

# MAITRISE D'OEUVRE DES AMENAGEMENTS DE RESTAURATION MORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU ET REDUCTION DU RISQUE INONDATION - SOLIES, COUDOUNIER, RIAUTORT

TRANCHE FERME - ETUDE PRELIMINAIRE MODIFICATIVE



## EXPERTISE HYDRAULIQUE RAPPORT HYDRAULIQUE – VERSION PROVISOIRE

JUIN 2020



N° du Marché	2018-14		
Indice	0	1	2
Rédigé par	<i>Prénom-Nom : M. DU</i> <i>Fonction : Chargé d'études</i> <i>Visa :</i> <i>Le : 23/06/2020</i>		
Vérifié par	<i>Prénom-Nom : O. PAGES</i> <i>Fonction : Chef de projet</i> <i>Visa :</i> <i>Le : 24/06/2020</i>		

# SOMMAIRE

1	CONTEXTE DE L'ÉTUDE .....	12
1.1	PAPI DE L'ARGENS ET DES COTIERS DE L'ESTEREL .....	12
1.2	LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE .....	12
1.3	CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE.....	13
1.4	CRUES HISTORIQUES .....	16
1.5	OBJET DE LA MISSION.....	17
1.5.1	ATTENTES DE LA MAITRISE D'OUVRAGE.....	17
1.5.2	EXPERTISE ÉCOLOGIQUE .....	18
1.5.3	ÉTUDE HYDRAULIQUE .....	19
2	FONCTIONNEMENT ET DYSFONCTIONNEMENT HYDROMORPHOLOGIQUE ET HYDRAULIQUE .....	20
2.1	AMONT .....	21
2.1.1	LE SOLIES .....	21
2.1.2	LE COUDOUNIER .....	22
2.2	CENTRE-VILLE .....	22
2.2.1	LE SOLIES .....	22
2.2.2	LE COUDOUNIER .....	24
2.3	AVAL DU CENTRE-VILLE ET AMONT DE LA VOIE FERRÉE.....	25
2.4	AVAL DE LA VOIE FERRÉE.....	30
2.4.1	QUARTIER PAYETTE ET MASSE.....	30
2.4.2	ARROSANT OUEST.....	30
2.4.3	RIAUTORT ET QUARTIER PAS VIEUX.....	30
3	ÉTUDE HYDROLOGIQUE.....	31
3.1	MODÈLE HYDROLOGIQUE .....	31
3.1.1	DÉLIMITATION DES SOUS-BASSINS VERSANTS.....	31
3.1.2	PARAMÉTRAGE DU MODELE.....	32
3.1.3	CONSTRUCTION DU MODÈLE.....	37
3.2	PLUIE DE PROJET .....	38
3.2.1	QUANTILES DE PLUIE SHYREG.....	38
3.2.2	CONSTRUCTION DES PLUIES DE PROJET .....	39
3.3	CALAGE DU MODÈLE ET ANALYSE DES RÉSULTATS.....	42
3.3.1	CALAGE DU MODÈLE .....	42
3.3.2	ANALYSE DES RESULTATS.....	44
3.3.3	HYDROGRAMMES SIMULÉS.....	46
4	CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE.....	48
4.1	EMPRISE DU MODÈLE.....	48
4.2	MODÈLE 1D.....	51
4.2.1	GÉOMÉTRIE.....	51

4.2.2	OUVRAGES.....	54
4.2.3	CONDITIONS AUX LIMITES.....	56
4.2.4	COEFFICIENT DE STRICKLER.....	58
4.3	MODÈLE 2D.....	58
4.3.1	MAILLAGE.....	58
4.3.2	TOPOGRAPHIE.....	61
4.3.3	COEFFICIENT DE STRICKLER.....	61
4.4	MODÈLE COUPLÉ.....	63
5	CALAGE DU MODÈLE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE.....	64
5.1	PARAMÈTRES DE CALAGE.....	64
5.1.1	CAHIER DES CHARGES POUR PHASE DE CALAGE.....	64
5.1.2	CHOIX DES CRUES DE CALAGE.....	64
5.1.3	MÉTHODOLOGIE.....	65
5.2	CALAGE MODÈLE HYDROLOGIQUE.....	65
5.2.1	DONNEES DU CALAGE.....	65
5.2.2	ANALYSE DES RESULTATS DE CALAGE.....	66
5.2.3	HYDROGRAMMES SIMULÉS.....	69
5.3	CALAGE DU MODELE HYDRAULIQUE : CRUE 2019.....	72
5.3.1	SYNTHÈSE DES POINTS DE CALAGE.....	72
5.3.2	COMPARAISON HAUTEUR OBSERVÉE ET HAUTEUR SIMULÉE SUR LES POINTS PROBLÉMATIQUES.....	76
5.3.3	SYNTHÈSE DES COEFFICIENTS DE STRICKLER.....	80
5.4	VALIDATION DU MODELE HYDRAULIQUE : CRUE 2010.....	82
5.4.1	SYNTHÈSE DES POINTS DE CALAGE.....	82
5.4.2	COMPARAISON HAUTEUR OBSERVÉE ET HAUTEUR SIMULÉE SUR LES POINTS PROBLÉMATIQUES.....	85
5.5	EVALUATION GLOBALE DE LA PERFORMANCE DES MODELES.....	89
5.6	COHÉRENCE DU MODÈLE : DÉBIT SPÉCIFIQUE ET PSEUDO-SPÉCIFIQUE.....	90
6	ÉTAT INITIAL ET ÉTAT AMÉNAGÉ.....	91
6.1	CAHIER DES CHARGES.....	91
6.2	ÉTAT INITIAL.....	91
6.2.1	AMONT DU SOLIÈS.....	92
6.2.2	AMONT DU COUDOUNIER.....	97
6.2.3	CENTRE-VILLE DU LUC.....	99
6.2.4	QUARTIER AVAL DU CENTRE.....	105
6.2.5	PONT ROUTE DES MAYONS.....	108
6.2.6	RIAUTORT AMONT.....	109
6.2.7	QUARTIER PAYETTE/MASSE.....	110
6.2.8	STATION D'ÉPURATION.....	111
6.2.9	QUARTIER PAS VIEUX.....	112
6.2.10	EPANCHEMENT DES CRUES.....	113
6.3	ÉTUDE DE FAISABILITE BURGEAP : AMÉNAGEMENTS.....	114

6.3.1	AMONT CENTRE-VILLE_SOLIES_ZEC AILLE 01.....	116
6.3.2	AMONT CENTRE-VILLE_COUDOUNIER_ZEC AILLE 06 .....	118
6.3.3	CENTRE-VILLE_SOLIES.....	120
6.3.4	CENTRE-VILLE_COUDOUNIER.....	120
6.3.5	NOUVEAU BRAS SOLIES.....	121
6.3.6	ELARGISSEMENT RIAUTORT .....	122
6.4	ÉTAT AMENAGÉ .....	123
6.4.1	SYNTHESE.....	123
6.4.2	SOLIES.....	126
6.4.3	COUDOUNIER.....	132
6.4.4	RIAUTORT .....	135
	ANNEXE 1 : CN PRECONISÉ PAR SCS.....	137
	ANNEXE 2 : DELIMITATION DES SOUS-BASSINS VERSANTS.....	139
	ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS.....	143

## INDEX DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Bassins versants et les cours d'eau modélisés dans la présente étude .....	14
Figure 2 : Carte hydrographique et topographie des sous-bassins versants.....	15
Figure 3 Buse pour passage sous RD33 - Soliès amont	
Figure 4 Passerelle d'accès habitation - Soliès amont.....	21
Figure 5 Piles du pont de l'A8 en travers du lit mineur - Soliès.....	22
Figure 6 Seuil en aval du pont de l'A8.....	23
Figure 7 Passage sous terrain du Soliès.....	23
Figure 8 Garage Peugeot et passa sous terrain visible en arrière-plan et seuil.....	24
Figure 9 Passerelle de l'école de musique .....	25
Figure 10 Arrosant de faible gabarit et enherbé .....	26
Figure 11 Ouvrage hydraulique sur un arrosant .....	26
Figure 12 Photographies de la plaine inondable au droit de la D33 en 1969 et en 2011.....	27
Figure 13 Tronçon du Soliès en aval du centre-ville .....	27
Figure 14 Pont route des Mayons après la crue Novembre 2019.....	28
Figure 15 Ouvrage de transparence pour passage de la voie ferrée .....	29
Figure 16 Pont de Saint Jean et point de cumul des écoulements .....	29
Figure 17 : Délimitation des sous-bassins versants de la zone d'étude.....	31
Figure 18 : Comparaison des temps de concentration.....	34
Figure 19 : Pourcentage des composants du sol superficiel (source : ESDAC) .....	35
Figure 20 : Occupation du sol dans la zone d'étude.....	36
Figure 21 : Illustration du modèle hydrologique .....	37
Figure 22 : Comparaison de pluie : précipitation pendant 3h lors d'un évènement centennal (source : SHYREG).....	38
Figure 23 : Illustration de la méthode Desbordes .....	40
Figure 24 : Pluies de projet.....	41
Figure 25 : Localisation des exutoires de SHYREG utilisés en tant que point de calage .....	43
Figure 26 : Hydrogrammes simulés aux exutoires.....	47
Figure 27 : Emprise du modèle hydraulique.....	49
Figure 28 : Exemple des données Lidar 1 m et comparaison d'un profil en travers entre Lidar et levé topographique .....	51
Figure 29 : Représentation du réseau hydrographique.....	53
Figure 30 : Représentation du profil en travers dans le modèle 1D.....	54
Figure 31 : Représentation des ouvrages hydraulique dans le modèle 1D.....	55
Figure 32 : Conditions aux limites du modèle 1D .....	57
Figure 33 : Maillage dans le modèle 1D.....	59
Figure 34 : Illustration des trois méthodes de la représentation des bâtiments dans le modèle.....	60
Figure 35 : Représentation des bâtiments et les rues au centre-ville du Luc.....	61
Figure 36 : Coefficient de Strickler du modèle 2D.....	62
Figure 37 : Principe du calcul de débordement et couplage 1D-2D et liens de couplage.....	63
Figure 38 : Débordement du Coudounier et du Soliès lors de la crue 2010.....	66

Figure 39 : Pluies de projet retenues après le calage avec Antilope J+1 .....	67
Figure 40 : Profil du calage et laisse de crue (h=1,35 m) sur le bajoyer en RG du Soliès en aval de l'A8.....	68
Figure 41 : Profil du calage et laisse de crue (h=0,2 m) en RD du Coudounier chez M. CARETTE .....	69
Figure 42 : Hydrogrammes aux exutoires simulés avec le modèle recalé .....	70
Figure 43 : Points de calage de la crue 2019.....	75
Figure 44 : Résultat simulé au point de calage PC1 .....	77
Figure 45 : Résultat simulé au point de calage PC3.....	78
Figure 46 : Résultat simulé au point de calage PC4.....	80
Figure 47 : Coefficients de Strickler dans le modèle 1D retenus après le calage .....	81
Figure 48 : Coefficients de Strickler du modèle 2D retenus après le calage .....	81
Figure 49 : Points de validation de la crue 2010 .....	84
Figure 50 : Résultat simulé au point de calage P1 .....	85
Figure 51 : Résultat simulé au point de calage P5 .....	86
Figure 52 : Résultat simulé au point de calage P6.....	87
Figure 53 : Résultat simulé au point de calage P12.....	88
Figure 54 : Evaluation de la performance des modèles numériques.....	89
Figure 55 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q5, Q20, Q50, Q100 – Soliès Amont.....	93
Figure 56 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q5, Q20, Q30, Q100 – Soliès Amont centre-ville..	94
Figure 57 Pont SOL_PT_8.....	95
Figure 58 Pont SOL_PT_9.....	96
Figure 59 Pont d'accès au domaine d'Amaurique - Soliès.....	96
Figure 60 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q5 - Coudounier amont .....	97
Figure 61 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q100 - Coudounier amont.....	97
Figure 62 Profil en long secteur de la Mascaronne pour Q5 – Coudounier amont.....	98
Figure 63 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q5 - Coudounier centre-ville .....	99
Figure 64 Profil en long pour Q5 – Coudounier centre-ville .....	100
Figure 65 Profil en travers section du pont COU_PT_12 .....	101
Figure 66 Profil en travers section du pont COU_PT_14 .....	101
Figure 67 Profil en travers section du pont COU_PT_15 .....	102
Figure 68 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q10 - Coudounier centre-ville.....	103
Figure 69 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q20 - Coudounier centre-ville.....	103
Figure 70 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q100 - Coudounier centre-ville .....	104
Figure 71 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q5 - Soliès aval centre-ville.....	105
Figure 72 Profil en long pour Q5 – Soliès aval centre-ville .....	105
Figure 73 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q100 - Soliès aval centre-ville .....	106
Figure 74 Débordement et hauteur d'eau autour du pont route des Mayons – Q5.....	108
Figure 75 Profil du pont route des Mayons SOL_PT_19.....	108
Figure 76 Débordements et ruissellements quartier Masse - Q5.....	110
Figure 77 Débordements et ruissellements quartier Payette - Q5.....	111
Figure 78 Débordements et ruissellements STEP - Q5.....	112

Figure 79 Débordements et ruissellements quartier Pas Vieux - Q5 .....	113
Figure 80 Aménagements prévus par Burgeap en 2016 .....	115
Figure 81 Conception de la ZEC Aille 01 (BURGEAP, 2016) .....	116
Figure 82 Profil en travers de la retenue de la ZEC Aille 01 (BURGEAP, 2016) .....	117
Figure 83 Profil en travers de la retenue de la ZEC Aille 06 (BURGEAP, 2016).....	118
Figure 84 Conception de la ZEC Aille 06 (BURGEAP, 2016).....	119
Figure 85 Profil en travers du nouveau bras du Soliès.....	121
Figure 86 Tronçons des cours d'eau .....	125
Figure 87 Résultat hauteur d'eau état initial à gauche et état aménagé à droite – Soliès Q30 ..	128
Figure 88 Point de débordement pour l'état initial à gauche et état aménagé à droite - Q100	129
Figure 89 Impact du nouveau bras du Soliès pour Q5 et Q100.....	131
Figure 90 Impact de la retenue amont sur le Coudounier – Q10.....	133
Figure 91 Impact des aménagements sur les inondations du centre-ville - Q5 .....	133
Figure 92 Impact des aménagements sur les inondations du centre-ville – Q10 .....	134
Figure 93 Impact des aménagements sur les inondations du centre-ville – Q5.....	134
Figure 94 Impact de l'élargissement du Riautort en aval de la voie ferrée pour Q5 et Q30 .....	136

## INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants.....	13
Tableau 2 : Crues historiques du Luc.....	16
Tableau 3 : Vitesse d'écoulement sur différentes surface naturelle.....	33
Tableau 4 : Pluie de SHYREG la plus forte au bassin versant étudié (les valeurs de P30 sont celles interpolées entre P20 et P50 avec la loi de Gumbel) .....	39
Tableau 5 : Résultat du calage de modèle.....	43
Tableau 6 : Comparaison des débits de pointes avec l'étude de RIPARIA.....	44
Tableau 7 : Comparaison des débits de pointes avec l'étude de BURGEAP : BV de Soliès et Riautort amont.....	45
Tableau 8 : Débits de pointe simulés (m <sup>3</sup> /s).....	46
Tableau 9 : Caractéristiques du modèle 1D .....	52
Tableau 10 : Nombre d'ouvrages modélisés dans le modèle 1D .....	54
Tableau 11 : Caractéristiques du maillage du modèle 2D.....	59
Tableau 12 : Débits de pointe simulés (m <sup>3</sup> /s) avec le modèle recalé.....	69
Tableau 13 : Tableau de synthèse des résultats du calage du modèle hydraulique .....	72
Tableau 14 : Tableau de synthèse des résultats de la validation du modèle hydraulique.....	82
Tableau 15 : Comparaison des débits spécifiques .....	90
Tableau 16 Hypothèse de conception de la retenue de la ZEC Aille 01 (BURGEAP, 2016) .....	117
Tableau 17 Caractéristiques de l'ouvrage de régulation de la ZEC Aille 01 (BURGEAP, 2016).....	117
Tableau 18 Hypothèse de conception de la retenue de la ZEC Aille 06 (BURGEAP, 2016) .....	118
Tableau 19 Caractéristiques de l'ouvrage de régulation de la ZEC Aille 06 (BURGEAP, 2016).....	119
Tableau 20 Résumé des aménagements dans le Coudounier secteur centre-ville.....	121

Tableau 21 Synthèse de l'impact et du niveau d'impact des aménagements sur chaque tronçon .....	124
Tableau 22 Taux d'abattement pour la ZEC Soliès.....	126
Tableau 23 surface de la Zec selon l'occurrence de crue .....	127
Tableau 24 Taux d'abattement pour la ZEC Coudounier.....	132

## BIBLIOGRAPHIE

**BURGEAP** Etude de restauration hydraulique du bassin versant du Riautord amont et de restauration écologique du Soliès [Rapport]. - 2016.

**Méditerranée CETE** Retour d'expérience sur les intempéries du 15 juin 2010 dans le Var [Rapport]. - 2010.

**RIPARIA** Etude de faisabilité de la restauration du Soliès en aval du Luc [Rapport]. - 2014.

**Syndicat mixte de l'Argens** Action 48 : Restauration morphologique et réduction du risque d'inondation sur la commune du Luc [Programme de Maitrise d'oeuvre]. - 2018.

# 1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

## 1.1 PAPI DE L'ARGENS ET DES COTIERS DE L'ESTEREL

Le bassin de l'Argens est fortement exposé au risque inondation et abrite de nombreux enjeux humains, environnementaux et économiques. A la suite des crues violentes de 2010 et 2011, a été initié un PAPI d'intention. Le Syndicat Mixte de l'Argens est né dans ce contexte en 2014 et a donné naissance au PAPI Complet « Argens et Côtiers de l'Estérel » en 2016. Celui-ci vise à instaurer la stratégie de gestion et d'aménagement pour la réduction des risques d'inondations sur le bassin versant de l'Argens et des côtiers de l'Estérel.

Il comporte quatre objectifs stratégiques qui se déclinent en sept axes. Au total, 63 actions sont programmées pour un budget prévisionnel de 96 millions d'euros.

L'étude faisant l'objet de la candidature s'inscrit au sein de l'axe 6 (ralentissement des écoulements) et porte sur l'action 48. Elle vise la réalisation d'aménagements pour restaurer les fonctionnalités des cours d'eau et réduire la vulnérabilité de la commune du Luc vis-à-vis du risque inondation.

## 1.2 LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le Luc est une commune française située au centre du département du Var, près du massif des Maures et se trouve au milieu de l'axe Nice - Marseille. La commune est entourée par la Côte d'Azur et les gorges du Verdon. Également adossée au massif des Maures, elle est située en amont du bassin versant de l'Aille, qui est un affluent du fleuve Argens en rive droite et un de ses principaux contributeurs. La commune est le siège de la communauté de communes Cœur du Var, qui réunit 11 communes, en partie sur la plaine des Maures. La superficie du Luc est de 44,2 km<sup>2</sup> et sa densité de population estimée à 230 habitants au km<sup>2</sup>.

La commune du Luc est très vulnérable au risque inondation avec 4 arrêtés de catastrophes naturelle pour inondations dont 3 en moins de 10 ans. Elle est traversée par trois cours d'eau qui font l'objet de l'étude : le ruisseau du Soliès, le Vallat du Coudounier et le Riautort.

La zone d'étude comprend des axes routiers importants notamment au sud, l'autoroute A57 et la route départementale D33 qui traverse la zone d'étude d'amont en aval. La zone de la plaine du Luc est en particulier traversée d'ouest en est par une voie ferrée qui occasionne la présence de nombreux 11 ouvrages de transparence le long de l'ouvrage.

## 1.3 CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

La commune du Luc s'étend sur des bassins versant hétérogènes dont l'occupation du sol est très diverse : forêt, vigne, garrigue, prairie, zone urbaine espacée et zone urbaine dense dans le Centre du Luc.

Le réseau hydrographique qui draine les eaux de surface des différents bassins versant est varié, alternant zones avec peu d'affluents et des zones beaucoup plus ramifiées.

Les principales caractéristiques des bassins versant ainsi que celles des cours d'eau principaux de la zone d'étude sont listées dans le Tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants

BV	Surface (km <sup>2</sup> )	Chemin hydraulique le plus long (km)	Z <sub>amont</sub> (m NGF)	Z <sub>aval</sub> (m NGF)	Pente moyenne (m/m)
Coudounier	12,5	8,2	349	160	0,023
Soliès	25,2	9,1	308	160	0,022
Arrosants	3,2	3,0	153	129	0,008
Riautort	64,6	14,9	217	55	0,012
Real Martin	13,8	9,5	363	66	0,031
Aille	87	21	278	55	0,011

Le Coudounier est l'affluent principal du Soliès. Situés intégralement sur la commune du Luc en Provence, leur confluence se situe proche du centre-ville du Luc. Après la confluence de ces cours d'eau se dessine un réseau de drainage important sur la plaine dite du Luc. Ces différents affluents principalement des fossés sont appelés les Arrosants. L'ensemble de ces écoulements traversent la plaine pour rejoindre en rive gauche le Riautort. Le Soliès alimenté par certains arrosants rejoint le Riautort au lieu-dit « Pas Vieux », au sud de la voie ferrée.

Le Riautort est affluent de l'Aille qui se jette lui-même dans le fleuve de l'Argens au sein de la forêt communale des Arcs. Le bassin versant du Riautort, orienté d'ouest en est, se découpe principalement en deux grands sous-bassins ; celui du Réal Martin, principalement situé sur la commune du Cagnet des Maures, et celui du Soliès sur Le Luc en Provence.

La dernière colonne du Tableau 1 et la Figure 2 illustrent clairement la topographie de la zone d'étude et des cours d'eau. Le Coudounier et le Soliès amont ont tous deux un bassin versant en longueur divisé en sous bassins versant de pentes fortes. Et tandis que les pentes de ces deux cours d'eau sont supérieures à 0.02 m/m, les pentes des cours d'eau et fossés en aval du centre-ville sont de l'ordre de 0.008 m/m. La zone en aval du centre forme une plaine dont le fonctionnement hydraulique diffère de celui en amont.

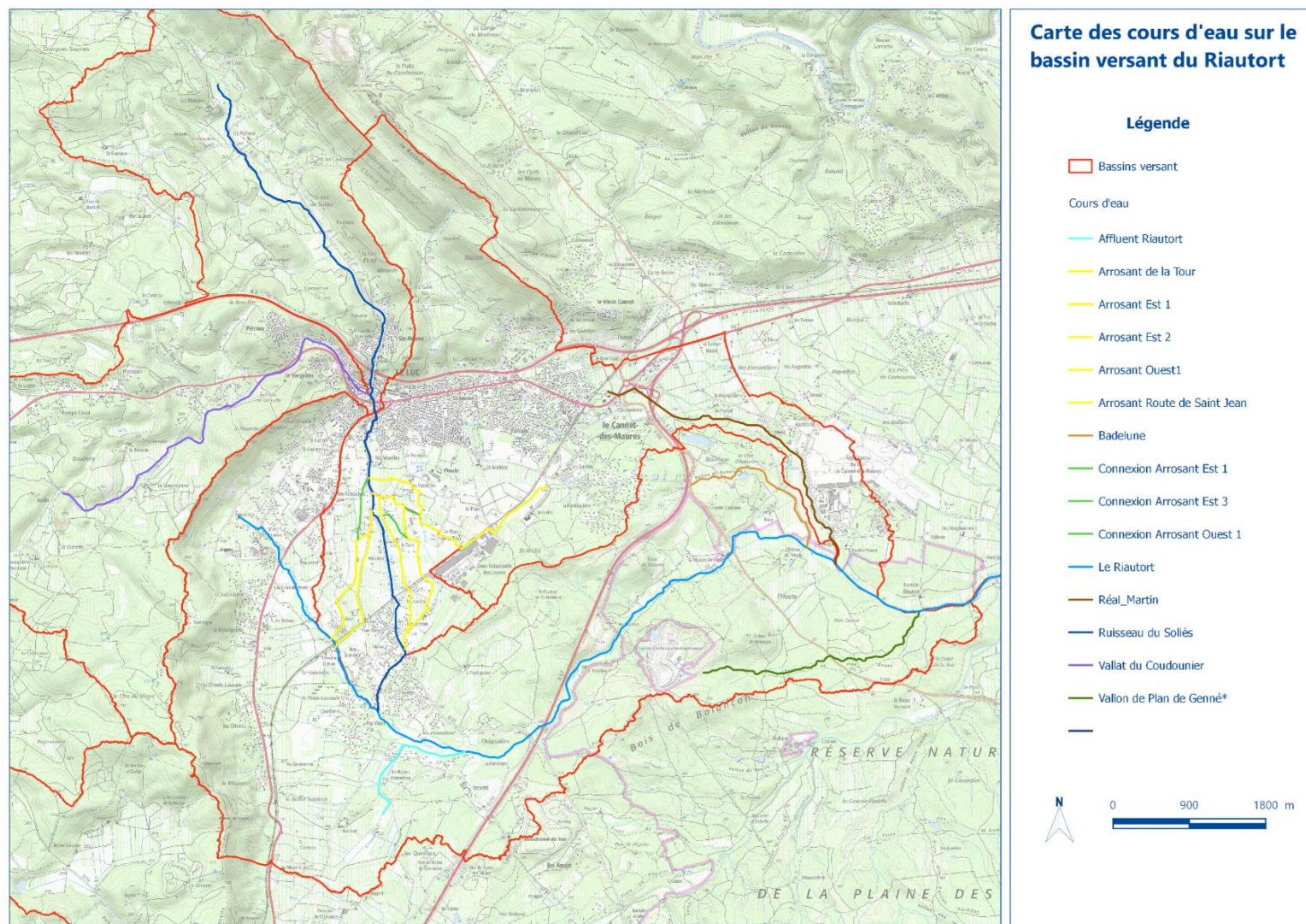


Figure 1 : Bassins versants et les cours d'eau modélisés dans la présente étude



## 1.4 CRUES HISTORIQUES

La commune du Luc en Provence a connu son premier arrêté de catastrophe naturelle en 1987. Plusieurs évènements se sont, depuis, succédés, dont trois majeurs durant les cinq dernières années. En résumé, il s'agit des crues historiques ci-dessous :

Tableau 2 : Crues historiques du Luc

Date	Temps de retour (approximatif)	Source
10-11 octobre 1987		
24 décembre 2000	Inférieur T = 10 ans	Stratégie globale de réduction de l'aléa et paramètres hydrauliques communs sur le bassin versant de l'Argens, Action n°5 PAPI d'intention Argens – Tractebel Engineering – 31/08/2014
15-16 juin 2010	Entre T = 50 ans et T = 100 ans	Retour d'expérience sur les intempéries du 15 juin 2010 dans le Var - CETE – 09/2010
4-10 novembre 2011	Entre T = 20 ans et T = 50 ans	
18-20 janvier 2014		
22-23-24 novembre 2019	Environ T = 10 ans	Retour d'expérience de l'épisode pluvieux du 22 au 24 novembre 2019 sur le Luc-en-Provence – CCCV – 26/11/2019

Suite à ces évènements, le département du Var et la commune du Luc en Provence ont réalisé l'inventaire des données connues concernant les inondations historiques. Une série de fiches recensant les Plus Hautes Eaux (PHE) atteintes pour les différentes crues a été mis en place. Les hauteurs d'eau atteintes ont ainsi été référencées dans les fiches de repères de crue construites par MAYANE en 2015, dans celles créées par GINGER en 2010, et dans celles du CETE Méditerranée établies la même année.

## 1.5 OBJET DE LA MISSION

Afin de résoudre les problèmes d'inondations récurrents, mais également les dysfonctionnements hydrauliques et écologiques affectant ces cours d'eau, la commune du Luc en Provence s'est engagée depuis 2012 dans une politique de gestion durable du bassin versant du Riautort.

Une étude de faisabilité de la restauration du Soliès en aval du Luc en Provence, réalisée en 2014 par le bureau Riparia, avait mis en évidence un dysfonctionnement hydraulique du Soliès et des débordements préjudiciables sur la commune. En effet, les nombreux remaniements historiques réalisés sur le Riautort et le Soliès depuis les années 1950 ont fortement impacté les écoulements dans les zones urbanisées, modifiant le fonctionnement hydraulique des cours d'eau et augmentant ainsi la vulnérabilité du centre-ville face au risque inondation.

L'étude vise, à termes, la réalisation d'aménagements pour restaurer les fonctionnalités éco-morphologiques des cours d'eau et réduire la vulnérabilité de la commune du Luc vis-à-vis du risque inondation. Le présent rapport concerne la dimension hydraulique de l'étude et le détail des objectifs à atteindre sont décrits ci-après.

### 1.5.1 ATTENTES DE LA MAITRISE D'OUVRAGE

Pour rappel les attentes du maître d'ouvrage sont les suivantes :

#### **La reprise, la critique et la mise à jour des études précédentes**

Une lecture approfondie de l'ensemble des pièces études préliminaires sera effectuée et permettra par la suite de compléter, supprimer ou modifier les aménagements proposés dans l'étude de BURGEAP (2016)

**Les aménagements proposés doivent répondre à un double objectif et être en cohérence avec les autres actions et projets sur le territoire.** Les objectifs des aménagements sont distinctement définis :

- Restaurer le fonctionnement hydromorphologique du lit mineur et moyen du Soliès, du Coudounier et du Riautort
- Réduire significativement l'aléa inondation dans la zone urbaine du Luc-en-Provence pour les crues fréquentes en favorisant un effet de ralentissement des crues par mobilisation des ZECs et en favorisant les écoulements diffus et l'infiltration sur les secteurs de moindre vulnérabilité

**Les aménagements proposés doivent prendre en compte en amont les contraintes et les enjeux du territoire.** Plusieurs éléments seront à prendre en compte :

- L'environnement : périmètres de protection contractuelle, réglementaire, inventaires, les préconisations issues du SRCE, pré-diagnostic BIOTOPE (2016), etc. ;

- Le paysage et le patrimoine : périmètres de protection, prescriptions archéologiques, AOC, etc.;
- Les risques : inondation, incendie, etc. ;
- Les contraintes urbaines : zonage du PLU, emplacements réservés, EBC, réseaux souterrains, subaquatiques et aériens, etc.

Les résultats issus de l'expertise écologique seront largement intégrés aux réflexions sur les aménagements afin d'atteindre les objectifs de l'étude.

Ces éléments conditionneront donc la nature et les dimensions des aménagements, ainsi que les modalités d'exécution des travaux (planning, emprise, « bonnes pratiques », reprise des rejets d'exutoire pluviaux, etc.).

### **Les modalités techniques pour la conception et la réalisation des aménagements**

- Le programme aura une dimension globale avec une cohérence amont-aval entre les aménagements ;
- Le niveau de définition du programme à l'issue de l'étude en tranche ferme est l'AVP ;
- Les solutions d'aménagements seront comparées et aboutiront a minima à deux scénarii d'aménagements ;
- La modélisation s'étend de l'amont du Soliès et du Coudounier à la confluence du Riautort avec l'Aille et comprend le Plan de la Tour ;
- Les modélisations seront réalisées pour l'état initial et les états projetés, selon cinq évènements de crue ;
- La détermination des données et des études complémentaires nécessaires au bon déroulement de l'étude sont à la charge de la SCP ;
- L'ensemble des coûts (investissement, exploitation, maintenance, etc.) seront prise en compte en amont afin de respecter le montant prévisionnel alloué à l'action ;
- Les résultats obtenus seront comparés à ceux des études antérieures et aux autres données antérieures connues.

## 1.5.2 EXPERTISE ÉCOLOGIQUE

L'objectif de la phase expertise écologique est de recenser et intégrer au mieux l'ensemble des contraintes environnementales et écologiques au projet d'aménagement, en les conciliant avec les contraintes en matière hydraulique.

La démarche vise en particulier à :

- fournir aux hydrauliciens du groupement les éléments permettant d'intégrer les contraintes environnementales aux divers scénarios ;
- fournir les éléments de cadrage écologique et biologique pour permettre de configurer un projet d'aménagement intégrant la restauration écologique du cours d'eau et de son espace de fonctionnement ;

- pré-identifier des zones les moins sensibles, qui permettront d'accueillir les déblais.

Cette expertise se décompose en une analyse du fonctionnement écologique des cours d'eau menée par la **Maison Régionale de l'Eau (MRE)**, une étude de l'évolution morphologique et du transport sédimentaire des cours d'eau, dirigée par le bureau d'études **Morph'eau Conseils** et un diagnostic écologique du milieu terrestre dont le bureau d'étude **Biotope** est chargé.

### 1.5.3 ÉTUDE HYDRAULIQUE

Le présent rapport concerne la phase d'étude hydraulique menée par la **Société du Canal de Provence (SCP)**. La modélisation hydraulique sert à simuler les écoulements avec les outils numériques afin de déterminer les zones inondables et les caractéristiques des écoulements. Dans le rapport hydraulique sont abordés tous les aspects techniques à la réalisation du modèle, le calage de celui-ci ainsi que les résultats de simulation pour les différentes occurrences de crues. L'objectif final étant de définir l'aléa inondation dans la situation actuelle pour les différentes occurrences de crue notamment centennale afin de mener vers la phase de proposition et de réalisation des aménagements.

Les modélisations hydrauliques réalisées permettent de déterminer précisément le scénario de référence du bassin versant et de quantifier les impacts des aménagements déterminés dans les études préliminaires et plus tard les études préliminaires modificatives. Les résultats de modélisations, à savoir les calculs de hauteur, de vitesse et de durée de submersion, ont vocation également à être utilisés dans l'analyse multicritères.

## 2 FONCTIONNEMENT ET DYSFONCTIONNEMENT HYDROMORPHOLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Cette phase de l'étude vise à lister de façon la plus exhaustive les dysfonctionnements observés sur le réseau hydrographique de la commune et à fournir une analyse simple des problématiques soulevées. Une meilleure perception de la dynamique des écoulements, des dysfonctionnements hydromorphologique et hydraulique permet de mieux appréhender la nécessité et les objectifs de l'étude et d'adopter une vision globale pour appliquer des solutions locales.

Les nombreux remaniements historiques réalisés sur les différents cours d'eau depuis les années 1950 ont fortement impacté les écoulements dans les zones urbanisées, modifiant le fonctionnement hydraulique des cours d'eau et augmentant également la vulnérabilité de la zone face au risque inondation.

Cette partie aborde plusieurs secteurs de la zone d'étude sous un angle hydromorphologique et hydraulique. Les études précédentes sur le territoire ont permis de distinguer quatre sous-unités au fonctionnement bien distinct :

- Amont : Le Coudounier et le Soliès ont un aspect assez naturel néanmoins ils ont été fortement aménagés (notamment sur le Soliès). Les débordements du Soliès se font principalement en rive droite juste en amont de la zone urbanisée, dès la crue de période 10 ans voir même 5 ans sur certaines zones.
- Centre-ville : Le Coudounier et le Soliès sont artificialisés et contraints par de nombreux ouvrages qui font obstacles aux écoulements entraînant des débordements dès la crue quinquennale.
- Aval du centre-ville et amont de la voie ferrée : Les arrosants du Soliès et du Riautort forment un réseau de fossés dense plus ou moins bien entretenu. Le Soliès est artificialisé et son gabarit est très réduit en aval par rapport à l'amont. Le Riautort a un aspect plus naturel.
- Aval de la voie ferrée : Les ouvrages associés aux cours d'eau sont globalement sous-dimensionnés. La majorité des écoulements s'orientent vers le Riautort. Son aspect est toujours naturel.

## 2.1 AMONT

### 2.1.1 LE SOLIÈS

Avec l'aide d'études de restauration de cours d'eau, notamment l'étude de Riparia en 2014 et celle de BURGEAP en 2016 et avec la confirmation des visites terrains de la SCP, l'ensemble du réseau hydrographique peut être caractérisé.

Le Soliès reçoit les eaux de plusieurs affluents qui drainent des bassins versants abrupts de petites tailles, susceptibles de répondre rapidement à des épisodes pluvieux intenses. Le Soliès a un aspect plutôt naturel dans sa partie amont, avec la présence d'une ripisylve dense dans certains secteurs. Il affiche néanmoins les signes d'une anthropisation forte où de nombreuses digues ont été construites en bordure de lit mineur. Certains de ces ouvrages sont par ailleurs en mauvais état, ce qui semble démontrer la fréquence des inondations sur la zone. Par ailleurs, le lit est souvent occupé par de la végétation. En outre certains passages tels que le cadre sous la RD33 sur la Figure 3 sur le bassin versant du Soliès sont sous dimensionnés et rapidement encombrés. De même les ponts permettant l'accès à certaines habitations sont rapidement mis en charge dès la crue de période de retour 5 ans (Figure 3).



Figure 3 Buse pour passage sous RD33 - Soliès amont



Figure 4 Passerelle d'accès habitation - Soliès amont

Le comportement du ruisseau est globalement satisfaisant jusqu'au centre-ville de la commune du Luc en Provence avec deux points de débordements fréquemment observés dès la crue de période de retour 5 ans. Pour des crues plus rares des débordements en rive droite ont été enregistrés dans les quartiers avant le centre-ville.

## 2.1.2 LE COUDOUNIER

Le Coudounier est morphologiquement semblable au Soliès avant leur confluence et présente un aspect plutôt naturel. Deux zones d'expansions de crues naturelles ont été référencées et des débordements apparaissent pour des crues fréquentes. La première ZEC se situe dans le secteur de la Mascaronne en amont et constitue une zone de laminage des crues importante d'où les aménagements de BURGEAP visant à améliorer la capacité de stockage.

Le Coudounier alterne entre des tronçons aux berges avec de faibles cotes favorisant les débordements et des tronçons où le cours d'eau est encaissé dans des gorges.

Avant son passage dans le centre-ville la rive droite du Coudounier est moins élevée que celle de gauche qui constitue le talus de la rue Lazare Carnot. Ainsi sur ce tronçon de 350 mètres environ les parcelles en rive droite se retrouvent fréquemment inondées pour des crues fréquentes.

## 2.2 CENTRE-VILLE

### 2.2.1 LE SOLIÈS

L'autoroute A8 passe au-dessus du Soliès en amont du centre-ville et les deux piles du pont représentent un obstacle à l'écoulement majeur étant donné leur dimension et leur emplacement dans la section de passage (figure 5). L'ouvrage engendre une rehausse des hauteurs d'eau à l'amont et une accélération des écoulements par l'effet de réduction de la surface de passage de l'eau.



Figure 5 Piles du pont de l'A8 en travers du lit mineur - Soliès

Au sein du Luc, le Soliès a été largement façonné et artificialisé. Après les piles du pont un seuil, servant de passage et d'une hauteur de 1 mètre est visible sur la figure ci-contre et occupe toute la section du Soliès. Même si le fond du lit possède parfois un aspect naturel les berges sont totalement emmurées ou bétonnées et s'ensuit, après un passage sous terrain (Figure 7) d'une centaine de mètres un seuil d'une hauteur de 2 mètres et un canal entièrement bétonné. Le lit à ce niveau a été creusé probablement dans le but d'éviter des débordements. Les vitesses d'écoulement ainsi engendrées peuvent éroder de façon importante les berges et l'impact à l'aval est aggravé par ce tronçon.



Figure 6 Seuil en aval du pont de l'A8



Figure 7 Passage sous terrain du Soliès

## 2.2.2 LE COUDOUNIER

Après un passage sous terrain sous l'ancien garage Peugeot (Figure 8) le cours d'eau adopte un aspect de plus en plus artificialisé. A ce niveau un débordement en rive gauche a été retenu à plusieurs reprises. La berge gauche plus basse que celle de droite et la mise en charge du pont en aval peuvent créer ce débordement qui ruisselle le long de la rue. Le seuil situé entre ces ouvrages (figure 8) peut également avoir comme un effet un rehaussement de la ligne d'eau. Le Coudounier alterne ensuite entre passage sous terrain et à l'air libre avec des sections entièrement bétonnées, des seuils et un ouvrage identifié comme étant le plus limitant (figure 9). Il s'agit de la passerelle de l'école de musique dont la capacité n'excède pas 12 m<sup>3</sup>/s.



*Figure 8 Garage Peugeot et passa sous terrain visible en arrière-plan et seuil*



*Figure 9 Passerelle de l'école de musique*

## 2.3 AVAL DU CENTRE-VILLE ET AMONT DE LA VOIE FERRÉE

A partir de la confluence du Soliès et du Coudounier la dynamique des écoulements et la morphologie du réseau hydrographique changent. Plus à l'aval à l'entrée dans la plaine, de nombreux fossés, appelés arrosants, démarrent du Soliès. La topographie de la plaine du Luc et l'adoucissement de la pente permet d'identifier un cône de déjection. Les arrosants divergent jusqu'à rejoindre la voie ferrée. De là une partie des écoulements se dirige vers le Cannet des Maures à l'est et se jette notamment dans le Real Martin tandis que certains arrosants et les écoulements issus des débordements rejoignent le Soliès plus en aval ou le Riautort à l'Ouest.

La répartition du débit en provenance du Soliès dans des fossés de faible gabarit favorise un débordement massif des eaux. La majorité des arrosants présente la forme de fossés enherbés et de nombreux tronçons sont obstrués par une végétation de broussailles dense amplifiant ainsi les débordements (Figure 10). Le phénomène de débordement est par ailleurs accentué par la présence d'ouvrages limitants et du fait du mauvais entretien de ces arrosants rétrécissant encore la section (Figure 11).



*Figure 10 Arrosant de faible gabarit et enherbé*



*Figure 11 Ouvrage hydraulique sur un arrosant*

Le cours principal du Soliès est quant à lui fortement artificialisé (Figure 11) sur tout son tracé jusqu'à la voie ferrée et la modification de la taille du lit du Soliès entre celle qu'il présente à l'amont du Luc et celle à l'amont de la voie ferrée est assez importante pour être notée. En outre le réseau hydrographique de la zone d'étude a fortement évolué depuis les années 1950. De nombreuses routes ont été élargies au détriment des arrosants riverains comme la figure 13 le montre avec l'élargissement de la départementale D33 au détriment du Soliès. A l'amont du centre du Luc, le lit mineur du Soliès est large en moyenne de 10 m, pour 2 m au minimum à l'aval. Il est pratiquement certain que le gabarit aval du cours d'eau ne permette pas l'écoulement de crues de moyenne fréquence à rares.



Figure 12 Photographies de la plaine inondable au droit de la D33 en 1969 et en 2011



Figure 13 Tronçon du Soliès en aval du centre-ville

De nombreux dysfonctionnements au droit des ouvrages hydrauliques ont été relevés. En autres un des premiers points de débordement observé se situe au pont à l'adresse suivante 875, route des Mayons visible sur la figure 14 après la crue de Novembre 2019. Ce débordement est observé pour des petites occurrences de crues, dès une crue de période de retour 5 ans. D'après les retours d'expérience, la section de l'ouvrage est systématiquement rétrécie du fait des embâcles s'accumulant au pied des berges en amont du pont.



*Figure 14 Pont route des Mayons après la crue Novembre 2019*

L'étude de 2003-2005 de Sogreah avait mis en évidence des dysfonctionnements notables au niveau de la route de St Jean qui se traduisaient par une inondation de celle-ci en plusieurs points. Les différents retours d'expérience post crues démontrent que la route de Saint Jean se transforme en cours d'eau rapidement pour des crues décennales. Les raisons évoquées concernaient le gabarit trop faible de l'arrosant et les apports amont importants en raison d'un bassin versant étendu.

La spécificité de la topographie de la plaine du Luc implique que les écoulements ne peuvent pas revenir dans le lit mineur, ce qui favorise un épanchement important dès les premiers débordements. Cet épanchement a pour conséquence de diminuer le débit de pointe et donc de limiter la propagation des débordements vers le secteur en aval de la voie ferrée. A l'image d'un barrage la voie ferrée en traversant d'Est en ouest la plaine du Luc, barre le lit majeur du Riautort, du Solies et des arrosants et bloque ainsi les écoulements amont. Cet effet de laminage « naturel » des crues sera analysé lors des phases de modélisations. Des ouvrages de franchissement de la voie ferrée, au nombre de 11, sont répartis uniformément mais sont sous-dimensionnés et rapidement rendus inefficaces avec l'accumulation d'embâcles (figure 15). Les eaux sont ainsi retenues même pour des crues de période de retour faible.



Figure 15 Ouvrage de transparence pour passage de la voie ferrée

Le Riautort prend sa source au nord-ouest de la RD97. Il est alors formé par un réseau de fossés naturels, inégalement entretenus. A l'aval de la RD97, il présente un aspect méandreux et arboré plus naturel et une capacité plus élevée qu'en aval. Quelques mètres en amont de son passage sous la voie ferrée se situent un point de cumul des écoulements le long de la voie ferrée en provenance des différents arrosants.

Le pont de Saint Jean est également un point de cumul récurrent des écoulements provenant de l'arrosant Ouest 1 et ceux longeant la voie ferrée en provenance des débordements du Soliès par-dessus la RD33 (figure 16).



Figure 16 Pont de Saint Jean et point de cumul des écoulements

## 2.4 AVAL DE LA VOIE FERRÉE

### 2.4.1 QUARTIER PAYETTE ET MASSE

Les arrosants à l'Est, ayant traversé la voie ferrée, se jettent dans le Soliès en amont de la route départementale D33, au niveau des quartiers Payette et Masse. Au niveau de ce point de cumul des écoulements, le Soliès est alors totalement artificialisé. Le pont cadre sous la route qui impacte les écoulements ainsi que la présence de fossés drainant les eaux de ruissellement participent à l'inondation de la zone pour des pluies fréquentes de l'ordre de période de retour 2 ans d'après les retours d'expérience réalisés par la CCCV. Les quartiers Payette et Masse en aval de la RD33 sont ainsi en parties inondés.

### 2.4.2 ARROSANT OUEST

L'arrosant de la route de Saint Jean, après la traversée de la voie ferrée se dirige vers le Riautort en longeant la voie ferrée. De nombreux témoignages des riverains et des retours d'expériences montrent que la dynamique des écoulements est fortement impactée par l'obstruction de la végétation, en particulier des cannes de Provence. En outre le talus de la voie ferrée bloque les débordements en rive droite et impose des débordements en rive gauche qui ruissellent ensuite jusqu'à la station d'épuration inondant au passage tous le Mas Monserat.

### 2.4.3 RIAUTORT ET QUARTIER PAS VIEUX

Après le franchissement de la voie ferrée et ce jusqu'au niveau de la station d'épuration, la rive droite du Riautort est plus basse qu'en rive gauche, favorisant ainsi les débordements et l'inondation des parcelles en aval par ruissellement. Ce tronçon est par ailleurs plus arboré que d'autres secteurs et la présence d'arbres morts tombant dans le lit de la rivière et non retirés est souvent remarquée. Ce sont en particulier cinq points de débordements qui sont observés à chaque crue importante.

Le Riautort, déjà saturé, a reçu la plupart de ses affluents et est encore gonflé par les eaux du bassin versant collinaire qui domine le quartier « Pas-Vieux ». Le quartier est un point bas sujet à de fréquentes inondations, de par l'insuffisance du réseau de drainage qui provoque une submersion en plusieurs points. Ce secteur est caractérisé par un bassin versant de 445 hectares dont 250 hectares de vignes capables d'apporter un fort ruissellement.

Après sa confluence avec le Soliès, le Riautort a un aspect naturel, et ce jusqu'à sa confluence avec l'Aille, qui représente l'extrémité du périmètre d'étude.

## 3 ÉTUDE HYDROLOGIQUE

### 3.1 MODÈLE HYDROLOGIQUE

#### 3.1.1 DÉLIMITATION DES SOUS-BASSINS VERSANTS

Le MNT de 5 m a été utilisé pour délimiter les sous-bassins versants. L'outil SIG a permis de réaliser un découpage en fonction des lignes de la crête et des exutoires. Les contours ont été ensuite modifiés à la main en fonction des éléments complémentaires tels que :

- Les arrosants sur la plaine du Luc, qui participe au drainage de ce secteur ;
- Les voiries et les fossés qui délimitent les sous-bassins versant naturels ;
- Les ouvrages ou les points particuliers observés lors de la visite de terrain.

