



**Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours
d'eau de Polynésie Française – ARAI 3 - 2013**

Lot 1 – Modélisation

COURS D'EAU : VAITUPA

Commune : **PAEA**

Ile : **TAHITI**

Juillet 2013

N°rapport : 1488 13 01-V2

TABLE DES MATIERES

1. METHODOLOGIE	3
2. DONNÉES D'ENTRÉES	5
2.1. Données topographiques	5
2.1.1. Lit Mineur :	5
2.1.2. Lit Majeur :	5
2.2. Données hydrologiques	6
2.2.1. Caractéristiques des bassins versants	6
2.2.2. Calcul des débits de projet	8
3. ENQUETE DE TERRAIN	11
3.1. Enquête auprès des riverains	11
3.2. Visite de terrain	13
3.3. Analyse hydrogéomorphologique	14
4. CONSTRUCTION DU MODELE	16
4.1. Lit Mineur (logiciel MIKE 11)	16
4.1.1. Identification des lits mineurs :	16
4.1.2. Ouvrages hydrauliques :	16
4.1.3. Calage des coefficients de Manning-Strickler	19
4.1.4. Conditions limites	19
4.2. Lit Majeur (MIKE 21)	20
4.2.1. Topographie	20
4.2.2. Coefficients de Manning-Strickler	20
4.2.3. Conditions limites :	21
4.3. Couplage lit Majeur / lit mineur	22
5. SIMULATION DES CRUES DE PROJET	23
5.1. Calage du modèle	23
5.2. Commentaires sur les résultats de modélisation	24

5.2.1. Choix des simulations	24
5.2.2. Constat en lit mineur de la VAITUPA	24
5.2.3. Constat en lit majeur	29
5.2.4. Cartographie	30
6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT	31
6.1. Enjeux	31
6.2. Variantes d'aménagement	31

Table des figures :

Figure 1 : carte de Tahiti	3
Figure 2 : carte des bassins versants	7
Figure 3 : Hydrogramme de crue	19
Figure 4 : Coefficient de manning strickler en lit majeur	21
Figure 5 :Hauteur d'eau en Q100 avec embâcles	23
Figure 6 : Hydrogramme VAITUPA Q10.....	25
Figure 7 : Hydrogramme C47 Q10.....	25
Figure 8 : Hydrogramme VAITUPA Q100.....	26
Figure 9 : Hydrogramme C47 Q100.....	27
Figure 10 : profil en long 1D en Q100.....	27
Figure 11 : Hydrogramme VAITUPA Q100 avec embâcles.....	28
Figure 12 : Hydrogramme C47 Q100 avec embâcles	29

1. METHODOLOGIE

La rivière **Vaitupa** est située au PK 24, sur la commune de PAEA, au sud-ouest de l'île de TAHITI, dans un secteur périurbain (banlieue de PAPEETE).

La figure ci-dessous présente son positionnement sur l'île de TAHITI :

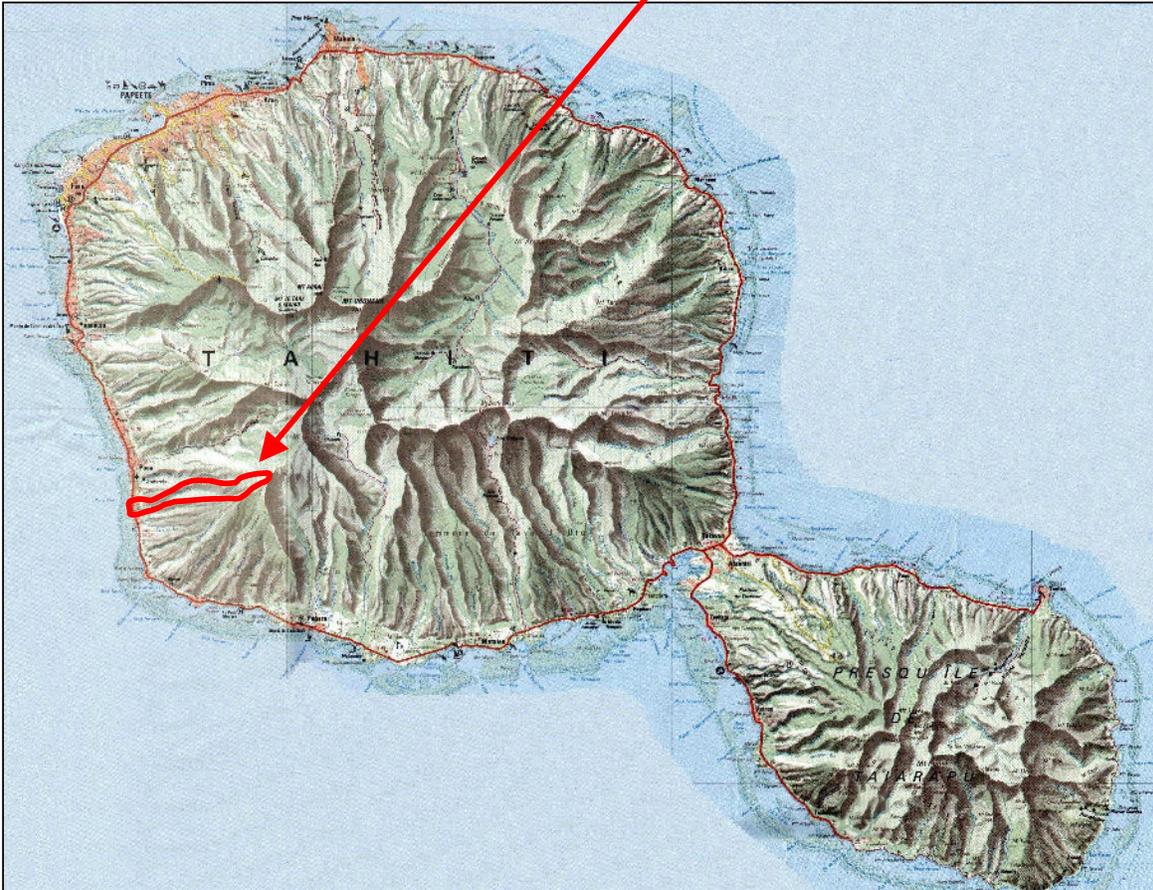


Figure 1 : carte de Tahiti

Le linéaire d'étude est de 1600 m à partir de l'embouchure, ce qui englobe la plaine littorale jusqu'en amont de la zone habitée. Les terrains situés au-delà ne présentent pas de potentiel constructible.

Compte tenu du fort pendage vers le cours d'eau TOETOE (C47), situé à 350m au SUD de la VAITUPA (cf. fig. 2) , il paraît vraisemblable que le lit majeur des deux cours d'eau soit en partie commun. Ce cours d'eau a donc également été modélisé.

La démarche retenue pour cette modélisation est la suivante :

- 1) **Visite de terrain** avec rencontres des riverains afin d'établir une carte des débordements passés la plus exhaustive possible et d'identifier les éventuelles traces hydrogéomorphologiques
- 2) Réalisation de la **cartographie hydrogéomorphologique**

- 3) **Modélisation du lit mineur et du lit majeur de la Vaitupa ainsi que du lit mineur du TOETOE**
 - Construction du modèle 2 D de la VAITUPA (lit majeur + lit mineur) + lit mineur de TOETOE
 - Edition des cartes de hauteur d'eau et vitesse maximale au cours de la crue
- 4) Analyse des résultats de la modélisation et vérification de la **concordance entre l'hydrogéomorphologie, l'enquête de terrain et la modélisation 2D**
- 5) **Caractérisation des aléas**

2. DONNEES D'ENTREES

2.1. DONNEES TOPOGRAPHIQUES

2.1.1. Lit Mineur :

La modélisation du lit mineur de la VAITUPA est basée :

- sur un levé topographique au 1/500^{ème} réalisé par le cabinet WILD pour le compte de la Direction de l'Equipement en juillet 2011, comprenant des profils en travers au 1/200^{ème}.
- sur des profils en travers du lit mineur au 1/200^{ème} espacés de 80 m réalisés par le cabinet WILD en mai 2013, sur 0.4 km.

La modélisation du lit mineur de TOETOE (C47) est basée sur des profils en travers au 1/200^{ème} réalisés par le cabinet TOPOPACIFIQUE pour le compte de l'EAD en octobre 2003.

N.B.1: le levé du lit mineur a été fait en juillet 2011, après curage de la rivière réalisé entre septembre 2010 et juin 2011. Les sections de la rivière au moment de la crue de 2010 ne sont donc pas connues.

N.B.2: Evolution du profil en long entre 2003 et 2011.

La comparaison des topographies réalisées en 2003 et 2010 permet d'apprécier l'évolution du cours d'eau et de mieux comprendre son fonctionnement.

La superposition des profils montre que le cours d'eau était engravé en 2003 et qu'il a été curé récemment (abaissement du fil d'eau de 1.5m en moyenne entre 2003 et 2010). Ce curage s'est fait uniquement au droit de la parcelle, les fils d'eau amonts et aval étant les mêmes en 2003 et en juillet 2010.

A noter qu'un curage a été fait sur l'ensemble du cours d'eau après septembre 2010.

2.1.2. Lit Majeur :

L'analyse en lit majeur s'est basée sur la restitution photogrammétrique au 1/5000^{ème} fournie par les services de l'Urbanisme et datant de 2001.

A titre d'information, un 1/5000^{ème} est bâti avec une densité moyenne de points cotés à raison d'1 point tous les 150 m (1 point tous les 3 cm sur plan). Cette densité de points est plus élevée sur la zone d'étude grâce au dégagement des terrains agricoles. Elle est **d'un point tous les 70 m en moyenne**.

