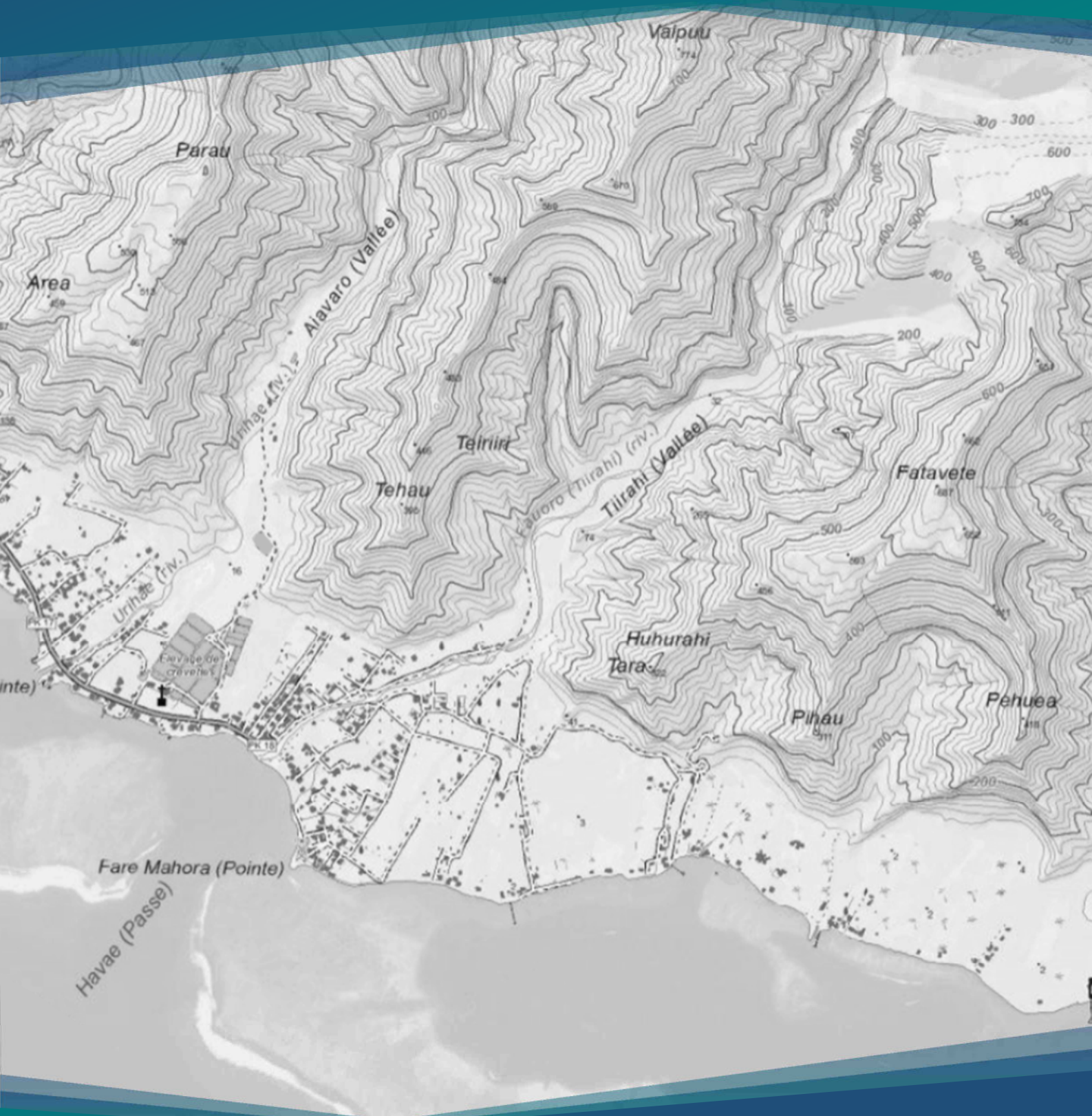




SERVICE DE L'URBANISME

CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DANS LE CADRE DES PLANS DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS DE POLYNESIE FRANÇAISE

RIVIERE FAURO (TAIARAPU-OUEST)



Affaire n° 2054 19 EP

Date	Version	Rédaction	Validation	Modifications
31/01/2020	V1	GD	AV	-



Société Polynésienne de l'Eau, de l'Electricité et des Déchets
82 chemin vicinal de Tipaerui – Papeete
BP2120 – 98713 Papeete – Tahiti – Polynésie française
Tél (+689) 40 50 81 81 – Fax (+689) 40 41 00 36 – Email : speed@speed.pf

TABLE DES MATIERES

I	CADRE DE L'ETUDE	6
1.1	Objectifs de l'étude.....	6
1.2	Périmètre de l'étude	7
1.3	Etudes et données existantes	8
II	TERRAIN	10
2.1	Données topographiques.....	10
2.2	Visite de terrain.....	10
2.3	Observations	12
2.4	Evaluation des ouvrages hydrauliques	15
III	ANALYSE HYDROLOGIQUE	16
3.1	Temps de concentration	16
3.2	Débits caractéristiques	17
3.3	Hydrogrammes de projet.....	18
IV	MODELISATION HYDRAULIQUE	19
4.1	Schéma typologique du modèle	19
4.2	Paramétrage du modèle	20
4.3	Scénarii de modélisation.....	22
V	ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE CRUE	23
5.1	Crue décennale	23
5.2	Crue cinquantennale.....	24

5.3	Crue centennale.....	26
VI	CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION.....	29
6.1	Classification de l'aléa inondation	29
6.2	Cartographies de l'aléa inondation.....	29
6.3	Cartographie finale du PPR	30
VII	PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT	31
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	32
	ATLAS CARTOGRAPHIQUE.....	33

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Secteur d'étude et localisation du bassin-versant de la rivière Fauoro. (fond de carte : Service de l'Urbanisme, Digitalglobe Inc. 2017).....	7
Figure 2.	Modèle Numérique de Terrain du Service de l'Urbanisme.	9
Figure 3 :	Localisation des riverains enquêtés	11
Figure 4 :	Evolution des tracés de la Fauoro entre 1955 et 2017(Service de l'Urbanisme, Digitalglobe)	14
Figure 5.	Hydrogrammes synthétiques unitaires pour les débits de projet Q10, Q50 et Q100.	18
Figure 6.	Matrice de rugosité de la plaine d'inondation.....	21
Figure 7.	Modélisation 1D de la crue décennale de la rivière Fauoro.	23
Figure 8.	Modélisation 2D des hauteurs d'eau maximales en crue décennale sans (à gauche) et avec érosion des digues (à droite).	24
Figure 9.	Modélisation 2D des vitesses d'écoulement maximales en crue décennale sans (à gauche) et avec érosion des digues (à droite).	24
Figure 10.	Modélisation 1D de la crue cinquanteennale de la rivière Fauoro.....	25
Figure 11.	Modélisation 2D des hauteurs d'eau maximales en crue cinquanteennale sans (à gauche) et avec érosion des digues (à droite).	25
Figure 12.	Modélisation 2D des vitesses d'écoulement maximales en crue cinquanteennale sans (à gauche) et avec érosion des digues (à droite).	25
Figure 13.	Modélisation 1D de la crue centennale de la rivière Fauoro.....	26
Figure 14.	Modélisation 2D des hauteurs d'eau maximales en crue centennale sans (à gauche) et avec érosion des digues (à droite).	27
Figure 15.	Modélisation 2D des vitesses d'écoulement maximales en crue centennale sans (à gauche) et avec érosion des digues (à droite).	27
Figure 16 :	Hydrogramme de crue entre l'amont et l'aval de la FAUORO.....	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Principales caractéristiques du bassin-versant de la rivière Fauoro.	8
Tableau 2 : Observations des riverains	11
Tableau 3 Détermination du temps de concentration du bassin-versant de la rivière Fauoro.....	16
Tableau 4. Détermination des débits caractéristiques de la rivière Fauoro.....	17
Tableau 5. Coefficients de Manning-Strickler en lit mineur.	20
Tableau 6. Coefficients de Manning-Strickler en lit majeur.....	21
Tableau 7. Scénarii du projet.	22

I CADRE DE L'ETUDE

1.1 OBJECTIFS DE L'ETUDE

En Polynésie française et à Tahiti plus particulièrement, les pressions démographique et foncière incitent à étendre et à densifier les constructions et les aménagements sur le bord de mer, dans les vallées et sur les reliefs. Cette évolution expose les populations à un risque de catastrophe naturelle de plus en plus important, conduisant le Pays à mettre en place progressivement depuis 2005 des Plans de Prévention des Risques naturels (PPR).

Les PPR sont des documents réalisés par le Service de l'Urbanisme réglementant l'utilisation des sols au regard des phénomènes naturels extrêmes auxquels ils peuvent être soumis. Ils ont pour objet l'analyse des aléas pouvant affecter un territoire, c'est-à-dire des probabilités d'occurrence de phénomènes naturels d'intensité extrême pour un lieu donné.

Dans le cas du risque inondation, la réalisation des PPR nécessite de cartographier l'aléa inondation pour des événements de différentes magnitudes de référence. Ceux-ci sont caractérisés par des périodes de retour allant de 10 à 100 ans, c'est-à-dire par des probabilités d'occurrence annuelle allant de 10 à 1%. Ces cartographies sont réalisées à partir d'expertises de terrain, d'études hydrologiques et de modélisations hydrauliques.

Ce rapport présente les résultats d'une étude réalisée par la Société Polynésienne de l'Eau, de l'Electricité et des Déchets (SPEED) dans le cadre du marché public n° 01/2018/SAU (Lot 3). Il porte sur la rivière Fauoro (ou Tiirahi) s'écoulant dans la commune de Tairapu-Ouest (district de Teahupoo) sur la presqu'île de Tahiti. Les objectifs de cette étude sont de :

- Simuler les débordements observés lors de crues remarquables sur ce cours d'eau ;
- Définir la capacité d'évacuation maximale de son lit mineur ;
- Définir l'extension, la hauteur et la vitesse d'écoulement des crues de référence en lit majeur ;
- Evaluer le risque d'embâcle et ses conséquences possibles sur l'extension des inondations ;
- Diagnostiquer succinctement les ouvrages hydrauliques existants ;
- Proposer des aménagements permettant de réduire l'aléa inondation au droit de ce cours d'eau.

