



ACCORD CADRE PORTANT SUR DES MISSIONS DE SURVEILLANCE, ENTRETIEN, DIAGNOSTIC ET MAITRISE D'ŒUVRE PARTIELLE SUR LES OUVRAGES DE PREVENTION DES INONDATIONS DE LA CIVIS (GEMAPI)

Étude préliminaire PAPI Saint Pierre : la ravine des Cabris



Septembre 2024



HYDRETTUDES OI
45,rue Lorion
97410 SAINT-PIERRE

Date du document	18/09/2024
Contact	Karl LEMARCHAND /Jonas PIALOUX

Titre du document	Étude préliminaire PAPI Saint Pierre : la ravine des Cabris
Référence du document :	A01086_MBC_GEMAPI_CIVIS_Lot2_EP_RDC_v2.docx
Indice :	2

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
10/10/2022	1	Version initiale	KL	MC
19/09/2024	2	Version définitive	KL	JP

ACCORD CADRE PORTANT SUR DES MISSIONS DE SURVEILLANCE, ENTRETIEN, DIAGNOSTIC ET MAÎTRISE D'ŒUVRE PARTIELLE SUR LES OUVRAGES DE PRÉVENTION DES INONDATIONS DE LA CIVIS (GEMAPI)

Étude préliminaire PAPI Saint Pierre : la ravine des Cabris

PRÉAMBULE	1
1 CONTEXTE ET OBJECTIFS	2
1.1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE ET DU TERRITOIRE	2
1.1.1 Contexte et enjeux.....	2
1.1.2 Secteur d'étude	2
1.1.3 Le Système d'Endiguement (SE) selon l'arrêté de 2013	3
1.2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	5
2 DONNEES DISPONIBLES ET ANALYSE CRITIQUE	5
2.1 PGRI (PROGRAMME DE GESTION DES RISQUES INONDATIONS) DES BASSINS VERSANTS DE LA PLANEZE TAMPON / SAINT-PIERRE	5
2.2 ÉTUDE DE FAISABILITE HYDRAULIQUE DE LA SUPPRESSION DES DEBORDEMENTS DE LA RAVINE DES CABRIS ET DU BRAS D'ANTOINE ENTRE LE 17EME KM ET LA LIGNE DES 400	13
2.3 ÉTUDE HYDRAULIQUE RELATIVE AU PROJET DE RENOUVELLEMENT URBAIN DU QUARTIER DE BOIS D'OLIVE 17	
2.4 CONCLUSION SUR LES DONNEES A ACQUERIR	19
3 ÉTUDE HYDRAULIQUE GLOBALE DE LA RAVINE DES CABRIS DE LA LIGNE DES 400 A L'OCEAN	21
3.1 TRAVAIL SUR LA DEFINITION D'UN SE POUR LA RAVINE DES CABRIS SUR LE TERRITOIRE DE LA CIVIS	22
3.2 ANALYSES DES IMPACTS DES AMENAGEMENTS PROPOSES SUR LA COMMUNE DU TAMPON SUR LE TERRITOIRE DE SAINT-PIERRE	30
3.3 DEFINITION DES AMENAGEMENTS EN COHERENCE AVEC LES ACTIONS IDENTIFIEES AU PAPI	36
3.3.1 Description des aménagements proposés.....	37
3.3.2 Résultats de la modélisation état projet avec mesures compensatoires.....	42
3.3.3 Chiffrage sommaire des aménagements proposés	44
3.3.4 Conclusion sur les aménagements proposés.....	46
4 CONCLUSION DE L'ÉTUDE PRELIMINAIRE	47

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la commune de Saint-Pierre, de la ravine des Cabris et de la zone d'étude.....	2
Figure 2 : Localisation des ouvrages recensés dans l'arrêté n°1498/SG/DRCTCV du 20 Août 2013 relatifs au classement des digues existantes à Saint-Pierre.....	4
Figure 3 : Fiche action 5.9.5 : SP - limiter les débordements de la ravine des Cabris (PAPI, 2016)	8
Figure 4 : Source topographique utilisée dans la modélisation hydraulique (PGRI, 2009)	10
Figure 5 : Couverture photogrammétrique disponible (PGRI, 2009).....	11
Figure 6 : Comparaison des aléas modélisés via LIDAR et des aléas du PPRi en vigueur (issus du PGRI).....	12
Figure 7 : Comparaison des hydrogrammes à l'état initial (en vert) et à l'état projet (en rouge) – Ravine des Cabris – Q ₃₀ au droit de la RD400	15
Figure 8 : Comparaison des hydrogrammes à l'état initial (en vert) et à l'état projet (en rouge) – Ravine des Cabris – Q ₁₀₀ au droit de la RD400.....	16
Figure 9 : Comparaison des hydrogrammes à l'état initial (en vert) et à l'état projet (en rouge) – Bras d'Antoine – Q ₃₀ au droit de la RD400	16
Figure 10 : Comparaison des hydrogrammes à l'état initial (en vert) et à l'état projet (en rouge) – Bras d'Antoine – Q ₁₀₀ au droit de la RD400.....	16
Figure 11 : Hydrogrammes (Q ₁₀₀) injectés dans le modèle – injections intermédiaires (HYDRETUDES OI 2021).	17
Figure 12 : Localisation des injections intermédiaires et architecture du modèle (HYDRETUDES OI 2021).....	18
Figure 13 : Zone de LIDAR à relever	20
Figure 14 : Localisation des ouvrages et des types de berges relevées durant la VTS.....	23
Figure 15 : Exemple de zones arasées en rive gauche et en rive droite	24
Figure 16 : Localisation des modifications du MNT réalisées – scénario n°2	25
Figure 17 : Localisation des murs supprimés – scénario n°2.....	26
Figure 18 : Localisation des secteurs de berge ayant un rôle hydraulique de protection contre la crue centennale de la Ravine des Cabris (1/2).....	28
Figure 19 : Localisation des secteurs de berge ayant un rôle hydraulique de protection contre la crue centennale de la Ravine des Cabris (2/2).....	29
Figure 20 : Hauteurs d'eau atteintes en m – scénario n°3 : Q100 yc aménagements du Tampon à l'état initial – carte n°4.....	31
Figure 21 : Comparaison de l'emprise des zones inondables avec et sans les aménagements réalisés sur la commune du Tampon : Q100 – carte n°2	32
Figure 22 : Comparaison des valeurs de hauteurs d'eau maximum avec et sans les aménagements réalisés sur la commune du Tampon : Q100 – carte n°3	33
Figure 23 : Comparaison des valeurs de vitesses d'écoulement maximums avec et sans les aménagements réalisés sur la commune du Tampon : Q100 – carte n°3	34
Figure 24 : Comparaison des profils en long du radier Marcel Hoareau à l'état initial et à l'état projet.....	37
Figure 25 : Comparaison du MNT à l'état initial à gauche et à l'état aménagé à droite au droit du radier Marcel Hoareau	37
Figure 26 : Localisation des aménagements proposés pour supprimer les débordements dans le secteur du radier du chemin Diagonale	39
Figure 27 : Profil type de l'aménagement (partie déroctage du lit mineur) – Scénario 1 avec stabilisation du lit mineur et des berges jusqu'à la hauteur d'eau Q ₁₀₀ en enrochements liés	40
Figure 28 : Comparaison des profils en long à l'état initial et à l'état projet	41
Figure 29 : Comparaison des profils en travers PT1 à l'état initial et à l'état projet	41
Figure 30 : Hauteurs d'eau atteintes en m - Q100 yc aménagements du Tampon - à l'état projet.....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des ouvrages recensés dans l'arrêté n°1498/SG/DRCTCV du 20 Août 2013 relatifs au classement des digues existantes à Saint-Pierre	3
Tableau 2 : Comparaison des débits à l'état initial et à l'état projet au droit de la ligne des Quatre Cents	15
Tableau 3 : Estimation des travaux à réaliser au droit et en aval du radier du chemin Marcel Hoareau	44
Tableau 4 : Estimation des travaux à réaliser au droit, en amont et aval du radier du chemin Diagonale – scénario 1 avec stabilisation du lit mineur en enrochements liés	45
Tableau 5 : Estimation des travaux à réaliser au droit, en amont et aval du radier du chemin Diagonale – scénario 2 sans stabilisation du lit mineur en enrochements liés	45

PREAMBULE

La CIVIS est gestionnaire d'ouvrages de prévention pour les inondations sur un linéaire total d'environ 20 km regroupé sur les communes de Saint-Pierre, Saint-Louis, L'Etang-Salé, Petite-île, les Avirons et Cilaos.

La CIVIS doit donc s'assurer que ces ouvrages ne présentent pas de défauts d'entretien jusqu'à leur autorisation en système d'endiguement.

Pour cela, la CIVIS a lancé un appel d'offre pour un accord cadre d'une durée de 4 ans afin de l'accompagner sur les missions de surveillance, entretien, diagnostic et maîtrise d'œuvre partielle de ces ouvrages de prévention des inondations.

Le groupement BRLi et HYDRETTUDES est attributaire du lot 02 autour de la commune de Saint Pierre.

Ce lot comprend les principaux ouvrages suivants :

- Intercepteur T5,
- Dérivation Ravine des Trois Mares,
- Ravine des Cabris RD 38,
- Ravine des Cabris RD28,
- Ravine Blanche aval RN3,
- Ravine Blanche RD38.

Le présent rapport constitue le rapport de l'étude préliminaire du PAPI concernant la ravine des Cabris sur le territoire de la CIVIS.



1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE ET DU TERRITOIRE

1.1.1 Contexte et enjeux

Le présent document s'inscrit dans le cadre des opérations du PAPI de Saint-Pierre qui comprend notamment la fiche action 5.9.5 : 3 fiches d'actions : limiter les débordements de la ravine des Cabris sur le territoire de Saint-Pierre. Le présent document concerne l'Étude préliminaire de cette fiche.

1.1.2 Secteur d'étude

Saint-Pierre est une commune située au Sud-Ouest de la Réunion dans la partie sous le vent. Elle est limitée à l'ouest par la rivière Saint-Étienne, à l'Est par la ravine de l'Anse et au Nord par une ligne conventionnelle suivant approximativement la côte 400. Cette commune s'étend sur une superficie d'environ 96 km², présente une population de 84 063 habitants (Insee 2015) et se compose de 14 quartiers, dont celui de la ravine des Cabris.

La Ravine Blanche draine un bassin versant de 36,3 km² pour un linéaire de 26km et qui constitue la plus importante ravine drainant la plaine des Cabris. (Source : Rapport de présentation de la cartographie du risque inondation sur le territoire à risque important – DEAL).

Le secteur d'étude est étendu de la ligne des Quatre Cents jusqu'à l'Océan le long du Bras d'Antoine et de la ravine des Cabris.

2

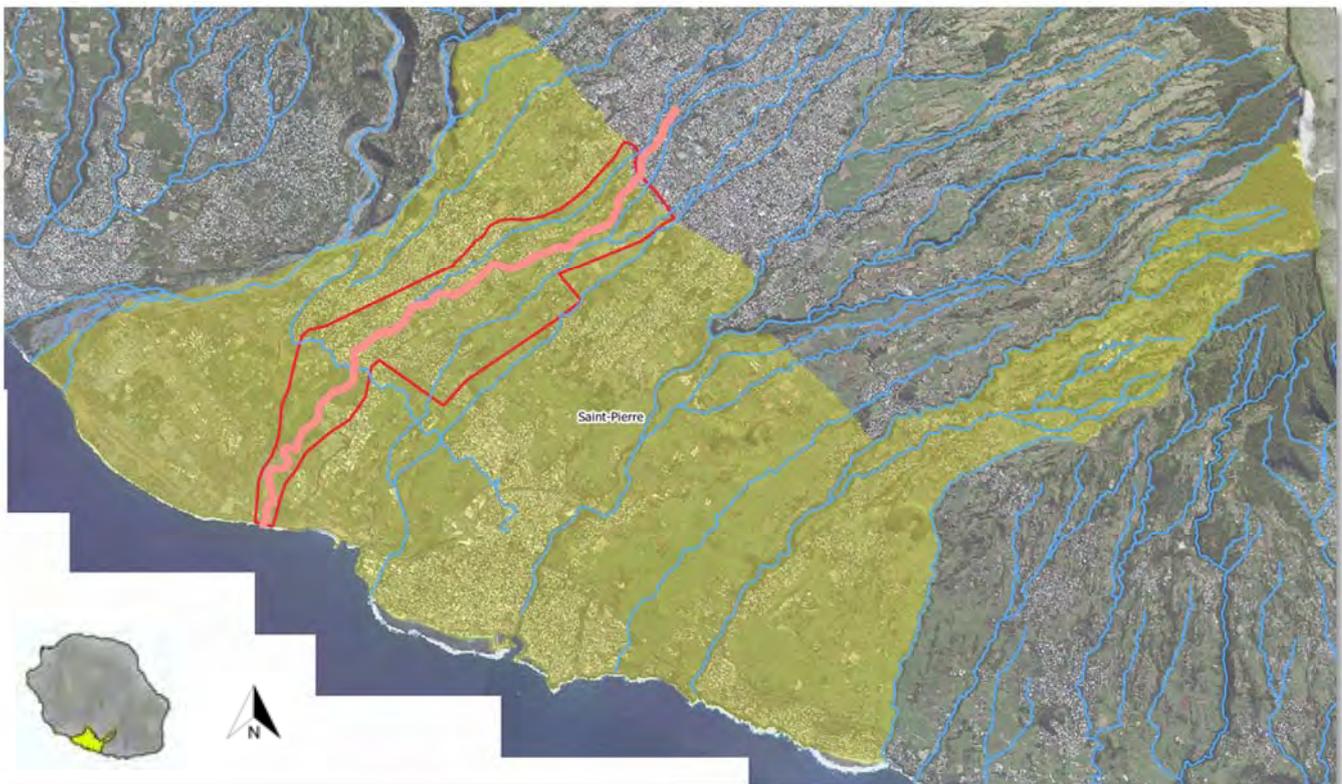


Figure 1 : Localisation de la commune de Saint-Pierre, de la ravine des Cabris et de la zone d'étude



1.1.3 Le Système d'Endiguement (SE) selon l'arrêté de 2013

Les données générales du SE sont :

- Commune : Saint-Pierre,
- Département : 97 – La Réunion,
- Maître d'ouvrage : Intercommunalité (CIVIS) depuis 1^{er} janvier 2018,
- Gestionnaire : Intercommunalité (CIVIS) depuis 1^{er} janvier 2018,
- Destination de l'ouvrage : Protection contre les crues de la Ravine des Cabris.

L'arrêté n°1498/SG/DRCTCV du 20 Août 2013 identifie les 4 ouvrages suivants sur la ravine des Cabris :

- FRD9740142 Endiguement de la ravine des Cabris - Aval RD38 – RD,
- FRD9740143 Endiguement de la ravine des Cabris - Aval RD38 – RG,
- FRD9740145 Aménagement de la ravine des Cabris - Aval RD28 – RD,
- FRD9740146 Aménagement de la ravine des Cabris - Aval RD28 – RG.

Ces ouvrages avaient été classés en classe D en 2007 et déclassés en 2015 (suppression classe D).

Code SIOUH	Nom de la digue	Nom de la Zone Protégée (ZP)	Surface ZP	Nbre d'habitants dans la ZP	Longueur de la digue (DEAL)
FRD9740142	ENDIGUEMENT RAVINE DES CABRIS-ST PIERRE- AVAL RD38	BOIS D'OLIVE-RD38 - RAVINE DES CABRIS	10-100 ha	1 000-9 999	390 m
FRD9740143	ENDIGUEMENT RAVINE DES CABRIS-STPIERRE-AVAL RD38 -	BOIS D'OLIVE-RD38 - RAVINE DES CABRIS	10-100 ha	1 000-9 999	450 m
FRD9740145	AMENAGEMENT RAVINE DES CABRIS- RD - AVAL RD28 / S	BOURG DE LA RAVINE DES CABRIS	10-100 ha	10-99	2_950 m
FRD9740146	AMENAGEMENT RAVINE DES CABRIS- RG - AVAL RD28 / ST	BOURG DE LA RAVINE DES CABRIS	10-100 ha	10-99	2_950 m

Tableau 1 : Caractéristiques des ouvrages recensés dans l'arrêté n° 1498/SG/DRCTCV du 20 Août 2013 relatifs au classement des digues existantes à Saint-Pierre

La carte suivante localise les ouvrages mentionnés dans cet arrêté.



Figure 2 : Localisation des ouvrages recensés dans l'arrêté n°1498/SG/DRCTV du 20 Août 2013 relatifs au classement des digues existantes à Saint-Pierre



1.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les objectifs de l'étude s'inscrivent dans le cadre de la fiche 5.9.5 du PAPI : mise en œuvre d'action pour limiter les débordements de la ravine des Cabris sur le territoire de Saint-Pierre.

L'étude préliminaire s'est déroulée en 2 temps.

