



**CANNES  
PAYS DE  
LÉRINS**

Communauté d'agglomération de  
Cannes, Le Cannet, Mandelieu-La Napoule,  
Mougins et Théoule/Mer

---

# **Demande d'Autorisation Environnementale**

-

## **Création d'un ouvrage de ralentissement dynamique des crues de la Frayère**

-

### **ETUDE D'IMPACT ANNEXE 1 : INCIDENCE HYDRAULIQUE**





**CANNES  
PAYS DE  
LÉRINS**

Communauté d'agglomération de  
Cannes, Le Cannet, Mandelieu-La Napoule,  
Mougins et Théoule/Mer

02/2025  
22MAX005

CONSULTING

# Maîtrise d'œuvre pour la construction d'un ouvrage de ralentissement dynamique des crues au lieu-dit ancien hameau de Carimai, sur la rivière de la Grande Frayère

Annexe Etude d'impacts - Incidences  
Hydrauliques



**Numéro du projet : 22MAX005**

**Intitulé du projet : Maitrise d'œuvre pour la construction d'un ouvrage de ralentissement dynamique des crues au lieu-dit ancien hameau de Carimaï, sur la rivière de la Grande Frayère**

**Intitulé du document : Annexe Etude d'impact – Incidences hydrauliques**

Version	Rédacteur NOM / Prénom		Contrôleur 1 NOM / Prénom		Contrôleur 2 NOM / Prénom		Date d'envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES
	Documents de référence / Description des modifications essentielles							
01	GROSJEAN	Vivien					11/12/24	Version initiale

*Ce document a été réalisé par du personnel de SAFEGE SAS (opérant sous la marque commerciale SUEZ Consulting) ; SAFEGE SAS est un organisme agréé en tant qu'intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques, conformément à l'arrêté du 13 Juillet 2021 (Agrément « Auscultation - tous barrages » valide jusqu'au 31 juillet 2029)*



# Sommaire

## Table des matières

<b>1.....</b>	<b>Contexte de l'opération.....</b>	<b>5</b>
1.1	<b>Cadre général de la mission .....</b>	<b>5</b>
1.2	<b>Objectif de l'aménagement .....</b>	<b>6</b>
1.3	<b>Rappel de la stratégie du PAPI sur le bassin versant de la Frayère .....</b>	<b>10</b>
1.4	<b>Synthèse des principales caractéristiques de l'aménagement hydraulique..</b>	<b>12</b>
1.5	<b>Synthèse du fonctionnement hydraulique de l'ouvrage.....</b>	<b>14</b>
1.6	<b>Objet de la présente note .....</b>	<b>15</b>
1.7	<b>Méthodologie.....</b>	<b>15</b>
1.8	<b>Données topographiques .....</b>	<b>15</b>
1.9	<b>Référentiel hydrologique existant.....</b>	<b>18</b>
1.9.1	Bassin versant intercepté .....	18
1.9.2	Rappel sur l'hydrologie au droit du secteur .....	19
<b>2.....</b>	<b>Présentation de l'hydrologie révisée .....</b>	<b>27</b>
2.1	<b>Révision des débits de projet rares à extrêmes dans le cadre de la sécurisation du barrage pour les crues extrêmes et pour l'Etude de dangers .....</b>	<b>27</b>
2.1.1	Les pluies de projet .....	28
2.1.2	Particularité sur la géologie du bassin versant.....	30
2.1.3	La transformation pluie-débit.....	32
2.1.4	Synthèse des débits de projet retenus .....	34
<b>3.....</b>	<b>Calcul de laminage des crues par l'aménagement hydraulique .....</b>	<b>36</b>
3.1	<b>Détermination de la loi de débitance de l'aménagement hydraulique de Carimai .....</b>	<b>36</b>
3.1.1	La débitance du puits .....	36
3.1.2	La débitance du déversoir .....	37
3.1.3	La loi de débitance totale de l'aménagement hydraulique .....	38
3.2	<b>Loi hauteur-volume.....</b>	<b>41</b>

<b>3.3</b>	<b>Détermination des performances de l'ouvrage sur base de l'hydrologie révisée .....</b>	<b>42</b>
<b>3.4</b>	<b>Tableau de synthèse du calcul de laminage .....</b>	<b>46</b>
<b>4.....</b>	<b>Modélisation hydraulique de la Grande Frayère en aval de l'ouvrage.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b>Présentation du modèle hydraulique utilisé .....</b>	<b>47</b>
4.1.1	Données de base .....	47
4.1.2	Le type de modèle hydraulique .....	48
4.1.3	Maillage .....	49
4.1.4	Rugosité .....	49
4.1.5	Conditions aux limites .....	50
4.1.6	Prise en compte des embâcles (hypothèse du modèle PPRi) .....	50
<b>4.2</b>	<b>Fonctionnement en crue à l'état actuel .....</b>	<b>51</b>
4.2.1	Description de la dynamique d'inondation .....	53
4.2.2	Présentation des résultats maximum .....	56
<b>4.3</b>	<b>Caractérisation des impacts du projet d'aménagement hydraulique de Carimai .....</b>	<b>63</b>
<b>5.....</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>69</b>

## Table des illustrations

Figure 1-1 : Localisation de l'ouvrage – vue d'ensemble ( <i>Fond de plan OSM</i> ) .....	5
Figure 1-2 : Localisation de l'ouvrage – vue rapprochée ( <i>Fond de plan OSM</i> ).....	6
Figure 1-3 : Localisation du projet et secteur bénéficiant de l'aménagement hydraulique de Carimaï ( <i>Fond de plan Google Satellite 2023</i> ).....	7
Figure 1-4 : Zoom sur l'aménagement hydraulique de Carimaï ( <i>Fond de plan Google Satellite 2023</i> ).....	8
Figure 1-5 : localisation du tronçon de la Grande Frayère débordant en aval de l'aménagement .....	9
Figure 1-6 : Détail de l'aménagement hydraulique de Carimaï – lignes de structures issues du plan AVP ( <i>Fond de plan Google Satellite 2023</i> ).....	9
Figure 1-7 : Localisation des aménagements prévus dans le PAPI 2020 sur le secteur « Frayère aval » - CACPL .....	11
Figure 1-8 : Plan topographique de l'ouvrage SNCF – Riviera concepts – 11/2021 .....	16
Figure 1-9 : Plan topographique 1/500 <sup>e</sup> de l'état actuel – Riviera concepts – 12/2021 .....	16
Figure 1-10 : Vue en plan du MNT – Elévation [mNGF] – Lidar RGEalti de l'IGN – 2014 .....	17
Figure 1-11 : Bassin versant de la Grande Frayère intercepté (en vert) par l'aménagement hydraulique .....	18
Figure 1-12 : Bassin versant de la Frayère – Source PPRi 2018.....	20
Figure 1-13 : Estimation des débits de pointes et débit-pseudo-spécifique pour l'évènement du 03 octobre 2015 (encadré rouge : Grande Frayère au droit de Carimaï).....	22
Figure 1-14 : Pluies de projet type Kiefer – PPRi de Cannes.....	23
Figure 1-15 : Débits de pointe et débits pseudo-spécifiques retenus dans le PPRi - 2018.....	24
Figure 1-16 : Bassin versant calculé pour la méthode SHYREG – base de donnée SHYREG 2019 – identifiant ME2260 .....	25
Figure 1-17 : Hydrogramme de crue de la Grande Frayère au droit de l'aménagement hydraulique de Carimaï – source PAPI CACPL 2020 .....	26
Figure 2-1 : Comparaisons des cumuls de pluie statistique et octobre 2015 – Station de Cannes aéroport [1989-2021]29	
Figure 2-2 : Pluies de projet type Kiefer – Quantiles de pluie Cannes aéroport [1989-2021].....	30
Figure 2-3 : Cartographie géologique imprimé 1/50 000 au droit de la Grande Frayère – infoterre BRGM .....	31
Figure 2-4 : Hydrogrammes de crues retenues dans le cadre de l'Etude de Dangers et de la sécurisation du barrage pour les crues extrêmes – Grande Frayère au droit de l'aménagement hydraulique de Carimaï .....	35
Figure 3-1 : Loi de débitance du pertuis de sortie (Nago) et loi hauteur débit au droit de l'ouvrage SNCF en aval.....	37
Figure 3-2 : Loi de débitance de l'aménagement hydraulique - sans pertuis de fond.....	38
Figure 3-3 : Loi de débitance à travers l'aménagement hydraulique de Carimaï – Loi de débitance globale (seuil et pertuis) en rouge et loi de débitance du seuil uniquement (pertuis obstrué) en bleu – zoom sur la partie déversante .....	39
Figure 3-4 : Loi de débitance à travers l'aménagement hydraulique de Carimaï – Loi de débitance globale (seuil et pertuis) en rouge et loi de débitance du seuil uniquement (pertuis obstrué) en bleu .....	40
Figure 3-5 : Courbe hauteur volume de l'aménagement hydraulique.....	41
Figure 3-6 : Scénario 1 : Laminage de fonctionnement nominal en condition normale pour une crue type $Q_p= 38.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	42
Figure 3-7 : Laminage en condition normale pour une crue type $Q_p= 30 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	43
Figure 3-8 : Laminage en condition normale pour une crue type $Q_p= 45 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	44
Figure 3-9 : Laminage en condition normale pour une crue type 2015 .....	45
Figure 4-1 : Emprise du modèle hydraulique PPRi (en vert) .....	47
Figure 4-2 : Présentation du modèle Frayère, Roquebillière, Devens .....	48
Figure 4-3 : Présentation du maillage – modèle PPRi .....	49
Figure 4-4 : Présentation de la rugosité 2D .....	50
Figure 4-5 : Présentation des différents secteurs .....	52
Figure 4-6 : Dynamique des débordements - crue de 2015.....	54
Figure 4-7 : Hauteur d'eau maximum - crue de 2015 .....	55
Figure 4-8 : Hauteur d'eau maximum à gauche et vitesses d'écoulement à droite – Etat actuel - crue de débit de pointe $30\text{m}^3/\text{s}$ sur la Grande Frayère .....	57
Figure 4-9 : Hauteur d'eau maximum à gauche et vitesses d'écoulement à droite – Etat actuel - crue de débit de pointe $38.5 \text{ m}^3/\text{s}$ sur la Grande Frayère .....	58
Figure 4-10 : Hauteur d'eau maximum à gauche et vitesses d'écoulement à droite – Etat actuel - crue de débit de pointe $45\text{m}^3/\text{s}$ sur la Grande Frayère .....	59
Figure 4-11 : Hauteur d'eau maximum – Etat actuel - crue de 2015.....	60



Figure 4-12 : Vitesses d'écoulement maximum – Etat actuel - crue de 2015 .....	61
Figure 4-13 : Hauteur d'eau maximum – Modélisation PPRi (crue de 2015 incluant les bassins versants Roquebillière et Devens) .....	62
Figure 4-14 : Hauteur d'eau maximum en état projet à gauche et différences avec l'état actuel à droite - crue de débit de pointe 30 m <sup>3</sup> /s sur la Grande Frayère .....	64
Figure 4-15 : Hauteur d'eau maximum en état projet à gauche et différences avec l'état actuel à droite - crue de débit de pointe 38.5 m <sup>3</sup> /s sur la Grande Frayère .....	65
Figure 4-16 : Hauteur d'eau maximum en état projet à gauche et différences avec l'état actuel à droite - crue de débit de pointe 45 m <sup>3</sup> /s sur la Grande Frayère .....	66
Figure 4-17 : Hauteur d'eau maximum – Etat projet - crue de 2015 .....	67
Figure 4-18 : Différences sur les hauteurs d'eau - crue de 2015 .....	68

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des aménagements prévus dans le PAPI - CACPL PAPI 2020 .....	10
Tableau 2 : Caractéristiques principales de l'ouvrage de Carimaï .....	12
Tableau 3 : Caractéristiques du bassin versant intercepté .....	18
Tableau 4 : Formules de calcul du temps de concentration .....	20
Tableau 5 : Valeurs de Curve Number par occupation et classe de sol – La Frayère .....	21
Tableau 6 : Caractéristiques des bassins-versants de la Frayère .....	21
Tableau 7 : Cumuls en fonction de la durée de pluie et de l'occurrence correspondante à la station de Cannes – PPRi de Cannes .....	22
Tableau 8 : Récapitulatif des débits de pointe et débits pseudo-spécifiques issus des modélisations hydrologiques réalisées dans le cadre du PPRi - 2018 .....	23
Tableau 9 : Débits de pointe et débit pseudo-spécifiques pour le bassin versant de la Grande Frayère –Base de données SHYREG 2019 – identifiant ME2260 .....	25
Tableau 10 : Récapitulatif des débits de pointe et débits pseudo-spécifiques intercepté par l'aménagement hydraulique retenus dans le cadre du PAPI .....	26
Tableau 11 : Cumuls en fonction de la durée de pluie et de l'occurrence correspondante à la station de Cannes – Cannes aéroport [1989-2021] .....	29
Tableau 12 : Caractéristiques des bassins-versants de la Frayère .....	32
Tableau 13 : Résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Grande Frayère – BV 2.1 .....	32
Tableau 14 : Débits de pointe et pseudo-spécifique obtenus pour les crues Q100, Q1 000 et Q10 000 - bassin versant de la Grande Frayère au droit de l'aménagement hydraulique de Carimaï .....	33
Tableau 15 : Débits de pointe et débits pseudo-spécifiques retenus – Au droit de l'aménagement hydraulique de Carimaï .....	34
Tableau 16 : Récapitulatif des débits de pointe, volumes et débits pseudo-spécifiques retenus dans le cadre de l'Etude de Dangers et de la sécurisation du barrage pour les crues extrêmes .....	34
Tableau 17 : Tableau de synthèse des résultats du calcul de laminage du bassin de Carimaï – hydrogrammes issus de l'hydrologie révisée .....	46

# 1. CONTEXTE DE L'OPERATION

## 1.1 Cadre général de la mission

La présente opération s'inscrit dans le cadre du Programme d'Actions de Prévention contre les Inondations menée par la CACPL, dont l'axe 6, « Ralentissement des écoulements », et plus particulièrement la fiche action 6.3 « **Travaux d'aménagement d'un ouvrage de Rétention au lieu-dit Carimaï** », sur les communes de Cannes et Le Cannet.

Le principe de l'aménagement est de créer une rétention dans une zone naturelle d'expansion des crues, afin d'écrêter les crues de la Grande Frayère pour protéger les secteurs aval, dont celui de la Bocca.

L'aménagement hydraulique de Carimaï se situe sur les communes du Cannet et de Cannes sur le lieudit du « Hameau de Carimaï ». L'aménagement est localisé sur le cours d'eau la Grande Frayère et contribue à réduire les débordements de la Grande Frayère et de la Frayère aval sur le quartier Bocca de Cannes.

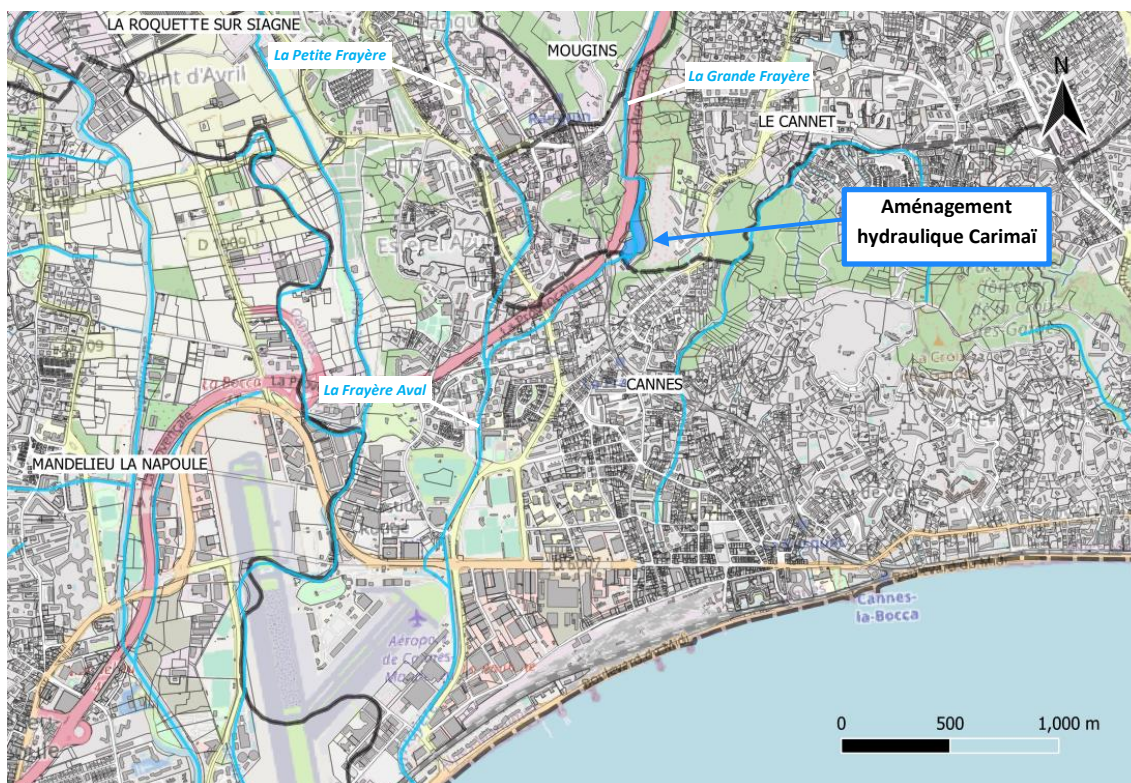


Figure 1-1 : Localisation de l'ouvrage – vue d'ensemble (Fond de plan OSM)

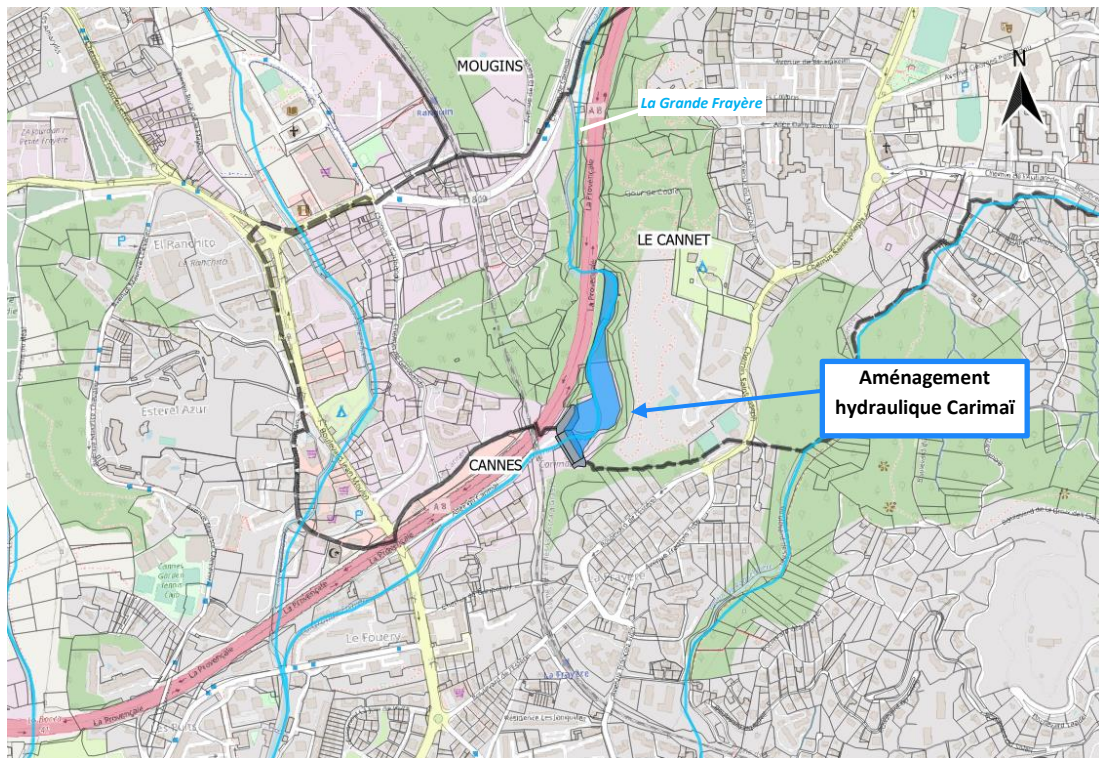


Figure 1-2 : Localisation de l'ouvrage – vue rapprochée (Fond de plan OSM)

## 1.2 Objectif de l'aménagement

L'aménagement hydraulique de Carimai se situe à la frontière entre les communes du Cannet et de Cannes, sur un secteur contraint entre les remblais et ouvrages de l'autoroute A8, ceux de la voie SNCF, les pans de collines présentant par endroit des affleurements rocheux et pans verticaux.

L'objectif de rétention du PAPI est estimé à un volume compris entre 54 000 et 58 000 m<sup>3</sup>. Cet objectif de rétention a été augmenté par la suite à un volume 70 000 m<sup>3</sup> pour pouvoir réceptionner en plus un potentiel futur délestage de la Roquebillière.

Cet aménagement a pour unique vocation la prévention des inondations sur la commune de Cannes en aval de l'ouvrage.

Du point de vue de la réglementation, l'ouvrage par sa nature à retenir les eaux de manière provisoire lors des crues est classé comme **aménagement hydraulique** au sens de l'article R.562-18 du code de l'environnement et également comme **barrage de classe C** au sens de l'article R214-112 du code de l'environnement, au regard de la présence des enjeux en aval.

A ce titre, l'ouvrage doit donc respecter les conditions suivantes :

- **Crue exceptionnelle** de période de retour **1 000 ans**
  - *cette crue permet de vérifier que la revanche est suffisante par rapport aux conditions de vents (cf. rapport AVP)*
- **Crue extrême** de période de retour **10 000 ans**
  - *La cote atteinte par cette crue ne doit être supérieure à la cote de danger de l'ouvrage*

Dans la suite du document, nous utiliserons le terme « **aménagement hydraulique** » par souci de simplicité pour décrire cet ouvrage hydraulique projeté.

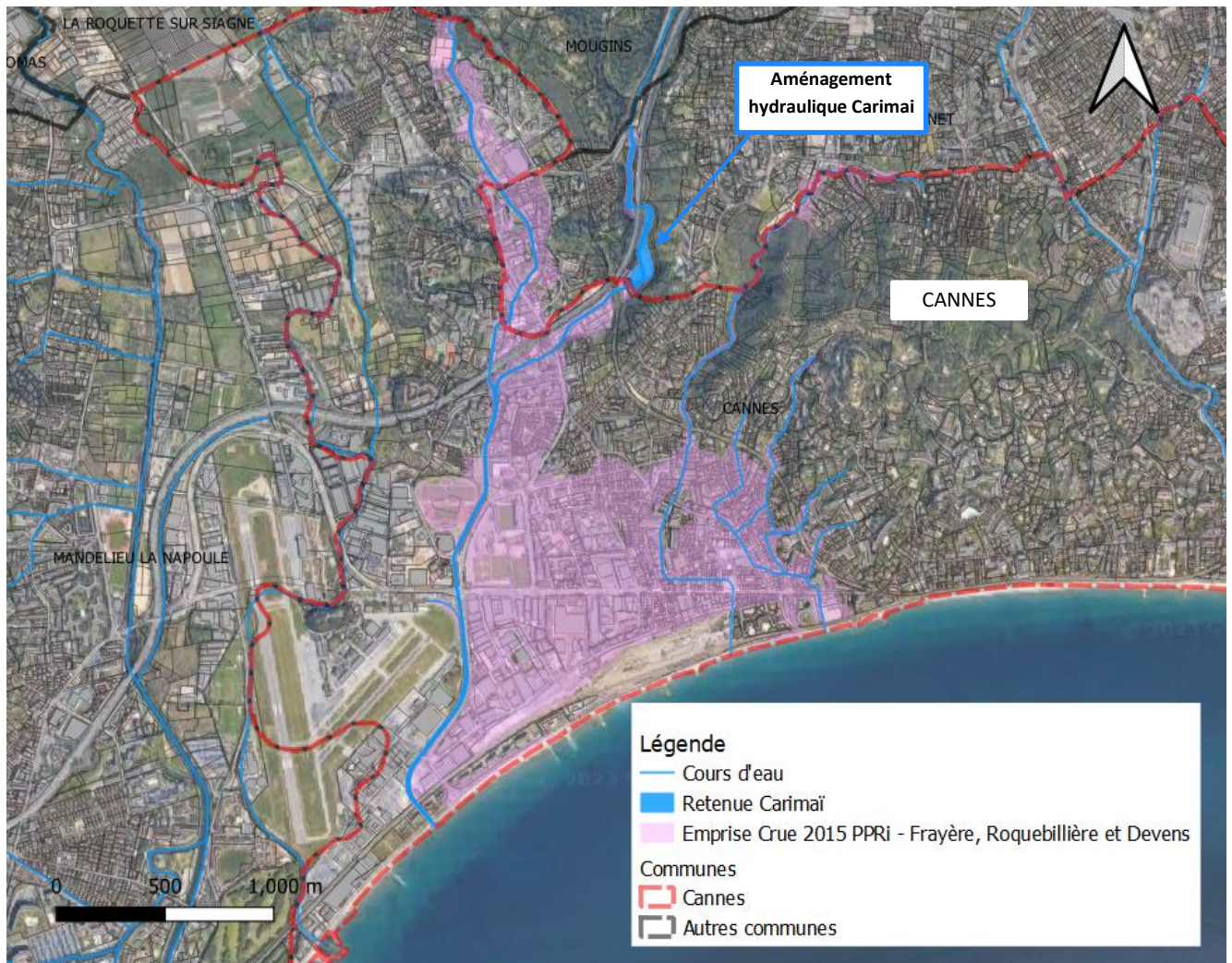


Figure 1-3 : Localisation du projet et secteur bénéficiant de l'aménagement hydraulique de Carimai  
(Fond de plan Google Satellite 2023)



Figure 1-4 : Zoom sur l'aménagement hydraulique de Carimaï (Fond de plan Google Satellite 2023)

