Juin 2020

# ETUDE DU FONCTIONNEMENT DE L'EYGOUTIER ET DE SES AFFLUENTS

# APPROCHE HYDRAULIQUE ET MORPHOLOGIQUE EN LIEN AVEC LE MILIEU

**PHASE 4 : modélisation hydraulique et définition de l'aléa inondation**

## IDENTIFICATION DES MEMBRES DU GROUPEMENT

**INGÉROP** Conseil et Ingénierie
**Agence de Aix-en-Provence** - Domaine du Petit Arbois - Pavillon Laënnec - Hall B - BP 20066 - F-13545 Aix-en-Provence cedex 4
Tél. : (33)4 42 50 83 00 - N° Siret 489 626 135 00250 - ingerop.sav@ingerop.com - ingerop.fr
**Siège Social** : 18 rue des deux gares - CS 70081 - F-92563 Rueil-Malmaison Cedex
S.A.S. au capital de 5 800 000 € - R.C.S. Nanterre B 489 626 135 - APE 7112B - Code TVA n° FR 454 596 261 35

## PARTENAIRES FINANCIERS

Etude réalisée avec le concours financier de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse ; la Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur et le Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs de l'Etat.

## GESTION DE LA QUALITE

| Version | Date | Intitulé | Rédaction | Lecture | Validation |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 05/2019 | Rapport de phase 4 – version provisoire | PP | JF | JF |
| 2 | 10/2019 | Rapport de phase 4 | PP | JF | JF |
| 3 | 04/2020 | Rapport de phase 4 | PP | JF | JF |
| 4 | 06/2020 | Rapport de phase 4 | PP | JF | JF |

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

***Les membres du groupement d'entreprises ne sont pas responsables de la vérification de la véracité des informations transmises, à l'exception de celles normalement décelables par l'homme de l'art, et celles pour lesquelles le Client a exigé une analyse spécifique.***

***Les cours d'eau sont des milieux complexes naturellement évolutifs et en interaction avec la végétation, les aménagements et les pratiques humaines. Des évolutions accidentelles, ou difficilement prévisibles, non formulées dans cette étude demeurent possibles. Seules les tendances apparentes les plus probables sont discernables. La responsabilité des membres du groupement d'entreprises ne pourra donc pas être engagée en cas d'évolutions non énoncées ou contraires à ses énonciations.***

***La présente étude ne constitue en aucun cas un diagnostic de génie civil ou géotechnique pour ce qui concerne les différents ouvrages. La responsabilité des membres du groupement d'entreprises ne pourra donc pas être engagée en cas de désordres sur des ouvrages.***

## SOMMAIRE


1 INTRODUCTION 11

2 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE 13

2.1 METHODOLOGIE GENERALE 13

2.2 MODELES 1D - LIT MINEUR 15

2.3 MODELES 1D - RESEAUX PLUVIAUX 19

2.4 MODELES 2D - LIT MAJEUR 20

2.5 COEFFICIENT DE RUGOSITE 26

2.6 CONDITIONS AUX LIMITES 29

2.6.1 Condition amont 29

2.6.2 Condition aval 34

2.6.3 Continuité entre les deux modèles 35

2.7 COUPLAGE 36

3 CALAGE DU MODELE 37

3.1 CRUE DU 24 SEPTEMBRE 2006 37

3.2 CRUE DU 8 SEPTEMBRE 2013 45

4 RESULTATS DES SIMULATIONS DE L'ETAT ACTUEL – DIAGNOSTIC 48

4.1 PERIODE DE RETOUR DES CRUES SIMULEES 49

4.2 DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS 51

4.2.1 Crue issue d'une pluie biennale 51

4.2.2 Crue issue d'une pluie quinquennale 64

4.2.3 Crue issue d'une pluie décennale 70

4.2.4 Crue issue d'une pluie trentennale 74

4.2.5 Crue issue d'une pluie cinquantennale 80

4.2.6 Crue issue d'une pluie de référence 83

4.2.7 Crue exceptionnelle 89

4.3 DIAGNOSTIC 94

4.3.1 Crue issue d'une pluie biennale 94
4.3.2 Crue issue d'une pluie quinquennale 99
4.3.1 Crue issue d'une pluie décennale 104
4.3.2 Crue issue d'une pluie trentennale 109
4.3.3 Crue issue d'une pluie cinquantennale 113
4.3.4 Crue issue d'une pluie de référence 117
4.3.4.3 Cartographie de synthèse 125
4.3.5 Crue exceptionnelle 129
**4.4 ANALYSE CAPACITAIRE 133**
4.4.1 Modèle amont – pluie longue (24h) 133
4.4.2 Modèle aval – pluie courte (2h) 143
**5 CONCLUSION 148**
**6 ANNEXES 149**
**6.1 VUE EN PLAN DES MODELES 1D 149**
**6.2 DEBITS DE SORTIE DU MODELE PLANQUETTE 151**
**6.3 RESULTATS DU MODELE HYDROLOGIQUE 153**
**6.4 LAISSES DE CRUES 2006 – SOURCES SCE 159**
**6.5 SYNTHESES DES DEBITS ISSUS DE LA MODELISATION HYDRAULIQUE 164**
**6.6 SYNTHESE DES COTES DE PLAN D'EAU 166**
**6.7 CARTOGRAPHIES DE RESULTATS DU MODELE HYDRAULIQUE 167**
**6.8 PROFILS EN LONG 168**

## FIGURES


Figure 1 : Synthèse de l'emprise des modèles hydrauliques réalisés ..... 14
Figure 2 : Synthèse des levers utilisés ..... 16
Figure 3 : Extrait du modèle lit mineur réalisé ..... 18
Figure 4 : Réseaux modélisés ..... 19
Figure 5 : Bassin enterré de Ste Musse (Source : OPSIA, 2018) ..... 19
Figure 6 : Modèle topographique aval ..... 21
Figure 7 : Modèle topographique amont ..... 22
Figure 8 : Identification des irrégularités topographiques ..... 23
Figure 9 : Exemple de point haut identifié ..... 24
Figure 10 : Localisation des murs anti-bruit de l'A57 ..... 25
Figure 11 : Coefficient de Strickler retenu – modèle lit mineur ..... 27
Figure 12 : Coefficient de Strickler retenu – modèle lit majeur ..... 28
Figure 13 : Conditions d'injection des hydrogrammes de crue dans le modèle hydraulique ..... 31
Figure 14 : Localisation des ouvrages de traversée sous la voie ferrée ..... 33
Figure 15 : Localisation des secteurs en dessous de 1.3mNGF ..... 34
Figure 16 : Topographie du Pont de la Clue ..... 35
Figure 17 : Couplage 1D/2D par liens de type déversement latéral ..... 36
Figure 18 : Couplage 1D/2D par liens de type « urban » ..... 36
Figure 19 : Localisation des laisses de crues de l'évènement du 24 septembre 2006 – source SCE . 38
Figure 20 : Profil en long de la ligne d'eau maximale - sensibilité à la condition amont ..... 40
Figure 21 : Hydrogrammes de l'Eygoutier, à l'aval de la confluence avec la Bade ..... 41
Figure 22 : Sensibilité des lignes d'eau en lit mineur à la rugosité (crue de 2006) ..... 43
Figure 23 : Géométrie considérée – source L. Ducros ..... 46
Figure 24 : Limnigramme reconstitué – crue de 2013 ..... 46
Figure 25 : Comparaison des hauteurs d'eau en amont du tunnel de Lamalgue ..... 47
Figure 26 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Q2 modèle amont ..... 51
Figure 27 : Extrait du levé LIDAR (m NGF) – Confluence Artaude / Règue ..... 52
Figure 28 : Dynamique des écoulements au temps t0+2h – Q2 modèle amont ..... 53
Figure 29 : Dynamique des écoulements au temps t0+3h – Q2 modèle amont ..... 54
Figure 30 : Dynamique des écoulements au temps t0+10h dans le secteur du Lambert – Q2 modèle amont ..... 55
Figure 31: Dynamique des écoulements au temps t0+10h - secteur du Plan – Q2 modèle amont ..... 56
Figure 32 : Dynamique des écoulements au temps t0+24h - secteur du Plan – Q2 modèle amont .... 57
Figure 33 : Cartographie du temps d'arrivée du pic de crue - Q2 modèle amont ..... 58
Figure 34 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Brunette Q2 modèle aval ..... 59
Figure 35 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Ste Musse Q2 modèle aval ..... 59
Figure 36: Dynamique des écoulements au temps t0 – St Joseph Q2 modèle aval ..... 60

Figure 37: Dynamique des écoulements au temps t0+45min – Ste Musse Q2 modèle aval ..... 61
Figure 38: Dynamique des écoulements au temps t0+1h45 –Q2 modèle aval ..... 62
Figure 39: Dynamique des écoulements au temps t0+6h45 –Q2 modèle aval ..... 62
Figure 40 : Cartographie du temps d'arrivée - Q2 modèle aval ..... 63
Figure 41: Dynamique des écoulements au temps t0 – Q5 modèle amont ..... 64
Figure 42: Dynamique des écoulements au temps t0+11h – Q5 modèle amont ..... 65
Figure 43: Dynamique des écoulements au temps t0+14h – Q5 modèle amont ..... 66
Figure 44 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Q5 modèle aval ..... 67
Figure 45: Dynamique des écoulements au temps t0+30min – Q5 modèle aval ..... 68
Figure 46: Dynamique des écoulements au temps t0+1h – Q5 modèle aval ..... 68
Figure 47 : Dynamique des écoulements au temps t0+1h30 – Q5 modèle aval ..... 69
Figure 48: Dynamique des écoulements au temps t0+4h45 – Q5 modèle aval ..... 69
Figure 49: Dynamique des écoulements au temps t0 – Q10 modèle amont ..... 70
Figure 50: Dynamique des écoulements au temps t0+15h – Q10 modèle amont ..... 71
Figure 51 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Q10 modèle aval ..... 72
Figure 52 : Dynamique des écoulements au temps t0+30 min – Q10 modèle aval ..... 72
Figure 53: Dynamique des écoulements au temps t0+2h45 – Q10 modèle aval ..... 73
Figure 54 Dynamique des écoulements au temps t0 – Q30 modèle amont ..... 74
Figure 55 Dynamique des écoulements au temps t0+12h – Q30 modèle amont ..... 75
Figure 56 Dynamique des écoulements au temps t0+19h – Q30 modèle amont ..... 76
Figure 57: Dynamique des écoulements au temps t0 – Q30 modèle aval ..... 77
Figure 58 : Dynamique des écoulements au temps t0+30min – Q30 modèle aval ..... 77
Figure 59 : Dynamique des écoulements au temps t0+45 min – Ste Musse -Q30 modèle aval ..... 78
Figure 60: Dynamique des écoulements au temps t0+1h – Q30 modèle aval ..... 79
Figure 61: Dynamique des écoulements au temps t0+2h – Q30 modèle aval ..... 79
Figure 62: Dynamique des écoulements au temps t0 – Q50 modèle amont ..... 80
Figure 63: Dynamique des écoulements au temps t0+4h – Q50 modèle amont ..... 80
Figure 64: Dynamique des écoulements au temps t0+12h – Q50 modèle amont ..... 81
Figure 65: Dynamique des écoulements au temps t0 – Q50 modèle aval ..... 82
Figure 66 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Qref modèle amont ..... 83
Figure 67: Dynamique des écoulements au temps t0+6h – Qref modèle amont ..... 84
Figure 68 : Dynamique des écoulements au temps t0+7h – Qref modèle amont ..... 84
Figure 69: Dynamique des écoulements au temps t0 – Qref modèle aval ..... 85
Figure 70: Dynamique des écoulements au temps t0+30min – Qref modèle aval ..... 86
Figure 71: Dynamique des écoulements au temps t0+45min – Qref modèle aval ..... 87
Figure 72: Dynamique des écoulements au temps t0+1h15 – Qref modèle aval ..... 88
Figure 73: Dynamique des écoulements au temps t0+1h15 – Qref modèle aval ..... 88
Figure 74 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Qexcep modèle amont ..... 89
Figure 75: Dynamique des écoulements au temps t0+12h – Qexcep modèle amont ..... 90

Figure 76: Dynamique des écoulements au temps t0+23h – Qexcep modèle amont ..... 91
Figure 77: Dynamique des écoulements au temps t0 – QEXCEP modèle aval ..... 92
Figure 78: Dynamique des écoulements au temps t0 +30min– QEXCEP modèle aval ..... 93
Figure 79 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q2 - Eygoutier et extrait du levé LIDAR... 94
Figure 80 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q2 - Lambert ..... 95
Figure 81: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q2 – Le Plan ..... 96
Figure 82 Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q2 – Ste Musse ..... 97
Figure 83 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q2 – Eygoutier ..... 98
Figure 84: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Estagnol ..... 99
Figure 85: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Artaude ..... 100
Figure 86: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Lambert ..... 101
Figure 87 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Ste Musse ..... 102
Figure 88 : : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Eygoutier intermédiaire ..... 103
Figure 89: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Eygoutier aval..... 103
Figure 90: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q10 – Estagnol ..... 104
Figure 91: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q10 – Reganas ..... 105
Figure 92 Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q10 – Plan de la Garde ..... 106
Figure 93: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q10 – Ste Musse ..... 107
Figure 94: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q10 – Eygoutier ..... 108
Figure 95: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q30 – Estagnol ..... 109
Figure 96 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q30 – Plan de la Garde ..... 110
Figure 97: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q30 – Ste Musse ..... 111
Figure 98: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q30 – St Joseph ..... 112
Figure 99: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q50 – Estagnol ..... 113
Figure 100: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q50 – Plan de la Garde ..... 114
Figure 101: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q50 – Ste Musse ..... 115
Figure 102: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q50 – St Joseph ..... 116
Figure 103 : Rappel des pluies de références – sources : Hydrétudes ..... 117
Figure 104 : Comparaison des hauteurs d'eau générées pour les 2 types de pluies étudiées – modèle amont..... 119
Figure 105 : Cartographie différentielle des différences de hauteurs d'eau générées par des pluies de type 3 et des pluies de type 2 – modèle amont..... 120
Figure 106 : Comparaison des hauteurs d'eau générées par des pluies différentes – modèle aval.. 123
Figure 107 : Cartographie différentielle des différences de hauteurs d'eau générées par des pluies de type 3 et des pluies de type 2 – modèle aval ..... 124
Figure 108 : Emprises des différents scénarios et modèles retenus pour la cartographie de synthèse ..... 127
Figure 109 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – QEXCEP marais de l'Estagnol..... 129
Figure 110: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – QEXCEP le Plan ..... 130

Figure 111: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – QEXCEP – Ste Musse ..... 131
Figure 112: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – QEXCEP – St Joseph ..... 132
Figure 113 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – QEXCEP – Eygoutier ..... 132
Figure 114 : Profil en long de l'Eygoutier ..... 133
Figure 115 : Topographie de la confluence Eygoutier / Lambert ..... 134
Figure 116 : Capacité du Lambert – La Farlède ..... 135
Figure 117 : Profil en long Lambert 2 ..... 136
Figure 118 : Profil en long Lambert 3 ..... 137
Figure 119 : Profil en long Lambert 4 ..... 138
Figure 120 : Profil en long du Lambert – La Farlède ..... 139
Figure 121 : Profil en long du Lambert – La Garde ..... 140
Figure 122 : Profil en long Artaude ..... 141
Figure 123 : Profil en long de la Règue ..... 142
Figure 124 : Profil en long de l'Eygoutier aval ..... 143
Figure 125 : Profil en long de la Bade ..... 144
Figure 126 : Capacité de la Brunette ..... 145
Figure 127 : Profil en long Ste Musse ..... 146
Figure 128 : Capacité du St Joseph ..... 147

## TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques du tunnel A57 ..... 17
Tableau 2 : Cours d'eau modélisés ..... 17
Tableau 3 : Coefficients de rugosité retenus en lit majeur ..... 26
Tableau 4 : Coefficients de rugosité retenus en lit mineur ..... 26
Tableau 5 : Synthèse des PHE du 24/09/2006 ..... 39
Tableau 6 : Comparaison des débits spécifiques ..... 50
Tableau 7 : Cote des plans d'eau – crue de référence ..... 121

# 1 INTRODUCTION

Les communes du bassin versant de l'Eygoutier peuvent connaître, comme beaucoup de communes de l'arc méditerranéen, de nombreux problèmes d'inondation par débordement de cours d'eau ou par ruissellement liés aux phénomènes pluvieux intenses sur des sols de plus en plus imperméabilisés du fait de l'urbanisation.

Les axes naturels d'écoulement, peuvent être désormais intégrés au réseau pluvial des communes sur de grandes longueurs, ou les cours d'eau principaux comme l'Eygoutier ont pu être aménagés par le passé (recalibrage, rectification de tracé, canalisation en tunnel, décharge, …) ce qui ne permet pas toujours d'avoir une visibilité globale sur le fonctionnement réel des cours d'eau en période de crue.

Ce type de configuration, cumulée avec la violence des évènements pluvieux remontant de la Méditerranée, peut conduire à des inondations qui prennent un caractère catastrophique quand elles se produisent en milieu urbain. Dans ce contexte, les crues sont rapides, engendrent des dégâts importants, désorganisent l'activité et les transports et peuvent être mortelles comme lors des intempéries d'octobre 2012 au niveau de l'université sur le campus de La Garde.

Dans ce contexte, le syndicat de Gestion de l'Eygoutier élabore, en partenariat avec la Métropole Toulon Provence Méditerranée, un Programme d'Action de Prévention des Inondations (PAPI).

La présente mission s'inscrit dans ce cadre. Elle a pour objectif de définir le fonctionnement hydraulique et hydrogéomorphologique de l'ensemble du bassin versant. Le but est de mieux connaître et donc mieux gérer le risque inondation mais également de proposer un programme de restauration morphologique du cours d'eau dont de nombreux tronçons ont subi une pression anthropique forte.
Les communes concernées sont celles de Toulon, La Garde, La Valette-du-Var, Le Pradet, Carqueiranne, La Crau, Hyères, la Farlède et Solliès-Ville.

Il faut souligner que l'étude objet du présent rapport permettra à la DDTM83, sur la base des outils et méthodologies développées, d'actualiser les PPRI existants du secteur.

Aussi, cette étude comporte une composante importante liée à l'élaboration de ces documents réglementaires.

Pour cela, il s'agira de s'appuyer sur :

- Une étude hydrogéomorphologique
- Une modélisation hydrologique et hydraulique couvrant l'ensemble du secteur d'étude et plus particulièrement les zones à enjeux

Outre la production des éléments nécessaires à la révision des PPRI du secteur, cette étude contribuera à l'établissement d'un référentiel hydrologique, à identifier les sites à enjeux les plus vulnérables et à définir les bases d'un système de surveillance de la qualité et des débits de l'Eygoutier et de ses affluents.

Un état des lieux hydromorphologique et des propositions d'actions de restauration des principaux cours d'eau du bassin versant afin d'améliorer leur état écologique et leur bon fonctionnement général sont également prévus dans le cadre de l'étude.

Cette étude se décompose en 7 phases.

- Phase 1 : RECOLTE ET ANALYSE DES DONNEES DE BASE
- Phase 2 : HYDROGEOMORPHOLOGIE
- Phase 3 : HYDROLOGIE ET REFERENTIEL
- Phase 4 : MODELISATION HYDRAULIQUE ET DEFINITION DE L'ALEA
- Phase 5 : ENJEUX
- Phase 6 : ELABORATION DES PPRI
- Phase 7 : POINT D'INTERET A SUIVRE

Ce présent rapport constitue le rapport de Phase 4.

# 2 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE

Afin d'optimiser les temps de calcul, les modèles hydrauliques « 1D – lit mineur et 2D – lit majeur » ont été divisés en 2 sous-modèles : un modèle amont (Bassin versant amont jusqu'au pont de la Clue) et un modèle aval (à partir du pont de la Clue). Le pont de la Clue étant une section de contrôle naturelle limitant fortement l'emprise spatiale des zones inondées, il a été choisi de séparer les modèles à cet endroit. Le modèle amont inclus ainsi cette section de contrôle et il est interrompu à plusieurs centaines de mètres en aval de celle-ci. Le modèle aval débute au droit de la section de contrôle. La cartographie de la page suivante présente le découpage de ces deux modèles. La méthodologie utilisée pour la construction, le calage, et l'exploitation des résultats est la même pour ces deux modèles.

## 2.1 METHODOLOGIE GENERALE

Compte tenu de la complexité des phénomènes mis en jeu et des enjeux de l'étude (plusieurs cours d'eau, multiples obstacles à l'écoulement en lit majeur, différents axes d'écoulement, volonté de précision des résultats obtenus par le modèle hydraulique …), une modélisation couplée 1D/2D des écoulements a été réalisée. Le logiciel utilisé pour cela est MIKE FLOOD distribué par la société DHI (Danish Hydraulic Institute).

Cet outil permet le couplage d'un modèle 1D (lit mineur), d'un modèle 1D du réseau d'assainissement pluvial et d'un modèle 2D (champ d'expansion de crue, lit majeur) sous les interfaces respectives MIKE HYDRO (ex. MIKE 11), MIKE URBAN et MIKE 21.

Par définition, le modèle 1D du lit mineur fournit une ligne d'eau avec une cote constante sur toute la largeur des profils en travers (aucune variation de la ligne d'eau perpendiculairement au sens d'écoulement).

Le modèle bidimensionnel se compose d'un découpage fin du secteur d'étude permettant de connaître à chaque instant de simulation les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement en chaque maille du modèle, donnant localement les caractéristiques principales d'écoulement.

Le modèle mis en œuvre permet donc d'obtenir une description précise du champ des vitesses et des axes d'écoulement. Autrement dit, il est possible de simuler les crues en temps réel, les vitesses, les directions d'écoulement et les hauteurs d'eau étant connues en tout point et à chaque instant.

**Notons que le charriage de débris divers en cas de crue et les phénomènes d'embâcles ne sont pas pris en compte dans la modélisation. Notons également que, par hypothèse, les calculs sont réalisés à fond fixe. Aucune modélisation du transport sédimentaire ni aucune variation du fond du lit n'est modélisée dans la présente étude**.

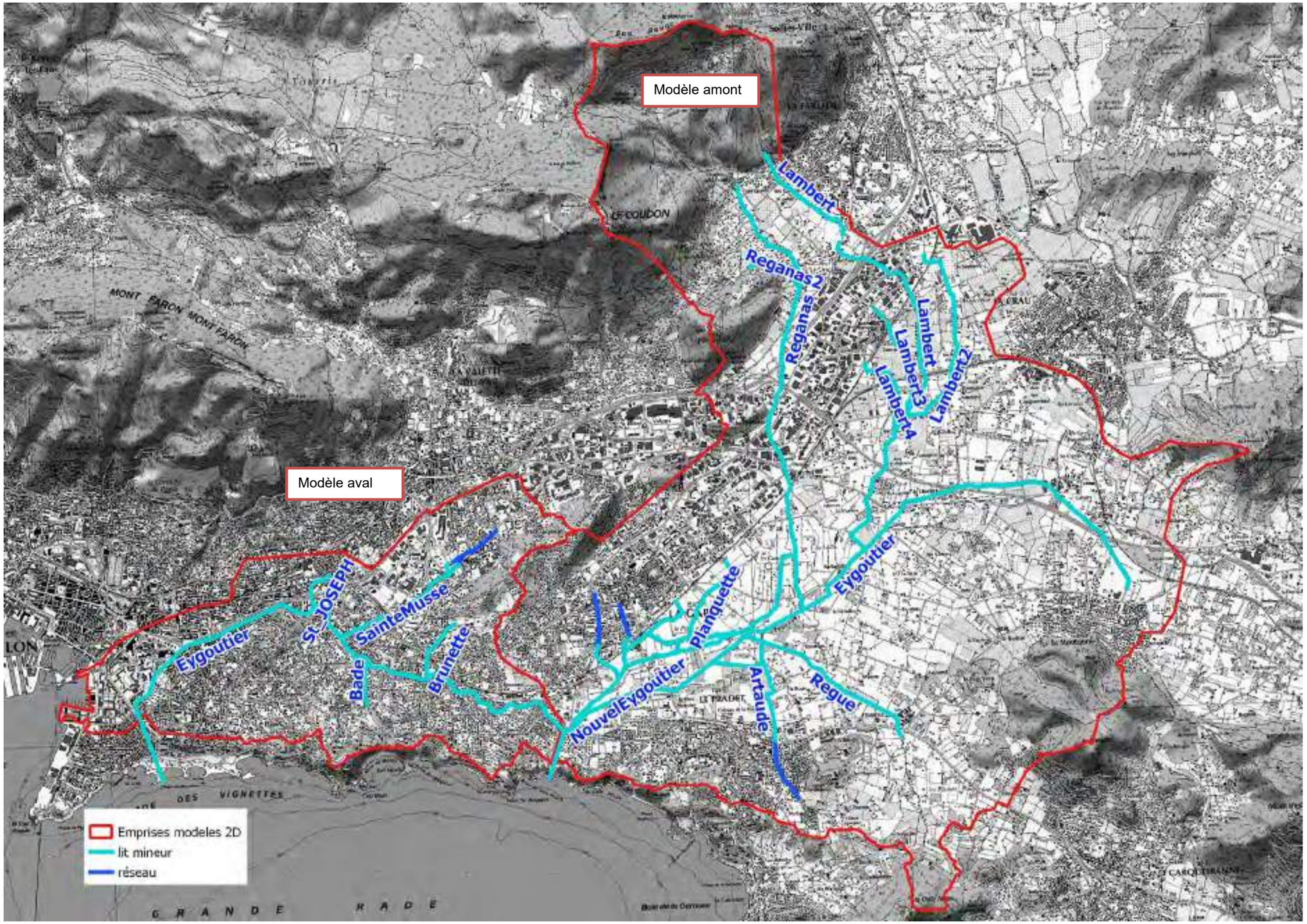



**Figure 1 : Synthèse de l'emprise des modèles hydrauliques réalisés**

La Planquette et le St Joseph ne sont pas modélisés en entier car ils ont fait l'objet d'études spécifiques en 2016 dont les résultats seront réutilisés. Ainsi, les cartographies finales seront constituées d'un assemblage des résultats de la présente étude et des étude suivantes :

- Schéma de la Planquette, INGEROP 2016
- Etude hydraulique A57, INGEROP 2016

## 2.2 MODELES 1D - LIT MINEUR

Le modèle 1D (unidimensionnel) des vallons a été établi sous le logiciel MIKE HYDRO (ex. MIKE 11). La géométrie des cours d'eau est définie par leur profil en long et les différents profils en travers. Le modèle peut représenter des ouvrages (pont, orifice, déversoir, seuil, …) et prend en compte les pertes de charges singulières associées. Il prend également en compte les pertes de charge linéaires, définies par l'application de coefficients de rugosité dans le fond du lit et sur les berges.

Plusieurs sources de profils en travers et coupes d'ouvrages ont été utilisées :

- Levés réalisés par Opsia en 2018 dans le cadre de la présente étude, sur l'ensemble du bassin versant,
- Levés réalisés par Opsia en 2017 sur le Lambert et le Reganas,
- Levés réalisés par Opsia en 2016 dans le secteur du pont de la Clue,
- Levés réalisés par Opsia en 2015 dans le cadre de l'étude A57 (St Joseph et Eygoutier aval),
- Levés réalisés par Aragon en 2007 sur le Ste Musse et l'Eygoutier aval.

La cartographie ci-dessous présente les différents levers utilisés pour la construction du modèle.

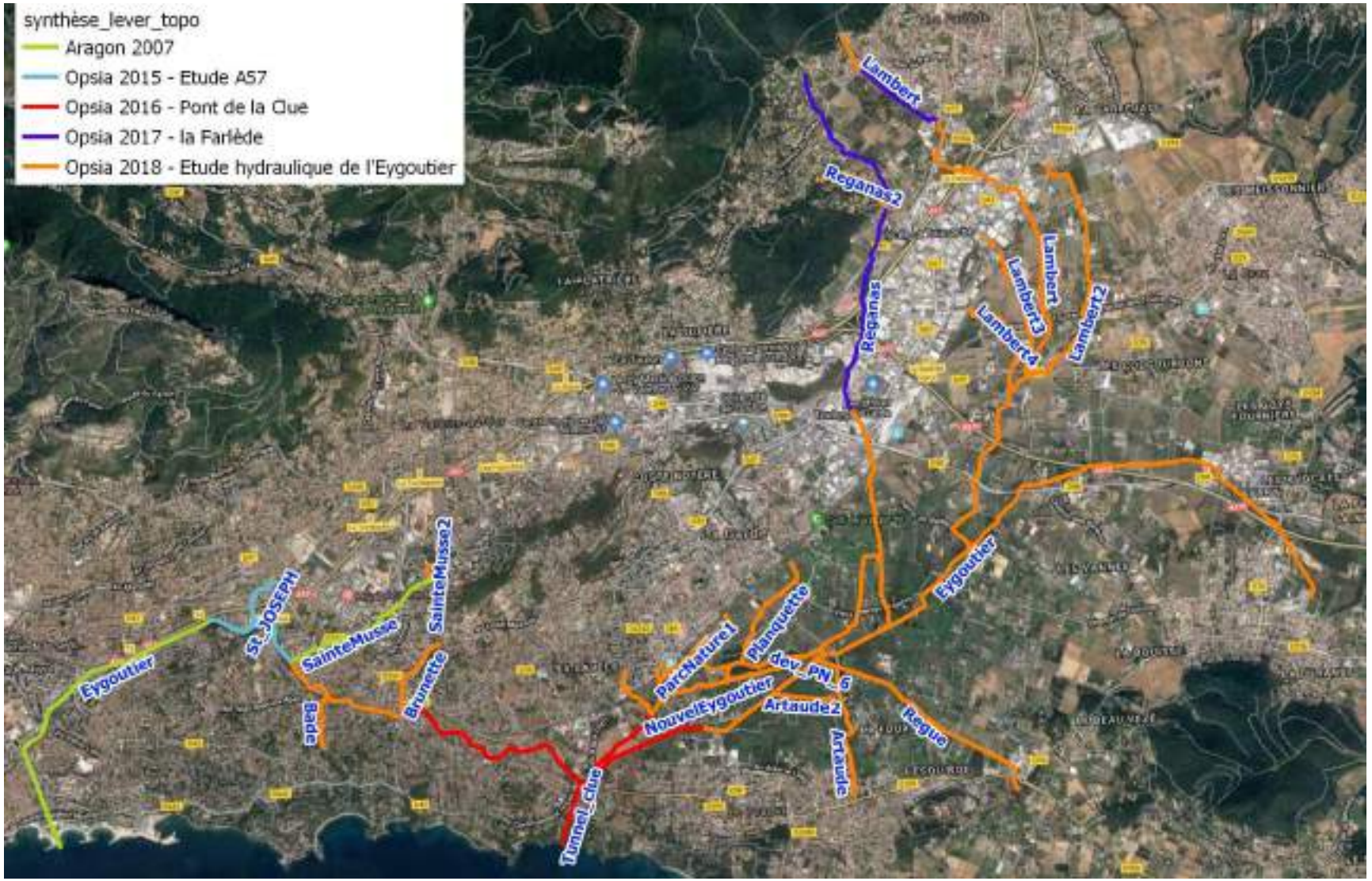



**Figure 2 : Synthèse des levers utilisés**

23 cours d'eau sont modélisés en 1D ainsi que le tunnel A57 pour représenter le volume stocké dans ces tunnels (NB : les caractéristiques géométriques considérées pour cela sont définis dans le tableau ci-dessous - source : document « Tunnel de Toulon, un chantier hors norme » de la DREAL PACA) :

**Tableau 1 : Caractéristiques du tunnel A57**

| | Longueur (m) | Largeur (m) | Hauteur (m) |
|---|---|---|---|
| Premier tube - longueur totale 2969m | 1847 | 9.48 | 5.25 |
| | 1122 | 9.2 | 5.25 |
| Second tube - longueur totale 2986m | 1818 | 10.23 | 5.25 |
| | 527 | 9.2 | 5.25 |
| | 641 | 9.85 | 5.25 |

**Tableau 2 : Cours d'eau modélisés**

| Nom du cours d'eau | Linéaire modélisé (km) - Modèle amont | Linéaire modélisé (km) - Modèle aval |
|---|---|---|
| Artaude | 1.2 | |
| Artaude2 | 0.5 | |
| Eygoutier | 8.5 | 7.2 |
| Lambert | 6.0 | |
| Lambert2 | 2.4 | |
| Lambert3 | 1.3 | |
| Lambert4 | 1.1 | |
| Nouvel Eygoutier | 3.6 | |
| ParcNature1 | 1.2 | |
| ParcNature2 | 0.2 | |
| ParcNature3 | 0.5 | |
| ParcNature4 | 0.6 | |
| ParcNature5 | 0.4 | |
| Planquette | 1.3 | |
| Reganas | 5.4 | |
| Reganas2 | 0.7 | |
| Regue | 2.2 | |
| Tunnel clue | 0.6 | |
| Bade | | 0.5 |
| Brunette | | 0.8 |
| Sainte Musse | | 1.7 |
| Sainte Musse2 | | 0.1 |
| St JOSEPH | | 0.5 |
| Tunnel A57 | | 3.0 |

Au total, le modèle amont est constitué de **1490 profils en travers**, sur un linéaire total de **37.7 km** de cours d'eau, ce qui représente une interdistance moyenne entre profils d'environ 25 m. Il comporte également **150 ouvrages hydrauliques** (ponts, seuils, etc…).

De même le modèle aval est composé de 530 **profils en travers**, sur un linéaire total de **13.8 km** de cours d'eau, soit une interdistance moyenne entre profils d'environ 25 m. Il comporte également 40 **ouvrages hydrauliques** (ponts, seuils, etc…).

Ces modèles comportent également respectivement **150 et 40 ouvrages hydrauliques** (ponts, seuils, etc…).

La figure ci-après présente un extrait du modèle 1D réalisé. La totalité du modèle 1D est présenté en annexe 1.

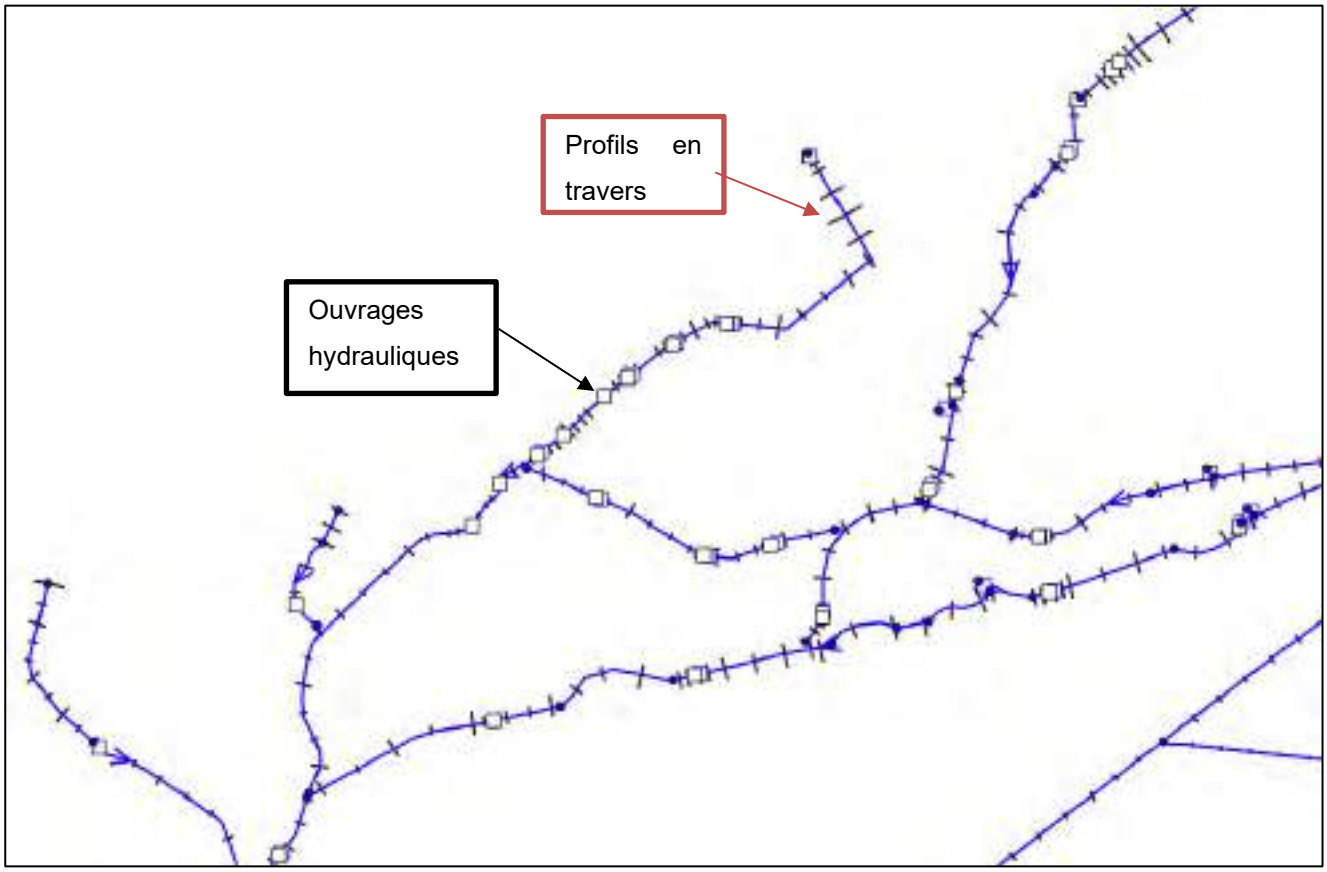



**Figure 3 : Extrait du modèle lit mineur réalisé**

## 2.3 MODELES 1D - RESEAUX PLUVIAUX

Le modèle 1D (unidimensionnel) de quelques branches principales des réseaux pluviaux a été établi sous le logiciel MIKE URBAN. Le modèle du réseau pluvial est défini à partir de nœuds de calcul représentant les regards, et de tronçons représentant les canalisations. Il permet d'intégrer divers ouvrages pluviaux (bassins de rétention, orifices, déversoirs, pompes, vannes) et de prendre en compte les pertes de charges singulières, appliquées aux regards, et les pertes de charge linéaires, calculées sur la base de coefficients de rugosité appliquées aux conduites.

Le modèle du réseau réalisé comporte près de **40 nœuds** de calcul dont **1 bassin de rétention** (le bassin enterré de Ste Musse), pour **3.4 km de linéaire de réseau**. Seuls les principaux axes du réseau pluvial ont été représentés. L'intégration de ces 4 branches permet ainsi une meilleure discrétisation de l'apport des sous bassins versants concernés et une meilleure représentation des écoulements dans des secteurs fortement urbanisés (amont de l'Artaude et de Ste Musse).




**Figure 4 : Réseaux modélisés**

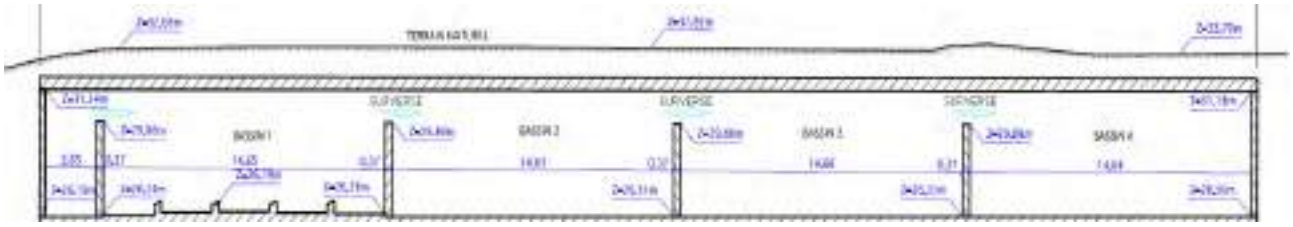


**Figure 5 : Bassin enterré de Ste Musse (Source : OPSIA, 2018)**

Les nœuds de calcul sont définis par les paramètres suivants :

- Le type de nœud de calcul (regard, bassin de rétention, exutoire) ;
- la cote du terrain naturel et la cote radier, en m NGF ;
- le diamètre du regard, par défaut pris égal à 0.8 m ;
- les pertes de charges ponctuelles.

Les tronçons sont définis par les paramètres suivants :

- le type de section (circulaire, rectangulaire, ovoïde, arche, caniveau, autre) ;
- les dimensions (diamètre, hauteur, largeur, section particulière) ;
- la rugosité, définie par le coefficient de Strickler ;
- les fils d'eau aux extrémités amont et aval, s'ils diffèrent des radiers des regards.

Les caractéristiques dimensionnelles et altimétriques du réseau pluvial sont issues des données (format Autocad) établies ou synthétisées dans les contextes suivants :

- Schéma pluvial du Pradet
- Schéma pluvial de la Garde
- Levés réalisé par Opsia en 2015 dans le cadre de l'étude hydraulique du projet d'élargissement de l'A57

## 2.4 MODELES 2D - LIT MAJEUR

Le modèle 2D est constitué d'un modèle topographique précis, établi sur la base des données topographiques disponibles, notamment le levé Lidar RGE alti de l'IGN. Il possède une précision altimétrique de l'ordre de 10 à 20 cm et une densité d'un point tous les mètres.

La superficie des secteurs modélisés en 2D est de **38.8 km²** à l'amont et **10.6 km²** à l'aval. Ces modèles sont constitués de mailles carrées de **10x10m à l'amont et 5 m x 5 m à l'aval,** soit un nombre total de mailles potentiellement inondables égal à **390 000** pour l'amont et **423 000** pour l'aval. Le modèle aval étant fortement urbanisé, les mailles ont été réduites pour affiner la représentation des écoulements entre les bâtiments notamment.

Chaque maille correspond à un point de calcul pour lequel le modèle fournit une valeur de hauteur d'eau ainsi qu'une vitesse et une direction d'écoulement à chaque instant de simulation.

Les figures ci-après présentent une vue en plan des modèles topographiques réalisés. Le lit mineur des différents cours d'eau n'apparaît pas coloré compte tenu que le calcul est effectué en 1D en lit mineur.

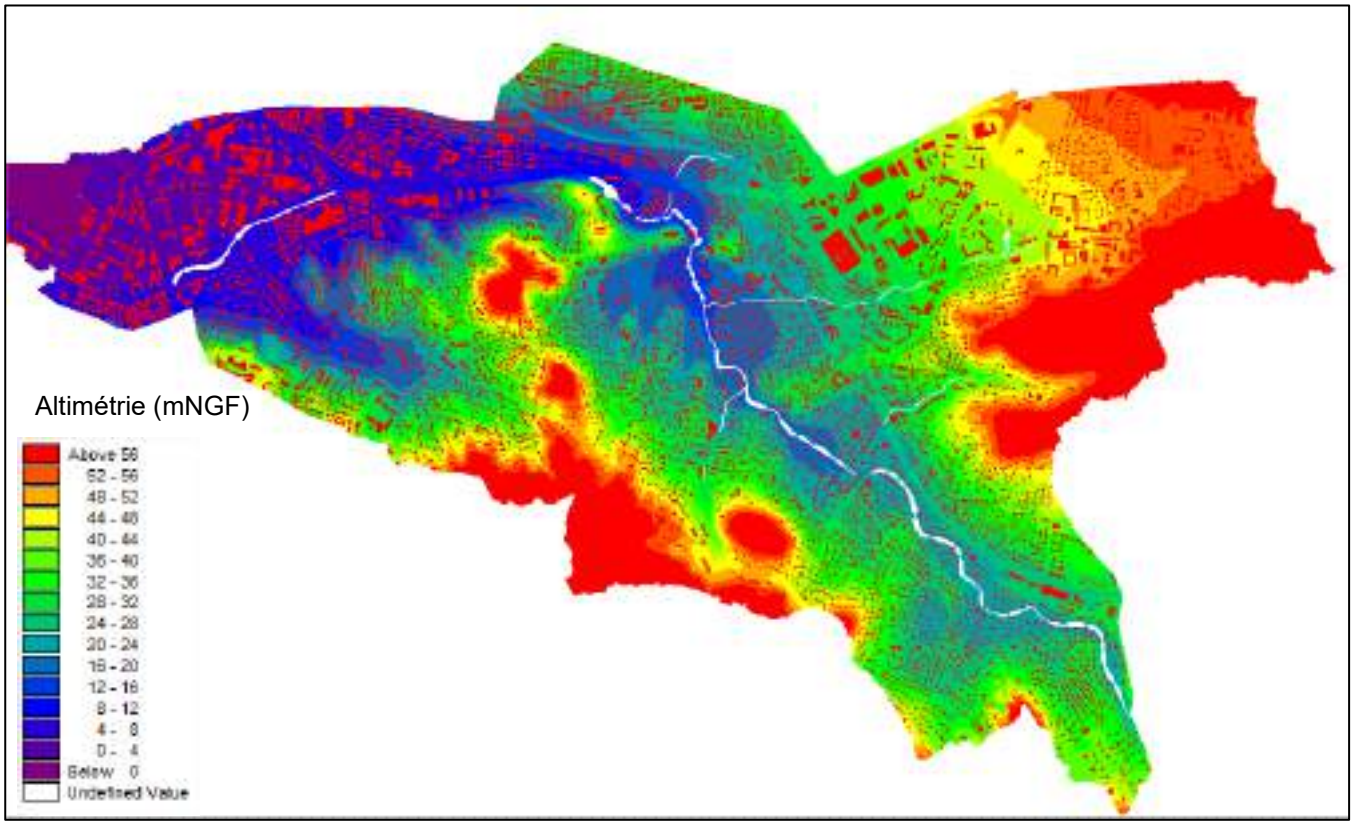



**Figure 6 : Modèle topographique aval**

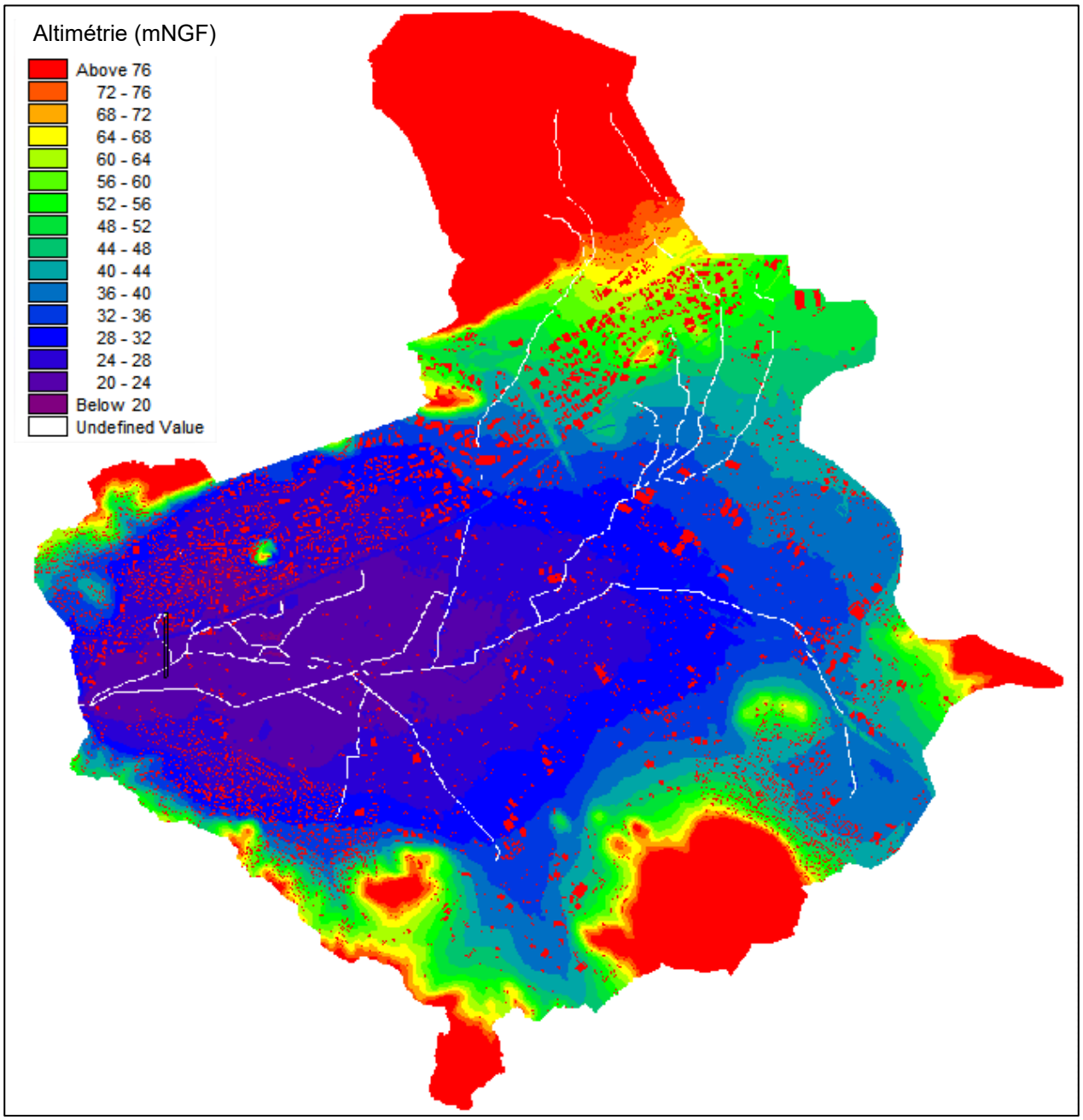



**Figure 7 : Modèle topographique amont**

L'ensemble des bâtiments de la BD Topo de 2017 ont été intégrés au modèle en tant qu'obstacle à l'écoulement (mise hors d'eau des bâtis).

Le modèle topographique a été construit à partir du RGE alti d'une résolution de 1m. La taille de maille du modèle hydraulique peut lisser certaines singularités topographiques. Afin d'avoir une représentation la plus fidèle possible de tous les éléments topographiques structurants, une identification et un traitement manuel spécifique a été réalisé. Les irrégularités ou discontinuités topographiques sont identifiées puis traitées en fonction de leur nature, par exemple :

- Les données topographiques des infrastructures en remblais sont extraites et traitées séparément afin de déterminer précisément la cote de surverse sur tout le linéaire, avant d'être intégrées au modèle hydraulique.
- Les fossés d'irrigation ou d'assainissement, dont les capacités sont négligeables au regard de l'échelle du modèle et de l'importance des évènements considérés sont supprimés afin d'éviter que ces points bas n'aient une influence sur les terrains avoisinants lors de l'interpolation.
- La continuité des routes en zone urbaine est vérifiée. En zone urbaine, la présence de nombreux bâtiments pourrait bloquer artificiellement les écoulements du fait de la taille de maille. Une rectification manuelle est parfois nécessaire pour bien représenter le ruissellement entre les bâtiments.

La figure ci-dessous illustre la phase d'identification des points hauts et des points bas.

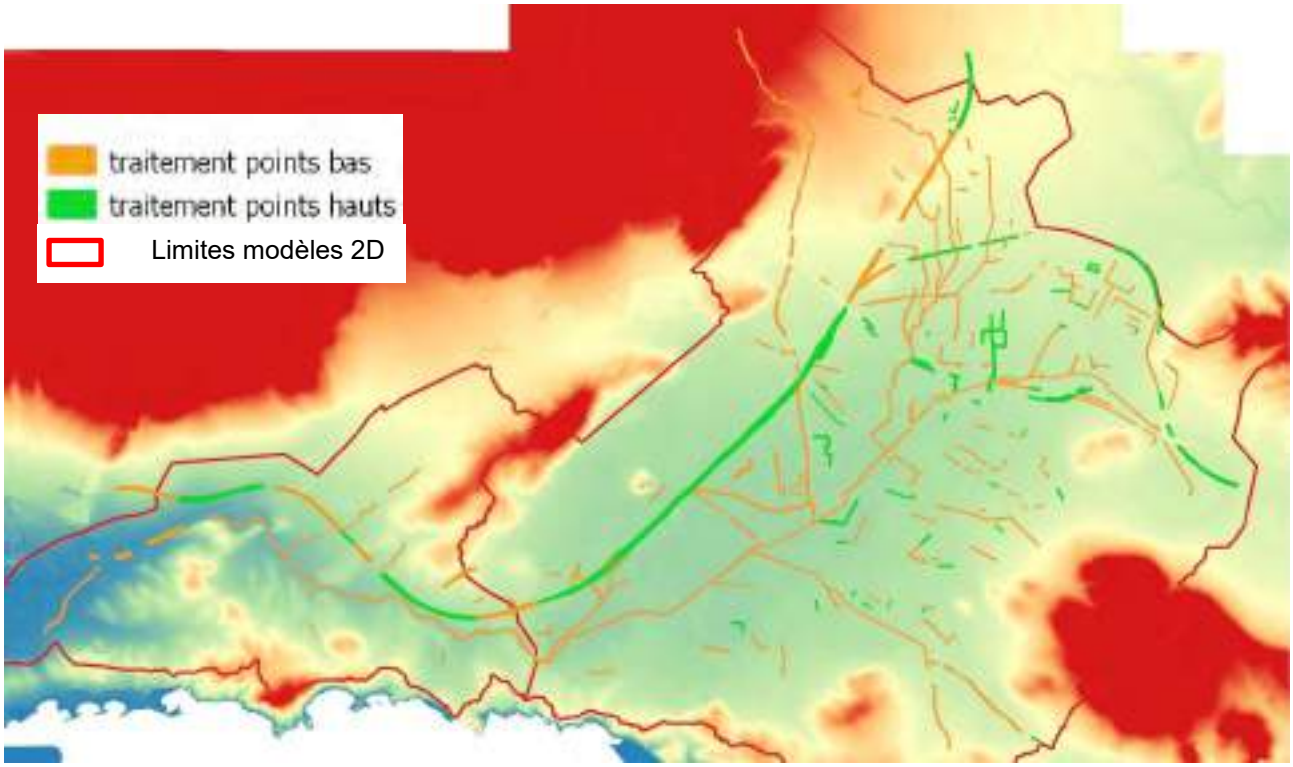



**Figure 8 : Identification des irrégularités topographiques**

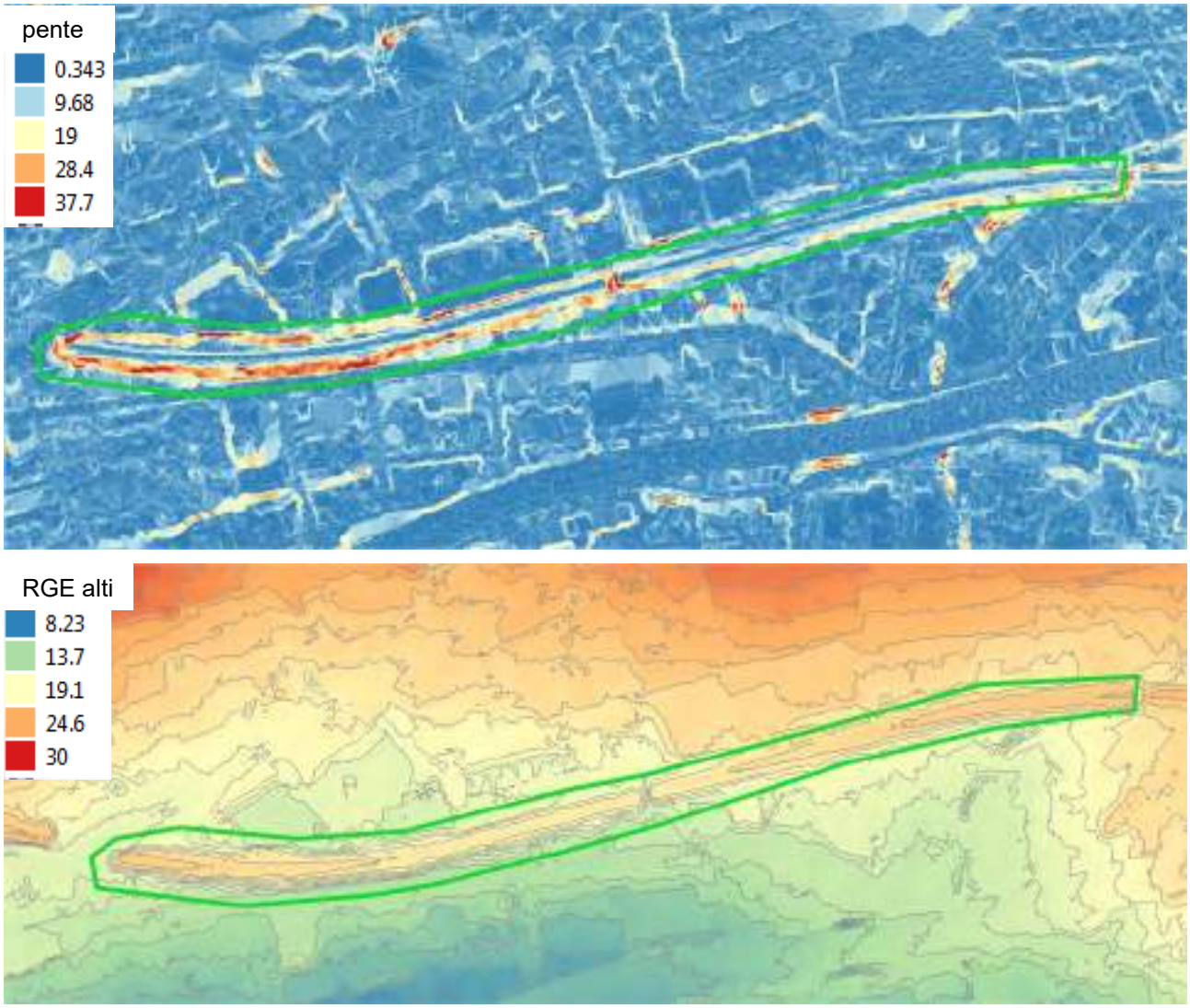



**Figure 9 : Exemple de point haut identifié**

D'autre part, le modèle topographique est construit **par défaut** selon la méthodologie appliquée dans le cadre des PPRI, à savoir qu'il ne tient pas compte des murs et murets existants (qui ne sont pas des ouvrages hydrauliques).

En zone urbaine, cela tend à favoriser l'étalement des eaux sur les parcelles, et donc à minimiser les hauteurs d'eau calculées sur les axes principaux (très souvent les voiries). D'un autre côté, cette approche permet de tenir compte du caractère non pérenne des murs (qui peuvent être détruits au gré des aménagements urbains) et du risque d'effondrement en cas de crue, et d'évaluer l'aléa inondation essentiellement sur la base de la topographie « naturelle ».

Une exception a été faite pour les murs anti-bruit de l'A57. Ces murs de 2 m de hauteur environ empêchent la surverse par-dessus l'autoroute en certains secteurs, puis canalisent les écoulements vers le tunnel. Dans ce cas, l'intégration de ces murs spécifiques permet de représenter correctement les mécanismes d'écoulement à l'échelle du quartier. La figure ci-dessous indique la localisation de ces murs.




**Figure 10 : Localisation des murs anti-bruit de l'A57**

## 2.5 COEFFICIENT DE RUGOSITE

Le modèle est également défini par des coefficients de rugosité (Ks, coefficient de Strickler), estimés à partir des valeurs théoriques issues de la bibliographie, du retour d'expérience et des reconnaissances de terrain.

**Tableau 3 : Coefficients de rugosité retenus en lit majeur**

| Occupation du sol | Coefficient de Strickler ($m^{1/3}.s^{-1}$) |
|---|---|
| **Forêts, végétation dense** | 10 |
| **Végétation boisée peu dense** | 15 |
| **Quartier résidentiel peu dense** | 18 |
| **Quartier résidentiel dense / serres agricoles** | 20 |
| **Prairies, broussailles** | 25 |
| **Champs cultivés** | 30 |
| **Centre urbain bétonné** | 35 |
| **Zones industrielles** | 40 |
| **Stabilisés** | 45 |
| **Voiries/parkings** | 55 |

Le zonage du coefficient de rugosité a été effectué à partir de l'occupation du sol (CRIGE PACA 2014) puis affiné manuellement sous SIG, avec la vue aérienne en fond de plan.

Il est important de rappeler que les bâtiments ont été intégrés au modèle hydraulique en tant qu'obstacle à l'écoulement des crues (mise hors d'eau). Le coefficient de rugosité retenu en lit majeur intègre ainsi les différentes occupations du sol rencontrées et la prise en compte des effets d'obstacles des différents éléments (mobilier urbain, murets, etc…).

Le coefficient de rugosité retenu en lit mineur, uniformément sur chaque profil, traduit plusieurs éléments (sinuosité, rugosité de fond, présence plus ou moins importante de végétation).

**Tableau 4 : Coefficients de rugosité retenus en lit mineur**

| Nature du cours d'eau | Coefficient de Strickler ($m^{1/3}.s^{-1}$) |
|---|---|
| **Vallon fortement végétalisé** | 15 |
| **Végétation moyenne** | 20 |
| **Cours d'eau entretenu** | 25/30 |
| **Enrochements** | 35 |
| **Tronçon bétonné** | 40 |

Les figures ci-dessous représentent les modèles de rugosité en lit majeur et en lit mineur.

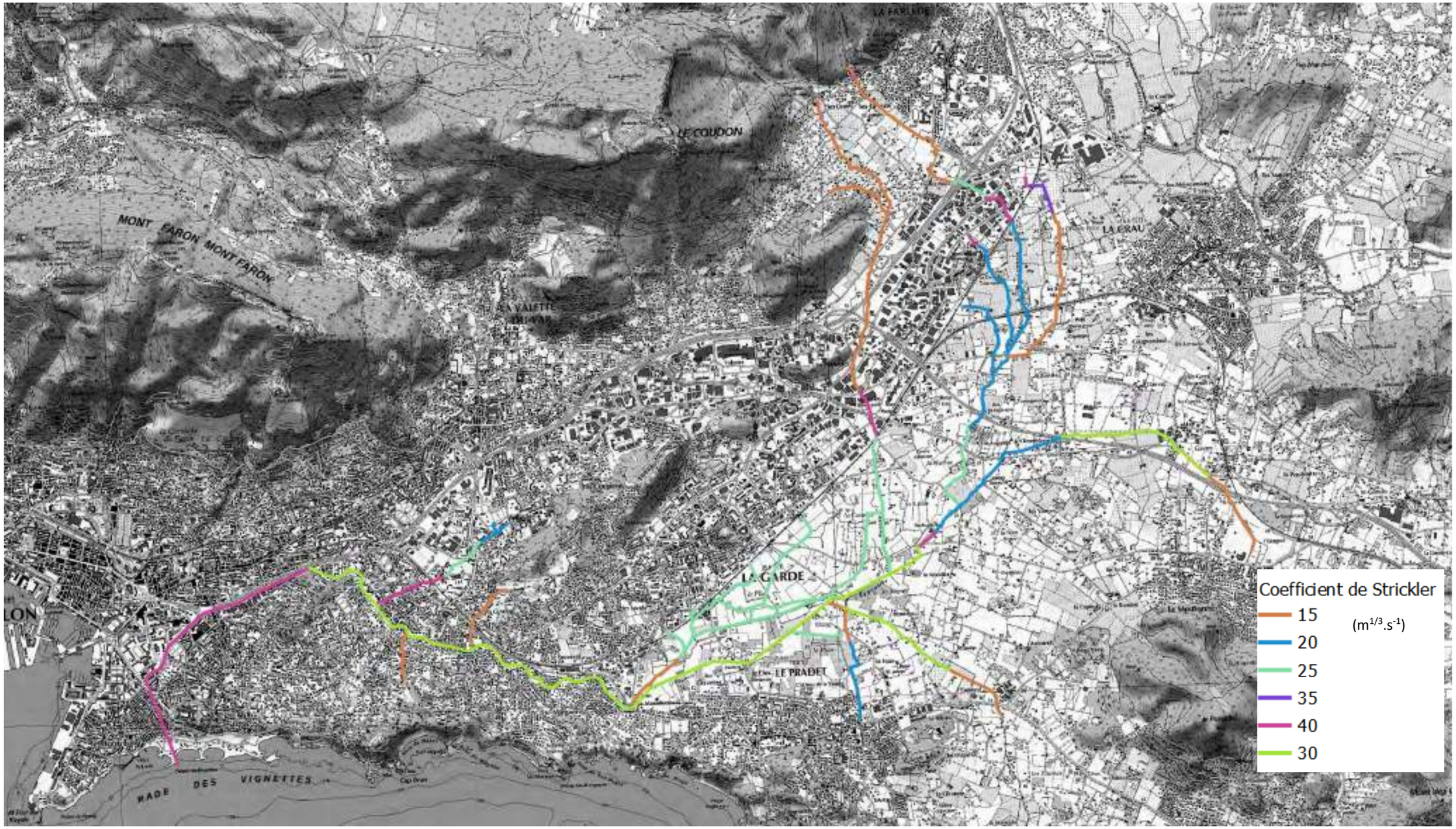



**Figure 11 : Coefficient de Strickler retenu – modèle lit mineur**

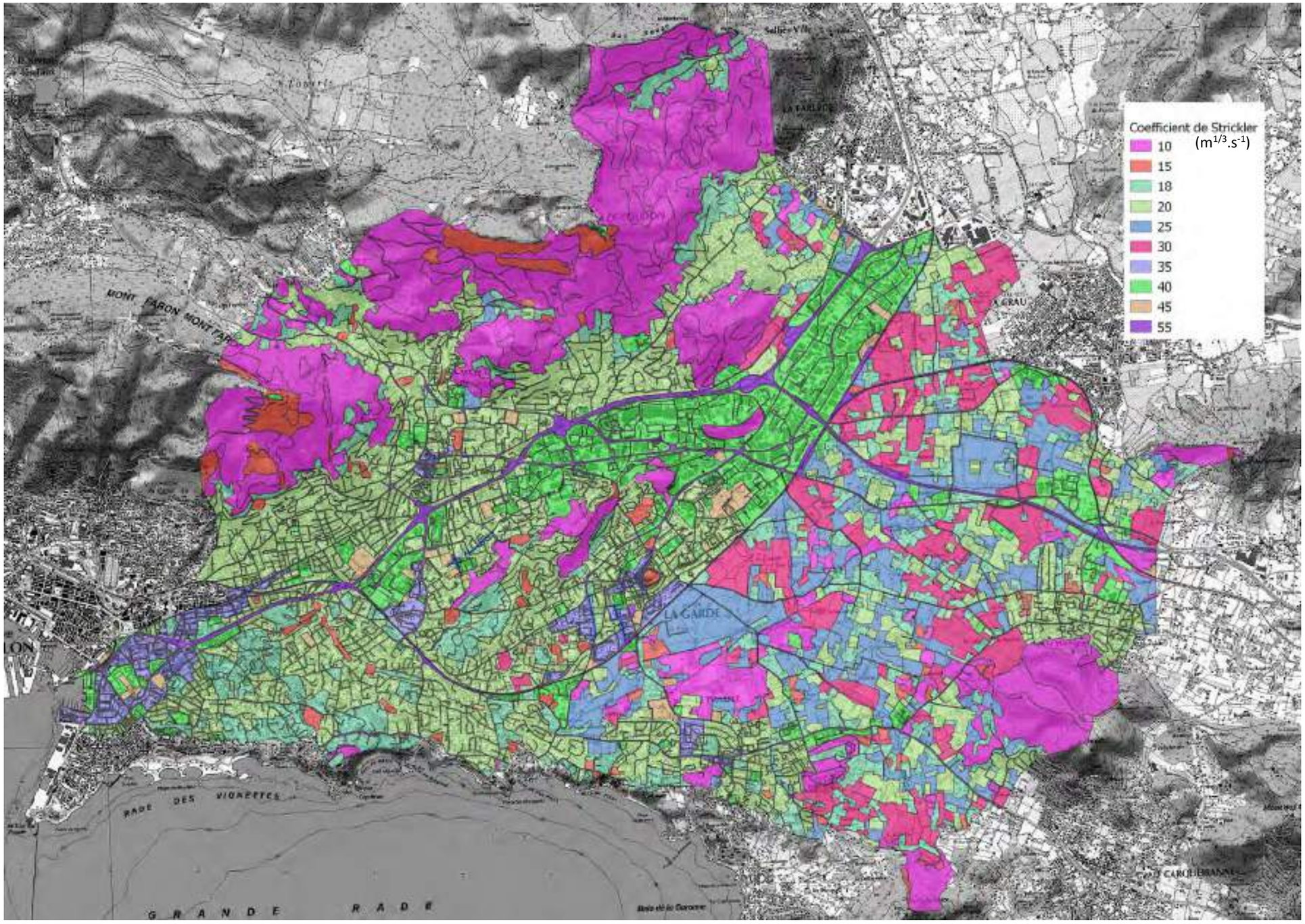



**Figure 12 : Coefficient de Strickler retenu – modèle lit majeur**

## 2.6 CONDITIONS AUX LIMITES

### 2.6.1 CONDITION AMONT

La condition amont du modèle hydraulique correspond aux hydrogrammes générés par le modèle pluie-débit (cf. rapport de phase 3).

