PRÉFET
DES ALPES-
MARITIMES

Rapport

N° : 24F-061-RM-4

Révision n° : B

Date : 29/09/2025

DDTM06

REALISATION DE L'ETUDE HYDRAULIQUE ET DE LA CARTE D'ALEAS RELATIVE AU MALVAN

Votre contact :
Guillaume GROELL
groell@isl.fr







// Mission 4 : Définition, caractérisation et cartographie des aléas

ISL Ingénierie SAS – MONTPELLIER
65 rue Clément Ader
34170 – Castelnau-le-Lez
France
Tel : +33.4.67.54.51.88
Fax : +33.1.40.34.63.36

www.isl.fr

ISL Ingénierie

Visa

Document verrouillé du 29/09/2025.

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	16/09/2025	TPE	GGR	GSE	Edition initiale
B	29/09/2025	TPE	GGR	GSE	Ajout du paragraphe 5.2.3

GGR : GROELL Guillaume

GSE : SENECHAL Gwendal

TPE : PEYSSON Thomas

Rapport ISL
24F-061-RM-4
Revision B
Réalisation de l'étude hydraulique et de la ca
http://www.isl.fr/r.php?c=268483
Ingénierie

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION 4
1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE 4
1.2 TERRITOIRE A L'ETUDE 4
1.3 DONNEES TOPOGRAPHIQUES 4
1.4 DONNEES HYDROMETRIQUES 5
2 INTEGRATION DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES 7
3 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE 9
3.1 LOGICIEL DE MODELISATION 9
3.2 CONSTRUCTION DU MODELE 9
3.2.2 Maillage 9
3.2.3 Ouvrages 10
3.2.4 Couvertures 11
3.3 PARAMETRAGE DU MODELE 11
3.3.2 Coefficients de Strickler 11
3.3.3 Condition aux limites 13
4 CALAGE DU MODELE HYDRAULIQUE 16
4.1 CALAGE SUR LES CRUES DU 3 ET 10 MARS 2024 16
4.2 CALAGE SUR LA CRUE DU 3 OCTOBRE 2015 18
4.3 TESTS DE SENSIBILITE SUR LA CRUE DU 3 OCTOBRE 2015 22
5 EXPLOITATION DU MODELE 25
5.1 CARTOGRAPHIE 25
5.2 RESULTATS DE L'ETUDE DE PREMIERS DEBORDEMENTS 26
5.2.2 Emprise totale du modèle 26
5.2.3 Débordements au niveau du pont sous la route D436 27
5.3 RESULTATS POUR LA CRUE DE REFERENCE (Q100) 29

5.4 SCENARIO D'EMBACLES POUR LA CRUE CENTENNALE 32

6 CONCLUSION 36

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : NOTE TECHNIQUE D'ANALYSE DES LOIS DE TARAGE 1

ANNEXE 2 : CARTOGRAPHIE.....2

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Emprise du modèle et localisation des stations hydrométriques.....5

Figure 2 : Comparaison des hydrogrammes au droit des deux stations hydrométriques pour les deux évènements de mars 2024.....6

Figure 3 : Méthode de représentation topographique des lits mineurs 7

Figure 4 : Extrait de la topographie globale retenue pour la modélisation hydraulique 8

Figure 5 : Zoom sur la topographie à la confluence entre la Cagne et le Malvan 8

Figure 6 : Zoom sur le maillage au droit de la confluence entre le Défoussat et le Malvan (à gauche) et le Malvan avec la Cagne (à droite).....10

Figure 7 : Ouvrages pris en compte dans la modélisation 10

Figure 8 : Exemple de la représentation d'un ouvrage de la D436 sur le Malvan 11

Figure 9 : Intégration d'une couverture du Malvan au modèle hydraulique.....11

Figure 10 : Zonage des coefficients de rugosité.....13

Figure 11 : Conditions aux limites du modèle hydraulique.....14

Figure 12 : Localisation des points d'injections de débits 15

Figure 13 : Comparaison des hauteurs simulées et observées aux stations pour les deux événements de mars 2024.....17

Figure 14 : Zooms sur les zones d'inondations pour les deux événements de mars 2024 18

Figure 15 : Carte de compte-rendu de la visite de terrain du Défoussat (en haut) et du Malvan (en bas).....19

Figure 16 : Zones d'inondations simulées pour l'événement de la crue du 3 octobre 2015 20

Figure 17 : Débordements du Malvan au droit de la station de lavage 21

Figure 18 : Mise en charge de la couverture n°2 au pic de crue du 3 octobre 2015 21

Figure 19 : Grille de caractérisation des aléas 25

Figure 20 : Carte des premiers débordements sur la zone d'étude 26

Figure 21 : Localisation de l'ouvrage 27
Figure 22 : Niveaux atteints en amont de l'ouvrage pour différentes périodes de retour 28
Figure 23 : Débordement depuis l'ouvrage sur le rond-point 29
Figure 24 : Comparaison des zones inondables avec l'emprise du PPRi en vigueur 30
Figure 25 : Lignes isocote PHE de la crue centennale 31
Figure 26 : Hauteurs d'eau atteintes pour le scénario avec embâcles de la crue Q100 33
Figure 27 : Différence de hauteurs d'eau avec et sans embâcle ($Hmax_{avec}$ - $Hmax_{sans}$) 34
Figure 28 : Extrait des profils en long du Défoussat avec et sans embâcles pour Q100 35

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Données topographiques exploitées 5
Tableau 2 : Coefficients de Strickler retenus 12
Tableau 3 : Débits de pointe (m³/s) des hydrogrammes injectés dans le modèle 15
Tableau 4 : Résultats des tests de sensibilité sur le débit et les coefficients de Strickler pour la crue de 2015 22
Tableau 5 : Détail des cotes atteintes en amont de l'ouvrage 28
Tableau 6 : Comparaison des débits de l'événement centennal entre le présent modèle et les PPRi en vigueur 31

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

La Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) des Alpes Maritimes (06) a pour objectif de réaliser l'étude hydraulique et les cartes d'aléas relatives au Malvan et ses affluents.

L'objectif prioritaire de l'étude est de disposer d'une connaissance globale et récente du fonctionnement hydrologique et hydraulique du bassin versant du Malvan. Cette étude permettra de connaitre l'aléa inondation par débordement de cours d'eau sur le territoire , et ainsi de mettre à jour la cartographie des aléas.

Afin de répondre à ces objectifs, l'étude est divisée en 4 missions distinctes. Ces missions sont les suivantes :

- Mission n°1 : Etat des lieux du territoire (visite de terrain, analyse des crues historiques, et analyse du fonctionnement du bassin versant) ;
- Mission n°2 : Définition des besoins en études topographiques (synthèse des données disponibles et cahier des charges topographiques) ;
- Mission n°3 : Analyse hydrologique (analyse des pluies, évaluation des débits de projets, modélisation pluie-débit et confrontation aux données existantes) ;
- Mission n°4 : Définition, caractérisation et cartographie des aléas (modélisation hydraulique 2D, exploitation du modèle et cartographies).

Le présent rapport est le rapport de **mission n°4**.

1.2 TERRITOIRE A L'ETUDE

L'emprise de l'étude hydraulique (mission n°4) a été présenté dans le rapport de mission 1 « Etat des lieux du fonctionnement des bassins versants » (voir Figure 1).

Pour rappel, le linéaire d'étude représente environ 6,5 km de cours d'eau :

- La Cagne de l'autoroute A8 jusqu'à la mer (sur la commune de Cagnes-sur-Mer),
- Le Malvan sur le territoire de la commune de Cagnes-sur-Mer,
- Le Défoussat depuis la confluence avec le vallon du Puits de Tassier jusqu'à la confluence avec le Malvan sur une longueur approximative de 1,8 km (situé sur la commune de Cagnes-sur-Mer, La Colle-sur-Loup et Saint-Paul-de-Vence).

1.3 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Les différentes données topographiques utilisées dans le cadre de cette mission sont listées dans le tableau ci-après.

ID	Données	Source
[1]	11 profils en travers du Défoussat dans sa partie aval jusqu'à la confluence avec le Malvan levés par le cabinet TEC	MNCA, 2020
[2]	11 profils en travers du Malvan dans le secteur des *Ferrayonnes* levés par le cabinet TEC	MNCA, 2020
[3]	Profils en travers du Malvan dans la commune de Saint-Paul-de-Vence	SMIAGE, 2019

ID	Données	Source
[4]	Dalles IGN Lidar HD traitées	IGN, 2022
[5]	Levé sur le Défoussat et le Malvan : • Profils en long des deux cours d'eau • 11 profils en travers du Défoussat • 21 profils en travers du Malvan • 22 profils d'ouvrages hydrauliques sur le Défoussat • 14 profils d'ouvrages hydrauliques sur le Malvan • 2 levés topographies dans des zones de couverture du Malvan	Opsia, 2024

Tableau 1 : Données topographiques exploitées

1.4 DONNEES HYDROMETRIQUES

À partir des mesures effectuées aux stations de la MNCA (stations Défoussat et Ferrayonnes), plusieurs événements historiques ont été identifiés dans le rapport d'état des lieux. Les emplacements de ces stations sont rappelés sur la figure ci-dessous.

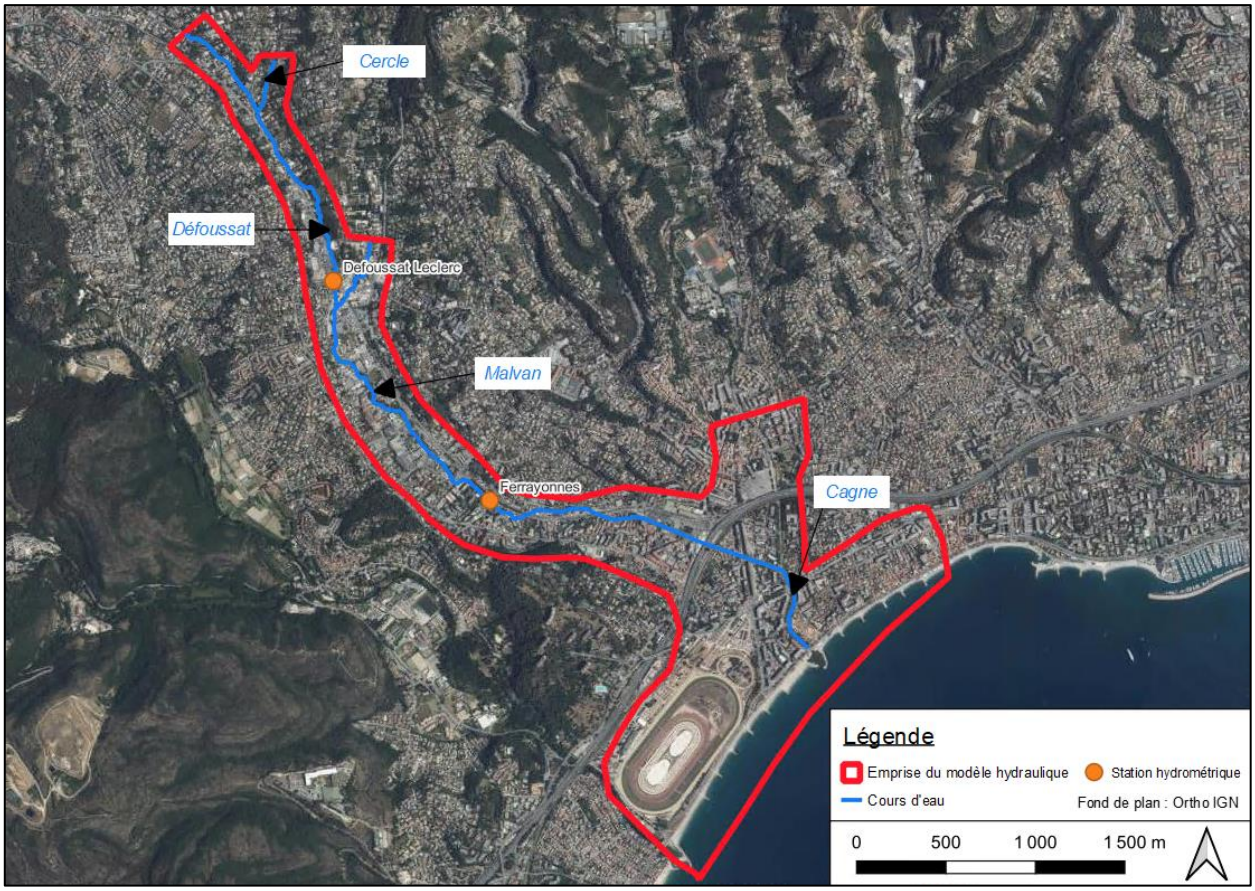


Figure 1 : Emprise du modèle et localisation des stations hydrométriques

Sur la période d'observation (2019–2024), seuls les événements de mars 2024 ont suscité une réaction suffisamment marquée des deux stations. Ces événements sont considérés comme exploitables pour le calage du modèle. L'événement du 16 octobre 2024 est similaire en termes de débit de pointe atteint à la station Ferrayonnes alors que la station Défoussat n'était pas opérationnelle. Ainsi, les deux évènements de mars 2024 sont exploités pour le calage du modèle.

Les données de débits fournies par la Métropole proviennent de lois de tarage établies à partir d'un modèle hydraulique 1D. Ces lois ont été comparées à celles issues du modèle hydraulique développé dans le cadre de la présente étude. La comparaison a révélé certaines divergences. Une note technique d'analyse des lois de tarage est disponible en ANNEXE 1. À la suite de ce constat, le calage hydrologique des événements de mars 2024 a été révisé en s'appuyant sur les nouvelles courbes de tarage, construites à partir de la modélisation hydraulique 2D réalisée dans cette étude. Les données présentées ci-après tiennent compte de cette révision de l'hydrologie.

Les hydrogrammes de la crue de mars 2024 sont présentés ci-dessous et comparés aux anciens sur chacune des stations.