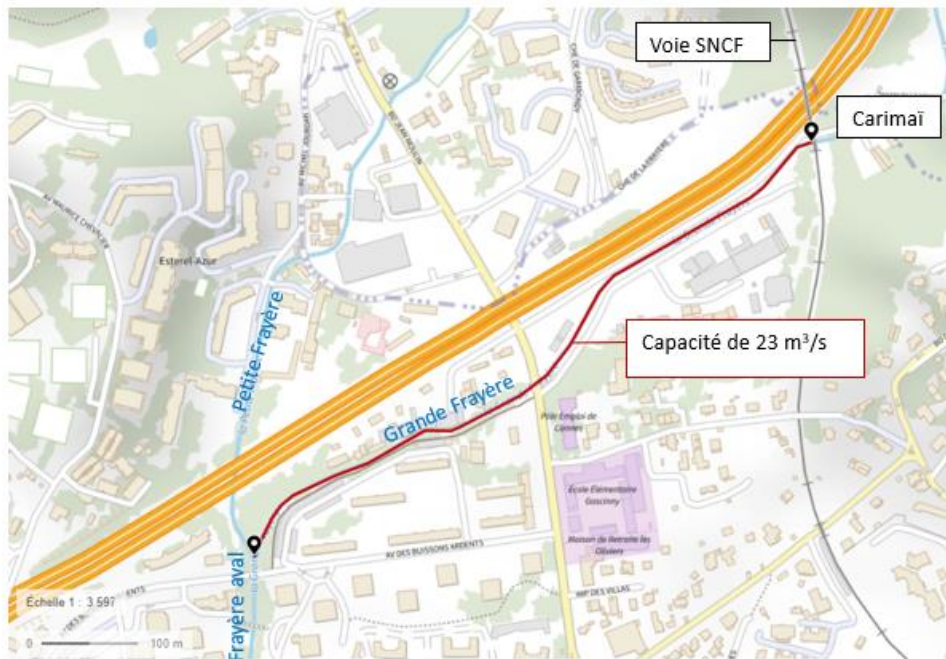


Figure 1-5 : localisation du tronçon de la Grande Frayère débordant en aval de l'aménagement

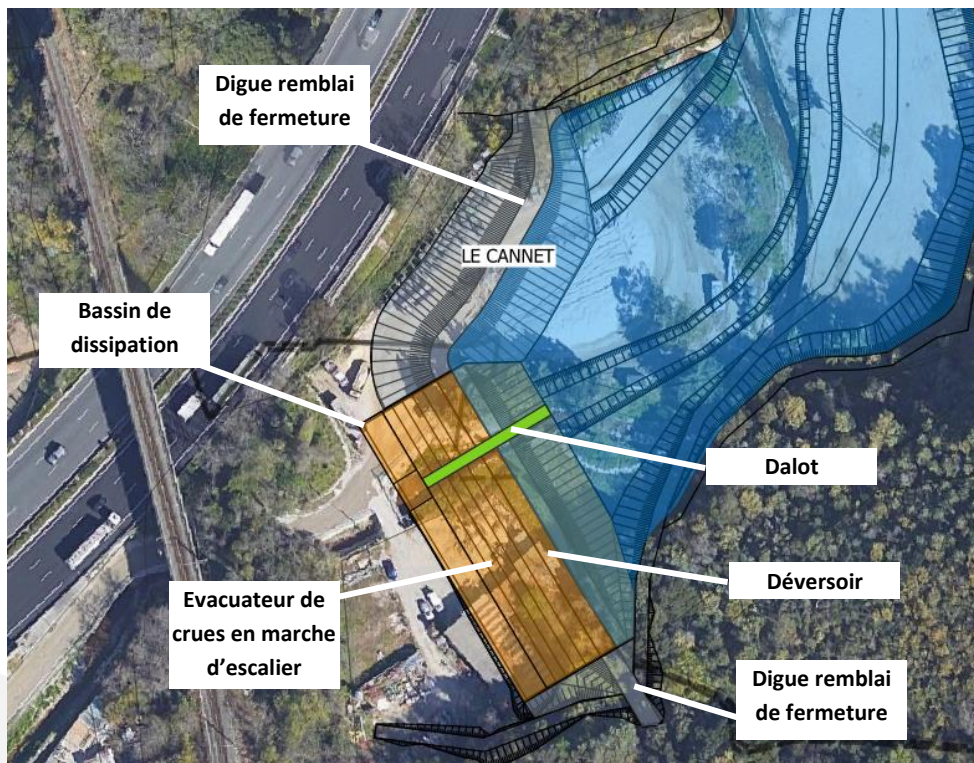


Figure 1-6 : Détail de l'aménagement hydraulique de Carimaï – lignes de structures issues du plan AVP (Fond de plan Google Satellite 2023)

## 1.3 Rappel de la stratégie du PAPI sur le bassin versant de la Frayère

Source : Dossier PAPI réalisé en 2020 - CACPL

La création de l'aménagement hydraulique de Carimai est complémentaire avec plusieurs autres aménagements PAPI sur le secteur Frayère.

La stratégie du PAPI sur le bassin versant de la Frayère, présentée dans le programme « Frayère Aval », a pour objectif la réduction des inondations des secteurs Ranguin, Garibondy et Bocca.

- Sur la Petite Frayère et la Frayère aval, l'objectif est d'augmenter la capacité hydraulique des tronçons les plus limitant.
- Sur la Grande Frayère, l'objectif est la création d'une zone de rétention pour réduire les débits de pointes en aval : l'aménagement hydraulique de Carimai objet du présent rapport.

La réalisation de l'essentiel du programme de protection se fait à échéance du PAPI 1 et est détaillée dans les fiches actions et les fiches techniques du dossier PAPI. Le tableau ci-dessous synthétise les différents aménagements prévus.

Tableau 1 : Synthèse des aménagements prévus dans le PAPI - CACPL PAPI 2020

	Fiches actions	Objectifs	Priorité
<b>Bassin de rétention de Carimai</b>	6-4 ○ Bassin de l'ordre de 60 000 m <sup>3</sup>	○ Ecrêtement des crues de la Grande Frayère pour protéger l'aval ○ Contribution à la réduction des inondations sur le secteur Bocca	PAPI 1
<b>Travaux d'aménagements prioritaires sur la Petite Frayère</b>	7-6-1 ○ Augmentation de la hauteur de berge en rive gauche ○ Fonçage d'une buse sous l'A8 ○ Suppression passerelle DEKRA	○ Contribution à la réduction des inondations sur le secteur Ranguin	PAPI 1
<b>Recalibrage Frayère aval entre la confluence et l'avenue Francis Tonner</b>	7-8 ○ Recalibrage de la section, Elargissement du fond du lit ○ Reprise des passerelles	○ Contribution à la réduction des inondations sur le secteur Bocca	PAPI 1

<b>Recalibrage de la Petite Frayère en l'amont de l'A8</b>	7-6-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Contribution à la réduction des inondations sur les secteurs Ranguin et Garibondy</li> </ul>	PAPI 2 et 3
	○ Augmentation de la hauteur de berge en rive gauche		
	○ Elargissement du fond du lit		
	○ Elargissement du U béton		
	○ Rehausse des murs		

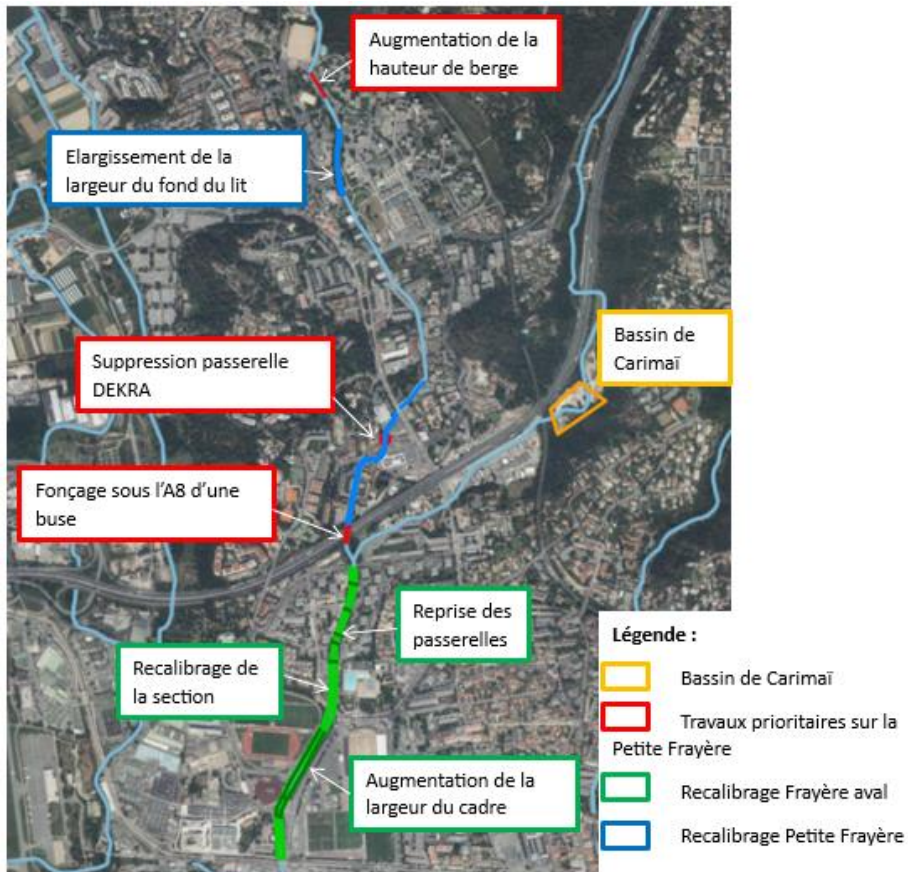


Figure 1-7 : Localisation des aménagements prévus dans le PAPI 2020 sur le secteur « Frayère aval » - CACPL

## 1.4 Synthèse des principales caractéristiques de l'aménagement hydraulique

Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques de l'ouvrage et de sa retenue.

Tableau 2 : Caractéristiques principales de l'ouvrage de Carimai

Caractéristiques principales de l'ouvrage	
Type	Bassin écrêteur de crue à classer en tant qu' <b>Aménagement Hydraulique</b> et <b>Barrage de classe C</b>
Fonction	Ecrêteur de crue
Caractéristiques principales de l'ouvrage	Corps du barrage en remblai d'une longueur totale d'environ 150 ml : <ul style="list-style-type: none"> <li>• D'un remblai principal en travers du cours d'eau calé à la cote de 22 mNGF</li> <li>• D'un « remblai secondaire » adossé à l'A8 à la cote de 22 mNGF</li> <li>• Largeur en crête de 4m</li> <li>• D'un muret en crête à la cote de 22.80 mNGF</li> <li>• D'un déversoir en partie centrale de 70 ml, avec une poutre calée à la cote de 20.60 mNGF</li> <li>• D'un coursier en marche d'escalier en aval du déversoir, marches de 2.5m de long pour 1m de haut</li> <li>• D'un bassin de dissipation en pied du coursier</li> </ul>
Fruits	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fruit du parement amont : 2H/1V</li> <li>• Fruit du parement aval : 2.5H/1V</li> </ul>
Retenue normale (RN)	20.60 mNGF à la cote du déversoir
Cote de danger	22.80 mNGF à la cote de la crête de l'ouvrage
PHE	22.11 mNGF (cote atteinte pour la Q 1 000 – yc apports anticipés Roquebillière de 13.5 m <sup>3</sup> /s)
Cote atteinte pour la crue extrême	22.76 mNGF (cote atteinte pour la Q 10 000 – yc apports anticipés Roquebillière de 13.5 m <sup>3</sup> /s)
Vidange	Pertuis de fond de 3.9 m <sup>2</sup> de section (2.6 m x 1.5 m), calé à la cote 14,00 m NGF (cote amont)
Volume de la retenue	Stockage d'environ 70 400 m <sup>3</sup> à la cote du déversoir

Ouvrages Hydrauliques	
Déversoir	Corps de remblai en limons compactés surmontée : <ul style="list-style-type: none"> <li>• D'un déversoir de 70ml en enrochements liaisonnés</li> <li>• d'une poutre de seuil calée 0.10 m au-dessus de la protection à la cote de 20.60m NGF</li> <li>• d'un évacuateur de crues en marche d'escalier protection en enrochement et d'un bassin de dissipation d'énergie en pied</li> </ul>
Fosse de dissipations	Sur la totalité des 70 ml de déversoir et sur 5 m de largeur, en enrochements libres, avec une sur-profondeur variable d'environ 1m par rapport au terrain naturel

Vidange	Pertuis de fond de 2.6 m x 1.5 m (largeur par hauteur), calé à la cote de 14,00 m NGF
---------	---

Caractéristiques hydrologiques	
Surface du bassin versant interceptée	9.1 km <sup>2</sup>
Date des plus fortes crues connues sur le secteur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crue du 03/10/2015 – débit de pointe estimé 116 m<sup>3</sup>/s</li> </ul>
Hydrologie de référence au droit de l'aménagement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• T = 100 ans 115 m<sup>3</sup>/s - Volume hydrogramme : 940 000 m<sup>3</sup></li> <li>• T = 1 000 ans 207 m<sup>3</sup>/s - Volume hydrogramme : 1 691 000 m<sup>3</sup></li> <li>• T = 10 000 ans 268 m<sup>3</sup>/s - Volume hydrogramme : 2 190 000 m<sup>3</sup></li> </ul>
Optimum d'écrêtement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En amont : 38.5 m<sup>3</sup>/s – Volume de l'hydrogramme : 287 000 m<sup>3</sup></li> <li>• En aval : 25.3 m<sup>3</sup>/s ; 34% d'écrêtement</li> </ul>

## 1.5 Synthèse du fonctionnement hydraulique de l'ouvrage

Le fonctionnement hydraulique de l'ouvrage en fonction des débits de crue entrant est le suivant <sup>1</sup>:

- Pour les crues courantes, **l'ouvrage n'a pas d'effet** sur les débits de pointe jusqu'à un débit d'environ **7.5 m<sup>3</sup>/s**. La totalité du débit passe par le pertuis et il n'y a donc pas d'écrêtement. Il n'y a pas de débordement en aval sur la Grande Frayère.

- Pour les crues **supérieures à 7.5 m<sup>3</sup>/s**, l'ouvrage écrête la crue jusqu'à un maximum d'écrêtement à **38.5 m<sup>3</sup>/s**, où la limite de surverse dans la retenue (20.60 m NGF) est atteinte. Le pertuis est en charge et la retenue est remplie sans déversement ni ennoisement par l'aval. Dans cette gamme de débit, l'ouvrage contribue à réduire les débits en aval par rétention des crues.

Pour une crue de **38.5 m<sup>3</sup>/s** en pointe, le débit en sortie du pertuis est de **25.3 m<sup>3</sup>/s**, ce qui est légèrement supérieur au débit capable à l'aval de l'ouvrage SNCF (23 m<sup>3</sup>/s), provoquant des débordements résiduels mais qui constitue une forte amélioration par rapport aux débordements en état actuel.

Dans cette gamme de débit, il n'y a pas d'ennoisement par l'aval.

- Au-delà de **38.5 m<sup>3</sup>/s**, les écoulements passent par-dessus le déversoir et l'ouvrage est de moins en moins efficace jusqu'à devenir totalement transparent vers **60 m<sup>3</sup>/s**.

Dans cette gamme de débit, l'ouvrage contribue à réduire les débits en aval par rétention des crues mais est rapidement moins efficace en termes d'écrêtement du fait des surverses sur le déversoir.

Il n'y a toujours pas d'ennoisement par l'aval pour cette gamme de débit.

- Pour les crues supérieures à **60 m<sup>3</sup>/s**, l'ouvrage est totalement transparent vis-à-vis du débit de pointe, la majeure partie du débit passe par le déversoir de crue, le pertuis de sortie étant ennoyé par l'aval. L'ouvrage accompagne les crues vers l'aval sans risque et sans surverse par-dessus la crête jusqu'à un débit de **281.5 m<sup>3</sup>/s**.

Dans cette gamme de débit l'ouvrage ne permet pas de réduire les débits de pointes en aval.

La condition aval imposée par l'ouvrage occasionne l'ennoisement du pertuis de sortie (autour de 110 m<sup>3</sup>/s) et permet l'ennoisement du bassin de dissipation et du coursier facilitant ainsi la dissipation d'énergie dans la lame d'eau en pied de l'ouvrage. Pour les crues les plus importantes, l'ouvrage est complètement ennoyé, jusqu'à engendrer un ennoisement du déversoir (pour environ 210 m<sup>3</sup>/s).

---

<sup>1</sup> Description basée sur les hydrogrammes de l'hydrologie révisées au chapitre 2

## 1.6 Objet de la présente note

Le présent rapport a pour but de caractériser les impacts hydrauliques de l'aménagement hydraulique de Carimai.

## 1.7 Méthodologie

L'ouvrage permettant d'écrêter une certaine gamme de crue, il permet donc de réduire les inondations en aval de ce dernier sur le cours d'eau de la Grande Frayère entre la voie SNCF et la confluence. La méthodologie utilisée est la suivante :

- Présentation de l'hydrologie révisée au droit de l'aménagement, réalisée dans le cadre de sa conception
- Détermination des hydrogrammes en sortie de l'ouvrage, basée sur un calcul de laminage
  - Détermination de la courbe de débitance de l'ouvrage
  - Réalisation d'un calcul de laminage
- Caractérisation des impacts en aval de l'ouvrage à partir d'une modélisation hydraulique de la Grande Frayère, de la Frayère aval et de son champ d'inondation – Sur base de la modélisation hydraulique du PPRI

## 1.8 Données topographiques

La donnée topographique utilisée pour l'analyse correspond à la donnée suivante :

- MNT RGE Alti de l'IGN – 2014
- Levés topographiques de l'ouvrage SNCF – Riviera concepts – 11/2021
- Plan topographique au 1/500<sup>e</sup> de l'état actuel – Riviera concepts – 12/2021
- Toutes les données de bases utilisées dans le cadre de la réalisation du modèle PPRI, présentées au chapitre 4.1.1 - 2018



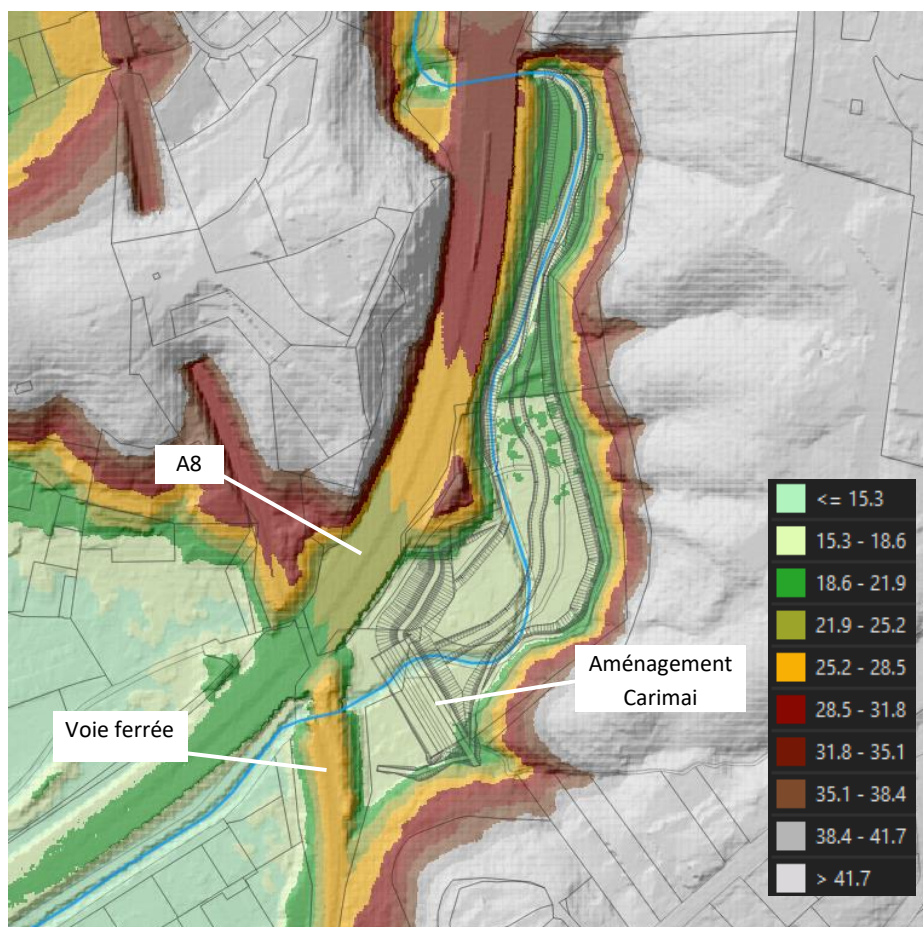


Figure 1-10 : Vue en plan du MNT – Élévation [mNGF] – Lidar RGEAlt de l'IGN – 2014

## 1.9 Référentiel hydrologique existant

### 1.9.1 Bassin versant intercepté

La figure suivante et le tableau précisent l'emprise et les caractéristiques du bassin versant de la Grande Frayère intercepté par le bassin.

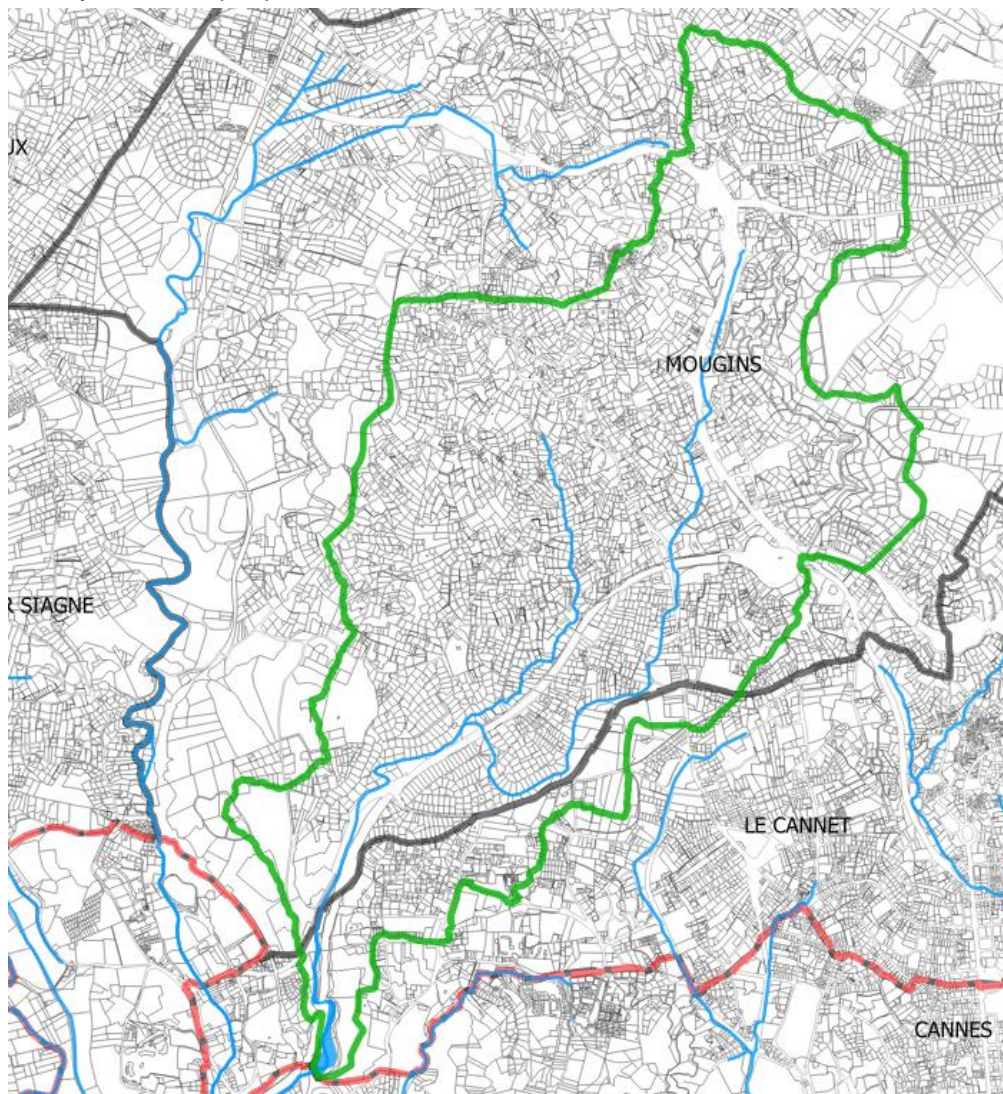


Figure 1-11 : Bassin versant de la Grande Frayère intercepté (en vert) par l'aménagement hydraulique

Tableau 3 : Caractéristiques du bassin versant intercepté

Bassin versant	Surface [km <sup>2</sup> ]	Longueur [km]	Pente moyenne [m/m]
Grande Frayère au droit de l'ouvrage	9.1	7.6	0.03

## 1.9.2 Rappel sur l'hydrologie au droit du secteur

Sources :

- Données hydrologiques – Caractérisation de l'aléa inondation dans le cadre de la révision des PPRi des bassins versants de communauté d'agglomération de Cannes – SAFEGE et EGIS – 2018 ;
- Données hydrologiques – Etude de définition des aménagements PAPI des bassins versants de la CACPL – SAFEGE et EGIS – 2020 ;
- SHYREG débit – IRSTEA – Base de données 2019 ;

### 1.9.2.1 Hydrologie issue de l'étude PPRi – 2018 (SAFEGE et EGIS)

L'hydrologie des bassins versants, que ce soit pour la détermination des débits historiques ou des débits statistiques, passe par :

- La caractérisation des bassins-versants, caractéristiques physiques (pente, surface, longueurs), occupation du sol, calcul du temps de concentration ;
- La caractérisation des pluies :
  - Pluie historique du 03 octobre 2015, spatialisation sur base des mesures radar Antilope et correction par rapport aux stations de mesure ;
  - Pluie statistiques – construction de pluies type Keifer à partir des ajustements de montana aux stations et répartition avec polygones de Thiessen – pour le bassin versant de la Grande Frayère, la station utilisée est celle de Cannes aéroport [1972-2014] ;
- Transformation pluie-débit :
  - Modèle hydrologique ;
  - Ajustement des paramètres pour tendre vers les valeurs de débits estimés HyMex.