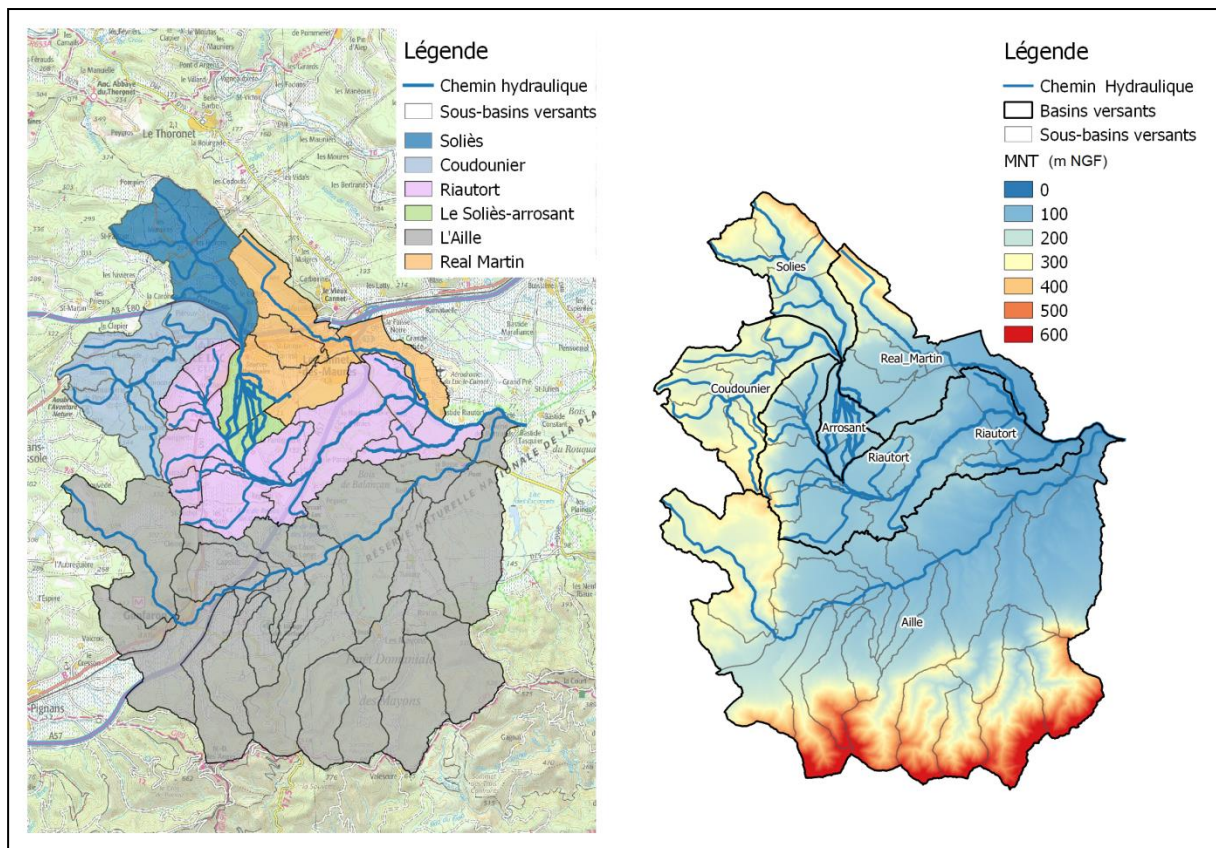


Figure 17 : Délimitation des sous-bassins versants de la zone d'étude

Le bassin versant du Soliès comprend une zone de 9,4 km<sup>2</sup>, située à une altitude comprise entre 400 m NGF et 160 m NGF, caractérisée par une forte pente et des vallons étroits. La longueur du chemin hydraulique le plus long est de 5,8 km, avec une pente moyenne de 2,5%.

Le bassin versant du Coudounier a une superficie de 12,5 km<sup>2</sup>. L'altitude du terrain varie entre 360 m NGF et 160 m NGF. Le chemin hydraulique est plus long est de 7,9 km, avec une pente moyenne de 2,4%.

Après la confluence entre le Soliès et le Coudounier, plusieurs arrosants prennent leur source dans le Soliès. Le réseau des arrosants modifie le bassin versant du Soliès. Ce bassin versant a été traité comme une partie indépendante par rapport au Soliès.

Le terrain est relativement plat sur la plaine du Luc. Par conséquent, les sous-bassins versant ont été délimités en fonction des arrosants et de la voie ferrée.

L'emprise du modèle hydrologique comprend aussi le bassin versant de l'Aille afin d'établir une condition aux limites en aval pour le modèle hydraulique. L'Aille a été modélisé comme un bassin versant entier sans préciser les sous-bassins versants.

Les chemins hydrauliques les plus longs des sous-bassins versants (SBV) ont été tracés à l'aide de l'outil SIG puis corrigés manuellement à l'aide des observations lors de visites de terrain.

Les paramètres topographiques des sous-bassins versants sont présentés dans l'annexe.

## 3.1.2 PARAMÉTRAGE DU MODELE

### 3.1.2.1 TEMPS DE CONCENTRATION ET TEMPS DE RÉPONSE

#### 3.1.2.1.1 Méthode USBR

La méthode pluie-débit utilisée dans le modèle hydrologique est l'Hydrogramme Unitaire SCS, qui nécessite le temps de concentration ainsi que le temps de réponse comme paramètres du modèle.

Pour estimer le temps de concentration, il existe plusieurs équations empiriques développées spécifiquement pour certains types de bassins versants. Les valeurs calculées avec ces équations sont très différentes de l'une à l'autre (Figure 18). La validité de ces équations ne peut pas encore être confirmée sans les données permettant de réaliser un calage. Pour la présente étude, le temps de concentration a été calculé en fonction de la pente et de l'occupation du sol.

Le Bureau of Reclamation des Etats-Unis (USBR) a élaboré un tableau pour estimer la vitesse d'écoulement sur différentes surface naturelle (Tableau 3).

Tableau 3 : Vitesse d'écoulement sur différentes surface naturelle

Pente (p)		Vitesse moyenne (m/s)			
Intervalle	Valeur au centre	1-Bois	2-Prairie	3-Chenal mal défini	4-Lit mineur
Plate	0,1%	0,2	0,29	0,2	0,5
0 à 3%	1,5%	0,3	0,45	0,3	0,7
4% à 7%	5,5%	0,6	0,9	0,9	1,5
8% à 11%	9,5%	0,9	1,2	1,5	N/A
12% à 15%	13,5%	1,05	1,35	2,4	N/A
> 15%	20%	1,29	1,59	3,86	N/A
Les valeurs se trouvent hors de ces intervalles sont extrapolées					

Le temps de concentration  $t_c$  et le temps de réponse  $t_{lag}$  sont calculés de la manière suivante :

$$t_c = \frac{L}{V}$$

$$t_{lag} = 0,6t_c$$

où L est la longueur du chemin hydraulique le plus long [m],

V est la vitesse d'écoulement [m/s].

Les temps de réponses des sous-bassins versants sont listés dans l'annexe.

#### 3.1.2.1.2 Analyse des résultats

Le calage des temps de concentration est impossible faut de manque de données hydrologiques observées. Cependant, il est possible d'effectuer une comparaison de temps de concentration calculés avec diverses méthodes, pour valider la méthode utilisée dans la présente étude.

Les formules empiriques comparées sont :

Formule de Kirpich :  $Tc = 0,0195 \left( \frac{L}{\sqrt{p}} \right)^{0,77}$ , avec L en m et p en m/m.

Formule de Passini :  $Tc = 0,14(SL)^{1/3} / \sqrt{p}$ , avec S en ha, L en m et p en m/m.

Formule de Ventura :  $Tc = 7,62 \left( \frac{S}{p} \right)^{0,5}$ , avec S en km<sup>2</sup> et p en m/m

Formule de Turraza :  $Tc = 65,1\sqrt{S}$ , avec S en km<sup>2</sup>.

Les temps de concentration calculés en minutes sont comparés dans la Figure 18.

Nous avons constaté que les Tc calculés avec la formule de Kirpitch sont plus courts par rapport aux autres méthodes. Pour les petits SBV dont la superficie est inférieure à 30 ha (SBV des arrosants), les valeurs calculées avec diverses méthodes sont proches. Les incertitudes sont constatées pour les SBV qui ont une taille supérieure à 30 ha. Ce qui est le cas des SBV du périmètre d'étude.

Le Tc calculé avec la méthode USBR ayant une bonne corrélation avec la formule de Passini, Ventura et Turraza, plus proche du comportement des SBV de l'étude, cette méthode est retenue. Il faut toutefois noter que la méthode USBR étant basée sur le processus de formation du ruissellement (Longueur/Vitesse), les seules sources d'incertitude sont la forme des SBV et la vitesse caractéristique en fonction du type du sol. Comparé avec les autres formules, cette méthode est plus fiable d'autant plus que les valeurs obtenues sont cohérentes.

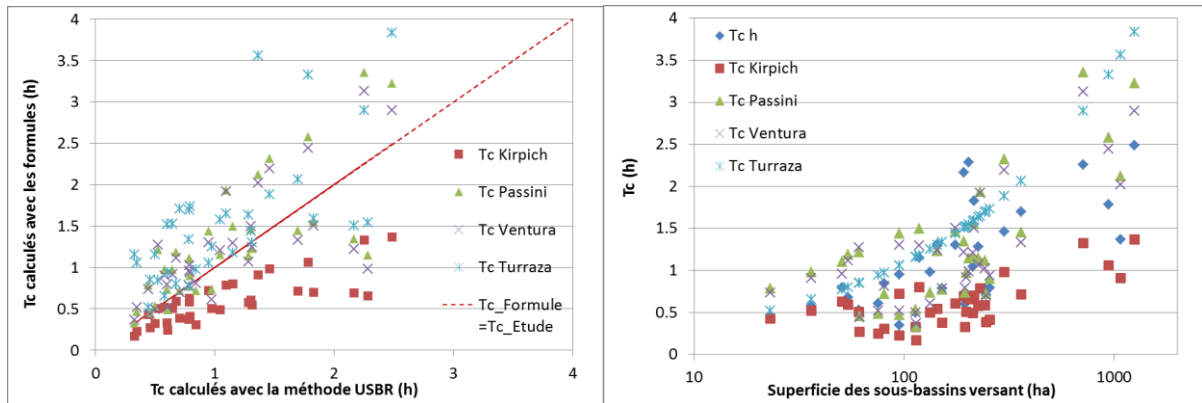


Figure 18 : Comparaison des temps de concentration

### 3.1.2.1.3 Temps de concentration du Soliès et du Coudounier

Les bassins versant du Soliès et du Coudounier jouent un rôle très important au sujet de l'inondation sur la commune du Luc. Leurs exutoires se trouvent justement au centre-ville, où les écoulements se concentrent avant de s'étendre sur la plaine après avoir propagé le long des vallées encaissées. Le calcul du temps de concentration du Soliès et du Coudounier permet de mieux connaître les caractéristiques de crue entrant au centre-ville du Luc.

Le chemin hydraulique le plus long (L) d'un BV ne correspond pas à la somme des SBV. Il s'agit d'une analyse intégrale. Le chemin hydraulique recalculé est de 5 828 m pour le Soliès et 7 877 m pour le Coudounier.

**Les Tc calculés du Soliès (S=9,4 km<sup>2</sup>) est de 1,8 h et celui du Coudounier (S=12,5 km<sup>2</sup>) est de 2,5 h.**

### 3.1.2.2 CURVE NUMBER (CN)

Le CN caractérise la capacité d'infiltration au regard de l'occupation du sol. Le tableau de CN pour les zones naturelles et les zones urbaines préconisé par SCS est présenté dans l'annexe.

Pour la couche superficielle du sol (0-20 cm), le Centre Européen de Données sur le Sol (ESDAC) fournit les données de la composition du sol avec une résolution de 500 m sur toute l'Europe, obtenues à partir de 20 000 échantillons représentatifs et d'un modèle de régression. La base de données contient une description quantitative d'argiles, limons et sables. Elle permet de déterminer le groupe hydrologique du sol et les valeurs de CN de chaque type de l'occupation du sol.

Le groupe hydrologique A est appliqué sur les zones dont le pourcentage de sable est élevé puisque le sol a une bonne perméabilité. Pour les zones dont le pourcentage du limon et de l'argile est élevé, le groupe B est appliqué à cause de la capacité d'infiltration inférieure.

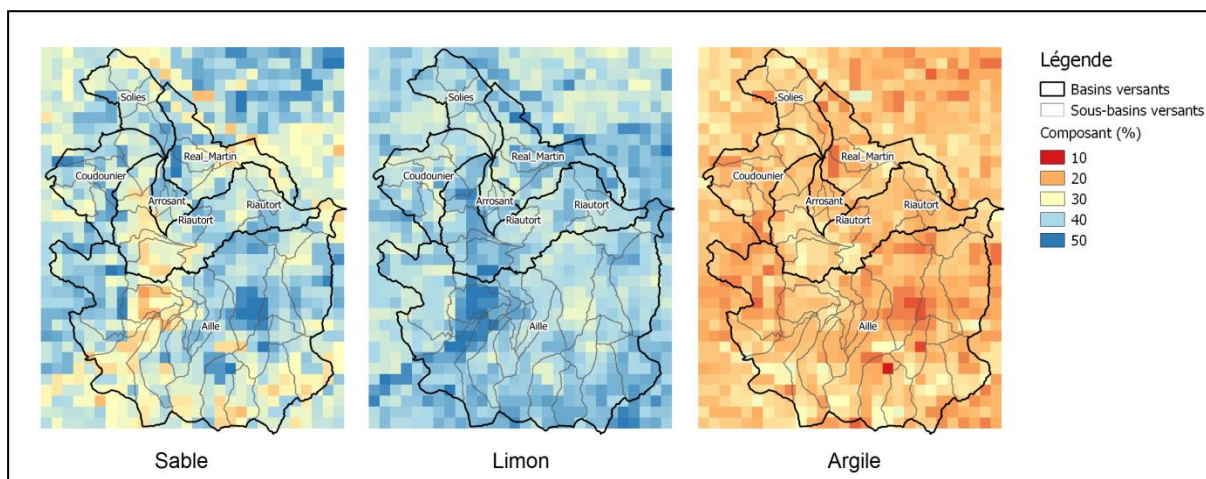


Figure 19 : Pourcentage des composants du sol superficiel (source : ESDAC)

L'occupation du sol est présentée dans la Figure 20. Pour des sous-bassins versants qui comprennent plusieurs types du sol, les valeurs de CN ont été calculées avec la pondération de la superficie de chaque type.

20% de la zone urbaine dense est considéré comme surface imperméable, sur laquelle la hauteur d'eau ruisselée est égale à la hauteur précipitée.

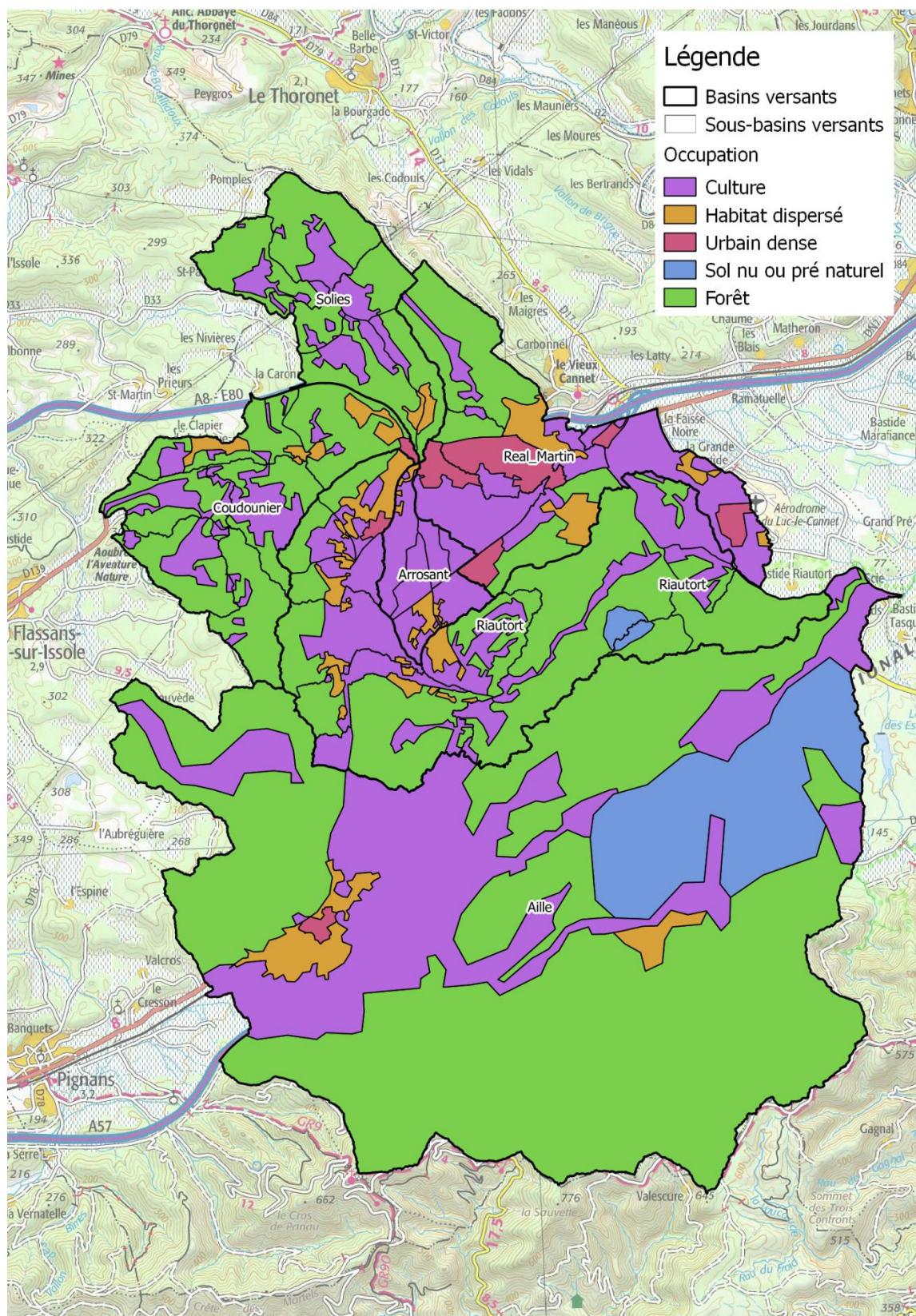


Figure 20 : Occupation du sol dans la zone d'étude

### 3.1.3 CONSTRUCTION DU MODÈLE

Le modèle hydrologique a été construit à l'aide du logiciel HecHMS (Figure 21). Les paramètres de chaque sous-bassin versant sont listés dans l'annexe.

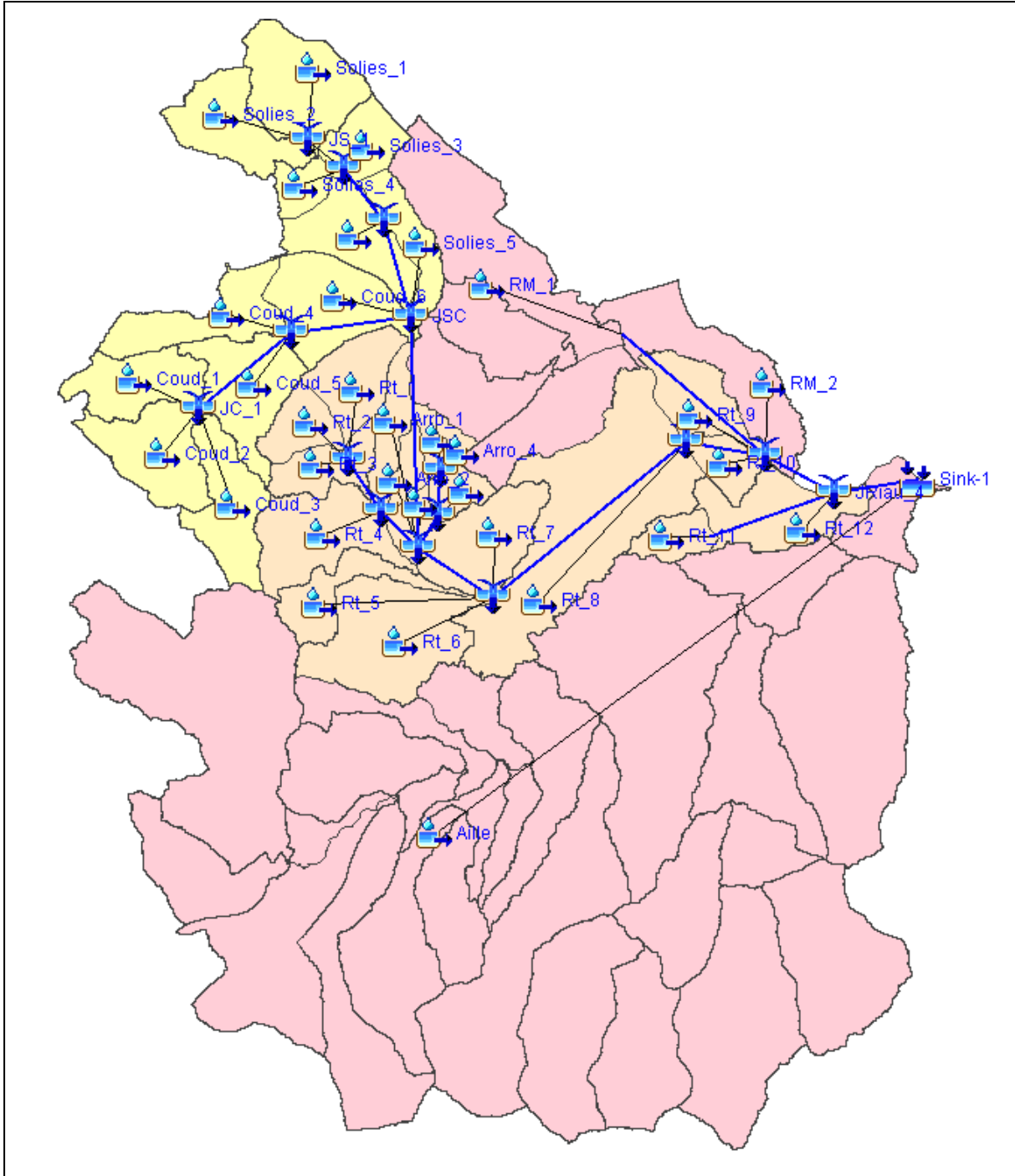


Figure 21 : Illustration du modèle hydrologique

## 3.2 PLUIE DE PROJET

### 3.2.1 QUANTILES DE PLUIE SHYREG

Dans la note de la méthodologie, nous avons précisé que les quantiles de pluie utilisés dans les études précédentes sont ceux de la station du Luc, qui se situe sur la plaine à l'est du bassin versant étudié.

Les pluies dans les collines méditerranéennes sont différentes de celles sur la plaine car les collines ont un impact sur les mouvements de l'air. Et ce d'autant plus que les bassins versants du Soliès et du Coudounier, d'où vient la crue sur la plaine du Luc, sont éloignés de 9 km à l'ouest de la station.

Les quantiles de pluie SHYREG ont mis en évidence une différence entre la pluie de la station du Luc et celle des bassins versants qui se situent en amont de la commune du Luc (Figure 22). Pour un événement centennal, l'écart de la hauteur précipitée pendant 3h est de l'ordre de 10 mm. Cette comparaison indique que les quantiles de pluie utilisés dans les études précédentes sont sous-estimés.

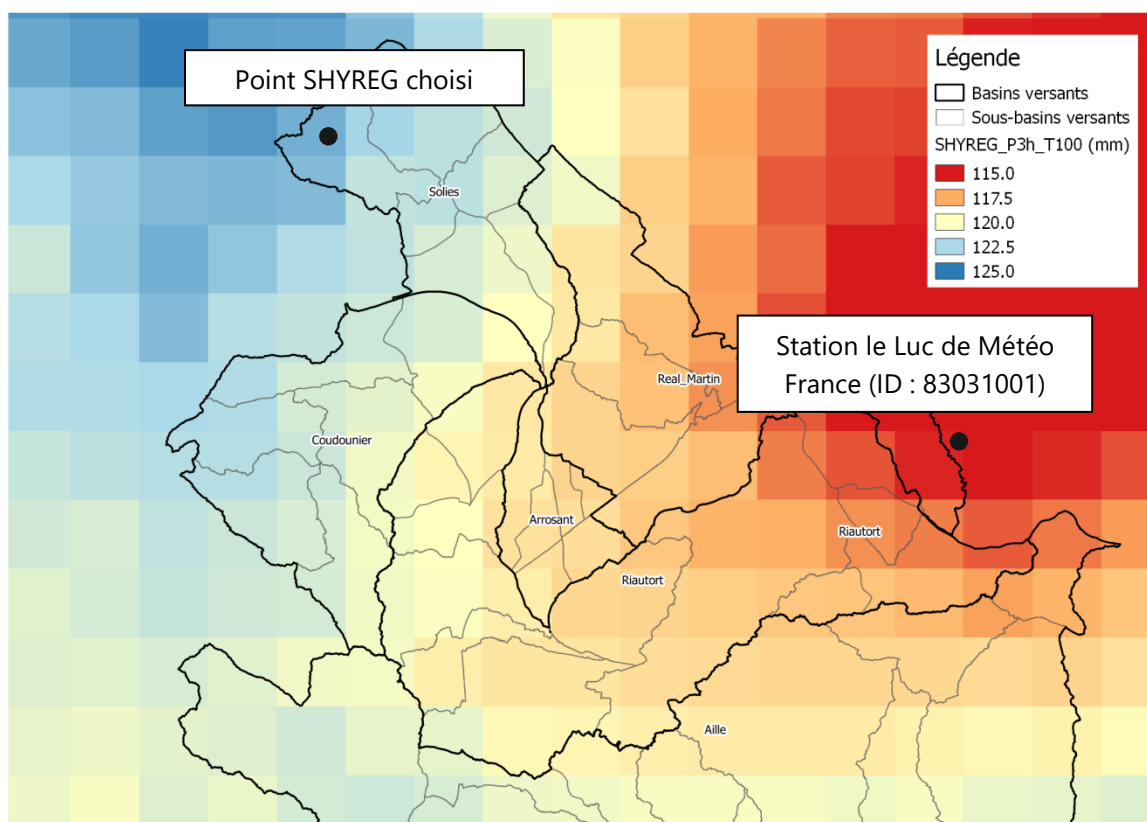


Figure 22 : Comparaison de pluie : précipitation pendant 3h lors d'un événement centennal (source : SHYREG)

Dans la présente étude, une mise à jour des quantiles de pluies a été effectuée pour s’approcher des valeurs spécifiques aux bassins versants étudiés. La pluie la plus forte se trouve au nord-ouest du bassin versant du Soliès. Cette pluie a été utilisée sur toute la zone d’étude. Certes, cela provoque une surestimation sur le bassin versant du Réal-Martin et du Riautort, mais elle peut être considérée comme une marge de sécurité. Le Tableau 4 montre les quantiles de pluie du bassin versant d’étude. La pluie de T=30 ans n’est pas fournie dans la base de données de SHYREG. Elle a donc été interpolée à l’aide de la loi de Gumbel.

Durée	T=5 ans	T=10 ans	T=20 ans	T=30 ans	T=50 ans	T=100 ans
1h	50,5	60,1	70,6	76,7	84,3	94,4
2h	59,5	70,1	81,5	88,0	96,2	107,4
3h	68,5	80,1	92,7	99,9	109	122,6
4h	74,9	87,9	101,8	110,2	120,7	137,9
6h	86,6	101,5	117,7	129,6	144,5	168,9
12h	107,1	126,9	150,7	168,1	189,9	217,7
24h	124,2	148	181,8	202,5	228,4	266,2

Tableau 4 : Pluie de SHYREG la plus forte au bassin versant étudié (les valeurs de P30 sont celles interpolées entre P20 et P50 avec la loi de Gumbel)

### 3.2.2 CONSTRUCTION DES PLUIES DE PROJET

La pluie de projet est définie par la méthode Desbordes, appelée aussi la méthode de double triangle (Figure 23). Il s’agit de déterminer une durée totale DT de la pluie et une durée DM où la pluie est plus intense. L’incrément de l’intensité de la pluie est linéaire, que ce soit positif ou négatif.

La hauteur totale est HT et la hauteur précipitée pendant la durée intense est HM. La hauteur précipitée avant et après la durée intense est donc (HT-HM)/2.

Les deux intensités caractéristiques  $i_1$  et  $i_2$  sont :

$$i_1 = \frac{HT - HM}{(DT - DM)/2}, \quad i_2 = \frac{2HM}{DM} - i_1$$

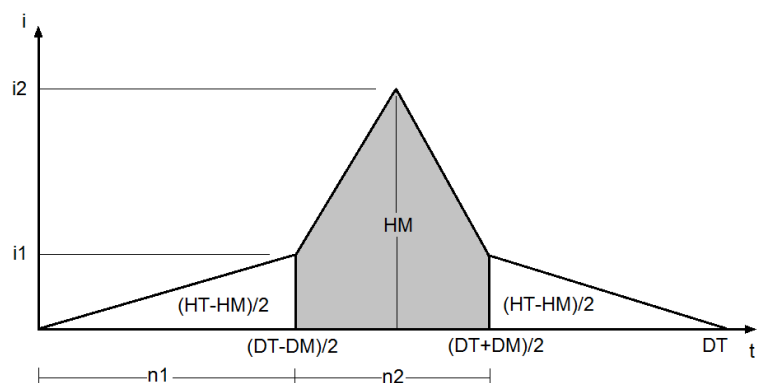


Figure 23 : Illustration de la méthode Desbordes

Pour générer la pluie de projet, il faut simplement déterminer trois paramètres :

- La durée totale de la pluie, qui est souvent le temps de concentration du bassin versant global ;
- La durée intense de la pluie, qui est égale au temps de concentration d'un sous bassin versant ;
- Le pas de temps de calcul  $\Delta t$ .

Le chemin hydraulique le plus long traverse le bassin versant du Coudounier puis celui du Riautort. Le temps de concentration est estimé à 15 h. Le quantile de pluie le plus proche est 12 h. Cette durée est donc retenue comme la durée totale (DT) de la pluie de projet.

Le sous-bassin versant du périmètre de l'étude (BV du Riautort) le plus petit est celui du Soliès, dont le temps de concentration est de 2 h. Cette durée est donc la durée intense (DM) de la pluie de projet.

La base de données SHYREG (Tableau 4) fournit la hauteur de la pluie pendant 3 heures et 12 heures pour les périodes de retour de 5, 10, 20, 30, 50 et 100 ans. Avec un pas de temps  $\Delta t=0,2$  h, la hauteur précipitée pendant chaque pas de temps est donc calculée (Figure 24).

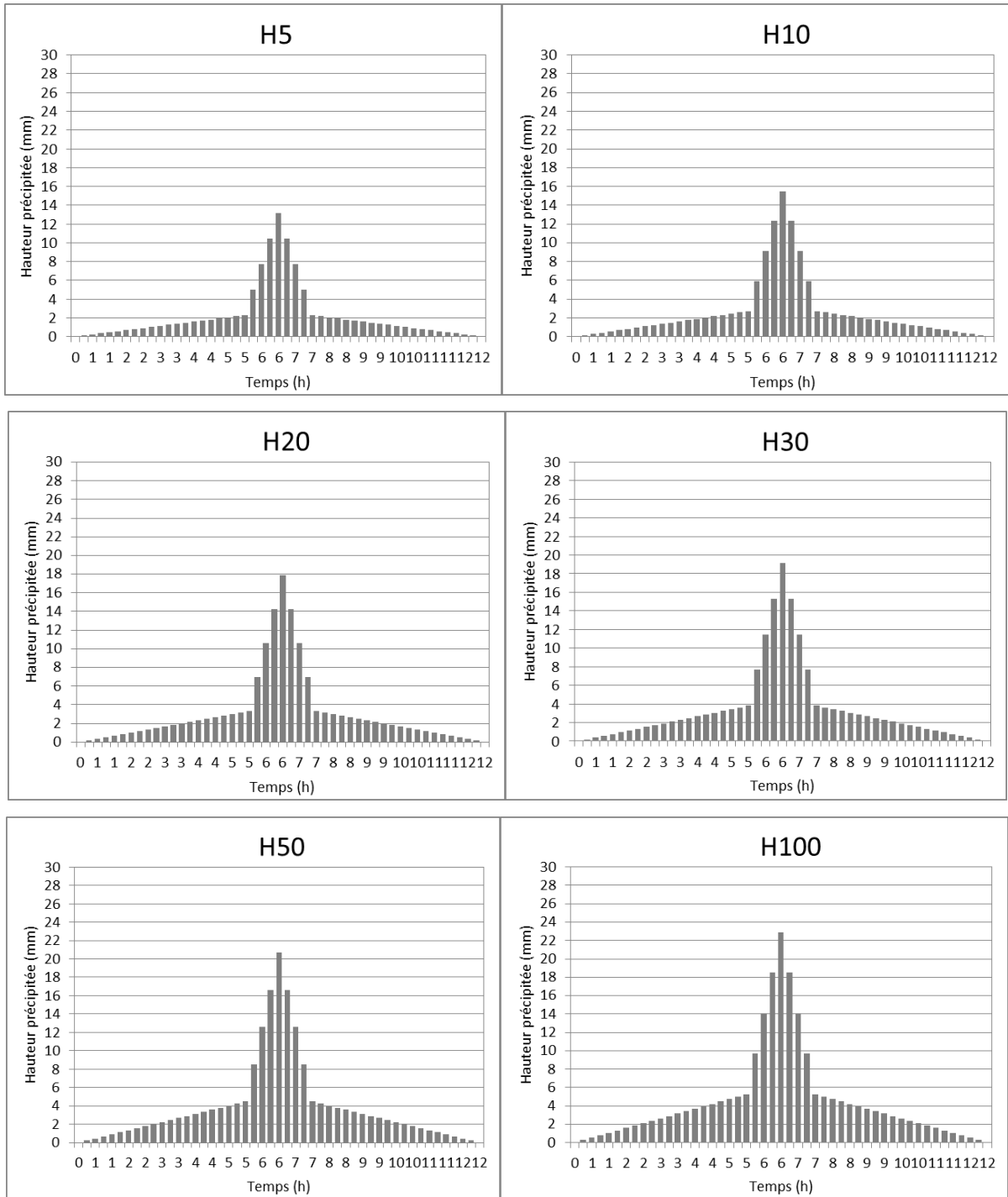


Figure 24 : Pluies de projet

## 3.3 CALAGE DU MODÈLE ET ANALYSE DES RÉSULTATS

### 3.3.1 CALAGE DU MODÈLE

#### 3.3.1.1 DONNÉES DU CALAGE

L'IRSTEA a une base de données SHYREG qui permet de quantifier les débits des événements extrêmes. Appliquée et validée sur 1 605 bassins versants en France Métropolitaine, cette méthode présente un écart entre le débit estimé et mesuré de moins de 20% sur 80% des stations hydrométriques.

La SCP a acheté les quantiles de débits SHYREG pour l'occurrence de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000 ans du bassin versant suivants :

- Soliès à la confluence avec le Riautort
- Riautort à la confluence avec le Soliès
- Riautort à la confluence avec l'Aille

Ces données ne comprennent que les quantiles des débits de pointe donc elles ne peuvent pas être utilisées comme des données d'entrée dans le modèle hydraulique. Un calage a été réalisé avec les données de SHYREG, qui sont les données les plus fiables que nous possédons. Le paramètre à caler est le groupe hydrologique du sol qui permet ensuite de déterminer les valeurs de CN de chaque sous bassin versant.

Les CN calés sont dans l'annexe et les résultats de calage sont dans le Tableau 5.

#### 3.3.1.2 ANALYSE DES RÉSULTATS DE CALAGE

Le débit simulé à la confluence Riautort/Aille est plus élevé par rapport à celui de SHYREG. Cette différence est due à la répartition spatiale de la pluie. Les quantiles de pluie SHYREG du bassin versant de Réal-Martin est plus faible par rapport à ceux du bassin versant du Soliès (Figure 22), ce dernier a été utilisé comme les données d'entrée sur toute la zone d'étude, tandis que SHYREG débit prend en compte la variation spatiale de la pluie.

La deuxième raison de cet écart est la limite du modèle hydrologique. Dans la base de données SHYREG, les débits sont calés avec les données observées, qui prend en compte l'expansion de crue tout au long du Riautort. Le débit réel à l'exutoire du Riautort est un résultat après l'effet de laminage à cause des débordements, il en résulte un débit de pointe écrêté.

Dans le modèle hydrologique, le cheminement de la crue est modélisé avec la méthode « onde cinétique » dans une rivière fictive constituée d'un lit mineur seulement. Le débordement et l'effet de laminage ne peuvent pas être modélisés. Pour une forte crue, plus le chemin hydraulique est long, plus cet écart est important.

Cependant, le modèle hydrologique est utilisé pour générer les débits d'entrée du modèle hydraulique, qui seront les débits à injecter aux exutoires des sous-bassins versants, dont les chemins hydrauliques sont courts et les débits sont faibles. Les débits simulés pour ces sous-bassins versants sont assez fiables selon le résultat du calage. Le débit à l'exutoire du Riautort ne sera pas utilisé dans le modèle hydraulique car ce point est très proche à la condition en aval de ce dernier.

Une analyse complète des résultats est présentée dans la section suivante du rapport.

Tableau 5 : Résultat du calage de modèle

Exutoire	Q10 (m <sup>3</sup> /s)		Q100 (m <sup>3</sup> /s)	
	SHYREG	SCP	SHYREG	SCP
<b>Soliers (amont confluence Soliers/Riautort)</b>	54	54	132	167
<b>Riautort (amont confluence Soliers/Riautort)</b>	20	21	51	57
<b>Riautort (amont confluence Riautort/Aille)</b>	111	112	267	343

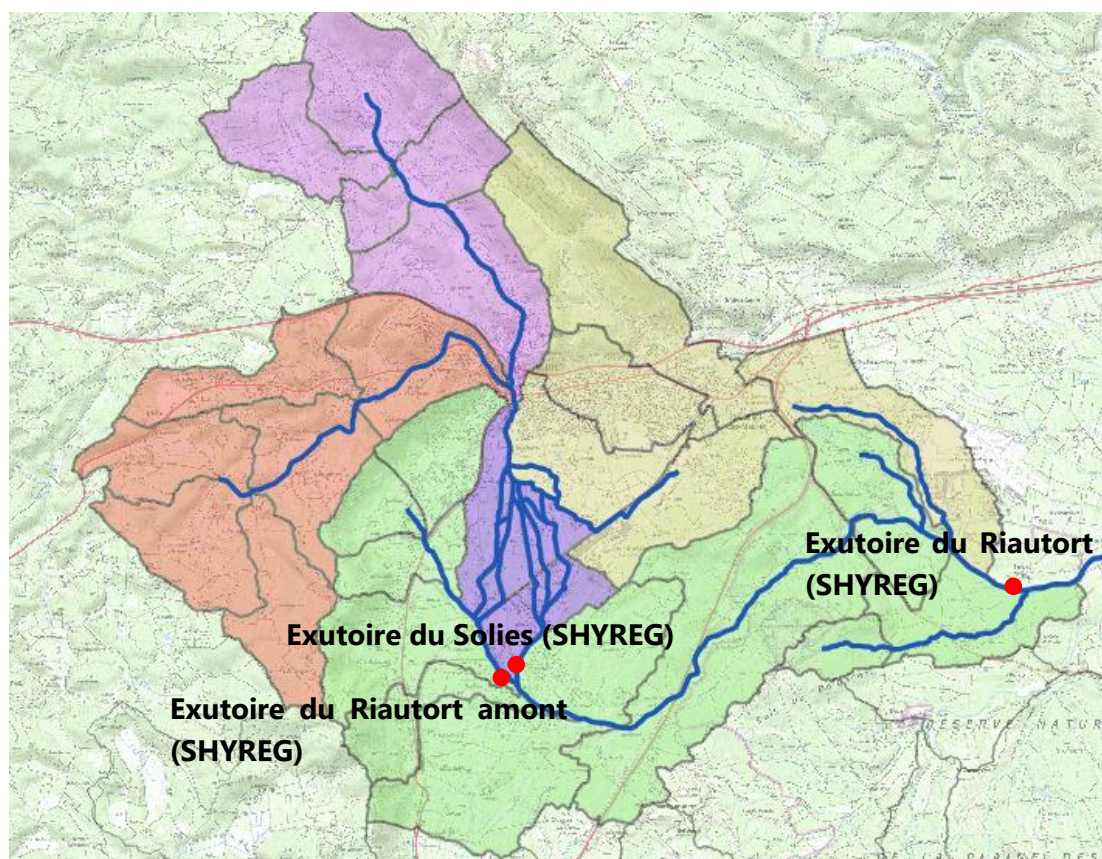


Figure 25 : Localisation des exutoires de SHYREG utilisés en tant que point de calage

Dans le Tableau 5, la comparaison des débits montre que, l'écart entre les deux méthodes est plus important pour la crue centennale que la crue décennale. Cet écart provient de l'effet de laminage non-modélisé dans le modèle hydrologique. Le débordement sur la plaine inondable du Luc et en amont de la voie ferrée permet d'écarter le pic du débit, ce qui ne peut pas être pris en compte dans le modèle hydrologique, tandis que la base de données SHYREG est élaborée à partir des débits observés, qui prend en compte l'effet de laminage. Plus le débit est fort, plus l'effet de laminage est important, plus l'écart entre les deux méthodes est élevé.

Etant donné que les données de calage sont celles de SHYREG, qui ne contient pas de données observées d'un événement, mais plutôt les quantiles de débit estimé avec des méthodes statistiques, le calage du modèle hydrologique réalisé à cette phase contient donc encore des incertitudes.

**A partir des éléments fournis par le Maître d'Ouvrage la SCP a mis à jour la base de données hydrologique du projet. Un calage précis sur des événements réels a été réalisé avec les données de précipitations obtenues (Cf. chapitre 5.2).**

## 3.3.2 ANALYSE DES RESULTATS

### 3.3.2.1 COMPARAISON AVEC L'ÉTUDE DE RIPARIA

Dans l'étude de RIPARIA, les formules empiriques CRUPEDIX et GRADEX ont été utilisés pour estimer les débits de pointe de la crue décennale et centennale. Ces formules sont établies à l'issue d'une longue observation donc elles sont valables d'un point de vue statistique. Les débits estimés avec cette méthode sont considérés comme fiables en termes d'ordre de grandeur.

La comparaison des débits de pointe du bassin versant du Soliès (24 km<sup>2</sup>) entre la présente étude et l'étude de RIPARIA est présentée dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Comparaison des débits de pointes avec l'étude de RIPARIA

Etude	Q10	Q100
SHYREG	54	132
RIPARIA (en 2014)	43	157
SCP (en 2019)	54	167

Nous avons constaté que le débit décennal simulé dans la présente étude est plus proche de celui de SHYREG. Le débit centennal simulé et celui calculé avec la méthode de Gradex sont plus proches. Ils sont tous plus élevés par rapport au débit de SHYREG mais les valeurs sont dans le même ordre de grandeur.

### 3.3.2.2 COMPARAISON AVEC L'ÉTUDE DE BURGEAP

L'étude réalisée par BURGEAP a utilisé un modèle SCS pour simuler les crues de divers occurrences. Dans la note de méthodologique hydrologique, leurs résultats ont été analysés et critiqués. Nous avons constaté que les débits de pointe, notamment pour la crue centennale, sont sous-estimés car l'écart entre Q50 et Q100 est très faible et parce que les quantiles de pluie utilisés dans ce modèle sont calculés à partir des coefficients de Montana de la station du Luc, qui ne représentent pas correctement les bassins versants du Soliès et du Riautort.

La comparaison des débits de pointe à la confluence Soliès/Riautort (30 km<sup>2</sup>) entre la présente étude et l'étude de BURGEAP est présentée dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Comparaison des débits de pointes avec l'étude de BURGEAP : BV de Soliès et Riautort amont

Etude	Q10	Q100
<b>SHYREG</b>	74	183
<b>BURGEAP (en 2016)</b>	38	100
<b>SCP (en 2019)</b>	75	224

Les débits de pointe simulés dans l'étude de BURGEAP sont largement sous-estimés car les valeurs de CN sont de l'ordre de 40 à 50 sur la plaine inondable du Luc, tandis que les valeurs de CN pour les champs agricoles sont comprises entre 50 à 60 selon la présente étude.

### 3.3.2.3 COMPARAISON AVEC D'AUTRES ÉTUDES

IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux) a réalisé une analyse hydrologique des crues de juin 2010 dans le département du Var, dont l'occurrence est supérieure à 100 ans.

Pour les petits bassins versant, le Réal a une superficie de 20 km<sup>2</sup>, qui a la même taille que la partie amont du Soliès, qui se trouve en amont de la confluence avec le Coudounier. Le débit de pointe du Réal observé lors de cet événement est de 140 m<sup>3</sup>/s, ce qui correspond à un débit pseudo spécifique de 12,7 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup>.

Dans la présente étude, les débits pseudo spécifique calculés aux trois exutoires pour la crue centennale sont respectivement :

- 12,7 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup> pour le BV de Riautort, en amont de la confluence Soliès/Riautort
- 13,5 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup> pour le BV de Soliès, en amont de la confluence Soliès/Riautort
- 11,0 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup> pour le BV de Soliès (partie amont), en amont de la confluence Soliès/Coudounier

Cette comparaison de la crue centennale indique que les débits pseudo spécifique de SHYREG aux exutoires du Soliès et de l'amont du Riautort sont compris entre 10 et 12 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup>, qui sont considérés comme valeurs cohérentes. Par conséquent, les résultats du modèle hydrologique calés avec les données de SHYREG, sont aussi considérés comme fiables.

Pour les grands bassins versants, le Nartuby a une superficie de 150 km<sup>2</sup> et le débit de pointe est égal à 460 m<sup>3</sup>/s, ce qui correspond à un débit pseudo spécifique de 8,4 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup>.

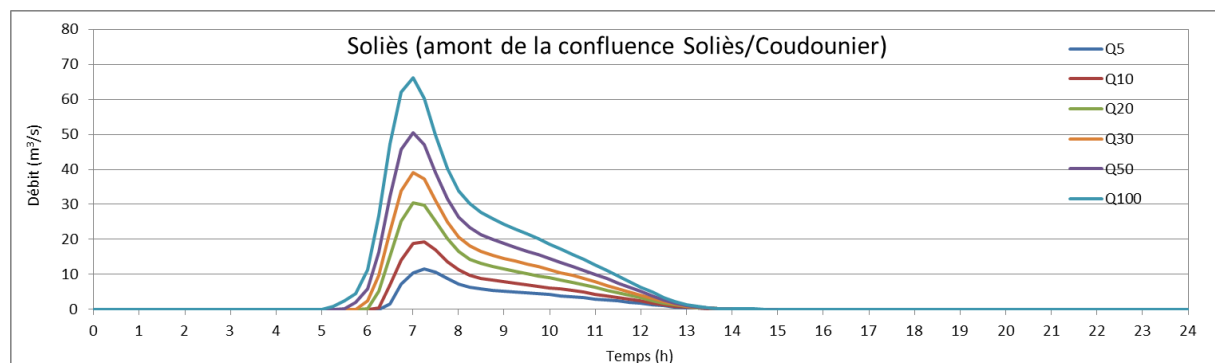
A l'exutoire du Riautort, la valeur de SHYREG (Q<sub>100,SHYREG</sub>=267 m<sup>3</sup>/s, soit Q<sub>pseudo spécifique</sub>=9,5 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup>) est cohérente avec le débit pseudo spécifique du Nartuby. Cette comparaison justifie l'analyse dans la section 3.3.1.2.

### 3.3.3 HYDROGRAMMES SIMULÉS

Les débits de pointe simulés aux exutoires des bassins versants sont présentés dans le tableau 8 et les hydrogrammes correspondants sont illustrés dans les figures suivantes.

Tableau 8 : Débits de pointe simulés (m<sup>3</sup>/s)

Exutoires	Q5	Q10	Q20	Q30	Q50	Q100
<b>Soliès (amont de la confluence Soliès-Coudounier)</b>	12	19	31	39	50	66
<b>Coudounier (amont de la confluence Soliès-Coudounier)</b>	18	27	39	49	62	79
<b>Soliès (amont de la confluence Soliès-Riautort)</b>	14	54	81	102	129	167
<b>Riautort (amont de la confluence Soliès-Riautort)</b>	14	21	31	37	46	57
<b>Riautort (amont de la confluence Riautort-Aille)</b>	72	112	168	210	264	343



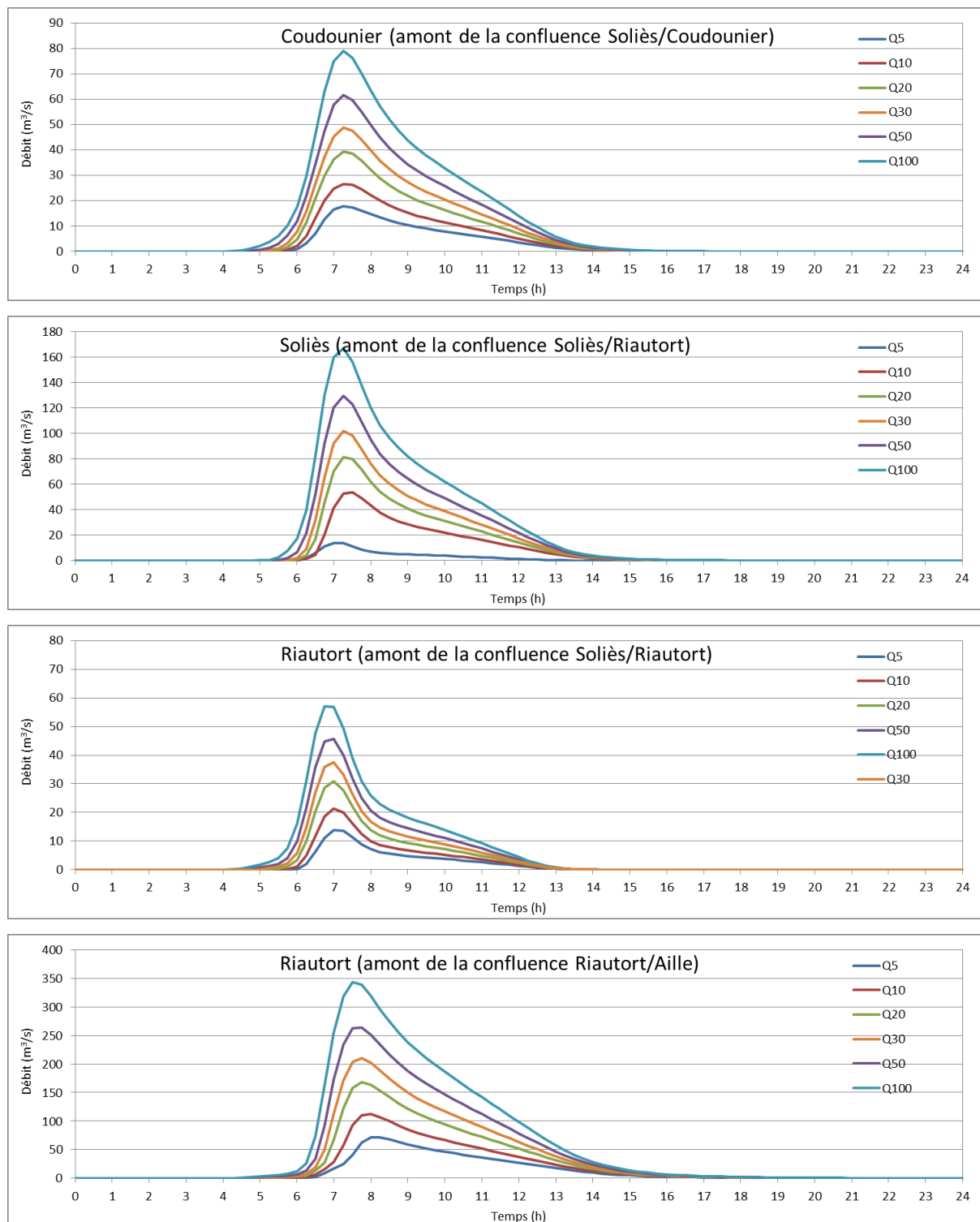


Figure 26 : Hydrogrammes simulés aux exutoires

## 4 CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE

Le modèle construit et présenté dans cette étude est un modèle 1D-2D couplé. Les logiciels MIKE 11 et MIKE 21 FM ont été utilisés pour construire respectivement le modèle 1D et le modèle 2D. La plate-forme de couplage a ensuite été construite à l'aide du logiciel MIKE FLOOD. Les caractéristiques des logiciels utilisés durant cette étude sont décrites en détails dans la Note hydraulique (MOE\_Restauration\_morpho&hydrau\_Riautort\_Note-Hydraulique\_VDEF), rédigée en décembre 2019.