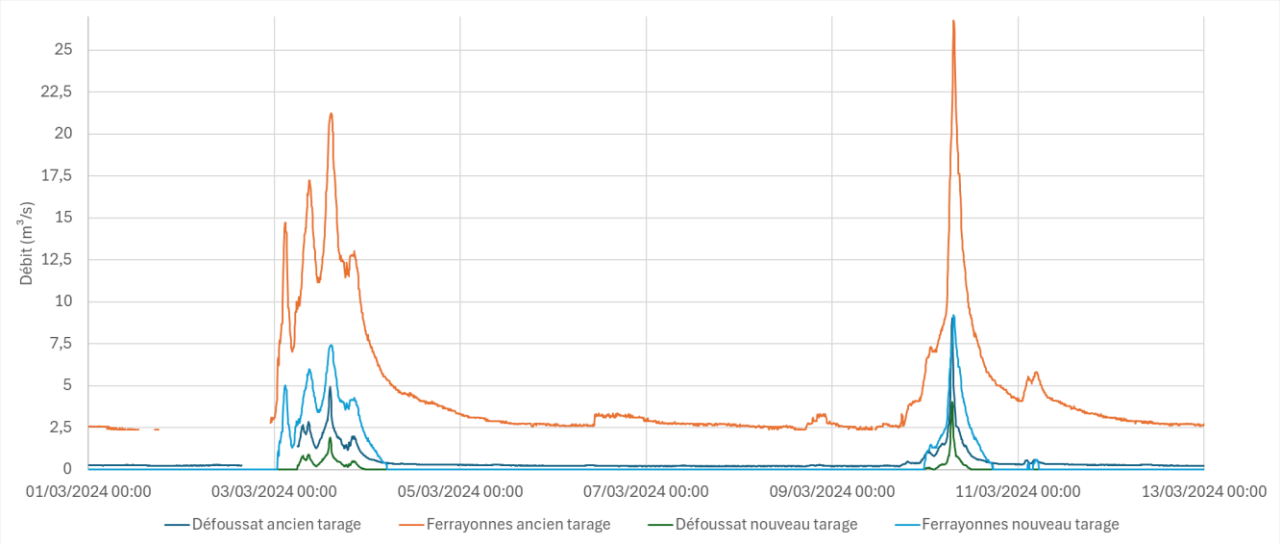


Figure 2 : Comparaison des hydrogrammes au droit des deux stations hydrométriques pour les deux évènements de mars 2024

2 INTEGRATION DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Les données topographiques disponibles sont exploitées afin de créer un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la zone d'étude.

Dans la suite du rapport, les sources des données topographiques seront indiquées par leur identifiant, listés dans le Tableau 1.

Les lits majeurs des cours d'eau sont représentés à partir des dalles Lidar HD [4]. Les lits mineurs sont affinés à l'aide des levés topographiques disponibles :

- Les profils bathymétriques ont été interpolés à partir des profils en travers référencés [1], [2], [3], [5].
- Dans les zones où le cours d'eau présente un profil homogène, un profil type est défini à partir d'un gabarit estimé sur la base des levés topographiques disponibles [1], [2], [5].

La figure ci-dessous illustre la méthode retenue pour chaque tronçon du linéaire étudié.

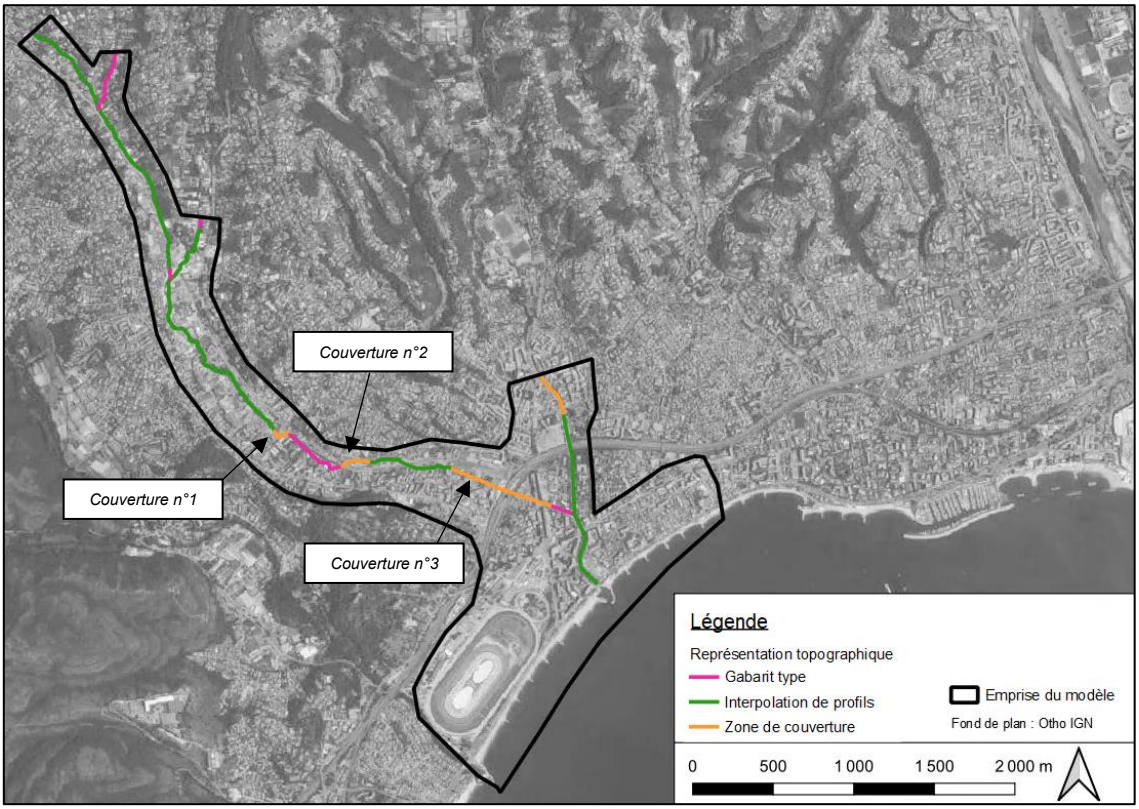


Figure 3 : Méthode de représentation topographique des lits mineurs

Les zones de couvertures font l'objet d'un traitement particulier au sein du modèle, développé au chapitres 3.2.4. La couverture sur la Cagne n'est pas prise en compte, les débits du fleuve étant injectés à sa sortie.

Un extrait du MNT global, créé selon cette méthodologie, est présenté dans la figure suivante :

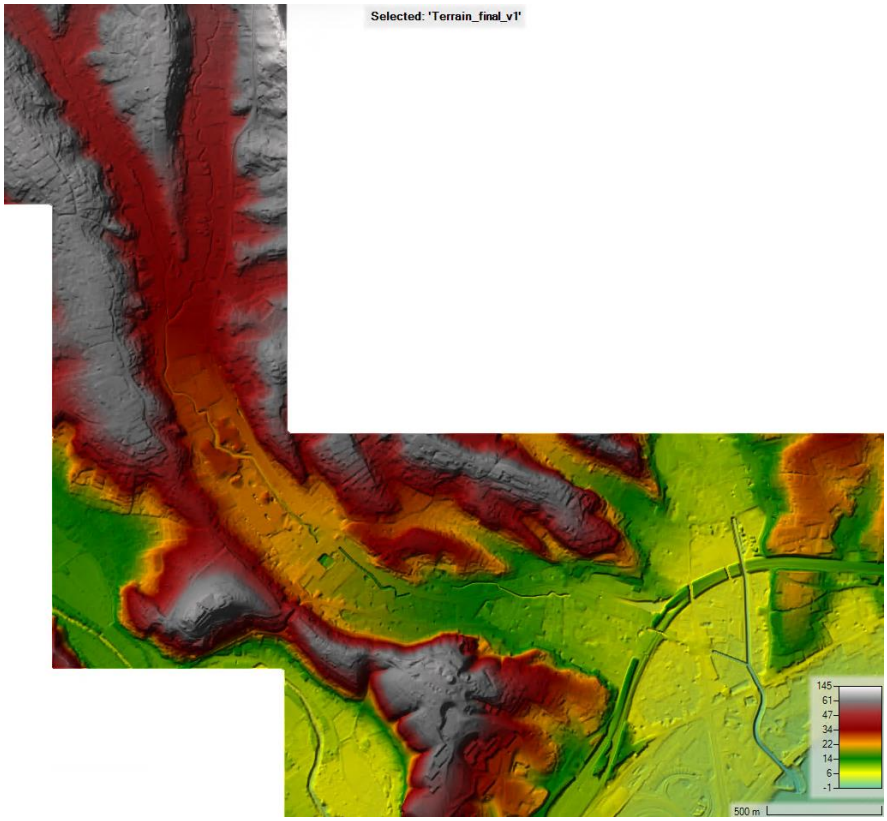


Figure 4 : Extrait de la topographie globale retenue pour la modélisation hydraulique

La figure suivante présente un zoom sur la confluence entre le Malvan et la Cagne comme exemple des modifications apporté au Lidar HD :

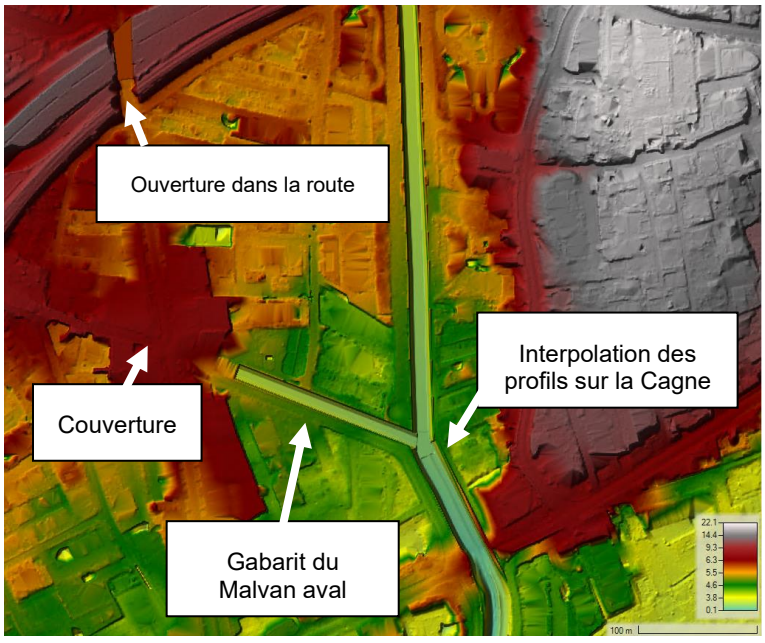


Figure 5 : Zoom sur la topographie à la confluence entre la Cagne et le Malvan

3 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE

3.1 LOGICIEL DE MODELISATION

Le modèle hydraulique est construit à l'aide du logiciel HEC-RAS version 6.7.

Le logiciel HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center's River Analysis System), distribué par le corps d'ingénieurs de l'armée américaine (USACE), permet de modéliser les écoulements dans les cours d'eau en 1D ou 2D.

Le logiciel simule les fonctionnements bidimensionnels en utilisant les équations simplifiées de Barré de Saint Venant. Les équations sont résolues en régime permanent ou transitoire fluvial, torrentiel ou mixte.

HEC-RAS a récemment fait l'objet d'évolution et d'améliorations majeurs, utile à la présente étude :

- Depuis la version 5, HEC-RAS permet le maillage en 2D du lit mineur et du lit majeur. Il dispose également d'un l'outil de visualisation des résultats en plan (Ras-Mapper).
- Depuis la version 6.7, HEC-RAS permet de représenter les couvertures et ouvrages enterrés.

Il permet de superposer les différentes variables étudiées sur le MNT ou sur fond Google. Il permet également l'export en couches raster GeoTIFF, ce qui en facilite son exploitation.

3.2 CONSTRUCTION DU MODELE

L'emprise du modèle et le MNT retenu, construits à partir des levés topographiques disponibles, sont présentés respectivement en Figure 1 et Figure 4.

3.2.2 MAILLAGE

Le maillage est constitué d'environ 43 000 mailles, de taille variant de 1 m à 20 m.

Le maillage est affiné sur les zones d'intérêt et le long des axes structurant les écoulements :

- Ouvrages hydrauliques : taille de maille = 1m
- Berges du Cercle : taille de maille = 2 m
- Berges du Défoussat : taille de maille = 2 m
- Berges du Malvan : taille de maille = 3 m
- Berges de la Cagne : taille de maille = 5 m
- Routes : taille de maille = 10 m
- Au-delà des axes d'écoulements : taille de maille = 20 m

Les figures ci-après présentent des extraits du maillage.

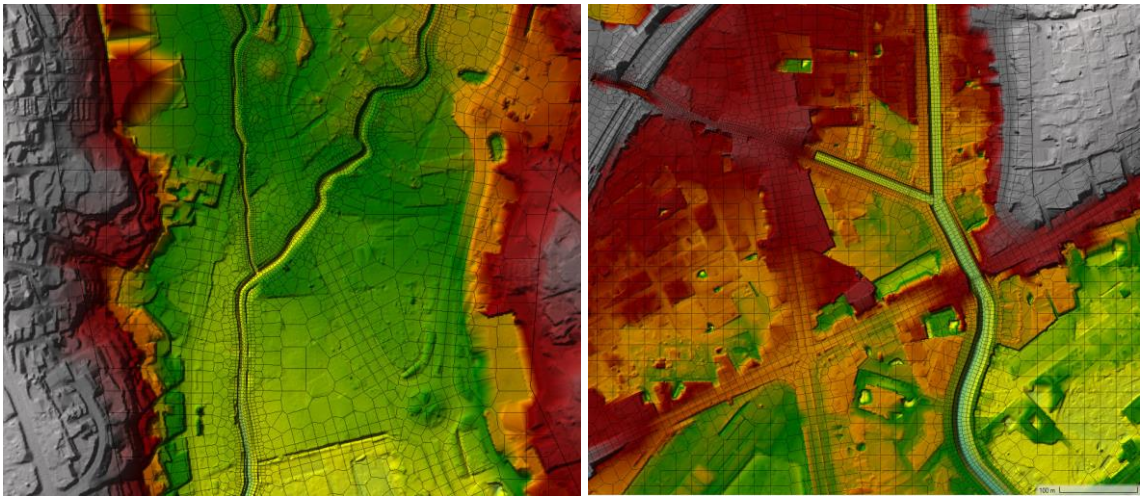


Figure 6 : Zoom sur le maillage au droit de la confluence entre le Défoussat et le Malvan (à gauche) et le Malvan avec la Cagne (à droite)

3.2.3 OUVRAGES

Les profils des ouvrages hydrauliques sur le Défoussat et le Malvan ont été levés par OPSIA [6]. En tout, 36 ouvrages sont intégrés au modèle (hors couvertures, voir partie suivante). La carte ci-dessous localise ces ouvrages.

