



Syndicat Mixte
d'Aménagement de la
Vallée de la Durance



Etude de dangers

Système d'endiguement de Pertuis (84)



Rapport n° 133863 / version C – Octobre 2025

Fiche signalétique

Etude de dangers Système d'endiguement de Pertuis (84)

CLIENT

SMAVD - Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance

2, rue Frédéric Mistral
13370 Mallemort

M. Laurent Bernard
Chef de projets Etudes et Travaux
04 90 59 48 58
laurent.bernard@smavd.org

RAPPORT D'ANTEA GROUP

Responsable du projet Lise MOUCHE

Interlocuteur commercial Lise MOUCHE

Implantation chargée du suivi du projet
Implantation d'Aubagne
04.42.08.70.70
secretariat.marseille-fr@anteagroup.com

Rapport n° 133863

Version n° C

Projet n° PACP240090

	Nom	Fonction	Date
Rédaction	Romain DE BORTOLI	Chef de projets	Octobre 2025
Approbation	Lise MOUCHE	Responsable d'équipe	Octobre 2025

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
0	Janvier 2025	201	5	Document provisoire initial
1	Février 2025	236	5	Document provisoire : Ajout éléments de l'EDD 2019 + Document d'organisation
2	Mars 2025	236	5	Document provisoire : intégration remarques SMAVD
A	Mars 2025	233	5	Version initiale finalisée
B	Avril 2025	236	5	Intégration remarques SMAVD
C	Septembre 2025	237	10	Intégration demande de complément SCSOH / DDT 84 / ARS

Sommaire

Résumé non-technique de l'étude de dangers	16
0.1. Préambule	16
0.2. Présentation du gestionnaire du système d'endiguement	17
0.3. Description du système d'endiguement	17
0.4. Fonctions du système d'endiguement	18
0.5. Zone protégée et niveaux de protection associés	18
0.6. Fonctionnement du système d'endiguement en période de montée des eaux de la Durance	20
0.6.1. Scénario 1 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement	20
0.6.2. Scénario 2 : Défaillance fonctionnelle du système d'endiguement	29
0.6.3. Scénario 3 : Défaillance structurelle du système d'endiguement	30
0.6.4. Scénario 4 : Comportement du système d'endiguement pour la crue de référence du PPRI 38	
1. Renseignements administratifs	40
1.1. Identification du gestionnaire du système d'endiguement	40
1.2. Identification de l'organisme rédacteur de l'étude de dangers	40
1.3. Rappel des autorisations existantes en lien avec le système d'endiguement	40
1.4. Remise de l'étude de dangers au Préfet	41
1.5. Bibliographie	41
2. Objet de l'étude	43
2.1. Contexte réglementaire de l'étude de dangers	43
2.2. Commune concernée par la zone protégée	44
2.3. Localisation de la zone protégée	45
2.4. Localisation et description des ouvrages	46
3. Description précise de la zone protégée, du système d'endiguement, de son environnement et de ses fonctions de protection contre les inondations	48
3.1. Zone protégée	48
3.2. Description des conditions naturelles pouvant conduire à des crues, des conditions de fondation des ouvrages et des sollicitations s'exerçant sur ces fondations	52
3.2.1. Description des principaux facteurs naturels contre lesquels le système d'endiguement apporte une protection	52
3.2.2. Références scientifiques	52

3.2.3. Données historiques	53
3.2.4. Synthèse étude géologique.....	53
3.3. Description des éléments composant le système de protection et leurs fonctions hydrauliques	54
3.3.1. Identification du cours d'eau	54
3.3.2. Plan d'ensemble du système d'endiguement	54
3.3.3. Localisation et caractéristiques des éléments constituant le système d'endiguement	56
3.3.4. Présentation globale du système d'endiguement	60
3.3.5. Présentation détaillée du système d'endiguement	68
3.3.6. Localisation des éventuels aménagements hydrauliques.....	69
3.3.7. Présentation et analyse critique des données topographiques disponibles et leur précision	69
3.4. Analyse du fonctionnement du système d'endiguement, analyse des risques de rupture, niveau de protection, analyse de l'organisation du gestionnaire et gestion en situation de crue ou de tempête	70
3.4.1. Données historiques concernant le comportement structurel de l'ouvrage.....	70
3.4.2. Fonction structurelle de chaque composant et fonctionnement d'ensemble	72
3.4.3. Impact des aménagement(s) hydraulique(s)	72
3.4.4. Niveau de protection	72
3.4.5. Situations pouvant survenir pour des niveaux dépassant les performances du système ...	73
3.4.6. Organisation du gestionnaire.....	73
4. Caractérisation des aléas naturels.....	79
4.1. Hydrologie, hydraulique et morphodynamique globale du cours d'eau à l'échelle du système d'endiguement	79
4.1.1. Bassin versant	79
4.1.2. Hydrologie de la Durance.....	81
4.1.3. Morphologie.....	83
4.2. Hydrologie, hydraulique et morphodynamique locale des éléments du système d'endiguement	85
4.2.1. Hydrologie de la Durance au droit du système d'endiguement	85
4.2.2. Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI)	85
4.2.3. Diagnostic hydraulique à l'état actuel.....	89
4.2.4. Morphologie du secteur.....	93
4.3. Embâcles.....	101
4.4. Transport solide.....	101
4.5. Aléa tempête.....	101
4.6. Laves torrentielles	101
4.7. Phénomènes géologiques et géotechniques	101
4.7.1. Contexte géologique et hydrogéologique.....	101

4.7.2.	Aléa sismique	114
4.7.3.	Retrait/gonflement des argiles	115
4.7.4.	Mouvements de terrain et cavités souterraines	116
4.8.	Synthèse de la caractérisation des aléas naturels.....	117
5.	Description du système d'endiguement.....	118
5.1.	Ouvrages existants	118
5.1.1.	Tronçons de digues	119
5.1.2.	Ouvrages, réseaux et instrumentation	141
5.2.	Ouvrages à construire ou à modifier	144
5.3.	Description fonctionnelle du système d'endiguement	144
6.	Retour d'expérience concernant la zone protégée et le système d'endiguement	149
6.1.	Incidents et accidents survenus sur le système d'endiguement.....	149
6.1.1.	Crue de janvier 1994 – digue historique de Tarteau.....	149
6.1.2.	Crue de janvier 1994 – cas particulier de la digue du Père Grand	150
6.2.	Incidents et accidents survenus sur des ouvrages de même type	151
6.2.1.	Grandes crues historiques et observations générales en découlant	151
6.2.2.	Crue de 1994	152
6.3.	Scénarios de défaillance pouvant être mis en évidence par l'étude d'accidentologie	153
7.	Diagnostic approfondi des éléments constitutifs du système d'endiguement et tenue des ouvrages	154
7.1.	Description et analyse des scénarios de défaillance potentiels.....	154
7.1.1.	Rupture par surverse	154
7.1.2.	Rupture par érosion interne	155
7.1.3.	Rupture par glissement.....	155
7.1.4.	Rupture par érosion externe.....	156
7.2.	Synthèse des investigations effectuées	157
7.2.1.	Inspections de terrain au droit des ouvrages de premier rang.....	157
7.2.2.	Synthèse géotechnique au droit du système d'endiguement actuel de Pertuis	158
7.2.3.	Reconnaitances géotechniques au droit des ouvrages de premier rang	160
7.2.4.	Analyse géotechnique des ouvrages de premier rang	170
7.3.	Etude des défaillances structurelles du système d'endiguement.....	180
7.3.1.	Rupture par surverse	180
7.3.2.	Rupture par érosion interne	183
7.3.3.	Rupture par glissement.....	185
7.3.4.	Rupture par érosion externe.....	187
7.3.5.	Synthèse sur la performance du système d'endiguement	190
8	Etude des risques de venues d'eau dans et en dehors de la zone protégée	191

8.1	Scénario 1 : Fonctionnement normal du système d'endiguement	191
8.1.1	Scénario 1a : Digue historique de Tarteau ($Q_{10} = 2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	191
8.1.2	Scénario 1b : Remblai de la voie ferrée et des digues et épis du secteur Corrèze-Mulet ($Q_{30} = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	194
8.1.3	Scénario 1c : Système d'endiguement actuel de Pertuis ($Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	197
8.2	Scénario 2 : Défaillance fonctionnelle du système d'endiguement	200
8.3	Scénario 3 : Défaillance structurelle du système d'endiguement	201
8.3.1	Scénario 3a : Brèche au droit du secteur Corrèze-Mulet	202
8.3.2	Scénario 3b : Brèche au droit de la digue historique de Tarteau	204
8.3.3	Scénario 3c : Brèche au droit du système d'endiguement actuel de Pertuis	207
8.4	Scénario 4 : Comportement du système d'endiguement pour la crue de référence du PPRI	208
9.	Organisation mise en place par le gestionnaire pour l'exercice de ses missions	209
9.1	Organisation du gestionnaire de la digue	209
9.1.1	Acteurs intervenants dans la gestion de la digue	209
9.1.2	Gestion des réparations	210
9.1.3	Gestion documentaire	210
9.2	Consignes écrites	212
9.3	Définition des procédures de surveillance	212
9.3.1	Surveillance du système d'endiguement	212
9.3.2	Gestion des situations d'urgence	224
9.3.3	Détection	224
9.3.4	Dispositions particulières pour les ouvrages en cours de travaux	226
9.3.5	Gestion du retour d'expérience	226
9.4	Moyens d'information sur les crues	226
9.4.1	Veille hydrologique	226
9.4.2	Astreinte de sécurité du gestionnaire	227
9.4.3	Niveau de vigilance et seuil de déclenchement	227
9.5	Procédures d'information et de communication avec les autorités compétentes	229
9.5.1	Généralités sur la transmission de l'information	229
9.5.2	Pendant la crue	229
9.5.3	Déclaration post-crue (EISH)	230
9.6	Dispositions prises par le gestionnaire pour respecter les procédures, auditer et réviser son organisation de gestion du système d'endiguement	230
9.6.1	Formation des agents	230
9.6.2	Information des élus et des directions de mairie / intercommunalité	231
9.6.3	Exercices internes de gestion de crue et de simulation	231
9.7	Rôles de barrière de sécurité	231

9.8 Analyse de l'adéquation des moyens humains et de l'organisation mise en place par le gestionnaire.....	231
9.8.1 Moyens humains.....	231
9.8.2 Entreprises d'intervention d'urgence	232
9.8.3 Moyens matériels.....	233
9bis. Recommandations de l'organisme agréé qui réalise l'étude de dangers.....	234
10 Cartographie.....	236

Table des annexes

Annexe 1 : Autorisation du système d'endiguement de Pertuis – Etude de dangers (source : Ingérop, juillet 2019)	239
Annexe 2 : Mise à jour des débits caractéristiques de la Durance à Mirabeau sur la période 1830-2020 (source : SMAVD, mai 2023)	240
Annexe 3 : Régularisation des ouvrages de Pertuis-amont. Rapport d'étude hydraulique (source : SMAVD, mars 2024)	241
Annexe 4 : Porter à Connaissance des travaux réalisés sur la digue du Père Grand (source : SMAVD, avril 2023)	242
Annexe 5 : Digue de protection contre les crues de la Durance. Gradins stade de foot. Etude de diagnostic G5 (source : Géolithe, novembre 2022)	243
Annexe 6 : Convention de superposition d'affectation entre le système d'endiguement de la ZI de Pertuis et les aménagements communaux (vélo-route et gradins)	244
Annexe 7 : Digue de protection contre les crues de la Durance. Secteur RFF. Etude de diagnostic G5 (source : Géolithe, mai 2023).....	245
Annexe 8 : Digue de protection contre les crues de la Durance. Secteurs AEP amont et aval. Etude de diagnostic G5 (source : Géolithe, mai 2023)	246
Annexe 9 : Digue de protection contre les crues de la Durance. Secteurs épi 19, Corrèze, Mulet. Etude de diagnostic G5 (source : Géolithe, mai 2023)	247
Annexe 10 : Document décrivant l'organisation mise en place pour assurer la gestion du système d'endiguement, son entretien et sa surveillance en toutes circonstances.....	248

Table des figures

Figure 1 : Système d'endiguement de Pertuis et son environnement.....	18
Figure 2 : Zone protégée associée aux différents niveaux de protection du système d'endiguement	19
Figure 3 : Hauteurs d'eau - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2\,000\text{ m}^3/\text{s}$	21
Figure 4 : Vitesses des écoulements - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2\,000\text{ m}^3/\text{s}$	22
Figure 5 : Dangereusité des eaux - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2\,000\text{ m}^3/\text{s}$	23
Figure 6 : Hauteurs d'eau - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$	24
Figure 7 : Vitesses des écoulements - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$	25
Figure 8 : Dangereusité des eaux - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$	26
Figure 9 : Hauteurs d'eau - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$	27
Figure 10 : Vitesses des écoulements - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$	28
Figure 11 : Dangereusité des eaux - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$	29
Figure 12 : Venues d'eau - Scénario 2 (défaillance fonctionnelle) – $Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ (source : EDD 2019, Ingérop).....	30
Figure 13 : Hauteurs d'eau - Scénario 3a (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	32
Figure 14 : Vitesses des écoulements - Scénario 3a (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	33
Figure 15 : Dangereusité des eaux - Scénario 3a (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	34
Figure 16 : Hauteurs d'eau - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	35
Figure 17 : Vitesses des écoulements - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	36
Figure 18 : Dangereusité des eaux - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	37
Figure 19 : Venues d'eau - Scénario 3c (défaillance structurelle) – $Q_{\text{extreme}} = 7\,250\text{ m}^3/\text{s}$ (EDD 2019, Ingérop) ..	38
Figure 20 : Système d'endiguement actuel Pertuis et ouvrages de premier rang (source : SMAVD).....	41
Figure 21 : Commune concernée par la zone protégée du système d'endiguement de Pertuis	45
Figure 22 : Zone protégée du système d'endiguement, subdivisée en sous zones protégées associées aux différents niveaux de protection du système d'endiguement.....	46
Figure 23 : Système d'endiguement de Pertuis et son environnement.....	47
Figure 24 : Zone protégée du système d'endiguement, subdivisée en sous zones protégées associées aux différents niveaux de protection du système d'endiguement.....	49
Figure 25 : Carte du territoire administratif.....	50
Figure 26 : Communes de la métropole Aix-Marseille-Provence (Source : métropole Aix-Marseille-Provence)	51
Figure 27 : Réseau hydrographique au droit du système d'endiguement de Pertuis (source : Antea Group) ...	54
Figure 28 : Plan d'ensemble du système d'endiguement de Pertuis	55
Figure 29 : Localisation des ouvrages à manœuvrer sur le système d'endiguement actuel de Pertuis (EDD 2019, Ingérop).....	56
Figure 30 : Système d'endiguement actuel de Pertuis et accès.....	57
Figure 31 : Remblai voie ferrée et accès	58
Figure 32 : Digue et épis du secteur Corrèze-Mulet et accès	59
Figure 33 : Digue historique de Tarteau et accès.....	60
Figure 34 : Profil en long de la digue de Saint-Roch et sollicitations hydrauliques (EDD 2019, Ingérop)	61
Figure 35 : Profil en long de la digue du Père-Grand amont et sollicitations hydrauliques (EDD 2019, Ingérop)	62
Figure 36 : Profil en long de la digue du Père-Grand aval et sollicitations hydrauliques (EDD 2019, Ingérop) ..	63
Figure 37 : Profil en long de la digue de Tarteau et sollicitations hydrauliques (EDD 2019, Ingérop)	64
Figure 38 : Profil en long du remblai de la voie ferrée et sollicitations hydrauliques.....	65
Figure 39 : Profil en long de la digue de Corrèze et sollicitations hydrauliques	66
Figure 40 : Profil en long de la digue du Mulet et sollicitations hydrauliques	66
Figure 41 : Profil en long de l'épi de Corrèze et sollicitations hydrauliques	67
Figure 42 : Profil en long de l'épi du Mulet et sollicitations hydrauliques.....	67
Figure 43 : Profil en long de la digue historique de Tarteau et sollicitations hydrauliques	68
Figure 44 : Digue historique de Tarteau visible sur la carte de l'Etat Major de 1866	71
Figure 45 : Photographie aérienne du secteur d'étude 1950-1965 (source : Géoportail)	71

Figure 46 : Description du bassin versant de la Durance (source : SMAVD).....	80
Figure 47 : Illustration de la diminution de la largeur du lit vif sur la Durance (source : SMAVD).....	84
Figure 48 : Hydrogrammes simplifiés appliqués en entrée des modélisations de la moyenne Durance (source : SMAVD)	85
Figure 49 : Caractérisation de l'aléa et zonage réglementaire du PPRI de Pertuis	86
Figure 50 : Zonage réglementaire du PPRI de Pertuis (Planche 1/3)	87
Figure 51 : Zonage réglementaire du PPRI de Pertuis (Planche 2/3)	88
Figure 52 : Hauteurs d'eau pour la crue centennale – Système d'endiguement actuel de Pertuis	89
Figure 53 : Profil en long du remblai de la voie ferrée et sollicitations hydrauliques.....	90
Figure 54 : Profil en long de la digue de Corrèze et sollicitations hydrauliques	91
Figure 55 : Profil en long de la digue du Mulet et sollicitations hydrauliques	91
Figure 56 : Profil en long de l'épi de Corrèze et sollicitations hydrauliques	92
Figure 57 : Profil en long de l'épi du Mulet et sollicitations hydrauliques.....	92
Figure 58 : Profil en long de la digue historique de Tarteau et sollicitations hydrauliques	93
Figure 59 : Evolution du profil en long de la Durance (source : SMAVD, 2022)	94
Figure 60 : Vues aériennes (1958 et 2020) du secteur du pont de Pertuis (source : SMAVD).....	96
Figure 61 : Vues aériennes (de 1993 à 2020) au niveau de la digue historique de Tarteau (source : SMAVD) ..	98
Figure 62 : Photographies aériennes du pont de Pertuis et du seuil du canal de Marseille prises à la suite des crues de 1994 (source : SMAVD).....	99
Figure 63 : Evolution du profil en long d'étiage de la Durance au droit de la digue historique des Tarteau (source : SMAVD)	100
Figure 64 : Lignes d'extraction des PL d'étiage : en bleu 2011, rose 2016 et blanc 2017 (source : SMAVD).....	100
Figure 65 : Extrait de la carte géologique 1/50 000 ^e de la zone d'étude (source : Infoterre).....	102
Figure 66 : Localisation des sondages de la BSS réalisé à proximité du remblai de la voie ferrée (source : Infoterre, 2024)	102
Figure 67 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F22 (source : BRGM).....	104
Figure 68 : Localisation des sondages de la BSS réalisé à proximité du remblai de la voie ferrée (source : GEOLITHE, 2023)	104
Figure 69 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F2 (source : BRGM).....	105
Figure 70 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F1 (source : BRGM).....	106
Figure 71 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F6 (source : BRGM).....	107
Figure 72 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F5b (source : BRGM)	107
Figure 73 : Plan d'implantation et habillage des sondages A à D sur profils en travers (source : BRGM)	109
Figure 74 : Localisation des sondages de la BSS réalisé à proximité du secteur Corrèze-Mulet (source : GEOLITHE, 2023)	110
Figure 75 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F5b (source : BRGM)	111
Figure 76 : Localisation des sondages de la BSS réalisé à proximité de la digue historique de Tarteau (source : GEOLITHE, 2023)	112
Figure 77 : Coupe de sondage – F33 (source : BRGM)	113
Figure 78 : Zonage sismique (source : Antea Group)	114
Figure 79 : Retrait/gonflement des argiles (source : Infoterre)	116
Figure 80 : Système d'endiguement de Pertuis et son environnement.....	118
Figure 81 : Système d'endiguement actuel de Pertuis (EDD 2019, Ingérop)	119
Figure 82 : Coupe type (profil de calcul) de la digue de Saint-Roch (EDD 2019, Ingérop)	120
Figure 83 : Coupe type (profil de calcul) de la section renforcée au déversement de la digue de Saint-Roch (EDD 2019, Ingérop).....	120
Figure 84 : Coupe type (profil de calcul) de la digue du Père-Grand amont - avec mur de soutènement (EDD 2019, Ingérop).....	121
Figure 85 : Coupe type (profil de calcul) de la digue du Père-Grand aval – Section amont reconstruite après arasement (EDD 2019, Ingérop).....	122
Figure 86 : Coupe type (profil de calcul) de la digue du Père-Grand aval – Avec remblai hors digue côté amont (EDD 2019, Ingérop).....	122
Figure 87 : Coupe type (profil de calcul) de la digue du Père-Grand aval – Section aval réhaussé (EDD 2019, Ingérop).....	123

Figure 88 : Coupe type des travaux réalisés sur la digue du Père-Grand aval (SMAVD, 2023).....	123
Figure 89 : Coupe type (profil de calcul) de la digue de Tarteau amont - Section avec mur en L (EDD 2019, Ingérop).....	124
Figure 90 : Coupe type (profil de calcul) de la digue de Tarteau amont - Section avec mur en U (EDD 2019, Ingérop).....	125
Figure 91 : Coupe type (profil de calcul) de la digue de Tarteau amont - Section en remblai (EDD 2019, Ingérop).....	125
Figure 92 : Coupe type (profil de calcul) de la digue de Tarteau aval (EDD 2019, Ingérop).....	125
Figure 93 : Remblai voie ferrée – Tronçons homogènes.....	126
Figure 94 : Coupe type (profil critique) du tronçon RFF1.....	127
Figure 95 : Coupe type (profil critique) du tronçon RFF2.....	127
Figure 96 : Secteur Corrèze-Mulet	128
Figure 97 : Digue de Corrèze – Tronçons homogènes	129
Figure 98 : Coupe type (profil critique) du tronçon DCORR1	130
Figure 99 : Coupe type (profil critique) du tronçon DCORR2	130
Figure 100 : Coupe type (profil critique) du tronçon DCORR3	131
Figure 101 : Epi de Corrèze – Tronçons homogènes.....	132
Figure 102 : Coupe type (profil critique) du tronçon CORR1	132
Figure 103 : Coupe type (profil critique) du tronçon CORR2	133
Figure 104 : Coupe type (profil critique) du tronçon CORR3	133
Figure 105 : Digue du Mulet – Tronçons homogènes	134
Figure 106 : Coupe type (profil critique) du tronçon DMUL1	135
Figure 107 : Coupe type (profil critique) du tronçon DMUL2	135
Figure 108 : Epi du Mulet – Tronçons homogènes	136
Figure 109 : Coupe type (profil critique) du tronçon MUL1.....	137
Figure 110 : Coupe type (profil critique) du tronçon MUL2.....	137
Figure 111 : Digue historique de Tarteau – Tronçons homogènes	138
Figure 112 : Coupe type (profil critique) du tronçon AEP1	139
Figure 113 : Coupe type (profil critique) du tronçon AEP2	139
Figure 114 : Coupe type (profil critique) du tronçon AEP3	140
Figure 115 : Coupe type (profil critique) du tronçon AEP4	140
Figure 116 : Localisation des ouvrages à manœuvrer au sein du système d'endiguement actuel de Pertuis (EDD 2019, Ingérop).....	141
Figure 117 : Ouvrages traversants identifiés au niveau de l'extrémité amont (Est) du remblai de la voie ferrée	143
Figure 118 : Hauteur d'eau pour $Q = 2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ($T = 10\text{ ans}$).....	144
Figure 119 : Hauteur d'eau pour $Q = 2\,500\text{ m}^3/\text{s}$	145
Figure 120 : Hauteur d'eau pour $Q = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ($T = 30\text{ ans}$).....	146
Figure 121 : Hauteur d'eau pour $Q = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ($T = 50\text{ ans}$).....	147
Figure 122 : Hauteur d'eau pour $Q = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ($T = 100\text{ ans}$).....	148
Figure 123 : Photographies du seuil du canal de Marseille et de la digue historique de Tarteau (SMAVD, mars 2023)	150
Figure 124 : Crue de janvier 1994	152
Figure 125 : Rupture de l'épi de Basse Plaine (La Roque d'Antheron, 13).....	153
Figure 126 : Rupture de l'épi des Bergers d'Arles (Le Puy Sainte-Réparate, 13).....	153
Figure 127 : Rupture de l'épi du Piquet (Charleval, 13)	153
Figure 128 : Rupture de l'épi des Vanades (La Roque d'Antheron, 13)	153
Figure 129 : Rupture de l'épi du village (Puget, 13)	153
Figure 130 : Différents modes de rupture classiques de digues	154
Figure 131 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par surverse	155
Figure 132 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par érosion interne	155
Figure 133: Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par glissement côté zone protégée.....	156

Figure 134 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par glissement côté cours d'eau	156
Figure 135 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par érosion externe en pied de talus	156
Figure 136 : Végétation (sur les talus) et voie ferrée (en crête) du remblai de la voie ferrée (source : Antea Group, 2024)	157
Figure 137 : Localisation des désordres observés au droit de la digue historique de Tarteau (source : SMAVD, 2023)	158
Figure 138 : Plan d'implantation des investigations géotechniques – Remblai de la voie ferrée (source : FONDASOL)	161
Figure 139 : Plan d'implantation des investigations géotechniques – Secteur Corrèze-Mulet (source : FONDASOL)	163
Figure 140 : Plan d'implantation des investigations géotechniques – Digue historique de Tarteau (source : FONDASOL)	164
Figure 141 : Résultats des essais de perméabilité de type Porchet au droit du sondage PM11 (source : Géolithe)	165
Figure 142 : Résultats des essais en laboratoire réalisés sur des échantillons issus du sondage PM11 (source : Géolithe)	165
Figure 143 : Panneau électrique Pe1_Corr réalisé au droit de la digue de Corrèze (source : Géolithe)	167
Figure 144 : Panneau électrique Pe1_EpCorr réalisé au droit de l'épi de Corrèze (source : Géolithe)	167
Figure 145 : Panneau électrique Pe1_Mul réalisé au droit de l'épi du Mulet (source : Géolithe)	168
Figure 146 : Résultats des essais de perméabilité de type Nasberg au droit des sondages SC31 et SC61 (source : Géolithe)	168
Figure 147 : Résultats de l'essai de perméabilité de type Porchet au droit des sondages PM41 et PM51 (source : Géolithe)	168
Figure 148 : Résultats des essais en laboratoire réalisés sur des échantillons issus des différents sondages (source : Géolithe)	169
Figure 149 : Résultats des essais de perméabilité de type Nasberg au droit du sondage SC81 (source : Géolithe)	170
Figure 150 : Résultats de l'essai de perméabilité de type Porchet au droit du sondage PM72 (source : Géolithe)	170
Figure 151 : Résultats des essais en laboratoire réalisés sur des échantillons issus du sondage SC81 (source : Géolithe)	170
Figure 152 : Carte des vecteurs vitesses modélisées au niveau de la digue historique de Tarteau (source : SMAVD)	189
Figure 153 : Hauteurs d'eau - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2\,000\text{ m}^3/\text{s}$	192
Figure 154 : Vitesses des écoulements - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2\,000\text{ m}^3/\text{s}$	193
Figure 155 : Dangerosité des eaux - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2\,000\text{ m}^3/\text{s}$	194
Figure 156 : Hauteurs d'eau - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$	195
Figure 157 : Vitesses des écoulements - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$	196
Figure 158 : Dangerosité des eaux - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$	197
Figure 159 : Hauteurs d'eau - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$	198
Figure 160 : Vitesses des écoulements - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$	199
Figure 161 : Dangerosité des eaux - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$	200
Figure 162 : Venues d'eau - Scénario 2 (défaillance fonctionnelle) – $Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ (source : EDD 2019, Ingérop)	201
Figure 163 : Hauteurs d'eau - Scénario 3a (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	203
Figure 164 : Vitesses des écoulements - Scénario 3a (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	203
Figure 165 : Dangerosité des eaux - Scénario 3a (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	204
Figure 166 : Hauteurs d'eau - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	205
Figure 167 : Vitesses des écoulements - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	206
Figure 168 : Dangerosité des eaux - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$	207
Figure 169 : Venues d'eau - Scénario 3c (défaillance structurelle) – $Q_{\text{extrême}} = 7\,250\text{ m}^3/\text{s}$ (EDD 2019, Ingérop)	208

Figure 170 : Classification des EISH	216
Figure 171 : Organigramme de la cellule de veille	219
Figure 172 : Organigramme de la cellule de crise	221
Figure 173 : Correspondance entre débits et niveau de mise en charge de la digue	228

Table des tableaux

Tableau 1 : Critères de définition de la dangerosité des venues d'eau	20
Tableau 2 : Annexe bibliographique	42
Tableau 3 : Cadre de la demande d'autorisation du système d'endiguement	43
Tableau 4 : Principales crues recensées sur la Durance ayant été utilisées pour le calage du modèle hydrologique	53
Tableau 5 : Principales crues recensées sur la Durance ayant été utilisées pour le calage du modèle hydrologique	81
Tableau 6 : Débits de pointe (en m ³ /s) caractéristiques de la Durance (source : schéma d'aménagement et de gestion de la moyenne et basse vallée de la Durance)	82
Tableau 7 : Photographie du viaduc de Meyrargues et du seuil 106 (source : SMAVD, 2021).....	94
Tableau 8 : Exigence de vérification de l'absence de risque potentiel de liquéfaction – digues (Source : rapport « Risque sismique et sécurité des OH » du Ministère de l'Écologie – octobre 2014)	115
Tableau 9 : Niveau d'étude recommandé - digues (Source : rapport « Risque sismique et sécurité des OH » du Ministère de l'Écologie – octobre 2014)	115
Tableau 10 : Synthèse des aléas naturels pris en compte dans l'étude de dangers	117
Tableau 11 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – remblai voie ferrée.....	128
Tableau 12 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – Digue de Corrèze	131
Tableau 13 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – Epi de Corrèze	134
Tableau 14 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – Digue du Mulet.....	136
Tableau 15 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – Epi du Mulet	138
Tableau 16 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – Digue historique de Tarteau	141
Tableau 17 : Ouvrages traversant le système d'endiguement actuel de Pertuis.....	142
Tableau 18 : Caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue et de l'épi de Saint-Roch (EDD 2019, Ingérop).....	159
Tableau 19 : Caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue du Père Grand Amont (EDD 2019, Ingérop).....	159
Tableau 20 : Caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue du Père Grand Aval (EDD 2019, Ingérop)	159
Tableau 21 : Caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue de Tarteau amont (EDD 2019, Ingérop)	160
Tableau 22 : Caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue de Tarteau aval (EDD 2019, Ingérop) ..	160
Tableau 23 : Investigations géotechniques réalisées – Remblai de la voie ferrée (source : Géolithe)	161
Tableau 24 : Investigations géotechniques réalisées – Secteur Corrèze-Mulet (source : Géolithe)	162
Tableau 25 : Investigations géotechniques réalisées – Digue historique de Tarteau (source : Géolithe)	164
Tableau 26 : Analyse critique de la nature des investigations et essais laboratoires disponibles sur les ouvrages.....	171
Tableau 27 : Caractéristiques de sols retenues pour les modélisations – Remblai de la voie ferrée (source : Géolithe)	172
Tableau 28 : Caractéristiques de sols retenues pour les modélisations – Secteur Corrèze-Mulet (source : Géolithe)	172
Tableau 29 : Caractéristiques de sols retenues pour les modélisations – Digue historique de Tarteau (source : Géolithe)	172
Tableau 30 : Résultats des calculs géotechniques menés– Remblai de la voie ferrée (source : Géolithe)	174
Tableau 31 : Résultats des calculs géotechniques menés – Digue de Corrèze (source : Géolithe).....	175
Tableau 32 : Résultats des calculs géotechniques menés – Digue du Mulet (source : Géolithe)	175
Tableau 33 : Résultats des calculs géotechniques menés – Epi de Corrèze (source : Géolithe)	176
Tableau 34 : Résultats des calculs géotechniques menés – Epi du Mulet (source : Géolithe).....	177
Tableau 35 : Résultats des calculs géotechniques menés – Digue historique de Tarteau – Tronçon AEP1 (source : Géolithe).....	178

Tableau 36 : Résultats des calculs géotechniques menés – Digue historique de Tarteau – Tronçon AEP2 (source : Géolithe).....	179
Tableau 37 : Résultats des calculs géotechniques menés – Digue historique de Tarteau – Tronçon AEP4 (source : Géolithe).....	180
Tableau 38 : Probabilités associées à l'apparition de la surverse (EDD 2019, Ingérop).....	181
Tableau 39 : Cotation du scénario de rupture par surverse (EDD 2019, Ingérop)	181
Tableau 40 : Critères d'évaluation des probabilités de défaillance par surverse	182
Tableau 41 : Evaluation des probabilités de défaillance par surverse	182
Tableau 42 : Cotation du scénario de rupture par érosion interne (EDD 20,19, Ingérop)	183
Tableau 43 : Evaluation des probabilités de défaillance par érosion interne	184
Tableau 44 : Probabilités d'apparition d'un glissement de talus $P(g_a)$ en fonction du facteur de sécurité F calculé (EDD 2019, Ingérop)	185
Tableau 45 : Cotation du scénario de rupture par glissement de talus (EDD 2019, Ingérop).....	186
Tableau 46 : Evaluation des probabilités de défaillance par glissement	187
Tableau 47 : Evaluation des probabilités de défaillance par érosion externe	190
Tableau 48 : Critères de définition de la dangerosité des venues d'eau	191
Tableau 49 : Recommandations de l'organisme agréé vue de conforter à moyen ou à long terme la protection apportée par le système d'endiguement	235

Résumé non-technique de l'étude de dangers

0.1. Préambule

Le système d'endiguement de Pertuis (classe B) a été autorisé par arrêté préfectoral en 2020. Le bénéficiaire de l'arrêté est le Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance (SMAVD) à qui la Métropole Aix-Marseille Provence a délégué la gestion de ce système.

Des enjeux humains et économiques sont présents entre le système d'endiguement actuel et la Durance (population éparse, usine d'eau potable, etc.). Certains de ces enjeux sont protégés par des remblais. L'objectif de la présente étude de dangers est dans un premier temps d'étendre le système d'endiguement existant. Une prochaine étude de dangers intégrera ultérieurement la réalisation des travaux sur certains de ces remblais.

Par conséquent, le SMAVD a engagé, avec la Métropole Aix-Marseille Provence, le programme d'action suivant :

- **Phase 1** : élaborer un dossier de demande d'autorisation d'extension du système d'endiguement de Pertuis existant qui intègre les ouvrages de premier rang suivants, dans leur état actuel (sans travaux) :
 - Remblai voie ferrée RFF,
 - Dignes et épis du secteur Corrèze-Mulet,
 - Digue historique de Tarteau,
- **Phase 2** : élaborer un dossier réglementaire pour pouvoir réaliser des travaux de confortement de manière à rehausser le niveau de protection du système d'endiguement de Pertuis (cas 3 : Modification substantielle d'un système d'endiguement déjà autorisé).

La présente étude de dangers (sans travaux) concerne la phase 1 du programme d'action. L'étude porte sur les ouvrages de premier rang et reprend les éléments de l'étude de dangers de 2019 réalisée par Ingérop sur le système d'endiguement actuel du Pertuis.

A noter que les études de restructuration du système d'endiguement sont en cours avec un objectif de démarrage des travaux de confortement (phase 2) à l'horizon 2028. A titre indicatif, les objectifs qui seront visés par les futurs travaux de restructuration sont les suivants :

- Rehausse du niveau de protection de la digue historique de Tarteau de Q_{10} à Q_{100} . Le périmètre de la zone protégée restera sensiblement identique,
- Neutralisation de la digue de Corrèze et rehausse du niveau de protection des autres ouvrages du secteur de Corrèze-Mulet de Q_{30} à Q_{50} . La digue du Mulet sera notamment a priori entièrement reconstruite au vu de l'absence totale de fiabilité dans son état actuel. Le périmètre de la zone protégée restera sensiblement identique (les secteurs de bord de Durance naturellement inondés à Q_{50} étant exclus du périmètre).

A noter que les autres ouvrages ayant fait l'objet d'un classement en 2015 (84T016, 84T156 et 84T157) devraient être conservés en l'état de manière à ne pas impacter la biodiversité présente sur ces ouvrages. Une justification sera par ailleurs apportée quant à l'absence de sur-risque lié à ces ouvrages.

Ces éléments seront affinés dans le cadre du prochain dossier de demande d'autorisation avec travaux.

0.2. Présentation du gestionnaire du système d'endiguement

Le Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance (SMAVD), est délégataire de la métropole Aix-Marseille-Provence qui est l'organisme GEMAPI en charge de la mise en œuvre de la politique de prévention du risque inondation sur son territoire et donc, notamment, responsable du système d'endiguement des Pertuis objet du présent dossier.

Regroupant la Région Sud, 4 Conseils départementaux (04, 05, 13 et 84), ainsi que 13 intercommunalités, le SMAVD est un établissement public qui assure la gestion de la Durance entre le barrage de Serre-Ponçon et le Rhône.

Le SMAVD s'applique à mettre en œuvre durant toute l'année les actions en vue de protéger cet espace unique et ses riverains. Ses actions d'articulent autour de 4 axes :

- la valorisation de la Durance,
- la protection des populations contre les inondations,
- la préservation de la biodiversité,
- l'adaptation au changement climatique.

0.3. Description du système d'endiguement

Le système d'endiguement objet de la présente étude est situé en rive droite de la Durance à Pertuis (84). Il est composé des ouvrages suivants :

- le système d'endiguement de Pertuis existant tel qu'il est déjà autorisé actuellement (cf. Annexe 1) : 3 907 ml,
- les ouvrages de premier rang faisant l'objet de la présente étude de dangers (demande d'autorisation d'extension du système d'endiguement de Pertuis existant) :
 - Remblai de la voie ferrée : 2 300 ml,
 - Digues et épis du secteur Corrèze-Mulet : 2 590 ml,
 - Digue historique de Tarteau : 725 ml.

On notera également la présence d'autres ouvrages à proximité (non intégrés au système d'endiguement de Pertuis) :

- ouvrages linéaires en remblais,
- ouvrages hydrauliques présents en lit mineur de la Durance.

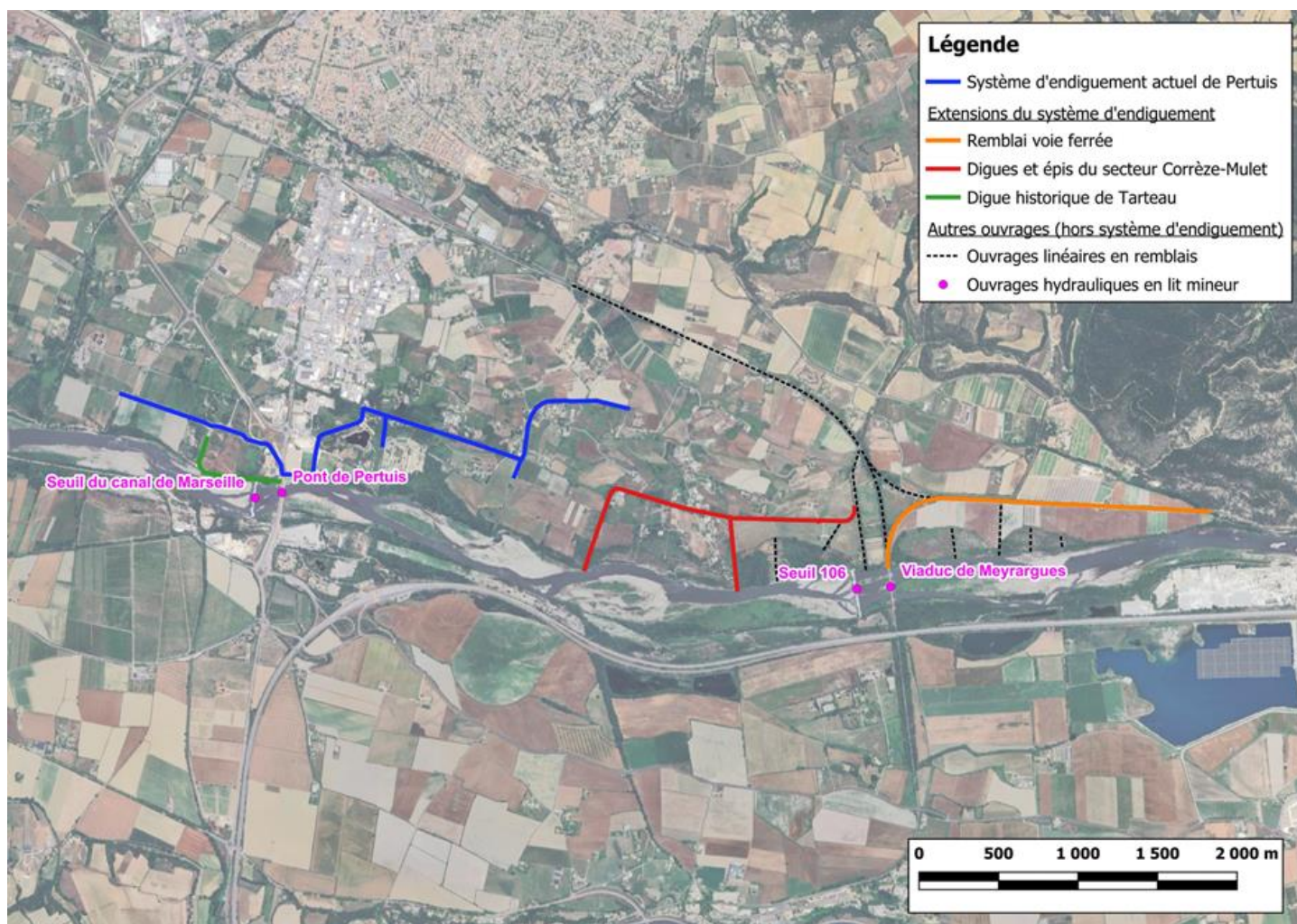


Figure 1 : Système d'endiguement de Pertuis et son environnement

0.4. Fonctions du système d'endiguement

Le système d'endiguement de Pertuis a pour objectif de protéger les enjeux présents, notamment la zone industrielle et commerciale de Pertuis, situés en rive droite contre les crues de la Durance.

On notera par ailleurs que l'usage premier de l'ouvrage de premier rang « Remblai de la voie ferrée » est le transport ferroviaire.

0.5. Zone protégée et niveaux de protection associés

Le **niveau de protection** est défini par l'article R. 214-119-1 du code de l'environnement. C'est la hauteur maximale définie par le gestionnaire que peut atteindre l'eau sans que la zone protégée soit inondée en raison du débordement, du contournement, ou de la rupture des ouvrages de protection. Le niveau de protection d'un système d'endiguement est apprécié au regard soit d'un débit du cours d'eau en crue considéré ou d'une cote atteinte par celui-ci.

La **zone protégée** est l'entité géographique protégée de l'inondation du cours d'eau par un ensemble cohérent de digues ou d'ouvrages jouant un rôle de protection. Il s'agit d'une zone réputée inondable en l'absence d'un système d'endiguement dont l'effet est de diminuer l'aléa inondation en termes de probabilité, d'intensité, de durée ou de temps d'arrivée.

Le SMAVD, en sa qualité de délégataire au propriétaire et gestionnaire du système d'endiguement de Pertuis, a fixé les niveaux de protection suivants :

- système d'endiguement de Pertuis existant : crue centennale de la Durance de débit 5 000 m³/s,
- Ouvrages de premier rang (objet de la présente étude de dangers) :
 - Remblai de la voie ferrée et digues et épis du secteur Corrèze-Mulet : crue trentennale de la Durance de débit 3 000 m³/s,
 - Digue historique de Tarteau : crue décennale de la Durance de débit 2 000 m³/s.

La zone protégée liée aux différents niveaux de protection définis décrits ci-dessus correspond à l'assemblage des zones protégées relatives au niveau de protection défini pour chacun des ensembles d'ouvrages du système d'endiguement (effacement concomitant des tous les ouvrages de premier rang ainsi que des remblais de l'environnement).

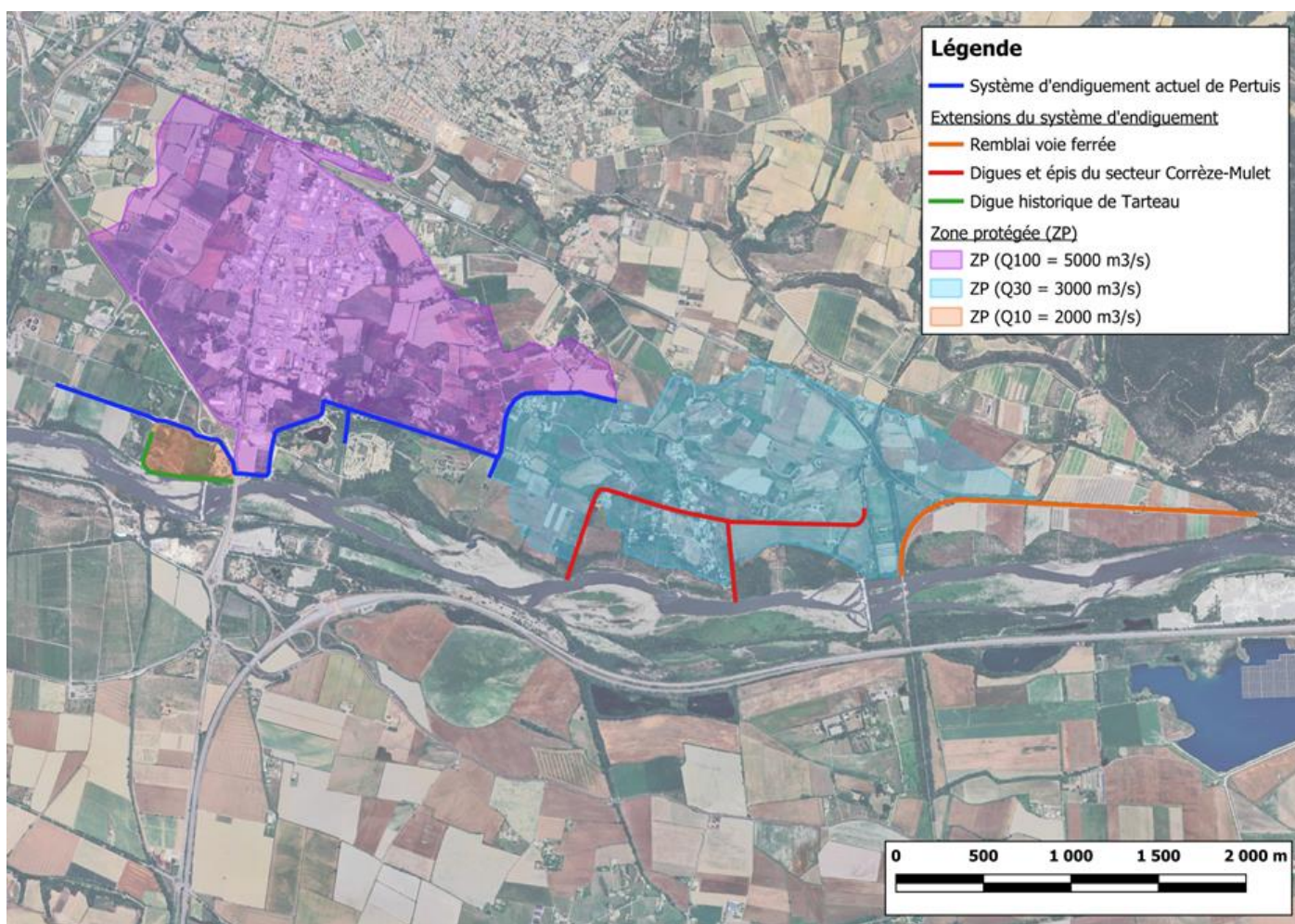


Figure 2 : Zone protégée associée aux différents niveaux de protection du système d'endiguement

A noter que le SMAVD a fait le choix de définir des sous-zones protégées cohérentes du système d'endiguement. Ainsi, d'un point de vue opérationnel pour la gestion de crue, le SMAVD a notamment fait le choix de retenir un niveau de protection commun à Q_{30} pour le remblai de la voie ferrée et les digues et épis du secteur Corrèze-Mulet (et non pas un niveau de protection distinct à Q_{100} le remblai de la voie ferrée) pour compte-tenu du fait que :

- le sur-risque au-delà de Q_{30} se manifeste par des ruptures possibles des digues de Corrèze-Mulet. Pour Rappel, des travaux sont envisagés en 2028 (phase 2) pour pallier ce sur-risque (cf. §0.1). A noter que le niveau de protection sera rehaussé à Q_{50} dans ce secteur une fois les travaux réalisés sur les digues de Corrèze-Mulet,
- la grande majorité des enjeux se trouvant dans la zone protégée telle que définie sont inondée pour des crues bien inférieure à la crue centennale.

0.6. Fonctionnement du système d'endiguement en période de montée des eaux de la Durance

Le présent chapitre précise les risques de venues d'eau dans et en dehors de la zone protégée pour les différents scénarios demandés dans l'arrêté du 30 septembre 2019 qui précise le plan des études de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement.

La dangerosité des écoulements a été qualifiée de la façon suivante, conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019, en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulements mesurées, mais également de la configuration topographique des terrains inondés :

Hauteurs d'eau / Vitesses d'écoulements	$0 < v < 0,5 \text{ m/s}$	$v \geq 0,5 \text{ m/s}$
$0 < h < 1 \text{ m}$	Eaux non - dangereuses	Eaux dangereuses
$1 \leq h < 2 \text{ m}$	Eaux dangereuses	Eaux dangereuses
$h \geq 2 \text{ m}$ et points topographiques particuliers (points bas, cuvettes et zones de dissipation d'énergie)	Eaux particulièrement dangereuses	

Tableau 1 : Critères de définition de la dangerosité des venues d'eau

0.6.1. Scénario 1 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement

Ce scénario présente le système d'endiguement de Pertuis en fonctionnement nominal jusqu'aux différents niveaux de protection.

Dans ce scénario, les crues correspondant aux différents niveaux de protection des ouvrages sont contenues par les ouvrages (aucune entrée d'eau n'est observée au sein de la zone protégée), soit :

- Crue décennale de la Durance de débit $2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la digue historique de Tarteau,
- Crue trentennale de la Durance de débit $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le remblai de la voie ferrée et digues et épis du secteur Corrèze-Mulet,
- Crue centennale de la Durance de débit $5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le système d'endiguement actuel de Pertuis.

0.6.1.1 Scénario 1a : Digue historique de Tarteau ($Q_{10} = 2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

Les cartographies de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement découlant de ce scénario, ainsi que de l'aléa issu du croisement de ces deux paramètres, sont présentées ci-après

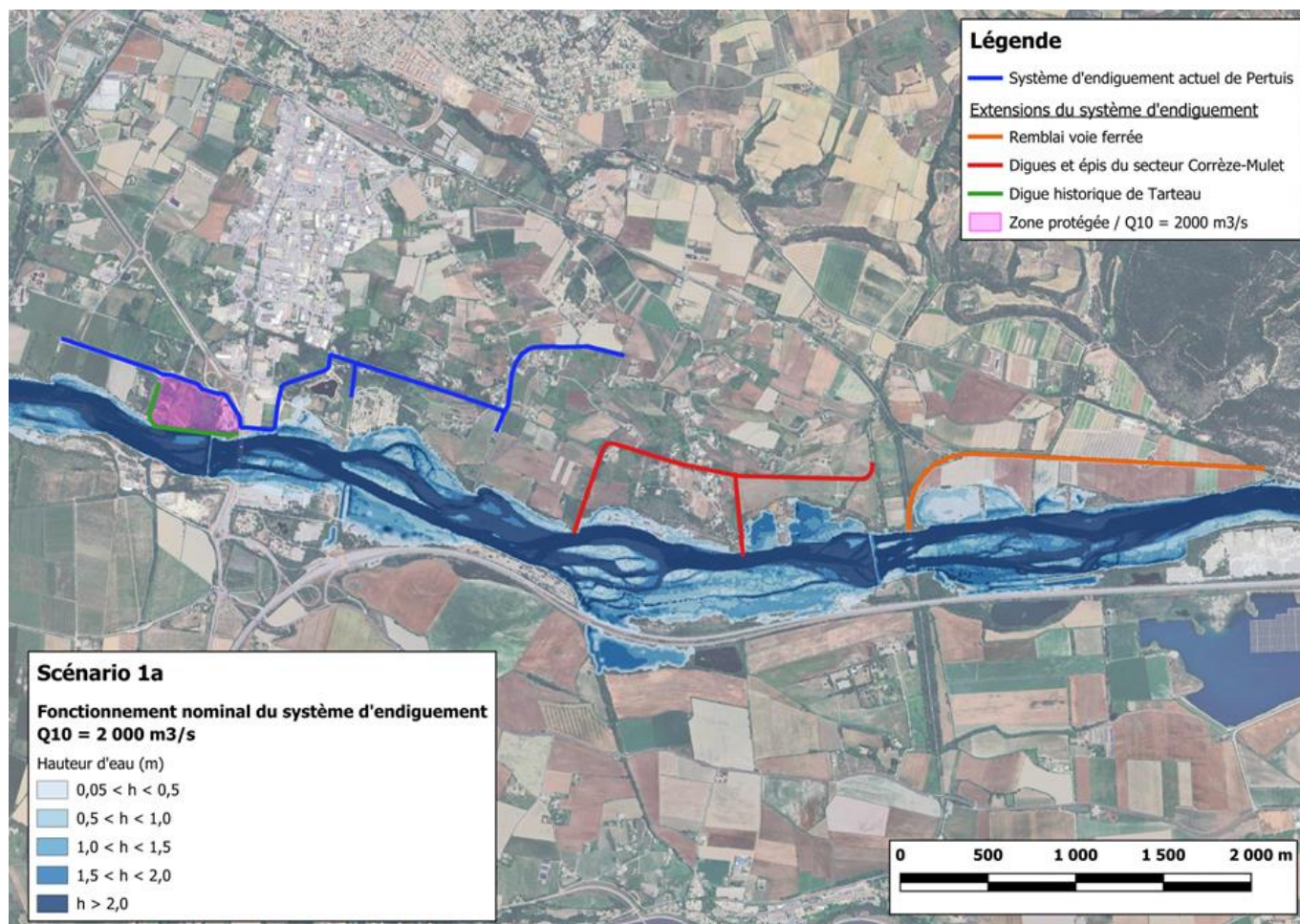


Figure 3 : Hauteurs d'eau - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2\,000\text{ m}^3/\text{s}$

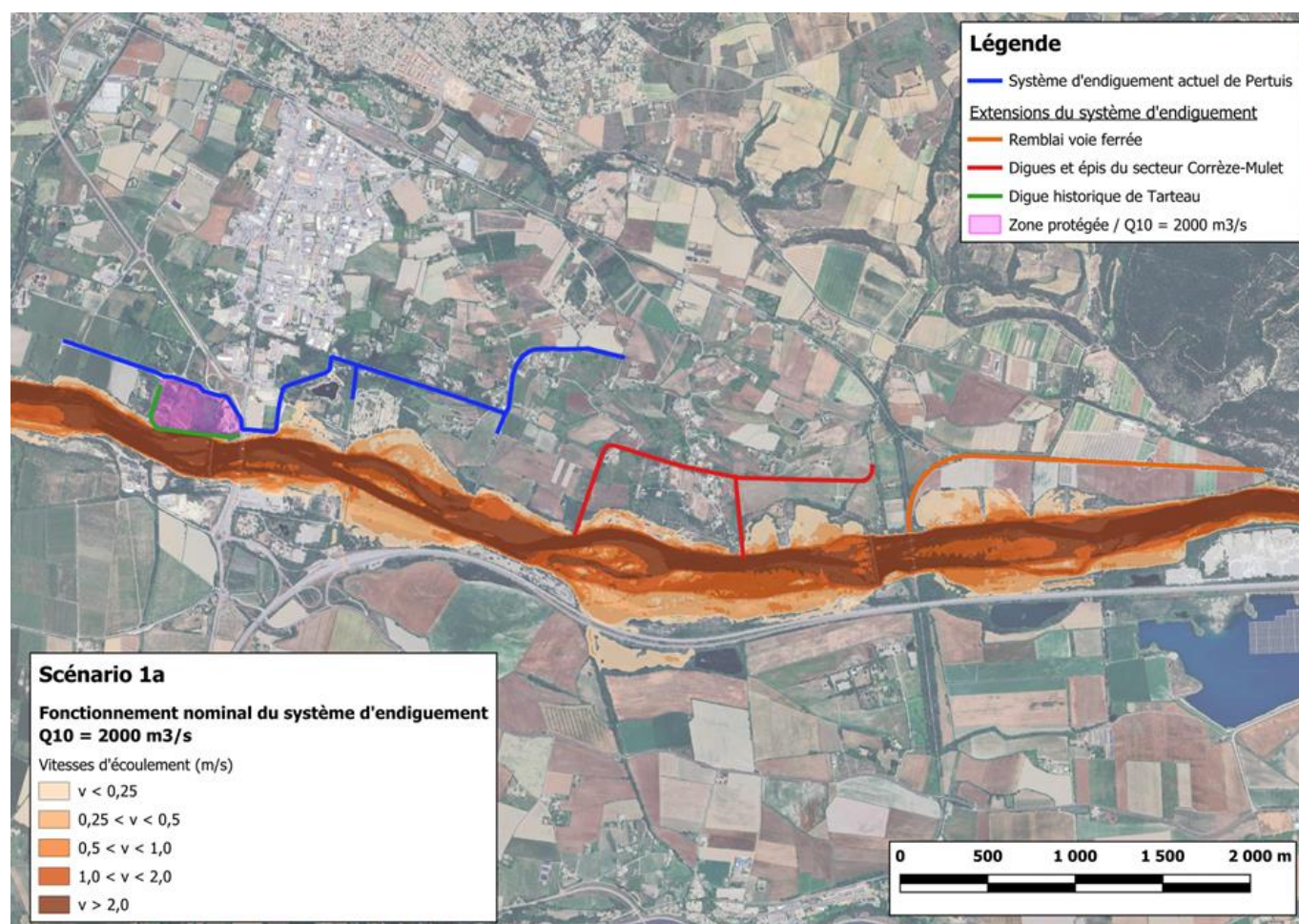


Figure 4 : Vitesses des écoulements - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

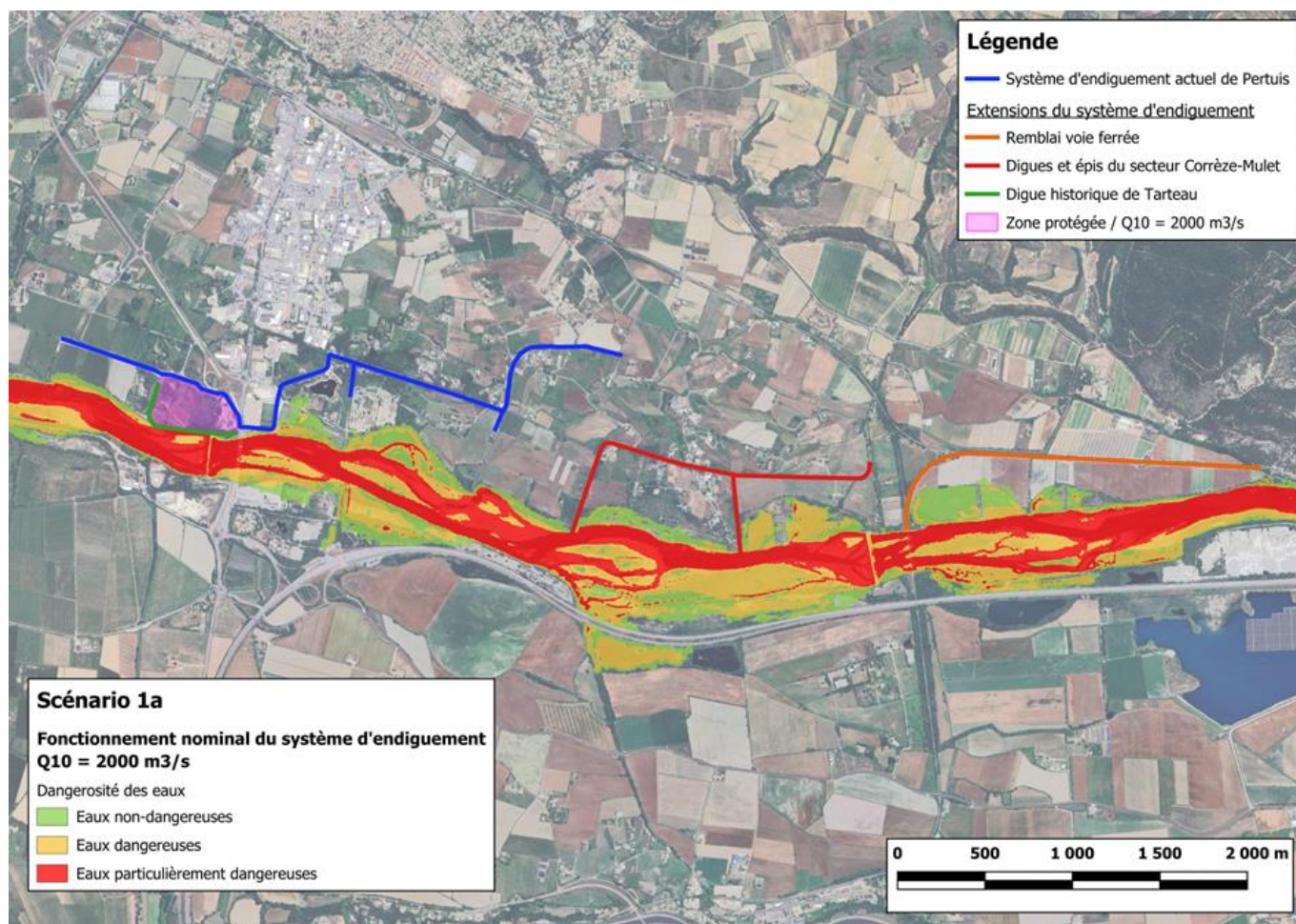


Figure 5 : Dangerosité des eaux - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

Les zones d'eaux particulièrement dangereuses se situent dans le lit de la Duranc et de ses anciens méandres.

0.6.1.2 Scénario 1b : Remblai de la voie ferrée et des digues et épis du secteur Corrèze-Mulet ($Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$)

A noter que le niveau de protection de la digue historique de Tarteau étant dépassé, une brèche a été simulée au droit de cette dernière en aval du seuil du canal de Marseille.

Les cartographies de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement découlant de ce scénario, ainsi que de l'aléa issu du croisement de ces deux paramètres, sont présentées ci-après.

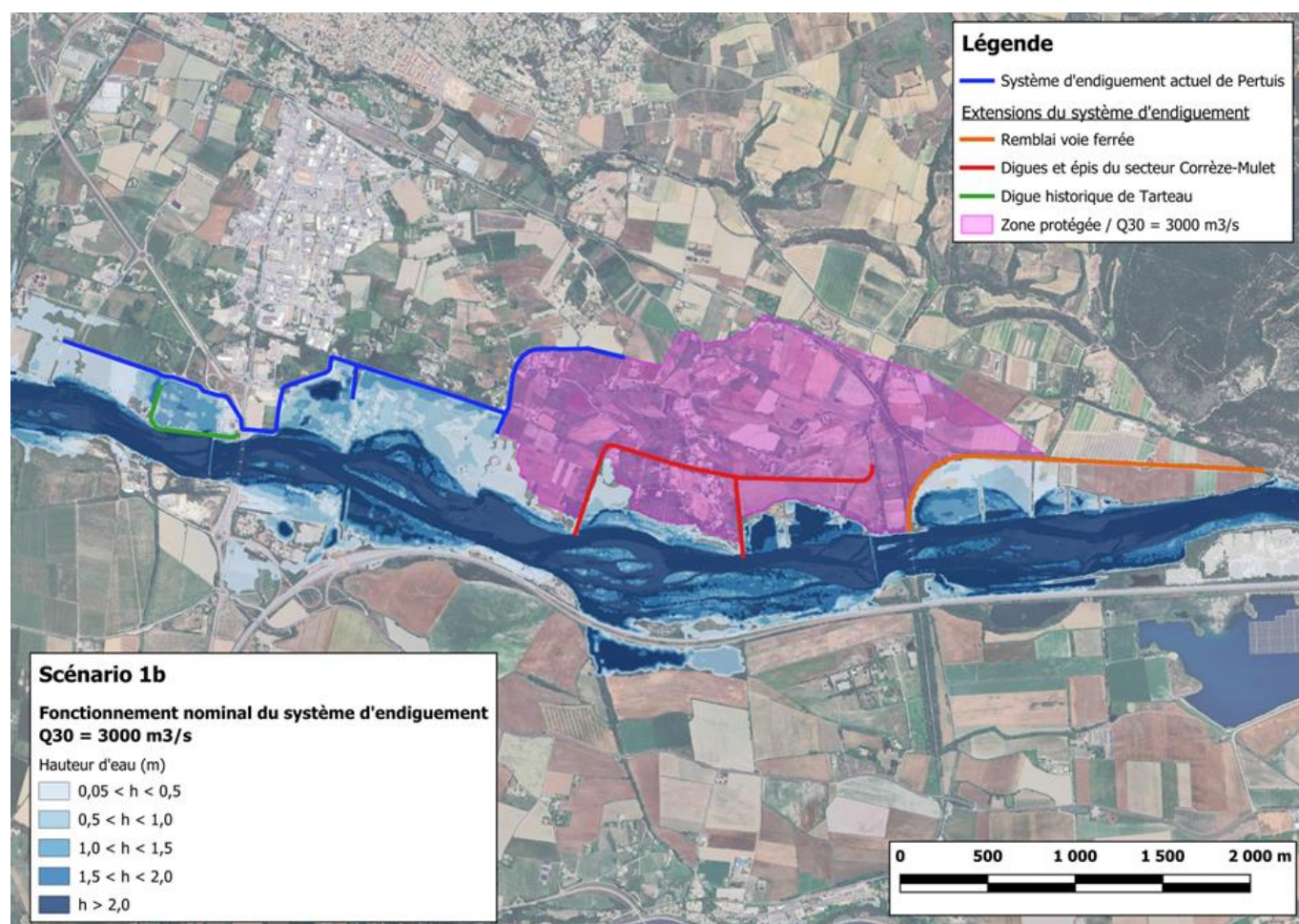


Figure 6 : Hauteurs d'eau - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$

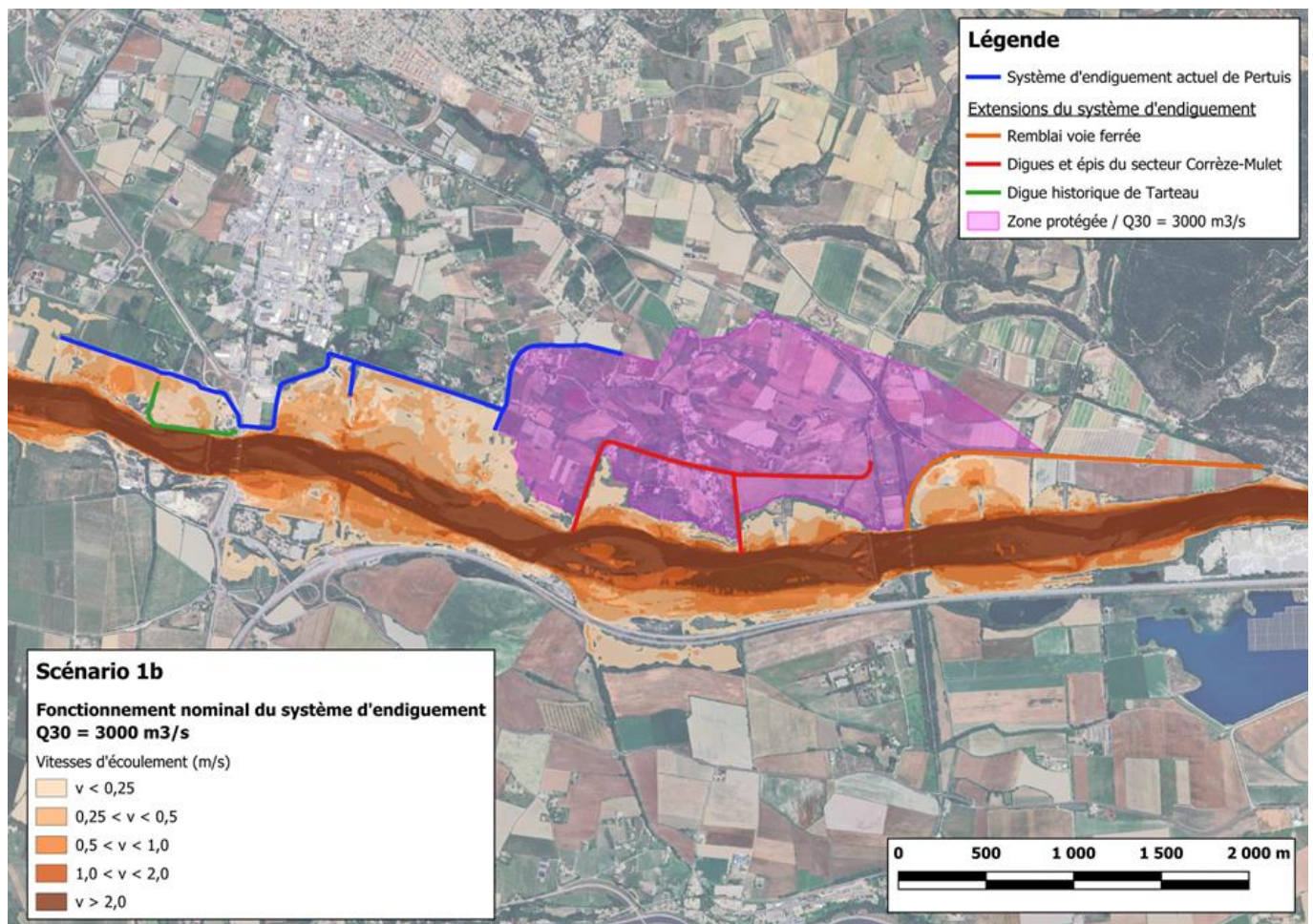


Figure 7 : Vitesses des écoulements - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

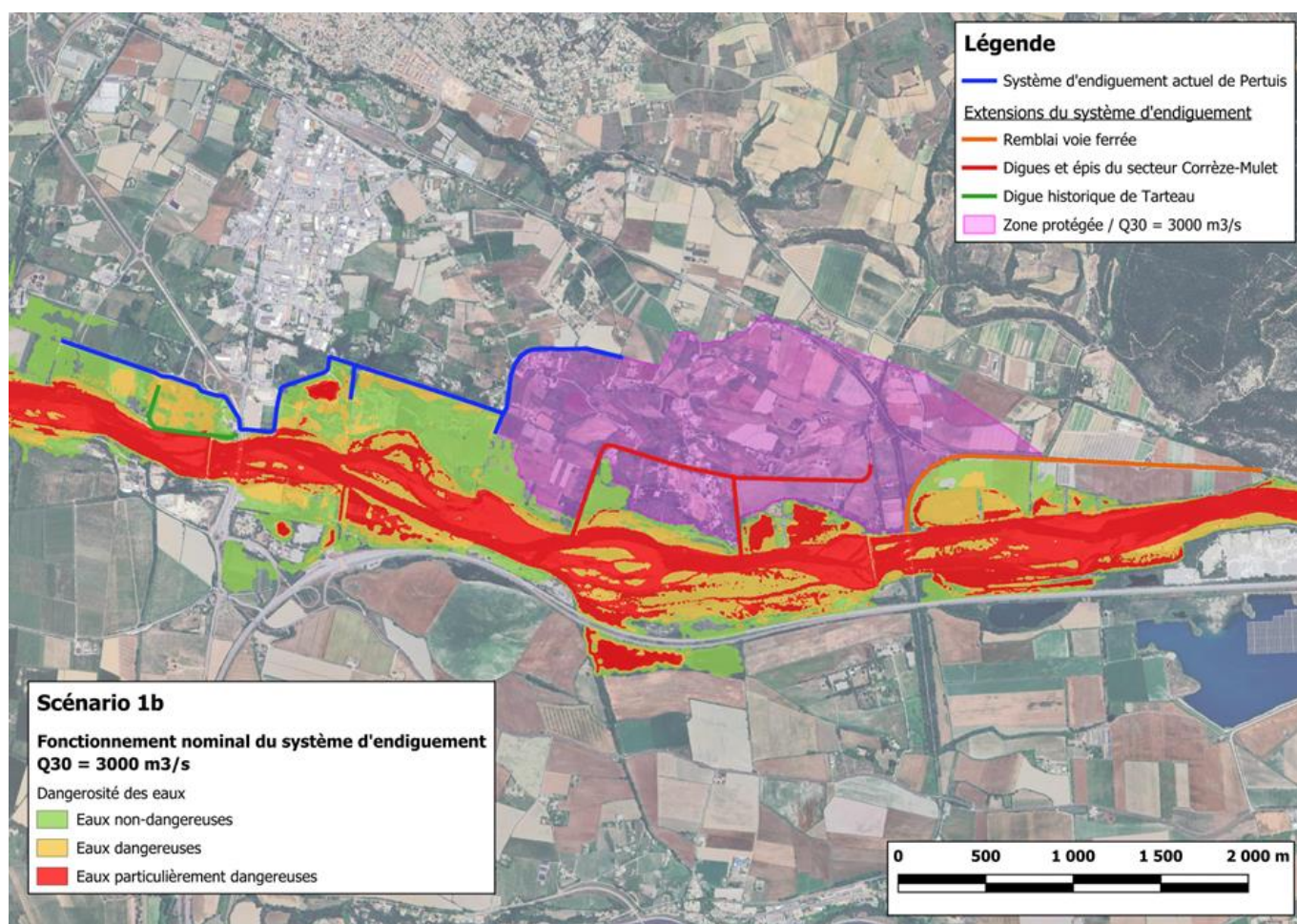


Figure 8 : Dangerosité des eaux - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$

Les zones d'eaux particulièrement dangereuses se situent dans le lit de la Durance et de ses anciens méandres ainsi qu'au droit des plans d'eau existants.

0.6.1.3 Scénario 1c : Système d'endiguement actuel de Pertuis ($Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

A noter que le niveau de protection de la digue historique de Tarteau étant dépassé, une brèche a été simulée au droit de cette dernière en en aval du seuil du canal de Marseille. De même, le niveau de protection du remblai de la voie ferrée et des digues et épis du secteur Corrèze-Mulet étant dépassé, une brèche a été simulée au niveau de la digue du Mulet à la jonction avec l'épi du Mulet.

Les cartographies de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement découlant de ce scénario, ainsi que de l'aléa issu du croisement de ces deux paramètres, sont présentées ci-après.

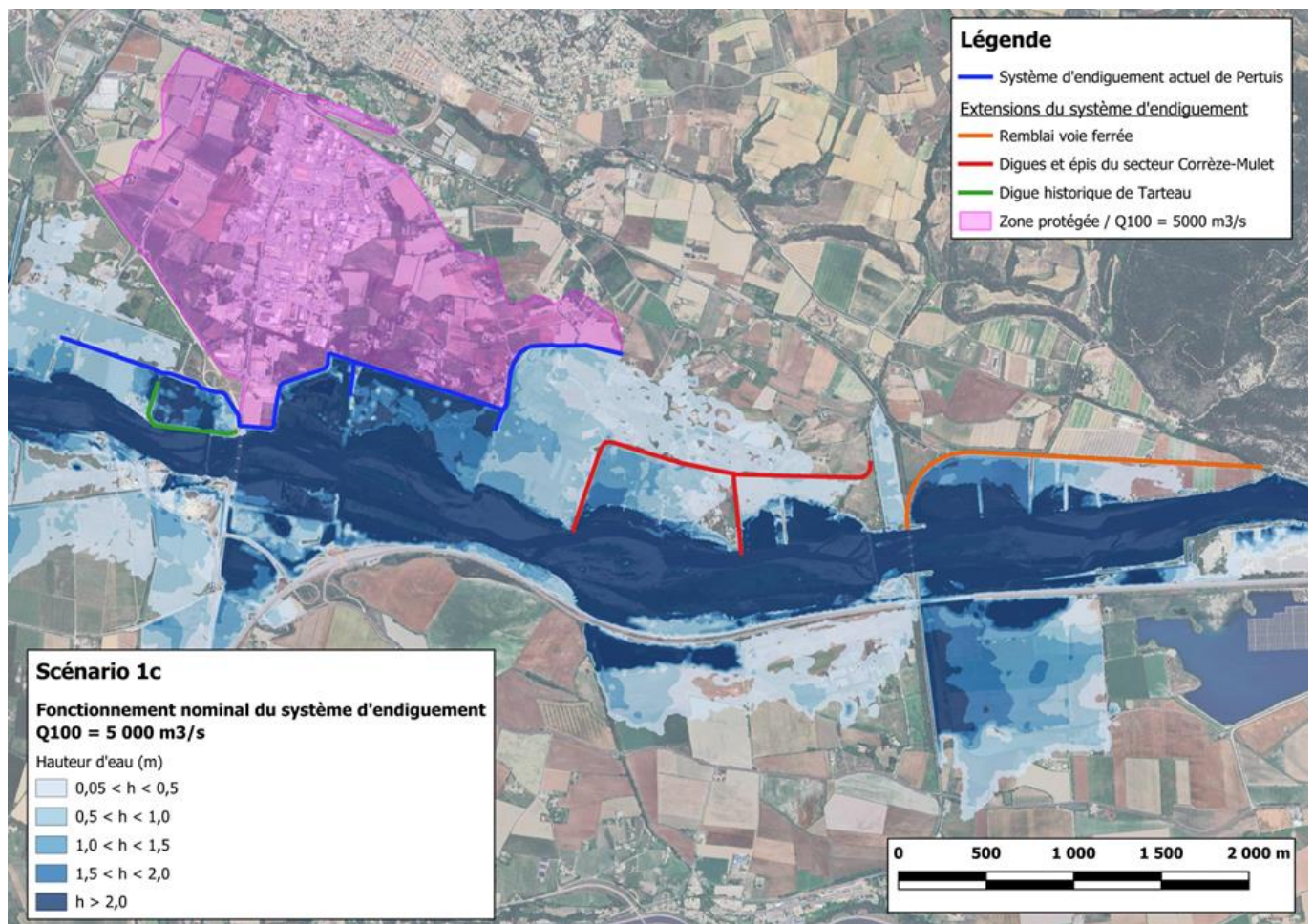


Figure 9 : Hauteurs d'eau - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$

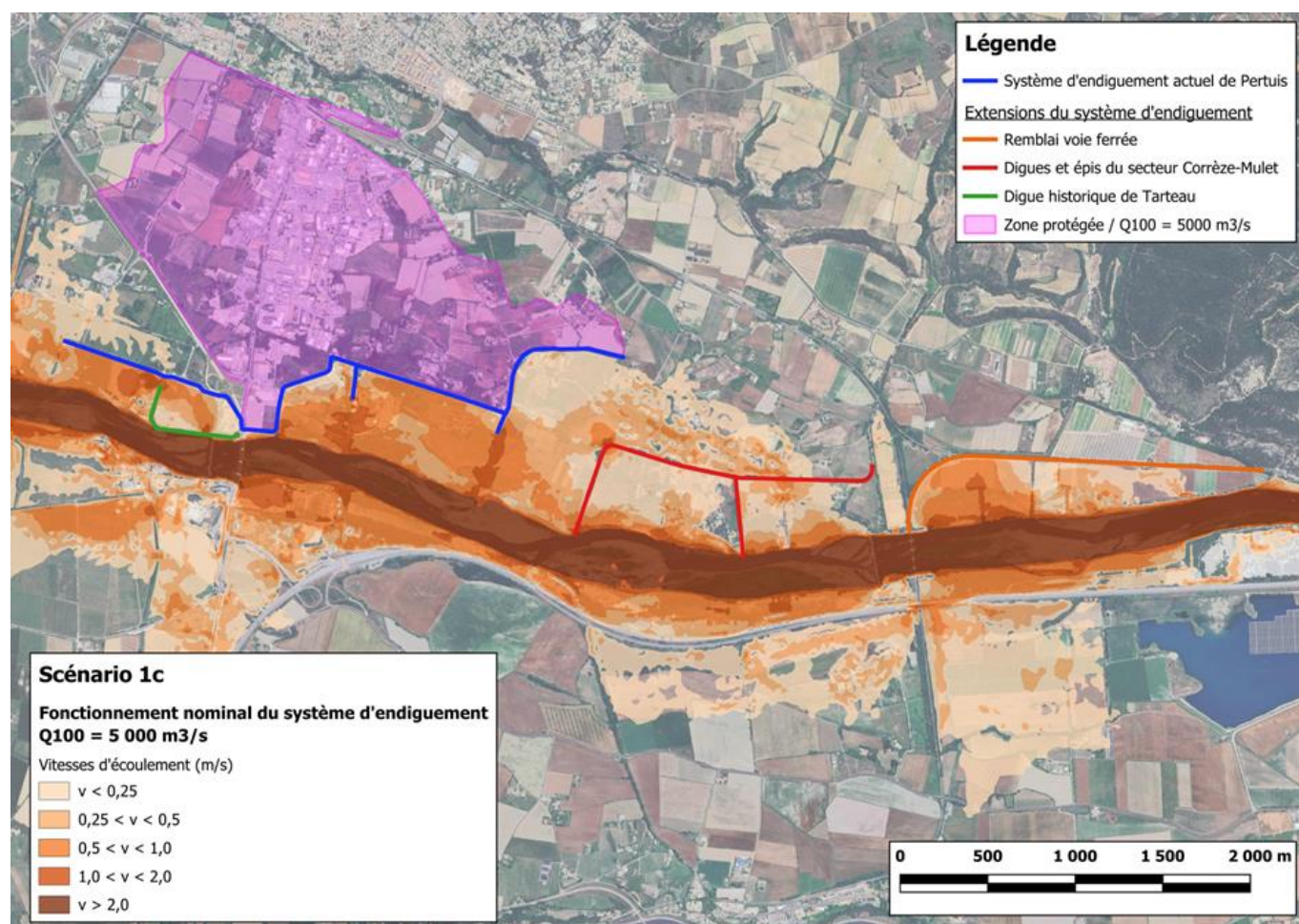


Figure 10 : Vitesses des écoulements - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$

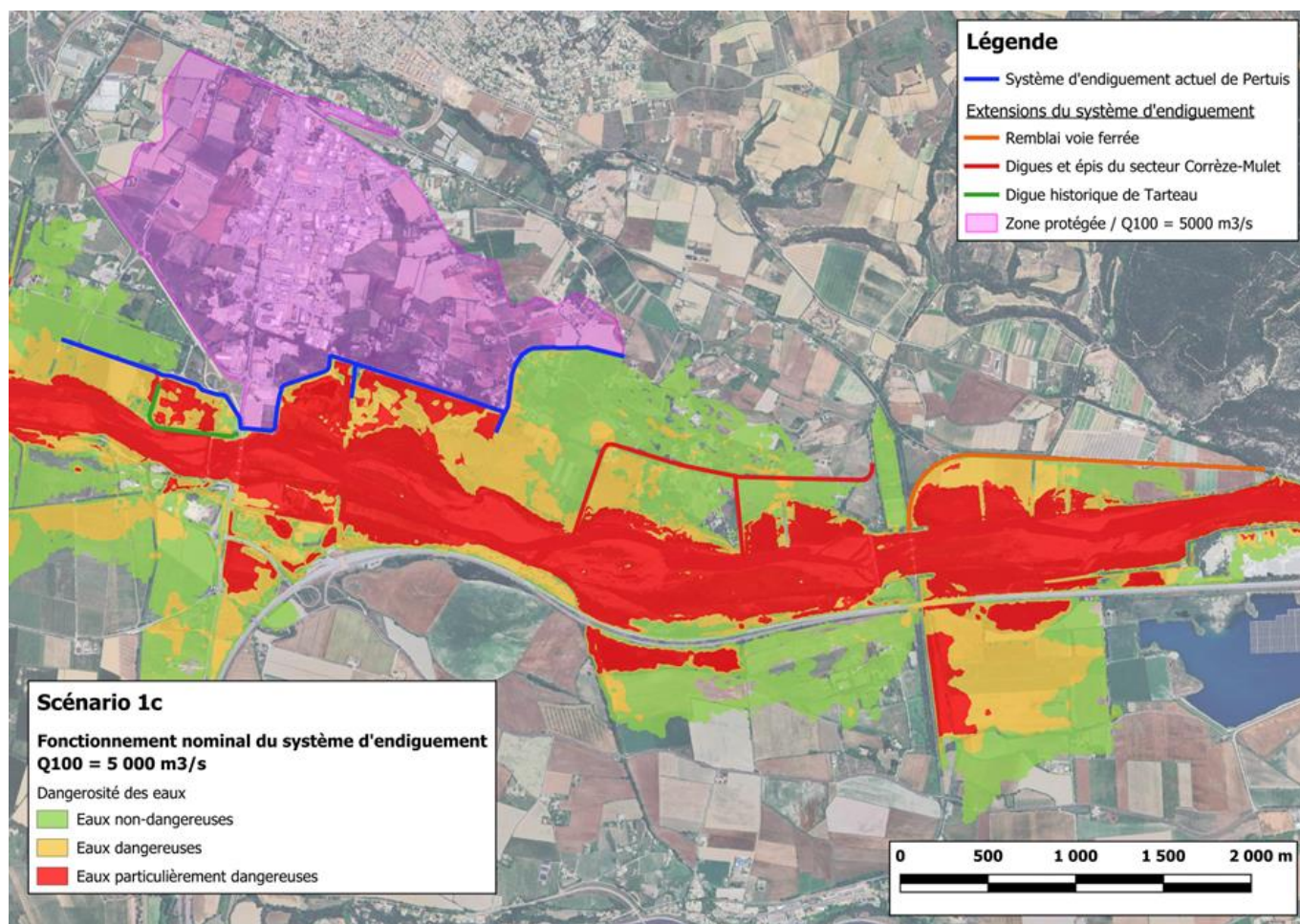


Figure 11 : Dangerosité des eaux - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$

Les zones d'eaux particulièrement dangereuses se situent dans le lit de la Durance et de ses anciens méandres mais également devant le système d'endiguement actuel de Pertuis.

0.6.2. Scénario 2 : Défaillance fonctionnelle du système d'endiguement

Les ouvrages d'extension du système d'endiguement ne présentent pas de dispositif de régulation des écoulements sollicité pour les crues relative aux différents niveaux de protection retenus (cf. §5.1.2.1).

En revanche, le système d'endiguement actuel de Pertuis a fait l'objet d'un scénario de défaillance fonctionnelle d'une vanne qui resterait ouverte lors d'une crue d'occurrence centennale et laisserait ainsi entrer l'eau dans la zone protégée :

« Il n'y a pas d'ouvrage sous la RD973 qui pourrai conduire à des entrées d'eau vers la zone protégée. Sur le reste du système d'endiguement, seule une défaillance d'un organe de fermeture d'un réseau d'irrigation (vannes) pourrai conduire à des entrées d'eau vers la zone protégée. Etant donné que la probabilité que toutes les vannes fassent l'objet d'une défaillance lors d'une même crue est très faible, on modélise l'entrée d'eau par un seul ouvrage hydraulique. Celui-ci a été choisi de façon à obtenir la

gravité la plus importante, en croisant le débit libérable (fonction du diamètre et de la hauteur de mise en charge de l'ouvrage) et la position de l'ouvrage vis-à-vis de enjeux. L'ouvrage retenu est celui situé sur la digue de Saint-Roch (diamètre 800 mm, hauteur de mise en charge de 1,54 m, situé à l'amont de la ZAC. » (source : EDD 2019, Ingérop)

La cartographie des venues d'eau découlant de ce scénario est présentée ci-après :

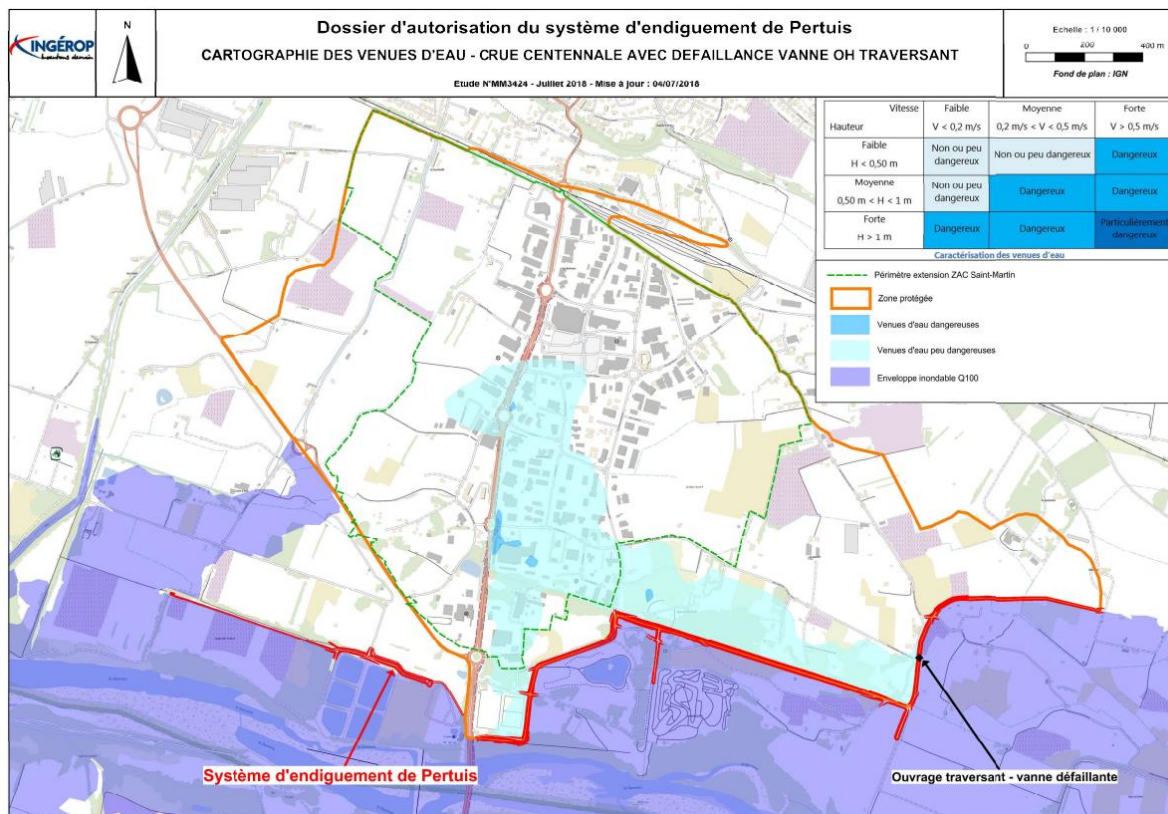


Figure 12 : Venues d'eau - Scénario 2 (défaillance fonctionnelle) – $Q_{100} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (source : EDD 2019, Ingérop)

0.6.3. Scénario 3 : Défaillance structurelle du système d'endiguement

Ce scénario présente le système d'endiguement de Pertuis avec une défaillance structurelle. Cette défaillance structurelle correspond à un risque de rupture d'au moins 50 % pour l'un des tronçons constitutifs du système d'endiguement.

Dans une démarche porteuse d'enseignements, il a été fait le choix d'étudier deux scénarios pour les ouvrages de premiers rang (objet de la présente étude de dangers) :

- une brèche au droit du secteur amont (Corrèze-Mulet + remblai voie ferrée),
- une brèche au droit de la digue historique de Tarteau.

On notera par ailleurs que les résultats présentés ci-après sont issus de deux modèles hydrauliques différents, à savoir respectivement :

- le modèle hydraulique réalisé dans le cadre de l'élaboration des Atlas Dynamiques des Zones Inondables (ADZI)¹ pour le secteur amont (Corrèze-Mulet + remblai voie ferrée) qui couvre l'intégralité du secteur d'étude (limite aval du modèle au droit du seuil 6),
- le modèle hydraulique Eze-Laroque (qui ne couvre que la partie aval du secteur d'étude depuis le pont de Pertuis) pour le secteur de la digue historique de Tarteau.

Pour le système d'endiguement actuel du Pertuis, ce scénario correspond à « l'écoulement d'un débit de 7 250 m³/s associé aux conditions de ruptures défavorables pour le système d'endiguement » (source : EDD 2019, Ingérop).

0.6.3.1. Scénario 3a : Brèche au droit du secteur Corrèze-Mulet

Ce scénario a été défini pour une crue cinquantennale de la Durance de débit 4 000 m³/s qui génère une brèche au niveau de la digue du Mulet à la jonction avec l'épi du Mulet du fait de sa mise en charge (érosion interne).

Les caractéristiques de la brèche modélisée sont les suivantes :

- Largeur de la brèche : 80 m,
- Niveau digue après la brèche : effacement complet jusqu'au niveau du terrain naturel côté zone protégée,
- Durée de formation de la brèche : instantanée.

La brèche provoque des inondations au droit des habitations implantées entre l'épi du Mulet et la digue de Saint-Roch (système d'endiguement actuel de Pertuis) avec une hauteur maximale d'eau atteignant les 50 cm. L'emprise inondable s'étale jusqu'au niveau du déversoir de Saint-Roch, sans mise en charge de ce dernier.

Les cartographies de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement découlant de ce scénario, ainsi que de l'aléa issu du croisement de ces deux paramètres, sont présentées ci-après.

¹ A noter que l'ADZI réalisé entre 2018 et 2021 a été établi en considérant que la digue historique de Tarteau ne romprait qu'au-delà de 2500 m³/s. Au vu du diagnostic approfondi réalisé dans le cadre de la présente étude de dangers, cette hypothèse sera modifiée dans le scénario pessimiste lors de la prochaine version de l'ADZI.