Après avoir brièvement introduit la zone d'étude, nous présentons les différentes observations de terrain qui nous permettront, avec l'analyse des données hydrologiques disponibles, de paramétrer un modèle hydraulique de la rivière Fauoro. Les résultats des simulations obtenus pour différents scénarii de crues caractéristiques sont ensuite analysés et traduits en cartographie d'aléa inondation.

Finalement, différentes propositions d'aménagement permettant la mitigation des risques d'inondation et d'érosion au droit de cette rivière sont évaluées au regard des enjeux de vulnérabilité identifiés le long du cours d'eau.

1.2 PERIMETRE DE L'ETUDE

La rivière Fauoro s'écoule dans la vallée Tiirahi située dans le district de Teahupoo (PK18, commune de Tairapu-Ouest) sur la presqu'île de Tahiti. Son bassin-versant s'étend sur une superficie de 10.515 km² et s'étire sur une distance maximale de 8 975 m, depuis une altitude maximale de 1 120 m jusqu'au lagon. La pente moyenne le long du thalweg est de l'ordre de 12 %.

Néanmoins, le dernier tronçon aval (1100 m linéaire), objet de l'étude, présente un profil en long très plat (pente longitudinale de 0.8%) au regard des rivières voisines de Urihee (1.4 %) et surtout de Vaipohe (6%).

Le secteur d'étude concerne le tronçon aval du linéaire, où sont présentes les habitations, sur une longueur d'environ 1 200 m. A noter qu'une précédente étude sur la Urihee a montré que les débordements de cette rivière voisine n'atteignaient pas le lit majeur de la Fauoro. En conséquence, les deux rivières ont fait l'objet de modélisation distincte.

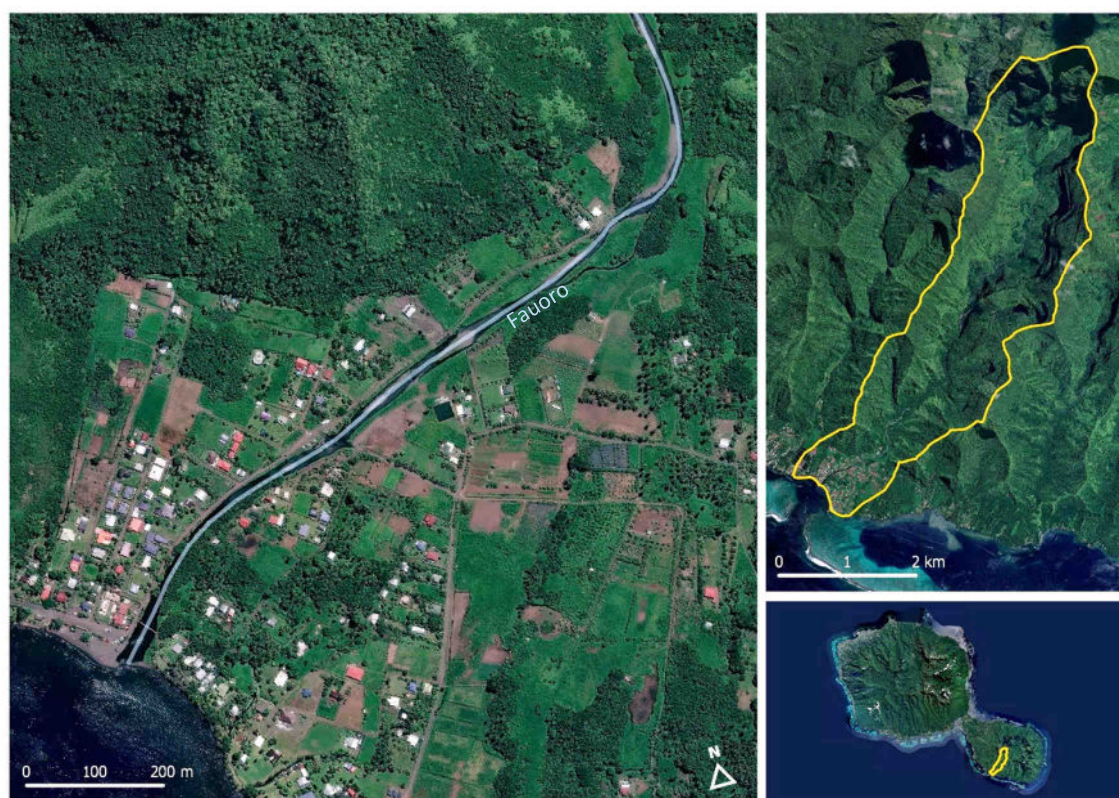


Figure 1. Secteur d'étude et localisation du bassin-versant de la rivière Fauoro.
(fond de carte : Service de l'Urbanisme, Digitalglobe Inc. 2017)

CARACTERISTIQUES DU BASSIN-VERSANT	FAUORO
Superficie	10.515 km ²
Plus long chemin hydraulique	8 975 m
Altitude maximale	1 120 m
Altitude minimale	0 m
Pente moyenne le long du thalweg	12 %

Tableau 1 Principales caractéristiques du bassin-versant de la rivière Fauoro.

Selon les différentes sources documentaires, la rivière peut être nommée Fauoro ou Tiirahi.

1.3 ETUDES ET DONNEES EXISTANTES

A notre connaissance, la rivière Fauoro n'a fait l'objet d'aucune campagne de mesures hydrologiques à ce jour. Néanmoins, différentes études, monographiques ou régionales, apportent cependant des éléments utiles à l'analyse de ce cours d'eau :

- En 1999, l'étude BCEOM sur les priorités d'aménagements des cours d'eau de Tahiti attribue à la Fauoro une priorité de 3 sur 5 (priorité forte = 1, priorité faible = 5), indiquant un risque d'inondation intermédiaire ;
- En 2003, Joël Danloux utilise la formule empirique de Creager régionalisée pour estimer les débits caractéristiques de la Fauoro. En se basant sur les mesures de débits réalisées sur la rivière voisine Urihae, il retient un débit de 182 m³/s pour la crue décennale (Q10), 289 m³/s pour la crue cinquantennale (Q50) et 347 m³/s pour la crue centennale (Q100) ;
Il estime par ailleurs que pour ce secteur de la presqu'île, les Plus Hautes Eaux (PHE) connues ont dû être atteintes lors de la tempête Alan, en avril 1998. Les débits atteints alors furent de l'ordre de la crue cinquantennale (290 m³/s) ;
- En 2011, VAIAD réalise un diagnostic hydraulique (modélisation 1D) de la Fauoro pour la Direction de l'Équipement. Les débits caractéristiques alors retenus sont 108 m³/s (Q10), 170 m³/s (Q50) et 223 m³/s (Q100) ;
- Par ailleurs, le Service de l'Urbanisme dispose d'un ensemble de données couvrant la totalité de Tahiti qui seront également mobilisées dans cette étude : Une ortho-photographie satellite WorldView3 de 2017, un modèle numérique de terrain obtenu par restitution photogrammétrique à une résolution de 5m en 2013 et une série de photographies aériennes. Concernant notre secteur d'étude, les photographies aériennes disponibles couvrent les années suivantes : 2003, 2002, 2001, 1996, 1993, 1990, 1989, 1987, 1982, 1981, 1977 et 1955.

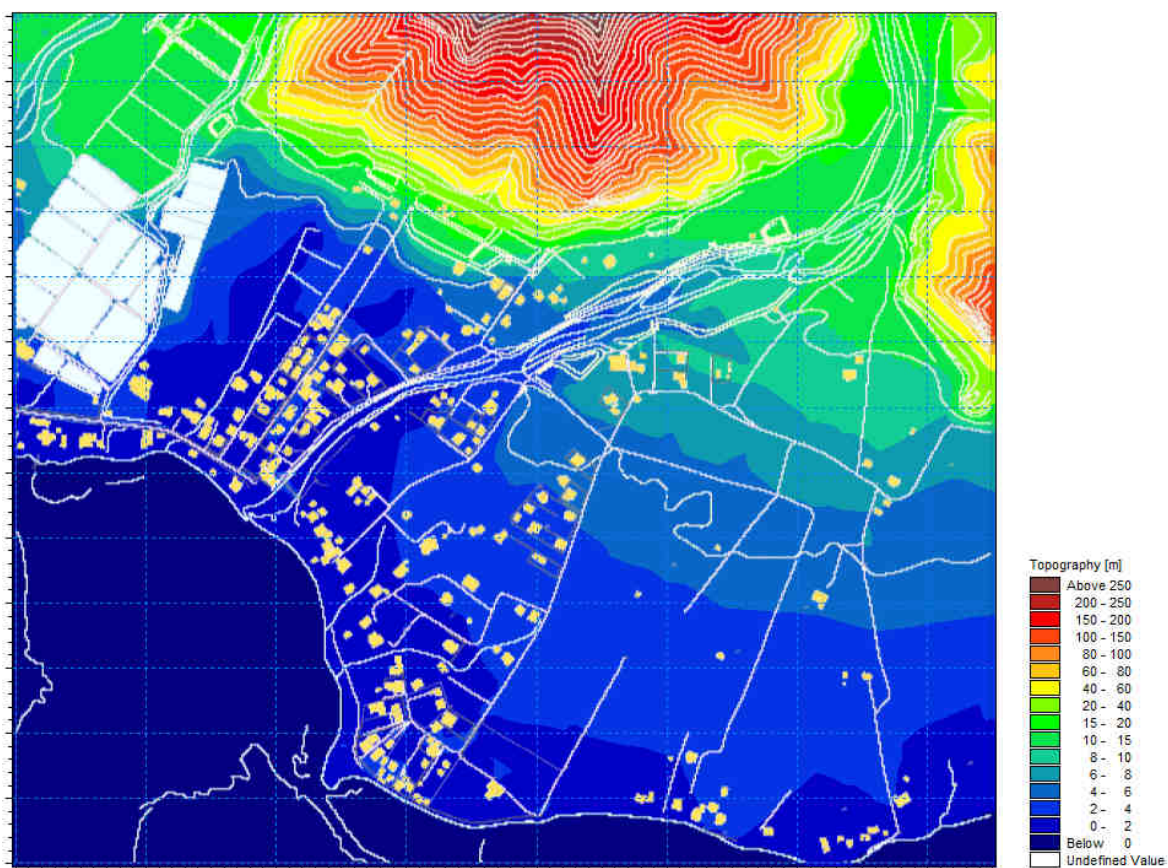


Figure 2. Modèle Numérique de Terrain du Service de l'Urbanisme.