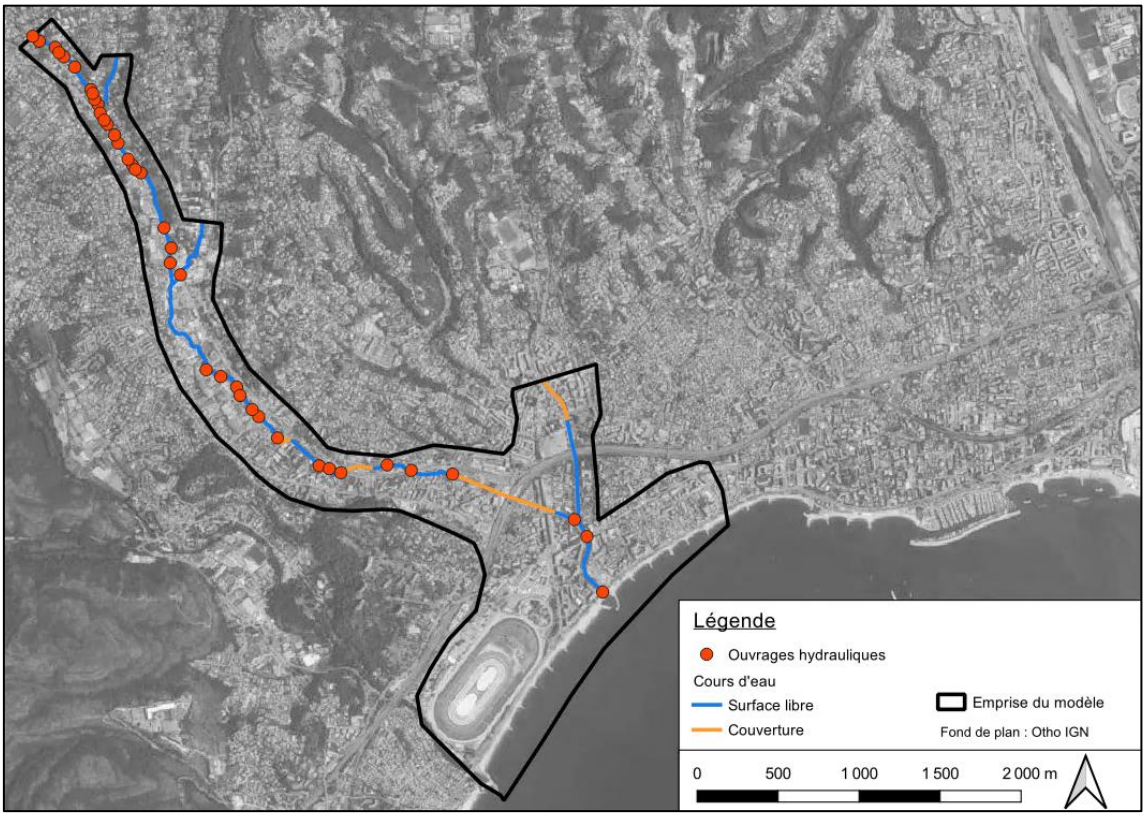


Figure 7 : Ouvrages pris en compte dans la modélisation

Les figures suivantes illustrent un exemple de prise en compte d'un ouvrage dans le modèle 2D. Il s'agit d'un pont sur lequel passe la route départementale 436 et sous lequel passe le Malvan en amont direct de sa confluence avec le Défoussat.

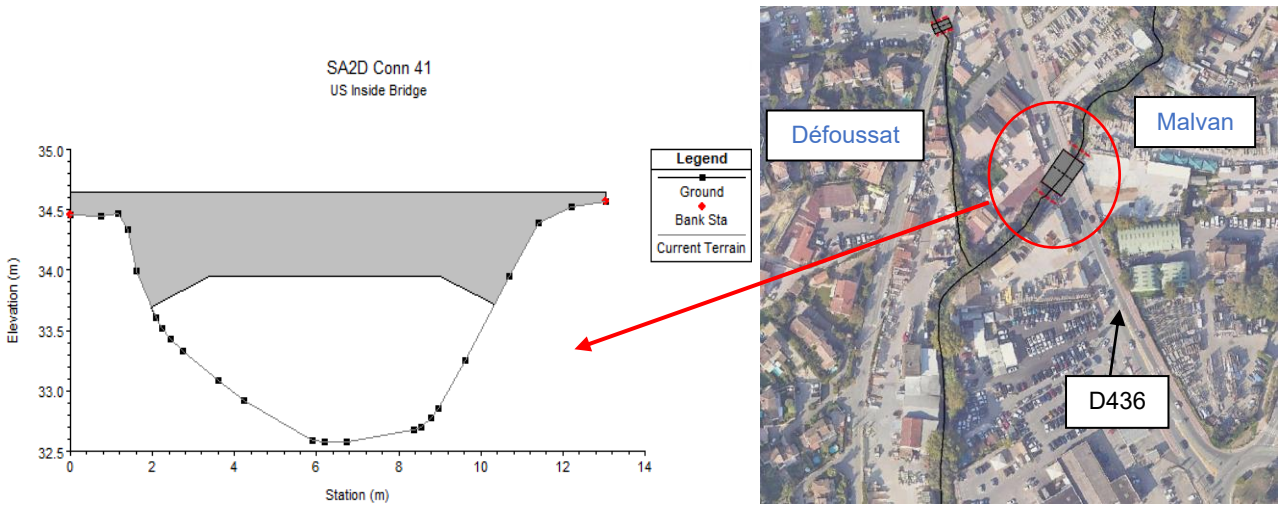


Figure 8 : Exemple de la représentation d'un ouvrage de la D436 sur le Malvan

3.2.4 COUVERTURES

Le Malvan présente 3 tronçons couverts en zones urbaines (nommés Tunnel 1 à 3, de l'amont vers l'aval). Ces tunnels, passant sous les routes de Cagnes-sur-Mer, sont anciens, et ont été modifiés au cours du temps. Aujourd'hui, ils forment une galerie souterraine présentant des variations de sections brusques et irrégulières. L'utilisation des ouvrages hydrauliques classiques d'HECRAS, comme dans la partie 3.2.3, ne permet pas de représenter cette hétérogénéité des profils dans les couvertures.

La fonction Pipe Network Geometry, développée à partir de la version 6.6 d'HECRAS et consolidée sur la 6.7, permet de modéliser précisément ces zones de couvertures.

Leur modélisation repose sur la définition d'un réseau constitué de nœuds et de conduites les reliant, tous deux géoréférencés et intégrés directement dans le maillage 2D du modèle. Chaque conduite représente un tronçon d'un tunnel ou d'une canalisation, où les calculs d'écoulement sont effectués avec un solveur en volumes finis 1D.

Ci-dessous, l'exemple de l'intégration d'une des couvertures du Malvan.

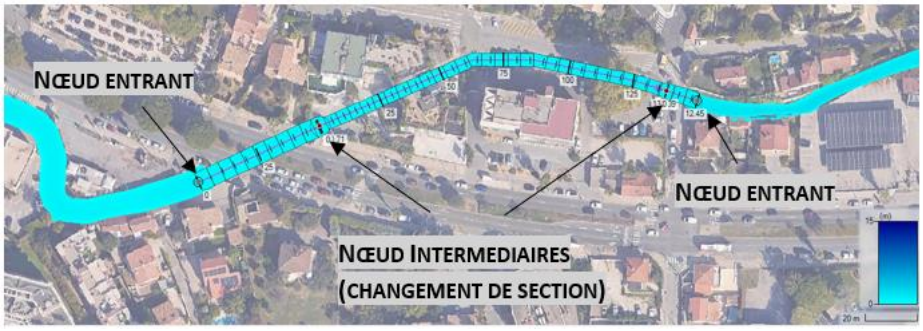


Figure 9 : Intégration d'une couverture du Malvan au modèle hydraulique

Les sections des zones de couverture sont définies à partir des levés réalisés dans les tunnels par OPSIA [5], et comparées aux autres données topographiques disponibles, lorsque celles-ci existent. Leur emplacement est précisé sur la Figure 3.

3.3 PARAMETRAGE DU MODELE

3.3.2 COEFFICIENTS DE STRICKLER

Un zonage des coefficients de Strickler a été établi en fonction de l'occupation du sol.

Les coefficients de Strickler proposés en fonction du zonage sont détaillés dans le tableau ci-après.

Occupation du sol	K_{RETENU}
Zones bâties	2
Forêt	10
Zone végétalisée (jardin, parc, …)	15
Mer	30
voirie en matériaux perméables (sable, gravier...)	35
Zones imperméables (routes, parking, …)	40
Cours d'eau : - Cercle - Défoussat - Malvan amont - Malvan Ferrayonnes - Malvan aval - Cagne amont - Cagne aval - Couvertures	 22 22 30 50 30 20 50 40

Tableau 2 : Coefficients de Strickler retenus

<u>Remarque</u> : Les coefficients de Strickler correspondant aux secteurs habités sont faibles pour tenir compte des nombreux obstacles aux écoulements correspondant à ces zonages : bâtis, murs de clôture, véhicules, etc. Dans ces secteurs, les axes d'écoulement préférentiels seront donc les routes, qui font l'objet d'un zonage spécifique.

Des extraits de ce zonage sont fournis sur les cartes ci-après.

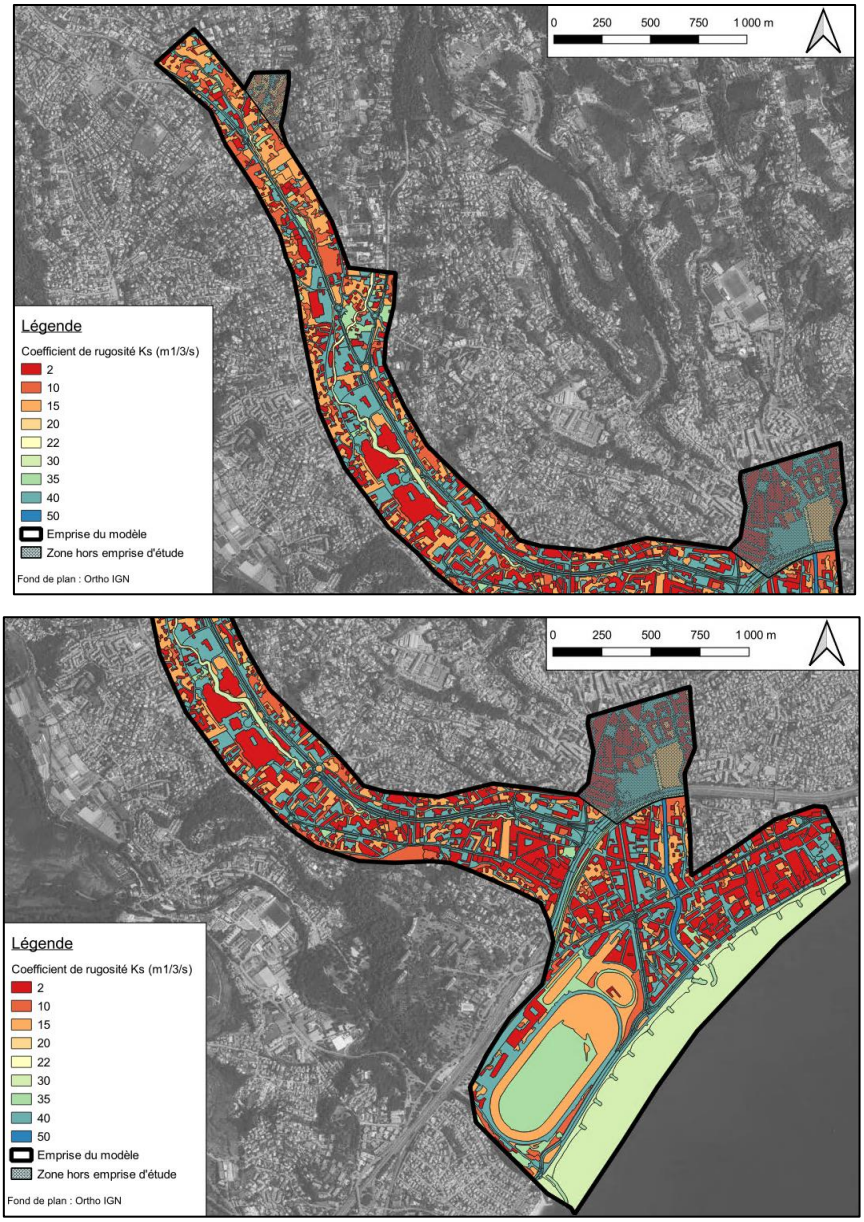


Figure 10 : Zonage des coefficients de rugosité

3.3.3 CONDITION AUX LIMITES

Les conditions aux limites amont du modèle hydraulique sont les suivantes :

- **CL1** : hydrogramme du Défoussat injecté en amont du modèle,
- **CL2** : hydrogramme du Cercle injecté au niveau de la frontière du modèle,
- **CL3** : hydrogramme du Malvan injecté au niveau de la frontière du modèle,
- **CL4** : injection permanente du débit d'une crue décennale de la Cagne à l'aval de sa zone de couverture.

Le **débit décennal permanant retenu pour la Cagne de 120 m³/s**, est proche de celui fourni par la fiche SHYREG correspondant à cet emplacement de 108 m³/s. Pour les événements de calage de mars 2024, un débit moyen de 20 m³/s a été injecté pour représenter un fonctionnement normal de la Cagne puisque les témoignages ne rapportent pas de crue sur le fleuve.

La condition limite aval du modèle est une cote en m NGF. Elle est basée sur les niveaux de la mer. Il a été retenu un niveau de 1 m NGF pour toutes les crues simulées, correspondant à un niveau de surcote relativement fréquent (inférieur à la période de retour 10 ans).

La figure ci-après illustre ces conditions.

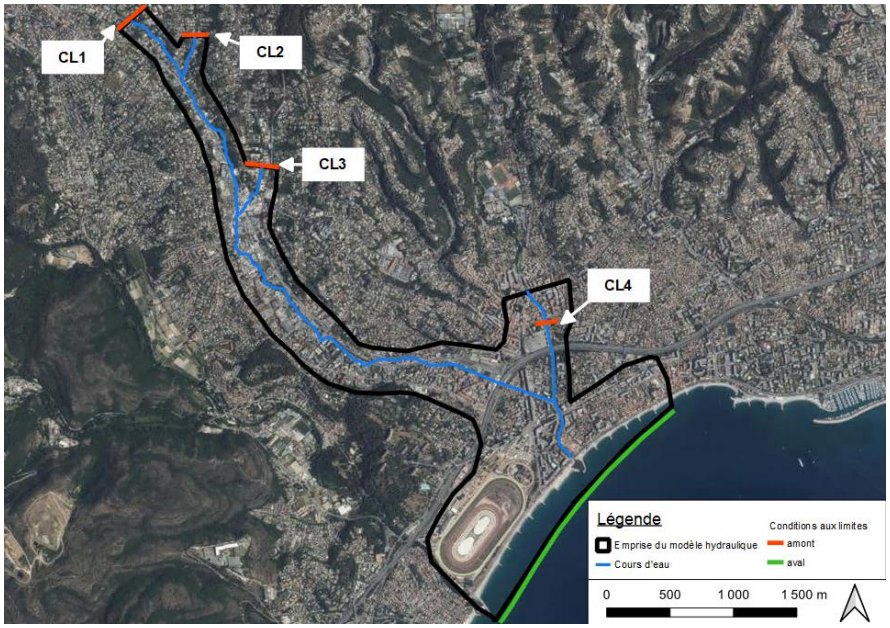


Figure 11 : Conditions aux limites du modèle hydraulique

Afin de prendre en compte les apports issus des impluviums des sous-bassins versants intermédiaires, des injections sont réalisées dans le lit mineur du cours d'eau, sous la forme d'hydrogrammes représentant les débits supplémentaires générés par le ruissellement sur ces sous-bassins.