#### **Caractérisation des bassins versants :**

Les bassins versants de la Frayère étudiés dans l'analyse hydrologique de l'étude PPRi sont présentés ci-dessous.

Le bassin versant de la Grande Frayère intercepté par l'aménagement hydraulique de Carimaï correspond au bassin versant « BV 2.1 – Grande Frayère amont (Egis) ».

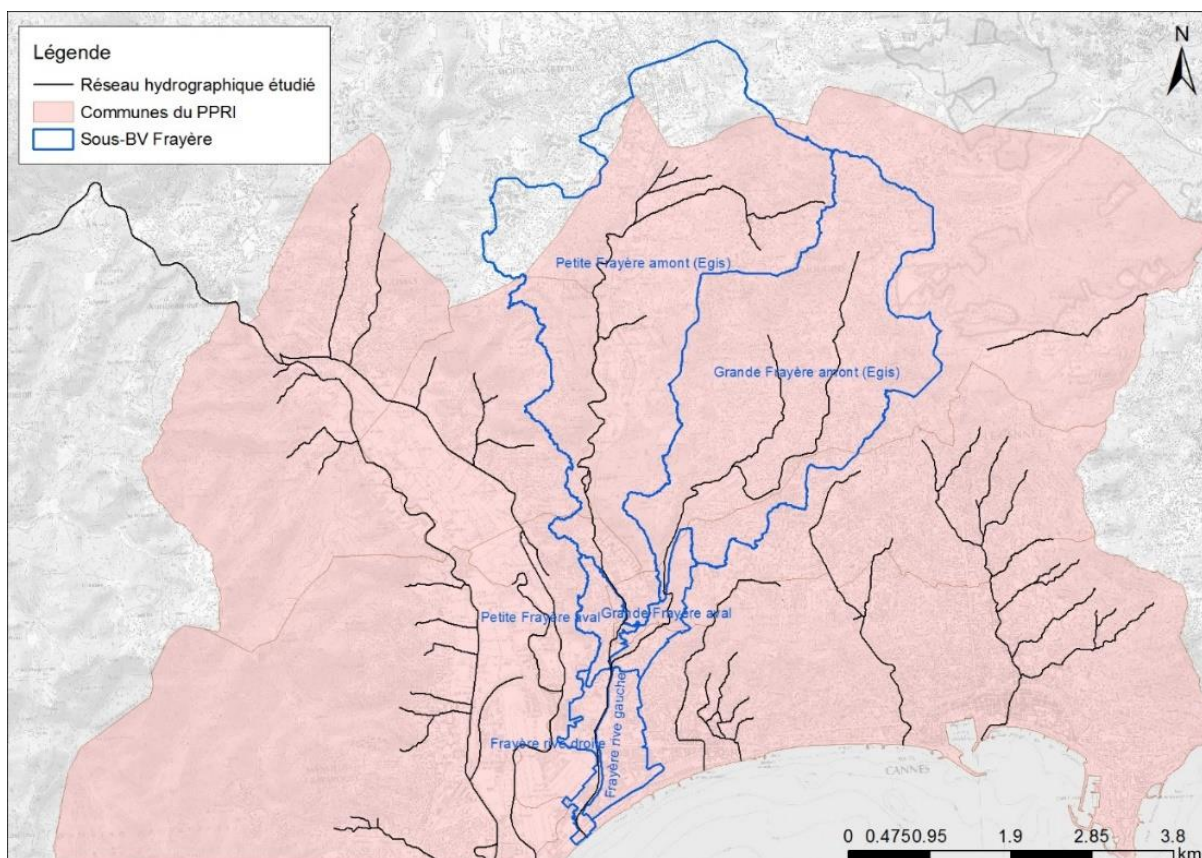


Figure 1-12 : Bassin versant de la Frayère – Source PPRi 2018

Les tailles des bassins versants à l'aval sont plutôt homogènes, entre 0.47 et 0.65 km<sup>2</sup>, tandis que pour les bassins versants amont, on note une différence significative entre la Petite Frayère (12.1 km<sup>2</sup>) et la Grande Frayère (8.8 km<sup>2</sup>). Les longueurs du plus long chemin hydraulique varient entre 1300 et 8085 m. Les pentes varient entre 1% (Frayère aval) et 5% (Grande Frayère aval).

Les temps de concentration de chaque bassin versant ont été calculés selon quatre formules différentes : Kirpich, Turraza, Passini et Ventura.

Tableau 4 : Formules de calcul du temps de concentration

Nom	Formule (Tc en min)	Données utilisées
Kirpich	$T_c = 0,0195 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{P}}\right)^{0.77}$	L : plus long chemin hydraulique (m) P : pente (m/m)
Turraza	$T_c = 65,1 \cdot \sqrt{A}$	A : surface en km <sup>2</sup>
Passini	$T_c = 6,48 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{P}}$	A : surface en ha L : plus long chemin hydraulique (m) P : pente (m/m)
Ventura	$T_c = 7,62 \cdot \sqrt{\frac{A}{P}}$	A : surface en km <sup>2</sup> P : pente (m/m)

Les temps de concentration varient entre 22 min (Petite Frayère aval) et 109 minutes (Petite et Grande Frayère Egis), ce qui justifie l'emploi des pics distincts de 15, 30, 60 et 120 minutes dans les pluies de projet présentées plus loin.

La détermination de l'**occupation des sols** s'est basée sur l'analyse des données Corine Land Cover (CLC). Les bassins versants étant, le plus souvent, concernés par plusieurs types d'occupation du sol, une moyenne des CN, pondérée par les surfaces respectives des types d'occupation, est réalisée sur chaque bassin.

Occupation	Classe sol	
	B	C
Forêt	59	72
Cultures	69	78
Vigne, verger, oliveraie	64	74
Sol nu	84	89
Urbain discontinu	83	88
Urbain continu	96	96

Tableau 5 : Valeurs de Curve Number par occupation et classe de sol – La Frayère

Le tableau suivant résume les différentes caractéristiques des sous-bassins versants de la Frayère :

Tableau 6 : Caractéristiques des bassins-versants de la Frayère

FRAYERE							
Code BV	Cours d'eau	Surface (km <sup>2</sup> )	Longueur (m)	Pente (%)	Tc (min)	Classe sol	Curve Number
1.1	Petite Frayère Egis	12.1	8090	4%	109	B	76
1.2	Petite Frayère aval	0.5	1300	4%	22	B	83
<b>2.1</b>	<b>Grande Frayère Egis</b>	<b>8.8</b>	<b>7270</b>	<b>3%</b>	<b>109</b>	<b>B</b>	<b>81</b>
2.2	Grande Frayère aval	0.7	1830	5%	24	B	71
3.1	Frayère aval rive droite	0.5	2160	1%	48	B	80
3.2	Frayère aval rive gauche	0.8	1500	1%	40	B	83

#### Détermination des hydrogrammes de crue historique de la crue de 2015 :

##### ○ Données météorologiques utilisées :

- Observations :
  - Hauteurs d'eau précipitées le 03/10/2015 mesurées au pas de temps 6 minutes sur les stations Météo-France suivantes :
    - Cannes (06029001) ;
    - Mandelieu-la-Napoule (06079002) ;
    - Pégomas (06090002) ;
    - Châteauneuf-Grasse (06038001).
  - Données d'intensités radar Antilope au pas de temps 1h, du 2 au 5/10/2015, couvrant l'ensemble du territoire métropolitain à une résolution de 1 km<sup>2</sup>.

La méthode HyMex, portée par l'IFSTTAR, consiste en une enquête de terrain post-événement dans le but d'évaluer les débits hydrauliques dans des sections peu débordantes avec relevés de laisses de crue et des caractéristiques géométriques des sections.

Bassins versants & Cours d'eau	Lieu de l'estimation	Surf. amont (km²)	Débits de pointe en m³/s			Qp/S	
			QpMin	Qp	QpMax	(m³/s)/km²	(m³/s)/km <sup>1,6</sup>
<b>BV de la Rague</b>							
La Rague	Théoule hangar à bateaux	1,3	9	12	15	8,9	9,5
La Rague	Théoule aval	2,1	20	24	29	11,5	13,4
<b>BV Riou de l'Argentière</b>							
Le Riou de l'Argentière	avant la confluence avec le ruisseau du Grand Cabrol	9,0	33	40	46	4,5	6,9
Le Riou de l'Argentière	amont confluence avec vallon de Saint Jean	20,7	100	120	140	5,8	10,6
Le Riou de l'Argentière	aval confluence avec vallon de Saint Jean	29,0	190	230	270	7,9	15,6
<b>Affluents du Riou de l'Ar.</b>							
Vallon du Grand Cabrol	avant la confluence avec le Riou de l'Argentière	4,4	26	33	40	7,6	10,2
Vallon de Saint Jean	amont pont St Jean, amont confluence Vallon des 3 Termes	5,6	50	65	80	11,6	16,3
Vallon de Saint Jean	RD 6007, environ 75 m en amont du pont, aval de la villa	7,9	65	95	125	12,1	18,3
Vallon de Saint Jean	RD6007, environ 30 m en aval du pont Saint Jean	8,0	75	95	115	11,9	18,1
Vallon de Saint Jean	Limite Fréjus-Mandelieu, amont confluence avec Argentière	8,1	70	95	120	11,8	17,9
Vallon de Maure Viel	Mandelieu, Pont Sarrazin	1,9	18	23	28	12,3	14,0
Vallon de Maure Viel	Mandelieu, domaine de Maure Vieil	2,4	25	38	50	15,8	18,8
Vallon du Maupas	Mandelieu, ligne droite amont de la carrière	3,7	35	45	55	12,3	15,9
<b>BV de la Siagne</b>							
Vallon de la Théoulière	Mandelieu la Napoule, Domaine du Grand Duc	1,4	20	25	30	18,2	19,4
<b>BV de la Grande Frayère</b>							
La Grande Frayère	Mougins, La Borde	7,7	70	90	115	11,7	17,6
La Grande Frayère	Le Cannet, amont A8, aval locaux SIFRO	9,0	90	115	140	12,8	19,9
La Grande Frayère	Cannes, stade Coubertin	21,4	75	95	115	4,4	8,2
<b>Affluent</b>							
La Petite Frayère	Cannes, Ranquin - Terrain de Foot	10,3	45	65	80	6,3	10,1
La Petite Frayère	Cannes, Ranquin - Pont à l'amont du collège	10,5	55	68	80	6,5	10,3
<b>BV Roquebillière</b>							
Vallon de Roquebillière	Cannes	1,3	20	24	28	18,3	19,3

Figure 1-13 : Estimation des débits de pointes et débit-pseudo-spécifique pour l'évènement du 03 octobre 2015 (encadré rouge : Grande Frayère au droit de Carimaï)

Cette méthode a permis d'ajuster les paramètres du modèle hydrologique pour retrouver les débits de pointes ainsi évalués en sortie de la transformation-pluie débit. Ensuite, la modélisation hydraulique a permis de conforter les débits de pointes et volumes de crues évalués par l'étude hydrologique en calant le modèle hydraulique sur les observations de la crue de 2015.

### Détermination des hydrogrammes de crues statistiques :

Les pluies de projet sont de type « Chicago », une méthode développée par Keifer et Chu (1957) qui permet d'obtenir une pluie mono-fréquentielle quelle que soit la durée choisie. Les pluies ont été construites au pas de temps 1 minute pour les périodes de retour 10, 30 et 100 ans grâce aux coefficients de Montana de la station de Cannes. Les hauteurs d'eau en résultant sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Cumuls en fonction de la durée de pluie et de l'occurrence correspondante à la station de Cannes – PPRi de Cannes

T (ans)	Durée en heures					
	0.1	0.25	0.5	1	2	4
10	15	25	37	55	67	84
30	18	30	44	65	82	106
100	21	34	50	73	97	131
1000	27	44	63	92	127	177

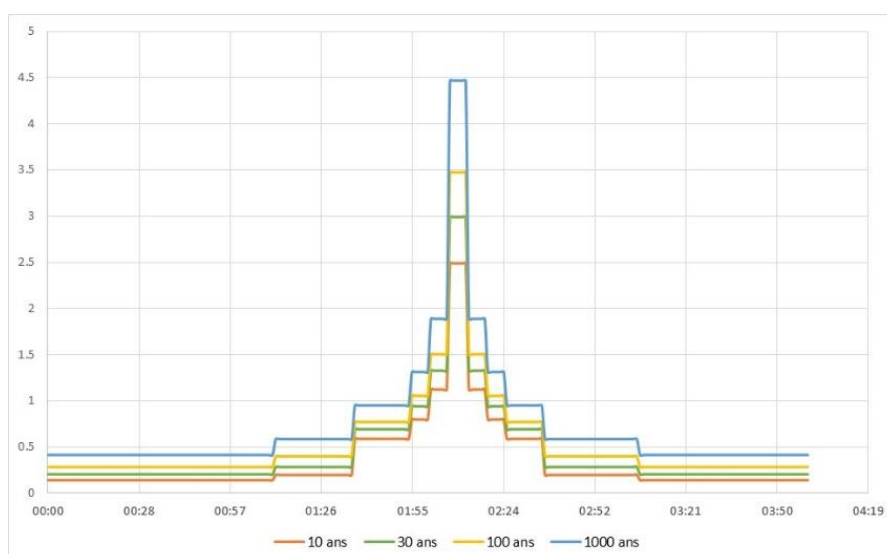


Figure 1-14 : Pluies de projet type Kiefer – PPRi de Cannes

### Détermination des débits de pointe :

La détermination des débits générés par la pluie historique et par chacune des pluies de projet est réalisée par une modélisation hydrologique. La méthode (Soil Conservation Service) via le logiciel de modélisation HEC-HMS a été employée. Les débits de pointes ainsi que les débits pseudo-spécifiques obtenus pour les différents sous-bassins versants sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8 : Récapitulatif des débits de pointe et débits pseudo-spécifiques issus des modélisations hydrologiques réalisées dans le cadre du PPRi - 2018

		FRAYERE										
		Débits de pointe (m <sup>3</sup> /s)					Débits pseudo-spécifiques (m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup> )					
		Pluies de projet					3 oct. 2015	Pluies de projet				3 oct. 2015
BV	S (km <sup>2</sup> )	10 ans	30 ans	100 ans	1000 ans	10 ans		30 ans	100 ans	1000 ans		
1.1	12.1	53.4	78.2	106.9	161.6	72.5	7.3	10.6	14.6	22.0	9.9	
1.2	0.5	7.1	9.5	12.0	16.7	13.2	13.0	17.4	22.0	30.6	24.1	
<b>2.1</b>	<b>8.8</b>	<b>49.9</b>	<b>69.6</b>	<b>91.5</b>	<b>132.6</b>	<b>116.1</b>	<b>8.7</b>	<b>12.2</b>	<b>16.0</b>	<b>23.2</b>	<b>20.3</b>	
2.2	0.7	5.1	7.9	11	17	15.4	7.2	11.2	15.5	24.0	21.7	
3.1	0.5	4.4	6	7.8	11.1	11.8	7.9	10.8	14.0	20.0	21.2	
3.2	0.8	6.5	8.8	11.2	15.7	18.0	8.1	11.0	13.9	19.6	22.4	

Pour les débits de la Grande Frayère et de la petite Frayère, le rapport précise :

« Le bureau d'études Egis a pour mission la cartographie de l'aléa inondation de la Grande et de la Petite Frayère sur la commune de Mougins. Pour cela, il met en place un modèle hydrologique et hydraulique sur toute la partie amont de la Frayère. Le découpage des bassins

versants inclut donc la limite d'emprise de ces modèles, légèrement en amont de la confluence des deux bras.

L'analyse hydrologique menée ici a inclus les bassins « Petite Frayère Egis » et « Grande Frayère Egis » pour la cohérence globale des débits des sous-bassins versants et l'ajustement du modèle, du fait de la proximité de leurs exutoires avec les points d'analyse des débits HyMeX.

Par la suite, les débits présentés ici pour ces deux bassins ne seront pas utilisés. En effet, ce seront les débits en sortie du modèle hydraulique Egis, plus exhaustifs, qui seront employés. »

Ainsi ce sont les hydrogrammes en sortie du modèle hydraulique de la Grande Frayère sur la commune du Cannet qui ont été retenus. Les débits de pointes retenus sont les suivants :

FRAYERE								
BV	Débits de pointe (m <sup>3</sup> /s)				Débits pseudo-spécifiques (m <sup>3</sup> /s/km <sup>1,6</sup> )			
	Pluies de projet			3 oct.	Pluies de projet			3 oct.
	10 ans	30 ans	100 ans	2015	10 ans	30 ans	100 ans	2015
1.1	22.1	37.3	62.0	103.3	3.0	5.1	8.4	14.1
1.2	7.1	9.5	12.00	13.2	13.0	17.4	22.0	24.1
2.1	8.4	17.7	35.4	115.8	1.5	3.1	6.2	20.3
2.2	5.1	7.9	11	15.4	7.2	11.2	15.5	21.7
3.1	4.4	6	7.8	11.8	7.9	10.8	14.0	21.2
3.2	6.5	8.8	11.2	18.0	8.1	11.0	13.9	22.4

Tableau 11 : Débits des bassins versants de la Frayère

Figure 1-15 : Débits de pointe et débits pseudo-spécifiques retenus dans le PPRi - 2018

### 1.9.2.2 Débits issus de la méthode SHYREG

La méthode SHYREG est développée par Irstea avec le soutien de la DGPR.

La méthode SHYREG est une méthode d'estimation de l'aléa hydrologique, basée sur la régionalisation (prise en compte homogénéisée des caractéristiques locales) de paramètres de modèle (générateur de pluie et modélisation hydrologique). Cette régionalisation implique la prise en compte de variables locales pouvant influencer le régime hydrologique naturel de surface et consécutif à une précipitation.

Par contre, la présence d'éléments perturbateurs au ruissellement de surface comme des ouvrages de type barrages, le karst, l'influence de la fonte nivale ou d'un bassin versant particulièrement urbain peut faire baisser la fiabilité de la donnée.

Le bassin versant correspondant au point de calcul des débits SHYREG est le bassin versant complet de la Grande Frayère, soit 9.5 km<sup>2</sup> (très proche du bassin versant intercepté par l'aménagement hydraulique de Carimaï à 9.1 km<sup>2</sup>).

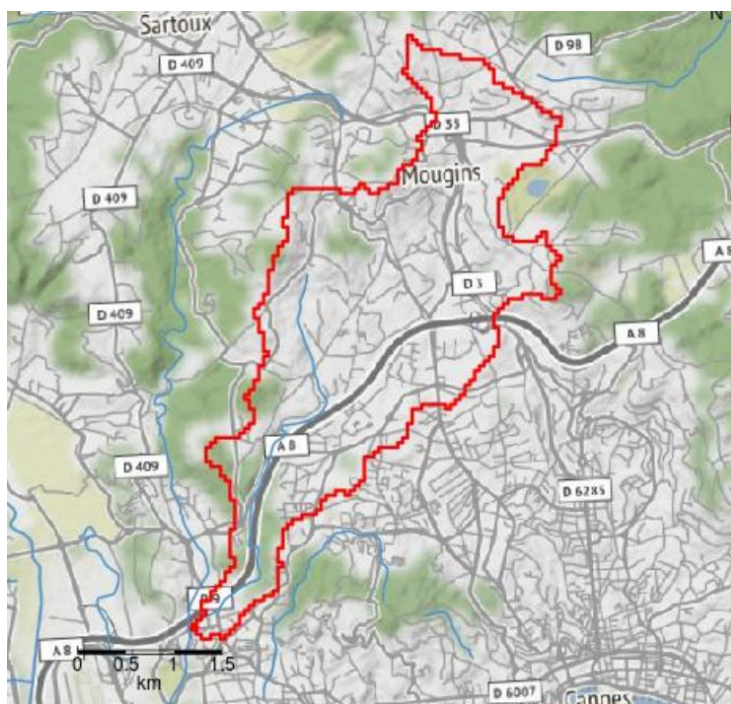


Figure 1-16 : Bassin versant calculé pour la méthode SHYREG – base de donnée SHYREG 2019 – identifiant ME2260

Les débits de pointes et débits pseudo-spécifiques, sont présentés dans le tableau ci-dessous. Le bassin versant est estimé à 57% karstique dans la base de données SHYREG et précise donc qu'il existe des incertitudes vis-à-vis du kart.

On note que les débits de pointes obtenus sont similaires à ceux obtenus dans le cadre du PPRI, mis à part pour la crue millénale qui est bien plus forte avec un ratio  $Q_{1000}/Q_{100}$  de 1.8 avec cette méthode contrairement à transformation pluie débit du PPRI qui donne un ratio  $Q_{1000}/Q_{100}$  de 1.4 (rappel :  $Q_{1000}$  transformation pluie-débit PPRI = 132.6  $m^3/s$  pour 8.8  $km^2$ ).

Tableau 9 : Débits de pointe et débit pseudo-spécifiques pour le bassin versant de la Grande Frayère –Base de données SHYREG 2019 – identifiant ME2260

Occurrences	Débit de pointe (9.5 $km^2$ )	Débit pseudo- spécifique
ans	$m^3/s$	$m^3/s$
1000	169.0	27.9
100	93.9	15.5
50	74.3	12.3
10	38.4	6.3
5	27.3	4.5

### 1.9.2.3 Hydrologie issue de l'étude PAPI – 2020 (SAFEGE et EGIS)

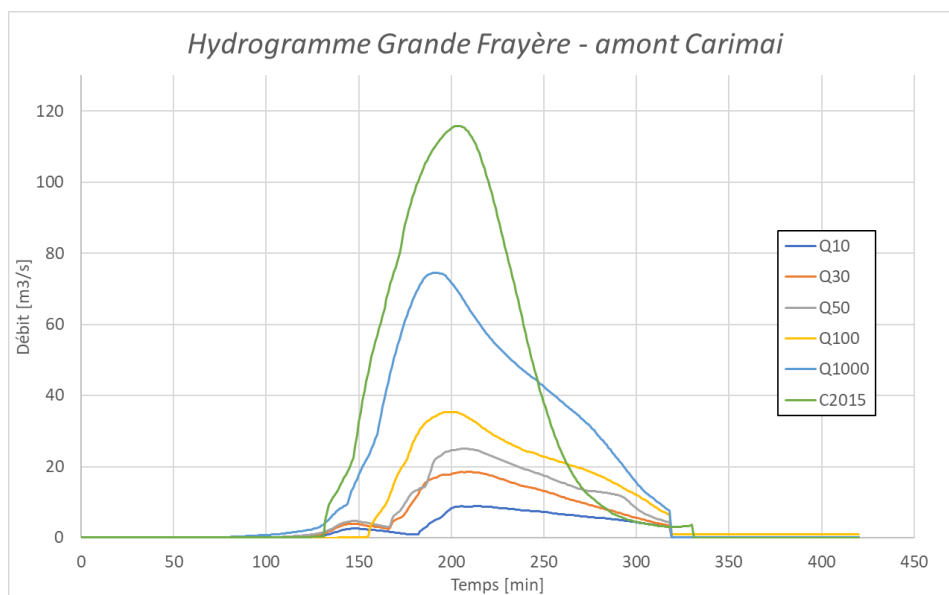
Le référentiel hydrologique issu du PAPI de 2020 se base sur les débits retenus dans le cadre du PPRI. Le rapport PAPI précise également pour les débits de la Grande Frayère :

*Par la suite, les débits présentés ici pour ces deux bassins versants amont (« Petite Frayère Mougins » et « Grande Frayère Mougins ») ne seront pas utilisés. En effet, ce seront les débits en sortie du modèle hydraulique, plus exhaustifs, qui seront employés.*

Ainsi ce sont les hydrogrammes en sortie du modèle hydraulique de la Grande Frayère sur la commune du Cannet qui ont été utilisés dans le cadre du dimensionnement de l'aménagement hydraulique de Carimai dans l'étude du PAPI. Les débits de pointes ainsi retenus sont donc plus faibles que les débits de pointes issues de la modélisation hydrologique, notamment pour les crues statistiques :

**Tableau 10 : Récapitulatif des débits de pointe et débits pseudo-spécifiques interceptés par l'aménagement hydraulique retenus dans le cadre du PAPI**

	Surface [km <sup>2</sup> ]	Débits de pointes [m <sup>3</sup> /s]					Débits pseudo-spécifiques [m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup> ]				
		Q10	Q30	Q50	Q100	Q2015	Q10	Q30	Q50	Q100	Q2015
<b>BV Grande Frayère</b>	9.1	8.9	18.5	25	35.4	116	1.5	3.2	4.3	6.1	19.8



**Figure 1-17 : Hydrogramme de crue de la Grande Frayère au droit de l'aménagement hydraulique de Carimai – source PAPI CACPL 2020**

## 2. PRESENTATION DE L'HYDROLOGIE REVISEE

L'ouvrage est classé comme **barrage de classe C** au sens de l'article R214-112 du code de l'environnement, au regard de la présence des enjeux en aval.

A ce titre, l'ouvrage doit donc respecter les conditions suivantes en termes de sécurité :

- **Crue exceptionnelle** de période de retour **1 000 ans**
  - *Cette crue permet de vérifier que la revanche est suffisante par rapport aux conditions de vents (cf. rapport AVP) ;*
- **Crue extrême** de période de retour **10 000 ans**
  - *La cote atteinte par cette crue ne doit être supérieure à la cote de danger de l'ouvrage ;*

Ce chapitre a pour objectif de présenter la mise à jour de l'hydrologie nécessaire à la conception de l'ouvrage, notamment pour la détermination des crues Q1000 et Q10 000. Cette hydrologie servira de base pour définir ensuite les hydrogrammes modélisés.

### 2.1 Révision des débits de projet rares à extrêmes dans le cadre de la sécurisation du barrage pour les crues extrêmes et pour l'Etude de dangers

L'aménagement hydraulique de Carimai étant également classé comme barrage de classe C, la stabilité de l'ouvrage doit être assurée pour une crue de danger de probabilité d'occurrence de  $10^{-4}$  (soit une décennale) d'après l'arrêté du 06 août 2018 fixant les prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages – Annexe I - Chapitre VIII, paragraphe 34.