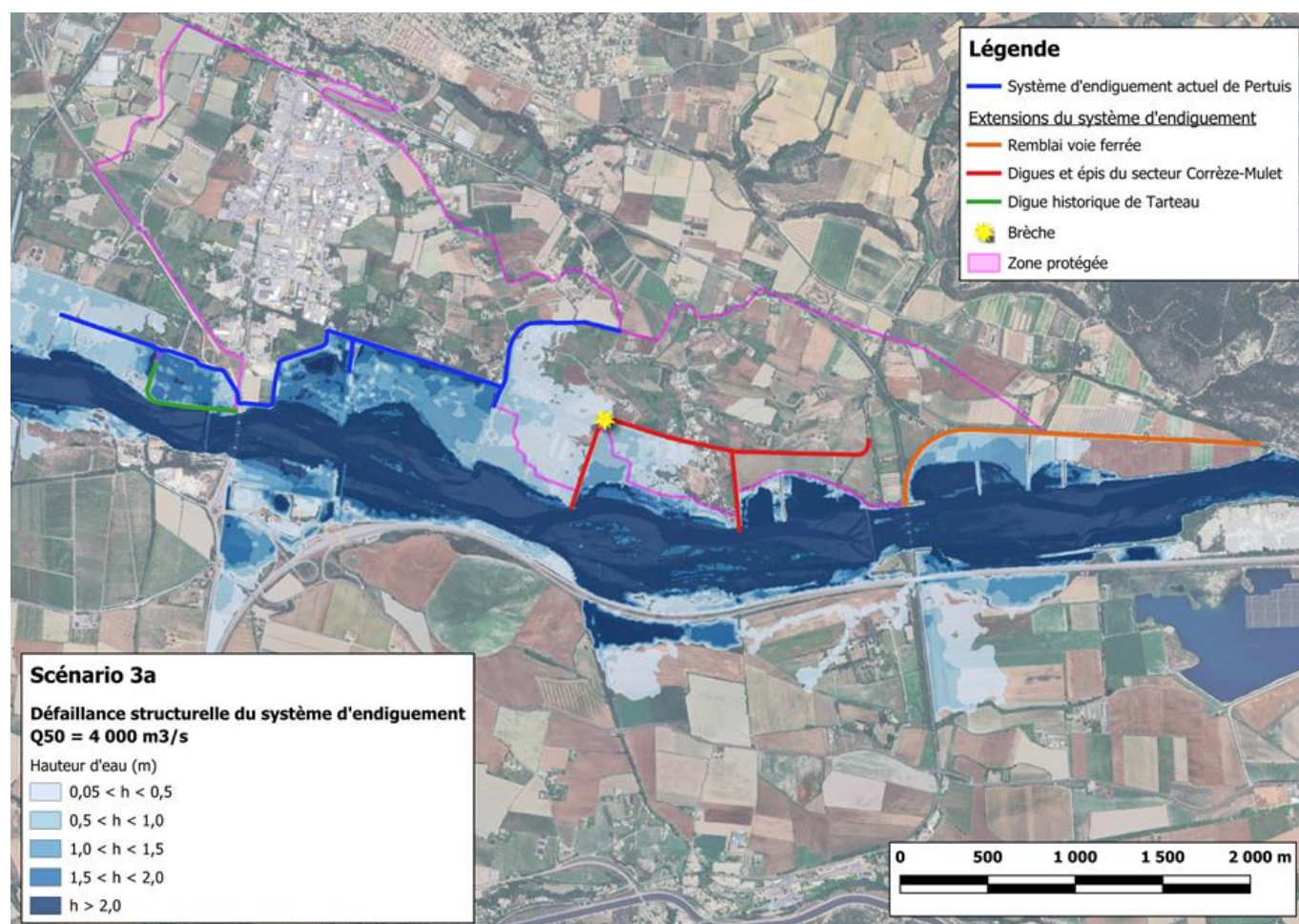


Figure 13 : Hauteurs d'eau - Scénario 3a (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$

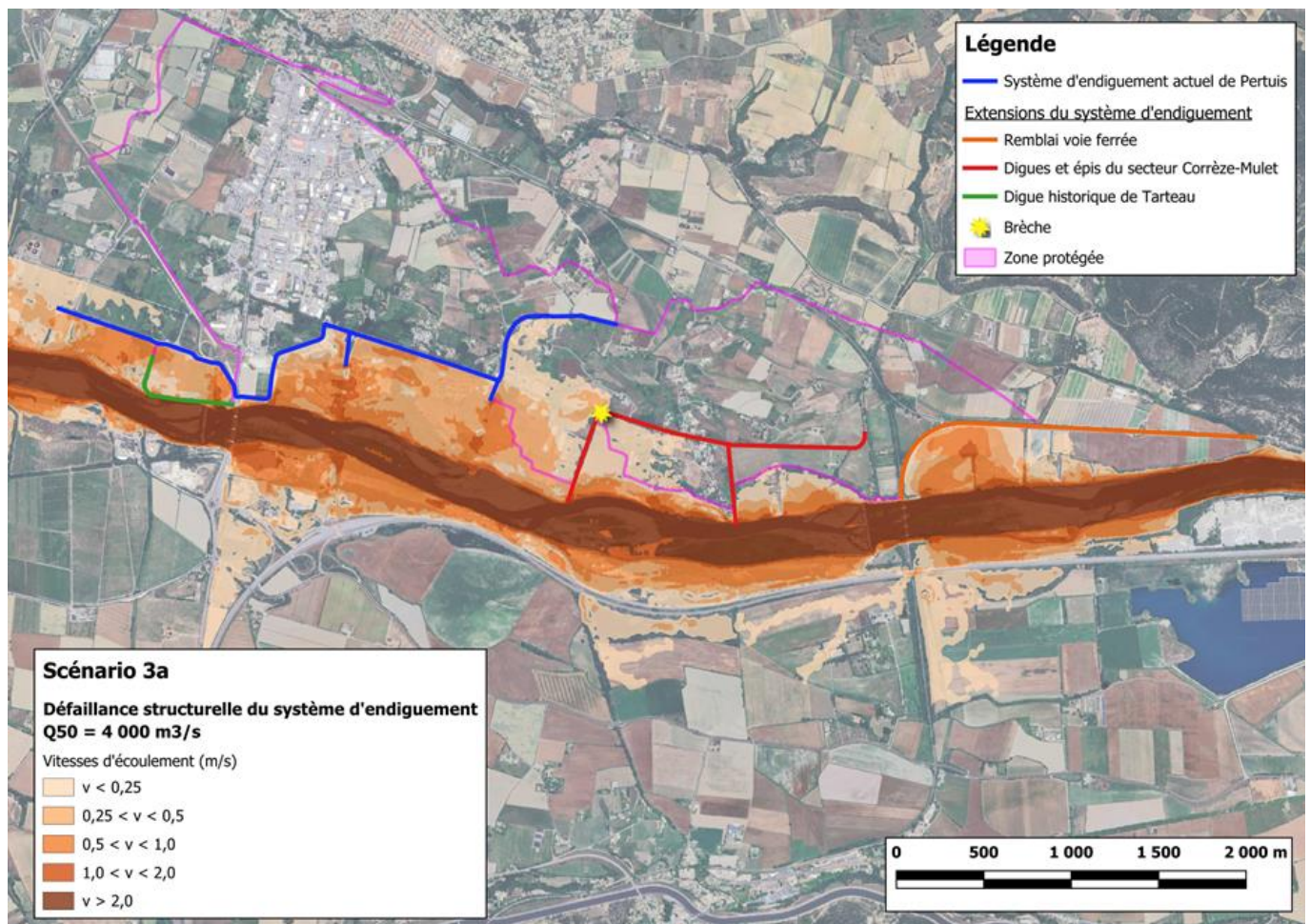


Figure 14 : Vitesses des écoulements - Scénario 3a (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

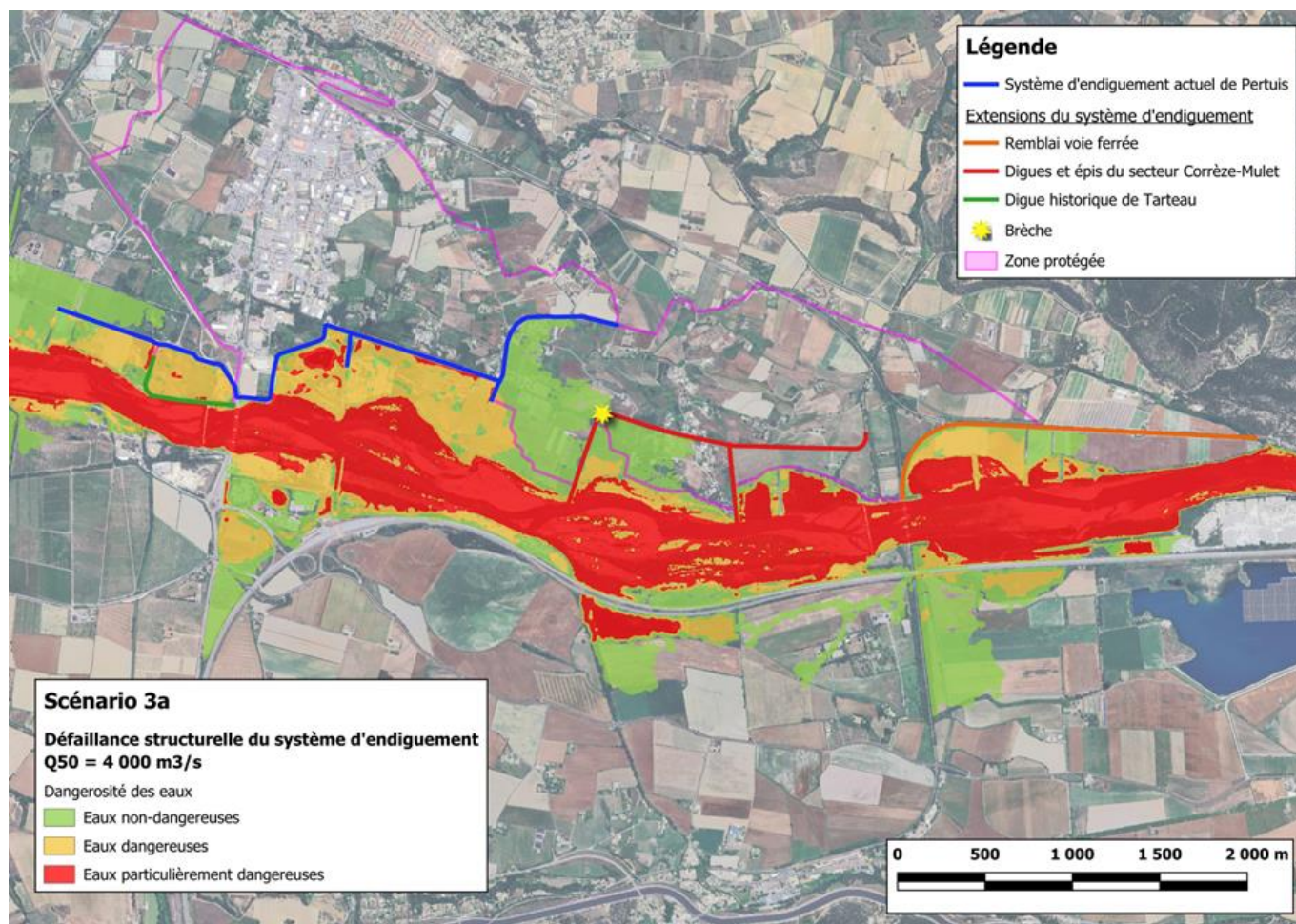


Figure 15 : Dangerosité des eaux - Scénario 3a (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

Les zones d'eaux particulièrement dangereuses se situent dans le lit de la Duranc et de ses anciens méandres ainsi qu'au droit des plans d'eau existants et localement au droit de dépressions topographiques.

0.6.3.2. Scénario 3b : Brèche au droit de la digue historique de Tarteau

Ce scénario a été défini pour une crue cinquantennale de la Duranc de débit $4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ qui génère une brèche juste en aval du seuil du canal de Marseille (affouillement).

Les caractéristiques de la brèche modélisée sont les suivantes :

- Largeur de la brèche : 50 m,
- Niveau digue après la brèche : effacement complet jusqu'au niveau du terrain naturel côté zone protégée,
- Durée de formation de la brèche : instantanée.

La brèche provoque l'inondation de l'intégralité de la zone protégée par la digue historique de Tarteau avec une hauteur maximale d'eau pouvant atteindre jusqu'à 1 m au niveau de l'usine d'eau potable.

Les cartographies de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement découlant de ce scénario, ainsi que de l'aléa issu du croisement de ces deux paramètres, sont présentées ci-après.

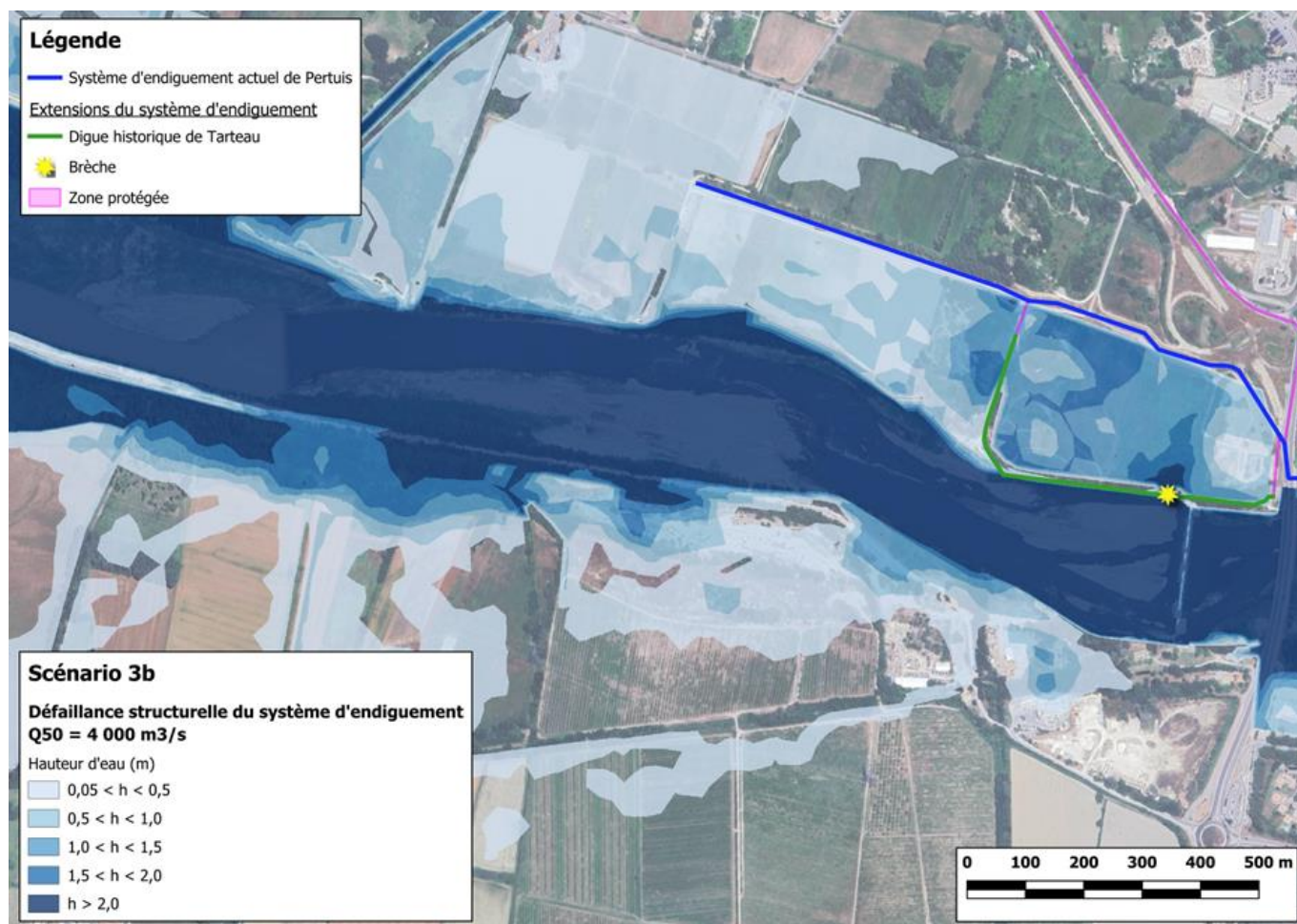


Figure 16 : Hauteurs d'eau - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

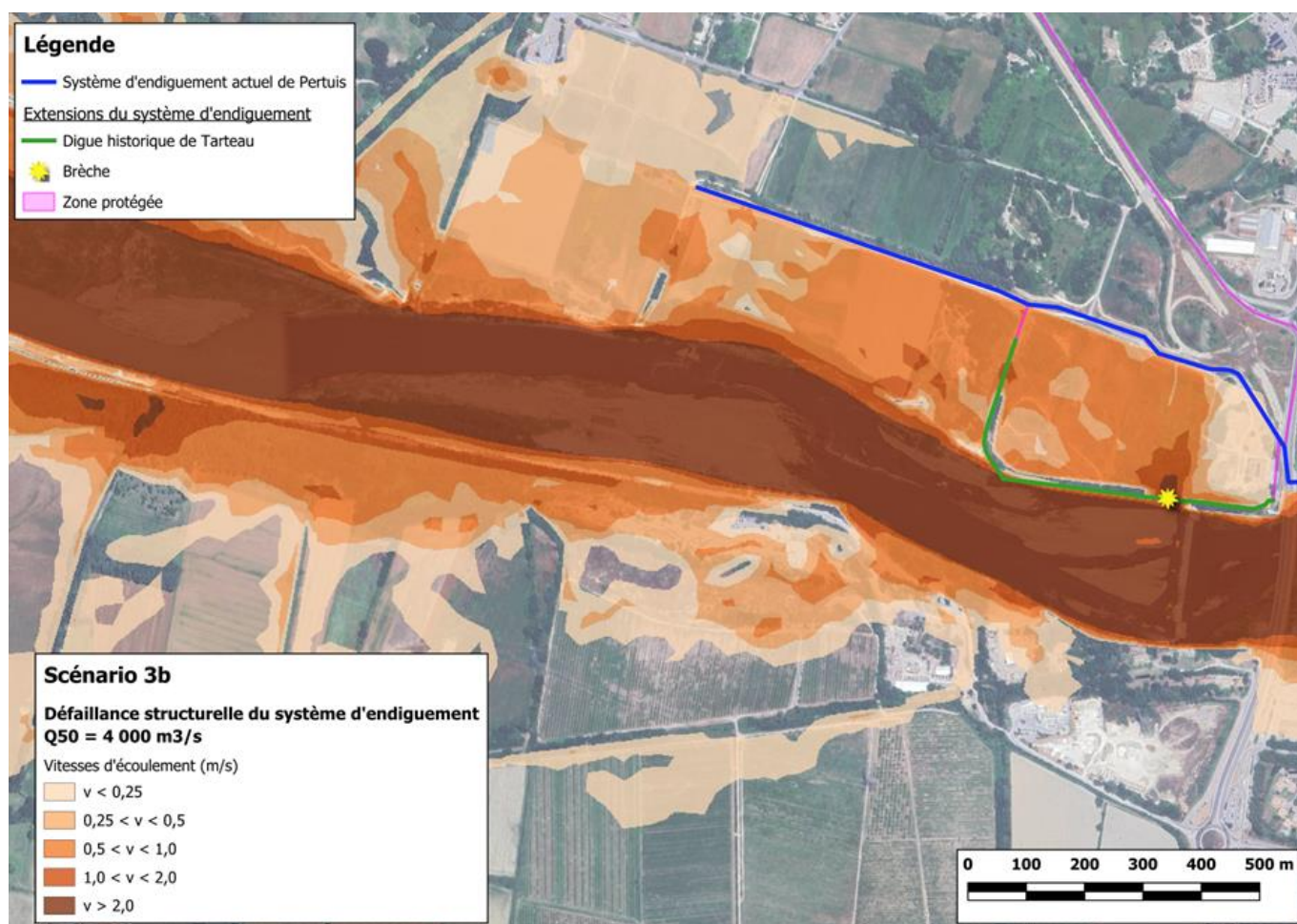


Figure 17 : Vitesses des écoulements - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

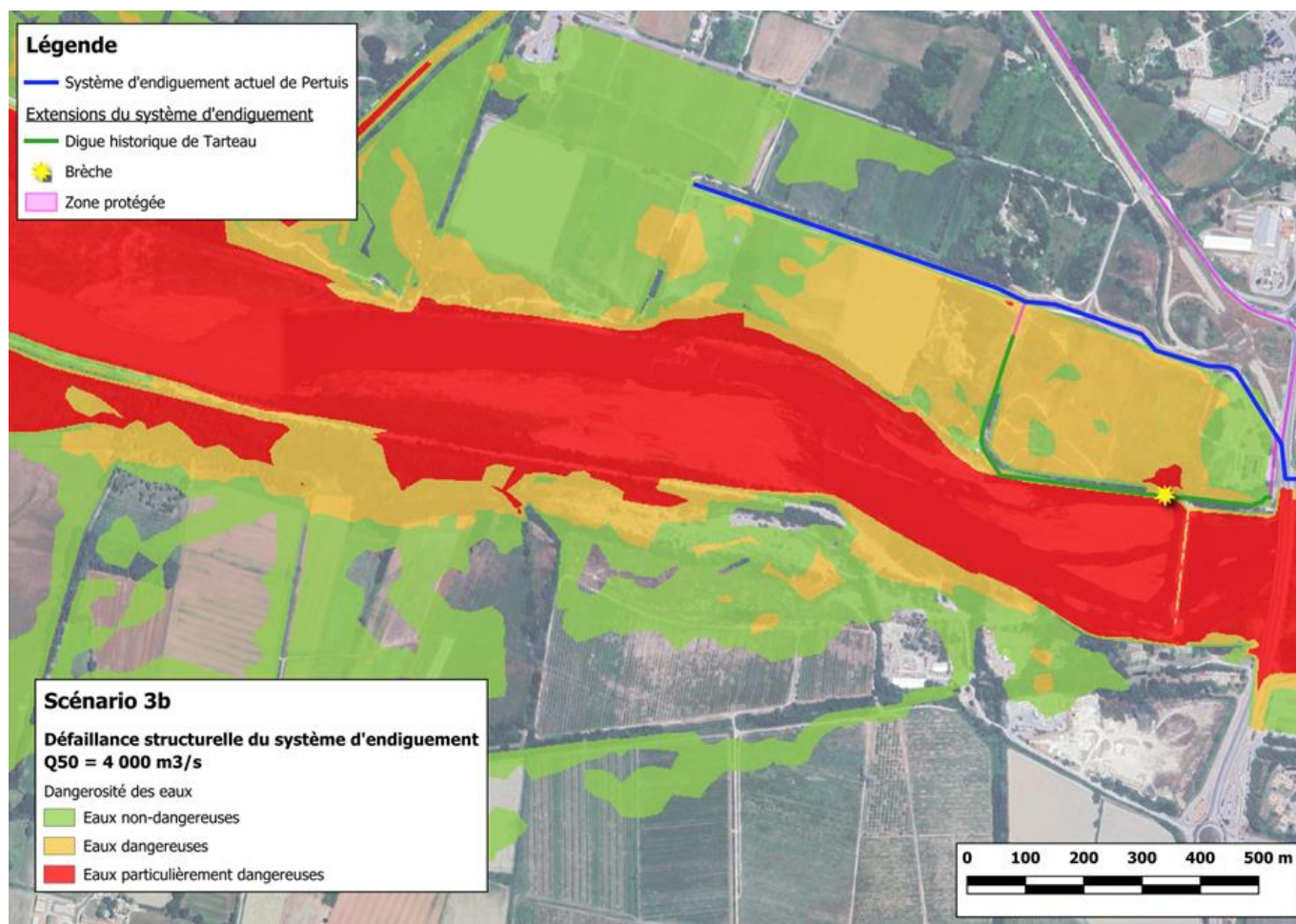


Figure 18 : Dangerosité des eaux - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$

Les zones d'eaux particulièrement dangereuses se situent principalement dans le lit de la Durance et au niveau des zones de débordements rive gauche ainsi que localement en aval immédiat de la brèche.

0.6.3.3. Scénario 3c : Brèche au droit du système d'endiguement actuel de Pertuis

Ce scénario a été défini pour une crue extrême de la Durance de débit $7\,250\text{ m}^3/\text{s}$ qui génère une brèche dans le secteur dénommé P10PGav.

Les caractéristiques de la brèche modélisée sont les suivantes :

- Largeur de la brèche : 80 m,
- Niveau digue après la brèche : effacement complet jusqu'au niveau du terrain naturel côté zone protégée,
- Durée de formation de la brèche : instantanée.

On notera que la brèche se produit après sollicitation du déversoir de Saint-Roch et contournement du système d'endiguement par l'amont. « *La libération brutale des eaux dans la zone protégée vient accroître les hauteurs d'eau et les vitesses maximales d'écoulement dans la zone protégée (à l'exception de la partie la plus en amont de la zone protégée, dans le secteur du déversoir de Saint-Roch).* » (source : EDD 2019, Ingérop)

La cartographie de venues d'eau découlant de ce scénario est présentée ci-après.

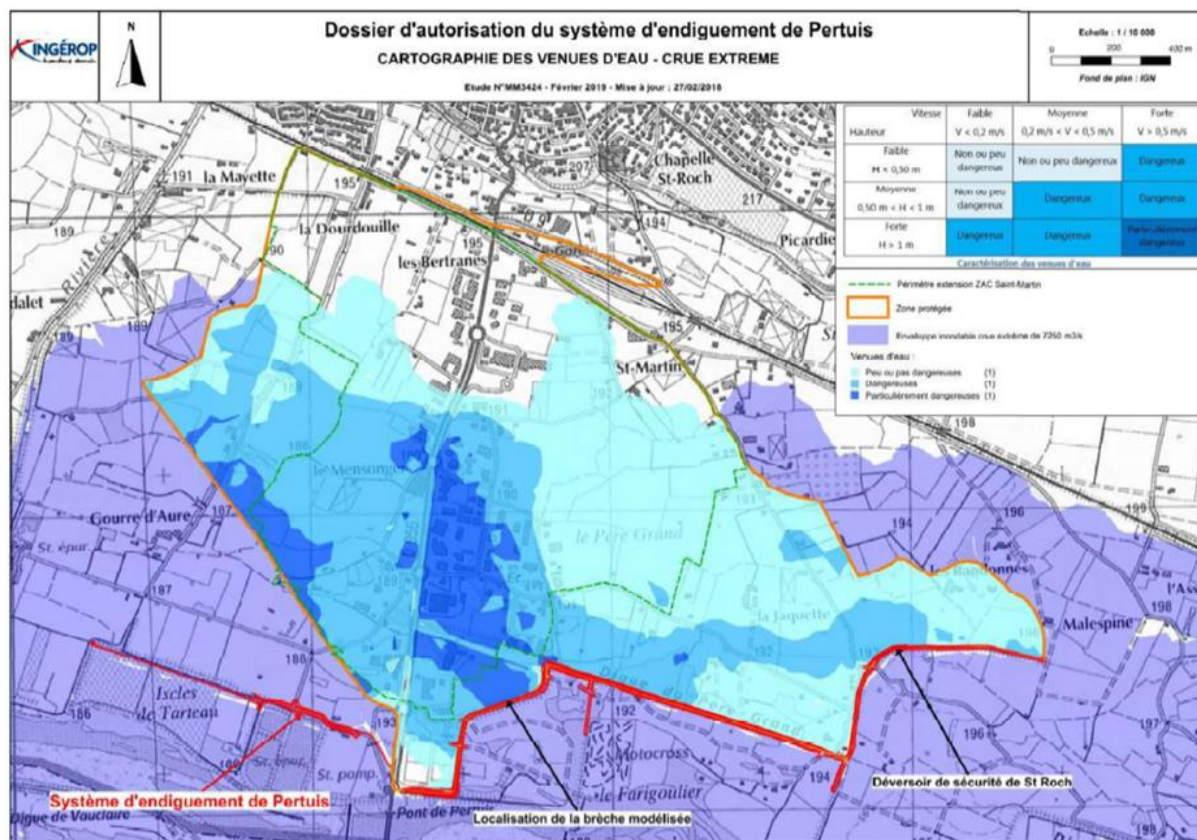


Figure 19 : Venues d'eau - Scénario 3c (défaillance structurelle) – $Q_{\text{extreme}} = 7\,250 \text{ m}^3/\text{s}$ (EDD 2019, Ingérop)

0.6.4. Scénario 4 : Comportement du système d'endiguement pour la crue de référence du PPRI

Ce scénario facultatif n'a pas été traité dans le cadre de la présente étude de dangers.

DOCUMENT A :

Présentation générale du système d'endiguement contre les inondations

1. Renseignements administratifs

1.1. Identification du gestionnaire du système d'endiguement

Le Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance (SMAVD), est délégataire de la métropole Aix-Marseille-Provence qui est l'organisme GEMAPI en charge de la mise en œuvre de la politique de prévention du risque inondation sur son territoire et donc, notamment, responsable du système d'endiguement des Pertuis objet du présent dossier.

La mission de gestion du système d'endiguement consiste notamment en :

- la surveillance de la digue,
- l'entretien courant de la digue (lutte contre les végétaux ligneux, fauchage, etc.),
- la conservation du domaine et sa police.

On notera par ailleurs que l'usage premier de l'ouvrage de premier rang « Remblai de la voie ferrée » est le transport ferroviaire. Une convention de superposition de gestion est en cours d'élaboration entre la SNCF et le SMAVD.

1.2. Identification de l'organisme rédacteur de l'étude de dangers

L'étude de dangers du système d'endiguement des Carriers est rédigée par Antea Group, société agréée au titre du décret du 11 décembre 2007 pour la rubrique « Dignes et barrages – études et diagnostics » sous le numéro 59-a, par l'arrêté du 9 février 2022 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques (valable jusqu'au 31 janvier 2025 – dossier de renouvellement en cours d'instruction).

1.3. Rappel des autorisations existantes en lien avec le système d'endiguement

Le système d'endiguement actuel de Pertuis a été autorisé par arrêté préfectoral du 26 mai 2020 en tant que système de classe B. Il est depuis régulièrement entretenu et surveillé par le SMAVD.

Le présent dossier concerne l'intégration d'ouvrages de premier rang au système d'endiguement.

Le remblai de la voie ferrée (ouvrage de premier rang n°1) n'a fait l'objet d'aucun classement et n'a pas encore été mis à disposition du Gemapien. Il est aujourd'hui sur un plan administratif uniquement affecté à l'usage ferroviaire par SNCF Réseau qui l'entretient régulièrement.

Les ouvrages de premier rang n°2 (digues et épis du secteur Corrèze-Mulet) et n°3 (digue historique de Tarteau) ont été classés en mai 2015 en digues de catégorie C et D au sens du décret 2007. Ces ouvrages n'ont été ni entretenus ni surveillés depuis plus de 15 ans et sont couverts d'une végétation importante. Ils n'ont pas fait l'objet d'une demande de régularisation mais la validité de leur classement a été prolongé par arrêté préfectoral jusqu'à fin 2025.

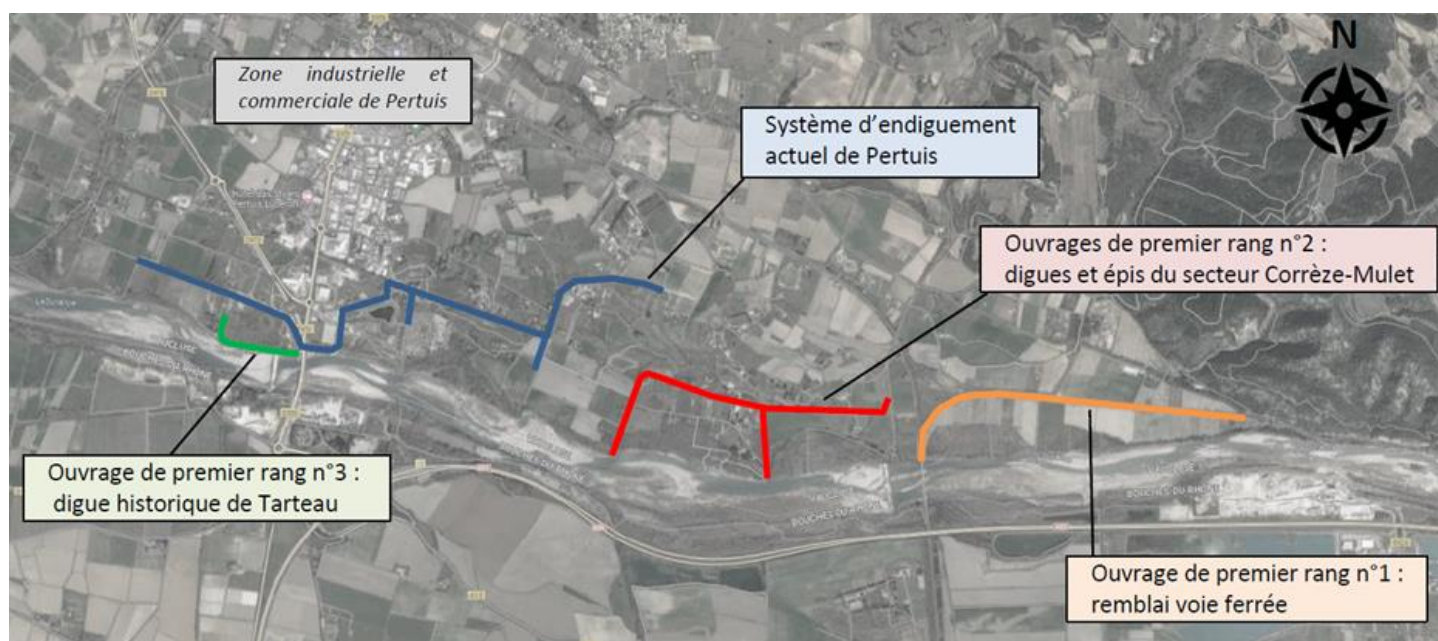


Figure 20 : Système d'endiguement actuel Pertuis et ouvrages de premier rang (source : SMAVD)

1.4. Remise de l'étude de dangers au Préfet

L'étude de dangers est remise au préfet avec le dossier de demande d'autorisation d'extension du système d'endiguement de Pertuis.

1.5. Bibliographie

La liste des principaux documents préexistants sur lesquels la présente étude de dangers s'appuie est présentée dans le tableau ci-après :

Date	Titre	Auteur
juil-09	Autorisation du système d'endiguement de Pertuis. Etude de dangers	INGEROP
mai-15	Arrêté préfectoral de classement et de prescriptions spécifiques concernant les digues 84T021 (T1 à T4), 84T022 (T1), 84T023 (T1 et T2), 84T024, 84T025 (T1 et T2), 84T026, 84T027, 84T028, 84T029 et 84T163	DDT 84
mai-15	Arrêté préfectoral de classement et de prescriptions spécifiques concernant les digues 84T018, 84T019, 84T016, 84T017 (T1 et T2), 84T156, 84T157 et 84T020 (T1 et T2)	DDT 84
mai-20	Arrêté préfectoral autorisant le système d'endiguement de Pertuis protégeant contre les crues de la Durance	DDT 84
mai-22	Analyse des évolutions morphologiques et des conditions d'inondabilité du lit de la Durance en 2020	SMAVD
nov-22	Gradins Stade de foot. Etude de diagnostic G5	GEOLITHE
avr-23	Travaux sur digue de Père Grand. Porté à connaissance. Système d'endiguement de la ZI de Pertuis	SMAVD
mai-23	Mise à jour des débits caractéristiques de la Durance à Mirabeau sur la période 1830-2020	SMAVD

Date	Titre	Auteur
mai-23	Digue de protection contre les crues de la Durance. Secteur RFF. Etude de diagnostic G5	GEOLITHE
mai-23	Digue de protection contre les crues de la Durance. Secteurs AEP amont et aval. Etude de diagnostic G5	GEOLITHE
juin-23	Digue de protection contre les crues de la Durance. Secteurs épi 19, Corrèze, Mulet. Etude de diagnostic G5	GEOLITHE
juin-23	Analyse des évolutions morphologiques au droit de la digue historique de Tarteau à Pertuis	SMAVD
juin-23	Diagnostic préliminaire de la digue historique de Tarteau au droit des installations AEP de Pertuis	SMAVD
août-23	Régularisation des ouvrages de Corrèze-Mulet. Rapport d'étude hydraulique pour la régularisation des ouvrages de Corrèze-Mulet	SMAVD
sept-23	Diagnostic préliminaire des digues du secteur Corrèze-Mulet à Pertuis	SMAVD
sept-23	Plan de Prévention des Risques Naturels d'Inondation de la Durance. Commune de Pertuis	DDT 84
oct-23	Convention de superposition d'affectation entre le système d'endiguement de la ZI de Pertuis et les aménagements communaux (vélo-route et gradins)	SMAVD / Commune de Pertuis
mars-24	Régularisation des ouvrages de Pertuisamont. Rapport d'étude hydraulique pour la régularisation des ouvrages de Corrèze-Mulet	SMAVD
mai-24	Arrêté préfectoral portant modification de la gestion de la surveillance du système d'endiguement de Pertuis protégeant contre les crues de la Durance	DREAL
oct-24	Arrêté préfectoral portant décision d'examen au cas par cas en application de l'article R. 122-3-1 du code de l'environnement concernant l'extension du système de protection contre les crues de la Durance	DDT 84
nov-24	Compte-rendu / Campagne d'entretien des digues Corrèze – Mulet et AEP – mise en œuvre des mesures d'évitement environnementales	SMAVD

Tableau 2 : Annexe bibliographique

2. Objet de l'étude

2.1. Contexte réglementaire de l'étude de dangers

L'étude de dangers du système d'endiguement de Pertuis répond à une obligation réglementaire, conformément :

- aux articles R214-115 à R214-117 du décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 modifié relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au CTPBOH (Comité Technique Permanent des Barrages et des Ouvrages Hydrauliques) et modifiant le Code de l'Environnement (sous-section 2 « Etude de dangers »),
- au 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,
- à l'arrêté du 7 avril 2017 modifié du 1^{er} juillet 2017 au 20 octobre 2019, définissant le plan de l'étude de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement et des autres ouvrages conçus ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions,
- aux décrets n° 2019-895 et 896 du 28 août 2019 portant diverses dispositions d'adaptation des règles relatives aux ouvrages de prévention des inondations,
- à l'arrêté modificatif du 30 septembre 2019 modifiant l'arrêté du 7 avril 2017 précisant le plan de l'étude de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement et des autres ouvrages conçus ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions,
- à l'arrêté du 8 août 2022 précisant les obligations documentaires et la consistance des vérifications et visites techniques approfondies des ouvrages hydrauliques autorisés ou concédés.

Le présent document constitue la seconde étude de dangers réalisée pour le système d'endiguement de Pertuis (Ingérop, juillet 2019 – cf. Annexe 1) conformément au décret n°2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux systèmes d'endiguement. Elle s'insère dans une demande d'autorisation d'extension du système d'endiguement existant. Aussi l'étude de dangers est réalisée dans le cadre du cas 3 ci-après :

	Cocher la case, en rappelant, pour les cas 3, 4 et 5, la référence et la date de l'étude de dangers précédente. Dans le cas 4, préciser en outre la nature de la modification à l'origine de la mise à jour de l'étude de dangers.
☐ cas 1	Autorisation initiale du système d'endiguement, sans travaux. Le contenu de l'étude de dangers, qui fait partie du dossier de demande d'autorisation, est conforme aux dispositions de l'article 2 du présent arrêté.
☐ cas 2	Autorisation initiale du système d'endiguement, avec travaux. Le contenu de l'étude de dangers, qui fait partie du dossier de demande d'autorisation, est conforme aux dispositions de l'article 3 du présent arrêté.
☒ cas 3	Modification substantielle d'un système d'endiguement déjà autorisé. Le contenu de l'étude de dangers, qui fait partie du dossier de demande d'autorisation, est conforme aux dispositions de l'article 4 du présent arrêté.
☐ cas 4	Mise à jour de l'étude de dangers du système d'endiguement exigée par arrêté préfectoral de prescription complémentaire en application des articles R. 181-45 et R. 214-117-III en raison d'une modification non substantielle du système d'endiguement. La mise à jour de l'étude de dangers est conforme aux dispositions de l'article 5 du présent arrêté.
☐ cas 5	Actualisation d'une étude de dangers en application du II de l'article R. 214-117. Cette actualisation est réalisée conformément aux dispositions de l'article 6 du présent arrêté.

Tableau 3 : Cadre de la demande d'autorisation du système d'endiguement

L'étude de dangers constitue un outil opérationnel. Elle est la clé de voute de toute démarche de sécurité. Elle a notamment pour objectifs de :

- définir la zone protégée liée au(x) niveau(x) de protection fixé(s) par le gestionnaire du système d'endiguement,
- tester différents scénarios pour le(s) niveau(x) de protection fixé(s),
- définir et préciser la surveillance des ouvrages et équipements qui composent le système d'endiguement, notamment en période de crue.

Suite à l'arrêté du 7 avril 2017, la nouvelle réglementation offre une sécurité juridique avec une limite de responsabilité (article L562-8-1) : « *La responsabilité d'un gestionnaire d'ouvrages ne peut être engagée à raison des dommages que ces ouvrages n'ont pas permis de prévenir dès lors que les obligations légales et réglementaires applicables à leur conception, leur exploitation et leur entretien ont été respectées* ».

Le SMAVD, en sa qualité de délégataire au propriétaire et gestionnaire du système d'endiguement de Pertuis, a fixé les niveaux de protection suivants :

- **système d'endiguement de Pertuis existant : crue centennale de la Durance de débit 5 000 m³/s,**
- **Ouvrages de premier rang (objet de la présente étude de dangers) :**
 - Remblai de la voie ferrée et digues et épis du secteur Corrèze-Mulet : crue trentennale de la Durance de débit 3 000 m³/s,
 - Digue historique de Tarteau : crue décennale de la Durance de débit 2 000 m³/s.

2.2. Commune concernée par la zone protégée

Le système d'endiguement de Pertuis ainsi que la zone protégée associée sont localisés en rive droite de la Durance sur la commune de Pertuis (84).

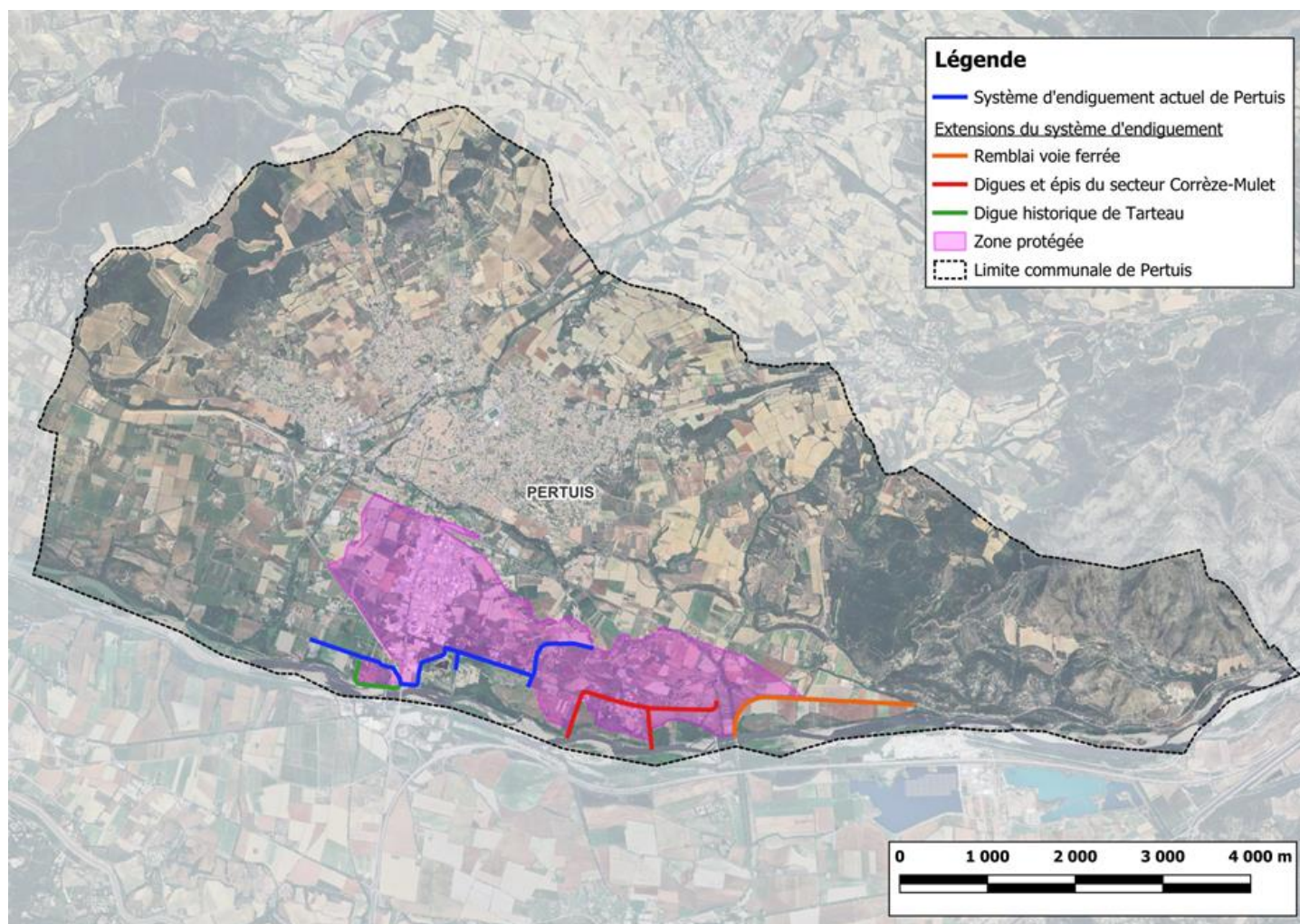


Figure 21 : Commune concernée par la zone protégée du système d'endiguement de Pertuis

2.3. Localisation de la zone protégée

La zone protégée liée aux niveaux de protection définis dans la présente étude de dangers est définie par :

- les ouvrages constitutifs du système d'endiguement,
- l'assemblage des zones protégées relatives au niveau de protection défini pour chacun des ensembles d'ouvrages du système d'endiguement (effacement concomitant des tous les ouvrages de premier rang ainsi que des remblais de l'environnement).

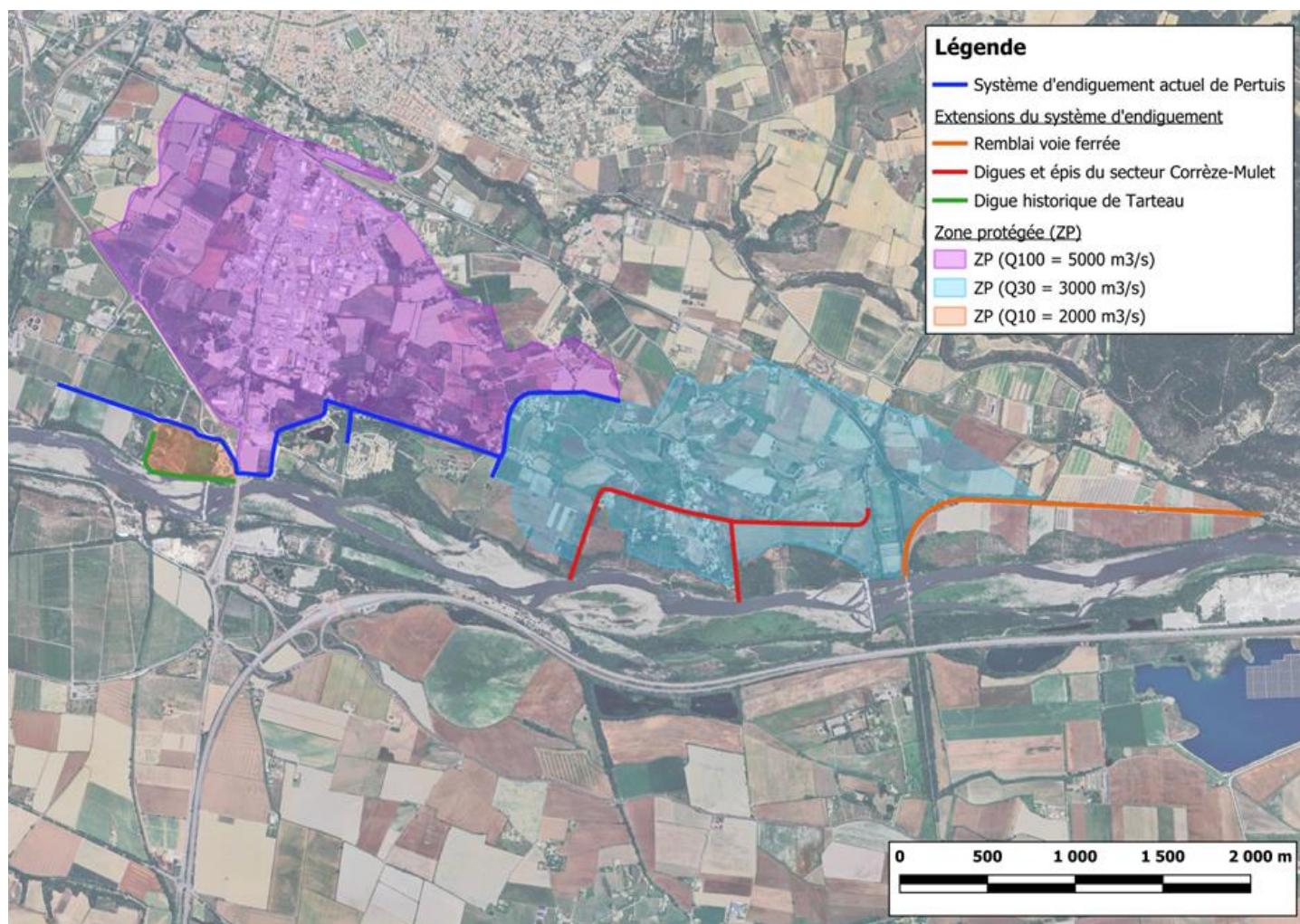


Figure 22 : Zone protégée du système d'endiguement, subdivisée en sous zones protégées associées aux différents niveaux de protection du système d'endiguement

La zone protégée couvre ainsi une surface de l'ordre de l'ordre de 526 ha au total.

2.4. Localisation et description des ouvrages

Pour la bonne compréhension du dossier, la figure suivante localise :

- le **système d'endiguement de Pertuis existant** tel qu'il est déjà autorisé actuellement (cf. Annexe 1),
- les **ouvrages de premier rang** faisant l'objet de la présente étude de dangers (demande d'autorisation d'extension du système d'endiguement de Pertuis existant) :
 - Remblai de la voie ferrée
 - Digues et épis du secteur Corrèze-Mulet (Digue de Corrèze, Digue du Mulet, Epi de Corrèze et Epi du Mulet),
 - Digue historique de Tarteau,
- Les autres ouvrages présents à proximité (non intégrés au système d'endiguement de Pertuis) :

- ouvrages linéaires en remblais,
- ouvrages hydrauliques présents en lit mineur de la Durance

Les caractéristiques détaillées des différents ouvrages constitutifs du système d'endiguement sont présentées dans le chapitre 5.1.

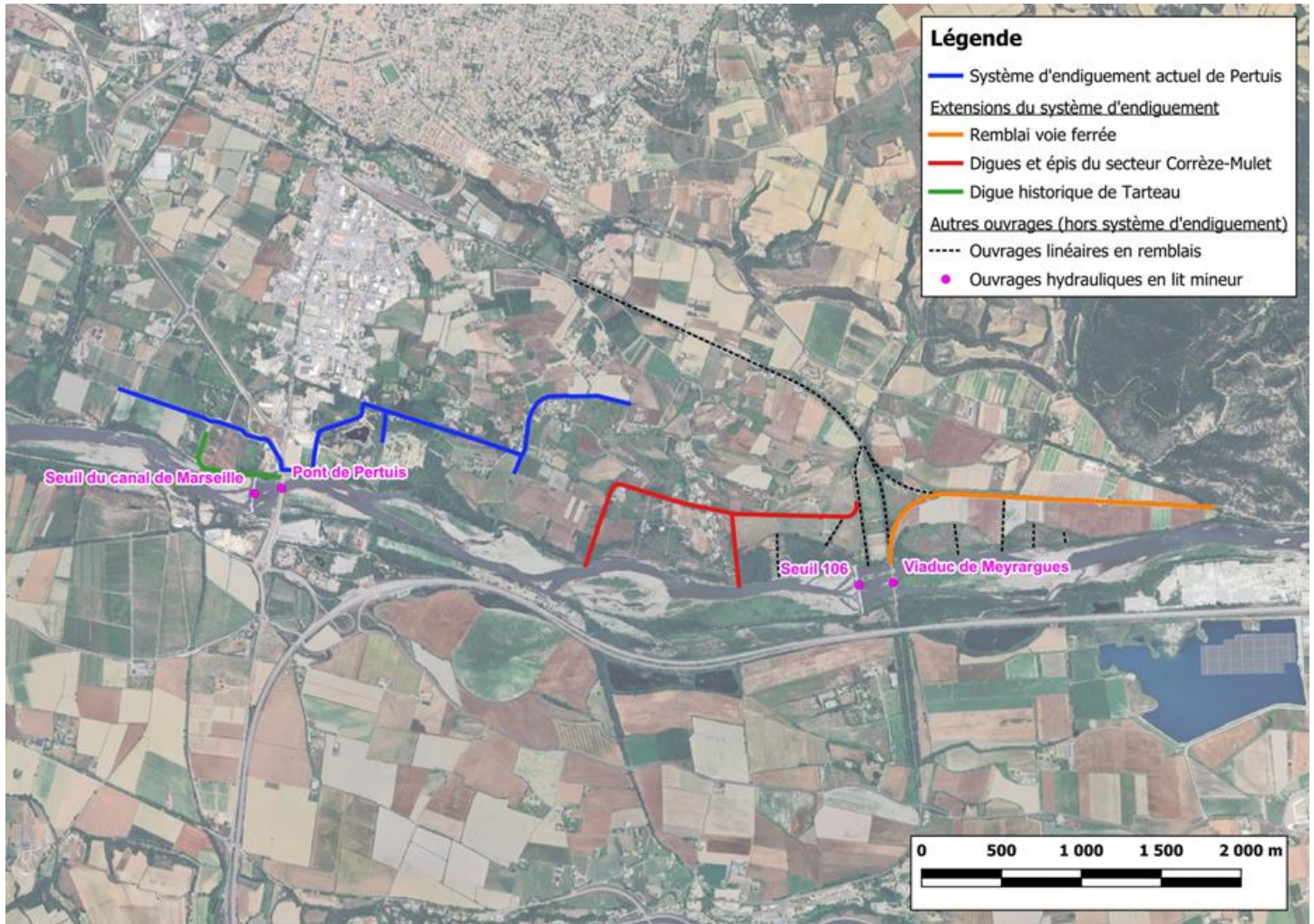


Figure 23 : Système d'endiguement de Pertuis et son environnement

3. Description précise de la zone protégée, du système d'endiguement, de son environnement et de ses fonctions de protection contre les inondations

3.1. Zone protégée

La zone protégée est l'entité géographique protégée de l'inondation du cours d'eau par un ensemble cohérent de digues ou d'ouvrages jouant un rôle de protection. Il s'agit d'une zone réputée inondable en l'absence d'un système d'endiguement dont l'effet est de diminuer l'aléa inondation en termes de probabilité, d'intensité, de durée ou de temps d'arrivée.

Inversement, la zone protégée peut donc être identifiée comme la zone mise complètement hors d'eau par le système d'endiguement jusqu'à l'atteinte du niveau de protection. L'emprise délimitée est donc directement associée au niveau de protection du système d'endiguement évalué dans la présente étude de dangers.

La zone protégée est évaluée via la mise en œuvre de modélisations hydrauliques de la propagation des événements définissant le niveau de protection de l'ouvrage, avec et sans digues, de façon à apprécier les zones directement protégées par le système d'endiguement.

Le système d'endiguement de Pertuis est géré par le SMAVD, délégataire de la métropole Aix-Marseille-Provence, organisme GEMAPI en charge de la mise en œuvre de la politique de prévention du risque inondation sur son territoire.

Le SMAVD est un établissement public qui assure la gestion de la Durance entre le barrage de Serre-Ponçon et le Rhône. Il regroupe le Conseil Régional, quatre conseils départementaux (04, 05, 13 et 84), ainsi que 13 intercommunalités.

Les territoires du contrat de rivière et de la métropole ainsi que la zone protégée inscrite dans ce territoire sont présentés en Figure 25.

Cette zone protégée est définie pour les différents niveaux de protection associés aux différents ouvrages constituant le système d'endiguement de Pertuis, à savoir :

- système d'endiguement de Pertuis existant : crue centennale de la Durance de débit 5 000 m³/s,
- Ouvrages de premier rang (objet de la présente étude de dangers) :
 - Remblai de la voie ferrée et digues et épis du secteur Corrèze-Mulet : crue trentennale de la Durance de débit 3 000 m³/s,
 - Digue historique de Tarteau : crue décennale de la Durance de débit 2 000 m³/s.

La station hydrométrique de Meyrargues-Pertuis sert de lieu de référence pour l'alerte en crue (cf. Figure 25).

La zone protégée est entièrement incluse sur le territoire de la commune de Pertuis. Les autres communes relevant de la métropole Aix-Marseille-Provence pour la prévention des inondations sont l'ensemble des communes de la métropole (cf. Figure 26).

Pour rappel, la zone protégée liée aux niveaux de protection définis dans la présente étude de dangers est définie par :

- les ouvrages constitutifs du système d'endiguement,
- l'assemblage des zones protégées relatives au niveau de protection défini pour chacun des ensembles d'ouvrages du système d'endiguement (effacement concomitant des tous les ouvrages de premier rang ainsi que des remblais de l'environnement).

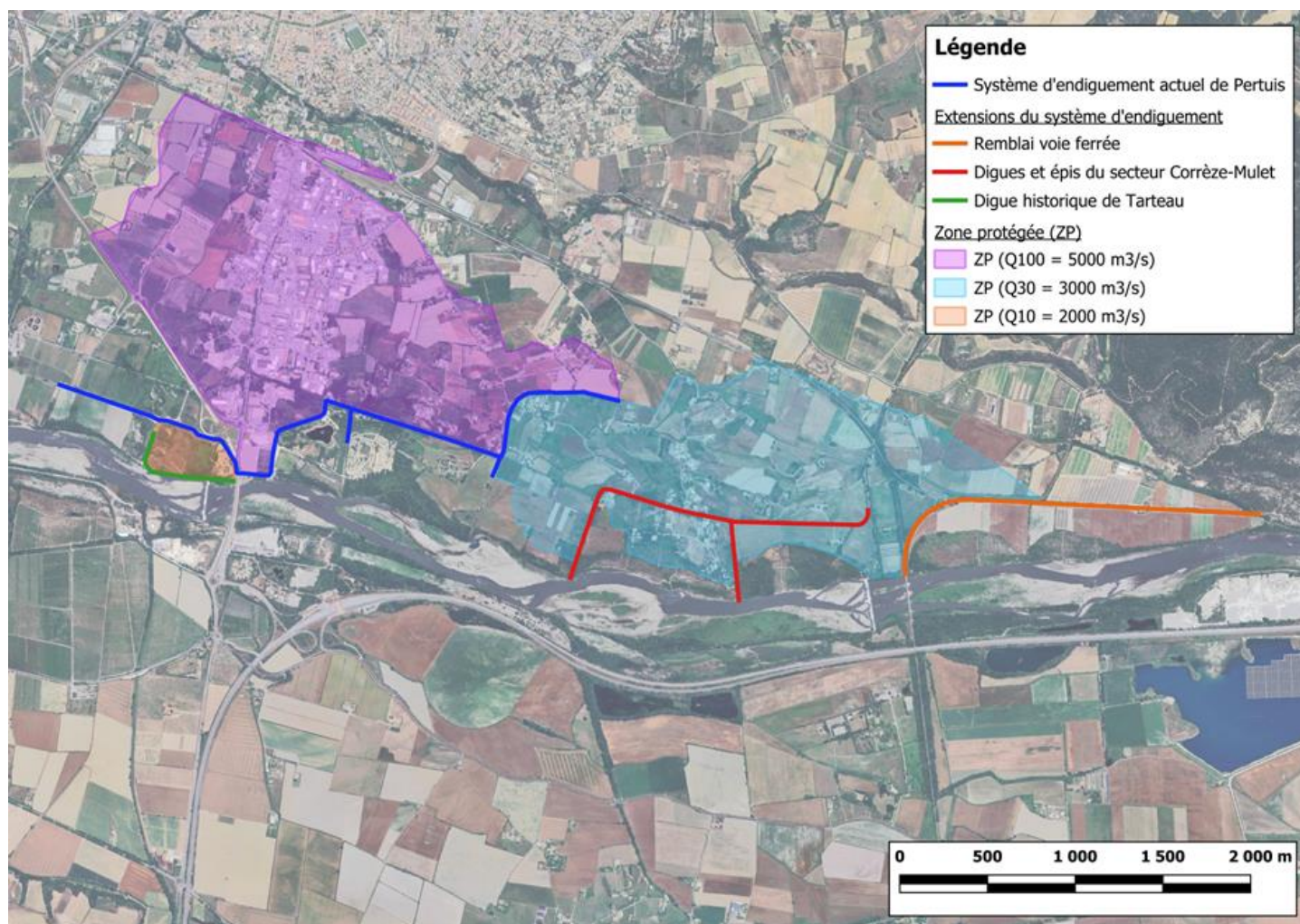


Figure 24 : Zone protégée du système d'endiguement, subdivisée en sous zones protégées associées aux différents niveaux de protection du système d'endiguement

La zone protégée couvre ainsi une surface de l'ordre de 526 ha au total.

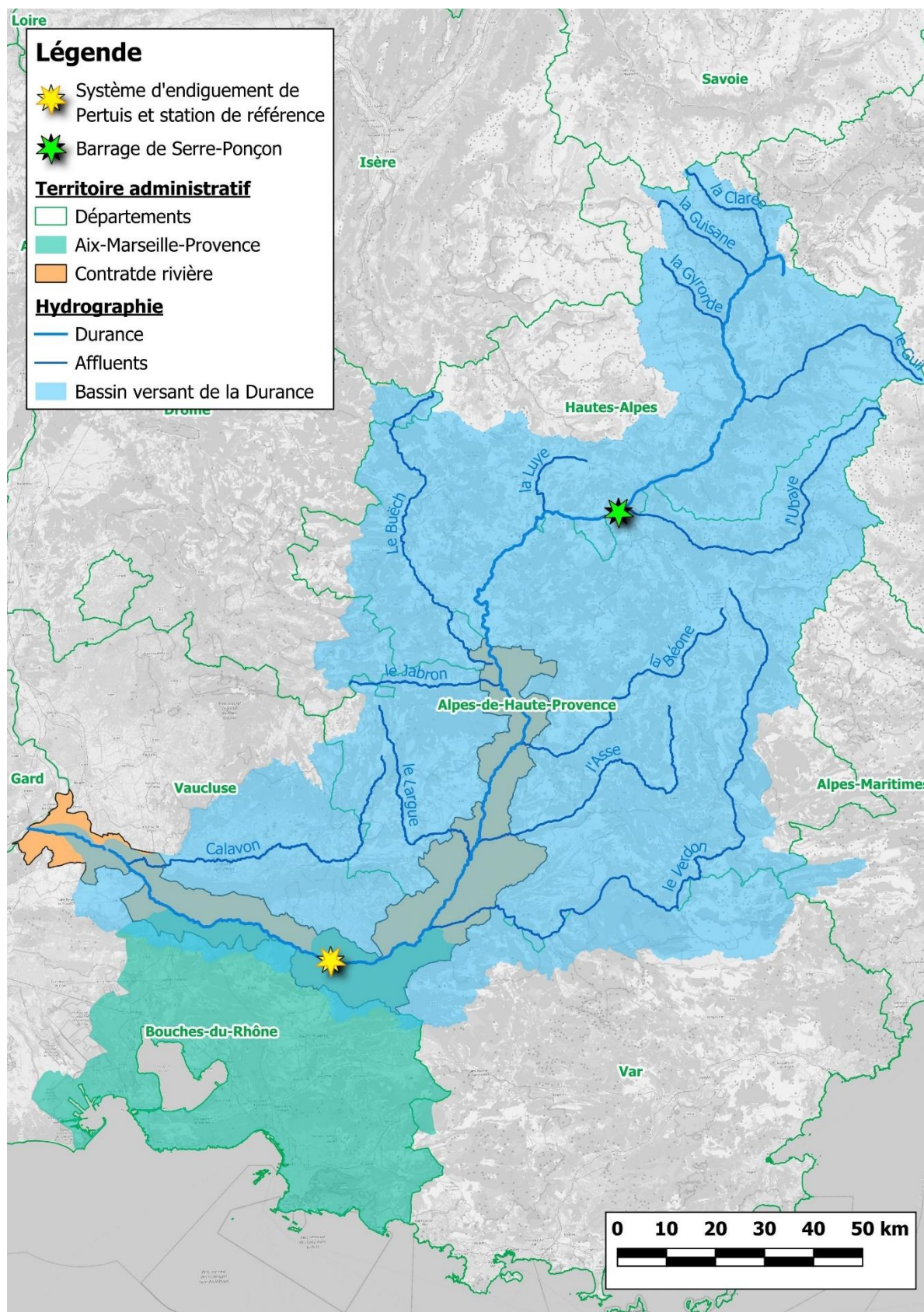


Figure 25 : Carte du territoire administratif



Figure 26 : Communes de la métropole Aix-Marseille-Provence (Source : métropole Aix-Marseille-Provence)

3.2. Description des conditions naturelles pouvant conduire à des crues, des conditions de fondation des ouvrages et des sollicitations s'exerçant sur ces fondations

3.2.1. Description des principaux facteurs naturels contre lesquels le système d'endiguement apporte une protection

Le risque d'inondation au droit du système d'endiguement de Pertuis est lié aux crues de la Durance.

Les crues de la Durance peuvent être classifiées en trois types :

- les **crues de lombarde** : crue majeure sur certains affluents frontaliers, ressentie jusqu'à Serre-Ponçon,
- les **crues océaniques généralisées** : crue majeure à l'amont de Serre-Ponçon,
- les **crues méditerranéennes** : ce sont les événements météorologiques qui produisent les fortes crues de la moyenne et basse Durance. La répartition des précipitations est très variable d'un événement à l'autre. La Haute-Durance n'est jamais touchée.

Au droit de la zone d'étude, le risque inondation est lié principalement aux crues méditerranéennes de la Durance.

3.2.2. Références scientifiques

L'hydrologie de la Durance a été établie dans le cadre du schéma d'aménagement et de gestion de la moyenne et basse vallée de la Durance réalisé par le SMAVD en 2011. En effet, ce document a permis de définir et de faire valider par les services de l'état une hydrologie qui fait référence sur ce territoire.

Elle s'appuie sur la réalisation de modèles :

- sur la moyenne vallée de la Durance (jusqu'au secteur de Cadarache – Mirabeau) : un **modèle pluie/débit** sur le logiciel PLUTON,
- sur la basse vallée de la Durance : un **modèle mathématique** d'écoulement permettant de rendre compte des phénomènes d'écroulement qui deviennent prépondérants.

Ces modèles sont calés grâce à une analyse historique des crues ayant eu lieu sur le bassin versant.

Conformément à cette étude et au PPRi de Pertuis, les débits considérés au droit de la zone du projet sont les suivants :

- Q_{10} : 2 000 m³/s,
- Q_{30} : 3 000 m³/s,
- Q_{50} : 4 000 m³/s,
- Q_{100} : 5 000 m³/s,
- Q_{ex} : 6 500 m³/s.

Ils sont considérés homogènes sur toute la basse vallée de la Durance (cf. partie 4.1.2.3).

3.2.3. Données historiques

Ces modèles ont été calés sur :

- les trois crues importantes ayant eu lieu sur la Durance au cours du XIX^{ème} siècle en 1843, 1882 et 1886,
- les crues récentes de janvier et de novembre 1994.

Date de la crue	Débit de pointe (m³/s) et hauteur à l'échelle de la station			
	Sisteron	Mirabeau	Pertuis	Bonpas
1 ^{er} novembre 1843	2 300	5 200		4 550 3,70 m
27 octobre 1882	2 860 7,10 m	5 100 6,60 m	5,70 m	4 550 3,70 m
8-11 novembre 1886	2 560 6,75 m	5 200 5,45 m RD		5 100 4,0 m
Janvier 1994	2 200	2 900	3 000	3 000
Novembre 1994	1 500	2 600	2 700	2 800

Tableau 4 : Principales crues recensées sur la Durance ayant été utilisées pour le calage du modèle hydrologique

Au droit de la basse et moyenne vallée de la Durance, la comparaison de la forme des hydrogrammes des principales crues montre un temps de base assez constant compris entre 30 et 50 heures.

3.2.4. Synthèse étude géologique

D'après la carte géologique à l'échelle 1/50 000ème, feuille n°995 de Pertuis, le système d'endiguement de Pertuis se situe sur des alluvions récentes (Fz) de la Durance datant du quaternaire. Ils sont composés de cailloutis, de graviers, de sables et de limons duranciens.

Il n'existe a priori pas de risque particulier lié à la géologie pouvant influencer la fondation des ouvrages. Les investigations réalisées dans le cadre de la présente l'étude de dangers (études diagnostic G5 réalisées par GEOLITHE en 2023 - cf. §1.5) ont permis de prendre en compte les lithologies rencontrées localement.

Le système d'endiguement de Pertuis :

- est localisé en zone de sismicité moyenne (4),
- est située en zone d'aléa moyen pour le retrait et gonflement des argiles,
- n'est concerné par aucun périmètre de sécurité associé à un indice de cavité souterraine.

3.3. Description des éléments composant le système de protection et leurs fonctions hydrauliques

3.3.1. Identification du cours d'eau

Le cours d'eau concerné par la présente étude de dangers est la Durance. Le système d'endiguement de Pertuis protège la rive droite contre les inondations de ce cours d'eau uniquement.

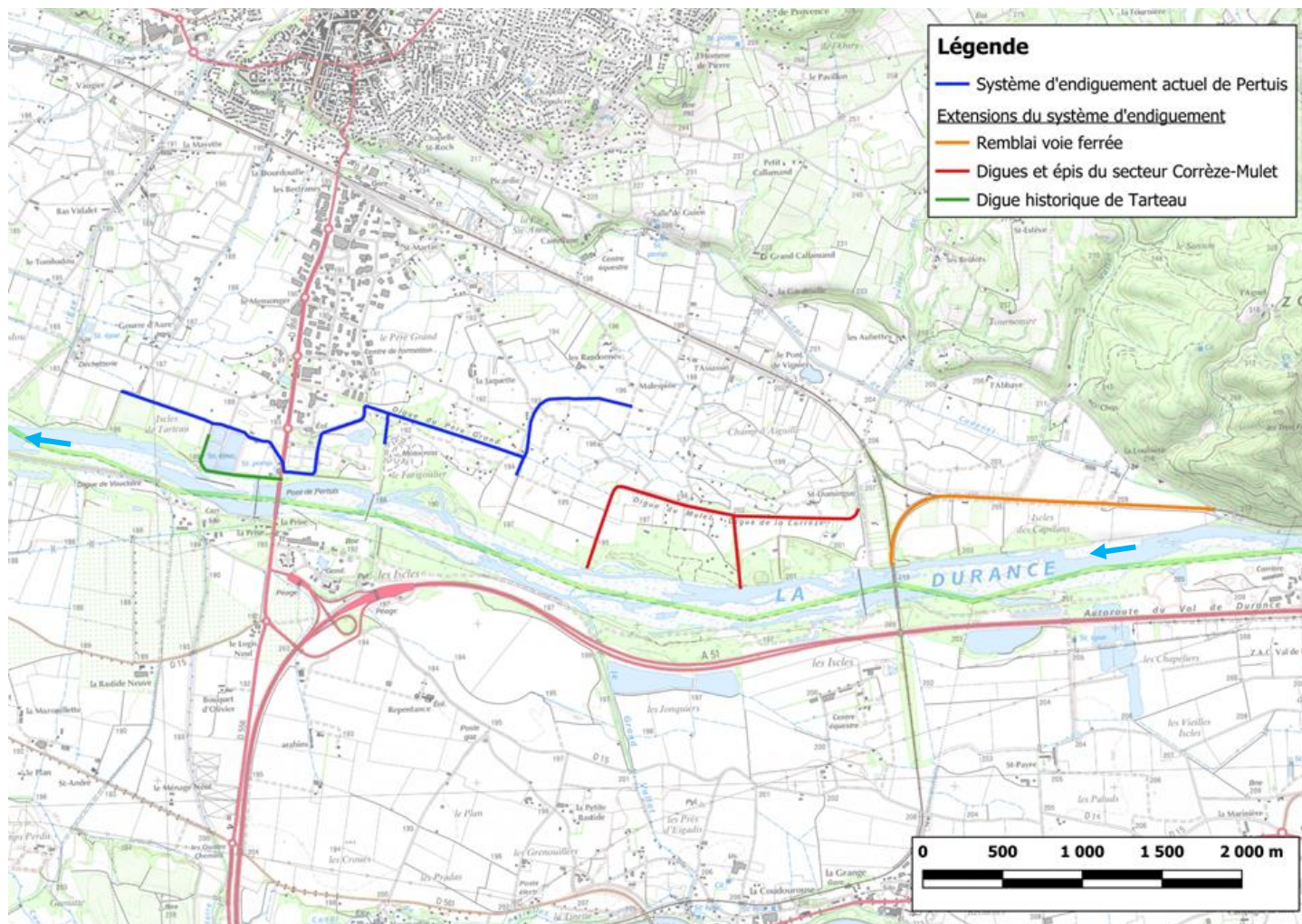


Figure 27 : Réseau hydrographique au droit du système d'endiguement de Pertuis (source : Antea Group)

3.3.2. Plan d'ensemble du système d'endiguement

Pour rappel, le système d'endiguement de Pertuis est composé des ouvrages suivants :

- le système d'endiguement de Pertuis existant tel qu'il est déjà autorisé actuellement : 3 907 ml,
- les ouvrages de premier rang faisant l'objet de la présente étude de dangers (demande d'autorisation d'extension du système d'endiguement de Pertuis existant) :

- Remblai de la voie ferrée : 2 300 ml,
- Digue et épis du secteur Corrèze-Mulet : 2 590 ml
- Digue historique de Tarteau : 725 ml.

On notera également la présence d'autres ouvrages à proximité (non intégrés au système d'endiguement de Pertuis) :

- ouvrages linéaires en remblais,
- ouvrages hydrauliques présents en lit mineur de la Durance.

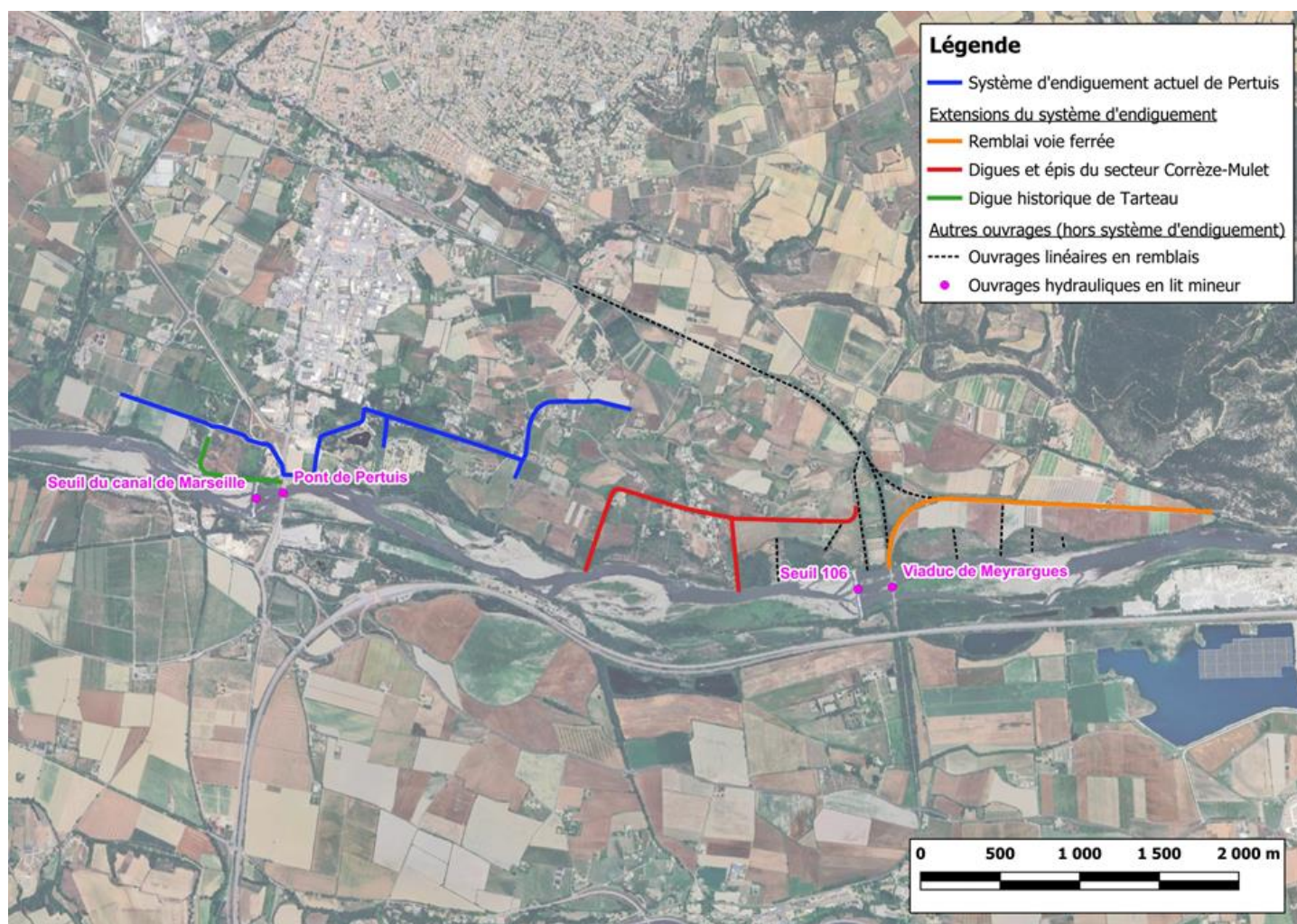


Figure 28 : Plan d'ensemble du système d'endiguement de Pertuis

On notera par ailleurs que, le système d'endiguement actuel de Pertuis comprend plusieurs dispositifs de régularisation des écoulements, qui prennent la forme d'ouvrages hydrauliques vannés.

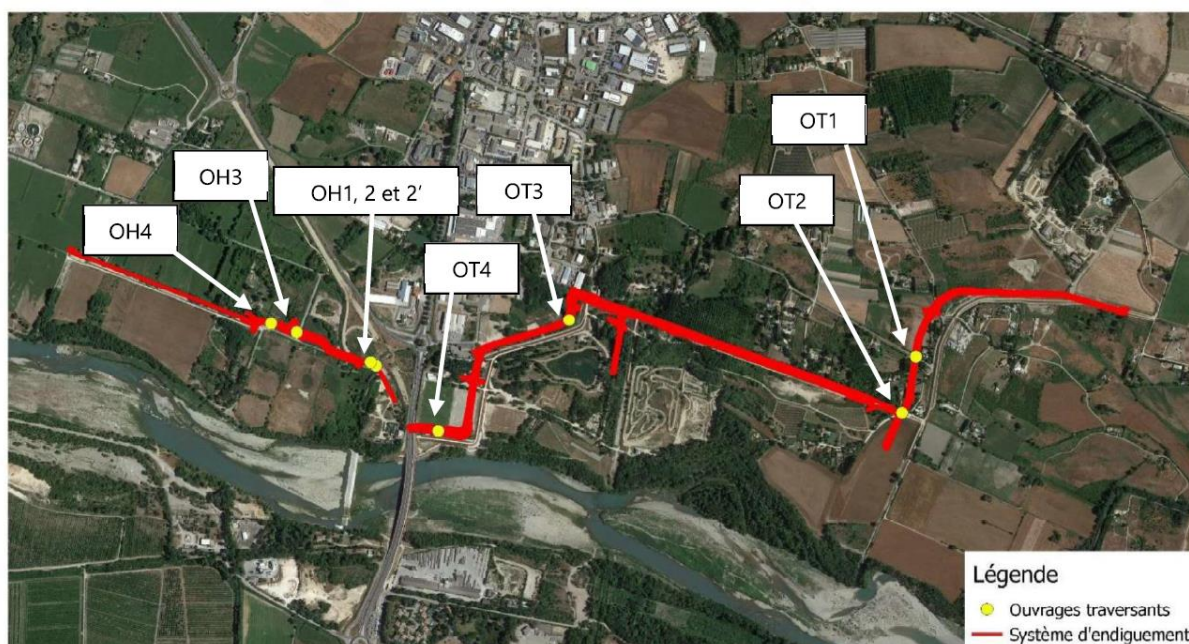


Figure 29 : Localisation des ouvrages à manœuvrer sur le système d'endiguement actuel de Pertuis (EDD 2019, Ingérop)

3.3.3. Localisation et caractéristiques des éléments constituant le système d'endiguement

Les différents ouvrages constituant le système d'endiguement, y compris leurs voies d'accès, sont présentés ci-après.

3.3.3.1. Système d'endiguement actuel de Pertuis

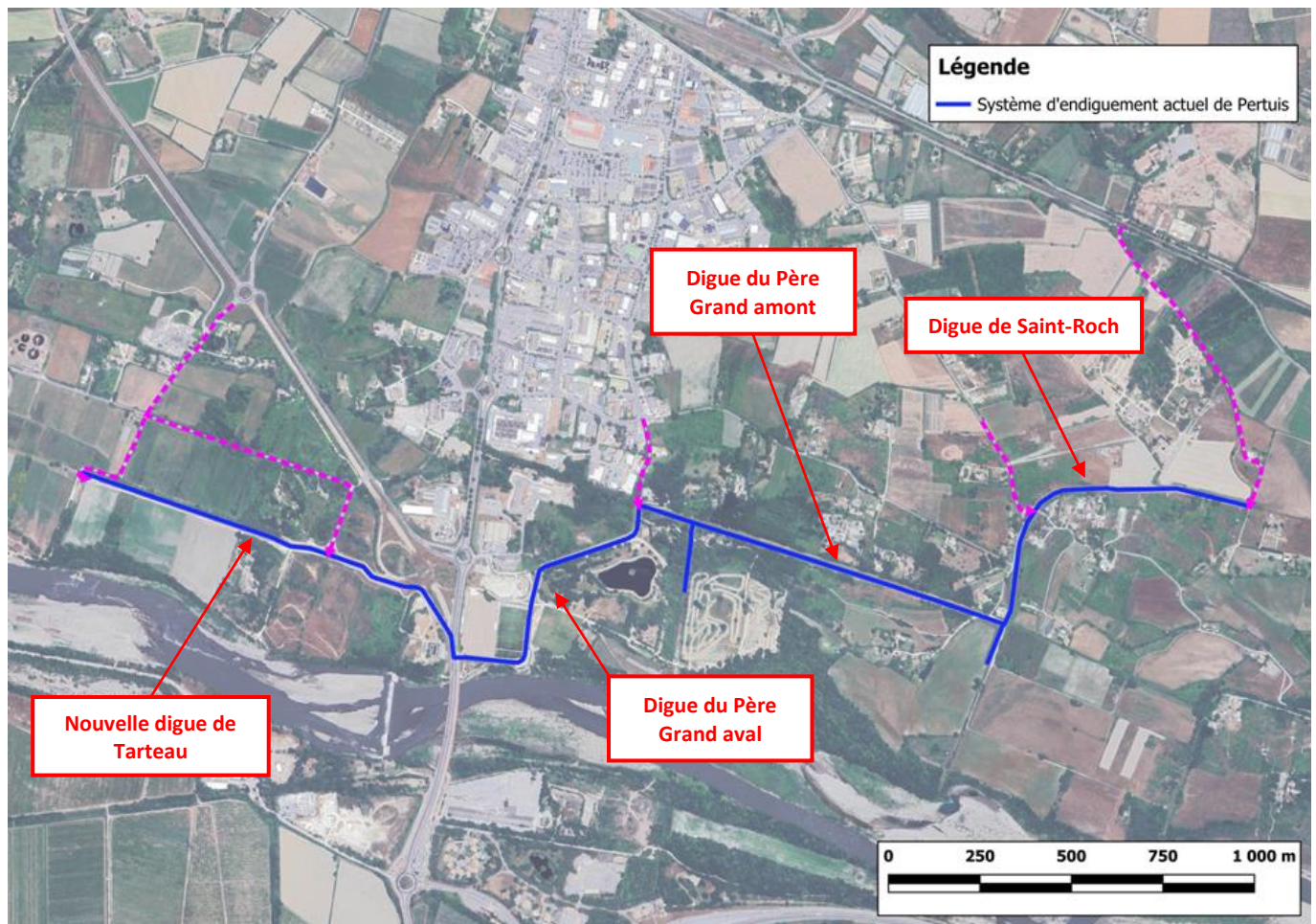


Figure 30 : Système d'endiguement actuel de Pertuis et accès

3.3.3.2. Remblai voie ferrée

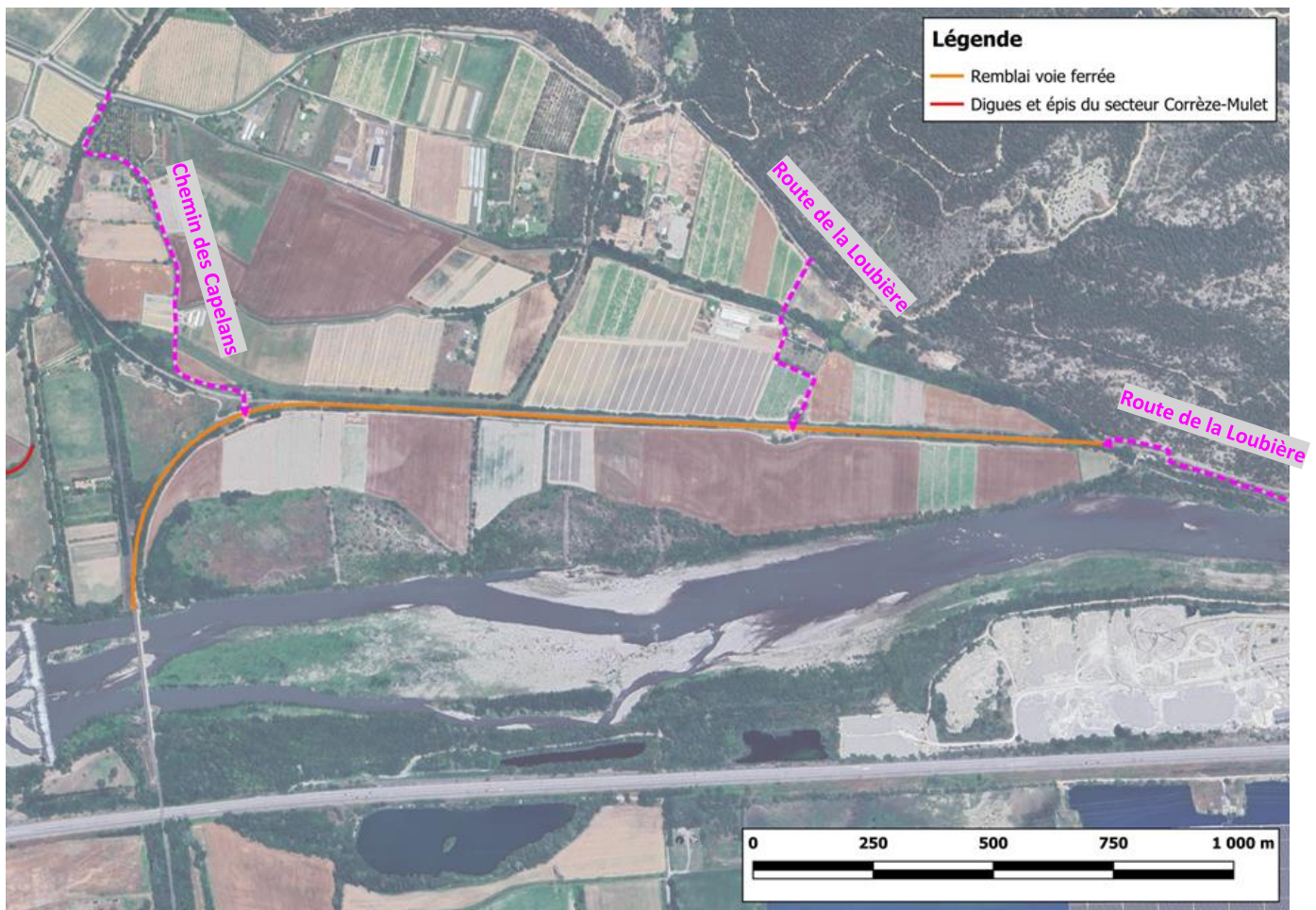


Figure 31 : Remblai voie ferrée et accès

3.3.3.3. Dignes et épis du secteur Corrèze-Mulet

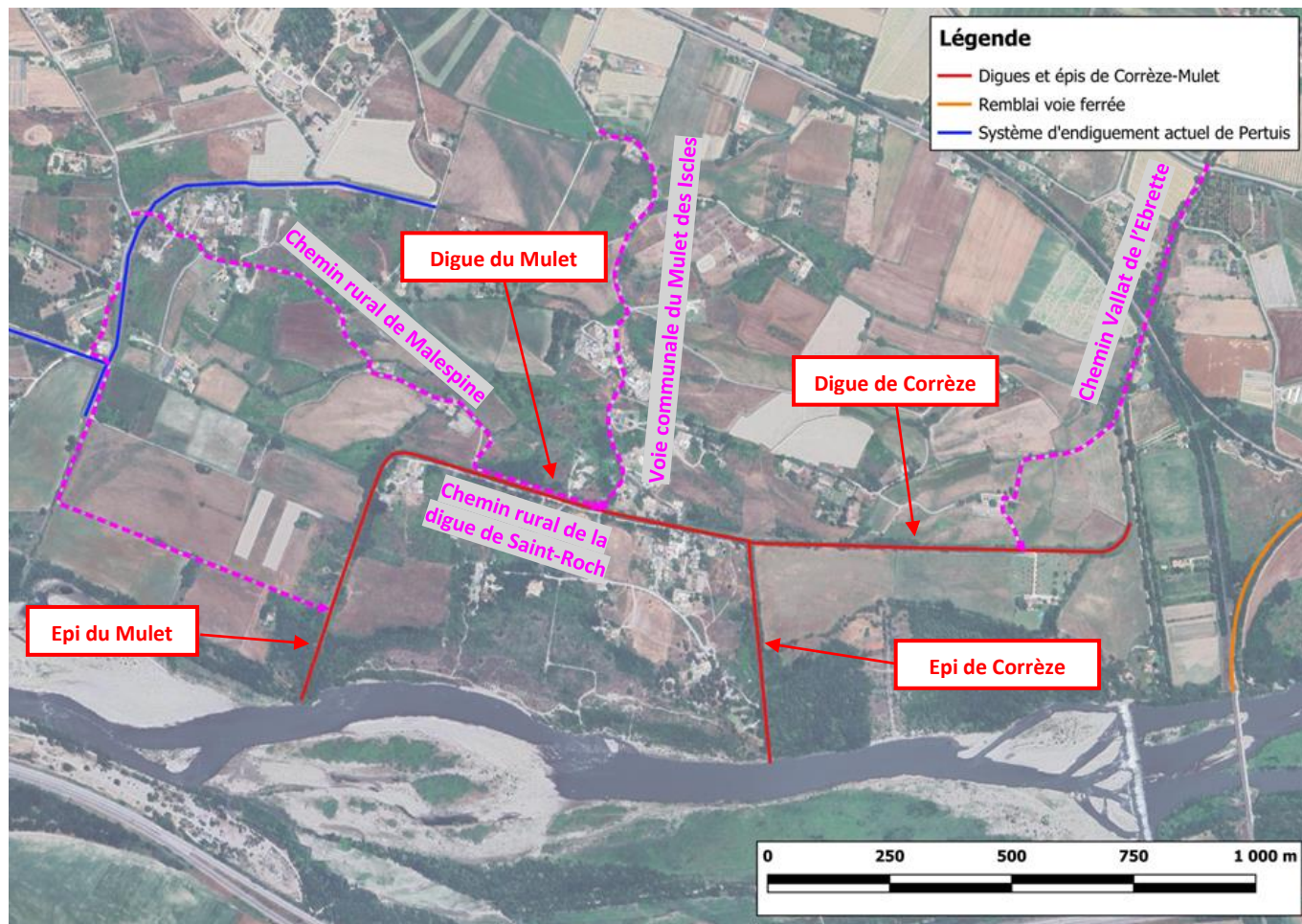


Figure 32 : Dignes et épis du secteur Corrèze-Mulet et accès

3.3.3.4. Digue historique de Tarteau

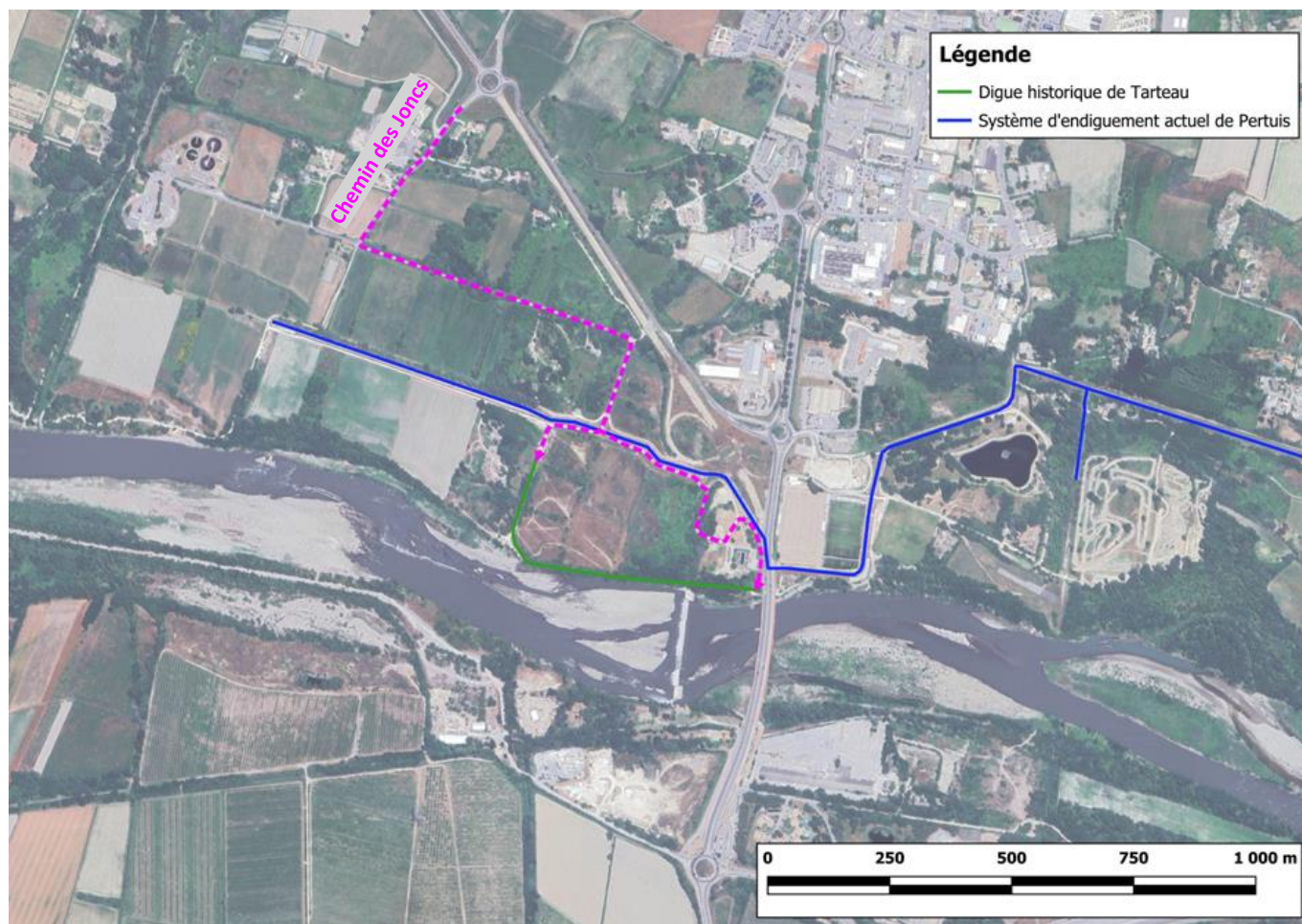


Figure 33 : Digue historique de Tarteau et accès

3.3.4. Présentation globale du système d'endiguement

Les niveaux de pieds de digue, crête de digue et les lignes d'eaux issues des modélisations hydrauliques réalisées par le SMAVD (cf. §4.2.3) associées aux différentes crues étudiées sont présentés ci-après au droit du système d'endiguement actuel ainsi qu'au droit des ouvrages de premier rang faisant l'objet de la présente demande d'extension du système d'endiguement de Pertuis.

