

## **Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) du Drac aval**

Communes de  
Champagnier, Champ-sur-Drac, Claix, Echirolles, Eybens, Fontaine,  
Grenoble, Le Pont-de-Claix, Noyarey,  
Saint-Georges-de-Commiers, Saint-Martin-d'Hères, Sassenage,  
Seyssinet-Pariset, Seyssins, Varcès-Allières-et-Risset, Veurey-Voroise et Vif

Note de présentation  
2 - Annexes relatives aux aléas  
Annexe 2-5 : Rapport hydraulique d'INGEROP  
et son addendum

### **Dossier d'approbation 2023**





Mai 2023

**QUALIFICATION DES ALEAS  
DES CRUES DU DRAC,  
DU PONT DE LA RIVOIRE  
A LA CONFLUENCE AVEC L'ISERE**

## IDENTIFICATION



### INGÉROP Conseil et Ingénierie

Agence de Aix-en-Provence - Domaine du Petit Arbois - Pavillon Laënnec - Hall B - BP 20056 - F-13545 Aix-en-Provence cedex 4  
Tél. : (33)4 42 50 83 00 - N° Siret 489 626 135 00250 - [ingerop.aix@ingerop.com](mailto:ingerop.aix@ingerop.com) - [ingerop.fr](http://ingerop.fr)  
Siège Social : 18 rue des deux gares - CS 70081 - F-92563 Rueil-Malmaison Cedex  
S.A.S. au capital de 5 800 000 € - R.C.S. Nanterre B 489 626 135 - APE 7112B - Code TVA n° FR 454 896 261 35



## GESTION DE LA QUALITE

Version	Date	Intitulé	Rédaction	Lecture	Validation
1	03/2018	EH	CB	JF	JF
2	04/2018	EH	CB	JF	JF
3	12/2019	Compléments au rapport	AT	JF	JF
4	12/2019	Remarques DDT intégrées	AT	JF	JF
5	01/2022	Remarques DDT intégrées (suppression brèche G3)	JF	JF	JF
6	05/2023	Intégration remarques DDT	JF	JF	JF

### Observations sur l'utilisation du rapport :

***Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations d'INGÉROP ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.***

***La société INGÉROP n'est pas responsable de la vérification de la véracité des informations transmises, à l'exception de celles normalement décelables par l'homme de l'art, et celles pour lesquelles le Client a exigé une analyse spécifique.***





## SOMMAIRE

---

<b>RÉSUMÉ NON TECHNIQUE</b>	<b>17</b>
<b>1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE</b>	<b>19</b>
<b>2 DÉFINITION DE LA CRUE DE RÉFÉRENCE</b>	<b>20</b>
<b>3 PRÉSENTATION DES DIGUES DU DRAC</b>	<b>21</b>
<b>4 CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE</b>	<b>25</b>
<b>4.1 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE</b>	<b>25</b>
<b>4.2 CONSTRUCTION DU MODÈLE LIT MINEUR</b>	<b>27</b>
4.2.1 Données topographiques	27
4.2.1.1 Profils en travers	27
4.2.1.1.1 Drac	27
4.2.1.1.2 Affluents	34
4.2.1.2 Données MNT	36
4.2.1.3 Autres données - Éléments structurants du lit mineur	37
4.2.1.3.1 Levés terrestres (secteur Ridelet et digue Marceline)	37
4.2.1.3.2 Dignes rive droite et rive gauche	38
4.2.1.3.3 Barrage du Saut du Moine	39
4.2.1.3.4 Ouvrages ponts	40
4.2.1.3.5 Seuils	41
4.2.2 Traitement des données	42
<b>4.3 CONSTRUCTION DES MODÈLES LIT MAJEUR</b>	<b>45</b>
4.3.1 Traitement topographique	45
4.3.2 Traitement du bâti	46
<b>4.4 MAILLAGE DU MODÈLE GLOBAL</b>	<b>48</b>
<b>4.5 MODÈLE DE RUGOSITÉ</b>	<b>49</b>
4.5.1 Lit mineur	49
4.5.2 Lit majeur	52
<b>4.6 CONDITIONS LIMITES</b>	<b>53</b>

4.6.1	Conditions amont	53
4.6.2	Conditions aval	54
4.6.2.1	Lit mineur	54
4.6.2.2	Lit majeur	55
<b>5</b>	<b>CALAGE DU MODÈLE HYDRAULIQUE ET SENSIBILITÉ</b>	<b>58</b>
<b>5.1</b>	<b>CALAGE À L'ÉTIAGE (FAIBLES DÉBITS)</b>	<b>58</b>
5.1.1	Lignes d'eau SINTEGRA	58
5.1.2	Ligne d'eau LIDAR	64
<b>5.2</b>	<b>CALAGE EN CRUE</b>	<b>67</b>
5.2.1	Crue de 1993	67
5.2.1.1	Résultats du calage	67
5.2.1.2	Analyse comparative – Bathymétrie 1993 vs 2016	68
5.2.2	Crues de 1928 - barrage du saut du Moine	70
<b>5.3</b>	<b>CONCLUSION SUR LE CALAGE</b>	<b>72</b>
<b>5.4</b>	<b>TESTS DE SENSIBILITÉ</b>	<b>72</b>
5.4.1.1	Test sur le débit de l'Isère à l'aval	72
5.4.1.2	Test sur le débit du Drac dans la traversée de Grenoble	73
5.4.1.3	Test sur les coefficients de rugosité en lit mineur	75
5.4.1.4	Conclusion	77
<b>6</b>	<b>PRISE EN COMPTE DU RISQUE D'EMBÂCLES</b>	<b>78</b>
<b>6.1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>78</b>
<b>6.2</b>	<b>MÉTHODOLOGIE</b>	<b>80</b>
<b>7</b>	<b>RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS AVEC TENUE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES</b>	<b>85</b>
<b>7.1</b>	<b>RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS « SANS EMBÂCLES »</b>	<b>85</b>
<b>7.2</b>	<b>RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS « AVEC EMBÂCLES »</b>	<b>90</b>
<b>8</b>	<b>MISE À JOUR DU MODÈLE HYDRAULIQUE POSTÉRIEURE AU PAC 2018</b>	<b>97</b>
<b>8.1</b>	<b>OBJECTIFS DE LA MISE À JOUR</b>	<b>98</b>
<b>8.2</b>	<b>ÉLÉMENTS MIS À JOUR</b>	<b>101</b>
8.2.1	Modèle lit mineur	102
8.2.2	Modèles lit majeur	102

8.2.2.1 Traitement topographique	102
8.2.2.2 Traitement du bâti	105
8.2.3 Modèle de rugosité	105
8.2.3.1 Lit mineur	105
8.2.3.2 Lit majeur	105
<b>9 SCÉNARIOS DE DÉFAILLANCE</b>	<b>107</b>
<b>9.1 RÉGLEMENTATION – PRINCIPE</b>	<b>107</b>
<b>9.2 CAUSES DE RUPTURE ET LIMITES POTENTIELLES</b>	<b>108</b>
9.2.1 Rupture par surverse	108
9.2.2 Rupture par érosion interne	110
9.2.3 Rupture par érosion externe	115
9.2.4 Rupture par glissement ou rupture d'ensemble	117
9.2.5 Conclusion	119
<b>9.3 LOCALISATION DES BRÈCHES</b>	<b>120</b>
9.3.1 Identification des secteurs mis en charge	121
9.3.1.1 Secteur en amont du Saut du Moine	121
9.3.1.1.1 Digue de Vif	121
9.3.1.1.2 Endiguement Champ-sur-Drac	123
9.3.1.1.3 Conclusion	127
9.3.1.2 Secteur en aval du Saut du Moine	127
9.3.2 Brèches de second rang	133
9.3.2.1 Dignes du Furon	133
9.3.2.2 Digue Marceline – Secteur Mon Logis	134
9.3.2.2.1 Scénarios de rupture / défaillance	139
9.3.2.2.2 <b>Fonctionnement des ouvrages EDF (source EDF)</b>	140
9.3.2.2.3 Des scénarios de défaillance du système de second rang non pris en compte dans la détermination de l'aléa de référence à la suite de la concertation avec les parties prenantes	141
9.3.2.2.4 Modélisation d'un débordement du canal de la centrale de Drac Inférieur	142
9.3.3 Positionnement des brèches	142
9.3.4 Caractéristiques des brèches	146
<b>9.4 CONCLUSION SUR LES BRÈCHES RETENUES</b>	<b>150</b>
9.4.1 Secteur Mon Logis	150

9.4.2 Brèches D4, D5 et D8	152
9.4.3 Brèche D6	153
9.4.4 Brèches G3 et G4	153
9.4.4.1 Contexte	153
9.4.4.2 Analyse concernant la brèche G4 et la brèche G3	154
9.4.4.2.1 Analyse de la brèche G4	154
9.4.4.2.2 Analyse de la brèche G3	154
9.4.5 Scénarios de brèche retenus	156
<b>9.5 PARAMÉTRAGE DES BRÈCHES</b>	<b>159</b>
9.5.1 Instant de rupture	159
9.5.2 Dimensions des brèches	159
9.5.3 Vitesse d'ouverture	162
9.5.4 Cas particulier – Rupture de second rang	162
9.5.5 Synthèse	163
<b>10 RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS</b>	<b>166</b>
<b>10.1 BRÈCHES RIVE GAUCHE</b>	<b>166</b>
10.1.1 Brèche G1	166
10.1.2 Brèche G2	168
10.1.3 Brèche G3b	170
10.1.4 Brèche G4	172
10.1.5 Brèche G5	174
10.1.6 Brèche G6	176
10.1.7 Brèche G7	178
10.1.8 Brèche G8	180
10.1.9 Brèche G9 et F1, F2, F3	183
<b>10.2 BRÈCHES RIVE DROITE</b>	<b>187</b>
10.2.1 Brèche D12	187
10.2.2 Brèche D12 + défaillance vanne de Mont Logis	190
10.2.3 Brèche D2	194
10.2.4 Brèche D3b	195

10.2.5	Brèche D4	197
10.2.6	Brèche D5	200
10.2.7	Brèche D7	203
10.2.8	Brèche D9	206
10.2.9	Brèche D10	209
10.2.10	Brèche D11	211
<b>11</b>	<b>CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA INONDATION</b>	<b>214</b>
11.1	PRINCIPE	214
11.2	CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS MAXIMALES (TOUS SCÉNARIOS)	216
11.3	CARTOGRAPHIE DES VITESSES MAXIMALES (TOUS SCÉNARIOS)	219
11.4	CARTOGRAPHIE BRUTE DE L'ALÉA INONDATION	222
11.5	BANDE DE PRÉCAUTIONS	225
11.6	MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSES DE LISSAGE DE L'ALÉA	227
11.7	CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE DE L'ALÉA INONDATION	228
<b>12</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>231</b>



## FIGURES

---

Figure 1 : Présentation des digues du Drac (1/3).....	22
Figure 2 : Présentation des digues du Drac (2/3).....	23
Figure 3 : Présentation des digues du Drac (3/3).....	24
Figure 4 : Présentation de l'emprise globale du modèle .....	26
Figure 5 : Localisation des profils ADIDR sur le linéaire étudié .....	28
Figure 6 : Secteur Pont-de-Claix – Seuil Champ de tir .....	30
Figure 7 : Secteur Espace Comboire – Pont de Catane .....	31
Figure 8 : Secteur Pont de Catane – Seuil de l'ILL .....	32
Figure 9 : Données topographiques utilisées pour la construction du lit mineur (Saut du Moine – Barrage de Saint-Égrève).....	34
Figure 10 : Localisation des profils en travers sur la Romanche et sur la Gresse .....	35
Figure 11 : Localisation des profils en travers du Drac jusqu'à la confluence et sur l'Isère .....	36
Figure 12 : Modèle numérique de terrain – partie amont du Drac .....	37
Figure 13 : Levés terrestres – Secteur Ridelet et digue Marceline .....	38
Figure 14 : Localisation des digues de Vif et de Varcès .....	39
Figure 15 : Plan topographique EDF – Saut du Moine .....	40
Figure 16 : Exemple de levés d'ouvrages .....	40
Figure 17 : Exemple de fiche d'ouvrage – Pont Rouge.....	41
Figure 18 : Exemple de levé de seuil (Claix).....	42
Figure 19 : Exemple de levé de seuil (ILL).....	42
Figure 20 : Identification des îles – lignes de contraintes en lit mineur.....	43
Figure 21 : Exemple de représentation 3D des seuils du modèle lit mineur .....	44
Figure 22 : Représentation 3D du barrage du Saut du Moine .....	44
Figure 23 : Exemple de représentation des piles de pont dans le modèle lit mineur.....	45
Figure 24 : Illustration de la méthodologie d'intégration des bâtiments dans le modèle.....	47
Figure 25 : Extrait du maillage rive gauche .....	47
Figure 26 : Maillages du modèle hydraulique.....	49
Figure 27 : Valeurs de rugosité de l'étude ARTELIA de 2012 .....	50
Figure 28 : Extrait des coefficients de rugosité retenus en lit mineur.....	50
Figure 29 : Extrait du modèle de rugosité (lit mineur essentiellement) .....	51
Figure 30 : Extrait des coefficients de rugosité retenus en lit majeur.....	52
Figure 31 : Conditions amont – Modèle hydraulique.....	53
Figure 32 : Hydrogrammes constituant les conditions limites aux frontières du modèle hydraulique ..	54
Figure 33 : Courbe hauteur débit – Barrage de Saint-Égrève – Condition aval lit mineur .....	55
Figure 34 : Condition aval 1 – Modèle rive gauche .....	56
Figure 35 : Condition aval 2&3 – Modèle rive gauche .....	56
Figure 36 : Condition aval – Modèle rive droite.....	57

Figure 37 : Date des levés SINTEGRA 2016 .....	59
Figure 38 : Résultat du calage sur le tronçon P30-P39a .....	60
Figure 39 : Résultat du calage sur le tronçon P39b-P52 .....	61
Figure 40 : Résultat du calage sur le tronçon P53-P61 .....	62
Figure 41 : Résultat du calage sur le tronçon P76-P88 .....	63
Figure 42 : Résultat du calage sur le tronçon P90-P110 .....	64
Figure 43 : Schéma de réalisation LIDAR .....	65
Figure 44 : Extrait du plan de vol - LIDAR sur Grenoble .....	65
Figure 45 : Traitement du LIDAR dans la zone en eau – Artefacts.....	66
Figure 46 : Comparaison des lignes d'eau résultant du modèle et du LIDAR .....	66
Figure 47 : Calage sur la ligne d'eau de 1993.....	67
Figure 48 : Profil en long illustrant la section et le volume sous la ligne d'eau 1993 .....	68
Figure 49 : Profil 88 datant de 1993 – calcul de section réduite de 10% .....	69
Figure 50 : Extrait de l'étude 1.74.2133 R3 – Sogreah 2012 .....	70
Figure 51 : Résultats de calage pour Q1240m <sup>3</sup> /s.....	71
Figure 52 : Résultats de calage pour Q1570m <sup>3</sup> /s.....	71
Figure 53 : Résultats du test de sensibilité sur la condition aval.....	73
Figure 54 : Profil en long illustrant les différences de niveau pour Q1800 – Q1900 m <sup>3</sup> /s du Drac .....	74
Figure 55 : Profil en long illustrant les différences de niveau pour Q1800 (sans embâcles) – sensibilité au KS .....	75
Figure 56 : Exemple de vitesses max et surfaces libres max au droit de piles de pont.....	81
Figure 57 : Principe de prise en compte des embâcles dans le modèle 2D .....	82
Figure 58 : Illustration du maillage avec et sans embâcles.....	84
Figure 59 : Hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Q100 sans embâcles - Ridelet.....	85
Figure 60 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q100 sans embâcles – Part1/2.....	86
Figure 61 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q100 sans embâcles – Part2/2.....	87
Figure 62 : Cartographie des vitesses maximales – Q100 sans embâcles - Part1/2 .....	88
Figure 63 : Cartographie des vitesses maximales – Q100 sans embâcles – Part2/2.....	89
Figure 64 : Hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Q100 avec embâcles - Catane .....	90
Figure 65 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q100 avec embâcles - Part1/2 .....	91
Figure 66 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q100 avec embâcles – Part2/2.....	92
Figure 67 : Cartographie des vitesses maximales – Q100 avec embâcles - Part1/2 .....	93
Figure 68 : Cartographie des vitesses maximales – Q100 avec embâcles – Part2/2.....	94
Figure 69 : Profil en long de la ligne d'eau – 1800 m <sup>3</sup> /s avec et sans embâcles – Part1/2 .....	95
Figure 70 : Profil en long de la ligne d'eau – 1800 m <sup>3</sup> /s avec et sans embâcles – Part2/2 .....	96
Figure 71 : Plan des aménagements de la zone Presqu'île.....	97
Figure 72 : Modifications apportées au modèle (partie Nord) .....	98
Figure 73 : Modifications apportées au modèle (partie Sud) .....	99
Figure 74 : Modifications apportées au secteur Bouchayer-Viallet.....	100
Figure 75 : Emprises des mises à jour du modèle .....	101



Figure 76 : Points issus de plans topographiques.....	103
Figure 77 : Différences d'altimétrie dans la zone de la Presqu'île- Etat 2019 / Etat initial PPRI .....	104
Figure 78 : Coefficients de Strickler modifiés .....	106
Figure 79 : Schéma de rupture par surverse (source « Surveillance, Entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations ») .....	109
Figure 80 : Mécanismes et facteurs aggravant de l'érosion interne (source « Surveillance, Entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations »).....	110
Figure 81 : Exemple d'érosion interne due à un ouvrage traversant (source Référentiel technique digues maritimes et fluviales – V1 janv.2015 - MEDDE) .....	114
Figure 82 : Mécanismes d'érosion externe (source « Surveillance, Entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations ») .....	115
Figure 83 : Résistance à l'érosion des sols en fonction des vitesses d'écoulement (source Référentiel technique digues maritimes et fluviales – V1 janv.2015 - MEDDE).....	116
Figure 84 : Blocométrie – Tableaux diagrammes d'Isbach .....	116
Figure 85 : Exemple de retours d'expérience d'érosion externe – Digue du Reyran (source Référentiel technique digues maritimes et fluviales – V1 janv.2015 - MEDDE).....	117
Figure 86 : Schéma de glissement de talus (source Référentiel technique digues maritimes et fluviales – V1 janv.2015 - MEDDE) .....	118
Figure 87 : Mécanisme de rupture d'ensemble (source « Surveillance, Entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations ») .....	119
Figure 88 : Zoom sur le secteur et les endiguements en amont du Saut du Moine.....	121
Figure 89 : Hauteurs d'eau maximales – secteur amont - digue de Vif .....	122
Figure 90 : Profil en long AB – Digue de Vif.....	123
Figure 91 : Hauteurs d'eau maximales – secteur amont – Endiguement Champ-sur-Drac .....	124
Figure 92 : Profil en long CD – Endiguement Champ-sur-Drac.....	125
Figure 93 : Plan d'eau – secteur amont .....	126
Figure 94 : Profil en travers – Etat d'équilibre de la cote centennale – aval profil CD .....	127
Figure 95 : Topographie au P33 et P47 .....	128
Figure 96 : Topographie au P62/63 et Espace Comboire .....	128
Figure 97 : Profil en long – 1800m <sup>3</sup> /s avec embâcles – RIVE DROITE - Part1/2 .....	129
Figure 98 : Profil en long – 1800m <sup>3</sup> /s avec embâcles – RIVE DROITE - Part2/2 .....	130
Figure 99 : Profil en long – 1800m <sup>3</sup> /s avec embâcles – RIVE GAUCHE - Part1/2 .....	131
Figure 100 : Profil en long – 1800m <sup>3</sup> /s avec embâcles – RIVE GAUCHE - Part2/2 .....	132
Figure 101 : Extrait de l'EDD rive gauche – Effet Domino Digue du Furon .....	134
Figure 102 : Digues et Ouvrages dans le secteur de Mon Logis (source : Google Maps) .....	135
Figure 103 : Ruptures de premier et second rang dans le secteur de Mon Logis .....	136
Figure 104 : Extrait du levé LIDAR et localisation des profils AB et CD .....	137
Figure 105 : Profil en travers AB (brèche D1 et D1b) .....	138
Figure 106 : Profil en travers CD (brèche D12 et D1c) .....	139
Figure 107 : Pré-positionnement des brèches – Part 1.....	143



Figure 108 : Pré-positionnement des brèches – Part 2.....	144
Figure 109 : Pré-positionnement des brèches – Part 3.....	145
Figure 110 : Profil en travers – Schéma caractéristique (exemple P66).....	146
Figure 111 : Positionnement des brèches retenues – Part 1/3.....	156
Figure 112 : Positionnement des brèches retenues – Part 2/3.....	157
Figure 113 : Positionnement des brèches retenues – Part 3/3.....	158
Figure 114 : Schéma représentant les vitesses d'ouverture de brèches par type.....	162
Figure 115 : Extrait de l'EDD Furon – Caractéristiques des brèches.....	163
Figure 116 : Hydrogramme de la brèche G1.....	166
Figure 117 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G1.....	167
Figure 118 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G1.....	167
Figure 119 : Hydrogramme de la brèche G2.....	168
Figure 120 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G2.....	169
Figure 121 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G2.....	170
Figure 122 : Hydrogramme de la brèche G3b.....	171
Figure 123 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G3b.....	171
Figure 124 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G3b.....	172
Figure 125 : Hydrogramme de la brèche G4.....	173
Figure 126 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G4.....	173
Figure 127 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G4.....	174
Figure 128 : Hydrogramme de la brèche G5.....	175
Figure 129 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G5.....	175
Figure 130 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G5.....	176
Figure 131 : Hydrogramme de la brèche G6.....	177
Figure 132 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G6.....	177
Figure 133 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G6.....	178
Figure 134 : Hydrogramme de la brèche G7.....	179
Figure 135 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G7.....	179
Figure 136 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G7.....	180
Figure 137 : Hydrogramme de la brèche G8.....	181
Figure 138 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G8 (1/2) .....	181
Figure 139 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G8 (2/2) .....	182
Figure 140 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G8.....	182
Figure 141 : Hydrogramme de la brèche G9.....	183
Figure 142 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G9 et F1,F2,F3 (1/2).....	184
Figure 143 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G9 et F1,F2,F3 (1/2).....	184



Figure 144 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G9 et F1, F2, F3 (1/2).....	185
Figure 145 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G9 et F1, F2, F3 (2/2).....	186
Figure 146 : Hydrogramme de la brèche D12 .....	187
Figure 147 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D12 ....	188
Figure 148 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D12 .....	189
Figure 149 : Hydrogramme de la brèche D12, avec défaillance de la vanne de Mont Logis .....	190
Figure 150 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D12, avec défaillance de la vanne de Mont Logis (1/2).....	191
Figure 151 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D12, avec défaillance de la vanne de Mont Logis (2/2).....	192
Figure 152 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D12, avec défaillance de la vanne de Mont Logis .....	193
Figure 153 : Hydrogramme de la brèche D2 .....	194
Figure 154 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D2 .....	195
Figure 155 : Hydrogramme de la brèche D3b .....	196
Figure 156 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D3b ....	196
Figure 157 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D3b .....	197
Figure 158 : Hydrogramme de la brèche D4 .....	198
Figure 159 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales– Brèche D4 .....	198
Figure 160 : Cartographies des vitesses maximales – Brèche D4 .....	199
Figure 161 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D4 .....	199
Figure 162 : Hydrogramme de la brèche D5 .....	200
Figure 163 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales– Brèche D5 .....	201
Figure 164 : Cartographies des vitesses maximales – Brèche D5 .....	201
Figure 165 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D5 .....	202
Figure 166 : Hydrogrammes de la brèche D7 .....	203
Figure 167 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales– Brèche D7 .....	204
Figure 168 : Cartographies des vitesses maximales – Brèche D7 .....	204
Figure 169 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D7 .....	205
Figure 170 : Hydrogrammes de la brèche D9 .....	206
Figure 171 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales– Brèche D9 .....	207
Figure 172 : Cartographies des vitesses maximales – Brèche D9 .....	207
Figure 173 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D9 .....	208
Figure 174 : Hydrogrammes de la brèche D10 .....	209
Figure 175 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales– Brèche D10 .....	210
Figure 176 : Cartographies des vitesses maximales – Brèche D10 .....	210
Figure 177 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D10 .....	211
Figure 178 : Hydrogramme de la brèche D11 .....	212
Figure 179 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D11 ....	212
Figure 180 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D11 .....	213



Figure 181 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – tous scénarios – Part1/3 .....	216
Figure 182 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – tous scénarios – Part2/3 .....	217
Figure 183 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – tous scénarios – Part3/3 .....	218
Figure 184 : Cartographie des vitesses maximales – tous scénarios – Part1/3 .....	219
Figure 185 : Cartographie des vitesses maximales – tous scénarios – Part2/3 .....	220
Figure 186 : Cartographie des vitesses maximales – tous scénarios – Part3/3 .....	221
Figure 187 : Cartographie de l'aléa brut – tous scénarios – Part1/3.....	222
Figure 188 : Cartographie de l'aléa brut – tous scénarios – Part2/3.....	223
Figure 189 : Cartographie de l'aléa brut – tous scénarios – Part3/3.....	224
Figure 190 : Schéma de la bande de sécurité - inspiré de la circulaire du 27 juillet 2011 .....	225
Figure 191 : Cartographies de l'aléa lissé et interpolé – tous scénarios – Part1/3.....	228
Figure 192 : Cartographies de l'aléa lissé et interpolé – tous scénarios – Part2/3.....	229
Figure 193 : Cartographies de l'aléa lissé et interpolé – tous scénarios – Part3/3.....	230

## TABLEAUX

Tableau 1 : Récapitulatif des profils en travers disponibles sur le linéaire du DRAC (date des levés)	29
Tableau 2 : Récapitulatif des profils en travers ADIDR sur le linéaire du DRAC (date des levés)	33
Tableau 3 : Valeurs de rugosité de la bibliographie (Source : CETMEF)	50
Tableau 4 : Caractéristiques des ouvrages majeurs dans le lit mineur du Drac	79
Tableau 5 : Estimation et proposition de largeur totale (pile + embâcle) au droit de chacun des ponts	83
Tableau 6 : Impact moyen des embâcles sur la ligne d'eau au droit des ouvrages	84
Tableau 7 : Valeurs du gradient hydraulique critique (Bligh et Lane) (source bulletin sur l'érosion de 2015)	113
Tableau 8 : Principaux facteurs de sensibilité à la rupture de la digue	119
Tableau 9 : Proposition de brèches en rive droite (1 <sup>er</sup> et 2 <sup>nd</sup> rang)	147
Tableau 10 : Proposition de brèches en rive gauche (1 <sup>er</sup> et 2 <sup>nd</sup> rang)	148
Tableau 11 : Récapitulatif et synthèse D4, D5 et D8	152
Tableau 12 : Estimation du volume de crue pouvant transiter dans une brèche	160
Tableau 13 : Estimation de la largeur initiale de formation des brèches proposées	161
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des brèches proposées en rive droite et leurs paramètres de rupture	164
Tableau 15 : Tableau récapitulatif des brèches proposées en rive gauche et leurs paramètres de rupture	165
Tableau 16 : Caractéristiques de la brèche G1	166
Tableau 17 : Caractéristiques de la brèche G2	168
Tableau 18 : Caractéristiques de la brèche G3b	170
Tableau 19 : Caractéristiques de la brèche G4	172
Tableau 20 : Caractéristiques de la brèche G5	174
Tableau 21 : Caractéristiques de la brèche G6	176
Tableau 22 : Caractéristiques de la brèche G7	178
Tableau 23 : Caractéristiques de la brèche G8	180
Tableau 24 : Caractéristiques de la brèche G9	183
Tableau 25 : Caractéristiques de la brèche D12	187
Tableau 26 : Caractéristiques de la brèche D12, avec défaillance de la vanne de Mont Logis	190
Tableau 27 : Caractéristiques de la brèche D2	194
Tableau 28 : Caractéristiques de la brèche D3b	195
Tableau 29 : Caractéristiques de la brèche D4	197
Tableau 30 : Caractéristiques de la brèche D5	200
Tableau 31 : Caractéristiques de la brèche D7	203
Tableau 32 : Caractéristiques de la brèche D9	206
Tableau 33 : Caractéristiques de la brèche D10	209
Tableau 34 : Caractéristiques de la brèche D11	211



Tableau 35 : Grille de qualification des aléas..... 214

Tableau 36 : Ancienne grille de qualification des aléas utilisée pour le porter à connaissance de mai 2018 (devenue sans objet)..... 215







## RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

---

La Direction Départementale des Territoires de l'Isère (DDT 38) est en charge de la réalisation du plan de prévention des risques d'inondation (PPRI) du Drac.

À la suite de l'analyse hydrologique avec la définition de la crue de référence du Drac, la première étape de l'élaboration d'un PPRI est la production des cartes représentant l'aléa inondation. Pour le Drac, la crue de référence est celle de 1856, qui correspond à une crue centennale. Le débit de pointe de cette crue de référence est de 1800 m<sup>3</sup>/s dans la traversée de Grenoble.

Dans ce cadre, la DDT 38 souhaite mettre à jour la connaissance de l'aléa inondation par débordement du Drac sur le tronçon allant du pont de la Rivoire jusqu'à la confluence avec l'Isère.

Les cartes reposent sur les résultats de modélisations numériques. Le modèle numérique est une reconstitution en 3 dimensions du territoire permettant de simuler des écoulements. Il utilise :


- des données topographiques (LIDAR, profils du lit du Drac...), dont certaines ont été mises à jour spécifiquement pour l'étude ;
- des informations sur les frottements du sol (rugosité) ;
- la connaissance de l'évolution des « entrées d'eau » (Drac amont, Romanche, Gresse et Isère) ;
- des éléments sur les conditions au niveau des « sorties d'eau » (barrage de Saint-Egrève, considéré avec vannes ouvertes).

L'étude consiste à réaliser une modélisation hydraulique des écoulements en crue du Drac. Ce modèle a été construit sur un territoire allant du pont de la Rivoire jusqu'au barrage de St Egrève, soit un linéaire de près de 25 km. Le modèle intègre et représente également les débordements en plaine, sur une emprise d'environ 30 km<sup>2</sup> en rive droite (plaine de Grenoble) et d'environ 20 km<sup>2</sup> en rive gauche (plaine de Fontaine, Sassenage, Noyaret etc..). Le modèle global assemblé du Drac s'étend sur environ 75 km<sup>2</sup>.

Les résultats du modèle hydraulique ont été confrontés aux relevés de crue de l'évènement d'octobre 1993 (crue significative avec des repères de crue). De multiples tests de sensibilité ont été réalisés afin de s'assurer de la robustesse de reproduction par le modèle des phénomènes d'inondation sur le territoire étudié.

Une fois calé et validé, ce modèle a servi à l'exploitation, en crue centennale, de plusieurs scénarios de fonctionnement hydraulique, notamment :

- La situation actuelle avec tenue des ouvrages hydrauliques,
- La situation avec prise en compte du risque d'embâcles (débris végétaux qui forment un obstacle partiel au bon écoulement des eaux et qui peut aggraver localement les risques de débordements, en particulier au niveau des ponts),

- 
- Les situations avec prise en compte du risque de défaillance des ouvrages de protection existants (brèches dans les digues). Sur ce volet, 18 brèches ont été considérées sur le territoire.

Ces différentes situations ont fait l'objet de cartographies des mécanismes d'écoulement, mais aussi de cartographies des hauteurs d'eau maximales et des vitesses maximales d'écoulement atteintes durant l'évènement.

La cartographie de synthèse de l'aléa inondation a été établie sur la base d'une superposition des aléas de chaque scénario en retenant, en chaque point, l'aléa le plus fort.

Afin d'être exploitée par la suite lors de la réalisation du zonage réglementaire, la cartographie brute de l'aléa inondation a fait l'objet d'un travail de lissage et d'homogénéisation.

Tous ces éléments méthodologiques et les résultats obtenus sont explicités dans ce rapport.

# 1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

---

En décembre 2013, les cartographies du risque inondation par le Drac sur le territoire à risque important d'inondation (TRI) Grenoble-Voirion ont apporté de nouveaux éléments de connaissance partiels sur les risques d'inondation.

Au vu de l'étendue des territoires potentiellement submersibles par le Drac, il est apparu nécessaire de mettre à jour de manière exhaustive la connaissance du risque inondation. La Direction Départementale des Territoires de l'Isère (DDT 38) a ainsi initié en 2016 une dynamique d'élaboration du plan de prévention des risques d'inondation (PPRI) du Drac.

L'étude a été accompagnée par un comité scientifique composé de différents experts du domaine, cités ci-après :

- Grenoble Alpes Métropole ;
- ADIDR ;
- Université de Grenoble ;
- SYMBHI ;
- Ville de Sassenage ;
- DREAL AURA / SPC ;
- DREAL AURA / POH ;
- EDF ;
- IRSTEA.

À la suite de l'analyse hydrologique avec la définition de la crue de référence du Drac, la première étape de l'élaboration d'un PPRI est la production des cartes représentant l'aléa inondation. Dans ce cadre, la DDT 38 souhaite mettre à jour la connaissance de l'aléa inondation par débordement du Drac sur le tronçon allant du pont de la Rivoire jusqu'à la confluence avec l'Isère.

Cette cartographie des aléas servira de document de référence aux acteurs de l'aménagement du territoire (État, collectivités territoriales, etc.) afin de prendre en compte le risque d'inondation par le Drac dans les documents de planification (SCoT, PLU, etc.), dans l'application du droit des sols (ADS) et pour tout projet d'aménagement.

**La présente étude concerne l'étude hydraulique et la cartographie de l'aléa inondation.**



## 2 DÉFINITION DE LA CRUE DE RÉFÉRENCE

---

Les éléments ci-après sont issus d'une analyse hydrologique réalisée par Hydrétudes, dans le cadre de ce PPRi (Cf. Annexe 1).

La crue de référence pour un PPR est la plus forte crue historique bien documentée, ou une crue centennale si cette dernière est plus forte. Une crue centennale est une crue qui a une probabilité de 1 % de se produire dans l'année.

**Pour le Drac, la crue de référence est celle de 1856, qui correspond à une crue centennale. Le débit de pointe de cette crue de référence est de 1800m<sup>3</sup>/s dans la traversée de Grenoble.**

Par ailleurs, la crue centennale a notamment une durée de 3 jours et se traduit par une montée des eaux de plus de 5 m dans la traversée de Grenoble.

Le rôle potentiel des barrages du Drac a été examiné avec EDF et le comité de suivi. Il a été conclu que, si les barrages ont bien un rôle d'écrêtement des petites crues, ils sont transparents pour les crues majeures.

De plus, les autres sources potentielles d'inondation (ruissellement, remontée de nappe...) n'ont pas été considérées dans l'étude. Par ailleurs, l'arrivée de l'onde de rupture de la digue du Drac correspond à une très grande quantité d'eau et les effets de remontées de nappes sont alors négligeables.

Les hydrogrammes issus de cette analyse ont été injectés en amont des tronçons de cours d'eau modélisés : Drac amont, Gresse, Romanche, Isère (Cf. 4.6.1).



### 3 PRÉSENTATION DES DIGUES DU DRAC

---

Les systèmes d'endiguement actuels du Drac sont l'aboutissement d'aménagements successifs dont la réalisation s'étend entre la fin du Moyen Âge et nos jours.

Par définition, une digue est un ouvrage, dont la longueur est grande devant les autres dimensions, surélevé par rapport au terrain naturel et destiné à faire obstacle au passage de l'eau (digue de protection contre les inondations) ou à la canaliser (digue de canal de navigation, hydroélectrique). On appelle « digue de second rang », les ouvrages situés en lit majeur, dans une zone déjà protégée de l'inondation par une autre digue ou un ouvrage faisant office de digue.

Les figures ci-dessous présentent les digues du Drac (1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> rang) du pont de la Rivoire jusqu'à la confluence avec l'Isère.

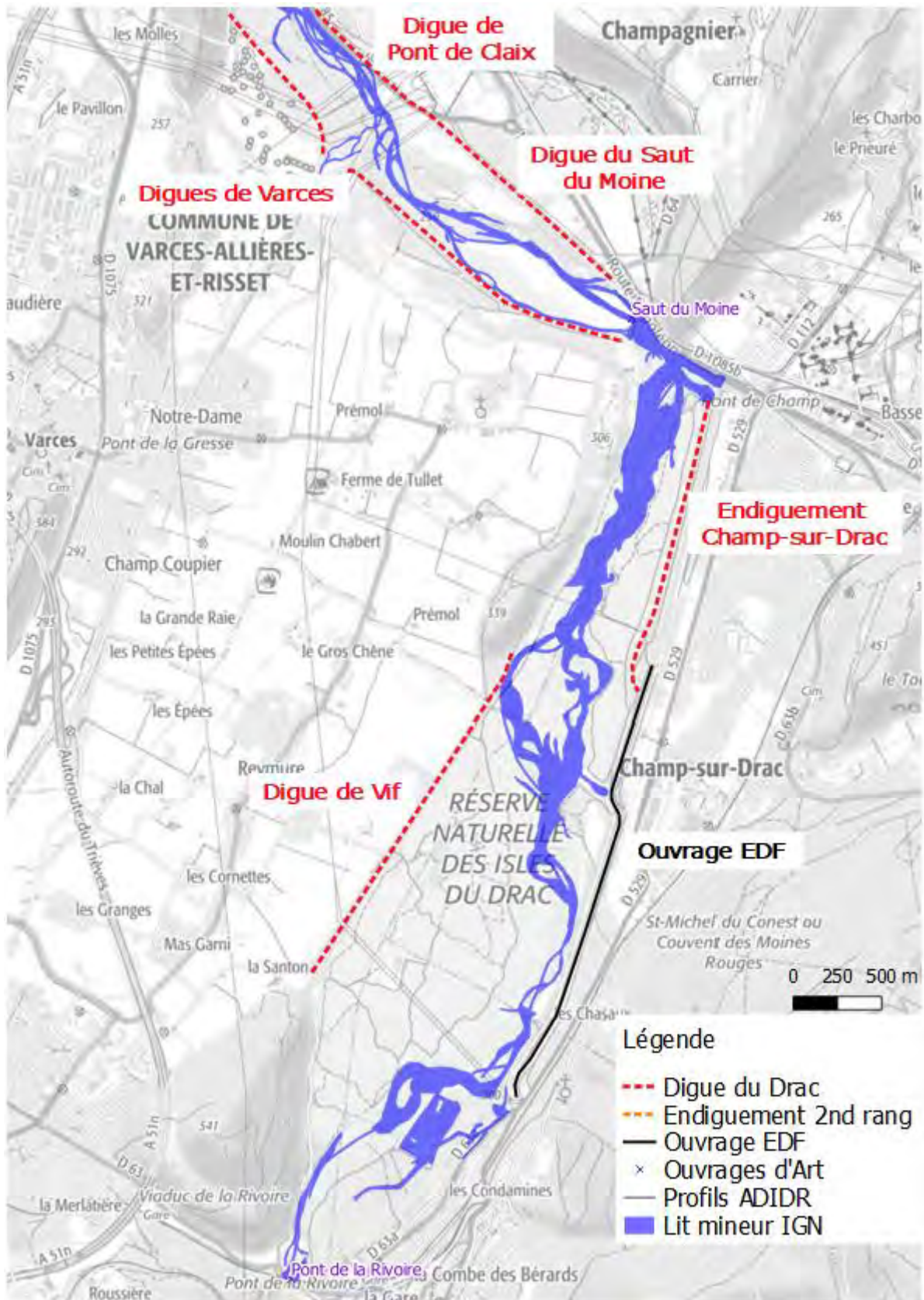
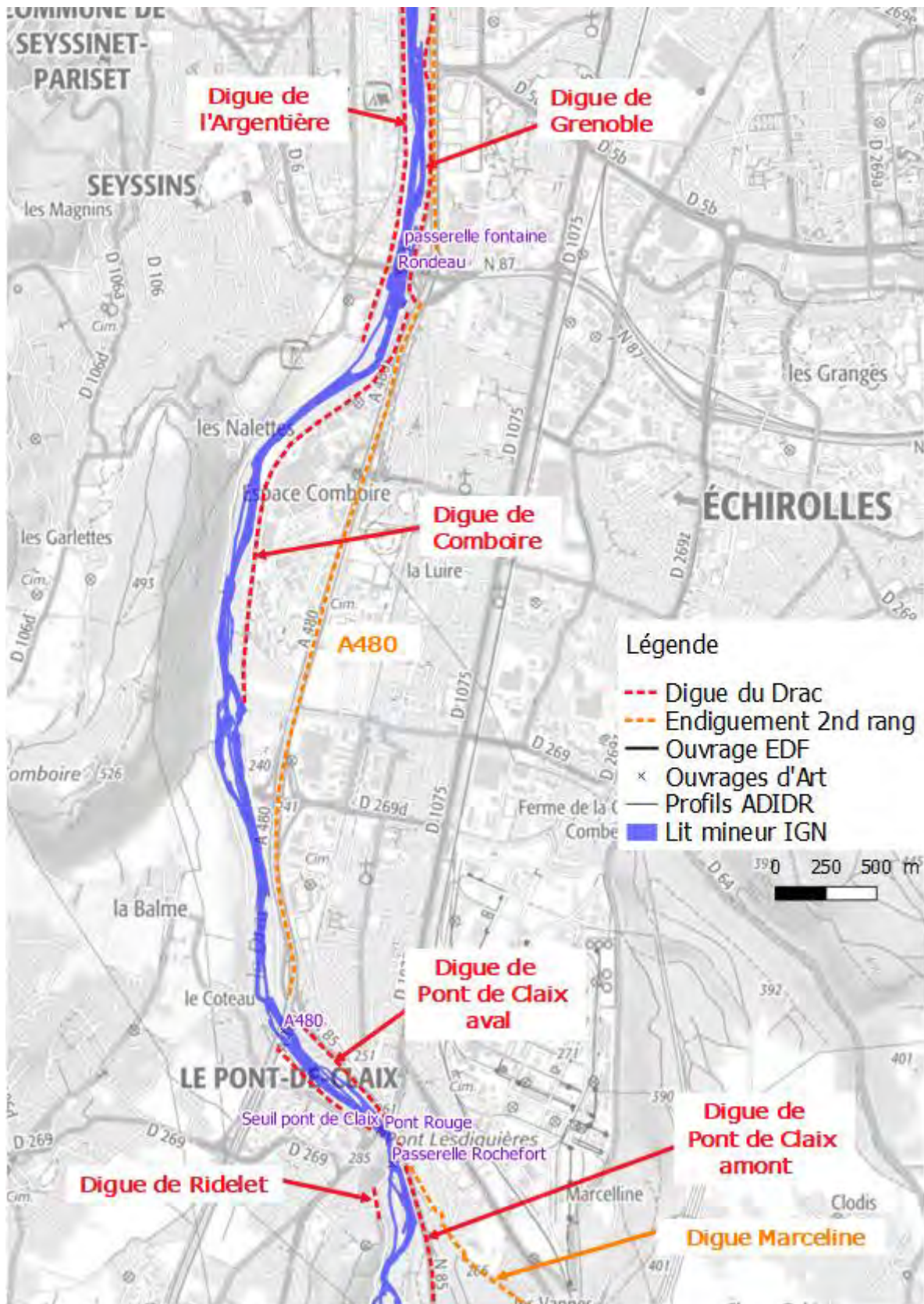


Figure 1 : Présentation des digues du Drac (1/3)







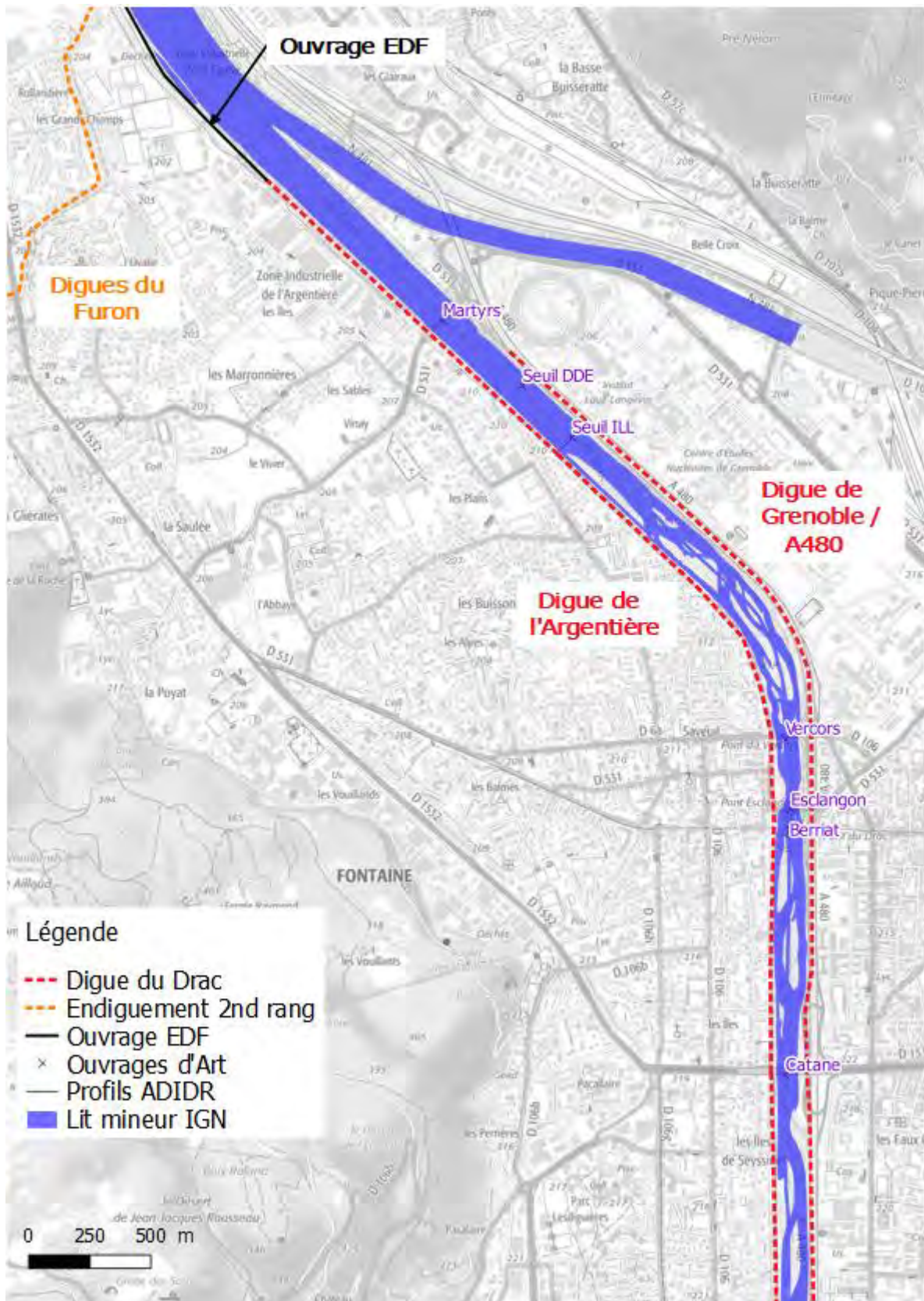


Figure 3 : Présentation des diges du Drac (3/3)



## 4 CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE

---

### 4.1 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

L'emprise du modèle global est d'environ 75 km<sup>2</sup>. En lit mineur, la limite amont est le pont de la Rivoire et la limite aval est le barrage de Saint-Égrève. Le linéaire de lit mineur de Drac modélisé est donc d'environ 25 km. La figure suivante présente l'emprise du modèle global.

Les calculs ont été réalisés avec le code TELEMAC2D version V7P0 développé au LNHE.

Le code de calcul Telemac-2D ([www.opentelemac.org](http://www.opentelemac.org)) résout les équations bidimensionnelles de Saint-Venant. Les différents modules de simulation utilisent des algorithmes performants basés sur la méthode des éléments finis ou des volumes finis. L'espace est discrétisé sous forme de maillage non structuré à éléments triangulaires, ce qui permet en particulier d'affiner le maillage dans les zones présentant un intérêt particulier. Ses résultats en chaque point du maillage incluent la hauteur d'eau et les vitesses moyennées sur la verticale.





Figure 4 : Présentation de l'emprise globale du modèle



## 4.2 CONSTRUCTION DU MODÈLE LIT MINEUR

### 4.2.1 DONNÉES TOPOGRAPHIQUES

#### 4.2.1.1 Profils en travers

##### 4.2.1.1.1 Drac

Depuis 1993, de nombreuses campagnes de profils en travers ont été réalisées sur le Drac. La plupart d'entre elles ont été réalisées par l'ADIDR et EDF. Le tronçon concerné par ces levés de profils en travers s'étend du barrage du Saut du Moine jusqu'au pont des Martyrs (ADIDR), puis du pont des Martyrs jusqu'au barrage de Saint-Égrève (EDF).

La figure suivante présente les repères des profils ADIDR, dont les premiers levés ont été réalisés en 1993. L'inter-distance entre les profils est d'environ 100 m.



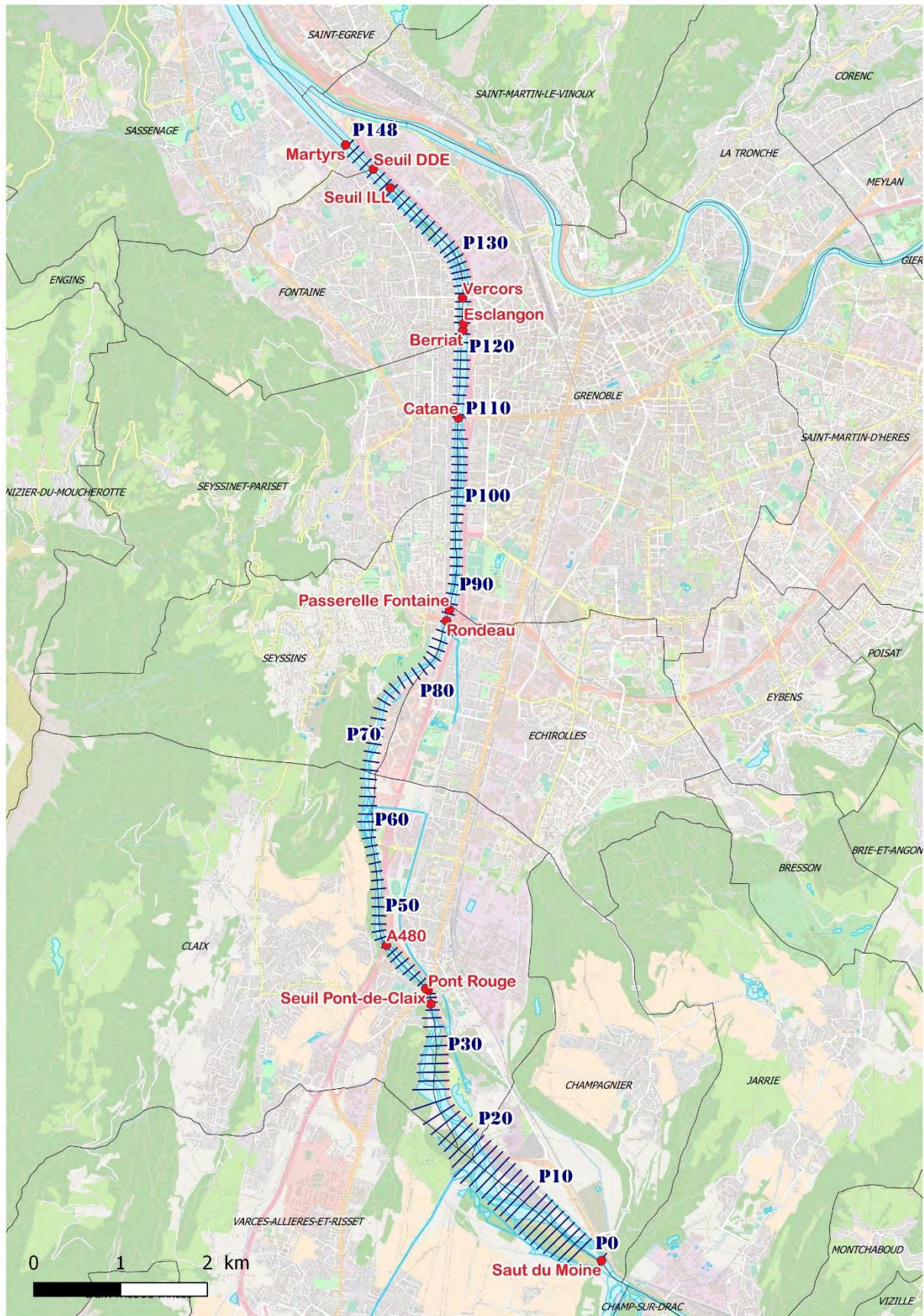


Figure 5 : Localisation des profils ADIDR sur le linéaire étudié

Au cours des années, plusieurs tronçons ont fait l'objet d'une actualisation de la topographie. Le tableau ci-dessous récapitule les dates des différents levés, par profils en travers. Les cases vertes identifient la topographie la plus récente sur chaque profil.

Ce tableau met en évidence l'hétérogénéité des dates des levés sur le secteur d'étude.

	2008								2008								2008								2008										
	1993	1998	1999	2004	2009	2011	2012		1993	1998	1999	2004	2009	2011	2012		1993	1998	1999	2004	2009	2011	2012		1993	1998	1999	2004	2009	2011	2012				
P1	X	X	X					P31	X	X	X					P61	X											P121	X		X				
P2	X	X	X			X		P32	X	X	X		X			P62	X											P122	X		X	X	X		
P3	X	X	X					P33	X	X	X					P63	X	X					X					P123	X		X		X		
P4	X	X	X			X		P34	X	X	X		X			P64	X						X					P124	X		X	X	X		
P5	X	X	X					P35	X	X	X					P65	X						X					P125	X		X		X		
P6	X	X	X			X		P36	X	X	X		X			P66	X	X					X					P126	X		X	X	X		
P7	X	X	X					P37	X	X	X					P67	X						X					P127	X		X		X		
P8	X	X	X			X		P38	X	X	X		X			P68	X						X					P128	X		X	X	X		
P9	X	X	X					P39	X							P69	X	X					X					P129	X				X		
P10	X	X	X			X		P40	X	X						P70	X						X					P130	X			X	X		
P11	X	X	X					P41	X							P71	X						X					P131	X				X		
P12	X	X	X			X		P42	X							P72	X	X					X					P132	X			X	X		
P13	X	X	X					P43	X	X						P73	X						X					P133	X				X		
P14	X	X	X			X		P44	X							P74	X			X			X					P134	X			X	X		
P15	X	X	X					P45	X							P75	X						X					P135	X				X		
P16	X	X	X			X		P46	X	X						P76	X	X			X							P136	X			X	X		
P17	X	X	X					P47	X							P77	X						X					P137	X				X		
P18	X	X	X			X		P48	X							P78	X			X								P138	X			X	X		
P19	X	X	X					P49	X							P79	X											P139	X				X		
P20	X	X	X			X		P50	X							P80	X	X			X							P140	X			X	X		
P21	X	X	X					P51	X	X						P81	X											P141	X				X		
P22	X	X	X			X		P52	X							P82	X		X	X								P142			X	X			
P23	X	X	X					P53	X							P83	X		X									P143					X		
P24	X	X	X			X		P54	X	X						P84	X	X	X	X								P144				X			
P25	X	X	X					P55	X							P85	X		X									P145					X		
P26	X	X	X			X		P56	X							P86	X		X	X								P146				X			
P27	X	X	X					P57	X	X						P87	X	X	X									P147					X		
P28	X	X	X			X		P58	X							P88	X		X	X								P148				X			
P29	X	X	X					P59	X							P89	X		X														X		
P30	X	X	X			X		P60	X	X						P90	X		X	X													X		

Tableau 1 : Récapitulatif des profils en travers disponibles sur le linéaire du DRAC (date des levés)



Afin de disposer d'une topographie / bathymétrie fiable et récente, une analyse basée sur la comparaison des photos aériennes et de la bathymétrie 1993 vs 2016 a été réalisée.



**Figure 6 : Secteur Pont-de-Claix – Seuil Champ de tir**

La topographie la plus récente sur ce secteur date de 1998. De plus, seul un profil sur trois a été relevé par rapport à 1993. Une nouvelle campagne est ainsi été réalisée dans le cadre de l'étude, afin de disposer de données plus fiables et surtout plus récentes.

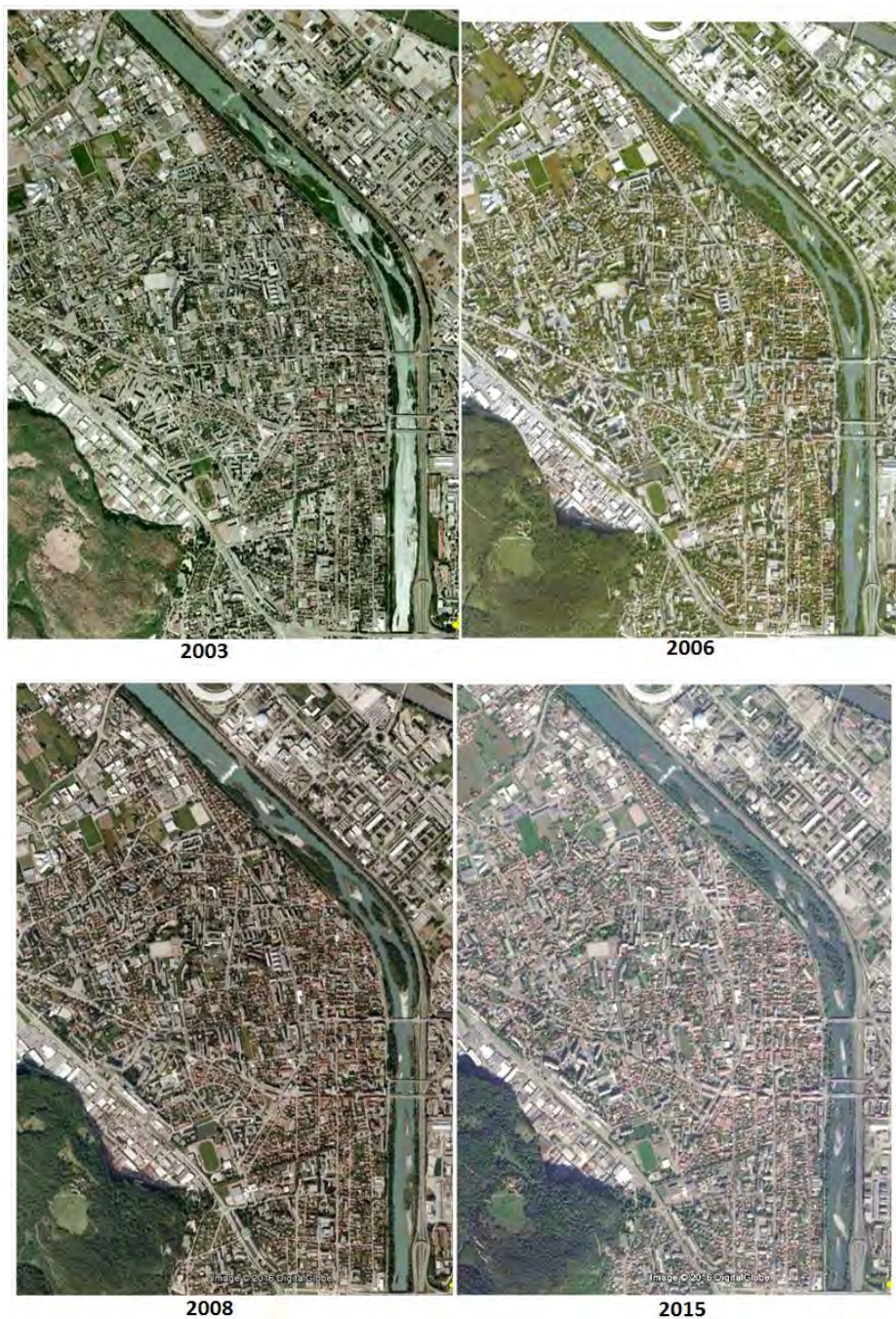




**Figure 7 : Secteur Espace Comboire – Pont de Catane**

Sur ce tronçon, la majorité des levés les plus récents datent de 2008. Les photos aériennes ne mettent pas en évidence une forte mobilité des bancs. Sachant toutefois que ce secteur présente plusieurs zones à enjeux et concerne un linéaire assez important, une nouvelle campagne a été réalisée dans le cadre de l'étude.





**Figure 8 : Secteur Pont de Catane – Seuil de l'ILL**

Au vu de la topographie disponible et relativement récente, (2004, 2008, 2009, 2012) et au vu de l'absence de mobilité majeure des bancs, il n'a pas été réalisé de campagne topographique complémentaire sur ce secteur.

Différentes études, en cours, indiquent un rehaussement récent du lit, notamment en amont immédiat du seuil de l'ILL. Ces éléments ne sont toutefois pas disponibles lors de l'analyse.



Suite à l'analyse, le tableau ci-dessous récapitule les profils en travers qui sont retenus pour la construction du lit mineur du DRAC.

profils retenus																																														
	1993	1998	1999	2004	2008	2011	2012	2016		1993	1998	1999	2004	2008		2012	2016		1993	1998	1999	2004	2008		2012	2016		1993	1998	1999	2004	2008		2012	2016											
								a faire									a faire											a faire							a faire											
P1	X	X	X						P31	X	X	X				X		P61	X								X		P91	X	X							P121	X		X					
P2	X	X	X			X			P32	X	X			X		X		P62	X									X		P92	X		X	X					P122	X		X	X	X		
P3	X	X	X						P33	X	X					X		P63	X	X					X	X				P93	X		X						P123	X		X		X		
P4	X	X	X			X			P34	X	X			X		X		P64	X					X	X				P94	X		X	X	X				P124	X		X	X	X			
P5	X	X	X						P35	X	X			X		X		P65	X	X				X	X				P95	X		X						P125	X		X	X	X			
P6	X	X	X			X			P36	X	X			X		X		P66	X	X				X	X				P96	X		X	X	X				P126	X		X	X	X			
P7	X	X	X						P37	X	X			X		X		P67	X					X	X				P97	X		X						P127	X		X		X			
P8	X	X	X			X			P38	X	X			X		X		P68	X					X	X				P98	X		X	X	X				P128	X		X	X	X			
P9	X	X	X						P39	X	X			X		X		P69	X	X				X	X				P99	X		X	X	X				P129	X		X		X			
P10	X	X	X			X			P40	X	X			X		X		P70	X					X	X				P100	X		X	X	X				P130	X		X	X				
P11	X	X	X						P41	X				X		X		P71	X					X	X				P101	X		X						P131	X		X		X			
P12	X	X	X			X			P42	X				X		X		P72	X	X				X	X				P102	X		X	X	X				P132	X		X	X				
P13	X	X	X						P43	X	X			X		X		P73	X	X				X	X				P103	X		X	X	X				P133	X		X	X				
P14	X	X	X			X			P44	X				X		X		P74	X					X	X				P104	X		X	X	X				P134	X		X	X				
P15	X	X	X						P45	X				X		X		P75	X					X	X				P105	X		X						P135	X		X		X			
P16	X	X	X			X			P46	X	X			X		X		P76	X	X			X						P106	X		X	X	X				P136	X		X	X				
P17	X	X	X						P47	X				X		X		P77	X					X	X				P107	X		X	X	X				P137	X		X		X			
P18	X	X	X			X			P48	X				X		X		P78	X					X	X				P108	X		X	X	X				P138	X		X	X				
P19	X	X	X						P49	X				X		X		P79	X					X	X				P109	X		X						P139	X		X		X			
P20	X	X	X			X			P50	X				X		X		P80	X	X				X	X				P110	X		X	X	X				P140	X		X	X				
P21	X	X	X						P51	X	X			X		X		P81	X					X	X				P111	X		X	X	X				P141	X		X		X			
P22	X	X	X			X			P52	X				X		X		P82	X		X			X	X				P112	X		X	X	X				P142	X		X	X				
P23	X	X	X						P53	X				X		X		P83	X		X			X	X				P113	X		X	X	X				P143	X		X		X			
P24	X	X	X			X			P54	X	X			X		X		P84	X	X	X			X	X				P114	X		X	X	X				P144	X		X		X			
P25	X	X	X						P55	X				X		X		P85	X		X			X	X				P115	X		X	X	X				P145	X		X		X			
P26	X	X	X			X			P56	X				X		X		P86	X		X			X	X				P116	X		X	X	X				P146	X		X		X			
P27	X	X	X						P57	X	X			X		X		P87	X	X	X			X	X				P117	X		X	X	X				P147	X		X		X			
P28	X	X	X			X			P58	X				X		X		P88	X		X			X	X				P118	X		X	X	X				P148	X		X		X			
P29	X	X	X						P59	X				X		X		P89	X		X			X	X				P119	X		X	X	X												
P30	X	X	X			X		X	P60	X	X			X		X		P90	X		X			X	X				P120	X		X	X	X												

Tableau 2 : Récapitulatif des profils en travers ADIDR sur le linéaire du DRAC (date des levés)

Au total, 56 profils en travers complémentaires ont été levés dans le cadre de la campagne topographique de 2016.







En ce qui concerne le linéaire du Drac jusqu'à la confluence avec l'Isère, une vingtaine de profils en travers EDF datant de 2013 nous ont été fournis.

Le lit mineur du Drac a donc été modélisé à l'aide d'environ 170 profils au total, sur un linéaire d'environ 19 km, du profil P0 au niveau du barrage du Saut du Moine, jusqu'au barrage de Saint-Égrève.



**Figure 9 : Données topographiques utilisées pour la construction du lit mineur (Saut du Moine – Barrage de Saint-Égrève)**

**4.2.1.1.2 Affluents**

L'apport de trois affluents majeurs du Drac est pris en compte dans le cadre du PPRi : la Gresse, la Romanche et l'Isère. Afin d'injecter leurs apports en eau dans le calcul, une partie du lit mineur de ces trois affluents est représentée dans le modèle.

Les levés utilisés pour cela sont les suivants :

- 7 profils en travers de la Gresse (2010 SINTEGRA), et un plan topographique terrestre de la confluence Gresse/Drac de 2010 également ;
- 6 profils en travers de la Romanche (2007 SINTEGRA) ;
- 53 profils en travers de l'Isère (2013 EDF).

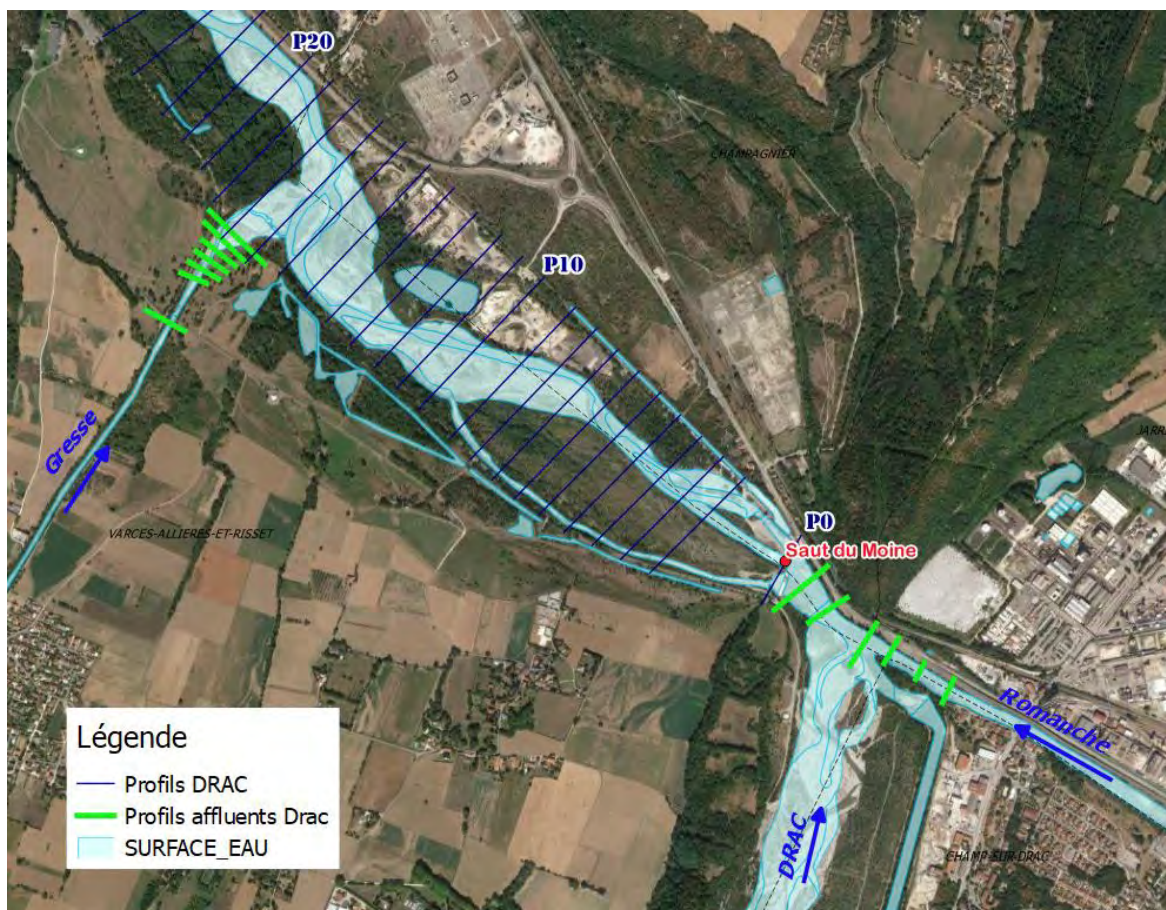


Figure 10 : Localisation des profils en travers sur la Romanche et sur la Gresse



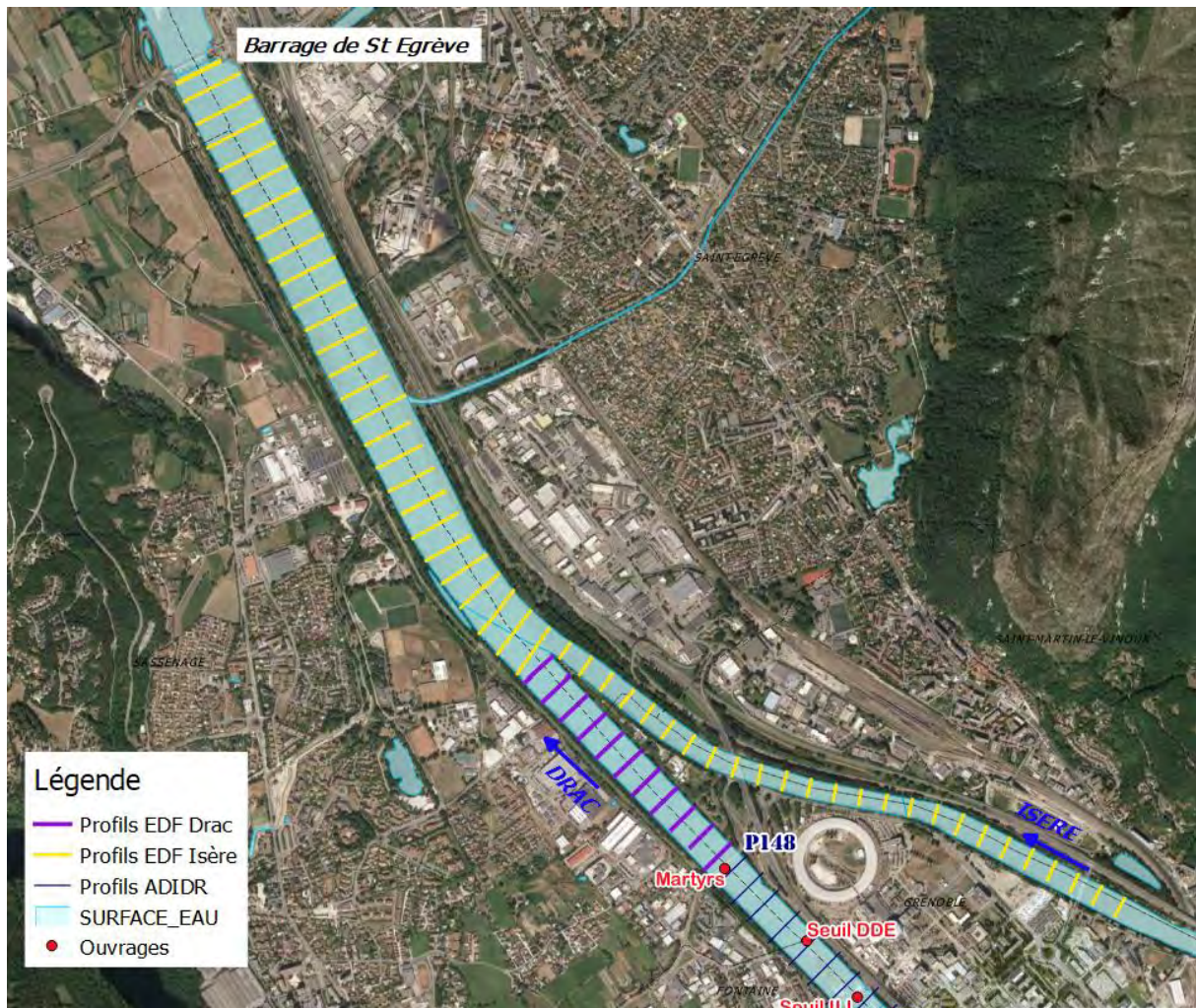


Figure 11 : Localisation des profils en travers du Drac jusqu'à la confluence et sur l'Isère

#### 4.2.1.2 Données MNT

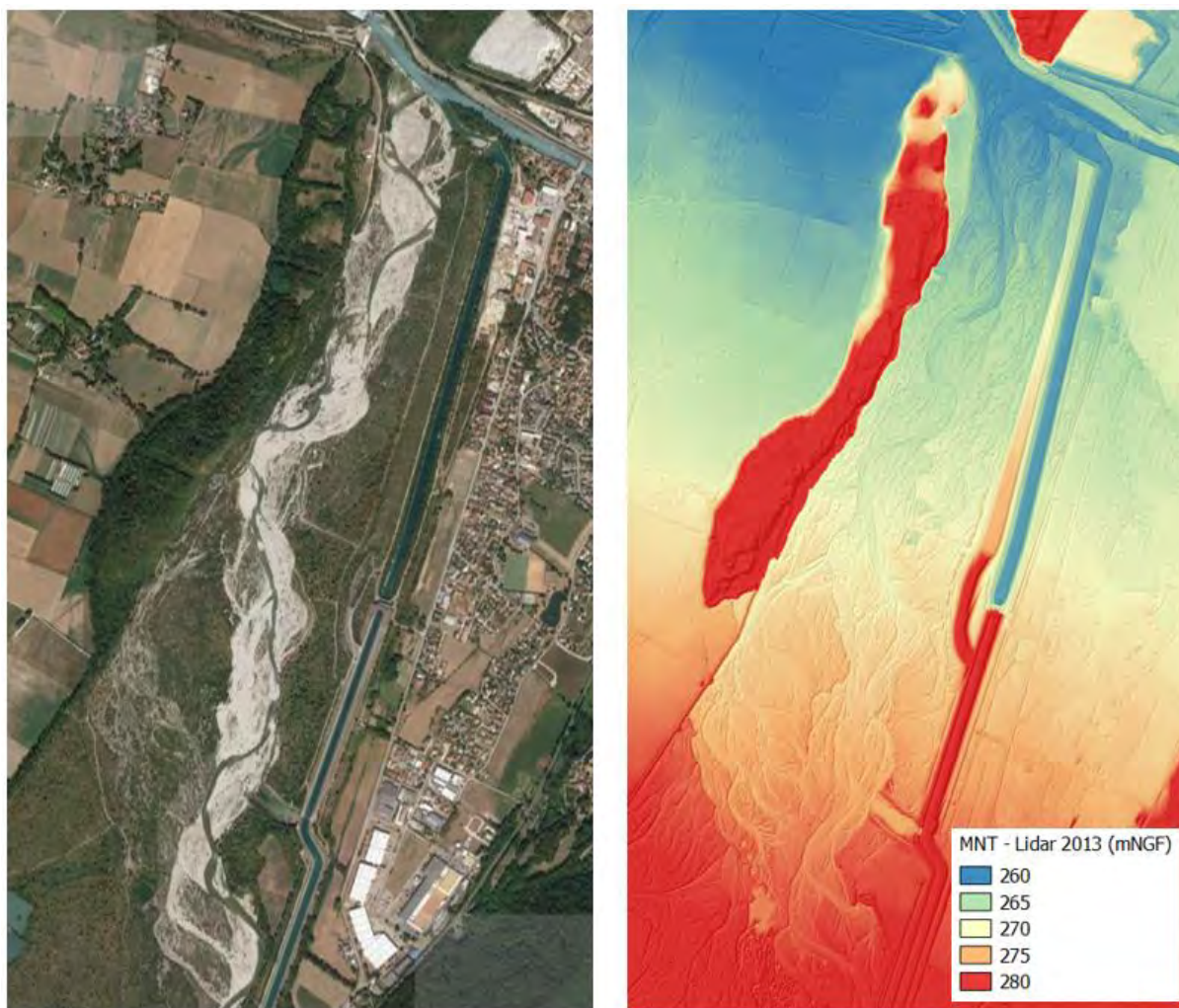
En amont du barrage du Saut du Moine, le Drac a un lit mineur plus large que dans la traversée de Grenoble, avec une morphologie en tresse. Au vu des faibles hauteurs d'eau (voire une absence d'eau – hors période de crue) dans les multiples chenaux du lit en tresse, le LIDAR transmis par la DDT38 est représentatif de la zone d'étude.

Le modèle numérique de terrain (MNT) est issu d'un levé aéroporté LIDAR (réalisé en mai 2013) ayant les caractéristiques suivantes :

- géoréférencement des données : projection Lambert 93,
- référence des altitudes : NGF – IGN69,
- densité de points (du semis brut) : > 2 points /m<sup>2</sup>,
- précision planimétrique : < 50 cm en X et en Y,
- précision altimétrique : < 20 cm en Z,
- résolution du raster : 1 m x 1 m.



La figure suivante présente la topographie du lit en tresse sur la partie amont du Drac.



**Figure 12 : Modèle numérique de terrain – partie amont du Drac**

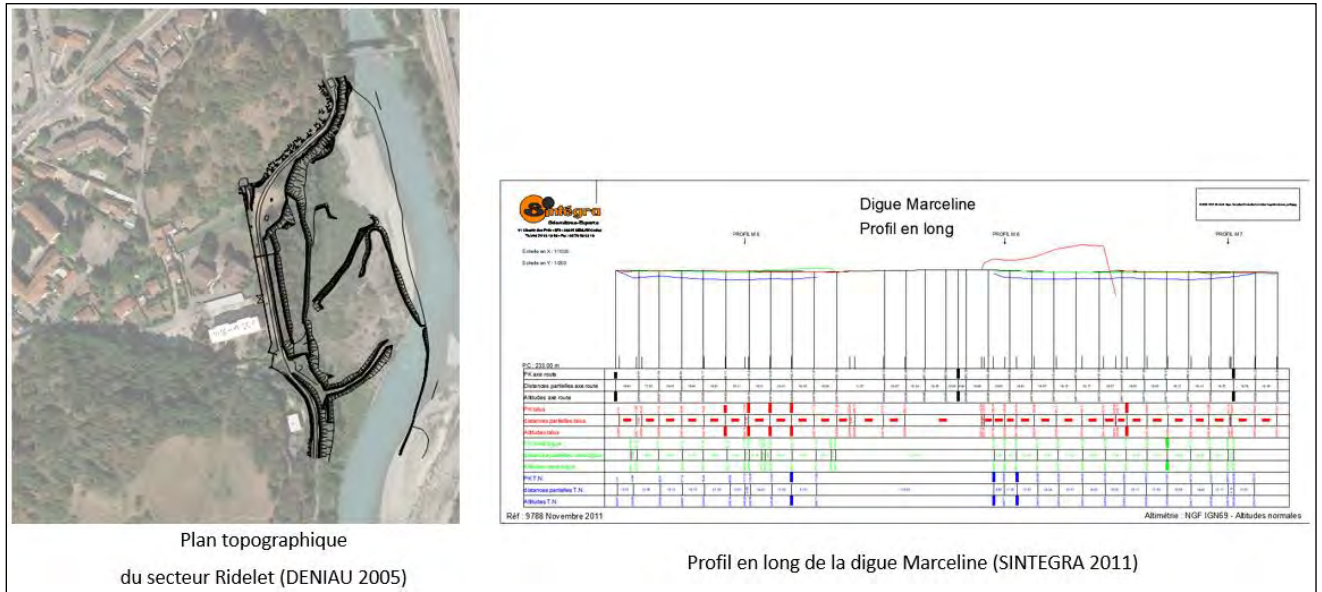
Notons qu'il s'agit là d'un modèle numérique du terrain naturel, excluant la végétation.

#### **4.2.1.3 Autres données - Éléments structurants du lit mineur**

##### **4.2.1.3.1 Levés terrestres (secteur Ridelet et digue Marceline)**

La géométrie de la digue de Ridelet ainsi que celle de la digue Marceline sont renseignées dans le modèle à partir des plans transmis par l'ADIDR. Les figures suivantes illustrent le plan topographique utilisé au droit de la digue de Ridelet ainsi que le levé du profil en long de la digue Marceline.





**Figure 13 : Levés terrestres – Secteur Ridelet et digue Marceline**

#### 4.2.1.3.2 Dignes rive droite et rive gauche

Le Drac est endigué sur la quasi-totalité du linéaire modélisé. Les profils en travers de P0 à P148 intègrent le point de crête des digues rive droite et rive gauche. Sur certains tronçons de rive gauche, un levé terrestre étant disponible, il devient prioritaire par rapport aux interpolations entre profils (exemple particulier de la digue de Ridelet). Sur le même principe, en rive droite, les levés terrestres de l'A480 sont prioritaires par rapport aux cotes des profils en travers.

Sur certains tronçons pour lesquels des levés terrestres ne sont pas disponibles, et pour lesquels nous ne disposons pas de profils en travers, le LIDAR est utilisé. C'est notamment le cas pour la digue de Vif/Varces et les digues des champs captant.

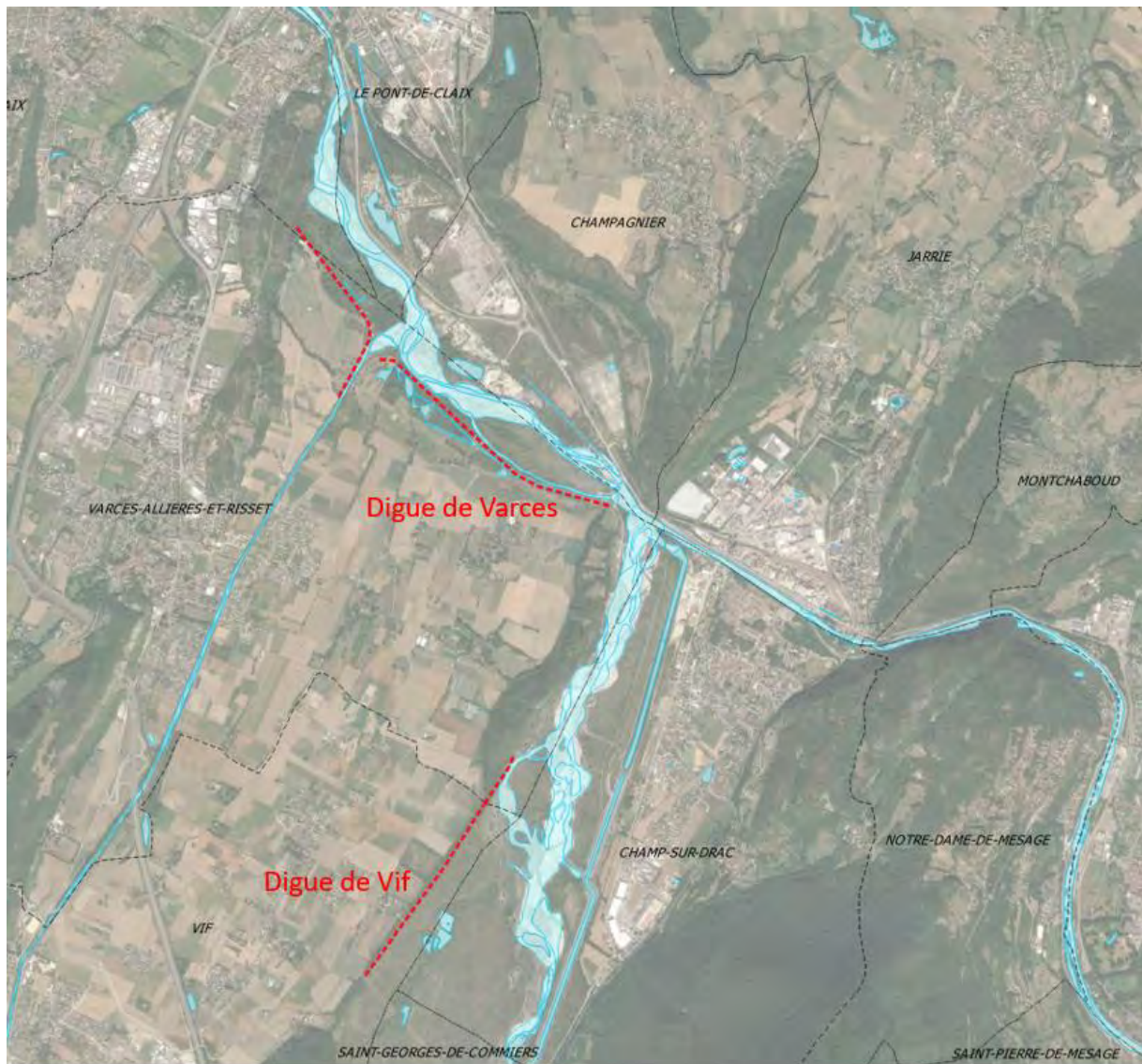


Figure 14 : Localisation des digues de Vif et de Varcès

#### 4.2.1.3.3 Barrage du Saut du Moine

La géométrie du barrage du Saut du Moine a été renseignée dans le modèle à partir des plans fournis par EDF, et des différentes fiches techniques et consignes d'exploitation. La figure suivante illustre le plan topographique utilisé au droit du Saut du Moine.



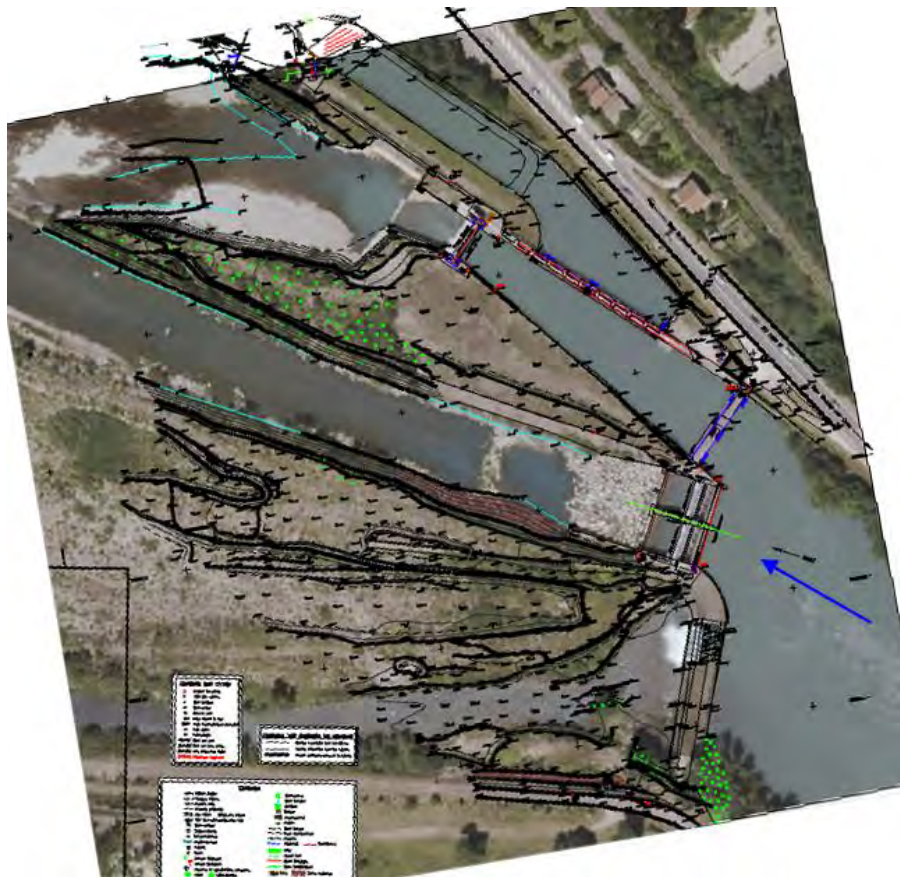


Figure 15 : Plan topographique EDF – Saut du Moine

#### 4.2.1.3.4 Ouvrages ponts

Sur les 25 km de lit mineur du Drac modélisé, il existe 8 ouvrages de franchissement majeurs. Lors de la campagne topographique de 2016, les tabliers de ces 8 ponts ont fait l'objet d'un levé. En ce qui concerne la géométrie des ouvrages, des plans de ces ouvrages nous ont été transmis par le Conseil Départemental de l'Isère et la DDT de l'Isère.

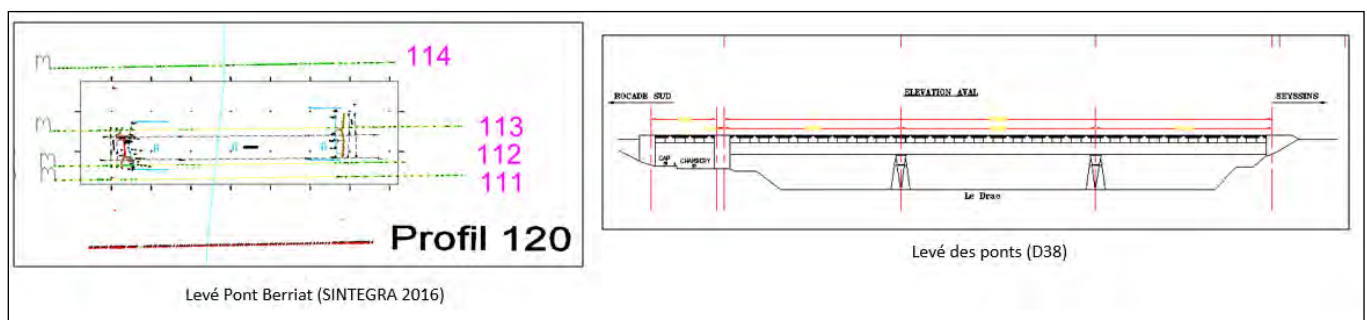


Figure 16 : Exemple de levés d'ouvrages

Un cahier de fiches d'ouvrages a été réalisé et placé en annexe 2.



Qualification des aléas des crues du Drac, du Pont de la Rivoire à la confluence avec l'Isère Etude MM3031 - Janvier 2017		Fiche d'ouvrage	Pont Rouge
Commune Claix Rivière DRAC		<b>Caractéristiques de l'ouvrage</b>	
<b>Localisation</b> 		Coordonnées Lambert 93 : X = 8599886 Y = 25685475 Type d'ouvrage : Pont Gestionnaire : Année de construction : 1875 (Ouvrage d'origine)  Dimensions : Largeur section passante 52 m longueur de l'ouvrage 10.7 m hauteur section passante 13.4 m  Caractéristiques hydrauliques : Double pont Présence d'un seuil à l'aval immédiat du pont Section de contrôle hydraulique Berges abruptes - absence de lit majeur	
<b>Photographies</b> 		<b>Risque d'embacle</b>  Cote de la sous poutre : 249.6 mNGF Cote centennale PPRI : 243.8 mNGF <i>provisoire</i> Cote fond du lit estimée : 236.2 mNGF (levé 2016) Tirant d'air Q100 : 5.8 m <i>provisoire</i> Hauteur d'eau centennale : 7.6 m <i>provisoire</i> Section libre : 173 m² <i>provisoire</i>  Nombre de piles en lit mineur : 0 Nature de la sous poutre : Lisse  Risque d'embacle : Faible	

Figure 17 : Exemple de fiche d'ouvrage – Pont Rouge

#### 4.2.1.3.5 Seuils

Sur les 25 km de lit mineur du Drac modélisé, il existe 5 seuils majeurs :

- seuil de Pont-de-Claix ;
- seuil Comboire ;
- seuil Berriat ;
- seuil ILL ;
- seuil DDE.

Les seuils de Pont-de-Claix, Comboire et Berriat ont fait l'objet d'un levé terrestre lors de la campagne de 2016. Le seuil de l'ILL a été levé en 2008.