Dans un 1^{er} temps, au démarrage du marché, une note a été réalisée. Cette note visait à :

- Analyser et critiquer les données relatives à l'élaboration de la fiche PAPI Saint-Pierre 5.9.5 : limiter les débordements de la ravine des Cabris,
- Identifier les données disponibles pour affiner la connaissance du fonctionnement hydraulique de la ravine des Cabris sur le territoire de Saint-Pierre et ensuite affiner/définir les travaux à réaliser,
- Identifier les données à acquérir.

Une fois la note réalisée, la CIVIS a missionné le groupement BRLi / HYDRETTUDES OI pour réaliser une étude hydraulique globale afin d'acquérir les connaissances nécessaires à la définition d'un système d'endiguement de la ravine des Cabris.

2 DONNEES DISPONIBLES ET ANALYSE CRITIQUE

Les données disponibles au démarrage du projet étaient les suivantes :

- Fiche PAPI 5.9 : SP - limiter les débordements de la ravine des Cabris. Cette fiche est issue du PGRI (Programme de Gestion des Risques Inondations) des bassins versants de la Planèze Tampon / Saint-Pierre,
- Étude de faisabilité hydraulique de la suppression des débordements de la ravine des Cabris et du Bras d'Antoine entre le 17^{ème} km et la ligne des 400 (yc modélisation) - (HYDRETTUDES OI 2018),
- Étude hydraulique relative au projet de renouvellement urbain du quartier de Bois d'Olive - Saint Pierre - Phase protocole Volet 2 préconisations projet BV ravine des Cabris (HYDRETTUDES OI 2021).

2.1 PGRI (PROGRAMME DE GESTION DES RISQUES INONDATIONS) DES BASSINS VERSANTS DE LA PLANEZE TAMPON / SAINT-PIERRE

Pour rappel, la Fiche PAPI 5.9 : SP - limiter les débordements de la ravine des Cabris issue du PGRI est la suivante :



FICHE ACTION N°5.9 : 5-SP – LIMITER LES DEBORDEMENTS RAVINE DES CABRIS

REDUCTION DE LA VULNERABILITE

FICHE ACTION N°5.9 : 5-SP – LIMITER LES DEBORDEMENTS RAVINE DES CABRIS (PGRI C16, C17, C18)

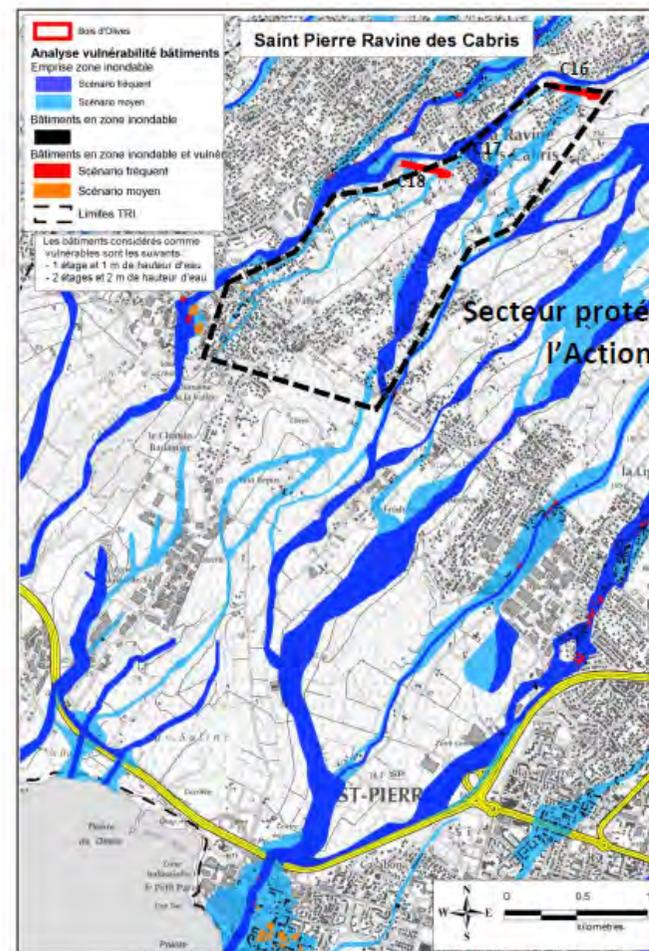
5.9.1 Quartiers concernés : Saint-Pierre -Ravine des Cabris

5.9.2 Maître d'ouvrage :

Commune Saint-Pierre

5.9.3 Enjeux impactés

	Crue moyenne	Crue fréquente
Estimation population	507	172
Bâtiments	225	90



FICHE ACTION N°5.9 : 5-SP – LIMITER LES DEBORDEMENTS RAVINE DES CABRIS

REDUCTION DE LA VULNERABILITE

5.9.4 Solutions proposées

Les actions proposées au PGRI visent à supprimer les débordements sur cette partie aval du lit de la Ravine des Cabris liés à la capacité insuffisante du lit mineur et limiter l'érosion du lit. Les actions proposées en amont du bassin versant, sur la commune du Tampon sont susceptibles de réduire les débits transitant sur le bief. Par ailleurs l'action d'amélioration des connaissances sur les capacités d'infiltration peut aussi conduire à optimiser le dimensionnement de ces ouvrages, c'est pourquoi cette action peut être réalisée en fin de programme à partir de 2019.

- Action C16 PGRI : Création d'un merlon de 140 ml éloigné en rive gauche en amont du chemin Marcel Hoareau



- Action C17 PGRI : Suppression des débordements en amont du chemin diagonale causés par un radier (déroctage en aval du seuil + reprise du radier sur 100 m



- Action C18 PGRI : Création d'un merlon de 140 ml éloigné en rive gauche au niveau du Chemin Joseph Avril



Travaux	Coûts Tvx	Coût total du projet	VAN
Merlon Chemin Marcel Hoareau	484 k€	618 k€	+ 852 k€
Reprise radier Chemin diagonale	246 k€	305k€	+ 1 307 k€
Merlon Chemin Joseph Avril	232 k€	299 k€	+ 261 k€
TOTAL	962 k€	1 222 k€	+ 2420 k€



FICHE ACTION N°5.9 : 5-SP – LIMITER LES DEBORDEMENTS RAVINE DES CABRIS

REDUCTION DE LA VULNERABILITE

5.9.5 Plan de financement

			Plan de financement			
			FEDER	Etat	Région	Maître d'ouvrage
Répartition	%	Coût (k€ HT)	70%	5%	5%	20%
Etudes et MOE	20%	240	168	12	12	48
Travaux	80%	960	672	48	48	192
Coût total	100%	1 200	840	60	60	240

5.9.6 Planning

			Echéancier (k€ HT)*				
			2017	2018	2019	2020	2021
Répartition	%	Coût (k€ HT)			Etudes	Autorisation	Tvx
Etudes et MOE	20%	240			120	60	60
Travaux	80%	960					960
Coût total	100%	1 200			120	60	1 020
Coût Maître d'ouvrage	20%	240			24	12	204
Budget **	20%	240			120	60	60

* Hors FCTVA

**Règles de financement POE : phase étude avancée intégralement par la collectivité

5.9.7 Documents sources

- PGRI, Etude générale du bassin à risques Tampon/Saint-Pierre, Phase 3.

5.9.8 Correspondance actions PGRI/SLGRI :

PGRI : C16, C17, C18 SLGRI : D1.5

5.9.9 Indicateurs POE

Source	N°Indicateur	Indicateurs	Occurrence fréquente	Occurrence Moyenne
POE 2014-2020 8.03 PGRI : actions de prévision, prévention et protection	IS09	Nb de bâtis protégés du fait des endiguements (cible POE = 1940 bâtis protégés)	90	240 (12,4%*)
	CO20	Population bénéficiant de mesures contre les inondations (cible POE = 4000 personnes)	172	507 (12,7%*)

*Taux de réalisation de l'objectif cible. Nombre de bâti = bâti dur de la couche PCI-Vecteur de la DGFIP

Figure 3 : Fiche action 5.9.5 : SP - limiter les débordements de la ravine des Cabris (PAPI, 2016)



Cette fiche indique donc 3 aménagements à réaliser sur la ravine des Cabris au droit de la commune de Saint-Pierre :

- Création d'un merlon de 140 ml éloigné en rive gauche en amont du chemin Marcel Hoareau,
- Suppression des débordements en amont du chemin diagonal causés par un radier (déroctage en aval du seuil + reprise du radier sur 100 m,
- Création d'un merlon de 140 ml éloigné en rive gauche au niveau du Chemin Joseph Avril.

Néanmoins, ces aménagements ont été définis via une modélisation réalisée sur l'ensemble de la Planèze Tampon / Saint-Pierre.

En effet, la définition du programme de gestion des risques inondation a été basée :

- Sur la réalisation d'un modèle pluie débit (données Météo France et méthode rationnelle),
- Sur la réalisation d'un modèle hydraulique 1D/2D via le logiciel MIKEFLOOD.

La topographie utilisée pour réaliser ce modèle hydraulique est basée sur les relevés de 561 profils en travers et de 80 ouvrages hydrauliques (radiers, ponts, buses, ...). Les linéaires en bleu page suivante représentent le réseau 1D lit mineur construit.

Le maillage utilisé pour la modélisation 2D est lui aussi issu de différentes sources topographiques disponibles : photogrammétrie AIGL 2006 et HELLIS 2004.

Le maillage est bâti sur une représentation de type grille régulière de **taille 20 m** et se compose ainsi de 335 000 mailles de calculs pour couvrir les 130 km² de la planèze.

Le coefficient de Strickler a été régionalisé sur l'ensemble de la grille 2D en fonction de l'occupation des sols (50 pour les voiries, 20 pour les cultures, 15 pour les forêts et 5 pour les zones urbanisées).

Lors de la réalisation du PGRI, les limites du modèle étaient indiquées, et notamment :

« Même si des levés complémentaires ont été réalisés, certaines ravines ne disposaient pas de levés topographiques terrestres des lits mineurs. La seule source utilisable était les photogrammétries (AIGL et Hellis). Ces levés n'offrent pas la même précision que les levés terrestres notamment sur les niveaux des berges souvent couverts de végétations et invisibles pour une prise de vue aérienne.

D'autre part, la densité spatiale des levés topographiques d'une part et la taille des mailles du domaine de modélisation 2D d'autre part ne permettent pas de représenter les obstacles locaux (merlons, rues, murs et murets...).

Ceci peut entraîner des incertitudes sur les surverses ou non et les axes d'écoulements qui pourraient avoir lieu dans certains secteurs. »

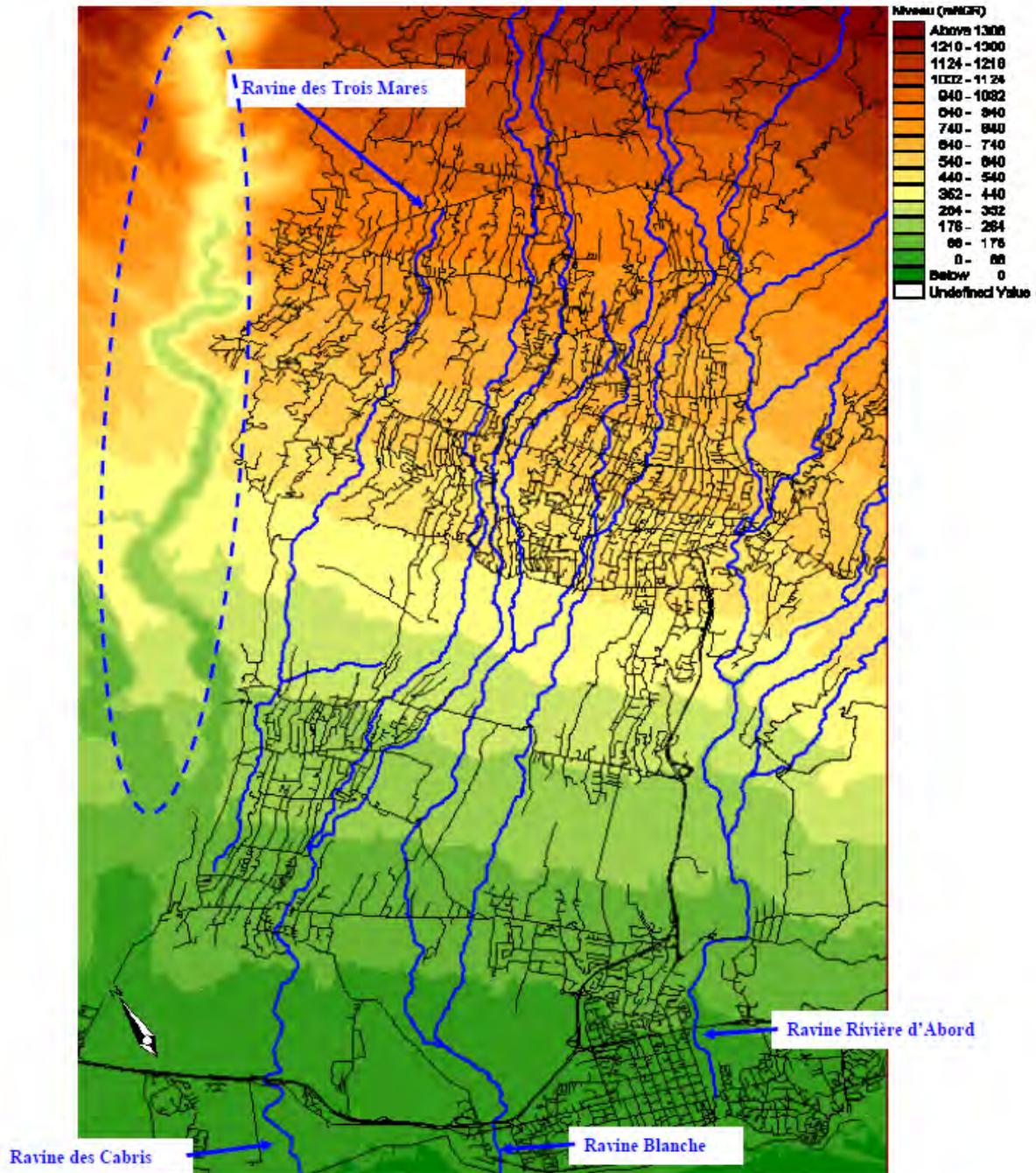


Figure 4 : Source topographique utilisée dans la modélisation hydraulique (PGRI, 2009)

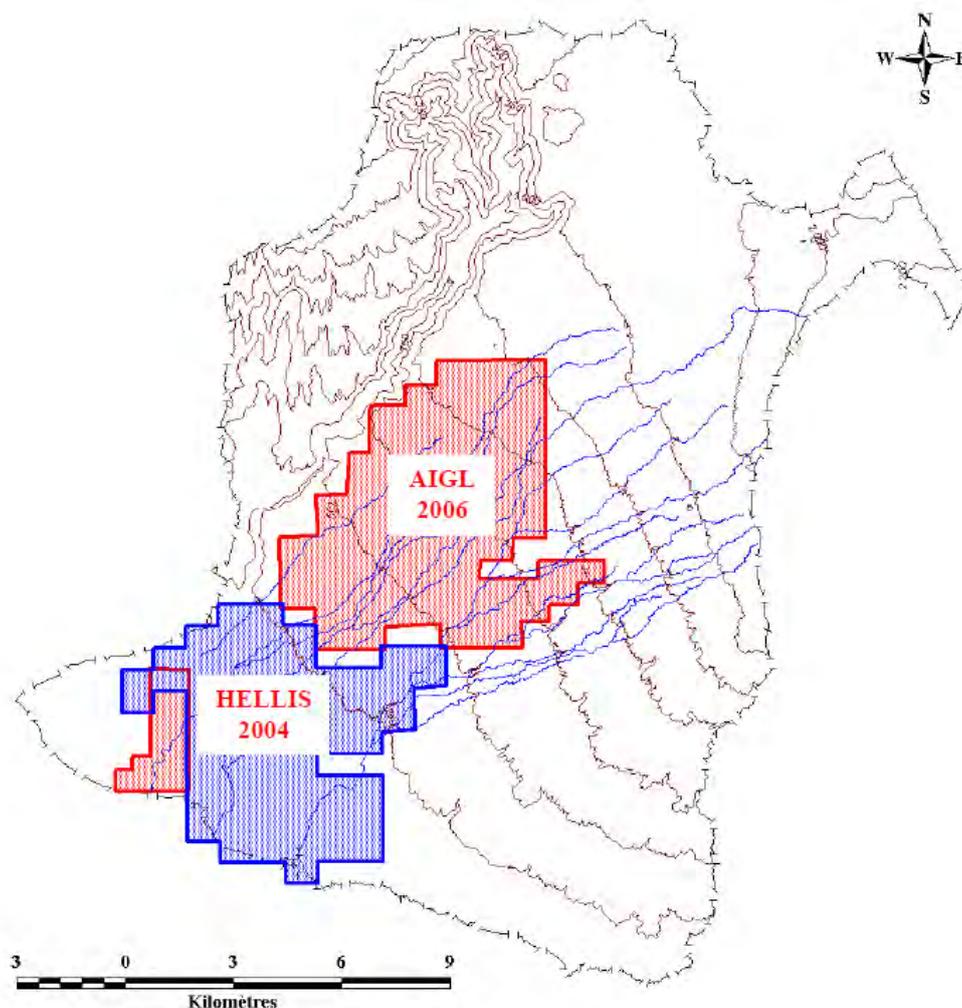


Figure 1 : Couverture photogrammétrique disponible.