Les injections de débit se font soit ponctuellement (cours d'eau, réseau pluvial ou en lit majeur), soit progressivement le long d'un tronçon de cours d'eau. Le type d'injection a été défini en fonction des modalités réelles d'apport en eau, à partir du tracé du réseau hydrographique, des plans du réseau pluvial et des reconnaissances de terrains.

Deux sous bassins versants (en jaune sur la figure suivante) sont injectés ponctuellement dans le modèle 2D afin de prendre en compte l'effet tampon de certaines infrastructures. Par exemple, le sous bassin versant amont de la Brunette est injecté directement dans un bassin de compensation.

La méthode d'injection des différents sous bassins versants est présentée sur la figure suivante.

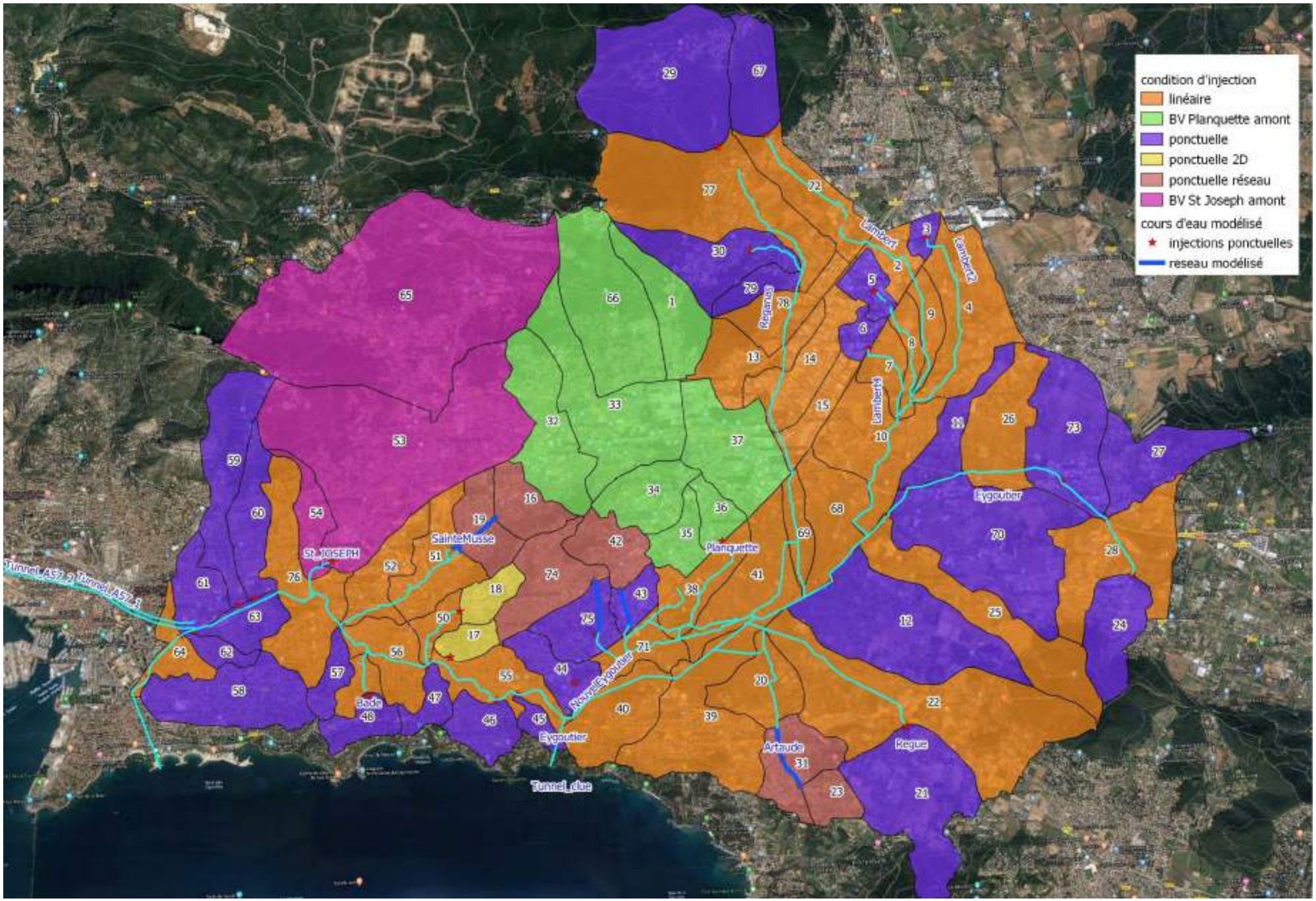



**Figure 13 : Conditions d'injection des hydrogrammes de crue dans le modèle hydraulique**

La Planquette et le St Joseph ne sont pas modélisés en entier car ils ont fait l'objet d'études spécifiques en 2016 dont les résultats sont réutilisés. Il a donc été injecté en amont de ces branches, le débit généré par l'ensemble des sous bassins versant vert pour la Planquette et rose pour le St Joseph.

Le modèle hydraulique de la Planquette représente les écoulements jusqu'au niveau de la voie ferrée. Les seules « sorties » possibles sont donc les ouvrages de traversée du remblai ferroviaire (au nombre de 8). A partir des résultats des simulations hydrauliques de l'étude de 2016, il a été analysé la répartition des débits entre ces différentes sorties et pour les différentes occurrences qui avaient été modélisées. Plus de 95% du débit total franchissant le remblai transite par 3 ouvrages : « 3 », « 922 » et « 606 ».

Le tableau de synthèse des débits de sortie du modèle de la Planquette est présenté en annexe *6.2 Débits de sortie du modèle Planquette*.

Ainsi, en cohérence avec les résultats des simulations de l'étude initiale de la Planquette, il a été retenu de répartir en 3 les apports en eau de ce bassin versant :

- Via la sortie « 3 » = 60%
- Via la sortie « 922 » = 20%
- Via la sortie « 606 » = 20%

Dans le modèle hydrologique réalisé par Hydrétudes dans le cadre de la présente étude, cette répartition ne peut être prise en compte car cette répartition est liée au comportement hydraulique de la zone d'étude : zone d'accumulation en amont de la voie ferrée, ouvrages hydrauliques limitants... Ainsi, les débits calculés par le modèle hydrologique correspondent aux débits générés par les bassins versants en amont de la voie ferrée. Ce débit ne peut transiter qu'à travers les 8 ouvrages sous la voie ferrée pour rejoindre la Plan. Ce sont ces ouvrages qui contrôlent la répartition du débit, en fonction de leur section passante et du positionnement.

En conclusion, pour la crue de référence le modèle « Planquette » a été réutilisé pour simuler la pluie de référence retenue dans la présente étude. Les débits extraits à chaque ouvrage sous la voie ferrée ont été réinjectés dans le modèle « Eygoutier ». En revanche, pour les crues de projet (2ans, 5ans, 10ans, 30ans, 50ans, exceptionnelle) le modèle « Planquette » n'a pas été relancé. Les hydrogrammes calculés par Hydrétudes ont alors été répartis en 3 en fonction des pourcentages déterminés précédemment.

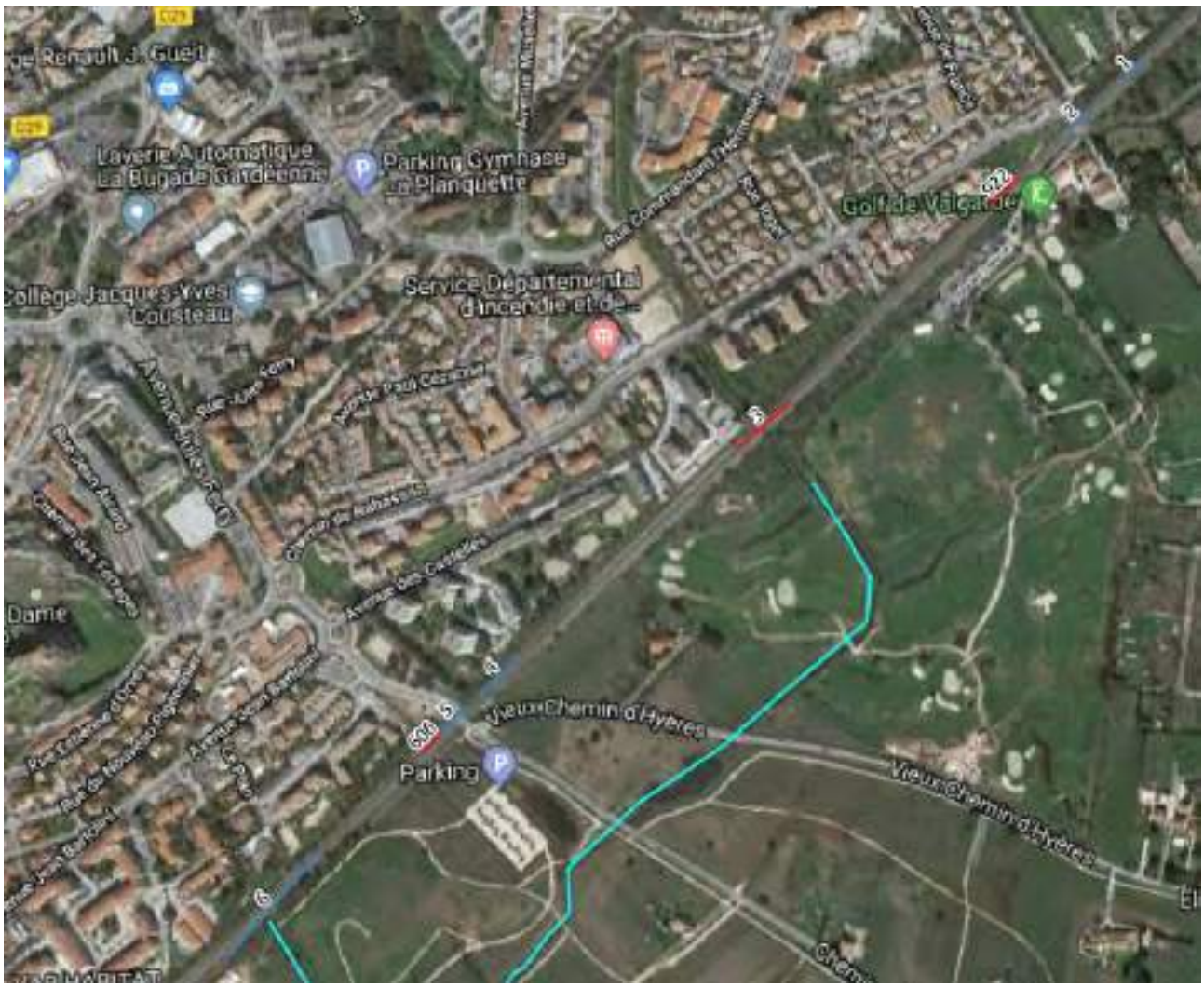



**Figure 14 : Localisation des ouvrages de traversée sous la voie ferrée**

Ces ratios s'appliquent à toutes les occurrences de crues, excepté la crue de référence. Pour la crue de référence, le modèle hydrologique et hydraulique du ruisseau de la Planquette a été réactivé, il a donc été possible d'extraire le débit à chaque sortie et de le réinjecter dans le modèle Eygoutier.

### 2.6.2 CONDITION AVAL

En cohérence avec les préconisations de la DDTM83, le niveau marin retenu est de 1.30 m NGF pour les crues de références (et exceptionnelle), et 0.70 m NGF pour les crues plus faibles. Il s'agit d'un niveau constant durant toute la durée de la simulation.

Au niveau du port certains bâtiments (DDTM) et voiries sont en dessous de 1.3mNGF comme l'illustre la figure suivante :



**Figure 15 : Localisation des secteurs en dessous de 1.3mNGF**

### 2.6.3 CONTINUITE ENTRE LES DEUX MODELES

Le secteur de la Clue constitue une section de contrôle naturelle comme le montre la figure suivante.

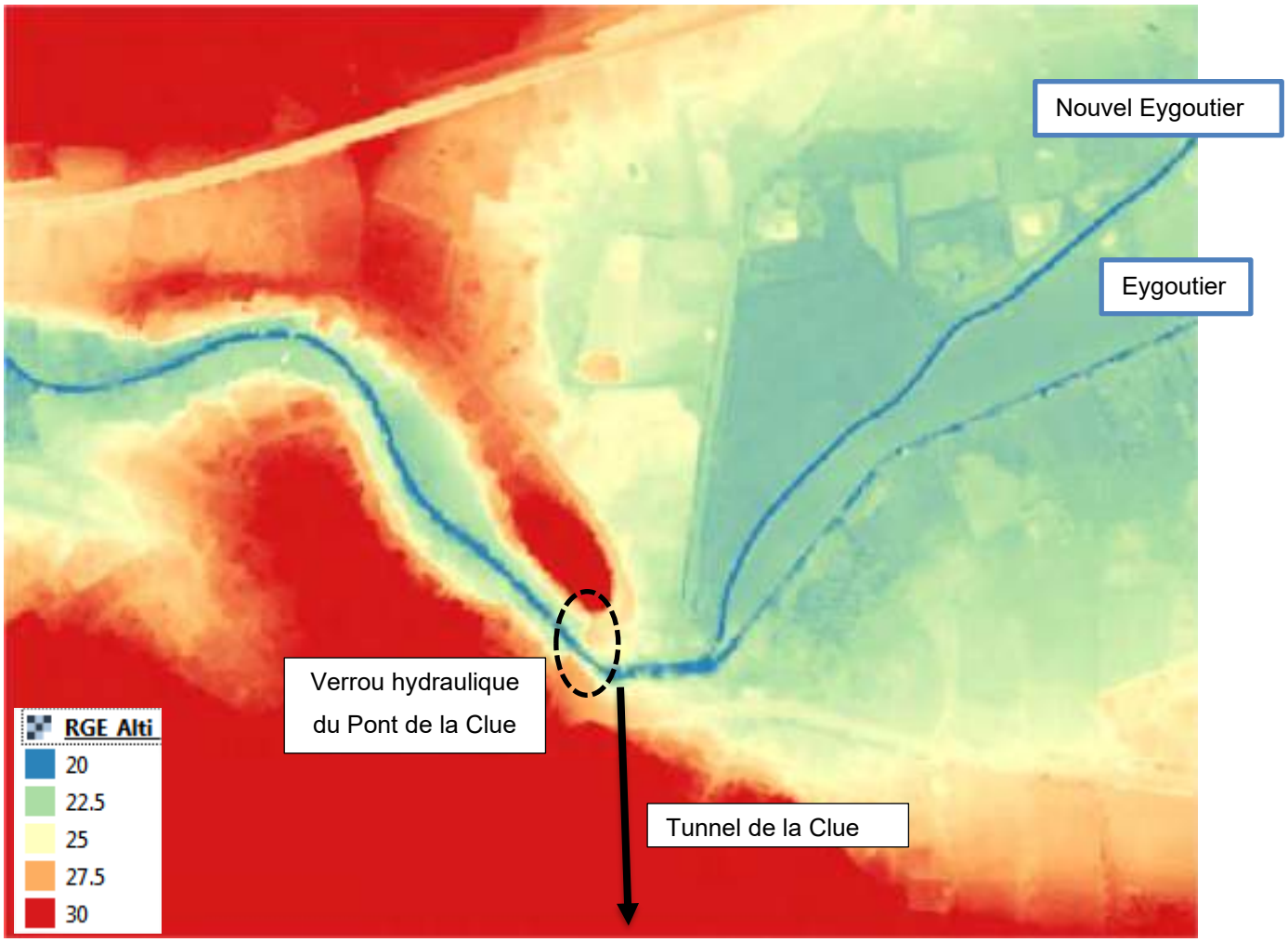



**Figure 16 : Topographie du Pont de la Clue**

Le débit transitant par cette section de contrôle est extrait du modèle amont puis injecté dans le modèle aval. Pour prendre en compte des effets du verrou hydraulique sur les conditions d'écoulement dans le plan de la Garde (par influence aval), le modèle amont a été prolongé sur plusieurs centaines de mètres au-delà du Pont de la Clue, pour éviter que la sortie du modèle puisse avoir une quelconque influence sur l'hydrogramme extrait.

## 2.7 COUPLAGE

Afin de créer une interface permettant les échanges entre les modèles 1D et 2D, différents types de liens ont été utilisés :

- Liens de déversement latéraux au niveau des berges des lits mineurs : ils représentent soit les débordements du lit mineur vers le lit majeur, soit le ressuyage par les vallons de la plaine inondée.
- Liens de type « urban » au niveau des regards du réseau pluvial : ils représentent soit le refoulement en surface des écoulements souterrains lors de la saturation du réseau pluvial, soit le ressuyage des ruissellements par le réseau pluvial.
- Liens de type standard au niveau des continuités intégrales entre réseau pluvial et cours d'eau par exemple : ils représentent soit les rejets pluviaux dans un vallon au droit d'un exutoire soit l'entonnement d'un vallon dans le réseau pluvial.

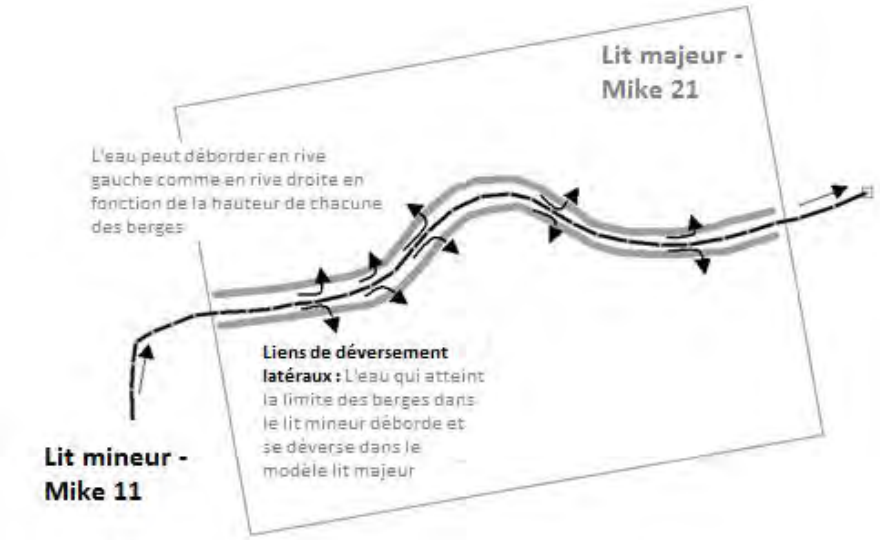



**Figure 17 : Couplage 1D/2D par liens de type déversement latéral**

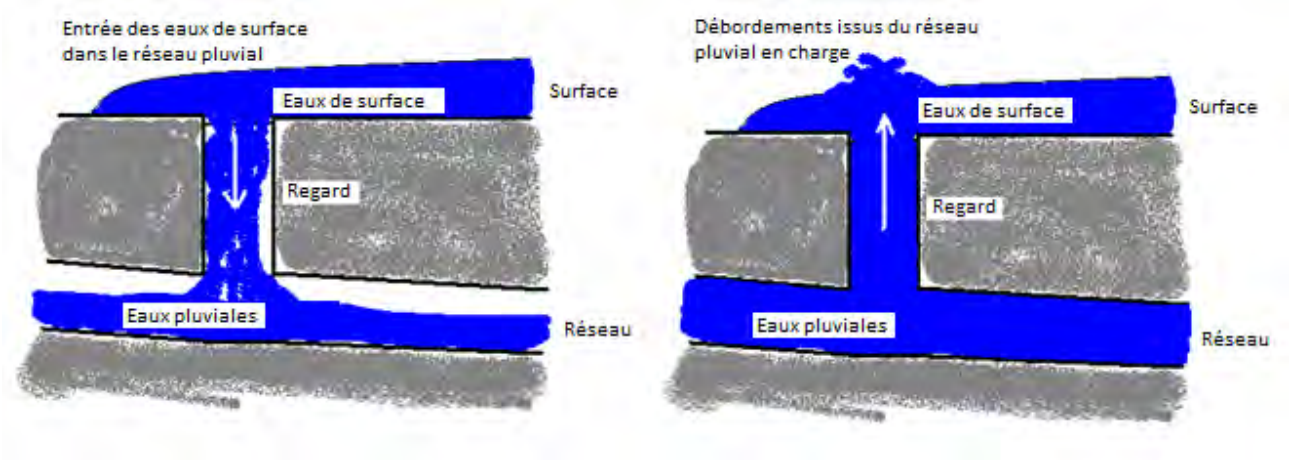



**Figure 18 : Couplage 1D/2D par liens de type « urban »**

# 3 CALAGE DU MODELE

Le calage du modèle hydraulique a été effectué sur deux crues récentes pour lesquelles des cotes PHE et des témoignages sont disponibles :

- L'évènement du 24/09/2006 qui est un évènement ayant entraîné des débordements significatifs (pour lequel nous disposons de 10 PHE, toutes situées dans la traversée de Toulon). Il s'agit d'une crue significative de l'Eygoutier dans sa partie Toulonnaise (estimation d'une période de retour de 30 ans en termes de débit par les services de la Ville de Toulon d'après SCE, 2007).
- L'évènements du 08/09/2013, peu ou pas débordant (qui est aussi l'évènement de calage pour le modèle hydrologique). La pluie de septembre 2013 présente des cumuls sur 30 min et 6 min significatifs avec des temps de retour entre 10 et 20 ans. La crue a été très rapide et intense sur l'Eygoutier aval. Mais les inondations étaient liées essentiellement au ruissellement.

## 3.1 CRUE DU 24 SEPTEMBRE 2006

L'étude SCE de 2008 (rapport de phase 1) fait mention de plusieurs PHE dans le secteur Toulonnais. Les 10 PHE suivantes concernent notre secteur d'étude. L'ensemble des informations sur ces PHE (photographies, niveau d'eau…) provient de l'étude SCE de 2008.




**Figure 19 : Localisation des laisses de crues de l'évènement du 24 septembre 2006 – source SCE**

Le tableau ci-dessous présente les niveaux d'eau relevés par SCE en 2006 ainsi que les niveaux d'eau calculés par le modèle hydraulique.

**Tableau 5 : Synthèse des PHE du 24/09/2006**

| Id | Mention | cote PHE | Cote modèle | Différence | Commentaire |
|---|---|---|---|---|---|
| 40 | Laisse de crue : 2.96 (TN 1.73) | 2.96 | 3.54 | 0.58 | |
| 41 | Laisse de crue : 4.31 (TN 3.98) | 4.31 | 4.64 | 0.33 | |
| 42 | Laisse de crue : 11.43 (TN 10.97) | 11.43 | 12.46 | 1.03 | En 2006 rupture du mur rue Dr Vincent donnant sur l'Eygoutier |
| 43 | Laisse de crue : 11.32 (TN 10.11) | 11.32 | 12.49 | 1.17 | En 2006 rupture du mur rue Dr Vincent donnant sur l'Eygoutier |
| 44 | Laisse de crue : 11.33 (TN 10.51) | 11.33 | 12.49 | 1.16 | En 2006 rupture du mur rue Dr Vincent donnant sur l'Eygoutier |
| 45 | Laisse de crue : 11.42 (TN 10.58) | 11.42 | 12.49 | 1.07 | En 2006 rupture du mur rue Dr Vincent donnant sur l'Eygoutier |
| 46 | Laisse de crue : 26.02 NGF (TN 24.78) | 26.02 | 25.55 | -0.47 | Bassins Ste musse construits après |
| 47 | Laisse de crue : 21.78 NGF (TN 21.62) | 21.78 | 21.98 | 0.2 | |
| 48 | Niveau de crue : 13.4 | 13.4 | 13.45 | 0.05 | D'après photographie |
| 49 | Niveau de crue : 15.5 | 15.5 | 15.56 | 0.06 | Estimé par riverain |

La majorité des PHE sont en dessous du niveau d'eau calculé. Seule la PHE 46, située sur le ruisseau de Ste Musse, est supérieure à la cote modélisée. Cet écart peut s'expliquer par la création de plusieurs bassins de rétention sur ce cours d'eau, plus récemment que cet évènement.

Pour les PHE 42, 43, 44 et 45, il est indiqué dans le retour d'expérience qu'il s'est produit une rupture du mur situé au niveau de la berge rive droite de l'Eygoutier au droit de la rue du Dr Vincent. Dans le modèle hydraulique pour le calage, le mur a été renseigné tel qu'il est actuellement, nous n'avons pas d'information sur la hauteur de ce mur en 2006 (avant rupture).

Dans le rapport de SCE, il est indiqué : « Pour la crue de septembre 2006, il apparait que le débit provenant du pont de la Clue était négligeable ». Pour analyser la sensibilité de cette observation sur les lignes d'eau calculées, une simulation a été réalisée sans apports amont (environ 12 $m^3/s$ pour la crue de 2006).

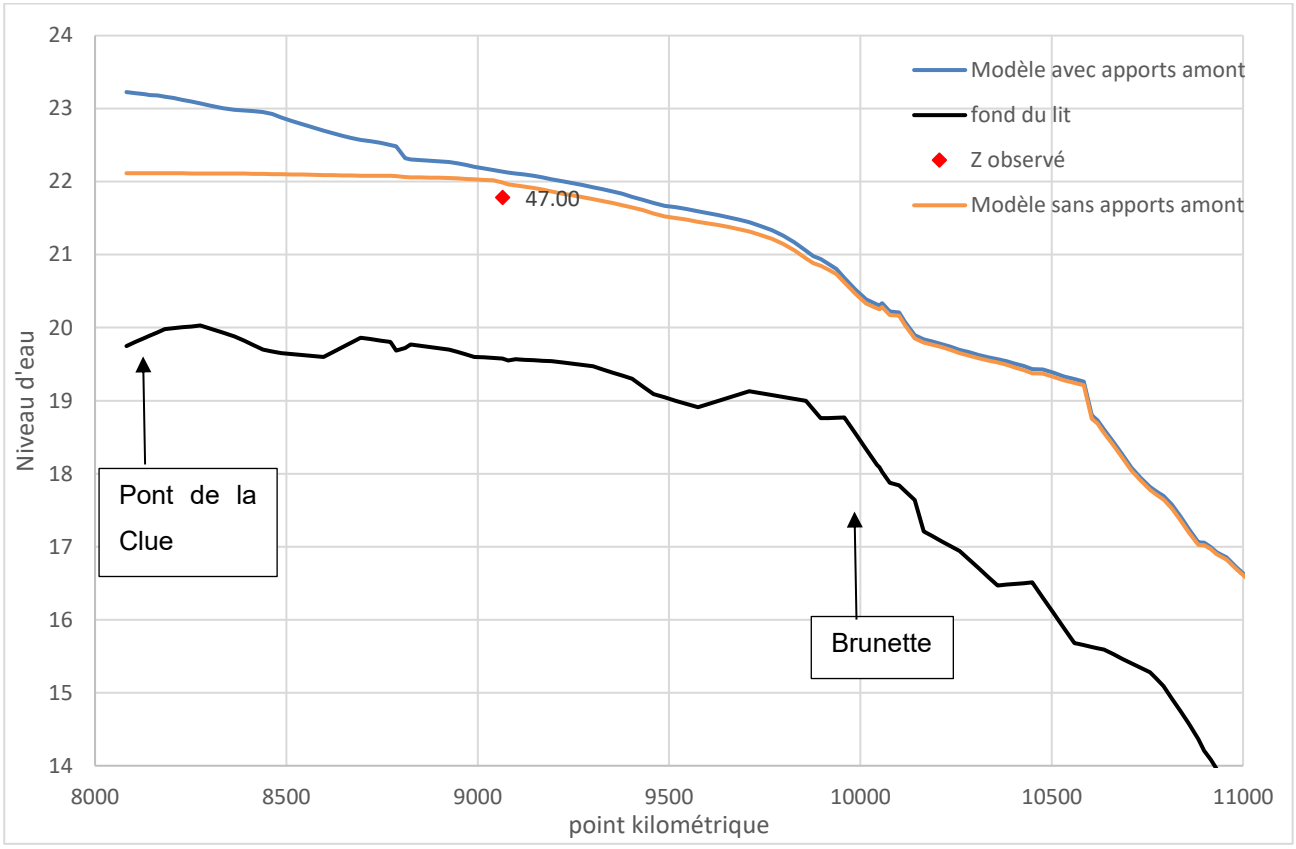



**Figure 20 : Profil en long de la ligne d'eau maximale - sensibilité à la condition amont**

La suppression de la condition amont permet de se rapprocher de la PHE 47 (l'écart est quasiment réduit de moitié). L'influence de la condition amont sur cet événement se limite aux deux premiers kilomètres environ après le pont de la Clue. En effet, plus en aval, la pointe de crue de l'Eygoutier, liée à la réponse des sous-bassins versants urbains locaux, n'est pas concomitante avec celle des apports en provenance du pont de la Clue. En effet, le graphique suivant montre le décalage entre la pointe de crue générée par les affluents et la pointe de crue généré par le bassin versant en amont du pont de la Clue.

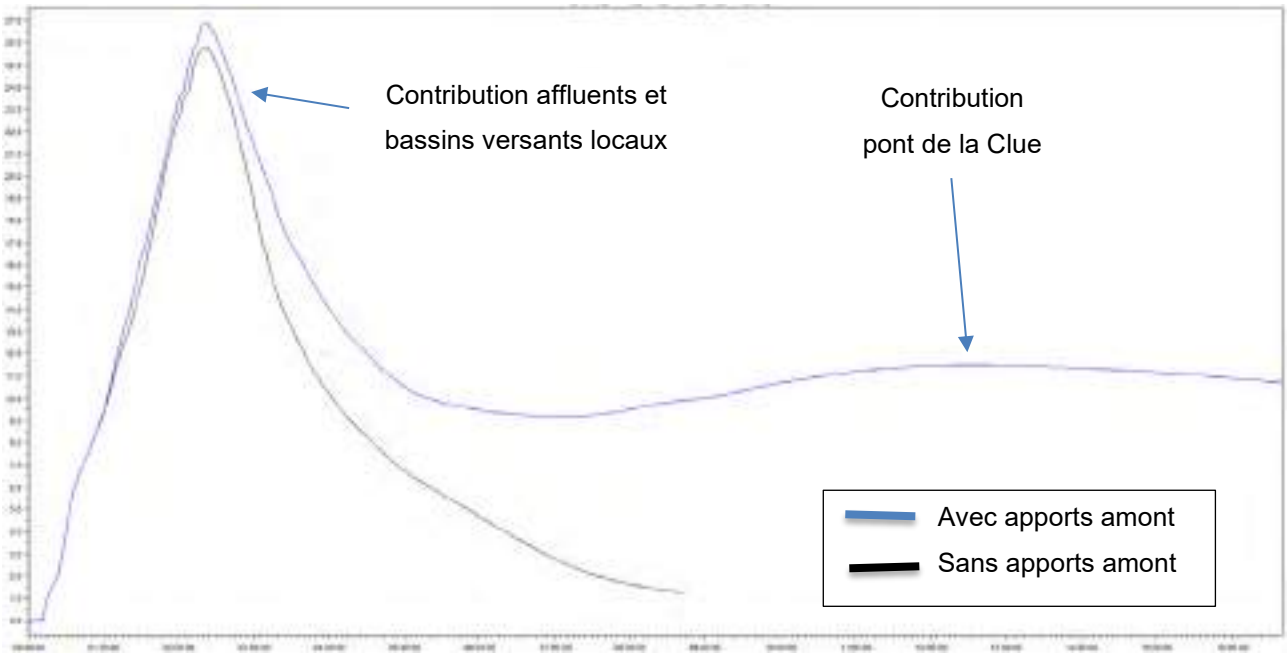
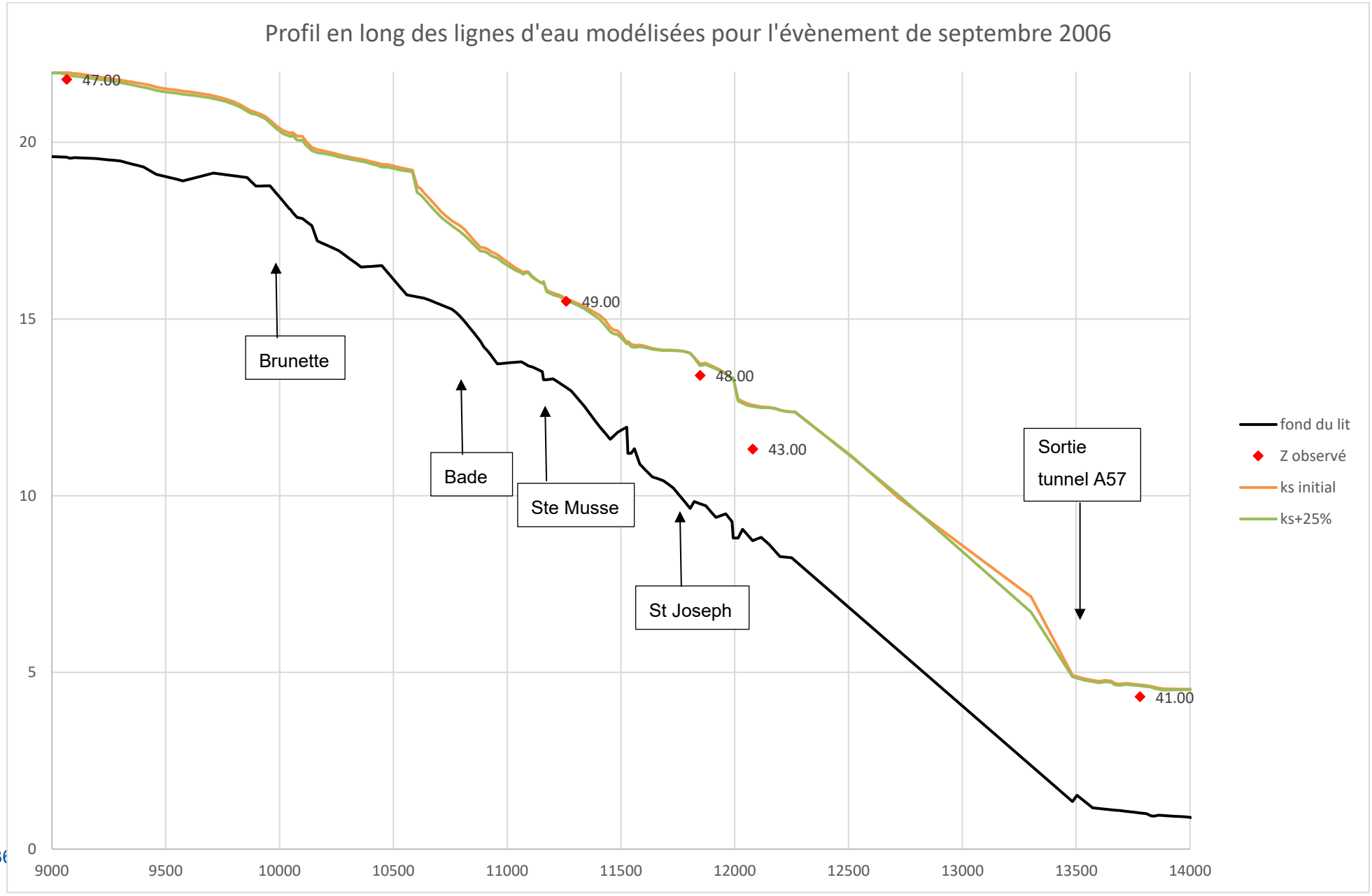



**Figure 21 : Hydrogrammes de l'Eygoutier, à l'aval de la confluence avec la Bade**

Pour essayer de se rapprocher des PHE, un test de sensibilité de la rugosité du lit mineur a été effectué. Plusieurs valeurs ont été testées, jusqu'à rajouter 25% au coefficient de Strickler renseigné dans la configuration initiale du modèle hydraulique. Les résultats de ces tests montrent que les niveaux d'eau sont abaissés en moyenne de 7 cm (pour un maximum de 26 cm).

Les figures ci-après présentent des extraits du profil en long des lignes d'eau calculées pour cet évènement du 24 septembre 2006.


Profil en long des lignes d'eau modélisées pour l'évènement de septembre 2006
47.00
49.00
48.00
43.00
41.00
Brunette
Bade
Ste Musse
St Joseph
Sortie
tunnel A57
fond du lit
Z observé
ks initial
ks+25%
0
5
10
15
20
9000
9500
10000
10500
11000
11500
12000
12500
13000
13500
14000

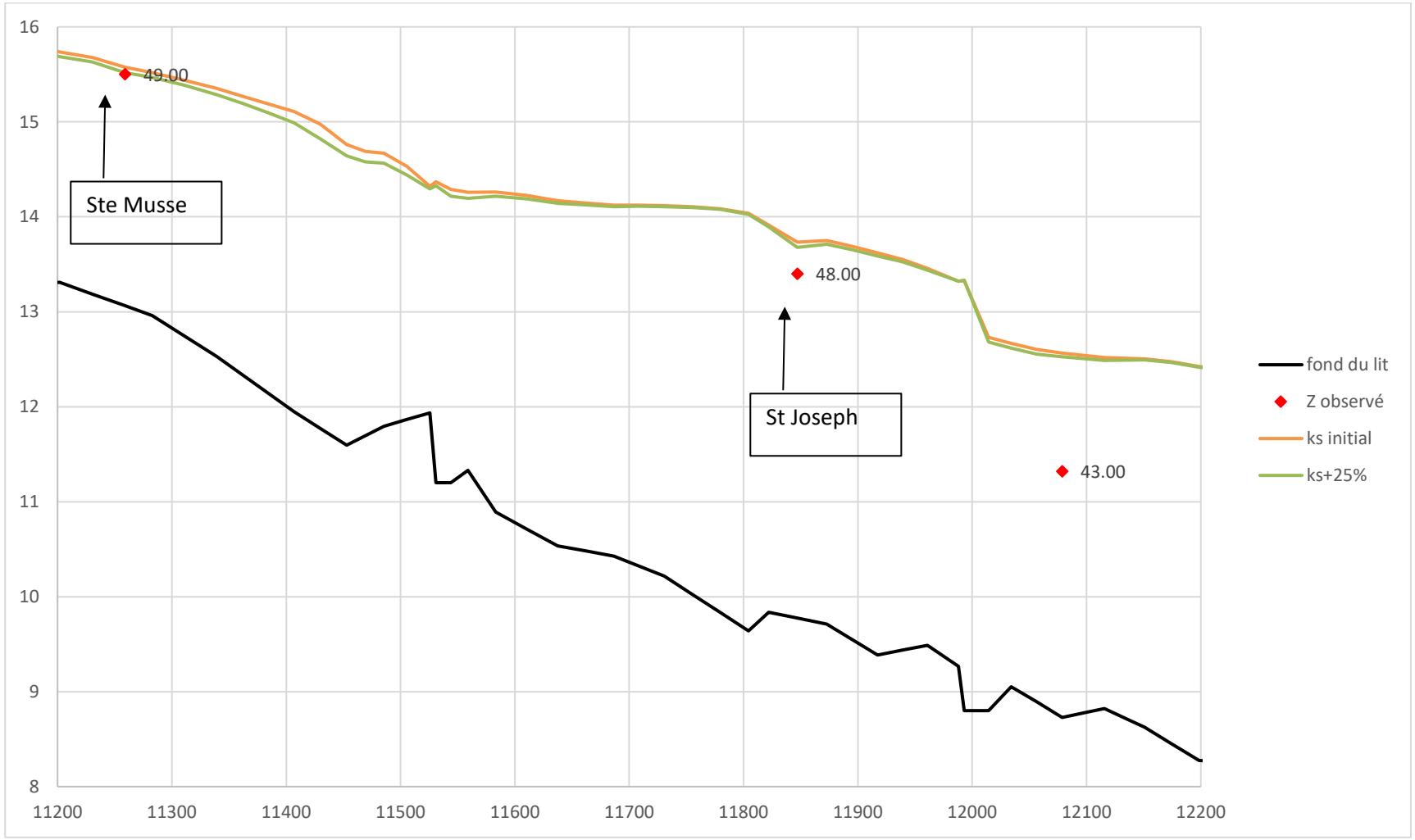



**Figure 22 : Sensibilité des lignes d'eau en lit mineur à la rugosité (crue de 2006)**

La modification significative du coefficient de rugosité (Ks) ne suffit pas à atteindre les PHE. L'explication à cela est que la diminution du coefficient de Strickler a un effet important lorsque le lit mineur n'est pas débordant. Dans le cas où la crue est débordante, comme pour cet évènement de septembre 2006, les effets de seuils liés au déversement par-dessus les berges réduisent le volume déversé mais assez peu la ligne d'eau. Dans certains secteurs, comme par exemple en amont de certains ouvrages hydrauliques, la réduction de section joue un contrôle sur la ligne d'eau, et le modèle hydraulique n'est alors pas sensible à une variation du coefficient de rugosité sur ces tronçons ponctuels.

Les cotes PHE et photos (en annexe 2) proviennent de l'étude SCE 2008, il semble que les laisses de crue aient été relevées par SCE au cours de leur reconnaissance de terrain. Aucune information n'est donnée sur la méthodologie utilisée pour déterminer la cote de la laisse de crue.

En conclusion vis-à-vis du calage du modèle sur l'évènement de septembre 2006, sur les 10 PHE dont nous disposons :

- 4 PHE montrent des écarts jugés faibles entre la cote modélisée et la cote mesurée (PHE n°41, 47, 48 et 49).
- 4 PHE font état d'écarts importants entre la cote modélisée et la cote mesurée (PHE n°42, 43, 44 et 45). Elles sont très rapprochées et concernent la même rue. Il s'est produit un phénomène aggravant de rupture de mur dans ce secteur. Dans la configuration actuelle (cote du mur à environ 11.85mNGF), l'atteinte de la cote PHE (11.42mNGF) signifierait que l'équilibre amont aval du mur n'est pas atteint et que la lame d'eau déversante est relativement faible. Cela pourrait s'expliquer par un mur plus haut ou par des apports surestimés en hydrologie.
- 1 PHE présente un écart moyen (PHE n°46) sur le ruisseau de Sainte-Musse, mais des aménagements récents réalisés sur ce bassin versant sont de nature à améliorer la situation actuelle (où les ouvrages sont modélisés) par rapport à la situation de 2006 (avant réalisation des aménagements).
- 1 PHE présente enfin un écart significatif (PHE n°40), dont l'explication pourrait venir de la non intégration du réseau de drainage (ramifications du réseau pluvial) puisque cette PHE se situe dans un creux topographique.

La ligne d'eau calculée est globalement légèrement au-dessus des cotes mesurées au niveau de ces PHE.

De plus, d'après les tests effectués, nous pouvons préciser que :

- Les écarts entre la ligne d'eau calculée et les PHE mesurées ne proviennent pas de l'influence de la prise en compte des apports amont du bassin versant (en provenance du Pont de la Clue), malgré des témoignages relatifs à des « apports négligeables », car les apports de la partie amont du bassin versant de l'Eygoutier ne sont pas synchrones avec les apports de la partie aval,

- Les écarts entre la ligne d'eau calculée et les PHE mesurées ne sont pas vraiment sensibles aux modifications du coefficient de rugosité du lit mineur, compte tenu que le lit mineur est débordant. L'augmentation du coefficient, traduisant un lit plus « lisse » ou « moins encombré », induit une légère diminution des débordements mais la ligne d'eau en lit mineur ne connait pas de forte variation.
- Le modèle représente la situation actuelle de la topographie, de l'urbanisation … Ainsi des écarts peuvent provenir d'une évolution de la situation comme par exemple l'implantation des bassins sur le Ste Musse.

En conclusion, vis-à-vis du calage des modèles hydrologiques et hydrauliques sur l'évènement de septembre 2006, le modèle est globalement cohérent avec les PHE mesurées.

## 3.2 CRUE DU 8 SEPTEMBRE 2013

La crue du 8 septembre 2013 est la plus forte crue mesurée entre 2012 et 2014. Le débit de pointe a été mesuré au pont de Bazeille dans le cadre de la thèse de Dufresne (2014) et le mémoire de stage de Ducros (2014). Cette crue permettra de caler le modèle hydraulique sur une crue courte et intense.

Au cours de cette thèse, une sonde multi-paramètres a été utilisée. Un des paramètres mesurés concerne la pression absolue s'exerçant sur le capteur. Le traitement de cette donnée permet de déduire les hauteurs d'eau qui sont ensuite transformées en débit par une loi de Manning – Strickler.

$$Q = K * S * Rh^{\frac{2}{3}} * j^{\frac{1}{2}}$$

Avec :

- *Q : Le Débit en $m^3/s$ (Débit=Section*Vitesse)*
- *K : Le coefficient de rugosité (appelé aussi coefficient de Strickler)*
- *S : La section mouillée en $m^2$*
- *R : Le rayon hydraulique en m (Surface mouillée / Périmètre mouillé)*
- *j : La pente du cours d'eau en m/m (j = 0.00347)*

La géométrie considérée est la suivante, avec un coefficient Ks de 60 $m^{1/3}.s^{-1}$:

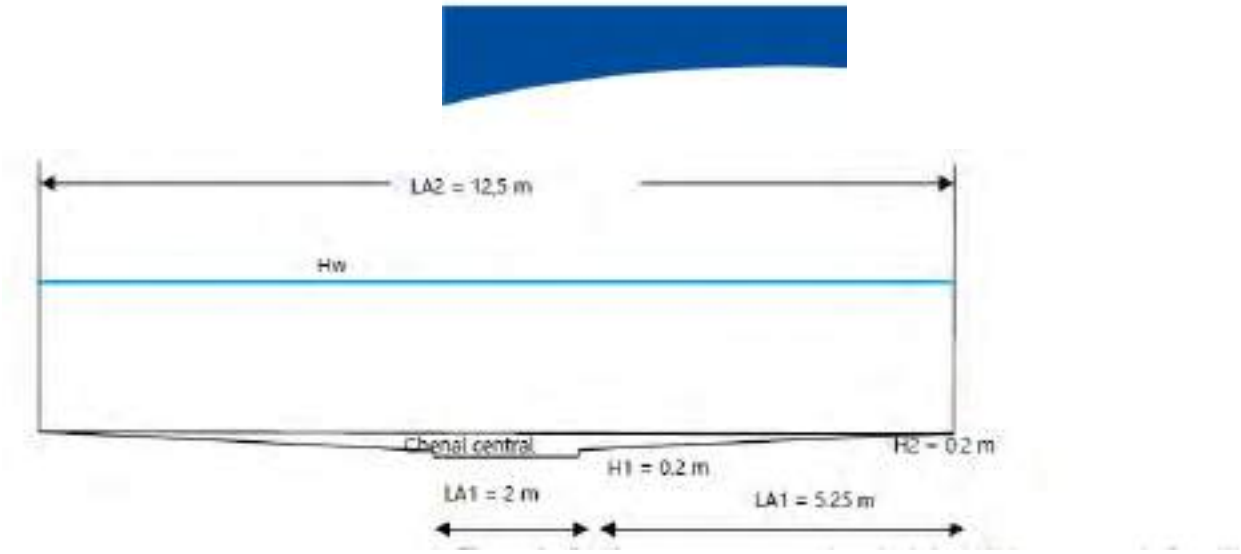



**Figure 23 : Géométrie considérée – source L. Ducros**

Nous n'avons récupéré que les débits estimés par la formule de Manning-Strickler et non les données brutes. Les hypothèses sur la pente étant remises en question (cf. rapport de phase 3 d'Hydrétudes), nous avons réalisé la transformation inverse : pour retrouver les hauteurs d'eau mesurées à partir des débits. Elles pourront ensuite être comparé au limnigramme modélisé.

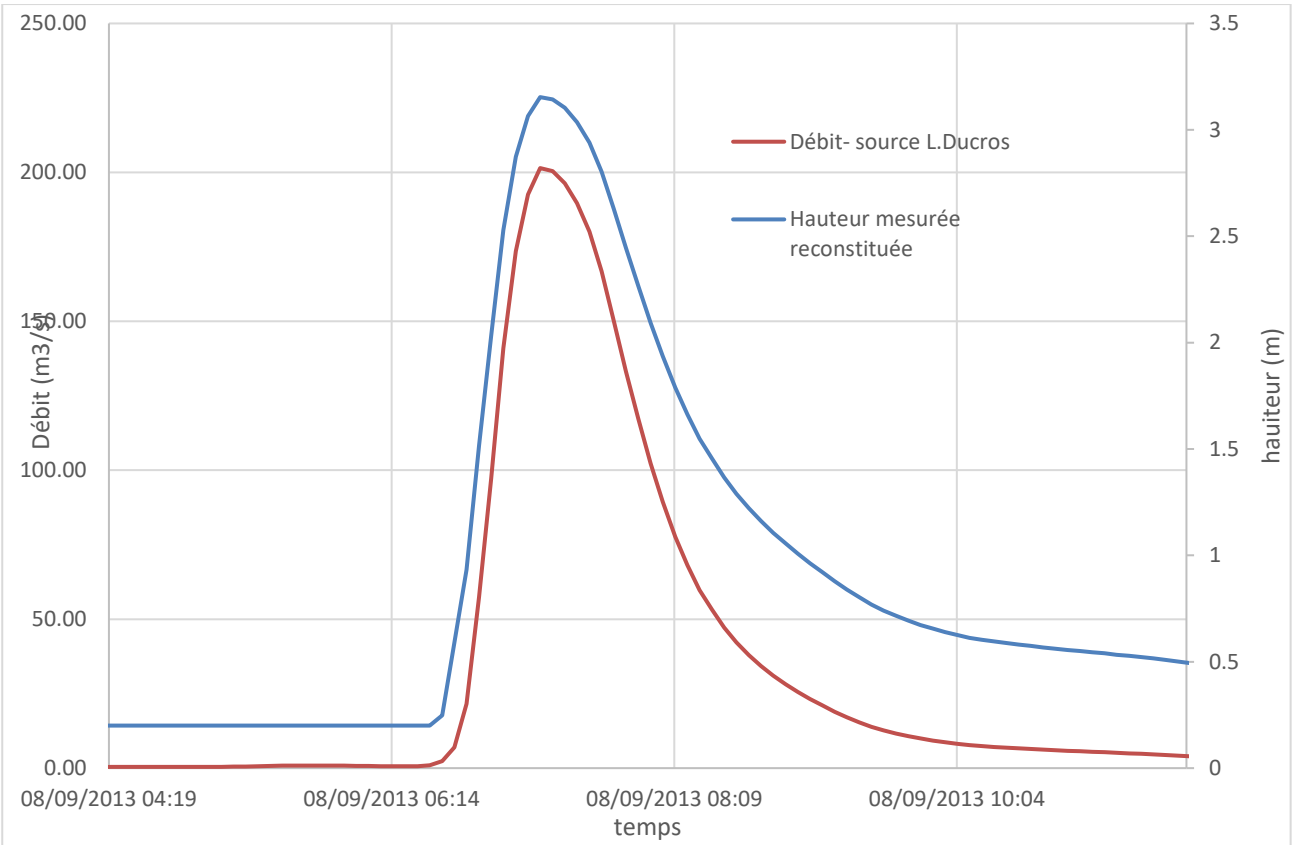



**Figure 24 : Limnigramme reconstitué – crue de 2013**

Les hauteurs d'eau modélisées sont comparées aux hauteurs d'eau mesurées sur la figure ci-après. On observe un écart infime de la pointe, d'environ 5 cm, et la forme du limnigramme (donc le volume) est très similaire aux données du stage de L. Ducros.

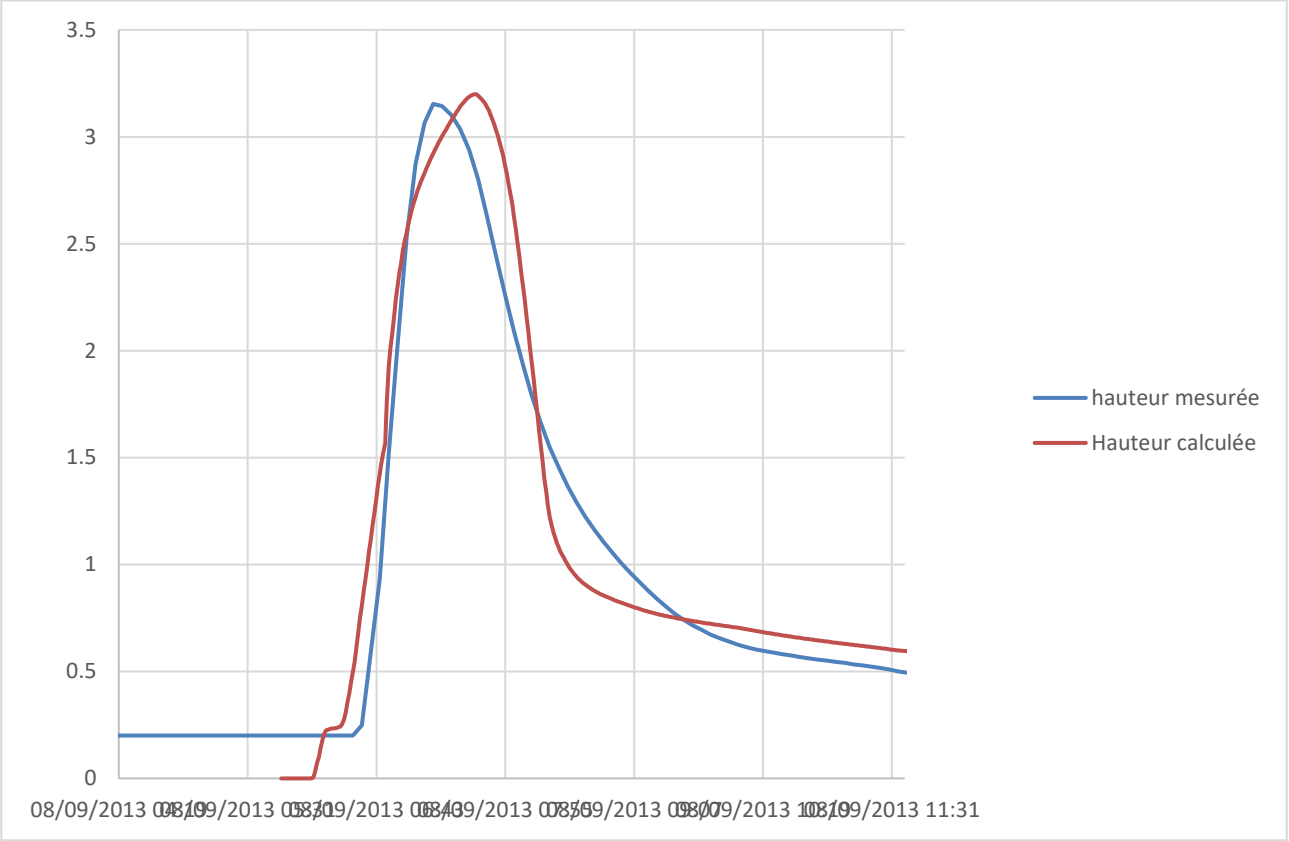



**Figure 25 : Comparaison des hauteurs d'eau en amont du tunnel de Lamalgue**

Afin de comparer ces deux limnigrammes, un recalage temporel a été réalisé pour faire correspondre la phase de montée de crue. Sur cette illustration, l'écart temporel entre la pointe mesurée et la pointe calculée n'est que de 20 min.

En conclusion, vis-à-vis du calage des modèles hydrologiques et hydrauliques sur l'évènement de septembre 2013, le limnigramme calculé en amont du tunnel de Lamalgue est extrêmement similaire à celui issu de la modélisation hydrologique et hydraulique (tant en volume qu'en pointe de crue).

# 4 RESULTATS DES SIMULATIONS DE L'ETAT ACTUEL – DIAGNOSTIC

Les paragraphes suivants présentent les résultats des modélisations hydrauliques. Ils sont illustrés par des extraits cartographiques. Les cartographies globales sont présentées en annexes 6 et 7.

Le bassin versant de l'Eygoutier ne réagit pas de façon homogène sur l'ensemble du territoire. En effet, le plan de La Garde a fortement réagi à la crue longue de 1978, avec la création d'un plan d'eau en amont du pont de la Clue. En revanche, la partie aval et urbanisée toulonnaise a plus réagi lors de l'évènement orageux de 2006, court et intense.

C'est pourquoi deux formes de pluies ont été construites lors de l'étude hydrologique :

- Pluies de projet type 2, abondante et de longue durée (de durée 24h)
- Pluies de projet type 3 « 2006 », intense et courte (de durée 2h)

Les pluies longues (type 2) n'ont été simulées que pour le modèle amont car cette partie du territoire est particulièrement sensible aux crues longues, au volume ruisselé important.

Les pluies courtes (type 3) ont été simulées pour les deux modèles :

- Le modèle amont afin de calculer les débits au pont de la Clue, qui seront injectés au début du modèle aval.
- Le modèle aval, car il est plus sensible à des évènements courts.

Ainsi, la partie amont du bassin versant sera analysée sur la base des pluies longues alors que la partie aval concernera les pluies courtes.

Pour la crue de référence, qui servira à établir l'aléa de référence, les deux types de pluies ont été analysées et comparées.

## 4.1 PERIODE DE RETOUR DES CRUES SIMULEES

La période de retour d'une pluie de projet n'a, à priori, aucune raison d'être strictement équivalente à la période de retour de la crue générée. En effet, en théorie, la période de retour d'une crue est déterminée à partir des débits mesurés. Or le bassin versant de l'Eygoutier ne possède pas de station hydrométrique.

Pour estimer la « véritable » période de retour de la crue correspondant à la réponse du bassin versant de l'Eygoutier à une pluie de période de retour 2 ans et de durée 24h, il faudrait engager des travaux similaires à ceux qui sont faits dans le domaine de la recherche, à savoir modéliser une chronique de pluie très longue dans les modèles hydrologique puis hydraulique, puis d'en extraire les informations permettant de faire des statistiques sur les résultats pour déterminer le débit biennal. Sans données précises, il a été nécessaire de s'appuyer sur les périodes de retour des pluies.

L'estimation de la période de retour est rendue encore plus difficile par le fait qu'il faille analyser, sur le territoire, le comportement de 2 pluies radicalement différentes pour étudier la réponse hydrologique du bassin versant. Cela est dû aux caractéristiques hydrologique et topographiques intrinsèques du bassin versant : d'un côté des bassins versants au temps de réponse courts, sensibles aux évènements orageux courts et intenses, et de l'autre le plan de la Garde, avec une réponse davantage liée aux cumuls sur la durée.

Par ailleurs, les modèles hydrologique et hydraulique ont été construits prioritairement pour la crue de référence (dans l'optique PPRI). Ainsi, certaines hypothèses sont cohérentes pour des crues rares mais deviennent peut-être sécuritaires pour des crues très fréquentes. Par exemple, seuls les collecteurs pluviaux principaux ont été renseignés. S'il est cohérent de considérer une saturation des petits collecteurs et une neutralité du rôle qu'ils jouent pour des fortes crues, il est délicat d'avoir une conclusion aussi tranchée pour des crues faibles, où le réseau pluvial peut jouer un rôle plus important. Les modèles hydrologique et hydraulique sont adaptés aux objectifs et à l'emprise de l'étude.

Pour information, les débits spécifiques (débit de pointe divisé par la surface du bassin versant) ont été comparés avec ceux de cours d'eau des environs. Néanmoins, le bassin versant de l'Eygoutier comporte de nombreuses particularités qu'il convient d'avoir à l'esprit pour ce type de comparaison : une partie amont du bassin versant très urbanisée et très pentue, puis tous les affluents se rejoignent dans une immense plaine naturelle, et enfin une partie aval, très fortement urbanisée également et quasiment « déconnectée » de l'amont (cette « déconnection » est à considérer au regard du temps de réponse de la partie aval du BV par rapport à la partie amont).

Le tableau ci-dessous présente une comparaison des débits spécifiques biennaux et centennaux. Lorsqu'il est indiqué « CRUCAL », les débits sont obtenus grâce à l'analyse statistique des mesures de débit réalisé aux stations DREAL (banque hydro). Ces stations sont trop récentes pour estimer le débit centennal. Les autres débits sont issus d'études hydrologiques ou hydrauliques.

**Tableau 6 : Comparaison des débits spécifiques**

| | Q2 Spécifique ($m^3/s/km^2$) | Q100 Spécifique ($m^3/s/km^2$) |
|---|---|---|
| Le Gapeau à Solliès-Pont | 0.28 | 0.95 |
| Le Gapeau à Solliès-Pont (CRUCAL) | 0.27 | |
| Le Réal Martin à la Crau | 0.33 | 1.19 |
| Le Réal Martin à la Crau (CRUCAL) | 0.33 | |
| Le Réal Collobrier à Pierrefeu-du-Var | 0.47 | 2.12 |
| Le Réal Collobrier à Pierrefeu-du-Var (CRUCAL) | 0.28 | |
| Le Gapeau à Hyères | 0.29 | 1.20 |
| Le Gapeau à Hyères (CRUCAL) | 0.30 | |
| La Reppe à Ollioules (CRUCAL) | 0.19 | |
| St Joseph amont Ste Cécile - Safege 2015 | 3.94 | 17.31 |
| Ste Cécile am St Joseph - Safege 2015 | 2.68 | 11.51 |
| St Joseph amont Eygoutier - Safege 2015 | 4.21 | 12.06 |
| Planquette (moy SBV) - INGEROP 2017 | 8.22 | 19.52 |
| **INGEROP 2019 – simulation hydraulique au pont de la Clue** | **0.88** | **1.36** |

On observe de forts écarts selon les cours d'eau. Le débit spécifique calculé par la simulation hydraulique de la pluie biennale au pont de la Clue est supérieur aux débits spécifiques de crue biennale estimés dans les bassins versant aux alentours. En revanche, le St Joseph et la Planquette ont des débits spécifiques encore plus importants (en lien avec le caractère très urbanisé de ces bassins versants). Cependant, on obtient des débits spécifiques cohérents avec les autres bassins versants pour des crues fortes. Il est donc possible que la période de retour des petites crues soit potentiellement supérieure à celle de la pluie correspondante.

Ainsi, la formulation la plus rigoureuse pour qualifier les crues modélisées est la suivante : « Crue issue d'une pluie biennale de durée24h ». Cette dénomination est utilisée dans les titres de chapitres. En revanche, pour ne pas alourdir les paragraphes explicatifs et les illustrations, il sera utilisé « crue biennale », comme dénomination simplificatrice, dans le corps du texte.

