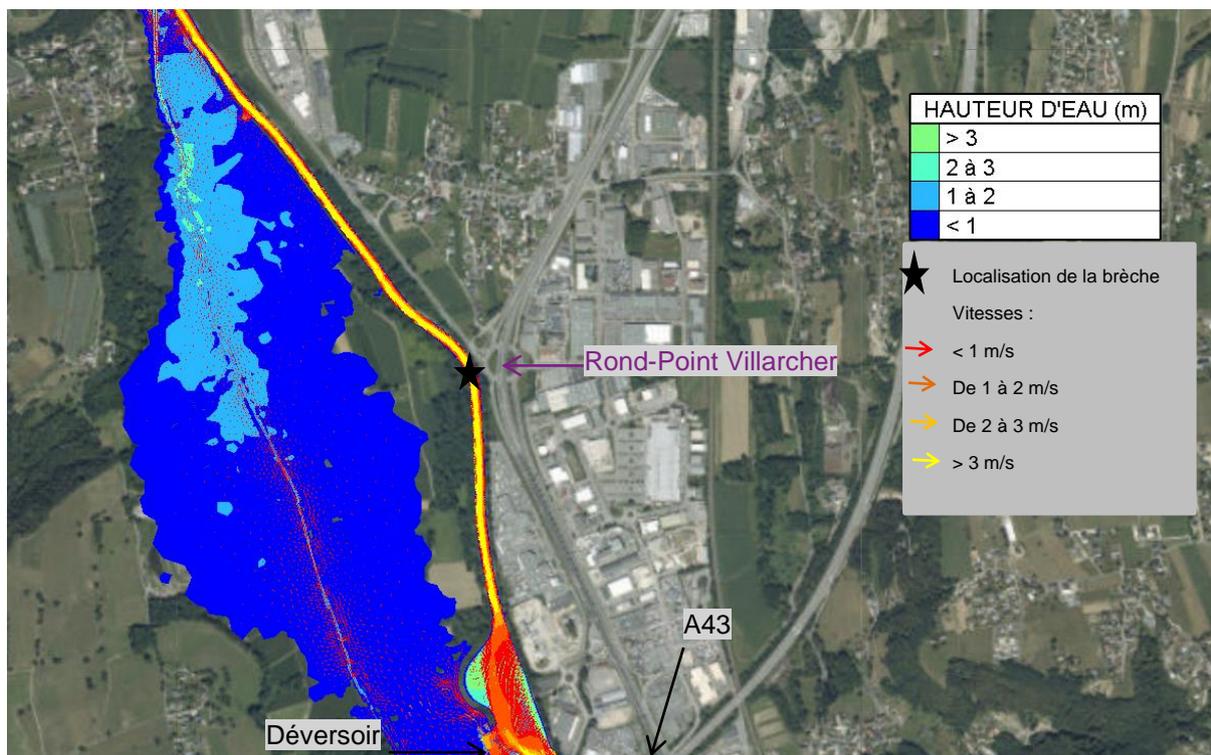


Figure 112 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Rond-Point Villarcher brèche – jour 2, 5h20

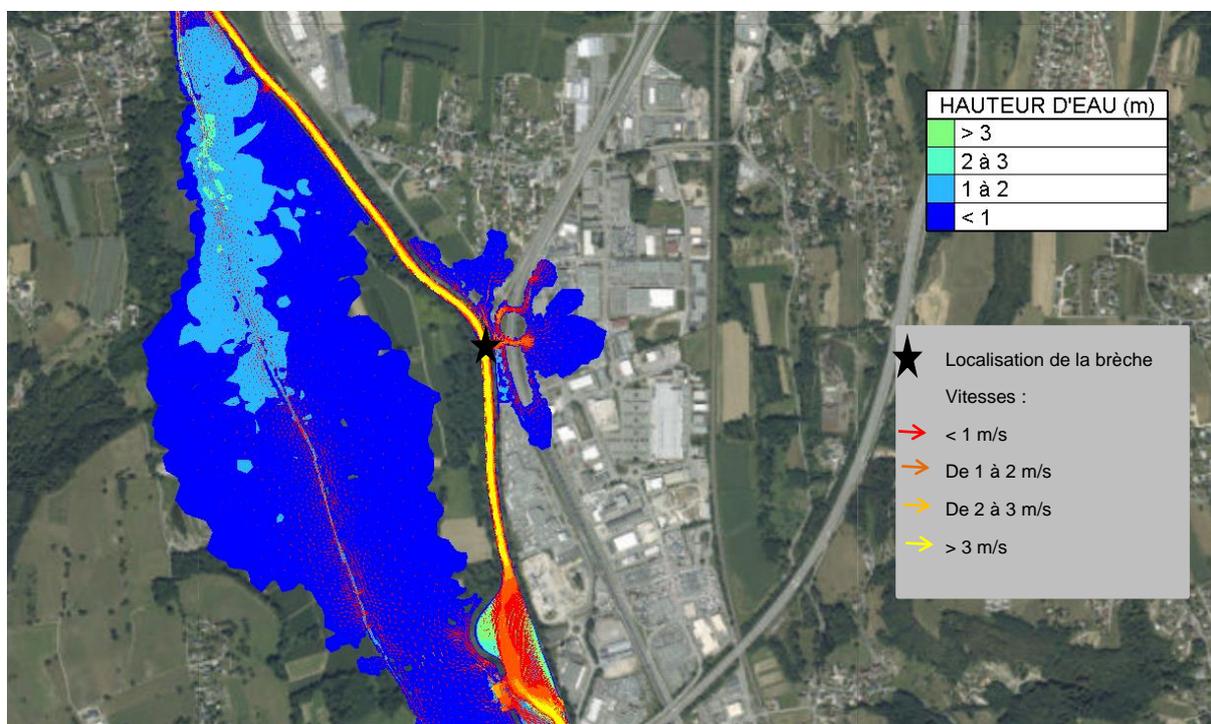


Figure 113 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Rond-Point Villarcher brèche – jour 2, 6h00