Ce chapitre vise donc à définir le référentiel hydrologique pour la sécurisation du barrage et pour l'étude de dangers notamment dans le but de la définition de la situation extrême de crue décennale, pour laquelle le barrage doit permettre d'évacuer la crue vers l'aval sans mettre en péril la stabilité du barrage. Cette crue doit donc être estimée en prenant en compte les dernières données de pluie disponible sur le secteur. **Il est alors nécessaire de réinterroger l'hydrologie en intégrant la chronique des pluies de 1989 à 2021 (Station MF Cannes aéroport N° 06029001), intégrant notamment les cumuls de la pluie du 3 octobre 2015.**

En effet, sur la base hydrologique existante il apparaît :

- Que les statistiques de pluies à la station de Cannes aéroport issues du PPRi n'intègrent pas les données de la pluie de 2015. **La période de mesure à la station pour le PPRi était de 1973 à 2014 (donc une profondeur de données de 42 ans).**
- Que la crue de 2015 présenterait un débit de pointe proche de la crue millénaire sur base du PPRi, soit base IDF Cannes avant 2015. Cette crue millénaire était obtenue par transformation pluie débit à partir de la statistique de pluie à la station (1972-2014), ce qui a tendance à engendrer une forte imprécision (diminution) sur les débits de pointes la crue Q1000. **Une estimation de la crue décennale sur cette base pourrait engendrer une sous-estimation de cette crue extrême.**
- Les hydrogrammes de crues définis dans le PAPI sont issus d'une modélisation et prennent en compte un laminage. Comparé à l'hydrologie issue du PPRi et aux résultats obtenus dans une hydrologie classique, les débits de pointe et débits pseudo-spécifiques obtenus sont bien plus faibles. **Cette base hydrologique conduirait à caractériser la crue de 2015**

**comme une décenniale**, qui n'est pas « concevable » pour dimensionner la sécurité d'un barrage de classe C, s'agissant d'un événement vécu.

Ainsi, le référentiel hydrologique de crues rares et extrêmes doit être mis à jour, au regard des événements passés et dans le cadre des objectifs de sécurisation du barrage.

La méthodologie utilisée est la suivante :

- Définition des pluies de projet – Construction de pluies kiefers de 4h à partir des données statistiques de pluies à la station Météo France de Cannes aéroport [1989-2021]. La statistique est issue de 31 ans de données et **intègre la pluie d'octobre 2015**.
- Utilisation du modèle hydrologique du PPRi pour la transformation pluie-débit (modèle SCS). Toutes les hypothèses relatives à la construction du modèle dans le cadre du PPRi sont conservées (méthode SCS, occupation du sol, imperméabilisation, pentes, temps de concentration, etc.). En effet les paramètres du modèle **sont calés sur la crue de 2015** et ce dernier donne des résultats très satisfaisants sur la Grande Frayère pour cette crue, très proche du débit estimé par la méthode Hymex ;
- La crue millénaire est prise égale à  $1.8 \cdot Q_{100}$  (selon ajustement Gumbel conforme à la méthode mise en œuvre pour les SHYREG débits) ;
- Utilisation de la méthode du Gradex pour la définition du débit de pointe de la crue décenniale, à partir d'un pivot à  $Q_{1000}$  ;
- Les hydrogrammes de crue sont obtenus à partir des résultats du modèle pluie-débit et par homothétie des débits de pointes pour les crues  $Q_{1000}$  et  $Q_{100}$ . L'aménagement hydraulique de Carimaï ne permet pas de laminar les crues à partir des crues de l'ordre de 60-70 m<sup>3</sup>/s en pointe (crues inférieures à la crue de 2015). **Pour ce type de crue il n'y aura donc aucun laminage de crue et donc aucun effet du volume de l'hydrogramme de crue choisi sur les cotes atteintes.**

### 2.1.1 Les pluies de projet

Les données statistiques de pluies à la station Météo France de Cannes aéroport [1989-2021], qui est issue de 31 ans de données et intègre la pluie d'octobre 2015 est utilisée pour définir les pluies de projet. Il s'agit des coefficients de Montana à la station calculés à partir d'un ajustement statistique. Ils sont utilisés ensuite pour construire les courbes HDF présentés dans le tableau suivant.

Les pluies de projet sont de type « Chicago », une méthode développée par Keifer et Chu (1957) qui permet d'obtenir une pluie mono-fréquentielle quelle que soit la durée choisie. La durée totale de la pluie choisie est de 4h, conforme à la taille du bassin versant et cohérente avec l'événement d'octobre 2015.

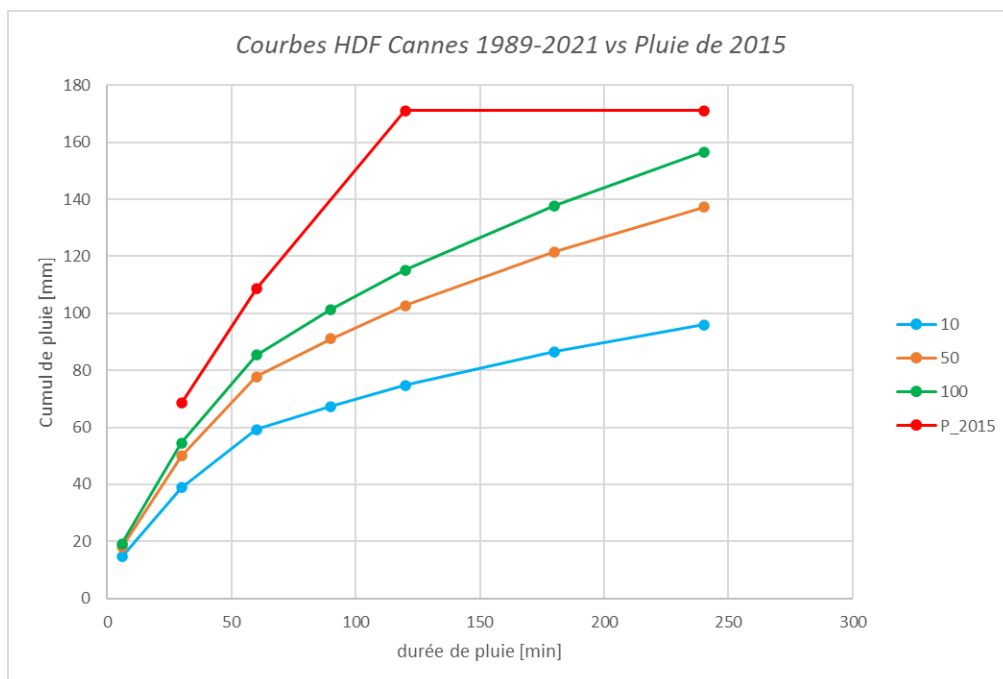
Les hauteurs d'eau résultant sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 11 : Cumuls en fonction de la durée de pluie et de l'occurrence correspondante à la station de Cannes –Cannes aéroport [1989-2021]**

Durée [min]	6	30	60	90	120	180	240
<b>Occurrence [ans]</b>	<b>Cumuls [mm]</b>						
<b>5</b>	13	33	50	56	62	71	79
<b>10</b>	15	39	59	67	75	87	96
<b>20</b>	16	44	68	78	87	101	113
<b>30</b>	17	47	72	84	94	110	123
<b>50</b>	18	50	78	91	103	122	137
<b>100</b>	19	55	85	101	115	138	157

La comparaison entre les cumuls mesurés à la station de Cannes pour la pluie du 3 Octobre 2015 et la statistique de pluie ainsi définie, montre que la pluie de 2015 reste significativement supérieure à la pluie centennale pour une durée de pluie de 2h.

La période de retour de la pluie de 2015 avec cette statistique pour une durée de 2h est de 2 700 ans ce qui est significativement plus faible que celle estimée dans le PPRi (30 000 ans base IDF Cannes de 1972 - 2014) mais reste témoin du caractère exceptionnel de cette pluie.



**Figure 2-1 : Comparaisons des cumuls de pluie statistique et octobre 2015 – Station de Cannes aéroport [1989-2021]**

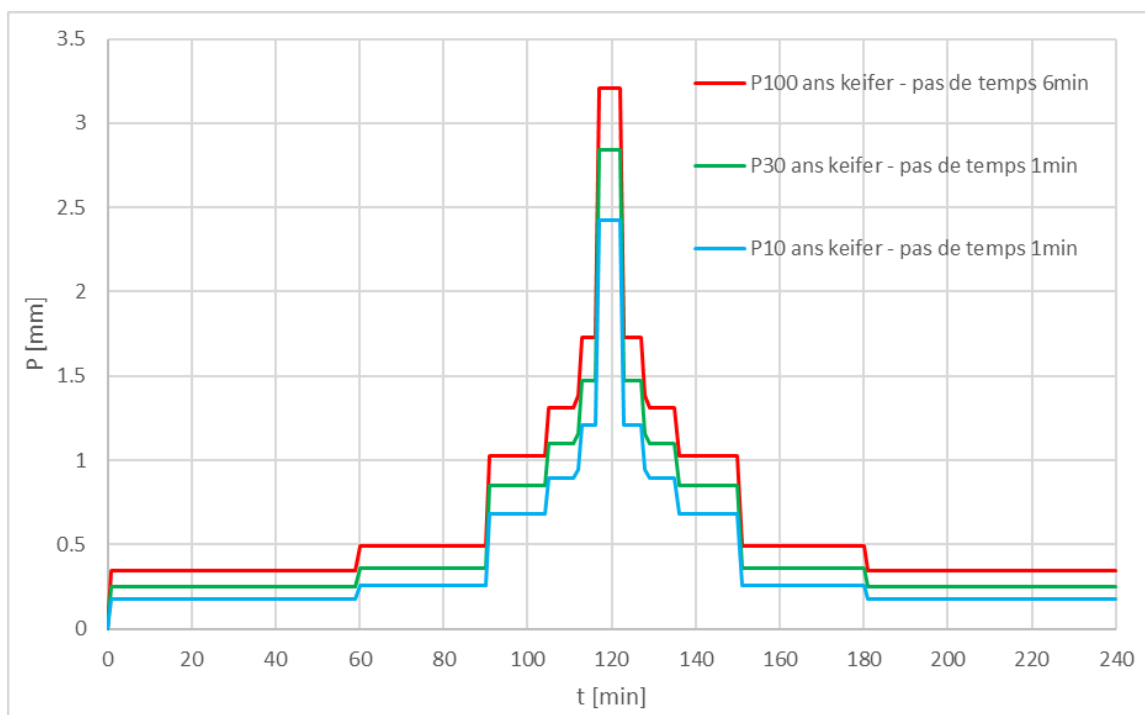


Figure 2-2 : Pluies de projet type Kiefer – Quantiles de pluie Cannes aéroport [1989-2021]

### 2.1.2 Particularité sur la géologie du bassin versant

La méthode Shyreg identifie le bassin versant comme en grande partie karstique.

La cartographie géologique du bassin versant de la Grande Frayère montre en effet que le sous-sol est en partie de nature karstique, principalement des *Muschelkalk supérieur dolomitique* et *Keuper Marnes lie de vin Dolomies blanches*.

Les propriétés des roches karstiques favorisent les échanges surface/souterrain et engendrent des processus hydrologiques spécifiques lors des crues : infiltration rapide, mobilisation d'eau souterraine, écoulements souterrains interbassins. Les bassins karstiques ont donc des réponses hydrologiques complexes, difficiles à quantifier et à prévoir.

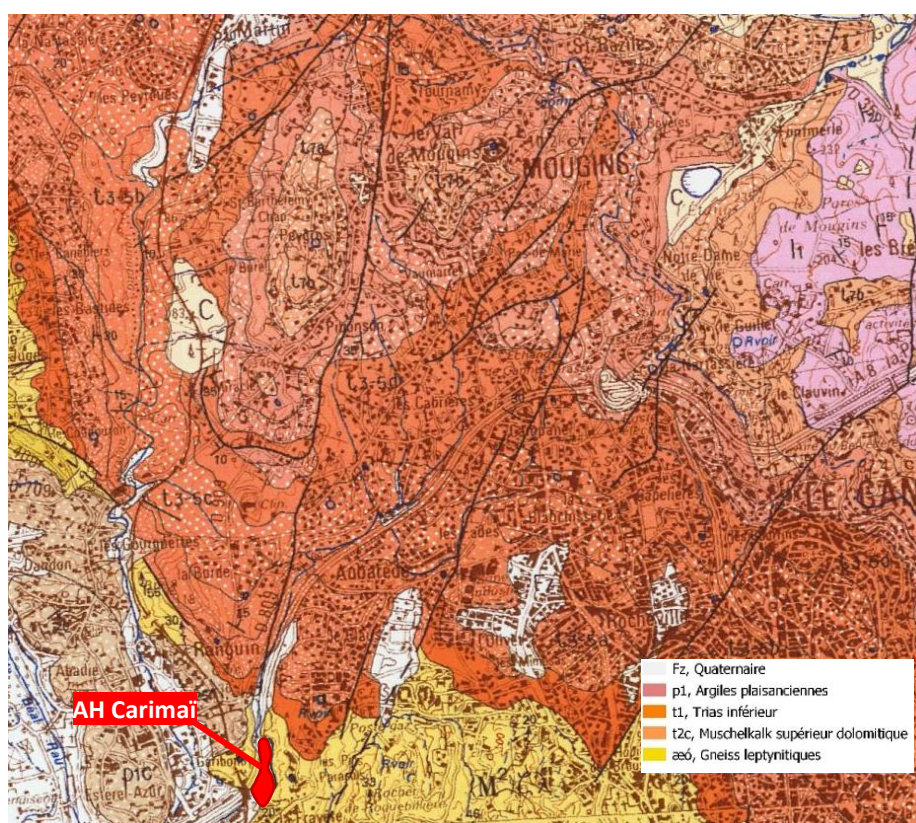


Figure 2-3 : Cartographie géologique imprimé 1/50 000 au droit de la Grande Frayère – infoterre BRGM

La présence du karst peut influencer l'hydrologie de plusieurs manières :

- Par une atténuation des pics de crue – ou en tout cas, des premiers pics lors des crues multiples – lorsque l'épisode se produit en condition de karst sous-saturé ;
- Par une contribution d'eau souterraine d'origine karstique et/ou de ruissellement sur karst saturé (refus à l'infiltration).

La nature karstique du bassin versant est donc **source d'incertitude** dans la détermination des débits de projet avec les méthodes classiques et devra amener à nuancer les résultats obtenus, **notamment pour les petites occurrences.**

**Pour ce type de bassins versants karstiques, les ratio Q100/Q10 pour des bassins versant karstiques peuvent atteindre 4 voir plus, et donc être bien supérieur au ratio des pluies (ici à titre d'illustration, le ratio P100/P10 pour une durée de 2 h n'est que de 1.5).**

### 2.1.3 La transformation pluie-débit

Le modèle hydrologique de la Frayère construit dans le cadre du PPRi ainsi que tous ses paramètres est réutilisé. Les paramètres du modèle sont calés sur la crue de 2015 et ce dernier donne des résultats très satisfaisants sur la Grande Frayère pour cette crue, très proche du débit estimé par la méthode Hymex.

Les paramètres du modèle sont présentés dans le tableau suivant :

A noter que le bassin versant 2.1 a son exutoire au droit du franchissement de l'autoroute A8, légèrement en amont de l'aménagement de Carimai (8.8km<sup>2</sup>) et les résultats débits de pointes sont donc étendu au bassin versant intercepté par l'aménagement hydraulique à partir d'un ratio de Meyer avec un exposant de 0.8 dans la suite (9.1 km<sup>2</sup>).

Tableau 12 : Caractéristiques des bassins-versants de la Frayère

FRAYERE							
Code BV	Cours d'eau	Surface (km <sup>2</sup> )	Longueur (m)	Pente (%)	Tc (min)	Classe sol	Curve Number
1.1	Petite Frayère	12.1	8090	4%	109	B	76
1.2	Petite Frayère	0.5	1300	4%	22	B	83
<b>2.1</b>	<b>Grande Frayère</b>	<b>8.8</b>	<b>7270</b>	<b>3%</b>	<b>109</b>	<b>B</b>	<b>81</b>
2.2	Grande Frayère	0.7	1830	5%	24	B	71

Les résultats obtenus par la transformation pluie-débit sont les suivants :

Tableau 13 : Résultats de la modélisation su le bassin versant de la Grande Frayère – BV 2.1

Surface [km <sup>2</sup> ]	8.8				
BV 2.1 Grande Frayère	Débit de pointe	Pseudo-spécifique	Lame d'eau précipitée	Lame d'eau Ruisselée	Cr équivalent
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup>	mm	mm	-
<b>10 ans</b>	58	10.1	96	49	0.51
<b>30 ans</b>	83	14.6	124	74	0.60
<b>100 ans</b>	112	19.6	157	104	0.66
<b>Crue 2015 (Calage du modèle hydrologique)</b>	116.5	20.4	154	100	0.65

Pour les occurrences faibles à moyennes, les estimations hydrologiques par modélisation pluie-débits sont imprécises du fait :

- du calage du modèle pluie débit sur un seul événement de probabilité d'occurrence faible (> 100 ans soit Octobre 2015) ;
- de l'absence de station de mesure permettant de caler sur plusieurs gammes de débits ;
- du caractère karstique du bassin versant influençant fortement la réaction pluies - débits par atténuations / contributions dépendant des cumuls précipités et des conditions initiales du karst.

Nous rappelons également ici que le transfert des hydrogrammes depuis l'amont du bassin versant ne sont pas pris en compte contrairement aux hydrogrammes PAPI 2020.

La crue millénaire est obtenue à partir du débit de pointe de la crue centennale :  $Q_{1000} = 1.8 \cdot Q_{100}$ , puis le débit de pointe de la crue décamillénaire est obtenue par la méthode du Gradex :

- Calcul du Gradex des pluies pour une pluie de durée de 2h sur l'ajustement statistique de la station de Cannes aéroport [1989-2021] ;
- Calcul du coefficient de forme à partir de l'hydrogramme de la crue de 2015 ;
- Calcul du Gradex débit et détermination du débit  $Q_{10\ 000}$  à partir de la  $Q_{1000} = 1.8 \cdot Q_{100}$ .

A noter que cette méthode choisie est maximisante par rapport à l'application d'un Gradex débit sur un pivot  $Q_{100}$  pour déterminer à la fois  $Q_{1000}$  et  $Q_{10\ 000}$ .

**Tableau 14 : Débits de pointe et pseudo-spécifique obtenus pour les crues  $Q_{100}$ ,  $Q_{1\ 000}$  et  $Q_{10\ 000}$  - bassin versant de la Grande Frayère au droit de l'aménageant hydraulique de Carimai**

Surface BV [km <sup>2</sup> ]	9.1	
Occurrence	Débit de pointe	Débit pseudo-spécifique
-	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup>
<b>100 ans</b>	115	19.6
<b>1000 ans - 1.8*Q100</b>	207	35.3
<b>10 000 ans - Gradex débit</b>	268	45.8

En complément à cette analyse pluie-débit, il est utile de mettre en perspective ces résultats avec les chroniques d'événements passé.

Le tronçon de la Grande Frayère en aval de la voie SNCF à une capacité de l'ordre de 25 m<sup>3</sup>/s et les historiques de débordements sur ce tronçon sont peu nombreux : en effet, mis à part les débordements observés lors de la crue de 2015, il n'y a pas d'autres débordements observés sur la Grande Frayère d'après les approches historiques réalisées dans le cadre des dossiers PAPI et PPRi.

Cela pourrait indiquer un effet seuil entre les débits courants et moyen et les crues plus rares, caractéristiques de bassins karstiques.

Pour rappel, cet effet seuil sur les débits observés entre les crues courantes et les crues extrêmes recoupe les remarques suivantes :

- Tout d'abord le modèle hydrologique est calé sur les observations faites lors de la crue de 2015 qui est une crue rare proche de la crue centennale et donc les résultats issus de ce modèle pourrait avoir tendance à **surestimer les débits issus de pluies plus fréquentes** (surestimation du coefficient de ruissellement équivalent pour les pluies faibles et moyennes) ;
- Ensuite, comme décrit plus haut, le bassin versant de la Grande Frayère est en grande partie karstique ce qui signifie que le fonctionnement réel du bassin versant pourrait être le suivant : Une bonne capacité d'infiltration pour les petites à moyennes pluies, ce qui a pour effet de largement réduire la réponse du bassin versant pour ces crues, puis les karsts se saturent pour les pluies plus importantes et le ruissellement devient très important par refus à l'infiltration dès que le karst est saturé. Le retour d'expérience montre que sur des bassins versants karstiques, le rapport  $Q_{100}/Q_{10}$  peut être très variable et peut atteindre des valeurs

de 4 à 5 alors le ratio maximum pour la transformation pluie débit non karstique est de l'ordre de 1.5 à 2.

Ainsi, même s'il existe des incertitudes sur les débits des crues courante à moyenne, la méthode utilisée, qui bénéficie d'un calage sur une crue observée sur la Grande Frayère et qui prend en compte les dernières statistiques de pluies, permet de définir une **de manière satisfaisante les débits des crues rare à extrême**.

Pour les crues plus faibles, au regard : de l'absence de donnée sur le bassin versant, de sa nature karstique et de l'absence de retour d'expérience sur ce type de crue, il n'y a aucune méthode qui permet de définir avec satisfaction l'hydrologie des crues courantes à moyennes sur la Grande Frayère.

Ainsi, les débits de projets retenus pour la sécurisation du barrage sont les suivants :

**Tableau 15 : Débits de pointe et débits pseudo-spécifiques retenus – Au droit de l'aménagement hydraulique de Carimaï**

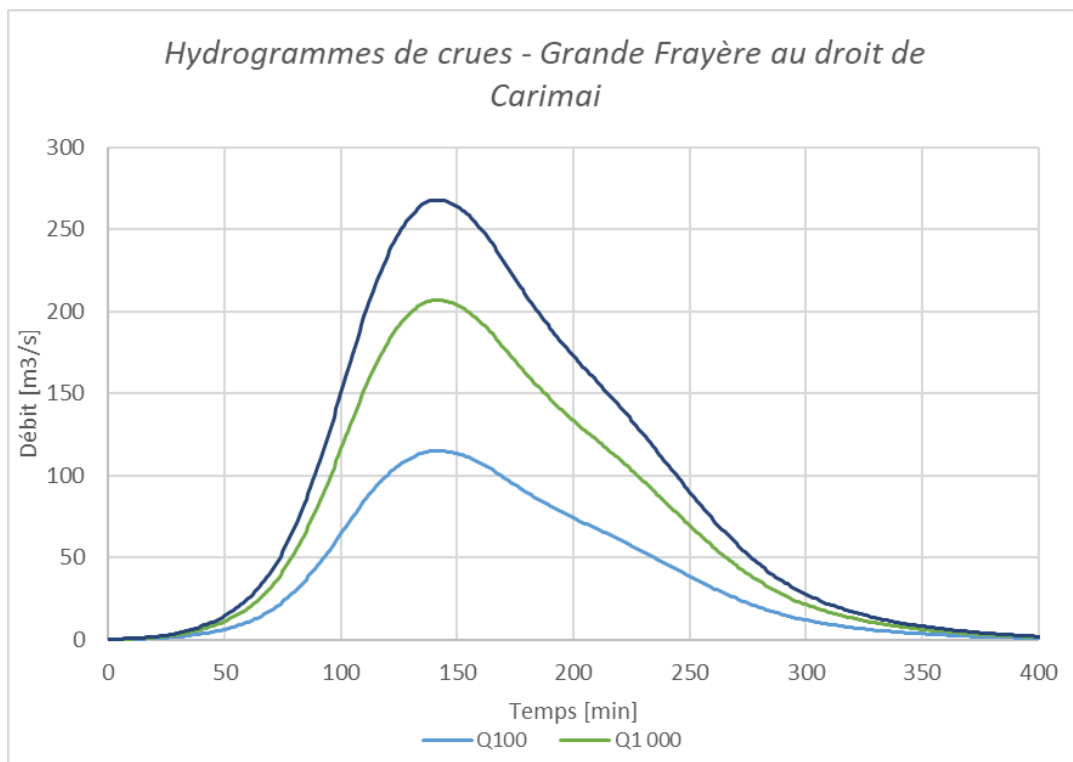
Surface BV [km <sup>2</sup> ]	9.1	
	Débit de pointe	Débit pseudo-spécifique
Occurrence	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup>
-		
100 ans	115	19.6
1000 ans - 1.8*Q100	207	35.3
10 000 ans - Gradex débit	268	45.8
Crue 2015 (estimée Hymex)	116	19.9

## 2.1.4 Synthèse des débits de projet retenus

**Tableau 16 : Récapitulatif des débits de pointe, volumes et débits pseudo-spécifiques retenus dans le cadre de l'Etude de Dangers et de la sécurisation du barrage pour les crues extrêmes**

	Crue de 2015	Q10 000	Q1 000	Q100
Qp – débit de pointe [m <sup>3</sup> /s]	116	268	207	115
Volume [m <sup>3</sup> ]	872 000	2 190 000	1 691 000	940 000
Lame d'eau ruisselée [mm]	96	240	186	103
Qpseudo-spé [m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> ]	19.9	45.8	35.3	19.6

A noter que le volume de l'hydrogramme choisi n'a pas d'incidence sur le débit de pointe du déversoir et donc sur les PHE atteinte.



**Figure 2-4 : Hydrogrammes de crues retenues dans le cadre de l'Etude de Dangers et de la sécurisation du barrage pour les crues extrêmes – Grande Frayère au droit de l'aménagement hydraulique de Carimai**

## 3. CALCUL DE LAMINAGE DES CRUES PAR L'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE

### 3.1 Détermination de la loi de débitance de l'aménagement hydraulique de Carimaï

#### 3.1.1 La débitance du pertuis

La courbe de débitance du pertuis de sortie est déterminée de trois manières différentes :

- A partir d'un calcul à **surface libre** avec une hypothèse d'un Froude de 0.5 en sortie tant que l'ouvrage n'est pas en charge\*;
- Ensuite, lorsque l'ouvrage est **en charge**, par un calcul d'orifice de type Nago (1983) dénoyé ;
- L'écoulement en sortie de l'ouvrage est comparé aux conditions aval imposées par l'ouvrage SNCF pour vérifier les conditions d'envoiement du pertuis de sortie par l'aval. Lorsque le **pertuis est ennoyé**, une équation d'orifice en charge est utilisée. Le pertuis n'est pas ennoyé tant qu'il n'y a pas de surverse par le déversoir. L'envoiement du pertuis n'est donc présent que dans la courbe de débitance totale de l'aménagement. (Figure 3-3).