II TERRAIN

2.1 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Les levés topographiques du lit mineur de la rivière Fauoro furent réalisés par le cabinet de géomètres WILD en juillet 2019 :

- Un profil en long au 1/500 sur un linéaire de 1156 m depuis l'embouchure,
- 19 profils en travers au 1/200 (espacement moyen de 80m et sections amont et aval de chaque ouvrage hydraulique).

2.2 VISITE DE TERRAIN

Une visite de terrain fut organisée en mai 2019 le long de la rivière Fauoro afin d'effectuer des observations hydrauliques et hydrogéomorphologiques et de mener une enquête auprès des riverains (9 entretiens réalisés).

Ce travail de terrain fut complété par une analyse de photographies aériennes historiques mises à disposition par le Service de l'Urbanisme permettant d'appréhender la dynamique du cours d'eau dans le temps.

Le tableau suivant synthétise les échanges avec les riverains :

Point sur carte	Durée d'observation	Observations
1	2 ans	Débordement au droit du gué. Erosion en rive droite.
2	1 an	Pas de débordement observé Méandre qui s'est creusé avec formation de rapide. Présence d'embâcles dans le lit.

3	7 ans mais 30 ans de vécu dans la vallée	Débordement auparavant avec érosion. Depuis 7 ans, enrochements et remblai en rive droite
4	10 ans	Pas de débordement par-dessus l'enrochement. Débordement en aval sur la route après la descente.
5	22 ans	Remontée dans le caniveau Débordement (sans courant) de 0.5 m dans la maison en 1998 Destruction des ponts par des embâcles
6	50 ans	Pas de débordement
7	1 an	Arbres entraînant des débordements (embâcles sur le cordon à l'exutoire). Inondation jusqu'à 0.2 m sous la dalle
8	7 ans	Débordement fréquent (2019, 2015) avec fortes vitesses 50 cm d'eau dans la maison en 2015, la rivière emprunte le chemin. Enrochement cassé il y a 1 an.
9	7ans	Débordement fréquent (2015, presque jusqu'à la maison). Déborde en rive gauche avant rive droite. Embâcles en lit mineur et vitesses élevées.

Tableau 2 : Observations des riverains



Figure 3 : Localisation des riverains enquêtés

D'une façon générale, on note que les habitations en vallée et **en rive gauche** (à l'exception de celles en bord de plage) sont **toutes postérieures à 1987** et que la majorité de ces habitations date des **années 2000 ou plus**.

Le retour d'observation dans ces zones est donc faible.

2.3 OBSERVATIONS

Le tableau ci-dessous présente les observations des cours d'eau de l'amont vers l'aval en mai 2019

<p>Tronçon amont 1 – P1-P4 Vue vers l'amont sur le méandre Cours d'eau naturel (non enroché) Granulométrie décimétrique Largeur de 50 à 70 m</p>	
<p>Tronçon amont - Replat– P4 – Vue vers l'aval sur la zone de replat – Erosion en rive gauche Granulométrie décimétrique – Nombreux atterrissements</p>	
<p>Tronçon intermédiaire amont – P4-P10 Vue vers l'aval Nombreuses tresses du lit vif à l'intérieur du lit mineur avec atterrissements dont certains en cours de végétalisation Blocs décimétriques. Enrochements en rive droite et en rive gauche (avec trace d'érosion en aval) Largeur : 28 à 46 m</p>	

<p>Gué P 10</p> <p>Vue vers l'amont</p> <p>Cours d'eau enroché (largeur 25 m)</p> <p>Atterrissements importants en rive droite (observés déjà en 2007 par VAIAD)</p>	
<p>Tronçon intermédiaire aval– P11-P14</p> <p>Vue vers l'aval</p> <p>Rive gauche naturelle avec ripisylve (Purau...)</p> <p>Rive droite enrochée</p> <p>Granulométrie centimétrique</p> <p>Largeur de 17 à 20 m</p>	
<p>Tronçon aval– P14-19 – PM930 à 1100</p> <p>Vue vers l'amont sur la passerelle (posée sur culées)</p> <p>Cours d'eau enroché en rive droite avec une largeur de 28 à 32 m</p> <p>Influence lagonaire</p> <p>Granulométrie millimétrique</p>	
<p>Tronçon aval – P19</p> <p>Vue sur l'exutoire en mer, fermé au ¾ par un cordon de galets et de sable.</p> <p>Granulométrie millimétrique</p>	

2.3.1 Evolution morphologique des rivières

L'analyse des prises de vue aériennes permet d'observer la modification du tracé de la rivière depuis 1955.

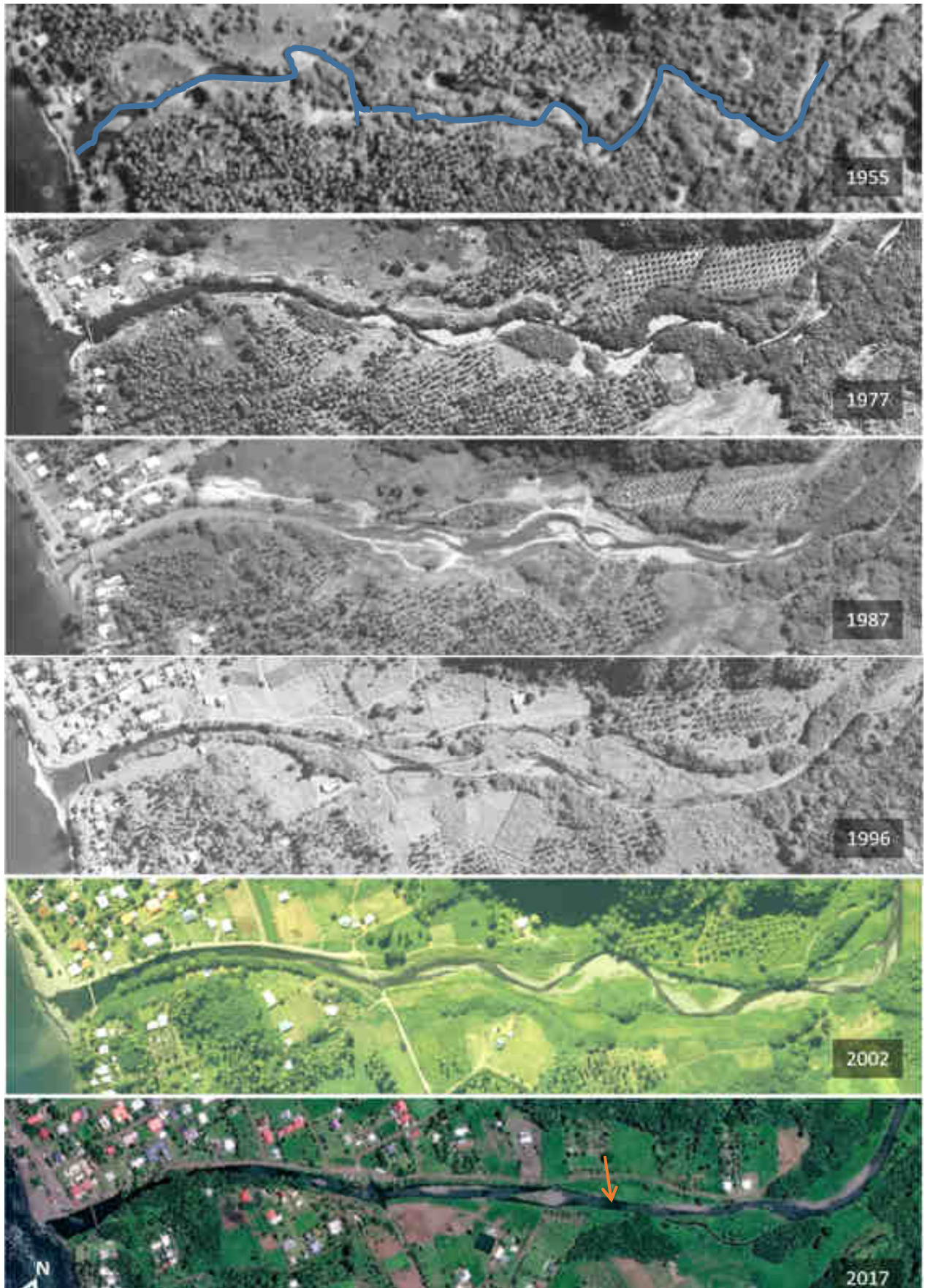


Figure 4 : Evolution des tracés de la Fauoro entre 1955 et 2017(Service de l'Urbanisme, Digitalglobe)

La rivière FAUORO présentait un lit mineur encore très mobile jusqu'en 2002 et qui a ensuite été figé.

Au Profil P5-P6, la mise en place d'un enrochement en rive droite entre 2002 et 2017 (flèche orange) a figé le lit mineur en rive droite. La zone de mobilité se maintient en rive gauche (érosion des berges ...).

Plus en aval, la plaine alluviale, large de près de 800 m, présente à l'Est (rive gauche) de nombreuses dépressions, matérialisées par des marécages et drainées par des petits cours d'eau. L'un d'eux se trouve en limite du lit majeur de la Fauoro.

Ce bras de décharge a été observé sur le terrain. Il possède son exutoire propre en mer et est déconnecté de la Fauoro en amont.