Trois injections sont effectuées afin d'intégrer, en reprenant la notation des bassins versants exposés dans le rapport d'étude hydrologique, les apports respectifs du BVD2 (INJ1), du BVM2 et BVM3 regroupés (INJ2), ainsi que du BVM4 (INJ3). Leur localisation est précisée sur la carte suivante :

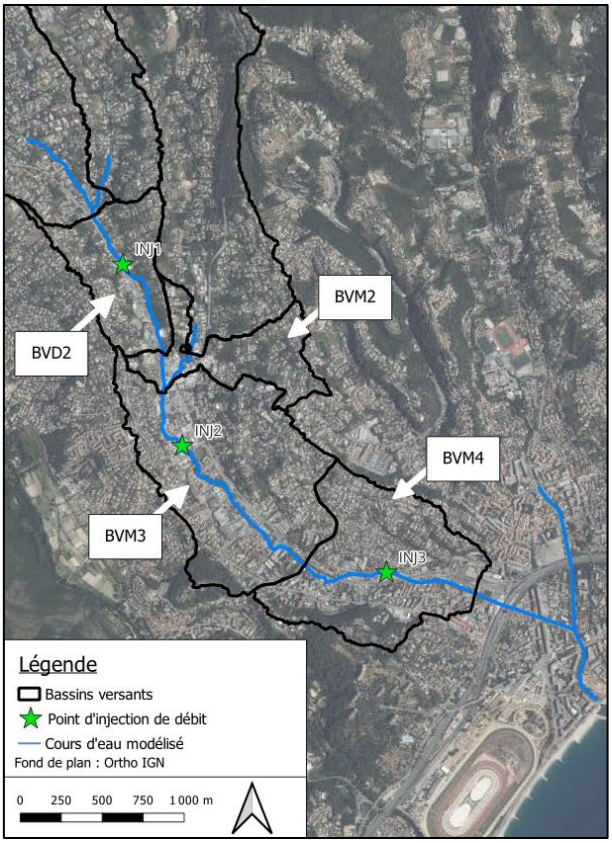


Figure 12 : Localisation des points d'injections de débits

Les hydrogrammes utilisés en entrée sont issus du modèle hydrologique GESRES[ISL], détaillé dans le rapport de mission 3. Les débits de pointe des hydrogrammes pour chaque crue sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 3 : Débits de pointe (m³/s) des hydrogrammes injectés dans le modèle

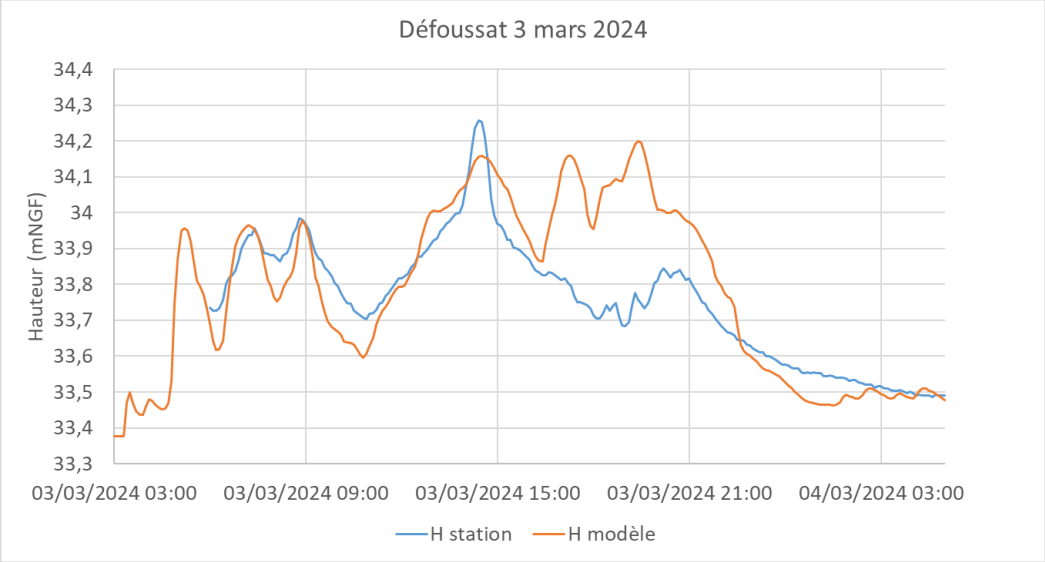
Condition aux limites		Débit de pointe [m³/s]					
	3 mars 2024	10 mars 2024	3 oct 2015	Q10	Q30	Q100	Q1000
CL1	0,7	1,4	7,7	7,2	13,4	21,3	39,4
CL2	1,0	2,4	10,9	9,4	16,4	25,4	45,1
CL3	4,6	5,9	9,4	30,1	55,6	88,8	162,9
CL4	20,0	20,0	20,0	120,0	120,0	120,0	120,0
INJ1	1,2	1,6	5,1	5,0	7,0	9,2	13,7
INJ2	3,6	4,5	16,0	14,0	19,7	25,9	38,9
INJ3	1,9	2,3	8,4	7,0	10,0	13,2	20,0

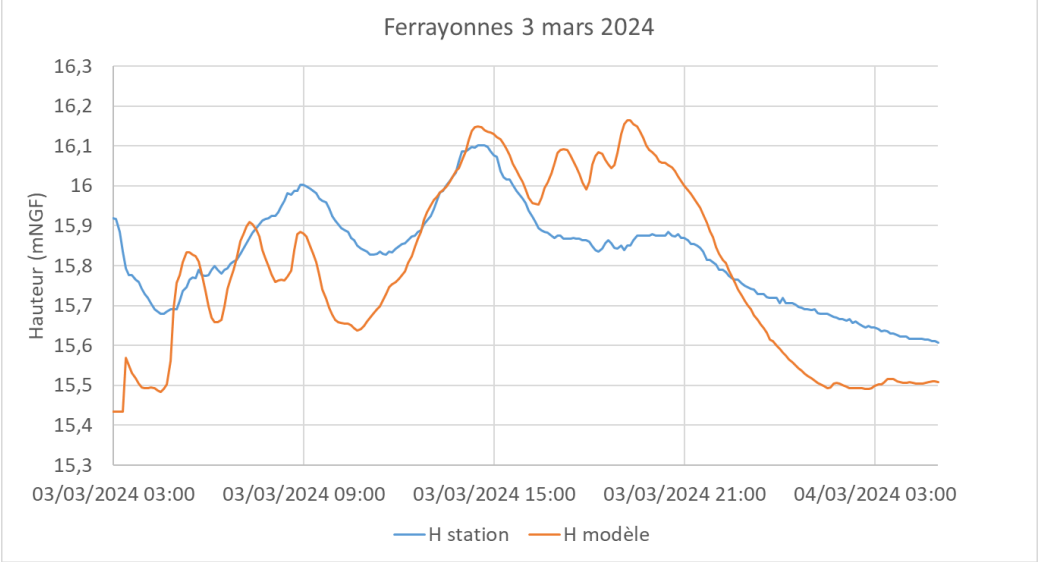
4 CALAGE DU MODELE HYDRAULIQUE

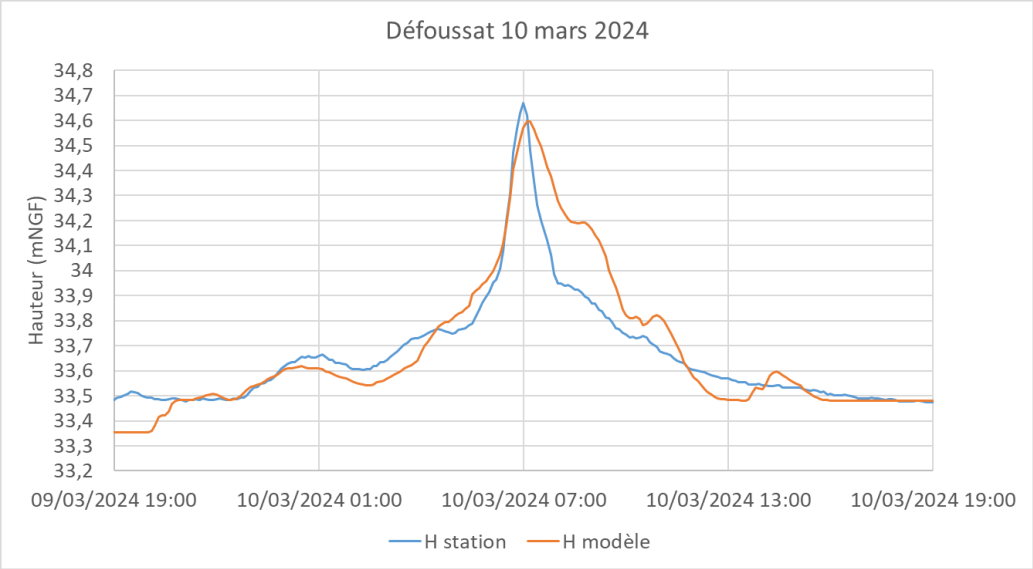
4.1 CALAGE SUR LES CRUES DU 3 ET 10 MARS 2024

Les données hydrométriques disponibles permettent un calage sur les événements : des 3 et 10 mars 2024. Pour rappel, les résultats du modèle hydraulique de la présente étude ont déjà servi au calage du modèle hydrologique (voir §1.4). Ce calage est donc redondant et ne vise qu'à vérifier la cohérence attendue entre la modélisation et les observations.

La comparaison entre les limnigrammes issus de la modélisation et les observations aux stations de Défoussat et des Ferrayonnes est présentée ci-dessous.







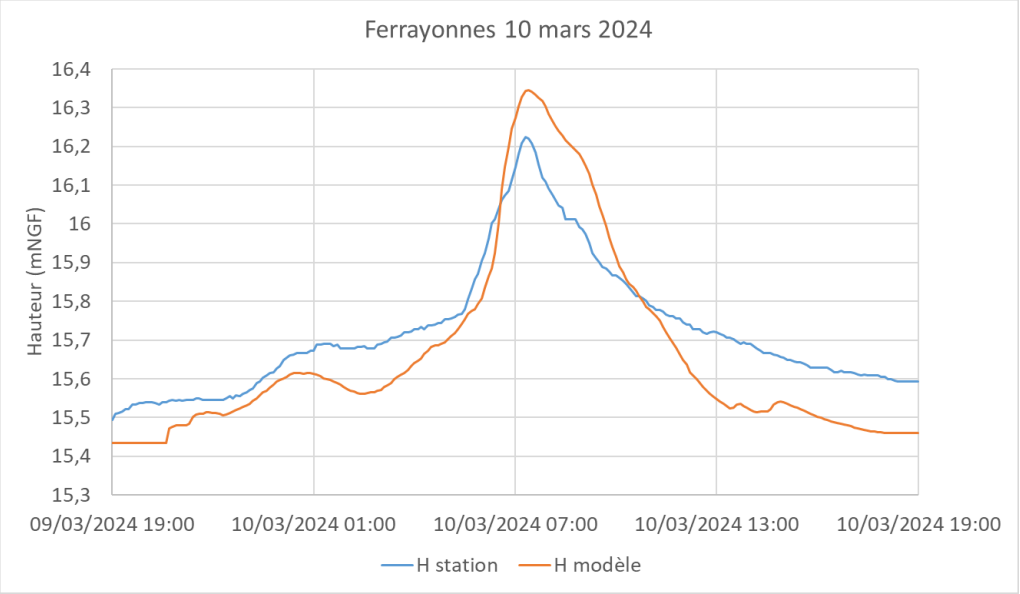


Figure 13 : Comparaison des hauteurs simulées et observées aux stations pour les deux événements de mars 2024

La superposition des limnigrammes observés et simulés est satisfaisante pour les deux événements à l'ensemble des stations, avec un écart maximal de 10 cm au pic.

En raison de la faible intensité des précipitations, le cours d'eau est resté majoritairement confiné dans son lit. Les seules exceptions concernent les zones de confluence entre le Cercle et le Défoussat, ainsi qu'entre le Défoussat et le Malvan, où de faibles hauteurs d'eau ont été simulées en dehors du lit mineur.

Les zones d'inondations simulées pour ces deux événements sont présentées ci-dessous.

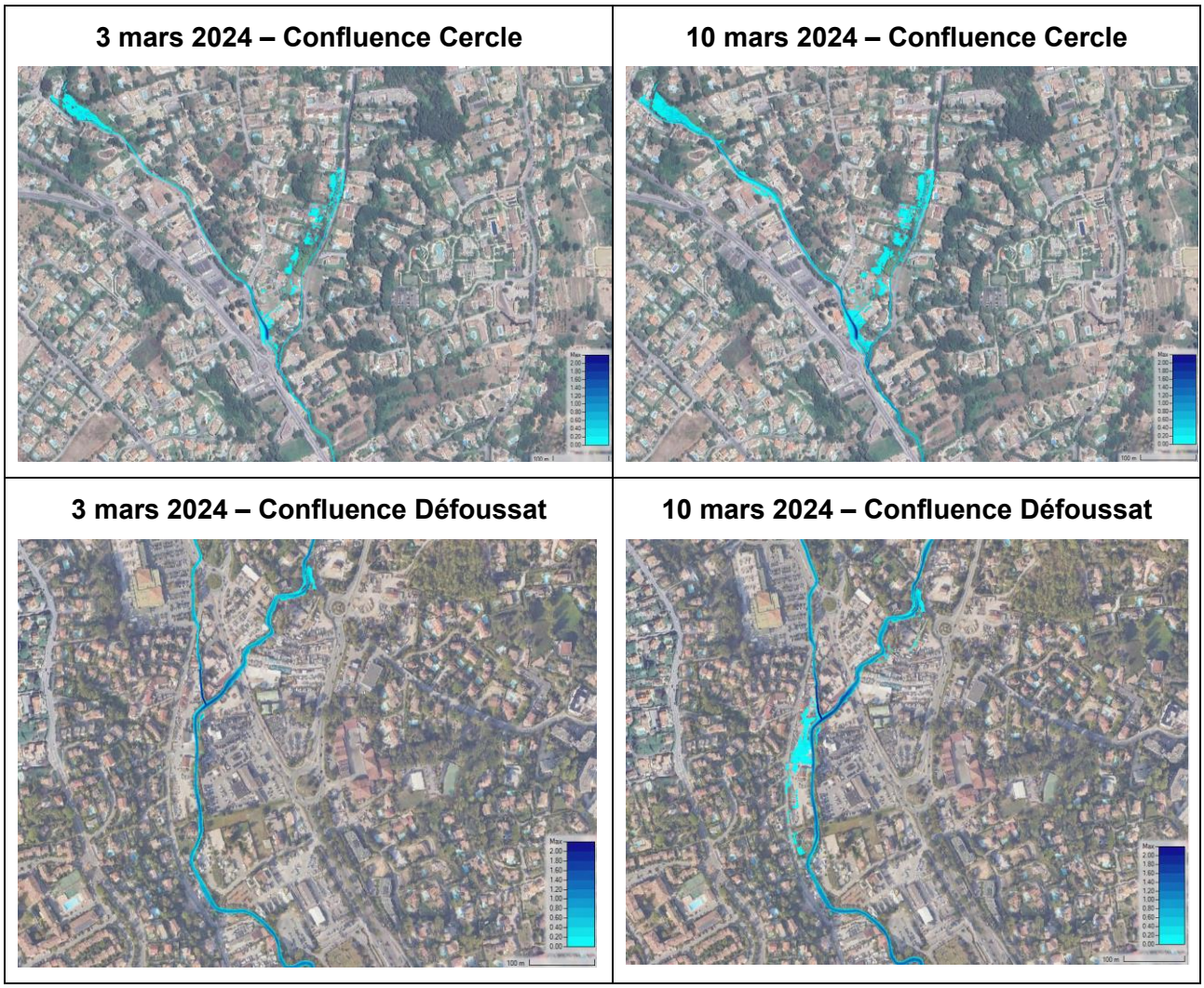


Figure 14 : Zooms sur les zones d'inondations pour les deux événements de mars 2024

Aucune donnée permettant de comparer les zones d'inondation pour cet événement n'est disponible.