Pour rappel, les niveaux de protection associés aux différents ouvrages constituant le système d'endiguement de Pertuis sont les suivants :

- système d'endiguement de Pertuis existant divisé en plusieurs tronçons (digue de Saint-Roch, digue du Père-Grand Amont, digue du Père-Grand Aval, digue de Tarteau): crue centennale de la Durance de débit 5 000 m³/s,
- Ouvrages de premier rang (objet de la présente étude de dangers) :
 - Remblai de la voie ferrée et digues et épis du secteur Corrèze-Mulet : crue trentennale de la Durance de débit 3 000 m³/s,
 - Digue historique de Tarteau : crue décennale de la Durance de débit 2 000 m³/s.

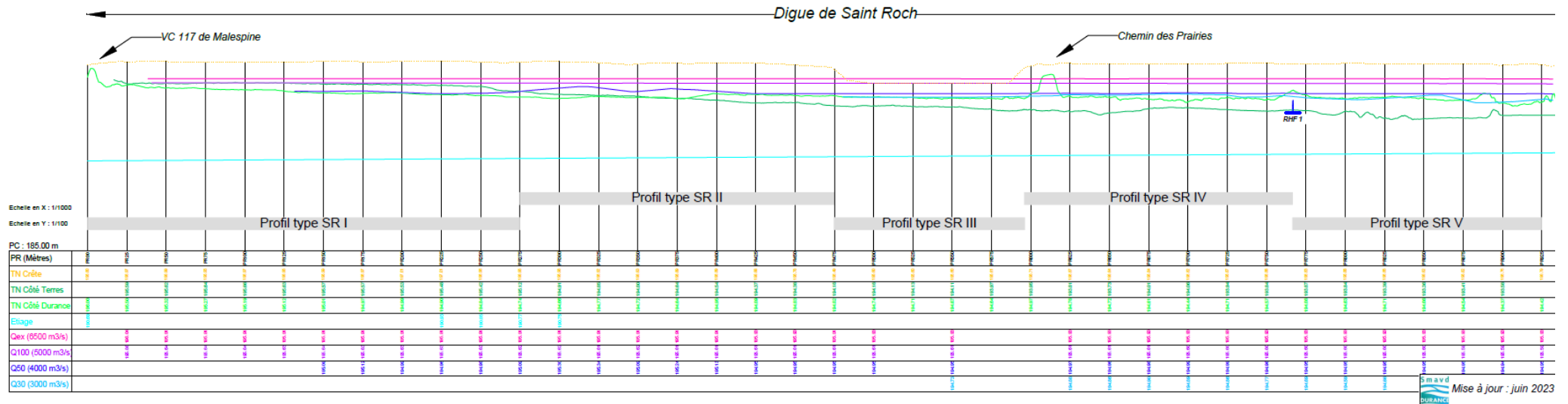


Figure 34 : Profil en long de la digue de Saint-Roch et sollicitations hydrauliques (EDD 2019, Ingérop)

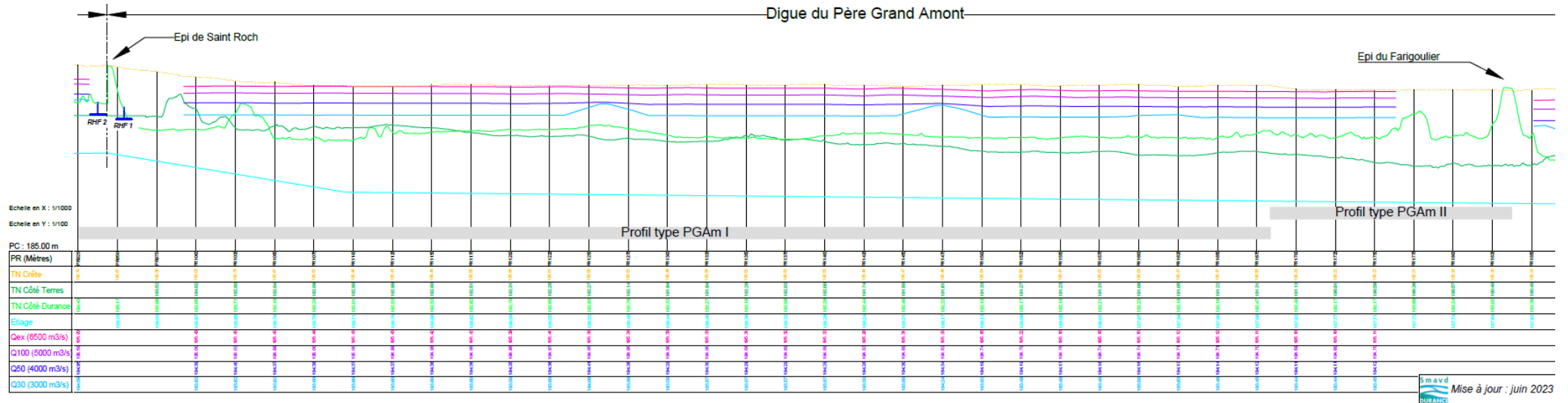


Figure 35 : Profil en long de la digue du Père-Grand amont et sollicitations hydrauliques (EDD 2019, Ingérop)

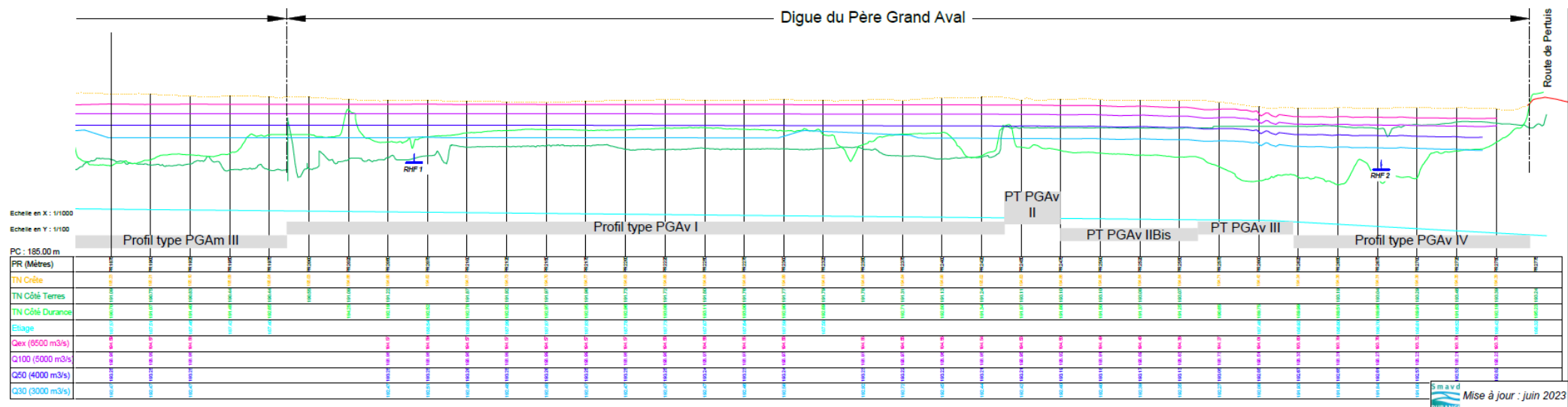


Figure 36 : Profil en long de la digue du Père-Grand aval et sollicitations hydrauliques (EDD 2019, Ingérop)

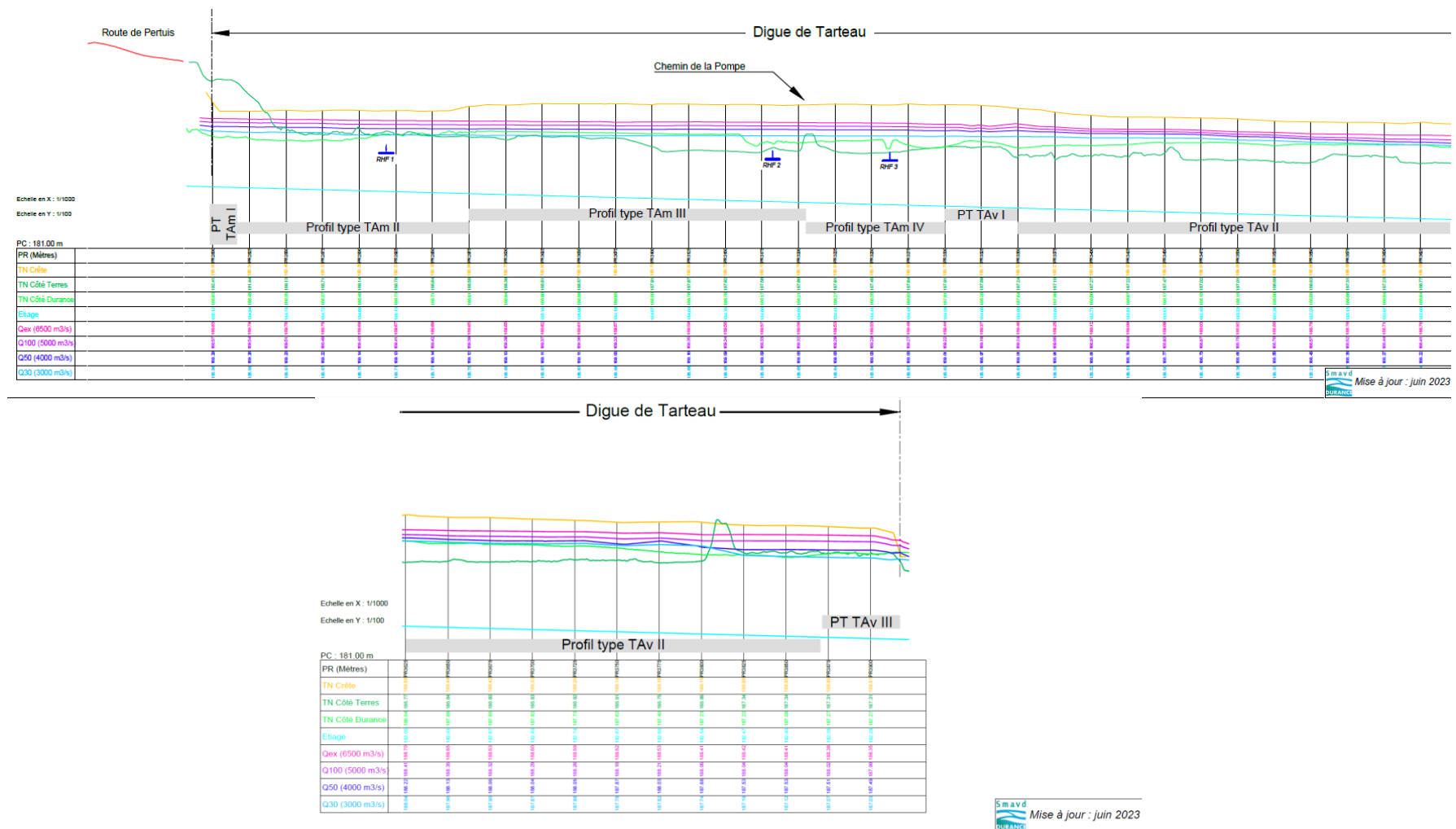


Figure 37 : Profil en long de la digue de Tarteau et sollicitations hydrauliques (EDD 2019, Ingérop)

A noter que les lignes d'eau ne sont représentées que lorsque le pied de l'ouvrage est atteint pour le débit considéré.

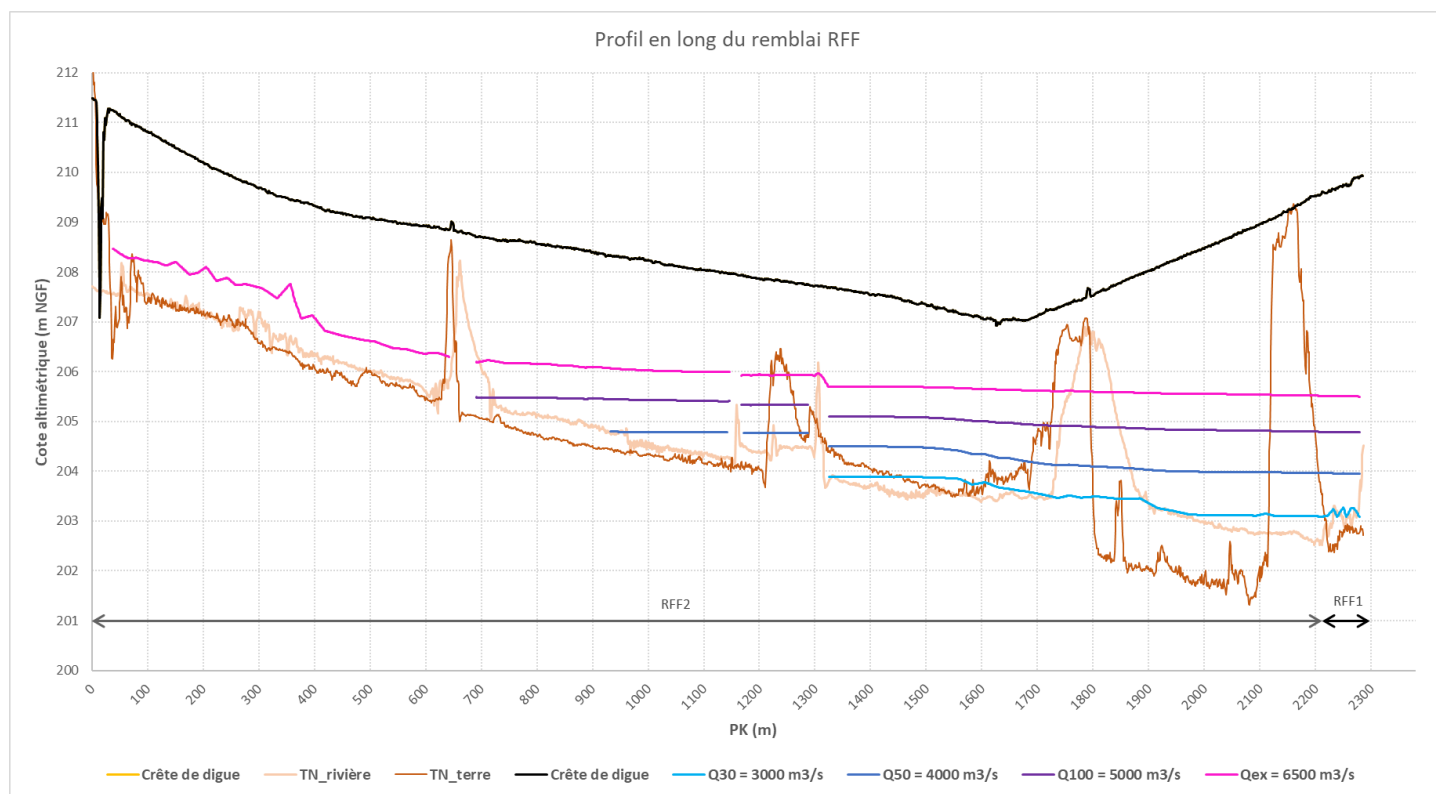


Figure 38 : Profil en long du remblai de la voie ferrée et sollicitations hydrauliques

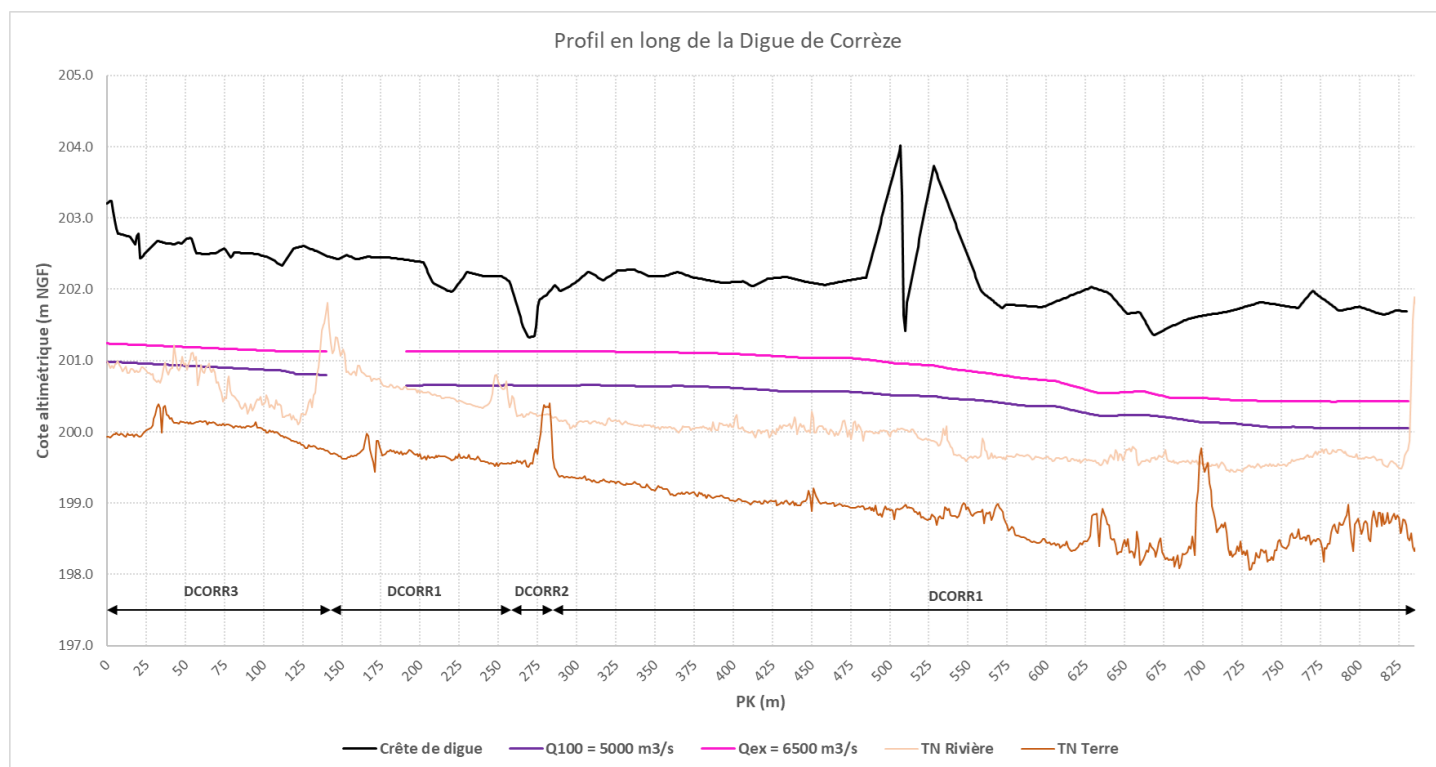


Figure 39 : Profil en long de la digue de Corrèze et sollicitations hydrauliques

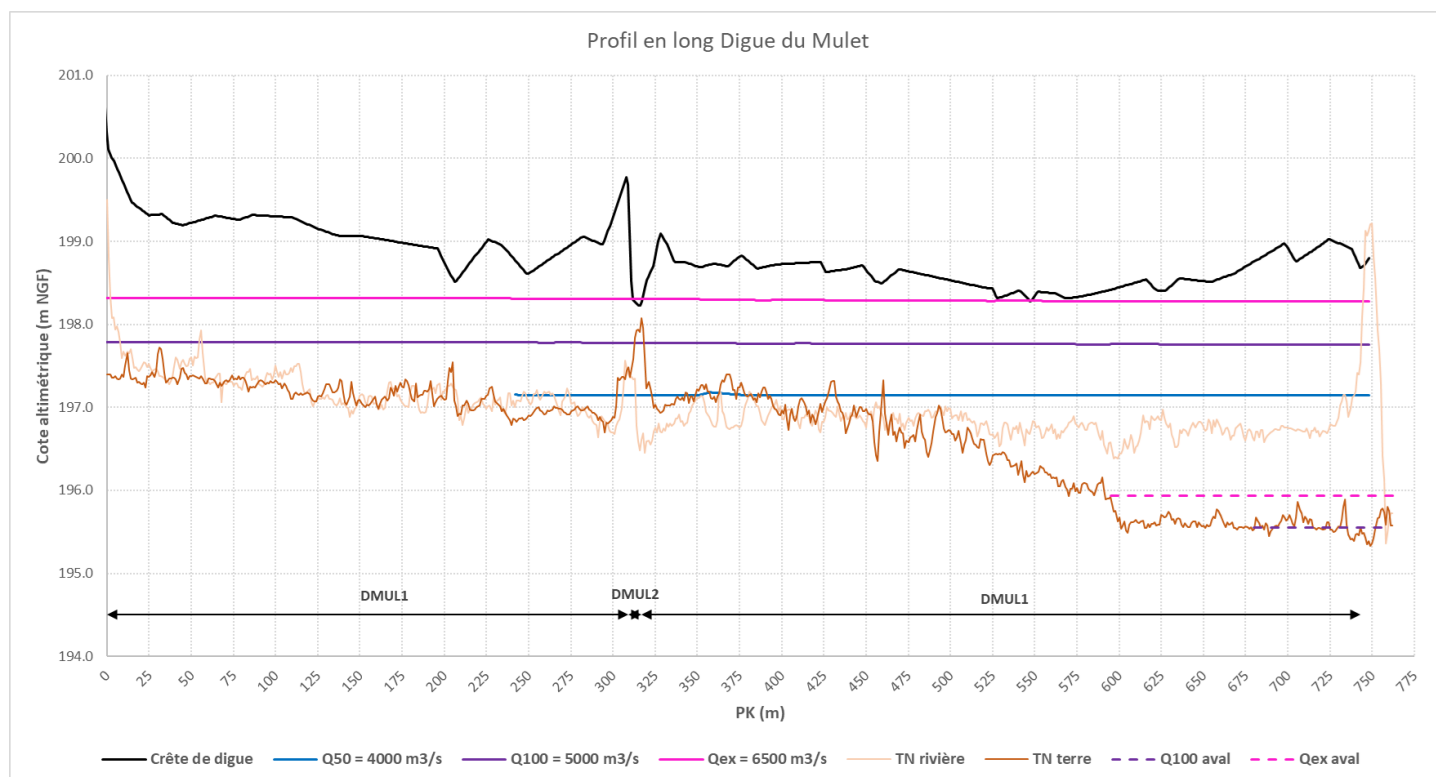


Figure 40 : Profil en long de la digue du Mulet et sollicitations hydrauliques

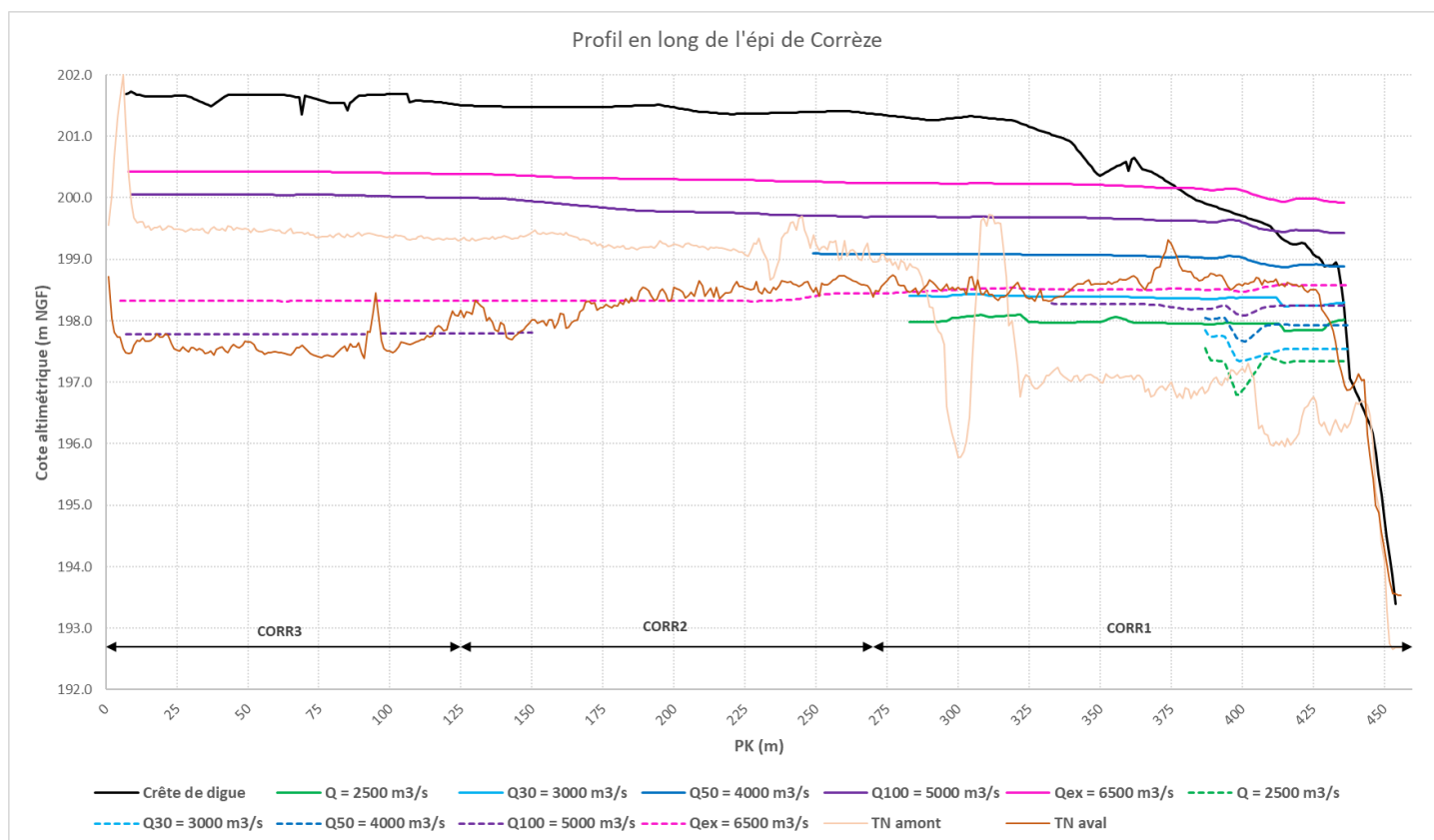


Figure 41 : Profil en long de l'épi de Corrèze et sollicitations hydrauliques

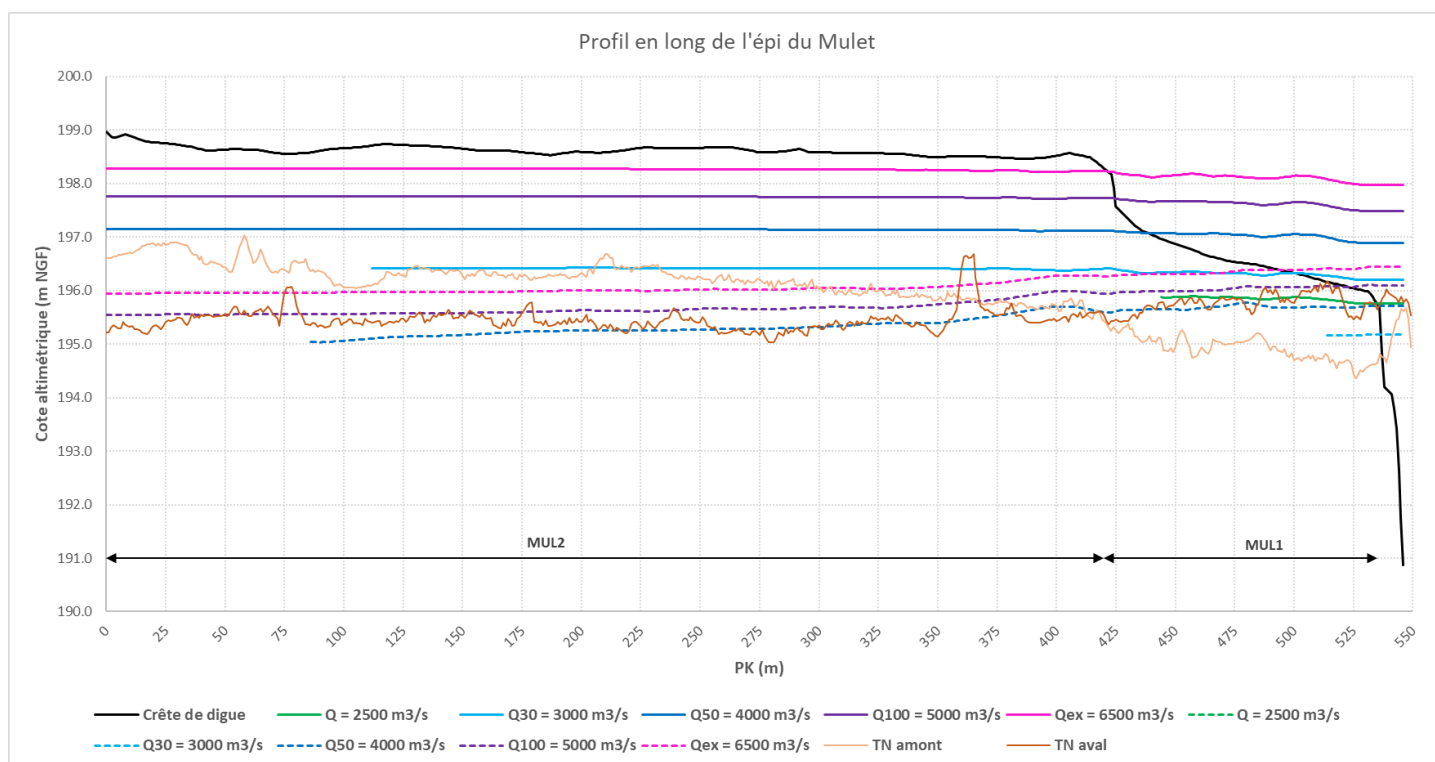
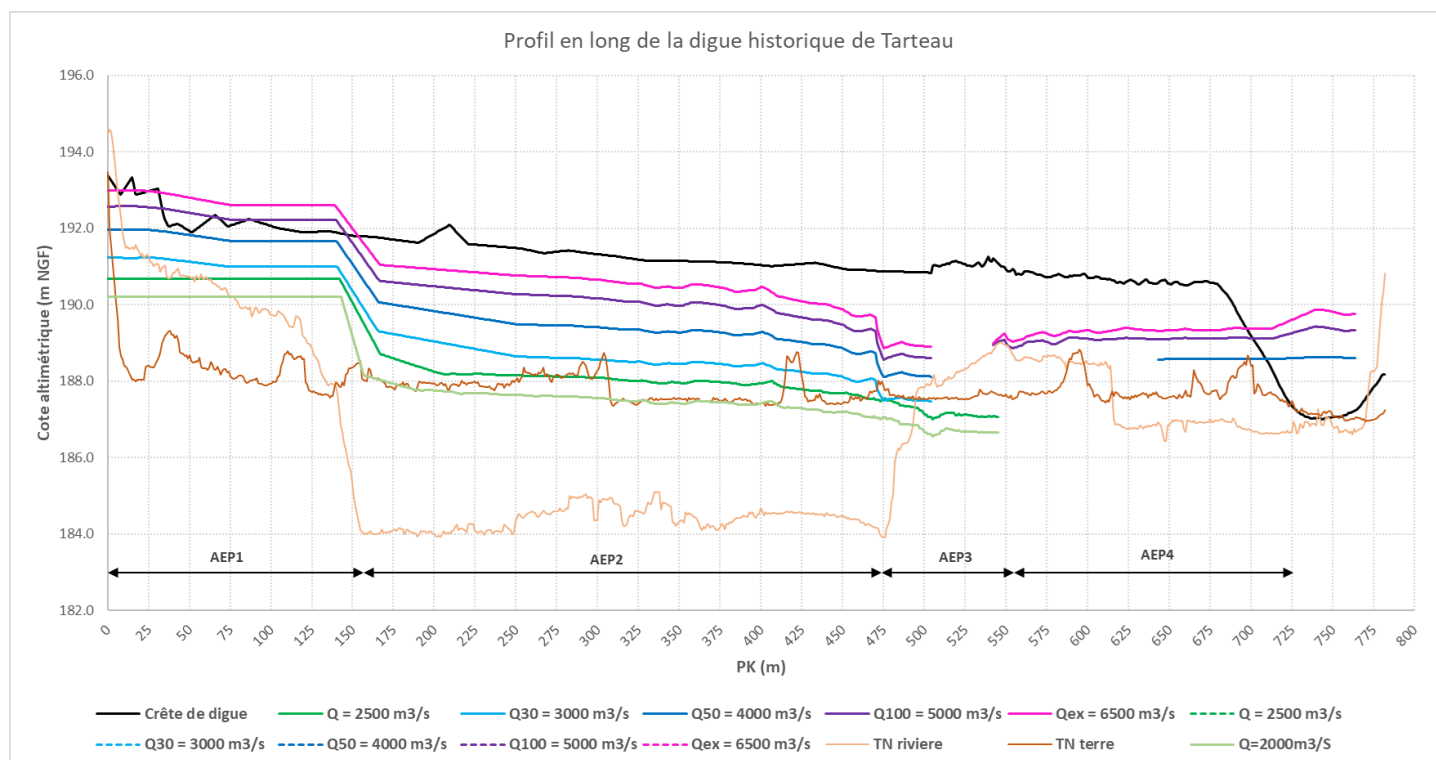


Figure 42 : Profil en long de l'épi du Mulet et sollicitations hydrauliques



3.3.5. Présentation détaillée du système d'endiguement

Les figures ci-après présentent les principales caractéristiques géométriques et constitutives des différents tronçons du système d'endiguement de Pertuis :

- système d'endiguement existant de Pertuis tel qu'il est déjà autorisé actuellement (3 907 ml) :
 - **Digue de Saint-Roch et épi de Saint-Roch** (943 ml),
 - **Digue du Père Grand amont** (1047 ml),
 - **Digue du Père Grand aval** (780 ml),
 - **Nouvelle digue de Tarteau** (1137 ml),
- ouvrages de premier rang faisant l'objet de la présente étude de dangers (demande d'autorisation d'extension du système d'endiguement actuel de Pertuis) :
 - **Remblai de la voie ferrée** (2 300 ml) décomposé en 2 tronçons homogènes :
 - **RFF1** (85 ml / PM 2212 à 2297),
 - **RFF2** (2215 m / PM 0 à 2212),
 - Digue et épis du secteur Corrèze-Mulet (2 590 ml) :
 - **Digue de Corrèze** (835 ml) décomposé en 3 tronçons homogènes :
 - **DCORR1** (665 ml / PM 143 à 258 + PM 285 à 836),
 - **DCORR2** (25 ml / PM 258 à 285),
 - **DCORR3** (145 ml / PM 0 à 143),
 - **Epi de Corrèze** (460 ml) décomposé en 3 tronçons homogènes :

- **CORR1** (190 ml / PM 270 à 460),
- **CORR2** (145 ml / PM 125 à 270),
- **CORR3** (125 ml / PM0 à 125),
- **Digue du Mulet** (760 ml) décomposé en 2 tronçons homogènes :
 - **DMUL1** (750 ml / PM 0 à 309 + PM 317 à 755),
 - **DMUL2** (10 ml / PM 309 à 317),
- **Epi du Mulet** (535 ml) décomposé en 2 tronçons homogènes :
 - **MUL1** (115 ml / PM 420 à 535),
 - **MUL2** (420 ml / PM 0 à 420),
- **Digue historique de Tarteau** (725 ml) décomposé en 4 tronçons homogènes :
 - **AEP1** (155 ml / PM 0 à 157),
 - **AEP12** (320 ml / PM 157 à 474),
 - **AEP3** (80 ml / PM 474 à 555),
 - **AEP4** (170 ml / PM 555 à 726).

Les caractéristiques détaillées des tronçons du système d'endiguement sont présentées dans le chapitre 5.1.

3.3.6. Localisation des éventuels aménagements hydrauliques

Aucun aménagement hydraulique n'est autorisé conjointement avec le système d'endiguement de Pertuis.

3.3.7. Présentation et analyse critique des données topographiques disponibles et leur précision

3.3.7.1. Données topographiques du lit mineur

Les données utilisées pour définir la bathymétrie du lit mineur de la Durance dans le cadre des études hydrauliques menées par le SMAVD pour les besoins de la présente étude de dangers sont les suivantes :

- LIDAR SMAVD d'août 2020 pour les bancs,
- interpolation des profils bathymétriques SMAVD 2020 tous les 500 m, pour les bras en eau.

3.3.7.2. Données topographiques du lit majeur

Les données utilisées pour définir la topographie du lit majeur sont issues du LIDAR SMAVD d'août 2020 dans l'emprise couverte et du RGE Alti 1m (2016) partout ailleurs. Il est localement complété par des semis de points issus de levés terrestres ou de plans de récolement réalisés par un géomètre expert.

3.3.7.3. Données topographiques du système d'endiguement

Les données utilisées pour définir la topographie des ouvrages de premier rang faisant l'objet de la présente demande d'autorisation d'extension du système d'endiguement actuel de Pertuis sont issues :

- des profils en long et en travers réalisés par cabinet de géomètre expert OPSIA en juin 2022 pour la définition des niveaux de crête et de la géométrie générale des digues,
- du LIDAR HD pour la définition des niveaux de pied de digue.

3.4. Analyse du fonctionnement du système d'endiguement, analyse des risques de rupture, niveau de protection, analyse de l'organisation du gestionnaire et gestion en situation de crue ou de tempête

3.4.1. Données historiques concernant le comportement structurel de l'ouvrage

Le système d'endiguement actuel de Pertuis a fait l'objet de travaux de restructuration entre 2015 et 2017 et a été autorisé par arrêté préfectoral du 26 mai 2020 en tant que système de classe B (cf. Annexe 1). Il est régulièrement entretenu et surveillé par le SMAVD.

Le remblai de la voie ferrée n'a fait l'objet d'aucun classement et n'a pas encore été mis à disposition au gémapien. Il est aujourd'hui sur un plan administratif uniquement affecté à l'usage ferroviaire par SNCF Réseau qui l'entretient régulièrement.

Les digues et épis du secteur Corrèze-Mulet ainsi que la digue historique de Tarteau ont été classés en mai 2015 respectivement en digues de catégorie C et D au sens du décret 2007. Ces ouvrages n'ont été ni entretenus ni surveillés depuis plus de 15 ans et sont couverts d'une végétation importante. En fin d'année 2024, un premier entretien du système d'endiguement a été réalisé.

Tous ces ouvrages en remblai jouent un rôle hydraulique important en période de crue de la Durance :

- le système d'endiguement actuel protège la grande zone industrielle et commerciale de pertuis ainsi que toutes les personnes fréquentant cette zone,
- le remblai de la voie ferrée et les digues et épis du secteur Corrèze-Mulet protègent la population éparsée résidant dans le secteur,
- la digue historique de Tarteau protège l'usine de potabilisation d'eau située immédiatement à l'arrière et qui alimente plus de 20 000 personnes en eau potable.

Le premier pont de Pertuis traversant la Durance date de 1837. Partiellement emporté par une crue d'ordre centennale de la Durance en novembre 1843, il sera reconstruit en 1844. Un nouveau pont sera ensuite construit à la place de l'ancien en 1958, et démonté en 2013, pour faire place à l'actuel pont de Pertuis donnant suite à la création de la déviation routière de Pertuis. La digue historique de Tarteau a probablement été construite concomitamment ou peu après le premier pont de Pertuis. En effet, le tracé de l'ouvrage figure sur la carte de l'Etat Major de 1866.



Figure 44 : Digue historique de Tarteau visible sur la carte de l'Etat Major de 1866

Une partie du système d'endiguement actuel de Pertuis (hors ouvrages réalisés en 2015) ainsi que les ouvrages de premier rang, objet de la présente étude de dangers, sont visibles sur les photographies aériennes du secteur d'étude datant des années 1950-1965.

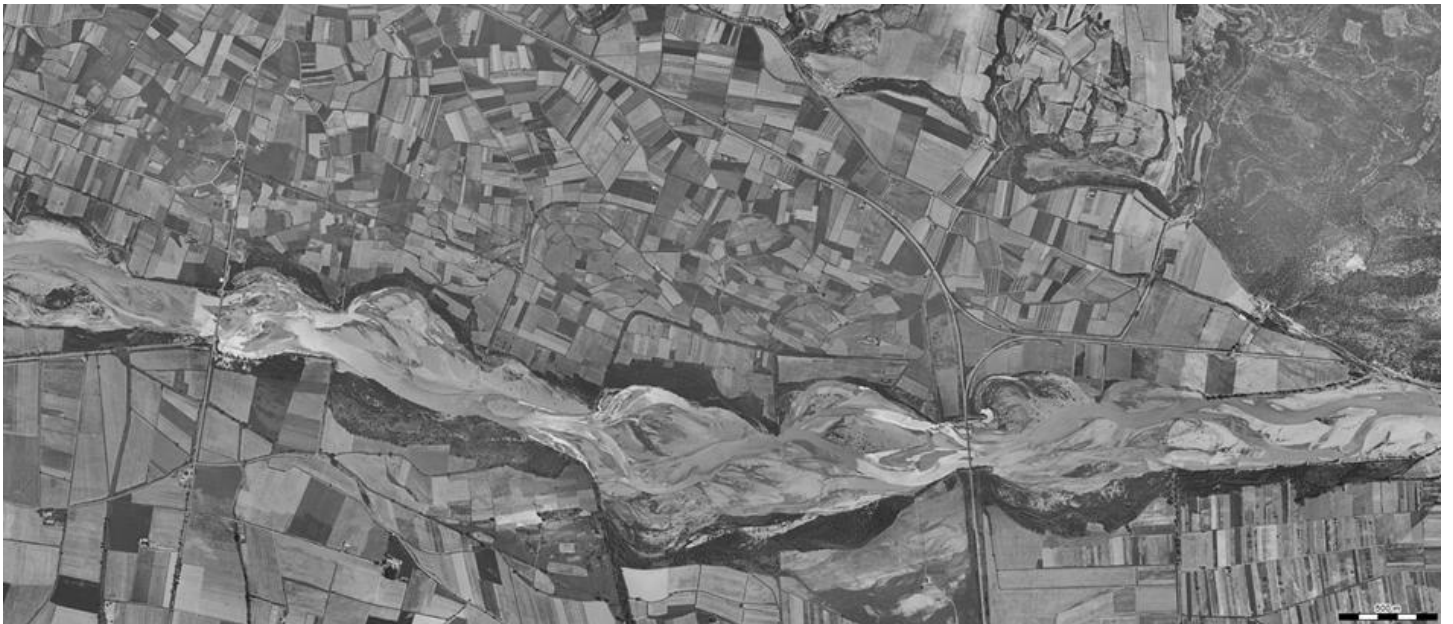


Figure 45 : Photographie aérienne du secteur d'étude 1950-1965 (source : Géoportail)

La crue de janvier 1994 ne semblent pas avoir provoqué de graves désordres sur les ouvrages de premier rang, objet de la présente étude de dangers, tout du moins au regard de la brèche qui s'est produite au niveau de la digue de Père Grand et qui a inondé la zone industrielle de Pertuis (cf. 6.1).

3.4.2. Fonction structurelle de chaque composant et fonctionnement d'ensemble

Afin de protéger efficacement la rive droite contre les crues de la Durance, le système d'endiguement de Pertuis doit présenter un risque faible de rupture (probabilité inférieure à 5 %) pour les différents niveaux de protection définis au paragraphe 3.4.4.

L'analyse complète du comportement structurel du système d'endiguement menée en partie 7 a permis d'étudier la résistance du système d'endiguement face aux quatre risques de rupture conventionnelle :

- **Rupture par surverse** : le niveau de protection est défini tel qu'il puisse assurer une revanche au moins égale à 20 cm vis-à-vis des crues de la Durance sur les sections non aménagées pour résister à la surverse. Le risque associé est donc faible pour les différents niveaux de protection associés aux ouvrages constitutifs du système d'endiguement,
- **Rupture par érosion interne** : les différents phénomènes d'érosion interne sont écartés pour les différents niveaux de protection associés aux ouvrages constitutifs du système d'endiguement de Pertuis. Le risque associé est donc faible,
- **Rupture par glissement** : la stabilité est vérifiée sur les différents profils types des ouvrages jugés les plus défavorables pour toutes les situations de calcul pour les différents niveaux de protection associés aux ouvrages constitutifs du système d'endiguement. Le risque associé est donc faible,
- **Rupture par érosion externe** : la largeur du franc bord étant globalement supérieure à 5 m sur l'ensemble du système d'endiguement. Par ailleurs, compte tenu des aménagements (au droit des épis notamment) et de la surveillance prévue, le risque associé à la rupture par érosion externe (par affouillement et érosion sur le talus) est jugé faible pour les différents niveaux de protection associés aux ouvrages constitutifs du système d'endiguement.

3.4.3. Impact des aménagement(s) hydraulique(s)

Sans objet (aucun aménagement hydraulique n'est autorisé conjointement avec le système d'endiguement de Pertuis).

3.4.4. Niveau de protection

Le **niveau de protection** est défini par l'article R. 214-119-1 du code de l'environnement. C'est la hauteur maximale définie par le gestionnaire que peut atteindre l'eau sans que la zone protégée soit inondée en raison du débordement, du contournement, ou de la rupture des ouvrages de protection quand l'inondation provient directement du cours d'eau ou de la mer.

Le SMAVD, en sa qualité de gestionnaire délégué, et la métropole Aix-Provence-Marseille, autorité gémapienne du système d'endiguement de Pertuis, ont retenu les niveaux de protection suivants pour le système d'endiguement de Pertuis :

- système d'endiguement de Pertuis existant : crue centennale de la Durance de débit 5 000 m³/s,
- Ouvrages de premier rang (objet de la présente étude de dangers) :
 - Remblai de la voie ferrée et digues et épis du secteur Corrèze-Mulet : crue trentennale de la Durance de débit 3 000 m³/s,
 - Digue historique de Tarteau : crue décennale de la Durance de débit 2 000 m³/s.

3.4.5. Situations pouvant survenir pour des niveaux dépassant les performances du système

Compte tenu de ce qui précède, les scénarios de défaillance structurelle qui semblent les plus probables dans l'état actuel de connaissance du système d'endiguement sont :

- un phénomène d'érosion interne au niveau de la digue du Mulet à la jonction avec l'épi du Mulet du fait de sa mise en charge,
- un affouillement en aval immédiat du seuil du canal de Marseille au niveau de la digue historique de Tarteau (tronçon AEP2).

Cette situation est atteinte pour une crue cinquantennale de la Durance de débit 4 000 m³/s.

3.4.6. Organisation du gestionnaire

Le SMAVD a rédigé un document décrivant l'organisation mise en place pour assurer la gestion du système d'endiguement, son entretien et sa surveillance en toutes circonstances. Il figure Annexe 10 et est mentionné dans les paragraphes qui suivent comme « document d'organisation » (Version intégrant digues 1er rang).

La présentation et l'analyse complète de l'organisation mise en place par le gestionnaire pour l'exercice de ses missions est décrite au paragraphe 9.

Une synthèse de l'organisation mise en place est présenté ci-après.

3.4.6.1 Surveillance hors crue

Un registre est mis en place et tenu à jour par le gestionnaire : y sont notamment inscrits les principaux renseignements relatifs aux travaux, à l'exploitation, à la surveillance, à l'entretien du système d'endiguement, aux conditions météorologiques et hydrologiques exceptionnelles et à l'environnement du système. Il est notamment alimenté par :

- Les comptes rendus des Visites de Surveillance Programmées (VSP), réalisées deux fois par ans,
- Les comptes rendus des Visites Techniques Approfondies (VTA), réalisées une fois par an à la suite de l'entretien général annuel des ouvrages.

Des travaux d'entretien sont réalisés une fois par an et portent sur la végétation des talus ainsi que sur les équipements des ouvrages (barrières, glissières, traversées hydrauliques, vannages et clapets, pistes). Les travaux d'entretien ont pour objectif de maintenir sur l'ouvrage, d'un couvert herbacé le plus ras possible permettant d'appréhender aisément les éventuels désordres et d'empêcher le boisement de l'ouvrage. Au-delà de l'équipement des talus de l'ouvrage de grillages anti fouisseurs en sous face de la terre végétale, les opérations d'entretien conduisent à réduire l'attractivité du site pour

les fousseurs et, par ailleurs, à faciliter le diagnostic d'éventuelles tentatives de creusement de galeries.

Sur ce système d'endiguement, une végétation basse est maintenue depuis leur restructuration sur les digues composant le système d'endiguement existant. Sur les ouvrages de premier rang amenés à être intégrés dans le système d'endiguement, un débroussaillage est réalisé depuis fin 2024 mais les arbres en bon état sanitaire qui s'y sont développés depuis plusieurs décennies sont conservés pour des raisons environnementales.

En plus de ces visites, la Durance étant caractérisée notamment par une forte pente et par une mobilité latérale importante, l'exploitation des ouvrages de protection comprend un suivi régulier des évolutions morphologiques ainsi que des capacités d'écoulement des crues. Ainsi, le SMAVD réalise pour le compte de l'autorité gémapienne, en moyenne tous les 5 ans et après chaque crue morphogène majeure une mise à jour des études hydromorphologiques et hydrauliques.

Un rapport de surveillance périodique comprenant la synthèse des renseignements figurant dans le registre et celle des constatations effectuées lors des VSP et VTA est établi périodiquement par le gestionnaire. L'ensemble des documents bancarisés et leur mise à jour est transmis et mis à disposition de l'autorité gémapienne et des services de contrôle.

3.4.6.2 Veille hydrologique

Une veille hydrologique est mise en place pour anticiper l'arrivée des crues sur la période la plus propice aux survenances de crue (chaque année, d'octobre à mai). Cette veille est assurée par le SMAVD, via une équipe d'astreinte H24, 7j/7.

3.4.6.3 Surveillance en crue

La surveillance en crue se déploie selon plusieurs niveaux en fonction des prévisions de débit à la station de Meyrargues :

- Pour **Q = 700 m³/s, activation de la cellule de veille** qui a pour mission de surveiller la formation d'une crue, de collecter les informations utiles à l'analyse du phénomène en cours et de préparer une éventuelle gestion de crise :
 - Activation des moyens techniques et humains nécessaires
 - Prise de renseignements auprès des acteurs institutionnels
 - Tournée de visite au niveau des ouvrages et de ses accès
 - Pré-activation des moyens techniques et humains nécessaires à la cellule de crise.
- Pour **Q = 1500 m³/s, activation de la cellule de crise 1** en vue d'assurer la surveillance du système d'endiguement et le maintien de ses fonctionnalités ainsi que d'assurer la transmission de l'information aux responsables de la sécurité (maires, Préfet, SDIS) :
 - Activation des moyens techniques et humains nécessaires
 - Suivi continu de l'évolution de la crue
 - Prise de renseignements auprès des acteurs institutionnels
 - Surveillance visuelle des ouvrages par des agents de terrain
 - Déclenchement de la procédure de fermeture des premiers ouvrages traversants

- Pré-activation éventuelle des moyens des entreprises de travaux d'urgence pouvant être mobilisées
- Information aux structures concernées par l'ouvrage.
- Pour **Q = 2000 m³/s (Atteinte 1^{er} niveau de protection - Digue historique de Tarteau)** :
 - Information aux responsables communaux : rappel de la non-fiabilité de la digue au-delà de ce débit
 - Retrait des agents de terrain présents sur ou à l'arrière de la digue historique de Tarteau
- Pour **Q = 2500 m³/s, activation de la cellule de crise 2** :
 - Information régulière aux différents responsables de la sécurité sur le territoire de la zone protégée (Préfecture, Communes) ainsi qu'au Conseil Départemental + service de contrôle des ouvrages hydrauliques (DREAL – SCOH) : mesures prises, constats éventuels et conclusion sur la sûreté du système de protection
 - Mise en place de dispositifs destinés à contrôler les accès routiers au droit des ouvrages de protection (accès limité aux personnes autorisées)
 - Surveillance visuelle des ouvrages toutes les 4 heures (de jour uniquement)
 - Poursuite de la procédure de fermeture des ouvrages traversants
 - Renforcement des équipes et des moyens techniques
 - Mobilisation éventuelle des entreprises de travaux publics pouvant être amenées à intervenir en cas de besoin
 - Arrêt des surveillances de terrain en cas suspicion de mise en danger des agents.
- Pour **Q = 3000 m³/s (Atteinte 2^e niveau de protection – Secteur Corrèze-Mulet)** :
 - Information aux différents responsables de la sécurité sur le territoire de la zone protégée (Préfecture, Communes) + service de contrôle des ouvrages hydrauliques (DREAL – SCOH) : mesures prises, constats éventuels et conclusion sur la sûreté du système de protection
 - Retrait des agents de terrain présents sur les ouvrages du secteur Corrèze-Mulet
- Pour **Q = 5000 m³/s (Atteinte 3^e niveau de protection – Système d'endiguement actuel de Pertuis)** :
 - Information aux différents responsables de la sécurité sur le territoire de la zone protégée (Préfecture, Communes) + service de contrôle des ouvrages hydrauliques (DREAL – SCOH) : mesures prises, constats éventuels et conclusion sur la sûreté du système de protection
 - Retrait des agents de terrain présents sur les digues

3.4.6.4 Surveillance post-crue

La surveillance en crue se déploie selon plusieurs niveaux en fonction des prévisions de débit à la station de Meyrargues

❖ Après activation de la cellule de veille

En cas d'activation de la cellule de veille, sont organisés :

- **Dans les deux jours suivant la crue :**

- Une visite de surveillance post-crue du système d'endiguement par l'équipe terrain des communes. La visite de surveillance post-crue est réalisée suivant les modalités d'une visite de surveillance programmée et porte notamment sur les points suivants : parties d'ouvrage sollicitées par la crue, signes d'érosion externe côté Durance, glissements des parements ou des berges, signes de surverse (érosion en crête ou sur le talus aval), signes d'érosion interne (venues d'eau côté terre), affaissements. En cas de désordre constaté, l'information est immédiatement communiquée au gestionnaire qui se rendra alors sur site.

- **Dès que possible après la crue :**

- Une visite post-crue plus approfondie du système d'endiguement par le gestionnaire et la rédaction d'un rapport circonstancié,
- Le relevé des laisses de crue si nécessaire.

Une vérification du fonctionnement des organes de sécurité est effectuée. L'évènement, la visite et les actes de gestions réalisés sont tracés dans le registre.

❖ **Après activation de la cellule de crise**

En cas d'activation de la cellule de crise sont organisés :

- **Dans les deux jours suivant la crue :**

- Une visite post-crue de type VSP du système d'endiguement par l'équipe terrain des communes. En cas de désordre constaté, l'information est immédiatement communiquée au gestionnaire qui se rend alors sur site.
- En cas de désordre grave ayant entraîné une ruine de l'ouvrage ou ayant de fortes chances d'entraîner une ruine de l'ouvrage lors d'une prochaine mise en charge, il est déclaré au préfet un EISH.

- **Dès que possible après la crue :**

- Une visite post-crue plus approfondie du système d'endiguement par le gestionnaire et la rédaction d'un rapport circonstancié,
- Le marquage ou relevé des laisses de crue.

Après chaque activation de la cellule de crise, il est procédé au débriefing de la gestion de l'épisode de crue, et la rédaction d'un compte rendu détaillé auquel sont annexées les pages du cahier de consignation retraçant les appels reçus ou émis pendant la crue et les décisions prises.

Ce débriefing vise à évaluer les procédures mises en place pour la gestion de crise et définir les actions à entreprendre / corriger en vue d'améliorer ces procédures.

3.4.6.5 Moyens humains

Pour gérer les périodes de veille ou de crise, des astreintes et éventuelles délégations de responsabilité sont préventivement organisées de manière que les fonctions nécessaires (précisées en détail dans le document d'organisation) soient nominativement occupées.

Le personnel présent au sein du SMAVD pouvant être mobilisé pour la surveillance et l'exploitation du système d'endiguement est composé de :

- 1 Directeur Général
- 1 Directeur Etudes et travaux / responsable du service exploitation
- 4 ingénieurs ou techniciens hydraulique
- 5 chefs de projet infrastructure / exploitation
- 2 ingénieurs infrastructure
- 3 techniciens infrastructure / exploitation
- 6 agents administratifs

Tous les agents, amenés à intervenir dans le cadre des cellules de veille et de crise, seront formés aux procédures à suivre en situation de crue. Cela concerne à la fois les agents techniques et administratifs du SMAVD, les agents de l'autorité gémapienne (cellule GEMAPI de la Métropole) et les agents techniques du bloc communal constituant les unités de surveillance des ouvrages.

Afin de rôder la mise en œuvre partielle de l'organisation et des consignes en période de crue, plusieurs types d'exercice sont prévus :

- en interne SMAVD : simulation de l'arrivée et du suivi d'une crue par la veille hydrologique, simulation de la mise en place de la cellule de veille,
- exercices de simulation avec les élus et services de la commune de Pertuis, portant sur la mise en œuvre partielle de l'organisation et des consignes en période de crue,
- un exercice plus global avec l'ensemble des responsables de la sécurité (maires, direction intercommunalité, Préfet, SDIS) est prévu dans le cadre du PAPI Basse Durance (2022-2028).

L'organisation mise en place par le gestionnaire apparaît adaptée :

- aux ouvrages à surveiller,
- concernant l'information auprès des services compétents en matière de prévision et d'annonce de crue,
- concernant l'alerte des autorités compétentes en cas de besoin.

Les effectifs indiqués dans le document d'organisation du SMAVD semble suffisants si les moyens sont effectivement mobilisables.

DOCUMENT B :

Analyse des risques et justification des performances

4. Caractérisation des aléas naturels

4.1. Hydrologie, hydraulique et morphodynamique globale du cours d'eau à l'échelle du système d'endiguement

Les informations de ce paragraphe proviennent majoritairement du schéma d'aménagement et de gestion de la moyenne et basse vallée de la Durance (juin 2001). En effet, ce document a permis de définir et de faire valider par les services de l'état une hydrologie qui fait référence sur le secteur. Il décrit également les mécanismes de propagation des crues et la morphologie de la rivière.

A noter enfin qu'une mise à jour hydrologique concernant la Durance, réalisée en mai 2023 par le SMAVD, est disponible en Annexe 2.

4.1.1. Bassin versant

La Durance, cours d'eau de 305 km de long, prend sa source au col de Montgenèvre et se rejette dans le Rhône. Son bassin versant représente une superficie d'environ 14 280 km², soit la moitié de la superficie de la Région PACA et s'étend sur les 6 départements de la région (04, 05, 06, 13, 83 et 84) et sur une petite partie du département de la Drôme. La zone du projet est située dans la basse vallée de la Durance, à environ 62 km de sa confluence avec le Rhône.

La Durance est une rivière alpine en pays méditerranéen : c'est ainsi qu'elle a toujours apporté ses hautes eaux de printemps et de début de l'été (fonte des neiges) dans des régions qui manquaient cruellement d'eau dans ces périodes. En revanche, l'influence méditerranéenne l'emporte nettement dans la formation des crues dont les plus fortes ont généralement lieu à l'automne.

Des prises d'eau en direction d'un canal géré par EDF sont aménagées le long de La Durance. Ainsi, depuis la mise en service de l'aménagement agro-industriel, l'hydrologie de la rivière est modifiée :

- en dehors des crues : la majeure partie du débit de la basse vallée de la Durance est dérivée vers le canal EDF. Le débit réservé de la Durance est d'un vingtième de son module,
- en crue : les aménagements hydrauliques ont une influence notable sur les crues inférieures à la crue centennale venant du haut bassin, mais n'ont en revanche pas d'effets significatifs, dans la basse et moyenne vallée de la Durance, en cas de crue rare.

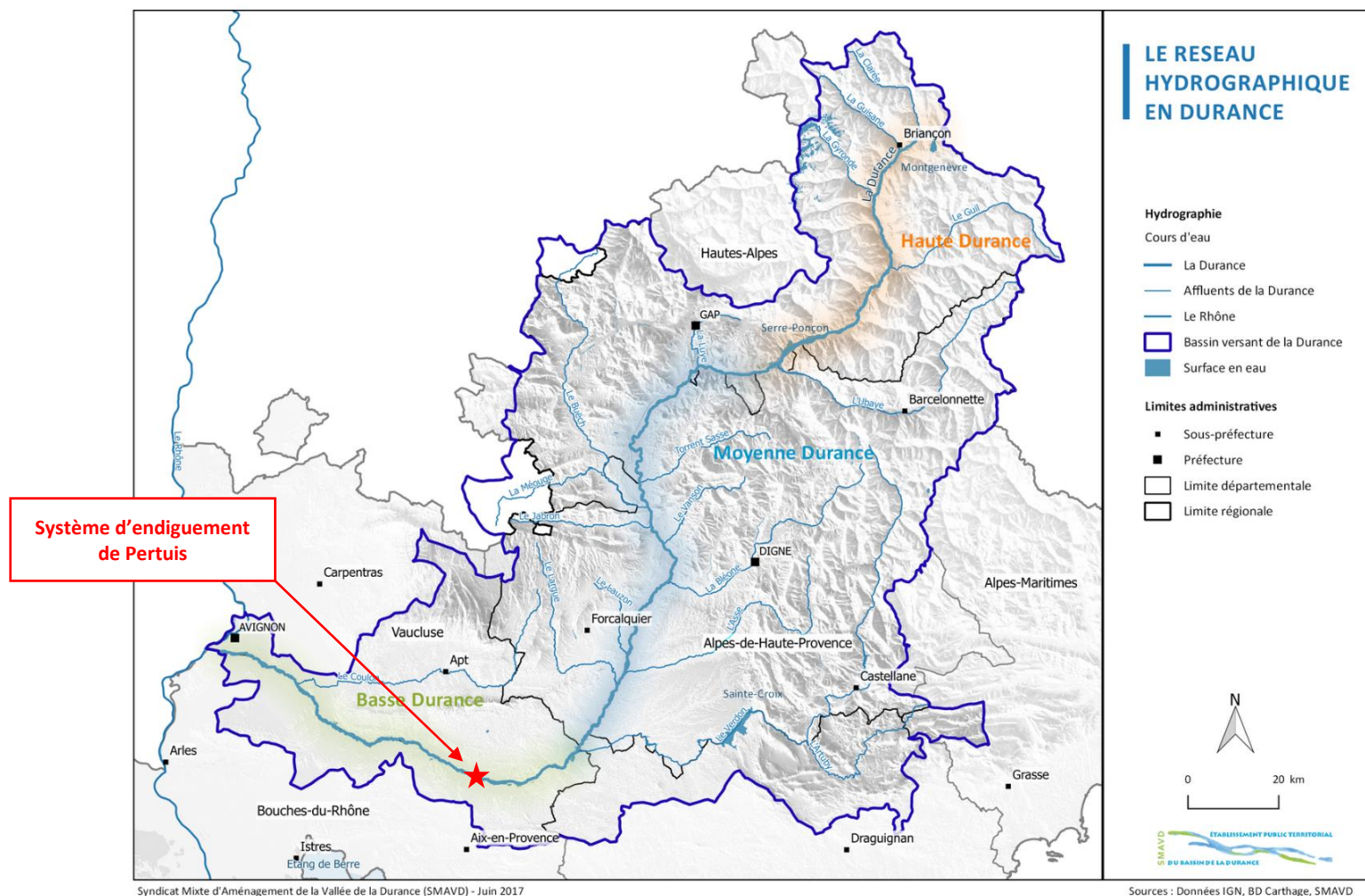


Figure 46 : Description du bassin versant de la Durance (source : SMAVD)

4.1.2. Hydrologie de la Durance

4.1.2.1. Types de modèles réalisés

L'hydrologie de la basse et moyenne vallée de la Durance a été définie :

- sur la moyenne vallée de la Durance (jusqu'au secteur de Cadarache – Mirabeau) : par un **modèle pluie/débit** sur le logiciel PLUTON,
- sur la basse vallée de la Durance : le modèle pluie/débit n'a pas été exploité à l'aval de Mirabeau : il ne permet pas en effet de rendre compte des phénomènes d'écêtement qui deviennent prépondérants. Il est relayé par un **modèle mathématique d'écoulement**.

4.1.2.2. Crues historiques

Ces modèles ont été calés sur :

- les trois crues importantes ayant eu lieu sur la Durance au cours du XIX^{ème} siècle en 1843, 1882 et 1886,
- les crues récentes de janvier et de novembre 1994, de novembre 2000 (2 220 m³/s à Mallemort) et de juin 2008 (1 400 m³/s à Mallemort).

Date de la crue	Débit de pointe (m ³ /s) et hauteur d'eau à l'échelle			
	Sisteron	Mirabeau	Pertuis	Bonpas
1 ^{er} novembre 1843	2300	5200		4550 3,70 m
27 octobre 1882	2860 7,10 m	5100 6,60 m	5,70 m	4550 3,70 m
8-11 novembre 1886	2560 6,75 m	5200 5,45 m RD		5100 4,0 m
Janvier 1994	2200	2900	3000	3000
Novembre 1994	1500	2600	2700	2800

Tableau 5 : Principales crues recensées sur la Durance ayant été utilisées pour le calage du modèle hydrologique

Les crues sur le bassin versant de la Durance peuvent être classifiées en trois types :

- les **crues de lombarde** : crue majeure sur certains affluents frontaliers, ressentie jusqu'à Serre-Ponçon,
- les **crues océaniques généralisées** : crue majeure à l'amont de Serre-Ponçon,
- les **crues méditerranéennes** : ce sont les **événements météorologiques qui produisent les fortes crues de la moyenne et basse Durance**. La répartition des précipitations est très variable d'un événement à l'autre. La Haute-Durance n'est jamais touchée. **Les crues de 1994 sont de ce type.**

Au droit de la basse et moyenne vallée de la Durance, la comparaison de la forme des hydrogrammes des principales crues montre un temps de base assez constant compris entre 30 et 50 heures.

4.1.2.3. Débits statistiques

A l'issue de l'analyse hydrologique, les débits caractéristiques retenus en différents points sur la Durance sont présentés ci-après.

	Surface BV km ²	Q10	Q30	Q100
L'Escale	6 800	1 100	2 000	3 100
Manosque	9 300	1 600	2 600	4 000
Cadarache	11 700	2 100	3 100	4 800
Cavaillon		2 100	3 100	4 400
Bonpas	14 200	2 100	3 200	4 500

Tableau 6 : Débits de pointe (en m³/s) caractéristiques de la Durance (source : schéma d'aménagement et de gestion de la moyenne et basse vallée de la Durance)

On notera que les débits de pointe n'augmentent pas significativement entre Cadarache (environ 60 km en amont de la zone d'étude) et Bonpas (environ 20 km en aval de la zone d'étude). Cela traduit le fait qu'une majorité de crues s'atténue vers l'aval, car l'effet d'écrêtement dans le champ d'inondation n'est pas compensé par les quelques affluents de la Basse-Durance.

L'étude hydrologique de la basse Durance, propose que « *dans la mesure où toutes ces valeurs ne sont pas précises à moins de 10% près, n'est-il pas préférable, pour simplifier la présentation de ces résultats, d'annoncer un débit centennal homogène de 5000 m³/s sur toute la Basse-Durance ?* »

Ces valeurs de référence ont été reprises dans le PPRI de Pertuis. En effet, l'analyse comparative des crues historiques et des débits définis par analyse statistique montre que sur la basse vallée de la Durance, la crue d'un débit de 5 000 m³/s à Cadarache correspond à la fois au débit estimé :

- des plus fortes crues historiques connues,
- de la crue statistique d'occurrence centennale.

Les débits retenus dans cette étude correspondent donc aux débits homogènes retenus sur la basse-vallée de la Durance :

- Q₁₀ : 2 000 m³/s,
- Q₃₀ : 3 000 m³/s,
- Q₅₀ : 4 000 m³/s,
- Q₁₀₀ : 5 000 m³/s.

4.1.2.4. Crue exceptionnelle

Sur la Durance, une étude des zones inondables par approche hydrogéomorphologique et recherche historique a été réalisée en 2002 par le cabinet GEOSPHAIR pour le compte de la DIREN PACA. Cette étude a été utilisée afin de définir la crue exceptionnelle pour les PPRI de la Basse Durance en aval de Cadarache. La cartographie des zones inondables entre Cadarache et Mallemort (2007 - SCP - maîtrise d'ouvrage DIREN PACA) ainsi que l'étude de l'aléa inondation entre Mallemort et Avignon (2010 - HYDRATEC - maîtrise d'ouvrage DDT 84) a été produite d'après des modélisations mathématiques des écoulements pour la crue de référence du PPRI et pour une crue supérieure fixée à 6 500 m³/s (retenue comme exemple de crue exceptionnelle).

Dans le cadre de la présente étude de dangers, le débit de la crue exceptionnelle a été pris égal à 6 500 m³/s.

4.1.3. Morphologie

4.1.3.1. Evolution globale de la morphologie de la Durance

Initialement le lit de la Durance présentait une morphologie en tresses liée à la présence d'apports de graviers importants et de débits soutenus. Lors de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, la modification des débits (écrêtage des petites et moyennes crues) et les extractions de matériaux alluvionnaires dans le lit de la Durance ont profondément modifié sa morphologie. Elle présente aujourd'hui les caractéristiques d'une rivière en anastomose.

Cette perte de dynamique favorise les dépôts de limons et la végétalisation du lit, la dynamique n'étant réinstaurée que pour les fortes crues. Entre deux périodes d'activation, le lit évolue vers une forme de méandres figés, pouvant déboucher sur une véritable chenalisation. Cette évolution peut réduire sensiblement la capacité d'écoulement du lit.

4.1.3.2. Rôle des ouvrages transversaux

Sur la basse vallée de la Durance, deux types d'aménagements ayant une influence sur l'hydraulique et la morphologie du lit peuvent être distingués :

- de **grandes structures de protection longitudinales** : l'autoroute A51 entre Jouques et Meyrargues, l'endiguement de Pertuis, l'endiguement de Cavaillon, l'autoroute A7, la digue d'Avignon et la digue des Alpines représentent autant d'ouvrages continus dans le niveau de protection est voisin de 5 000 m³/s,
- les **structures confuses de digues, épis et levées** : à la fin du XIX^{ème} siècle, la protection des terres agricoles a été assurée par un système original d'épis perpendiculaires à la rivière. Cette protection a été complétée par des ouvrages longitudinaux plus ou moins continus. La conquête de nouvelles terres agricoles a conduit parfois à créer de nouvelles levées plus près du lit, doublant les levées plus anciennes. Par ailleurs, les extractions de matériaux ont souvent été accompagnées de digues et de voies en remblais.

Ces aménagements ont également contribué à la diminution de la largeur du lit vif de la Durance.

4.1.3.3. Evolution à venir du profil en long

Par ailleurs, l'activité d'extraction de granulats, fortement présente dans la basse vallée de la Durance, a conduit à faire évoluer le niveau du fond de la rivière.

Globalement, sur la basse vallée de la Durance, après arrêt de toutes les extractions dans le lit mineur, il est probable qu'une tendance à l'exhaussement du lit se mette en place en plusieurs points. Cette tendance sera en général très lente. En outre, le réengrèvement devrait être accompagné d'une plus grande mobilité du lit (réapparition de tressage) qui favorisera au moins dans un premier temps un élargissement du lit vif. La capacité du lit pour l'écoulement des crues sera donc soumise à des évolutions contraires (exhaussement des fonds et élargissement du lit vif), et l'impact sur les risques de débordement est difficile à déterminer.

Un accroissement des risques de débordement dans les zones aujourd'hui abaissées est à prévoir.

Au contraire, certaines zones seront soumises à un abaissement du lit par érosion s'accompagnant d'une réduction des risques de débordement.

LA DURANCE EN 1960



LA DURANCE EN 1986

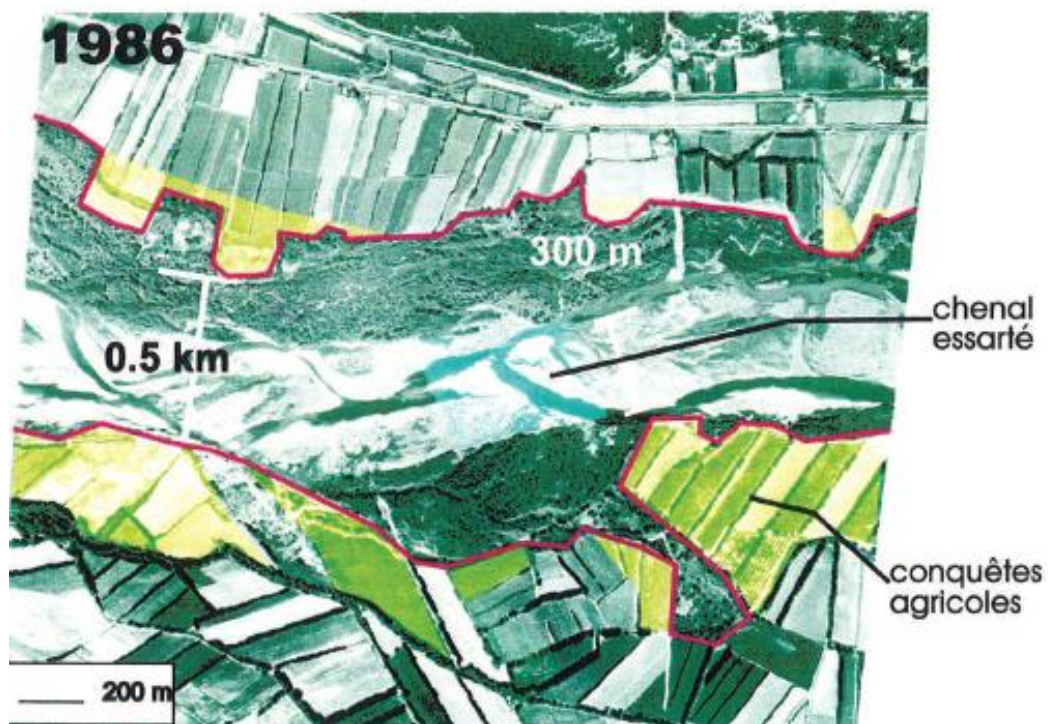


Figure 47 : Illustration de la diminution de la largeur du lit vif sur la Durance (source : SMAVD)

4.2. Hydrologie, hydraulique et morphodynamique locale des éléments du système d'endiguement

4.2.1. Hydrologie de la Durance au droit du système d'endiguement

La commune de Pertuis est localisée dans le département du Vaucluse (84), en rive droite de la Durance. La zone d'étude est située en partie sud et sud-est de la commune.

En cohérence avec l'étude globale de la Basse et Moyenne Durance présentée dans la partie précédente et le PPRI de Pertuis, les débits considérés au droit de la zone du projet sont :

- $Q_{10} = 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q = 2\,500 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{100} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- $Q_{\text{ex}} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Un hydrogramme simplifié, prenant en compte la forme générale de la crue de 1994 a servi de base pour créer, par homothétie, les différents hydrogrammes à injecter dans le modèle.

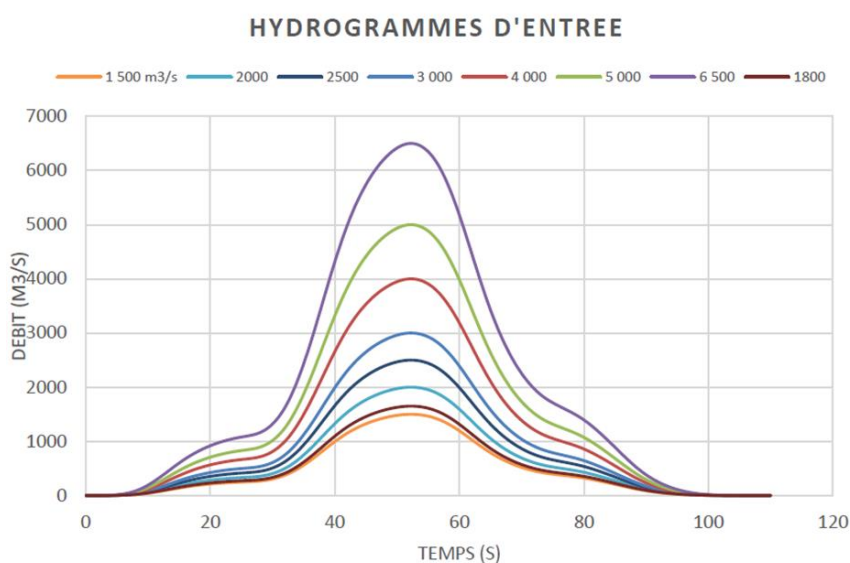


Figure 48 : Hydrogrammes simplifiés appliqués en entrée des modélisations de la moyenne Durance (source : SMAVD)

4.2.2. Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI)

La commune de Pertuis est couverte par le PPRI de la Durance à Pertuis approuvé le 26 septembre 2023.

La carte de zonage est présentée en Figure 50 et Figure 51.

Pour sa réalisation, plusieurs scénarios de défaillance pour une crue de 5 000 m³/s (crue centennale) ont été testés :

- scénario RF : sans défaillance d'ouvrage,
- scénario TVIII : transparence globale et simultanée de tous les ouvrages en remblai, digue de protection et ouvrages structurants,
- scénario TI à TVI : transparence totale d'ouvrages par tronçons homogènes de système de protection,
- scénarios R1 à R9 : ruptures localisées d'ouvrages.

La zone protégée est concernée par des zones d'aléa fort, modéré et exceptionnel. La définition des classes d'aléa est réalisée en fonction des couples hauteur et vitesse observés :

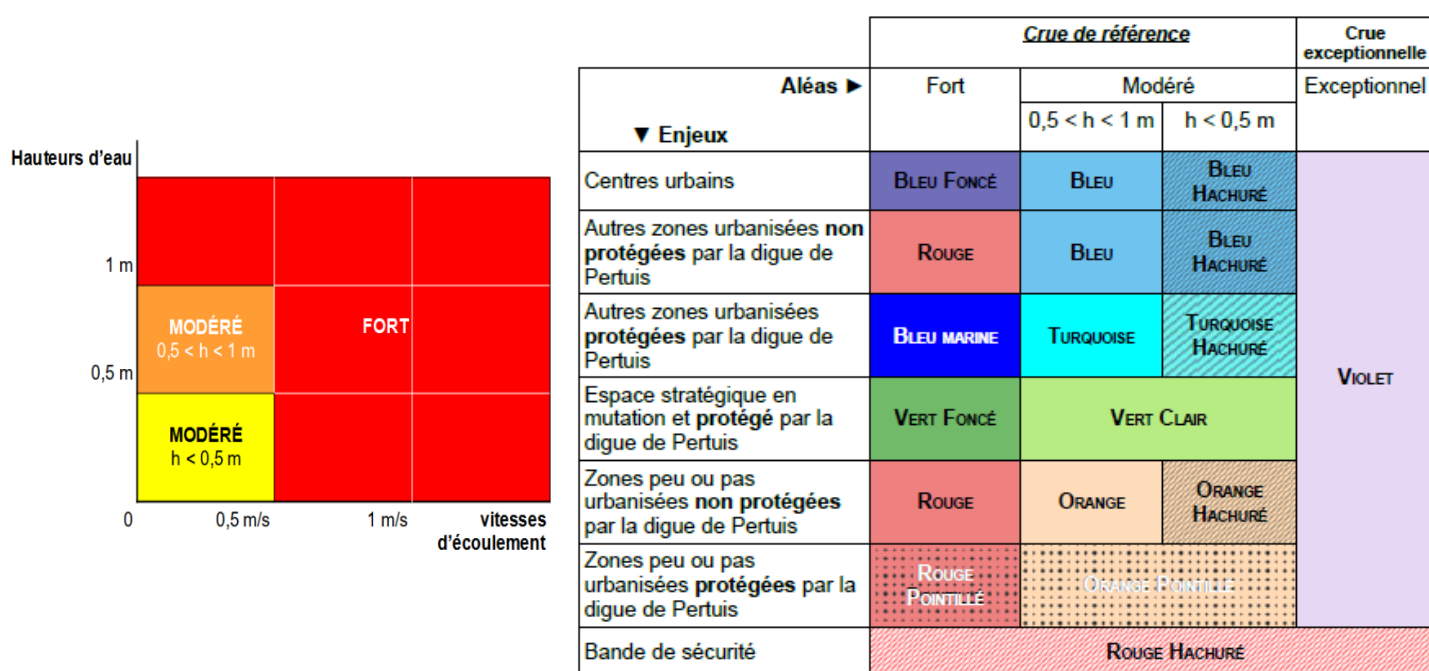


Figure 49 : Caractérisation de l'aléa et zonage réglementaire du PPRI de Pertuis

L'enveloppe de la crue exceptionnelle (zone d'aléa exceptionnel) a été déterminée par observation hydrogéomorphologique du lit majeur.

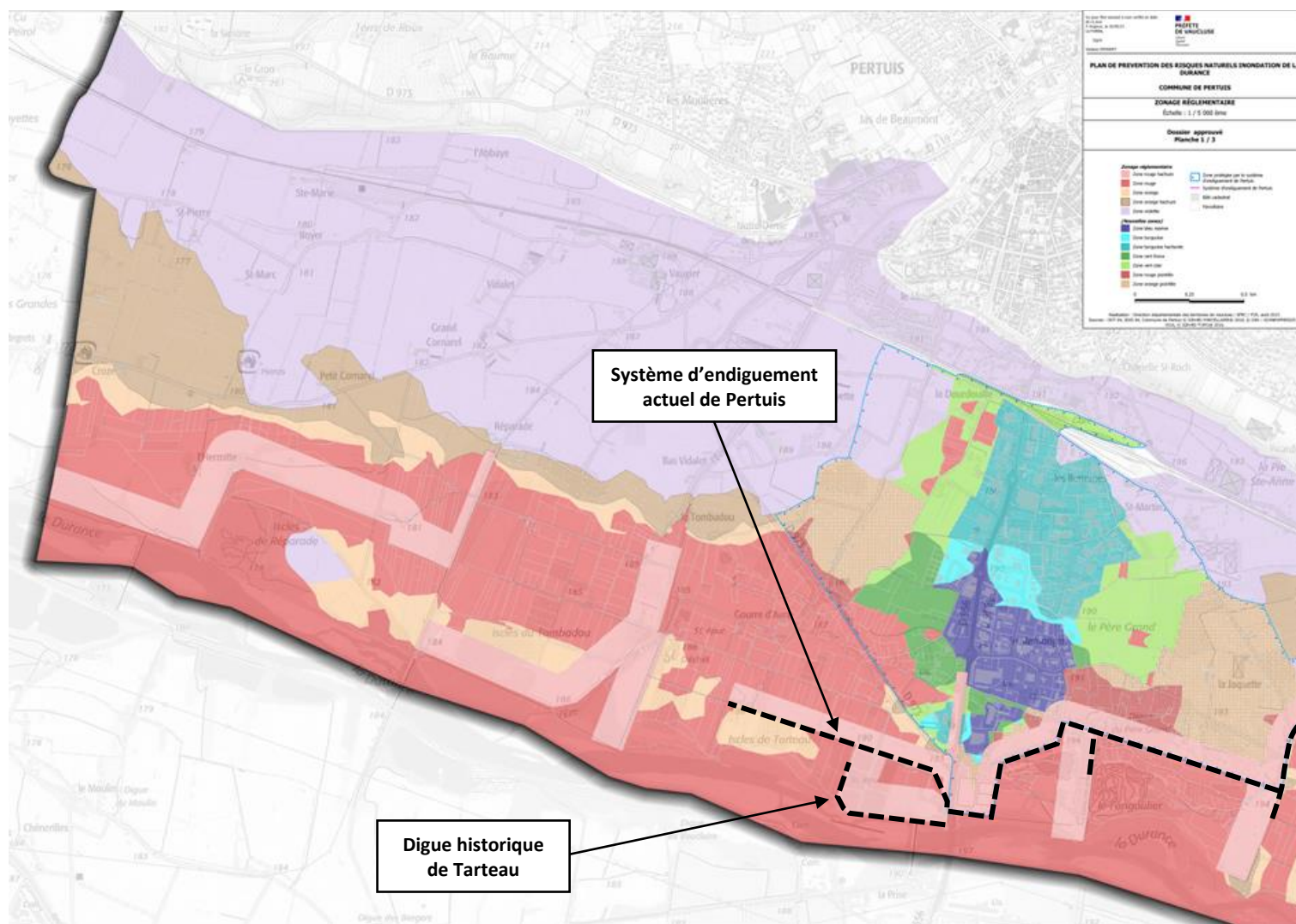


Figure 50 : Zonage réglementaire du PPRI de Pertuis (Planche 1/3)



4.2.3. Diagnostic hydraulique à l'état actuel

Dans le cadre de la présente étude de dangers relative à la demande d'autorisation d'extension du système d'endiguement de Pertuis existant, le SMAVD a réalisé des modélisations hydrauliques au droit du secteur d'étude (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et Annexe 3).

L'emprise des zones inondables, les mécanismes d'inondation au droit du secteur d'étude ainsi que la sollicitation hydraulique des différents ouvrages (sans hypothèse de défaillance) sont décrits dans les paragraphes ci-après pour les différentes gammes de débits étudiés.

A noter que les lignes d'eau ne sont représentées que lorsque le pied de l'ouvrage est atteint pour le débit considéré.

4.2.3.1. Système d'endiguement actuel de Pertuis

A noter que la cartographie des zones inondables pour la crue centennale de la Durance (débit de pointe de 5 000 m³/s) présentée ci-après tient compte des hypothèses suivantes :

- Brèche au droit de la digue historique de Tarteau en en aval du seuil du canal de Marseille,
- Brèche au niveau de la digue du Mulet à la jonction avec l'épi du Mulet.

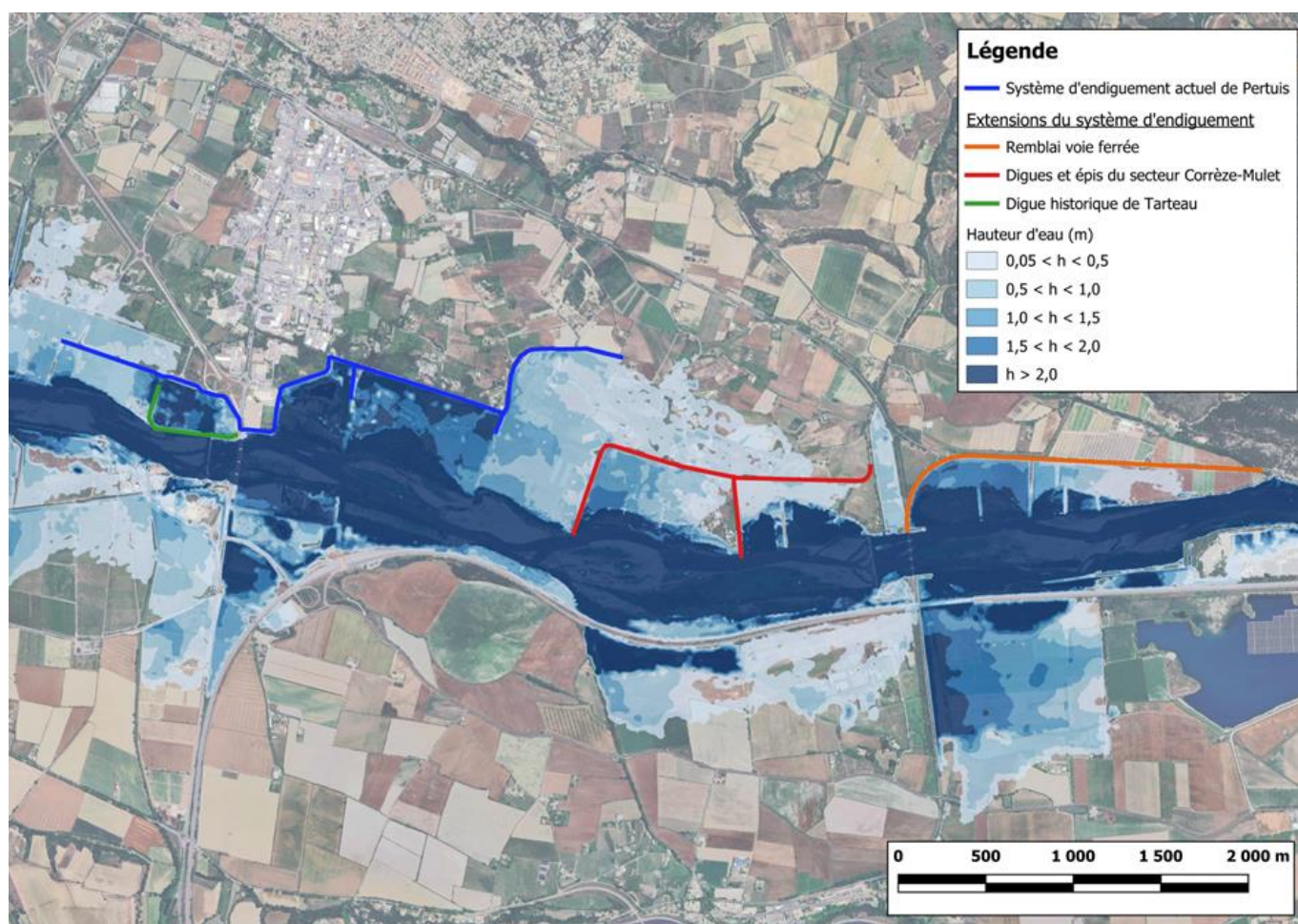


Figure 52 : Hauteurs d'eau pour la crue centennale – Système d'endiguement actuel de Pertuis

4.2.3.2. Remblai de la voie ferrée

Les débordements en rive droite de la Durance sont d'abord contenus dans ce qui semble être d'anciens méandres de la Durance ; puis, le débit augmentant, ce premier pallier est dépassé et les écoulements s'étendent vers le remblai de la voie ferrée.

La mise en charge remblai de la voie ferrée n'intervient pas avant la crue trentennale. Avant, la lame d'eau peut atteindre localement le pied de digue mais sans mise en charge.

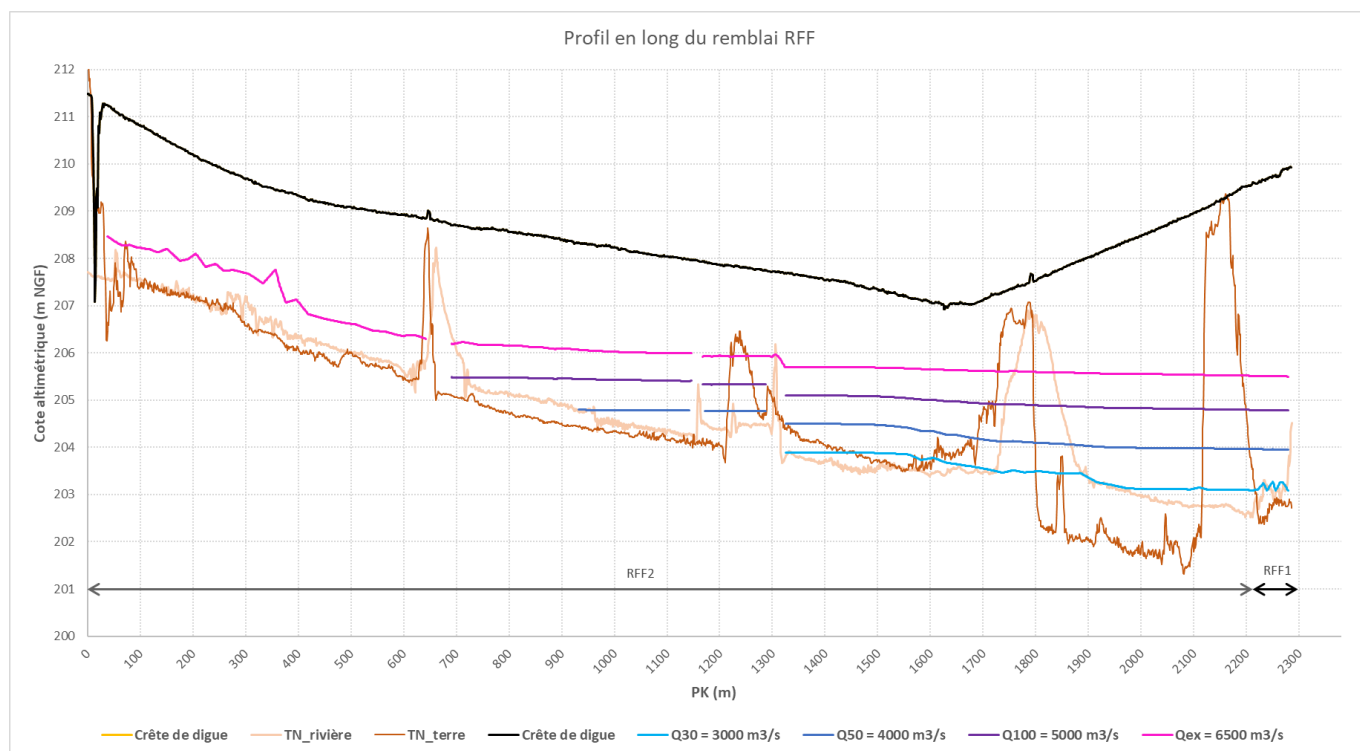


Figure 53 : Profil en long du remblai de la voie ferrée et sollicitations hydrauliques

4.2.3.3. Secteur Corrèze-Mulet

Les premiers ouvrages mis en charge sont l'épi du Mulet et l'épi de Corrèze dans leur partie la plus proche de la Durance, et ce dès la crue décennale. Les écoulements s'accumulent ensuite entre les deux épis et commencent à mettre en charge la digue du Mulet (dès la crue cinquantennale). Les inondations s'étendent ensuite dans la plaine et mettent en charge la digue de Corrèze (pour la crue centennale).