## 4.2 DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS

Dans le présent paragraphe, la dynamique des écoulements est particulièrement détaillée pour la crue biennale. Pour les occurrences de crues supplémentaires, il est présenté uniquement les éléments « nouveaux ».

Pour chaque occurrence de crue, des pas de temps ont été choisis pour illustrer la dynamique. Le choix de ces pas de temps est spécifique à chaque occurrence et chaque modèle, afin de mettre en évidence les différentes étapes de la crue.

### 4.2.1 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE BIENNALE

#### 4.2.1.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Les premiers points de débordement se situe dans le Plan de la Garde, sur l'Eygoutier et l'Artaude aval.

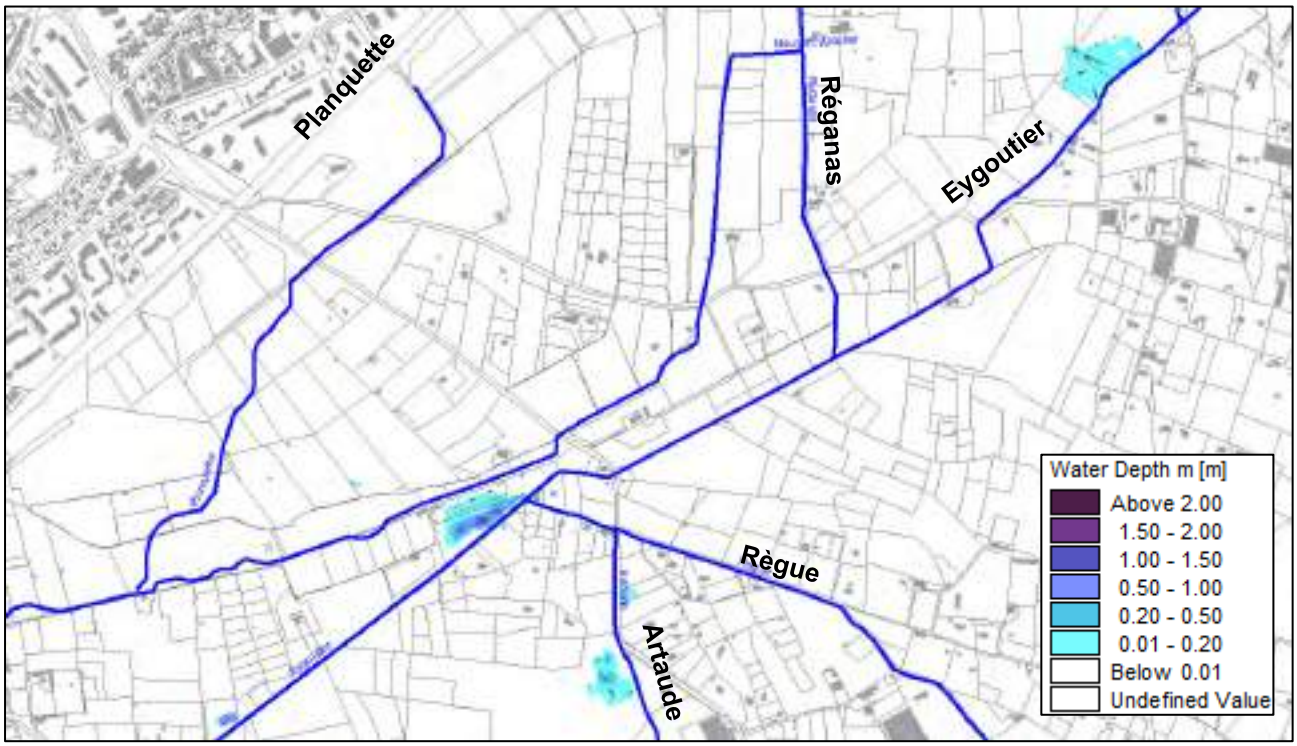



**Figure 26 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Q2 modèle amont**

Ces points correspondent à des parcelles qui sont topographiquement plus basses que les autres, comme par exemple la parcelle en rive droite de l'Artaude ou le bassin en rive gauche entouré sur la figure ci-après. Il est pris un référentiel de temps « t0 », correspondant ici aux premiers débordements, pour illustrer les décalages temporels entre les mécanismes d'écoulements présentés.

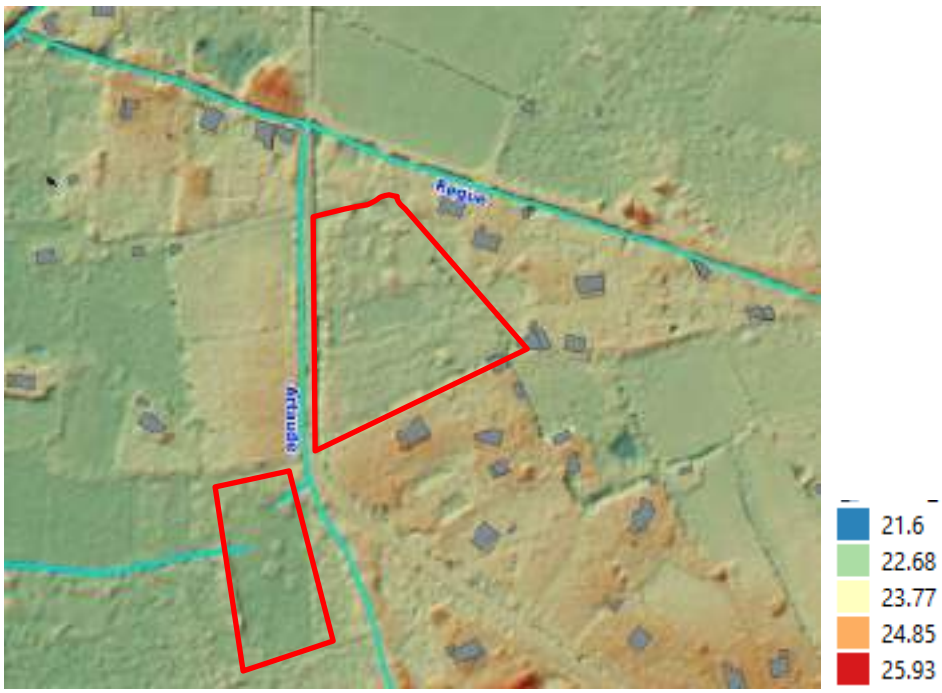



**Figure 27 : Extrait du levé LIDAR (m NGF) – Confluence Artaude / Règue**

Quelques débordements ponctuels apparaissent également le long des branches du Lambert. Sur certains tronçons, le Lambert s'apparente plus à un fossé agricole avec une faible capacité. C'est pourquoi on observe des débordements au début de la crue.

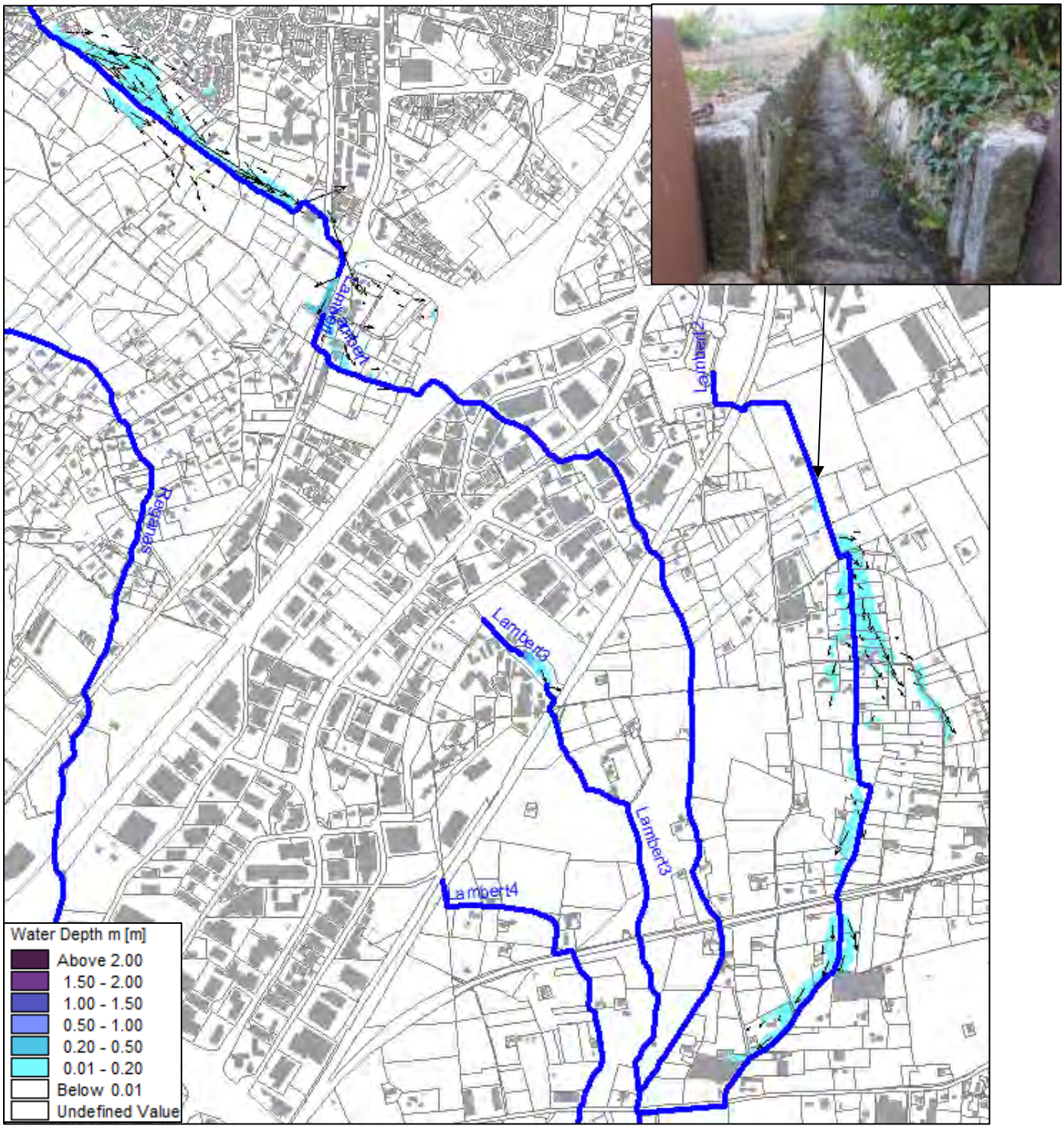



**Figure 28 : Dynamique des écoulements au temps t0+2h – Q2 modèle amont**

Les débordements de l'Eygoutier se généralisent ensuite sur le secteur entre l'A570 et le parc nature. Les étangs du parc nature se remplissent en premier, alimentés par les déversoirs. De nouveaux débordements apparaissent au niveau du marais de l'Estagnol.

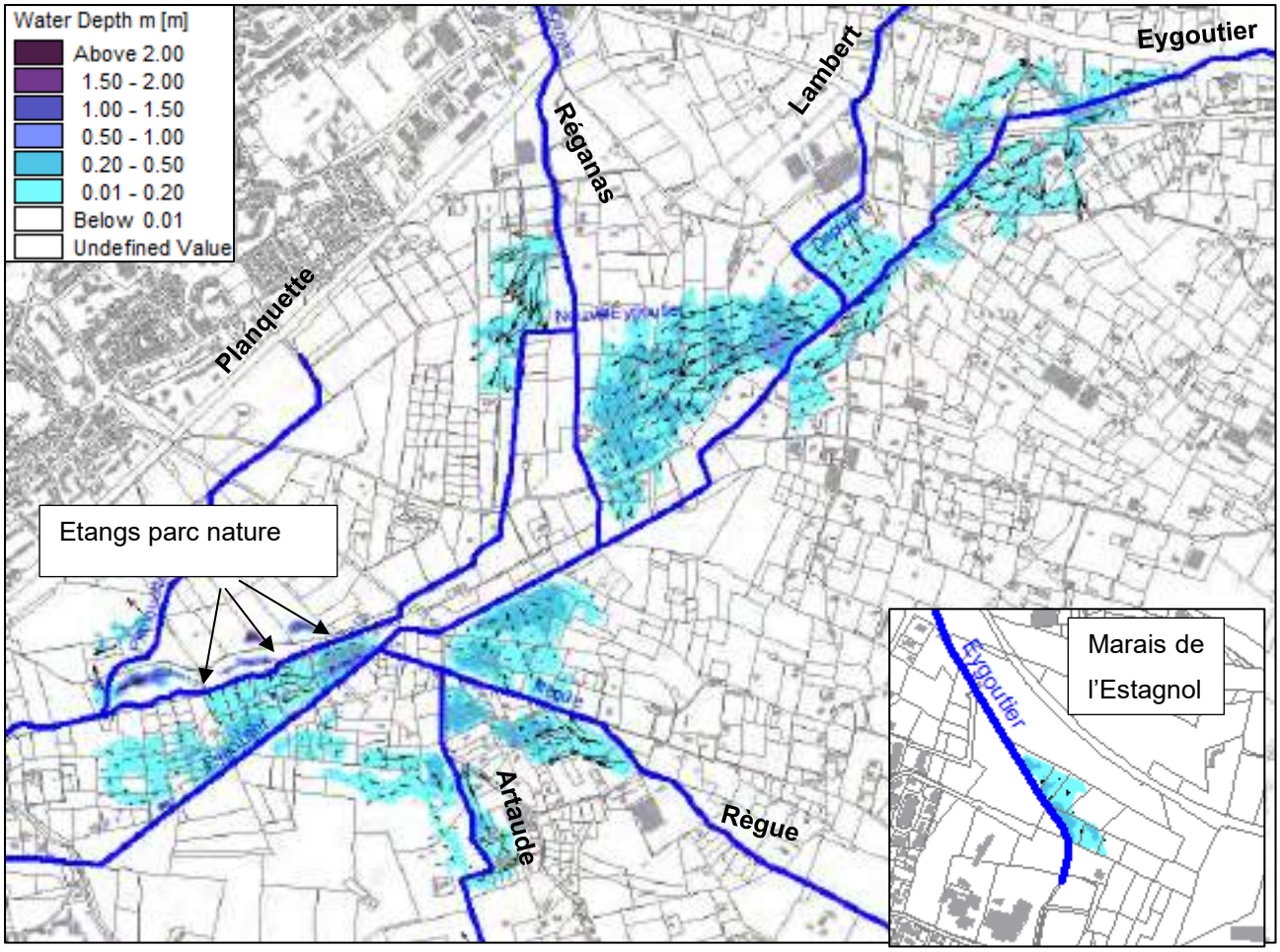



**Figure 29 : Dynamique des écoulements au temps t0+3h – Q2 modèle amont**

Les débordements se généralisent enfin sur tous les affluents et viennent alimenter le Plan. Le verrou hydraulique au niveau du pont de la Clue génère une forte zone d'accumulation qui se remplit et crée un plan d'eau au niveau du parc nature.

Dans le secteur du Lambert, les ruisseaux de faible capacité débordent sur de nombreux tronçons.

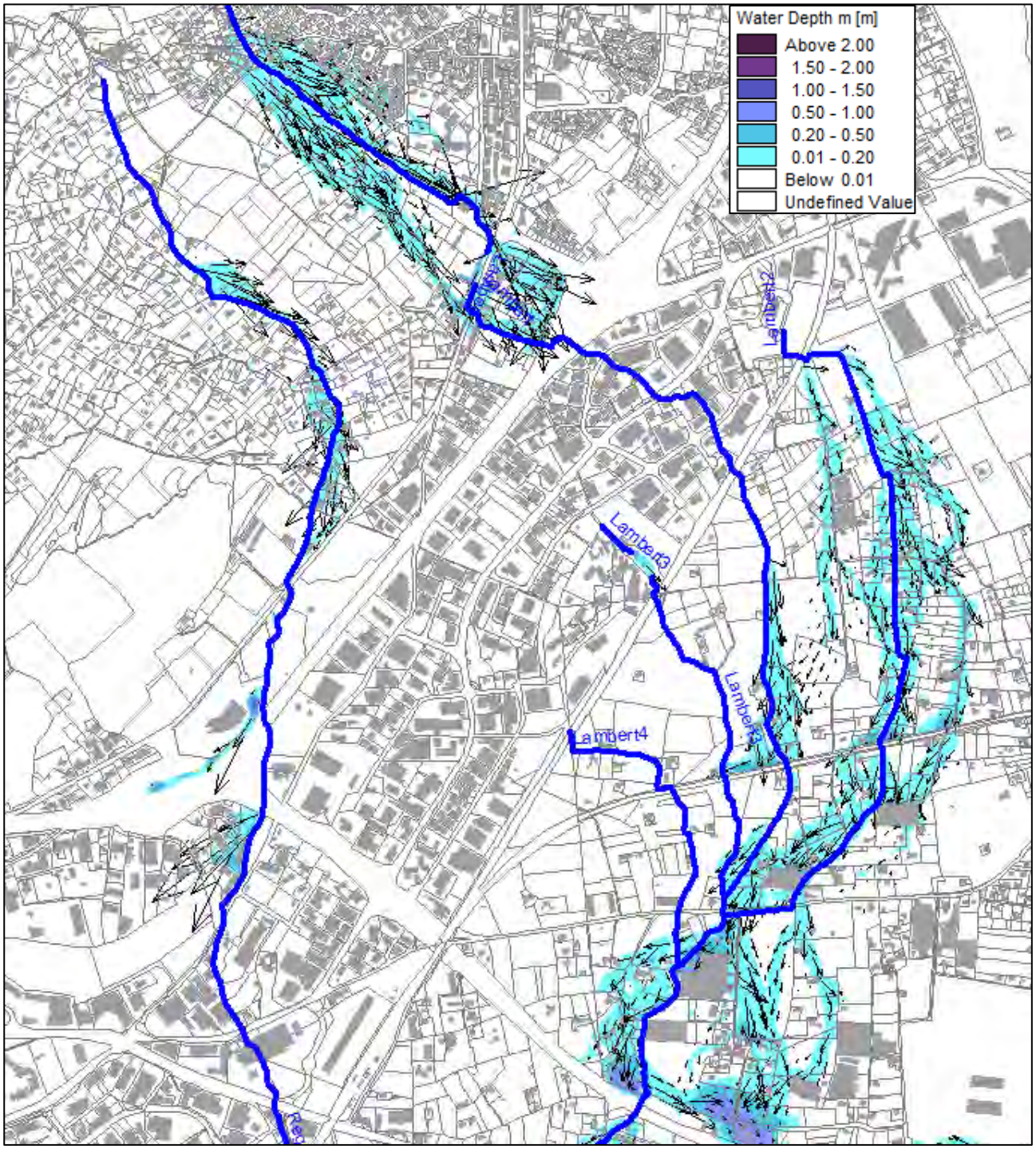



**Figure 30 : Dynamique des écoulements au temps t0+10h dans le secteur du Lambert – Q2 modèle amont**

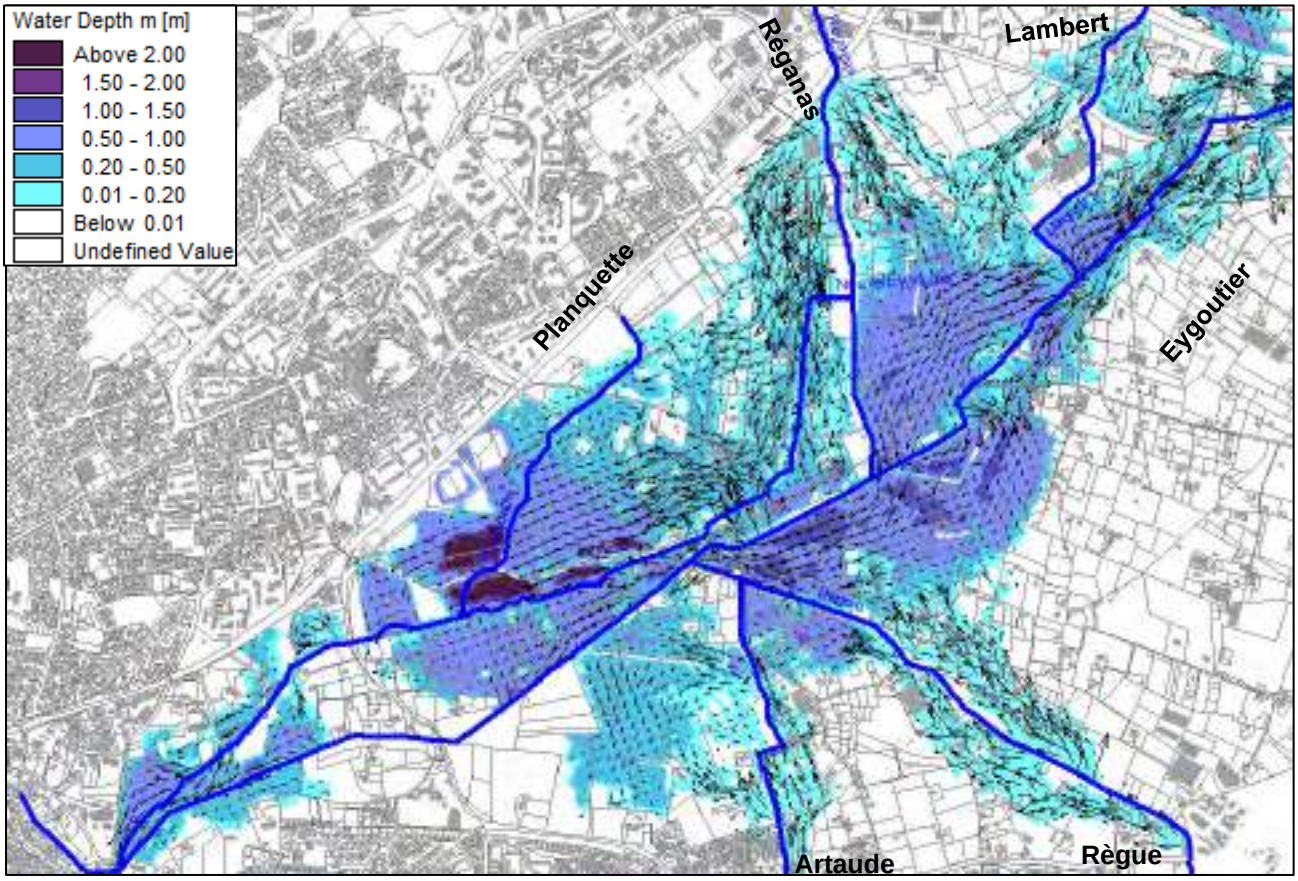



**Figure 31: Dynamique des écoulements au temps t0+10h - secteur du Plan – Q2 modèle amont**

La décrue s'amorce ensuite sur les affluents et la partie amont de l'Eygoutier, mais le plan de la Garde continue de se remplir (décalage temporel de la pointe de crue entre les affluents et le niveau d'eau dans le Plan de la Garde). Les écoulements franchissent la voie ferrée par les ouvrages de transparence hydraulique (ou les ouvrages routiers) et inondent les quartiers résidentiels de la Garde.

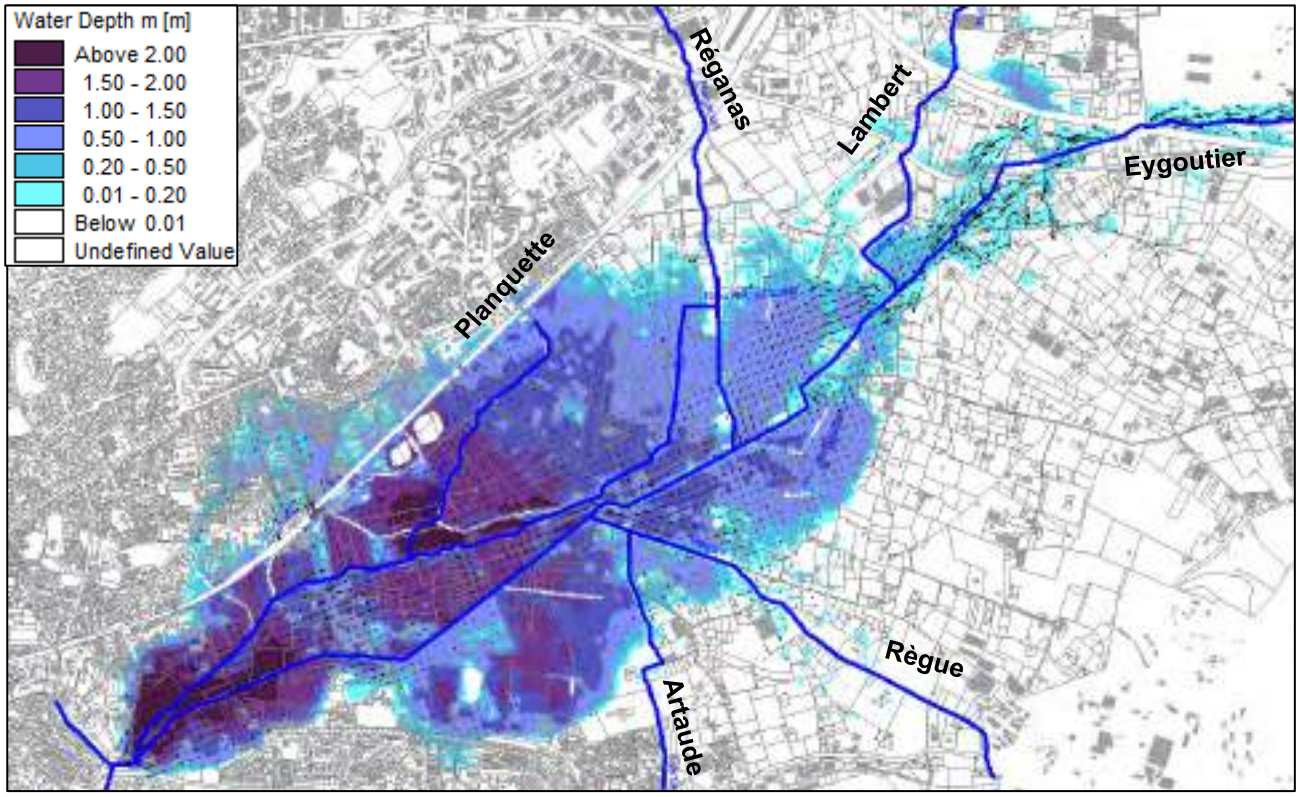



**Figure 32 : Dynamique des écoulements au temps t0+24h - secteur du Plan – Q2 modèle amont**

Lorsque le Plan atteint sa cote maximale, les affluents ne sont presque plus débordants. Une vidange s'amorce ensuite lentement par le tunnel de la Clue et le pont de la Clue.

La cartographie ci-dessous présente le temps d'arrivée du pic de crue. On remarque que les affluents atteignent le pic de crue en premier. Plusieurs heures supplémentaires sont nécessaires pour que les zones d'accumulation atteignent le pic de crue à leur tour.

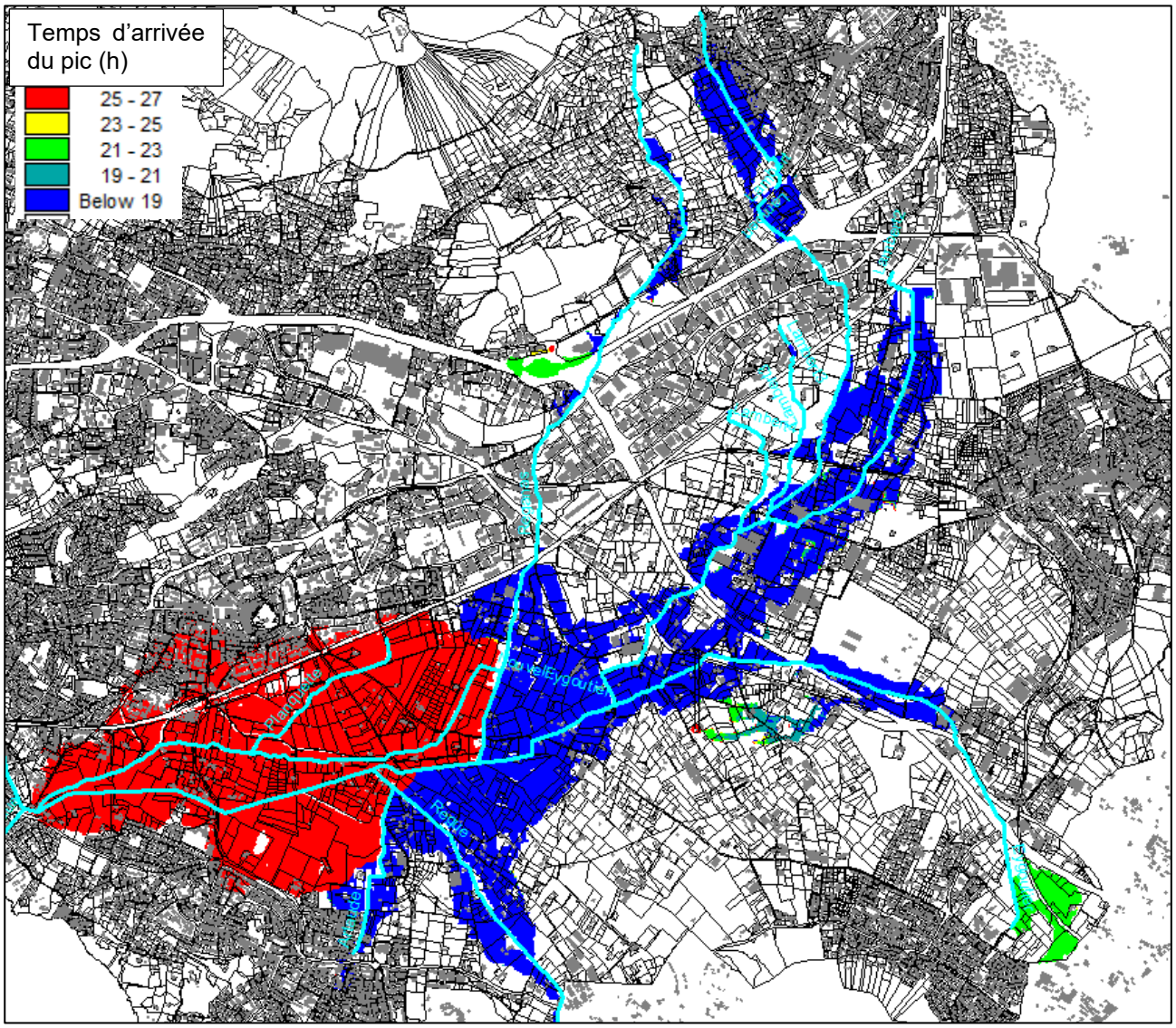



**Figure 33 : Cartographie du temps d'arrivée du pic de crue - Q2 modèle amont**

#### 4.2.1.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Les premiers points de débordements sont les suivants :

- Vallon de la Brunette
- Vallon de Ste Musse, au niveau de l'hôpital
- Vallon de St Joseph entre la voie ferrée et l'A57
- L'Eygoutier en amont du passage sous l'A57

Les petits bassins versants urbains réagissent très rapidement, l'instant « t0 » est proche de la pointe de crue de la Brunette, la Bade et du Ste Musse. Le vallon de la Brunette est réduit, sur certains tronçons, à un fossé le long de la voirie. C'est pourquoi on observe des débordements si rapidement.

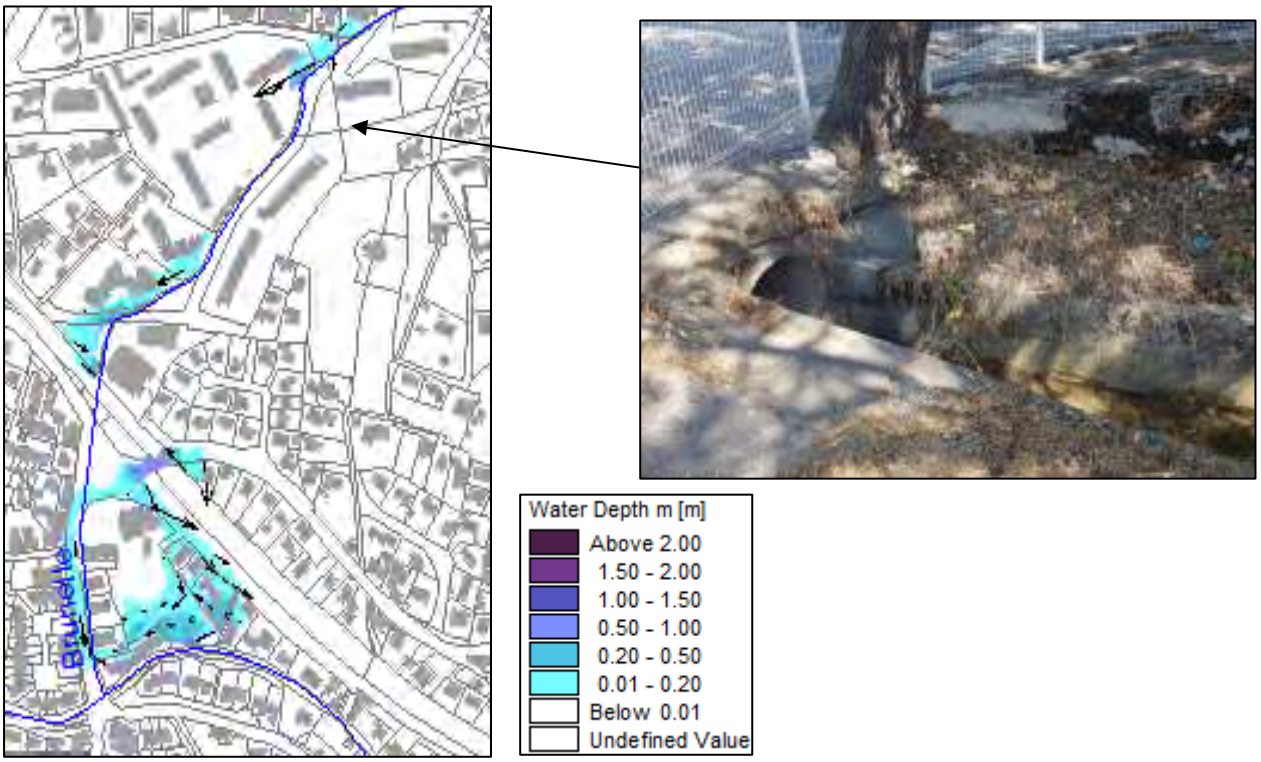



**Figure 34 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Brunette Q2 modèle aval**

Sur le vallon de Ste Musse, cinq bassins sont présents. Le premier, proche des terrains du RCT, est mis en eau très rapidement. Le bassin enterré, dit « cathédrale », commence à être alimenté.

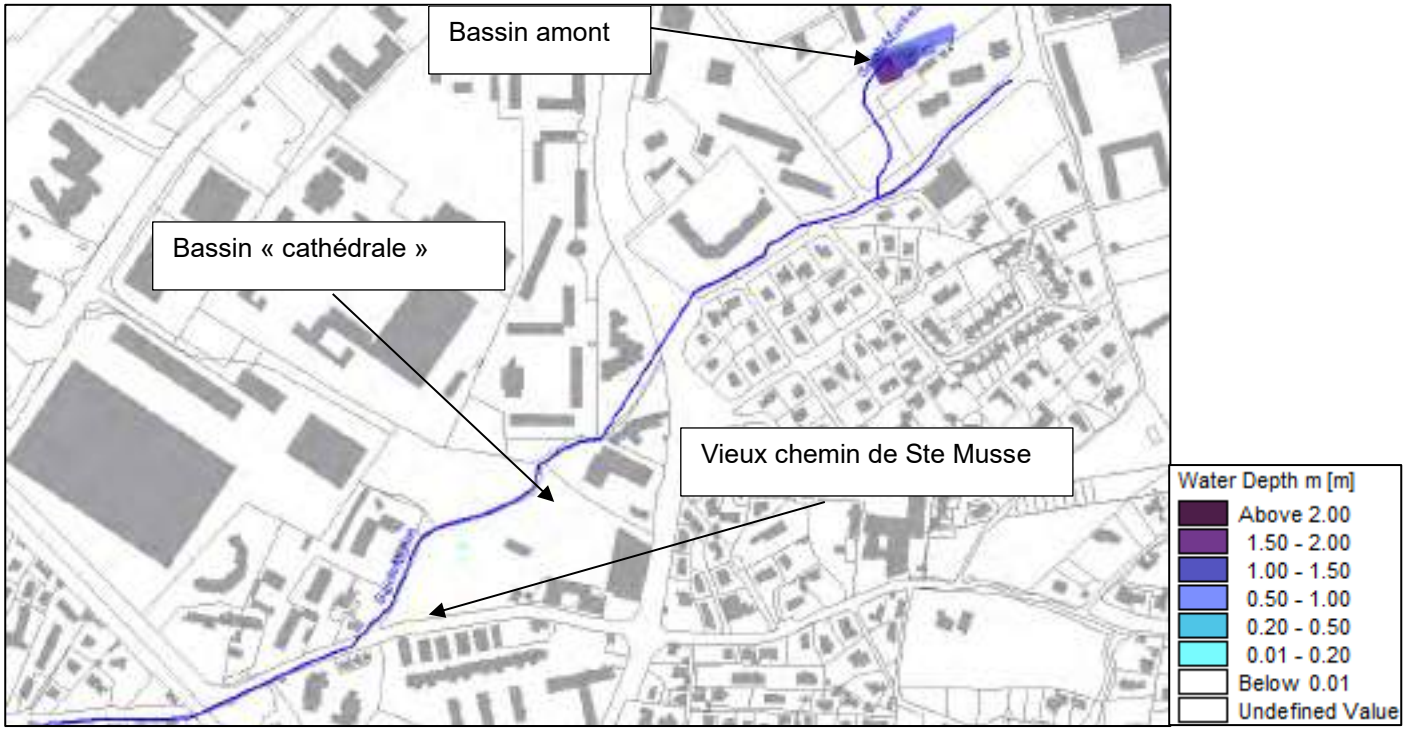



**Figure 35 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Ste Musse Q2 modèle aval**

Sur le St Joseph, le seuil présent au niveau de la résidence de la Prairie génère un exhaussement de la ligne d'eau à l'origine des débordements en rive gauche. Sur ce secteur, on observe aussi des débordements de l'Eygoutier en amont du passage sous l'A57.

NB : Un mur est présent en rive droite sur ce secteur. Ce mur a été détruit en 2006, par hypothèse (cf. 2.4 Modèles 2D - lit majeur) il n'a pas été considéré dans la modélisation. C'est pourquoi on observe des débordements si tôt.

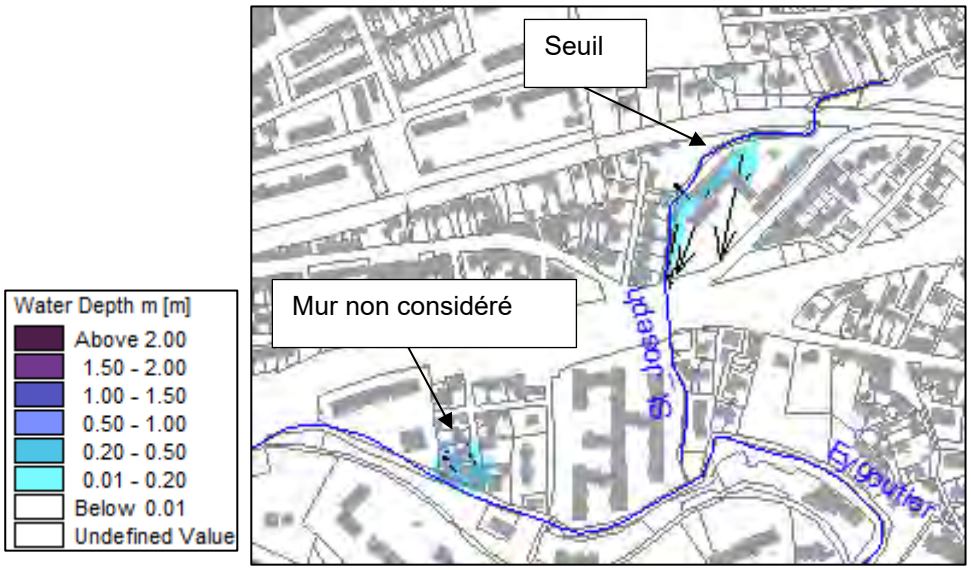



**Figure 36: Dynamique des écoulements au temps t0 – St Joseph Q2 modèle aval**

En amont, le bassin de Melpomène commence à être alimenté. Au niveau de l'hôpital de Ste Musse, le bassin du terrain de foot commence à se remplir, les compartiments successifs du bassin enterré « cathédrale » continue de se remplir. Celui-ci n'est pas encore saturé que surviennent des débordements en aval, à la traversée du vieux chemin de Ste Musse.

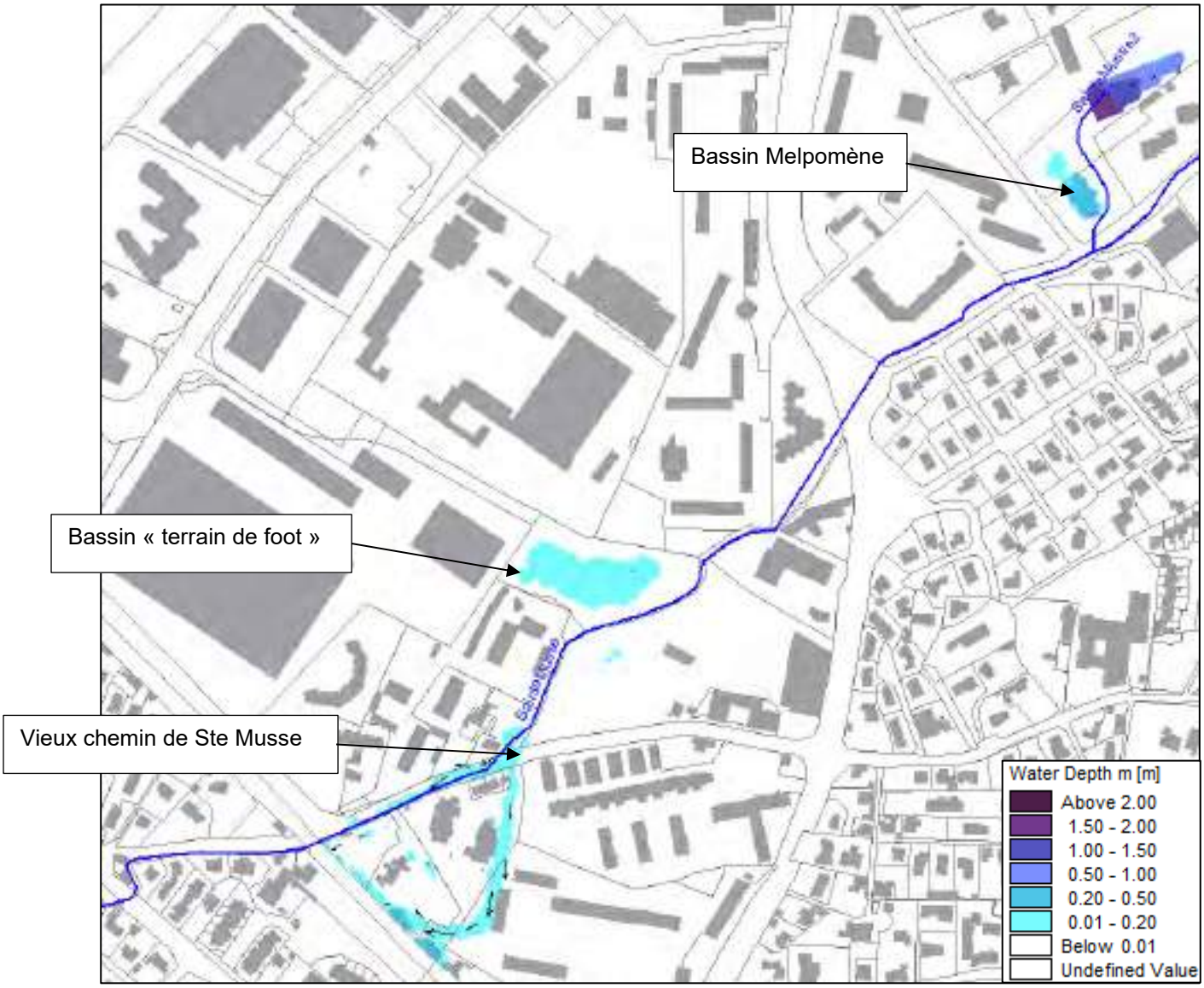



**Figure 37: Dynamique des écoulements au temps t0+45min – Ste Musse Q2 modèle aval**

La Brunette et le ruisseau de Ste Musse amorcent alors la décrue pendant que le St Joseph continue à déborder. Les écoulements sont bloqués par l'A57 et longent l'autoroute.

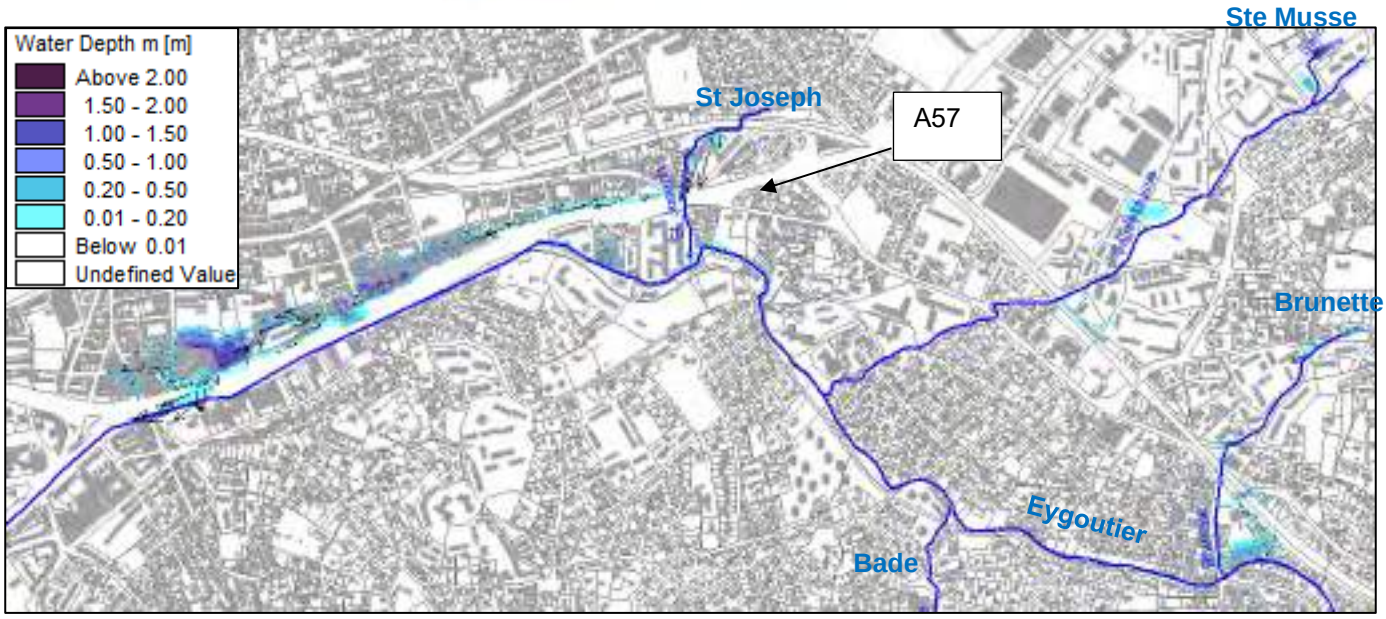



**Figure 38: Dynamique des écoulements au temps t0+1h45 –Q2 modèle aval**

Les affluents ont fini leur décrue. Le St Joseph ne déborde plus mais les écoulements continuent de longer l'A57 pour s'accumuler dans une cuvette topographique.

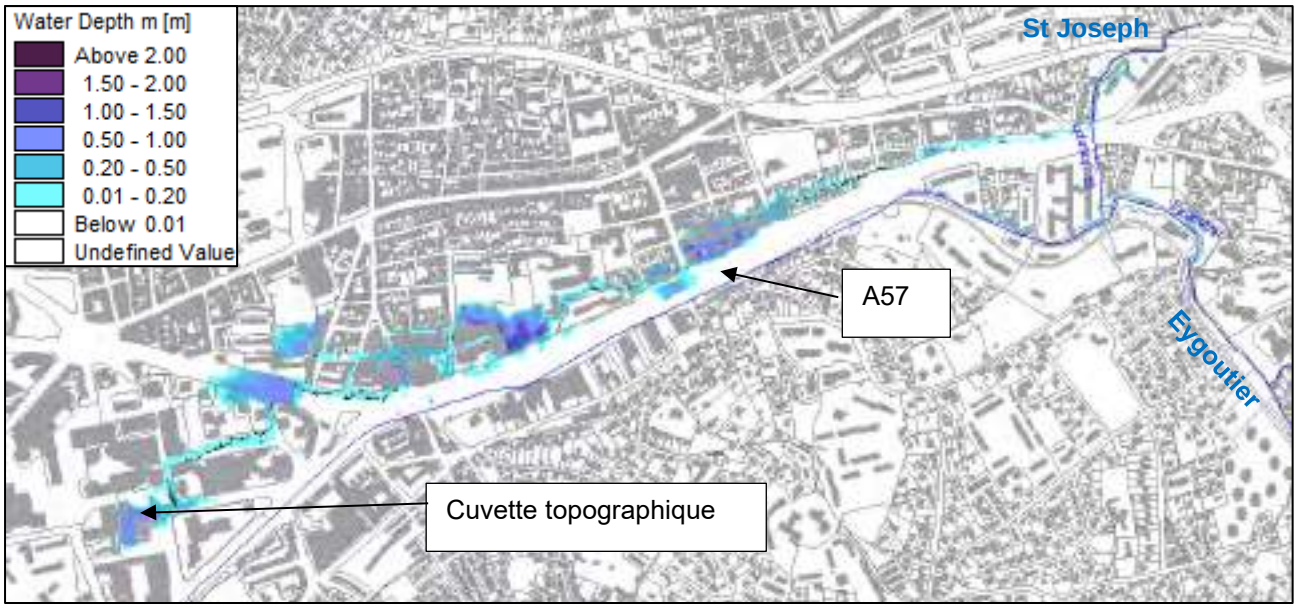



**Figure 39: Dynamique des écoulements au temps t0+6h45 –Q2 modèle aval**

La cartographie ci-dessous présente le temps d'arrivée du pic de crue. On remarque que les affluents atteignent le pic de crue globalement en même temps. Dans un second temps, les débordements du St Joseph se propagent le long de l'A57.

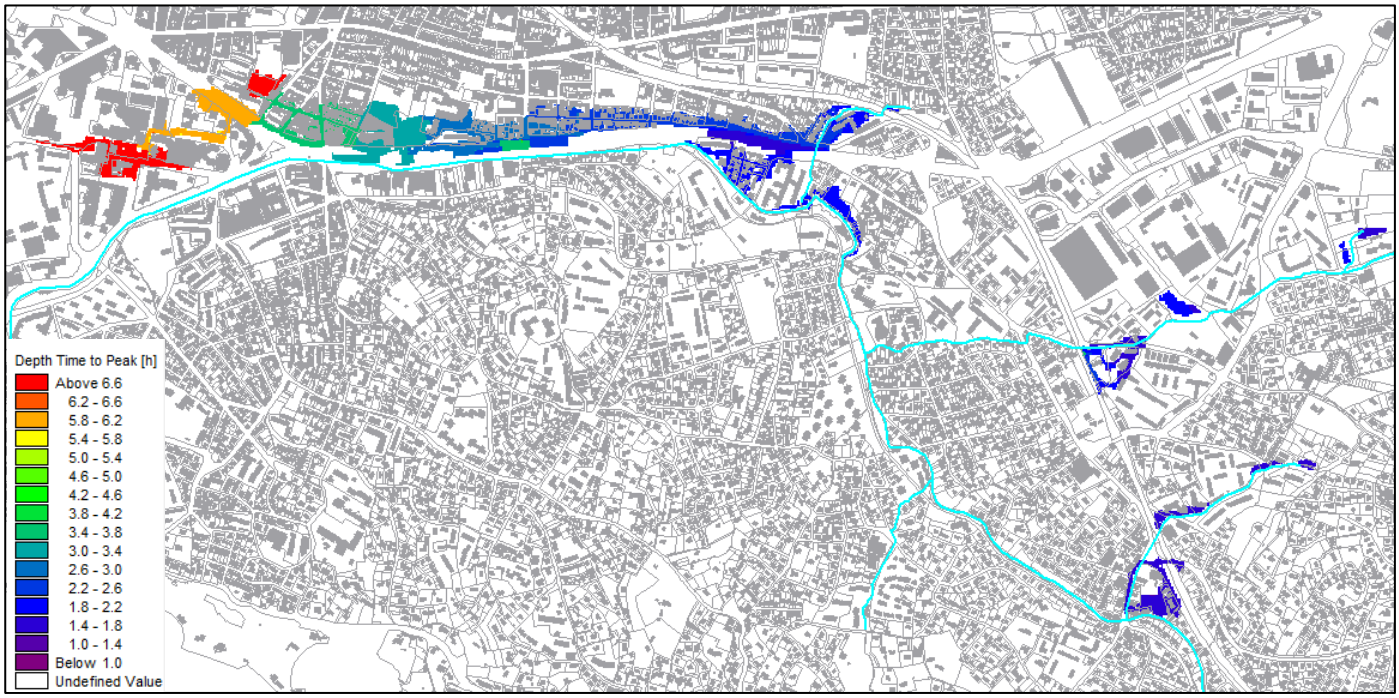



**Figure 40 : Cartographie du temps d'arrivée - Q2 modèle aval**

### 4.2.2 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE QUINQUENNALE

#### 4.2.2.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Les premiers points de débordements et le fonctionnement général sont les mêmes que pour la crue précédente. En revanche, l'ampleur des débordements est (logiquement) plus importante.

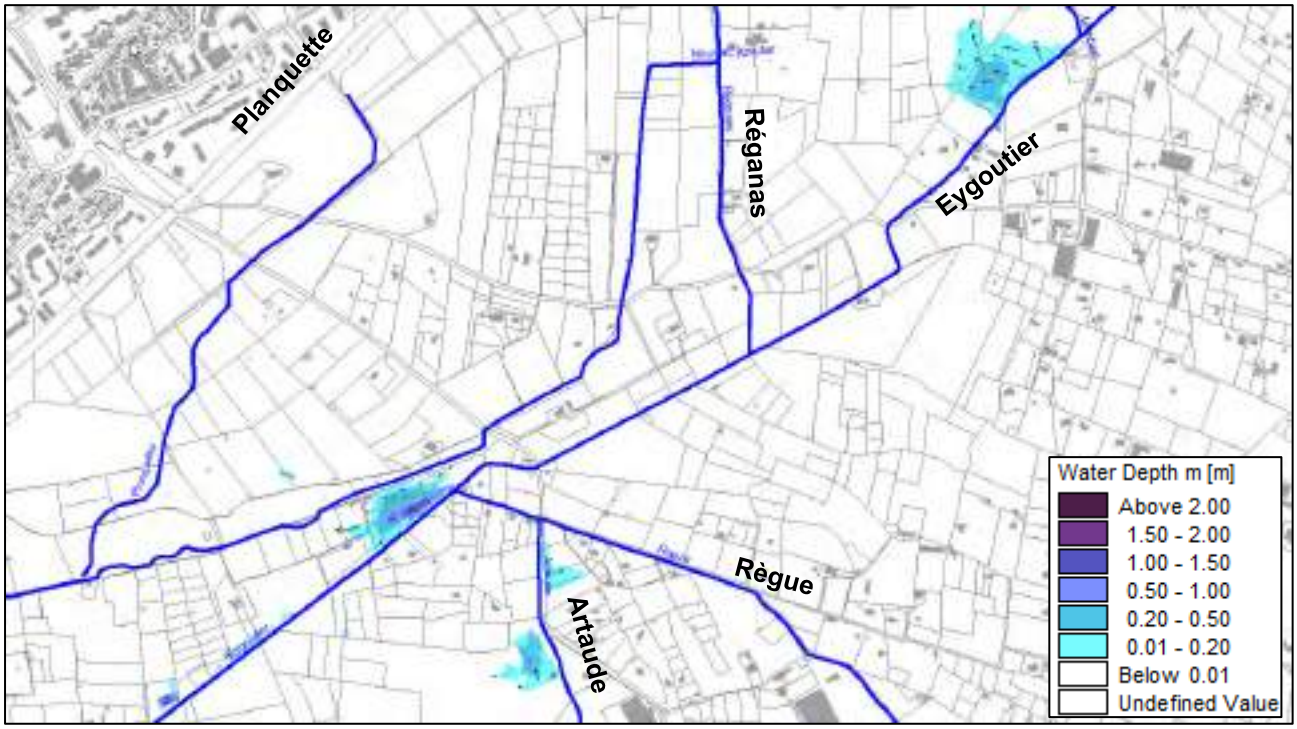



**Figure 41: Dynamique des écoulements au temps t0 – Q5 modèle amont**

Le réseau pluvial en amont de l'Artaude déborde. Les écoulements longent la voirie puis traverse la RD559 et se répandent essentiellement dans le quartier résidentiel en rive gauche (entouré en rouge).

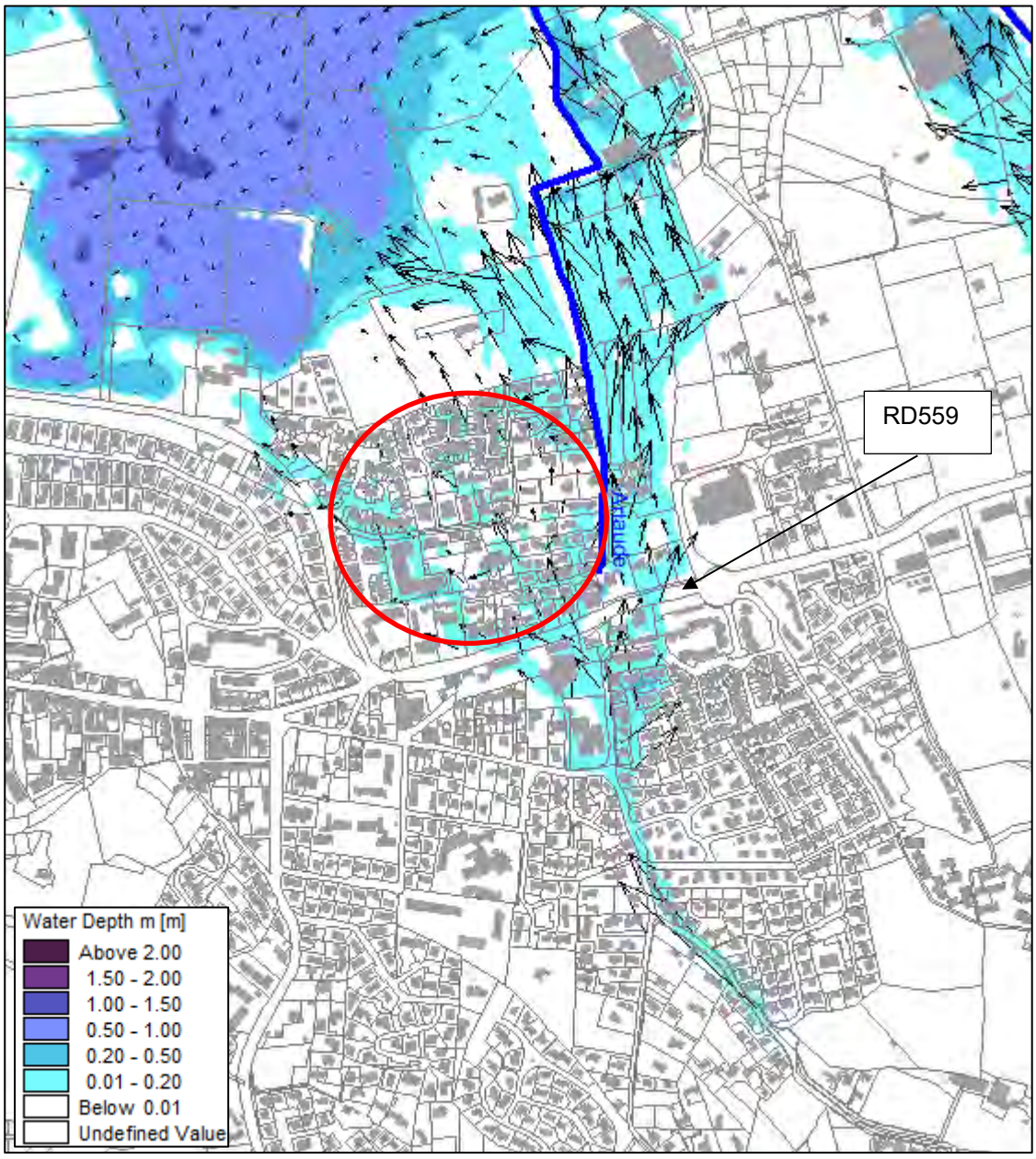



**Figure 42: Dynamique des écoulements au temps t0+11h – Q5 modèle amont**

Les débordements du Lambert et du Reganas, traversent l'A57 et inondent de nouveaux secteurs (entourés en rouge). La zone d'accumulation en rive droite du Reganas correspond à l'échangeur A57/A570 qui crée un point bas topographique.

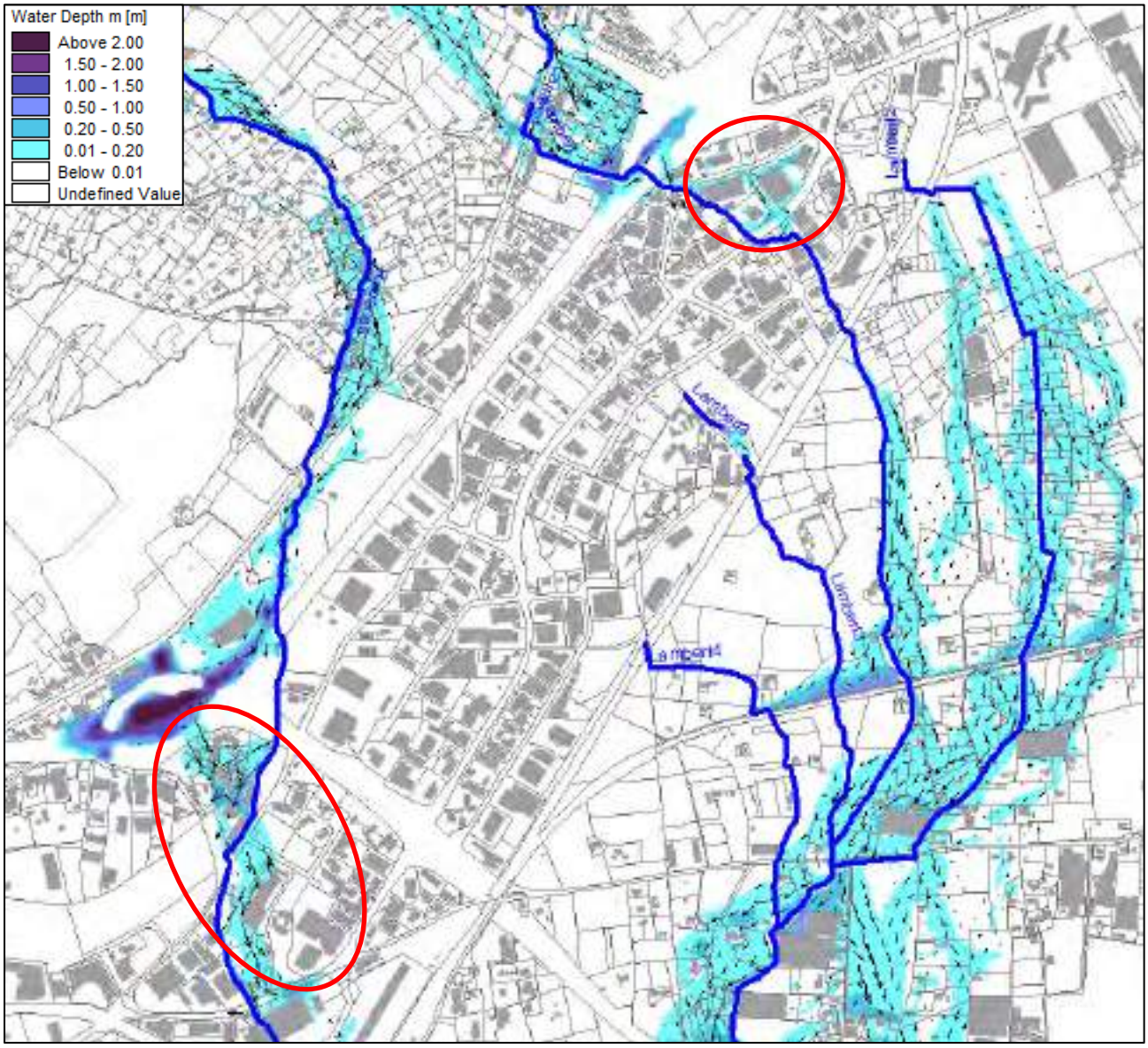



**Figure 43: Dynamique des écoulements au temps t0+14h – Q5 modèle amont**

#### 4.2.2.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Les premiers points de débordements sont les mêmes que pour la crue précédente, mais avec plus d'ampleur. En amont de la confluence avec le St Joseph, les débordements de l'Eygoutier interviennent un peu plus tôt que pour la crue précédente.