Figure 5 : Couverture photogrammétrique disponible (PGRI, 2009)

Ainsi, le modèle hydraulique du PGRI a permis de faire ressortir la dynamique hydraulique générale de la plaine Tampon/Saint-Pierre. L'analyse du modèle a permis d'identifier certains points de débordement. De cette analyse est ressorti un plan d'action pour limiter les débordements sur la plaine.

Néanmoins, comme indiqué plus haut, la densité spatiale des relevés topographiques d'une part et la taille des mailles du domaine de modélisation 2D d'autre part ne permettent pas de représenter les obstacles locaux.

Ainsi, il est nécessaire, avant d'engager les travaux de confirmer les zones de débordements identifiées dans le PGRI via une modélisation hydraulique basée sur des données topographiques présentant une densité spatiale et des mailles plus fines.

Cette modélisation hydraulique permettra d'optimiser les travaux à réaliser en termes d'efficacité de protection.

À titre d'exemple, la modélisation hydraulique réalisée avec un relevé LIDAR sur le territoire de la commune du Tampon a relevé des différences sensibles par rapport aux aléas du PGRI (issus du PGRI en partie).

Des résultats similaires sont à prévoir sur le territoire de la commune Saint-Pierre.

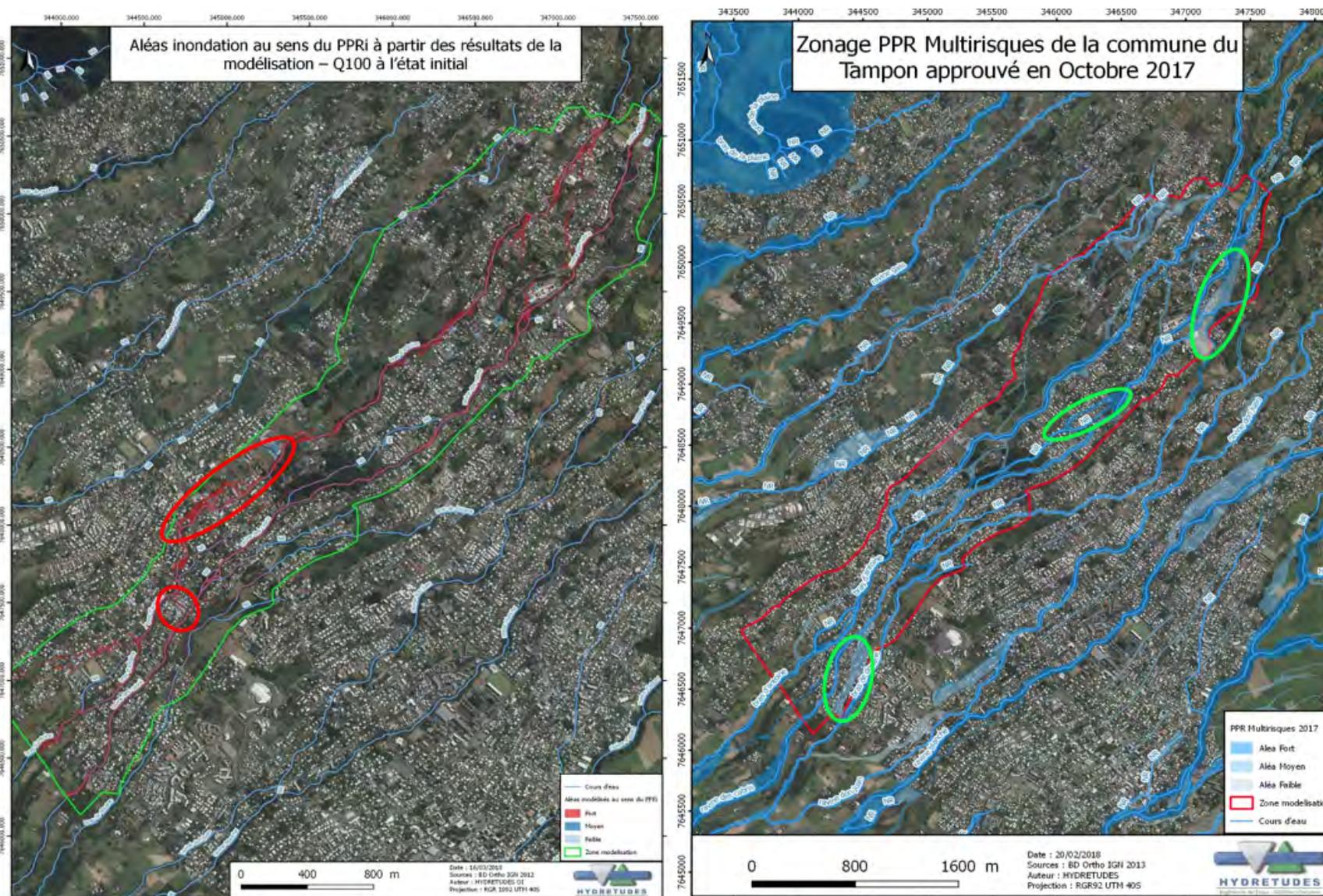


Figure 6 : Comparaison des aléas modélisés via LIDAR et des aléas du PPRi en vigueur (issus du PGRI)



2.2 ETUDE DE FAISABILITE HYDRAULIQUE DE LA SUPPRESSION DES DEBORDEMENTS DE LA RAVINE DES CABRIS ET DU BRAS D'ANTOINE ENTRE LE 17EME KM ET LA LIGNE DES 400

Dans le cadre de l'accord-cadre pour la maîtrise d'œuvre et études complémentaires pour divers ouvrages hydrauliques, la commune du Tampon a souhaité réaliser une étude de faisabilité hydraulique pour la suppression des débordements de la Ravine des Cabris et du Bras d'Antoine entre le 17^{ème} km et la ligne des 400.

Cette étude a été divisée en 3 grandes phases :

- Phase 1 : Analyse bibliographique, étude hydrologique (via le logiciel MESRI) et modélisation de l'état initial (via le logiciel InfoWorks 2D),
- Phase 2 : Définition des scénarios d'aménagement, modélisation du scénario retenu à l'état projet (modélisations itérative via le logiciel InfoWorks 2D pour des occurrences de crues Q30 et Q100),
- Phase 3 : Définition du programme d'aménagement, chiffrage et planning associé au stade étude de faisabilité.

Cette étude rentre dans le cadre de la réalisation du PAPI Tampon-Saint-Pierre (fiche action n° 5.9).

L'étude de faisabilité a consisté à réaliser un modèle hydrologique via le logiciel MESRI (modèle événementiel spatialisé). **Ce modèle a permis de réaliser un calage débitmétriques à 2 % par rapport à la valeur de référence et apporte donc une connaissance plus fine du comportement hydrologique du bassin versant de la ravine des Cabris que les études antérieures.**

Dans un second, un modèle hydraulique 2D complexe a été réalisé pour 3 occurrences Q₃₀, Q₅₀ et Q₁₀₀. L'état initial, via l'amélioration des connaissances apportées par le modèle pluie-débit MESRI et le relevé topographique LIDAR, a permis de **mettre en évidence que les zones initialement identifiées dans le PAPI comme problématiques et nécessitant des interventions ne sont plus les mêmes. L'étude a permis d'identifier des zones de débordements non identifiées dans le PPRI approuvé en 2017 et de démontrer l'absence de débordements attendus sur d'autres zones.** Il en ressort que la ravine des Cabris contient globalement les écoulements sur tout le linéaire pour Q₁₀₀. Seuls 5 points de dysfonctionnements sont relevés pour cette occurrence (3 points de débordement situés en amont de la RN3 causés par des abaissments de berge ou faible capacité du lit mineur et 2 autres en aval causés par des radiers (rue des Bambins et rue Frère Polycarpe). Le Bras Antoine est, quant à lui, sujet à de nombreux dysfonctionnements hydrauliques. On estime à environ 3,22 km le linéaire de lit mineur du Bras d'Antoine présentant une capacité hydraulique insuffisante (14 points de débordement importants en Q₁₀₀ ne revenant pas dans le lit du Bras d'Antoine ou impactant des enjeux importants et qui surviennent dès Q₃₀ ont été identifiés).

Pour rappel, l'action du PAPI propose de gérer les débordements du Bras d'Antoine. Cette action s'inscrit dans objectif de diminution de la vulnérabilité face aux risques inondation dès les crues fréquentes. De plus, la politique nationale de gestion des risques tend à favoriser les aménagements qui redonnent de l'espace au cours d'eau qui s'oppose à réaliser un 'tout endiguement'. Ainsi, le scénario d'aménagement proposé dans le cadre de cette étude a pour objectifs de:

- Repartir les débits en amont de la zone d'étude afin de délester le Bras d'Antoine : Après une réflexion partagée avec la commune du Tampon et la mise en œuvre de modélisations itératives, il a été choisi de proposer un scénario basé sur une répartition des débits à l'altitude 1080 mNGR. Plus précisément, il s'agira d'effectuer une dérivation partielle gravitaire du débit du Bras d'Antoine dans la ravine des Cabris via un canal de délestage. Ce canal permettra de délester 40 m³/s pour Q₃₀ et 55 m³/s pour Q₁₀₀,



- Supprimer les débordements du Bras d'Antoine pour Q30 en favorisant les aménagements redonnant de l'espace au lit mineur,
- Diminuer les débordements du Bras d'Antoine pour Q100 en favorisant les aménagements redonnant de l'espace au lit mineur,
- Supprimer les débordements de la ravine des Cabris pour Q100 en favorisant les aménagements redonnant de l'espace au lit mineur et en prenant en compte le délestage.

Ces scénarios d'aménagement ont été proposés en respectant le principe de non-aggravation des risques au droit de la zone d'étude.

L'étude propose des aménagements pour maîtriser les débordements (ouvrage de délestage, recalibrage du lit, renforcement de berges, digues de hauteur inférieure à 1,5 m...). Au total, 32 aménagements seront à réaliser le long du Bras d'Antoine et de la Ravine des Cabris.

La modélisation à l'état projet a permis de confirmer la faisabilité de ces aménagements sur le territoire du Tampon. À ce stade, les aménagements sont chiffrés à **13,7 Millions d'€** (en intégrant 15% pour les incertitudes sur les quantitatifs et 15% de provision pour aléa (évolution du projet en phase études) - hors coût d'acquisition foncier et études opérationnelles. À titre de comparaison, le PAPI actuel chiffrerait les actions à réaliser à environ 4 M€ sur le territoire du Tampon. Les travaux, sur le territoire du Tampon, seront organisés en 3 phases s'étalant sur 3 ans.

L'étude a permis de s'assurer que les aménagements ne généreront pas de risque supplémentaire sur le territoire de la commune du Tampon excepté 3 points qui feront l'objet de mesures compensatoires.

Cette analyse doit être prolongée sur le territoire de la commune de Saint-Pierre compte tenu de l'augmentation constatée des débits au niveau des ravines à l'amont immédiat de la commune de Saint-Pierre. En effet, afin de se conformer à la réglementation en vigueur et notamment, le principe de non-aggravation des risques à l'aval, il est impératif d'étudier les impacts hydrauliques sur le territoire de la commune de Saint-Pierre des aménagements hydrauliques proposés sur le territoire de la commune de la commune du Tampon. Ainsi, il convient de réaliser un modèle hydraulique du bassin versant de la ravine des Cabris de la RD400 à l'Océan.

Ainsi, une étude de faisabilité des aménagements hydrauliques doit être également réalisée sur la commune de Saint-Pierre, en intégrant également la modélisation du répartiteur. Les aménagements proposés sur le territoire de la commune de Saint-Pierre à l'issue de cette étude seront ajoutés au chiffrage et au phasage de l'opération pour s'assurer de ne pas générer de risque supplémentaire.

Cette étude a donc apporté une nette amélioration de la connaissance de la dynamique hydraulique de la ravine des Cabris et du Bras d'Antoine sur le territoire de la commune du Tampon.

Les données de sortie du modèle (hydrogramme) devront donc être reprises pour la réalisation de l'étude hydraulique sur le territoire de la commune de Saint-Pierre.

Deux approches peuvent être considérées :

1. Le projet d'aménagement propose des mesures compensatoires pour que les débits du Bras d'Antoine et de la ravine des Cabris au droit de la ligne des Quatre Cents après aménagements soient identiques à l'état initial. Ces mesures compensatoires consisteraient à aménager des bassins écrêteur de crue en aval immédiat de la ligne des Quatre Cents,
2. Réalisation d'une étude hydraulique complémentaire pour analyser les impacts des aménagements proposés sur la commune de Saint-Pierre jusqu'à la RN1 et identifier les aménagements complémentaires à réaliser pour supprimer ces impacts.

La mise en œuvre de mesures compensatoires par des bassins écrêteur de crue a donc été approchée dans le cadre de cette étude. Cette approche a mis en évidence les points suivants :



- Les bassins écrêteur de crue peuvent être positionnés uniquement en aval de la RD400, sur la commune de Saint-Pierre, puisqu'en amont de la RD400, sur la commune du Tampon, les secteurs sont très urbanisés et le foncier disponible n'est pas suffisant pour réaliser de tels ouvrages,
- Les volumes calculés sont très importants. Si l'on considère une profondeur de 3 m des bassins, il faudrait disposer d'une surface de :
 - 128 863 m² soit 12,88 Ha pour le bassin écrêteur de crue de la ravine des Cabris,
 - 39 583 m² soit 3,95 Ha pour le bassin écrêteur de crue du Bras d'Antoine.

La réalisation de ces bassins créerait un volume de déblais d'environ 500 Mm³ soit 6 fois plus que la totalité des aménagements proposés !!

La réalisation de ces bassins, très impactant foncièrement, paraît donc difficilement envisageable.

Néanmoins l'impact du projet devra être étudié puisque l'analyse des débits issus des différentes modélisations réalisées dans le cadre de l'étude montre que :

- Les débits de pointe ne sont pas décalés par les aménagements proposés, les pics de crues sont synchronisés entre l'état initial et l'état projet (cf. hydrogrammes pages suivantes),
- Pour Q30, le Bras d'Antoine présente des débits inférieurs pour l'état projet ce qui confirme l'efficacité hydraulique des aménagements dimensionnés pour une crue décennale,
- Pour Q30, l'impact du délestage sur la ravine des Cabris est plus important en termes de débit de pointe que pour une crue centennale,
- Les modifications des débits de pointes sont les suivants :

	Q ₃₀		Q ₁₀₀	
	Bras d'Antoine	Ravine des Cabris	Bras d'Antoine	Ravine des Cabris
Débit à l'état initial en m ³ /s	78.9	127.5	86.9	174.0
Débit à l'état projet en m ³ /s	69.5	175.4	92.3	200.7
ΔQ en m³/s	-9.3	47.9	5.4	26.6
ΔV en Mm³	-186.7	542.1	-52.6	312.0

Tableau 2 : Comparaison des débits à l'état initial et à l'état projet au droit de la ligne des Quatre Cents

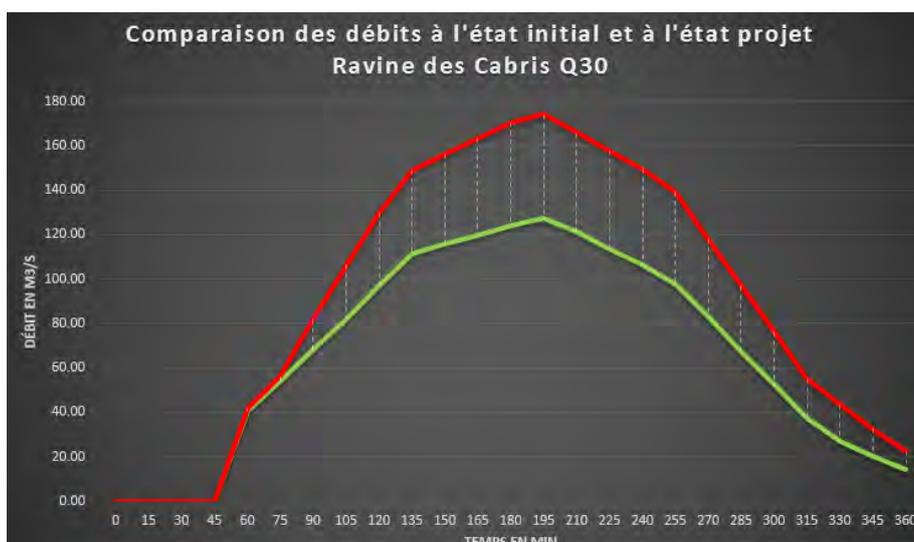


Figure 7 : Comparaison des hydrogrammes à l'état initial (en vert) et à l'état projet (en rouge) – Ravine des Cabris – Q₃₀ au droit de la RD400