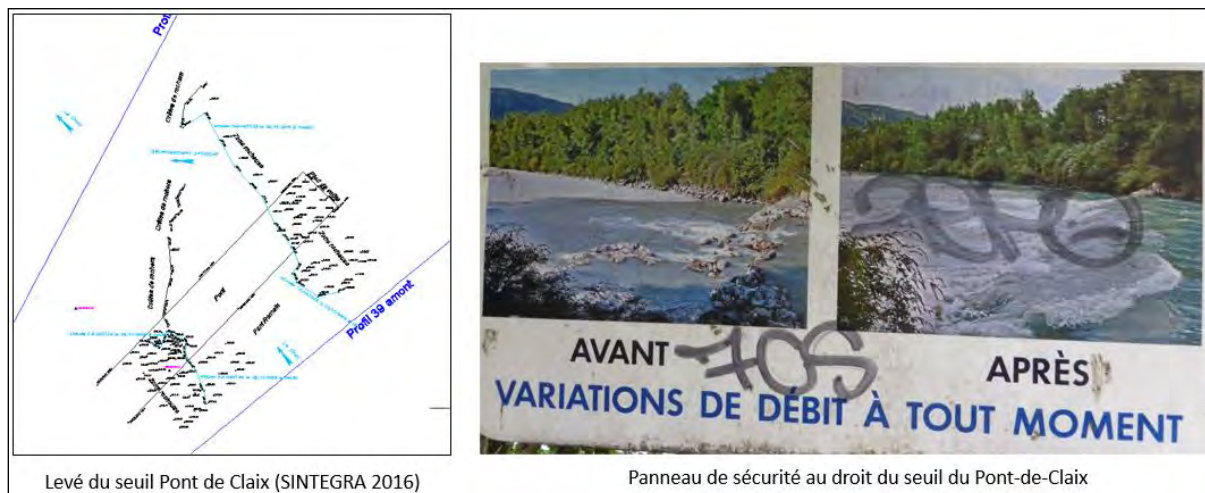


Figure 18 : Exemple de levé de seuil (Claix)

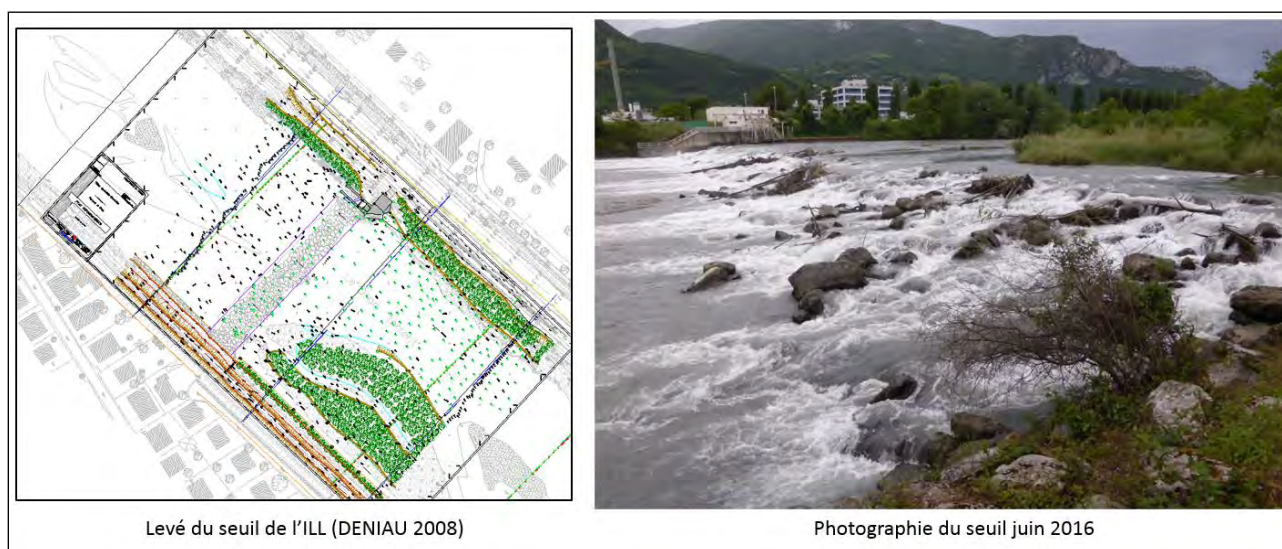


Figure 19 : Exemple de levé de seuil (ILL)

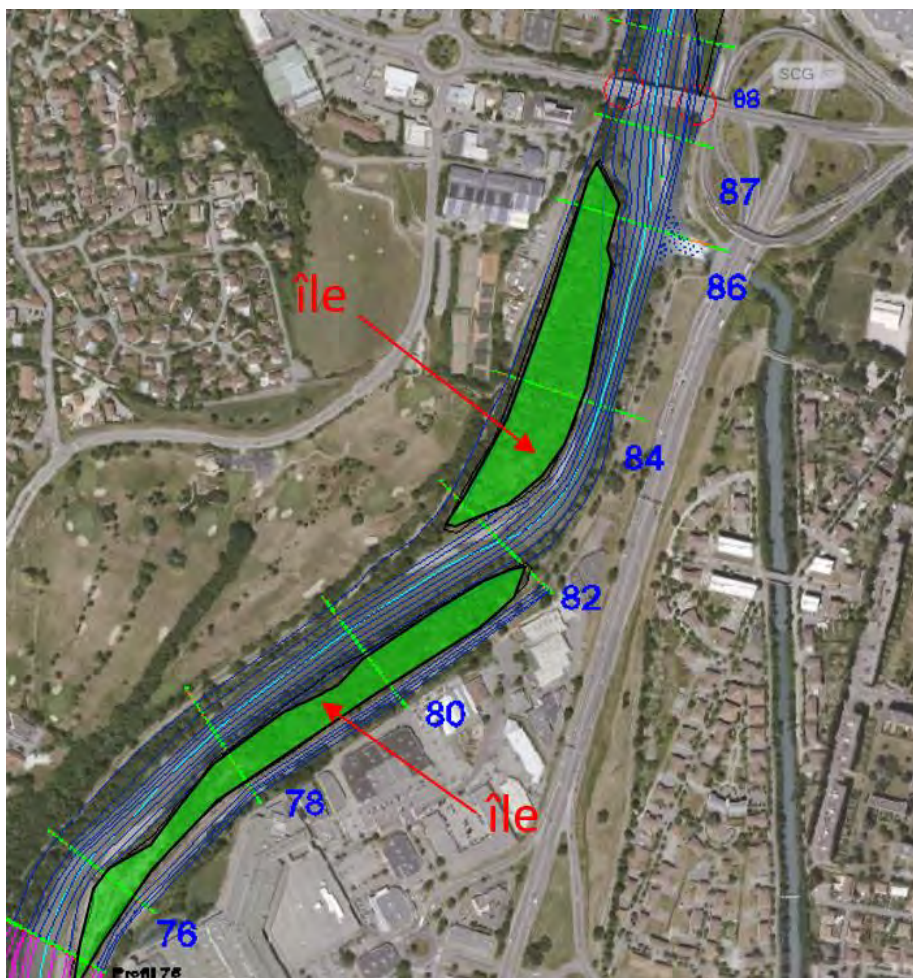
#### 4.2.2 TRAITEMENT DES DONNÉES

La majeure partie de la topographie du lit mineur est représentée par les 236 profils en travers du Drac et de ses affluents.

Chaque profil en travers a été analysé et relié aux profils adjacents (amont et aval) à l'aide de lignes directrices (ou lignes de contraintes). Ces lignes ont été réalisées afin d'assurer une approche plus précise des écoulements permettant de suivre au maximum les lignes de courant.

Ces lignes façonnent précisément le lit mineur du Drac. En effet, une ligne de contrainte est généralement placée en fond du lit mineur ainsi que sur la plupart des lignes de ruptures de pente (en pied et haut de talus).

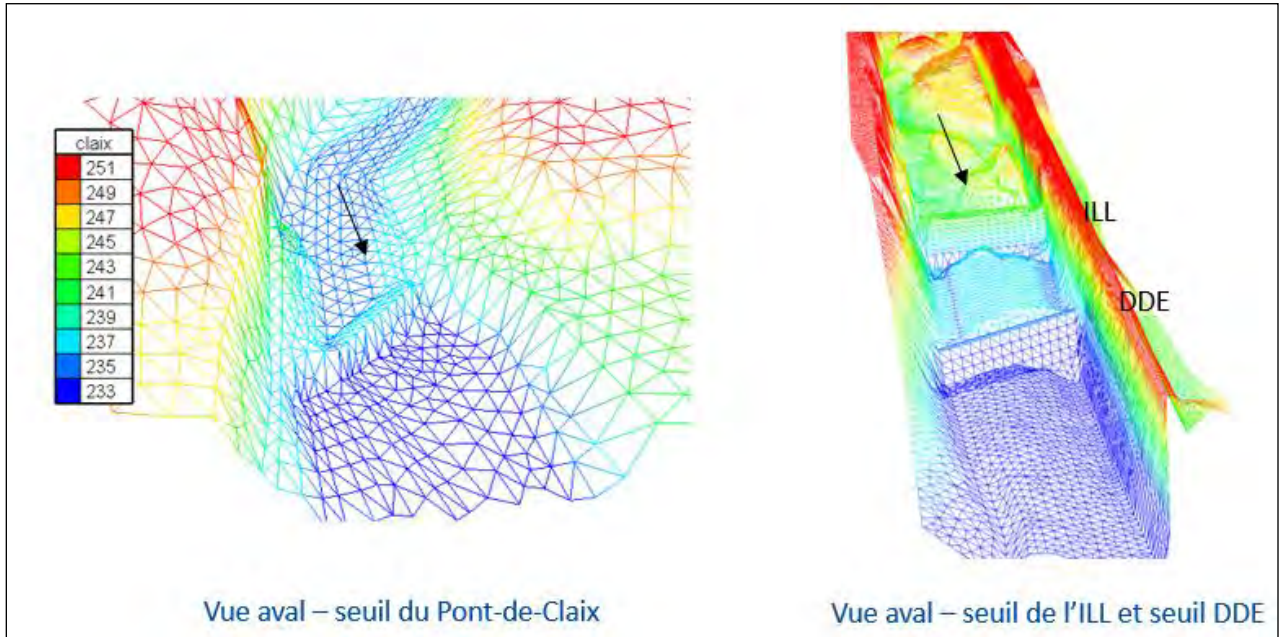
Les fils d'eau ont donc été identifiés, ainsi que les ruptures de pentes, les îles, les chenaux secondaires, etc... La photo aérienne a également été utilisée pour la construction de ces lignes directrices. Afin d'assurer une continuité de la topographie, les îles identifiées sont traitées à l'aide du LIDAR. En effet, les profils en travers étant ponctuels, ils n'intègrent pas ou peu cette information topographique. Au lieu d'interpoler entre les profils, le LIDAR est utilisé localement.



**Figure 20 : Identification des îles – lignes de contraintes en lit mineur**

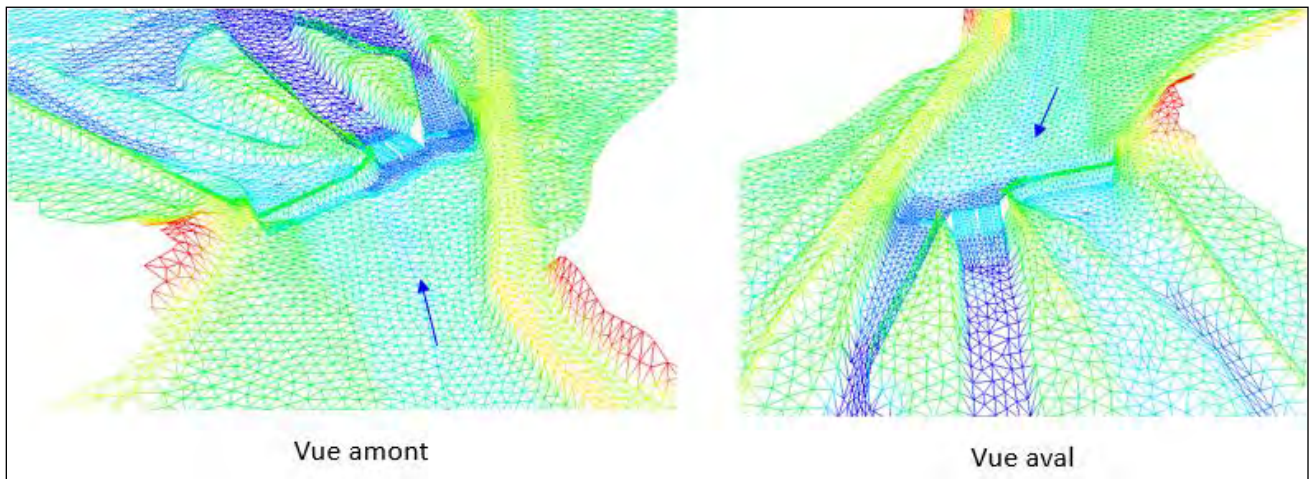
En ce qui concerne les digues extraites du LIDAR (secteur amont le barrage du Saut du Moine), des lignes directrices sont tracées et extraites en crête de digue ainsi qu'en pied de talus amont et aval. Les seuils sont renseignés dans le modèle comme étant un élément topographique. La géométrie du seuil (orientation, largeur etc..), la crête de seuil, la topographie amont et aval est renseignée. Les figures suivantes illustrent par une vue 3D, le seuil en biais de Pont-de-Claix et les seuils de l'ILL et DDE.





**Figure 21 : Exemple de représentation 3D des seuils du modèle lit mineur**

Le barrage du Saut du Moine a également été renseigné directement dans le maillage du lit mineur, en intégrant les seuils des différentes vannes et déversoirs. La figure ci-dessous présente une vue 3D du barrage.



**Figure 22 : Représentation 3D du barrage du Saut du Moine**

Pour chacun des ouvrages traversants, les piles de pont, les culées et la topographie au droit du pont sont renseignées. La figure suivante illustre les piles représentées comme un obstacle à l'écoulement dans le maillage du lit mineur.



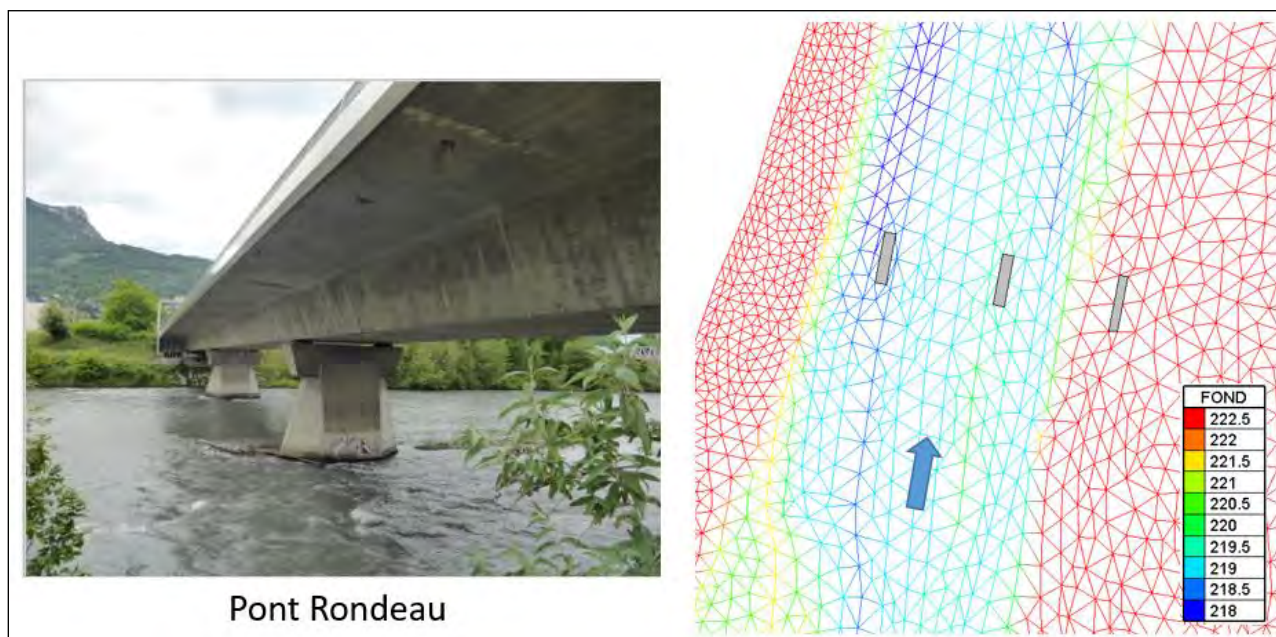


Figure 23 : Exemple de représentation des piles de pont dans le modèle lit mineur

## 4.3 CONSTRUCTION DES MODÈLES LIT MAJEUR


### 4.3.1 TRAITEMENT TOPOGRAPHIQUE

La topographie globale du lit majeur est issue des dalles LIDAR. Au vu des objectifs de l'étude, les tailles de mailles du modèle hydraulique sont plus larges que la résolution du LIDAR (1mx1m). **Le LIDAR brut n'est donc pas utilisé tel quel ; un traitement spécifique est réalisé.**

Les données brutes du LIDAR sont exploitées, afin d'identifier les éléments structurants topographiques (remblais, digues, épis, etc..). Ces éléments sont représentés par une ou plusieurs lignes de contrainte. Par exemple, une digue ou un remblai sont représentés par une ligne en pied de digue et plusieurs lignes en crête de digue. Par exemple, les digues en rive gauche de l'Isère ont été renseignées à l'aide du LIDAR.

Les axes de drainage type fossé ou noue, de dimensions importantes, sont également identifiés. Les fils d'eau des fossés dans la plaine inondable (contre fossé ou axe de drainage en rive gauche par exemple) ont été extraits du LIDAR. Si les fossés sont en eau, alors la cote de fond renseignée dans le modèle est en réalité la cote de la ligne d'eau à l'instant où le LIDAR a été réalisé. Le modèle ne prend alors pas en compte la section en eau.

Les axes routiers peuvent constituer des axes d'écoulement importants et prioritaires. A l'aide de la BD TOPO, les axes principaux mais également les voiries entre les bâtiments sont identifiés et traités à l'aide du LIDAR comme étant des lignes de contrainte.



Dans les zones dites « plates », sans discontinuité topographique majeure, les points XYZ bruts du LIDAR sont renseignés dans le modèle.

Dans certains secteurs spécifiques, notamment le secteur de la digue Ridelet et le linéaire de la digue Marceline, des levés terrestres étant disponibles (Cf. 4.2.1.3.1), ils sont utilisés en priorité par rapport aux données LIDAR.

#### **4.3.2 TRAITEMENT DU BÂTI**

La source de données retenue pour intégrer les bâtiments au modèle de calcul est la BD TOPO® 2016 de l'IGN (basée sur les données d'octobre 2014). La BD TOPO® est une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures, de précision métrique, exploitable à des échelles allant du 1 : 5 000 au 1 : 50 000.

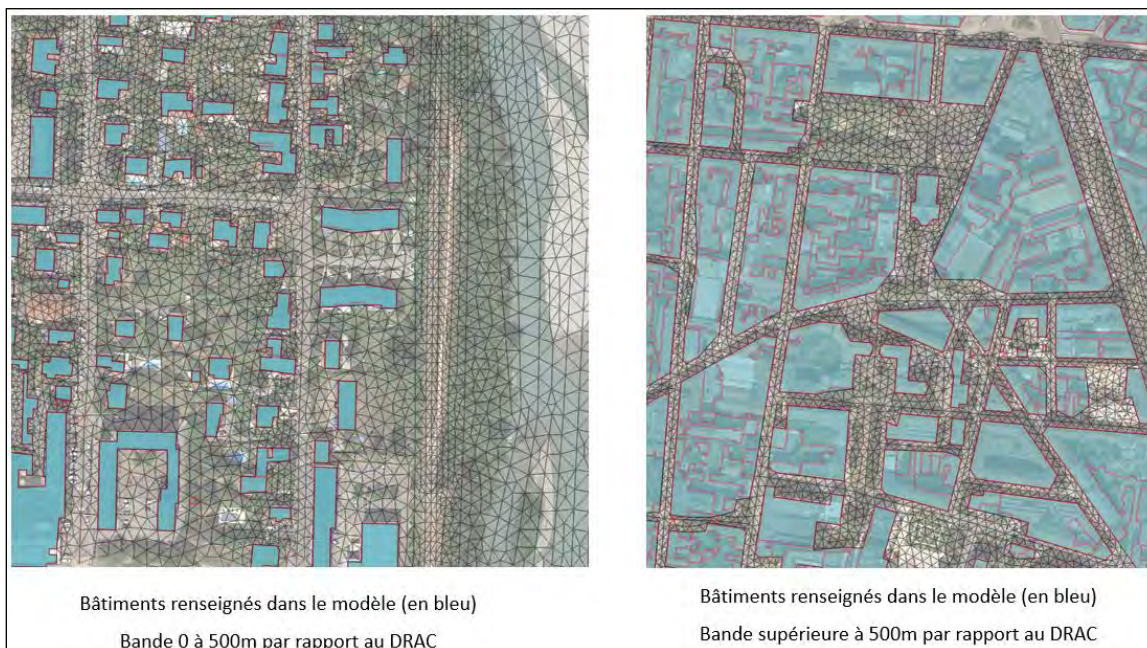
Les bâtiments sont intégrés au modèle en tant qu'obstacles aux écoulements (hors d'eau).

Le maillage du modèle utilise les hypothèses de représentation du bâti suivantes :

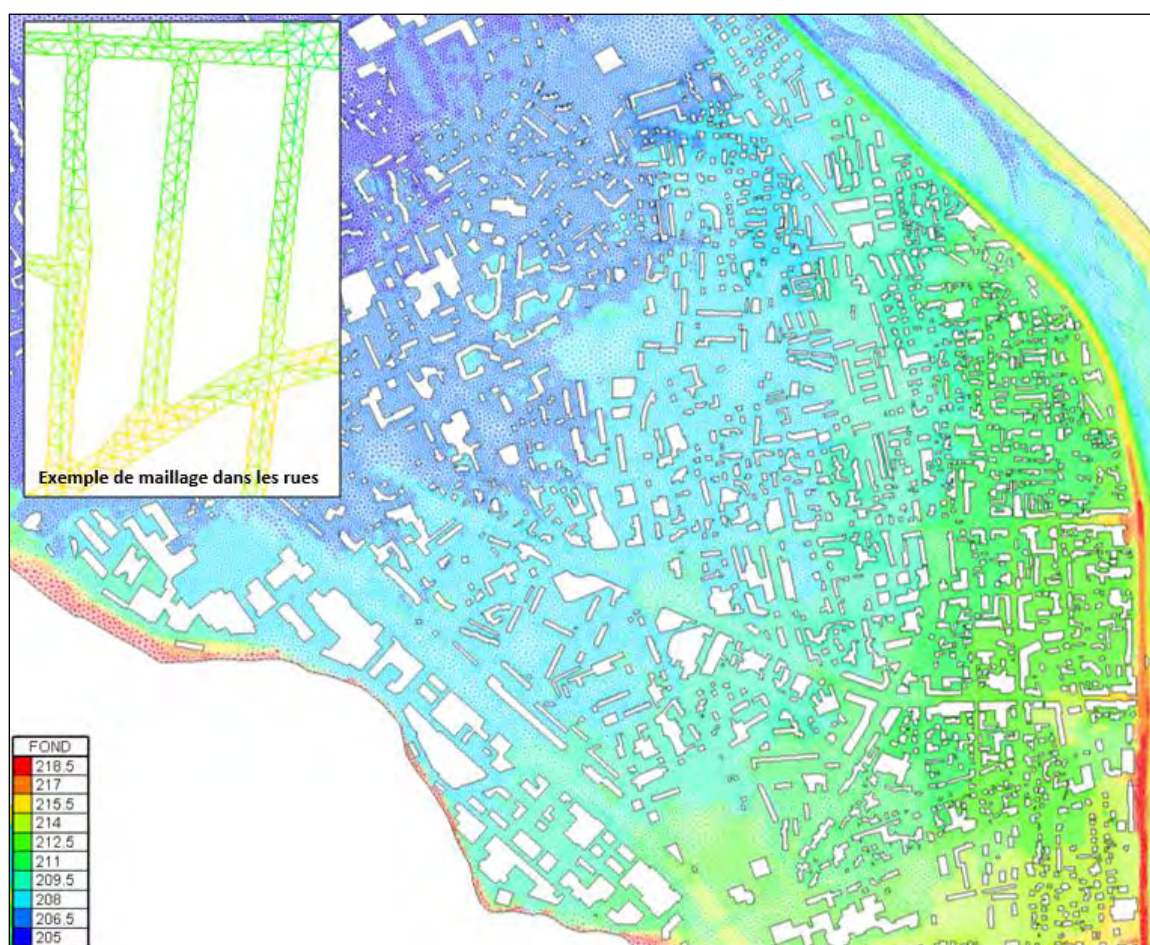
- sur une bande de 500 m en arrière immédiat des berges ouvrages, le bâti est représenté de manière fine et détaillée : la plupart des bâtiments sont représentés individuellement. Il a été validé avec la DDT38 que les bâtiments dont la surface au sol est inférieure à 20 m<sup>2</sup> ne soient pas représentés dans le maillage,
- dans la bande de 500 m suivante : les bâtiments espacés de moins de 10 m sont regroupés dans la majorité. Dans les zones urbaines très denses, les bâtiments sont alors regroupés en gardant les axes principaux (allées et routes). Leur géométrie est également simplifiée (excroissance supprimée, angles tronqués ...)
- au-delà de 1 km de la berge ou de l'ouvrage, certains bâtiments espacés de plus de 20 m sont regroupés.

Les murs et murets (de clôture par exemple) ne sont pas pris en compte dans le modèle, ils sont considérés comme effacés.





**Figure 24 : Illustration de la méthodologie d'intégration des batiments dans le modèle**



**Figure 25 : Extrait du maillage rive gauche**



#### 4.4 MAILLAGE DU MODÈLE GLOBAL

Au vu des objectifs de l'étude, trois maillages sont construits :

- Maillage lit mineur et lit majeur amont : 24 km<sup>2</sup> et 25 km de linéaire de Drac
- Maillage rive gauche : 20 km<sup>2</sup>
- Maillage rive droite : 30 km<sup>2</sup>

En fonction des scénarios, ces modèles ont été assemblés afin de traiter les différents cas :

- Lit mineur seul : calage du modèle en lit mineur
- Lit mineur + rive droite : brèches en rive droite,
- Lit mineur + rive gauche : brèches en rive gauche.

En effet, les modélisations pour la crue de référence sans défaillance des ouvrages ont montré qu'il n'y a pas de débordement en plaine rive droite ou rive gauche. Les scénarios étant étudiés de manière indépendante (rive droite ou rive gauche), cette méthodologie permet de réduire le nombre de point de calcul entre les différents scénarios de brèches en fonction des besoins.

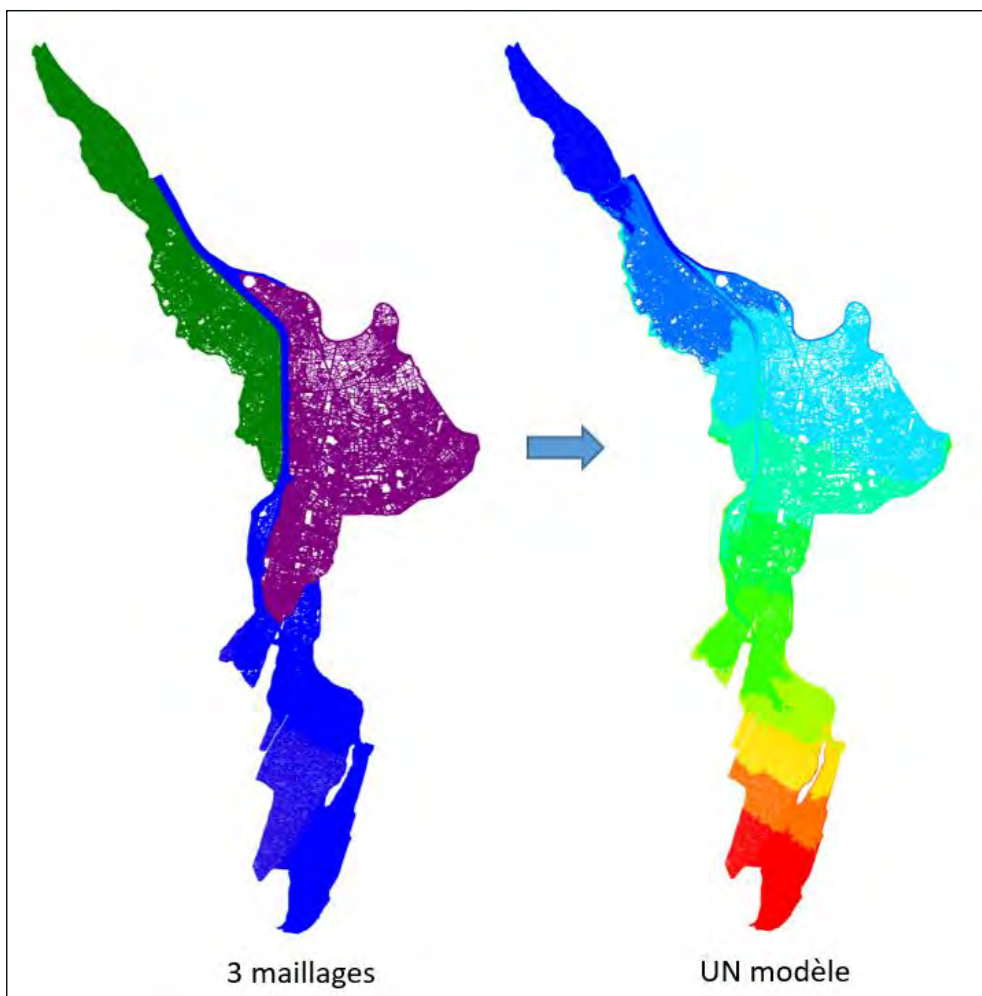


Figure 26 : Maillages du modèle hydraulique

## 4.5 MODÈLE DE RUGOSITÉ

### 4.5.1 LIT MINEUR

Le coefficient de rugosité (également appelé dans ce rapport coefficient de Strickler) traduit l'encombrement du sol (par la végétation, le mobilier urbain). Les écoulements sont facilités sur les sols « lisses », où le coefficient de Strickler est élevé. A l'inverse, les vitesses d'écoulement sont réduites et la ligne d'eau rehaussée pour les sols plus rugueux, pour lesquels la valeur de ce coefficient est basse.

Le coefficient de rugosité retenu dans le lit mineur du Drac varie entre 12 et 35  $m^{1/3}.s^{-1}$ . Ces valeurs ont été évaluées sur la base des reconnaissances de terrain, des abaques et du retour d'expérience.

La figure ci-dessous est un extrait du document « Hydraulique des cours d'eau » (CETMEF 2001) :



<p><b>Grands cours d'eau largeur maximale supérieure à 30 m</b>  <i>(La valeur de K est supérieure à celle des petits cours d'eau d'allure analogue car les rives offrent moins de résistance efficace)</i>            section régulière sans broussailles            section irrégulière et rugueuse</p>	<p><b>25 à 40</b> <b>10 à 25</b></p>
---	--

**Tableau 3 : Valeurs de rugosité de la bibliographie (Source : CETMEF)**

À titre informatif, la figure ci-dessous est un extrait du rapport « Barrage du Saut du Moine sur le Drac » (Artelia 2012), où figurent les coefficients de rugosité retenus dans le lit mineur, dans un modèle TELEMAC2D.

- 5 au niveau de la grille latérale en aval rive droite de la passerelle, (pour tenir compte de la perte de charge au travers de la grille)
- 15 sur les terrasses boisées,
- 20 sur les terrasses non boisées,
- 35 dans le lit vif.

**Figure 27 : Valeurs de rugosité de l'étude ARTELIA de 2012**

Les paramètres retenus dans le lit mineur, dans le cadre de l'étude sont les suivants :

- Lit vif :  $35 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$
- Végétation peu dense :  $18 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$
- Végétation dense :  $15 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$
- Seuil :  $12 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$
- Sols découverts :  $30 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$

La figure ci-après présente un extrait de la rugosité du lit mineur, entre le barrage du Saut du Moine et Pont-de-Claix.



**Figure 28 : Extrait des coefficients de rugosité retenus en lit mineur**

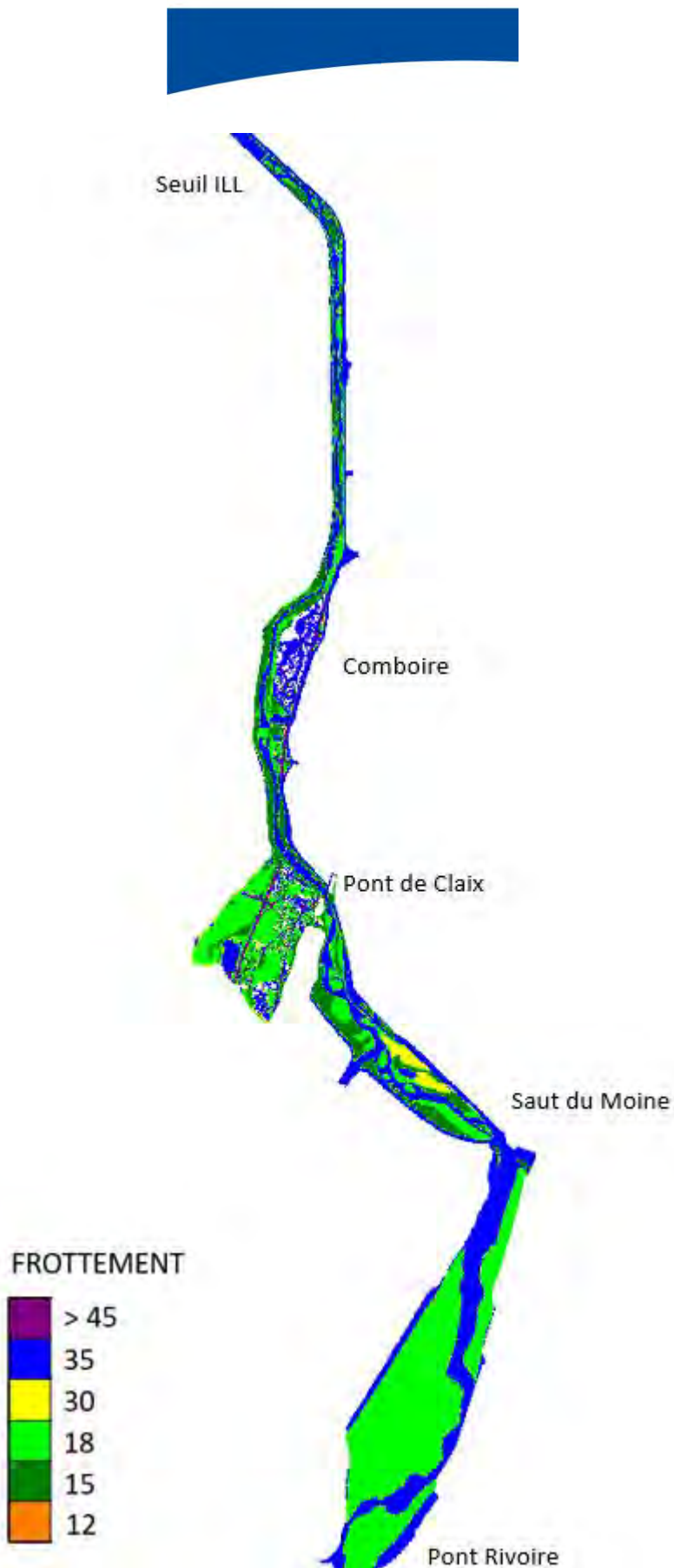


Figure 29 : Extrait du modèle de rugosité (lit mineur essentiellement)

Ces coefficients sont les paramètres retenus après calage du modèle (cf. 5).



## 4.5.2 LIT MAJEUR

Sur la base de la couche « Occupation des sols en Isère » transmise par la DDT, les coefficients de rugosité ont été définis. L'occupation du sol est adaptée en fonction des visites de terrain, de la vue aérienne et des objectifs de l'étude.

Les coefficients de rugosité retenus pour chaque type d'occupation du sol sont énoncés ci-dessous :

- Surfaces industrielles =  $35 \text{ m}^{1/3}.\text{s}^{-1}$
- Infrastructures principales de transport =  $55 \text{ m}^{1/3}.\text{s}^{-1}$
- Sols nus =  $45 \text{ m}^{1/3}.\text{s}^{-1}$
- Espaces verts =  $25 \text{ m}^{1/3}.\text{s}^{-1}$
- Végétation dense =  $15 \text{ m}^{1/3}.\text{s}^{-1}$
- Zone urbaine dense / Lotissement =  $15 \text{ m}^{1/3}.\text{s}^{-1}$

La figure ci-dessous présente un extrait des modèles de coefficients de rugosité en lit majeur rive gauche et rive droite :

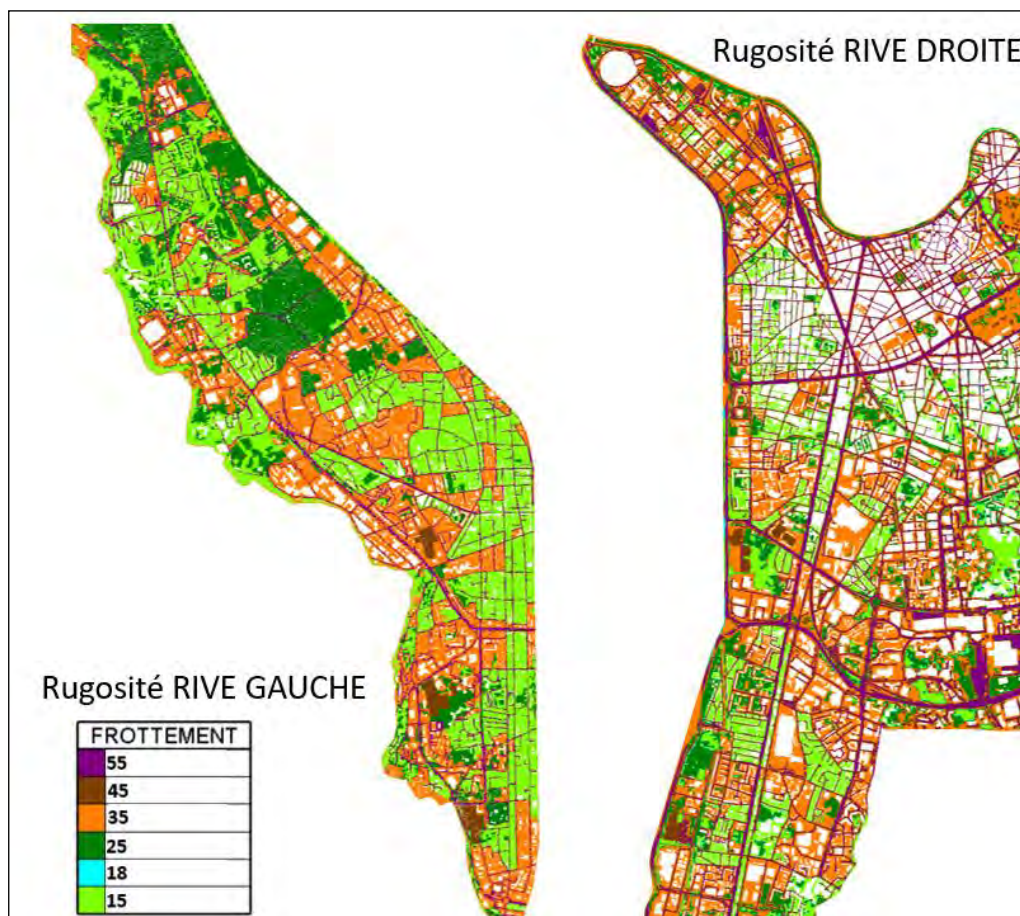


Figure 30 : Extrait des coefficients de rugosité retenus en lit majeur

## 4.6 CONDITIONS LIMITES

### 4.6.1 CONDITIONS AMONT

Les conditions amont (apport du Drac et affluents) sont constituées des hydrogrammes de crue issus de l'étude hydrologique menée par Hydrétudes. La figure ci-après récapitule les conditions amont du modèle hydraulique.

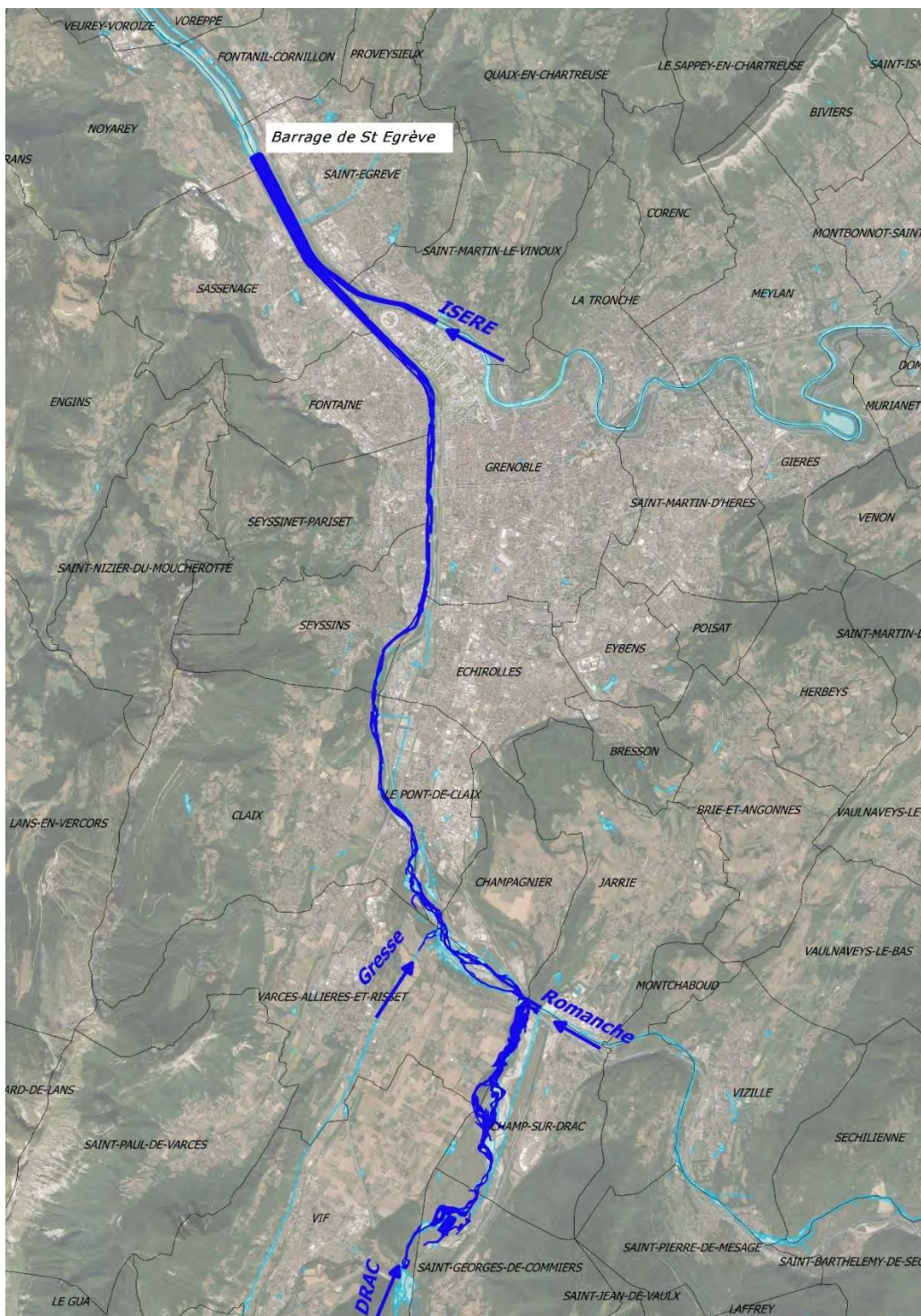
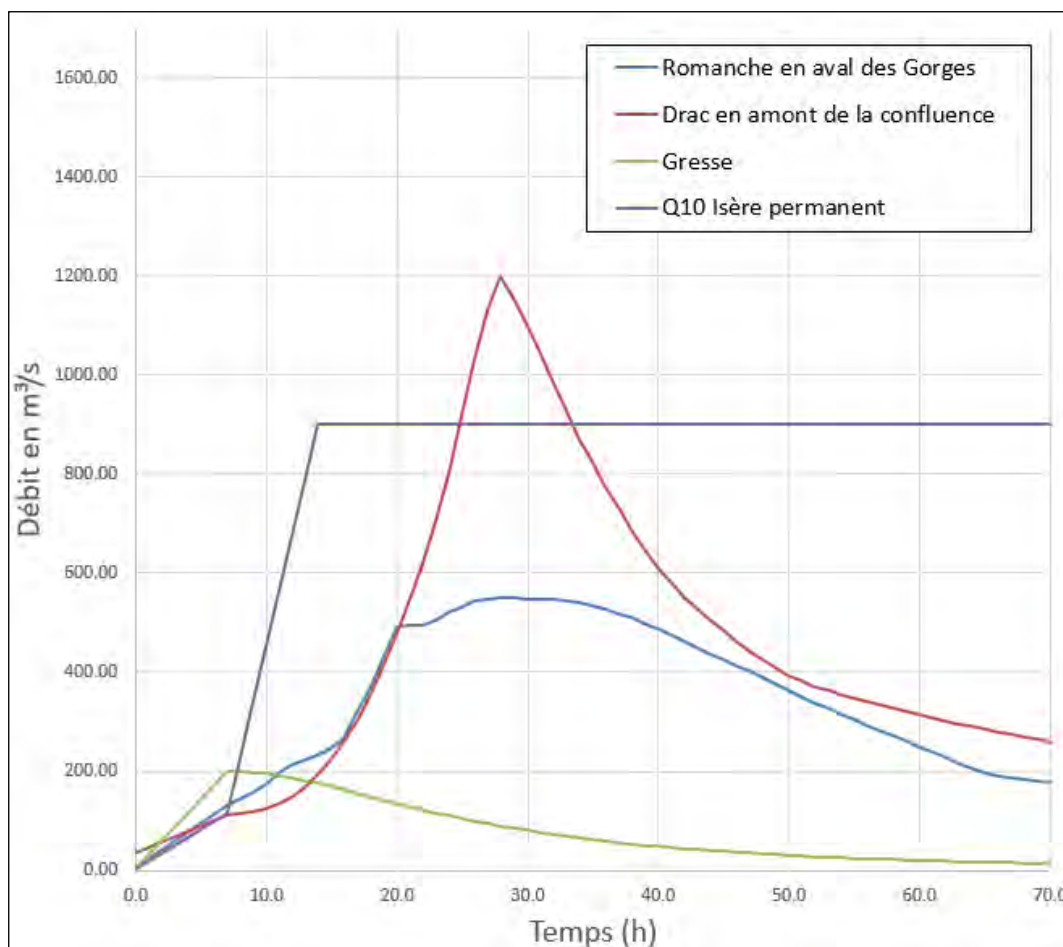


Figure 31 : Conditions amont – Modèle hydraulique



Le nombre total d'hydrogrammes injectés aux frontières du modèle est donc de 4. Ils sont présentés dans la figure suivante :



**Figure 32 : Hydrogrammes constituant les conditions limites aux frontières du modèle hydraulique**

## 4.6.2 CONDITIONS AVAL

### 4.6.2.1 Lit mineur

La condition aval du modèle est le barrage de Saint-Égrève, où une courbe H-Q (hauteur-débit) est intégrée. Il a été retenu de considérer que le barrage est entièrement ouvert lors d'une crue centennale du Drac (consignes de gestion de l'ouvrage). Concrètement, la condition aval du modèle est donc la loi hauteur-débit où les 5 vannes du barrage sont en « ouverture totale ».

La figure suivante présente la loi fournie par EDF :



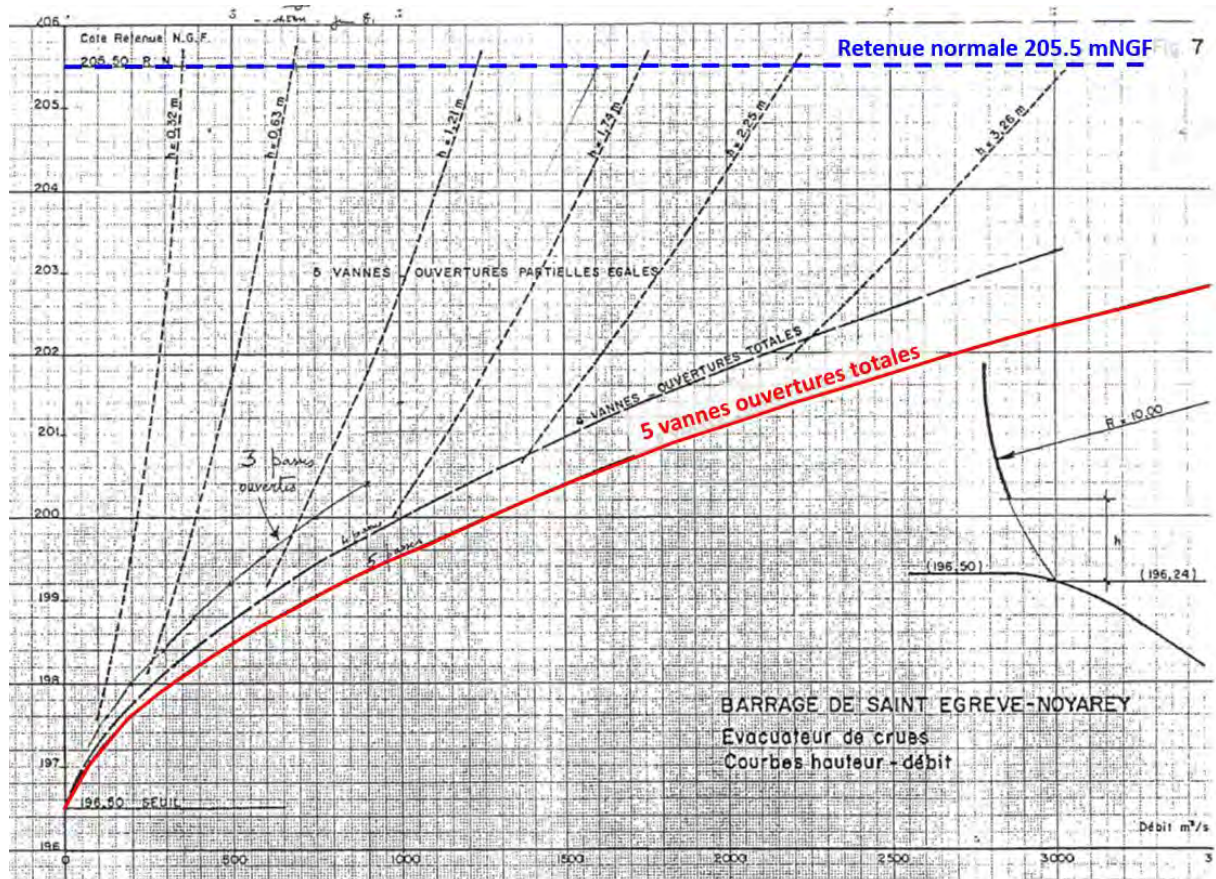


Figure 33 : Courbe hauteur débit – Barrage de Saint-Égrève – Condition aval lit mineur

#### 4.6.2.2 Lit majeur

Trois conditions aval sont renseignées dans le modèle lit majeur de la rive gauche, afin de permettre la sortie des eaux dans les zones où elles ne rejoignent pas le lit mineur. Les courbes de tarage sont construites en faisant l'hypothèse que la hauteur d'eau en sortie est régie par la hauteur normale de la loi de Manning-Strickler.



Figure 34 : Condition aval 1 – Modèle rive gauche

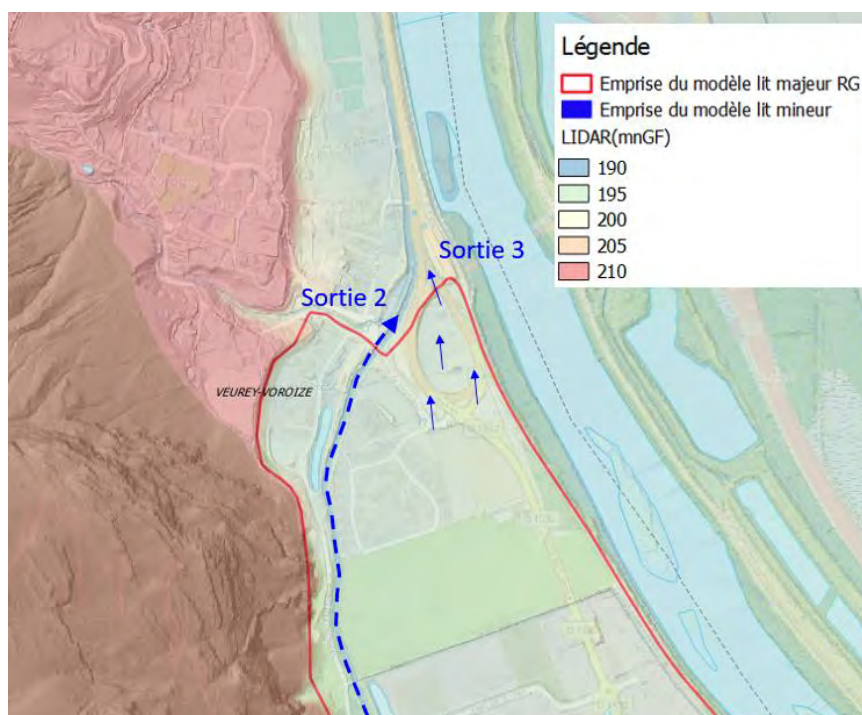


Figure 35 : Condition aval 2&3 – Modèle rive gauche

En ce qui concerne la rive droite, l'exutoire de la plaine de Grenoble est une sortie dite « libre » vers l'Isère. Les digues de l'Isère ont été renseignées dans le modèle topographique à l'aide du LIDAR, donc si une digue est présente en rive droite, l'eau ne pourra s'évacuer que si le niveau d'eau atteint dépasse la crête de la digue.



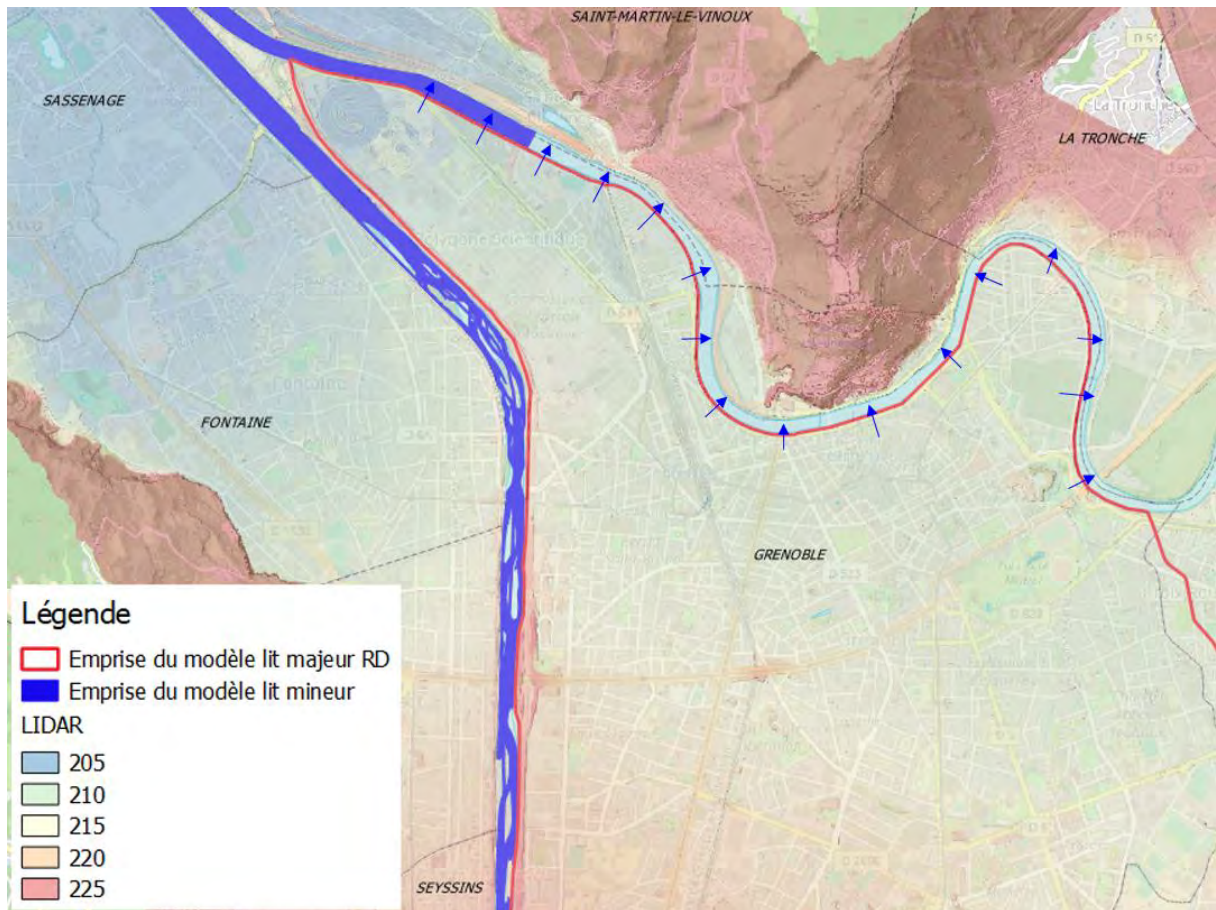


Figure 36 : Condition aval – Modèle rive droite





## 5 CALAGE DU MODÈLE HYDRAULIQUE ET SENSIBILITÉ

---

### 5.1 CALAGE À L'ÉTIAGE (FAIBLES DÉBITS)

#### 5.1.1 LIGNES D'EAU SINTEGRA

Le cabinet de géomètre SINTEGRA a effectué des levés topographiques complémentaires du lit mineur du Drac dans le cadre de l'étude. Lors de ces levés, le niveau d'eau, en m NGF, a été reporté sur les profils en travers.

Par ailleurs, il existe une station hydrométrique à Fontaine (Code station W2832020), gérée par EDF/DTG. Les débits horaires correspondant aux dates des levés SINTEGRA nous ont été transmis, afin de nous permettre d'effectuer un calage du modèle en lit mineur dans les zones levées.

Les débits relevés à la station pouvant varier d'une heure à l'autre, des plages de débits ont été modélisées (min et max), pour chacun des tronçons levés par le géomètre.

La figure suivante présente les dates des levés effectués par SINTEGRA :



Figure 37 : Date des levés SINTEGRA 2016

Pour chacun des tronçons de linéaire levés, un calage a donc été réalisé afin de se rapprocher au mieux de la ligne d'eau levée par SINTEGRA (points bleus sur les profils en long). Les figures suivantes présentent les résultats du calage. La proximité entre les lignes d'eau calculées (du débit maximal et minimal observé sur la durée des levés SINTEGRA sur chacun de tronçon) et les points bleus (cote relevée sur site), permet de montrer que le calage est vérifié.

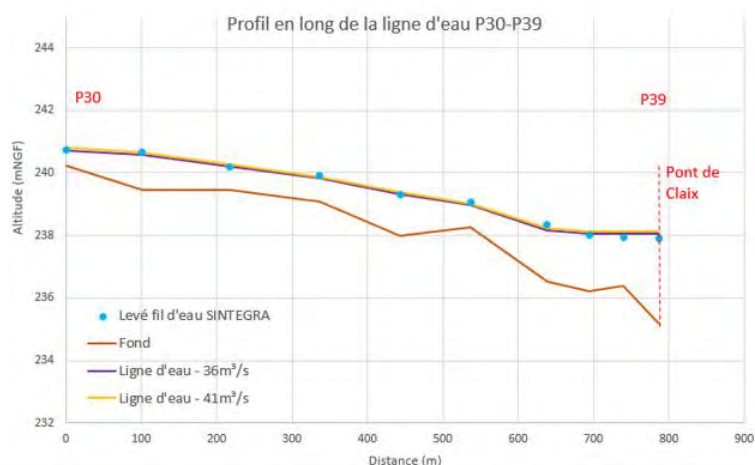
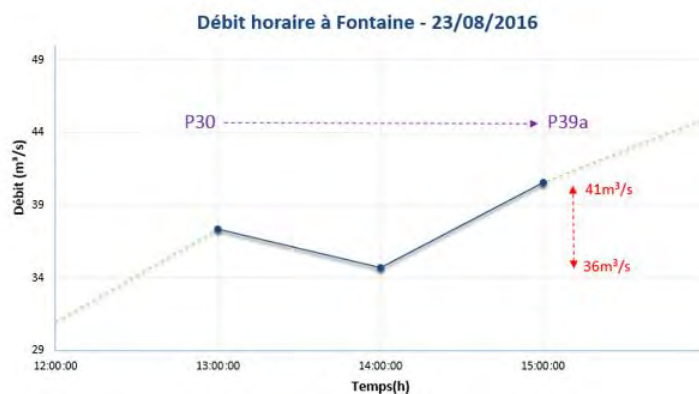
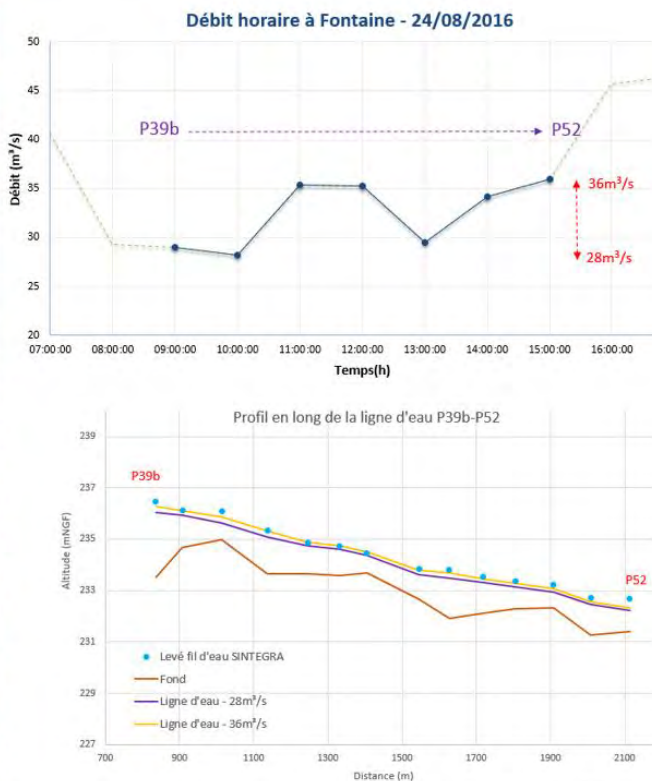


Figure 38 : Résultat du calage sur le tronçon P30-P39a

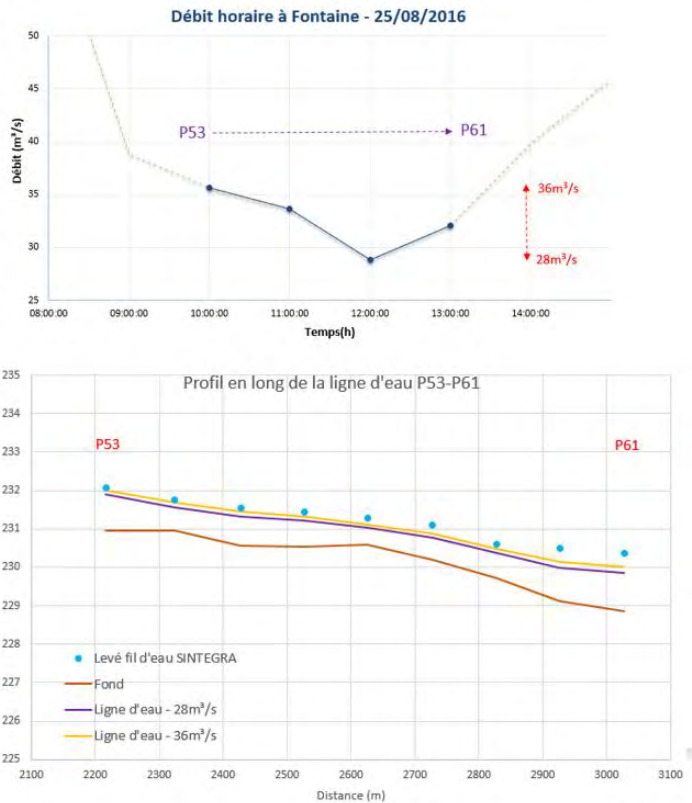
Le calage est validé sur le tronçon P30 à P39 pour la gamme de débit 36-41 m<sup>3</sup>/s.





**Figure 39 : Résultat du calage sur le tronçon P39b-P52**

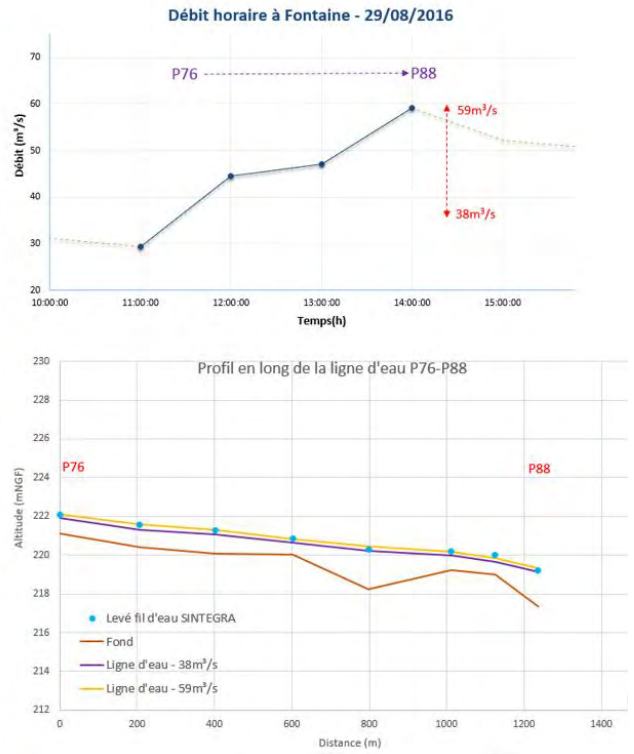
Globalement, Le calage est validé sur le tronçon P39b à P52 pour la gamme de débit 28-36 m³/s. La ligne d'eau correspondant au débit de 36 m³/s présente un meilleur calage que la ligne d'eau correspondant au débit de 28 m³/s. On note au profil P52, un léger replat de la ligne d'eau levée par SINTEGRA, alors qu'elle n'apparaît pas dans le modèle hydraulique.



**Figure 40 : Résultat du calage sur le tronçon P53-P61**

Globalement, Le calage est validé sur le tronçon P53 à P61 pour la gamme de débit 28-36 m<sup>3</sup>/s. La ligne d'eau correspondant au débit de 36 m<sup>3</sup>/s présente un meilleur calage que la ligne d'eau correspondant au débit de 28 m<sup>3</sup>/s. Sur la partie aval, soit en amont du seuil de Comboire, on note une différence de plusieurs dizaines de centimètres.

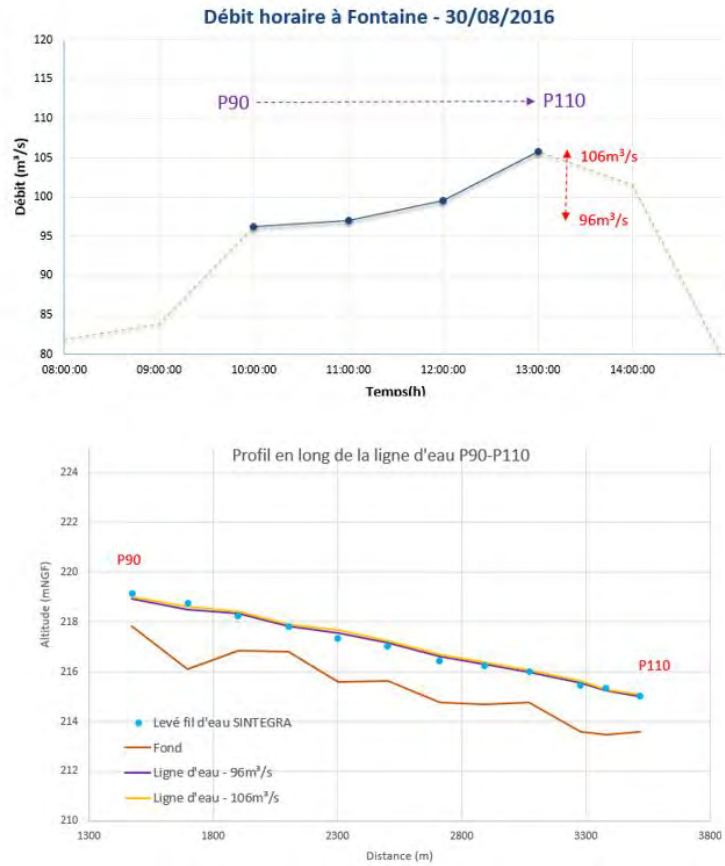
Il est important de rappeler qu'il est privilégié un calage global des coefficients de rugosité en lit mineur, plutôt que de rechercher à tout prix un écart nul à chaque profil en renseignant des coefficients disparates.



**Figure 41 : Résultat du calage sur le tronçon P76-P88**

Le calage est validé sur le tronçon P76 à P88 pour la gamme de débit 38-59 m³/s.





**Figure 42 : Résultat du calage sur le tronçon P90-P110**

Le calage est validé sur le tronçon P90 à P110 pour la gamme de débit 96-106 m<sup>3</sup>/s.

**Au vu des résultats présentés sur les figures précédentes, le modèle hydraulique est calé pour les faibles débits.**

### 5.1.2 LIGNE D'EAU LIDAR

Afin compléter la validation du calage pour des faibles débits, nous avons également analysé la ligne d'eau « LIDAR ». En effet, la technique d'un levé LIDAR Infra-rouge permet de réaliser des relevés terrestres mais également de surface d'eau.

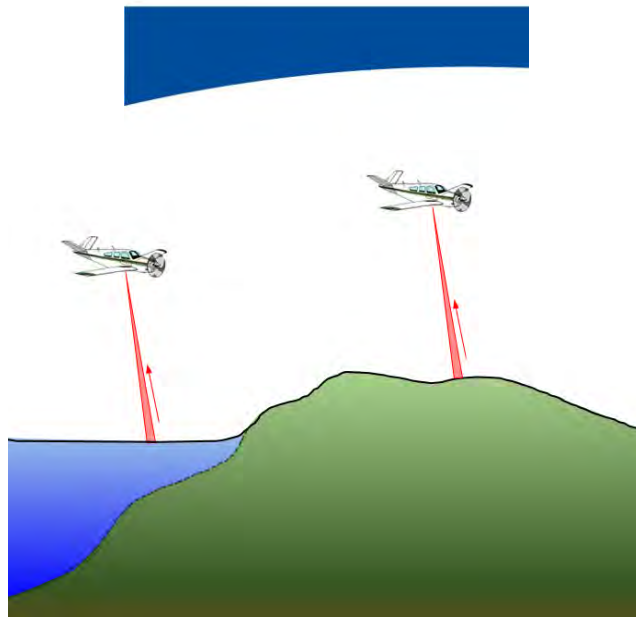


Figure 43 : Schéma de réalisation LIDAR

Le LIDAR ayant été levé en mai 2013, le débit horaire sur ce mois a également été récupéré auprès de la Banque Hydro, et varie de 160 m<sup>3</sup>/s à 200 m<sup>3</sup>/s.

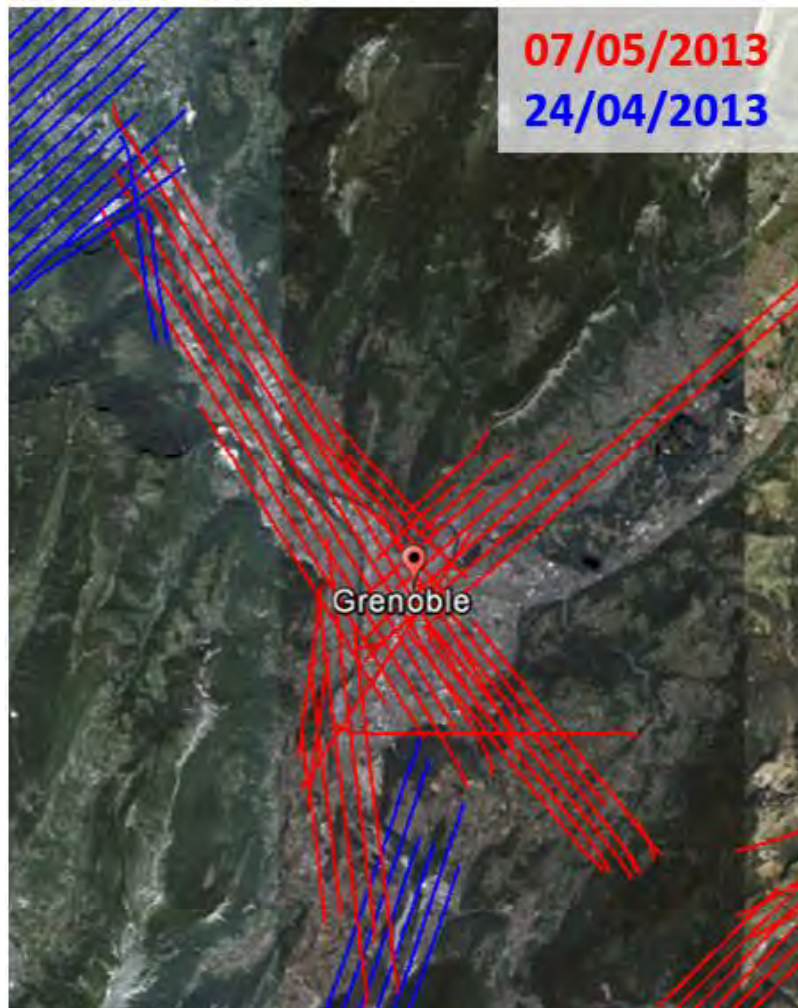


Figure 44 : Extrait du plan de vol - LIDAR sur Grenoble



La figure ci-après présente un extrait du LIDAR au droit du lit mineur du Drac. On remarque que les données de surfaces en eau ont fait l'objet d'un traitement (interpolation, lissage etc..) comme en témoignent les biseaux partant des berges que l'on peut observer. L'extraction de la ligne d'eau que nous avons pu faire à partir du LIDAR comprend donc quelques artefacts.

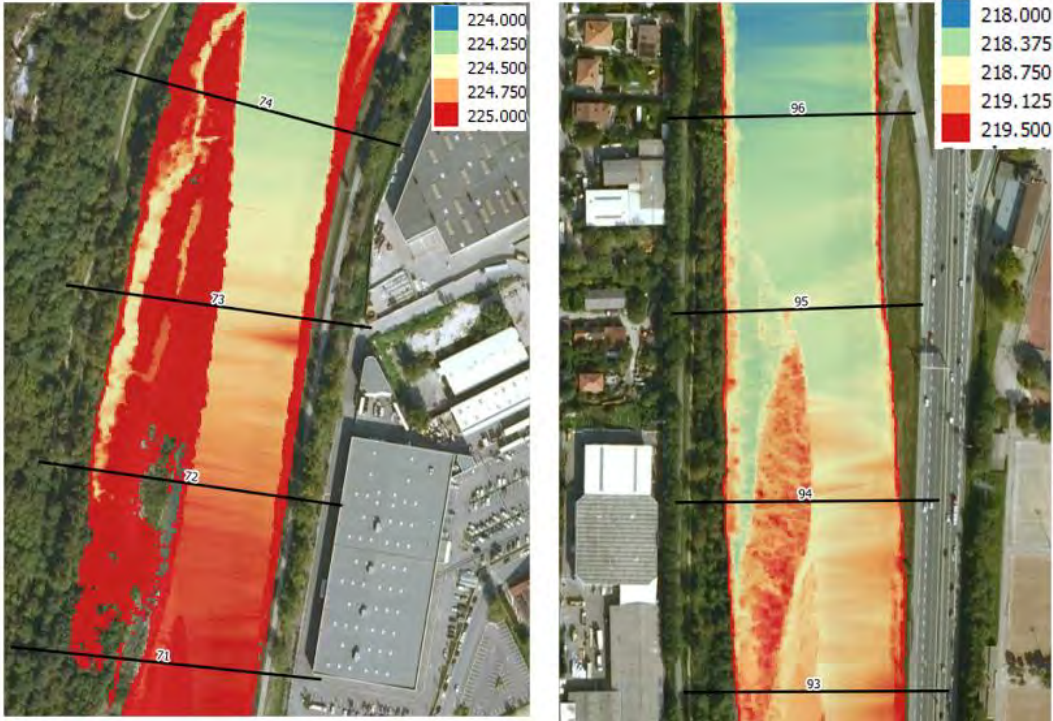


Figure 45 : Traitement du LIDAR dans la zone en eau – Artefacts

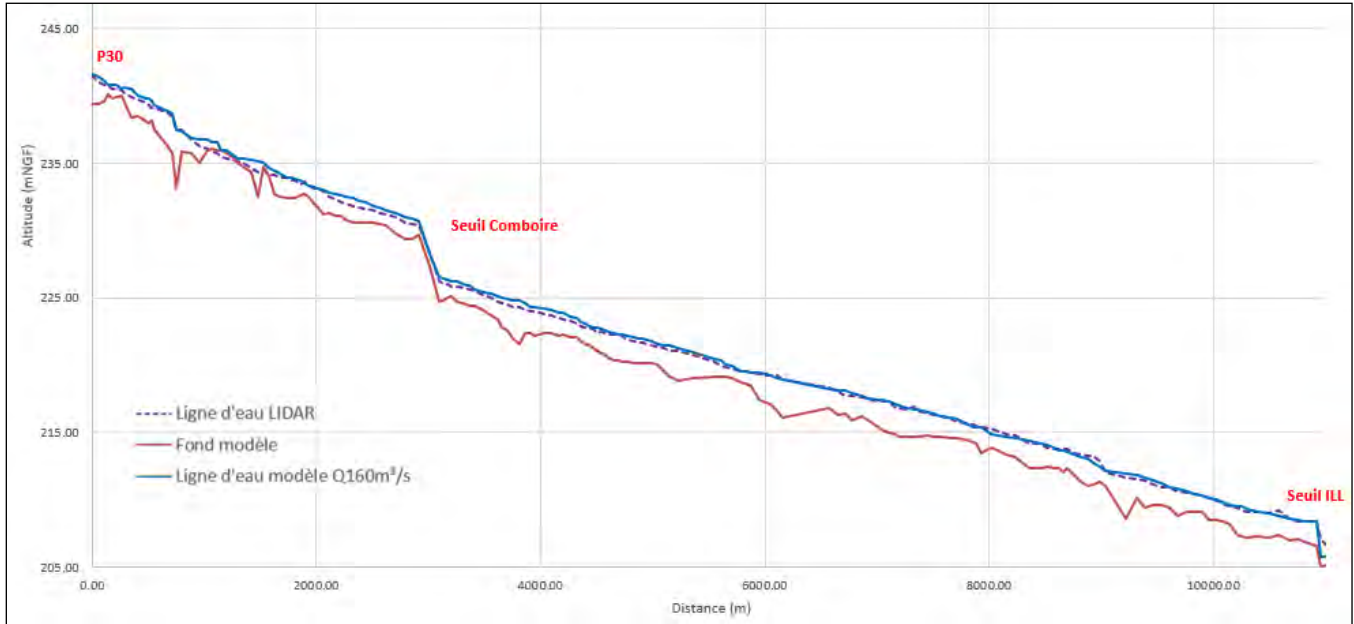


Figure 46 : Comparaison des lignes d'eau résultant du modèle et du LIDAR



La ligne d'eau calculée par le modèle est en moyenne supérieure à la ligne d'eau LIDAR d'environ +17 cm. Les pentes globales de ces deux lignes d'eau sont par ailleurs très proches.

## 5.2 CALAGE EN CRUE

### 5.2.1 CRUE DE 1993

#### 5.2.1.1 Résultats du calage

Lors de la crue d'octobre 1993, des laisses de crues (repères laissés par le niveau des plus hautes eaux) ont pu être levées. La figure suivante présente la comparaison des cotes Plus Hautes Eaux (PHE) de la crue de 1993 avec la ligne d'eau calculée à l'aide du modèle TELEMAC 2D pour un débit de 780 m<sup>3</sup>/s (source du débit : TRI Grenoble).

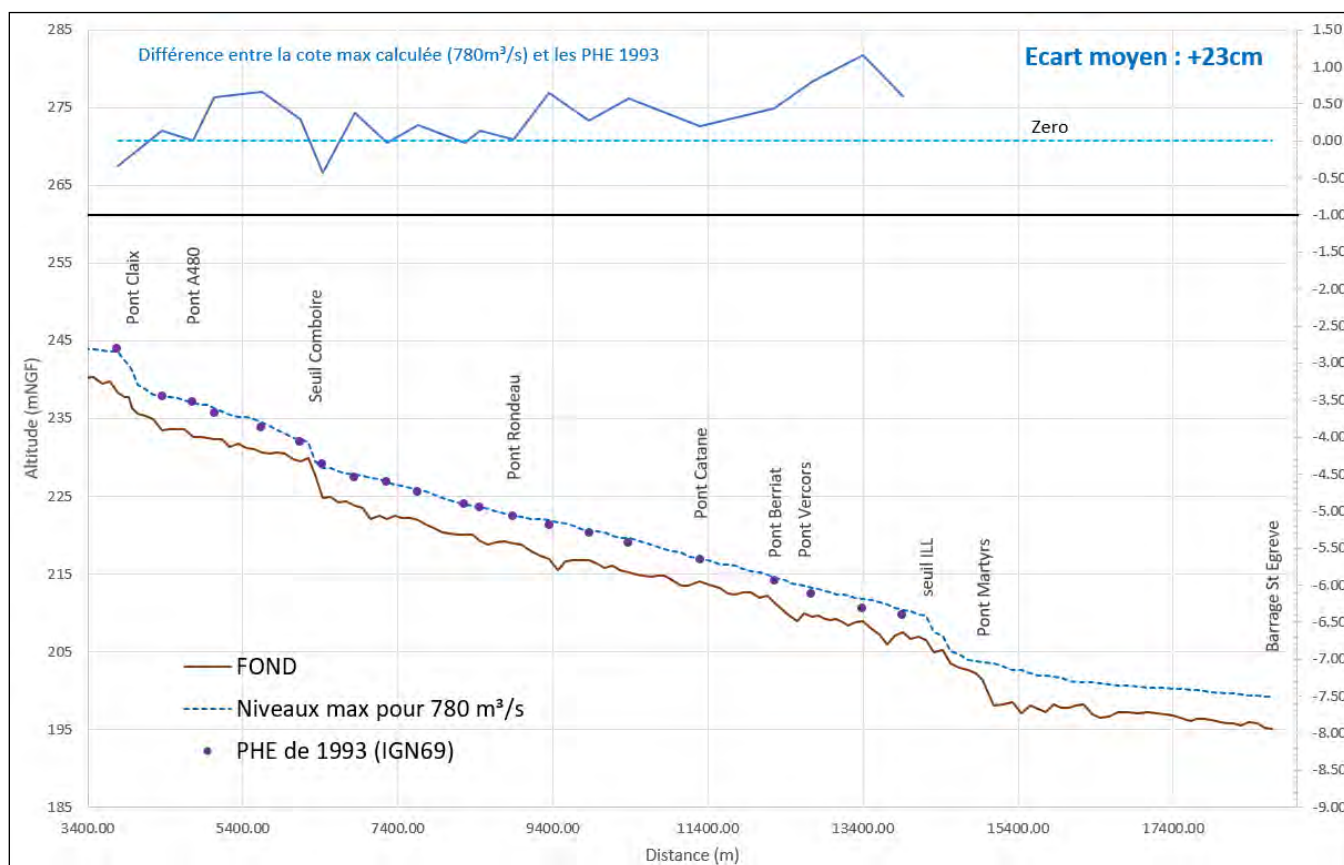


Figure 47 : Calage sur la ligne d'eau de 1993

La ligne d'eau calculée par le modèle est en moyenne +23 cm au-dessus des PHE, sur les 10 km de linéaire sur lesquels des laisses de crues de 1993 sont disponibles.

**Ce constat est a priori lié à l'exhaussement du fond du lit du Drac depuis 1993 mentionné dans les études antérieures, comme relaté au paragraphe suivant.**

### 5.2.1.2 Analyse comparative – Bathymétrie 1993 vs 2016

Une analyse comparative de la bathymétrie de 1993 avec celle levée en 2016 a été réalisée en comparant les sections passantes et les volumes « disponibles » sur le linéaire entre le profil P76 et le profil P98, soit sur un linéaire de 2.2 km.

Le comparatif est établi en considérant un plan d'eau de référence correspondant au plan d'eau reliant les PHE de 1993.

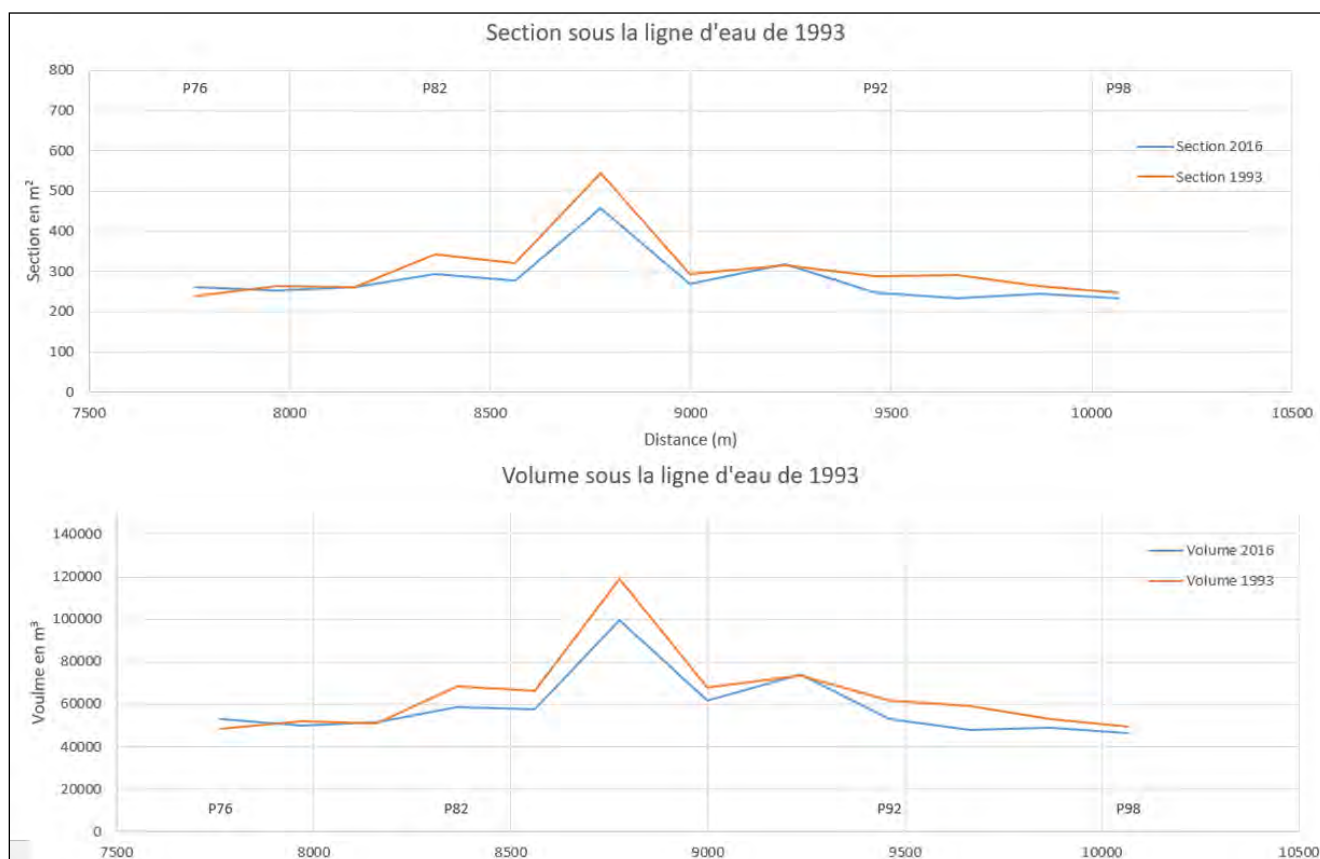


Figure 48 : Profil en long illustrant la section et le volume sous la ligne d'eau 1993

Sur ces graphes sont tracés :

- En partie haute : la section passante (en m<sup>2</sup>) du lit du Drac « sous » le plan d'eau de référence, en fonction de l'abscisse (en m) des profils en travers du Drac (entre P76, à l'amont, à gauche du graphe et P98, à l'aval, en partie droite du graphe)
- En partie basse : le volume (en m<sup>3</sup>) du lit du Drac « sous » le plan d'eau de référence, en fonction de l'abscisse (en m) des profils en travers du Drac (entre P76, à l'amont, à gauche du graphe et P98, à l'aval, en partie droite du graphe). Ce volume est calculé à partir des sections à chaque profil et en répartissant pour moitié le linéaire entre deux profils successifs. Ainsi, la valeur indiquée au profil P82 correspond au volume entre la mi-distance au profil amont et la

mi-distance au profil aval. Ces points sont ensuite reliés entre eux, même si la notion de volume n'est pas liée à une abscisse mais à un tronçon.

Les résultats de cette analyse montrent :

- **Une perte de section moyenne de 26 m<sup>2</sup>, soit 8.7 % de la section passante, perte de section variant entre - 9 % et 20 %.**
- **Une perte moyenne en volume de 5600 m<sup>3</sup> sur chaque tronçon de 200m, ce qui correspond à 8.7 % du volume en moyenne.**

L'analyse confirme la tendance à l'engraissement du lit du Drac entre 1993 et 2016.

Afin d'analyser si l'écart moyen de 23 cm entre la ligne d'eau entre la ligne d'eau calculée pour la crue de type 1993 et les PHE pouvait être lié à cet exhaussement du fond du lit du Drac, une approche sommaire a été menée sur quelques profils en travers.

Les sections d'écoulement ont été réduites de 10% en rehaussant le fond, sur plusieurs profils en travers levés en 1993. La figure ci-dessous illustre la méthodologie.

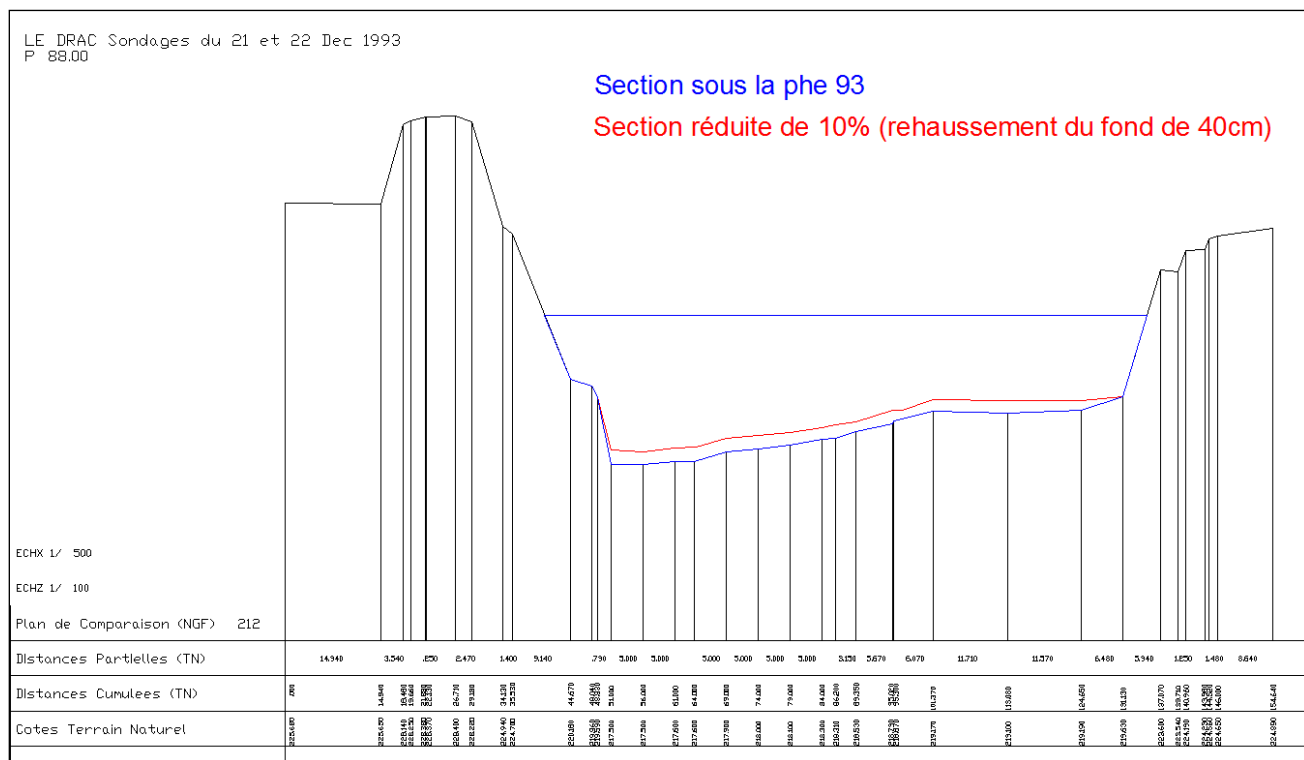


Figure 49 : Profil 88 datant de 1993 – calcul de section réduite de 10%

La section en bleu correspond à la section passante sous le plan d'eau de référence (PHE de 1993) et le fond du lit de 1993.



La section **en rouge** correspond à une section arbitraire diminuée de 10 % par rapport à la section en bleu. Toujours arbitrairement, il a été privilégié une perte de section assez homogène et « par le fond du lit », afin de voir l'ordre de grandeur d'exhaussement correspondant.

L'exercice a été réalisé sur les profils P78, P86, P88 et P92.

Afin d'atteindre la réduction de section de 10% recherchée, l'ordre de grandeur du rehaussement du fond du lit estimé sur chaque profil est de **90 cm, 60 cm, 40 cm et 40 cm**.