Elle est complétée par :

- la restitution photogrammétrique au 1/2500^{ème} réalisée par le Pays dans le cadre de la LOPT (1999)
- le levé topographique au 1/500^{ème} par le cabinet HUIN pour l'EAD des parcelles destinées à accueillir des lotissements sociaux (2010).

L'assemblage de ces plans, après suppression des éventuelles incohérences, permet d'établir un modèle numérique de terrain du lit majeur.

2.2. DONNEES HYDROLOGIQUES

Aucune observation de débit n'a été effectuée sur la VAITUPA

2.2.1. Caractéristiques des bassins versants

2.2.1.1. VAITUPA

Les caractéristiques physiques du bassin versant sont les suivantes :

- Superficie : 4.35 km²
- Plus long chemin hydraulique : 7.7 km
- Pente moyenne pondérée : 16.1%
- Pente moyenne globale : 21.6 %

Les caractéristiques hydrologiques sont les suivantes :

Temps de concentration (formule de Kirpich ¹)	35 mn
Coefficient de ruissellement décennal	0.31

¹ Formule du temps de concentration retenue par ANTEA dans sa note méthodologique [3]

2.2.1.2. TOETOE - C47

Les caractéristiques physiques du bassin versant sont les suivantes :

- Superficie : 1.9 km²
- Plus long chemin hydraulique : 5.2 km
- Pente moyenne pondérée : 19.35%
- Pente moyenne globale : 23.1%

Les caractéristiques hydrologiques sont les suivantes :

Temps de concentration (formule de Kirpich ²)	31 mn
Coefficient de ruissellement décennal	0.31

La figure ci-dessous montre les deux bassins versants de VAITUPA et de TOETOE :

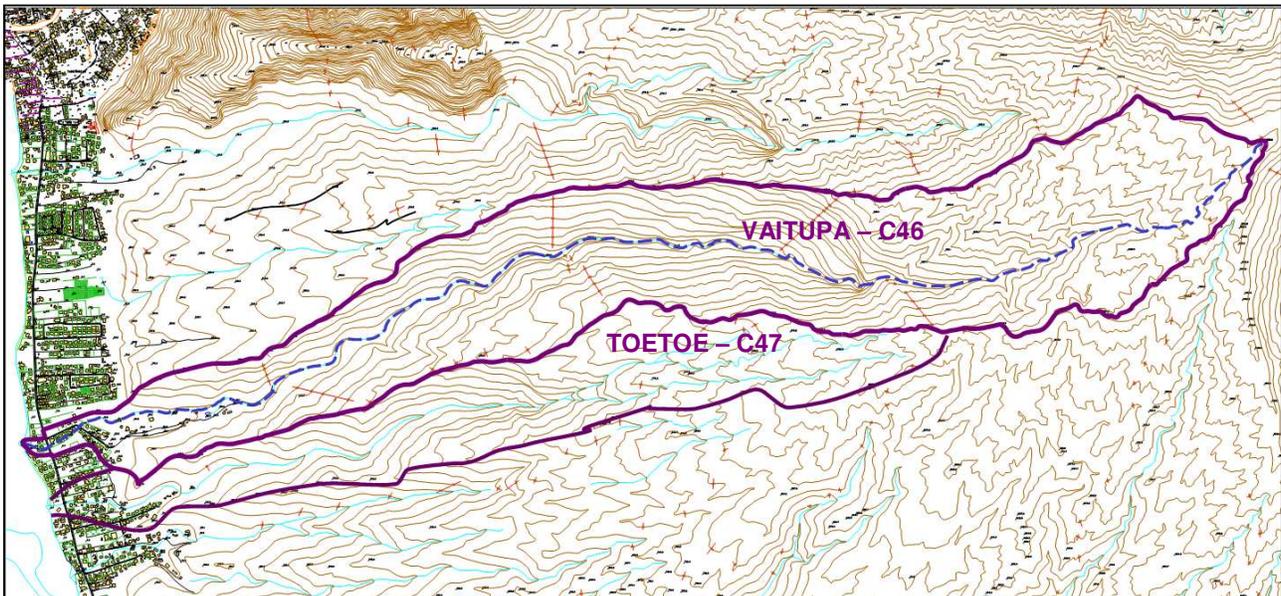


Figure 2 : carte des bassins versants

² Formule du temps de concentration retenue par ANTEA dans sa note méthodologique [3]

2.2.2. Calcul des débits de projet

En 2006, lors du programme ARAI1, une note méthodologique [4] avait proposé, en l'absence de données statistiques disponibles, d'utiliser les deux méthodes suivantes et de retenir la valeur la plus pessimiste :

- méthode globale CRAEGER, appliquée à Tahiti par J. Danloux [2]
- calcul du débit décennal par la méthode rationnelle et du débit centennal par la méthode du gradex, selon la note réalisée par le bureau d'études ANTEA dans le cadre des PPRI [3].

Les résultats obtenus seront comparés à ceux obtenus lors des précédentes études hydrauliques réalisées par la Direction de l'Équipement sur la VAITUPA (étude de la LOPT [5] et étude d'aménagements hydrauliques [6]).

▪ Caractéristiques de la pluie de projet utilisée pour la Vaitupa

Station :	Vahiria P2 ³
Durée de pluie intense	> 30 mn

Coefficients de Montana ⁴		
	P10	P100
a	10.38	13.01
b	-0.49	-0.48

▪ Estimation des débits de la Vaitupa

○ Méthode globale CRAEGER

La méthode est la suivante :

- 1) Recherche du débit maximal connu sur un bassin voisin de la VAITUPA disposant d'observations
- 2) Détermination des rapports entre débit maximal et débit caractéristique de crue (Q_{10} , Q_{50} , Q_{100})
- 3) Détermination des coefficients de Craeger correspondants

Les débits estimés selon cette méthode sont les suivants :

		Q10	Q100
Débit de projet	m ³ /s	38.6	109
Module spécifique	m ³ /s/km ²	8.9	25

³ Station pluviométrique retenue par ANTEA dans [3].

⁴ Données extraites de [1]

o **Méthode Rationnelle et Gradex (ANTEA)**

Les débits estimés selon cette méthode sont les suivants :

		Q10	Q100
Intensité pluvieuse (35 mn, X ans)	mm/mn	1.86	2.37
Débit de projet	m ³ /s	42	79
Module spécifique	m ³ /s/km ²	9.6	18.2

o **Etudes antérieures sur la VAITUPA**

Les débits de la VAITUPA ont déjà été étudiés dans le cadre de projets hydrauliques du Pays :

- étude des débits dans le cadre du projet de la LOPT [5] :

A l'occasion de cette étude, les débits de la VAITUPA ont été estimés comme suit à l'aide d'un modèle global :

		Q10	Q100
Débit de projet	m ³ /s	32	77
Module spécifique	m ³ /s/km ²	7.3	17.7

- étude des débits dans le cadre du réaménagement hydraulique de la rivière Vaitupa [6] :

Les débits de la VAITUPA, calculés à l'aide de la méthode rationnelle, sont les suivants :

		Q10	Q100
Débit de projet	m ³ /s	61	144
Module spécifique	m ³ /s/km ²	14	33

o **Choix du débit de projet**

A titre de comparaison, le module spécifique centennal des rivières voisines faisant l'objet de mesures de débits est le suivant :

- PUNARUU (PK 14) : 15 m³/s/km²
- OROFERO (PK 21) : 23.2m³/s/km² (mesures moyennement fiables en raison de laves torrentielles et de problème de calage)
- TAHARUU (PK :) : 17.3 m³/s/km² (mesures moyennement fiables en raison des possibilités d'écrêtement du débit en amont).

Le module spécifique centennal issu de l'étude hydraulique de la VAITUPA [6] est nettement supérieur à ces valeurs. Le débit calculé dans cette étude est donc très probablement surestimé en raison d'une inadéquation entre les méthodes utilisés et le choix du coefficient de ruissellement. Cette valeur est donc écartée.

Par cohérence avec les précédentes études PPRI, le client a choisi de retenir la méthode développée par ANTEA qui est celle utilisée depuis le début des PPR.

Les données obtenues par la méthode rationnelle + gradex et par la méthode globale donnent des valeurs proches et cohérentes. Les débits retenus pour la VAITUPA sont donc les suivants :

		Q10	Q100
Débit de projet	m3/s	42	79

Débits C47 :

Par souci d'homogénéité, le calcul des débits du C47 se fera suivant la méthode rationnelle + gradex :

		Q10	Q100
Débit de projet	m3/s	21	39

3. ENQUETE DE TERRAIN

3.1. ENQUETE AUPRES DES RIVERAINS

L'enquête a été menée en juin 2013.