2.4 EVALUATION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

La Fauoro ne comporte que deux ouvrages :

- Un gué au P10 (PM698) qui n'est pas matérialisé par un seuil.
Il est modelé dans le lit et est retranscrit dans la modélisation par le simple levé du lit (pas d'ouvrage spécifique en l'absence de seuil)
- Une passerelle piétonne au P16 (PM 1108) qui de par sa hauteur (cote tablier : + 2.83 m NGPF / Cote Q100 : + 1.44 m NGPF) et de par sa structure, ne présente pas d'obstacle aux embâcles ni d'impact sur les conditions d'écoulement. Elle est donc modélisée comme une section libre.

Au final, aucun de ces deux ouvrage n'a donc été spécifiquement modélisé sur cette rivière.

III ANALYSE HYDROLOGIQUE

Le bassin-versant de la rivière Fauoro n'a jamais fait l'objet de campagne de mesures hydrologiques et nous ne disposons d'aucune observation directe de débit sur ce cours d'eau. De la même manière, il n'existe pas non plus de mesures pluviométriques sur ce bassin. Il est donc nécessaire ici d'estimer les débits caractéristiques de la rivière Fauoro ainsi que son hydrogramme de crue à partir des données existantes sur des bassins voisins similaires et des caractéristiques géographiques de son bassin-versant.

Conformément à l'usage dans ce type de situation, l'hypothèse de travail retenue ici est celle d'une pluie unitaire et uniforme s'abattant sur la totalité du bassin-versant pendant une durée correspondant à son temps de concentration. Ces précipitations résultent alors en un hydrogramme de crue synthétique unitaire.

3.1 TEMPS DE CONCENTRATION

FORMULE	TEMPS DE CONCENTRATION (min)
Giandotti	59.3
Izzard-Meunier	62.4
Kirpich	48.0
Ven Te Chow	48.0
Ventura	70.1
TEMPS DE CONCENTRATION DE PROJET	56.6

Tableau 3 Détermination du temps de concentration du bassin-versant de la rivière Fauoro.

Le temps de concentration est une caractéristique essentielle du bassin-versant. Selon les méthodes choisies, il est utilisé dans l'estimation des débits caractéristiques ainsi que dans la construction de l'hydrogramme de crue synthétique. Au cours des années, de nombreuses formules ont été proposées dans la littérature. Nous ne retenons ici que les formules les plus communes adaptées aux bassins-versants naturels/ruraux de petite dimension.

Le temps de concentration retenu dans cette étude est $T_c = 56.6$ min. Il correspond à la moyenne des valeurs obtenues par les différentes formules utilisées desquelles on retire les 2 valeurs extrêmes.

3.2 DEBITS CARACTERISTIQUES

Les débits caractéristiques de la rivière Fauoro ont fait l'objet de plusieurs estimations par le passé au moyen de différentes méthodes. Nous proposons ici de nouvelles estimations résultant de l'application de la méthode rationnelle pour l'estimation du débit de référence décennal et de son extrapolation par la méthode du gradex pour l'estimation des débits de référence cinquantennal et centennal.

Cette méthode est successivement appliquée à partir des paramètres hydrologiques (coefficients de Montana dérivés des valeurs d'Intensité-Durée-Fréquence) de différentes stations :

- La station météorologique de Faa'a, qui présente la plus longue série de données avec des valeurs d'IDF déterminées sur une période de 50 ans (1958-2008) ;
- La station de Taravao, plus proche géographiquement du bassin-versant étudié mais ne disposant d'observations que pour une période de 20 ans seulement.

Par ailleurs, pour l'application de la méthode rationnelle, un coefficient de ruissellement $C = 0.55$ est retenu. Celui-ci correspond à la valeur retenue dans les études réalisées sur le bassin-versant voisin de la rivière Urihae et est cohérent avec celui retenu dans l'étude VAIAD de 2011 (0,5 pour le coefficient décennal). En outre, l'imperméabilisation des sols sur le bassin-versant (0.13% de la surface) est ici trop faible pour être impactante.

METHODE	Q10 (m ³ /s)	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)
DANLOUX 2003 Formule empirique de Creager régionalisée	182	289	347
VAIAD 2011 Méthode rationnelle (station : Taravao)	108	170	223
Méthode rationnelle + Gradex (station : Taravao)	125	180	203
Méthode rationnelle + Gradex (station : Faa'a)	110	172	199
DEBITS DE PROJET	110	172	199

Tableau 4. Détermination des débits caractéristiques de la rivière Fauoro.

Les estimations réalisées par Danloux en 2003 au moyen de la formule de Creager basée sur les données hydrologiques du bassin-versant voisin de la rivière Urihae semblent assez fortement surestimer les débits caractéristiques de la rivière Fauoro. Ceci est cohérent avec la surestimation des débits de la rivière Urihae dans son étude, résultant des nombreuses ruptures et décalages dans la série de données de cette station.

Les autres estimations proposent des valeurs relativement similaires les unes aux autres, bien que l'on puisse noter un Q100 relativement moindre avec la méthode du gradex (autour de 200 m³/s) qu'avec la méthode rationnelle employée par VAIAD (223 m³/s). Nous retiendrons ici les résultats obtenus à partir des données pluviométriques de Faa'a qui sont statistiquement les plus robustes du fait de la longueur de la série de mesures, et qui sont les plus cohérents avec les valeurs de Q10 et Q50 estimées par VAIAD en 2011.

Les débits de crues caractéristiques retenus dans cette étude seront par conséquent 110 (Q10), 172 (Q50) et 199 m³/s (Q100).

On note finalement que si les plus fortes crues observées sur les rivières de Teahupoo semblent être celles du 11 avril 1998 lors du passage de la tempête Alan, la valeur de 290 m³/s avancée par Danloux, de l'ordre de son Q50 mais supérieur au Q100 retenu ici, est très incertaine en raison de la surestimation générale des débits caractéristiques de la rivière Fauoro dans cette étude.

3.3 HYDROGRAMMES DE PROJET

Ne disposant pas d'enregistrement d'hydrogramme unitaire de crue sur la rivière Fauoro, des hydrogrammes synthétiques unitaires, de type triangulaire, sont générés pour chacun des 3 débits de projet à partir du temps de concentration du bassin-versant.

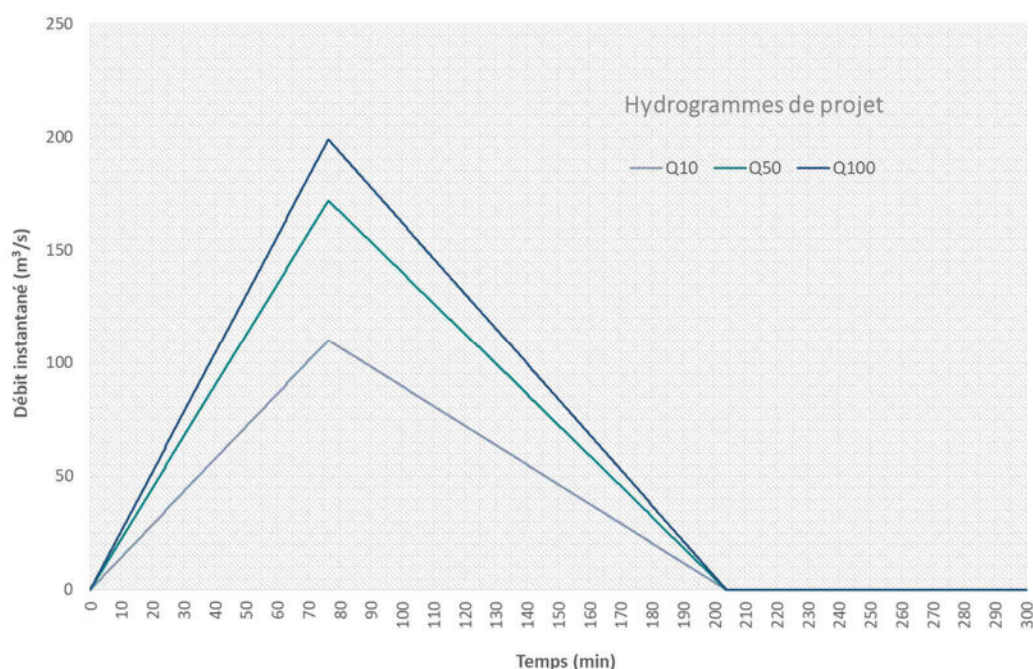


Figure 5. Hydrogrammes synthétiques unitaires pour les débits de projet Q10, Q50 et Q100.

IV MODELISATION HYDRAULIQUE

4.1 SCHEMA TYPOLOGIQUE DU MODELE

4.1.1 Modélisation 1D sous Mike 11

La modélisation de l'écoulement dans le lit mineur s'effectue au moyen du logiciel unidimensionnel MIKE 11. Celui-ci reconstitue la géométrie du lit mineur par l'intégration des données issues des levés topographiques (profil en long et profils en travers) pour permettre une analyse fine des écoulements le long du linéaire de la rivière (hauteurs d'eau, vitesses d'écoulement, débits, points de débordement...).

4.1.2 Modélisation 2D sous Mike 21

Le logiciel MIKE 21 est utilisé pour modéliser la plaine d'inondation à une résolution de 10 m à partir des données topographiques disponibles et du modèle numérique de terrain du Service de l'Urbanisme. Ce modèle bidimensionnel permet de simuler les écoulements de surface dans le lit majeur en fonction des obstacles topographiques naturels et artificiels (digues, remblais...) et d'en extraire entre autres les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement nécessaires à la cartographie de l'aléa inondation.

On notera que dans cette étude, compte tenu de la faible densité du bâti, les bâtiments sont considérés comme transparents hydrologiquement, c'est-à-dire que leur influence sur les écoulements n'est pas prise en compte directement à l'échelle du bâti, mais seulement de manière plus large à travers des coefficients de rugosité adaptés.