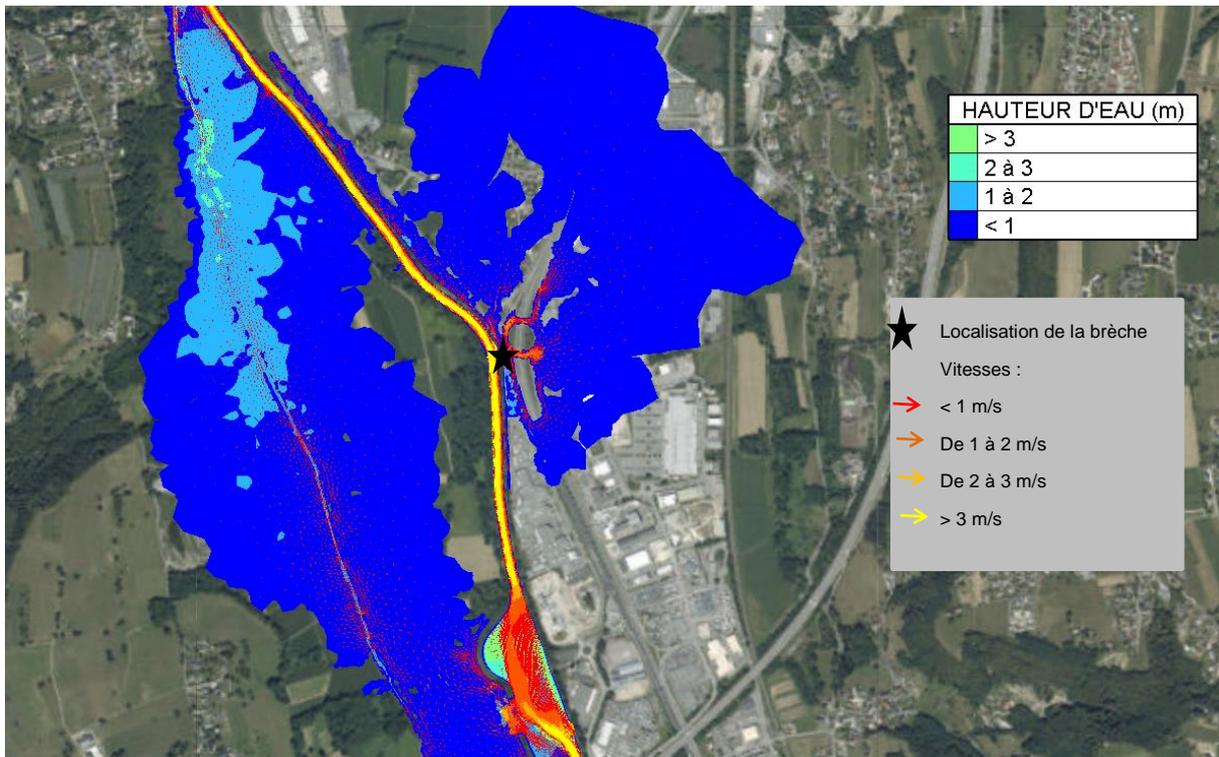


Figure 114 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Rond-Point Villarcher brèche – jour 2, 7h00

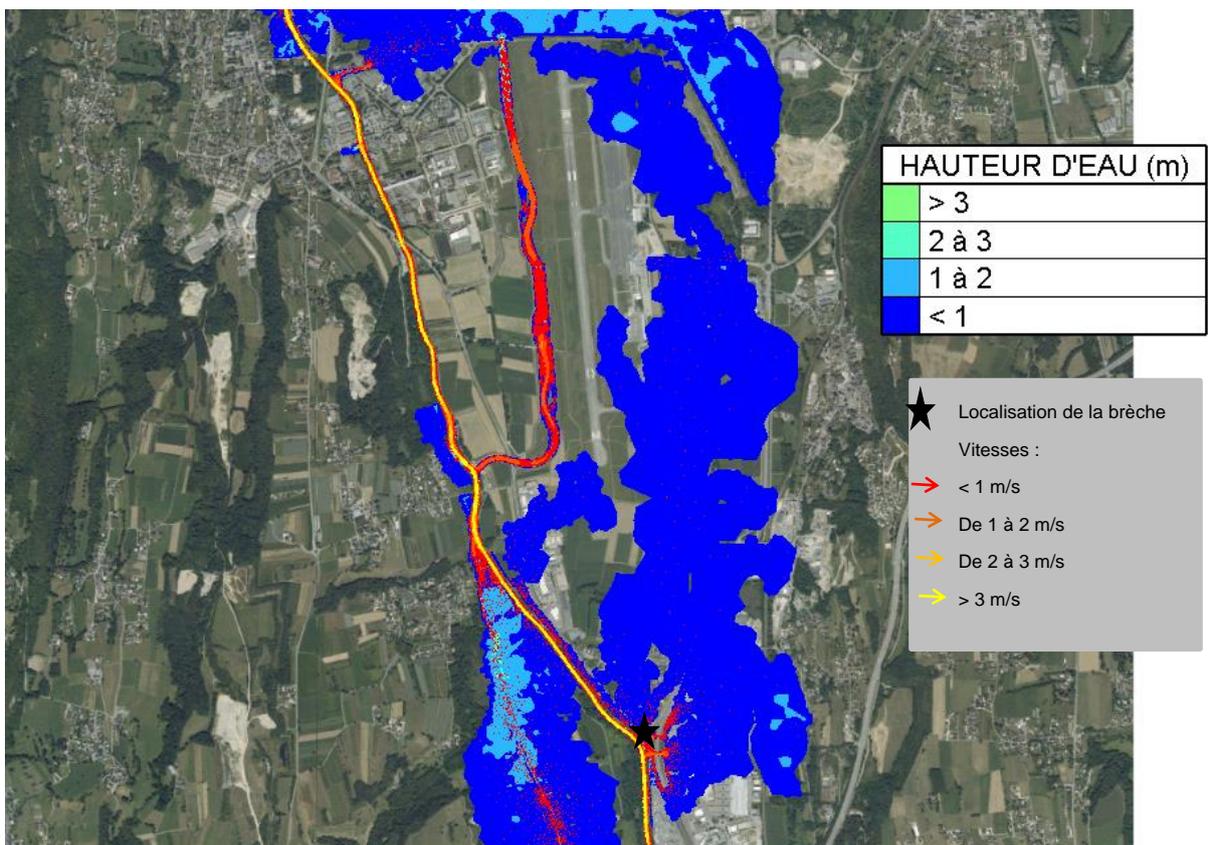


Figure 115 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Rond-Point Villarcher brèche – jour 2, 10h

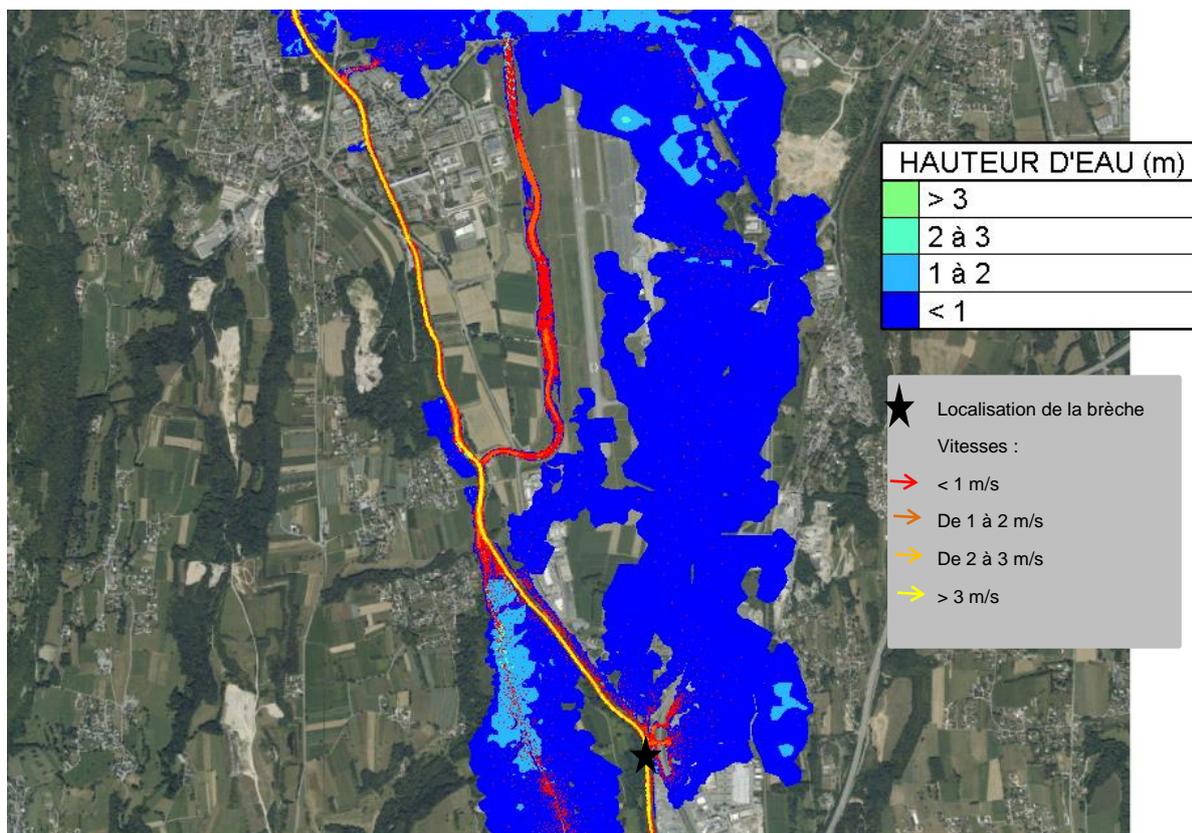


Figure 116 : Cartographie des écoulements – SE2.2 aval Rond-Point Villarcher brèche – jour 2, 14h30

10.4 Rupture par surverse

Ce scénario correspond à une rupture de la digue par surverse.