PT (amont vers l'aval)	Témoignage	Commentaires
<u>Vallée :</u>	<p>Problème d'érosion en rive gauche (enrochements en partie emportés lors de la crue de septembre 2010 au PK 768).</p> <p>La crue de septembre 2010 aurait été causée par la rupture d'un barrage constitué de branchages et d'arbres bloqués en travers de la rivière.</p> <p>Rivière charriant de nombreux blocs lors des crues (les riverains mentionnent un bruit fort).</p>	<p>Habitation uniquement à l'entrée de la vallée. Une ancienne extraction de matériaux a modifié le lit moyen.</p> <p>Absence de pont</p>
Plaine littorale (amont RDC Rive droite)	<p>Depuis 1960, aucun débordement dans le lotissement CHAPMAN (15, 16 et 17) situé entre 60 et 80 m au Nord du cours d'eau.</p> <p>Lotissement BORDES (construit entre 2001 et 2010) : pas d'information.</p> <p>Lotissement VAITUPA :</p> <ul style="list-style-type: none"> - famille REY (1) (installée depuis 1968 installée en rive droite du cours d'eau au niveau du pont du lotissement VAITUPA). Aucun débordement sauf en sept. 2010 où les inondations ont été causées par les embâcles au droit du pont et par un départ des enrochements de protection qui ont obstrué le pont. <p>Hauteur d'eau > 0.5 m avec de fortes vitesses.</p> <p>En 1983 (cyclone VEENA) l'eau est passée par dessus le pont mais pas d'inondation autour.</p> <p>Famille KAVEU (en rive droite du cours d'eau au PK 1350): (4) : en septembre 2010 : 0.2 m d'eau dans la cour</p> <p>famille PIERRE (8) (installés depuis 1960 en rive droite du cours d'eau au PK 1460) : 0.6 à 0.7 m d'eau avec de fortes vitesses. Mur cassé. Jamais de débordement auparavant ni depuis.</p> <p>Habitation (9) située en rive droite du cours d'eau au PK 1370) : depuis 1993, aucune inondation sauf en sept. 2010 : 0.1 m d'eau dans la cour</p>	<p>Forte érosion à l'extrados du coude au PK1200 lors de la crue de sept. 2010</p> <p>Curage fréquent nécessaire pour limiter les débordements.</p> <p>Cours d'eau engravé avant la crue de 2010 (curage effectué après la crue).</p> <p>2013 : niveau d'engravement a remonté (PK1323 =</p>

Plaine littorale (amont RDC rive gauche)	<p>Habitation (2) : (en rive gauche au PK 1323) : depuis 2003, aucun débordement sauf en sept. 2010 : 0.1 à 0.2 m d'eau avec des vitesses importantes.</p> <p>Habitation (3) : depuis 2002, aucune inondation. A observé un débordement sur le pont du lotissement entre 2002 et 2010.</p> <p>Habitation (5) : depuis 1997 : jamais inondée, même en septembre 2010.</p> <p><u>Lotissement récent</u> en rive gauche de la VAITUPA (PK 1100) datant de 2008 : pas d'information.</p> <p>Habitation (7) : 0.1 m devant la porte en sept. 2010. A l'époque du concassage, inondation de 0.1 m sur la route avec de fortes vitesses</p> <p>Habitation (11) : habite depuis 4 ans. 1 m d'eau dans la maison + embâcle dans le salon, fortes vitesses dans la servitude avec troncs d'arbres, 1m d'eau. Probablement un phénomène de vague liée à la rupture du mur d'enceinte séparant de la rivière.</p> <p>Habitation (12) :depuis 2002, pas d'inondation même en 2010. Présence d'un tas d'enrochement protégeant l'habitation.</p> <p>Habitation (13) pas inondée</p> <p>Habitation (14) : depuis 1960, jamais inondée sauf en 2010 : 0.6 m d'eau dans la maison. Jusqu'à 1 m d'eau en bordure de RDC.</p>	
Aval de la RDC Rive droite	Pas d'habitation. Absence d'information	
Aval de la RDC Rive gauche	Inondations fréquentes dans les servitudes (3 fois en 10 ans) liées aux passerelles. Hauteur d'eau de 0.2 à 0.3 m.	

Les conclusions de cette enquête de terrain sont les suivantes :

- 1) **Débordements peu fréquents liés à une problématique d'embâcles et de troncs d'arbres.**
- 2) **Fortes vitesses en lit majeur**
- 3) **Engrèvement important** du lit de la rivière avant la crue de septembre 2010. Engrèvement récurrent.

3.2. VISITE DE TERRAIN

Trois grands tronçons ont été identifiés de l'amont vers l'aval :

- tronçon 1 allant du PK 0 au PK 875 (pente moyenne à 8.8 %)
- tronçon 2 allant du PK 875 au PK 1290 (pente moyenne à 5.0 %)
- tronçon 3 allant du PK 1290 au PK 1700 (pente moyenne à 2.7 %)

Le tableau suivant présente la morphologie du cours d'eau sur la zone d'étude :

TRONÇON 3	
De l'embouchure (PK 1700) à la RDC (PK 1520) : 180 ml	
Lit canalisé (6 à 7 m de large)avec berges enrochées ou en perré maçonné (1.5 à 2 m de haut) et pente de 2%. Engrèvement du lit à l'exutoire (blocométrie de 0.1 m en moyenne) et lit très végétalisé. 2 passerelles sur le cours d'eau	
	
Pont de la RDC (PK 1520)	
pont à poutre (9.35 m x 1.8 m ht) avec pente de 3 à 4%. Engrèvement sous le pont.	
Du pont de la RDC (PK 1520) au PK 1290 : 230 ml	
Berges enrochées (6 à 7 m x 1.5 à 2 m ht) avec pente de 3.3%. Trois passerelles sur le cours d'eau + pont du lotissement Vaitupa (PK 1320). Nombreux dépôts de blocs dans le lit.	
	

TRONÇON 2	
Du PK 1290 au PK 875 (415 ml) Berges naturelles (8 à 12 m x 2.5 à 3 m ht) avec pente de 5%.	
	
TRONÇON 1	
PK 875 au PK 0 (875 ml) Berges naturelles (3 à 8 m x 1.5 à 3 m ht) avec pente de 8.8% Présence de nombreux branchages (coupés) dans le cours d'eau. Blocométrie décimétrique	
	

Le cours d'eau présente de très fortes pentes jusqu'à l'exutoire.

Le **pont du lotissement VAITUPA**, situé juste après la rupture de pente entre le tronçon 1 et 2, **se trouve** donc dans **une zone de dépôt** de matériaux ce qui explique la **rapidité de l'engravement** constatée par les riverains et la quantité de blocs déposés dans le lit en ce point. De plus, ce pont est le premier en sortie de la vallée, il intercepte donc la totalité des embâcles.

3.3. ANALYSE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE

On observe un cône de déjection très marqué au débouché de la vallée sur la plaine littorale (cf. plan PPR01) . Ce cône de déjection est constitué d'une matrice limoneuse entourant des galets roulés, de

diamètre décimétrique comme le montre la photographie ci-dessous montrant la rive gauche de la VAITUPA au droit du projet OPH.



Dans la vallée, on observe des terrasses intermédiaires sans savoir si elles sont artificielles (ancienne extraction dans la vallée) ou d'origine hydrologique, marquant les limites du lit moyen ; toutefois, la présence de mares raccordées par des bras secondaires au lit mineur tend à montrer que l'ensemble du plancher alluvial est sollicité par le cours d'eau en amont du PK 700.

Les **limites du lit majeur** sont marquées par celles du cône **de déjection de la rivière**.

Au sud, la topographie révèle une pente marquée vers le SUD-OUEST jusqu'au lit mineur du C47. La topographie remonte fortement en rive gauche du C47.

L'ensemble des terrains situés entre la VAITUPA et le C47 constitue donc un lit majeur commun de ces deux rivières. La RDC présente un remblai rputier peu marqué (+0.2 à 0.6 m / TN amont) entre les deux cours d'eau. Le **point bas du lit majeur commun** se situe à 50 m environ au Nord du C47, au droit de la quincaillerie SACCAULT.

4. CONSTRUCTION DU MODELE

La **modélisation** de la VAITUPA a été réalisée à l'aide :

- du logiciel **MIKE 21**, logiciel 2D (**modèle bidimensionnel**) pour le lit majeur. Ce modèle permet de modéliser en lit majeur des écoulements multidirectionnels et fournir les hauteurs d'eau et vitesses des écoulements sur l'ensemble du lit majeur.
- du **logiciel MIKE 11** en lit mineur pour conserver une analyse fine des écoulements en lit mineur.

Le **couplage des deux modèles** se fait sous l'interface **MIKE FLOOD** qui établit des liens entre le lit mineur et le lit majeur.

4.1. LIT MINEUR (LOGICIEL MIKE 11)

4.1.1. Identification des lits mineurs :

L'enquête de terrain ainsi que l'analyse hydrogéomorphologique ont montré un lit majeur commun avec le cours d'eau voisin C47 (TOETOE), situé au PK 24.3.

Ce cours d'eau sera donc également modélisé afin de recréer le phénomène de décharge de la VAITUPA dans ce cours d'eau, constaté lors des inondations de 2010.

4.1.2. Ouvrages hydrauliques :

4.1.2.1. Recensement des ouvrages de la VAITUPA

Les ouvrages recensés sur le linéaire modélisé de la VAITUPA sont uniquement des ouvrages de franchissement, dont la liste est donnée ci-dessous.

N°profil	PK	Type d'ouvrage	Largeur ouvrage (m)
Pont lotissement Vaitupa P32	1323.5	Pont béton à poutre avec garde corps.	6 m
P39	1449	Passerelle (ep. 0.15 m)	7.74 m
P41	1463	Passerelle (ep. 0.15 m)	7.35 m
P43	1492	Passerelle (ep. 0.15 m)	7.23 m
P46 – Ouvrage RDC	1520	Pont béton à poutre avec garde corps	9.35m
P48	1536	Passerelle 0.25 + IPE 200	6.6 m
P51	15	Passerelle 0.1 + IPE 200	6.7 m

L'ouvrage P32 du lotissement VAITUPA est l'ouvrage le plus restrictif en largeur. Les passerelles P39 à P43 ne présentent pas de garde-corps.

Les passerelles en aval de la RDC et notamment celle située au PK 1536, du fait de la présence d'une poutre en sous-face du tablier, sont très restrictives.

4.1.2.2. Modélisation :

L'influence des ouvrages de franchissement sur la ligne d'eau du cours d'eau a été jugée en fonction :

- de la ligne d'eau atteinte en Q 100 par rapport à la cote inférieure du tablier.
- de la possibilité d'engravement (zone de rupture de pente)
- de la résistance offerte au courant (présence de garde-corps, forme du tablier ...).