4.1.3 Couplage 1D-2D sous Mike Flood

Le couplage des modèles 1D et 2D s'effectue finalement sous l'interface MIKE FLOOD qui connecte le lit mineur à sa plaine d'inondation. Les déversements de l'un vers l'autre, et réciproquement, sont

modélisés au moyen de lois de seuil automatisées en fonction de la cote des berges, de la cote du lit majeur et du niveau d'eau.

4.1.4 Limites du modèle hydraulique

Les limites du modèle hydraulique sont principalement :

- La précision de la géométrie du lit mineur, dépendant en particulier de la densité de profils en travers levés sur le terrain ;
- La précision de la topographie du lit majeur, dépendant de la qualité des données topographiques disponibles (points géodésiques, modèle numérique de terrain réalisé par restitution photogrammétrique, données LIDAR...) ;
- Le calage des paramètres de rugosité en lit mineur et en lit majeur à partir de mesures ou d'observations précises d'événements passés ou, à défaut, d'estimations tirées de la littérature.

4.2 PARAMETRAGE DU MODELE

4.2.1 Rugosité du lit mineur

La rugosité du lit mineur est caractérisée par des coefficients de Strickler (ou Manning's M) exprimés en $m^{1/3}/s$. Faute d'observations ou témoignages permettant de caler empiriquement ces coefficients de Strickler, nous retenons, après analyse de la littérature scientifique, les valeurs suivantes pour chacun des tronçons rencontrés le long du linéaire de la rivière.

TRONCON	NATURE DU LIT MINEUR	MANNING-STRICKLER ($m^{1/3}/s$)
Chenal à méandres	Berges partiellement enrochées	25
Chenal rectiligne	Berges partiellement enrochées et végétalisées	25

Tableau 5. Coefficients de Manning-Strickler en lit mineur.

4.2.2 Rugosité de la plaine d'inondation

De la même manière, des coefficients de Strickler relatifs à chaque type de surface caractérisent la rugosité de la plaine d'inondation sous la forme d'une matrice géoréférencée.

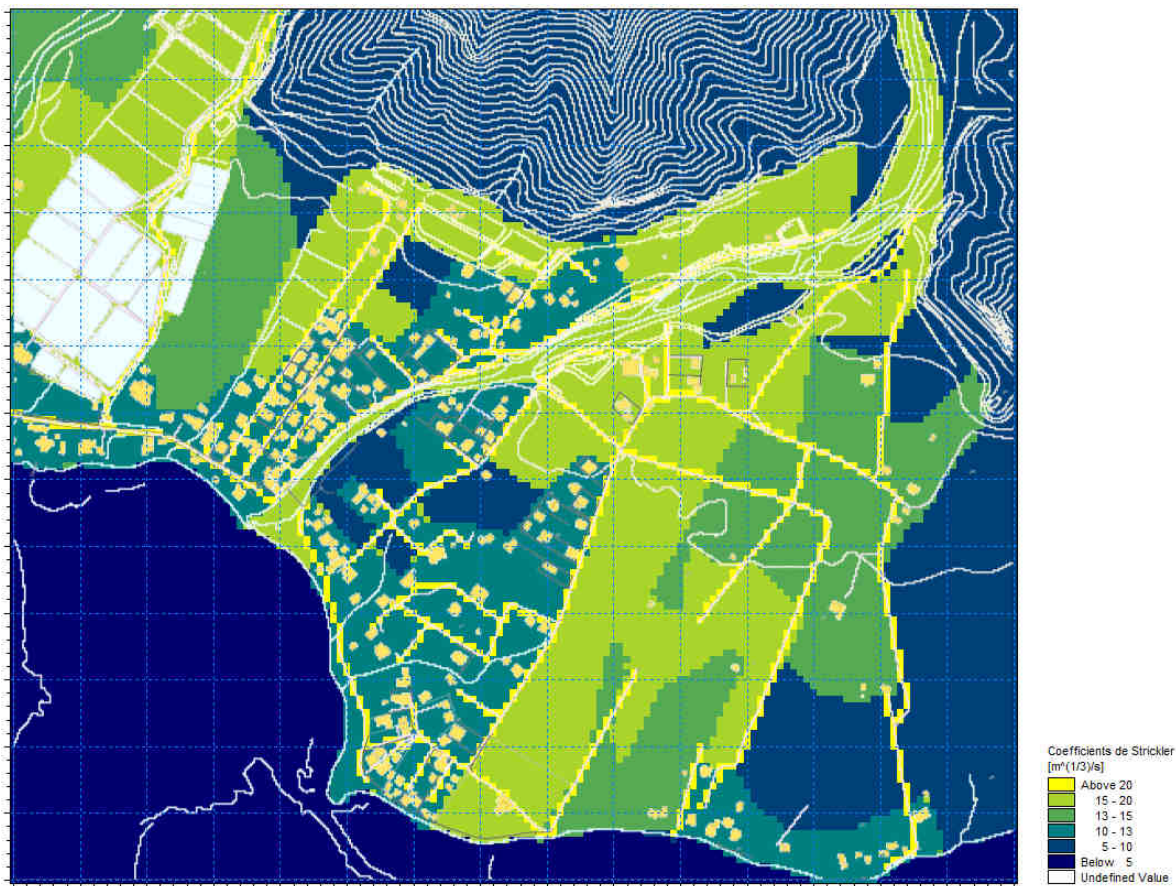


Figure 6. Matrice de rugosité de la plaine d'inondation.

Les valeurs suivantes sont retenues en accord avec les données issues de la littérature scientifique :

NATURE DU LIT MAJEUR	MANNING-STRICKLER ($m^{1/3}/s$)
Surface dégagée non-végétalisée	25
Surface dégagée peu végétalisée (herbes basses)	20
Surface dégagée très végétalisée (herbes hautes, buissons)	15
Surface forestière	8
Zone d'habitat rural de densité modérée	13

Tableau 6. Coefficients de Manning-Strickler en lit majeur.

4.3 SCENARIIS DE MODELISATION

Le modèle hydraulique est utilisé afin de simuler les écoulements de la rivière Fauoro pour différents scénarii. Chaque scénario est caractérisé par un débit de crue (condition limite amont du modèle), un niveau lagonaire (condition limite aval du modèle) et la modélisation ou non d'embâcle au droit des ouvrages hydrauliques sensibles à ce type de phénomène.

Aucun embâcle n'a été simulé sur la rivière Fauoro. Le seul ouvrage présent sur ce cours d'eau est la passerelle située à son embouchure et, du fait de sa hauteur très élevée par rapport à la ligne d'eau, la formation d'un embâcle y est très improbable.

Par ailleurs, la vulnérabilité des berges endiguées lors de crues extrêmes est évaluée au droit des profils topographiques. Là où la pente est supérieure à la pente d'équilibre caractérisée par le rapport 3H2V (3 unités horizontales pour 2 unités verticales), la géométrie du lit mineur est corrigée en calculant la hauteur de la berge érodée.

Conformément aux objectifs de l'étude, des simulations des crues décennale, cinquantennale et centennale sont donc réalisées. Des simulations complémentaires permettent également d'évaluer la sensibilité du modèle aux variations du niveau lagonaire et à la suppression ou non des digues.

SCENARIO	DEBIT	NIVEAU LAGONAIRE	EMBÂCLE	AUTRE ELEMENT
Crue décennale	110 m ³ /s	0m NGF	-	Erosion de la digue
Crue cinquantennale	172 m ³ /s	0m NGF	-	Erosion de la digue
Crue centennale avec surcote marine	199 m ³ /s	+1m NGF	-	Erosion de la digue
Crue centennale avec surcote marine et embâcles	199 m ³ /s	+1m NGF	-	Erosion de la digue

Tableau 7. Scénarii du projet.

On note finalement que la plus grande crue observée sur le bassin versant de la rivière Fauoro ne fait pas l'objet d'une simulation dans cette étude. Il s'agirait a priori d'une crue cinquantennale survenue lors du passage de la tempête Alan en avril 1998. Or aucune donnée et aucun des témoignages recueillis ne permet de caractériser cet événement plus précisément.

V ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE CRUE

5.1 CRUE DECENNALE

Lors de la simulation du scénario de crue décennale, un point de débordement est observé en rive gauche du tronçon aval de la Fauoro (PM960 pour $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$). L'inondation, de faible ampleur, est alors restreinte à dépression topographique située dans le creux du tronçon aval de la rivière.

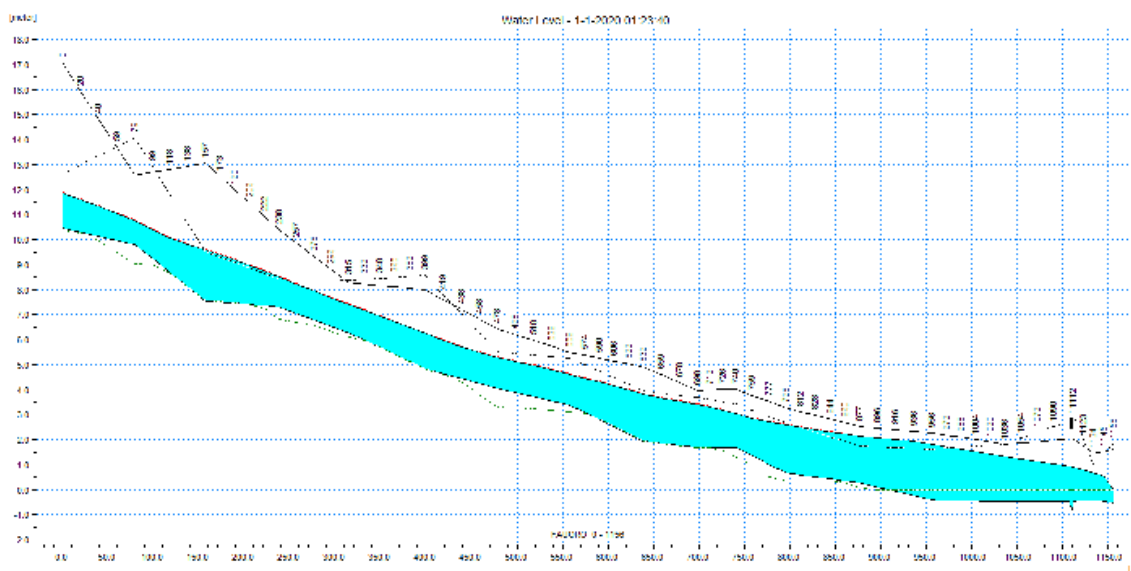


Figure 7. Modélisation 1D de la crue décennale de la rivière Fauoro.