**Par cette approche très simplifiée, on met en évidence que l'augmentation de la ligne d'eau calculée pour la crue de 1993 par rapport aux PHE est certainement corrélée à l'exhaussement du lit du Drac et la perte de section associée.**

## 5.2.2 CRUES DE 1928 - BARRAGE DU SAUT DU MOINE

En 2012, ARTELIA a réalisé une étude hydraulique pour le compte d'EDF-CIH concernant le barrage du Saut du Moine. Dans cette étude, des données de niveaux de crue sont fournies au droit du barrage du Saut du Moine :

- Pour  $Q = 1\,240 \text{ m}^3/\text{s}$  (crue de septembre 1928), le niveau à l'amont immédiat du barrage est de 261.50 m NGF
- Pour  $Q = 1\,570 \text{ m}^3/\text{s}$  (crue d'octobre 1928), le niveau à l'amont immédiat du barrage est de 261.80 m NGF

La figure ci-dessous est un extrait de l'étude *1.74.2133 R3- Sogreah 2012* localisant la section de calage en amont du barrage du Saut du Moine :

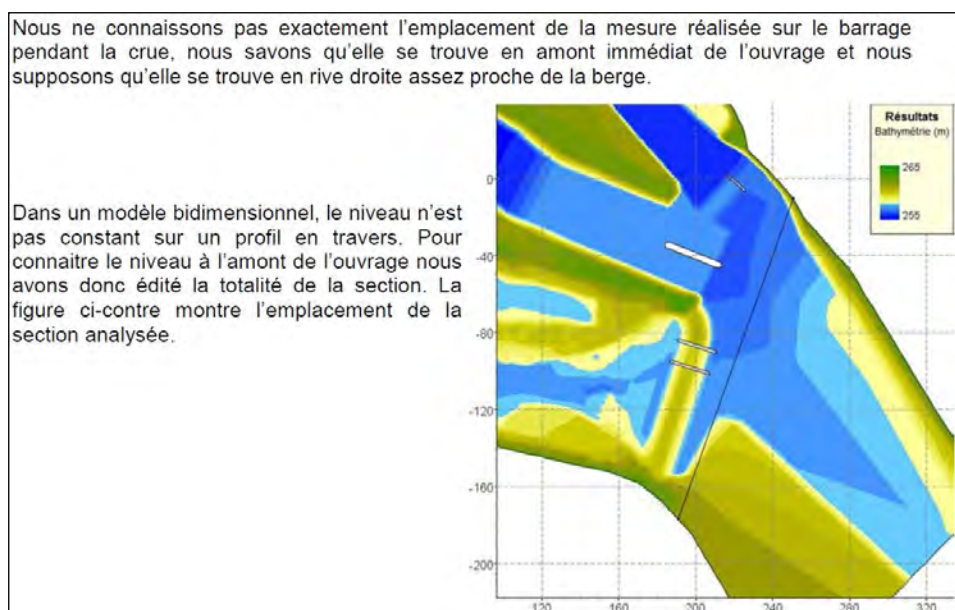
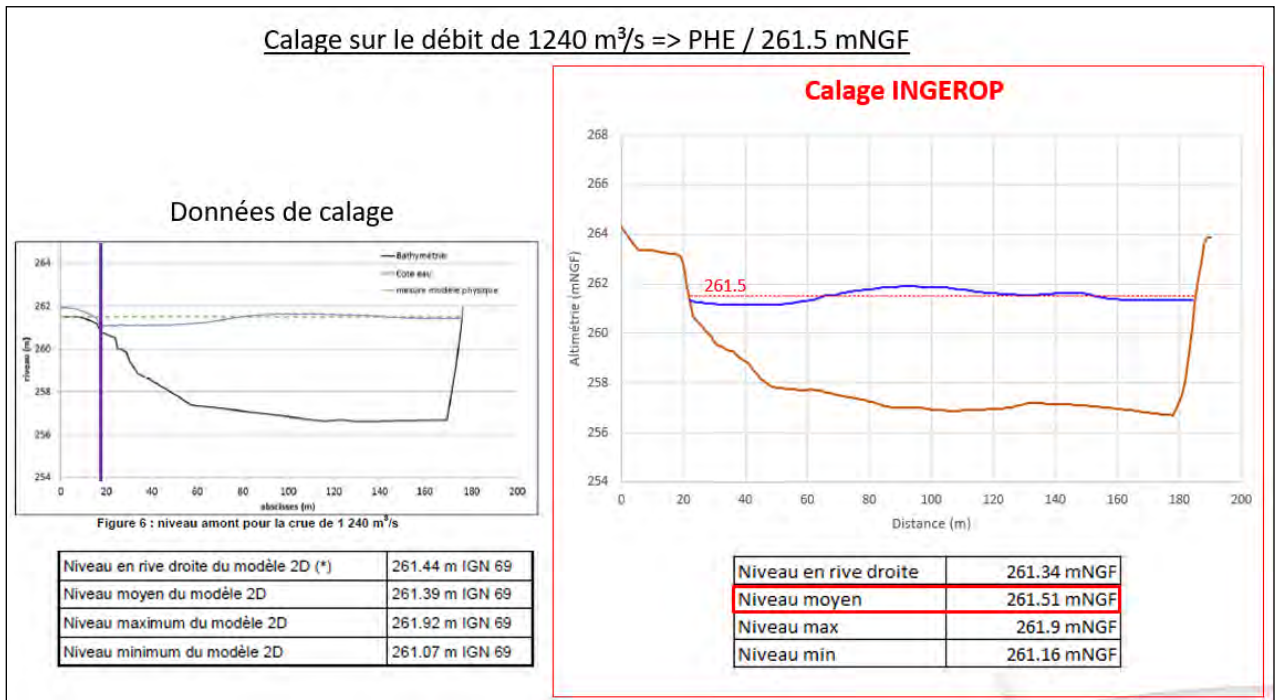
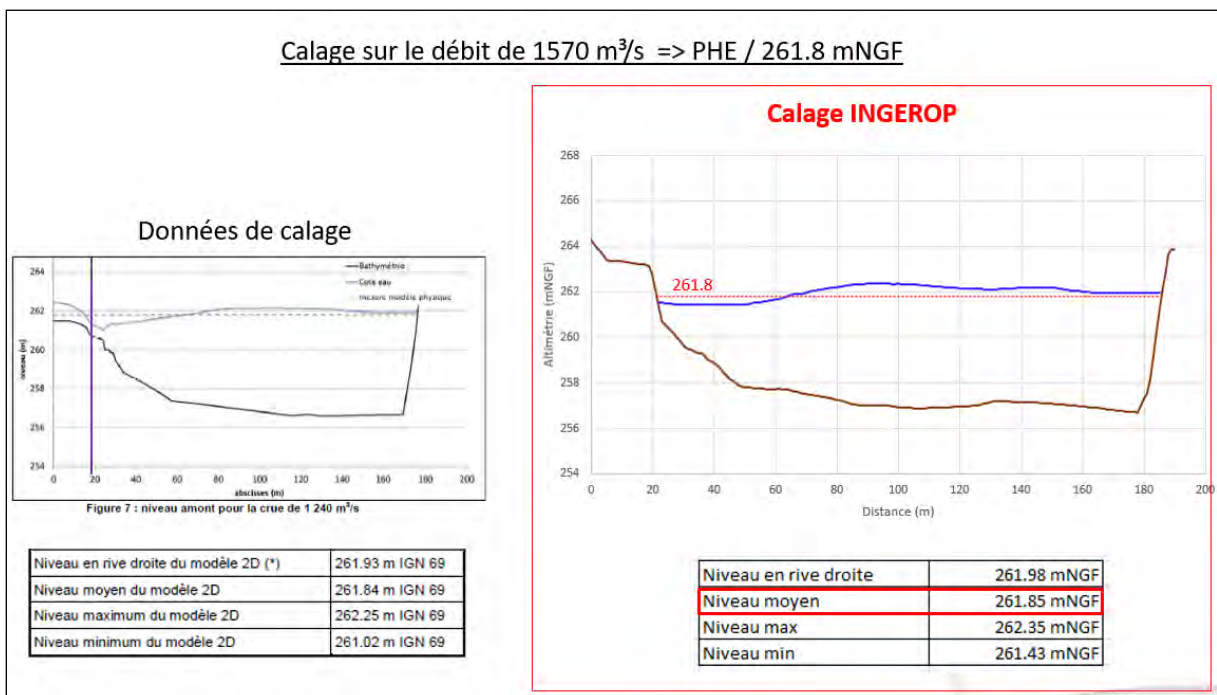


Figure 50 : Extrait de l'étude *1.74.2133 R3 – Sogreah 2012*

Les figures ci-après présentent les résultats de calage du modèle :



**Figure 51 : Résultats de calage pour Q1240m<sup>3</sup>/s**



**Figure 52 : Résultats de calage pour Q1570m<sup>3</sup>/s**

Le modèle est parfaitement calé au droit du barrage du Saut du Moine pour les débits modélisés.

### 5.3 CONCLUSION SUR LE CALAGE

L'analyse du calage réalisée avec différentes gammes de débit montre que le modèle hydraulique est calé pour les petits débits (de l'ordre de 30 à 100 m<sup>3</sup>/s), et pour les débits moyens (de l'ordre de 780 m<sup>3</sup>/s). Enfin le modèle est parfaitement calé au droit du barrage du Saut du Moine pour les forts débits (1240 m<sup>3</sup>/s et 1570 m<sup>3</sup>/s).

### 5.4 TESTS DE SENSIBILITÉ

De multiples tests de sensibilité ont été réalisés afin de s'assurer de la robustesse de reproduction par le modèle des phénomènes d'inondation sur le territoire étudié. Les différents tests réalisés dans la cadre de l'étude sont :

- Test sur le débit de l'Isère à l'aval,
- Test sur le débit du Drac dans la traversée de Grenoble,
- Test sur les coefficients de rugosité en lit mineur.

#### 5.4.1.1 Test sur le débit de l'Isère à l'aval

L'étude hydrologique menée par Hydrétudes a permis de valider et retenir l'hypothèse suivante : en cas de crue centennale (Q100) du Drac, l'Isère est en crue trentennale (Q30), mais toutefois sans concomitance des pointes. Lorsque la pointe de crue centennale du Drac arrive à la confluence avec l'Isère, le débit estimé dans l'Isère correspond à celui d'une crue décennale (Q10) de l'Isère.

Un test de sensibilité sur la valeur du débit de l'Isère a été réalisé afin d'apprécier l'impact du débit de l'Isère sur les lignes d'eau en crue du Drac. Les calculs ont été réalisés en injectant un débit permanent dans l'Isère. Le régime permanent est établi avant l'atteinte de la pointe de crue du Drac sur le secteur de la confluence. Les résultats extraits correspondent donc à un maximum de débit. Une comparaison de ligne d'eau dans le Drac entre les deux configurations a été réalisée :

- Q100 Drac sans embâcles – **Q10** Isère
- Q100 Drac sans embâcles – **Q30** Isère

La condition aval du modèle reste inchangée à savoir la courbe H-Q du barrage de Saint-Égrève.

Le tableau ci-après présente les résultats.



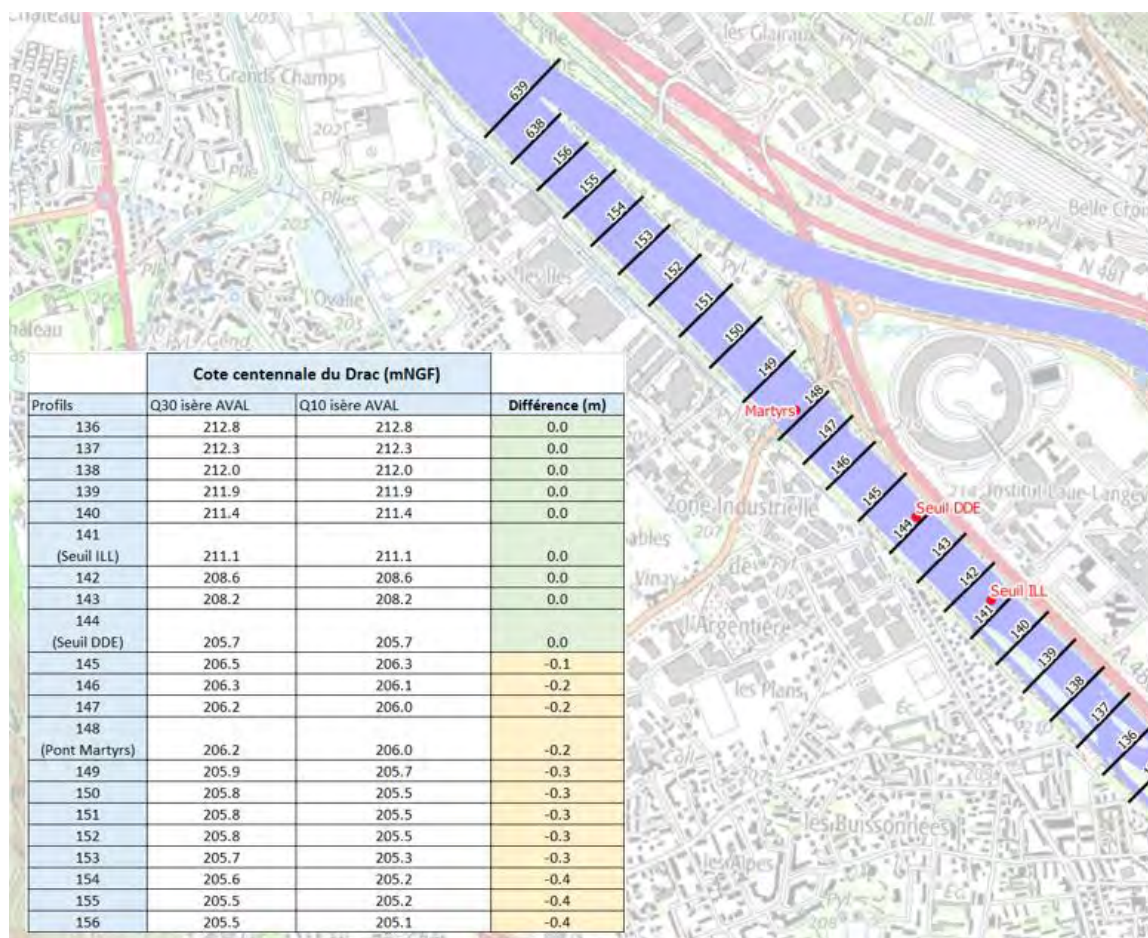


Figure 53 : Résultats du test de sensibilité sur la condition aval

L'influence du débit de l'Isère (Q10-Q30) remonte jusqu'au seuil DDE => il n'y a pas d'impact en amont.

Par ailleurs, le débit Q10 de l'Isère à lui seul ne met pas en charge les digues en rive gauche du Drac (ligne d'eau inférieure au terrain naturel). L'injection dans le modèle d'un débit constant dans l'Isère correspondant au débit décennal est un choix adapté, comme cela a été validé par le comité de suivi.

#### 5.4.1.2 Test sur le débit du Drac dans la traversée de Grenoble

Un test de sensibilité vis-à-vis de la valeur du débit de pointe de crue du Drac dans la traversée de Grenoble a été réalisé en comparant la ligne d'eau obtenue avec un débit « total » du Drac de 1800 m³/s et celle obtenue avec un débit total de 1900 m³/s.

Les hauteurs d'eau maximales obtenues avec 1800 m³/s figurent également sur cette illustration afin d'apprécier l'ordre de grandeur de cette différence.

Ces deux graphes sont tracés en fonction de l'abscisse du Drac (en m).

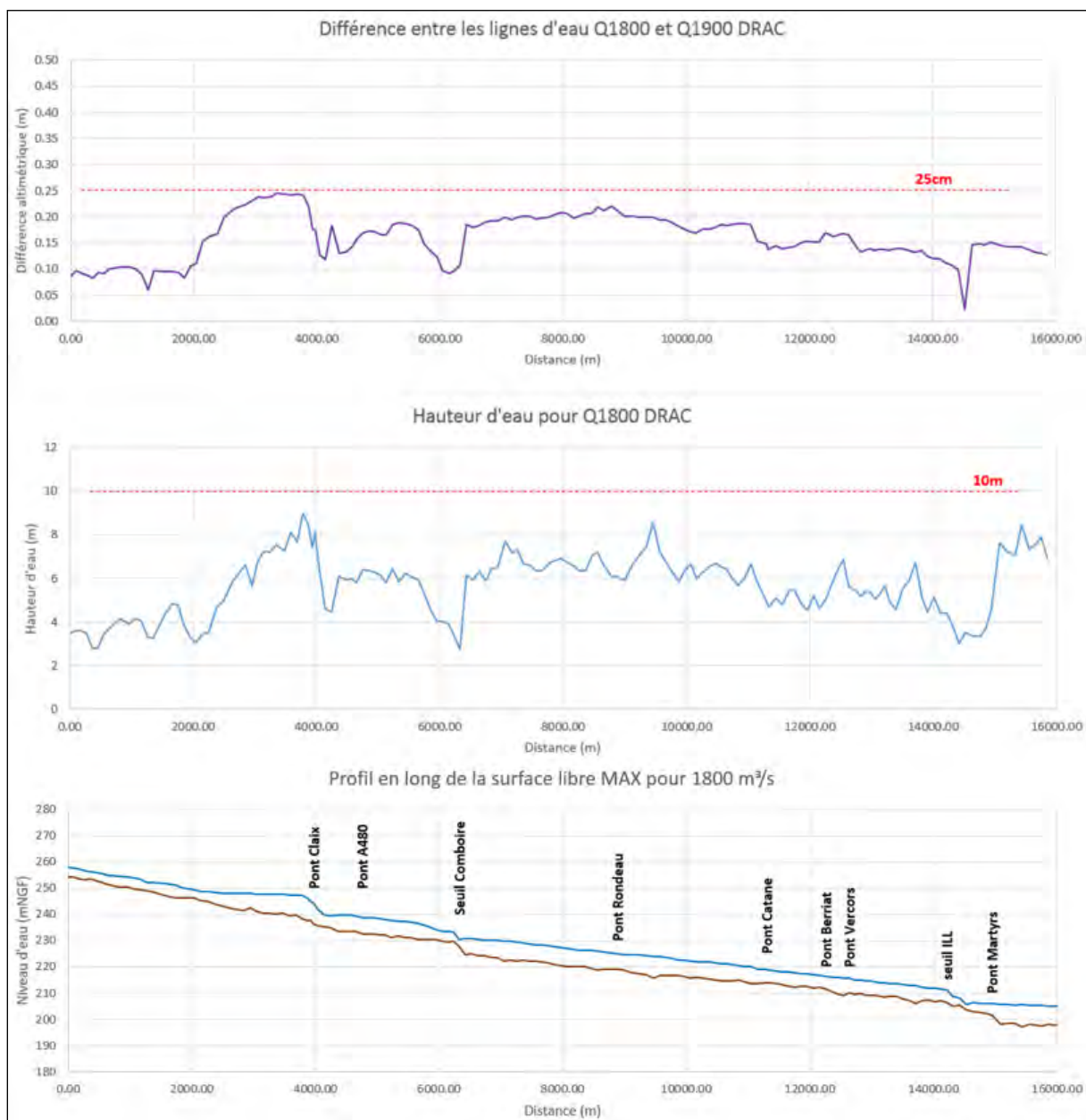


Figure 54 : Profil en long illustrant les différences de niveau pour Q1800 – Q1900 m<sup>3</sup>/s du Drac

En conclusion, l'écart moyen entre la ligne d'eau maximale pour un débit de 1900 m<sup>3</sup>/s par rapport à celle pour 1800 m<sup>3</sup>/s est de l'ordre de +15 cm, avec une valeur maximale à +25 cm.

### 5.4.1.3 Test sur les coefficients de rugosité en lit mineur

Un test de sensibilité sur le coefficient de rugosité en lit mineur a été réalisé en soustrayant arbitrairement 5 points aux valeurs retenues. La simulation pour une crue d'un débit de pointe de 1800 m<sup>3</sup>/s (sans embâcles) a donné les résultats présentés ci-dessous.

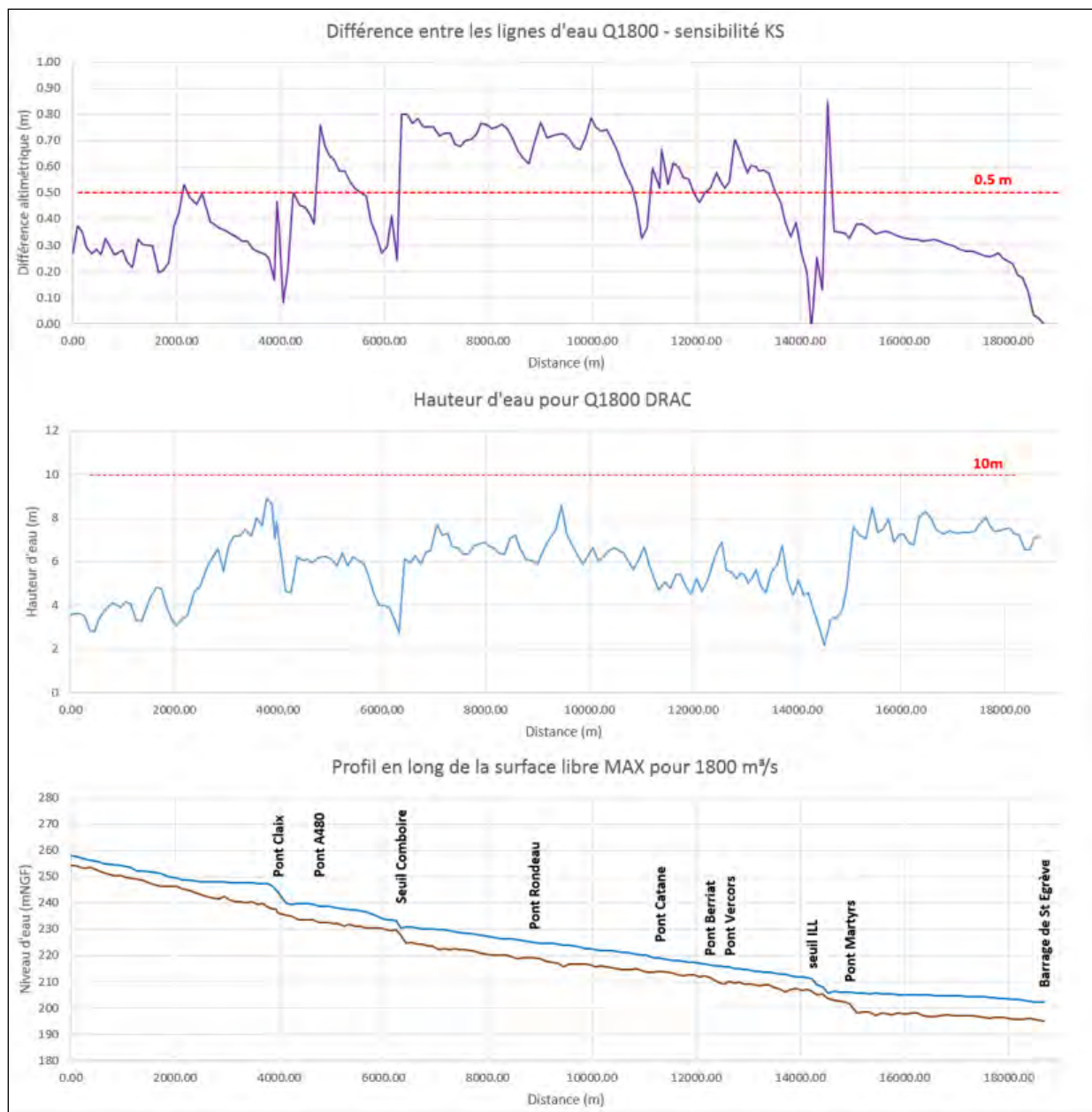



Figure 55 : Profil en long illustrant les différences de niveau pour Q1800 (sans embâcles) – sensibilité au KS





Sur ces graphes sont tracés :

- En partie haute : l'écart entre les lignes d'eau calculées pour une crue de 1800 m<sup>3</sup>/s (sans embâcles). La valeur tracée correspond à la différence entre la ligne d'eau « avec coefficient diminué de 5 points, donc plus rugueux » par rapport à la ligne d'eau calculée avec le modèle initial, en fonction de l'abscisse (en m) des profils en travers du Drac,
- Au centre : la hauteur d'eau maximale atteinte, globalement, dans l'axe de chaque profil en travers, en fonction de l'abscisse (en m) des profils en travers du Drac,
- En partie basse : le fond du lit ainsi que la ligne d'eau maximale atteinte pour une crue de 1800 m<sup>3</sup>/s (sans embâcles), dans l'axe de chaque profil en travers, en fonction de l'abscisse (en m) des profils en travers du Drac. L'implantation des ouvrages d'art permettant de se repérer est également représentée.


Les résultats de cette analyse de sensibilité montrent que **l'écart moyen entre ces deux lignes d'eau est de l'ordre de 50 cm**. Les valeurs maximales atteignent localement 80 cm. L'impact sur la ligne d'eau est donc relativement significatif.

Certains secteurs connaissent des écarts moindres, proches de zéro, par exemple lorsque la ligne d'eau est contrôlée par une loi de seuil (et ainsi moins dépendante du coefficient de rugosité).

**Cet écart moyen de 50 cm se fait sur une lame d'eau de l'ordre de 6 à 8 m.**

Au-delà de ce test de sensibilité, le choix des coefficients de rugosité retenus semble pertinent dans la mesure où :

- **La détermination des coefficients de rugosité a été faite sur la base de photographies aériennes, des reconnaissances de terrain, de la comparaison aux études antérieures et sur la base de la bibliographie en la matière.**
- **Le calage du modèle hydraulique a été réalisé pour les différentes lignes d'eau relevées par SINTEGRA lors de la campagne topographique de 2016**, pour une gamme de débits allant de 28 m<sup>3</sup>/s à 105 m<sup>3</sup>/s, qui mettent déjà en eau une bonne partie du fond du lit du Drac. Les résultats semblent satisfaisants.
- **Les lignes d'eau ont ensuite été comparées à plusieurs autres sources informations**, plus ou moins adaptées :
  - au plan d'eau du levé LIDAR (par récupération du débit horaire lors de la campagne LIDAR en mai 2013, soit pour une gamme de 160 m<sup>3</sup>/s à 200 m<sup>3</sup>/s), même si ce n'est pas un usage habituel du levé LIDAR. La comparaison des deux profils en long a montré une bonne corrélation et un écart moyen de 17 cm.
  - aux PHE de la crue de septembre 1928 et octobre 1928, correspondant respectivement à des débits de 1240 m<sup>3</sup>/s et 1528 m<sup>3</sup>/s, en amont du barrage du Saut du Moine. Cette comparaison a montré d'excellents résultats, mais la ligne d'eau est ici contrôlée par la loi de seuil sur les différents ouvrages constituant le barrage du Saut du Moine. Cette



comparaison valide donc plus la bonne représentation du barrage que le choix des coefficients de rugosité utilisés.

- o à la ligne d'eau pour une crue de type 1993 (débit de 780 m<sup>3</sup>/s) sur le fond du lit actuel présentée au paragraphe 1. La ligne d'eau calculée par le modèle est en moyenne +23 cm au-dessus des PHE, mais le fond du lit actuel est plus haut que celui de 1993.

Par un raisonnement par l'absurde :

- si les coefficients de rugosité étaient augmentés (lit moins rugueux), la ligne d'eau pour la crue de type 93 serait calée alors qu'il y a eu exhaussement du fond et le modèle serait moins bien calé pour les lignes d'eau relevées par SINTEGRA.

- si les coefficients de rugosité étaient diminués (lit plus rugueux, moins bien entretenu et avec davantage de végétation), les coefficients sortiraient de la gamme de coefficients "habituels" (valeurs rappelées précédemment, également retenues par ARTELIA) et les résultats risqueraient de s'éloigner des lignes d'eau relevées par SINTEGRA.

Dans les deux cas, le calage du modèle serait moins bon.

**En concertation avec la DDT38 et le comité scientifique, il est proposé de conserver les coefficients de rugosité proposés.**

#### 5.4.1.4 Conclusion

Le modèle est plus ou moins sensible aux différents paramètres analysés. L'influence du débit de l'Isère n'a pas d'impact vis-à-vis des objectifs de la présente étude. En ce qui concerne la valeur du débit de pointe dans la traversé de Grenoble, l'écart moyen entre la ligne d'eau maximale pour un débit de 1900 m<sup>3</sup>/s par rapport à celle pour 1800 m<sup>3</sup>/s est de l'ordre de +15 cm, avec une valeur maximale à +25 cm. Enfin, l'analyse relative à la rugosité en lit mineur montre que la sensibilité est de l'ordre de ±50 cm.



## 6 PRISE EN COMPTE DU RISQUE D'EMBÂCLES

---

### 6.1 INTRODUCTION

Afin de refléter la réalité des crues, l'impact des embâcles sur la ligne d'eau doit être étudié.

Le risque d'embâcle a donc été appréhendé sur chacun des 8 ouvrages d'art majeurs franchissant le Drac (Cf. cahier des ouvrages), à l'aide des caractéristiques suivantes :

- Tirant d'air Q100 ;
- Hauteur d'eau centennale ;
- Section libre au-dessus de la cote max Q100 ;
- Nombre de pile en lit mineur ;
- Nature de la sous poutre de l'ouvrage.

Le tableau suivant présente ces caractéristiques pour chacun des ouvrages d'art recensés.





	Pont Rouge	A480	Rondeau	Catane	Berriat	Esclangon	Vercors	Martyrs
Cote de la sous poutre (mNGF) :	249.6	240.2	229.1	224.5	218.7	221.9	218.2	209.4
Cote centennale PPRI (mNGF) sans embacle :	243.8	239.1	224.9	219.4	216.3	216.1	215.3	205.8
Tirant d'air Q100 (m):	5.8	1.1	4.1	5.1	2.4	5.8	2.9	3.6
Hauteur d'eau centennale (m) sans embacle :	7.6	6.1	5.8	6.1	4.7	4.8	4.5	4.0
Section libre (m²)	173.0	154.0	435.0	523.0	220.0	394.0	291.0	343.0
Nombre de piles en lit mineur :	0	12	2	1	2	2	4	2
Largeur moyenne d'une pile pour Z100 (m)	/	1.6	3	3.8	3	3.5	1.8	3.5
Observation sur les piles	/	Piles rondes, deux rangées de 6 alignées	Piles profilées	arrondies	arrondies, présence d'arbustes	Piles profilées	Piles rondes, deux rangées de 2 alignées	Piles profilées
Nature de la sous poutre :	Lisse	accrocheuse	Lisse	accrocheuse	accrocheuse	Lisse	accrocheuse	Lisse
Présence d'un radier ou seuil	seuil	?	?	?	radier*	radier*	radier*	?
Risque d'embacle <b>proposé</b> :	Faible	Moyen	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Largeur totale (pile + embacle) <b>proposée</b> (m)		8	9	9	10	10	10	12

**Tableau 4 : Caractéristiques des ouvrages majeurs dans le lit mineur du Drac**

\* source ADIDR

Remarque : la ligne d'eau indiquée pour chaque ouvrage est une ligne d'eau moyenne prise à l'amont immédiat des ponts.



## 6.2 MÉTHODOLOGIE

De manière générale, les ouvrages sont constitués d'un tablier horizontal. Certains ponts présentent des piles de pont en lit mineur, d'autres non.

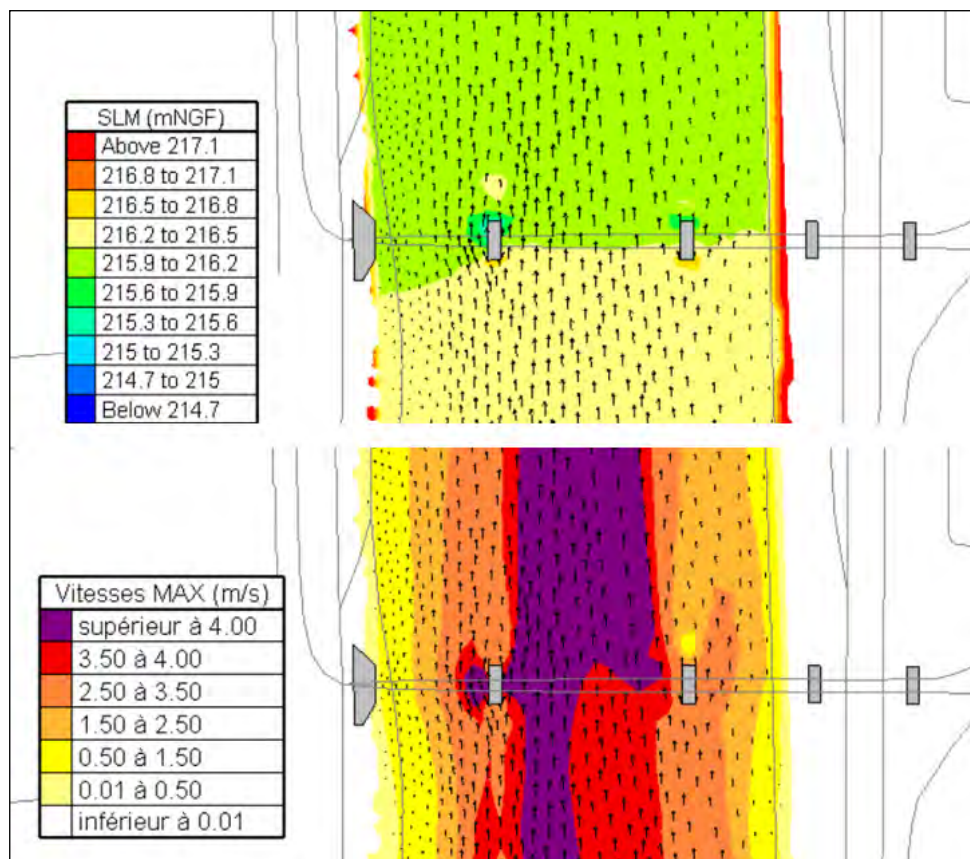
Sur la base du retour d'expérience des gestionnaires sur les crues passées, de la configuration générale des ouvrages, et du tirant d'air en crue centennale (environ égal à 3 m en moyenne), le principe est de considérer que des embâcles pourraient venir s'appuyer contre les piles des ponts lors d'une crue. L'obstacle à l'écoulement qu'engendre la simple pile de pont en fonctionnement normal serait alors plus important.

Pour chacun des ponts, une largeur des embâcles est estimée en fonction des éléments suivants :

- Photographies des embâcles sur les ponts sur la zone d'étude lors de crues passées,
- Retour d'expérience des gestionnaires,
- Configuration particulière des piles de pont (géométrie plus ou moins « accrocheuse »),
- Résultats du modèle hydraulique Q100 (hauteur d'eau, tirant d'air etc..).

La finesse du maillage en lit mineur permet de représenter les piles de ponts de manière schématique. Les piles de pont sont représentées dans le modèle comme étant des éléments insubmersibles faisant obstacle aux écoulements. Le terme schématique est employé car les piles sont représentées de manière rectangulaire (respectant la largeur et la longueur de chaque pile) afin de s'affranchir d'un trop grand nombre de nœuds de calcul qui permettrait de représenter les formes profilées des piles mais qui n'apporterait rien à la représentation globale des écoulements en crue du Drac.

La figure ci-après illustre des résultats de vitesses et de surface libre (ligne d'eau) au droit de piles de pont.



**Figure 56 : Exemple de vitesses max et surfaces libres max au droit de piles de pont**

Les piles de pont renseignées dans le modèle 2D (zone hors d'eau, non maillée) sont donc élargies dans le modèle hydraulique « avec embâcles ». Il est fait l'hypothèse simplificatrice que l'embâcle est homogène sur toute la colonne d'eau et sur une largeur donnée par rapport à la pile de pont (le retour d'expérience des gestionnaires montre que la forme de ces embâcles est plutôt celle d'un « nid de cigogne » en partie haute des piles de pont).

Méthodologie de caractérisation des embâcles au droit des piles de pont :

Il est considéré un embâcle de largeur et de hauteur constantes sur toutes les piles de pont, à savoir 14 m de largeur et 3 m de hauteur.

La hauteur d'eau en crue centennale ainsi que la largeur des piles sont également considérées afin de transposer la surface de l'embâcle d'une forme « nid de cigogne » en une forme « pavé vertical » (obstacle sur toute la hauteur de l'ouvrage) de manière à l'intégrer dans le modèle 2D (zone hors d'eau, exclue du maillage, faisant obstacle à l'écoulement).

La figure ci-après présente la méthodologie retenue de manière schématique.



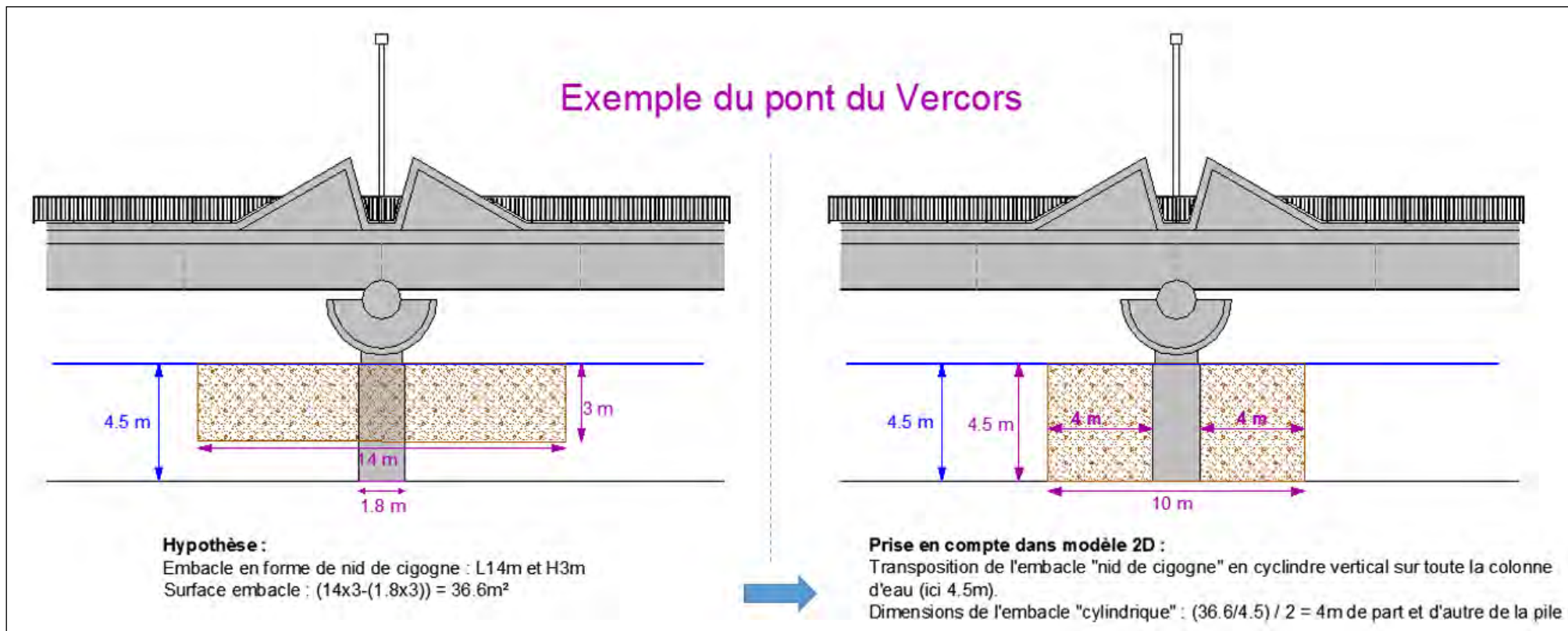


Figure 57 : Principe de prise en compte des embâcles dans le modèle 2D





	Pont Rouge	A480	Rondeau	Catane	Berriat	Esclangon	Vercors	Martyrs
Cote de la sous poutre (mNGF) :	249.6	240.2	229.1	224.5	218.7	221.9	218.2	209.4
Cote centennale PPRI (mNGF) sans embacle :	243.8	239.1	224.9	219.4	216.3	216.1	215.3	205.8
Tirant d'air Q100 (m):	5.8	1.1	4.1	5.1	2.4	5.8	2.9	3.6
Hauteur d'eau centennale (m) sans embacle :	7.6	6.1	5.8	6.1	4.7	4.8	4.5	4.0
Section libre (m <sup>2</sup> )	173.0	154.0	435.0	523.0	220.0	394.0	291.0	343.0
Nombre de piles en lit mineur :	0	12	2	1	2	2	4	2
Largeur moyenne d'une pile pour Z100 (m)	/	1.6	3	3.8	3	3.5	1.8	3.5
Observation sur les piles	/	Piles rondes, deux rangées de 6 alignées	Piles profilées	arrondies	arrondies, présence d'arbuste	Piles profilées	Piles rondes, deux rangées de 2 alignées	Piles profilées
Nature de la sous poutre :	Lisse	accrocheuse	Lisse	accrocheuse	accrocheuse	Lisse	accrocheuse	Lisse
Présence d'un radier ou seuil	seuil	?	?	?	radier*	radier*	radier*	?
Risque d'embacle <b>proposé</b> :	Faible	Moyen	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Largeur totale (pile + embacle) <b>proposée</b> (m)		8	9	9	10	10	10	12

\* source ADIDR

Détail du calcul de la prise en compte de l'embacle

								paramètres constants
Largeur nid cigogne (m)		14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
Hauteur nid cigogne (m)		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Surface embacle (m <sup>2</sup> ) (LxH - pile)		37.2	33.0	30.6	33.0	31.5	36.6	31.5
Largeur embacle de part et d'autre de la pile(m)		3.1	2.9	2.5	3.5	3.3	4.1	4.0
Largeur totale (pile + embacle) (m)		7.7	8.7	8.8	10.0	10.1	9.9	11.4
Largeur totale (pile + embacle) <b>proposée</b> (m)		<b>8</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>12</b>

Tableau 5 : Estimation et proposition de largeur totale (pile + embâcle) au droit de chacun des ponts

La figure ci-dessous illustre le maillage « sans embâcles » et « avec embâcles ».

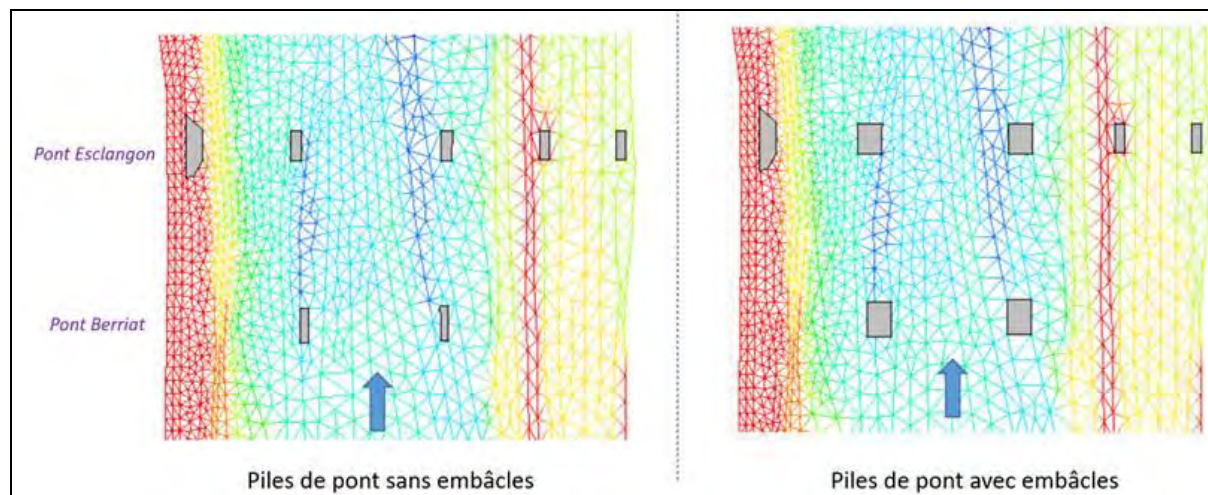


Figure 58 : Illustration du maillage avec et sans embâcles

La largeur totale (pile + embâcles) estimée sur toutes les piles de pont est comprise entre 8 m (A480) et 12 m (Martyrs).

La ligne d'eau Q100 dans la configuration « avec embâcles » devient alors la ligne d'eau de référence pour les scénarios de rupture de digues présentés au § 9.

Le tableau ci-dessous illustre l'impact de la prise en compte des embâcles sur la ligne d'eau moyenne en amont immédiat des ouvrages :

	Cote de la sous poutre (mNGF) :	Cote centennale PPRI (mNGF) sans embacle :	Tirant d'air Q100 sans embacle (m):	Cote centennale PPRI (mNGF) avec embacle :	Tirant d'air Q100 avec embacle (m):	Impact des embacles sur la ligne d'eau
PONT ROUGE	249.6	243.8	5.8	243.8	5.8	/
A480	240.2	239.1	1.1	239.6	0.6	+ 0.5 m
Rondeau	229.1	224.9	4.1	225.4	3.7	+ 0.5 m
Catane	224.5	219.4	5.1	219.8	4.7	+ 0.4 m
Berriat	218.7	216.3	2.4	217.3	1.4	+ 1.0 m
Esclangon	221.9	216.1	5.8	216.6	5.3	+ 0.5 m
Vercors	218.2	215.3	2.9	215.9	2.3	+ 0.6 m
Martyrs	209.4	205.8	3.6	206.1	3.3	+ 0.3 m

Tableau 6 : Impact moyen des embâcles sur la ligne d'eau au droit des ouvrages

Remarque : la ligne d'eau indiquée pour chaque ouvrage est une ligne d'eau moyenne prise à l'amont immédiat des ponts. L'impact annoncé est donc l'impact maximal à l'amont immédiat de l'ouvrage. Cet exhaussement de ligne d'eau s'estompe progressivement vers l'amont (Cf. Figure 69 et Figure 70).



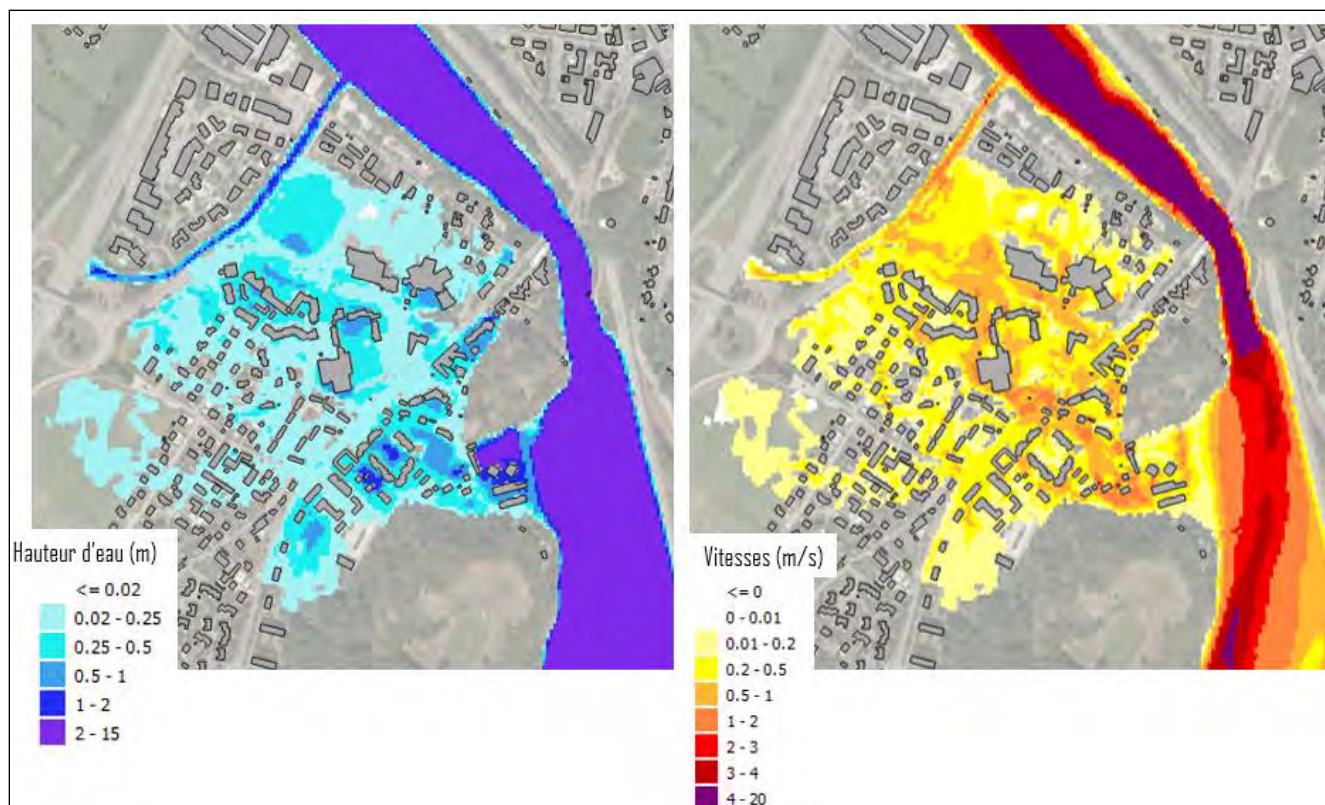
## 7 RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS AVEC TENUE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

### 7.1 RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS « SANS EMBÂCLES »

L'objectif de ce chapitre est de présenter les cartographies des hauteurs d'eau maximales et des vitesses maximales atteintes pour la crue Q100 modélisée « sans embâcles ».

L'annexe 3 de ce rapport présente les cotes maximales atteintes au centre du lit, au droit des profils en travers ADIDR, pour ce scénario de crue Q100 modélisée « sans embâcles ».

Aucune surverse n'est identifiée par-dessus les digues du Drac, excepté au droit de la digue de Ridelet sur la commune de Claix. À ce niveau, le Drac surverse par-dessus la digue, avec une hauteur de surverse moyenne d'environ 50 cm. La durée de surverse est d'environ 6h et le débit maximal qui transite par la zone déversante est d'environ 38 m<sup>3</sup>/s. La cartographie ci-dessous présente un zoom sur l'emprise de la zone inondée ainsi que les hauteurs d'eau maximales atteintes pendant la simulation.



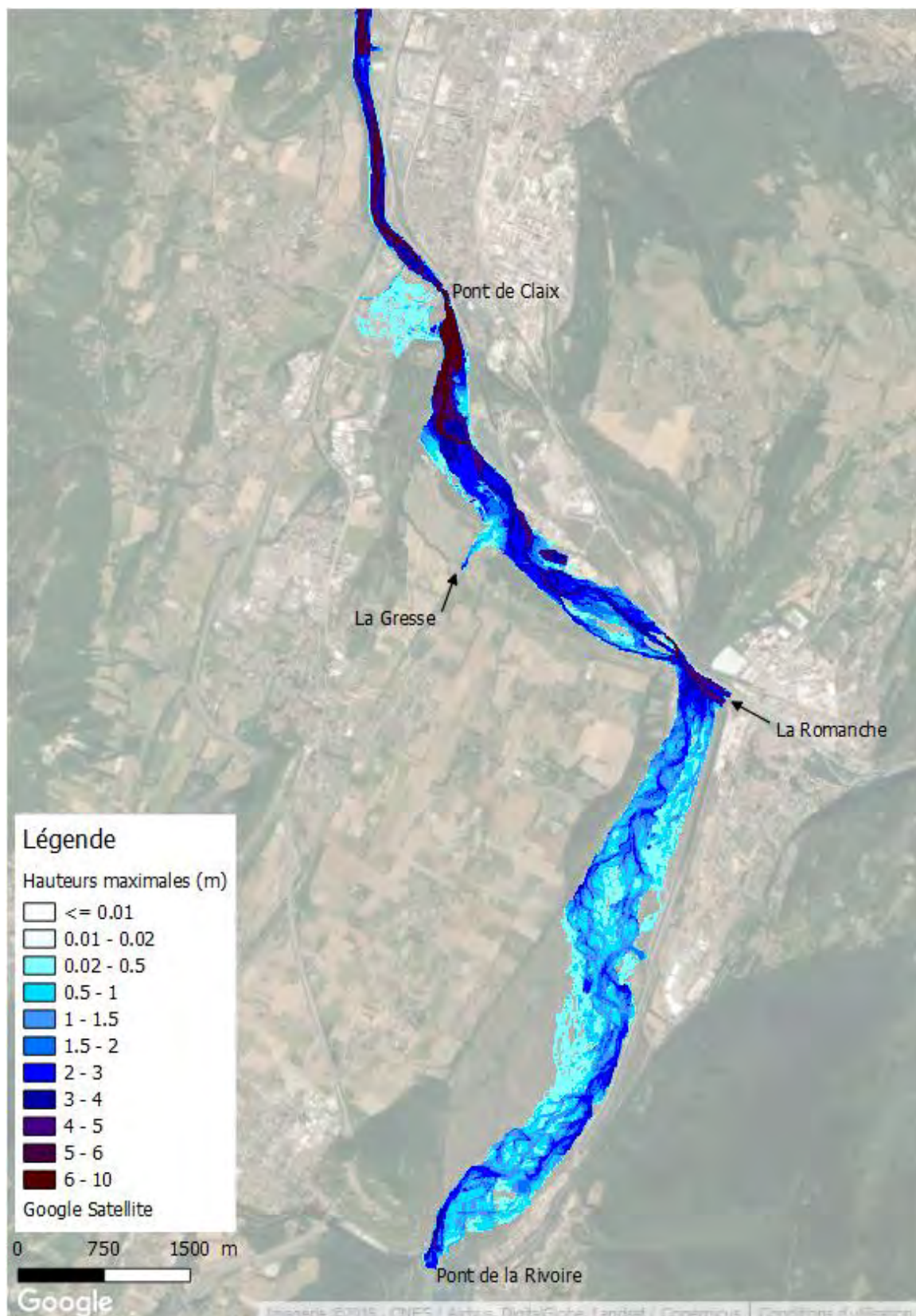


Figure 60 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q100 sans embâcles – Part1/2



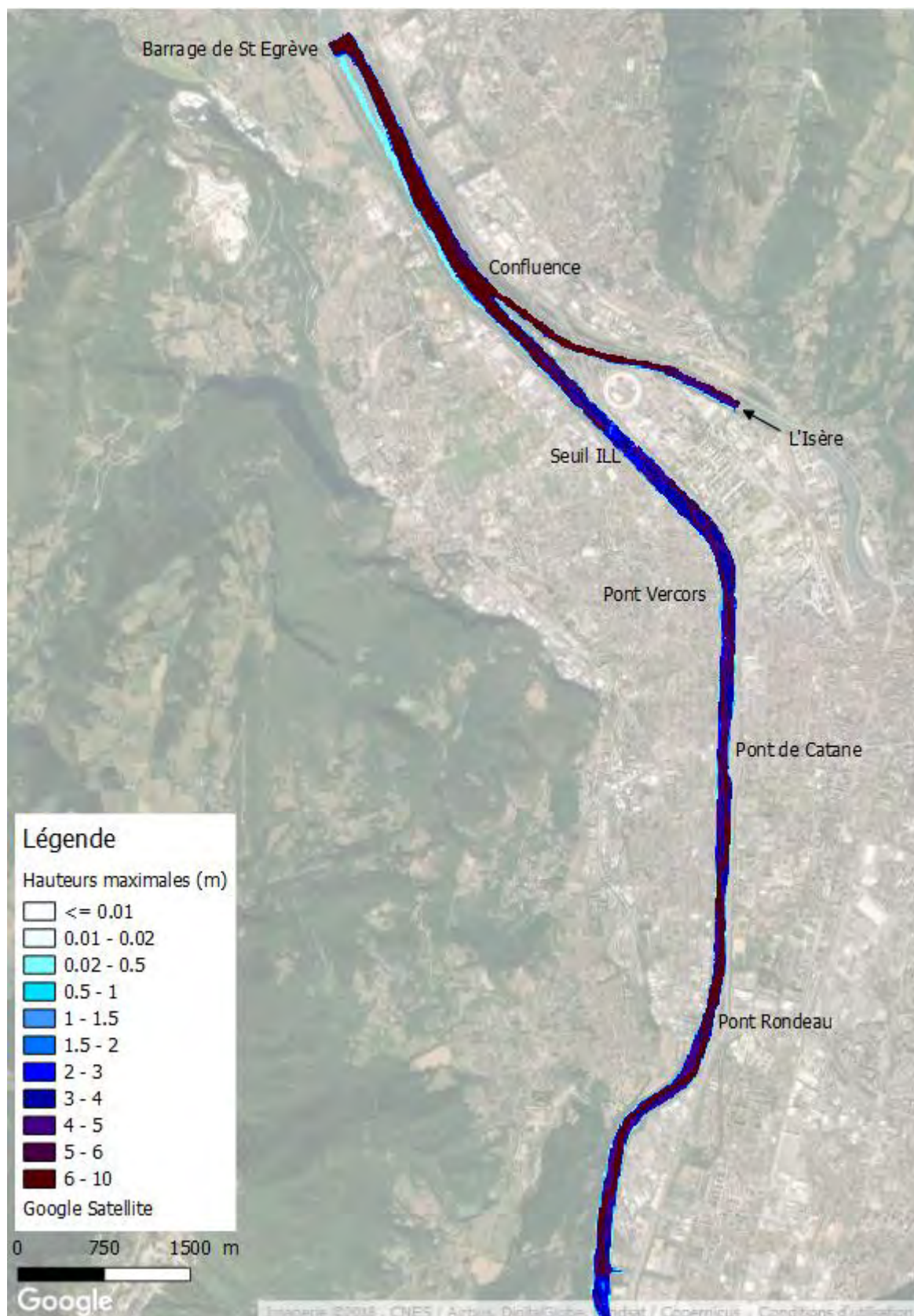


Figure 61 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q100 sans embâcles – Part2/2



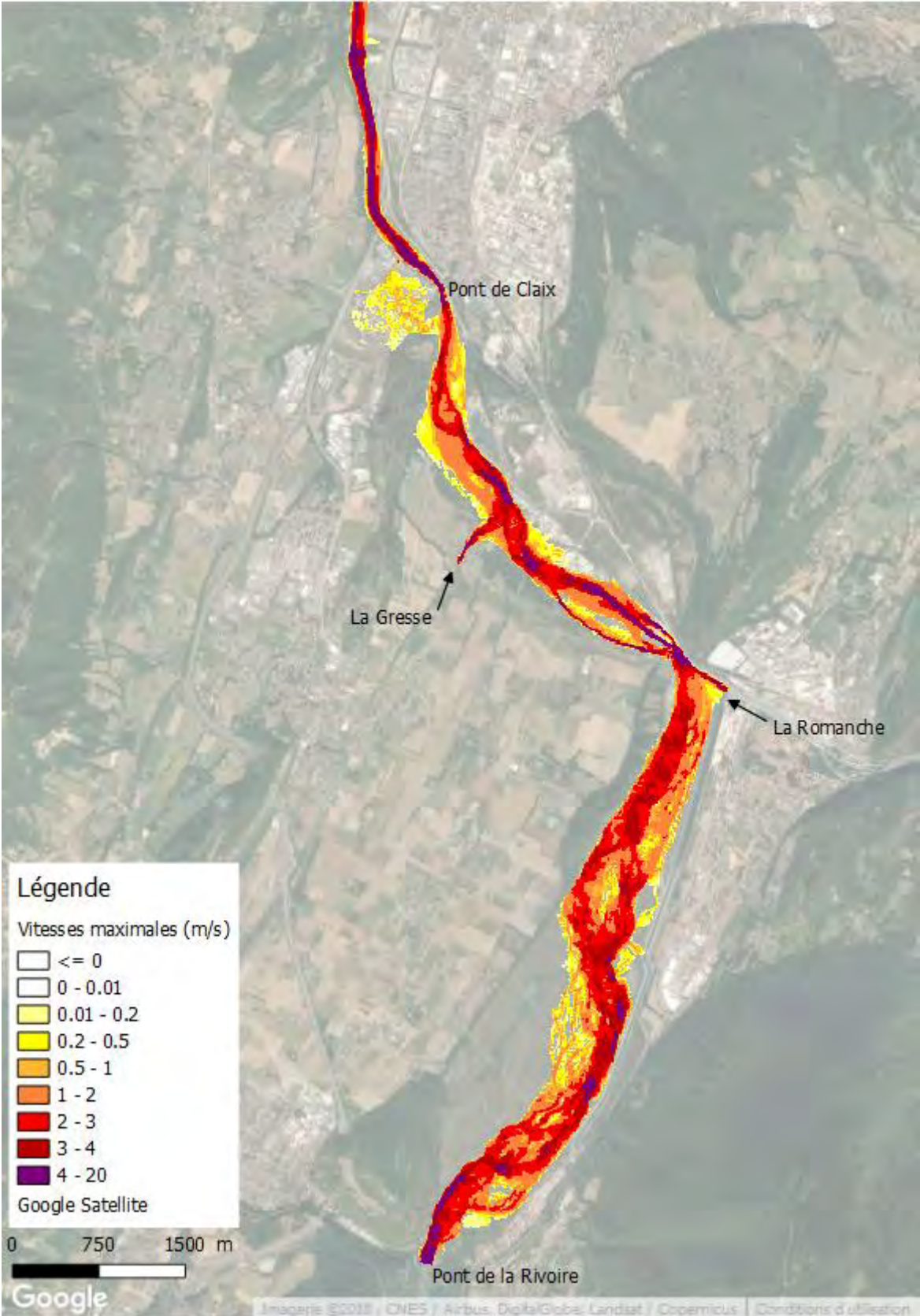


Figure 62 : Cartographie des vitesses maximales – Q100 sans embâcles - Part1/2

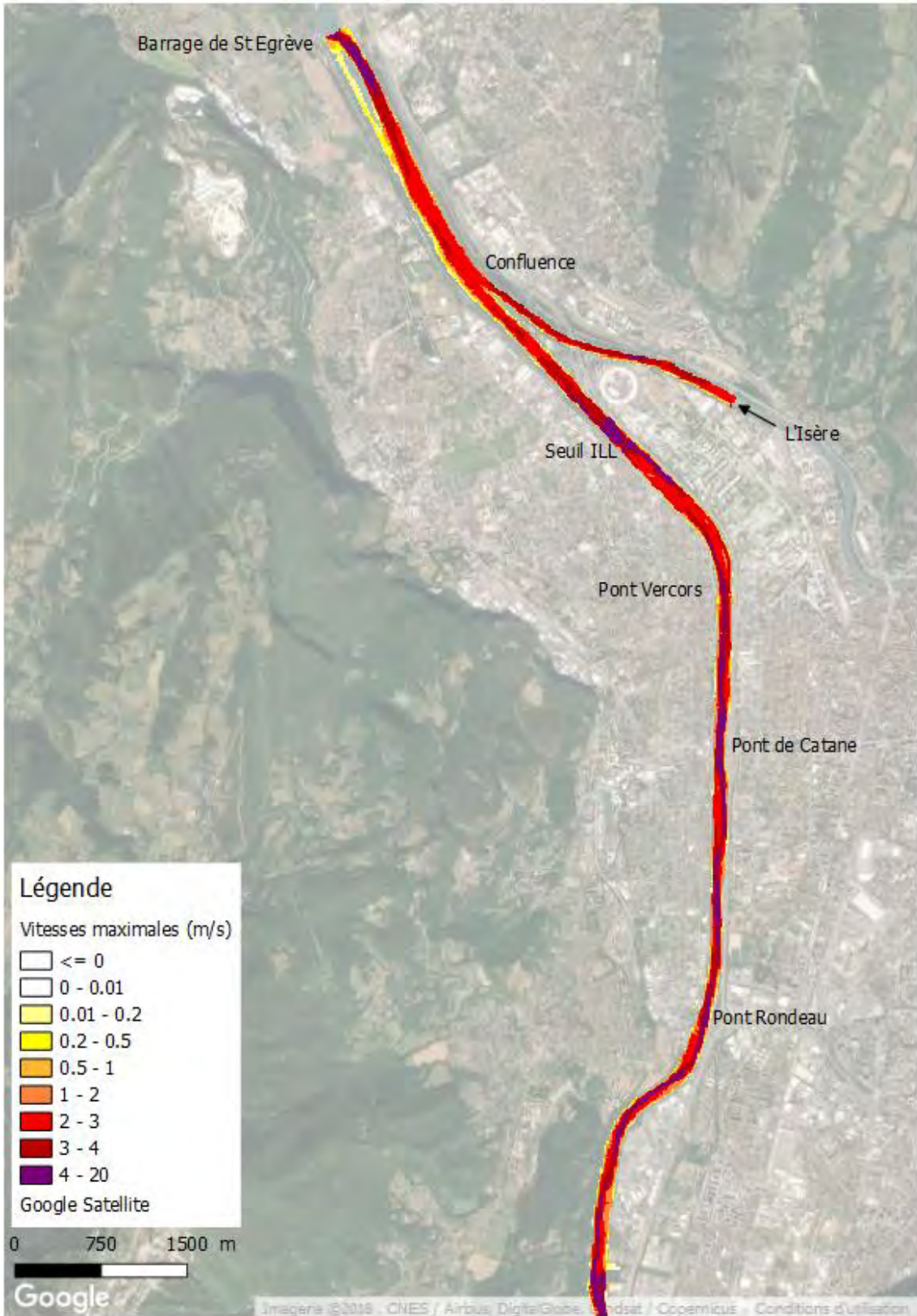


Figure 63 : Cartographie des vitesses maximales – Q100 sans embâcles – Part2/2



## 7.2 RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS « AVEC EMBÂCLES »

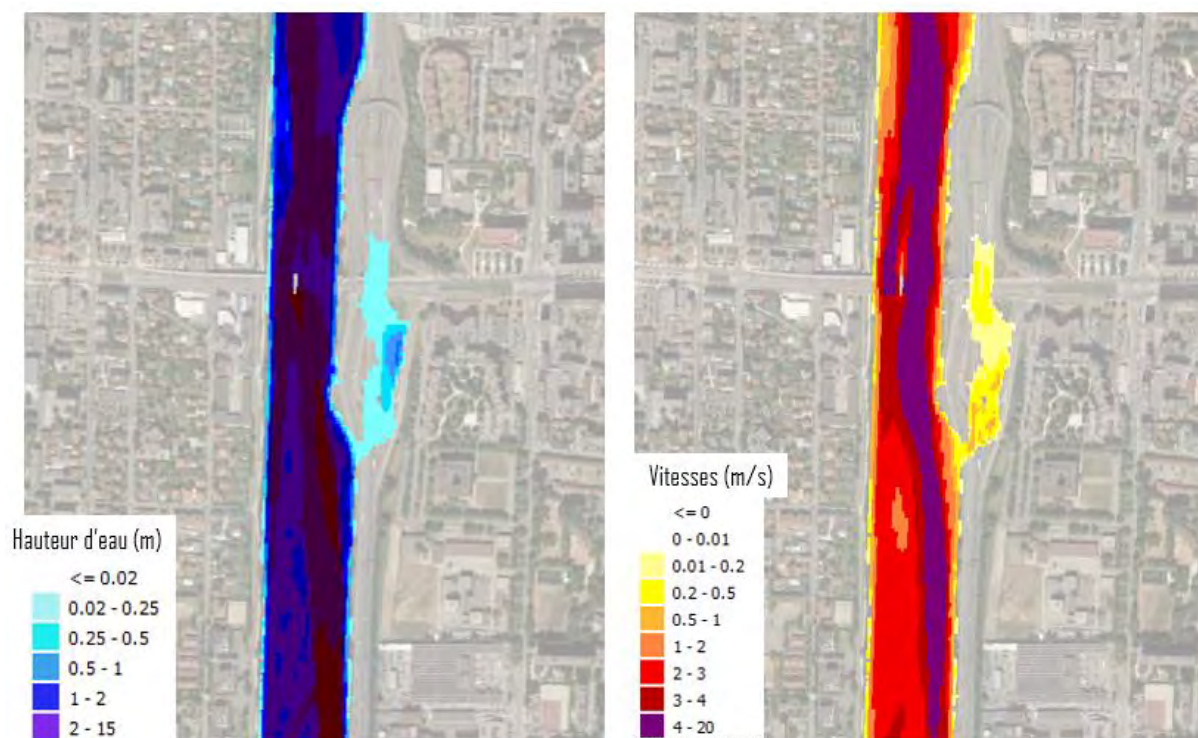
L'objectif de ce chapitre est de présenter les cartographies des hauteurs d'eau maximales et des vitesses maximales atteintes pour la crue Q100 modélisée « avec embâcles ».

L'annexe 3 de ce rapport présente les cotes maximales atteintes au centre du lit, au droit des profils en travers ADIDR, pour ce scénario de crue Q100 modélisée « avec embâcles ».

Deux zones de surverse par-dessus les digues du Drac sont identifiées dans cette hypothèse : au droit de Ridelet (inondation du quartier Pont Rouge à Claix) et au droit de l'échangeur Catane (débordement localisé). Une zone inondable est également identifiée à Champ-sur-Drac par refoulement du canal EDF (se référer au chapitre 9.3.1.1.1.2. - Figure 93).

La zone au droit de Ridelet reste inchangée par rapport au scénario « sans embâcle ». En effet, le Pont Rouge ne présente pas de criticité aux embâcles. De plus, l'influence de la ligne d'eau liée à des potentiels embâcles au niveau du pont de l'A480 ne remonte pas jusqu'au secteur de Ridelet (présence du seuil intercalé entre les deux secteurs, qui déconnecte hydrauliquement l'amont de l'aval).

Une légère surverse apparaît au point bas de la digue en amont de l'échangeur du pont de Catane, à l'aval immédiat du profil P108. La hauteur de surverse maximale est d'environ 15 cm et le débit maximum qui transite vers l'A480 au droit de la zone déversante est d'environ 0.8 m<sup>3</sup>/s. La surverse intervient au moment du pic de crue et pendant environ 2h. Les eaux de débordement restent contenues sur l'A480 au niveau du point bas comme l'illustre la figure ci-après.





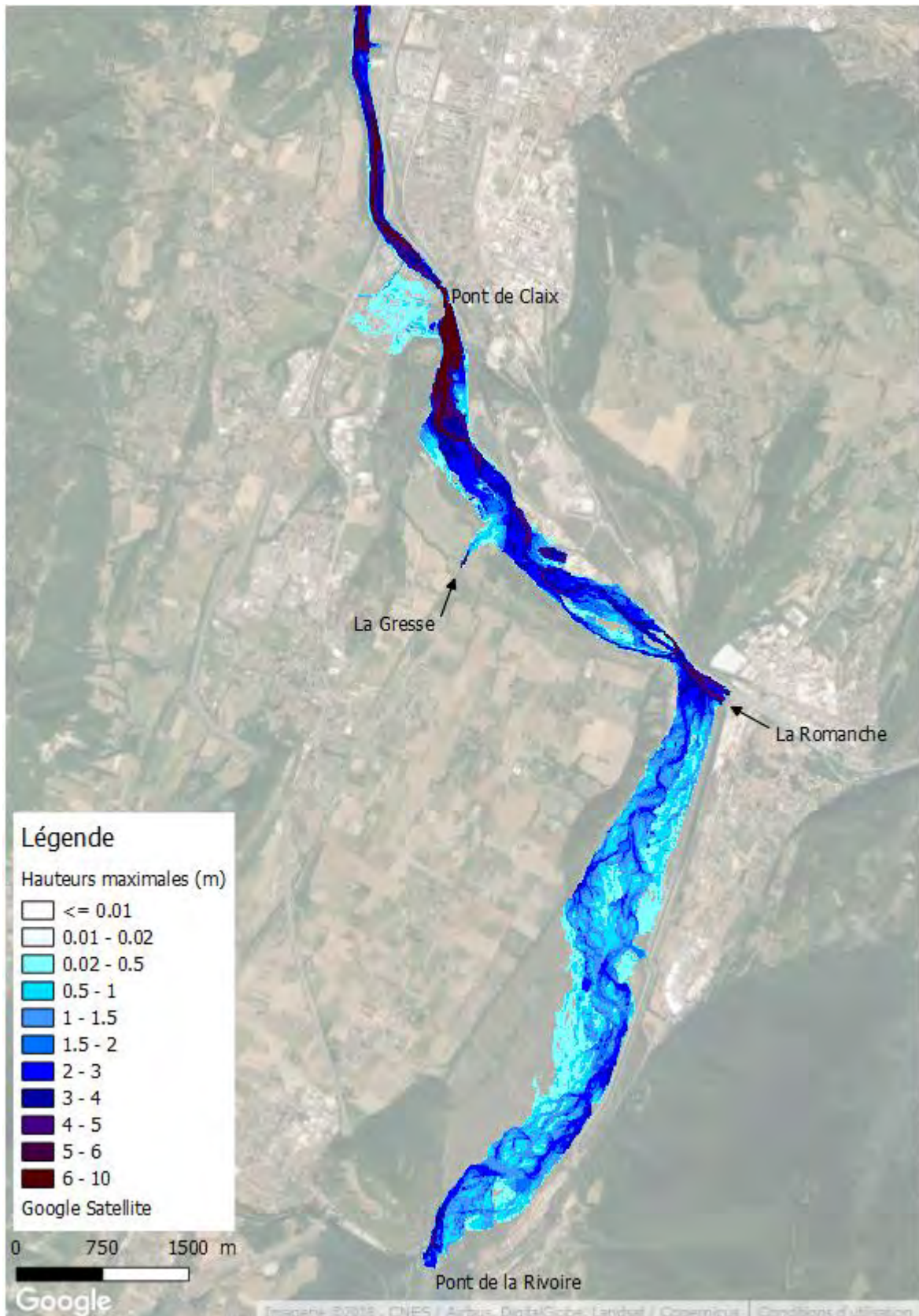


Figure 65 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q100 avec embâcles - Part1/2

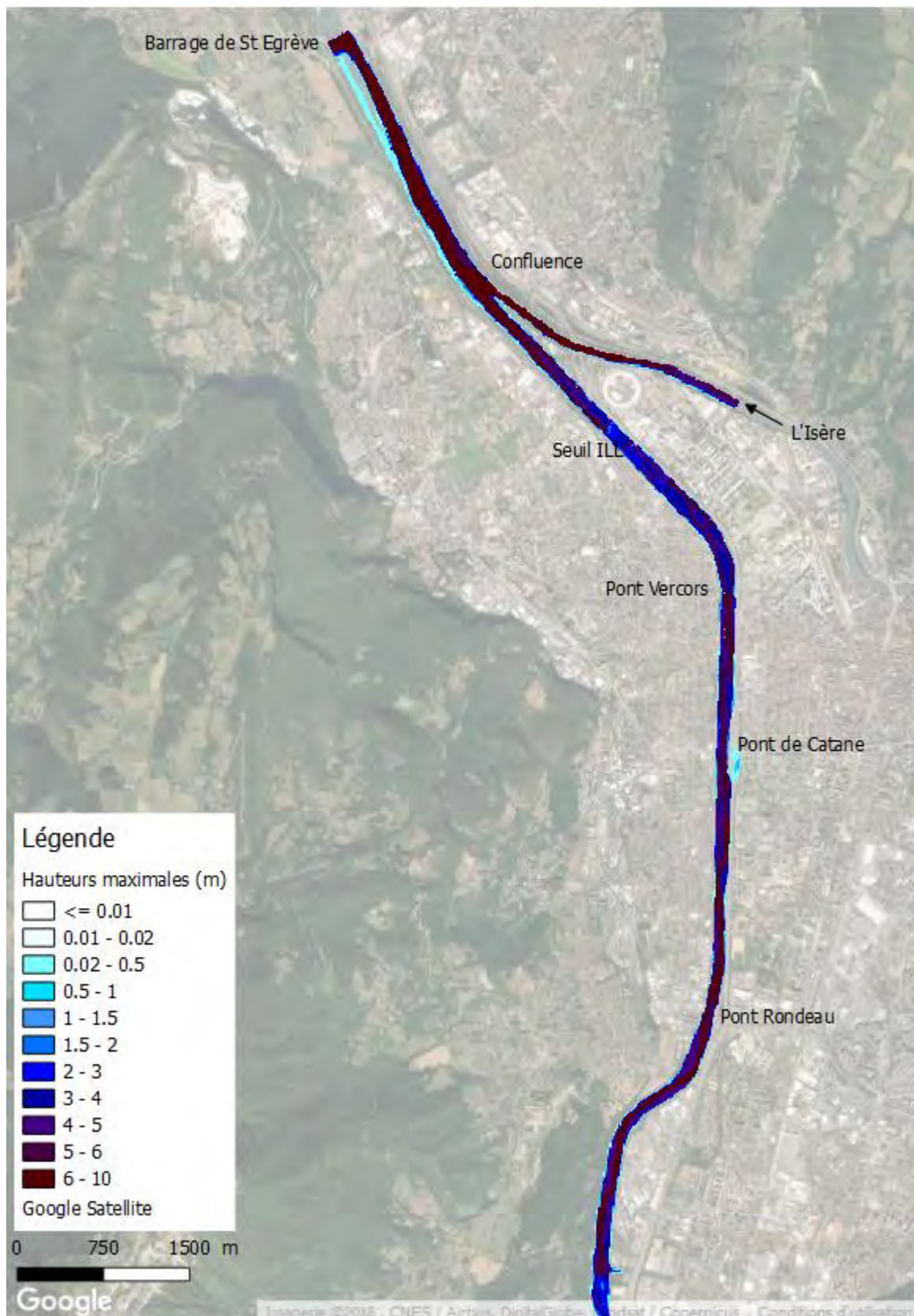


Figure 66 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q100 avec embâcles – Part2/2



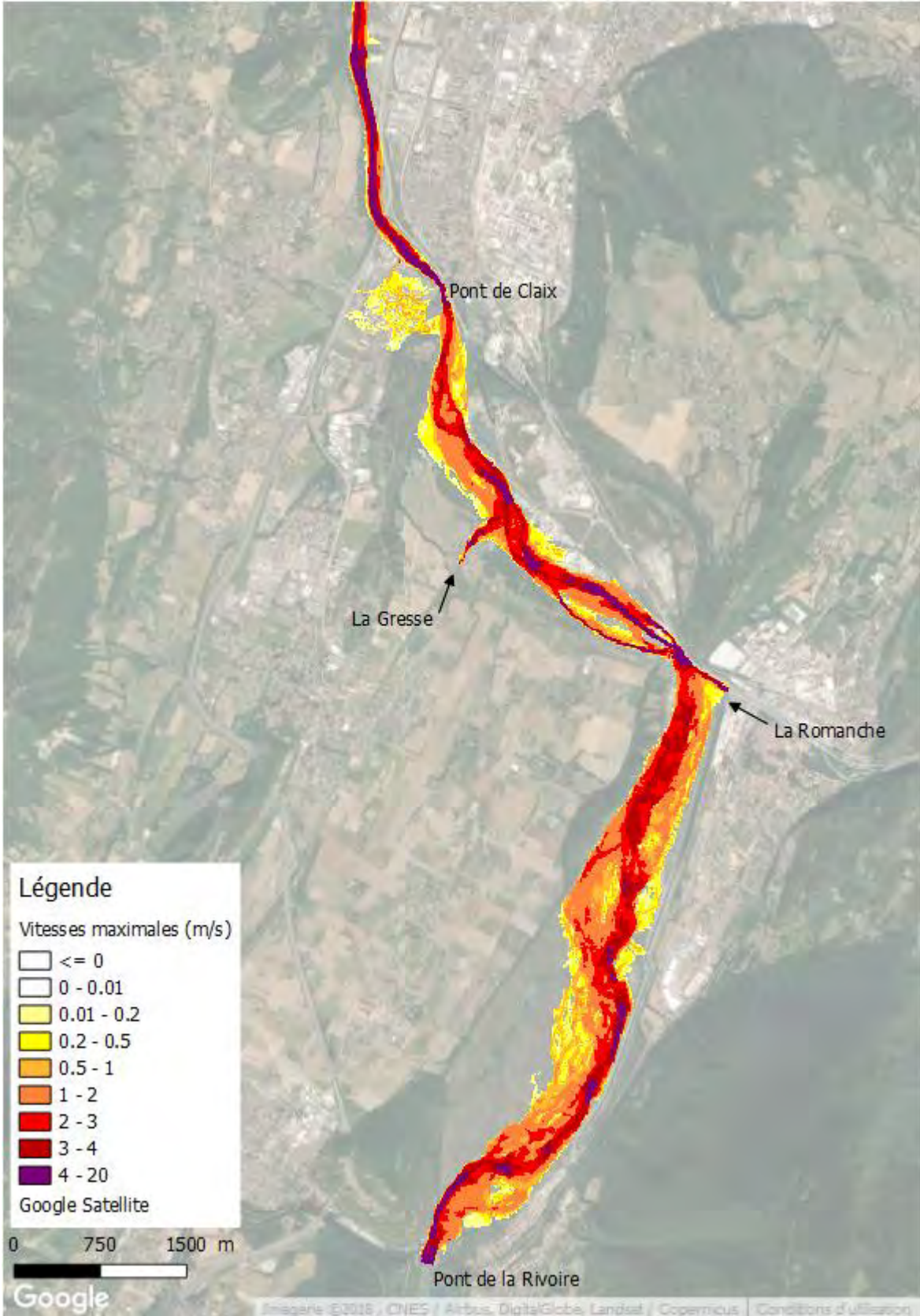


Figure 67 : Cartographie des vitesses maximales – Q100 avec embâcles - Part1/2



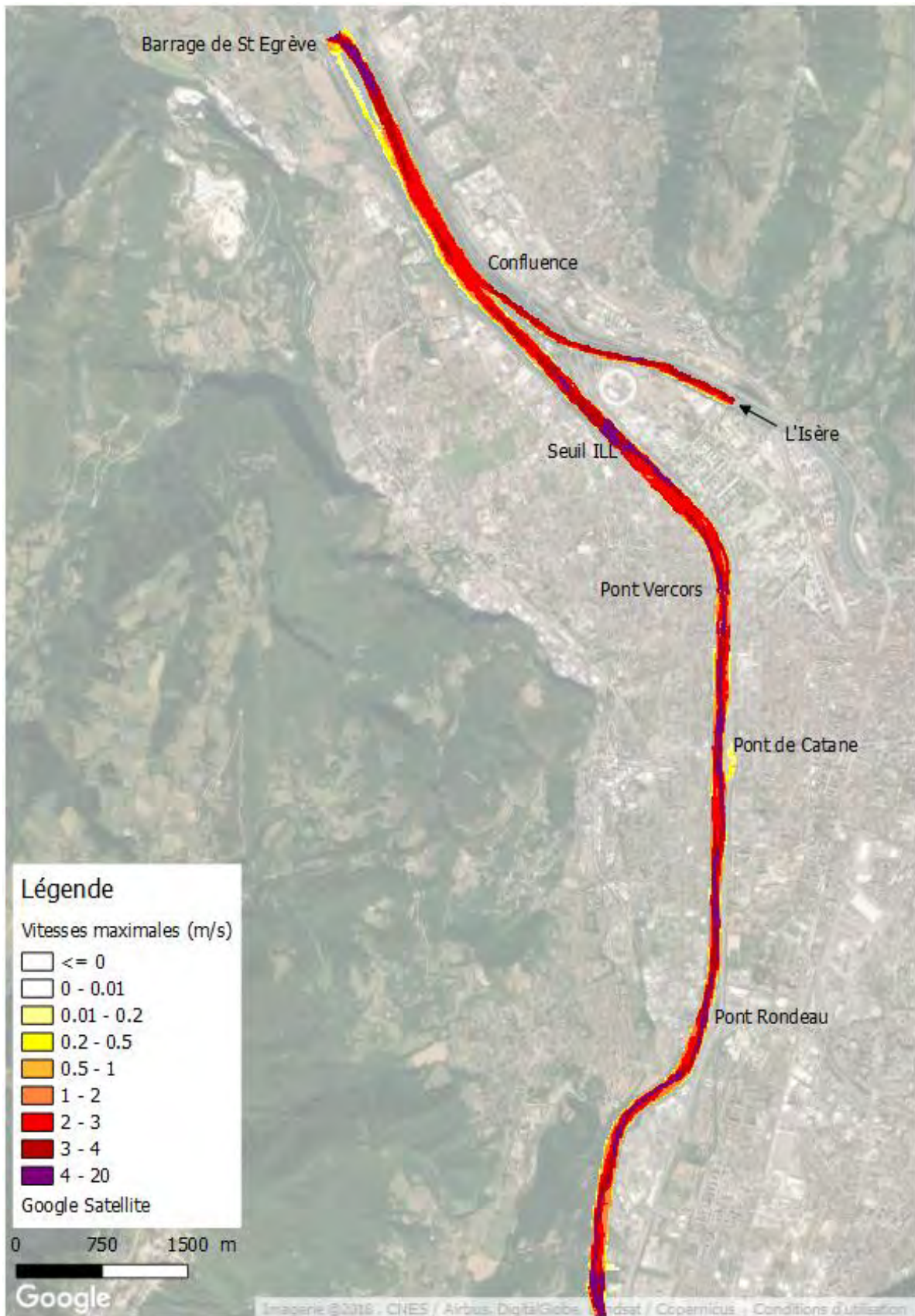


Figure 68 : Cartographie des vitesses maximales – Q100 avec embâcles – Part2/2

Les figures ci-après présentent un profil en long de la ligne d'eau pour les scénarios « sans embâcles » et « avec embâcles » afin d'apprécier l'impact des embâcles sur le linéaire étudié.

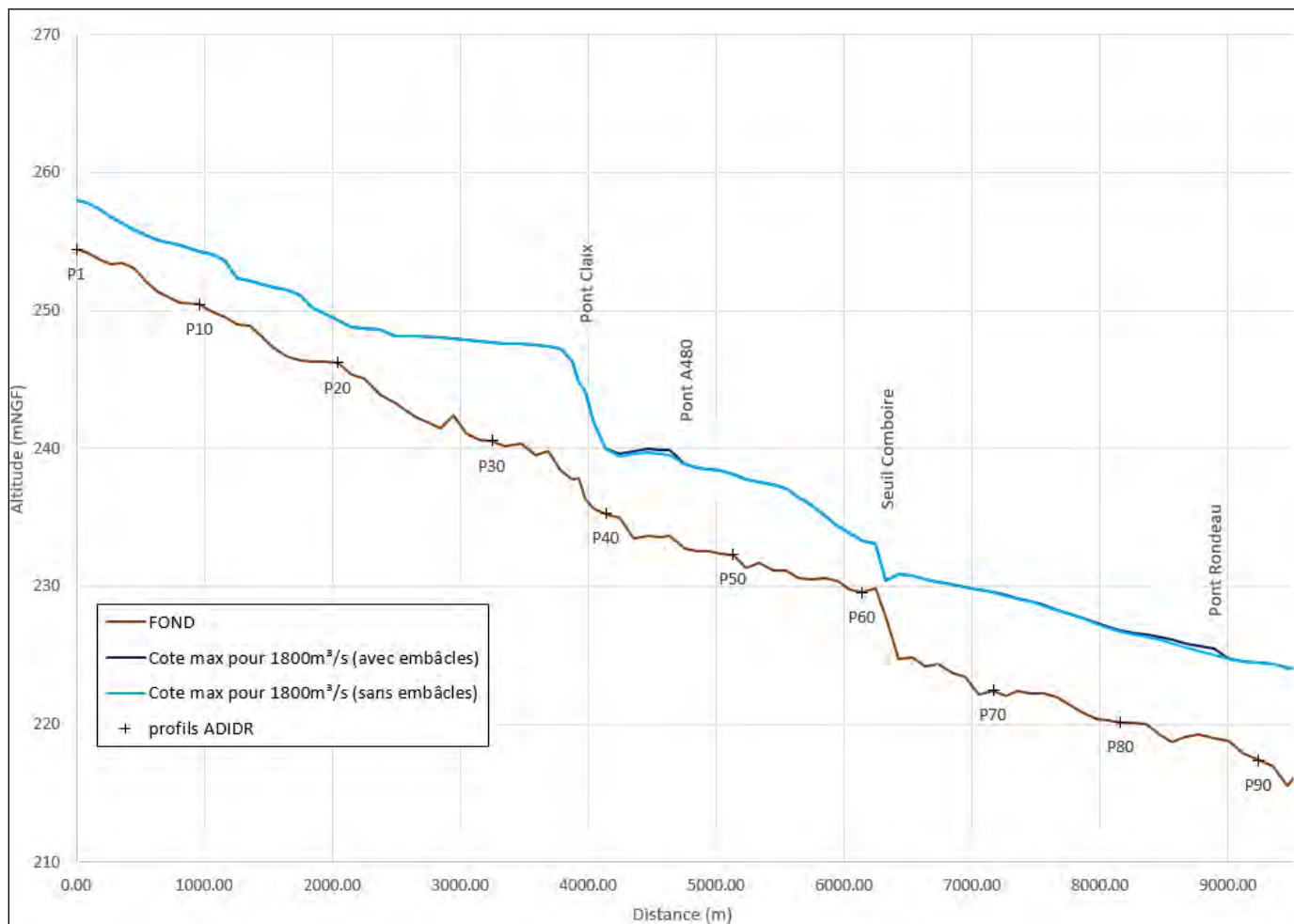


Figure 69 : Profil en long de la ligne d'eau - 1800 m³/s avec et sans embâcles - Part1/2

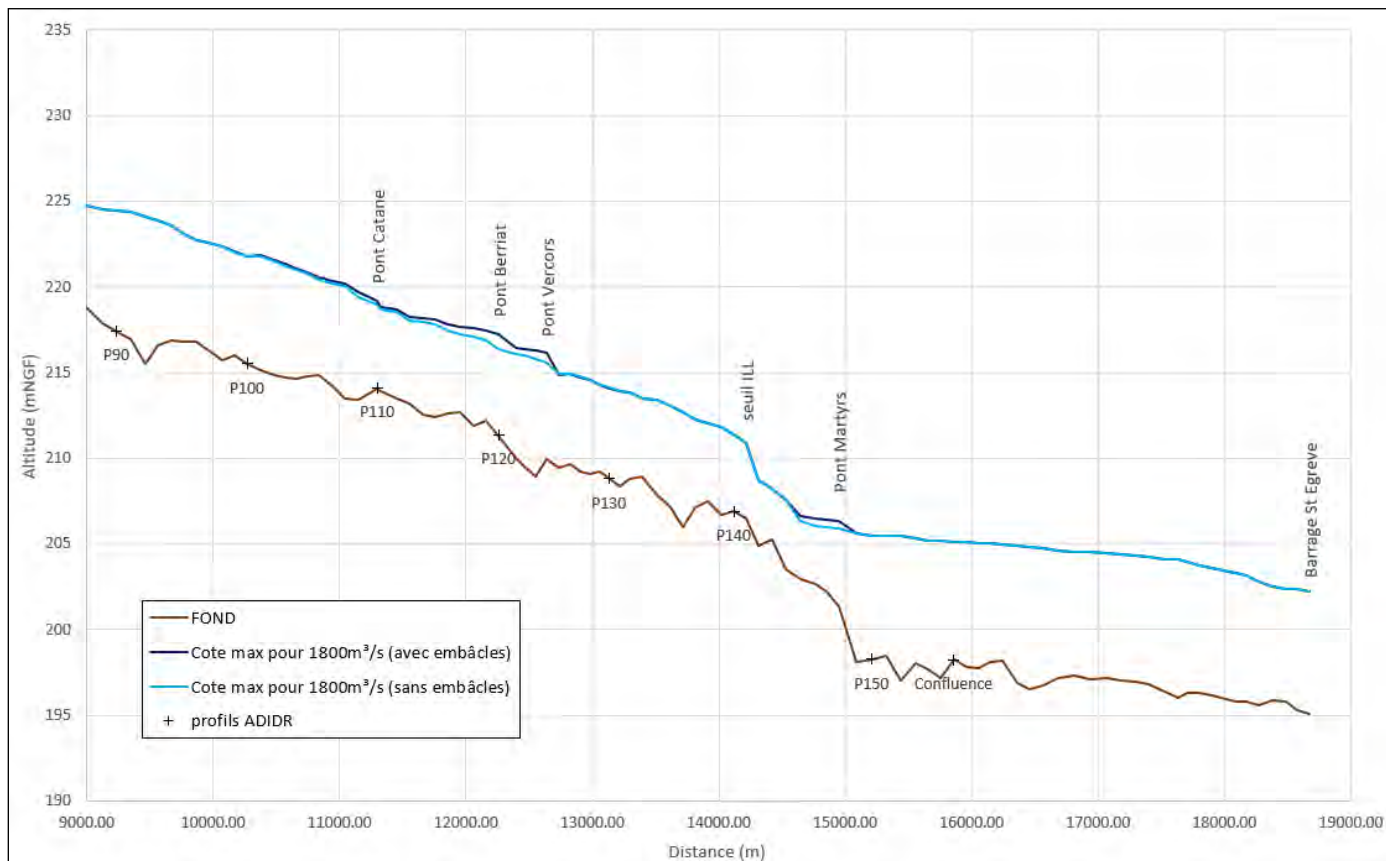


Figure 70 : Profil en long de la ligne d'eau – 1800 m<sup>3</sup>/s avec et sans embâcles – Part2/2

En conclusion, l'impact des embâcles sur la ligne d'eau est relativement localisé sur des tronçons de quelques centaines de mètres en amont des ponts concernés.



## 8 MISE À JOUR DU MODÈLE HYDRAULIQUE POSTÉRIEURE AU PAC 2018

Postérieurement au porté à connaissance de 2018, le modèle lit majeur rive droite a été adapté de manière à intégrer les évolutions dans les secteurs de la Presqu'île et de Bouchayer-Viallet.

INNOVIA réalise le réaménagement et la transformation de la ZAC de la Presqu'île, sur la commune de Grenoble. Le plan ci-dessous synthétise le planning des différentes opérations réalisées récemment ainsi que celles projetées à moyen terme.

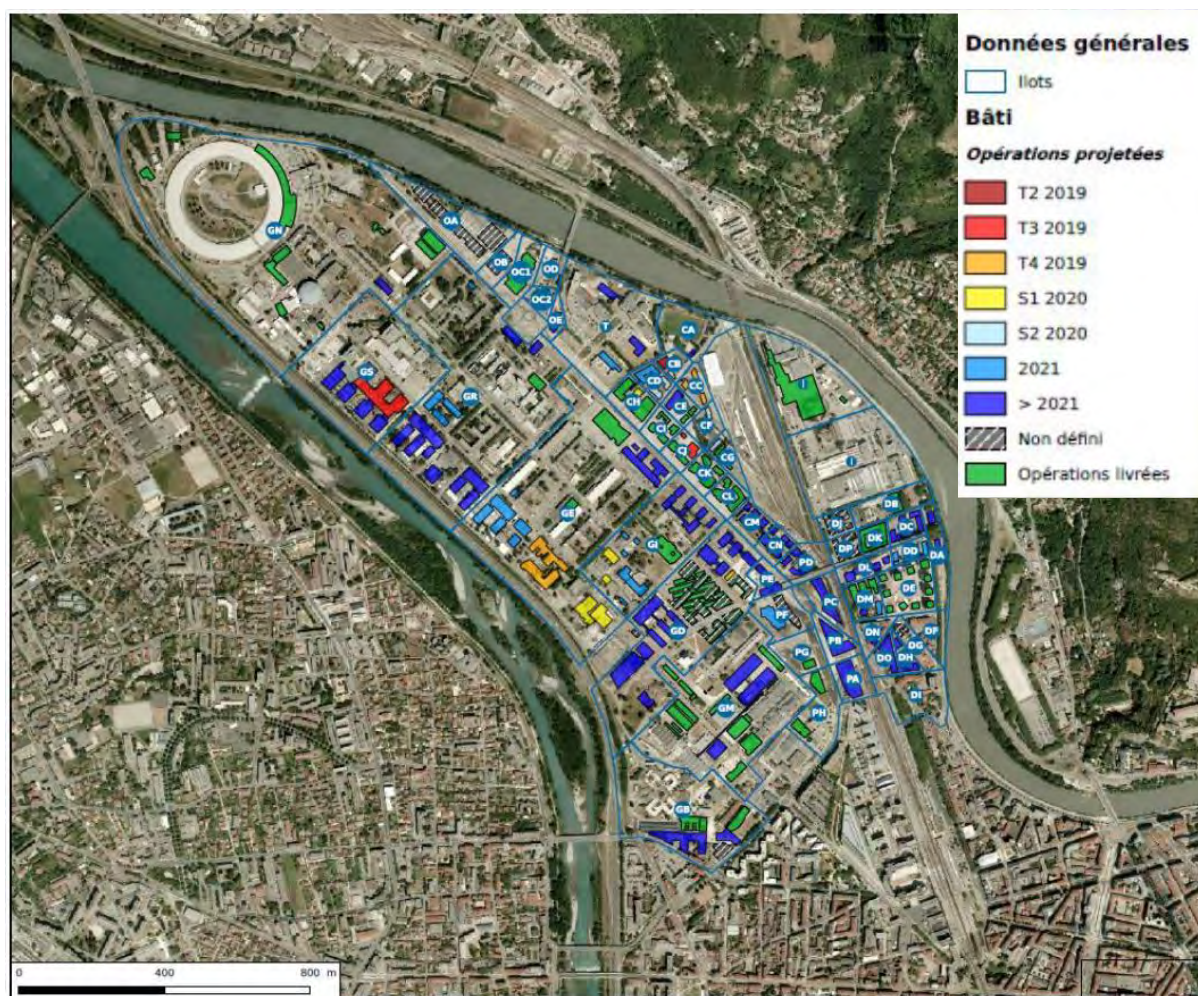


Figure 71 : Plan des aménagements de la zone Presqu'île

Le quartier est en pleine mutation comme le montre le plan présenté ci-avant. Par rapport à l'état initial du PPRI (datant de 2013 au niveau du cadastre et de la topographie utilisée), le secteur a évolué en termes d'implantation des bâtiments, de calage altimétrique de certaines voiries et des terrains alentours.



## 8.1 OBJECTIFS DE LA MISE À JOUR

L'objectif est d'intégrer toutes les modifications topographiques recensées depuis 2013 dans ces deux secteurs, en intégrant également l'évolution de l'urbanisation sur la période 2013-2019.

Les modifications intégrées à la zone de la Presqu'île sont :

- Les opérations livrées et les destructions réalisées jusqu'à fin 2018 ;
- Les opérations dont les travaux sont en cours et celles dont le permis de construire est accepté.

Les nouveaux bâtiments pris en compte sont donc les suivants : CB1-CB2, CC1-CC2-CC3, CD1-CD2-CD3-CD4, CF1, CG1, CJ3-CJ5, CH3, PF1-PF2, OA-OB, CEA 41.26, GB3, GD7-GD9, GE4, GI4-GI5.