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

N° profil	Cote inférieure du tablier (m)	Cote ligne d'eau Q 100	Tirant d'air en Q100	Facteurs d'obstruction	Risque d'obstruction en Q100
P32	+11.7 m	+13.18	0 (mise en charge de l'ouvrage)	Zone d'engravement absence de tirant d'air Ouvrage offrant une résistance au courant	+ +++ ++
P39	+7.71 m	+ 7.28	+0.43 m	Tirant d'air moyen Passerelle n'offrant pas de résistance au courant	- -
P41	+6.9 m	+ 6.80	+0.1 m	Tirant d'air insuffisant Passerelle n'offrant pas de résistance au courant	++ -
P43	+6.2 m	+ 6.0	+0.2 m	Tirant d'air faible Passerelle n'offrant pas de résistance au courant	+ -
P46 – OH RDC	+5.41 m	+5.08	+0.33 m	Tirant d'air faible Ouvrage offrant une résistance au courant	+ ++
P48	+4.6 m	+4.54	+0.06 m	Tirant d'air insuffisant Passerelle offrant une faible résistance au courant	++ +
P51	+3.2 m	+2.85	+ 0.35 m	Tirant d'air faible Passerelle offrant une faible résistance au courant	++ +

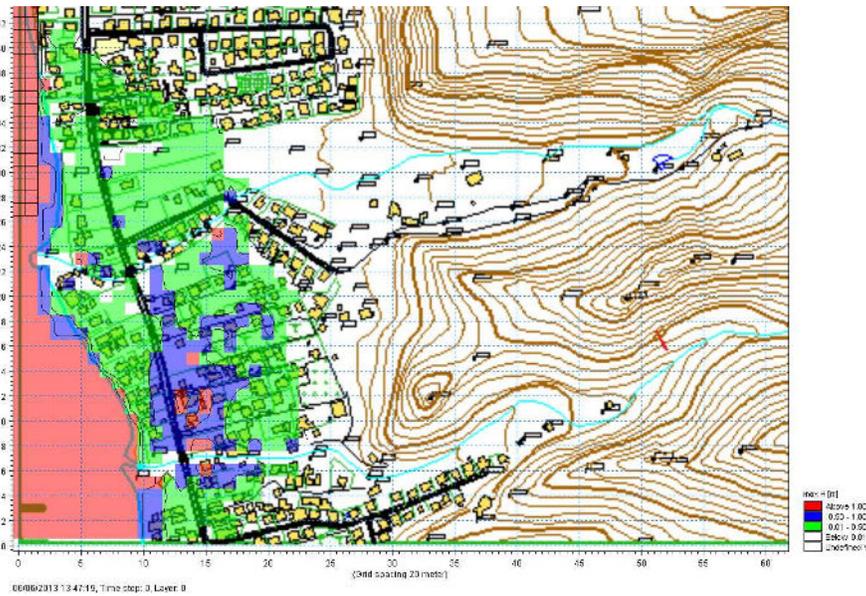
Il a été considéré que les ouvrages présentant au moins 2 + dans la colonne « risque d'obstruction en Q100 » seraient modélisés comme des dalots dans le scénario « Q100 avec embâcles » avec une obstruction à 50%.

Les autres ouvrages (1 + ou moins) ont peu de risque d'être obstrués et sont considérés comme transparents à l'écoulement.

N.B. 1 : En fixant le seuil de modélisation à 3+, la passerelle P41 devient transparente à l'écoulement en « Q100 avec embâcles ». La cartographie des aléas est alors sensiblement modifiée (disparition de la zone d'aléa fort située en rive gauche à l'amont immédiat de la RDC).



Passerelle P41 non modélisée (transparente à l'écoulement)



Modélisation de la passerelle P41

N.B. 2 : l'ouvrage de la RDC du C47 est modélisé engravé à 50 % dans le scénario « Q100 avec embâcles ».

4.1.3. Calage des coefficients de Manning-Strickler

Sur le linéaire étudié de la VAITUPA, compte tenu du charriage torrentiel important, le coefficient de rugosité retenu est le suivant :

Vaitupa	PK0 - 600	PK600-1520	PK 1520-1700
Coefficient de rugosité de Manning-Strickler M	14-18	18-20	20-22

Concernant le cours d'eau C47, le coefficient de rugosité varie de 18 en amont (PK 0) à 20 à l'exutoire (PK 504).

Ces valeurs sont en accord avec la bibliographie [7].

4.1.4. Conditions limites

L'hydrogramme modélisé est construit selon la méthode du SCS pour les deux cours d'eau. Un temps de vidange égal à 2 fois la durée du pic de crue est ajouté à l'hydrogramme pour permettre une visualisation de l'ensemble des phénomènes de crue.

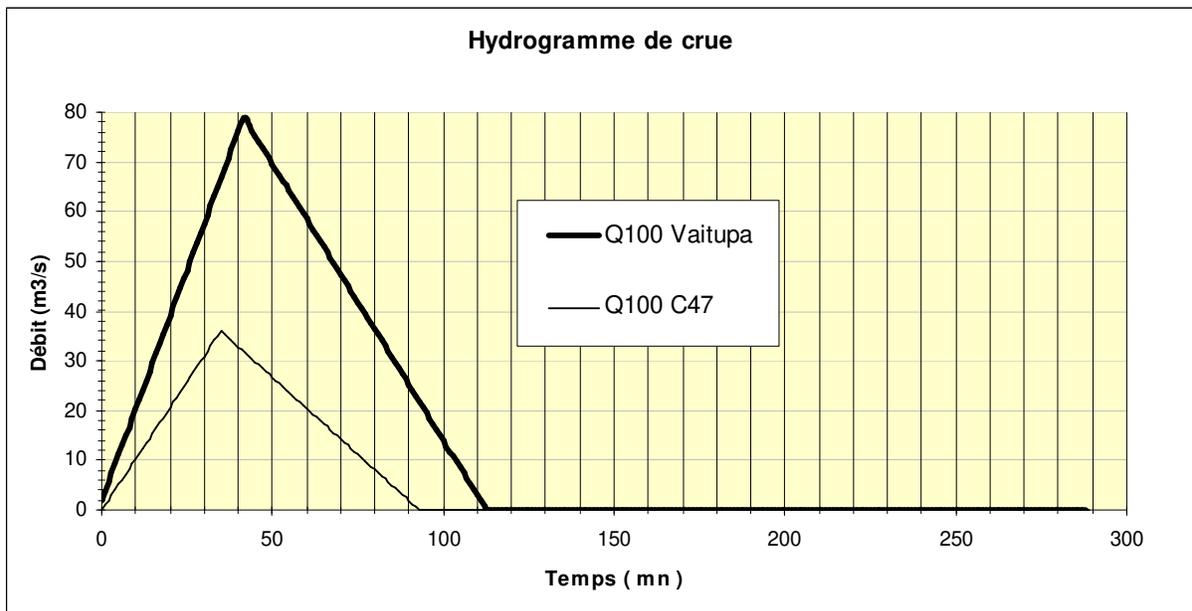


Figure 3 : Hydrogramme de crue

L'hypothèse prise est celle d'une même pluie affectant simultanément les deux bassins versants voisins.

La condition limite aval est la cote imposée par le lagon à l'exutoire de la VAITUPA et du C47.

Conformément au cahier des charges, elle est fixée à :

- + 1 m NGPF pour les scénarios Q100 et Q100 avec embâcles.
- +0 m NGPF pour le scénario Q10

4.2. LIT MAJEUR (MIKE 21)

4.2.1. Topographie

La topographie du lit majeur est modélisée à partir des données topographiques évoquées au § 2.1.2.

La zone ainsi couverte englobe les limites du lit majeur préalablement fixées par l'hydrogéomorphologie au § 3.3. Cette zone est découpée en 6400 mailles de 20 m x 20m, couvrant une superficie de 256 ha.

Amendement du MNT issu de la restitution photogrammétrique :

Une actualisation du MNT, issu de la restitution photogrammétrique de 2001, est apparue nécessaire suite aux visites de terrain. Les modifications apportées manuellement au MNT sont les suivantes :

- remblaiement du lotissement Bordes (+1 m par rapport à la cote TN de 2001)
- transformation de la pente douce dans le lotissement VAITUPA, générée par l'interpolation, en ligne de tête de talus (dénivelé de plusieurs mètres sur une maille et non sur plusieurs mailles)

4.2.2. Coefficients de Manning-Strickler

Les coefficients de Manning-Strickler sont fournis sous forme de matrice géographique :