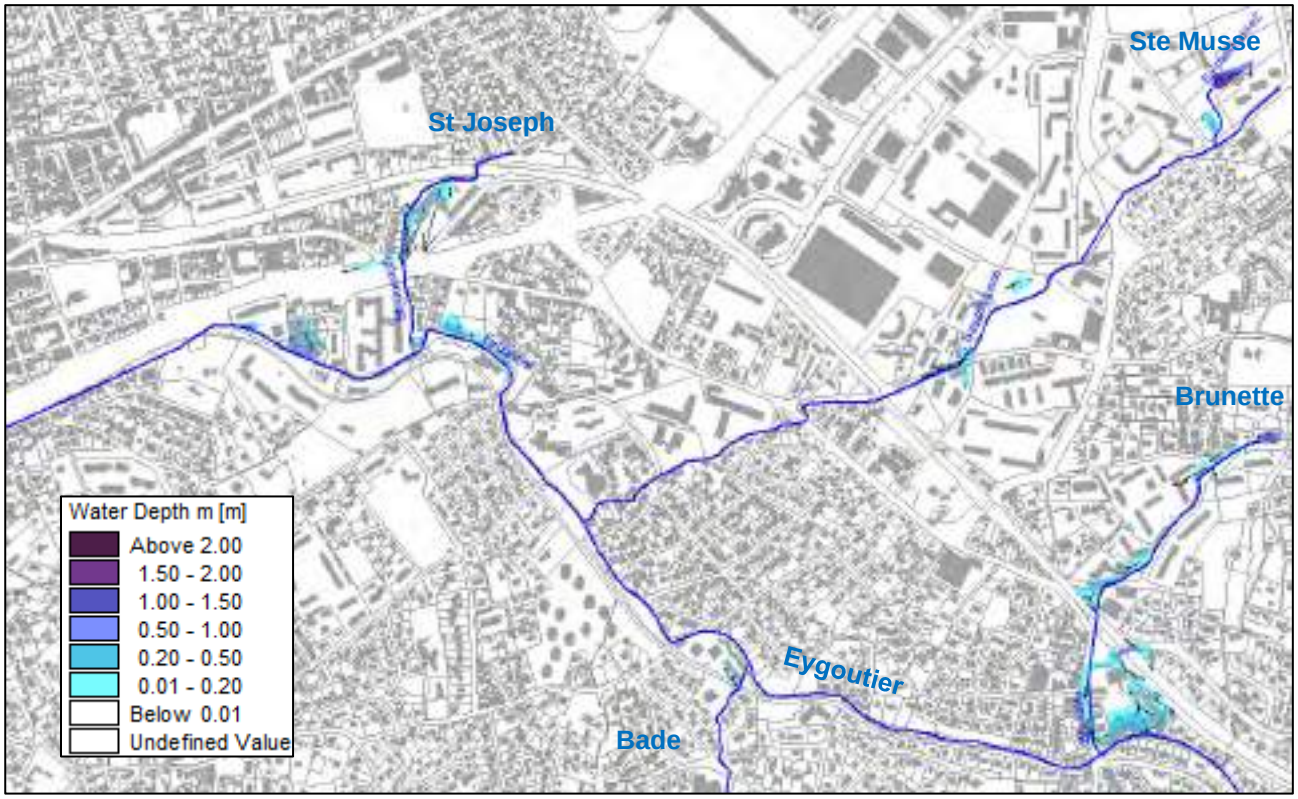



**Figure 44 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Q5 modèle aval**

En revanche, on observe dans un second temps de nouveaux points de débordements (entouré en rouge sur la figure suivante) le long de l'Eygoutier :

- A l'aval de la confluence de la Bade
- A la confluence du Ste Musse
- Au niveau du stade Jean Alex Fernandez

Ce dernier débordement correspond à un secteur où les berges sont légèrement plus basses qu'en amont ou en aval.

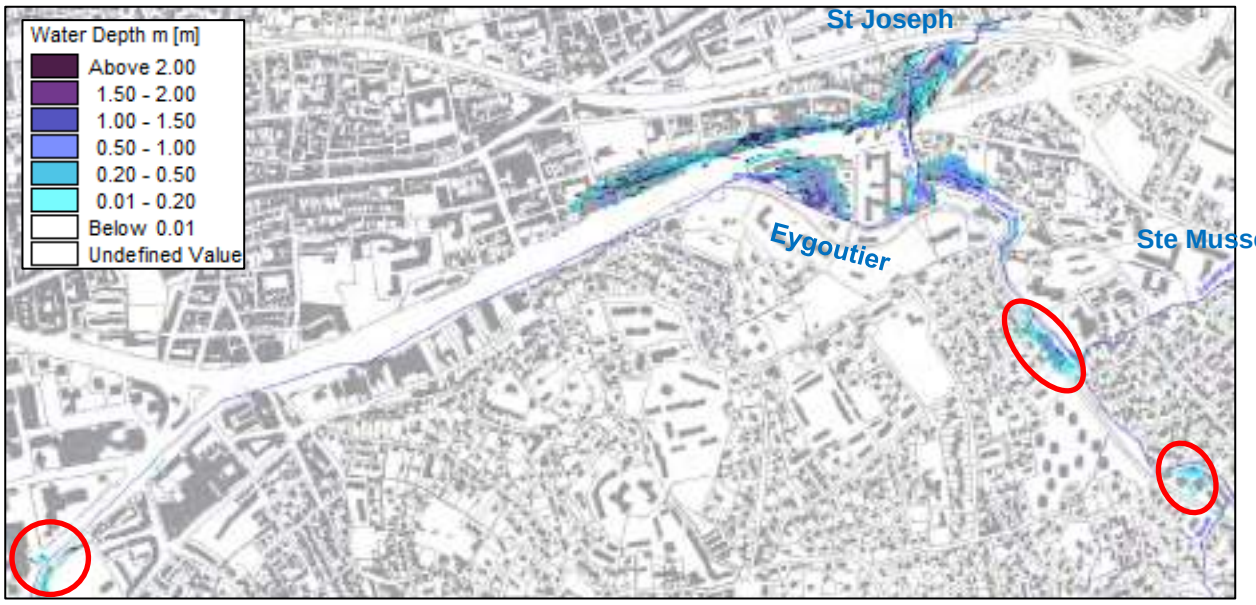



**Figure 45: Dynamique des écoulements au temps t0+30min – Q5 modèle aval**

Dans le secteur de l'hôpital de Ste Musse, les bassins se remplissent selon la même dynamique que la crue précédente. Le bassin enterré est saturé, son déversoir de sécurité alimente le troisième bassin.

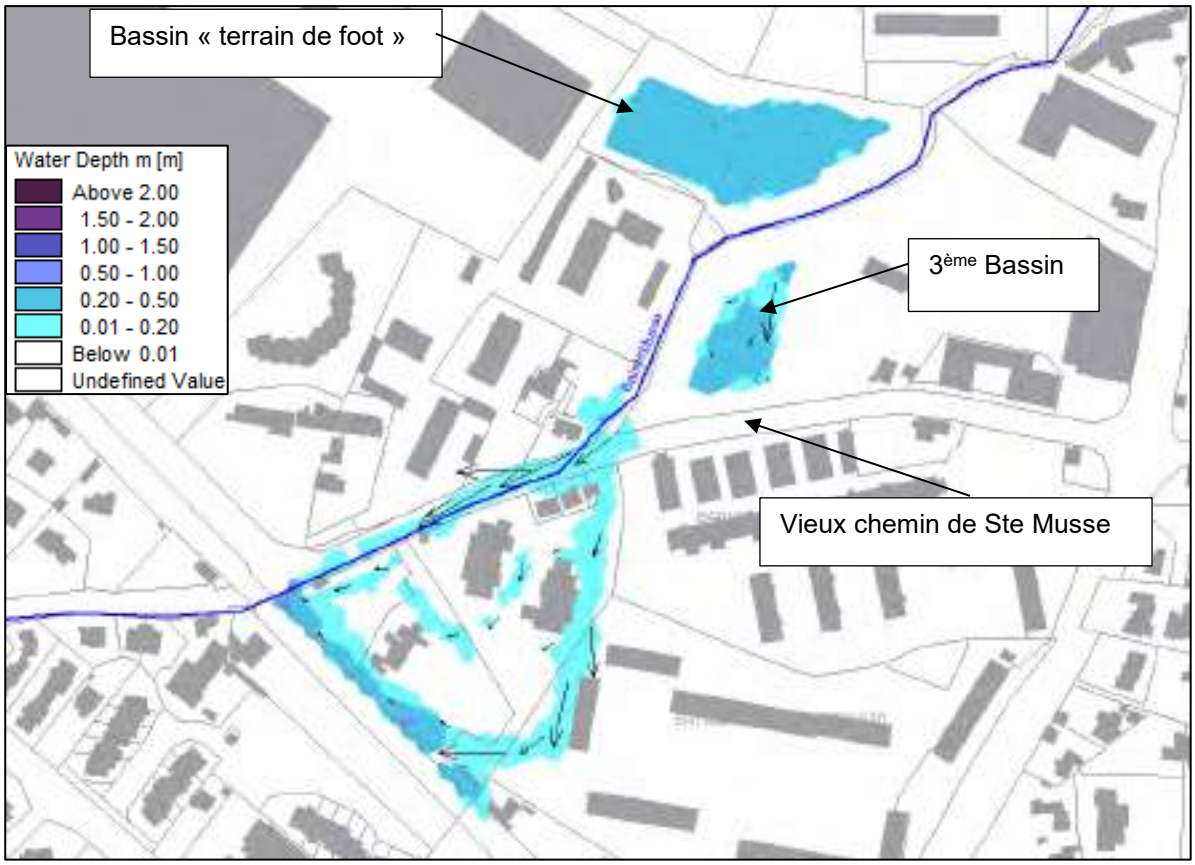



**Figure 46: Dynamique des écoulements au temps t0+1h – Q5 modèle aval**

Pendant que les affluents sont en décrue, les débordements de l'Eygoutier et du St Joseph se poursuivent. Dans un premier temps, les débordements de l'Eygoutier remplissent le point bas topographique. Lorsque les écoulements qui longent l'A57 atteignent ce point, il n'y a plus de volume disponible et on observe donc une surverse qui atteint la mer (port de Toulon).

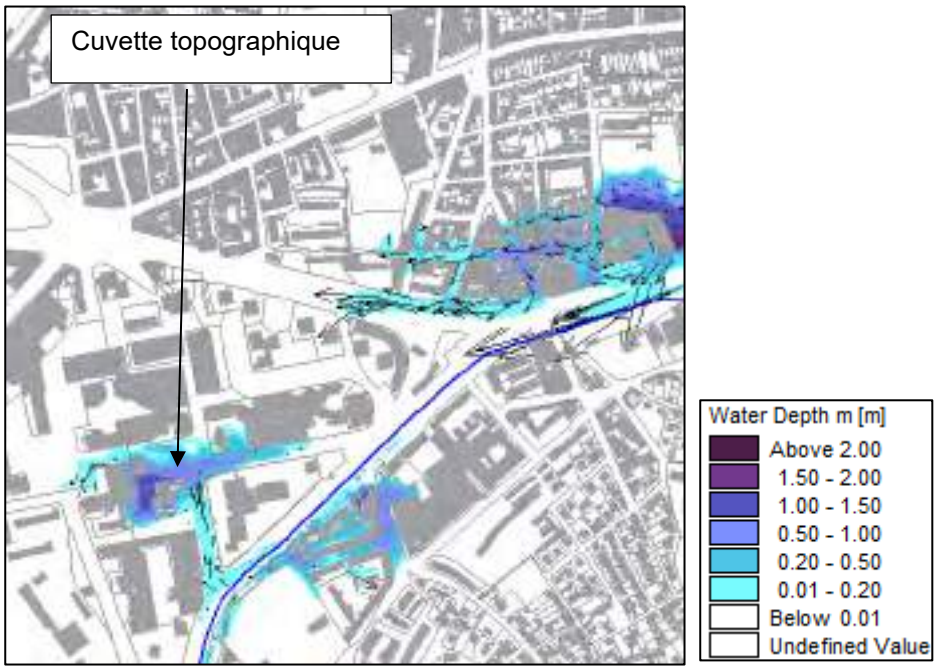



**Figure 47 : Dynamique des écoulements au temps t0+1h30 – Q5 modèle aval**

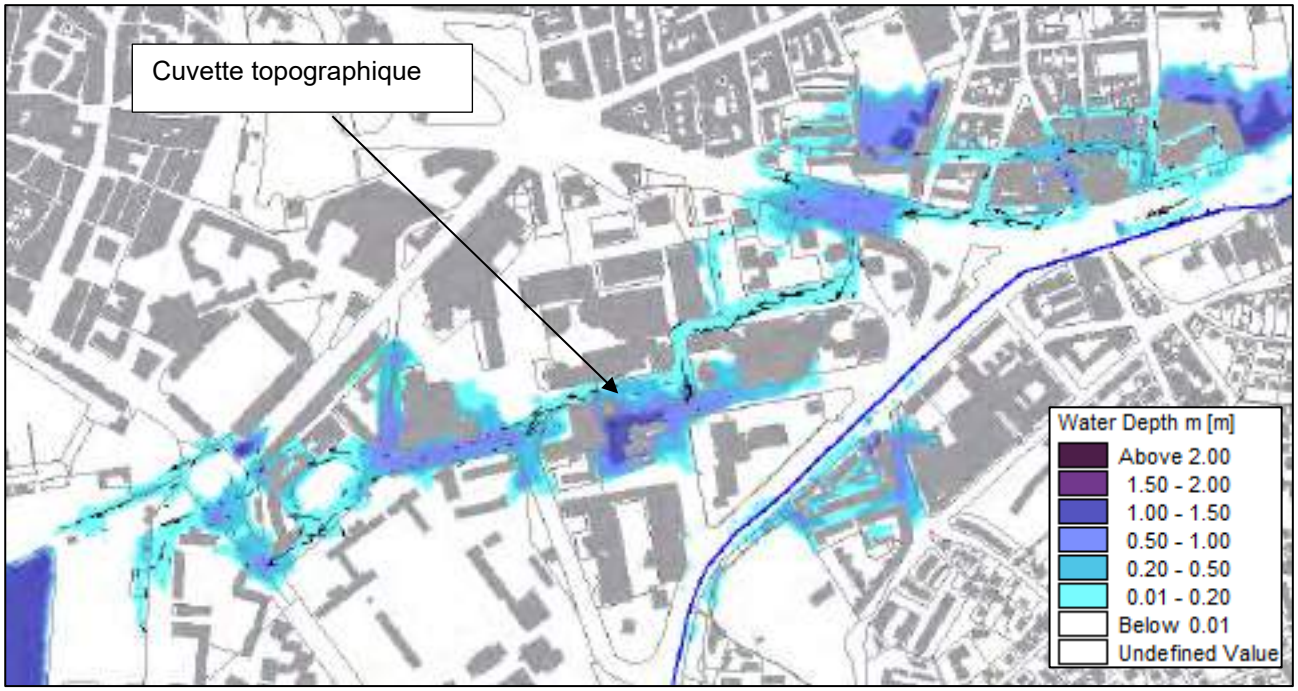



**Figure 48: Dynamique des écoulements au temps t0+4h45 – Q5 modèle aval**

### 4.2.3 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE DECENNALE

#### 4.2.3.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Les premiers points de débordements et le fonctionnement général sont les mêmes que pour la crue précédente.

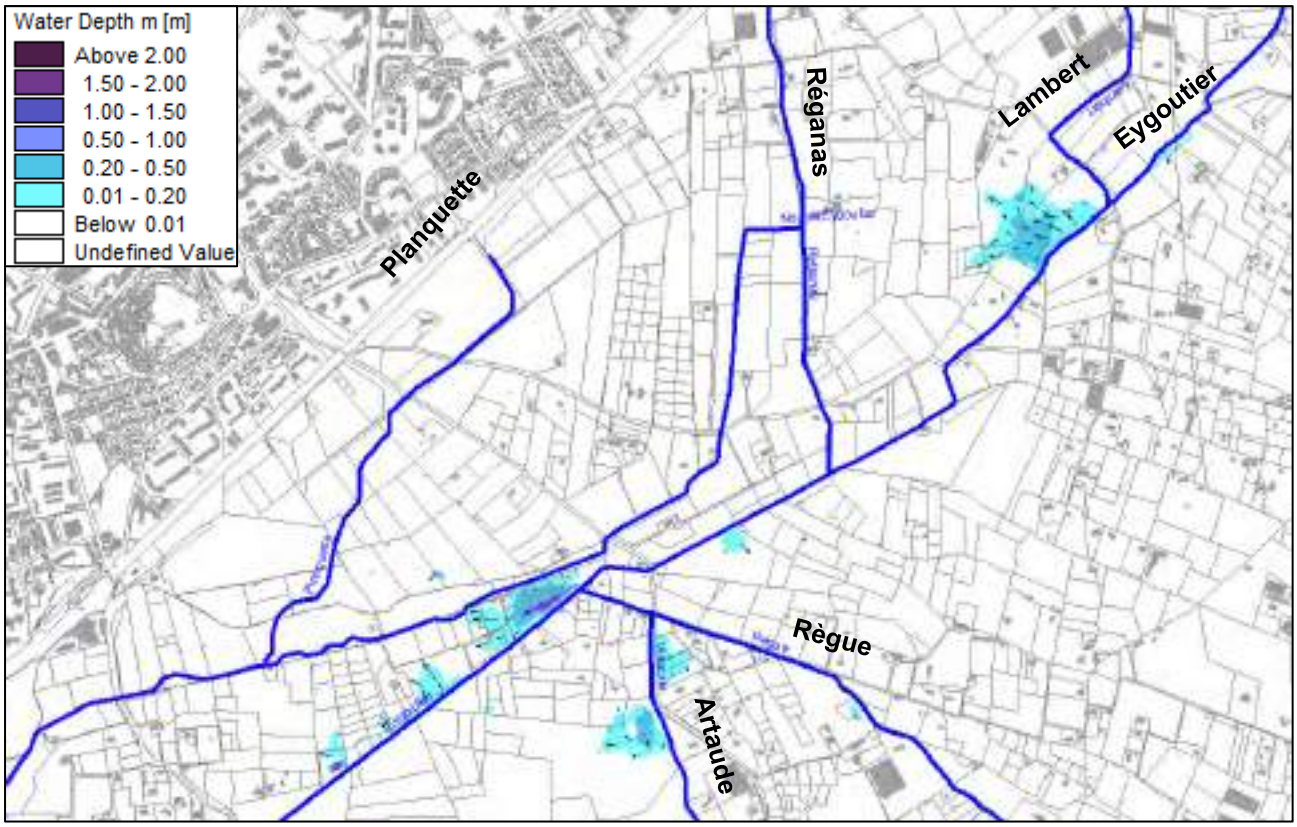



**Figure 49: Dynamique des écoulements au temps t0 – Q10 modèle amont**

Les débordements du Reganas se généralisent, notamment en amont de la voie ferrée et inondent la zone d'activité.

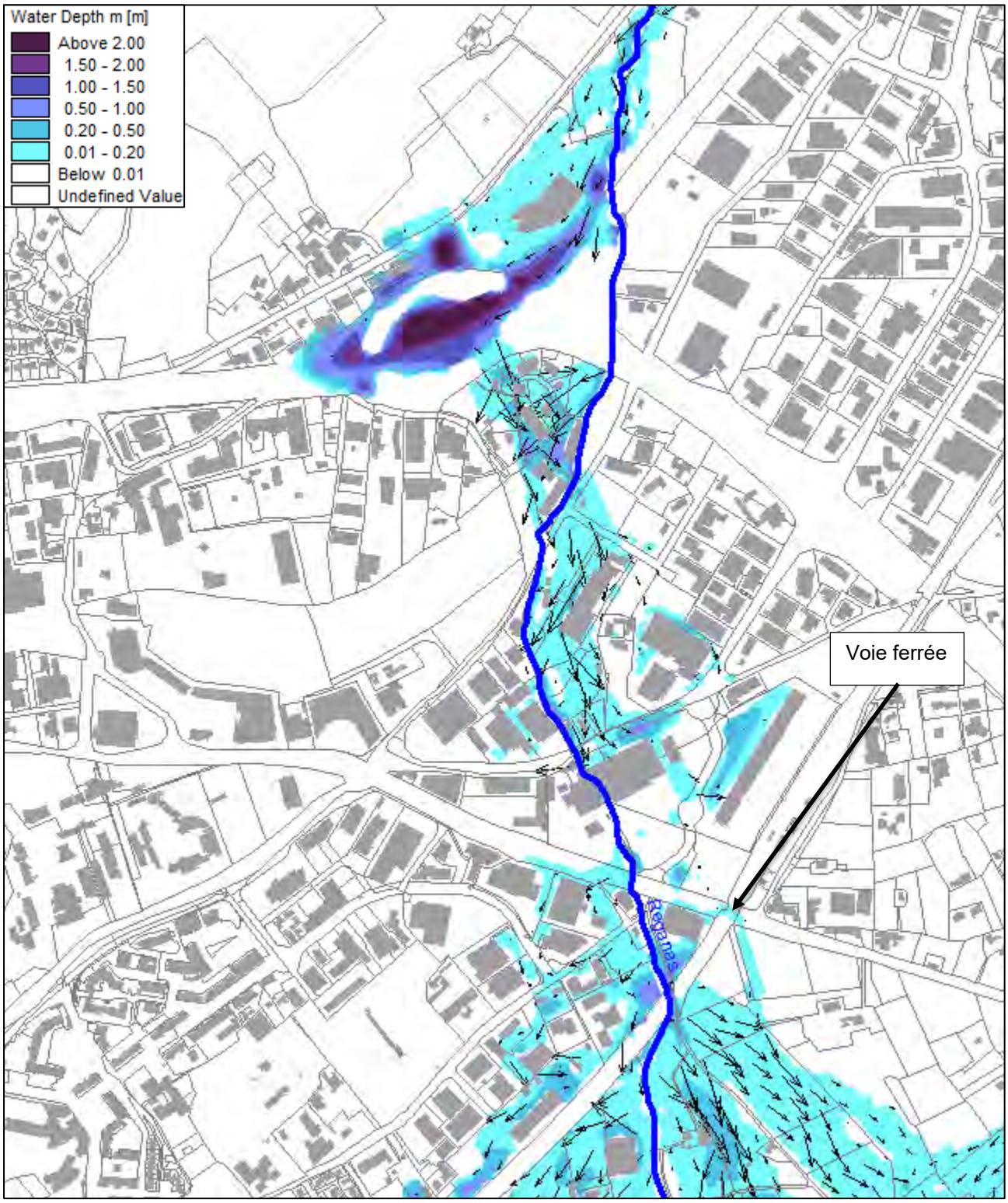



**Figure 50: Dynamique des écoulements au temps t0+15h – Q10 modèle amont**

#### 4.2.3.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Les premiers points de débordements et le fonctionnement général sont les mêmes que pour la crue précédente, mais avec plus d'ampleur.

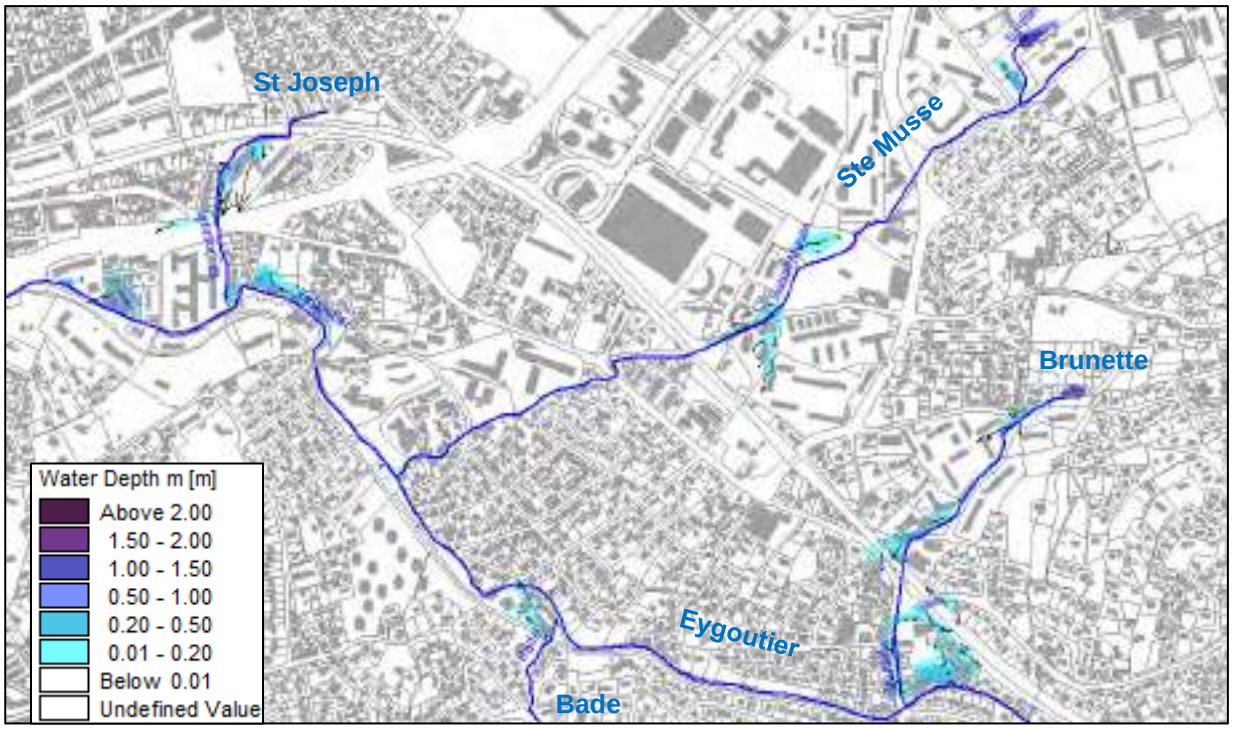



**Figure 51 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Q10 modèle aval**

La Brunette déborde plus et inonde un nouveau secteur en rive droite (entouré en rouge). En amont de cette confluence, l'Eygoutier déborde ponctuellement.

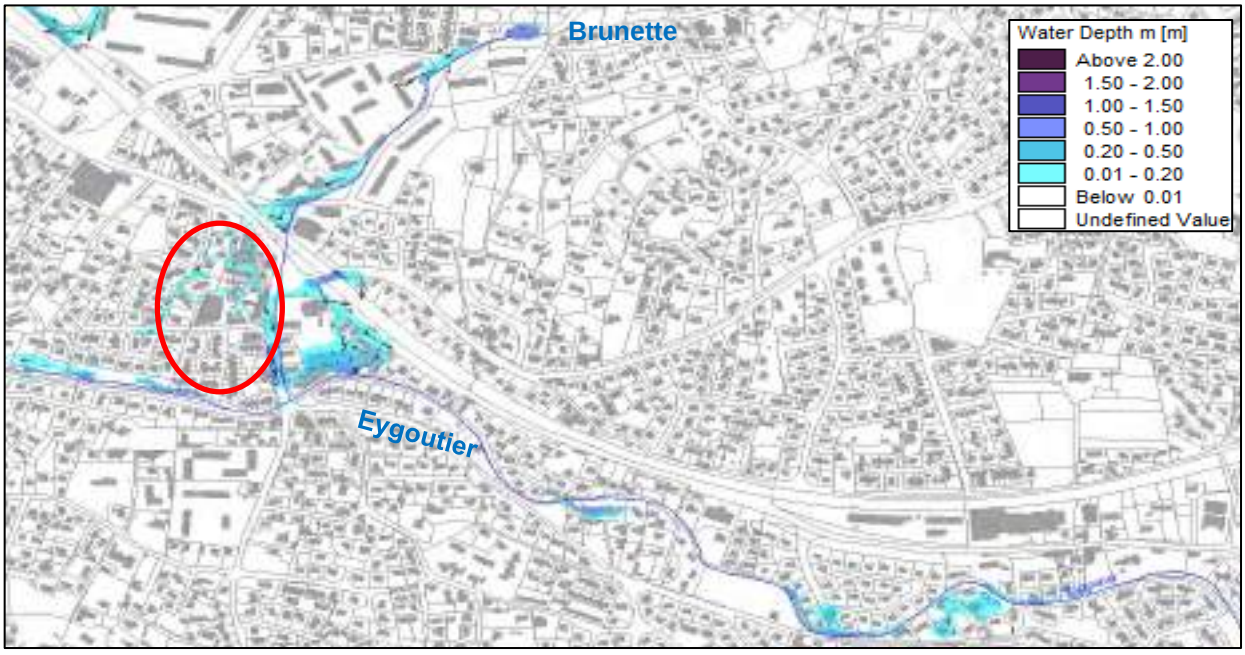



**Figure 52 : Dynamique des écoulements au temps t0+30 min – Q10 modèle aval**

Le reste du fonctionnement est identique à la crue précédente, avec les débordements du St Joseph et de l'Eygoutier qui rejoignent le port.




**Figure 53: Dynamique des écoulements au temps t0+2h45 – Q10 modèle aval**

### 4.2.4 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE TRENTENNALE

#### 4.2.4.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Les premiers points de débordements et le fonctionnement général sont les mêmes que pour la crue précédente.

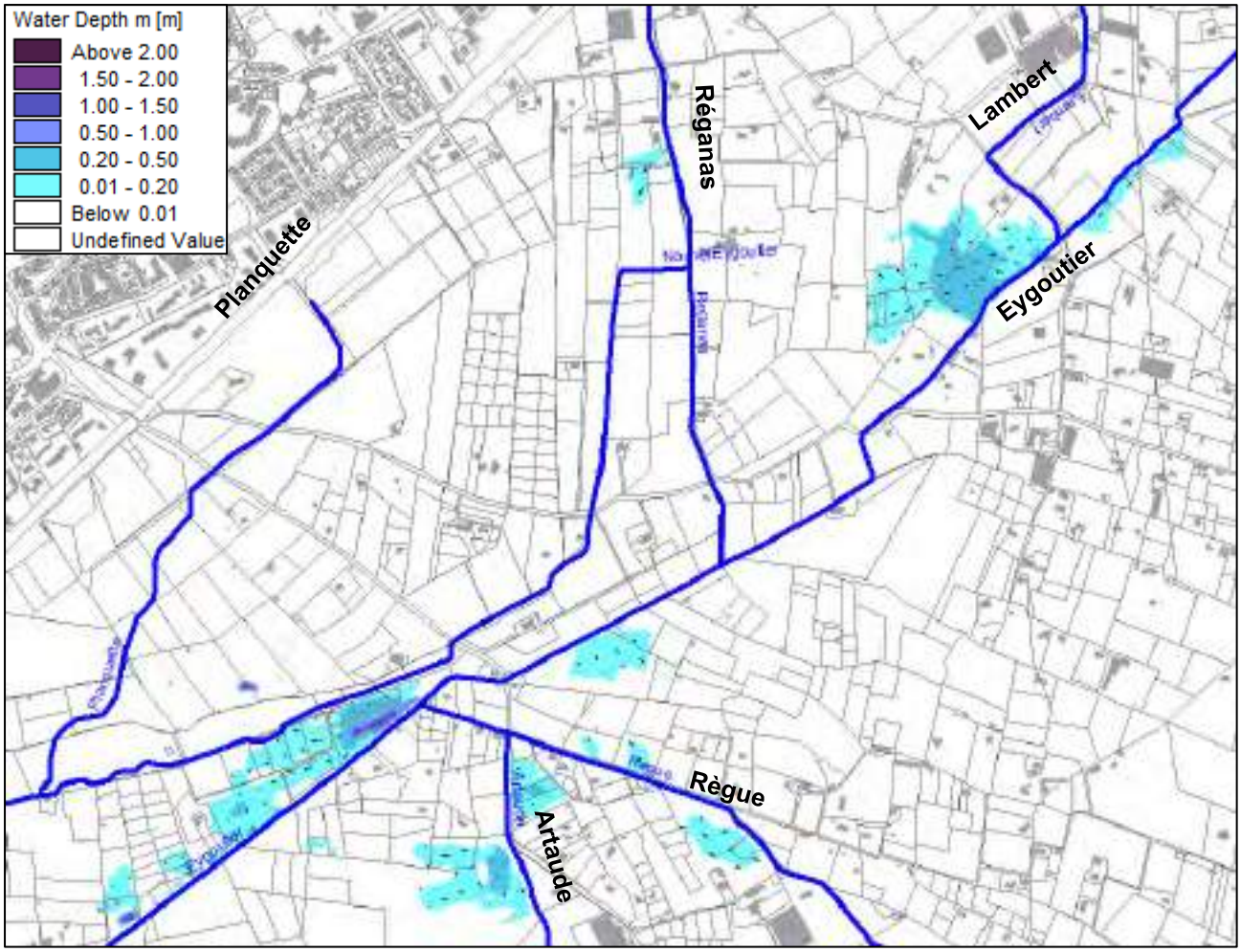



**Figure 54 Dynamique des écoulements au temps t0 – Q30 modèle amont**

Les débordements du Reganas inondent la zone d'activité de La Garde, comme à la crue précédente mais de nouvelles entreprises sont touchées (entourées en rouge sur la figure ci-après) car les débordements sont plus importants.

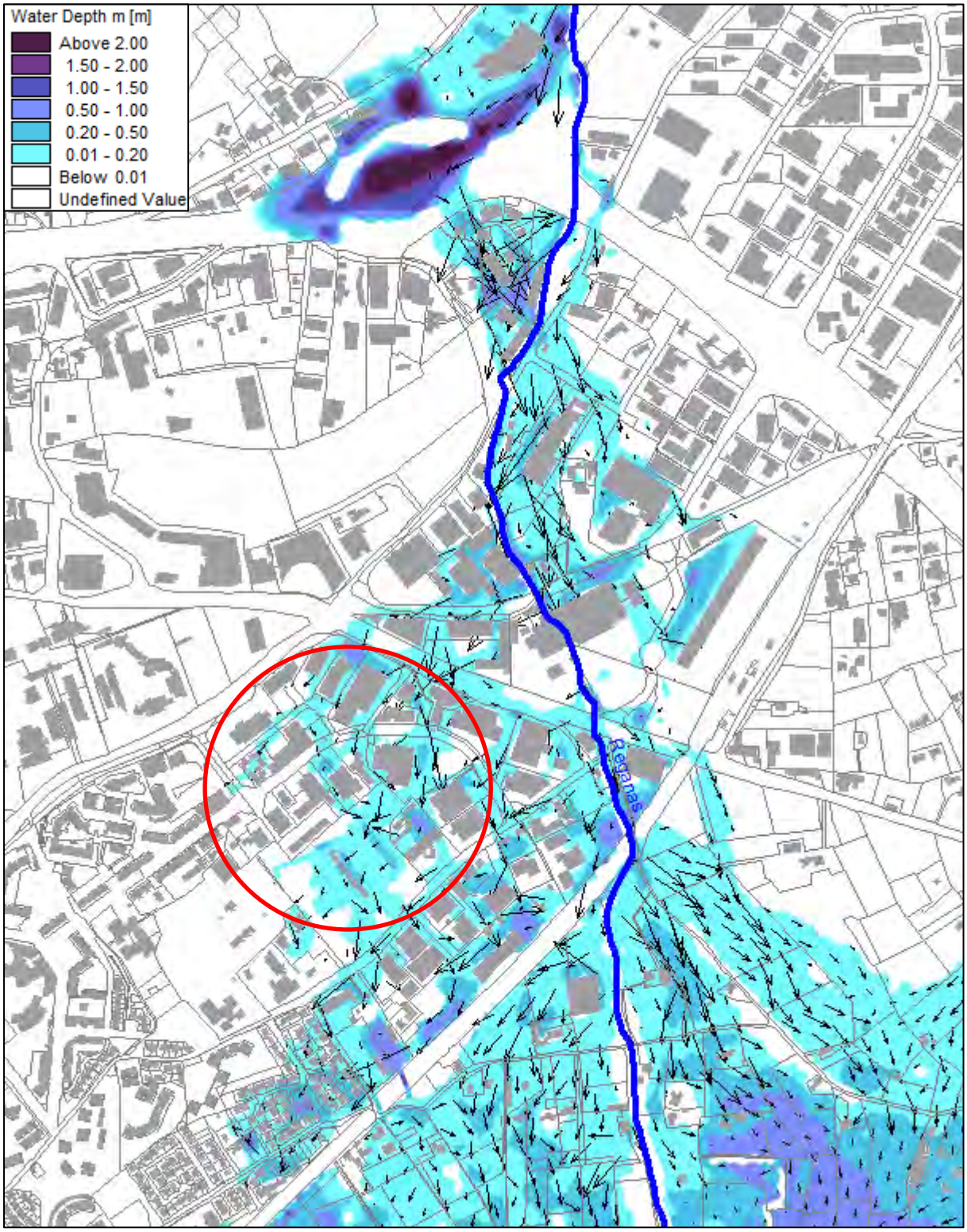



**Figure 55 Dynamique des écoulements au temps t0+12h – Q30 modèle amont**

Le niveau d'eau dans le plan de la Garde continue de monter. A travers les ouvrages de franchissement de la voie ferrée, les écoulements inondent le quartier résidentiel et contournent le rocher de la Garde.

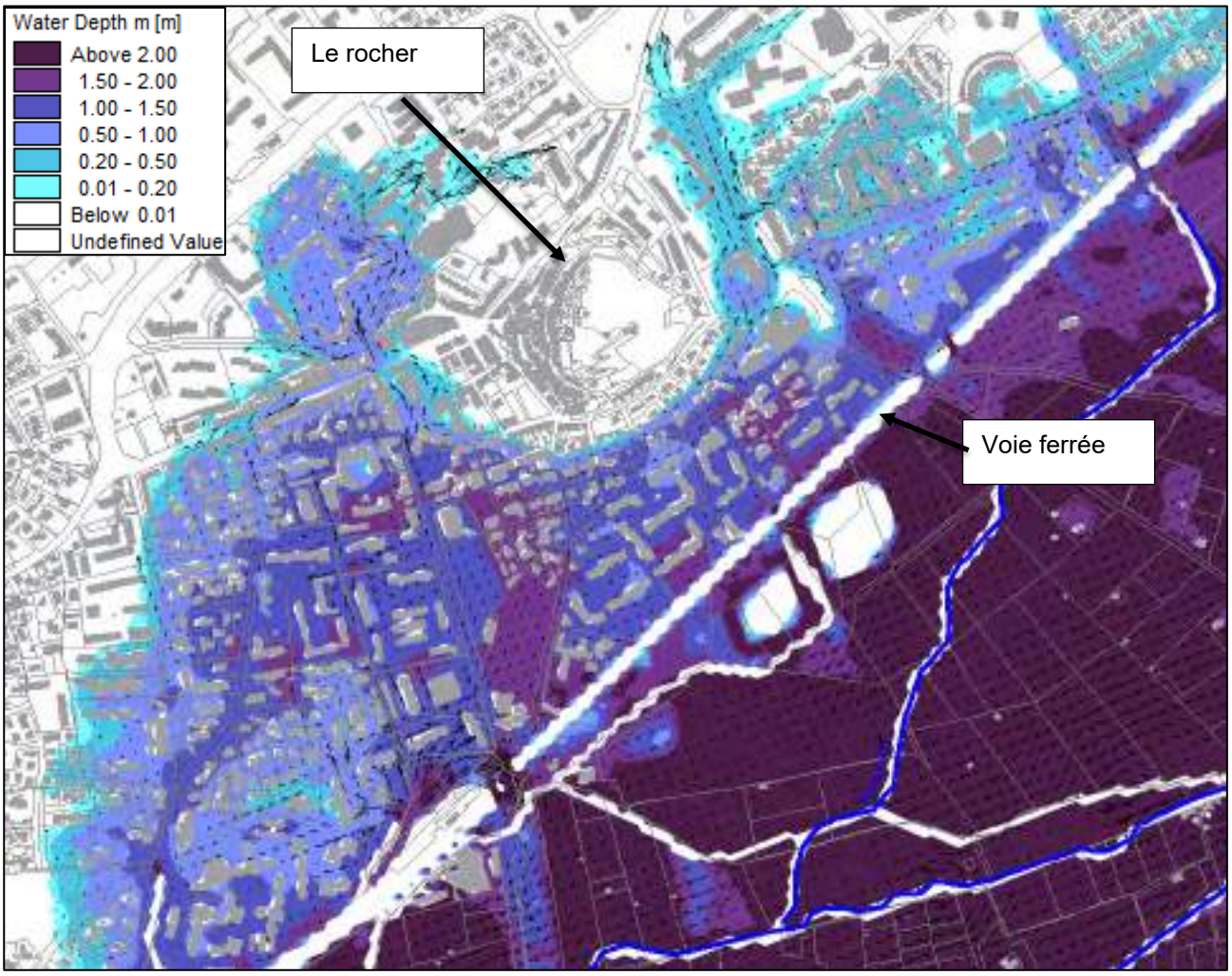



**Figure 56 Dynamique des écoulements au temps t0+19h – Q30 modèle amont**

### 4.2.4.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Les premiers débordements sont identiques aux crues précédentes. En revanche, l'emprise de la zone inondable est rapidement significative.

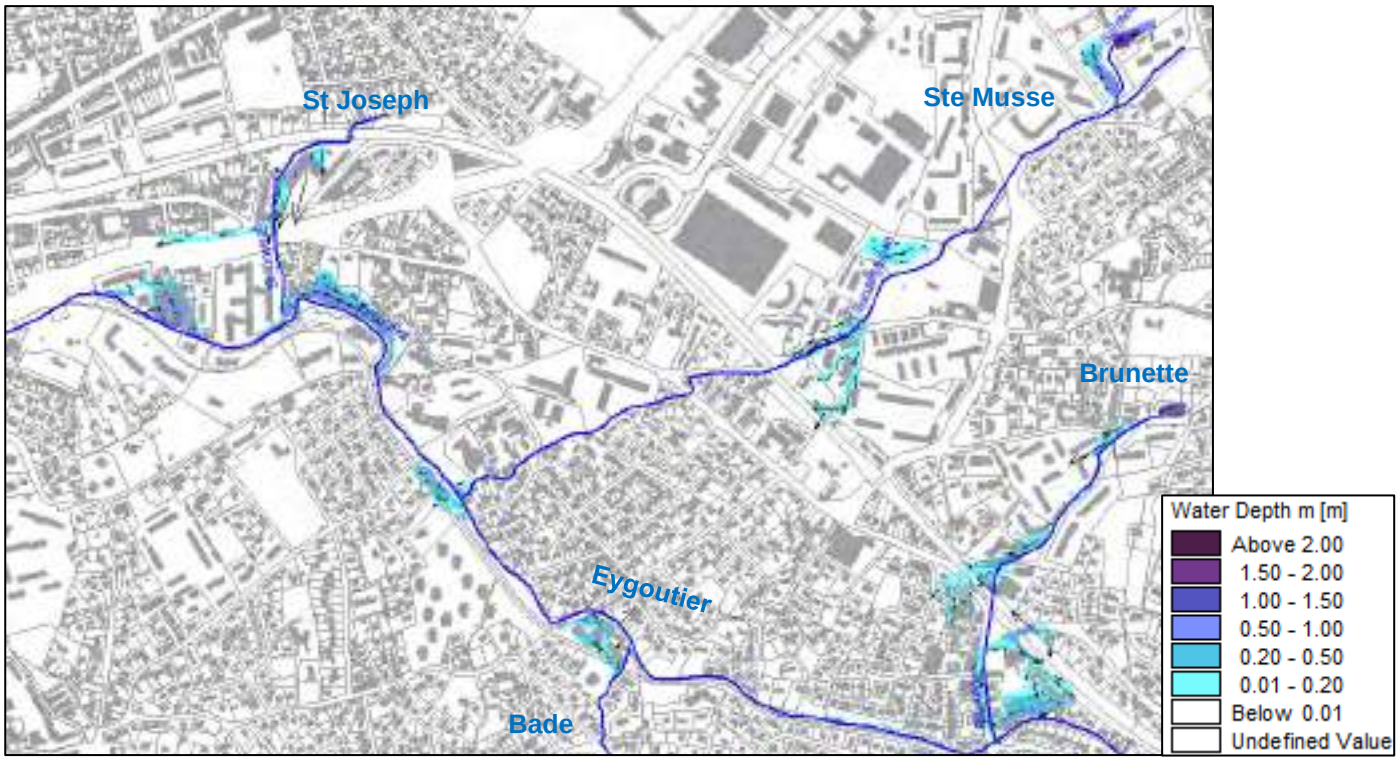



**Figure 57: Dynamique des écoulements au temps t0 – Q30 modèle aval**

Les débordements le long de l'Eygoutier se généralisent ensuite.

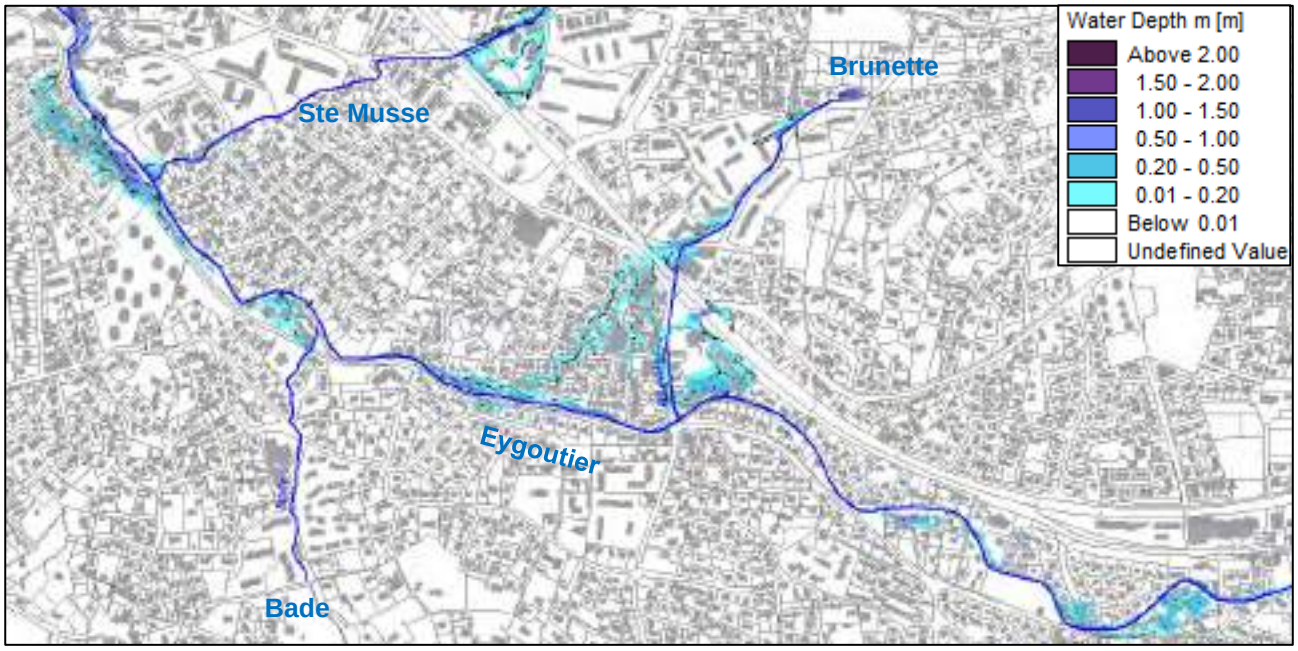



**Figure 58 : Dynamique des écoulements au temps t0+30min – Q30 modèle aval**

Le bassin du « terrain de foot » de Ste Musse est saturé. Le déversoir de sécurité entre en action mais une seconde surverse apparait au niveau d'un point bas du talus, en direction des enjeux avoisinants

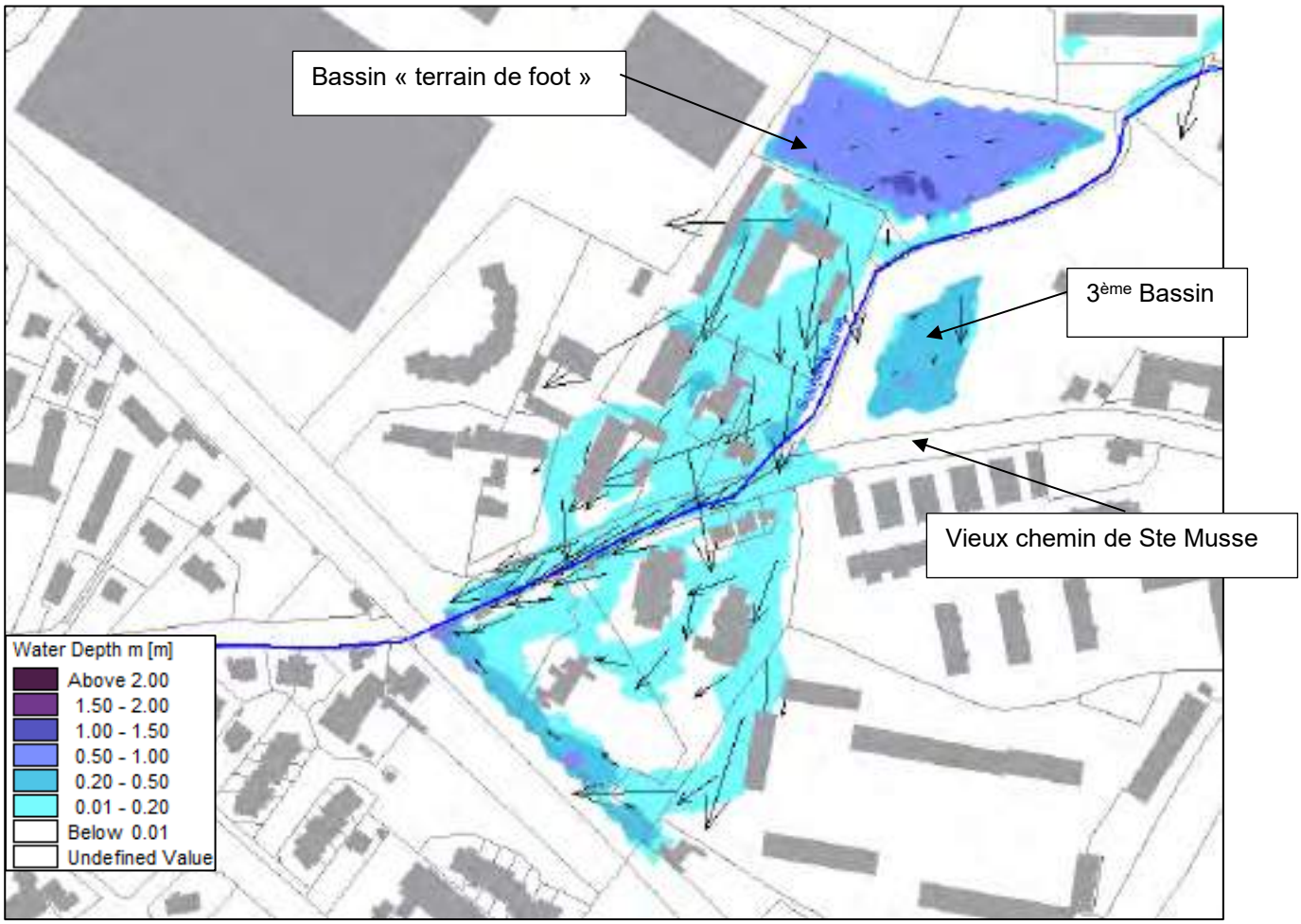



**Figure 59 : Dynamique des écoulements au temps t0+45 min – Ste Musse -Q30 modèle aval**

Les débordements du St Joseph s'amplifient en amont de la voie ferrée et s'écoulent ensuite le long de la voie ferrée. Une partie transite par le passage piéton sous la voie ferrée inondant l'école maternelle Brunet.

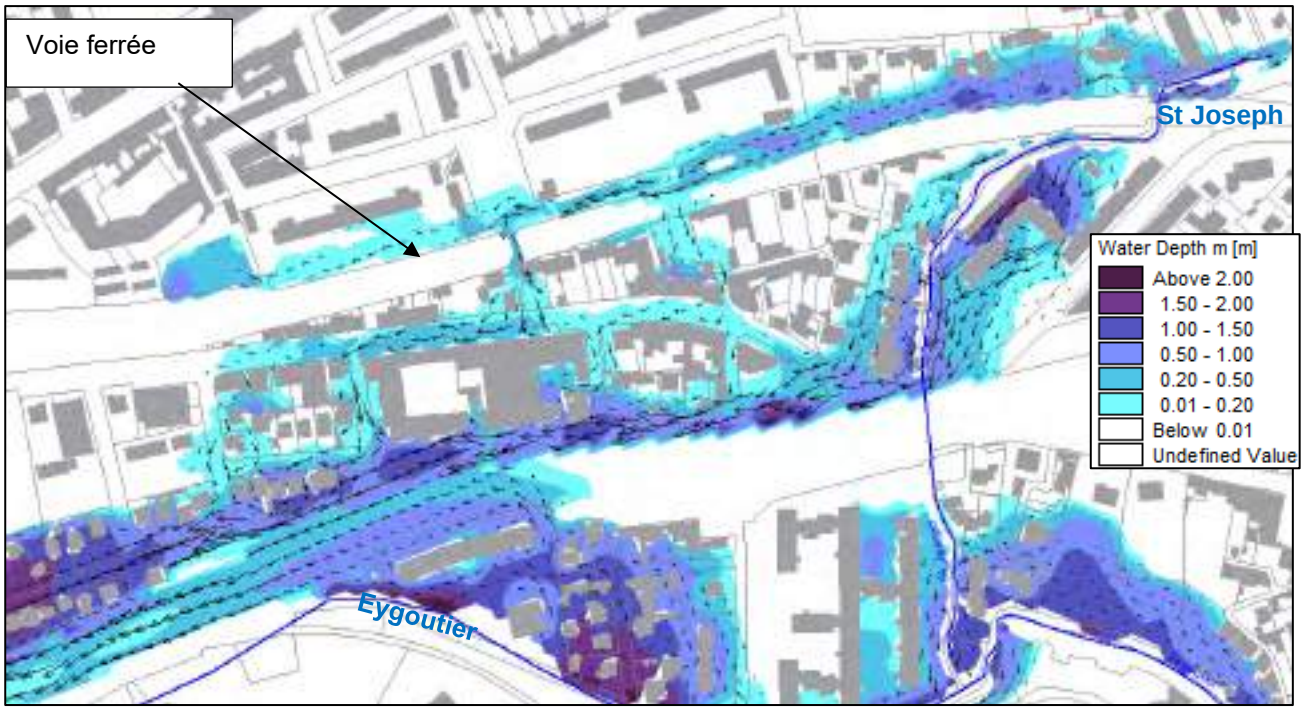



**Figure 60: Dynamique des écoulements au temps t0+1h – Q30 modèle aval**

Le quartier du port est inondé plus rapidement que pour les crues précédentes.

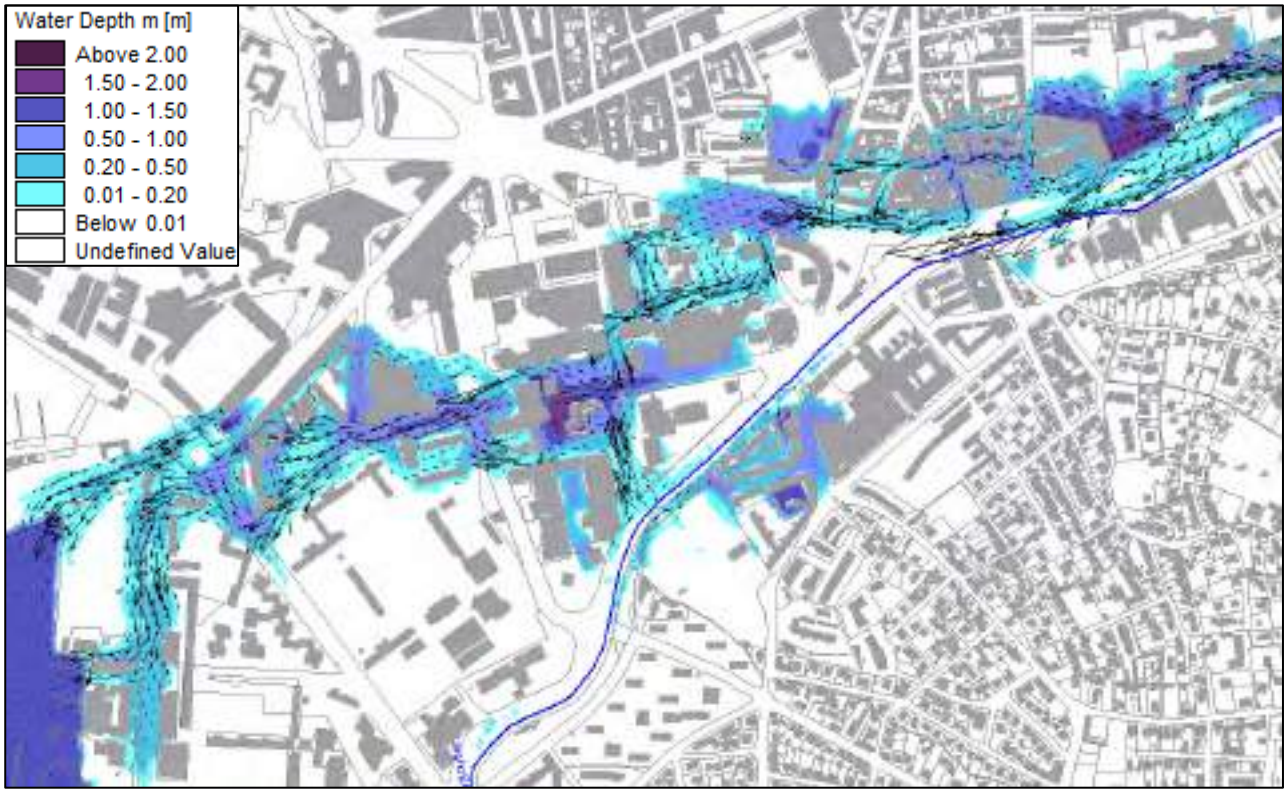



**Figure 61: Dynamique des écoulements au temps t0+2h – Q30 modèle aval**

### 4.2.5 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE CINQUANTENNALE

#### 4.2.5.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Les premiers points de débordement et le fonctionnement général sont les mêmes que pour la crue précédente.

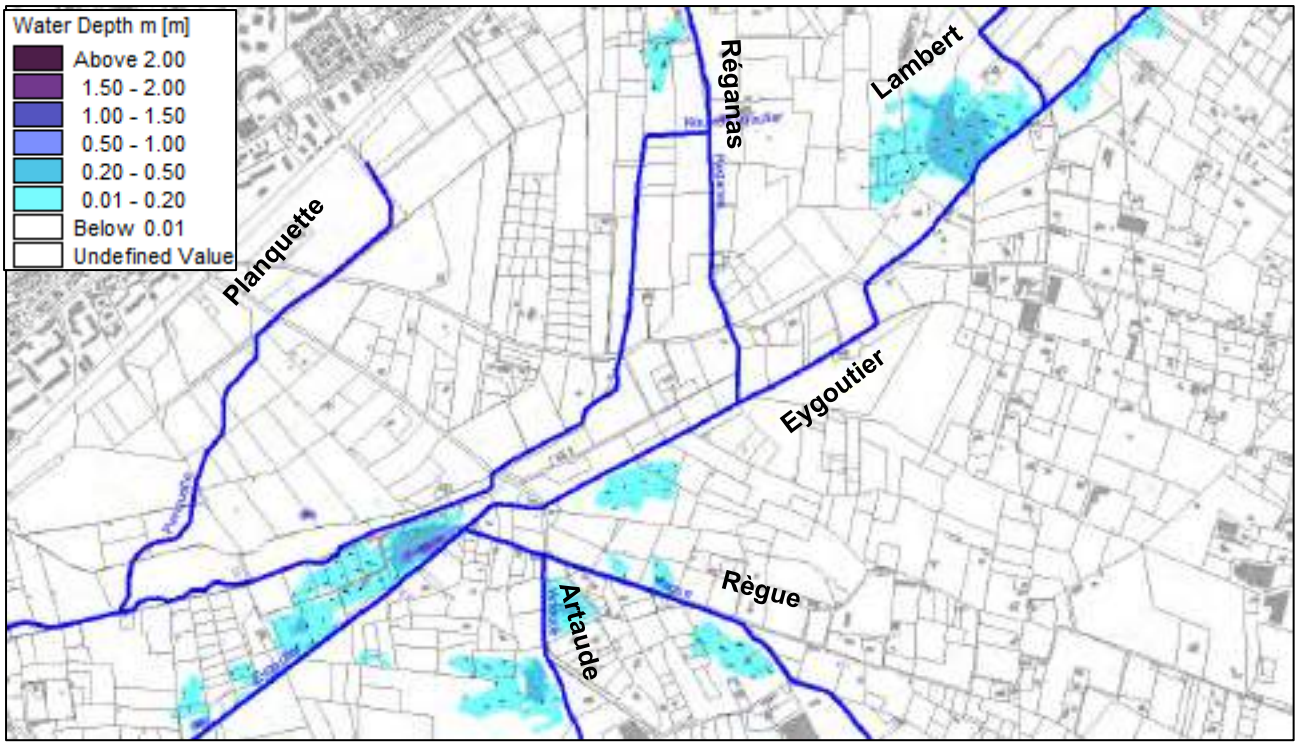



**Figure 62: Dynamique des écoulements au temps t0 – Q50 modèle amont**

Les étangs du parc nature se remplissent rapidement au début de la crue, puis surversent dans le parc.

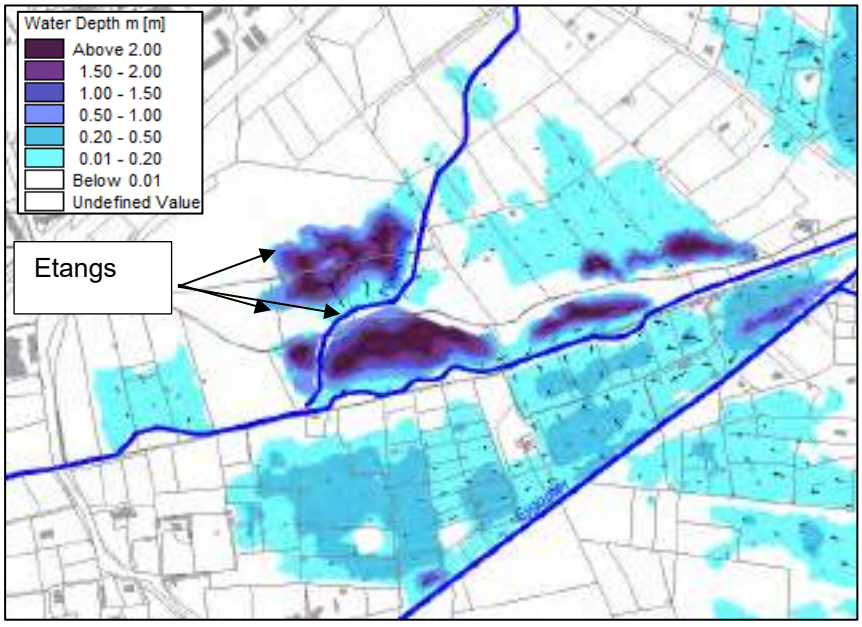



**Figure 63: Dynamique des écoulements au temps t0+4h – Q50 modèle amont**

La suite de la crue est très similaire à la crue précédente avec la formation d'un plan d'eau qui remonte à travers la voie ferrée vers La Garde.

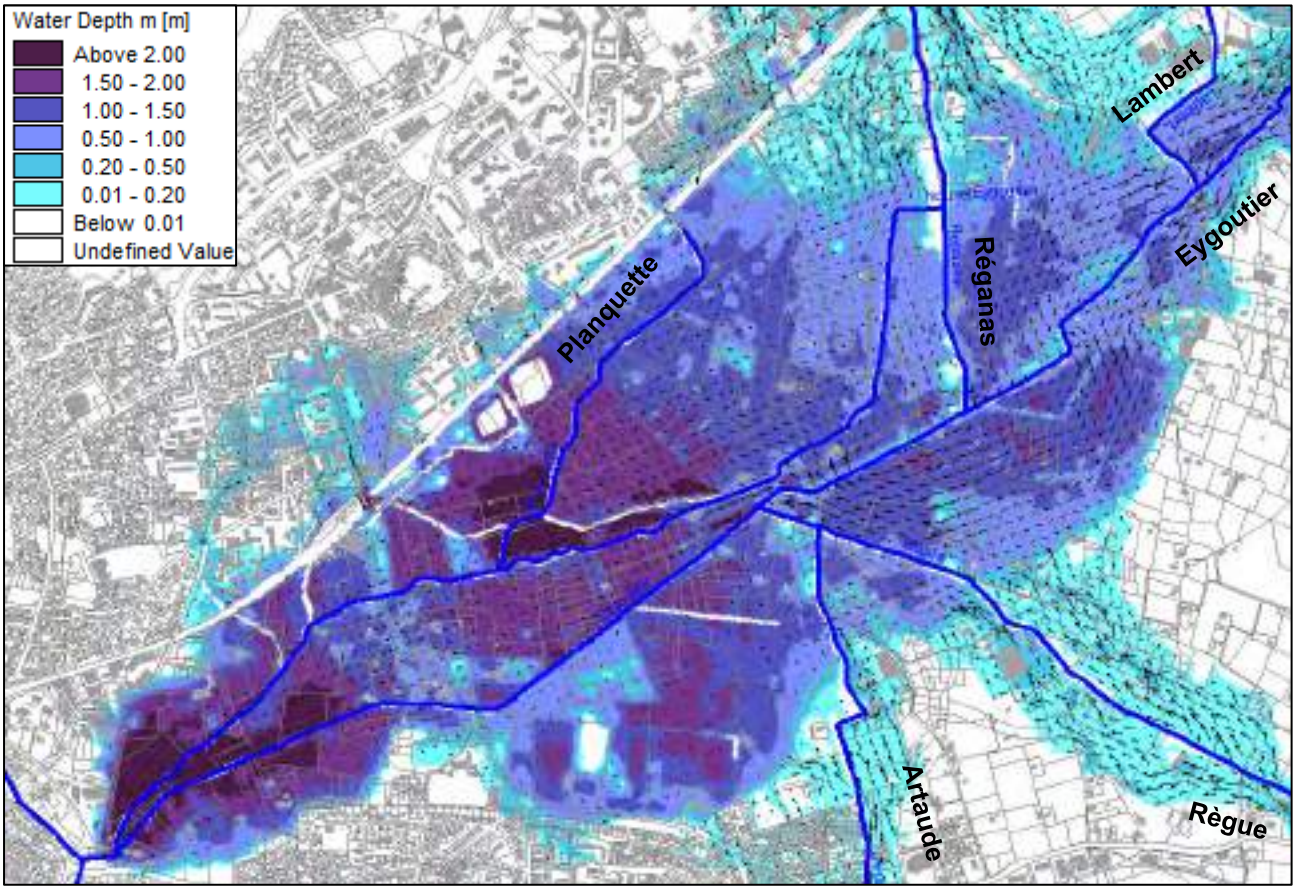



**Figure 64: Dynamique des écoulements au temps t0+12h – Q50 modèle amont**

#### 4.2.5.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Les premiers débordements et le fonctionnement général sont identiques à la crue précédente.