En outre, certains bâtiments ont été démolis ou modifiés via des extensions. C'est notamment le cas des bâtiments 41.20, 41.22, 41.25, ou encore de deux bâtiments existants sur le secteur GR et d'un bâtiment existant sur le secteur GE.

Les cartographies ci-dessous précisent les bâtiments intégrés et ceux supprimés :

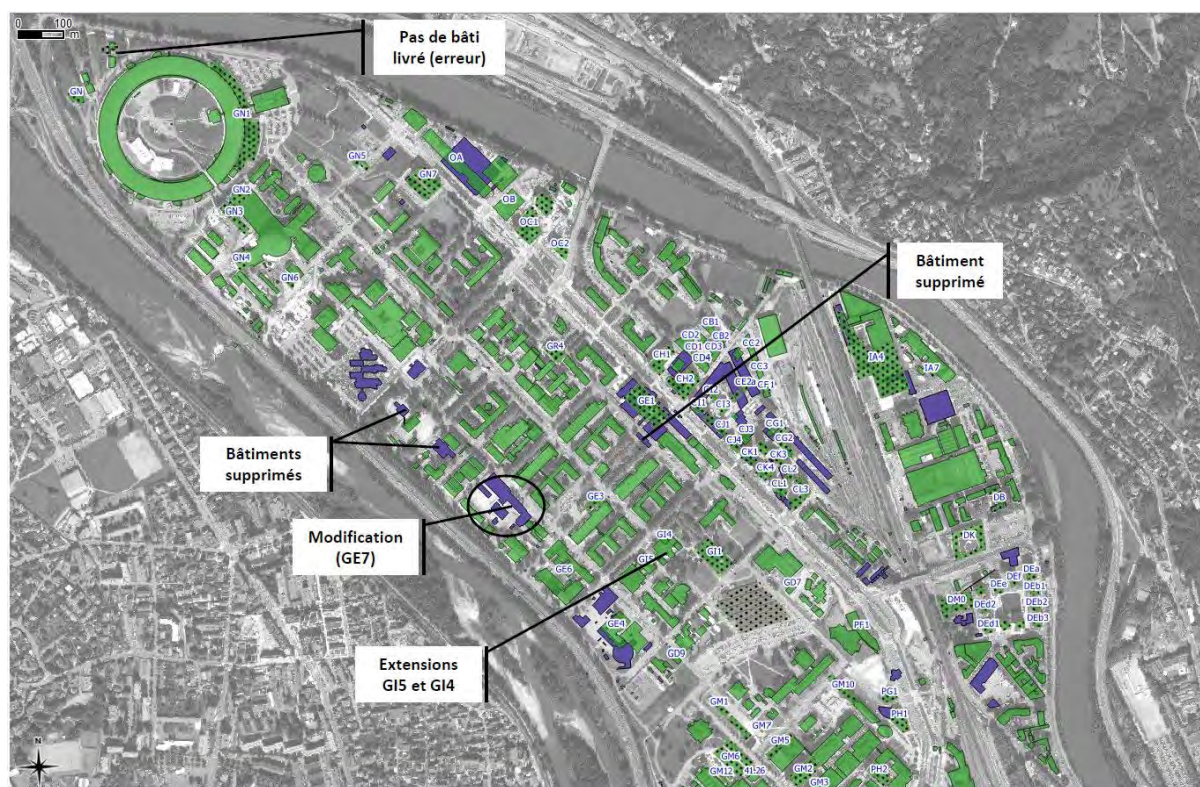
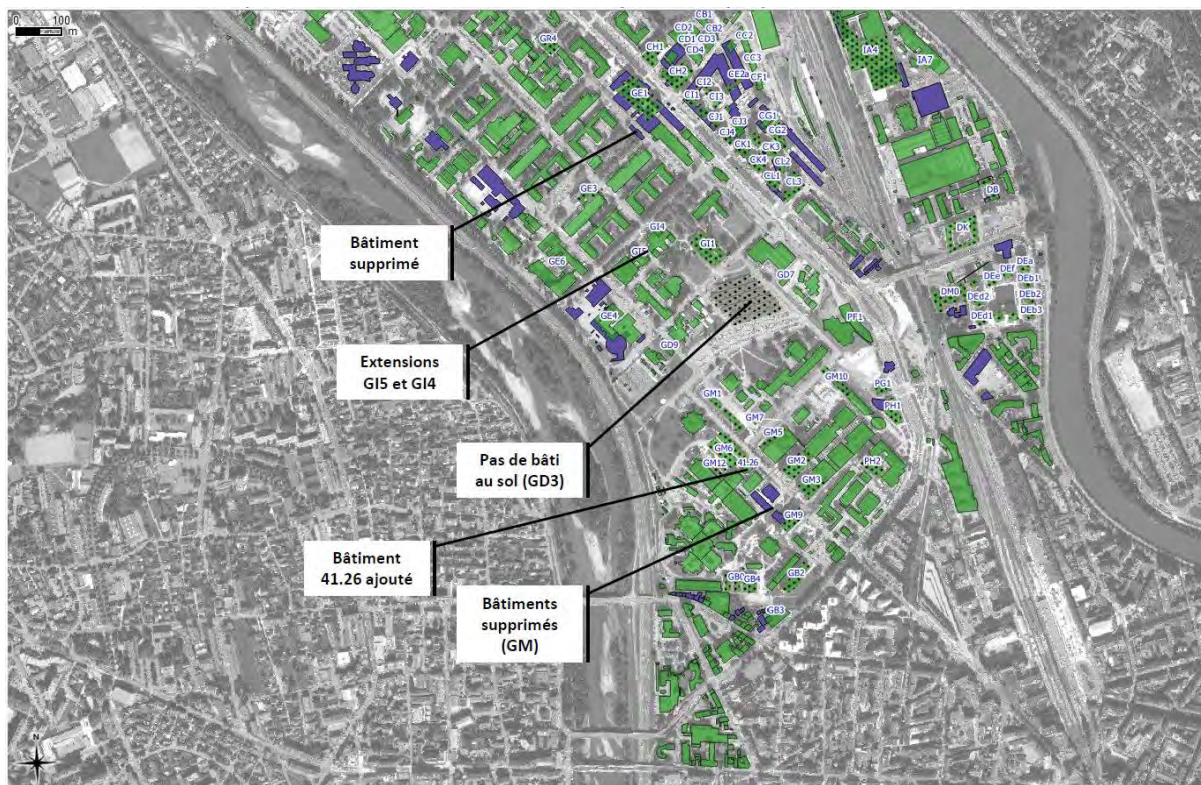


Figure 72 : Modifications apportées au modèle (partie Nord)



**Figure 73 : Modifications apportées au modèle (partie Sud)**

La topographie du secteur a ainsi été mise à jour au niveau des zones de projet aménagées. Ainsi, la topographie mise à jour par rapport à l'état initial du PPRI ne couvre que certains secteurs (à proximité des projets réalisés sur la période récente et des nouvelles voiries), et n'est pas générale sur toute la ZAC. Dans les zones n'ayant pas évolué depuis la réalisation du modèle initial du PPRI ou pour lesquelles des données topographiques récentes ne sont pas disponibles, la représentation topographique à partir des données du LIDAR de 2013 a été conservée.

L'évolution de l'occupation du sol est également intégrée au modèle hydraulique, en conservant la même table de valeur (coefficient de rugosité) que celle utilisée initialement.



Par ailleurs, les bâtiments réalisés sur la zone Bouchayer-Viallet (**F2, G2, D1, remblai transitoire sur D2**, cf. image ci-dessous) ont également été intégrés à la reprise du modèle hydraulique.



Figure 74 : Modifications apportées au secteur Bouchayer-Viallet

## 8.2 ÉLÉMENTS MIS À JOUR

L'emprise de la zone du modèle mise à jour est de 217.7 ha, répartie entre :

- 3.1 ha pour la zone Bouchayer-Viallet ;
- 214.6 ha pour la zone Presqu'île.

Les limites amont et aval du modèle sont conservées à l'identiques. Seuls certains secteurs (listés ci-dessus) du lit majeur sont mis à jour. La figure ci-dessous présente les emprises mises à jour :



Figure 75 : Emprises des mises à jour du modèle





## 8.2.1 MODÈLE LIT MINEUR

Le modèle lit mineur n'est pas concerné par les modifications liées à la mise à jour de la zone de la Presqu'île. Le lit mineur retenu est strictement identique à celui modélisé initialement dans le PPRI.

## 8.2.2 MODÈLES LIT MAJEUR

Le modèle lit majeur - rive droite est adapté de manière à intégrer les aménagements ayant eu lieu sur le secteur de la Presqu'île entre 2013 et 2019, comme indiqué précédemment.

### 8.2.2.1 Traitement topographique

Dans les secteurs récemment aménagés, les nouveaux levés topographiques disponibles ont été utilisés en priorité par rapport aux données LIDAR. Ces levés ont été réalisés principalement par le cabinet de géomètres Agate, et possèdent une précision spatiale et altimétrique de +/-5 cm. Le LIDAR n'est utilisé que pour compléter les zones non couvertes par ces nouveaux levés. A titre de comparaison, la précision du MNT LIDAR levé en mai 2013 est de +/- 50cm en planimétrie et de +/- 20cm en altimétrie.

En dehors de ces zones, la topographie du lit majeur est donc issue des dalles LIDAR utilisées dans le modèle PPRI initial.

Les axes routiers peuvent constituer des axes d'écoulement importants et prioritaires. A l'aide de la BD TOPO et des plans DWG des différents îlots, les axes principaux mais également les voiries entre les bâtiments sont identifiées et traitées à l'aide du LIDAR, ou des points topographiques, comme étant des lignes de contrainte.

Dans les zones dites « plates », sans discontinuités topographiques majeures, les points XYZ bruts (issus du LIDAR ou des plans topographiques, selon les secteurs) sont renseignés dans le modèle.

La cartographie ci-dessous présente les zones où de nouveaux points topographiques sont disponibles. Les autres zones sont couvertes par le LIDAR.



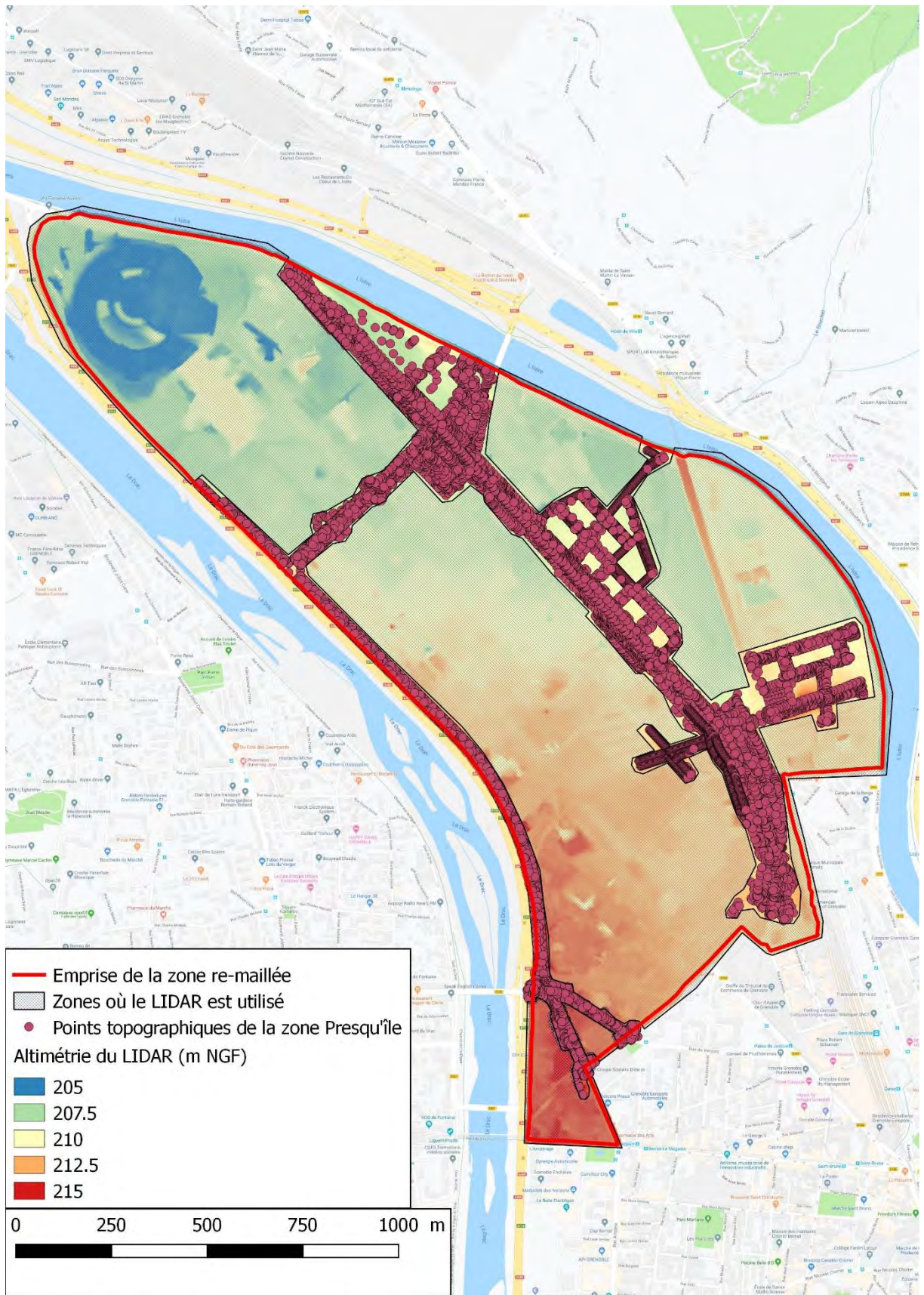


Figure 76 : Points issus de plans topographiques



La carte ci-dessous présente les différences de nivellement entre l'état mis à jour en 2019 et l'état initial PPRI. La grande majorité des évolutions topographiques sont des évolutions à la hausse (surélévation du terrain).

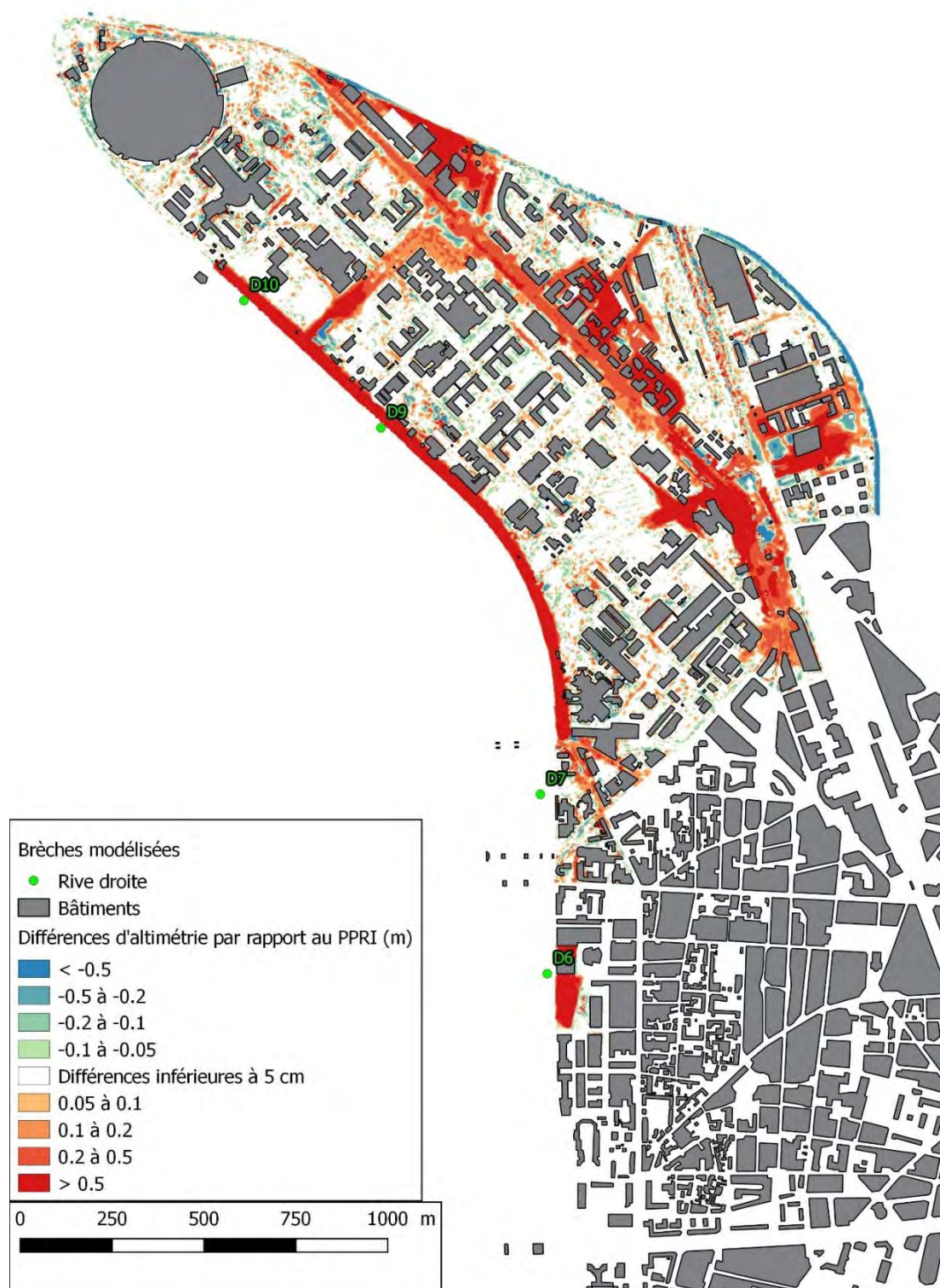


Figure 77 : Différences d'altimétrie dans la zone de la Presqu'île- Etat 2019 / Etat initial PPRI



### 8.2.2.2 Traitement du bâti

La source de données retenue pour intégrer les bâtiments au modèle du PPRI est la BD TOPO® 2016 de l'IGN (basée sur les données d'octobre 2014). Ces données étant obsolètes pour une grande partie de la zone de la Presqu'île, de nouvelles données regroupant l'état du bâti à l'horizon du premier semestre 2020 a été récupérée pour être intégrée au modèle. Ces nouvelles données sont issues du SIG partagé de la ZAC Presqu'île mis en place par la SEM InnoVia et alimenté par l'architecte en chef 2Portzamparc.

Les bâtiments sont intégrés au modèle en tant qu'obstacles aux écoulements (hors d'eau).

Les hypothèses d'intégration des bâtiments sont identiques à celles retenues initialement.

### 8.2.3 MODÈLE DE RUGOSITÉ

#### 8.2.3.1 Lit mineur

Les valeurs retenues dans le modèle mis à jour sont strictement identiques à celle issues du modèle initial.

#### 8.2.3.2 Lit majeur

Les cartographies ci-dessous présentent les zones où la rugosité a été mise à jour. Partout ailleurs, le coefficient de Strickler est conservé égal à celui retenu dans le modèle initial.



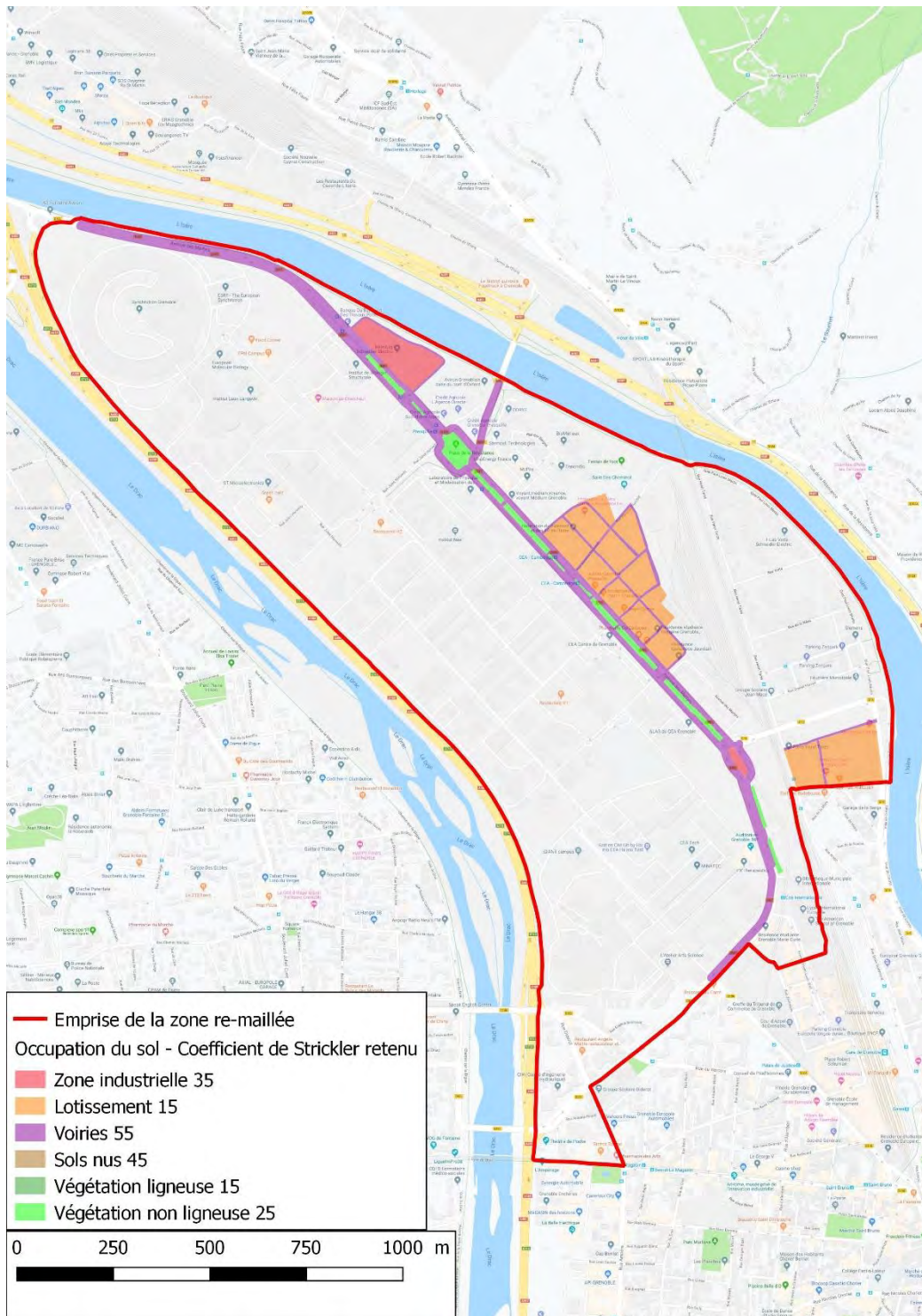


Figure 78 : Coefficients de Strickler modifiés

## 9 SCÉNARIOS DE DÉFAILLANCE

### 9.1 RÈGLEMENTATION – PRINCIPE

Les circulaires, guides et documents de référence relatifs aux Plans de Prévention des Risques d'Inondation<sup>1</sup> affirment un principe de faillibilité systématique ou quasi-systématique des ouvrages, et indiquent que les terrains à l'arrière des digues restent généralement vulnérables. Les PPRI doivent ainsi tenir compte du risque de défaillance des ouvrages de protection.

Ces défaillances prennent la forme de brèches ponctuelles et/ou de ruines généralisées, en fonction du contexte de la zone étudiée et des ouvrages en place. Dans le cas présent, il a été considéré lors des échanges avec le Comité Scientifique que le secteur d'étude est potentiellement soumis à un risque de brèche, mais que les ruines généralisées n'étaient pas appropriées notamment au regard des revanches importantes rencontrées sur la plupart du linéaire de digues.

Les brèches sont à considérer partout sur le territoire étudié, sauf s'il est démontré que cela est presque impossible. La méthodologie employée pour cela est la suivante :

- identification des tronçons du Drac ayant des caractéristiques homogènes (au moins un tronçon par casier hydraulique) ;
- analyse fine de chaque tronçon, et justification précise si un scénario de rupture est écarté..

**Les scénarios de défaillance sont étudiés/réalisés par rapport aux résultats du modèle « avec embâcles ».**

<sup>1</sup> le plan de gestion des risques inondation Rhône-Méditerranée 2016-2021 ; la stratégie nationale de gestion du risque inondation (SNGRI), approuvée par arrêté interministériel du 7 octobre 2014 ; la circulaire du 14 août 2013 relative à l'élaboration des plans de gestion des risques d'inondation et à l'utilisation des cartes de risques pour les territoires à risque important d'inondation ; la circulaire du 14 août 2013 relative à l'élaboration des plans de gestion des risques d'inondation et à l'utilisation des cartes de risques pour les territoires à risque important d'inondation ; la circulaire du 16 juillet 2012 relative à la mise en œuvre de la phase « cartographie » de la directive européenne relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation ; la circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux ; la directive 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation ; la circulaire du 30 avril 2002 relative à la politique de l'État en matière de risques naturels prévisibles et de gestion des espaces situés derrière les digues de protection contre les inondations et les submersions marines ; le guide méthodologique sur les Plans de prévention des risques naturels (PPR) – Risques inondation. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement – La documentation française 1999 ; la circulaire du 24 janvier 1994 relative à la prévention des inondations et à la gestion des zones inondables.



Les paragraphes ci-après présentent la méthodologie et les hypothèses de brèches.

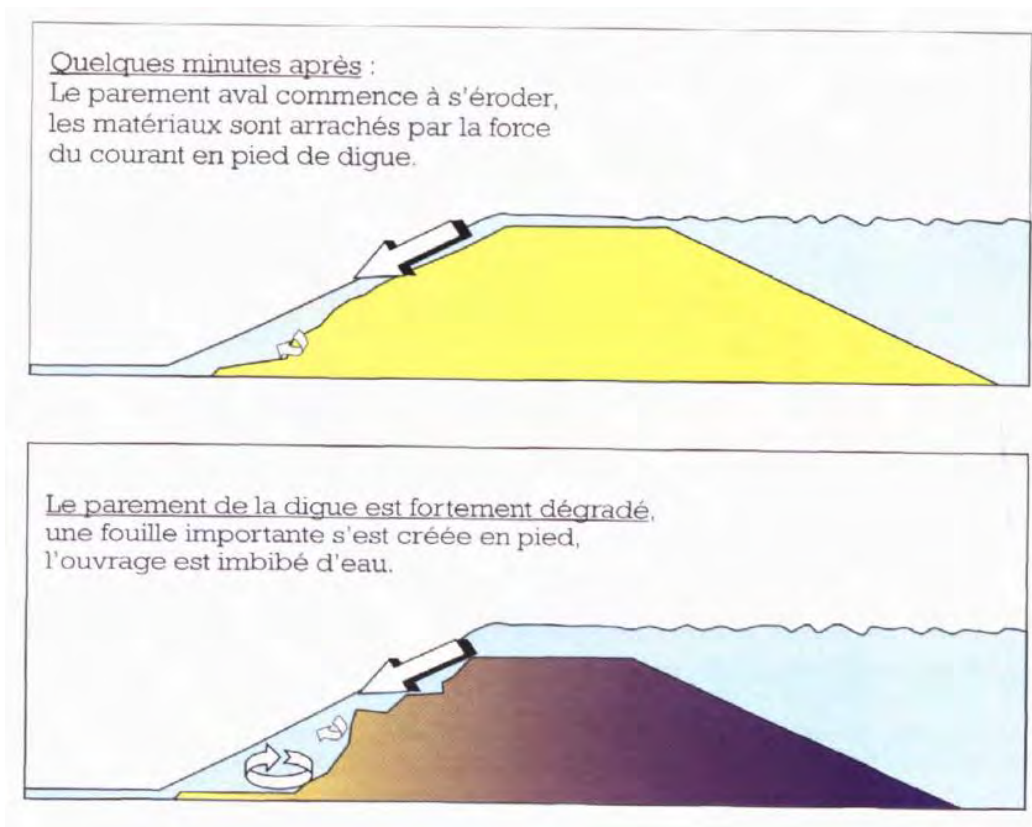
## 9.2 CAUSES DE RUPTURE ET LIMITES POTENTIELLES

Les ruptures de digue peuvent avoir lieu selon différents scénarios : rupture par surverse, par érosion interne, par érosion externe ou par glissement d'ensemble. Cette partie a pour objet de décrire ces différents mécanismes et d'identifier les indicateurs qui permettent d'écarter chaque scénario. Les propositions de brèches sont ensuite confrontées à ces indicateurs afin de pouvoir éventuellement en écarter certaines.

### 9.2.1 RUPTURE PAR SURVERSE

Une rupture par surverse apparaît lorsque le niveau d'eau atteint la crête de digue, puis continue à monter pour ensuite passer par-dessus la crête de digue. Suite à ce débordement, entraînant de fortes vitesses, une érosion se crée sur le parement aval et les matériaux en pied de digue peuvent être arrachés.





**Figure 79 : Schéma de rupture par surverse (source « Surveillance, Entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations »)**

Les facteurs potentiellement limitants d'une rupture par surverse sont les suivants (liste non exhaustive) :

- **Revanche avant débordement.** La valeur seuil de 0.5 m est retenue comme étant limitante, autrement dit lorsque la revanche entre la crête de digue et la ligne d'eau est inférieure à 0.5m, il y a un risque de surverse et de rupture de digue consécutif à ce déversement. Si la revanche venait à être inférieure à 0.5m mais qu'il existe un dispositif de protection de type déversoir de sécurité, conçu dans les règles de l'art, alors le risque de surverse est inchangé mais, en revanche, le risque de rupture pourrait être écarté.
- **Largeur de crête importante :** Ce critère ne constitue pas une limite dans le cas des érosions par surverse. En effet, même si la largeur de la crête de digue est importante, lors d'une surverse, les points de fragilité restent les mêmes à savoir : la zone entre la crête de digue « horizontale » et le début du talus et le pied de digue côté lit majeur.
- **Revêtement de la crête de digue :** En cas de surverse, l'érosion impactant la digue est une érosion régressive à partir du talus aval. Le revêtement de la crête de digue n'intervient pas comme limite à la rupture par surverse, dans la mesure où les matériaux d'appui seraient eux-mêmes déstabilisés de proche en proche. Ce paramètre n'est donc pas limitant pour les érosions par surverse.

- **Hauteur de talus** : Lors d'une érosion régressive sur le talus aval, la hauteur de talus n'intervient pas (petit ou grand talus, l'érosion aura lieu). L'érosion sera amorcée à la rupture de pente entre la crête et le talus aval ou en pied de digue puis les éléments du corps de digue vont se décrocher petit à petit jusqu'à sa base, au niveau TN. Ce paramètre n'est donc pas limitant pour les érosions par surverse.

## 9.2.2 RUPTURE PAR ÉROSION INTERNE

Lorsque la digue est en eau, des écoulements interstitiels infimes se produisent dans la digue. Ces écoulements peuvent être favorisés par des hétérogénéités de perméabilité dans le corps de digue et dans sa formation. L'érosion interne est le phénomène d'arrachement puis de migration de matériaux lorsque le gradient hydraulique atteint un seuil appelé gradient critique des matériaux constituant la digue ou sa fondation. Un conduit est alors formé dans lequel gradient et vitesses augmentent rapidement dans le temps. La brèche se crée alors par effondrement.

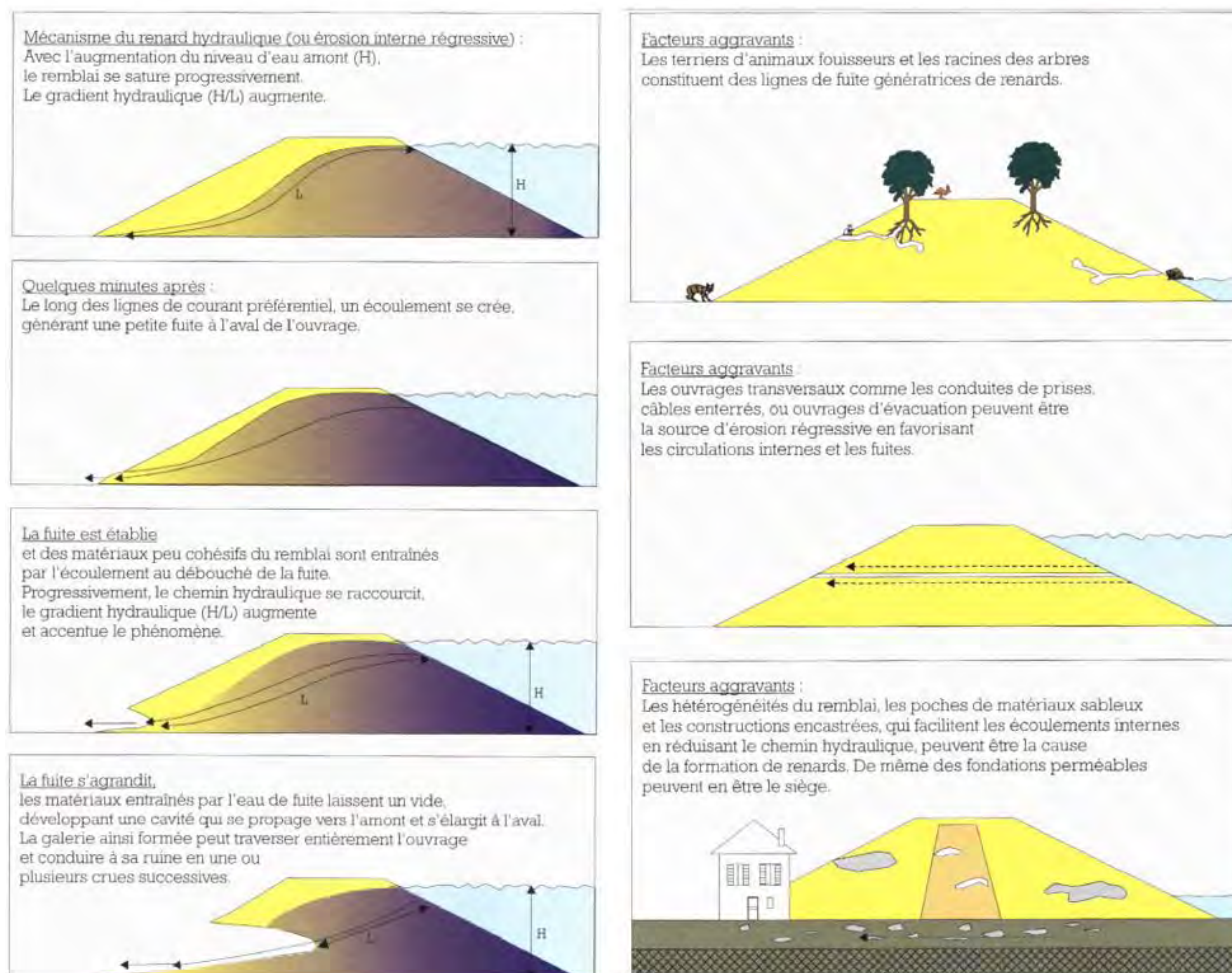



Figure 80 : Mécanismes et facteurs aggravant de l'érosion interne (source « Surveillance, Entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations »)



Pour que l'érosion régressive globale se produise dans une digue, les conditions suivantes doivent être réunies :

1. Le sol saturé où se développe le conduit doit être sans cohésion.
2. Présence d'une surface libre sur la face aval du noyau<sup>2</sup> à partir de laquelle l'érosion pourrait s'initier par absence de filtre ou de la condition de filtration entre le noyau et la zone de transition.
3. Le noyau ou certaines couches du noyau doivent former un toit pour que le conduit se développe. Cela peut se produire à la limite de la nappe phréatique si le sol partiellement saturé au-dessus est limoneux, ou si une couche plus cohésive recouvre le noyau.

Les facteurs potentiellement limitants vis-à-vis de ce type de rupture sont (liste non exhaustive) :

- **Hauteur de charge** : la valeur seuil de 1.5 m a été utilisée dans l'EDD Rive droite et rive gauche : « La limite de charge de 1,5 m peut être retenue comme étant de nature à créer de fortes sollicitations hydrauliques » *source EDD*. Par cohérence \*avec ces études, la valeur de 1.5 m sera également retenue dans cette analyse.
- **Nature de la digue** : La composition de la digue est en lien avec le risque d'érosion interne. Les caractéristiques géotechniques sont essentielles pour borner ce critère limitant. Un des facteurs limitants d'une rupture par érosion interne pourrait être si la conception de l'ouvrage et son suivi permettent de garantir que cette probabilité de rupture est écartée, dans sa conception géotechnique et dans les précautions relatives aux ouvrages traversants notamment (anti-renard). Ces justifications précises sont notamment l'objet des dossiers d'autorisation des systèmes d'endiguement avec qualification « RAR » (Résistance à l'Aléa de Référence), au cahier des charges strict. Seule une largeur de remblai très importante nous fait dire que ce risque est extrêmement faible, en lien avec le critère gradient hydraulique indiqué ci-dessous, mais il n'y a pas de valeur seuil absolue...
- **Gradient hydraulique** : en fonction des caractéristiques des matériaux du corps de digue et des fondations, il est possible que la longueur de l'écoulement à travers la digue ou sous la structure (distance de percolation) soit suffisante pour empêcher l'érosion interne sous forme de conduit. Les travaux de Bligh et Lane, qui sont les plus couramment utilisées, indiquent que la prévention contre la rupture par renard peut s'effectuer en s'assurant que la distance de percolation L est suffisamment grande pour rendre le gradient hydraulique global  $i = \Delta H / L$  inférieur à la valeur critique  $i_c$ , où  $\Delta H$  représente la perte de charge totale entre l'amont et l'aval (m). La distance de percolation L est définie d'après Bligh (1912) et Lane (1935), respectivement par :

$$L = V \times b + H$$

où :

V : distance de percolation verticale (m)

H : distance de percolation horizontale (m)

---

<sup>2</sup> Partie intérieure, souvent la moins perméable, d'un ouvrage à talus.





b : 1 pour Bligh et 3 pour Lane, en réalité ce facteur provient du réseau d'écoulement dans un faciès géologique et peut être estimé dans une couche homogène par la racine carrée du rapport de la perméabilité horizontale sur la perméabilité verticale, équivalent à un rapport d'anisotropie de 1 pour Bligh et de 9 pour Lane. La condition de non rupture s'écrit  $i < i_c$ , où  $i_c$  dépend du type de sol, suivant le tableau ci-après.

Type de sol	Gradient hydraulique critique de Lane	Gradient hydraulique critique de Bligh
Sable très fin ou silt	1/25.5	0.055
Sable fin	1/21	0.067
Sable moyen	1/18	-
Sable grossier	1/15	0.083
Gravette ou grave sableuse	-	0.11
Grave moyenne	1/10.5	-
Grave grossière	1/9	-
Galets, grave et sable	-	0.166 à 0.25
Argile	1/6 à 1/9	-

**Tableau 7 : Valeurs du gradient hydraulique critique (Bligh et Lane) (source bulletin sur l'érosion de 2015)**

Au vu de cette analyse de Bligh et Lane, il est proposé de retenir comme critère le gradient hydraulique critique « grave moyenne » correspondant à environ 10% (1/10,5).

- **La durée et l'importance de la crue** : la durée et l'importance de la crue sont deux paramètres importants. Plus la durée de mise en charge de l'ouvrage est longue, plus il y a de risque que les phénomènes initiateurs d'une érosion interne puissent avoir lieu. La littérature en matière d'érosion interne évoque d'ailleurs les possibilités de reprise de formation du conduit dans le corps de digue à l'occasion de plusieurs crues (effets cumulatifs dans le temps).
- **Excavations ou galeries** : La présence de terriers et de racines d'arbres par exemple, réduit la longueur du chemin hydraulique entre amont et aval de la digue et constituent des points de fragilité.
- **Présence d'ouvrage traversant** : la présence d'un ouvrage traversant fragilise la digue du fait de la jonction entre le corps de digue et l'ouvrage (problématique d'étanchéité notamment). Notons que des dispositifs anti-renard peuvent réduire ce risque.

La digue de la Mosson rive droite est un remblai en terre de 2.5 m de hauteur assurant la protection de la station de pompage de Villeneuve-lès-Maguelone et de terrains à vocation agricole. Lors d'une crue, sans submersion de la digue, une brèche d'une dizaine de mètres de longueur s'est ouverte au droit d'une tranchée réalisée pour le passage des câbles ; à cet endroit se trouvent également les fondations (galets) d'un ancien bâtiment. Le mécanisme à l'origine de la rupture est le phénomène d'érosion interne initié par la présence de la tranchée et/ou la présence des galets de l'ancienne fondation, les deux ayant probablement contribué à augmenter le gradient hydraulique et les circulations d'eau.



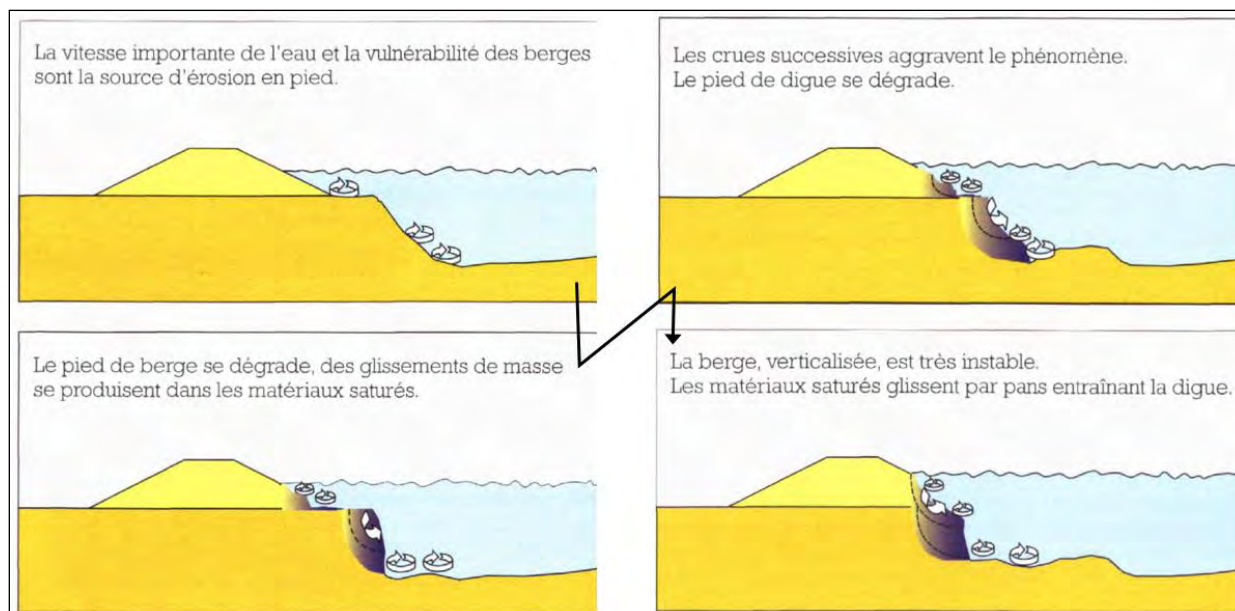
Figure 2.32 – Digue de la Mosson après la rupture : câbles mis en place dans la tranchée et restes de l'ancienne fondation – Source Cerema.

**Figure 81 : Exemple d'érosion interne due à un ouvrage traversant (source Référentiel technique digues maritimes et fluviales – V1 janv.2015 - MEDDE)**



### 9.2.3 RUPTURE PAR ÉROSION EXTERNE

Une rupture par érosion externe apparaît sous l'effet de départ de matériaux dû à des sollicitations qui s'appliquent sur les talus et les pieds de berge de la digue. En effet, ces derniers subissent directement les effets des courants hydrauliques lors d'une crue. Des glissements et des creusements (affouillements) dans le corps de digue apparaissent et peuvent ensuite entraîner l'effondrement de la digue créant une brèche.



**Figure 82 : Mécanismes d'érosion externe (source « Surveillance, Entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations »)**

*Notons que l'on parle également d'érosion externe lorsque le talus ou le pied de digue côté lit majeur vient à être érodé sous l'effet d'un écoulement en lit majeur (affluent, écoulements dans un contre-canal, etc...)*

Les facteurs potentiellement limitants ou aggravants sont les suivants (liste non exhaustive) :

- **Vitesse de l'écoulement le long ou aux abords du talus** : La vitesse de l'eau le long du talus peut constituer un facteur limitant envers le risque d'érosion externe. Le tableau ci-après présente la résistance à l'érosion d'un sol nu ou engazonné face aux vitesses d'écoulement.

	Granulométrie	Vitesses critiques	
		d'érosion sur sol humide (Hudson, 1981)	
		Du sol nu	Du sol engazonné
Argile compacte	$d < 2\mu\text{m}$	1,20m/s	2,5m/s
Silt	$2\mu\text{m} < d < 0,02\text{mm}$	0,60m/s	1,5m/s
Sable fin	$0,02\text{mm} < d < 0,2\text{mm}$	0,30m/s	0,3m/s
Sable grossier	$0,2\text{mm} < d < 2\text{mm}$	0,45m/s	1,7m/s
Gravier	$2\text{mm} < d < 20\text{mm}$	0,70m/s	-
Cailloux	$20\text{mm} < d < 200\text{mm}$	1,20m/s	-
Enrochement	$200\text{mm} < d$	$> 1,20\text{m/s}$	-

Tableau 4.2 : résistance à l'érosion d'un sol nu ou engazonné (d'après CFG [2003]).

**Figure 83 : Résistance à l'érosion des sols en fonction des vitesses d'écoulement (source Référentiel technique digues maritimes et fluviales – V1 janv.2015 - MEDDE)**

V* (m/s)	Enrochements moyens horizontale		Enrochements moyens talus 2/1 (horizontale/verticale)				
	d (m)	poids (kg)	d(m)	poids (kg) >50%	poids (kg) mini. (<10%)	poids maxi. (kg)	Epaisseur (m)
2.00	0.09	1	0.12	3	1	21	0.25
2.20	0.11	2	0.15	5	2	37	0.30
2.40	0.13	3	0.18	8	3	62	0.36
2.60	0.15	5	0.21	13	4	101	0.42
2.80	0.17	7	0.24	20	7	157	0.49
3.00	0.20	11	0.28	30	10	238	0.56

V* (m/s)	Enrochements moyens horizontale		Enrochements moyens talus 3/2 (horizontale/verticale)				
	d (m)	poids (kg)	d(m)	poids (kg) >50%	poids (kg) mini. (<10%)	poids maxi. (kg)	Epaisseur (m)
2.00	0.09	1	0.18	7	2	60	0.35
2.20	0.11	2	0.21	13	4	106	0.43
2.40	0.13	3	0.25	22	7	179	0.51
2.60	0.15	5	0.30	36	12	289	0.60
2.80	0.17	7	0.35	56	19	451	0.69
3.00	0.20	11	0.40	85	28	682	0.79

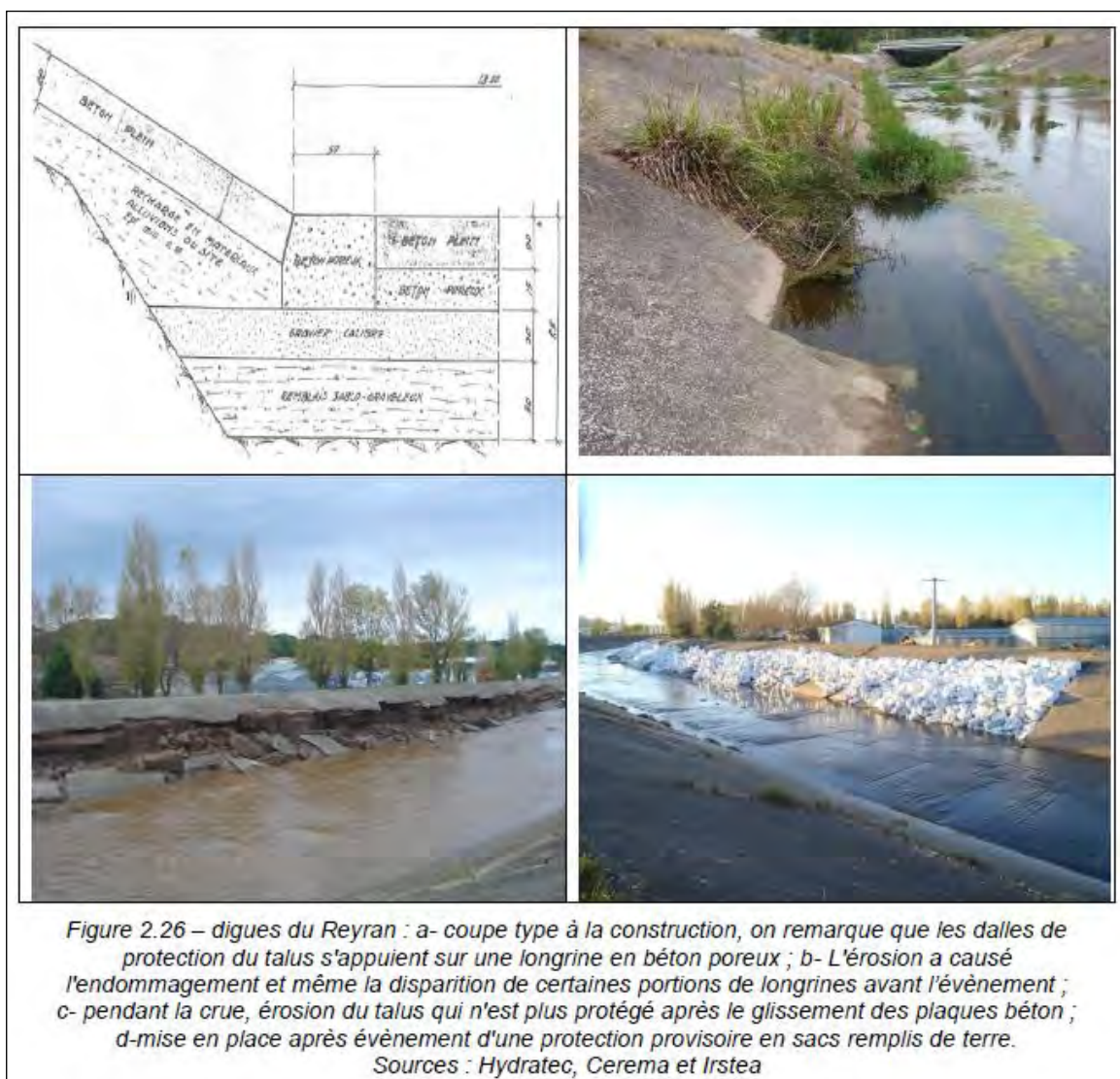
**Figure 84 : Blocométrie – Tableaux diagrammes d'Isbach**

Dans le cas présent, dans les tronçons où il y a une protection du talus ou du pied de digue, la valeur seuil pourrait être fixée à **2 m/s**, valeur minimale pour laquelle il n'est pas nécessaire de prévoir des enrochements d'après la synthèse des 2 tableaux.

- **Courantologie** : Des obstacles locaux tels que des racines d'arbres, des piles de ponts ou encore des obstacles (type constructions) sur le talus côté rivière du Drac, peuvent créer des

perturbations hydrauliques (courant, fortes vitesses, tourbillons ...) et les flux pourraient venir « attaquer » le talus de la digue.

- **Protection du talus** : Les caractéristiques géotechniques sont essentielles pour borner ce critère limitant (absence de caractère érosif vis-à-vis du matériau par exemple). Si la conception de l'ouvrage et son suivi permettent de garantir que cette probabilité de rupture est écartée, ce critère pourrait être limitant.



**Figure 85 : Exemple de retours d'expérience d'érosion externe – Digue du Reyran (source Référentiel technique digues maritimes et fluviales – V1 janv.2015 - MEDDE)**

#### 9.2.4 RUPTURE PAR GLISSEMENT OU RUPTURE D'ENSEMBLE

Les pressions hydrauliques au sein de l'ouvrage, la raideur du talus, l'augmentation des charges sur l'ouvrage, peuvent provoquer des ruptures dites « de masse » ou « rupture d'ensemble » par glissement du talus ou basculement de murs de soutènement.



La stabilité des talus des ouvrages doit normalement être assurée par une conception et un dimensionnement respectant les règles de l'art géotechnique de la construction des ouvrages en terre. Cependant, l'évolution des sollicitations au cours du temps, notamment en période de crue, peut conduire à des instabilités liées en particulier :

- à l'accroissement des pentes de talus sous l'action de phénomènes d'érosion externe (suppression de la butée de pied) ;
- à l'augmentation des pressions hydrauliques au sein de l'ouvrage suite à des défauts de drainage et/ou à la présence de couches hétérogènes à comportements hydrauliques contrastés ;
- à l'augmentation des charges sur l'ouvrage ou les sols de fondation (nouvelle construction, rehausse, élargissement...) ;
- à l'évolution défavorable des caractéristiques des matériaux de constitution ou de fondation des ouvrages au cours du temps (cycle de dessiccation-imbibition, fluage, liquéfaction...).

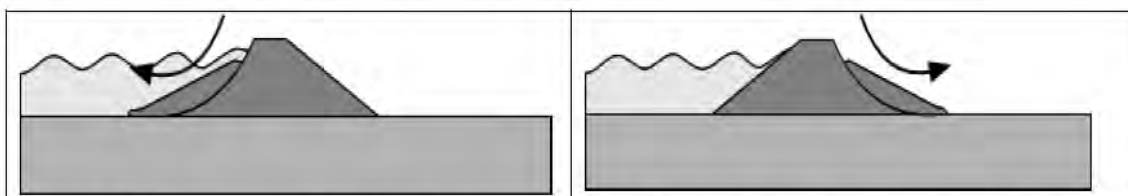
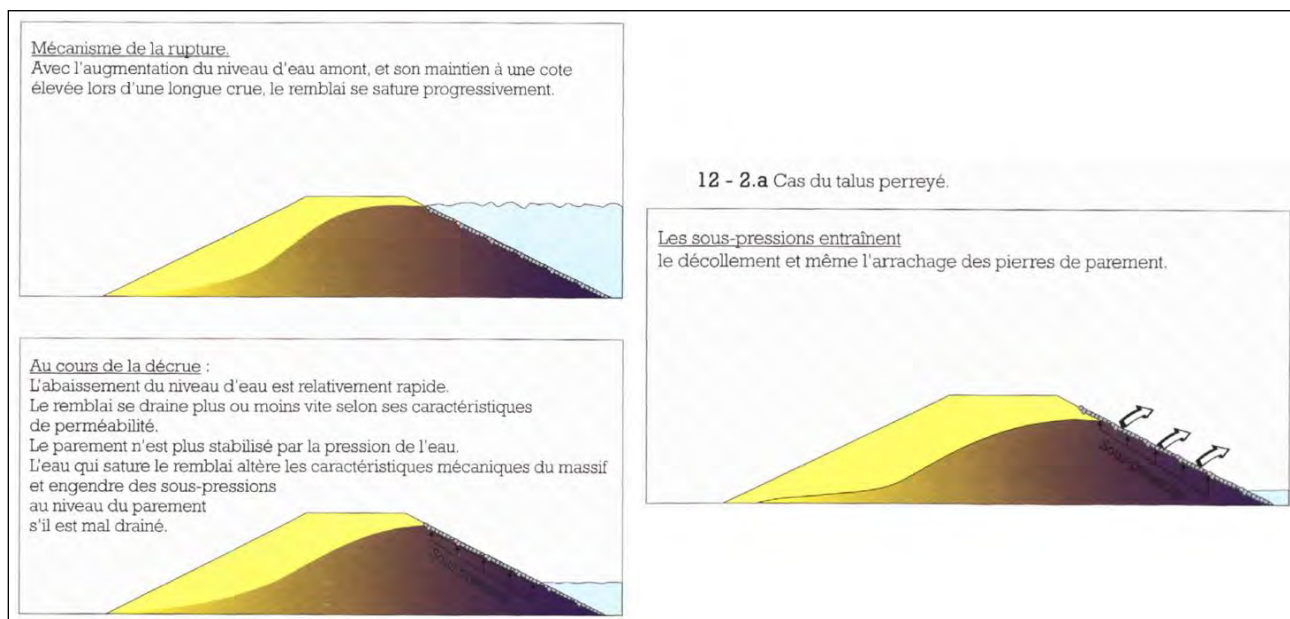


Figure 2.9 : Glissements superficiels affectant un corps de digue en terre (Traduit et adapté de l'ILH)

**Figure 86 : Schéma de glissement de talus (source Référentiel technique digues maritimes et fluviales – V1 janv.2015 - MEDDE)**

Dans le cas d'un talus en perré, à la décrue, les eaux peuvent rester coincées dans la digue à la suite d'un mauvais drainage. « Ces instabilités sont dues aux sous-pressions qui se développent pendant la période des hautes eaux et se traduisent par la rupture du talus côté rivière ou de son revêtement de protection lors d'une décrue rapide. Pour les ouvrages en maçonnerie, la rupture sous charge est due au profil étroit des digues (surtout pour ceux en béton armé, les plus récents) ; elle est nécessairement brutale et peut résulter d'une erreur de conception (ex : insuffisance du dimensionnement ou d'un défaut d'exécution (ex : malfaçon dans le ferrailage). La difficulté que présente ce mécanisme est que les témoins de son activité ne s'avèrent pas forcément détectables lors de l'inspection visuelle. » (Source : EDD de la digue rive droite du Drac)



**Figure 87 : Mécanisme de rupture d'ensemble (source « Surveillance, Entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations »)**

### 9.2.5 CONCLUSION

Il apparaît que les facteurs de sensibilité à la rupture de la digue suite à l'analyse réalisée en chapitre 9.2 sont les suivants :

Rupture par surverse	Revanche avant débordement	< à 0.50 m
	Présence de dispositif de protection	absent
Rupture par érosion interne	Hauteur de charge	> à 1.50 m
	Nature de la digue	état pas suffisamment connu
	Gradient hydraulique	> à 10 %
	Durée de la crue (de mise en charge)	
	Excavation, galeries, végétation type tronc d'arbre	présence
Rupture par érosion externe	Ratio "largeur arasement / hauteur de charge"	
	Présence d'ouvrage traversant et absence de dispositif anti-renard	présence
	Vitesse de l'écoulement proche du talus	> à 2 m/s
Rupture par glissement	Courantologie	courant, fortes vitesses, tourbillons (...)
	Protection du talus	état pas suffisamment connu
Rupture par glissement	Pente du talus	
	Ratio "largeur arasement / hauteur de charge"	
	Nature de la digue	état pas suffisamment connu

**Tableau 8 : Principaux facteurs de sensibilité à la rupture de la digue**

### 9.3 LOCALISATION DES BRÈCHES

Dans un premier temps, il a été effectué une identification des brèches potentielles sur la base des éléments suivants :

- Études antérieures (EDD) ;
- Localisation des enjeux (Carte fournie par la DDT38) ;
- Compartimentation topographique (notion de tronçon et de secteur protégé) ;
- Analyse des mises en charge, c'est à dire de la comparaison entre la ligne d'eau de référence (Q100 avec embâcles) et l'altitude du terrain naturel à l'arrière des ouvrages et identification des tronçons où cette mise en charge est supérieure à 50 cm,
- Analyse des revanches.

En suivant la doctrine PPRI, les brèches proposées sont considérées comme possibles par défaut, sauf s'il est démontré la quasi-impossibilité de rupture. Le chapitre précédent (9.2) présente les différentes causes potentielles de rupture, ainsi que les éventuels critères limitants à chacune de ces causes. Pour cela, il a été analysé les éléments suivants pour chaque zone de rupture potentielle :

- Revanche avant débordement,
- Hauteur de charge,
- Largeur totale arasement pour rupture,
- Largeur digue à la cote Q100,
- Nature de la digue et ses protections,
- Disparité du corps de digue (cas particulier des ouvrages traversants)
- Ratio largeur arasement / hauteur de charge,
- Ratio largeur digue à cote Q100 / hauteur de charge,
- Gradient hydraulique,
- Durée de la crue,
- Pente du talus,
- Vitesses et courantologie.



## 9.3.1 IDENTIFICATION DES SECTEURS MIS EN CHARGE

### 9.3.1.1 Secteur en amont du Saut du Moine

La figure suivante présente la configuration du secteur en amont du barrage du Saut du Moine :

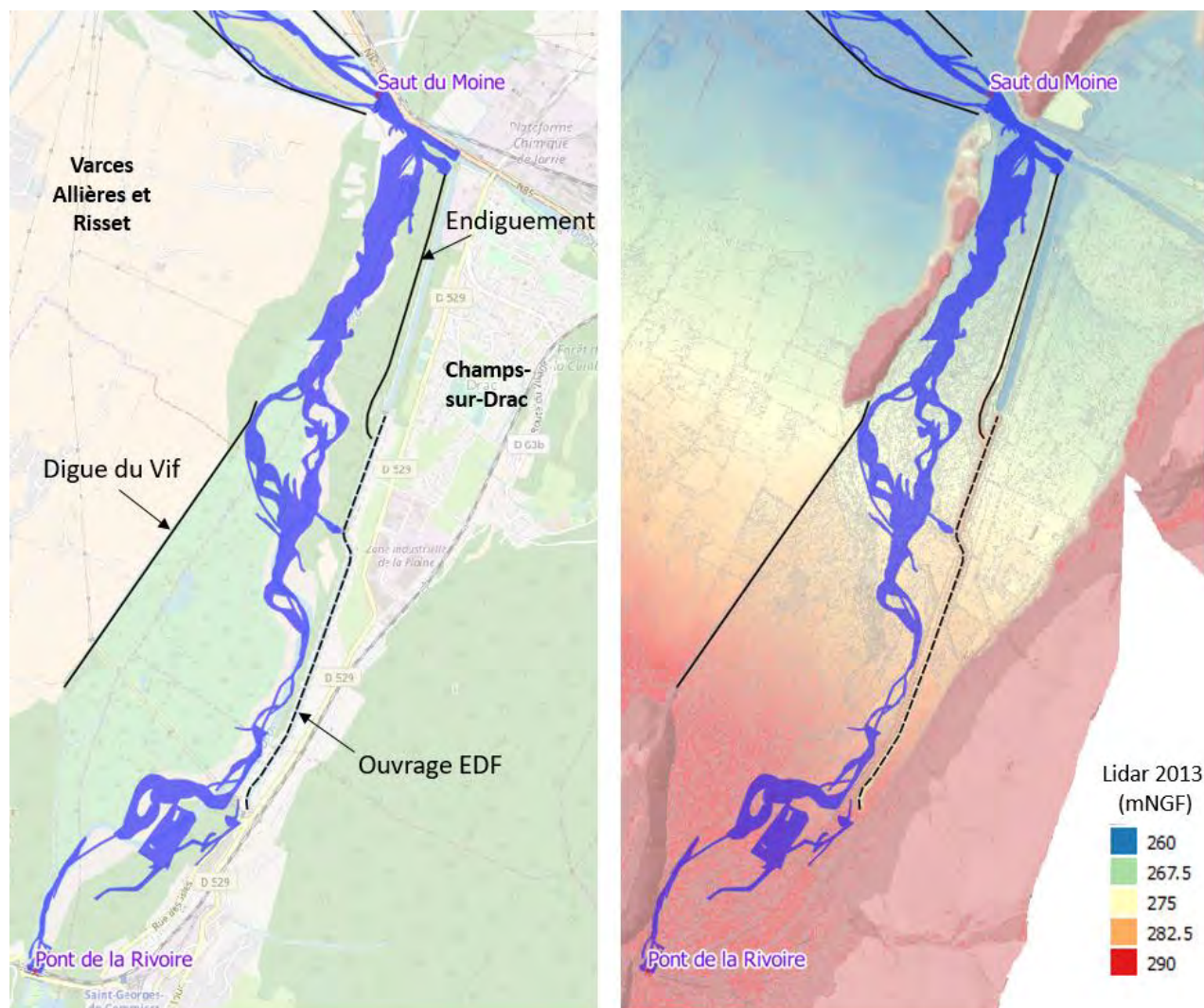


Figure 88 : Zoom sur le secteur et les endiguements en amont du Saut du Moine

#### 9.3.1.1.1 Digue de Vif

En ce qui concerne la digue de Vif en rive gauche, la figure ci-après présentant les hauteurs d'eau maximales atteintes pour le débit de référence, permet de mettre en évidence que sur toute la partie amont, les écoulements restent concentrés côté rive droite du lit du Drac, du fait de la topographie. Seul un tronçon d'environ 500 m en aval pourrait être concerné par une éventuelle mise en charge. La figure suivante présente le profil en long « AB » sur lequel l'analyse est réalisée.

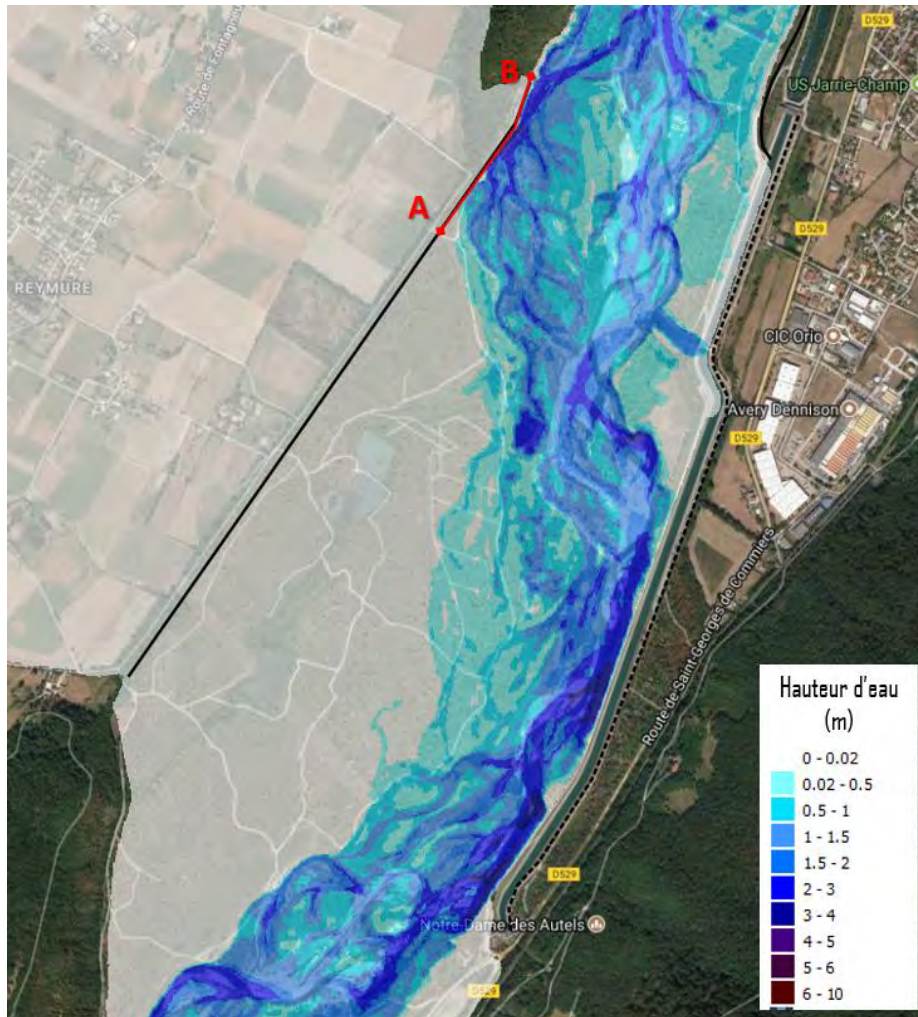


Figure 89 : Hauteurs d'eau maximales – secteur amont - digue de Vif

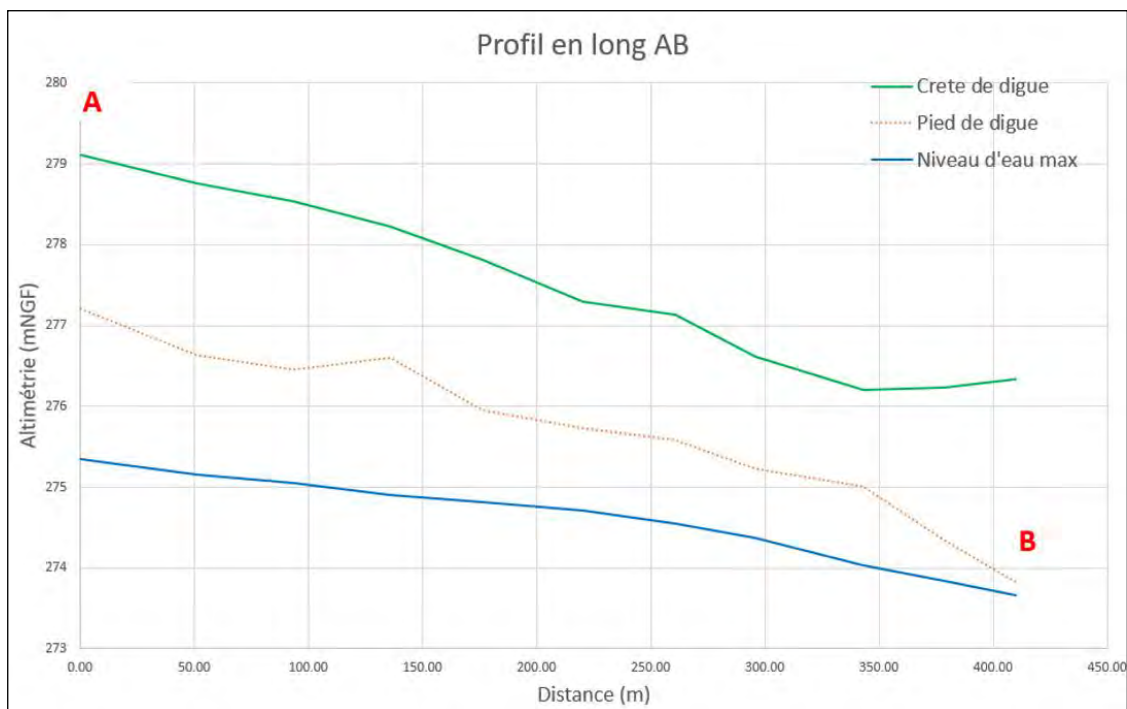


Figure 90 : Profil en long AB – Digue de Vif

Les écoulements du Drac restent concentrés côté rive droite sur la partie amont du secteur, et lorsqu'ils s'approchent de la digue de Vif, les résultats montrent que la digue n'est pas mise en charge sur le tronçon « AB ». En effet, la ligne d'eau Q100 reste inférieure au pied de digue (terrain naturel) à l'arrière de la digue (côté zone protégée).

#### 9.3.1.1.2 Endiguement Champ-sur-Drac

En ce qui concerne l'endiguement en rive droite au droit de Champ-sur Drac, on note la présence d'un canal EDF en limite de lit mineur, ainsi qu'une centrale hydro-électrique. L'expansion de crue en rive droite est ainsi limitée par les digues de ce canal EDF. En amont de la centrale, la ligne d'eau dans le canal est haute (consignes d'exploitation) en vue de la production d'électricité. Une rupture de la digue en amont de la centrale libérerait vraisemblablement les eaux dans le Drac (et non l'inverse). En aval de la centrale, en revanche, le niveau d'eau est bas et le risque est à analyser.

La figure ci-après présente les hauteurs d'eau maximales atteintes pour le débit de référence centennal. La figure suivante présente le profil en long « CD » sur lequel l'analyse est réalisée.



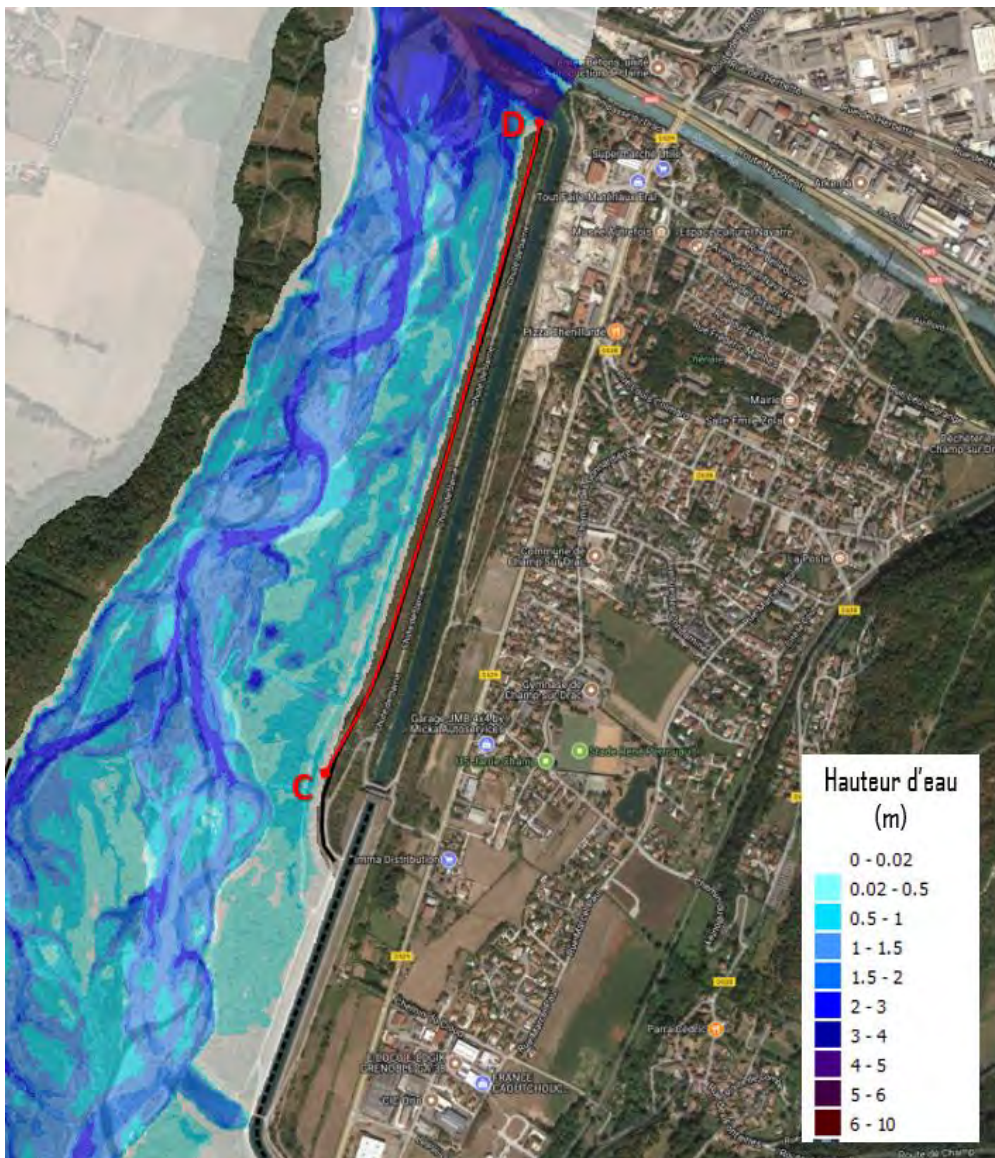
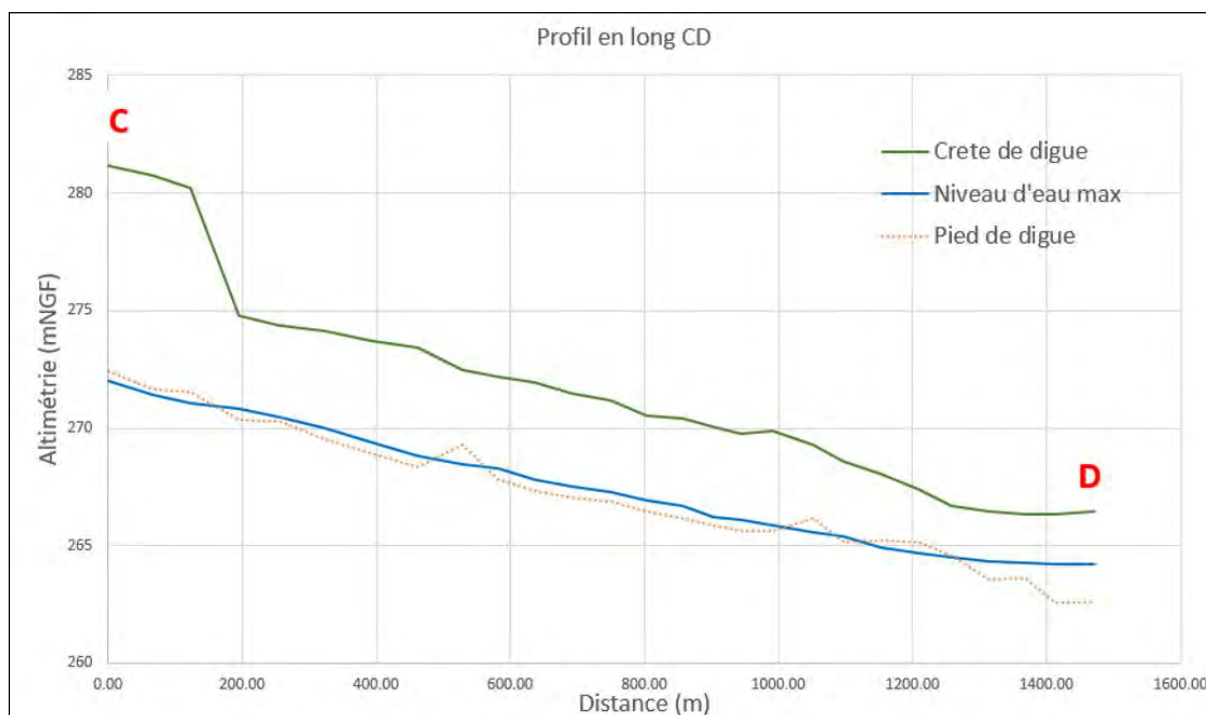


Figure 91 : Hauteurs d'eau maximales – secteur amont – Endiguement Champ-sur-Drac



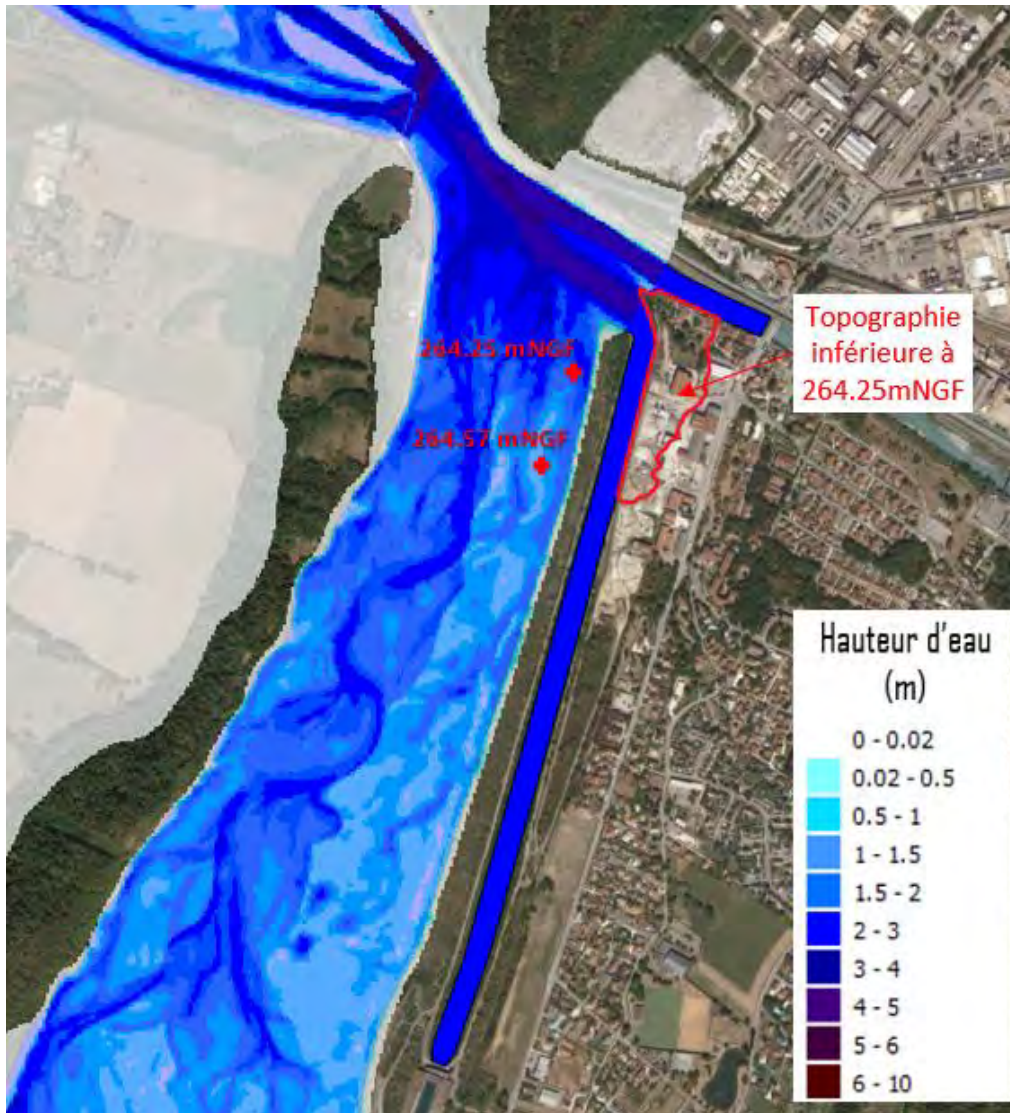
**Figure 92 : Profil en long CD – Endiguement Champ-sur-Drac**

La ligne d'eau Q100 met en charge l'endiguement en rive droite du Drac. En effet, sur la majeure partie du linéaire « CD », la ligne d'eau est légèrement supérieure à la cote du pied de digue à l'aval de l'endiguement. Toutefois, la hauteur de charge reste inférieure à 50cm, sauf sur les 150 derniers mètres où il y aurait une mise en charge théoriquement supérieure.

**Néanmoins, au vu de la configuration du secteur (zone de mise en charge située à la confluence entre le canal, le Drac et la Romanche, en amont du barrage du Saut du Moine), un plan d'eau se constituerait au droit de la confluence Drac - Canal EDF - Romanche.**

**Sous l'influence de ce niveau aval « haut », la ligne d'eau dans le canal (non modélisée) s'élèverait de manière à s'équilibrer avec la ligne d'eau du Drac à la confluence. La cote maximale de la ligne d'eau atteinte à la confluence est de 264.25 mNGF. Au vu du fonctionnement hydraulique pressenti, cette cote a été reportée dans le canal EDF afin d'estimer l'expansion de crue en crue centennale. La figure ci-après présente cette emprise de zone inondée.**





**Figure 93 : Plan d'eau – secteur amont**

En cas de crue du Drac, il se produirait une remontée des eaux par l'aval dans le canal EDF, par équilibre de ligne d'eau.

Sur le tronçon où la mise en charge pouvait « théoriquement » être supérieure à 50 cm, la différence de cote altimétrique de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval de la digue est de l'ordre de 30 cm au maximum (264.25 m NGF coté Champ-sur-Drac et 264.57 m NGF côté lit mineur).

**En conclusion, il n'y a pas de mise en charge supérieure à 50 cm dans ce secteur. Aucune brèche n'est à considérer sur ce tronçon.**

La zone à la confluence entre le Drac et La Romanche serait toutefois sujette à une inondation par remontée des eaux par l'aval. La cartographie de l'aléa réalisé dans le cadre de l'étude intègre bien cette zone de remontée des eaux (Cf. Figure 191 : Cartographies de l'aléa lissé et interpolé – tous scénarios – Part1/3).



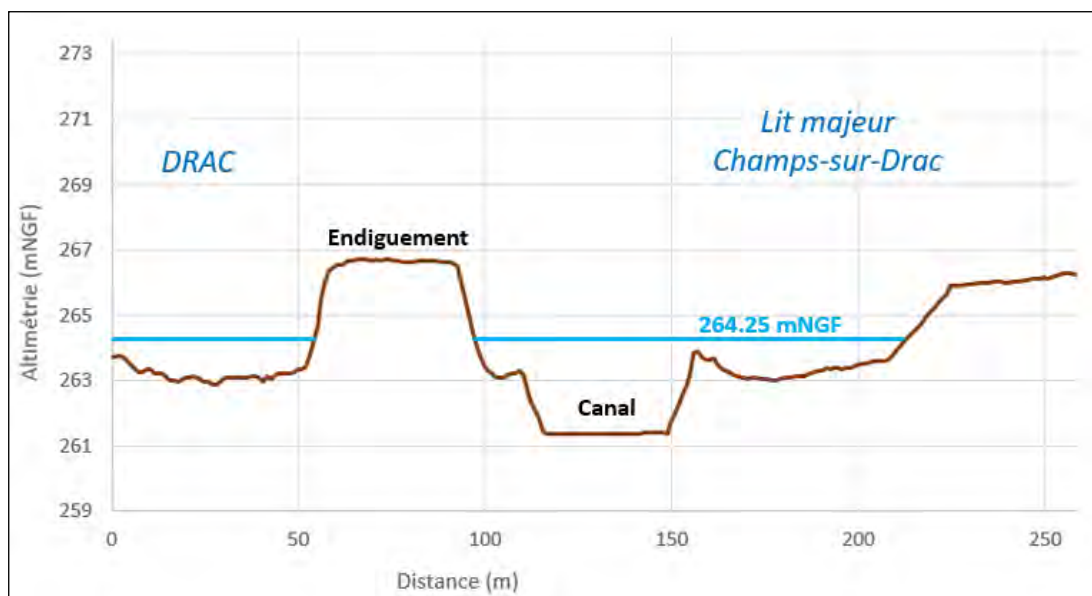


Figure 94 : Profil en travers – Etat d'équilibre de la cote centennale – aval profil CD

#### 9.3.1.1.1.3 Conclusion

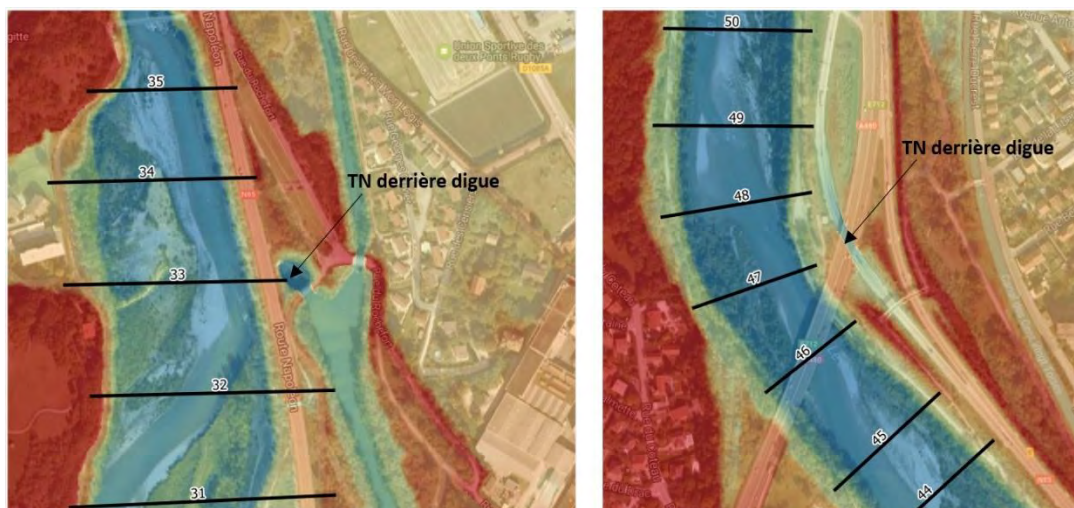
Au vu des éléments présentés dans les paragraphes précédents, il n'est pas proposé de brèche dans le secteur en amont du barrage du Saut du Moine.

#### 9.3.1.2 Secteur en aval du Saut du Moine

Les profils en long ci-dessous présentent les lignes d'eau pour le scénario de référence (débit du Drac à l'aval de Fontaine de 1800 m<sup>3</sup>/s **avec prise en compte des embâcles**). Les positions des brèches potentielles en rive droite (D1 à D11) et des brèches potentielles en rive gauche (G1 à G9) sont identifiées sur les profils en long dans les zones de mise en charge (zones où l'altitude du TN est inférieure à l'altitude de la cote max).

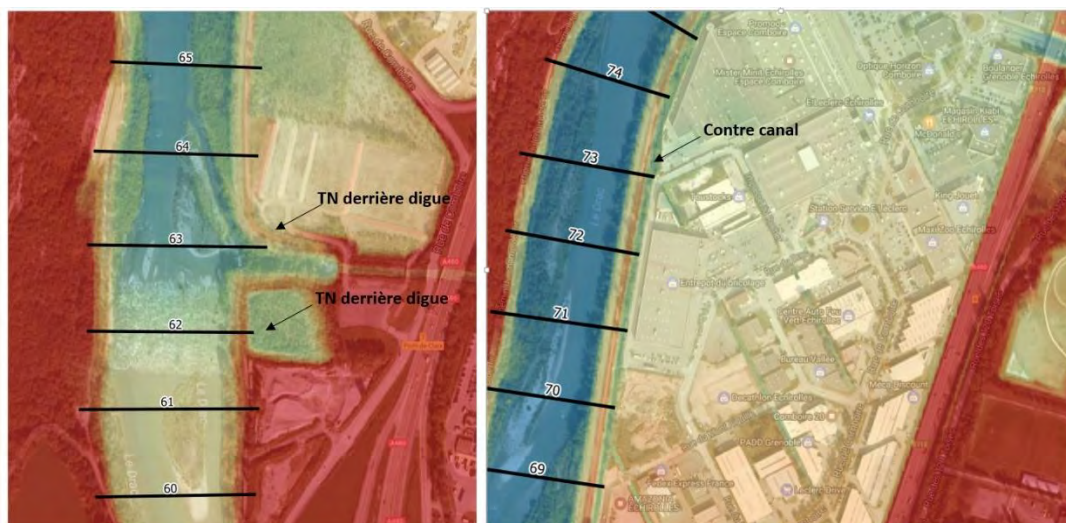
Une ligne d'eau fictive « cote max +0.5 m » a été ajoutée à la figure afin d'apprécier la revanche potentielle avant surverse.

Les 2 figures suivantes illustrent plusieurs cas particuliers de points bas sur les profils en long. Trois de ces points bas étant très ponctuels, aucune brèche n'est proposée dans ces zones.



**Figure 95 : Topographie au P33 et P47**

Au droit du profil ADIDR n°33, un point bas est identifié et correspond à la zone de restitution des eaux du canal EDF. En ce qui concerne le point bas identifié au P47, la bretelle de sortie de l'A480 passe sous l'A480.



**Figure 96 : Topographie au P62/63 et Espace Comboire**

Au droit des profils 62 il existe ponctuellement une zone de déblai. Toutefois la topographie remonte nettement à l'arrière de la zone pour se raccorder à l'A480.

En ce qui concerne la zone de Comboire, il existe un contre canal sur la majeure partie du linéaire, c'est pourquoi une brèche D3b est proposée là où la charge est la plus forte.

