

Etude de précision des aléas inondation des secteurs de Bois Blanc et Ravine Glissante - Commune de SAINTE ROSE



Etude hydraulique



N° de référence : RE21-037

Version 2.0

21/10/2021

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage

DEAL Réunion - BRGM
5, rue Sainte-Anne
CS 51016
97404 Saint-Denis Cedex
02 62 21 76 72
b.lemoigne@brgm.fr

Opération

Etude de précision des aléas inondation des secteurs de Bois Blanc et Ravine Glissante - Commune de SAINTE ROSE

RE21-037

Mathieu COLLART

Etude hydraulique

Emetteur

RIA Conseil & HYDRETTUES - Océan Indien
45 rue Luc Lorion
97410 SAINT PIERRE
Tél : 02.62.96.82.45
Mail : contact.reunion@hydretudes.com



Document

RE21-037_EH_RIV_Precision_Alea_Ste_Rose_Rapp
21/10/2021

Indice	Date	Mise à jour	Rédigé par	Vérifié par
1	15/09/2021	Diagnostic terrain	KL - CT	MC
2	18/08/2021	Modélisation hydraulique	MC	KL
3	21/10/2021	Reprise de la modélisation du secteur Bois Blanc	MC	KL
4				
5				

SOMMAIRE

1.1.	Contexte et localisation.....	8
1.2.	Secteurs étudiés.....	9
2.1.	Secteur de Bois Blanc	10
2.1.1.	Reportage photographique du site d'étude.....	10
2.1.2.	Diagnostic hydromorphologique	15
2.1.3.	Réseau hydrographique	15
2.1.4.	Ouvrages de franchissement.....	16
2.1.5.	Témoignages recueillis.....	19
2.1.6.	Analyse de la topographie disponible	20
2.2.	Secteur de Ravine Glissante	24
2.2.1.	Reportage photographique du site d'étude.....	24
2.2.2.	Diagnostic hydromorphologique	31
2.2.3.	Réseau hydrographique	31
2.2.4.	Ouvrages de franchissement.....	32
2.2.5.	Témoignages recueillis.....	36
2.2.6.	Analyse de la topographie disponible	36
3.1.	Données disponibles	40
3.2.	Définition des bassins versants	42
3.3.	Détermination des débits de pointe générés par les bassins versants	45
3.3.1.	Méthode utilisée	45
3.3.2.	Choix de la période de retour	45
3.3.3.	Détermination du temps de concentration	45
3.3.4.	Détermination de la pluie de projet.....	46
3.3.5.	Détermination des coefficients de ruissellement.....	47
3.3.6.	Détermination des débits de projet.....	47
3.3.7.	Comparaison avec les données d'entrées.....	48
4.1.	Description des scénarios modélisés.....	49
4.2.	Présentation du logiciel utilisé.....	50
4.2.1.	Module 2D.....	50
4.2.2.	Intérêt.....	50
4.2.3.	Moteur hydraulique 2D.....	51
4.2.4.	Mailleur 2D.....	51
4.3.	Domaine de validité et limites du modèle.....	52
4.4.	Construction du Modèle Numérique de Terrain.....	53
4.4.1.	Introduction	53

4.4.2.	Sources et données utilisées.....	53
4.4.3.	Résultats du Modèle Numérique de terrain	54
4.5.	Conditions aux limites.....	55
4.5.1.	Condition amont.....	55
4.5.2.	Conditions aval	55
4.6.	Paramètres de modélisation	55
4.6.1.	Coefficient de rugosité.....	55
4.6.2.	Intégration des bâtiments	55
4.6.3.	Calage du modèle	55
4.6.4.	Intégration des Ouvrages hydrauliques	56
4.7.	Architecture du modèle.....	58
4.8.	Résultats de la modélisation – Secteur Ravine Glissante	60
4.8.1.	Scenario 1 – Q100 « etude ».....	61
4.8.2.	Analyse spatio-temporelle – scenario 1.....	64
4.8.3.	Synthèse des hauteurs d'eau et débits atteints au droit des différents ouvrages de franchissement – Scenario 1	67
4.9.	Scenario 2 – Q100 données d'entrées.....	68
4.9.1.	Analyse spatio-temporelle de la crue centennale – scenario 2	71
4.9.2.	Synthèse des hauteurs d'eau et débits atteints au droit des différents ouvrages de franchissement – Scenario 2	74
4.9.1.	Conclusion – Secteur Ravine Glissante	74
4.10.	Résultats de la modélisation – Secteur Bois Blanc.....	75
4.10.1.	Analyse spatio-temporelle de la crue centennale – scenario 3.....	79
4.10.2.	Analyse des resultats.....	2
4.10.3.	Synthèse des hauteurs d'eau et débits atteints au droit des différents ouvrages de franchissement – Scenario 3.....	2
4.10.4.	Conclusion secteur bois blanc	3

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des 2 secteurs d'étude.....	8
Figure 2 : Secteur d'étude de Bois Blanc	9
Figure 3 : Secteur d'étude de Ravine Glissante.....	9
Figure 4 : Localisation des photographies – secteur de Bois Blanc	10
Figure 5 : Hydrographie du secteur de Bois Blanc.....	15
Figure 6 : Localisation des ouvrages de franchissements du secteur de Bois Blanc.....	16
Figure 7 : Extrait de l'ancien PPR à gauche et du PAC 2021 à droite et localisation de la 1 ^{ère} zone de topographie à vérifier dans le secteur de Bois Blanc.....	20
Figure 8 : Rétrécissement du lit de la ravine Constantin.....	21
Figure 9 : Rétrécissement du lit de la ravine Constantin (extrait du MNT de la Litto 3D – vues 3D)....	21
Figure 10 : Lit mineur de la ravine Constantin au droit du rétrécissement.....	22
Figure 11 : Extrait de l'ancien PPR à gauche et du PAC 2021 à droite et localisation de la 2 ^{ème} zone de topographie à vérifier dans le secteur de Bois Blanc.....	22
Figure 12 : Extrait du MNT de la Litto 3D au droit de la zone où le lit est peu marqué (extrait du MNT de la Litto 3D – vues 3D).....	23
Figure 13 : Photographie du lit mineur au droit de la zone où le lit est peu marqué sur la Litto 3D..	23
Figure 14 : Localisation des photographies – secteur de Ravine Glissante	24
Figure 15 : Hydrographie du secteur de Ravine Glissante.....	31
Figure 16 : Localisation des ouvrages de franchissements du secteur de Ravine Glissante.....	32
Figure 17 : Localisation de l'éventuelle connexion entre les 2 ravines	37
Figure 18 : Ouvrage de déviation de la ravine Valentine dans la Grande ravine Glissante	37
Figure 19 : Localisation de la principale zone de débordement de la ravine Glissante	38
Figure 20 : MNT au droit de la principale zone de débordement de la ravine Glissante (extrait de la Litto 3D – vues 3D).....	39
Figure 21 : Débits Q100 du secteur de Bois Blanc (Source BRGM).....	40
Figure 22 : Débits Q100 du secteur de Ravine Glissante (Source BRGM)	41
Figure 23 : Caractéristiques des Bassins Versants – secteur Ravine Bois Blanc	42
Figure 24 : Cartographie des bassins versants du secteur Ravine Glissante.....	43
Figure 25 : Cartographie des bassins versants du secteur Bois Blanc	44
Figure 26 : Importance des éléments constituant la modélisation hydraulique	52
Figure 27 : Couplage MNT et orthophographie – Secteur ravine Glissante	54
Figure 28 : Couplage MNT et orthophographie – Secteur Bois Blanc.....	54
Figure 29 : Intégration de l'OH1 – secteur Ravine Glissante.....	56
Figure 30 : Intégration des OH 5 et OH6 – secteur Bois Blanc	56
Figure 31 : Zone d'étude étendue.....	57
Figure 32: Architecture du modèle – Secteur Ravine Glissante	58

Figure 33 : Architecture du modèle – Secteur Bois Blanc	59
Figure 34 : Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale (Etat initial) – Scénario 1.....	60
Figure 35 : Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale (Etat initial) – Scénario 2.....	60
Figure 36 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Scénario 1	61
Figure 37 : Cartographie des vitesses d'écoulements maximales - Scénario 1	62
Figure 38 : Cartographie des aléas inondations - Scénario 1.....	63
Figure 39 : Cinétique de la crue centennale des ravines du secteur de la Ravine Glissante	65
Figure 40 : Quantitatif des débordements - scénario 1.....	66
Figure 41 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Scénario 2	68
Figure 42 : Cartographie des vitesses d'écoulements maximales - Scénario 2	69
Figure 43 : Cartographie des aléas inondations - Scénario 2.....	70
Figure 44 : Cinétique de la crue centennale des ravines du secteur de la Ravine Glissante – scénario 2	72
Figure 45 : Quantitatif des débordements - scénario 2.....	73
Figure 46 : Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale – Scénario 3.....	75
Figure 47 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Scénario 3	76
Figure 48 : Cartographie des vitesses d'écoulements maximales - Scénario 3	77
Figure 49 : Cartographie des aléas inondations - Scénario 3.....	78
Figure 44 : Cinétique de la crue centennale des ravines du secteur Bois Blanc – scénario 3.....	80
Figure 45 : Quantitatif des débordements - scénario 3.....	1

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Photographies in situ et description.....	14
Tableau 2 : Description détaillée des ouvrages de franchissement du secteur d'étude.....	19
Tableau 3 : Photographies in situ et description.....	30
Tableau 4 : Description détaillée des ouvrages de franchissement du secteur d'étude.....	36
Tableau 5 : Caractéristiques des Bassins Versants – secteur Ravine Glissante.....	42
<i>Tableau 6 : Temps de concentration – Secteur Ravine Glissante.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 7 : Temps de concentration – Secteur Bois Blanc.....</i>	<i>46</i>
Tableau 8 : Zonage pluviométrique simplifié.....	46
Tableau 9 : Débits Q100 des bassins versants – secteur Ravine Glissante.....	47
Tableau 10 : Débits Q100 des bassins versants – secteur Bois Blanc.....	47
Tableau 11 : Différences entre les débits calculés et les données d'entrées.....	48
Tableau 12 : Valeurs de rugosités employées (coefficients de Manning).....	55
Tableau 13 : Synthèse des contraintes hydrauliques au droit des ouvrages hydrauliques recensés – scénario 1.....	67
Tableau 14 : Synthèse des contraintes hydrauliques au droit des ouvrages hydrauliques recensés – scénario 2.....	74
Tableau 15 : Conséquences de l'absence erronée du lit mineur dans la topographie	Erreur ! Signet non défini.

CONTEXTE ET LOCALISATION

Dans le cadre de la révision du Plan de Prévention des Risques naturels de la Commune de SAINTE-ROSE, la DEAL Réunion et le BRGM ont fait appel au groupement HYDRETTUDES Océan Indien – RIA Conseil pour mener une étude de précision de l'aléa inondation sur les secteurs de Bois Blanc et de Ravine Glissante.

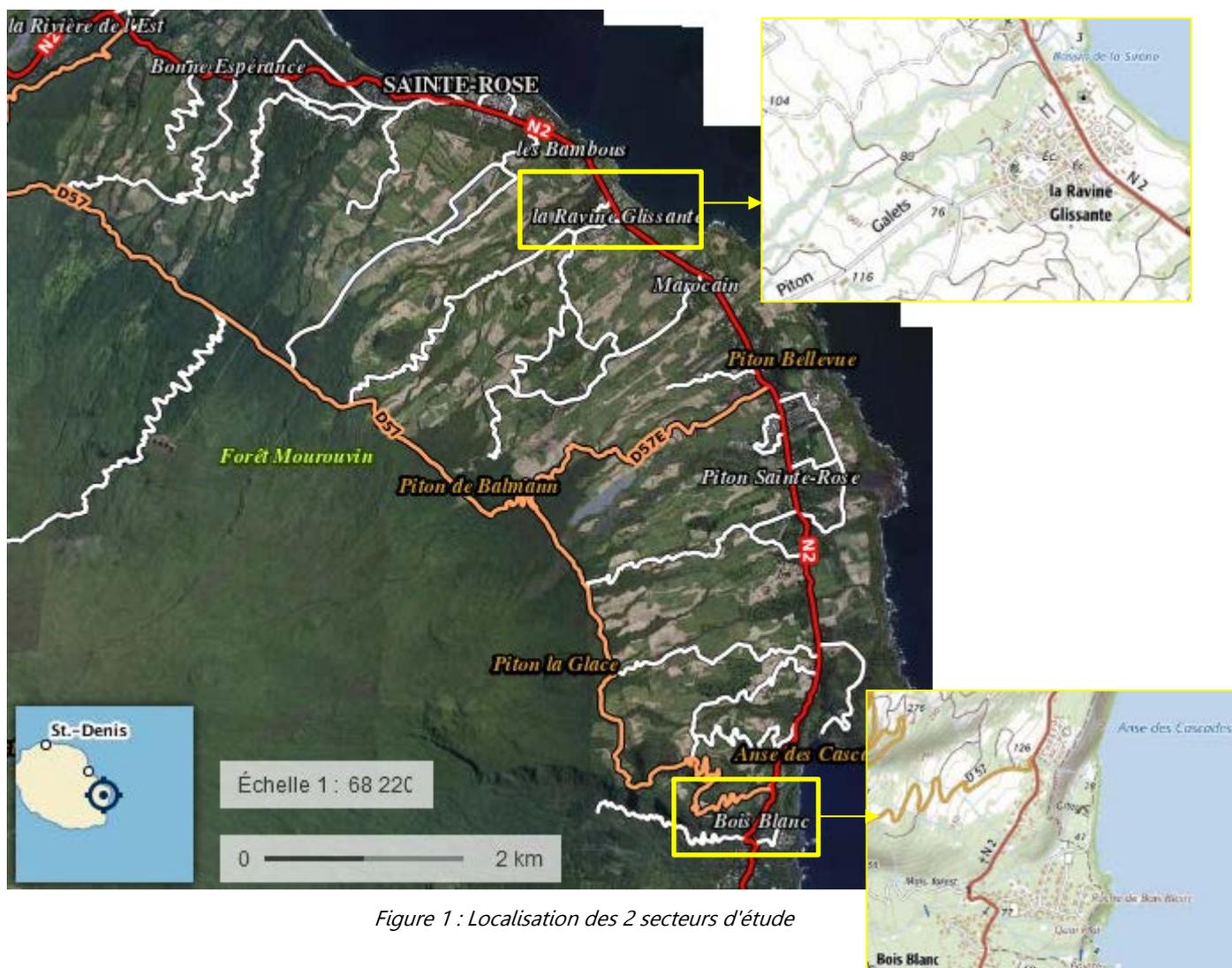


Figure 1 : Localisation des 2 secteurs d'étude

1.2. SECTEURS ETUDIÉS

L'objectif de cette étude est la réalisation de modélisations hydraulique des écoulements des ravines des secteurs étudiés suivants afin d'en déterminer les aléas inondation induits en crues centennales :

- **Secteur de Bois Blanc** : Ravine Constantin, Ravine Bois Blanc et talwegs présents dans la zone délimitée sur la figure correspondante ci-dessous :



Figure 2 : Secteur d'étude de Bois Blanc

- **Secteur de Ravine Glissante** : Petite et Grande Ravine Glissante, Ravine Bois Blanc et talwegs présents dans la zone délimitée sur la figure correspondante ci-dessous.

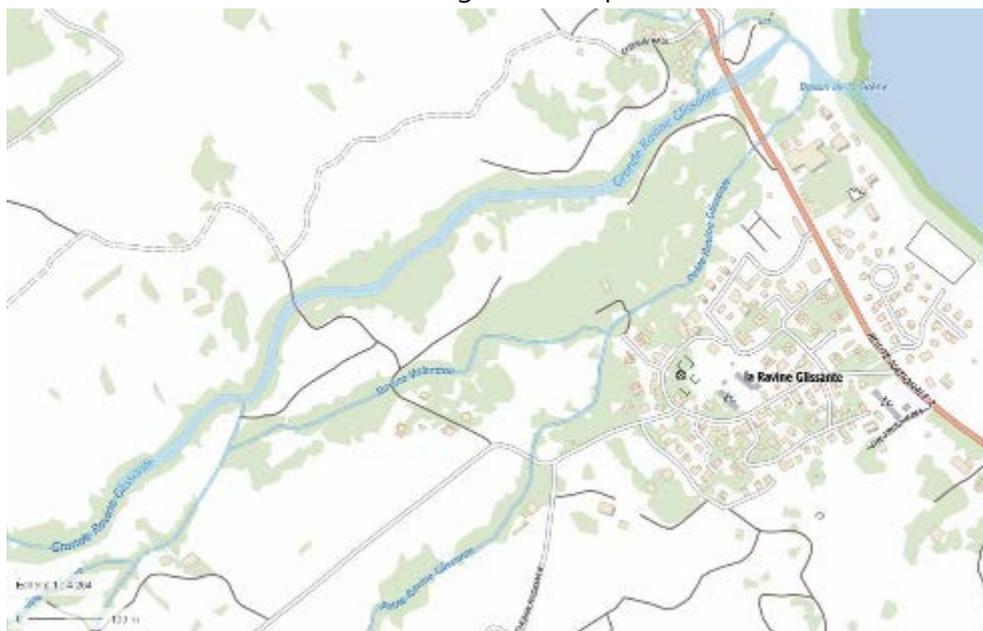


Figure 3 : Secteur d'étude de Ravine Glissante

2.1. SECTEUR DE BOIS BLANC

2.1.1. REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE DU SITE D'ETUDE

Le secteur de Bois Blanc a été parcouru et diagnostiqué le 22 Juillet 2021. Le reportage photographique géoréférencé ci-dessous en est la traduction.

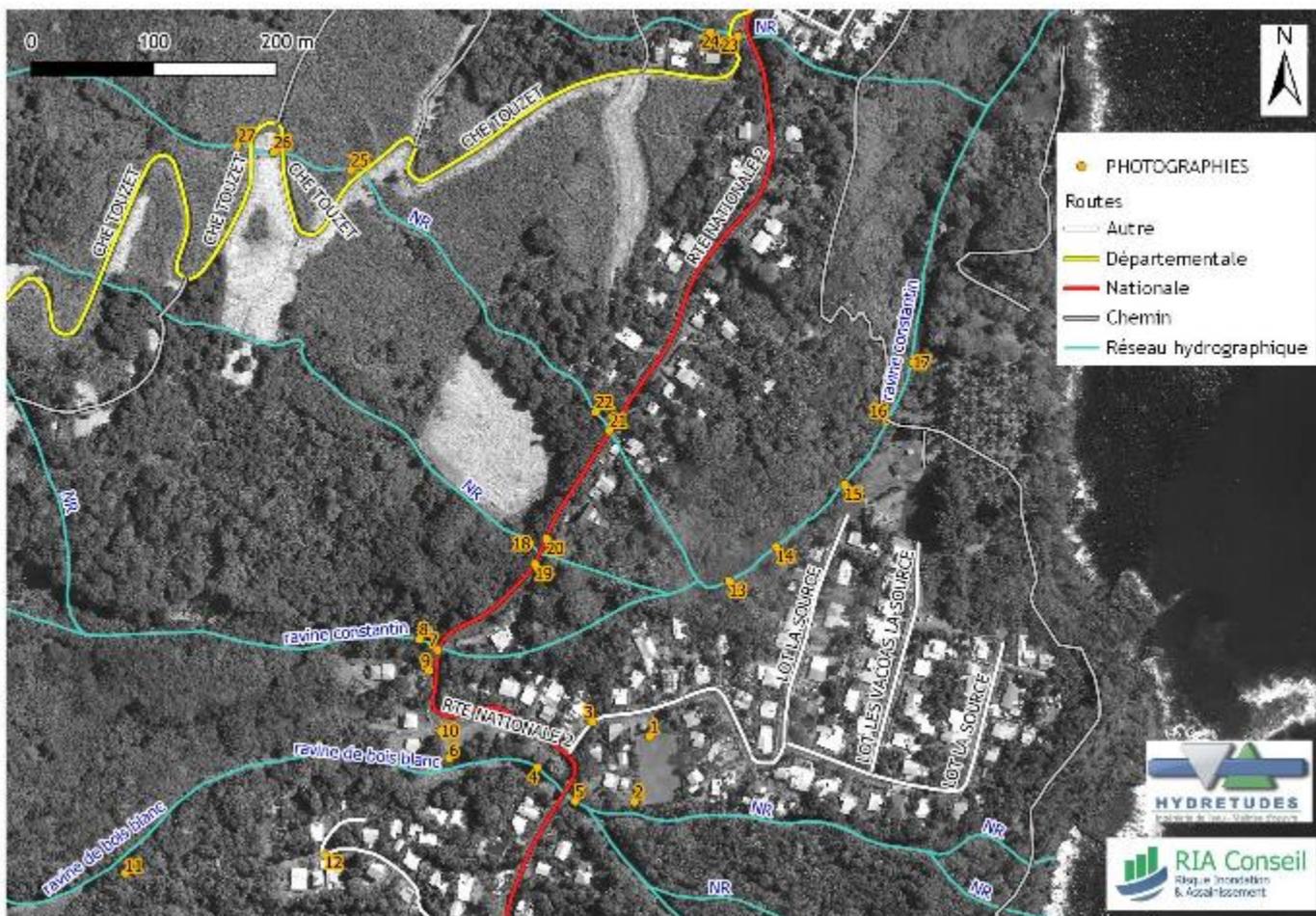


Figure 4 : Localisation des photographies – secteur de Bois Blanc

Le tableau ci-dessous illustre et décrit les prises de vue réalisées sur site.

	
<p>1 Terrain foot</p>	<p>2 Ravine Bois Blanc haut de berge rive gauche</p>
	
<p>3 Lotissement La Source vue vers RN2</p>	<p>4 OH1 vu depuis l'amont. Lit de la Ravine Bois Blanc : roche mère affleurante.</p>
	
<p>5 Ravine Bois Blanc en aval de la RN2. Roche mère</p>	<p>6 Ravine Bois Blanc (100 m en amont de la RN2)</p>
	
<p>7 OH2 (Ravine Constantin) vue depuis amont</p>	<p>8 Ravine Constantin amont de la RN2 (seuil et chute de 2m environ, poche de stagnation en pied)</p>

	
<p>9 RN2 : pente vers Ravine Bois Blanc</p>	<p>10 Haut de berge rive gauche Ravine Bois Blanc</p>
	
<p>11 Ravine Bois Blanc amont</p>	<p>12 Chemin de la Mairie : Rive droite Ravine BB amont RN2</p>
	
<p>13 Ravine Constantin en aval de la RN2</p>	<p>14 Ravine Constantin en aval de la RN2</p>
	
<p>15 Ravine Constantin en aval de la RN2</p>	<p>16 Ravine Constantin en aval de la RN2</p>

	
17 Ravine Constantin en aval de la RN2	18 Amont OH3
	
19 Muret aval RN2 Sud	20 Muret aval RN2 Nord
	
21 Amont OH4	22 Ravine/talweg en amont de la RN2
	
23 Amont OH5	24 Amont OH6

	
25	26
Amont OH7	Amont OH8
	
27	Amont OH9

Tableau 1 : Photographies in situ et description

2.1.2. DIAGNOSTIC HYDROMORPHOLOGIQUE

2.1.3. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique du secteur de Bois Blanc se compose de :

- La **Ravine de Bois Blanc** qui prend sa source à 1900m NGR environ et dont le lit est constitué de roche mère affleurante sur le secteur d'étude, avec un méandrage en aval de la RN2 qu'elle franchit à travers l'OH1,
- La **Ravine Constantin** qui prend sa source à 1200m NGR environ. Son lit est rocheux et situé en pied de falaise collectant ainsi les ruissellements des talus naturels,
- **3 talwegs** ou ravines sans nom qui constituent autant d'affluents de la Ravine Constantin qu'ils rejoignent en aval de la RN2. Ces talwegs sont peu marqués, leurs bassins versant sont forestiers ou agricoles (canne à sucre) et leurs axes d'écoulement traversent la RD57 et la RN2 au travers d'ouvrages décrits plus loin dans le rapport.