La probabilité de l'aléa climatique pour lequel a lieu la brèche est légèrement inférieure à Q100 (Q99), ce qui correspond à une probabilité de l'ordre de 10^{-1} .

Le tableau suivant synthétise les brèches simulées ainsi que les temps de début de rupture, le tronçon de rivière concerné et l'ordre de rupture. Seules les ruptures identifiées dans le paragraphe 6.2.6 qui ont un impact sur la zone d'étude sont simulées. Certains débordements identifiés dans le paragraphe 6.2.6 ne sont pas simulés en rupture du fait de la rupture d'une brèche à proximité venant décharger la digue. C'est le cas du débordement L6 sur la Leysse aval du fait de la brèche L4. Au total, 4 ruptures sont simulées.

Localisation débordement	Rive	Profil STTP	PK	Ordre des débordements	Tronçon de rivière	SE	Temps début rupture
Cimetière Charrière Neuve	G	P177	H0.7	H1	Hyères	4.2	15h30
Cimetière Charrière Neuve	G	P186	H0.45	H2	Hyères	4.2	15h30
Amont Pont Tremblay	G	-	L4.1	L2	Leysse aval	5	17h50
Amont Pont Tremblay	D	-	L3.9	L4	Leysse aval	2.2	1j01h15

Tableau 82 : Temps de début de rupture des surverses

La cartographie suivante présente la localisation des brèches simulées :

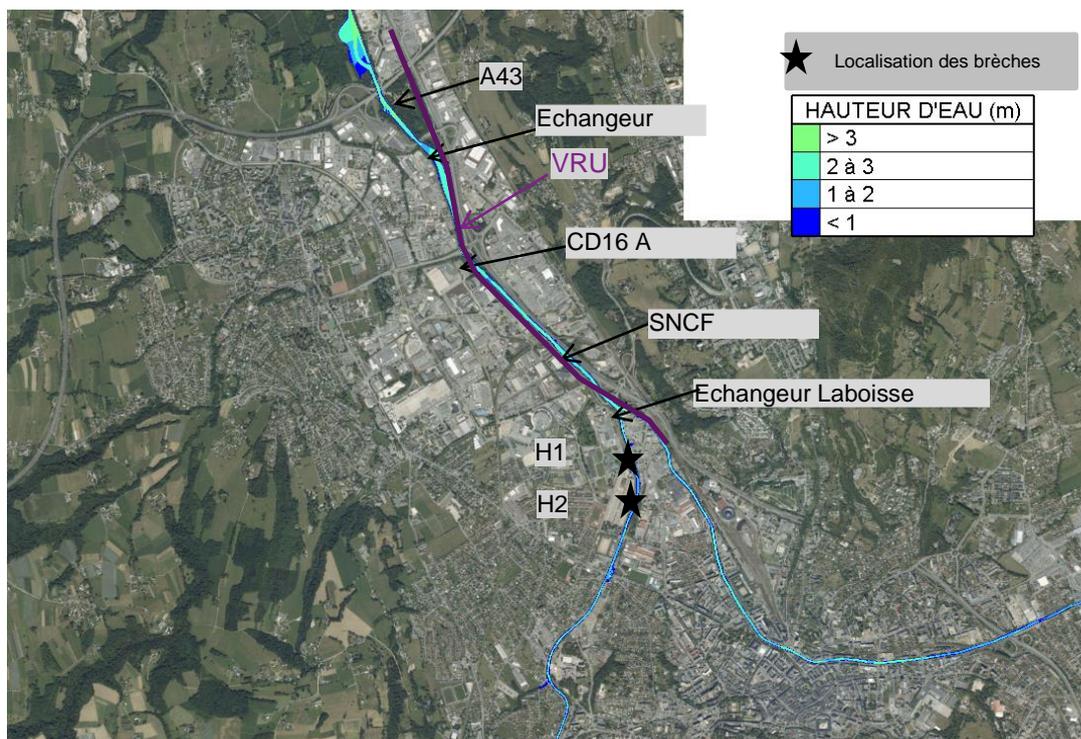


Figure 117 : Cartographie des brèches – scénario rupture par surverse – 1/2

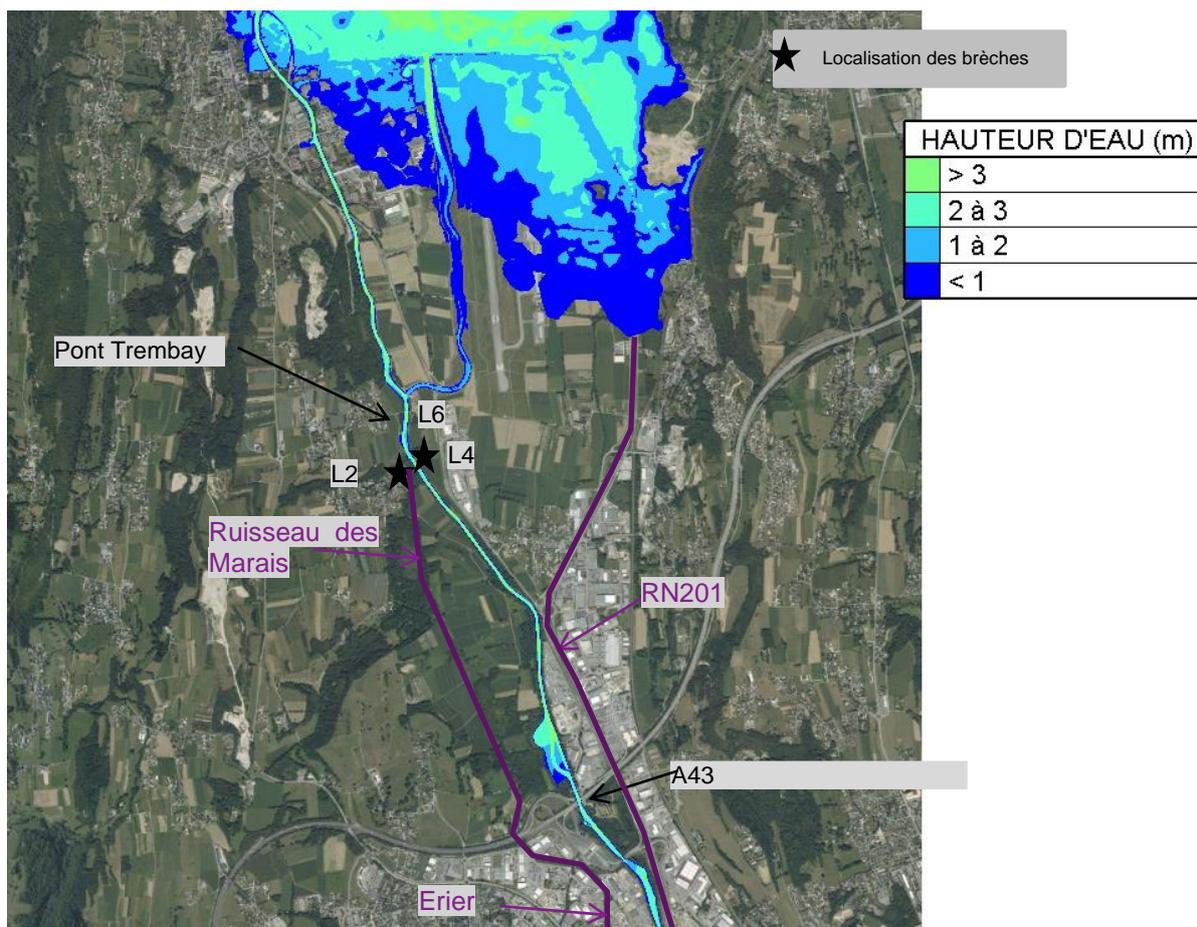


Figure 118 : Cartographie des brèches – scénario rupture par surverse – 2/2

Hyères

A 15h30 du premier jour, les premières brèches H1 et H2 en rive gauche s'enclenchent du fait des débordements de l'Hyères. A partir de 16h30, Les écoulements se propagent dans la plaine de Bissy avec des vitesses entre 1 et 2 m/s et des hauteurs d'eau inférieures à 1m. Les vitesses fortes en aval des ruptures classent l'évènement en cinétique rapide sur l'Hyères.