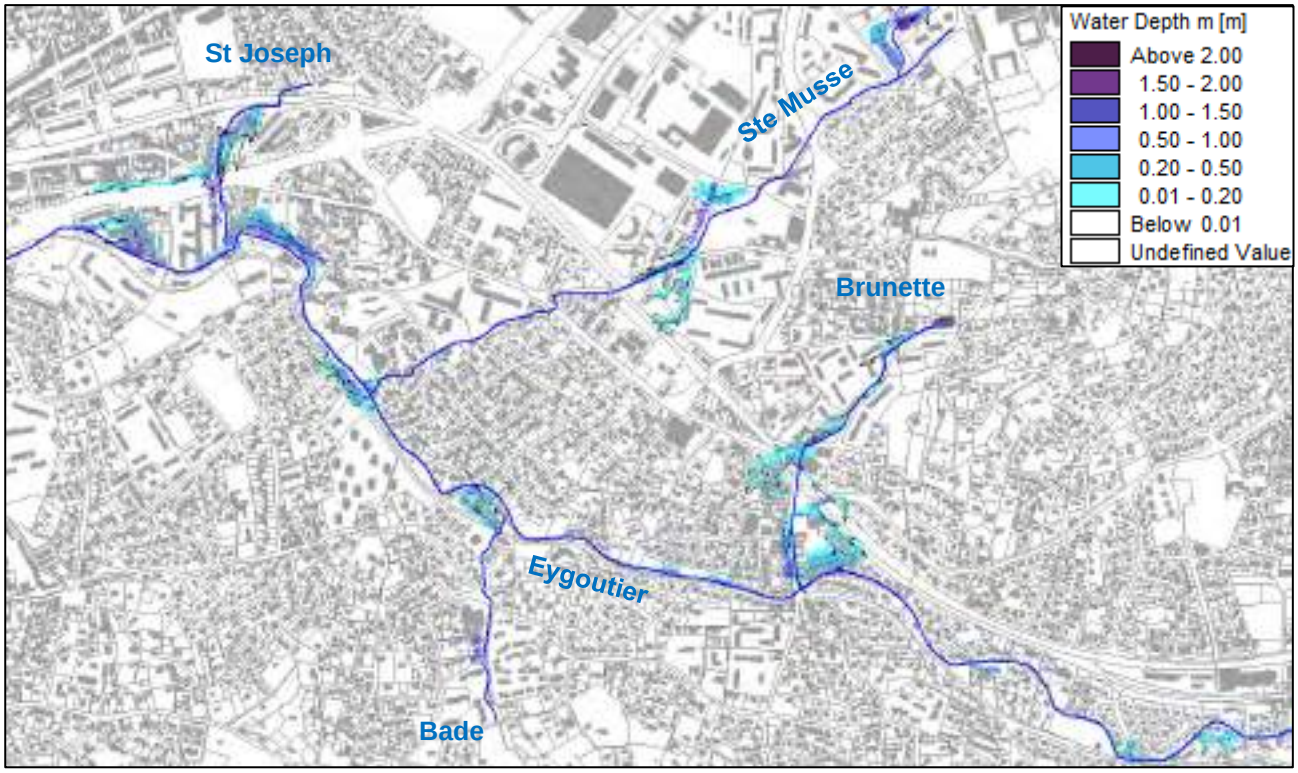



**Figure 65: Dynamique des écoulements au temps t0 – Q50 modèle aval**

### 4.2.6 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE DE REFERENCE

#### 4.2.6.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Les différents débordements interviennent plus rapidement mais le fonctionnement général est le même que pour la crue précédente.

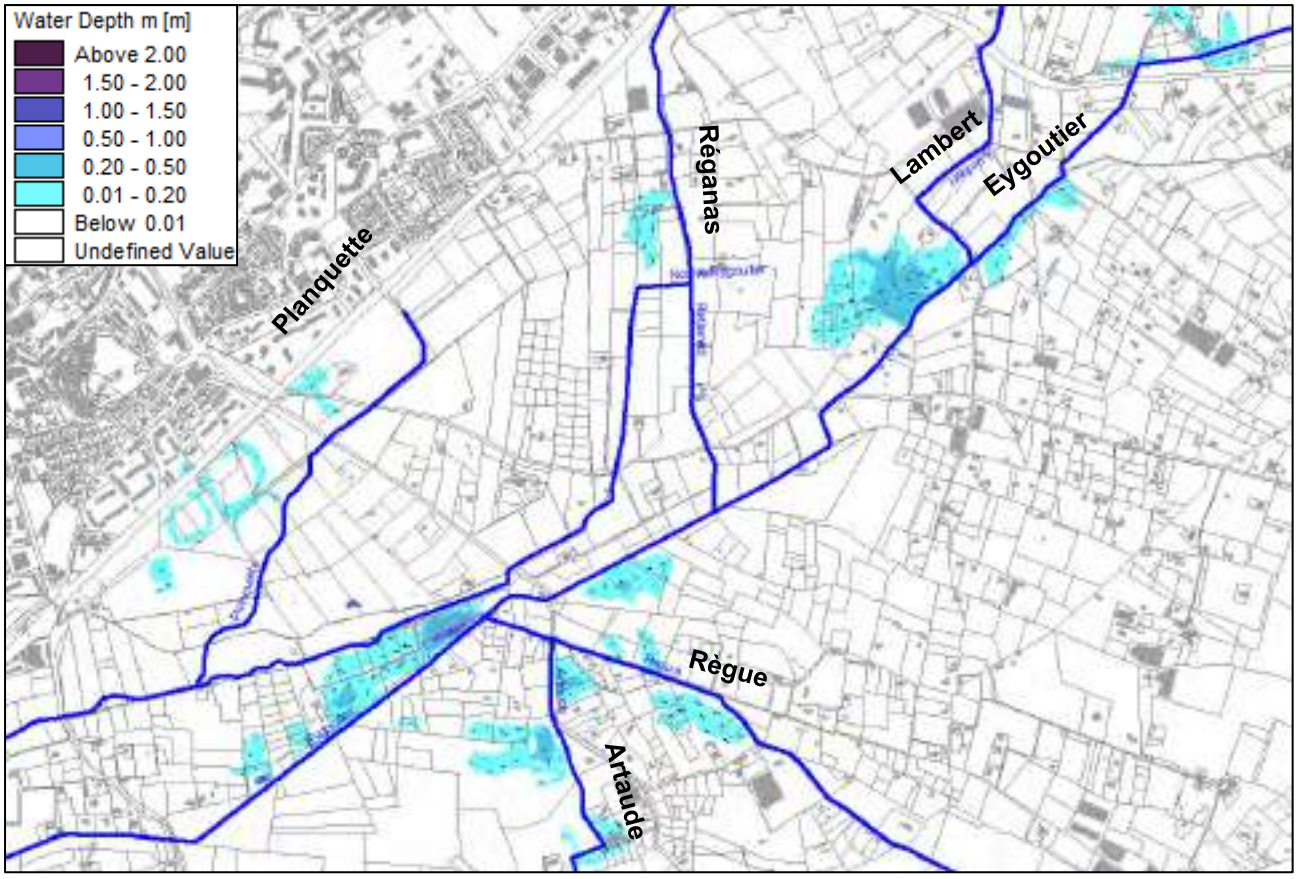



**Figure 66 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Qref modèle amont**

Les affluents débordent rapidement de façon généralisée.

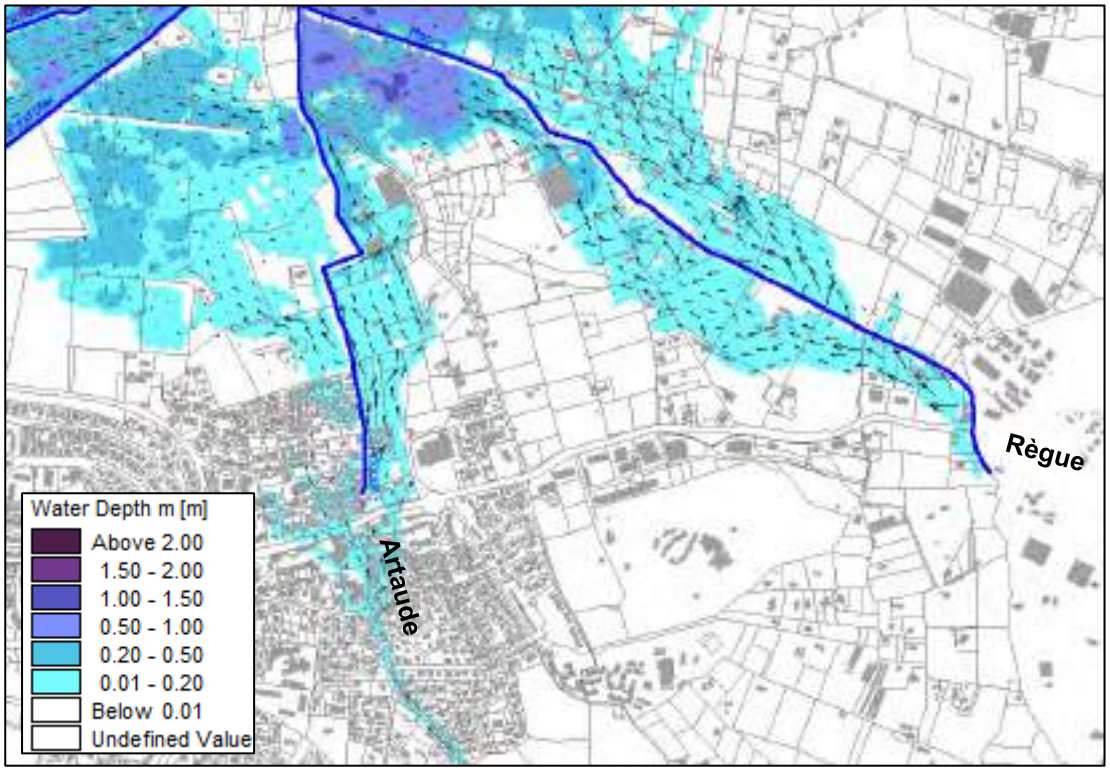



**Figure 67: Dynamique des écoulements au temps t0+6h – Qref modèle amont**

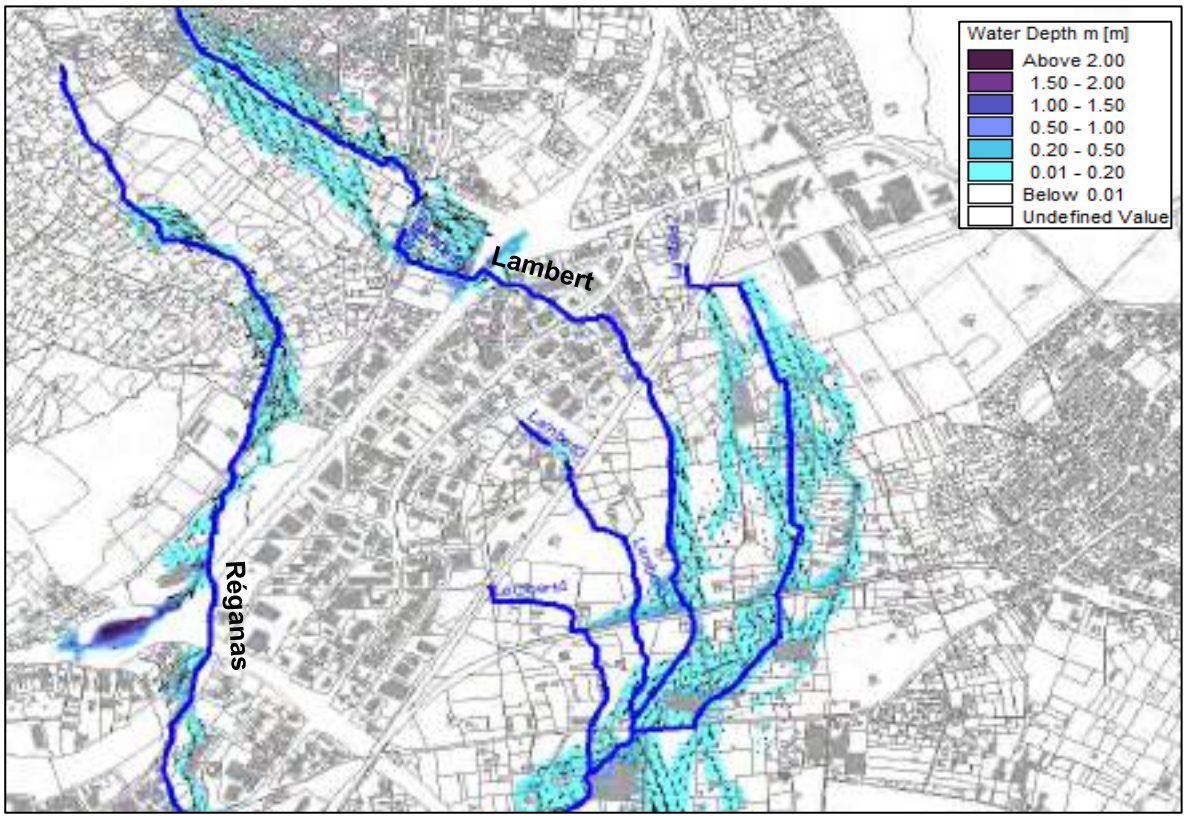



**Figure 68 : Dynamique des écoulements au temps t0+7h – Qref modèle amont**

#### 4.2.6.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

De nouveaux points de débordements apparaissent, notamment sur les têtes de cours d'eau :

- Le réseau pluvial en amont du Ste Musse
- Le vallon de la Bade

Les autres points de débordements sont identiques aux crues précédentes, mais la zone inondable a rapidement une emprise importante.

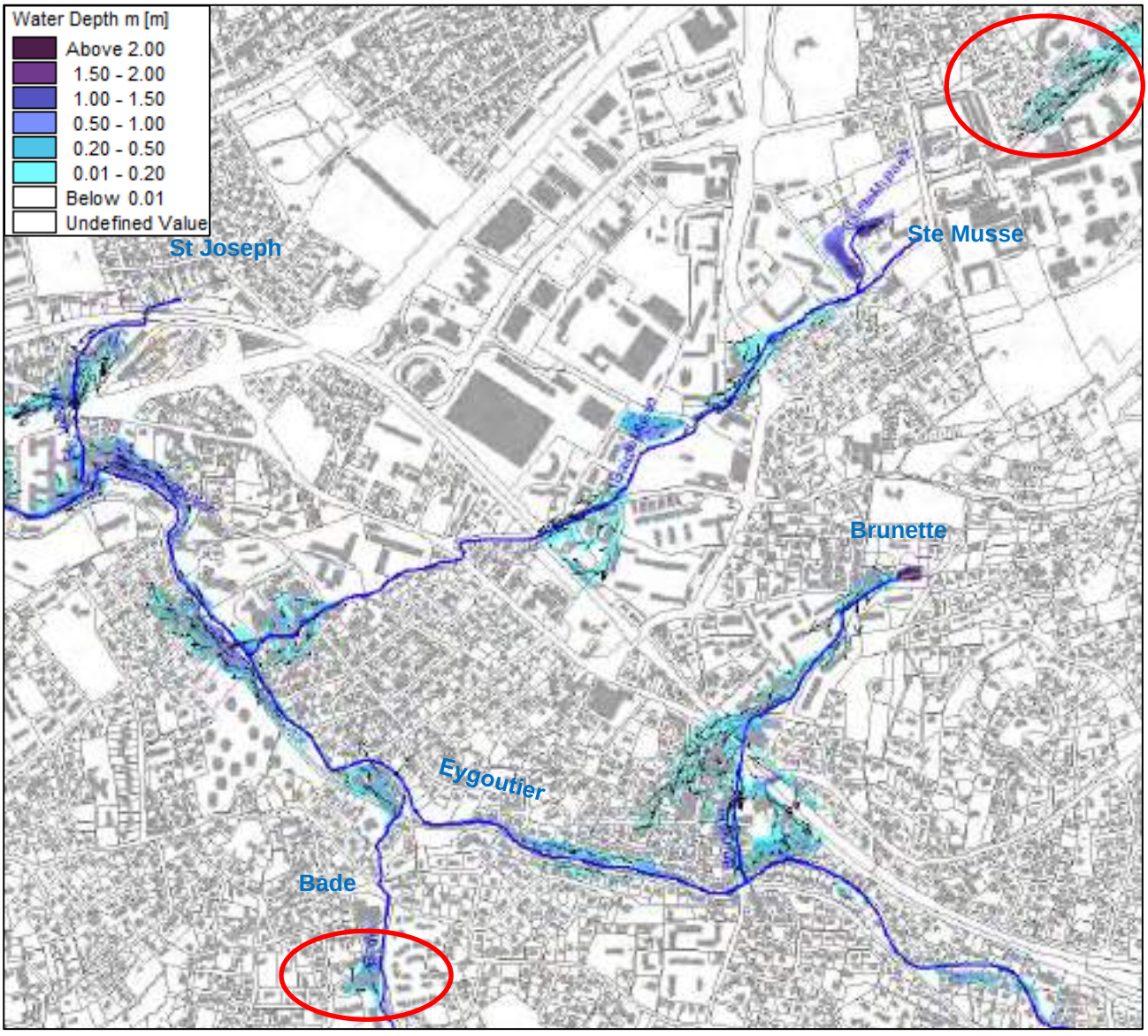



**Figure 69: Dynamique des écoulements au temps t0 – Qref modèle aval**

Les débordements le long des affluents se généralisent. Les débordements du Ste Musse franchissent la voie ferrée et inondent plusieurs bâtiments (entourés en rouge ci-dessous). De même un nouveau quartier en rive droite de la Brunette est inondé (entouré en rouge ci-dessous).

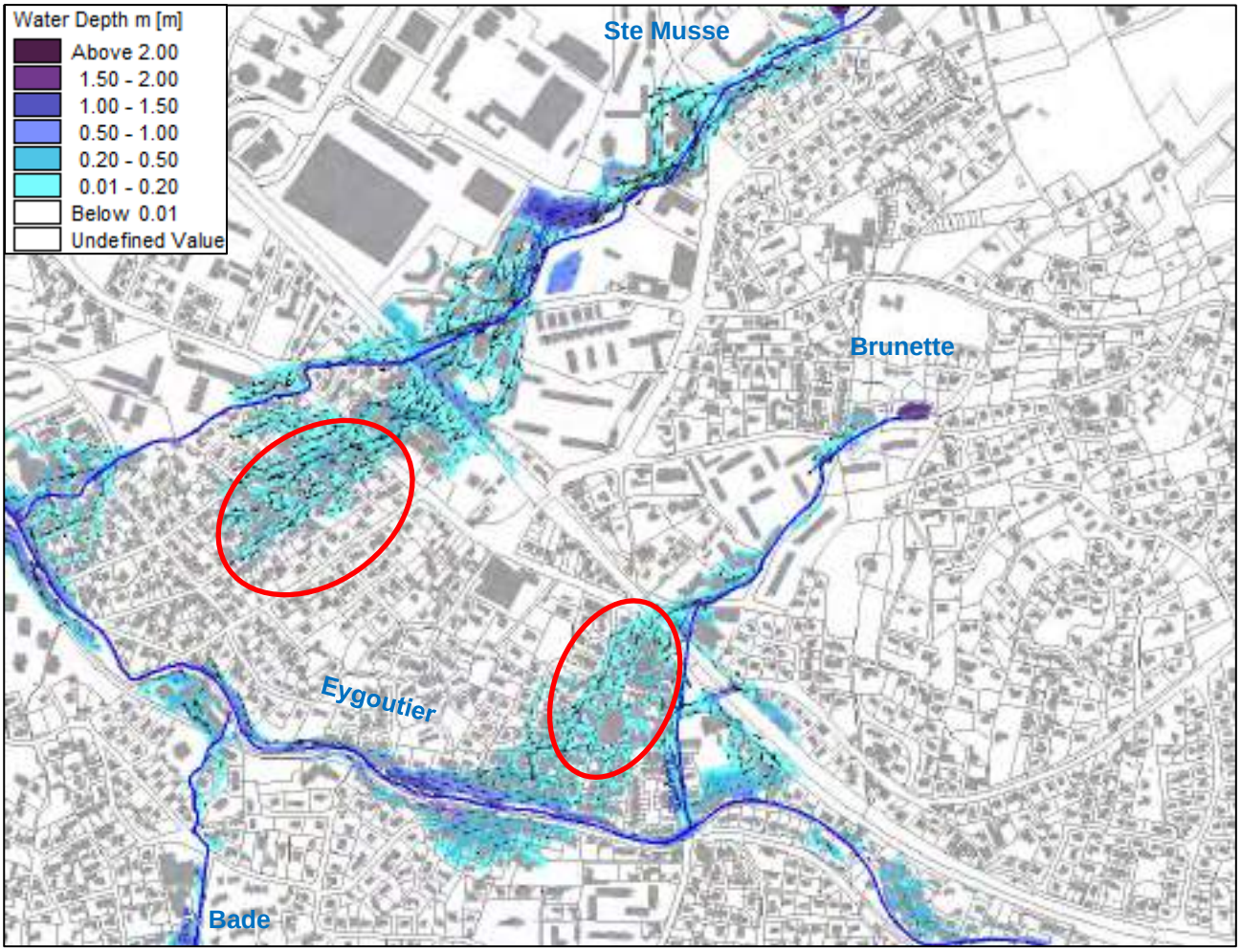



**Figure 70: Dynamique des écoulements au temps t0+30min – Qref modèle aval**

Le reste du fonctionnement est assez similaire aux crues précédentes. Dans la partie aval, les débordements en rive droite de l'Eygoutier inonde le lycée Dumont d'Urville (entouré en rouge ci-dessous).

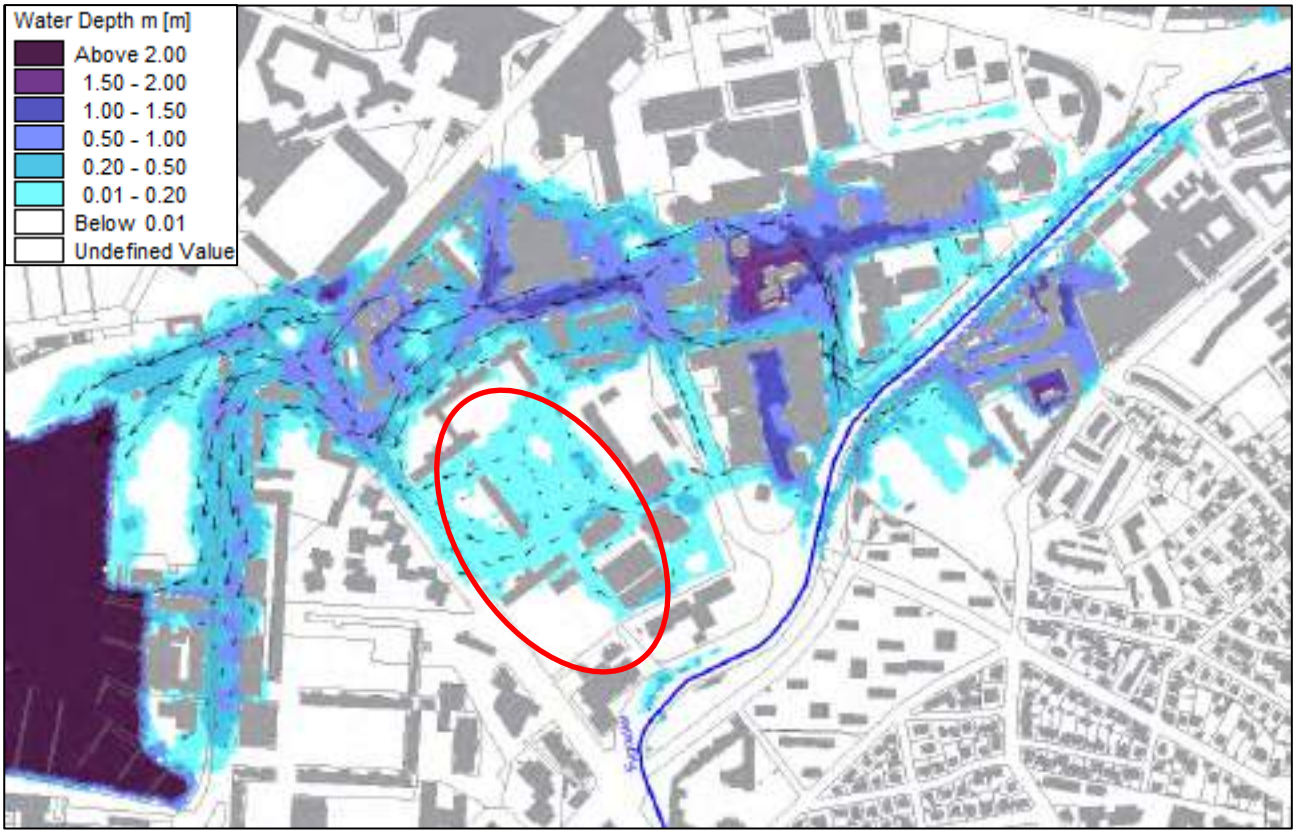



**Figure 71: Dynamique des écoulements au temps t0+45min – Qref modèle aval**

Le troisième bassin de Ste Musse est saturé. Aucun déversoir de sécurité n'a été identifié, les surverses apparaissent donc aux points bas du talus. La première surverse rejoint le cours d'eau directement, la seconde transite sur le vieux chemin de Ste Musse avant de rejoindre les débordements du cours d'eau.

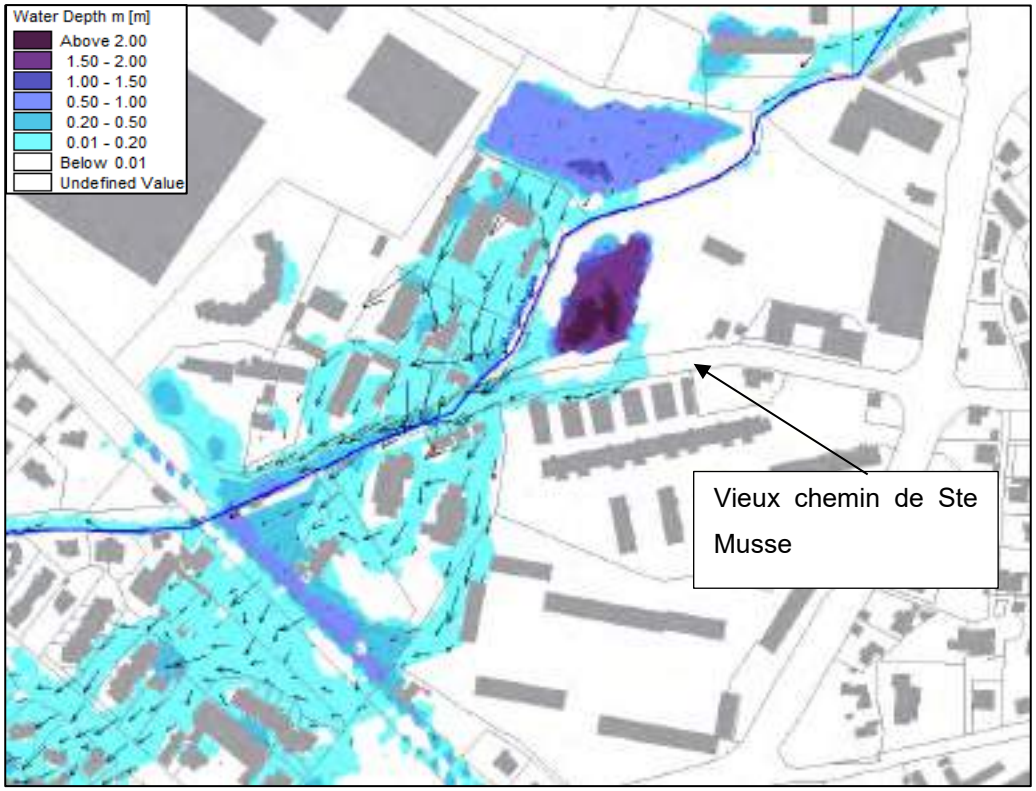



**Figure 72: Dynamique des écoulements au temps t0+1h15 – Qref modèle aval**

Les débordements du St Joseph, qui s'accumulent en amont de la voie ferrée, débordent ensuite sur l'avenue Colonel Picot puis passent sous la voie ferrée et rejoignent l'Eygoutier.

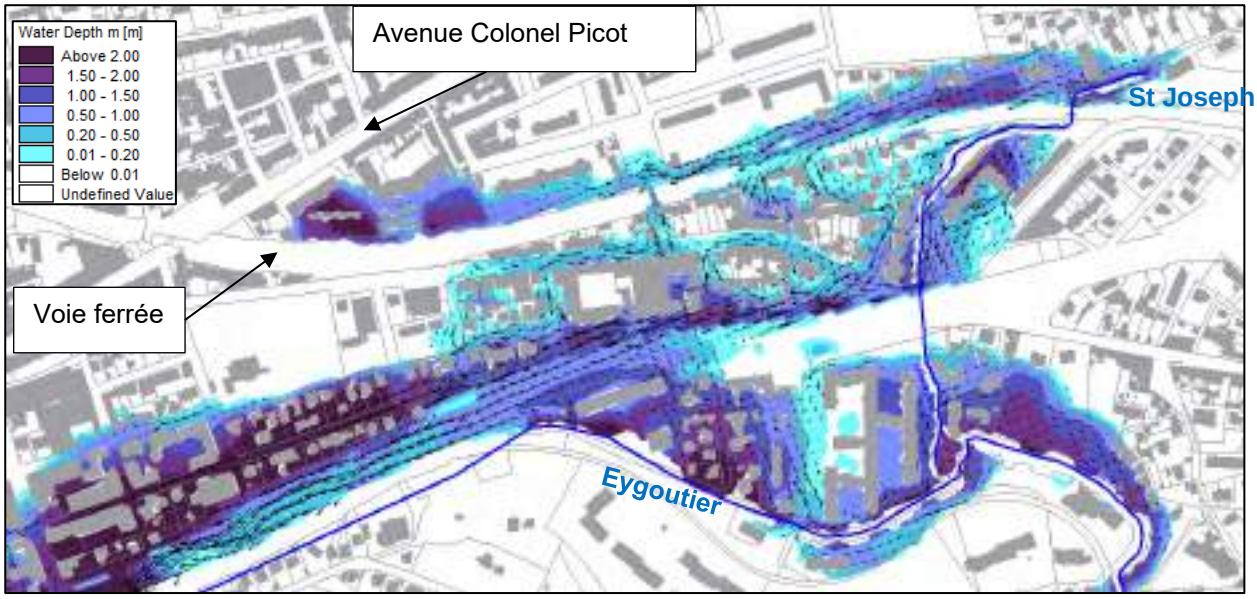



**Figure 73: Dynamique des écoulements au temps t0+1h15 – Qref modèle aval**

### 4.2.7 CRUE EXCEPTIONNELLE

Une crue exceptionnelle a été construite à partir de la centennale, avec un coefficient multiplicateur de 1.8. Les hydrogrammes générés par chaque sous bassin versant pour la crue centennale ont ainsi été multiplié par 1.8. **Cette approche représente une hypothèse souvent retenue et demandée par les services de l'Etat vis-à-vis de l'analyse d'évènements dits exceptionnels.** Les intérêts de l'analyse d'un évènement exceptionnel sont multiples dans ce type d'étude, notamment étudier la présence éventuelle « d'effets de seuils » (changements brutaux dans les hauteurs de submersion d'un secteur par exemple) entre le fonctionnement pour les crues fréquentes à moyenne et une crue rare.

#### 4.2.7.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Le fonctionnement de la crue exceptionnelle est très proche de celle de la crue de référence. Aucun effet de seuil n'a été observé, la dynamique est similaire à celle décrite précédemment, avec des débits et des hauteurs d'eau plus importants.

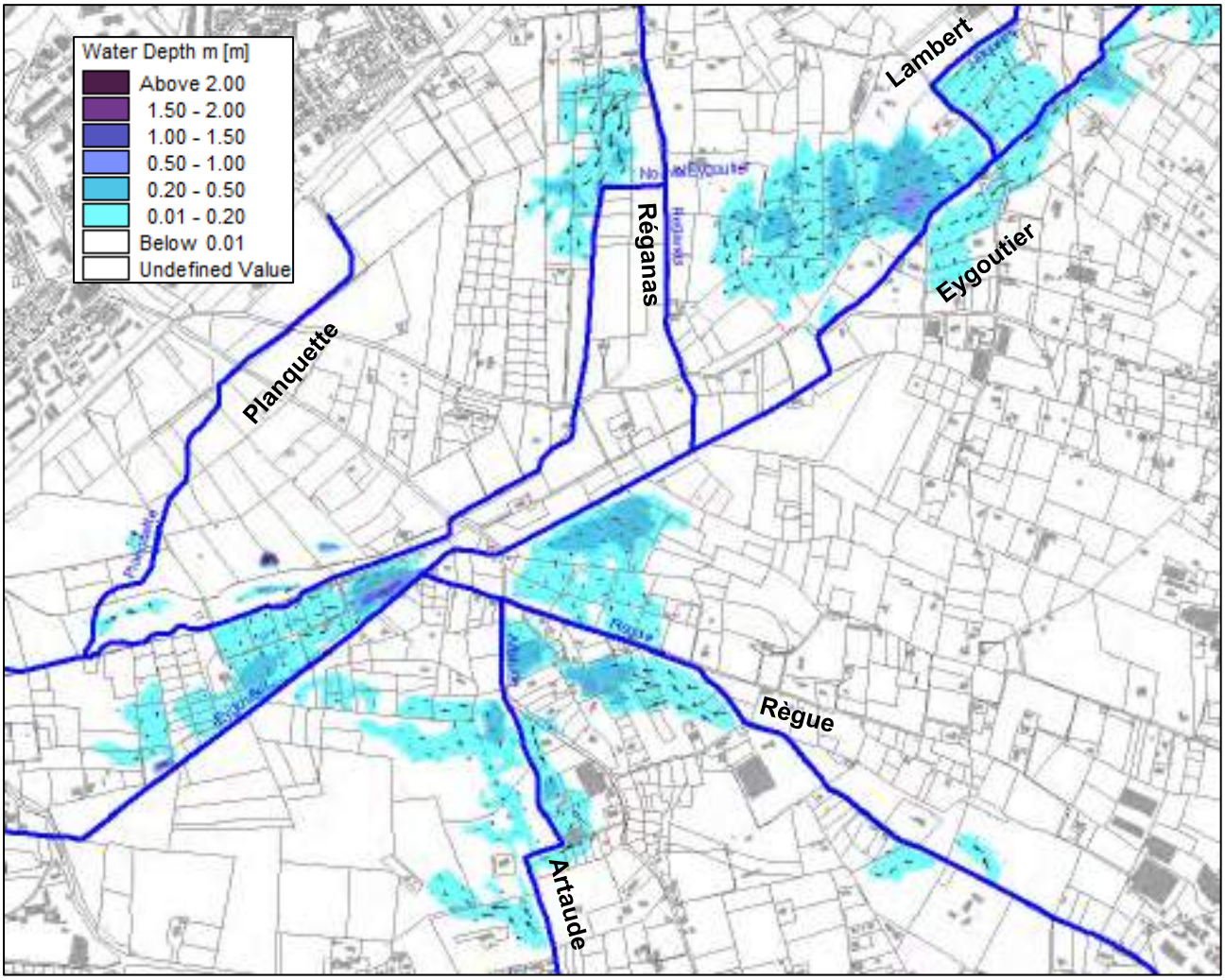



**Figure 74 : Dynamique des écoulements au temps t0 – Qexcep modèle amont**

Comme pour les crues précédentes, la zone d'activité de la Garde est inondée dans un premier temps par le Reganas puis plusieurs heures après par l'influence du plan de la Garde.

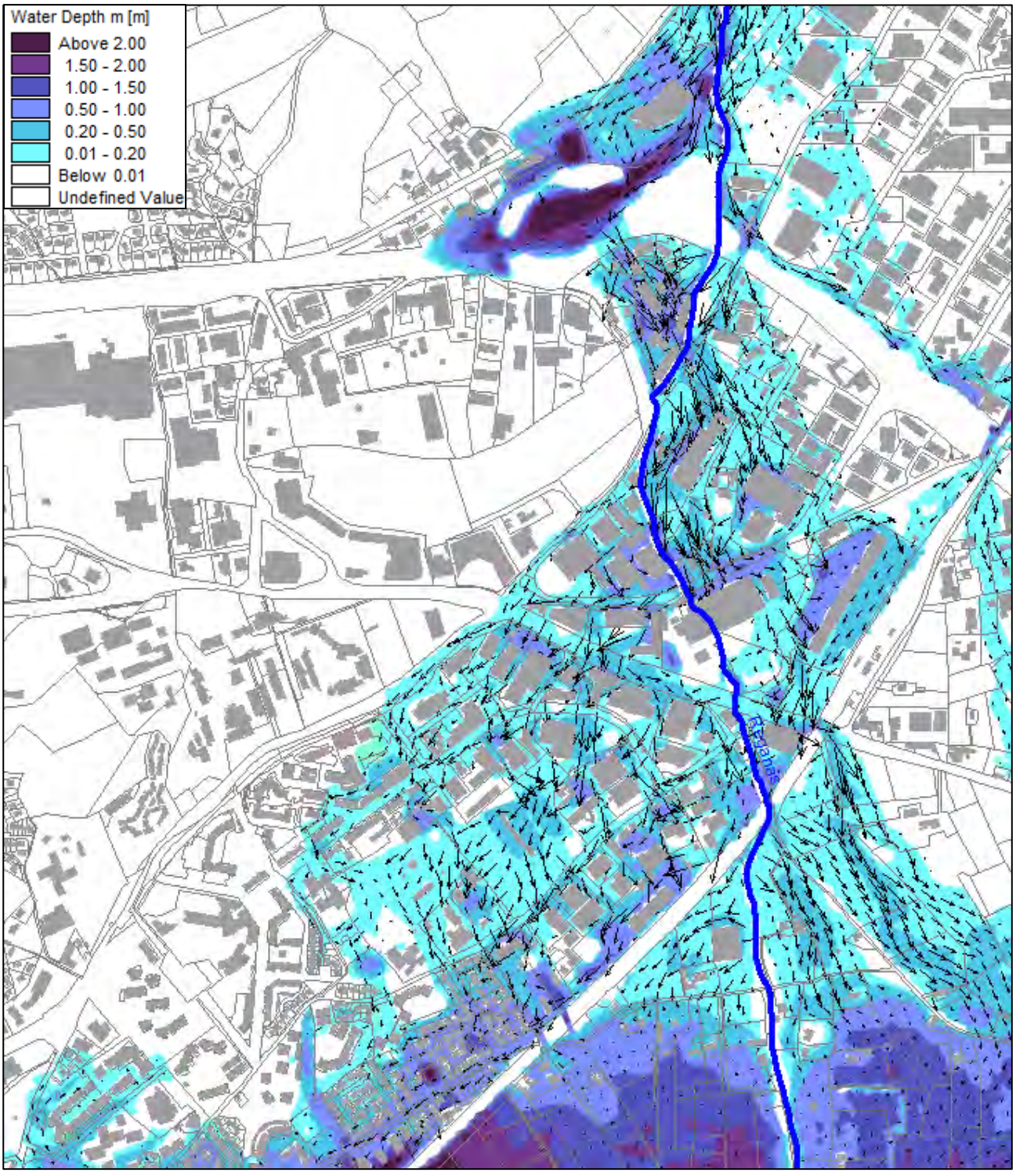



**Figure 75: Dynamique des écoulements au temps t0+12h – Qexcep modèle amont**

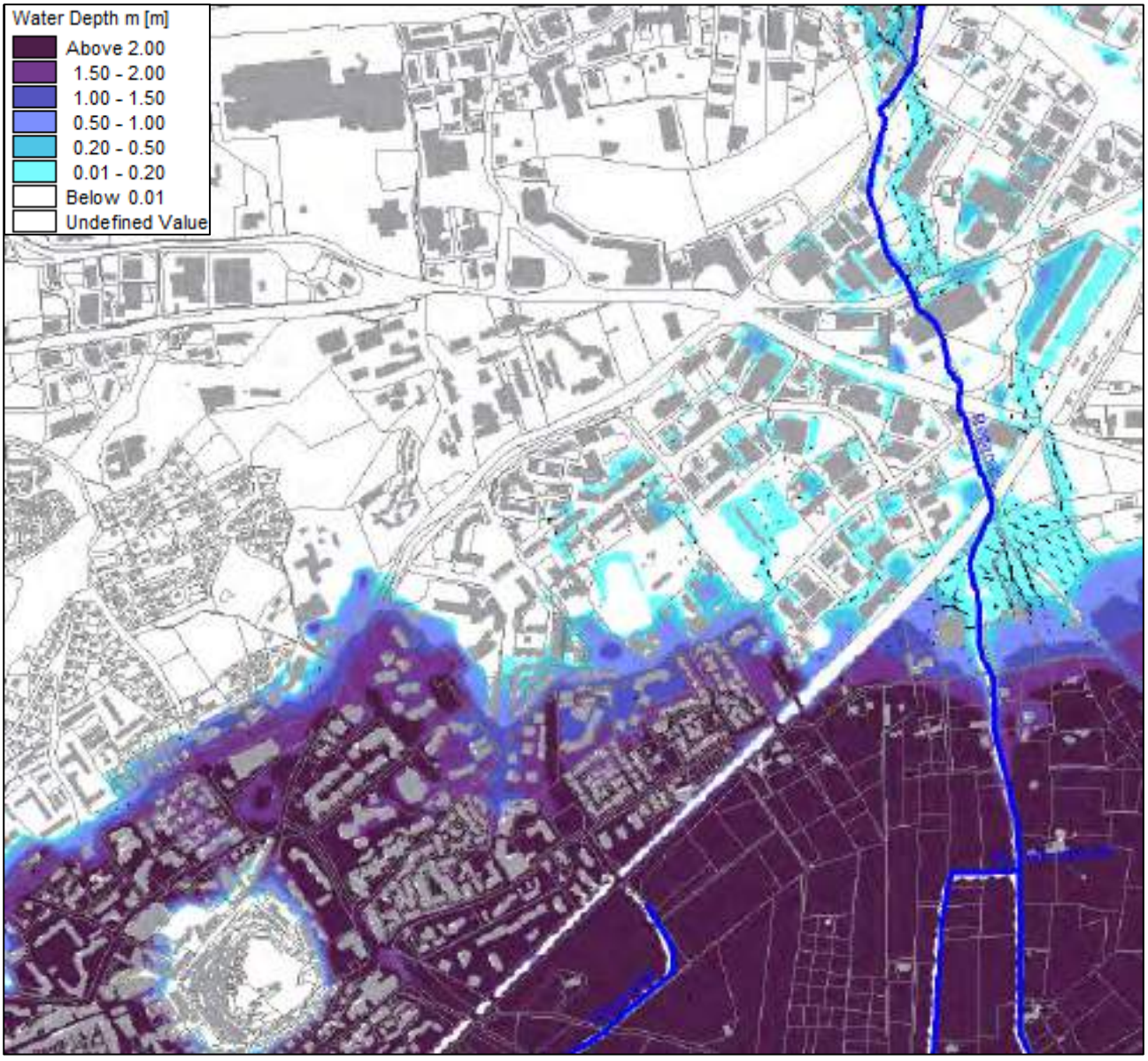



**Figure 76: Dynamique des écoulements au temps t0+23h – Qexcep modèle amont**

### 4.2.7.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Le fonctionnement de la crue exceptionnelle est très proche de celle de la crue de référence. Aucun effet de seuil n'a été observé, la dynamique est similaire avec des débits et des hauteurs d'eau plus importants.

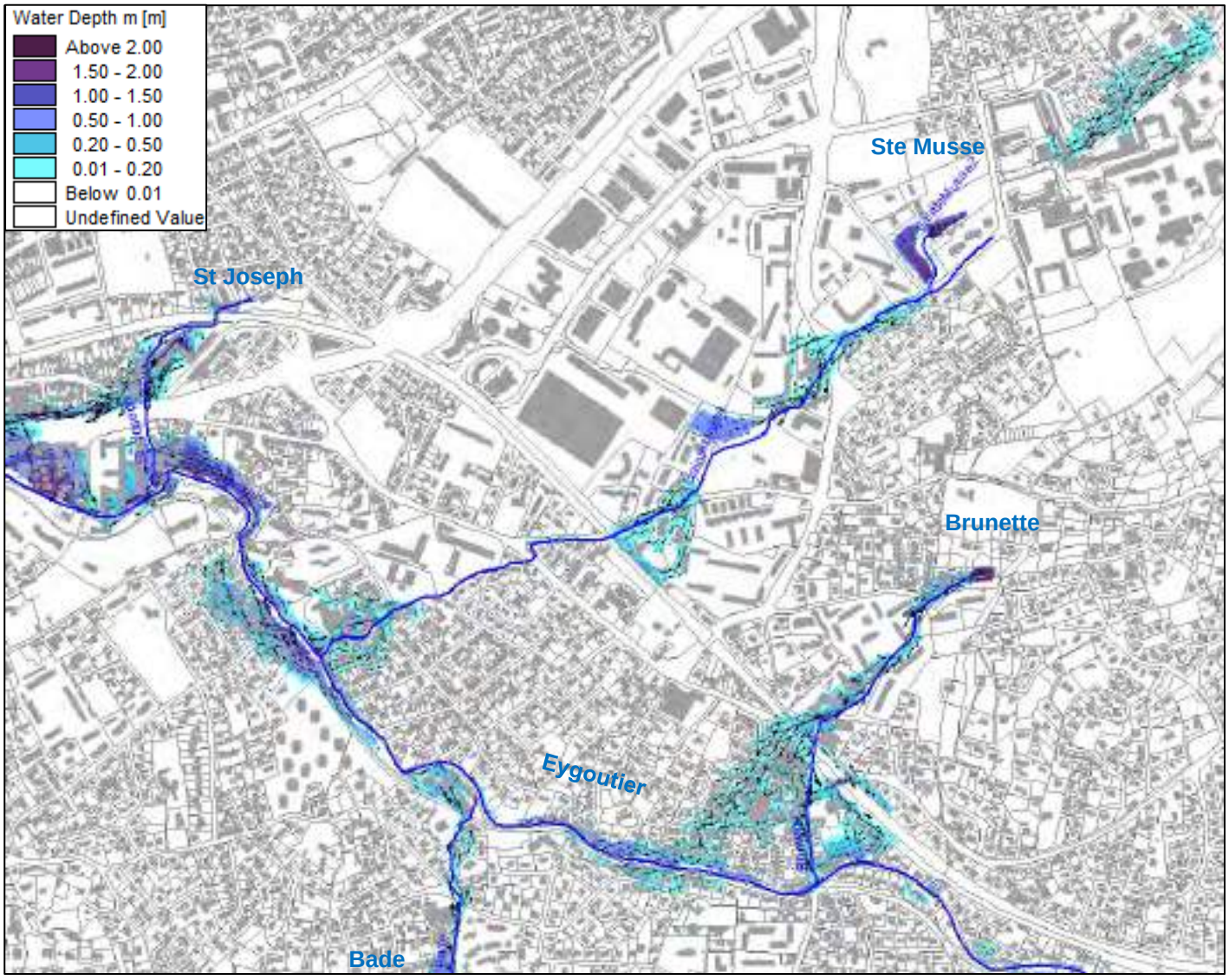



**Figure 77: Dynamique des écoulements au temps t0 – QEXCEP modèle aval**

Les débordements sont continus tout le long du vallon de Ste Musse.

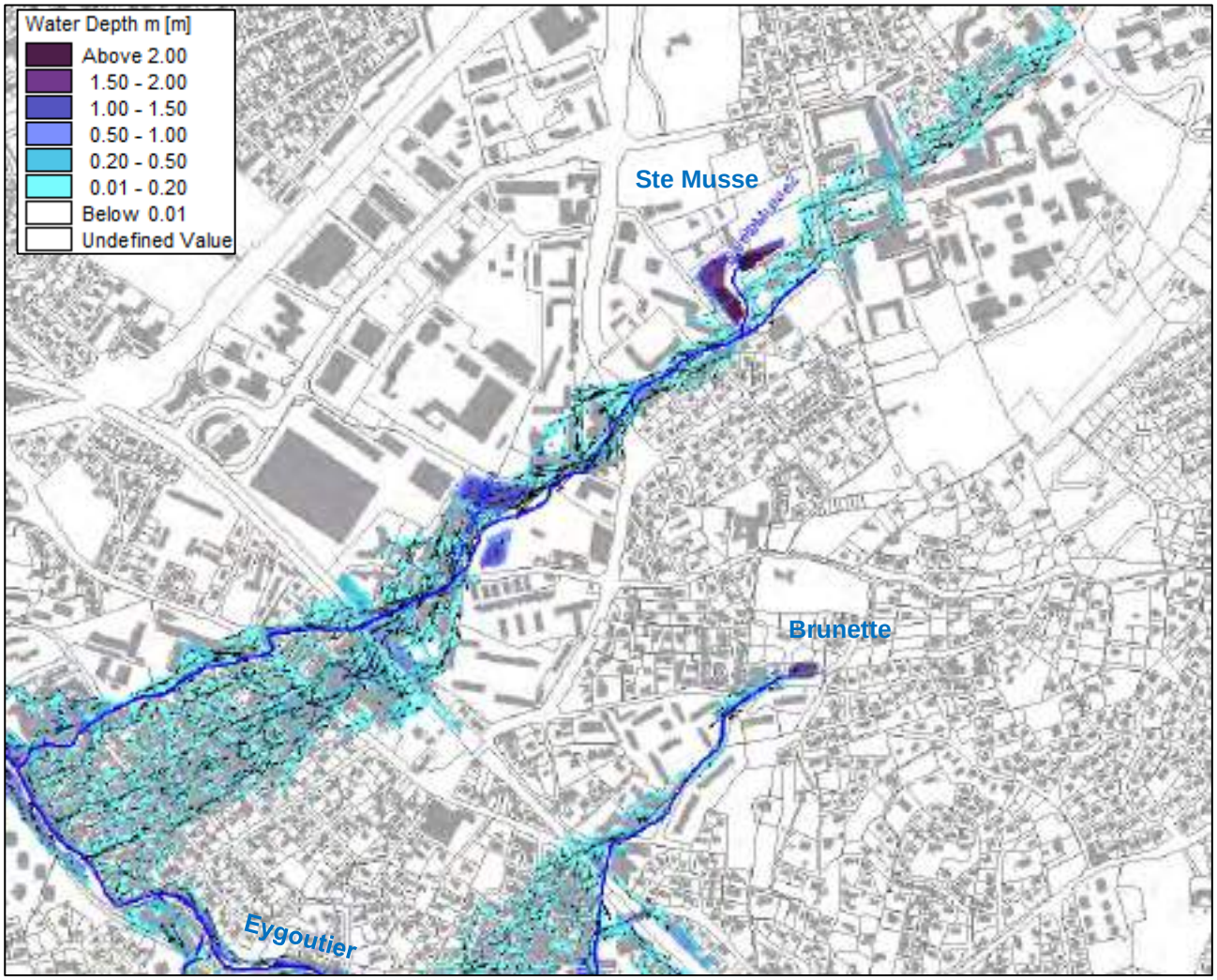



**Figure 78: Dynamique des écoulements au temps t0 +30min– QEXCEP modèle aval**

## 4.3 DIAGNOSTIC

Le paragraphe ci-dessous présente les résultats en termes de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement maximales. Autrement dit, il s'agit d'un bilan du maximum atteint pendant la crue en tout point du territoire, sans tenir compte du décalage temporel entre l'amont et l'aval par exemple.

### 4.3.1 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE BIENNALE

#### 4.3.1.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Dès la crue biennale, le marais de l'Estagnol est fortement inondé (jusqu'à 1.4 m d'eau, soit 37.13 m NGF)), mais l'emprise de la zone inondable est cantonnée au point bas topographique. A l'aval de ce marais, le débit est d'environ 6 m³/s.

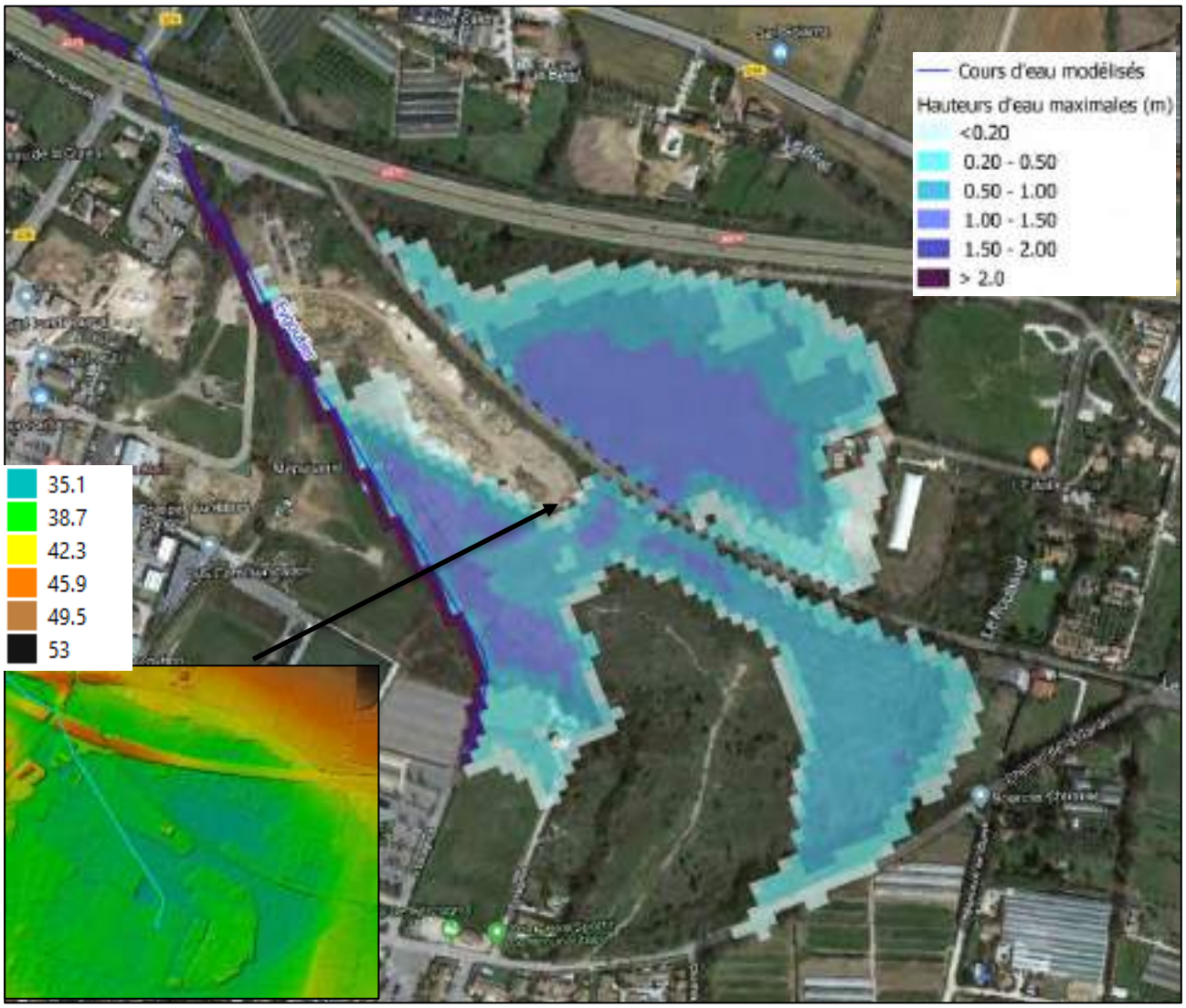



**Figure 79 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q2 - Eygoutier et extrait du levé LIDAR**

Les ruisseaux du Lambert et le Reganas sont déjà débordants mais les écoulements en lit majeur représentent une faible lame d'eau, de l'ordre de quelques centimètres (excepté dans certaines zones d'accumulation ponctuelles).

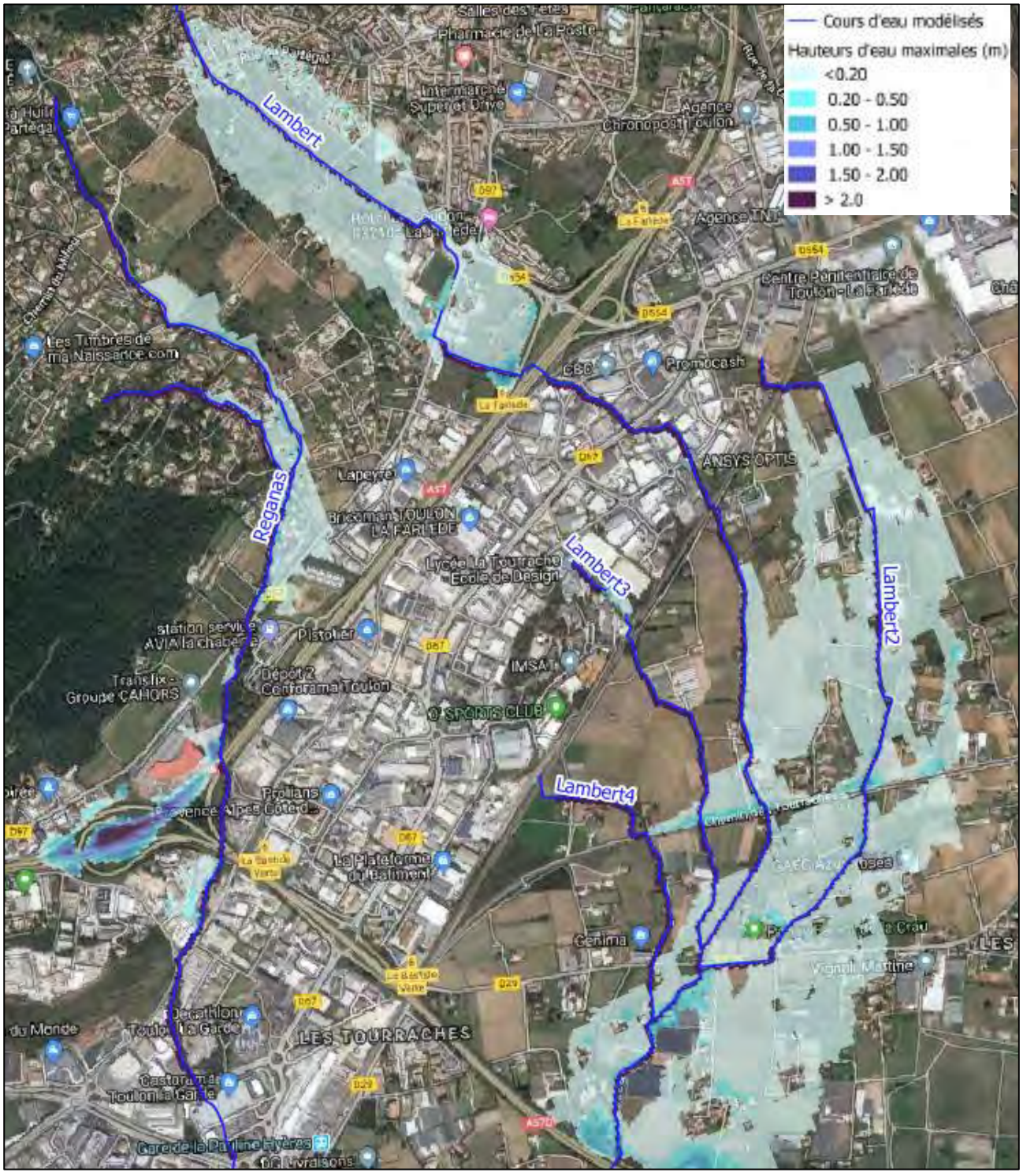



**Figure 80 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q2 - Lambert**

Au niveau de l'A57, le Lambert a un débit de l'ordre de 4 m³/s. Après les confluences des 3 autres branches, le débit passe à 14 m³/s au niveau de l'A570.

Le plan d'eau de la Garde atteint la cote de 24.16 m NGF, soit des hauteurs d'eau jusqu'à 2.4 m. Les écoulements franchissent la voie ferrée et inondent les quartiers résidentiels de La Garde.

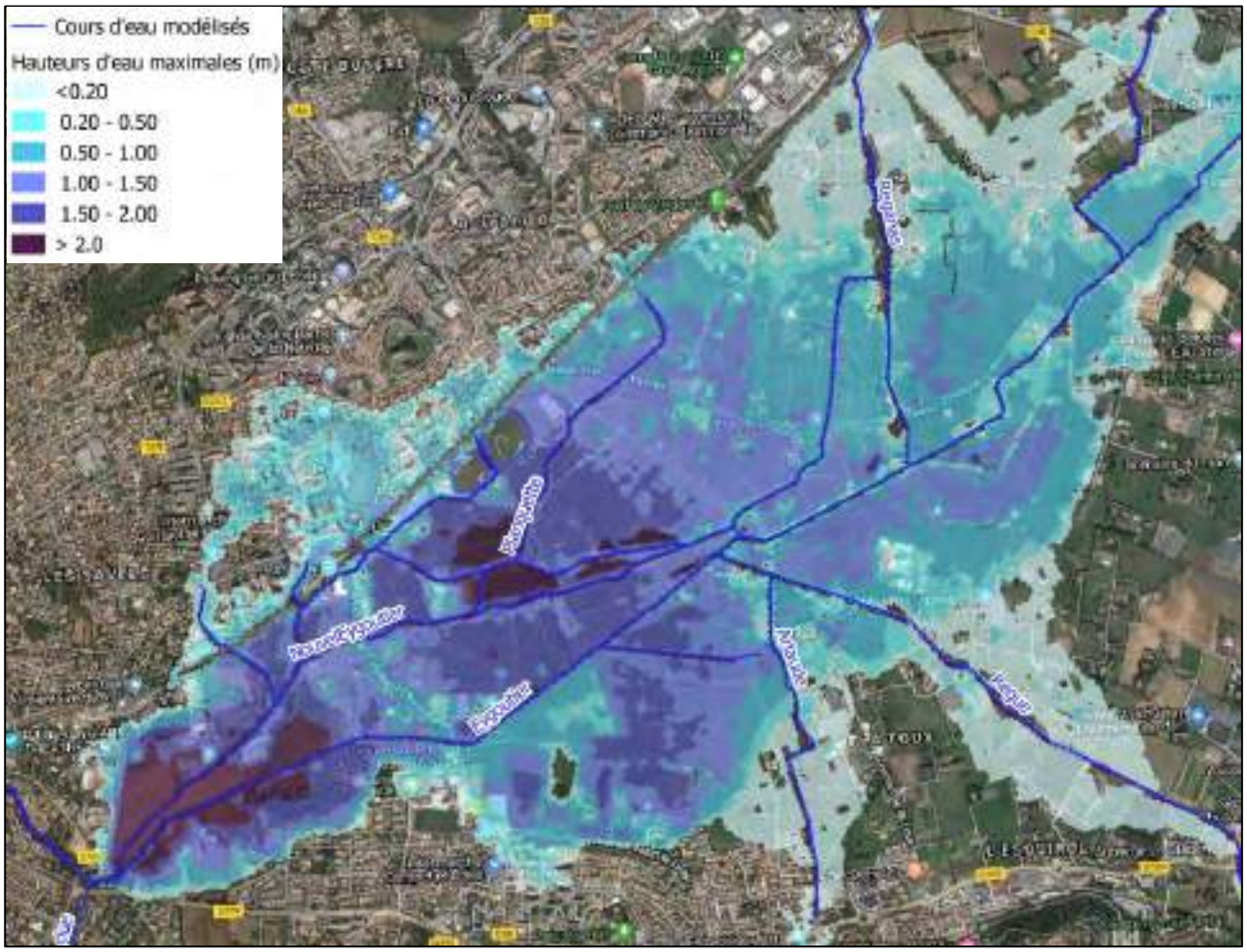



**Figure 81: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q2 – Le Plan**

Le plan d'eau se vidange par le tunnel de la clue (environ 23.5 m³/s en pointe) et par l'Eygoutier (environ 18 m³/s en pointe).