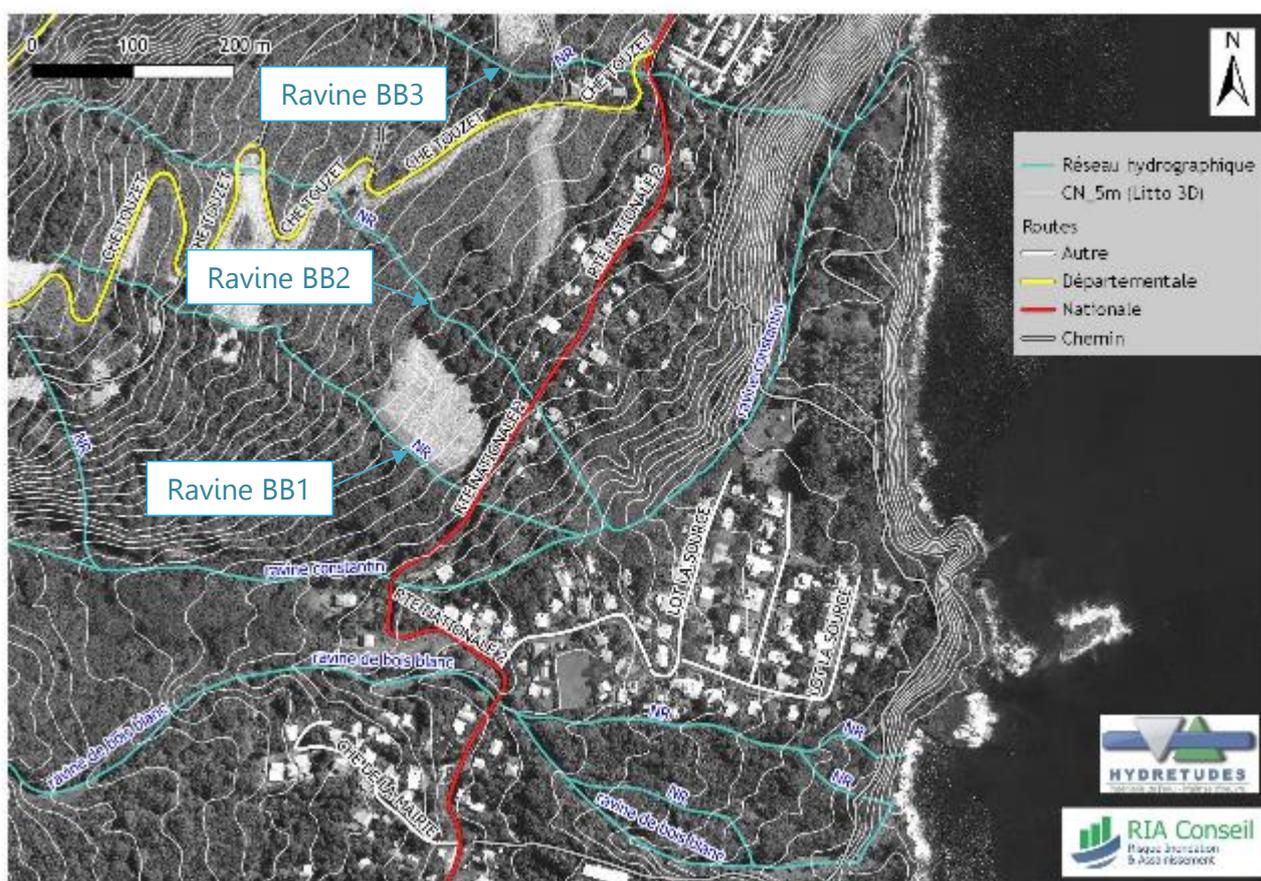
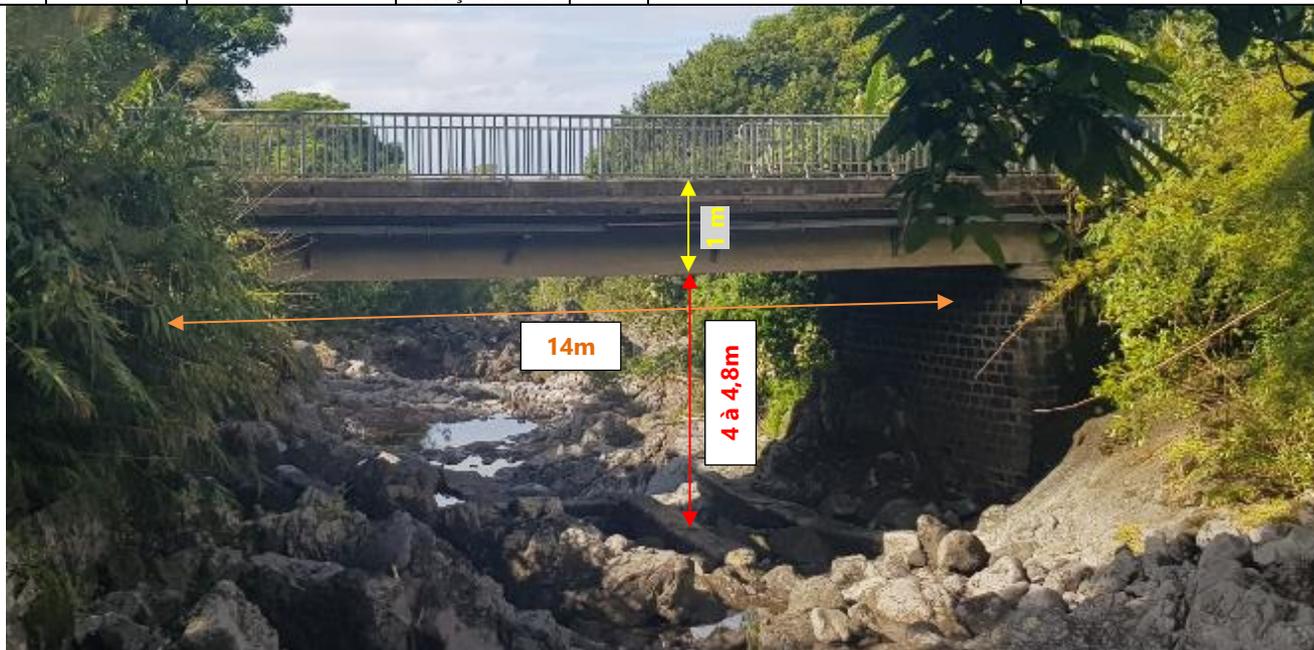


Figure 5 : Hydrographie du secteur de Bois Blanc

Le tableau ci-dessous détaille les caractéristiques des ouvrages de franchissement présents sur le secteur d'étude de Bois Blanc :

NOM	Type	Dimensions	Matériau	Voie	Ravine	Observations
OH1	Pont dalle	L = 14m H = 4 à 4,8m	Radier : lit naturel : roche mère Culées maçonnées	RN2	Ravine de Bois Blanc	Lit hétérogène : roche mère affleurante, vestiges d'anciens appuis.



OH2	Double cadre	2 ouvertures de : L = 3,5m H = 2m Pile maçonnée de largeur 1m	Radier béton, pile et culées maçonnées	RN2	Ravine Constantin	Seuil et contre seuil et fosse d'érosion en amont. Chute en aval. Cf. Photos n°8
-----	--------------	--	--	-----	-------------------	--



OH3	2 Buses	Ø1000 et Ø800 mm	Béton	RN2	Ravine BB1 : Affluent en rive gauche de la Ravine Constantin	Ouvrage placé dans le caniveau pluvial de la RN2. RN2 située à +1.8m au-dessus du fil d'eau de l'ouvrage.
						
OH4	Buse	Ø800 mm	Béton	RN2	Ravine BB2 : Affluent en rive gauche de la Ravine Constantin	Ouvrage placé dans le caniveau pluvial de la RN2. RN2 située à +1.8m au-dessus du fil d'eau de l'ouvrage.
						
OH5	2 Buses	2 x Ø1000 mm	Béton	RN2	Ravine BB3 : Affluent en rive gauche de la Ravine Constantin	Chute bétonnée en amont et fossé EP RN2
						
OH6	2 Buses	2 x Ø800 mm	Béton	RD57	Ravine BB3 : Affluent en rive gauche de la Ravine Constantin	Chute bétonnée en aval vers OH5. Réseau EP de la RD57 se déversant dans OH6
						

OH7	Buse	Ø800 mm	Béton	RD57	Ravine BB2 : Affluent en rive gauche de la Ravine Constantin	Traversée dans champs de canne. Entonnement béton. RD57 située à +2m au-dessus du fil d'eau de l'ouvrage
						
OH8	Buse	Ø800 mm	Béton	RD57	Ravine BB2 : Affluent en rive gauche de la Ravine Constantin	Débordements potentiels allant vers la RD et le Sud
						
OH9	Buse	Ø800 mm	Béton	RD57	Ravine BB2 : Affluent en rive gauche de la Ravine Constantin	
						

Tableau 2 : Description détaillée des ouvrages de franchissement du secteur d'étude

2.1.5. TMOIGNAGES RECUEILLIS

La reconnaissance du site a également permis de collecter des témoignages d'habitants rencontrés.

Ainsi, M. Claude LEOCADIE, résidant du lotissement La Source, en aval de la RN2 se souvient que lors de la tempête tropicale Hyacinthe en 1980 le Pont de la RN2 franchissant la Ravine Bois Blanc avait été submergé par près de 80cm d'eau.

Le long de la RD57 au droit des ouvrages OH7 à 9, un agriculteur travaillant dans un champs de canne a mentionné les fréquents débordements du talweg (ravine BB2) au droit des OH8 et 9. Ces débordements ruissellent ensuite sur la RD57 et vers le Sud et potentiellement le lit de la Ravine BB1.

2.1.6. ANALYSE DE LA TOPOGRAPHIE DISPONIBLE

Pour la réalisation de la modélisation sur ce secteur, les données topographiques à utiliser sont issues de la litto 3D 1 m.

Avant la visite de terrain, une analyse du MNT issu de la litto 3D a été réalisée afin d'identifier les points à vérifier sur le terrain.

Pour le secteur de Bois Blanc, 2 zones ont particulièrement attiré notre attention.

Ces 2 zones sont situées sur le lit mineur de la ravine Constantin.

La 1^{ère} zone est située à 350 m à l'amont de la RN2 au droit du débordement rive droite cartographié sur l'ancien PPR de Sainte-Rose mais non cartographié sur le PAC de 2021.

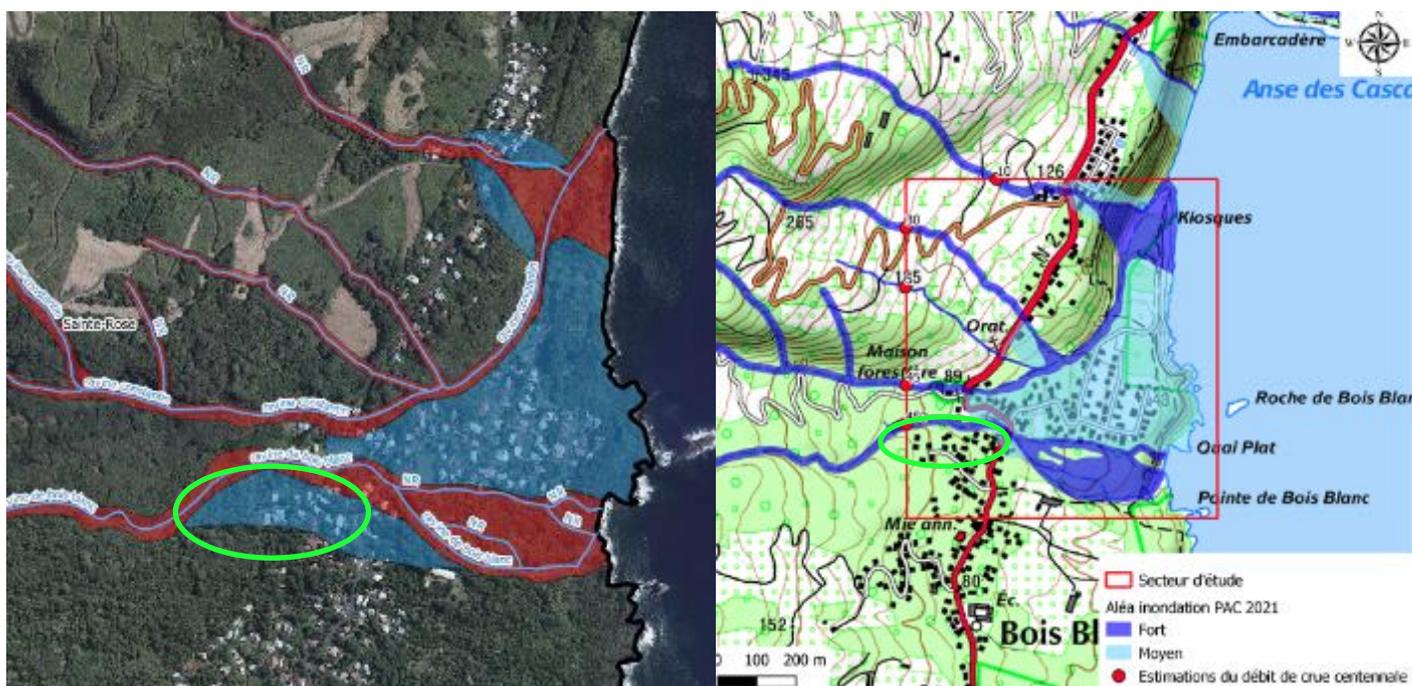


Figure 7 : Extrait de l'ancien PPR à gauche et du PAC 2021 à droite et localisation de la 1^{ère} zone de topographie à vérifier dans le secteur de Bois Blanc

Juste à l'amont de ce débordement rive droite, on observe un rétrécissement du lit sur l'orthophotographie.



Figure 8 : Rétrécissement du lit de la ravine Constantin

Afin de confirmer la suppression de cette zone de débordement, une bonne précision de la topographie est requise. Or, au droit de cette zone, la litto3D est peu précise (certainement due à la présence d'une végétation importante en aval immédiat du rétrécissement du lit mineur).



Figure 9 : Rétrécissement du lit de la ravine Constantin (extrait du MNT de la Litto 3D – vues 3D)

Au droit du rétrécissement le lit devient chaotique selon la litto3D.

Effectivement sur le terrain, nous avons constaté que le lit devient chaotique mais la faible précision de la litto 3D (faible encaissement du lit mineur comparé à la réalité) au droit du rétrécissement pourrait générer des débordements en rive droite comme sur l'ancien PPR. La topographie à tendance donc à aggraver la situation.



Figure 10 : Lit mineur de la ravine Constantin au droit du rétrécissement

Il nous semble donc important de réaliser un levé topographique complémentaire afin de combler cette éventuelle lacune dans cette étude de précision.

Nous souhaitons donc avoir votre avis sur ce point et la suite à donner à la mission : poursuite des modélisations selon les données disponibles ou rédaction d'un CCTP pour un levé topographique complémentaire

La 2^{ème} zone se situe à 125 m à l'aval de la RN2 au droit d'une zone de confluence avec 2 thalwegs sans nom. Au droit de cette zone on observe un débordement généralisé en rive droite de la ravine Constantin. Le zonage d'aléa est identique pour l'ancien PPR et pour la PAC.

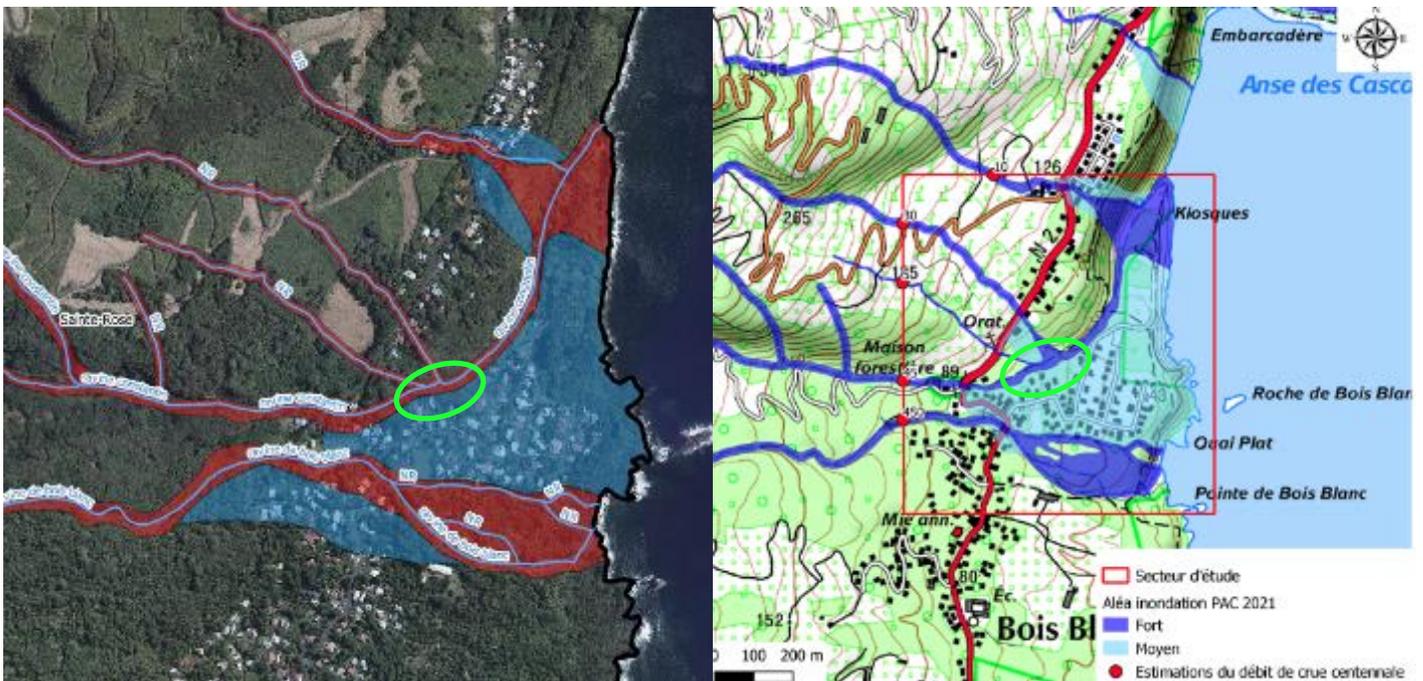


Figure 11 : Extrait de l'ancien PPR à gauche et du PAC 2021 à droite et localisation de la 2^{ème} zone de topographie à vérifier dans le secteur de Bois Blanc

Au droit de cette zone le lit est peu marqué et la litto 3D indique un lit très peu marqué.

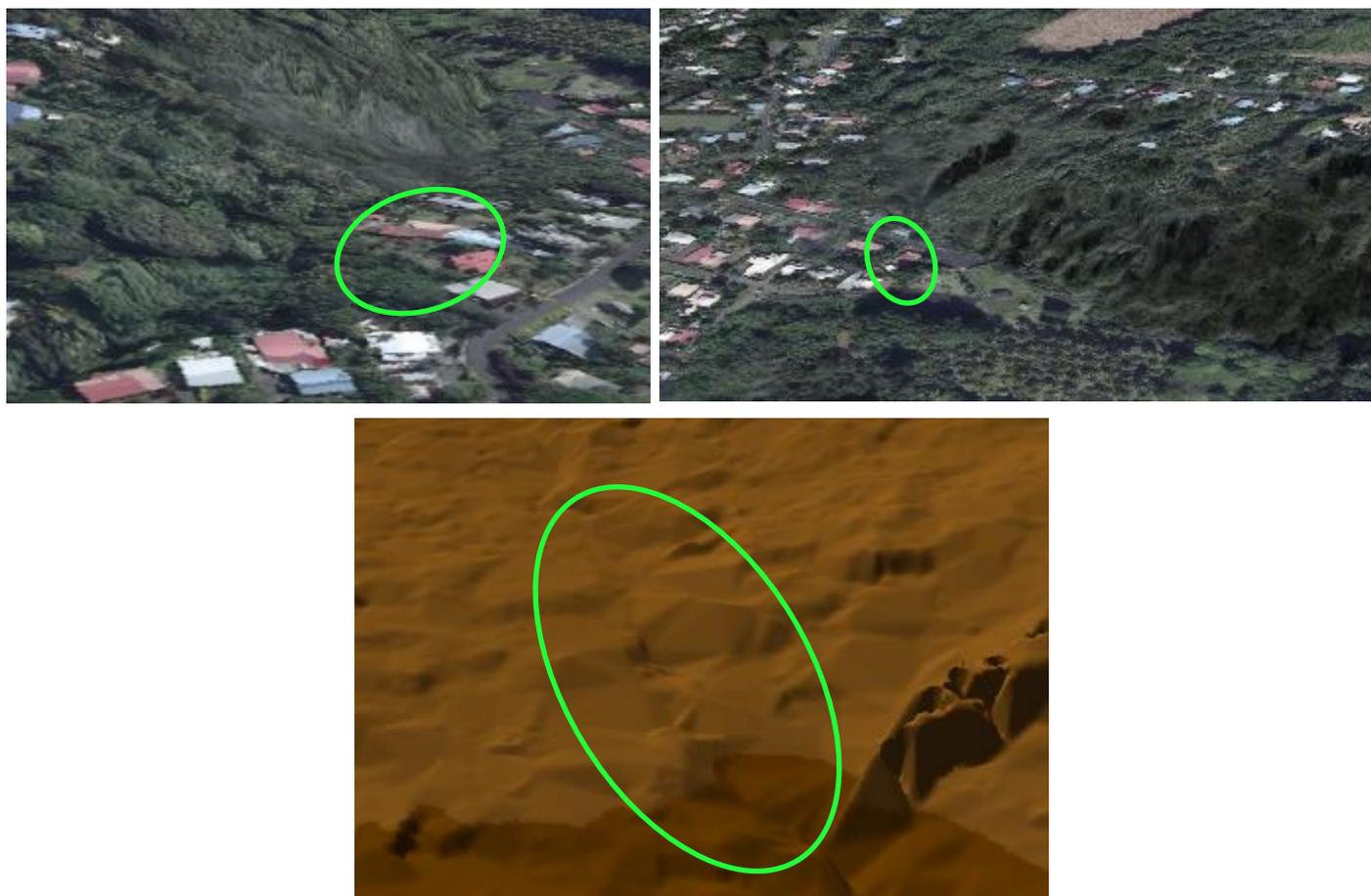


Figure 12 : Extrait du MNT de la Litto 3D au droit de la zone où le lit est peu marqué (extrait du MNT de la Litto 3D – vues 3D)
Sur le terrain, le lit paraît pourtant plus marqué.



Figure 13 : Photographie du lit mineur au droit de la zone où le lit est peu marqué sur la Litto 3D

De la même manière que la 1^{ère} zone, la topographie aurait tendance à aggraver la situation en favorisant les débordements en rive droite.

Pour corriger ces imprécisions importantes, un levé topographique terrestre du lit mineur de la ravine Constantin a été réalisé le 11/10/2021 par le cabinet VEYLAND (géomètre expert).

2.2. SECTEUR DE RAVINE GLISSANTE

2.2.1. REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE DU SITE D'ETUDE

Le secteur de Ravine Glissante a été parcouru et diagnostiqué les 22 et 23 Juillet 2021. Le reportage photographique géoréférencé ci-dessous en est la traduction.