\*A noter que la partie à surface libre de l'écoulement se produit lorsque le volume de stockage de la retenue n'est quasiment pas sollicité et donc **n'a aucun impact sur le résultat du calcul de laminage**.

Les dimensions du pertuis sont donc calées, à partir des hydrogrammes de crues objectifs PAPI 2020 et de façon à avoir un débit de pointe en sortie qui correspond environ à la capacité du cours d'eau dans le tronçon aval de la Grande Frayère lorsque la charge dans la retenue atteint la cote du déversoir.

- Le pertuis de sortie est un dalot de section 3.9 m<sup>2</sup>, de hauteur 1.50 m et de largeur 2.60 m. La hauteur est fixée à 1.5m afin de le rendre plus facilement visitable et pour faciliter son entretien.

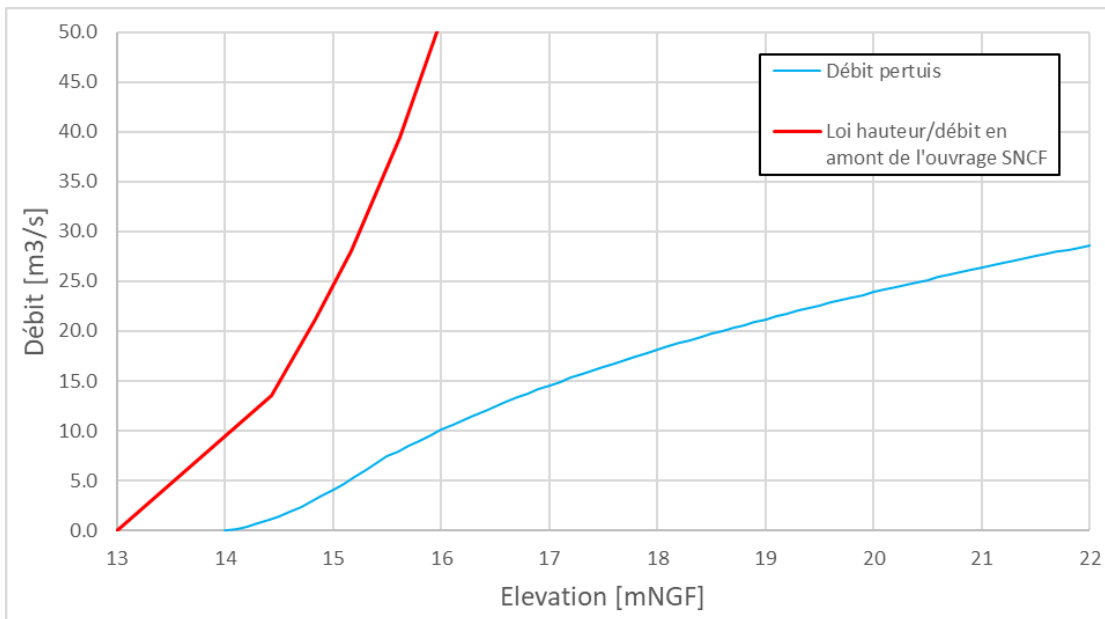


Figure 3-1 : Loi de débitance du pertuis de sortie (Nago) et loi hauteur débit au droit de l'ouvrage SNCF en aval

### 3.1.2 La débitance du déversoir

La loi de débitance du déversoir est calculée à partir d'une loi de seuil à crête épaisse, avec un coefficient de débit de Bazin de 0.385.

Là encore, la débitance du seuil est comparée aux conditions aval imposée par l'ouvrage de franchissement du remblai SNCF pour déterminer les conditions d'envoie du seuil par l'aval.

Pour les très grands débits (>200 m³/s), le seuil est ennoyé par l'aval, un coefficient de submersion est alors déterminé à partir de la formule de Hager (1986).

La courbe de débitance de l'aménagement hydraulique sans prise en compte du pertuis (soit de l'évacuateur de crue seul) est alors la suivante :

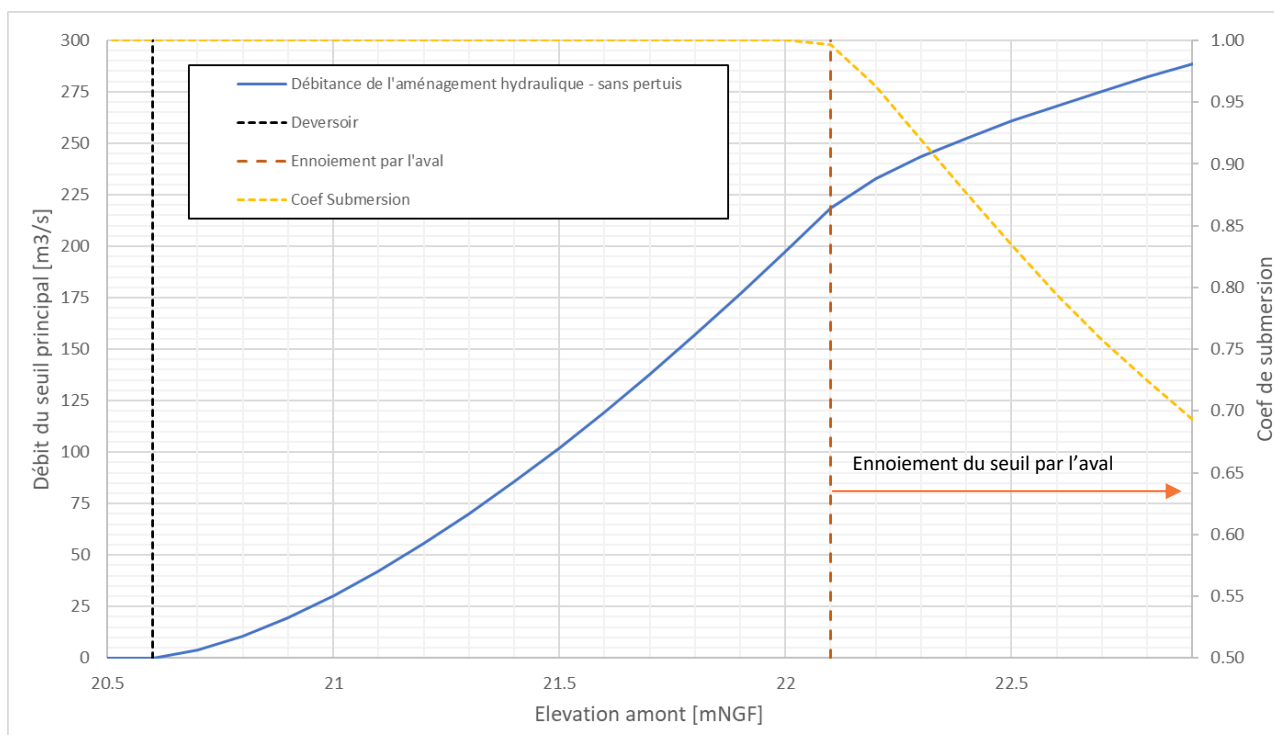


Figure 3-2 : Loi de débitance de l'aménagement hydraulique - sans pertuis de fond

### 3.1.3 La loi de débitance totale de l'aménagement hydraulique

La prise en compte des deux organes de sortie fait apparaître un ennoisement du pertuis de fond lorsque le déversoir est sollicité. De plus, la prise en compte d'un débit passant par le pertuis de fond vient également modifier les conditions d'ennoisement du seuil par l'aval pour les très grands débits. La courbe de débitance combinées des deux organes a donc été recalculée en prenant en compte les nouvelles conditions d'ennoisement.

Il est présenté ci-dessous la loi de débitance des deux organes combinés ainsi que la débitance du déversoir seul.

On voit que plus le débit augmente plus la courbe de débitance globale tend vers la courbe de débitance du déversoir seul, puisque la différence de charge amont/aval dont dépend le débit passant dans le pertuis se réduit fortement.

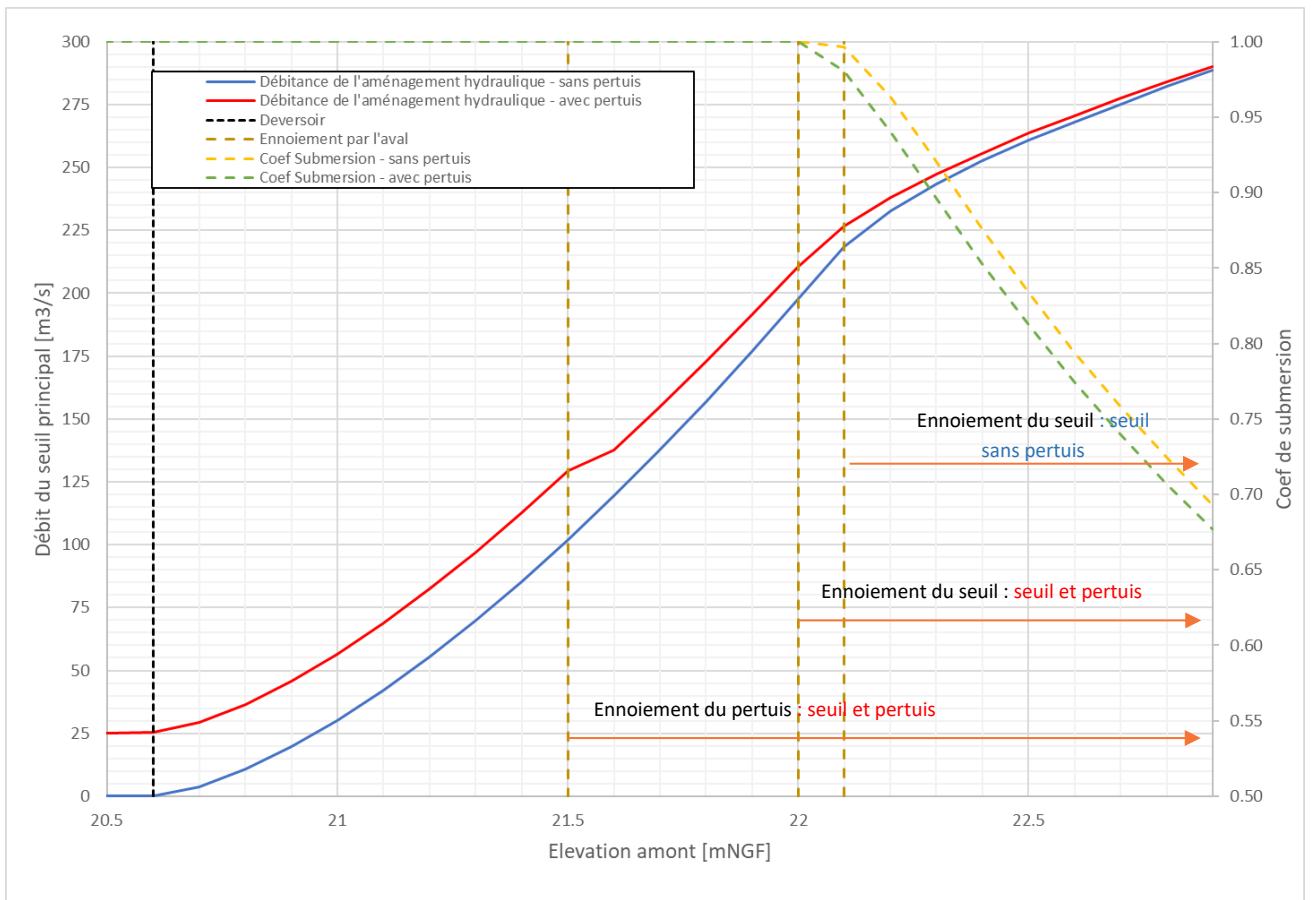


Figure 3-3 : Loi de débitance à travers l'aménagement hydraulique de Carimai – Loi de débitance globale (seuil et pertuis) en rouge et loi de débitance du seuil uniquement (pertuis obstrué) en bleu – zoom sur la partie déversante

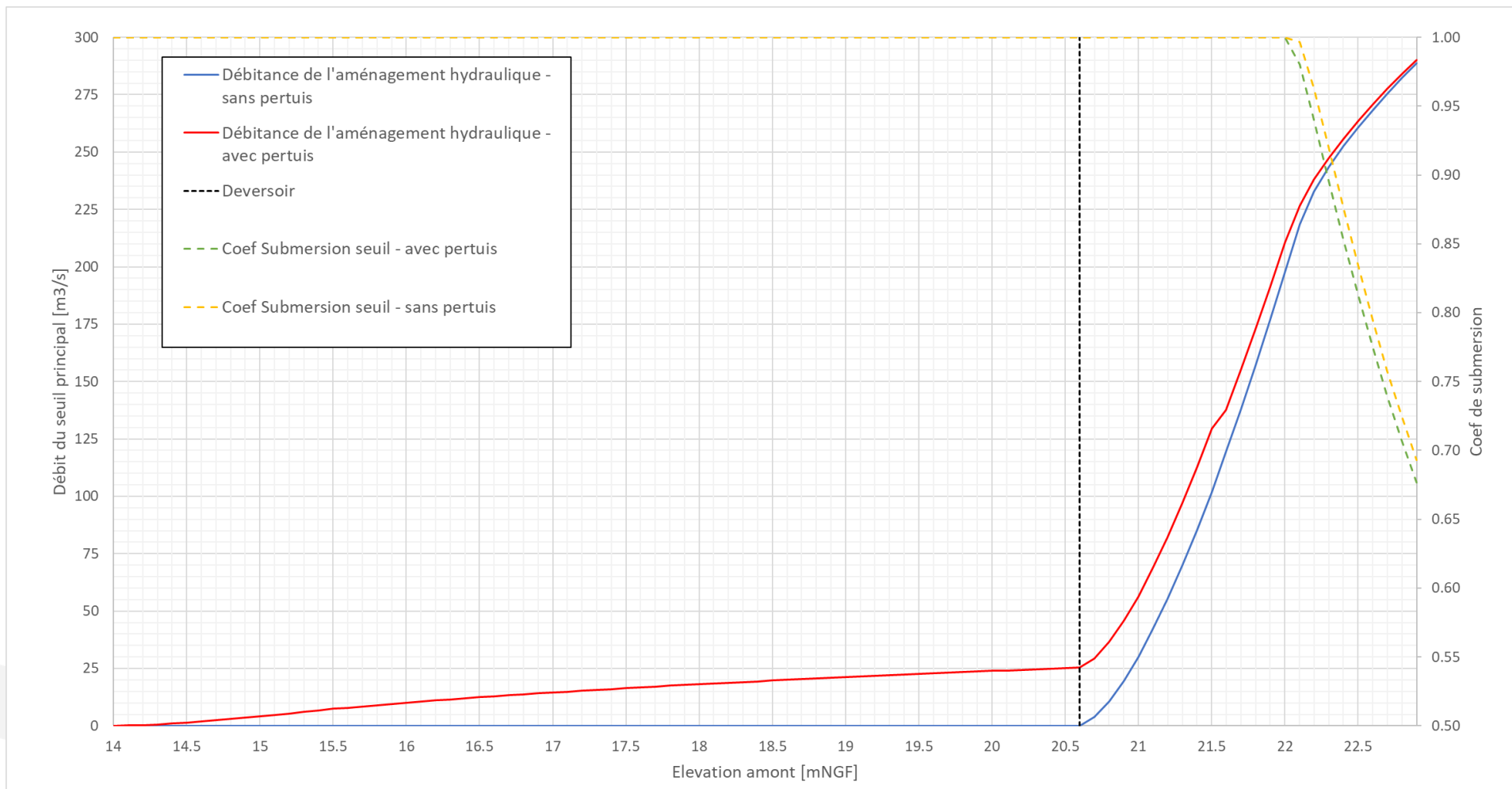


Figure 3-4 : Loi de débitance à travers l'aménagement hydraulique de Carimaï – Loi de débitance globale (seuil et pertuis) en rouge et loi de débitance du seuil uniquement (pertuis obstrué) en bleu



### 3.2 Loi hauteur-volume

La courbe hauteur volume est déterminée à partir du plan topographique à l'état actuel et des caractéristiques de l'ouvrage. Le volume de stockage à la cote de déversement (20.60 mNGF) est d'environ 70 000 m<sup>3</sup>.

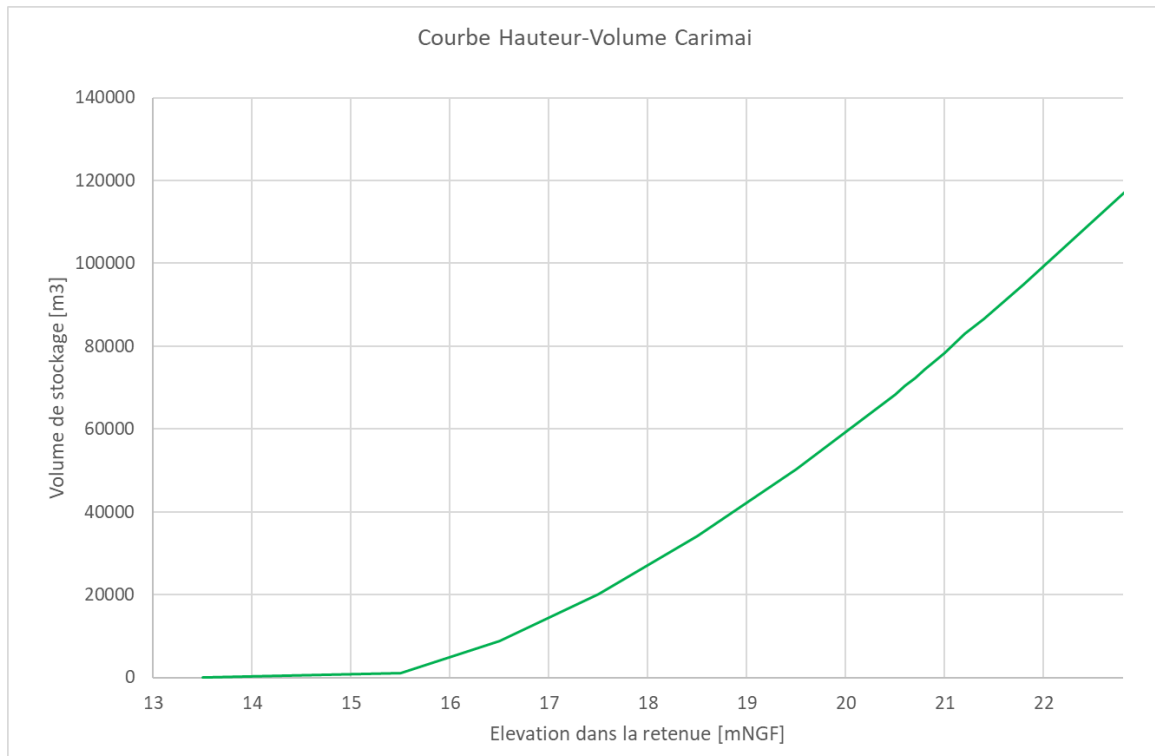


Figure 3-5 : Courbe hauteur volume de l'aménagement hydraulique



### 3.3 Détermination des performances de l'ouvrage sur base de l'hydrologie révisée

Le calcul de laminage permet de déterminer les niveaux d'eau atteints dans la retenue, les débits de pointe et forme de l'hydrogramme en sortie de l'ouvrage à partir d'une comparaison entre les hydrogrammes de crues en entrée, la loi hauteur-volume et la loi de débitance de l'aménagement hydraulique.

On peut ainsi caractériser la réduction de débit engendré par l'ouvrage en fonction des hydrogrammes de crues considérées.

Dans ce chapitre, les performances d'écrêtement de l'ouvrage sont calculées à partir des hydrogrammes révisés pour la crue centennale. Les hydrogrammes SCS unitaires définis précédemment sont recalés en pointe par homothétie.

Trois événements sont considérés ; l'optimum d'écrêtement à 38.5 m<sup>3</sup>/s en pointe, un événement inférieur à l'optimum à 30 m<sup>3</sup>/s en pointe et un événement dépassant l'optimum d'écrêtement à 45 m<sup>3</sup>/s en pointe.

#### ○ Optimum d'écrêtement à 38.5 m<sup>3</sup>/s en pointe

L'écrêtement est maximum pour un hydrogramme en entrée de débit de pointe de l'ordre de 38.5 m<sup>3</sup>/s et de volume de l'ordre de 287 000 m<sup>3</sup> (selon hydrogramme SCS).

Crue	Débit max entrant	Débit max sortant	Élévation maximale dans la retenue	Ecrêtement du débit de pointe	Sollicitation du déversoir	Charge sur déversoir
-	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	mNGF	-	-	m
Qp= 38.5 m <sup>3</sup> /s	38.5	25.3	20.57	34%	NON	NC

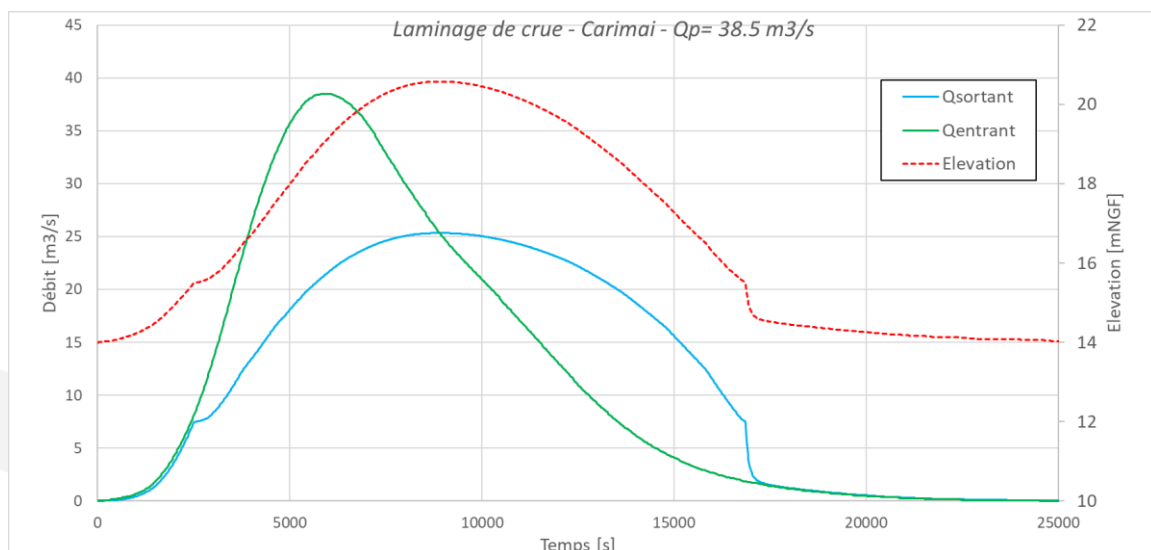


Figure 3-6 : Scénario 1 : Laminage de fonctionnement nominal en condition normale pour une crue type Qp= 38.5 m<sup>3</sup>/s

○ Evènement inférieur à l'optimum d'écrêtement :

**Fonctionnement :  $Q_p = 30 \text{ m}^3/\text{s}$  – Volume de  $224\,000 \text{ m}^3$**

Crue	Débit max entrant	Débit max sortant	Elévation maximale dans la retenue	Ecrêtement du débit de pointe	Sollicitation du déversoir	Charge sur déversoir	Revanche/crête
-	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m}^3/\text{s}$	mNGF	-	-	m	m
$Q_p = 30 \text{ m}^3/\text{s}$	30.0	21.6	19.14	28%	NON	NC	3.66

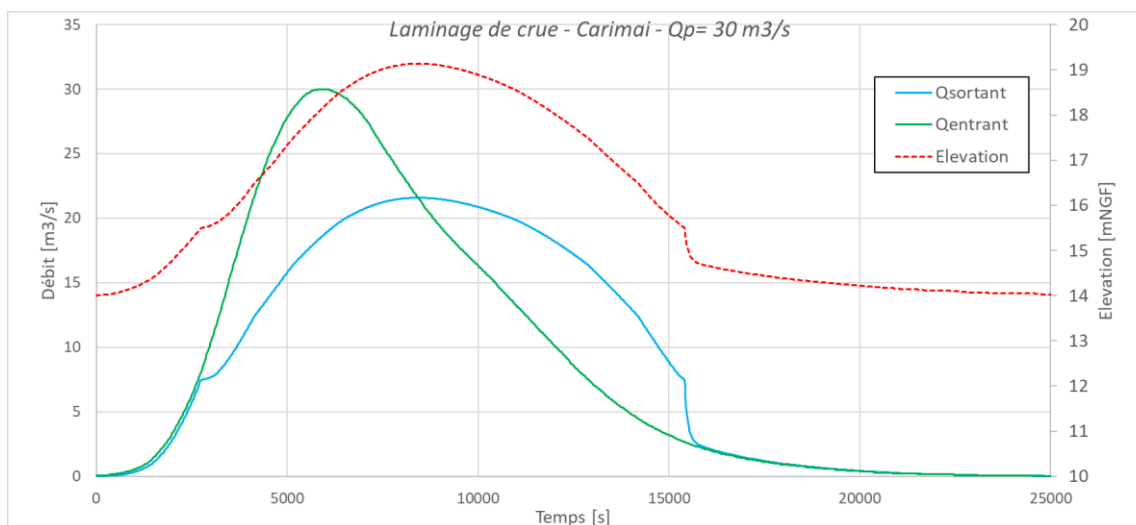


Figure 3-7 : Laminage en condition normale pour une crue type  $Q_p = 30 \text{ m}^3/\text{s}$

○ Evènement supérieur à l'optimum d'écrêtement :