4.2 CALAGE SUR LA CRUE DU 3 OCTOBRE 2015

Comme présenté dans le rapport d'état des lieux, l'événement du 3 octobre 2015 — dont la période de retour est estimée à 10 ans sur le Malvan et le Défoussat selon le rapport d'étude hydrologique — est le mieux documenté dans la zone d'étude.

En particulier, les informations transmises par la commune de Cagnes-sur-Mer à propos de cet événement permettent de disposer d'un certain nombre de points de calage pour le modèle. Ces informations sont synthétisées sur les figures suivantes :

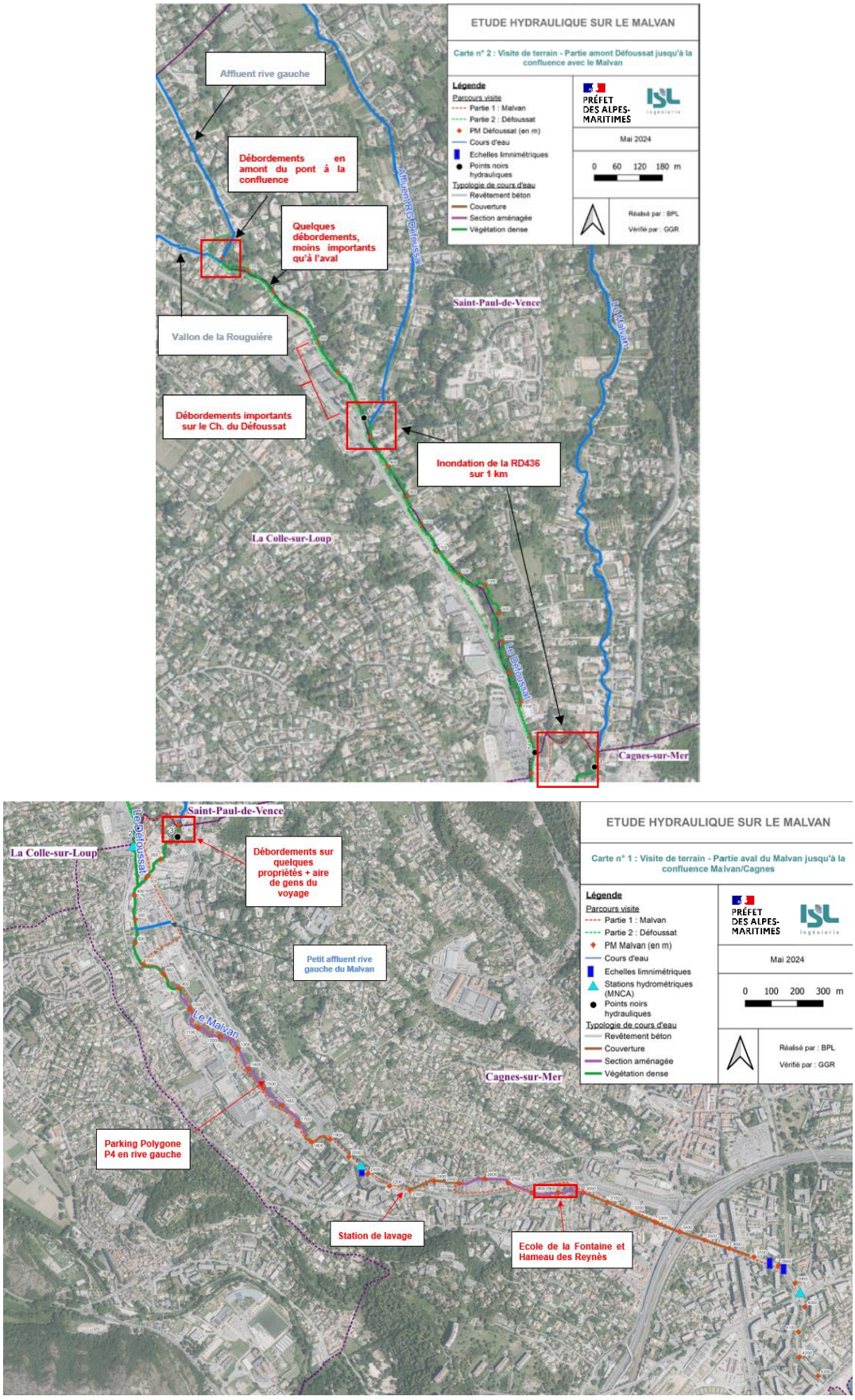


Figure 15 : Carte de compte-rendu de la visite de terrain du Défoussat (en haut) et du Malvan (en bas)

Les zones d'inondations simulées pour cet événement sont présentées ci-dessous :

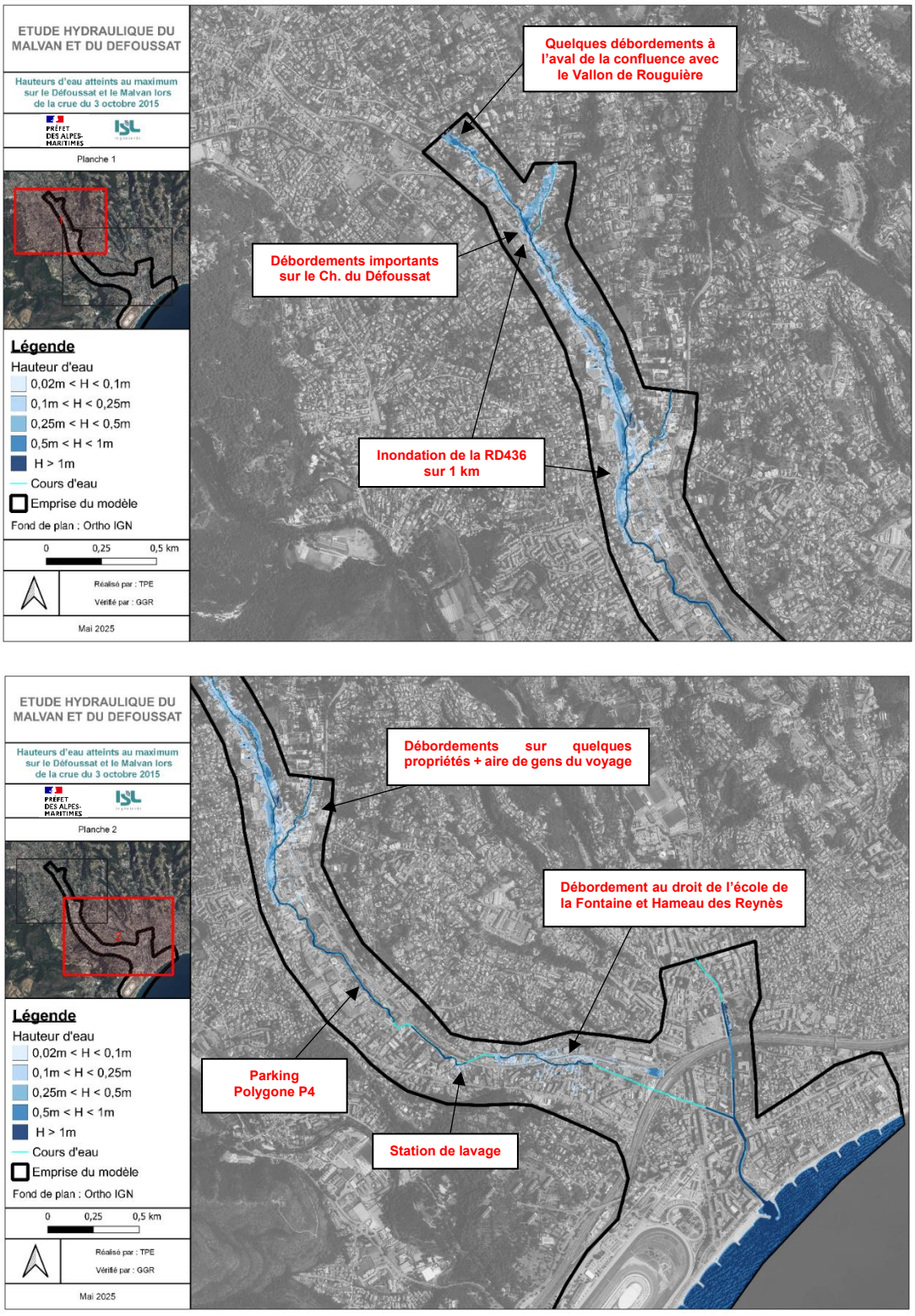


Figure 16 : Zones d'inondations simulées pour l'événement de la crue du 3 octobre 2015

Les zones d'inondation simulées correspondent globalement aux observations transmises à ISL lors de la visite de terrain, tant sur le secteur du Défoussat que sur celui du Malvan.

L'inondation du parking P4 du Polygone Riviera (actuellement « Shopping Promenade ») n'est pas représentée par la modélisation. Cette inondation de 2015 s'est produite alors que le parking souterrain était en construction. Or, la topographie utilisée dans le modèle en dehors du lit mineur est issue du LidarHD, lequel représente la situation de 2022.

Par ailleurs, la simulation reproduit une inondation en rive droite du Malvan au droit de la station de lavage, alors que les débordements ont été observés en rive gauche.



Figure 17 : Débordements du Malvan au droit de la station de lavage

Cette divergence peut s'expliquer par la présence de murs et d'obstacles urbains qui modifient localement la dynamique d'écoulement. Ces éléments ne sont pas intégrés au modèle, conformément à la destination de la modélisation, à savoir caractériser l'aléa inondation en vue d'une éventuelle révision du PPRi.

Malgré l'absence de validation par l'observation, le modèle suggère également une mise en charge du tunnel proche de l'école de la Fontaine (Couverture n°2 de la Figure 3), entraînant une inondation localisée en amont de cette zone de couverture. Ce constat est possible grâce aux outils de visualisations dans les zones de couverture apportés par la dernière version d'HECRAS, comme illustré ci-dessous :



Figure 18 : Mise en charge de la couverture n°2 au pic de crue du 3 octobre 2015

En conclusion, malgré certaines limitations liées à la représentation fine du milieu urbain et à l'absence de données de calage précise, le calage du modèle sur cet événement est jugé satisfaisant.

4.3 TESTS DE SENSIBILITE SUR LA CRUE DU 3 OCTOBRE 2015

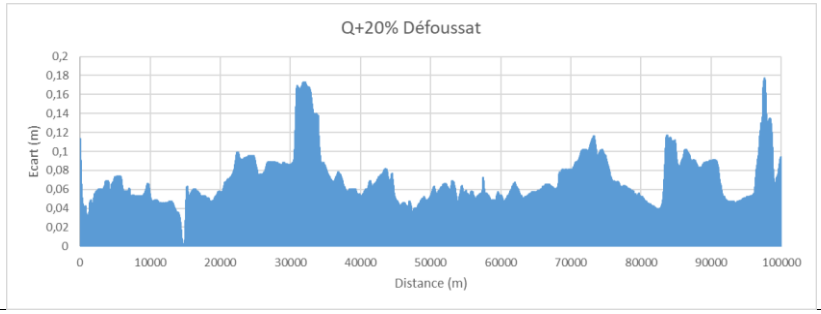
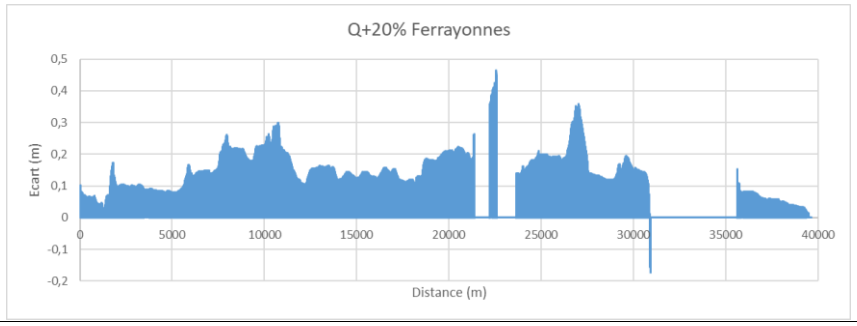
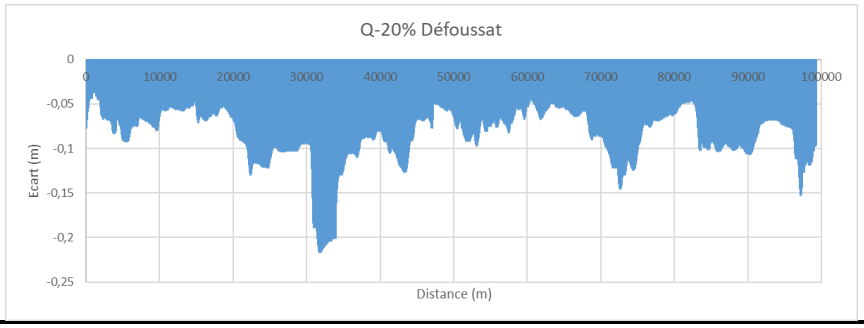
Le modèle 2D fait l'objet de tests de sensibilité portant sur les coefficients de Strickler ainsi que sur les débits injectés pour l'événement du 3 octobre 2015.