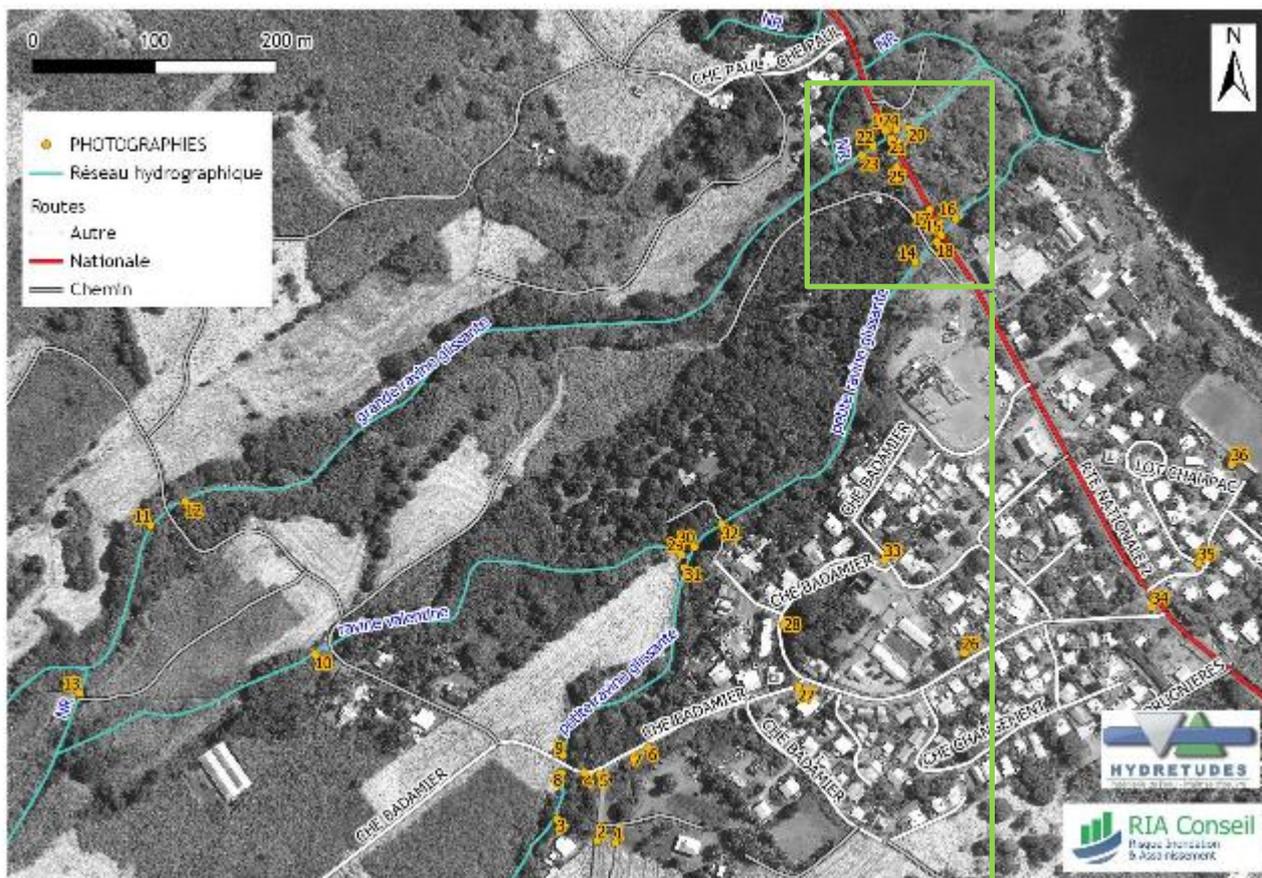


Figure 14 : Localisation des photographies – secteur de Ravine Glissante



Le tableau ci-dessous illustre et décrit les prises de vue réalisées sur site.

			
1	Amont OH5	2	Chemin agricole vue vers montagne et Sud
	3		4
	Petite Ravine Glissante		Chemin Badamier, Croisement et OH6
	5		6
	OH6		Amont OH3

			
7	Talweg	8	Amont OH7
			
9	Aval OH7	10	Ravine Valentine inactive
			
11	Grande Ravine Glissante vue vers amont	12	Grande Ravine Glissante vue vers aval

	
<p>13 Radier Ravine Valentine vers Grande Ravine Glissante</p>	<p>14 Amont OH2 radier + seuil</p>
	
<p>15 Intérieur de l'OH2</p>	<p>16 Aval OH2</p>
	
<p>17 RN2 vue vers Sud</p>	<p>18 Petite Ravine Glissante vue depuis la RN2 vers l'amont</p>
	
<p>19 Grande Ravine Glissante vue depuis la RN2 vers l'amont. Chute, roche mère en lit</p>	<p>20 OH1 vu depuis l'aval</p>

	
21	22
Vue sous OH1	OH1 vu depuis l'amont
	
23	24
Chute amont OH1 zoom	Grande Ravine Glissante vue vers aval depuis la RN2
	
25	26
Amont RN2 entre Petite et Grande Ravine Glissante	Caniveau EP chemin Badamier

	
<p>27 Caniveau EP</p>	<p>28 Caniveau EP Lotissement Ravine Glissante</p>
	
<p>29 Radier Petite Ravine Glissante</p>	<p>30 Lit Petite Ravine Glissante vue vers aval</p>
	
<p>31 Lit Petite Ravine Glissante vue vers amont</p>	<p>32 Radier Petite Ravine Glissante</p>

	
<p>33 Caniveau EP Lotissement Ravine Glissante vers Petite Ravine Glissante au Nord</p>	<p>34 RN2 vue vers Nord (pente Sud → Nord)</p>
	
<p>35 Lotissement Champac (murets pleins)</p>	<p>36 Terrain football Lot Champac</p>

Tableau 3 : Photographies in situ et description

2.2.2. DIAGNOSTIC HYDROMORPHOLOGIQUE

2.2.3. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique du secteur de Ravine Glissante se compose de :

- La **Grande Ravine Glissante** qui prend sa source à 2075 m NGR environ et dont le lit est constitué de roche mère affleurante sur le secteur d'étude, avec un bras mort en rive gauche en amont de la RN2 aussi nommé Ravine Mercadet qui ne semble plus actif (à confirmer par les modélisations) en,
- La **Petite Ravine Glissante** qui prend sa source à 670m NGR environ. Son lit est rocheux (blocs, affleurements localisés),
- La **ravine Valentine** qui prend sa source à 1050m NGR environ et se jette dans la Grande Ravine Glissante à la côte 90m NGR (la diffluence cartographiée par la BD Topo n'est plus active aujourd'hui selon les observations sur site et le témoignage recueilli),
- Un **talweg** se jetant dans la Petite Ravine Glissante à la côte 70m NGR environ après avoir franchi le chemin Badamier. Ce talweg assez peu marqué, est alimenté par un bassin versant agricole (canne à sucre).

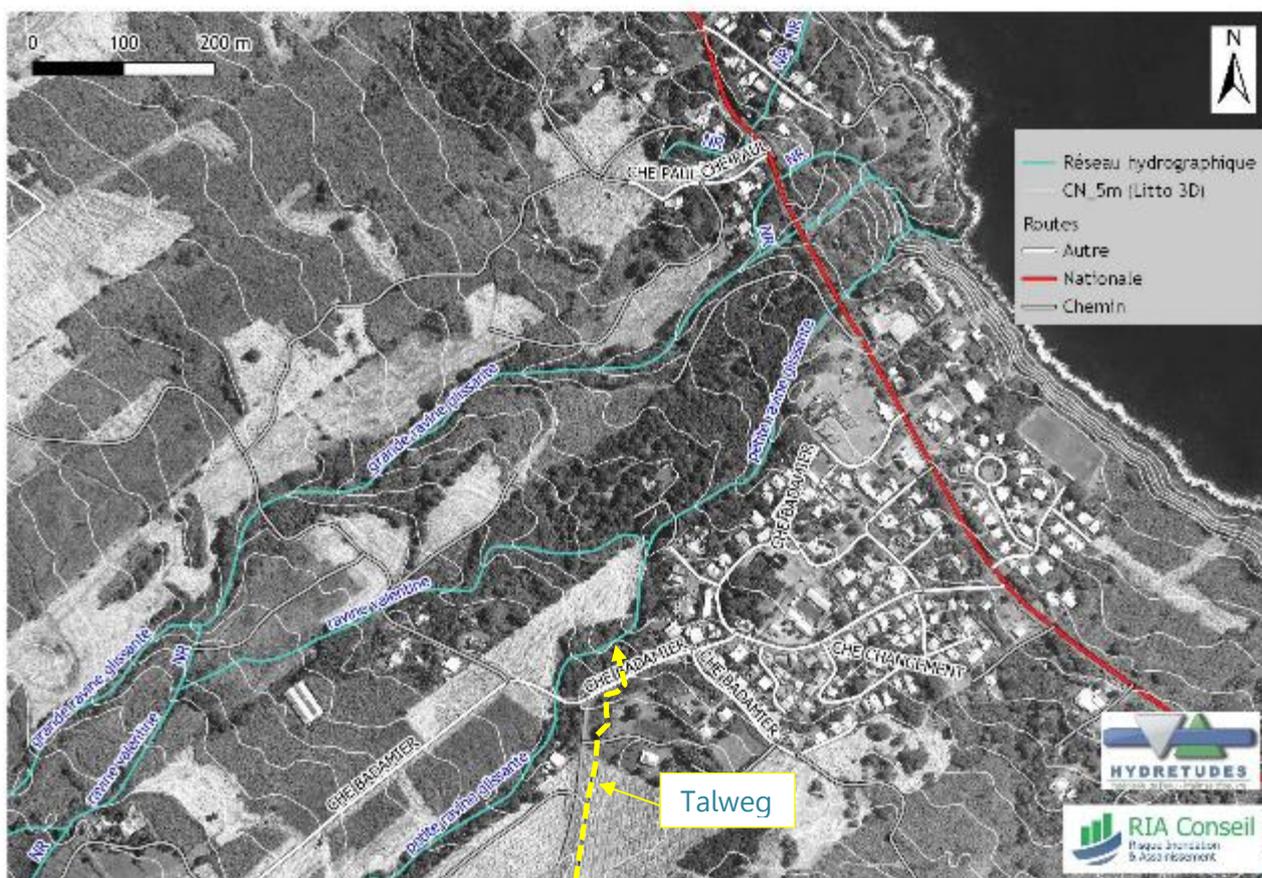


Figure 15 : Hydrographie du secteur de Ravine Glissante

2.2.4. OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT

Les ouvrages de franchissement du secteur d'étude ont été analysés dans leurs caractéristiques géométriques et structurelles.

Leur localisation est illustrée sur la figure ci-dessous et leur description détaillée dans le tableau à suivre.

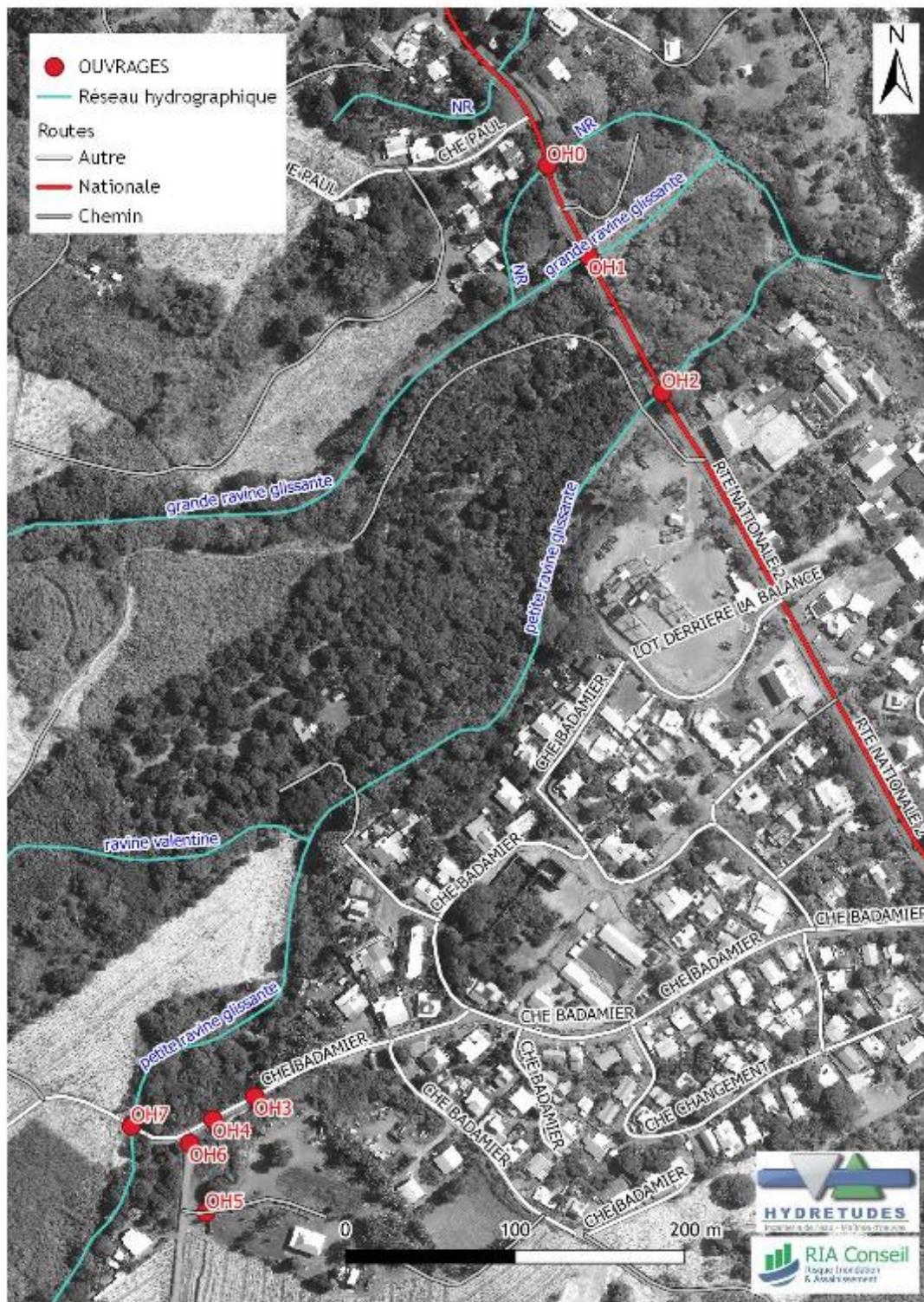
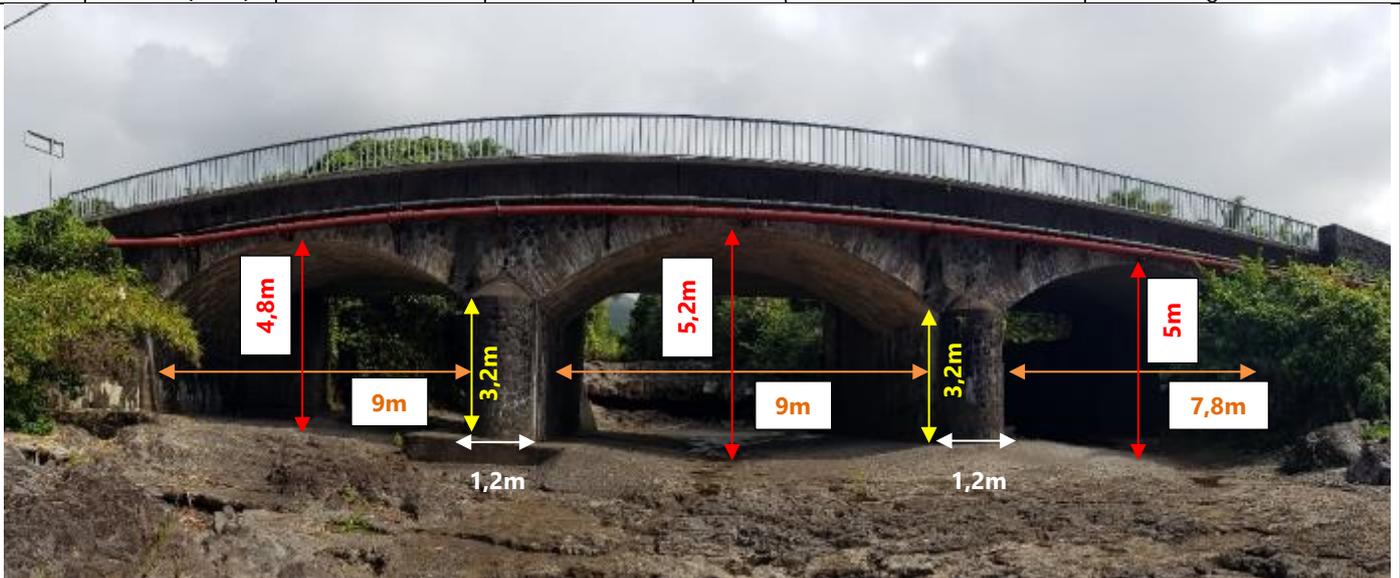


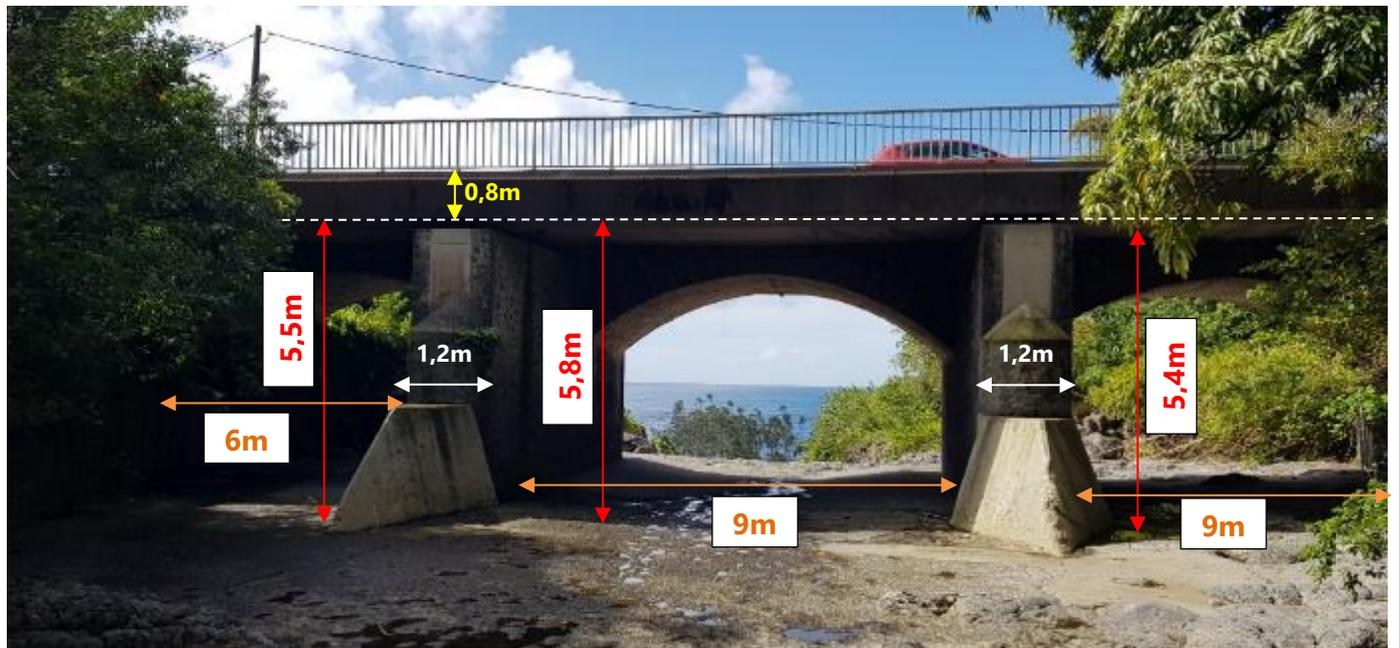
Figure 16 : Localisation des ouvrages de franchissements du secteur de Ravine Glissante

Le tableau ci-dessous détaille les caractéristiques des ouvrages de franchissement présents sur le secteur d'étude de Bois Blanc :

NOM	Type	Dimensions	Matériau	Voie	Ravine	Observations
OH0	Cadre	L = 2,5m H = 3m	Béton	RN2	Ravine Mercadet	Lit semblant inactif
OH1	AMONT : Pont dalle à 3 ouvertures AVAL : Triple arche (Aval)	Cf. figures ci-dessous	Radier béton Culées et piles maçonnerées	RN2	Grande Ravine Glissante	Ouvrage construit en 2 temps et 2 parties. 1 Aval (arches) plus ancienne et 1 amont correspondant à un élargissement



AVAL



AMONT

OH2	AMONT : Cadre PICF AVAL : Pont dalle maçonné	AMONT : L = 9m H = 3,5m AVAL : L = 10m H = 2,7m	AMONT : culées + semelles béton AVAL : culées maçonnées	RN2	Ravine Constantin	Seuil (radier) en amont Biais aval 30° Ouvrage construit en 2 temps et 2 parties. 1 Aval maçonnée plus ancienne et 1 amont BA correspondant à un élargissement
-----	--	--	---	-----	-------------------	---



AMONT



SOUS OUVRAGE

OH3	Dalot	L = 1,75m H = 1m	Radier béton, entonnement maçonné	Chemin Badamier	Talweg	
						
OH4	Dalot	L = 1,75m H = 2m	Radier béton, entonnement maçonné	Chemin Badamier	Talweg	
OH5	Caniveau à grille	L = 1,8m H = 2m	Béton	Chemin Badamier	Talweg	Accès privé. Grille défectueuse
						
OH6	Caniveau à grille	L = 1,8m H = 2m	Béton	Chemin Badamier	Fossé EP	
						

OH7	Pont dalle	L = 3,7m H = 2,6m	Culées maçonnées Radier naturel, Tablier béton armé	Chemin Piton Galets	Petite ravine Glissante	Ancienne culée en amont RD Arbre dessouché en amont RG
-----	------------	----------------------	--	---------------------------	-------------------------	---



Tableau 4 : Description détaillée des ouvrages de franchissement du secteur d'étude

2.2.5. TEMOIGNAGES RECUEILLIS

La reconnaissance du site a également permis de collecter des témoignages d'habitants rencontrés.

Ainsi, M. VELIHAMA, résidant sur la parcelle AO 0261, le long du chemin Badamier et en rive droite de la Petite Ravine Glissante fait part de fréquents débordements de cette ravine sur son terrain puis en aval sur le chemin Badamier.

Un travailleur agricole indique que la Ravine Valentine se jette dans la Grande Ravine Glissante et que le bras qui est cartographié sur l'IGN et qui est censé rejoindre la Petite Ravine Glissante ne fonctionne plus désormais.

2.2.6. ANALYSE DE LA TOPOGRAPHIE DISPONIBLE

Pour la réalisation de la modélisation sur ce secteur, les données topographiques à utiliser sont issues de la litto 3D 1 m.

Avant la visite de terrain, une analyse du MNT issu de la litto 3D a été réalisée afin d'identifier les points à vérifier sur le terrain.

Pour le secteur de la ravine Glissante, 2 zones ont particulièrement attiré notre attention.

La 1^{ère} zone concerne une éventuelle connexion de la ravine Valentine et de la Grande ravine Glissante.



Figure 17 : Localisation de l'éventuelle connexion entre les 2 ravines

Ce point était important afin de confirmer si un débit au droit de la ravine Valentine doit être injecté au modèle.

Nous avons observé sur le terrain un ouvrage de connexion entre les 2 ravines. **Ainsi, la totalité du débit de la ravine Valentine (qui est bouchée) est dévié dans la grande ravine Glissante.**



Figure 18 : Ouvrage de déviation de la ravine Valentine dans la Grande ravine Glissante

Par conséquent, un seul point d'injection au droit de la Grande Ravine Glissante sera injecté comme proposé initialement par le BRGM ($Q_{100} = 330 \text{ m}^3/\text{s}$).

La 2nde zone concerne le principal débordement sur le secteur de la Ravine Glissante. Ce débordement était déjà indiqué dans l'ancien PPR et a été repris dans le PAC2021.