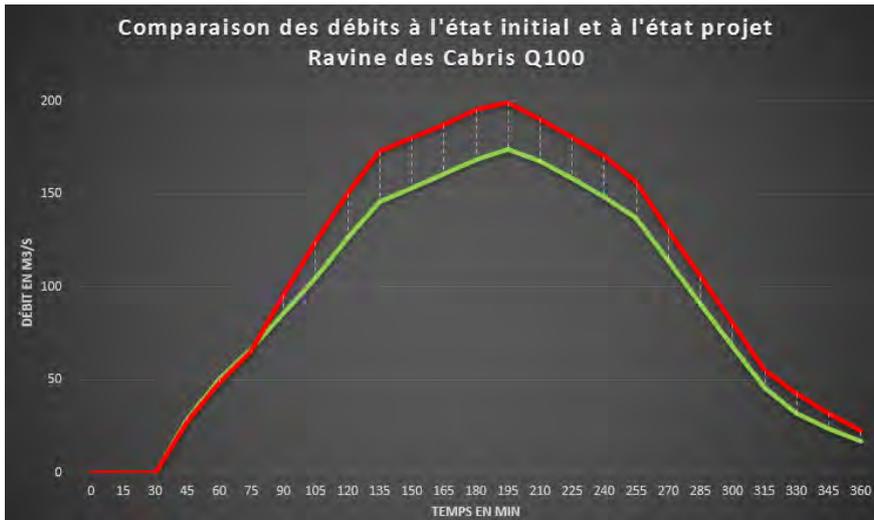


Figure 8 : Comparaison des hydrogrammes à l'état initial (en vert) et à l'état projet (en rouge) – Ravine des Cabris – Q₁₀₀ au droit de la RD400

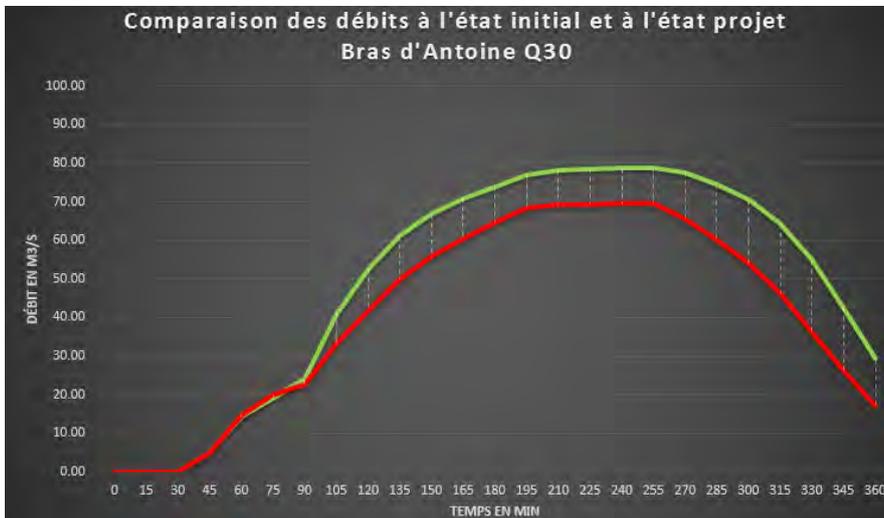


Figure 9 : Comparaison des hydrogrammes à l'état initial (en vert) et à l'état projet (en rouge) – Bras d'Antoine – Q₃₀ au droit de la RD400

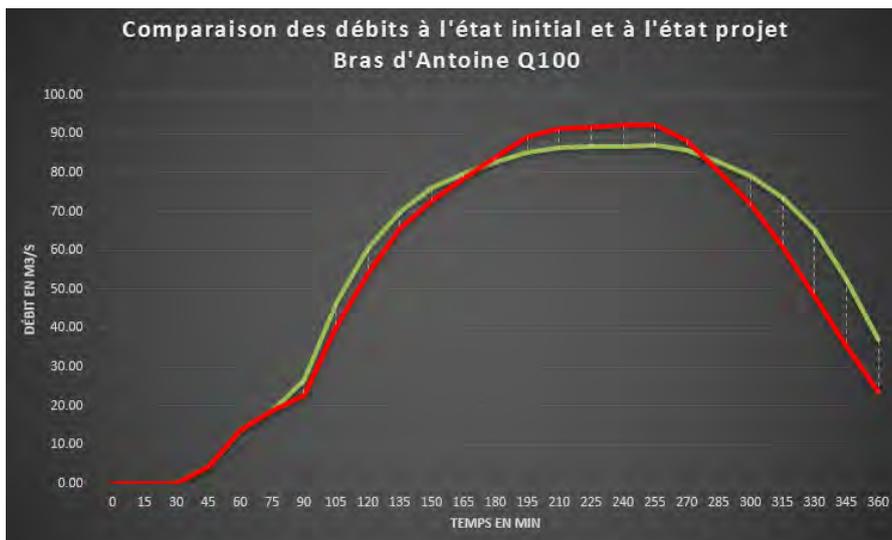


Figure 10 : Comparaison des hydrogrammes à l'état initial (en vert) et à l'état projet (en rouge) – Bras d'Antoine – Q₁₀₀ au droit de la RD400



Dans un 1^{er} temps, la réalisation de l'étude hydraulique globale de la ravine des Cabris sur le territoire de la commune de Saint-Pierre propose de réaliser 2 modélisations à l'état initial :

- État initial Q100 sans aménagements sur le territoire du Tampon,
- État initial Q100 avec aménagements sur le territoire du Tampon.

Cette approche permettra :

- D'analyser les impacts des aménagements prévus sur le territoire du Tampon sur le territoire de Saint-Pierre,
- D'affiner les aménagements à réaliser sur le territoire de Saint-Pierre (mise à jour de la fiche PAPI).

Dans un 2nd temps (étude PAPI opérationnel), d'autres occurrences de crues seront également modélisées afin de réaliser une AMC et une ACB, conformément au cahier des charges PAPI III.

2.3 ETUDE HYDRAULIQUE RELATIVE AU PROJET DE RENOUVELLEMENT URBAIN DU QUARTIER DE BOIS D'OLIVE

Une étude hydraulique a été réalisée dans le cadre du projet de renouvellement urbain du quartier de Bois d'Olive à Saint-Pierre.

Cette modélisation 2D débute en aval de la RD28 et se termine au niveau du canal Saint-Étienne.

Elle a été réalisée via le logiciel INFOWORKS ICM. La topographie utilisée est la LITTO 3D à 5 m.

Les résultats de la modélisation donnent donc des résultats peu précis.

Néanmoins, dans le cadre de la réalisation de cette modélisation, des calculs hydrologiques des apports des réseaux d'eaux pluviales ont été réalisés.

En effet, des injections intermédiaires représentant les impluviums ruisselés entre l'amont et l'aval de la zone de modélisation ont été injectés :

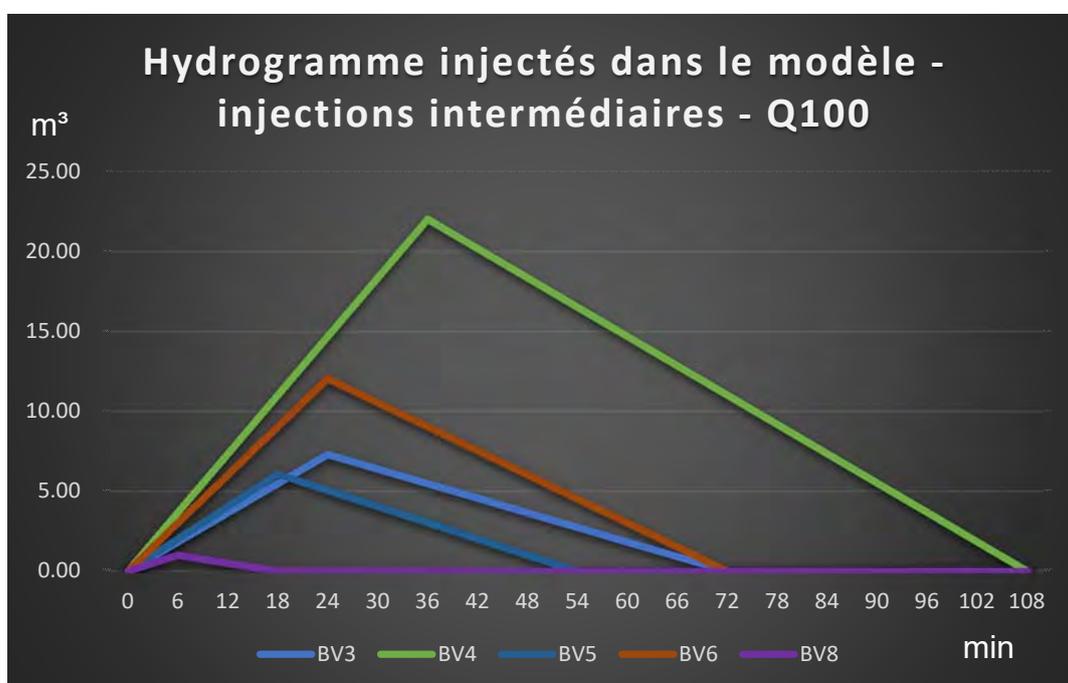


Figure 11 : Hydrogrammes (Q₁₀₀) injectés dans le modèle – injections intermédiaires (HYDRETUDES OI 2021)

La figure page suivante indique la localisation de ces injections intermédiaires et plus largement l'architecture du modèle réalisé.

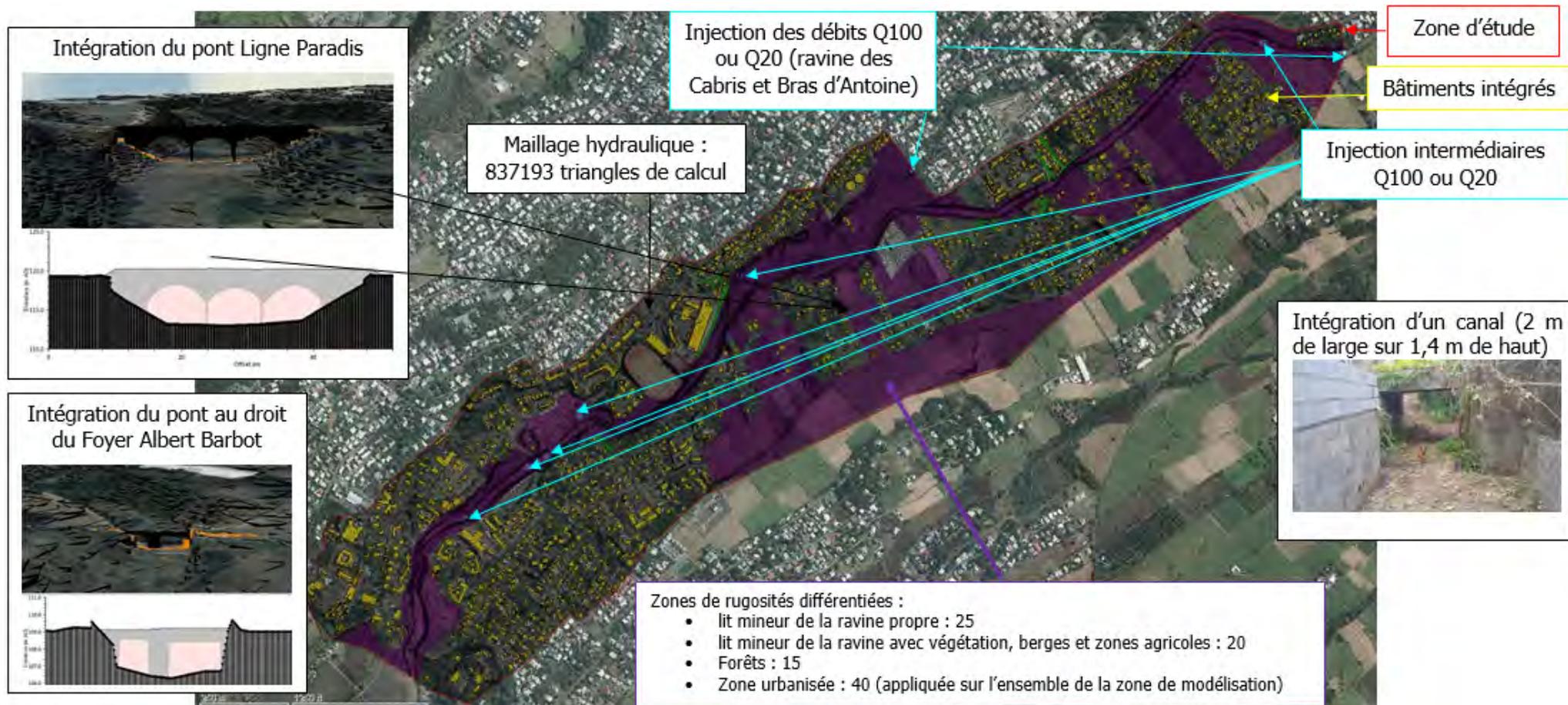


Figure 12 : Localisation des injections intermédiaires et architecture du modèle (HYDRETUDES OI 2021)

Dans la cadre de la réalisation d'une étude hydraulique globale de la ravine des Cabris, les données suivantes pourraient donc être utilisées :

- Hydrogrammes d'injection intermédiaires,
- Éléments de construction du modèle (ouvrages, bâtis, zones de rugosité...).



2.4 CONCLUSION SUR LES DONNÉES A ACQUERIR

L'analyse critique des études a permis de faire ressortir les points suivants :

- La définition des aménagements du PAPI doit être affinée via une modélisation utilisant des données topographiques présentant une densité spatiale satisfaisante (relevé LIDAR),
- Les études hydrauliques réalisées sur le Tampon (hydrogrammes d'injection amont) et pour le NPRNU Bois d'olives (ouvrages, bâti, zone de rugosité) alimenteront la modélisation à réaliser.

Le démarrage opérationnel de l'opération PAPI sur la ravine des Cabris commencera donc par la réalisation d'une étude hydraulique globale de la ligne des 400 jusqu'à la RN1 *a minima*.

Cette étude aura 3 objectifs :

- **Affiner la définition les aménagements à réaliser** sur le territoire de Saint-Pierre pour supprimer les débordements de la ravine des Cabris (mise à jour de la fiche PAPI n°5.9.5).
- Confirmer ou infirmer le rôle de protection hydraulique des ouvrages relevés lors de la Visite Technique Simplifiée des ouvrages :
 - FRD9740142 Endiguement de la ravine des Cabris - Aval RD38 – RD,
 - FRD9740143 Endiguement de la ravine des Cabris - Aval RD38 – RG,
 - FRD9740145 Aménagement de la ravine des Cabris - Aval RD28 – RD,
 - FRD9740146 Aménagement de la ravine des Cabris - Aval RD28 – RG.
- **Analyser les impacts hydrauliques des aménagements** prévus sur le territoire du Tampon sur le territoire de Saint-Pierre,

Dans un 2nd temps (étude MOE PAPI opérationnel), d'autres occurrences de crues seront également modélisées afin de réaliser une AMC et ACB selon le cahier des charges PAPI III.

Afin de réaliser cette étude, un relevé LIDAR de 783 Ha devra être effectué (cf. figure suivante).

De plus des données topographiques complémentaires devront également être réalisées et notamment :

- Vue en élévation des ouvrages suivants :
 - Ouvrage de la RD28,
 - Radier chemin Hoarau avec mur de retour,
 - Radier chemin diagonal avec mur de retour,
 - Ouvrage de la RD38
 - Ouvrage du foyer Albert Barbot.
- lignes caractéristiques (sous forme de polygones 3D) :
 - Bas et hauts de berges rive droite et rive gauche ainsi que fil d'eau (soit à minima 5 lignes caractéristiques par ravine) ;
 - Ensemble des lignes caractéristiques des ouvrages hydrauliques.

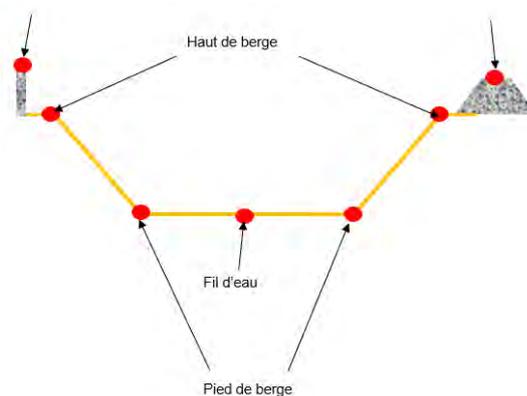




Figure 13 : Zone de LIDAR à relever



3 ETUDE HYDRAULIQUE GLOBALE DE LA RAVINE DES CABRIS DE LA LIGNE DES 400 A L'OCEAN

A l'issue de cette 1ère partie d'étude préliminaire, la CIVIS a réalisé les relevés topographiques demandés et a commandé au groupement BRLi / HYDRETTUDES une étude hydraulique globale sur tout le linéaire de la ravine des Cabris (de la ligne des 400 à l'Océan).