Vers 19h30, les eaux s'écoulent sous la voie SNCF puis s'étendent dans la plaine pour atteindre l'Erier vers 1h50 le deuxième jour. Les vitesses dans la plaine restent inférieures à 1m/s, tout comme les hauteurs d'eau qui sont inférieures à 1m.

Vers 10h30, les apports de l'Hyères s'intensifient, ce qui augmente les hauteurs d'eau au-dessus de 1m très localement au droit d'un point bas dans la topographie. L'intensité de l'onde de submersion est considérée comme faible.

Leysse aval

La brèche L2 au PKL4.2 rive gauche apparait à 17h50 alors que le déversoir du SE 5 est déjà en fonctionnement. A 18h, l'inondation se propage dans la plaine du ruisseau des marais avec des vitesses inférieures à 1 m/s. La lame d'eau est inférieure à 1 m. A 18h20, les écoulements issus du déversoir rejoignent ceux issus de la brèche L2. A 00h30 du deuxième jour, l'inondation est généralisée dans la plaine du ruisseau des Marais du fait des écoulements du déversoir SE5. Les écoulements de la brèche L2 n'ont que très peu d'influence. Les débordements s'amorcent en rive droite.

A 1h45 le deuxième jour, la rupture L4 a eu lieu depuis 30 min. Les vitesses en aval de la brèche dépassent ponctuellement 3 m/s (flèches jaunes) et les hauteurs restent inférieures à 1 m dans la plaine. La cinétique de l'évènement est forte et l'intensité est faible.

A 2h30 l'inondation de la brèche rejoint celle due à la remontée du lac.

En conclusion, la rupture par surverse,

- sur l'Hyères, est un **phénomène de cinétique rapide** (fortes vitesses) **et d'intensité faible** sachant que les hauteurs d'eau sont généralement inférieures à 1 m ;
- sur le SE 5, est un **phénomène de cinétique rapide** (fortes vitesses) **et d'intensité faible** sachant que les hauteurs d'eau sont généralement inférieures à 1 m ;
- sur le SE 2.2 aval, est un **phénomène de cinétique rapide** (fortes vitesses) **et d'intensité faible** sachant que les hauteurs d'eau sont généralement inférieures à 1 m.