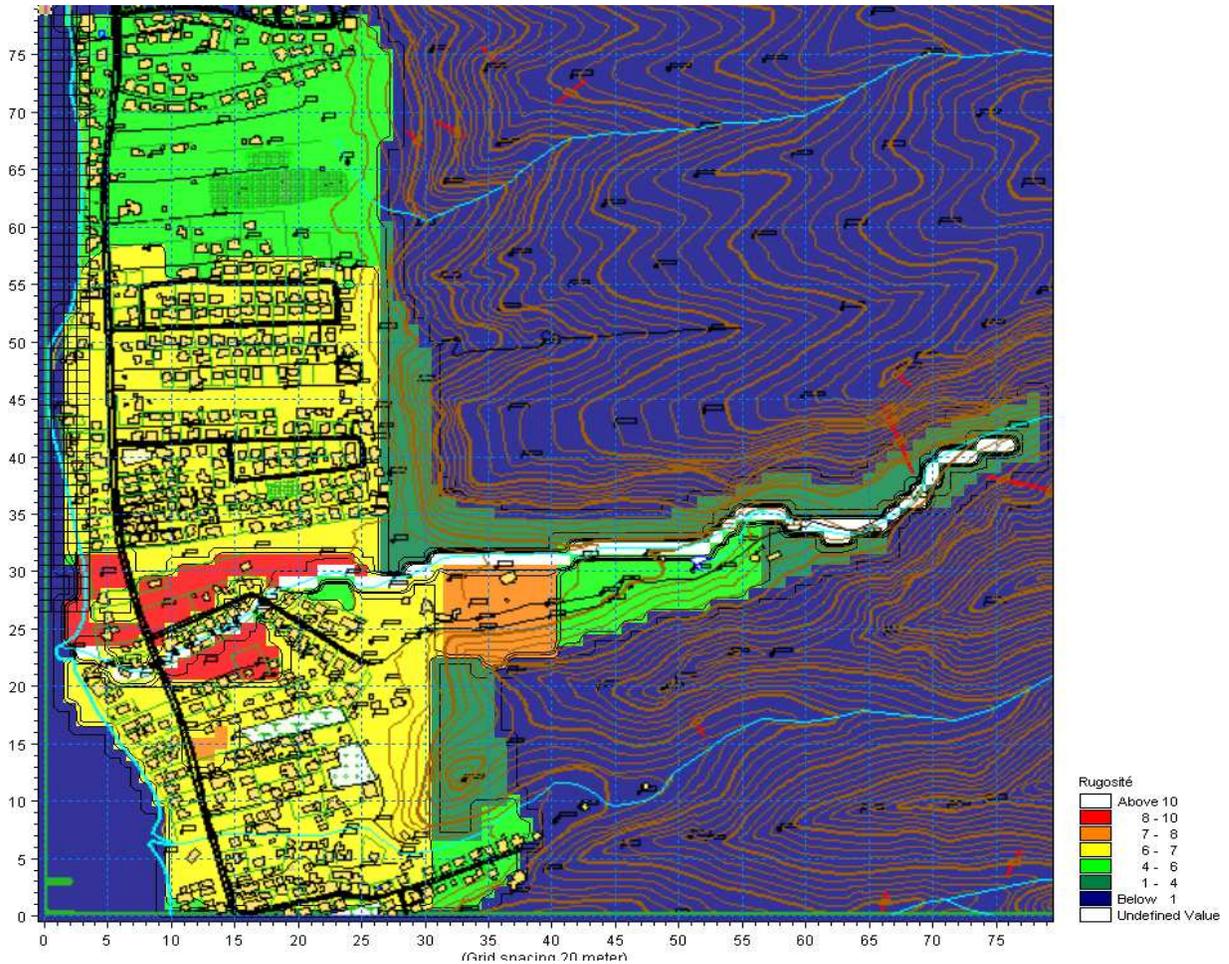


Figure 4 : Coefficient de manning strickler en lit majeur

Les valeurs retenues sont comprises entre 4 et 10 :

- 4 : lit majeur très encombré (végétation très dense du fond de vallée...)
- 6 : lit majeur
- 7 : lotissements avec murs béton et habitation dense
- 8 : terrains relativement dégagé
- 10 : terrains dégagés, sans clôtures

4.2.3. Conditions limites :

Des conditions doivent être imposées sur les mailles situées en limite de la zone étudiée.

- **au Nord** : l'analyse topographique montre que une pente importante (4.5%) en direction de la mer alors qu'elle n'est que de 1.5% en direction du Nord. Cela limite considérablement toute possibilité d'échange avec le cours d'eau C45 distant de 600 m. L'existence de servitudes recoupant transversalement la plaine littorale ainsi que les résultats de l'enquête de terrain

confirment l'hypothèse d'une absence de communication entre les lits majeurs des deux cours d'eau.

- **à l'Est** : les montagnes empêchent l'eau de s'écouler dans cette direction. Il n'y a donc pas d'échanges avec l'extérieur du modèle à l'est, cette limite est dite fermée.
- **A L'ouest** : le lagon constitue une zone d'échange avec le modèle. Une cote fixée à +0 ou + 1 m NGPF lui est attribuée en fonction des scénarii.
- **Au Sud** : la rivière TOETOE(C47) constitue une limite. La pente remontant fortement en rive gauche de cette rivière, l'hypothèse est prise qu'**aucun débordement de la rivière VAITUPA ne peut s'écouler dans le lit majeur au-delà de cette rivière.**

Les hypothèses prises pour les limites Nord et Sud seront vérifiées en cours de modélisation.

4.3. COUPLAGE LIT MAJEUR / LIT MINEUR

Le couplage entre MIKE 11 et MIKE 21 se fait par le logiciel MIKE FLOOD qui permet de définir différents type de liens entre le lit mineur et le lit majeur.

Dans la présente étude, le type de liens utilisé sont les « Lateral links » qui correspondent aux déversements entre les lits mineurs et majeurs. Ce déversement est modélisé par des lois de seuil automatisées, en fonction de la cote de la berge, de la cote du lit majeur et du niveau d'eau. Ce principe s'applique sur tout le linéaire étudié.

5. SIMULATION DES CRUES DE PROJET

5.1. CALAGE DU MODELE

L'absence de mesures de débits sur ce bassin versant rend difficile le calage du modèle par rapport à la crue de 2010. La crue de septembre 2010 n'a pas pu être quantifiée en l'absence de données pluviométriques disponibles au GEGDP (demande faite par la SPEED en mai 2013).

Enfin, la réalisation du levé topographique après curage, alors que la crue s'est produite sur un lit non curé, ôte toute possibilité de calage du modèle.

Néanmoins, les phénomènes décrits par les riverains lors de la crue de septembre 2010 sont retrouvés dans la modélisation Q100 avec embâcles :

- écoulement préférentiellement en rive gauche de la VAITUPA ;
- fortes vitesses en lit majeur ,
- hauteurs importantes au droit de la RDC de l'ordre de 1 m entre la VAITUPA et le C47, ce cours d'eau marquant la limite du lit majeur de la VAITUPA.

Vérification des hypothèses prises pour les limites du lit majeur :

Les hypothèses prises pour les limites Nord et Sud du modèle 2 D doivent être vérifiées dans le cas de la simulation la plus défavorable , la simulation 3 :

- **Limite fermée NORD :** le modèle montre effectivement un lit majeur très restreint, indépendant de celui du cours d'eau C45 comme le montre la cartographie des hauteurs ci-dessous :

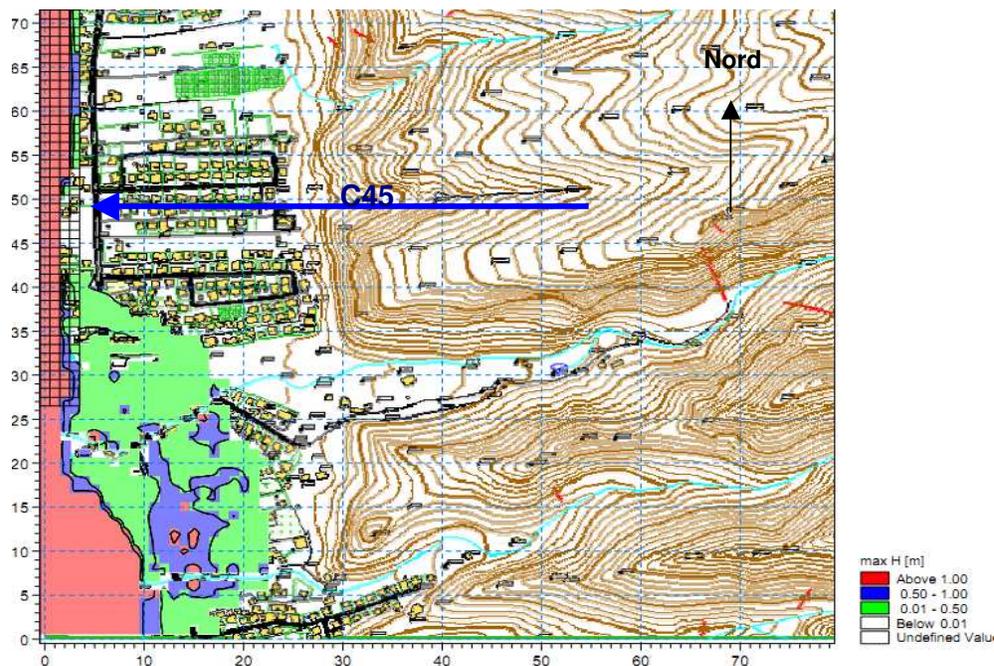


Figure 5 :Hauteur d'eau en Q100 avec embâcles

- **Limite fermée Sud** : les hydrogrammes issus du modèle (cf. § 5.2.2.3) montrent que la totalité des eaux débordées de la VAITUPA rejoint la mer avant le C47. La limite Sud peut donc bien être considérée comme fermée en rive gauche du C 47.

5.2. COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS DE MODELISATION

5.2.1. Choix des simulations

Le scénario retenu pour la cartographie des zones inondables est celui d'une crue simultanée de la VAITUPA et du C47.

Les simulations effectuées sont les suivantes :

- Simulation 1 : Q10 – Hlagon = 0 m
- Simulation 2 : Q100 / H lagon = 1 m
- Simulation 3 : Q100 avec Obstruction des ouvrages par les embâcles/ H lagon = 1 m

Les profils en long de la VAITUPA pour chaque simulation sont présentés en annexe.

5.2.2. Constat en lit mineur de la VAITUPA

5.2.2.1. Analyse des débordements en simulation 1

Aucun débordement n'est constaté en amont du pont du lotissement VAITUPA en Q10 (PK 1325).

Entre le pont du lotissement et la RDC, plusieurs points de débordements existent avant le Q10 :

- Les premiers débordements en rive droite se font au PK 1502 en rive gauche (12 m³/s , < Q1)) puis en rive droite (18.6 m³/s, = Q1).
- Débordements en rive droite au PK 1479 dès 28 m³/s (Q2)

En aval de la RDC, les seuls débordements observés au Q10 sont au PK 1651, en rive gauche, dès 25 m³/s (Q1 < < Q2).