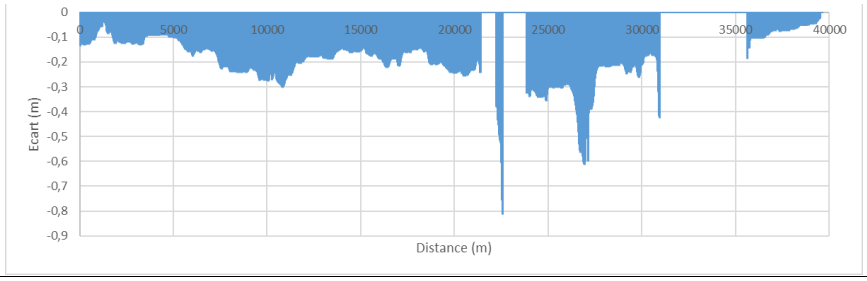
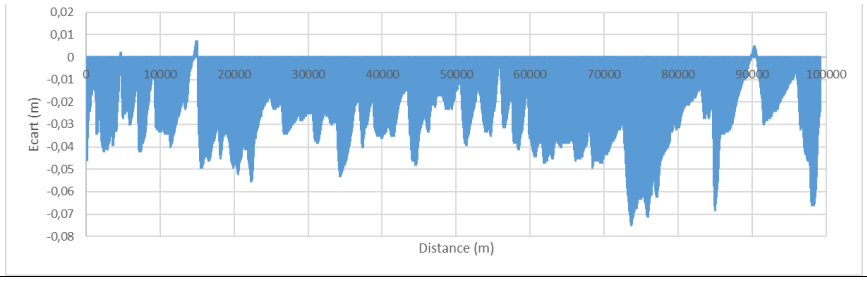
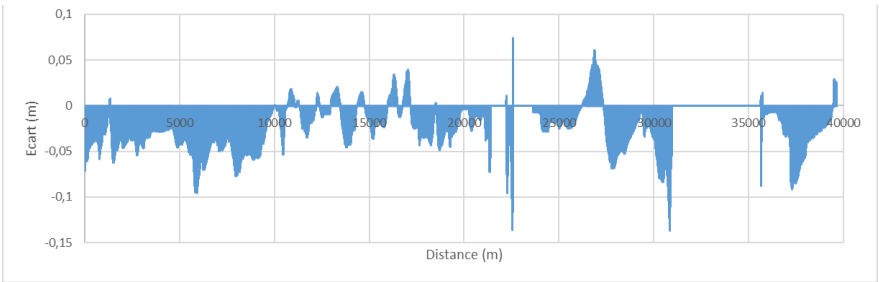
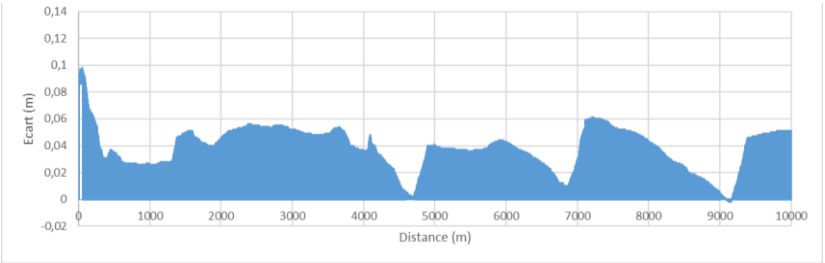
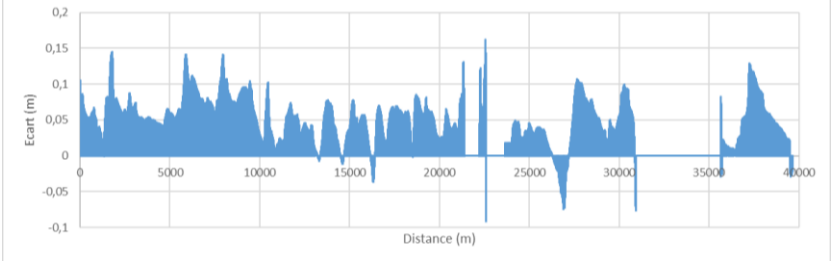
Les coefficients de Strickler et les débits ont été modifiés de ±20 % par rapport aux valeurs exposées aux § 3.3.2 et § 3.3.3. Les coefficients de Strickler au sein des zones de couvertures ont aussi été modifiés. Au total, quatre tests de sensibilité ont ainsi été réalisés.

Les résultats de ces tests de sensibilité sur les niveaux d'eau atteints en lit mineur sont présentés dans le tableau suivant. Les écarts sont calculés selon la formule suivante :

Niveau d'eau du test – Niveau d'eau du modèle retenu

Tableau 4 : Résultats des tests de sensibilité sur le débit et les coefficients de Strickler pour la crue de 2015

<table>
<tr><th>Test</th><th>Ecarts le long du profil en long</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Q+20%</td><td>Défoussat

</td></tr>
<tr><td>Malvan

</td></tr>
<tr><td>Q-20%</td><td>Défoussat

</td></tr>
</table>

Test	Ecarts le long du profil en long
	Malvan 
Ks+20%	Défoussat 
	Malvan 
Ks-20%	Défoussat 
	Malvan 

<u>Remarque</u> : Les trois secteurs sans données sur les figures du Malvan correspondent aux trois zones de couverture.

Les tests de sensibilité sur le débit montrent que les écarts les plus significatifs se situent en amont des zones de couvertures, principalement en raison de l'état de mise en charge des tunnels. Ces écarts peuvent atteindre ponctuellement jusqu'à 80 cm. Les écarts moyens sur l'ensemble du linéaire du Malvan sont de l'ordre de 20 cm. Sur le Défoussat, les écarts sont plus faibles, ne dépassant pas 20 cm et étant majoritairement inférieurs à 10 cm.

Les tests réalisés sur les coefficients de Strickler mettent en évidence une bonne robustesse du modèle : les écarts observés ne dépassent pas 16 cm, avec une sensibilité moyenne de l'ordre de ±5 cm.

En conclusion, le modèle présente une sensibilité modérée aux variations des paramètres hydrauliques testés. De façon générale, l'incertitude sur les résultats de la modélisation est alors de +/- 25 cm.

5 EXPLOITATION DU MODELE

5.1 CARTOGRAPHIE

Une fois calé et validé, le modèle est exploité pour les crues de différentes occurrences : Q10, Q30, Q100, Q1000 et la crue de premier débordement. Les débits de pointe des hydrogrammes, construits dans le rapport hydrologique (RM3), sont synthétisés dans le Tableau 3.

Les paramètres suivants sont cartographiés sous forme d'atlas sur l'ensemble du territoire couvert par la modélisation :

- hauteur d'eau,
- vitesse d'écoulement,
- aléa inondation (croisement hauteur/dynamique) pour l'évènement de référence,
- cote PHE pour l'évènement de référence PPRi (Q100)

Les classes de hauteurs d'eau retenues pour la cartographie sont les suivantes :

- 0,02m < H < 0,25m ;
- 0,25m < H < 0,5m ;
- 0,5m < H < 1m ;
- 1m < H < 2m ;
- H > 2m.

Les classes de vitesses d'écoulement retenues pour la cartographie sont les suivantes :

- 0m/s < V < 0,5m/s (écoulements significatifs) ;
- 0,5m/s < V < 1m/s (écoulements forts) ;
- V > 1m/s.

Conformément au cahier des charges, le cas général d'une vitesse de montée des eaux rapide est retenu. Ainsi, la grille de caractérisation des aléas est la suivante :

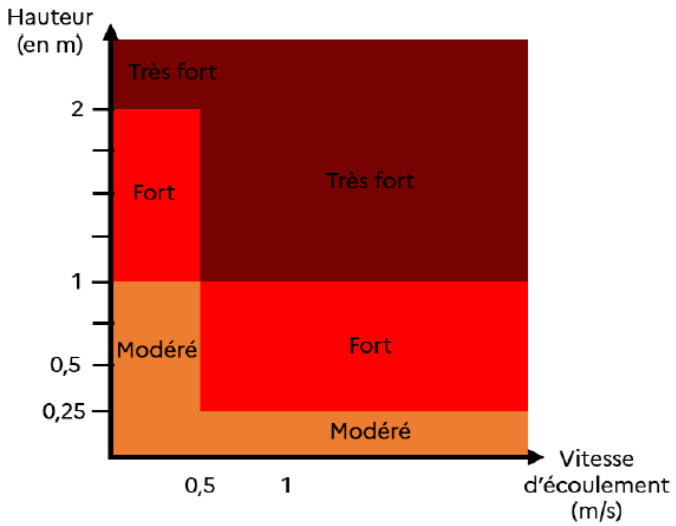


Figure 19 : Grille de caractérisation des aléas

Enfin, afin d'illustrer l'évolution des surfaces inondables par rapport aux PPRi en vigueur, une cartographie comparative est proposée.

Toutes ces cartes sont réalisées à l'échelle 1/5000ème, sous forme de données vectorielles, et regroupées dans l'ANNEXE 2.

5.2 RESULTATS DE L'ETUDE DE PREMIERS DEBORDEMENTS

5.2.2 EMPRISE TOTALE DU MODELE

Une simulation est réalisée à partir d'hydrogrammes en entrée (pour les cours d'eau et les points d'injection), dont les débits varient progressivement d'une valeur nulle à un débit supérieur au débit de pointe de Q10, à l'exception de la Cagne qui conserve son débit moyen. Cette simulation permet d'observer l'ordre d'apparition des débordements sur les cours d'eau du Malvan et du Défoussat.

La carte ci-dessous présente les zones de premiers débordements dans l'emprise d'étude ainsi que leur classe de période de retour associée.

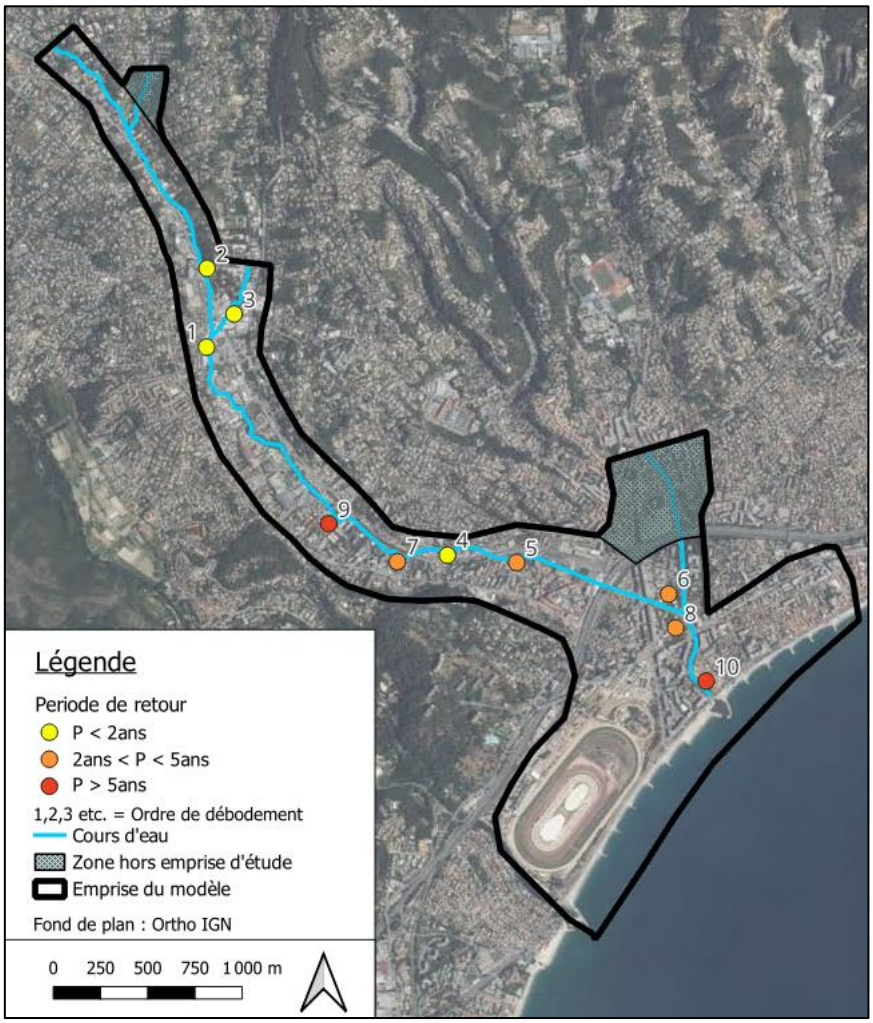


Figure 20 : Carte des premiers débordements sur la zone d'étude

Les premiers débordements se produisent d'abord autour de la confluence entre le Défoussat et le Malvan pour des périodes de retour faibles, inférieures à deux ans (selon les valeurs fournies par la base SHYREG Débits).

Ensuite, les débordements au droit des zones de couverture apparaissent généralement pour des périodes de retour comprises entre deux et cinq ans. C'est également à ce stade que surviennent les premiers débordements à la confluence avec la Cagne.

5.2.3 DEBORDEMENTS AU NIVEAU DU PONT SOUS LA ROUTE D436

Le pont passant sur la route D436 fait l'objet d'un projet d'aménagement PAPI. Il a donc été demandé à ISL d'affiner l'analyse des débordements de cet ouvrage. Sa localisation est présentée sur la figure ci-dessous.



Figure 21 : Localisation de l'ouvrage

Conformément au levé topographique de l'ouvrage, l'ouvrage est modélisé sous la forme d'un cadre rectangulaire de 3 m de largeur, caractérisé par une élévation de fond de 33,55 m NGF, une cote basse de tablier de 35,13 m NGF et une cote haute de tablier de 35,81 m NGF.

Les simulations réalisées sont exploitées pour caractériser les niveaux atteints en amont immédiat du pont pour différentes périodes de retour :

- Les niveaux atteints au pic des crues théoriques de période de retour 10 ans, 30 ans et 100 ans.
- Exploitation de la « simulation par paliers » pour estimer les débits de premier débordement : les niveaux atteints lors de l'atteinte des paliers de débit des crues théoriques de période de retour 2 et 5 ans selon la base SHYREG Débits (9,6 m³/s pour Q2 et 15,6 m³/s pour Q5 sur le Défoussat).

La figure suivante présente ces niveaux. Un tableau détaille les cotes atteintes.