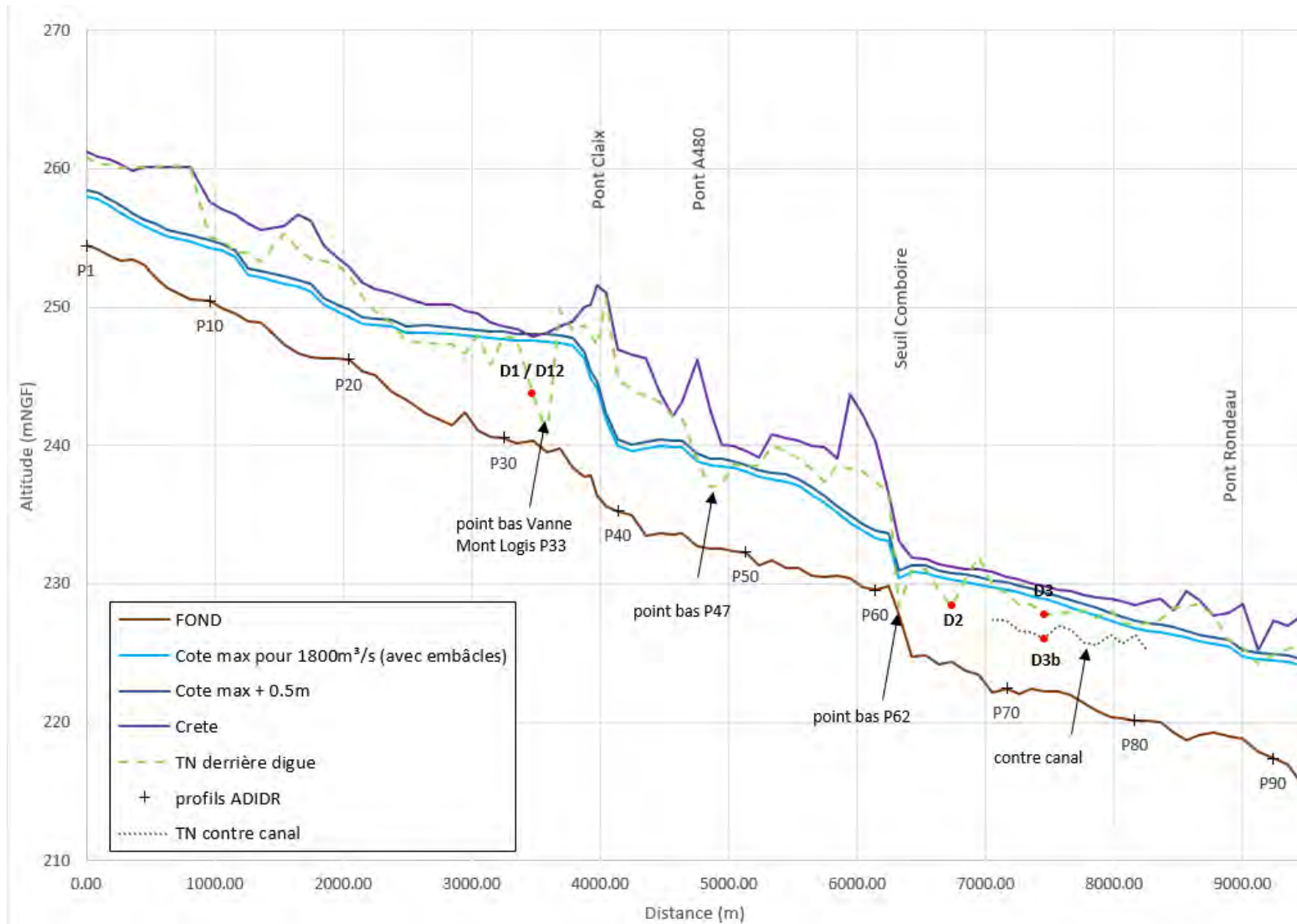


Figure 97 : Profil en long – 1800m<sup>3</sup>/s avec embâcles – RIVE DROITE - Part1/2



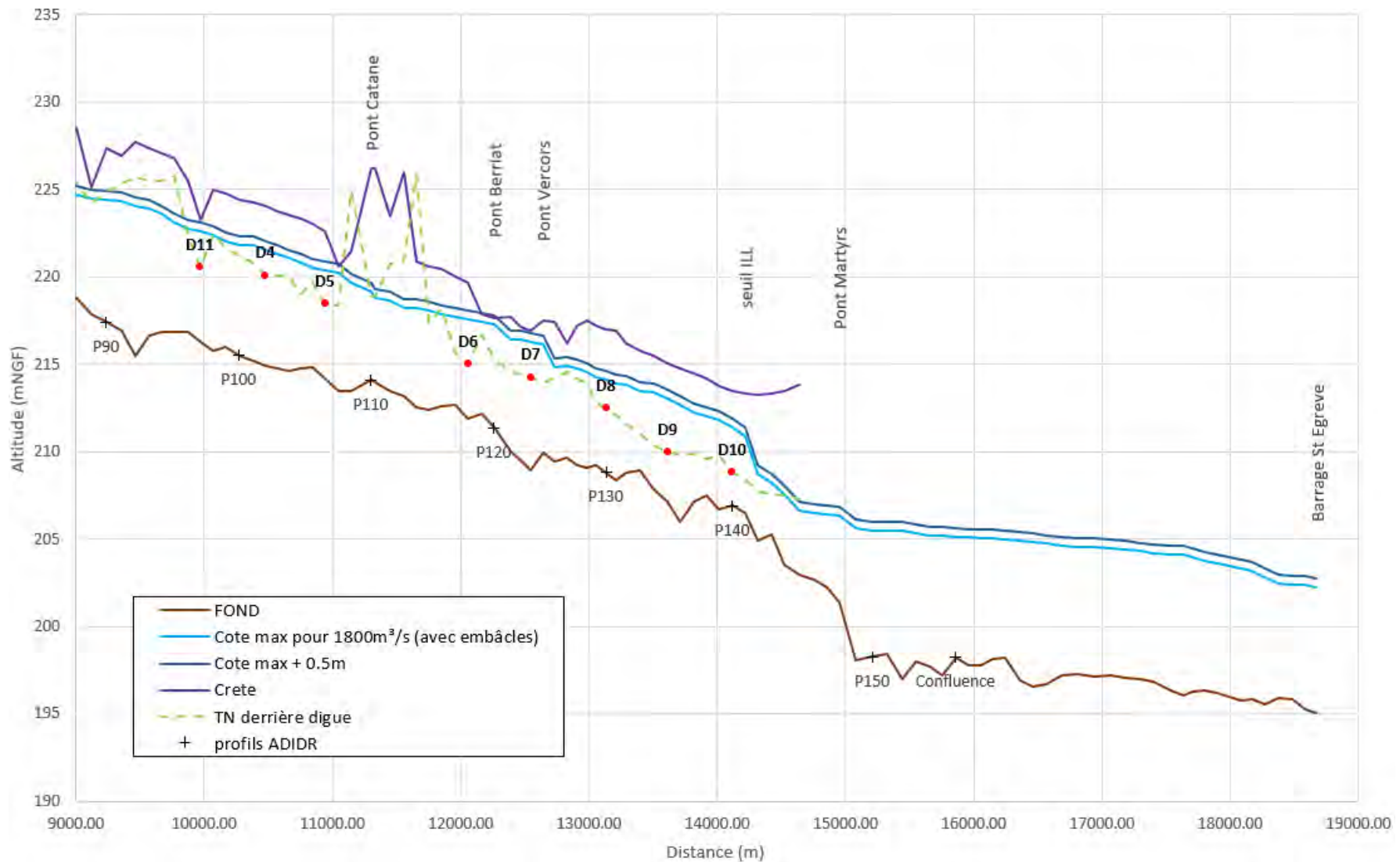


Figure 98 : Profil en long – 1800m³/s avec embâcles – RIVE DROITE - Part2/2

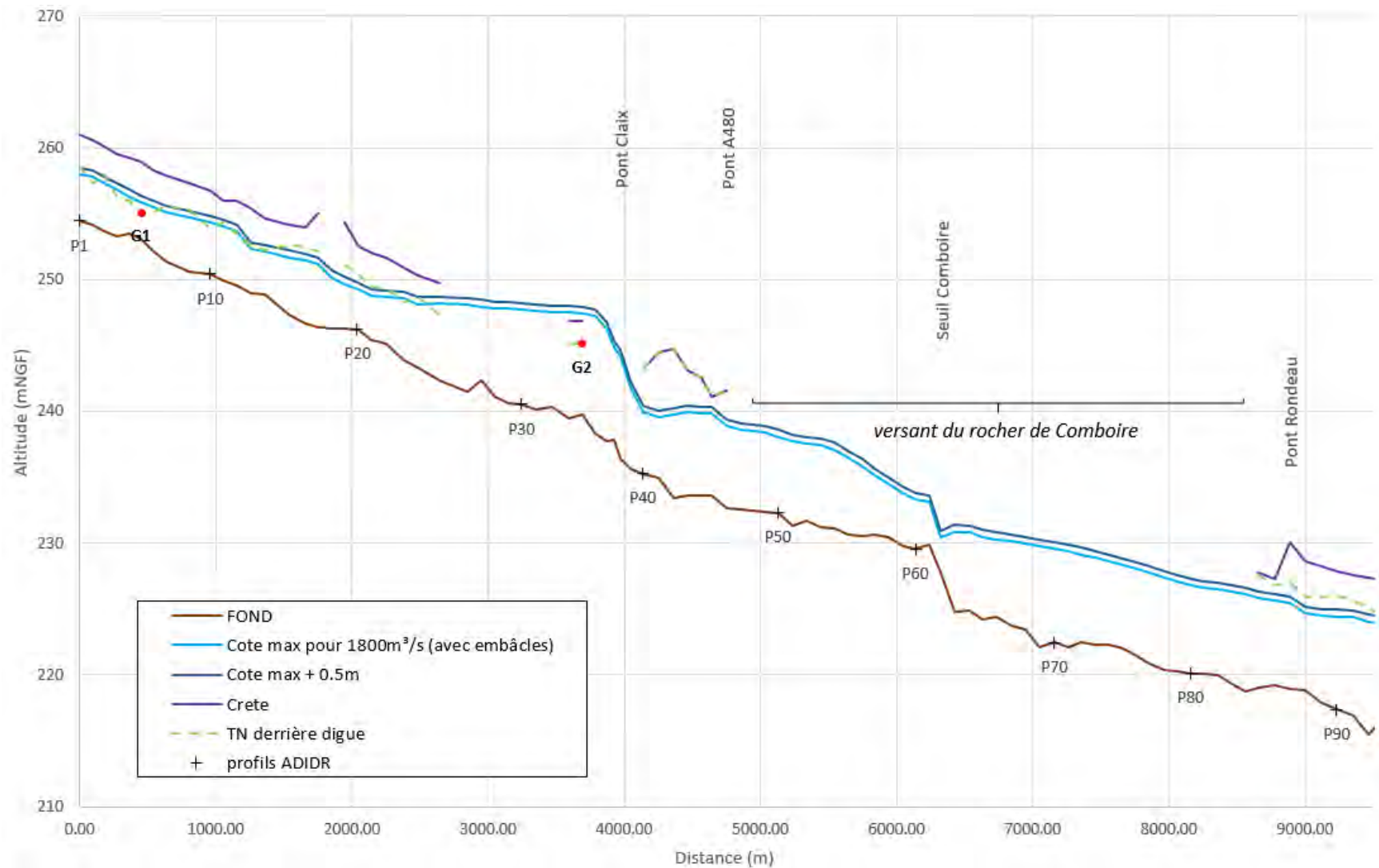


Figure 99 : Profil en long – 1800m<sup>3</sup>/s avec embâcles – RIVE GAUCHE - Part1/2

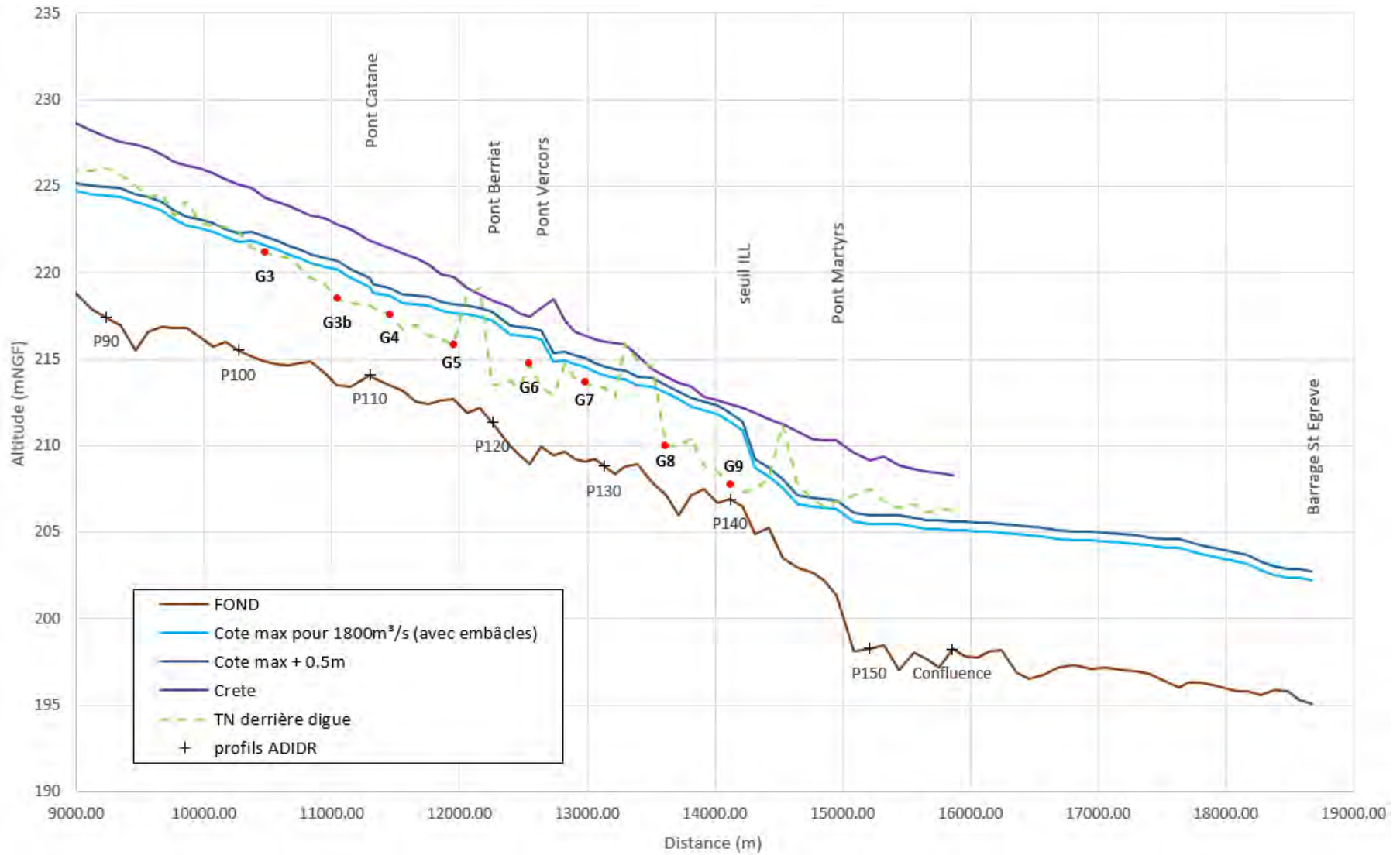


Figure 100 : Profil en long – 1800m³/s avec embâcles – RIVE GAUCHE - Part2/2





## 9.3.2 BRÈCHES DE SECOND RANG

Suite à l'analyse des résultats obtenus pour les brèches de premier rang (Cf. 10), il a été analysé la criticité potentielle sur les digues de second rang. Deux secteurs sont potentiellement sujets à des ruptures de 2<sup>nd</sup> rang : la digue Marceline et les digues du Furon.

### 9.3.2.1 Digues du Furon

Pour les scénarios de brèches G5, G8 et G9, l'écoulement du Drac dans la plaine en rive gauche du Drac rejoint le lit du Furon par deux mécanismes :

- une partie de l'écoulement du Drac rejoint le lit du Furon par la confluence avec la Grande Saône (cela est le cas également pour les scénarios G3b, G4, G6 et G7) ;
- une partie de l'écoulement du Drac surverse par-dessus la digue en rive droite du Furon.

Le lit du Furon permet alors l'évacuation vers l'Isère d'une partie du débit issu de la rupture de digue du Drac. La digue en rive gauche du Furon joue alors le rôle de protection de la plaine de Noyarey et Veurey-Voroize par rapport à l'écoulement du Drac provenant d'une rupture de digue en rive gauche du Drac. Toutefois, l'ampleur des apports en eau, comparativement à la morphologie du lit du Furon et à sa digue rive gauche, ne permet pas d'empêcher l'écoulement du Drac en direction de la plaine de Noyarey et Veurey-Voroize. Le niveau d'eau entre les digues du Furon s'élève au niveau de la crête de digue en rive gauche du Furon.

Des débordements apparaissent par surverse au-dessus de cette digue du Furon en rive gauche, en particulier pour les scénarios G8 et G9. La charge hydraulique est importante (supérieure à 2 m) et la revanche est nulle ou minime (inférieure à 20 cm). Il a ainsi été considéré que ces débordements par surverse induisent une rupture en 3 points de la digue rive gauche du Furon, par effet domino à la suite de l'hypothèse de rupture de la digue du Drac et à l'arrivée des écoulements qui en résultent. A noter qu'en accord avec le comité scientifique, les caractéristiques de ces hypothèses de 3 brèches (F1, F2, F3) sont identiques à celles proposées dans le cadre de l'EDD des digues du Furon (localisation et caractéristiques d'ouverture, cf. chapitre 9.5.4 du présent rapport hydraulique).

Dans les scénarios hydrauliques réalisés pour le projet de PPRi Drac, il n'est pas considéré de simultanéité des crues du Drac et du Furon. Il n'a donc pas été considéré d'injection de débit de crue du Furon dans son lit. Cela équivaut ainsi à une situation où le débit transitant dans le Furon n'est pas significatif, et non pas à une période de crue. Le lit du Furon peut donc drainer une partie des eaux parvenant en lit majeur après rupture de la digue rive gauche du Drac.

A propos de l'EDD : concernant les digues du Furon, il est mentionné dans le rapport de l'EDD rive gauche du Drac :

Un « effet domino » est une réaction en chaîne suite à une première action.

Dans ce scénario de brèche amont, l'effet domino possible concerne les digues du Furon et les digues de l'Isère. En effet, la défaillance de la digue du Drac et ses conséquences peuvent être à l'origine de la défaillance de ces autres digues et donc d'un accident supplémentaire.

Dans la modélisation des scénarios de défaillance, les hypothèses considérées à propos des digues du Furon sont les suivantes :

- ❖ surverse possible sur la digue rive droite ;
- ❖ utilisation du Furon dans ce cas pour évacuer une partie du débit de l'onde de rupture issu de la première défaillance de la digue du Drac ;
- ❖ dans tous les cas, ni surverse ni rupture de la digue rive gauche.

Dans la réalité, la digue en rive gauche du Furon est susceptible d'être le siège d'une défaillance (surverse, rupture...) et dans ce cas, à l'origine d'une libération accidentelle d'eau dans le lit majeur.

**Figure 101 : Extrait de l'EDD rive gauche – Effet Domino Digue du Furon**

Dans le cadre de l'EDD des digues du Furon, un scénario « S15 » a été étudié. Il correspond à une rupture des digues du Drac (pour la crue Q500) provoquant une surverse par-dessus les digues du Furon. Dans ce scénario, il est proposé trois ruptures de la digue en rive gauche du Furon, par effet domino suite à la rupture de digue du Drac et à l'arrivée des écoulements qui en résultent.

Par cohérence avec cette analyse, l'hypothèse de trois brèches sur la digue rive gauche du Furon par effet domino (c'est à dire par ruptures successives) suite à la rupture de digue du Drac est donc repris dans le cadre du PPRi Drac. Les caractéristiques des brèches sont présentées dans le chapitre 9.5.4.

### **9.3.2.2 Digue Marceline – Secteur Mon Logis**

La figure ci-après schématise et présente la configuration des digues et ouvrages dans le secteur de Mon Logis.

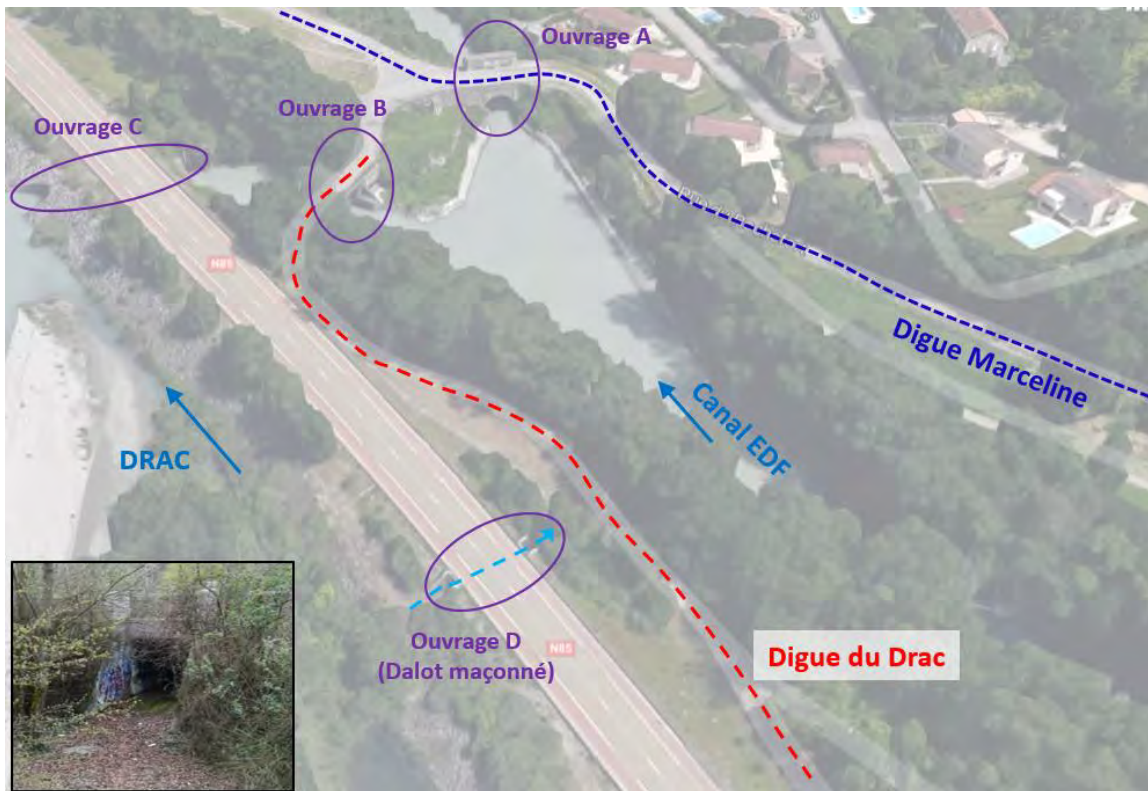


Figure 102 : Digues et Ouvrages dans le secteur de Mon Logis (source : Google Maps)

Dans ce secteur, la digue du Drac en rive droite est la « digue de Pont-de-Claix » et non la RN85. La digue de Pont-de-Claix longe le RN85, se décale légèrement au droit de l’ouvrage D, puis revient à nouveau contre la RN85 pour enfin se détacher et rejoindre la digue Marceline. A l’arrière de cette digue, côté zone protégée, se trouve le canal EDF. Enfin, plus en recul, on trouve la digue Marceline (système d’endiguement de second rang).

Les ouvrages traversant dans le secteur sont les suivants :

- Le canal de fuite de la centrale hydroélectrique de Pont-de-Claix, qui traverse la digue Marceline (ouvrage A) pour alimenter *in fine* la centrale Drac inférieur.
- En cas de disjonction ou de travaux de la centrale Drac Inférieur, les eaux sont évacuées vers le Drac par l’ouvrage B qui traverse la digue de Pont-de-Claix. Ce rejet dans le Drac est contrôlé par une vanne appelée vanne Mon Logis. En cas de crue du Drac, la vanne Mon Logis est fermée afin d’éviter les inondations par refoulement. Il existe également un ouvrage de rétablissement des eaux de rejet (décharge) du canal de fuite de la centrale de Pont-de-Claix vers le Drac (ouvrage C).
- Enfin, il existe un dalot maçonné (ouvrage D) qui est un passage piéton inférieur à la déviation de la RN85. Ce dalot débouche sur un point bas topographique situé entre la RN85 et la digue de Pont-de-Claix.

En crue centennale, la ligne d’eau est contenue par la digue de Pont-de-Claix. Au vu de la configuration du site, les ruptures de premier rang envisageables sont la D1 et la D12. Puis, en cas de libération d’eau



dans le canal par l'une des brèches, les ruptures de second rang (digue Marceline) D1b et D1c peuvent être envisagées.

La figure ci-après présente les différents scénarios de brèche envisageables :

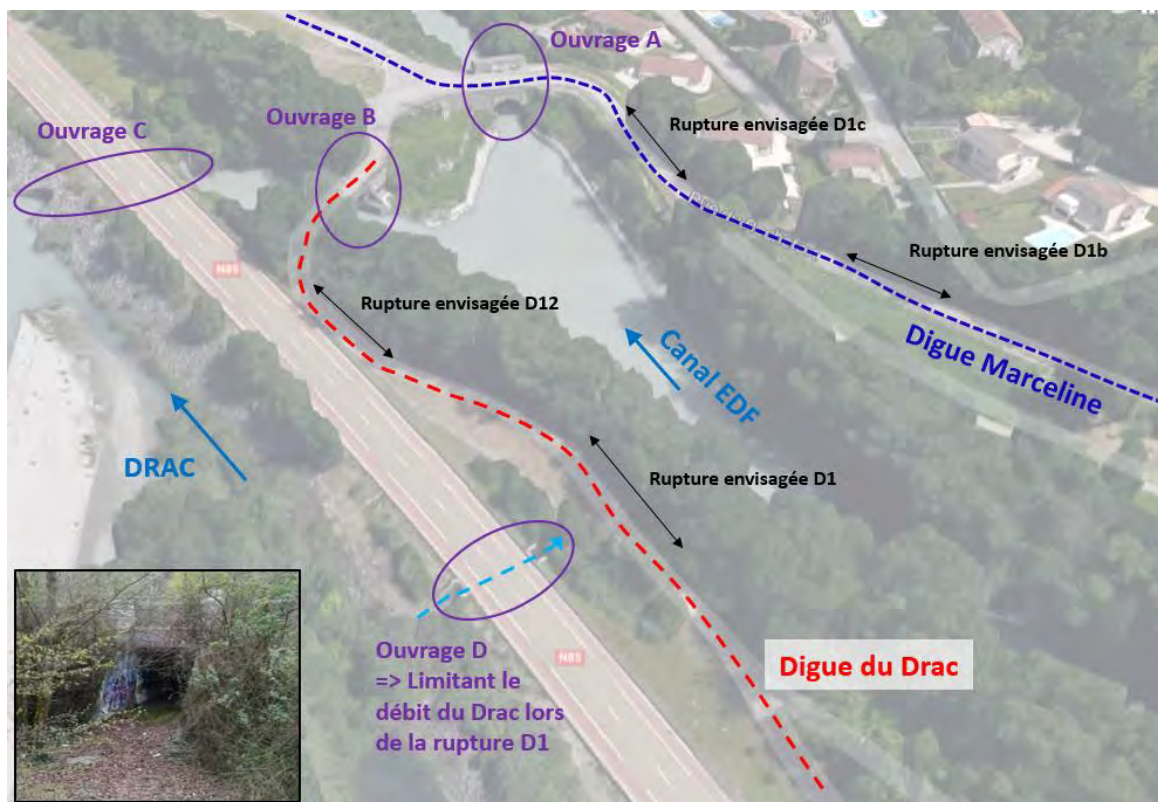


Figure 103 : Ruptures de premier et second rang dans le secteur de Mon Logis

Afin de visualiser la topographie au droit des brèches proposées, deux profils en travers sont présentés :

- Profil AB au droit de la brèche D1 et de la brèche D1b,
- Profil CD au droit de la brèche D12 et de la brèche D1c.

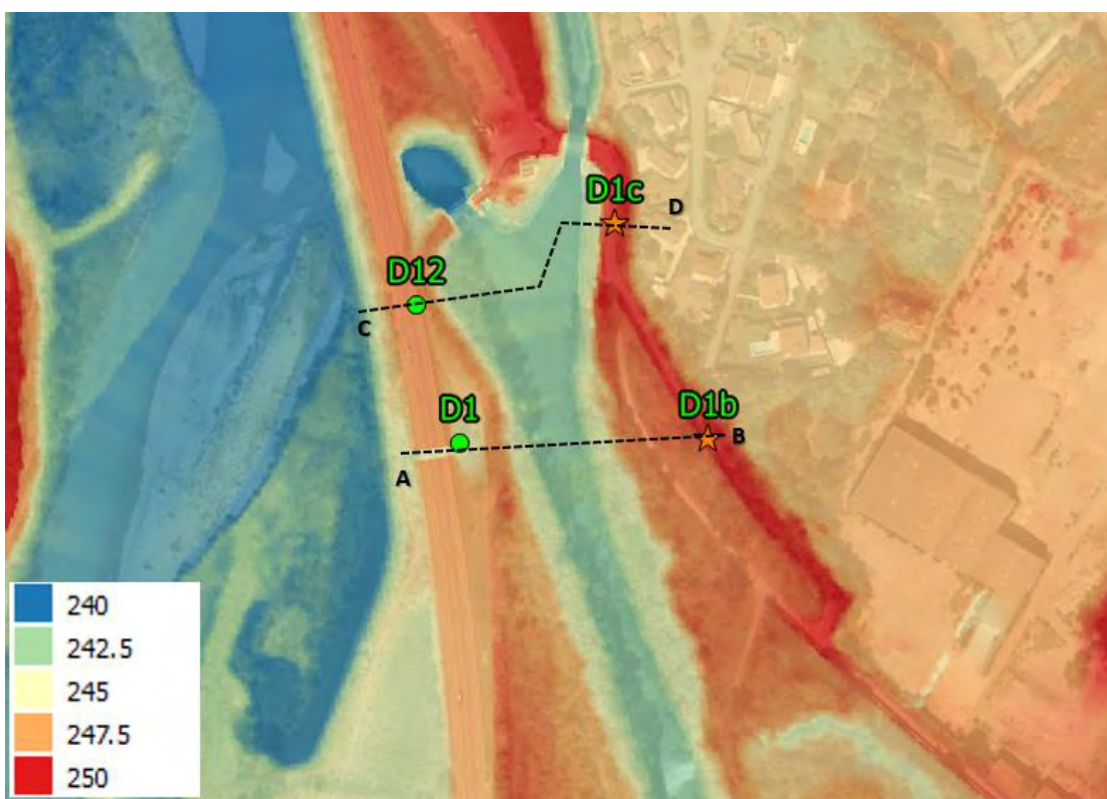
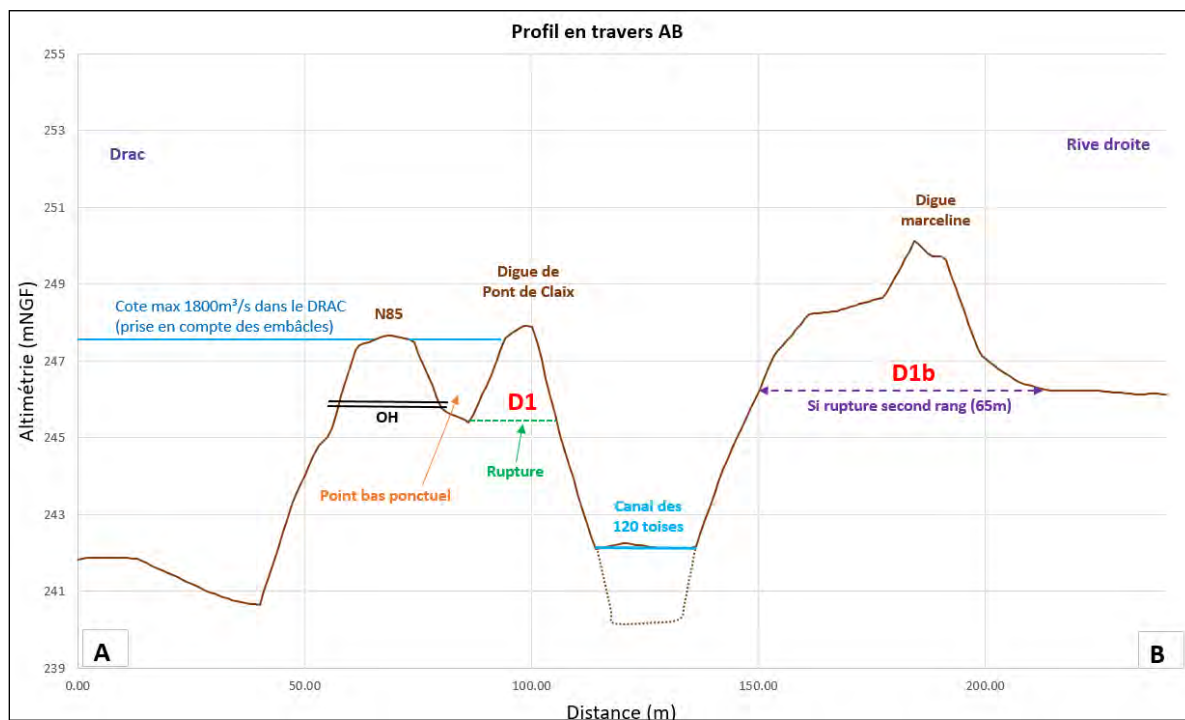


Figure 104 : Extrait du levé LIDAR et localisation des profils AB et CD

Dans le chapitre suivant 9.3.2.2.1, les différents scénarios envisagés sont présentés et détaillés.

La figure ci-après illustre le profil en travers AB au droit de la brèche D1 et de la brèche D1b de second rang, dans l'axe du P32 :



**Figure 105 : Profil en travers AB (brèche D1 et D1b)**

*Remarque : Au droit du profil, la ligne d'eau centennale ne surverse pas par-dessus la RN85. La zone de point bas entre le RN85 et la digue de Pont-de-Claix est alimentée par le dalot sous la RN85. En ce qui concerne la digue Marceline, elle est altimétriquement bien supérieure à la digue de Pont-de-Claix, et elle est également très large (65m en base).*

De la même manière, la figure ci-après illustre le profil en travers CD au droit de la brèche D12 et de la brèche D1c de second rang :



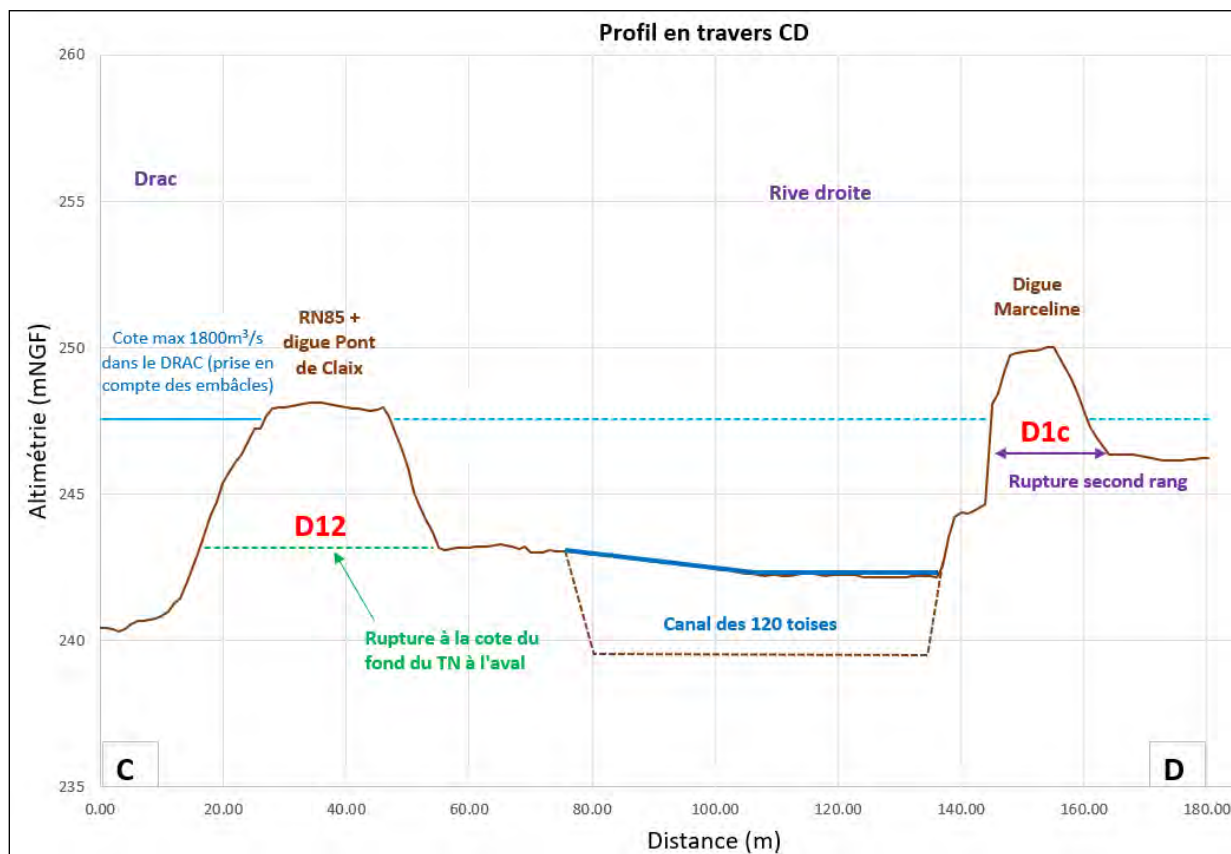



Figure 106 : Profil en travers CD (brèche D12 et D1c)

Remarque : Au droit du profil, la ligne d'eau centennale ne surverse pas par-dessus la digue de Pont-de-Claix (ici RN85 et digue de Pont-de-Claix sont côte à côte). En ce qui concerne la digue Marceline, elle est altimétriquement bien supérieure à la digue de Pont-de-Claix.

### 9.3.2.2.1 Scénarios de rupture / défaillance

Plusieurs scénarios de rupture / défaillance, conduisant à la libération d'une importante quantité d'eau augmentant le niveau d'eau dans le canal EDF, sont décrits ci-dessous :

- R1 : Rupture de la digue de Pont-de-Claix au droit de D1 : le débit qui transite dans la brèche serait alors limité par le débit qui transite par le dalot (ouvrage D).
- R2 : Rupture de la digue de Pont-de-Claix au droit de D12. Cette brèche est rajoutée à la réflexion au vu de ses caractéristiques hydrauliques (voir Tableau 9).
- R3 : Remontée du Drac par les ouvrages C et B. L'ouvrage B, bloqué en position ouverte par exemple, est alors considéré comme défaillant. Ce scénario n'étant pas une rupture de digue, l'arrivée d'eau dans le canal serait nettement moins brutale que les deux scénarios R1 et R2.



Les trois cas énoncés R1, R2 et R3 sont des scénarios conduisant à une augmentation du niveau d'eau dans le canal EDF. Si l'ouvrage A n'est pas fermé en crue, les eaux parvenant au canal par l'un des 3 scénarios relatés précédemment peuvent alors s'engouffrer par l'ouvrage A. Dans le cas contraire, elles restent contenues dans le canal jusqu'à équilibre de ligne d'eau avec le Drac.


Des ruptures de second rang ou scénarios de défaillance peuvent alors être envisagés :

- R4 : Rupture de second rang de la digue Marceline au droit de D1b. Cette brèche a été proposée en considérant que les vitesses d'écoulement, suite à la rupture D1, arrivaient de front et perpendiculaire à la digue (risque d'endommagement du talus de la digue Marceline),
- R5 : Rupture de second rang de la digue Marceline au droit de D1c. En effet, à cet endroit, la digue Marceline est plus fine qu'au droit de D1b,
- R6 : Effacement de l'ouvrage A : les eaux qui parviennent au canal EDF suite aux scénarios R1, R2 ou R3 s'engouffrent directement et sans limitation dans le canal à l'aval de l'ouvrage A et débordent du canal vers le lit majeur rive droite du fait de la topographie.

#### 9.3.2.2.2 Fonctionnement des ouvrages EDF (source EDF)

Les informations ci-dessous explicitent le fonctionnement et le rôle des différents ouvrages cités précédemment, d'après les informations transmises par l'exploitant.

- Alimentation du canal de Pont-de-Claix : La vanne qui alimente le canal de Pont-de-Claix au droit du Saut du Moine (vanne « entrée canal Pont-de-Claix » ou dite vanne V5), est fermée par décision de l'exploitant en état de crue ou en cas de circonstances exceptionnelles. Il n'y a pas de valeur de débit déclenchant un acte de fermeture volontaire.
- L'ouvrage B se décompose en 2 zones : 1 partie haute et 1 partie basse.
  - 2 vannes de décharge en partie basse : ces vannes normalement fermées permettent par leur ouverture de vidanger le canal ou de réduire le niveau d'eau dans le canal après fermeture de la vanne entrée canal (ouvrage A sur le schéma) afin de ne pas perturber le fonctionnement de la centrale de Pont-de-Claix (en amont). Les 2 vannes de décharge sont ouvertes sur commande manuelle.
  - 3 vannes d'isolement du canal des crues du Drac en partie haute : ces vannes sont normalement ouvertes. Les 3 vannes d'isolement sont fermées manuellement pour isoler l'usine de Pont-de-Claix ainsi que la prise d'eau de l'usine de Drac Inférieur de tout retour des eaux en cas de crue du Drac ; leur fermeture manuelle a lieu sur déclenchement de l'alarme niveau haut en aval des vannes d'isolement ou sur décision de l'exploitant en état de crue ou en cas de circonstances exceptionnelles. De manière générale l'exploitation de Saut du Moine est normale jusqu'à 300 m<sup>3</sup>/s d'entrant : une alarme à Saut du Moine à ce moment indique à l'exploitant le passage « en état de crue » mais le barrage peut rester en fonctionnement automatique jusqu'à ouverture totale des vannes secteurs, soit un débit de crue d'environ 400 m<sup>3</sup>/s.

- 
- Jusqu'en 2018, l'ouvrage A est fermé sur décision de l'exploitant et non sur la base d'une valeur de débit. Il n'y a aucune manœuvre de cette vanne qui soit conditionnée par l'hydrologie du Drac, cette vanne est un organe de coupure lié à la sécurité du canal du Drac Inférieur, elle se manœuvre donc automatiquement sur défaut « rupture canal » afin de couper le plus rapidement possible toute adduction d'eau dans le tronçon aval du canal où un problème a été détecté. Depuis 2018, les consignes d'exploitation de l'ouvrage A sont modifiées à la demande du SYMBHI, autorité compétente en matière de prévention des inondations. Fin 2019, un projet de convention entre le SYMBHI et EDF est en cours d'élaboration. Les nouvelles consignes imposent une fermeture, totale ou partielle, de l'ouvrage A dès lors que le Drac passe en "état de crue" (débit entrant du Drac au barrage du Saut du Moine d'environ 400 m<sup>3</sup>/s). Si la fermeture est partielle, le débit transitant par l'ouvrage A ne doit pas entraîner de débordement du canal de la centrale de Drac Inférieur.

**Au vu de la configuration du site, du fonctionnement de ces ouvrages et en concertation avec le comité scientifique, les ouvrages B et C sont considérés comme fermés dans le cadre de l'étude. L'ouvrage A est depuis 2019 considéré comme fermé en crue.**


### **9.3.2.2.3 Des scénarios de défaillance du système de second rang non pris en compte dans la détermination de l'aléa de référence à la suite de la concertation avec les parties prenantes**

Lors de la concertation menée par l'Etat avec les parties prenantes au sujet de l'élaboration des cartes d'aléas, Grenoble Alpes Métropole a demandé au préfet de l'Isère, par courrier du 2 février 2018, de ne pas prendre en compte de défaillance au niveau de la vanne de Mon Logis et de la digue Marceline dans les cartes d'aléas du Drac.

En réponse à cette sollicitation, le préfet de l'Isère a demandé au SYMBHI et à EDF de produire une analyse détaillée de la fiabilité du système d'endiguement à ce niveau pour n'écarter une défaillance que si celle-ci était suffisamment improbable sur le long terme.

Après analyse, par ses services et par l'ADIDR, des études de danger des digues du Drac et d'études d'EDF relatives à ses différents ouvrages, le SYMBHI conclut que « [...] l'ensemble « vanne de Mon Logis, fermée totalement ou partiellement, + digue Marceline » offre, en cas de crue de référence telle que modélisée dans les cartes d'aléas du PPRI (crue centennale + rupture de premier rang) [...] un très haut degré de fiabilité pouvant être qualifié de quasi-impossibilité de défaillance sur le long terme. »





L'analyse et l'engagement du SYMBHI permettent de considérer les scénarios de défaillance de second rang sur le « secteur Mon Logis » comme étant assez improbables pour ne pas être pris en compte dans la détermination de l'aléa de référence du Drac.

#### **9.3.2.2.4 Modélisation d'un débordement du canal de la centrale de Drac Inférieur**

L'analyse du SYMBHI, autorité en charge de la GEMAPI, conclut que ce scénario est assez improbable pour ne pas être pris en compte dans la détermination de l'aléa de référence du Drac.

Toutefois, compte tenu des conséquences qu'auraient des défaillances combinées des systèmes d'endiguement de premier et second rang, le scénario d'une rupture ou ouverture totale de l'ouvrage A a été modélisé. Il met en évidence des débordements du canal à l'arrière de l'ouvrage A, qui remonteraient sur la commune de Pont-de-Claix, puis à Grenoble.

### **9.3.3 POSITIONNEMENT DES BRÈCHES**

Au total, 23 brèches de premier rang (sur les digues du Drac) sont proposées et localisées sur les figures suivantes. En ce qui concerne les brèches de second rang, Comme relaté au paragraphe 9.3.2, deux secteurs sont pressentis : digue Marceline (D1b et D1c) et digue du Furon (F1, F2, F3). La pertinence des brèches de second rang sera analysée au regard des résultats de modélisation des ruptures de premier rang.

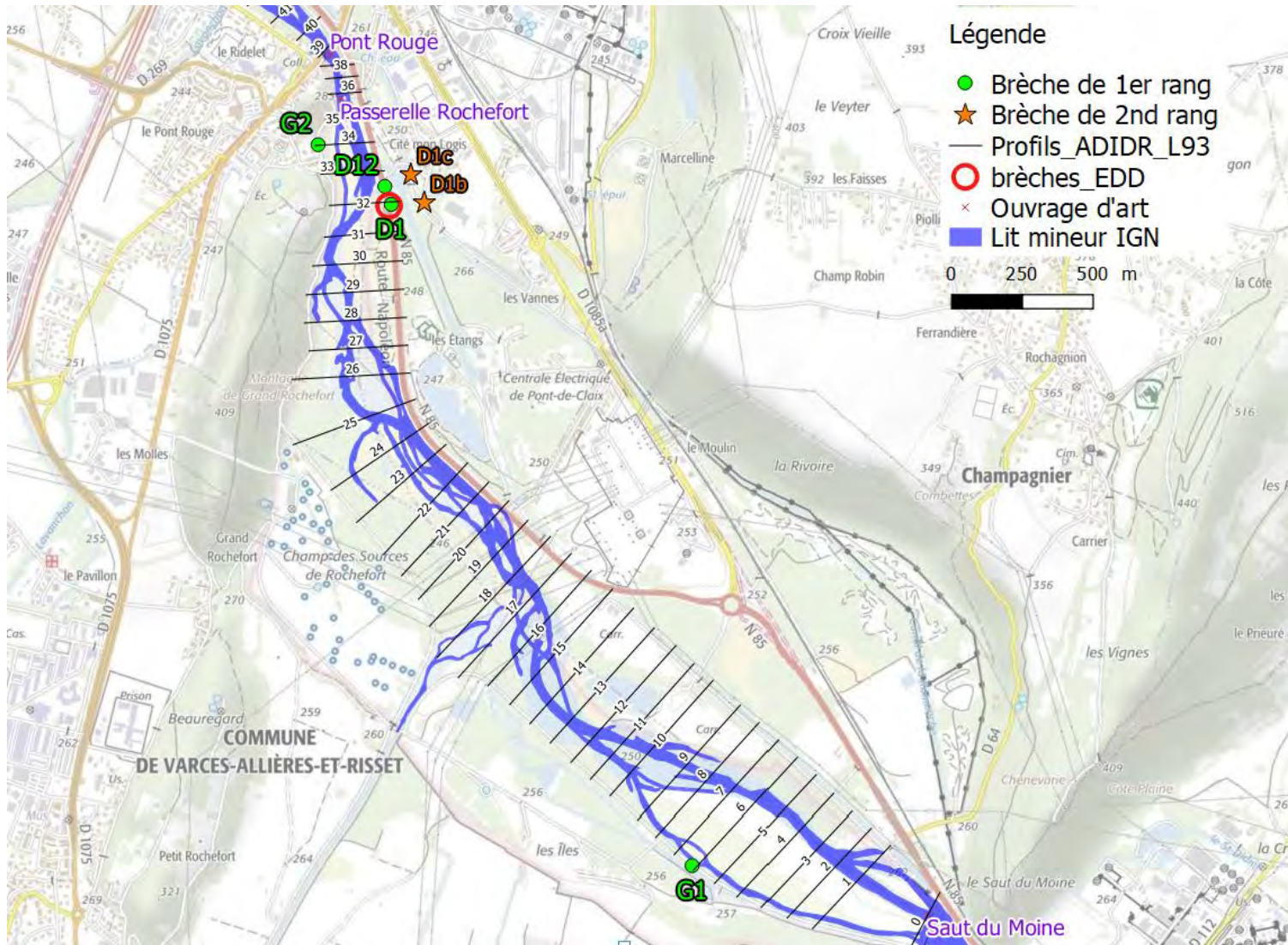






Figure 108 : Pré-positionnement des brèches – Part 2



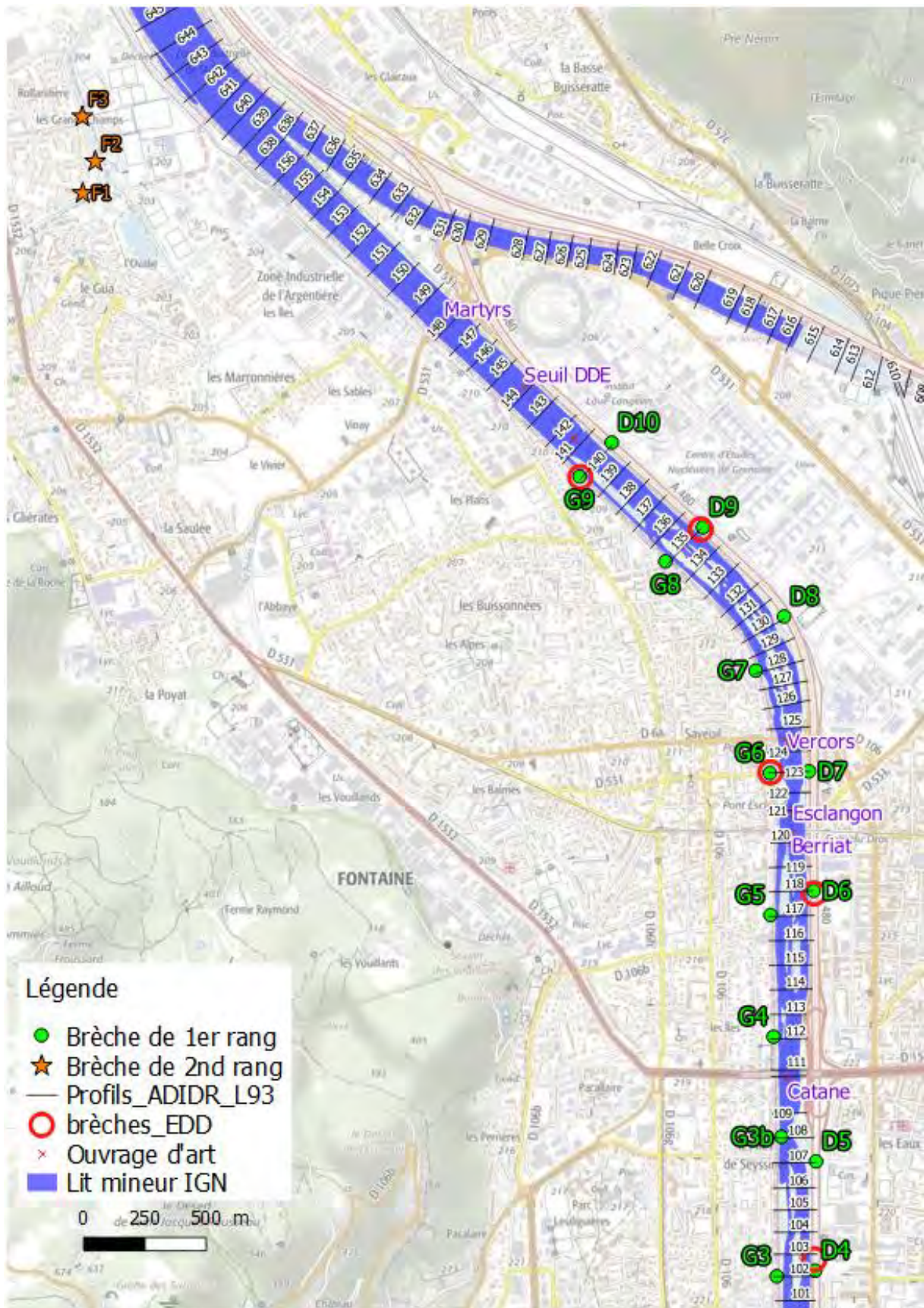


Figure 109 : Pré-positionnement des brèches – Part 3

### 9.3.4 CARACTÉRISTIQUES DES BRÈCHES

Le schéma ci-dessous présente les différents termes employés dans les tableaux ci-après.

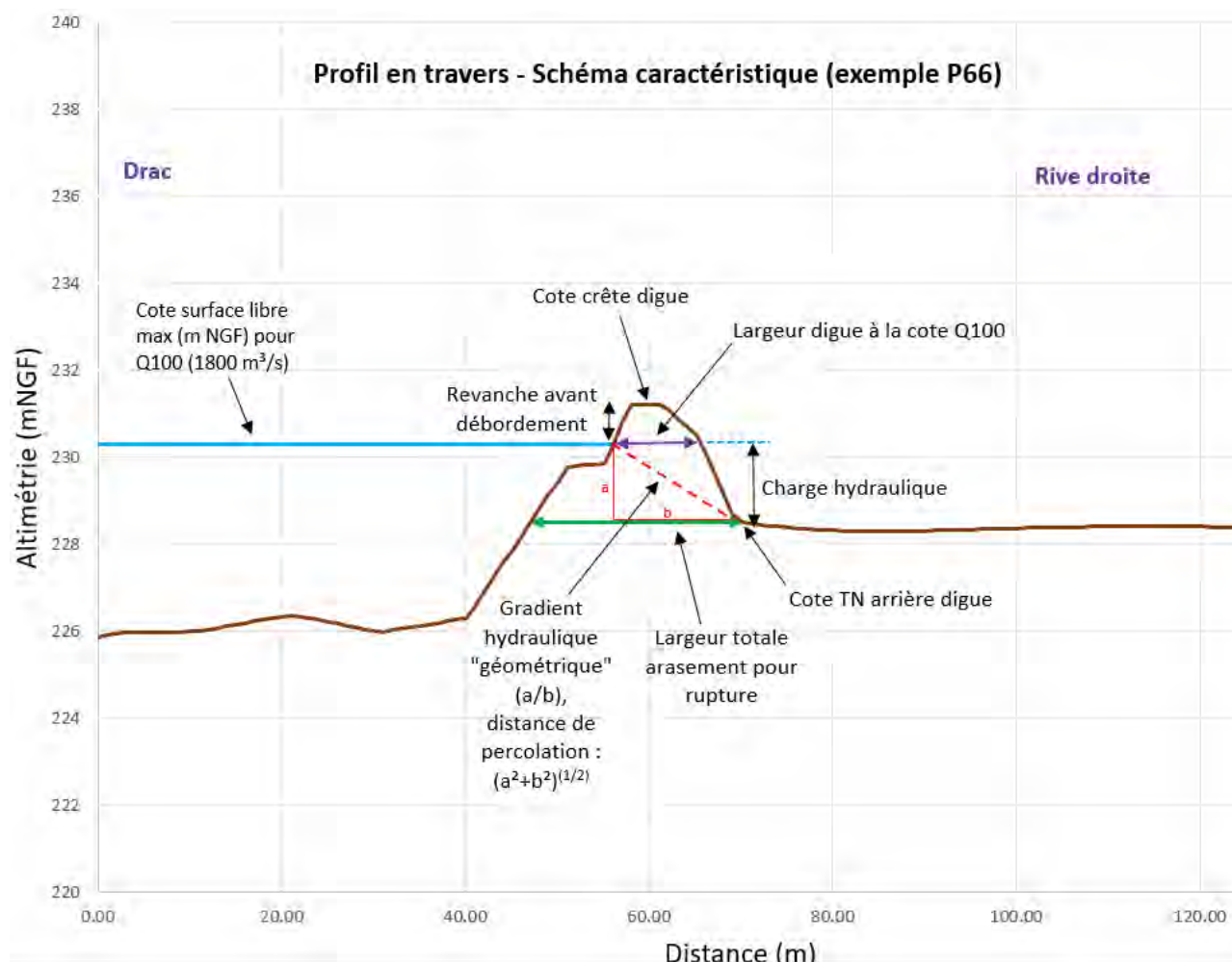


Figure 110 : Profil en travers – Schéma caractéristique (exemple P66)



PROPOSITION BRECHES RIVE DROITE

Num brèche	Num profil	Cote surface libre max (m NGF) pour Q100 (1800 m³/s)	Cote crête digue (mNGF)	Revanche avant débordement (m)	Cote TN arrière digue (m NGF)	Charge hydraulique (m)	Largeur totale arasement pour rupture	Largeur digue à la cote Q100	Nature crête de digue	Ratio largeur arasement / hauteur de charge	Ratio largeur digue à cote Q100 / hauteur de charge	Gradient hydraulique "géométrique"	Protection talus		Courantologie	
													pied de digue (°)	talus de digue (°)	Direction des vitesses	Vitesse de l'écoulement proche du talus
D1	P32	247.55	247.86	0.31	245.40	2.15	20 m	5-10m	Digue de pont de Claix	9	4	10.70%	tout venant brut	perré en bon état	pas défavorable	< 2m/s
D12	P32-P33	247.53	248.12	0.59	243.15	4.38	40 m	20 m	RN85 + Digue de pont de Claix qui fait digue	9	5	15.6 %	tout venant brut	perré en bon état	pas défavorable	< 2m/s
D2	P66	230.31	231.21	0.90	228.40	1.91	25 m	10 m	Digue de comboire	13	5	12.9 %	enrochement	terre végétale	pas défavorable	< 2m/s
D3	P73	228.92	229.87	0.95	227.70	1.22	30 m	10 m	Digue de comboire	25	8	10.2 %	enrochement	terre végétale	pas défavorable	entre 2 et 3m/s
D3b	P73	228.92	229.87	0.95	226.15	2.77	30 m	10 m	Digue de comboire	11	4	16.3 %	enrochement	terre végétale	pas défavorable	entre 2 et 3m/s
D11	P97	222.61	223.25	0.64	220.93	1.68	15 m	10 m	Digue Grenoble qui fait digue + OH sous l'A480	9	6	15.4 %	enrochement	enrochement	pas défavorable	entre 2 et 4m/s
D4	P102	221.59	224.05	2.46	220.08	1.51	50 m	35 m	Digue Grenoble + A480 qui fait digue	33	23	3.1 %	tout venant brut	tout venant brut	pas défavorable	entre 2 et 3m/s
D5	P107	220.38	222.59	2.21	218.60	1.78	55 m	45 m	Digue Grenoble + A480 qui fait digue	31	25	3.6 %	?	?	pas défavorable	entre 2 et 4m/s
D6	P118	217.59	219.65	2.06	215.00	0.50	50 m	45 m	Digue Grenoble + A480 qui fait digue	100	90	5.8 %	?	?	pas défavorable	entre 2 et 3m/s
D7	P123	216.30	216.90	0.60	214.15	2.15	20 m	5-10m	Digue Grenoble qui fait digue + A480	9	4	14.4 %	sabot enrochement	perré en bon état	pas défavorable	entre 2 et 3m/s
D8	P130	214.09	217.00	2.91	212.47	1.62	70 m	65 m	Digue Grenoble + A480 qui fait digue	43	40	2.5 %	?	?	pas défavorable	entre 2 et 3m/s
D9	P135	213.05	215.05	2.00	209.97	3.08	50 m	35 m	Digue Grenoble + A480 qui fait digue	16	11	6.8 %	?	?	pas défavorable	entre 2 et 4m/s
D10	P140	211.37	213.50	2.13	208.81	2.56	50 m	35 m	A480 qui fait digue	20	14	6.7 %	?	mur en pierre maçonnées	pas défavorable	entre 2 et 4m/s

PROPOSITION BRECHES de second rang

Num brèche	Num profil	Cote surface libre max (m NGF) pour Q100 (1800 m³/s)	Cote crête digue (mNGF)	Revanche avant débordement (m)	Cote TN arrière digue (m NGF)	Charge hydraulique (m)	Largeur totale arasement pour rupture	Largeur digue à la cote Q100	Nature crête de digue	Ratio largeur arasement / hauteur de charge	Ratio largeur digue à cote Q100 / hauteur de charge	Gradient hydraulique "géométrique"	Protection talus		Courantologie	
													pied de digue (°)	talus de digue (°)	Direction des vitesses	Vitesse de l'écoulement proche du talus
D1b	PM5	247.55	250.02	2.47	246.22	1.33	60 m	40 m	Digue Marceline	45	30	2.3 %	terre végétale	perré en pierres maçonnées	/	/
D1c	PM5.5	247.53	250.00	2.47	246.35	1.18	20 m	15 m	Digue Marceline	17	13	5.6 %	terre végétale	perré en pierres maçonnées - continuité canal béton	/	/

(\*) source EDD rive droite

Tableau 9 : Proposition de brèches en rive droite (1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> rang)

Remarque : la ligne d'eau indiquée considérée pour l'analyse de D1b et D1c, est la ligne d'eau extrapolée du lit mineur (scénario maximisant, par exemple embâcles au droit de l'ouvrage A ou ouvrages A fermé).





PROPOSITION BRECHES RIVE GAUCHE

Num brèche	Num profil	Cote surface libre max (m NGF) pour Q100 (1800 m³/s)	Cote crête digue (mNGF)	Revanche avant débordement (m)	Cote TN arrière digue (m NGF)	Charge hydraulique (m)	Largeur totale arasement pour rupture	Largeur digue à la cote Q100	Nature crête de digue	Ratio largeur arasement / hauteur de charge	Ratio largeur digue à cote Q100 / hauteur de charge	Gradient hydraulique "géométrique"	protection talus (°)		Courantologie	
													ped de digue	talus de digue	Direction des vitesses	Vitesse de l'écoulement proche du talus
G1	P6	255.84	259.00	3.16	255.07	0.77	25 m	18 m	chemin de la digue	32	23	4.40%	?	?	pas	entre 2 et 3m/s
G2	P34	247.42	246.88	-0.54	245.98	1.44	15 m	surverse	piste	10	surverse					
G3	P102	221.59	224.33	2.74	220.40	1.19	30 m	28 m	chemin de la digue (structure en simple trapèze)	25	23	5.2 %	Enrochements déversés	Perré maçonné recouvert de terre végétale	pas défavorable	< 2m/s
G3b	P108	220.21	222.83	2.62	218.50	1.71	25 m	15 m	chemin de la digue (structure en simple trapèze)	15	9	7.1 %	Enrochements déversés	Perré maçonné recouvert de terre végétale	pas défavorable	entre 2 et 3m/s
G4	P112	218.64	221.43	2.79	217.51	1.13	25 m	20 m	chemin de la digue (structure en double trapèze)	22	18	4.9 %	Enrochements déversés	Perré maçonné recouvert de terre végétale	pas défavorable	entre 2 et 3m/s
G5	P117	217.65	219.73	2.08	215.65	2.00	20 m	17 m	chemin de la digue (structure en simple trapèze / petit muret coté plaine)	10	9	10.5 %	Enrochements déversés	Perré maçonné recouvert de terre végétale	pas défavorable	< 2m/s
G6	P123	216.30	217.45	1.15	214.74	1.56	25 m	17m	chemin de la digue (structure en double trapèze / mur béton rue de la liberté)	16	11	8.2 %	Enrochements déversés	Perré recouvert de terre végétale	pas défavorable	< 2m/s
G7	P128	214.50	216.40	1.90	213.65	0.85	25 m	16 m	chemin de la digue (structure en double trapèze)	29	19	4.7 %	enrochements appareillés (sabot)	Perré recouvert de terre végétale	pas défavorable	entre 2 et 3m/s
G8	P135	213.05	214.01	0.96	210.72	2.33	25 m	11 m	chemin de la digue (structure en double trapèze)	11	5	14.6 %	enrochements appareillés (sabot)	Perré recouvert de terre végétale	pas défavorable	entre 2 et 3m/s
G9	P140	211.37	212.39	1.02	207.77	3.60	30 m	13 m	chemin de la digue (structure en double trapèze)	8	4	18 %	Enrochements appareillés (sabot)	Perré recouvert de terre végétale	pas défavorable	entre 2 et 4m/s

(\*) source EDD rive gauche

PROPOSITION BRECHES de second rang

Num brèche	Num profil	Cote surface libre max (m NGF) pour Q100 (1800 m³/s)	Cote crête digue (mNGF)	Revanche avant débordement (m)	Cote TN arrière digue (m NGF)	Charge hydraulique (m)	Largeur totale arasement pour rupture	Largeur digue à la cote Q100	Nature crête de digue	Ratio largeur arasement / hauteur de charge	Ratio largeur digue à cote Q100 / hauteur de charge	Gradient hydraulique "géométrique"	Protection talus		Courantologie	
													ped de digue (°)	talus de digue (°)	Direction des vitesses	Vitesse de l'écoulement proche du talus
F1		205.24	205.24	0.00	203.10	2.14	10 m	surverse	Digue du Furon	5	surverse		enrochements	enrochements	/	/
F2		205.21	205.10	-0.11	202.70	2.51	25 m	surverse	Digue du Furon	10	surverse		enrochements	terre végétale	/	/
F3		205.20	205.18	-0.02	203.15	2.05	20 m	surverse	Digue du Furon	10	surverse		enrochements	terre végétale	/	/

Tableau 10 : Proposition de brèches en rive gauche (1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> rang)





Certaines cases de ce tableau sont colorées pour les raisons suivantes :

- Lorsque la revanche est inférieure à 0.5 m (criticité vis-à-vis de la rupture par surverse),
- Lorsque la charge hydraulique est supérieure à 1.5 m (criticité globale vis-à-vis de la forte sollicitation hydraulique, érosion interne ou glissement).
- Lorsque le gradient hydraulique géométrique est supérieur à 10 % (criticité globale vis-à-vis de l'érosion interne et du glissement),
- Lorsque la présence et l'état des éventuelles protections de talus ne sont pas suffisamment connus,
- Lorsque les vitesses d'écoulement aux abords des talus sont supérieures à 2 m/s (criticité vis-à-vis de l'érosion externe).

**Il est important de rappeler que l'analyse est basée sur un regard croisé de l'intégralité de ces critères, sont d'ailleurs dépendants les uns des autres. De plus, le respect d'un critère de sécurité ne permet pas d'écarter à lui seul l'ensemble des scénarios de rupture (exemple : on ne peut écarter le risque d'érosion interne même si le remblai dispose d'une protection de talus type enrochement ou perré).**

## 9.4 CONCLUSION SUR LES BRÈCHES RETENUES

Le Comité Scientifique, a soulevé des interrogations quand à la plausibilité des brèches suivantes : Secteur Mon Logis (D1, D12, D1b, D1c), D4, D5, D6, D8, G3, G4. Ces ruptures ont semblé très peu probables à différents membres du Comité.

Une analyse approfondie a alors été menée sur ces brèches.

Ce chapitre a pour but d'argumenter et de conclure sur le choix de retenir ou d'écarter ces brèches (c'est-à-dire juger qu'elles sont impossibles ou totalement extravagantes).

### 9.4.1 SECTEUR MON LOGIS

Les conclusions de l'analyse sont les suivantes :

- **R1 « Rupture de la digue de Pont-de-Claix au droit de D1 » - scénario écarté** : Au vu de la configuration du site (RN85 et digue de Pont-de-Claix) et de la présence du dalot, la libération d'eau dans le canal par la brèche D1 est conditionnée par le débit pouvant passer à travers le dalot sous la N85. Une brèche en D12 serait plus pénalisante qu'une brèche en D1, notamment en termes de cinétique de remplissage du canal EDF.
- **R2 « Rupture de la digue de Pont-de-Claix au droit de D12 » - scénario retenu** : les éléments cités dans la partie 9.2 et le Tableau 9 ne nous permettent pas d'exclure ce scénario.
- **R3 « Remontée du Drac par les ouvrages C et B » - scénario écarté** : En effet, il est fait l'hypothèse que les ouvrages C et B sont fermés pour une crue centennale du Drac. La remontée des eaux du Drac dans le canal par ces ouvrages est donc exclue. Par ailleurs, le scénario R2, retenu, est maximisant par rapport au scénario R3.
- **R4 « Rupture de second rang de la digue Marceline au droit de D1b » - scénario écarté** : Les brèches D1b et D1c auraient pour conséquence d'inonder le « même compartiment topographique » intégrant la notion de système d'endiguement et de zone protégée. Au vu des caractéristiques hydrauliques et géométriques (digue est nettement plus étroite en D1c notamment), le secteur de D1c est plus critique que D1b. De plus nous rappelons que les critères hydraulique du Tableau 9 : Proposition de brèches en rive droite (1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> rang) sont déterminés sur la base de paramètres pessimistes (lignes d'eau au droit du lit mineur et ouvrage A avec embâcles ou fermé).
- **R5 « Rupture de second rang de la digue Marceline au droit de D1c » - scénario écarté** : Une étude de reconnaissances géotechniques et géophysiques a été menée en 2012 par la société IMSRN sur la digue Marceline. Dans le cadre de l'EDD Rive Droite, les paramètres suivants ont été relatés/calculés :
  - Érosion régressive : criticité jugée faible pour la digue Marceline car la digue est très large au profil PM6-7. Il n'est pas particulièrement évoqué le rétrécissement de l'ouvrage à proximité du pont.
  - Suffusion interne : non calculé pour crue centennale mais négligeable pour une crue de plein bord



- Boulance : pas de sensibilité au phénomène d'érosion interne par boulance
- Rupture par glissement : stabilité assurée.

Conclusion de l'EDD : « Un évènement initiateur d'érosion interne doit être au minimum la crue cinq-centennale. Pour les autres types d'érosion interne, les digues Marceline et de Comboire ne sont pas sensibles au phénomène de boulance. Quant à l'érosion régressive, le dimensionnement des ouvrages et notamment leur largeur ne permet pas d'atteindre de point de sortie en pied de digue. » (...) « Cette étude de stabilité vis-à-vis du risque de glissement nous amène à la conclusion que la stabilité des talus côté rivière et plaine des digues Marceline et de Comboire est satisfaisante, seules des instabilités pelliculaires sont constatées. »

« En conclusion, le risque d'érosion interne est faible vis-à-vis des ouvrages du système d'endiguement en raison de leurs dimensions, de leurs caractéristiques géotechniques mais aussi des conditions hydrauliques liées à l'abaissement du lit du Drac.

Une surveillance des ouvrages est nécessaire mais aussi suffisante dans le cas présent. » Notons que la présence de 2 ouvrages traversants est indiquée au PM2 et au PM4 sur la digue Marceline (potentiel facteur aggravant en l'absence de dispositif anti-renard) et que le gradient hydraulique calculé est compris entre 0,1 et 0,2.

En conclusion de l'EDD, la probabilité de défaillance de cet ouvrage est classée C (sur une échelle allant de A à E) et cette brèche de la digue de second rang est finalement modélisée dans l'EDD (au PM6 – pont sur la vanne de Mon Logis).

**Vis-à-vis de la présente approche, en tenant compte d'une part de ces conclusions et, d'autre part des caractéristiques de la brèche (revanche avant débordement supérieure à 2.5m, charge inférieure à 1.5m etc...), il est retenu d'écarter la brèche D1c, en concertation avec le comité scientifique.** De plus nous rappelons que les critères hydrauliques du Tableau 9 : Proposition de brèches en rive droite (1er et 2nd rang) sont déterminés sur la base de paramètres pessimistes (lignes d'eau au droit du lit mineur et ouvrage A avec embâcles ou fermé).

- **R6 « Effacement de l'ouvrage A » - scénario écarté**: L'ouvrage A est considéré comme fermé depuis 2019.

L'analyse des débordements du canal montre l'importance stratégique du système d'endiguement à ce niveau, ainsi que la nécessité d'y assurer un suivi pérenne et des contrôles réguliers, tant au regard de la structure des digues, que des consignes de gestion des vannes d'entrée du canal et de la vanne de Mon Logis.

La consigne d'exploitation de l'ouvrage A par EDF a été modifiée à la demande du SYMBHI pour imposer une fermeture totale ou partielle de la vanne dès lors que le Drac passe en « état de crue » (débit entrant du Drac au barrage du Saut du Moine d'environ 400 m<sup>3</sup>/s). En novembre 2019, une convention entre le SYMBHI et EDF est en cours d'élaboration. En outre, le dossier de demande

d'autorisation du système d'endiguement du Drac et le PAPI du Drac devront porter une attention particulière à ce secteur.

En conséquence de l'importance de la gestion de l'ouvrage pour la prévention des inondations et de la complexité du système d'endiguement impliquant plusieurs acteurs, les services de l'Etat souhaitent imposer des mesures au gestionnaire du système d'endiguement dans le PPRI du Drac pour garantir la pérennité du dispositif. L'objectif sera de s'assurer tous les ans de l'opérationnalité de la vanne et de l'organisation mise en place pour gérer sa fermeture totale ou partielle en cas de crue).

Les services de l'Etat prévoient également d'imposer des prescriptions visant à gérer d'éventuelles inondations par débordement du canal (information du public, diagnostics de vulnérabilité, espaces refuges...). Pour ce faire, la carte des aléas fait apparaître ce secteur en hachures grises sur la carte d'aléas.

#### 9.4.2 BRÈCHES D4, D5 ET D8


		D4	D5	D8
		P102	P107	P130
Rupture par surverse	Revanche avant débordement	2.46 m	2.21 m	2.91
	Présence de dispositif de protection	a priori non	a priori non	a priori non
Rupture par érosion interne	Hauteur de charge	1.51 m	1.78 m	1.62
	Nature de la digue	tout venant brut	?	?
	Gradient hydraulique "géométrique"	3.1 %	3.6 %	2.5 %
	Durée de la crue (de mise en charge)	18h	22h	30h
	Excavation, galeries, végétation type tronc d'arbre	a priori oui	a priori oui	a priori oui
	Ratio "largeur arasement / hauteur de charge"	33	31	43
	Présence d'ouvrage traversant et absence de dispositif anti-renard	non	non	non
Rupture par érosion externe	Vitesse de l'écoulement proche du talus	entre 2 et 3m/s	entre 2 et 4m/s	entre 2 et 3m/s
	Courantologie	pas défavorable	pas défavorable	pas défavorable
	Protection du talus (*)	tout venant brut	?	?
Rupture par glissement	Pente du talus (*)	2H/1V à 3H/2V	2H/1V	3H/2V
	Ratio "largeur arasement / hauteur de charge"	33	31	43
	Nature de la digue	?	?	?
Brèche EDD		oui	non	non

(\*) source EDD Rive droite

**Tableau 11 : Récapitulatif et synthèse D4, D5 et D8**

**Selon les éléments cités, les brèches D4, D5 et D8 n'auraient pas de raison d'être écartées, au regard des risques de rupture par érosion interne, externe ou par glissement (en partie liée à l'absence d'investigations géotechniques de ces ouvrages).**

**Toutefois, lors des échanges avec le Comité Scientifique, il a été considéré que la rupture D8 était quasi impossible du fait d'une largeur exceptionnelle du remblai à ce niveau (A480).**



Cette importante largeur du remblai sur ce tronçon (~70 m) conduit à un ratio « Largeur d'arasement / hauteur de charge de 43 », pour une configuration où la hauteur de charge est d'environ 1.60 m (très proche du seuil de 1,50m), pour laquelle la revanche avant débordement est de l'ordre de 2.90 m. La brèche D8 a été écartée de l'analyse. Les autres brèches ont été conservées.

### 9.4.3 BRÈCHE D6

La brèche D6 avait initialement été retenue par le comité scientifique, sur la base d'une charge hydraulique de 2.6 m au droit de la digue. Mais des aménagements en remblais ont été réalisés dans le secteur Bouchayer-Viallet, modifiant la topographie à l'arrière de la digue.

Les études réalisées par ARCADIS (géotechnique – Etude 18-000227 de mars 2018) et INGEROP (Hydraulique – Etude CM321201 d'avril 2018) ont montré que les aménagements déjà réalisés (remblai en arrière de la digue sous C1 et C2) et les constructions envisagées (D1, D2) étaient de nature à limiter le risque de rupture au droit de la brèche D6 et ainsi réduire la vulnérabilité de la zone d'Activité de Bouchayer Viallet vis-à-vis du risque inondation par le Drac.

La mise en charge de la digue au droit du tronçon D6 est désormais inférieure à 50 cm. Conformément à ces études, la brèche D6 est écartée de l'analyse.

### 9.4.4 BRÈCHES G3 ET G4

#### 9.4.4.1 Contexte

D'abord écartée dans le dossier de porter à connaissance des aléas en mai 2018, l'hypothèse de brèche G3 avait ensuite été retenue dans le projet de PPRI du Drac de décembre 2019 pour la consultation des partenaires et organismes associés, à la suite de la rectification d'une erreur identifiée en 2019 sur la hauteur de mise en charge de la digue. L'analyse et les échanges menés en particulier avec les membres du comité de suivi des aléas, à la suite de cette consultation de décembre 2019, ont finalement conduit les services de l'Etat à prendre la **décision d'écarter l'hypothèse de brèche G3 dans la suite de l'élaboration du PPRI Drac.**



## 9.4.4.2 Analyse concernant la brèche G4 et la brèche G3

### 9.4.4.2.1 Analyse de la brèche G4

Selon les éléments cités, la brèche G4 n'aurait pas de raison d'être écartée comme étant une brèche quasi impossible, au regard des risques de rupture par érosion interne, externe ou par glissement. De plus, le ratio « largeur d'arasement / hauteur de charge » est de 22, ce qui est plutôt dans la moyenne des ratios calculés pour les autres brèches.

### 9.4.4.2.2 Analyse de la brèche G3

En ce qui concerne la brèche G3 en 2018, la charge hydraulique pour cette brèche était très faible, inférieure à 50 cm, les vitesses d'écoulement aux abords du talus sont inférieures à 2 m/s et, de plus, le ratio « largeur d'arasement / hauteur de charge » était de 45, ce qui est d'assez loin la valeur la plus élevée de tous les ratios calculés.

Enfin, le gradient hydraulique géométrique était plus faible pour la brèche G3 (2.2% contre 4.9% pour la brèche G4).

Il avait ainsi été proposé en 2018 de considérer que la brèche G3 puisse être écartée de l'analyse (brèche quasi impossible).

L'analyse des hauteurs de mise en charge avait toutefois permis de positionner une nouvelle brèche G3b entre G3 et G4 afin d'étudier le risque dans le secteur. La brèche G3b est située à environ 800 m en aval de la brèche G3. La brèche G3 est la brèche la plus en amont de ce secteur. Autrement dit, la zone protégée à l'arrière de la brèche G3 n'est pas inondée par une autre brèche située plus en amont.

Compte-tenu de la mise à jour des critères de la brèche G3 en 2019, il avait été décidé par l'État, sans consensus du comité des aléas, de conserver l'hypothèse de cette brèche pour la réalisation de la carte des aléas. A l'époque, l'État considérait ne pas disposer d'éléments suffisants pour écarter cette brèche.

A la suite de la consultation des personnes et organismes associés (POA) sur le projet de PPRi du Drac de décembre 2019, de nouveaux éléments ont été apportés par les partenaires et ont été débattus avec les membres du comité de suivi des aléas.

Ces éléments sont synthétisés dans le rapport « Probabilité de rupture par érosion interne, version D, ISL du 17/04/2020 », réalisé pour le compte du SYMBHI, qui s'appuie sur :

- des données hydrauliques récentes (modèle PPRi d'INGEROP) ;
- une note d'EDF sur la mise en eau du barrage de Saint-Egrève ;
- des résultats d'essai d'érosion de trou, réalisés sur des matériaux des digues du Drac.



La logique du rapport est synthétisée ci-après :

- Justification que le mécanisme de rupture le plus probable est le mécanisme d'érosion de conduit.
- Justification que le risque d'érosion de conduit est davantage concentré dans la digue et sa fondation superficielle.
- Mise en évidence de la sensibilité des matériaux à l'érosion de conduit par des essais d'érosion de trou réalisés sur des fractions fines de graves sableuses ou sablo-limoneuses.
- Dans l'impossibilité de pouvoir écarter ce mécanisme sur la seule base d'une approche théorique, analyse du retour d'expérience de la mise en eau du barrage de Saint-Egrève, qui a mis en charge les anciennes digues de l'Isère et du Drac.
- Mise en évidence que cette mise en eau s'est faite sans développement d'un tel mécanisme, avec des gradients entre 0.16 et 0.20.
- Développement d'une approche experte d'estimation de la probabilité en fonction du gradient d'écoulement, basée sur ce retour d'expérience.
- Détermination du gradient d'écoulement pour le profil 102 et conclusion sur la probabilité de rupture.

L'analyse du rapport du SYMBHI a été confiée par INGEROP à sa filiale GEOS INGENIEURS CONSEILS SA regroupant des ingénieurs spécialisés en génie civil, géotechnique, hydraulique et environnement.

L'analyse des différentes caractéristiques de la brèche G3 d'une part et l'analyse de l'argumentaire détaillé présent dans le rapport du SYMBHI d'autre part, aboutissent aux considérations suivantes :

- les caractéristiques de la brèche G3 respectent tous les critères de sécurité définis par le comité des aléas (se référer au chapitre 9.3.4 du rapport hydraulique) ;
- la très faible probabilité de rupture de la digue rive gauche du Drac au niveau de la brèche potentielle G3 a été démontrée ; elle a été estimée par une approche qui certes s'appuie sur une démarche experte, mais qui à chaque étape de l'analyse, considère des paramètres dont le caractère prudent est démontré ;
- il existe sur ce même tronçon de digue homogène un risque accru de rupture de la digue au point G3b, à proximité de G3.

Ainsi, au regard des éléments d'analyse débattus dans le cadre du comité de suivi des aléas au sujet de la brèche G3, et d'autre part, de l'analyse des avis des membres du comité convergeant vers un avis favorable du comité de suivi à la suppression de cette brèche, **l'État a finalement décidé d'écarter la brèche G3.**

**La brèche G3b, positionnée entre G3 et G4, est conservée afin d'étudier le risque dans le secteur.**



## 9.4.5 SCÉNARIOS DE BRÈCHE RETENUS

Les figures ci-après présentent la localisation des brèches finalement retenues, pour lesquelles une modélisation hydraulique des conditions d'écoulement en crue avec défaillance de l'ouvrage a été réalisée.

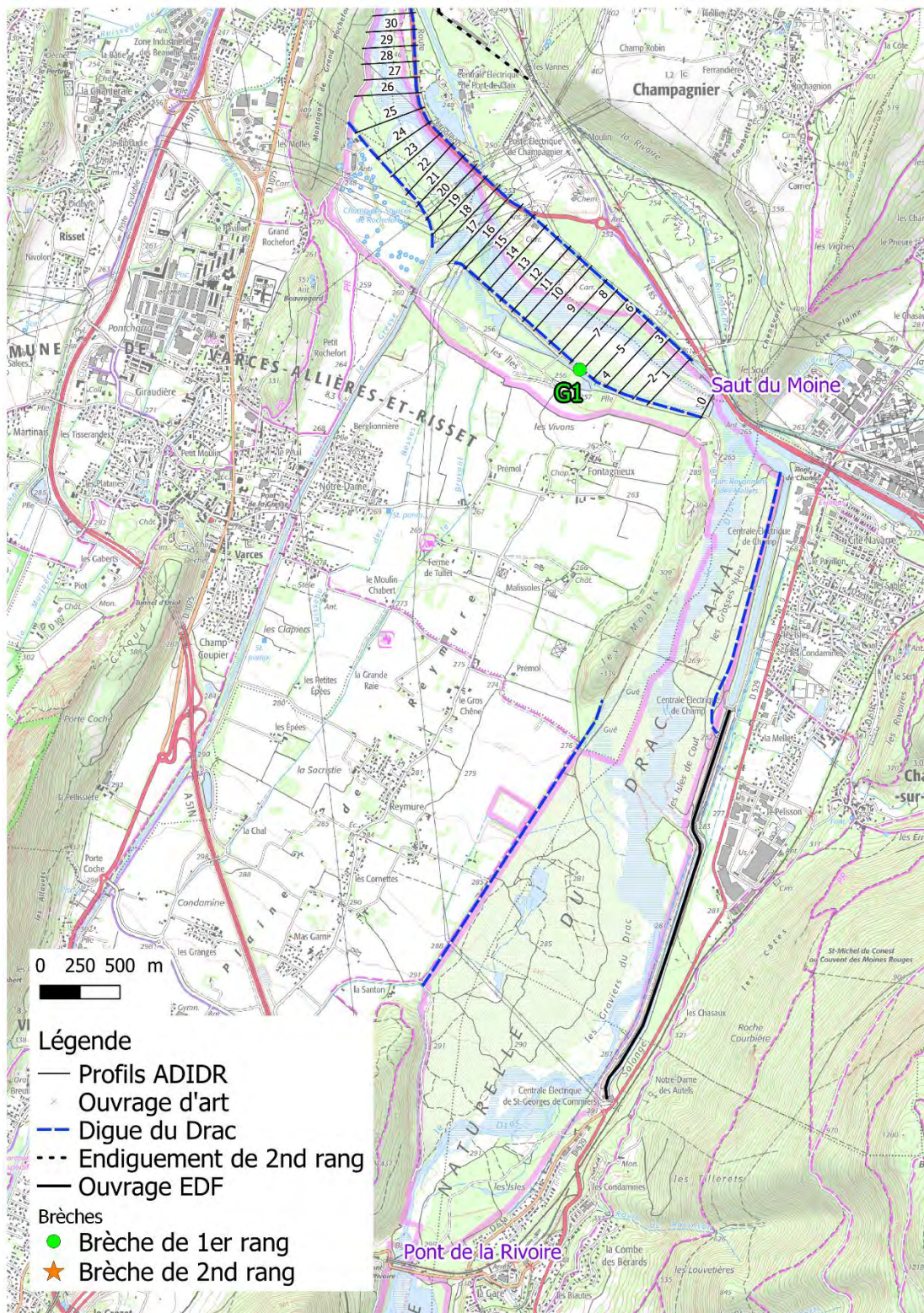


Figure 111 : Positionnement des brèches retenues – Part 1/3



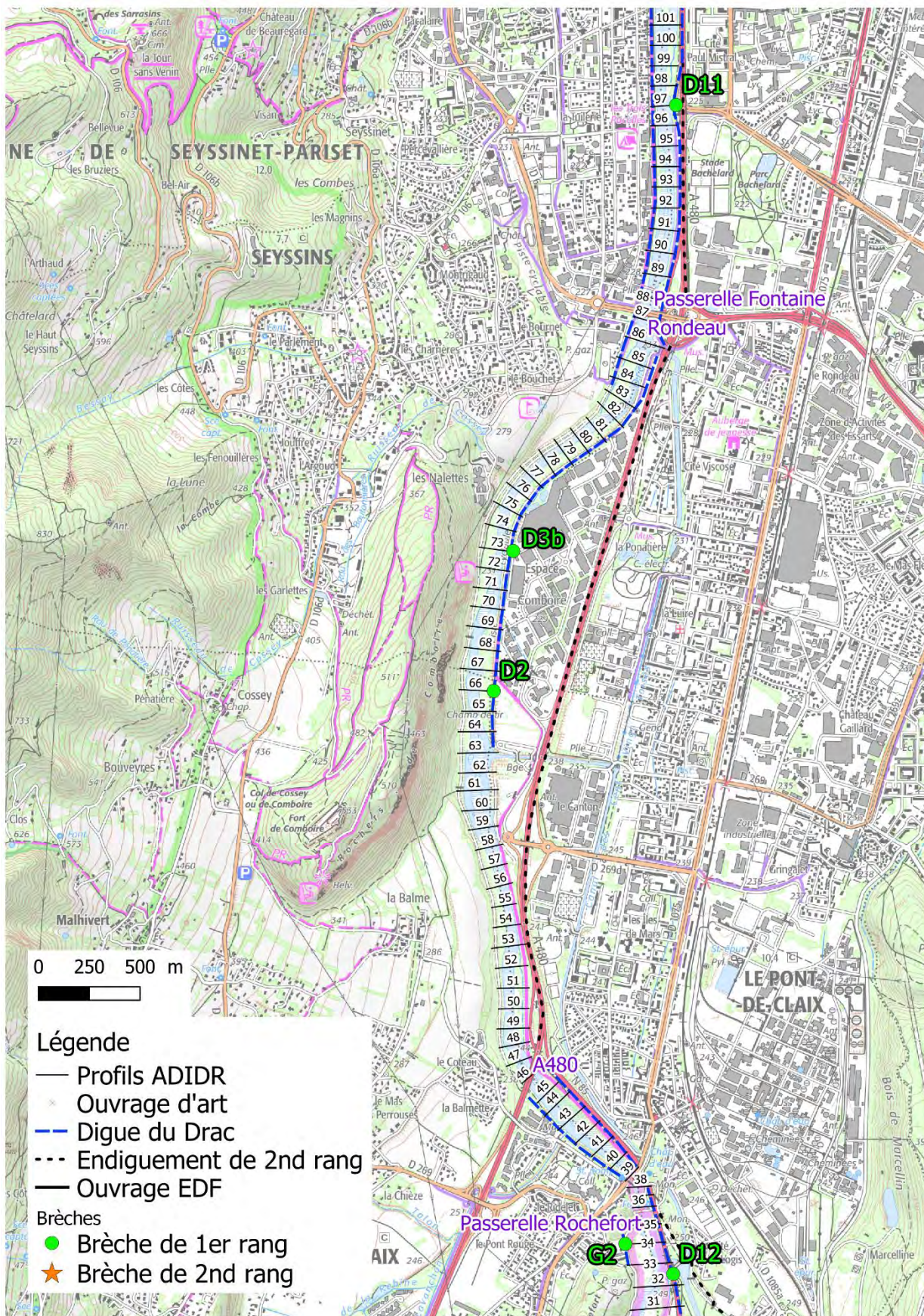


Figure 112 : Positionnement des brèches retenues – Part 2/3



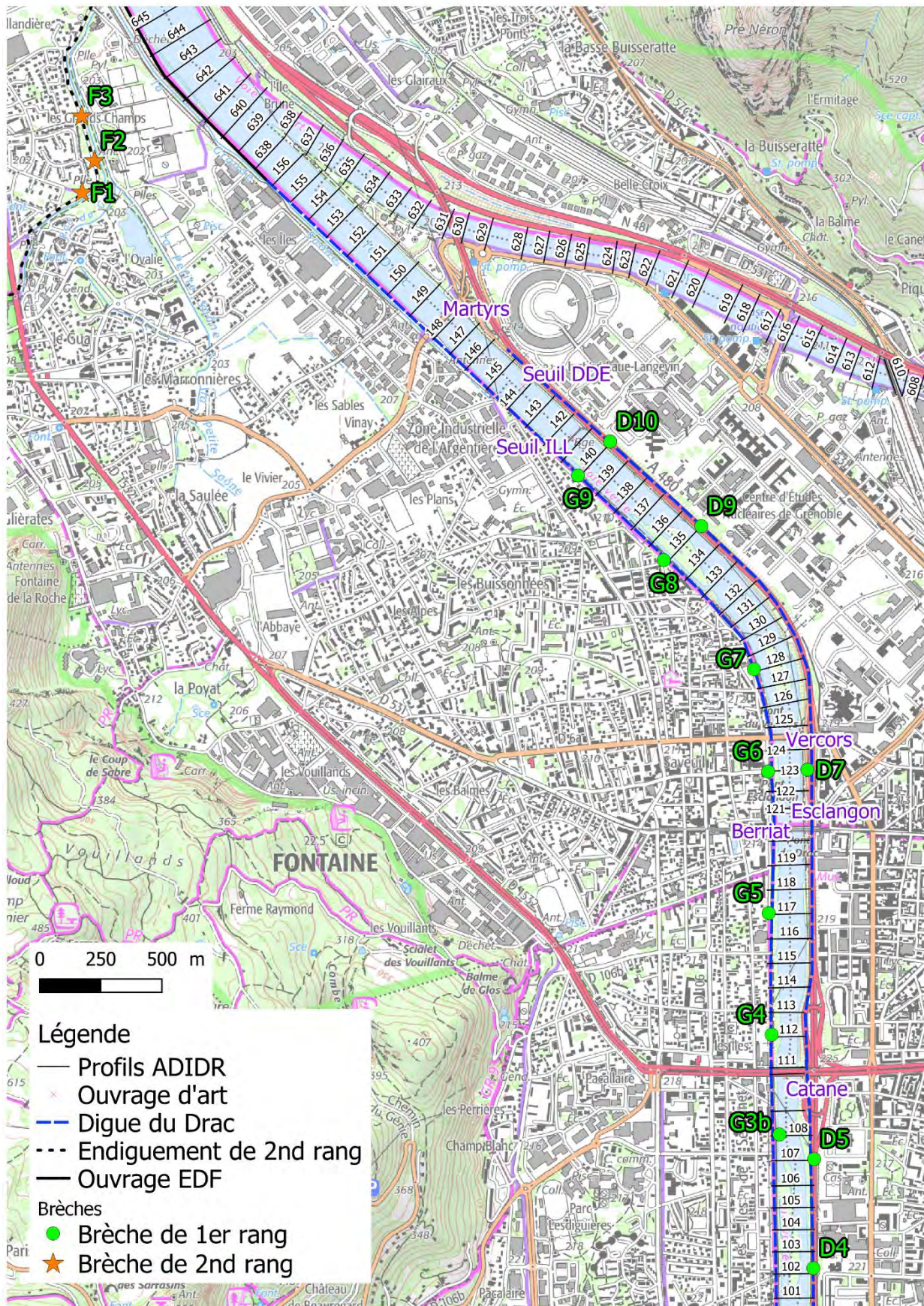


Figure 113: Positionnement des brèches retenues – Part 3/3



## 9.5 PARAMÉTRAGE DES BRÈCHES

Le paramétrage des brèches défini dans ce chapitre concerne les brèches de 1<sup>er</sup> rang. Le paramétrage des brèches de second rang fait l'objet d'un chapitre particulier (cf. 9.5.4).

### 9.5.1 INSTANT DE RUPTURE

En cohérence avec les études antérieures, sur le Drac comme sur d'autres cours d'eau, à savoir :

- EDD Rive droite,
- EDD Rive gauche,
- EDD Furon,
- EDD Durance,
- PPRi Isère,
- (...),

**L'instant de rupture de la digue est réalisé au pic de crue.** Il s'agit de l'hypothèse conduisant à une onde de rupture au débit de pointe le plus élevé.

Dans le cas des ruptures par surverse, l'instant du début de rupture est celui du début de surverse.

### 9.5.2 DIMENSIONS DES BRÈCHES

La méthodologie proposée considère que la brèche se forme en deux temps. Dans la première phase, la brèche se forme sur une largeur initiale avec une certaine cinétique (décrite au paragraphe 9.5.3 ci-dessous) et, dans un second temps, la brèche s'élargit jusqu'à atteindre une largeur finale avec une cinétique d'ouverture plus lente.

Ainsi, en fonction de la nature et des caractéristiques géométriques des digues, deux types de brèches ont été retenus en concertation avec le comité de suivi et la DDT38 :

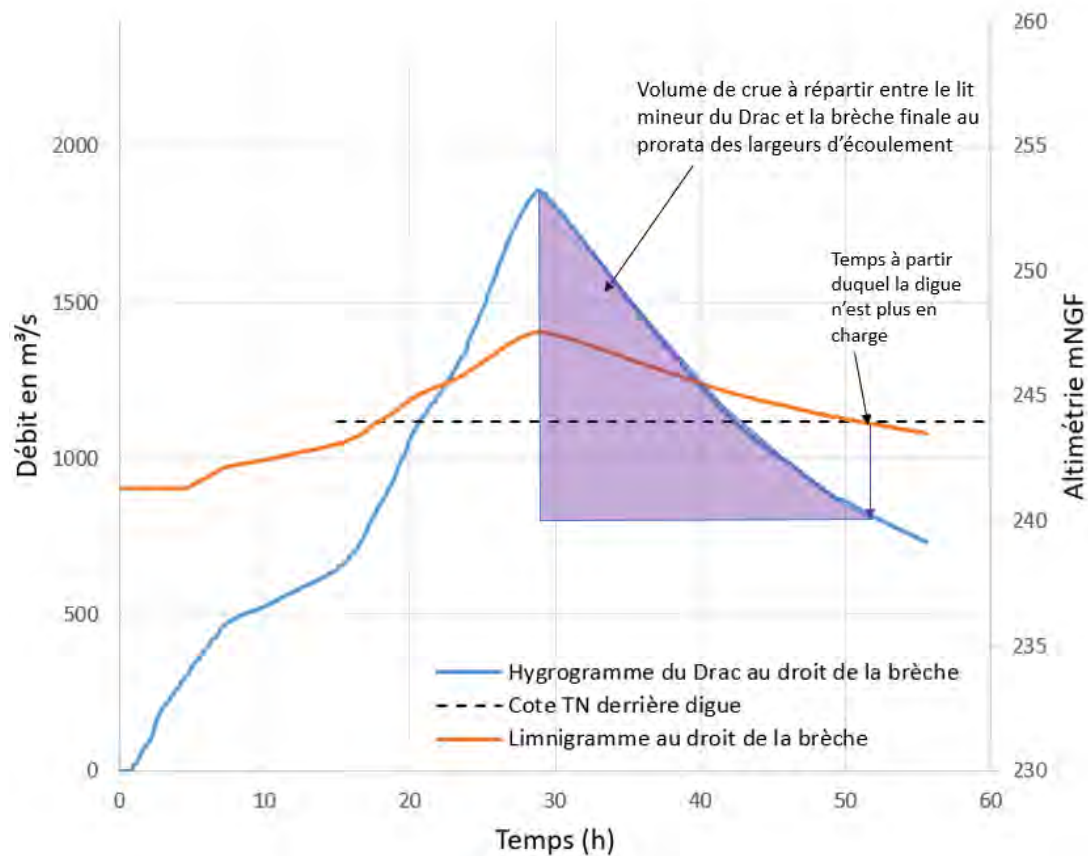
- Type 1 : largeur finale de 50 m
- Type 2 : largeur finale de 100 m

En ce qui concerne la largeur initiale des brèches, pour chacune des brèches proposées, une estimation a été réalisée. La méthodologie du calcul est présentée ci-dessous :

- La largeur du Drac au droit de chaque brèche proposée est mesurée. De manière sécuritaire (absence de considération de facteurs qui auraient tendance à réduire le flux transitant par la brèche, comme par exemple : angle de la brèche par rapport au flux en lit mineur, effet d'obstacle des bâtiments dans la zone protégée, surélévation topographique ou configuration en casier), il est fait l'hypothèse qu'en cas de brèche, le flux se répartisse entre le lit mineur du Drac et la largeur de la brèche finale. Le volume d'eau pouvant transiter par la brèche au moment de la rupture est alors calculé au prorata de la largeur de brèche finale par rapport à la largeur du Drac au droit de la brèche.