### 4.1 EMPRISE DU MODÈLE

Comme indiqué sur la Figure 27 ci-après, l'emprise du modèle comprend :

- la vallée du Soliès et du Coudounier, y compris la zone urbaine au centre-ville du Luc,
- la plaine inondable en amont et en aval de la voie ferrée où s'étendent les arrosants,
- la vallée du Riautort et du Réal Martin,
- la vallée des Vallons de Badelune et du Plan Genné,



L'Aille n'est pas modélisé mais les hydrogrammes calculés avec le modèle hydrologique seront injectés à la confluence du Riautort et de l'Aille afin d'avoir une condition aval du modèle. Le fait d'inclure le débit de l'Aille permet de modéliser une condition aval réaliste et de vérifier l'impact sur l'écoulement dans le Riautort.

L'emprise du modèle s'appuie sur les résultats simulés dans les études précédentes, notamment ceux de BURGEAP en 2016 qui ont été simulés avec un modèle 1D-2D couplé. La nouvelle emprise doit contenir toutes les zones inondées simulées dans ces études. La définition générale de l'emprise est en particulier fondée sur des réflexions autour des aspects géologiques, topographiques et hydrauliques.

Le Soliès et le Coudounier se trouvent dans des vallées encaissées, limitant l'emprise de la zone. Néanmoins, les parties amont des deux cours d'eau doivent avoir une largeur plus importante afin de pouvoir modéliser et tester l'efficacité des ouvrages de ralentissement dynamique des crues (ou retenues à sec) lors de la phase de la simulation des aménagements. L'aménagement de tels ouvrages est destiné principalement à favoriser les débordements en amont dans l'optique de diminuer l'aléa à l'aval. L'aléa en amont se retrouve ainsi aggravé et une largeur suffisante doit être définie afin d'être assuré de la prise en compte de tout le volume.

Le modèle sur la plaine inondable en amont et en aval de la voie ferrée est large à cause du terrain plat et des forts enjeux sociaux-économiques et environnementaux. La dynamique des écoulements est fortement impactée par la morphologie des cours d'eau et celle de la plaine, caractérisée par des sections faible, des fossés parfois mal entretenus et des pentes faibles. Ces propriétés morphologiques entraînent des débordements importants qui se répandent sur toute la plaine.

Dans la réalité, une partie de l'eau sur la plaine inondable, en amont de la voie ferrée, est drainée vers l'est par quelques arrosants avant de rejoindre le Réal Martin. Dans la présente étude, le débit sorti du modèle par cette frontière est en partie enregistré et réinjecté en amont du Réal Martin et le vallon de Badelune. En revanche l'arrosant longeant la voie ferrée vers l'Est n'est pas découpé et est relié en amont du Real Martin afin de conserver fidèlement, la masse d'eau du modèle 1D. Le Soliès, le Coudounier et le Riautort sont modélisés intégralement sans découpage.

Les ruissellements ne sont pas modélisés dans le modèle 2D. Nous considérons que la précipitation est reçue par les sous-bassins versants puis injectés dans le modèle 1D.



A total c'est presque 40 km de cours d'eau intégrés au modèle, dont la géométrie a été représenté le plus fidèlement possible grâce aux relevés topographiques des profils en travers. Les caractéristiques du périmètre d'étude hydraulique du modèle 1D sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9 : Caractéristiques du modèle 1D

<b>Nom du cours d'eau</b>	<b>Longueur (km)</b>	<b>Nombre de Profils en Travers</b>
Le Soliès	8,8	146
Le Coudounier	5,1	83
Le Riautort	13,8	90
Les arrosants	11,9	127
Le Réal Martin	3,4	16
Le Vallon de Badelune	2	7
Le Vallon de Genné	3,1	5

Au total, le modèle est constitué de 474 profils en travers sur un linéaire total de 48 km de cours d'eau. L'interdistance moyenne entre profils varie selon les cours d'eau et le secteur concerné. Ainsi pour la partie centre-ville et les arrosants, qui sont les zones les plus inondées et/ou exposées au risque inondation, l'interdistance est faible afin de représenter au mieux les singularités de ces zones.

La Figure 29 ci-après présente une vue en plan du modèle 1D réalisé.

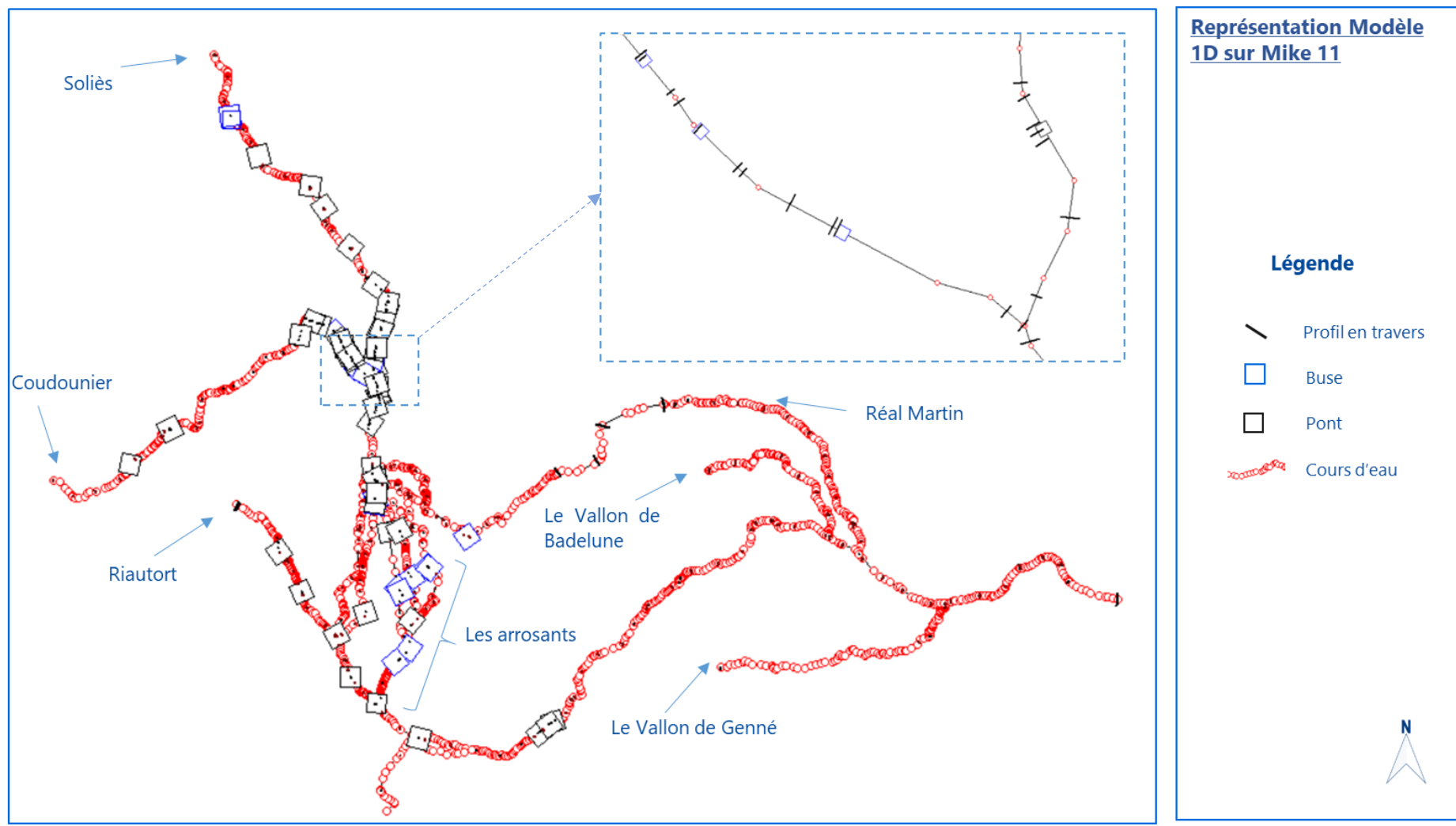


Figure 29 : Représentation du réseau hydrographique

Comme le montre la Figure 30 un profil en travers est défini par des points de gauche à droite de coordonnées (X, Z), X étant l'abscisse et Z la cote altimétrique. Trois points doivent être sélectionnés. Il s'agit des points du haut de berges : cote du seuil à partir de laquelle il y a un échange de flux entre le lit mineur et la plaine inondable et le point de plus basse altitude : cote du fond du lit mineur.

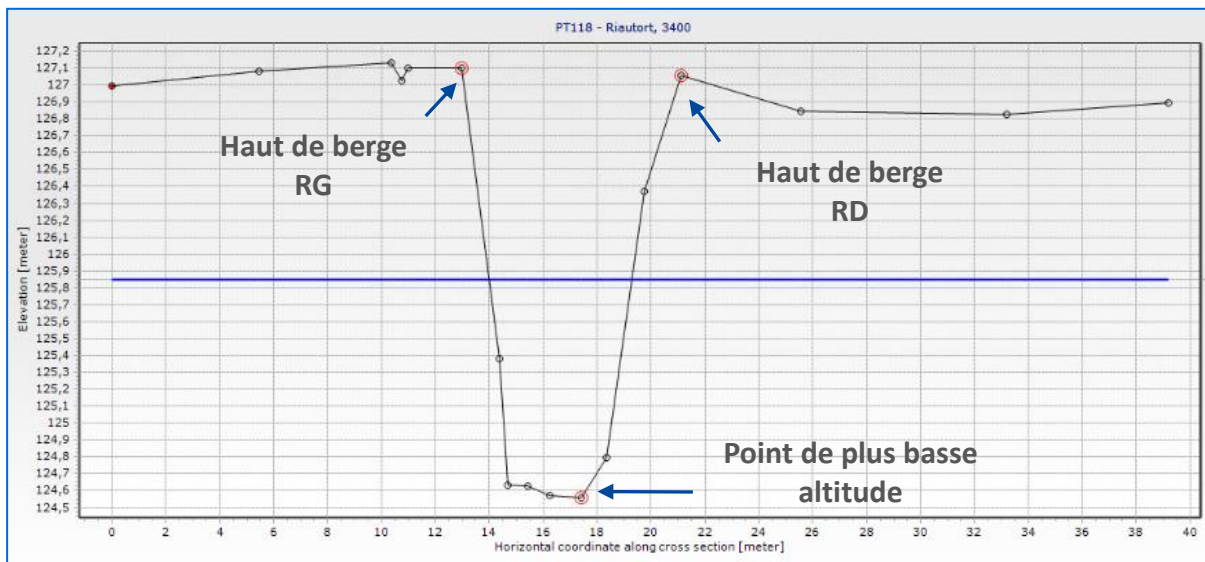


Figure 30 : Représentation du profil en travers dans le modèle 1D

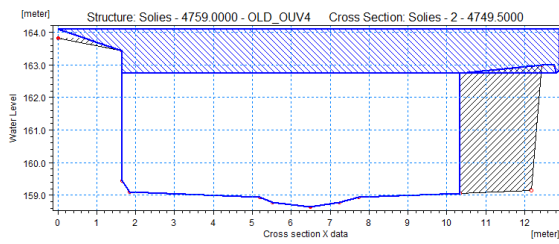
## 4.2.2 OUVRAGES

Les ouvrages hydrauliques de la zone étude levés par GEOFIT en 2019 ont été intégrés au modèle. S'ajoute également les données provenant d'anciennes études vérifiées (Opsia et Riparia). Les ouvrages hydrauliques que sont les ponts, les buses, les seuils...ayant un réel impact sur la dynamique des écoulements, la prise en compte des pertes de charge à leur niveau est essentielle. Les visites terrains et anciennes données issues de sources fiables ont permis de définir de façon exhaustive les ouvrages présents sur les cours d'eau de la zone d'étude.

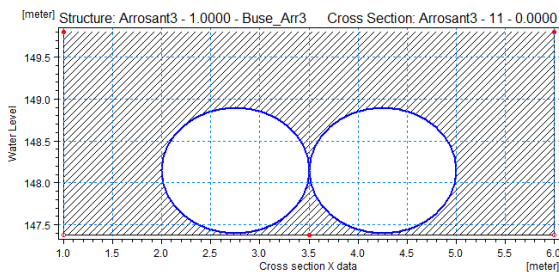
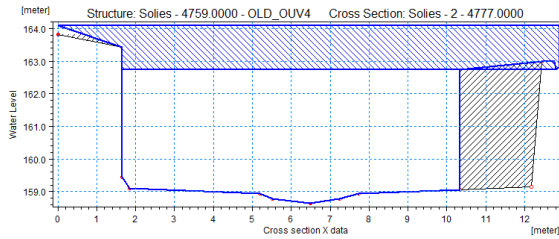
Tableau 10 : Nombre d'ouvrages modélisés dans le modèle 1D

Cours d'eau	Linéaire (km)	Seuil	Buse	Pont
<b>Le Soliès</b>	8,8	5	5	17
<b>Le Coudounier</b>	5,1	2	4	10
<b>Le Riautort</b>	13,8	0	0	9
<b>Les arrosants</b>	11,9	0	6	3

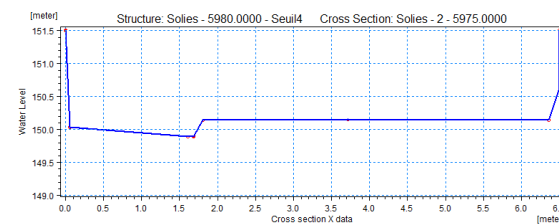
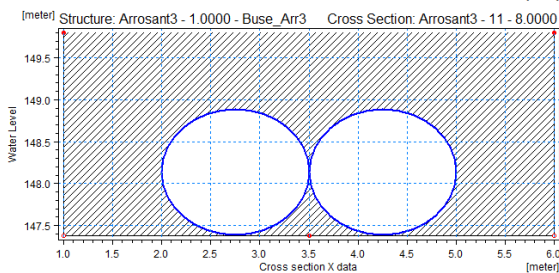
Chaque ouvrage peut être décrit par sa localisation, ses dimensions et le coefficient de perte de charge.



Un pont est défini avec la cote du tablier (cote de surverse), la cote de la voûte (cote en charge), la géométrie de la section et le coefficient de perte de charge.



Une buse (ou un cadre) est définie avec le diamètre (ou Largeur x Hauteur), la cote du radier en amont et en aval, la longueur, le coefficient de perte de charge singulier, le coefficient de Strickler.



Un seuil est défini par le profil en travers du seuil et le coefficient de débit.

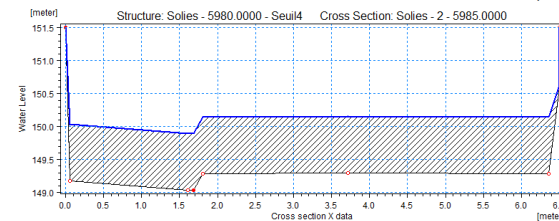


Figure 31 : Représentation des ouvrages hydraulique dans le modèle 1D

Ce modèle comporte ainsi 61 ouvrages hydrauliques (ponts, seuils, etc...). Les ouvrages dans le centre-ville et les arrosants ont été levés par Opsia et Riparia et les ouvrages en amont et en aval du modèle ont été levés récemment dans le cadre de cette étude par GEOFIT. Enfin certains ouvrages secondaires pouvant néanmoins avoir une influence locale sur les écoulements en crue ont été levés lors des reconnaissances de terrain.

## 4.2.3 CONDITIONS AUX LIMITES

### 4.2.3.1 CONDITIONS AMONT

Les conditions aux limites décrivent les conditions imposées aux frontières du modèle.

Dans le cadre de cette étude, les conditions amont sont constituées des hydrogrammes de crue à injecter en différents points du modèle et sont issues de l'analyse hydrologique. Les hydrogrammes représenteront les apports des principaux cours d'eau et les apports latéraux dus au ruissellement. Dans le cas du Réal Martin, le cours d'eau reçoit également le débit drainé vers l'est par les arrosants sur la plaine inondable du Luc. Les conditions aux limites amont, au nombre de 23 et sous forme d'hydrogrammes, sont injectées en amont des cours d'eau ou aux exutoires des sous bassins versant. Les points d'injection des conditions amont sont illustrés sur la Figure 32.

### 4.2.3.2 CONDITIONS AVAL

La condition aux limites en aval du modèle est la hauteur d'eau normale de l'Aille calculée en fonction de la pente et du coefficient de frottement. La localisation de cette condition est fixée loin de la partie centrale du modèle, pour ne pas avoir d'influences importantes sur les secteurs avec forts enjeux plus en amont.

S'agissant d'une caractérisation de l'aléa débordement de cours d'eau, la pluie n'est pas appliquée directement aux mailles du modèle hydraulique. Considérant que le sous-sol est saturé, l'échange entre le cours d'eau et les écoulements souterrains n'est pas non plus pris en compte (principe de précaution). Le point d'application de la condition aval est illustré sur la Figure 32.

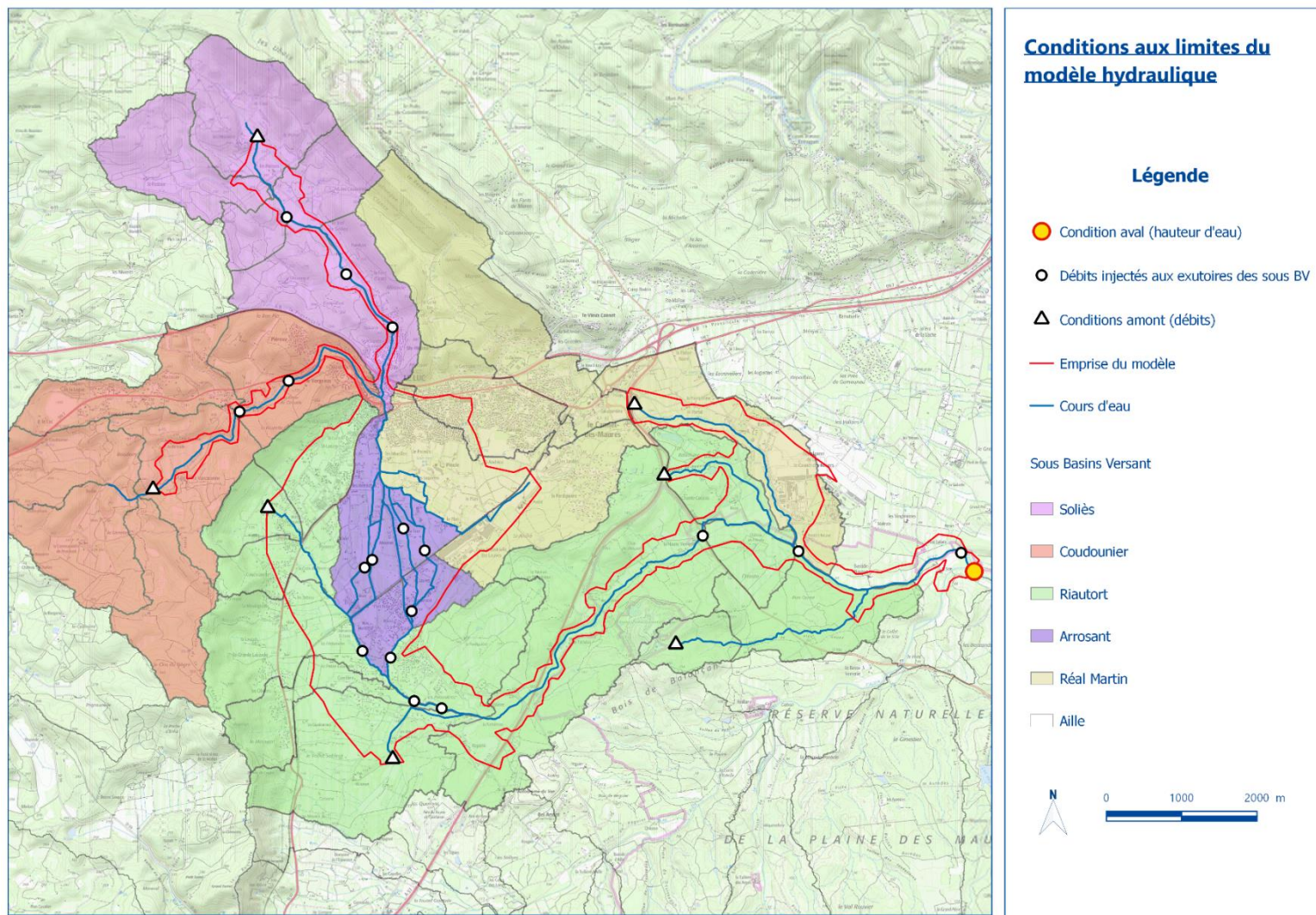


Figure 32 : Conditions aux limites du modèle 1D

## 4.2.4 COEFFICIENT DE STRICKLER

Le coefficient de Strickler est choisi dans cette étude pour reproduire la résistance à l'écoulement des cours d'eau. Afin d'imiter le plus fidèlement les caractéristiques de frottement d'un cours d'eau il est possible d'imposer une valeur de coefficient de Strickler à un segment de longueur voulue.

Dans le lit mineur, des valeurs comprises entre 20 et 40 sont utilisées pour la plupart des cours d'eau. Le Coudounier et le Soliès au centre-ville du Luc sont aménagés et leurs lits mineurs sont canalisés. Une valeur élevée de  $K=50$  est par conséquent utilisée.

Ces valeurs ne sont pas définitives et constituent une des variables nécessaires pour la phase de calage du modèle. Les valeurs calées sont listées dans le chapitre 5 : « Calage du modèle hydrologique et hydraulique ».

## 4.3 MODÈLE 2D

La plaine inondable est modélisée avec MIKE 21 FM, qui est un logiciel de la modélisation 2D avec le maillage flexible. Les modèles 2D sont capables de représenter des écoulements dont la direction, en plan, est variable sur l'ensemble du domaine modélisé. La description de la géométrie de ces modèles fait appel à un maillage qui décrit la topographie de la rivière et de son lit majeur. A l'instar du modèle 1D le coefficient de Strickler est appliqué sur toute la zone maillée, au droit de chaque maille.

### 4.3.1 MAILLAGE

Un maillage est la discrétisation spatiale d'un domaine par des éléments proportionnés fins et bien définis, appelés mailles. L'avantage d'utiliser le maillage flexible est de densifier les mailles sur les zones où la topographie est complexe ou l'échange de flux est important. Cette configuration permet d'effectuer un calcul plus précis et d'assurer un calcul numérique plus stable.

#### 4.3.1.1 ZONE MAILLÉE

Les frontières de la zone maillée sont illustrées par le périmètre de l'étude définie précédemment. Au sein de ce secteur d'intérêt certaines zones sont densifiées dans le but d'affiner la précision des calculs numériques de hauteurs d'eau et de vitesses des écoulements.

Ainsi le lit mineur et les routes sont maillés plus finement car ils correspondent à des axes d'écoulements importants. Les zones avec fort gradient hydraulique et les zones à forts enjeux tels que la voie ferrée, le centre-ville, la plaine du Luc, etc. constituent des espaces où des

données de hauteurs d'eau et de vitesses précises doivent être fournies. C'est aussi le cas des zones prédéfinies pour accueillir les aménagements de l'étude de faisabilité de Burgeap (2016). Des modifications devront être apportées lors de futures simulations de l'état aménagé et des mailles plus petites impliquent une définition plus fine des aménagements.

Tableau 11 : Caractéristiques du maillage du modèle 2D

Surface du modèle 2D (km <sup>2</sup> )	Nombre de maille	Taille minimale de maille (m)	Taille maximale de maille (m)
20	150 000	1	50

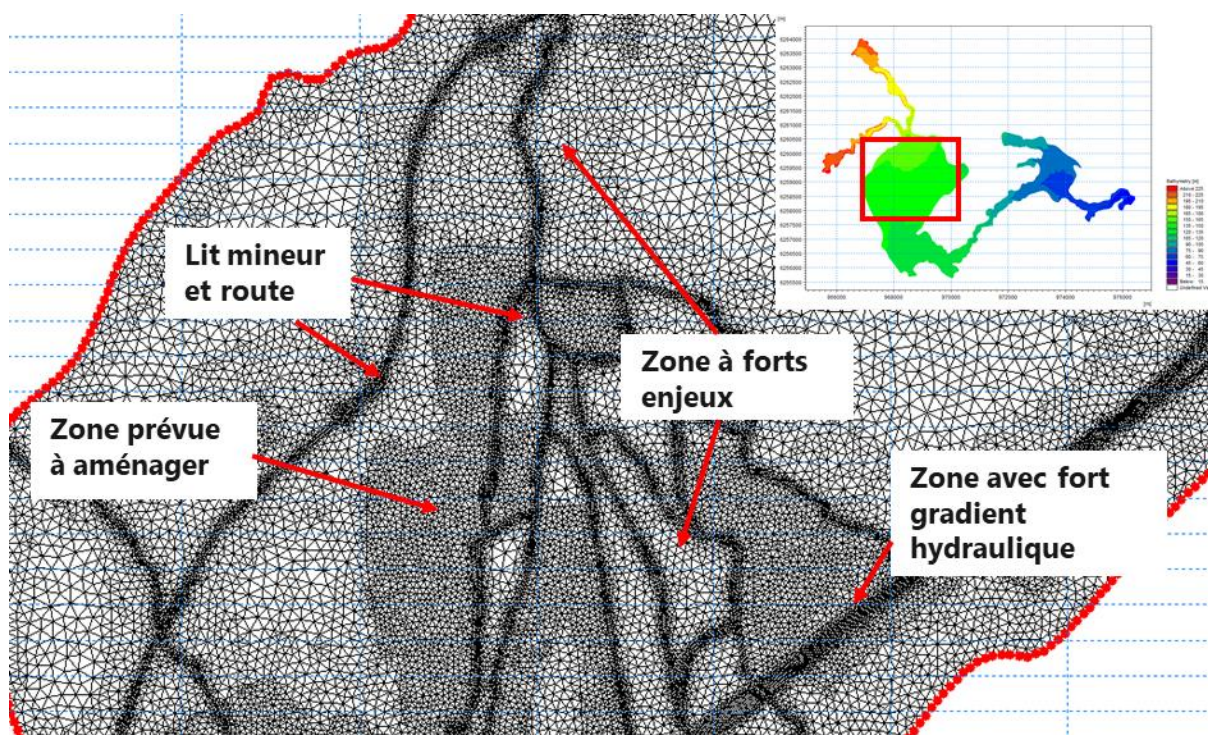


Figure 33 : Maillage dans le modèle 1D

#### 4.3.1.2 BÂTIMENTS

Il existe trois méthodes pour modéliser les bâtiments :

- Méthode 1 : Les bâtiments sont maillés avec une hauteur élevée qui n'est pas inondables. Cette méthode est réaliste car les bâtiments peuvent bloquer les écoulements. Cependant, le calcul risque d'être instable au pied des bâtiments car la pente est trop forte.
- Méthode 2 : Les bâtiments sont maillés mais avec la cote de terrain. Un coefficient de Strickler faible est appliqué afin de modéliser la perte de charge importante. Cette méthode n'a pas de risque d'instabilité mais elle ne respecte pas la conservation de la

masse. Sur la zone urbanisée cette méthode peut entraîner une sous-estimation de la hauteur inondée.

- **Méthode 3** : Les bâtiments ne sont pas maillés donc ils sont représentés par les trous sur le maillage. Cette méthode est la plus pertinente mais la construction du modèle prend beaucoup plus longtemps par rapport aux autres méthodes. De plus, il est plus compliqué ensuite de croiser l'aléa avec les enjeux pour réaliser les analyses coûts bénéfice (ACB) et les analyses multicritères (AMC).

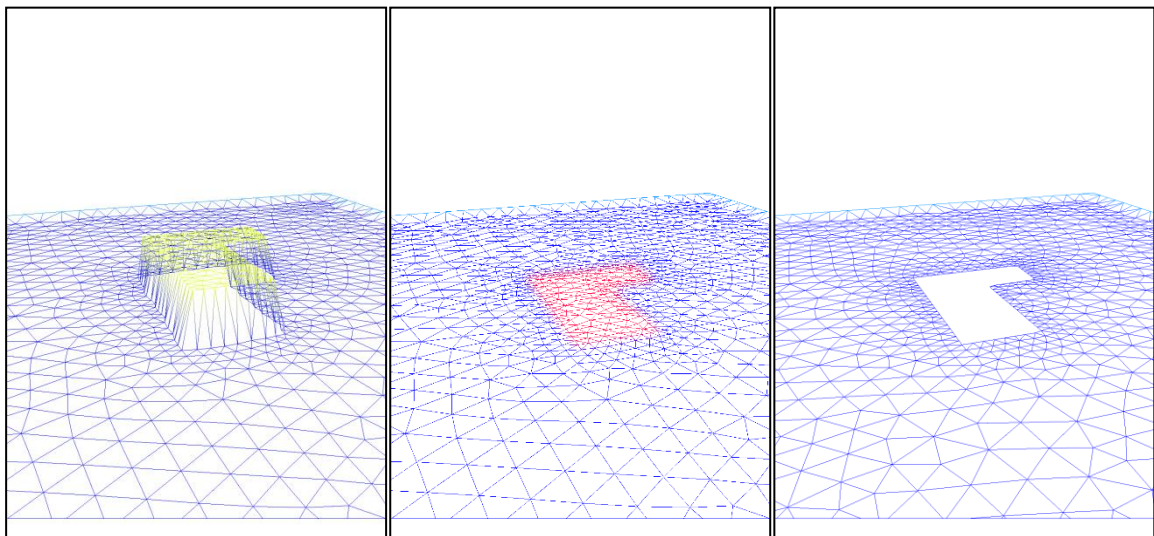


Figure 34 : Illustration des trois méthodes de la représentation des bâtiments dans le modèle

La méthode 1 est retenue pour représenter les bâtiments dans le centre-ville, car celle-ci permet de mieux représenter l'effet de blocage des bâtiments dans la zone urbaine. Elle permet aussi d'orienter l'écoulement le long de l'axe des rues, ce qui est observée lors des crues historiques.

La méthode 2 est largement utilisée dans l'étude d'inondation fluviale grâce à la simplicité de l'application lors de la création du modèle. Cette méthode permet aussi de faciliter le croisement aléas/enjeux des analyses ACB et AMC. En dehors du centre-ville celle-ci est adoptée pour tous bâtiments ou zones urbaines denses pouvant avoir un impact sur la dynamique des écoulements.

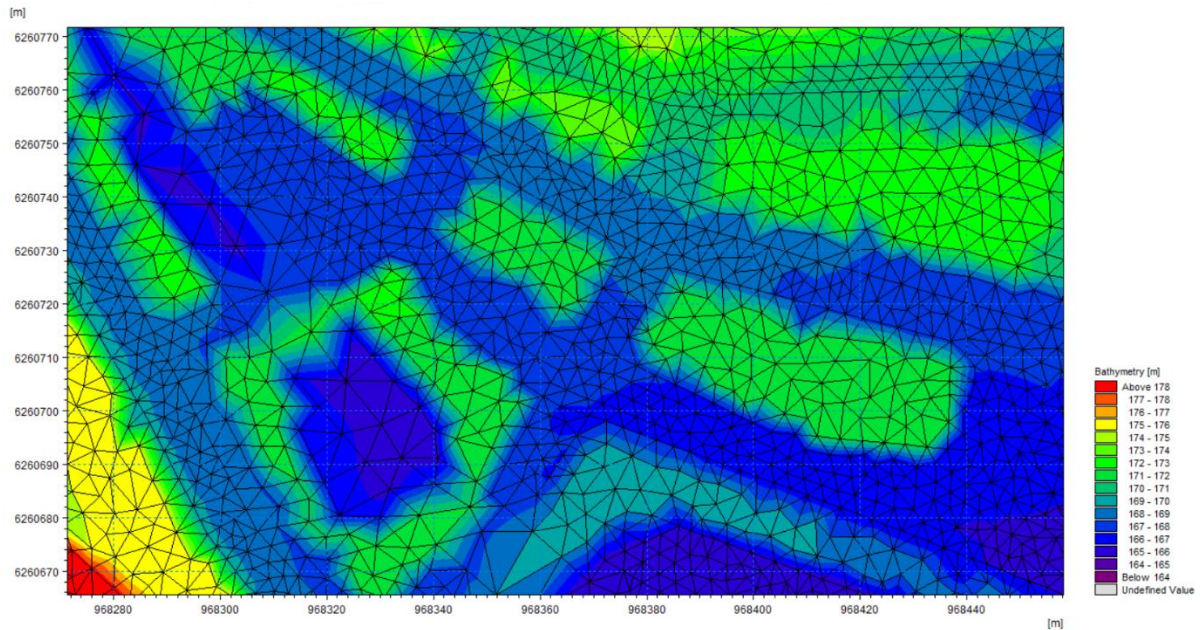


Figure 35 : Représentation des bâtiments et des rues au centre-ville du Luc

## 4.3.2 TOPOGRAPHIE

Le MNT utilisé pour construire le modèle 2D est basé sur les données Lidar du CG du Var, qui a une précision de 1 m. Etant donné que le terrain est assez plat, la taille des mailles sur la plaine inondable peut-être grande sans perdre la précision du calcul. De ce fait, les mailles se trouvant loin des cours d'eau auront une taille de 50m. Pour celles situées à proximité des cours d'eau, zones urbanisées et ouvrages structurant (digues, voie, ferrée, route,...), le nombre de maille sera densifié et leur taille sera comprise entre 1 à 20 m.

## 4.3.3 COEFFICIENT DE STRICKLER

Sur la plaine inondable, les coefficients de Strickler seront définis, avant le calage, en fonction du type d'occupation du sol :

- 8 pour les forêts
- 12 pour les zones rurales à dominante bois
- 15 pour les zones rurales de type cultures ou prairies entretenues (ex : champs agricole où il y a les arrosants)
- [15-25] pour le lit mineur
- 50 pour les rues et les routes

Pour les bâtiments représentés avec la méthode 2 (Figure 34), des coefficients de Strickler faibles sont utilisés pour créer une perte de charge :

- 5 pour les zones urbaines très denses (uniquement sur quelques zones au centre-ville)
- 8 pour les zones moins denses (ex : au quartier Castellás, Masse, et Payette)

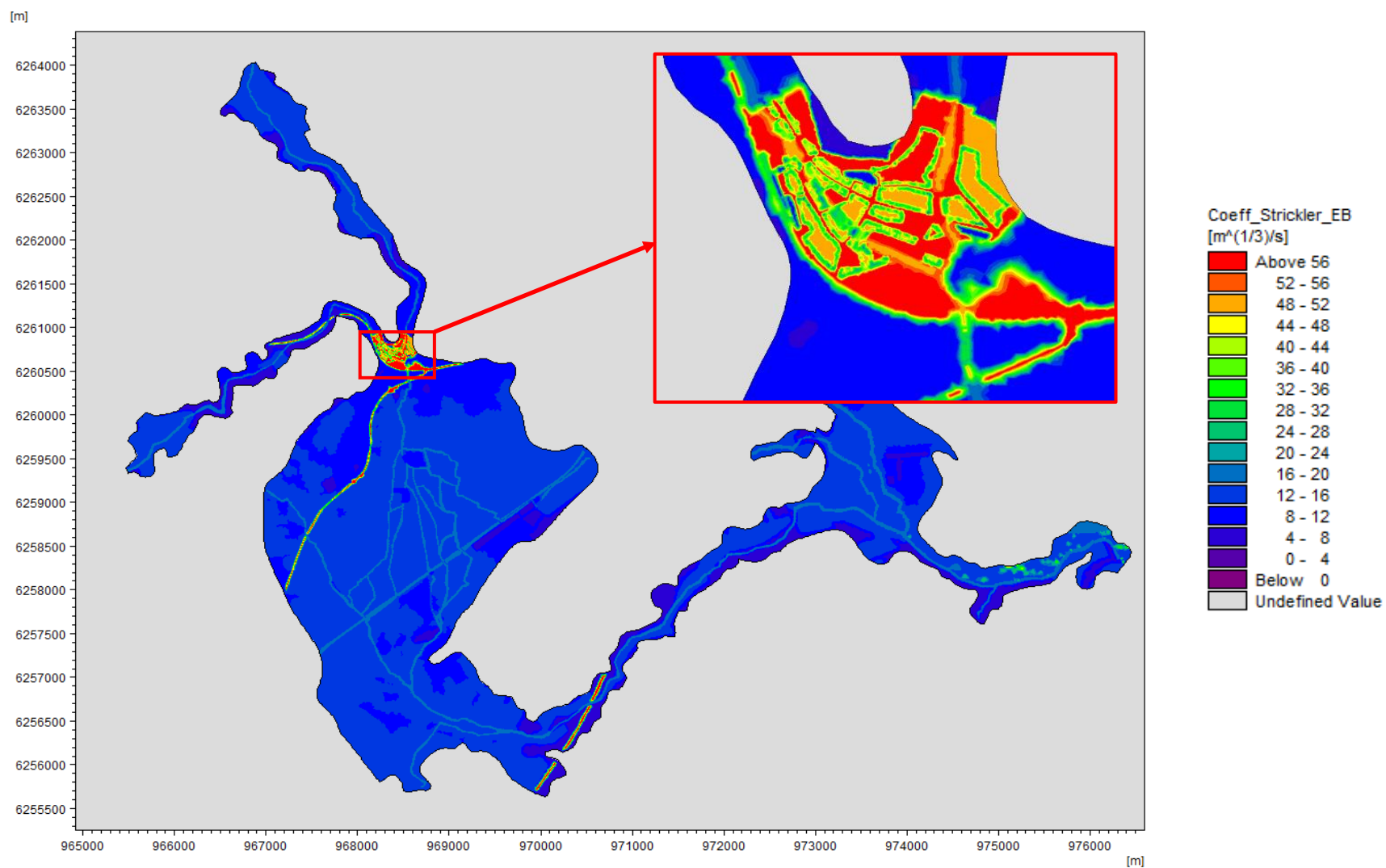


Figure 36 : Coefficient de Strickler du modèle 2D

## 4.4 MODÈLE COUPLÉ

Le couplage est réalisé sur la plate-forme MIKE Flood, qui permet d'établir des liens reliant les nœuds de calcul du modèle 1D et les éléments du modèle 2D. Les points de berge identifiés dans le modèle 1D permettent de définir la cote du seuil de couplage, à partir de laquelle le modèle considère qu'il y a un échange de flux entre le lit mineur et la plaine inondable. Un échange de flux est effectué entre les deux modèles en fonction de l'écart de la cote d'eau. Le calcul de l'échange est beaucoup plus précis qu'un modèle 1D à casier car la taille de maille du modèle 2D est petite.

Pour simuler un débordement, le débit débordé sera enlevé du débit total dans le cours d'eau et le même débit sera injecté dans le modèle 2D en tant que source externe. Le sens de flux est inversé pour simuler un drainage.

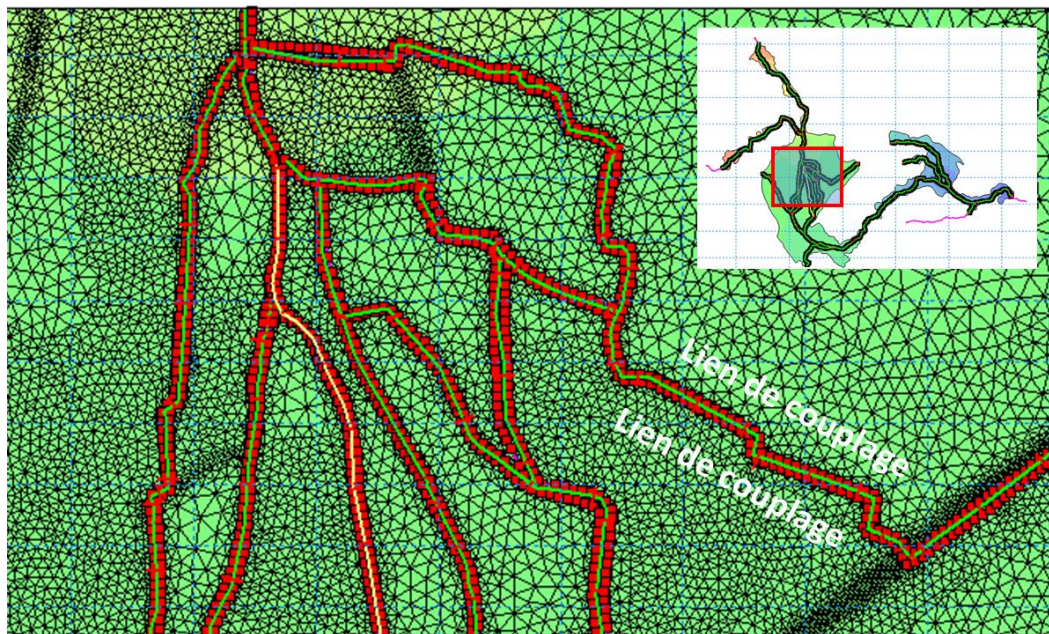
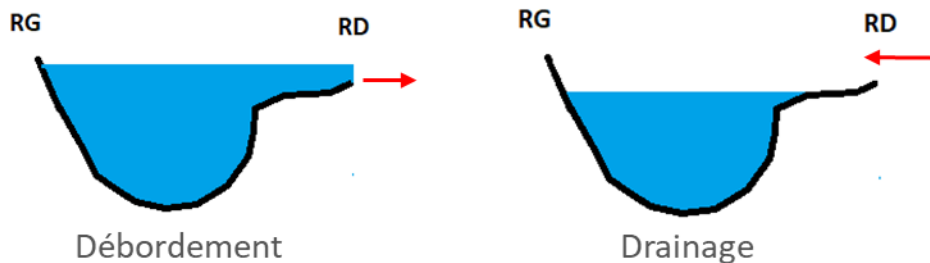


Figure 37 : Principe du calcul de débordement et couplage 1D-2D et liens de couplage

## 5 CALAGE DU MODÈLE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

### 5.1 PARAMÈTRES DE CALAGE

#### 5.1.1 CAHIER DES CHARGES POUR PHASE DE CALAGE

Le calage est la phase de l'étude qui consiste à ajuster les divers paramètres du modèle pour que celui-ci fournisse les résultats les plus proches de la réalité. En pratique, il consiste donc à simuler au moins un événement historique pour « caler » ces paramètres jusqu'à ce que les niveaux d'eau calculés soient proches des niveaux d'eau historiques. Dans le cadre de cette étude deux crues sont utilisées pour caler le modèle assurant de la fiabilité des résultats et une cohérence forte avec la réalité. La capacité des modèles à reproduire les événements observés est critiquée et le choix des valeurs retenues pour les paramètres de calage justifié.

#### 5.1.2 CHOIX DES CRUES DE CALAGE

Le calage du modèle a ainsi été réalisé sur la base d'une **crue récente : évènement pluvieux du 22 au 24 Novembre 2019** et une validation du modèle a été effectuée sur la base de la **crue de référence : celle du 15 au 16 juin 2010**. Une validation du modèle consiste, au même titre que le calage, à vérifier la robustesse du modèle et à juger de la représentation réaliste ou non de celui-ci. Pour la validation les paramètres de calage ne sont pas modifiés mais il est possible d'ajuster les hydrogrammes. Si la première phase permet de valider les paramètres de calage, la seconde étape, celle de validation, basée sur une crue dont la dynamique des écoulements est différente, permet entre autres de déceler des erreurs de géométries et d'apporter des améliorations topographiques.

Le choix de la crue récente de novembre 2019 comme crue de calage n'est pas arbitraire. Cet évènement a été assimilé à une crue décennale, tandis que la crue de juin 2010 serait semblable à une crue de période de retour comprise entre 50 et 100 ans. Il est cependant plus pertinent de caler un modèle sur un évènement de plus faible occurrence mettant en évidence les débordements plutôt que lors d'un épisode plus significatif, qui va inonder plus largement le territoire et dont la dynamique est difficilement modélisable. De plus ce modèle présente une complexité importante de fait des très nombreuses ramifications des écoulements qui se produisent en aval dans la plaine et qui sont autant de points de répartition des débits. En outre l'évènement pluvieux de 2019, étant récent, fournit des PHE précises et fiables. Les retours d'expérience de la CCCV, du SMA et la visite terrain de la SCP peu de temps après l'évènement a permis de collecter des données sûres et réparties équitablement sur l'emprise de l'étude.

## 5.1.3 MÉTHODOLOGIE

Le principal paramètre ajusté est la rugosité du sol, qui dépend du type d'occupation du sol, du matériau composant le terrain naturel, etc...Le calage s'est effectué finalement en plusieurs étapes :

- Calage des coefficients de perte de charge au droit des ouvrages et singularités hydrauliques ;
- Calage du coefficient de rugosité des lits mineur et majeur sur les laisses de crue. Dans le modèle 2D la distribution initiale du coefficient de rugosité a été déterminée à partir des données de l'occupation du sol. La rugosité a ensuite été ajustée par secteurs homogènes d'occupation du sol, afin de représenter le plus finement possible les hauteurs d'eau caractérisées par les laisses de crue.
- Calage du modèle hydrologique. Le Curve Number (CN) peut être ajusté, tout en restant dans la plage de valeurs admissibles, de façon à augmenter ou diminuer la part ruisselée. La durée intense de la pluie et le choix des quantiles de pluie sont également des paramètres à déterminer et à ajuster si nécessaire afin de construire des pluies de projets cohérentes.

Si l'étape de calage peut parfois faire apparaître des écarts significatifs, ces écarts sont analysés et expliqués en prenant en compte les différences qui peuvent correspondre à des réalités physiques (présence d'embâcles, évolution morphologique générale par exemple) ou à des incertitudes concernant les conditions limites (hydrologie).

## 5.2 CALAGE MODÈLE HYDROLOGIQUE

### 5.2.1 DONNEES DU CALAGE

La SCP a obtenu des données de précipitation de la crue du novembre 2019 et celle du juin 2010. Un nouveau calage du modèle hydrologique a été effectué sur l'événement de 2019. Les paramètres du modèle hydrologique tels que les valeurs de CN des sous bassins versants, la durée intense de la pluie de projet ont été recalé avec les données de crue réelle. Après le calage du modèle, les données de la crue de 2010 ont été utilisées pour lancer une simulation de validation.

Les données permettant de réaliser ce nouveau calage du modèle hydrologique sont les suivantes :

- Pluie de radar Antilope J+1 de l'événement de 2019 et 2010
- Cotes des laisses de crue de 2019 et 2010

La pluie d'Antilope J+1 contient des données de la lame d'eau mesurée au pas de temps horaires, répartie spatialement sur la zone d'étude avec un pas d'espace de 1 km. Dans les retours d'expérience de crue, l'événement de 2010 est estimé à une crue centennale. La pluie

de projet centennale a été donc comparée avec celle d'Antilope J+1 de 2010. Ensuite la durée intense de la pluie de projet a été recalée, pour que la hauteur précipitée de la pluie de projet se rapproche à celle de la pluie de 2010.

Un autre paramètre qui a été calé est le CN des sous-bassins versant du Solies et du Coudounier. Les laisses de crue sur certains profils en travers permettent d'estimer les débits de manière grossière. Les CN des sous-bassins du Solies et du Coudounier ont été donc recalés.

## 5.2.2 ANALYSE DES RESULTATS DE CALAGE

### 5.2.2.1 PLUIE DE PROJET

Selon le REX de crue de 2010, le centre-ville du Luc est fortement impacté par le débit du Coudounier. Les photos montrent que la plupart du centre-ville du Luc a été inondée par le débordement du Coudounier. Le débordement su Soliès a inondé seulement la partie est le long de la rue Frédéric Mistral jusqu'à l'Eglise (Figure 38).

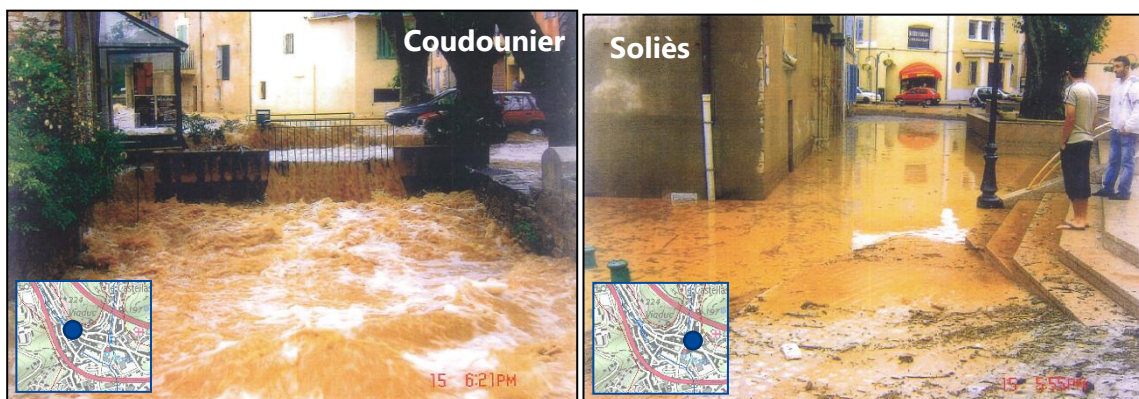


Figure 38 : Débordement du Coudounier et du Soliès lors de la crue 2010

Il est donc pertinent de choisir le Coudounier pour caler la pluie de projet puisque la zone inondée par le Coudounier est plus grande et a plus de dégâts par rapport celle inondée par le Soliès.