**Fonctionnement crue  $Q_p = 45 \text{ m}^3/\text{s}$  – Volume de  $436\,000 \text{ m}^3$**

Crue	Débit max entrant	Débit max sortant	Elévation maximale dans la retenue	Ecrêtement du débit de pointe	Sollicitation du déversoir	Charge sur déversoir	Revanche/crête
-	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m}^3/\text{s}$	mNGF	-	-	m	m
$Q_p = 45 \text{ m}^3/\text{s}$	45.0	39.4	20.83	12%	OUI	0.23	1.97

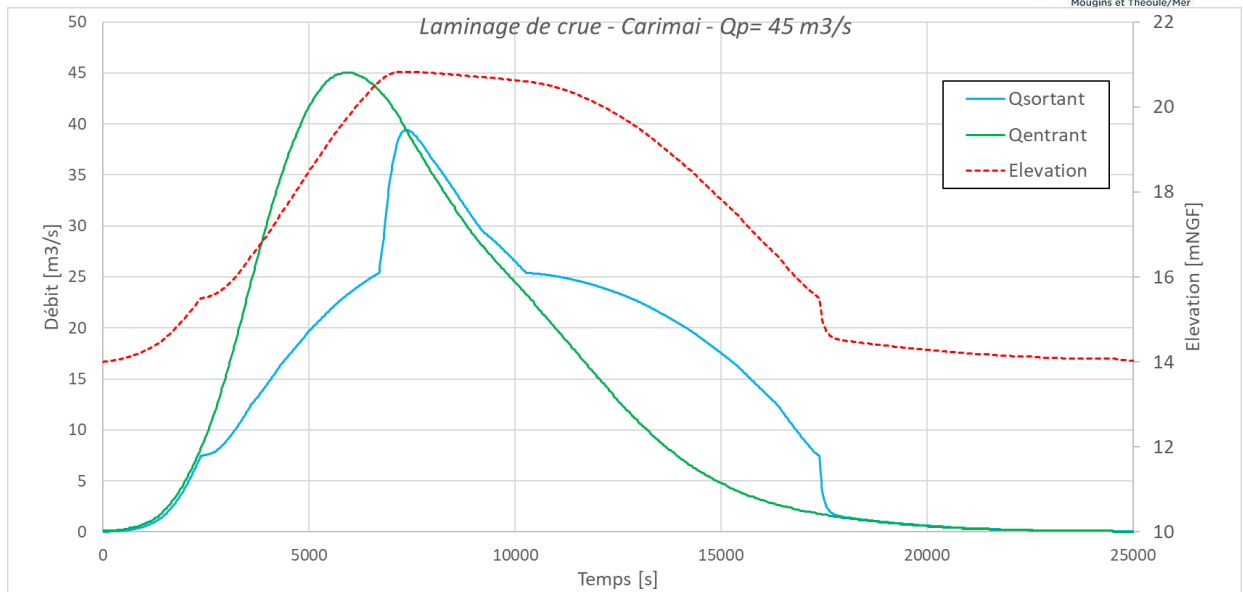


Figure 3-8 : Laminage en condition normale pour une crue type  $Q_p = 45 \text{ m}^3/\text{s}$

○ Evènement supérieur à l'optimum d'écrêtement :

**Crue d'octobre 2015,  $Q_p = 115 \text{ m}^3/\text{s}$  – Volume de  $872\,000 \text{ m}^3$**

Crue	Débit max entrant	Débit max sortant	Elévation maximale dans la retenue	Ecrêtement du débit de pointe	Sollicitation du déversoir	Charge sur déversoir
-	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m}^3/\text{s}$	mNGF	-	-	m
<b>Crue d'octobre 2015</b>	116.0	115.8	21.42	0%	OUI	0.82

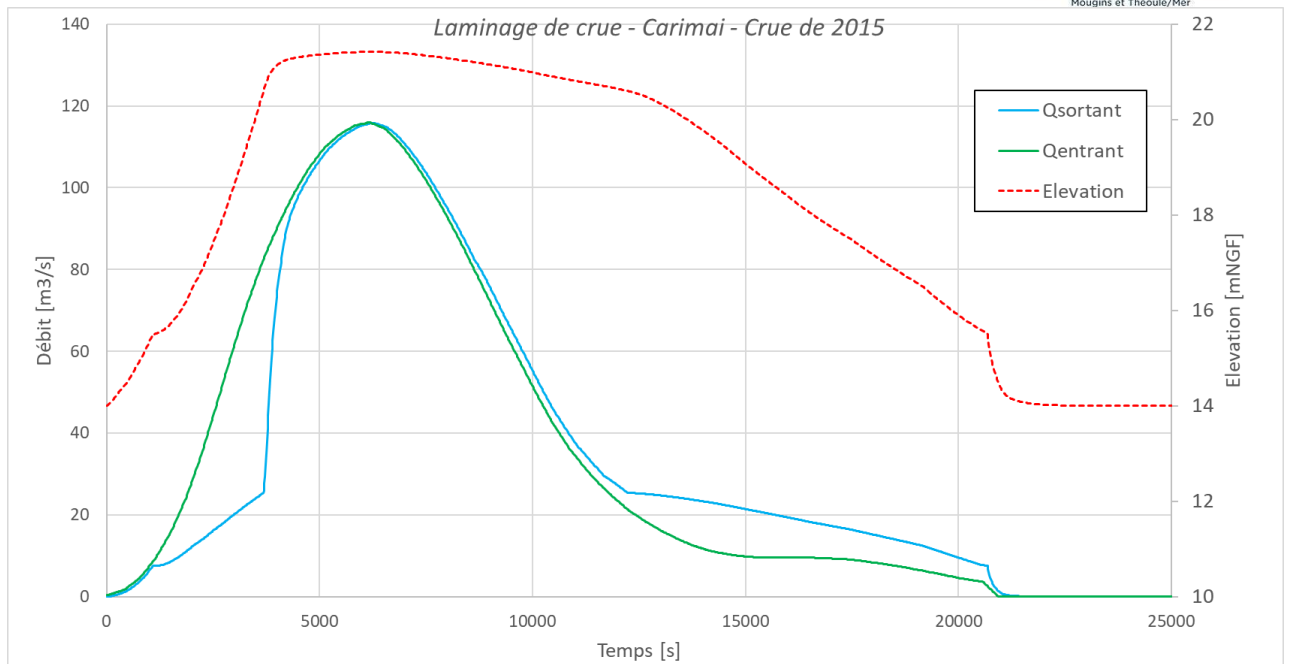


Figure 3-9 : Laminage en condition normale pour une crue type 2015



### 3.4 Tableau de synthèse du calcul de laminage

Tableau 17 : Tableau de synthèse des résultats du calcul de laminage du bassin de Carimai – hydrogrammes issus de l'hydrologie révisée

Crue	Débit max entrant	Débit max sortant	Élévation maximale dans la retenue	Ecrêtement du débit de pointe	Sollicitation du déversoir	Charge sur déversoir
-	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	mNGF	-	-	m
<b>Qp= 30 m<sup>3</sup>/s</b>	30.0	21.6	19.14	28%	NON	NC
<b>Qp= 38.5 m<sup>3</sup>/s</b>	38.5	25.3	20.57	34%	NON	NC
<b>Qp= 45 m<sup>3</sup>/s</b>	45.0	39.4	20.83	12%	OUI	0.23
<b>Crue d'octobre 2015</b>	116.0	115.8	21.42	0%	OUI	0.82

## 4. MODELISATION HYDRAULIQUE DE LA GRANDE FRAYERE EN AVAL DE L'OUVRAGE

### 4.1 Présentation du modèle hydraulique utilisé

Le modèle hydraulique utilisé est le modèle construit dans le cadre du PPRi de Cannes.

Toutes les hypothèses inhérentes au calage du modèle dans le cadre du PPRi ont été conservées (paramétrisation de la rugosité, des ouvrages, des éventuels embâcles etc.).



Figure 4-1 : Emprise du modèle hydraulique PPRi (en vert)

#### 4.1.1 Données de base

Les données de base utilisées sont les suivantes :

- Le modèle PPRi de la Frayère. Toutes les données de bases utilisées dans la construction du modèle PPRi y sont donc compilées, notamment les données topographiques :
  - Lit mineur :
    - ▷ 158 profils en travers et 58 ouvrages (Suez Consulting, 2017).

- Lit majeur :
  - ▷ Modèle numérique de terrain, IGN RGE,
  - ▷ Modèle numérique de terrain du SIFRO.
- Réseaux :
  - ▷ Modèle du SDEP de Cannes (SAFEGE, 2008),
  - ▷ Films vallons (COMA, 2005),
  - ▷ Plans des exploitants du réseau EP (Suez et Véolia).

### 4.1.2 Le type de modèle hydraulique

Le modèle construit dans le cadre du PPRi est réutilisé. Toutes les hypothèses de construction sont conservées.

Sur la Frayère Sud et les vallons cannois, qui constituent des secteurs moyennement à fortement urbanisés où la prise en compte des longs biefs enterrés est indispensable, la suite de logiciels MIKE a été utilisée : **MIKE 11, 21, URBAN et FLOOD**.

Cette suite de logiciels, développée par DHI, se distingue par ses nombreuses possibilités de couplage. Via MIKE FLOOD, il est en effet possible de réaliser des couplages ou triplages entre des modèles 1D (MIKE 11), 2D (MIKE 21) ou de réseaux enterrés (MIKE URBAN).

Le modèle 1D « rivière » apparaît en noir, le modèle 1D « réseau » en rouge.

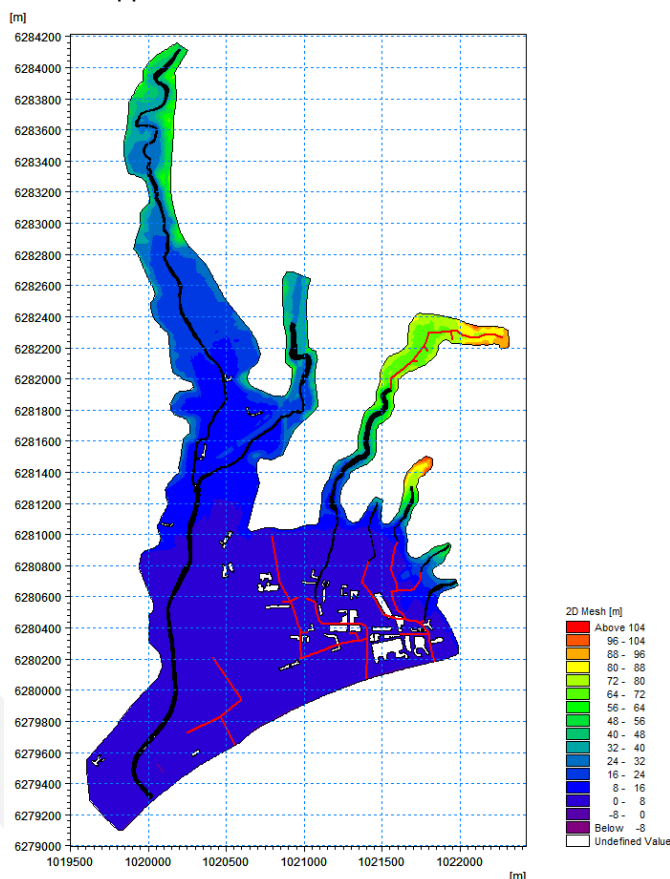


Figure 4-2 : Présentation du modèle Frayère, Roquebillière, Devens

### 4.1.3 Maillage

Le maillage construit dans le cadre du PPRi compte environ 380 000 mailles avec des tailles variant de 2 à 12m. A noter que certains bâtis très denses sont extrudés sur certains secteurs (le secteur Bocca n'est pas concerné). Le maillage est affiné au droit des lignes de ruptures de la topographie, des voiries, des éventuels merlons et remblais du lit majeur afin de représenter au mieux les éléments structurants pour les écoulements.

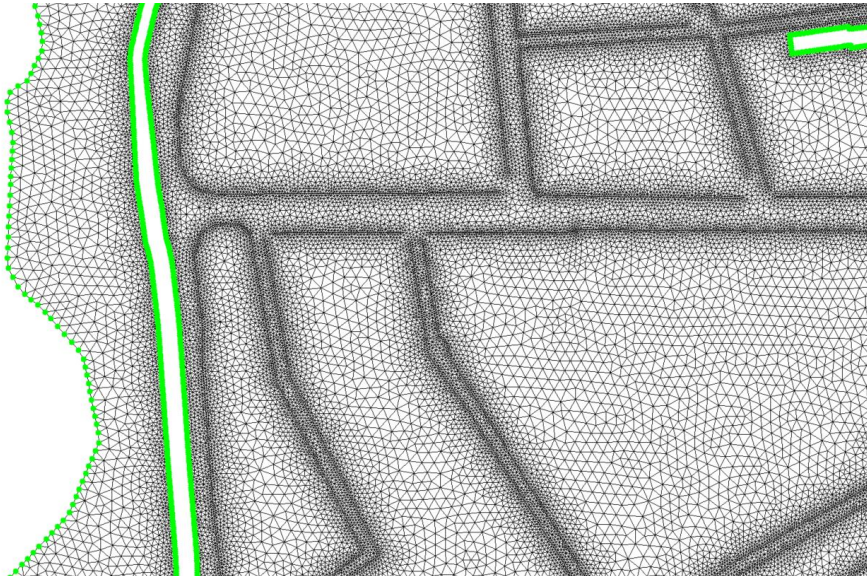


Figure 4-3 : Présentation du maillage – modèle PPRi

### 4.1.4 Rugosité

Le coefficient de frottement de Strickler permet de simuler la résistance des sols à l'écoulement : plus sa valeur est grande, plus la résistance est faible et plus la lame d'eau sera faible à débit constant et la vitesse importante.

Une rugosité a été attribuée à chaque typologie de cours d'eau, réseau ou occupation du sol (déterminée à partir de Corine Land Cover et d'une digitalisation de la voirie). L'évènement du 03 octobre 2015 et les nombreux repères de crue relevés sur le secteur ont été utilisés pour le calage du modèle. Les paramètres de rugosité de Strickler retenus dans le cadre du PPRi (après calage sur la crue de 2015) sont les suivants :

- En lit mineur :
  - De 20 m<sup>1/3</sup>/s (cours d'eau naturel) à 50 m<sup>1/3</sup>/s (chenal en béton)
- En lit majeur :
  - Voirie : 50 m<sup>1/3</sup>/s ;
  - Zones enherbées : 20 m<sup>1/3</sup>/s ;
  - Zones urbaines : 10 m<sup>1/3</sup>/s ;

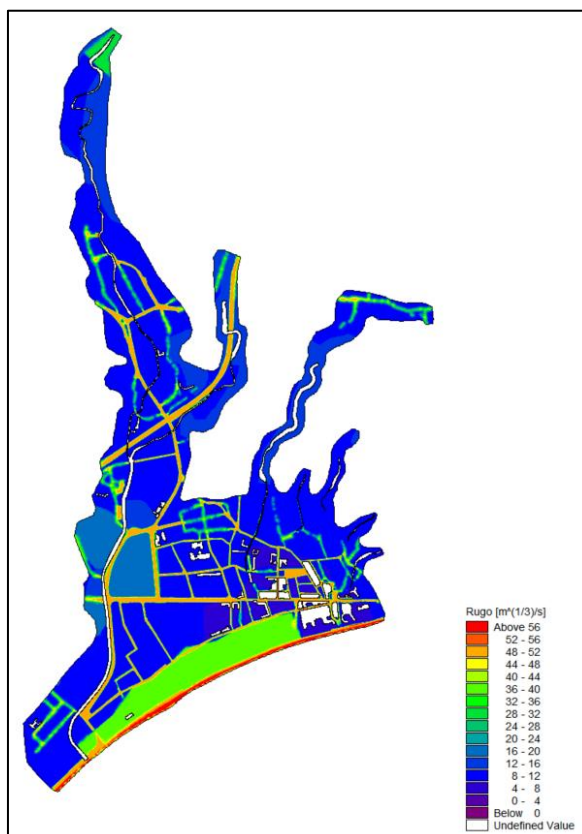


Figure 4-4 : Présentation de la rugosité 2D

### 4.1.5 Conditions aux limites

#### La condition limite amont :

Correspond aux hydrogrammes de crue injectés :

- Sur la Grande Frayère il s'agit des hydrogrammes de crue calculés en sortie de l'ouvrage de Carimaï, déterminés au chapitre 3.
- Sur la Petite Frayère, les simulations sont réalisées avec un débit Q10 issu du PPRi, sauf pour la crue de 2015 qui est modélisée de façon homogène sur tout le bassin versant (Petite frayère + Grande Frayère).

**La condition limite aval** correspond à une cote constante en mer : **+0.68 mNGF** (niveau haut en mer) correspondant à la cote maximale mesurée en mer lors de l'évènement de 2015. **Cette cote n'exerce aucune influence sur les débordements de la Grande Frayère et n'a donc pas d'importance pour l'objectif de cette étude.**

### 4.1.6 Prise en compte des embâcles (hypothèse du modèle PPRi)

Toutes les hypothèses du modèles PPRi ont été intégrées.



### 4.2 Fonctionnement en crue à l'état actuel

Dans ce chapitre, sont présentés les résultats de la modélisation en état actuel de la Frayère (Grande Frayère, Petite Frayère, Frayère aval) :

- Une modélisation issue de la modélisation PPRi, donc prenant en compte également les bassins versants de la Roquebillière et du Devens pour l'événement d'octobre 2015 (état de référence du PPRi)
- Une modélisation de la crue de 2015 uniquement sur les bassins versants de la Frayère et sur base des hydrogrammes de crue mis à jour au chapitre 2
  - Description de la dynamique des débordements de la Grande Frayère et la Frayère aval
  - Présentation des maximums de hauteur d'eau et vitesses d'écoulement
- Modélisation de la crue de débit de pointe 30 m<sup>3</sup>/s sur la Grande Frayère et Q10 (étude PPRi) sur la Petite Frayère. Présentation des maximums de hauteur d'eau et vitesses d'écoulement
- Modélisation de la crue de débit de pointe 38.5 m<sup>3</sup>/s sur la Grande Frayère et Q10 (étude PPRi) sur la Petite Frayère. Présentation des maximums de hauteur d'eau et vitesses d'écoulement
- Modélisation de la crue de débit de pointe 45 m<sup>3</sup>/s sur la Grande Frayère et Q10 (étude PPRi) sur la Petite Frayère. Présentation des maximums de hauteur d'eau et vitesses d'écoulement

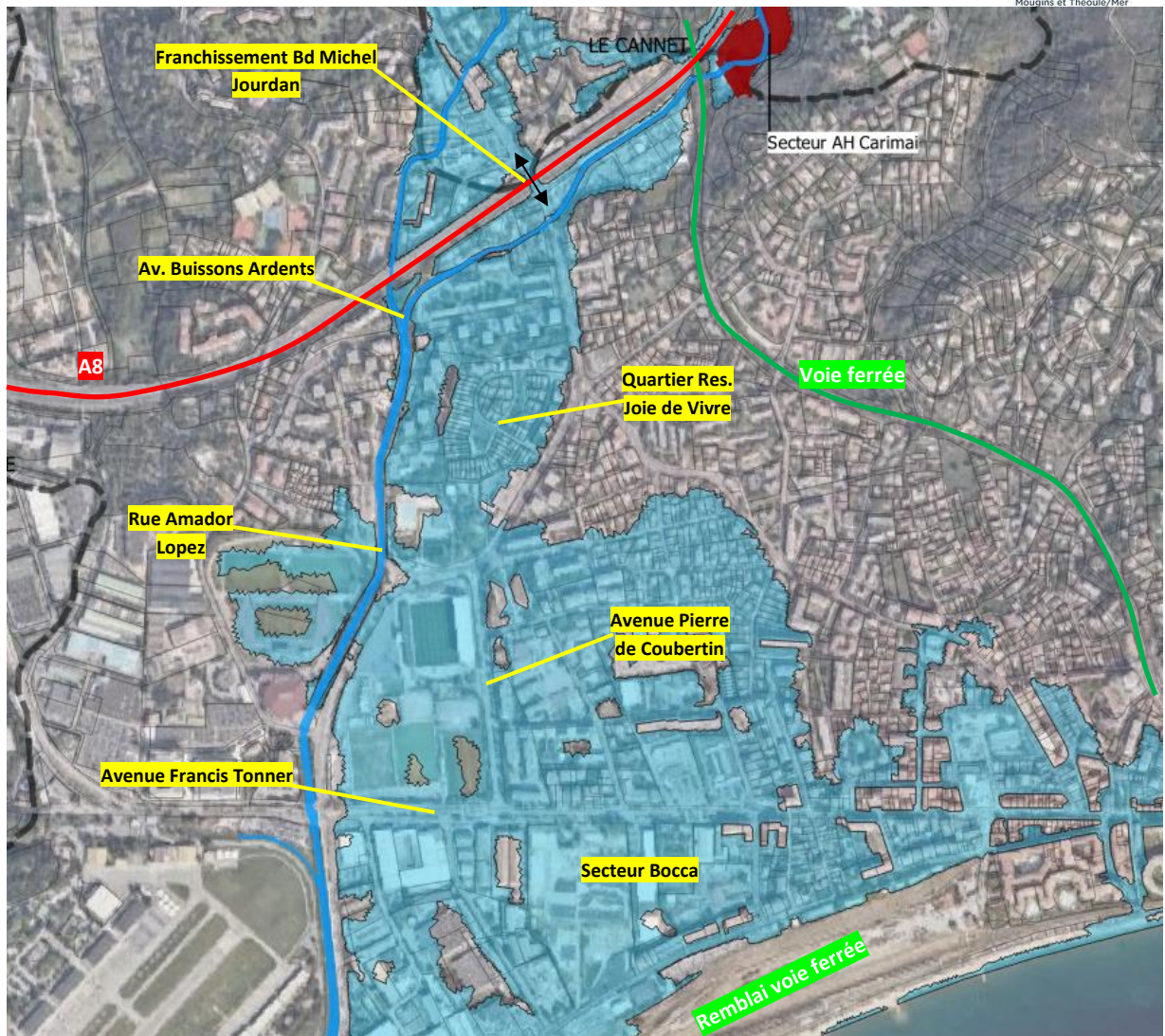
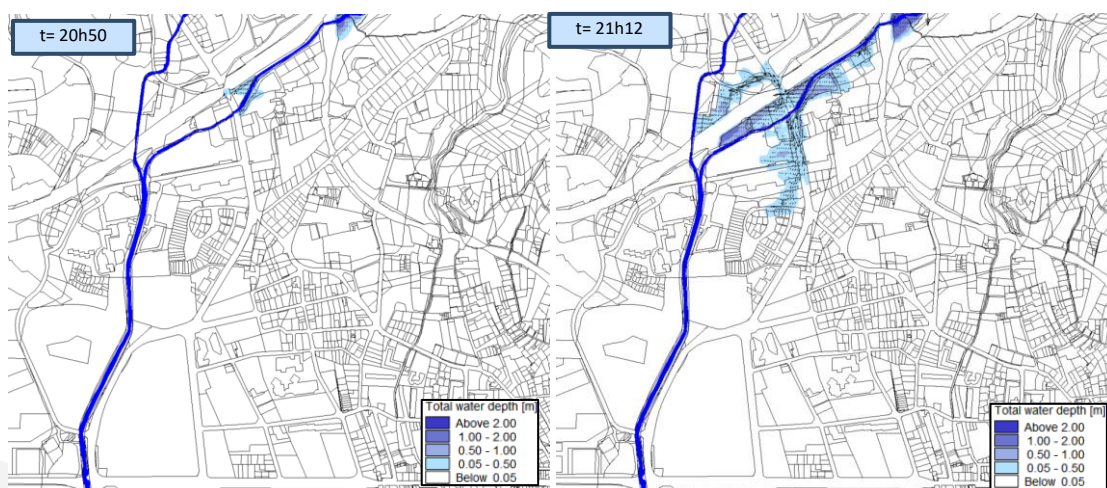


Figure 4-5 : Présentation des différents secteurs

### 4.2.1 Description de la dynamique d'inondation

La dynamique d'inondation est décrite ci-dessous à partir d'une modélisation de la crue de 2015 sur la Frayère :

- Les débordements ont lieu sur la Grande Frayère dans un premier temps au droit du franchissement de l'Av. Michel Jourdan (20h50). Les débordements surviennent en rive gauche et en rive droite ; en rive droite les écoulements impactent les enjeux alentours et rejoignent la Petite Frayère en passant par le franchissement routier de l'A8 (Av. Michel Jourdan) ; en rive gauche les débordements transitent vers le Sud par l'avenue Michel Jourdan et se propagent sur le quartier de la résidence Joie de Vivre pour rejoindre en suite l'avenue Pierre de Coubertin. Par la suite, les débordements se généralisent sur tout le tronçon de la Grande Frayère depuis le franchissement de la voie ferrée jusqu'à la confluence.
- A partir de 21h12 des débordements ont lieux sur la Frayère aval au droit du franchissement de la rue Amador Lopez en rive gauche. Ces débordements rejoignent l'axe de débordement de la Grande Frayère à l'Est puis les écoulements se propagent vers le Sud par l'Av. Pierre de Coubertin. Par la suite, le tronçon de la Frayère aval entre la confluence et la rue Amador Lopez déborde sur quasi-tout son linéaire.
- Les écoulements s'étalent ensuite vers le Sud et l'Est, l'Av. Francis Tonner accompagnant les écoulements dans l'axe Est/Ouest et les différentes voiries dans l'axe Nord/Sud, touchant les blocs bâtis du quartier Bocca. Les débordements se stockent au Sud le long de l'Avenue de la Roubine, la voie ferrée étant en remblai et empêchant le ressuyage des écoulements en direction de la mer.