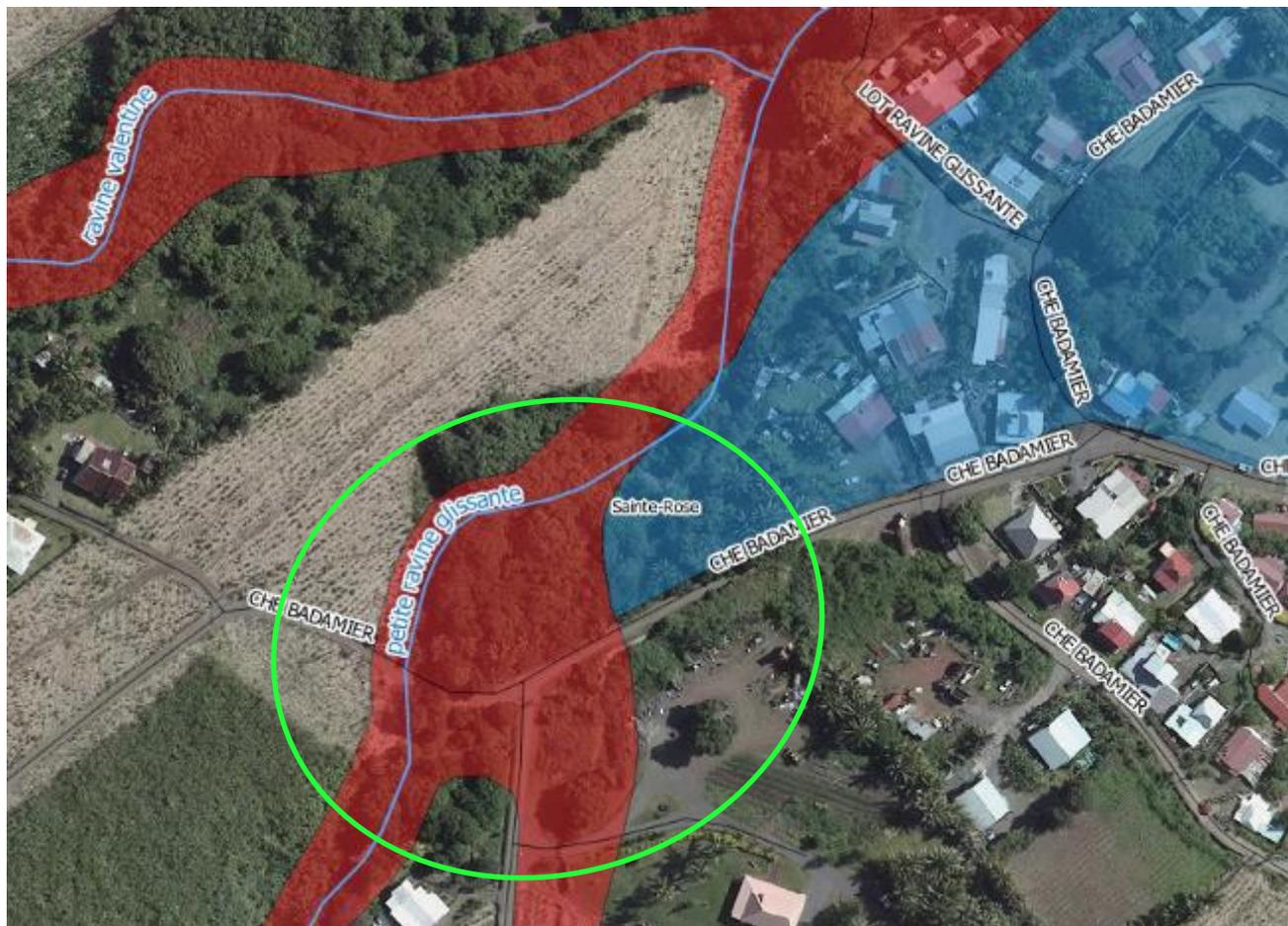


Figure 19 : Localisation de la principale zone de débordement de la ravine Glissante

Ce secteur est marqué par la présence de nombreux ouvrages hydrauliques qui ont été relevés lors de notre visite (cf. chapitres précédents).

La litto3d ne présente pas la précision adéquate précise au droit de la confluence du talweg et de la Petite ravine Glissante. De plus, les fossés de collecte des eaux pluviales drainant le talweg sans nom semblent pouvoir jouer un rôle sur la dynamique hydraulique du secteur.



Figure 20 : MNT au droit de la principale zone de débordement de la ravine Glissante (extrait de la Litto 3D – vues 3D)

Les ouvrages hydrauliques (fossés drainant le talweg sans nom) pourraient être intégrés dans la modélisation pour préciser le modèle.

Néanmoins, le lit mineur au droit du débordement semble très chaotique. Sur le terrain, la zone est envahie par la végétation et il n'était pas possible d'apprécier la situation réelle.

Etant donné les débits en jeu, débit de la petite ravine Glissante ($Q_{100} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$) 15 fois supérieur au débit du talweg sans nom ($Q_{100} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$), la dynamique hydraulique du talweg sans nom aura peu d'influence sur la dynamique hydraulique générale.

Nous souhaitons donc avoir votre avis sur ce point et la suite à donner à la mission : poursuite des modélisations selon les données disponibles ou rédaction d'un CCTP pour un levé topographique complémentaire

3.1. DONNEES DISPONIBLES

Les débits centennaux des ravines à modéliser font partie des données d'entrées de l'étude :

Ravine Constantin et Ravine Bois Blanc - Priorité Élevée

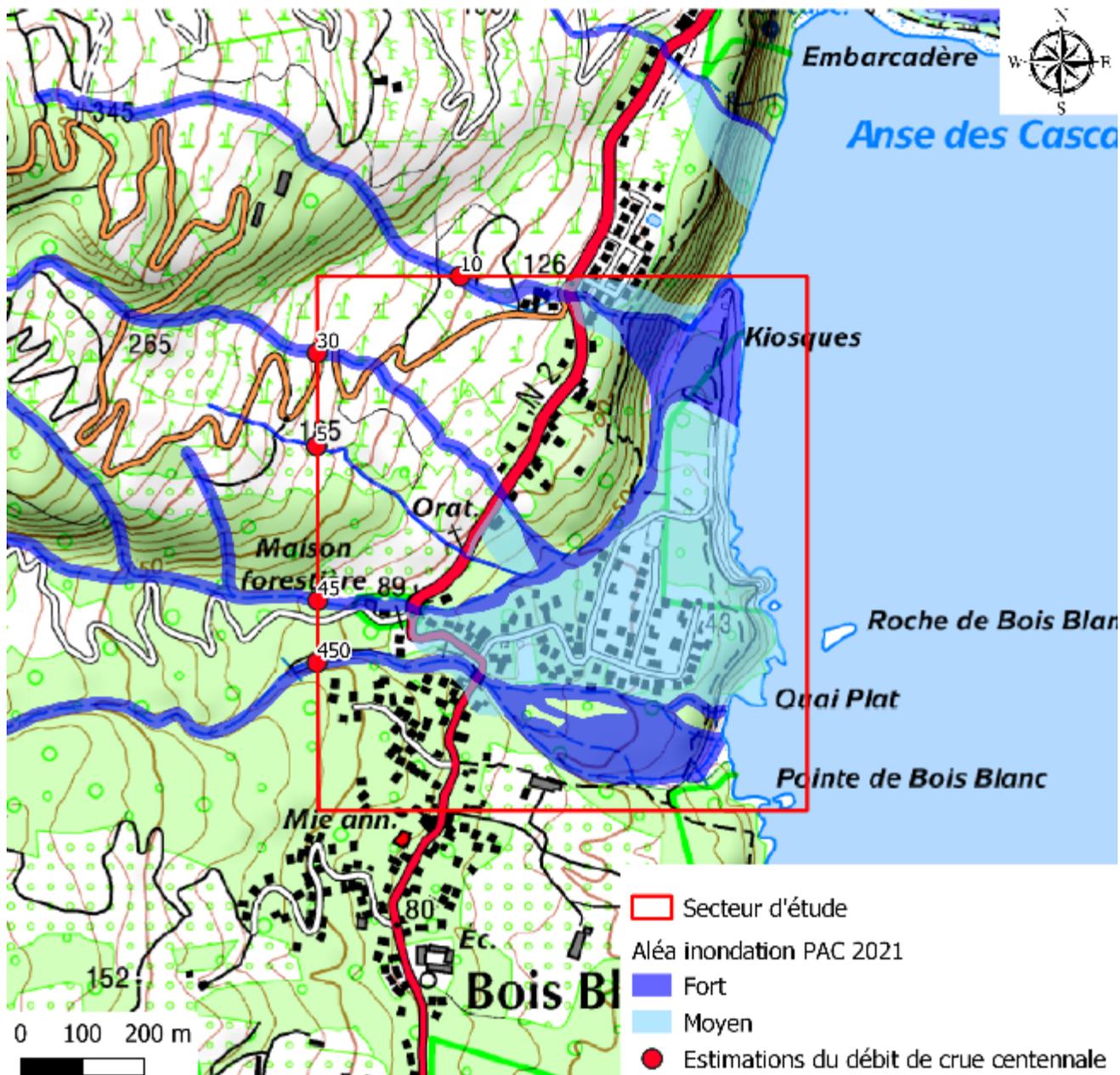


Figure 21 : Débits Q100 du secteur de Bois Blanc (Source BRGM)

La Petite Ravine Glissante - Priorité Élevée

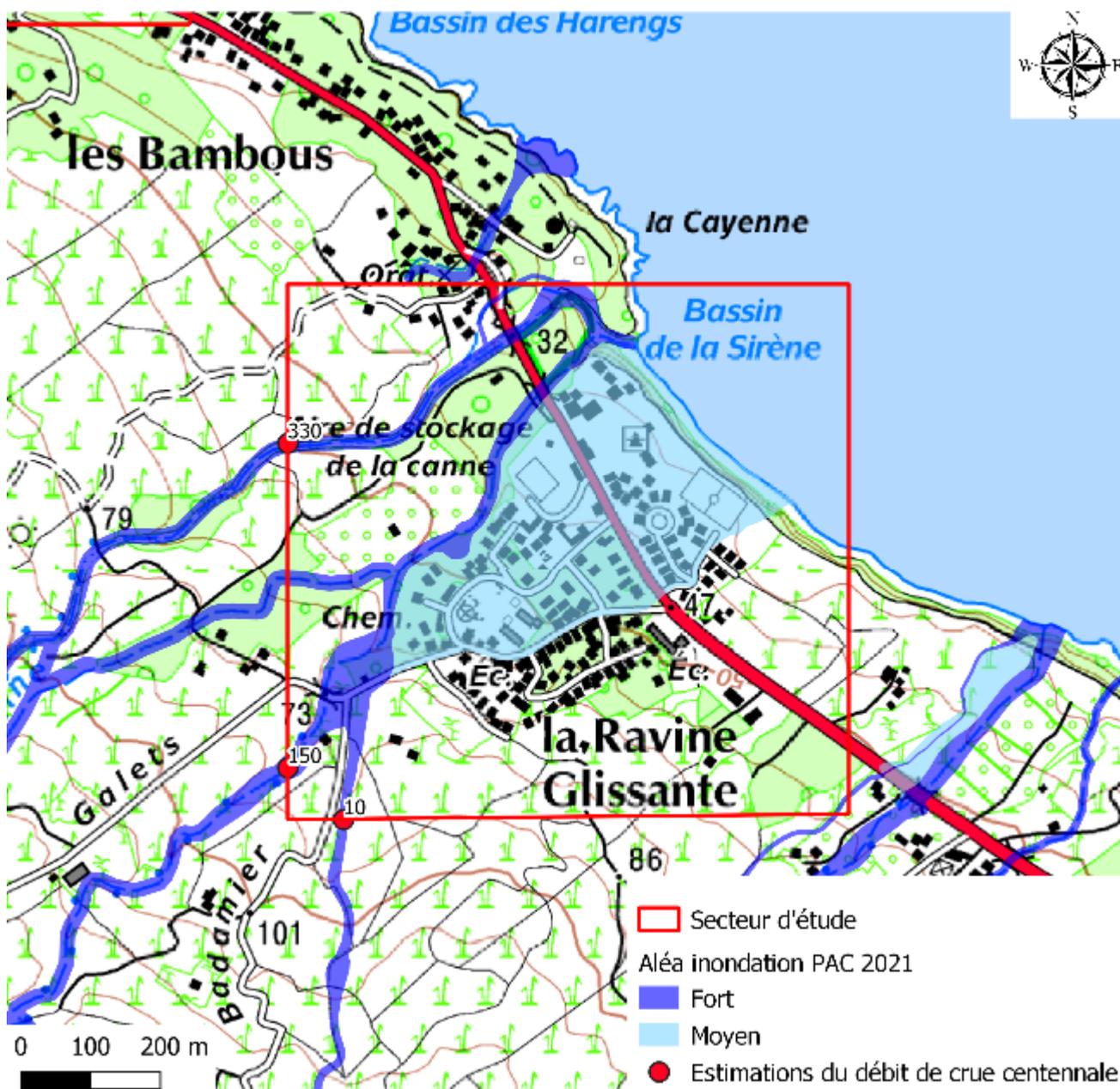


Figure 22 : Débits Q100 du secteur de Ravine Glissante (Source BRGM)

Néanmoins, les modélisations hydrauliques permettant la précision des aléas sont effectuées en régime transitoire. Des hydrogrammes doivent donc être construits, sur la base des débits de pointe et des temps de concentration.

Les temps de concentration n'étant pas fournis dans les données d'entrées, une analyse hydrologique complète a donc été réalisée.

Cette analyse s'appuie sur la méthode du « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » (DEAL, 2012), à savoir la méthode rationnelle.

3.2. DEFINITION DES BASSINS VERSANTS

Les bassins versants de la zone d'étude ont été déterminés à partir :

- Des observations de terrain,
- De l'altimétrie issue de la base de données litto 3D

Leurs caractéristiques morphologiques sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

Bassin Versant	Surface (km ²)	Surface (ha)	Longueur du BV (m)	Alt max (m)	Alt min (m)	Pente moyenne (%)	Alt moyenne pondérée (m)	Allongement	Périmètre (km)
GrandeGlissante	10,97	1097	12500	2040	15	16,2	1027,5	3,8	31,6
PetiteGlissante	1,85	185	4670	735	5	15,6	370,0	3,4	10,7
Affluent PG	0,23	23	1250	195	75	9,6	135,0	2,6	2,9

Tableau 5 : Caractéristiques des Bassins Versants – secteur Ravine Glissante

Bassin Versant	Surface (km ²)	Surface (ha)	Longueur du BV (m)	Alt max (m)	Alt min (m)	Pente moyenne (%)	Alt moyenne pondérée (m)	Allongement	Périmètre (km)
Ravine Bois Blanc	13,60	1360,00	11000	1940	140	16,4	1040	3,0	27,4
Ravine Constantin (RC)	1,46	146,00	3700	775	70	19,1	423	3,1	8,4
Affluent 1 RC	0,05	5,40	750	270	100	22,7	185	3,2	1,6
Affluent 2 RC	0,24	24,00	1520	430	65	24,0	248	3,1	3,1
Affluent 3 RC	0,16	16,00	1300	400	105	22,7	253	3,3	2,7

Figure 23 : Caractéristiques des Bassins Versants – secteur Ravine Bois Blanc

Les cartographies des bassins versants sont présentées pages suivantes.

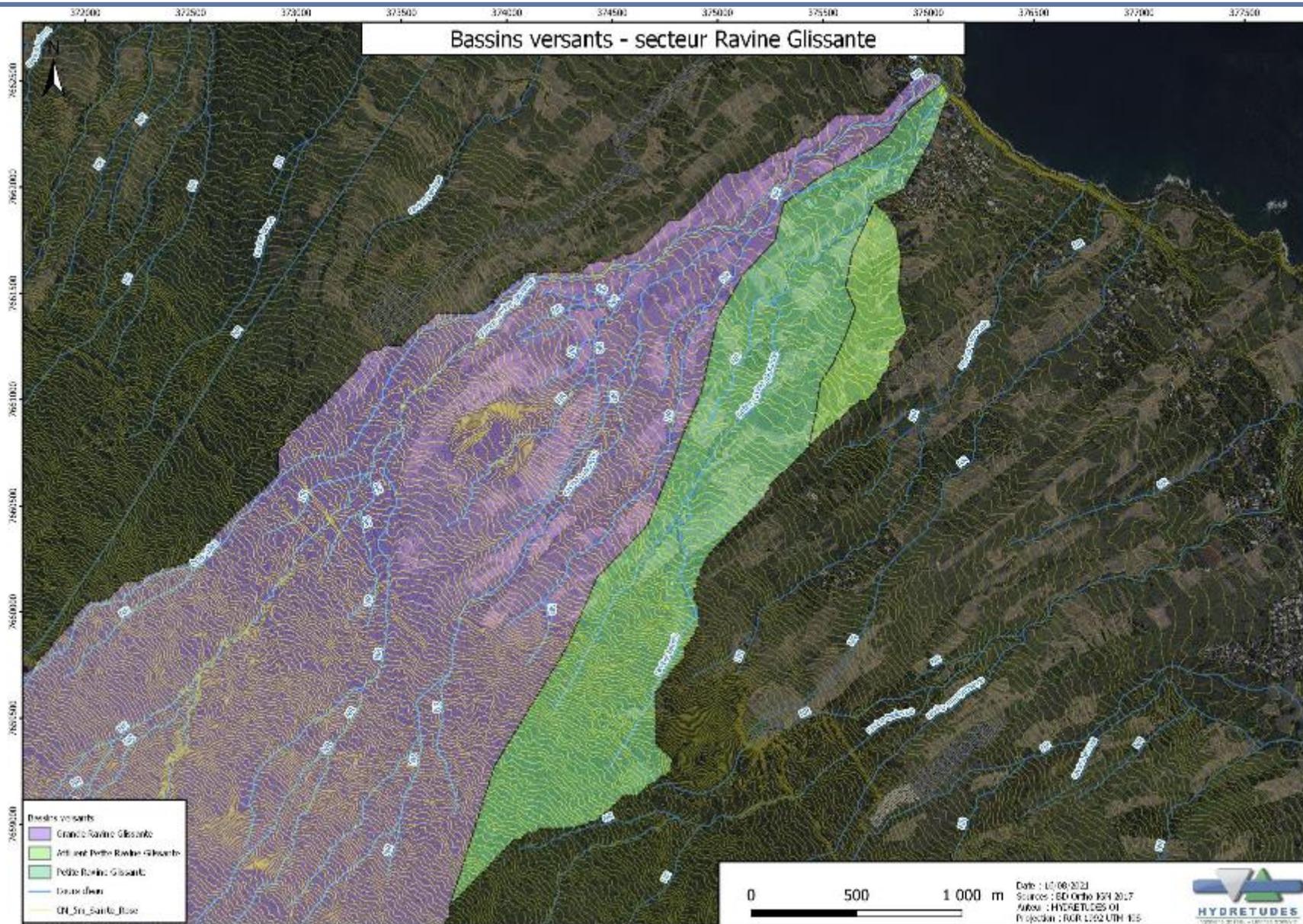


Figure 24 : Cartographie des bassins versants du secteur Ravine Glissante

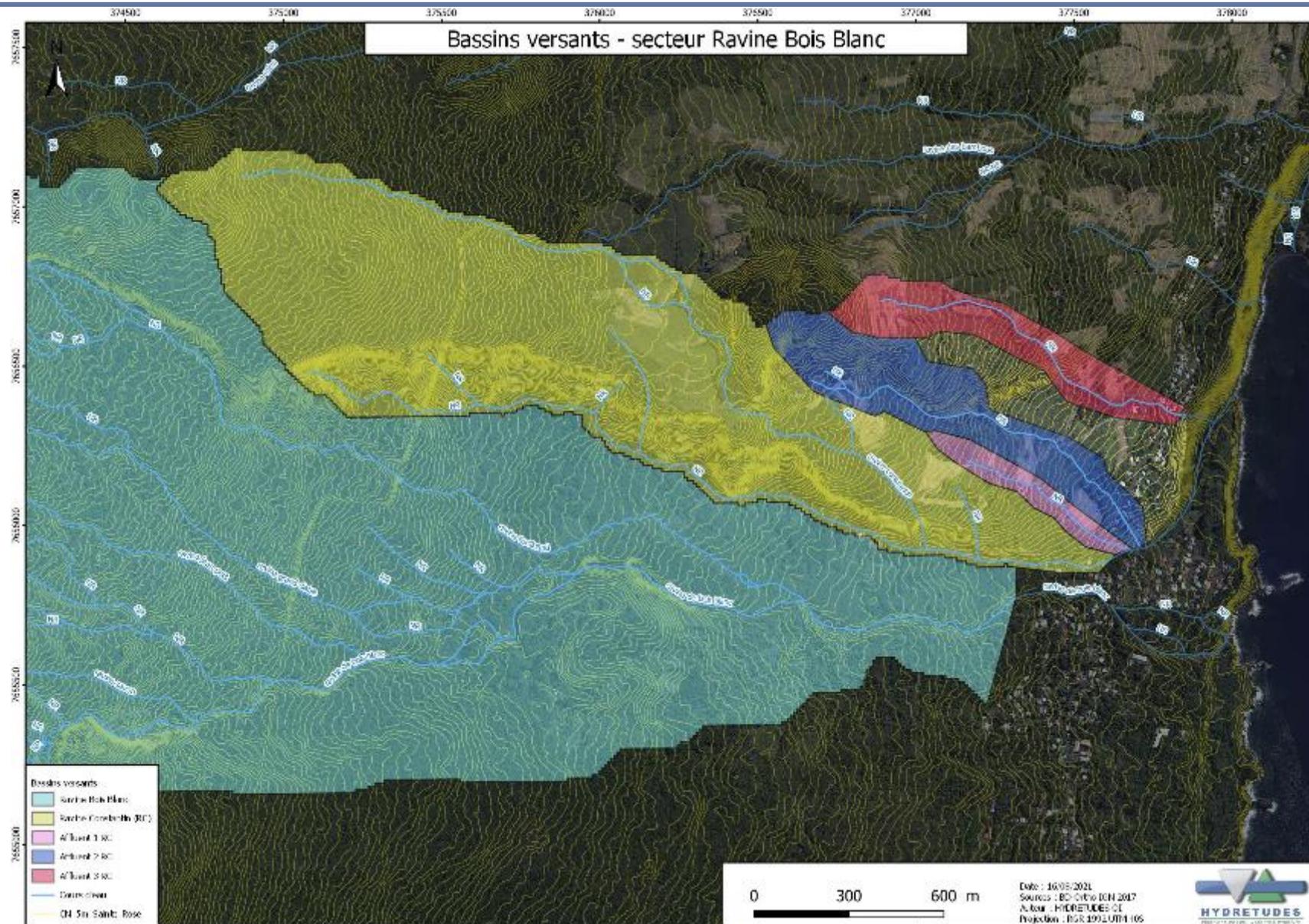


Figure 25 : Cartographie des bassins versants du secteur Bois Blanc

3.3. DETERMINATION DES DEBITS DE POINTE GENERES PAR LES BASSINS VERSANTS

La méthode utilisée dans la détermination des débits est celle du « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » de 2012, ouvrage faisant actuellement office de référence pour la gestion des eaux pluviales à la Réunion.

3.3.1. METHODE UTILISEE

Conformément à ce guide, le choix de la méthode de transformation pluie débit à utiliser pour estimer les débits ruisselés est le suivant :

- *Méthode rationnelle,*
- *Méthode Caquot si la pente est inférieure à 5%.*

La pente étant supérieure à 5%, la méthode rationnelle sera donc utilisée.

Il est important d'indiquer que la méthode rationnelle ne devrait pas être utilisée pour le calcul des débits des bassins versants des ravines Bois Blanc et Grande Ravine Glissante.

En effet, leurs superficies (respectivement 13.6 et 11km²) sont hors du domaine de validité de la méthode rationnelle ($S < 10\text{km}^2$).

3.3.2. CHOIX DE LA PERIODE DE RETOUR

L'objectif de l'étude étant de préciser la cote de référence au sens du PPRn, **la période de retour centennale sera choisie.**

3.3.3. DETERMINATION DU TEMPS DE CONCENTRATION

Le temps de concentration correspond au temps que met le ruissellement d'une averse pour parvenir à l'exutoire depuis le point du bassin le plus éloigné.

Les temps de concentration ont pu être calculés à partir des caractéristiques morphologiques des bassins versants présentées dans le ci-dessus.

Les formules préconisées dans le Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion (DEAL, 2012) ont été utilisées. La moyenne des formules de RICHARDS, KIRPICH 2 et des rectangles équivalents a été calculée et utilisée pour les calculs de temps de concentration :

Bassin Versant	Tc (min)
GrandeGlissante	71
PetiteGlissante	38
Affluent PG	15

Tableau 6 : Temps de concentration – Secteur Ravine Glissante

Bassin Versant	Tc (min)
Ravine Bois Blanc	70
Ravine Constantin (RC)	28
Affluent 1 RC	6
Affluent 2 RC	11
Affluent 3 RC	9

Tableau 7 : Temps de concentration – Secteur Bois Blanc

Conformément à la demande de la DEAL, la valeur minimale du temps de concentration d'un bassin versant pour le calcul des débits est de 6min.

3.3.4. DETERMINATION DE LA PLUIE DE PROJET

La pluie de projet est déterminée par la formule de Montana. L'intensité de pluie de projet est donnée par la formule :

$$i(t_c, T) = a \times t_c^{-b}$$

Avec :

$i(t_c, T)$ en mm/mn : intensité de la pluie de période de retour T pour une durée égale au temps de concentration t_c ,

t_c en mn : temps de concentration du bassin versant,

T en années : période d'occurrence de la pluie

a et b : coefficients de Montana

Les coefficients de Montana a et b sont déterminés sur la base du zonage pluviométrique de la méthode du « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » (2012) de la DEAL.