- Au droit de chaque de brèche, un hydrogramme (variation du débit en fonction du temps) en lit mineur ainsi qu'un limnigramme (variation du niveau d'eau en fonction du temps) sont extraits du modèle (Q(t) et Surface Libre (t)). La hauteur de charge de la digue au droit de chaque brèche proposée est également calculée.



**Tableau 12 : Estimation du volume de crue pouvant transiter dans une brèche**

Après exploitation des résultats du modèle, les variables suivantes sont utilisées pour le calcul :

- Volume estimé pouvant transiter dans la brèche,
- Hauteur de charge maximale.

La largeur initiale de formation des brèches est ensuite calculée à l'aide de 5 formules :

- Froelich 1987
- Froelich 1995
- Von Thun and Gilette (1990)
- US Bureau of Reclamation
- "Office Fédéral des Eaux et de la Géologie (Suisse). R.W. Müller, (2003)"

Une moyenne entre les résultats obtenus par ces différentes formulations est ensuite calculée afin de proposer une valeur de largeur initiale pour chaque brèche, comme le présente le tableau suivant :

	Num profil	crête digue (mNGF)	Pt bas TN arrière digue (mNGF)	Ligne d'eau max (mNGF) avec embâcles	charge hydraulique (m)	Largeur DRAC au droit de la brèche proposée (m)	Largeur initiale de la brèche (m)	Proposition INGEROP LARGEUR INI BRECHE (m)
D12	P32-P33	248.12	243.15	247.53	4.38	200	31	30
D2	P66	231.21	228.40	230.31	1.91	155	22	25
D3b	P73	229.87	226.15	228.92	2.77	130	28	30
D11	P97	223.25	220.93	222.61	1.68	100	23	25
D4	P102	224.05	220.08	221.59	1.51	135	21	20
D5	P107	222.59	218.60	220.38	1.78	135	22	20
D7	P123	216.90	214.15	216.30	2.15	130	24	25
D9	P135	215.05	209.97	213.05	3.08	170	28	30
D10	P140	213.50	208.81	211.37	2.56	170	26	30
G1	P6	259.00	255.07	255.84	0.77	500	15	15
G2	P34	246.88	245.98	247.42	1.44	200	17	20
G3b	P108	222.83	218.50	220.21	1.71	135	22	20
G4	P112	221.43	217.51	218.64	1.13	100	19	20
G5	P117	219.73	215.65	217.65	2.00	140	24	25
G6	P123	217.45	214.74	216.30	1.56	130	20	20
G7	P128	216.40	213.65	214.50	0.85	170	16	15
G8	P135	214.01	210.72	213.05	2.33	170	25	25
G9	P140	212.39	207.77	211.37	3.60	170	29	30

**Tableau 13 : Estimation de la largeur initiale de formation des brèches proposées**

### 9.5.3 VITESSE D'OUVERTURE

En fonction de la nature et des caractéristiques géométriques des digues, deux types de brèches ont été retenus en concertation avec le comité de suivi et la DDT38 :

- Type 1 : vitesse de 1m/min jusqu'à largeur initiale, puis vitesse de 0.1m/min jusqu'à 50 m,
- Type 2 : vitesse de 1m/min jusqu'à largeur initiale, puis vitesse de 0.4m/min jusqu'à 100 m.

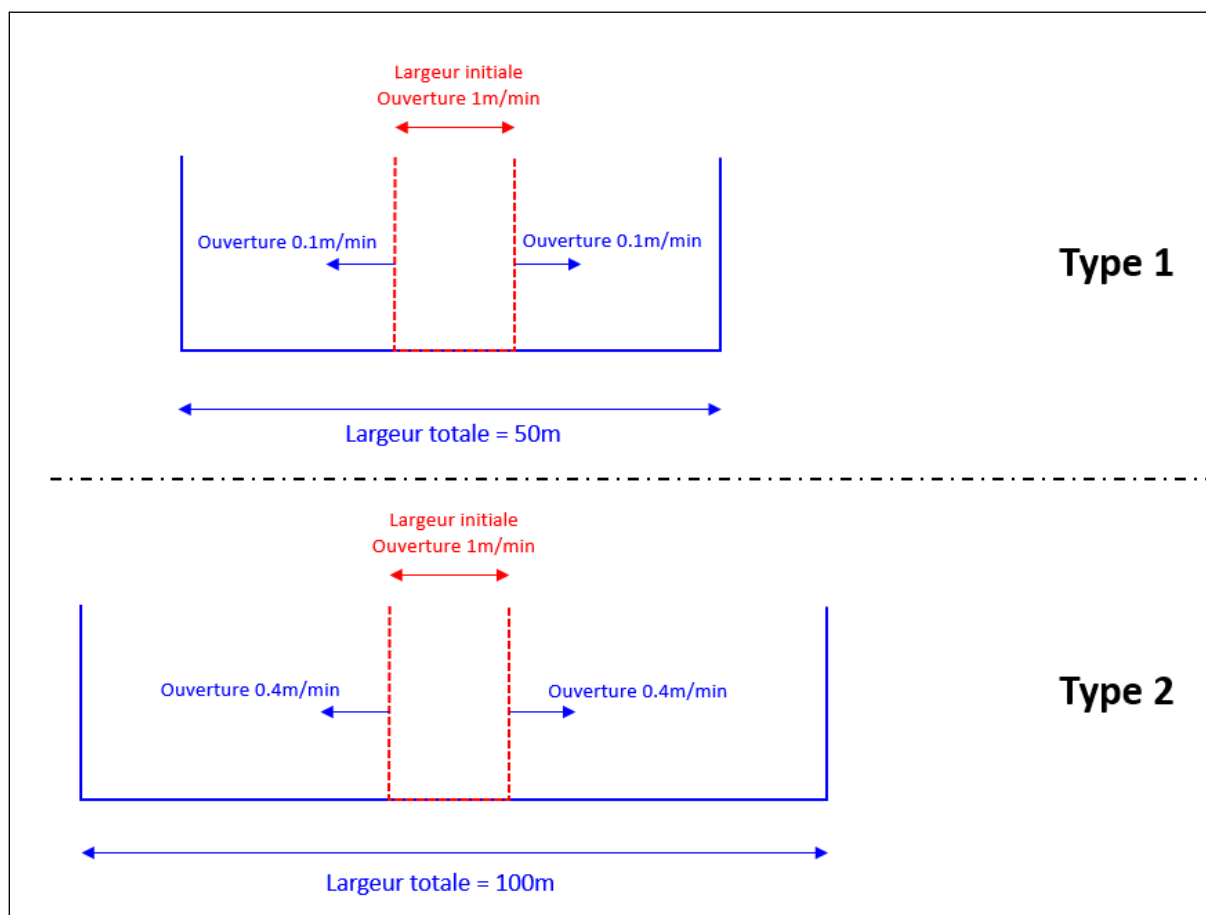


Figure 114 : Schéma représentant les vitesses d'ouverture de brèches par type

### 9.5.4 CAS PARTICULIER – RUPTURE DE SECOND RANG

Trois ruptures de second rang sont retenues dans le cadre de l'étude. Ces ruptures sont situées sur la digue du Furon, en rive gauche.

Il a été validé, en accord avec la DDT38 et le comité scientifique, de retenir le même paramétrage que dans l'EDD Furon, à savoir que le développement d'une brèche dans la digue se fait en 2 phases décrites ci-après.

Le scénario « S15 » de l'EDD, correspondant à une rupture des digues du Drac provoquant une surverse par-dessus les digues du Furon, a donc été repris dans le cadre du PPRi Drac.

Les caractéristiques des brèches du Furon du scénario « S15 » sont les suivantes :



Scénario	Crue	Localisation brèche * / Profils	Heau** (m)	Pente talus (m/m)	Largeur phase 1 (m)	Tps formation phase 1 (minutes)	Largeur phase 2 (m)	Tps formation phase 2 (minutes)
S3	Q100	RD : F_39 à F_40	1.45	1/1	5	6	10	30
S3	Q100	RG: F_50 à F_51	1.50	1/1	5	6	10	30
S4	Q1000	RD : F_39 à F_40	1.60	1/1	5.2	6	10	30
S4	Q1000	RG : F_50 à F_51	1.80	1/1	5.6	6	10	30
S6	Q1000	déversoir F_39 à F_40	2.10	1/1	6.4	7.2	10	30
<b>S15</b>	Q10 Furon -Q500 Drac	RG : F_51 à F_52 F_58 à F_59 F_62 à F_63	2.0	1/1	6.2	6	10	30

Figure 115 : Extrait de l'EDD Furon – Caractéristiques des brèches

Au vu, d'une part des caractéristiques de la phase 1 à savoir un temps de développement très court et une largeur très faible et, d'autre part, de la taille globale du modèle rive gauche, et notamment de la taille de maille d'environ 5 m, **il est retenu de réaliser les 3 brèches de l'EDD, en simultané avec les caractéristiques suivantes :**

- **Instant de rupture : à l'atteinte de la surverse**
- **Dimensions : largeur totale de 16 m**
- **Temps de formation : 35 min (soit une cinétique d'ouverture d'env. 0.5m/min identique à la cinétique d'ouverture globale considérée dans l'EDD).**

Les ruptures de second rang sont intégrées dans le scénario de brèche G9, pour lequel le débit transitant par la brèche est le plus important (310 m<sup>3</sup>/s contre 240 m<sup>3</sup>/s pour la G8).

### 9.5.5 SYNTHÈSE

Au total, 18 brèches de premier rang sont retenues et 3 ruptures de second rang.

1 <sup>er</sup> rang			Paramètres de rupture - Synthèse				
Num brèche	Num profil	Nature crête de digue	Cause(s) de rupture que l'on ne peut qualifier d'impossible(s)	Déclenchement	Largeur initiale	Cinétique de rupture	Largeur maximale
D12	P32-P33	RN85 + Digue de pont de Claix qui fait digue	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	30	1m/min jusqu'à Lini puis 0.1m/min jusqu'à 50m	50
D2	P66	Digue de comboire	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	25	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100
D3b	P73	Digue de comboire	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	30	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100
D11	P97	Digue Grenoble qui fait digue + OH sous l'A480	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	25	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100
D4	P102	Digue Grenoble + A480 qui fait digue	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	20	1m/min jusqu'à Lini puis 0.1m/min jusqu'à 50m	50
D5	P107	Digue Grenoble + A480 qui fait digue	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	20	1m/min jusqu'à Lini puis 0.1m/min jusqu'à 50m	50
D7	P123	Digue Grenoble qui fait digue + A480	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	25	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100
D9	P135	Digue Grenoble + A480 qui fait digue	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	30	1m/min jusqu'à Lini puis 0.1m/min jusqu'à 50m	50
D10	P140	A480 qui fait digue	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	30	1m/min jusqu'à Lini puis 0.1m/min jusqu'à 50m	50

Tableau 14 : Tableau récapitulatif des brèches proposées en rive droite et leurs paramètres de rupture

1 <sup>er</sup> rang			Paramètres de rupture - Synthèse				
Num brèche	Num profil	Nature crête de digue	Mécanisme rupture	Déclenchement	Largeur initiale	Cinétique de rupture	Largeur maximale
G1	P6	chemin de la digue	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	15	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100m
G2	P34	piste	surverse, érosion interne, externe ou glissement	surverse	20	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100m
G3b	P108	<b>chemin de la digue</b> (structure en double trapèze)	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	20	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100m
G4	P112	<b>chemin de la digue</b> (structure en double trapèze)	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	20	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100m
G5	P117	<b>chemin de la digue</b> (structure en simple trapèze / petit muret coté plaine)	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	25	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100m
G6	P123	<b>chemin de la digue</b> (structure en double trapèze / mur béton rue de la liberté)	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	20	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100m
G7	P128	<b>chemin de la digue</b> (structure en double trapèze)	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	15	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100m
G8	P135	<b>chemin de la digue</b> (structure en double trapèze)	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	25	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100m
G9	P140	<b>chemin de la digue</b> (structure en double trapèze)	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue	30	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à 100m	100m
2 <sup>nd</sup> rang							
F1 F2 F3		<b>Digue du Furon - rive gauche</b>	érosion interne, externe ou glissement	pic de crue / en simultané		env. 0.5m/min	16m

Tableau 15 : Tableau récapitulatif des brèches proposées en rive gauche et leurs paramètres de rupture



## 10 RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS

Pour chacune des brèches, les éléments suivants sont présentés :

- un tableau récapitulant les caractéristiques de la brèche,
- un hydrogramme passant par la brèche lors de la rupture,
- les cartographies de hauteurs d'eau et vitesses maximales,
- les cartographies de la dynamique d'écoulement consécutive à la rupture

### 10.1 BRÈCHES RIVE GAUCHE

#### 10.1.1 BRÈCHE G1

Les éléments et résultats relatifs à la brèche G1 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE G1
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	15 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	100 m
Cote abaissement brèche	255.07 mNGF
Hauteur de mise en charge	0.77 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.4m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h55
Débit de pointe de l'onde	66 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	env. 17h

Tableau 16 : Caractéristiques de la brèche G1

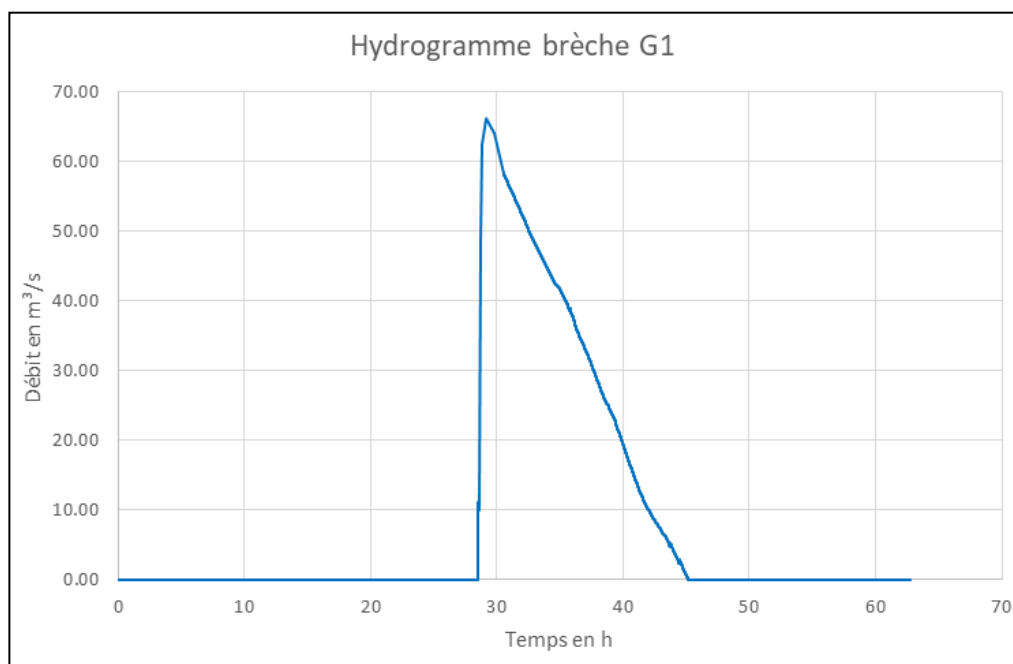


Figure 116 : Hydrogramme de la brèche G1

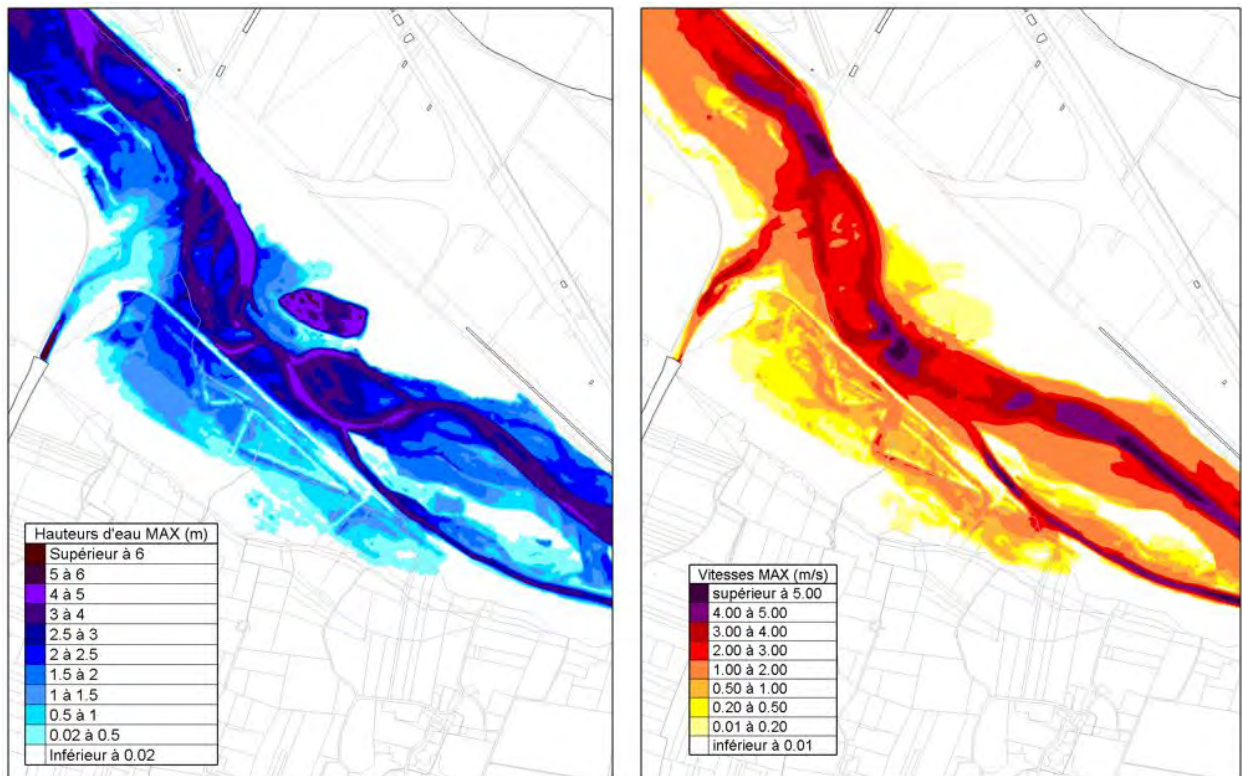


Figure 117 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G1

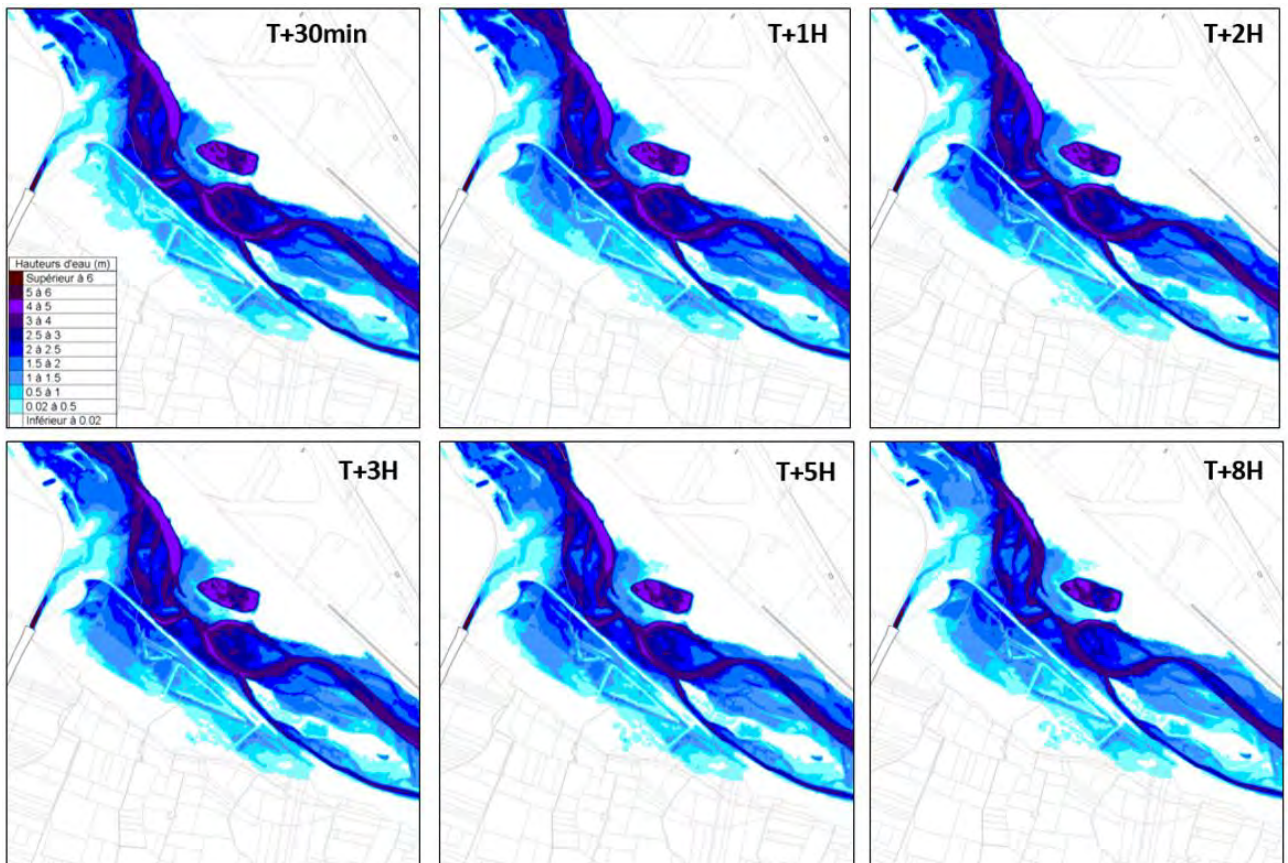


Figure 118 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G1

### 10.1.2 BRÈCHE G2

Les éléments et résultats relatifs à la brèche G2 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE G2
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	surverse
Largeur brèche initiale (Lini)	20 m
Longueur brèche totale (Lmax)	100 m
Cote abaissement brèche	245.98 mNGF
Hauteur de mise en charge	1.44 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à Lmax
Durée totale d'ouverture	1h50
Débit de pointe de l'onde	20.5 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	env. 10h

Tableau 17 : Caractéristiques de la brèche G2

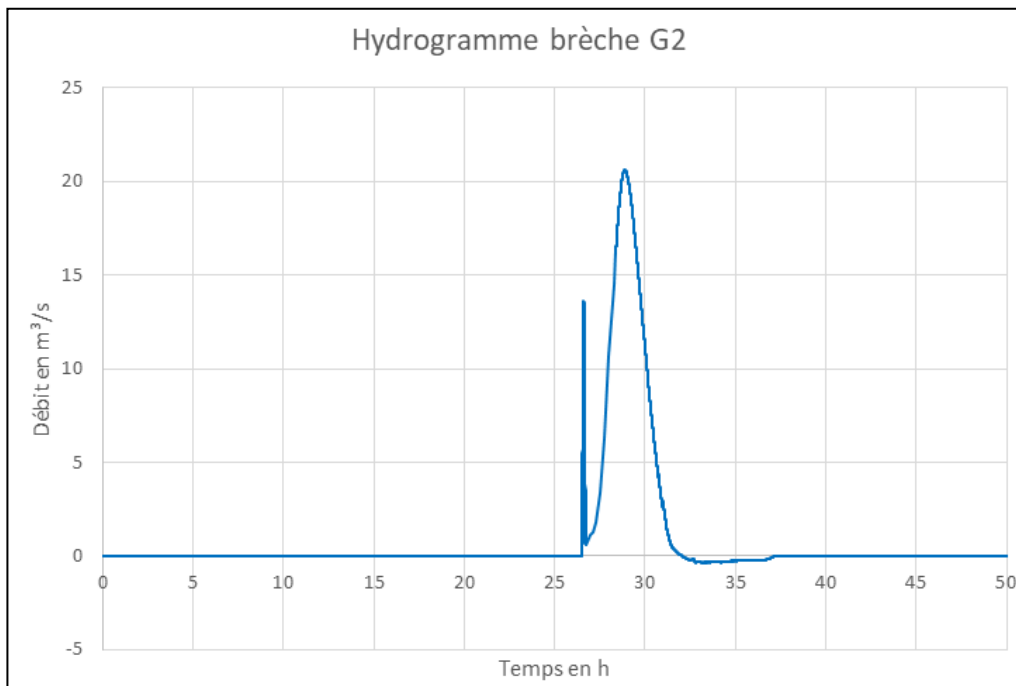
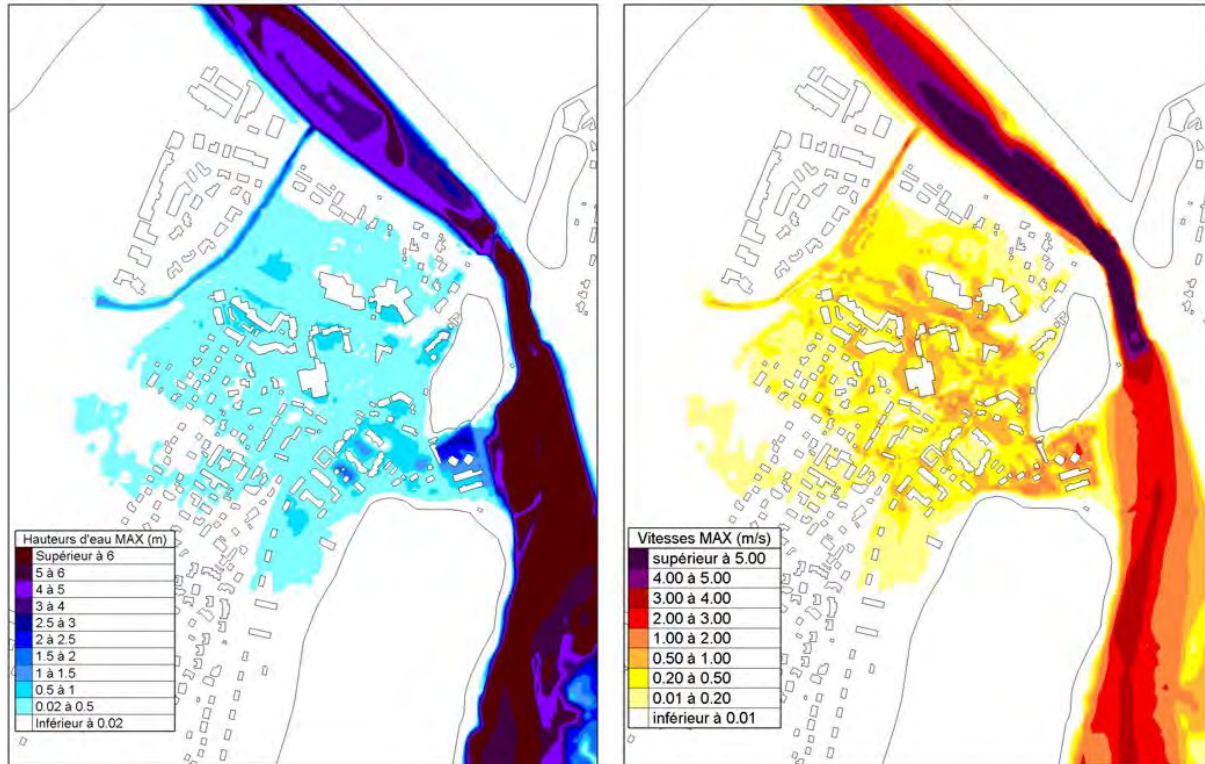


Figure 119 : Hydrogramme de la brèche G2





**Figure 120 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G2**

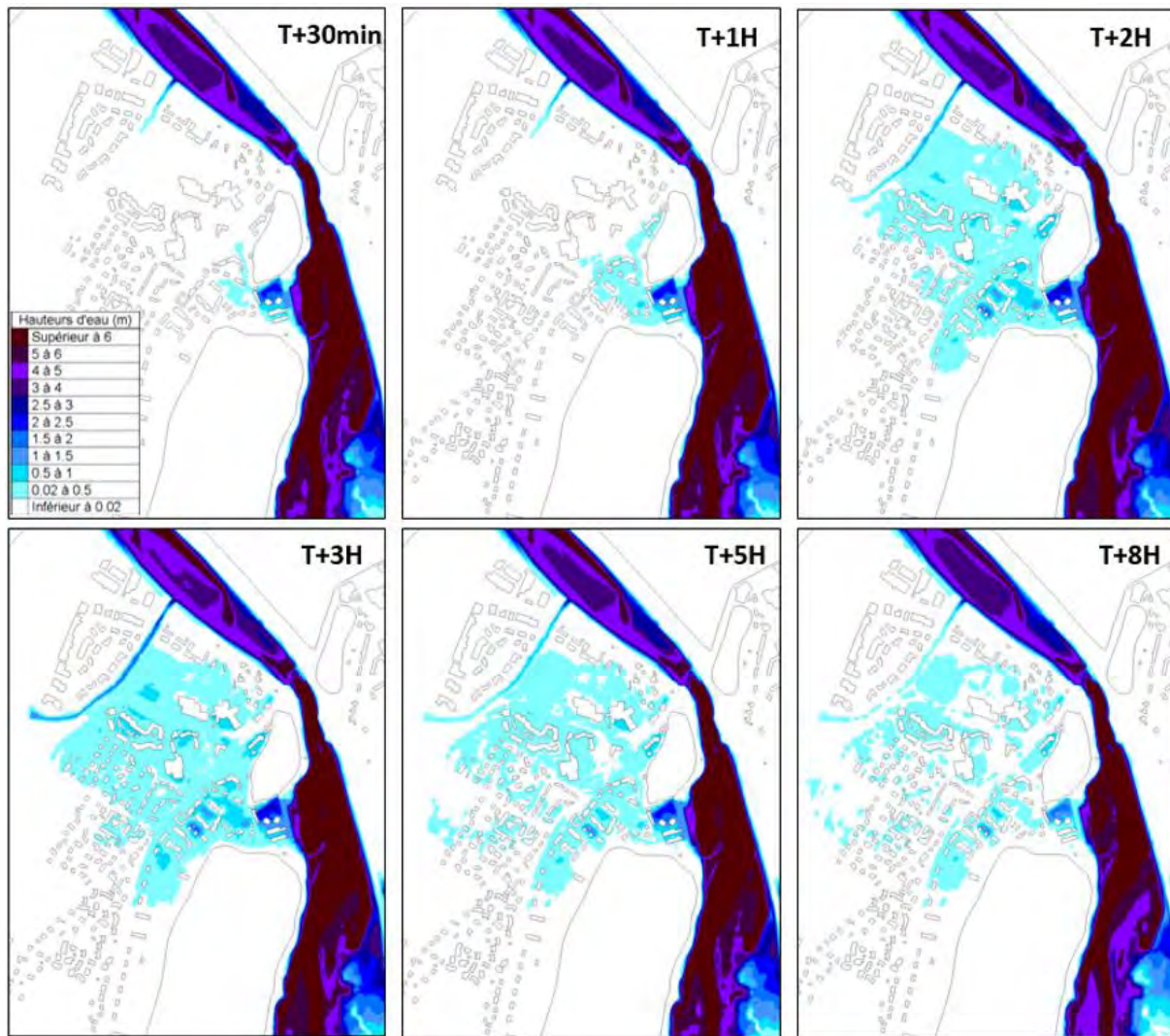


Figure 121 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G2

### 10.1.3 BRÈCHE G3B

Les éléments et résultats relatifs à la brèche G3b sont présentés ci-dessous :

	BRECHE G3b
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale (Lini)	20 m
Longueur brèche totale (Lmax)	100 m
Cote abaissement brèche	218.5 mNGF
Hauteur de mise en charge	2 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à Lmax
Durée totale d'ouverture	1h50
Débit de pointe de l'onde	125 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	env. 15h

Tableau 18 : Caractéristiques de la brèche G3b



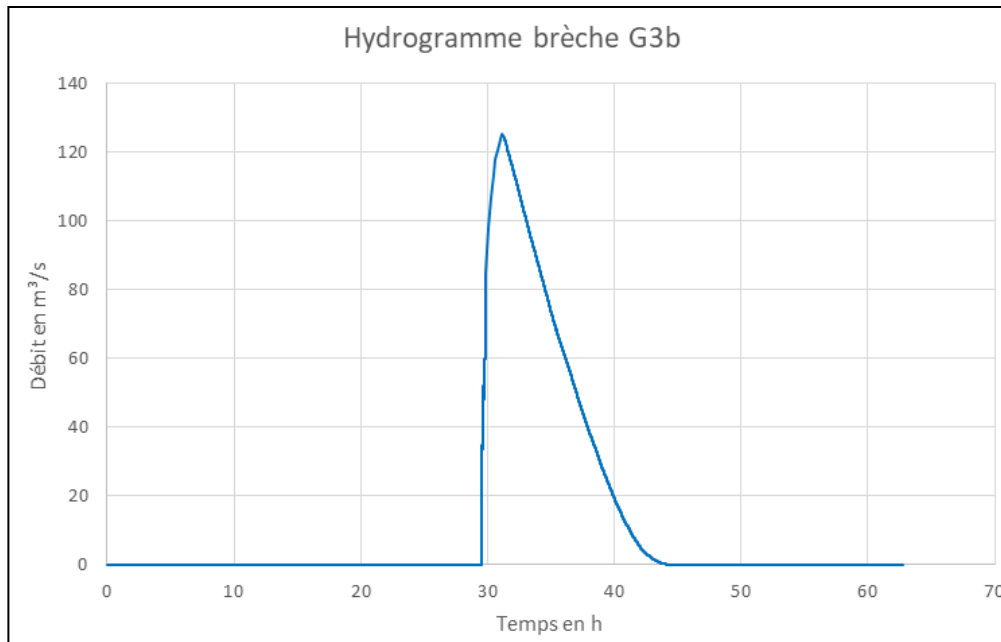


Figure 122 : Hydrogramme de la brèche G3b

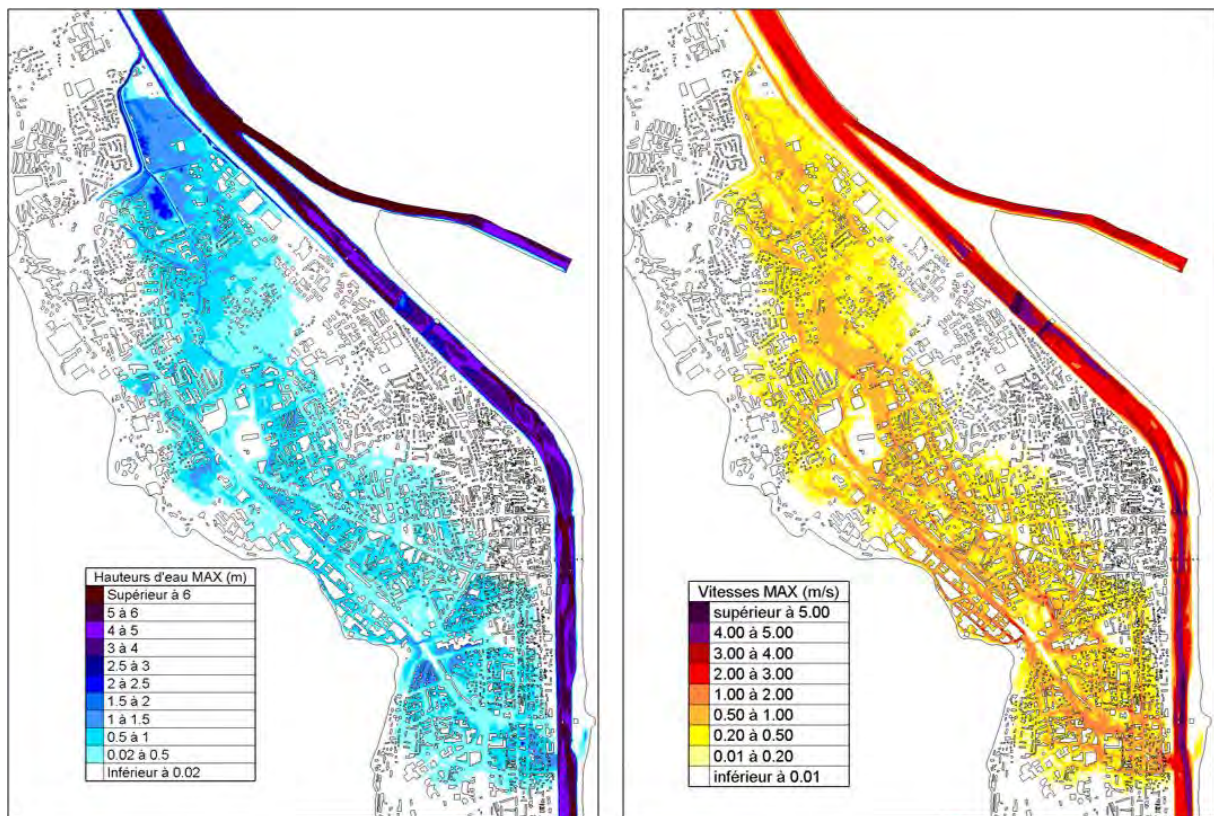


Figure 123 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G3b



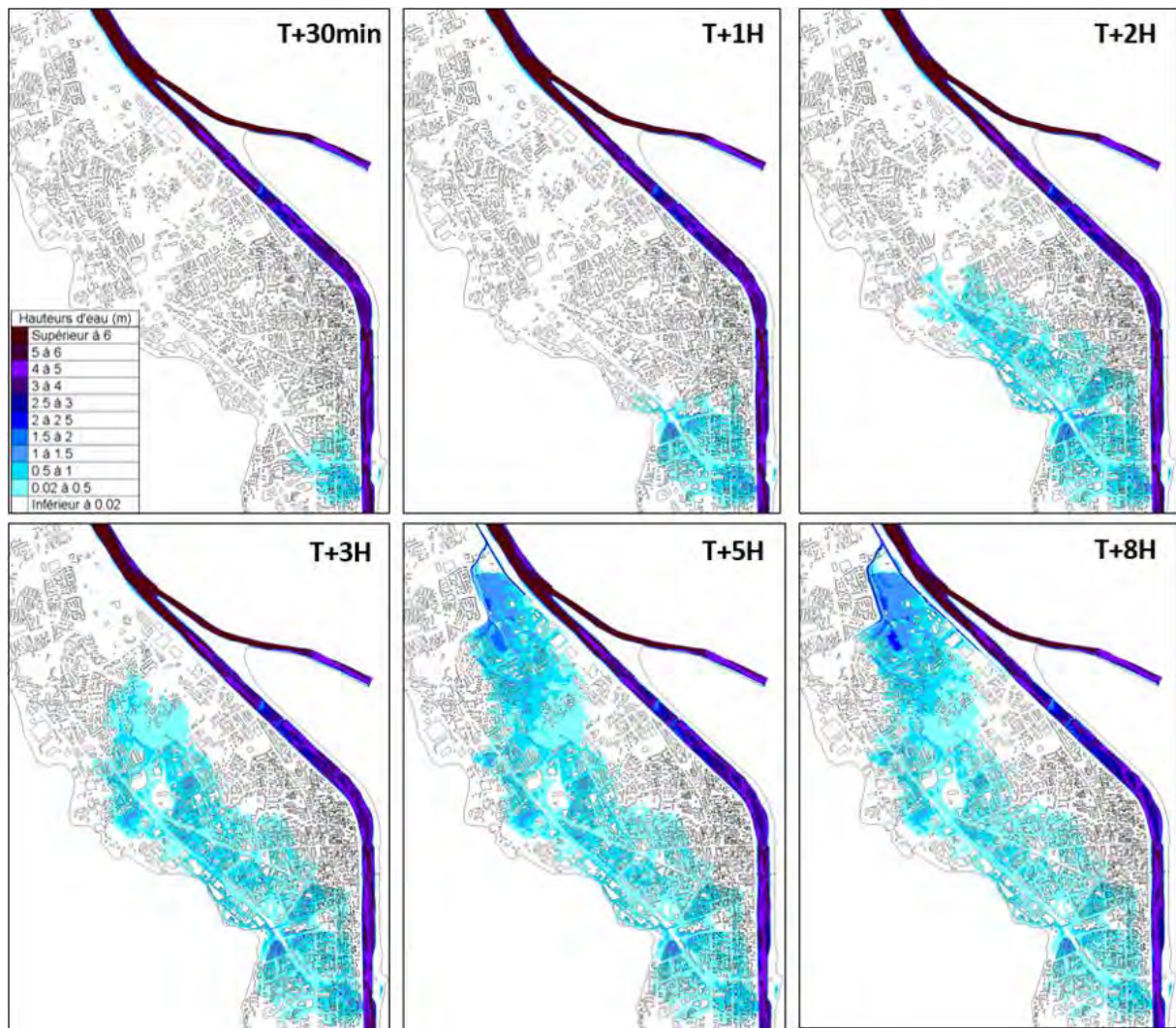


Figure 124 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G3b

#### 10.1.4 BRÈCHE G4

Les éléments et résultats relatifs à la brèche G4 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE G4
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	20 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	100 m
Cote abaissement brèche	217.5 mNGF
Hauteur de mise en charge	1.15 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.4m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h50
Débit de pointe de l'onde	73 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	env. 13h

Tableau 19 : Caractéristiques de la brèche G4

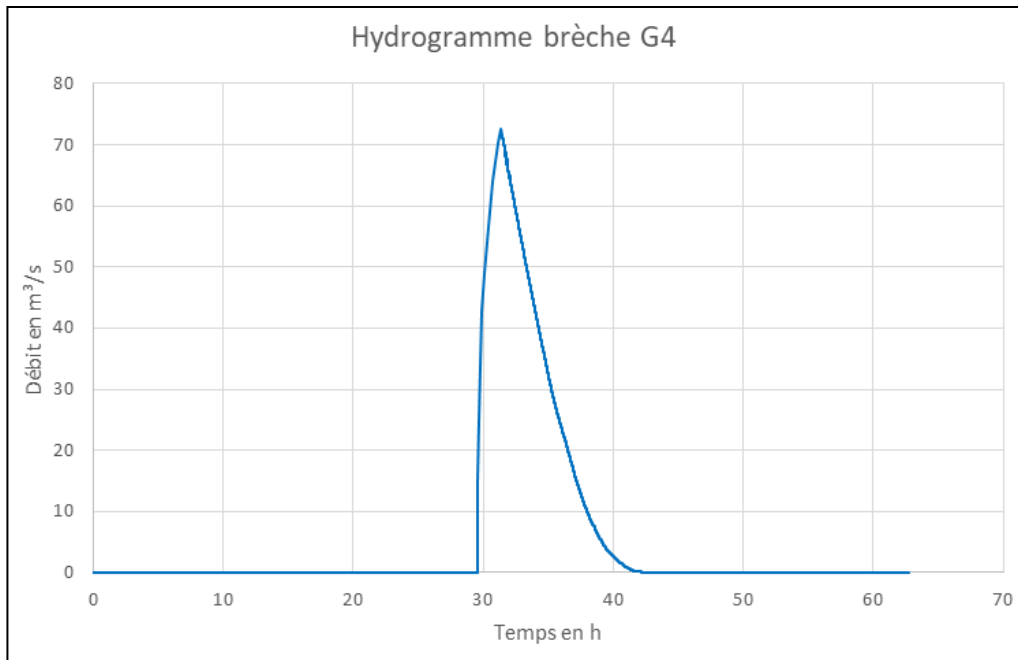


Figure 125 : Hydrogramme de la brèche G4

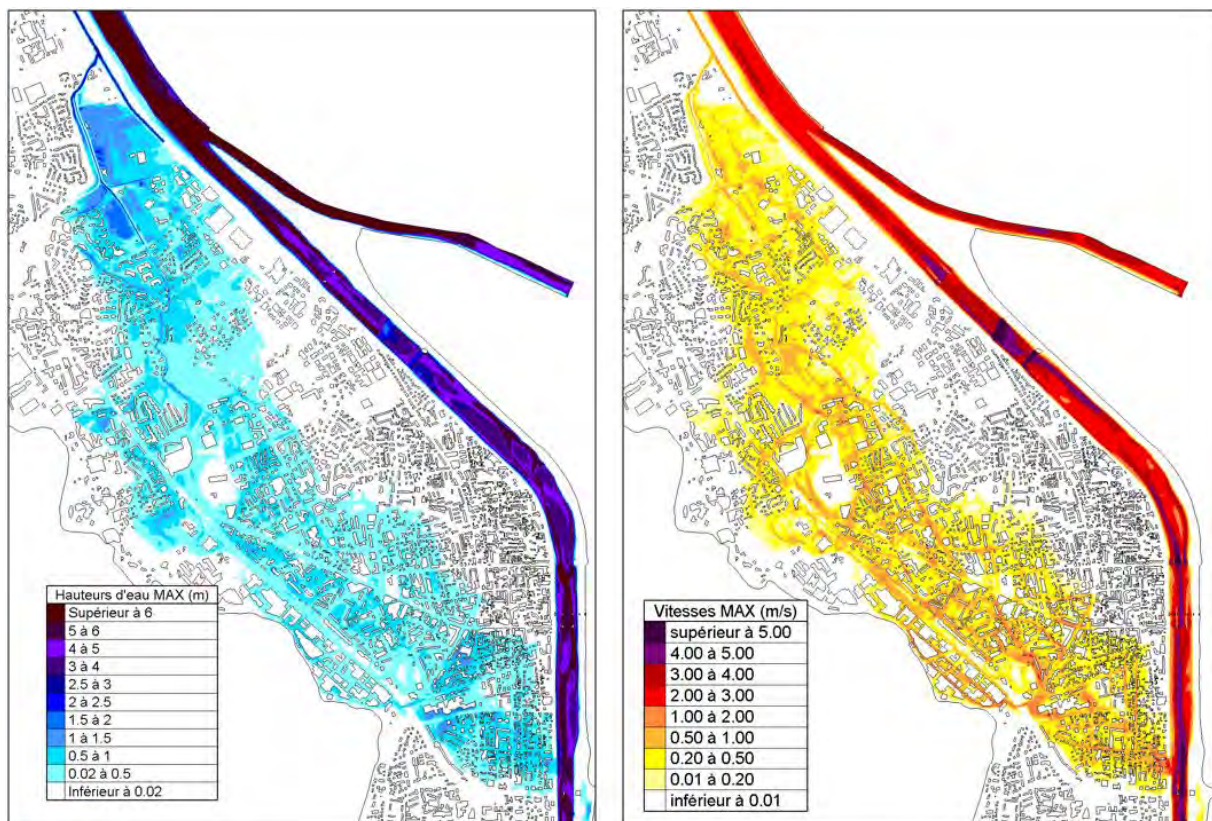


Figure 126 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G4



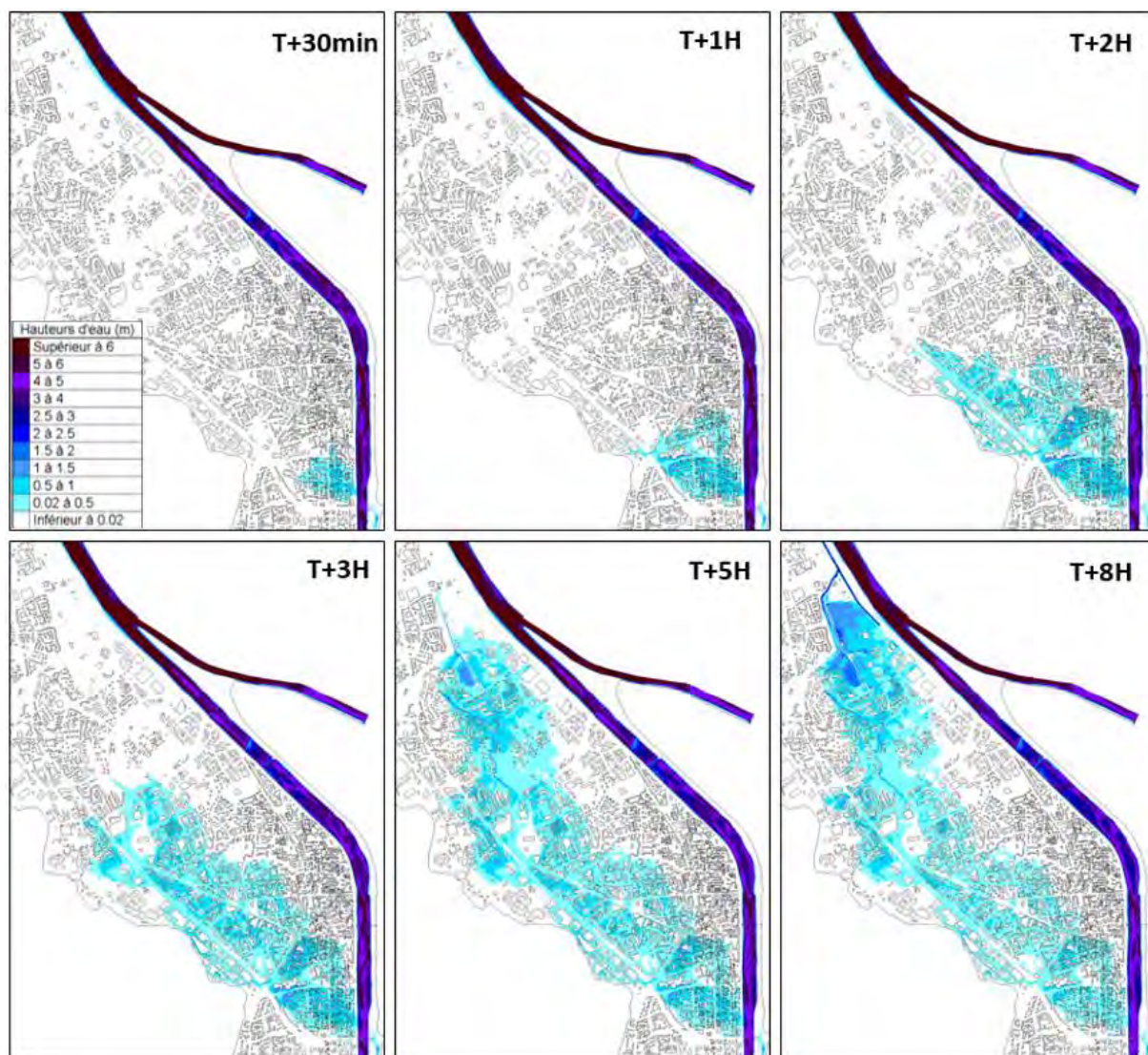


Figure 127 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G4

### 10.1.5 BRÈCHE G5

Les éléments et résultats relatifs à la brèche G5 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE G5
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale (Lini)	25m
Longueur brèche totale (Lmax)	100 m
Cote abaissement brèche	215.65 mNGF
Hauteur de mise en charge	2 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à Lini puis 0.4m/min jusqu'à Lmax
Durée totale d'ouverture	1h45
Débit de pointe de l'onde	220 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	20h

Tableau 20 : Caractéristiques de la brèche G5



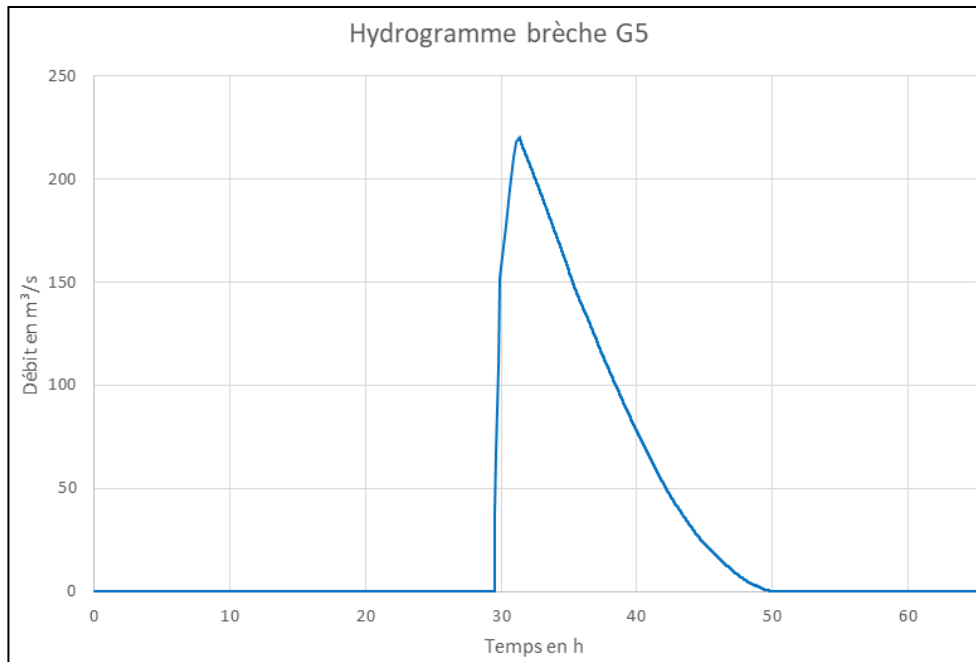


Figure 128 : Hydrogramme de la brèche G5

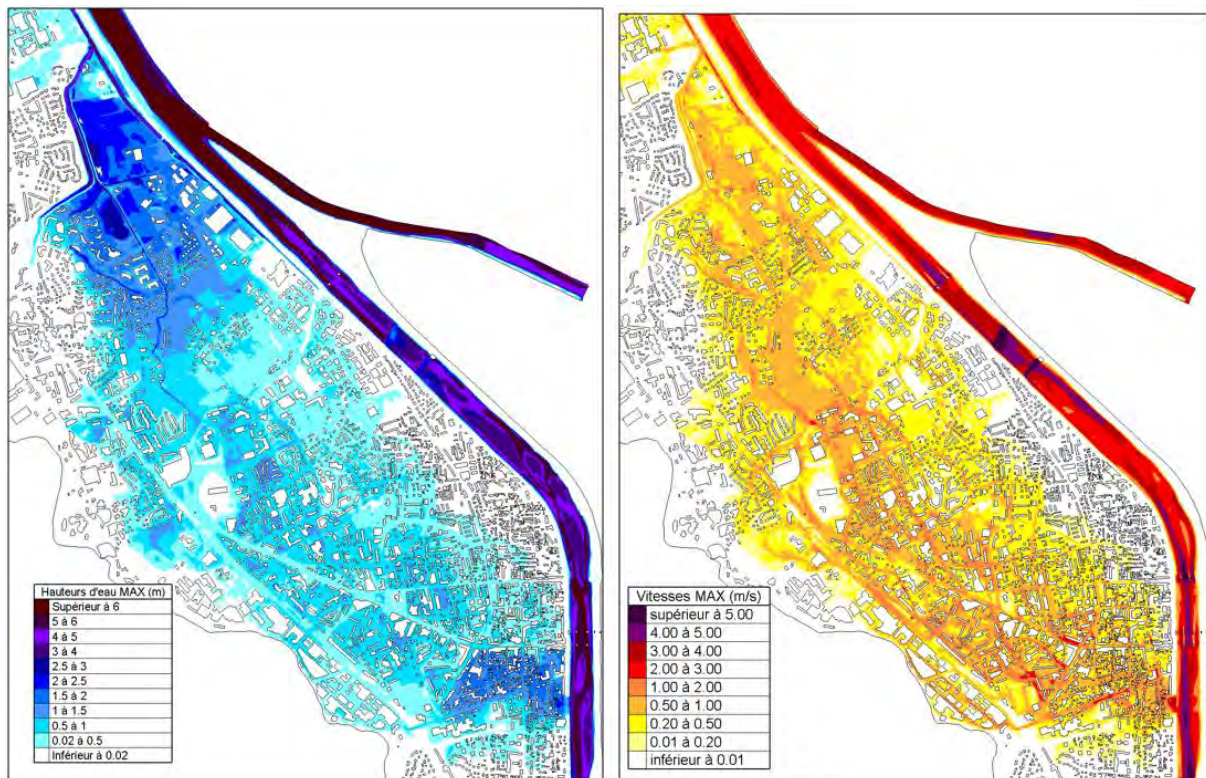


Figure 129 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G5

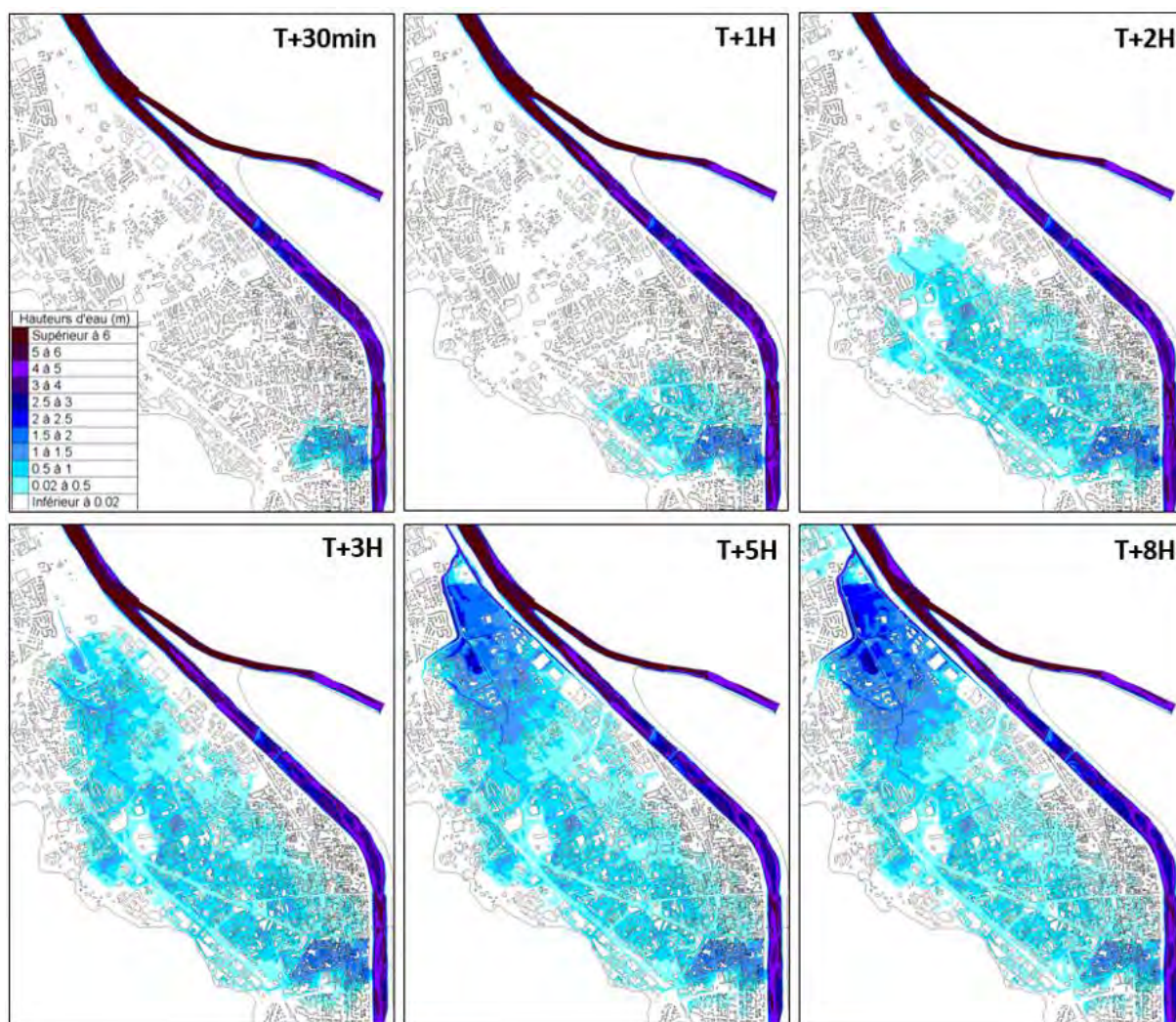


Figure 130 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G5

### 10.1.6 BRÈCHE G6

Les éléments et résultats relatifs à la brèche G6 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE G6
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	20m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	100 m
Cote abaissement brèche	214.2 mNGF
Hauteur de mise en charge	1.95 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.4m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h50
Débit de pointe de l'onde	140 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	20h

Tableau 21 : Caractéristiques de la brèche G6



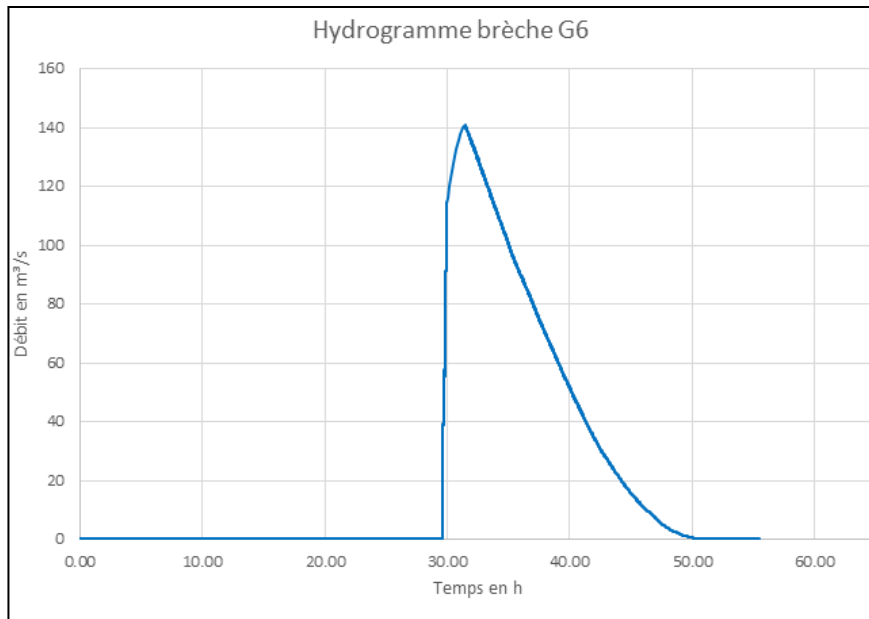


Figure 131 : Hydrogramme de la brèche G6

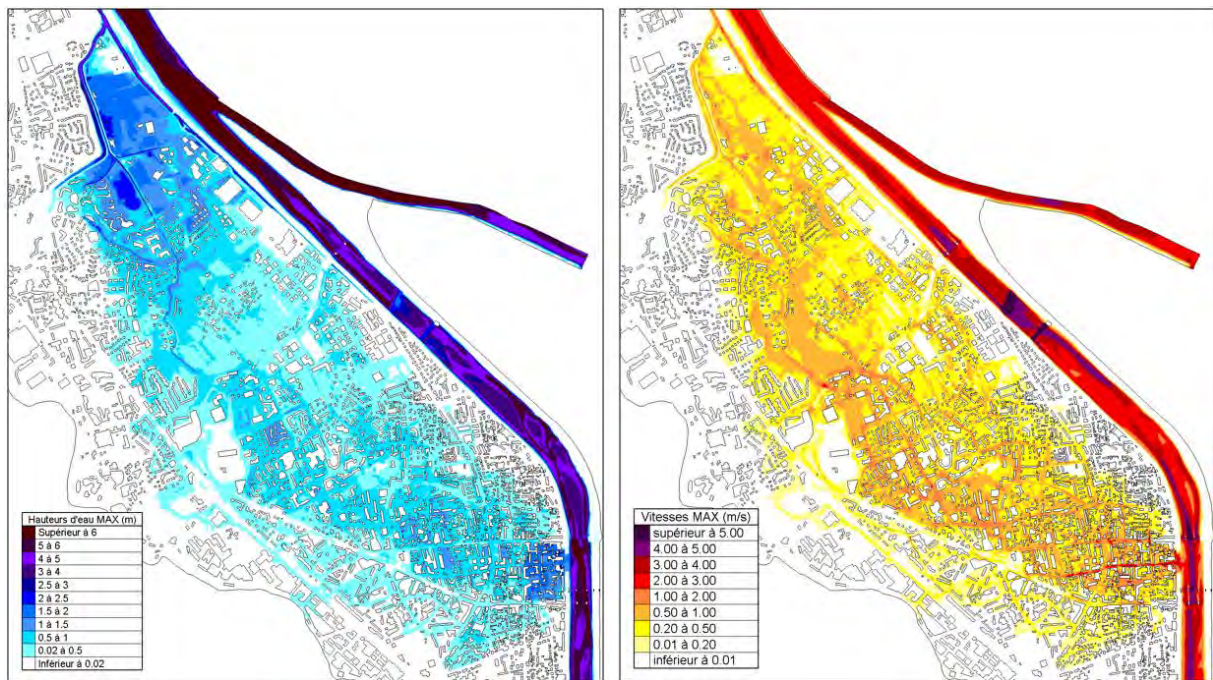


Figure 132 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G6



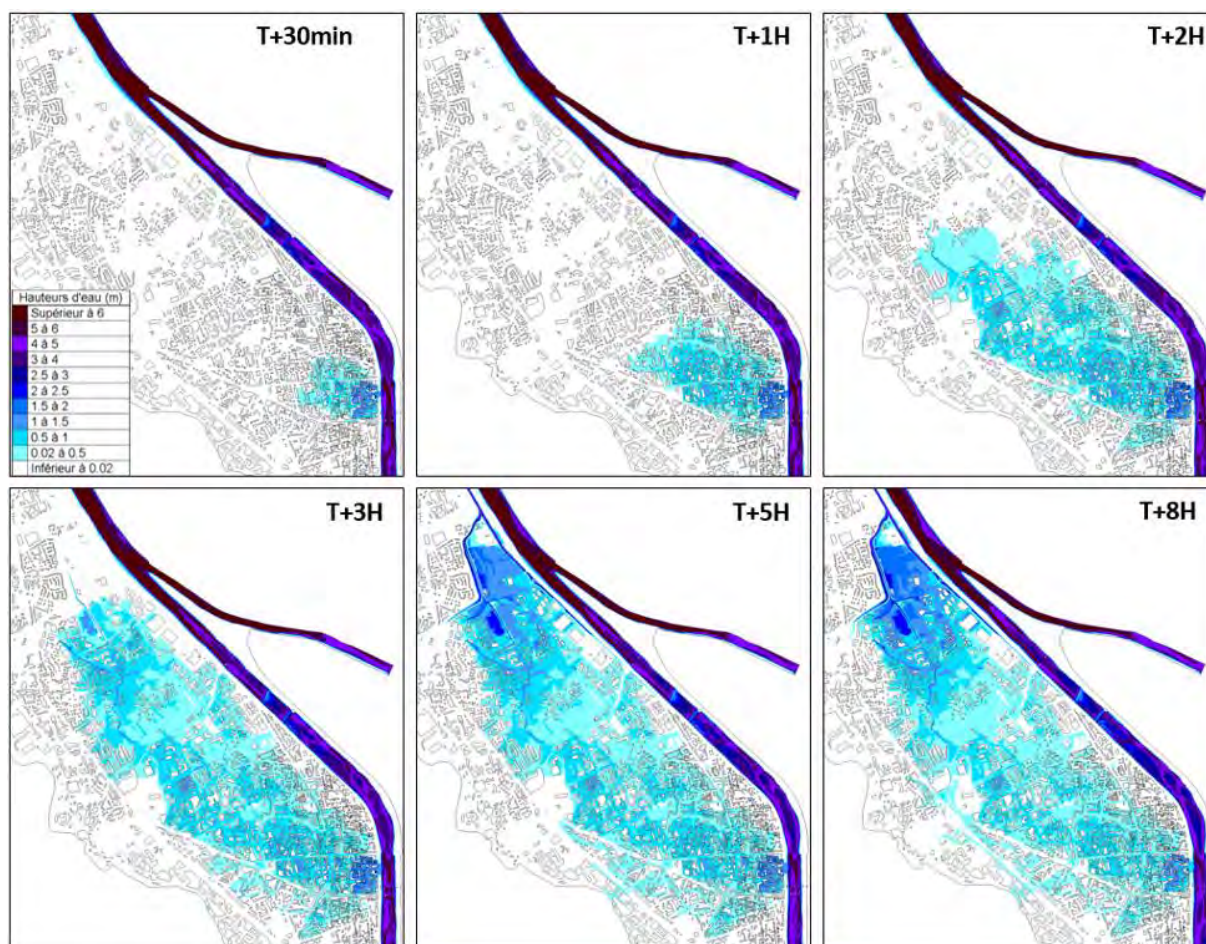


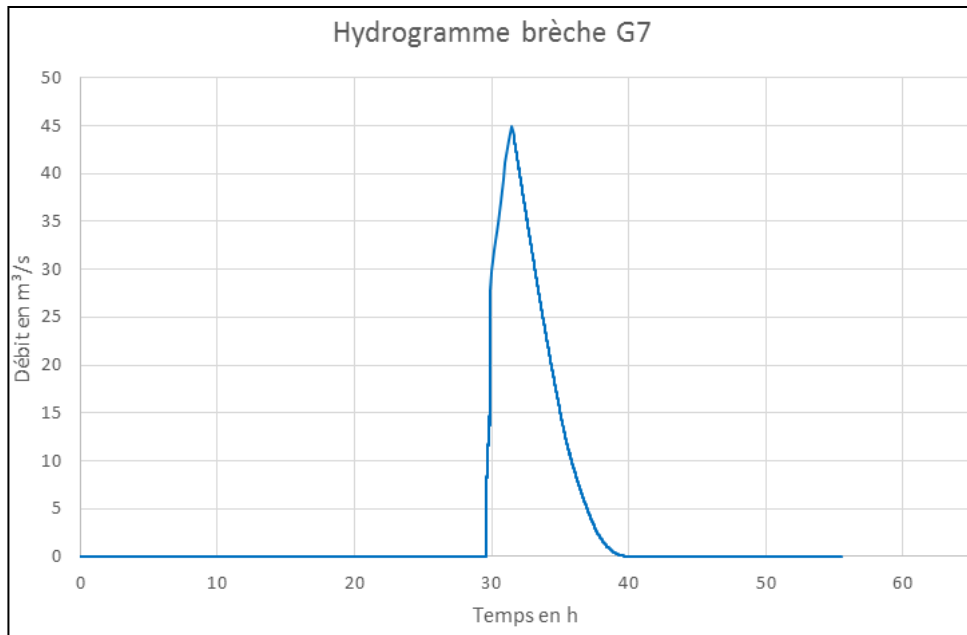
Figure 133 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G6

### 10.1.7 BRÈCHE G7

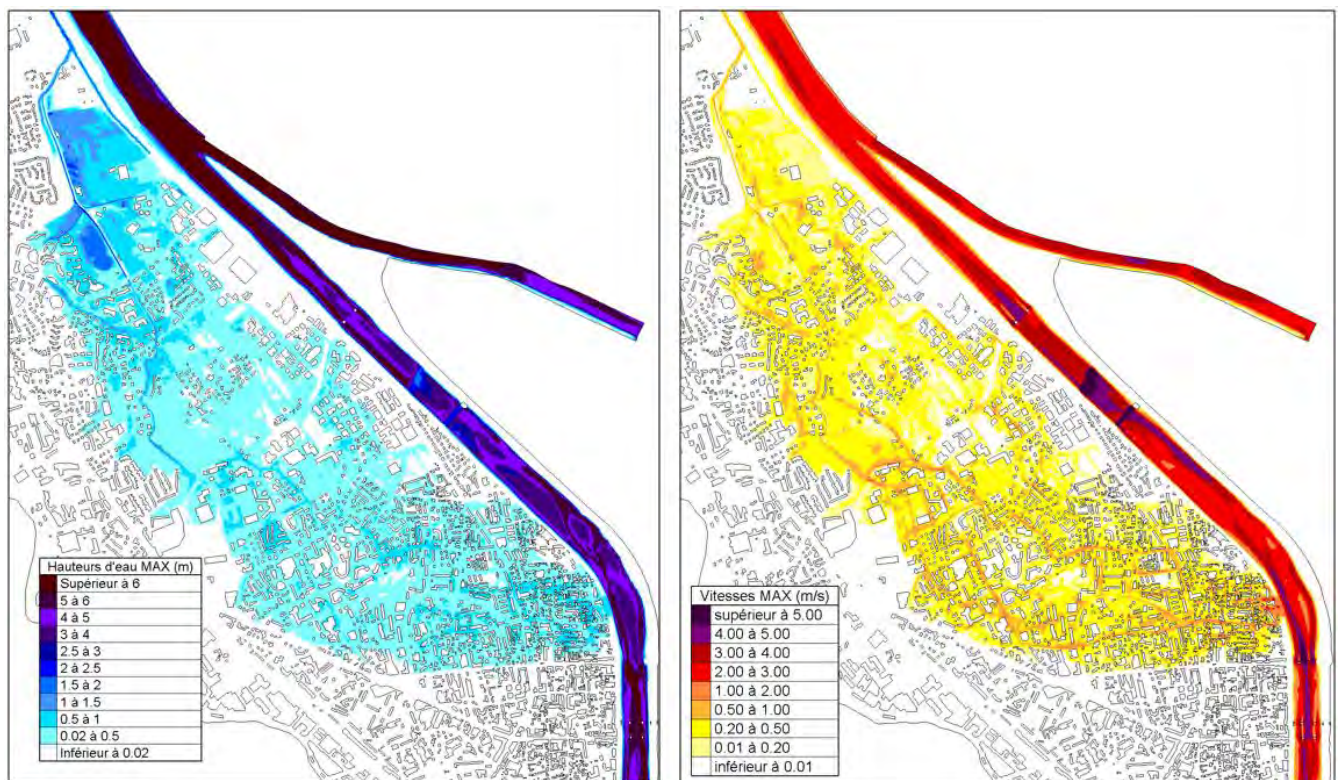
Les éléments et résultats relatifs à la brèche G7 sont présentés ci-dessous :

<b>BRECHE G7</b>	
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	15 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	100 m
Cote abaissement brèche	213.6 mNGF
Hauteur de mise en charge	0.8 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.4m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h55
Débit de pointe de l'onde	45 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	10h

Tableau 22 : Caractéristiques de la brèche G7



**Figure 134 : Hydrogramme de la brèche G7**



**Figure 135 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G7**



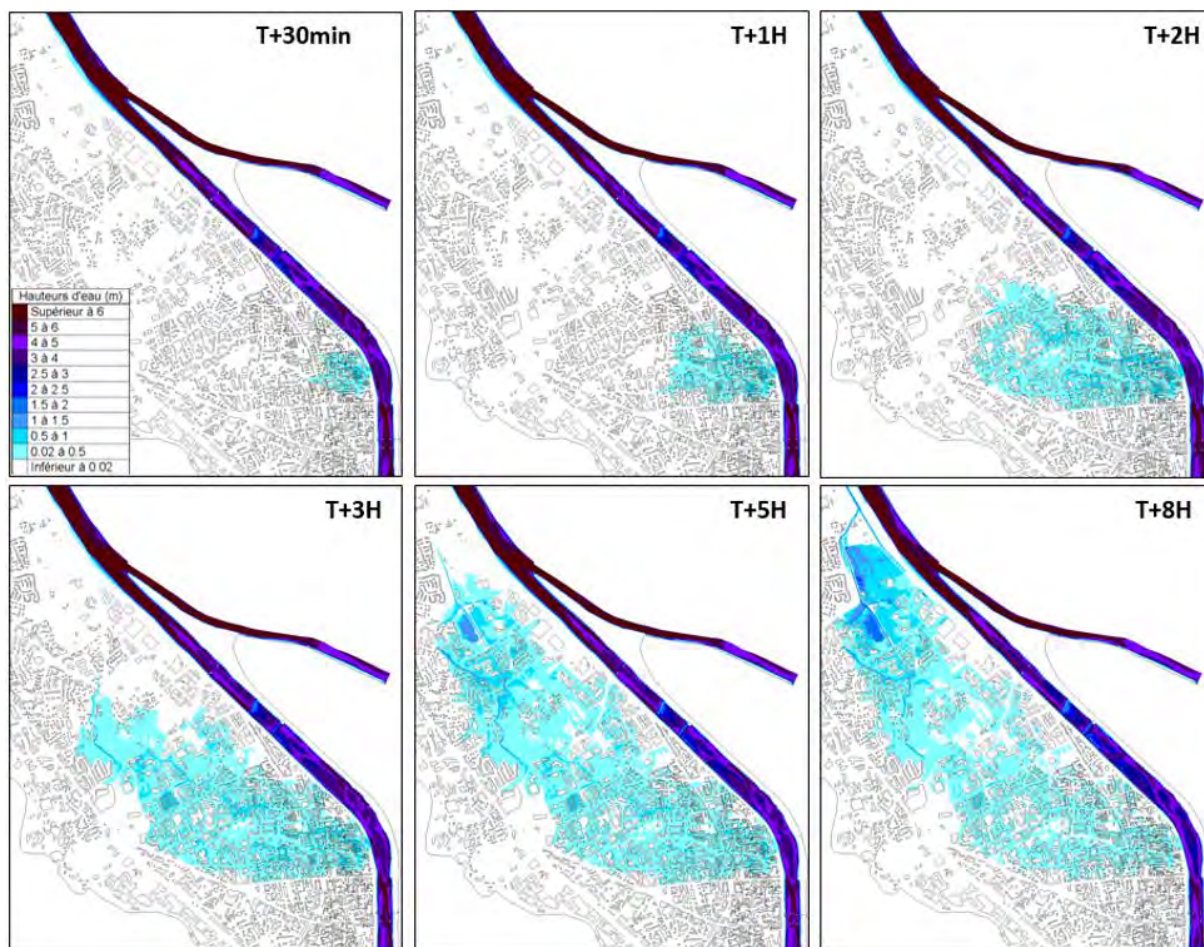


Figure 136 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G7

### 10.1.8 BRÈCHE G8

Les éléments et résultats relatifs à la brèche G8 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE G8
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	25 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	100 m
Cote abaissement brèche	210.72 mNGF
Hauteur de mise en charge	2.33 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.4m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h45
Débit de pointe de l'onde	240 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	+ de 40h

Tableau 23 : Caractéristiques de la brèche G8



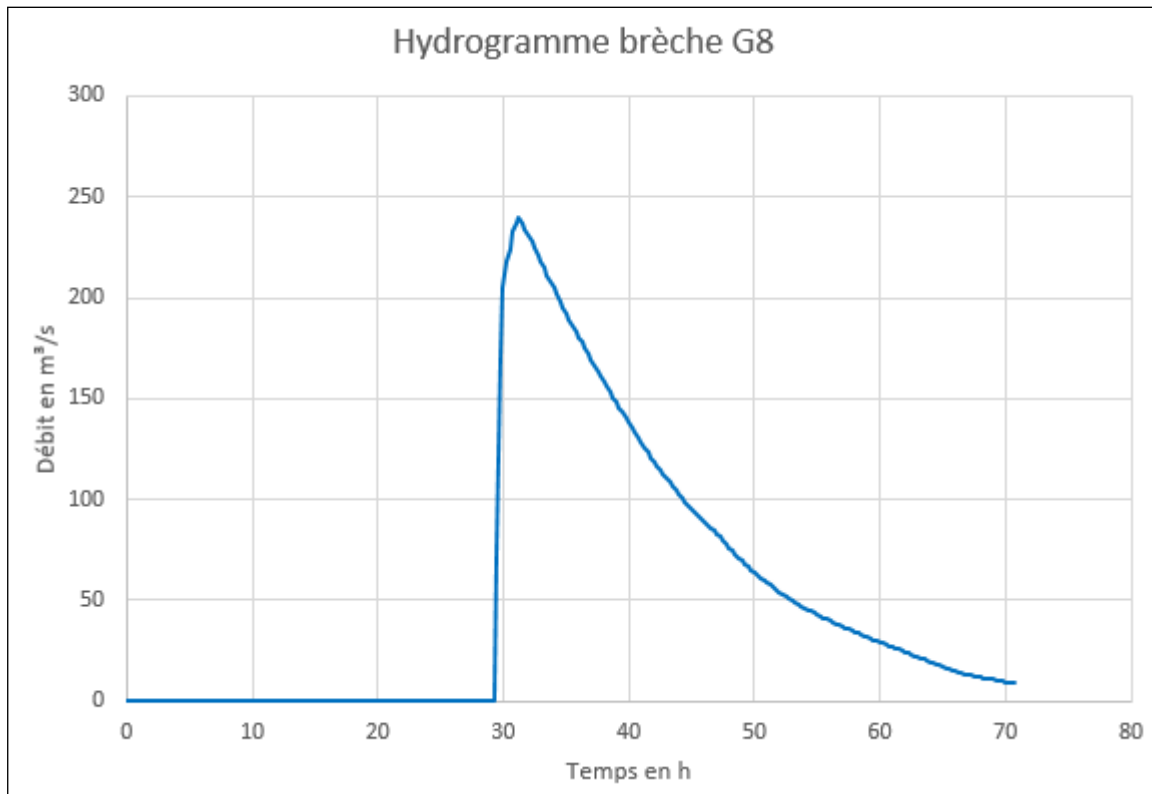


Figure 137 : Hydrogramme de la brèche G8

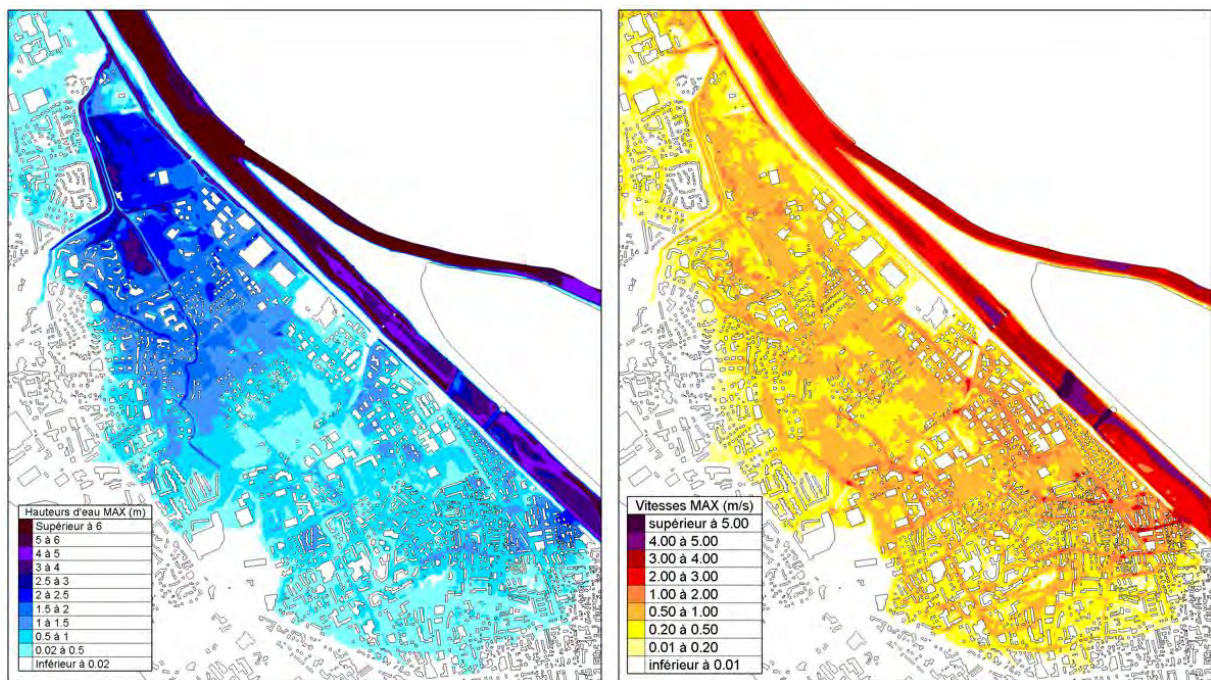


Figure 138 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G8

(1/2)

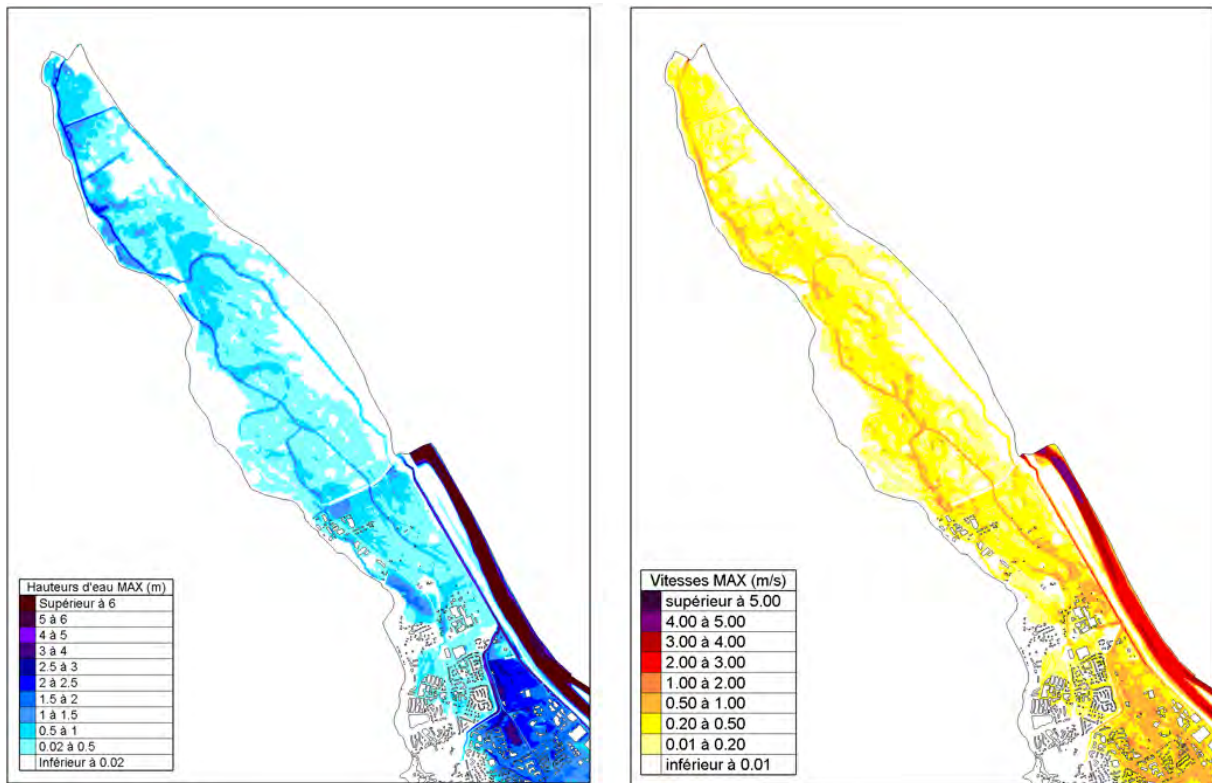


Figure 139 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G8 (2/2)

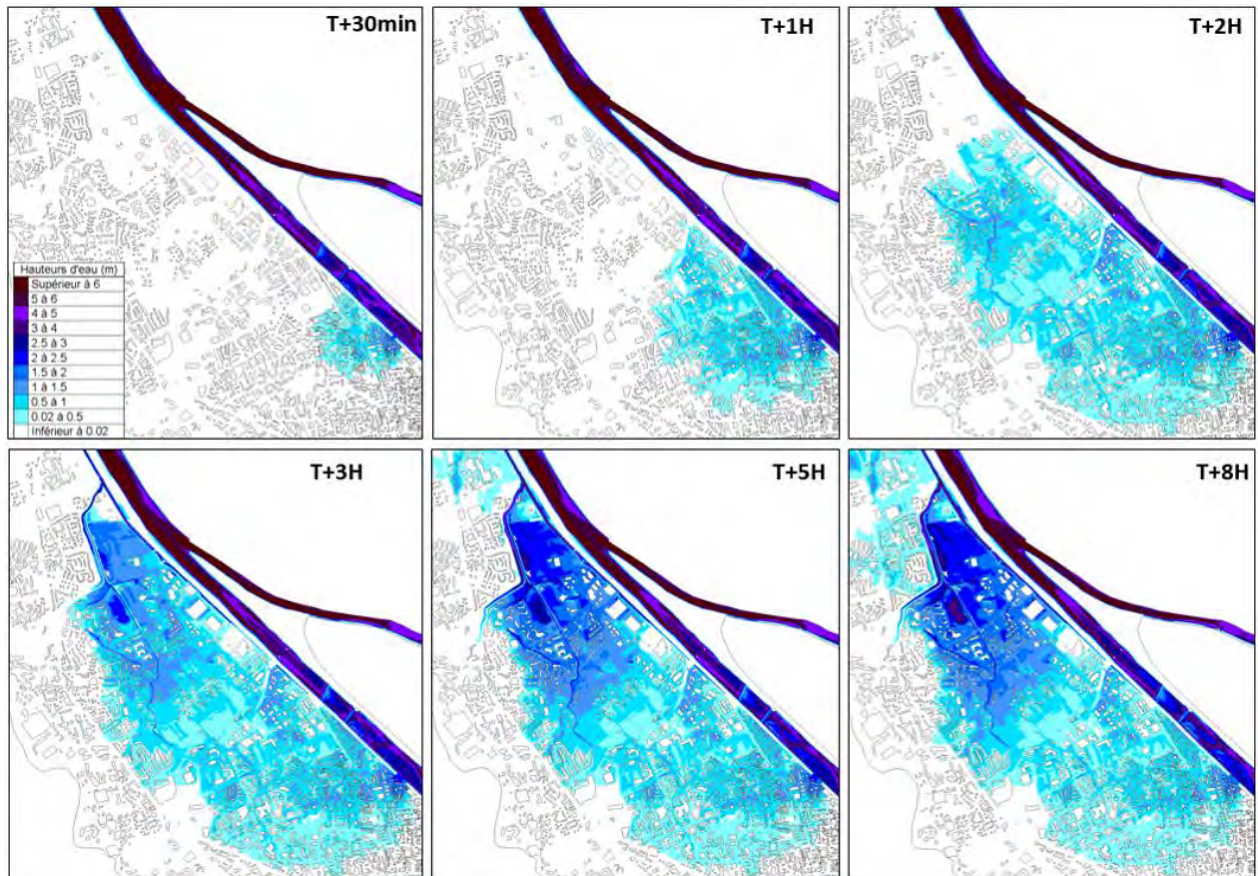


Figure 140 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G8

### 10.1.9 BRÈCHE G9 ET F1, F2, F3

Les éléments et résultats relatifs à la brèche G9 ainsi qu'aux brèches de second rang F1, F2 et F3, sont présentés ci-dessous :

	BRECHE G9
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	30 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	100 m
Cote abaissement brèche	207.77 mNGF
Hauteur de mise en charge	3.60 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.4m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h45
Débit de pointe de l'onde	310 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	+ de 40h