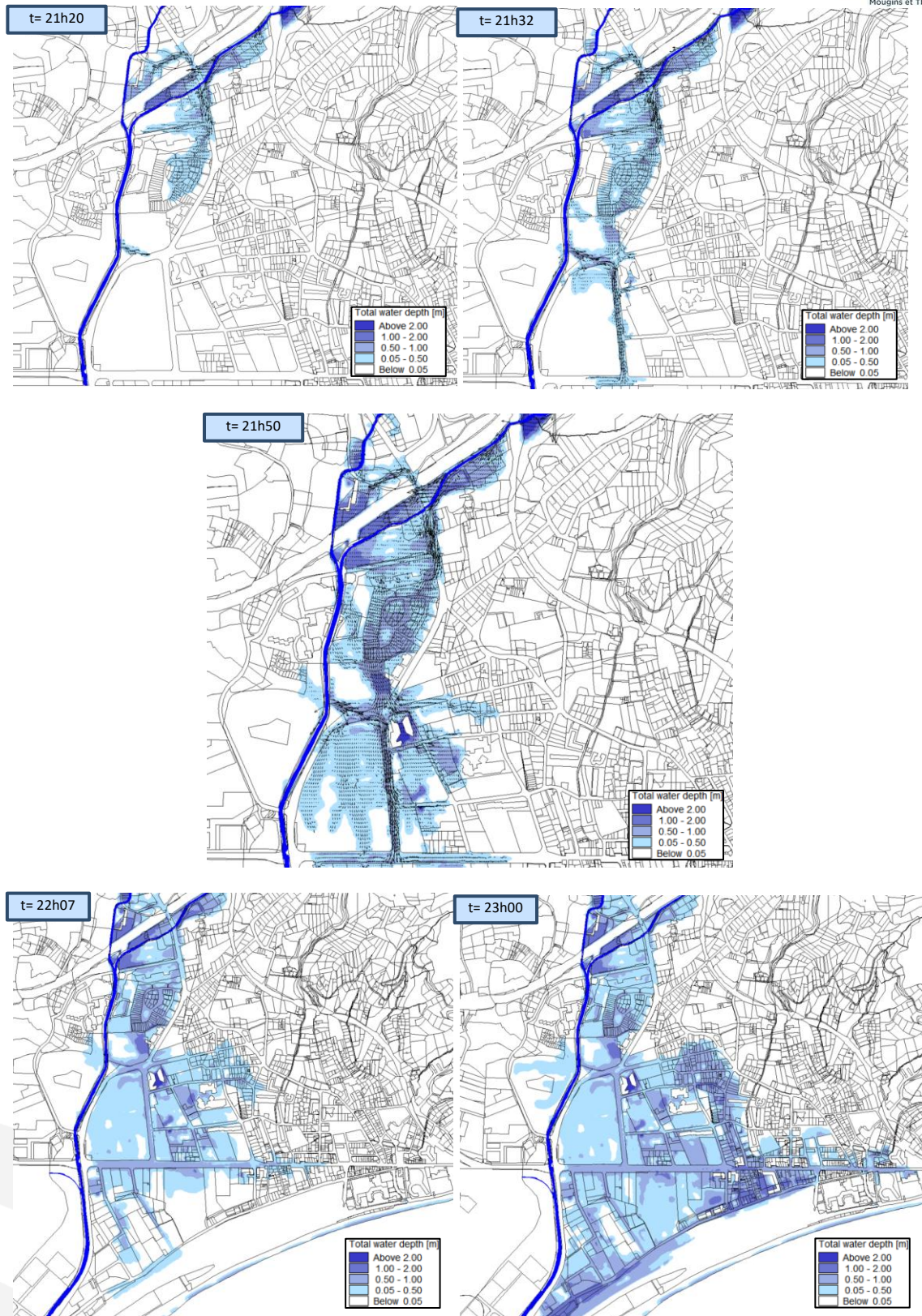


Figure 4-6 : Dynamique des débordements - crue de 2015

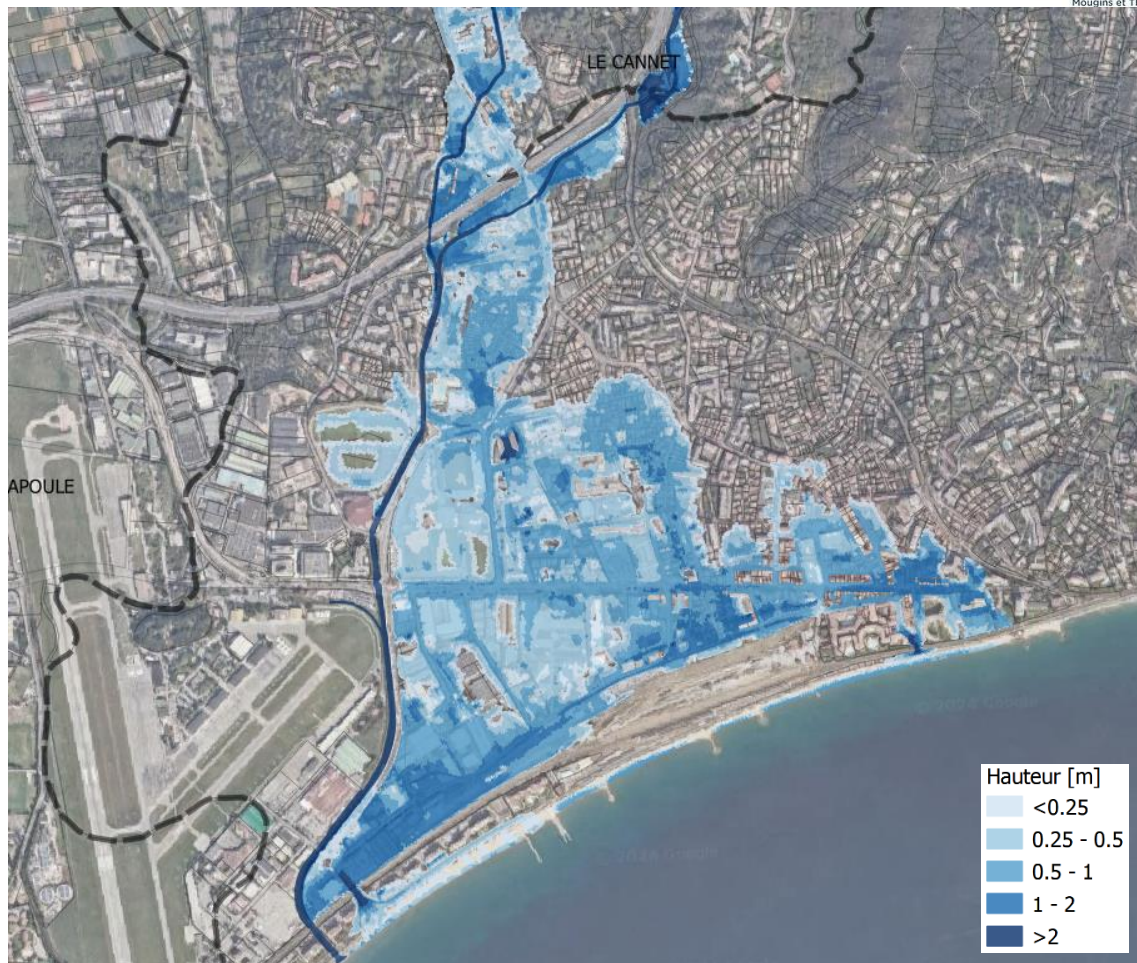


Figure 4-7 : Hauteur d'eau maximum - crue de 2015



### 4.2.2 Présentation des résultats maximum

Sont présentés dans les figures ci-dessous les maximums atteints en termes de hauteur d'eau et de vitesses d'écoulement.

- Crue de débit de pointe 30 m<sup>3</sup>/s ; des débordements sont observés pour cette crue au droit du franchissement de l'Avenue Michel Jourdan sur la Grande Frayère. Les eaux débordées rejoignent au Sud le quartier de la résidence joie de vivre et au Nord la Petite Frayère par le franchissement de l'A8. Les enjeux entre le remblai de l'A8 et la Grande Frayère sont également impactés.
- Crue de débit de pointe 38.5 m<sup>3</sup>/s ; le même type de débordements sont observés avec plus d'enjeux touchés et les débordements au sud qui transitent par l'avenue Pierre de Coubertin jusqu'à l'avenue Francis Tonner.
- Crue de débit de pointe 45 m<sup>3</sup>/s ; pour cette crue les débordements atteignent la rue de la Praderie et l'Av. des Arlucs au Sud.
- Crue de 2015 ; tout le linéaire de la Grande Frayère est débordant entre le remblai SNCF et la confluence et sur la Petite Frayère entre la confluence et l'avenue Amador Lopez. Ces débordements transitent vers le Sud, impactant tout le secteur Bocca. Les écoulements ne pouvant se ressuyer ni par la mer (présence du remblai de la voie ferrée au Sud) ni par la Frayère, les eaux débordées s'accumulent le long de l'axe de Roubine.

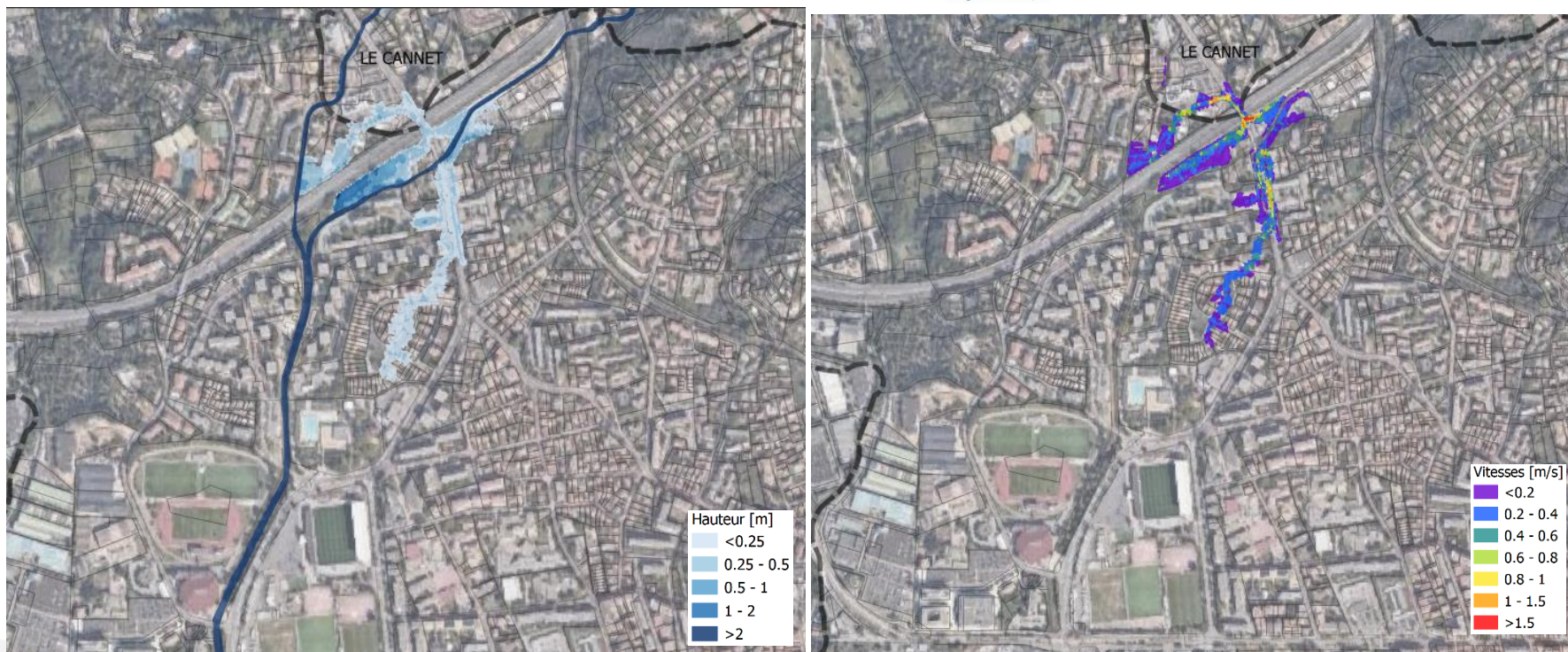


Figure 4-8 : Hauteur d'eau maximum à gauche et vitesses d'écoulement à droite – Etat actuel - crue de débit de pointe 30m<sup>3</sup>/s sur la Grande Frayère

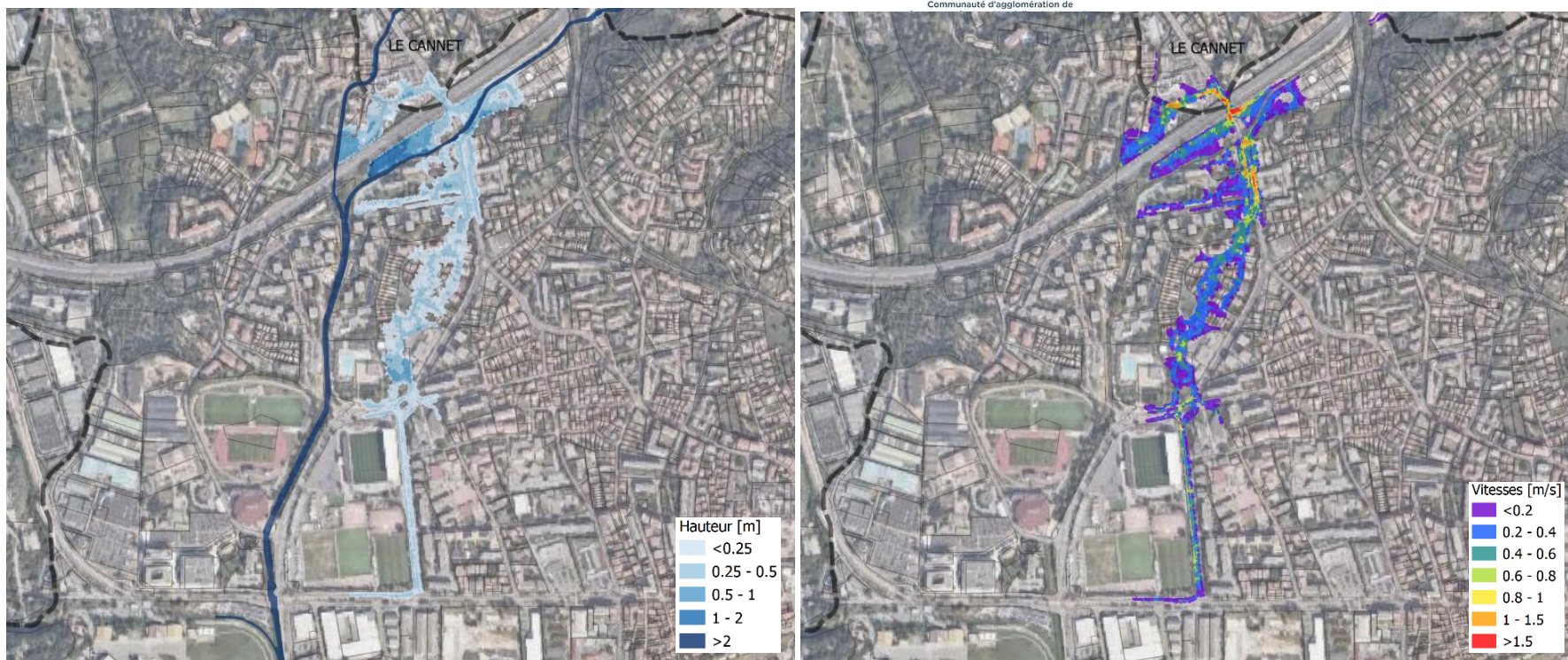


Figure 4-9 : Hauteur d'eau maximum à gauche et vitesses d'écoulement à droite – Etat actuel - crue de débit de pointe 38.5 m<sup>3</sup>/s sur la Grande Frayère

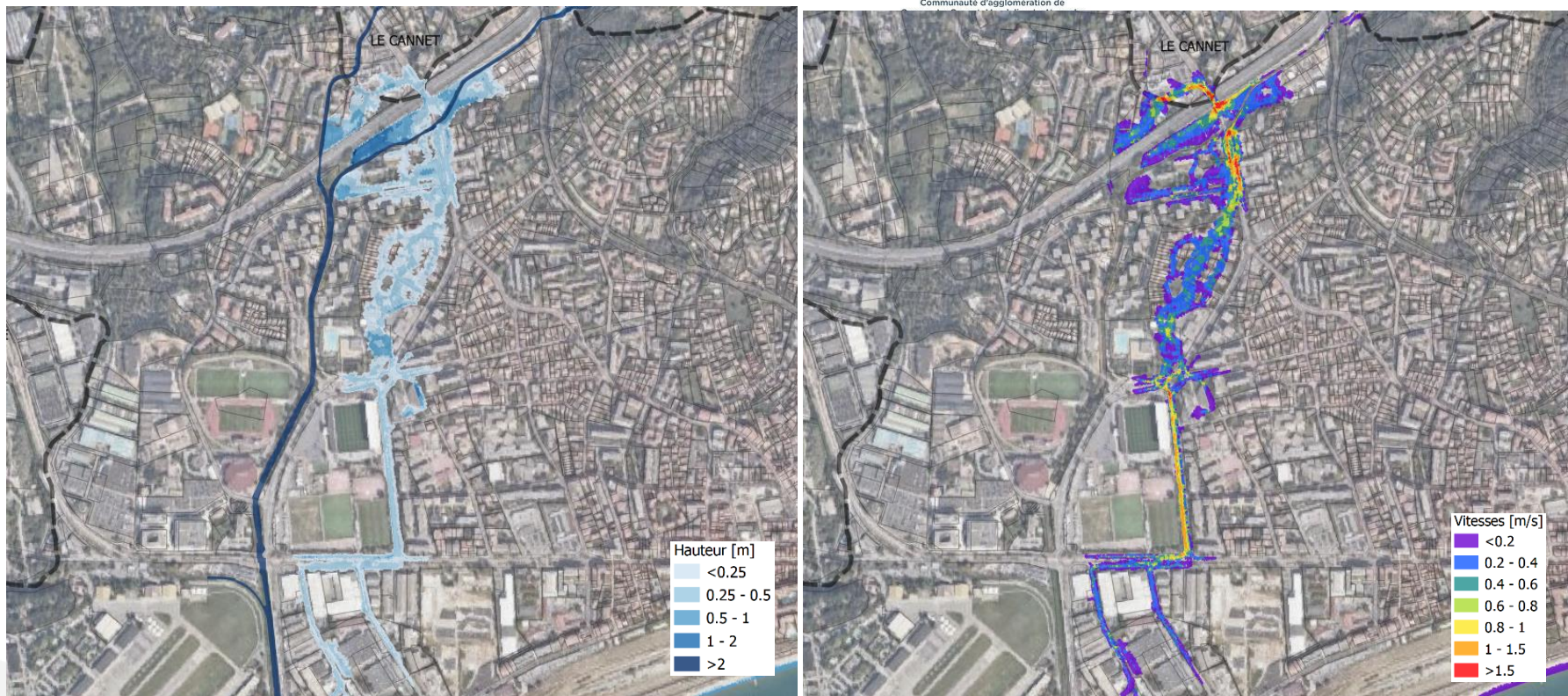


Figure 4-10 : Hauteur d'eau maximum à gauche et vitesses d'écoulement à droite – Etat actuel - crue de débit de pointe 45m<sup>3</sup>/s sur la Grande Frayère