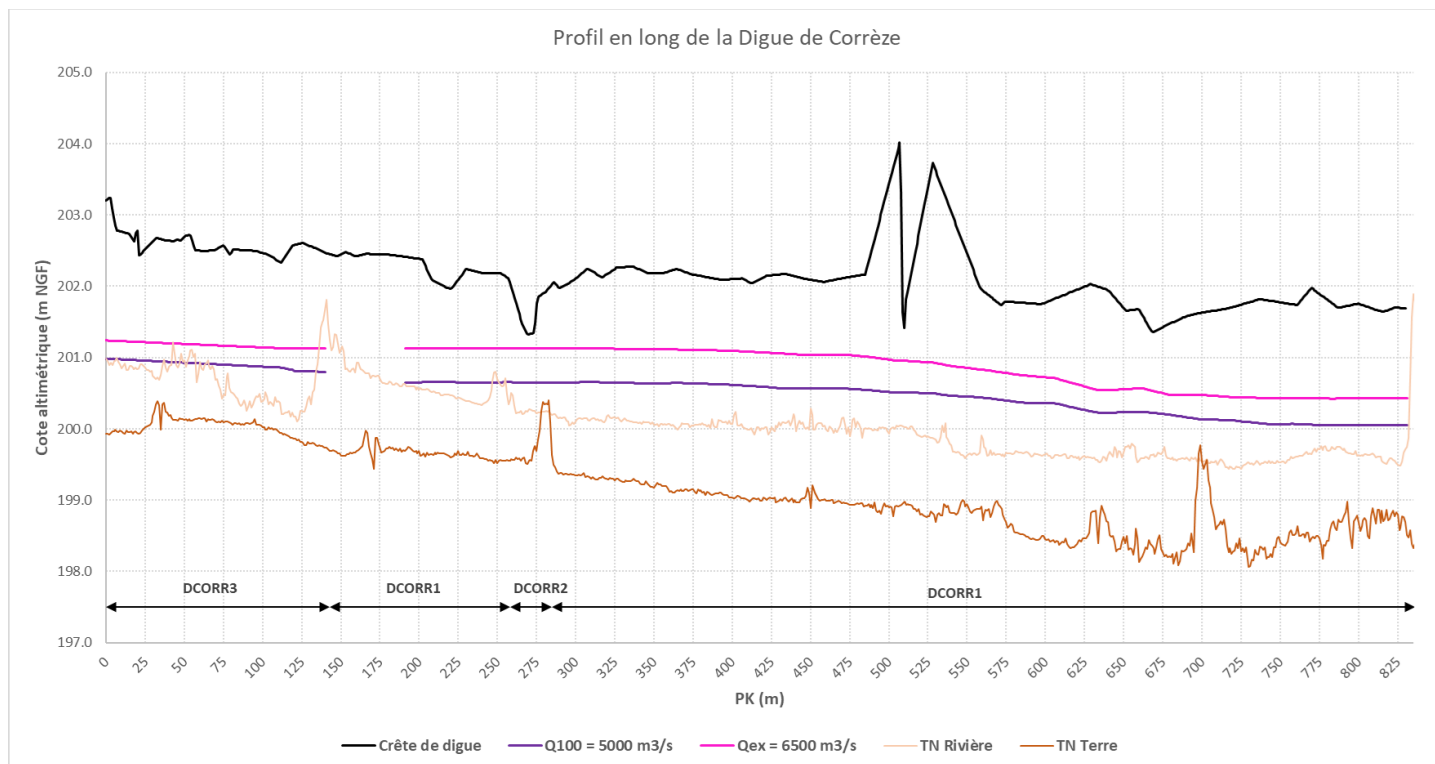


Figure 54 : Profil en long de la digue de Corrèze et sollicitations hydrauliques

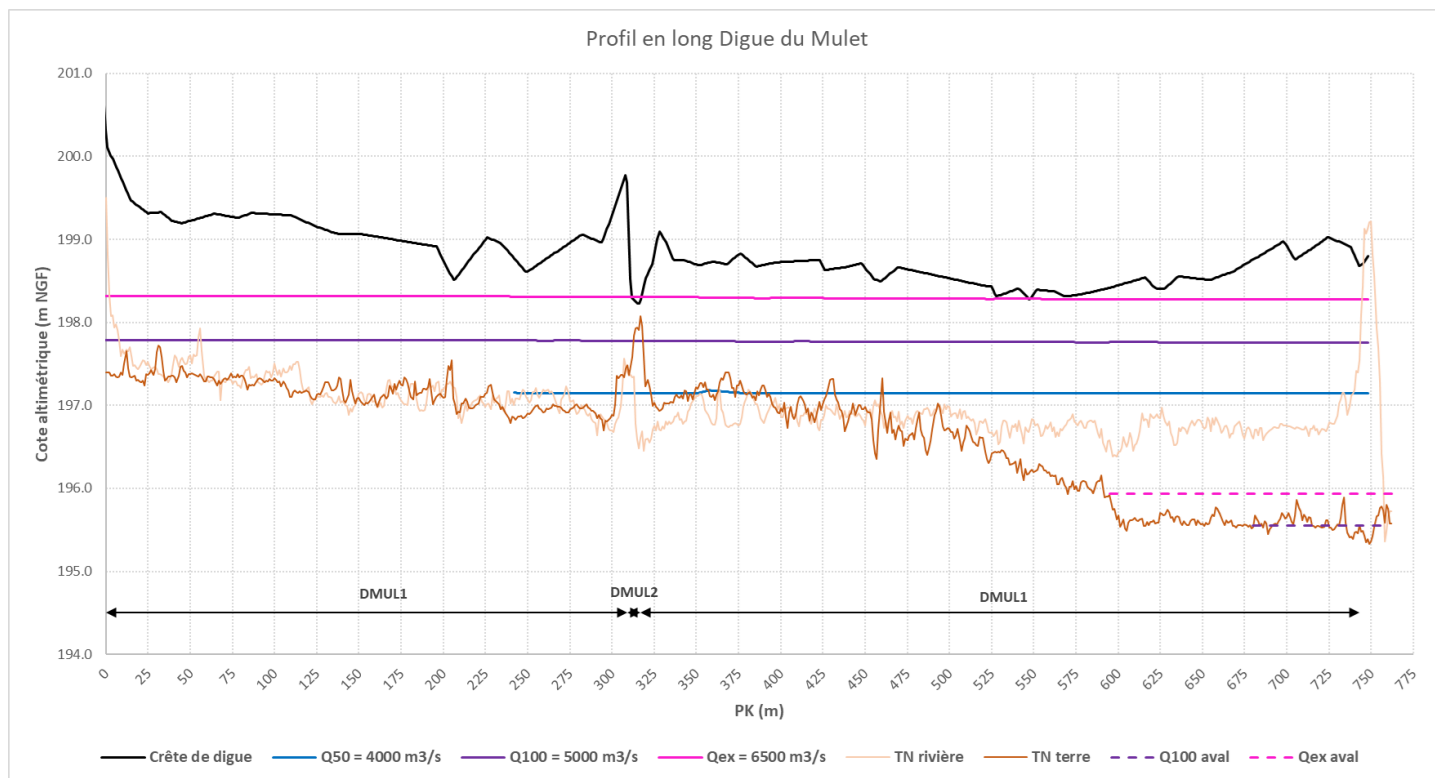


Figure 55 : Profil en long de la digue du Mulet et sollicitations hydrauliques

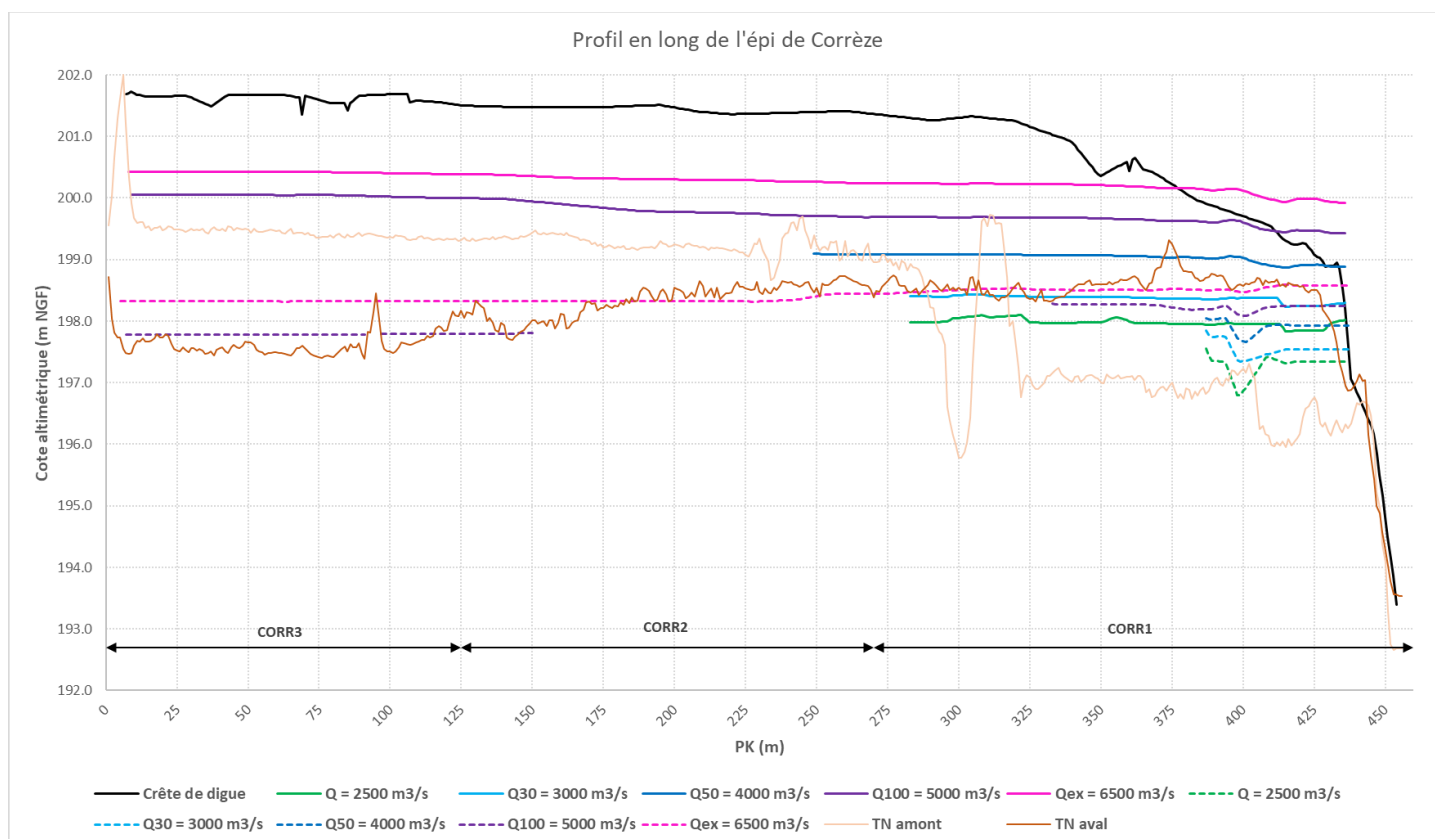


Figure 56 : Profil en long de l'épi de Corrèze et sollicitations hydrauliques

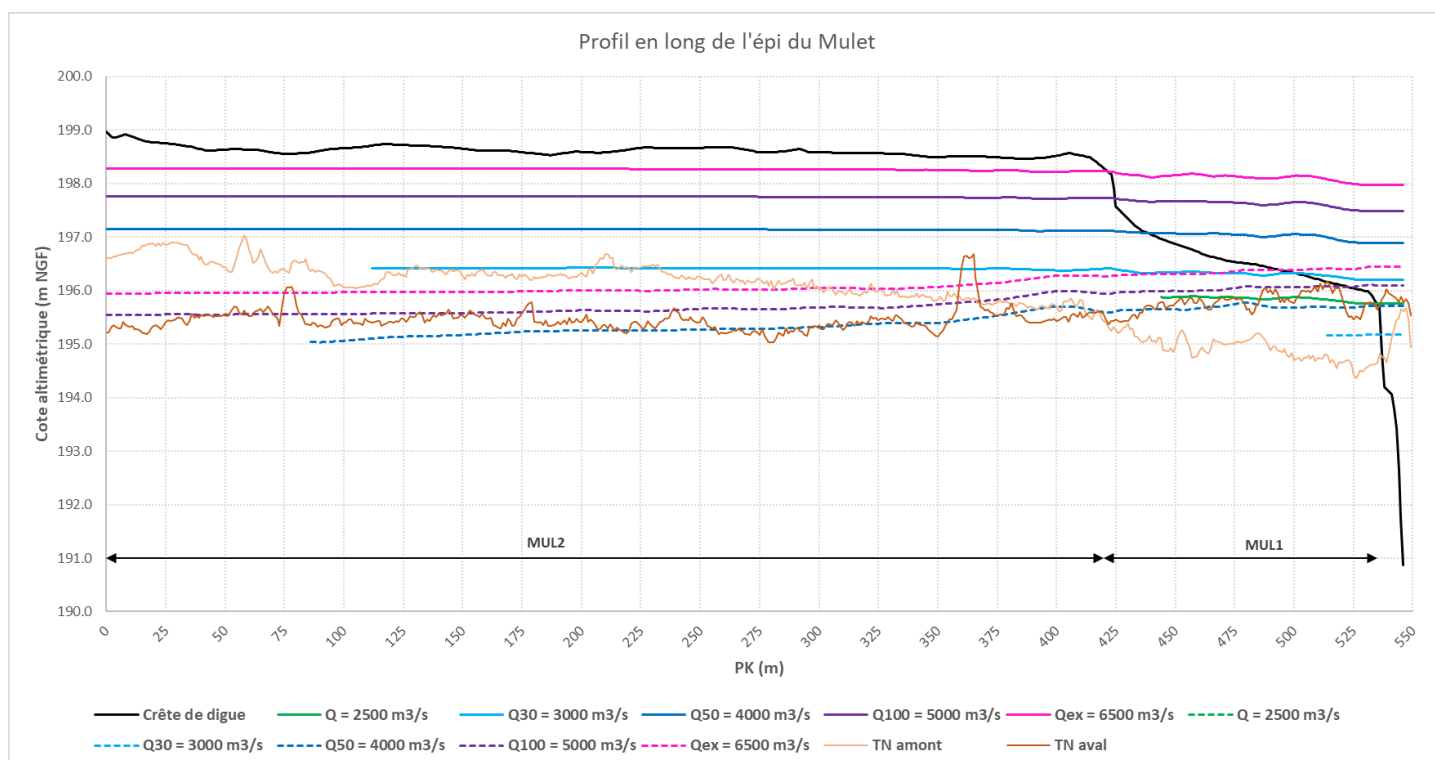


Figure 57 : Profil en long de l'épi du Mulet et sollicitations hydrauliques

4.2.3.4. Digue historique de Tarteau

Au droit de la digue historique de Tarteau, les tronçons proches du lit mineur de la Durance sont sollicités dès la crue décennale. Un débordement en rive droite de la Durance a lieu à l'aval de la digue de Tarteau pour la crue trentennale puis remonte vers l'amont pour les crues d'occurrence supérieure. Pour les crues centennale et supérieures, la digue de Tarteau est contournée et l'usine de production d'eau potable inondée.

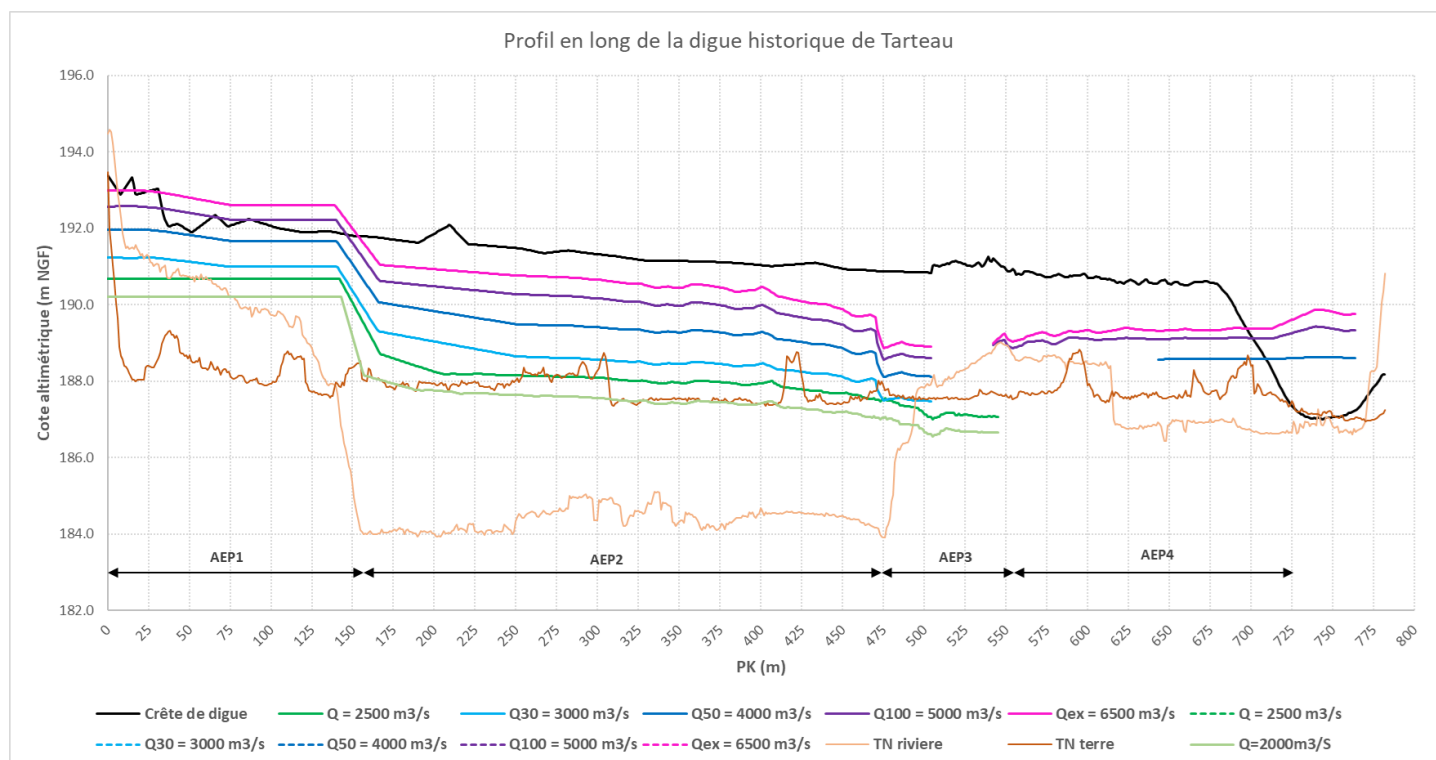


Figure 58 : Profil en long de la digue historique de Tarteau et sollicitations hydrauliques

4.2.4. Morphologie du secteur

Cette partie de l'étude de dangers est issue de l'« Analyse des évolutions morphologiques et des conditions d'inondabilité du lit de la Durance en 2020 » ainsi que de l'« Analyse des évolutions morphologiques au droit de la digue historique de Tarteau à Pertuis » réalisée par le SMAVD respectivement en mai 2022 et juin 2023 (cf. Tableau 2). Les éléments textuels extraits directement de ce document sont présentés ci-après en écriture Italique.

4.2.4.1. Analyse des évolutions morphologiques et des conditions d'inondabilité du lit de la Durance en 2020

Entre le seuil 106 et le pont de Pertuis, le lit est étriqué, très peu mobile, et a très peu évolué au cours des dernières crues, en témoigne la stabilité des profils en long d'étiage. Le faciès morphologique du tronçon est proche de l'informe, et la pente du lit est de l'ordre de 2‰. Le seuil 106 (appelé aussi seuil de Meyrargues) génère une chute d'environ 5 m à l'étiage. Il a été reconstruit après sa destruction lors de la crue de 1976. Il a également fait l'objet d'un confortement à la suite des crues de 1994, avec la mise en œuvre d'enrochements percolés au béton. A noter également que le niveau d'étiage en aval du seuil 106 est inférieur à la cote de son radier, ce qui pourrait générer à terme une déstabilisation de

l'ouvrage. D'autant que les modélisations numériques montrent que le seuil 106 reste dénoyé pour les débits de crue fréquents (a minima pour des crues de l'ordre de 1 800 m³/s). On retiendra que les fonctions de ce seuil mériteront d'être clarifiées : stabilisation du lit pour assurer la tenue de l'ouvrage ferroviaire situé en amont ou autres.



Tableau 7 : Photographie du viaduc de Meyrargues et du seuil 106 (source : SMAVD, 2021)

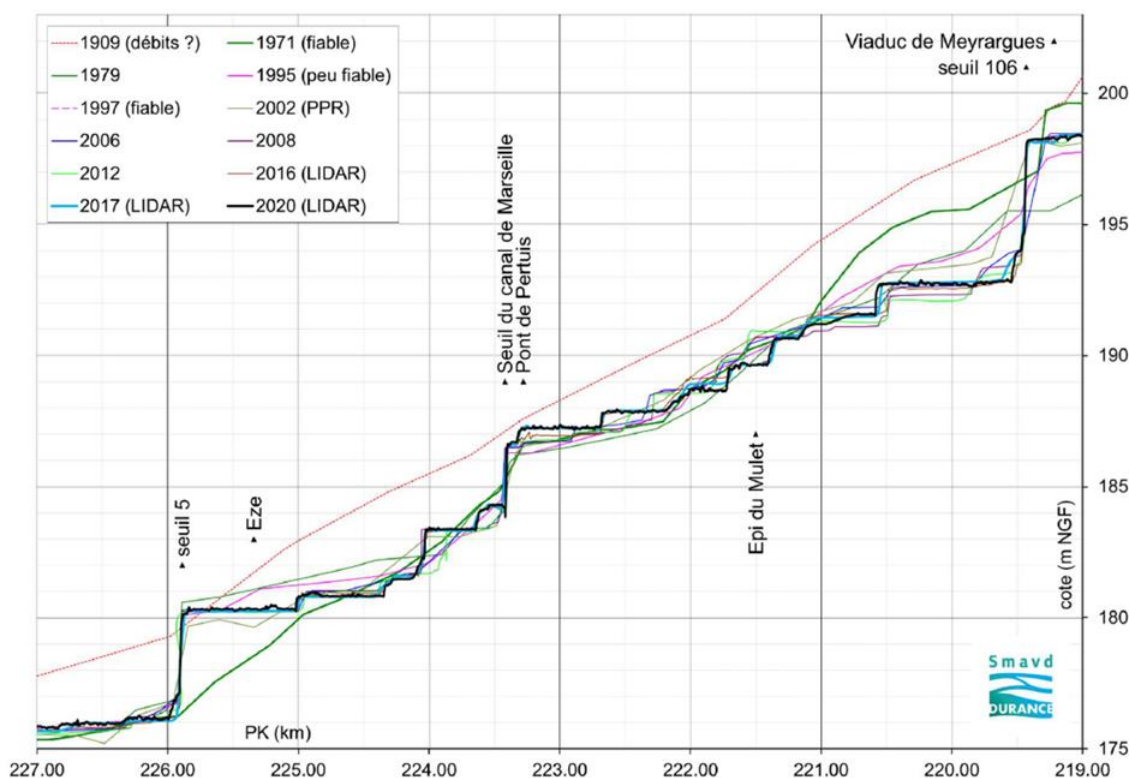


Figure 59 : Evolution du profil en long de la Durance (source : SMAVD, 2022)

Juste en amont du pont de Pertuis, les profils en long d'étiage de 2017 et 2020 présentent une marche d'une vingtaine de centimètres au-dessus des profils historiques. Néanmoins, ni les photographies aériennes, ni les comparaisons de données LIDAR (entre 2017 et 2016) ne présentent d'évolutions notables. Les évolutions morphologiques du secteur sont donc à surveiller particulièrement, a fortiori au regard des enjeux d'inondabilité forts du tronçon.

Le secteur situé entre le pont de Pertuis et le pont de Cadenet a été fortement marqué par des extractions massives. Entre les extractions SOTEM et celles liées à la construction du canal EDF, des prélèvements de l'ordre de 4 Mm³ ont été effectués. L'étude Globale rapporte les faits marquants du tronçon : en 1971, l'abaissement atteignait déjà 4 m par endroits. En complément des affleurements du substratum, seuls les seuils du canal de Marseille et du viaduc de Meyrargues (seuil 106) tenaient le lit. La morphologie du lit est restée quasiment inchangée depuis 1978.

Dès 1978, une succession de seuils ont été construits en aval du seuil du canal de Marseille (seuil 5, 6 et 6 bis). Le seuil 5 bis a la particularité de protéger plusieurs canalisations de transfert d'hydrocarbures des sociétés Geosel et Total. Le déficit des apports amont n'a pas permis encore un réalluvionnement : le substratum affleure au pied du seuil du canal de Marseille. Les affleurements rocheux se sont lentement dégradés en aval du seuil du canal de Marseille entre 1980 et 1995, mais ne présentent plus d'évolution depuis.

Tous les seuils ont été détériorés par les grandes crues récentes. Le seuil du viaduc de Meyrargues, ainsi que les seuils 5 et 6 ont été réparés dans les années 2000. Le seuil du Canal de Marseille a également été reconstruit à la fin des années 1990. Juste avant les crues de 2019, les seuils 5 et 6 ont de nouveau fait l'objet de travaux de confortement des coursiers et des radiers (en enrochements liaisonnés, aménagements afin d'améliorer les parties existantes des ouvrages sans reprise complète), et de rétablissement de la franchissabilité piscicole (installation de rampes à anguilles).

En 2007, Lefort préconisait un abaissement des seuils 5 (de 1.15 m) et 6 (de 2 m), associé à une opération de recharge sédimentaire permettant de retrouver une pente objectif du fond du lit de 2‰. La solution d'un abaissement des seuils 5 et 6 (associée à la recharge sédimentaire) n'a finalement pas été retenue, du fait du risque important de déstabilisation des ouvrages dans le lit et en berge, et de l'abaissement du niveau de la nappe qui pourrait être induit, du fait du blocage du transit sédimentaire à l'amont du site. D'après l'Etude Globale, il faudra 1 à 2 siècles pour que le réengrèvement des souilles de Pertuis / Villelaure permette le rétablissement du transit des matériaux à ce niveau, 20 millions de m³ d'alluvions seraient nécessaires.

4.2.4.2. Analyse des évolutions morphologiques au droit de la digue historique de Tarteau à Pertuis

❖ Caractéristiques morphologiques du secteur

Le secteur du pont de Pertuis est particulièrement figé. En rive droite, le trait de berge a très peu évolué en aval du pont de Pertuis entre 1958 et aujourd'hui. C'est également le cas en rive droite, à l'exception de la création de la piste des carriers à la fin du XX^{ème} siècle, qui fait aujourd'hui office de digue protégeant pour les faibles débits de crue des terrains agricoles du Puy-Ste-Réparate.

En effet, le secteur situé entre le pont de Pertuis et le pont de Cadenet a fait l'objet d'extractions massives par le passé. Les extractions de la société SOTEM ainsi que celle liées à la construction du canal EDF ont représenté un volume extrait d'environ 4 Mm³.

En 1971, l'abaissement du lit de la Durance atteignait 4 m par endroits. Les seuils du canal de Marseille et du viaduc de Meyrargues (seuil 106) tenaient le lit, les affleurements du substratum étant déjà apparents par endroits. Le déficit des apports amont n'a pas permis la cicatrisation du lit ou son réalluvionnement depuis lors : le substratum affleure au pied du seuil du canal de Marseille et jusqu'en aval du plan d'eau de la Ferratière.

1958



2020

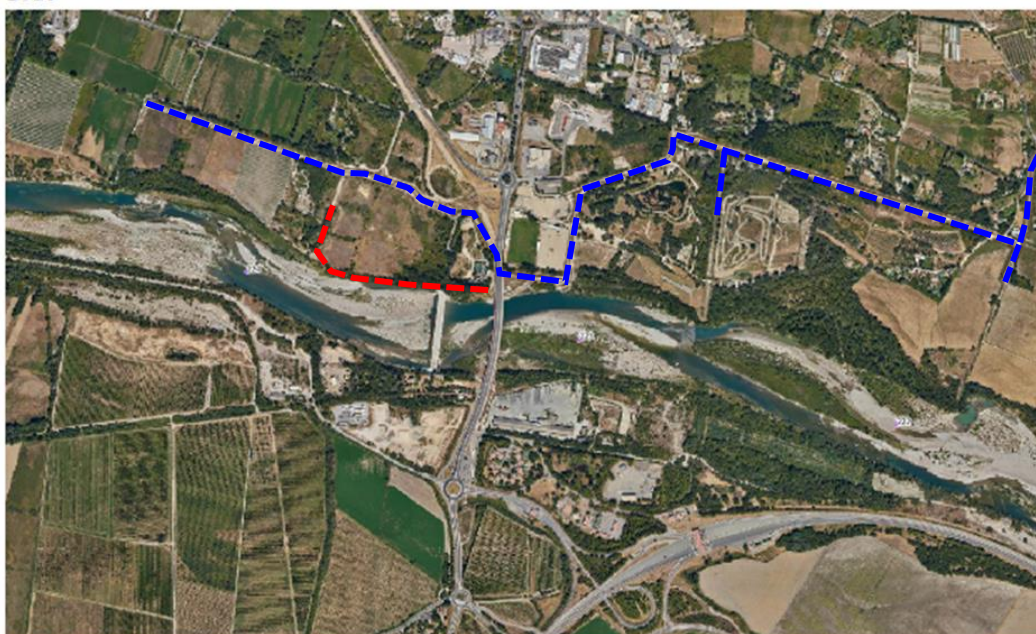


Figure 60 : Vues aériennes (1958 et 2020) du secteur du pont de Pertuis (source : SMAVD)

Un seuil naturel longitudinal, dans l'axe du lit, est clairement visible sur les photographies aériennes de 1993 à aujourd'hui, entre l'aval du seuil du canal de Marseille et l'extrémité aval de l'ancienne digue de Tarteau, avec parfois un recouvrement partiel par des alluvions grossières après les crues : les

photographies avant et après la crue de 2016 en témoignent. D'après l'Etude Globale de Basse et Moyenne Durance (2006), les affleurements rocheux se seraient lentement dégradés en aval du seuil du canal de Marseille entre 1980 et 1995. Aucune étude spécifique n'a été diligentée depuis pour analyser cette évolution de manière plus approfondie. En effet, aux dires des experts et acteurs de terrain, les inspections visuelles de ces affleurements laissent à penser que leur évolution des dernières décennies est difficilement perceptible.

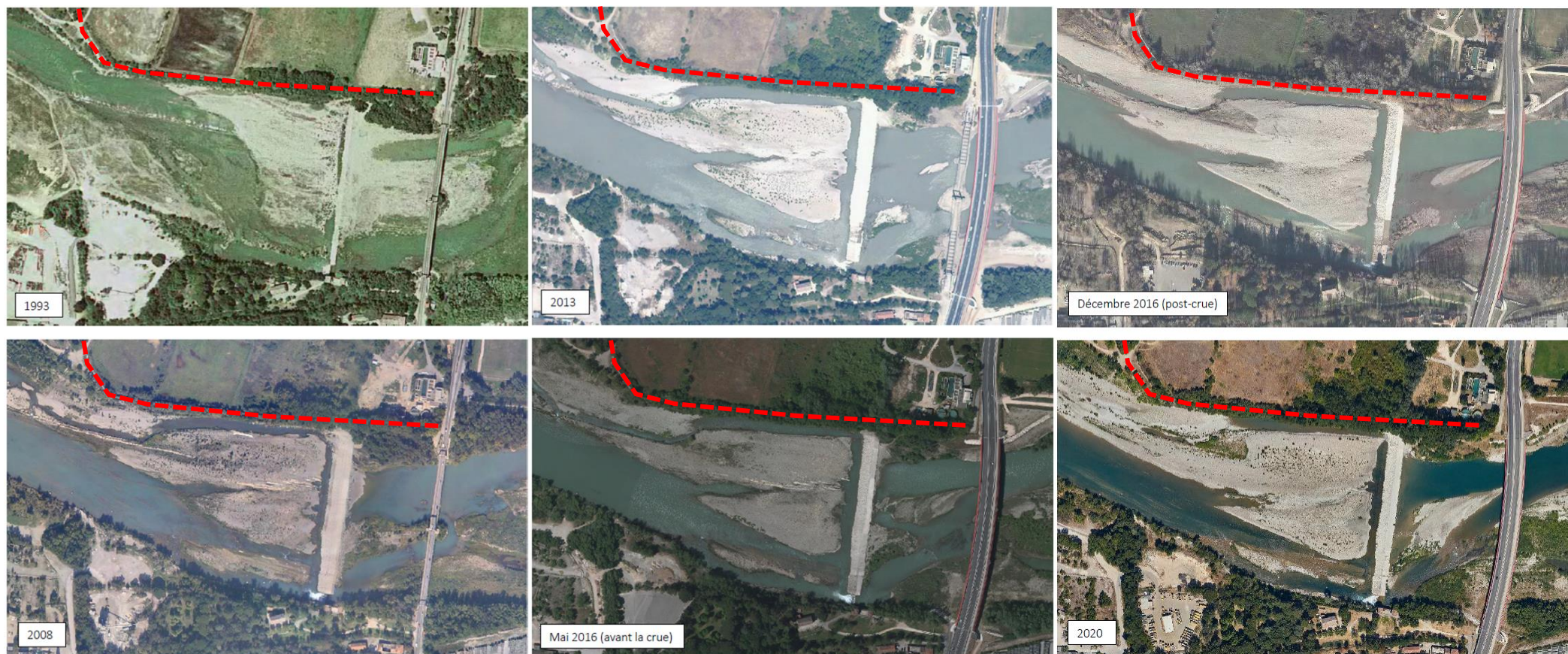


Figure 61 : Vues aériennes (de 1993 à 2020) au niveau de la digue historique de Tarteau (source : SMAVD)

Au cours des crues de 1994, d'occurrence environ trentennale, l'ancienne digue de Tarteau a probablement été fortement sollicitée. Les alluvions en pied d'ouvrage ont été emportées par les crues, et se sont en partie redéposées à l'aval. Les prémisses d'un chenal d'écoulement secondaire s'est ainsi formé en pied d'ouvrage. Le seuil du canal de Marseille a été fortement endommagé au cours de la crue, et il est probable que les enrochements situés au pied de l'ancienne digue de Tarteau aient été déstructurés au cours de ces crues.

En amont du seuil du canal de Marseille, les photographies post-crue de 1994 ci-dessous ainsi que les photographies aériennes datées d'avant 2013 présentées plus haut, attestent de la présence d'une ripisylve protégeant l'ouvrage. Néanmoins, la reconstruction du Pont de Pertuis en 2013, a résulté en un recul de plusieurs dizaines mètres de la culée du pont (cf. photographie de 2013 sur laquelle figurent l'ancien et le nouveau pont). La culée du nouveau pont est quasiment alignée avec l'ancienne digue. Aujourd'hui, l'ancienne digue de Tarteau est donc plus exposée aux problématiques d'érosion et de déstabilisation de ses protections en enrochements, bien que l'actuelle culée joue toujours un rôle protecteur de l'ouvrage en amont du seuil du canal de Marseille vis-à-vis des plus forts courants en période de crue.



Figure 62 : Photographies aériennes du pont de Pertuis et du seuil du canal de Marseille prises à la suite des crues de 1994 (source : SMAVD)

❖ Evolution du profil en long d'étiage au droit de l'ouvrage

Tenu au PK 224 par le seuil naturel formé par le substratum, le profil en long d'étiage a très peu évolué ces dernières années. Entre les PK 223.4 et 223.6, les différences observées entre les profils antérieurs à 2016 et les profils postérieurs à 2016 semblent principalement dues à un changement de ligne d'extraction des niveaux d'étiage, comme illustré sur la vue aérienne ci-après. Ainsi, il est peu probable que le fond du lit continue à s'inciser sur ce secteur, même si les marnes en présence sont réputées légèrement érodables.

D'après les résultats des modélisations Telemac 2D du SMAVD sur le secteur, les vitesses d'écoulement au pied de l'ouvrage peuvent atteindre jusqu'à 3.5 m/s pour une crue centennale (scénario sans ruptures d'ouvrages).

Aussi, les modélisations de l'AdZI mettent en évidence des risques de rupture de l'ouvrage en amont ou en aval du seuil du canal (dès Q30), et de ressuyage des écoulements par l'ouvrage AEP en aval du seuil le cas échéant (dès Q50).

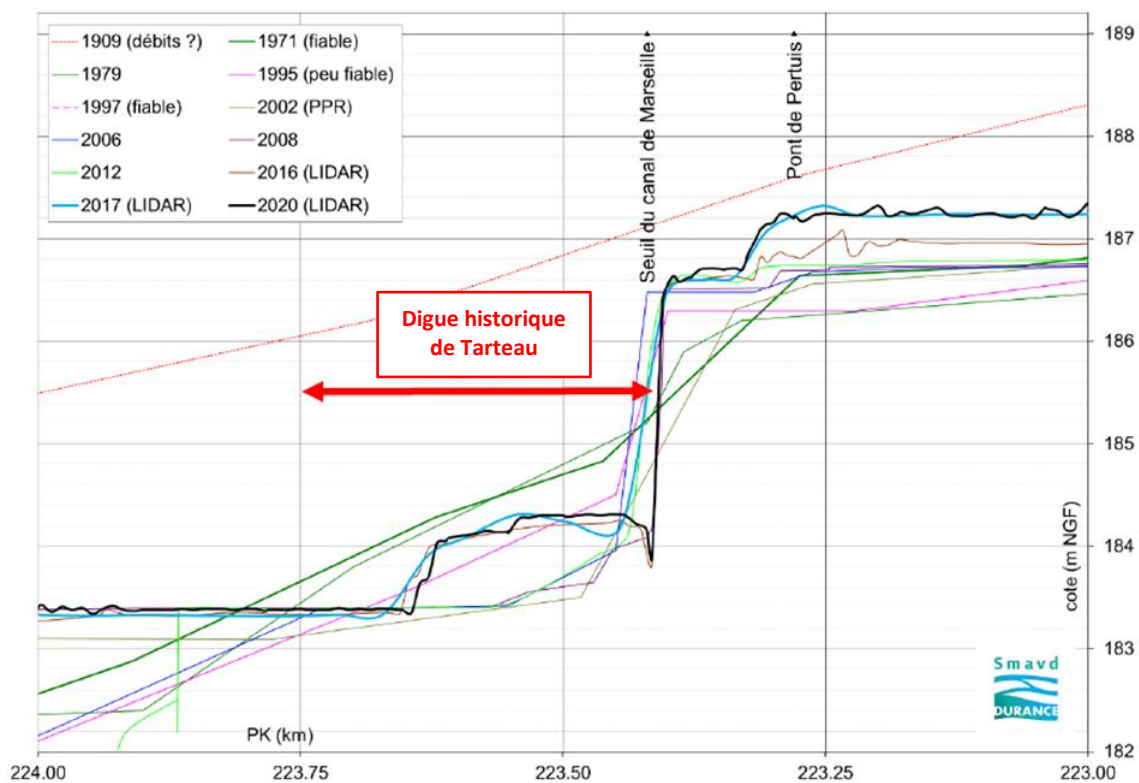


Figure 63 : Evolution du profil en long d'étiage de la Durance au droit de la digue historique des Tarteau (source : SMAVD)



Figure 64 : Lignes d'extraction des PL d'étiage : en bleu 2011, rose 2016 et blanc 2017 (source : SMAVD)

4.3. Embâcles

Il n'y a pas d'obstacles sur le secteur d'étude qui seraient susceptibles de générer une problématique d'embâcles.

En effet, le viaduc de Meyrargues ainsi que le pont de Pertuis présents au droit du secteur d'étude présentent des piles de font relativement fines et des travées suffisamment larges pour ne pas poser de problème vis-à-vis du risque d'embâcles.

Par ailleurs, les seuils présents au droit du secteur d'étude (seuil 106, seuil du canal de Marseille et seuil 5) peuvent localement former des points préférentiels de dépôt de flottants mais sont généralement considérés comme quasi-transparentes au transport de bois flottant (cf. *Margaux Quiniou, Guillaume Piton. Embâcles : concilier gestion des risques et qualité des milieux. Guide de diagnostic et de recommandations. [Rapport de recherche] ISL Ingénierie ; INRAE. 2022, pp.135. hal-03621373*).

4.4. Transport solide

Cf. §4.1.3

4.5. Aléa tempête

En cas de survenue de tempête au droit du secteur d'étude, les vents violents associés à cette dernière pourraient potentiellement entraîner un risque d'arrachement d'arbres de moyennes/hautes tiges implantés sur ou en pied de digues.

4.6. Laves torrentielles

De par sa localisation géographique (plaine alluviale), le système d'endiguement de Pertuis n'est pas soumis au risque de laves torrentielles.

4.7. Phénomènes géologiques et géotechniques

4.7.1. Contexte géologique et hydrogéologique

D'après la carte géologique à l'échelle 1/50 000^{ème} (feuilles n°995 de Pertuis), le système d'endiguement de Pertuis se situe au sein des alluvions récentes (Fz) de la Durance datant du Quaternaire. Il s'agit en particulier de cailloutis, graviers, sables et limons duranciens.

Il n'existe a priori pas de risque particulier lié à la géologie pouvant influencer la fondation des ouvrages. Les investigations réalisées dans le cadre de la présente l'étude de dangers ont permis de prendre en compte les lithologies rencontrées localement (cf. §7.2).

La carte géologique et les caractéristiques relevées au droit des sondages de la Base de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM, issues des études diagnostic G5 réalisées par GEOLITHE en 2023, sont présentées sur la figure et dans les paragraphes ci-après.



Figure 65 : Extrait de la carte géologique 1/50 000^e de la zone d'étude (source : Infoterre)

4.7.1.1. Système d'endiguement actuel

Les forages et sondages réalisés à proximité du système d'endiguement actuel et référencés dans la BSS sont localisés sur la figure ci-après.

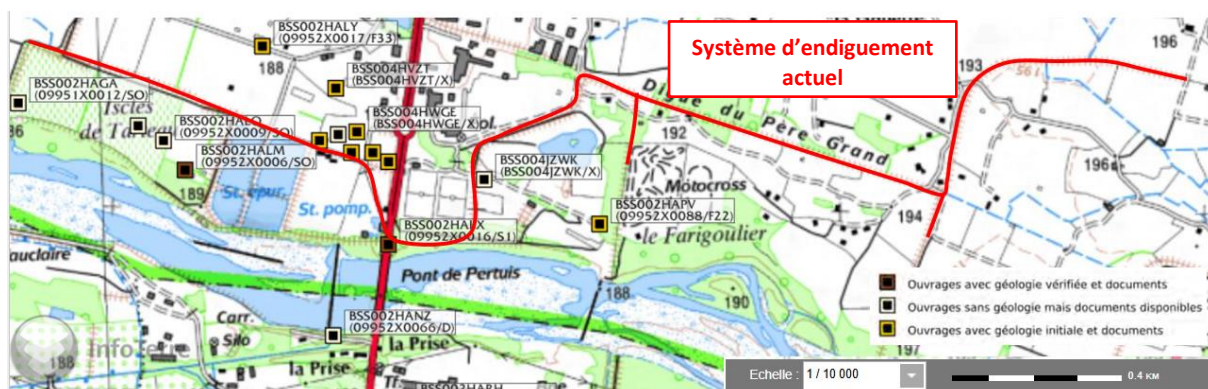


Figure 66 : Localisation des sondages de la BSS réalisés à proximité du remblai de la voie ferrée (source : Infoterre, 2024)

❖ Ouvrage BSS002HALM (09952X0006/SO)

Un sondage de 8,5 m de profondeur a été réalisé à proximité de l'ouvrage. Il est situé à environ 185 m au Sud de l'extrémité Ouest de la zone d'étude. Il a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Altitude (m NGF)	Profondeur (m)	Lithologie
187.00 à 186.10	0.0 à 0.90	Terre végétale
186.10 à 185.63	0.9 à 1.37	Sable et gravier
185.63 à 184.52	1.37 à 2.48	Couche dure, grabier, galets, sable limoneux
184.52 à 182.01	2.48 à 4.99	Sable et limon
182.01 à 181.28	4.99 à 5.72	Sable et galets limoneux, morceaux d'argile roulés
181.28 à 180.01	5.72 à 6.99	Gravier, gros galets, sable limoneux, blocs d'argile
180.01 à 178.51	6.99 à 8.49	Marne lacustre

❖ **Ouvrage BSS004HWGD**

Un sondage de 9,0 m de profondeur a été réalisé à proximité de l'ouvrage. Il est situé à quelques mètres au Nord du système d'endiguement, à l'Ouest de la route départementale D556. Il a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Altitude (m NGF)	Profondeur (m)	Lithologie
192.7 à 191.6	0.0 à 1.1	Limons argileux bruns humide
191.60 à 190.9	1.1 à 1.8	Sable limoneux gris humide et très mou
190.9 à 187.2	1.8 à 5.5	Graviers et galets très sableux gris-bruns
187.2 à 186.8	5.5 à 5.9	Argile marron-brun
186.8 à 185.2	5.9 à 7.5	Marne sableuse bariolé gris-marron
185.2 à 183.7	7.5 à 9.0	Grès beige-gris

❖ **Ouvrage BSS002HAPV (09952X0088/F22)**

Un forage de 8,0 m de profondeur a été réalisé en 1952 afin d'être utilisé comme piézomètre. Il est situé à environ 190 m au Sud de l'épi le farigoulier. Il a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Altitude (m NGF)	Profondeur (m)	Lithologie
192.9 à 192.1	0.0 à 0.8	Limons argileux bruns humide
192.1 à 186.3	0.8 à 6.6	Sable limoneux gris humide et très mou
186.3 à 184.9	6.6 à 8.0	Graviers et galets très sableux gris-bruns

Un suivi piézométrique a également été réalisé entre 1986 et 1995, mettant en évidence des niveaux d'eau statiques compris entre 187,2 et 188,6 m NGF soit 4,3 à 5,7 m de profondeur.

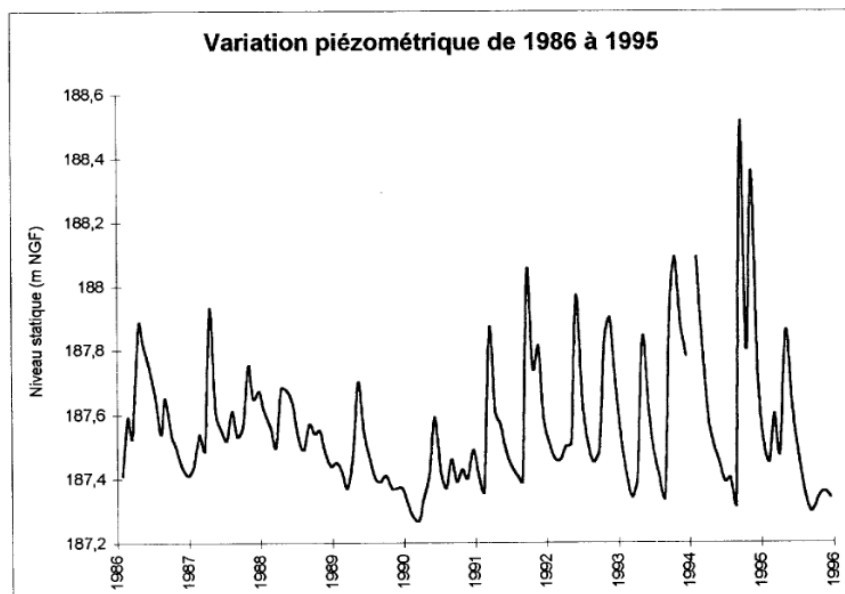


Figure 67 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F22 (source : BRGM)

4.7.1.2. Remblai de la voie ferrée

Les forages et sondages réalisés à proximité du remblai de la voie ferrée et référencés dans la BSS sont localisés sur la figure ci-après.



Figure 68 : Localisation des sondages de la BSS réalisés à proximité du remblai de la voie ferrée (source : GEOLITHE, 2023)

❖ **Ouvrages BSS002HAPU (09952X0087/F2)**

Un forage de 8,0 m de profondeur a été réalisé en 1952 afin d'être utilisé comme piézomètre. Il est situé à environ 140 m à l'Est de l'extrémité Est de la zone d'étude. Il a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Altitude (m NGF)	Profondeur (m)	Lithologie	Formation géologique
203.93 à 202.85	0.0 à 1.1	Limon sableux	Alluvions récentes
202.85 à 195.93	1.1 à 8.0	Graviers et sable	

Un suivi piézométrique a également été réalisé entre 1986 et 1995, mettant en évidence des niveaux d'eau statiques compris entre 199,2 et 201,7 m NGF soit 4,7 à 2,2 m de profondeur.



Figure 69 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F2 (source : BRGM)

❖ **Ouvrages BSS002HAPR (09952X0084/F1)**

Un forage de 8,0 m de profondeur a été réalisé en 1952 afin d'être utilisé comme piézomètre. Il est situé à environ 320 m au Nord de l'extrémité Est de la zone d'étude. Il a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Altitude (m NGF)	Profondeur (m)	Lithologie	Formation géologique
203.38 à 201.08	0.0 à 2.3	Limon noir	Alluvions récentes
201.08 à 195.98	2.3 à 7.4	Graviers et sable	
195.98 à 195.38	7.4 à 8.0	Sable argileux jaune	

Un suivi piézométrique a également été réalisé entre 1986 et 1995, mettant en évidence des niveaux d'eau statiques compris entre 197,4 et 199,5 m NGF soit 6,0 à 3,9 m de profondeur.

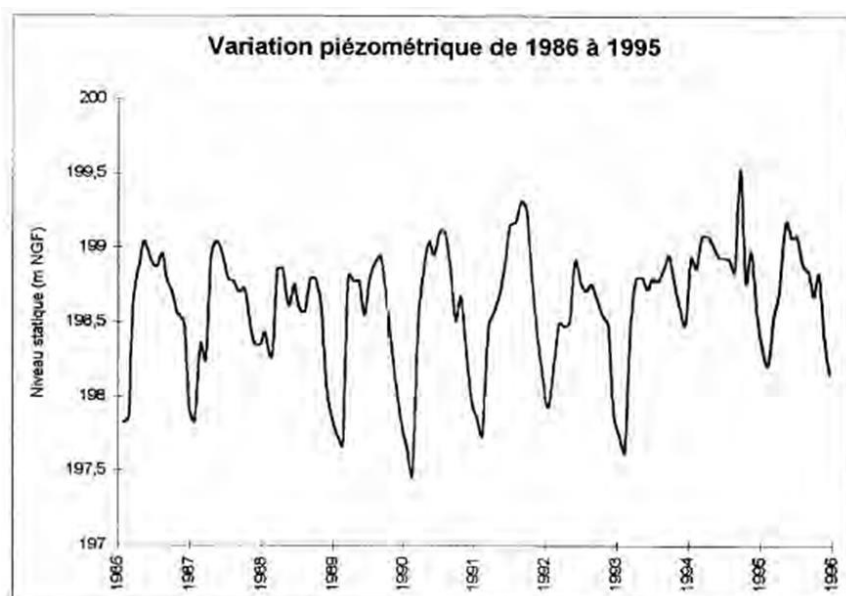


Figure 70 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F1 (source : BRGM)

❖ Ouvrages BSS002HAPX (09952X0090/F6)

Un forage de 8,0 m de profondeur a été réalisé en 1952 afin d'être utilisé comme piézomètre. Il est situé à environ 250 m au Sud de la zone d'étude. Il a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Altitude (m NGF)	Profondeur (m)	Lithologie	Formation géologique
202.59 à 200.49	0.0 à 2.1	Limon graveleux	Alluvions récentes
200.49 à 196.09	2.1 à 6.5	Graviers et sable	
196.09 à 195.89	6.5 à 6.7	Blocs de calcaire gris	Calcaire de la Trévaresse
195.89 à 194.59	6.7 à 8.0	Marne ocreuse	Stampien inférieur

Un suivi piézométrique a également été réalisé entre 1986 et 1995, mettant en évidence des niveaux d'eau statiques compris entre 196.9 et 200.5 m NGF soit 5.7 à 2.1 m de profondeur.

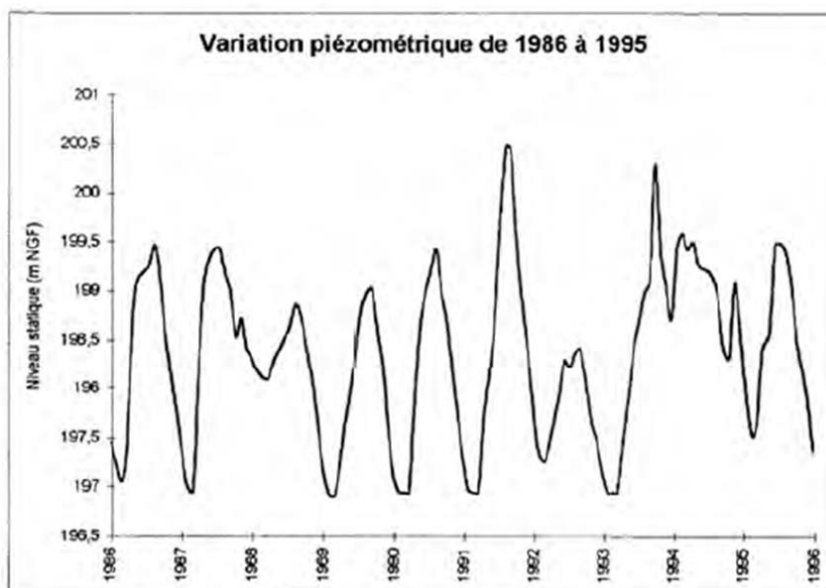


Figure 71 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F6 (source : BRGM)

❖ **Ouvrages BSS002HAPW (09952X0089/F5B)**

Un forage de 9,0 m de profondeur a été réalisé en 1953 afin d'être utilisé comme piézomètre. Il est situé à environ 110 m à l'Ouest de l'extrémité Sud de la zone d'étude. Un suivi piézométrique a été réalisé entre 1986 et 1995, mettant en évidence des niveaux d'eau statiques compris entre 196,4 et 199,5 m NGF soit 5,8 à 2,7 m de profondeur.



Figure 72 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F5b (source : BRGM)

❖ **Ouvrages BSS002HAMJ (09952X0027/111111)**

Une excavation à ciel ouvert de 4,5 m de profondeur a été réalisée en 1973 afin d'être utilisée pour l'exploitation du gravier-sableux. Elle a été réalisée à environ 420 m à l'Est de l'extrémité Sud de la zone d'étude au niveau du lit de la Durance. Elle a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Profondeur (m)	Lithologie	Formation géologique
0.0 à 0.5	Terre limon	Alluvions récentes
0.5 à 4.5	Galet-sable	

❖ **Ouvrages BSS002HANS (09952X0059/SC)**

Quatre sondages pressiométriques de 15,0 m de profondeur ont été réalisés en 1976. Ils ont été réalisés à environ 420 m au Sud de l'extrémité Sud de la zone d'étude en rive gauche de la Durance de part et d'autre du prolongement du remblai de la ligne SNCF. Ces sondages ont permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Sondage	A		B		C		D	
Lithologie	Alti. (m NGF)	Prof. (m)	Alti. (m NGF)	Prof. (m)	Alti. (m NGF)	Prof. (m)	Alti. (m NGF)	Prof. (m)
Terre végétale et limon	-	-	-	-	-	-	200.98 à 198.18	0.0 à 2.8
Sable et graviers	203.14 à 194.34	0.0 à 8.8	203.48 à 194.08	0.0 à 9.4	201.38 à 194.68	0.0 à 6.7	198.18 à 193.98	2.8 à 7.0
Marne jaune	194.34 à 193.94	8.8 à 9.2	194.08 à 193.68	9.4 à 9.8	194.68 à 194.58	6.7 à 6.8	-	-
Marne grise	193.94 à 188.14	9.2 à 15.0	193.68 à 188.48	9.8 à 15.0	194.58 à 186.38	6.8 à 15.0	193.98 à 185.98	7.0 à 15.0
Niveau d'eau	199.64	3.5	199.88	3.6	198.18	3.2	197.38	3.6

Les profils en travers avec habillage des sondages et l'implantation des sondages issues de la base de données du BRGM sont présentées ci-après :

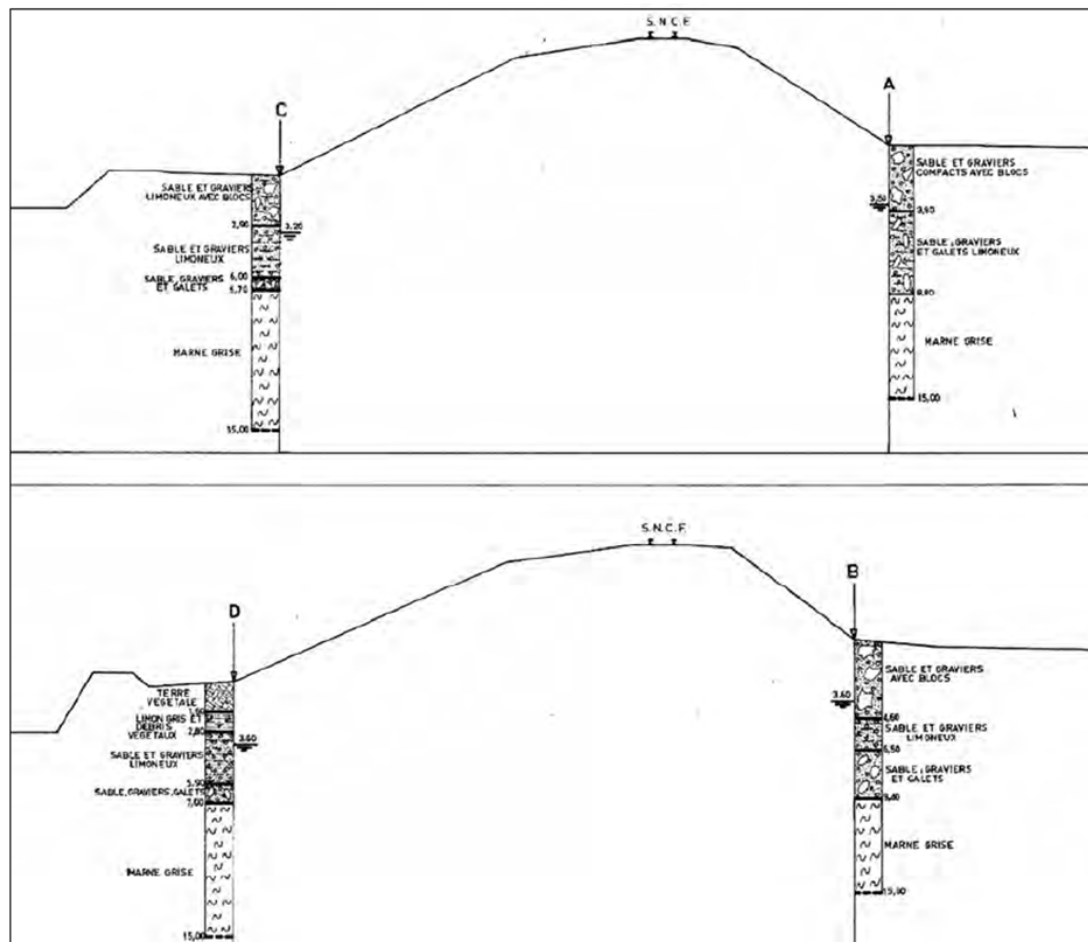
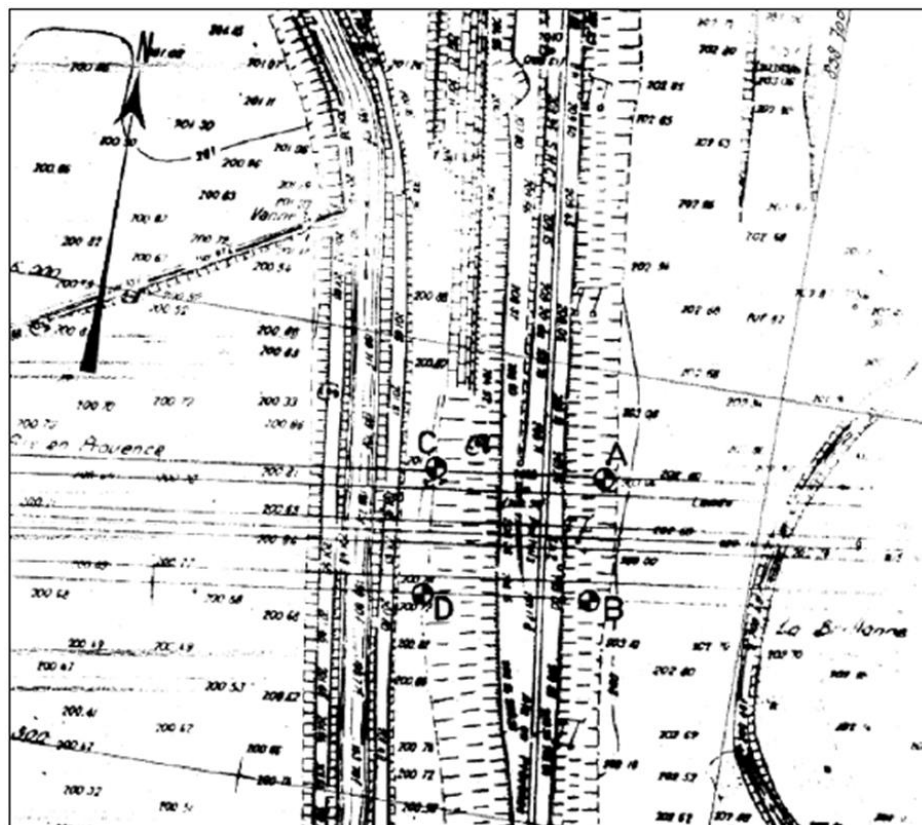


Figure 73 : Plan d'implantation et habillage des sondages A à D sur profils en travers (source : BRGM)

La synthèse des valeurs pressiométriques de l'ensemble des 4 sondages est donnée dans le tableau suivant :

Lithologie	Valeur	Module pressiométrique E_m (MPa)	Pression limite p_l^* (MPa)
Sable et graviers	Min	1	0.3
	Max	60	3.6
	Moy⁽¹⁾	8	1.7
Marne grise	Min	50	≥ 3.2
	Max	183	≥ 3.7
	Moy⁽¹⁾	90	≥ 3.5

(1) Les valeurs moyennes du module pressiométrique sont calculées selon la moyenne harmonique et les valeurs moyennes de pression limite selon la moyenne géométrique.

❖ Synthèse

La BSS et les études antérieures font ressortir les lithologies de sols suivantes :

- des matériaux fins de type limon en surface sur une épaisseur de l'ordre de 2 m,
- puis des sables et graviers jusqu'à environ 8 m de profondeur,
- des matériaux plus compétents de type marne vers 8 m de profondeur.

Les niveaux d'eau mesurés entre 1986 et 1995 ont été situés entre 196,4 et 201,7 m NGF avec un niveau moyen à environ 199 m NGF.

4.7.1.3. Digue et épis de Corrèze-Mulet

Les forages et sondages réalisés à proximité des digues et épis du secteur Corrèze-Mulet et référencés dans la BSS sont localisés sur la figure ci-après.

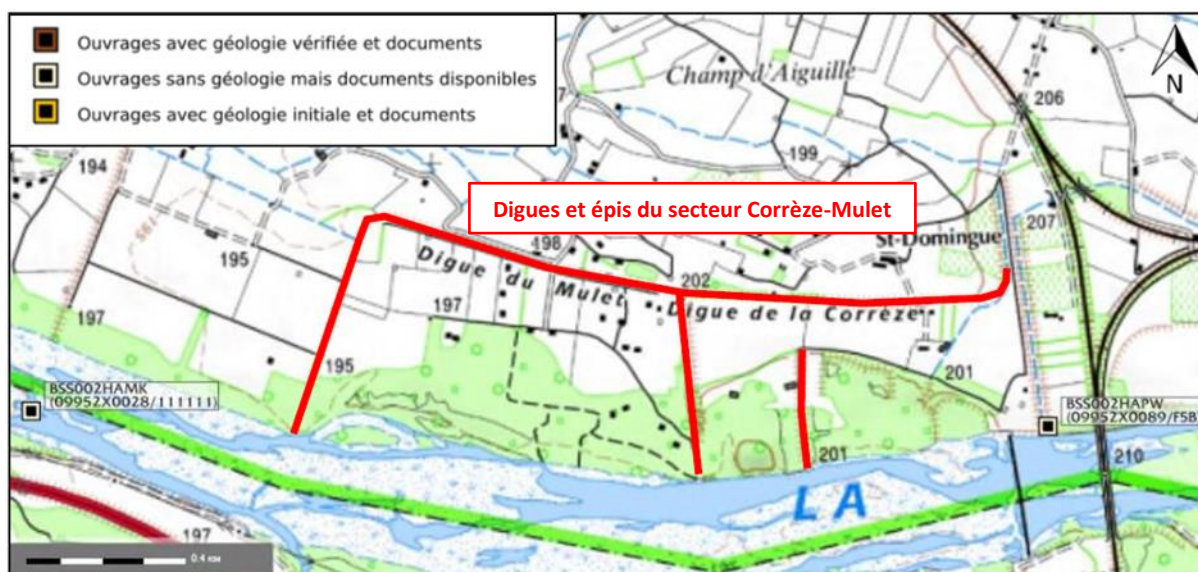


Figure 74 : Localisation des sondages de la BSS réalisés à proximité du secteur Corrèze-Mulet (source : GEOLITHE, 2023)

❖ **Ouvrages BSS002HAPW (09952X0089/F5B)**

Un forage de 9,0 m de profondeur a été réalisé en 1953 afin d'être utilisé comme piézomètre. Il est situé au niveau de la Durance à l'extrémité Sud-Est de la zone d'étude. Un suivi piézométrique a été réalisé entre 1986 et 1995, mettant en évidence des niveaux d'eau statiques compris entre 196,4 et 199,5 m NGF.

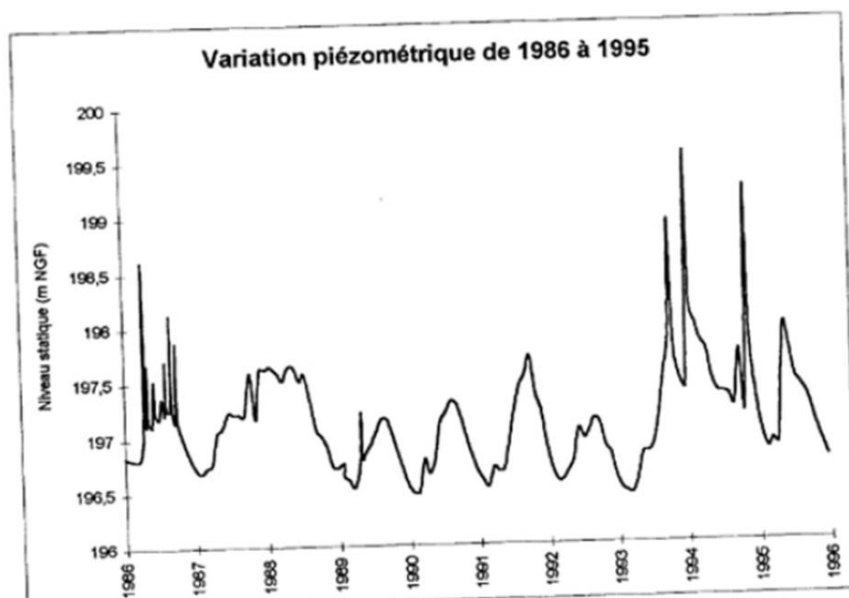


Figure 75 : Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F5b (source : BRGM)

❖ **Ouvrages BSS002HAMK (09952X0028/111111)**

Une excavation à ciel ouvert de 5,5 m de profondeur a été réalisée en 1973 afin d'être utilisée pour l'exploitation du gravier-sableux. Elle a été réalisée à environ 420 m à l'Est de l'extrémité Sud de la zone d'étude au niveau du lit de la Durance. Elle a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Profondeur (m)	Lithologie	Formation géologique
0.0 à 0.5	Terre limon	Alluvions récentes
0.5 à 5.5	Galet-sable	

4.7.1.4. Digue historique de Tarteau

Les forages et sondages réalisés à proximité de la digue historique de Tarteau et référencés dans la BSS sont localisés sur la figure ci-après.



Figure 76 : Localisation des sondages de la BSS réalisé à proximité de la digue historique de Tarteau (source : GEOLITHE, 2023)

❖ **Ouvrages BSS002HALX (09952X0016/S1)**

Un forage de 19,0 m de profondeur a été réalisée en 1947. Il a été réalisé au niveau de l'extrémité Est de la digue étudiée. Il a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Profondeur (m)	Lithologie	Formation géologique
0.0 à 6.0	Mélange graviers et sables	Remblai quaternaire
6.0 à 9.6	Mélange graviers et sables	Alluvions quaternaire
9.6 à 11.0	Argile bleu mou	Stampien
11.0 à 11.3	Marne brun fossilifère	
11.3 à 13.4	Calcaire argileux gris clair fossilifère	
13.4 à 16.7	Calcaire argileux gris clair	
16.7 à 19.0	Calcaire blanc	

❖ **Ouvrages BSS002HALN (09952X0007/SO)**

Un forage de 2,35 m de profondeur a été réalisée en 1946. Il a été réalisé à environ 300 m au Nord de la digue étudiée. Il a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Profondeur (m)	Lithologie
0.00 à 0.90	Terre arable
0.90 à 2.35	Gros galets, enrochement, bois, sable limoneux

❖ **Ouvrages BSS002HALY (09952X0017/F33)**

Un forage de 9,6 m de profondeur avec essais de perméabilité a été réalisé en 1954. Il a ensuite été équipé en piézomètre. Il a été réalisé à environ 200 m au Nord de la zone d'étude. La lithologie suivante a été mise en évidence :

Profondeur (m)	Lithologie	Formation géologique
0.0 à 0.3	Terre arable et galets	Quaternaire
0.3 à 1.3	Alluvions : limons sableux	
1.3 à 5.6	Alluvions sableuses légèrement argileuses	
5.6 à 9.6	Argile bleue compacte	Helvetien

Lors du sondage, le niveau de nappe relevé était de -0,86 m soit 186,17 m NGF en 1954. Deux essais de perméabilité ont également été réalisés en 1954 entre 5,09 m et 6,06 m de profondeur. La perméabilité moyenne obtenue avec ces essais était de $K_{moy} = 1,96 \text{ m/s}$.

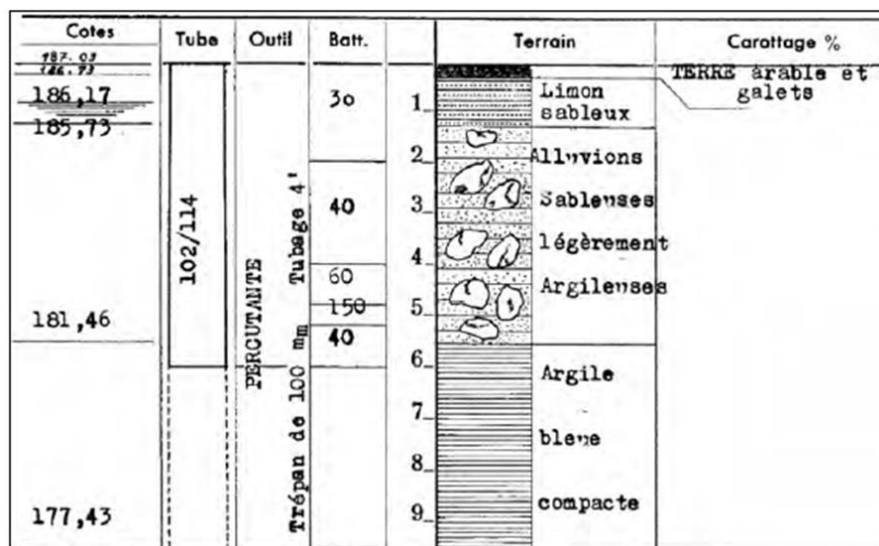


Figure 77 : Coupe de sondage – F33 (source : BRGM)

❖ **Ouvrages BSS002HALM (09952X0006/SO)**

Un forage de 8,5 m de profondeur a été réalisé en 1946. Il a été réalisé à environ 75 m à l'Ouest de la zone d'étude. La lithologie suivante a été mise en évidence :

Profondeur (m)	Lithologie
0.00 à 0.90	Terre végétale
0.90 à 1.37	Sable et gravier
1.37 à 2.48	Couche dure, gravier, galets, sable limoneux
2.48 à 4.99	Sable et limon
4.99 à 5.72	Sable et galets limoneux, morceaux d'argile roulés
5.72 à 6.99	Gravier, gros galets, sable limoneux, blocs argile
6.99 à 8.49	Marne lacustre

❖ **Ouvrages BSS002HALQ (09952X0009/SO)**

Un forage de 5 m de profondeur a été réalisé en 1946. Il a été réalisé à environ 160 m à l'Ouest de la zone d'étude. La lithologie suivante a été mise en évidence :

Profondeur (m)	Lithologie
0.0 à 5.0	Sable et gravier
5.0	Rocher calcaire lacustre

❖ **Ouvrages BSS002HALP (09952X0008/SO)**

Un forage de 5,5 m de profondeur a été réalisé en 1946. Il a été réalisé à environ 230 m à l'Ouest de la zone d'étude. La lithologie suivante a été mise en évidence :

Profondeur (m)	Lithologie
0.0 à 5.5	Sable et gravier
5.5	Rocher calcaire lacustre

4.7.2. Aléa sismique

L'aléa sismique au droit du système d'endiguement de Pertuis a été appréhendé grâce aux informations fournies par le zonage sismique en France du site Infoterre. Ainsi d'après ce dernier, le secteur d'étude est classé en zone de sismicité moyenne (4).



Figure 78 : Zonage sismique (source : Antea Group)

Un séisme peut avoir un effet important sur une digue. Deux conditions sont à prendre en compte :

- la simultanéité d'un séisme et d'une crue,
- la survenue d'une crue après un séisme si les dégâts n'ont pas été réparés.

Etant donnée la très faible probabilité de concomitance d'un séisme affectant significativement l'ouvrage et d'une crue, et en cohérence avec le guide de lecture des études de dangers des digues de protection contre les inondations fluviales, il n'est pas retenu de cas de calcul couplant ces deux aléas.

Ainsi, le rapport « Risque sismique et sécurité des OH » du Ministère de l'Écologie – octobre 2014 - indique que pour les digues de classe C en zone de sismicité 4, il est imposé de vérifier l'absence de risque de liquéfaction. En revanche, il n'est pas imposé de vérifier la stabilité par méthode pseudo-statistique.

Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	non imposé	non imposé	non imposé	non imposé
2	non imposé	non imposé	non imposé	OUI
3	non imposé	non imposé	OUI	OUI
4	non imposé	OUI	OUI	OUI
5	OUI	OUI	OUI	OUI

Tableau 8 : Exigence de vérification de l'absence de risque potentiel de liquéfaction – digues (Source : rapport « Risque sismique et sécurité des OH » du Ministère de l'Écologie – octobre 2014)

Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	α	α	α	α
2	α	α	α	α
3	α	α	α	β
4	α	α	β	β
5	α	β	β	β

Tableau 7-28 - Recommandations pour les études graduées - digues

α : vérification de la conformité aux règles du génie civil

β : vérification de la stabilité par méthode pseudo-statique

Tableau 9 : Niveau d'étude recommandé - digues (Source : rapport « Risque sismique et sécurité des OH » du Ministère de l'Écologie – octobre 2014)

A l'exception de la digue du Mulet, la tenue des ouvrages dans leur état actuel est assurée jusqu'à Q_{ex} selon le rapport géotechnique sous réserve que des visites post-crue et post séisme soient réalisées.

4.7.3. Retrait/gonflement des argiles

Les sols qui contiennent de l'argile gonflent en présence d'eau (saison des pluies) et se tassent en saison sèche. Ces mouvements de gonflement et de rétractation du sol peuvent endommager les ouvrages. Le changement climatique, avec l'aggravation des périodes de sécheresse, augmente ce risque.

Le zone d'étude est située en zone d'aléa moyen pour le retrait et gonflement des argiles.

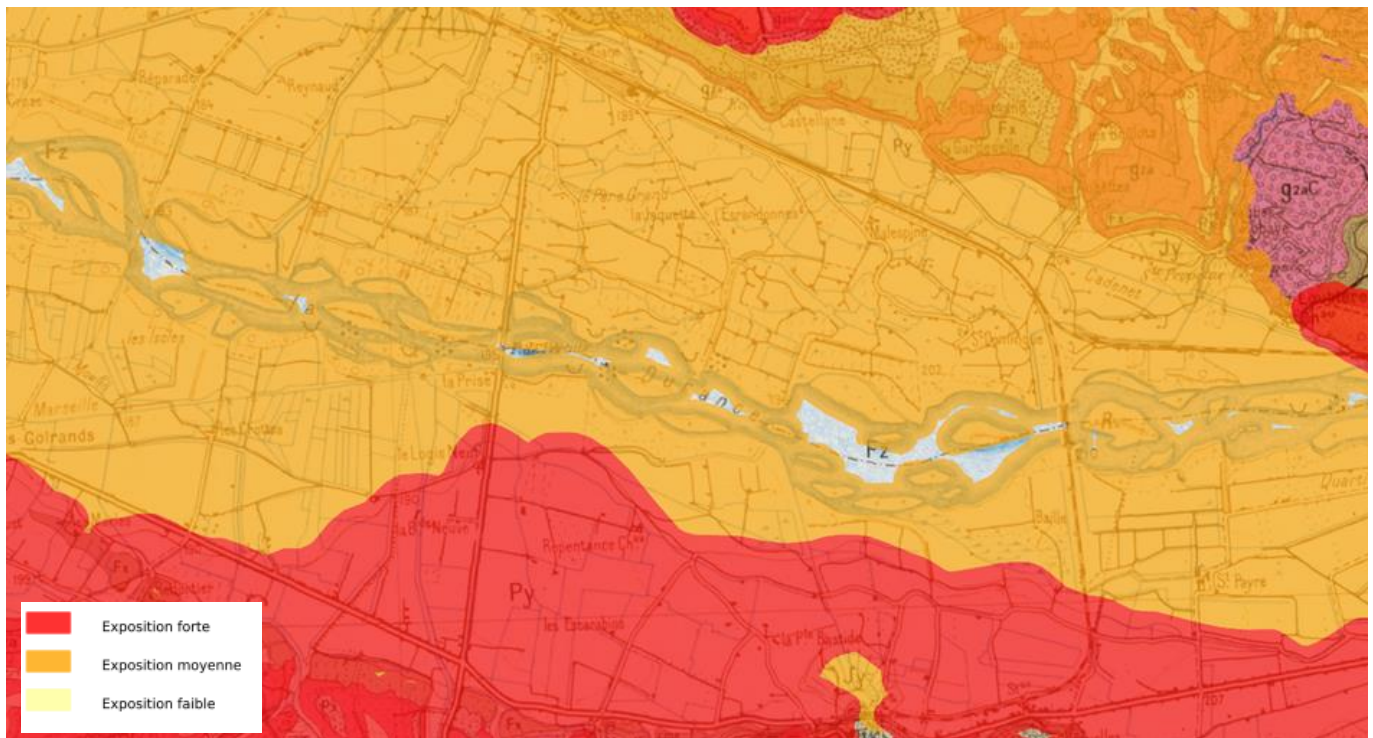


Figure 79 : Retrait/gonflement des argiles (source : Infoterre)

4.7.4. Mouvements de terrain et cavités souterraines

Aucun mouvement de terrain ni cavités souterraines ne sont recensés à proximité du secteur d'étude hormis une érosion de berge localisée à environ 300 m en aval du seuil 106 et survenu dans les années 1950.

4.8. Synthèse de la caractérisation des aléas naturels

Le tableau ci-dessous présente la synthèse des aléas naturels auxquels le système d'endiguement de Pertuis est soumis :

Aléa naturel	Qualification du risque	Prise en compte dans l'étude de dangers	Caractérisation de l'aléa
Crue	Moyen à Fort	Oui	Prise en compte de différentes crues jusqu'au niveau de protection.
Embâcle	Nul	Non	Les ponts et seuils identifiés ne sont pas susceptibles de bloquer des embâcles qui auraient une incidence significative sur l'hydraulique.
Evolutions morphologiques	Faible à Fort	Oui	Surveillance des évolutions et préconisations.
Aléas liés à la nature géologique et géotechnique des terrains	Faible	Oui	Il n'existe a priori pas de risque particulier lié à la géologie. Les investigations géotechniques ont permis de prendre en compte les lithologies rencontrées localement.
Séisme	Moyen	Oui	Prise en compte dans les calculs de stabilité mécanique. Surveillance lors d'un évènement.
Retrait/gonflement des argiles	Modéré	Non	Surveillance des évolutions.
Mouvements de terrain et cavités souterraines	Faible	Non	Surveillance des évolutions.

Tableau 10 : Synthèse des aléas naturels pris en compte dans l'étude de dangers

5. Description du système d'endiguement

5.1. Ouvrages existants

Pour rappel et pour la bonne compréhension du dossier, la figure suivante localise :

- le système d'endiguement actuel de Pertuis tel qu'il est déjà autorisé à ce jour,
- les ouvrages de premier rang faisant l'objet de la présente étude de dangers (demande d'autorisation d'extension du système d'endiguement de Pertuis existant) :
 - Remblai de la voie ferrée
 - Digue et épis du secteur Corrèze-Mulet (Digue de Corrèze, Digue du Mulet, Epi de Corrèze et Epi du Mulet),
 - Digue historique de Tarteau,
- Les autres ouvrages présents à proximité (non intégrés au système d'endiguement de Pertuis) :
 - ouvrages linéaires en remblais,
 - ouvrages hydrauliques présents en lit mineur de la Durance.

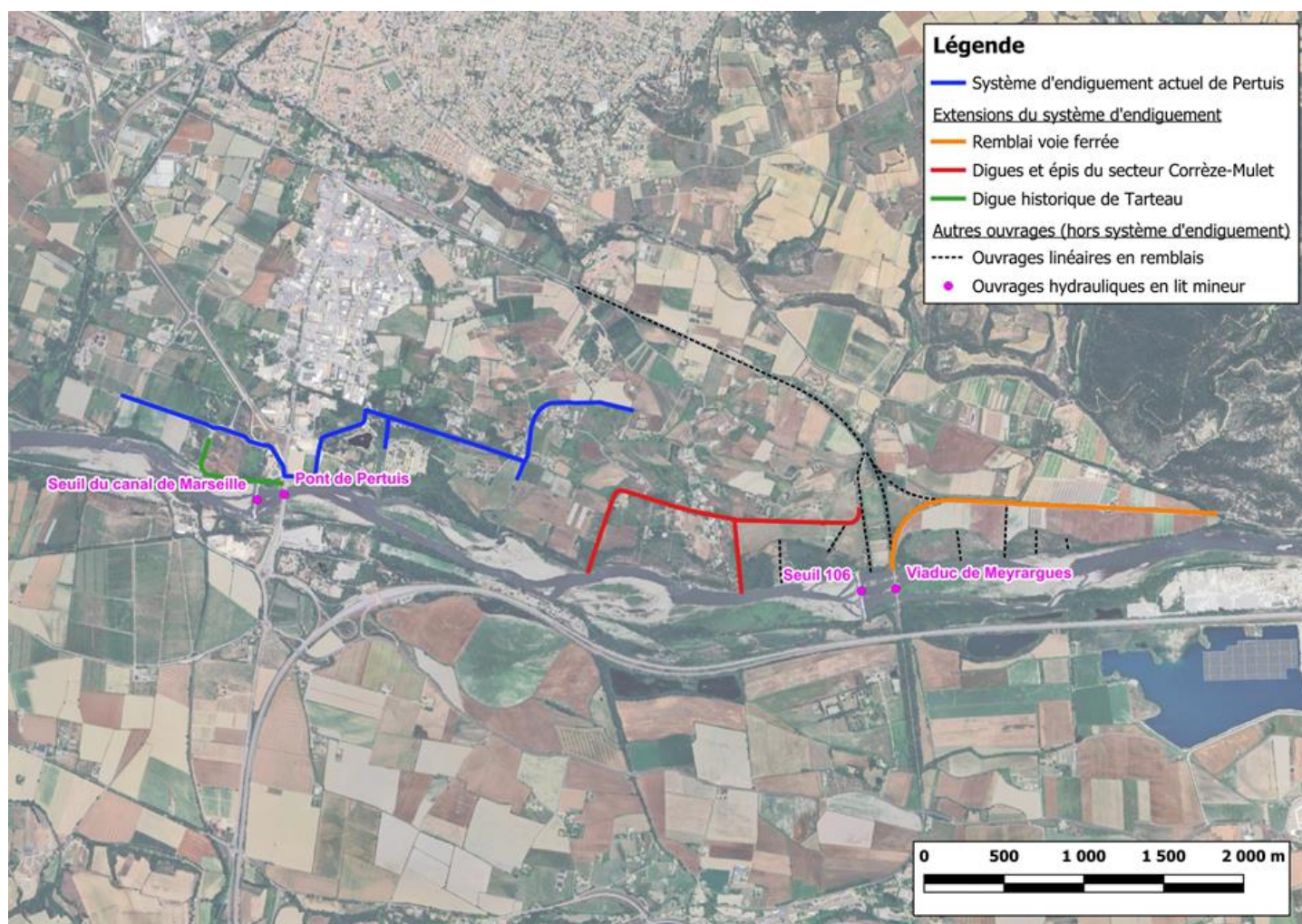


Figure 80 : Système d'endiguement de Pertuis et son environnement

5.1.1. Tronçons de digues

5.1.1.1. Système d'endiguement actuel de Pertuis

Pour rappel, le système d'endiguement actuel de Pertuis a fait l'objet d'une étude de dangers en 2019, dont les principaux éléments sont repris dans les paragraphes suivants. Il est subdivisé en plusieurs ouvrages constitutifs :

- Digue et épi de Saint-Roch,
- Digue du Père-Grand amont,
- Digue du Père-Grand aval et épi du Farigoulier,
- Digue de Tarteau.

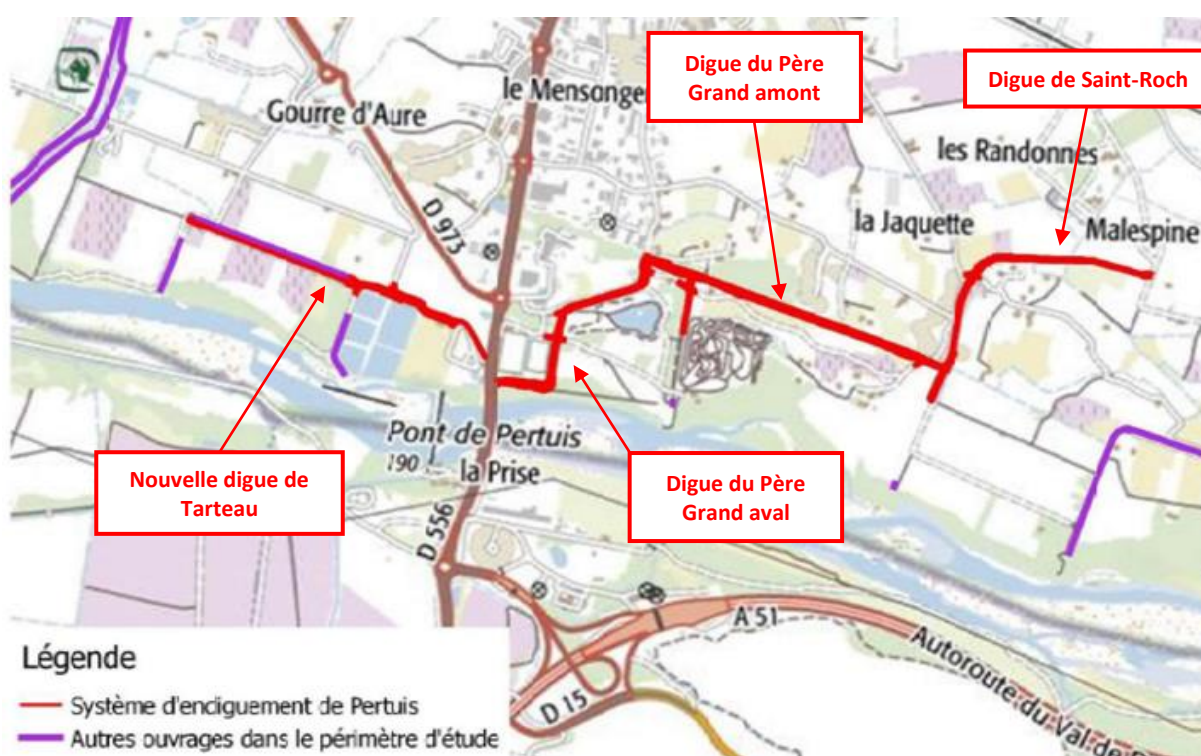


Figure 81 : Système d'endiguement actuel de Pertuis (EDD 2019, Ingérop)

5.1.1.1.1 Digue et épi de Saint-Roch

La digue a été entièrement arasée puis reconstruite à partir des déblais triés et recompactés. L'épi de Saint-Roch a été arasé en partie. La partie restante a été renforcée et réhaussée. La digue de Saint-Roch mesure environ 943 m de longueur et varie de 1,6 à 3,5 m en hauteur.

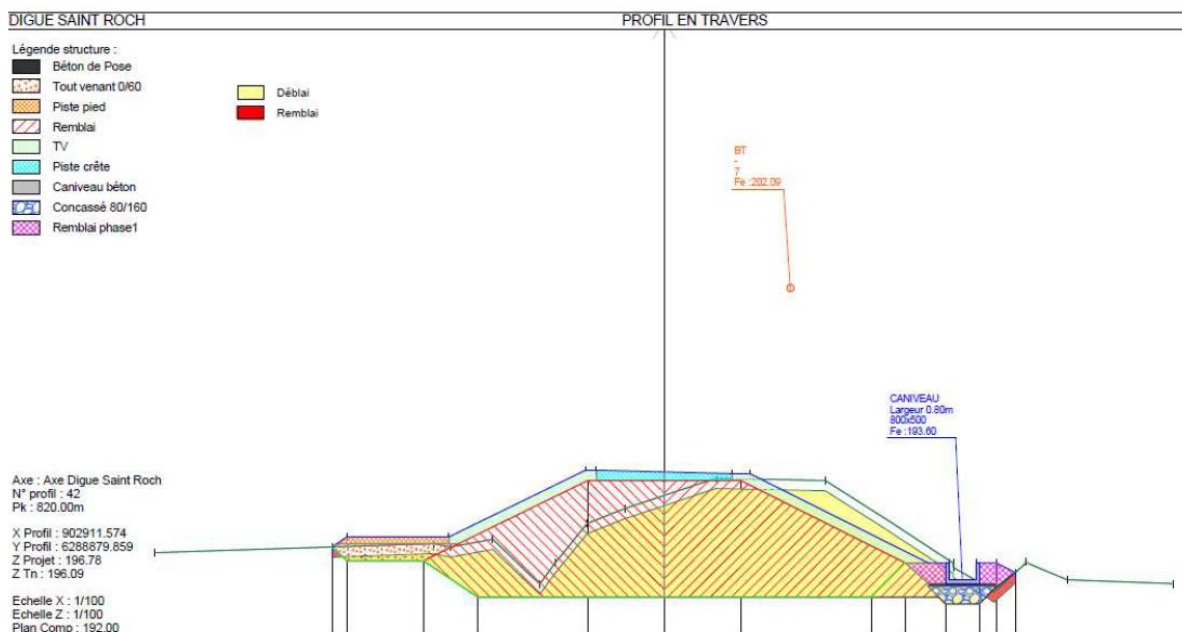


Figure 82 : Coupe type (profil de calcul) de la digue de Saint-Roch (EDD 2019, Ingérop)

On notera par ailleurs que l'ouvrage comprend une section renforcée au déversement sur un linéaire de 121 ml.

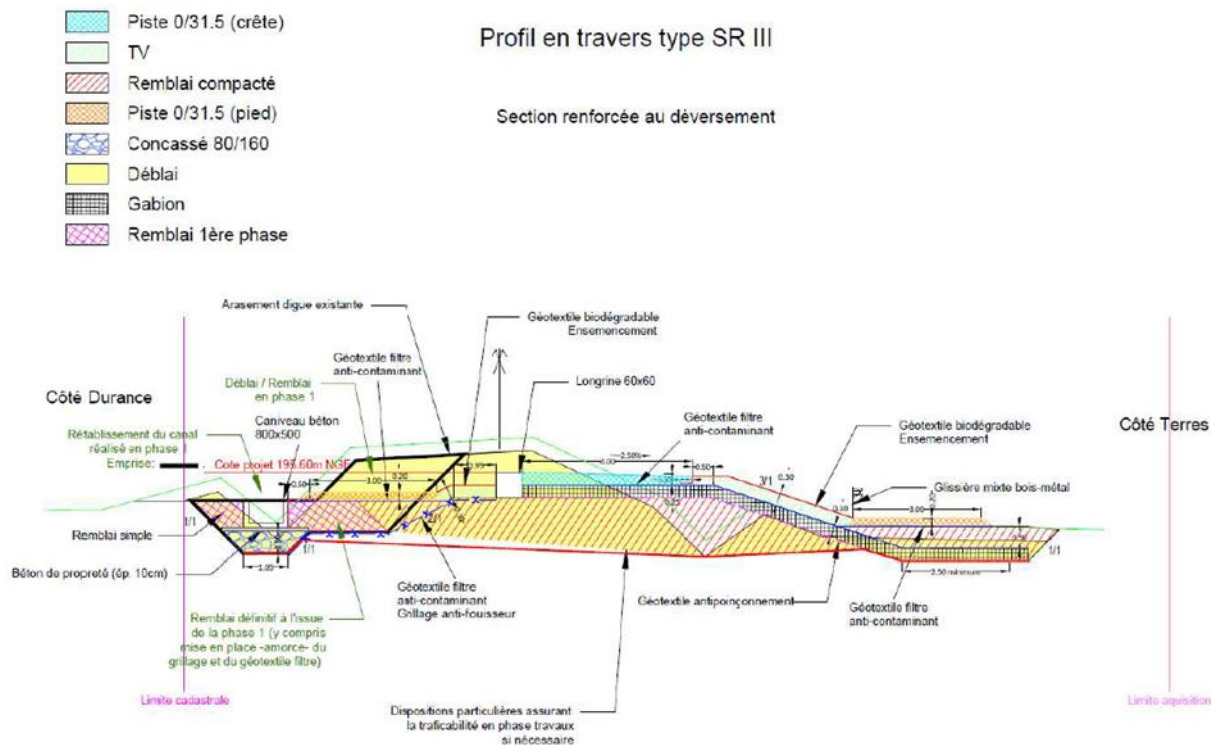


Figure 83 : Coupe type (profil de calcul) de la section renforcée au déversement de la digue de Saint-Roch (EDD 2019, Ingérop)

5.1.1.1.2 Digue du Père-Grand amont

La digue a été réhaussée lors de travaux de confortement réalisés en 2007. Le bureau d'études ISL avait réalisé une étude géotechnique sur l'ouvrage. Il mesure environ 1 047 mètres de longueur, avec une hauteur comprise entre 2,6 m et 5,3 m.

La digue est constituée de deux types de profils :

- Une digue en remblai avec mur de soutènement,
- Une digue en remblai sans mur de soutènement.