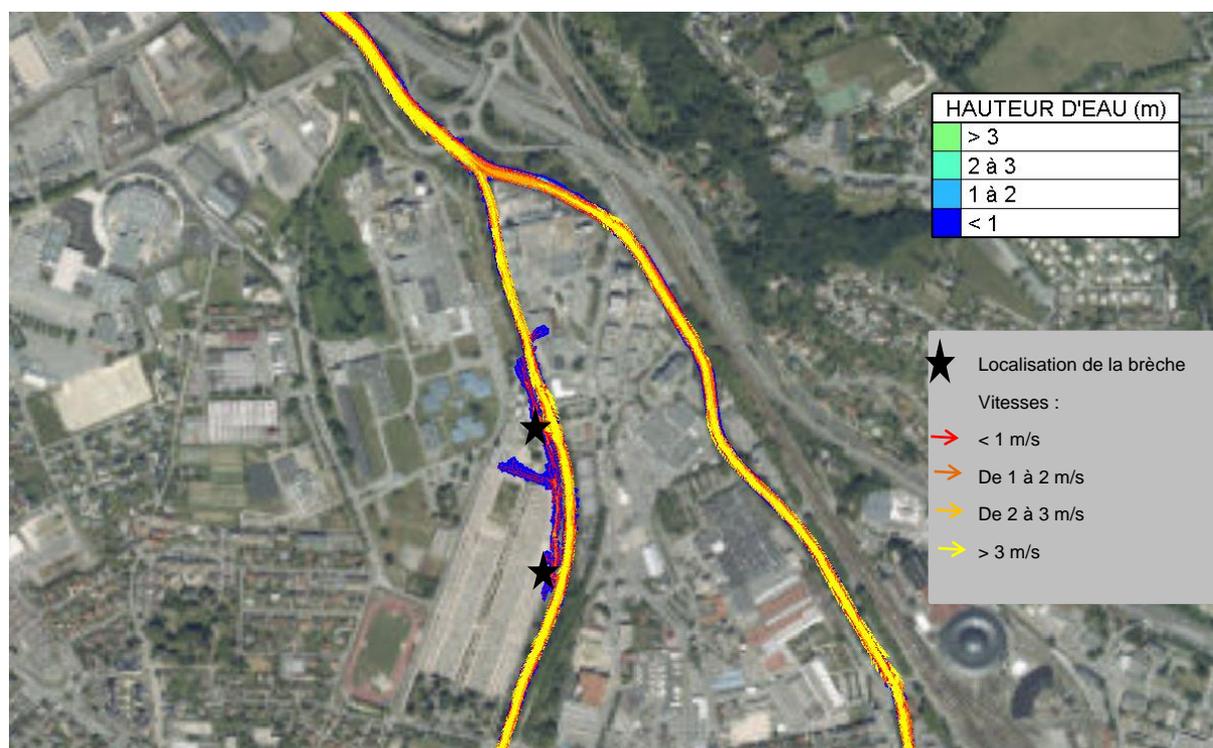


Figure 119 : Cartographie des écoulements – Surverse – Hyères – jour 1, 16h00

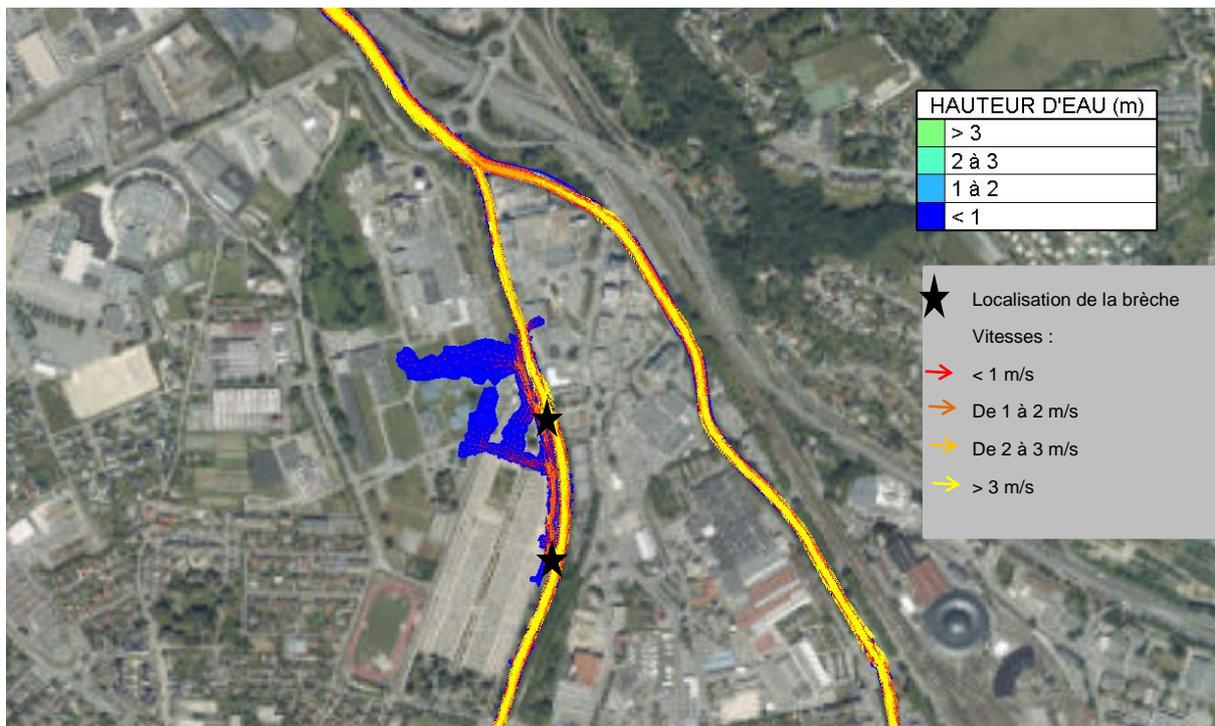


Figure 120 : Cartographie des écoulements – Surverse – Hyères – jour1, 16h30

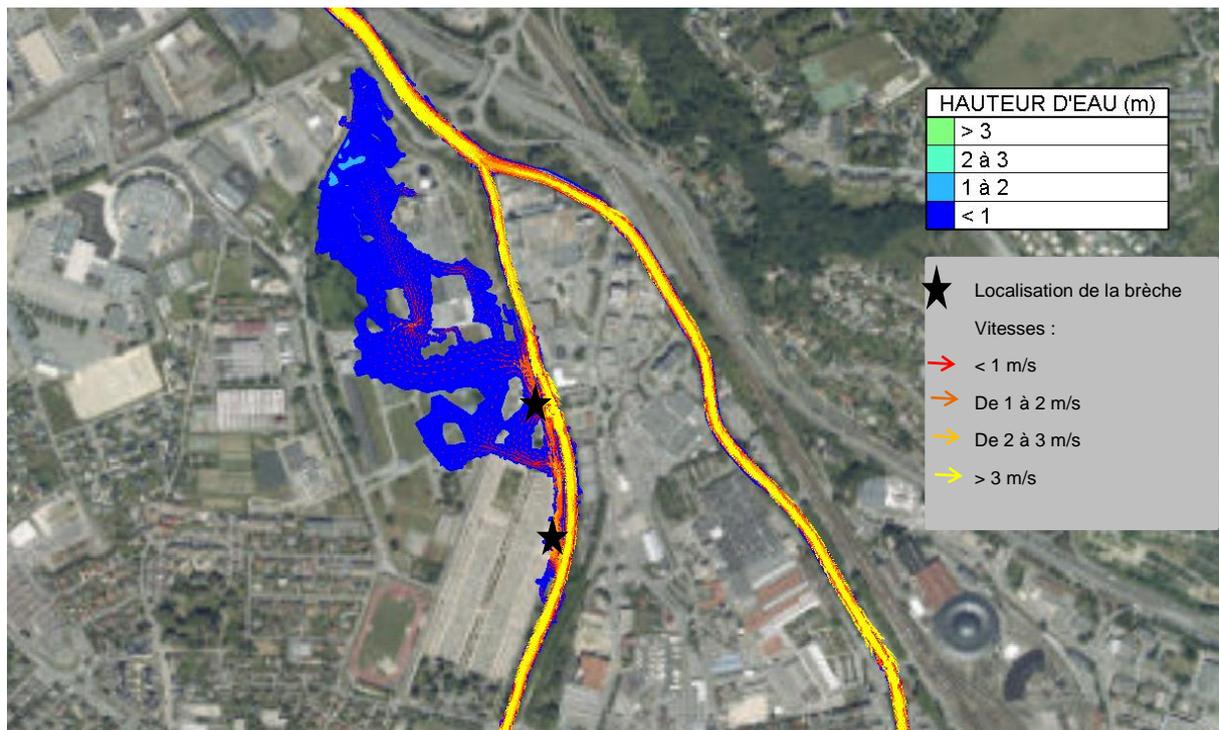