Cette étude avait 3 objectifs principaux :

- Améliorer la connaissance du comportement hydraulique de la ravine des Cabris de la ligne des 400 jusqu'à l'Océan,
- Confirmer / infirmer les aménagements prévus dans le PAPI et le cas échéant redéfinir des aménagements de protection contre les inondations (niveau APS) adaptés aux nouvelles connaissances de la ravine,
- Analyser les impacts des aménagements proposés dans l'étude de faisabilité du Tampon sur la commune de Saint-Pierre,
- Confirmer ou infirmer le rôle de protection hydraulique des ouvrages identifiés dans l'arrêté n°1498/SG/DRCTCV du 20 Août 2013.

Cette étude a été finalisée en 2024 et a permis d'améliorer la connaissance du fonctionnement hydraulique de la ravine des Cabris et de son affluent le Bras d'Antoine sur la commune de Saint-Pierre. Cette connaissance vient compléter l'étude réalisée en 2018 sur le territoire du Tampon. Le linéaire de ces cours d'eau est donc entièrement modélisé de la route du Géranium jusqu'à l'Océan.

Afin de synthétiser le travail réalisé dans cette étude, ce chapitre sera divisé en 3 parties :

- Définition d'un SE pour la ravine des Cabris,
- Analyse des impacts des aménagements réalisés sur la commune du Tampon sur le Territoire de Saint-Pierre,
- Définition des aménagements en cohérence avec les actions identifiées au PAPI.



3.1 TRAVAIL SUR LA DEFINITION D'UN SE POUR LA RAVINE DES CABRIS SUR LE TERRITOIRE DE LA CIVIS

Le 15 février 2022, la DEAL, Service prévention des risques naturels et routiers, a transmis à la CIVIS, par courrier n°DEAL/SPRINR/2022-010, une notification faisant état d'un manquement administratif et consultation sur le projet d'arrêté de mise en demeure.

Les services de l'état demandent à la CIVIS d'établir rapidement, pour les ouvrages mentionnés à l'arrêté de 2013 :

- L'organisation mise en place pour assurer la surveillance et l'exploitation des digues,
- Les consignes écrites,
- Le rapport de visite Technique Approfondie,
- Le démarrage de la constitution d'un dossier d'ouvrage.

Suite à ces demandes, la CIVIS a souhaité réaliser une VTS, dans un 1^{er} temps, afin de **confirmer la présence réelle de ces ouvrages**.

La Visite Technique Simplifiée (VTS) des deux premiers ouvrages identifiés dans l'arrêté à l'aval et l'amont de la RD28 (FRD9740145 et FRD9740146) a montré que ces ouvrages ne sont pas continus. Le linéaire indiqué dans l'arrêté est donc erroné. De plus, les quelques ouvrages identifiés sont de nature, de géométrie très hétérogène et non réalisés dans les règles de l'art.

Les berges sont majoritairement naturelles. Les berges anthropisées sont discontinues, généralement juste constituées de blocs déstructurés et surmontés par des cordons rocheux hétérogènes en taille et en géométrie. Les blocs constituant les cordons rocheux sont issus d'épierrage des terrains agricoles jouxtant la ravine des Cabris. La végétation semble participer à la cohésion des berges, le nettoyage de la végétation aura nécessairement comme conséquence une déstabilisation des berges.

Des ouvrages réalisés dans les règles de l'art ont cependant été relevés. Il s'agit d'enrochements liés et sont discontinus tout au long du linéaire. Il s'agit donc d'ouvrages de protection de berges que de digues. Cependant, sur de courts linéaires, ces enrochements liés sont surmontés en crête de talus par des murs de diverses natures à caractère privé.

Quoi qu'il en soit, la VTS met en évidence que les ouvrages recensés par l'arrêté n°1498/SG/DRCTCV ne sont pas existants, du moins pas sur tout le linéaire en amont et aval de la RD28.

L'inspection des deux ouvrages situés en aval de la RD38 (FRD9740142 et FRD9740143) lors de la Visite Technique Simplifiée (VTS) montre que ces ouvrages sont véritablement des ouvrages d'endiguement. Ils ont été réalisés pour la protection de la ZI n°4 en aval.

Ces ouvrages sont en bon état mais sont cependant discontinus et parfois à caractère privé. La CIVIS devra alors statuer sur l'intégration de l'ouvrage à caractère privé au système d'endiguement.

La carte page suivante synthétise les observations réalisées pendant la VTS. Cette carte indique les linéaires des ouvrages identifiés pendant la VTS (même s'ils ne sont pas réalisés dans les règles de l'art) et les linéaires de berges naturelles avec présences de blocs déstructurés (avec ou sans cordon rocheux en crête).

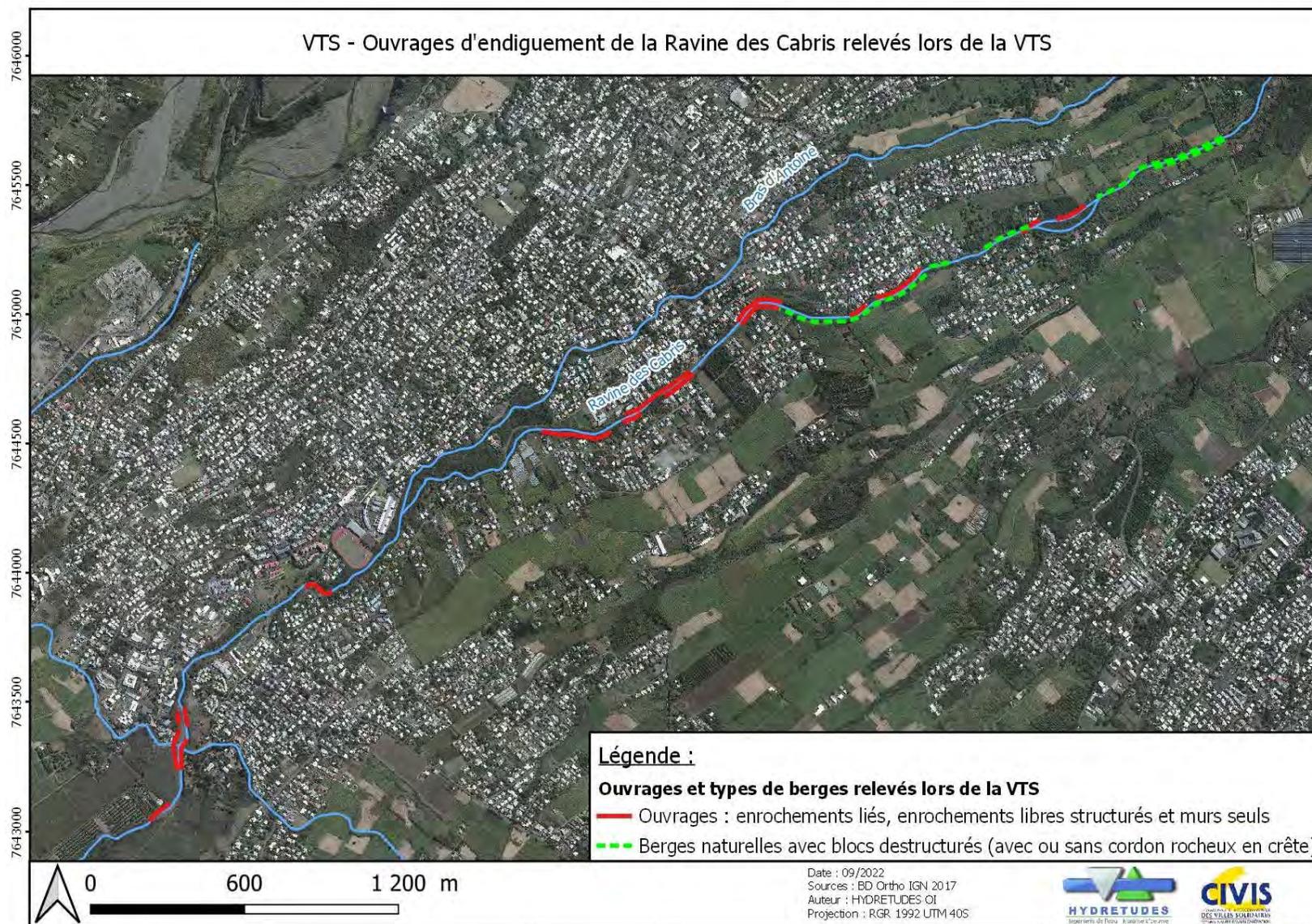


Figure 14 : Localisation des ouvrages et des types de berges relevées durant la VTS



Pour faire suite à cette VTS, une analyse hydraulique a été réalisée pour confirmer ou infirmer le rôle de protection hydraulique des ouvrages identifiés dans l'arrêté n°1498/SG/DRCTCV du 20 Août 2013.

L'analyse a donc consisté à réaliser une modélisation hydraulique, (scénario n°2), avec les ouvrages arasés. Le choix des zones à araser a été réalisé via les observations de terrain issues de la VTS de 2022 (digues composées d'amoncellement de blocs hétérogènes et non structurés) et de l'analyse topographique. Des murs ont également été arasés.

Un extrait des modifications réalisées sur le MNT dit « arasé » est présenté sur les figures suivantes.

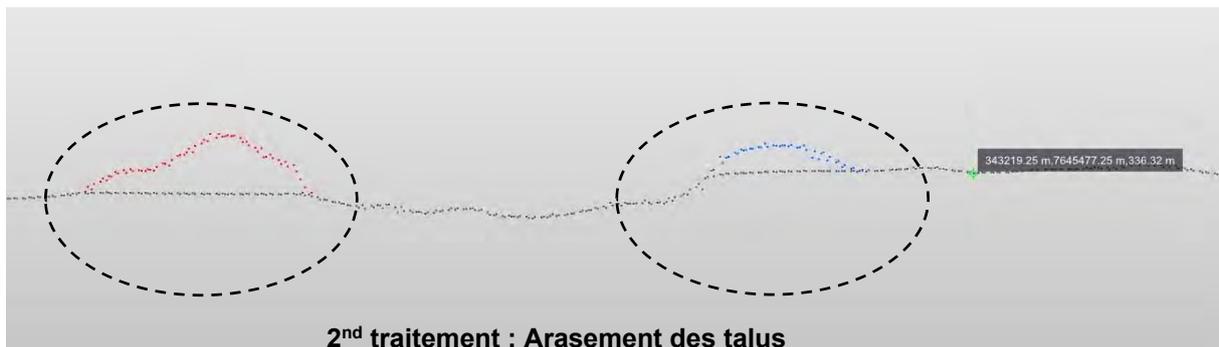
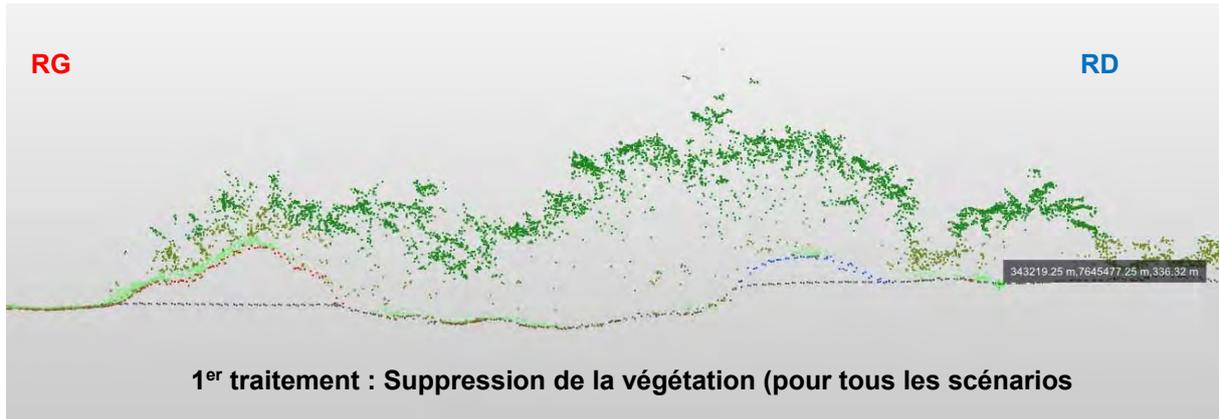