### 4.3.1.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Des débordements ponctuels apparaissent dès la crue biennale sur la Brunette et Ste Musse. Les différents bassins de ce secteur sont mis en eau exceptés le 3ème bassin au niveau de l'hôpital. Le bassin enterré et le bassin décanteur sont pleins dès cette occurrence. La Bade ne déborde pas pour cette occurrence.




**Figure 82 Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q2 – Ste Musse**

Au niveau de la voie ferrée, le débit du Ste Musse est de 3.7 m³/s, et celui de la Brunette 1.8 m³/s.

L'Eygoutier déborde en rive droite en amont et en aval de la confluence avec le St Joseph. Le St Joseph déborde entre la voie ferrée et l'A57. L'autoroute fait obstacle aux écoulements et génère des hauteurs d'eau jusqu'à 1.8 m dans les points bas en amont de l'A57. Les écoulements finissent dans un point bas au niveau du square des Hirondelles (jusqu'à 1.2 m d'eau au pic de crue).

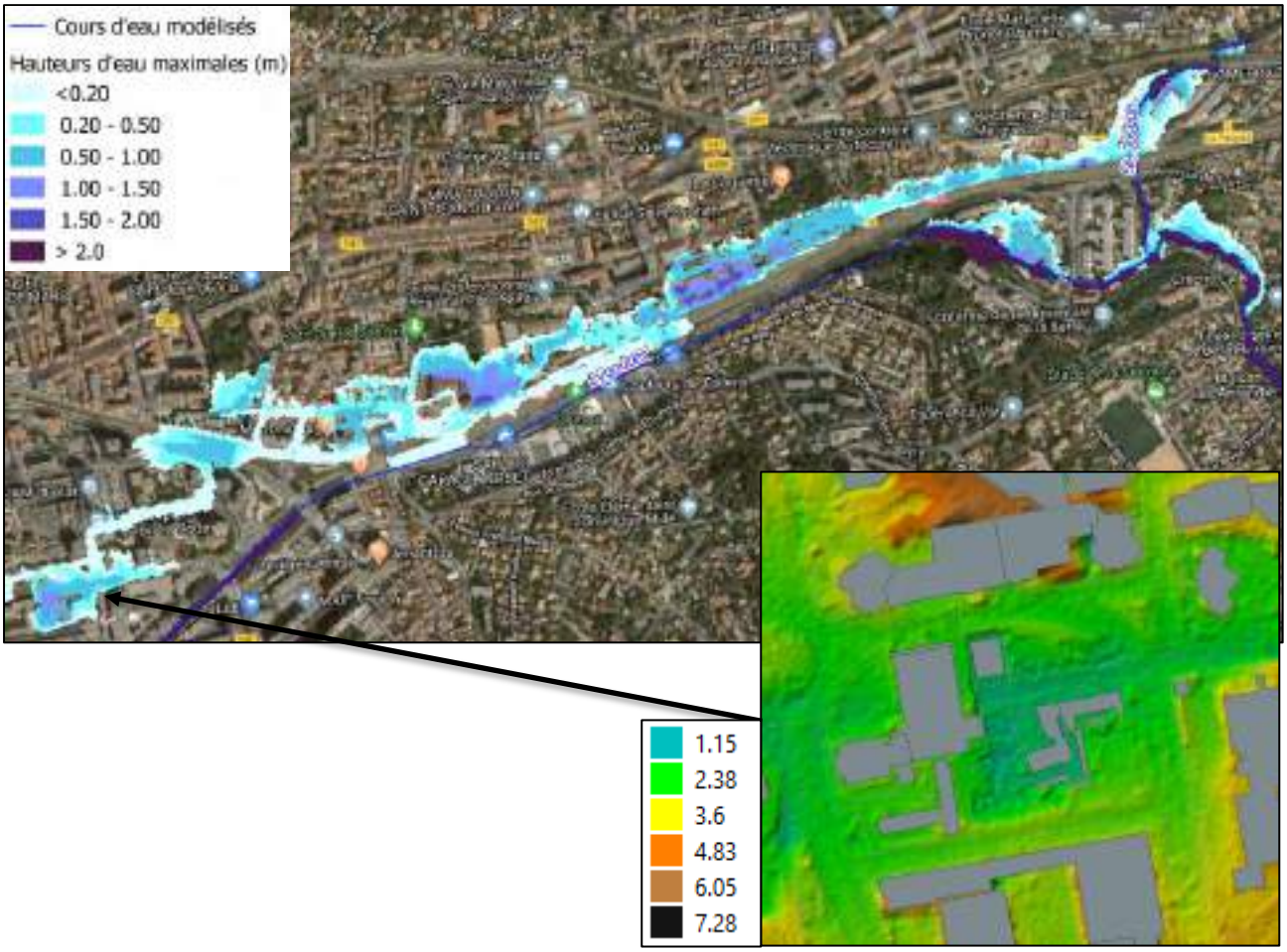



**Figure 83 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q2 – Eygoutier**

### 4.3.2 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE QUINQUENNALE

#### 4.3.2.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Le niveau d'eau atteint au marais de l'Estagnol est de 37.43 m NGF, soit des hauteurs d'eau qui atteignent 1.7 m. A l'aval du marais, le débit est de 8.2 m³/s.

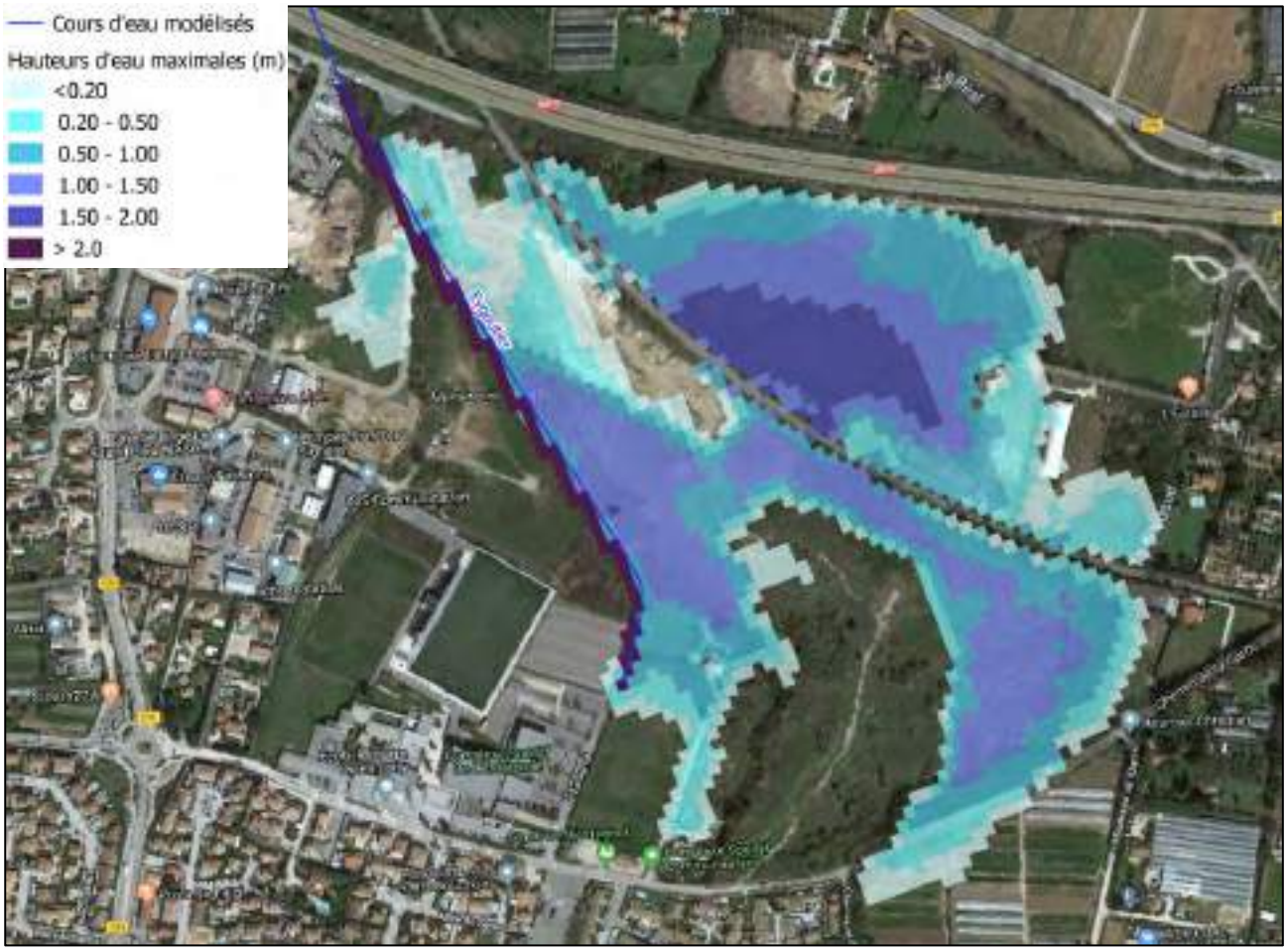



**Figure 84: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Estagnol**

Quelques nouveaux secteurs par rapport à la crue biennale sont inondés notamment un quartier résidentiel en rive gauche de l'Artaude. La lame d'eau entre les bâtiments n'est que de quelques centimètres. Le débit total (lit mineur + lit majeur) en aval du quartier résidentiel est de 4.7 m³/s.

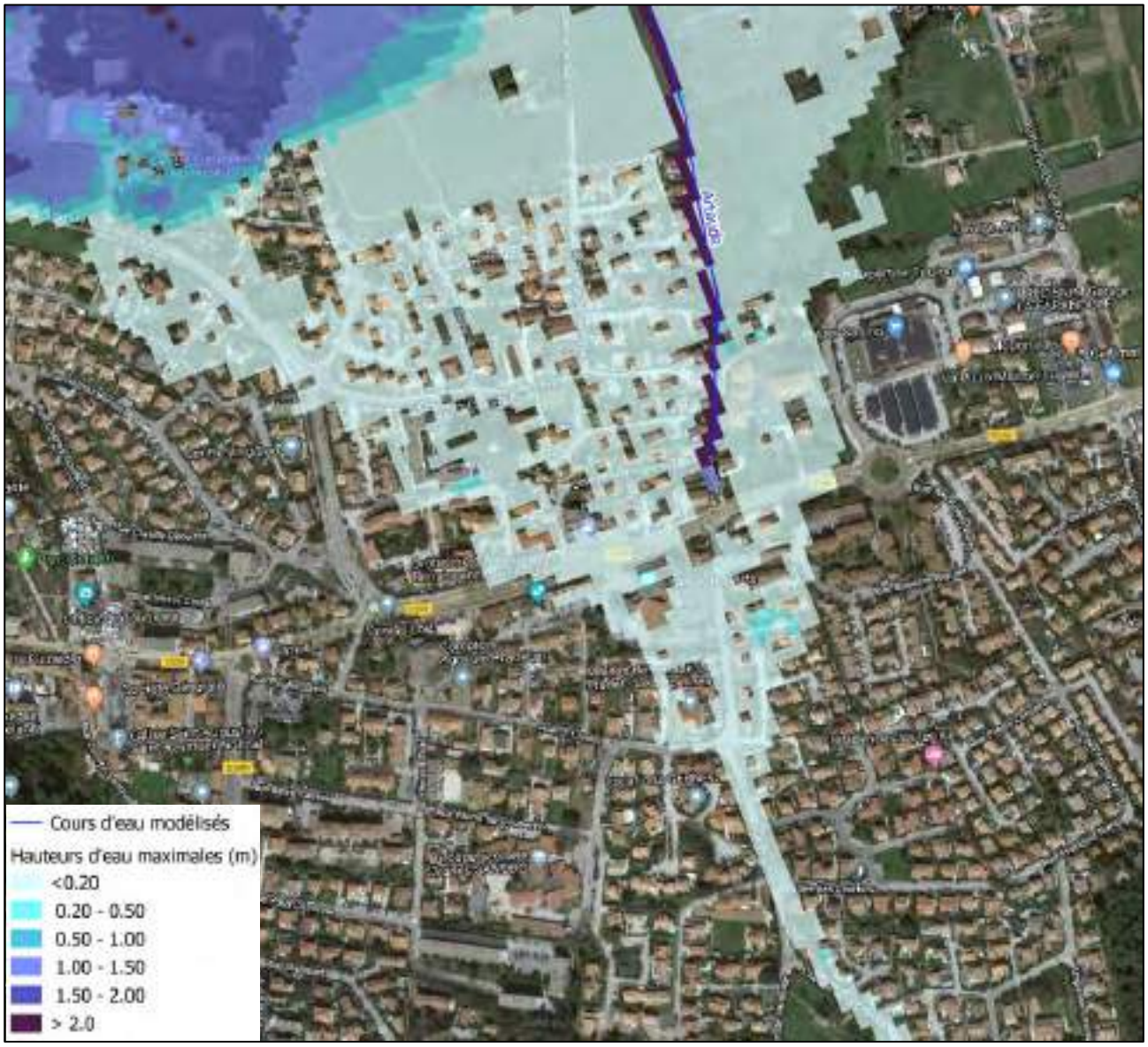



**Figure 85: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Artaude**

En amont de l'A57, les hauteurs d'eau consécutives aux débordements du Lambert atteignent localement 1 m. Le Lambert franchit ensuite l'autoroute et inonde quelques entreprises. Le débit est alors d'environ 6 m³/s.




**Figure 86: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Lambert**

Le plan de la Garde atteint la cote de 24.56 m NGF soit des hauteurs d'eau atteignant 2.8 m. Le plan d'eau se vidange par le tunnel de la clue (23.8 m³/s) et par l'Eygoutier (23.7 m³/s).

#### 4.3.2.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Les bassins de Ste Musse se remplissent, les cinq bassins sont utilisés. Le déversoir de trop plein étant déjà activé en crue biennale pour le bassin décanteur, les hauteurs d'eau sont très proches d'une crue à l'autre.
Entre les bassins, au niveau de l'avenue Amaris, le débit du Ste Musse est de 5.3 m³/s, plus en aval dans le secteur de la voie ferrée, le débit est alors de 4.6 m³/s. L'écrêtement du débit est le résultat des trois bassins du secteur de l'hopital.
Des débordements apparaissent sur le Ste Musse et la Brunette, puis se répandent en écoulements de quelques centimètres.




**Figure 87 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Ste Musse**

On observe localement quelques débuts de débordements de l'Eygoutier mais qui ont une emprise très réduite. Entre la Brunette et la Bade, le débit de l'Eygoutier est de 12.6 m³/s. Après le Ste Musse, le débit a doublé (25.2 m³/s) puis, dans le tunnel A57 (après le St Joseph), le débit atteint 41.3 m³/s.




**Figure 88 : : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Eygoutier intermédiaire**

Les débordements du St Joseph sont plus importants que pour la crue précédente, les hauteurs d'eau atteignent jusqu'à 2.2 m dans des zones d'accumulation. Des écoulements de quelques centimètres atteignent l'autoroute et s'accumulent dans les points bas. L'inondation atteint le lycée Dumont d'Urville puis rejoint la mer. Le débit des écoulements traversant l'avenue De Lattre de Tassigny est de 0.8 m³/s.




**Figure 89: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q5 – Eygoutier aval**

### 4.3.1 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE DECENNALE

#### 4.3.1.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Le niveau d'eau atteint au marais de l'Estagnol est de 37.54 m NGF, soit des hauteurs d'eau de l'ordre de 1.8 m. Le complexe sportif et la rive gauche de l'Eygoutier sont inondés à partir de cette occurrence de crue. Le débit de pointe à l'aval de ce marais est de 9.1 m³/s.

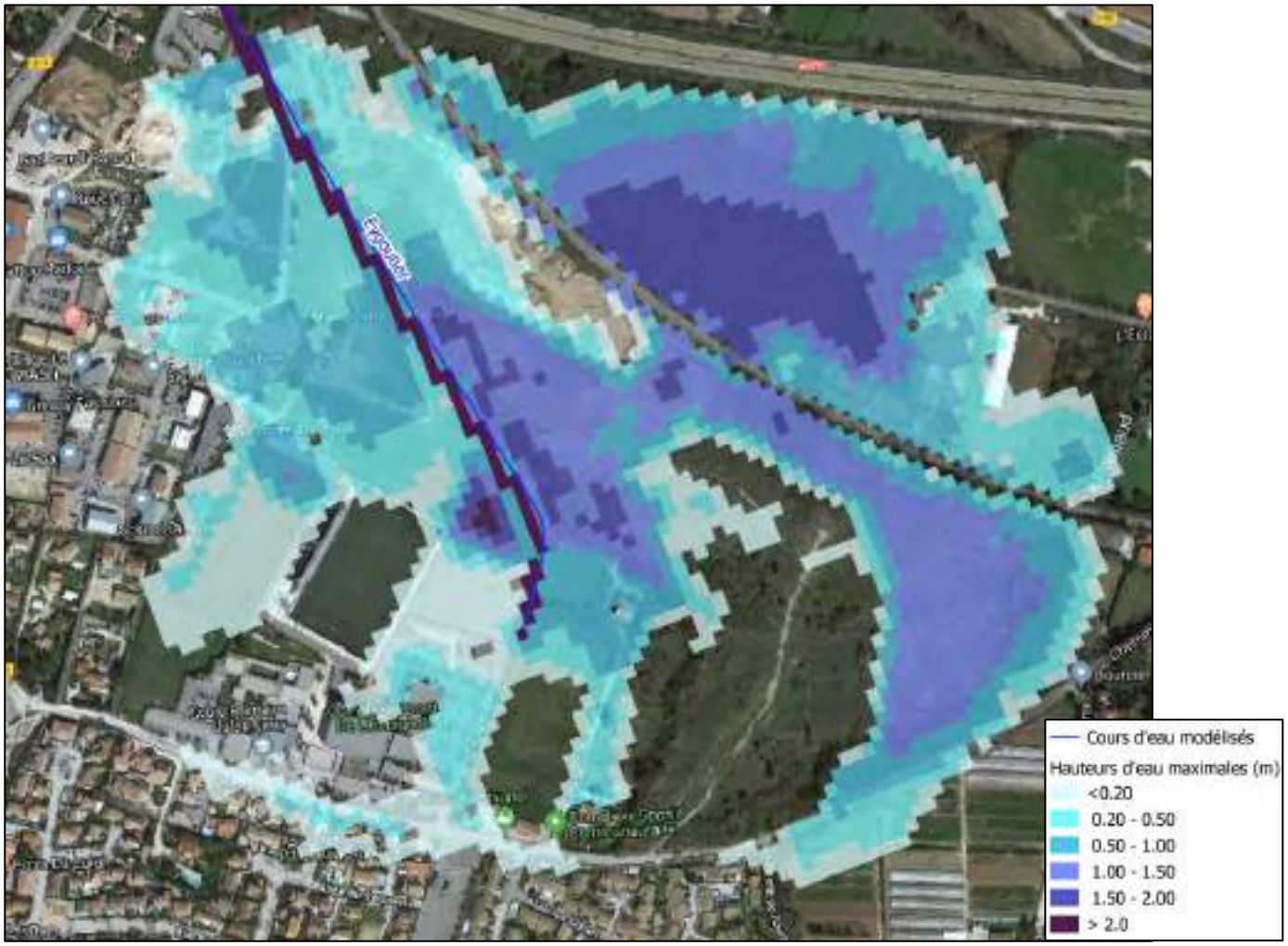



**Figure 90: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q10 – Estagnol**

Le Reganas déborde sur la majorité de son linéaire. Entre l'A57 et la voie ferrée, la zone d'activité de La Garde est inondée par une lame d'eau de l'ordre de quelques centimètres (36.7 m³/s au niveau de la voie ferrée).




**Figure 91: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q10 – Reganas**

Dans le plan de la Garde, la cote de la ligne d'eau atteint 24.84 m NGF, soit des hauteurs d'eau atteignant 3.1 m. L'emprise de la zone inondable est assez proche de celle de la crue précédente.

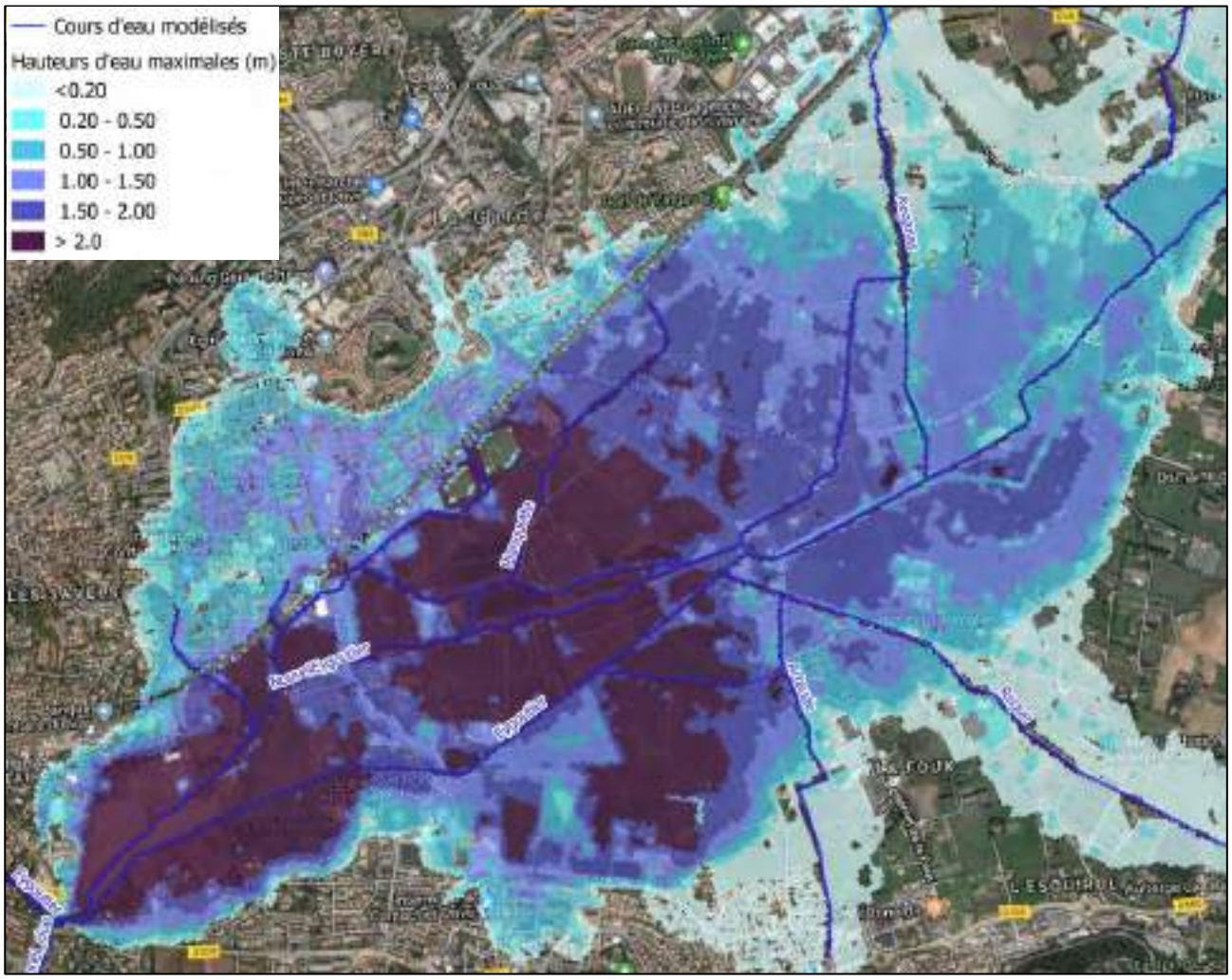



**Figure 92 Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q10 – Plan de la Garde**

Le plan d'eau se vidange par le tunnel de la clue (24.0 $m^3/s$) et par l'Eygoutier (27.8 $m^3/s$).

### 4.3.1.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Les cinq bassins du ruisseau de Ste Musse continuent de se remplir et d'écrêter la crue. A l'aval de ces bassins, le débit est de 5.3 m³/s au niveau de la voie ferrée.

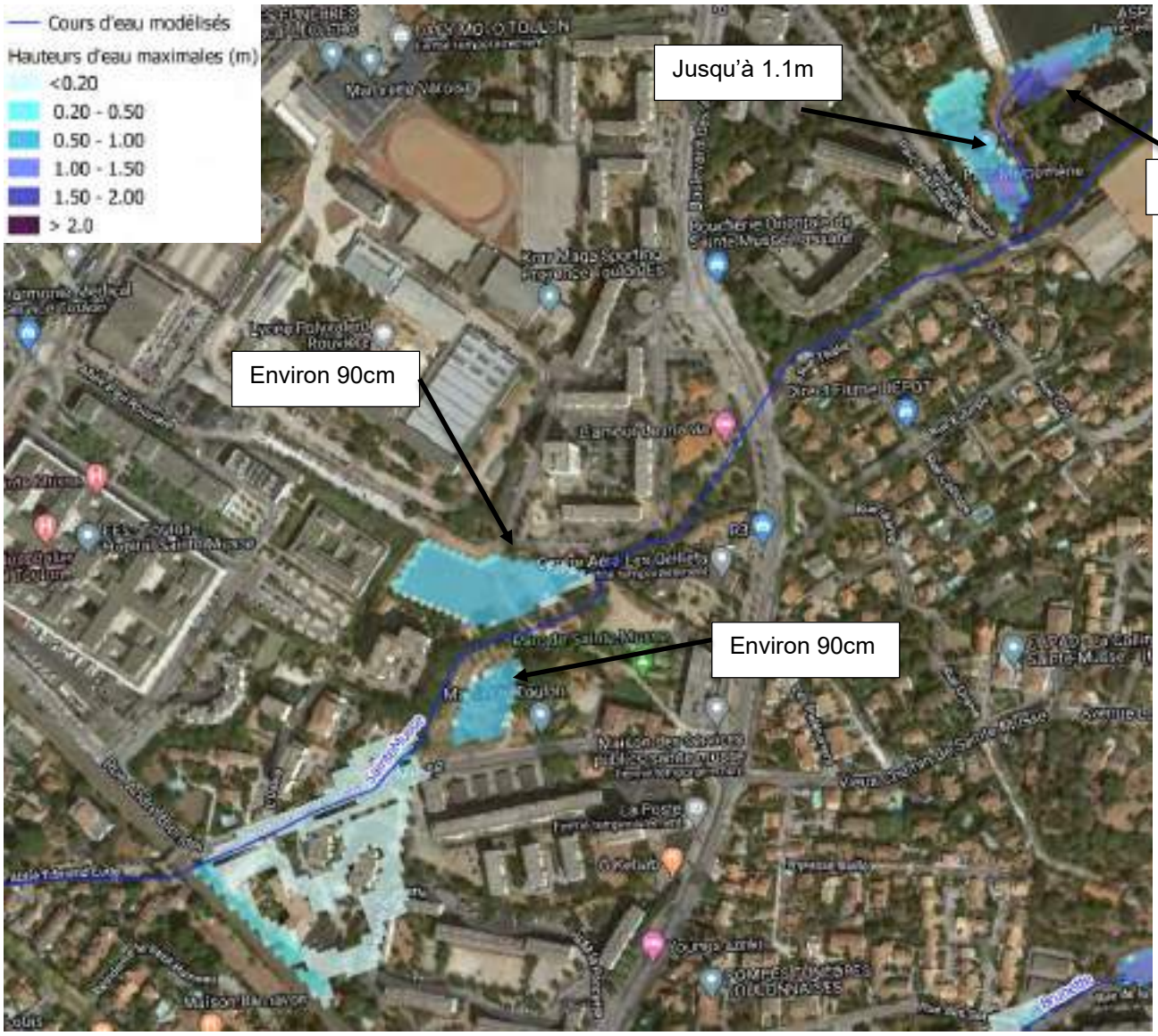



**Figure 93: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q10 – Ste Musse**

Le St Joseph commence à déborder en amont de la voie ferrée et inonde des secteurs supplémentaires par rapport à la crue quinquennale, le long de cette infrastructure. Le reste des débordements inonde une emprise similaire à la crue précédente. En revanche, les hauteurs d'eau sont plus importantes, on atteint jusqu'à 3m d'eau lorsque l'A57 passe sous l'avenue Benoit Malon.




**Figure 94: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q10 – Eygoutier**

Le débit de pointe du St Joseph au niveau de l'A57 est de 14.8 m³/s. Les débordements du St Joseph et de l'Eygoutier qui franchissent l'avenue de Lattre de Tassigny pour rejoindre la mer correspondent à un débit de 3.7 m³/s.

### 4.3.2 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE TRENTENNALE

#### 4.3.2.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Le niveau d'eau atteint au marais de l'Estagnol est de 37.75 m NGF, soit des hauteurs d'eau qui avoisinent 2m. L'emprise de la zone inondable augmente légèrement pour cette occurrence de crue. A l'aval du marais, le débit de pointe est de 10.1 m³/s.

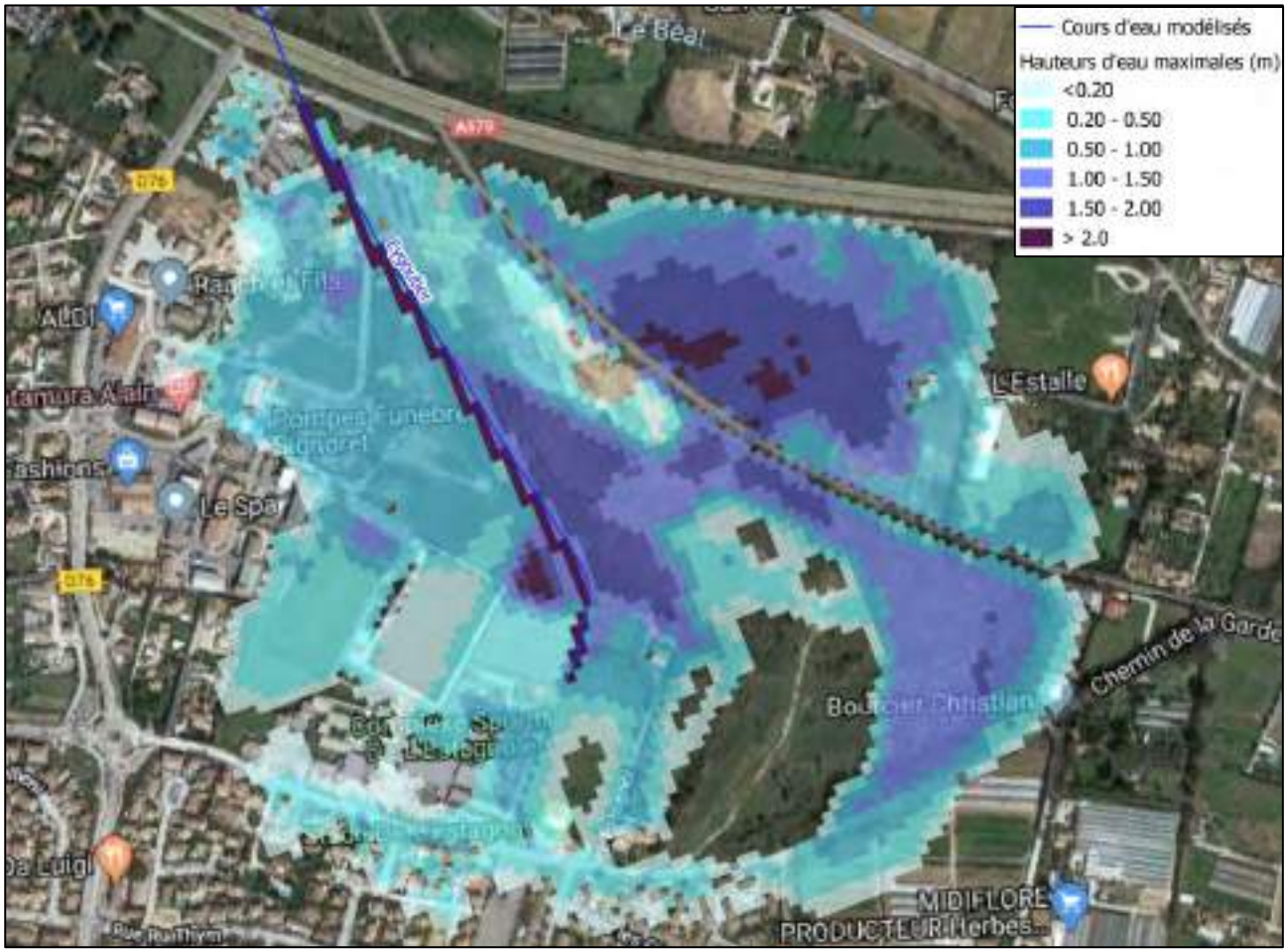



**Figure 95: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q30 – Estagnol**

Les débordements du Reganas et la remontée du plan d'eau à travers la voie ferrée inondent de nouveaux secteurs dans la zone d'activité de La Garde et autours du Rocher. Le plan de la Garde atteint la cote de 25.32 m NGF, soit des hauteurs d'eau maximales de l'ordre de 3.6 m.

Le débit des écoulements au niveau de la voie ferrée, en aval de la zone d'activité, est de 39.2 m³/s.

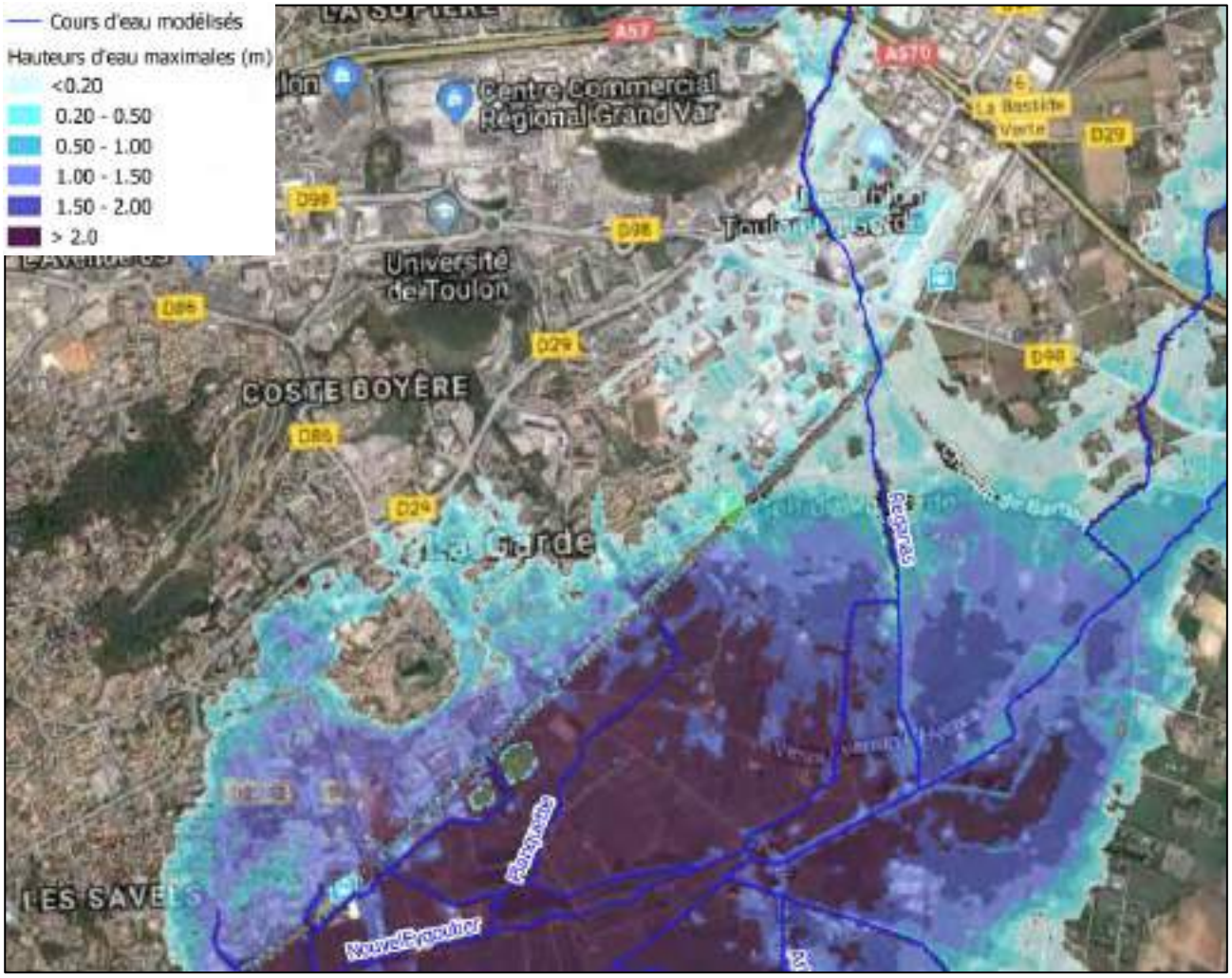



**Figure 96 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q30 – Plan de la Garde**

### 4.3.2.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Le bassin du terrain de foot est saturé, il déborde par le déversoir de sécurité mais aussi par un point bas du talus, qui inondent les bâtiments en aval. Les autres bassins sont tous saturés, la surverse du troisième bassin retourne vers le Ste Musse. Des débordements apparaissent en amont de l'avenue des Amaris




**Figure 97: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q30 – Ste Musse**

Le débit du Ste Musse au niveau de la voie ferrée est de 7.2 m³/s.

Les débordements du St Joseph en amont de la voie ferrée s'accentuent. Les écoulements longent l'infrastructure ferroviaire puis franchissent le remblai au niveau du passage piéton et inondent les habitations à l'aval.

Le débit du St Joseph franchissant l'A57 plafonne à 15 m³/s.




**Figure 98: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q30 – St Joseph**

### 4.3.3 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE CINQUANTENNALE

#### 4.3.3.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

L'emprise globale de la zone inondable est très similaire à celle de la crue trentennale. Les zones d'accumulations continuent de se remplir. Le marais de l'Estagnol atteint ainsi la cote de 37.87 m NGF, soit des hauteurs d'eau maximales de 2.1 m. Le débit à l'aval du marais est de 10.8 m³/s.

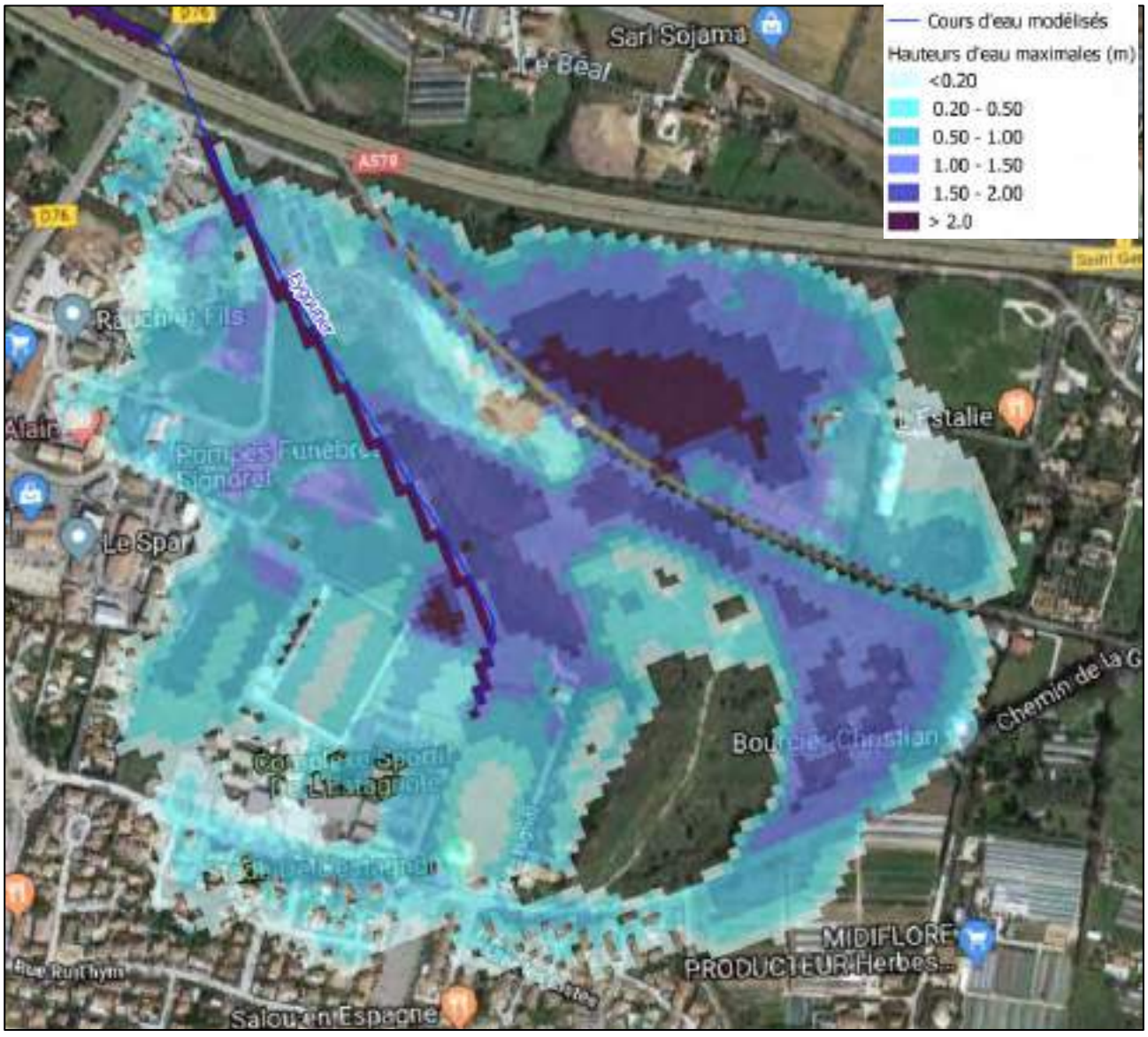



**Figure 99: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q50 – Estagnol**

La ligne d'eau au sein du plan de la Garde atteint la cote de 25.52 m NGF, soit des hauteurs d'eau maximales de l'ordre de 3.8 m.

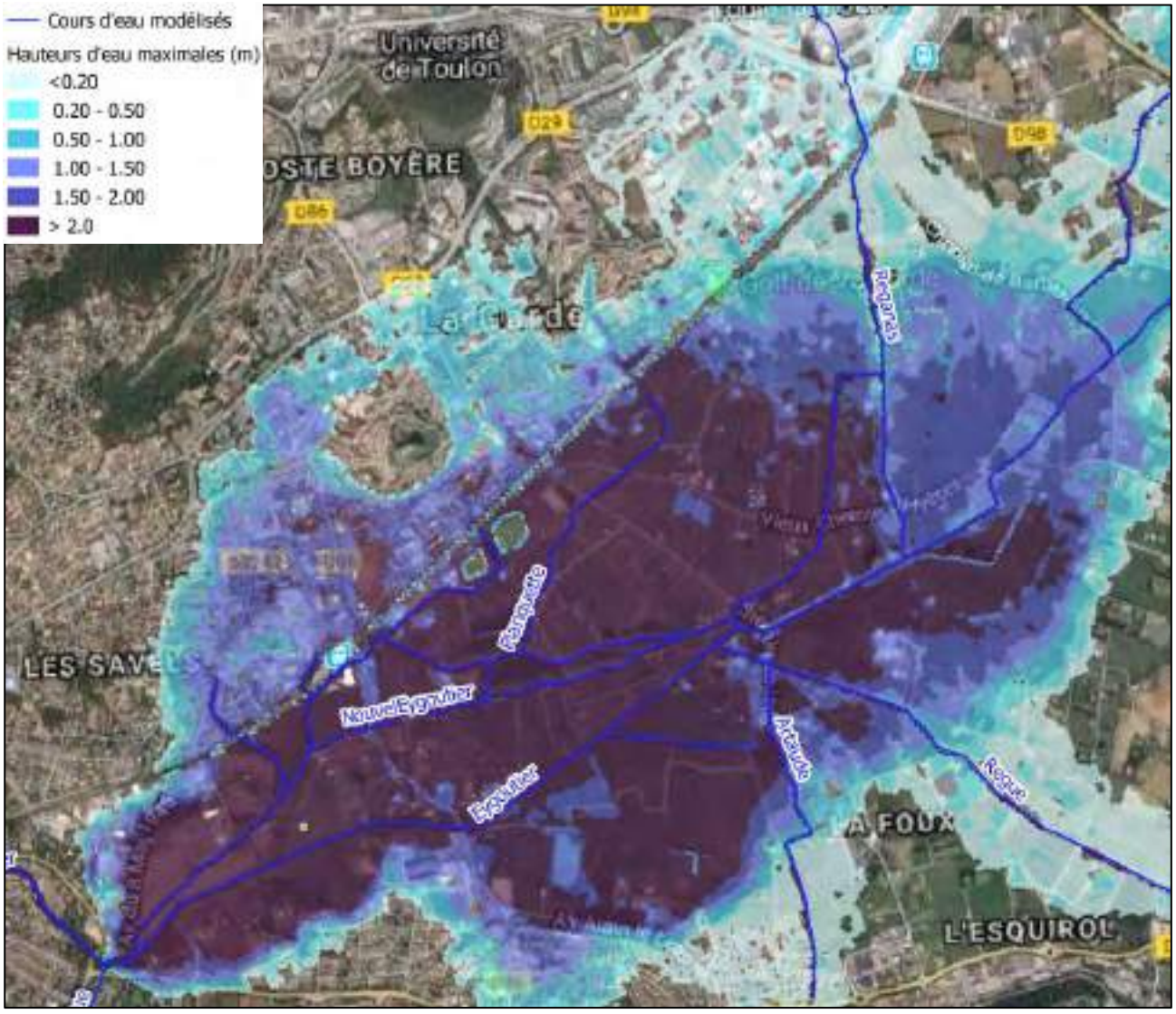



**Figure 100: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q50 – Plan de la Garde**

Le plan d'eau se vidange par le tunnel de la clue (24.4 m³/s) et par l'Eygoutier (38.4 m³/s).

### 4.3.3.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Les débordements des bassins, qui se stockaient en amont de la voie ferrée pour les crues précédentes, commencent à surverser et atteignent les premières habitations en aval. Le débit au niveau de la voie ferrée est de 7.7 m³/s.

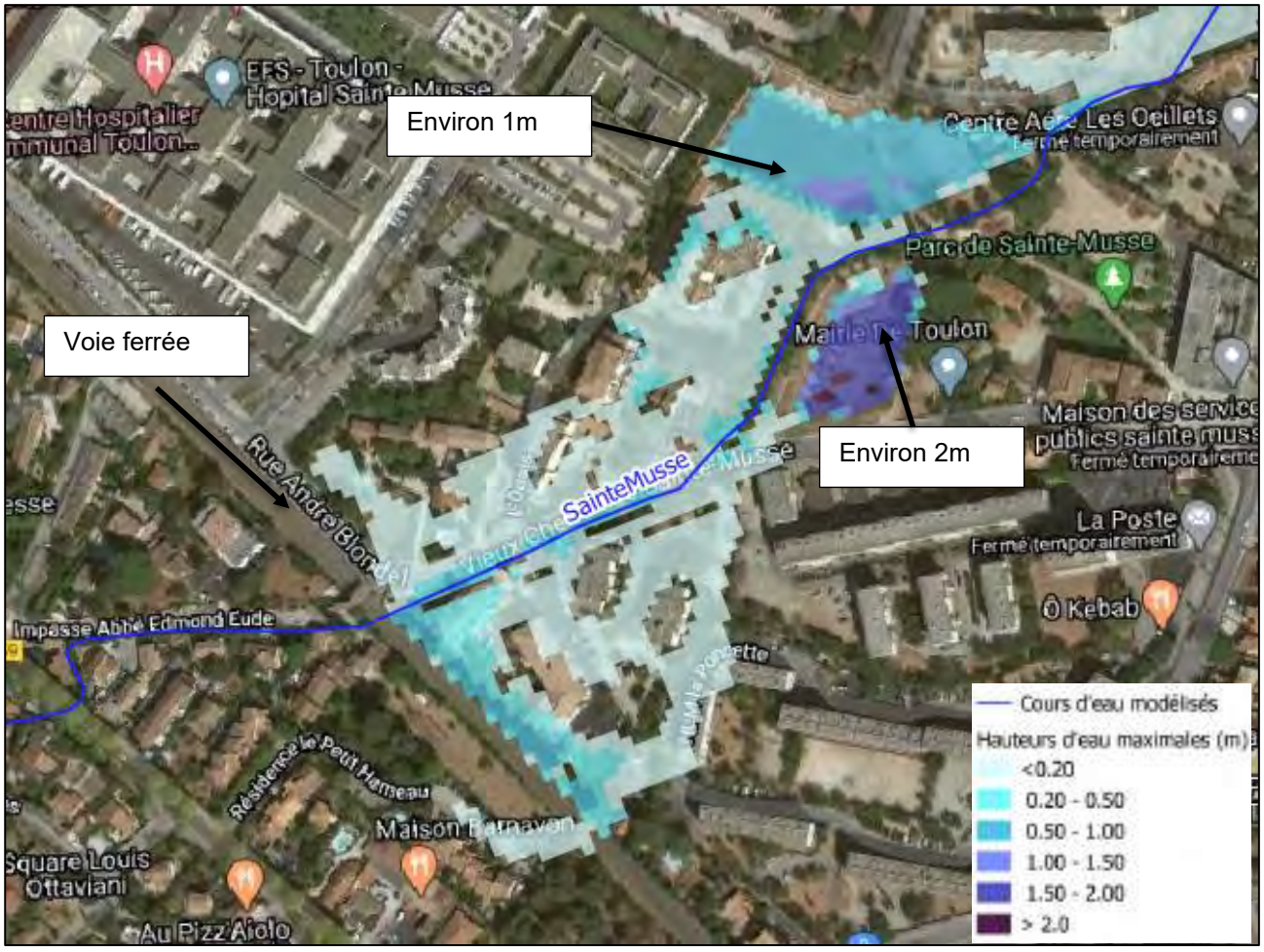



**Figure 101: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q50 – Ste Musse**

Les débordements du St Joseph continuent de longer la voie ferrée ; une partie franchit l'infrastructure, le reste des écoulements s'accumulent dans deux creux topographiques.

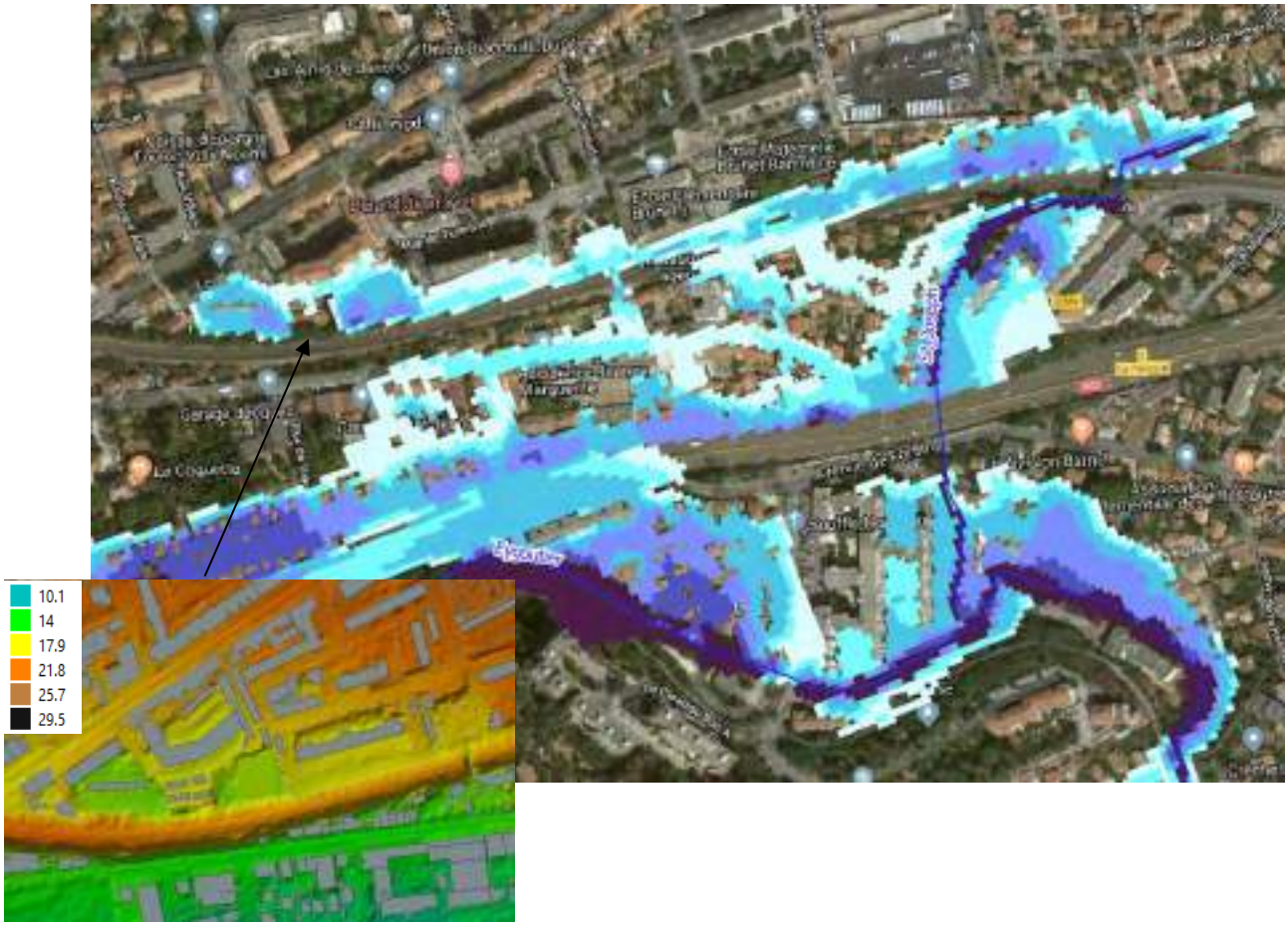



**Figure 102: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Q50 – St Joseph**

### 4.3.4 CRUE ISSUE D'UNE PLUIE DE REFERENCE

La crue de référence correspond à la plus forte crue historique observée ou à la crue centennale si celle-ci est supérieure. Le bassin versant de l'Eygoutier ne réagit pas de façon homogène sur l'ensemble du territoire. En effet, le plan de La Garde a fortement réagi à la crue longue de 1978, avec la création d'un plan d'eau en amont du pont de la Clue. Cette partie du territoire est ainsi particulièrement sensible aux crues longues, au volume ruisselé important. En revanche, la partie aval et urbanisée toulonnaise a plus réagi lors de l'évènement orageux de 2006, court et intense.

C'est pourquoi deux types de pluies ont été construites (cf. rapport de phase 2 - Hydrologie) :

- Pluie de type 2 : reproduction de la pluie de 1978. La forme triangle sur 24h permet d'être statistiquement cohérent avec la pluie enregistrée en 1978.
- Pluie de type 3 : reproduction de la pluie mesurée à Cap Cépet en 2006 (cette pluie a aussi été utilisée pour le PPRi Gapeau). D'une durée totale de 6h, elle est supérieure à la pluie centennale.

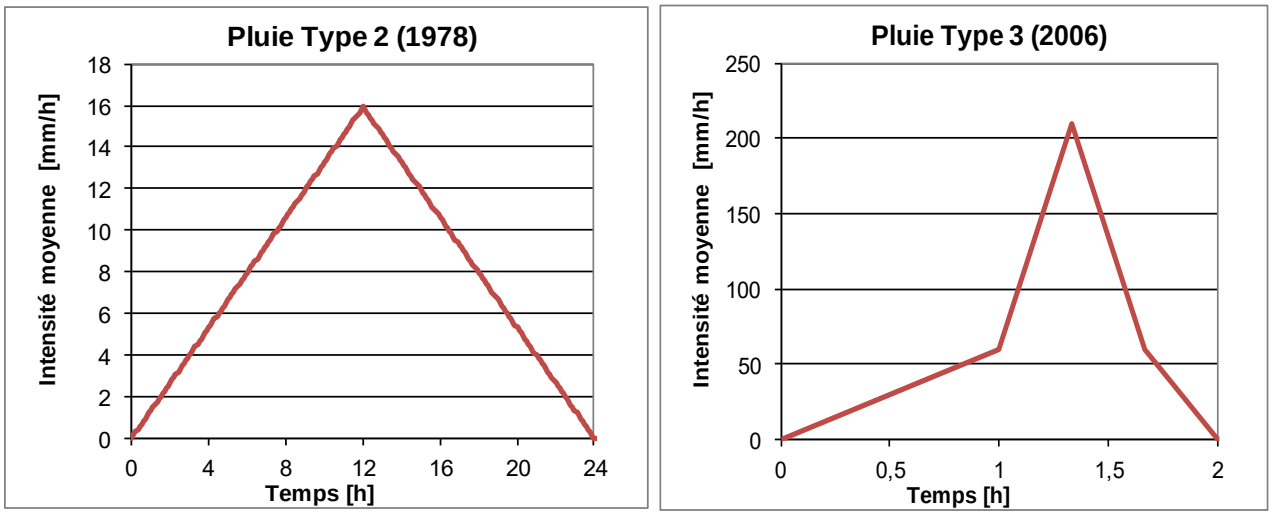



**Figure 103 : Rappel des pluies de références – sources : Hydrétudes**

Ces deux types de pluies ont été simulés afin d'analyser la réaction du bassin versant à ces différentes pluies en termes de hauteur d'eau et d'emprise de zone inondable.

Pour comparer ces deux évènements, une carte différentielle a été réalisée. Si la différence (type 3 – type 2) est positive (couleurs chaudes sur ces cartographies), le secteur réagit plus à une crue courte et intense de type 3, si elle est négative (couleurs froides), le secteur réagit plus à une crue longue de type 2.

#### 4.3.4.1 Modèle amont

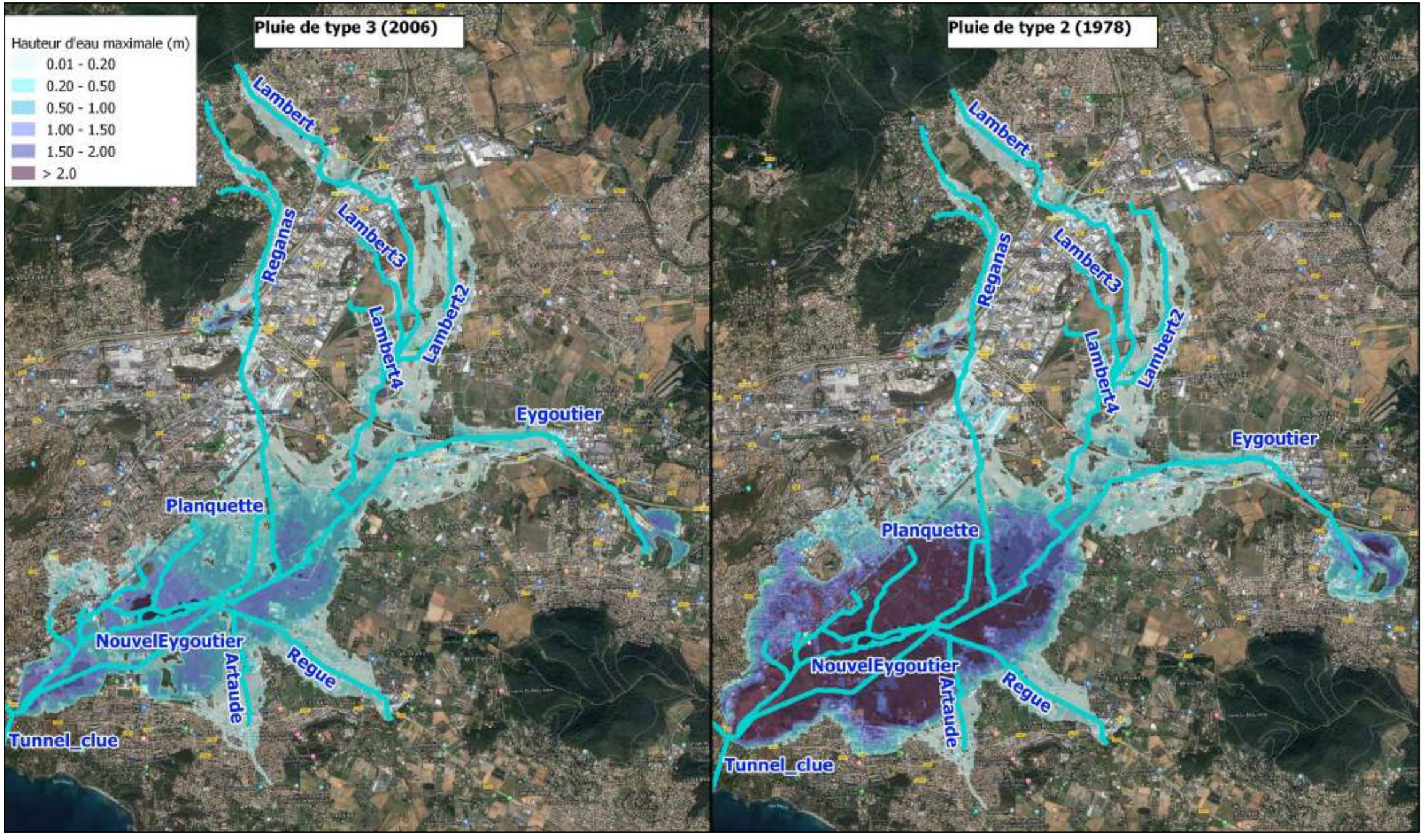



**Figure 104 : Comparaison des hauteurs d'eau générées pour les 2 types de pluies étudiées – modèle amont**

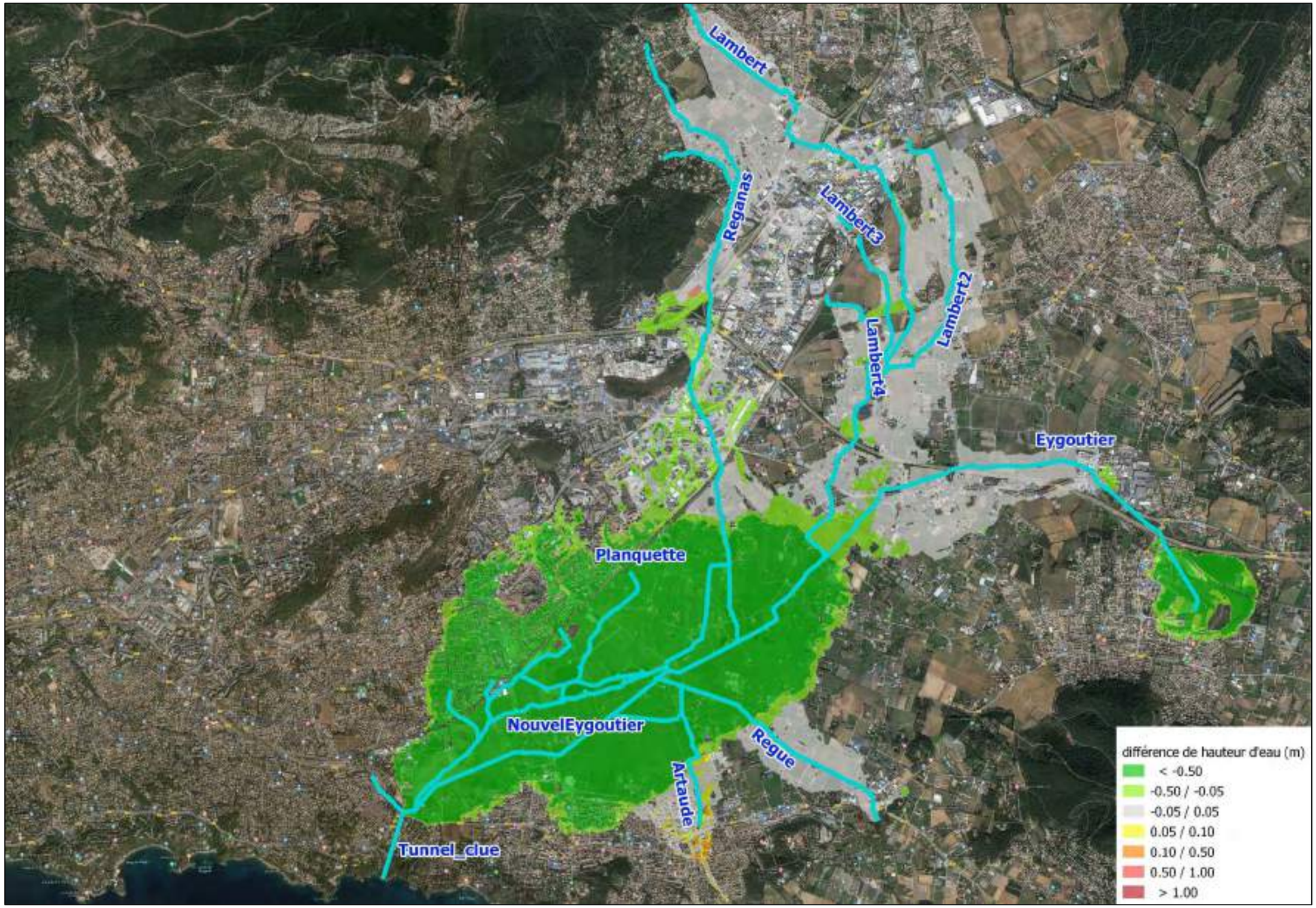



**Figure 105 : Cartographie différentielle des différences de hauteurs d'eau générées par des pluies de type 3 et des pluies de type 2 – modèle amont**

Sur le bassin versant amont (en amont du pont de la Clue), la pluie de type 2 génère globalement des hauteurs d'eau plus fortes que la pluie de type 3.