Figure 121 : Cartographie des écoulements – Surverse – Hyères – jour 1, 19h30

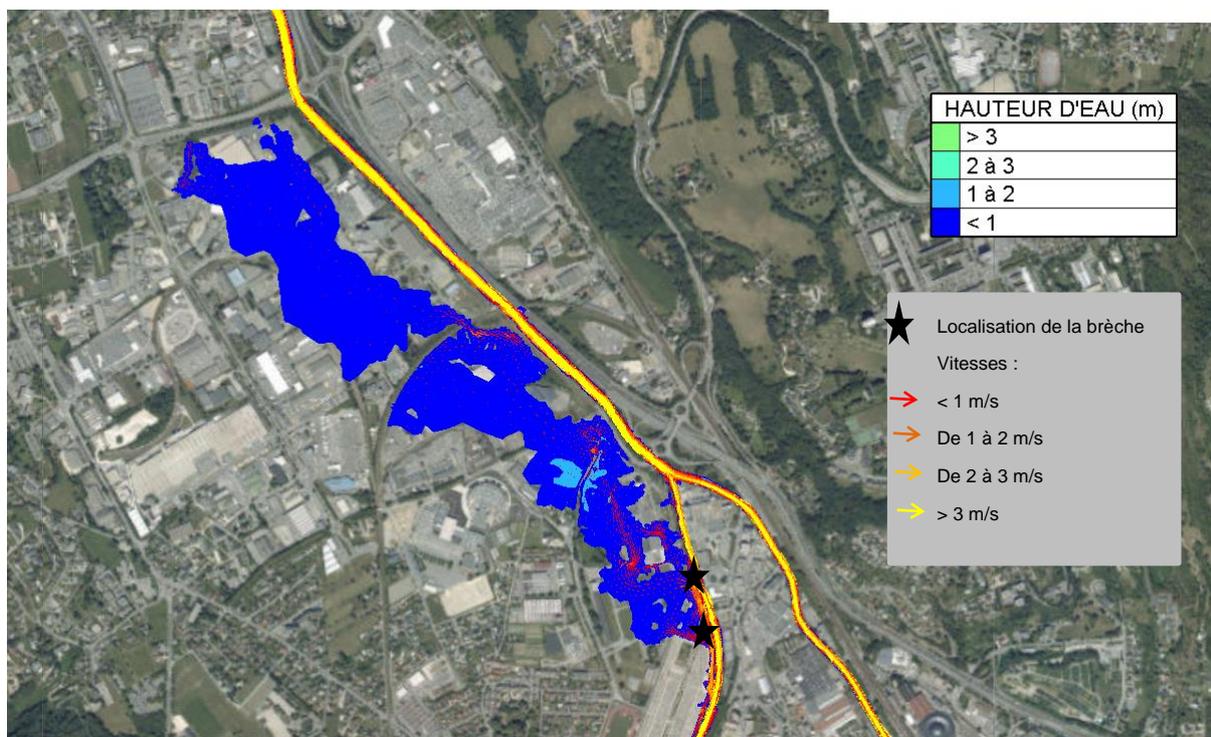


Figure 122 : Cartographie des écoulements – Surverse – Hyères – jour2, 1h50

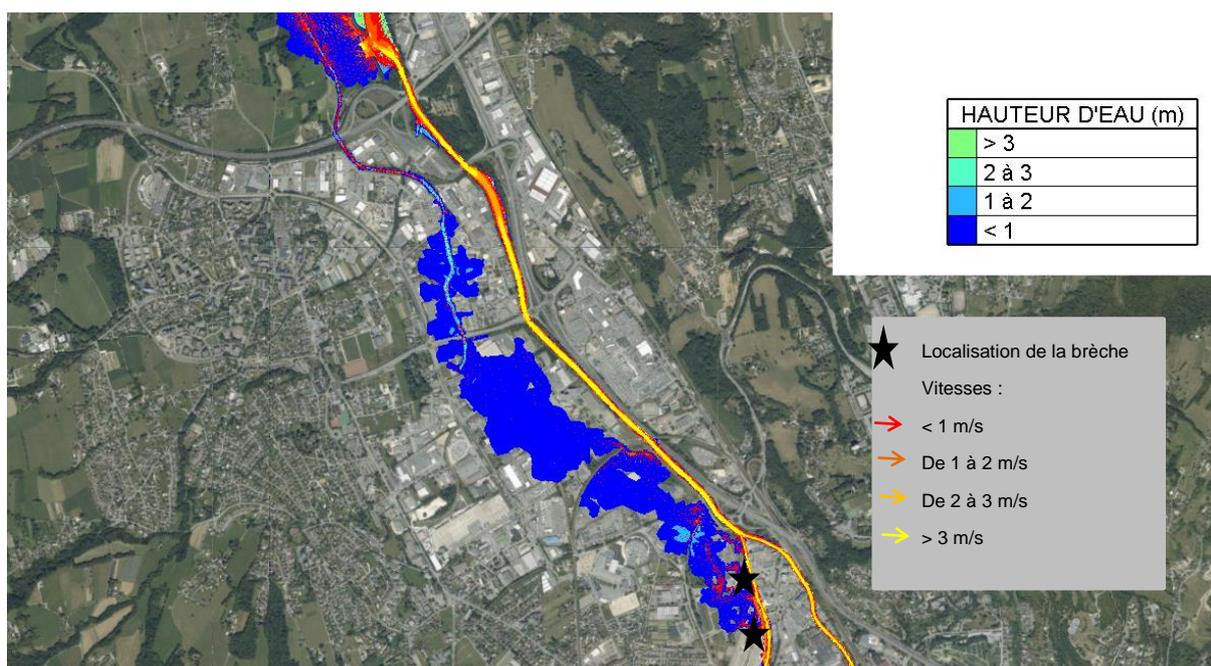


Figure 123 : Cartographie des écoulements – Surverse – Hyères – jour2, 11h30 (maximum de crue)