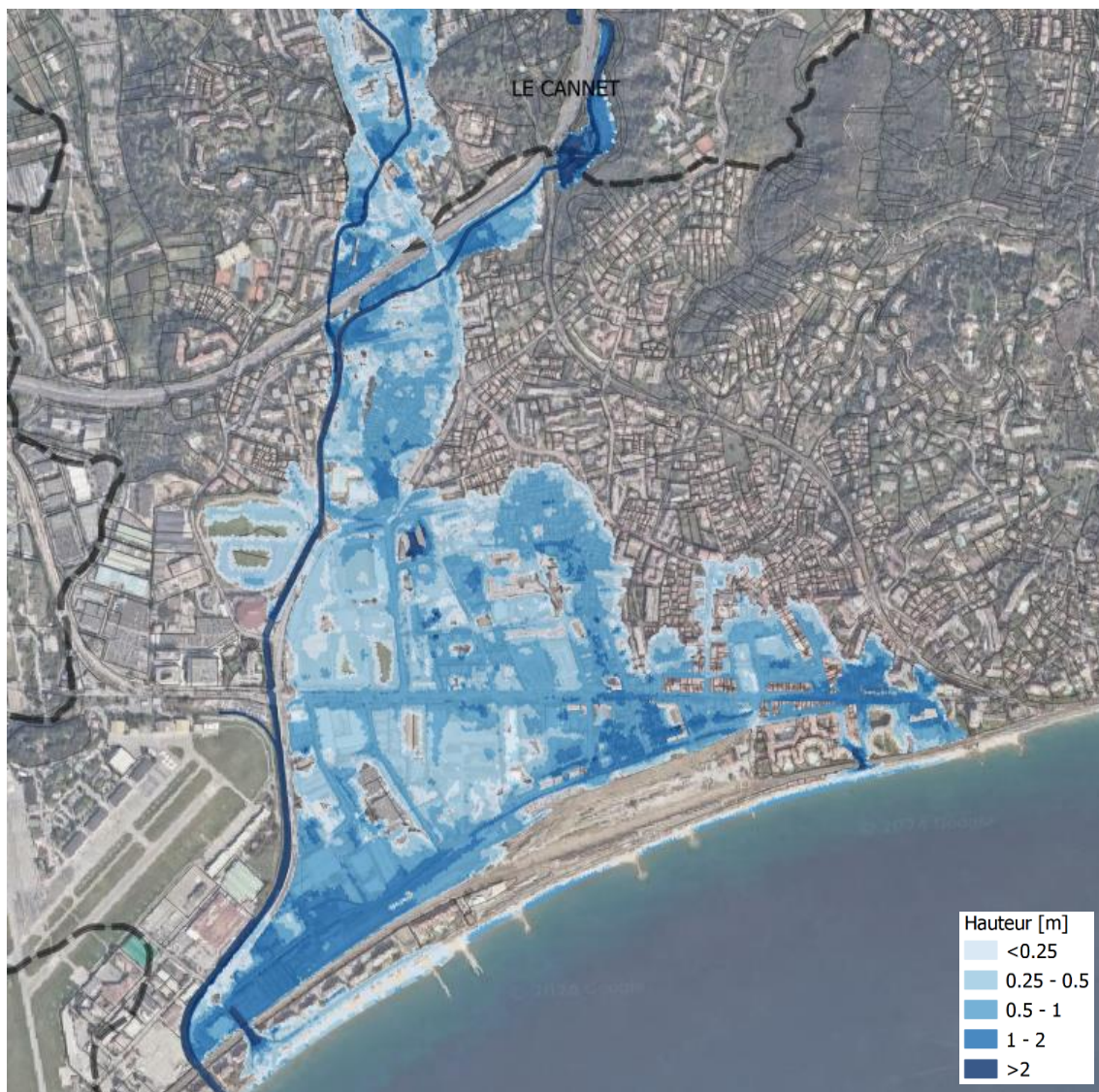


Figure 4-11 : Hauteur d'eau maximum – Etat actuel - crue de 2015

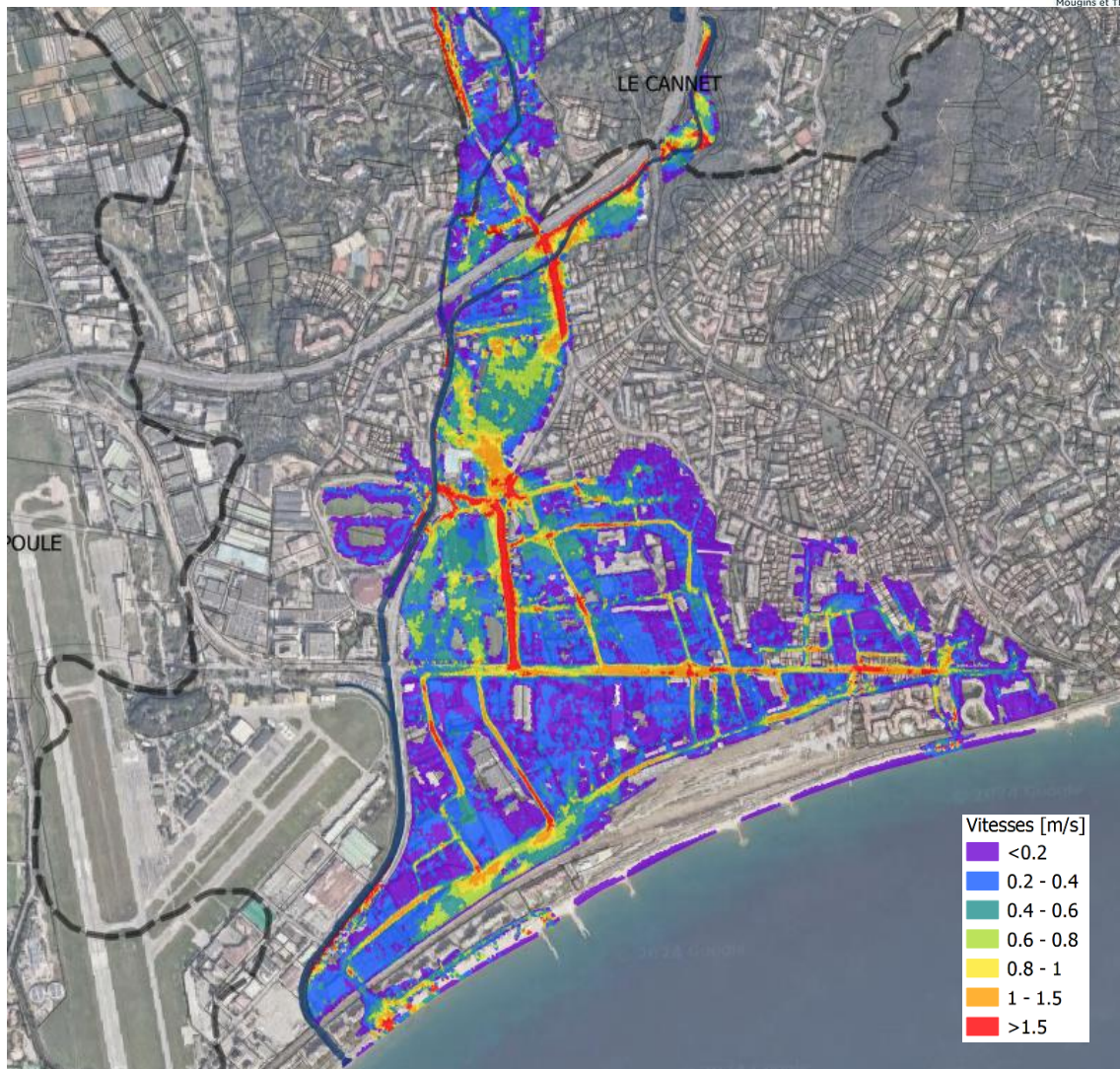


Figure 4-12 : Vitesses d'écoulement maximum – Etat actuel - crue de 2015

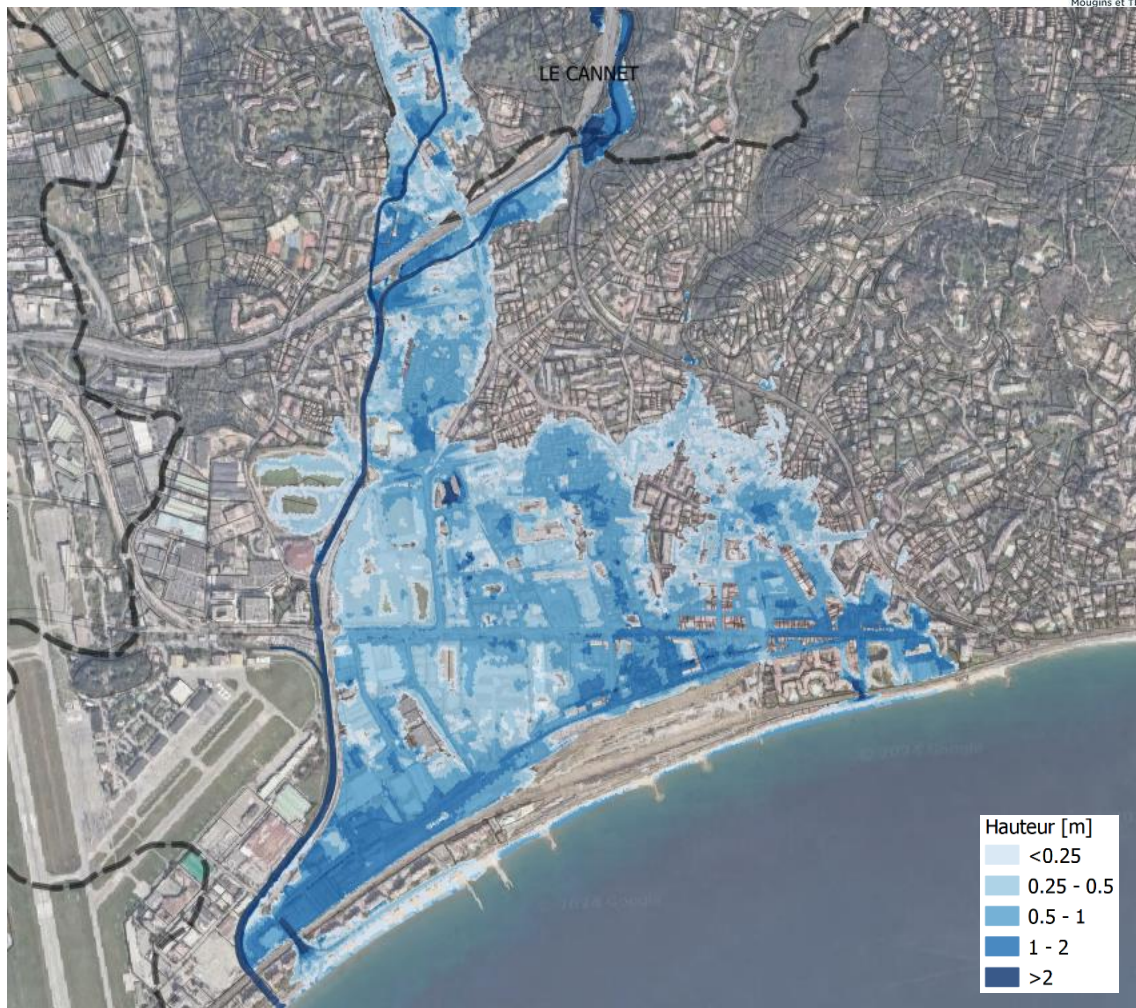


Figure 4-13 : Hauteur d'eau maximum – Modélisation PPRi (crue de 2015 incluant les bassins versants Roquebillière et Devens)



### 4.3 Caractérisation des impacts du projet d'aménagement hydraulique de Carimaï

Les hauteurs d'eau atteintes sont comparées entre l'état projet et l'état actuel afin de définir les impacts. Dans ce chapitre sont présentées pour toutes crues modélisées les maximums des hauteurs d'eau en état projet ainsi que les impacts sur les hauteurs d'eau.

Les résultats sont présentés sur les figures ci-dessous.  
On pourra retenir les points suivants :

- Crue de débit de pointe 30 m<sup>3</sup>/s ; les débordements sont supprimés sur tout le linéaire.
- Crue de débit de pointe 38.5 m<sup>3</sup>/s ; les débordements sont supprimés au sud de la voirie de la résidence joie de vivre et sur la résidence des buissons ardents, et ils sont réduits sur tout le reste du secteur inondé.
- Crue de débit de pointe 45 m<sup>3</sup>/s ; les débordements sont réduits sur tout le secteur inondé et sont supprimés en aval de l'avenue Francis Tonner.
- Crue de 2015 ; le volume de rétention supplémentaire en état projet permet une légère diminution des niveaux d'eau en aval dans la zone de stockage le long du remblai SNCF (-3 cm).

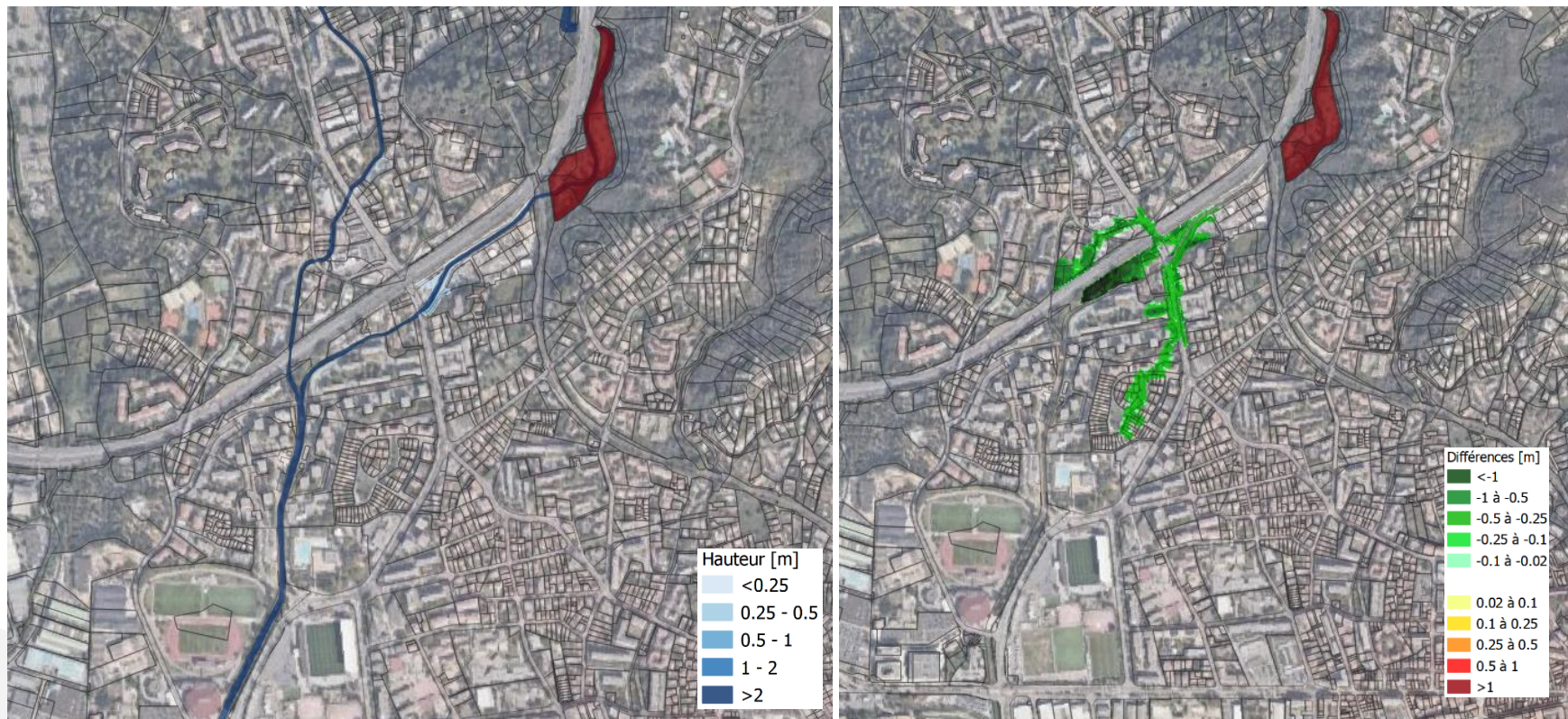


Figure 4-14 : Hauteur d'eau maximum en état projet à gauche et différences avec l'état actuel à droite - crue de débit de pointe 30 m<sup>3</sup>/s sur la Grande Frayère

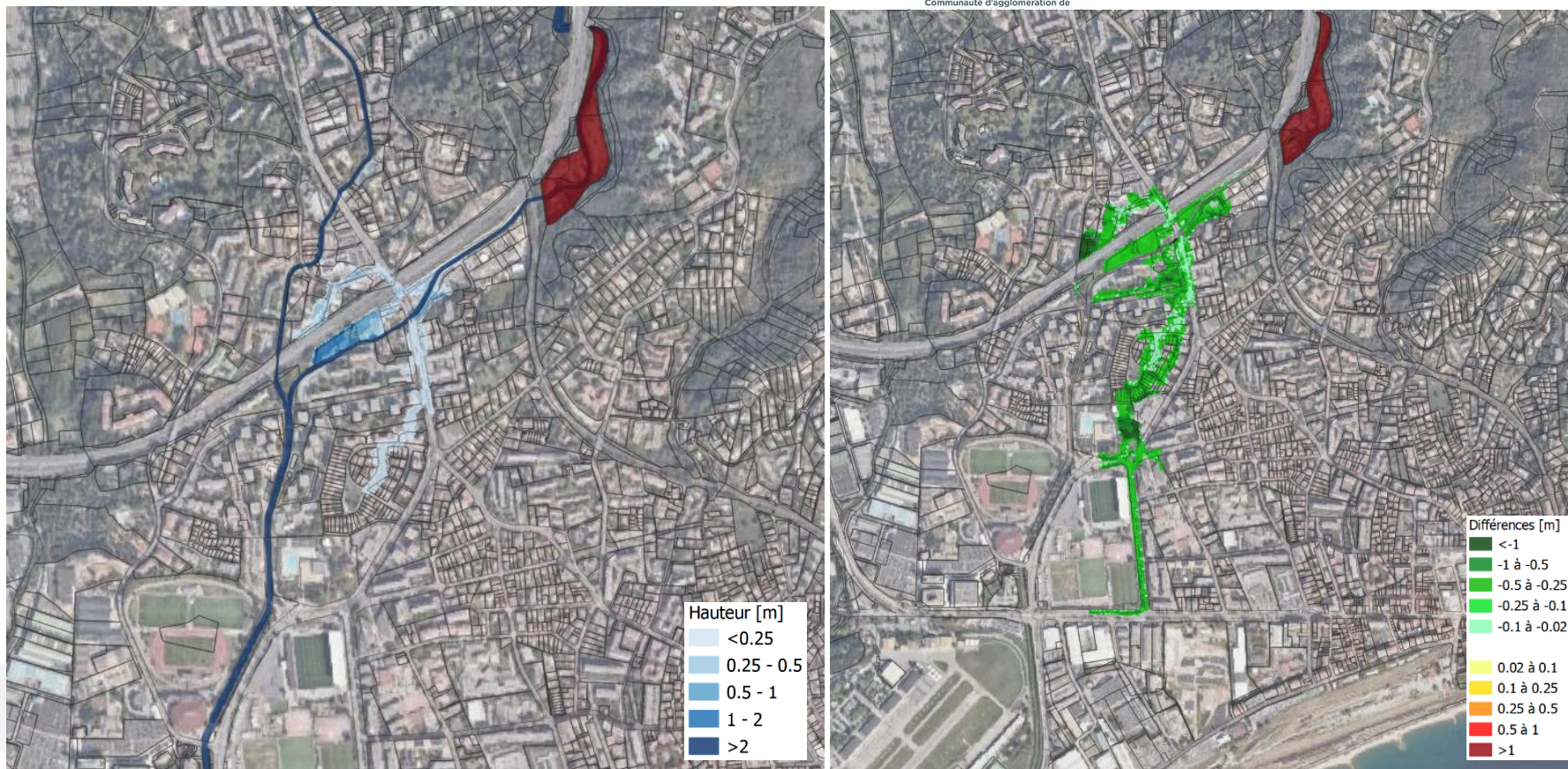


Figure 4-15 : Hauteur d'eau maximum en état projet à gauche et différences avec l'état actuel à droite - crue de débit de pointe 38.5 m<sup>3</sup>/s sur la Grande Frayère

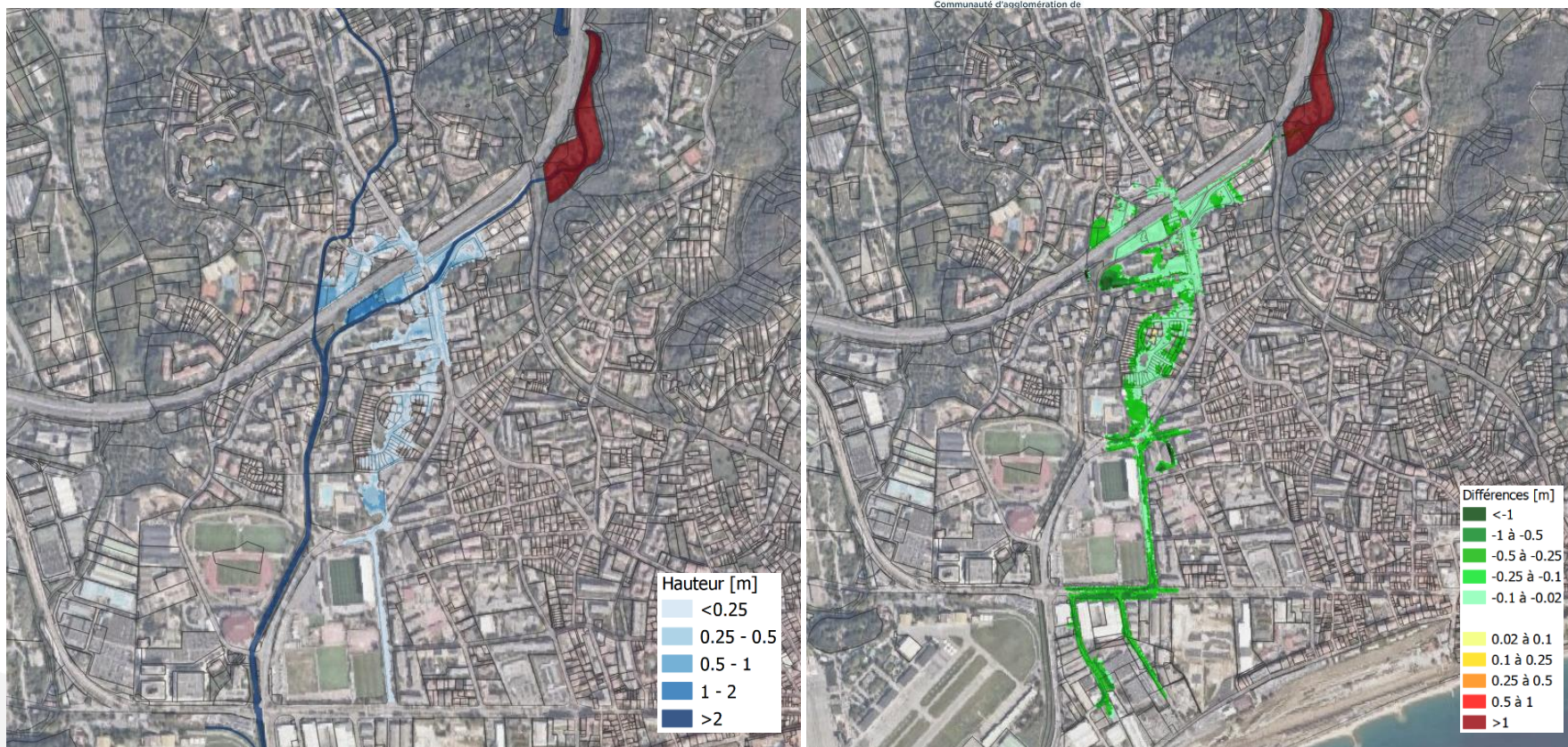


Figure 4-16 : Hauteur d'eau maximum en état projet à gauche et différences avec l'état actuel à droite - crue de débit de pointe 45 m<sup>3</sup>/s sur la Grande Frayère

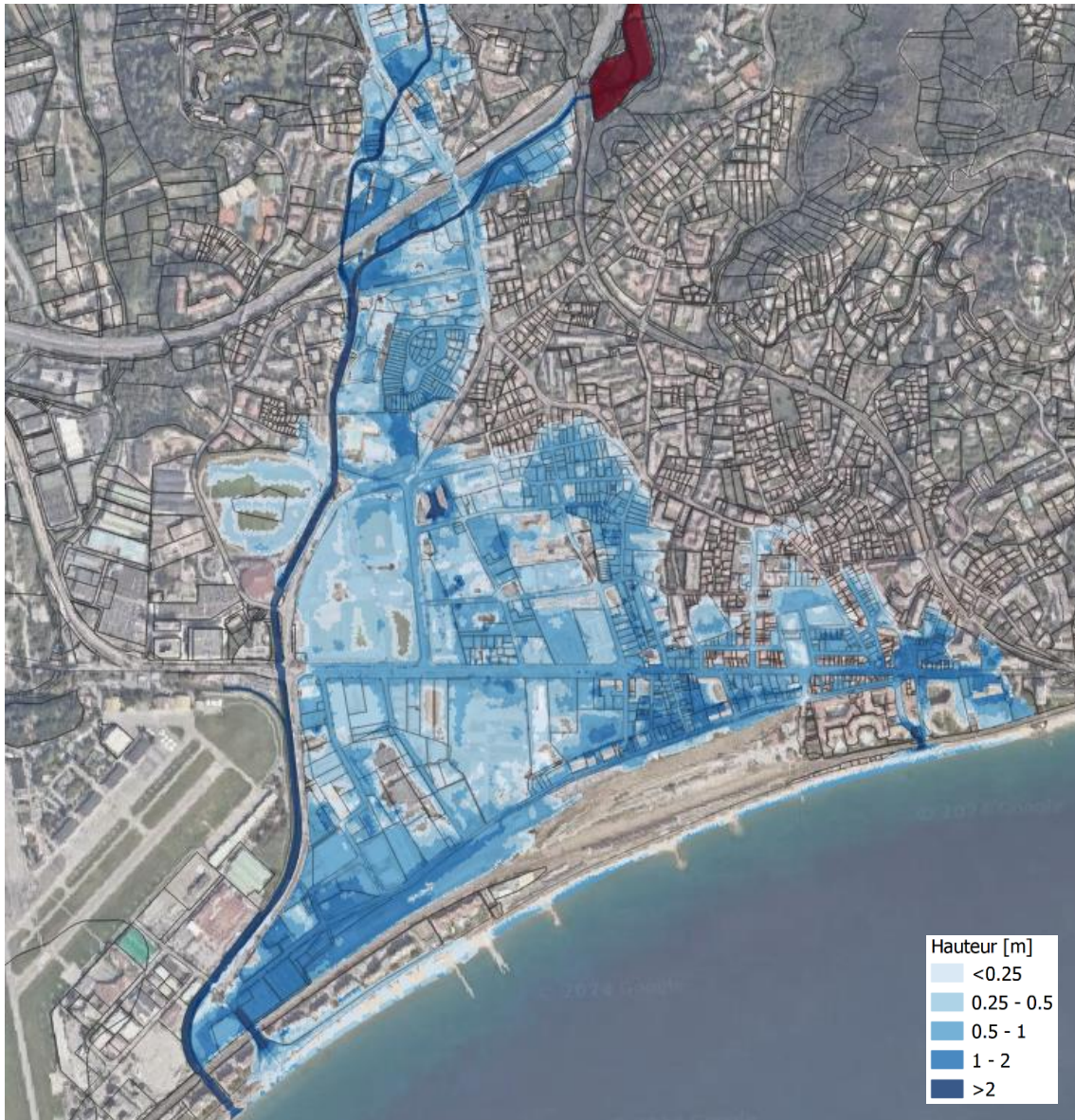


Figure 4-17 : Hauteur d'eau maximum – Etat projet - crue de 2015

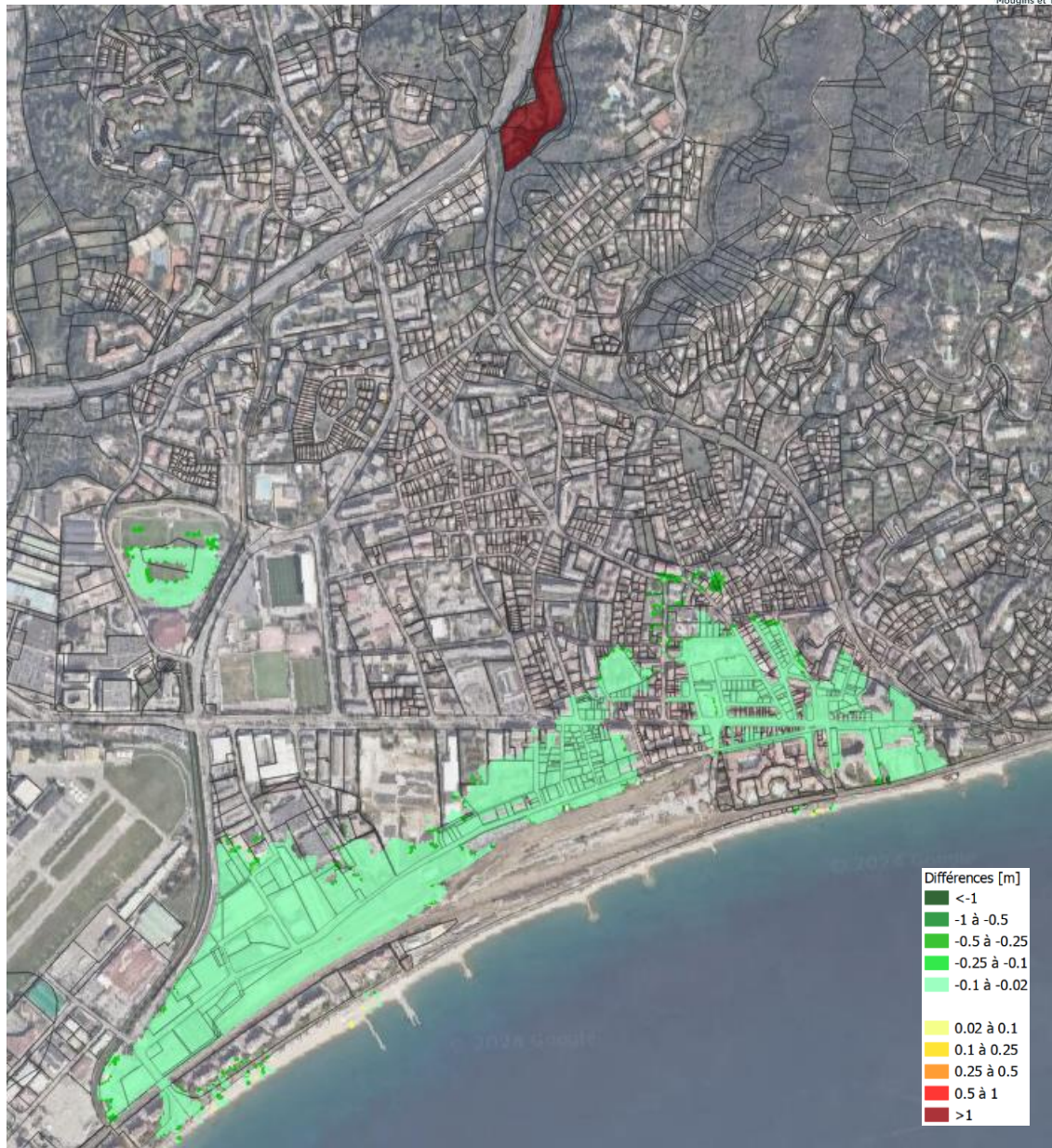


Figure 4-18 : Différences sur les hauteurs d'eau - crue de 2015



## 5. CONCLUSION

L'aménagement hydraulique de Carimaï permet une réduction des débits de pointe en aval avec la création d'une zone de rétention d'un volume effectif de l'ordre de 70 000 m<sup>3</sup>. L'ouvrage permet d'écrêter une crue de débit de pointe de 38.5 m<sup>3</sup>/s de 34% (28% pour une crue de débit de pointe de 30 m<sup>3</sup>/s et 12% pour une crue de débit de pointe de 45 m<sup>3</sup>/s).

La modélisation hydraulique de la Grande Frayère, de la Petite Frayère et de la Frayère aval a permis de quantifier les impacts de l'aménagement hydraulique en aval de ce dernier. Les effets sont positifs pour toutes les crues.

Pour une crue de l'ordre de **la crue de 2015**, l'ouvrage est transparent et **n'a pas d'effet sur les débits de pointes**, il n'a donc pas d'impact significatif.

Pour les crues plus faibles, de débit de pointe entre 30 m<sup>3</sup>/s à 45 m<sup>3</sup>/s, l'ouvrage permet de réduire la fréquence des débordements sur la Grande Frayère et permet une diminution des débordements sur le linéaire entre le remblai de la voie ferrée et la confluence avec la petite Frayère. En effet, l'ouvrage permet de faire passer les premiers débordements observés d'une crue de débit de pointe de 23 m<sup>3</sup>/s à une crue de débit de pointe de plus de 30 m<sup>3</sup>/s sur la Grande Frayère, tout en réduisant grandement les débordements sur la gamme de fonctionnement de l'aménagement hydraulique.