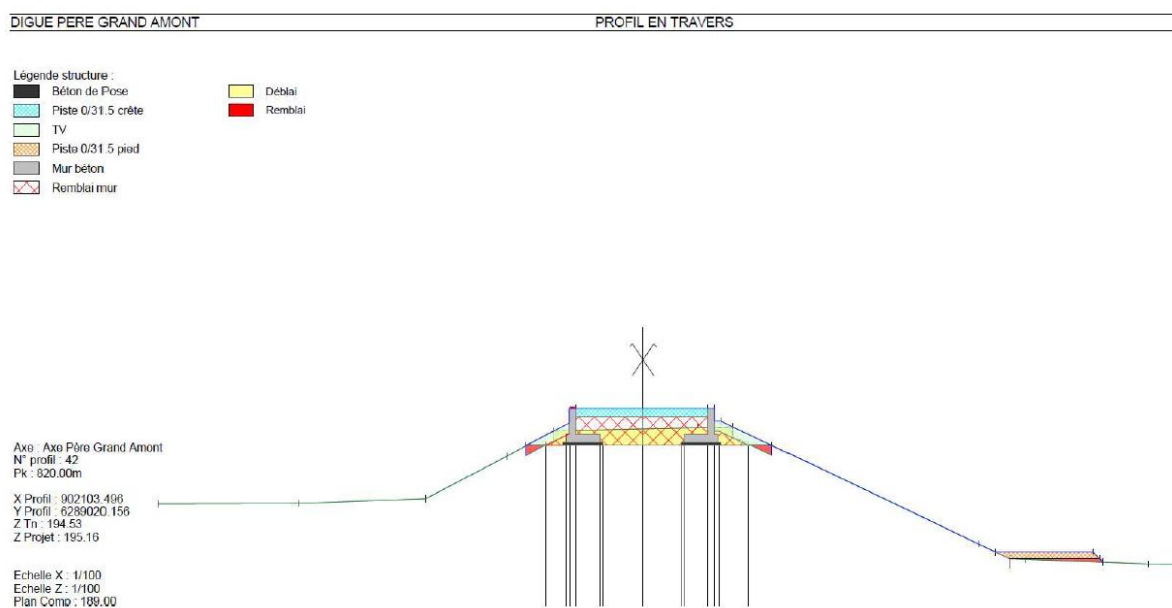
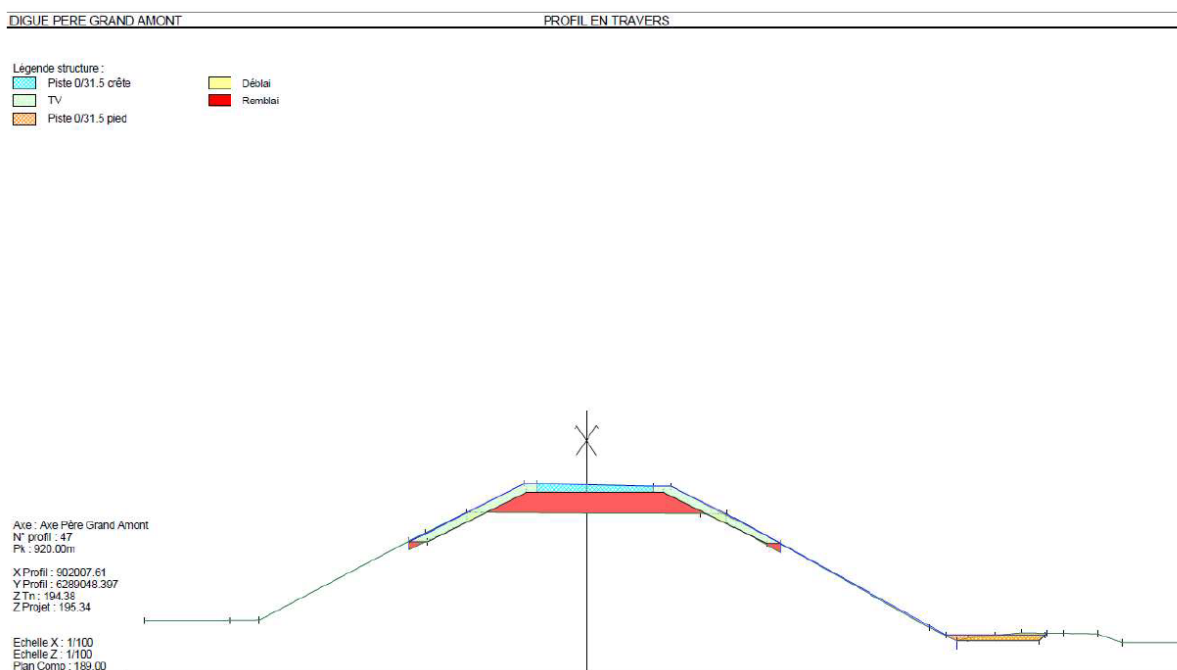


Figure 84 : Coupe type (profil de calcul) de la digue du Père-Grand amont - avec mur de soutènement (EDD 2019, Ingérop)



Coupe type (profil de calcul) de la digue du Père-Grand amont - sans mur de soutènement (EDD 2019, Ingérop)

5.1.1.1.3 Digue du Père-Grand aval et épi du Farigoulier

La digue d'une longueur de 780 mètres de longueur, a connu des travaux de confortement et de rehaussement. L'épi du Farigoulier a fait l'objet d'un arasement sur une partie de son linéaire tandis que le reste de l'épi a été conforté et réhaussé. La digue mesure entre 1,5 m et 4,1 m de hauteur.

L'ouvrage est divisé en plusieurs tronçons :

- Section amont reconstruite après arasement,
- Section aval réhaussé.

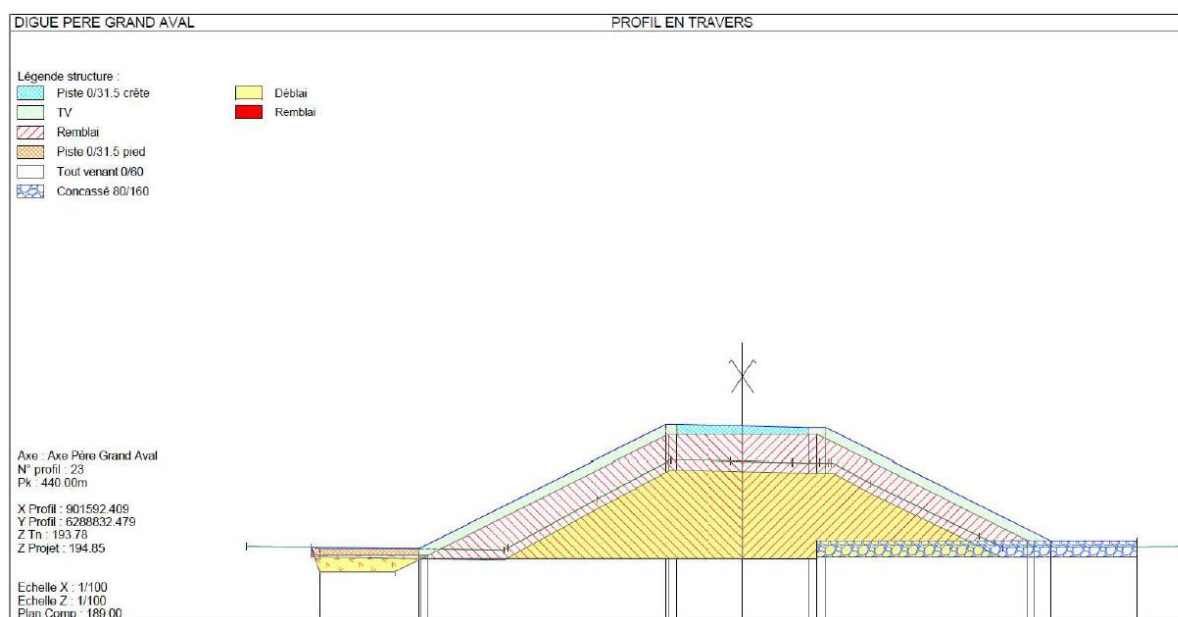


Figure 85 : Coupe type (profil de calcul) de la digue du Père-Grand aval – Section amont reconstruite après arasement (EDD 2019, Ingérop)

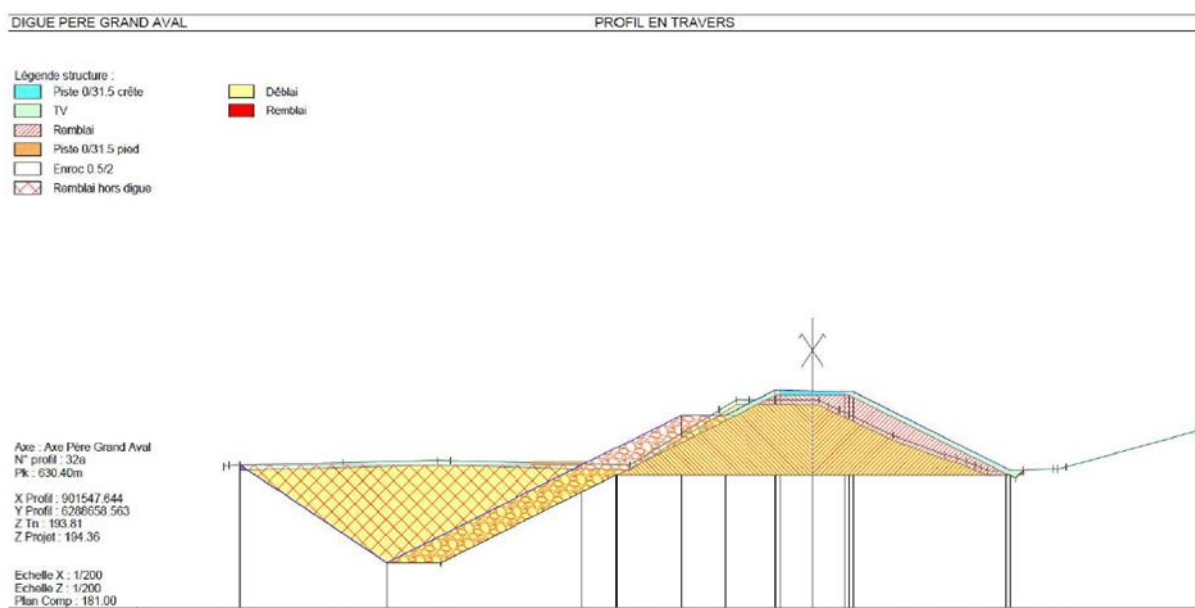


Figure 86 : Coupe type (profil de calcul) de la digue du Père-Grand aval – Avec remblai hors digue côté amont (EDD 2019, Ingérop)

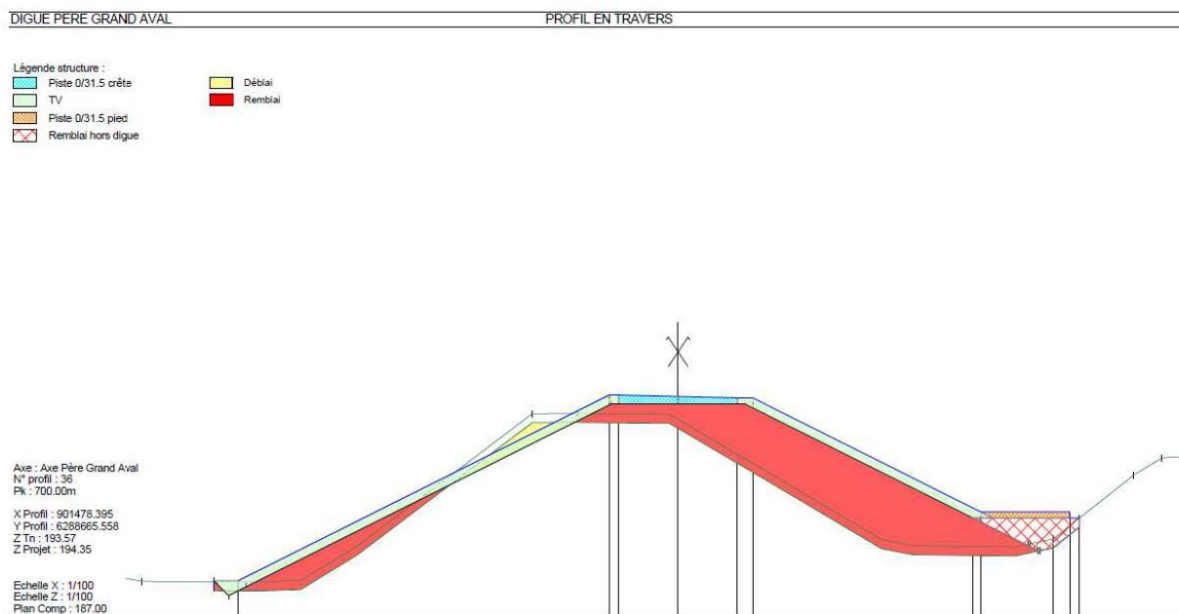


Figure 87 : Coupe type (profil de calcul) de la digue du Père-Grand aval – Section aval réhaussé (EDD 2019, Ingérop)

On notera par ailleurs que des gradins ont été réalisés en mars-avril 2023 sous maîtrise d'œuvre SMAVD dans le corps de la digue du Père Grand aval en partie haute des talus côté zone protégée. Une piste cyclable a également été mise en œuvre en crête d'ouvrage à cette occasion.

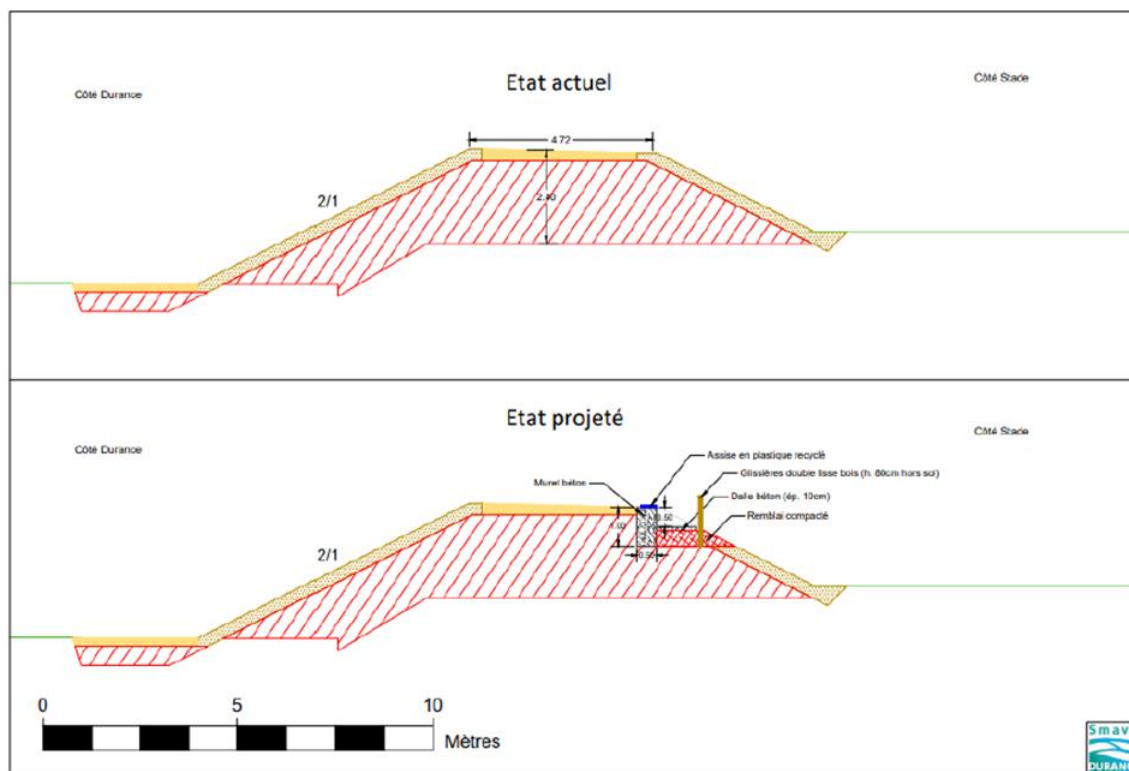


Figure 88 : Coupe type des travaux réalisés sur la digue du Père-Grand aval (SMAVD, 2023)

Ces travaux ont été réalisés de manière à réduire les risques de dégradations de l'ouvrage (cheminement sur les talus notamment) induits par le projet d'agrandissement des installations sportives dans le secteur du Farigoulier porté par la commune de Pertuis.

Le porté à connaissance des travaux réalisés est disponible en Annexe 4.

Une étude géotechnique (cf. Annexe 5) a été réalisée avant la réalisation des travaux afin de confirmer que ces derniers ne modifiaient pas le comportement hydraulique de l'ouvrage et que la stabilité de la digue était vérifiée en toute circonstance.

Les équipes du service de maîtrise d'œuvre du SMAVD ont contrôlé le bon déroulement des travaux et le respect des préconisations indiquées dans l'étude géotechnique. Les travaux ont ainsi été réalisés dans les règles de l'art et ne remettent pas en question l'entretien, la surveillance et la fiabilité du système d'endiguement. La zone protégée, comme le niveau de protection, indiqués dans le dernier arrêté préfectoral autorisant le système d'endiguement restent ainsi inchangés.

Enfin, une convention de superposition d'affectation entre le système d'endiguement de la ZI de Pertuis et les aménagements communaux (vélo-route et gradins) a été établie entre la commune de Pertuis et le SMAVD en octobre 2023 (cf. Annexe 6).

5.1.1.1.4 Nouvelle digue de Tarteau

❖ Tarteau amont

La digue de Tarteau amont mesure environ 532 m de longueur, avec des hauteurs comprises entre 1,1 m et 2,5 m. Elle est divisée en plusieurs tronçons distincts :

- section avec un mur en L,
- section avec un mur en U,
- section en remblai.

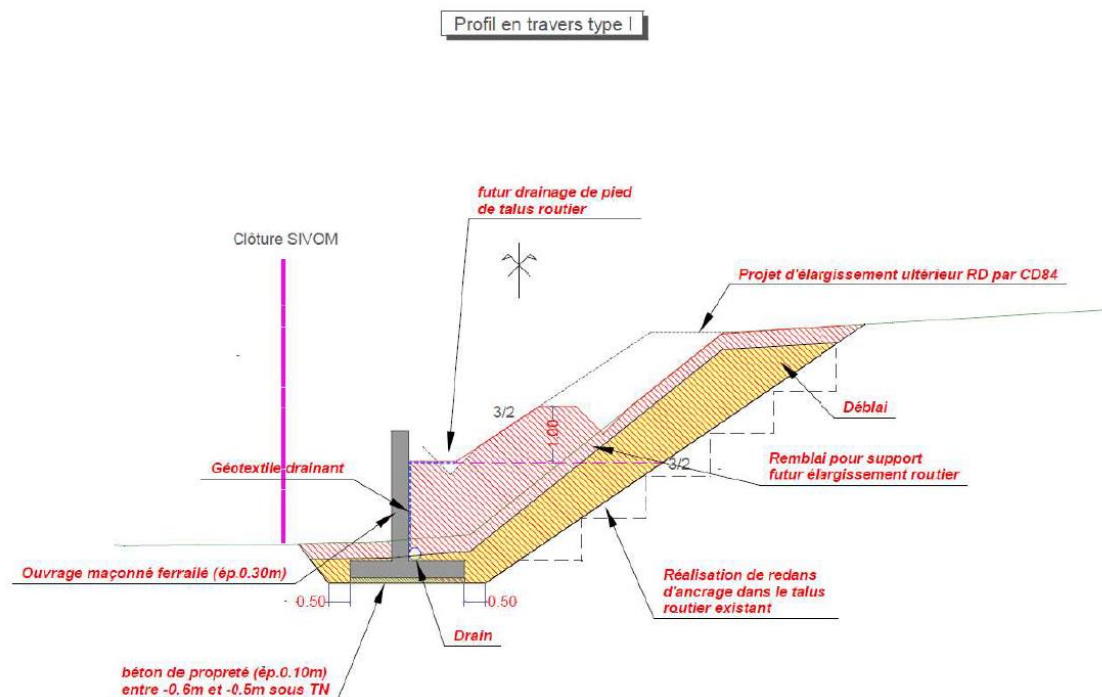


Figure 89 : Coupe type (profil de calcul) de la digue de Tarteau amont - Section avec mur en L (EDD 2019, Ingérop)

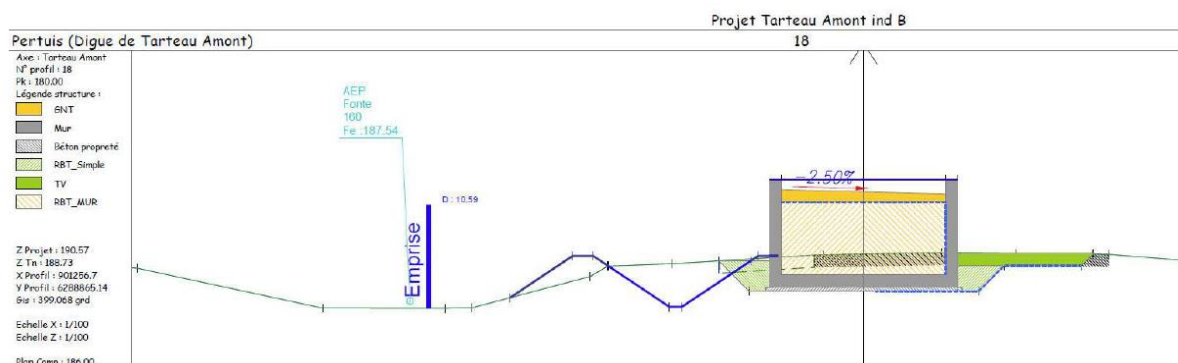


Figure 90 : Coupe type (profil de calcul) de la digue de Tarteau amont - Section avec mur en U (EDD 2019, Ingérop)

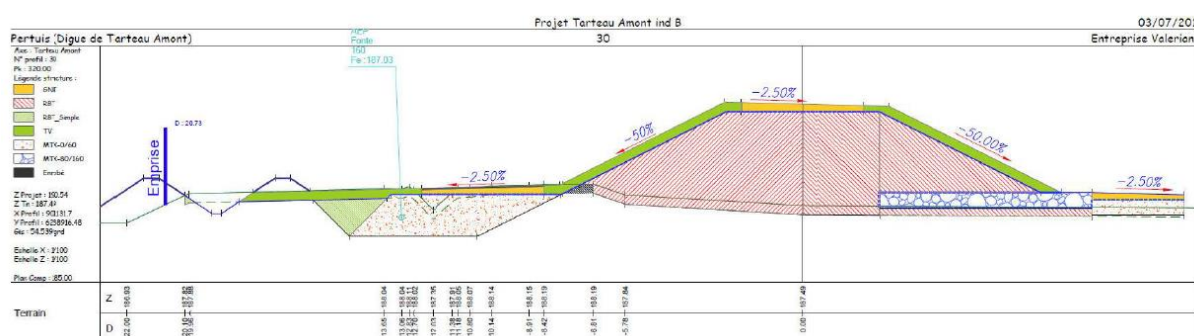


Figure 91 : Coupe type (profil de calcul) de la digue de Tarteau amont - Section en remblai (EDD 2019, Ingérop)

❖ Tarteau aval

La digue de Tarteau aval mesure environ 605 m de longueur, avec des hauteurs comprises entre 1,1 et 2,5 m.

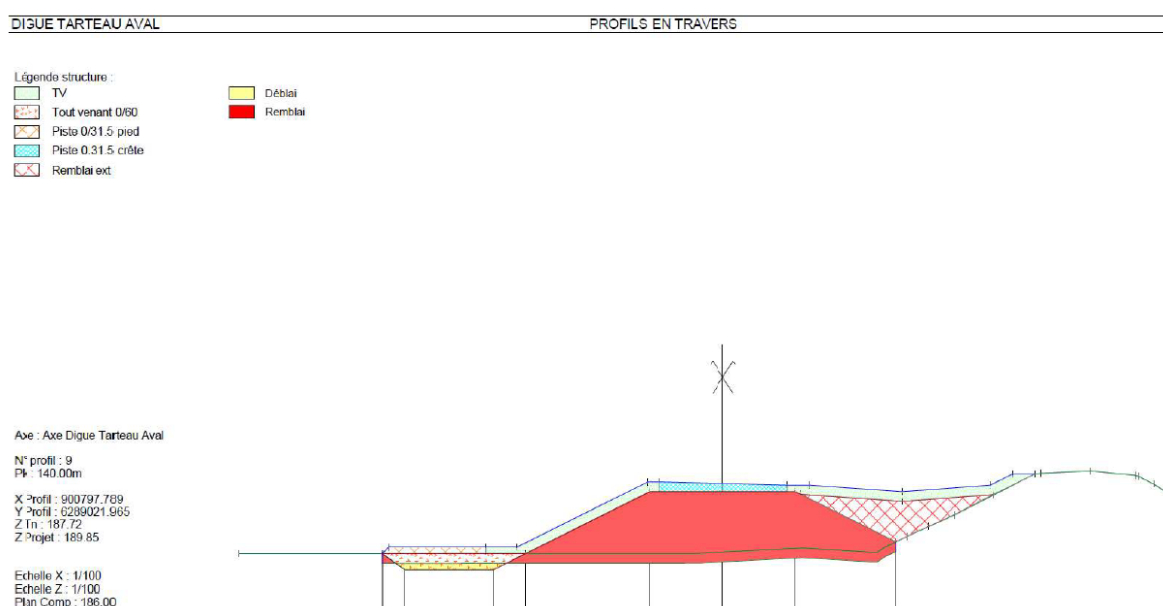


Figure 92 : Coupe type (profil de calcul) de la digue de Tarteau aval (EDD 2019, Ingérop)

5.1.1.2. Remblai de la voie ferrée

Pour rappel, le remblai de la voie ferrée (ouvrage de premier rang n°1) n'a fait l'objet d'aucun classement et n'a pas encore été mis à disposition du Gemapien. Il est aujourd'hui sur un plan administratif uniquement affecté à l'usage ferroviaire par SNCF Réseau qui l'entretient régulièrement.

Le remblai de la voie ferrée d'un linéaire total de l'ordre de 2300 m peut être décomposé en deux tronçons homogènes présentés ci-après.

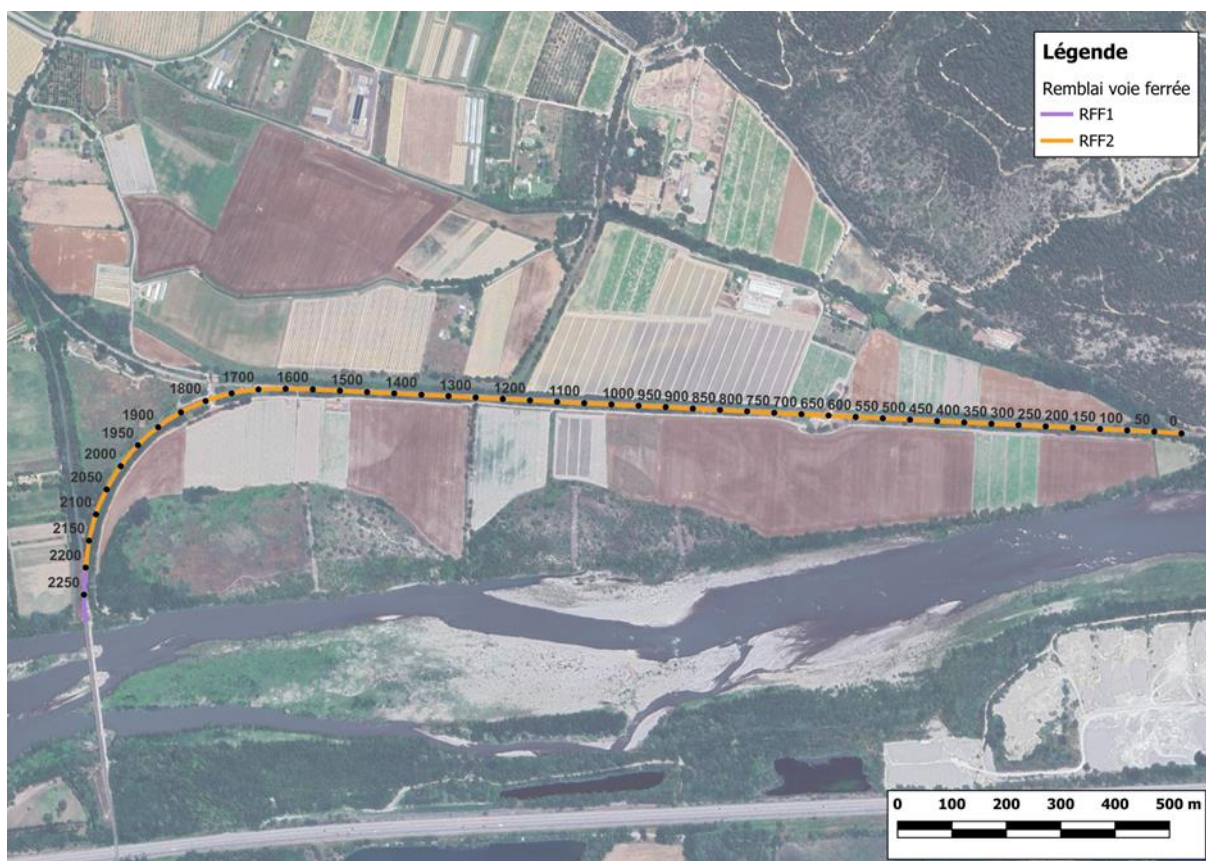


Figure 93 : Remblai voie ferrée – Tronçons homogènes

Le tronçon RFF1, d'une longueur d'environ 85 m (PM 2212 à 2297), présente une forme trapézoïdale sur toute sa longueur entre le pont enjambant la Durance et la jonction entre les deux voies ferrées.

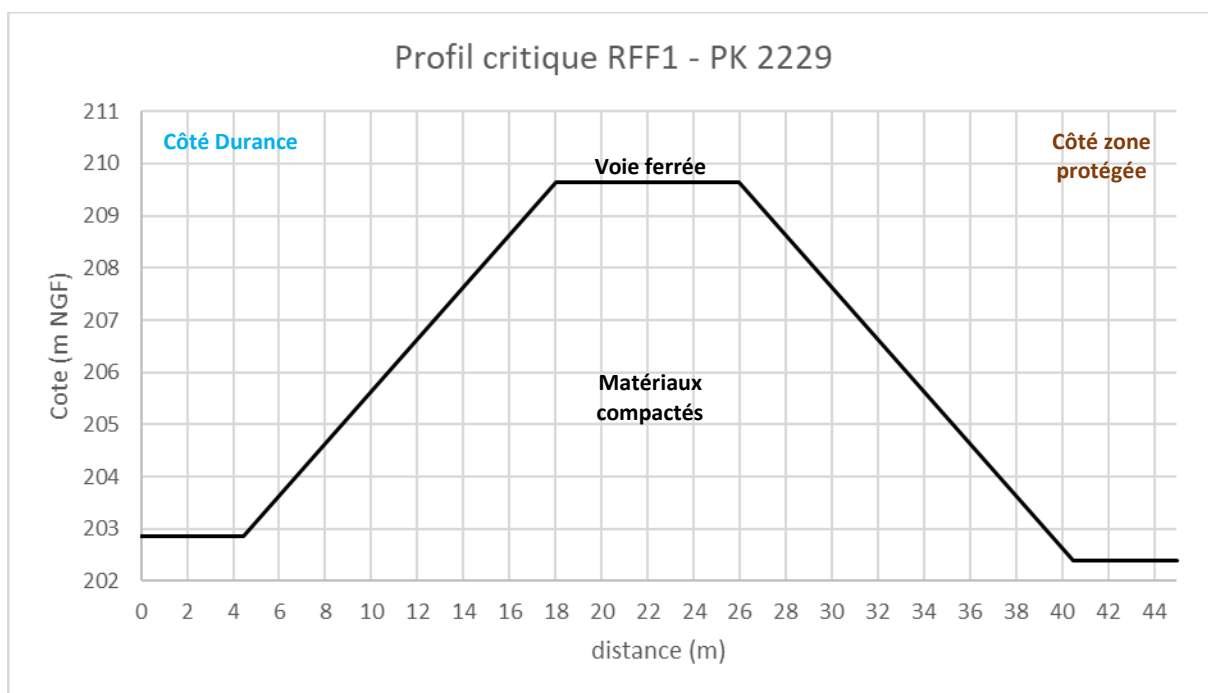


Figure 94 : Coupe type (profil critique) du tronçon RFF1

Le tronçon RFF2, d'une longueur d'environ 2215 m (PM 0 à 2212), présente une forme trapézoïdale sur toute sa longueur entre la jonction entre les deux voies ferrées et le chemin de la Loubière à l'Est.

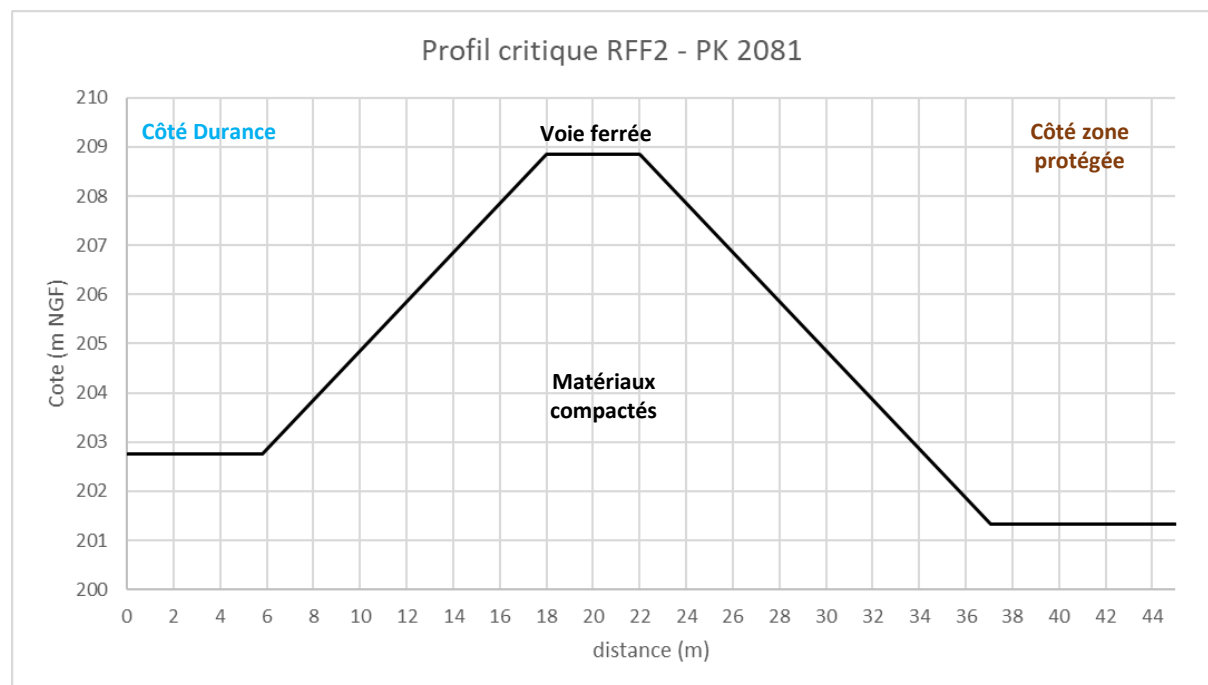


Figure 95 : Coupe type (profil critique) du tronçon RFF2

Les caractéristiques géométriques (profils critiques) des différents tronçons homogènes sont synthétisées dans le tableau ci-après.

		RFF1	RFF2
PK profil critique		2229	2081
Longueur		85	2215
Côté Durance	largeur crête	8	4
	hauteur	6.8	6.1
	pente talus	2.0 H/V	2.0 H/V
Côté zone protégée	hauteur	7.3	7.6
	pente talus	2.0 H/V	2.0 H/V
	Largeur pied	36	31

Tableau 11 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – remblai voie ferrée

5.1.1.3. Secteur Corrèze-Mulet

Pour rappel, les ouvrages de premier rang du secteur Corrèze-Mulet ont été historiquement classés en C (2007) mais n'ont pas été régularisés et ne sont pas surveillés ni entretenus à l'heure actuelle.

Les ouvrages constitutifs du secteur Corrèze-Mulet sont les suivants :

- Digue de Corrèze,
- Digue du Mulet,
- Epi de Corrèze,
- Epi du Mulet.

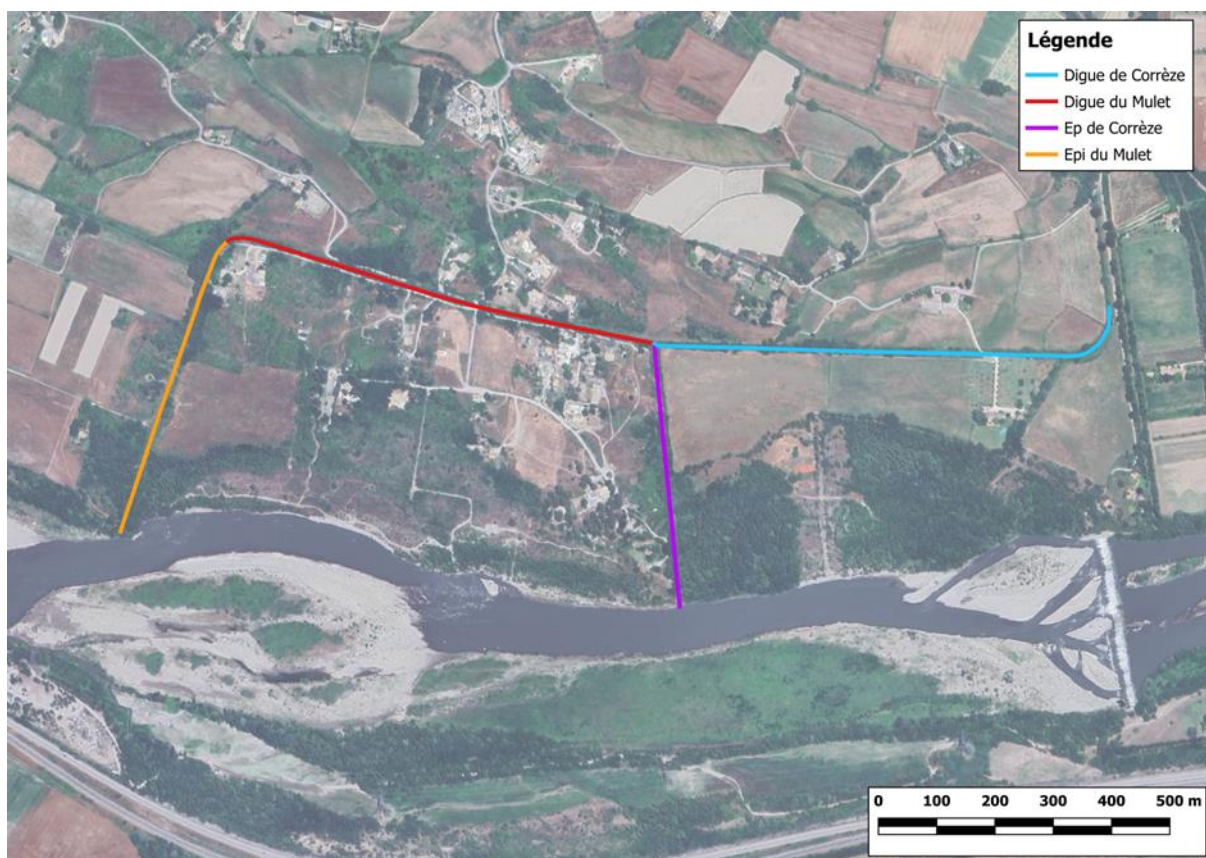


Figure 96 : Secteur Corrèze-Mulet

5.1.1.3.1 Digue de Corrèze

La digue de Corrèze d'un linéaire total de l'ordre de 835 m peut être décomposé en trois tronçons homogènes présentés ci-après.

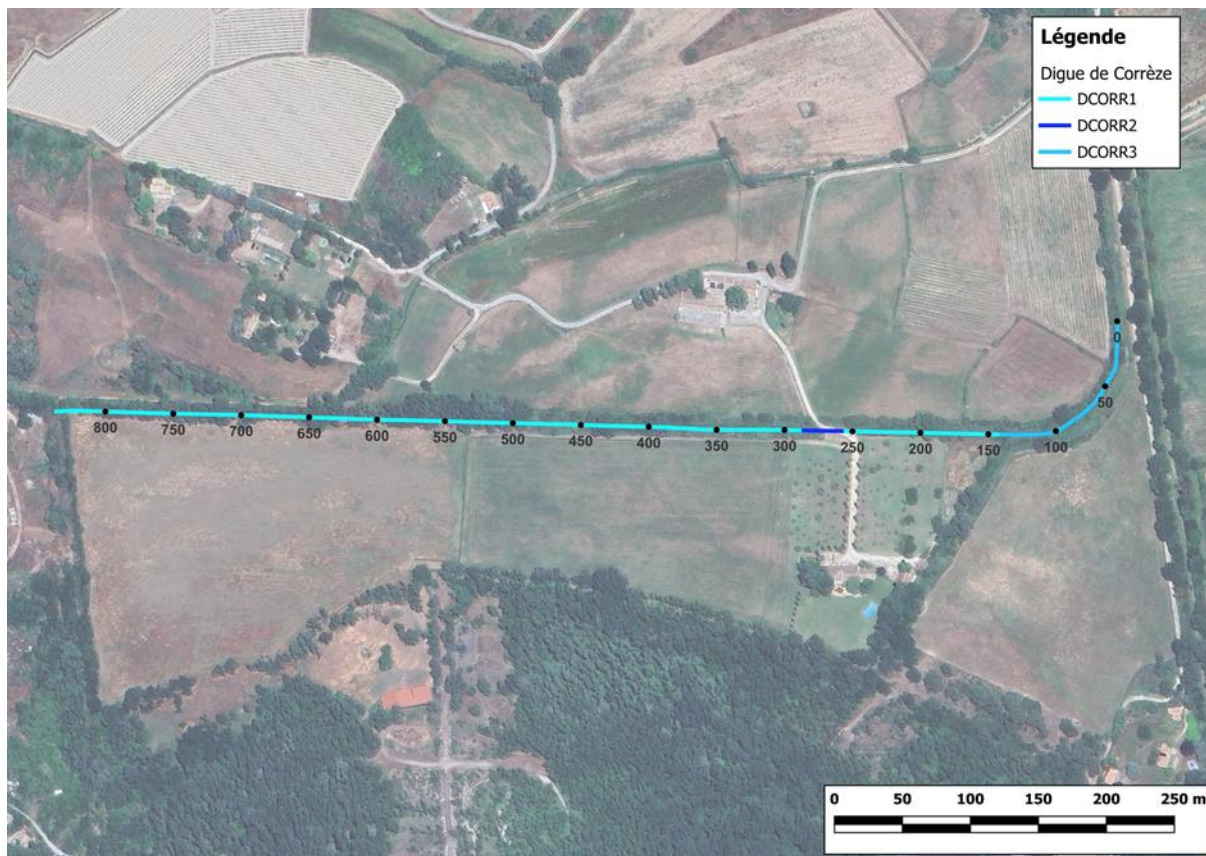


Figure 97 : Digue de Corrèze – Tronçons homogènes

Le tronçon DCORR1 présente une longueur cumulée d'environ 665 m (PM 143 à 258 + PM 285 à 836). Le tronçon est composé de matériaux alluvionnaires compactés avec un perré de protection du talus côté rivière en béton grossier. L'ouvrage est fortement végétalisé avec la présence de nombreux arbres de grande taille ainsi qu'un fossé en pied de digue côté zone protégée.

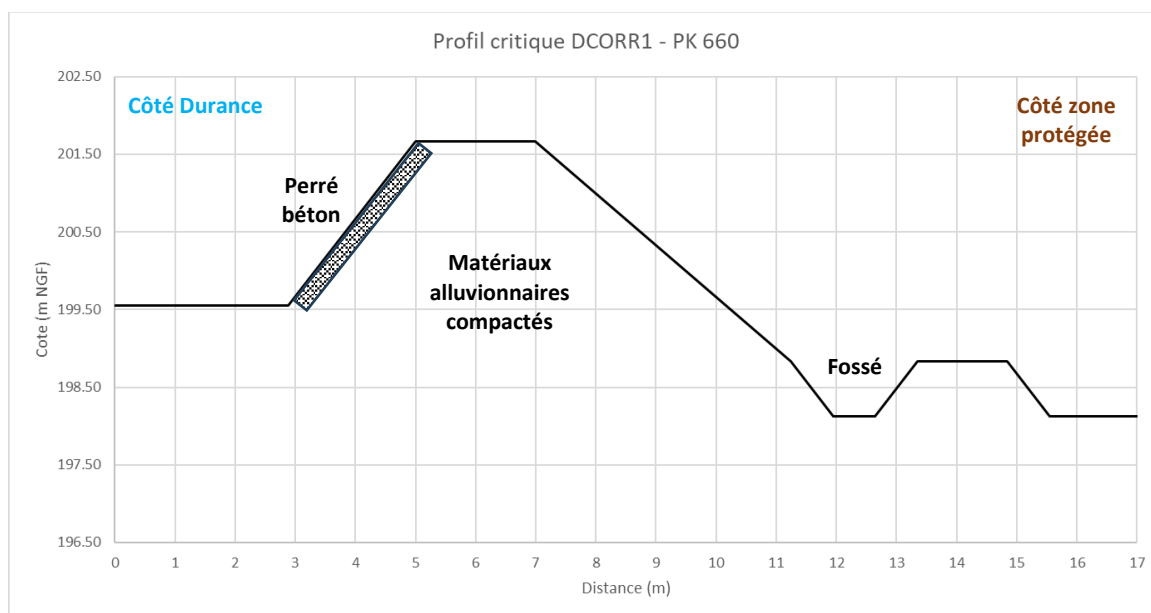


Figure 98 : Coupe type (profil critique) du tronçon DCORR1

Le tronçon DCORR2 présente une longueur d'environ 25 ml (PM 258 à 285). Une route/chemin passe en tête de l'ouvrage.

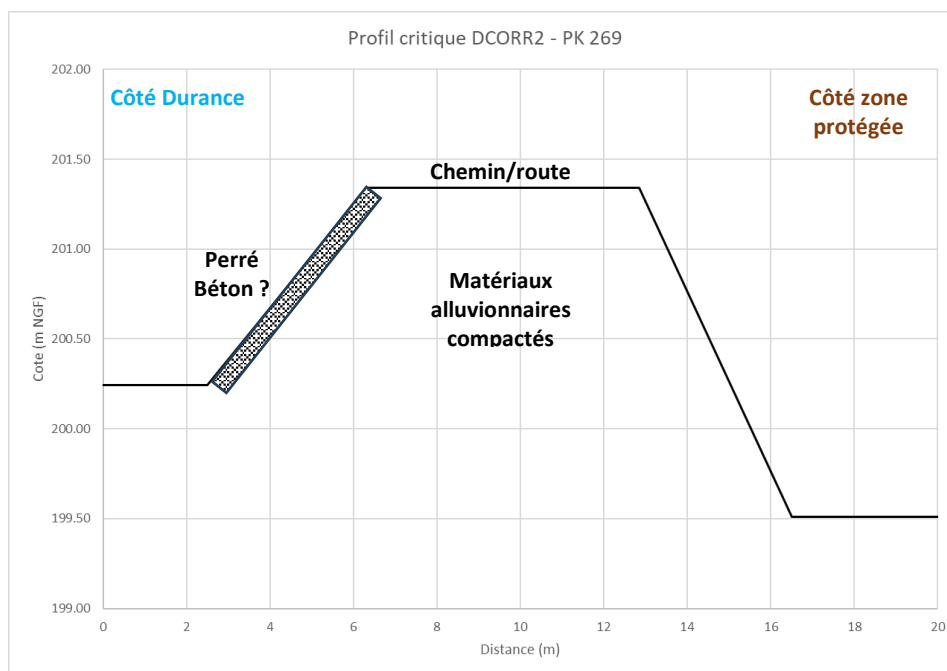


Figure 99 : Coupe type (profil critique) du tronçon DCORR2

Le tronçon DCORR3 présente une longueur d'environ 145 ml (PM 0 à 143). Il présente une largeur en pied plus importante que DCORR1. Une route/chemin passe en pied d'ouvrage côté Durance. Une butte est présente de l'autre côté de la route.

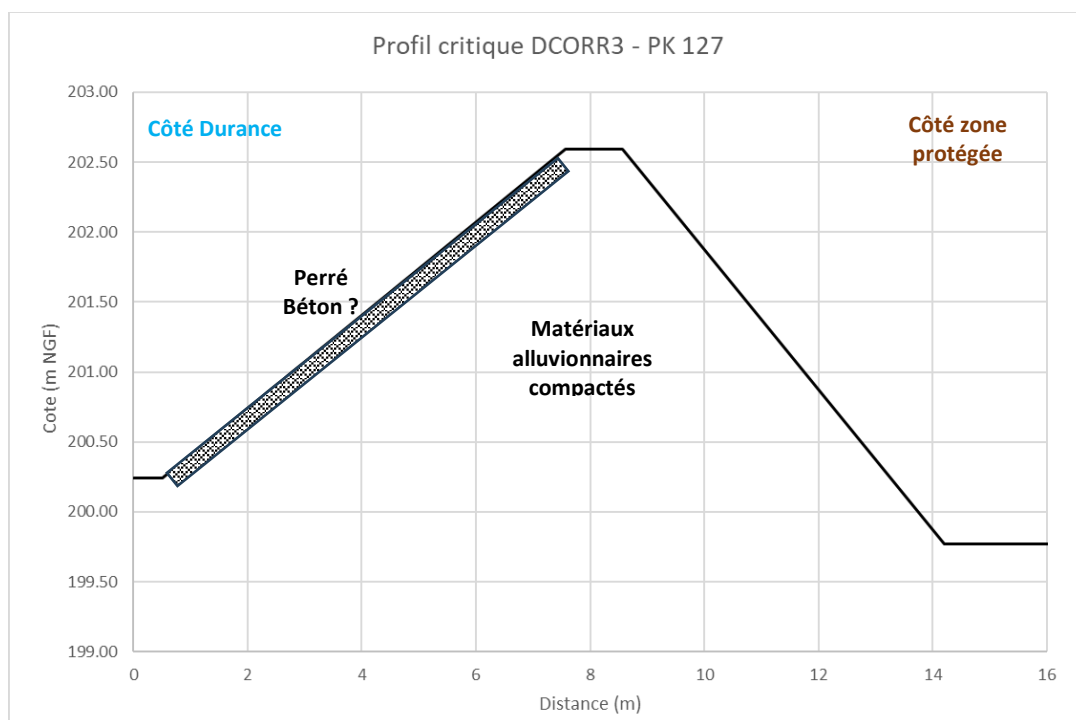


Figure 100 : Coupe type (profil critique) du tronçon DCORR3

Les caractéristiques géométriques (profils critiques) des différents tronçons homogènes sont synthétisées dans le tableau ci-après.

		DCORR1	DCORR2	DCORR3
PK profil critique		660	269	127
Longueur		665	25	145
Côté Durance	largeur crête	2	6.5	1
	hauteur	2.1	1.1	2.4
	pente talus	1.0 H/V	3.5 H/V	3.0 H/V
Côté zone protégée	hauteur	2.8	1.8	2.8
	pente talus	1.5 H/V	2.0 H/V	2.0 H/V
	Largeur pied	8.5	14	14

Tableau 12 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – Digue de Corrèze

5.1.1.3.2 Epi de Corrèze

L'épi de Corrèze d'un linéaire total de l'ordre de 460 m peut être décomposé en trois tronçons homogènes présentés ci-après. Il est boisé sur l'intégralité de son linéaire.



Figure 101 : Epi de Corrèze – Tronçons homogènes

Le tronçon CORR1 présente une longueur d'environ 190 ml (PM 270 à 460). Le tronçon est composé de matériaux alluvionnaires compactés avec un perré de protection du talus côté aval en béton.

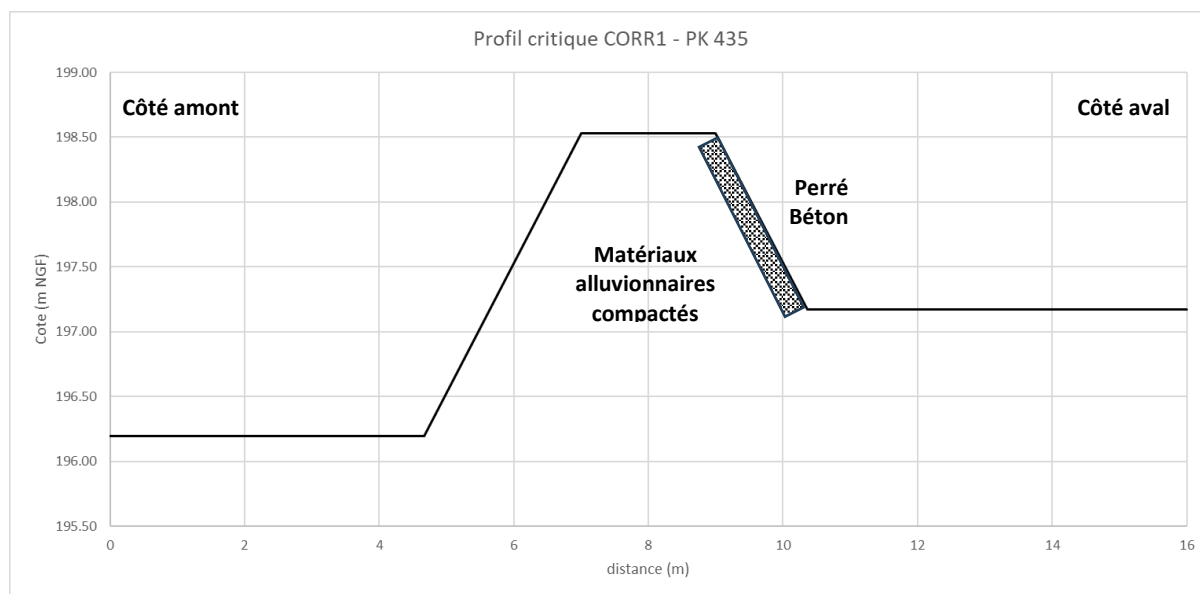


Figure 102 : Coupe type (profil critique) du tronçon CORR1

Le tronçon CORR2 présente une longueur d'environ 145 ml (PM 125 à 270). Le tronçon est composé de matériaux alluvionnaires compactés avec une protection du talus côté aval en enrochements libres et un muret en béton en crête de digue.

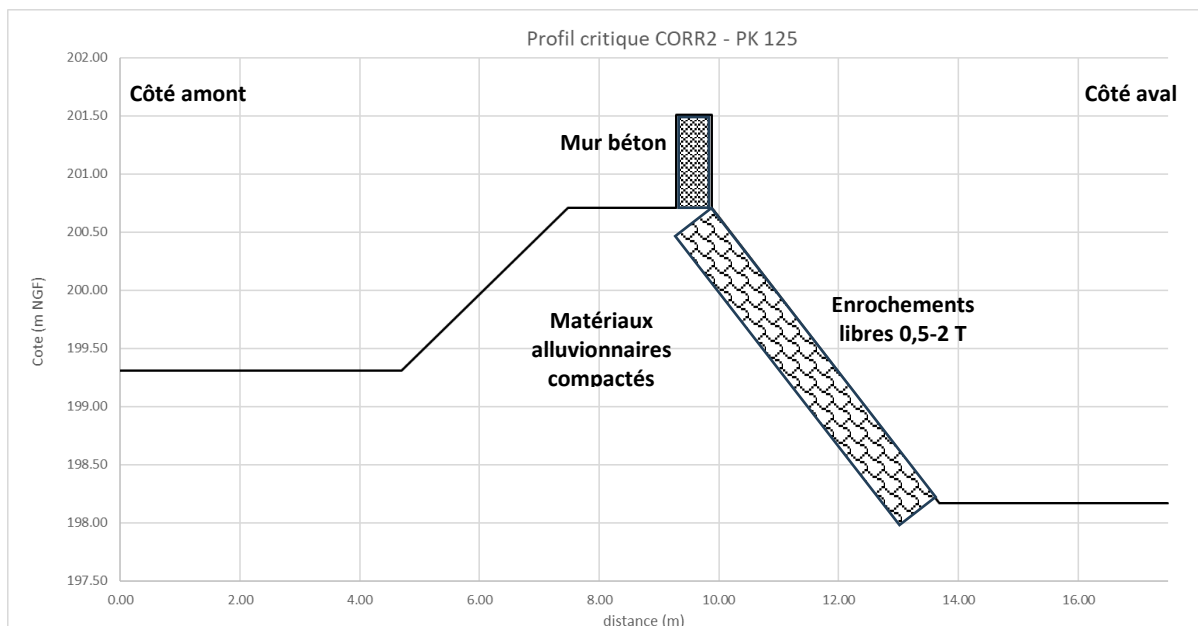


Figure 103 : Coupe type (profil critique) du tronçon CORR2

Le tronçon CORR3 présente une longueur d'environ 125 ml (PM0 à 125). Le tronçon est composé de matériaux alluvionnaires compactés. Il est dégradé par la présence d'animaux fouisseurs.

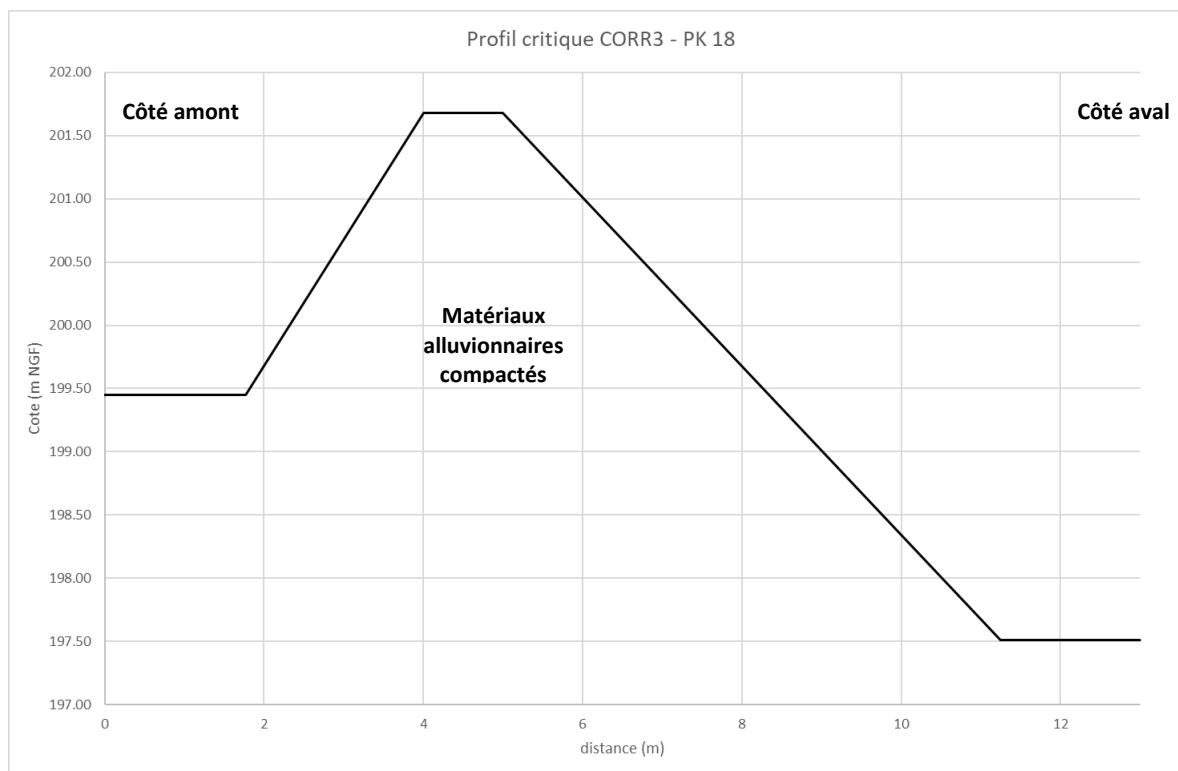


Figure 104 : Coupe type (profil critique) du tronçon CORR3

Les caractéristiques géométriques (profils critiques) des différents tronçons homogènes sont synthétisées dans le tableau ci-après.

		CORR1	CORR2	CORR3
PK profil critique		435	125	18
Longueur		190	145	125
Côté amont	largeur crête	2	2.4	1
	hauteur	2.3	2.2	2.2
	pente talus	1.0 H/V	2.0 H/V	1.0 H/V
Côté aval	hauteur	1.4	3.3	4.2
	pente talus	1.0 H/V	1.5 H/V	1.5 H/V
	Largeur pied	5.7	9.0	9.5

Tableau 13 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – Epi de Corrèze

5.1.1.3.3 Digue du Mulet

La digue du Mulet d'un linéaire total de l'ordre de 760 m peut être décomposé en deux tronçons homogènes présentés ci-après.



Figure 105 : Digue du Mulet – Tronçons homogènes

Le tronçon DMUL1 présente une longueur d'environ 750 m (PM 0 à 309 + PM 317 à 755). Le tronçon est composé de matériaux alluvionnaires compactés. L'ouvrage est fortement végétalisé et présente un fossé en pied de digue côté zone protégée.

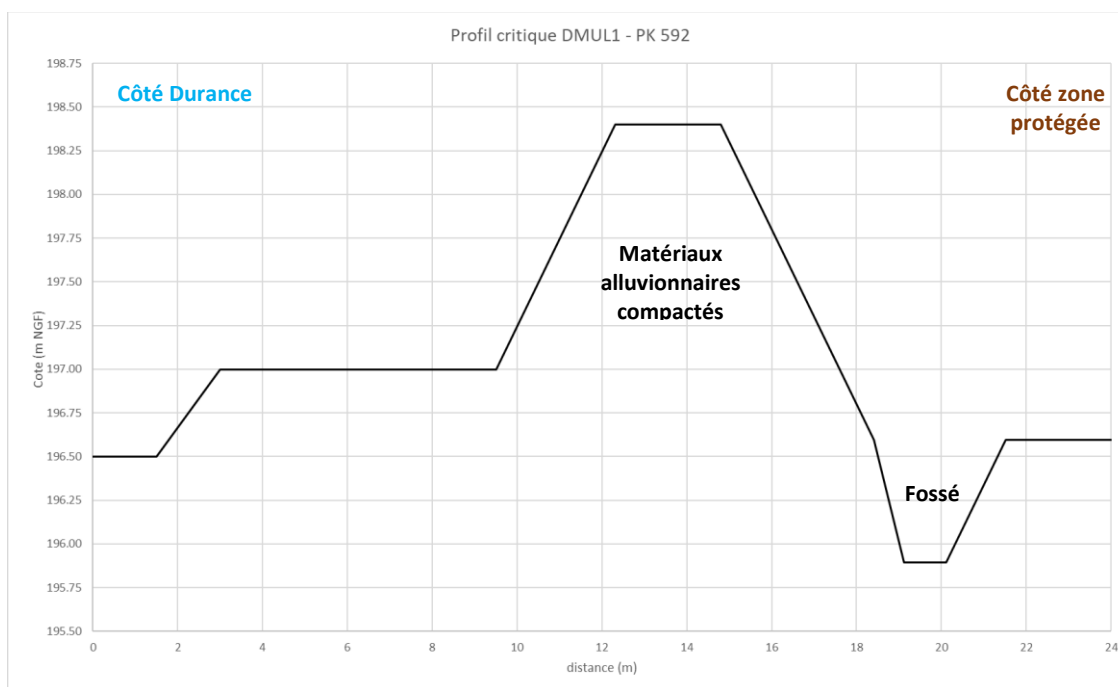


Figure 106 : Coupe type (profil critique) du tronçon DMUL1

Le tronçon DMUL2 présente une longueur d'environ 10 ml (PM 309 à 317) et correspond au passage ponctuel d'une route/chemin en tête de l'ouvrage.

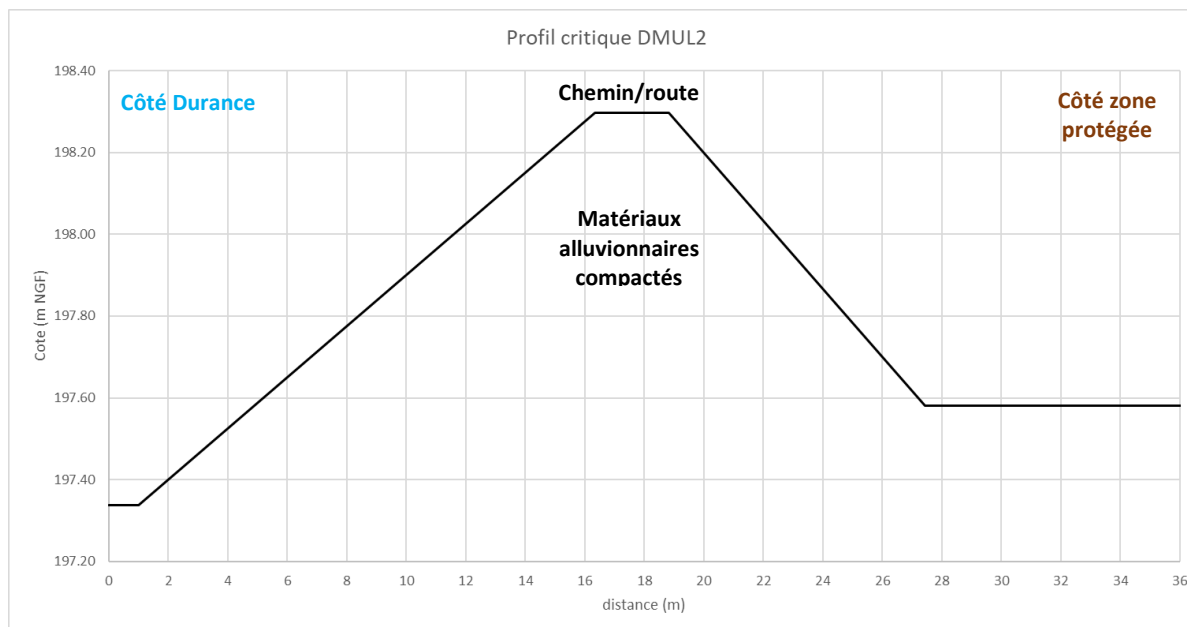


Figure 107 : Coupe type (profil critique) du tronçon DMUL2

Les caractéristiques géométriques (profils critiques) des différents tronçons homogènes sont synthétisées dans le tableau ci-après.

		DMUL1	DMUL2
PK profil critique		592	312
Longueur		750	10
Côté Durance	largeur crête	2.5	2.5
	hauteur	1.4	1.0
	pente talus	2.0 H/V	16.0 H/V
Côté zone protégée	hauteur	2.5	0.7
	pente talus	2.0 H/V	12.0 H/V
	Largeur pied	9.0	26.5

Tableau 14 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – Digue du Mulet

5.1.1.3.4 Epi du Mulet

L'épi du Mulet d'un linéaire total de l'ordre de 535 m peut être décomposé en deux tronçons homogènes présentés ci-après. Il est boisé sur l'intégralité de son linéaire.



Figure 108 : Epi du Mulet – Tronçons homogènes

Le tronçon MUL1 présente une longueur d'environ 115 m (PM 420 à 535). Le tronçon est composé de matériaux alluvionnaires compactés avec un dallage en pierre jointoyées protégeant la crête et le talus côté aval.

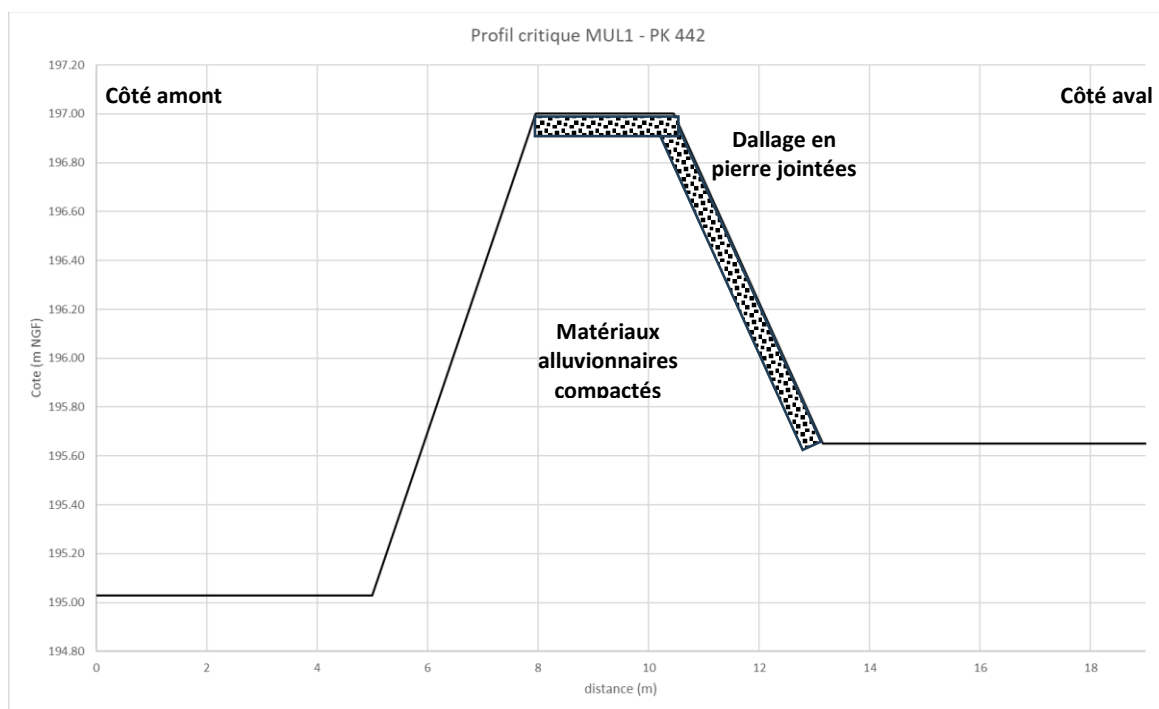


Figure 109 : Coupe type (profil critique) du tronçon MUL1

Le tronçon MUL2 présente une longueur d'environ 420 m (PM 0 à 420). Le tronçon est composé de matériaux alluvionnaires compactés avec un parement béton protégeant le talus amont.

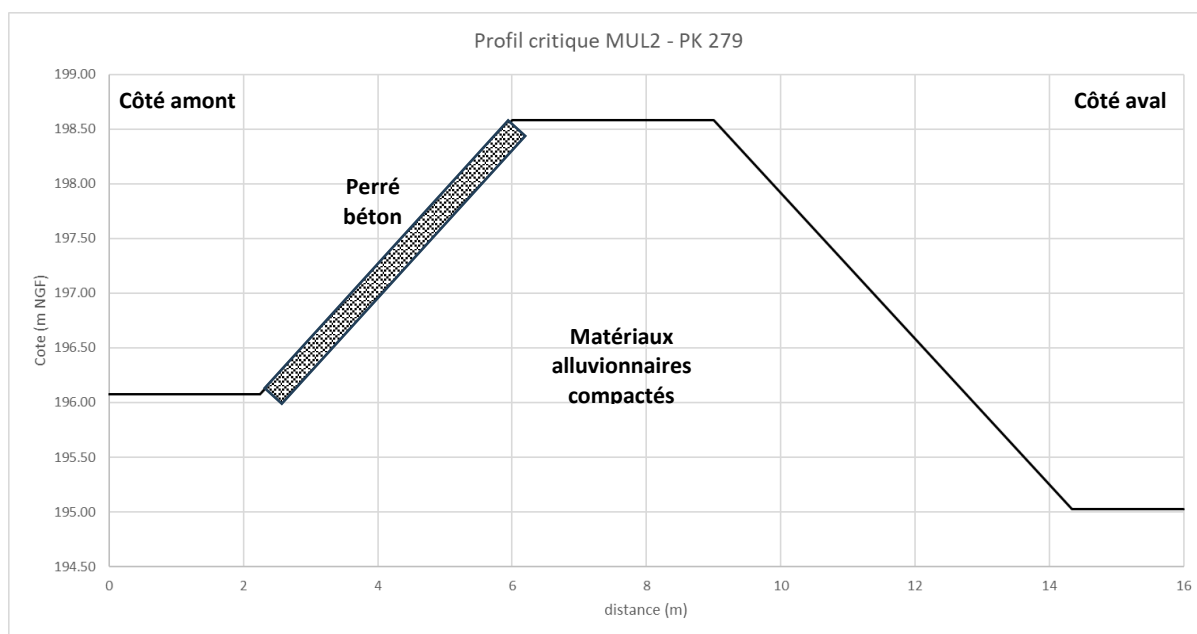


Figure 110 : Coupe type (profil critique) du tronçon MUL2

Les caractéristiques géométriques (profils critiques) des différents tronçons homogènes sont synthétisées dans le tableau ci-après.

		MUL1	MUL2
PK profil critique		442	279
Longueur		115	420
Côté Durance	largeur crête	2.5	3
	hauteur	2.0	2.5
	pente talus	1.5 H/V	1.5 H/V
Côté zone protégée	hauteur	1.4	3.6
	pente talus	2.0 H/V	1.5 H/V
	Largeur pied	4.9	12.0

Tableau 15 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – Epi du Mulet

5.1.1.4. Digue historique de Tarteau

La digue historique de Tarteau a été historiquement classée en D (2007) mais n'a pas été régularisée et n'est pas surveillée ni entretenue à l'heure actuelle.

La digue historique de Tarteau d'un linéaire total de l'ordre de 725 m peut être décomposé en quatre tronçons homogènes présentés ci-après. On notera la présence d'arbres en pied de digues de part et d'autre ainsi que sur l'ouvrage sur la quasi-totalité de son linéaire.



Figure 111 : Digue historique de Tarteau – Tronçons homogènes

Le tronçon AEP1 présente une longueur d'environ 155 m (PM 0 à 157). Le tronçon est composé de matériaux alluvionnaires compactés.

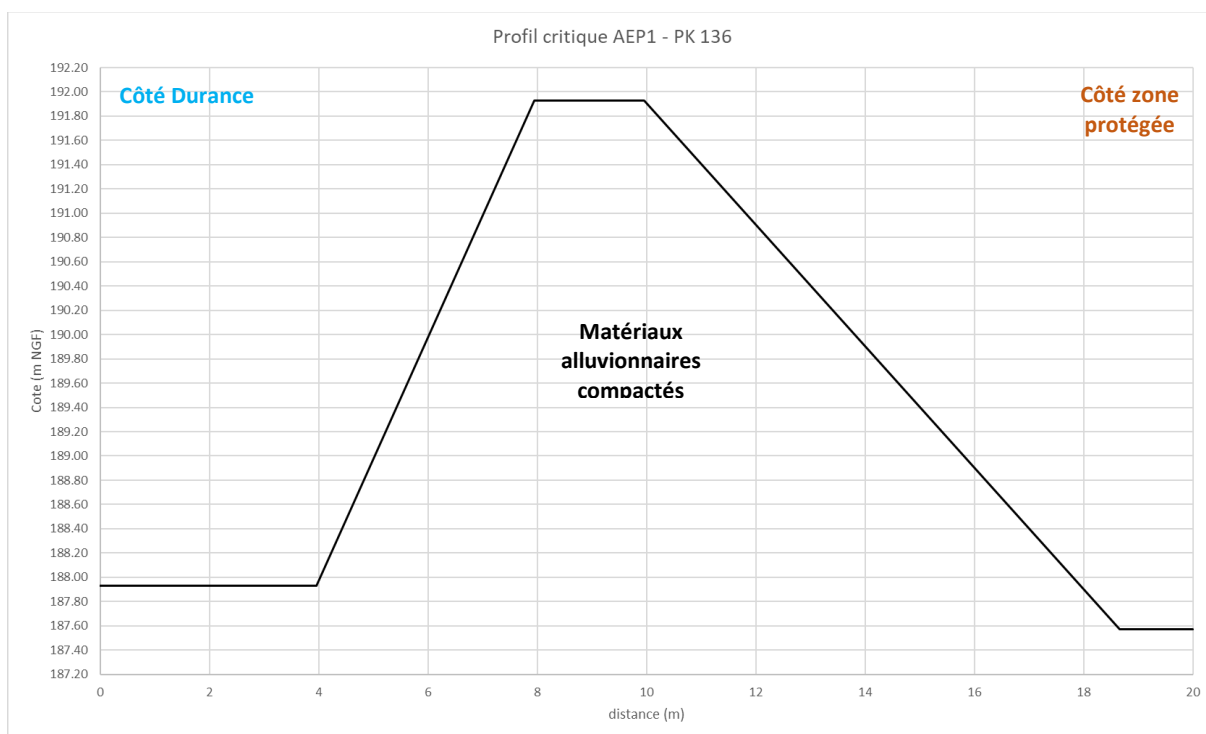


Figure 112 : Coupe type (profil critique) du tronçon AEP1

Le tronçon AEP2 présente une longueur d'environ 320 ml (PM 157 à 474). Le tronçon est composé de d'un mur poids en pierres de taille jointées avec présence d'enrochements en pied de mur côté Durance.

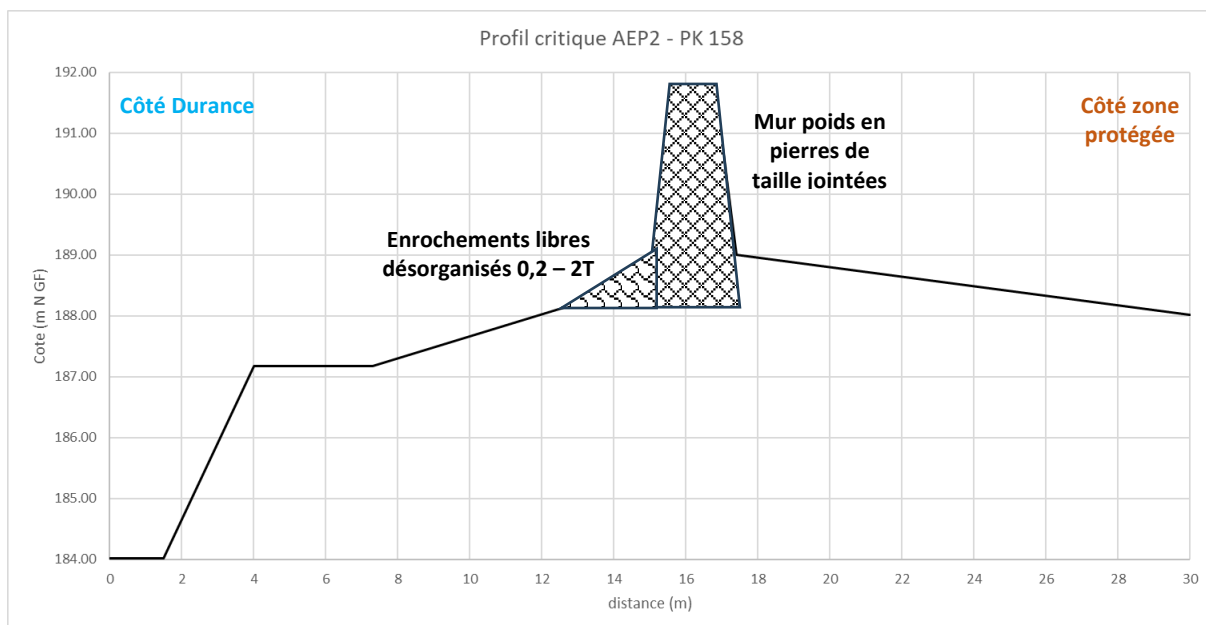


Figure 113 : Coupe type (profil critique) du tronçon AEP2

Le tronçon AEP3 présente une longueur d'environ 80 ml (PM 474 à 555). Le tronçon est composé de matériaux alluvionnaires compactés avec un perré en béton altéré côté Durance.

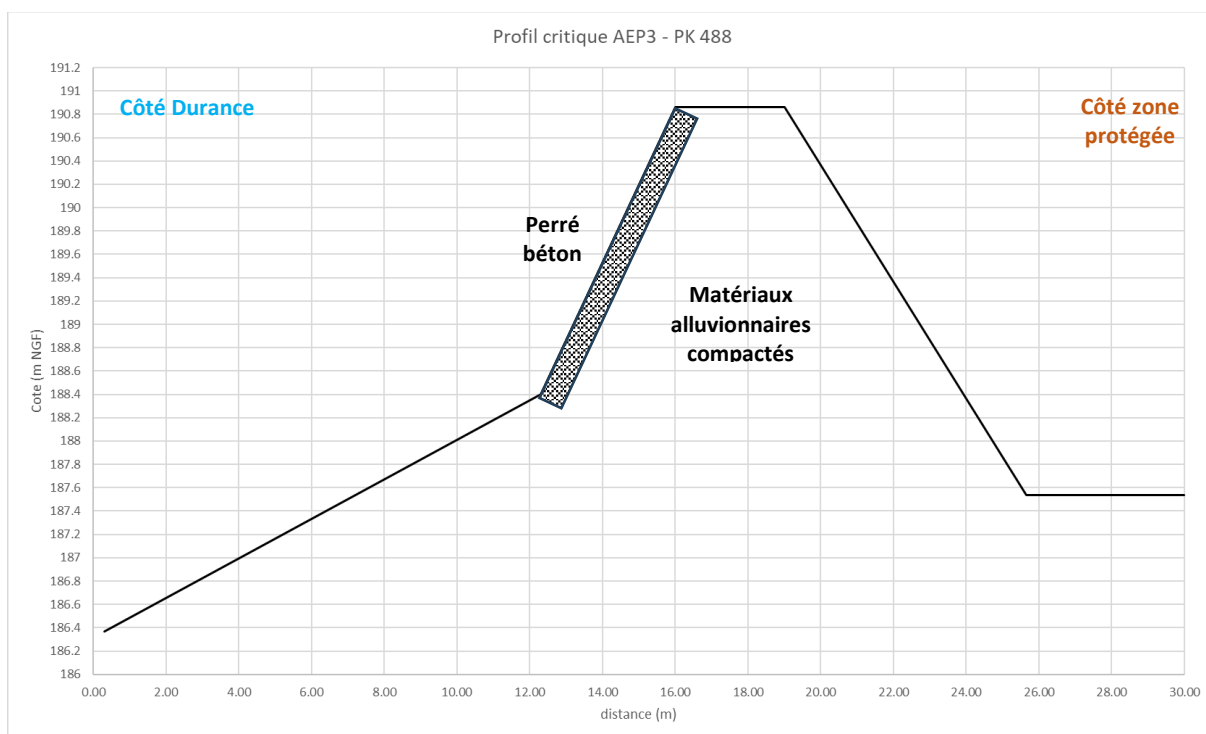


Figure 114 : Coupe type (profil critique) du tronçon AEP3

Le tronçon AEP4 présente une longueur d'environ 170 ml (PM 555 à 726). Le tronçon est composé de matériaux alluvionnaires compactés.

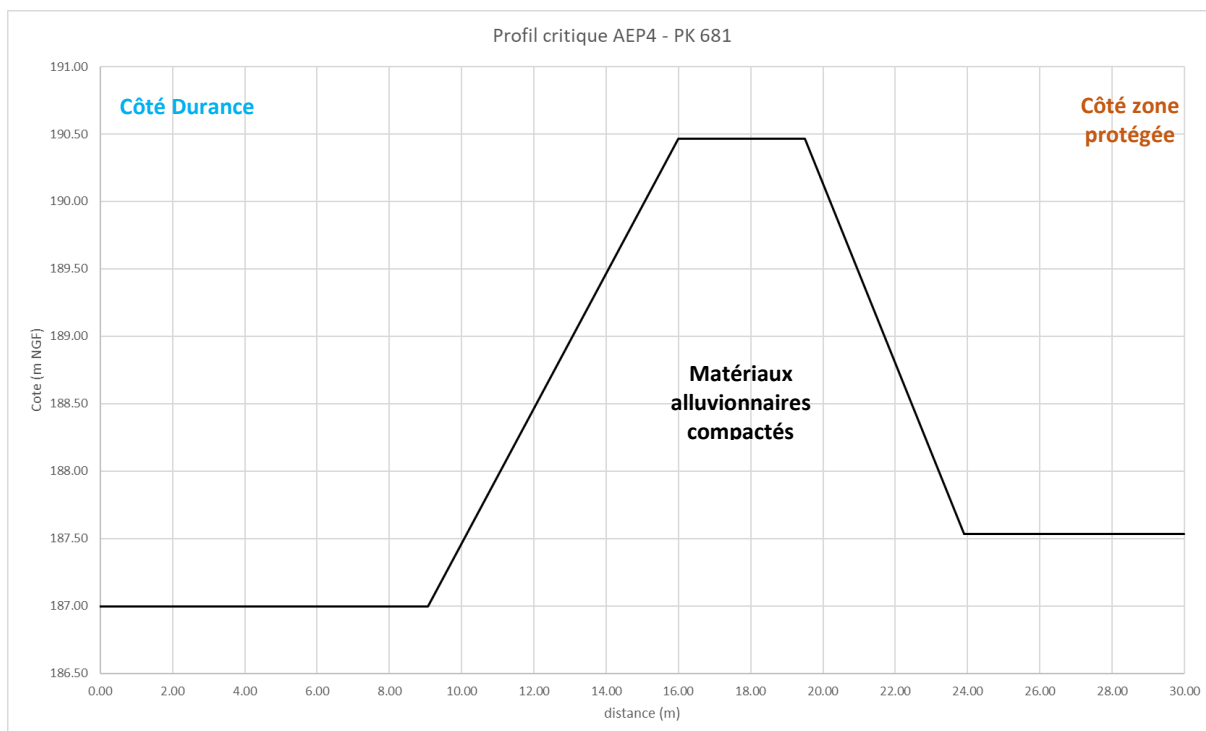


Figure 115 : Coupe type (profil critique) du tronçon AEP4

Les caractéristiques géométriques (profils critiques) des différents tronçons homogènes sont synthétisées dans le tableau ci-après.

		AEP1	AEP2	AEP3	AEP4
PK profil critique		136	158	488	681
Longueur		155	320	80	170
Côté Durance	largeur crête	2	1.1	3.0	3.5
	hauteur	4.0	2.5	2.5	3.5
	pente talus	1.0 H/V	/	1.5 H/V	2.0 H/V
Côté zone protégée	hauteur	4.4	2.9	3.3	2.1
	pente talus	2.0 H/V	/	2.0 H/V	1.5 H/V
	Largeur pied	13.0	/	13.3	14.9

Tableau 16 : Caractéristiques géométriques des différents tronçons homogènes – Digue historique de Tarteau

5.1.2. Ouvrages, réseaux et instrumentation

5.1.2.1. Ouvrages traversants

8.4.7.1.1 Système d'endiguement actuel de Pertuis

Le système d'endiguement actuel de Pertuis comprend un certain nombre d'ouvrages traversants le corps de digue correspondant à des ouvrages hydrauliques vannés.

Ces derniers sont localisés sur la figure suivante et détaillés dans le tableau ci-après.

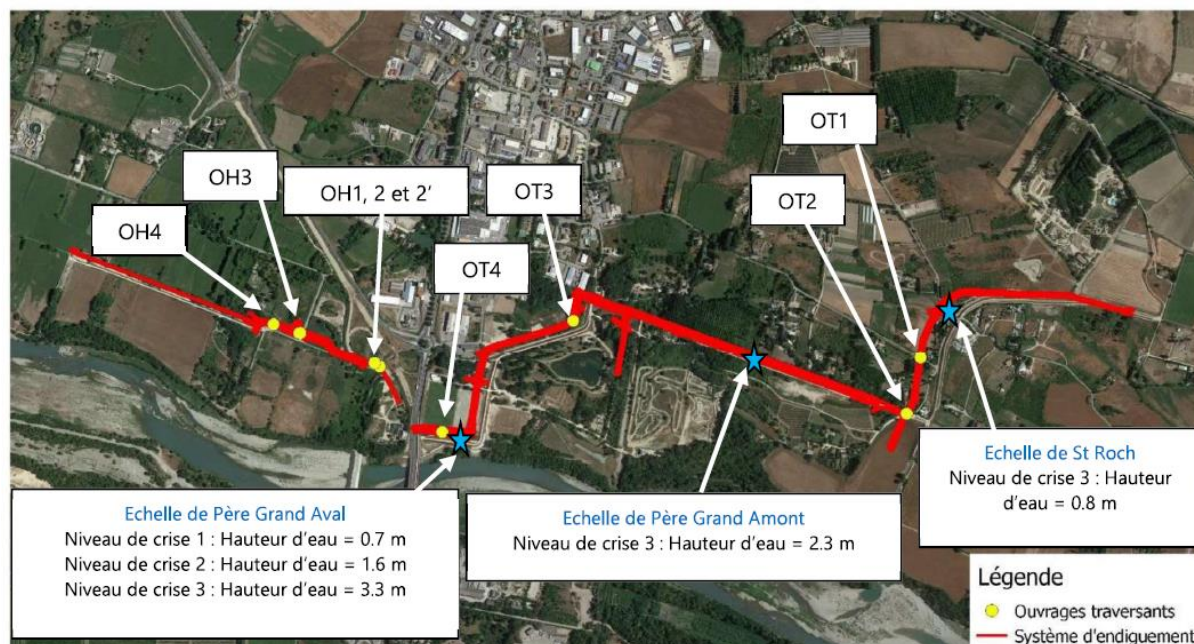


Figure 116 : Localisation des ouvrages à manœuvrer au sein du système d'endiguement actuel de Pertuis (EDD 2019, Ingérop)

Tronçon	Profil en travers concerné	Nom de l'ouvrage hydraulique	Dimensions	Organes des ouvrages	Fonction des ouvrages
Digue de Saint-Roch	P32	Dévoisement AEP FT	2 fourreaux Φ63 1 fourreau Φ90		Télécommunication (FT) Eau potable (AEP)
	P39	OT1	Φ800	Grille à l'amont Regard + vanne murale dans le corps de digue	Irrigation / Drainage / Pluvial
	P47-49	OT2	Φ800	Grille à l'amont Regard + vanne murale dans le corps de digue	Irrigation / Drainage / Pluvial
Digue du Père Grand Aval	P5	OT3	Φ800	Grille à l'amont Regard + vanne murale dans le corps de digue	Irrigation / Drainage / Pluvial
	P23	Dévoisement réseaux	2 fourreaux Φ63 1 fourreau Φ90 8 fourreaux Φ90		Télécommunication (FT) Eau potable (AEP) Electricité (EDF)
	P35a	OT4	Φ600	Regard + vanne murale dans le corps de digue	Irrigation / Drainage / Pluvial
Digue de Tarteau Amont	P10-P11	OH1	Φ600	Regard + vanne murale dans la partie de la digue en remblais accolés au mur BA	Irrigation / Drainage / Pluvial
	P13-P14	OH2	2 Φ500		Eau traitée SIVOM (basse pression)
	P14-P16	OH2'	2 Φ1000		Attentes pour passage d'éventuels futures traversées de réseau AEP
	P36	OH3	Φ600	Regard + vanne murale dans le corps de digue	Irrigation / Drainage / Pluvial
	P41	OH4	Φ600	Regard + vanne murale dans le corps de digue	Irrigation / Drainage / Pluvial

Tableau 17 : Ouvrages traversant le système d'endiguement actuel de Pertuis

8.4.7.1.2 Ouvrages de premier rang

On notera par ailleurs que deux ouvrages traversants ont été identifiés à l'extrémité amont (Est) du remblai de voie ferrée. Il s'agit :

- d'un ouvrage cadre permettant de faire transiter le canal de Cadenet sous le remblai de la voie ferrée,
- d'un ouvrage (buse ?) permettant de transiter un fossé de drainage/irrigation sous le remblai de la voie ferrée.

On notera toutefois que ces ouvrages ne sont pas sollicités jusqu'à une crue de période de retour centennale (cf. §4.2.3.2).

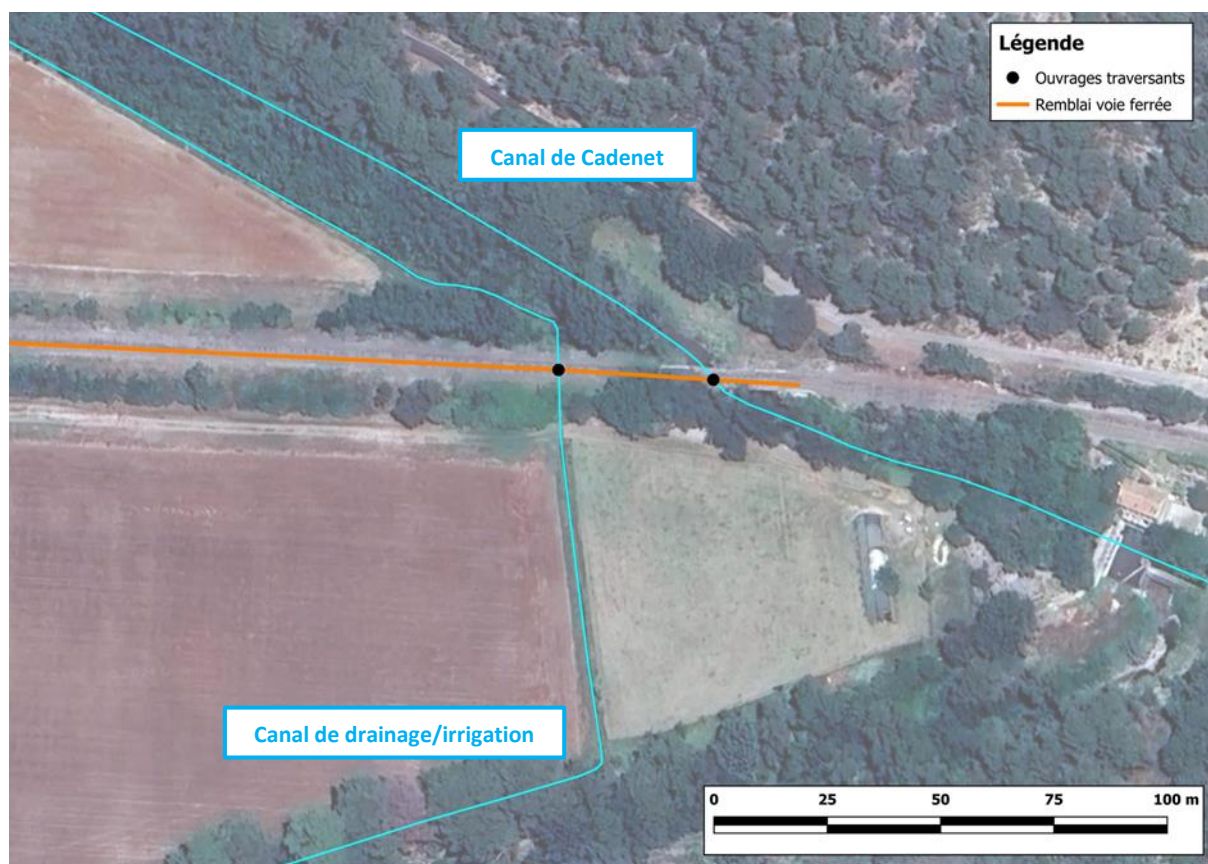


Figure 117 : Ouvrages traversants identifiés au niveau de l'extrémité amont (Est) du remblai de la voie ferrée

Deux ouvrages traversants ont également été identifiés au niveau de la digue historique de Tarteau :

- le premier est situé en partie en amont du linéaire : il s'agit du réseau d'eau brute alimentant l'usine d'eau potable. Il franchit la digue en cavalier sur l'ouvrage, donc ne traverse pas directement le corps de digue.
- le deuxième est situé sur la partie aval du linéaire : il s'agit d'une conduite Ø500 mm de rejet d'eaux provenant de l'usine de potabilisation. Cette conduite, située à environ 3 m de profondeur, ne sera pas soumise aux écoulements interne en cas de crue (située sous les fondations de la digue).