Le pont du lotissement VAITUPA (PK 1325) déborde dès 35 m³/s (Q5 < < Q 10). Les autres ouvrages et passerelles ne sont pas limitants en Q10, mais la passerelle P48 située immédiatement en aval de la RDC ne dispose d'aucun tirant d'air en Q10.

L'écrêtement du débit est de 10 m³/s entre l'amont (PK 547.05) et l'exutoire (PK 1628.55).

Le volume transité diminue également entre les deux points ce qui montre que les volumes débordés (27 744 m³) entre ces deux points ne sont pas réinjectés dans le cours d'eau.



Figure 6 : Hydrogramme VAITUPA Q10

Ces volumes ne sont pas non plus réinjectés dans le cours d'eau C47, comme le montre l'hydrogramme ci-dessous où l'on constate que le volume transité en amont (PK 85.5) est supérieur au volume transité en aval (PK 453).

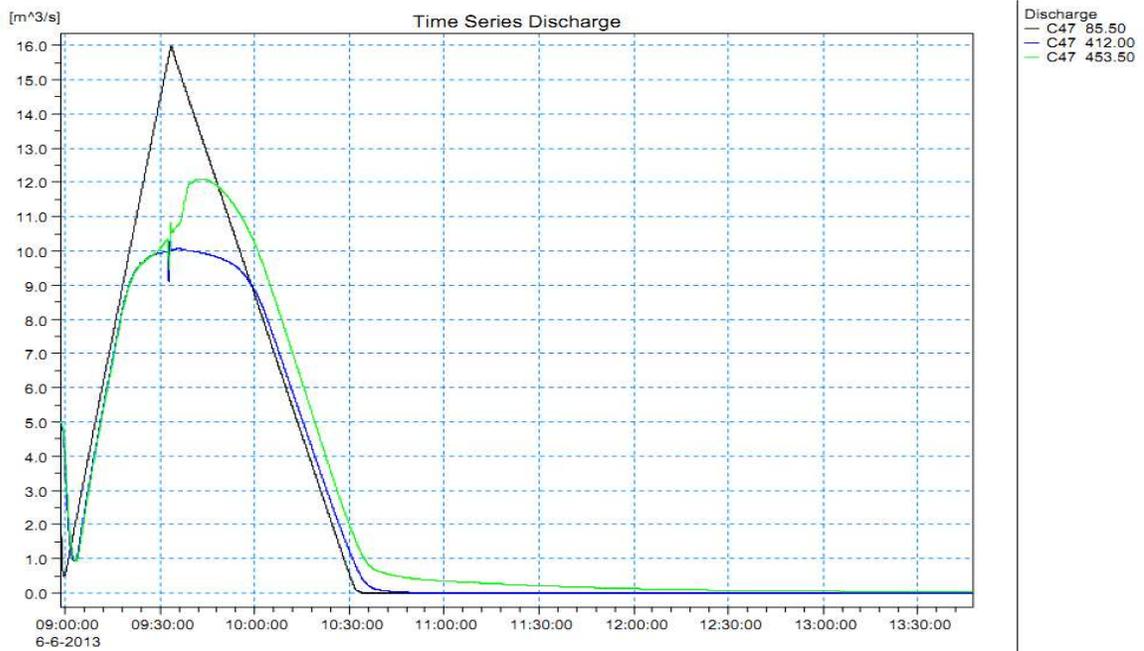


Figure 7 : Hydrogramme C47 Q10

Les vitesses constatées dans le lit mineur de la VAITUPA sont élevées : elles sont comprises entre 4 et 5.5 m/s en amont du pont du lotissement (PK 1325) et entre 3.5 et 4.5 m/s en aval de ce pont.

5.2.2.2. Analyse des débordements en simulation 2

Aucun débordement n'est constaté en amont du pont du lotissement VAITUPA en Q100 (PK 1325).

Entre le pont du lotissement et la RDC, plusieurs points de débordements existent entre le Q10 et le Q100 :

- Débordement au PK 1352 RG et RD dès le Q10
- Débordement au PK 1443 RG (55 m3/s)

Le tirant d'air du pont de la RDC est de 0.35 m en Q100.

La passerelle P48 est submergée, la passerelle P41 n'a plus de tirant d'air. Le tirant d'air des autres passerelles est faible, compris entre 0.2 et 0.4 m.

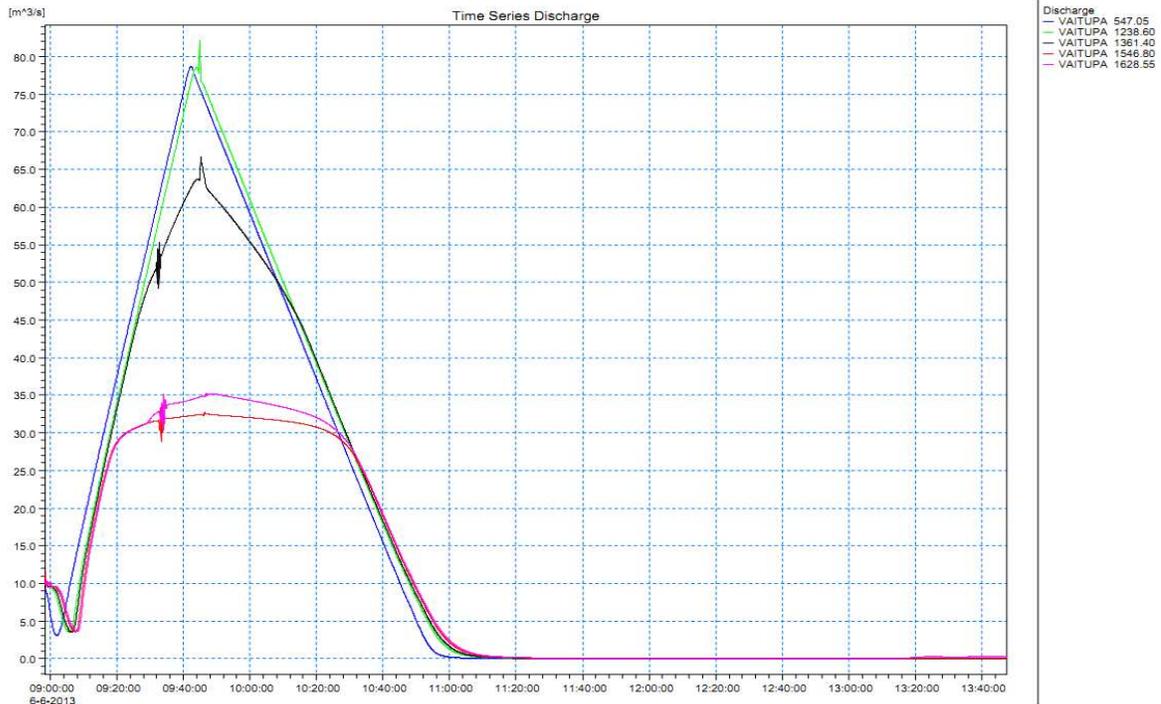


Figure 8 : Hydrogramme VAITUPA Q100

Le débit de pointe est écrêté de 45 m3/s en Q100 entre l'amont (PK 547) et l'aval (PK 1628). Le volume débordé entre le PK547 et le PK 1628 (101 000 m3 environ) n'est pas réintroduit en aval dans le cours d'eau. Le volume d'eau débordé n'est pas réinjecté non plus dans le cours d'eau C47 comme le montre son hydrogramme ci-après (pas d'augmentation du volume de crue au PK 453 par rapport au volume transité au PK 85) :

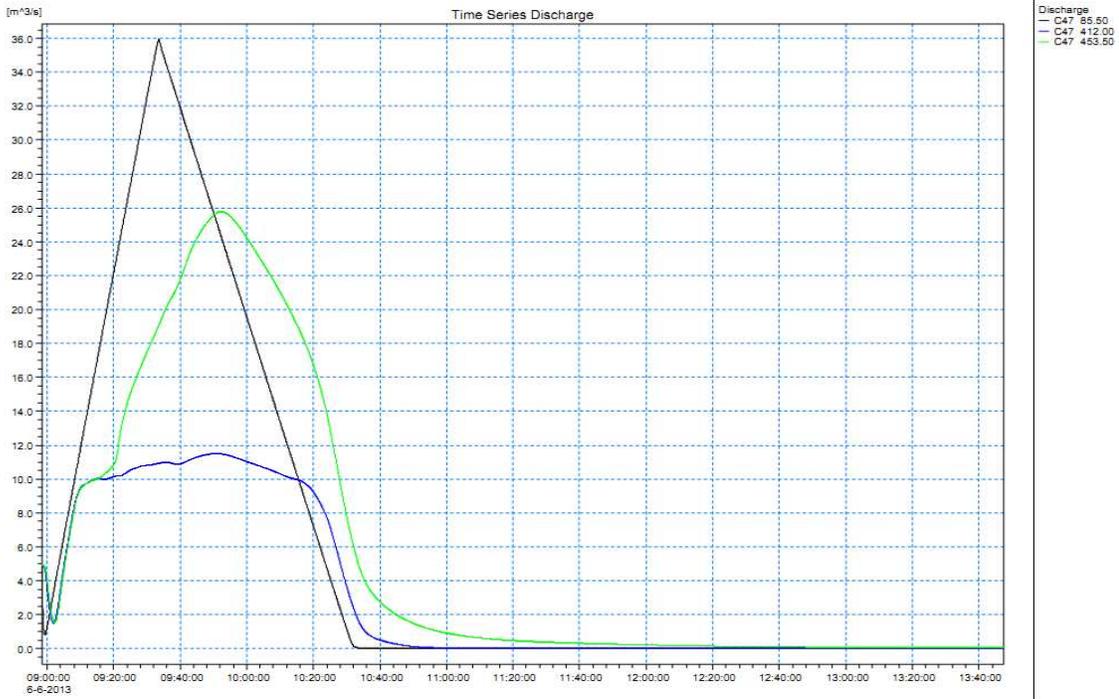


Figure 9 : Hydrogramme C47 Q100

Les vitesses observées dans le lit mineur de la VAITUPA sont très élevées de 4 à 7.5 m/s en amont du pont du lotissement VAITUPA et de 3 à 5 m/s en aval du pont du lotissement.