La pluie de type 2 est plus longue et génère plus de volume. Les secteurs du Plan et du marais de l'Estagnol sont deux cuvettes topographiques qui se remplissent donc davantage pour une crue longue.
Le tableau ci-dessous présente les niveaux d'eau de ces deux plans d'eau pour les différents types de pluie étudiés.

**Tableau 7 : Cote des plans d'eau – crue de référence**

| | Niveau d'eau - crue courte | Niveau d'eau - crue longue |
|---|---|---|
| **Le Plan** | 23.6 m NGF | 25.6 m NGF |
| **Marais de l'Estagnol** | 37.2 m NGF | 38.0 m NGF |

La pluie longue génère un niveau d'eau maximal 2 m supérieur à celui de la pluie courte dans la zone du Plan et 80cm supérieur dans le marais de l'Estagnol. C'est pourquoi, on observe une différence d'emprise de zone inondable significative entre ces deux évènements sur ces secteurs.

En revanche, les débordements sur les tronçons amont des affluents sont similaires pour les deux types de pluies. La pente est plus forte, l'effet de stockage est moins prépondérant, c'est pourquoi la crue longue n'est pas supérieure en termes de hauteurs d'eau.

La partie amont de l'Artaude est très urbanisée. Les écoulements sont concentrés sur les voiries, ce qui génère de fortes vitesses. Il y a très peu de zones de stockage ou d'éléments permettant de ralentir l'onde de crue. Le temps de réponse du bassin versant est court. Ainsi, ce secteur est plus sensible aux événements courts et intenses.

#### 4.3.4.2 Modèle aval

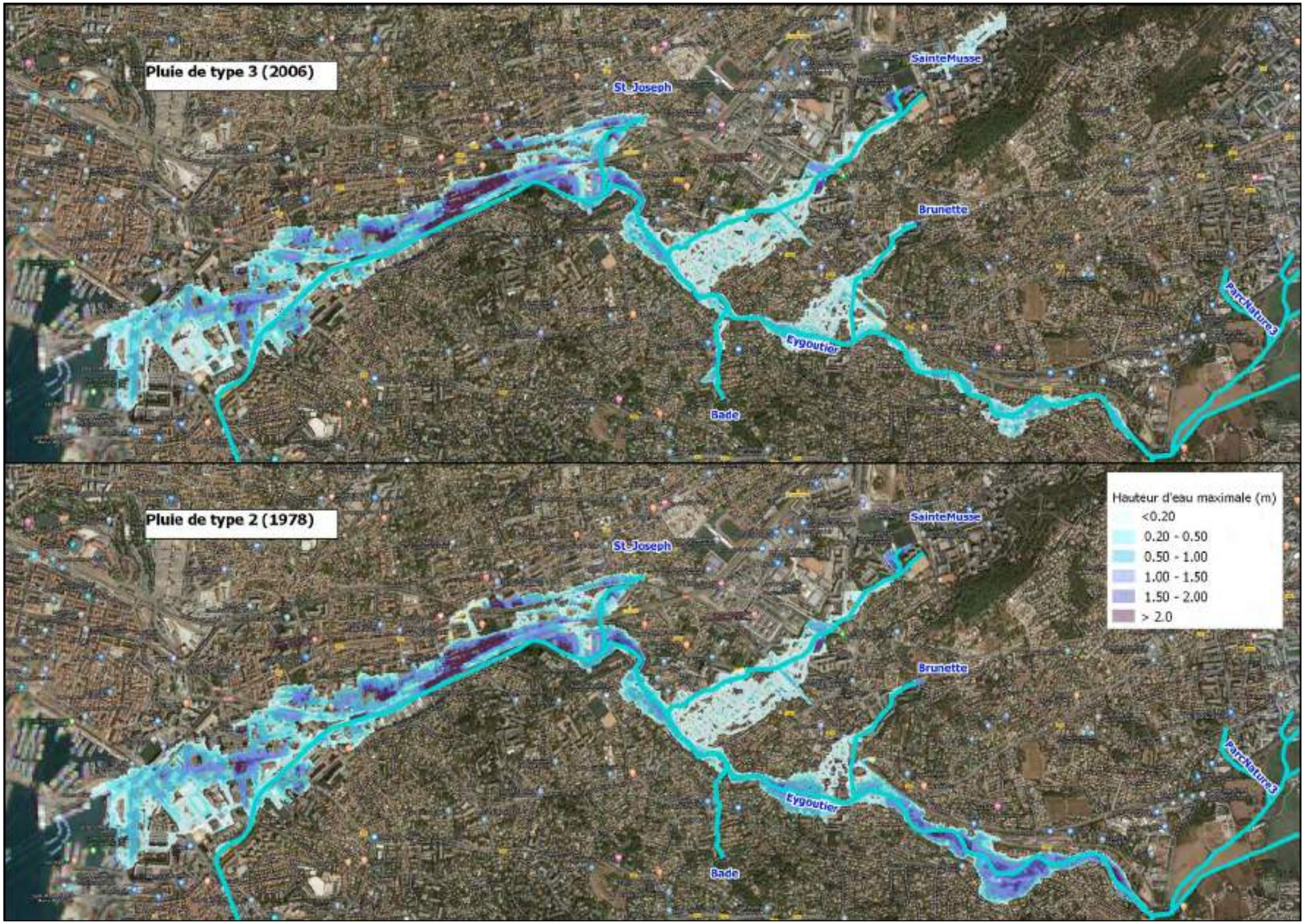



**Figure 106 : Comparaison des hauteurs d'eau générées par des pluies différentes – modèle aval**




**Figure 107 : Cartographie différentielle des différences de hauteurs d'eau générées par des pluies de type 3 et des pluies de type 2 – modèle aval**

On observe une différence significative de l'emprise de la zone inondable de l'Eygoutier en partie amont de la Brunette. La pluie de 24h génère une zone inondable plus étendue que la pluie courte.

En effet, comme détaillé dans le paragraphe précédent, le bassin versant en amont du pont de la Clue a une réaction plus importante pour la crue longue. Les débits au niveau du pont de la Clue sont respectivement de 39.4 m³/s pour une pluie type 2 de 24h et 12.2 m³/s pour une pluie de type 3 de 6h. Ces apports amont très différents expliquent que l'Eygoutier génère de plus fortes hauteurs pour une crue longue que pour une crue courte.

En revanche, les affluents, fortement urbanisés, réagissent plus fortement pour une crue courte. On voit ainsi que les débordements de la Bade, de la Brunette, du Ste Musse et du St Joseph ont quasiment la même emprise pour les deux types de pluies, mais des hauteurs d'eau plus fortes sont atteintes pour la pluie courte.

#### 4.3.4.3 Cartographie de synthèse

La cartographie de synthèse correspond à la concaténation de plusieurs résultats de modélisation pour créer une carte unique sur l'ensemble du bassin versant. Cette cartographie ayant une visée réglementaire, on choisit les résultats conduisant aux hauteurs d'eau les plus fortes en chaque secteur.

Les secteurs de la Planquette et du St Joseph ont fait l'objet d'études spécifiques en 2016. Ces études n'avaient pas strictement les mêmes pluies de projet. Ainsi, par cohérence pour l'évènement de référence, les modèles de ces études ont été réactivés avec la pluie de référence de type 3 (pluie courte). En effet, les bassins versants concernés sont très urbanisés et se rapprochent plus du fonctionnement des affluents aval.

Selon les réactions des différents cours d'eau aux deux types de pluies étudiés, il a été retenu la configuration suivante :

- **Pluie de type 2 sur le bassin versant amont, excepté l'Artaude amont**
- **Pluie de type 2 sur l'Eygoutier aval**
- **Pluie de type 3 pour les affluents aval**
- **Pluie de type 3 sur le St Joseph et la Planquette**

La cartographie ci-dessous présente les différents scénarios retenus et le modèle « source » utilisé pour la cartographie de synthèse des résultats :

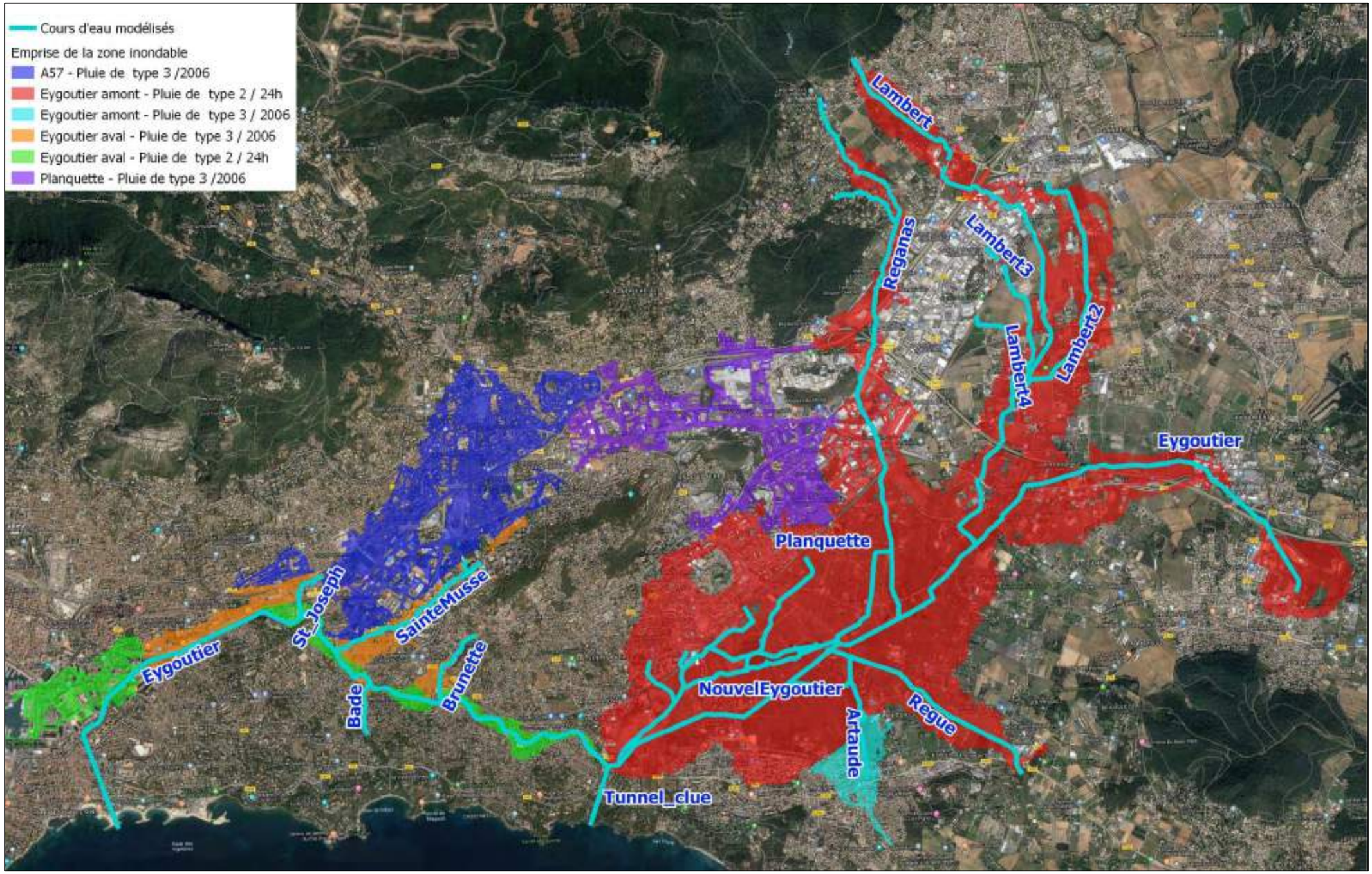



**Figure 108 : Emprises des différents scénarios et modèles retenus pour la cartographie de synthèse**

### 4.3.5 CRUE EXCEPTIONNELLE

#### 4.3.5.1 Modèle amont – pluie longue (24h)

Les principales différences d'emprises par rapport à la crue de référence concernent les zones d'accumulation : le Plan et le marais de l'Estagnol. Le quartier à l'ouest du stade (entouré en rouge sur la carte ci-dessous) est inondé à partir de la crue exceptionnelle, il comprend plusieurs activités. Le niveau d'eau atteint au marais de l'Estagnol est de 38.92 m NGF (soit environ 1 m de plus que pour la crue de référence), soit des hauteurs d'eau qui maximales de 3.2m. Le débit en aval du marais est de 17.5 m³/s.

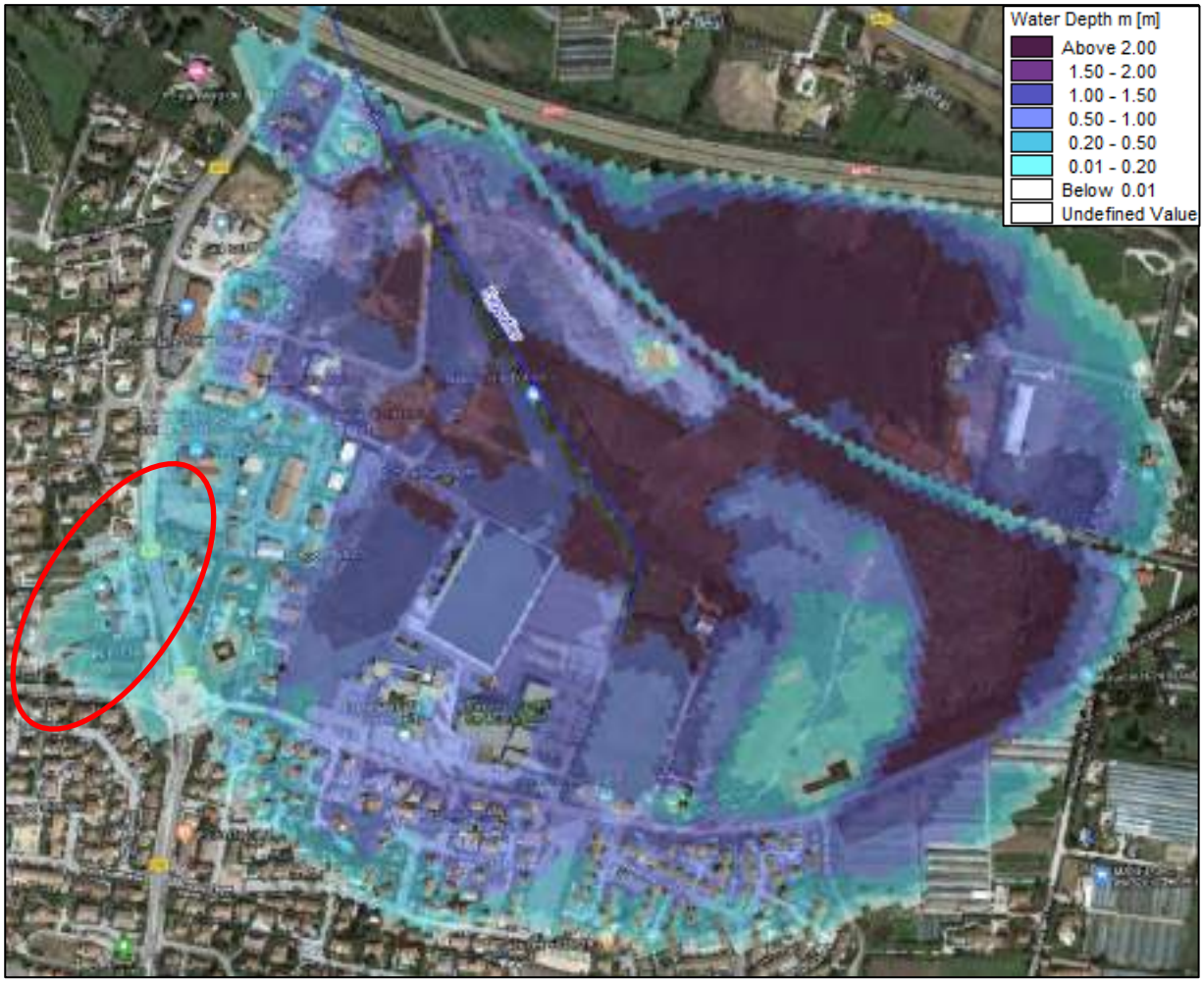



**Figure 109 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – QEXCEP marais de l'Estagnol**

Au niveau du Plan, les hauteurs d'eau et l'emprise du plan d'eau sont plus importantes : le niveau d'eau atteint 27.31 m NGF (soit des hauteurs qui peuvent atteindre 5.55 m). Certains quartiers résidentiels (entourés en rouge) ne sont inondés qu'à partir de cette occurrence de crue. La crue exceptionnelle génère un plan d'eau environ 1.75 m plus haut que la crue de référence.

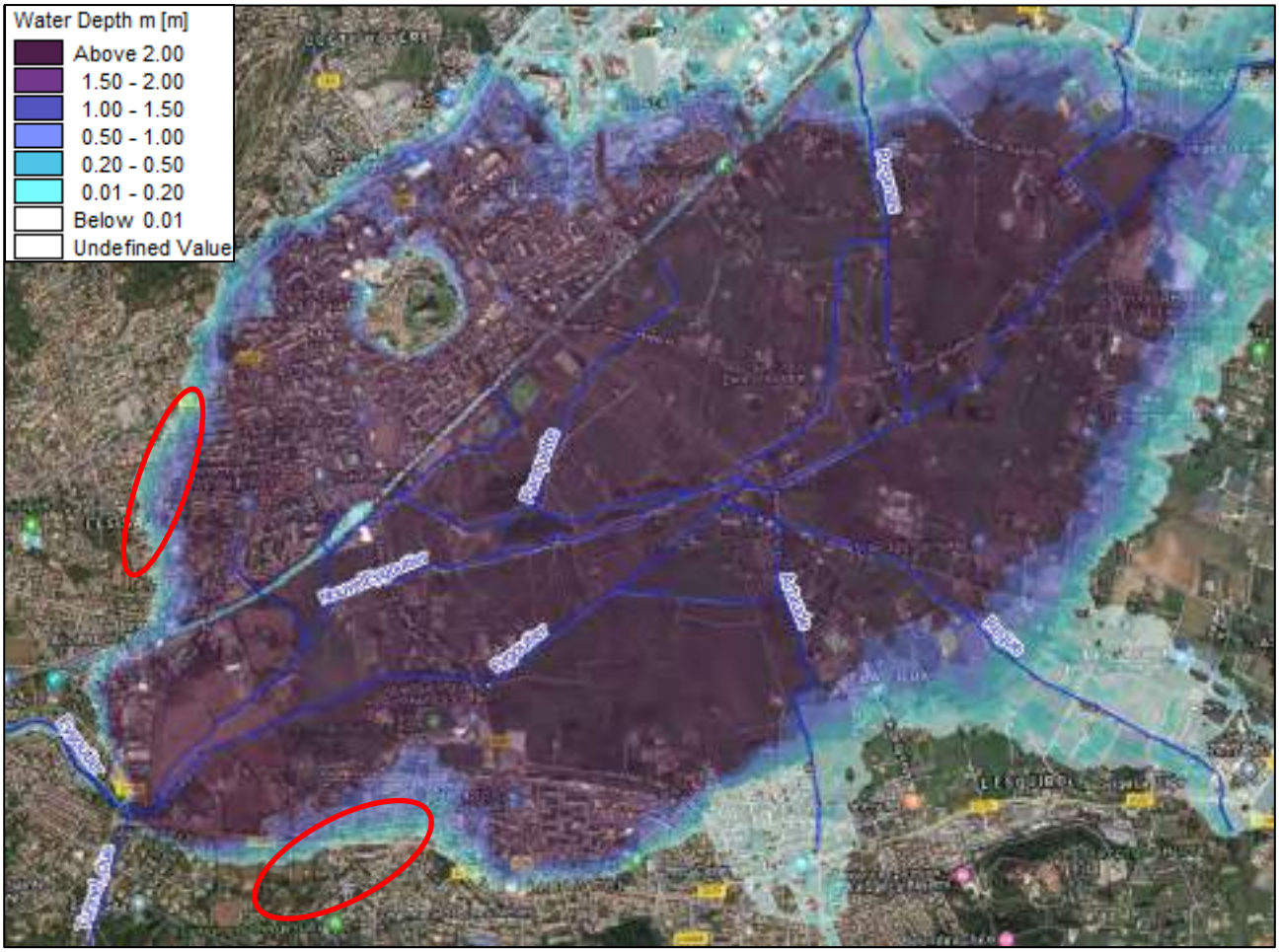



**Figure 110: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – QEXCEP le Plan**

Le plan d'eau se vidange par le tunnel de la clue (25.5 $m^3/s$) et par l'Eygoutier (86.8 $m^3/s$).

#### 4.3.5.2 Modèle aval – pluie courte (2h)

Les débordements du Ste Musse se généralisent tout le long du cours d'eau : du réseau amont à la confluence avec l'Eygoutier. Le débit franchissant la voie ferrée atteint 22.9 m³/s.

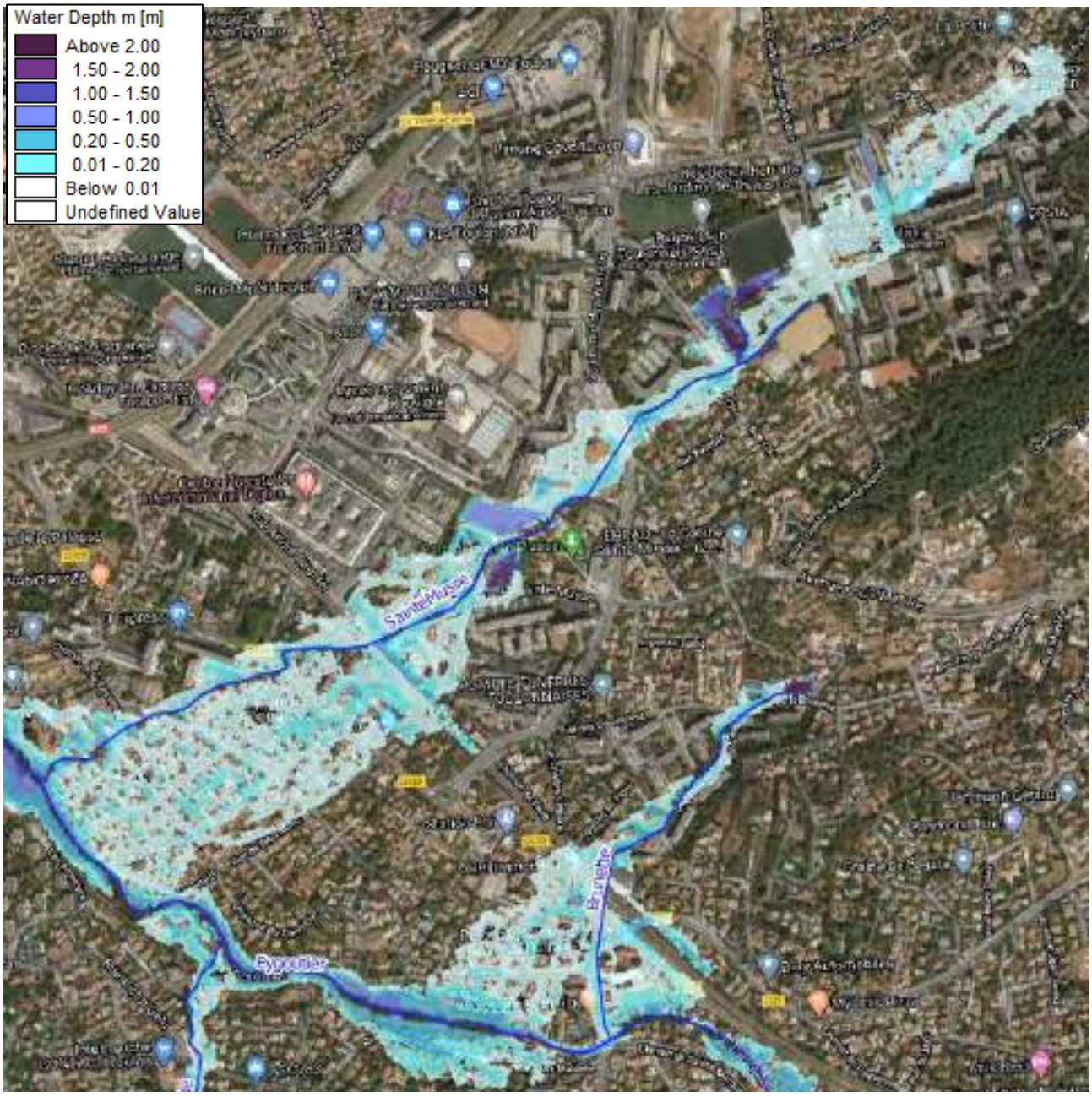



**Figure 111: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – QEXCEP – Ste Musse**

Les débordements du St Joseph continuent d'alimenter les deux creux topographiques en amont de la voie ferrée. Pour la crue exceptionnelle, on observe également une surverse sur l'avenue du colonel Picot qui franchit le remblai ferroviaire.

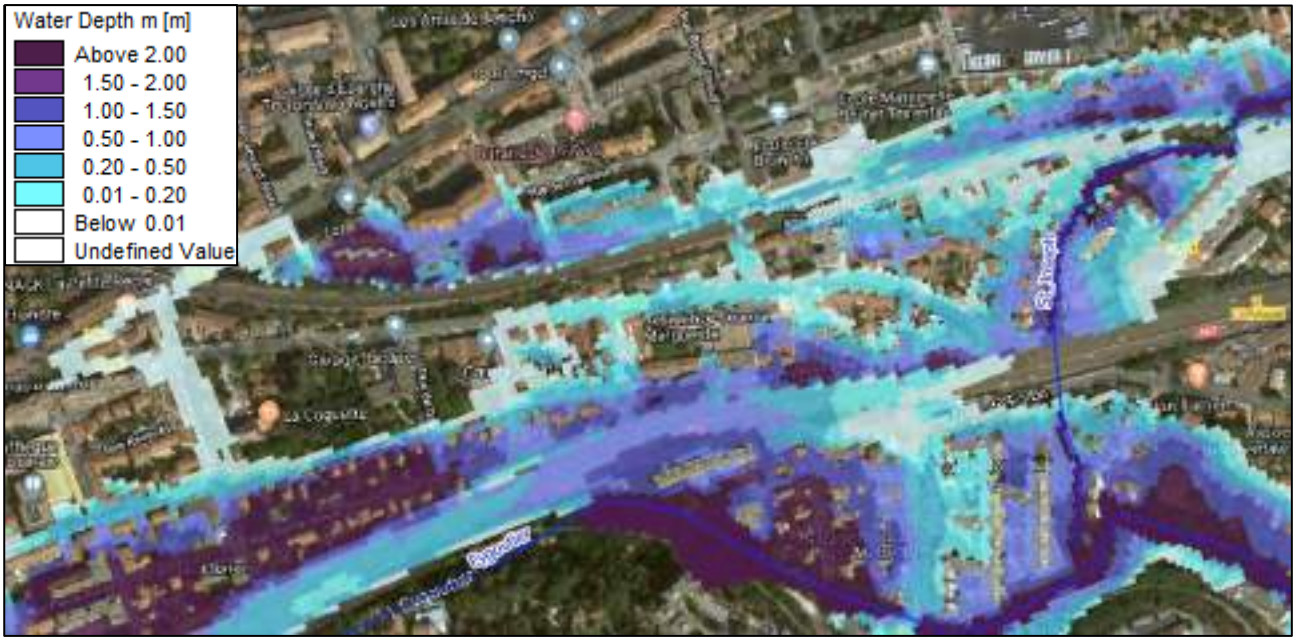



**Figure 112: Cartographie des hauteurs d'eau maximales – QEXCEP – St Joseph**

Les débordements du St Joseph et l'Eygoutier franchissant l'avenue de Lattre de Tassigny, avant de rejoindre la mer, représentent un débit de 60.1 m³/s.

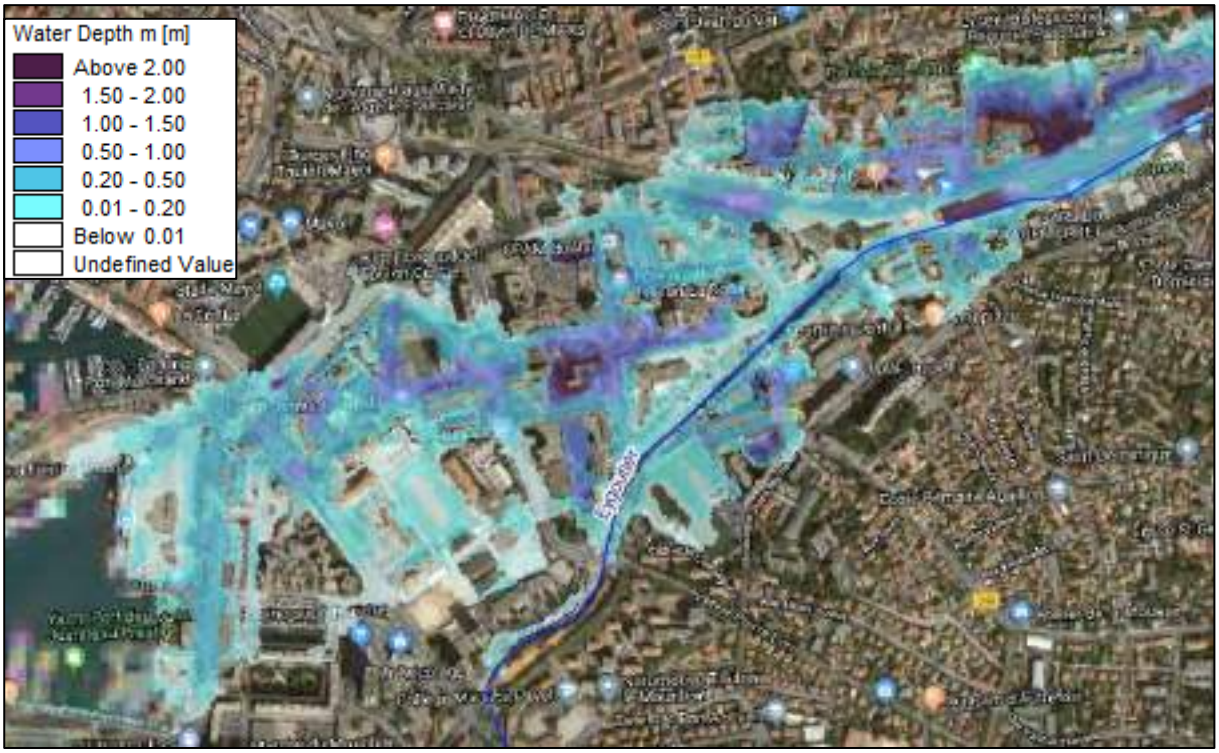



**Figure 113 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – QEXCEP – Eygoutier**

## 4.4 ANALYSE CAPACITAIRE

Il est important de préciser que les capacités indiquées dans ce chapitre correspondent aux capacités intrinsèques des tronçons ou des ouvrages, sur la base des levés topographiques réalisés en juillet 2019, et sans phénomènes aggravants (embâcles par exemple).

### 4.4.1 MODELE AMONT – PLUIE LONGUE (24H)

#### 4.4.1.1 Eygoutier

Le tronçon du marais de l'Estagnol a une capacité inférieure à la crue biennale. Dès cette occurrence, l'Eygoutier déborde et remplit cette dépression topographique. A l'aval, l'Eygoutier longe l'A570, la capacité est alors bien plus importante (supérieure à Q1000).

Puis on retrouve une capacité de l'ordre de la crue biennale sur quasiment tout le linéaire jusqu'au pont de la Clue. L'ensemble du plan de la Garde (Planquette, fossés du parc nature, ouvrages hydrauliques…) a une capacité inférieure à la crue biennale.

De la crue décennale à la crue de référence, l'Eygoutier est noyé par le plan d'eau jusqu'à la confluence avec le Lambert, soit sur environ 4 km. En effet, on observe un décroché topographique à cet endroit-là, ce n'est qu'en crue exceptionnelle que le plan d'eau dépasse ce secteur.

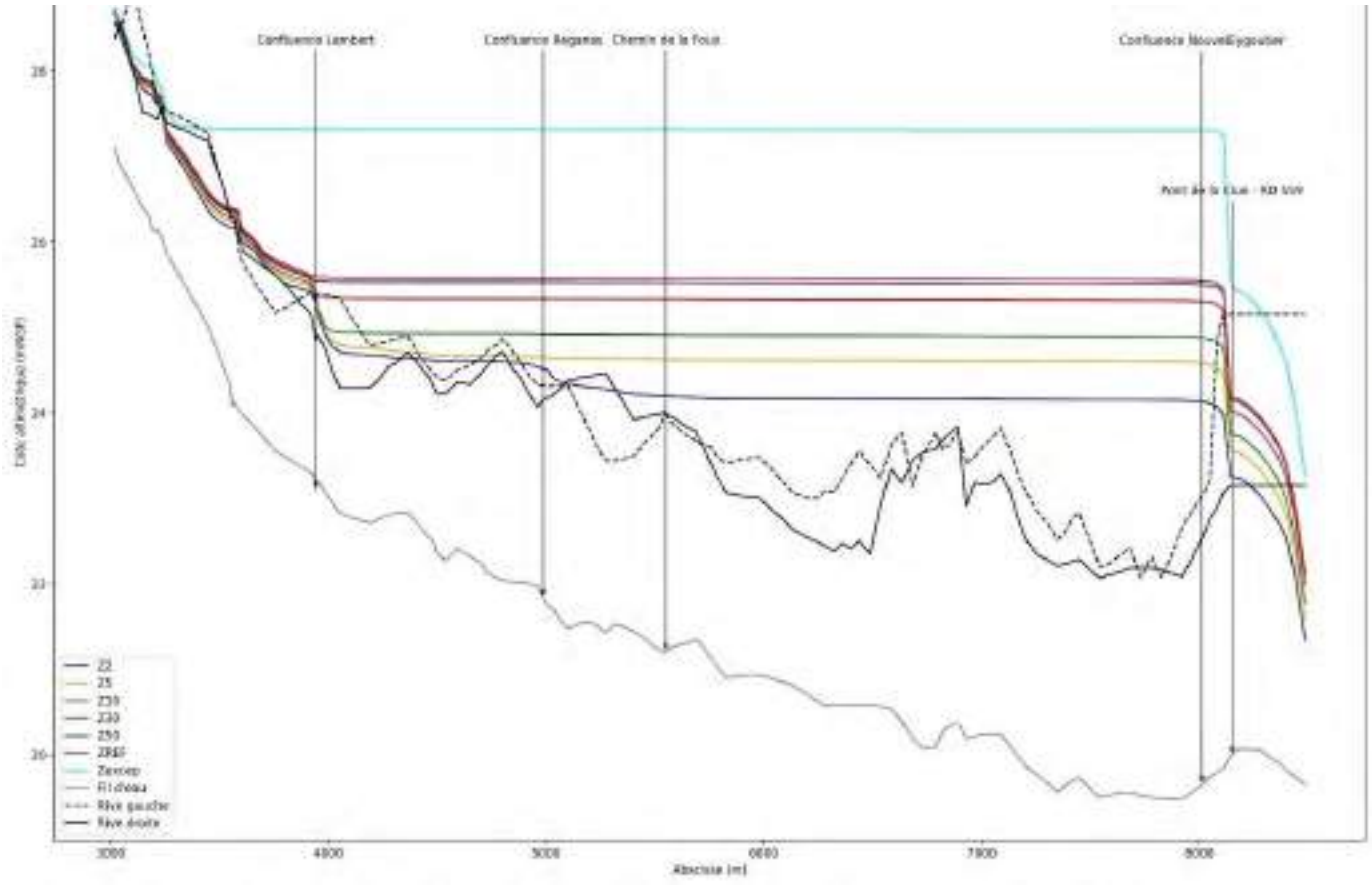



**Figure 114 : Profil en long de l'Eygoutier**

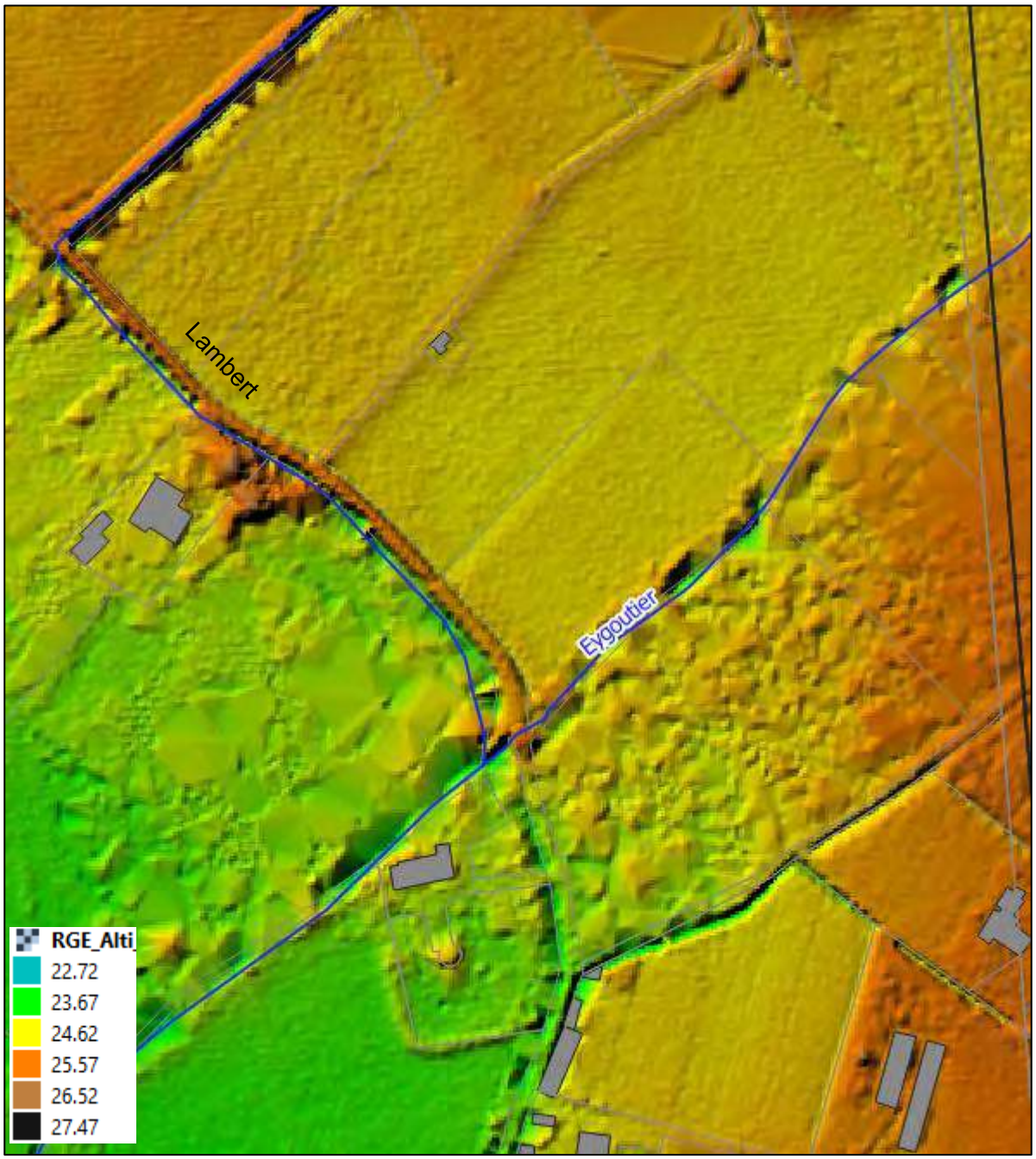



**Figure 115 : Topographie de la confluence Eygoutier / Lambert**

### 4.4.1.2 Lambert

En amont du bassin du stade Jacques Astier, le Lambert est très vite débordant. Dès la crue biennale, de nombreux tronçons débordent. Ce linéaire est assez pentu (environ 5% de pente). La pente s'adoucit ensuite mais plusieurs infrastructures routières franchissent le cours d'eau (voie ferrée, autoroute…) et crée des obstacles aux écoulements.

Le tronçon de traversée de la zone d'activité de la Farlède a en majorité une capacité trentennale. La capacité se réduit ensuite vers l'aval.

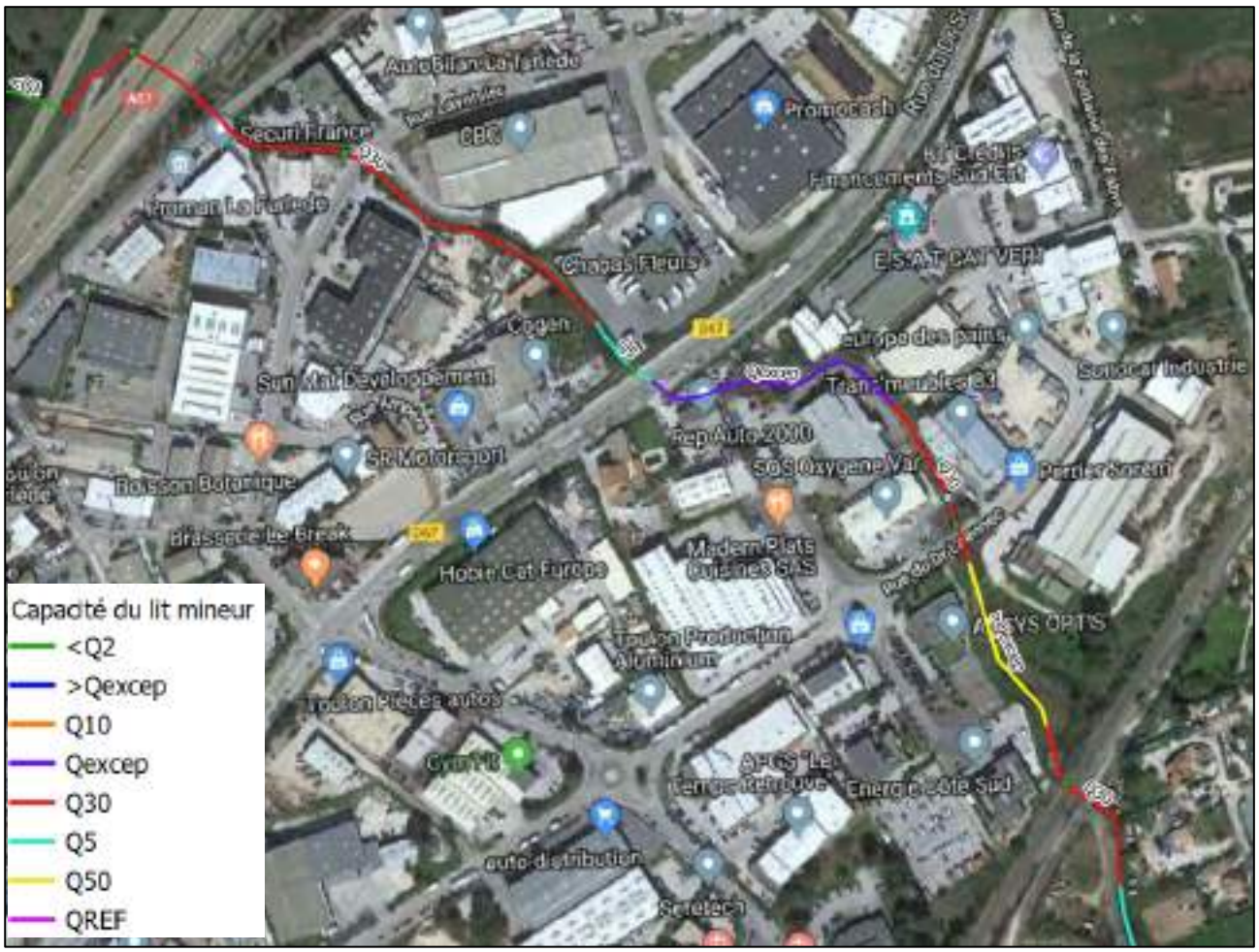



**Figure 116 : Capacité du Lambert – La Farlède**

La traversée des zones agricoles jusqu'à la confluence avec l'Eygoutier se fait globalement avec une capacité inférieure à la crue biennale. Localement, le lit majeur est un peu plus haut et confère une capacité plus importante.

#### 4.4.1.3 Lambert 2

La majorité du Lambert 2 déborde dès la crue biennale. Sur quelques tronçons, les berges sont plus hautes et la capacité du lit mineur est supérieure à la crue biennale (notamment le tronçon en tête de branche).

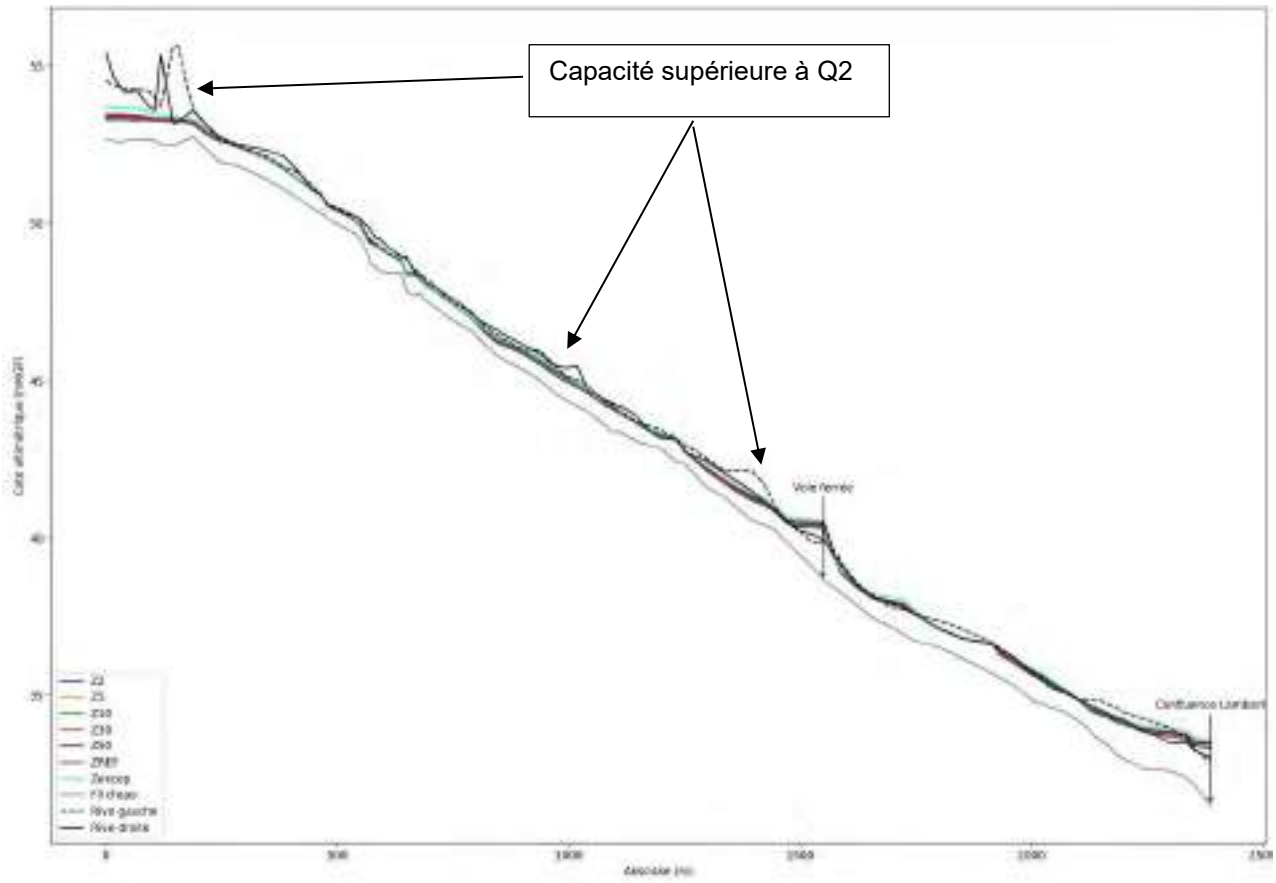



**Figure 117 : Profil en long Lambert 2**

#### 4.4.1.4 Lambert 3

En amont des deux voies ferrées, la capacité du lit mineur est assez importante (au moins jusqu'à la crue cinquantennale). En revanche, à partir de la voie ferrée et jusqu'à la confluence, la capacité est plus réduite (entre la crue biennale et la crue trentennale).

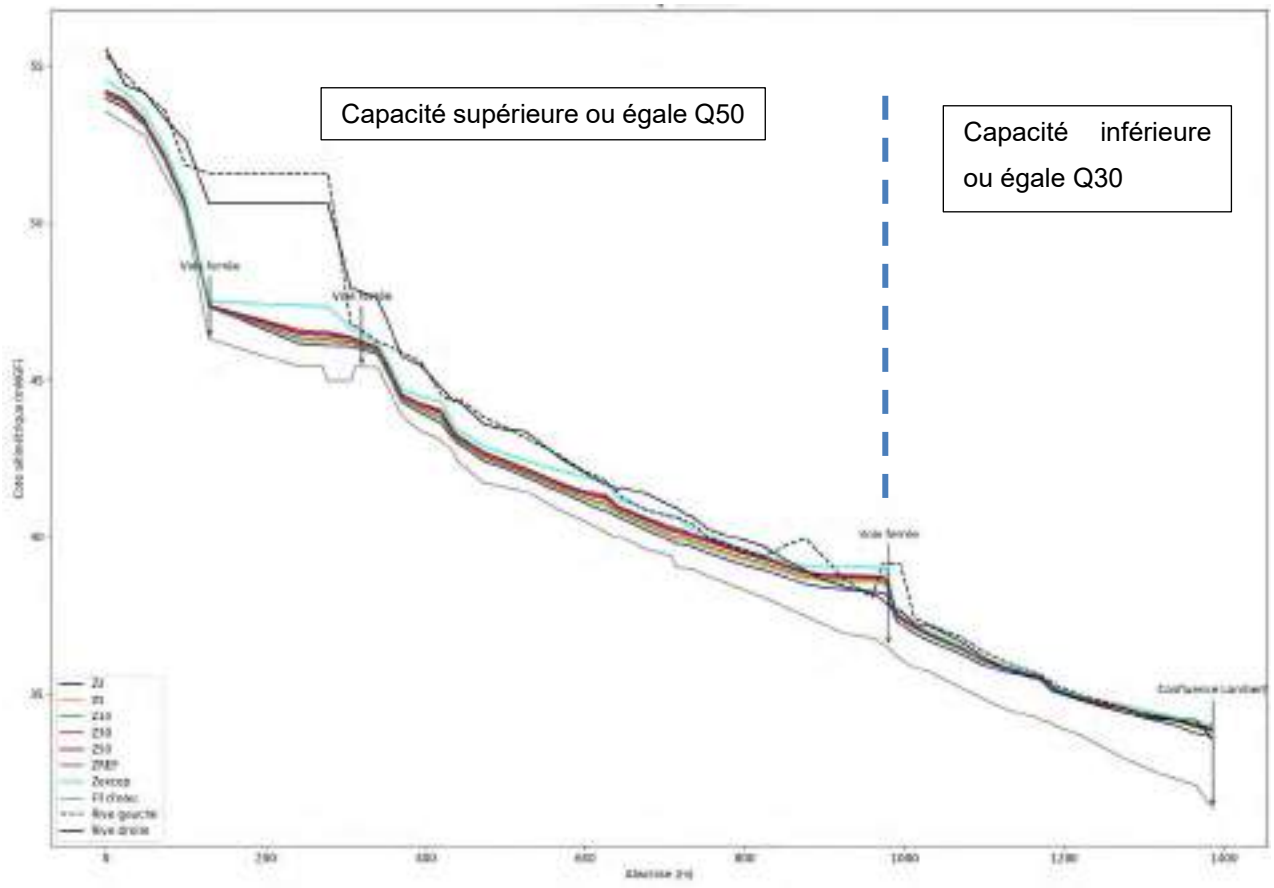



**Figure 118 : Profil en long Lambert 3**

#### 4.4.1.5 Lambert 4

Jusqu'à la crue quinquennale, il n'y a pas de débordement du Lambert 4 (hors influence aval du Lambert). En quelques points, les berges s'abaissent et on observe des débordements pour la crue décennale. Le reste du tronçon n'est pas débordant même pour la crue exceptionnelle.

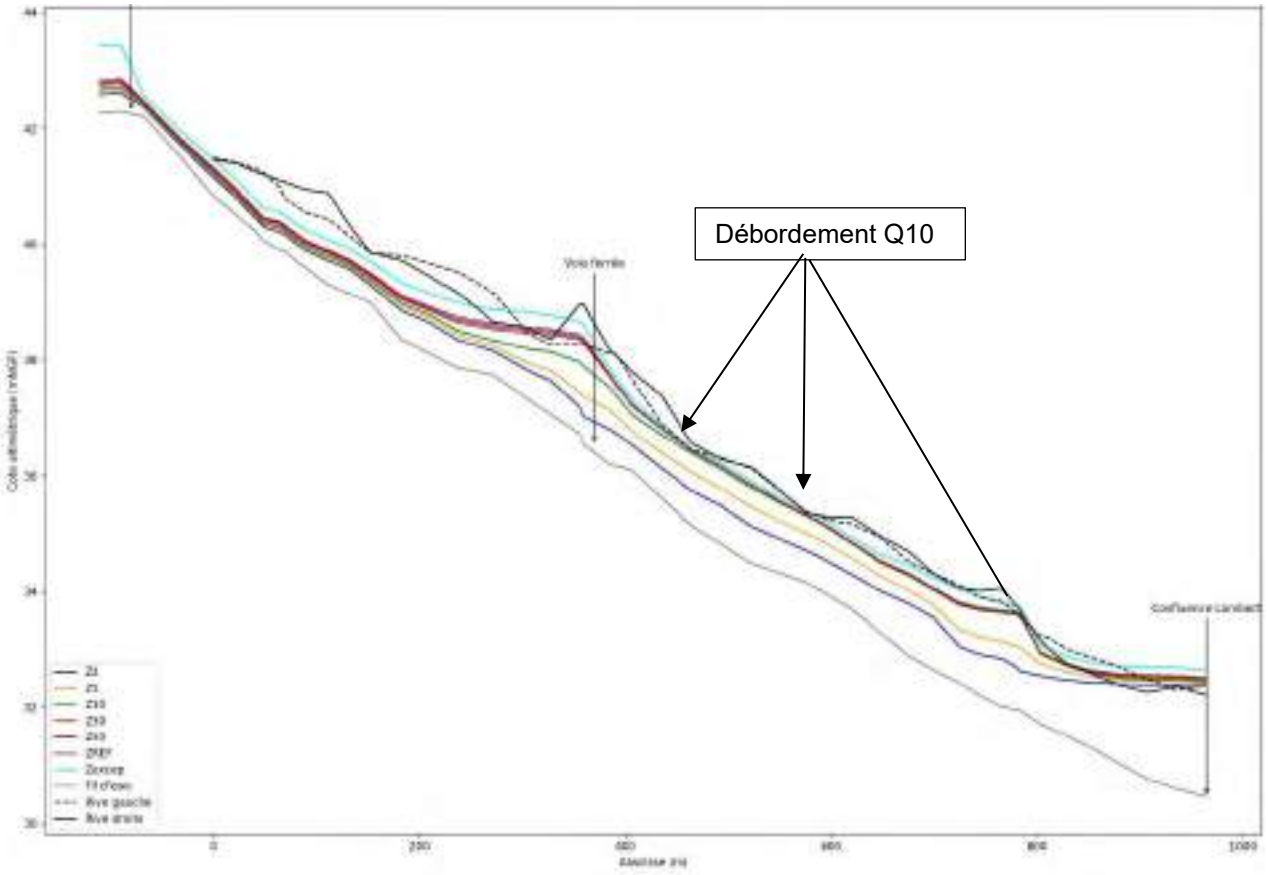



**Figure 119 : Profil en long Lambert 4**

### 4.4.1.6 Reganas

En amont de la RD67, la majorité des tronçons ne sont pas débordants en crue exceptionnelle. Il y a quelques secteurs ponctuels où les berges s'abaissent et le lit mineur se réduit. C'est pourquoi on observe quelques débordements dès la crue biennale.

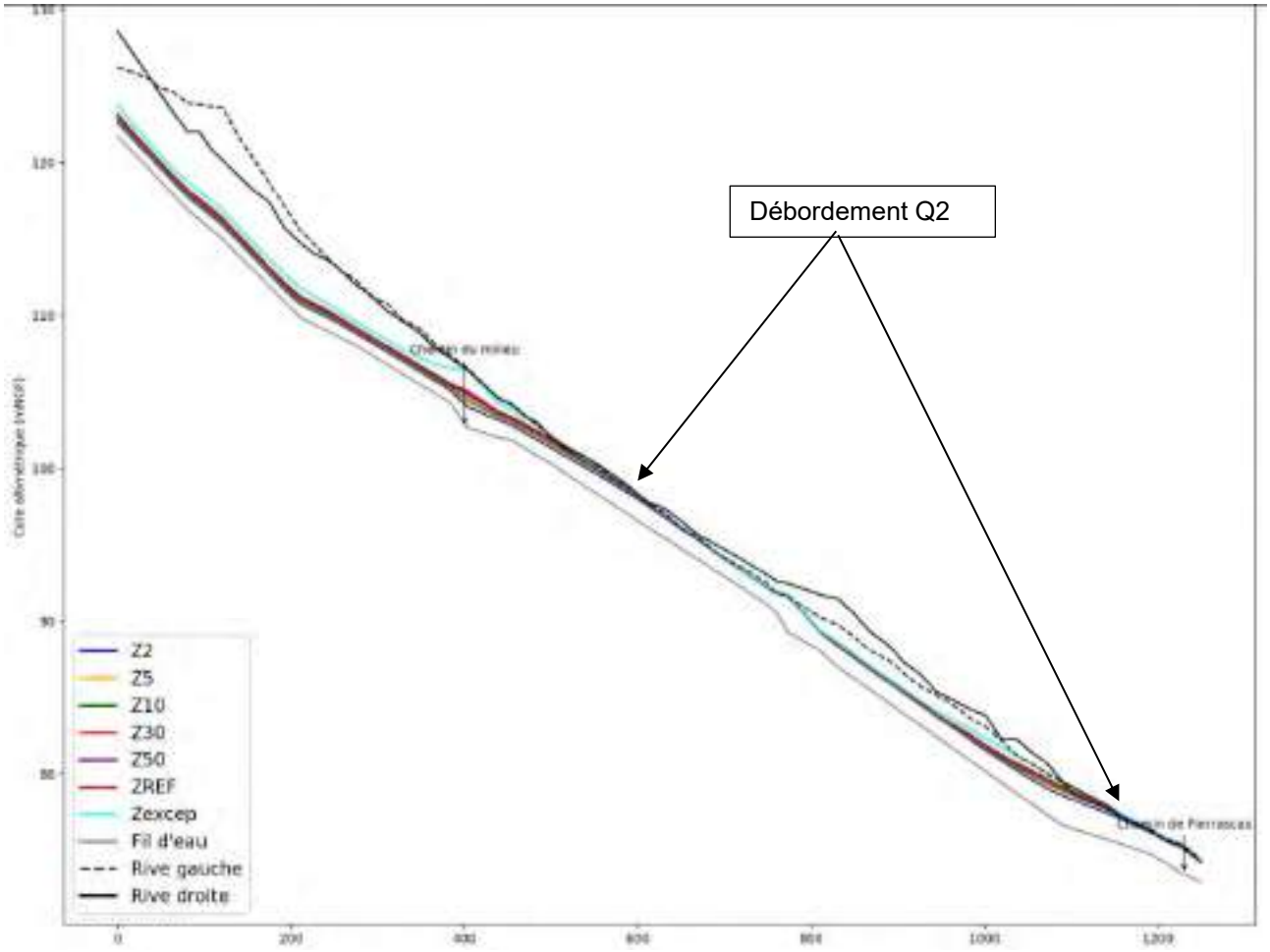



**Figure 120 : Profil en long du Lambert – La Farlède**

Plus en aval, la traversée de la zone d'activité de la Garde est moins homogène. Cela correspond à un secteur moins naturel, avec des recalibrages et des tronçons enterrés de capacité limitée…

Pour la crue biennale, la confluence Eygoutier / Reganas est en limite du plan d'eau. En revanche, pour la crue de référence, le plan d'eau remonte jusqu'à la confluence Reganas / Nouvel Eygoutier (soit environ 800 m).

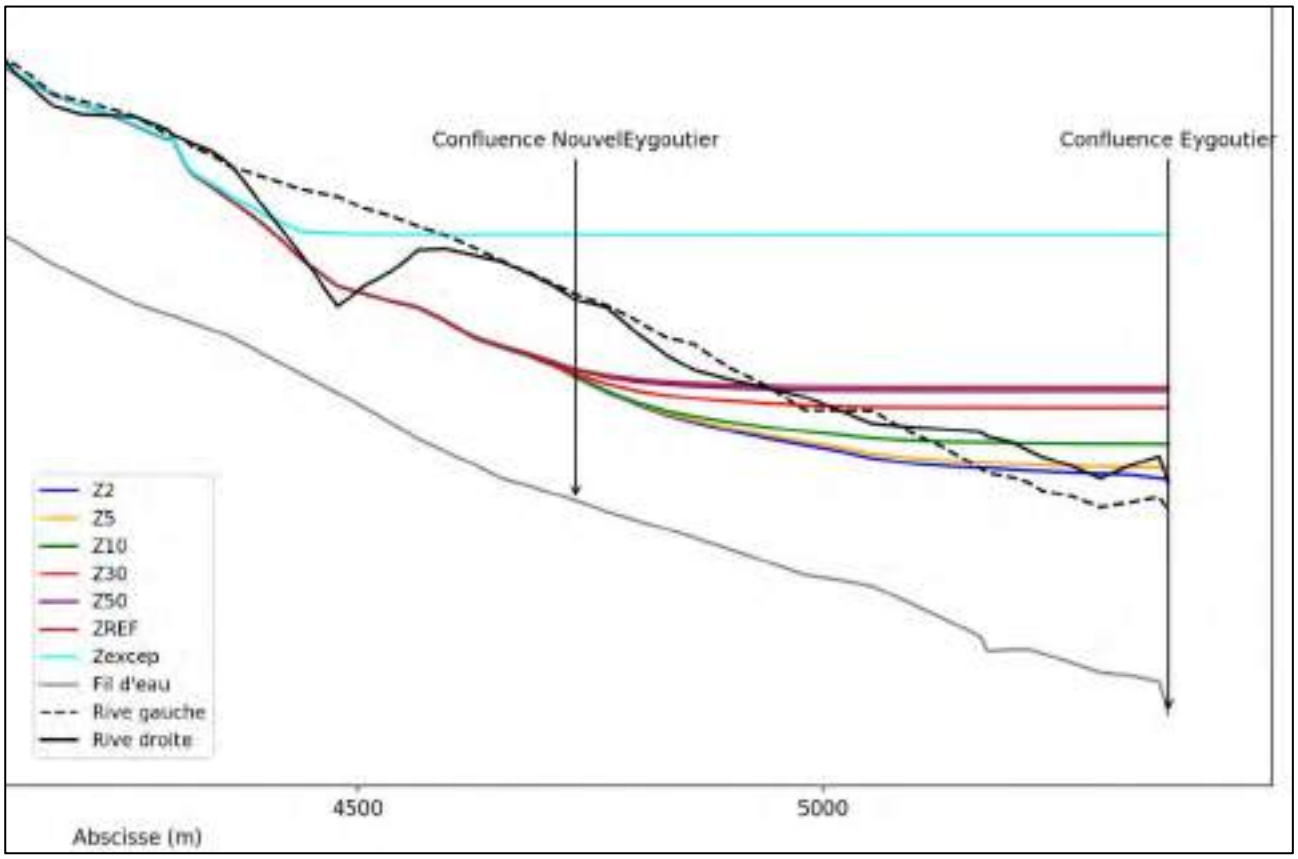



**Figure 121 : Profil en long du Lambert – La Garde**

### 4.4.1.7 Artaude

La majorité de l'Artaude et ses ouvrages hydrauliques ont une capacité inférieure à la crue biennale.

Seuls deux tronçons ont une plus grande capacité car les berges remontent localement, comme le montre le profil en long suivant.