Commune	Zonage pluviométrique (altitude en m)					
	0-100	100-250	250-500	500-1000	1000-1600	1600-3071
Sainte-Marie	1	2	2	3	4	4
Saint-Denis	1	2	2	3	4	4
Le Port	1	1				
La Possession Bas	1	1	1	2	2	
La Possession Haute				3	3	3
Saint-Paul	1	1	1	2	2	3
Trois Bassins	1	1	1	2	2	3
Saint-Leu	1	1	1	2	2	3
Les Avirons	1	1	1	2	2	3
L'Etang-Salé	1	1	1	2	2	3
Claos			3	3	3	3
Saint-Louis	1	1	1	2	2	3
L'Entre-Deux		1	1	2	3	4
Saint-Pierre	1	1	1	2	3	4
Le Tampon			1	2	3	4
Petite-Ile	1	1	2	2	3	4
Saint-Joseph	2	2	3	3	4	5
Saint-Philippe	3	3	4	4	5	5
Sainte-Rose	3	3	4	4	5	5
Saint-Benoit (Sud RN 3)	3	3	3	4	4	5
La Plaine des Palmistes				4	4	5
Saint-Benoit (Nord RN 3)	3	3	3	4	4	5
Bras-Panon	2	3	3	4	5	5
Salazie			5	5	5	5
Saint-André		2	3	3	3	
Sainte-Suzanne (Est Riv)		2	3	3	3	
Sainte-Suzanne (Ouest Riv)		2	2	3	3	

Tableau 8 : Zonage pluviométrique simplifié

(Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion, DEAL, 2012)

Les bassins versants se situent entre les altitudes de 5 m et 2040 m, sur les zones 3 à 5, à Sainte Rose.

3.3.5. DETERMINATION DES COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT

La période de retour centennale étant étudiée, le coefficient de ruissellement choisit est de 0.9 (sols quasiment saturés).

3.3.6. DETERMINATION DES DEBITS DE PROJET

Les débits des bassins versants ont été déterminés par application de la méthode rationnelle, dont la formule est la suivante :

$$Q_T = \frac{C_T \times I \times S}{6}$$

Avec :

$Q(T)$: débit de pointe de période de retour T de l'hydrogramme en m^3/s ,

$C(T)$: coefficient de ruissellement pour la pluie de période de retour T ,

S : surface du bassin versant en ha,

I : intensité de l'averse en mm/mn issue des coefficients de Montana.

Le résultat pour le bassin versant est présenté dans le tableau ci-dessous :

Bassin Versant	Q100 i (m ³ /s)
GrandeGlissante	365
PetiteGlissante	71
Affluent PG	11

Tableau 9 : Débits Q100 des bassins versants – secteur Ravine Glissante

Bassin Versant	Q100 i (m ³ /s)
Ravine Bois Blanc	460
Ravine Constantin (RC)	65
Affluent 1 RC	4
Affluent 2 RC	15
Affluent 3 RC	10

Tableau 10 : Débits Q100 des bassins versants – secteur Bois Blanc

3.3.7. COMPARAISON AVEC LES DONNEES D'ENTREES

Une comparaison des débits calculés via la méthode rationnelle semble intéressante avec les débits indiqués en données d'entrées. En effet, on remarque une similarité sur certains bassins versants mais également une grande disparité sur d'autres :

Bassins versants	Etude	Données d'entrées	Différences
GrandeGlissante	365	330	9%
PetiteGlissante	71	150	-110%
Affluent PG	11	10	10%
Ravine Bois Blanc	460	450	2%
Ravine Constantin (RC)	65	45	31%
Affluent 1 RC	4	5	-40%
Affluent 2 RC	15	30	-103%
Affluent 3 RC	10	10	5%

Tableau 11 : Différences entre les débits calculés et les données d'entrées

Les différences ayant potentiellement le plus d'impact sur les enjeux des secteurs concernent les bassins versants de la ravine Petite Glissante (-110%) et de la ravine Constantin (+31%).

En effet, il s'agit des ravines dont les débordements génèrent la majorité des aléas sur les quartiers étudiés.

N'ayant pas de point de comparaison avec les données d'entrées (hypothèses, méthodes, caractéristiques bassins versants, ...), nous ne pouvons pas nous prononcer davantage sur les causes de ces différences de résultats.

Il a donc été décidé de réaliser les modélisations hydrauliques selon ces 2 scénarios de débits.

Le MOA aura ainsi toutes les informations nécessaires afin de décider quel scénario retenir, en fonction notamment de la précision de calcul des débits entre les données d'entrées et la méthode rationnelle.

DESCRIPTION DES SCENARIOS MODELISES

Les écoulements des crues centennales des ravines des 2 secteurs d'étude ont été modélisés afin de préciser les aléas inondation correspondants.

- **Scénario n°1 : Crues centennales (Q100 étude) des Grande et Petite Ravine Glissante et du talweg affluent Sud**

Crue centennale du réseau hydrographique de Ravine Glissante issue des calculs de l'étude.

Intégration des ouvrages de franchissement diagnostiqués sur site.

Condition de mer aval sans influence sur les écoulements au regard du contexte (topographie marquée, écoulements torrentiels, forte pente) mais intégrée au modèle.

- **Scénario n°2 : Crues centennales (Q100 données d'entrées) des Grande et Petite Ravine Glissante et du talweg affluent Sud**

Crue centennale du réseau hydrographique de Ravine Glissante issue des données d'entrées.

Intégration des ouvrages de franchissement diagnostiqués sur site.

Condition de mer aval sans influence sur les écoulements au regard du contexte (topographie marquée, écoulements torrentiels, forte pente) mais intégrée au modèle.

- **Scénario n°3 : Crues centennales (Q100 données étude) des ravines de Bois Blanc, Constantin et BB1, 2 et 3**

Crue centennale du réseau hydrographique de Bois Blanc issue des calculs de l'étude.

Intégration des ouvrages de franchissement diagnostiqués sur site.

Condition de mer aval sans influence sur les écoulements au regard du contexte (topographie marquée, écoulements torrentiels, forte pente) mais intégrée au modèle.

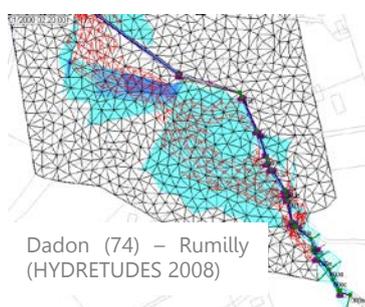
4.2. PRESENTATION DU LOGICIEL UTILISE

4.2.1. MODULE 2D

InfoWorks 2D est un module intégré au sein du logiciel InfoWorks ICM pour la modélisation des cours d'eau.

4.2.2. INTERET

L'Analyse de l'extension des zones inondables potentielles et la définition des caractéristiques hydrauliques comme la profondeur et la vitesse des écoulements est un problème complexe, en particulier dans les zones urbaines et /ou endiguées où les infrastructures peuvent réduire les inondations dans certaines zones, tout en les augmentant dans d'autres.



Les simulations en 1D peuvent très bien fournir des informations concernant les débits et les profondeurs d'écoulement sur les plaines d'inondation. C'est une méthode rapide et efficace pour déterminer l'extension maximale du champ d'expansion des crues, mais elle se fonde sur des hypothèses relatives sur le sens des écoulements. Les simulations 1D sont également limitées lorsque des informations détaillées sur les vitesses de ces écoulements sont nécessaires dans des configurations particulières, fortement influencés par les obstructions causées par les infrastructures telles que les routes et les bâtiments.

Dans ce cadre, les simulations en 2D sont mieux adaptées à la modélisation des écoulements pour des géométries complexes telles que les zones urbaines, des digues, des intersections de routes et autres infrastructures de transport et les terrains où les directions des écoulements sont difficiles à prévoir. Les modélisations en 2D nécessitent des données topographiques nombreuses et sont coûteuses en temps de calcul.

La modélisation des événements complexes avec précision et efficacité exige un modèle à la fois 1D et 2D. Le logiciel Infoworks ICM combine à la fois un moteur 1D et 2D. Le modèle combine des éléments unidimensionnels et bidimensionnels.

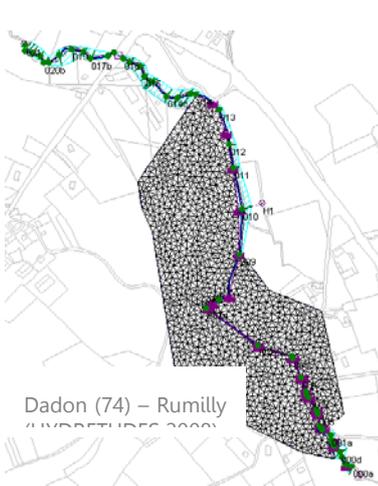
L'utilisation de la simulation 1D permet d'identifier les zones où les inondations se produisent. Une fois que les zones d'intérêt, touchées par les débordements sont identifiées, il est possible de construire le modèle 2D et en utilisant le calcul combinant le 1D et 2D, de déterminer la direction et les hauteurs des écoulements sur le lit majeur.

4.2.3. MOTEUR HYDRAULIQUE 2D

Infoworks 2D utilise des algorithmes performants basés sur une méthode type volumes finis pour résoudre l'équation complète de St-Venant utilisant le solveur de Riemann particulièrement adapté aux régimes hydrauliques rapidement variés tels que ceux à travers les rues escarpées, les carrefours et ceux qui sont associés aux submersions de digues.

Les moteurs 1D et 2D tournent en même temps permettant l'échange d'eau entre les modèles à chaque pas de temps. Les échanges se font au niveau des déversements (spills).

4.2.4. MAILLEUR 2D



L'espace est discrétisé sous forme d'un maillage non structuré. Le module 2D d'InfoWorks est basé sur un maillage de surface, donnant un maximum de flexibilité pour le modéleur et en veillant à ce que le système soit inspiré de la topographie du site d'étude de façon aussi précise que possible.

Cette souplesse dans le maillage augmente le nombre de types d'écoulement que l'on peut modéliser.

Un certain nombre de types de maillage peuvent être utilisés et combinés dans un modèle :

Maillage triangulaire non structuré qui est la meilleure solution pour l'analyse des écoulements complexes ;

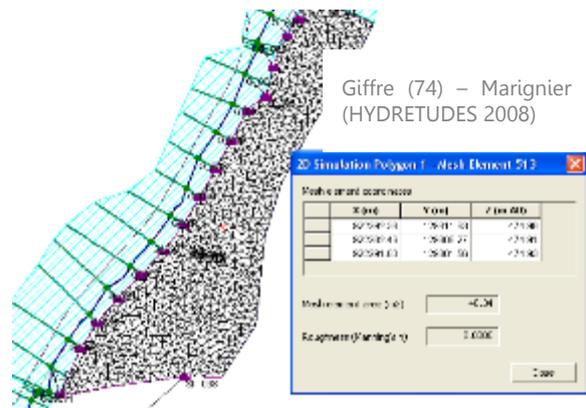


Maillage dans les zones présentant un intérêt particulier; maillage quadrangulaire non structuré qui est apte à modéliser les écoulements canalisés;



Maillage rectangulaire en vue de simplifier les modes d'écoulement.

Les spécifications de la maille peuvent varier selon les secteurs du modèle, permettant une excellente résolution autour des zones d'intérêt tout en utilisant une résolution plus faible pour les régions moins importantes. Le générateur de maillage peut également inclure des vides (bâtiments), des murs, préciser la rugosité des zones individuelles. Ce point est crucial pour simuler avec précision les circulations d'eau autour des bâtiments, sur les routes et dans les zones de terrain ouvert, comme les champs.



Les données nécessaires pour générer le modèle de maillage peuvent être importées à partir des couches de fond, de modèle numérique ou des caractéristiques d'un réseau 1D.

4.3. DOMAINE DE VALIDITE ET LIMITES DU MODELE

La modélisation hydraulique permet de comprendre la cinétique des écoulements liés à un épisode pluvieux sur un secteur donné et d'estimer les paramètres tels que les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulements en chaque point de calcul et pour chaque pas de temps.

Cet outil est basé sur plusieurs éléments. Le diagramme ci-dessous résume l'importance de chacun de ces éléments sur la précision des résultats d'une modélisation :

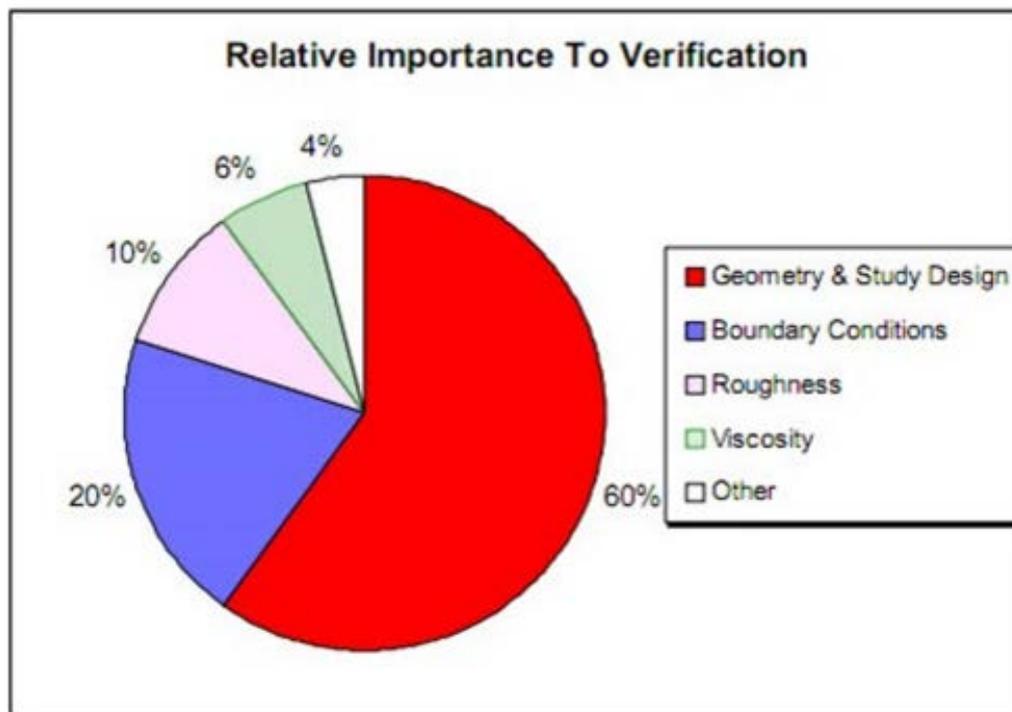


Figure 26 : Importance des éléments constituant la modélisation hydraulique

L'élément prédominant est donc la topographie (traduit par un Modèle Numérique de Terrain).

Ensuite, les conditions hydrauliques du modèle représentent 1/5^{ème} de la précision du modèle (débits, pluies, hauteur de mer, ...).

Le dernier cinquième est composé des rugosités et autres éléments secondaires.

Concernant les présentes modélisations, le MNT de l'état initial a été construit à partir de la litto 3D 1m. La précision de ce type de levé sur des zones peu végétalisées est en général acceptable mais il convient de rester attentif aux zones très végétalisées souvent erronées (le laser du LIDAR ne traversant pas le couvert végétal).

Un MNT ne peut de toute façon pas représenter parfaitement le terrain naturel et des imprécisions sont toujours observées.

De plus, il est extrêmement compliqué de représenter l'ensemble des éléments ayant une incidence sur les écoulements en zone urbaine (mobilier urbain, murs et murets, réseaux EP, géométrie des habitations, ...).

Les autres éléments de la modélisation (pluie, débit, rugosité, ...) ont été déterminés à partir des analyses historiques, cartographique et de la visite de terrain.

Outre ces éléments pouvant être source d'imprécision dans les résultats, il convient de rappeler les limites de la modélisation hydraulique :

- Le MNT est non dynamique, ce qui implique que les phénomènes d'érosions et de transports solides ne peuvent être pris en compte dans les résultats. Ces phénomènes peuvent engendrer d'importants dysfonctionnements tels que l'obstruction d'ouvrages ou la déstabilisation de talus. Il convient donc de mettre tous les moyens en œuvre pour s'en prémunir ;
- Les éléments tels que les ouvrages hydrauliques ponctuels (buses ou cadres : dalots) ne peuvent être modélisés en 2D. Des liaisons en 1D - 2D sont donc réalisées dans le modèle, ce qui peut engendrer des anomalies dans leurs fonctionnements. Cet aspect reste toutefois contrôlé et corrigé si nécessaire.

Ainsi, même si la modélisation hydraulique est un outil complexe extrêmement utile pour préciser la dynamique générale d'une crue, il convient de rester prudent et critique sur l'utilisation de ses résultats.

4.4. CONSTRUCTION DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN

4.4.1. INTRODUCTION

La modélisation 2D des écoulements d'une crue de projet nécessite la construction d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) précis, reflétant la réalité du site le plus fidèlement possible (remblais, ouvrages, points bas, etc.).

C'est pourquoi, la construction de ce modèle a été le fruit d'une analyse topographique complexe détaillée ci-après.

4.4.2. SOURCES ET DONNEES UTILISEES

L'analyse topographique a été réalisée sur la base de la LITTO 3D (couches 1m, réalisée en 2012) présente sur l'ensemble des 2 secteurs d'étude.

La pertinence d'une modélisation hydraulique étant étroitement liée à la précision de la source topographique, il est capital d'analyser et de comparer cette donnée avec les observations de terrain.

4.4.3. RESULTATS DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN

Le MNT ainsi créé est illustré ci-dessous. Ce dernier a été couplé à l'orthophotographie de la zone d'étude. Une analyse de la concordance entre les éléments de terrain localisés sur orthophotographie, le relief du MNT et les valeurs d'altitudes de ses facettes a été réalisée afin de vérifier sa précision. Le MNT final a ensuite été intégré au modèle mathématique 2D de simulation des écoulements.



Figure 27 : Couplage MNT et orthophotographie – Secteur ravine Glissante



Figure 28 : Couplage MNT et orthophotographie – Secteur Bois Blanc

4.5. CONDITIONS AUX LIMITES

4.5.1. CONDITION AMONT

Les hydrogrammes des crues d'occurrences centennale des ravines et leurs affluents ont été intégrés comme condition limite amont des modèles 2D.

Des **hydrogramme unitaires**, de type triangulaire et de durée 3 fois le temps de concentration du bassin versant considéré (1Tc en montée, 2Tc en décrue) ont été construits selon les résultats de l'analyse hydrologique.

4.5.2. CONDITIONS AVAL

Au regard du contexte topographique au droit des deux secteurs d'étude, la condition aval (à savoir l'océan) est sans influence sur les écoulements des ravines au droit des enjeux.

4.6. PARAMETRES DE MODELISATION

4.6.1. COEFFICIENT DE RUGOSITE

Afin de représenter au mieux les conditions d'écoulement des crues sur la zone d'étude, une différenciation des types d'occupation du sol a été réalisée. Ainsi trois zones de rugosités ont été intégrées au modèle. Elles correspondent aux lits mineur et majeur des ravines, ainsi qu'aux surfaces imperméables (routes béton).

Les coefficients de rugosités ont été intégrés au modèle, ils dépendent de l'occupation du sol décrite sur les figures précédentes :

n	Caractéristiques du lit / Matériaux
0.017	Surfaces imperméables
0.033	Lit majeur (foret, parcelles agricoles)
0.067	Lit mineur des ravines

Tableau 12 : Valeurs de rugosités employées (coefficients de Manning)

4.6.2. INTEGRATION DES BATIMENTS

Les bâtiments relevés dans le cadre du levé topographique ainsi que les éléments de la BD Topo 2013 ont été intégrés puis modélisés comme éléments poreux («Porous polygon») afin de représenter leur capacité limitée à absorber une partie des volumes liquides incidents (coefficient de porosité de 10%).

Les lignes caractéristiques de contours de l'ensemble des bâtiments ont également été intégrées au maillage hydraulique 2D.

4.6.3. CALAGE DU MODELE

Les coefficients de Manning injectés dans le modèle ont été déterminés à la suite d'observations de terrain et avec l'expérience de notre bureau d'étude dans la modélisation mathématique d'écoulements.

Les résultats du modèle (H, V) ont été analysés en recoupant les valeurs avec la topographie existante (MNT issu de la LITTO 3D, visite in situ...) afin de vérifier leur validité avant éventuelle nouvelle itération de calcul.

La visualisation dynamique des crues (outil vidéo permettant de voir évoluer les inondations générées avec le temps) ainsi que l'analyse des écoulements par les lignes de résultats sous Infoworks ICM 2D permet de vérifier la cohérence des résultats et de modifier certains paramètres du modèle dans les secteurs particuliers offrant éventuellement des incohérences constatées.

4.6.4. INTEGRATION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Les ouvrages hydrauliques recensés sur site ont été intégrés au modèle 2D :

- Soit sous la forme d'extrusion du MNT (ouvrage assurant une transparence hydraulique totale),



Figure 29 : Intégration de l'OH1 – secteur Ravine Glissante

- Soit sous la forme d'éléments 1D intégrés dans le maillage 2D (ouvrages pouvant être mis en charge car de capacité insuffisante).



Figure 30 : Intégration des OH 5 et OH6 – secteur Bois Blanc

Aucun plan topographique n'étant disponible au droit de ces ouvrages, les dimensions ont été prises lors de notre visite sur site, avec une précision plus ou moins grande selon les conditions d'accès.

A noter que le quartier La Cayenne (au droit des chemins Paul et la Cayenne) n'était initialement pas dans le secteur d'étude. Il n'a donc pas été intégré dans le diagnostic terrain.

Néanmoins, après une première itération de la modélisation hydraulique, il a été constaté un débordement rive gauche de la Grande Ravine Glissante vers ce quartier. Nous avons donc fait le choix d'étendre la zone d'étude afin de l'intégrer à la modélisation.

Cependant, les ouvrages hydrauliques de transparence n'étant pas connus, l'ouverture a été réalisée à partir de la visualisation sur orthophotographie.

Les résultats sont donc difficilement exploitables en l'état.