5.1.2.2. Réseaux longitudinaux

Les ouvrages de premier rang du système d'endiguement de Pertuis faisant l'objet de la présente étude de dangers ont été inscrits au Guichet Unique en avril 2024.

Aucun réseau longitudinal n'est présent au sein des ouvrages de premier rang du système d'endiguement de Pertuis faisant l'objet de la présente étude de dangers.

5.1.2.3. Instrumentation

Aucun dispositif d'instrumentation n'est présent au droit du système d'endiguement de Pertuis.

5.2. Ouvrages à construire ou à modifier

Sans objet.

Pour rappel, le système d'endiguement de Pertuis fera l'objet de travaux de confortement de manière à rehausser le niveau de protection lors d'une phase ultérieure du programme d'action engagé par le SMAVD et la Métropole Aix-Marseille Provence (cf. §0.1).

5.3. Description fonctionnelle du système d'endiguement

L'étude hydraulique réalisée dans la cadre de la présente étude, sur la base des modélisations réalisées par le SMAVD, a permis de caractériser les écoulements qui se produisent jusqu'aux niveaux de protection des différents ouvrages constitutifs du système d'endiguement de Pertuis :

- pour la crue de débit 2 000 m³/s (crue décennale), des premiers débordements s'opèrent en rive droite au droit d'anciens méandres de la Durance. Les épis de Corrèze et de Mulet dans leur partie la plus proche de la Durance ainsi que la digue historique de Tarteau sont mis en charge.

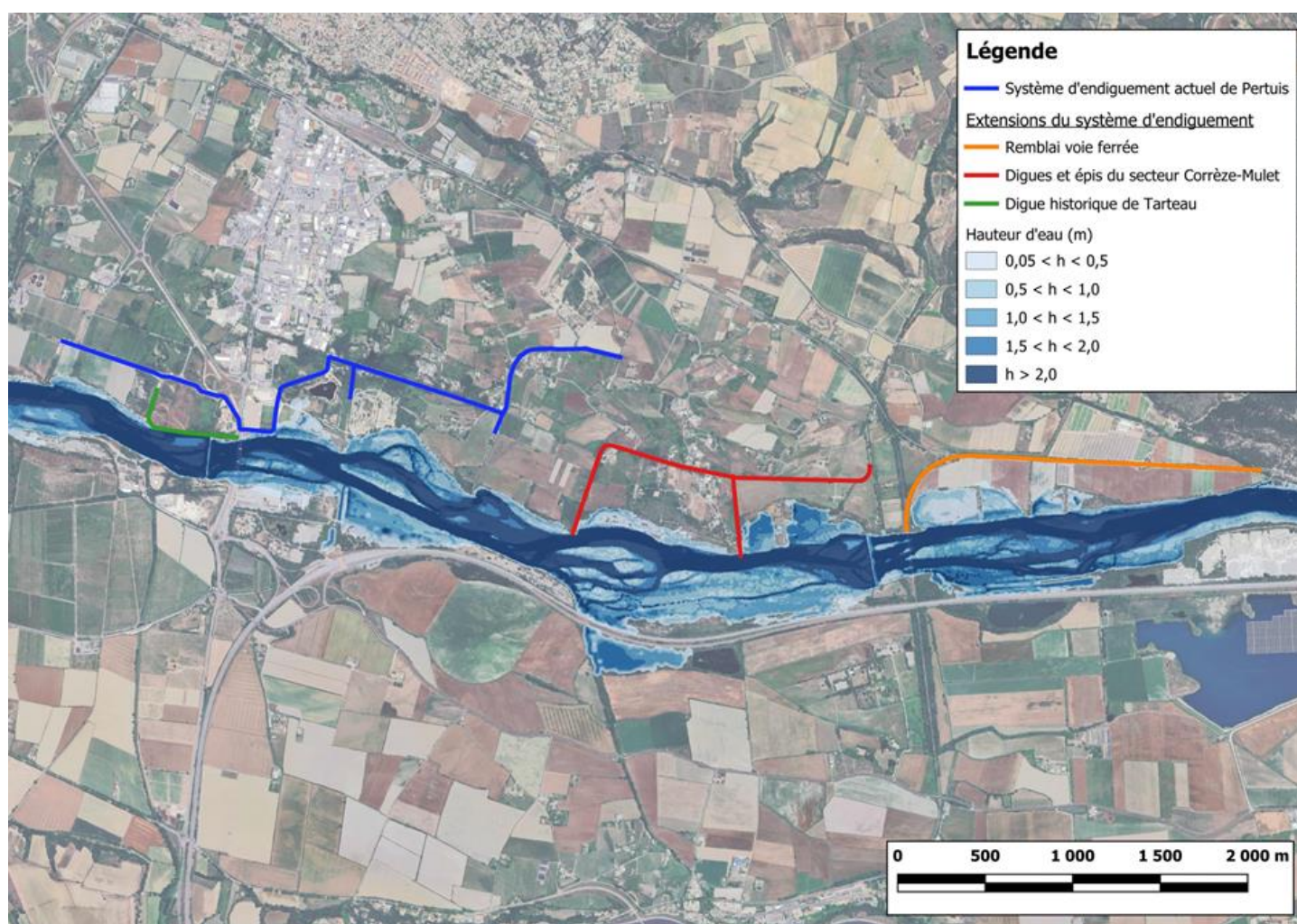


Figure 118 : Hauteur d'eau pour Q = 2 000 m³/s (T = 10 ans)

- pour la crue de débit $2\,500\text{ m}^3/\text{s}$ ($10\text{ ans} < T < 30\text{ ans}$), les débordements s'étendent en lit majeur rive droite notamment au niveau du remblai de la voie ferrée (sans pour autant le mettre en charge) ainsi qu'au niveau du système d'endiguement actuel de Pertuis.

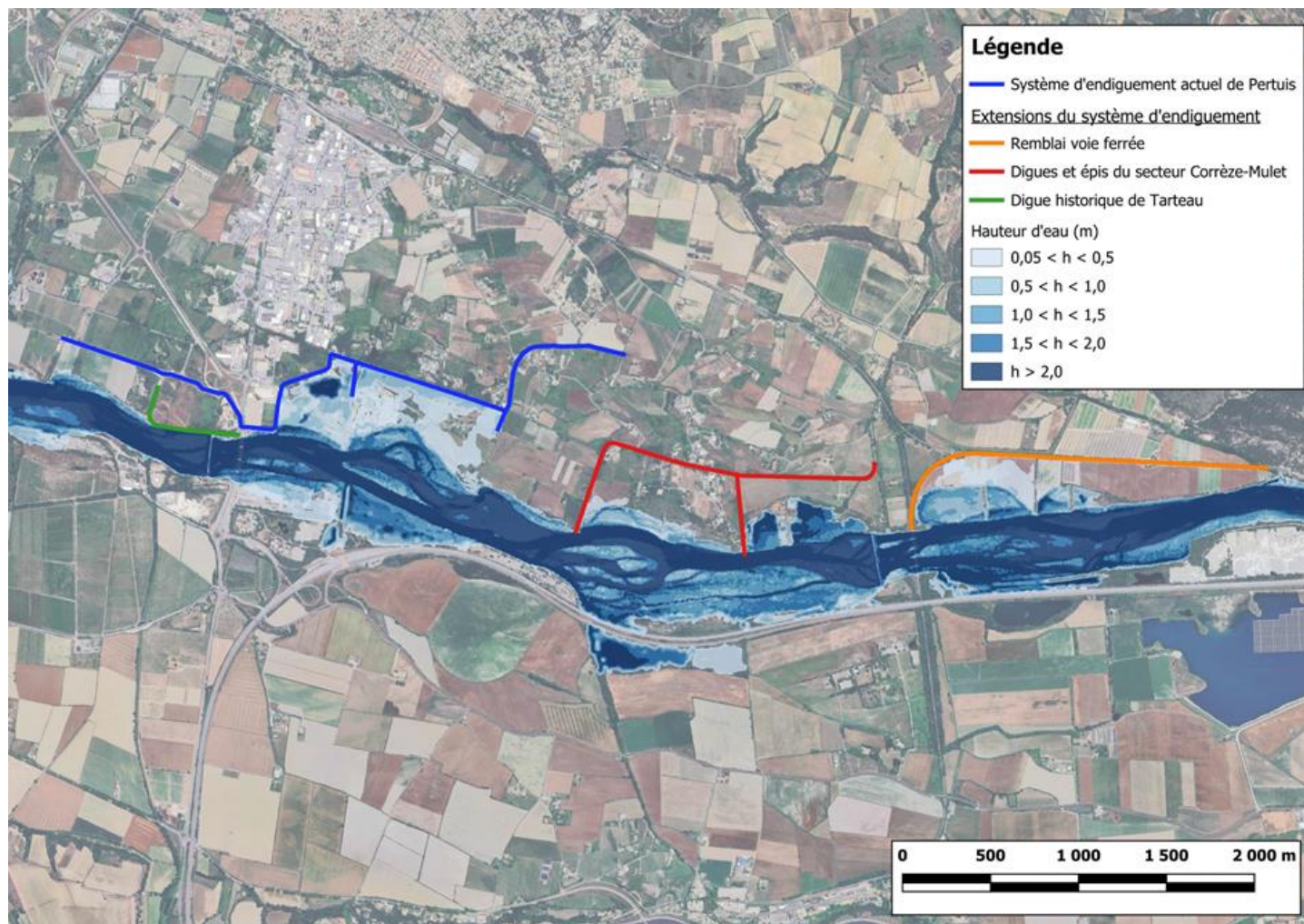


Figure 119 : Hauteur d'eau pour $Q = 2\,500\text{ m}^3/\text{s}$

- pour la crue de débit $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ (crue trentennale), le remblai de la voie ferrée est mis en charge sur sa partie aval. Les débordements commencent à s'étendre entre les épis de Corrèze et de Mulet et s'intensifient devant le système d'endiguement actuel de Pertuis.
 A noter que le niveau de protection de la digue historique de Tarteau étant dépassé, une brèche a été simulée au droit de cette dernière en en aval du seuil du canal de Marseille.

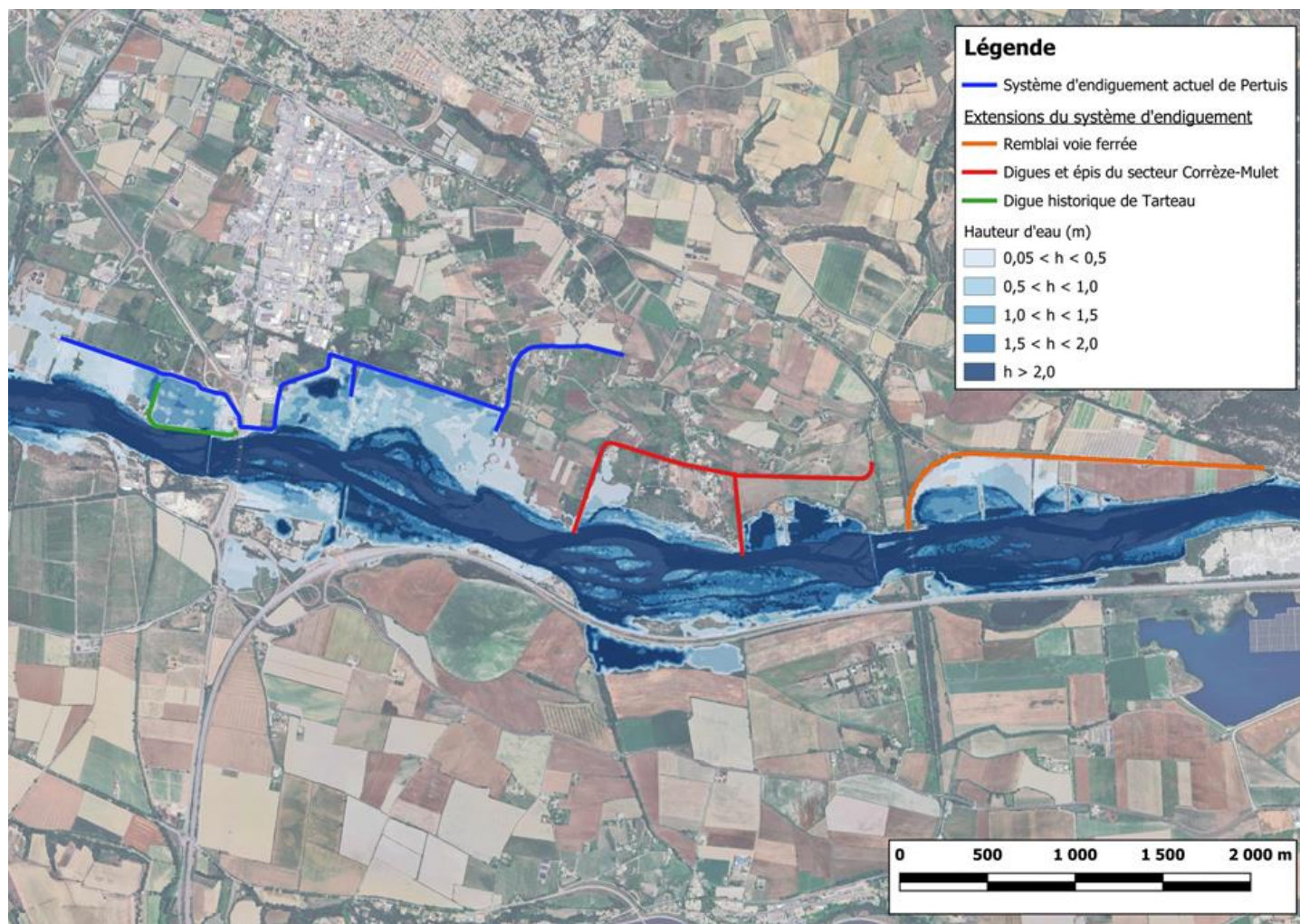


Figure 120 : Hauteur d'eau pour $Q = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ($T = 30$ ans)

- pour la crue de débit $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ (crue cinquantennale), la digue et l'épi du Mulet sont mis en charge. Les débordements s'intensifient par ailleurs devant le système d'endiguement de Pertuis.

A noter que le niveau de protection du remblai de la voie ferrée et des digues et épis du secteur Corrèze-Mulet étant dépassé, une brèche a été simulée au niveau de la digue du Mulet à la jonction avec l'épi du Mulet.

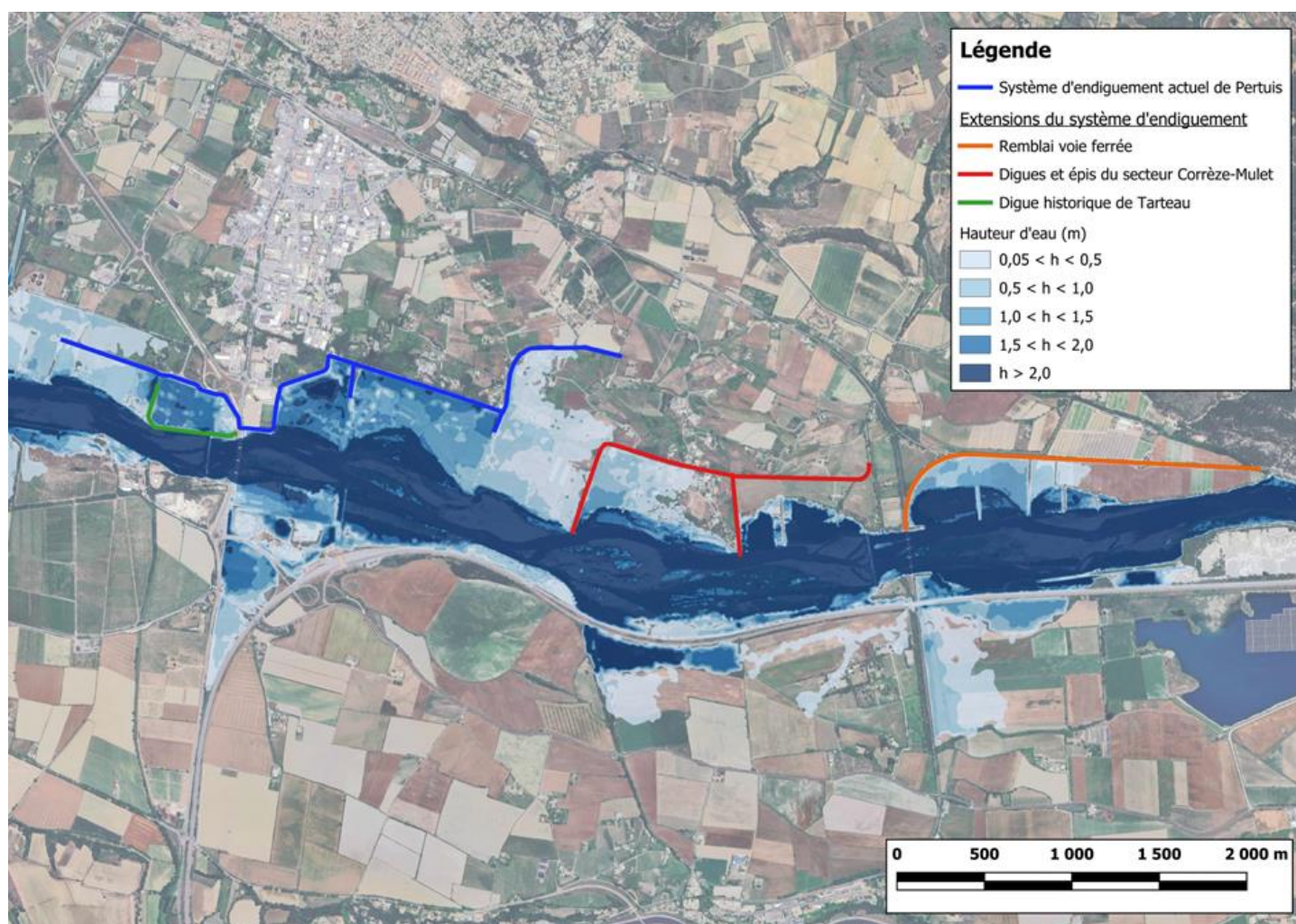


Figure 121 : Hauteur d'eau pour $Q = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ($T = 50$ ans)

- pour la crue de débit $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ (crue centennale), la quasi-totalité du système d'endiguement est mis en charge (hormis la partie amont du remblai de la voie ferrée).

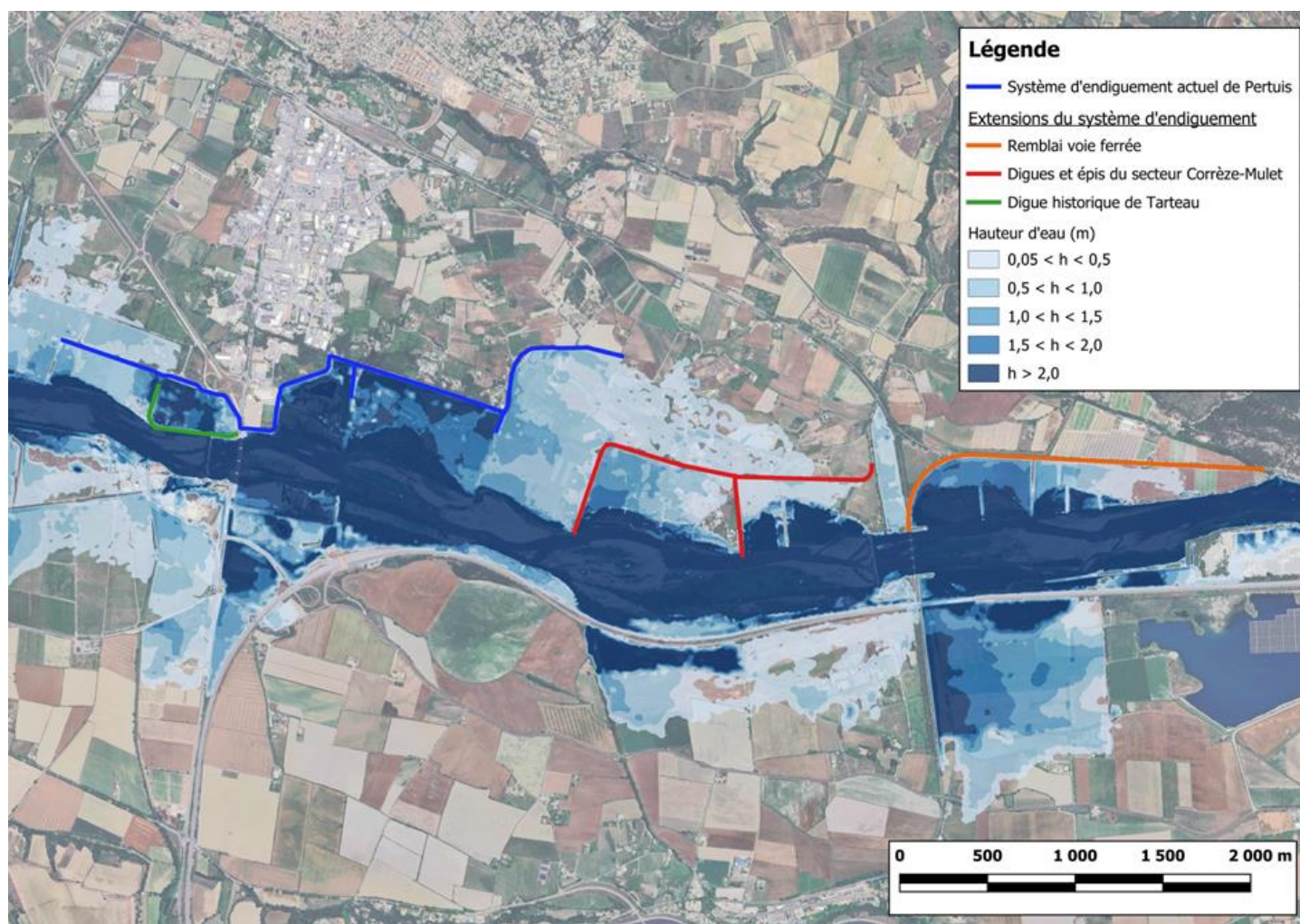


Figure 122 : Hauteur d'eau pour $Q = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ($T = 100$ ans)

6. Retour d'expérience concernant la zone protégée et le système d'endiguement

6.1. Incidents et accidents survenus sur le système d'endiguement

La crue de janvier 1994 ne semblent pas avoir provoqué de graves désordres sur les ouvrages de premier rang, objet de la présente étude de dangers, tout du moins au regard de la brèche qui s'est produite au niveau de la digue de Père Grand et qui a inondé la zone industrielle de Pertuis (cf. §6.1.2).

L'analyse des évolutions morphologiques au droit de la digue historique de Tarteau réalisée par le SMAVD en 2023 (cf. 1.5) fait par toutefois mention des désordres subis par cette dernière lors de la crue de 1994 (cf. paragraphe ci-après).

6.1.1. Crue de janvier 1994 – digue historique de Tarteau

Au cours des crues de 1994, d'occurrence environ trentennale, l'ancienne digue de Tarteau a probablement été fortement sollicitée. Les alluvions en pied d'ouvrage ont été emportées par les crues, et se sont en partie redéposées à l'aval. Les prémices d'un chenal d'écoulement secondaire s'est ainsi formé en pied d'ouvrage. Le seuil du canal de Marseille a été fortement endommagé au cours de la crue, et il est probable que les enrochements situés au pied de l'ancienne digue de Tarteau aient été déstructurés au cours de ces crues.

Prises en mars 2023, les photographies présentées ci-dessous illustrent l'état actuel de l'ouvrage. Les enrochements situés en pied de talus au niveau du chenal d'écoulement secondaire présentent en effet un état déstructuré, probablement témoin de sollicitations importantes ayant eu lieu au cours des crues passées.



Figure 123 : Photographies du seuil du canal de Marseille et de la digue historique de Tarteau (SMAVD, mars 2023)

6.1.2. Crue de janvier 1994 – cas particulier de la digue du Père Grand

Un retour d'expérience détaillé sur la brèche de la digue du Père Grand à Pertuis lors de la crue de janvier 1994 est présenté dans l'étude de dangers de la restructuration des ouvrages de protection contre les crues de la Durance sur Pertuis en amont de l'Eze (Artelia 2014). Ce retour d'expérience a été établi sur la base des documents suivants :

- Direction Générale de la Police Nationale. Procès-Verbal N°94-60/2 des 8 et 12 janvier 1994 constatant la brèche du Père-Grand.
- Tribunal Administratif de Marseille. Rapport d'expertise du 23 octobre 1996.
- Tribunal Administratif de Marseille. Cour Administrative d'appel de Marseille. Délibéré de l'audience du 14 mai 2002. Lecture en audience publique du 11 juin 2002. N°98-5971.

6.1.2.1. Constat

Lors de la crue de 1994, une brèche d'environ 20 / 30 ml est apparue dans la digue de Père-Grand au niveau de l'épi de Farigoulrier. Une inondation s'en est suivie de la ZAC « la Terre du Fort » sur la rive Nord.

Le procès-verbal établi par la Police suite à la brèche précise qu'en crue, la digue a été arasée jusqu'au niveau du terrain naturel. Les hauteurs des crêtes de digue de part et d'autre de la brèche ont été mesurées à 2,20 m à l'est et 2,30 m à l'ouest. Les niveaux atteints par l'eau se situent à 1,60 m du sol à l'est de la brèche et à 1,70 m du sol à l'ouest de la brèche.

Le délibéré de la Cour Administrative d'Appel de Marseille en date du 11 juin 2002 établit la cause de la rupture de la digue du Père-Grand comme étant une enclure creusée par un particulier, propriétaire de terrains avoisinants associée à la pression créée par la crue de la Durance.

Il y aurait donc eu **rupture par surverse** au droit du point bas créé par ce particulier.

Le rapport d'expertise du 23 octobre 1994 précise les conclusions de l'enquête :

- l'origine et la cause du sinistre sont multiples,
- la cause latente : la création et l'exécution d'une ZAC en arrière de digues de technologie très ancienne destinée primitivement à mettre à l'abri des crues de la Durance des cultures vivrières,
- la cause déterminante a été un acte humain, i.e. la création d'une enclure dans la digue pour des besoins de passage personnel,
- la cause aggravante est un défaut de surveillance et d'entretien de la digue.

6.1.2.2. Description des mesures prises

Suite à la crue de janvier 1994, une étude géotechnique des sols de la digue a été confiée au laboratoire de Sol-Essais par un ordre de service donné le 20 février 1995. Une campagne de sondages a alors été réalisée sur 3 sites afin de déterminer les caractéristiques et les qualités mécaniques du matériau constitutif et de son assemblage de la digue du Père-Grand.

Les résultats ont permis de constater que la digue n'était pas composée de façon homogène concernant les qualités mécaniques des matériaux constitutifs. Elle a été construite au XIX^{ème} siècle avec des matériaux de proximité (graves et graviers), liés avec des éléments plus fins (alluvions ou limons sableux ou argileux) et ce sans aucune ossature. Sa fondation est constituée du lit primitif de la Durance sur horizons de galets compacts.

Des travaux de confortement ont été entrepris suite aux résultats de cette étude. La partie aval de la digue a été abandonnée en l'état et la digue aujourd'hui dénommée « Père-Grand Aval » a été construite suivant le tracé actuel. La brèche au droit de l'épi du Farigoulier a été rebouchée.

Une convention d'entretien a été établie en 1999 entre la commune de Pertuis et le SMAVD pour assurer une mission d'entretien des digues du Père-Grand Amont et Aval, ainsi que des épis du Mulet, de Saint-Roch et du Farigoulier. Dans le cadre de cette convention, le SMAVD assure un entretien régulier annuel (déboursoisement) et une inspection systématique annuelle des ouvrages.

6.2. Incidents et accidents survenus sur des ouvrages de même type

6.2.1. Grandes crues historiques et observations générales en découlant

Entre 1832 et 1890, la Durance a connu 188 crues de plus de 3 mètres mesurées au pont de Mirabeau. Les principales crues sont celles de 1843, 1856 (qui inonde Avignon) et 1886.

Ces crues sont dévastatrices et causent d'importants dommages. Le mécanisme observé est souvent le suivant : il tombe d'importantes précipitation, les hauteurs d'eau augmentent rapidement (en quelques heures) et baissent ensuite aussi rapidement.

Les retours d'expériences montrent que pour la Durance, les mécanismes de rupture identifiés sont souvent liés à la **surverse** ou à l'**érosion externe**. Une **rupture par érosion interne ou glissement est beaucoup plus rare**. Les crues de Durance observées sont en effet trop rapides pour entraîner le

développement d'une érosion interne. La durée des crues en Durance n'est pas suffisamment importante pour qu'il y ait saturation du remblai (cf. crue de janvier 1994).

En effet, le temps de base est assez constant : il varie autour de 40h, entre 30h (octobre 1882) et 50h (octobre 1886). Il s'agit de crues pointues et rapides.

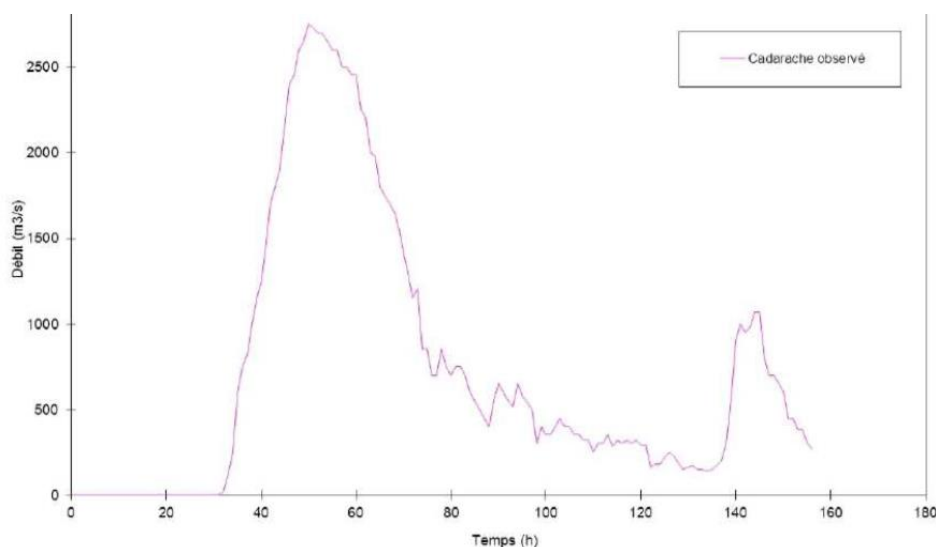


Figure 124 : Crue de janvier 1994

Les aménagements hydroélectriques ont peu d'influence sur les crues majeures car les crues les plus violentes pour la basse vallée se forment sur la moyenne Durance (axe Buëch - Bléone - Verdon) à l'aval des grands réservoirs (Serre-Ponçon notamment). Par ailleurs, ces grands réservoirs ne sont pas gérés pour écrêter les grandes crues et leur volume peut être insuffisant (exemple de la crue de novembre 1994 sur le Verdon, peu modifiée par la retenue de Sainte-Croix).

6.2.2. Crue de 1994

Les photos suivantes ont toutes été prises suite à la crue de janvier 1994, de période de retour 30 ans, sur des épis situés en bordure de la Durance. Une fosse est souvent observable en-dessous du terrain naturel.

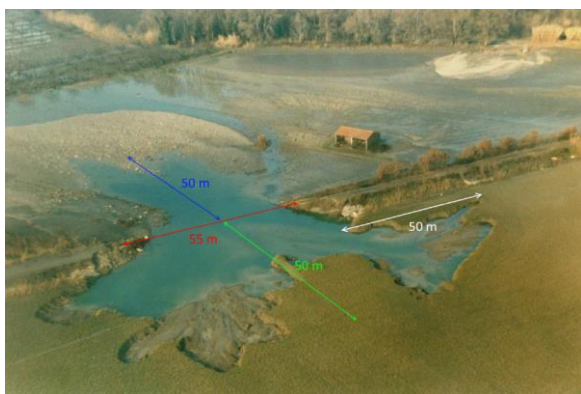


Figure 125 : Rupture de l'épi de Basse Plaine (La Roque d'Antheron, 13)



Figure 126 : Rupture de l'épi des Bergers d'Arles (Le Puy Sainte-Réparate, 13)



Figure 127 : Rupture de l'épi du Piquet (Charleval, 13)



Figure 128 : Rupture de l'épi des Vanades (La Roque d'Antheron, 13)



Figure 129 : Rupture de l'épi du village (Puget, 13)

6.3. Scénarios de défaillance pouvant être mis en évidence par l'étude d'accidentologie

L'étude accidentologique a mis en évidence que pour la Durance :

- les mécanismes de rupture identifiés sont souvent liés à la surverse ou à l'érosion externe,
- une rupture par érosion interne ou glissement est beaucoup plus rare. La durée des crues en Durance n'est pas suffisamment importante pour qu'il y ait saturation du remblai et pour entrainer le développement d'une érosion interne.

7. Diagnostic approfondi des éléments constitutifs du système d'endiguement et tenue des ouvrages

7.1. Description et analyse des scénarios de défaillance potentiels

Les incidents et accidents apparaissant sur les digues peuvent être regroupés autour des cinq modes :

- la rupture par **surverse** correspond à une surverse suivie d'une érosion externe de la crête et du talus côté zone protégée,
- la rupture par **érosion interne** (entraînement de particules soumis à un écoulement d'eau interne à la levée ou à sa fondation),
- la rupture par **glissement** de talus suivi d'une érosion interne,
- la rupture par **érosion externe** (affouillement) de la fondation de la digue, suivie d'un glissement de talus côté fleuve puis d'une érosion interne,
- la rupture par **soulèvement hydraulique** (claquage de la fondation en pied de digue côté zone protégée) puis érosion interne.

Le dernier mode de défaillance n'a pas lieu de se présenter sur le système d'endiguement de Pertuis dans la mesure où sondages géotechniques réalisés ont permis de vérifier l'absence d'une couche imperméable (type argile, limon argileux ou argile limoneuse) au niveau de l'assise des ouvrages. Dans le contexte présent, les limons sableux de surface seront considérés comme suffisamment perméable pour considérer le risque de soulèvement comme nul sur l'ensemble des ouvrages étudiés.

Ces scénarios distinguent, d'un côté, le mécanisme initiateur du mode de rupture (par exemple la surverse, l'affouillement, etc.) et, de l'autre, le ou les mécanismes responsables de la rupture.

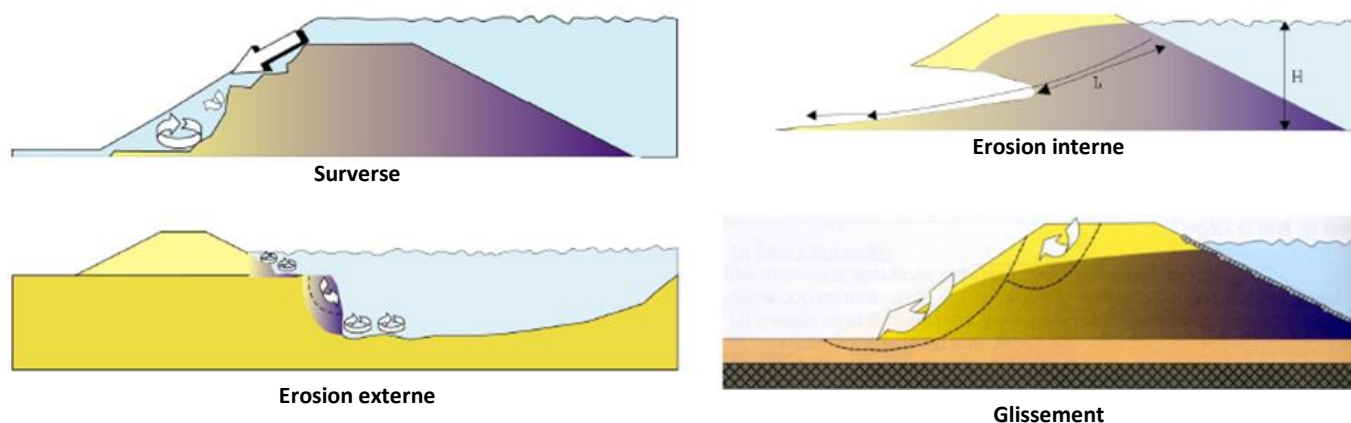


Figure 130 : Différents modes de rupture classiques de digues

7.1.1. Rupture par surverse

Le phénomène de surverse survient lorsque le niveau d'eau devant la digue dépasse le niveau de la crête.

La rupture d'un tronçon de digue due à une surverse est conditionnée par les éléments suivants :

- d'une part, par l'aléa hydraulique (lame d'eau déversante sur la digue),

- d'autre part, par les caractéristiques de la digue et notamment sa nature, la largeur de la crête de l'ouvrage et la pente du talus de la digue côté zone protégée.

Ces deux paramètres influent sur la capacité d'érosion externe de la digue. Plus la pente du talus côté zone protégée sera importante, plus les vitesses d'écoulement seront grandes et le risque d'érosion important. À cela, seule l'importance de la largeur de la crête de digue pourra « venir s'opposer » à l'ouverture d'une brèche.

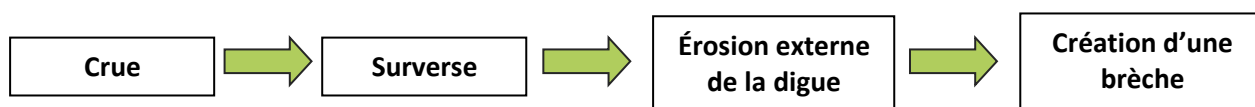


Figure 131 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par surverse

Le tableau ci-dessous présente les fonctions structurelles sollicitées lors de l'apparition de ce mode de défaillance et les composants correspondants.

7.1.2. Rupture par érosion interne

L'érosion interne traduit le phénomène d'entraînement des matériaux les plus facilement mobilisables du corps de digue par l'action d'un écoulement se produisant en son sein. Ce phénomène est ainsi lié à la capacité qu'aura le corps de digue à laisser transiter les écoulements en son sein, mais également au potentiel qu'aura l'écoulement à mobiliser et entraîner les particules du corps de digue.

L'érosion interne peut prendre plusieurs formes, de l'érosion généralisée ou suffusion, à l'érosion localisée (de contact, de conduit ou régressive). L'érosion généralisée se produit lorsque la digue est saturée en eau et lorsque les matériaux sont sensibles à l'érosion interne. L'érosion localisée se produit à partir d'une irrégularité dans la perméabilité du corps de digue. Elle est souvent liée à des facteurs extérieurs tels que les terriers des animaux fouisseurs, les racines d'arbres, les ouvrages traversants ou inclus, etc.

L'érosion interne désigne une famille de mécanismes qui, par expérience, peuvent provoquer à eux seuls la rupture totale ou partielle de digue. Ils peuvent néanmoins être associés à d'autres mécanismes (érosion par glissement, etc.), mais ils constituent toujours le mécanisme de rupture final.

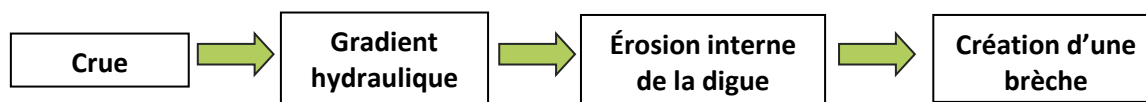


Figure 132 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par érosion interne

7.1.3. Rupture par glissement

Le phénomène de glissement survient lorsque l'équilibre entre les forces et moments moteurs et les forces et moments stabilisateurs appliqués à l'ouvrage est rompu. Le bilan des forces et moments sur la digue fait état du poids des terrains, de l'action interne et externe de l'eau et de la résistance au cisaillement des sols (fonction de la cohésion et de l'angle de frottement interne).

Deux types de glissement sont susceptibles de se produire sur la digue objet de la présente étude de dangers :

- glissement de type circulaire côté zone protégée,

- glissement de type circulaire côté cours d'eau.

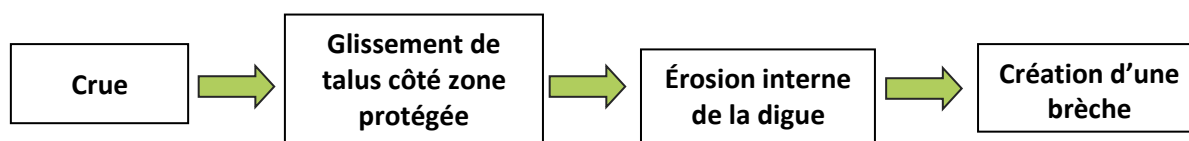


Figure 133: Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par glissement côté zone protégée

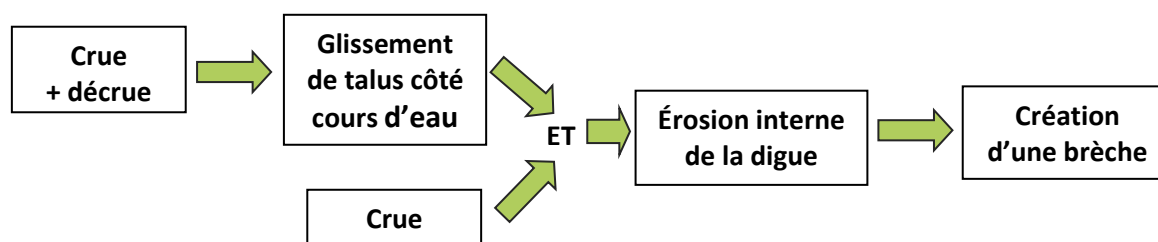


Figure 134 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par glissement côté cours d'eau

7.1.4. Rupture par érosion externe

À l'exception du cas des surverses, où l'érosion externe est la cause directe de la rupture, l'érosion externe est rarement capable de générer à elle seule la défaillance de l'ouvrage. Elle peut cependant initier un glissement, qui associé à l'érosion interne, provoque la rupture de l'ouvrage.

On distingue deux localisations possibles de l'action érosive des écoulements non surversants, susceptibles d'engendrer une défaillance de la digue :

- l'érosion externe au niveau du talus côté cours d'eau,
- l'érosion externe au niveau du pied de la digue côté cours d'eau.

L'érosion externe étant directement causée par l'action érosive du cours d'eau, elle ne peut être observée que côté cours d'eau (pas d'érosion externe côté zone protégée).

Par ailleurs, l'apparition du phénomène d'érosion externe en pied de digue sera d'autant moins probable que la largeur du franc-bord (distance entre le pied de digue et le lit du cours d'eau) sera grande et que le pied présentera une protection.

L'affouillement du pied venant déstabiliser la digue côté cours d'eau, un glissement sera alors susceptible d'apparaître. Puis, de façon similaire au scénario de défaillance par glissement décrit dans les paragraphes précédents, l'érosion interne sera accrue, ce qui pourra provoquer la création d'une brèche dans l'ouvrage.

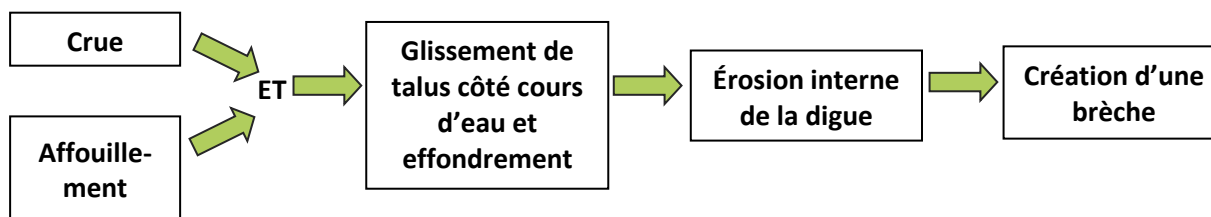


Figure 135 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par érosion externe en pied de talus

7.2. Synthèse des investigations effectuées

7.2.1. Inspections de terrain au droit des ouvrages de premier rang

Pour rappel, le remblai de la voie ferrée est aujourd'hui sur un plan administratif uniquement affecté à l'usage ferroviaire par SNCF Réseau qui l'entretient régulièrement tandis que les digues et épis du secteur Corrèze-Mulet ainsi que la digue historique de Tarteau n'ont été ni entretenus ni surveillés depuis plus de 15 ans. A noter qu'un premier entretien sur ces ouvrages délaissés jusqu'alors a été réalisé en fin d'année 2024.

Dans le cadre de la réalisation de ses diagnostics préliminaires en 2023 (cf. 1.5), le SMAVD a procédé à des inspections de terrain des ouvrages de premier rang objet de la présente étude de dangers. Une nouvelle inspection a également été réalisée avec Antea Group en juillet 2024. Les principaux éléments issus de ces visites sont synthétisés ci-après.

Aucun désordre particulier n'a été observé au droit du remblai de la voie ferrée, hormis la présence de végétation sur et en pied de talus de l'ouvrage.



Figure 136 : Végétation (sur les talus) et voie ferrée (en crête) du remblai de la voie ferrée (source : Antea Group, 2024)

Tous les ouvrages du secteur Corrèze-Mulet ainsi que la digue historique de Tarteau sont boisés. Les arbres sont situés aussi bien dans le corps de digue ou la maçonnerie qu'aux abords immédiats de l'ouvrage. Les arbres sont de différentes tailles et leur état est également hétérogène.

La présence d'arbres en pied d'ouvrage et parfois dans l'ouvrage même peut être de nature à fragiliser ce dernier d'un point de vue structurel (cas des maçonneries ou des enrochements notamment) ou à augmenter sa vulnérabilité vis-à-vis des problématiques d'érosion interne. Des traces de présence d'animaux fouisseurs ont également été observées par endroit.

Par ailleurs, la présence de végétation, relativement dense par endroits, ne permet pas une gestion de l'ouvrage de manière efficace. En effet les inspections sont rendues difficiles et d'éventuelles interventions (réparations post-crue par exemple) sont actuellement inenvisageables en l'état.

Les inspections de terrain ont également permis d'identifier une zone où la digue historique de Tarteau présente des désordres structurels apparents : une niche d'affouillement a été observée sous le mur digue ainsi qu'une érosion substantielle du talus de digue et de son sol d'assise côté rivière.

A noter que c'est notamment pour ces raisons (présence de végétation dense, niche d'affouillement, érosion du talus) que le niveau de protection retenu pour la digue historique de Tarteau a été pris relativement bas.



Figure 137 : Localisation des désordres observés au droit de la digue historique de Tarteau (source : SMAVD, 2023)

Par ailleurs, cette zone semble avoir fait l'objet d'une réparation par recharge d'enrochements. N'ayant pas d'historique ou d'éléments bibliographiques pour confirmer ou infirmer cette remarque, cette dernière restera hypothétique.

7.2.2 Synthèse géotechnique au droit du système d'endiguement actuel de Pertuis

Différentes campagnes géotechniques ont été menées au droit du système d'endiguement actuel de Pertuis notamment au cours de l'avancement du projet de restructuration de l'époque :

- Mission de conception G2-PRO réalisée par GEOLITHE en octobre 2014,
- Mission de d'exécution G3 réalisée par VALERIAN pour la partie travaux et GEOLITHE pour la partie rapports d'étude en juin 2016 et octobre 2017,
- Contrôle après travaux réalisé par FONDASOL en septembre 2016.

Les campagnes ont montré que les ouvrages du système d'endiguement actuel de Pertuis sont essentiellement constitués de matériaux de type limons, de graves limono-sableuses, de graves sableuses ou de matériaux gravo-argileux.

Les caractéristiques mécaniques des matériaux des différents ouvrages constitutifs du système d'endiguement actuel de Pertuis retenues dans l'étude de dangers de 2019 sont synthétisées ci-après.

Description	Nature	γ (kN/m ³)	Φ' (°)	C' (kPa)	k (m/s)
Remblais de digue compactés (issus des déblais du site)	Limons (A1/C1A1)	19	32	3	5.10^{-6}
Terrains de fondation	Limons (A1)	19	32	1	5.10^{-5}
	Graves limono-sableuses (C1A1/C1B3)	19	35	0	1.10^{-4}

Tableau 18 : Caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue et de l'épi de Saint-Roch (EDD 2019, Ingérop)

Description	Nature	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	k (m/s)
Remblais de digue compactés (issus des déblais du site et de matériaux d'apport extérieur de mêmes caractéristiques)	Graves sableuses (C1B5)	19	34	4	5.10^{-5}
Engraisements de talus de 2007	Graves sableuses (C1B5)	19	35	0	1.10^{-4}
Base du corps de digue en place (épaisseur de 2,5 m env.)	Matériaux gravo-argileux (A1/C1A1)	19	32	1	1.10^{-5}
Terrains de fondation	Graves sableuses (C1B3/C1B5)	19	35	0	1.10^{-4}

Tableau 19 : Caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue du Père Grand Amont (EDD 2019, Ingérop)

Description	Nature	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	k (m/s)
Remblais de digue compactés (issus des déblais du site)	Graves sableuses (C1B5)	19	34	4	5.10^{-5}
Corps de digue en place	Graves sableuses (C1B3/C1B5)	19	35	0	1.10^{-4}
Terrains de fondation (couche superficielle de 2,5 à 5,0 m d'épaisseur) et remblais hors digue	Limons (A1)	19	32	1	5.10^{-5}
Terrains de fondation (en profondeur)	Graves sableuses ou marnes	20	35	5	1.10^{-4}
Base drainante	Concassé 80/160	19	35	0	1.10^{-3}
Enrochements					

Tableau 20 : Caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue du Père Grand Aval (EDD 2019, Ingérop)

Description	Nature	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	k (m/s)
Remblais de digue compactés	C1B5	18	32	1	1.10^{-6}
Remblais de digue compactés	A1	18	27	3	1.10^{-6}
Terrains de fondation (matériaux graveleux compacts)	Graves limono-sableuses (D3)	20	35	0	2.10^{-4}
Terrains de fondation (matériaux fins)	Limons (A1)	18	32	1	1.10^{-6}
Matériaux drainants	Concassé 80/160	20	40	0	1.10^{-3}
Remblais RD en place	-	20	35	1	-
Remblais élargissement RD	-	20	34	3	-

Tableau 21 : Caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue de Tarteau amont (EDD 2019, Ingérop)

Description	Nature	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	k (m/s)
Remblais de digue compactés (issus des déblais du site et de matériaux d'apport extérieur de mêmes caractéristiques)	De P14 à P32 : Graves sableuses (C1B3/C1B5)	19	34	4	5.10^{-5}
	De P1 à P13 : Limons (A1)	19	32	3	5.10^{-6}
Terrains de fondation	Limons sableux à argileux (A1/C1A1, localement C1B5)	19	32	3	1.10^{-5}

Tableau 22 : Caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue de Tarteau aval (EDD 2019, Ingérop)

A noter par ailleurs qu'une partie des ouvrages a fait l'objet d'un rehaussement. Des matériaux de faible perméabilité ont été sélectionnés pour réaliser la surélévation, afin de limiter les circulations d'eau à l'intérieur du corps de la digue :

- Des limons sablo-graveleux (classe GTR A1/C1A1) de perméabilité maximale $k = 5.10^{-6}$ m/s,
- Des graves sableuses (classe GTR C1B3/C1B5) de perméabilité maximale $k = 5.10^{-5}$ m/s.

7.2.3. Reconnaissances géotechniques au droit des ouvrages de premier rang

Les éléments présentés ci-après proviennent des missions de diagnostic géotechnique G5 menées par le bureau d'études Géolithe au droit des différents ouvrages de premier rang pour le compte du SMAVD en 2023.

7.2.3.1. Consistance et localisation des investigations géotechniques réalisées

7.2.3.1.1 Remblai de la voie ferrée

Type de sondage	Nombre	Nom	Profondeur	Objectif
Sondage à la pelle	1	PM11	2,7 m/TN	Identification précise des terrains Prélèvements d'échantillons
Essais de perméabilité de type Porchet	2	PM11	0,8 m	Mesure de la perméabilité des terrains dans les sondages à la pelle
		PM11b	0,8 m	
Essais en laboratoire	-	-	-	Identification et caractérisation des terrains - Mesures de teneur en eau - Mesures de VBS - Mesure de granulométrie par tamisage - Mesure de granulométrie par sédimentométrie

Tableau 23 : Investigations géotechniques réalisées – Remblai de la voie ferrée (source : Géolithe)

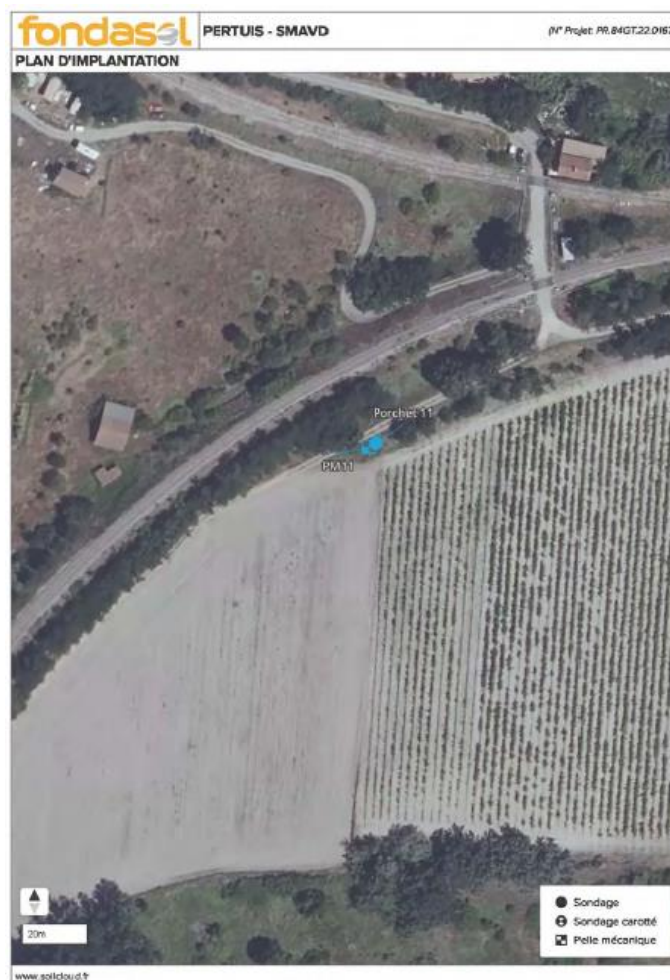


Figure 138 : Plan d'implantation des investigations géotechniques – Remblai de la voie ferrée (source : FONDASOL)

7.2.3.1.2 Secteur Corrèze-Mulet

Type de sondage	Nombre	Secteur	Nom	Profondeur	Objectif
Sondage carotté	2	Digue de Corrèze	SC31	6,0 m/TN	Identification précise des terrains Prélèvements d'échantillons
		Epi du Mulet	SC61		
Sondage à la pelle	6	Digue de Corrèze	PM31A	1,5 m/TN	Identification précise des terrains Prélèvements d'échantillons
			PM31B	2,8 m/TN	
		Epi de Corrèze	PM41	2,0 m/TN	
		Digue du Mulet	PM51	2,6 m/TN	
			PM52	2,8 m/TN	
Essais de perméabilité de type Nasberg	3	Digue de Corrèze	PM61	2,7 m/TN	Mesure de la perméabilité des terrains dans les sondages carottés
			SC31	0,5-1,5 m	
		Epi du Mulet	SC31	3,0-3,5 m	
			SC61	0,0-1,0 m	
Essais de perméabilité de type Porchet	2	Epi de Corrèze	P41	0,5 m	Mesure de la perméabilité des terrains dans les sondages à la pelle
		Digue du Mulet	P51	0,6 m	
Essais en laboratoire	-	-	-	-	Identification et caractérisation des terrains ▪ Mesures de teneur en eau ▪ Mesures de la masse volumique ▪ Mesures de VBS ▪ Mesure de granulométrie par tamisage ▪ Mesure de granulométrie par sédimentométrie ▪ Cisaillement à la boîte de Casagrande
Panneaux électriques	3	Digue de Corrèze	Pe1_Corr	Environ 10 m	Identification des terrains selon profil de grand linaire
		Epi de Corrèze	Pe1_EpCorr		
		Digue du Mulet	Pe1_Mul		

Tableau 24 : Investigations géotechniques réalisées – Secteur Corrèze-Mulet (source : Géolithe)

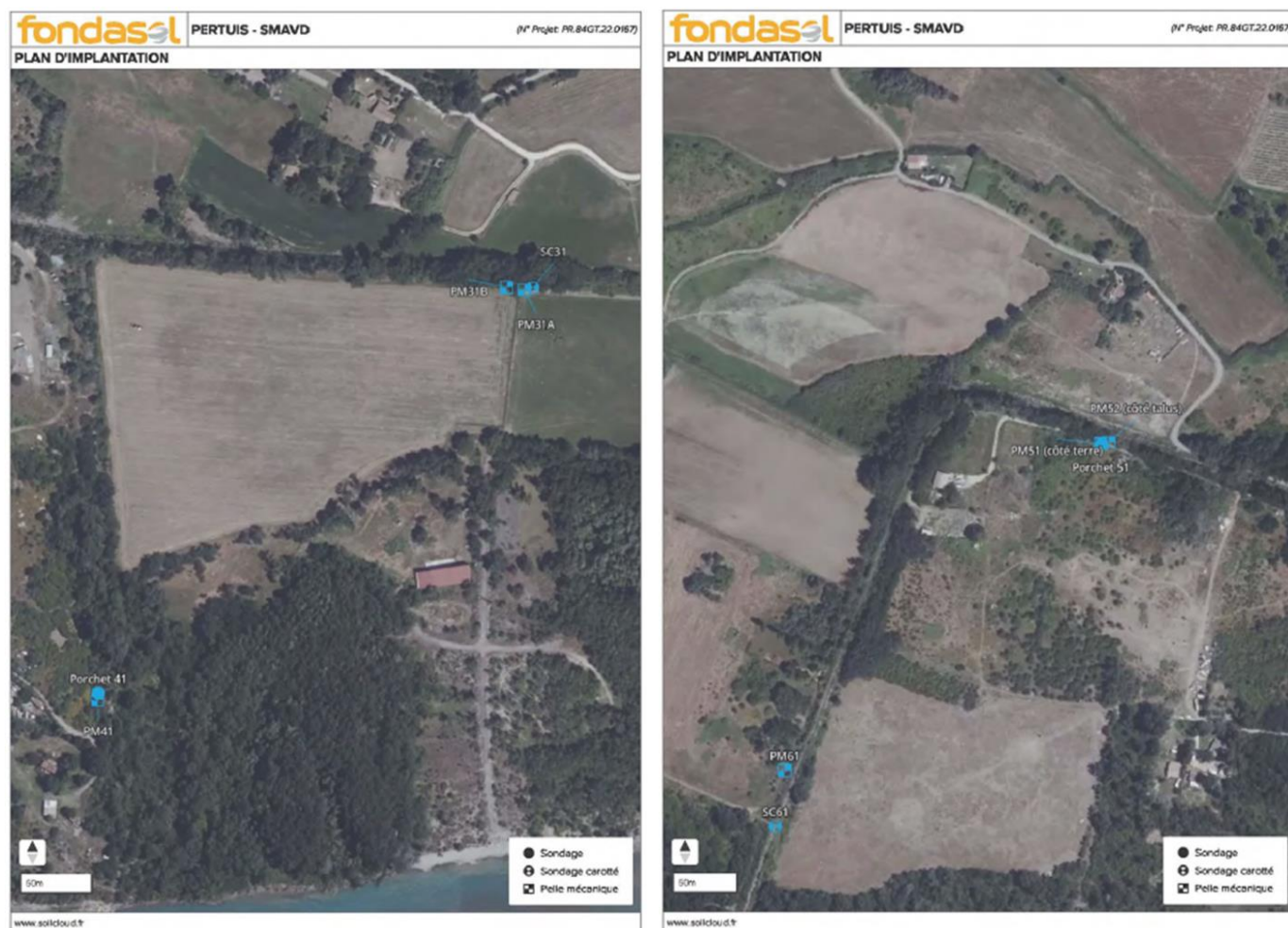


Figure 139 : Plan d'implantation des investigations géotechniques – Secteur Corrèze-Mulet (source : FONDASOL)

7.2.3.1.3 Digue historique de Tarteau

Type de sondage	Nombre	Secteur	Nom	Profondeur	Objectif
Sondage carotté	1	AEP aval	SC81	6,0 m/TN	Identification précise des terrains Prélèvements d'échantillons
Sondage à la pelle	2	AEP amont	PM71	2,0 m/TN	Identification précise des terrains Prélèvements d'échantillons
			PM72	1,7 m/TN	
Essais de perméabilité de type Nasberg	2	AEP aval	SC81	0,5-1,5 m	Mesure de la perméabilité des terrains dans les sondages carottés
			SC81	2,0-3,0 m	
Essais de perméabilité de type Porchet	1	AEP amont	P71	0,5 m	Mesure de la perméabilité des terrains dans les sondages à la pelle
Essais en laboratoire	-	-	-	-	Identification et caractérisation des terrains - Mesures de teneur en eau - Mesures de VBS - Mesure de granulométrie par tamisage - Mesure de granulométrie par sédimentométrie - Cisaillement à la boîte de Casagrande

Tableau 25 : Investigations géotechniques réalisées – Digue historique de Tarteau (source : Géolithe)



Figure 140 : Plan d'implantation des investigations géotechniques – Digue historique de Tarteau (source : FONDASOL)

7.2.3.2. Résultats des reconnaissances et essais

7.2.3.2.1 Remblai de la voie ferrée

❖ Sondages à la pelle

Le sondage à la pelle PM11, réalisé par Fondasol le 28 novembre 2022, en pied de digue côté cours d'eau a mis en évidence :

- 0,0 à 0,2 m : Limon, terre végétale marron
- 0,2 à 0,7 m : Limon sableux gris marron
- 0,7 à 2,7 m : Sable limoneux gris clair

Aucun niveau d'eau n'a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondages à la pelle PM11.

❖ Essais de perméabilité in situ

Les essais de perméabilité de type Porchet réalisés dans le sondage à la pelle PM11 ont donné les résultats suivants :

Essai	Sondage	Profondeur de l'essai	Lithologie	Perméabilité
P11	PM11	0,8 m	Limons sableux	$1,6 \cdot 10^{-5}$ m/s
P11b	PM11	0,8 m	Limons sableux	$2,0 \cdot 10^{-5}$ m/s

Figure 141 : Résultats des essais de perméabilité de type Porchet au droit du sondage PM11 (source : Géolithe)

❖ Essais en laboratoire

Les essais en laboratoire réalisés sur des échantillons issus du sondage à la pelle PM11 ont donné les résultats suivants :

Sondage	PM11
prof. (m)	0,7 à 2,7
Nature	Limons sableux
Classe GTR	A1
W_n (%)	8,7
D_{max} (mm)	30
< 50 mm (%)	100
< 2 mm (%)	99,2
< 80 μ m (%)	81,3
VSB	1,62

Figure 142 : Résultats des essais en laboratoire réalisés sur des échantillons issus du sondage PM11 (source : Géolithe)

7.2.3.2.2 Secteur Corrèze-Mulet

❖ Sondages carottés

Le sondage carotté SC31, réalisé par Fondasol le 30 novembre 2022, au droit de la digue de Corrèze a mis en évidence :

- 0,0 à 0,6 m : Limons sableux marron grisâtre
- 0,6 à 2,9 m : Sables limoneux beige grisâtre

- 2,9 à 6,0 m : Sables gravelo-limoneux à galets

Aucun niveau d'eau n'a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondage SC31.

Le sondage carotté SC61, réalisé par Fondasol le 30 novembre 2022, au droit de l'épi du Mulet a mis en évidence :

- 0,0 à 1,3 m : Remblai limono-caillouteux
- 1,3 à 2,0 m : Limons sableux gris beige grisâtre légèrement graveleux
- 2,0 à 3,0 m : Limons sablo-caillouteux gris beige grisâtre
- 3,0 à 6,0 m : Graves sableuses gris à galet beige, gris claire dense

Aucun niveau d'eau n'a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondage SC61.

❖ Sondages à la pelle

Le sondage à la pelle PM31A, réalisé par Fondasol le 28 novembre 2022, au droit de la digue de Corrèze a mis en évidence :

- 0,0 à 1,0 m : Limon marron sableux à gris
- 1,0 à 1,5 m : Sable argileux marron clair, gris clair, beige bariolé

Aucun niveau d'eau n'a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondages à la pelle PM31A.

Le sondage à la pelle PM31B, réalisé par Fondasol le 28 novembre 2022, au droit de la digue de Corrèze a mis en évidence :

- 0,0 à 1,0 m : Limon sablo argileux gris marron
- 1,0 à 1,5 m : Argile grise, marron clair, légèrement sableux
- 1,5 à 2,3 m : Argile grise légèrement sableuse
- 2,3 à 2,8 m : Sable, graviers/galets (13 cm max)

Le sondage a également permis de mettre en évidence la présence du perré béton jusqu'à 2 m de profondeur/TN, d'épaisseur 0,3 m et incliné à 45°.

Le sondage à la pelle PM41, réalisé par Fondasol le 28 novembre 2022, au droit de l'épi de Corrèze a mis en évidence :

- 0,0 à 0,4 m : Limon sableux marron gris
- 0,4 à 1,2 m : Sable limoneux gris clair
- 1,2 à 2,0 m : Sable, graviers galets

Aucun niveau d'eau n'a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondages à la pelle PM41.

Le sondage à la pelle PM51 (côté terre), réalisé par Fondasol le 28 novembre 2022, au droit de la digue du Mulet a mis en évidence :

- 0,0 à 0,7 m : Limon marron sableux à marron clair
- 0,7 à 1,4 m : Sable limoneux gris clair
- 1,4 à 2,6 m : Sable, graviers, galets

Aucun niveau d'eau n'a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondages à la pelle PM51.

Le sondage à la pelle PM51 (côté talus), réalisé par Fondasol le 28 novembre 2022, au droit de la digue du Mulet a mis en évidence :

- 0,0 à 1,9 m : Sable limoneux marron à gris clair
- 1,9 à 2,8 m : Sable graviers, galets (16 cm max) gris.

Aucun niveau d'eau n'a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondages à la pelle PM51.

Le sondage à la pelle PM61, réalisé par Fondasol le 28 novembre 2022, au droit de l'épi du Mulet a mis en évidence :

- 0,0 à 0,5 m : Limon sablo graveleux gris marron
- 0,5 à 1,0 m : Limon sablo graveleux gris marron avec moins de graviers
- 1,0 à 1,3 m : Sable limoneux gris marron clair
- 1,3 à 2,7 m : Sable graviers, galets (13 cm max)

Aucun niveau d'eau n'a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondages à la pelle PM61.

❖ Panneaux électriques

Les mesures électriques ont été réalisés par Fondasol les 28 et 29 novembre 2022.

Le panneau électrique Pe1_Corr montre le découpage lithologique suivant :

- Une couche superficielle, globalement homogène d'épaisseur 2 m et caractérisées par des résistivités comprises entre 250 et 800 $\Omega.m$. Cette couche est assimilée au corps de digue composé de matériaux de remblai sablo-limoneux.
- Une couche intermédiaire, d'épaisseur 3 à 5 m et caractérisées par des résistivités comprises entre 60 et 250 $\Omega.m$. Cette couche est assimilée au terrain naturel de type alluvions à dominante limoneuse.
- Une couche inférieure à partir de 5 à 7 m de profondeur, caractérisées par des résistivités comprises entre 250 et 800 $\Omega.m$. Cette couche est assimilée au terrain naturel de type alluvions à dominante sableuse

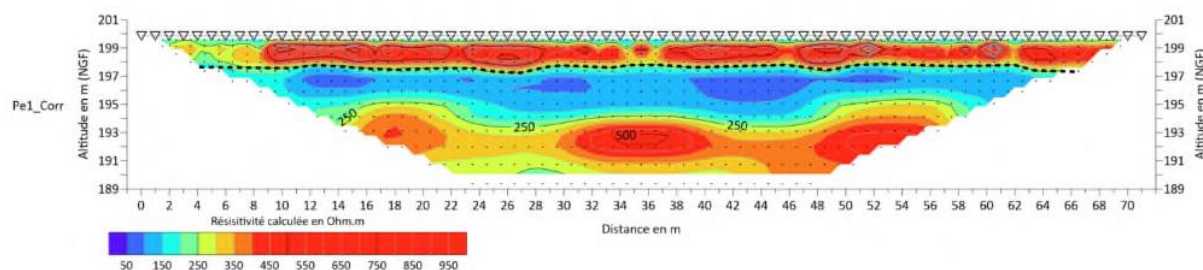


Figure 143 : Panneau électrique Pe1_Corr réalisé au droit de la digue de Corrèze (source : Géolithe)

Le panneau électrique Pe1_EpCorr montre le découpage lithologique suivant :

- Une couche superficielle, globalement homogène d'épaisseur 4 à 5 m et caractérisées par des résistivités très élevées comprises entre 250 et 4000 $\Omega.m$. Cette couche est assimilée au corps de digue composé de matériaux graveleux compacts et de structures en béton en enrochements libres.
- Une couche inférieure, au-delà de 4 à 5 m de profondeur et caractérisées par des résistivités comprises entre 60 et 250 $\Omega.m$. Cette couche est assimilée au terrain naturel de type alluvions à dominante limoneuse.

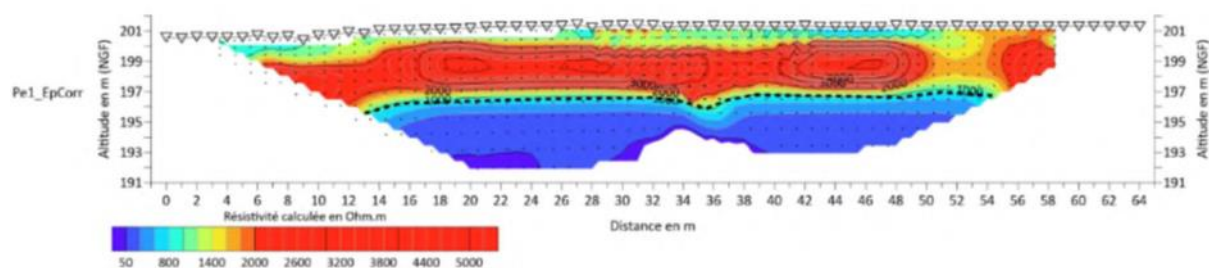


Figure 144 : Panneau électrique Pe1_EpCorr réalisé au droit de l'épi de Corrèze (source : Géolithe)

Le panneau électrique Pe1_Mul montre le découpage lithologique suivant :

- Une couche superficielle, d'épaisseur variable de 1 m côté Est et jusqu'à 4 m côté Ouest et caractérisées par des résistivités comprises entre 250 et 800 $\Omega.m$. Cette couche est assimilée au corps de digue composé de matériaux de remblai sablo-limoneux.
- Une couche intermédiaire, d'épaisseur variable de 3 m côté Est et jusqu'à au moins 5 m côté Ouest et caractérisées par des résistivités faibles comprises entre 60 et 250 $\Omega.m$. Cette couche est assimilée au terrain naturel de type alluvions à dominante limoneuse.
- Une couche inférieure présente uniquement sur la partie Est du profil à partir de 4 à 7 m de profondeur, caractérisées par des résistivités comprises entre 250 et 800 $\Omega.m$. Cette couche est assimilée au terrain naturel de type alluvions à dominante sableuse

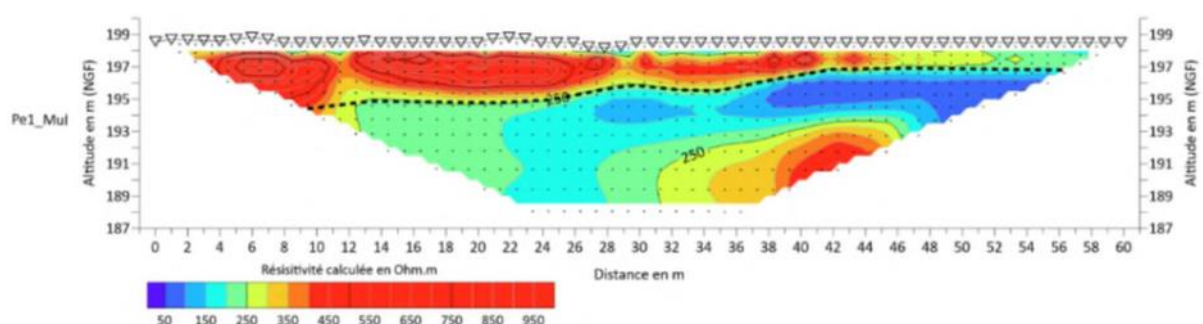


Figure 145 : Panneau électrique Pe1_Mul réalisé au droit de l'épi du Mulet (source : Géolithe)

❖ Essais de perméabilité in situ

Les essais de perméabilité de type Nasberg réalisés dans les sondages SC31 et SC61 ont donné les résultats suivants :

Sondage	Profondeur	Lithologie	Perméabilité	
			Phase d'injection	Retour à l'équilibre
SC31	0,5 à 1,5 m	Sables limoneux	$8,0.10^{-6}$ m/s	$3,6.10^{-6}$ m/s
SC31	3,0 à 3,5 m	Sables gravelo-limoneux	$6,5.10^{-5}$ m/s	$2,7.10^{-6}$ m/s
SC61	0,5 à 1,0 m	Remblai limono-caillouteux à galets	$6,3.10^{-3}$ m/s	$1,4.10^{-4}$ m/s
SC61	2,5 à 3,0 m	Limons sablo-caillouteux à galets	$8,1.10^{-5}$ m/s	$3,0.10^{-5}$ m/s

Figure 146 : Résultats des essais de perméabilité de type Nasberg au droit des sondages SC31 et SC61 (source : Géolithe)

L'essai de perméabilité de type Porchet réalisé dans les sondages à la pelle PM41 et PM51 a donné les résultats suivants :

Essai	Sondage	Profondeur de l'essai	Lithologie	Perméabilité
P41	PM41	0,5 m	Limons sableux	$2,6.10^{-5}$ m/s
P51	PM51	0,6 m	Limons sableux	$4,4.10^{-6}$ m/s

Figure 147 : Résultats de l'essai de perméabilité de type Porchet au droit des sondages PM41 et PM51 (source : Géolithe)

❖ Essais en laboratoire

Les essais en laboratoire réalisés sur des échantillons issus des sondages à la pelle PM31B, PM41, PM52 et PM61 et des sondages carottés SC31 et SC61 ont donné les résultats suivants :

Sondage	PM31B	PM41	PM52	PM61	SC31	SC61
prof. (m)	2,3 à 2,8	1,2 à 2,0	0,0 à 1,9	1,3 à 2,7	0,8 à 1,0	0,7 à 1,0
Nature	Grave argilo-sableuse	Grave argilo-sableuse	Argile limono-sableuse	Grave sableuse	Argile limono-sableuse	Argile limono-sableuse
Classe GTR	C1B5	C1B5	A1	C1B4	A1	A1
Wn (%)	13,3	9,2	6,8	3,7	20,4	30,2
ρ (t/m ³)	-	-	1,50	-	1,87	1,86
ρ_s (t/m ³)	-	-	1,41	-	1,56	1,42
Dmax (mm)	60	65	4	65	2	2
< 50 mm (%)	90,8	92,3	100,0	96,7	100,0	100,0
< 2 mm (%)	52,3	48,7	99,6	33,5	100,0	99,9
< 80 μ m (%)	31,6	22,6	71,3	11,3	69,2	68,3
VSB	0,54	0,46	1,00	0,22	0,99	0,56
ϕ_r (°)	-	-	32	-	34	33
c_r (kPa)	-	-	1	-	2	5

Figure 148 : Résultats des essais en laboratoire réalisés sur des échantillons issus des différents sondages (source : Géolithe)

7.2.3.2.3 Digue historique de Tarteau

❖ Sondages carottés

Le sondage carotté SC81, réalisé par Fondasol le 29 novembre 2022, au droit de la digue AEP aval a mis en évidence :

- 0,0 à 3,5 m : Limons sablo-graveleux gris
- 3,5 à 6,0 m : Sables graveleux-limoneux à galets gris.

Aucun niveau d'eau n'a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondage SC81.

❖ Sondages à la pelle

Le sondage à la pelle PM71, réalisé par Fondasol le 28 novembre 2022, a mis en évidence :

- 0,0 à 0,05 m : Terre végétale
- 0,05 à 0,2 m : Argile marron clair sableuse, petits graviers
- 0,2 à 0,3 m : Argile grise sableuse, limoneuse
- 0,3 à 1,0 m : Sable, graviers, galets
- 1,0 à 1,5 m : Sable limoneux gris marron
- 1,5 à 2,0 m : Graviers, galets, liant sableux

Un niveau d'eau à 2 m de profondeur/TN a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondage PM71.

Le sondage à la pelle PM72, réalisé par Fondasol le 28 novembre 2022, a mis en évidence :

- 0,0 à 0,7 m : Limon sablo légèrement argileux gris foncé, marron, galets
- 0,7 à 1,7 m : Sable gris clair, marron clair limoneux, blocs de pierres
- Refus arrêt du sondage sur blocs

Aucun niveau d'eau n'a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondages à la pelle PM72.

❖ Essais de perméabilité in situ

Les essais de perméabilité de type Nasberg réalisés dans le sondage SC81 ont donné les résultats suivants :

Sondage	Profondeur	Lithologie	Perméabilité	
			Phase d'injection	Retour à l'équilibre
SC81	0,5 à 1,5 m	Limons sablo-graveleux	$6,7.10^{-6}$ m/s	$4,2.10^{-6}$ m/s
SC81	2,0 à 3,0 m	Sables limono-graveleux	$1,4.10^{-6}$ m/s	$1,6.10^{-6}$ m/s

Figure 149 : Résultats des essais de perméabilité de type Nasberg au droit du sondage SC81 (source : Géolithe)

L'essai de perméabilité de type Porchet réalisé dans le sondage à la pelle PM72 a donné les résultats suivants :

Essai	Sondage	Profondeur de l'essai	Lithologie	Perméabilité
P72	PM72	0,5 m	Limons sableux	$2,2.10^{-5}$ m/s

Figure 150 : Résultats de l'essai de perméabilité de type Porchet au droit du sondage PM72 (source : Géolithe)

❖ Essais en laboratoire

Les essais en laboratoire réalisés sur des échantillons issus du sondage carotté SC81 ont donné les résultats suivants :

Sondage	SC81	SC81
prof. (m)	0,0 à 0,5	1,5 à 0,6
Nature	Sable et limons sablo-argileux	Grave sableuse
Classe GTR	A1	C1B3
Wn (%)	22,4	10,8
ρ (t/m ³)	-	-
ρ_s (t/m ³)	-	-
Dmax (mm)	25	55
< 50 mm (%)	100,0	96,7
< 2 mm (%)	87,5	41,3
< 80 μ m (%)	39,9	10,4
VSB	0,69	0,14
ϕ_r (°)	34	-
c_r (kPa)	2	-

Figure 151 : Résultats des essais en laboratoire réalisés sur des échantillons issus du sondage SC81 (source : Géolithe)

7.2.4. Analyse géotechnique des ouvrages de premier rang

L'analyse géotechnique des ouvrages a été réalisée dans le cadre de missions de diagnostic géotechnique G5, menées par le bureau d'études Géolithe (cf. Annexe, Annexe et Annexe). Ces études avaient pour objectif d'analyser la stabilité des ouvrages dans leur état actuel sur chaque tronçon homogène identifié.

Dans le cadre de la présente étude de dangers, Antea Group a réalisé une analyse critique des diagnostics préliminaires réalisés par le SMAVD, contenant notamment ces études G5. L'analyse critique a porté en particulier sur :

- La nature et consistance des investigations géotechniques réalisées,
- Les modèles géomécaniques utilisés,
- Le choix des profils de calcul,
- La nature des modélisations réalisées et les cas de calcul retenus,
- Le paramétrage retenu pour les modélisations,
- Les conclusions.

Les paragraphes qui suivent mentionnent les points ayant fait l'objet de remarques / compléments d'analyse ou de calcul dans le cadre de cette analyse critique. Les points validés ou ne soulevant pas d'observation particulière ne sont pas spécifiquement mentionnés ci-dessous.

7.2.4.1. Analyse critique concernant la nature et la consistance des investigations géotechniques réalisées

Le tableau ci-dessous récapitule l'analyse critique réalisée concernant la nature et la consistance des investigations géotechniques réalisées.

Ouvrages concernés	Remarque	Analyse critique
Remblai ferroviaire	Nombre d'investigations et d'essais inférieur aux recommandations habituelles pour des ouvrages linéaires en phase conception (USG-Syntec) Aucune investigation et donc aucun essai de cisaillement réalisé sur le matériau du corps de digue et le terrain naturel (paramètre de cisaillement (C ; Φ) inconnus)	Etant donné : - la nature de l'ouvrage (remblai ferroviaire) exploité et entretenu, - la grande largeur de l'ouvrage, - la faible mise en charge pour le niveau de protection visé actuellement, la nature des données géotechniques disponibles sur le remblai ferroviaire à ce stade sont jugées acceptables.
Secteur Corrèze-Mulet	Nombre d'investigations et d'essais inférieur aux recommandations habituelles pour des ouvrages linéaires en phase conception (USG-Syntec)	La nature des données géotechniques disponibles sur le secteur Corrèze-Mulet sont jugées acceptables à ce stade.
Digue historique de Tarteau	Nombre d'investigations et d'essais inférieur aux recommandations habituelles pour des ouvrages linéaires en phase conception (USG-Syntec)	La nature des données géotechniques disponibles sur le secteur Corrèze-Mulet sont jugées acceptables à ce stade.

Tableau 26 : Analyse critique de la nature des investigations et essais laboratoires disponibles sur les ouvrages

7.2.4.2. Modèles géotechniques retenus

Les reconnaissances géotechniques de terrain, la connaissance des terrains et les études bibliographiques ont permis à Géolithe d'établir un modèle géotechnique.

Globalement, les ouvrages en remblais ont été caractérisés comme des matériaux gravo-limoneux. Les sols d'assise sont en général constitués de :

- 0 à 1 m de profondeur de limons sableux à sables limoneux,
- de 1 à 3m de profondeur de sables et graviers.

Les caractéristiques retenues pour les modélisations des différents ouvrages par Géolithe sont présentées dans les tableaux ci-après :

Horizon	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	Perméabilité k (m/s)
Corps de digue : remblai ferroviaire	19	35	6	$5 \cdot 10^{-5}$
Limons de surface	19	27	2	$1 \cdot 10^{-5}$
Sables et graviers	20	35	0	$1 \cdot 10^{-3}$

Tableau 27 : Caractéristiques de sols retenues pour les modélisations – Remblai de la voie ferrée (source : Géolithe)

Horizon	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	Perméabilité k (m/s)
Corps de digue : remblai gravo-limoneux	20	35	2	$1 \cdot 10^{-4}$
Limons sableux / Sable limoneux	19	32	2	$1 \cdot 10^{-5}$
Limons sableux / Sable limoneux – local berge fossé Digue Mulet	19	32	5	$1 \cdot 10^{-5}$
Sables et graviers	20	35	0	$1 \cdot 10^{-4}$
Perré pierres jointoyés ou béton	24	45	50	$1 \cdot 10^{-8}$
Enrochements libres	20	45	5	$1 \cdot 10^{-4}$

Tableau 28 : Caractéristiques de sols retenues pour les modélisations – Secteur Corrèze-Mulet (source : Géolithe)

Horizon	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	Perméabilité k (m.s ⁻¹)
Limons sableux / Sable limoneux	19	32	3	$1 \cdot 10^{-5}$
Sables et graviers	20	35	0	$1 \cdot 10^{-4}$
Mur en pierres	22	45	Anisotropie*	$1 \cdot 10^{-4}$
Enrochements libres	20	45	5	$1 \cdot 10^{-4}$

Tableau 29 : Caractéristiques de sols retenues pour les modélisations – Digue historique de Tarteau (source : Géolithe)

Compte tenu des matériaux rencontrés issus des investigations et des essais de laboratoires sur les échantillons, les caractéristiques mécaniques retenues dans le modèle géotechnique lors de l'étude G5 de Géolithe sont jugées suffisamment prudentes.

7.2.4.3. Choix des profils de calcul

Une analyse géométrique exhaustive a été réalisée par Antea Group dans le cadre de l'analyse critique réalisée. Pour cela, chaque ouvrage faisant l'objet de la présente étude de danger a été discrétisé tous les mètres, afin d'en extraire ses principales caractéristiques géométriques : niveau de pied d'ouvrage côté amont ou rivière et côté aval ou terre, niveau de crête, niveaux d'eau amont et aval pour la gamme de crues étudiée.

Cela a permis de déterminer le profil le plus critique par tronçon homogène vis-à-vis de sa hauteur de charge hydraulique, calculée par différence entre :

- le niveau d'eau côté amont
- et le niveau du terrain naturel en pied de digue côté aval ou le niveau d'eau côté aval en cas de présence d'eau à l'aval de l'ouvrage.

Les profils en travers définissant les tronçons homogènes des digues, présentés au chapitre 5.1 ci-avant, ont été établis au niveau des profils les plus critiques.

Dans le cadre des études G5, les modélisations ont été effectuées sur les sous-tronçons les plus défavorables en termes de morphologie, géologie et niveaux d'eau de référence. Par conséquent, le niveau de sécurité global pour chaque tronçon correspond au niveau de sécurité du sous-tronçon modélisé.

Le paragraphe 7.2.4.5 ci-après précise digue par digue si le profil retenu dans le cadre des études G5 est bien le plus préjudiciable et si des calculs complémentaires ont dû être réalisés.

7.2.4.4. Nature des modélisations réalisées et cas de calculs retenus

Les analyses ont été effectuées pour différentes situations (normale, séisme, en cas de mise en charge pour différents niveaux de crue).

La stabilité de l'ouvrage a été vérifiée pour les états-limites ultimes suivant :

- Stabilité d'ensemble,
- Boulance et résistance à l'érosion interne.

Les écoulements au sein des ouvrages sont modélisés au moyen du logiciel de calcul aux éléments finis PLAXIS. Le module de calcul PlaxFlow est utilisé pour la modélisation des écoulements transitoires et permanents au cours de la crue de référence et de la décrue associée.

Les calculs de stabilité générale ont été réalisés sous le logiciel de calcul TALREN par la méthode de Bishop (cercles de peau non pris en compte). Les calculs ont été réalisés aux ELU en prenant en compte des coefficients partiels sur les actions et résistances conformément aux recommandations du CFBR pour la vérification de la stabilité des barrages et des digues en remblai.

La susceptibilité à la suffusion a été évaluée par le critère de Kenney et Lau (1985) qui combine la granulométrie du sol considéré et des règles de filtration.

Les sujets de défaut de portance et de susceptibilité des sols à la liquéfaction ont également été abordés.

L'analyse de la susceptibilité des sols d'assise à la liquéfaction a été réalisée par Géolithe sur la base des modèles géotechniques retenus, ainsi que sur l'analyse des paramètres granulométriques et de saturation des matériaux.

Les sols d'assises sont composés de deux horizons distincts.

- les limons sableux de surface sont de nature faiblement susceptible à la liquéfaction. De plus, ils sont principalement situés à un niveau hors-nappe (sauf situation de crue), et donc considérés non sensibles à la liquéfaction en cas de séisme.
- les sables et graviers ne sont pas susceptibles à la liquéfaction

Les cas de calculs considérés et les méthodes employées dans les études G5 sont jugés satisfaisants.

7.2.4.5. Paramétrage retenu pour les modélisations

Les paramétrages sismiques retenus dans les études G5 ont été vérifiés dans le cadre de l'analyse critique et sont jugés satisfaisants.

Les valeurs de surcharges en tête considérées sont cohérentes avec les usages des ouvrages ; elles sont donc jugées satisfaisantes.

7.2.4.6. Résultats de l'analyse géotechnique

7.2.3.2.1. Remblai de la voie ferrée

Le profil retenu pour les calculs géotechniques réalisés en G5 est le profil « PR14 » qui correspond au secteur sur lequel la digue est la moins large.

Les résultats des calculs menés sur le remblai de la voie ferrée sont résumés dans le tableau suivant :

PR14 - Secteur RFE2	Exploitation normale	Séisme	Q100 / DQ100	Qex/DQex
Suffusion	-	-	OK	OK
Boulance	-	-	OK	OK
Soulèvement du pied aval	-	-	OK	OK
Stabilité - Talus côté terre (plaine)	OK	OK	OK	OK
Stabilité - Talus côté rivière (Durance)	OK	OK	OK	OK

Tableau 30 : Résultats des calculs géotechniques menés– Remblai de la voie ferrée (source : Géolithe)

L'étude géotechnique menée par Géolithe conclut que la stabilité du remblai de la voie ferrée est satisfaisante quelle que soit l'occurrence de crue ou la situation étudiée. L'étude G5 précise toutefois que cette étude a été menée sans reconnaissance des sols composant le corps de digue (remblai ferroviaire) et repose sur une approche bibliographique quant à l'épaisseur, la nature et les caractéristiques des sols composant la digue.

7.2.3.2.2. Secteur Corrèze-Mulet

➤ Digue de Corrèze

Les résultats des calculs menés sur la digue de Corrèze sont résumés dans le tableau suivant :

	Exploitation normale	Séisme	Q_{30}/DQ_{30}	Q_{50}/DQ_{50}	Q_{100}/DQ_{100}	Q_{ex}/DQ_{ex}
Digue Corrèze – PRF-3						
Suffusion	-	-	-	-	Moyen	Moyen
Boulance	-	-	-	-	Très faible	Très faible
Soulèvement du pied aval	-	-	-	-	-	-
Stabilité - Talus côté terre (sans pondération)	OK	OK mais faible	-	-	OK mais faible	OK mais faible
Stabilité - Talus côté rivière	OK	OK	-	-	OK	OK

Tableau 31 : Résultats des calculs géotechniques menés – Digue de Corrèze (source : Géolithe)

On notera que les calculs ont été réalisés sur le profil PRF-3 correspondant au PM 783. Ce profil présente une géométrie très proche de celle du profil critique de DCORR1, qui constitue le tronçon présentant la géométrie la plus préjudiciable sur la digue de Corrèze au regard des largeurs d'ouvrages et des hauteurs de mise en charge. Les hauteurs de charge retenues dans la G5 sont un peu plus pénalisantes que les hauteurs de charge maximales calculées lors de l'analyse géométrique exhaustive.

Les hypothèses géométriques et de charge hydraulique retenues dans la G5 sont ainsi validées dans le sens où elles correspondent à la situation la plus préjudiciable pour la digue de Corrèze.

L'ouvrage n'est hydrauliquement pas sollicité jusqu'à la crue de période de retour 50 ans.

En situation de crue Q_{100} et Q_{ex} :

- le risque de suffusion est moyen en cas de régime permanent de crue correspondant à une crue sur une période de plusieurs jours. Dans le cas d'une crue rapide, le risque de suffusion sera vraisemblablement réduit à un risque faible ou très faible,
- le risque de boulance est très faible,
- le niveau de stabilité est satisfaisant mais faible pour Q_{100} et pour Q_{ex} et en cas de séisme.

En conclusion, en l'état actuel, la stabilité de la digue de Corrèze n'est pas garantie pour Q_{100} . Il conviendra donc de retenir un niveau de protection ne mettant pas en charge l'ouvrage (Q_{50} au maximum).

➤ Digue du Mulet

Les résultats des calculs menés sur la digue de Mulet sont résumés dans le tableau suivant :

	Exploitation normale	Séisme	Q_{30}/DQ_{30}	Q_{50}/DQ_{50}	Q_{100}/DQ_{100}	Q_{ex}/DQ_{ex}
Digue Mulet – PRF-9						
Suffusion	-	-	-	Très fort	Très fort	Très fort
Boulance	-	-	-	Fort	Très fort	Très fort
Soulèvement du pied aval	-	-	-	-	-	-
Stabilité - Talus côté terre	OK mais faible	Instable	-	OK mais faible	OK mais faible	Instable
Stabilité - Talus côté rivière	OK	OK	-	OK	OK	OK

Tableau 32 : Résultats des calculs géotechniques menés – Digue du Mulet (source : Géolithe)

On notera que les calculs ont été réalisés sur le profil PRF-9 correspondant au PM 446. Ce profil présente une géométrie très proche de celle du profil critique de DMUL1, qui constitue le tronçon présentant la géométrie la plus préjudiciable sur la digue du Mulet au regard des largeurs d'ouvrages et des hauteurs de mise en charge. Les hauteurs de charge retenues dans la G5 sont cohérentes avec les hauteurs de charge maximales calculées lors de l'analyse géométrique exhaustive.

Les hypothèses géométriques et de charge hydraulique retenues dans la G5 sont ainsi validées dans le sens où elles correspondent à la situation la plus préjudiciable pour la digue du Mulet.

L'ouvrage n'est hydrauliquement pas sollicité jusqu'à la crue de période de retour 50 ans.

Concernant le risque d'érosion interne, en situations de crue Q_{50} , Q_{100} et Q_{ex} : les risques de suffusion et de boulanges sont très élevés en cas de régime permanent de crue correspondant à une crue sur une période de plusieurs jours. Dans le cas d'une crue rapide, les risques de suffusion et de boulanges seront vraisemblablement réduits, mais peut-être pas nul du fait de la faible largeur de la digue.

Concernant la stabilité des talus, la stabilité du talus côté Durance est garantie pour toutes les situations calculées du fait de la faible pente du talus.

La stabilité du talus côté zone protégée n'est en revanche pas vérifiée pour l'ensemble des situations du fait de la pente très raide du talus au niveau du fossé. On constate :

- un niveau de sécurité très faible en situation normale d'exploitation, Q_{50} et Q_{100} . Il y a peu d'impact des crues Q_{50} et Q_{100} en termes de stabilité des talus de digues,
- un niveau de stabilité insuffisant pour les situations Q_{ex} et au séisme.

En conclusion, en l'état actuel, la stabilité de la digue du Mulet n'est pas garantie. Il conviendra donc de retenir un niveau de protection ne mettant pas en charge l'ouvrage (Q_{30}).