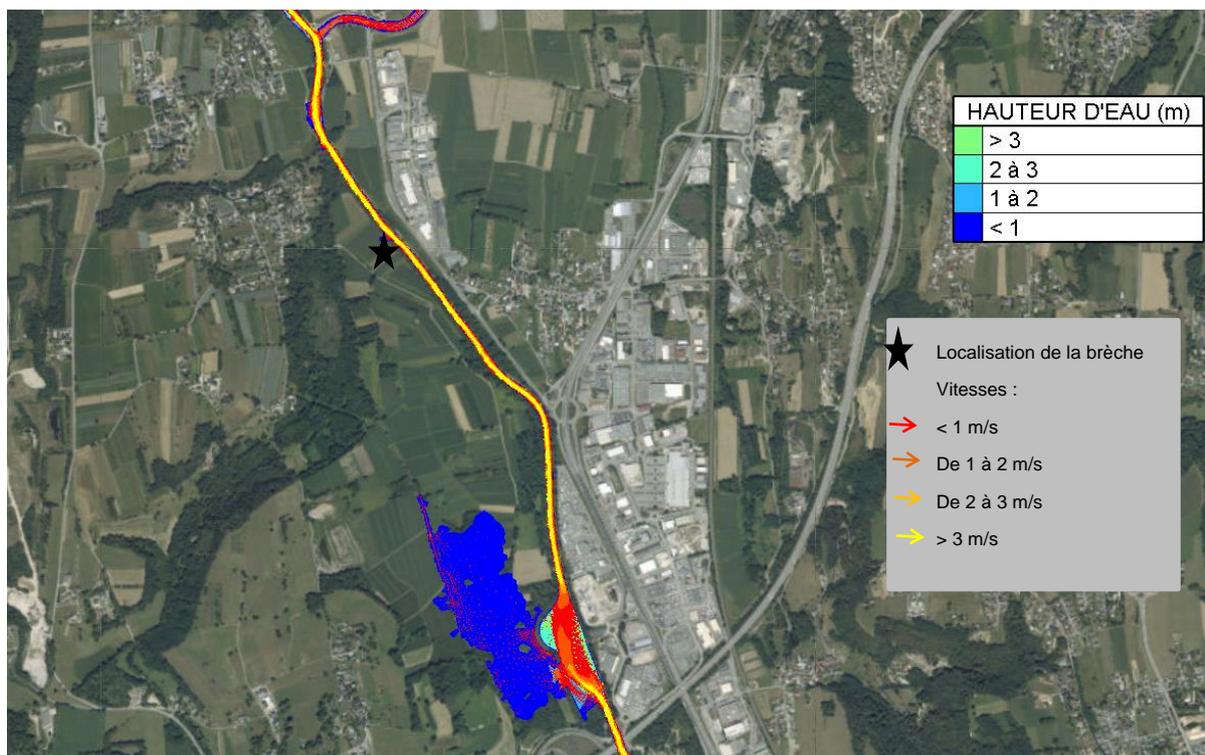


Figure 124 : Cartographie des écoulements – Surverse - Laysse – jour 1, 17h20

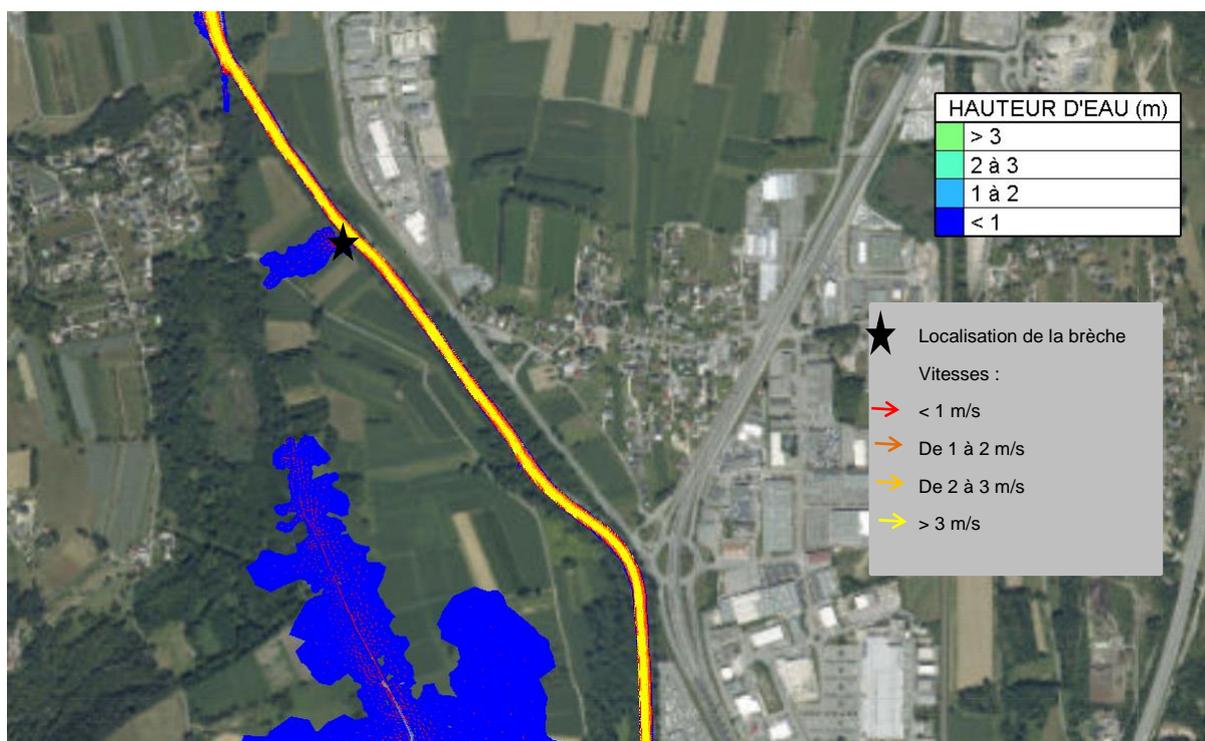


Figure 125 : Cartographie des écoulements – Surverse - Laysse – jour 1, 18h

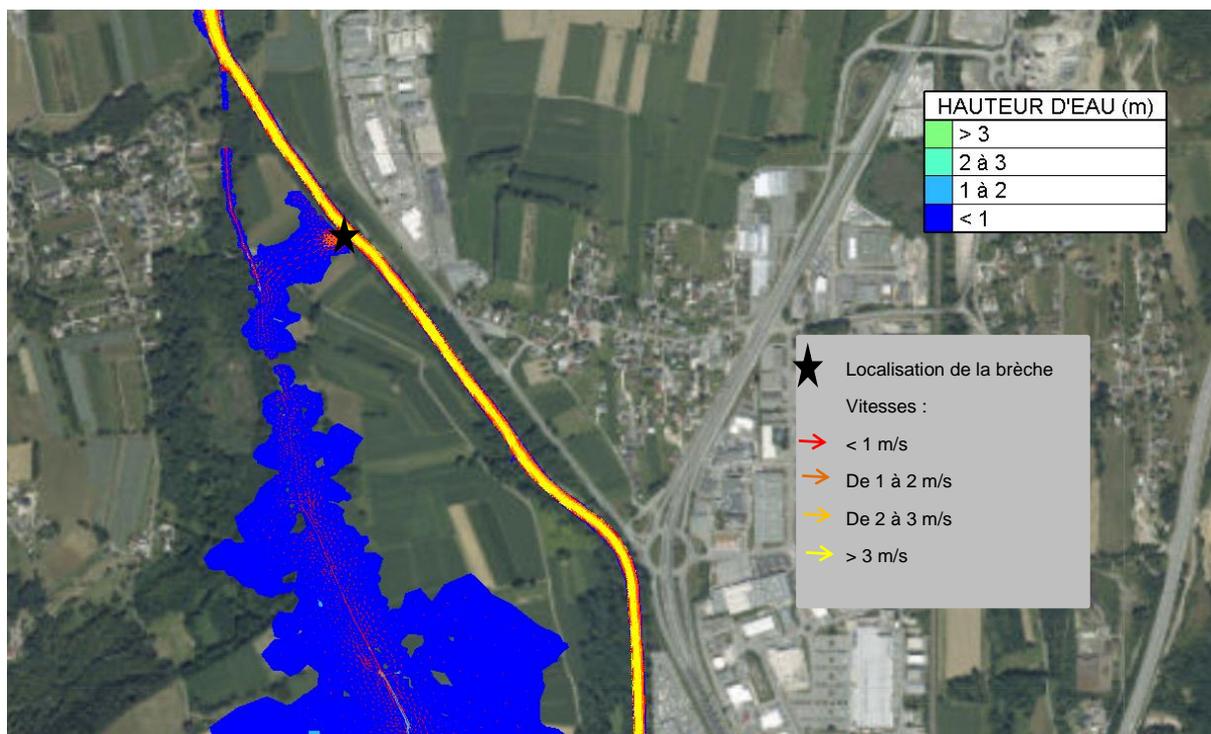


Figure 126 : Cartographie des écoulements – Surverse - Leysse – jour1, 18h00

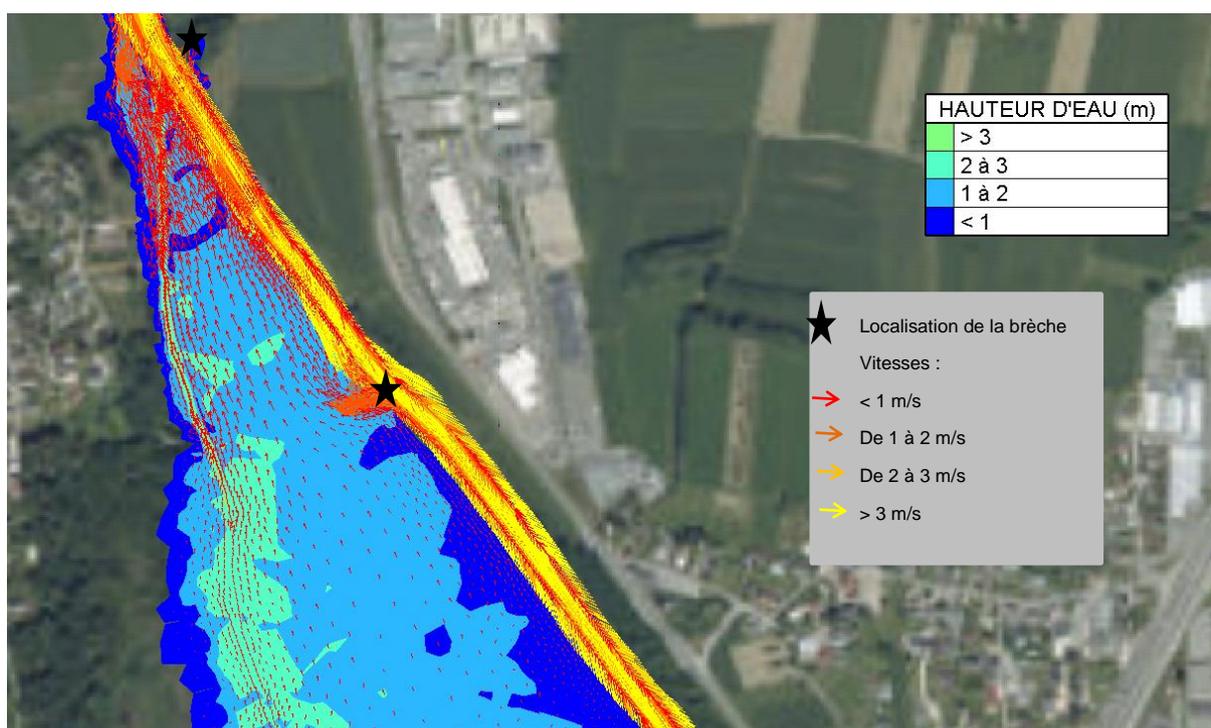


Figure 127 : Cartographie des écoulements – Surverse – Leysse – jour 2, 00h30

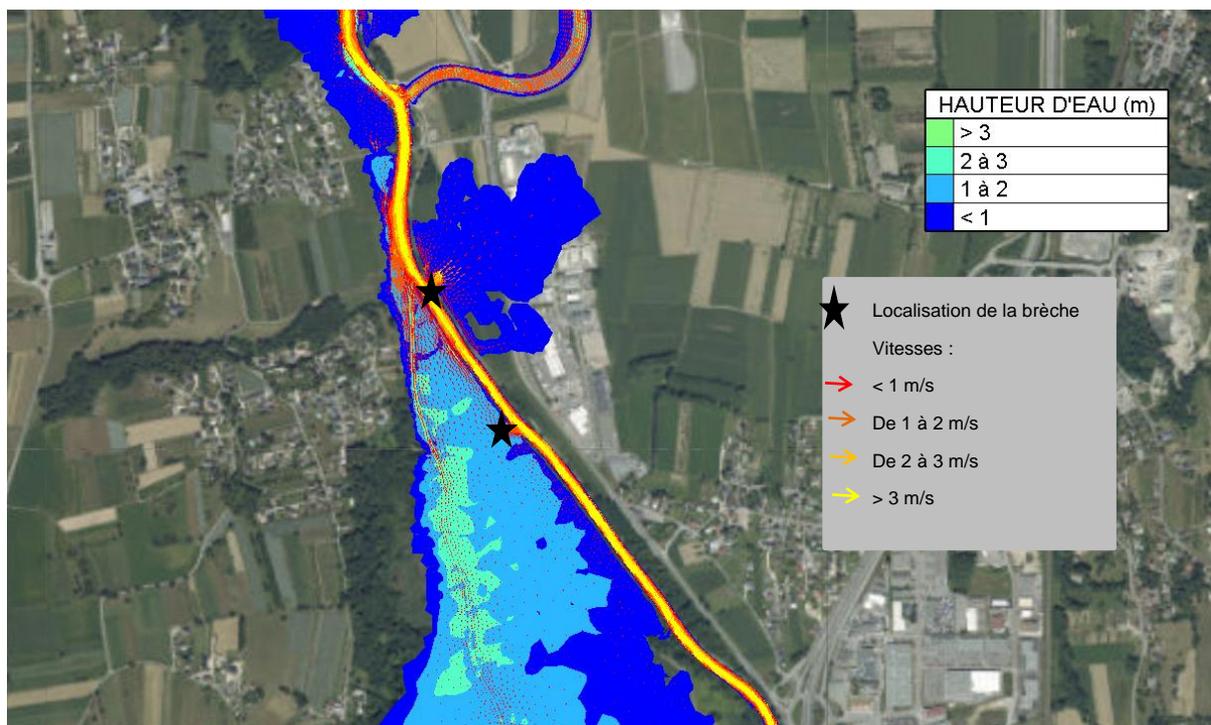


Figure 128 : Cartographie des écoulements – Surverse – Leysse – jour 2, 1h45

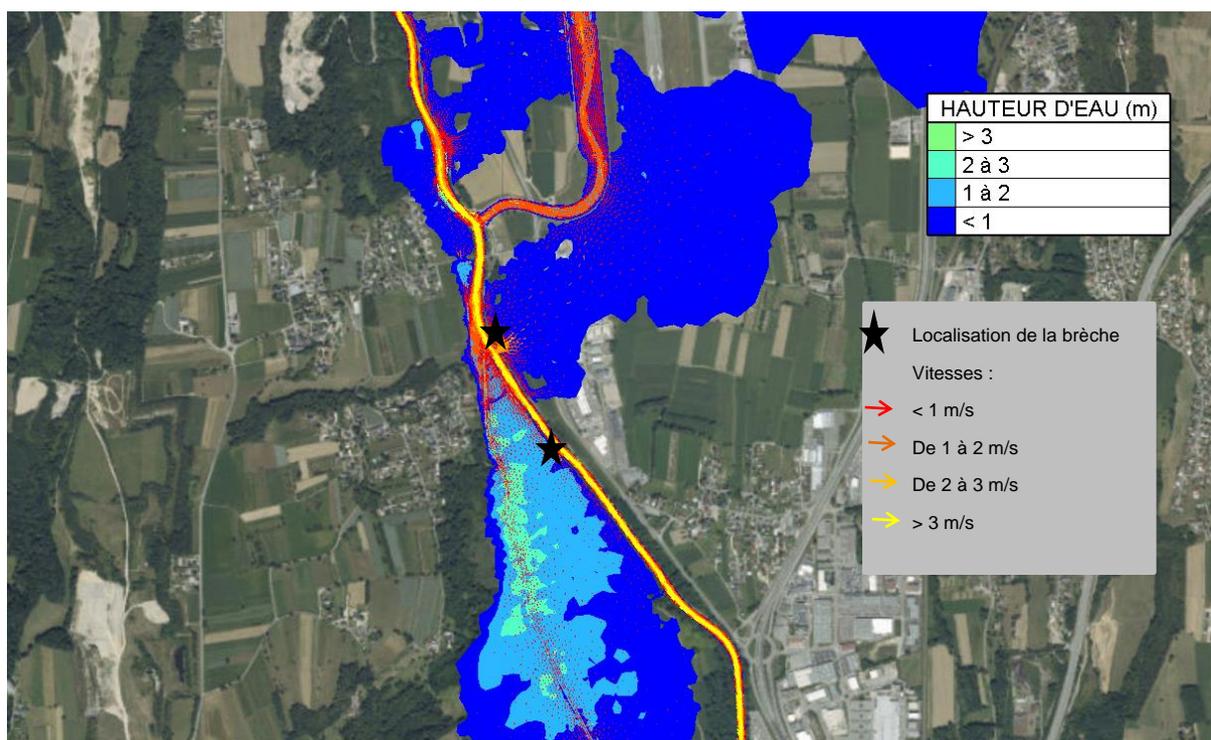


Figure 129 : Cartographie des écoulements – Surverse - Leysse – jour 2, 2h30