Figure 15 : Exemple de zones arasées en rive gauche et en rive droite

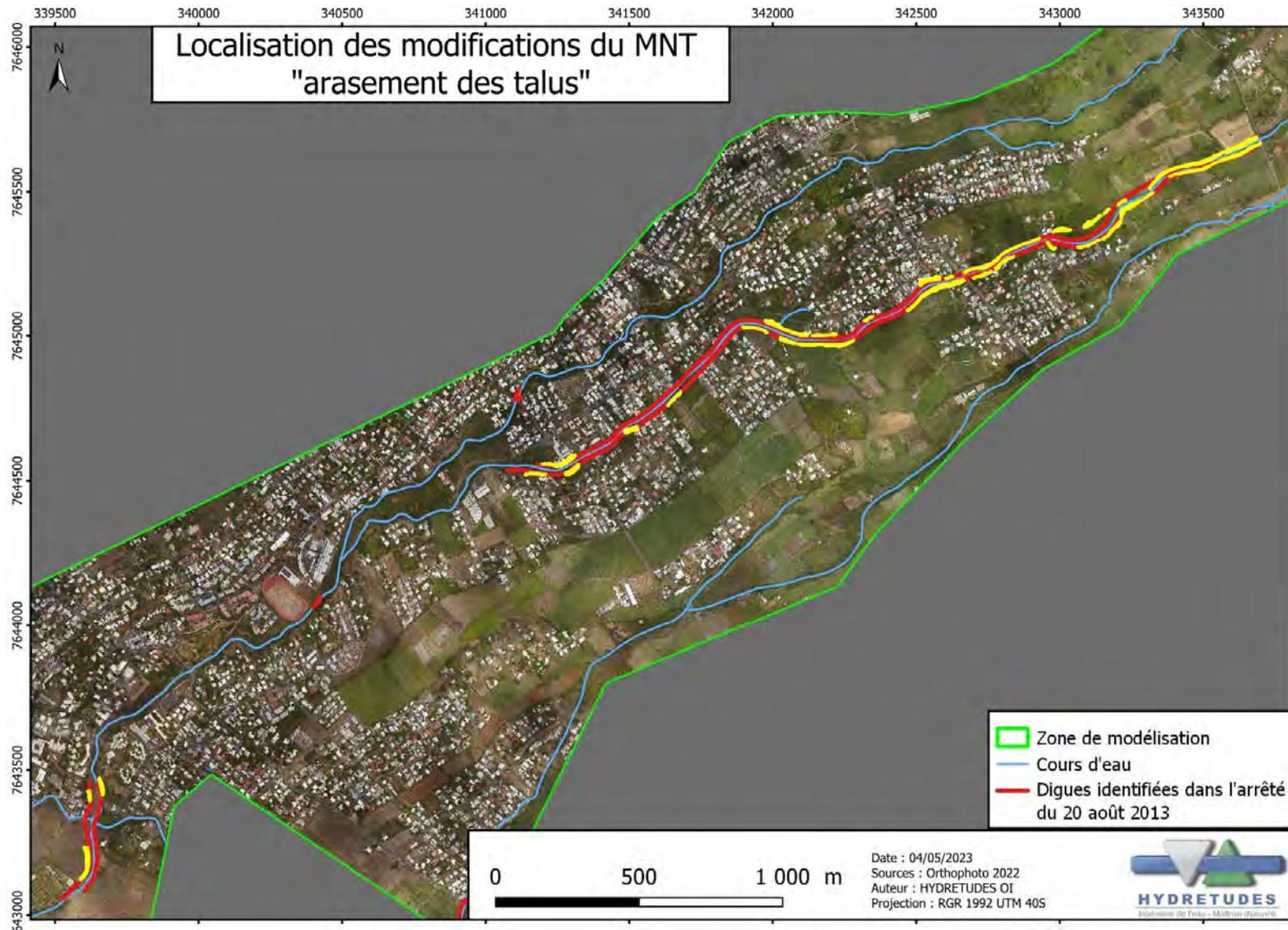


Figure 16 : Localisation des modifications du MNT réalisées – scénario n°2

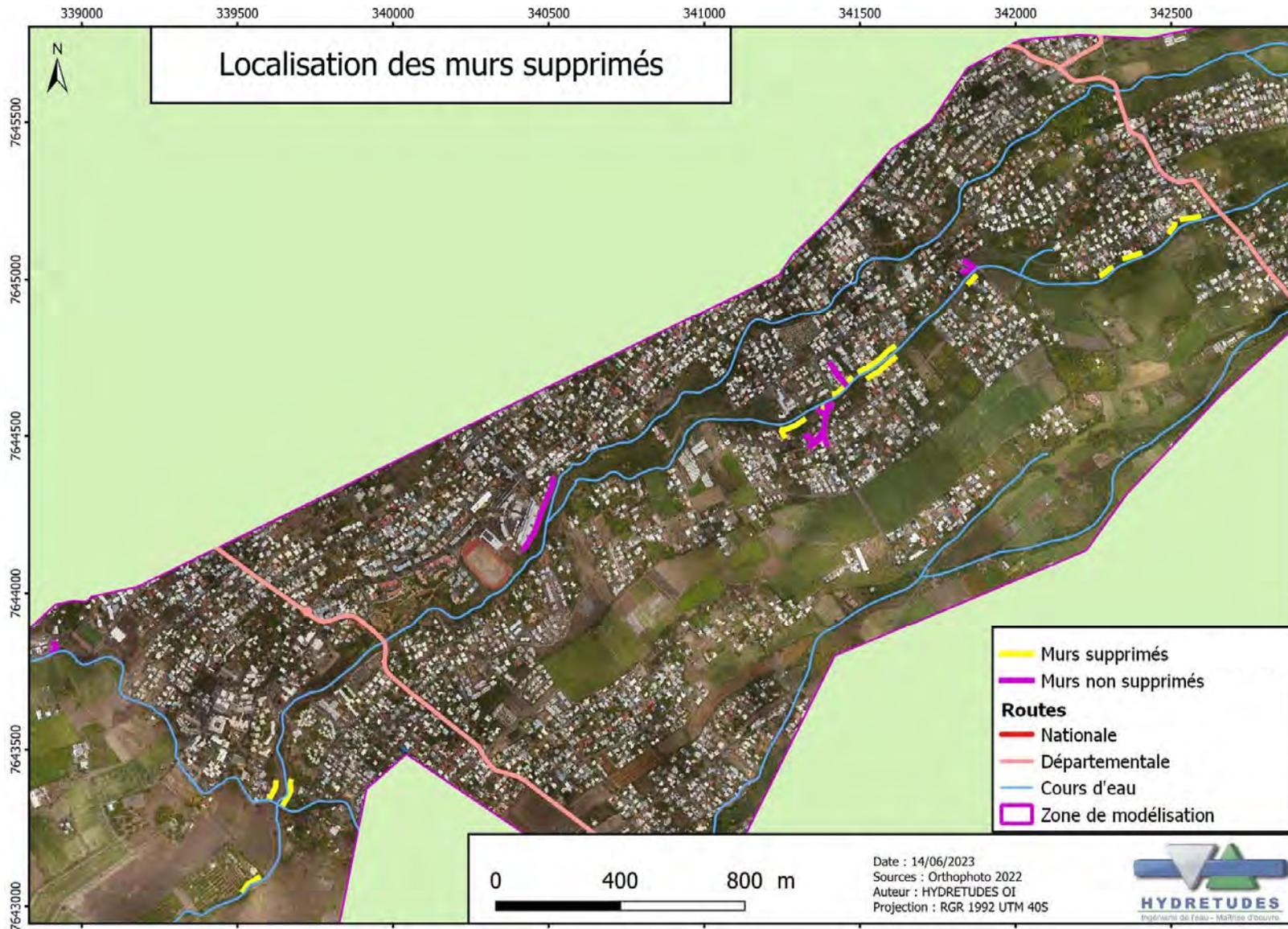


Figure 17 : Localisation des murs supprimés – scénario n°2



L'analyse de ce scénario est la suivante :

« Cette modélisation a permis d'identifier avec précisions les linéaires de berges aménagées qui jouaient un rôle de protection vis-vis des crues de la ravine des Cabris. L'analyse a montré que seul 7% (508 ml) du linéaire, indiqué dans l'arrêté n°1498/SG/DRCTCV du 20 Août 2013 identifiant 4 ouvrages sur la ravine des Cabris, a un rôle significatif sur la protection contre les inondations. Sur ces 7 %, seulement 1% (selon la nature des ouvrages concernés) du linéaire indiqué dans l'arrêté du 20 Août 2013 pourrait être considéré comme ouvrage de protection hydraulique (7 secteurs). Les 6% restant ne sont pas des ouvrages réalisés dans les règles de l'art (berges aménagées en urgence via des travaux « post-FIRINGA »). »

Les cartes pages suivantes localisent les secteurs de berge ayant une fonction hydraulique de protection contre les débordements.

À la suite de la réalisation de cette étude, une réunion, *in situ* a été réalisée avec la CIVIS et le DEAL le 13 décembre 2023. Il a été décidé à l'issue de cette réunion de réaliser une expertise géotechnique afin de caractériser la performance des ouvrages dans les 7 secteurs identifiés dans l'étude hydraulique jouant un rôle de protection contre les inondations.

La performance des ouvrages sur les 7 secteurs identifiés a été évaluée sous deux axes principaux, conformément au Guide du CFBR « Référentiel technique digues maritimes et fluviales » :

- La performance hydraulique (vis-à-vis de sa fonction de protection) et,
- La performance structurelle (vis-à-vis de sa fonction de résistance).

Il n'a pas été réalisé d'analyse de risque dans le cadre de cette étude. Cette analyse a montré que seules 2 zones montrent des performances structurelles et hydrauliques satisfaisantes pour une protection contre les crues.

En conclusion des études hydrauliques et géotechniques menées sur la ravine des Cabris, plusieurs solutions de définition d'un ou plusieurs systèmes d'endiguement ont été proposées à la CIVIS :

- Solution n°1 : Procédure simplifiée basée sur l'existant sans travaux – 2 SE indépendants,
- Solution n°2 : Procédure simplifiée basée sur l'existant sans travaux – 7 SE indépendants,
- Solution n°3 : Procédure normale avec travaux – avec réhabilitations des zones 1 à 5 et éventuellement intégration des travaux prévus dans les fiches PAPI de 2016 – 7 SE indépendants,
- Solution n°4 : Procédure normale avec travaux – définition d'un SE globale permettant de supprimer les débordements de la ravine des Cabris et du Bras d'Antoine via un nouveau PAPI dédié au bassin versant.

En attendant la régularisation du ou des SE de la ravine des Cabris, la CIVIS est responsable de ces ouvrages et doit donc les entretenir.

L'entretien des ouvrages consiste notamment à :

- Visiter régulièrement les ouvrages pour suivre l'évolution de leur état respectif,
- Lutter contre la végétation pouvant dégrader les ouvrages.

Les études menées (notamment la VTS de 2022) ont permis de localiser les ouvrages à entretenir (cf. figure 14 – linéaire d'ouvrage en rouge). En effet, pour les linéaires identifiés comme berges naturelles, avec blocs déstructurés et surmontés par des cordons rocheux hétérogènes en taille et en géométrie, la végétation semble participer à la cohésion des berges. Le nettoyage de la végétation aura, pour rappel, comme conséquence une déstabilisation des berges. La CIVIS a missionné le groupement pour l'assister dans la définition d'une stratégie de dégagement de la végétation proposé au droit des ouvrages existants de la ravine des Cabris (cf. rapport dédié).



Figure 18 : Localisation des secteurs de berge ayant un rôle hydraulique de protection contre la crue centennale de la Ravine des Cabris (1/2)

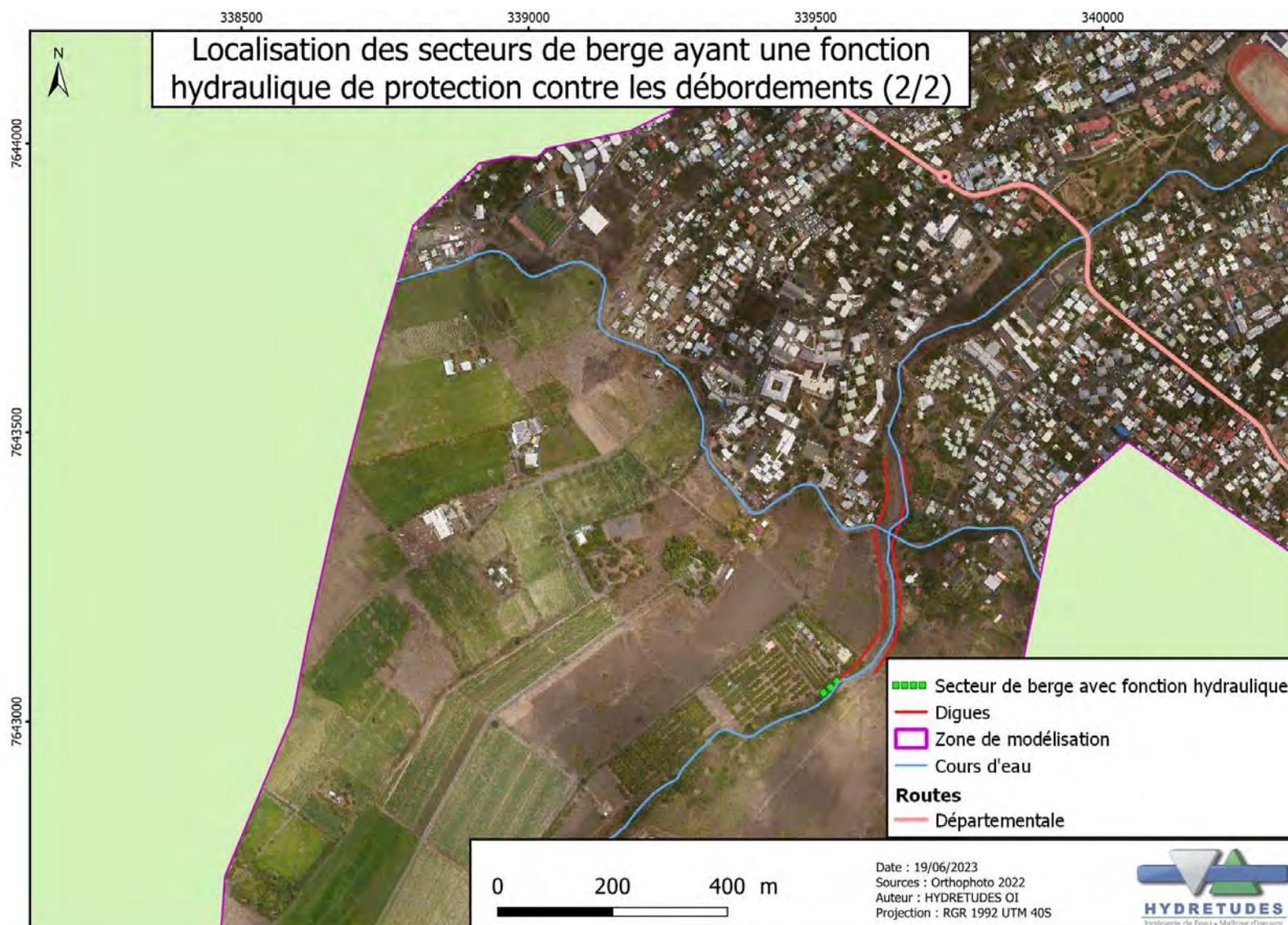


Figure 19 : Localisation des secteurs de berge ayant un rôle hydraulique de protection contre la crue centennale de la Ravine des Cabris (2/2)



3.2 ANALYSES DES IMPACTS DES AMENAGEMENTS PROPOSES SUR LA COMMUNE DU TAMPON SUR LE TERRITOIRE DE SAINT-PIERRE

Pour analyser les impacts des aménagements, proposés dans le cadre de l'étude faisabilité sur la commune du Tampon, sur le territoire de la CIVIS, une modélisation spécifique a été réalisée dans le cadre de l'étude globale de 2024.

Cette modélisation a consisté à modéliser une crue centennale de la Ravine des Cabris et du Bras d'Antoine **avec prise en compte des aménagements sur la commune du Tampon** et de la Ravine Trois Mares (ainsi que l'injection des débits des bassins versants intermédiaires se rejetants dans la zone modélisée).

Cette modélisation a intégré, sur la commune de Saint-Pierre, la topographie LIDAR à l'état actuel (exporté via un raster d'une maille de 0,5 m * 0,5 m), 8 ouvrages d'art, 2 radiers avec buses situés dans les lits mineurs, des murs de clôture jouxtant le lit mineur et des habitations inscrites dans la zone d'étude dans le Modèle Numérique de Terrain (MNT).

La prise en compte des aménagements proposés dans le cadre de l'étude de faisabilité sur la commune du Tampon a été réalisée via l'injection des hydrogrammes (cf. chapitre 2.2 de la présente étude) à l'état aménagé.

Une analyse détaillée a été réalisée dans le cadre de l'étude en déterminant :

- Les impacts sur les débits de débordements,
- Les impacts sur les vitesses et les hauteurs,
- Les impacts sur l'emprise des zones inondables.

Les cartographies pages suivantes présentent les types de cartes réalisées pour l'analyse :

- Comparaison de l'emprise des zones inondables pour un débit centennal **avec et sans les aménagements réalisés sur la commune du Tampon**,
- Comparaison des valeurs de hauteurs d'eau maximum et des valeurs de vitesses d'écoulement maximum pour un débit centennal **avec et sans les aménagements réalisés sur la commune du Tampon**.



Figure 20 : Hauteurs d'eau atteintes en m – scénario n°3 : Q100 yc aménagements du Tampon à l'état initial – carte n°4



Figure 21 : Comparaison de l'emprise des zones inondables avec et sans les aménagements réalisés sur la commune du Tampon : Q100 – carte n°2



Figure 22 : Comparaison des valeurs de hauteurs d'eau maximum avec et sans les aménagements réalisés sur la commune du Tampon : Q100 – carte n°3



Figure 23 : Comparaison des valeurs de vitesses d'écoulement maximums avec et sans les aménagements réalisés sur la commune du Tampon : Q100 – carte n°3



Les conclusions de l'analyse des impacts hydrauliques des aménagements de la commune du Tampon sont les suivantes :

- Les débits des débordements existants sont amplifiés par la mise en place des ouvrages sur la commune du Tampon, passant parfois du simple au double,
- Les incidences hydrauliques (augmentation des hauteurs d'eau) sont localisées dans les lits mineurs exceptés au droit des nouveaux fronts de débordements et en rive droite du chemin Marcel Hoareau. L'augmentation des hauteurs d'eau est majoritairement inférieure à 25 cm,
- Les impacts en termes de vitesses d'écoulements sont plus importants car ils concernent les flux dans le lit mineur mais également les flux des débordements. L'augmentation des vitesses d'écoulements est majoritairement inférieure à 25 cm/s excepté :
 - En rive gauche de la RD400 jusqu'à 400 m en aval du chemin des Châtaigniers où les différences de vitesses peuvent être comprises entre 0,5 et 1 m/s localement,
 - En rive droite en amont et aval de la RD28 où les différences de vitesses peuvent également être comprises entre 0,5 et 1 m/s localement,
 - En rive droite au droit du chemin marcel Hoareau où ces dernières sont comprises entre 25 et 50 cm/s.

Cette étude a donc permis d'identifier, localiser et quantifier les impacts des aménagements proposés dans le cadre de l'étude faisabilité sur la commune du Tampon, sur le territoire de la CIVIS.

L'étape suivante consisterait donc, dans une logique d'aménagements globale du bassin versant, à définir les mesures de réductions des impacts à mettre en œuvre.

Ces mesures devront prendre en compte les éventuels aménagements à réaliser sur le territoire de Saint-Pierre dans le cadre de la fiche 5.9.5 et décrits dans le chapitre suivant.



3.3 DEFINITION DES AMENAGEMENTS EN COHERENCE AVEC LES ACTIONS IDENTIFIEES AU PAPI

Pour rappel, la Fiche PAPI « 5.9.5 : SP - limiter les débordements de la ravine des Cabris issue du PGRI » (cf. chapitre 2.1 de la présente étude) indique 3 aménagements à réaliser sur la ravine des Cabris au droit de la commune de Saint-Pierre :

- Création d'un merlon de 140 ml éloigné en rive gauche en amont du chemin Marcel Hoareau,
- Suppression des débordements en amont du chemin diagonal causés par un radier (déroctage en aval du seuil + reprise du radier sur 100 m),
- Création d'un merlon de 140 ml éloigné en rive gauche au niveau du Chemin Joseph Avril.

Conformément aux souhaits de la CIVIS, les aménagements étudiés dans la cadre de l'étude globale de 2024 ont été définis pour la situation la plus critique en termes de débit, c'est-à-dire pour un débit centennal en prenant en compte les futures réalisations des aménagements du Tampon.