N.B. : une modélisation 1D de la VAITUPA, sans débordement en lit majeur, montre en Q100 des débordements généralisés sur l'ensemble du cours d'eau, comme le montre le profil en long ci-dessous.

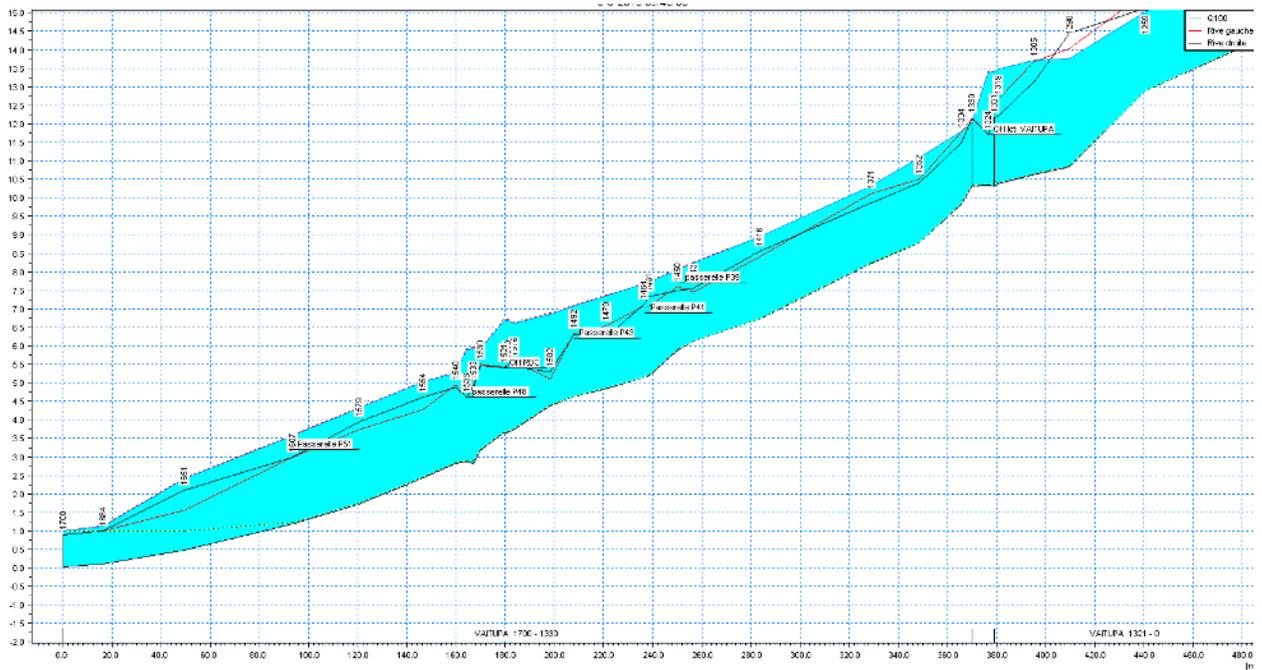


Figure 10 : profil en long 1D en Q100

5.2.2.3. Analyse des débordements en simulation 3

Aucun débordement n'est constaté en amont du pont du lotissement VAITUPA en Q100 (PK 1325).

Entre le pont du lotissement et la RDC, les ouvrages modélisés comme obstrués à 50% deviennent limitants et créent des points de débordements :

- Mise en charge du pont du lotissement (PK 1352) entraînant une remontée de la ligne d'eau et des débordements en amont du pont en rive gauche et droite ;
- mise en charge de la passerelle P41 (PK 1464) entraînant une remontée de la ligne d'eau en amont des débordements en amont du pont en rive gauche et droite sur 30 m.

En aval du PK 1464, le tirant d'air des ouvrages augmente par rapport à la simulation 2, du fait d'un débit de pointe moindre (20 m³/s au lieu de 32 m³/s) comme le montre l'hydrogramme ci-dessous :

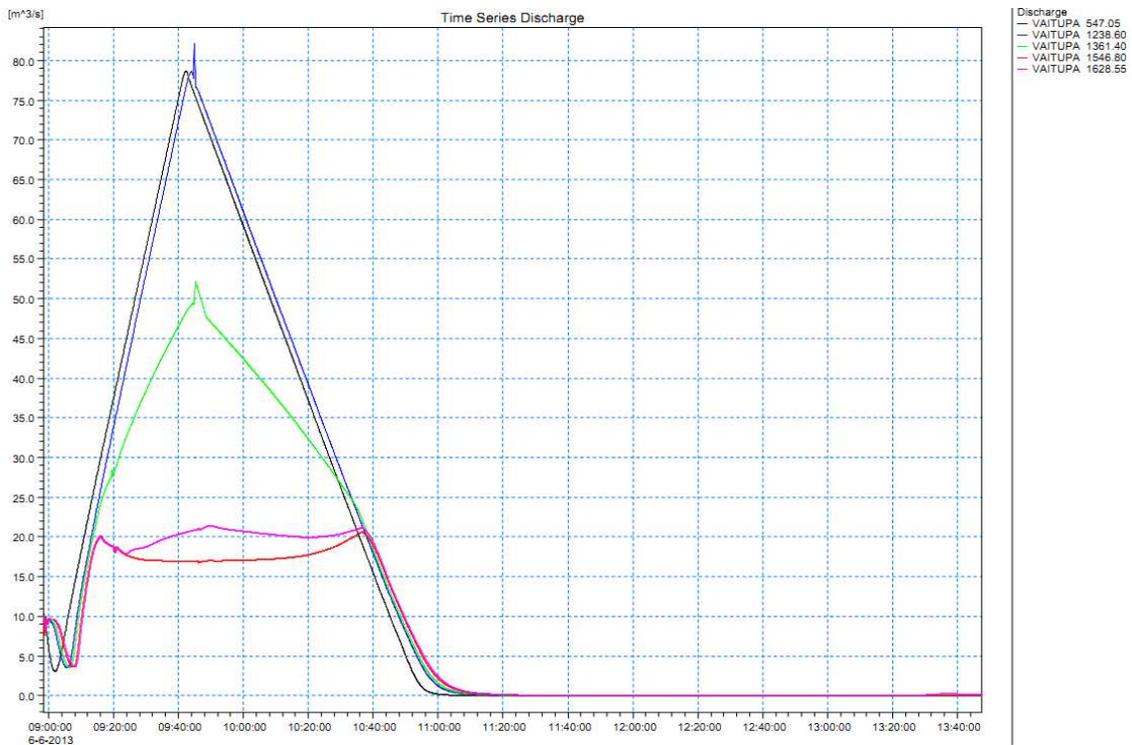


Figure 11 : Hydrogramme VAITUPA Q100 avec embâcles

Le volume débordé entre le PK 547 et le PK 1628 est estimé à 295 800 m³. Les volumes débordés en amont ne sont pas réintroduits dans le cours d'eau en aval ni dans le cours d'eau C47 comme le montre l'hydrogramme ci-dessous.

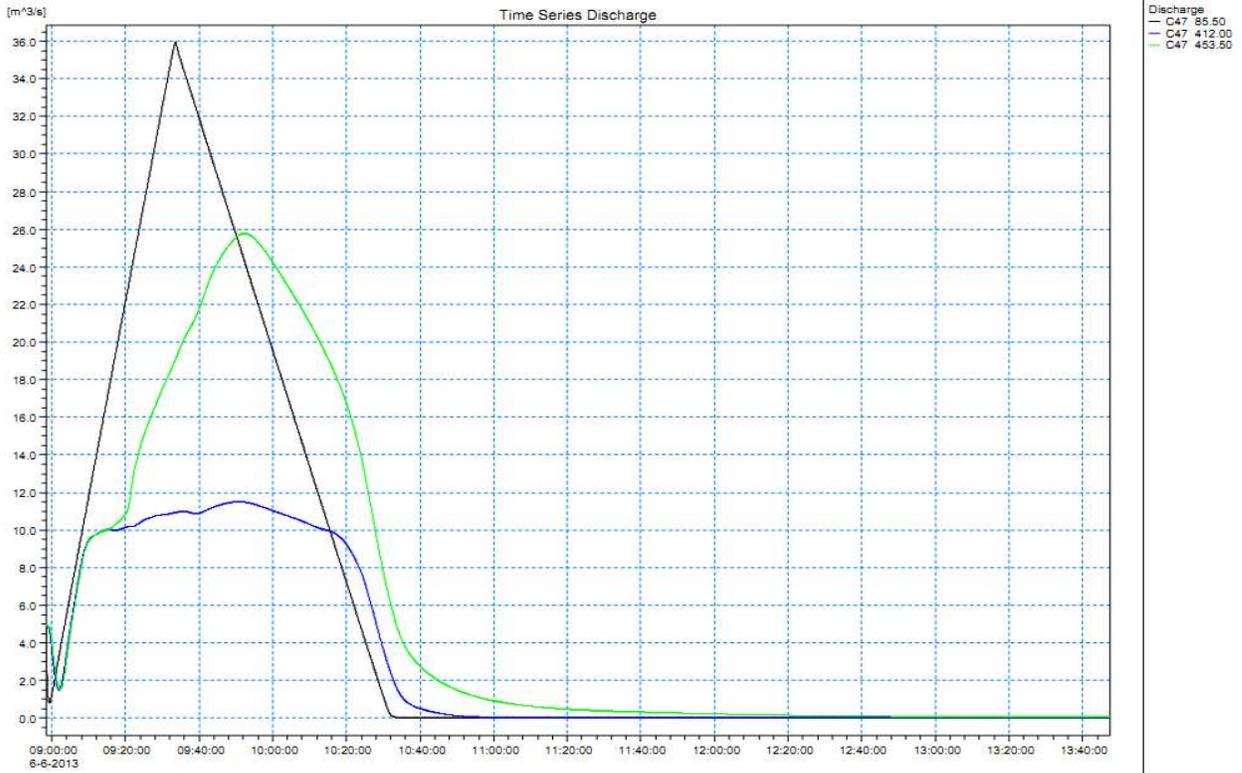


Figure 12 : Hydrogramme C47 Q100 avec embâcles

5.2.3. Constat en lit majeur

5.2.3.1. Analyse des écoulements en lit majeur en simulation 1

La majeure partie des débordements s'écoule le long des rives de la VAITUPA en direction de la mer.