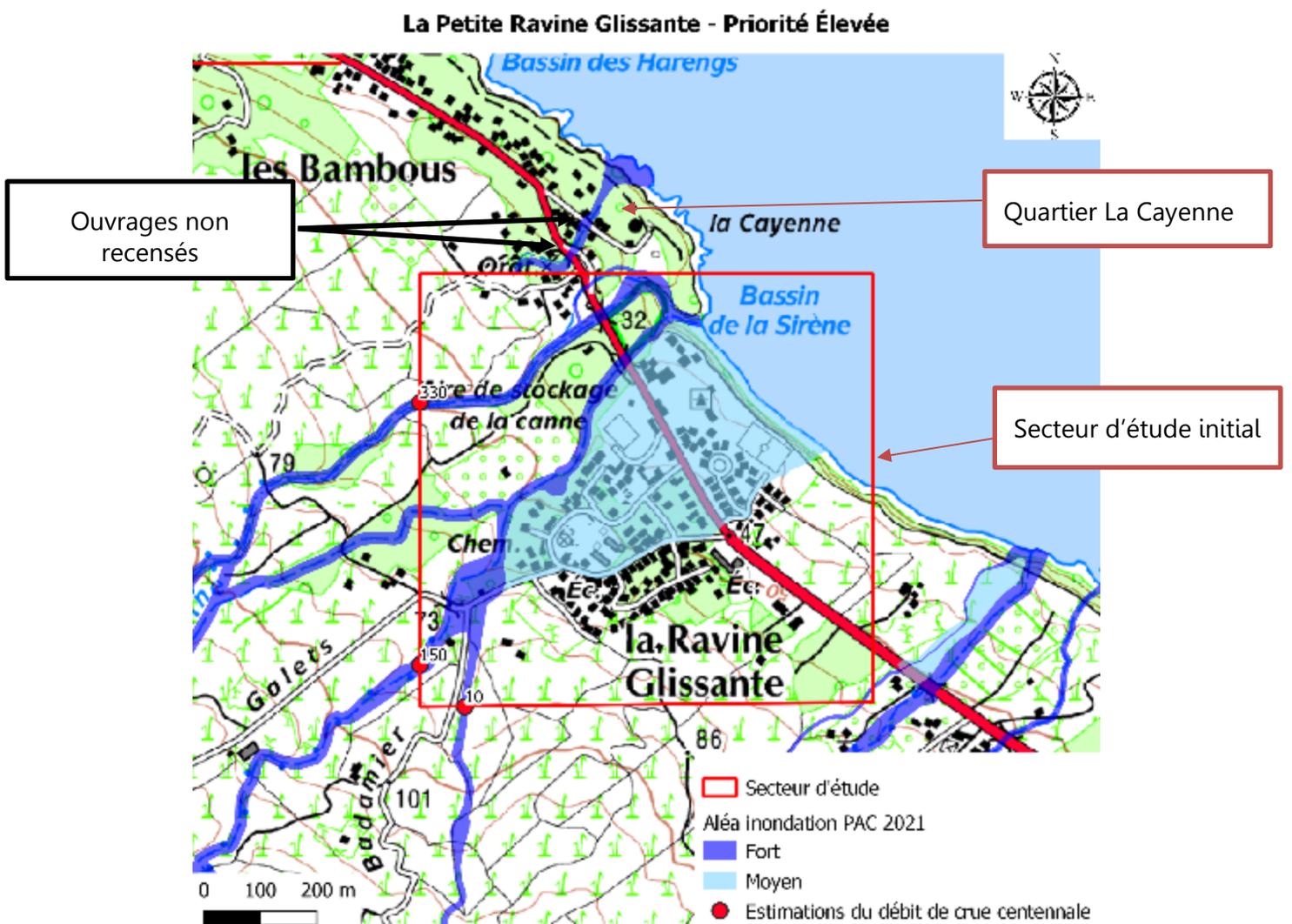


Figure 31 : Zone d'étude étendue

4.7. ARCHITECTURE DU MODELE

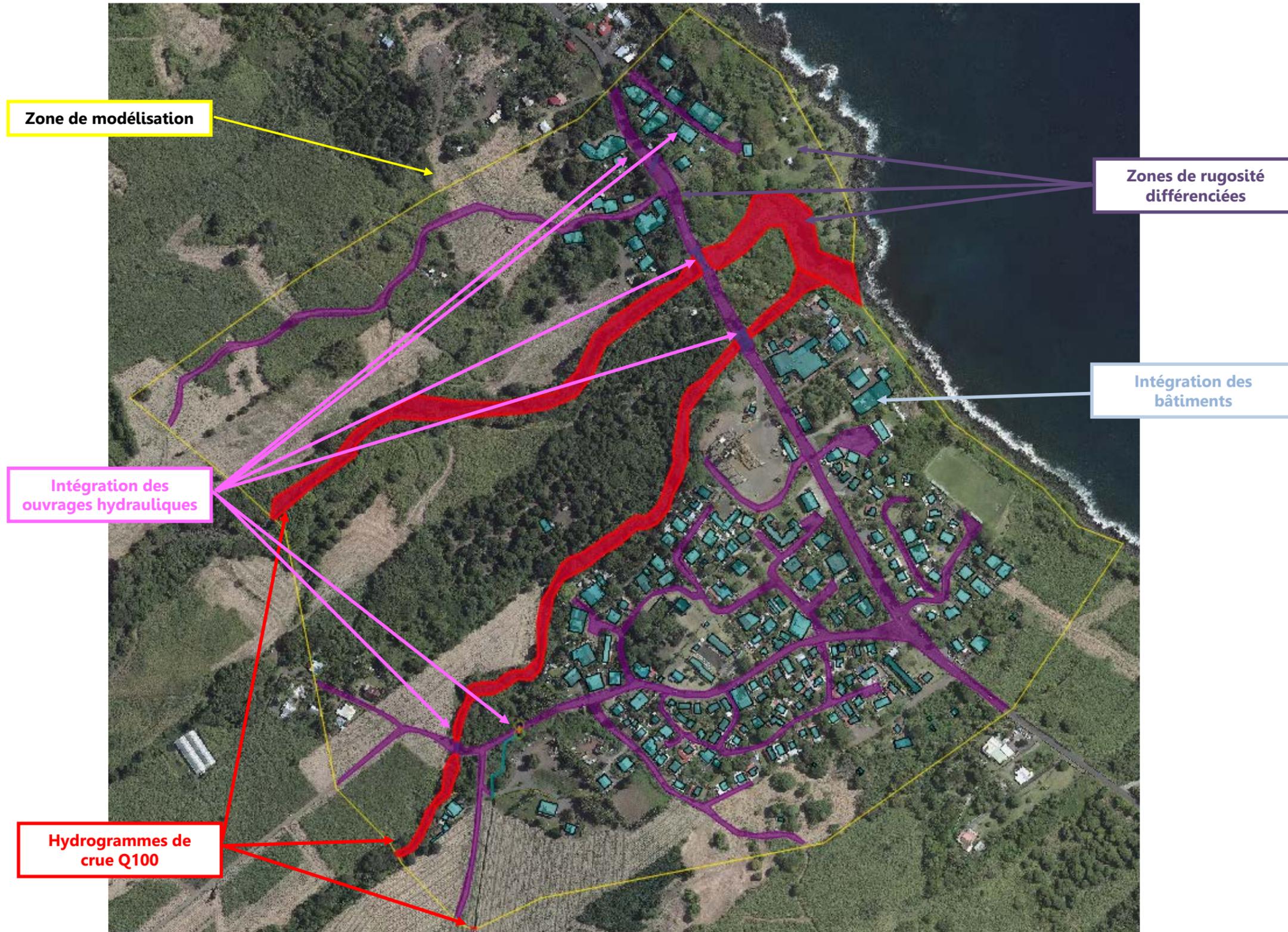


Figure 32: Architecture du modèle – Secteur Ravine Glissante

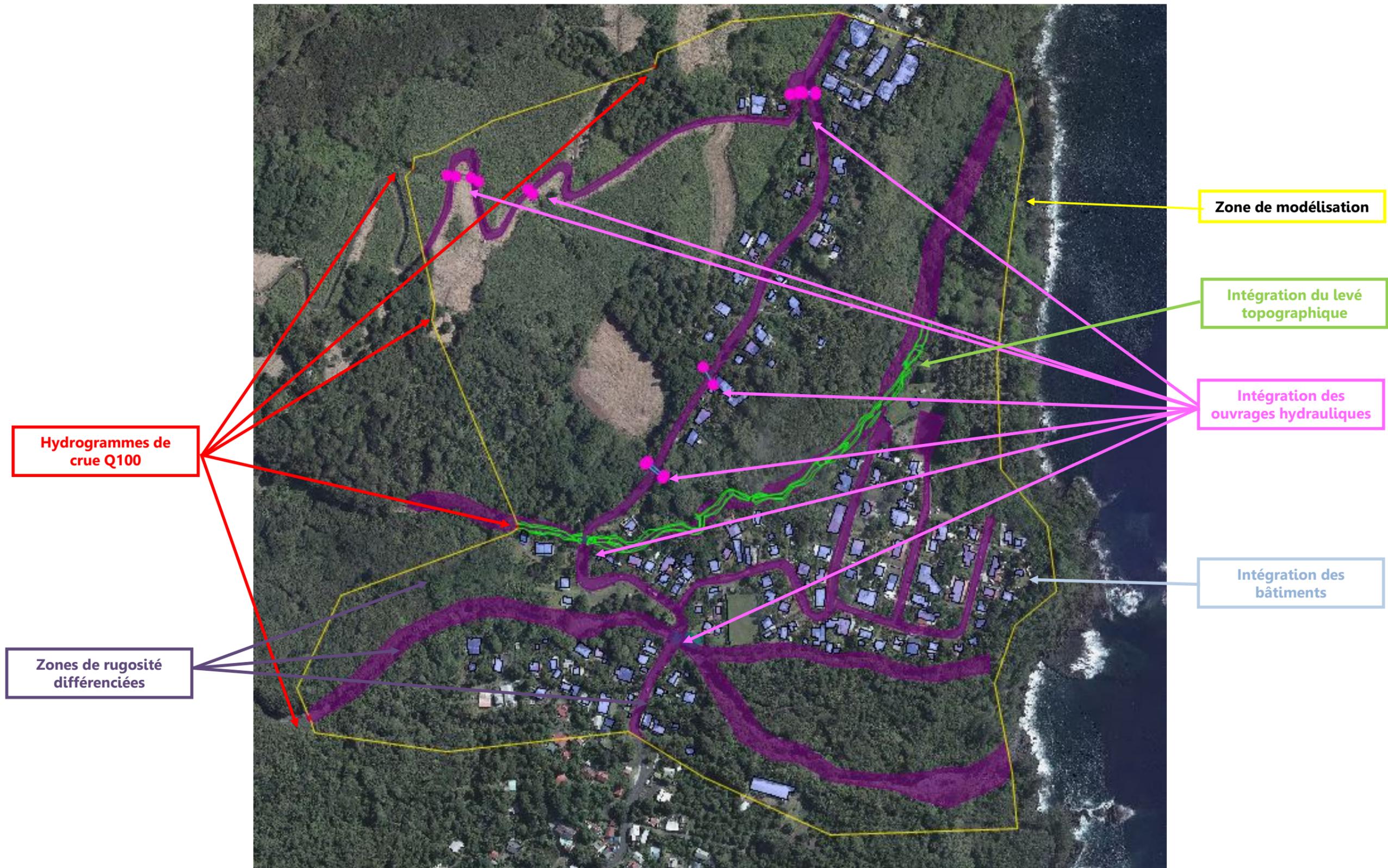


Figure 33 : Architecture du modèle – Secteur Bois Blanc

4.8. RESULTATS DE LA MODELISATION – SECTEUR RAVINE GLISSANTE

Les résultats des modélisations d'une crue centennale dans la situation actuelle du site (état dit initial), sont représentés et analysés sur les figures ci-dessous. Ils ont permis de mettre en évidence les paramètres caractéristiques des écoulements induits.



Figure 34 : Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale (Etat initial) – Scénario 1



Figure 35 : Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale (Etat initial) – Scénario 2

4.8.1. SCENARIO 1 – Q100 « ETUDE »

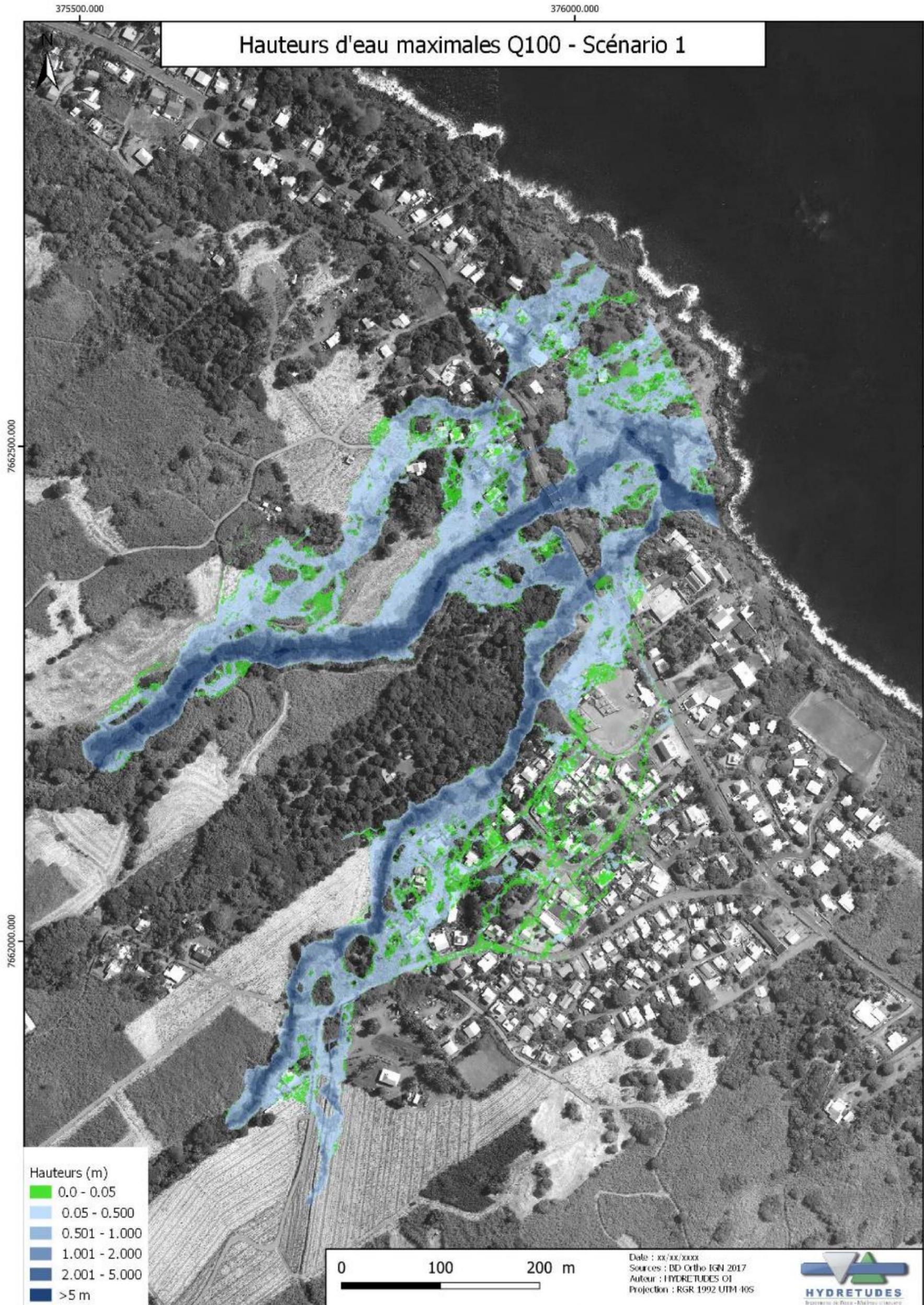


Figure 36 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Scénario 1

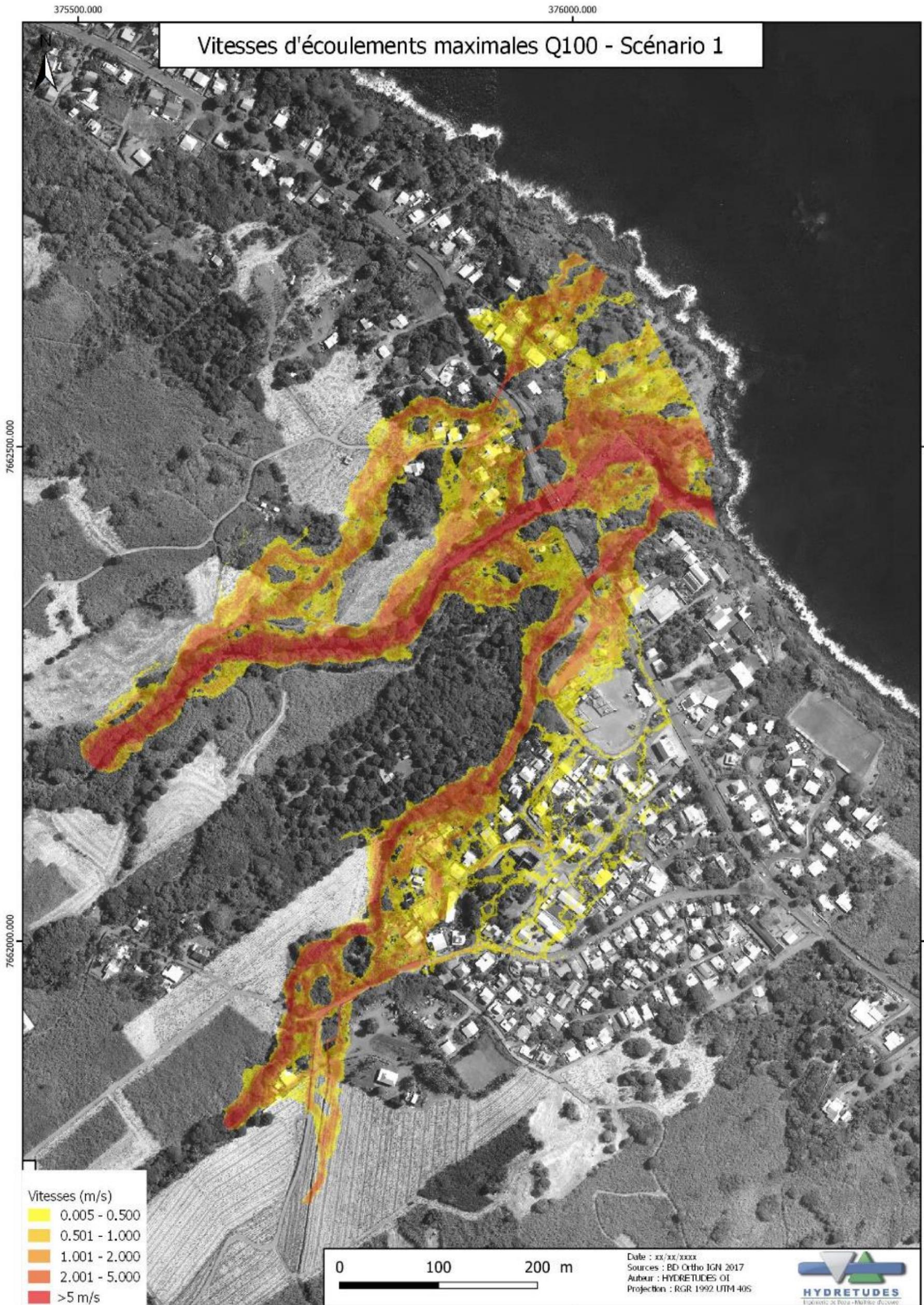


Figure 37 : Cartographie des vitesses d'écoulements maximales - Scénario 1

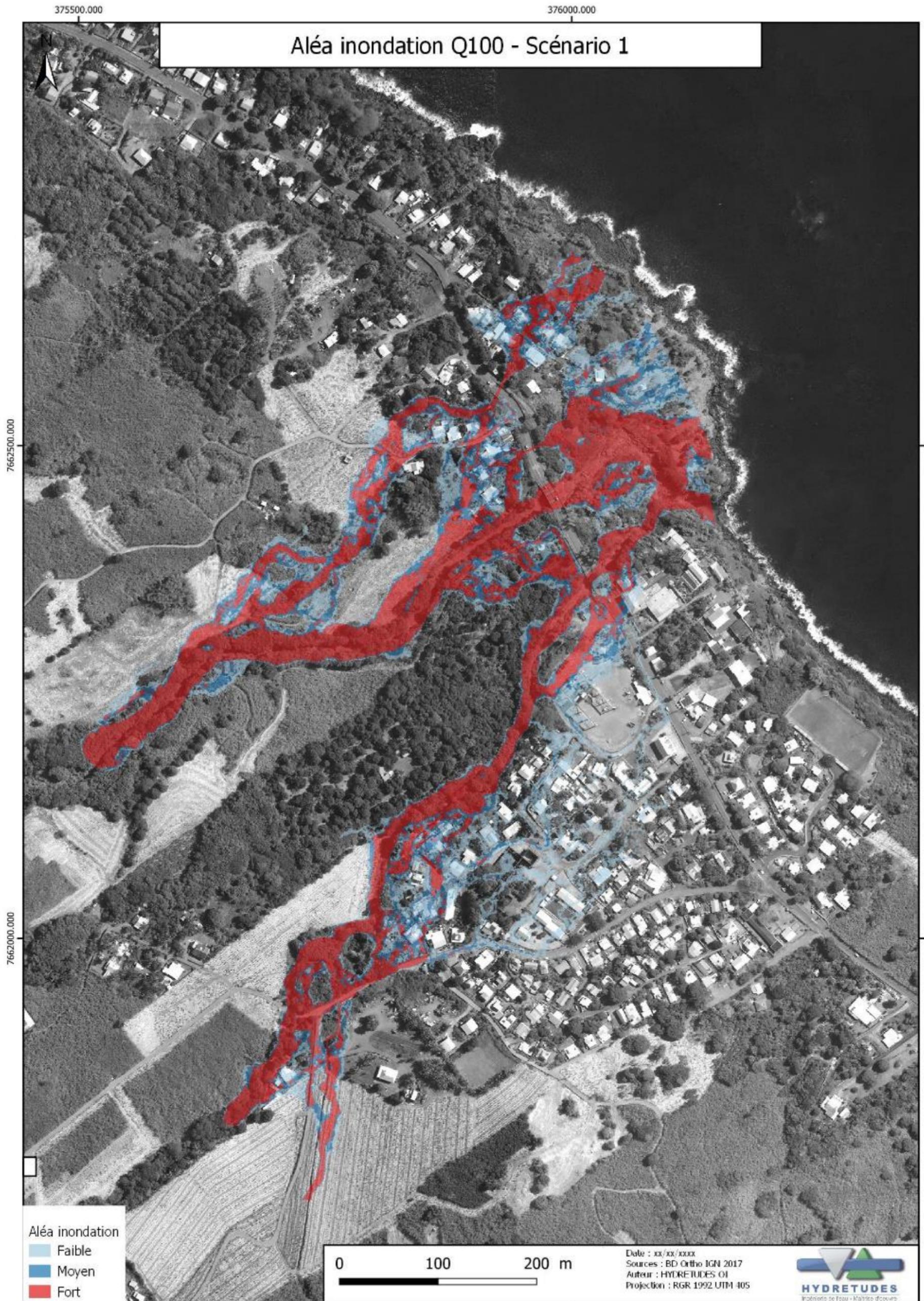


Figure 38 : Cartographie des aléas inondations - Scénario 1

4.8.2. ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE – SCENARIO 1

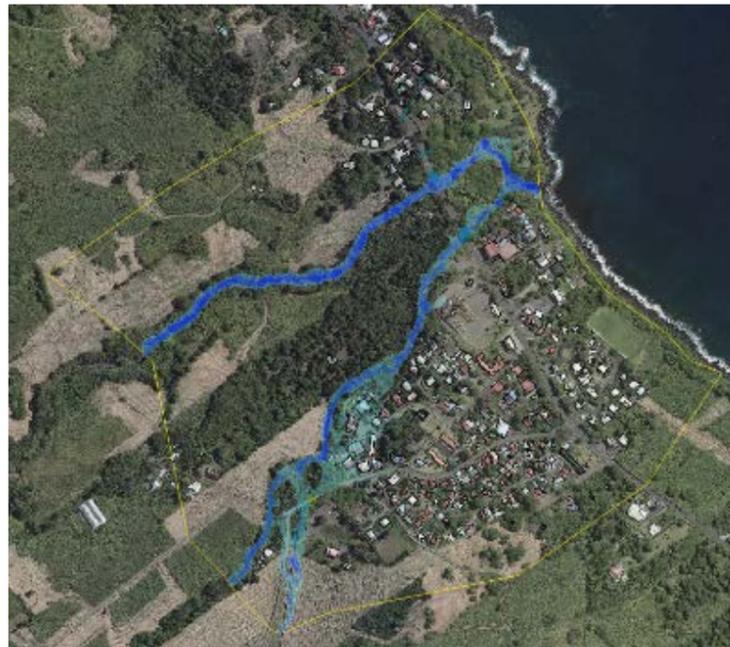
Les figures ci-dessous décrivent la cinétique de la crue centennale des ravines et de leurs affluents sur le secteur Ravine Glissante.

La modélisation hydraulique des écoulements met en évidence quelques fronts de débordements provenant des ravines. En effet, pour la crue centennale les écoulements se font en grande partie au sein du lit mineur. Néanmoins, certaines zones situées au droit des ouvrages ainsi qu'au droit des méandres débordent, correspondant au fonctionnement naturel d'un cours d'eau.



T = 7min : Début de la crue des ravines du secteur Ravine Glissante. Les écoulements de l'affluent rive droite de la Petite Ravine Glissante sont assez diffus en amont (topographie peu précise).

T = 10min : Les écoulements de l'affluent commencent à déborder sur le chemin Badamier avant de rejoindre la Petite Ravine Glissante.



T = 15min : Les débordements s'amplifient et touchent les habitations à proximité immédiate de la berge rive droite de la Petite Ravine Glissante.

T = 30min : Les débordements de l'affluent continuent leur progression vers le chemin Badamier. Les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulements restent néanmoins très faibles et contenues au niveau des axes routiers. Un nouveau front de débordement est visible rive droite, qui traverse la plateforme cannière avant de retourner dans le lit mineur de la ravine au droit de l'ouvrage de la RN2.



T = 50min : Le pic de crue de la Petite Ravine Glissante est passé, contrairement à celui de la Grande Ravine Glissante. Des fronts de débordements apparaissent sur cette dernière : en amont rive gauche au niveau de l'extrados, sur les deux rives en amont du chemin Paul (avec un rejet vers la Petite Ravine Glissante en rive droite) et en aval de la RN2.

T = 1h15 : Pic de crue de la Grande Ravine Glissante. Les débordements s'intensifient sur tout le linéaire. Les débordements rive gauche progressent et inondent le quartier de La Cayenne. Décrue de la Petite Ravine Glissante



T = 2h : Décrue de la Grande Ravine Glissante. Les derniers écoulements issus des débordements rejoignent l'océan.