Dans l'hypothèse d'une érosion partielle des digues, le débordement est alors plus important, touchant un secteur s'étendant du PM820 au PM930 à partir de $Q = 70 \text{ m}^3/\text{s}$. L'écoulement en lit majeur suit alors la rive gauche de la rivière, une partie regagnant le lit mineur en amont de la passerelle, l'autre poursuivant son chemin jusqu'à l'embouchure.

En crue décennale, le tirant d'air sous la passerelle est de 1.90 m.

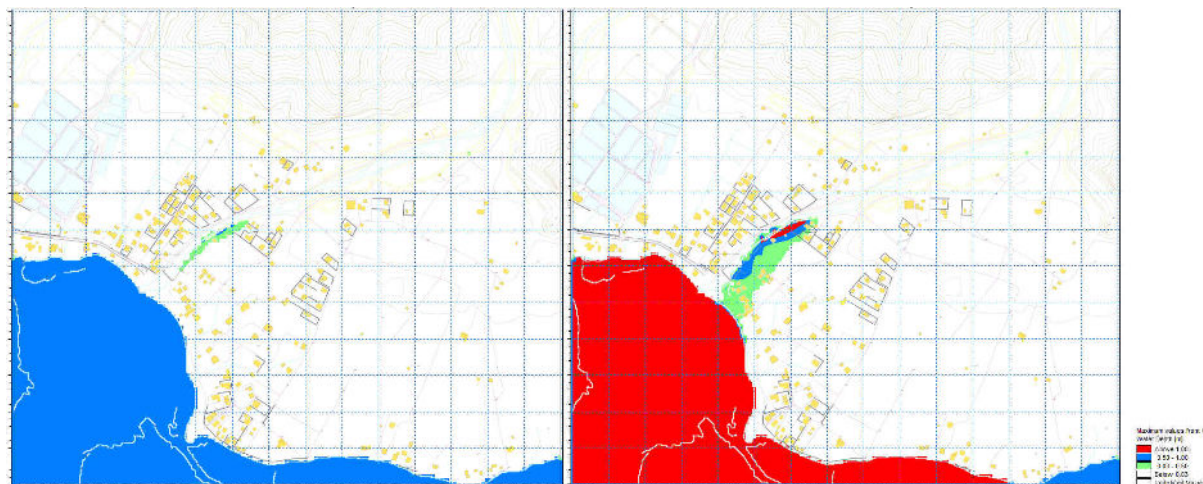


Figure 8. Modélisation 2D des hauteurs d'eau maximales en crue décennale sans (à gauche) et avec érosion des digues (à droite).

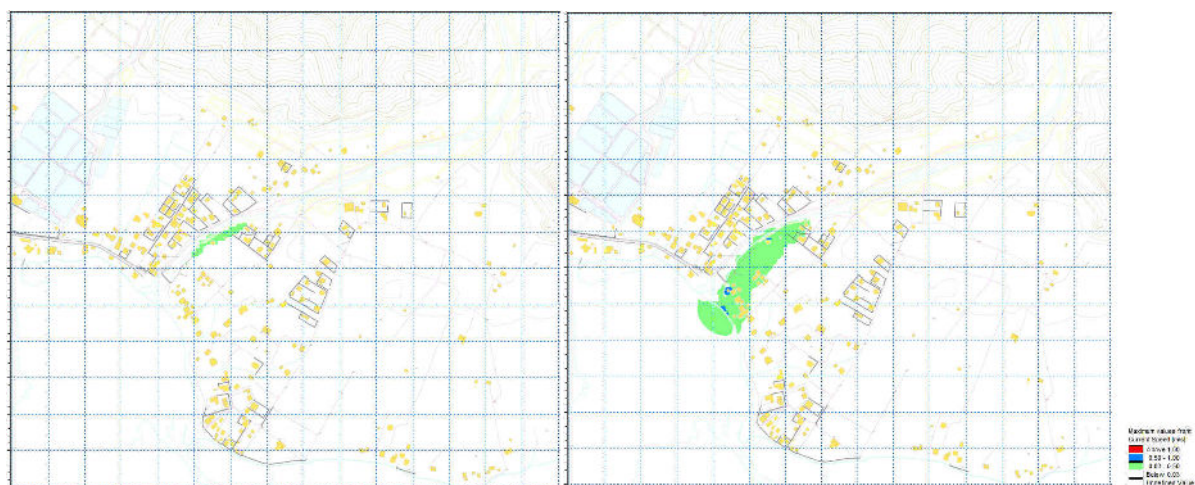


Figure 9. Modélisation 2D des vitesses d'écoulement maximales en crue décennale sans (à gauche) et avec érosion des digues (à droite).

5.2 CRUE CINQUANTENNALE

En crue cinquantennale, les débordements s'amplifient vers l'amont en rive gauche et sur le tronçon aval en rive droite. En rive gauche, au premier point de débordement (PM960, $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$) s'ajoutent trois autres secteurs : PM640 pour $Q = 125 \text{ m}^3/\text{s}$, PM800 pour $Q = 140 \text{ m}^3/\text{s}$ et PM500 pour $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$. Le secteur inondé reste relativement étroit, suivant la rive gauche de la rivière jusqu'à son embouchure, mais présentant de fortes hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement au droit du gué et dans le creux du tronçon aval.

En rive droite, un débordement est observé sur le secteur PM830-930 (à partir de PM880 pour $Q = 145 \text{ m}^3/\text{s}$). Ces débordements regagnent en partie le lit mineur vers PM1000 mais tendent également à s'écouler en direction d'un point bas et d'un canal à l'ouest du groupe d'habitations.

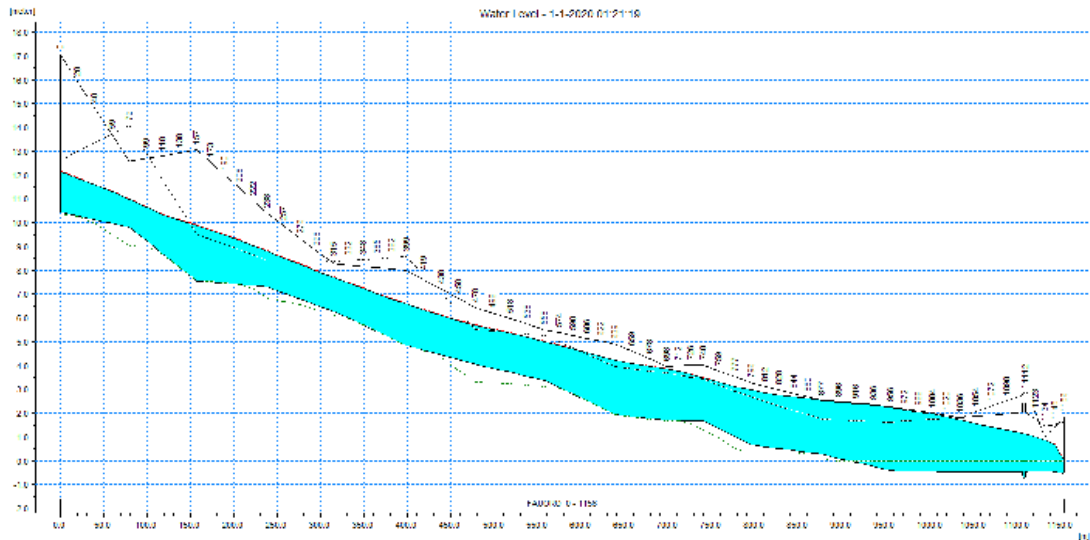


Figure 10. Modélisation 1D de la crue cinquantennale de la rivière Fauoro.

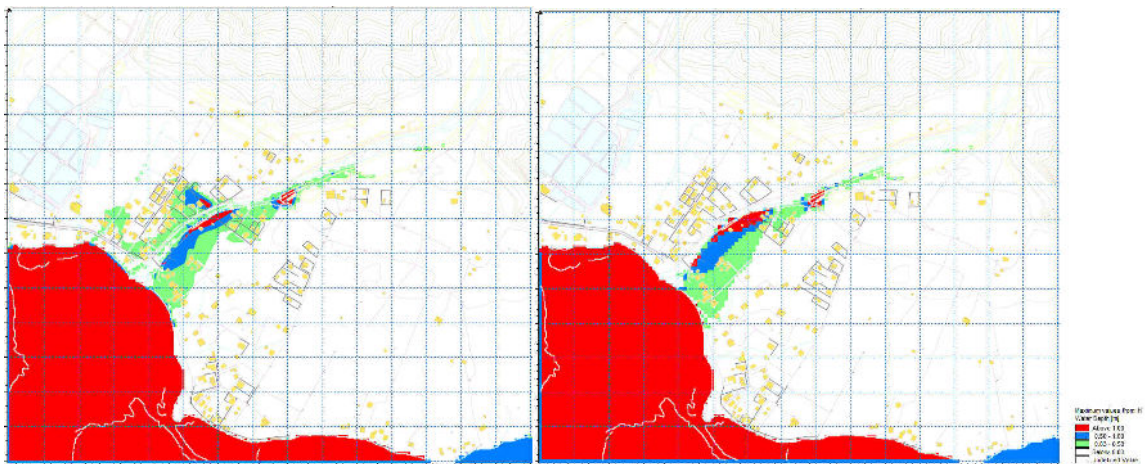


Figure 11. Modélisation 2D des hauteurs d'eau maximales en crue cinquantennale sans (à gauche) et avec érosion des diges (à droite).