Une partie des débordements de la rive gauche rejoignent ceux de la rivière TOETOE.

Les hauteurs d'eau sont inférieures à 0.3 m et les vitesses d'écoulement inférieures à 0.5 m/s.

L'ancien cône de déjection n'est plus du tout mobilisé.

5.2.3.2. Analyse des écoulements en lit majeur en simulation 2

En rive droite de la VAITUPA, l'écoulement est diffus et de hauteur modérée (0.1 à 0.3 m) en direction de la mer.

En rive gauche de la VAITUPA, l'ensemble de la plaine littorale entre les deux cours d'eau est inondée jusqu'à la mer. L'eau circule en amont de la RDC et remonte dans les servitudes. Les plus fortes hauteurs sont donc observées en amont de la RDC (0.5 à 1 m), entre les deux cours d'eau.

Les vitesses sont globalement inférieures à 0.5 m/s en lit majeur à l'exception d'une bande située en rive droite de la VAITUPA, le long de la route du lotissement et allant jusqu'à la mer et d'une poche située en rive gauche de la VAITUPA, en aval immédiat du lotissement. Dans ces zones les vitesses peuvent dépasser les 1 m/s.

5.2.3.3. Analyse des écoulements en lit majeur en simulation 3

Par rapport à la simulation 2, on observe une augmentation des hauteurs d'eau en amont de la RDC, entre les deux cours d'eau, avec des hauteurs > 1 m au droit de la quincaillerie SACCAULT.

Les zones de fortes vitesses ne changent pas à l'exception de la poche située en rive droite qui s'étend désormais jusqu'à la RDC (survitesses liées au débordement de la passerelle P41).

5.2.4. Cartographie

Le logiciel MIKE 21 fournit les hauteurs d'eau et vitesses maximales pour chaque maille du modèle, qui sont ainsi directement cartographiés.

La carte des hauteurs d'eau maximales est superposée à celles des vitesses pour former la carte des aléas selon le tableau suivant :

Vitesse Hauteur	Faible à moyenne Vitesse < 0,5 m/s	Moyenne à forte Vitesse > = 0,5 m/s
H=<0,5 m	Faible	Moyen
0,5 <H =< 1 m	Moyen	Fort
H > 1 m	Fort	Très fort

Les limites du lit mineur sont cartographiées à partir des levés topographiques.

La **zone érodable en bordure de berges** est rajoutée en **aléa fort** de part et d'autres des berges non protégées. Cette zone présente une largeur de :

- 5 m de large en amont du PK 500,
- 3 m de large entre le OK 500 et le PK 1325.

La simulation 1 (Q10/Hlagon = 0 m) est cartographiée sur le plan PPR 003, la simulation 2 (Q100/Hlagon = 1 m) correspondant au plan PPR 004 et la simulation 3 (Q100 avec embâcles /Hlagon = 1 m) au plan PPR 005.

6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT

6.1. ENJEUX

Le principal enjeu est la présence de plusieurs dizaines d'habitations en aléa moyen et de 5 habitations en aléa fort.

Les objectifs sont donc :

- 1) de sortir les habitations de la zone d'aléa fort
- 2) de sécuriser les habitations de la zone d'aléa moyen et faible, soumises au risque d'un engravement du cours d'eau générant des débordements supérieurs à ceux caractérisés par la modélisation.

Le recalibrage de la VAITUPA doit impérativement être fait de **l'aval vers l'amont**, les sections avalées n'étant pas suffisantes pour transiter l'intégralité du débit centennal.

6.2. VARIANTES D'AMENAGEMENT

Le tableau suivant présente les objectifs souhaités et les aménagements proposés pour les atteindre :

Objectifs	Aménagements proposés
Contrôler l'engravement du cours d'eau	Un ou deux bassins de dégraisseur au droit des zones de ruptures de pente (PK 875 et 1290)
Limiter le risque de blocage des embâcles	Piège à embâcles en amont du pont du lotissement VAITUPA (PK 1290)
Augmenter la capacité de transit du cours d'eau	1) Reprofiler le cours d'eau
	2) supprimer les passerelles intermédiaires
	3) Recalibrer le cours d'eau entre l'exutoire et le pont du lotissement VAITUPA et protéger les berges par des enrochements percillés de béton ou un ouvrage en béton armé.
	4) Refaire le pont du lotissement VAITUPA
	5) Protéger les berges par des enrochements libres (3H/2V) ou enrochements percillés de béton entre le PK 800 et le PK 1325

L'estimation financière des aménagements est la suivante :

Désignation	Unité	Qté	Prix unitaire	Montant
Installation de chantier	%	10%		30 590 000
Réalisation de bassins de dégraveur au droit des zones de ruptures de pente (PK 875 et 1290)	u	2	9 207 522	18 500 000
Réalisation d'un piège à embâcles en amont du pont du lotissement VAITUPA (PK 1290)	u	1	7 723 761	7 800 000
Reprofilage du cours d'eau	ml	1700 ml	3 000	5 100 000
Suppression des passerelles intermédiaires	u	5	200 000	1 000 000
Recalibrage du cours d'eau entre l'exutoire(PK 1700) et le pont du lotissement VAITUPA (PK 1325) et protection les berges par un ouvrage en béton armé.	ml	375	483 000	181 200 000
Réfection du pont du lotissement VAITUPA	u	1	21 000 000	21 000 000
Protection des berges par des enrochements libres (3H/2V) entre le PK 800 et le PK 1325	ml	525	135 765	71 300 000
Divers et imprévus	%	10%		30 590 000
MONTANT TOTAL (HTVA)				367 080 000
MONTANT TOTAL TTC				403 788 000.00

A long terme :

Pour les futurs aménagements et notamment les ponts qui pourraient être construits en amont du pont du lotissement VAITUPA, (PK 1325) il est recommandé de prendre un tirant d'air de 1 m en Q100 intégrant les embâcles. Par ailleurs, les variations du lit de la rivière liées à l'engrèvement doivent être prises en compte dans la conception des ouvrages.

PLANS

- PPR 001 Cartographie hydrogéomorphologique
- PPR 002 Carte des enquêtes de terrain
- PPR 003 Cartographie de l'aléa inondation Q10 / H lagon = 0 m
- PPR 004 Cartographie de l'aléa inondation Q100 / H lagon = 1 m
- PPR 005 Cartographie de l'aléa inondation Q100 avec embâcles / H lagon = 1 m
- PPR 006 : Carte des aménagements

BIBLIOGRAPHIE

Hydrologie :

1. Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti – G. WOLTING, 2000
2. Evaluation des maximums de crue sur l'île de Tahiti suivant une approche régionale – J. DANLOUX, 2003
3. Assistance technique pour l'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation en Polynésie française – Convention BRGM/ANTEA n°POL0361 – P. STOLLSTEIMER, 2005
4. Note méthodologique pour la cartographie de l'aléa Inondation au droit des cours d'eau de Polynésie Française – B.E.T. SPEED/ BCEOM / VAIAD – 2005
5. Etude des crues de la LOPT, DEQ-GEGDP, 2001
6. Etude d'aménagement hydraulique de la VAITUPA (faisabilité), H2O, DEQ, 2012
7. Guide technique de l'assainissement – Le Moniteur – Régis Bourrier

Hydrogéomorphologie :

8. Cartographie des zones inondables, approche hydrogéomorphologique – Editions Villes et Territoires - 1996
9. Les bases techniques de la méthode Inondabilité – Editions CEMAGREF – O. GILARD, 1998

Hydraulique :

10. Hydraulique générale, A. LENCASTRE, édition 1995

ANNEXES :

Annexe 1 : profils en long du lit mineur

Annexe 2 : Tableau des hauteurs et vitesses en lit mineur

Annexe 3 : Bathymétrie de la modélisation (fichier informatique)

Annexe 4 : Tableau des hauteurs en lit majeur (fichier informatique)

Annexe 5 : Tableau des vitesses en lit majeur (fichier informatique)

ANNEXE 1 :

PROFILS EN LONG DU LIT MINEUR

ANNEXE 2 :

**TABLEAU DES HAUTEURS ET VITESSES EN LIT
MINEUR**

ANNEXE 3 :

**BATHYMETRIE DE LA MODELISATION (FICHER
INFORMATIQUE)**

ANNEXE 4 :

**TABLEAU DES HAUTEURS EN LIT MAJEUR
(FICHER INFORMATIQUE)**

ANNEXE 5 :

**TABLEAU DES VITESSES EN LIT MAJEUR
(FICHIER INFORMATIQUE)**