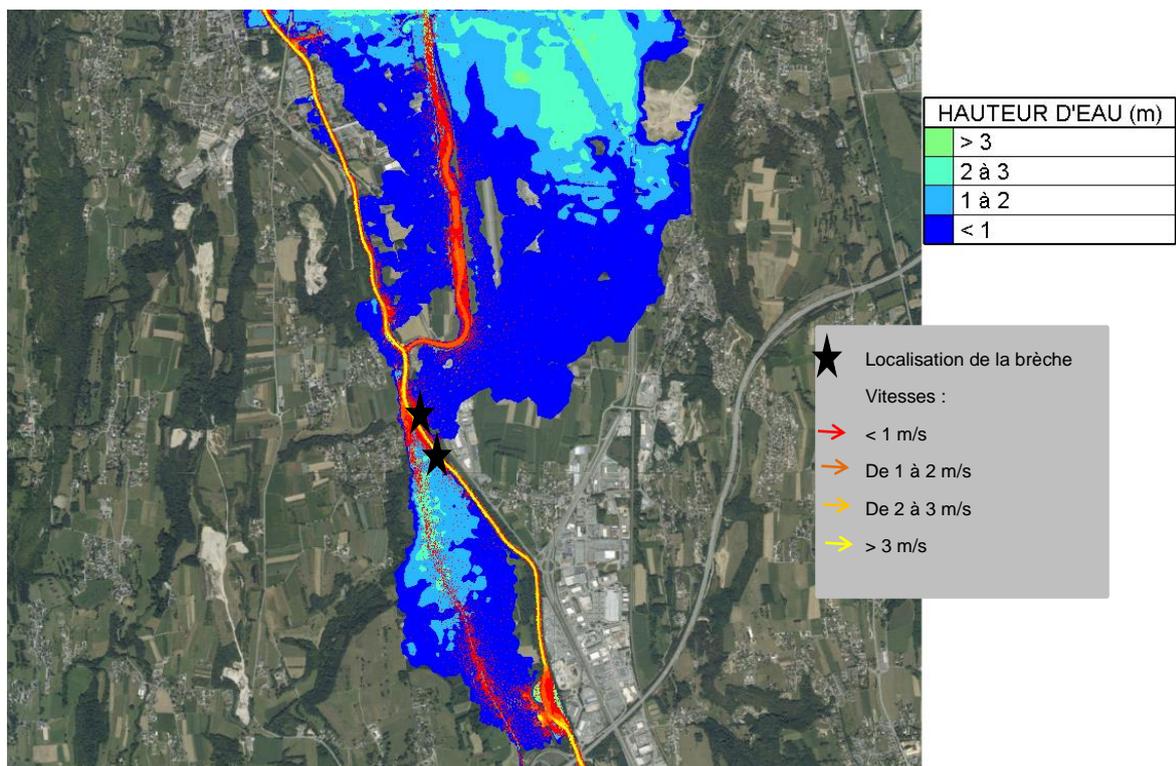


Figure 130 : Cartographie des écoulements – Surverse - Leysse – jour 2, 13h00 (maximum de crue)

ANNEXES

Annexe 1 : Plan d'ensemble de l'aménagement

Annexe 2 : Cartographies des propriétaires des parcelles

Annexe 3 : Diagnostic géotechnique de la digue SE 2

Annexe 4 : Analyse fonctionnelle des ouvrages

Annexe 5 : Plans des stations hydrométriques

Annexe 6 : Calage du modèle Hydraulique

Annexe 7 : Echelle de magnitude et classe des séismes

Annexe 8 : Analyse préliminaire des risques

Annexe 9 : Description du projet Leysse-Hyères

Annexe 10 : Calculs Talren de l'Etat projet

Annexe 11 : Note de vulnérabilité