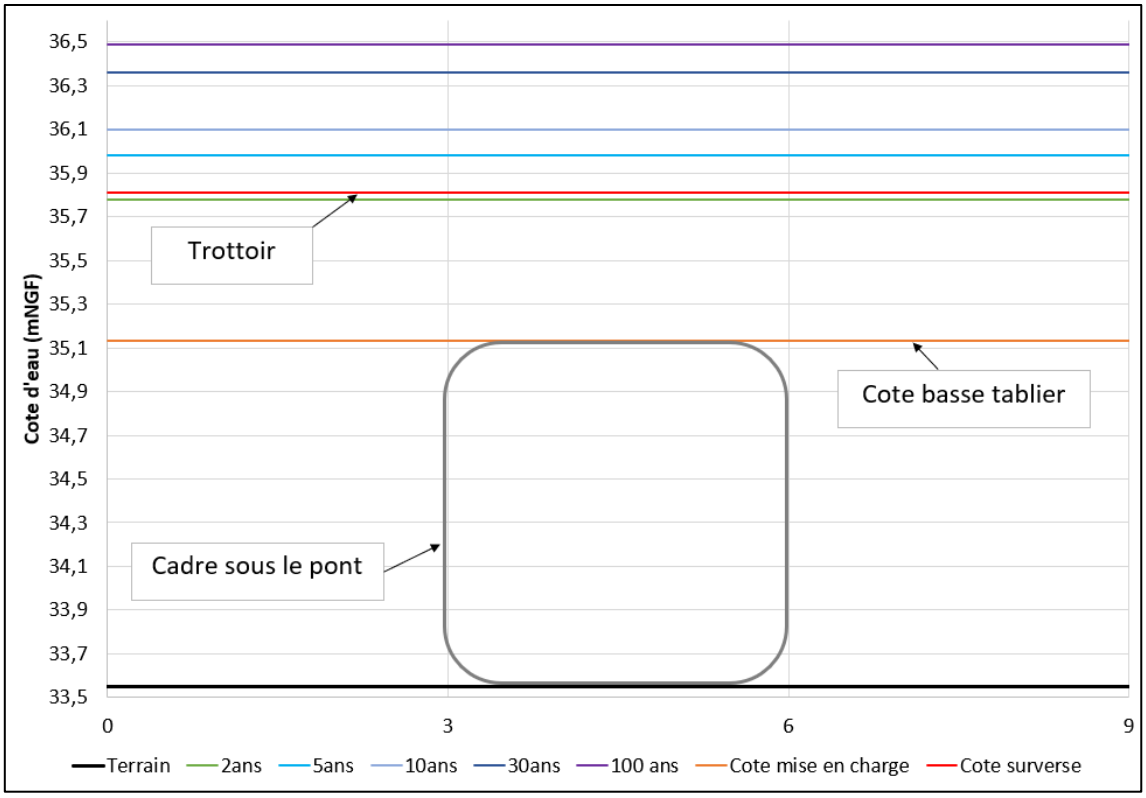


Figure 22 : Niveaux atteints en amont de l'ouvrage pour différentes périodes de retour

Tableau 5 : Détail des cotes atteintes en amont de l'ouvrage

	T = 2ans	T = 5ans	T = 10ans	T = 30ans	T = 100ans
Cote maximale (mNGF)	35,78	35,98	36,1	36,36	36,49

À partir de la figure, il est possible de constater que :

- pour l'ensemble des périodes de retour étudiées, le cadre situé sous le pont fonctionne en charge ;
- dès la crue de période de retour 2 ans, le pont se trouve à la limite de la surverse ;
- l'écart de hauteur d'eau entre une crue de période de retour 5 ans et une crue centennale est de 50 cm.

La figure suivante illustre la dynamique du débordement au droit de l'ouvrage.

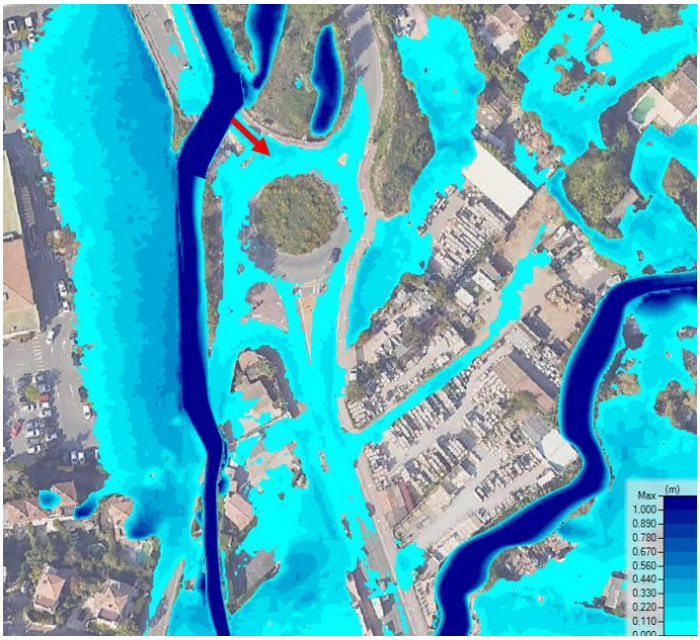


Figure 23 : Débordement depuis l'ouvrage sur le rond-point

Dès que la cote du trottoir est dépassée, les écoulements se dirigent vers le rond-point reliant la D436, la route des Serres et la rue de la Grange Rimade.

5.3 RESULTATS POUR LA CRUE DE REFERENCE (Q100)

La figure suivante présente une comparaison de l'emprise de la zone inondable pour la crue de référence (Q100) entre la présente étude et la couche issue du PPRI en vigueur qui a été transmise. Cette carte est aussi présentée en ANNEXE 2.

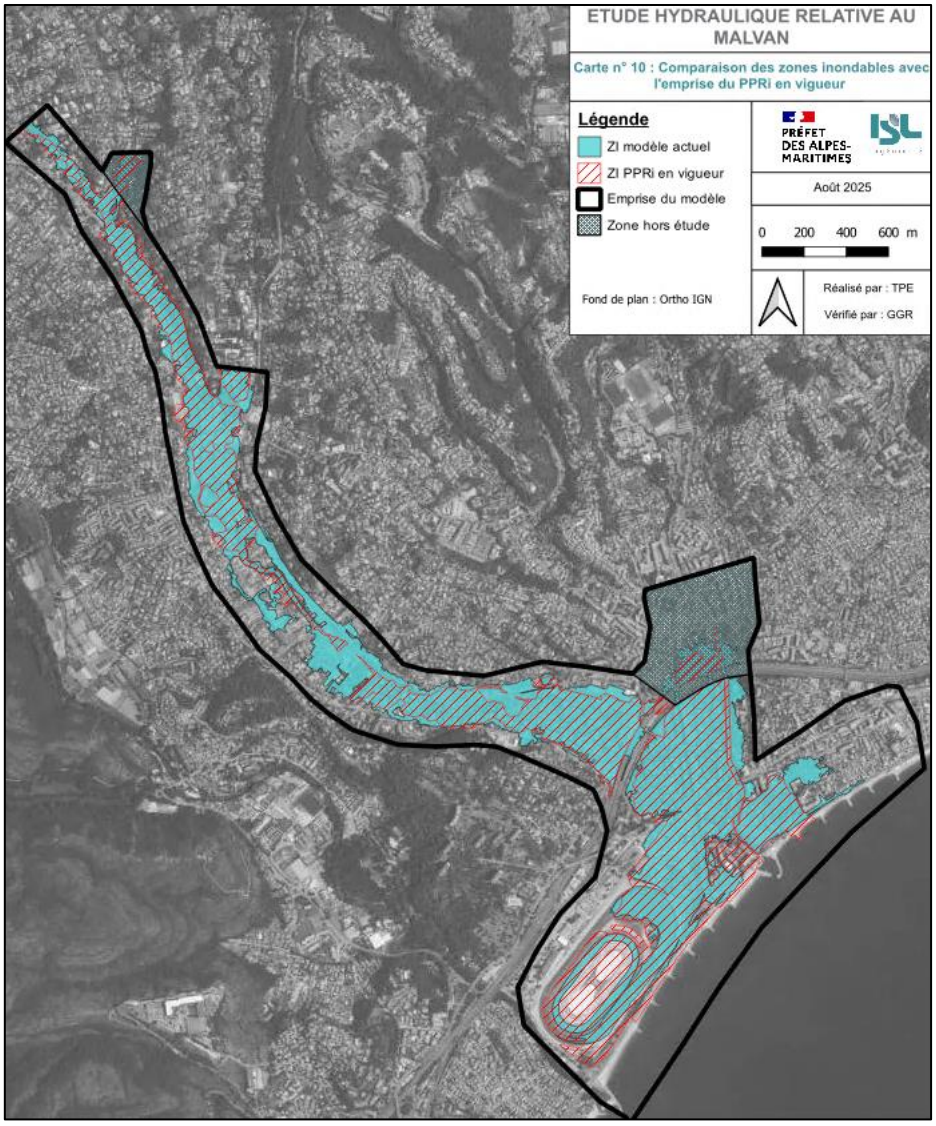


Figure 24 : Comparaison des zones inondables avec l'emprise du PPRi en vigueur

Globalement, l'emprise du PPRi en vigueur est incluse dans l'emprise de la crue centennale modélisée dans la présente étude. L'écart constaté entre les deux emprises s'explique principalement par un débit plus élevé utilisé dans le présent modèle, comparé à celui retenu dans les PPRI en vigueur.

Comme mentionné dans la partie 7.3.2.2 du rapport hydrologique (RM3) et le rapport d'état des lieux (RM1), les valeurs de débit issues des études liées aux PPRI sont anciennes, datant de 2000 à 2006. De plus, ces études se basent sur la pluviométrie relevée au poste de mesure de Nice, où les précipitations sont moins importantes que sur le bassin versant global du Malvan (et en particulier sa partie amont). Cela entraîne une sous-estimation des débits calculés dans ces études par rapport à l'actualisation réalisée dans la présente étude, comme illustré par le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Comparaison des débits de l'événement centennal entre le présent modèle et les PPRi en vigueur

	Débit Q100 présente étude (m^3/s)	Débit Q100 PPRi (m^3/s)	Source du PPRi
Le Cercle – Affluent du Défoussat	21,3	23 /14	St Paul de Vence / La Colle-sur-Loup
Le Défoussat avant la confluence avec le Malvan – Limite amont du modèle	46,7	26	La Colle-sur-Loup
Le Malvan amont	88,8	64 / 72	St Paul de Vence / Cagnes-sur-Mer

La figure suivante présente les cotes de plus hautes eaux (PHE) pour la crue de référence (Q100), avec un pas de 50 centimètres. Cette carte est aussi présentée en ANNEXE 2.

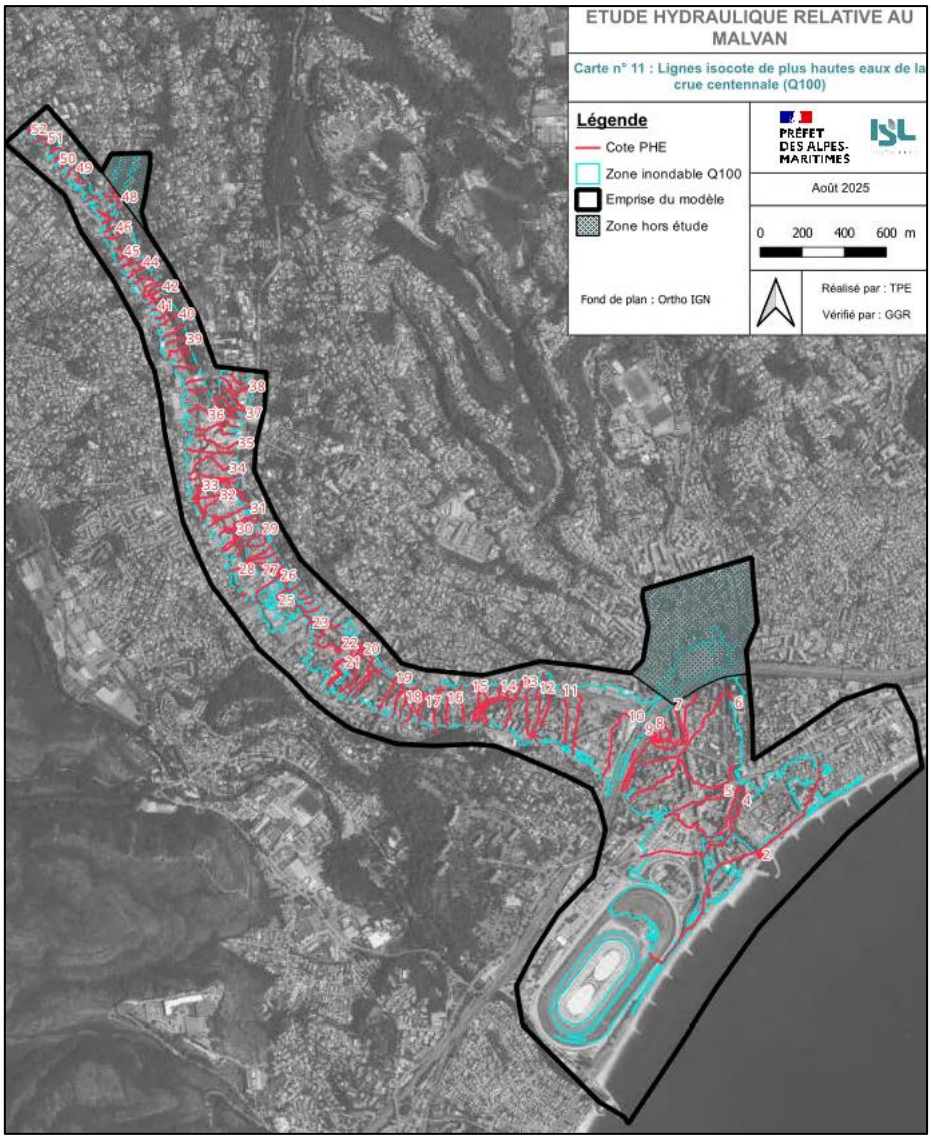


Figure 25 : Lignes isocote PHE de la crue centennale

5.4 SCENARIO D'EMBACLES POUR LA CRUE CENTENNALE

Un embâcle dans un ouvrage hydraulique correspond à l'accumulation de matériaux solides (branchages, troncs, sédiments, déchets flottants, etc.) lors d'une crue à l'amont ou à l'intérieur d'un l'ouvrage. Cette obstruction perturbe l'écoulement, provoquant une augmentation de la perte de charge liée à l'ouvrage, et peut présenter un risque supplémentaire d'inondation. Ainsi, ce cas de figure doit être pris en compte en réalisant une simulation tenant compte d'embâcles dans les ouvrages modélisés.