La durée intense de la pluie du juin 2010 était 3 h (de 14 h à 17 h). Celle de la nouvelle pluie de projet est de 4 h. Cette valeur retenue est plus longue par rapport au temps de concentration du Coudounier afin de faiblir l'intensité de pluie du pic.

La hauteur précipitée pendant 1 h au pic lors de la crue de 2010 est de 32 mm, celle de la nouvelle pluie de projet centennale est de 48 mm. Cette valeur est plus cohérente par rapport à l'ancienne pluie de projet, dont la hauteur précipitée pendant 1 h au pic est de 74 mm.

Les nouvelles pluies de projets sont dans les figures suivantes.

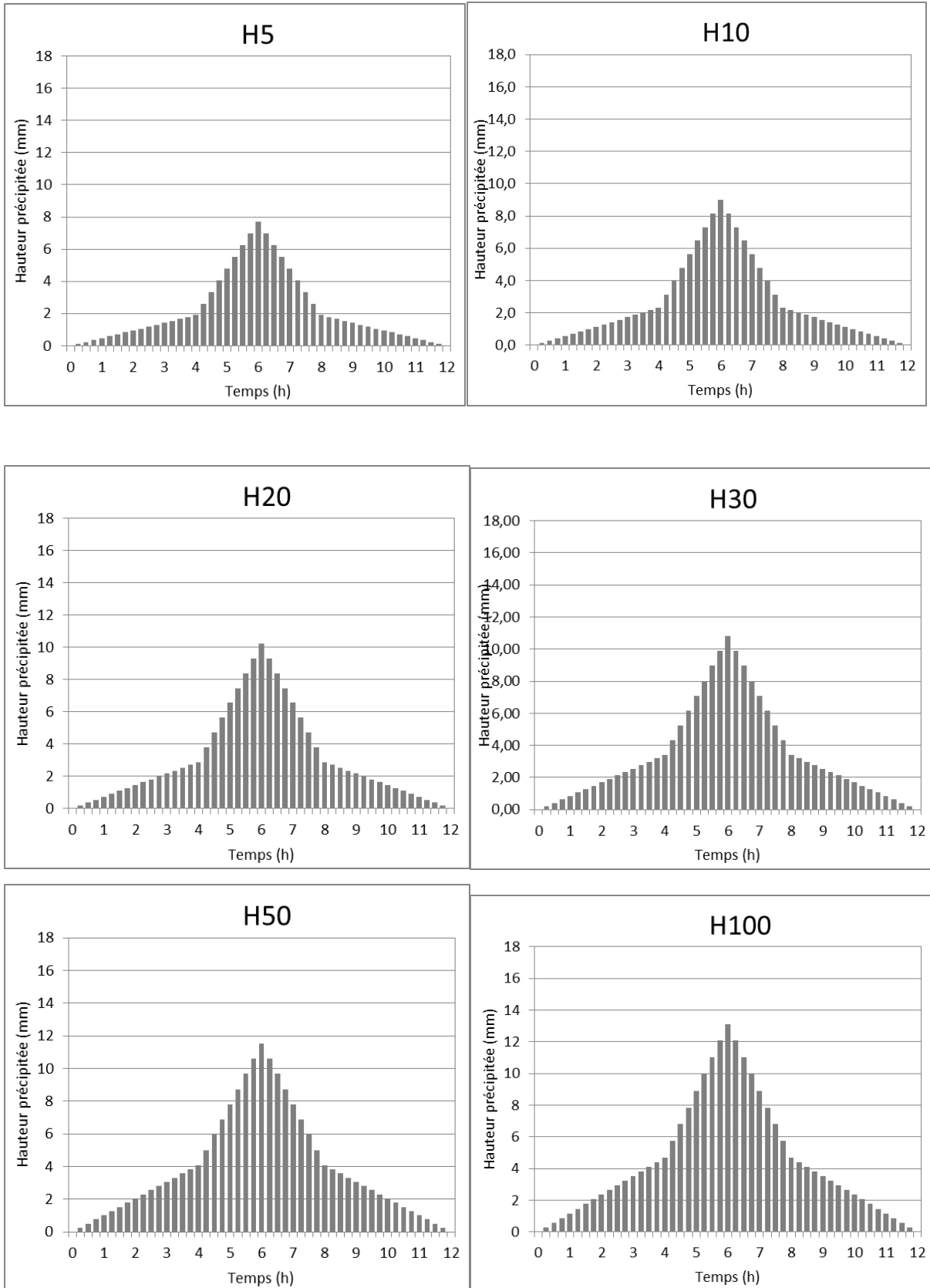


Figure 39 : Pluies de projet retenues après le calage avec Antilope J+1

## 5.2.2.2 CURVE NUMBER DU SOLIÈS ET DU COUDOUNIER

### 5.2.2.2.1 Soliès

Le Soliès n'a pas débordé au centre-ville du Luc lors de la crue de 2019. La laisse de crue en aval de l'autoroute A8 sur le bajoyer en rive gauche (Figure 40) permet de connaître le débit du pic dans le Soliès.

La laisse de crue a une hauteur de 1,35 m par rapport au fond du lit. La largeur de ce profil en travers est de 8,1 m. La pente locale est de 1,1%. Selon la formule de Manning, le débit sur cette section est égale à :

$$Q = K_s A R^{2/3} i^{1/2}$$

Où,  $K_s$  est le coefficient de Strickler [ $m^{1/3}/s$ ], pour le tronçon étudié  $K_s=30$  ;

$A$  est la surface de la section mouillée [ $m^2$ ] ;

$R$  est le rayon hydraulique [ $m$ ] ;

$i$  est la pente locale [ $m/m$ ].

Si on considère que le profil en travers est rectangulaire pour simplifier le calcul, le débit estimé de la crue 2019 dans ce tronçon est d'environ  $24 m^3/s$ .

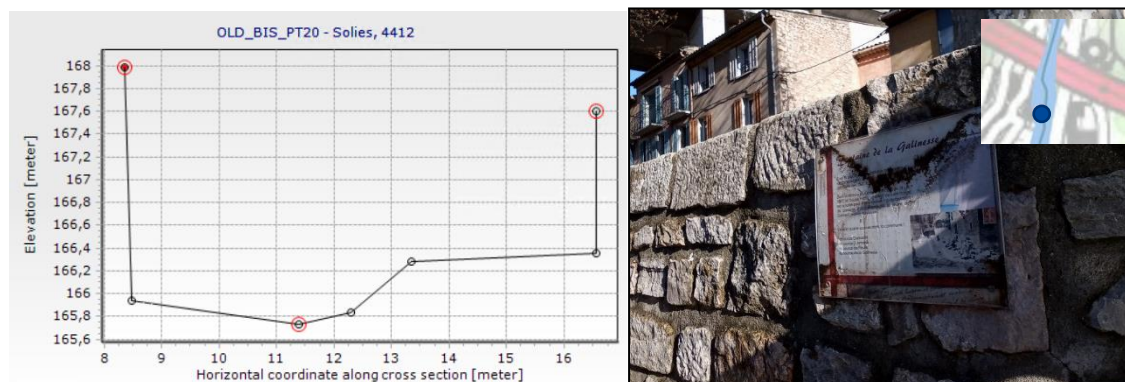


Figure 40 : Profil du calage et laisse de crue ( $h=1,35 m$ ) sur le bajoyer en RG du Soliès en aval de l'A8

Ce débit estimé a été utilisé pour caler les valeurs de CN des sous-bassins versants du Soliès. Une simulation de la crue de 2019 a été lancée avec la pluie d'Antilope J+1. Les valeurs CN sont listées dans l'annexe.

### 5.2.2.2.2 Coudounier

Lors de la crue de 2019, un débordement en RD du Coudounier a été observé au lieu-dit Les Andracs. Ce point a été utilisé pour caler les CN des sous-bassins versants du Coudounier. Le débordement ne permet d'appliquer la formule de Manning. Par conséquent, le modèle hydraulique a été aussi utilisé afin de pouvoir caler le modèle hydrologique.

Certes, cette méthode contient aussi l'incertitude du modèle hydraulique, mais la sensibilité du coefficient de frottement du lit dans le modèle hydraulique est bien plus faible par rapport à celle des valeurs de CN dans le modèle hydrologique, puisque le coefficient impacte la dynamique d'écoulement mais le CN impacte directement le volume d'eau ruisselée. Ceci

indique que cette méthode est capable de caler le modèle hydrologique pour que la production du débit soit dans le bon ordre de grandeur.

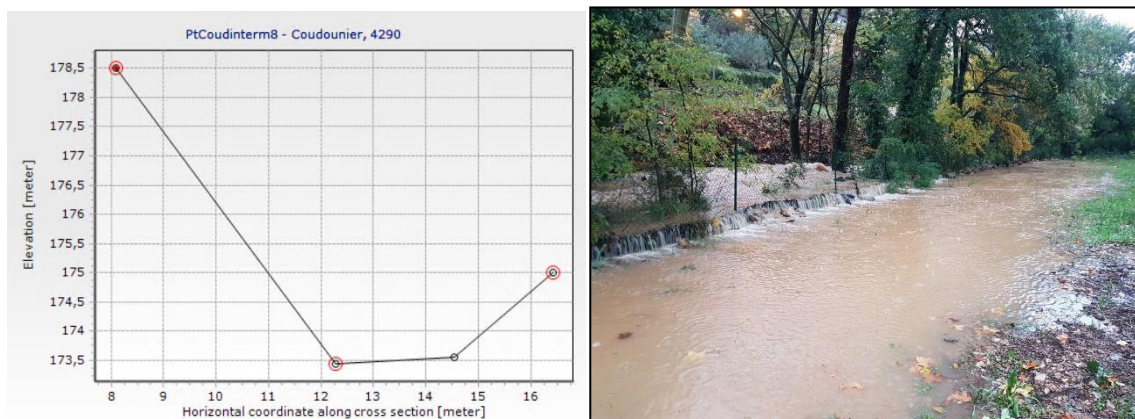


Figure 41 : Profil du calage et laisse de crue ( $h=0,2$  m) en RD du Coudounier chez M. CARETTE

De nombreuses simulations hydrologiques ont été effectuées avec différentes valeurs de CN. Les hydrogrammes simulés ont été ensuite injectés dans le modèle hydraulique di pour obtenir une carte d'aléa cohérente avec l'observation de 2019. Les CN calés sont listés dans l'annexe du rapport.

### 5.2.3 HYDROGRAMMES SIMULÉS

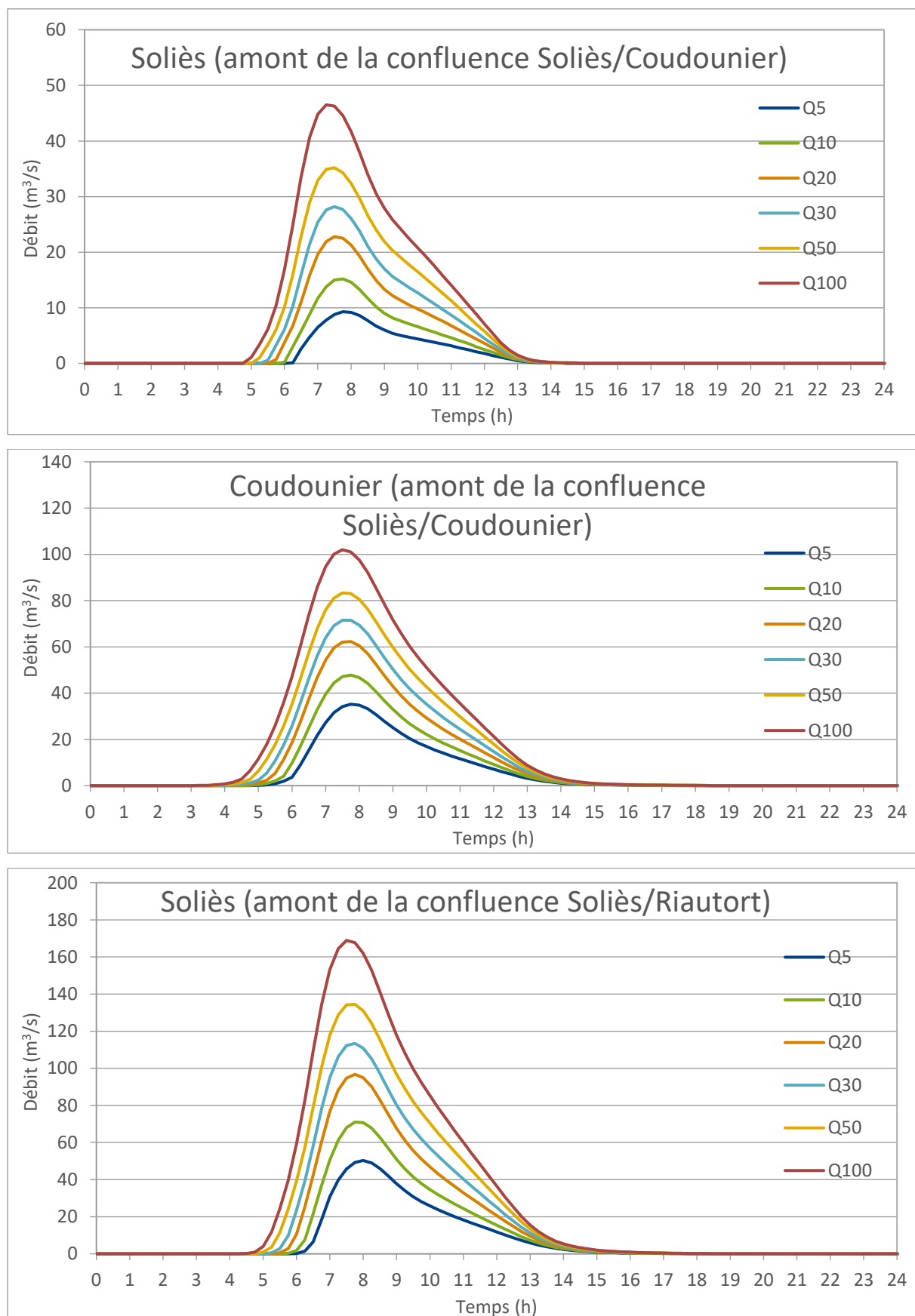
Les crues de projet ont été simulées avec le modèle hydrologique recalé. Les débits de pointe aux exutoires des bassins versants sont présentés dans le tableau ci-après. Les hydrogrammes correspondants sont illustrés dans les figures suivantes.

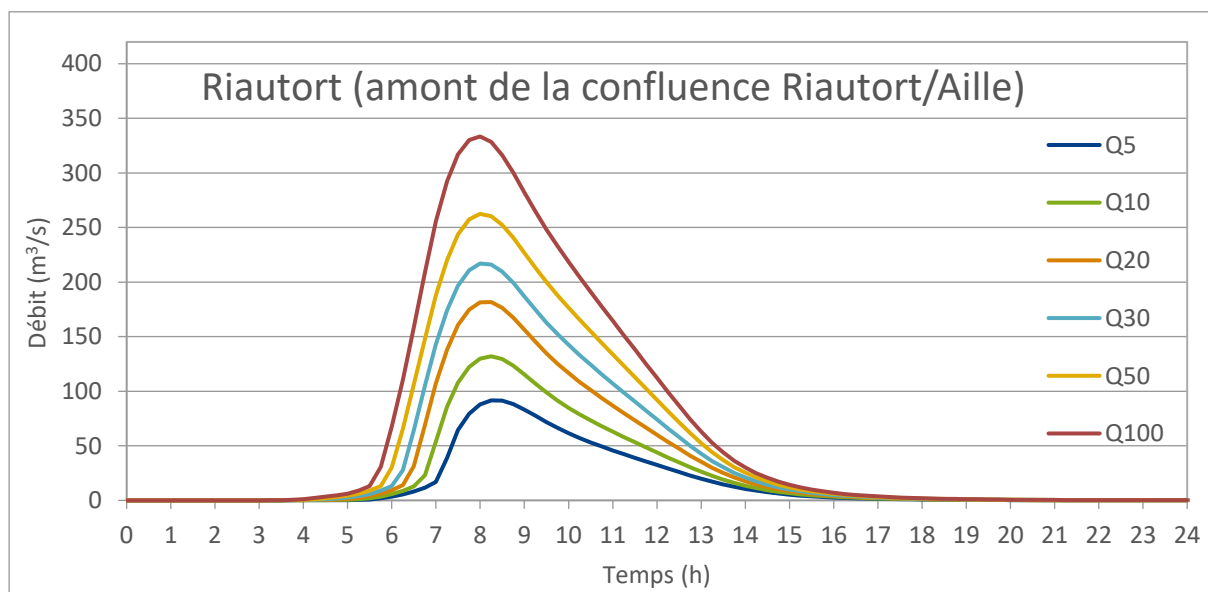
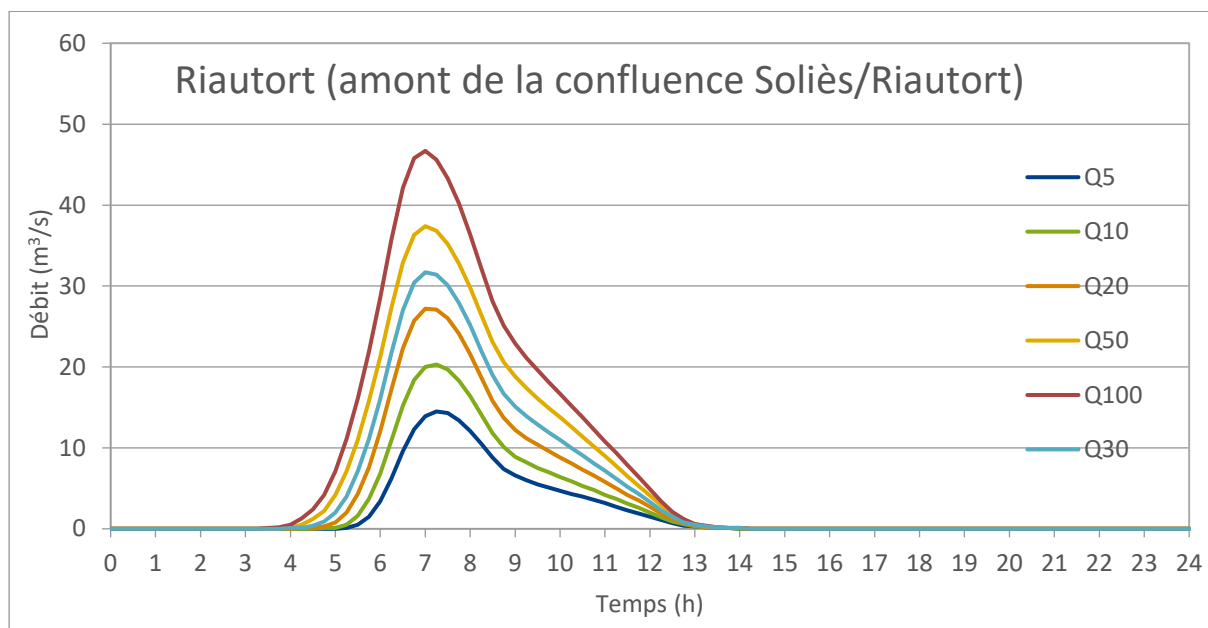
Il est à noter que le débit indiqué ci-dessous sont les « débits hydrologiques ». Qui ne prend pas en compte le débordement et l'effet de laminage de la voie ferrée. Après la simulation avec le modèle hydraulique, les « débits hydrauliques » sont plus faibles car les débordements et les ouvrages permettent d'écarter les pics des crues.

Tableau 12 : Débits de pointe simulés ( $m^3/s$ ) avec le modèle recalé

Exutoires	Q5	Q10	Q20	Q30	Q50	Q100
<b>Soliès (amont de la confluence Soliès-Coudounier)</b>	9,3	15,2	22,8	28,2	35,2	46,5
<b>Coudounier (amont de la confluence Soliès-Coudounier)</b>	35,2	47,8	62,3	71,5	83,3	102
<b>Soliès (amont de la confluence Soliès-Riautort)</b>	50,3	71	96,7	113,4	134,5	168,9
<b>Riautort (amont de la confluence Soliès-Riautort)</b>	14,5	20,3	27,2	31,7	37,4	46,7
<b>Riautort (amont de la confluence Riautort-Aille)</b>	91,6	132	181,7	217	262,5	333,4

Figure 42 : Hydrogrammes aux exutoires simulés avec le modèle recalé





## 5.3 CALAGE DU MODELE HYDRAULIQUE : CRUE 2019

### 5.3.1 SYNTHÈSE DES POINTS DE CALAGE

La commune du Luc a subi un évènement pluvieux du 22 novembre 2019 à partir de 13h jusqu'au 23 novembre 20h. La Communauté de communes Cœur du Var (CCCV) est intervenue deux jours après la crue et quelques points de débordements répartis sur la zone d'étude ont été photographiés. Afin d'envisager un meilleur calage du modèle, une visite terrain de la SCP s'imposait afin de repérer les laisses de crues et mesurer les PHE. Ainsi la sortie du 2 décembre 2019 a permis de collecter des données fiables, de repérer les points de débordements caractéristiques d'identifier la dynamique des écoulements pour cette crue qui sera donc utilisée pour le calage du modèle.

En outre, l'ensemble des données fournies par la CCCV, le SMA et collectées par la SCP ont été valorisées. En plus des données relevées sur le terrain par la SCP cela concerne également des reportages photos, des levés de PHE réalisées par la CCCV et le SMA, des témoignages, des données météorologiques.

Le Tableau 13 regroupe les 19 points de calage en précisant la hauteur d'eau observée, la hauteur d'eau simulée, l'emplacement du repère et le cours d'eau concernait.

Tableau 13 : Tableau de synthèse des résultats du calage du modèle hydraulique

Cours d'eau	Lieu	Points Calages	h_observée (m)	h_simulée (m)	Commentaires
Soliès	RG Soliès	PC1	1,35	1,40	Point dans lit mineur en RG amont du pont 875, route des Mayons
Soliès	RD Soliès	PC2	[0,4-0,60]	0,12	Berge RD
Soliès	RG Soliès	PC3	[0,35-0,45]	0,28	Débordement en amont du pont 875, route des Mayons, dans les vignes
Arrosant3	RD Arrosant3	PC4	[0,3-0,40]	0,03	Débordement en sortie de buse rectangulaire
Soliès	RG Soliès	PC5	1,35	1,40	Point dans le lit mineur entre pile du pont 18 et seuil – Pas de débordement

<b>Cours d'eau</b>	<b>Lieu</b>	<b>Points Calages</b>	<b>h_observée (m)</b>	<b>h_simulée (m)</b>	<b>Commentaires</b>
Soliès	RG Soliès	PC6	0,15	0,11	Débordement sortie passage sous voie ferrée
Arrosant3	RG Arrosant3	PC7	[0,35-0,45]	0,40	Point dans les vignes – débordement RG Arrosant3 et écoulement en provenance de Soliès
Riautort	RD Riautort	PC8	0,20	0,16	Quartier Pas Vieux
Riautort	RD Riautort	PC9	[0,30-0,4]	0,31	Débordement au niveau de l'ancien golf
Riautort	RG Riautort	PC10	[0,15-0,2]	0,19	Débordement Riautort en sortie de passage sous voie ferrée
Riautort	RG Riautort - Station d'épuration	PC11	0,15	0,18	station épuration
Soliès	RD Soliès – Parcelle G4478 - Masse 83340 Le Luc	PR1	0,22	0,11	Débordement en sortie de pont cadre sous RD33 en rive droite et ruissellement dans les fossés le long de la RD33
Riautort	RD RG Riautort – Parcelle F1549 – 1164 Route de Repenti 83340 Le Luc	PR2	0,58	0,31	Parcelle est un point bas – Ecoulement en provenance de l'arrosant de la route Saint Jean et des fossés alentours s'accumulent sur la parcelle
Riautort	RG Riautort – Parcelle	PR3	Hauteur non indiquée	0,05	Suite à la crue du 23 novembre 2019, les rangs de vigne le

<b>Cours d'eau</b>	<b>Lieu</b>	<b>Points Calages</b>	<b>h_observée (m)</b>	<b>h_simulée (m)</b>	<b>Commentaires</b>
	F978, F982, F983				long du Riautort ont été submergés
Riautort	RG Riautort – Parcelle F0024, F0314, F0313	PR4	Hauteur non indiquée	0,23	Débordement sur les parcelles du propriétaire
Coudounier	RD Coudounier - Parcelle 736	PR5	Hauteur non indiquée – environ 20 cm (observation photographie)	0,28	M. CARETTE – débordement rive droite sur la parcelle. D'après le propriétaire le plus haut niveau d'eau a été atteint le samedi 23/11 à 12h
Coudounier	RG Coudounier - École de musique Centre-Ville	PR6	Hauteur non indiquée	0,46	Débordement en amont du pont identifié comme étant un des ouvrages les plus limitants
Arrosant1	RG Soliès – Parcelle G4478	PR7	0,17	0,20	Laisse de crue observée et mesurée sur le mur d'une habitation
Soliès	RG Soliès – Parcelle G4478	PR8	0,20	0,13	Laisse de crue observée et mesurée sur un grillage en aval d'un pont

Comme observé sur la Figure 43, la répartition des points de calage est homogène. Une telle répartition permet d'assurer le calage de l'ensemble du modèle. Ces points sont situés principalement sur les berges ou non loin du lit mineur des cours d'eau mais aussi dans le lit mineur où des repères de crues ont pu être relevés.

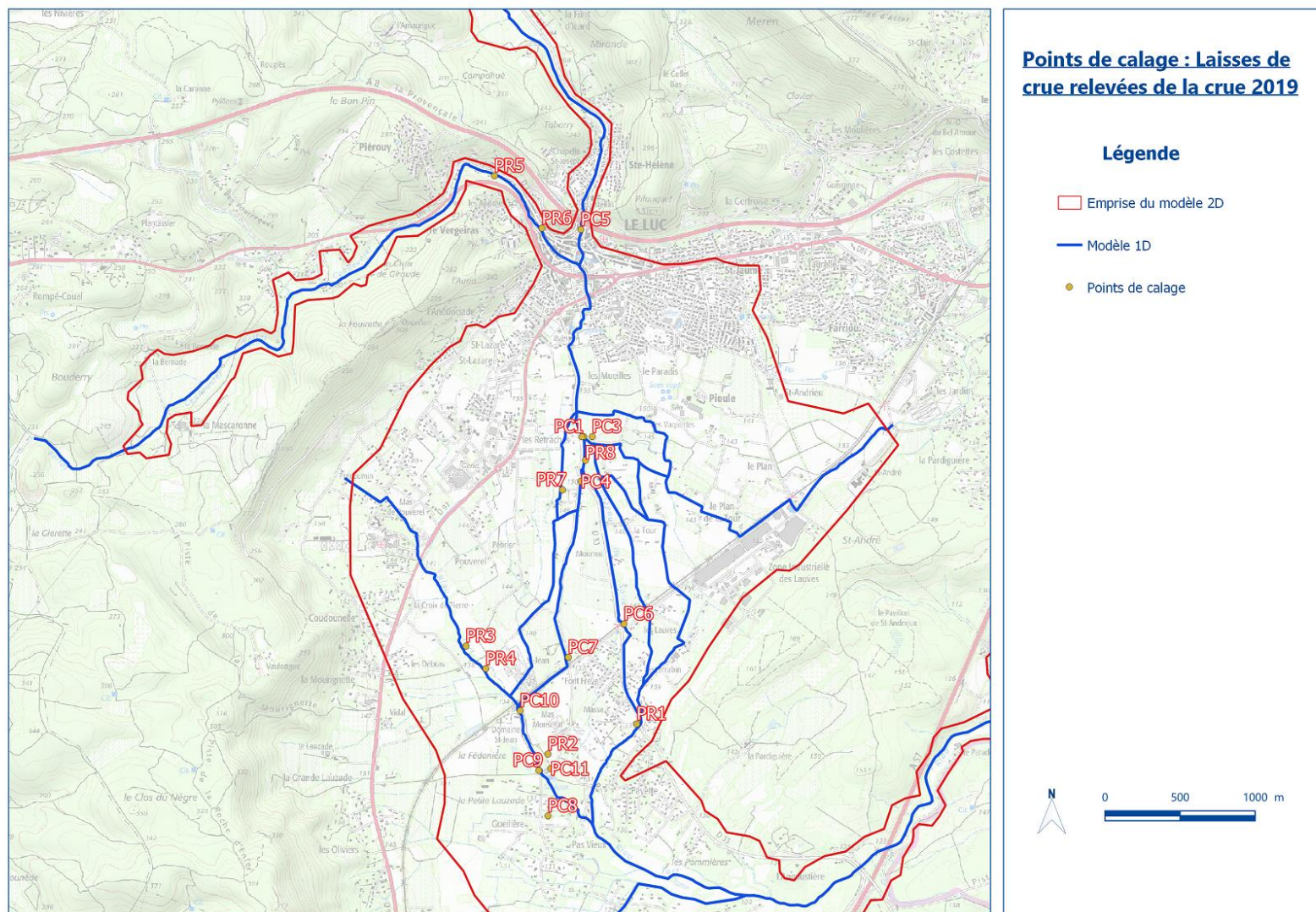


Figure 43 : Points de calage de la crue 2019

## 5.3.2 COMPARAISON HAUTEUR OBSERVÉE ET HAUTEUR SIMULÉE SUR LES POINTS PROBLÉMATIQUES

Suite à la réunion de 10 avril, plusieurs points de calage ont été identifiés comme des points importants, où le débordement est problématique. Le calage du modèle consiste à correctement représenter l'inondation sur ces points à l'aide des hauteurs de laisses de crue mesurées sur site. Dans ce chapitre, la démarche de calage appliquée sur ces points est présentée.

Pour caler le modèle sur ces points. Le coefficient de Strickler dans le lit mineur (modèle 1D) a été tout d'abord ajusté en fonction de l'état du fond du lit. Ensuite, la réduction de la section de l'ouvrage et le coefficient de perte de charge ont été modifiés pour simuler l'effet de l'encombrement. Une fois le débordement simulé, le coefficient de Strickler sur la plaine inondable (modèle 2D) a été ajusté pour que la hauteur d'eau soit proche à l'observation. Cette démarche présentée ci-dessus a été rigoureusement appliquée pour chaque point de calage et les différentes fiches récapitulatives se trouvent en annexes de ce rapport.

### 5.3.2.1 DEBORDEMENT DU PONT A LA ROUTE DES MAYONS

Le Soliès a débordé le long de la RD 33 et le premier point de débordement observé et relevé par la CCCV se situe au pont à l'adresse suivante 875, route des Mayons. La récurrence des débordements, même pour des crues fréquentes, indique un dysfonctionnement à prendre en considération.

Comme illustré sur la Figure 44 des embâcles notamment en amont de l'ouvrage contribuent à une nette réduction de la section de passage du pont. Les branches, déchets et autres embâcles en plus de réduire significativement créent une perte de charge importante. Ces phénomènes peuvent avoir réelles conséquences sur les débordements et la submersion du pont et sont donc à prendre en compte dans la construction du modèle hydraulique. Ainsi la section a été réduite et une perte de charge plus élevée et réaliste a été simulée au niveau de l'ouvrage, en modifiant notamment le coefficient de Manning Strickler du lit mineur et de l'ouvrage.

Finalement des débordements sont observables correspondant à la réalité des crues fréquentes.

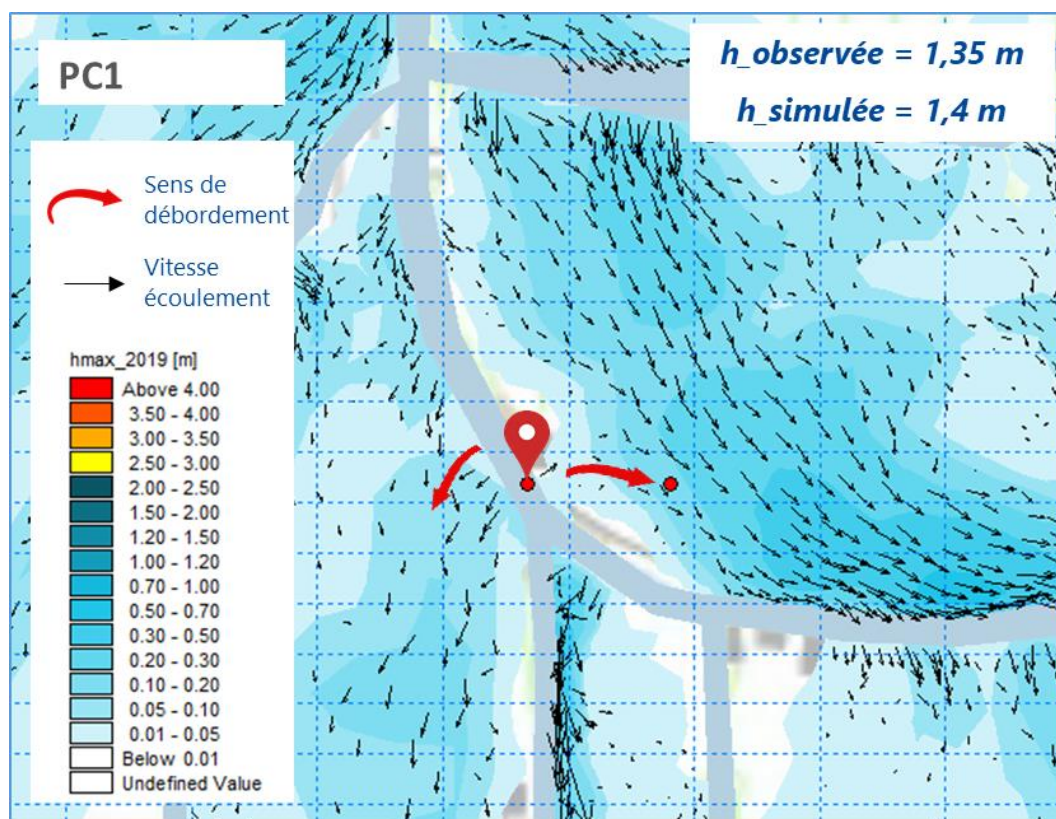


Figure 44 : Résultat simulé au point de calage PC1

### 5.3.2.2 INONDATION DANS LES VIGNES

Le débordement ayant lieu en rive gauche en amont du pont étudié ci-dessus ruisselle ensuite dans les vignes en aval. Les vignes sont également inondées du fait de débordements en provenance d'un arrosant en amont. Ce type de points, localisés dans la plaine, permet d'adopter une vision plus large que le seul calage du lit mineur et de s'assurer que les paramètres dans la plaine inondable soient calés également. Les vignes représentent un réel obstacle à l'écoulement et le coefficient de Strickler de la plaine doit être réduit en conséquence.

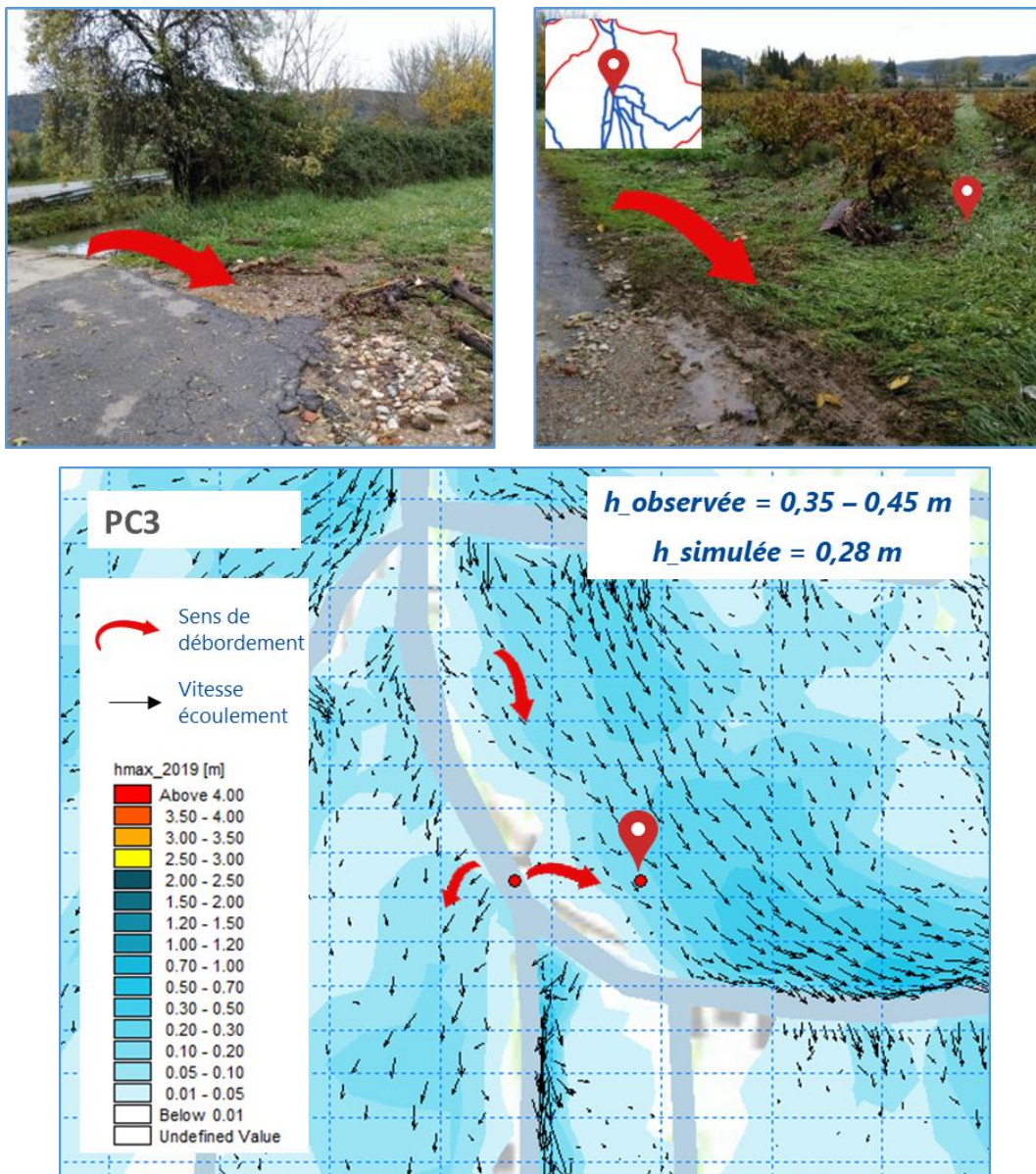


Figure 45 : Résultat simulé au point de calage PC3

### 5.3.2.3 DEBORDEMENT EN RIVE DROITE DE L'ARROSANT DE LA ROUTE DE SAINT-JEAN

Ce débordement en rive droite se situe en sortie de buse au début de l'arrosant de la route de Saint-Jean. La CCCV confirme que le chemin de Saint-Jean est coupé à chaque épisode pluvieux significatif en raison des débordements. Ceux localisés au niveau du PC4 sont probablement liés à la configuration de l'arrosant. La section est localement rétrécie et le tracé du cours d'eau démontre un virage pouvant créer un effet local difficile à modéliser dans le modèle 1D. Les ajustements du modèle notamment l'augmentation ponctuelle du coefficient de rugosité et une révision plus en détails de la géométrie du tronçon a permis de faire déborder le fossé mais pas autant que la hauteur observée. Etant donné l'imprécision de cette dernière et du fait que des embâcles aient pu ponctuellement accentuer le phénomène, le calage actuel est considéré comme satisfaisant.



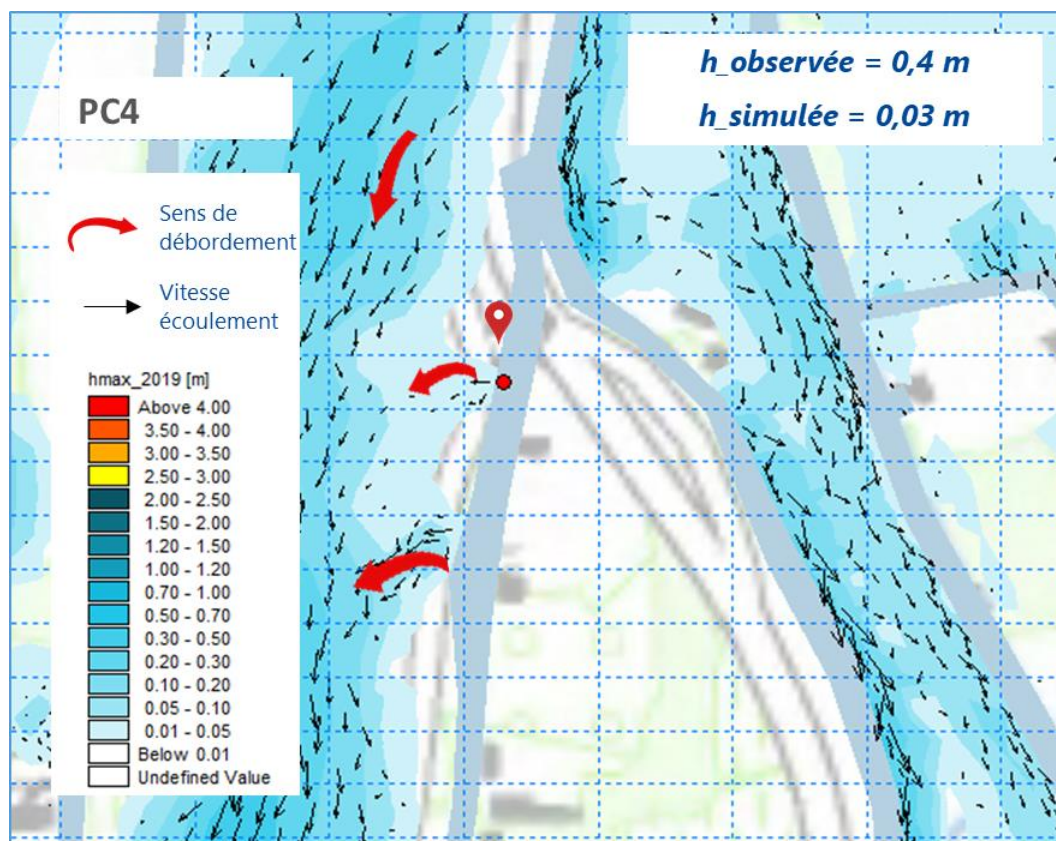


Figure 46 : Résultat simulé au point de calage PC4

### 5.3.3 SYNTHÈSE DES COEFFICIENTS DE STRICKLER

Le coefficient de Strickler initial du modèle 1D a été défini en fonction de l'état du lit mineur. Ces valeurs ont été calées à l'aide des données observées lors de la crue 2019.

Dans le modèle 2D, la distribution initiale du coefficient de Strickler est déterminée à partir des données de l'occupation du sol. La rugosité est ensuite ajustée par secteurs homogènes d'occupation du sol, afin de représenter le plus finement possible les hauteurs d'eau caractérisées par les laisses de crue 2019.

Les figures suivantes montrent le résultat du calage.

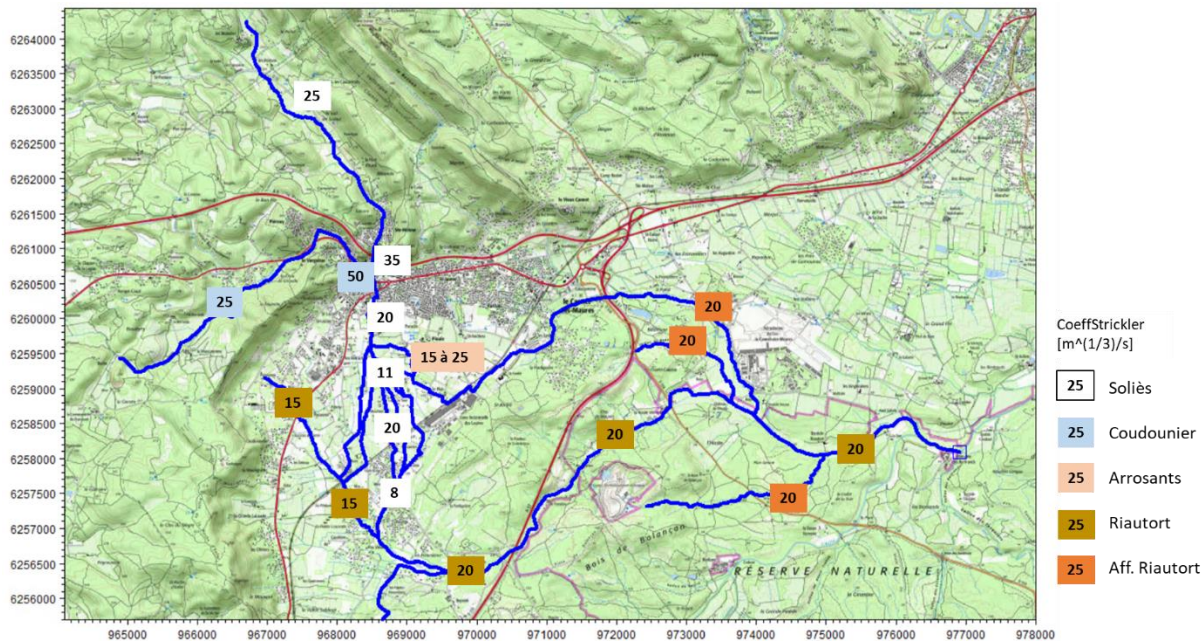


Figure 47 : Coefficients de Strickler dans le modèle 1D retenus après le calage

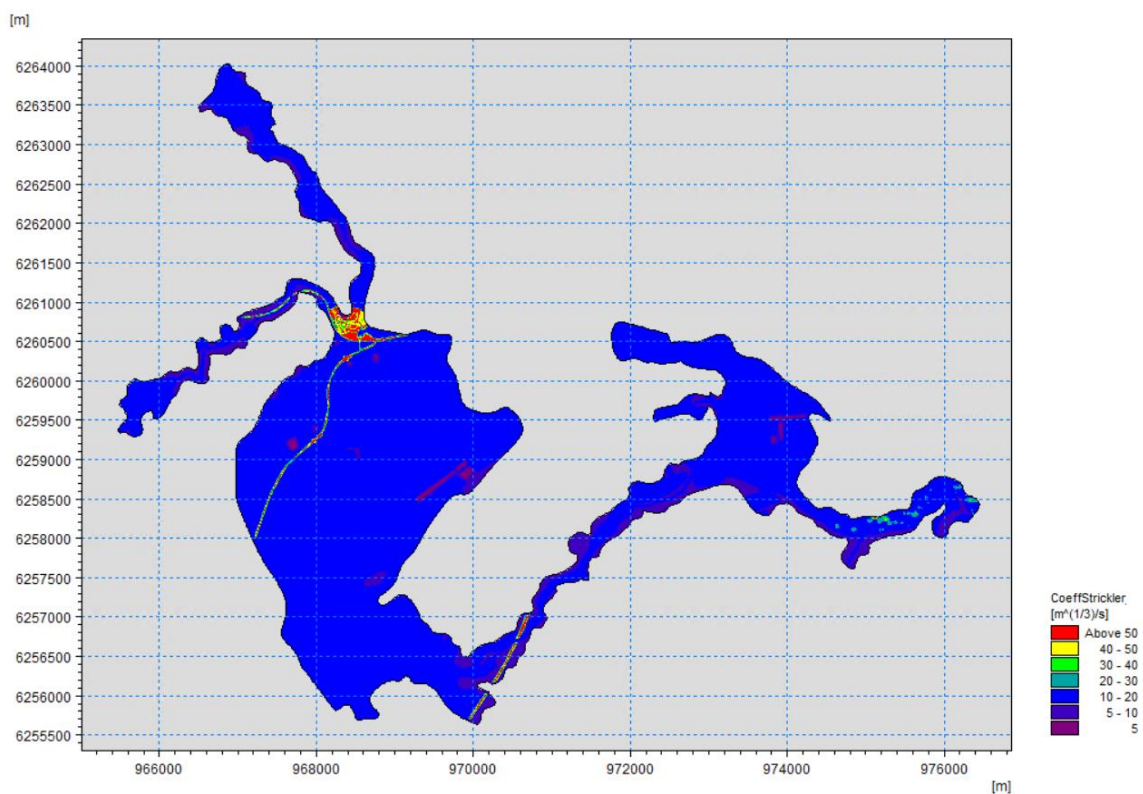


Figure 48 : Coefficients de Strickler du modèle 2D retenus après le calage

## 5.4 VALIDATION DU MODELE HYDRAULIQUE : CRUE 2010

### 5.4.1 SYNTHÈSE DES POINTS DE CALAGE

Les intempéries du 15 au 16 juin 2010 ont produit des inondations importantes dans le bassin versant de l'Argens, notamment dans la commune du Luc. La crue, assimilée à une crue centennale a largement été couverte par différents organismes ayant rapidement établi des fiches de repères de crues. Les hauteurs d'eau atteintes ont ainsi été référencées dans les fiches de repères de crue construites par MAYANE en 2015, dans celles créées par GINGER en 2010, et dans celles du CETE Méditerranée établies la même année. Certaines PHE ont été écartées car elles concernaient des phénomènes tels que le ruissellement. La carte des PHE conservées et utilisées pour la validation du modèle est la Figure 49 : Points de validation de la crue 2010. En outre la majorité des repères des Plus Hautes Eaux a été réalisée dans le centre-ville, zone pour laquelle la crue 2019 ne peut fournir aucunes données. La validation à l'aide de la crue 2010 permet de justifier le bon calage du centre-ville. Le Tableau 14 suivant présente les hauteurs d'eau simulées aux points de calage et les hauteurs d'eau historiques mesurées correspondantes.