Tableau 24 : Caractéristiques de la brèche G9

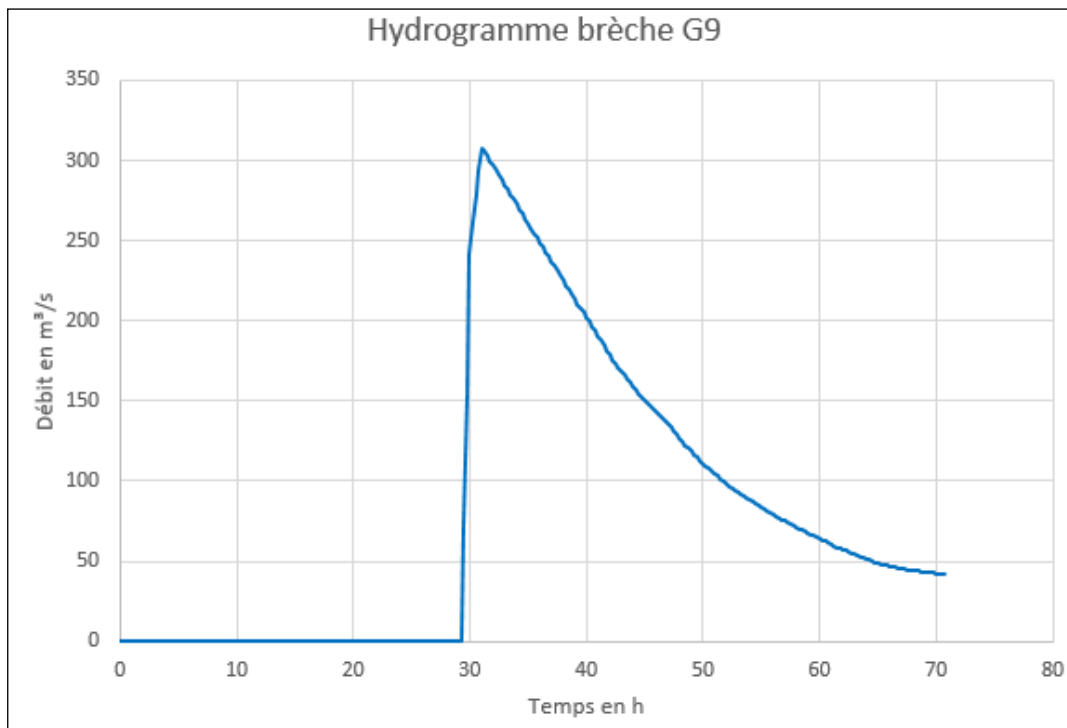
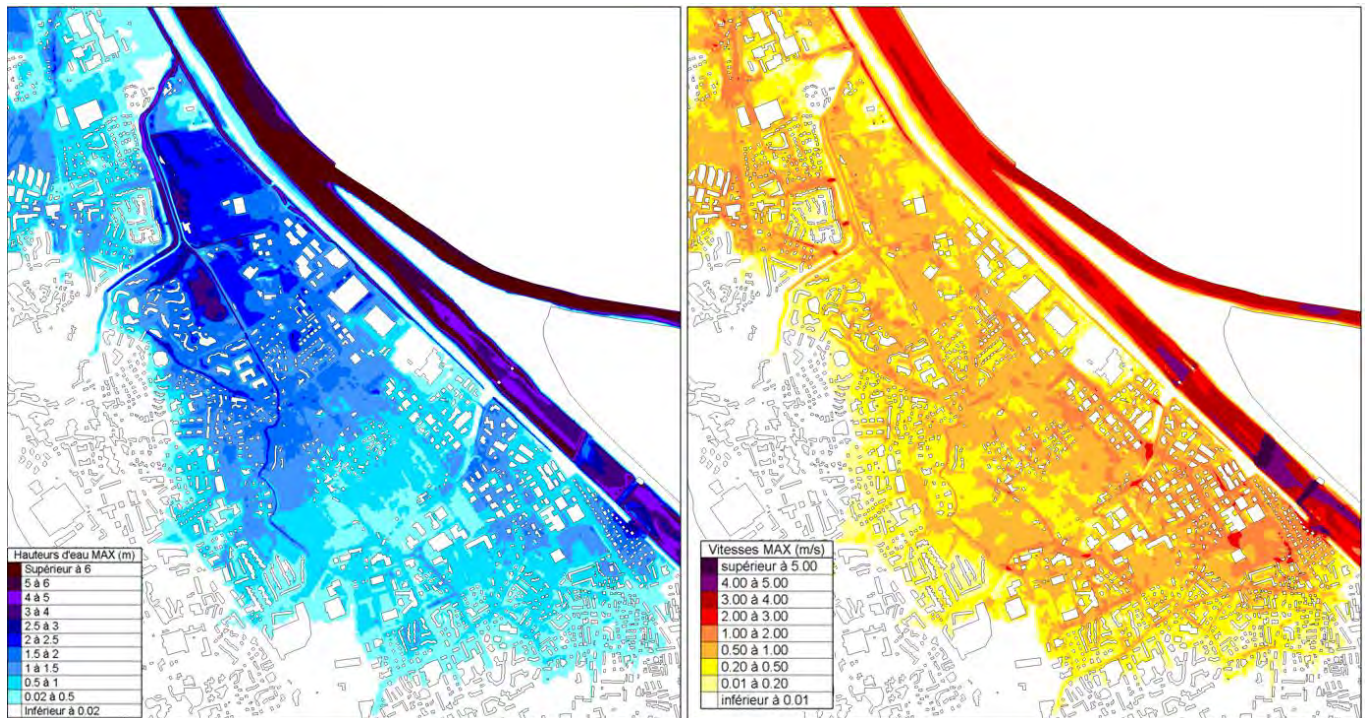
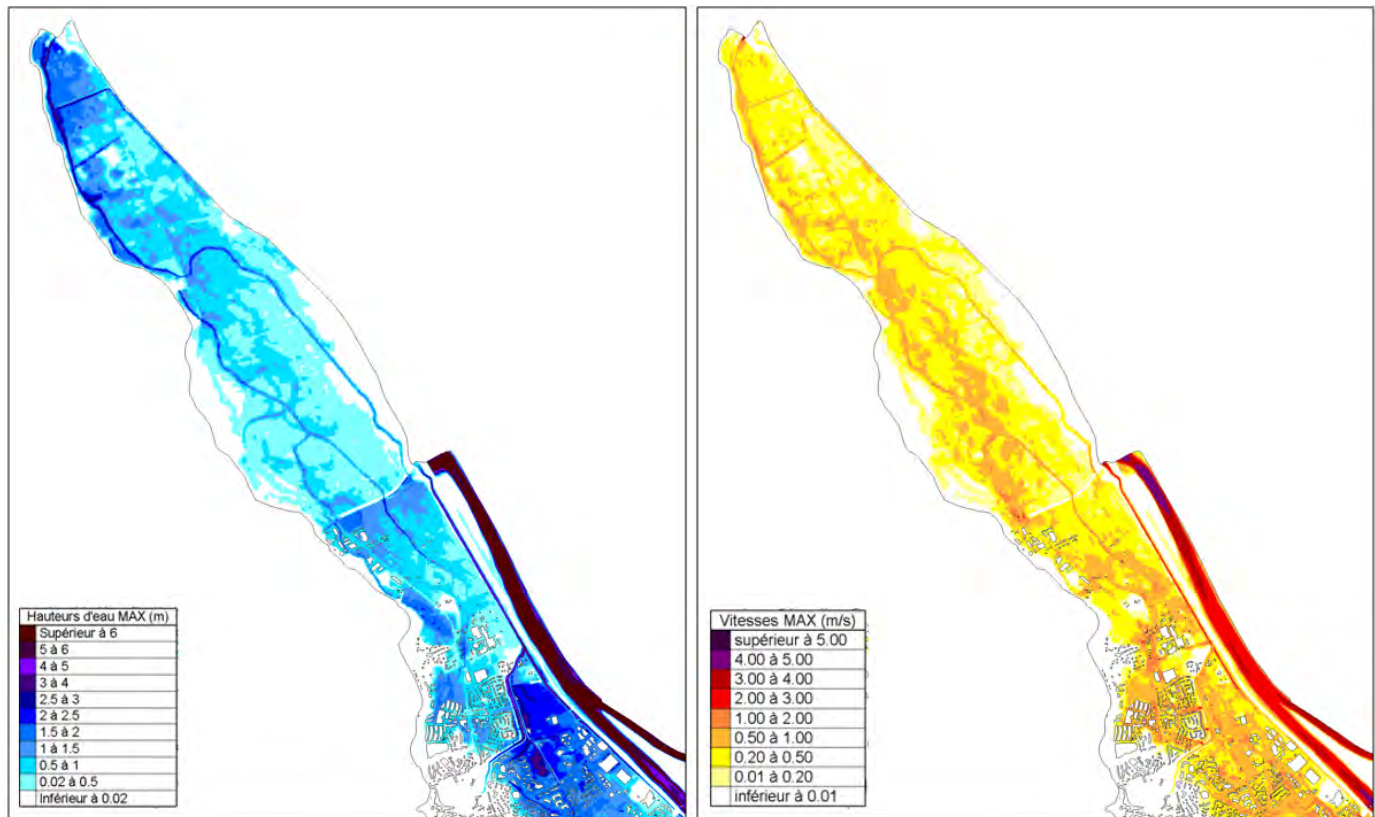


Figure 141 : Hydrogramme de la brèche G9





**Figure 142 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G9 et F1,F2,F3 (1/2)**



**Figure 143 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche G9 et F1,F2,F3 (1/2)**

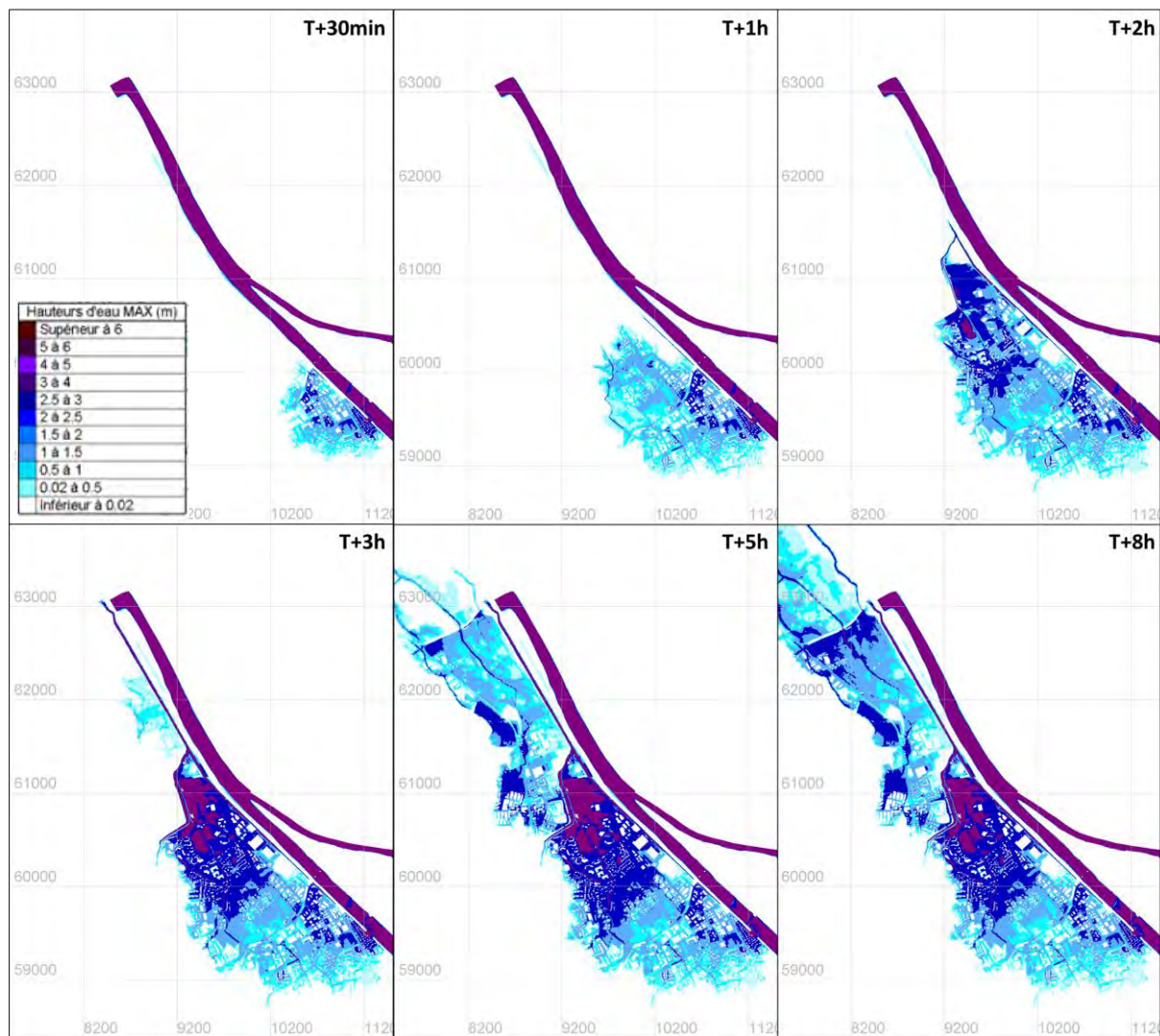


Figure 144 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G9 et F1, F2, F3 (1/2)



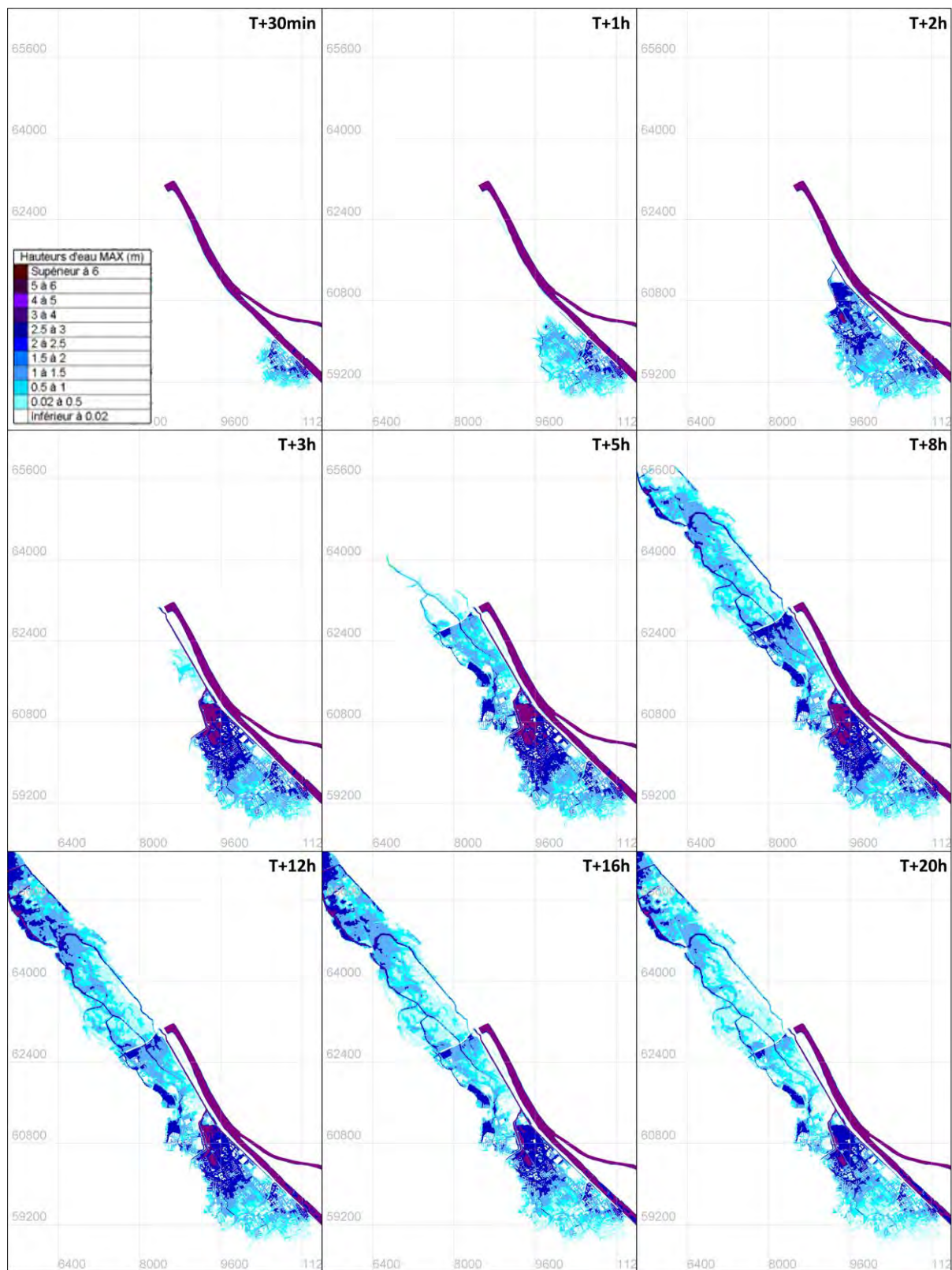


Figure 145 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche G9 et F1, F2, F3 (2/2)



## 10.2 BRÈCHES RIVE DROITE

### 10.2.1 BRÈCHE D12

Les éléments et résultats relatifs à la brèche D12 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE D12
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	30 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	50 m
Cote abaissement brèche	243.15 mNGF
Hauteur de mise en charge	4.4 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.1m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h55
Débit de pointe de l'onde	228 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	env. 30h

Tableau 25 : Caractéristiques de la brèche D12

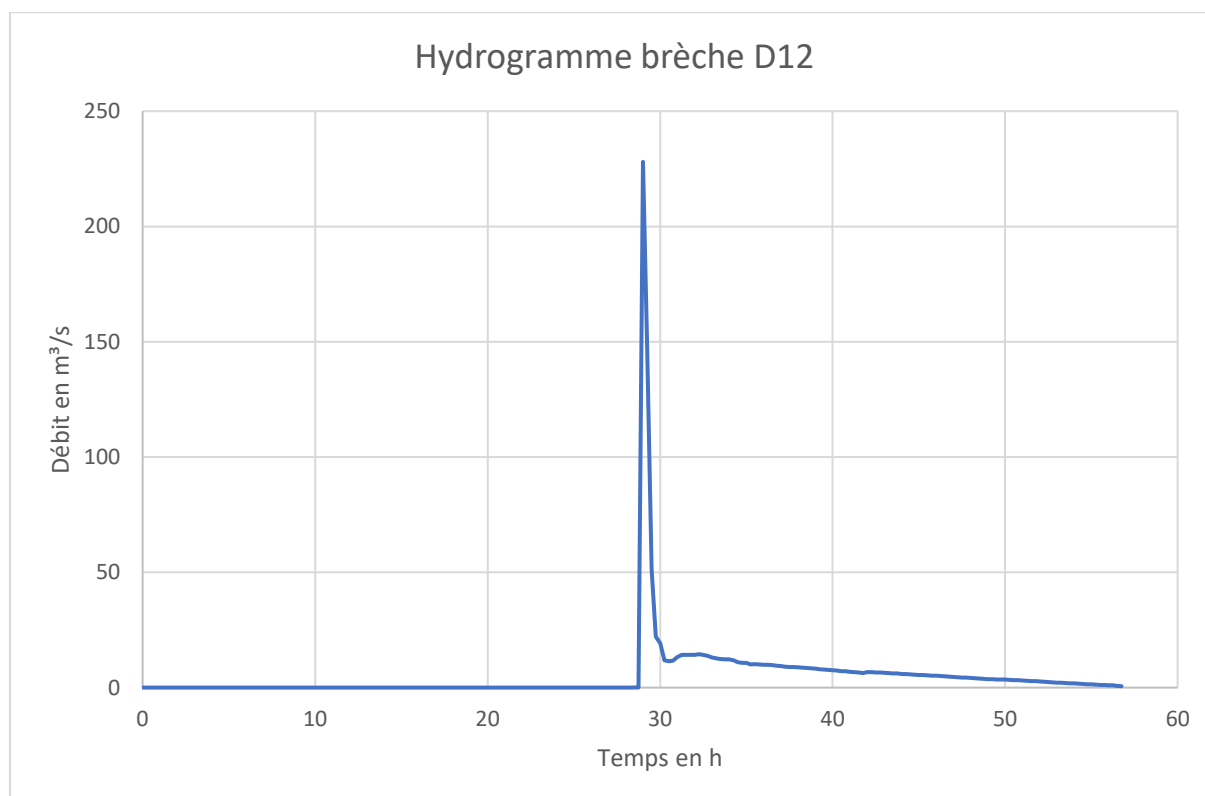


Figure 146 : Hydrogramme de la brèche D12

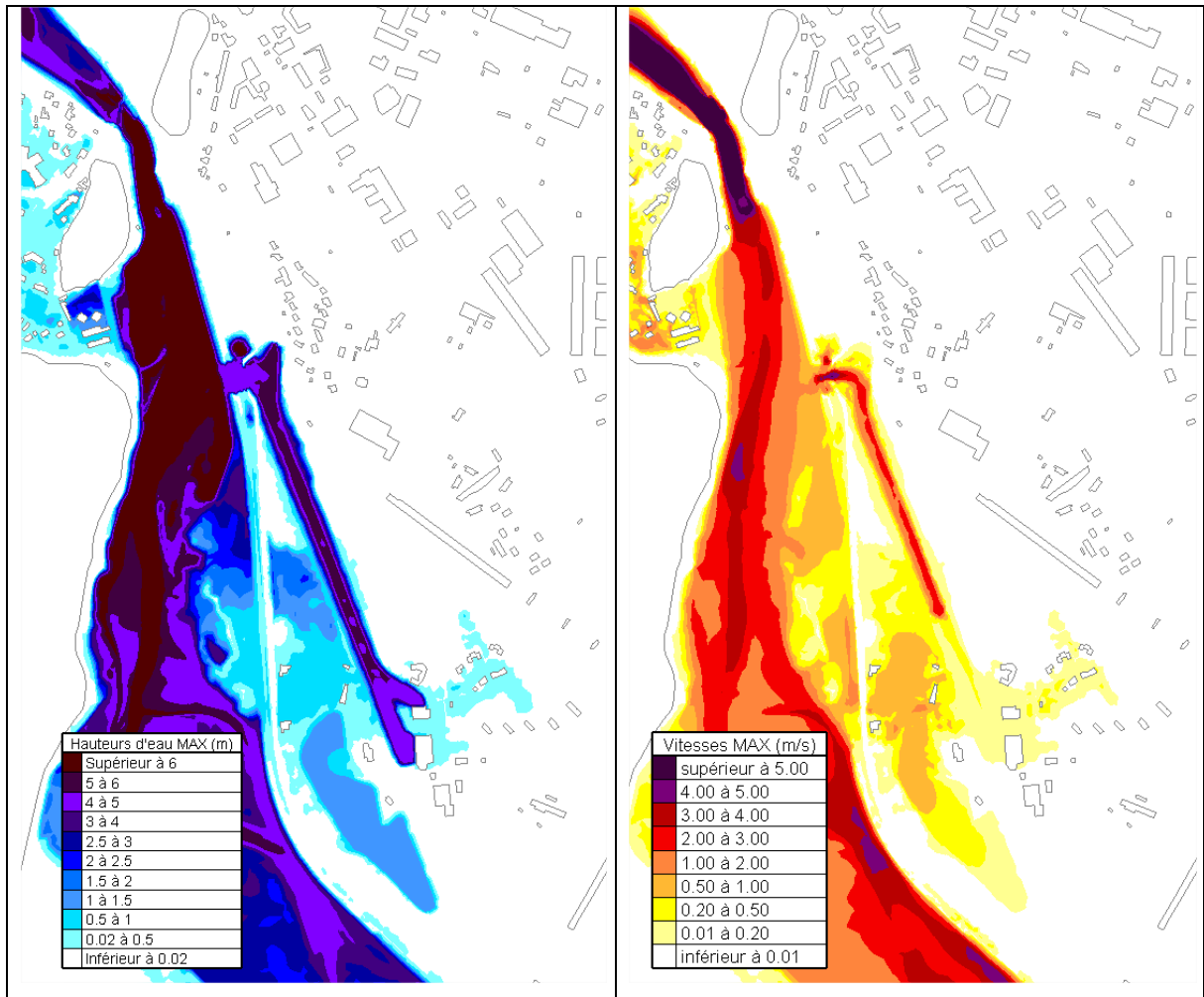


Figure 147 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D12

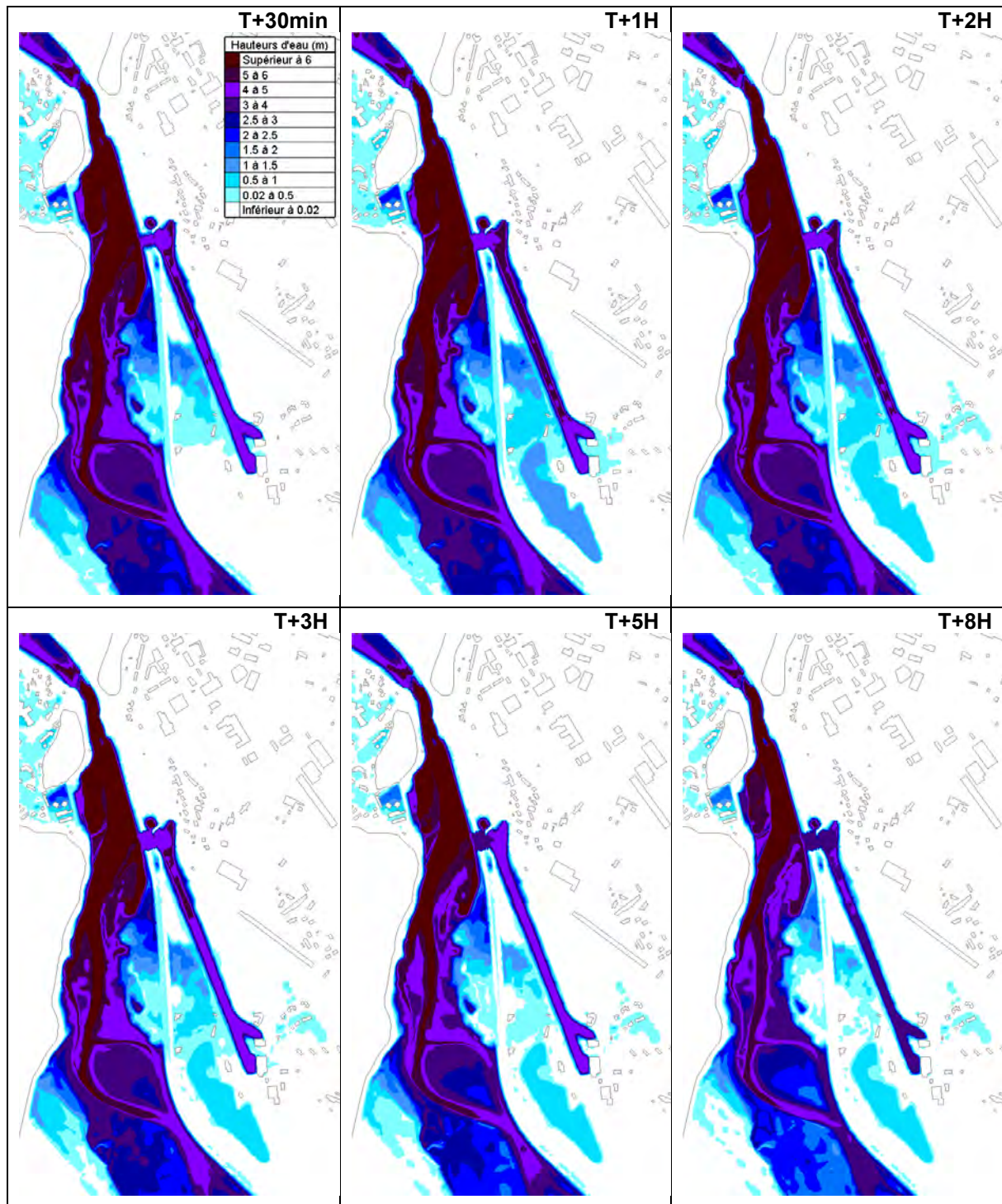


Figure 148 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D12



## 10.2.2 BRÈCHE D12 + DÉFAILLANCE VANNE DE MONT LOGIS

Les éléments et résultats relatifs à la brèche D12, avec défaillance de la vanne de Mont Logis, sont présentés ci-dessous :

	BRECHE D12
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	30 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	50 m
Cote abaissement brèche	243.15 mNGF
Hauteur de mise en charge	4.4 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.1m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h55
Débit de pointe de l'onde	228 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	env. 30h

Tableau 26 : Caractéristiques de la brèche D12, avec défaillance de la vanne de Mont Logis

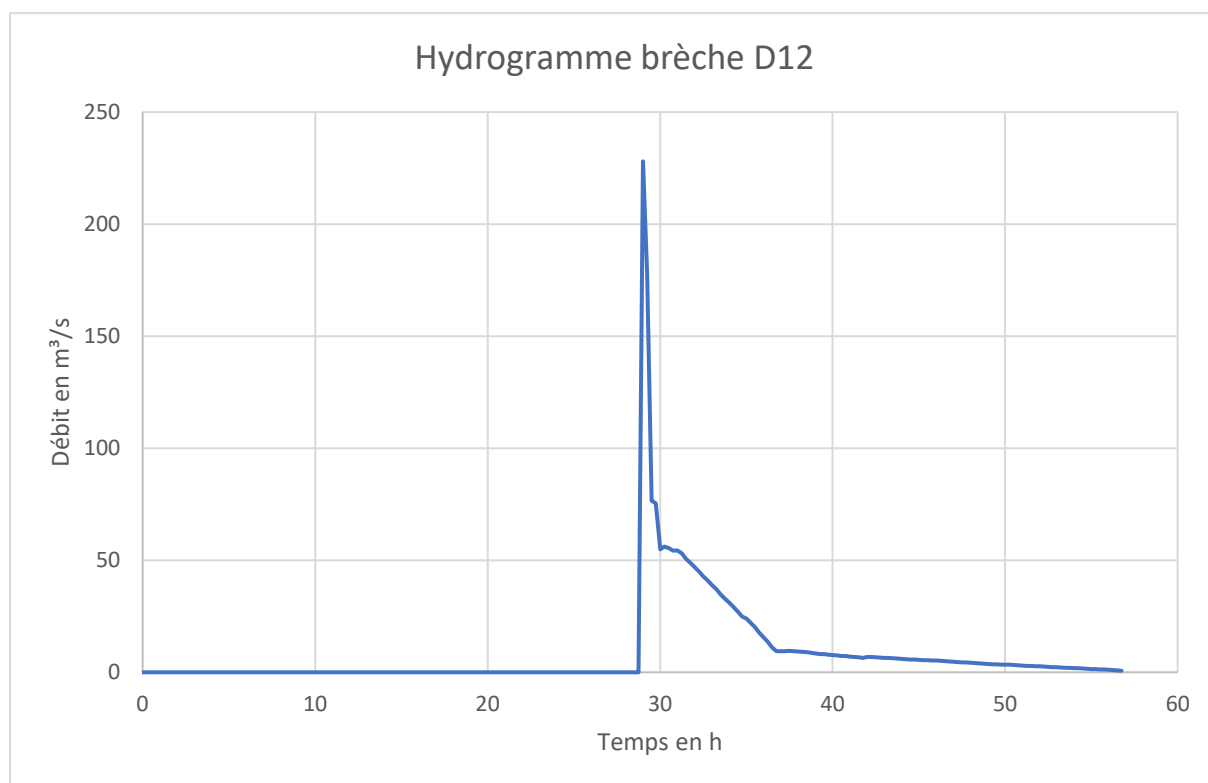
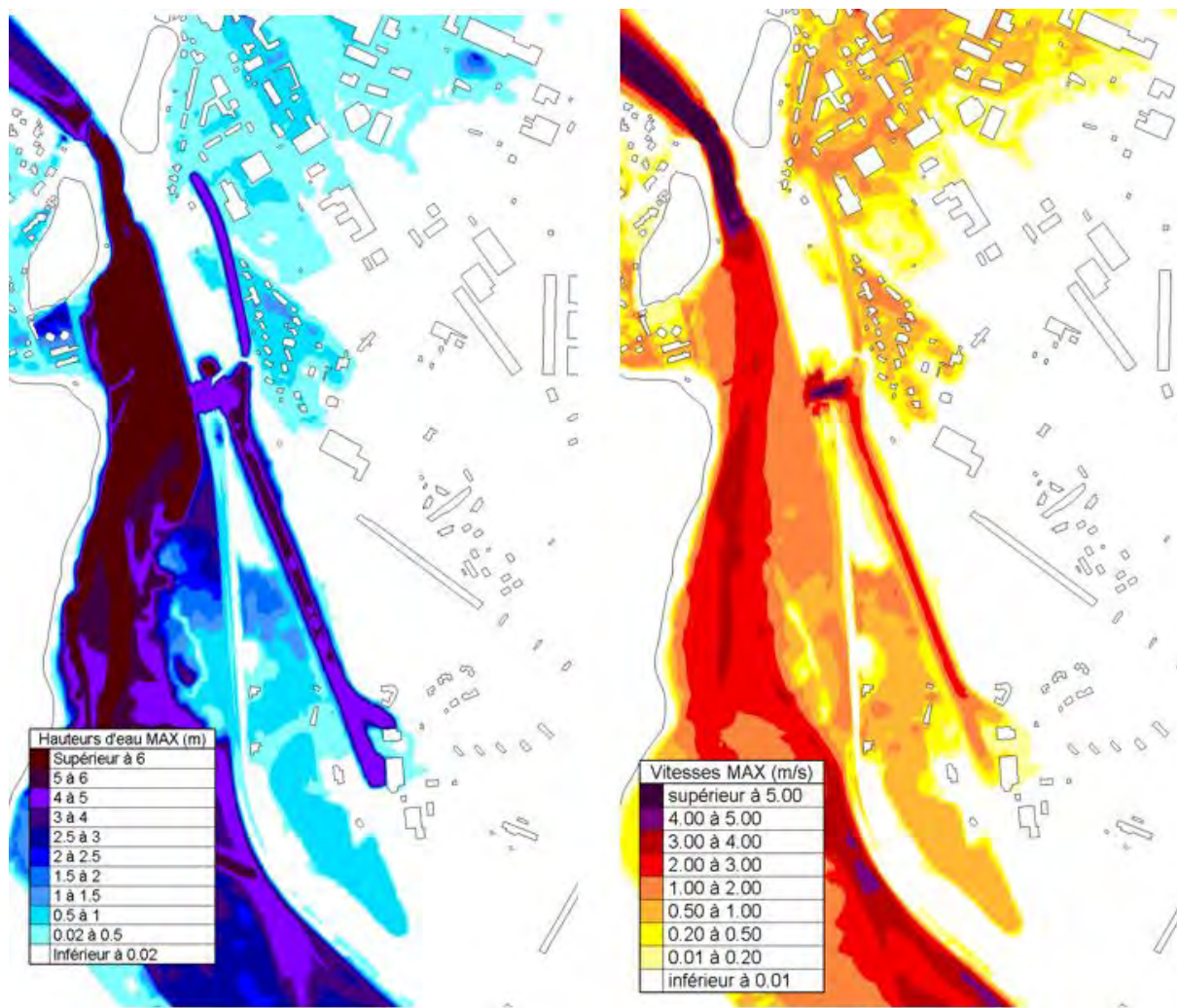


Figure 149 : Hydrogramme de la brèche D12, avec défaillance de la vanne de Mont Logis



**Figure 150 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D12, avec défaillance de la vanne de Mont Logis (1/2)**

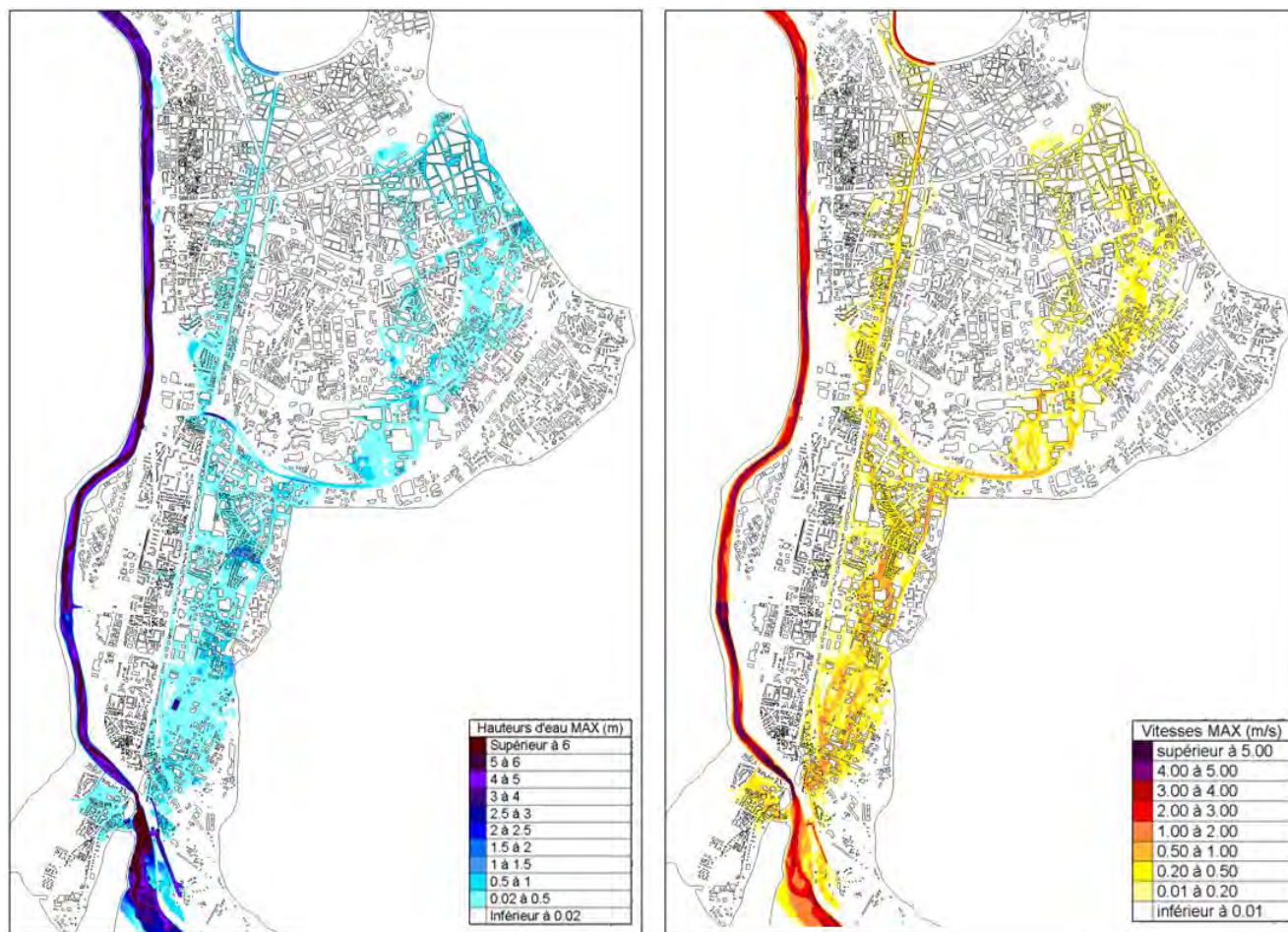


Figure 151 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D12, avec défaillance de la vanne de Mont Logis (2/2)



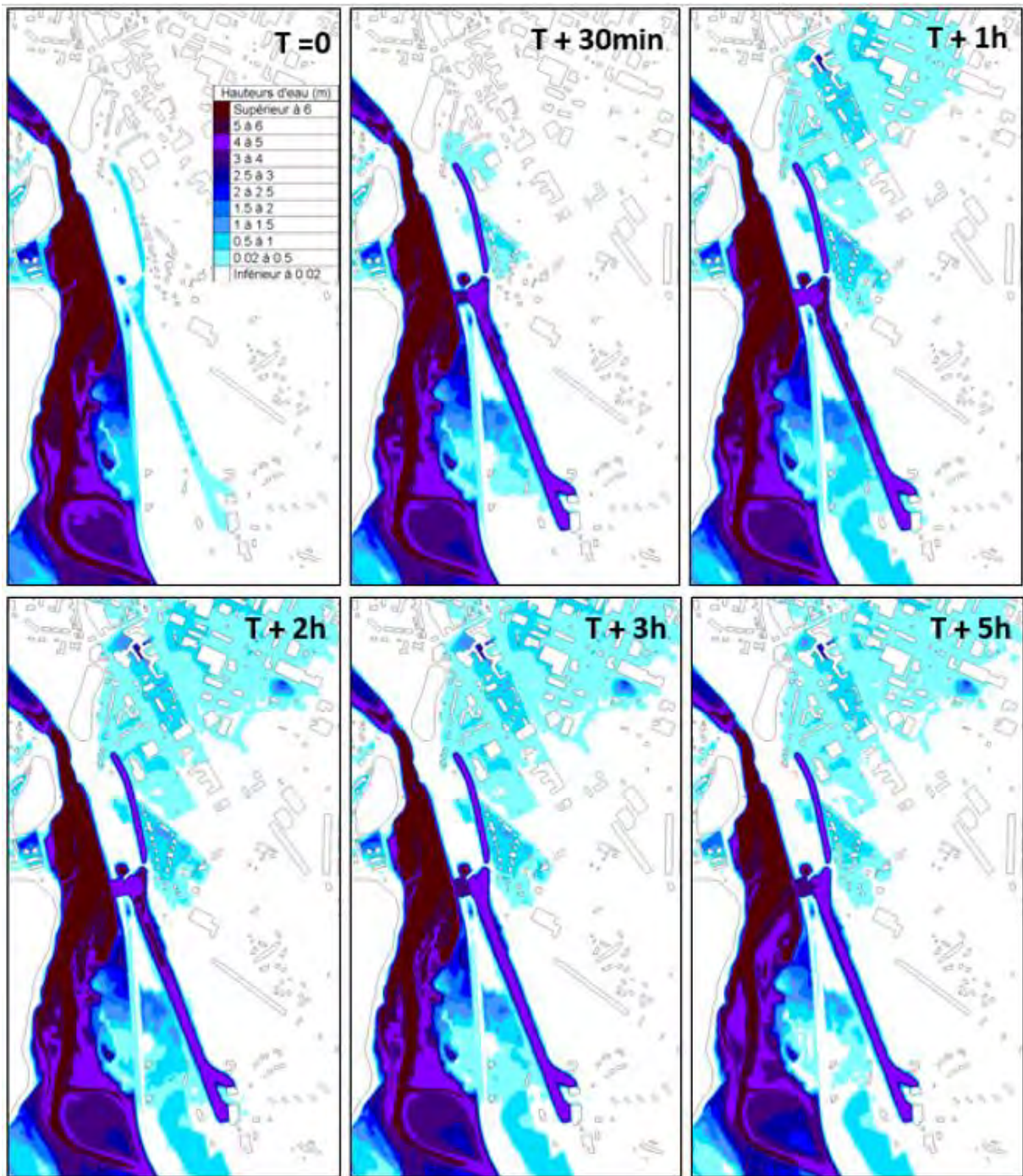


Figure 152 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D12, avec défaillance de la vanne de Mont Logis

### 10.2.3 BRÈCHE D2

Les éléments et résultats relatifs à la brèche D2 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE D2
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	25 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	100 m
Cote abaissement brèche	228.4 mNGF
Hauteur de mise en charge	1.9 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.4m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h45
Débit de pointe de l'onde	52 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	20min ( $Q>0$ )

Tableau 27 : Caractéristiques de la brèche D2

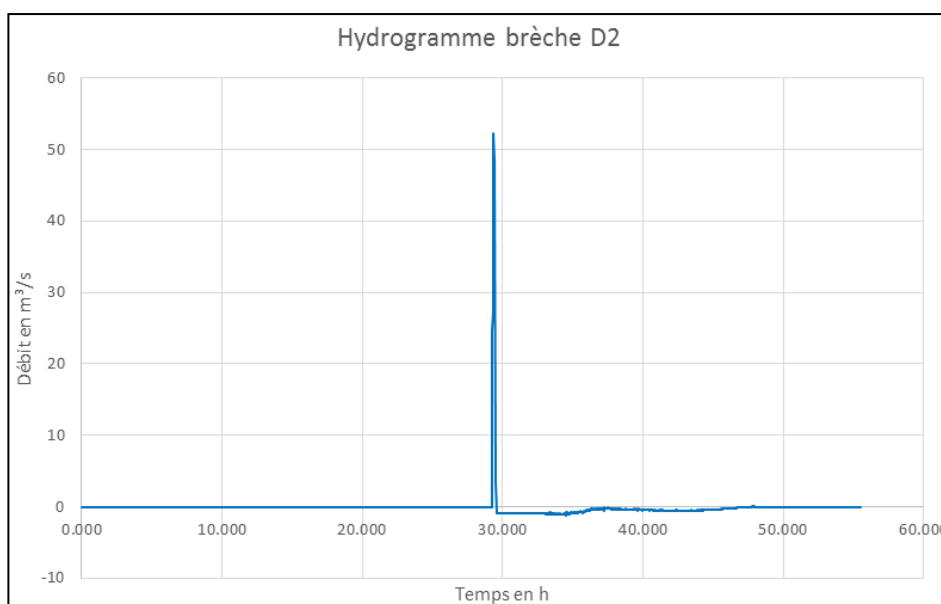


Figure 153 : Hydrogramme de la brèche D2

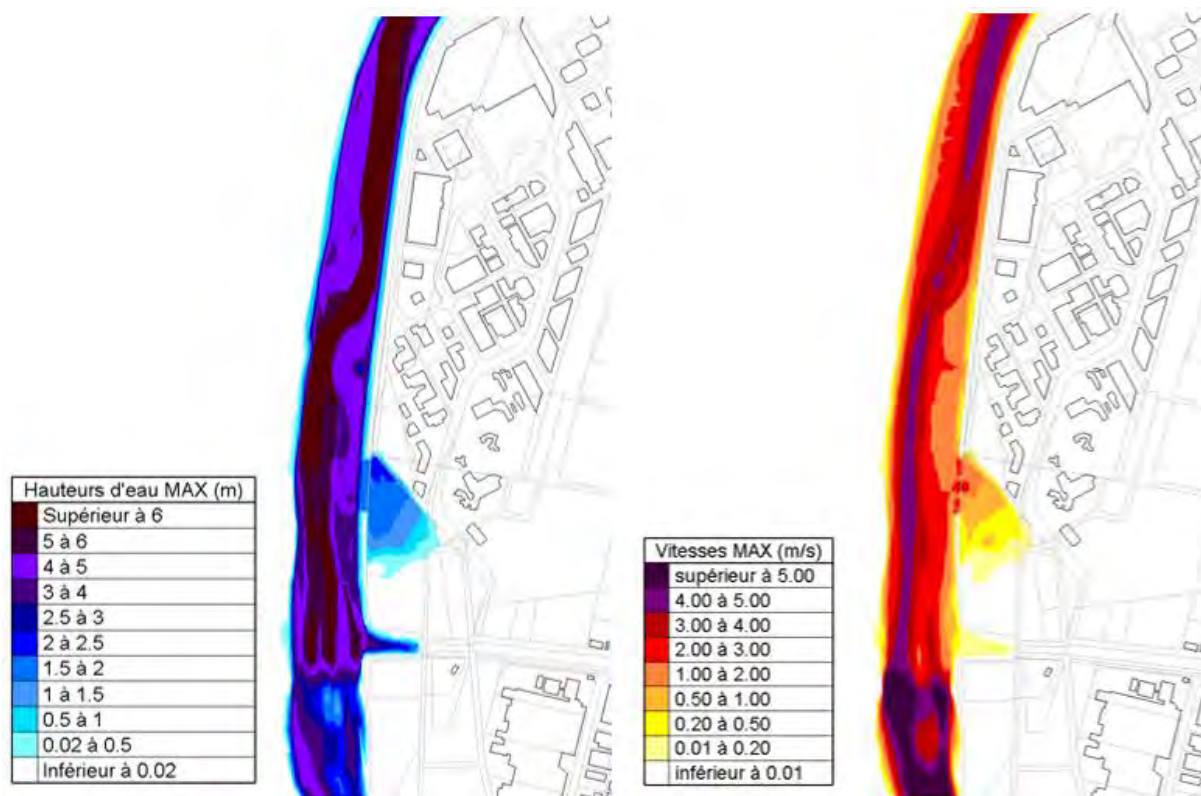


Figure 154 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D2

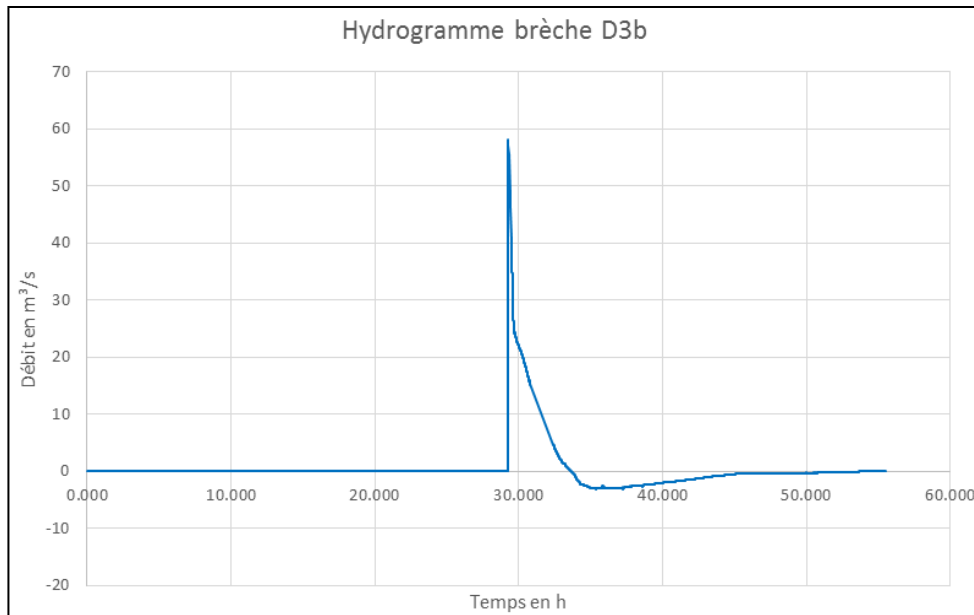
### 10.2.4 BRÈCHE D3B

Les éléments et résultats relatifs à la brèche D3b sont présentés ci-dessous :

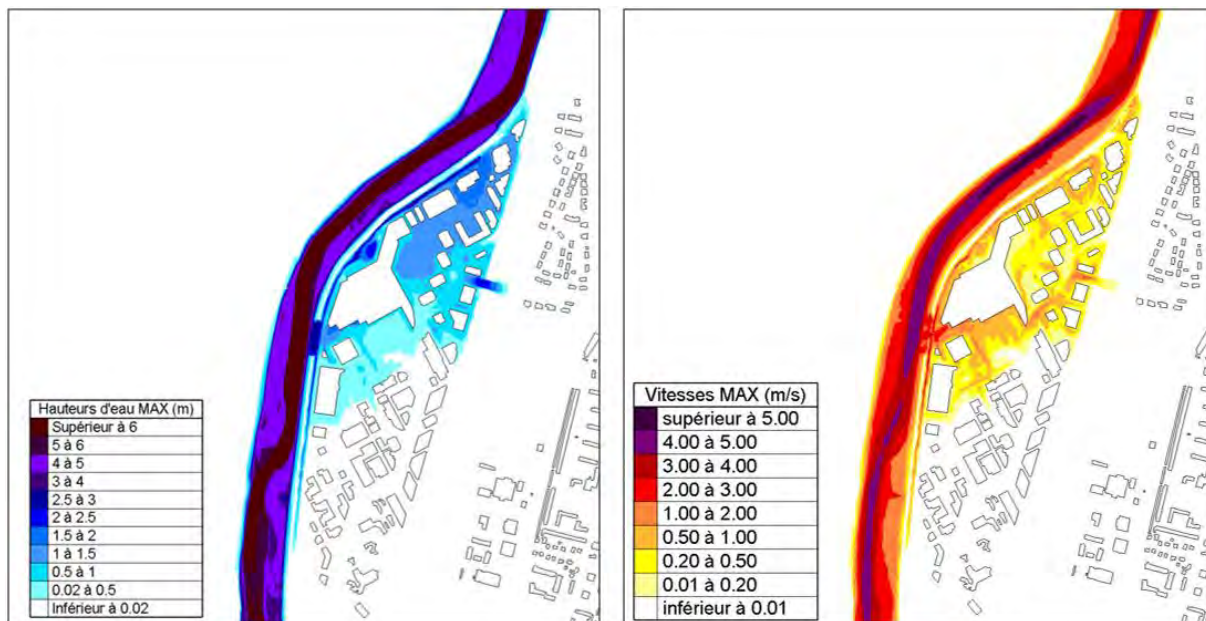
	BRECHE D3b
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	30 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	100 m
Cote abaissement brèche	226.15 mNGF
Hauteur de mise en charge	2.8 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.4m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h40
Débit de pointe de l'onde	57 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	env. 5h ( $Q>0$ )

Tableau 28 : Caractéristiques de la brèche D3b





**Figure 155 : Hydrogramme de la brèche D3b**



**Figure 156 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D3b**

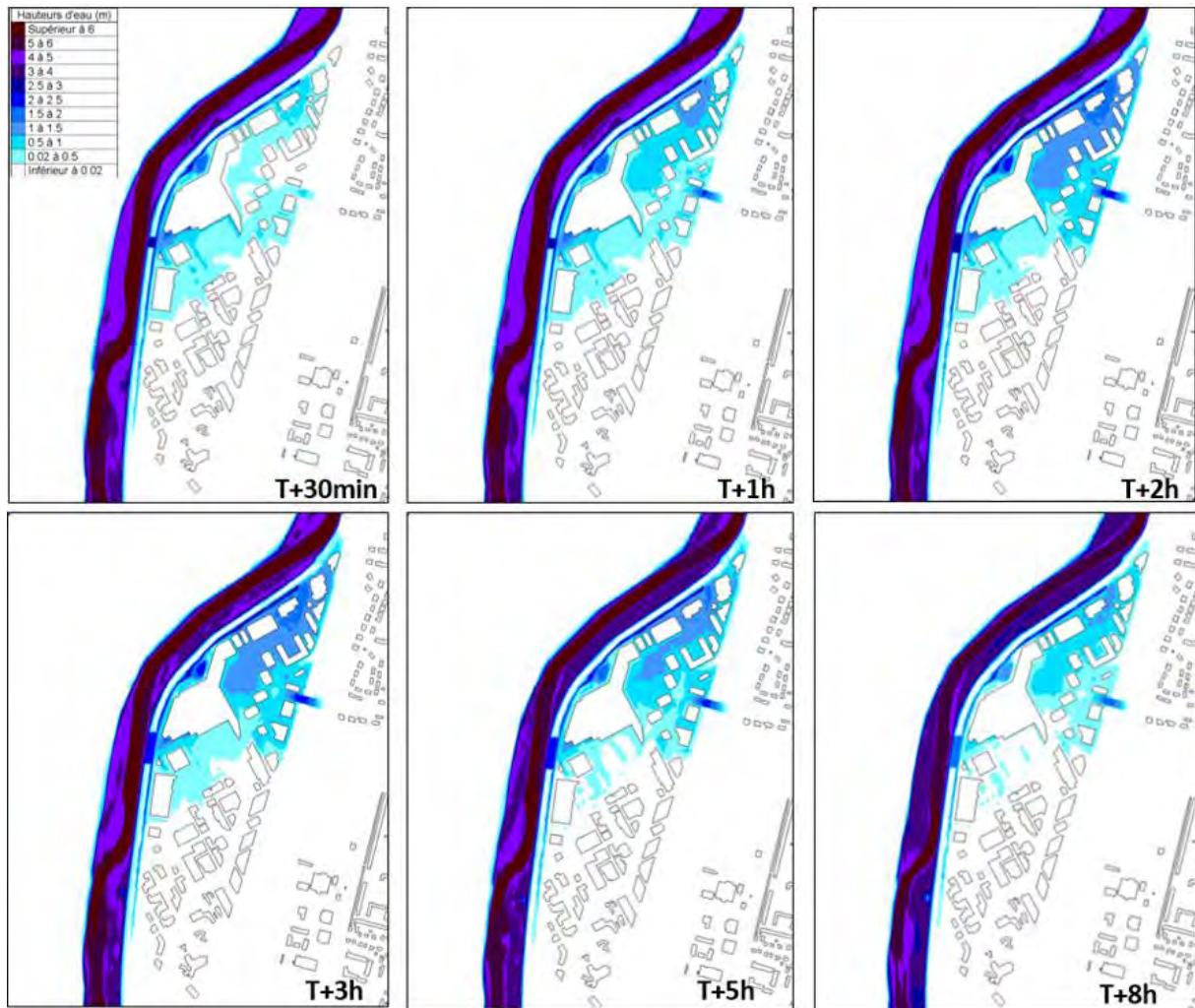


Figure 157 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D3b

### 10.2.5 BRÈCHE D4

Les éléments et résultats relatifs à la brèche D4 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE D4
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	20 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	50 m
Cote abaissement brèche	220.1 mNGF
Hauteur de mise en charge	1.5 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.1m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	2h40
Débit de pointe de l'onde	58 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	12h

Tableau 29 : Caractéristiques de la brèche D4

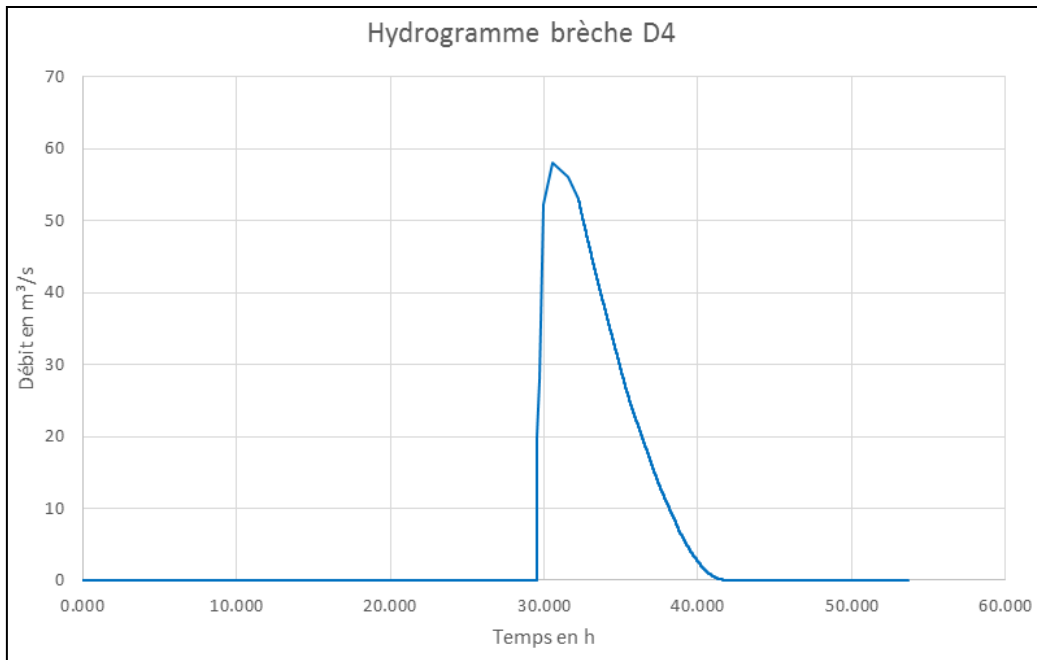


Figure 158 : Hydrogramme de la brèche D4

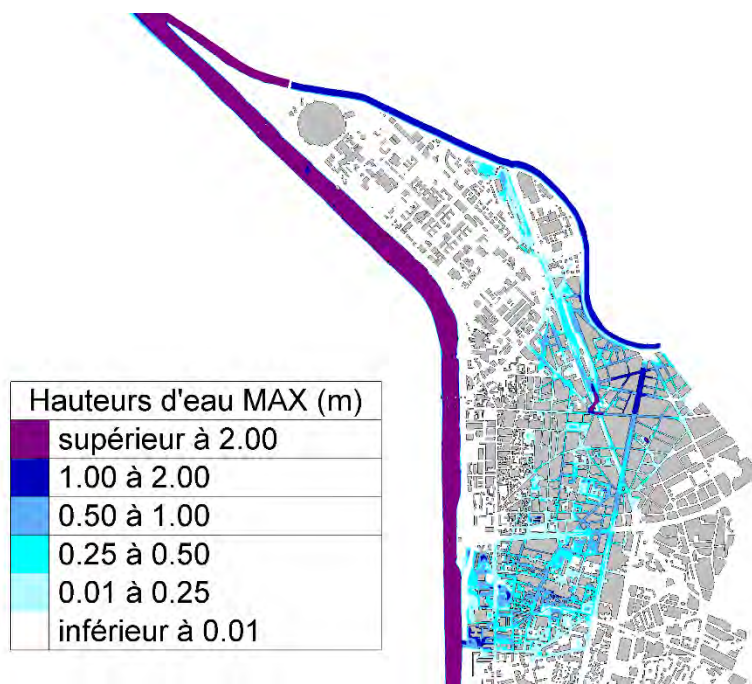


Figure 159 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales- Brèche D4



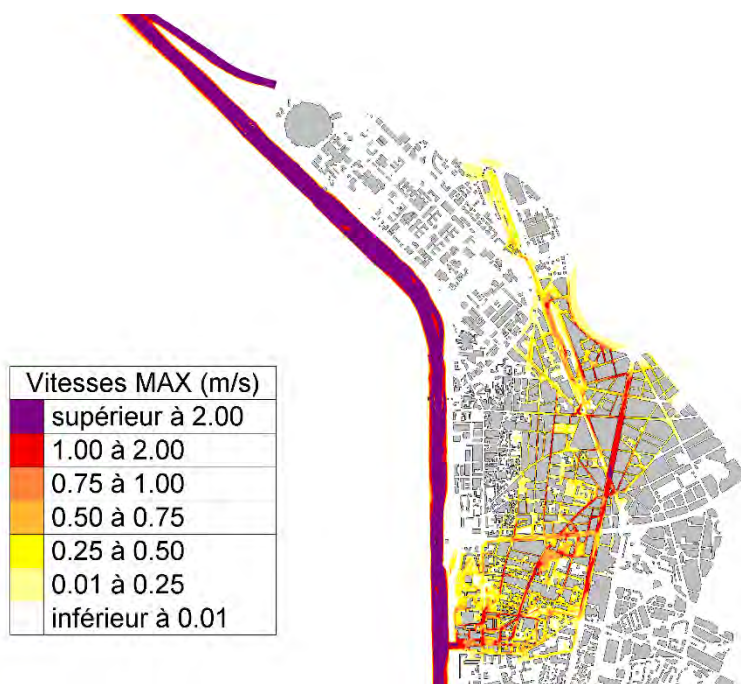


Figure 160 : Cartographies des vitesses maximales – Brèche D4

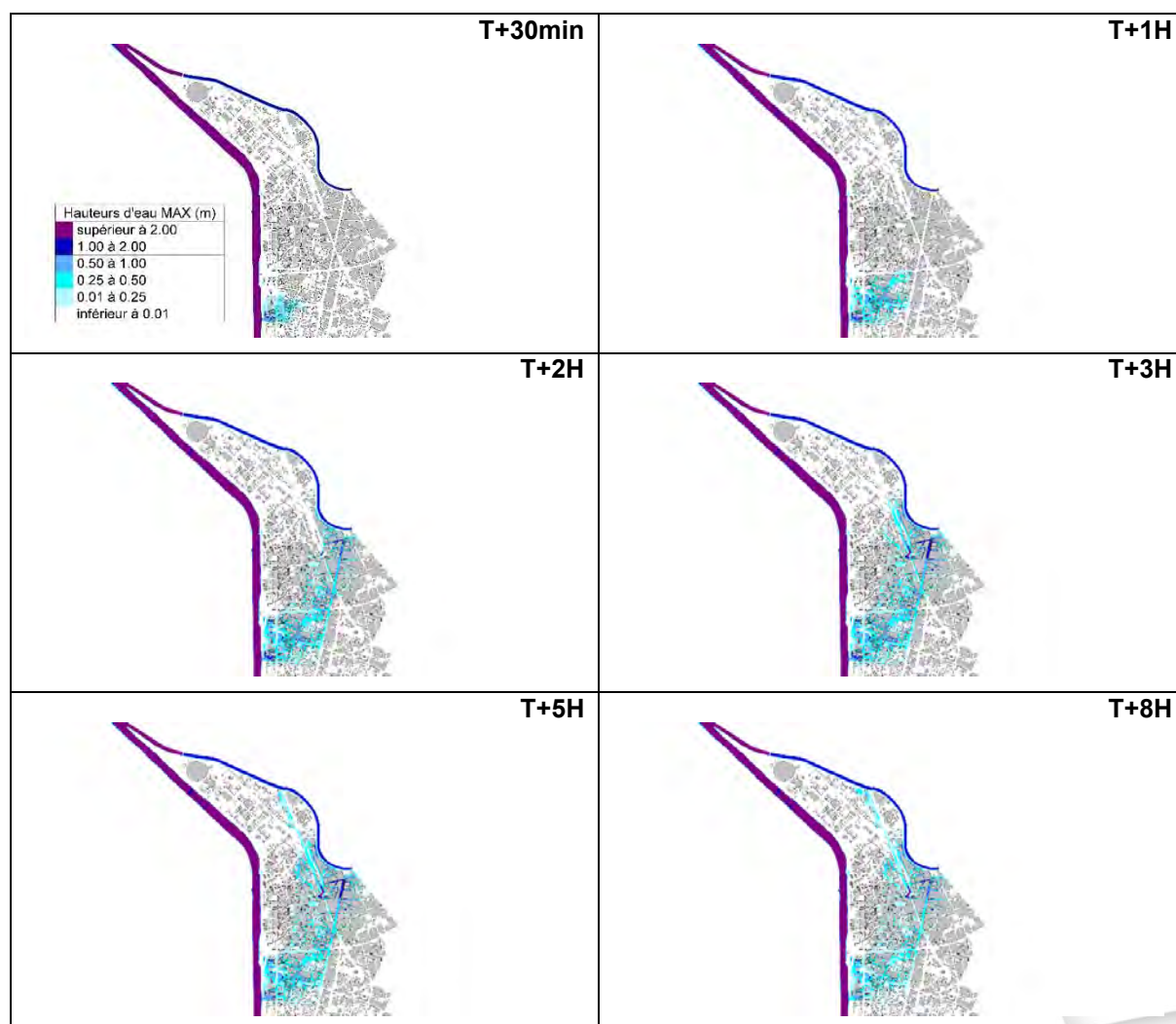


Figure 161 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D4

## 10.2.6 BRÈCHE D5

Les éléments et résultats relatifs à la brèche D5 sont présentés ci-dessous :

BRECHE D5	
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	20 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	50 m
Cote abaissement brèche	218.6 mNGF
Hauteur de mise en charge	1.8m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.1m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	2h40
Débit de pointe de l'onde	84 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	15h

Tableau 30 : Caractéristiques de la brèche D5

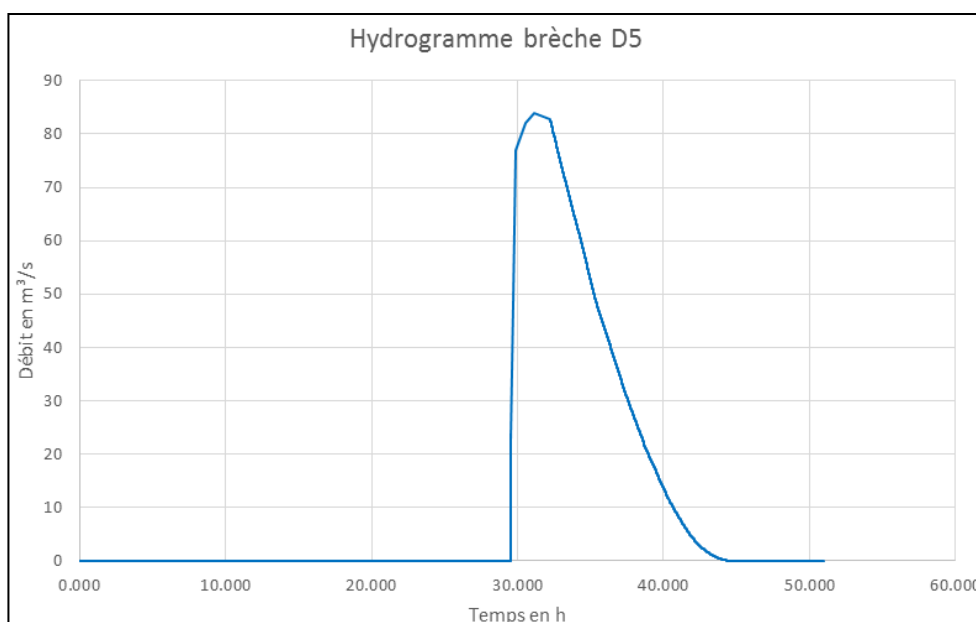


Figure 162 : Hydrogramme de la brèche D5

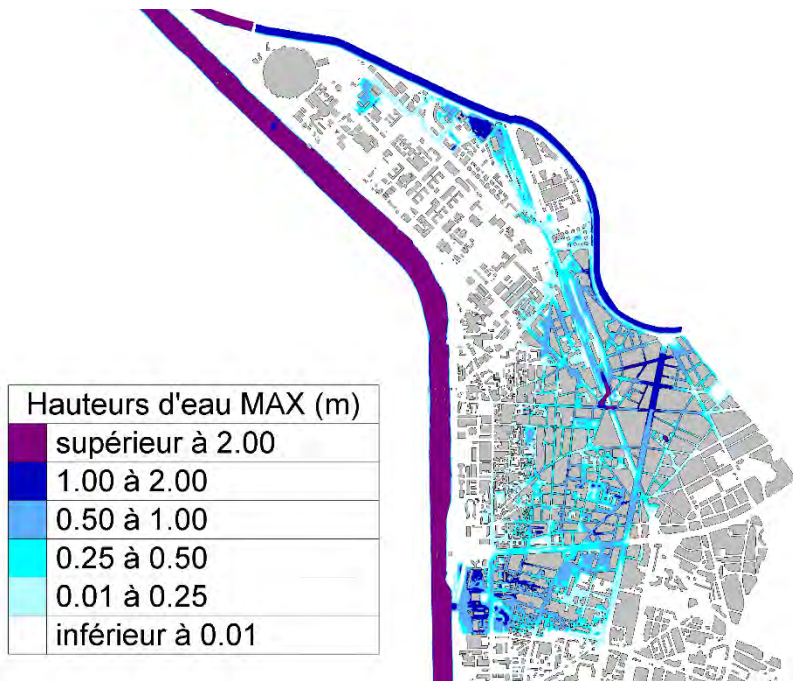


Figure 163 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales – Brèche D5

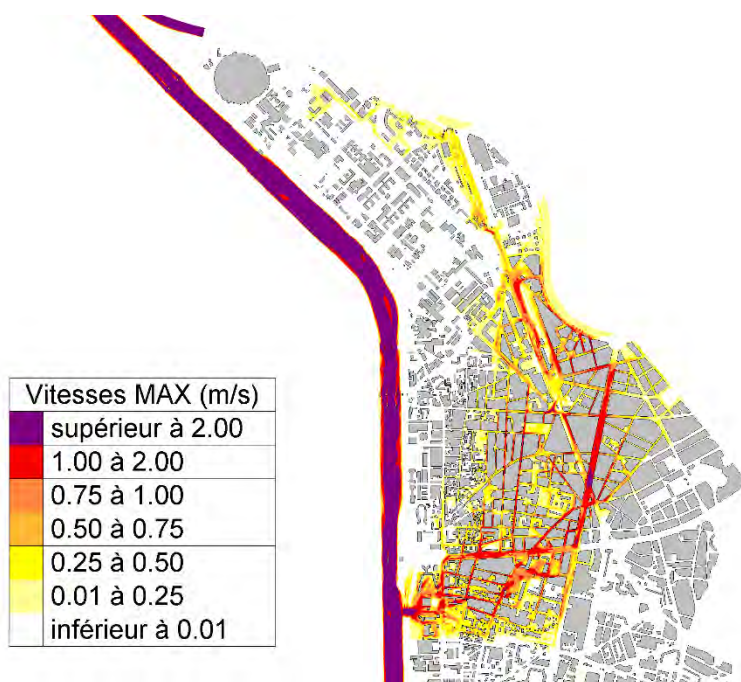


Figure 164 : Cartographies des vitesses maximales – Brèche D5



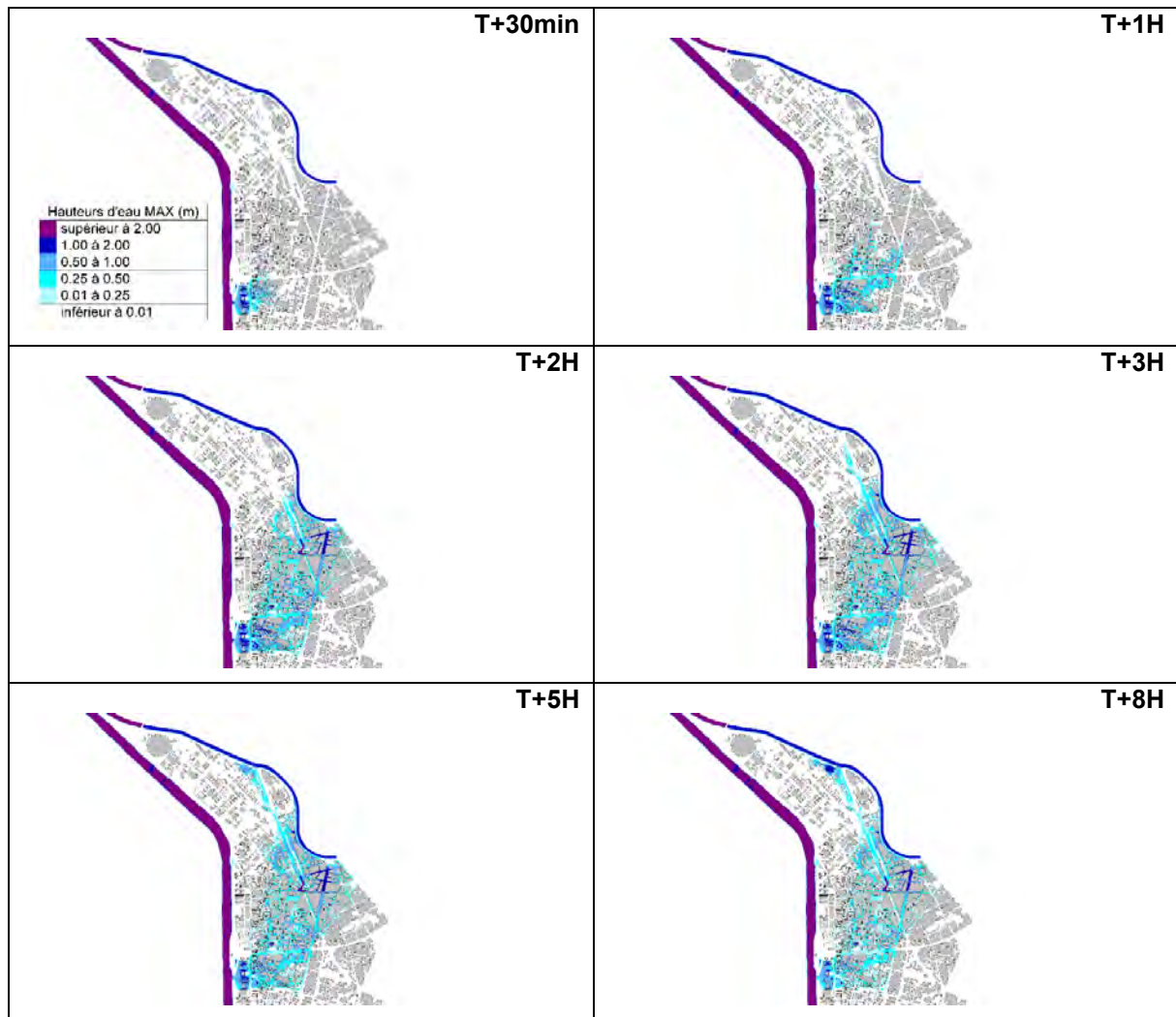


Figure 165 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D5

### 10.2.7 BRÈCHE D7

Les éléments et résultats relatifs à la brèche D7 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE D7
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	25 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	100 m
Cote abaissement brèche	213.8 mNGF
Hauteur de mise en charge	2.5 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.4m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h45
Débit de pointe de l'onde	147 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	18h

Tableau 31 : Caractéristiques de la brèche D7

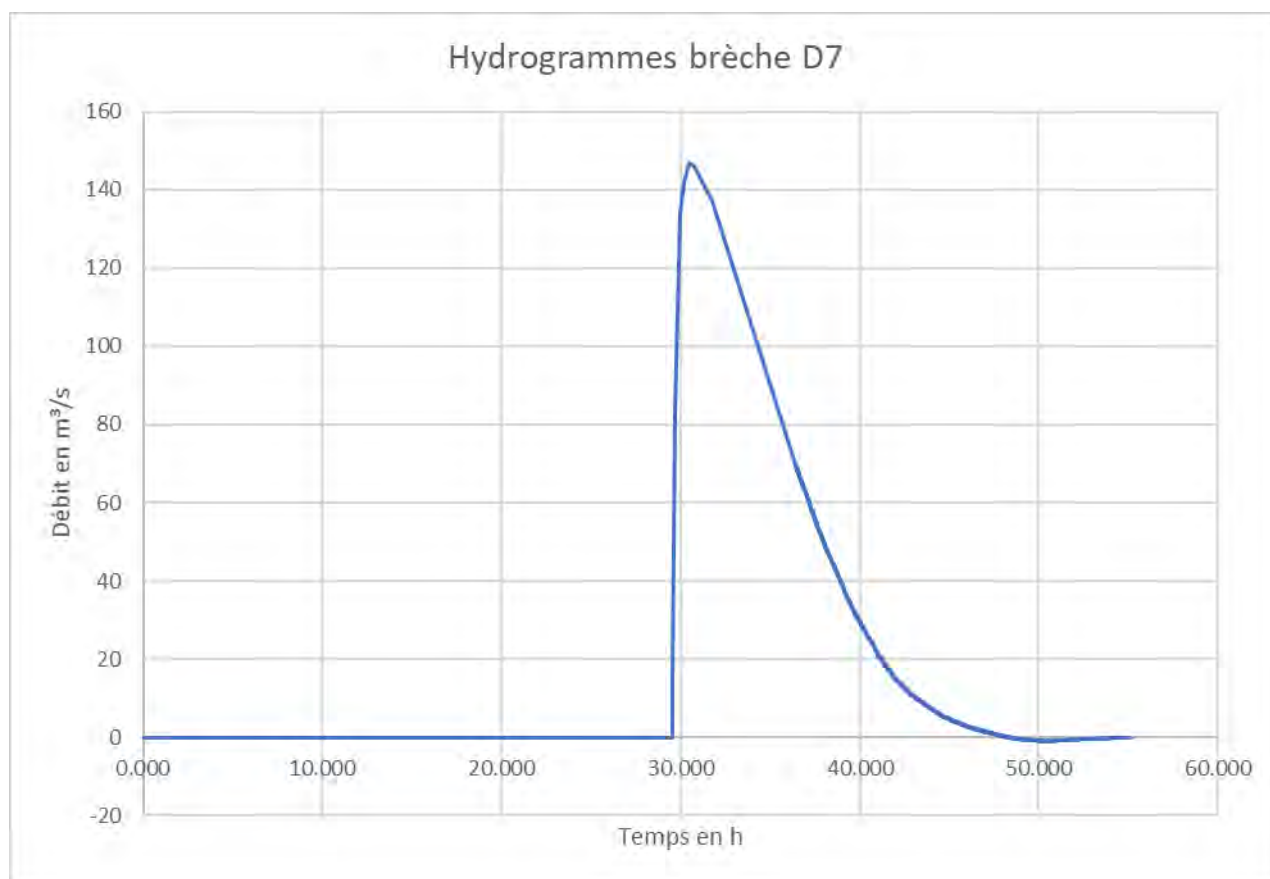


Figure 166 : Hydrogrammes de la brèche D7

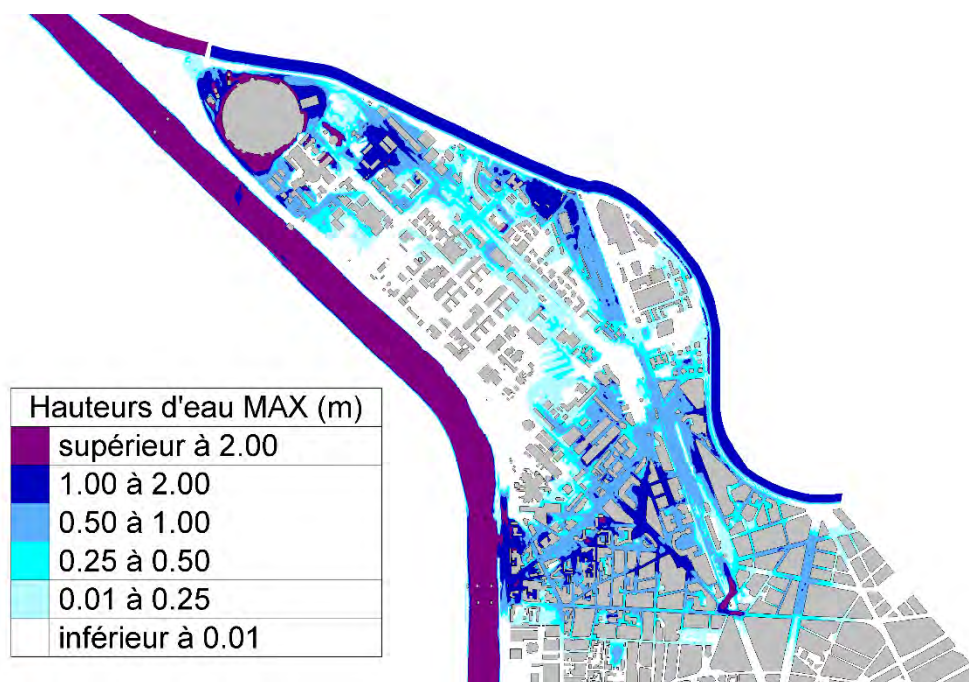


Figure 167 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales – Brèche D7

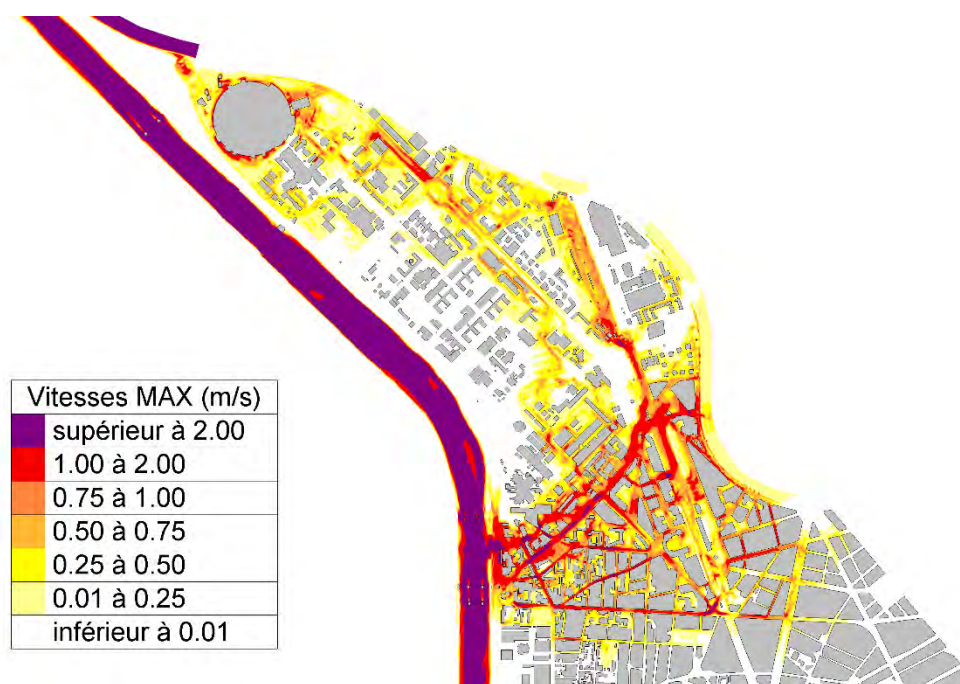


Figure 168 : Cartographies des vitesses maximales – Brèche D7



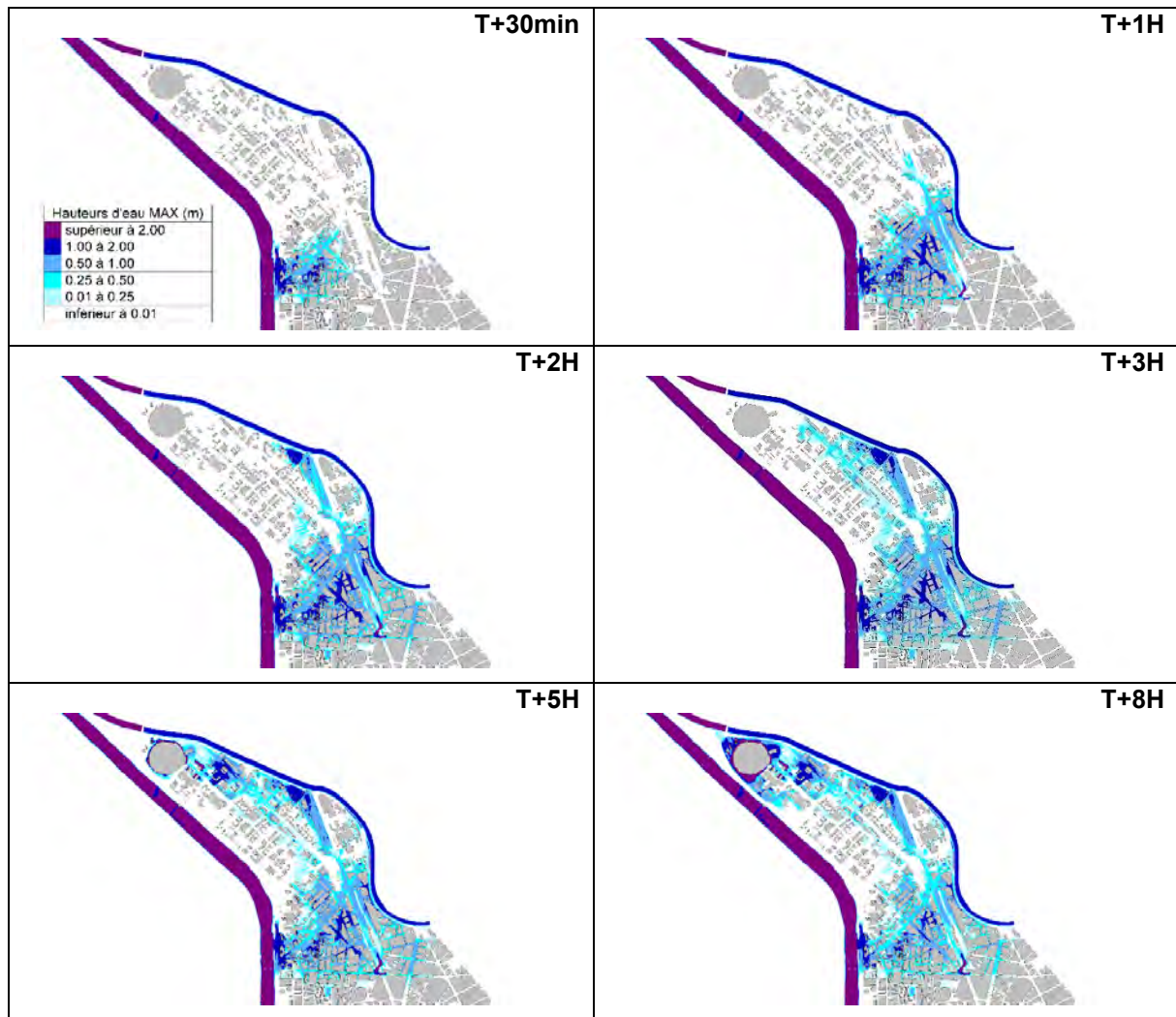


Figure 169 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D7

### 10.2.8 BRÈCHE D9

Les éléments et résultats relatifs à la brèche D9 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE D9
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	30 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	50 m
Cote abaissement brèche	210 mNGF
Hauteur de mise en charge	3.1 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.1m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h55
Débit de pointe de l'onde	174m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	+ 25h

Tableau 32 : Caractéristiques de la brèche D9

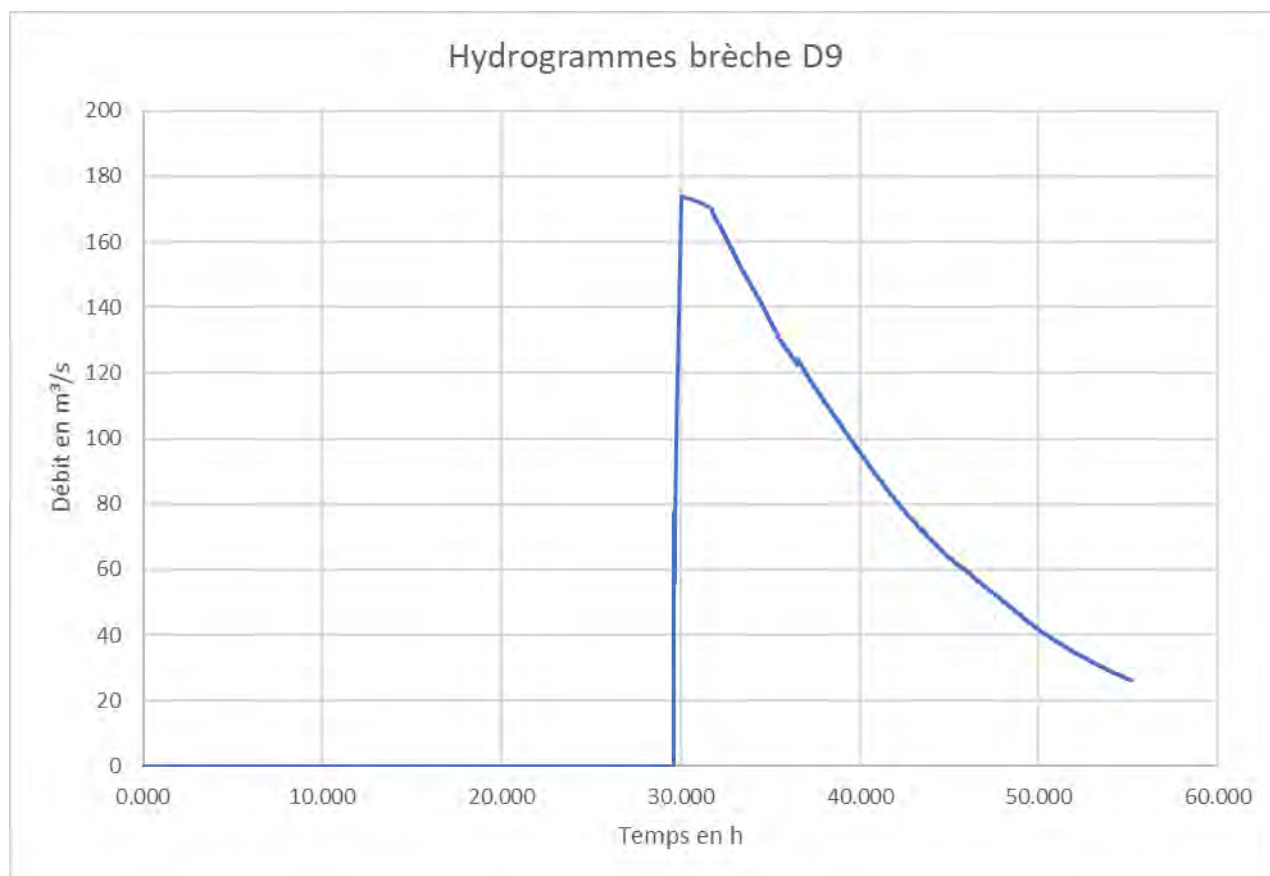


Figure 170 : Hydrogrammes de la brèche D9

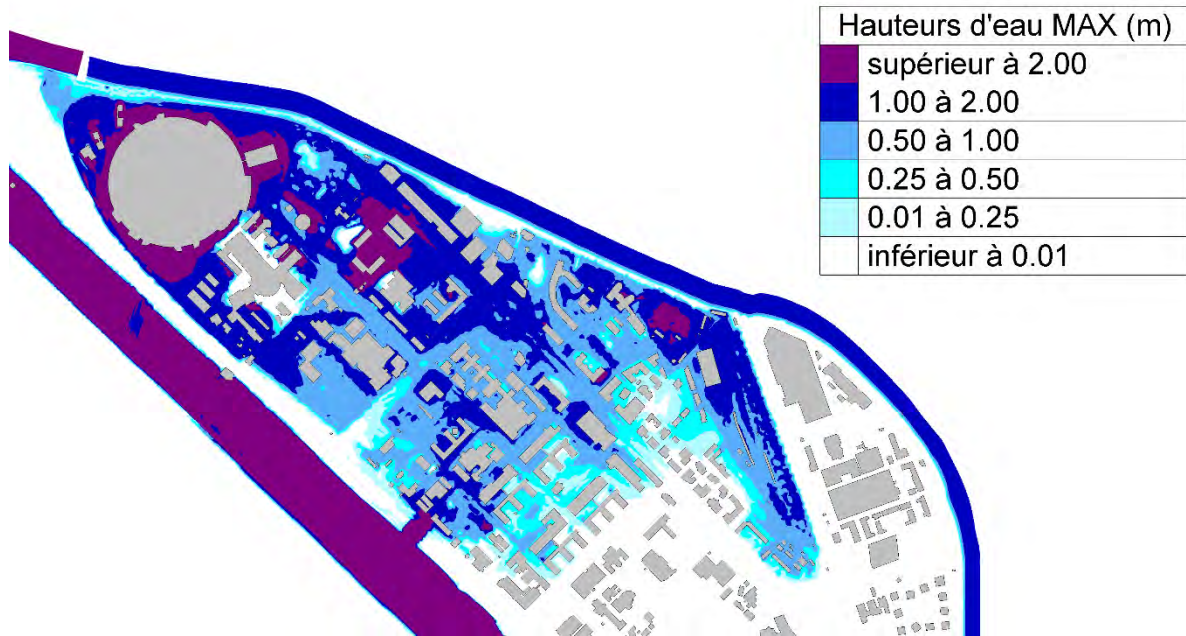


Figure 171 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales – Brèche D9

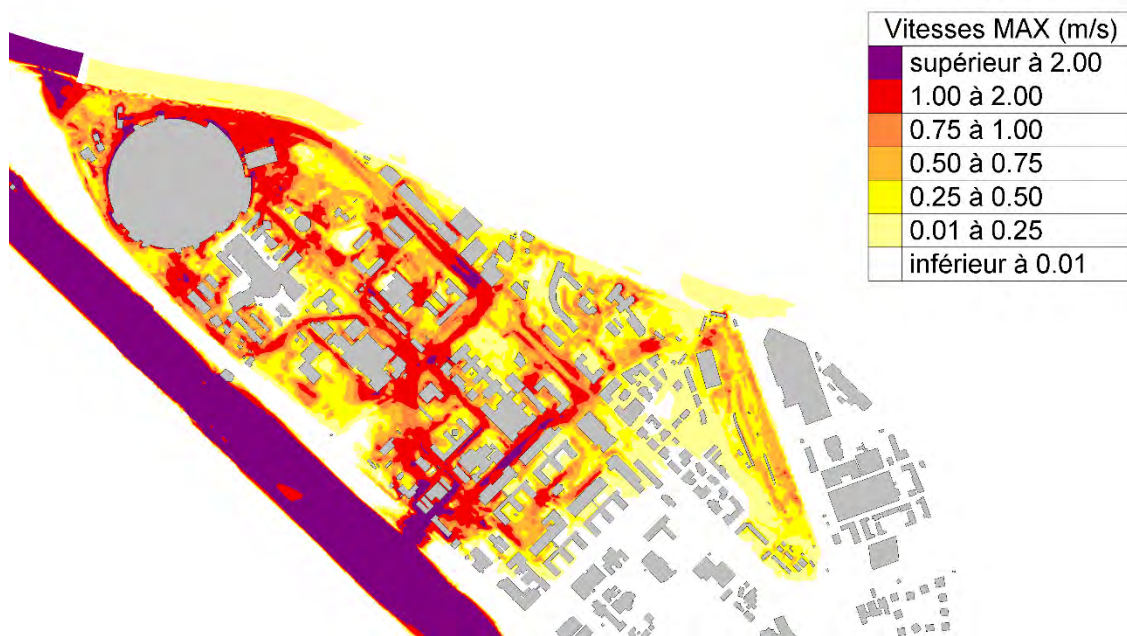


Figure 172 : Cartographies des vitesses maximales – Brèche D9



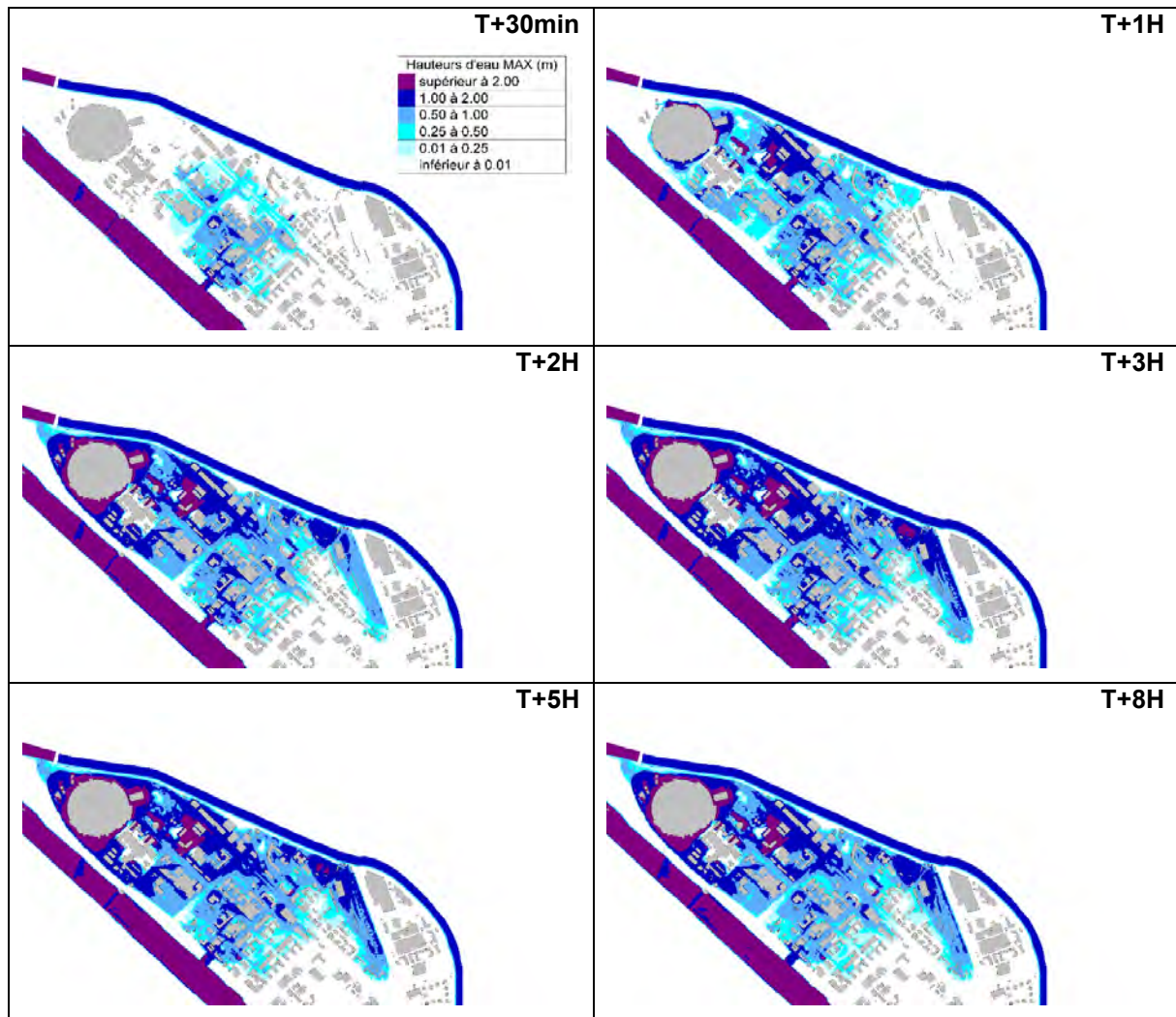


Figure 173 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D9

### 10.2.9 BRÈCHE D10

Les éléments et résultats relatifs à la brèche D10 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE D10
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	30 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	50 m
Cote abaissement brèche	208.7 mNGF
Hauteur de mise en charge	2.7 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.1m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h55
Débit de pointe de l'onde	160 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	+ 25h