Tous les ouvrages ne présentent pas le même risque d'embâcle :

- **Sur le Défoussat**, le bassin versant amont est exclusivement urbanisé. La production de bois flottant est faible. Le risque d'embâcle serait dû à un blocage par du mobilier urbain ou des voitures (notons la présence d'emplacements de stationnement assez proches du cours d'eau). La largeur des ponts est faible (2 m environ). Les ponts sont en charge pour une crue centennale et les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement en lit majeur sont compatibles avec une mise en mouvement de véhicule (h>40cm, v>1m/s). Un blocage quasi-total est possible.
- **Sur le Malvan**, une partie du BV amont présente des forêts. Le cours d'eau a une largeur de l'ordre de 6-7 m, la longueur des bois pouvant être transportés s'approche de cette largeur. La partie aval, où le cours d'eau est le plus puissant, est urbanisée. Du mobilier urbain ou des voitures peuvent donc également être transportées. Pour les ponts et les tunnels en charge avec moins de 10 m de largeur, un blocage significatif est possible.

Afin de simuler un scénario d'embâcle des ouvrages hydrauliques du Défoussat et du Malvan pour une crue centennale (Q100), les hypothèses suivantes sont retenues :

- réduction de section de **80%** pour l'ensemble des ponts du Défoussat ;
- réduction de section de **50%** pour les ponts à la largeur inférieure à 15 m ainsi que pour les trois entrées des zones de couvertures ;
- Aucune réduction de débitance pour les autres (7 ouvrages, essentiellement au droit du centre commercial Shopping Promenade, ex-« Polygone Riviera »). Ces ouvrages sont suffisamment larges pour écarter l'hypothèse d'un scénario d'embâcle, la plupart ne rentrant pas en charge pour une crue centennale.

La réduction de section des ouvrages est modélisée par un abaissement de la cote inférieure des tabliers dans les objets SA/2D et Pipe Networks d'HEC-RAS.

La figure suivante présente le résultat de la simulation sous la forme d'une carte des hauteurs d'eau maximales atteintes.

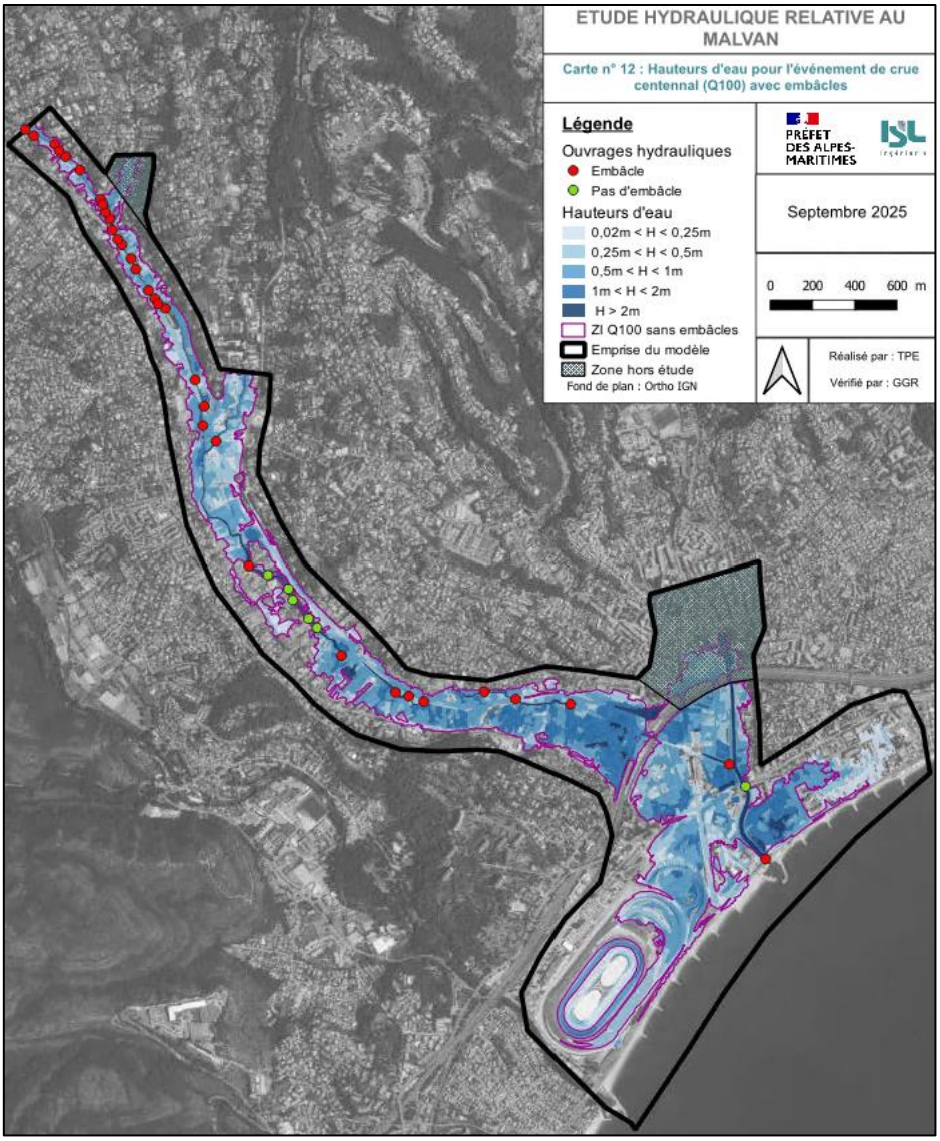


Figure 26 : Hauteurs d'eau atteintes pour le scénario avec embâcles de la crue Q100

La carte ci-dessous illustre les zones les plus affectées par la présence d'embâcles, en comparant les hauteurs d'eau entre les deux scénarios modélisés.

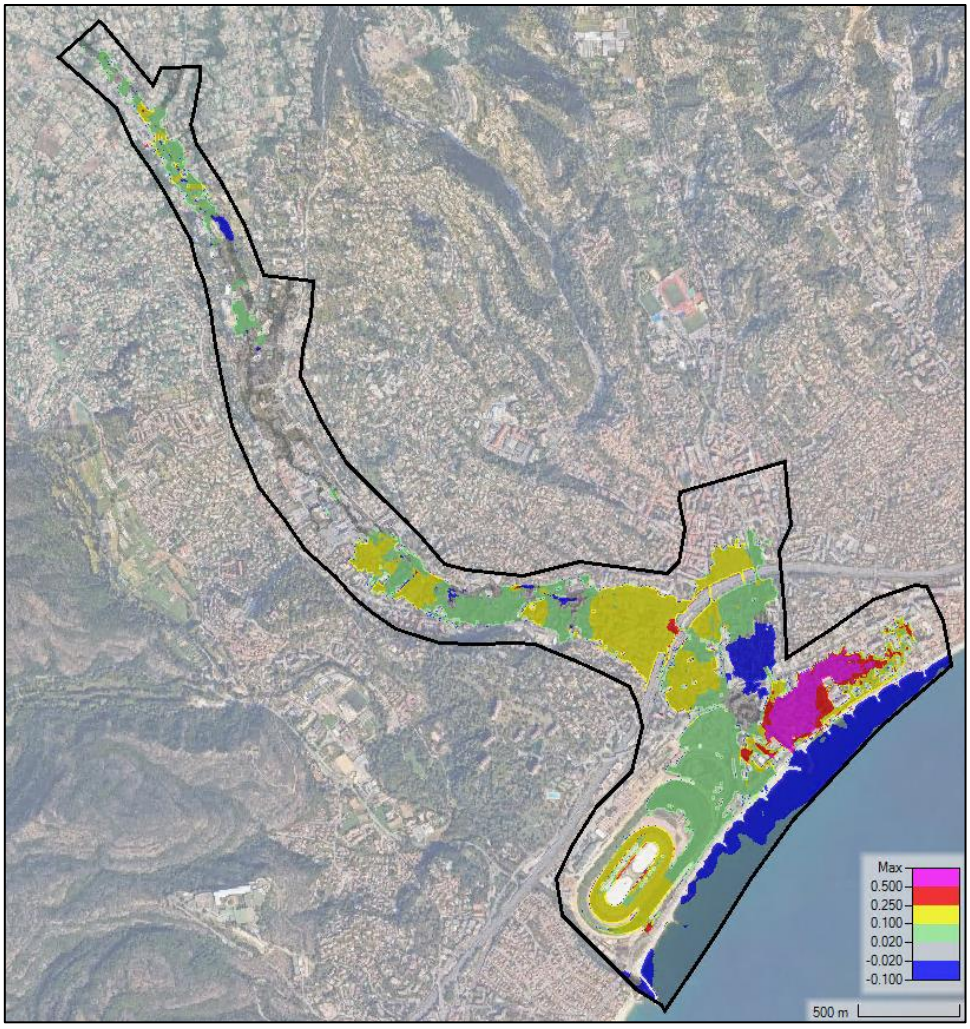


Figure 27 : Différence de hauteurs d'eau avec et sans embâcle (Hmax $_{avec}$- Hmax $_{sans}$)

La figure suivante illustre la variation de la ligne d'eau en amont des ouvrages lors de la présence d'embâcles.

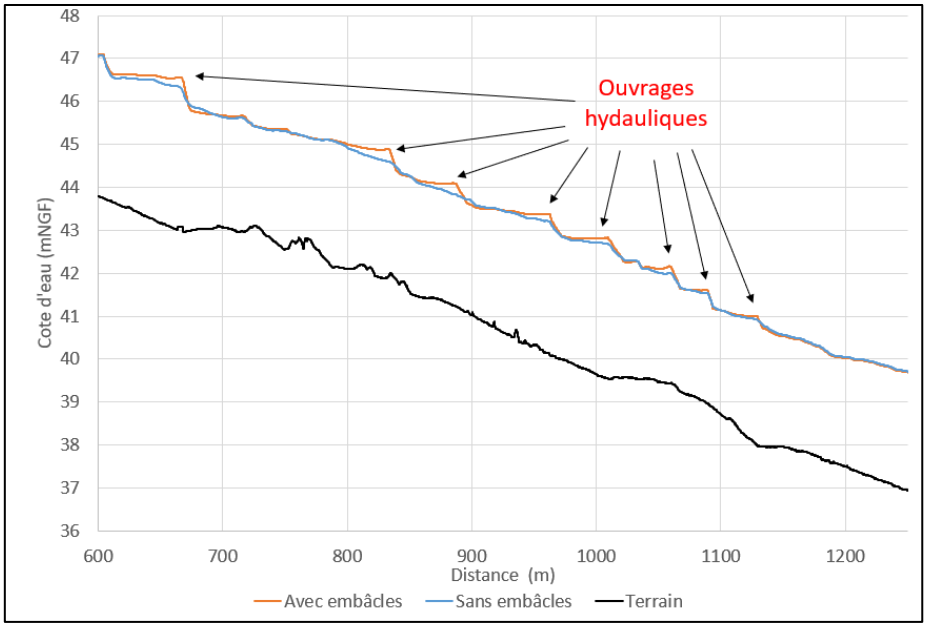


Figure 28 : Extrait des profils en long du Défoussat avec et sans embâcles pour Q100

À partir de ces figures, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- L'emprise de la zone inondable reste globalement inchangée. La différence majeure réside dans l'extension de l'emprise vers l'est, au niveau de l'embouchure de la Cagne.
- Les hauteurs d'eau sont plus élevées dans les zones d'inondations avec la présence d'embâcles. Une partie de l'écoulement ne parvient pas à circuler sous les ouvrages et s'accumule en amont, jusqu'à ce qu'un déversement se produise au-dessus du pont ou que l'eau contourne l'ouvrage. Par conséquent, les pertes de charge au droit de chaque ouvrage sont accrues en présence d'embâcles (voir Figure 28).
- La différence de hauteur d'eau entre la situation avec et sans embâcle varie de 75 cm en amont de l'exutoire de la Cagne à -10 cm au niveau de la confluence Malvan/Cagne.

6 CONCLUSION

L'étude hydraulique relative au Malvan a été structurée en quatre missions distinctes, chacune ayant fait l'objet d'un rapport spécifique (RM 1 à 4) :

- **Mission n°1 (RM1) :** Etat des lieux du territoire (visite de terrain, analyse des crues historiques, et analyse du fonctionnement du bassin versant) ;
- **Mission n°2 (RM2):** Définition des besoins en études topographiques (synthèse des données disponibles et cahier des charges topographiques) ;
- **Mission n°3 (RM3):** Analyse hydrologique (analyse des pluies, évaluation des débits de projets, modélisation pluie-débit et confrontation aux données existantes) ;
- **Mission n°4 (RM4, présent rapport):** Définition, caractérisation et cartographie des aléas (modélisation hydraulique, exploitation du modèle et cartographies).

Le modèle hydraulique 2D du Malvan et du Défoussat a été construit à l'aide du logiciel HEC-RAS. La topographie du lit mineur ainsi que les ouvrages intégrés (ponts et tunnels) proviennent de levés topographiques terrestres de la zone. La topographie du lit majeur est issue du Lidar HD.

Le calage du modèle repose sur trois événements de crues historiques (3 octobre 2015, 3 et 10 mars 2024). Des tests de sensibilité ont également été réalisés sur les coefficients de Strickler et sur les débits entrants.

L'exploitation des résultats a porté sur quatre crues théoriques (Q10, Q30, Q100 et Q1000), présentés sous forme d'atlas de cartes illustrant les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement.

L'emprise des inondations obtenue est généralement plus étendue que celle définie dans le PPRi en vigueur. De nouvelles cartes d'aléas ont donc été produites pour l'évènement de référence (crue centennale).

Enfin, les premiers débordements des cours d'eau ainsi que la sensibilité au risque d'embâcles ont été analysés.

ANNEXE 1 : NOTE TECHNIQUE D'ANALYSE DES LOIS DE TARAGE

ANNEXE 2 : CARTOGRAPHIE

Numéro de carte	Description
Carte 1	Hauteurs d'eau pour l'événement de crue décennal (Q10)
Carte 2	Vitesses d'écoulement pour l'événement de crue décennal (Q10)
Carte 3	Hauteurs d'eau pour l'événement de crue trentennal (Q30)
Carte 4	Vitesses d'écoulement pour l'événement de crue trentennal (Q30)
Carte 5	Hauteurs d'eau pour l'événement de crue centennal (Q100)
Carte 6	Vitesses d'écoulement pour l'événement de crue centennal (Q100)
Carte 7	Aléa pour l'événement de crue centennal (Q100)
Carte 8	Hauteurs d'eau pour l'événement de crue millénal (Q1000)
Carte 9	Vitesses d'écoulement pour l'événement de crue millénal (Q1000)
Carte 10	Comparaison des zones inondables avec l'emprise du PPRi en vigueur
Carte 11	Lignes isocote de plus hautes eaux de la crue centennale (Q100)
Carte 12	Hauteurs d'eau pour l'événement de crue centennal (Q100) avec embâcles