La modélisation d'une crue centennale à l'état existant (débit Tampon aménagé) a fait apparaître des différences (par rapport à la modélisation du PGRI) au droit des zones à aménager :

- le débordement rive gauche en amont du radier Marcel Hoareau (faisant l'objet de la fiche C16 du PGRI) n'a pas été confirmé et la modélisation précise fait apparaître un débordement (de l'ordre de 5,3 m³/s) en rive droite, au droit du radier Marcel Hoareau. L'aménagement proposé sera donc différent de celui proposé initialement dans le PGRI,
- Au droit du radier du chemin Diagonale, la modélisation confirme la modélisation du PGRI. On observe 3 débordements :
 - En amont du radier en rive droite (de l'ordre de 20,3 m³/s). Ce débordement impacte une dizaine de bâtiments et également 3 immeubles. Les écoulements regagnent le lit mineur via la radier 300 m en aval. Un aménagement complémentaire a été proposé pour supprimer le débordement en rive droite en amont du radier,
 - Au droit du radier (de l'ordre de 8,7 m³/s), en rive gauche. Ce débordement est très impactant car il s'étale sur plus de 1 km² et inonde des centaines d'habitations (fiche C17 du PGRI).
 - En aval du radier notons également un léger débordement (de l'ordre de 0,18 m³/s) au droit du chemin Joseph Avril (fiche C18 du PGRI). Ce dernier vient aggraver le débordement déjà existant en rive gauche du radier mais reste marginal.

Le détail des modélisations est indiqué au chapitre 5.2 de l'étude globale de 2024.

Le chapitre suivant synthétise les aménagements proposés.



3.3.1 Description des aménagements proposés

3.3.1.1 Description de l'aménagement proposé au droit du radier du chemin Marcel Hoareau

Afin de supprimer le débordement en rive droite du radier Marcel Hoareau, un reprofilage du radier est proposé en rive droite afin d'augmenter la crête de la voirie de 70 cm.

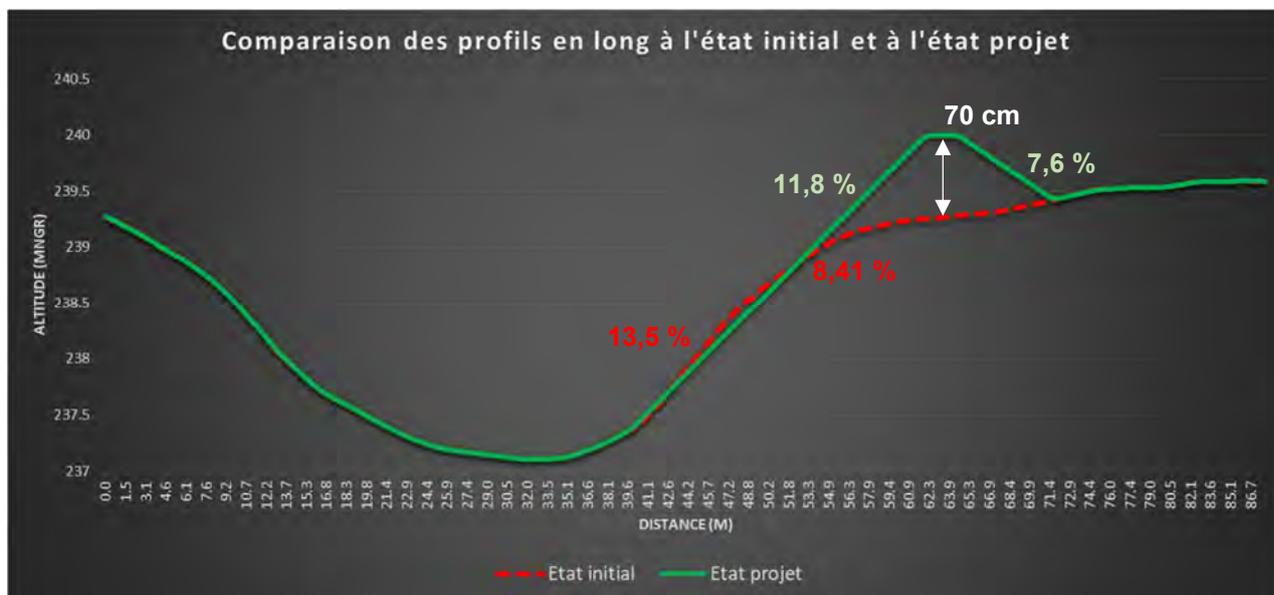


Figure 24 : Comparaison des profils en long du radier Marcel Hoareau à l'état initial et à l'état projet

L'aménagement proposé est donc un aménagement de voirie (reprofilage de la voirie au droit du radier).

Il consistera à reprendre environ 700 m² de voirie (l'ensemble de la voirie du radier pour ne pas créer de discontinuité de voirie dans le lit mineur) et reprofiler la rive droite du radier sur 35 ml environ jusqu'au croisement avec le chemin Anaclet Bernard.

Deux murs moellons de 50 cm sur 10 ml seront réalisés pour soutenir le remblai de part et d'autre de la voirie.

Le bilan déblais / remblais pour le reprofilage du radier est de 14 m³ / 140 m³.

Pour les semelles des murs en moellons, les remblais à prévoir sont de 2 m³ (10*0,4*0,5 m).

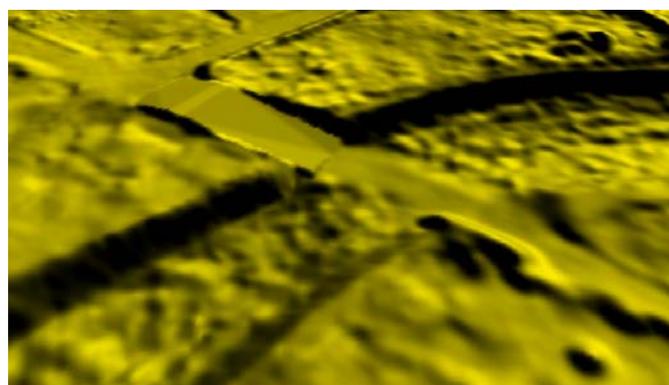
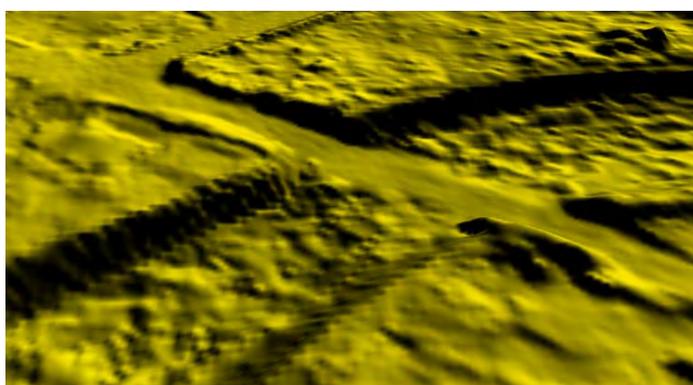


Figure 25 : Comparaison du MNT à l'état initial à gauche et à l'état aménagé à droite au droit du radier Marcel Hoareau



Une modélisation à l'état projet a été réalisée pour évaluer l'efficacité de l'aménagement. Cette modélisation montre l'efficacité de l'aménagement. Les débordements rive droite au droit du radier sont supprimés.

Il subsiste tout de même des écoulements dus :

- Aux débordements (rive gauche de la ravine des Cabris) provenant de l'amont de la RD28,
- Aux débordements (rive droite du Bras d'Antoine) provenant de l'amont et l'aval de la RD28.

L'aménagement a pour effet de diminuer fortement les débordements situés en rive gauche de la ravine des Cabris au droit du radier Marcel Hoareau.

Le débit dans la ravine des Cabris augmente de 2 m³/s et la ligne d'eau à l'aval du radier dans la ravine des Cabris augmente de 12 cm.

Néanmoins l'augmentation de la ligne d'eau générée par l'aménagement a pour conséquence d'aggraver le débordement identifié en rive gauche 255 m en amont du radier du chemin Diagonale.

Une mesure compensatoire à l'aménagement a donc été proposée afin de supprimer ce débordement. Il s'agit de réaliser un mûr moellon de 20 ml et 50 cm de haut.

Une modélisation intégrant les aménagements et la mesure compensatoire a été réalisée. Celle-ci montre que la mesure compensatoire proposée permet de supprimer le débordement généré par l'aménagement.

3.3.1.2 Description de l'aménagement proposé au droit du radier du chemin Diagonale

L'analyse de la modélisation à l'état initial a permis d'identifier 5 fronts de débordements dans le secteur. L'aménagement proposé consiste à réaliser des murs en moellons pour supprimer les débordements en amont du radier et en aval du radier :

- Amont du radier en rive droite : mur en moellons liés aux enrochements bétonnés protégeant la berge sur 40 ml avec une hauteur de 1,2 m,
- Amont du radier en rive gauche : mur en moellons liés sur 67 ml avec une hauteur de 0,6 m,
- Mur déflecteur en rive gauche au droit du radier sur 8 ml avec une hauteur de 1,4 m,
- Aval du radier (chemin Joseph Avril) en rive gauche : mur en moellons liés sur 17 ml avec une hauteur de 0,6 m,
- Reprofilage du radier en rive gauche (+30 cm) en rive gauche.

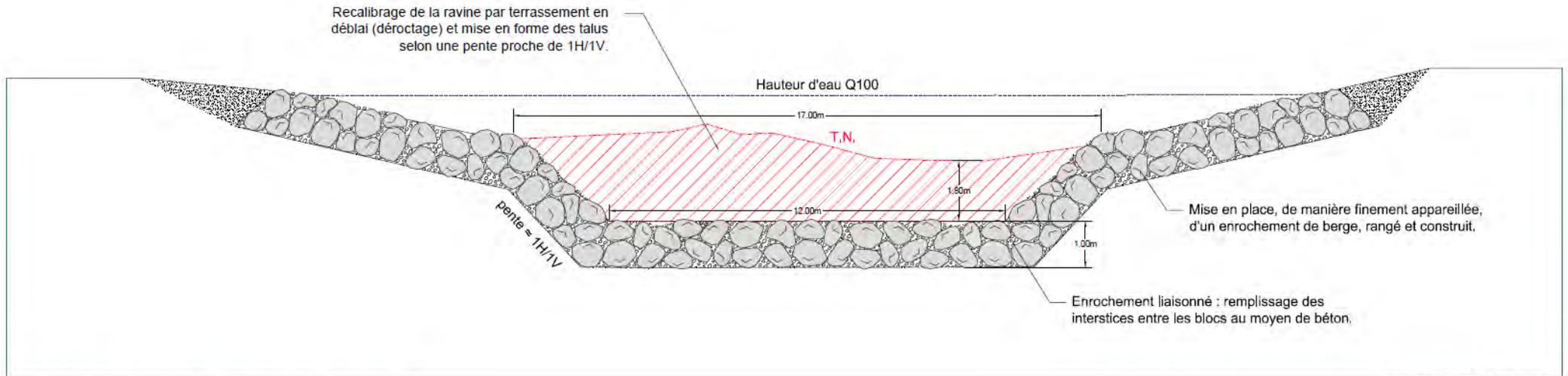
Et pour supprimer le débordement en rive gauche au droit du radier, il est proposé de dérocter la ravine des Cabris sur 83 ml et de munir le radier de 4 dalots de 2500*1500 mm. Afin de protéger la zone déroctée de l'érosion, 2 scénarios ont été envisagés. En effet, à ce stade de l'étude, la nature des sols au droit du déroctage à réaliser n'est pas connue avec précision. Il a donc été proposé 2 scénarios pour cet aménagement :

- Scénario 1 : Stabilisation du lit mineur et des berges jusqu'à la hauteur d'eau Q100 en enrochements liés. Ce scénario devra être réalisé si, après déroctage, il y a une absence de la roche mère,
- Scénario 2 : Déroctage sans stabilisation du lit mineur et des berges en enrochements liés. Ce scénario pourra être réalisé si, après déroctage, une épaisseur de roche mère d'une épaisseur minimale de 1 m subsiste.

Afin d'étudier les sols au droit de la zone à dérocter, des reconnaissances géotechniques devront être réalisées lors des études de Maîtrise d'Oeuvre.



Figure 26 : Localisation des aménagements proposés pour supprimer les débordements dans le secteur du radier du chemin Diagonale



Echelle : 1/100ème

Profil type - Recalibrage de ravine et stabilisation
du lit et des berges en enrochements liés

40

Figure 27 : Profil type de l'aménagement (partie déroctage du lit mineur) – Scénario 1 avec stabilisation du lit mineur et des berges jusqu'à la hauteur d'eau Q₁₀₀ en enrochements liés



La surface à dérocter et tous les aménagements ont été définis en réalisant 11 modélisations itératives. La géométrie générale de déroctage est la suivante :

- Profil en long avec pente comprise entre 3,8 et 4 %,

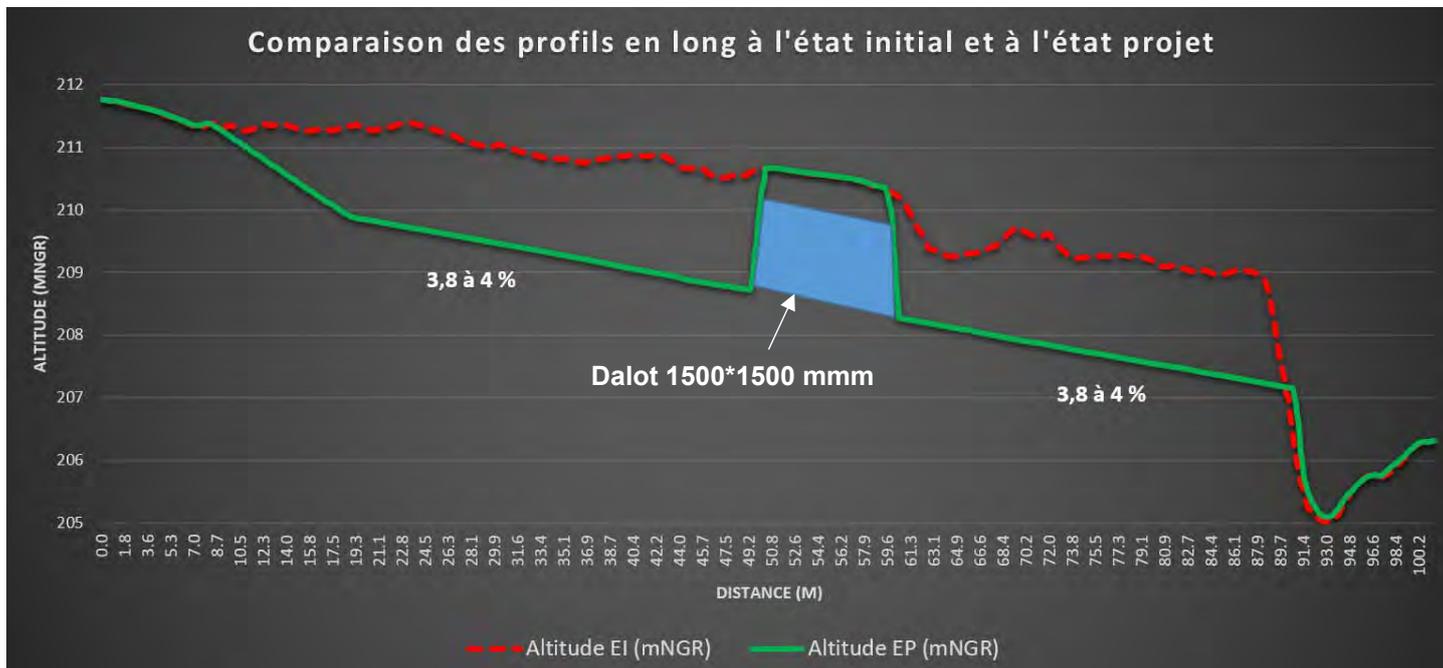


Figure 28 : Comparaison des profils en long à l'état initial et à l'état projet

- La géométrie du déroctage à réaliser a également été définie selon 7 profils en travers (exemple d'un profil en travers ci-dessous) :

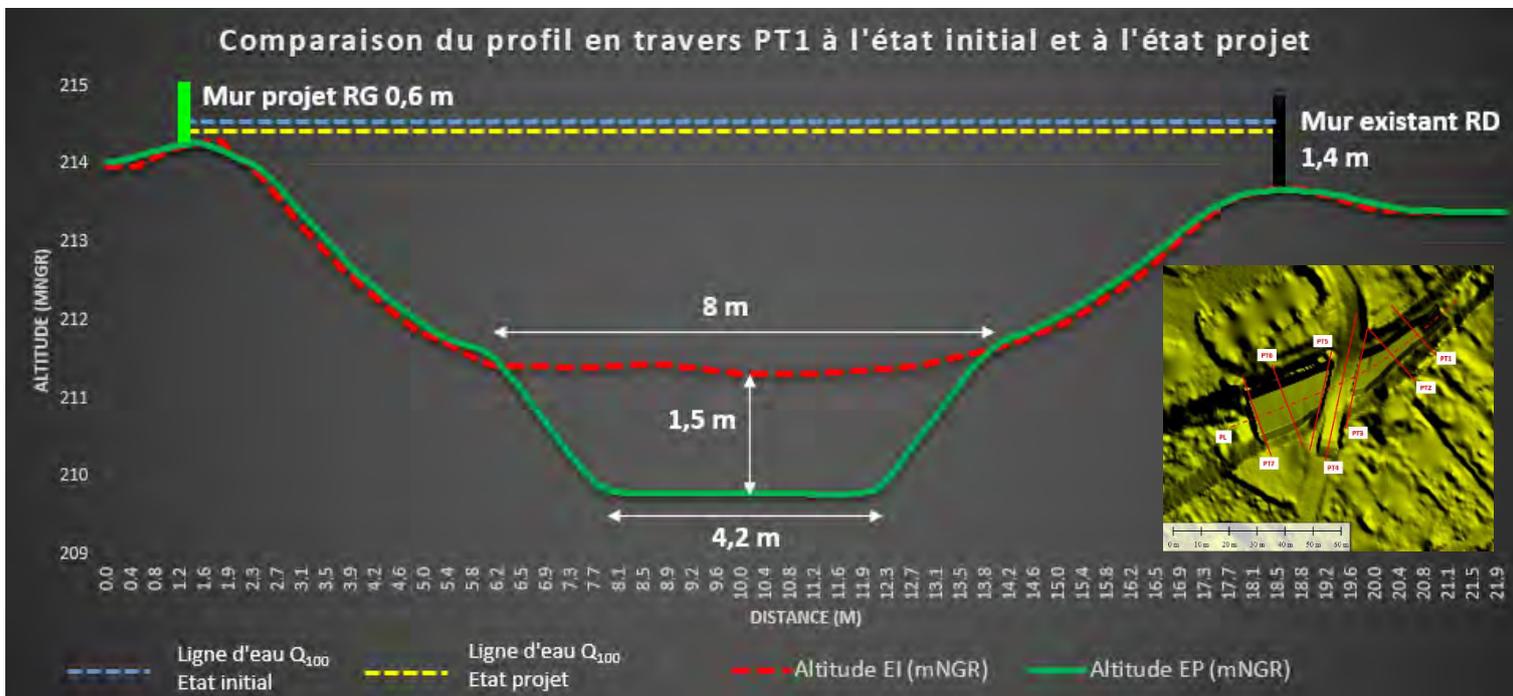


Figure 29 : Comparaison des profils en travers PT1 à l'état initial et à l'état projet



Une modélisation à l'état projet a été réalisée pour évaluer l'efficacité de l'aménagement. Cette modélisation montre l'efficacité de l'aménagement.