Figure 39 : Cinétique de la crue centennale des ravines du secteur de la Ravine Glissante

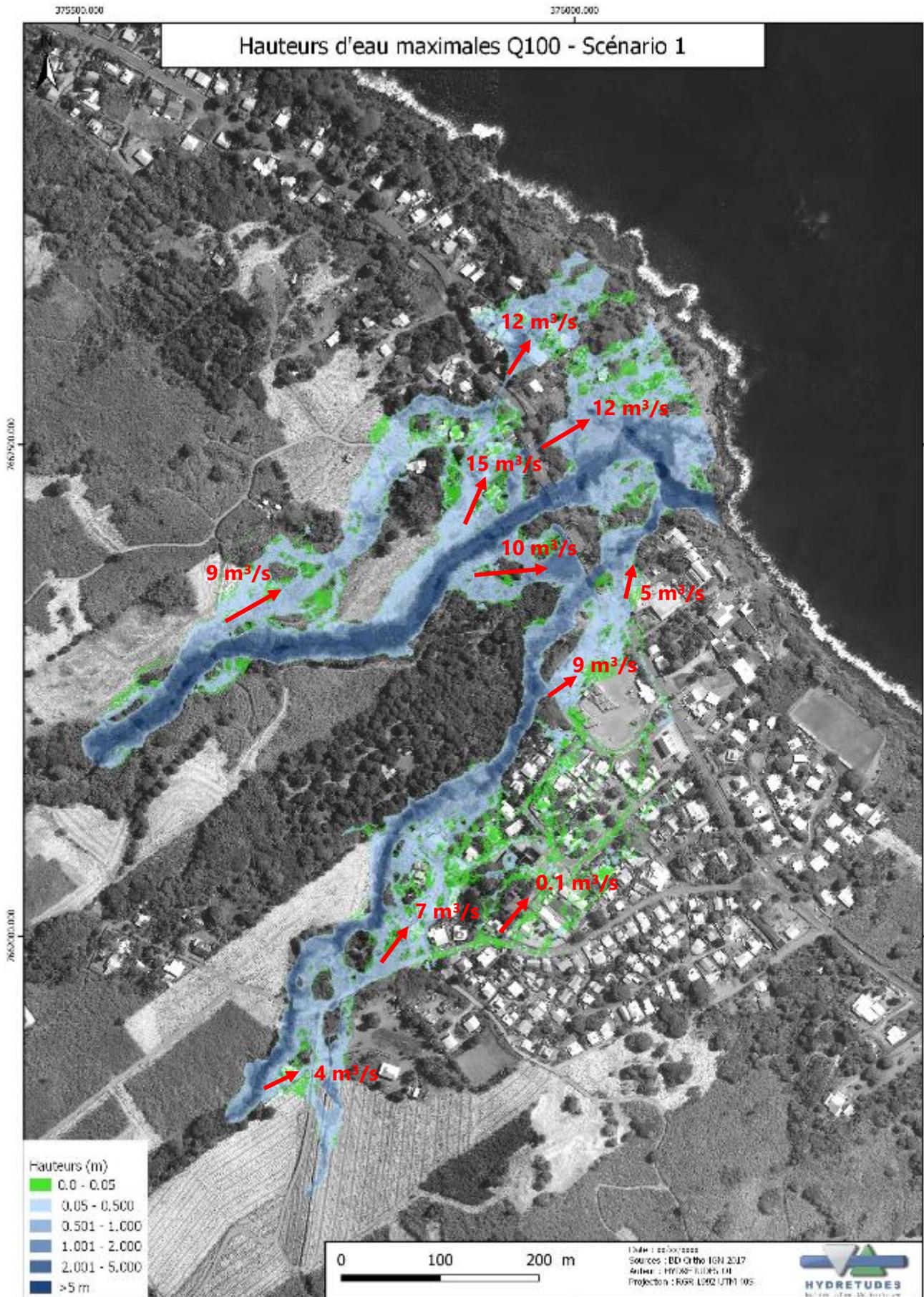


Figure 40 : Quantitatif des débordements - scénario 1

4.8.3. SYNTHÈSE DES HAUTEURS D'EAU ET DÉBITS ATTEINTS AU DROIT DES DIFFÉRENTS OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT – SCENARIO 1

Le tableau ci-dessous présente les contraintes hydrauliques au droit de chaque ouvrage de franchissement sur le secteur d'étude (cf. Figure 16 : Localisation des ouvrages de franchissements du secteur de Ravine Glissante)

Ouvrages de franchissement	Débit maximal (m ³ /s)	Hauteur d'eau maximale (m)	Vitesse maximale (m/s)	Revanche disponible avant débordement (m)
OH0	12	2	2.5	1
OH1	330	3.5	9	1.3
OH2	70	2.8	4	0.7
OH3	4	1	4	0
OH4	7	2	1.5	0
OH5	7	2	1.5	0
OH6	7	2	1.5	0
OH7	47	2.6	6	0

Tableau 13 : Synthèse des contraintes hydrauliques au droit des ouvrages hydrauliques recensés – scénario 1

Pour rappel, les ouvrages hydrauliques n'ont pas fait l'objet d'un levé topographique par un géomètre et ont donc été levés manuellement lors du diagnostic terrain.

Les sections ont pu être recensées de manière relativement précise, ce qui n'est pas le cas de leurs pentes (matériel topographique adapté nécessaire).

La pente étant un facteur directement lié à la capacité de l'ouvrage, il convient donc de prendre en considération ces imprécisions dans la lecture des résultats.

Ces résultats ne tiennent également pas compte du débit solide ou d'un éventuel embâcle pouvant réduire leurs capacités.

4.9. SCENARIO 2 – Q100 DONNEES D'ENTREES

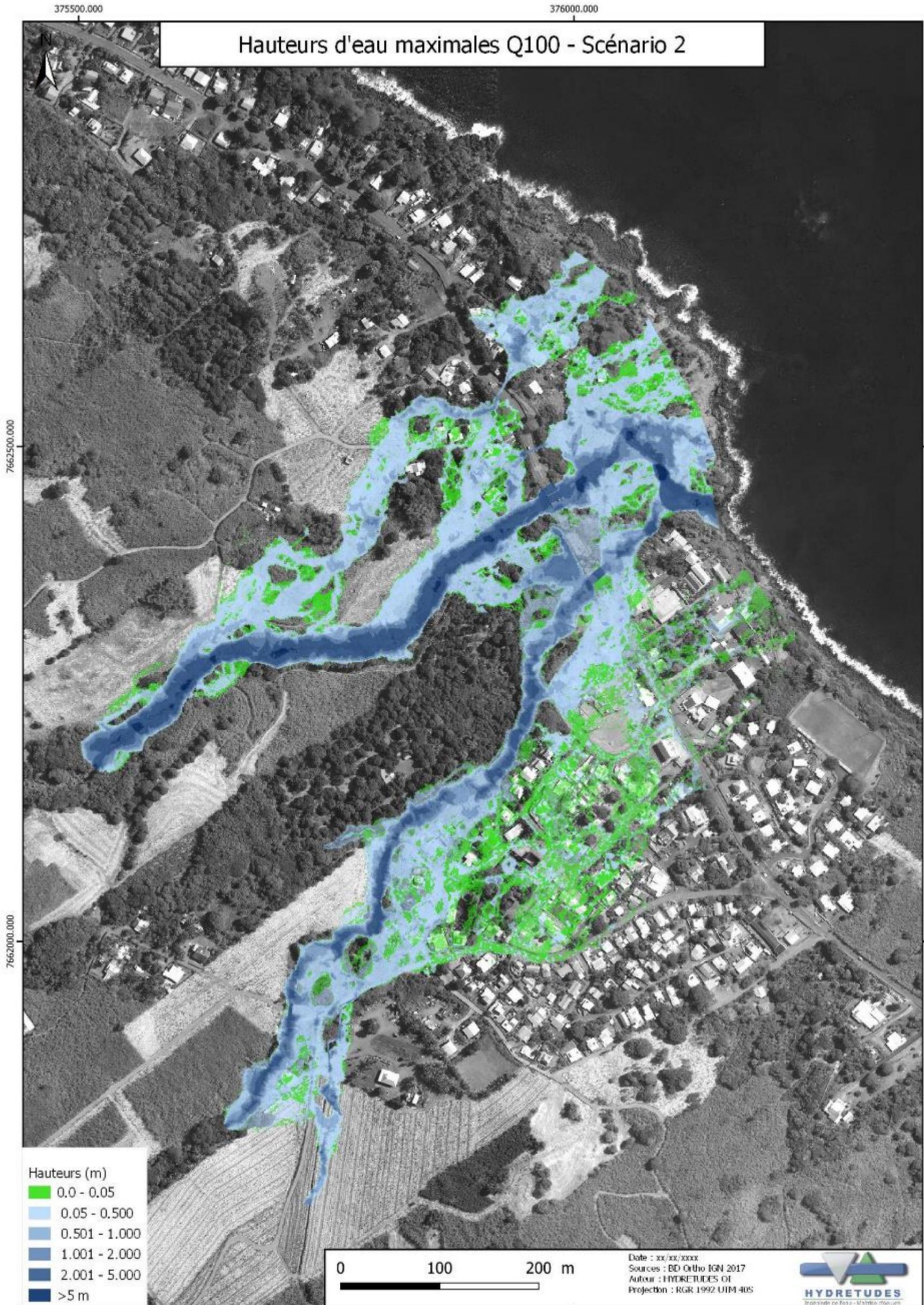


Figure 41 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Scénario 2

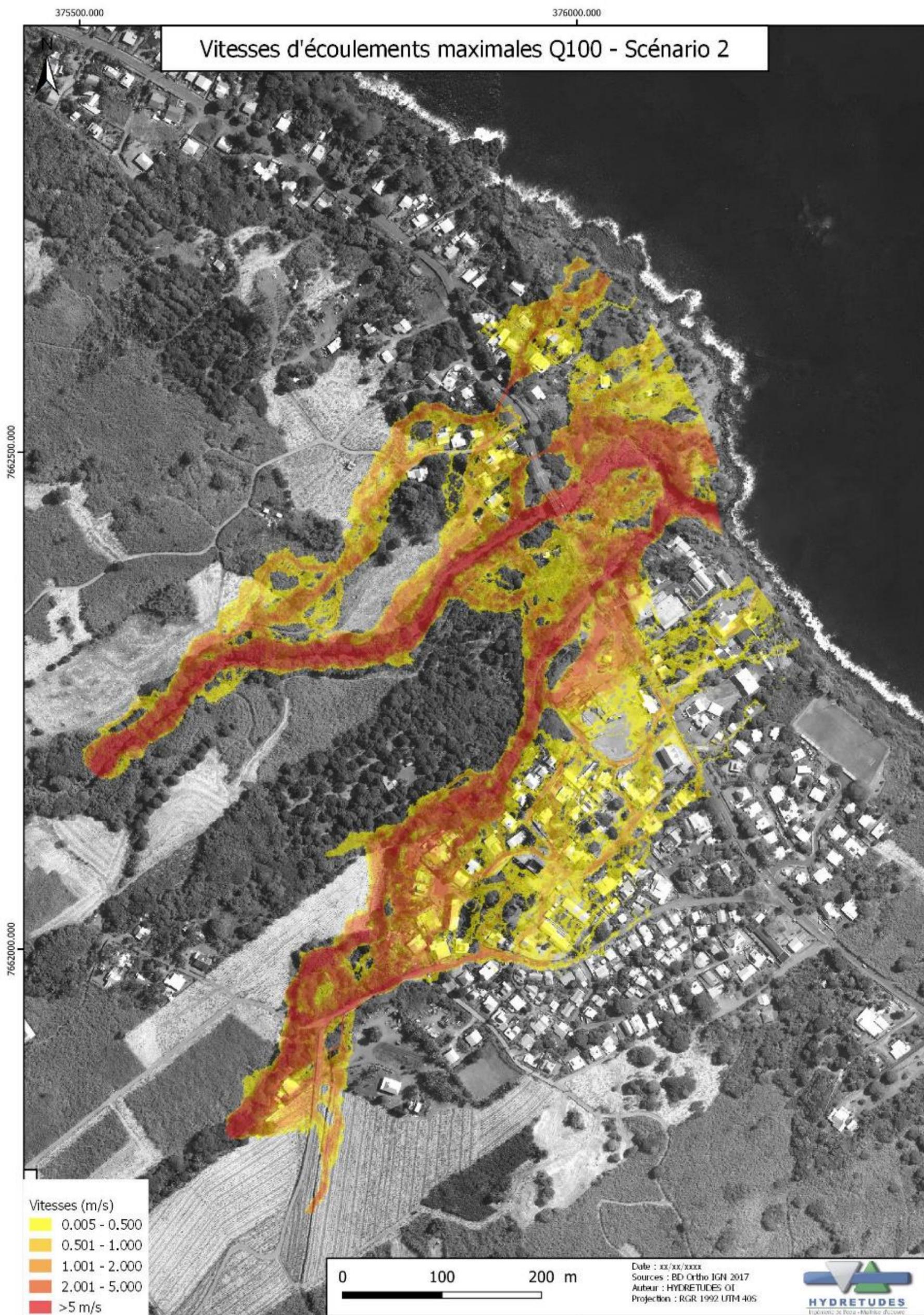


Figure 42 : Cartographie des vitesses d'écoulements maximales - Scénario 2

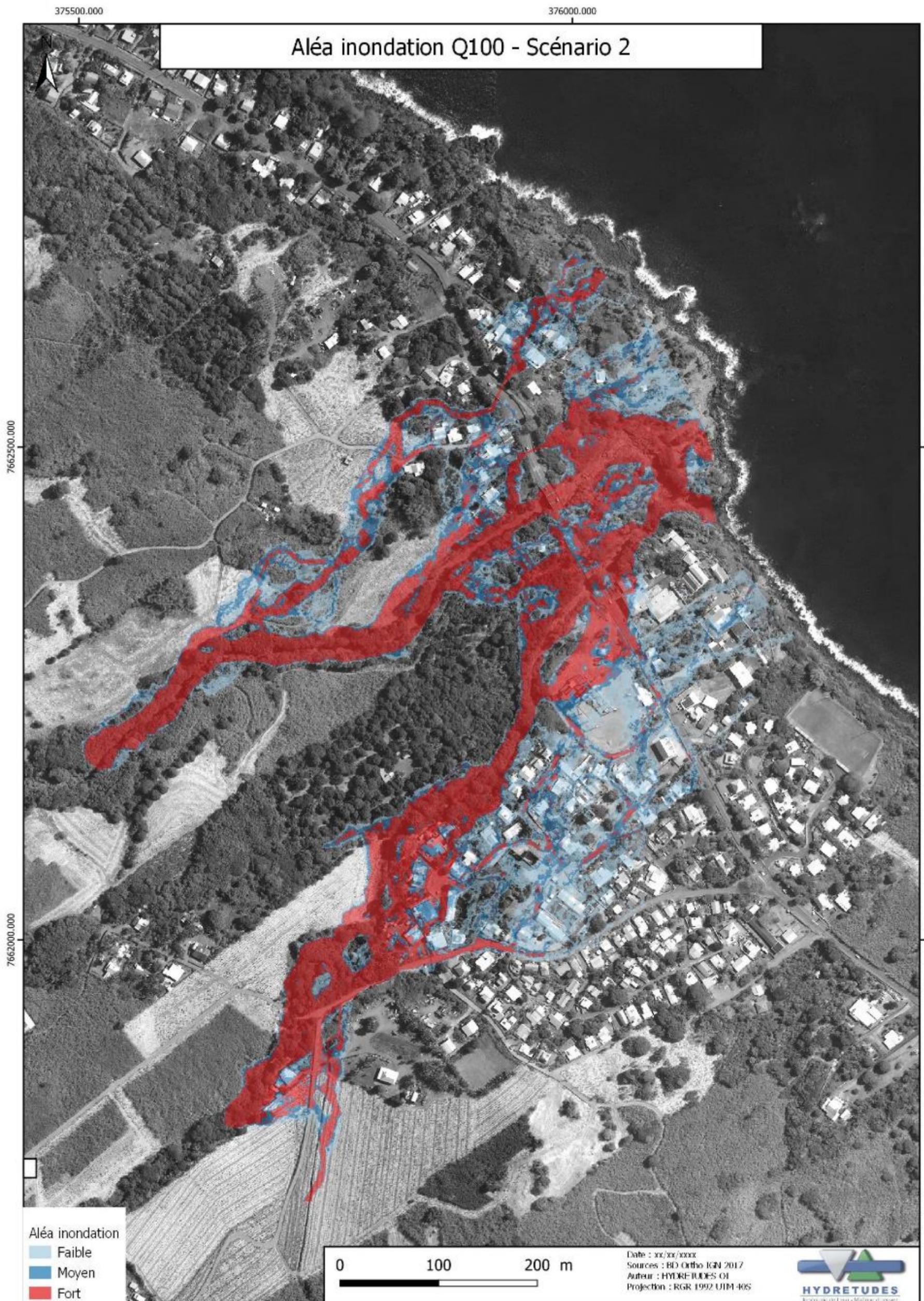


Figure 43 : Cartographie des aléas inondations - Scénario 2

4.9.1. ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE LA CRUE CENTENNALE – SCENARIO 2

Les figures ci-dessous décrivent la cinétique de la crue centennale des ravines et de leurs affluents sur le secteur Ravine Glissante.

Cette cinétique est globalement similaire à celle du scénario 1, hormis des débordements plus importants en rive droite de la Petite Ravine Glissante (débit plus de 2 fois supérieur au scénario 1).



T = 7min : Début de la crue des ravines du secteur Ravine Glissante. Les écoulements de l'affluent rive droite de la Petite Ravine Glissante sont assez diffus en amont (topographie peu précise).

T = 10min : Les écoulements de l'affluent commencent à déborder sur le chemin Badamier avant de rejoindre la Petite Ravine Glissante.



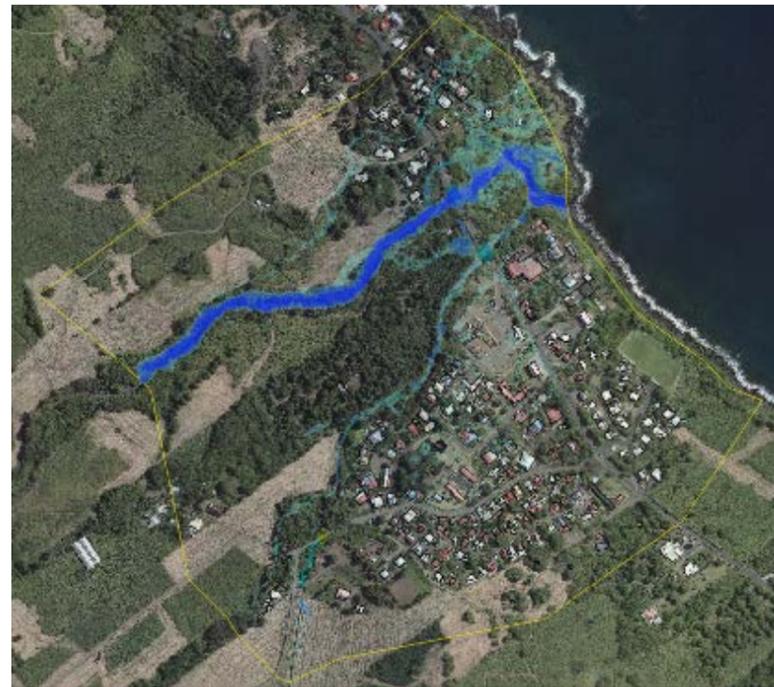
T = 15min : Les débordements s'amplifient et touchent les habitations à proximité immédiate de la berge rive droite de la Petite Ravine Glissante. Un nouveau front de débordement est visible rive droite, qui traverse la plateforme cannière avant de retourner dans le lit mineur de la ravine au droit de l'ouvrage de la RN2.

T = 30min : Les débordements de l'affluent continuent leur progression vers le chemin Badamier. Contrairement au scénario 1, même si les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulements restent faibles, elles ne se cantonnent pas aux axes routiers et viennent inondés les habitations à proximité.



T = 50min : Le pic de crue de la Petite Ravine Glissante est passé mais la zone inondable continue de s'aggrandir. La quasi-totalité des habitations entre le chemin Badamier et la Petite Ravine Glissante sont concernées. Les 1ers fronts de débordements commencent à apparaître sur la Grande Ravine Glissante.

T = 1h15 : Pic de crue de la Grande Ravine Glissante. Les débordements s'intensifient sur tout le linéaire. Les débordements rive gauche progressent et inondent le quartier de La Cayenne. Décrue de la Petite Ravine Glissante



T = 2h : Décrue de la Grande Ravine Glissante. Les derniers écoulements issus des débordements rejoignent l'océan.

Figure 44 : Cinétique de la crue centennale des ravines du secteur de la Ravine Glissante – scénario 2

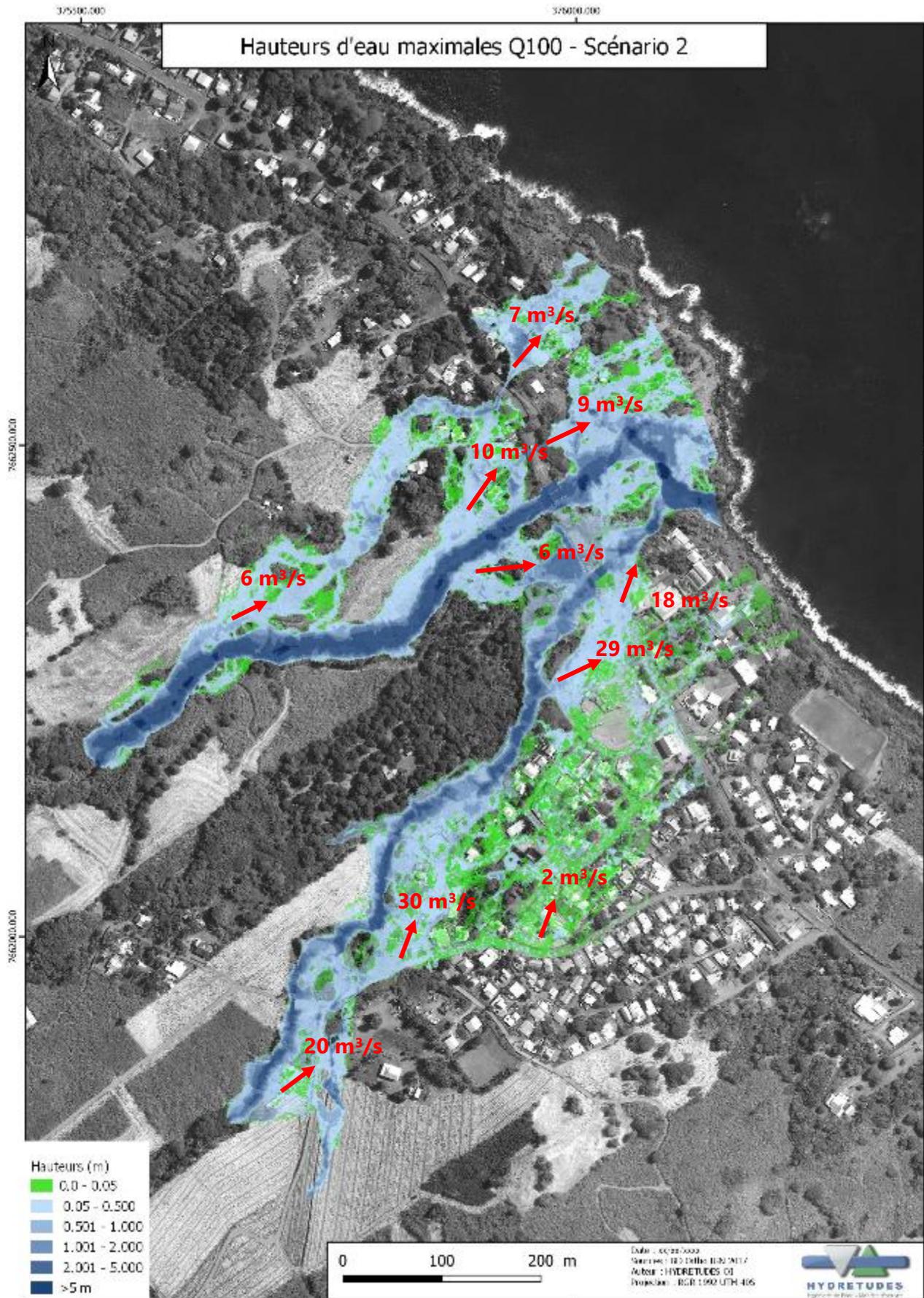


Figure 45 : Quantitatif des débordements - scénario 2

4.9.2. SYNTHÈSE DES HAUTEURS D'EAU ET DÉBITS ATTEINTS AU DROIT DES DIFFÉRENTS OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT – SCENARIO 2

Le tableau ci-dessous présente les contraintes hydrauliques au droit de chaque ouvrage de franchissement sur le secteur d'étude (cf. Figure 16 : Localisation des ouvrages de franchissements du secteur de Ravine Glissante)

Ouvrages de franchissement	Débit maximal (m ³ /s)	Hauteur d'eau maximale (m)	Vitesse maximale (m/s)	Revanche disponible avant débordement (m)
OH0	9	1.6	2.5	1.4
OH1	310	3.3	8.5	1.5
OH2	118	3.4	7	0.1
OH3	6	1	4	0
OH4	7	2	1.5	0
OH5	7	2	1.5	0
OH6	7	2	1.5	0
OH7	63	2.6	6	0

Tableau 14 : Synthèse des contraintes hydrauliques au droit des ouvrages hydrauliques recensés – scénario 2

4.9.1. CONCLUSION – SECTEUR RAVINE GLISSANTE

Les modélisations hydrauliques permettent de comprendre la cinétique globale des crues centennales des ravines du secteur Ravine Glissante.