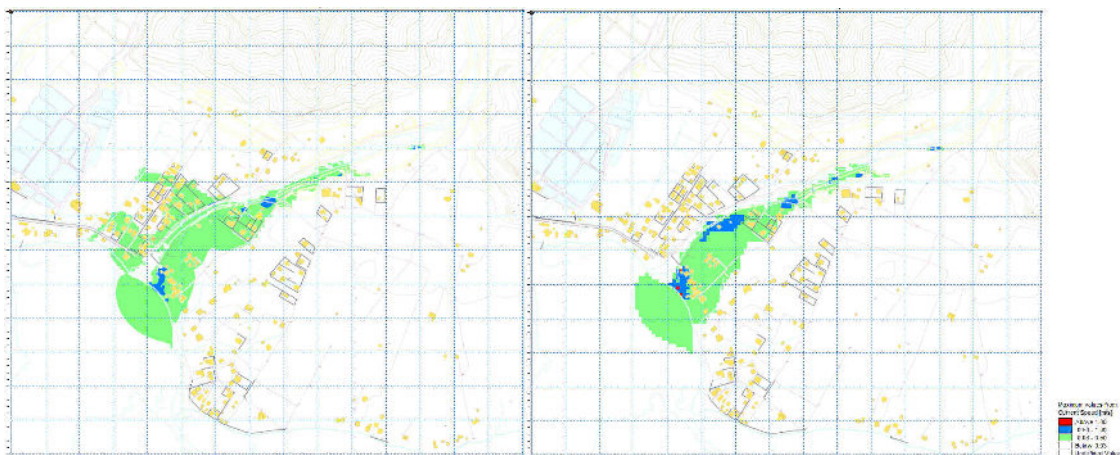


Figure 12. Modélisation 2D des vitesses d'écoulement maximales en crue cinquantennale sans (à gauche) et avec érosion des diges (à droite).

Dans l'hypothèse d'une érosion partielle des digues, le débordement en rive gauche est renforcé (PM820-930 à partir de $Q = 70 \text{ m}^3/\text{s}$), notamment du fait d'une vitesse d'écoulement en lit majeur plus élevée. L'abaissement du niveau d'eau dans le lit de la rivière protège alors la rive droite des débordements.

En crue cinquantennale, le tirant d'air sous la passerelle est de 1.70 m.

5.3 CRUE CENTENNALE

En crue centennale, le débordement de rive gauche se généralise du PM480 au PM1050 avec notamment deux points de débordement supplémentaires (PM830 et PM915 pour $Q = 155 \text{ m}^3/\text{s}$). En rive droite, la rivière déborde entre le PM810 et le PM930 ainsi qu'au droit du PM710 ($Q = 165 \text{ m}^3/\text{s}$). Une partie des écoulements rejoint alors le canal présent à l'ouest des habitations, lui-même débordant du fait de la surcote marine.

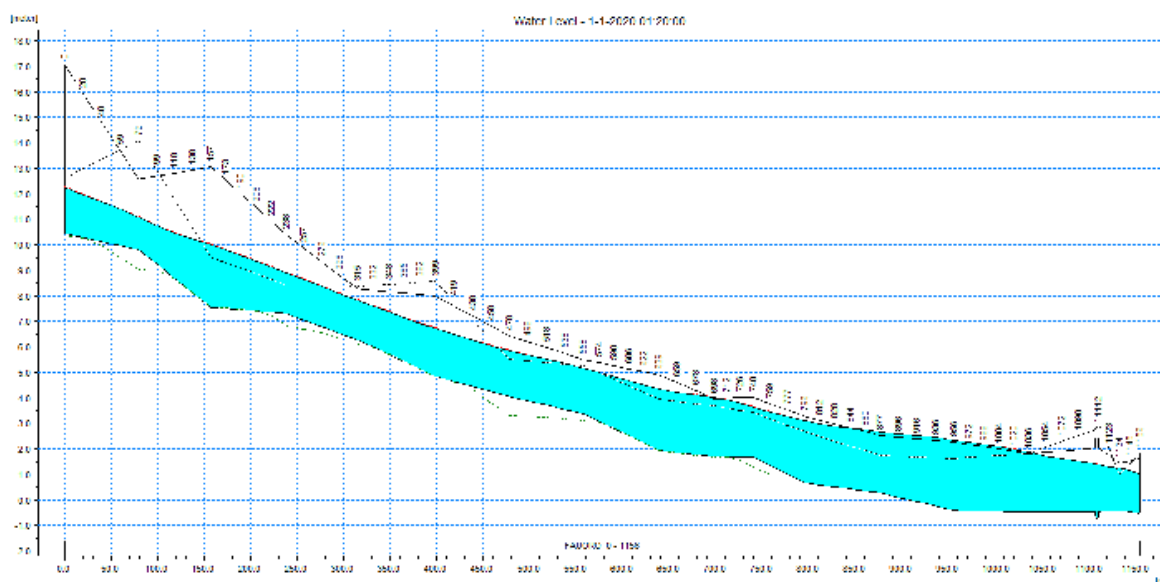


Figure 13. Modélisation 1D de la crue centennale de la rivière Fauoro.

Dans l'hypothèse d'une érosion partielle des digues, le débordement en rive gauche est là encore renforcé, diminuant sensiblement les débordements en rive droite sans pour autant modifier le schéma observé.

En crue centennale, le tirant d'air sous la passerelle est de 1.45 m. Ce tirant d'air reste donc très important (une réduction de 50% de la section ne s'opposerait pas à l'écoulement) et le risque d'embâcle est par conséquent très improbable ici, d'autant plus pour une passerelle légère qui n'offrirait qu'une résistance très faible à un hypothétique embâcle. Aussi le scénario de la crue centennale avec embâcle n'est pas détaillé dans ce rapport car il n'apporterait pas de résultats différents de ceux-ci-dessus.

Finalement, on note que la surcote marine de 1 m n'a ici qu'un effet très marginal sur les débordements observés. Elle réduit cependant le tirant d'air de la passerelle d'une vingtaine de centimètres (1.65 m pour un niveau lagonaire à 0 m NGF).

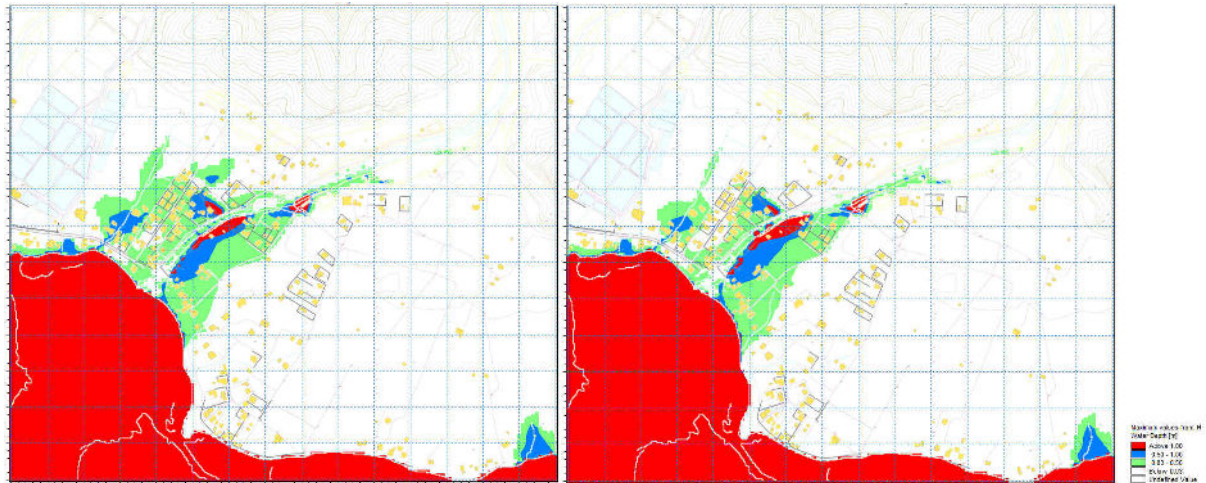


Figure 14. Modélisation 2D des hauteurs d'eau maximales en crue centennale sans (à gauche) et avec érosion des digues (à droite).

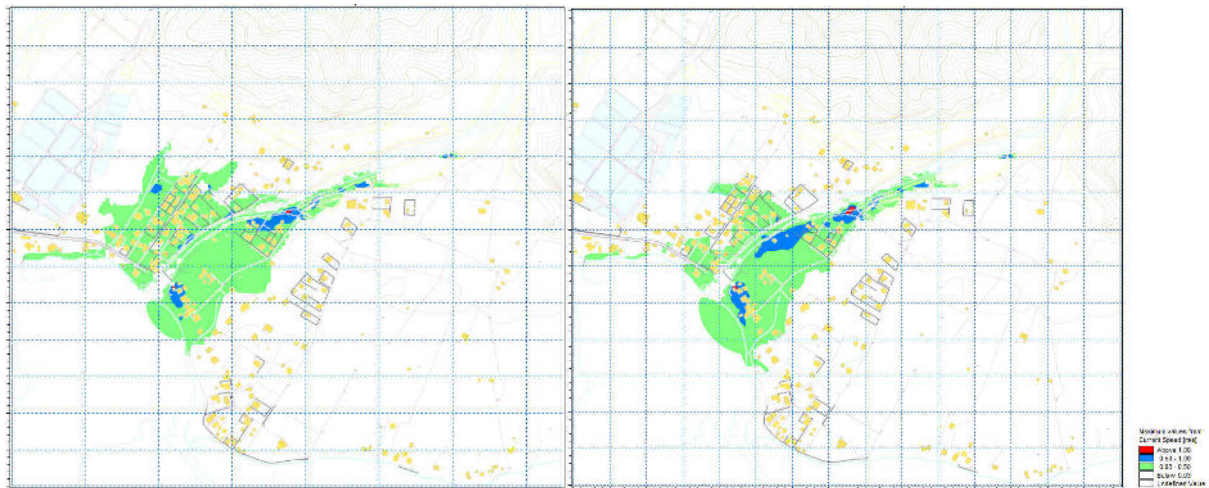


Figure 15. Modélisation 2D des vitesses d'écoulement maximales en crue centennale sans (à gauche) et avec érosion des digues (à droite).