Les débordements en rive gauche à l'amont, au droit et à l'aval du radier, ainsi que le débordement en rive droite en amont du radier sont supprimés.

Il subsiste des écoulements dus :

- aux débordements (rive gauche de la ravine des Cabris) provenant de l'amont de la RD28,
- aux débordements (rive droite du Bras d'Antoine) provenant de l'amont et l'aval de la RD28.

Notons que ces débordements regagnent le lit mineur au droit du radier du chemin Diagonale par la rive droite.

Le débit dans la ravine des Cabris augmente de 4 m³/s et la ligne d'eau à l'aval du radier dans la ravine des Cabris augmente de 9 cm.

Ces aménagements ne provoquent pas d'aggravation des risques en aval, excepté au droit de l'ouvrage du Foyer Albert Barbot (verrou hydraulique), où les débordements existants sont amplifiés en rive gauche notamment.

Pour que cet aménagement n'aggrave pas les risques un recalibrage de l'ouvrage du Foyer Albert Barbot devra être réalisé.

Celui-ci sera étudié ultérieurement à la demande de la CVIS.

3.3.2 Résultats de la modélisation état projet avec mesures compensatoires

Les figures ci-après illustrent l'étendue de la zone d'expansion de la crue à l'état projet du site résultant des modélisations mathématiques 2D :

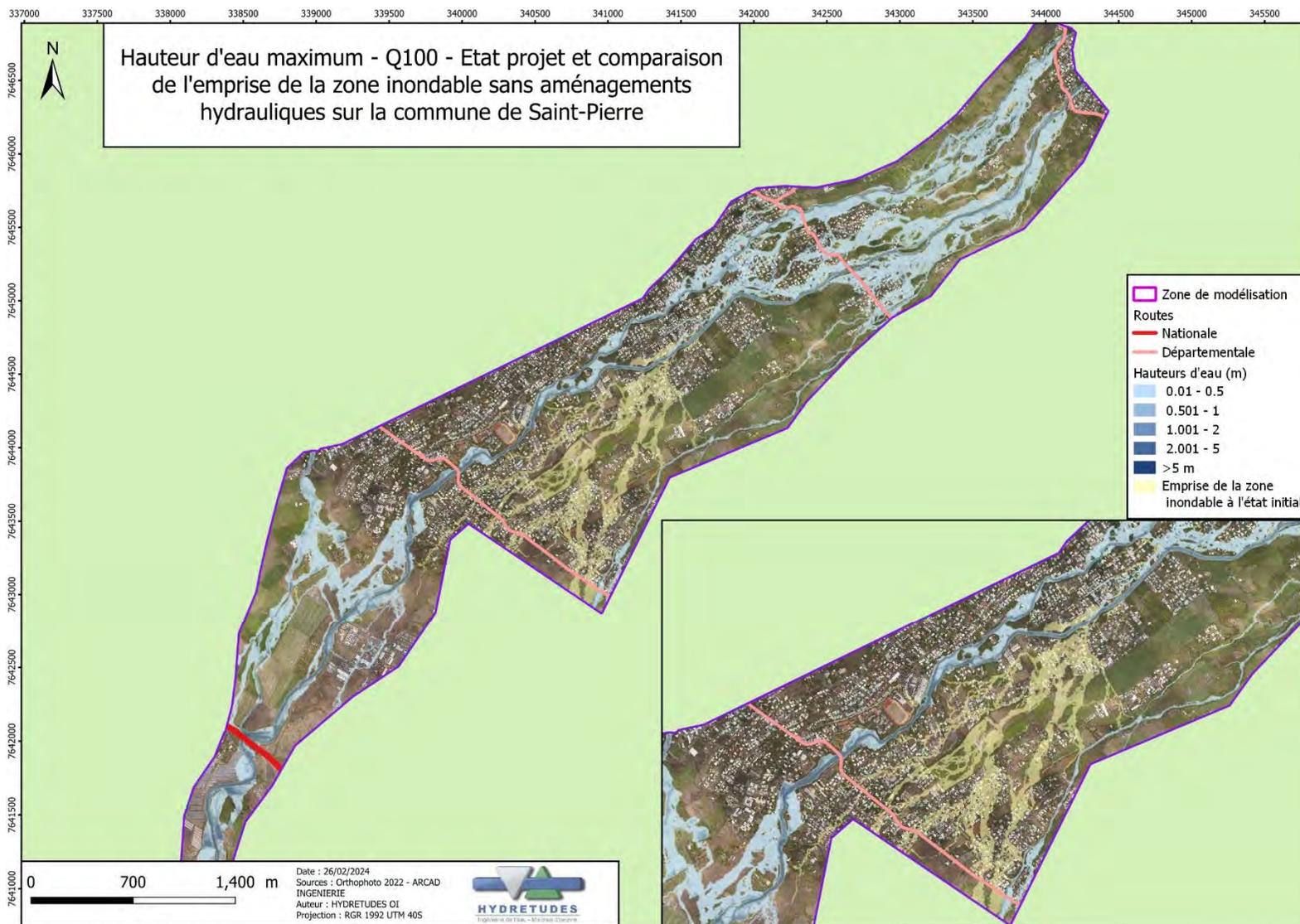


Figure 30 : Hauteurs d'eau atteintes en m - Q100 yc aménagements du Tampon - à l'état projet



3.3.3 Chiffrage sommaire des aménagements proposés

Les chiffrages ont été réalisés sur la base des prix du BPU de l'accord-cadre à bon de commande relatif aux travaux d'entretien et de réparation sur les ouvrages GEMAPI de la CIVIS - lot 2 - prestations sur la commune de saint-pierre 1.

Le chiffrage de la réfection de la voirie n'est pas indiqué dans ce BPU et a fait l'objet d'une estimation par l'entreprise RAZEL-BEC REUNION.

Les chiffrages seront affinés lors des études de maîtrise d'œuvre.

Chiffrage estimatif secteur chemin Hoareau	
Poste de travaux	Montant (€ HT)
Travaux préparatoires	4,300.00 €
Travaux de terrassements (y compris travaux de démolition)	17,100.00 €
Mise en œuvre des aménagements	11,400.00 €
Remblaiements et réfections	48,000.00 €
Divers et imprévus (20%)	16,160.00 €
Total HT	96,960.00 €
<i>TVA 8,5 %</i>	<i>8,241.60 €</i>
Total TTC	105,201.60 €

Tableau 3 : Estimation des travaux à réaliser au droit et en aval du radier du chemin Marcel Hoareau

Pour l'aménagement dans le secteur du radier du chemin Diagonale, les chiffrages des dalots à mettre en œuvre, pour les 2 scénarios, ont été basés sur les prix PREFABETON de 2021 (Prix indiqués pour une mise en place sous remblai (H=1,50 m)).

Plusieurs hypothèses ont été prises pour réaliser ces chiffrages :

- Non-réutilisation des déblais de déroctage,
- Provenance des enrochements libres d'un site extérieur.

Ces hypothèses génèrent des surcoûts et maximisent le coût des travaux. Les chiffrages seront affinés lors des études de Maîtrise d'œuvre.

Le chiffrage des 2 scénarios avec et sans stabilisation du lit mineur et des berges jusqu'à la hauteur d'eau Q₁₀₀ en enrochements liés permet, à ce stade, d'avoir une enveloppe minimale et maximale des travaux.



Notons également que le dévoiement du réseau AEP Ø150¹ et la réalisation d'une déviation pendant les travaux n'ont pas été chiffrés.

Chiffrage estimatif secteur chemin diagonale - Scénario 1	
Poste de travaux	Montant (€ HT)
Travaux préparatoires	76,000.00 €
Travaux de terrassements (y compris travaux de démolition)	171,900.00 €
Mise en œuvre des aménagements	529,700.00 €
Remblaiements et réfections	47,900.00 €
Divers et imprévus (20%)	165,100.00 €
Total HT	990,600.00 €
<i>TVA 8,5 %</i>	<i>84,201.00 €</i>
Total TTC	1,074,801.00 €

Tableau 4 : Estimation des travaux à réaliser au droit, en amont et aval du radier du chemin Diagonale – scénario 1 avec stabilisation du lit mineur en enrochements liés

Chiffrage estimatif secteur chemin diagonale - Scénario 2	
Poste de travaux	Montant (€ HT)
Travaux préparatoires	76,000.00 €
Travaux de terrassements (y compris travaux de démolition)	100,800.00 €
Mise en œuvre des aménagements	134,800.00 €
Remblaiements et réfections	47,900.00 €
Divers et imprévus (20%)	71,900.00 €
Total HT	431,400.00 €
<i>TVA 8,5 %</i>	<i>36,669.00 €</i>
Total TTC	468,069.00 €

Tableau 5 : Estimation des travaux à réaliser au droit, en amont et aval du radier du chemin Diagonale – scénario 2 sans stabilisation du lit mineur en enrochements liés

¹ DT



3.3.4 Conclusion sur les aménagements proposés

Les aménagements proposés suppriment les débordements au droit des secteurs identifiés au PAPI sur le territoire de Saint-Pierre comme présentant des désordres hydrauliques (fiche PAPI 5.9 : SP - limiter les débordements de la ravine des Cabris, et fiches C16, C17 et C18 du PGRI).

L'étude hydraulique a permis d'affiner la compréhension du fonctionnement hydraulique au droit de ce secteur et de proposer des aménagements adaptés en conséquence.

Pour le 1^{er} secteur, chemin Marcel Hoareau, l'étude a permis de faire un gain sur l'estimation du coût des travaux de 390 k€ en proposant un reprofilage de la voirie notamment en rive droite.

Pour le 2nd secteur, chemins Diagonale et Joseph Avril, l'étude a permis d'estimer les coûts des travaux entre 431 k€ et 990 k€ selon le scénario choisi (travaux estimés à 478 k€ dans le PAPI).

Sur ce 2nd secteur, les résultats des campagnes géotechniques permettront de préciser le chiffrage des travaux en phase d'études de Maîtrise d'œuvre.

Ces travaux nécessiteront également la création de murs en moellons sur un linéaire 187 m. Sur ces 187 ml, 167 ml de ces murs auront le rôle de protection contre les inondations.

Ces aménagements, 167 ml de murs moellons, pourront alors être considérés comme endiguements.

De plus, le recalibrage de l'ouvrage du Foyer Albert Barbot devra être également envisagé pour supprimer l'aggravation des risques en aval.

Cet aspect est à prendre en compte sur le choix du système d'endiguements à retenir sur la ravine des Cabris.

Pour rappel, les aménagements proposés ne suppriment pas l'ensemble des débordements générés par la ravine des Cabris et le Bras d'Antoine pour une crue centennale. Notamment les débordements en amont de la RD28 qui impactent les zones urbanisées jusqu'au niveau du chemin Marcel Hoareau.



4 CONCLUSION DE L'ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

La présente étude a permis d'améliorer la connaissance du fonctionnement hydraulique de la ravine des Cabris et de son affluent le Bras d'Antoine sur la commune de Saint-Pierre. Cette connaissance vient compléter l'étude réalisée en 2018 sur le territoire du Tampon. Le linéaire de ces cours d'eau est donc entièrement modélisé de la route du Géranium jusqu'à l'Océan.

La précision de la modélisation a permis d'identifier avec plus de précisions les désordres hydrauliques actuels sur la commune de Saint-Pierre.

À l'état initial – scénario n°1 (état actuel et existant), les résultats de la modélisation sont à quelques endroits différents des résultats de la modélisation globale réalisée dans le cadre du PGRI.

La modélisation du scénario n°2 avec les ouvrages arasés a permis d'identifier avec précisions les linéaires de berges aménagées qui jouaient un rôle de protection vis-vis des crues de la ravine des Cabris. L'analyse a permis de montrer que seul 7% (508 ml) du linéaire indiqué dans l'arrêté du 20 Août 2013 a rôle significatif sur la protection contre les inondations. Sur ces 7 %, seulement 1% (selon la nature des ouvrages concernés) du linéaire indiqué dans l'arrêté du 20 Août 2013 pourrait être considéré comme ouvrage de protection hydraulique.

Le scénario n°3 a permis d'analyser les impacts hydrauliques des aménagements de la commune du Tampon (prévus à l'étude de 2018 « étude de faisabilité hydraulique de la suppression des débordements de la ravine des Cabris et du Bras d'Antoine entre le 17^{ème} Km et la ligne des Quatre Cents »).

Enfin, le scénario n°4 a permis de définir des aménagements adaptés pour supprimer les désordres hydrauliques identifiés au PAPI sur le territoire de Saint-Pierre (fiche PAPI 5.9 : SP - limiter les débordements de la ravine des Cabris, et fiches C16, C17 et C18 du PGRI).

Pour le 2nd secteur, il est prévu, entre autres, la création de murs en moellons sur un linéaire 187 m. Sur ces 187 ml, 167 ml de ces murs auront le rôle de protection contre les inondations. Ces aménagements, 167 ml de murs moellons, pourront alors être considérés comme endiguements.

Cet aspect est à prendre en compte sur le choix du système d'endiguements à retenir sur la ravine des Cabris et vient complexifier la question du déclassement ou de définition d'un système d'endiguement partiel sur la ravine des Cabris. Au regard des aménagements proposés, un système d'endiguement d'un linéaire de 485 ml (depuis 285 ml à l'amont et jusqu'à 200 ml à l'aval du radier chemin Diagonale) pourrait être envisagé.

Notons enfin que les aménagements proposés ne suppriment pas l'ensemble des débordements générés par la ravine des Cabris et le Bras d'Antoine pour une crue centennale. Notamment les débordements en amont de la RD28 qui impactent les zones urbanisées jusqu'au niveau du chemin Marcel Hoareau.

A ce stade, il peut être envisagé :

- De commencer les études opérationnelles pour la réalisation des travaux proposés en incluant l'étude du recalibrage du Pont du Foyer Albert Barbot. Ces études opérationnelles devront également faire l'objet d'une analyse multicritère (cahier des charges PAPI III). Pour cela, plusieurs variantes devront être envisagées,
- Ou bien, étendre l'étude hydraulique globale pour réaliser une étude de faisabilité complète de la suppression des débordements de la ravine des Cabris et du Bras d'Antoine sur le territoire de Saint-Pierre.

Cette dernière solution permettrait de compléter l'étude de faisabilité menée sur la commune du Tampon en 2018 afin de disposer d'une vue d'ensemble des aménagements à réaliser sur le bassin versant pour supprimer les débordements de la ravine des Cabris et du Bras d'Antoine.



BRL
Ingénierie



www.brl.fr/brli

*Société anonyme au capital de 3 183 349 euros
SIRET : 391 484 862 000 19 - RCS : NÎMES B 391 484 862
N° de TVA intracom : FR 35 391 484 862 000 19*

1105, avenue Pierre Mendès-France
BP 94001 - 30 001 Nîmes Cedex 5
FRANCE
Tél. : +33 (0) 4 66 87 50 85
Fax : +33 (0) 4 66 87 51 09
E-mail : brli@brl.fr