Tableau 14 : Tableau de synthèse des résultats de la validation du modèle hydraulique

Cours d'eau	Lieu	Points Calages	h_observée (m)	h_simulée (m)
Coudounier	Ecole musique	P1	0,65	0,72
Coudounier	cyber café	P2	0,3	0,43
Coudounier	croisement rue Ravelet et république	P3	0,38	0,39
Coudounier	57 rue de la république	P4	0,25	0,1
Soliès	Eglise place Verdun	P5	0,26	0,2
Soliès	1 rue Frédéric mistral	P6	0,5	0,17
Soliès	gué Solies	P7	1,1	1,3
Riautort	STEP	P8	0,6	0,44
Soliès	Domaine Amaurique	P9	pas de h précisée	0,04
Soliès	rue Joffre	P10	pas de h précisée	0,2

<b>Cours d'eau</b>	<b>Lieu</b>	<b>Points Calages</b>	<b>h_observée (m)</b>	<b>h_simulée (m)</b>
Soliès	rue Lyautey	P11	0,6	0,65
Soliès	Résidence des orchidées	P12	0,7	0,66
Soliès	chemin de saint jean	P13	1,2	1,05
Arrosant de la route de Saint Jean	croisement saint jean/SNCF	P14	0,8	0,61
Riautort	Pas vieux	P15	0,4	0,21
Réal Martin	RG Real Martin	P16	0,45	0,41
Réal Martin	RG Real Martin	P17	0,9	0,65
Riautort	RD Riautort	P18	0,45	0,28
Riautort	Serres domaine de Saint jean	P19	1,4	1,34
Riautort	route de repenti	P20	0,3	0,2
Riautort	875 quartier de la tour	P21	0,25	0,24
Riautort/Soliès	confluence avec Solies	P22	0,85	0,85
Arrosant Est 1	RD Arrosant Est 1	P23	0,4	0,24
Arrosant Est 1	RD Arrosant Est 1	P24	0,08	0,07

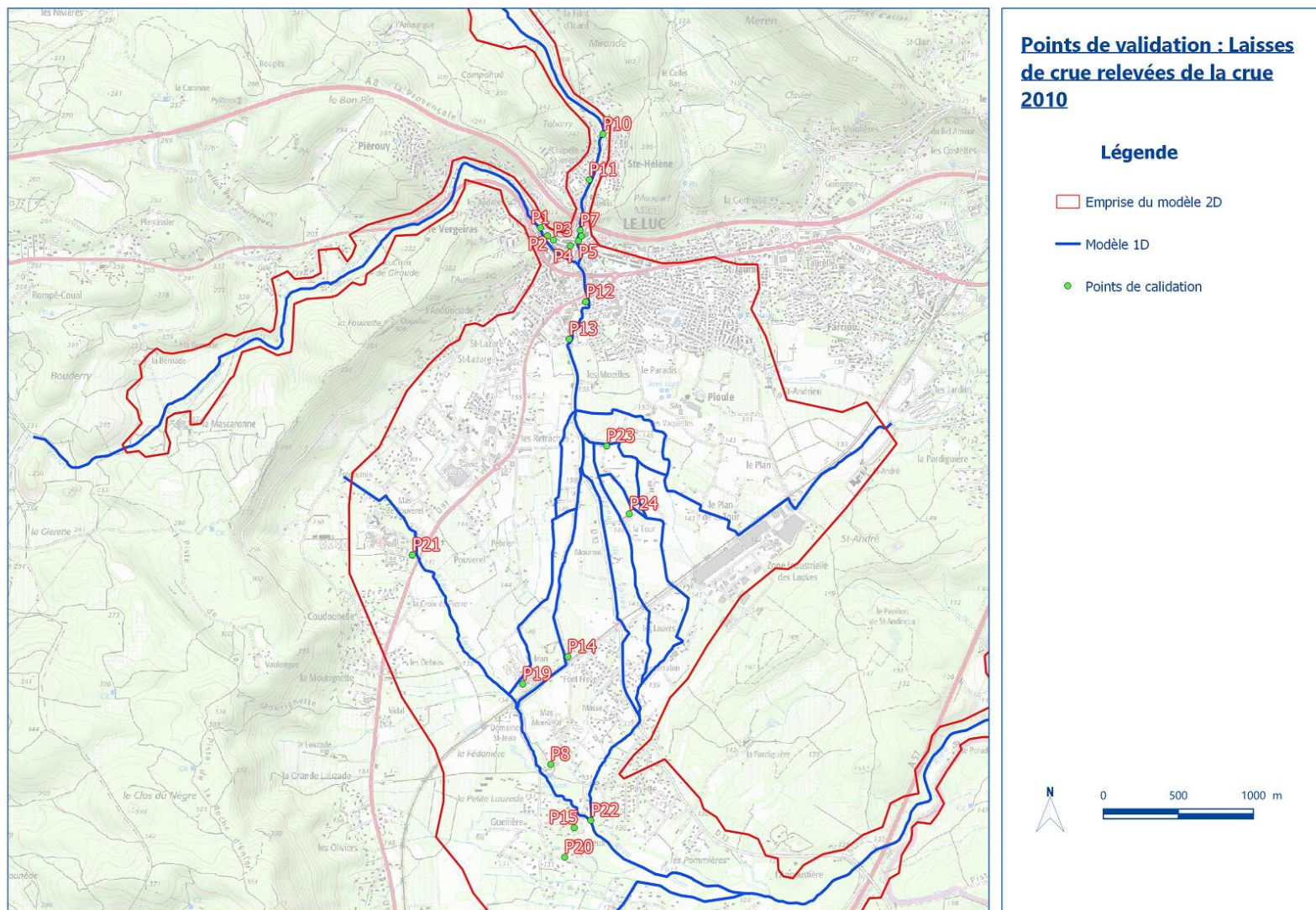


Figure 49 : Points de validation de la crue 2010

## 5.4.2 COMPARAISON HAUTEUR OBSERVÉE ET HAUTEUR SIMULÉE SUR LES POINTS PROBLÉMATIQUES

### 5.4.2.1 DÉBORDEMENT A ÉCOLE DE MUSIQUE

L'école de musique est un secteur problématique, souvent remarqué à chaque crue importante. La passerelle paraît clairement sous dimensionnée et la berge en rive gauche, quasiment au même niveau que la rue Lazare Carnot, est soumise à des débordements conséquents. Le volume débordé ruisselle rapidement dans les rues et inonde le centre du Luc en aval et notamment l'ensemble de la rue de la république déjà soumis aux apports directs du ruissellement pluvial.

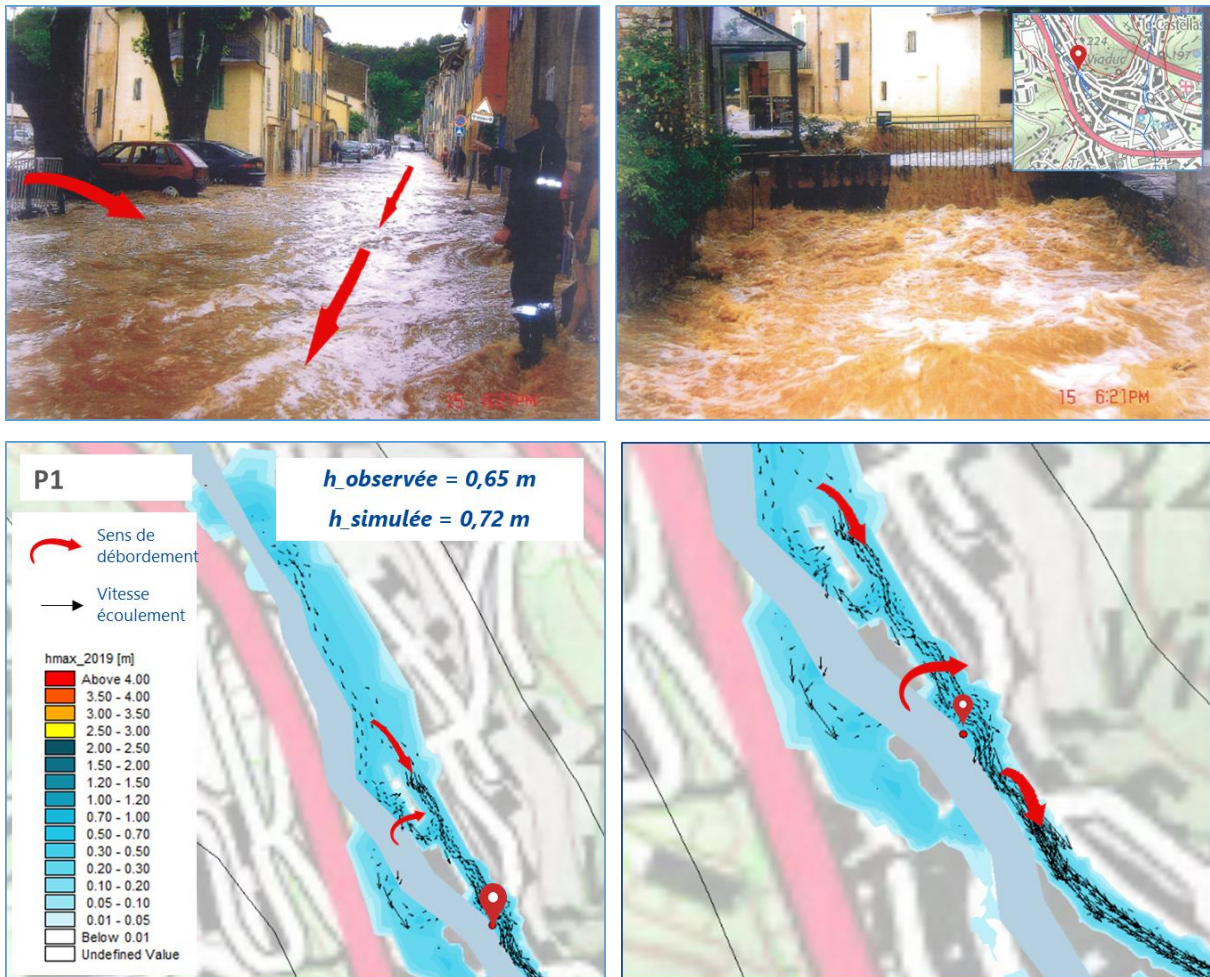


Figure 50 : Résultat simulé au point de calage P1

### 5.4.2.2 INONDATION DE L'ÉGLISE

L'inondation de l'église s'explique pour deux raisons. L'eau ayant débordée au droit des piles du pont de l'A8 ruisselle le long de la rue Frédéric Mistral qui suit le tracé du Soliès et inonde l'église en aval. Les eaux pluviales issues des toitures et tombant dans les rues ruissellent et s'accumulent à l'église, point topographique bas dans le Centre-ville.

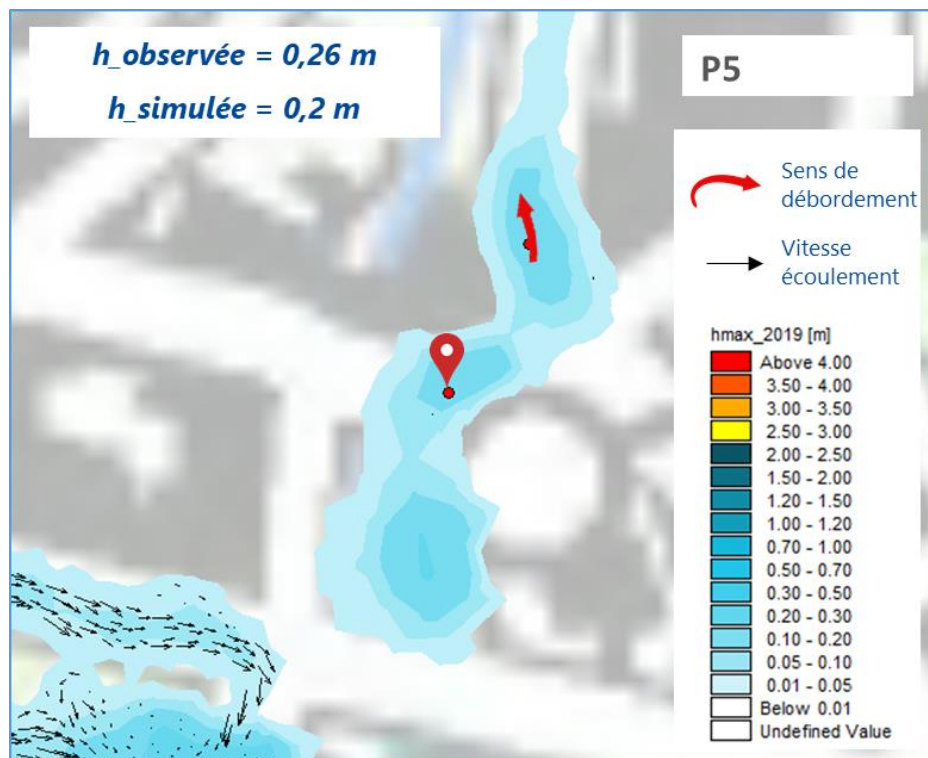


Figure 51 : Résultat simulé au point de calage P5

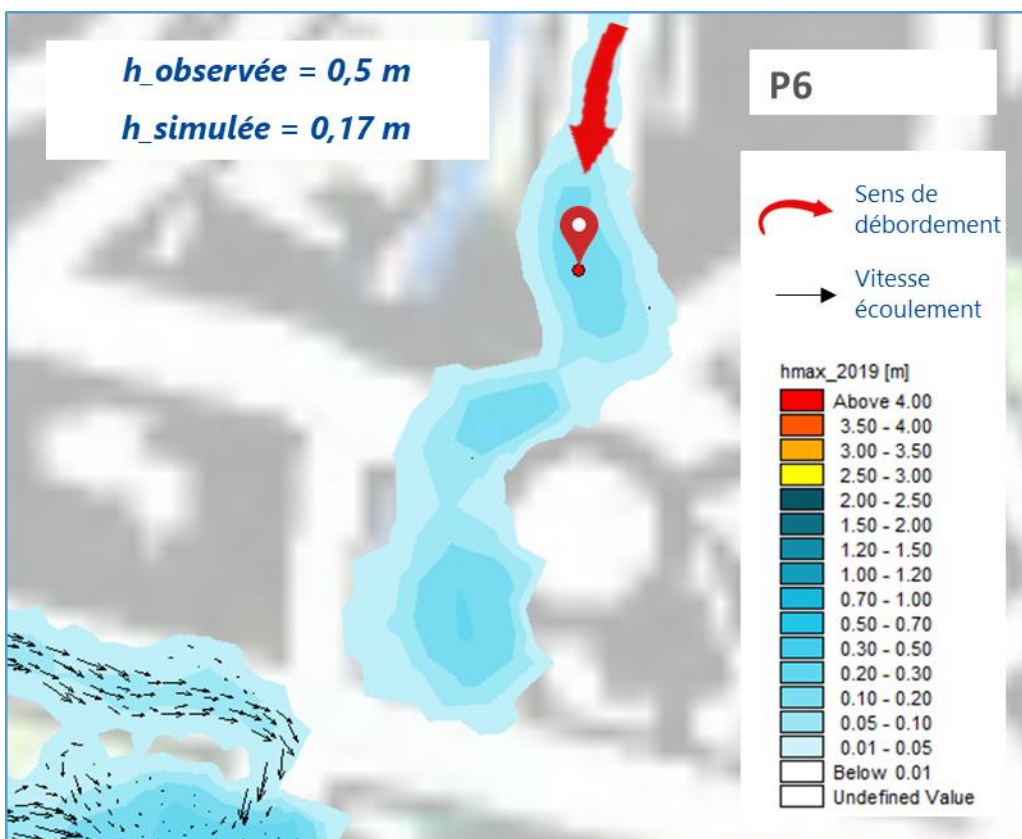
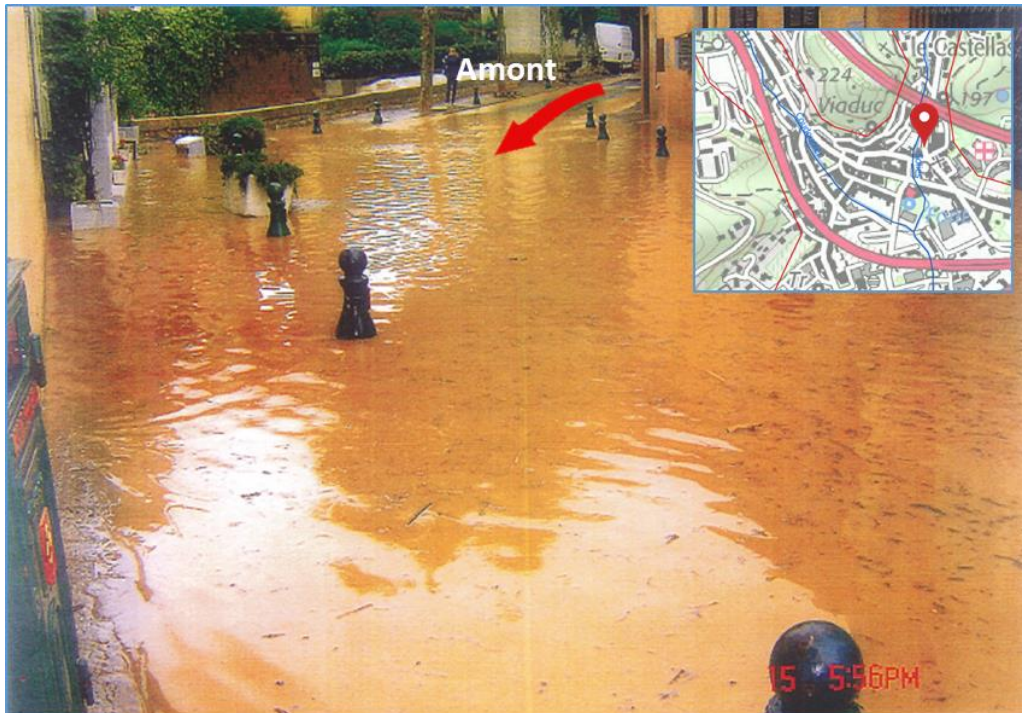


Figure 52 : Résultat simulé au point de calage P6

Le point de calage P6 présente un écart important entre hauteur observée et hauteur estimée puisque il est supérieur à 30 cm. Cela peut s'expliquer par les ruissellements en provenance de certaines rues adjacentes pris en compte dans le modèle au niveau des cours d'eau 1D et pas

en amont. D'autre part la fiabilité du repère PHE peut être remise en doute, du fait de l'ancienneté de l'évènement et de l'imprécision de la mesure du niveau d'eau atteint. Le calage du point 5 contre l'église, décrit précédemment, atteste de la fiabilité du modèle.

### 5.4.2.3 RÉSIDENCE DES ORCHIDÉES

La résidence des Orchidées a été inondée par les débordements en rive droite du Soliès et le ruissellement ayant traversé la RD97 et en provenance des écoulements dans le centre-ville.

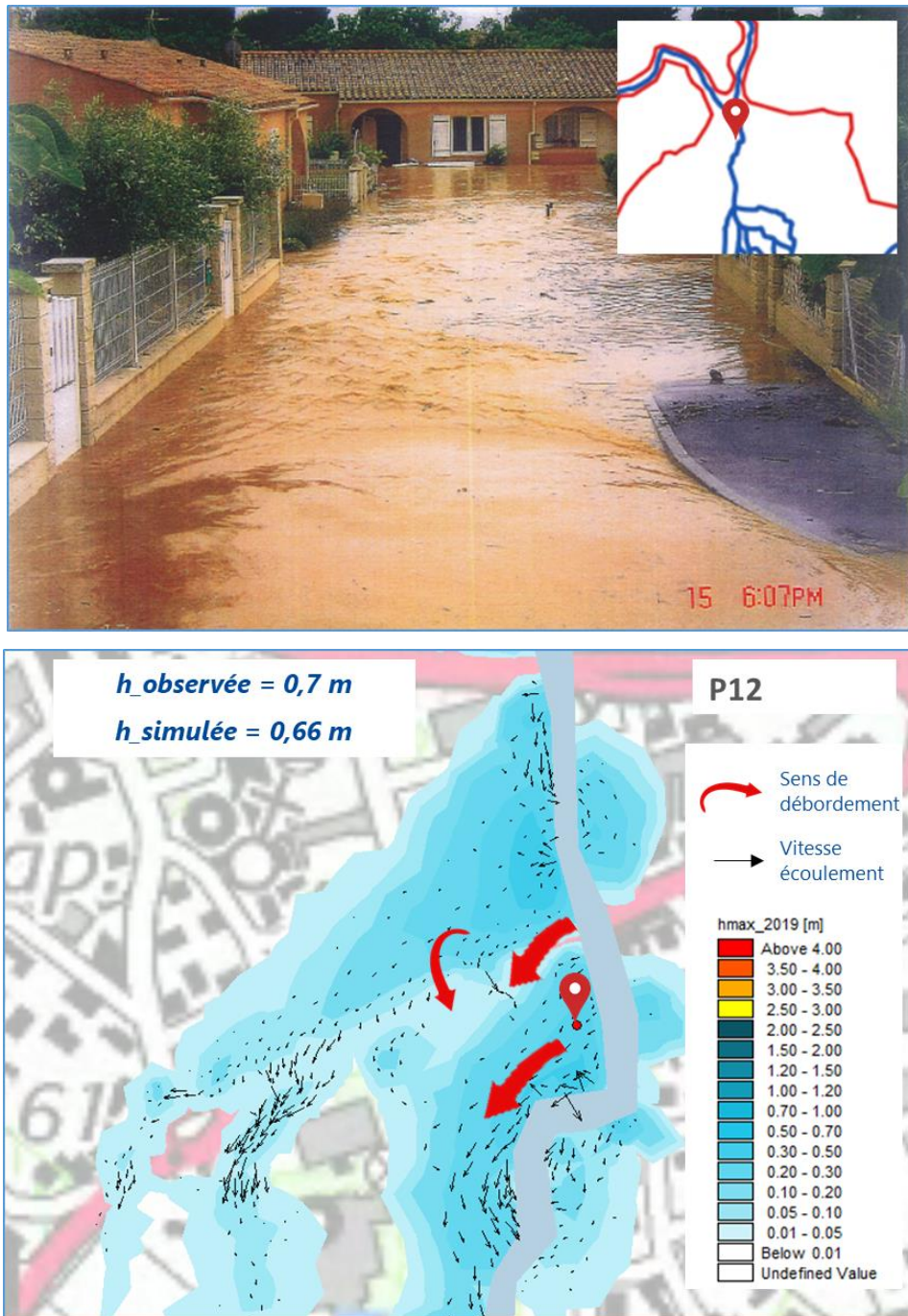


Figure 53 : Résultat simulé au point de calage P12

## 5.5 EVALUATION GLOBALE DE LA PERFORMANCE DES MODELES

La comparaison entre les résultats simulés et l'observation sur site permet d'effectuer une évaluation de la performance du système de la modélisation, y compris le modèle hydrologique et le modèle hydraulique.

Les facteurs appliqués sont :

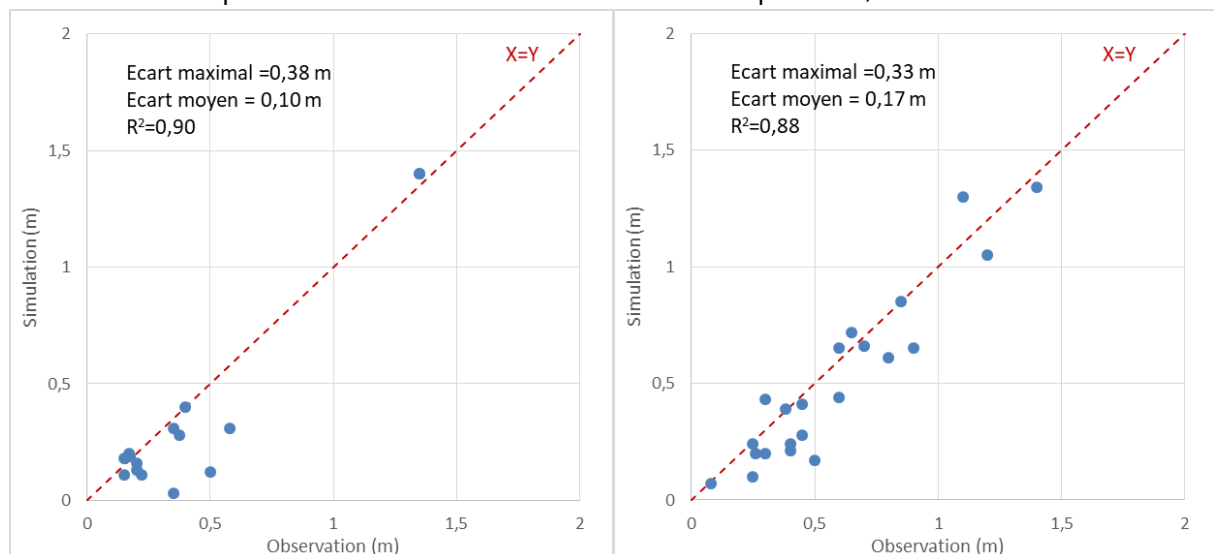
- La valeur moyenne et maximale de la différence absolue entre les hauteurs d'eau simulées et les hauteurs observées ;
- Le coefficient de corrélation  $R^2$  des points de calage (ou des points de validation).

Il est à noter que cette évaluation représente la performance de l'ensemble des modèles. Le processus simulé et évalué est « pluie-débit-hauteur d'eau ». Il est donc acceptable que l'écart soit un peu élevé sur certains points particuliers.

Les figures suivantes montrent que le modèle une performance satisfaisante pour la simulation des deux crues. Les  $R^2$  sont tous proches à 1. L'écart moyen entre la hauteur d'eau simulée et celle observée est inférieur à 20 cm. La différence absolue maximale est de 0,38 m dans la simulation de calage et 0,33 m dans la simulation de validation.

Dans la simulation du calage, les hauteurs simulées aux PC2, PC3 et PR2 sont plus basses. Les écarts aux points PC2, PC3 (Soliès à la route des Mayons) indique que l'encombrement du pont est peut-être plus fort par rapport à ce qui est modélisé. L'écart au point PR2 (Riautort à la route de Repenti) est une imprécision locale car les points aux alentours (PC9 et PC11) ont des résultats plus cohérents.

Pour un modèle qui comprend un linéaire de 48 km de cours d'eau, un écart moyen inférieur à 20 cm est acceptable. Dans la zone où les écarts sont importants, il faut



Crue 2019 : Calage du modèle

Crue 2010 : Validation du modèle

Figure 54 : Evaluation de la performance des modèles numériques

## 5.6 COHERENCE DU MODELE : DEBIT SPECIFIQUE ET PSEUDO-SPECIFIQUE

Le débit spécifique (Qsp) et le débit pseudo-spécifique sont les caractéristiques des bassins versants qui sont le moins sensible à la surface. Pour les bassins versants dans la même région, leurs débits spécifiques et débits pseudo-spécifiques doivent être proches.

La comparaison de ces paramètres pour la crue décennale (Q10) indique que les modèles numériques construits par la SCP donnent des résultats cohérents avec le bassin versant voisin en rouge dans le tableau).

Tableau 15 : Comparaison des débits spécifiques

	<b>Q<sub>hydraulique</sub> (m<sup>3</sup>/s) Pont A57</b>	<b>Superficie du Bassin Versant (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Q<sub>spécifique</sub> (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Q<sub>pseudo-spécifique</sub> (m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup>)</b>
<b>Q10</b>	53,5	41	<b>1,30</b>	<b>2,74</b>
<b>Q100</b>	133		3,24	6,82
<b>L'Aille au Cannet des Maures (Reillanne) pour Q10</b>	100,0	78,8	<b>1,27</b>	<b>3,04</b>

## 6 ÉTAT INITIAL ET ÉTAT AMÉNAGÉ

### 6.1 CAHIER DES CHARGES

Sur la base du modèle hydraulique, deux scénarios sont testés dans le présent rapport et un troisième sera traité à l'occasion d'un rapport sur l'étude préliminaire modificative :

- Le scénario de l'état actuel, pour représenter la situation existante en termes de hauteur d'eau, de vitesse d'écoulement (en lit mineur et majeur) et de durée de ressuyage.
- Le scénario de l'état aménagé, relatif au programme de maîtrise d'œuvre défini par BURGEAP en 2016. Les résultats des simulations permettent d'être critique vis-à-vis de l'efficacité de ces aménagements et de leur combinaison.
- Des scénarios supplémentaires de l'état aménagé, pour représenter l'impact des nouveaux aménagements proposés par la SCP. Ces scénarios résulteront de la combinaison de solutions d'aménagement testées préalablement. Les scénarios retenus feront l'objet d'une validation intermédiaire par la maîtrise d'ouvrage.

Les différents scénarios à simuler l'ont été en considérant les crues de fréquence 5, 10, 20, 30, 50, 100 ans. La comparaison des hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement entre les modèles seront également utilisés pour l'analyse de coût bénéfique et l'analyse de multi critère.

### 6.2 ÉTAT INITIAL

La phase de modélisation de l'état initial permet d'identifier les secteurs à risques et de caractériser l'aléa pour chaque crue de projet. Les quartiers, habitations impactés par les crues historiques ainsi que les zones où des PHE ont été relevées sont analysées afin de définir les caractéristiques de l'inondation, notamment hauteur d'eau. Cette analyse permet aussi de définir le seuil d'occurrence de crue à partir duquel la zone est inondée.

## 6.2.1 AMONT DU SOLIÈS

Les figures ci-dessous montrent l'évolution de la hauteur d'eau selon l'occurrence de crue et notamment l'évolution des principaux débordements.

Ainsi pour une crue de période de retour 5 ans, un unique point de débordement en rive gauche et en rive droite apparaît en aval du passage sous la RD33, proche du quartier « Les Peyrons ». Les berges à la sortie de l'ouvrage favorisent les débordements dont la hauteur d'eau ne dépasse pas 50 cm pour la crue quinquennale. Un second point de débordement se révèle à partir de la crue vicennale en rive droite plus en amont au droit du pont permettant l'accès au quartier « Les Muraires ». La hauteur d'eau reste inférieure à 20 cm dans ces parcelles amont. L'eau ruisselle jusqu'à la RD33 et traverse la route rejoignant ainsi le volume qui déborde en sortie d'ouvrage. Finalement un débordement en rive droite apparaît plus en aval à partir de la crue cinquantennale. Le débordement est observé au droit d'un petit pont et inonde les parcelles en rive droite où il n'y a pas d'enjeux humains. En ce qui concerne la crue centennale des hauteurs d'eau plus élevées sont classiquement observées sans créer de nouveaux débordements.

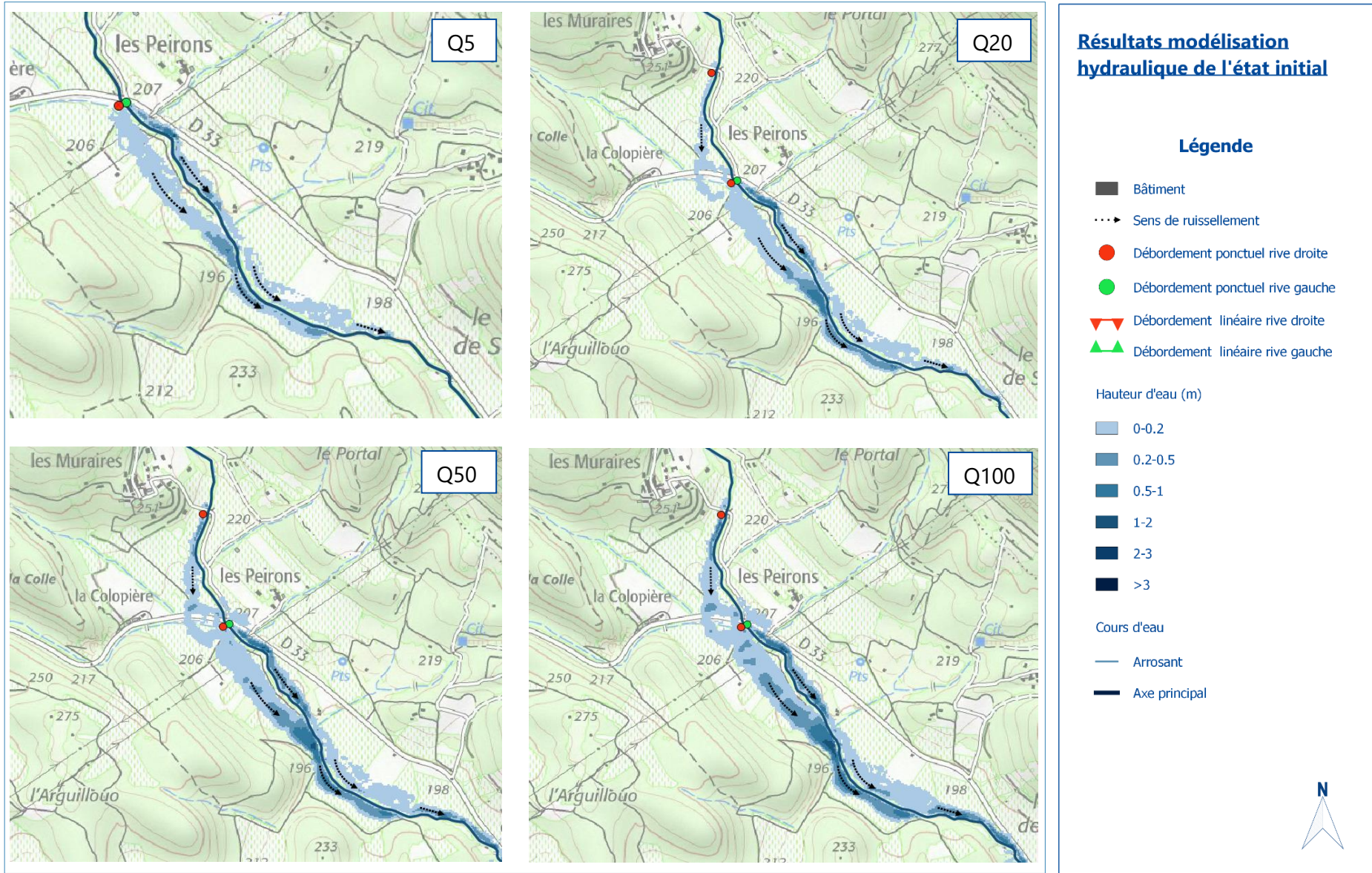


Figure 55 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q5, Q20, Q50, Q100 – Soliès Amont



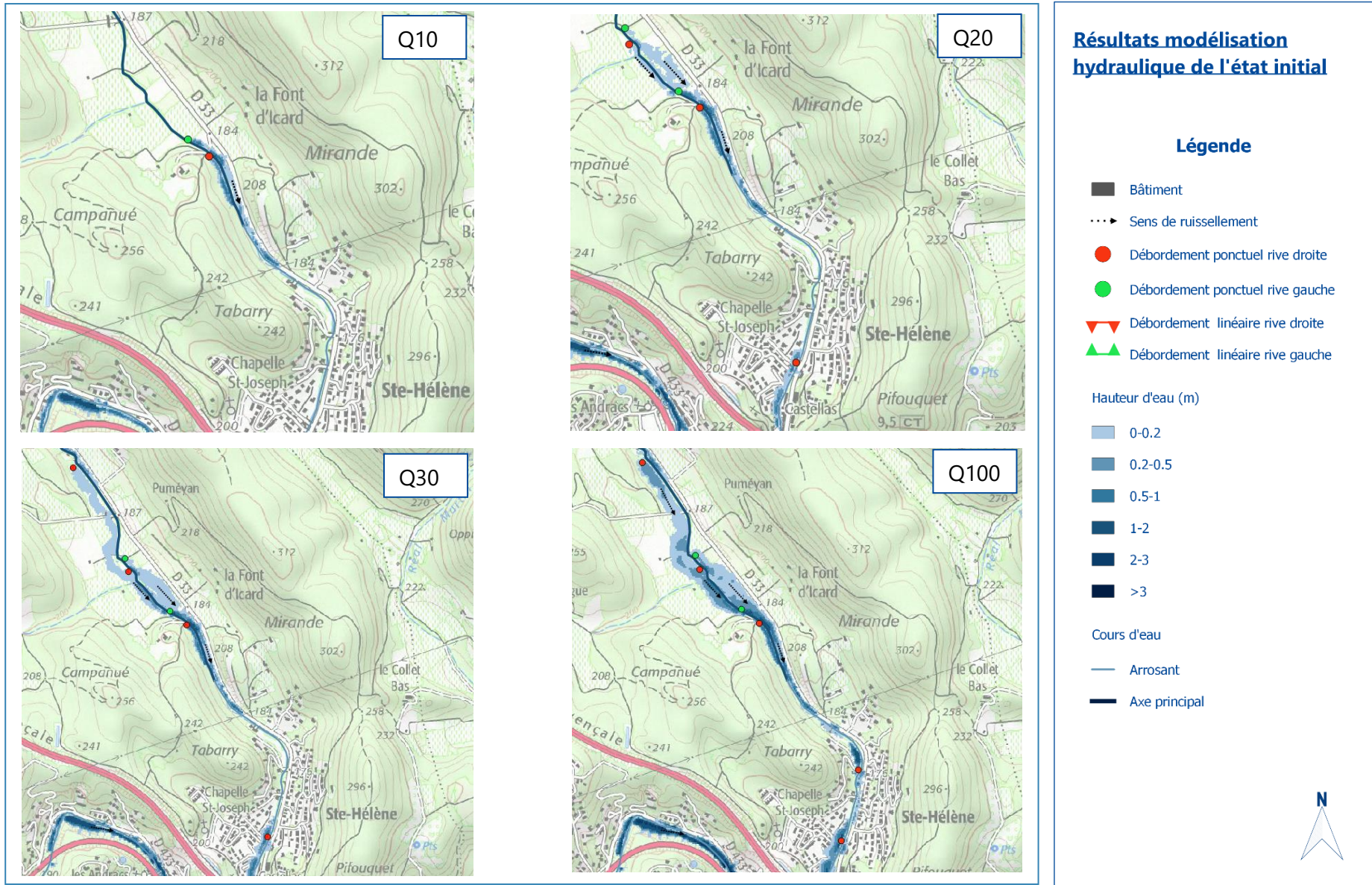


Figure 56 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q5, Q20, Q30, Q100 – Solès Amont centre-ville



Plus en aval du secteur précédemment analysé (Figure 56) et en amont du centre-ville du Luc, les débordements se manifestent progressivement avec l'augmentation de l'occurrence des crues. Ainsi, tandis qu'aucun débordement n'est observé pour une crue quinquennale, au moins 6 débordements importants sont observés pour une crue centennale.

Dès la crue décennale un débordement en rive gauche apparaît en amont d'un pont qui permet l'accès à une habitation en contrebas du « Campanué ». Le volume en dehors du lit mineur ruisselle le long de la RD33 sur un linéaire de 500 mètres environ. En aval de ce même pont un débordement est observé en rive droite.

Pour une crue vicennale trois débordements apparaissent. Les deux premiers se situent environ 250 mètres en amont des débordements déjà évoqués. Le Soliès déborde sur les deux rives et le volume sortant s'ajoute au débordement plus en aval. Le troisième débordement apparaît beaucoup plus en aval en rive droite, moins de 300 mètres en amont du pont de l'autoroute A8. Deux ponts se succèdent, 20 mètres environ les séparent et peuvent ainsi favoriser les débordements pour des crues importantes et inonder les habitations autour des rues Eugène Garnier et Maréchal Louis Hubert Lyautey. La capacité maximale du premier pont (Figure 57) est d'environ 18 m<sup>3</sup>/s et 20 m<sup>3</sup>/s pour le second (Figure 58). Sachant que pour une crue vicennale le débit simulé varie entre 20 et 22 m<sup>3</sup>/s, les ponts sont rapidement mis en charge et impactent la ligne d'eau en amont.



Figure 57 Pont SOL\_PT\_8



Figure 58 Pont SOL\_PT\_9

A partir de la crue trentennale un débordement se révèle en rive droite en amont du pont donnant accès au domaine de l'Amaurigue et inonde les parcelles alentours puis ruisselle le long du cours d'eau.



Figure 59 Pont d'accès au domaine d'Amaurigue - Soliès

Les résultats concernant la crue centennale permettent d'identifier un débordement en rive droite avec des hauteurs d'eau importantes et dans un secteur à enjeux. Il s'agit entre autres du secteur de la rue Joffre et du pont qui l'a soutient.

En outre l'analyse des modélisations pour les différentes pluies de projets met en avant la présence de zone d'expansion de crue naturelle déjà identifier dans l'étude de faisabilité de Burgeap réalisée en 2016.

## 6.2.2 AMONT DU COUDOUNIER

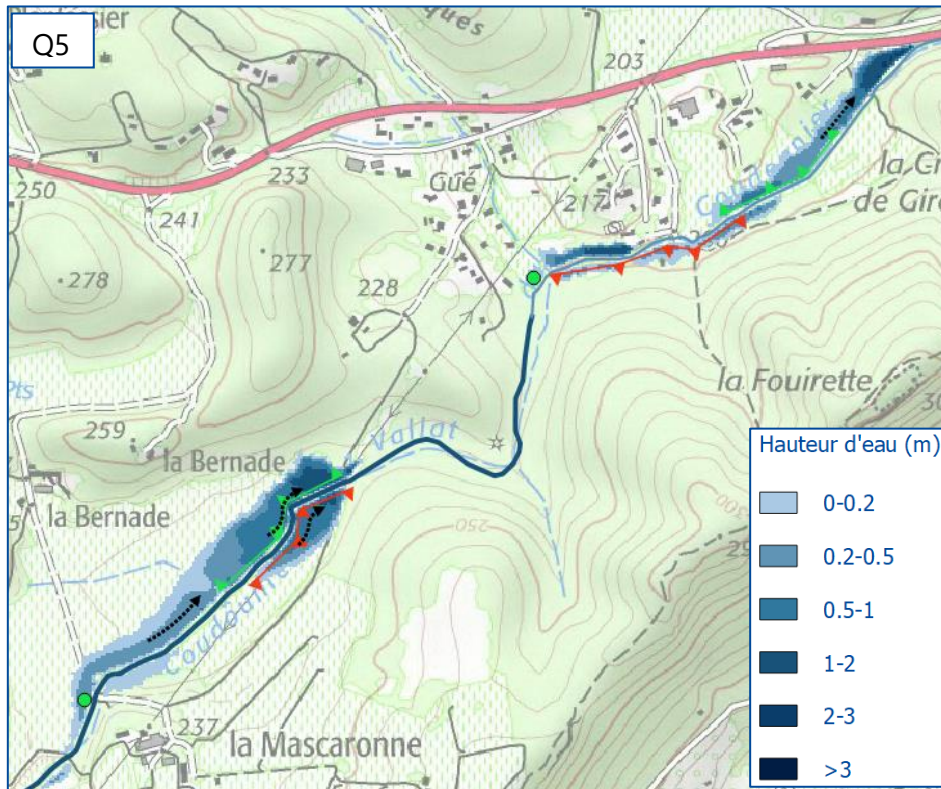


Figure 60 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q5 - Coudounier amont

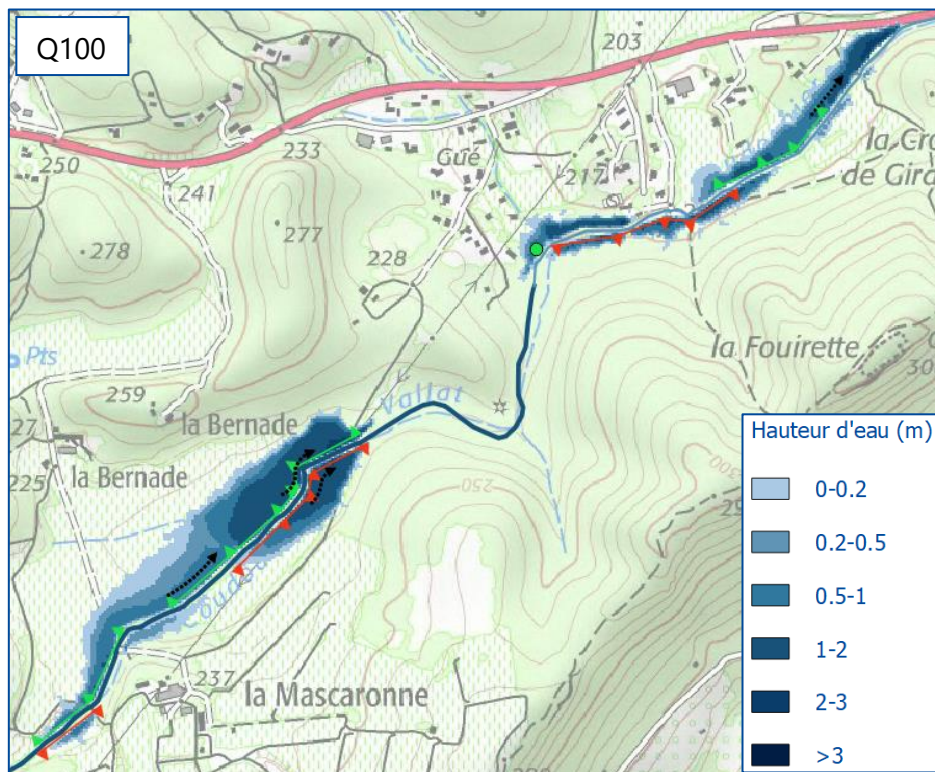


Figure 61 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q100 - Coudounier amont

Concernant la crue quinquennale et malgré les débits relativement faibles, l'épanchement est visible. La ZEC s'étend depuis une passerelle limitante qui permet la traversée du Coudounier jusqu'en amont du pont donnant accès au quarter de « La Mascaronne ». Sur ce tronçon les berges sont basses et de même hauteur ce qui implique des débordements uniformes sur les deux rives. Environ 700 mètres plus en aval, la cote des berges varie fortement occasionnant des débordements en rive droite puis en rive gauche. Le phénomène est accentué par l'effet barrage de la route DN7, plus en aval, qui représente un obstacle à l'écoulement conséquent. L'analyse des modélisations hydrauliques met en avant une morphologie de sous bassin versant et un fonctionnement hydraulique très distinct de celui du Soliès en amont. Ainsi on observe le même nombre de points de débordement pour la crue de période quinquennale et la crue centennale, notamment au niveau de La Mascaronne. De plus, pour des fréquences de crues différentes, l'emprise des zones d'expansion de crue naturelle est semblable en termes de surface. La hauteur d'eau quant à elle est bien plus faible pour la crue la plus fréquente et s'accroît avec la rareté de l'évènement.

Ce phénomène est en grande partie lié à la hauteur des berges sur ces tronçons qui occasionnent des débordements très tôt durant un épisode pluvieux. Egalement les deux passerelles situées dans le secteur et dont la capacité maximale est faible au vu des débits drainés imposent des débordements importants. Enfin on note une nette rupture de pente à partir de la seconde passerelle qui augmente la hauteur d'eau en amont et favorise les débordements. La pente passe ainsi de 0.007 m/m à 0.018 m/m brusquement.

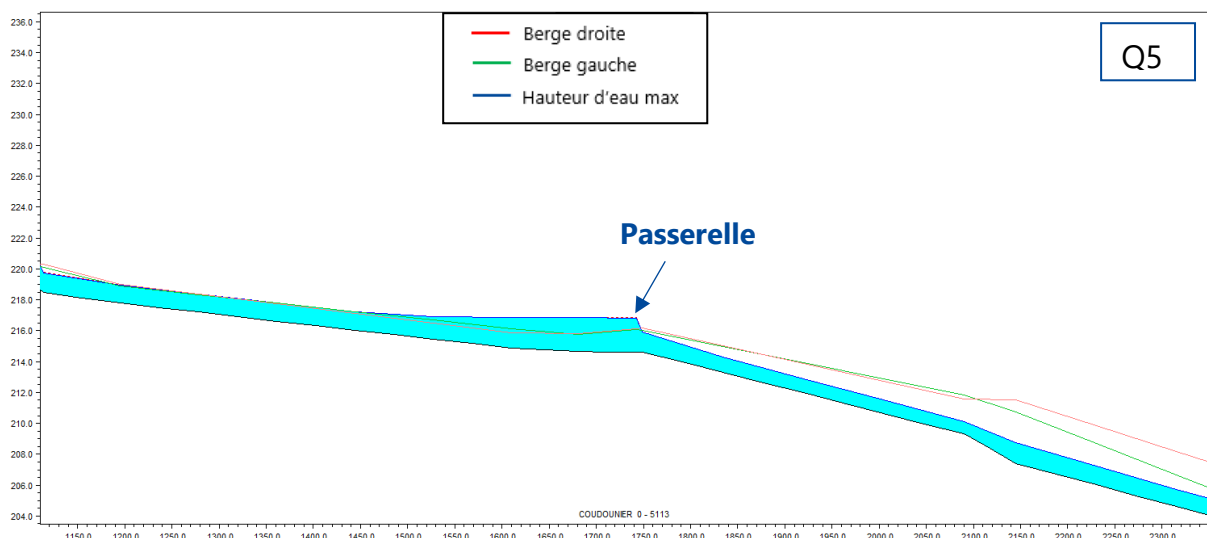


Figure 62 Profil en long secteur de la Mascaronne pour Q5 – Coudounier amont

Un des effets attendus est donc un épanchement considérable des crues et ainsi un impact moindre en aval, notamment dans le centre. Le secteur, principalement composé de parcelles agricoles, pourrait permettre un laminage encore plus important si des aménagements adaptés sont entrepris. Toujours dans cette optique et d'après le comportement de cette ZEC, l'aménagement d'une retenue devrait pouvoir accentuer les débordements sans toutefois agrandir de façon importante l'emprise de l'aléa. Les hauteurs d'eau seront, en revanche, plus élevées. La hauteur d'eau maximale atteinte pour la crue quinquennale est d'environ 1 mètre et elle double pour la crue centennale.