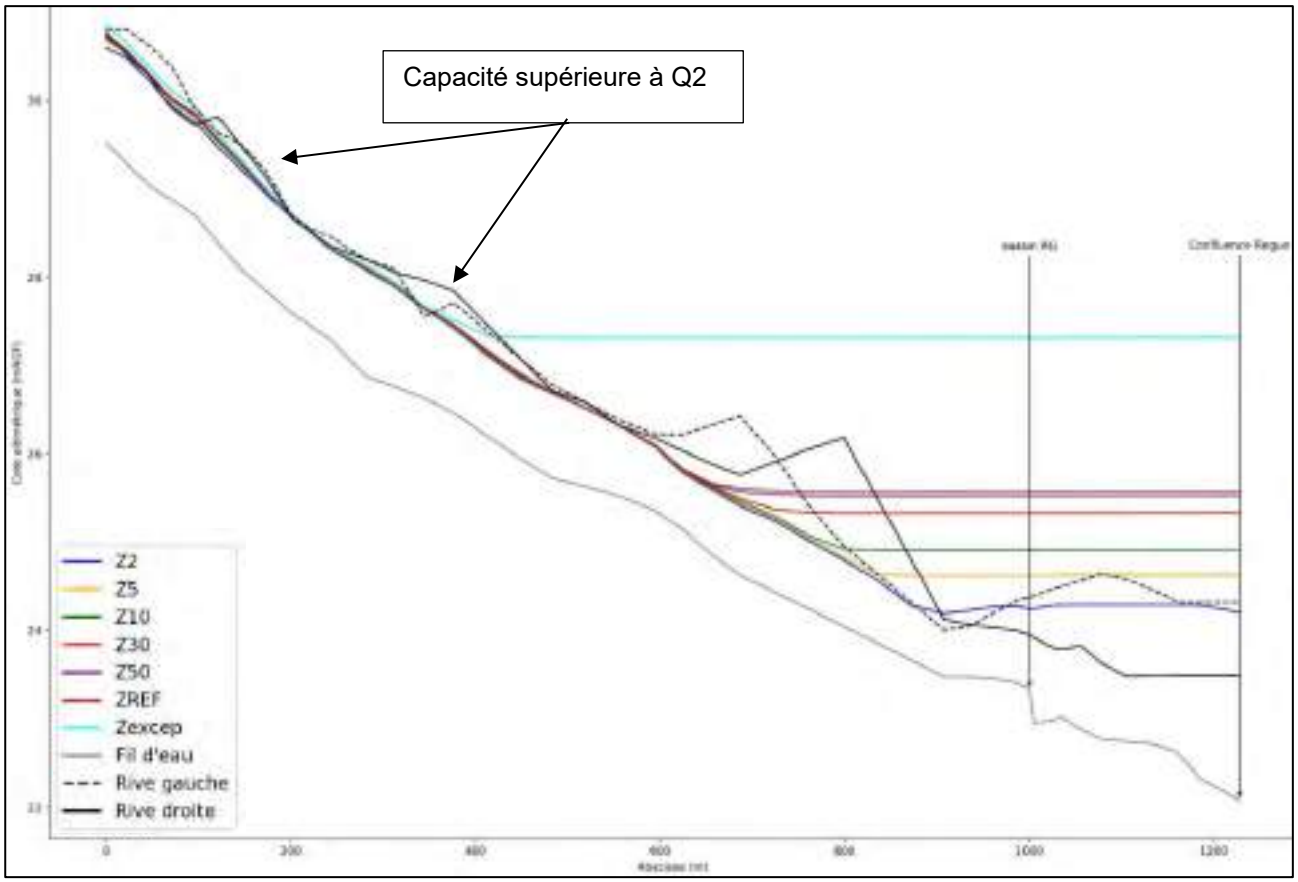



**Figure 122 : Profil en long Artaude**

En crue biennale, les 300 derniers mètres sont noyés par le plan d'eau. En revanche en crue exceptionelle, l'influence du plan d'eau remonte sur 800 m.

#### 4.4.1.8 Règue

Le début et la fin de ce cours d'eau ont une capacité inférieure à la crue biennale. Le tronçon intermédiaire alterne localement avec des capacités plus importantes (Q30 sur 130 m et Q50 sur 250 m).

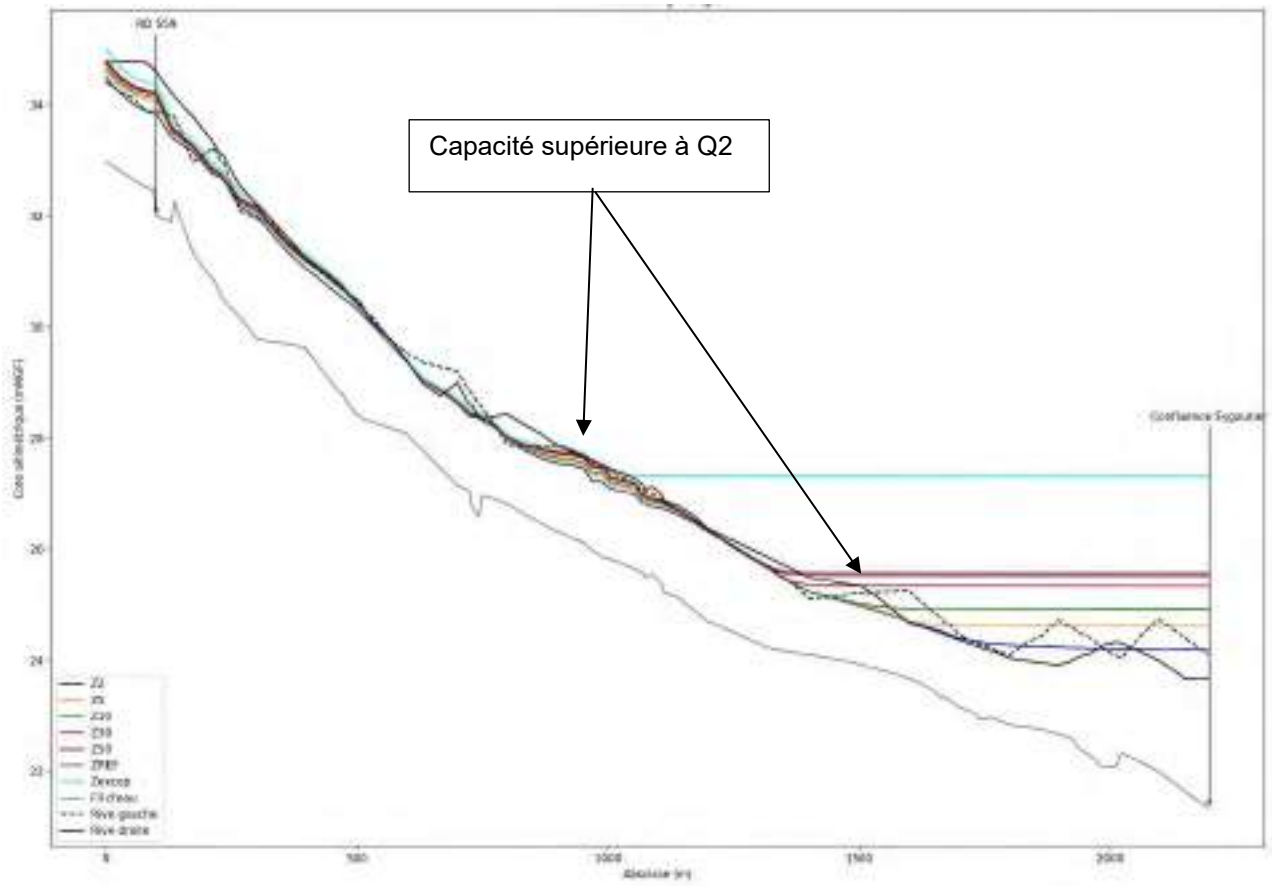



**Figure 123 : Profil en long de la Règue**

En crue biennale, les 300 derniers mètres sont noyés par le plan d'eau. En revanche, en crue exceptionelle, l'influence du plan d'eau remonte sur 1.1 km.

### 4.4.2 MODELE AVAL – PLUIE COURTE (2H)

#### 4.4.2.1 Eygoutier

La capacité du lit mineur n'est pas très homogène sur le secteur aval de l'Eygoutier. La capacité la plus faible (inférieure à la crue biennale) se situe en amont du Tunnel A57. Entre le pont de la Clue et la confluence du St Joseph, les tronçons alternent de la crue quinquennale à la crue exceptionnelle.

A l'aval de l'A57, l'Eygoutier est canalisé. La première partie a une capacité de l'ordre de la crue quinquennale, puis au niveau de l'avenue Pierre Loti, l'élargissement du cours d'eau permet de faire transiter la crue de référence avec uniquement de faibles débordements ponctuels.

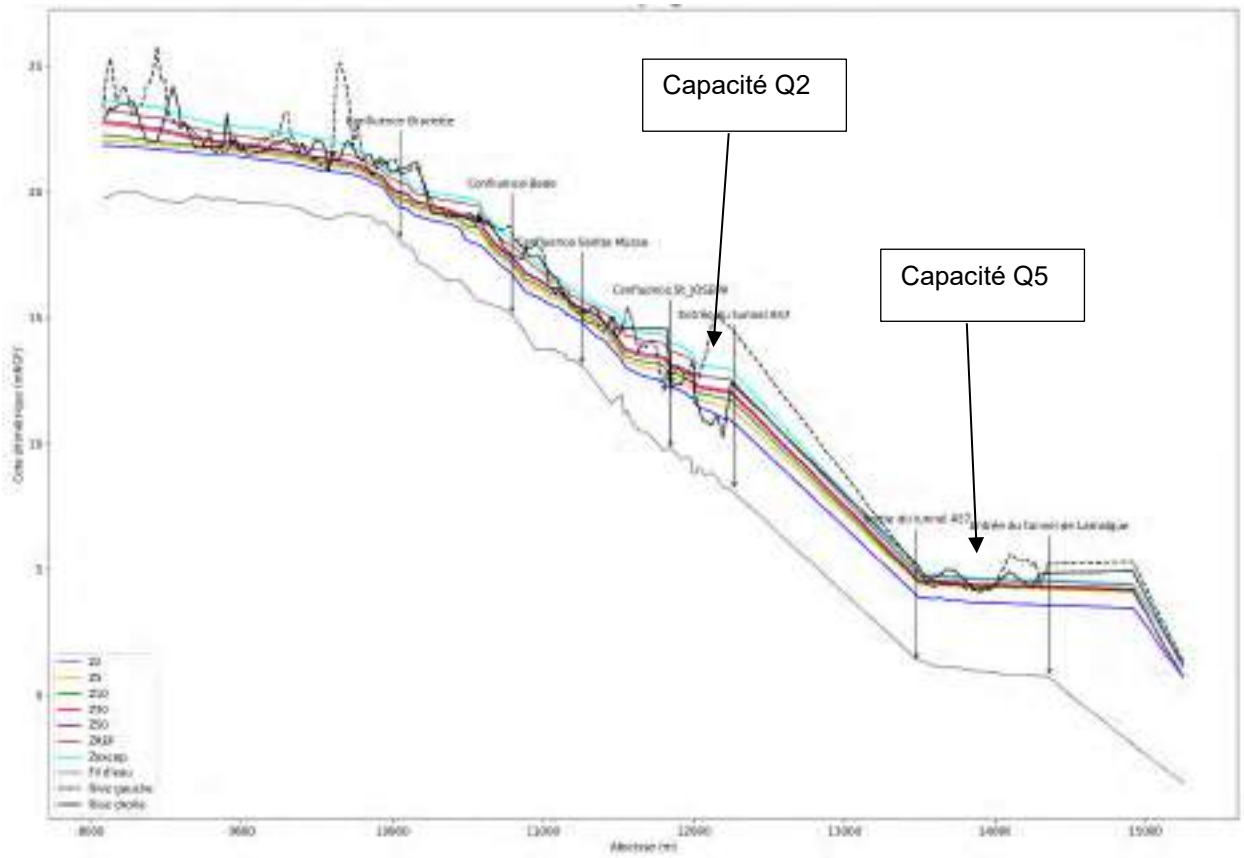



**Figure 124 : Profil en long de l'Eygoutier aval**

#### 4.4.2.2 La Bade

Jusqu'au chemin de la Brasserie, le lit mineur a une capacité de l'ordre de la crue de référence. Sur les 60 derniers mètres, la capacité est plutôt de l'ordre de la crue quinquennale.

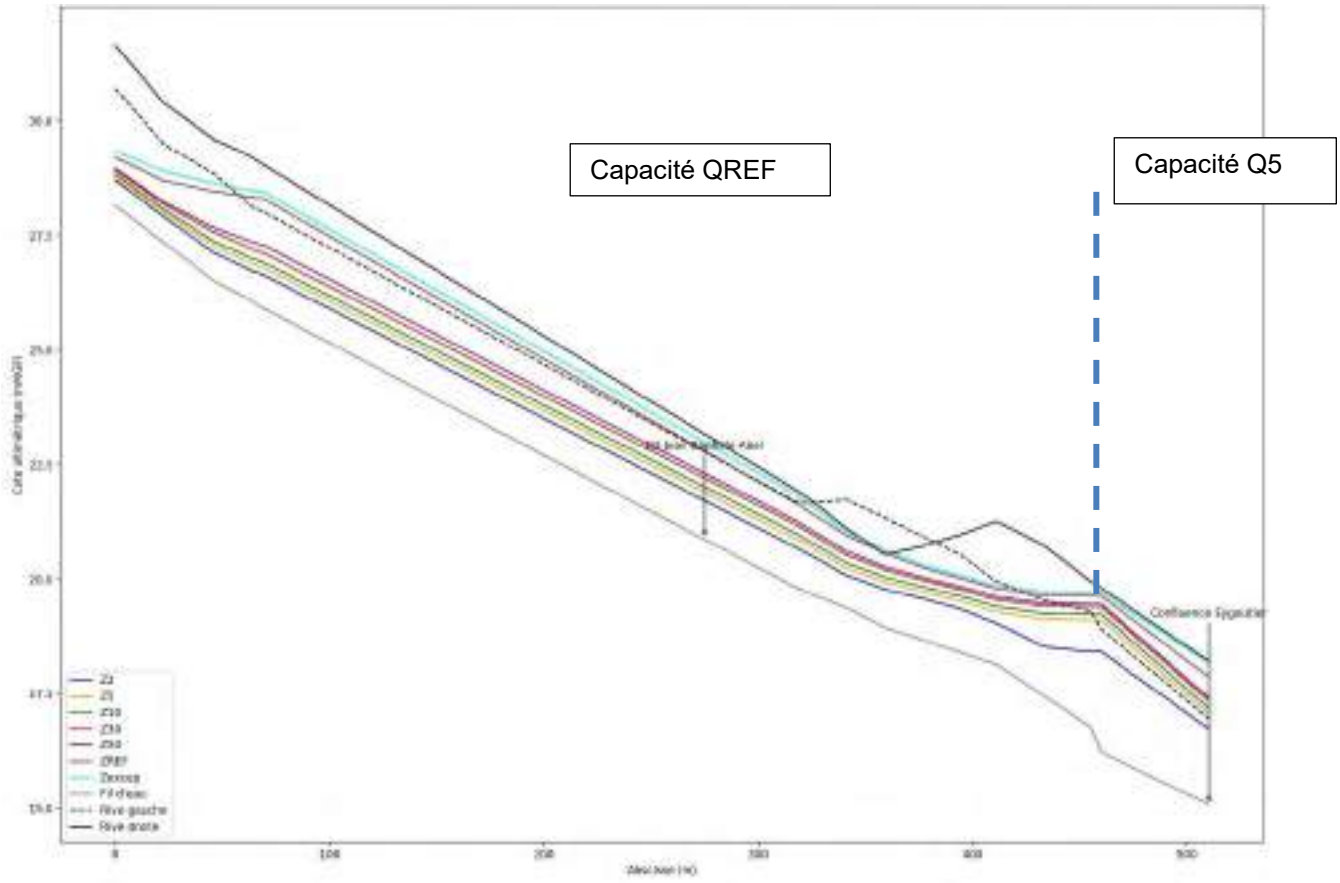



**Figure 125 : Profil en long de la Bade**

#### 4.4.2.3 La Brunette

Dès la crue biennale, plusieurs tronçons débordent (notamment sur la partie aval). Localement, les berges remontent et permettent de faire transiter la crue de référence sans débordement.




**Figure 126 : Capacité de la Brunette**

#### 4.4.2.4 Ste Musse

Ce cours d'eau possède cinq bassins sur le linéaire étudié. Ces aménagements lui confèrent une capacité importante sur la majorité de son linéaire. L'ouvrage de traversée sous le vieux chemin de Ste Musse a une capacité inférieure à la crue biennale. C'est pourquoi on observe des débordements dans ce secteur pour une crue biennale. A part deux tronçons de capacité trentennale, le reste du tronçon ne déborde qu'à partir de la crue de référence.

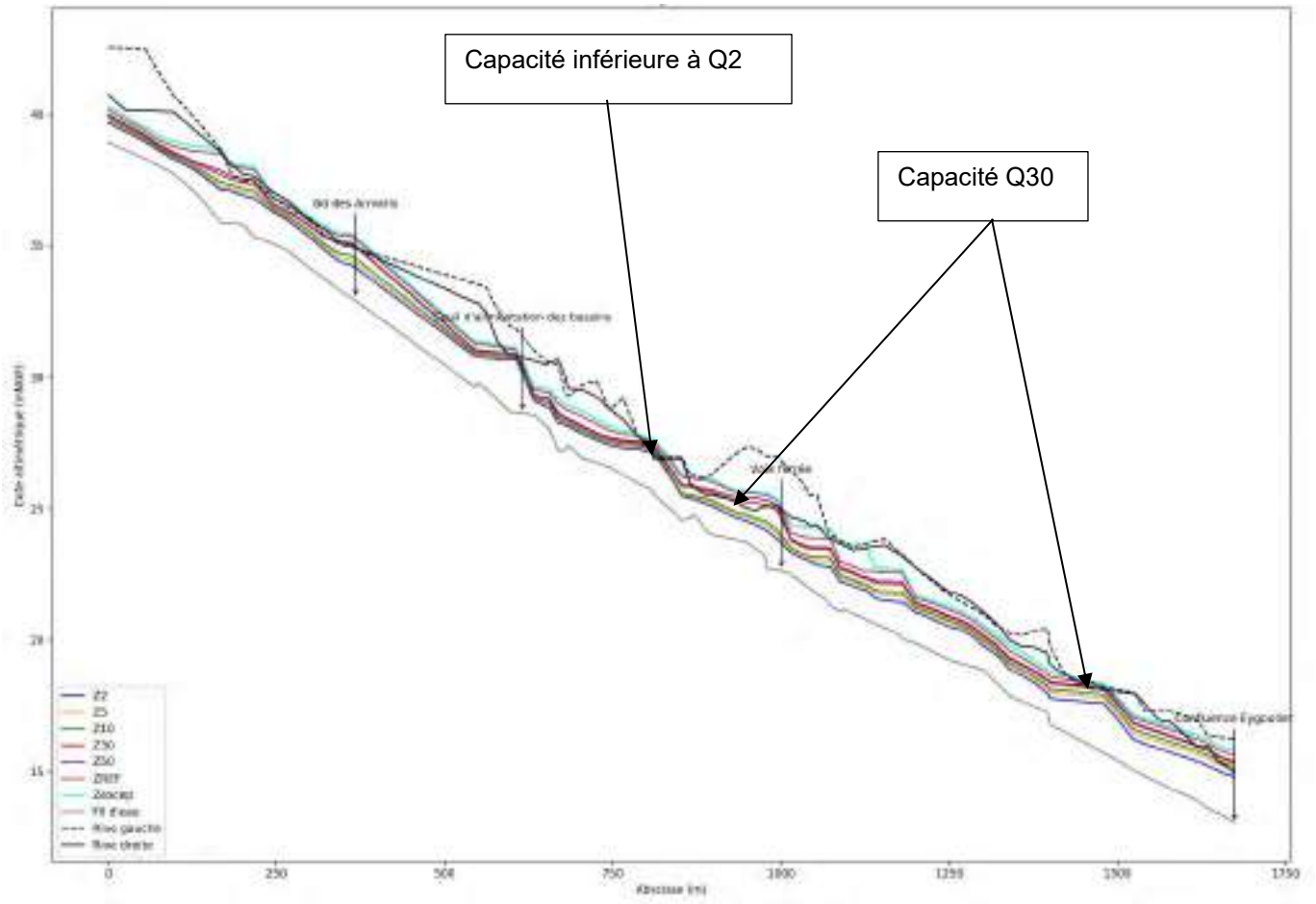



**Figure 127 : Profil en long Ste Musse**

### 4.4.2.5 St Joseph

La majorité du linéaire étudié est débordant dès la crue biennale. A l'aval du seuil, un tronçon de 50 m a une capacité plus importante (crue exceptionnelle).

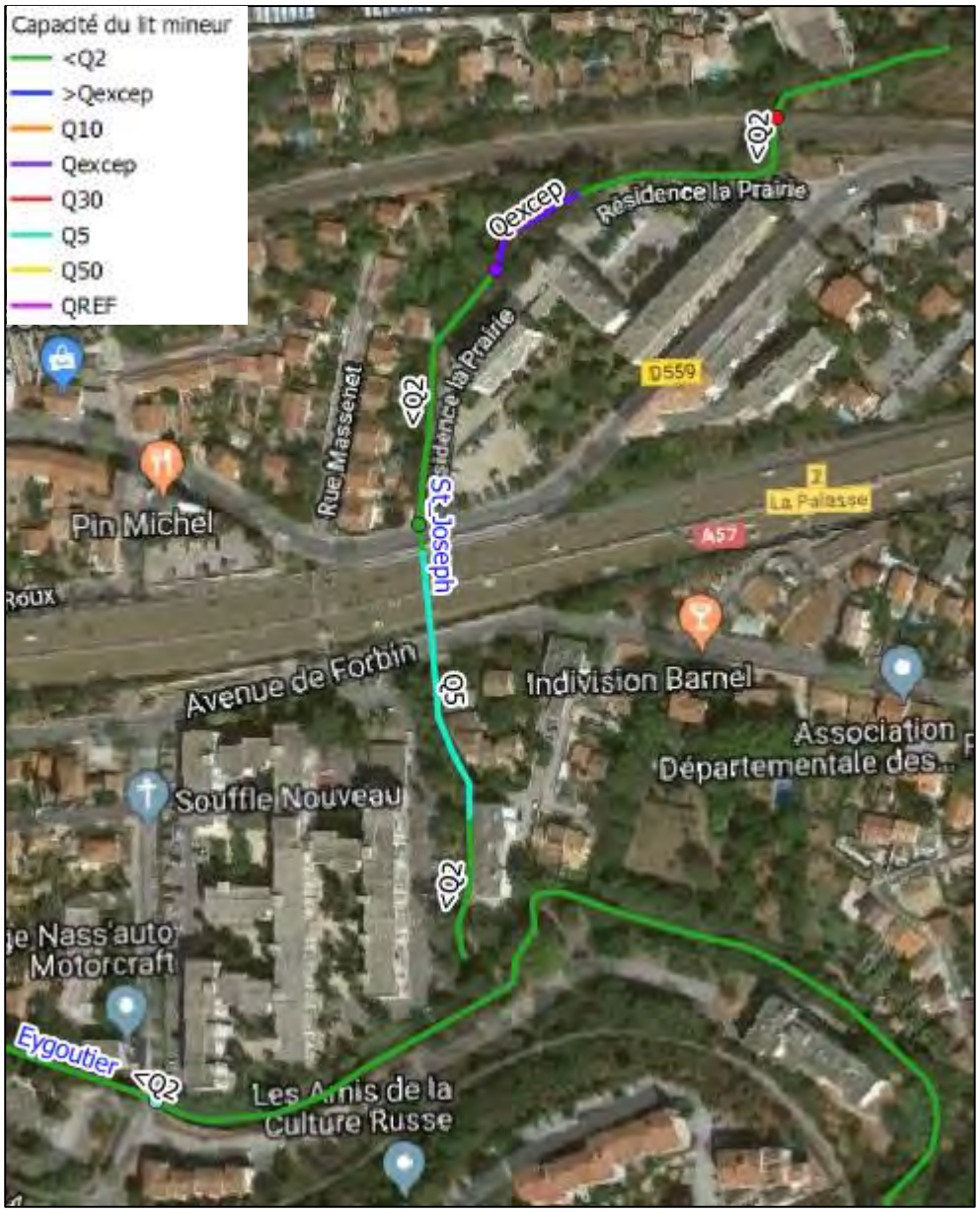



**Figure 128 : Capacité du St Joseph**

# 5 CONCLUSION

Le diagnostic de l'état actuel permet de mieux comprendre la dynamique des écoulements sur l'ensemble du bassin versant de l'Eygoutier. L'étude des sept occurrences de crues (de la crue biennale à la crue exceptionnelle) donne une idée de la fréquence d'inondation des différents secteurs.

L'analyse des différentes pluies identifie les secteurs qui réagissent plutôt pour une crue longue et ceux pour qui les crues courtes sont les plus contraignantes. Ainsi, pour la crue de référence on obtient :

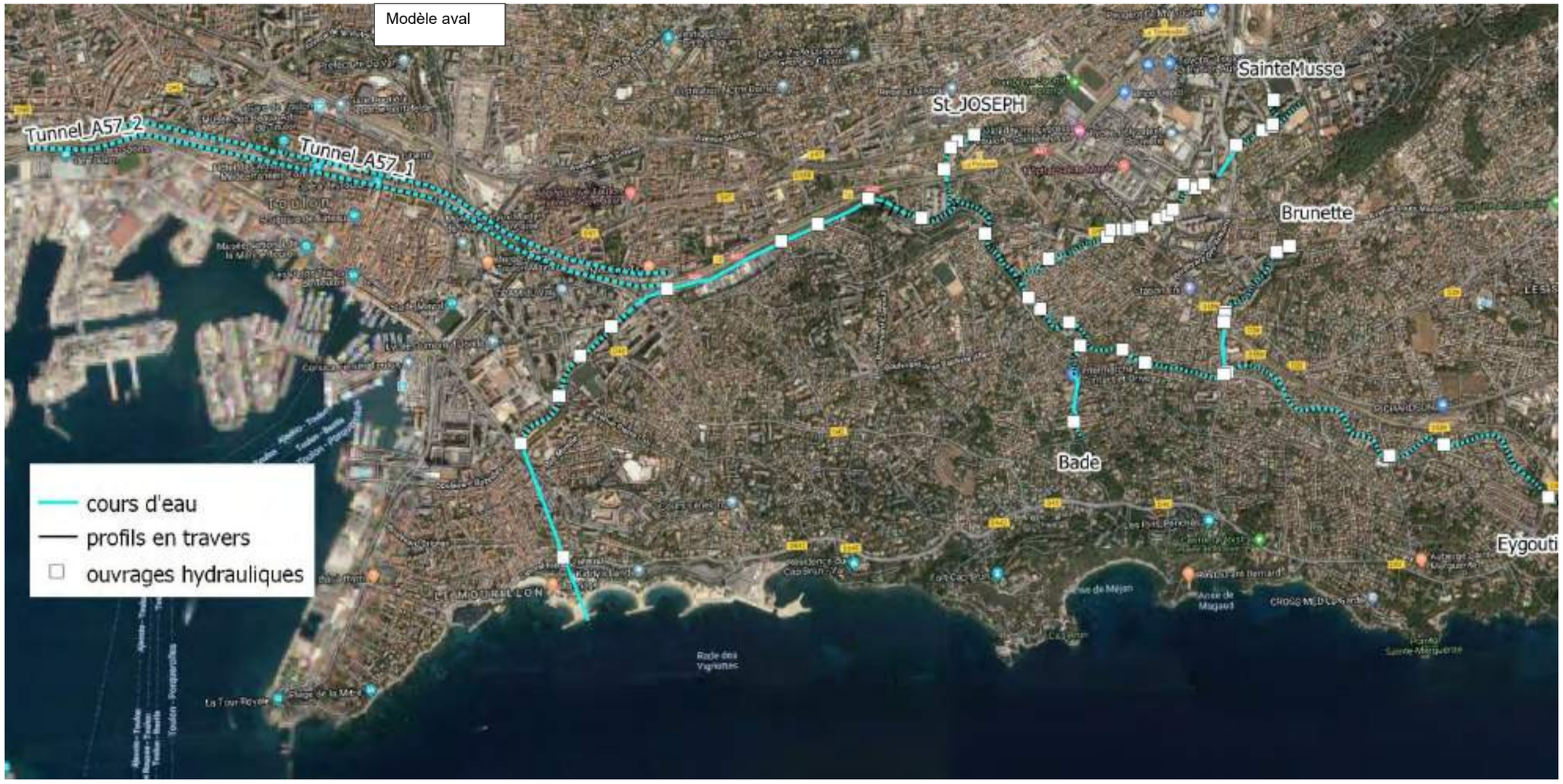
- La pluie de type 2 – longue, est plus forte sur le bassin versant amont, (excepté l'Artaude amont) et sur l'Eygoutier aval,
- La pluie de type 3 - courte, est plus forte pour les affluents aval, le St Joseph et la Planquette, dont les bassins versants ont un temps de réponse plus court.

En termes de capacité, on peut noter la faible capacité du secteur du Plan qui est noyé dès la crue biennale. Les nombreuses infrastructures routières en remblais (voie ferrée, autoroutes…) ont une incidence importante sur les mécanismes d'écoulements. Certains débordements sont ainsi détournés de leur cheminement naturel (comme par exemple sur le St Joseph).

Le rétrécissement topographique naturel du pont de la Clue permet d'avoir un effet tampon, qui diminue le débit traversant la ville de Toulon. En revanche, cette section de contrôle génère un plan d'eau qui fait déjà près de 3 km² pour une crue biennale.

# 6 ANNEXES

## 6.1 VUE EN PLAN DES MODELES 1D



Modèle amont

cours d'eau
profils en travers
ouvrages hydrauliques

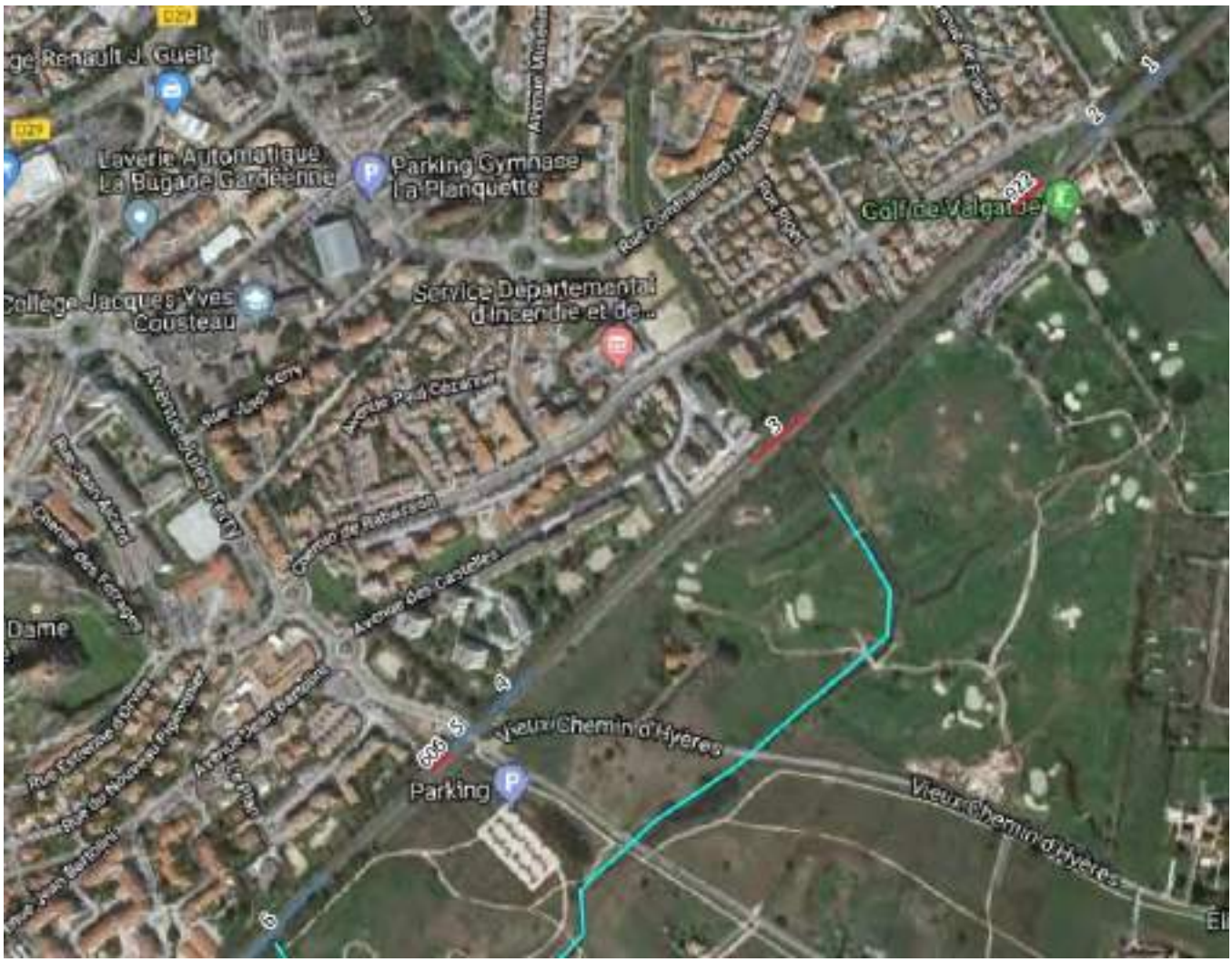
Lambert
Lambert2
Lambert3
Lambert4
Reganas
Eygoutier
Planquette
NouvelEygoutier
Artaude
Regue

Zoom sur le Parc Nature

## 6.2 DEBITS DE SORTIE DU MODELE PLANQUETTE

| Sorties | Q2 | Q5 | Q10 | Q20 | Qexcep |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 2.6 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 |
| link 922 | 4.6 | 5.7 | 6.2 | 6.5 | 8.3 |
| 3 | 14.1 | 15.7 | 16.5 | 17.1 | 35.3 |
| 4 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 4.6 |
| 5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.6 |
| 6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.9 |
| link 605 | 3.6 | 5.3 | 5.8 | 5.9 | 13.2 |
| **Somme** | **23.0** | **27.7** | **30.0** | **31.2** | **87.8** |

| Sorties | Q2 | Q5 | Q10 | Q20 | Qexcep |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2% | 3% | 3% | 3% | 3% |
| 2 | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% |
| link 922 | 20% | 20% | 21% | 21% | 9% |
| 3 | 61% | 57% | 55% | 55% | 40% |
| 4 | 1% | 1% | 2% | 2% | 5% |
| 5 | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% |
| 6 | 0% | 0% | 0% | 0% | 23% |
| link 605 | 16% | 19% | 19% | 19% | 15% |


Renault J. Gueit
Laverie Automatique La Bugade Gardéenne
Parking Gymnase La Planquette
Golf de Valgarde
Collège Jacques-Yves Cousteau
Service Départemental d'Incendie et de...
Dame
Parking
Vieux Chemin d'Hyères

## 6.3 RESULTATS DU MODELE HYDROLOGIQUE

### 6.3.1 PLUIES COURTES - TYPE 3

| SBV | Q2_type3 (m³/s) | Q5_type3 (m³/s) | Q10_type3 (m³/s) | Q50_type3 (m³/s) | Q100_type3 (m³/s) | Qref_type3 (m³/s) | QEXCEP_type3 (m³/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.0 | 2.7 | 3.2 | 4.5 | 5.1 | 7.1 | 9.1 |
| 2 | 1.4 | 1.9 | 2.3 | 3.2 | 3.7 | 5.1 | 6.6 |
| 3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 1.2 | 1.4 | 1.9 | 2.5 |
| 4 | 4.2 | 5.7 | 6.8 | 9.6 | 10.8 | 15.1 | 19.5 |
| 5 | 1.3 | 1.7 | 2.0 | 2.9 | 3.3 | 4.6 | 5.9 |
| 6 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 1.5 | 1.9 |
| 7 | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 2.2 | 2.5 | 3.5 | 4.5 |
| 8 | 0.9 | 1.3 | 1.5 | 2.1 | 2.4 | 3.4 | 4.4 |
| 9 | 1.0 | 1.4 | 1.6 | 2.3 | 2.6 | 3.7 | 4.7 |
| 10 | 3.3 | 4.5 | 5.3 | 7.5 | 8.5 | 11.9 | 15.3 |
| 11 | 1.7 | 2.3 | 2.8 | 3.9 | 4.4 | 6.2 | 8.0 |
| 12 | 5.3 | 7.2 | 8.6 | 12.1 | 13.7 | 19.3 | 24.6 |
| 13 | 2.0 | 2.7 | 3.3 | 4.6 | 5.2 | 7.3 | 9.3 |
| 14 | 3.7 | 5.0 | 5.9 | 8.4 | 9.4 | 13.3 | 17.0 |
| 15 | 1.8 | 2.4 | 2.9 | 4.1 | 4.6 | 6.5 | 8.3 |
| 16 | 1.8 | 2.5 | 2.9 | 4.1 | 4.7 | 6.6 | 8.4 |
| 17 | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 2.3 | 2.6 | 3.6 | 4.6 |
| 18 | 1.4 | 1.9 | 2.3 | 3.3 | 3.7 | 5.1 | 6.6 |
| 19 | 1.9 | 2.5 | 3.0 | 4.2 | 4.8 | 6.7 | 8.6 |
| 20 | 2.4 | 3.3 | 3.9 | 5.5 | 6.2 | 8.7 | 11.1 |
| 21 | 4.2 | 5.6 | 6.7 | 9.5 | 10.7 | 15.0 | 19.3 |
| 22 | 8.2 | 11.1 | 13.2 | 18.7 | 21.1 | 29.8 | 38.0 |
| 23 | 1.0 | 1.4 | 1.6 | 2.3 | 2.6 | 3.7 | 4.7 |
| 24 | 2.5 | 3.3 | 4.0 | 5.6 | 6.3 | 8.8 | 11.3 |
| 25 | 3.1 | 4.2 | 4.9 | 7.0 | 7.9 | 11.1 | 14.2 |
| 26 | 3.1 | 4.1 | 4.9 | 7.0 | 7.9 | 11.1 | 14.2 |
| 27 | 2.5 | 3.4 | 4.1 | 5.7 | 6.5 | 9.1 | 11.7 |
| 28 | 4.3 | 5.8 | 7.0 | 9.8 | 11.1 | 15.6 | 20.0 |
| 29 | 4.5 | 6.1 | 7.2 | 10.2 | 11.6 | 16.3 | 20.8 |
| 30 | 2.6 | 3.6 | 4.2 | 6.0 | 6.7 | 9.5 | 12.1 |
| 31 | 3.0 | 4.0 | 4.8 | 6.8 | 7.7 | 10.7 | 13.8 |
| 32 | 4.4 | 5.9 | 7.1 | 10.0 | 11.3 | 15.9 | 20.4 |
| 33 | 6.9 | 9.3 | 11.1 | 15.7 | 17.7 | 24.9 | 31.9 |
| 34 | 2.4 | 3.2 | 3.9 | 5.4 | 6.1 | 8.6 | 11.0 |
| 35 | 1.7 | 2.3 | 2.7 | 3.8 | 4.3 | 6.0 | 7.7 |
| 36 | 1.2 | 1.7 | 2.0 | 2.8 | 3.2 | 4.5 | 5.8 |
| 37 | 5.1 | 6.9 | 8.2 | 11.5 | 13.0 | 18.3 | 23.5 |

| SBV | Q2_type3 (m³/s) | Q5_type3 (m³/s) | Q10_type3 (m³/s) | Q50_type3 (m³/s) | Q100_type3 (m³/s) | Qref_type3 (m³/s) | QEXCEP_type3 (m³/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **38** | 1.8 | 2.5 | 3.0 | 3.0 | 4.7 | 6.6 | 8.5 |
| **39** | 5.0 | 6.8 | 8.1 | 11.5 | 13.0 | 18.3 | 23.3 |
| **40** | 3.0 | 4.0 | 4.8 | 6.7 | 7.6 | 10.7 | 13.7 |
| **41** | 2.7 | 3.6 | 4.3 | 6.1 | 6.9 | 9.7 | 12.4 |
| **42** | 1.9 | 2.6 | 3.1 | 4.4 | 5.0 | 7.0 | 9.0 |
| **43** | 1.0 | 1.4 | 1.6 | 2.3 | 2.6 | 3.6 | 4.7 |
| **44** | 1.9 | 2.6 | 3.1 | 4.4 | 4.9 | 6.9 | 8.9 |
| **45** | 0.8 | 1.1 | 1.3 | 1.8 | 2.0 | 2.8 | 3.7 |
| **46** | 2.1 | 2.8 | 3.4 | 4.8 | 5.4 | 7.5 | 9.7 |
| **47** | 1.2 | 1.6 | 1.9 | 2.7 | 3.1 | 4.3 | 5.5 |
| **48** | 1.5 | 2.0 | 2.4 | 3.4 | 3.8 | 5.4 | 6.9 |
| **49** | 1.0 | 1.4 | 1.6 | 2.3 | 2.6 | 3.6 | 4.6 |
| **50** | 1.2 | 1.7 | 2.0 | 2.8 | 3.1 | 4.3 | 5.6 |
| **51** | 3.1 | 4.2 | 5.1 | 7.1 | 8.1 | 11.3 | 14.5 |
| **52** | 2.5 | 3.4 | 4.0 | 5.7 | 6.4 | 9.0 | 11.5 |
| **53** | 12.2 | 16.5 | 16.5 | 27.8 | 31.4 | 44.1 | 56.5 |
| **54** | 1.4 | 1.8 | 1.8 | 3.1 | 3.5 | 4.9 | 6.3 |
| **55** | 3.1 | 4.2 | 5.0 | 7.1 | 8.0 | 11.1 | 14.4 |
| **56** | 2.7 | 3.6 | 4.3 | 6.0 | 6.8 | 9.6 | 12.3 |
| **57** | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.8 | 3.1 | 4.4 | 5.6 |
| **58** | 5.1 | 6.8 | 8.1 | 11.5 | 13.0 | 18.1 | 23.4 |
| **59** | 2.9 | 3.9 | 4.7 | 6.6 | 7.5 | 10.5 | 13.5 |
| **60** | 2.2 | 3.0 | 3.6 | 5.1 | 5.8 | 8.1 | 10.4 |
| **61** | 2.1 | 2.9 | 3.5 | 4.9 | 5.5 | 7.7 | 9.9 |
| **62** | 0.8 | 1.1 | 1.3 | 1.8 | 2.1 | 2.9 | 3.7 |
| **63** | 1.8 | 2.5 | 3.0 | 4.2 | 4.7 | 6.6 | 8.5 |
| **64** | 1.6 | 2.2 | 2.6 | 3.7 | 4.2 | 5.9 | 7.5 |
| **65** | 13.0 | 17.6 | 21.0 | 29.6 | 33.4 | 46.8 | 60.2 |
| **66** | 4.3 | 5.8 | 6.9 | 9.7 | 11.0 | 15.3 | 19.7 |
| **67** | 1.5 | 2.0 | 2.3 | 3.3 | 3.7 | 5.2 | 6.7 |
| **68** | 2.2 | 3.0 | 3.6 | 5.1 | 5.7 | 8.0 | 10.3 |
| **69** | 1.4 | 1.9 | 2.3 | 3.2 | 3.7 | 5.1 | 6.6 |
| **70** | 6.0 | 8.1 | 9.6 | 13.6 | 15.4 | 21.7 | 27.7 |
| **71** | 1.6 | 2.1 | 2.5 | 3.5 | 4.0 | 5.6 | 7.2 |
| **72** | 2.5 | 3.3 | 4.0 | 5.6 | 6.3 | 8.8 | 11.4 |
| **73** | 3.6 | 4.9 | 5.9 | 8.3 | 9.3 | 13.1 | 16.8 |
| **74** | 3.3 | 4.5 | 5.4 | 7.6 | 8.6 | 12.0 | 15.4 |
| **75** | 2.4 | 3.2 | 3.8 | 5.4 | 6.1 | 8.5 | 10.9 |
| **76** | 5.0 | 6.8 | 8.1 | 11.4 | 12.9 | 18.0 | 23.2 |

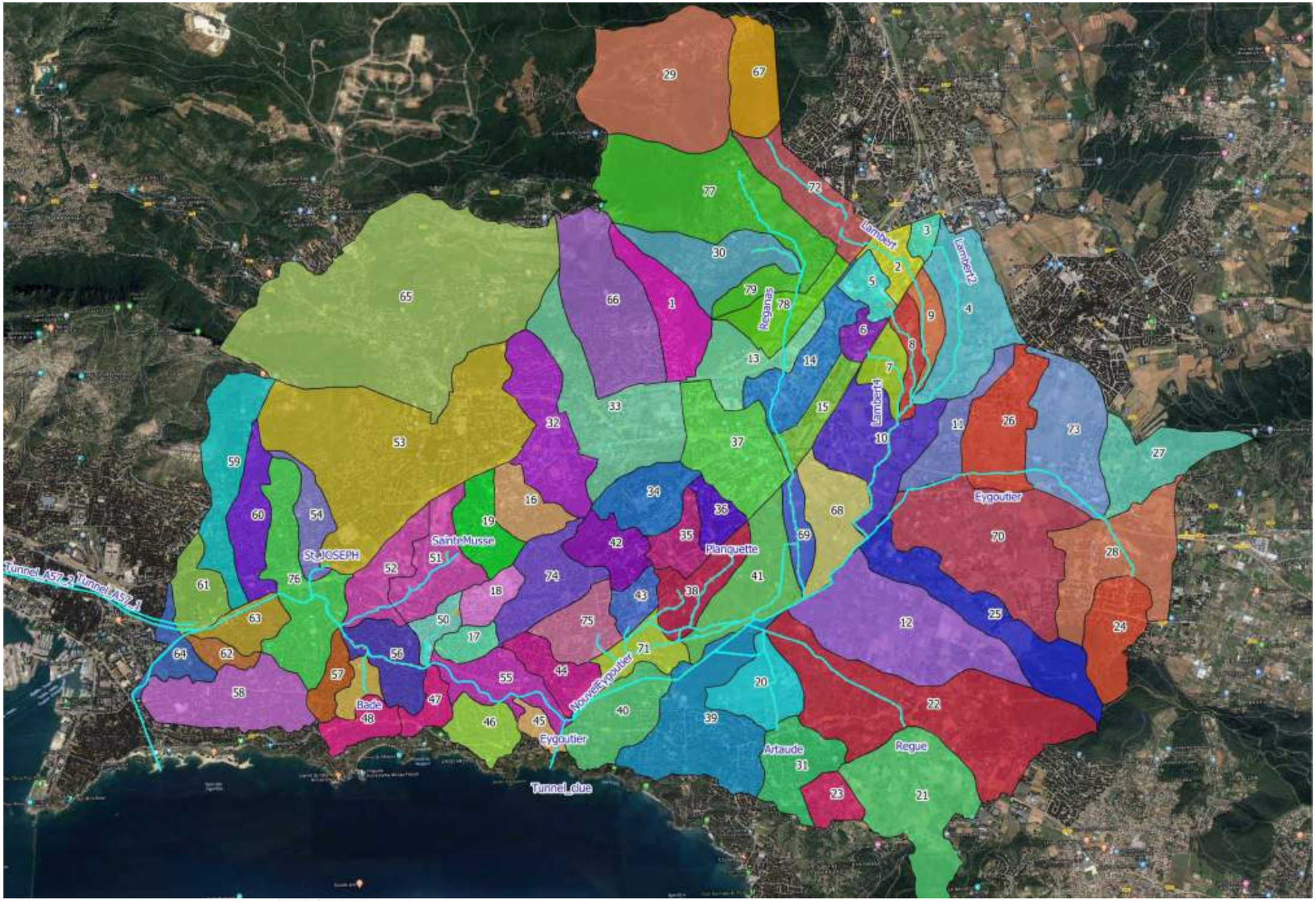
| SBV | Q2_type3 (m³/s) | Q5_type3 (m³/s) | Q10_type3 (m³/s) | Q50_type3 (m³/s) | Q100_type3 (m³/s) | Qref_type3 (m³/s) | QEXCEP_type3 (m³/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 77 | 4.9 | 6.7 | 8.0 | 11.2 | 12.7 | 17.8 | 22.8 |
| 78 | 1.5 | 2.0 | 2.4 | 3.3 | 3.8 | 5.3 | 6.8 |
| 79 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 1.6 | 1.8 | 2.5 | 3.2 |
| planquette | 26.0 | 35.1 | 41.9 | 59.2 | 66.9 | 93.6 | 120.4 |
| st joseph | 25.9 | 34.9 | 38.3 | 58.8 | 66.5 | 93.6 | 119.7 |
| planquette_3 | 15.6 | 21.1 | 25.2 | 35.5 | 40.1 | 56.2 | 72.2 |
| planquette_922 planquette_606 | 5.2 | 7.0 | 8.4 | 11.8 | 13.4 | 18.7 | 24.1 |

### 6.3.2 PLUIES LONGUES - TYPE 2

| SBV | Q2_24h | Q5_24h | Q10_24h | Q50_24h | Q100_24h | QEXCEP_24h |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.3 | 3.1 | 3.6 | 4.9 | 5.4 | 9.6 |
| 2 | 0.9 | 1.2 | 1.4 | 1.8 | 2.0 | 3.6 |
| 3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 1.6 |
| 4 | 4.2 | 5.5 | 6.4 | 8.8 | 9.6 | 17.2 |
| 5 | 0.8 | 1.1 | 1.3 | 1.7 | 1.9 | 3.4 |
| 6 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 1.2 |
| 7 | 1.0 | 1.3 | 1.5 | 2.0 | 2.2 | 4.0 |
| 8 | 0.9 | 1.2 | 1.4 | 1.9 | 2.1 | 3.8 |
| 9 | 0.9 | 1.2 | 1.4 | 1.9 | 2.1 | 3.8 |
| 10 | 3.8 | 5.0 | 5.9 | 8.0 | 8.7 | 15.7 |
| 11 | 1.7 | 2.2 | 2.6 | 3.5 | 3.8 | 6.8 |
| 12 | 6.5 | 8.6 | 10.1 | 13.8 | 15.1 | 27.1 |
| 13 | 2.1 | 2.7 | 3.2 | 4.3 | 4.8 | 8.6 |
| 14 | 2.2 | 2.9 | 3.5 | 4.7 | 5.1 | 9.3 |
| 15 | 1.1 | 1.5 | 1.7 | 2.3 | 2.6 | 4.6 |
| 16 | 1.3 | 1.8 | 2.1 | 2.8 | 3.1 | 5.6 |
| 17 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.3 | 1.5 | 2.6 |
| 18 | 0.9 | 1.1 | 1.3 | 1.8 | 2.0 | 3.5 |
| 19 | 1.5 | 2.0 | 2.4 | 3.2 | 3.5 | 6.3 |
| 20 | 2.1 | 2.8 | 3.3 | 4.5 | 4.9 | 8.8 |
| 21 | 5.3 | 7.0 | 8.2 | 11.2 | 12.3 | 22.1 |
| 22 | 9.3 | 12.2 | 14.4 | 19.6 | 21.4 | 38.5 |
| 23 | 0.9 | 1.2 | 1.4 | 1.9 | 2.1 | 3.8 |
| 24 | 2.2 | 2.9 | 3.4 | 4.7 | 5.1 | 9.2 |
| 25 | 4.2 | 5.5 | 6.4 | 8.8 | 9.6 | 17.3 |
| 26 | 3.1 | 4.0 | 4.7 | 6.4 | 7.0 | 12.7 |
| 27 | 2.8 | 3.6 | 4.3 | 5.8 | 6.3 | 11.4 |

| SBV | Q2_24h | Q5_24h | Q10_24h | Q50_24h | Q100_24h | QEXCEP_24h |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **28** | 4.2 | 5.5 | 6.4 | 8.8 | 9.6 | 17.2 |
| **29** | 7.4 | 9.7 | 11.4 | 15.5 | 17.0 | 30.5 |
| **30** | 2.7 | 3.5 | 4.2 | 5.7 | 6.2 | 11.1 |
| **31** | 1.9 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 4.4 | 7.9 |
| **32** | 3.2 | 4.2 | 4.9 | 6.7 | 7.4 | 13.2 |
| **33** | 4.6 | 6.0 | 7.1 | 9.7 | 10.6 | 19.1 |
| **34** | 1.9 | 2.5 | 2.9 | 4.0 | 4.3 | 7.8 |
| **35** | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 2.2 | 2.4 | 4.3 |
| **36** | 0.8 | 1.1 | 1.3 | 1.7 | 1.9 | 3.4 |
| **37** | 3.4 | 4.4 | 5.2 | 7.1 | 7.7 | 13.9 |
| **38** | 1.8 | 2.4 | 2.8 | 3.9 | 4.2 | 7.6 |
| **39** | 4.9 | 6.4 | 7.5 | 10.2 | 11.2 | 20.2 |
| **40** | 2.5 | 3.2 | 3.8 | 5.2 | 5.7 | 10.2 |
| **41** | 3.1 | 4.0 | 4.8 | 6.5 | 7.1 | 12.8 |
| **42** | 1.5 | 1.9 | 2.3 | 3.1 | 3.4 | 6.1 |
| **43** | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.6 | 1.8 | 3.2 |
| **44** | 1.3 | 1.7 | 2.0 | 2.7 | 2.9 | 5.3 |
| **45** | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 1.0 | 1.1 | 2.0 |
| **46** | 1.3 | 1.7 | 2.0 | 2.7 | 3.0 | 5.4 |
| **47** | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 1.5 | 1.6 | 3.0 |
| **48** | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 2.1 | 2.3 | 4.2 |
| **49** | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 1.2 | 1.4 | 2.5 |
| **50** | 0.7 | 0.9 | 1.0 | 1.4 | 1.5 | 2.8 |
| **51** | 2.1 | 2.7 | 3.2 | 4.4 | 4.8 | 8.6 |
| **52** | 1.6 | 2.1 | 2.4 | 3.3 | 3.6 | 6.5 |
| **53** | 11.0 | 14.4 | 16.9 | 23.1 | 25.2 | 45.4 |
| **54** | 1.0 | 1.3 | 1.5 | 2.1 | 2.3 | 4.1 |
| **55** | 1.8 | 2.4 | 2.8 | 3.8 | 4.2 | 7.5 |
| **56** | 1.7 | 2.2 | 2.6 | 3.5 | 3.9 | 6.9 |
| **57** | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.6 | 1.8 | 3.2 |
| **58** | 3.2 | 4.5 | 5.0 | 6.8 | 7.4 | 13.3 |
| **59** | 3.4 | 4.5 | 5.3 | 7.2 | 7.9 | 14.2 |
| **60** | 1.8 | 2.3 | 2.8 | 3.7 | 4.1 | 7.4 |
| **61** | 1.3 | 1.7 | 2.0 | 2.8 | 3.0 | 5.4 |
| **62** | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 1.1 | 1.2 | 2.1 |
| **63** | 1.1 | 1.4 | 1.7 | 2.3 | 2.5 | 4.6 |
| **64** | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 2.2 | 2.4 | 4.2 |
| **65** | 17.8 | 23.3 | 27.5 | 37.4 | 40.9 | 73.7 |
| **66** | 5.0 | 6.6 | 7.8 | 10.6 | 11.6 | 20.9 |
| **67** | 2.4 | 3.2 | 3.7 | 5.1 | 5.5 | 10.0 |

| SBV | Q2_24h | Q5_24h | Q10_24h | Q50_24h | Q100_24h | QEXCEP_24h |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **68** | 2.4 | 3.2 | 3.7 | 5.1 | 5.6 | 10.0 |
| **69** | 1.0 | 1.3 | 1.5 | 2.1 | 2.3 | 4.1 |
| **70** | 6.3 | 8.2 | 9.7 | 13.2 | 14.5 | 26.0 |
| **71** | 1.4 | 1.8 | 2.1 | 2.9 | 3.2 | 5.7 |
| **72** | 2.3 | 3.0 | 3.5 | 4.8 | 5.3 | 9.5 |
| **73** | 4.0 | 5.2 | 6.2 | 8.4 | 9.2 | 16.5 |
| **74** | 2.1 | 2.8 | 3.3 | 4.5 | 4.9 | 8.8 |
| **75** | 1.5 | 2.0 | 2.3 | 3.2 | 3.5 | 6.3 |
| **76** | 3.6 | 4.7 | 5.5 | 7.5 | 8.2 | 14.7 |
| **77** | 7.2 | 9.4 | 11.1 | 15.1 | 16.6 | 29.8 |
| **78** | 1.5 | 1.9 | 2.3 | 3.1 | 3.4 | 6.1 |
| **79** | 0.9 | 1.2 | 1.4 | 1.9 | 2.0 | 3.7 |
| **planquette** | 22.2 | 29.1 | 34.3 | 46.7 | 51.1 | 92.0 |
| **st joseph** | 29.8 | 39.0 | 45.9 | 62.5 | 68.4 | 123.1 |
| **planquette_3** | 13.3 | 17.5 | 20.6 | 28.0 | | 55.2 |
| **planquette_922 planquette_606** | 4.4 | 5.8 | 6.9 | 9.3 | | 18.4 |


Lambert
Lambert2
Lambert4
Reganas
Eygoutier
Planquette
SainteMusse
St_JOSEPH
Bade
Nouvel_Eygoutier
Eygoutier
Artaude
Regue
Tunnel_due
Tunnel_A57_2
Tunnel_A57_1

## 6.4 LAISSES DE CRUES 2006 – SOURCES SCE

### 6.4.1 PHE 40



35, boulevard Paul Bert - 26 Septembre 2006

### 6.4.2 PHE 41




145, chemin de l'Alma - 26 Septembre 2006

### 6.4.3 PHE 42




Quartier de La Palasse - Résidence La Californie rue Thierry - 26 Septembre 2006



Quartier La Palasse – Résidence La Californie rue Thierry - 26 Septembre 2006




Quartier La Palasse – 8, rue Thierry - 26 Septembre 2006

### 6.4.4 PHE 43, 44, 45




Quartier La Palasse – 11, rue du docteur Vincent - 26 Septembre 2006



Quartier La Palasse – 13, rue du docteur Vincent - 26 Septembre 2006




Quartier La Palasse – 15, rue du docteur Vincent - 26 Septembre 2006







**Quartier La Palasse – Fin de l'impasse du docteur Vincent - 26 Septembre 2006**

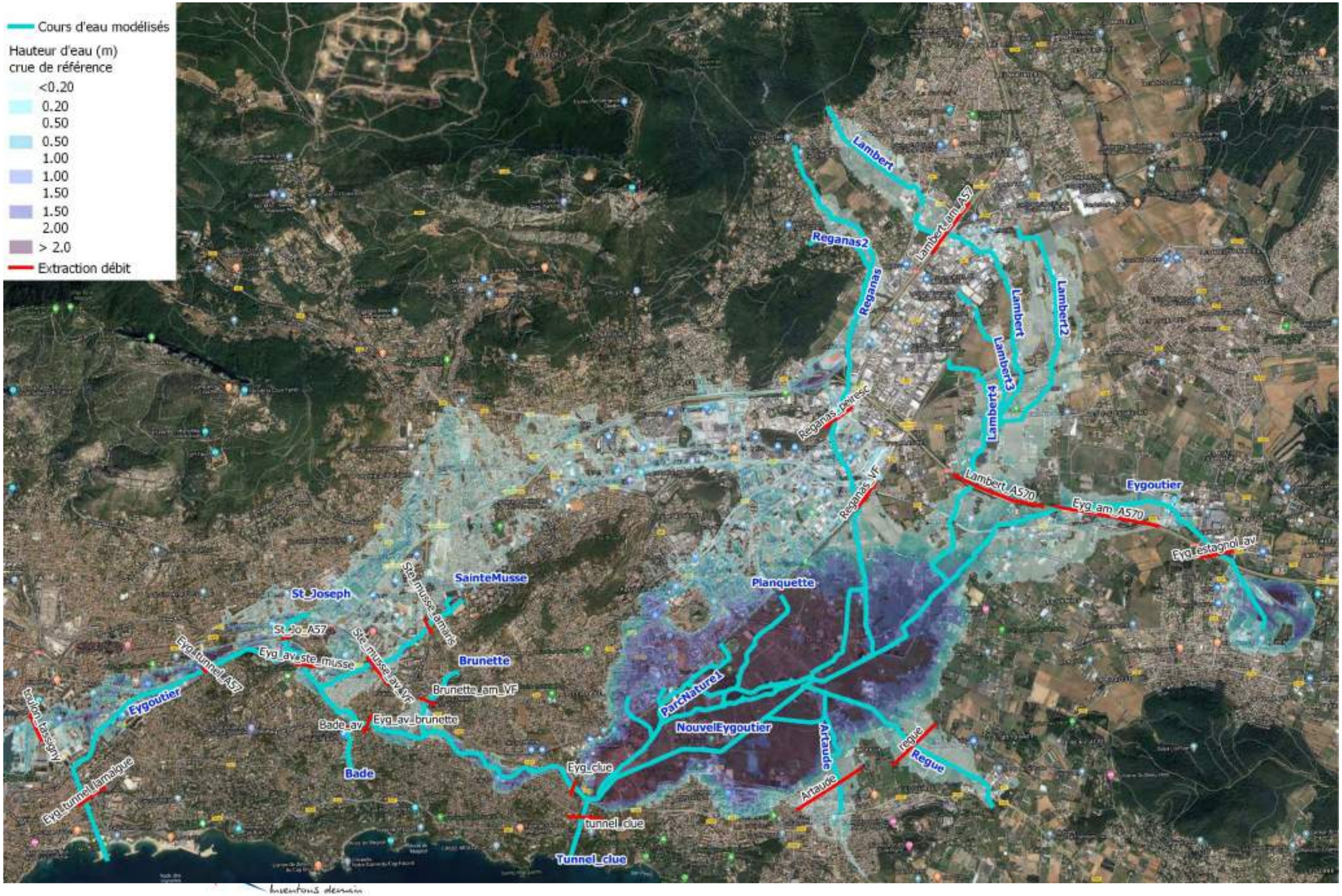
## 6.5 SYNTHESES DES DEBITS ISSUS DE LA MODELISATION HYDRAULIQUE

- Pluies longues (24h)

| Nom | Crue biennale | Crue quinquennale | Crue décennale | Crue trentennale | Crue cinquantennale | Crue de référence | Crue exceptionnelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Artaude | 3.2 | 4.7 | 5.3 | 6.2 | 6.7 | 7.2 | 13.2 |
| Eyg_am_A570 | 13.2 | 16.5 | 18 | 20.1 | 21 | 22.1 | 33.4 |
| Eyg_clue | 18.1 | 23.7 | 27.8 | 34.5 | 38.4 | 39.4 | 86.8 |
| Eyg_estagnol_av | 6.4 | 8.2 | 9.1 | 10.1 | 10.8 | 11.5 | 17.5 |
| Lambert_A570 | 14.2 | 18.9 | 22.3 | 27.7 | 30.5 | 33.5 | 61.6 |
| Lambert_am_A57 | 4.3 | 5.9 | 7 | 8.6 | 9.5 | 10.4 | 18.7 |
| Reganas_peiresc | 20.4 | 28.4 | 34.7 | 43.3 | 47.6 | 52.1 | 88.9 |
| Reganas_VF | 22.4 | 31.4 | 36.7 | 39.2 | 40.5 | 41.9 | 60.1 |
| regue | 9.8 | 12.8 | 15.1 | 18.7 | 20.6 | 22.5 | 40.4 |
| tunnel_clue | 23.5 | 23.8 | 24 | 24.3 | 24.4 | 24.4 | 25.5 |

- Pluies courtes (2h)

| Nom | Q2 | Q5 | Q10 | Q30 | Q50 | Q ref | Q excep | Explication des débits non croissants par occurrence |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bade_av | 2.3 | 3.2 | 3.8 | 4.8 | 5.3 | 7.6 | 10.6 | |
| Brunette_am_VF | 1.8 | 2.5 | 3.0 | 3.8 | 4.0 | 7.2 | 9.3 | |
| Eyg_av_brunette | 9.2 | 12.6 | 14.4 | 17.2 | 18.5 | 25.7 | 29.5 | |
| Eyg_av_ste_musse | 19.0 | 25.2 | 29.8 | 34.8 | 37.4 | 54.6 | 69.9 | |
| Eyg_clue | 3.0 | 3.6 | 4.7 | 7.3 | 8.1 | 11.9 | 17.8 | |
| Eyg_tunnel_A57 | 36.1 | 41.3 | 41.4 | 41.9 | 42.2 | 43.6 | 44.9 | |
| Eyg_tunnel_lamalgue | 37.9 | 42.0 | 42.3 | 42.6 | 42.7 | 39.8 | 40.1 | Modification du niveau marin |
| Ste_musse_amaris | 4.5 | 5.3 | 6.0 | 7.3 | 7.8 | 14.0 | 18.2 | |
| Ste_musse_av_VF | 3.7 | 4.6 | 5.3 | 7.2 | 7.7 | 17.0 | 22.9 | |
| St_Jo_A57 | 14.1 | 14.6 | 14.8 | 15.0 | 15.2 | 14.9 | 15.0 | Influence de l'Eygoutier aval |
| toulon_tassigny | | 0.8 | 3.7 | 11.9 | 15.5 | 38.3 | 60.1 | |


Cours d'eau modélisés
Hauteur d'eau (m)
crue de référence
<0.20
0.20
0.50
0.50
1.00
1.00
1.50
1.50
2.00
> 2.0
Extraction débit
Lambert
Reganas2
Reganas
Lambert_am_A57
Lambert
Lambert2
Lambert3
Lambert4
Reganas_peiresc
Reganas_VF
Lambert_A570
Eygoutier
Eyg_am_A570
Eyg_estagnol_av
SainteMusse
Ste_musse_amark
St_Joseph
St_Jo_A57
Ste_musse_av_VF
Eyg_av_ste_musse
Brunette
Brunette_am_VF
Eyg_tunnel_A57
Eygoutier
Bade_av
Eyg_av_brunette
Bade
Eyg_tunnel_lamalgue
Eyg_clue
tunnel_clue
Tunnel_clue
Planquette
ParcNature1
NouvelEygoutier
Artaude
Artaude
regue
Regue

## 6.6 SYNTHESE DES COTES DE PLAN D'EAU

| Cote du plan d'eau (en m NGF) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nom** | **Crue biennale** | **Crue quinquennale** | **Crue décennale** | **Crue trentennale** | **Crue cinquantennale** | **Crue de référence** | **Crue exceptionnelle** |
| **Plan de la Garde** | 24.16 | 24.56 | 24.84 | 25.32 | 25.52 | 25.56 | 27.31 |
| **Marais de l'Estagnol** | 37.13 | 37.43 | 37.54 | 37.75 | 37.87 | 37.98 | 38.92 |

## 6.7 CARTOGRAPHIES DE RESULTATS DU MODELE HYDRAULIQUE

## 6.8 PROFILS EN LONG