Tableau 33 : Caractéristiques de la brèche D10

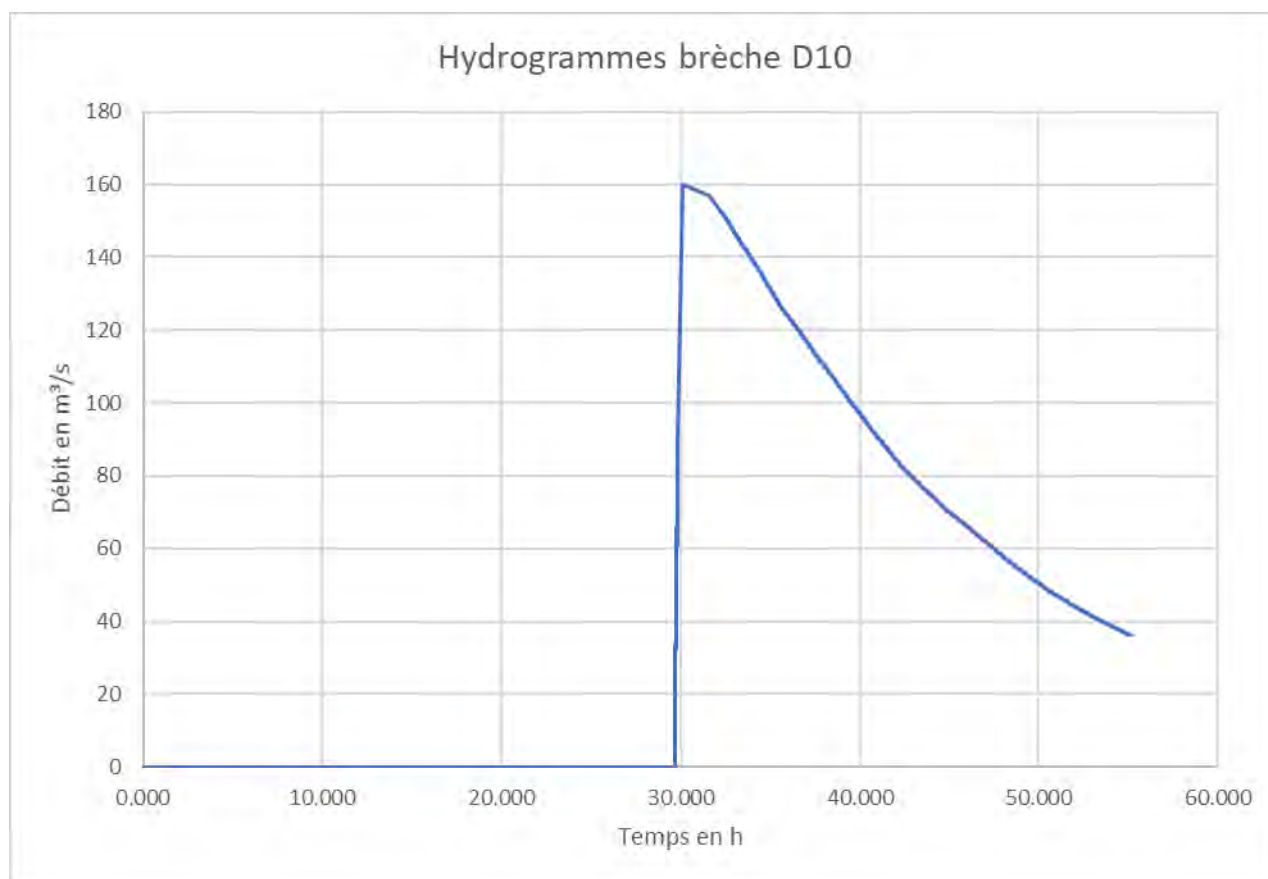


Figure 174 : Hydrogrammes de la brèche D10

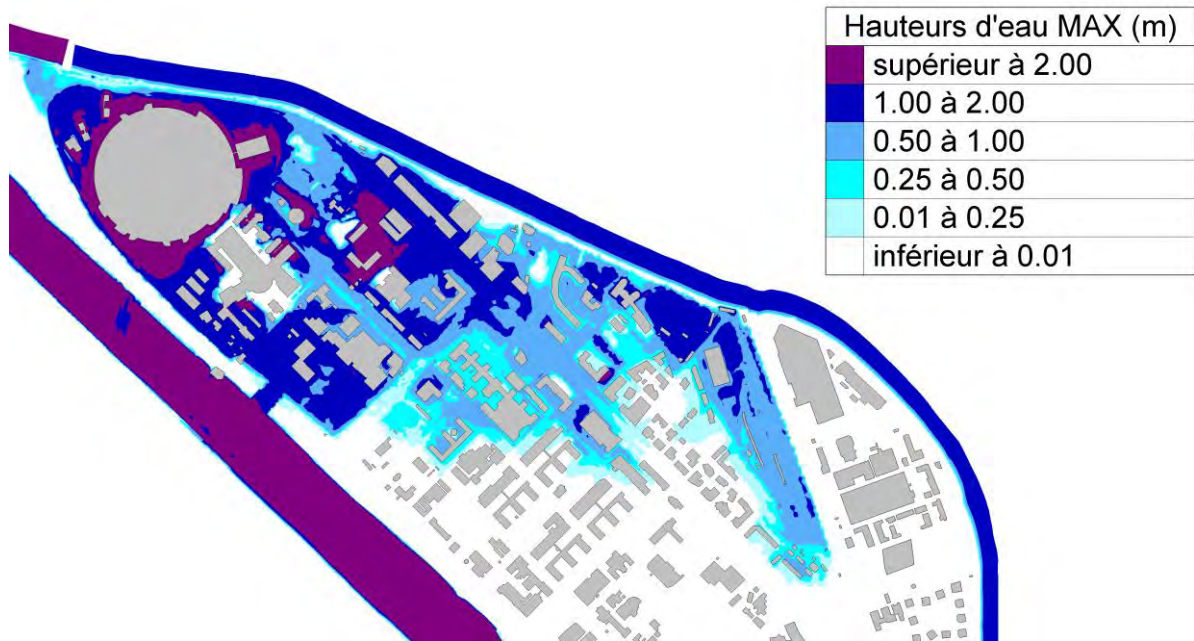


Figure 175 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales– Brèche D10

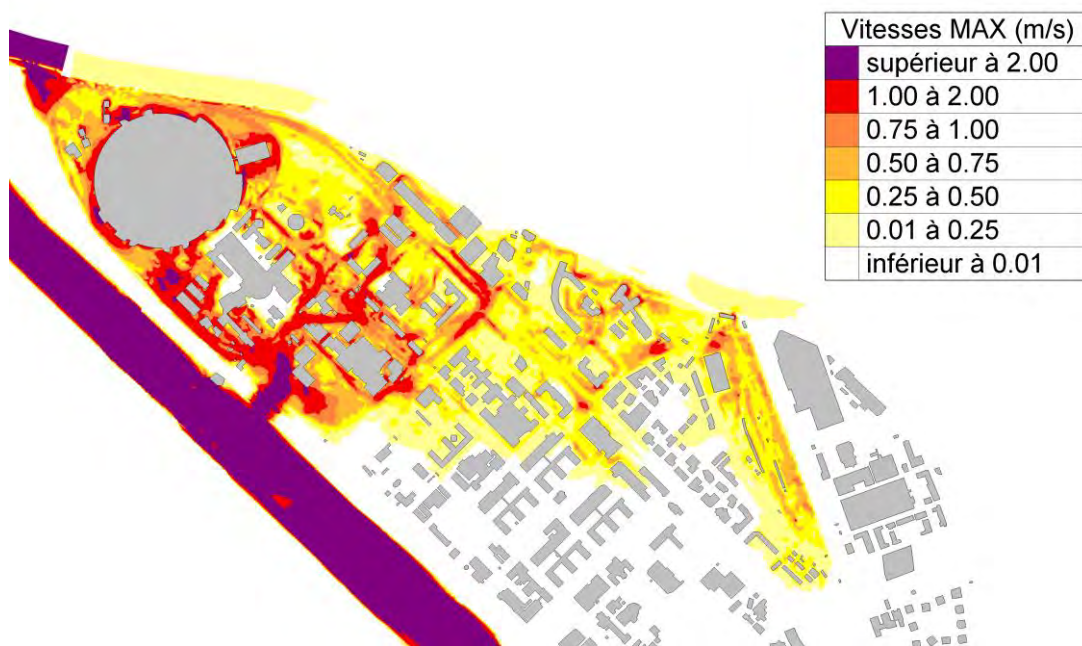


Figure 176 : Cartographies des vitesses maximales – Brèche D10



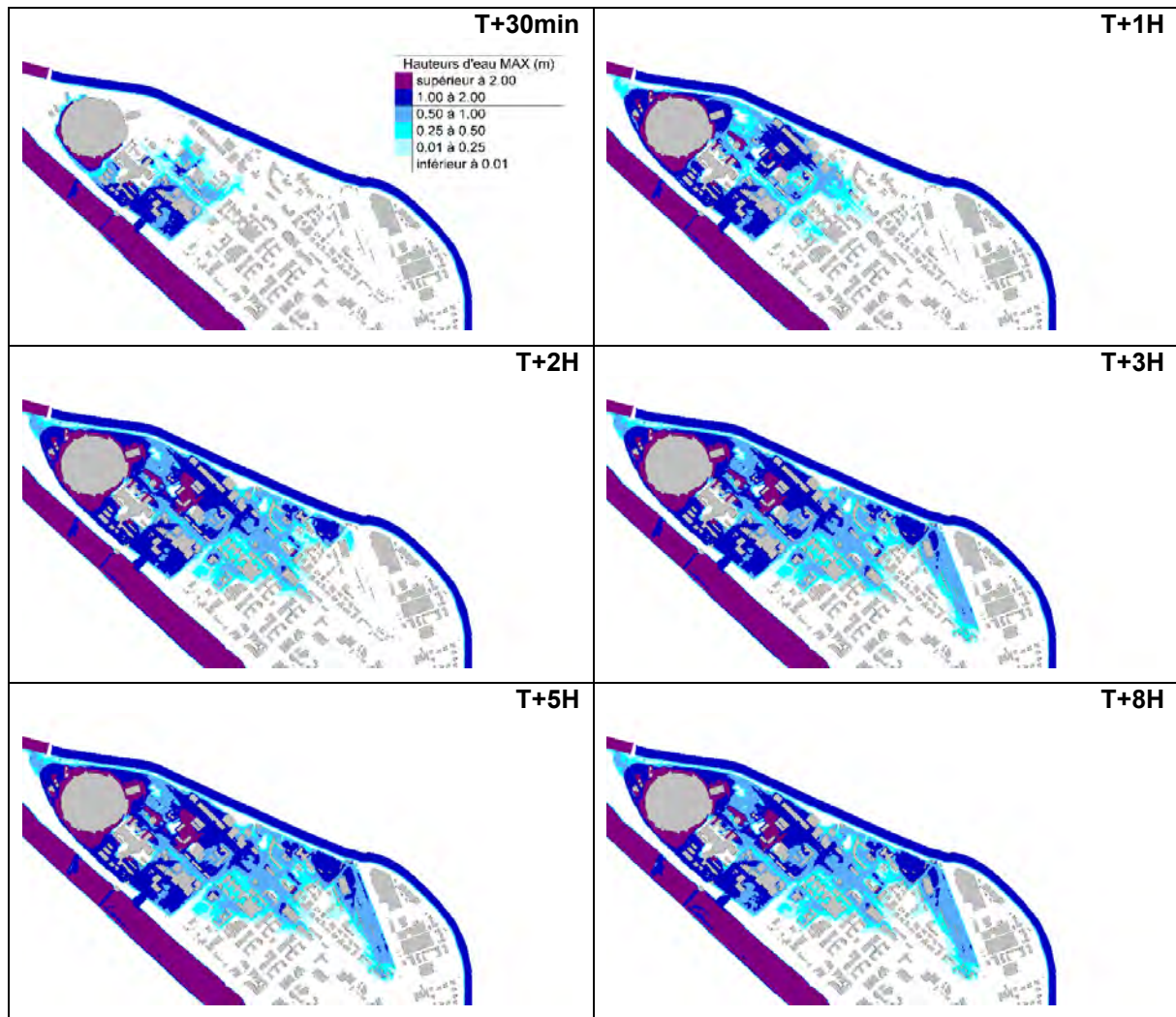


Figure 177 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D10

### 10.2.10 BRÈCHE D11

Les éléments et résultats relatifs à la brèche D11 sont présentés ci-dessous :

	BRECHE D11
Débit modélisé	Q100
Mode de rupture	érosion interne, externe ou glissement
Largeur brèche initiale ( $L_{ini}$ )	25 m
Longueur brèche totale ( $L_{max}$ )	100 m
Cote abaissement brèche	220.9 mNGF
Hauteur de mise en charge	1.7 m
Cinétique d'ouverture	1m/min jusqu'à $L_{ini}$ puis 0.4m/min jusqu'à $L_{max}$
Durée totale d'ouverture	1h45
Débit de pointe de l'onde	26 m <sup>3</sup> /s
Durée de surverse par la brèche	env. 12h

Tableau 34 : Caractéristiques de la brèche D11

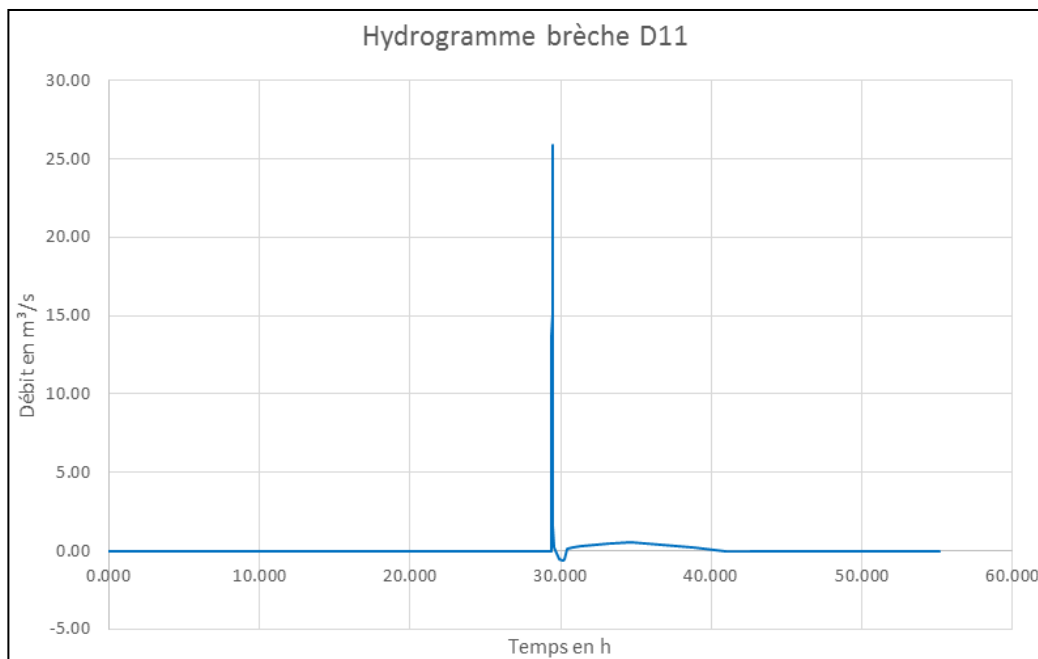


Figure 178 : Hydrogramme de la brèche D11

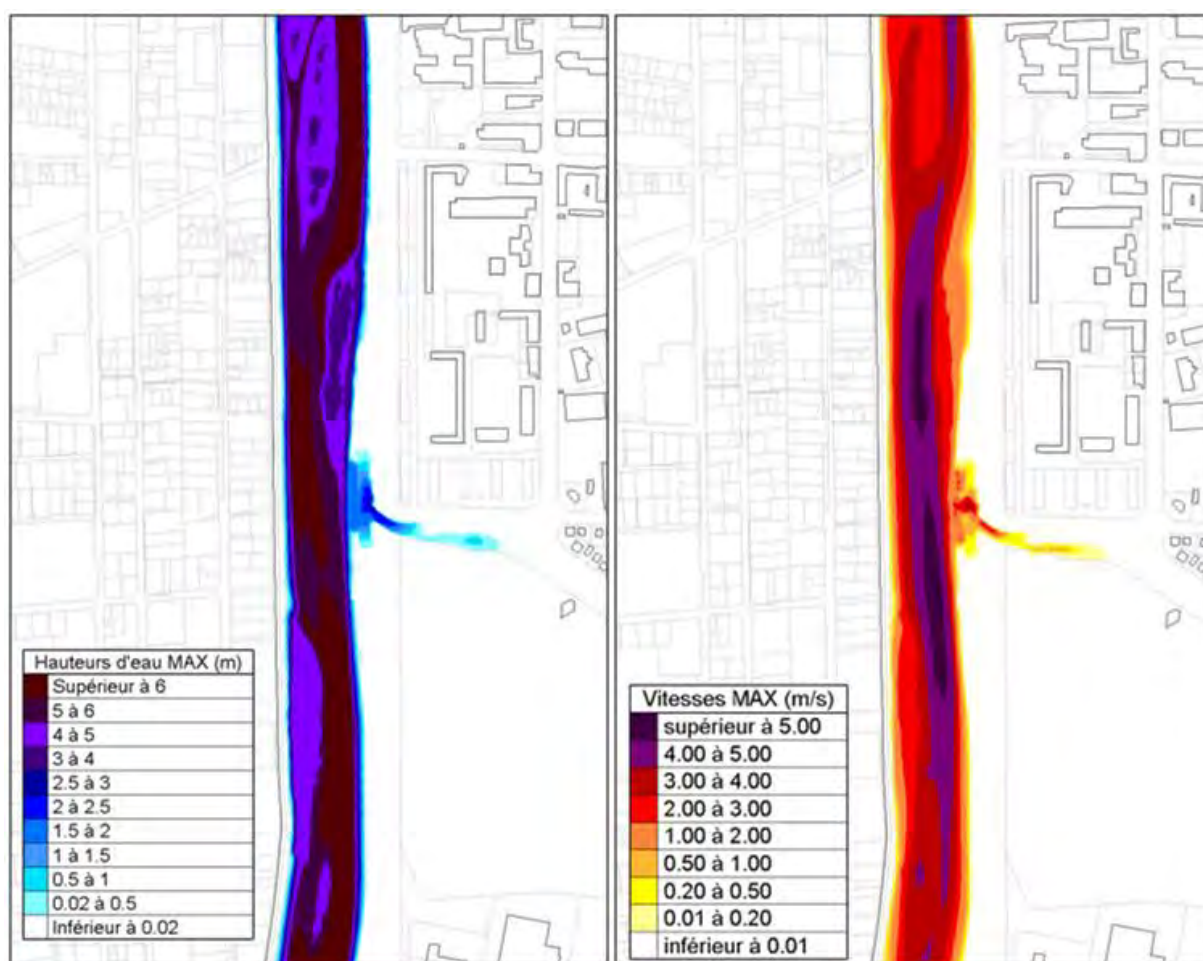


Figure 179 : Cartographies des hauteurs d'eau maximales et vitesses maximales – Brèche D11

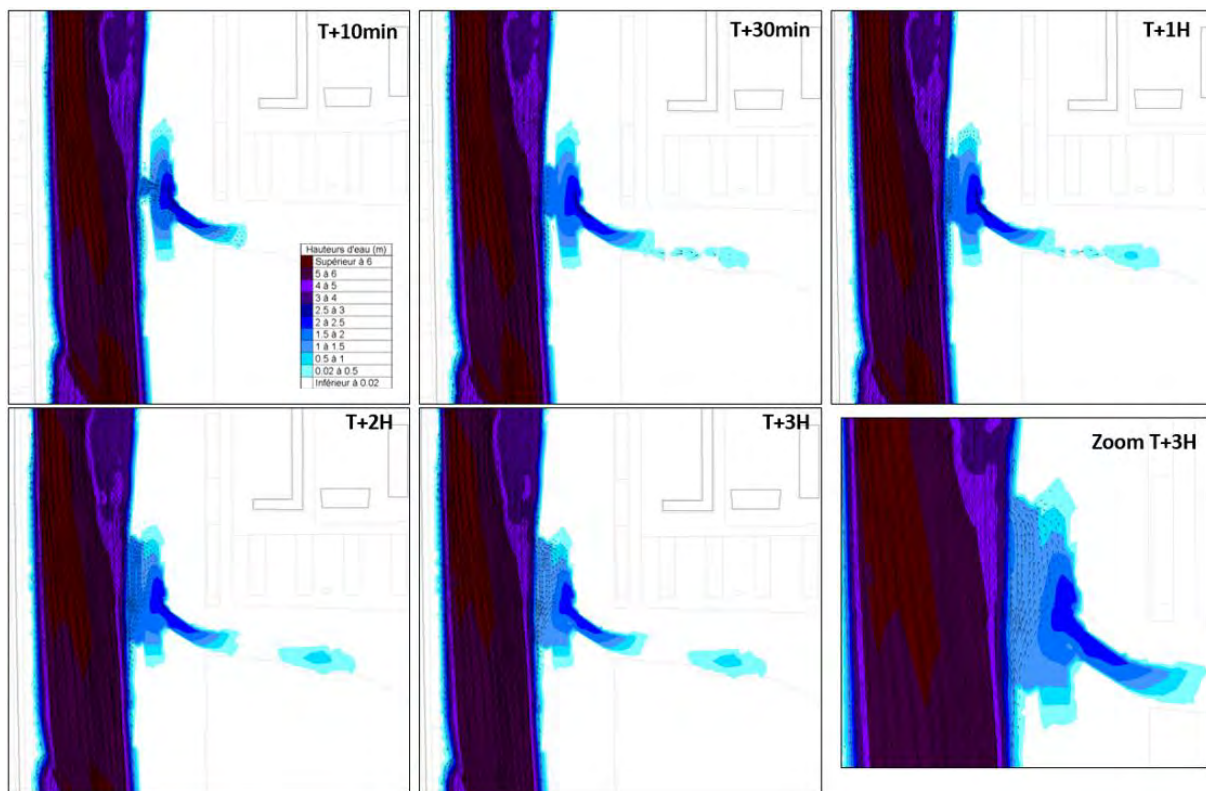


Figure 180 : Dynamique d'écoulement consécutive à la rupture – Brèche D11



## 11 CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA INONDATION

### 11.1 PRINCIPE

La cartographie de synthèse de l'aléa inondation a été établie sur la base d'une superposition des aléas de chaque scénario en retenant, en chaque point, l'aléa le plus fort.

Autrement dit :

- dans un premier temps, l'aléa a été défini en chaque point pour chaque scénario de brèche, par le croisement des cartographies des hauteurs d'eau maximales avec celle des vitesses maximales d'écoulement de ce même scénario.
- dans un second temps, la cartographie de synthèse des aléas a été réalisée par superposition des aléas obtenus pour chaque scénario, en retenant l'aléa le plus fort.

Enfin, cette cartographie de synthèse a fait l'objet de différents post-traitements : lissages, ajout des bandes de précautions...

Rappelons que tous ces scénarios ont été simulés sur la base de la crue de référence d'occurrence centennale.

Parallèlement à cette cartographie, une cartographie informative des hauteurs d'eau maximales (tous scénarios confondus) ainsi qu'une cartographie informative des vitesses maximales d'écoulement (tous scénarios confondus) ont été réalisées, pour donner une connaissance des conditions d'écoulement les plus défavorables sur l'ensemble du territoire.

En conclusion, la carte de synthèse de l'aléa ne reprend donc pas en chaque point la hauteur maximale et la vitesse d'écoulement maximale des cartes informatives.

La grille de croisement « hauteur d'eau / vitesse d'écoulement » servant à qualifier l'aléa sur la zone d'étude est la suivante :

Vitesse v en m/s Hauteur H en m	$v < 0,2$	$0,2 < v < 0,5$	$0,5 < v < 1$	$v > 1$
$H < 0,2$	Faible (C1)	Moyen (C2)	Moyen (C2)	Moyen (C2)
$0,2 < H < 0,5$	Faible (C1)	Moyen (C2)	Fort (C3)	Fort (C3)
$0,5 < H < 1$	Moyen (C2)	Moyen (C2)	Fort (C3)	Fort (C3)
$1 < H < 2$	Fort (C3)	Fort (C3)	Très fort (C4)	Très fort (C4)
$H > 2$	Très fort (C4)	Très fort (C4)	Très fort (C4)	Très fort (C4)

Tableau 35 : Grille de qualification des aléas

Pour mémoire, la grille de qualification des aléas a évolué depuis le porter à connaissance du préfet de mai 2018 pour tenir compte de l'arrêté ministériel du 5 juillet 2019. L'ancienne grille était la suivante :

Vitesse v en m/s Hauteur H en m	$v < 0,2$	$0,2 < v < 0,5$	$0,5 < v < 1$	$1 < v < 2$	$v > 2$
$H < 0,5$	Faible (C1)	Moyen (C2)	Fort (C3)	Très fort (C4)	Très fort (C4)
$0,5 < H < 1$	Moyen (C2)	Moyen (C2)	Fort (C3)	Très fort (C4)	Très fort (C4)
$1 < H < 2$	Fort (C3)	Fort (C3)	Très fort (C4)	Très fort (C4)	Très fort (C4)
$H > 2$ (zone de très forte hauteur d'eau)	Très fort (C4)	Très fort (C4)	Très fort (C4)	Très fort (C4)	Très fort (C4)

**Tableau 36 : Ancienne grille de qualification des aléas utilisée pour le porter à connaissance de mai 2018 (devenue sans objet)**

Les figures suivantes présentent les hauteurs d'eau maximales, les vitesses maximales ainsi que l'aléa brut de tous les scénarios assemblés.

## 11.2 CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS MAXIMALES (TOUS SCÉNARIOS)

Les figures ci-après présentent la cartographie des hauteurs d'eau maximales obtenues.

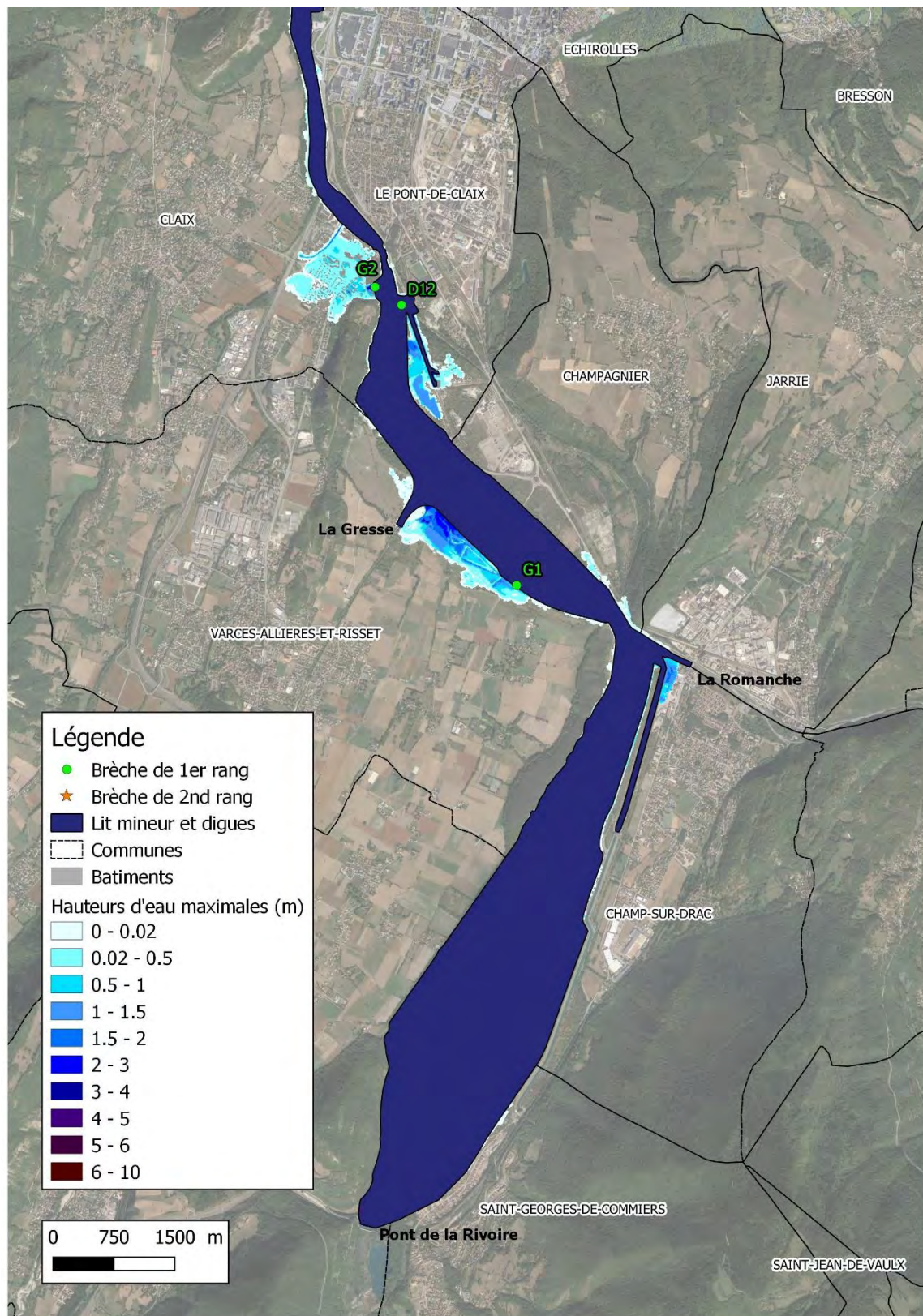


Figure 181 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – tous scénarios – Part1/3



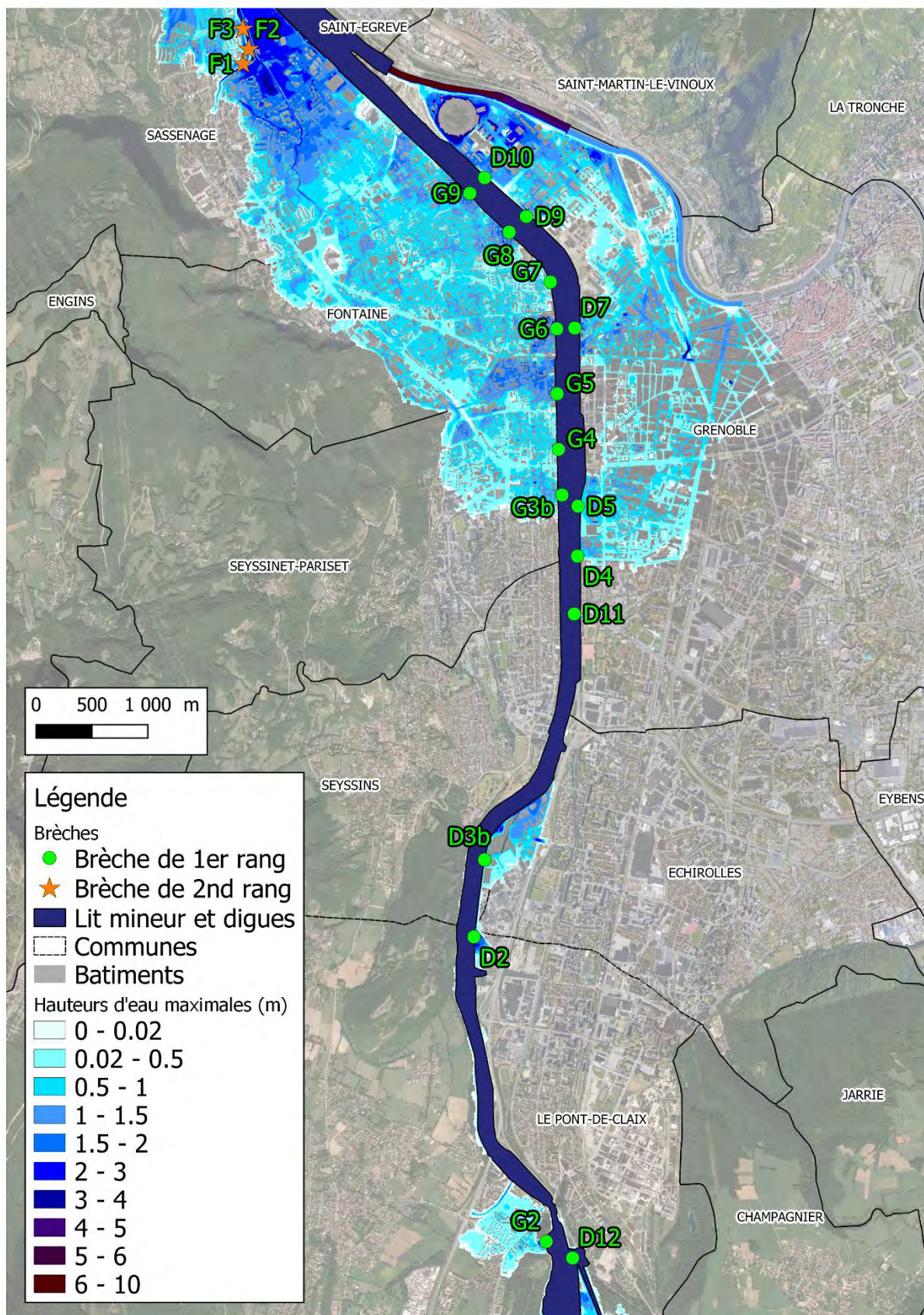


Figure 182 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – tous scénarios – Part2/3



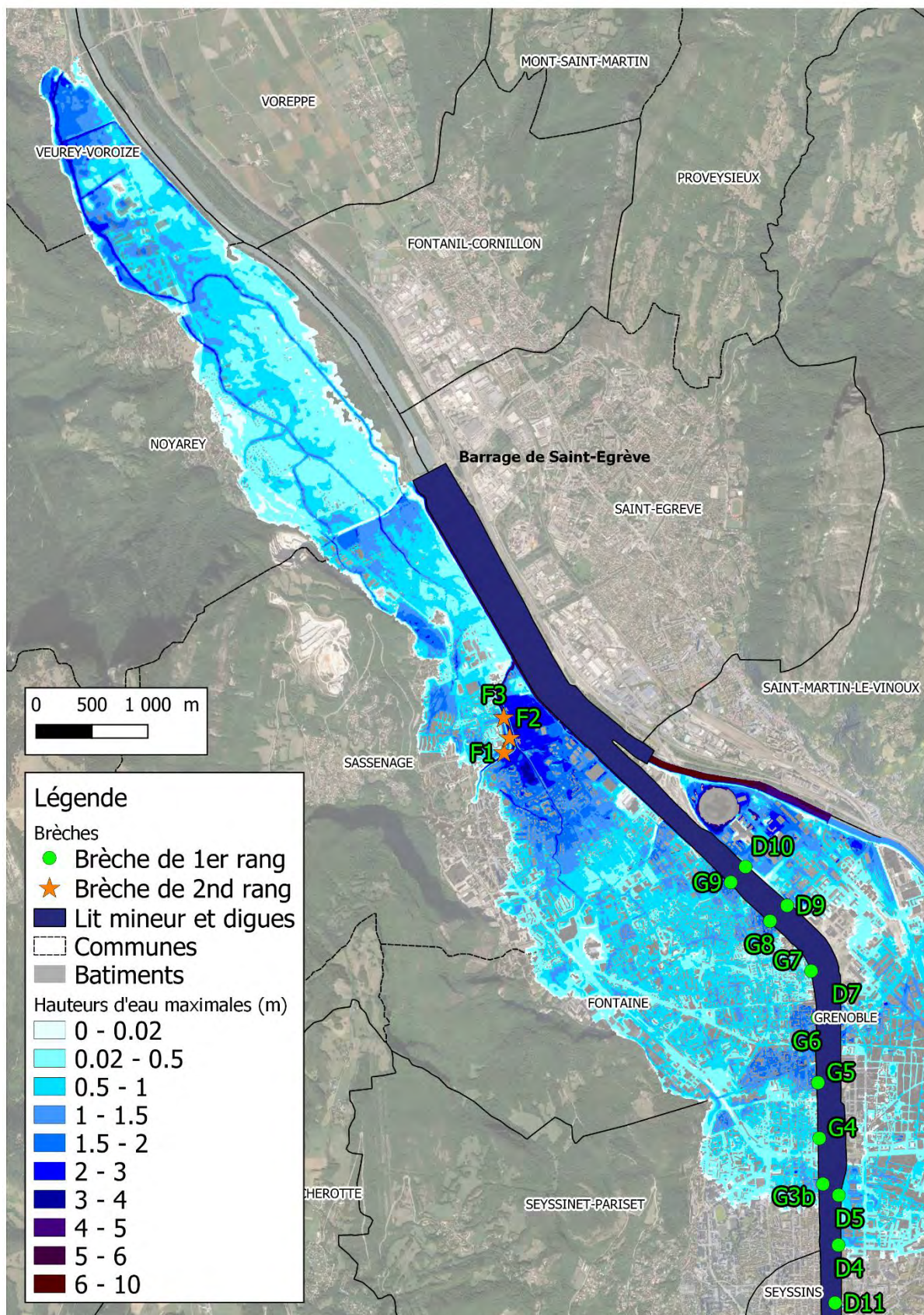


Figure 183 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – tous scénarios – Part3/3



## 11.3 CARTOGRAPHIE DES VITESSES MAXIMALES (TOUS SCÉNARIOS)

Les figures ci-dessous présentent la cartographie des vitesses maximales d'écoulement obtenues.

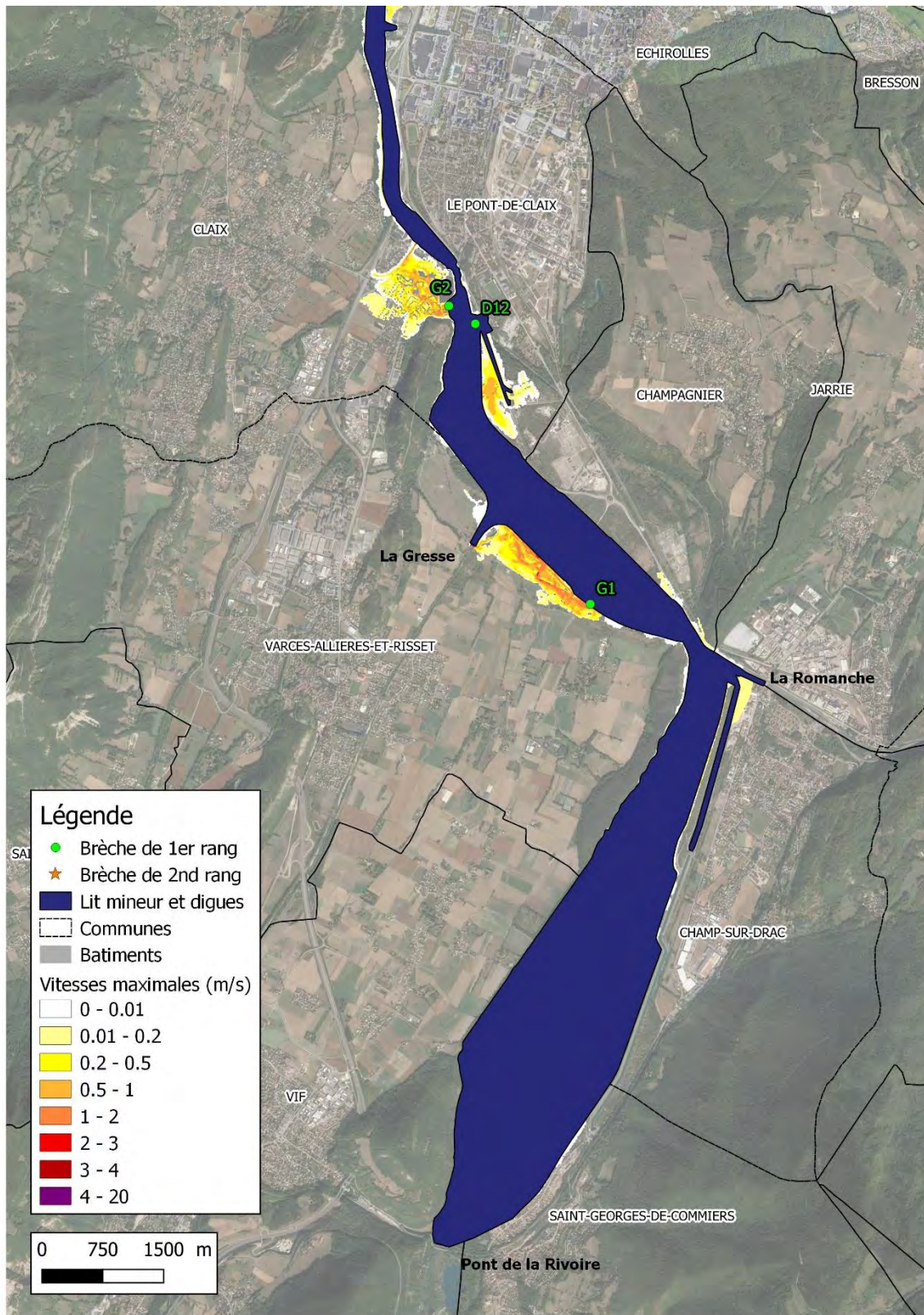


Figure 184 : Cartographie des vitesses maximales – tous scénarios – Part1/3



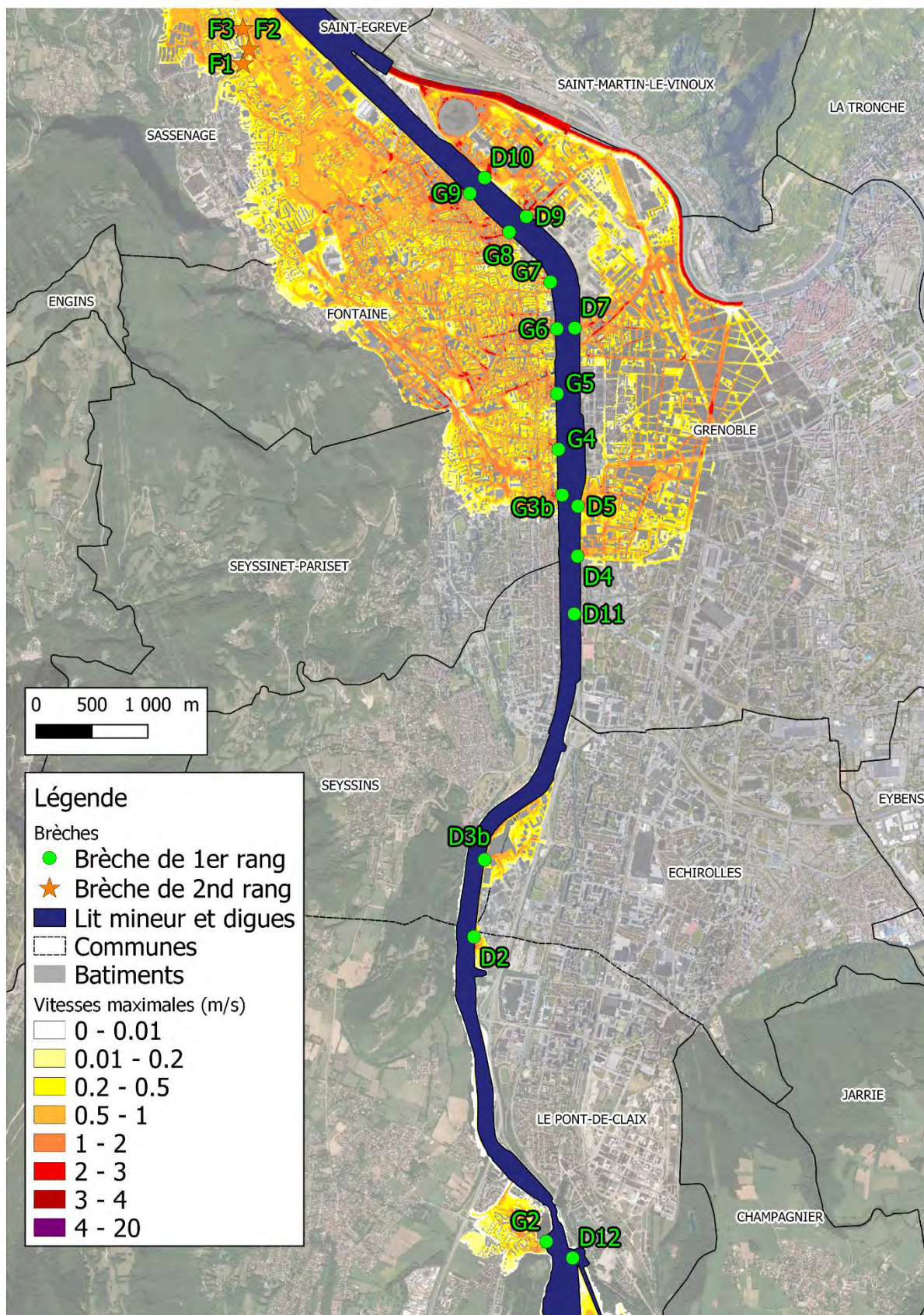


Figure 185 : Cartographie des vitesses maximales – tous scénarios – Part2/3



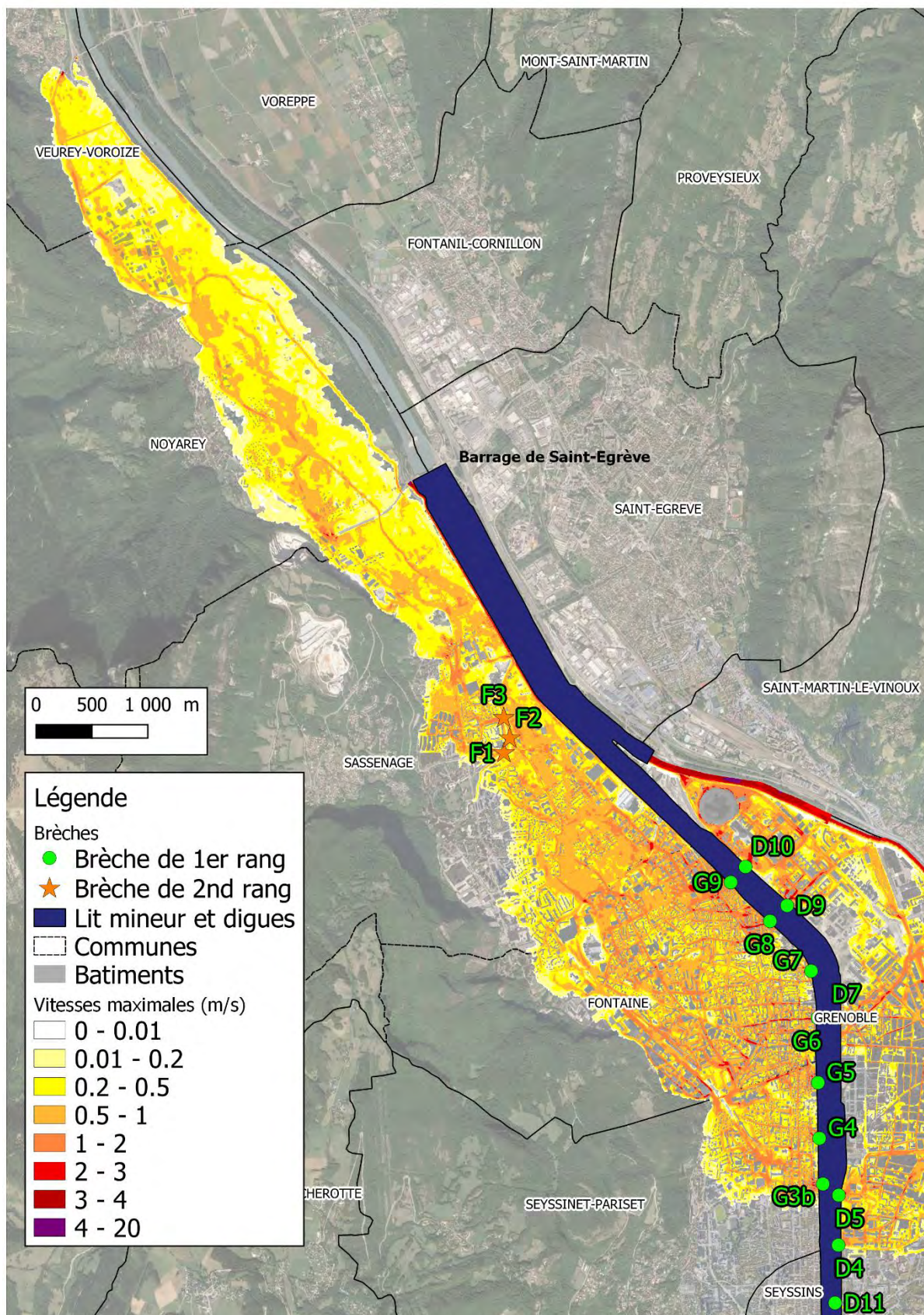


Figure 186 : Cartographie des vitesses maximales – tous scénarios – Part3/3



## 11.4 CARTOGRAPHIE BRUTE DE L'ALÉA INONDATION

Les cartographies « brutes » de l'aléa inondation sont présentées ci-dessous. Elles ont été réalisées en croisant les paramètres hauteur / vitesse en chaque maille du modèle, sur la base des critères de classification de l'aléa.

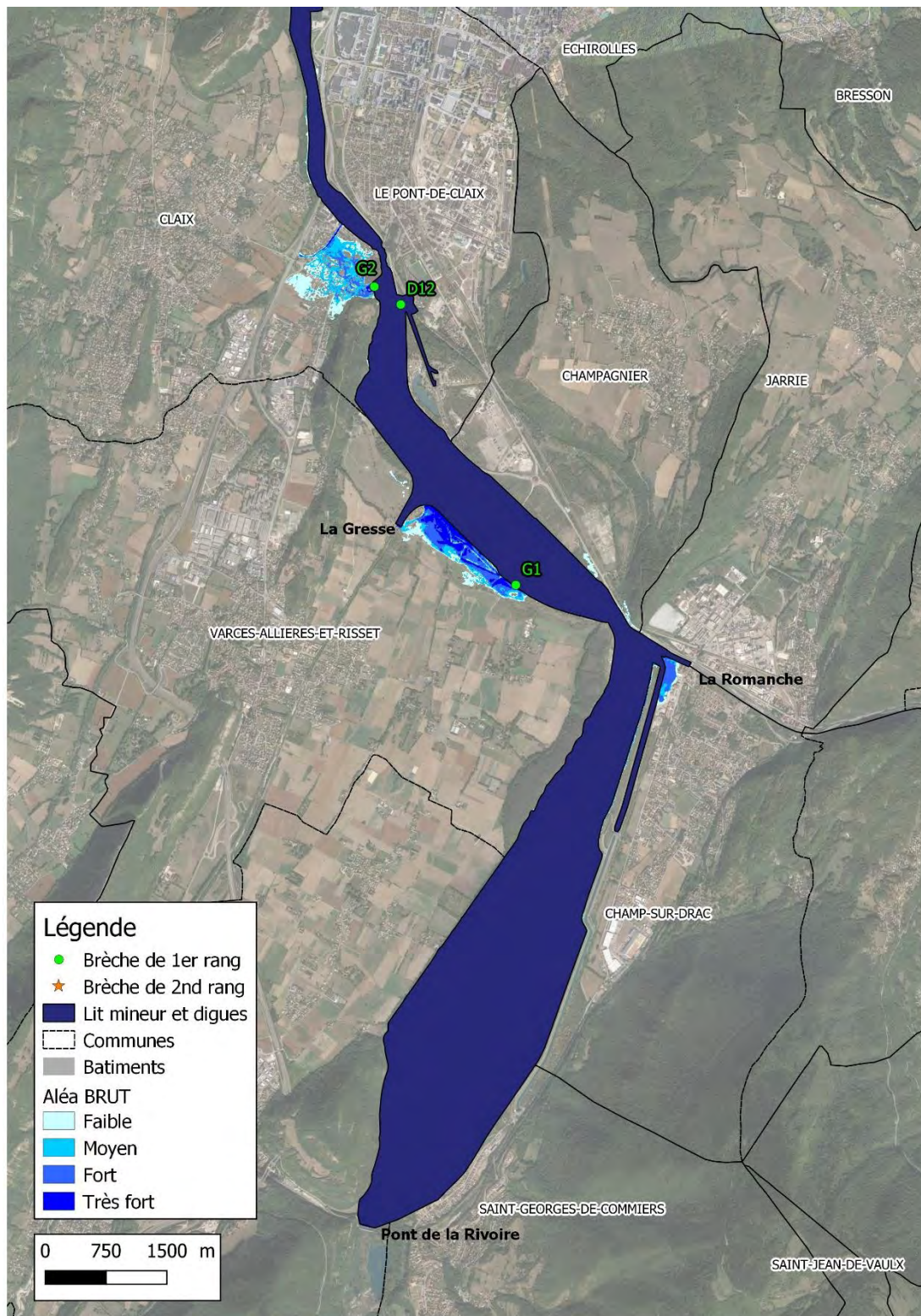


Figure 187 : Cartographie de l'aléa brut – tous scénarios – Part1/3



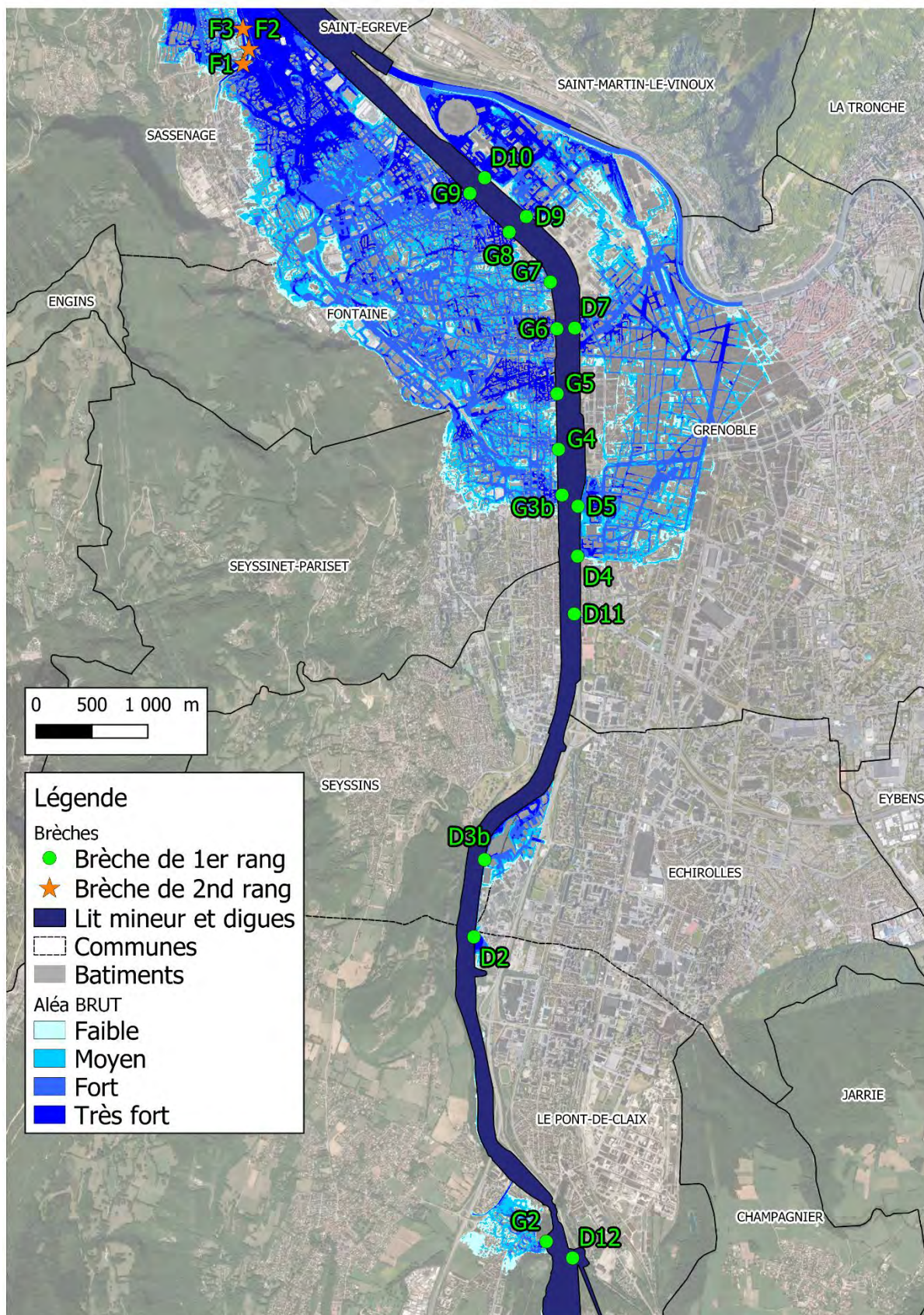


Figure 188 : Cartographie de l'aléa brut – tous scénarios – Part2/3



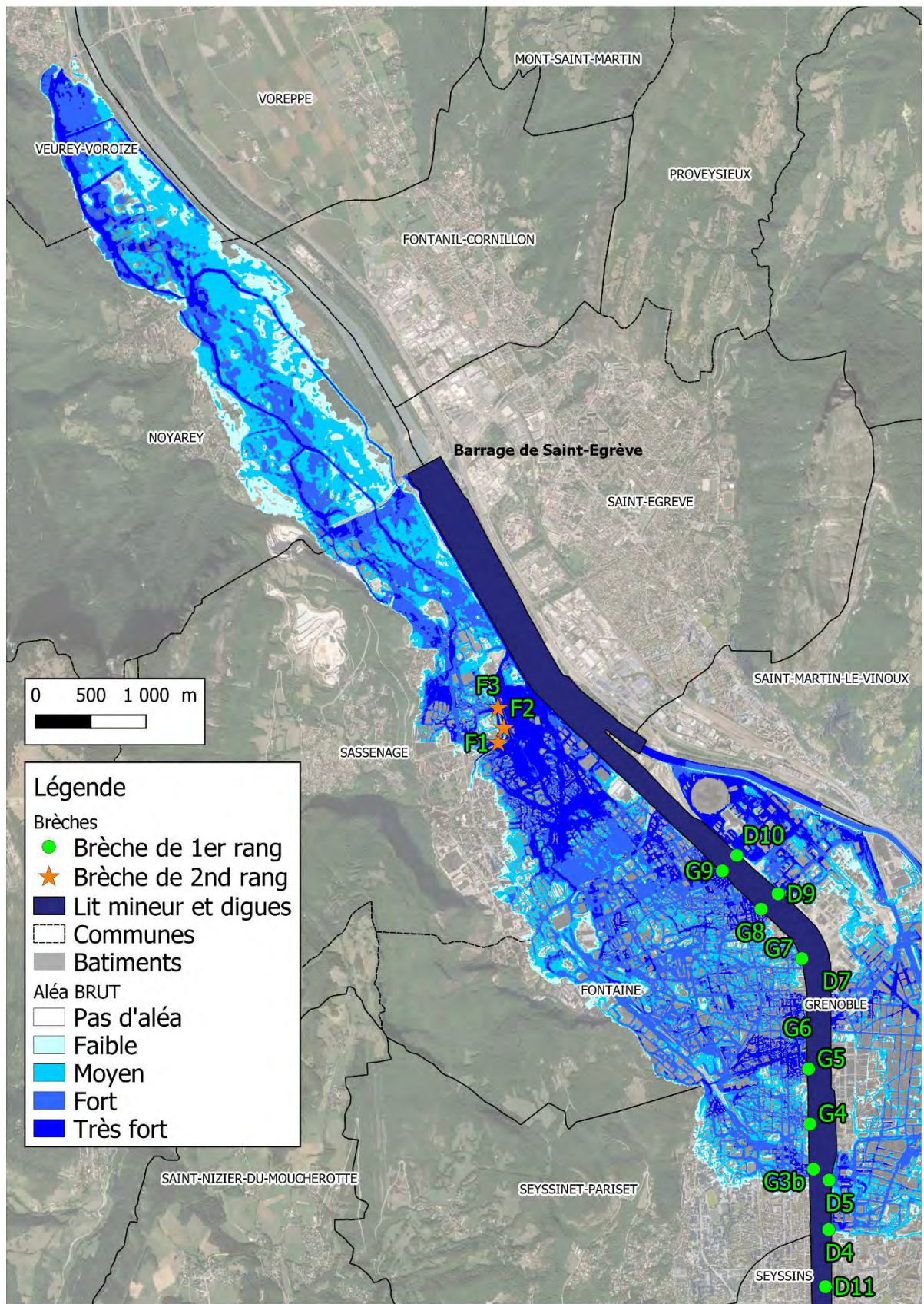


Figure 189 : Cartographie de l'aléa brut – tous scénarios – Part3/3

## 11.5 BANDE DE PRÉCAUTIONS

La bande de précaution ou bande de « sur-aléa » correspond à une zone de danger spécifique en cas de rupture de digue, notamment vis-à-vis des écoulements particulièrement violents qui s'y produisent et du risque d'érosion (sol qui peut « disparaître » sur plusieurs mètres de profondeur).

- Un rapide état de l'art a montré qu'il n'existait pas de méthodologie opérationnelle pour la délimitation précise des zones de danger, et notamment des zones de fosses d'érosion. A défaut de cette méthodologie, une approche forfaitaire a été retenue selon les principes suivants : la zone de danger est identifiée à l'arrière de toutes les digues où la mise en charge est de plus de 50 cm. Elle comporte deux parties : une bande de 50m de largeur, et une bande allant jusqu'à 100 fois la hauteur de mise en charge,
- Bande de largeur de 50m : Conformément à la doctrine de l'État, une bande inconstructible, d'une largeur de 50 m, a été reportée sur la cartographie de l'aléa. Il s'agit d'une largeur minimale inconstructible qui commence au niveau du pied de digue. Ce sont les zones incompressibles où le sur-aléa est le plus important ;
- Bande de largeur de 100 fois hauteur : « Par défaut, cette bande de précaution est définie par l'application d'une distance forfaitaire : 100 fois la distance entre la hauteur d'eau maximale atteinte à l'amont de l'ouvrage et le terrain naturel immédiatement derrière l'ouvrage, sauf si le terrain naturel atteint la cote NGF du niveau marin de référence du PPRL » (cf. schéma ci-dessous).

(Cirulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux)

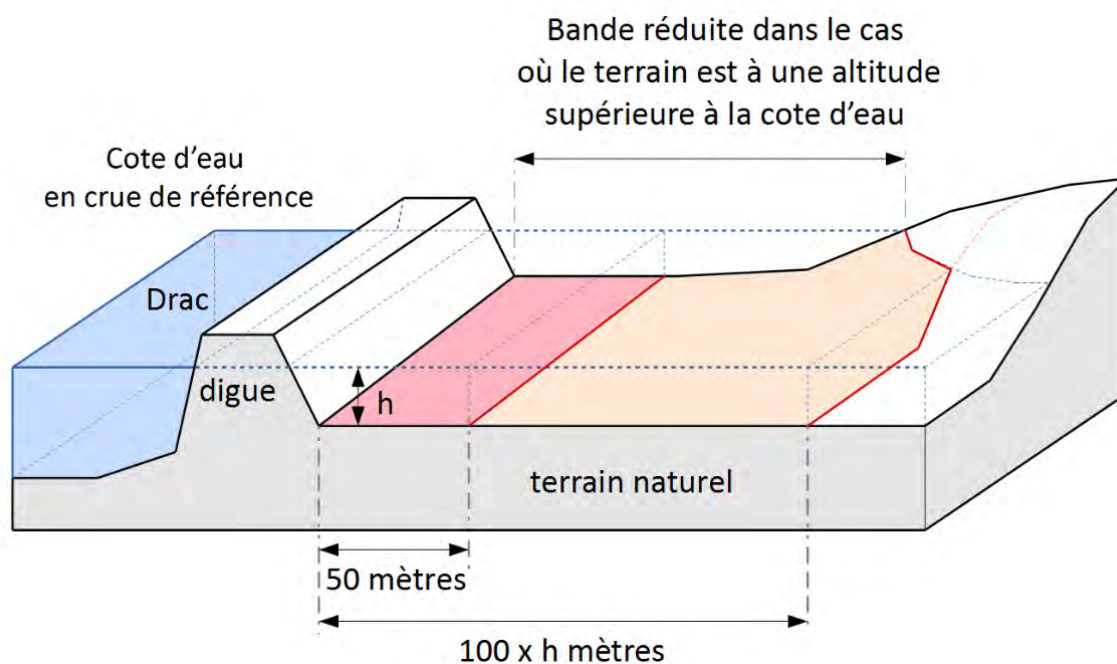


Figure 190 : Schéma de la bande de sécurité - inspiré de la circulaire du 27 juillet 2011



En rive droite du Drac, du pont de Catane jusqu'au seuil de l'ILL, la bande de précaution est considérée comme constructible (hors bande des 50m). Cette méthodologie a été menée par la DDT38 sur la base des réflexions suivantes :

- Présence d'enjeux majeurs à rayonnement international ;
- Présence d'un système d'endiguement exceptionnel : digue et remblais autoroutier accolé, pour une largeur de l'ordre de 40 mètres ;
- Volonté affirmée de la collectivité et des aménageurs de s'inscrire dans une démarche de ville résiliente ;
- Moyens organisationnels et financiers spécifiques, et notamment des groupes de travail dédiés à la question du risque inondation.

## 11.6 MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSES DE LISSAGE DE L'ALÉA

Afin d'être exploitée par la suite lors de la traduction réglementaire vis-à-vis des règles d'urbanisme de la zone d'étude, la cartographie brute de l'aléa inondation a fait l'objet d'un travail de lissage et d'homogénéisation.

Ce travail de lissage est nécessaire compte tenu notamment des éléments suivants :

- le modèle de calcul possède une taille de maille variable en fonction des secteurs, consistant ainsi à une représentation parfois simplifiée de la réalité,
- les contours obtenus sur la cartographie brute dépendent ainsi de cette finesse du maillage et peuvent présenter des irrégularités qui n'ont pas de sens réel,
- le modèle hydraulique intègre les effets d'obstacles des bâtiments (qu'il est ensuite nécessaire d'intégrer au zonage du risque),
- la cartographie brute obtenue présente certaines irrégularités qu'il n'est pas nécessaire de conserver (survitesses très locales liées à un fonctionnement hydraulique particulier qui ne traduit pas nécessairement un axe d'écoulement ou une zone à risque élevé)
- à l'inverse du point précédent, la cartographie brute ne traduit pas nécessairement la continuité parfaite d'une zone à risque (axe d'écoulement préférentiel par exemple).

De façon générale, la méthodologie de lissage consiste principalement à :

- lisser le tracé du lit mineur du cours d'eau en aléa très fort,
- lisser les contours des enveloppes par aléa,
- mettre en évidence les axes d'écoulement par la continuité de l'aléa,
- inclure ou exclure les très petites zones dont l'aléa diffère de la zone environnante dans l'aléa de la zone environnante,
- utiliser la topographie (LIDAR) pour vérifier la cohérence de l'aléa,
- effectuer une interpolation des ruptures de digues pour traduire le fait qu'une rupture peut survenir en tout point, en utilisant le levé LIDAR
- Analyser la pertinence d'une extrapolation des modélisations de rupture de digues pour traduire le fait qu'une rupture peut survenir en tout point.

Les commentaires associés à ce lissage sont présentés en annexe 4.

Cette phase de lissage des aléas explique la différence qu'il peut parfois y avoir entre la carte des aléas bruts et la cartes des aléas lissés. Si le croisement des cartes des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement permet d'obtenir directement la carte des aléas bruts, un travail de post-traitement permet ensuite d'aboutir à la carte des aléas lissés, avec parfois une perte du lien direct entre la carte de hauteurs d'eau, la carte de vitesses d'écoulement et la carte des aléas lissés. La carte de synthèse des aléas intègre les aléas lissés.

## 11.7 CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE DE L'ALÉA INONDATION

La figure ci-dessous présente la cartographie de synthèse de l'aléa inondation ainsi obtenue.

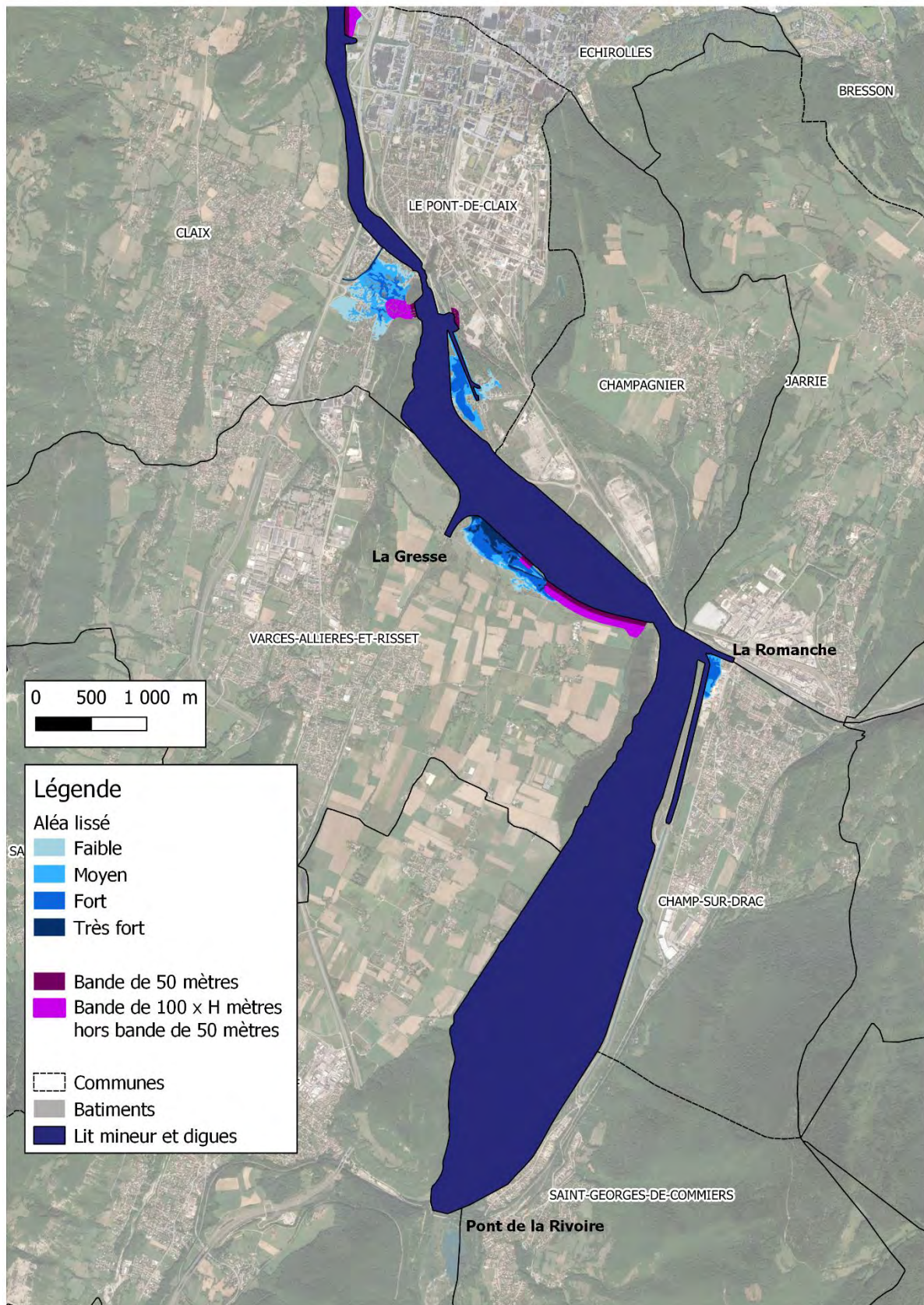


Figure 191 : Cartographies de l'aléa lissé et interpolé – tous scénarios – Part1/3



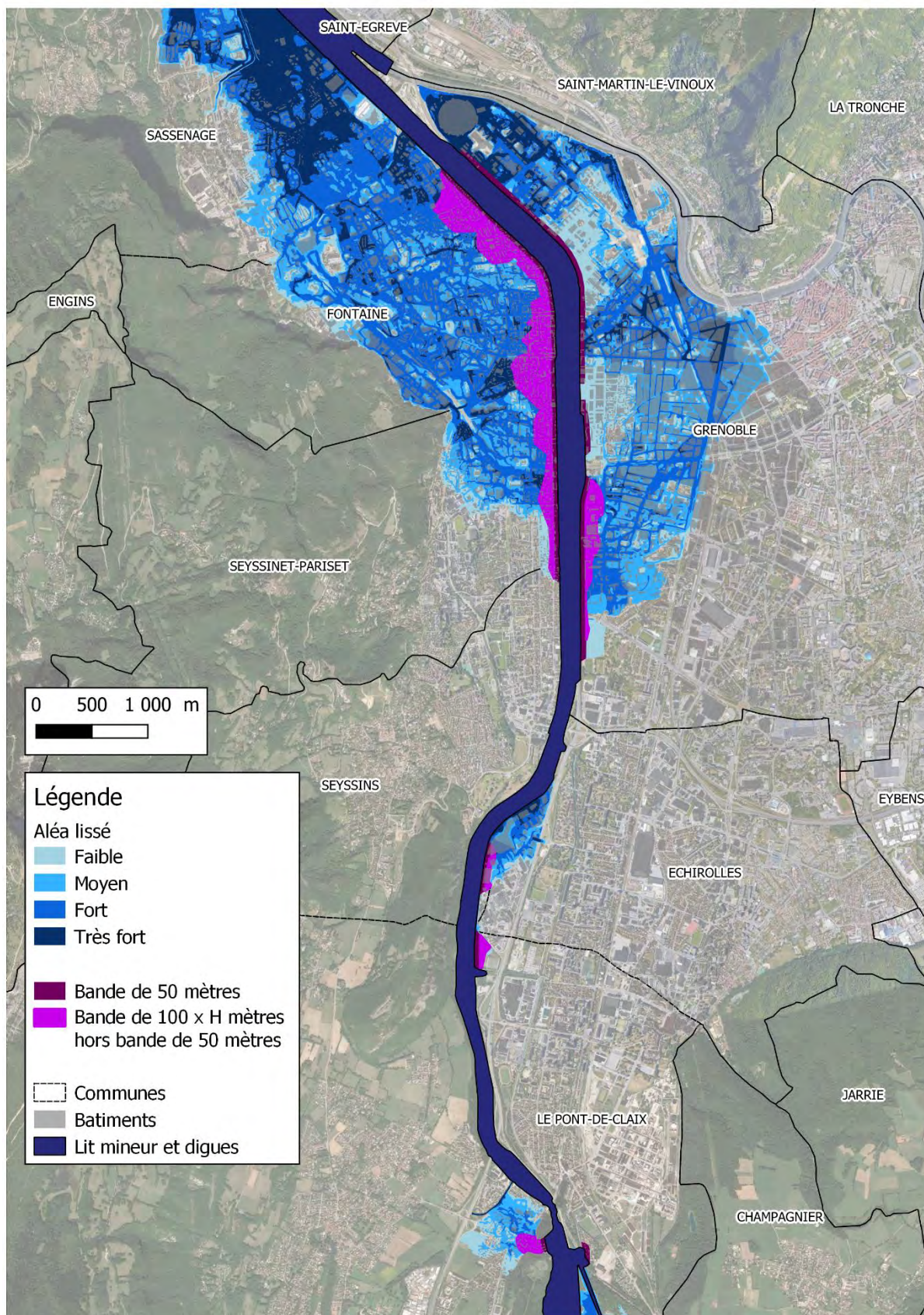


Figure 192 : Cartographies de l'aléa lissé et interpolé – tous scénarios – Part2/3



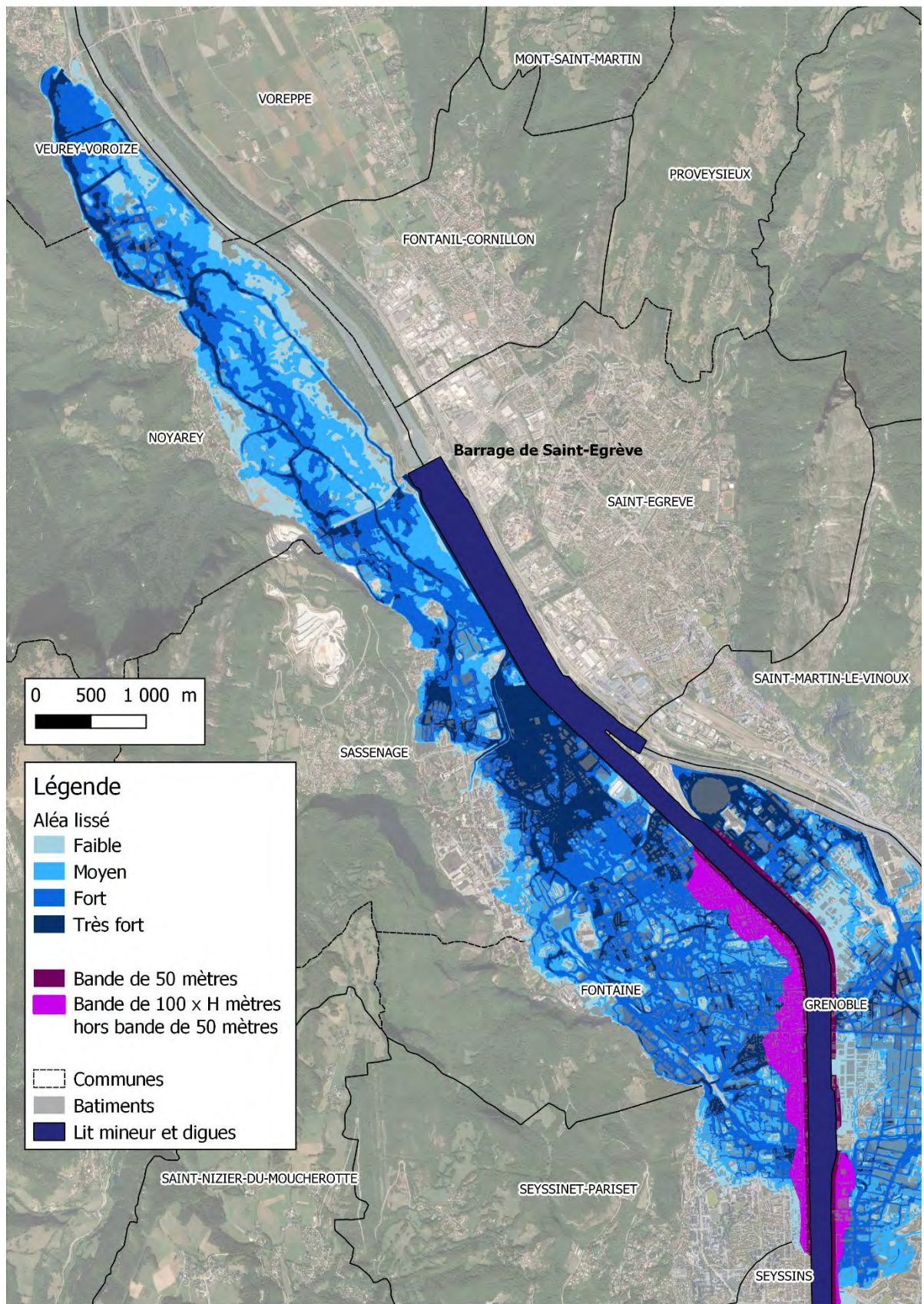


Figure 193 : Cartographies de l'aléa lissé et interpolé – tous scénarios – Part3/3

## 12 CONCLUSION

---

Dans le cadre de la réalisation du PPRi du Drac, la DDT 38 souhaite mettre à jour la connaissance de l'aléa inondation par débordement de ce cours d'eau sur un tronçon allant du pont de la Rivoire jusqu'à la confluence avec l'Isère.

Une modélisation hydraulique des écoulements pour la crue de référence du Drac a été réalisée, sur un linéaire d'environ 25 km. Le modèle intègre et représente également les débordements en plaine, sur une emprise d'environ 30 km<sup>2</sup> en rive droite (plaine de Grenoble) et d'environ 20 km<sup>2</sup> en rive gauche (plaine de Fontaine, Sassenage, Noyaret etc..). Le modèle hydraulique du Drac s'étend sur environ 75 km<sup>2</sup>.

Le modèle hydraulique a été calé et validé par le comité de suivi. De multiples tests de sensibilité ont été réalisés afin de s'assurer de la robustesse de reproduction par le modèle des phénomènes d'inondation sur le territoire étudié.

Ce modèle a ensuite servi à l'exploitation, en crue centennale, de plusieurs scénarios de fonctionnement hydraulique, notamment :

- La situation actuelle avec tenue des ouvrages hydrauliques,
- La situation avec prise en compte du risque d'embâcles (débris végétaux qui forment un obstacle partiel au bon écoulement des eaux et qui peut aggraver localement les risques de débordements, en particulier au niveau des ponts),
- Les situations avec prise en compte du risque de défaillance des ouvrages de protection existants (brèches dans les digues). Sur ce volet, 18 brèches ont été considérées sur le territoire.

Ces différentes situations ont fait l'objet de cartographies des mécanismes d'écoulement, mais aussi de cartographies des hauteurs d'eau maximales et des vitesses maximales d'écoulement atteintes durant l'évènement.

Une cartographie de synthèse de l'aléa inondation sur la zone d'étude a été réalisée sur la base de ces résultats. Cette cartographie a été établie à partir d'une cartographie des hauteurs d'eau maximales (tous scénarios confondus) et d'une cartographie des vitesses maximales d'écoulement (tous scénarios confondus).

Afin d'être exploitée par la suite lors de la réalisation du zonage réglementaire, la cartographie brute de l'aléa inondation a fait l'objet d'un travail de lissage et d'homogénéisation.





Note de présentation  
2 - Annexes relatives aux aléas  
Annexe 2-5 bis : Addendum au rapport hydraulique  
d'INGEROP

**Dossier d'approbation 2023**





Service Sécurité et Risques

Grenoble, décembre 2021

**Addendum au rapport hydraulique  
« Qualification des aléas des crues du Drac, du Pont de la Rivoire  
à la confluence avec l'Isère »  
dans le cadre de l'élaboration du PPRi du Drac aval**

-

**Modifications du tracé des bandes de précaution**

A la suite de la consultation des partenaires et organismes associés sur le projet de PPRi du Drac aval de décembre 2019, les services de l'État ont procédé à des ajustements du tracé de la bande de précaution. Cet addendum complète et modifie le rapport hydraulique d'INGEROP « Qualification des aléas des crues du Drac, du Pont de la Rivoire à la confluence avec l'Isère » joint en annexe de la note de présentation du projet de PPRi du Drac aval.

Ces ajustements résultent de la prise en compte des éléments suivants :

- L'abaissement du seuil de l'ILL sur le Drac à Grenoble et Fontaine ;
- L'étude de définition des bandes de précautions à l'arrière des systèmes d'endiguement réalisée par GINGER-BURGEAP pour le compte de Grenoble-Alpes Métropole dans le cadre de l'élaboration du plan local d'urbanisme métropolitain ;
- L'évolution de la topographie sur le secteur Bouchayer-Viallet à Grenoble.

Les nouveaux tracés de la bande de précaution figurent dans la carte des aléas jointe en annexe de la note de présentation et ont été intégrés au zonage réglementaire (plan A des documents graphiques). Ils n'ont cependant pas été intégrés au rapport hydraulique d'INGEROP susmentionné.

**1- Abaissement du seuil de l'ILL sur le Drac à Grenoble et Fontaine et ses incidences sur les aléas d'inondation par le Drac.**

L'Institut Laue-Langevin (ILL) a réalisé en 2019 et 2020 des travaux d'arasement partiel du seuil nommé « seuil de l'Institut Laue-Langevin » situé en travers du lit du Drac. Ces travaux avaient pour objectif de réduire l'incidence de l'ouvrage sur la mise en charge des systèmes d'endiguements du Drac, en abaissant la ligne d'eau, sans modifier les conditions d'alimentation en eau des bénéficiaires (ILL/ESRF et CNRS). Ces travaux étaient également de nature à rétablir la continuité biologique et sédimentaire.



Seuil de l'ILL

Tronçon sur lequel la ligne d'eau de la crue de référence est abaissée de 10 à 40 cm à la suite de l'arasement du seuil

Localisation du seuil de l'ILL (fond de plan IGN)

Les services de l'État ont mandaté la société Artelia pour analyser l'impact sur la ligne d'eau de différents scénarios d'aménagement du lit du Drac et contribuer ainsi aux réflexions menées dans le cadre du PAPI du Drac. La société Artelia a notamment étudié les incidences de l'arasement du seuil sur les aléas inondation du projet de PPRi du Drac. Cette analyse fait l'objet d'un volet du rapport « Aléas inondation du Drac – réalisation de simulations complémentaires et production de carte d'aléas – ARTELIA Eau et Environnement – février 2019 – réf : 8412056 ».

Cette analyse permet de conclure que l'abaissement du seuil de l'ILL présente effectivement un intérêt pour abaisser la ligne d'eau dans le lit mineur et réduire la mise en charge des digues, mais n'aura qu'un impact très faible sur les hauteurs et les vitesses pour les scénarios de brèches G9 en rive gauche et D10 en rive droite, et donc sans incidence sur les rendus des cartes d'aléas du projet de PPRi. En effet, l'analyse permet de conclure que :

- la diminution de la ligne d'eau dans le lit mineur est en moyenne de 20 cm sur environ 500 m à l'amont du seuil de l'ILL (cf illustration ci-dessus). Cet ordre de grandeur est comparable à l'ordre de grandeur des marges d'incertitudes liées aux modèles hydrauliques.
- les niveaux d'aléas correspondant aux scénarios de brèches G9 et D10 avec abaissement du seuil (les plus proches du seuil de l'ILL) sont sensiblement les mêmes que ceux sans abaissement du seuil (de manière générale, les faibles gains de hauteurs et de vitesse ne se traduisent pas par des changements de classe d'aléa).

**Ainsi, les travaux d'arasement du seuil de l'ILL (novembre 2019 – février 2020), tout en étant indispensables à la diminution de la mise en charge du système d'endiguement, ne remettent pas en cause les hypothèses retenues dans le cadre du PPRi en cours d'élaboration. Ces travaux n'amènent donc pas de modification ou de mise à jour nécessaire des niveaux d'aléas sur ce secteur.**

**En revanche, ces travaux ont une conséquence directe sur le calcul des bandes de précaution intégrées au zonage réglementaire.** Pour cette raison, le projet de PPRi a été mis à jour pour tenir compte de l'abaissement de la ligne d'eau dans le calcul de la largeur de la bande de sécurité à l'arrière des digues, même si l'incidence est très limitée. Ainsi, en amont du seuil, la largeur de la bande de sécurité de  $100xh^*$  ( $h$  étant la hauteur de mise en charge de la digue pour la crue de

*référence du Drac*) a été réduite en moyenne de 20 m sur un linéaire de quelques centaines de mètres. La largeur de la bande de sécurité a été réduite au maximum de 40 m au droit du seuil.

## **2- Prise en compte de l'étude de définition des bandes de précautions à l'arrière des systèmes d'endiguement réalisée par GINGER-BURGEAP pour le compte de Grenoble-Alpes Métropole.**

Lors de la consultation des personnes et organismes associés sur le projet de PPRi Drac de décembre 2019, Grenoble-Alpes Métropole a demandé de prendre en compte l'étude réalisée dans le cadre de l'élaboration de son plan local d'urbanisme : « étude de définition des bandes de précautions à l'arrière des systèmes d'endiguement » août 2018 - GINGER-BURGEAP - pour le compte de Grenoble-Alpes Métropole.

La comparaison de cette étude avec le projet de PPRi du Drac de 2019 permet de confirmer globalement le tracé du projet de PPRi Drac de 2019 de la bande de précaution de largeur égale à  $100 \times h$ ,  $h$  étant la hauteur de mise en charge de la digue, affichée en zone réglementaire RCu4. Des écarts entre les deux documents ont pu être relevés sans appeler de modifications (cf paragraphe ci-dessous) et des évolutions localisées sur certains secteurs listés ci-dessous ont cependant pu être apportées sur la base de cette étude réalisée pour le compte de Grenoble-Alpes Métropole.

- Des écarts liés à la fréquence des profils de calcul

Les tracés des bandes de précaution de l'étude GINGER-BURGEAP et du projet de PPRi sont globalement similaires avec quelques écarts qui s'expliquent principalement par une fréquence plus élevée des profils de calcul de la largeur de la bande de précaution dans le projet de PPRi.

Le tracé de la bande de précaution du PPRi Drac de 2019 a été retenu.

- La non prise en compte de l'interruption des bandes de précaution dans le secteur du pont du Drac à Fontaine

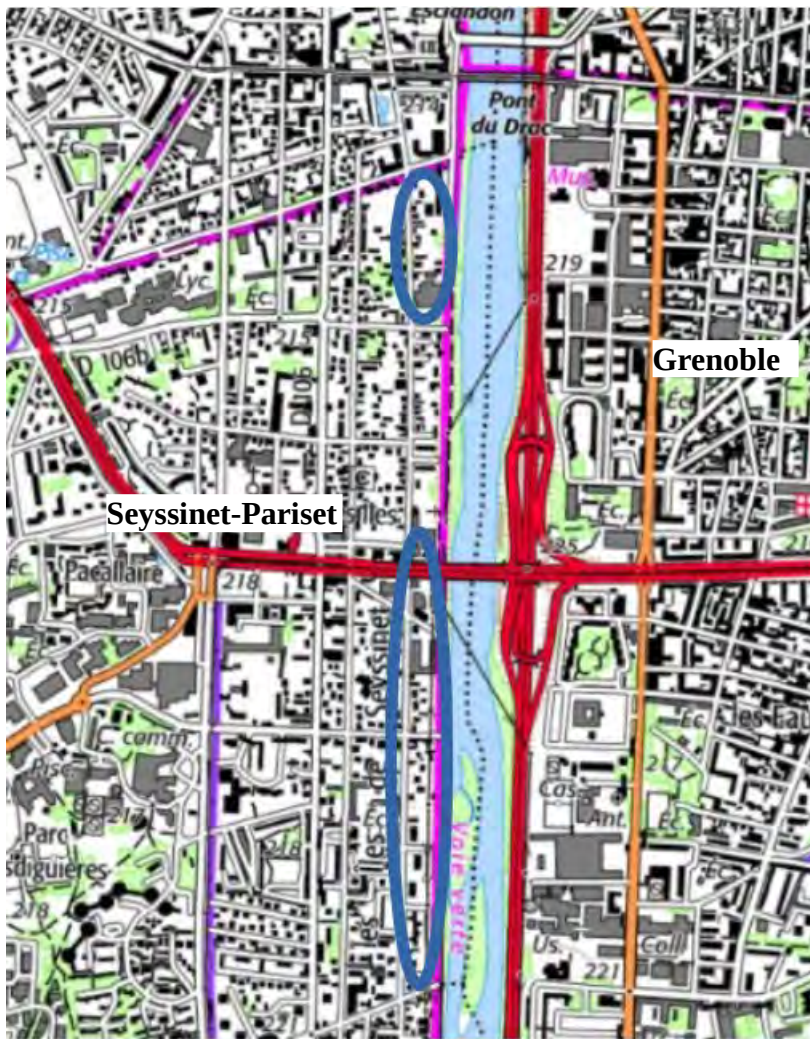
La bande de précaution de l'étude Burgeap présente une interruption dans la traversée de Fontaine à l'amont du pont du tram en limite de Seyssinet-Pariset, interruption qui ne paraît pas justifiée pour les services de l'Etat au vu de la localisation du pied à l'arrière de la digue et des hauteurs de mise en charge importantes entre les bâtiments accolés à la digue.

Le tracé de la bande de précaution du PPRi Drac de 2019 a été retenu.

- Une modification de la bande de précaution apportée sur la commune de Seyssinet-Pariset

Seule une différence significative de largeur de bande de précaution est apparue entre les deux documents sur la commune de Seyssinet-Pariset. Après vérifications des cotes de la ligne d'eau en lit mineur et des cotes du terrain naturel à l'arrière de la digue, les résultats obtenus pour le calcul de la bande de précaution se rapprochent des résultats de l'étude menée par Grenoble-Alpes Métropole. Ainsi, le tracé de la bande de précaution de cette étude a été retenu sur deux secteurs. La largeur de la bande de précaution a été ainsi réduite sur ces deux secteurs de la commune de Seyssinet-Pariset identifiés sur le plan ci-après :





Localisation des secteurs sur la commune de Seyssinet-Pariset

La carte des aléas en annexe de la note de présentation et le zonage réglementaire (plan A des documents graphiques) du projet de PPRi Drac ont ainsi été modifiés sur ces deux secteurs de la commune de Seyssinet-Pariset.

### **3- Prise en compte de l'évolution de la topographie sur le secteur Bouchayer-Viallet à Grenoble.**

A l'occasion de la première consultation des partenaires et organismes associés, la ville de Grenoble a demandé à l'Etat de réinterroger l'inconstructibilité d'une partie de la ZAC Bouchayer-Viallet. Après échanges et apport d'éléments techniques nouveaux liés à l'évolution de la topographie du site, un travail a pu être mené afin de préciser la largeur de la bande de précaution au droit de ce secteur.

La carte des aléas en annexe de la note de présentation et le zonage réglementaire (plan A des documents graphiques) du projet de PPRi Drac ont ainsi été modifiés sur le secteur de Bouchayer-Viallet.