➤ Epi de Corrèze

Les résultats des calculs menés sur l'épi de Corrèze sont résumés dans le tableau suivant :

	Exploitation normale	Séisme	Q_{30}/DQ_{30}	Q_{50}/DQ_{50}	Q_{100}/DQ_{100}	Q_{ex}/DQ_{ex}
Epi Corrèze – PRF-4						
Suffusion	-	-	-	-	Fort	Fort
Boulanges	-	-	-	-	Faible	Faible
Soulèvement du pied aval	-	-	-	-	-	-
Stabilité - Talus côté amont (sans pondération)	OK suffisant	OK mais faible	-	-	OK suffisant	OK suffisant
Stabilité - Talus côté aval	OK	OK	-	-	OK	OK

Tableau 33 : Résultats des calculs géotechniques menés – Epi de Corrèze (source : Géolithe)

On notera que les calculs ont été réalisés sur le profil PRF-4 correspondant au PM 63. Ce profil présente une géométrie très proche de celle du profil critique de CORR3. Le tronçon CORR2 présente une géométrie critique moins préjudiciable que CORR3 (très similaire mais pente de talus côté cours d'eau plus faible). On notera que le muret de CORR2 n'est pas mis en charge y compris pour Q_{ex} . Le profil critique CORR1 est mis en charge dès $Q = 2\,500\text{ m}^3/\text{s}$ ($10\text{ ans} < T < 30\text{ ans}$), mais il représente un linéaire de digue très court (moins de 10 m) et les hauteurs de charge sont inférieures à 1 m. Sa position proche

de la Durance tend également à penser que son action est très limitée par rapport à l'inondation de la zone protégée. Ce n'est pas le profil retenu pour être représentatif de la géométrie de l'épi de Corrèze.

En conséquence, il est pertinent de retenir le profil critique de CORR3 comme profil de calcul représentatif de l'épi de Corrèze. Les hauteurs de charge retenues dans la G5 sont un peu plus pénalisantes que les hauteurs de charge maximales calculées sur l'ensemble de l'épi lors de l'analyse géométrique exhaustive.

Les hypothèses géométriques et de charge hydraulique retenues dans la G5 sont ainsi validées dans le sens où elles correspondent à la situation la plus préjudiciable pour l'épi de Corrèze.

L'ouvrage est faiblement sollicité pour les crues d'occurrence inférieures ou égales à 50 ans et uniquement sur l'extrémité de l'ouvrage.

En situations de crue Q_{100} et Q_{ex} :

- le risque de suffusion est élevé en cas de régime permanent de crue correspondant à une crue sur une période de plusieurs jours. Dans le cas d'une crue rapide, le risque de suffusion sera vraisemblablement réduit à un risque moyen ou faible,
- le risque de boulangerie est faible.

En conclusion, en l'état actuel, la stabilité de l'épi de Corrèze n'est pas garantie pour Q_{50} et Q_{100} . Il conviendra donc de retenir un niveau de protection mettant faiblement en charge l'ouvrage (Q_{30}).

➤ *Epi du Mulet*

Les résultats des calculs menés sur l'épi du Mulet sont résumés dans le tableau suivant :

	Exploitation normale	Séisme	Q_{30}/DQ_{30}	Q_{50}/DQ_{50}	Q_{100}/DQ_{100}	Q_{ex}/DQ_{ex}
Epi Mulet – PRF-12						
Suffusion	-	-	-	Fort	Fort	Fort
Boulangerie	-	-	-	Moyen	Faible	Faible
Soulèvement du pied aval	-	-	-	-	-	-
Stabilité - Talus côté terre / amont	OK	OK	-	OK	OK	OK
Stabilité - Talus côté rivière / aval (sans pondération)	OK	Instable	-	OK suffisant	OK suffisant	OK suffisant

Tableau 34 : Résultats des calculs géotechniques menés – Epi du Mulet (source : Géolithe)

On notera que les calculs ont été réalisés sur le profil PRF-12 correspondant au PK 308. Ce profil présente une géométrie très proche de celle du profil critique de MUL2, qui constitue le tronçon présentant la géométrie la plus préjudiciable sur l'épi du Mulet au regard des largeurs d'ouvrages et des hauteurs de mise en charge. Les hauteurs de charge retenues dans la G5 sont cohérentes avec les hauteurs de charge maximales calculées lors de l'analyse géométrique exhaustive.

Les hypothèses géométriques et de charge hydraulique retenues dans la G5 sont ainsi validées dans le sens où elles correspondent à la situation la plus préjudiciable pour l'épi du Mulet.

Toutefois, l'épi du Mulet est mis en charge pour Q_{30} (jusqu'à 1,4 m de charge), crue pour laquelle aucune vérification géotechnique n'a été réalisée. En conséquence, afin de valider le niveau de

protection à Q₃₀ des digues de ce secteur, des calculs complémentaires ont été réalisés par Antea Group sur le profil critique de l'épi du Mulet (MUL2 - PM 279). Les calculs sont satisfaisants pour la suffusion et la boulangue pour Q₃₀ en régime transitoire.

Ainsi, en situations de crue Q₃₀, Q₅₀, Q₁₀₀ et Q_{ex} :

- le risque de suffusion est élevé en cas de régime permanent de crue correspondant à une crue sur une période de plusieurs jours. Dans le cas d'une crue rapide, le risque de suffusion sera vraisemblablement réduit. Le calcul complémentaire a permis de montrer que le risque est faible pour Q₃₀ en régime transitoire.
- le risque de boulangue est faible sauf pour la situation de crue Q₃₀ pour laquelle il est moyen.

En conclusion, en l'état actuel, la stabilité de l'épi du Mulet est assurée jusqu'à Q₃₀.

7.2.3.2.3. Digue historique de Tarteau

➤ Tronçon AEP1

Les résultats des calculs menés sur le tronçon AEP1 sont résumés dans le tableau suivant :

	Exploitation normale	Séisme	Q ₃₀ /DQ ₃₀	Q ₅₀ /DQ ₅₀	Q ₁₀₀ /DQ ₁₀₀	Q _{ex} /DQ _{ex}
AEP amont – PR03-1						
Suffusion	-	-	OK	OK	Non étudiées Débordement	Non étudiées Débordement
Boulangue	-	-	Faible	Faible		
Soulèvement du pied aval	-	-	-	-		
Stabilité - Talus côté terre	OK	OK	OK	OK		
Stabilité - Talus côté rivière	OK	OK	OK	suffisant		

Tableau 35 : Résultats des calculs géotechniques menés – Digue historique de Tarteau – Tronçon AEP1 (source : Géolithe)

On notera que les calculs ont été réalisés sur le profil PR03-1. Ce profil présente une géométrie très proche de celle du profil critique de AEP1, à l'exception de l'altimétrie du pied de digue côté zone protégée, qui est plus haut dans le profil considéré dans la G5 que dans l'analyse géométrique exhaustive (source donnée pied de digue : LIDAR HD). Etant donné la présence d'un profil terrestre au niveau du PK "critique" du tronçon, l'altimétrie terrestre, retenue dans la G5, est privilégiée. Les niveaux de charge sont les mêmes retenus dans la G5 sont les mêmes que ceux issus de l'analyse géométrique exhaustive.

Les hypothèses géométriques et de charge hydraulique retenues dans la G5 sont ainsi validées dans le sens où elles correspondent à la situation la plus préjudiciable pour le tronçon AEP1 de la digue historique de Tarteau.

Ce tronçon ne présente pas de risques potentiels de défaillance jusqu'à la crue Q₅₀.

En conclusion, en l'état actuel, la stabilité du tronçon AEP1 de la digue historique de Tarteau est assurée jusqu'à Q₅₀.

➤ Tronçon AEP2

Les résultats des calculs menés sur le tronçon AEP2 sont résumés dans le tableau suivant :

	Exploitation normale	Séisme	Q ₃₀ /DQ ₃₀	Q ₅₀ /DQ ₅₀	Q ₁₀₀ /DQ ₁₀₀	Q _{ex} /DQ _{ex}
AEP amont – PR04-1						
Suffusion	-	-	fort	Très fort	Non étudiées Débordement sur PR03 à l'amont immédiat	Non étudiées Débordement sur PR03 à l'amont immédiat
Boulance	-	-	OK	fort		
Soulèvement du pied aval	-	-	-	-		
Renversement du mur	-	-	OK	OK en l'état actuel		
Glissement du mur	-	-	OK	OK en l'état actuel		
Soulèvement du mur	-	-	OK	OK		
Stabilité - Talus côté terre	OK	OK	OK	OK		
Stabilité - Talus côté rivière	OK	OK	OK	OK		

Tableau 36 : Résultats des calculs géotechniques menés – Digue historique de Tarteau – Tronçon AEP2 (source : Géolithe)

On notera que les calculs ont été réalisés sur le profil PR04-1. Ce profil présente une géométrie très proche de celle du profil critique de AEP2. Les hauteurs de charge retenues dans la G5 sont cohérentes avec les hauteurs de charge maximales calculées lors de l'analyse géométrique exhaustive.

Les hypothèses géométriques et de charge hydraulique retenues dans la G5 sont ainsi validées dans le sens où elles correspondent à la situation la plus préjudiciable pour le tronçon AEP2 de la digue historique de Tarteau.

Ce tronçon présente des risques potentiels de défaillance dès la Q₃₀, risques qui augmentent pour des crues supérieures.

Les risques principaux sont liés à des problématiques de suffusion et de boulanges en pied de mur. Ces phénomènes pourraient conduire à une instabilité de sol d'assise du mur, ce qui pourrait entraîner une instabilité du mur par voie de conséquence.

En conclusion, en l'état actuel, la stabilité du tronçon AEP2 de la digue historique de Tarteau n'est pas garantie. Il conviendra donc de retenir un niveau de protection mettant faiblement en charge l'ouvrage (Q₁₀).

➤ **Tronçon AEP3**

Aucun calcul n'a été réalisé dans la G5 sur ce tronçon. Toutefois, il présente une géométrie très proche de AEP4 et bénéficie de la présence d'un perré béton en sus. Les charges hydrauliques sont un peu moins pénalisantes sur ce tronçon que sur celui d'AEP4.

Ce tronçon constitue un tronçon moins préjudiciable qu'AEP4 (cf. paragraphe suivant). L'absence de calcul géotechnique sur ce tronçon est ainsi validée.

➤ **Tronçon AEP4**

Les résultats des calculs menés sur le tronçon AEP4 sont résumés dans le tableau suivant :

	Exploitation normale	Séisme	Q_{30}/DQ_{30}	Q_{50}/DQ_{50}	Q_{100}/DQ_{100}	Q_{ex}/DQ_{ex}
AEP aval – PR15						
Suffusion	-	-	-	Très faible	Faible	Faible
Boulance	-	-	-	Très faible	Très faible	Très faible
Soulèvement du pied aval	-	-	-	-	-	-
Stabilité - Talus côté terre / amont	OK	OK	-	OK	OK	OK
Stabilité - Talus côté rivière / aval	OK	OK	-	OK	OK	OK

Tableau 37 : Résultats des calculs géotechniques menés – Digue historique de Tarteau – Tronçon AEP4 (source : Géolithe)

On notera que les calculs ont été réalisés sur le profil PR15. Ce profil présente une géométrie très proche de celle du profil critique de AEP4. Les hauteurs de charge retenues dans la G5 sont cohérentes avec les hauteurs de charge maximales calculées lors de l'analyse géométrique exhaustive, d'autant plus qu'elles ne considèrent pas de niveau d'eau "aval" (alors qu'il y a contournement à partir de Q_{100}), ce qui est sécuritaire.

Les hypothèses géométriques et de charge hydraulique retenues dans la G5 sont ainsi validées dans le sens où elles correspondent à la situation la plus préjudiciable pour le tronçon AEP4 de la digue historique de Tarteau.

En situations de crues Q_{50} , Q_{100} et Q_{ex} :

- le risque de suffusion et de boulangerie sont très faibles à faibles en cas de régime permanent de crue,
- le risque de boulangerie est négligeable.

En conclusion, en l'état actuel, la stabilité du tronçon AEP4 de la digue historique de Tarteau est assurée pour toutes les crues considérées.

7.3. Etude des défaillances structurelles du système d'endiguement

L'ensemble des éléments de connaissance du système d'endiguement permet d'évaluer la probabilité de défaillance selon chaque mécanisme de rupture pour une crue donnée.

Le présent chapitre évalue la probabilité de défaillance des ouvrages de premier rang du système d'endiguement de Pertuis dans leur état actuel, et synthétise les résultats des probabilités de défaillance évaluées sur le système d'endiguement actuel de Pertuis dans le cadre de l'étude de dangers réalisée par Ingérop en 2019.

7.3.1. Rupture par surverse

La rupture par surverse peut se produire pour un déversement faible sur la crête d'une digue en terre. Le mécanisme d'érosion régressive s'amorce alors à partir du parement aval puis attaque la crête jusqu'à ce qu'une brèche soit ouverte. L'érosion se poursuit ensuite et agrandit cette brèche. Le phénomène peut durer de quelques minutes à quelques heures selon la granulométrie des matériaux, leur cohésion, le revêtement de la crête ainsi que la hauteur de la lame d'eau. La partie rompue correspond généralement à toute la hauteur de la digue.

7.3.1.1. Système d'endiguement actuel de Pertuis

Pour le système d'endiguement actuel de Pertuis, les classes de risque suivantes ont été établies par l'étude de dangers de 2019 et sont appliquées en fonction de la hauteur de revanche disponible, à savoir la différence entre le niveau de crête de digue et le niveau de la ligne d'eau. Cette cotation intègre les incertitudes liées à la modélisation dues aux hypothèses du modèle.

Hauteur de revanche $H_r = Z_{\text{crête}} - Z_{\text{crue}}$	$P(s_a)$	Probabilité qualitative
$H_r > 1,5 \text{ m}$	10^{-4}	Extrêmement peu probable
$1,0 \text{ m} < H_r \leq 1,5 \text{ m}$	10^{-3}	Très improbable
$0,5 \text{ m} < H_r \leq 1,0 \text{ m}$	10^{-2}	Improbable
$0,0 < H_r \leq 0,5 \text{ m}$	10^{-1}	Peu probable
$H_r \leq 0,0 \text{ m}$	1	Certain

Tableau 38 : Probabilités associées à l'apparition de la surverse (EDD 2019, Ingérop)

Le risque de défaillance par surverse a été déterminé par le calcul de la probabilité de rupture par surverse $P(s)$ définie comme :

$$P(s) = P_{\text{crue}} \times P(s_a) \times P(s_r)$$

Avec :

- P_{crue} : probabilité de la crue,
- $P(s_a)$: probabilité conditionnelle de surverse sachant la crue réalisée,
- $P(s_r)$: probabilité conditionnelle de rupture sachant la surverse réalisée.

Les probabilités calculées sont synthétisées dans le tableau ci-après :

Ouvrage	Gammes de crue et occurrence P_{crue}		$P(s_a)$	$P(s_r)$	$P(s)$	Cotation retenue
Section courante du système d'endiguement	Q_{100}	10^{-2}	10^{-2}	1	10^{-4}	E
	Q_{exc}	3.10^{-3}	10^{-1}		3.10^{-4}	
Déversoir de la digue de Saint-Roch	Q_{100}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-5}	E
	Q_{exc}	3.10^{-3}	1		3.10^{-5}	

Tableau 39 : Cotation du scénario de rupture par surverse (EDD 2019, Ingérop)

« Les scénarios de rupture par surverse du système d'endiguement en section courante ou de la section renforcée aux déversements sont tous deux qualifiés d'extrêmement peu probables (cotation E). Pour les différentes crues considérées, les digues sont correctement dimensionnées avec des revanches suffisantes. Une rupture par surverse n'est raisonnablement envisageable qu'en considérant des crues d'intensité supérieure à la crue exceptionnelle. » (EDD 2019, Ingérop)

On notera que les travaux réalisés en mars-avril 2023 (gradins + vélo-route) sur la digue du Père-Grand aval au niveau du stade Farigoulie (cf. Annexe 4) ne remet pas en cause les conclusions de l'EDD de

2019, dans le sens où les travaux ont conduit à rehausser la crête de digue de seulement 10 cm sur un linéaire de 70 m.

7.3.1.2 Ouvrages de premier rang du système d'endiguement de Pertuis

Pour rappel, les ouvrages de premier rang du système d'endiguement de Pertuis ne sont en l'état pas aménagés pour résister à la surverse, hormis les têtes des épis de Corrèze (parement constitué de blocs béton) et du Mulet (parement en pierres maçonnées sur la crête et sur le talus aval).

Les classes de risque suivantes sont appliquées en fonction de la hauteur de revanche disponible, à savoir la différence entre le niveau de crête de digue et le niveau de la ligne d'eau. Cette cotation intègre les incertitudes liées à la modélisation ainsi que les possibles fluctuations de la ligne d'eau.

Aménagé pour résister à la surverse ?	Revanche (R)	Aléa	Probabilité
Non	$R < 0$ (dès que le phénomène de surverse se produit)	Fort	$\geq 50 \%$
	$0 \leq R \leq 0,2 \text{ m}$ (revanche comprise entre 0 et 20 cm)	Moyen	5 % à 50 %
	$R > 0,2 \text{ m}$ (revanche supérieure à 20 cm)	Faible	< 5%
Oui	/		

Tableau 40 : Critères d'évaluation des probabilités de défaillance par surverse

D'après les résultats des modélisations hydrauliques (cf. §4.2.3), le risque de défaillance par surverse du système d'endiguement de Pertuis est synthétisé dans les tableaux ci-après :

Ouvrage	Linéaire	Crue	Aménagé pour résister à la surverse ?	Revanche (R)	Risque de défaillance
Remblai voie ferrée	Totalité du linéaire	$Q \leq Q_{ex} = 6\,500\text{ m}^3/\text{s}$	Non	R > 0,2 m	Faible
Digue de Corrèze				R > 0,2 m	Faible
Digue du Mulet	Totalité du linéaire	$Q \leq Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$		R > 0,2 m	Faible
	Reste du linéaire	$Q_{ex} = 6\,500\text{ m}^3/\text{s}$		0 ≤ R ≤ 0,2 m	Moyen
	PM 511 à 605 / 619 à 631			R < 0	Fort
Epi de Corrèze	PM 312 à 317				
	Tête d'épi	-	Oui	/	Faible
Epi du Mulet	Reste du linéaire	$Q \leq Q_{ex} = 6\,500\text{ m}^3/\text{s}$	Non	R > 0,2 m	
	Tête d'épi	-	Oui	/	
Digue historique de Tarteau	Reste du linéaire	$Q \leq Q_{ex} = 6\,500\text{ m}^3/\text{s}$	Non	R > 0,2 m	
	Totalité du linéaire	$Q \leq Q_{30} = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$	Non	R > 0,2 m	Faible
	Reste du linéaire	$Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$		0 ≤ R ≤ 0,2 m	Moyen
	PM 37 à 40 / 46 à 54			R > 0,2 m	Faible
	Reste du linéaire	$Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$		0 ≤ R ≤ 0,2 m	Moyen
	PM 146 à 150			R < 0	Fort
	PM 34 à 146			R > 0,2 m	Faible
	Reste du linéaire	$Q_{ex} = 6\,500\text{ m}^3/\text{s}$		0 ≤ R ≤ 0,2 m	Moyen
	PM 4 à 6 / 10 à 16 / 26 à 31 / 154 à 157			R < 0	Fort
PM 7 à 9 / 17 à 25 / 32 à 153					

Tableau 41 : Evaluation des probabilités de défaillance par surverse

Ainsi, dans la configuration actuelle, le risque de défaillance par surverse sur les ouvrages de premier rang du système d'endiguement de Pertuis est jugé :

- Remblai de la voie ferrée : faible jusqu'à une crue $Q_{ex} = 6\,500\text{ m}^3/\text{s}$,
- Digues et épis du secteur Corrèze-Mulet :
 - faible jusqu'à une crue $Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$,
 - fort à partir d'une crue $Q_{ex} = 6\,500\text{ m}^3/\text{s}$.
- Digue historique de Tarteau :
 - faible jusqu'à une crue $Q_{30} = 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$,
 - moyen à partir d'une crue $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$.
 - fort à partir d'une crue $Q_{100} = 5\,000\text{ m}^3/\text{s}$.

7.3.2 Rupture par érosion interne

La rupture par érosion interne est produite par le transport de particules de sol à l'intérieur d'une couche de sol, à l'interface entre deux couches ou à l'interface du sol et d'une structure. Ce processus peut mener à l'instabilité de la digue.

7.3.2.1 Système d'endiguement actuel de Pertuis

Quatre mécanismes peuvent engendrer l'apparition d'érosion interne :

- L'érosion régressive,
- Le phénomène de boulance,
- Le phénomène de suffusion,
- L'érosion de contact.

Ces quatre mécanismes d'érosion interne ont été étudiés dans le cadre de l'étude de dangers de 2019. Les analyses ont conclu que seul le phénomène de suffusion présente un risque réel, avec une probabilité certaine d'initiation du phénomène.

Le risque de défaillance par érosion interne du système d'endiguement de Pertuis est déterminé par le calcul de la probabilité d'occurrence de la rupture par érosion interne $P(ei)$ définie comme :

$$P(ei) = P(ei_a) \times P(ei_r)$$

Avec :

- $P(ei_a)$: probabilité d'apparition d'érosion interne
- $P(ei_r)$: probabilité de rupture en cas d'érosion interne.

Les probabilités calculées sont synthétisées dans le tableau ci-après :

Ouvrage	Gammes de crue et occurrence		$P(ei_a)$	$P(ei_r)$	$P(ei)$	Probabilité totale	Cotation retenue
Système d'endiguement	Q_{100}	10^{-2}	1	10^{-3}	10^{-2}	10^{-4}	E
	Q_{exc}	3.10^{-3}	1		10^{-3}	3.10^{-6}	

Tableau 42 : Cotation du scénario de rupture par érosion interne (EDD 20,19, Ingérop)

« La réalisation des digues dans les règles de l'art, avec homogénéité et compactage des matériaux mis en œuvre, pose de géotextiles sur les talus et soin apporté à la conception des ouvrages traversants, permet de garantir une faible probabilité de rupture par érosion interne pour toutes les sections du système d'endiguement. » (EDD 2019, Ingérop)

On notera que les travaux réalisés en mars-avril 2023 (gradins + vélo-route) sur la digue du Père-Grand aval au niveau du stade Farigoulier (cf. Annexe 4) ne remet pas en cause les conclusions de l'EDD de 2019. En effet, pour rappel, une étude géotechnique (cf. Annexe 5) a été réalisée avant la réalisation des travaux afin de confirmer que ces derniers ne modifiaient pas le comportement hydraulique de l'ouvrage et que la stabilité de la digue était vérifiée en toute circonstance.

Les équipes du service de maîtrise d'œuvre du SMAVD ont contrôlé le bon déroulement des travaux et le respect des préconisations indiquées dans l'étude géotechnique. Les travaux ont ainsi été réalisés dans les règles de l'art et ne remettent pas en question l'entretien, la surveillance et la fiabilité du système d'endiguement.

7.3.2.2 Ouvrages de premier rang du système d'endiguement de Pertuis

Le risque de défaillance par érosion interne du système d'endiguement de Pertuis défini par Géolithe (cf. §7.2.4) est synthétisé dans les tableaux ci-après :

Ouvrage		Crue	Risque de défaillance
Remblai voie ferrée		$Q \leq Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
Digue de Corrèze		$Q \leq Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible (absence de mise en charge)
		$Q \geq Q_{100} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Moyen (suffusion)
Digue du Mulet		$Q \leq Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible (absence de mise en charge)
		$Q \geq Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Fort (boulance / suffusion)
Epi de Corrèze		$Q \leq Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible (absence de mise en charge)
		$Q \geq Q_{100} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Fort (suffusion)
Epi du Mulet		$Q \leq Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
		$Q \geq Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Fort (suffusion)
Digue historique de Tarteau	Tronçon AEP1	$Q \leq Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
		$Q \geq Q_{100} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Non défini
	Tronçon AEP2	$Q \leq Q_{10} = 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible (absence de mise en charge)
		$Q \geq Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Fort (suffusion)
	Tronçons AEP3/AEP4	$Q \leq Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible

Tableau 43 : Evaluation des probabilités de défaillance par érosion interne

Ainsi, dans la configuration actuelle, le risque de défaillance par érosion interne sur les ouvrages de premier rang du système d'endiguement de Pertuis est jugé :

- Remblai de la voie ferrée : faible jusqu'à une crue $Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Digues et épis du secteur Corrèze-Mulet :
 - faible jusqu'à une crue $Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - fort à partir d'une crue $Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Digue historique de Tarteau :
 - faible jusqu'à une crue $Q_{10} = 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - fort à partir d'une crue $Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$.

7.3.3 Rupture par glissement

L'aléa glissement de talus est un mécanisme de rupture entraîné par une instabilité d'ensemble de l'ouvrage. Il apparaît lorsque les résistances au cisaillement des matériaux constitutifs de la digue ou de sa fondation sont inférieures aux charges motrices appliquées par le poids des matériaux, les pressions d'eau dans l'ouvrage, et les surcharges de service. Il peut affecter les matériaux du corps de digue mais également les sols de fondation.

Les glissements de talus peuvent être observés dans différentes situations, à l'amont comme à l'aval :

- suite à une modification du profil de la digue (détérioration des talus sous l'action de l'érosion externe par exemple, aménagement anthropique tel que reprofilage ou réhausse ...),
- lors d'un épisode de crue :
 - glissement du talus aval suite à la mise en charge de l'ouvrage,
 - glissement du talus amont lors de la décrue, phase durant laquelle la diminution de la charge sur l'ouvrage entraîne une décompression et un lessivage des matériaux constitutifs des talus,
- suite à l'évolution défavorable des caractéristiques des matériaux de constitution ou de fondation de l'ouvrage (cycle de dessiccation-imbibition, fluage, liquéfaction ...).

7.3.3.1 Système d'endiguement actuel de Pertuis

Pour le système d'endiguement actuel de Pertuis, les classes de risque suivantes ont été établies par l'étude de dangers de 2019 et sont appliquées en fonction du facteur de sécurité F obtenu en situation de crue exceptionnelle :

Facteur de sécurité F vis-à-vis du glissement du talus	P(g _a)	Probabilité qualitative
1 ≤ F < 1,1	3.10 ⁻²	Très peu probable
1,1 ≤ F < 1,3	10 ⁻²	Improbable
1,3 ≤ F < 1,5	10 ⁻³	Très improbable
F ≥ 1,5	10 ⁻⁴	Extrêmement peu probable

Tableau 44 : Probabilités d'apparition d'un glissement de talus P(g_a) en fonction du facteur de sécurité F calculé (EDD 2019, Ingérop)

Le risque de défaillance par glissement du système d'endiguement de Pertuis est déterminé par le calcul de la probabilité d'occurrence de la rupture par glissement de talus définie comme :

$$P(g) = P(g_a) \times P(g_r)$$

Avec :

- P(g_a) : probabilité d'apparition du glissement de talus,
- P(g_r) : probabilité de rupture en cas de glissement de talus.

Les probabilités calculées sont synthétisées dans le tableau ci-après :

Ouvrage	Gammes de crue et occurrence		P(g _a)	P(g _r)	P(g)	Probabilité totale	Cotation retenue
Digue de Saint-Roch	Q ₁₀₀	10 ⁻²	3.10 ⁻²	10 ⁻³	3.10 ⁻⁵	<10 ⁻⁴	E
	Q _{exc}	3.10 ⁻³	10 ⁻²	1	10 ⁻²	<10 ⁻⁴	
Digue du Père Grand Amont	Q ₁₀₀	10 ⁻²	-	-	-	-	E
	Q _{exc}	3.10 ⁻³	3.10 ⁻²	1	3.10 ⁻²	<10 ⁻⁴	
Digue du Père Grand Aval	Q ₁₀₀	10 ⁻²	3.10 ⁻²	10 ⁻³	3.10 ⁻⁵	<10 ⁻⁴	E
	Q _{exc}	3.10 ⁻³	3.10 ⁻²	1	3.10 ⁻²	<10 ⁻⁴	
Digue de Tarteau amont	Q ₁₀₀	10 ⁻²	3.10 ⁻²	10 ⁻³	3.10 ⁻⁵	<10 ⁻⁴	E
	Q _{exc}	3.10 ⁻³	3.10 ⁻²	10 ⁻³	3.10 ⁻⁵	<10 ⁻⁴	
Digue de Tarteau aval	Q ₁₀₀	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻³	<10 ⁻⁴	E
	Q _{exc}	3.10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻⁶	<10 ⁻⁴	

Tableau 45 : Cotation du scénario de rupture par glissement de talus (EDD 2019, Ingérop)

« Pour l'ensemble des sections du système d'endiguement, le scénario de rupture par glissement de talus est extrêmement peu probable. Les digues ont en effet été dimensionnées selon les règles de l'art, avec des pentes de talus à 2H/1V et une largeur en crête minimale de 4,5 m et des calculs de stabilité justifiant cette stabilité générale au glissement ont été réalisés pour l'ensemble des tronçons. » (EDD 2019, Ingérop)

On notera que les travaux réalisés en mars-avril 2023 (gradins + vélo-route) sur la digue du Père-Grand aval au niveau du stade Farigoulier (cf. Annexe 4) ne remet pas en cause les conclusions de l'EDD de 2019. En effet, pour rappel, une étude géotechnique (cf. Annexe 5) a été réalisée avant la réalisation des travaux afin de confirmer que ces derniers ne modifiaient pas le comportement hydraulique de l'ouvrage et que la stabilité de la digue était vérifiée en toute circonstance.

Les équipes du service de maîtrise d'œuvre du SMAVD ont contrôlé le bon déroulement des travaux et le respect des préconisations indiquées dans l'étude géotechnique. Les travaux ont ainsi été réalisés dans les règles de l'art et ne remettent pas en question l'entretien, la surveillance et la fiabilité du système d'endiguement.

7.3.3.2 Ouvrages de premier rang du système d'endiguement de Pertuis

Le risque de défaillance par glissement du système d'endiguement de Pertuis défini par Géolithe (cf. §7.2.4) est synthétisé dans les tableaux ci-après :

Ouvrage	Crue	Risque de défaillance
Remblai voie ferrée	$Q \leq Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
Digue de Corrèze	$Q \leq Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible (absence de mise en charge)
	$Q \geq Q_{100} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Moyen
Digue du Mulet	$Q \leq Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
	$Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{100} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Moyen
	$Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$	Fort
Epi de Corrèze	$Q \leq Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
Epi du Mulet		

Ouvrage		Crue	Risque de défaillance
Digue historique de Tarteau	Tronçon AEP1	$Q \leq Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
		$Q \geq Q_{100} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Non défini
	Tronçon AEP2	$Q \leq Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
		$Q \geq Q_{100} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Non défini
	Tronçon AEP3	$Q \leq Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
	Tronçon AEP4		

Tableau 46 : Evaluation des probabilités de défaillance par glissement

Ainsi, dans la configuration actuelle, le risque de défaillance par glissement des ouvrages de premier rang du système d'endiguement de Pertuis est jugé :

- Remblai de la voie ferrée : faible jusqu'à une crue $Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Digue et épis du secteur Corrèze-Mulet :
 - faible jusqu'à une crue $Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - moyen à partir d'une crue $Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - fort à partir d'une crue $Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Digue historique de Tarteau : faible jusqu'à une crue $Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$.

7.3.4 Rupture par érosion externe

7.3.4.1 Système d'endiguement actuel de Pertuis

« Seul le secteur de Père Grand Aval est concerné par le risque d'affouillement du fait de sa proximité de la Durance. La mobilité latérale de la Durance au droit de ce secteur est a priori limitée par l'épi du Père Grand Aval (de 30 m de longueur), construit à l'angle de la digue, et par les fondations des piles du pont de Pertuis en aval, qui constituent deux « points durs » faisant obstacle à un rapprochement du lit mineur. Deux calculs de stabilité ont toutefois été effectués pour étudier l'influence d'un affouillement au pied de la digue de Père Grand Aval ». (EDD 2019, Ingérop)

Les résultats des modélisations et calculs de stabilité réalisés démontrent que la stabilité de l'ouvrage reste assurée tant que la Durance reste à une distance supérieure à 5 m du pied de talus de la digue : **« On pourra considérer le risque de rupture des digues par érosion externe comme négligeable. »** (EDD 2019, Ingérop)

On notera que les travaux réalisés en mars-avril 2023 (gradins + vélo-route) sur la digue du Père-Grand aval au niveau du stade Farigoulier (cf. Annexe 4) ne remet pas en cause les conclusions de l'EDD de 2019, dans le sens où le talus de digue côté Durance n'a pas été modifié.

7.3.4.2 Ouvrages de premier rang du système d'endiguement de Pertuis

➤ Remblai de la voie ferrée et secteur Corrèze-Mulet

Les ouvrages dans l'ensemble se situent très en retrait du lit vif de la Durance et sont donc peu sollicités en cas de crue.

Seules les têtes d'épis peuvent être soumises à des phénomènes d'érosions locales. Ces ouvrages sont tous équipés d'enrochements ou de parement en pierres et donc peu sensibles à des risques d'érosions pouvant entraîner une rupture de l'ouvrage :

- Epi de Corrèze : la tête d'épi est déversant à partir de la Q_{100} . La tête de l'ouvrage est dimensionnée pour être déversant (parement en constitué de blocs béton). Le risque de rupture par érosion externe est écarté,
- Epi du Mulet : la tête d'épi est déversant à partir de la Q_{50} . La tête de l'ouvrage est dimensionnée pour être déversant (parement en pierre maçonné sur la crête et le talus aval) et la hauteur de l'ouvrage est faible (de l'ordre de 80 cm). Le risque de rupture par érosion externe est écarté.

➤ *Digue historique de Tarteau*

L'ouvrage, sur toute sa partie amont (tronçon AEP1 et AEP2), se situe en berge et est donc à proximité immédiate du lit vif de la Durance. Ce dernier ou son assise peuvent ainsi être sollicités de manière importante en cas de crue. Cela semble d'ailleurs avoir été le cas au cours des crues de 1994 (cf. §6.1.1).

Sur le secteur où se situe l'ouvrage, les écoulements sont assez rectilignes et parallèles aux berges. En effet les écoulements sont assez bien dirigés à la fois par le pont de Pertuis et le seuil du canal de Marseille ce qui limite grandement le risque de formation de coudes qui pourraient créer des affouillements importants en pied de berge ou des phénomènes d'érosion.

Par ailleurs, l'analyse du profil en long du lit d'étiage (cf. §4.2.4.2) sur ce secteur montre que le lit est plutôt à la réhausse en amont du seuil du canal de Marseille. Il s'agit principalement de dépôts de limons affectant la traversée de Pertuis. A l'aval du seuil, le profil en long d'étiage est tenu par le substratum et ne semble pas évoluer.

De manière générale, les écoulements étant à la fois canalisés par le pont de Pertuis et le seuil du canal de Marseille, les vecteurs vitesses peuvent atteindre des intensités importantes à proximité de l'ouvrage.

Ainsi, lorsque l'on analyse les vitesses auxquelles peuvent être soumis l'ouvrage ou la berge, il convient de distinguer trois tronçons où les sollicitations hydrauliques sont différentes :

- un premier tronçon compris entre le pont de Pertuis et le seuil du canal de Marseille,
- un deuxième depuis le seuil du canal de Marseille jusqu'à l'aval du ressaut hydraulique,
- un troisième tronçon sur la partie aval.

L'extrait des vecteurs vitesses, issus des modélisations hydrauliques réalisées par le SMAVD, présenté sur la figure suivante témoigne des très fortes sollicitations dans ce secteur.

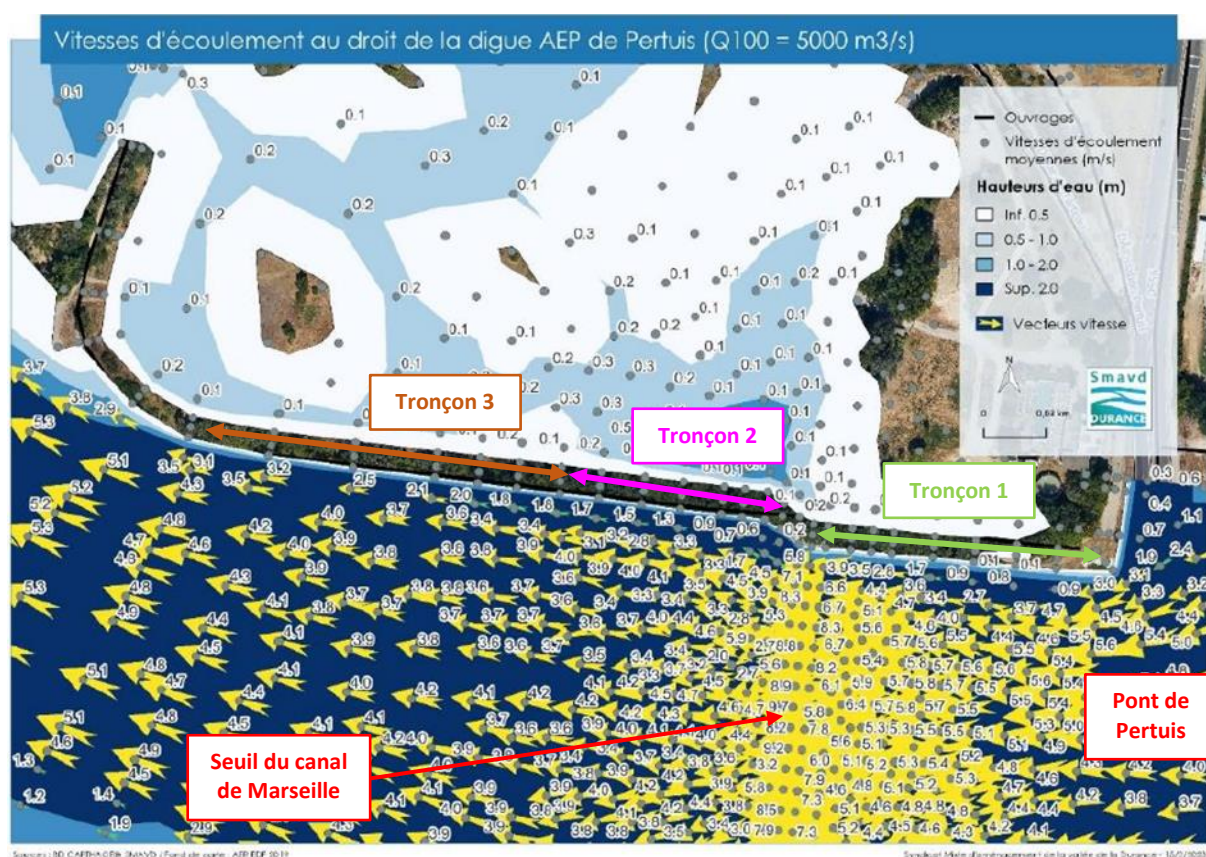


Figure 152 : Carte des vecteurs vitesses modélisées au niveau de la digue historique de Tarteau (source : SMAVD)

Les sollicitations hydrauliques sur l'ouvrage et la berge au niveau du tronçon 1 sont largement influencées par la culée rive droite du pont de Pertuis. En effet la berge et la digue se situent dans l'ombre de l'ouvrage d'art. Par conséquent, les écoulements à proximité de l'ouvrage sont moins rapides sur cette portion. Ainsi les sollicitations sont moins importantes sur ce secteur.

Sur le tronçon 2, au droit du seuil du canal de Marseille et dans la zone du ressaut hydraulique, les écoulements sont très turbulents et les sollicitations sur le fond du lit et en berge peuvent être très fortes. Sur cette portion, le seuil du canal de Marseille est doté d'une bêche para fouille et la berge, au niveau des appuis du seuil, est dotée d'une forte protection en enrochement bien visible. Tous ces dispositifs sont de nature à diminuer fortement le risque de déstabilisation de l'ouvrage par érosion externe.

Sur le tronçon 3, les vitesses modélisées sont importantes, jusqu'à 5 m/s sur l'aval du secteur. Sur ce tronçon, des sondages complémentaires ont été réalisés et ont permis de vérifier la présence de blocs (de calibres moyens 0,2-5 tonnes) sur une épaisseur comprise entre 0,5 et 1 m. Les blocs d'enrochements sont situés dans le talus de berge entre le pied de mur et le niveau d'étiage environ.

En revanche, l'aval du tronçon est fragilisé (cf. §7.2.1) et compte tenu des vitesses en jeu (les vitesses modélisées sont les plus élevées sur l'aval du tronçon) et de l'état des protections, il est possible que l'ouvrage soit mis en défaillance dans ce secteur.

Le risque de défaillance par érosion externe du système d'endiguement de Pertuis est synthétisé dans les tableaux ci-après :

Ouvrage		Crue	Risque de défaillance
Remblai voie ferrée		$Q \leq Q_{\text{ex}} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
Digue de Corrèze			
Digue du Mulet			
Epi de Corrèze			
Epi du Mulet			
Digue historique de Tarteau	Tronçon AEP1	$Q_{10} = 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q = 2\,500 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q \geq Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
	Tronçon AEP2		Moyen
			Fort
	Tronçon AEP3	$Q \leq Q_{\text{ex}} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$	Faible
	Tronçon AEP4		

Tableau 47 : Evaluation des probabilités de défaillance par érosion externe

Ainsi, dans la configuration actuelle, le risque de défaillance par érosion externe du système d'endiguement de Pertuis est jugé :

- Remblai de la voie ferrée : faible jusqu'à une crue $Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Digues et épis du secteur Corrèze-Mulet : faible jusqu'à une crue $Q_{ex} = 6\,500 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Digue historique de Tarteau :
 - faible jusqu'à une crue $Q_{10} = 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - moyen à partir d'une crue $Q = 2\,500 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - fort à partir d'une crue $Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$.

7.3.5 Synthèse sur la performance du système d'endiguement

L'analyse de risques a permis d'évaluer la probabilité de défaillance du système d'endiguement suivant différents mécanismes.

Au regard de cette analyse, le SMAVD a retenu les **niveaux de protection** (équivalent au niveau de sureté associé à une probabilité de défaillance maximale de 5 % pour chacun des risques) suivants pour les ouvrages de premier rang (objet de la présente étude de dangers) du système d'endiguement de Pertuis :

- **Système d'endiguement actuel de Pertuis** : crue centennale de la Durance de débit $5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- **Remblai de la voie ferrée et digues et épis du secteur Corrèze-Mulet** : crue trentennale de la Durance de débit $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- **Digue historique de Tarteau** : crue décennale de la Durance de débit $2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le **niveau de danger** (risque de défaillance $\geq 50\%$) est quant à lui associé :

- **Système d'endiguement actuel de Pertuis** : une crue extrême de la Durance de débit $7\,250 \text{ m}^3/\text{s}$,
- **Remblai de la voie ferrée et les digues et épis du secteur Corrèze-Mulet** : une crue cinquantennale de la Durance de débit $4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- **Digue historique de Tarteau** : une crue trentennale de la Durance de débit $4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$.

8 Etude des risques de venues d'eau dans et en dehors de la zone protégée

Le présent chapitre précise les risques de venues d'eau dans et en dehors de la zone protégée pour les différents scénarios demandés dans l'arrêté du 30 septembre 2019 qui précise le plan des études de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement.

Le modèle hydraulique du SMAVD a permis de déterminer les caractéristiques des écoulements (hauteurs d'eau, vitesses) qui ont été cartographiées et présentées dans les pages suivantes ainsi que le croisement de ces deux paramètres pour définir la dangerosité des venues d'eau.

La dangerosité des écoulements a été qualifiée de la façon suivante, conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019, en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulements mesurées, mais également de la configuration topographique des terrains inondés :

Hauteurs d'eau / Vitesses d'écoulements	$0 < v < 0,5 \text{ m/s}$	$v \geq 0,5 \text{ m/s}$
$0 < h < 1 \text{ m}$	Eaux non - dangereuses	Eaux dangereuses
$1 \leq h < 2 \text{ m}$	Eaux dangereuses	Eaux dangereuses
$h \geq 2 \text{ m}$ et points topographiques particuliers (points bas, cuvettes et zones de dissipation d'énergie)	Eaux particulièrement dangereuses	

Tableau 48 : Critères de définition de la dangerosité des venues d'eau

8.1 Scénario 1 : Fonctionnement normal du système d'endiguement

Ce scénario présente le système d'endiguement de Pertuis en fonctionnement nominal jusqu'aux différents niveaux de protection.

Dans ce scénario, les crues correspondant aux différents niveaux de protection des ouvrages sont contenues par les ouvrages (aucune entrée d'eau n'est observée au sein de la zone protégée), soit :

- Crue décennale de la Durance de débit $2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la digue historique de Tarteau,
- Crue trentennale de la Durance de débit $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le remblai de la voie ferrée et digues et épis du secteur Corrèze-Mulet,
- Crue centennale de la Durance de débit $5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le système d'endiguement actuel de Pertuis.

8.1.1 Scénario 1a : Digue historique de Tarteau ($Q_{10} = 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$)

Les cartographies de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement découlant de ce scénario, ainsi que de l'aléa issu du croisement de ces deux paramètres, sont présentées ci-après

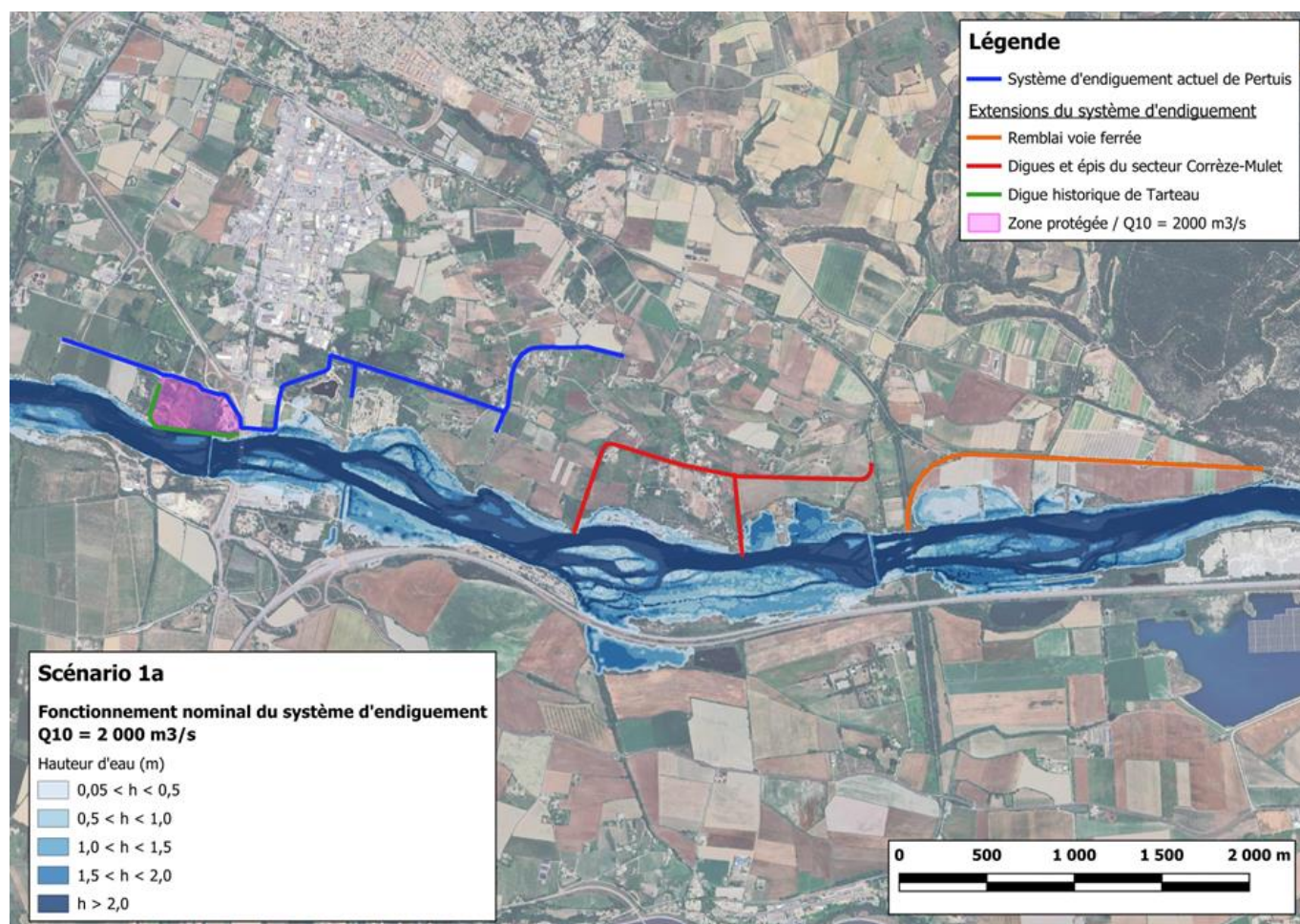


Figure 153 : Hauteurs d'eau - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$

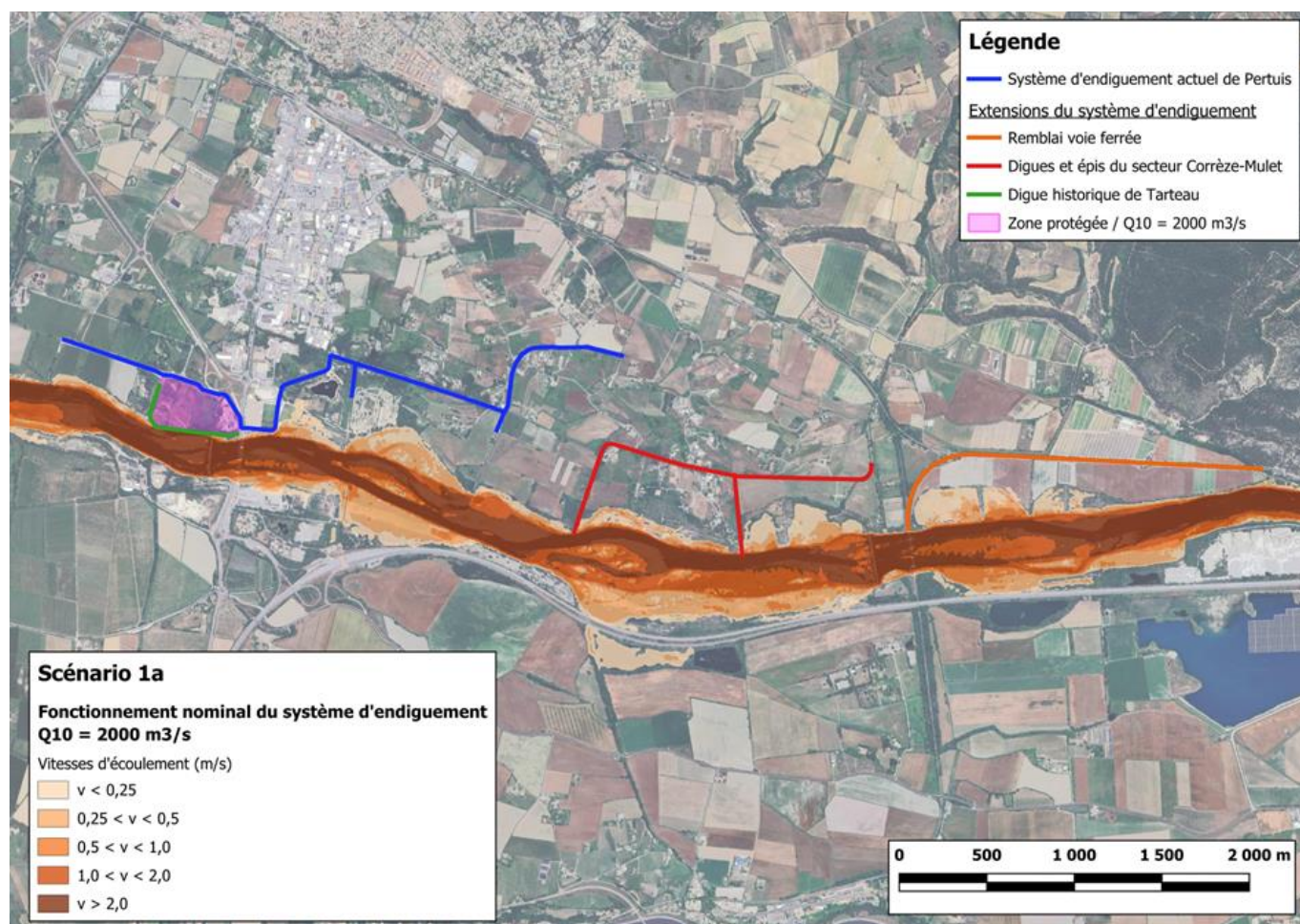


Figure 154 : Vitesses des écoulements - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

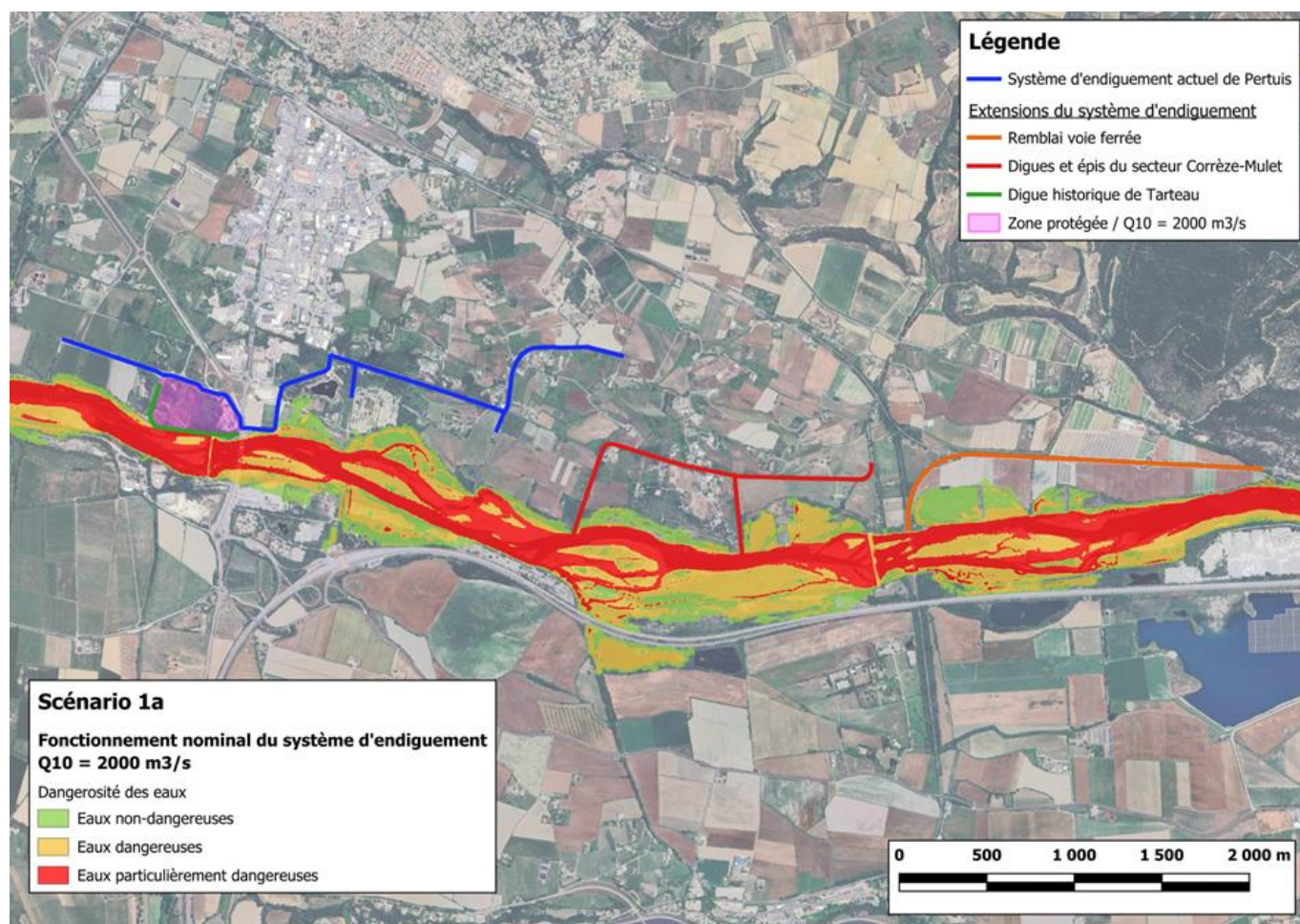


Figure 155 : Dangerosité des eaux - Scénario 1a (fonctionnement nominal) – $Q_{10} = 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

Les zones d'eaux particulièrement dangereuses se situent dans le lit de la Durance et de ses anciens méandres.

8.1.2 Scénario 1b : Remblai de la voie ferrée et des digues et épis du secteur Corrèze-Mulet ($Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$)

A noter que le niveau de protection de la digue historique de Tarteau étant dépassé, une brèche a été simulée au droit de cette dernière en aval du seuil du canal de Marseille.

Les cartographies de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement découlant de ce scénario, ainsi que de l'aléa issu du croisement de ces deux paramètres, sont présentées ci-après.

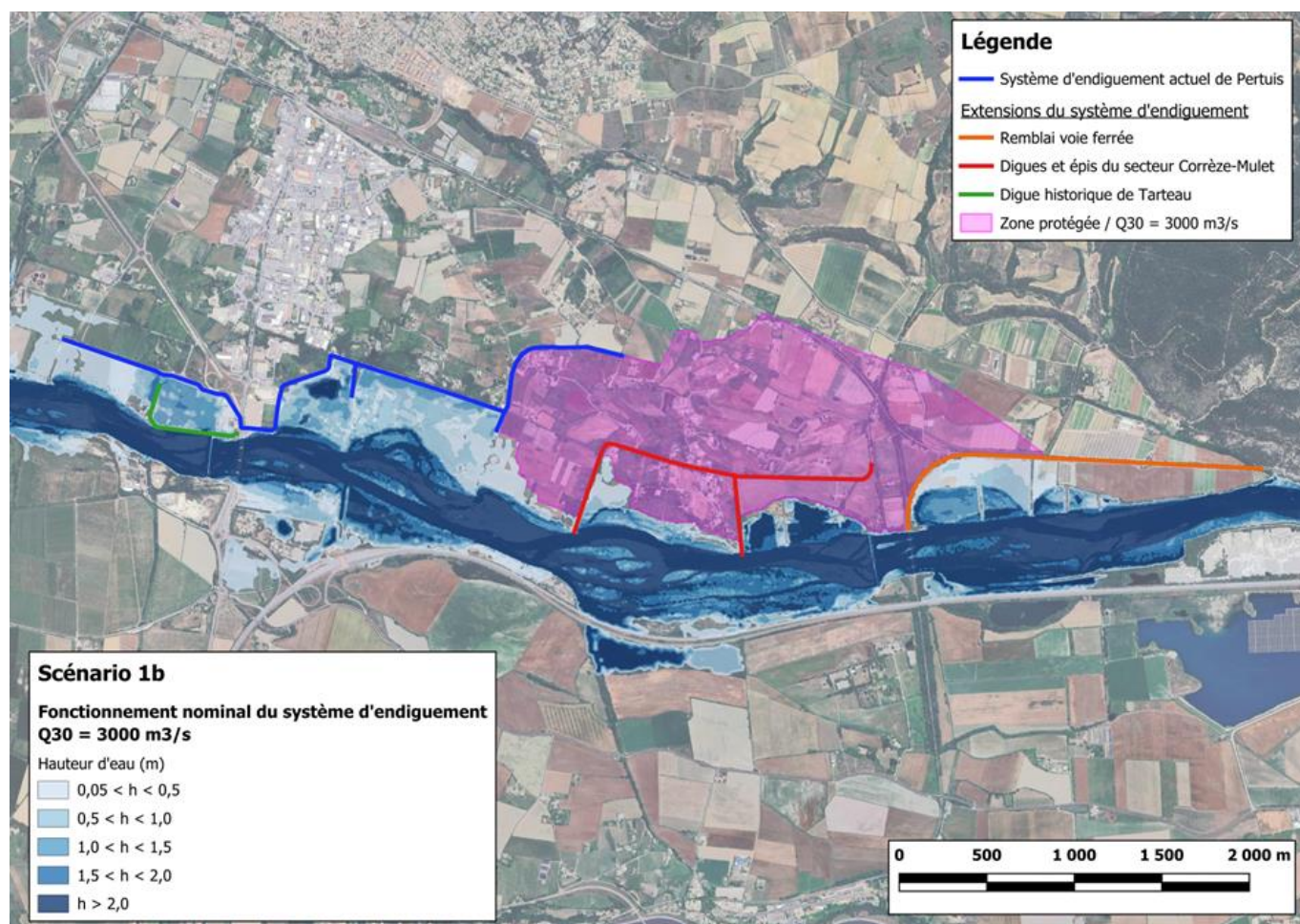


Figure 156 : Hauteurs d'eau - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

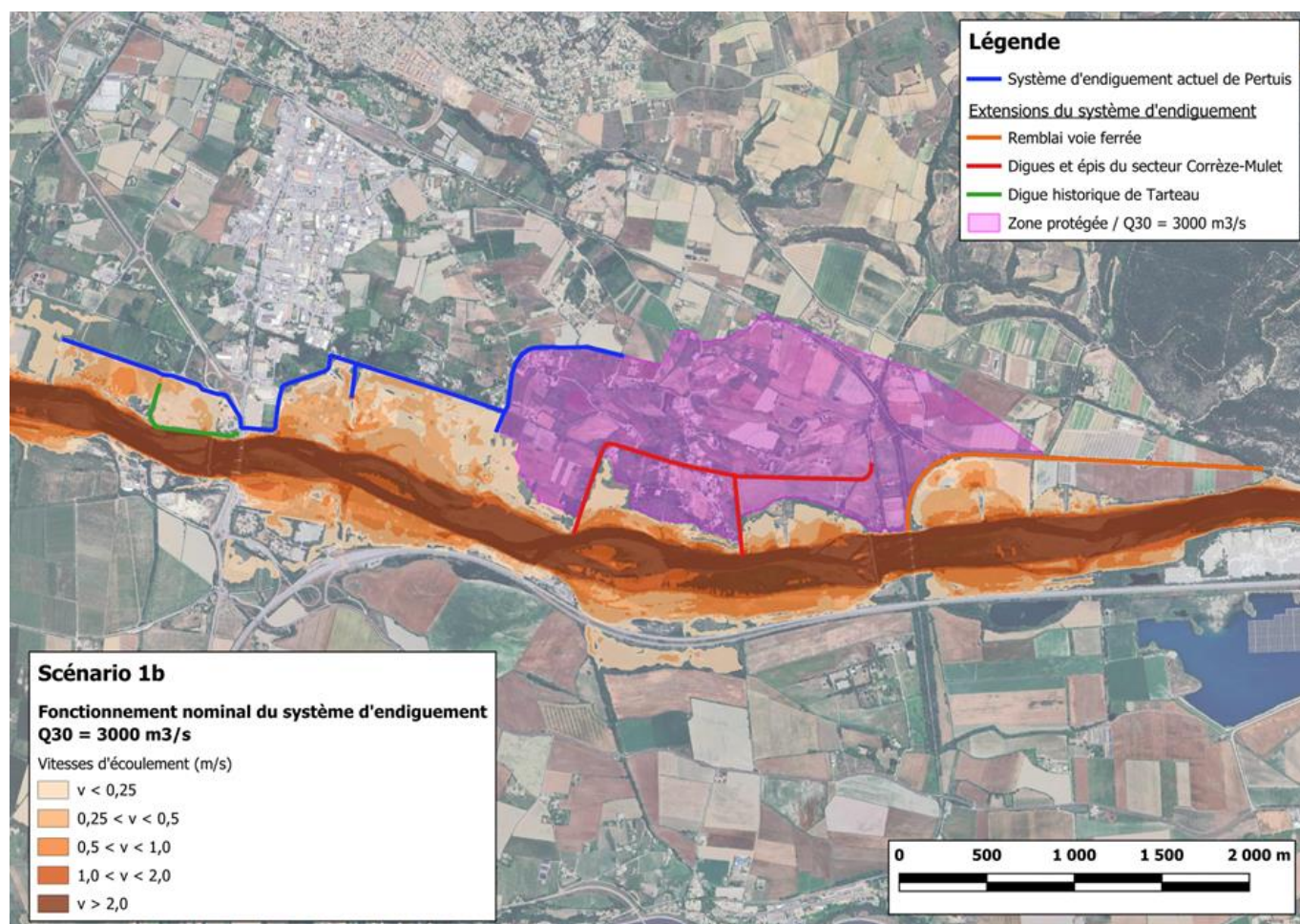


Figure 157 : Vitesses des écoulements - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$

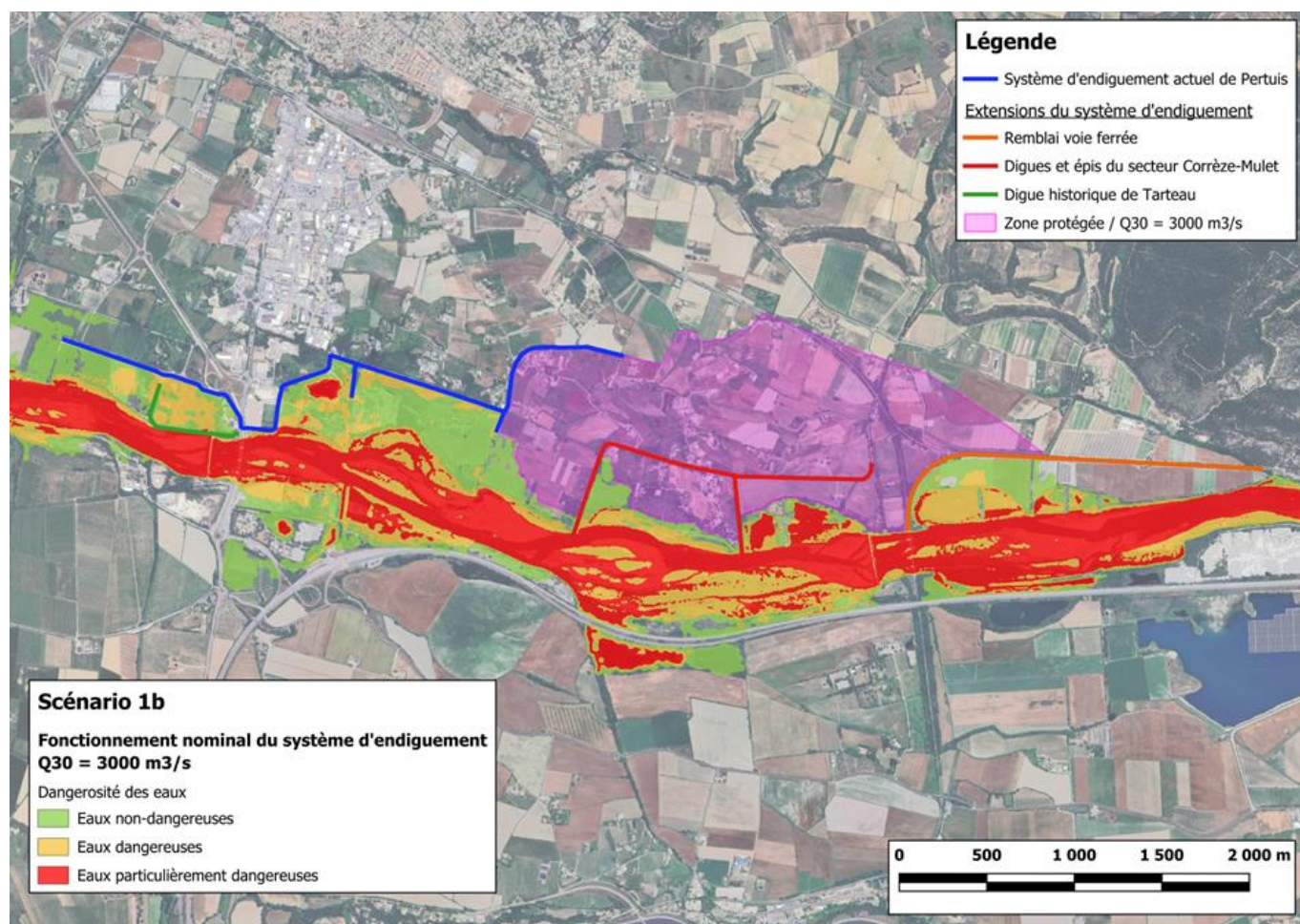


Figure 158 : Dangerosité des eaux - Scénario 1b (fonctionnement nominal) - $Q_{30} = 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

Les zones d'eaux particulièrement dangereuses se situent dans le lit de la Durance et de ses anciens méandres ainsi qu'au droit des plans d'eau existants.

8.1.3 Scénario 1c : Système d'endiguement actuel de Pertuis ($Q_{100} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$)

A noter que le niveau de protection de la digue historique de Tarteau étant dépassé, une brèche a été simulée au droit de cette dernière en en aval du seuil du canal de Marseille. De même, le niveau de protection du remblai de la voie ferrée et des digues et épis du secteur Corrèze-Mulet étant dépassé, une brèche a été simulée au niveau de la digue du Mulet à la jonction avec l'épi du Mulet.

Les cartographies de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement découlant de ce scénario, ainsi que de l'aléa issu du croisement de ces deux paramètres, sont présentées ci-après.

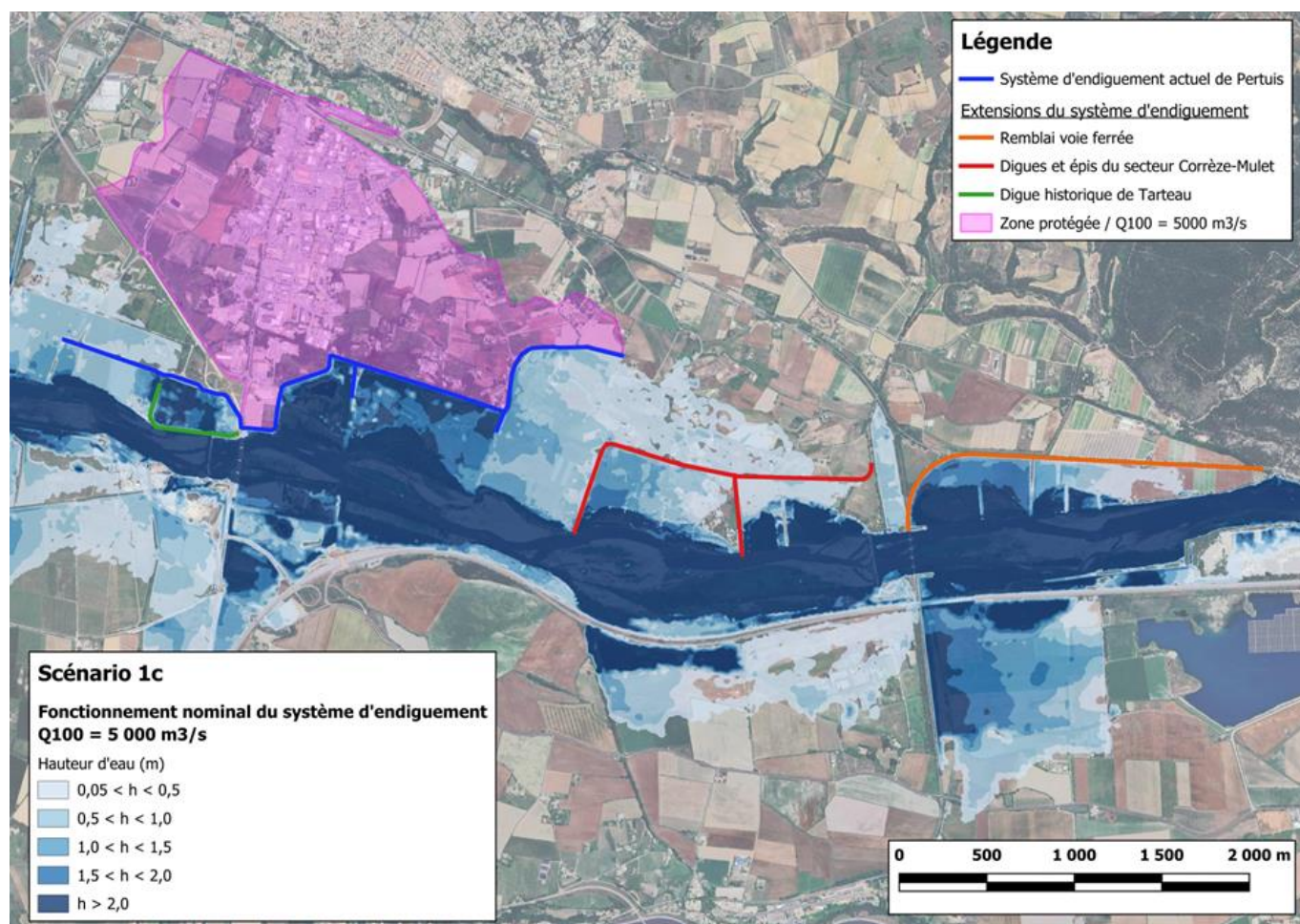


Figure 159 : Hauteurs d'eau - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$

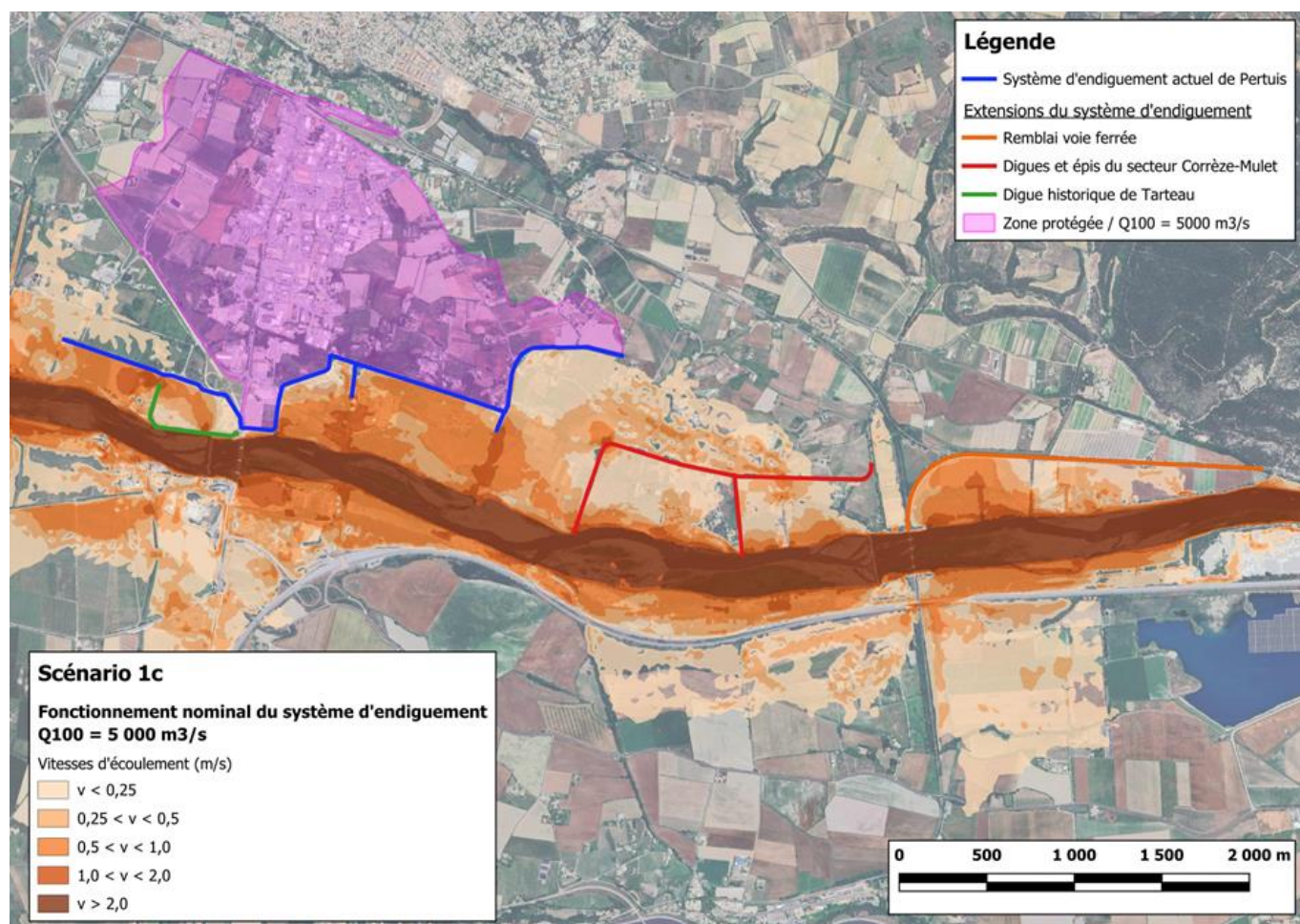


Figure 160 : Vitesses des écoulements - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$

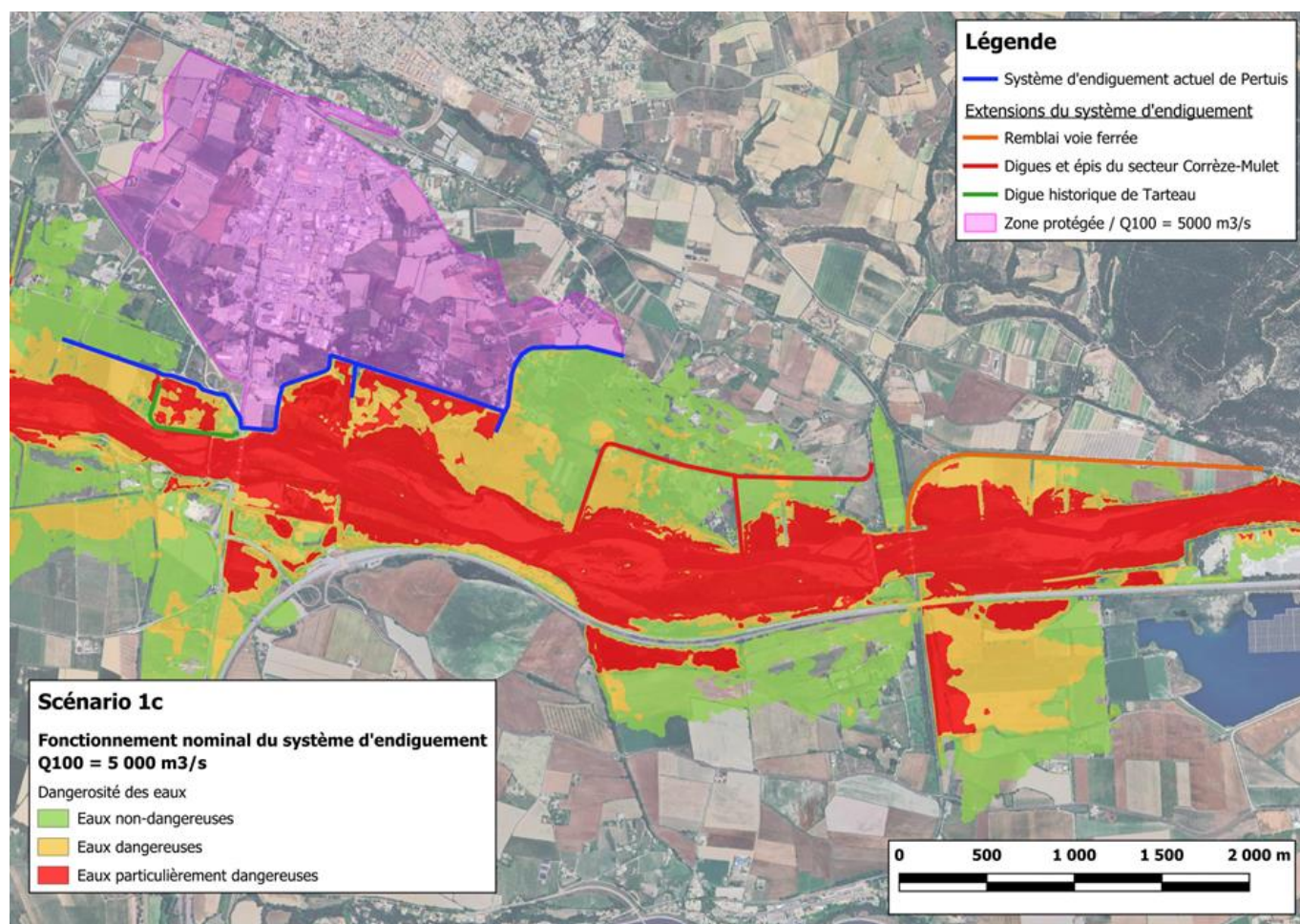


Figure 161 : Dangerosité des eaux - Scénario 1c (fonctionnement nominal) - $Q_{100} = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$

Les zones d'eaux particulièrement dangereuses se situent dans le lit de la Durand et de ses anciens méandres mais également devant le système d'endiguement actuel de Pertuis.

8.2 Scénario 2 : Défaillance fonctionnelle du système d'endiguement

Les ouvrages d'extension du système d'endiguement ne présentent pas de dispositif de régulation des écoulements sollicité pour les crues relative aux différents niveaux de protection retenus (cf. §5.1.2.1).

En revanche, le système d'endiguement actuel de Pertuis a fait l'objet d'un scénario de défaillance fonctionnelle d'une vanne qui resterait ouverte lors d'une crue d'occurrence centennale et laisserait ainsi entrer l'eau dans la zone protégée :

« Il n'y a pas d'ouvrage sous la RD973 qui pourrai conduire à des entrées d'eau vers la zone protégée. Sur le reste du système d'endiguement, seule une défaillance d'un organe de fermeture d'un réseau d'irrigation (vannes) pourrai conduire à des entrées d'eau vers la zone protégée. Etant donné que la probabilité que toutes les vannes fassent l'objet d'une défaillance lors d'une même crue est très faible, on modélise l'entrée d'eau par un seul ouvrage hydraulique. Celui-ci a été choisi de façon à obtenir la gravité la plus importante, en croisant le débit libérable (fonction du diamètre et de la hauteur de mise en charge de l'ouvrage) et la position de l'ouvrage vis-à-vis de enjeux. L'ouvrage retenu est celui situé

sur la digue de Saint-Roch (diamètre 800 mm, hauteur de mise en charge de 1,54 m, situé à l'amont de la ZAC. » (source : EDD 2019, Ingérop)

La cartographie des venues d'eau découlant de ce scénario est présentée ci-après :

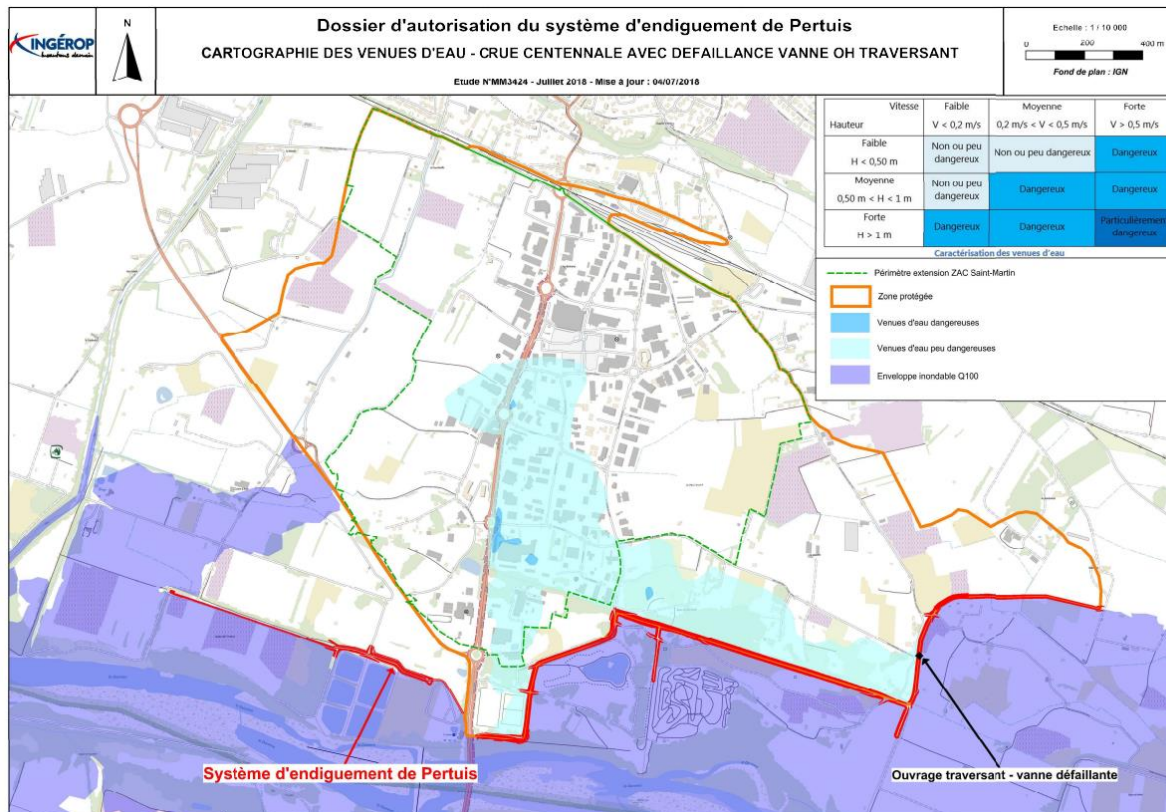


Figure 162 : Venues d'eau - Scénario 2 (défaillance fonctionnelle) – $Q_{100} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (source : EDD 2019, Ingérop)

8.3 Scénario 3 : Défaillance structurelle du système d'endiguement

Ce scénario présente le système d'endiguement de Pertuis avec une défaillance structurelle. Cette défaillance structurelle correspond à un risque de rupture d'au moins 50 % pour l'un des tronçons constitutifs du système d'endiguement.

Dans une démarche porteuse d'enseignements, il a été fait le choix d'étudier deux scénarios pour les ouvrages de premiers rang (objet de la présente étude de dangers) :

- une brèche au droit du secteur amont (Corrèze-Mulet + remblai voie ferrée),
- une brèche au droit de la digue historique de Tarteau.

On notera par ailleurs que les résultats présentés ci-après sont issus de deux modèles hydrauliques différents, à savoir respectivement :

- le modèle hydraulique réalisé dans le cadre de l'élaboration des Atlas Dynamiques des Zones Inondables (ADZI) pour le secteur amont (Corrèze-Mulet + remblai voie ferrée) qui couvre l'intégralité du secteur d'étude (limite aval du modèle au droit du seuil 6),
- le modèle hydraulique Eze-Laroque (qui ne couvre que la partie aval du secteur d'étude depuis le pont de Pertuis) pour le secteur de la digue historique de Tarteau.

Pour le système d'endiguement actuel du Pertuis, ce scénario correspond à « l'écoulement d'un débit de $7\,250\text{ m}^3/\text{s}$ associé aux conditions de ruptures défavorables pour le système d'endiguement » (source : EDD 2019, Ingérop).

8.3.1 Scénario 3a : Brèche au droit du secteur Corrèze-Mulet

Ce scénario a été défini pour une crue cinquantennale de la Durance de débit $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ qui génère une brèche au niveau de la digue du Mulet à la jonction avec l'épi du Mulet du fait de sa mise en charge (érosion interne).

Les caractéristiques de la brèche modélisée sont les suivantes :

- Largeur de la brèche : 80 m,
- Niveau digue après la brèche : effacement complet jusqu'au niveau du terrain naturel côté zone protégée,
- Durée de formation de la brèche : instantanée.

La brèche provoque des inondations au droit des habitations implantées entre l'épi du Mulet et la digue de Saint-Roch (système d'endiguement actuel de Pertuis) avec une hauteur maximale d'eau atteignant les 50 cm. L'emprise inondable s'étale jusqu'au niveau du déversoir de Saint-Roch, sans mise en charge de ce dernier.

Les cartographies de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement découlant de ce scénario, ainsi que de l'aléa issu du croisement de ces deux paramètres, sont présentées ci-après.

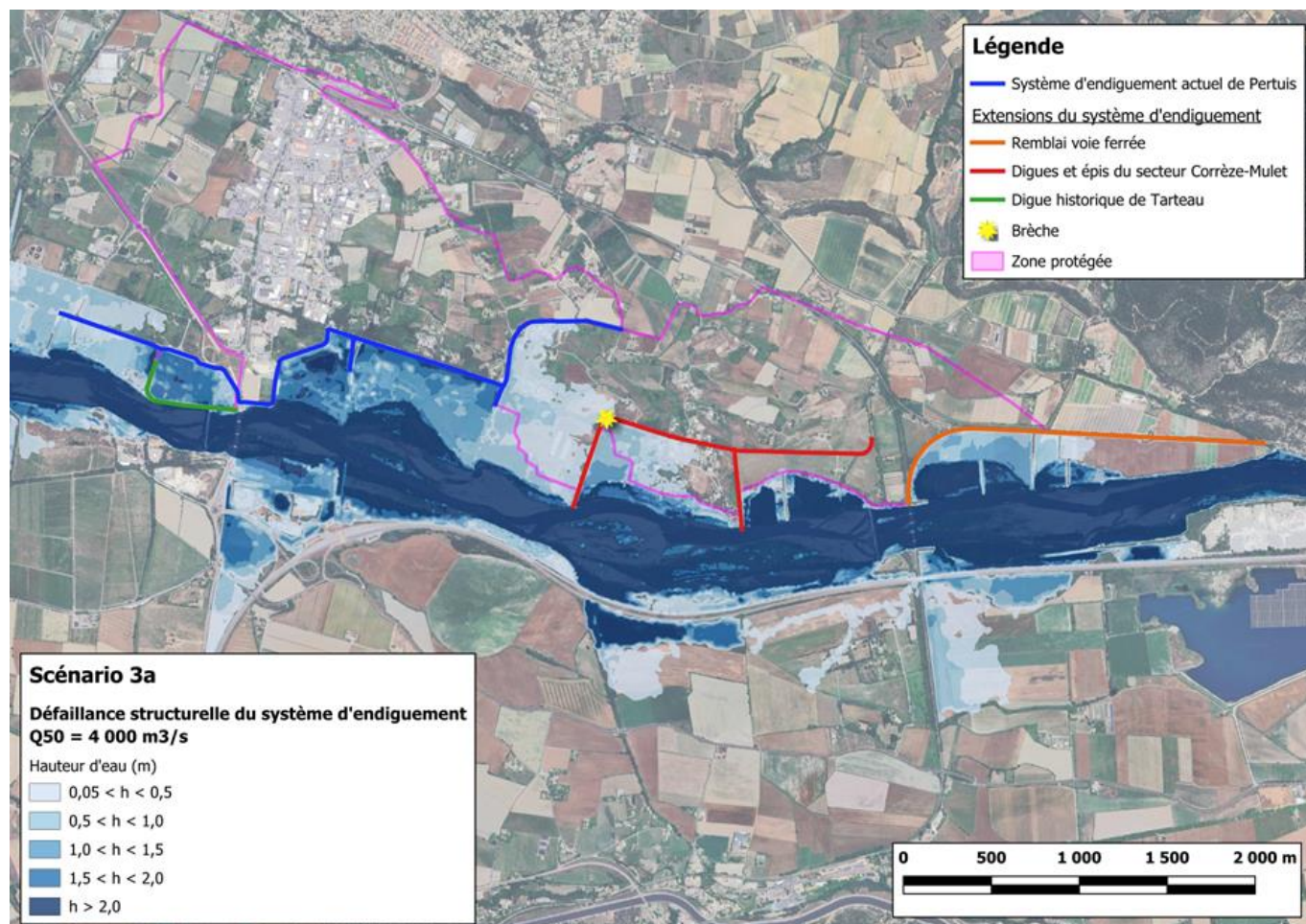


Figure 163 : Hauteurs d'eau - Scénario 3a (défaillance structurale) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$

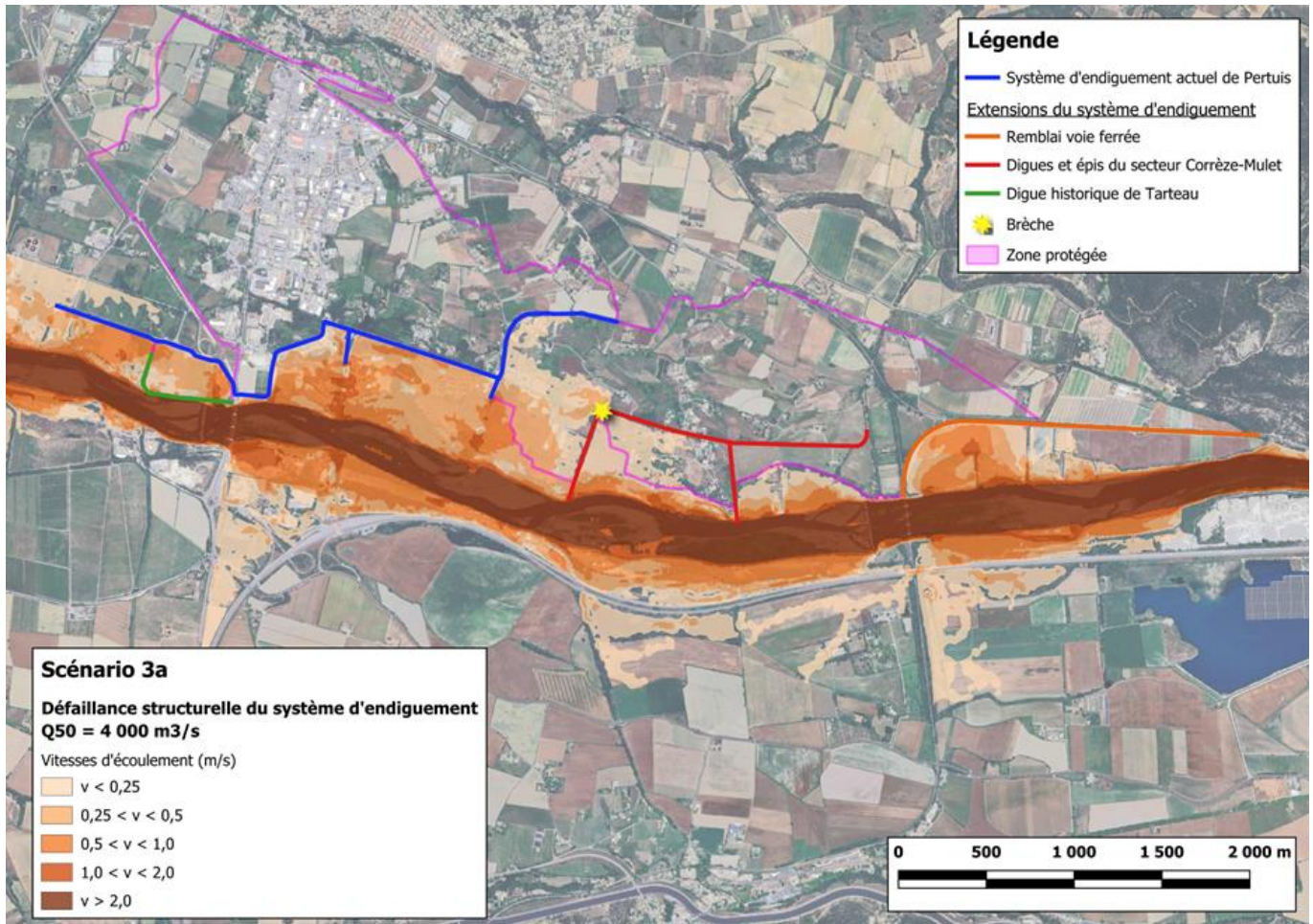


Figure 164 : Vitesses des écoulements - Scénario 3a (défaillance structurale) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$

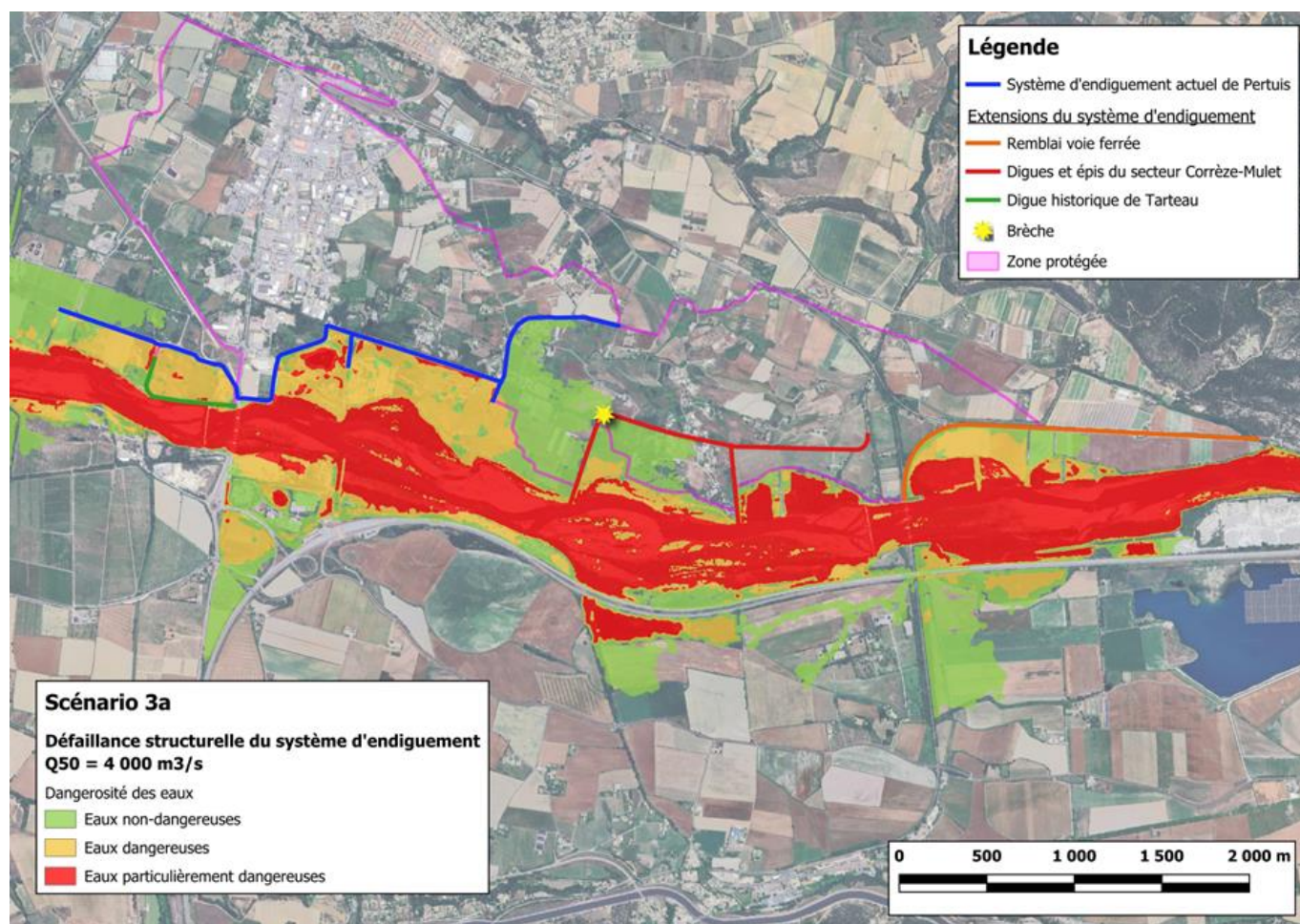


Figure 165 : Dangerosité des eaux - Scénario 3a (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$

Les zones d'eaux particulièrement dangereuses se situent dans le lit de la Durance et de ses anciens méandres ainsi qu'au droit des plans d'eau existants et localement au droit de dépressions topographiques.