## 6.2.3 CENTRE-VILLE DU LUC

Le centre-ville est soumis à des inondations dès les crues de période de retour faible. Les différentes observations, retours d'expérience et études ont permis progressivement d'identifier les dysfonctionnements et d'entamer les discussions pour des solutions adaptées.

Sur un linéaire de 700 mètres avant sa confluence avec le Soliès, le Coudounier compte 4 seuils, 3 passages sous terrains et 5 ponts. Certains de ces ouvrages ont déjà été identifiés comme étant des facteurs aggravants en termes de vulnérabilité vis-à-vis des inondations. Le Soliès, sur un linéaire de 300 mètres avant l'exutoire du Coudounier, contient dans son lit mineur les deux piles du pont de l'A8, 1 passage sous terrain, 2 seuils et 1 pont. On note donc la forte densification et la diversité des ouvrages qui sont souvent à l'origine de débordements forts et très localisés.

L'aléa en ce qui concerne la crue centennale est bien supérieur à celui de la crue quinquennale. Pourtant il faut bien remarquer que les points débordements apparaissent dès les crues les plus fréquentes mettant en cause des dysfonctionnements notoires sur le cours d'eau du Soliès en centre-ville.



Figure 63 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q5 - Coudounier centre-ville

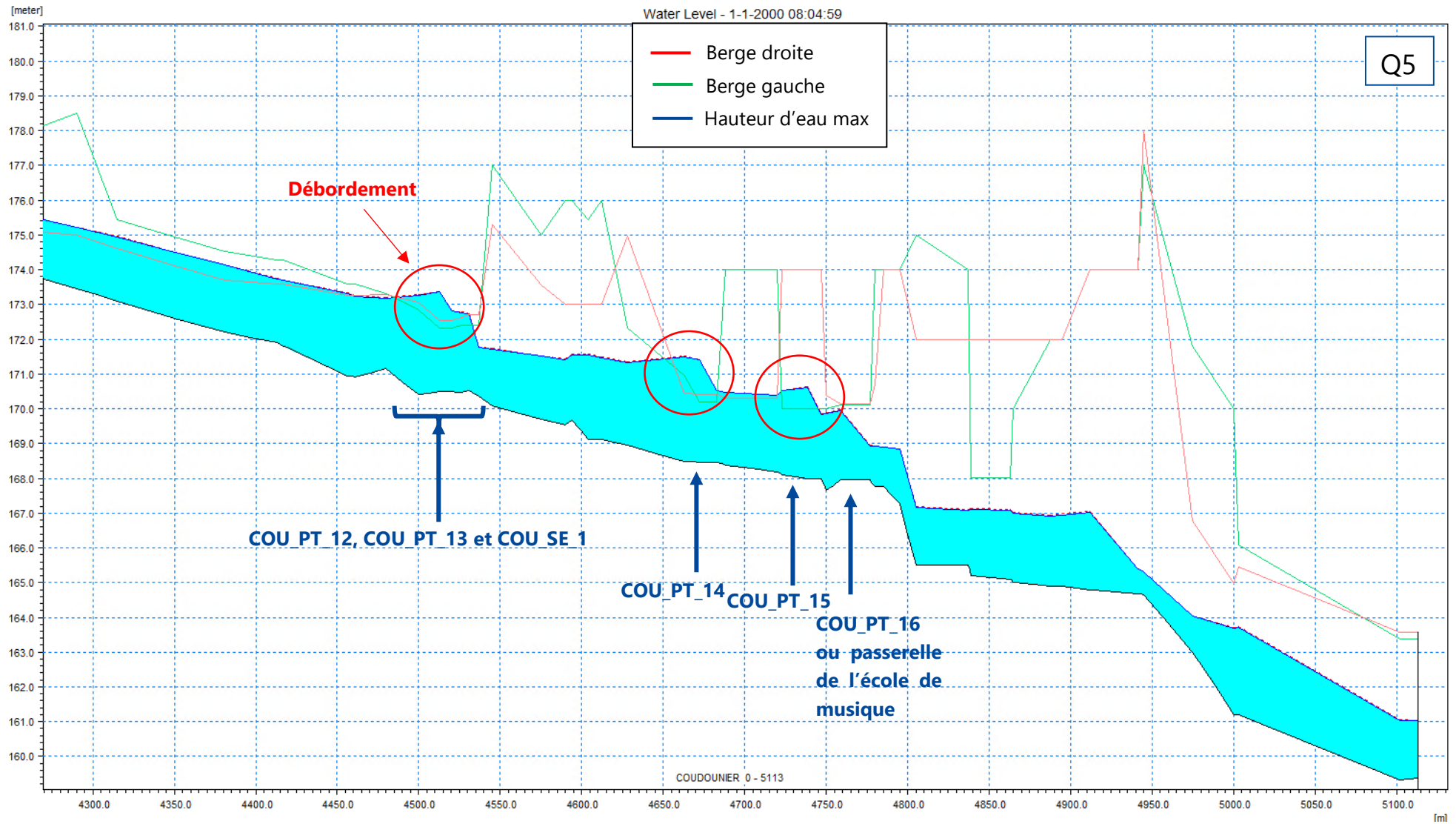


Figure 64 Profil en long pour Q5 – Coudounier centre-ville

Les résultats de la modélisation de la crue quinquennale exposent déjà les principaux secteurs problématiques identifiés auparavant. Il s'agit tout d'abord d'un débordement situé entre l'ancien garage Peugeot construit au-dessus du lit mineur et le pont supportant l'avenue Pablo Picasso (COU\_PT\_12). La berge en rive gauche étant plus basse que celle de droite et le contrôle du pont en aval implique un débordement sur la rue Lazare Carnot qui ruisselle ensuite le long de cette rue, inondant les habitations alentours. En effet dès la crue quinquennale la mise en charge du pont implique une élévation de la ligne d'eau en amont.

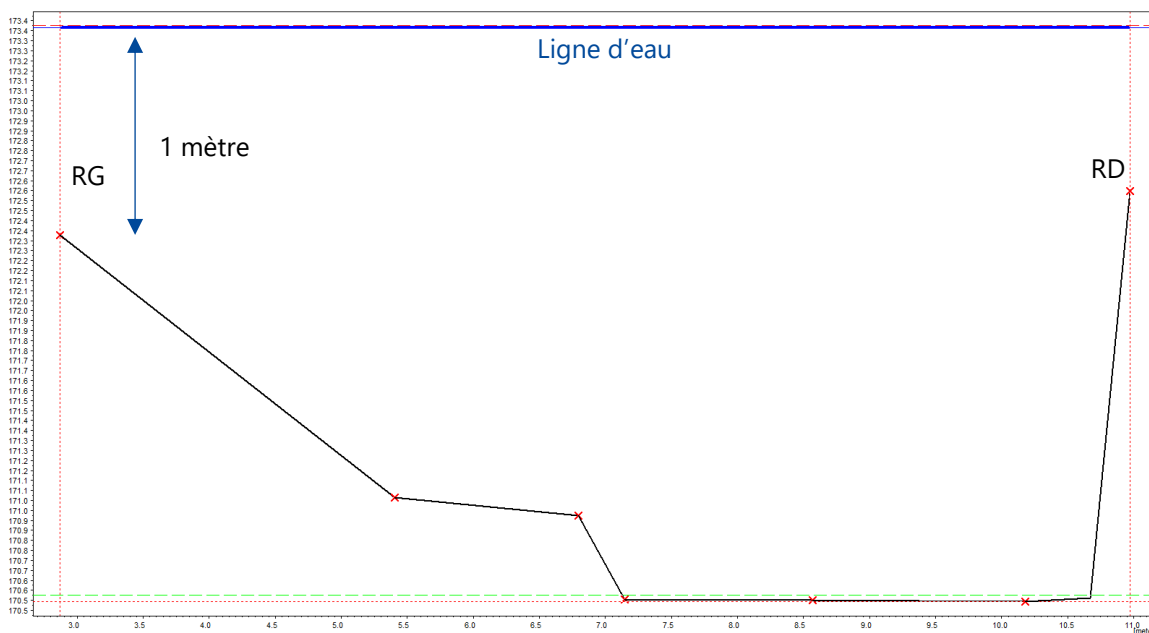


Figure 65 Profil en travers section du pont COU\_PT\_12

La Figure 65 représente le profil en travers du pont (COU\_PT\_12). Même pour une crue quinquennale le pont est mis en charge provoquant des débordements.

Le second point de débordement important se situe au droit du pont (COU\_PT\_14) disposé entre le pont de l'école de musique et le pont précédemment étudié (Figure 66)

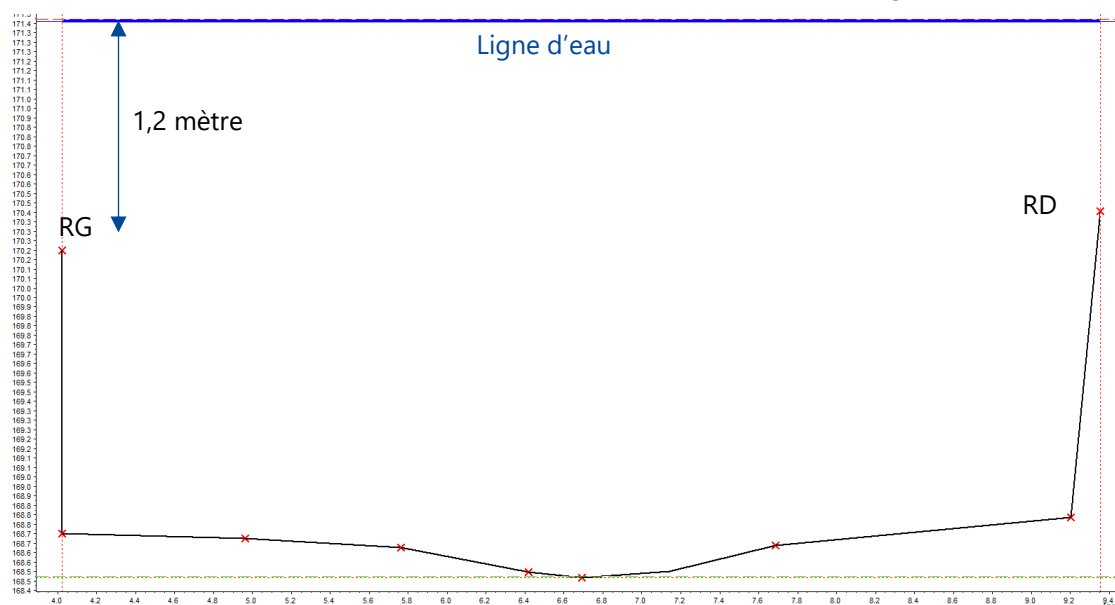


Figure 66 Profil en travers section du pont COU\_PT\_14

La mise en charge du pont occasionne des débordements en rive droite et en rive gauche, notamment dans la rue Lazare Carnot ce qui relève encore le niveau d'eau dans la rue en question.

La passerelle de l'école de musique est considérée comme étant sous dimensionnée et est à l'origine de débordements quasi systématique sur la rue Lazare Carnot aggravant les débordements. La passerelle d'une capacité d'environ 12 m<sup>3</sup>/s se met en charge pour une crue quinquennale.

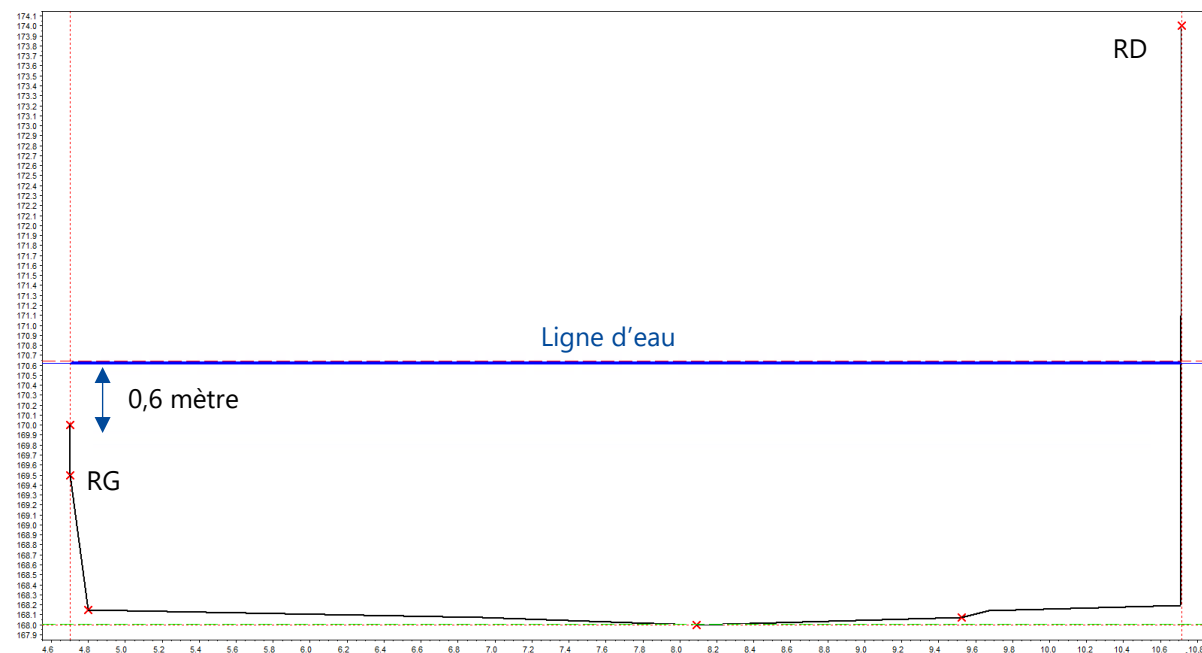


Figure 67 Profil en travers section du pont COU\_PT\_15

D'autre part on note en amont de ce pont limitant une rampe permettant l'accès à l'ancien lavoir. La rampe occasionne une diminution de la berge en rive gauche et favorise les écoulements dans la rue.

A partir de la crue décennale (Figure 68), un nouveau débordement est observé en rive gauche, inonde la place le long de la rue Louis Brunet et s'ajoute au ruissellement issu des débordements amont dans la rue Lazare Carnot. En rive gauche du Coudounier les ruissellements sont ainsi séparés en deux grands axes l'un correspondant à la rue de la république, l'autre à la rue Victor Méric.

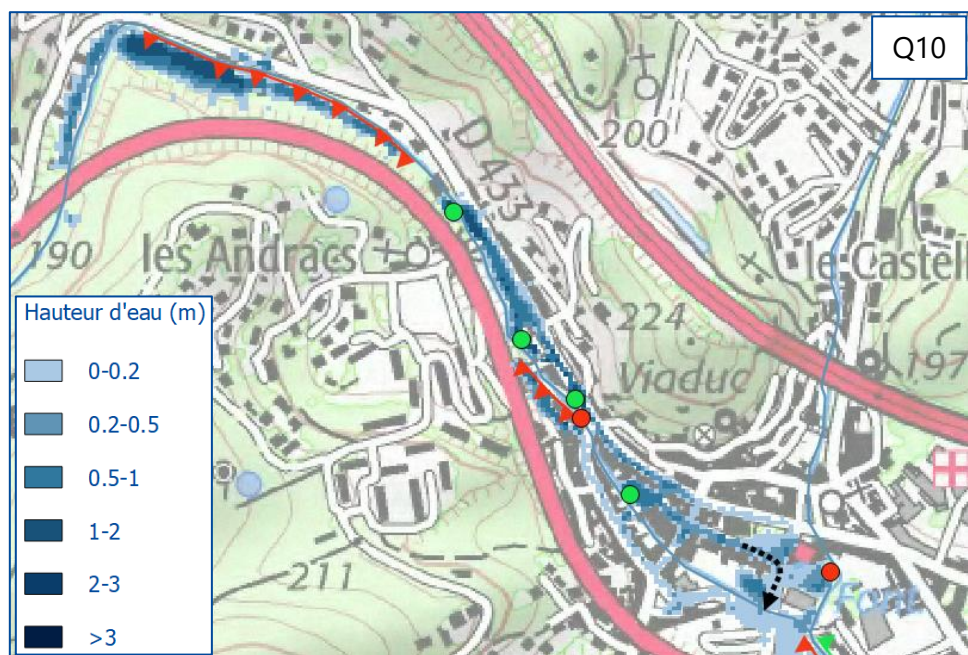


Figure 68 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q10 - Coudounier centre-ville

La crue vicennale occasionne de nouveaux débordements sur un linéaire en rive gauche de 130 mètres environ en amont de l'ancien garage Peugeot (Figure 69).

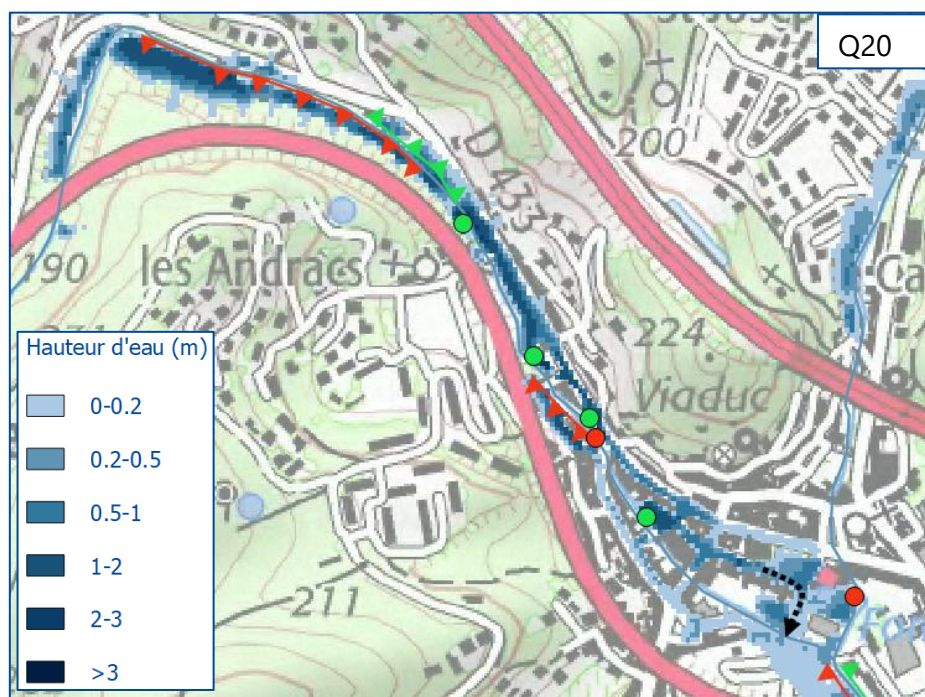


Figure 69 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q20 - Coudounier centre-ville

La crue cinquantennale provoque un nouveau débordement en rive droite avant le dernier passage sous terrain du Coudounier avant de rejoindre le Soliès.

La crue centennale implique également l'apparition de nouveaux points de débordement, en particulier dans le Soliès.

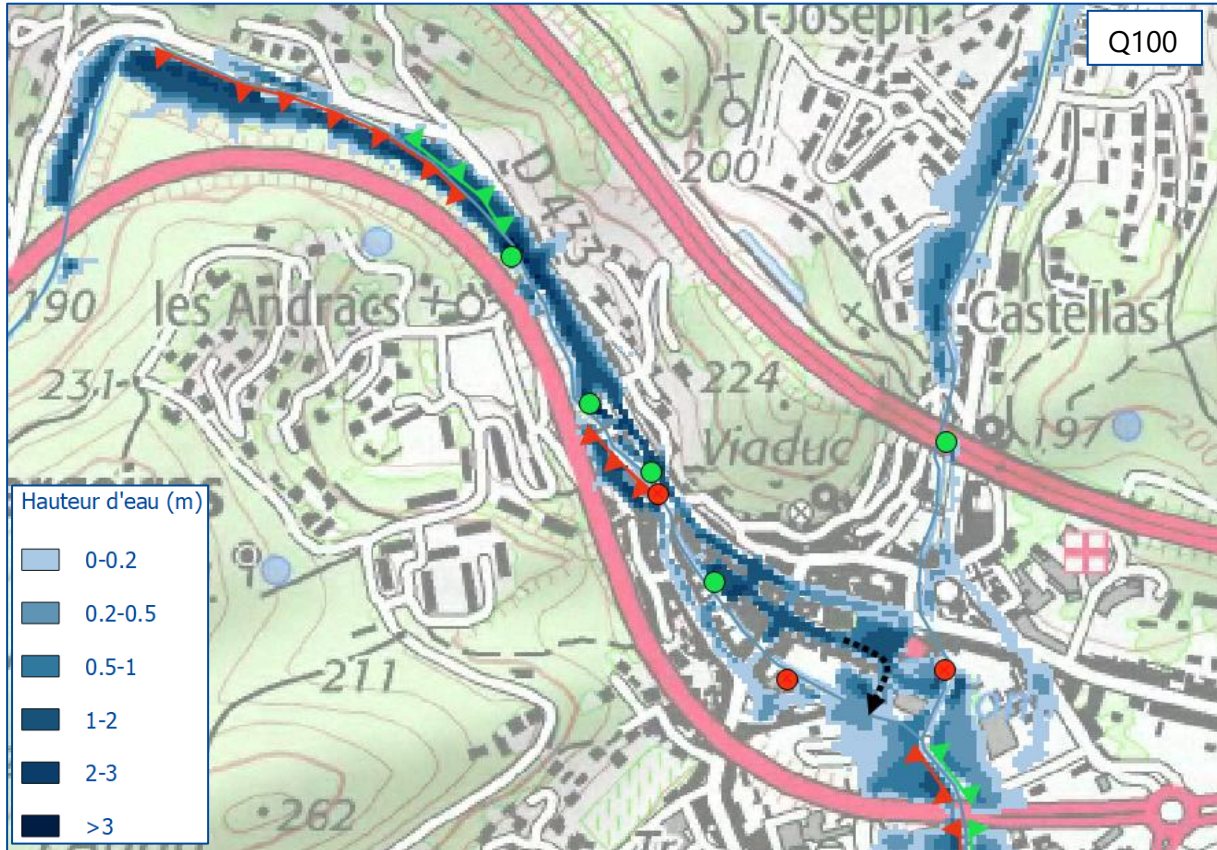


Figure 70 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q100 - Coudounier centre-ville

Le point de débordement dans ce secteur se situe au droit des piles du pont de l'A8. Celles-ci réduisent considérablement la section du lit mineur et représentent un obstacle à l'écoulement majeur. La berge en rive gauche étant plus basse, la rue Frédéric Mistral qui longe le cours d'eau est inondée. Les ruissellements progressent jusqu'à l'église et dans les rues adjacentes notamment l'avenue Gabriel Barbaroux.

## 6.2.4 QUARTIER AVAL DU CENTRE

Le quartier, situé en aval du centre-ville en aval de la DN7 et de la D97, est non seulement impacté par les débordements en rive droite du Soliès qui a reçu tous les apports du Coudounier légèrement en amont mais se trouve également dans l'axe de ruissellement en provenance des rues amont. En particulier il est possible de se référer à la résidence des Orchidées où un repère de crues avait été établi par le CETE après l'évènement de 2010.

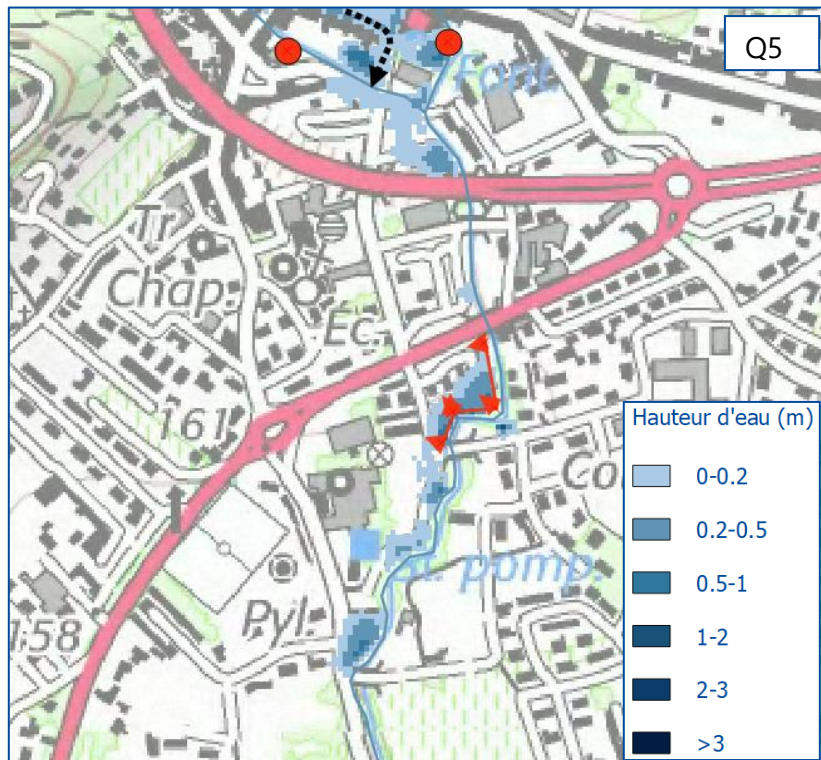


Figure 71 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q5 - Soliès aval centre-ville

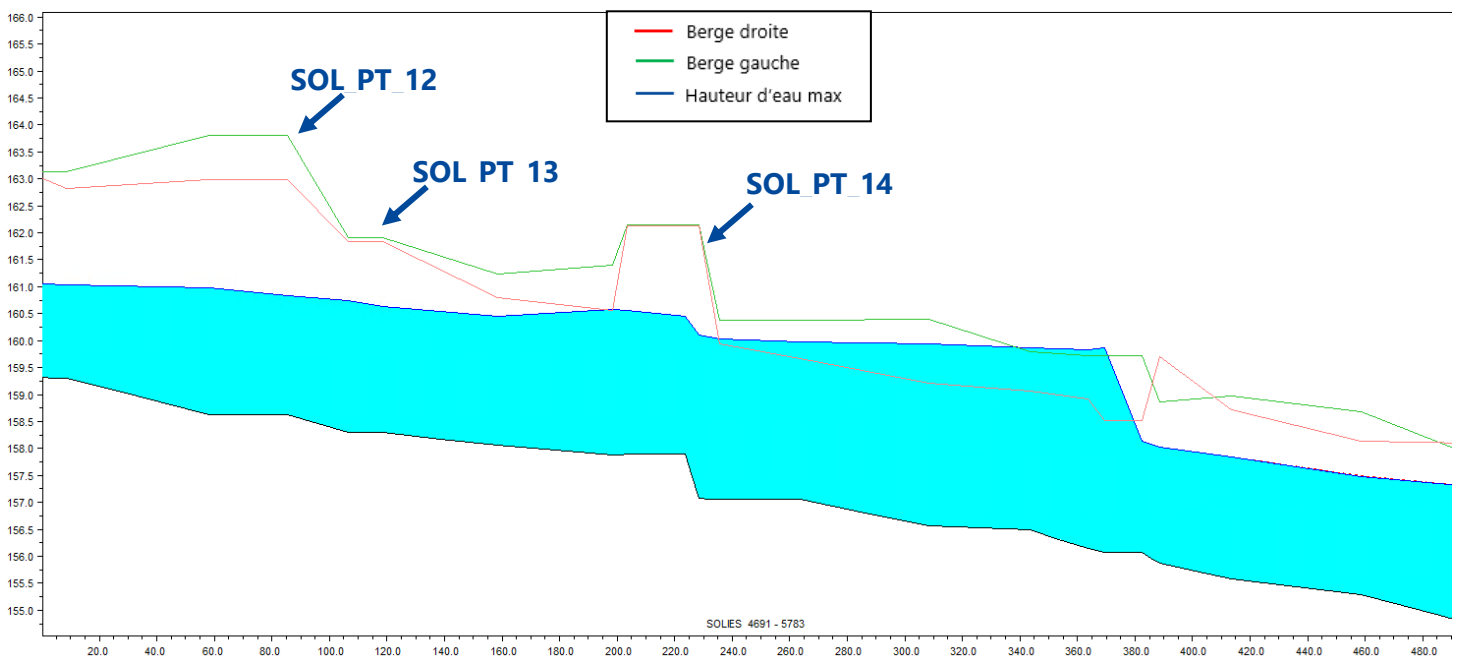


Figure 72 Profil en long pour Q5 – Soliès aval centre-ville

Dès la crue quinquennale on enregistre des débordements en aval de la D97, probablement dû à la cote nettement plus faible de la rive droite et l'effet de mise en charge du pont en aval (SOL\_PT\_15) qui soutient l'Avenue du 11 Novembre. Le ruissellement issu des rues du centre-ville est barré par la route DN7. Ce débordement touche particulièrement la résidence des Orchidées.

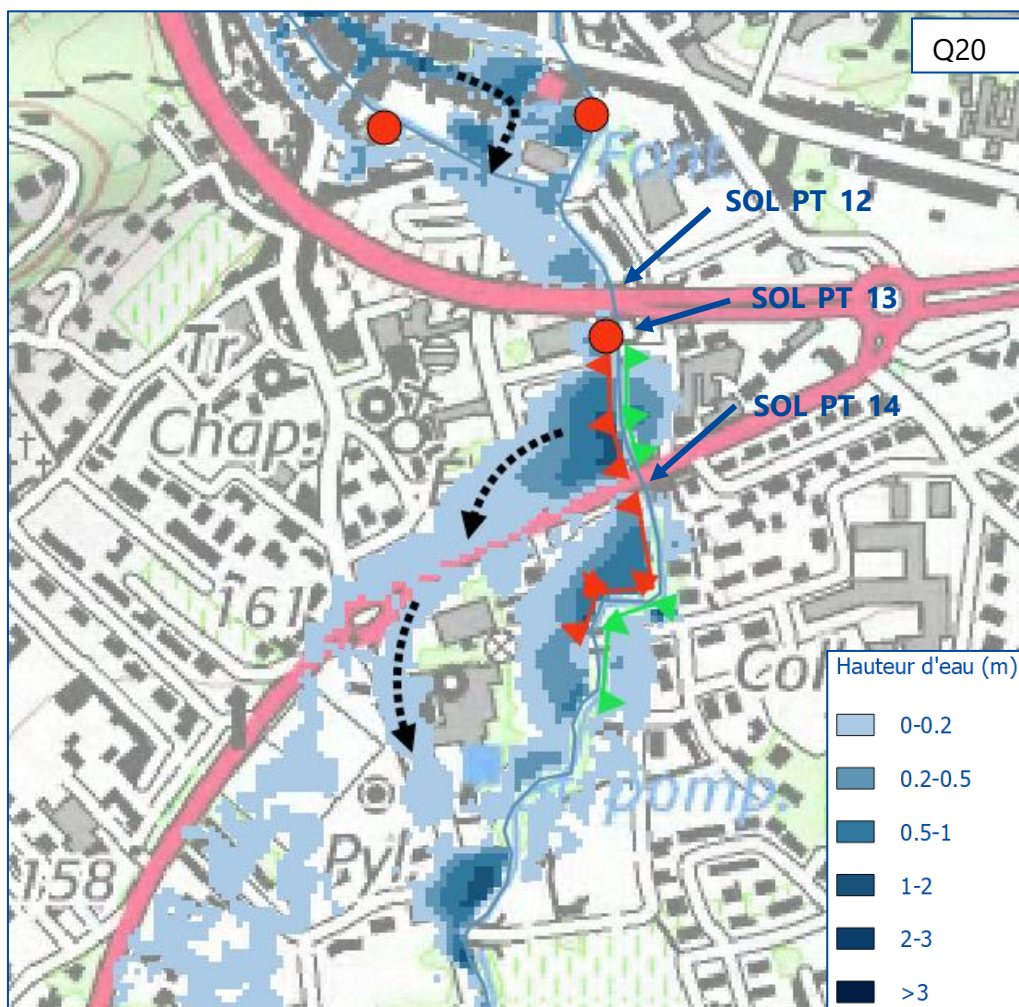
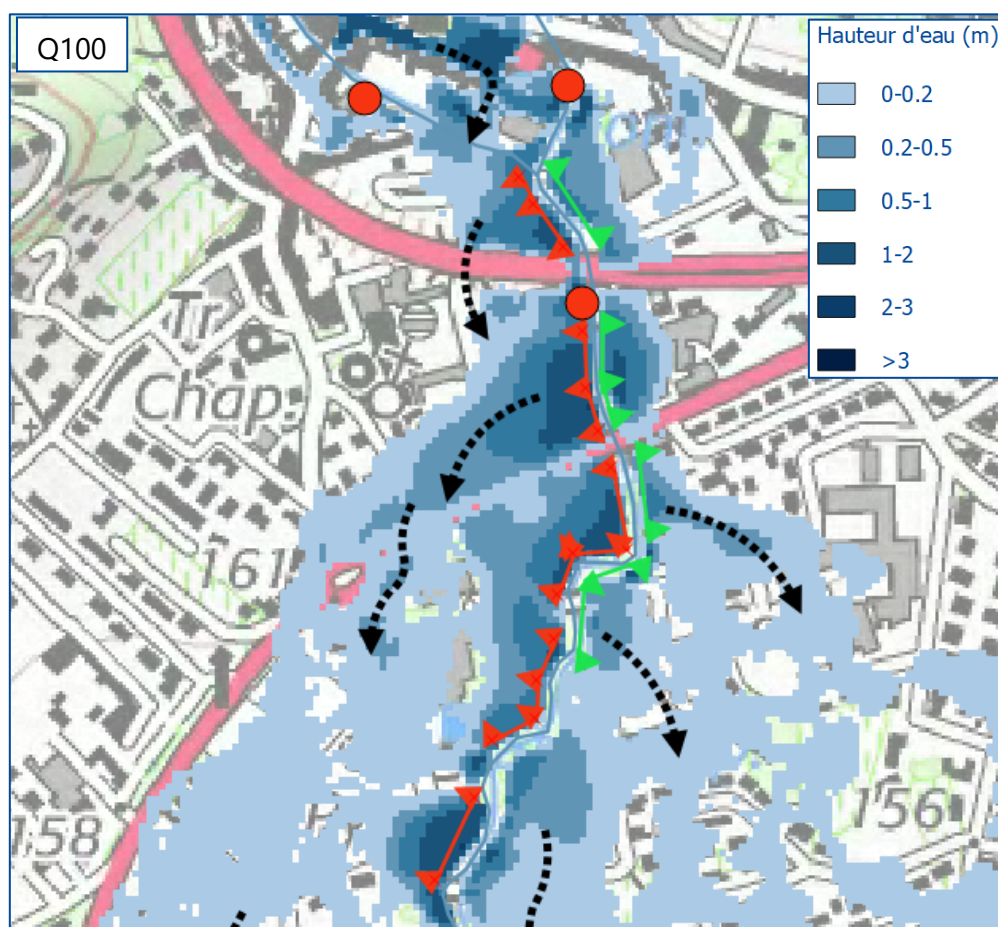


Figure 73 Hauteur d'eau de l'état initial pour Q100 - Soliès aval centre-ville

A partir de la crue vicennale de nouveaux débordements font leur apparition notamment en amont et en aval du pont SOL\_PT\_14 qui soutient la route D97. Des débordements en rive gauche commencent à partir de cette crue. Le pont SOL\_PT\_13 est en charge pour cette crue et un débordement ponctuel en rive droite amont se révèle.



La modélisation de la crue centennale dessine un aléa bien plus imposant. Le quartier est inondé par des débordements issus du tronçon en amont du passage sous la DN7 (SOL\_PT\_12) mais aussi de celui en amont en aval du passage sous la D97 (SOL\_PT\_14). De plus le ruissellement des volumes d'eau débordés dans le centre-ville traverse les routes DN7 et D97 en suivant l'avenue Gaudin.

Le secteur de la résidence des orchidées en rive droite est plus inondé que la rive de par les berges bien plus basses et le ruissellement en provenance du centre-ville. Pour autant les débordements en rive gauche à partir de la crue vicennale inondent tous le secteur en aval de la route DN7.

## 6.2.5 PONT ROUTE DES MAYONS

Ce pont (SOL\_PT\_19) situé à l'adresse 875, route des Mayons est à l'origine d'un débordement identifiable dès les faibles crues. Les visites terrains et retours d'expérience mettent en avant une accumulation des embâcles en amont de l'ouvrage, participant à un rétrécissement drastique de la section et favorisant ainsi les débordements notamment en amont.

La Figure 74 atteste de la présence de ce débordement même pour une crue quinquennale.

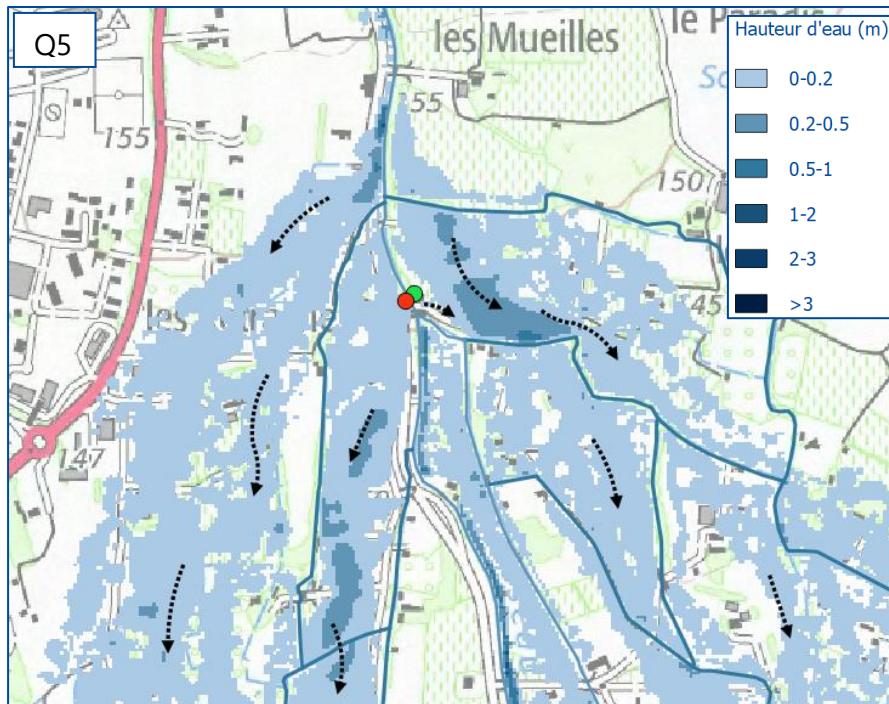


Figure 74 Débordement et hauteur d'eau autour du pont route des Mayons – Q5

Le pont d'une capacité limitante est de plus précédé par un tronçon de très faible pente de l'ordre de 0.003 m/m ce qui augmente la ligne d'eau.

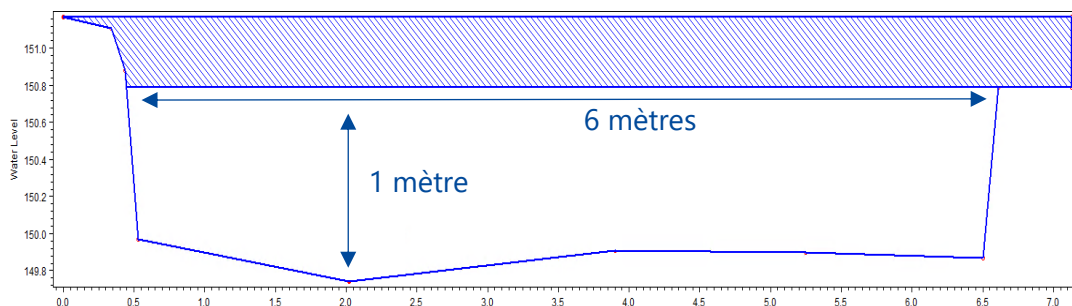
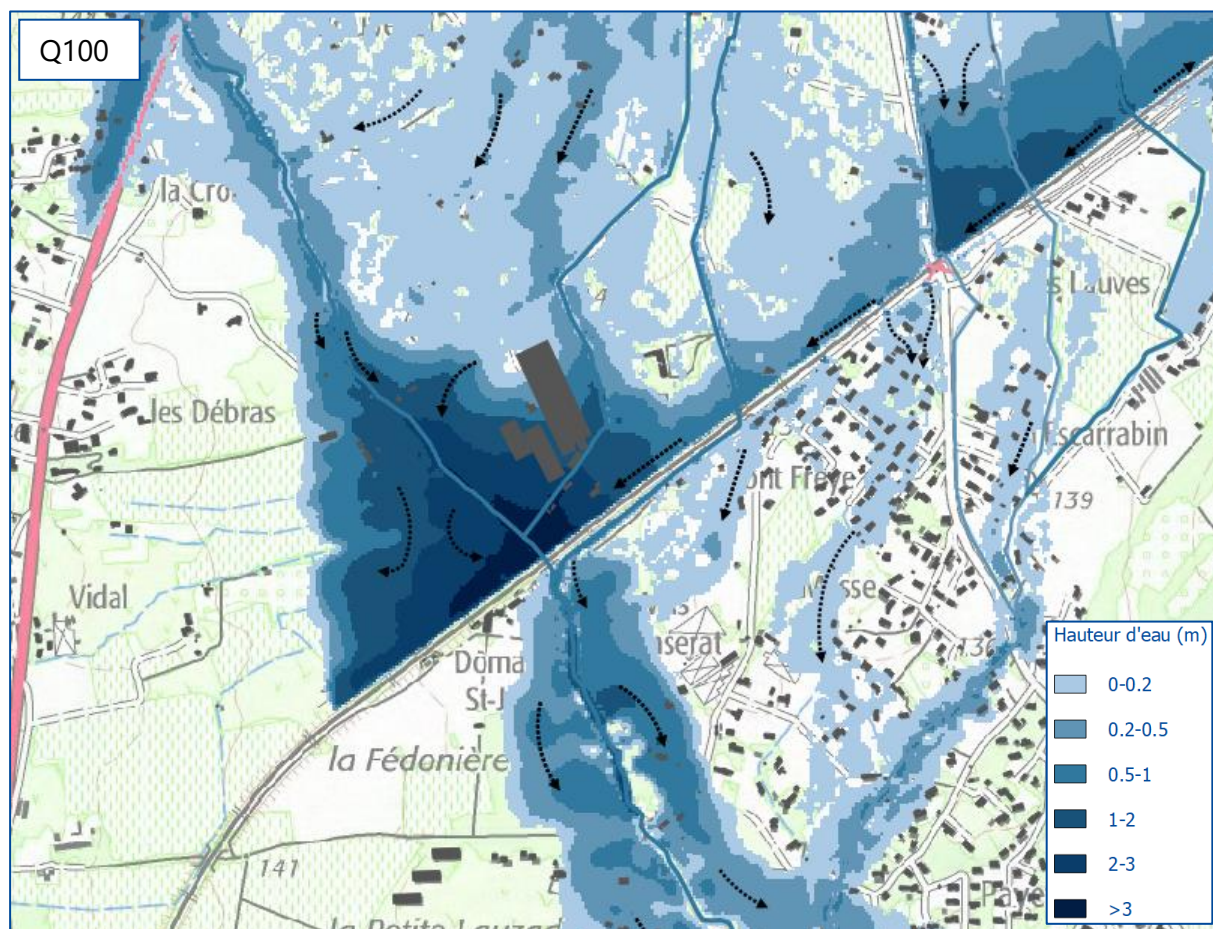


Figure 75 Profil du pont route des Mayons SOL\_PT\_19

## 6.2.6 RIAUTORT AMONT



L'analyse de la topographie de la plaine du Luc et du sens des écoulements permet d'identifier le quartier Saint Jean en amont du passage du Riautort sous la voie ferrée comme étant un point de cumul des écoulements. Une grande partie des eaux issues des débordements du Soliès et des arrosant à l'Ouest sont drainés jusqu'à ce secteur où des hauteurs d'eau de plus de 3 mètres sont calculées pour une crue centennale. La voie ferrée qui traverse la plaine du Luc offre aux écoulements un couloir jusqu'au quartier Saint Jean et le phénomène est de plus accentué par l'ouvrage de passage sous voie ferrée qui augmente la ligne d'eau en amont.

## 6.2.7 QUARTIER PAYETTE/MASSE

Les quartiers Masse et Payette respectivement en rive droite en rive gauche du Soliès sont soumis aux débordements et ruissellements issus principalement du Soliès, des arrosants alentours et du Riautort concernant le quartier Payette. Ces deux quartiers sont touchés dès la crue quinquennale et les crues plus rares provoquent les mêmes débordements avec des hauteurs d'eau et des vitesses plus importantes.

Le quartier Masse est majoritairement impacté par les écoulements ayant traversés la voie ferrée grâce à deux ouvrages de transparence, visibles sur la figure ci-dessous par des triangles rouges. Le ruissellement traverse le quartier et rejoint ensuite le Soliès en amont de sa confluence avec le Riautort, inondant au passage les habitations du quartier.

On peut noter que le Soliès sur le tronçon suivant la voie ferrée ne déborde pas ni pour une crue quinquennale ni pour une crue centennale. En effet le laminage des crues est tel en amont de la voie ferrée et le débit du Soliès est tellement réparti dans les différents arrosants qu'aucun débordement n'est observé.

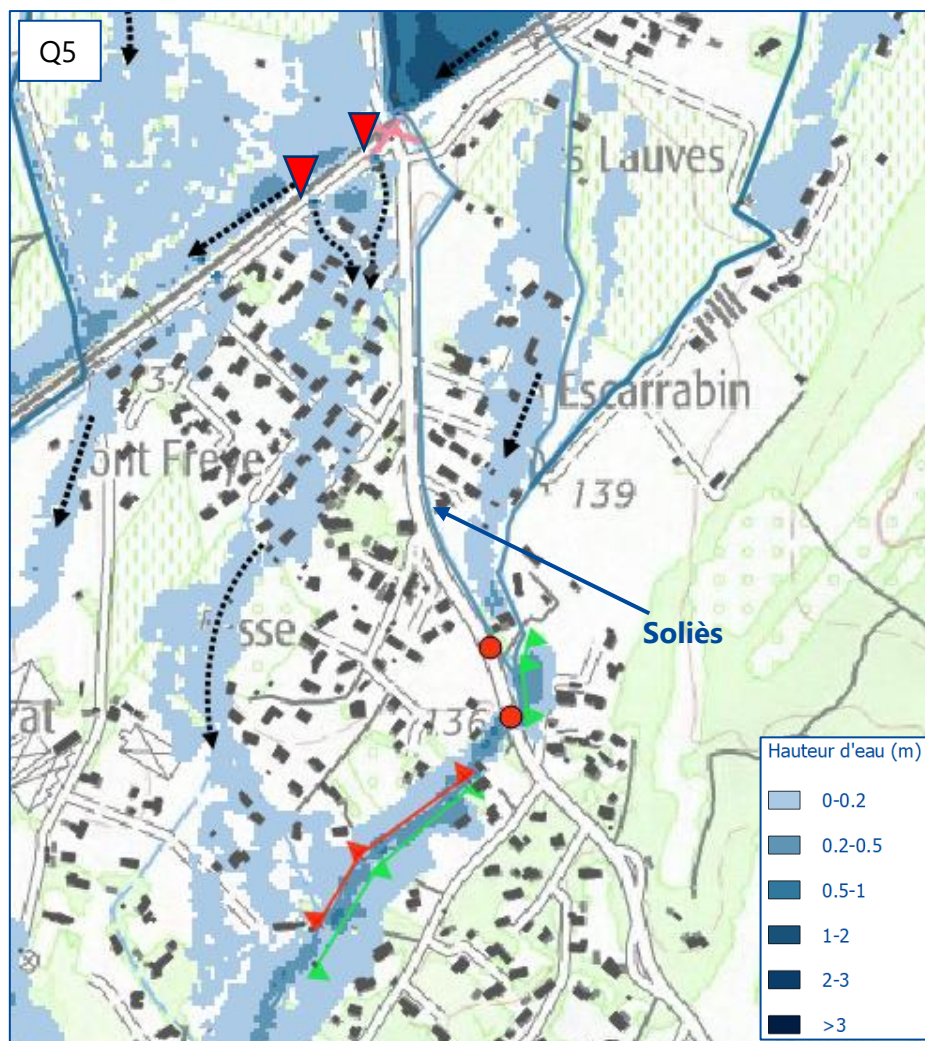


Figure 76 Débordements et ruissellements quartier Masse - Q5

Le quartier Payette est quant à lui impacté à l'Ouest par les débordements nombreux du Soliès en rive gauche et surtout dans le Sud par le Riautort dont les débordements sont accentués du fait de la confluence avec le Soliès.