Les différences significatives dans le calcul des débits de projet entre l'étude et les données d'entrées ont des conséquences sur certains secteurs :

- Les habitations à proximité immédiate de la rive droite de la Petite Ravine Glissante sont en aléa fort (aléa faible à moyen pour le scénario 1) ;
- Les habitations entre le chemin Badamier et la ravine sont quasiment toutes impactées par un aléa faible ;
- La plateforme cannière est entièrement inondée, avec des débits importants.

Sur ce secteur, la topographie est globalement satisfaisante. Les points de faiblesses ont pu être corrigés à partir de l'analyse de terrain.

Même si une topographie plus précise aurait été préférable, les données utilisées et les résultats obtenus semblent cohérents et utilisables pour servir de support à une modification de l'aléa inondation (hors secteur La Cayenne).

Après échange avec le MOA, il a été décidé d'utiliser le scénario 1 pour établir les nouvelles cartes d'aléa inondation.

4.10. RESULTATS DE LA MODELISATION – SECTEUR BOIS BLANC

Les résultats des modélisations d'une crue centennale dans la situation actuelle du site (état dit initial), sont représentés et analysés sur les figures ci-dessous. Ils ont permis de mettre en évidence les paramètres caractéristiques des écoulements induits.



Figure 46 : Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale – Scénario 3

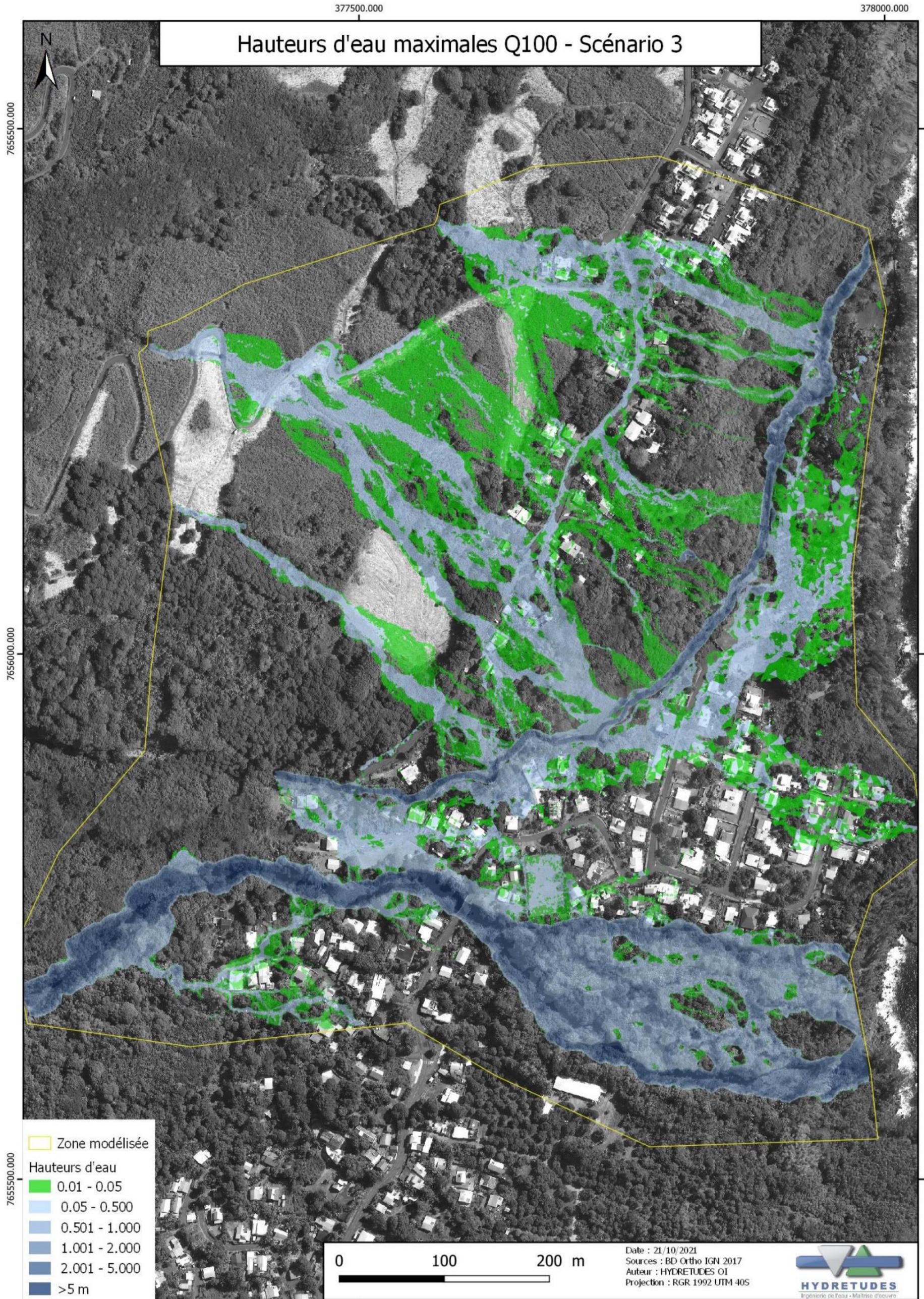


Figure 47 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales – Scénario 3

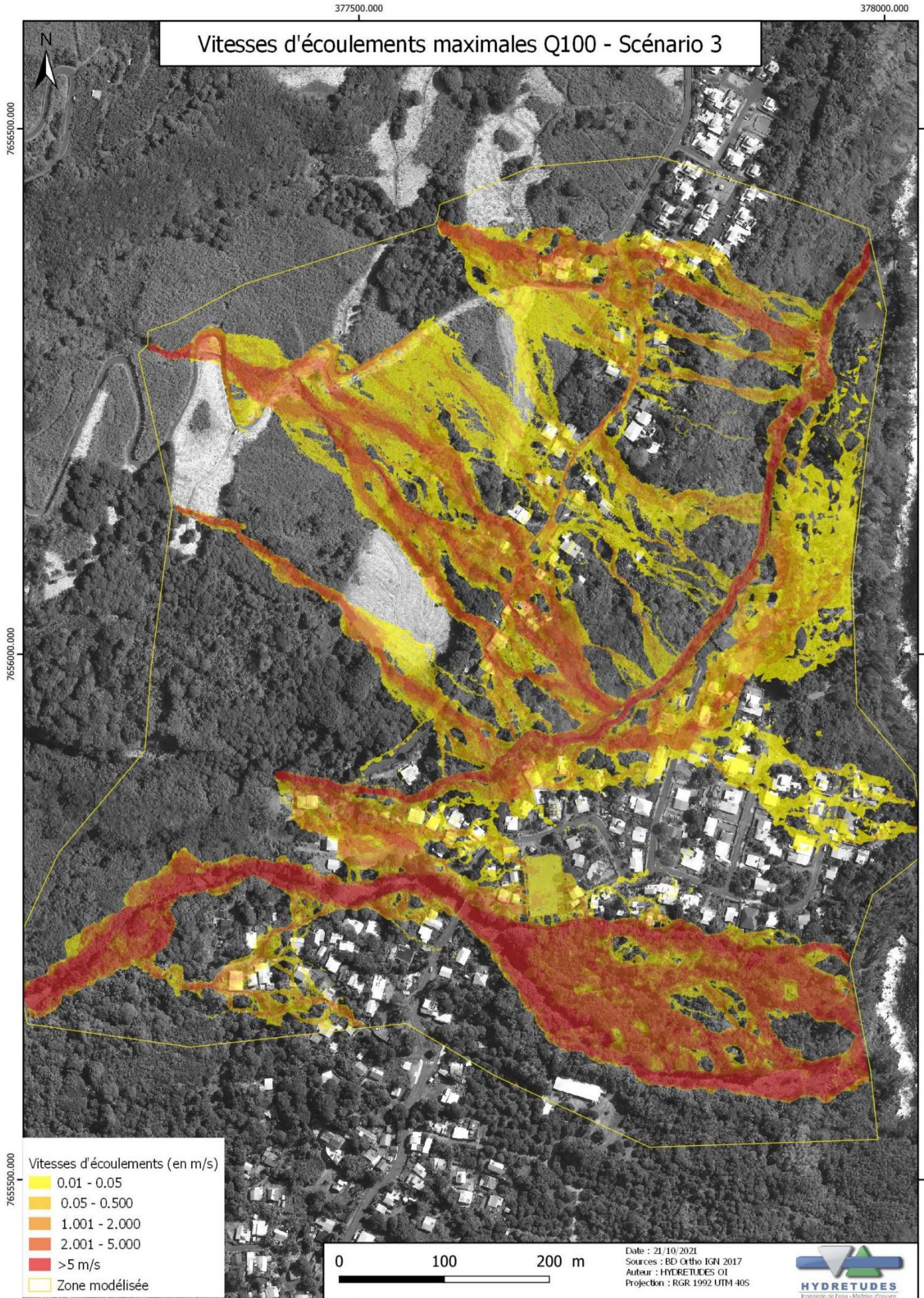


Figure 48 : Cartographie des vitesses d'écoulements maximales - Scénario 3

377500.000

378000.000

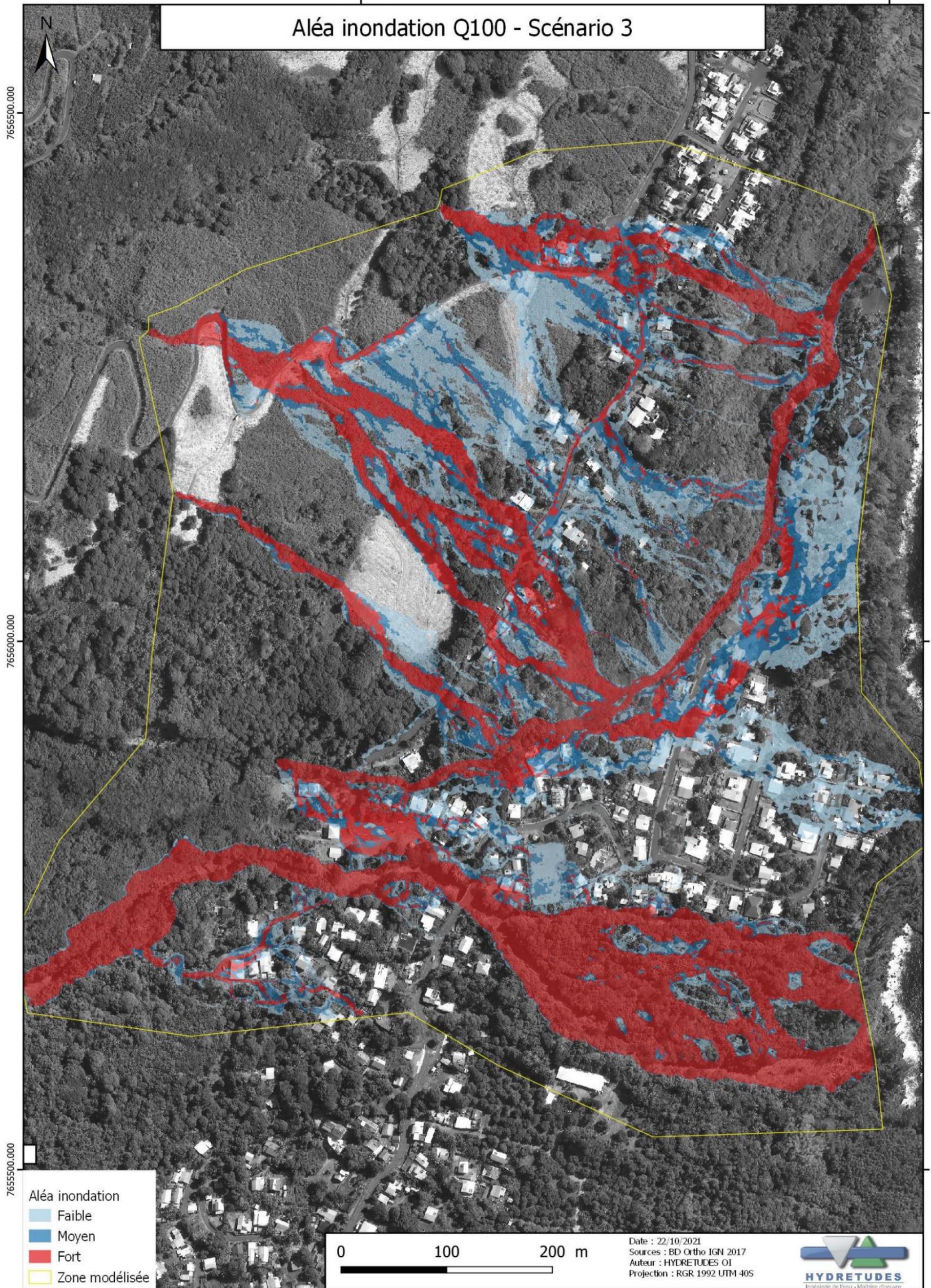


Figure 49 : Cartographie des aléas inondations - Scénario 3

4.10.1. ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE LA CRUE CENTENNALE – SCENARIO 3

Les figures ci-dessous décrivent la cinétique de la crue centennale des ravines et de leurs affluents sur le secteur Bois Blanc.



T = 3min : Début de la crue des ravines du secteur Bois Blanc.



T = 10min : Pic de crue des affluents 1 à 3. Les écoulements sont diffus et les ouvrages de transparence tous en charge. La RN2 est largement impactée par ces écoulements. Même si la topographie est peu précise sur ces axes d'écoulements, les résultats semblent cohérents. On observe le 1^{er} débordement de la ravine Constantin vers le Lot. La Source au niveau de la confluence avec l'Affluent 1. La Ravine Bois Blanc se divise en 2 bras en aval de l'OH1



T = 30min : Décrue des affluents mais pic de crue de la Ravine Constantin. Les débordements en rive droite se multiplient : en amont de l'OH2 vers la Ravine Bois Blanc, en aval de l'OH2 et à la confluence avec l'affluent 2. Ce dernier inonde une partie des habitations du quartier en aval.



T = 1h : Décrue de la Ravine Constantin. Le pic de crue de la Ravine Bois Blanc n'est pas encore atteint mais des débordements apparaissent au droit de l'OH1, ainsi qu'en amont rive droite.



T = 1h10 : Pic de crue de la Ravine Bois Blanc. Les débordements observés s'amplifient et inondent quelques habitations ainsi que le stade.

T = 2h : Décrue de la Ravine Bois Blanc. Les débordements ont disparu. La ravine Constantin n'est plus en eau.



T = 3h30 : Décrue de la Grande Ravine Glissante. Les derniers écoulements issus des débordements rejoignent l'océan.

Figure 50 : Cinétique de la crue centennale des ravines du secteur Bois Blanc – scénario 3

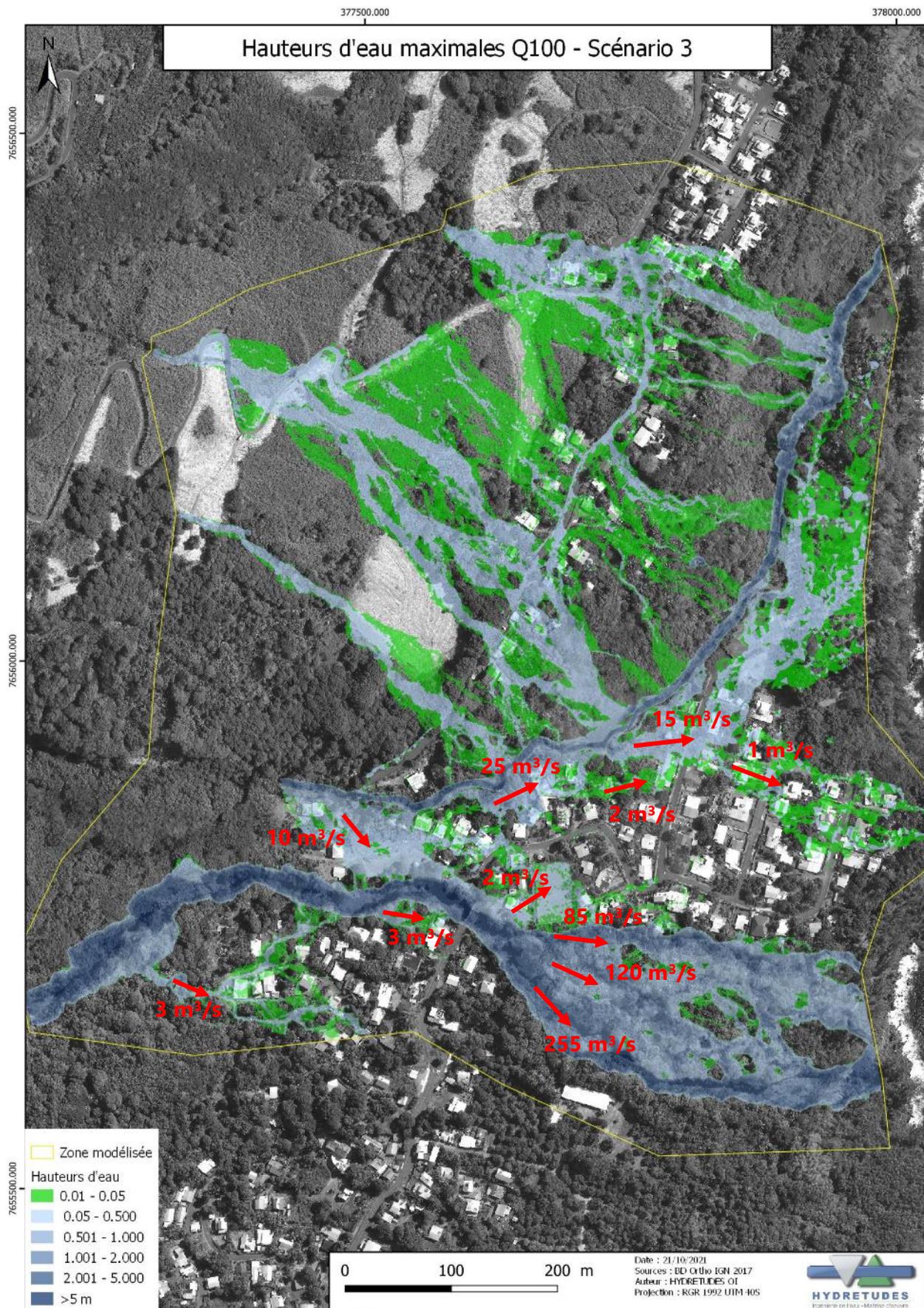


Figure 51 : Quantitatif des débordements - scénario 3

4.10.2. ANALYSE DES RESULTATS

Après une première itération avec la topographie de base (résultats présentés ci avant), plusieurs points peuvent être analysés :

- Les écoulements de la Ravine Bois Blanc sont plutôt cohérents, avec un débordement rive droite en amont, présent dans l'ancien PPR mais absent du PAC de 2021. Ce débordement a été confirmé suites aux échanges avec les riverains sur le terrain ;
- Des débordements sont également visibles au droit du franchissement de la RN2 (OH1), en amont rive droite (~3m³/s) et en aval rive gauche vers le stade (~2m³/s). Ces écoulements impactent plusieurs habitations avant de rejoindre le lit de la Ravine Bois Blanc ;
- Les écoulements des affluents de la ravine Constantin sont diffus, ce qui semble vraisemblable au regard de la topographie et de la faible capacité des ouvrages hydrauliques présents, tous largement sous dimensionnés pour une crue centennale ;
- Au niveau de la ravine Constantin, on observe :
 - o Un débordement rive droite en amont de l'ouvrage de transparence sous la RN2 d'environ 10m³/s, dû à une capacité insuffisante du lit mineur. L'ouvrage hydraulique est également en charge.
 - o Ce débordement traverse la RN et rejoint la ravine Bois Blanc environ 100m en aval. Il existe donc une connexion entre ces 2 bassins versants ;
 - o Un deuxième front de débordement rive droite au niveau de la confluence avec le BV « affluent 1 ». Ce débordement, d'environ 25m³/s, impacte quelques habitations mais retourne rapidement dans le lit en aval ;
 - o Un troisième front de débordement rive droite au niveau de la confluence avec le BV « affluent 2 ». Ce débordement, d'environ 15m³/s, s'écoule en partie sur la rue du Lot. La Source puis la route Forestière avant de rejoindre la mer. L'autre partie s'écoule directement vers la mer en traversant la rue du Lot. Les Vacoas

4.10.3. SYNTHÈSE DES HAUTEURS D'EAU ET DÉBITS ATTEINTS AU DROIT DES DIFFÉRENTS OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT – SCENARIO 3

Le tableau ci-dessous présente les contraintes hydrauliques au droit de chaque ouvrage de franchissement sur le secteur d'étude (cf. Figure 16 : Localisation des ouvrages de franchissements du secteur de Ravine Glissante)

Ouvrages de franchissement	Débit maximal (m ³ /s)	Hauteur d'eau maximale (m)	Vitesse maximale (m/s)	Revanche disponible avant débordement (m)
OH1		4.8	10	0
OH2		3.5	5	0
OH3	3	1	4	0
OH4	1	0.8	4	0

OH5	4	1	4	0
OH6	2	0.8	4	0
OH7	1	0.8	4	0
OH8	1	0.8	4	0
OH9	1	0.8	4	0

Tableau 15 : Synthèse des contraintes hydrauliques au droit des ouvrages hydrauliques recensés – scénario 3

Pour rappel, les ouvrages hydrauliques n'ont pas fait l'objet d'un levé topographique par un géomètre et ont donc été levés manuellement lors du diagnostic terrain.

Les sections ont pu être recensées de manière relativement précise, ce qui n'est pas le cas de leurs pentes (matériel topographique adapté nécessaire).

La pente étant un facteur directement lié à la capacité de l'ouvrage, il convient donc de prendre en considération ces imprécisions dans la lecture des résultats.

Ces résultats ne tiennent également pas compte du débit solide ou d'un éventuel embâcle pouvant réduire leurs capacités.

4.10.4. CONCLUSION SECTEUR BOIS BLANC

Les modélisations hydrauliques permettent de comprendre la cinétique globale des crues centennales des ravines du secteur Bois Blanc.

Après échange avec le MOA, il a été décidé d'utiliser uniquement les débits calculés dans la présente étude.

Sur ce secteur, la topographie est globalement satisfaisante. Les points de faiblesses ont pu être corrigés à partir de l'analyse de terrain et du levé topographique complémentaire du lit mineur de la Ravine Constantin.

Les données utilisées et les résultats obtenus semblent cohérents et utilisables pour servir de support à une modification de l'aléa inondation.

NOS DOMAINES D'ACTIVITÉS

UNE EXPERTISE DE L'EAU COMPLETE — ET UN ACCOMPAGNEMENT SUR MESURE

Rivières, lacs et torrents

Prévention, prévision, protection, gestion du risque inondation,
Expertise post crue, gestion de crise.
Gestion sédimentaire.
Réalisation d'ouvrages de protection des biens et des personnes
(Barrages, digues, ouvrages de franchissement).

Environnement et écologie

Renaturation & valorisation des cours d'eau et milieux associés.
Développement durable.
Protection des milieux.
Continuité écologique.

Réseaux

Production, stockage & distribution d'eau potable.
Assainissement & épuration des eaux usées.
Gestion des eaux pluviales.
Conception et gestion des aménagements
D'irrigation et d'enneigement.

Topographie

Topographie de rivières, de réseaux.
Récolement.

Contact :

contact@hydretudes.com

www.hydretudes.com



Flânez et visitez notre site