8.3.2. Scénario 3b : Brèche au droit de la digue historique de Tarteau

Ce scénario a été défini pour une crue cinquantennale de la Durance de débit $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ qui génère une brèche juste en aval du seuil du canal de Marseille (affouillement).

Les caractéristiques de la brèche modélisée sont les suivantes :

- Largeur de la brèche : 50 m,
- Niveau digue après la brèche : effacement complet jusqu'au niveau du terrain naturel côté zone protégée,
- Durée de formation de la brèche : instantanée.

La brèche provoque l'inondation de l'intégralité de la zone protégée par la digue historique de Tarteau avec une hauteur maximale d'eau pouvant atteindre jusqu'à 1 m au niveau de l'usine d'eau potable.

Les cartographies de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement découlant de ce scénario, ainsi que de l'aléa issu du croisement de ces deux paramètres, sont présentées ci-après.

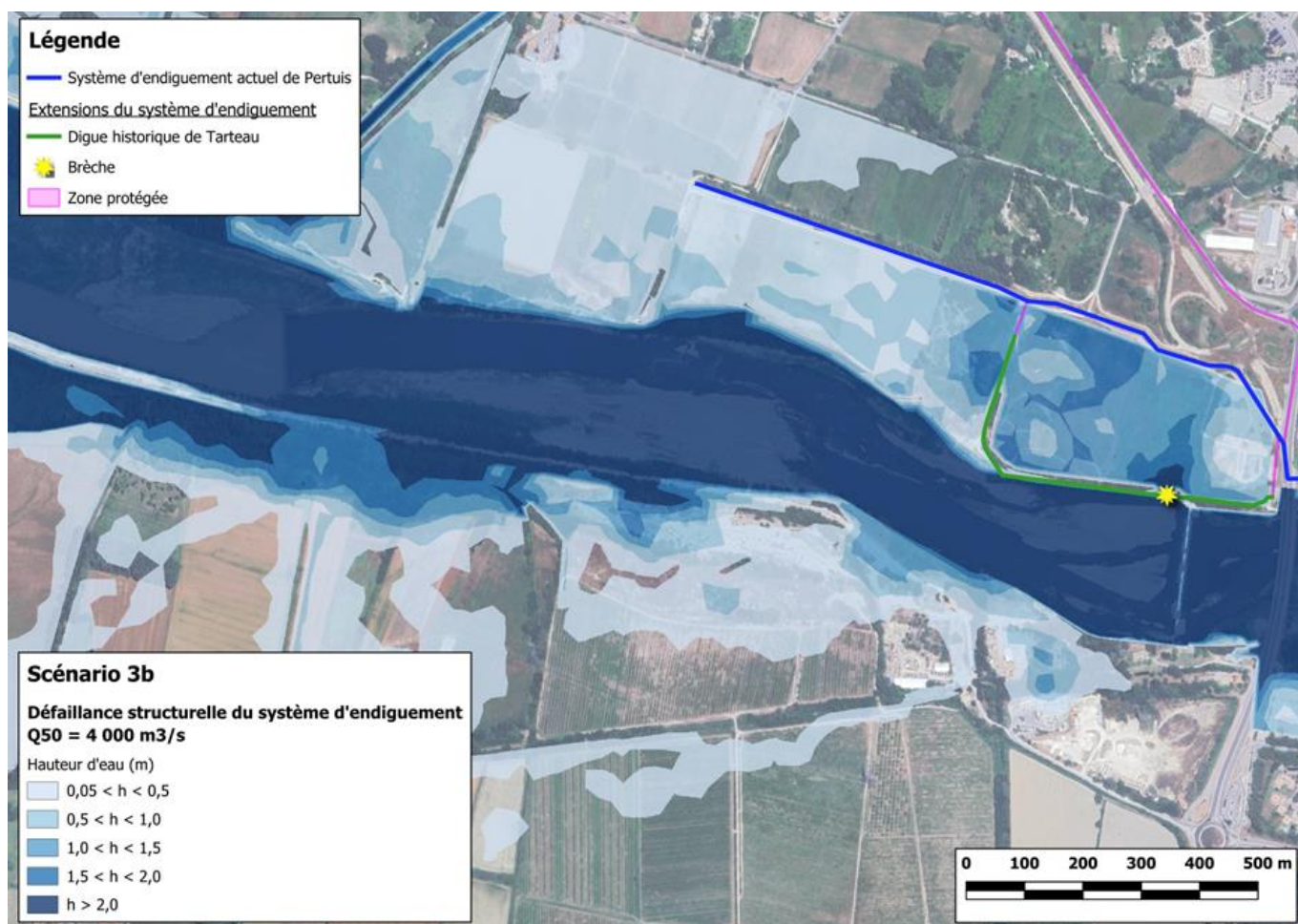


Figure 166 : Hauteurs d'eau - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

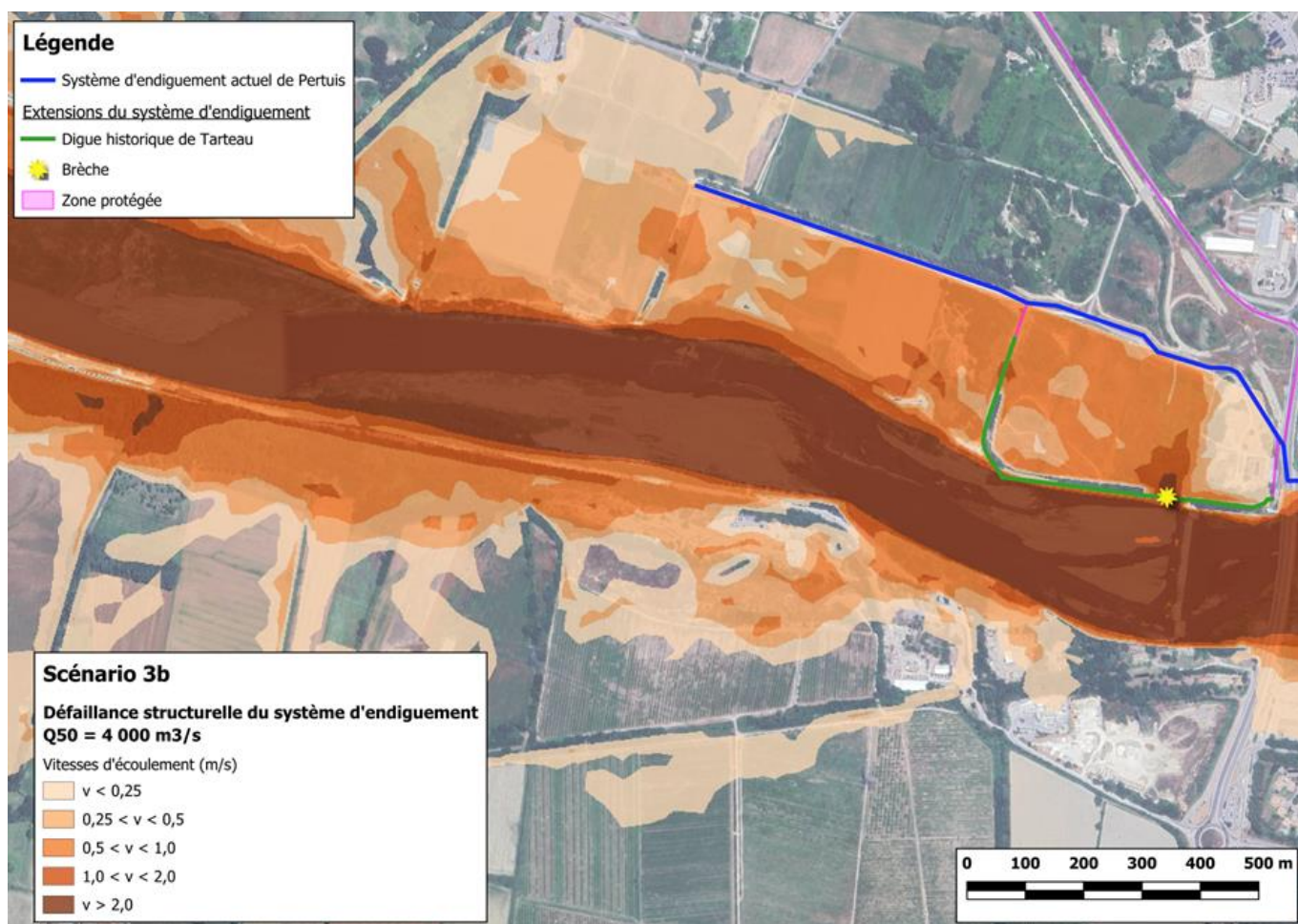


Figure 167 : Vitesses des écoulements - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

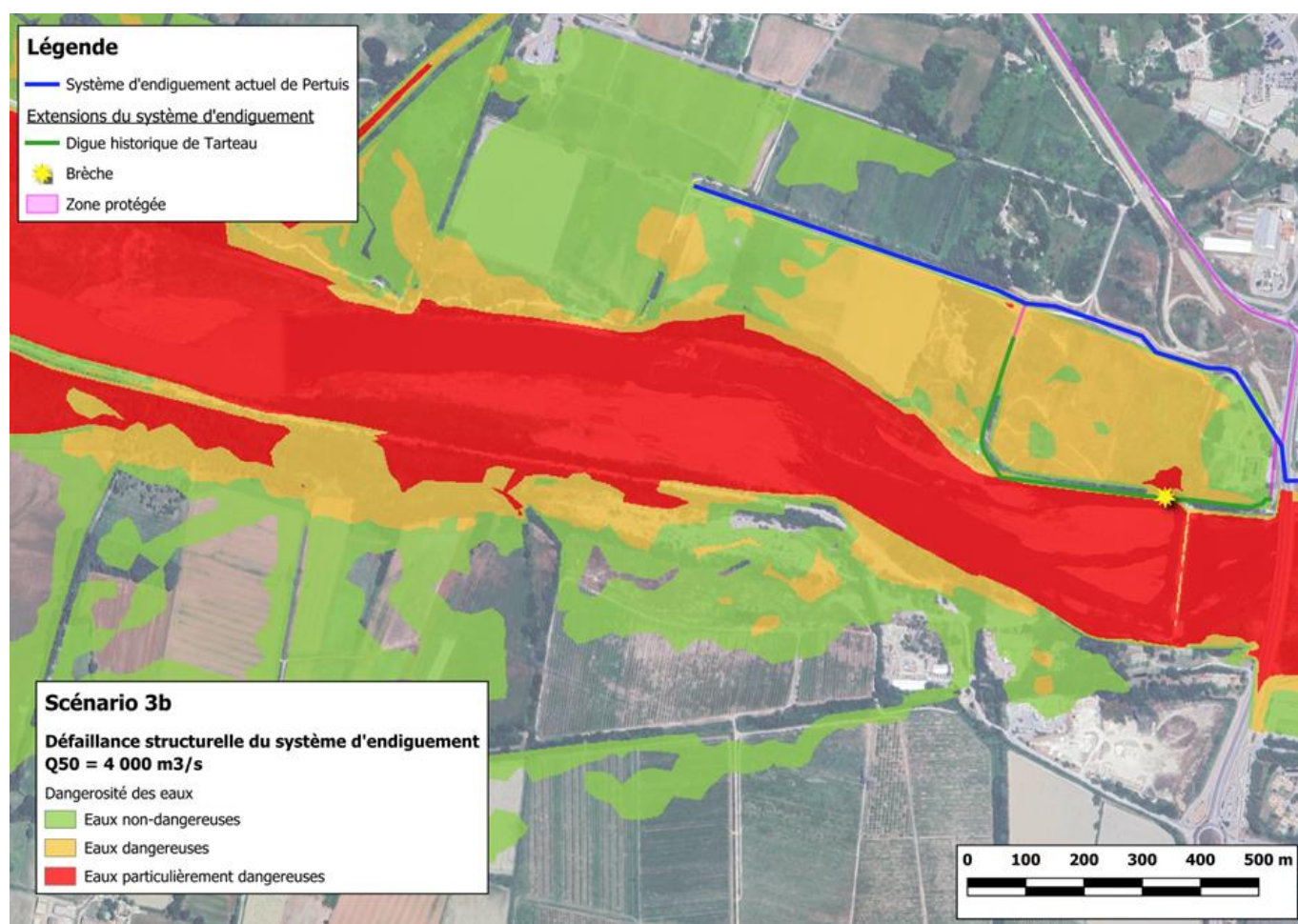


Figure 168 : Dangerosité des eaux - Scénario 3b (défaillance structurelle) - $Q_{50} = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$

Les zones d'eaux particulièrement dangereuses se situent principalement dans le lit de la Durand et au niveau des zones de débordements rive gauche ainsi que localement en aval immédiat de la brèche.

8.3.3. Scénario 3c : Brèche au droit du système d'endiguement actuel de Pertuis

Ce scénario a été défini pour une crue extrême de la Durand de débit $7\,250 \text{ m}^3/\text{s}$ qui génère une brèche dans le secteur dénommé P10PGav.

Les caractéristiques de la brèche modélisée sont les suivantes :

- Largeur de la brèche : 80 m,
- Niveau digue après la brèche : effacement complet jusqu'au niveau du terrain naturel côté zone protégée,
- Durée de formation de la brèche : instantanée.

On notera que la brèche se produit après sollicitation du déversoir de Saint-Roch et contournement du système d'endiguement par l'amont. « La libération brutale des eaux dans la zone protégée vient accroître les hauteurs d'eau et les vitesses maximales d'écoulement dans la zone protégée (à l'exception de la partie la plus en amont de la zone protégée, dans le secteur du déversoir de Saint-Roch). » (source : EDD 2019, Ingérop)

La cartographie de venues d'eau découlant de ce scénario est présentée ci-après.

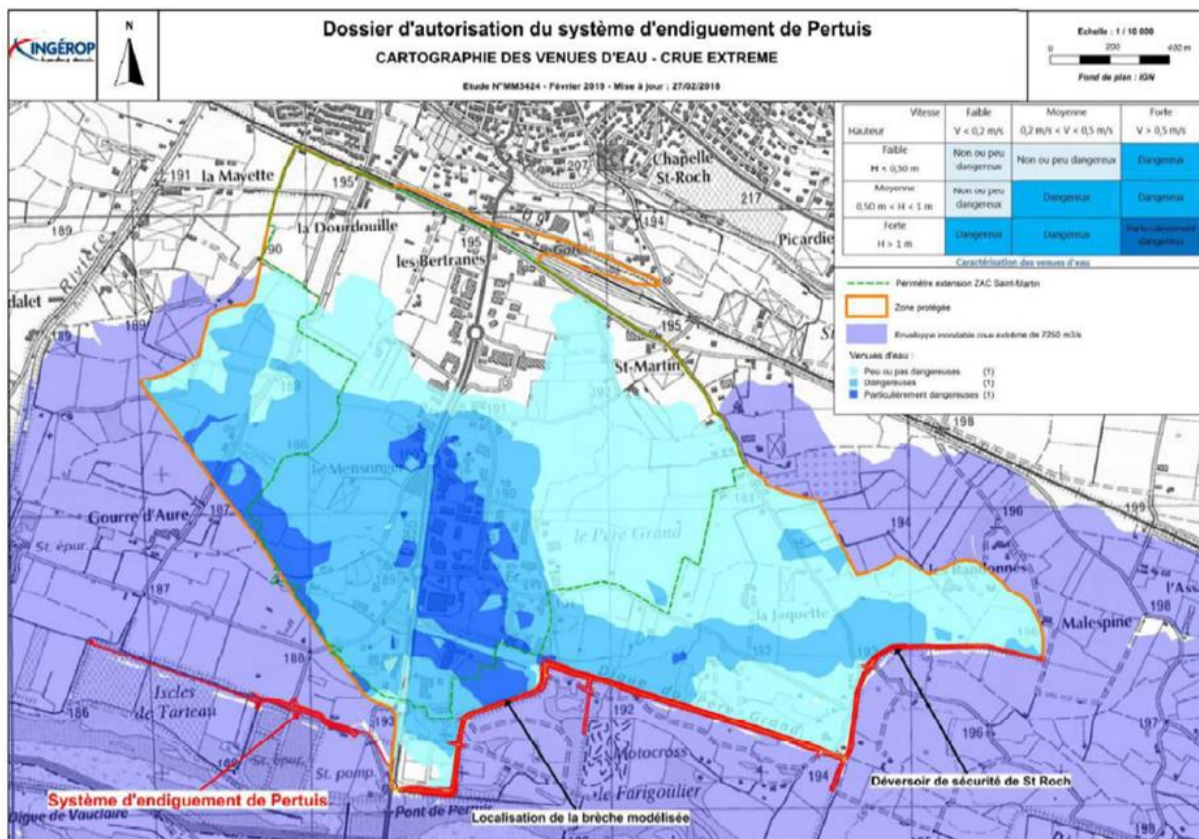


Figure 169 : Venues d'eau - Scénario 3c (défaillance structurelle) – $Q_{\text{extrême}} = 7\,250 \text{ m}^3/\text{s}$ (EDD 2019, Ingérop)

8.4. Scénario 4 : Comportement du système d'endiguement pour la crue de référence du PPRI

Ce scénario facultatif n'a pas été traité dans le cadre de la présente étude de dangers.

9. Organisation mise en place par le gestionnaire pour l'exercice de ses missions

Le SMAVD a rédigé un document décrivant l'organisation mise en place pour assurer la gestion du système d'endiguement, son entretien et sa surveillance en toutes circonstances. Il figure en Annexe 10 et est mentionné dans les paragraphes qui suivent comme « document d'organisation ». Les parties demandées dans le cadre de l'étude de dangers présentées ci-dessous sont tirées de ce document.

9.1 Organisation du gestionnaire de la digue

9.1.1 Acteurs intervenants dans la gestion de la digue

Depuis le 1er janvier 2018, la métropole Aix-Marseille-Provence exerce la compétence de Gestion des Milieux Aquatiques et de Prévention des Inondations (GEMAPI).

Elle a confié une partie de ses attributions au SMAVD par convention de délégation. Le SMAVD est ainsi le gestionnaire délégué du système d'endiguement de la Z.I. de Pertuis.

Enfin, la Métropole Aix-Marseille-Provence a confié à la ville de Pertuis certains actes spécifiques de gestion, notamment la mise à disposition de moyens humains pour la gestion en crue. Par ailleurs, le Maire conserve le pouvoir de Police administrative sur tout le territoire communal et en cas de crise, met en œuvre le Plan Communal de Sauvegarde (PCS) qui a des implications croisées avec la gestion en crue du système d'endiguement.

Dans la suite du document, il est convenu de nommer ainsi les parties prenantes à l'organisation de la gestion du système d'endiguement :

- La Métropole Aix-Marseille-Provence est dénommée : **l'Autorité gémapienne**,
- Le SMAVD est dénommé : **le Gestionnaire**, ce pendant toute la durée de la convention de délégation et de ses éventuelles reconductions. A l'expiration de la convention de délégation et en cas de non-reconduction, la Métropole devient automatiquement le gestionnaire du système d'endiguement (article 5.3 de la convention, continuité en fin de délégation). Dans cette hypothèse, le SMAVD communique régulièrement des données et informations sur le système d'endiguement à l'autorité gémapienne, notamment lors des comités techniques annuels de la délégation, afin de permettre la continuité de la gestion du système,
- La ville de Pertuis est dénommée : **la Commune**.

De manière synthétique, le SMAVD est le responsable de la gestion du système d'endiguement et réalise ou pilote à ce titre tous les actes de gestion. L'Autorité gémapienne, quant à elle, s'assure que la gestion est bien réalisée par le SMAVD, notamment lors du comité annuel de suivi de la délégation. L'autorité gémapienne réalise également les arbitrages budgétaires.

Les communes interviennent systématiquement sous le contrôle du SMAVD, en particulier pour réaliser la surveillance et les actes de terrain sur le système d'endiguement en période de crue.

9.1.2 Gestion des réparations

Le SMAVD dispose d'un marché à bons de commande avec des entreprises de travaux publics pour l'exécution de travaux d'intervention d'urgence lors des crues de la Durance. Ce marché est alloté géographiquement afin de garantir la rapidité d'intervention des entreprises.

9.1.3 Gestion documentaire

L'organisation de la gestion du système d'endiguement se décompose en plusieurs volets complémentaires qui concourent ensemble à la fiabilité du système en toutes circonstances. Le volet documentaire est à la base de cette organisation puisqu'il réunit toutes les règles écrites qui s'imposent aux différents intervenants et déterminent les actes de gestion courante et en crue spécifiques au système.

Les documents, décrits dans les paragraphes suivants, s'articulent autour du présent document d'organisation qui en constitue la synthèse opérationnelle.

La gestion documentaire consiste à bancariser l'ensemble des documents de gestion, à les tenir à jour pendant toute la durée de l'ouvrage, à les partager avec les différents partenaires de la gestion du système ou avec des tiers intervenant sur ou à proximité des ouvrages, et à les mettre à disposition du service de contrôle.

9.1.3.1 Dossier d'ouvrage

Les ouvrages composant le système d'endiguement font l'objet d'un dossier d'ouvrage, tenu à jour en permanence qui comprend toutes les pièces, documents écrits et graphiques, renseignant sur le système d'endiguement et sa gestion. Le dossier d'ouvrage est constitué comme suit :

- Registre,
- Document d'organisation,
- Dossier technique,
- Rapport de surveillance périodique.

Les pièces du dossier d'ouvrage sont accessibles en version numérique. Ces pièces sont enregistrées et mises à jour par le SMAVD sur son serveur informatique. Elles sont tenues à la disposition de l'autorité gémapienne et des services de contrôle des ouvrages hydrauliques et de la Police de l'Eau.

Une sauvegarde journalière du serveur informatique du gestionnaire permet d'éviter toute perte, une communicabilité et une accessibilité du dossier d'ouvrage en toutes circonstances.

9.1.3.2 Conventions

Pour la gestion du système d'endiguement de Pertuis, la Métropole, compétente au titre de la GEMAPI depuis le 1^{er} janvier 2018, a passé des conventions avec des organismes auxquels elle a délégué une partie de ses compétences dans la gestion du système :

- Convention de délégation passée entre la Métropole et le SMAVD,
- Convention entre la Métropole, la Commune de Pertuis et le SMAVD précisant la mise à disposition de personnels et moyens communaux pour assurer l'entretien et la surveillance en crue.

Elle devra également signer des conventions avec les organismes gestionnaires d'ouvrages présentant des interfaces ou se superposant avec une partie du système d'endiguement afin d'encadrer les actes de gestion tiers de nature à influencer sur la conservation et le comportement du système d'endiguement en toutes circonstances. **Un projet de convention de superposition d'affectation ligne SNCF est notamment en cours d'élaboration.**

Ces conventions sont classées et tenues à jour dans la partie administrative du dossier d'ouvrage. Les prescriptions qui y sont inscrites s'imposent aux différents intervenants, chacun responsable pour sa partie de la communication des informations et des actes de gestion de nature à influencer sur la conservation et le comportement du système d'endiguement en toutes circonstances, c'est-à-dire en période courante ainsi qu'en période de crue de la Durance.

9.1.3.3 Guichet unique (DT/DICT)

L'article R554-2 du Code de l'Environnement classe les systèmes d'endiguement comme ouvrages sensibles pour la sécurité. Ainsi, les entreprises sont soumises à ces obligations réglementaires afin de sécuriser les interventions à proximité des systèmes d'endiguement et d'éviter tout endommagement susceptible de porter atteinte aux ouvrages existants.

9.1.3.3.1 Enregistrement au guichet unique

Le gestionnaire se charge de l'enregistrement des ouvrages composant le système d'endiguement au guichet unique de l'INERIS reseaux-et-canalisation.gouv.fr (construire sans détruire).

En cas de création ou modification d'ouvrage, il met à jour sur la plateforme du guichet unique les coordonnées et zones d'implantation.

A ce titre, les maîtres d'ouvrages et entreprises désireux de faire réaliser des travaux sur ou à proximité de la digue (implanter un réseau ou une canalisation par exemple) doivent se rapprocher du gestionnaire de la digue en adressant une déclaration de type DT/DICT.

Conformément aux termes de l'article R562-16 du code de l'environnement, ces travaux sont soumis à l'accord du gestionnaire qui peut les refuser s'ils sont incompatibles avec la fonction du système d'endiguement ou s'ils sont de nature à accroître les charges d'exploitation de ce système. Si le gestionnaire donne son accord aux travaux envisagés et que ceux-ci sont susceptibles d'apporter des modifications telles que celles mentionnées par les articles R181-45 et R181-46, il en informe le préfet, dans les conditions prévues par cet article.

9.1.3.3.2 Réponses aux déclarations de travaux (DT/DICT)

En cas de déclaration de projet ou d'intention de commencement des travaux, le gestionnaire est en charge de la réception et des réponses aux DT/DICT, en utilisant le formulaire de récépissé réglementaire et dans les délais prévus par la réglementation. Le chapitre 6 précise les moyens affectés à cette mission.

9.1.3.3.3 Préparation, suivi et réception des travaux

Le cas échéant, au stade de la préparation et de l'exécution des travaux par l'entreprise, le gestionnaire est habilité à donner des recommandations techniques « avancées » et à suivre l'exécution des travaux à proximité du système d'endiguement.

9.2 Consignes écrites

Les consignes écrites ont été rédigées dans le document d'organisation. Elles sont appliquées par le SMAVD sur les digues qu'il gère. La version en vigueur, en date de décembre 2024, est consultable dans le présent dossier. Celle-ci intègre les réflexions et résultats issus de la présente étude de dangers, ayant conduit à un ajustement des consignes.

Les consignes fixent les instructions de surveillance de chaque ouvrage en toutes circonstances. Ce document permet ainsi de répondre aux exigences réglementaires en matière de suivi et d'entretien des ouvrages classés pour la sécurité hydraulique.

La surveillance des ouvrages permet de détecter et de réparer les désordres afin d'assurer le fonctionnement correct de ces derniers.

9.3 Définition des procédures de surveillance

9.3.1 Surveillance du système d'endiguement

9.3.1.1 Surveillance hors crue

Registre de l'ouvrage

Un registre est mis en place et tenu à jour par le gestionnaire ; y sont notamment inscrits les principaux renseignements relatifs :

- A l'exploitation de l'ouvrage et ses différents états lors d'événements de crue ;
- A la surveillance et aux événements (incidents, accidents, anomalies constatés ou faits marquants) concernant l'ouvrage et ses abords ;
- Aux travaux réalisés sur le système d'endiguement, y compris ceux d'entretien (maintenance courante préventive et corrective) intéressant la sécurité de l'ouvrage ;
- Aux manœuvres opérées sur les organes mobiles et les organes de sécurité (en phase de test, en période de crue ou lors de situation d'urgence) ;
- Aux conditions météorologiques et hydrologiques exceptionnelles ;
- A l'environnement du système ;
- Au recensement des visites de surveillance programmées ou exceptionnelles, des visites techniques approfondies réalisées.

Le registre est constitué d'un tableau de bord qui recueille les différents événements naturels ou d'origine humaine relatifs à la gestion de l'ouvrage, enregistrés au fur et à mesure. Le fichier est mis à jour par le gestionnaire lors de chaque événement et lors de chaque action effectuée, il fait un certain nombre de renvoi vers des documents plus détaillés.

Visite de Surveillance Programmée (VSP)

Les visites de surveillance programmée (VSP) sont des visites régulières effectuées par les agents techniques sur les ouvrages. Les visites se font en véhicule (circulation à vitesse réduite) ou à pied.

- **Périodicité**

Les VSP sont effectuées deux fois par an, réparties régulièrement dans l'année, en tenant compte de la VTA annuelle.

- **Parcours effectué et points d'observations principaux**

Ces visites consistent à emprunter l'ensemble du linéaire des pistes de service, à examiner l'intégrité générale des ouvrages et à tester la manœuvrabilité des équipements (barrières, vannes, clapets). Les agents en charge des visites doivent être en possession du plan de repérage du système d'endiguement qui permet de situer chaque équipement et son numéro.

L'examen visuel porte ainsi sur :

- La praticabilité des pistes et des rampes d'accès,
- Le bon état général des talus,
- L'état général des équipements fixes (glissières, clôtures, signalisations),
- L'état des ouvrages traversants aux points d'entrée et sortie des ouvrages hydrauliques,
- L'observation de points particuliers précisés dans une liste évolutive en fonction des retours d'expérience sur le système.

Le plan de repérage du système d'endiguement, joint en annexe du document d'organisation, permet d'organiser le parcours de la VSP et le cas échéant des points singuliers à observer sur l'ouvrage.

- **Comptes rendus de VSP**

Les constats sont relevés et consignés (fiche exemple de compte-rendu de VSP jointe en annexe du document d'organisation) puis insérés au dossier d'ouvrage.

- **Suites à donner**

En cas de relevé de désordre, le responsable d'exploitation du système d'endiguement décide de la suite à donner. Il statue sur la gravité du désordre en mobilisant les moyens humains complémentaires éventuellement nécessaires et programme le cas échéant des investigations et/ou des réparations.

Entretien programmé annuel

- **Modalités de mise en œuvre**

Les travaux d'entretien sont réalisés une fois par an et portent sur la végétation des talus ainsi que sur les équipements des ouvrages (barrières, glissières, traversées hydrauliques, vannages et clapets, pistes).

Les travaux d'entretien ont pour objectif de maintenir sur l'ouvrage, d'un couvert herbacé le plus ras possible permettant d'appréhender aisément les éventuels désordres et d'empêcher le développement de l'état de boisement de l'ouvrage. Au-delà de l'équipement des talus de l'ouvrage de grillages anti fouisseurs en sous face de la terre végétale, les opérations d'entretien conduisent à réduire l'attractivité du site pour les fouisseurs et, par ailleurs, à faciliter le diagnostic d'éventuelles tentatives de creusement de galeries.

- **Saisonnalité des entretiens**

L'entretien annuel des ouvrages est réalisé en fin de période végétative et avant remontée de sève, hors période de nidification ou de reproduction, soit de novembre à mars. La durée effective de la campagne d'entretien des ouvrages composant le système de protection s'étale sur 1 à 3 semaines. L'entretien annuel est réalisé préalablement à la VTA annuelle.

- **Consistance des travaux d'entretien courants**

Les travaux d'entretien courant sont réalisés par des entreprises privées missionnées par le SMAVD via notamment l'utilisation d'accords-cadres à bons de commande.

Les travaux comprennent notamment :

- De manière récurrente : débroussailllements mécanique et/ou manuel, fauchage et curage des fossés, entretien de têtes d'ouvrages de traversée, entretien des organes mobiles, enlèvement d'embâcles,
- En cas de besoin : abattage d'arbres, enlèvement de dépôts sauvages, ensemencements, ajout de terre végétale, réfection de pistes ou d'équipements, etc...

- **Consistance des travaux de réparation**

Les travaux de réparation pouvant être assimilés à de la maintenance sont organisés après l'entretien annuel complet et la visite technique approfondie annuelle des ouvrages dans les conditions suivantes :

- Immédiatement et sous la responsabilité du gestionnaire pour toute intervention considérée urgente par le gestionnaire (il dispose des moyens financiers pour réaliser des travaux imprévus),
- Pour les réparations non urgentes, immédiatement et sous la responsabilité du gestionnaire dans la limite du budget annuel alloué par l'autorité gémapienne,
- Au plus tôt, sous la responsabilité de l'autorité gémapienne et du gestionnaire pour les interventions non urgentes et hors budget annuel alloué.

Les travaux de réparations sont essentiellement de nature suivante : Génie végétal (ensemencement, abattage...), mise en œuvre de produits surfaciques, terrassements (curage et reprofilage des fossés, déblais, remblais compactés, réfections de pistes, fourniture et mise en œuvre de terre végétale, fourniture et pose d'enrochements...), réparation des glissières, barrières et signalisation, génie civil (liaisonnement d'enrochements, reprises, confortement et réalisation d'ouvrages en béton / béton armé...).

- **Modalités de financement**

Les modalités de financement de ces travaux sont inscrites dans des conventions.

Visite Technique Approfondie

La Visite Technique Approfondie (VTA) des ouvrages, est réalisée par le gestionnaire. Le compte-rendu précise, pour chaque partie de l'ouvrage et de ses abords les constatations, les éventuels désordres observés, leurs origines possibles et les suites à donner en matière de surveillance, d'exploitation, d'entretien, d'auscultation, de diagnostic ou de confortement.

- **Périodicité**

La VTA est réalisée annuellement et porte sur l'ensemble du système d'endiguement.

Elle est exécutée rapidement après réalisation de l'entretien annuel des ouvrages (de novembre à mars) pour permettre notamment de repérer parfaitement l'ensemble des désordres.

Un rapport de VTA est rédigé par le gestionnaire et transmis à l'Autorité gémapienne, il est généralement accompagné de la programmation d'entretien et de travaux de maintenance à prévoir pour l'exercice suivant.

- **Parcours effectué et points d'observations principaux**

La VTA est effectuée sur site en binôme. Après un premier parcours en véhicule léger des pistes d'exploitation (similaire aux visites de surveillance programmées), les agents procèdent à une inspection détaillée de l'ensemble des parties visibles de l'ouvrage :

- Inspection visuelle détaillée du talus côté rivière : un agent en pied de talus et un agent à mi talus. Arrêt sur chaque point singulier (ouvrages de tête des réseaux hydrauliques traversant, chambre de visite de réseau traversant, échelles limnimétriques),
- Inspection visuelle détaillée des parties hautes : un agent parcourt le bord droit et un agent le bord gauche de la piste en crête,
- Inspection visuelle détaillée du talus côté plaine : un agent en pied de talus et un agent à mi talus. Arrêt sur chaque point singulier (ouvrages de tête des réseaux hydrauliques traversant, chambres de visite de réseau traversant).

Les agents en charge de la VTA opèrent par ailleurs aux manœuvres et vérifications nécessaires.

Les constats sont relevés et consignés par les agents du gestionnaire dans un rapport de VTA (cf. exemple de rapport de VTA joint en annexe), chaque point relevé ou contrôlé étant accompagné :

- D'une description,
- D'une ou plusieurs photographies,
- D'un relevé de position GPS.

La base de données géolocalisée de suivi des ouvrages (SIRS) est mise à jour après chaque visite de terrain, elle permet de fournir les informations de base nécessaires à l'établissement du rapport de VTA.

Classification des désordres et suites à donner

- **Classification des désordres**

Tout désordre constaté est catégorisé techniquement dans les comptes-rendus de visites.

Les désordres relevés lors des différentes visites sont également classés dans les comptes-rendus de visite en 4 catégories d'importance :

- 0 : Aucune incidence technique mais gêne mineure potentielle pour l'exploitation.
- 1 : désordre ne remettant pas en cause le fonctionnement technique du système de protection mais pouvant nécessiter une intervention d'entretien ou au moins une vigilance.
- 2 : désordre d'importance moyenne pouvant entraîner un point de fragilité de l'ouvrage avec un faible risque de remise en cause de sa tenue lors de la survenue d'une prochaine crue.
- 3 : désordre grave ayant entraîné une ruine de l'ouvrage ou ayant de fortes chances d'entraîner une ruine de l'ouvrage lors d'une prochaine mise en charge (brèche dans l'ouvrage, départ important de matériaux du corps de l'ouvrage, ...).

- **Suites à donner aux désordres repérés**

Tous les désordres repérés lors de visites précédentes font l'objet d'un suivi et les moyens financiers sont approvisionnés au plus tôt pour permettre la réalisation des réparations nécessaires afin d'éviter l'aggravation du désordre.

Lorsqu'une réparation est réalisée pour traiter un désordre, elle peut faire l'objet d'une fiche des travaux réalisés, si leur importance le justifie (désordre structurel notamment), qui détaille : le type de travaux, une description détaillée, une photographie après travaux, le montant des travaux, la réalisation en régie ou par entreprise, le maître d'ouvrage ainsi que l'ensemble des données initiales du désordre.

Pour les désordres graves et ceux d'importance moyenne (classés en catégories 2 et 3 selon le classement ci-avant), conformément aux clauses de la convention de délégation, tout est mis en œuvre

sur les plans techniques, administratif et financier pour que les investigations ou réparations puissent être engagées dans les meilleurs délais. Les désordres graves doivent faire l'objet d'une intervention en urgence.

Par ailleurs, les événements ayant conduit à ces désordres doivent faire l'objet d'un suivi comme précisé dans 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. En particulier, les Événements Importants pour la Sécurité Hydraulique (EISH), c'est-à-dire faisant suite à des désordres classés en catégorie 3 selon le classement ci-avant, doivent être déclarés au Préfet.

Les classifications des événements à signaler sont précisées dans le tableau ci-après :

jaune	les événements ayant conduit à une dégradation significative de la digue nécessitant une réparation dans les meilleurs délais, sans mise en danger des personnes.	
orange	les événements à caractère hydraulique ou consécutifs à une crue ayant entraîné une mise en danger des personnes sans qu'elles aient subi de blessures graves ;	
	les événements ayant entraîné des dégradations importantes de l'ouvrage, quelles que soient leurs origines, mettant en cause sa capacité à résister à une nouvelle crue et nécessitant une réparation en urgence.	
rouge	les événements à caractère hydraulique ou consécutifs à une crue ayant entraîné soit :	
		des décès ou des blessures graves aux personnes ;
		une inondation totale ou partielle de la zone protégée suite à une brèche.

Figure 170 : Classification des EISH

Rapport de surveillance périodique

Un rapport de surveillance comprenant la synthèse des renseignements figurant dans le registre et celle des constatations effectuées lors des VSP et VTA est établi périodiquement par le gestionnaire qui coordonne la gestion de l'ouvrage et rassemble l'ensemble des informations disponibles sur celui-ci, incluant les relations avec les autres intervenants et le recueil de leurs avis et retours d'expérience. L'ensemble des documents bancarisés et leur mise à jour est transmis et mis à disposition de l'autorité gémapienne et des services de contrôle.

Ce rapport de surveillance donne des informations synthétiques sur :

- la surveillance, l'entretien et l'exploitation de l'ouvrage au cours de la période ;
- les incidents constatés et les incidents d'exploitation ;
- les origines possibles, l'analyse des causes des désordres constatés et les suites données en matière de surveillance ou d'entretien, les mesures prises pour qu'ils ne se reproduisent pas
- le comportement de l'ouvrage ;
- les événements particuliers survenus et les dispositions prises pendant et après l'événement ;
- les essais des organes hydrauliques et les conclusions de ces essais ;
- les travaux effectués sur les ouvrages ;
- La synthèse du dernier suivi morphologique et hydraulique de la Durance effectué par le SMAVD.

La périodicité du rapport de surveillance périodique est fixée par les articles R. 214-126 du Code de l'environnement. Concernant le système d'endiguement de la Z.I. de Pertuis, de classe B, la fréquence de réalisation de ce document est de 5 ans.

Le rapport de surveillance périodique est transmis au Préfet.

Suivi morphologique et hydraulique du cours d'eau

La Durance étant caractérisée notamment par une forte pente et par une mobilité latérale importante, l'exploitation des ouvrages de protection comprend un suivi régulier des évolutions morphologiques ainsi que des capacités d'écoulement des crues. Ainsi, le SMAVD réalise pour le compte de l'autorité gémapienne, en moyenne tous les 5 ans et après chaque crue morphogène majeure (supérieure à Q10) :

- la mise à jour du modèle de représentation des écoulements de la Durance en crue et son exploitation pour des débits de crue de temps de retour, 30 ans, 50 ans, 100 ans, exceptionnel, et de l'analyse de sensibilité des résultats à l'essartement effectif du tronçon de Durance concerné ;
- la mise à jour de l'étude hydro-morphologique du tronçon de Durance concerné et de ses conclusions sur les tendances identifiées ;
- la production d'un rapport de synthèse sur les conséquences des modifications morphologiques et hydrauliques sur les caractéristiques du système d'endiguement.

Etude de dangers

Une étude de dangers a été établie dans le cadre du dossier de demande d'autorisation du système d'endiguement, et une première mise à jour sera produite à l'issue des travaux de restructuration sur la base des données de récolement.

Elle est actualisée tous les 15 ans comme le prévoit l'article R.214-117.-II pour les systèmes d'endiguement de classe B. En cas de travaux substantiels, une EDD sera aussi réalisée et mise à jour après travaux.

Le plan de l'EDD est conforme aux dispositions prévues par l'arrêté du 30 septembre 2019 ou de la réglementation en vigueur à la date de sa réalisation.

9.3.1.2 Surveillance en crue

Principes généraux

Un dispositif de surveillance du système d'endiguement est mis en place dans le but de détecter au plus tôt les risques de désordres générés par la crue, et le cas échéant de procéder aux interventions d'urgence nécessaires aux fins d'éviter toute aggravation du phénomène qui pourrait entraîner la formation d'une brèche et l'inondation de la zone protégée.

Ce dispositif est gradué afin d'adapter les moyens d'action au niveau de sollicitation du système d'endiguement au regard des niveaux de protection, de danger et de sureté de chaque tronçon d'ouvrages, composant le système d'endiguement.

Cellule de veille

- **Missions et répartition des fonctions**

La cellule de veille a pour mission de surveiller la formation d'une crue, de collecter les informations utiles à l'analyse du phénomène en cours en vue de préparer une éventuelle gestion de crise.

Les principales actions des entités de la cellule de veille :

- La direction décisionnelle assure le pilotage stratégique de l'évènement.
- La direction opérationnelle assure la coordination générale des opérations.
- La veille hydrologique assure la prévision des crues et la transmission des informations aux maires des communes de la zone protégée et à l'Autorité gémapienne.
- Les ingénieurs et techniciens assurent la liaison avec les équipes de surveillance en vue de recueillir, analyser et traiter les informations remontant du terrain, et transmettre les informations utiles aux équipés déployées.
- Le secrétariat assiste l'ensemble des services du SMAVD participant à la cellule de veille dans la transmission des communications extérieures.
- Les unités de surveillance sur le terrain assurent la surveillance linéaire des ouvrages hydrauliques (composées d'un cadre d'astreinte et d'agents de terrain).

- **Conditions d'activation de la cellule de veille**

Elle est activée par la direction décisionnelle du SMAVD lorsque les conditions justifiant son activation sont atteintes : prévision de débit substantiellement supérieure à 700 m³/s à la station de Meyrargues (Pont de Pertuis), et selon l'évolution des pluies sur le bassin.

Au vu d'autres informations, la direction décisionnelle peut cependant décider d'activer la cellule de veille avant l'atteinte de ce seuil de débit si les conditions le méritent, ou au contraire retarder ce déclenchement si les conditions ne le nécessitent pas.

- **Composition et organigramme fonctionnel**

Le schéma suivant présente le principe d'organisation de la cellule de veille. En bleu figurent les différents services du SMAVD, gestionnaire délégué, qui s'appuie sur des moyens matériels et humains mis à disposition par la ou les communes (en jaune), conformément à une convention spécifique précisant les modalités de cette mise à disposition.

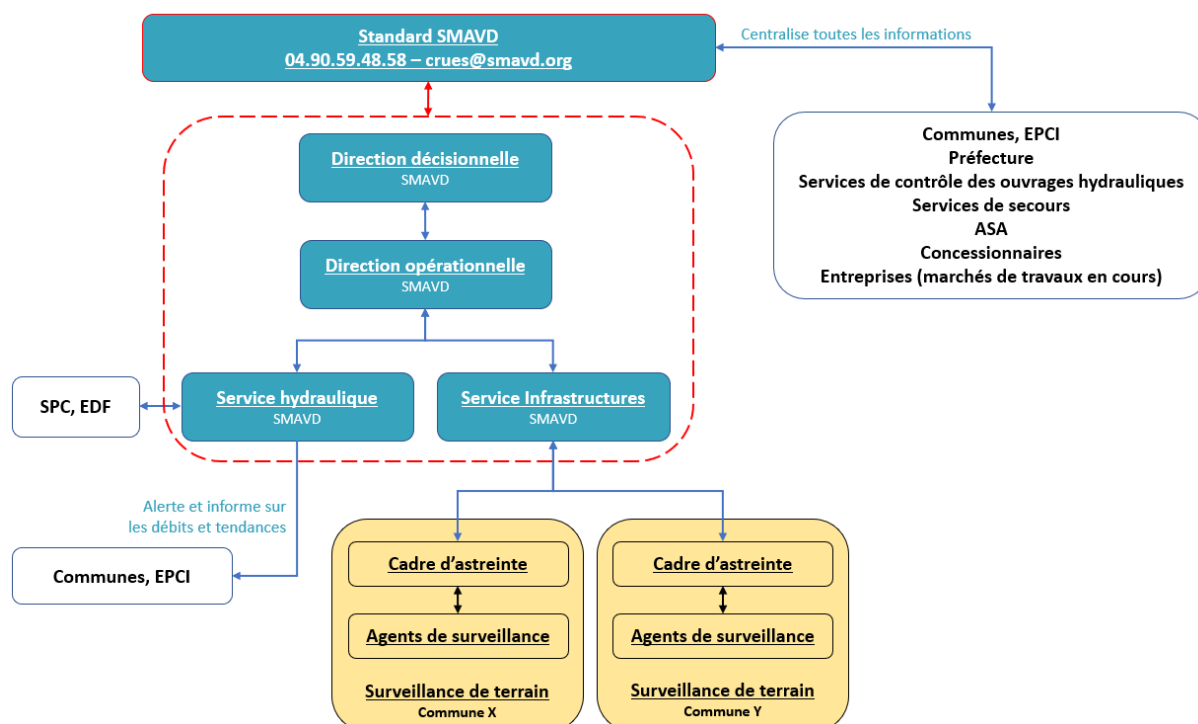


Figure 171 : Organigramme de la cellule de veille

La mise en place de la cellule de veille ne nécessite pas nécessairement la présence physique des directions décisionnelles et opérationnelles mais nécessite la présence du cadre d'astreinte et de l'équipe de surveillance (équipe d'astreinte digue) pour exécuter les opérations de surveillance de terrain.

En cas de mise en place de la cellule de veille, la direction décisionnelle et la direction opérationnelle doivent être joignables 24h/24.

● Consignes mises en place

<u>VEILLE</u> Dès prévision de débit substantiellement supérieur à 700 m³/s	• Activation des moyens techniques et humains nécessaires • Prise de renseignements auprès des acteurs institutionnels (Préfecture, Service de Prévision des Crues, etc.) • Tournée de visite au niveau des ouvrages et de ses accès (vérification de la praticabilité des chemins, des désordres éventuels, vérification du bon fonctionnement des équipements au droit des ouvrages hydrauliques traversant la ligne de protection, actions correctives le cas échéant ...), • Pré-activation des moyens techniques et humains nécessaires à la cellule de crise
--	---

Dès activation de la cellule de veille, la surveillance des ouvrages et des accès consiste à :

- Vérifier la praticabilité des pistes sur et vers les ouvrages hydrauliques ainsi que les chemins d'accès et dispositifs de barriérage ;
- Vérifier le bon fonctionnement des équipements hydrauliques au droit des ouvrages traversants (clapets, vannes) ;
- Détecter tout éventuel désordre, dont notamment les terriers d'animaux fouisseurs.

Les inspections sont réalisées, par binôme(s), en période diurne.

Les consignes et points d'attention spécifiques au système d'endiguement sont listés dans la fiche de visite des ouvrages en crue (en annexe) qui tient lieu de rapport de visite en crue et dans laquelle toutes les observations et constatations doivent être consignées.

Cellule de crise

- **Missions et répartition des fonctions**

En cas d'aggravation de la crue, la cellule de crise est activée en vue d'assurer la surveillance du système d'endiguement et le maintien de ses fonctionnalités ainsi que d'assurer la transmission de l'information aux responsables de la sécurité (maires, Préfet, SDIS).

En complément des actions entreprises par la cellule de veille, les principales actions de la cellule de crise sont :

- La direction décisionnelle assure le pilotage stratégique et la communication officielle sur l'épisode en cours.
- La direction opérationnelle assure la coordination générale des opérations, dont notamment la définition et la coordination des éventuelles interventions d'urgence à mettre en œuvre.
- La veille hydrologique suit et analyse l'évolution de la crue, et assure et la transmission des informations aux maires des communes de la zone protégée.
- Les ingénieurs et techniciens assurent la liaison avec les équipes de surveillance sur le terrain et échangent les informations utiles avec les services de contrôle de la préfecture, les services de secours, les gestionnaires d'ouvrages traversants (ASA et concessionnaires) et les entreprises mobilisées pour les interventions d'urgence.
- Le secrétariat assiste l'ensemble des services du SMAVD participant à la cellule de crise dans la transmission des communications extérieures.
- Les unités de surveillance sur le terrain assurent la surveillance linéaire des ouvrages hydrauliques.

- **Conditions d'activation de la cellule de crise**

Elle est activée par la direction décisionnelle du SMAVD lorsque les conditions justifiant son activation sont atteintes : prévision de débit égal ou supérieur à 1500 m³/s à la station de Meyrargues (Pont de Pertuis).

Au vu d'autres informations, la direction décisionnelle peut décider d'activer la cellule de crise avant l'atteinte de ce seuil de débit si les conditions le méritent, ou au contraire retarder ce déclenchement si les conditions ne le nécessitent pas.

- **Composition et organigramme fonctionnel**

Le schéma suivant présente le principe d'organisation de la cellule de crise. En bleu figurent les différents services du SMAVD, gestionnaire délégué, qui s'appuie sur des moyens matériels et humains mis à disposition par la ou les communes (en jaune), conformément à une convention spécifique précisant les modalités de cette mise à disposition.

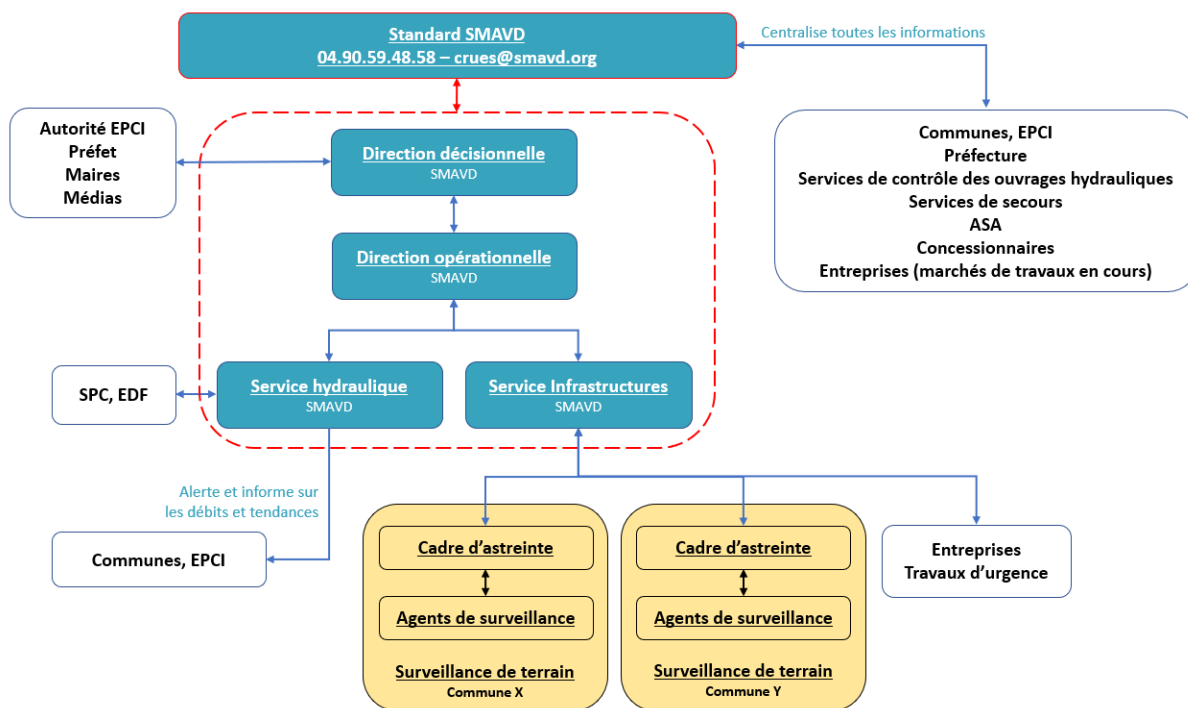


Figure 172 : Organigramme de la cellule de crise

• Consignes mises en place

<u>CRISE 1</u> Dès prévision de débit égal ou supérieur à 1500 m³/s ou (si absence d'infos hydrologiques) ou en mode dégradé, Atteinte du niveau 0 à l'échelle Père Grand Aval (EchPGA)	• Activation des moyens techniques et humains nécessaires (renforcement par rapport à la cellule de veille) • Suivi continu de l'évolution de la crue • Prise de renseignements auprès des acteurs institutionnels (Préfecture, Service de Prévision des Crues, etc.) • Surveillance visuelle des ouvrages par des agents de terrain • Déclenchement de la procédure de fermeture des premiers ouvrages traversants • Pré-activation éventuelle des moyens des entreprises de travaux d'urgence pouvant être mobilisées • Information aux structures concernées par l'ouvrage
<u>Atteinte 1er niveau de protection</u> Dès prévision de débit égal ou supérieur à 2000 m³/s (niveau de protection sur le secteur de la digue historique de Tarteau)	• Information aux responsables communaux : rappel de la non fiabilité de la digue au-delà de ce débit • Retrait des agents de terrain présents sur ou à l'arrière de la digue historique de Tarteau

<u>CRISE 2</u> Dès prévision de débit égal ou supérieur à 2500 m³/s ou (si absence d'infos hydrologiques) ou en mode dégradé Atteinte du niveau 1 m relevé à l'échelle Père Grand Aval (EchPGA)	• Information régulière aux différents responsables de la sécurité sur le territoire de la zone protégée (Préfecture, Communes) ainsi qu'au Conseil Départemental + service de contrôle des ouvrages hydrauliques (DREAL – SCOH) : mesures prises, constats éventuels et conclusion sur la sureté du système de protection • Mise en place de dispositifs destinés à contrôler les accès routiers au droit des ouvrages de protection (accès limité aux personnes autorisées) • Surveillance visuelle des ouvrages toutes les 4 heures (de jour uniquement) • Poursuite de la procédure de fermeture des ouvrages traversants • Renforcement des équipes et des moyens techniques • Mobilisation éventuelle des entreprises de travaux publics pouvant être amenées à intervenir en cas de besoin • Arrêt des surveillances de terrain en cas suspicion de mise en danger des agents
<u>Atteinte du second niveau de protection</u> <u>Dès prévision de débit égal ou supérieur à 3000 m³/s (niveau de protection sur le secteur Corrèze-Mulet)</u> <u>Ou en mode dégradé Atteinte du niveau 1,40 m relevé à l'échelle Père Grand Aval (EchPGA)</u>	• Information aux différents responsables de la sécurité sur le territoire de la zone protégée (Préfecture, Communes) + service de contrôle des ouvrages hydrauliques (DREAL – SCOH) : mesures prises, constats éventuels et conclusion sur la sureté du système de protection • Retrait des agents de terrain présents sur les ouvrages du secteur Corrèze-Mulet
<u>Atteinte du troisième niveau de protection</u> <u>Dès prévision de débit égal ou supérieur à 5000 m³/s (niveau de protection à l'arrière des digues de Saint-Roch, Père Grand et Tarteau)</u> <u>Ou en mode dégradé Atteinte de la crête du déversoir sur la digue Saint-Roch</u>	• Information aux différents responsables de la sécurité sur le territoire de la zone protégée (Préfecture, Communes) + service de contrôle des ouvrages hydrauliques (DREAL – SCOH) : mesures prises, constats éventuels et conclusion sur la sureté du système de protection • Retrait des agents de terrain présents sur les digues

Dès activation de la cellule de crise, la surveillance des ouvrages et des accès consiste à :

- Vérifier l'intégrité du système d'endiguement en détectant tout éventuel désordre susceptible d'être dangereux en crue, et en particulier, les secteurs présentant un risque d'érosion externe ;
- Vérifier l'écoulement d'une ligne d'eau homogène au niveau des seuils ;

- Vérifier que les gestes de fermeture des vannes ont bien été réalisés, et dans la négative, procéder à la fermeture ou l'obturation de l'ouvrage dans le cadre d'une intervention d'urgence ;
- Relever les niveaux d'eau aux échelles graduées ou à des points singuliers du système (pistes en risberme, niveau supérieur des enrochements, ...).

Les inspections sont réalisées par binôme(s), en période diurne, suivant un rythme en 2x8 (matin et après-midi). Compte tenu du risque de mise en danger des agents lors des inspections nocturnes, il n'est pas envisagé d'assurer une continuité de surveillance 24h/24. Les surveillances nocturnes seront réalisées au cas par cas et réservées aux situations exceptionnelles, sur décision de la Direction Opérationnelle.

Les consignes et points d'attention spécifiques au système d'endiguement sont listés dans la fiche de visite des ouvrages en crue (en annexe) qui tient lieu de rapport de visite en crue et dans laquelle toutes les observations et constatations doivent être consignées.

Retour à une situation « normale »

Le retour à la normale en matière d'exploitation du système d'endiguement a lieu en cas d'observation prolongée d'une valeur de débit inférieure à 700 m³/s à la station de référence.

Ce retour à la normale débute par une visite de surveillance post-crue du système d'endiguement, permettant notamment de vérifier quelles parties des ouvrages ont été sollicitées par la crue et si des désordres graves sont visibles (glissements des parements ou des berges, affaissements, déstabilisation des terrains à proximité immédiate des ouvrages constituant le système d'endiguement).

9.3.1.3 Surveillance post crue

- **Après activation de la cellule de veille**

En cas d'activation de la cellule de veille, sont organisés :

- **Dans les deux jours suivant la crue :**
 - Une visite de surveillance post-crue du système d'endiguement par l'équipe terrain des communes. La visite de surveillance post-crue est réalisée suivant les modalités d'une visite de surveillance programmée et porte notamment sur les points suivants : parties d'ouvrage sollicitées par la crue, signes d'érosion externe côté Durance, glissements des parements ou des berges, signes de surverse (érosion en crête ou sur le talus aval), signes d'érosion interne (venues d'eau côté terre), affaissements. En cas de désordre constaté, l'information est immédiatement communiquée au gestionnaire qui se rendra alors sur site.
- **Dès que possible après la crue :**
 - Une visite post-crue plus approfondie du système d'endiguement par le gestionnaire et la rédaction d'un rapport circonstancié,
 - Le relevé des laisses de crue si nécessaire.

Une vérification du fonctionnement des organes de sécurité est effectuée. L'évènement, la visite et les actes de gestions réalisés sont tracés dans le registre.

- **Après activation de la cellule de crise**

En cas d'activation de la cellule de crise sont organisés :

- **Dans les deux jours suivant la crue :**

- Une visite post-crue de type VSP du système d'endiguement par l'équipe terrain des communes. En cas de désordre constaté, l'information est immédiatement communiquée au gestionnaire qui se rend alors sur site.
- En cas de désordre grave ayant entraîné une ruine de l'ouvrage ou ayant de fortes chances d'entraîner une ruine de l'ouvrage lors d'une prochaine mise en charge, il est déclaré au préfet un EISH.

- **Dès que possible après la crue :**

- Une visite post-crue plus approfondie du système d'endiguement par le gestionnaire et la rédaction d'un rapport circonstancié,
- Le marquage ou relevé des laisses de crue.

Une vérification du fonctionnement des organes de sécurité est effectuée. L'évènement, la visite et les actes de gestions réalisés sont tracés dans le registre.

- **Déclaration EISH**

En cas de désordre grave ayant entraîné une ruine de l'ouvrage ou ayant de fortes chances d'entraîner une ruine de l'ouvrage lors d'une prochaine mise en charge, il est déclaré au préfet un EISH (Evénement Important pour la Sûreté Hydraulique) comme précisé plus haut.

- **Rapports de visite post-crue par l'équipe terrain**

Chaque point relevé est accompagné :

- D'une description,
- D'une ou plusieurs photographies,
- D'un relevé de position GPS.

La base de données géolocalisée de suivi des ouvrages est mise à jour en continu, elle permet de fournir les informations nécessaires à l'établissement du rapport post-crue.

9.3.2 Gestion des situations d'urgence

Tout désordre constaté lors des visites est indiqué dans la fiche de terrain donnée en annexe du document d'organisation.

9.3.3 Détection

Lorsqu'un désordre est constaté, l'agent en charge de la surveillance doit en informer son cadre d'astreinte et lui donner toutes les indications utiles permettant d'apprécier la nature et la gravité du désordre constaté : localisation, description, photos, ...

Les ingénieurs et techniciens du SMAVD, qui assurent la liaison avec les unités de surveillance sous contrôle de la Direction opérationnelle, affecteront au désordre un identifiant unique qui sera transmis au cadre d'astreinte.

Le désordre identifié sera repéré sur le terrain par des moyens adaptés (marquage au sol, piquetage, rubalise, etc.). Le marquage s'étendra sur l'intégralité du linéaire du désordre et comportera l'identifiant unique qui lui aura été affecté.

Le SMAVD, en tant que gestionnaire délégué du système d'endiguement, assure l'intégralité de la communication sur les diagnostics de désordre et sur les risques de défaillance du système (agents déployés sur site, Préfecture, Communes, Autorité gémapienne, Public, Institutions...).

9.3.3.1 Suivi

Chaque désordre préalablement détecté et recensé fait l'objet, à chaque visite suivante, d'une analyse particulière par les agents de terrain permettant de constater son évolution éventuelle.

Le SMAVD continue d'assurer l'intégralité de la communication sur les éventuelles évolutions d'un désordre et sur les risques de défaillance associés.

9.3.3.2 Traitement

En cas de désordre jugé suffisamment important, la direction Etudes & Travaux du SMAVD se rend sur le lieu du désordre afin d'examiner et commander, en tant que de besoins, les mesures d'urgence à prendre (suivi continu, dépêchement d'experts ou travaux).

Le SMAVD dispose d'un marché à bons de commande avec des entreprises de travaux publics pour l'exécution de travaux d'intervention d'urgence lors des crues de la Durance. Ce marché est alloté géographiquement afin de garantir la rapidité d'intervention des entreprises.

Les entreprises retenues sont mises en astreinte sur décision de la direction opérationnelle pour se préparer à une éventuelle mobilisation :

- Mise en astreinte de moyens personnels et matériels dans la zone géographique assignée,
- Si besoin constitution et mise à disposition d'un stock de matériaux dans un périmètre proche de la Durance.

Les notifications de commande sont faites aux entreprises par téléphone, doublées d'un mail ou fax de confirmation.

Si besoin, le SMAVD pourra également solliciter l'autorité gémapienne en crue pour réquisitionner les entreprises de travaux publics présentes sur leur territoire.

Le SMAVD assure l'intégralité de la communication sur les éventuelles interventions d'urgence et sur les risques de défaillance du système d'endiguement.

9.3.3.3 Gestion des brèches

Dès constat d'un début de brèche ou d'une rupture effective d'un tronçon d'ouvrage composant le système d'endiguement, les agents en charge de la surveillance doivent se retirer afin de se positionner sur un secteur sûr. Dès qu'ils sont en sûreté, les agents informent leur cadre d'astreinte de l'ampleur et de la situation de la brèche.

Le SMAVD assure l'intégralité de la communication auprès des services responsable de la sécurité sur la zone protégée (Communes, Préfecture) et gère par ailleurs la communication externe.

La Direction opérationnelle définit et déploie les moyens nécessaires à l'évaluation de l'ampleur du phénomène, de sa dangerosité et des options envisageables pour contenir, réduire ou combler la brèche. Elle organise, en lien étroit avec l'EPCI, les éventuels travaux qu'elle aura décidé d'engager.

Pour le financement des travaux d'urgence, le gestionnaire dispose d'un budget spécial lui permettant d'engager des fonds en cas de nécessité.

9.3.3.4 Traçabilité

Les actes réalisés en situation d'urgence (travaux, manœuvre d'organes mobiles, gestion des accès et signalisation, traitement des désordres, commande d'entreprises pour intervention, ...) sont tracés dans une main courante ouverte lors de la mise en veille. La survenue de l'épisode de crue est indiquée dans le registre du système d'endiguement.

9.3.4 Dispositions particulières pour les ouvrages en cours de travaux

Pour les ouvrages faisant l'objet de travaux de restructuration ou de confortement, la surveillance des ouvrages en toutes circonstances et l'exécution des interventions d'urgence est assurée par les entreprises titulaires des marchés de travaux, dès lors que l'ordre de service de démarrage de la phase d'exécution a été délivré et jusqu'à la réception des travaux.

Les entreprises s'engagent dès le stade de la consultation et durant toute la durée des travaux, à mettre en place un plan d'intervention, en cas de crues sur les ouvrages concernés par les travaux, à valider par le SMAVD.

Les dispositions opposables à l'entrepreneur sont similaires à celles figurant dans le présent document (vigilance crue, personnel d'astreinte, moyens de surveillance, moyens d'intervention).

En cas de risque de diminution du niveau de protection du système d'endiguement pendant les travaux, des moyens de restauration de la protection doivent pouvoir être mis en œuvre à tout moment. L'entrepreneur doit disposer en permanence d'un stock de matériaux suffisant pour réaliser les remblais d'urgence.

Le SMAVD s'assure de la bonne mise en œuvre du plan d'intervention des entreprises.

9.3.5 Gestion du retour d'expérience

Après chaque activation de la cellule de crise, il est procédé au débriefing de la gestion de l'épisode de crue, et la rédaction d'un compte rendu détaillé auquel sont annexées les pages du cahier de consignation retraçant les appels reçus ou émis pendant la crue et les décisions prises.

Ce débriefing vise à évaluer les procédures mises en place pour la gestion de crise et définir les actions à entreprendre / corriger en vue d'améliorer ces procédures.

9.4 Moyens d'information sur les crues

9.4.1 Veille hydrologique

Une veille hydrologique est mise en place pour anticiper l'arrivée des crues sur la période la plus propice aux survenances de crue (chaque année, d'octobre à mai). Cette veille est assurée par le SMAVD, via une équipe d'astreinte H24, 7j/7, qui assure les tâches suivantes :

- Suivi météorologique journalier (service météo France grand public),
- Dès identification d'un risque de précipitations notables, suivi météorologique permanent, analyse des images Radar RHYTMME, contact des prévisionnistes EDF et surveillance des stations hydrologiques de tête de bassin sur Vigicrues,
- Dès réaction marquée des stations de tête de bassin ou information particulière, suivi hydro-météo renforcé et interprétation du phénomène de crue comprenant :
 - La collecte et le traitement des données utiles à l'analyse du phénomène en cours (SPC + EDF, images Radar Rythmes),
 - La mise en œuvre d'un modèle de propagation des débits élaboré par le SMAVD,
 - La communication régulière vers les cadres de décision du SMAVD pour indication / validation des tendances.

L'information de l'Autorité gémapienne et des communes sur l'évolution et les tendances des phénomènes de crues en cours ou en devenir.

La veille hydrologique transmet ses messages conformément à une liste de contacts établis pour chaque système. Les messages transmis sont du type :

- Concernant l'évolution des débits :
« L'épisode devrait atteindre un débit de $xxxx \text{ m}^3/\text{s}$ à xx heure, à la station de référence définie au chapitre 4 ».

- Concernant la tendance :
« Compte tenu des éléments à notre disposition, nous envisageons une tendance à la hausse (ou à la baisse, ou au plafonnement) de l'épisode de crue, et vous tiendrons informés de la suite de l'évolution ».

9.4.2 Astreinte de sécurité du gestionnaire

En cas de pluviométrie importante durant la période hydrologique favorable aux crues (octobre à mai), une astreinte de sécurité est mise en place au sein du personnel technique du SMAVD. Cette astreinte permet la mise à disposition d'agents en période de week-end ou de congés. Ces agents peuvent être mobilisés sur décision de la Direction Opérationnelle, à partir du déclenchement de la cellule de crise, afin d'être déployés sur le terrain.

9.4.3 Niveau de vigilance et seuil de déclenchement

La veille hydrologique permet d'établir en situation normale comme de crue, des prévisions de débits aux différentes stations de mesure en Durance.

A partir de ces prévisions, trois niveaux de vigilance ont été déterminés pour organiser la surveillance du système d'endiguement en fonction de la situation hydrologique de la Durance. Ces niveaux de vigilance ont été établis en fonction de la mise en charge des ouvrages :

- **Situation normale** : absence de crue
- **Veille** : système non sollicité
- **Crise 1** : mise en charge notable des ouvrages
- **Crise 2** : mise en charge importante des ouvrages

Le déclenchement des différents niveaux de vigilance est établi sur la base des prévisions de débits effectuées par le service de veille hydrologique, et non sur le débit réel observé au droit du système afin de pouvoir bénéficier d'un temps d'anticipation et d'organisation de la gestion en crue. En cas d'impossibilité d'établir les prévisions (coupure des télécommunications, panne de la station de

mesures de référence, ...), l'évaluation des débits sera faite, en mode dégradé, par lecture directe de niveaux d'eau au droit du système d'endiguement (échelles graduées ou autres).

Le schéma suivant illustre la correspondance entre les débits et l'état de mise en charge plus ou moins important du système d'endiguement.

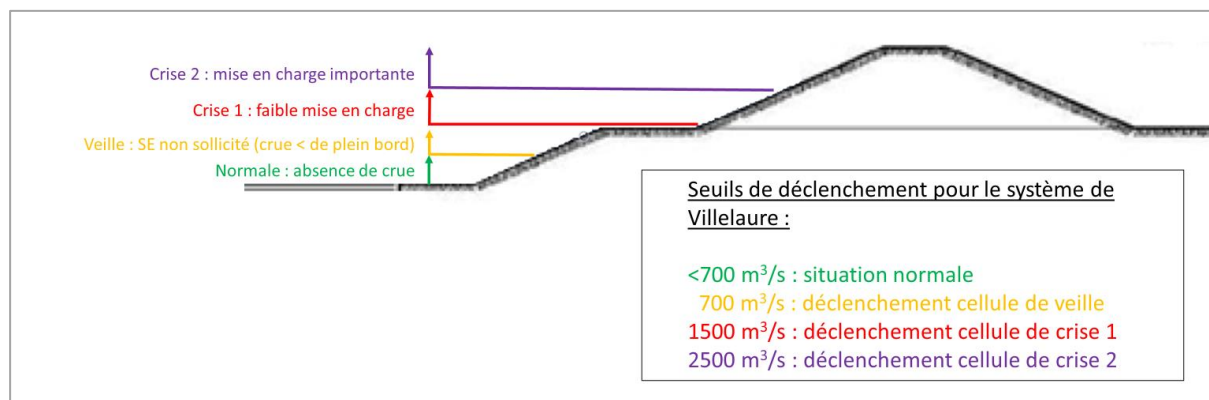


Figure 173 : Correspondance entre débits et niveau de mise en charge de la digue

Les seuils de déclenchement des cellules de veille et de crise sont définis ci-après.

9.4.3.1 Situation normale

Pas de crue ou crue « courante », prévisions de débits restant inférieures à **700 m³/s**.

9.4.3.2 Cellule de Veille

A partir d'une prévision de débit supérieure ou égale à **700 m³/s**, la cellule de veille est activée.

9.4.3.3 Cellule de crise de niveau 1

A partir d'une prévision de débit supérieure ou égale à **1500 m³/s**, la cellule de crise est activée. Certains ouvrages commencent à être en charge à partir de ce débit.

9.4.3.4 Cellule de crise de niveau 2

A partir d'une prévision de débit supérieure ou égale à **2500 m³/s**, la cellule de crise entre dans son niveau 2. Certains ouvrages sont fortement en charge à partir de ce débit.

9.4.3.5 Détermination du point d'observation des débits en Durance

Il a été retenu de fixer le point d'observation sur la station limnimétrique de Meyrargues (pont de Pertuis en rive gauche), dont les données sont accessibles sur le site internet Vigicrues / Territoire Grand Delta.

Cette station présente les avantages suivants :

- Données accessibles sur internet avec actualisation toutes les 5 minutes (débits et hauteurs d'eau) ;
- Débits mesurés représentatifs des débits à attendre au droit du système d'endiguement.

En cas de perte de transmission des données internet, l'observation des débits sera assurée en mode dégradé par lecture des niveaux d'eau sur les échelles graduées installées au droit du système d'endiguement (cf. plan de repérage pour la localisation), ou au niveau de points singuliers (remblais, ponts, routes, ...).

9.5 Procédures d'information et de communication avec les autorités compétentes

9.5.1 Généralités sur la transmission de l'information

L'information nécessaire et relative à la gestion du système d'endiguement en période de crue est graduelle.

L'information est transmise par voie orale et/ou écrite. Un retour systématique est demandé au destinataire pour s'assurer de la bonne réception. Toute information orale est reportée dans un cahier de consignation spécifique.

La liste de l'ensemble des acteurs intervenant en période de crue sont présentées en annexe du document d'organisation. Leurs coordonnées sont vérifiées chaque année et mises à jour dans les fichiers opérationnels utilisés en période de crue.

9.5.2 Pendant la crue

- **Information de l'autorité gémapienne et du (des) Maire(s) de la zone protégée**
 - Dès identification d'une crue en devenir. Information par le service de veille hydrologique aux responsables de la sécurité sur le territoire de la zone protégée (secteurs concernés, débit attendu et évolution prévisible),
 - Dès activation de la cellule de veille,
 - Dès activation de la cellule de crise 1. Information de l'aggravation de la crue, actualisation du débit attendu et de la tendance, éventuels constats de terrain.
 - Dès activation de la cellule de crise 2. Information de l'aggravation de la crue, actualisation du débit attendu et de la tendance, éventuels constats de terrain, mesures prises, conclusion sur la sureté des ouvrages.
 - Dès qu'il existe un risque d'atteinte du niveau de protection.
- **Information à la Préfecture**
 - Dès activation de la cellule de veille pour prise de renseignements auprès des acteurs institutionnels.
 - Dès activation de la cellule de crise 1. Information de l'aggravation de la crue, actualisation du débit attendu et de la tendance, éventuels constats de terrain.
 - Dès activation de la cellule de crise 2. Information de l'aggravation de la crue, actualisation du débit attendu et de la tendance, éventuels constats de terrain, mesures prises, conclusion sur la sureté des ouvrages.

9.5.3 Déclaration post-crue (EISH)

Les crues ayant entraîné des désordres doivent faire l'objet d'une information au Préfet conformément aux dispositions prévues dans 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 et des biens et précisant les modalités de leur déclaration.

En particulier, en cas de désordre grave ayant entraîné une ruine de l'ouvrage ou ayant de fortes chances d'entraîner une ruine de l'ouvrage lors d'une prochaine mise en charge, il sera déclaré au préfet un **EISH** (Evénement Important pour la Sûreté Hydraulique).

La transmission de cette déclaration doit être effectuée, par voie électronique doublée d'un courrier postal.

9.6 Dispositions prises par le gestionnaire pour respecter les procédures, auditer et réviser son organisation de gestion du système d'endiguement

9.6.1 Formation des agents

Tous les agents, amenés à intervenir dans le cadre des cellules de veille et de crise, sont formés aux procédures à suivre en situation de crue. Cela concerne à la fois les agents techniques et administratifs du SMAVD, les agents de l'autorité gémapienne (cellule GEMAPI de la Métropole) et les agents techniques du bloc communal constituant les unités de surveillance des ouvrages.

Les formations sont dispensées par le SMAVD. Elles comportent un volet théorique et pratique, et abordent les thèmes suivants :

Pour les agents de la Communes et l'Autorité gémapienne :

- Les éléments d'hydrologie permettant de comprendre les phénomènes de crue en Durance ;
- Les principaux phénomènes de défaillances pouvant survenir sur un ouvrage de type digue et les moyens de les identifier ;
- L'utilisation des outils mis à disposition pour surveiller les ouvrages, détecter et identifier les désordres ;
- La mise en place des protocoles de surveillance des ouvrages, de détection des défaillances et de transmission de l'information.

Après une formation initiale, un recyclage régulier est assuré par le SMAVD.

Pour les agents du SMAVD participant aux cellules de veille / crise :

- Les missions que doivent remplir les agents techniques et administratifs en fonction des différents niveaux de crue ;
- Le principe et la coordination des déploiements sur le terrain ;
- Les types d'observation et d'information à relever et à faire remonter ;
- Les protocoles de transmission de l'information.

Ces formations sont dispensées lors de réunions en interne (formation initiale et recyclages).

9.6.2 Information des élus et des directions de mairie / intercommunalité

Les directions de mairie et de l'intercommunalité sont conviées au moins 1 fois par mandat à une réunion d'information et de rappel des procédures en situation de crue.

Les maires des communes et les élus de l'intercommunalité situées dans la zone protégée sont également invités à participer s'ils le souhaitent à ces réunions d'information.

9.6.3 Exercices internes de gestion de crue et de simulation

Afin de rôder la mise en œuvre partielle de l'organisation et des consignes en période de crue, plusieurs types d'exercice sont prévus en interne SMAVD : simulation de l'arrivée et du suivi d'une crue par la veille hydrologique, simulation de la mise en place de la cellule de veille.

Des exercices de simulation avec les élus et services des communes / EPCI, portant sur la mise en œuvre partielle de l'organisation et des consignes en période de crue, sont organisés (au moins une fois par mandat municipal).

Enfin, un exercice plus global avec l'ensemble des responsables de la sécurité (maires, direction intercommunalité, préfet, SDIS) est prévu dans le cadre du PAPI Basse Durance (2022-2028).

A l'issue de chaque exercice, un rapport est établi en vue de consigner les résultats de la gestion de crise et les retours d'expérience des acteurs.

9.7 Rôles de barrière de sécurité

Dans certaines situations exceptionnelles, les missions du gestionnaire ne peuvent être exercées en totalité, par exemple du fait de la perte générale des réseaux de télécommunications, ou en cas de mise en place de mesures sanitaires (confinement lié à une pandémie, etc.).

Un fonctionnement en « mode dégradé » est alors mis en place par le gestionnaire pour assurer une continuité des actions essentielles permettant de garantir un suivi minimal mais sécuritaire du système d'endiguement, jusqu'à rétablissement de la situation normale.

Même s'il n'est pas possible de définir exhaustivement les types et les conséquences d'événements par nature exceptionnels et non prévisibles, les tâches indispensables maintenues en mode dégradé sont indiquées, par grande famille et marquées d'un * dans les tableaux du chapitre 6 « Moyens alloués » du document d'organisation.

9.8 Analyse de l'adéquation des moyens humains et de l'organisation mise en place par le gestionnaire

9.8.1 Moyens humains

Pour appliquer les consignes de surveillance et d'exploitation du système d'endiguement en toutes circonstances, il est fait appel aux élus, responsables et agents techniques et administratifs des différentes parties prenantes à la gestion, conformément aux conventions passées entre elles.

Au sein du SMAVD, ce sont les agents du service Travaux et Gestion des Ouvrages qui réalisent la surveillance, les VTA, ainsi que le suivi des entretiens, et des réparations et travaux éventuels. Ce

service est agréé en tant qu'organisme intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques pour les barrages de classe C et les digues. Ces agents bénéficient des formations suivantes :

- **Formation continue** : Les agents suivent régulièrement des formations auprès d'organismes divers publics ou privés dans le but d'améliorer leurs connaissances et de se tenir bien informés des dernières avancées dans leurs domaines d'intervention,
- **Participation à des programmes de recherche** : Les ingénieurs du service peuvent être amenés à participer à des programmes ce qui contribue activement à l'amélioration de leurs connaissances dans le domaine des infrastructures hydrauliques,
- **Retour d'expérience** : Deux types de retours d'expérience sont particuliers au Service Travaux et Gestion des Ouvrages : le suivi des ouvrages hydrauliques et l'observation du comportement des ouvrages en crue et après crue. En effet, le fait d'être gestionnaire de la Durance et d'un important parc d'ouvrages hydrauliques offre la possibilité au SMAVD de pouvoir suivre l'évolution dans le temps de ces ouvrages et de mesurer en continu leur comportement face aux différentes contraintes qu'ils subissent (en particulier pendant et après les crues). Ce retour d'expérience continu et très concret permet d'améliorer de manière permanente l'expérience et les connaissances des agents du SMAVD,
- **Echanges avec d'autres organismes maîtres d'œuvre** : Une grande partie (environ 80 %) des projets portés en maîtrise d'ouvrage par le SMAVD fait l'objet d'une maîtrise d'œuvre interne par le Service Travaux et Gestion des Ouvrages. Cependant, certaines missions peuvent être confiées à des prestataires externes. Dans ce cas sont mis en place de manière systématique des points de rencontre et d'échange entre le maître d'œuvre externe au SMAVD et le Service Travaux et des Gestion des Ouvrages du SMAVD entre autres dans le but de confronter les approches et de partager les connaissances.

Les Communes interviennent en appui du SMAVD pour réaliser la surveillance et les actes de terrain sur le système d'endiguement en période de crue. Elles mettent ainsi à disposition un numéro d'astreinte sur lequel un cadre des services techniques de la Commune est joignable 24h/24 et 7j/7.

Des agents de terrain communaux interviennent sur site sur demande du cadre communal en période de crue pour vérifier, avant la montée des eaux, si les accès aux ouvrages sont praticables, et si les vannes d'obturation des digues fonctionnent ; pour fermer ces vannes avant que les eaux de la Durance puissent entrer vers la zone protégée ; et pour réaliser des passages de surveillance sommaire lorsque les ouvrages sont en charge.

Les cadres et agents communaux sont formés annuellement par le SMAVD. Ces formations assurées en salle et/ou directement sur site permettent de présenter ou rappeler les gestes à faire en période de crue et d'insister sur les points sur lesquels une vigilance est à apporter lors de la surveillance. Ces formations sont également l'occasion de répondre aux éventuelles interrogations des agents. Le format (lieu de la formation, nombre de personnes participant, sens de visite des ouvrages...) est adapté chaque année de manière que la formation soit la plus efficace possible.

Le chapitre 6.1 « Moyens humains » du document d'organisation décrit sous la forme de tableaux la répartition des tâches et fonctions pour chaque catégorie de consignes ainsi que le nombre, la qualité et l'organisme de rattachement des personnes qui leur sont affectées.

9.8.2 Entreprises d'intervention d'urgence

Les entreprises interviennent sur demande du SMAVD et/ou réquisition de l'autorité gémapienne après demande par la Direction décisionnelle du gestionnaire lorsqu'elle estime que des travaux d'urgence, préventifs ou curatifs, doivent être mis en œuvre sur les ouvrages et équipements du système d'endiguement.

La liste des entreprises mobilisables par le SMAVD dans le cadre d'un marché à bon de commande spécifique « travaux d'urgence en crue » est jointe en annexe du document d'organisation.

Un test de mobilisation des entreprises est prévu une fois par mandat dans le cadre de l'exercice de simulation prévu (cf. §9.6.3).

9.8.3 Moyens matériels

Les équipements matériels courants du gestionnaire disponibles au siège de la structure à Mallemort sont utilisés pour la gestion en situation normale ou en crue : postes informatiques fixes ou portables, tablettes, moyens de communication (téléphones fixes ou portables, internet, fax), registre de consignation, imprimantes, etc.

Par ailleurs, la liste du matériel mis à disposition aux agents du SMAVD pour les interventions sur le terrain est présentée en annexe du document d'organisation.

La liste des moyens et matériels mis à disposition des agents du service communal est décrite dans la convention conclue entre l'autorité gémapienne et la commune.

9bis. Recommandations de l'organisme agréé qui réalise l'étude de dangers

L'organisation mise en place par le gestionnaire apparaît adaptée aux ouvrages à surveiller au regard des éléments suivants :

- la surveillance des ouvrages en période normale est assurée par le SMAVD. Ce syndicat a une bonne connaissance du site et des problématiques de gestion de digues du fait de son historique de gestionnaire. Il est en mesure d'assurer la surveillance, l'entretien et le suivi des travaux éventuellement nécessaires sur les ouvrages. De plus, il est prévu un programme de formation adapté et la participation d'agents de la commune de Pertuis a une VSP par an, ce qui permet une prise de connaissance de l'ouvrage par la commune qui a un rôle dans sa gestion en période de crue,
- en période de crue :
 - la surveillance des ouvrages est assurée par le SMAVD qui pilote les interventions sur le terrain du personnel de la commune de Pertuis. La direction décisionnelle et la direction opérationnelle sont joignables 24h/24, un binôme de personnel de terrain est mobilisable la journée. Compte tenu du risque de mise en danger des agents lors des inspections nocturnes, il n'est pas envisagé d'assurer une continuité de surveillance 24h/24. Les surveillances nocturnes seront réalisées au cas par cas et réservées aux situations exceptionnelles, sur décision de la Direction Opérationnelle,
 - le SMAVD dispose de marchés de travaux pour la réalisation de travaux d'urgence sur les ouvrages et est habilité à donner des recommandations techniques « avancées » et à suivre l'exécution des travaux à proximité du système d'endiguement. L'organisation pour la réalisation de réparations en urgence sur les ouvrages semble donc adéquate.

Les effectifs indiqués dans le document d'organisation du SMAVD semble suffisants si les moyens sont effectivement mobilisables.

Concernant l'information auprès des services compétents en matière de prévision et d'annonce de crue, l'organisation et les moyens humains du gestionnaire apparaissent adaptés :

- Il est organisé selon un système d'astreinte permettant d'assurer un suivi permanent des conditions hydrométéorologiques, sur la période la plus propice aux survenances de crues (chaque année, d'octobre à mai),
- En période de crise, il est en contact avec les prévisionnistes EDF, du SPC, et peut déployer son modèle hydraulique,
- Il informe de l'autorité Gémapienne et la commune de Pertuis sur l'évolution et les tendances des phénomènes de crues au cours ou en devenir.

Concernant l'alerte des autorités compétentes en cas de besoin, l'organisation et les moyens humains du gestionnaire apparaissent également adaptés :

- Une seule commune (Pertuis) est concernée par le système d'endiguement de Pertuis, simplifiant les échanges, il est à noter que le SMAVD intervient sur d'autres ouvrages sur l'ensemble de l'axe durancien entre Espinasse et Avignon,
- En période de crise, le SMAVD reste en contact permanent avec les services de l'Etat en charge de la gestion de crise.

Enfin le plan de gestion de la végétation disponible dans le document d'organisation est jugé conforme aux objectifs de surveillance.

Les éléments ci-après constituent des recommandations de l'organisme agréé qui a réalisé la présente étude de dangers en vue de conforter à moyen ou à long terme la protection apportée par le système d'endiguement :

Typologie de la recommandation	Description de la recommandation
Identification des niveaux de veille et de crise sur une échelle limnimétrique	Le déclenchement des cellules de veille et de crise est lié à des prévisions de débits à la station de de Meyrargues. Ce débit pourrait utilement être relié à la lecture physique d'un niveau d'eau sur une échelle située soit au droit de la station, soit à proximité du site pour assurer un déclenchement en mode dégradé en cas de non-information de valeurs de débit.
Processus de suivi de l'organisation du gestionnaire	L'évolution des processus d'organisation pourrait être encore mieux cadrée, avec par exemple mise en place des actions suivantes : ● Identifier une personne nommément désignée en charge du suivi et de l'actualisation du processus de surveillance des ouvrages, ● Instaurer tous les ans un audit du document d'organisation en vigueur de façon à mettre à jour les informations y figurant, en particulier les coordonnées des personnes pouvant être contactées, ● Prévoir un audit technique du document d'organisation à l'issue de chaque évènement significatif (activation de la cellule de crise), ● Ajouter un paragraphe dans le document d'organisation stipulant le processus de vie et d'actualisation des consignes et modalités de surveillance des ouvrages, reprenant les points listés ci-dessus.
Identification des acteurs et de leurs coordonnées	Au besoin, les fonctions et astreinte présentées au document d'organisation en partie 6.1.1 à 6.1.16 pourraient être en permanence nominativement désignées. Idéalement, l'annuaire des acteurs intervenant en période de crue doit être rempli (annexe 5 du document d'organisation). A minima, un tableau des contacts en crue est à tenir à jour.
Plan synoptique de repérage du système d'endiguement	Il serait ainsi judicieux de faire apparaître sur le plan synoptique de repérage du système d'endiguement les PK afin de mieux se repérer et communiquer lors de visites et des surveillances en crue.
Entretien de la végétation présente sur l'ouvrage	Le plan de gestion de la végétation est à suivre et à mettre à jour en fonction de la surveillance réalisée sur l'ouvrage.
Organisation de la commune de Pertuis (compétence communale)	La commune de Pertuis est organisée suivant son PCS. Il conviendrait d'ajouter les dispositions spécifiques à la surveillance du système d'endiguement cohérents avec l'organisation du gestionnaire et calé sur les mêmes niveaux d'alerte
Mise en sécurité des populations (compétence communale)	Les procédures établies par le SMAVD n'abordent pas le sujet de l'évacuation des populations, en lien avec les autorités compétentes. Un plan d'évacuation des populations est à établir par les pouvoirs publics compétents, identifiant les personnes et les enjeux sensibles pouvant être concernés.

Tableau 49 : Recommandations de l'organisme agréé vue de conforter à moyen ou à long terme la protection apportée par le système d'endiguement

10 Cartographie

Les cartes administratives (cf. §3.1 et §2.3) ainsi que les cartes de venues d'eau (cf. §8) sont intégrées dans le présent rapport.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/fr/annexes>



ANNEXES

Annexe 1 : Autorisation du système d'endiguement de Pertuis – Etude de dangers (source : Ingérop, juillet 2019)

**Annexe 2 : Mise à jour des débits caractéristiques de la
Durance à Mirabeau sur la période 1830-2020 (source :
SMAVD, mai 2023)**

**Annexe 3 : Régularisation des ouvrages de Pertuis-amont.
Rapport d'étude hydraulique (source : SMAVD, mars 2024)**

Annexe 4 : Porter à Connaissance des travaux réalisés sur la digue du Père Grand (source : SMAVD, avril 2023)

**Annexe 5 : Digue de protection contre les crues de la
Durance. Gradins stade de foot. Etude de diagnostic G5
(source : Géolithe, novembre 2022)**

Annexe 6 : Convention de superposition d'affectation entre le système d'endiguement de la ZI de Pertuis et les aménagements communaux (vélo-route et gradins)

**Annexe 7 : Digue de protection contre les crues de la
Durance. Secteur RFF. Etude de diagnostic G5 (source :
Géolithe, mai 2023)**

**Annexe 8 : Digue de protection contre les crues de la
Durance. Secteurs AEP amont et aval. Etude de diagnostic
G5 (source : Géolithe, mai 2023)**

**Annexe 9 : Digue de protection contre les crues de la
Durance. Secteurs épi 19, Corrèze, Mulet. Etude de
diagnostic G5 (source : Géolithe, mai 2023)**

Annexe 10 : Document décrivant l'organisation mise en place pour assurer la gestion du système d'endiguement, son entretien et sa surveillance en toutes circonstances