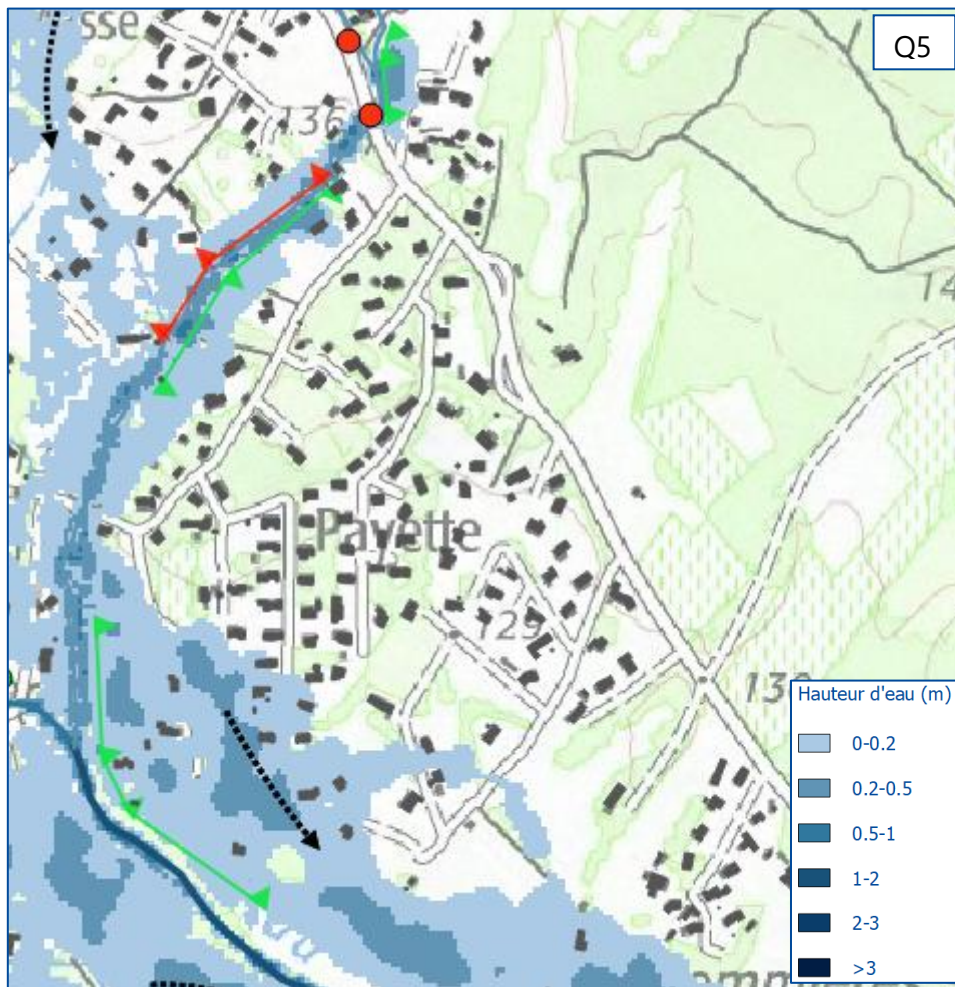


Figure 77 Débordements et ruissellements quartier Payette - Q5

## 6.2.8 STATION D'EPURATION

L'inondation de la station d'épuration est due à plusieurs raisons. Tout d'abord l'arrosant de Saint Jean qui longe la voie ferrée est forcé de déborder en rive gauche. Les écoulements ayant traversés la voie ferrée par les ouvrages de transparence sont acheminés par des fossés et s'ajoutent au débordement de l'arrosant. Un autre point de débordement est observé en rive gauche du Riautort et participe à l'inondation de la STEP. L'ensemble de ces débordements de différentes origines se rejoignent au niveau de la STEP. L'inondation survient même pour la crue quinquennale comme illustré sur la figure ci-dessous où les hauteurs d'eau varient de quelques centimètres à 20 cm.

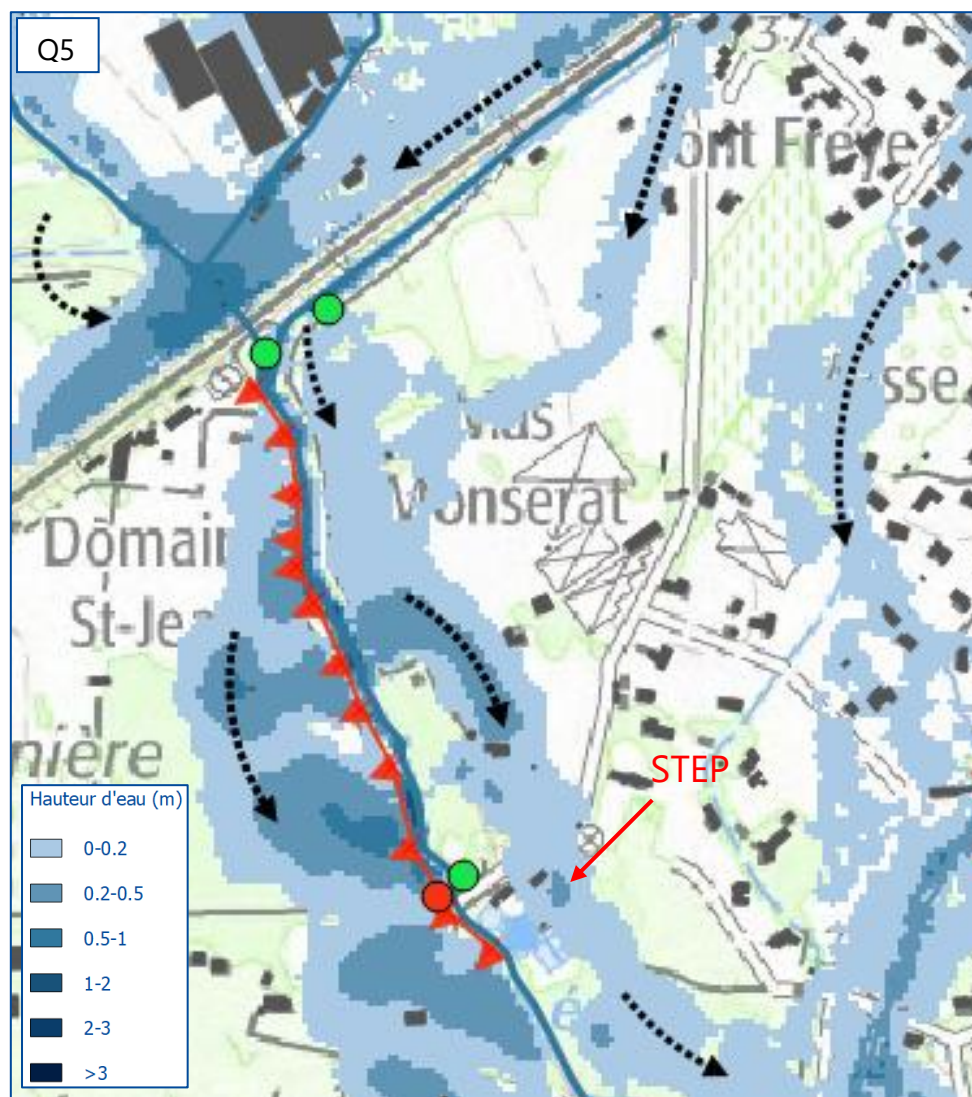


Figure 78 Débordements et ruissellements STEP - Q5

## 6.2.9 QUARTIER PAS VIEUX

Ce quartier a été construit autour de la confluence du Riautort et du Soliès. Il est donc fortement soumis au débordement du Riautort à ce niveau. De plus le quartier reçoit l'ensemble du ruissèlement issu des points de débordements du Riautort en amont en rive droite. La crue quinquennale est déjà source de dégâts importants puisque des hauteurs de près de 50 cm sont enregistrées par endroits et le ruissèlement inonde jusqu'à des zones à 200 mètres des berges du Riautort (Plus de 250 mètres pour la crue centennale).

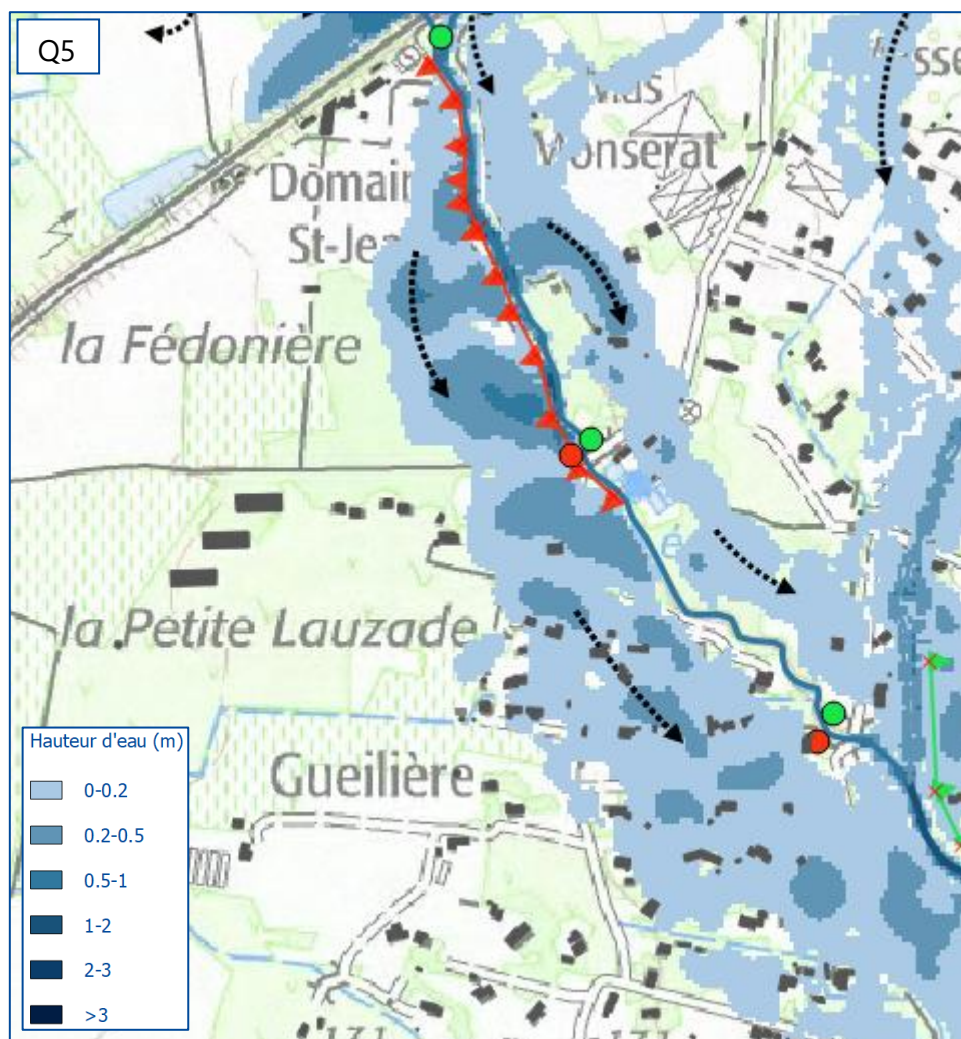


Figure 79 Débordements et ruissellements quartier Pas Vieux - Q5

## 6.2.10 EPANCHEMENT DES CRUES

Le tableau suivant permet simplement de se rendre compte de l'importance du laminage dans le contexte de cette commune. Les nombreux débordements occasionnés donnent lieu à des volumes d'eau qui s'écoulent et qui restent bloqués en amont de la voie ferrée.

	Cas 1		Cas 2		Cas 3	
	$Q_{\text{hydrologique}}$ Pont A57 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{\text{hydraulique}}$ Pont A57 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{\text{hydrologique}}$ Amont confluence Soliès/Coud ounier ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{\text{hydraulique}}$ Amont confluence Soliès/Coud ounier ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{\text{hydrologique}}$ Amont confluence Soliès/Riaut ort ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{\text{hydrologique}}$ Amont confluence Soliès/Riaut ort ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Q10	93,1	53,5	15,2	15	71	13
Q100	233	133	46,5	46	168,9	24

## 6.3 ÉTUDE DE FAISABILITE BURGEAP : AMÉNAGEMENTS

Dans cette partie est présenté l'ensemble des aménagements définis au stade des études préliminaires qui constituent les directions opérationnelles souhaitées et qui sont issus de l'Etude de restauration hydraulique du bassin versant du Riautort amont et de restauration écologique du Soliès (BURGEAP, 2016). BURGEAP a caractérisé ses aménagements par secteur en divisant l'emprise en quatre zones : amont du centre-ville, centre-ville, amont de la voie ferrée et aval de la voie ferrée. Cette logique sera reprise pour présenter les aménagements.

Les différentes propositions d'aménagement retenues au stade des études préliminaires sont les suivantes :

Amont centre-ville_Soliès	Aménagement d'une retenue collinaire sur la ZEC Aille_01 sur le Soliès., arasement des digues latérales
Amont centre-ville_Coudounier	Aménagement d'une retenue collinaire sur la ZEC Aille_06 sur le Coudounier
Centre-ville_Soliès	Elargissement d'un ouvrage en travers
	Destruction de seuil
	Destruction de seuil
Centre-ville_Coudounier	Augmentation du gabarit du Coudounier sur 60 mètres linéaires
	Mise en place d'un lit moyen végétalisé
	Elargissement d'ouvrage en travers
	Elargissement d'ouvrage en travers
	Elargissement d'ouvrage en travers
	Destruction de seuil
Destruction de cadre école musique	
Amont de la voie ferrée	Création d'un nouveau bras d'écoulement du Soliès en rive droite pour rejoindre le Riautort à l'amont de la voie ferrée, lit mineur/moyen sinueux végétalisé
Aval de la voie ferrée	Elargissement du Riautort à l'aval de la voie ferrée, création d'une banquettes végétalisée en RD

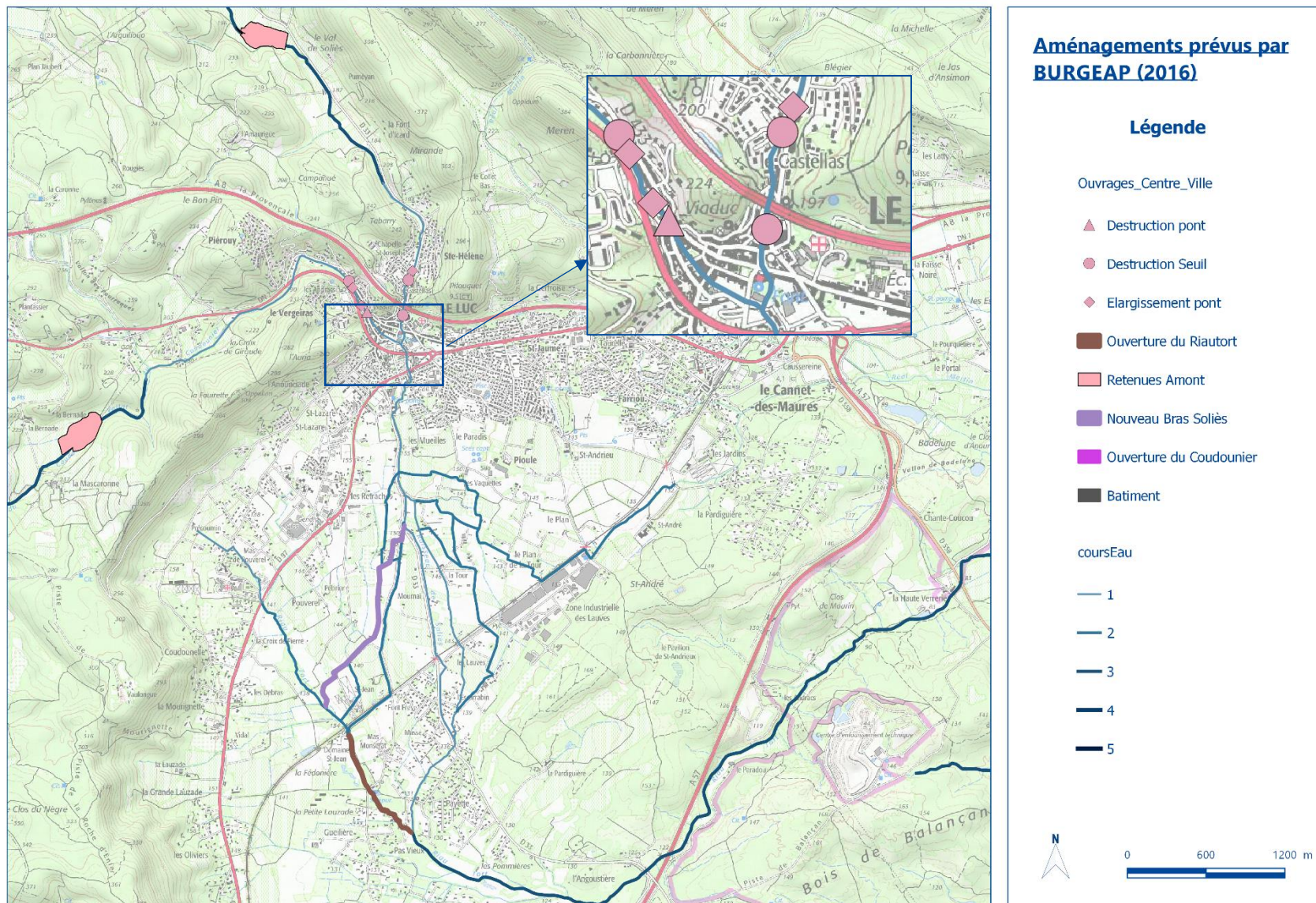


Figure 80 Aménagements prévus par Burgeap en 2016

### 6.3.1 AMONT CENTRE-VILLE\_SOLIES\_ZEC AILLE 01

Le bassin versant amont du Soliès présente très peu d'enjeux humains et un aspect relativement naturel du cours d'eau, ce qui a conduit BURGEAP à envisager l'utilisation de l'espace disponible pour la rétention de volume d'eau. En effet, les débits peuvent être laminés afin de limiter les inondations aval et diminuer les débits de crues transitant dans le centre-ville du Luc.

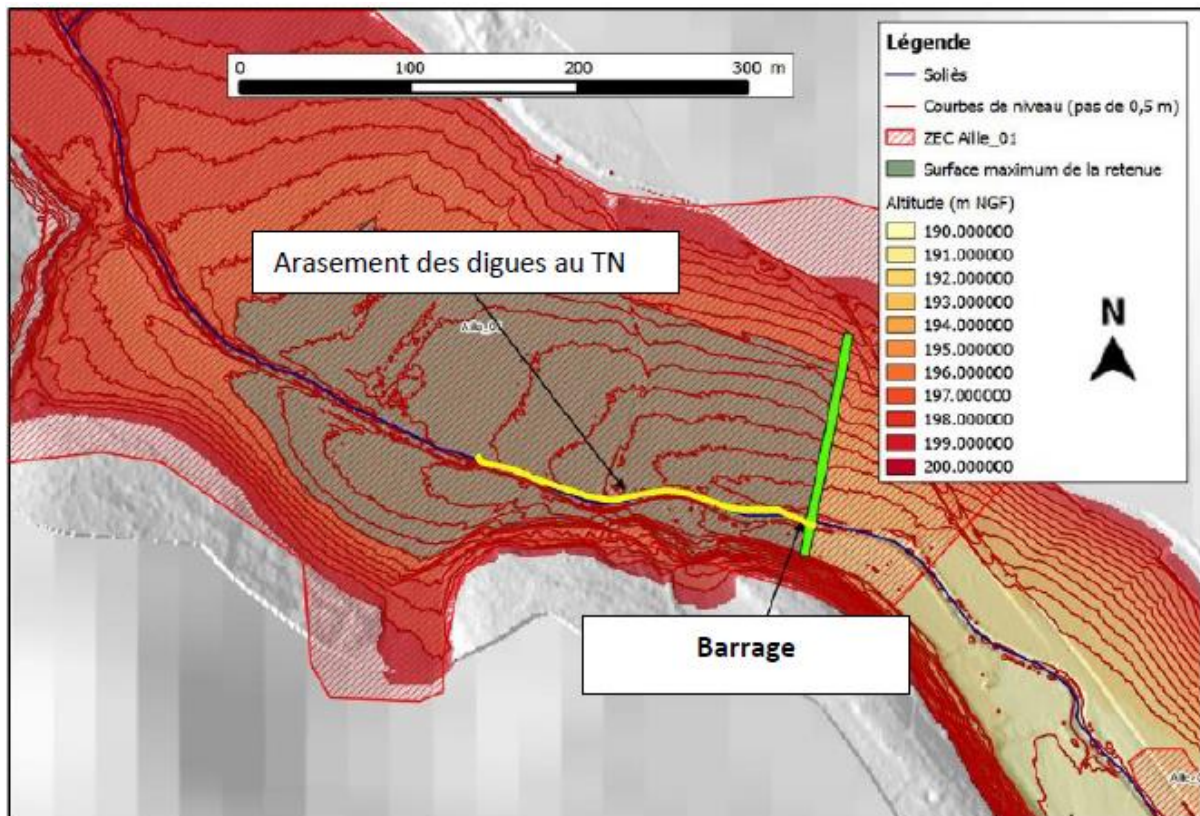


Figure 81 Conception de la ZEC Aille 01 (BURGEAP, 2016)

La retenue proprement dite est complétée par un ouvrage central voué à assurer le transit et la régulation des débits de crues. L'ouvrage est calculé pour **faire transiter la crue Q5 et les crues de moindre période de retour**. Un évacuateur de crue de surface, construit sous la forme d'un seuil libre déversant vient compléter le dispositif. La cote de débordement est fixée à 195 m NGF, calculée pour que la surverse se fasse lors des **crues de période de retour supérieure à 50 ans**.

D'après BURGEAP, la retenue collinaire envisagée a un impact dès le débit de pointe de la crue décennale. Pour la crue trentennale, la retenue permet une réduction de la hauteur d'eau à l'aval de 49 cm. L'observation des hydrogrammes de crue en sortie de l'ouvrage de décharge de cette retenue met en évidence l'abattement engendré sur les débits de pointe des crues trentennale et cinquantennale.

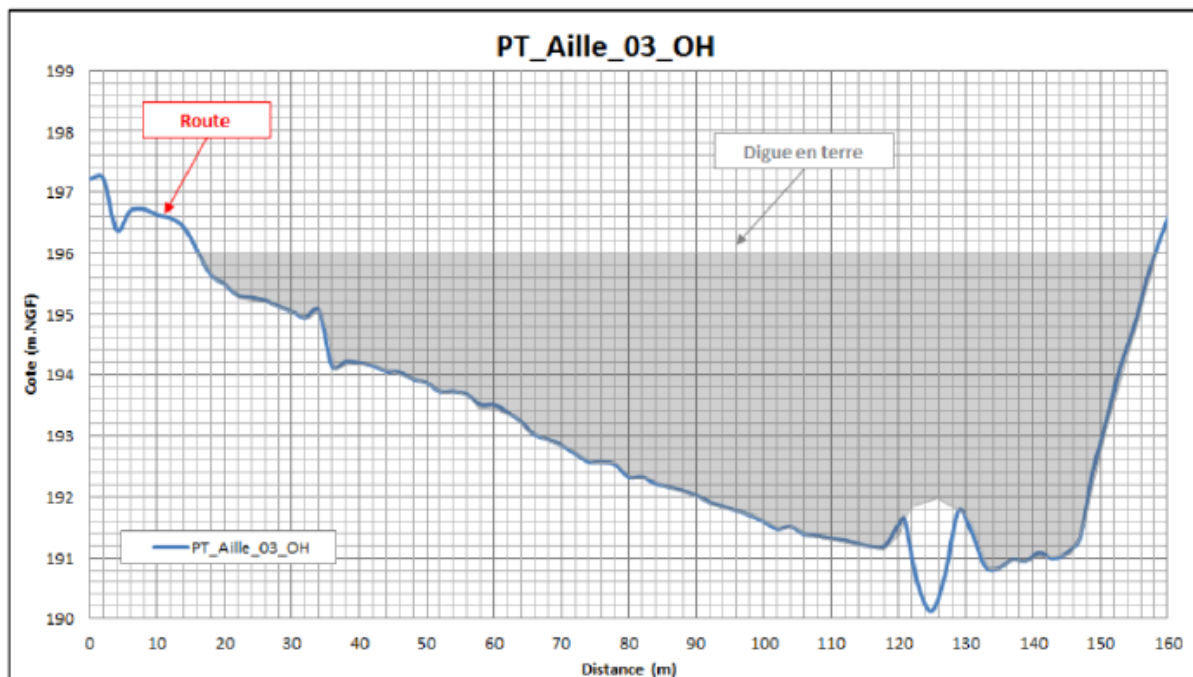


Figure 82 Profil en travers de la retenue de la ZEC Aille 01 (BURGEAP, 2016)

Tableau 16 Hypothèse de conception de la retenue de la ZEC Aille 01 (BURGEAP, 2016)

Caractéristiques ouvrage	Données
volume stocké	70 000 m <sup>3</sup>
Différence entre la crête de l'ouvrage et le fond du lit	5,8 m
Cote de débordement	195 m NGF
Pente	2,5/1
Surface totale	5,1 ha
Largeur de la digue en crête	4 m
Largeur de la retenue	29 m

Tableau 17 Caractéristiques de l'ouvrage de régulation de la ZEC Aille 01 (BURGEAP, 2016).

Caractéristiques ouvrage de régulation	Données
Dimension (m)	1,2 x 1
Pente	1,20%
Cote de fond en entrée de retenue collinaire (m NGF)	190
Coefficient de Strickler	50

## 6.3.2 AMONT CENTRE-VILLE\_COUDOUNIER\_ZEC AILLE 06

Le bassin versant amont du Coudounier présente peu d'enjeux humains et l'agriculture est essentiellement composée de vignes dont une partie classée en AOC. Cette absence d'enjeux forts et l'aspect relativement naturel du cours d'eau ont conduit à envisager l'utilisation de l'espace disponible pour la rétention de volumes d'eau, dans une optique de réduction des débits de crues transitant dans le centre-ville du Luc.

L'aménagement proposé par BURGEAP concerne tout comme sur le Soliès une retenue. La digue sera positionnée au droit de l'ouvrage COU\_PT\_1 existant, qui permet le passage de la crue décennale, et de la route qu'il supporte.

Afin d'augmenter la surface de rétention, la route devra être surélevée à une cote de 218,5 m NGF, soit environ 2,5 m au-dessus de la route actuelle. La surface maximum avant débordement par surverse est de 51 500 m<sup>2</sup>, pour un volume de stockage estimé à 48 500 m<sup>3</sup>.

Tableau 18 Hypothèse de conception de la retenue de la ZEC Aille 06 (BURGEAP, 2016)

Caractéristiques ouvrage	Données
volume stocké	48 500 m <sup>3</sup>
Différence entre la crête de l'ouvrage et le fond du lit	2,35 m
Cote de débordement	217,5 m NGF
Pente	2.5/1
Surface totale	5,2 ha
Largeur de la digue en crête	4 m
Largeur de la retenue	16,5 m

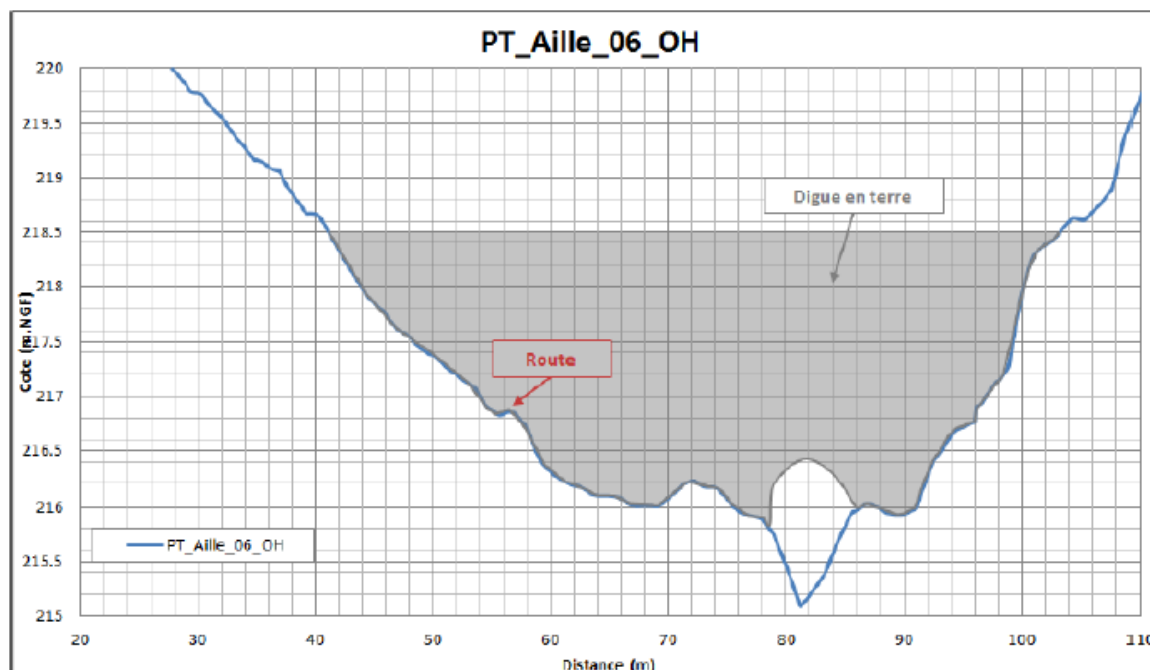


Figure 83 Profil en travers de la retenue de la ZEC Aille 06 (BURGEAP, 2016)

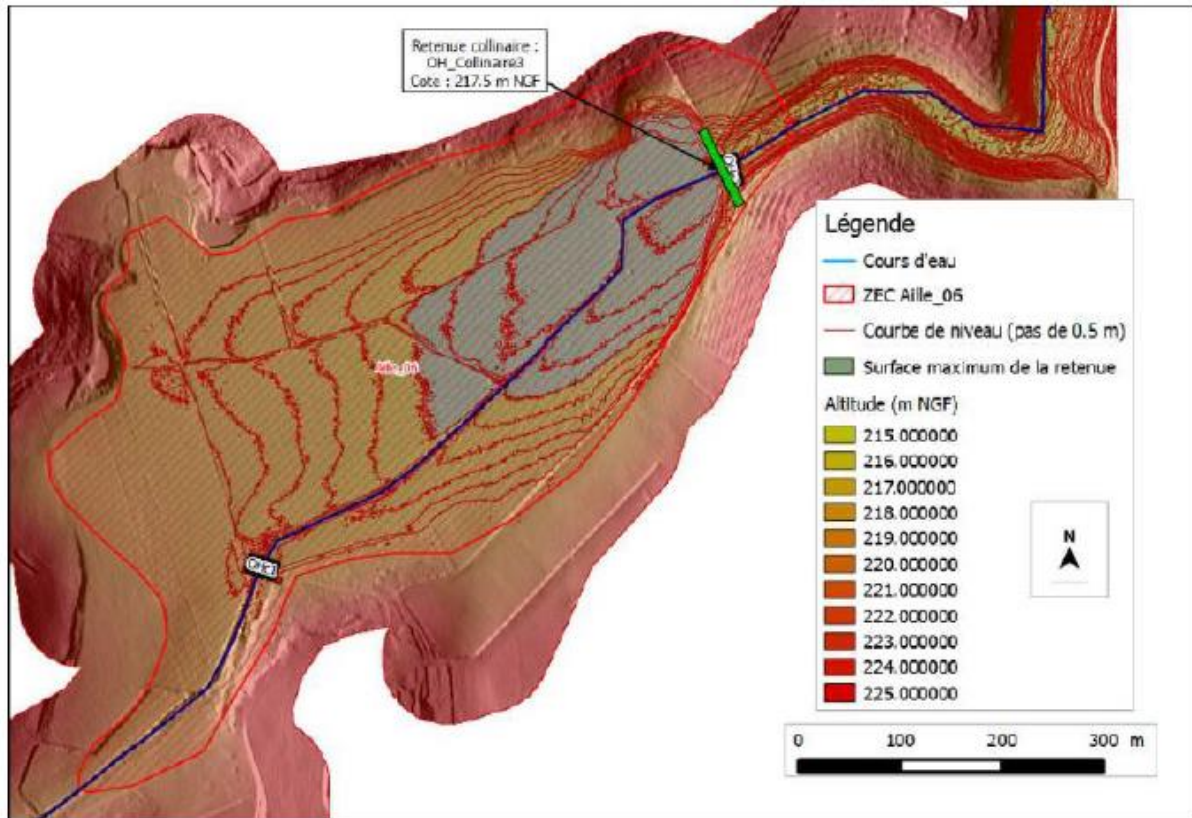


Figure 84 Conception de la ZEC Aille 06 (BURGEAP, 2016)

La retenue est complétée par un ouvrage central dimensionné pour assurer le transit et la régulation des débits de crues. L'ouvrage est calculé pour faire transiter la crue décennale et les crues de période de retour inférieure et pour retenir les crues plus rares jusqu'à la crue trentennale. Un évacuateur de crue de surface, construit sous la forme d'un seuil libre déversant, vient compléter le dispositif. La cote de débordement est fixée au niveau des plus hautes eaux pour la crue trentennale : 217,5 m NGF.

Tableau 19 Caractéristiques de l'ouvrage de régulation de la ZEC Aille 06 (BURGEAP, 2016).

Caractéristiques ouvrage de régulation	Données
Dimension (m)	2.5*1
Pente	0.4%
Cote de fond en entrée de retenue collinaire (m NGF)	215.15
Coefficient de Strickler	50

L'arasement et l'abaissement des digues présentes en bordure du Coudounier à l'amont de la retenue ne semblent pas nécessaires d'après BURGEAP.

### 6.3.3 CENTRE-VILLE\_SOLIES

Les premiers débordements du Soliès dans les rues du Luc interviennent lors de la **crue trentennale**. Le débit de pointe de la crue trentennale est estimé par BURGEAP à 24.1 m<sup>3</sup>/s à la confluence avec le Coudounier.

Les premiers débordements sont observés, en rives gauche et droite, au niveau de l'ouvrage SOL\_PT\_8, d'une capacité égale à 18 m<sup>3</sup>/s et à l'amont d'un seuil provoquant une chute de l'ordre de 80 cm (SOL\_SE\_1). Burgeap proposait ici de détruire le seuil et d'abaisser de 50 cm le fond du lit et d'élargir la section de passage de l'ouvrage

Un second secteur de débordement est observé en rive gauche au niveau du passage de l'autoroute au-dessus du cours d'eau et des piles du viaduc présentes en lit mineur (SOL\_DIV\_1). Cet ouvrage impose un rétrécissement de la section de passage du Soliès et donc une augmentation de la ligne d'eau en crue. D'après BURGEAP la présence d'un seuil (SOL\_GUE\_3) environ 70 m à l'aval (1 m de chute) aggrave cette situation. La proposition de Burgeap consistait donc à détruire le seuil en aval et abaisser de 50 cm le fond du lit.

### 6.3.4 CENTRE-VILLE\_COUDOUNIER

Les aménagements de BURGEAP visent, dans le Coudounier, à réduire l'aléa inondation en centre-ville pour la **crue décennale** et l'amélioration de la qualité écologique du cours d'eau.

Le débit de pointe de la crue décennale est estimé par BURGEAP à 13 m<sup>3</sup>/s à l'amont de la confluence entre le Coudounier et le Soliès. Le principal point de débordement pour la crue décennale intervient à l'amont de COU\_PT\_15, dans un secteur où la berge en rive gauche est très basse et de façon générale à partir de l'ouvrage sous terrain sous l'ancien garage Peugeot (COU\_PS\_1).

BURGEAP propose de supprimer le seuil Cou\_SE\_1, l'ouvrage COU\_PT\_15, d'augmenter le gabarit des ouvrages COU\_PT\_13, COU\_PT\_14 et COU\_PT\_16 et d'élargir le lit du Coudounier en rive droite sur 60 mètres. La modification de la capacité hydraulique des ouvrages doit en effet être couplée à une augmentation du gabarit du cours d'eau pour être efficace.

L'élargissement du Coudounier impliquera la destruction du mur en place et la création d'une banquette de 5 m de largeur en moyenne, qui pourra être végétalisée. L'ouvrage COU\_PT\_14 devra être remplacé par un ouvrage plus fonctionnel, type pont cadre. Son caractère patrimonial devra être vérifié.

Tableau 20 Résumé des aménagements dans le Coudounier secteur centre-ville

ouvrage	type	dimension état initial (m)				dimension état initial (m)		
		hauteur (m)	largeur (m)	longueur (m)	section (m <sup>2</sup> )	hauteur (m)	largeur (m)	section (m <sup>2</sup> )
COU_SE_1		0,4	6	5		ouvrage détruit et abaissement de 0,3 m		
COU_PT_13	cadre	1,5	4	2,5	6	1,5	6	8
COU_PT_14	arche	2	5	2	6	1,4	6	8
COU_PT_15	cadre	1	5	6	5	1,6	5	8
COU_PT_16	cadre	0,6	6	4	4	ouvrage détruit et remplacé par un passage à gué		

### 6.3.5 NOUVEAU BRAS SOLIÈS

L'objectif de l'aménagement est l'amélioration de la répartition des volumes d'eau ruisselés entre la rive gauche et la rive droite du Soliès, pour les crues décennale à centennale.

Il s'agit de créer un bief à l'Ouest du Soliès, le long d'arrosants préexistants notamment l'Arrosant Ouest 1. Ce nouveau bief d'une largeur de 16 mètres (au lieu de 2 mètres maximum actuellement), d'une capacité maximale de 15m<sup>3</sup>/s correspondant au débit d'une crue quinquennale (4m<sup>3</sup>/s maximum pour le Soliès actuellement selon BURGEAP). Des ponts seront mis en place pour les routes traversées par le nouveau bief.

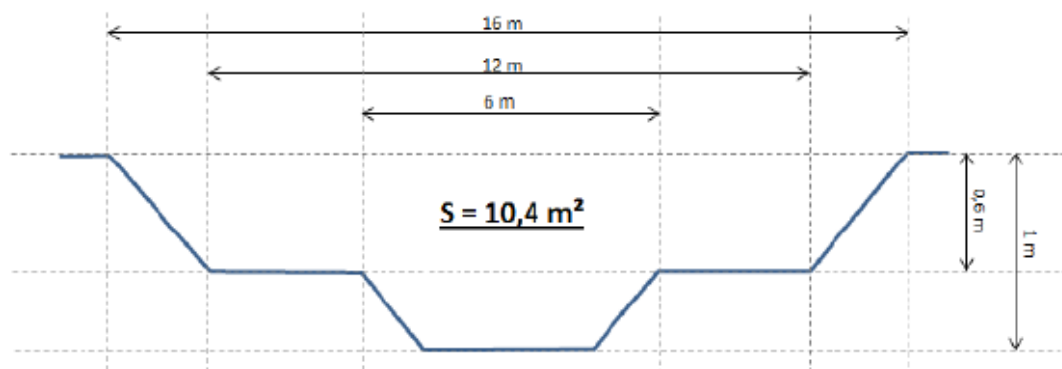


Figure 85 Profil en travers du nouveau bras du Soliès

## 6.3.6 ELARGISSEMENT RIAUTORT

L'aménagement vise à réduire l'aléa inondation à l'aval de la voie ferrée pour la crue cinquantennale, au niveau des quartiers Payette et Pas Vieux, fortement touché par les débordements du Riautort.

L'aménagement envisagé pour réduire l'aléa inondation dans ce secteur est l'élargissement du gabarit du Riautort entre la voie ferrée et sa confluence avec le Soliès. Le principe repose sur l'ouverture du lit mineur vers la rive droite avec création d'une banquette, qui devra être végétalisée. Le cours d'eau présente dans cette zone beaucoup d'enjeux écologiques (situation dans une ZNIEFF de type II, présence majeure de la tortue d'Herman, existence d'une ripisylve d'espèces locales bien implantées,...) qui imposeront des mesures particulières de renaturation et d'entretien.

Le lit du Riautort est en moyenne large de 5 m, pour 3 m de largeur en fond, et entre 1,5 et 2 m de hauteur. Il sera élargi sur 5 m de largeur vers la rive droite à une hauteur d'1 m par rapport au fond du lit actuel. La capacité actuelle pour la crue centennale dans ce tronçon est de l'ordre de 10 à 15 m<sup>3</sup>/s. L'objectif est de permettre le passage d'une vingtaine de m<sup>3</sup>/s.

## 6.4 ÉTAT AMENAGÉ

### 6.4.1 SYNTHÈSE

L'état initial illustre l'aléa que subirait la commune du Luc si aucun aménagement n'est entrepris. L'état aménagé de la phase d'étude préliminaire représente l'aléa avec la prise en compte des aménagements proposés par BURGEAP en 2016 et retenus par le maître d'ouvrage dans le programme de travaux. La différence entre les deux repose sur la suppression par le SMA des casiers imaginés par BURGEAP à l'est du projet de bras du Soliès. Les impacts des aménagements proposés dans ce chapitre sont critiqués et ceux-ci seront modifiés ultérieurement au regard des incertitudes figurant dans l'étude BURGEAP et des contraintes du programme. L'analyse des impacts sur l'aléa du projet proposé par BURGEAP est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 21 Synthèse de l'impact et du niveau d'impact des aménagements sur chaque tronçon

Numéro de tronçon	Aménagements initialement prévus (programme BURGEAP)	Type d'impacts sur l'aléa	Niveau d'impact global des aménagements sur le tronçon
Coudounier 1	Aménagement d'une retenue collinaire sur la ZEC Aille_06 sur le Coudounier	Aggravation locale de l'aléa soutenue car zone d'expansion de crue naturelle déjà efficace	Négatif
Coudounier 2		Pas d'impact	Neutre
Coudounier 3		Légère diminution des hauteurs d'eau	Positif
Coudounier 4		Légère diminution des hauteurs d'eau	Positif
Coudounier 5	Augmentation du gabarit du Coudounier sur 60 mètres linéaires/ Elargissement de 3 ouvrage en travers/Destruction d'un seuil/Destruction de la passerelle de l'école de musique	Point de débordement évité pour la Q5 et hauteurs d'eau dans le centre-ville amoindries pour Q10/Pas réellement d'impacts concernant les autres crues	Positif pour crues fréquentes
Coudounier 6		Diminution de la ZI et des hauteurs d'eau jusqu'à la crue décennale	Positif pour crues fréquentes
Riautort 1		Pas d'impact	Neutre
Riautort 2	Elargissement du Riautort à l'aval de la voie ferrée, création d'une banquette végétalisée en RD	Réduction légère de l'aléa dans les quartiers Payette et Pas Vieux pour les crues Q5 Q10 et Q20/Aggravation de l'aléa à partir de Q30 dans le quartier Pas Vieux car banquette favorise les débordements en rive droite et apports plus importants que état initial du fait du nouveau bras du Soliès	Positif/Négatif
Riautort 3		Diminution des hauteurs d'eau jusqu'à la crue vicennale	Positif
Soliès 1	Aménagement d'une retenue collinaire sur la ZEC Aille_01 sur le Soliès., arasement des digues latérales	Aggravation locale de l'aléa localement en amont de la retenue avec des hauteurs doublées/Surverse à partir de la crue trentennale/Diminution de l'aléa en aval de l'ouvrage	Négatif/Positif
Soliès 2		Deux points de débordements évités pour Q10 et Q20/Pas d'impacts sur les autres crues mise à part une diminution moindre des hauteurs d'eau	Positif
Soliès 3	Elargissement d'un ouvrage en travers/ Destruction d'un seuil	Point de débordement pour Q20 évité/pas d'impact pour les autres crues	Positif
Soliès 4	Destruction d'un seuil	Aggravation de l'aléa en empêchant le débordement pour Q100 au niveau des piles du pont A8 mais provoque un débordement en aval plus important	Négatif
Soliès 5		Peu d'impacts	Neutre
Soliès 6		Peu d'impacts	Neutre
Soliès 7	Création d'un nouveau bras d'écoulement du Soliès en rive droite pour rejoindre le Riautort à l'amont de la voie ferrée, lit mineur/moyen sinueux végétalisé	Permet de contenir une crue vicennale là où une crue quinquennale ne l'était pas en état initial et diminution de l'aléa pour les crues plus rares	Positif
Soliès 8		Peu d'impacts en raison du laminage dans la plaine en amont de la voie ferrée	Neutre

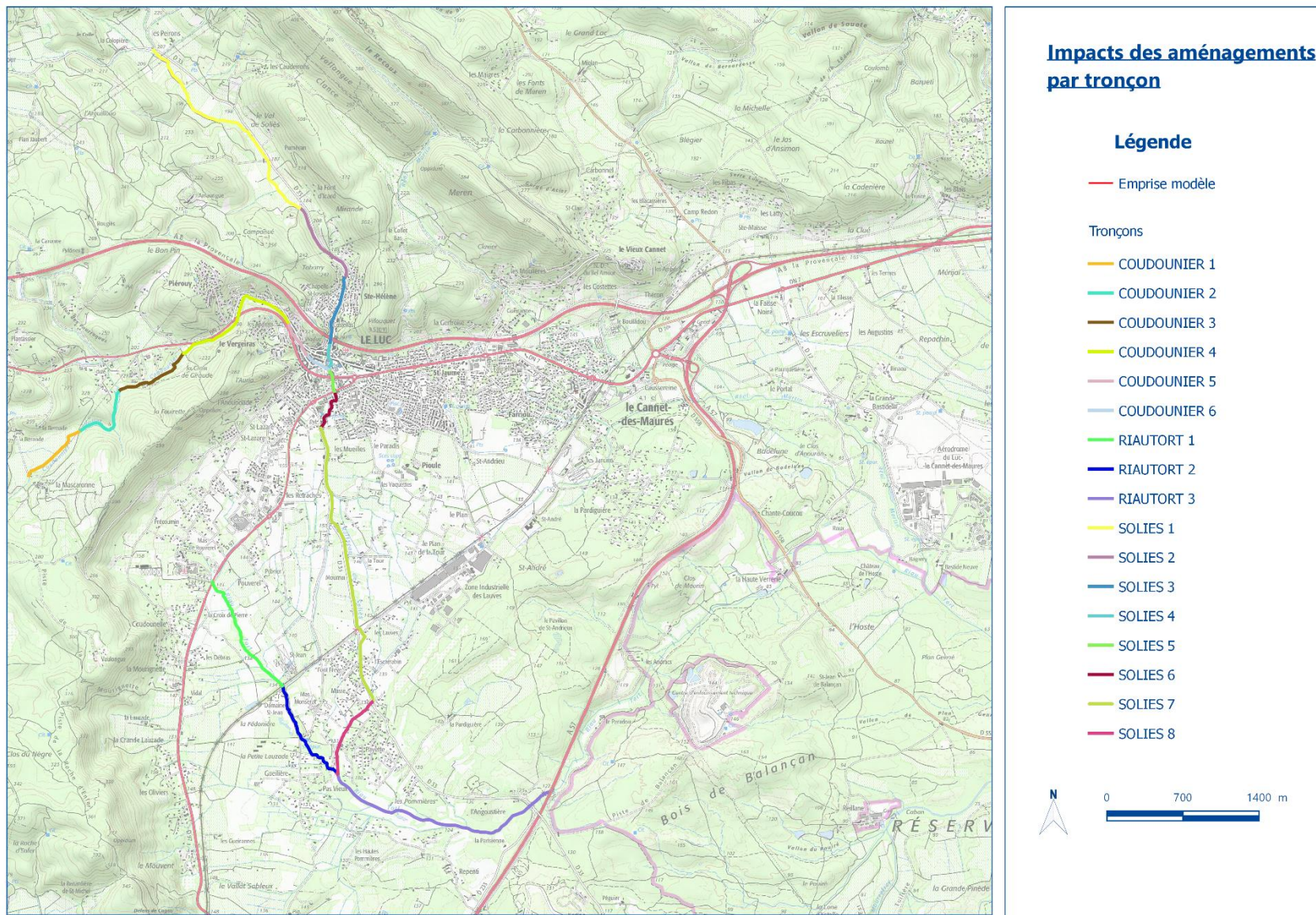


Figure 86 : Tronçons des cours d'eau



## 6.4.2 SOLIES

L'analyse des débits hydraulique dans le Soliès à l'état initial et aménagé quelques mètres avant le centre-ville fournit une première analyse de l'impact de la retenue créée en amont.

Tableau 22 Taux d'abattement pour la ZEC Soliès

	<b>Q<sub>hydraulique</sub> Etat Initial (m3/s)</b>	<b>Q<sub>hydraulique</sub> Etat Aménagé (m3/s)</b>	<b>Ecart</b>	<b>taux d'abattement (%)</b>
<b>Q5</b>	9,1	6,5	2,6	28,6
<b>Q10</b>	14,4	8,3	6,1	42,4
<b>Q20</b>	21,1	13,5	7,6	36,0
<b>Q30</b>	26	21,5	4,5	17,3
<b>Q50</b>	32,4	28,5	3,9	12,0
<b>Q100</b>	42,3	37,1	5,2	12,3

Pour rappel l'aménagement a pour objectif de laisser transiter des crues inférieures à la crue quinquennale et est dimensionné pour que la surverse survienne pour des crues supérieures à la crue cinquantennale. Pour des crues dans cet intervalle, l'effet de la retenue devrait être optimal. Le Tableau 22 indique que l'abattement est le plus fort pour une crue décennale avec une diminution de 42% du débit de pointe, à l'endroit précis où a été relevé le débit. L'abattement est encore élevé pour une crue vicennale et diminue à partir de la crue trentennale.

### 6.4.2.1 TRONÇON SOLIES 1

Le premier tronçon du Soliès correspond au secteur où BURGEAP a prévu l'aménagement de la retenue collinaire et de l'arasement des digues en amont de la retenue. Un tel aménagement vise à favoriser le débordement en amont pour épargner l'aval. Ainsi l'effet de la retenue est observé dès la crue quinquennale. Malgré le fait que l'ouvrage central permette de laisser transiter les crues inférieures à la quinquennale, l'arasement des digues favorise l'épanchement des crues même des plus fréquentes. Comme observé sur la Figure 87 (crue trentennale) les volumes d'eau ruisselés s'accumulent derrière la retenue. Les résultats sont similaires pour les crues décennale et vicennale. Si à l'état initial les hauteurs d'eau n'excèdent pas 50 cm pour la crue quinquennale et 1 mètre pour les deux autres, l'aménagement a pour effet de doubler ces valeurs et d'agrandir largement l'emprise de l'inondation mais sur une surface raisonnable et sans enjeux humains. Les surfaces des ZEC selon la fréquence de la crue sont par résumées dans le tableau suivant.