On observe sur l'hydrogramme en lit mineur un écrêtement de crue d'environ 25 m³/s entre l'amont et l'exutoire.

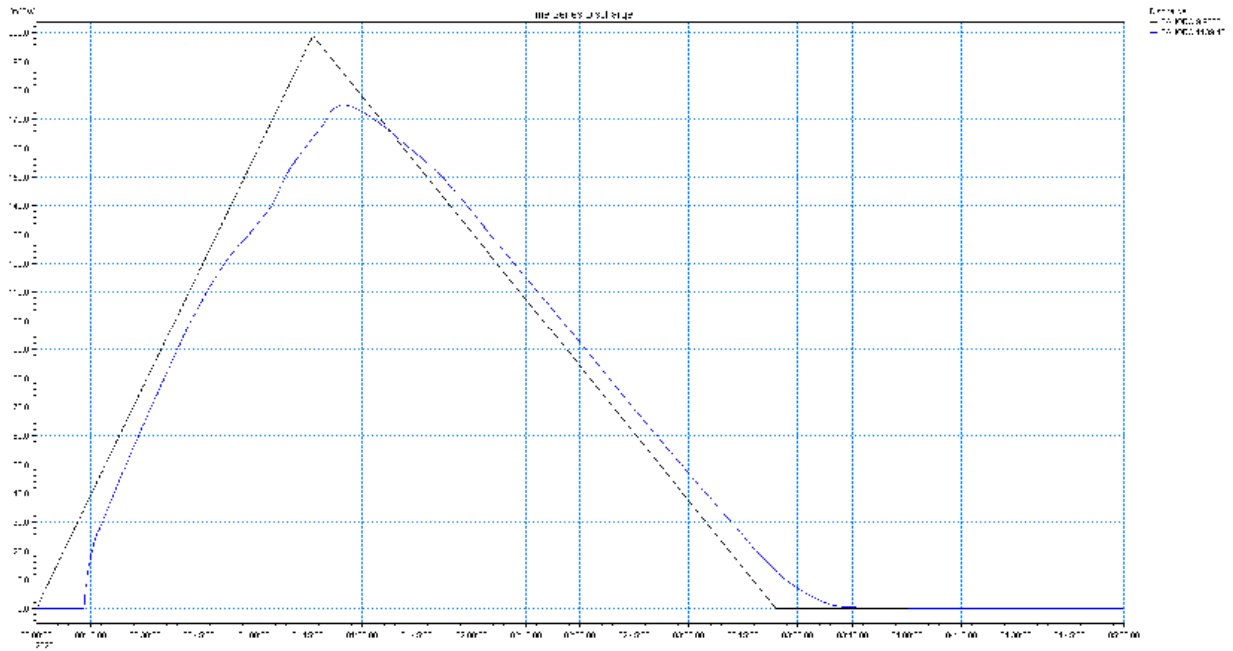


Figure 16 : Hydrogramme de crue entre l'amont et l'aval de la FAUORO

VICARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION

6.1 CLASSIFICATION DE L'ALEA INONDATION

Dans le cadre des Plans de Prévention des Risques Inondations, les différents niveaux d'aléa inondation pour chaque crue de référence sont classés en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement concomitantes maximales selon les critères suivants :

ALEA INONDATION	HAUTEUR D'EAU MAXIMALE	VITESSE MAXIMALE
Aléa faible (vert)	$H < 0.5 \text{ m}$	$V < 0.5 \text{ m/s}$
Aléa moyen (bleu)	$H < 0.5 \text{ m}$	$V \geq 0.5 \text{ m/s}$
	$0.5 \leq H \leq 1 \text{ m}$	$V < 0.5 \text{ m/s}$
Aléa fort (orange)	$0.5 \leq H \leq 1 \text{ m}$	$V \geq 0.5 \text{ m/s}$
	$H > 1 \text{ m}$	$V < 0.5 \text{ m/s}$
Aléa très fort (rouge)	$H > 1 \text{ m}$	$V \geq 0.5 \text{ m/s}$

Tableau 8. Classification PPRI des niveaux d'aléa inondation.

6.2 CARTOGRAPHIES DE L'ALEA INONDATION

Les cartographies d'aléa inondation sont générées en interpolant spatialement les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement maximales obtenues lors de la simulation de chaque scénario de crue de

référence, puis en classifiant et en croisant ces deux données suivant les critères présentés précédemment.

La concomitance des pics de hauteurs et de vitesse est préalablement vérifiée et lorsque ce n'est pas le cas, la combinaison de valeurs correspondant au niveau d'aléa le plus élevé est retenue.

En outre, un seuil minimal est appliqué à chaque variable :

- La hauteur d'eau minimale retenue pour la caractérisation des espaces inondés est de 0.03 m, en dessous duquel l'inondation est jugée non-significative au regard de la rugosité de la surface et de l'infiltration ;
- La vitesse d'écoulement minimale retenue pour la caractérisation du débordement est de 0.01 m/s, en dessous duquel les eaux stagnantes correspondront soit à des espaces inondés par l'élévation du niveau lagonaire plutôt que le débordement de la rivière, soit à un débordement résiduel non-significatif au regard de la rugosité de la surface et de l'infiltration.

Finalement les cartographies obtenues sont lissées en généralisant les tracés, de manière à gommer les artefacts liés à la résolution du modèle hydraulique, et en supprimant les éléments non-significatifs à l'échelle de la carte, tels que les polygones inférieurs à la taille d'une parcelle (400 m²).

6.3 CARTOGRAPHIE FINALE DU PPR

La cartographie finale utilisée dans le cadre des PPR considère à la fois l'aléa inondation et l'aléa érosion.

La sensibilité à l'érosion est évaluée au regard de la hauteur et de la pente des berges. Nous considérons ici que les berges tendent naturellement à s'éroder jusqu'à une pente d'équilibre caractérisée par le rapport 3H2V, c'est-à-dire 3 unités horizontales pour 2 unités verticales.

Le recul potentiel de chaque berge vulnérable au risque érosion est ainsi calculé au droit de chaque profil topographique avant d'être interpolé le long du lit mineur en prenant en compte la morphologie du cours d'eau (coude, méandrement...) et les observations de terrain.

VII PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT

Une étude a déjà été menée par la Direction de l'Équipement pour identifier les travaux à mener en vue de protéger les habitations ainsi que les terrains agricoles et la piste menant en fond de vallée, au moyen de recalibrage, endiguement ainsi que de protections des berges (épis et carapaces).

Les propositions d'aménagement listées ci-dessous portent uniquement sur la résorption de l'aléa inondation dans les zones habitées.

Il s'agit essentiellement d'augmenter la capacité de transit du lot entre le P7 et le P13 en :

- élargissant le lit à 35 m en gueule dans la mesure du possible (favoriser des sections imbriquées compte tenu du transport solide important)
- construisant des digues d'une hauteur limitée à 0.5m et structurellement conformes (largeur en tête de 1 m minimum, pente de 2H/1V max).

A noter que l'aléa inondation ne pourra pas être totalement résorbé en raison des emprises disponibles limitées pour le recalibrage sur ce tronçon (largeur actuelle du lit variant de 19 à 30 m).

Enfin, compte tenu de l'écrêtement de crue observé en lit majeur, il est important de procéder aux aménagements en partant de l'aval pour aller vers l'amont.

Le coût de ces travaux sur 500 ml environ est estimé à 58 MF HTVA :

- | | |
|---|-------|
| - recalibrage : | 20 MF |
| - Endiguement non étanchéifié: | 15 MF |
| - Protection de berge en Rive gauche par enrochements : | 13 MF |

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BALLAIS J-L., CHAVE S., DUPONT N., MASSON E. & PENVEN M-J., 2011**, « *La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables* », Physio-Géo.
- BCEOM, 1999**, « *Etude des priorités d'aménagements des cours d'eau de Tahiti* », Direction de L'Equipement.
- BCEOM/SPEED/VAIAD, 2005**, « *Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie française* », Bureau des Recherches Géologiques et Minières.
- DANLOUX J., 2001**, « *Etudes hydrologiques de la liaison ouest Papeete-Taravao. Evaluation des maximums de crue pour les franchissements à partir des données hydrologiques connues et suivant une approche régionale* », LTPP/GEGDP, Direction de l'Equipement.
- DANLOUX J., 2003**, « *Evaluation des maximums de crue sur l'île de Tahiti suivant une approche régionale et à partir des données acquises sur les réseaux hydrologiques pendant la période 1969-2003* », LTPP/GEGDP, Direction de l'Equipement.
- DEGOUTTE G., 2006**, « *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières* », Lavoisier.
- PEIZERAT S., 1995**, « *Guide pratique d'hydrologie* », BURGEAP.
- STOLLSTEINER P., 2005**, « *Assistance technique pour l'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation en Polynésie française* », ANTEA/Bureau des Recherches Géologiques et Minières.
- VAIAD, 2011**, « *Schéma d'aménagement de la Tiirahi aval PK18 à Teahupoo* », 10HY08.
- WOTLING G., 2000**, « *Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti* », Université de Montpellier 2.
- WOTLING G., 2001a**, « *Modélisation hydrologique des cours d'eau de la liaison Tamanu-Taravao* », LTPP/GEGDP, Direction de l'Equipement.
- WOTLING G., 2001b**, « *Notice technique pour l'évaluation de l'aléa hydrologique à Tahiti* », IRD/GEGDP, Direction de l'Equipement.

ATLAS CARTOGRAPHIQUE

- CAI001** Localisation du bassin-versant et de la zone d'étude.
- CAI002** Evolution naturelle du lit et sensibilité à l'érosion.
- CAI003** Cartographie générale des enveloppes de crue.
- CAI004** Crue décennale.
- CAI005** Crue cinquantiennale.
- CAI006** Crue centennale avec surcote marine (+1m NGF).
- CAI007** Cartographie finale PPRI.