Tableau 23 surface de la Zec selon l'occurrence de crue

<b>Crue</b>	<b>Surface m<sup>2</sup></b>
Q5	18 000
Q10	35 000
Q20	51 000
Q30	55 000
Q50	55 500
Q100	56 000

Par ailleurs, la surface de l'inondation se stabilise indiquant que les débordements atteignent les limites de la ZEC naturelle à partir de la crue de période de retour 30 ans. La retenue d'eau ainsi formée voit sa hauteur augmenter avec la rareté de l'évènement.

On note sur la Figure 87 que la surverse se fait, non pas à partir de la crue cinquantennale comme l'indiquait BURGEAP, mais à partir de la crue trentennale.

Enfin on note une diminution de l'aléa en aval de l'aménagement sur le tronçon 1 due à l'expansion de la crue en amont.

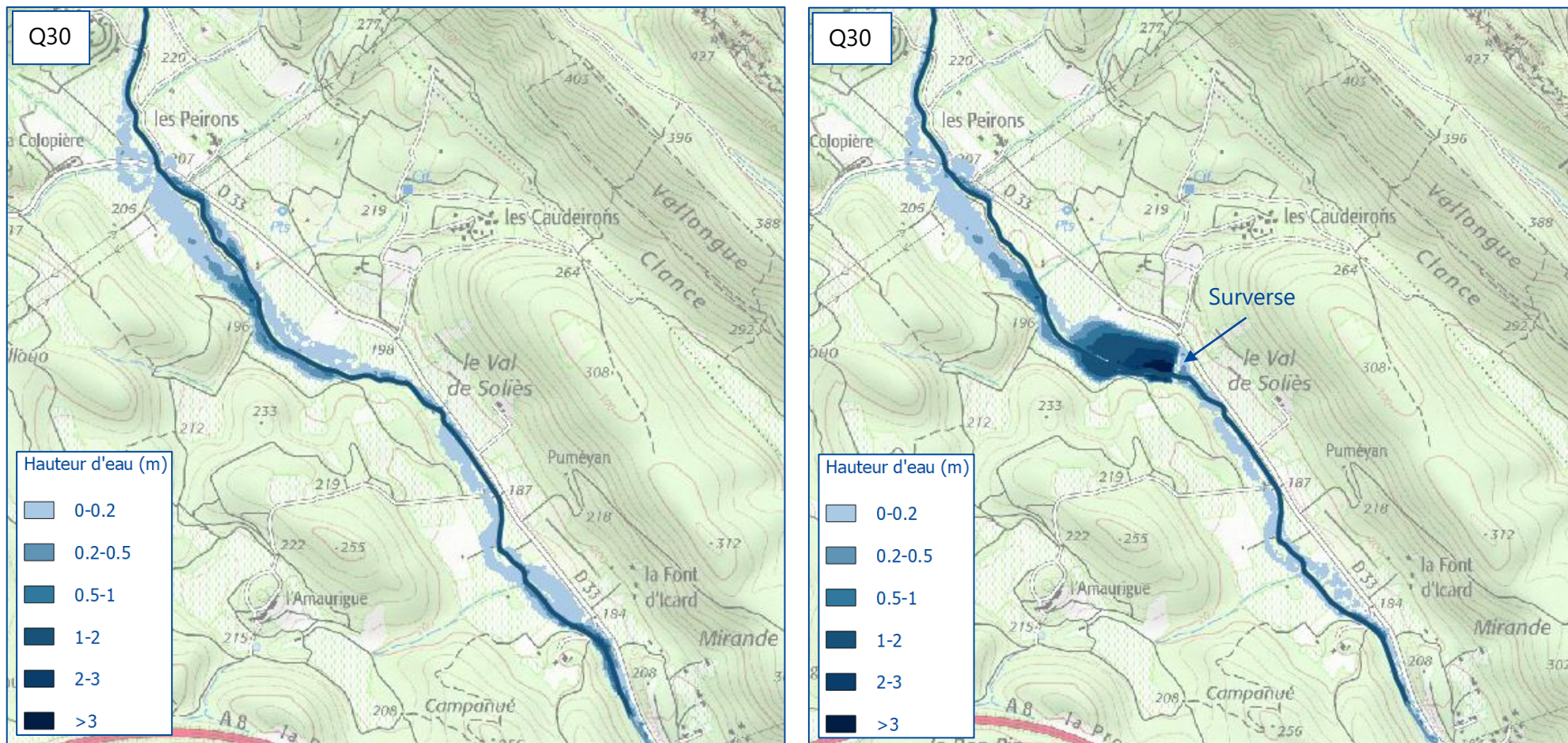


Figure 87 Résultat hauteur d'eau état initial à gauche et état aménagé à droite – Soliès Q30

A l'aval de la retenue, aucun impact n'est observé pour des crues de période de retour de 20 ans ou moins. En effet les débordements sont nuls sur ces tronçons pour ces crues. En revanche, tandis que des débordements apparaissent à partir de la crue trentennale on note une diminution de la hauteur d'eau du ruissellement de 50% environ.

#### 6.4.2.2 TRONÇON SOLIÈS 2 ET TRONÇON SOLIÈS 3

Aucun débordement n'est observé pour une crue quinquennale donc aucun effet visible de l'aménagement. Pour les crues décennales et vicennales deux points de débordements, l'un en rive droite, l'autre en rive gauche, au début du tronçon Soliès 2 sont observés. L'aménagement amont supprime ces débordements.

Sur le tronçon Soliès 3, BURGEAP avait prévu 2 aménagements qui consistaient à élargir le pont SOL\_PT\_8 et de détruire le seuil en aval SOL\_SE\_1. Sur ce tronçon la crue vicennale provoque un débordement à l'état initial et il semble que les aménagements cités précédemment aient permis de l'éviter. Pour les crues de fréquences supérieures les débordements ne peuvent être évités mais les hauteurs d'eau et l'emprise de l'inondation sont réduites.

#### 6.4.2.3 TRONÇON SOLIÈS 4

Ce tronçon correspond à la traversée du Soliès dans le centre-ville du Luc. A l'état initial seul la crue centennale provoque un débordement en rive gauche au droit des piles du pont de l'A8. Le phénomène est, de façon contradictoire, accentué par l'aménagement comme observé sur la Figure 88 les hauteurs sont parfois doublées dans la rue.

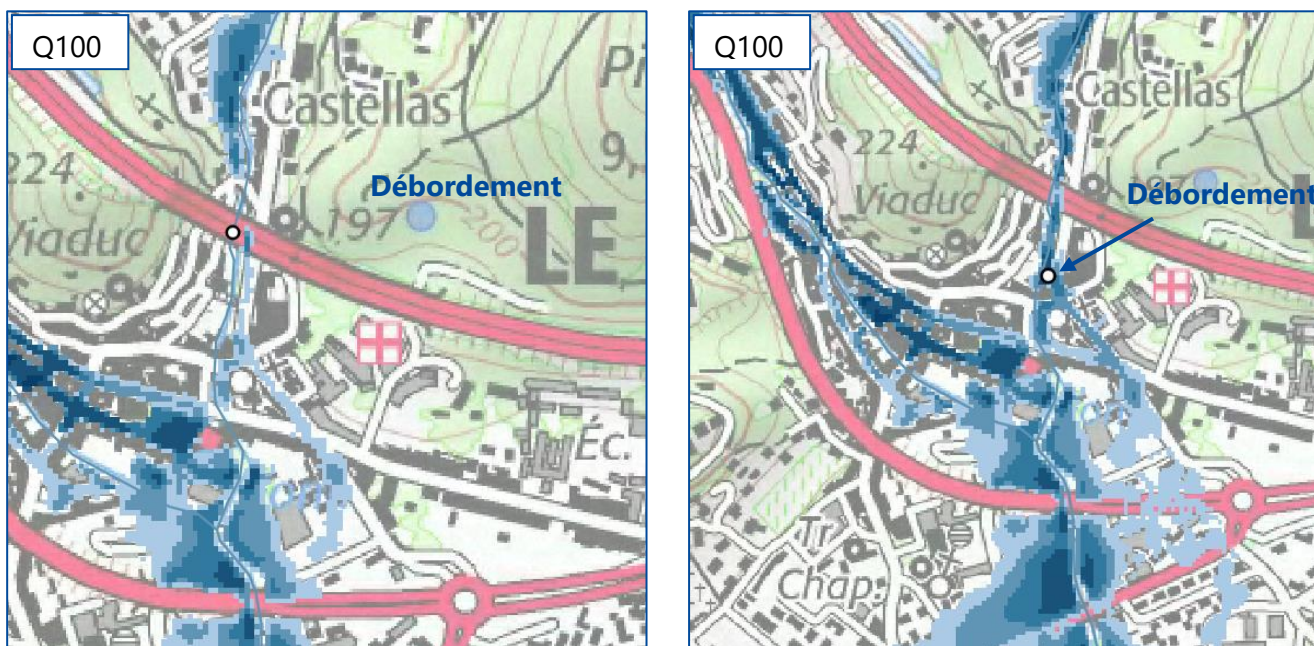


Figure 88 Point de débordement pour l'état initial à gauche et état aménagé à droite - Q100

Tandis que la destruction du seuil permet d'effacer le débordement au droit des piles du pont, un débordement plus important 45 mètres en aval avant le passage sous terrain fait son apparition. Celui-ci inonde une partie de la rue Frédéric Mistral avant d'atteindre l'église et de ruisseler dans la rue Victor Hugo. Un tel aménagement et ce malgré les débits amoindris en amont a des conséquences aggravantes sur l'aléa.

#### 6.4.2.4 TRONÇON SOLIÈS 7

Le tronçon 7 s'étend du secteur aval du centre-ville jusqu'au quartier Payette en aval de la voie ferrée. L'aménagement ayant un impact sur ce tronçon est le nouveau bras du Soliès qui reprend approximativement le tracé d'un arrosant à l'ouest. Si la capacité de l'arrosant à l'état initial ne permettait pas de contenir les débits d'une crue quinquennale, le nouveau bras voit des débordements importants à partir de la crue trentennale. A l'état initial pour une crue quinquennale le débit maximum drainé ne dépassait pas 7 m<sup>3</sup>/s tandis qu'à l'état aménagé le débit au même point atteint 13,5 m<sup>3</sup>/s.

Pour des crues supérieures à la crue vicennale des débordements importants sont de nouveaux observés mais on note une nette amélioration de la répartition des volumes d'eau ruisselés pour toutes les occurrences de crues. Sur la Figure 89 sont entourés en vert les impacts sur l'aléa inondation pour la crue quinquennale et la crue centennale. Le nouveau bras permet, indifféremment de l'occurrence de crue, d'éviter certains débordements et de limiter largement l'écoulement dans la plaine.

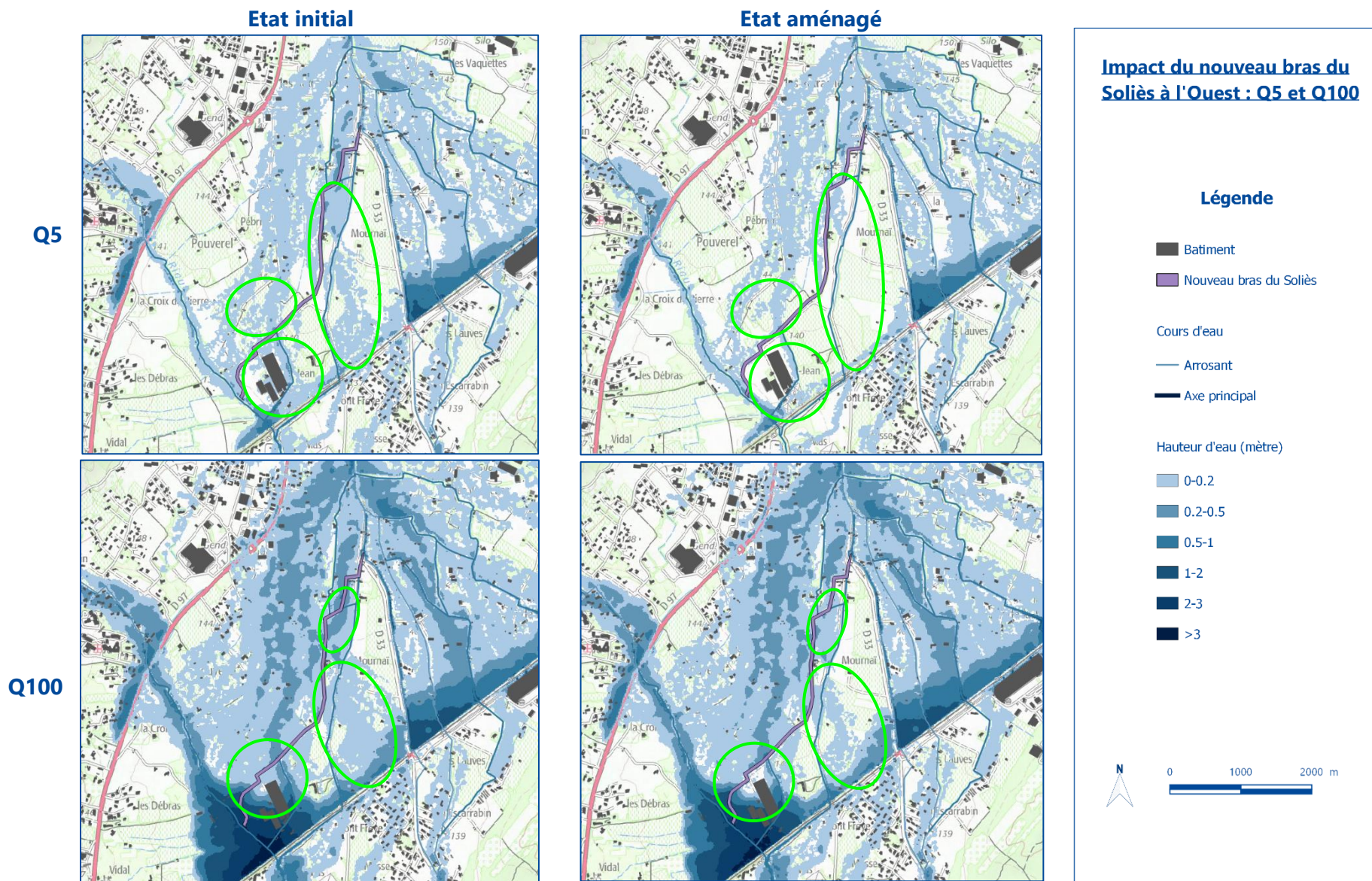


Figure 89 Impact du nouveau bras du Soliès pour Q5 et Q100

### 6.4.3 COUDOUNIER

La retenue à aménager a pour objectif de laisser transiter les crues inférieures à la crue décennale et de retenir les crues plus rares jusqu'à la crue trentennale.

Le tableau ci-dessous bien que peu représentatif d'un point vue local fournit une vision globale de l'impact de l'aménagement en amont du Soliès. Les débits hydrauliques pour l'état aménagé et pour l'état initial ont été relevés quelques mètres en amont du passage du Coudounier sous la DN7, environ 800 mètres avant le passage sous l'ancien garage Peugeot.

Tableau 24 Taux d'abattement pour la ZEC Coudounier

	<b>Q<sub>hydraulique</sub> Etat Initial (m3/s)</b>	<b>Q<sub>hydraulique</sub> Etat Aménagé (m3/s)</b>	<b>Ecart</b>	<b>taux d'abattement (%)</b>
<b>Q5</b>	33,2	28,3	4,9	14,8
<b>Q10</b>	45,4	40,8	4,6	10,1
<b>Q20</b>	59,6	56,3	3,3	5,5
<b>Q30</b>	69	66,2	2,8	4,1
<b>Q50</b>	80,6	78	2,6	3,2
<b>Q100</b>	98,7	96,6	2,1	2,1

De façon générale l'abattement semble être bien plus faible que dans le cas de la retenue du Soliès. L'aménagement semble pour autant efficace pour des crues de périodes de retour comprises entre 5 et 20 ans et non comme l'avait prédit BURGEAP entre 10 et 30 ans, avec un taux d'abattement du débit de pointe allant de 10 à 15%.

La suite de l'étude permet d'analyser localement l'effet de la retenue et pour les deux derniers tronçons l'impact des modifications dans le centre-ville.

### 6.4.3.1 TRONÇON COUDOUNIER 1

Le tronçon Coudounier 1 correspond au secteur où BURGEAP a imaginé la retenue.

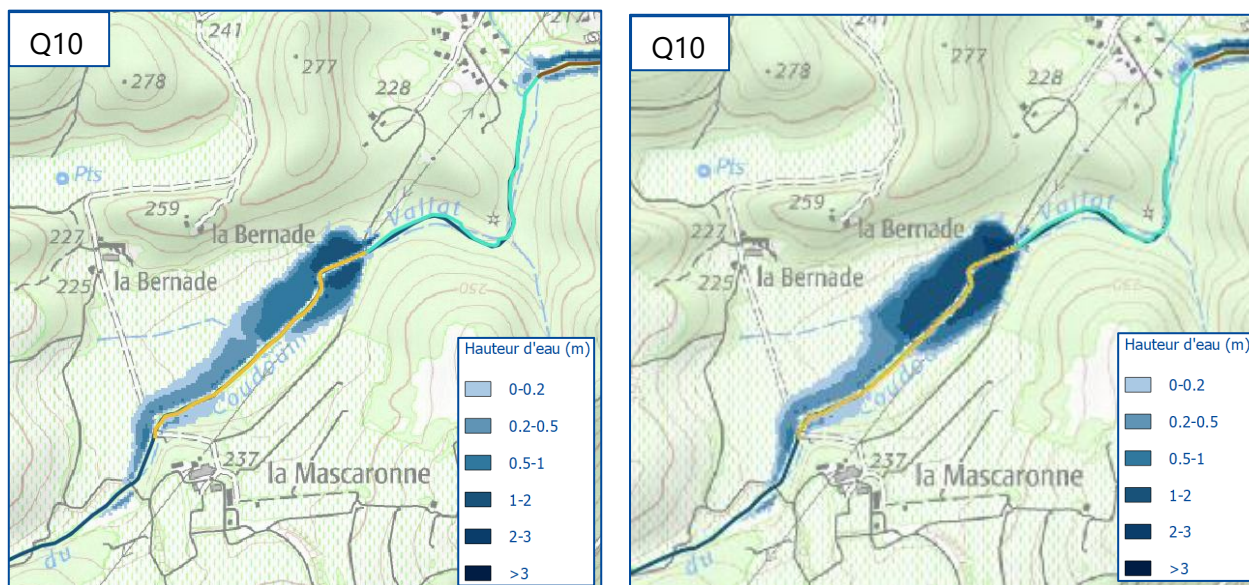


Figure 90 Impact de la retenue amont sur le Coudounier – Q10

Comme décrit dans la phase « Etat initial » de l'étude le secteur de la Mascaronne est caractérisé par une zone d'expansion de crue naturelle efficace et marquée. Les caractéristiques morphologiques de la zone ainsi que la rupture de pente déjà identifiée offrent des conditions propices au débordement et à la retenue des eaux. La Figure 90 illustre l'impact de l'aménagement pour une crue décennale qui semble être la crue pour laquelle la retenue est la plus efficace. L'impact est tout de même bien visible vis-à-vis du volume stocké et de la surface inondée, d'une surface de 39 000 m<sup>2</sup> à l'état initial et 50 000 m<sup>2</sup> à l'état aménagé.

### 6.4.3.2 TRONÇON COUDOUNIER 2, COUDOUNIER 3, COUDOUNIER 4

L'impact de l'aménagement, indifféremment de la fréquence de crue sur ces tronçons, est négligeable au regard de l'emprise de l'inondation, du nombre de points de débordements et même de la hauteur d'eau (légèrement diminuée en l'état aménagé)

### 6.4.3.3 TRONÇON COUDOUNIER 5, COUDOUNIER 6

Ces deux tronçons concernent le centre-ville du Luc. Pour rappel les aménagements de BURGEAP visent, dans le Coudounier, à réduire l'aléa inondation en centre-ville pour la crue décennale. Ces aménagements sont rappelés dans la partie « Etude de faisabilité Burgeap » du rapport. L'impact du projet de retenue en amont du Coudounier est également pris en compte.

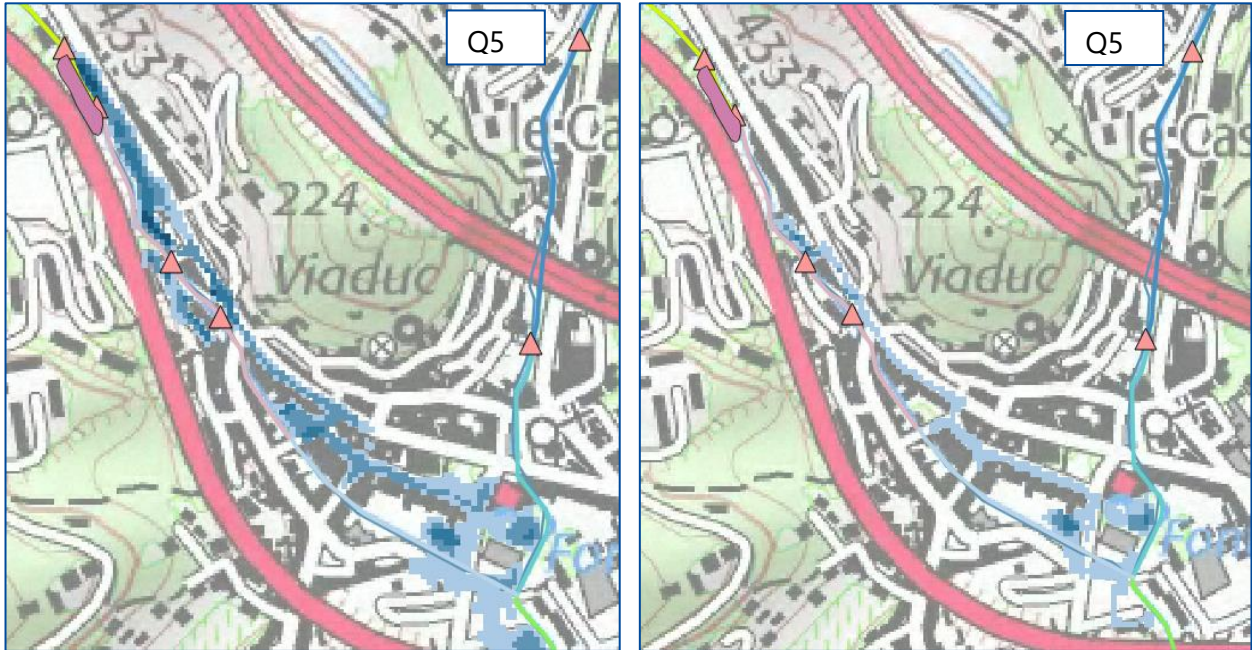


Figure 93 Impact des aménagements sur les inondations du centre-ville – Q5

Les aménagements dans le centre-ville sont efficaces pour des crues de périodes de retour de 5 ans et moins. Notamment l'élargissement du pont romain, la destruction du seuil COU\_SE\_1 en aval de l'ancien garage et l'augmentation du gabarit du Coudounier en rive droite ont permis d'éviter les débordements pour la crue quinquennale et réduit considérablement les hauteurs d'eau dans les rues pour les crues plus rares. Un débordement au niveau du pont COU\_PT\_14 persiste malgré son élargissement et de nouvelles propositions devront être entreprises. Initialement prévu pour limiter les débordements pour la crue décennale, les aménagements semblent être optimisés pour un éviter un débordement en rive gauche en amont du centre-ville. Pour autant on note la diminution de la hauteur d'eau dans les rues notamment la rue de la république.



Figure 92 Impact des aménagements sur les inondations du centre-ville – Q10

## 6.4.4 RIAUTORT

### 6.4.4.1 TRONÇON RIAUTORT 2 ET RIAUTORT 3

L'élargissement du Riautort vise principalement à réduire l'aléa inondation à l'aval de la voie ferrée pour la crue cinquantennale, au niveau des quartiers Payette et Pas Vieux, fortement touché par les débordements du Riautort.

Pour des crues de période de retour comprises entre 5 et 20 ans les résultats sont satisfaisants vis-à-vis de l'impact sur l'inondation des quartiers en aval.

La Figure 94 représentent l'aléa avant et après aménagement pour une crue quinquennale. Les débordements en rive droite sont limités par l'élargissement du Riautort et permet de réduire les hauteurs d'eau en aval dans le quartier Pas Vieux. De même en rive gauche le débordement identifié est plus modéré. Sur la Figure 94 sont entourés en vert les impacts positifs vis-à-vis des débordements et de l'emprise de l'inondation.

On note également, pour l'état aménagé, l'absence de débordement de l'arrosant le long de la voie ferrée. L'ensemble des aménagements en amont permettent ainsi de limiter le ruissellement dans le Mas de Montferrat et jusqu'à la station d'épuration. C'est à partir de la crue vicennale qu'un débordement est de nouveau observé alors que pour l'état initial des débordements est annoncés dès la crue quinquennale.

Cependant pour des crues de période de retour supérieure à 30 ans les objectifs de protection des quartiers en aval ne sont plus atteints. Sur la Figure 94 on remarque en effet un impact positif en rive gauche où le débordement et le ruissellement sont amoindris mais un suraléa en rive droite. L'hypothèse est que l'ouverture du lit mineur vers la rive droite avec création d'une banquette est efficace pour des crues uniquement inférieures à la crue vicennale. Au-delà, pour des débits plus élevés, l'aménagement favorise les débordements en rive droite inondant ainsi de façon plus importante le quartier pas Vieux. De plus il faut prendre en compte le fait que la création du nouveau bras du Soliès est à l'origine d'un apport de débit plus important dans le Riautort.

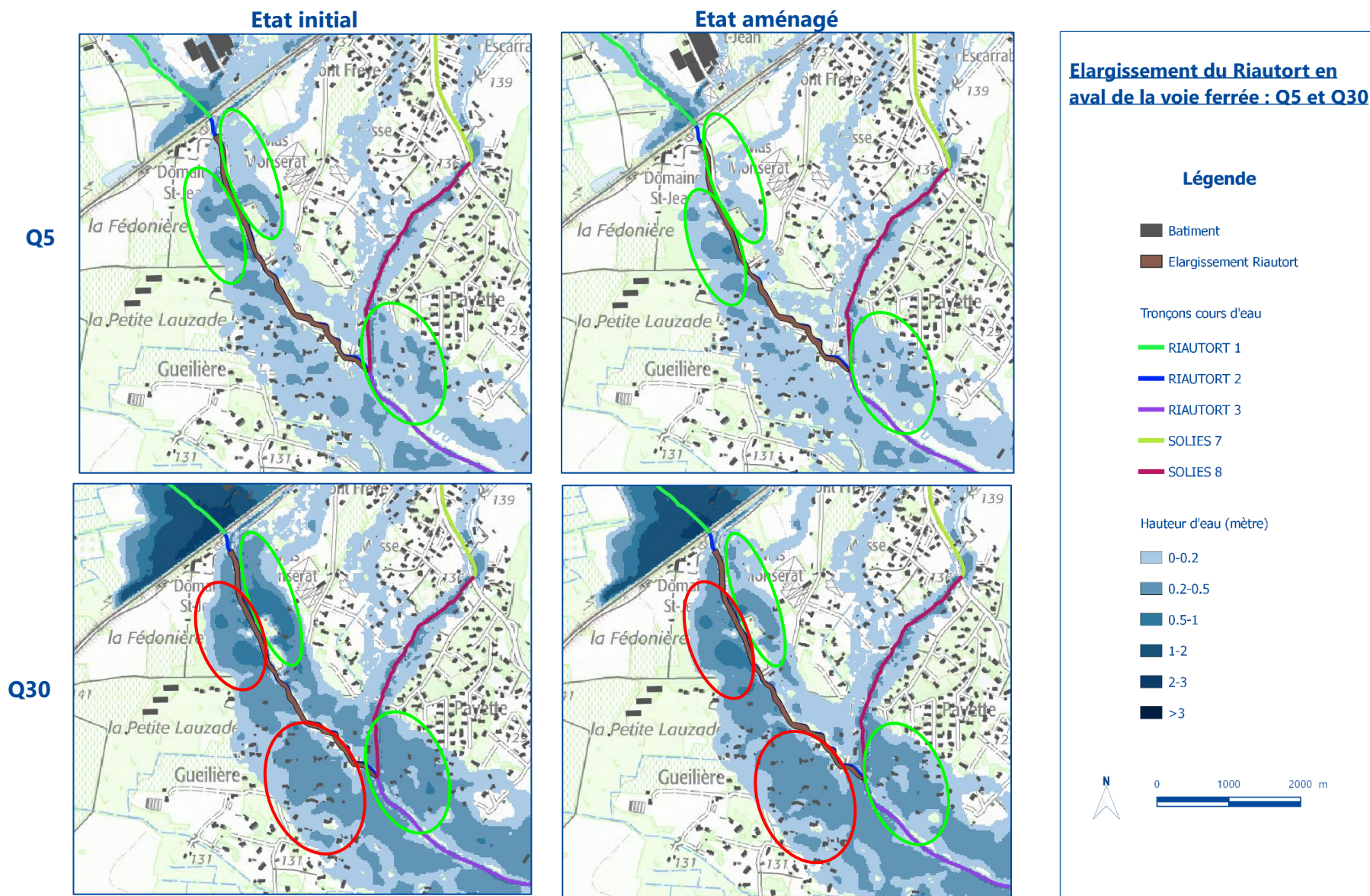


Figure 94 Impact de l'élargissement du Riauxort en aval de la voie ferrée pour Q5 et Q30

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : CN PRECONISÉ PAR SCS

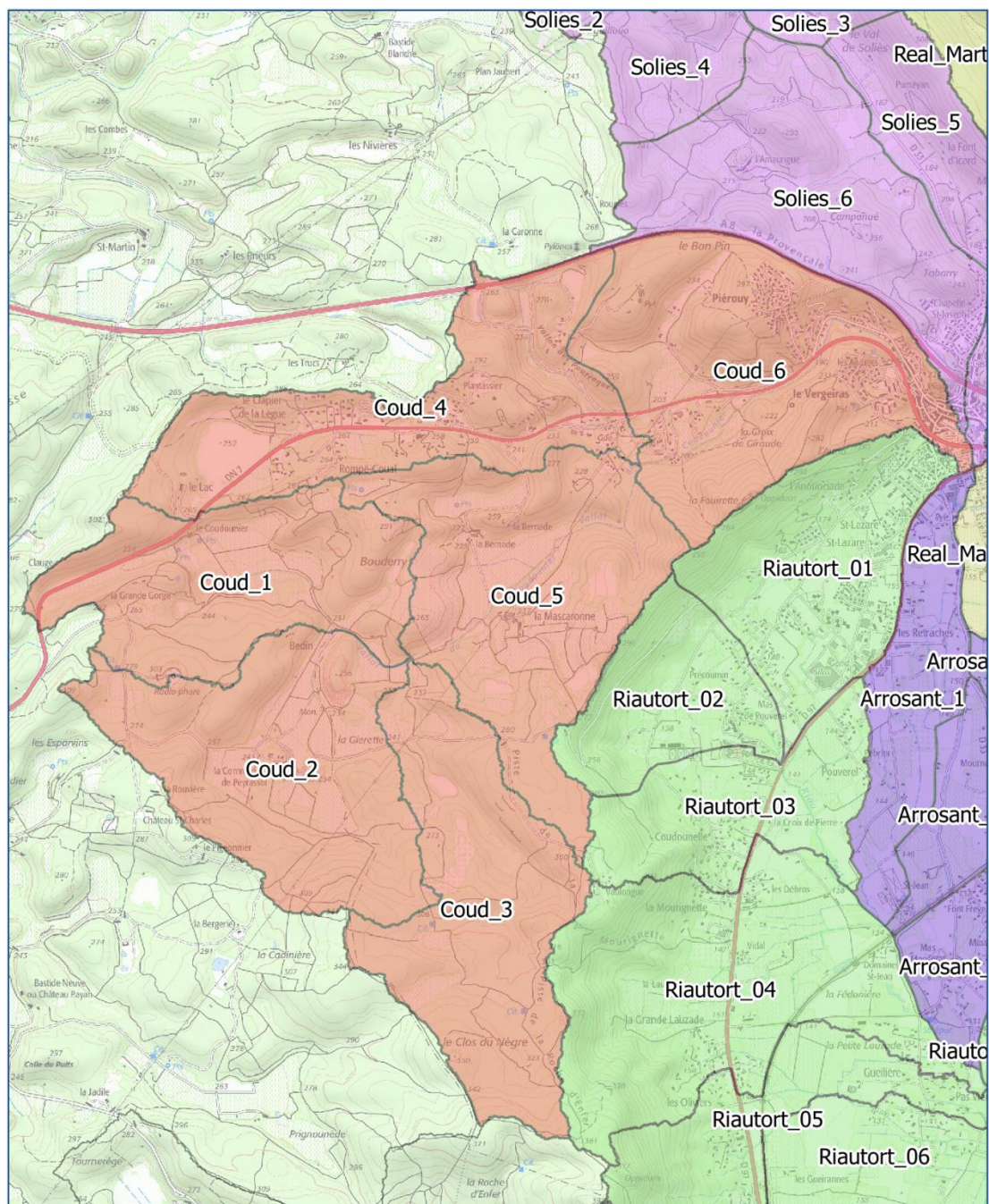
Curve Number dans la zone naturelle

Utilisation du sol	Pratique culturale	Condition d'infiltration	Groupe hydrologique			
			A	B	C	D
<b>Jachère</b>	sol nu	-	77	86	91	94
	avec résidus	pauvre	76	85	90	93
		bonne	74	83	88	90
<b>Cultures en rangs</b>	en ligne droite	pauvre	72	81	88	91
		bonne	67	78	85	89
	en ligne droite + résidus	pauvre	71	80	87	90
		bonne	64	75	82	85
	en contour	pauvre	70	79	84	88
		bonne	65	75	82	86
<b>Céréales</b>	en ligne droite	pauvre	65	76	84	88
		bonne	63	75	83	87
	en ligne droite + résidus	pauvre	64	75	83	86
		bonne	60	72	80	84
	en contour	pauvre	63	74	82	85
		bonne	61	73	81	84
<b>Légumineuses ou prairies en rotation</b>	en rangées	pauvre	66	77	85	89
		bonne	58	72	81	85
	en contours	pauvre	64	75	83	85
		bonne	55	69	78	83
<b>Pâturages</b>	-	pauvre	68	79	86	89
		moyenne	49	69	79	84
		bonne	39	61	74	80
<b>Prairies</b>	non pâturées	-	30	58	71	78
<b>Boisés</b>	-	pauvre	45	66	77	83
		moyenne	36	60	73	79
		bonne	25	55	70	77
<b>Cour fermes</b>	-	-	59	74	82	86
<b>Route non-asphaltée</b>	-	-	72	82	87	89
<b>Route</b>	-	-	74	84	90	92

Curve Number dans la zone urbaine

Occupation du sol		Groupe hydrologique			
		A	B	C	D
<b>Zone imperméable</b>	Parking, toiture, etc.	98	98	98	98
	<b>Voirie</b>				
	Route asphaltée	98	98	98	98
	Route asphaltée, fossés ouverts	83	89	92	93
	Chemin de gravier	76	85	89	91
	Chemin en terre	72	82	87	89
<b>Zone forte urbanisée</b>	Zone commerciale (85% imp.)	89	92	94	95
	Zone industrielle (72% imp.)	81	88	91	93
<b>Quartiers résidentiels</b>	Habitat (65% imp.)	77	85	90	92
	Habitat (38% imp.)	61	75	83	87
	Habitat (30% imp.)	57	72	81	86
	Habitat (25% imp.)	54	70	80	85
	Habitat (20% imp.)	51	68	79	84
	Habitat (12% imp.)	46	65	77	82





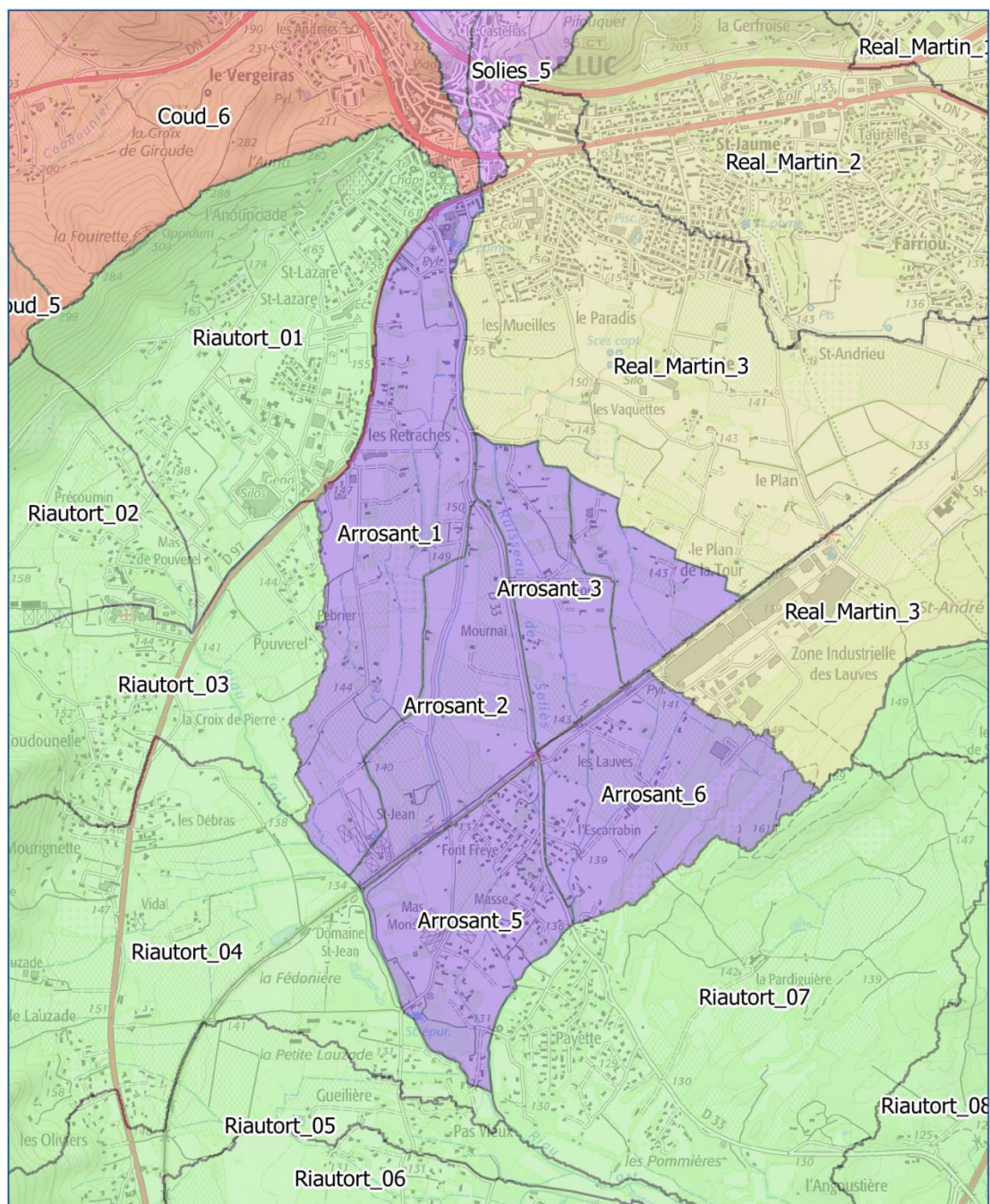
**MOE DES AMENAGEMENTS DE RESTAURATION MORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU ET REDUCTION DU RISQUE INONDATION : SOLIES, COUDOUNIER, RIAUTORT**

Carte : Délimitation des sous-bassins versants  
Planche 1 : Le Coudounier

N° : 2019\_01\_21-83

0 700 1400 m





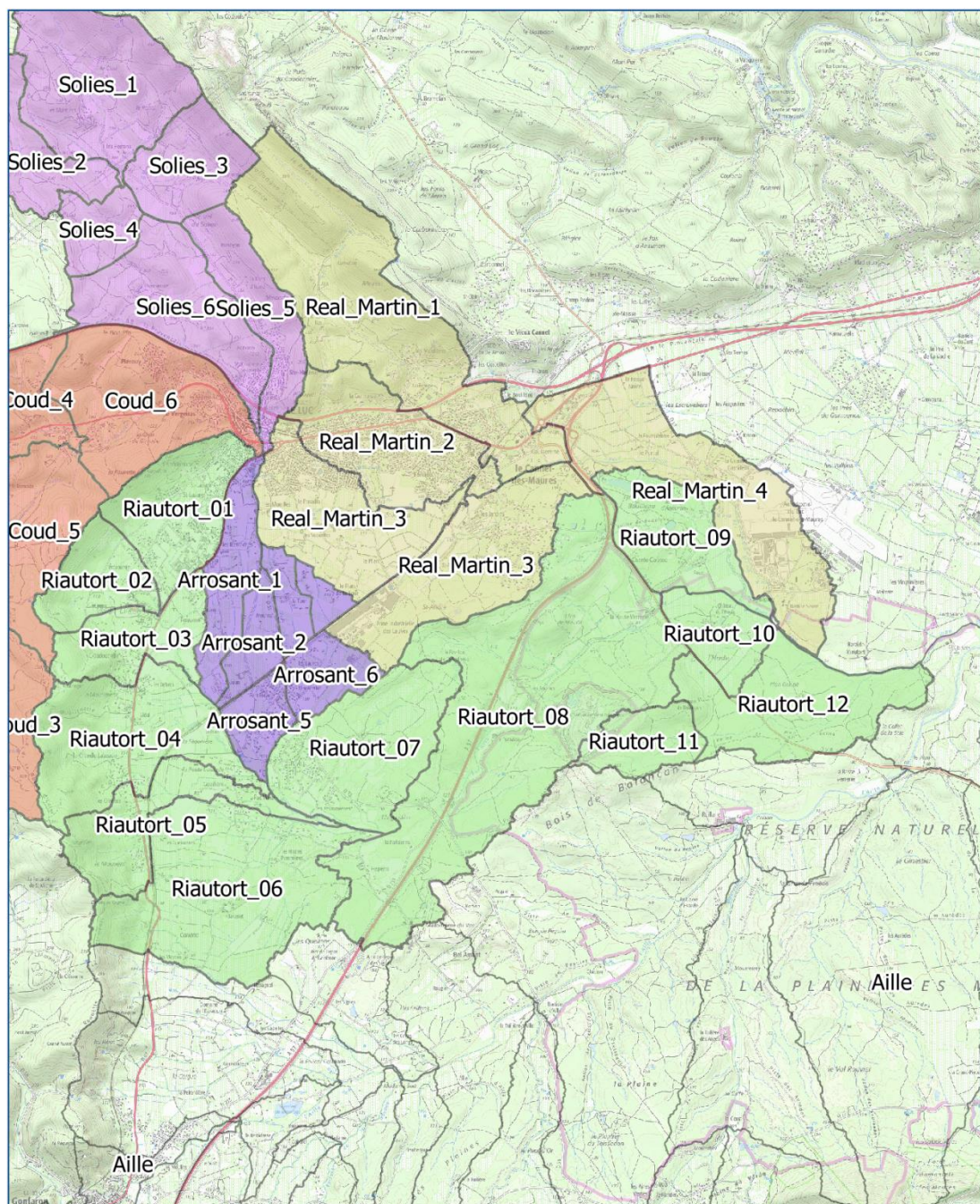
**MOE DES AMENAGEMENTS DE RESTAURATION MORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU ET REDUCTION DU RISQUE INONDATION : SOLIES, COUDOUNIER, RIAURTORT**

Carte : Délimitation des sous-bassins versants  
Planche 1 : Les arrosants

N° : 2019\_01\_21-83

0 500 1000 m





**MOE DES AMENAGEMENTS DE RESTAURATION MORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU ET REDUCTION DU RISQUE INONDATION : SOLIES, COUDOUNIER, RIAUTORT**

Carte : Délimitation des sous-bassins versants  
Planche 1 : Le Réal Martin et Le Riautort

N° : 2019\_01\_21-83

0 1000 2000 m



## ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS

Superficie et occupation du sol (km<sup>2</sup>)

<b>SBV</b>	<b>Surface</b>	<b>Culture</b>	<b>Habitat dispersé</b>	<b>Urbain dense</b>	<b>Sol nu</b>	<b>Forêt</b>
<b>Aille</b>	86,97	19,44	2,03	0,21	10,40	54,90
<b>Arrosant_1</b>	0,95	0,88	0,08			
<b>Arrosant_2</b>	0,51	0,51				
<b>Arrosant_3</b>	0,36	0,36				
<b>Arrosant_4</b>	0,23	0,23				
<b>Arrosant_5</b>	0,54	0,33	0,21			
<b>Arrosant_6</b>	0,61	0,57	0,04			
<b>Coud_1</b>	1,76	0,62				1,13
<b>Coud_2</b>	2,12	0,71				1,41
<b>Coud_3</b>	2,03	0,15				1,88
<b>Coud_4</b>	1,93	0,34	0,31			1,28
<b>Coud_5</b>	2,26	1,06	0,02			1,19
<b>Coud_6</b>	2,43	0,12	0,39	0,09		1,83
<b>Réal_Martin_1</b>	4,31	0,91	0,62			2,78
<b>Réal_Martin_2</b>	2,00	0,32		1,24		0,44
<b>Réal_Martin_3</b>	4,16	1,99	0,49	0,38		1,29
<b>Réal_Martin_4</b>	3,01	2,38	0,20	0,43		0,00
<b>Riautort_01</b>	1,51	0,30	0,59	0,12		0,50
<b>Riautort_02</b>	0,95	0,36	0,08			0,51
<b>Riautort_11</b>	0,75	0,60	0,21			0,33
<b>Riautort_12</b>	2,16	1,37	0,13			0,97
<b>Riautort_03</b>	1,14	0,59	0,15			0,59
<b>Riautort_04</b>	2,47	0,70	0,18			2,73
<b>Riautort_05</b>	1,33	0,99	0,28			1,04
<b>Riautort_06</b>	3,61	0,99			0,29	5,86
<b>Riautort_07</b>	2,31	1,20				0,24
<b>Riautort_08</b>	7,13	0,46				0,35
<b>Riautort_09</b>	1,44				0,15	0,60
<b>Riautort_10</b>	0,81					2,16
<b>Solies_1</b>	2,56	0,60				1,96
<b>Solies_2</b>	1,98	0,46				1,52
<b>Solies_3</b>	1,14	0,37				0,77
<b>Solies_4</b>	0,61	0,11				0,50
<b>Solies_5</b>	1,18	0,20	0,15			0,84
<b>Solies_6</b>	1,96	0,66	0,09			1,20

Temps de concentration, temps de réponse et Curve Number calé

<b>SBV</b>	<b>Chemin hydraulique le plus long (km)</b>	<b>Pente</b>	<b>T<sub>c</sub> (h)</b>	<b>T<sub>lag</sub> (h)</b>	<b>C N</b>	<b>Imp</b>
<b>Aille</b>	21,03	1,06%	9,17	5,50	64	0,1%
<b>Arrosant_1</b>	2,10	0,90%	0,95	0,57	55	
<b>Arrosant_2</b>	1,74	0,89%	0,79	0,47	55	
<b>Arrosant_3</b>	1,23	0,71%	0,58	0,35	55	
<b>Arrosant_4</b>	0,93	0,68%	0,44	0,27	55	
<b>Arrosant_5</b>	1,43	0,70%	0,68	0,41	57	
<b>Arrosant_6</b>	1,08	0,61%	0,53	0,32	75	
<b>Coud_1</b>	1,98	1,26%	1,30	0,78	70	
<b>Coud_2</b>	2,06	2,35%	1,05	0,63	70	
<b>Coud_3</b>	3,62	3,38%	2,28	1,37	70	
<b>Coud_4</b>	3,04	2,10%	2,17	1,30	70	
<b>Coud_5</b>	2,96	3,20%	1,28	0,77	70	
<b>Coud_6</b>	3,24	3,72%	0,79	0,47	70	0,7%
<b>Réal_Martin_1</b>	6,16	4,26%	1,37	0,82	62	
<b>Réal_Martin_2</b>	2,84	6,20%	0,78	0,47	81	12,4 %
<b>Réal_Martin_3</b>	5,03	1,35%	2,08	1,25	70	1,8%
<b>Réal_Martin_4</b>	3,31	1,01%	1,46	0,88	59	2,8%
<b>Riautort_01</b>	1,89	3,98%	0,78	0,47	75	1,6%
<b>Riautort_02</b>	1,17	5,70%	0,35	0,21	60	
<b>Riautort_03</b>	2,15	7,47%	0,50	0,30	65	
<b>Riautort_04</b>	2,81	8,18%	0,71	0,43	48	
<b>Riautort_05</b>	3,31	5,78%	0,98	0,59	47	
<b>Riautort_06</b>	3,98	3,30%	1,70	1,02	41	
<b>Riautort_07</b>	2,49	1,01%	1,10	0,66	47	
<b>Riautort_08</b>	5,31	1,18%	2,26	1,35	38	
<b>Riautort_09</b>	1,89	1,51%	1,31	0,79	52	

<b>Riautort_10</b>	1,02	1,98%	0,84	0,51	47	
<b>Riautort_11</b>	1,15	4,54%	0,61	0,36	35	
<b>Riautort_12</b>	2,63	1,54%	1,83	1,10	36	
<b>Solies_1</b>	2,31	4,71%	0,79	0,48	64	
<b>Solies_2</b>	2,71	3,81%	0,65	0,39	40	
<b>Solies_3</b>	1,25	13,69 %	0,33	0,20	42	
<b>Solies_4</b>	1,41	5,18%	0,46	0,27	63	
<b>Solies_5</b>	2,69	1,14%	1,15	0,69	42	
<b>Solies_6</b>	1,78	4,98%	0,60	0,36	44	