



Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie Française – 2014

Lot 1 – Modélisation

COURS D'EAU : MAHAERUA

Commune : AFAREAITU

Ile : MOOREA

janvier 2015

N°rapport : 1581 14 04

TABLE DES MATIERES

1. METHODOLOGIE	4
2. DONNEES D’ENTREES	6
2.1. Données topographiques	6
2.1.1. Lit Mineur :	6
2.1.2. Lit Majeur :	6
2.2. Données hydrologiques	7
2.2.1. Caractéristiques des bassins versants	7
2.2.2. Calcul des débits de projet	8
3. ENQUETE DE TERRAIN	10
3.1. Enquête auprès des riverains	10
3.2. Visite de terrain	12
3.3. Analyse hydrogéomorphologique	15
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	20
4.2. Lit Majeur (MIKE 21)	21
4.2.1. Topographie	21
4.2.2. Coefficients de Manning-Strickler du lit majeur	21
4.2.3. Conditions limites :	22
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 MAHAERUA	25

5.2.3. Constat en lit majeur	28
5.2.4. Cartographie	30
6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT	31
6.1. Enjeux	31
6.2. PropositionS d'aménagement	32

Table des figures :

Figure 1 : carte de Moorea.....	4
Figure 2 : Carte des bassins versants de la MAHAERUA.....	7
Figure 3 : Intensité pluvieuse décennale en fonction du temps.....	8
Figure 4 : MNT de la zone d'étude.....	15
Figure 5 : Hydrogramme de crue	20
Figure 6 : Coefficient de Manning Strickler en lit majeur	21
Figure 7 : Hauteur d'eau en Q100 avec embâcles	23
Figure 8 : Hydrogramme MAHAERUA NUI Q10	25
Figure 9 : Hydrogramme MAHAERUA ITI Q10	25
Figure 10 : Hydrogramme de la MAHAERUA NUI pour le débit Q100 (à l'amont en vert et en bleu à l'aval)	26
Figure 11 : Hydrogramme du cours d'eau Mahaerua lti – Q100 (à l'amont en vert et en bleu à l'aval).....	26
Figure 12 : Hydrogramme de la MAHAERUA NUI pour le débit Q100 + embâcles (à l'amont en vert et en bleu à l'aval).....	27

1. METHODOLOGIE

La rivière **MAHAERUA** est située au PK15, sur la commune de Maatea (commune associée d'Ofareaitu), au sud de l'île de MOOREA. Le bassin versant étudié comporte deux lits mineurs ayant chacun leur propre exutoire. Pour se repérer dans la suite du rapport, le bras principal sera nommé Mahaerua Nui et le bras secondaire situé à l'est sera nommé Mahaerua Iti.

La figure ci-dessous présente le positionnement du bassin versant sur l'île de Moorea :

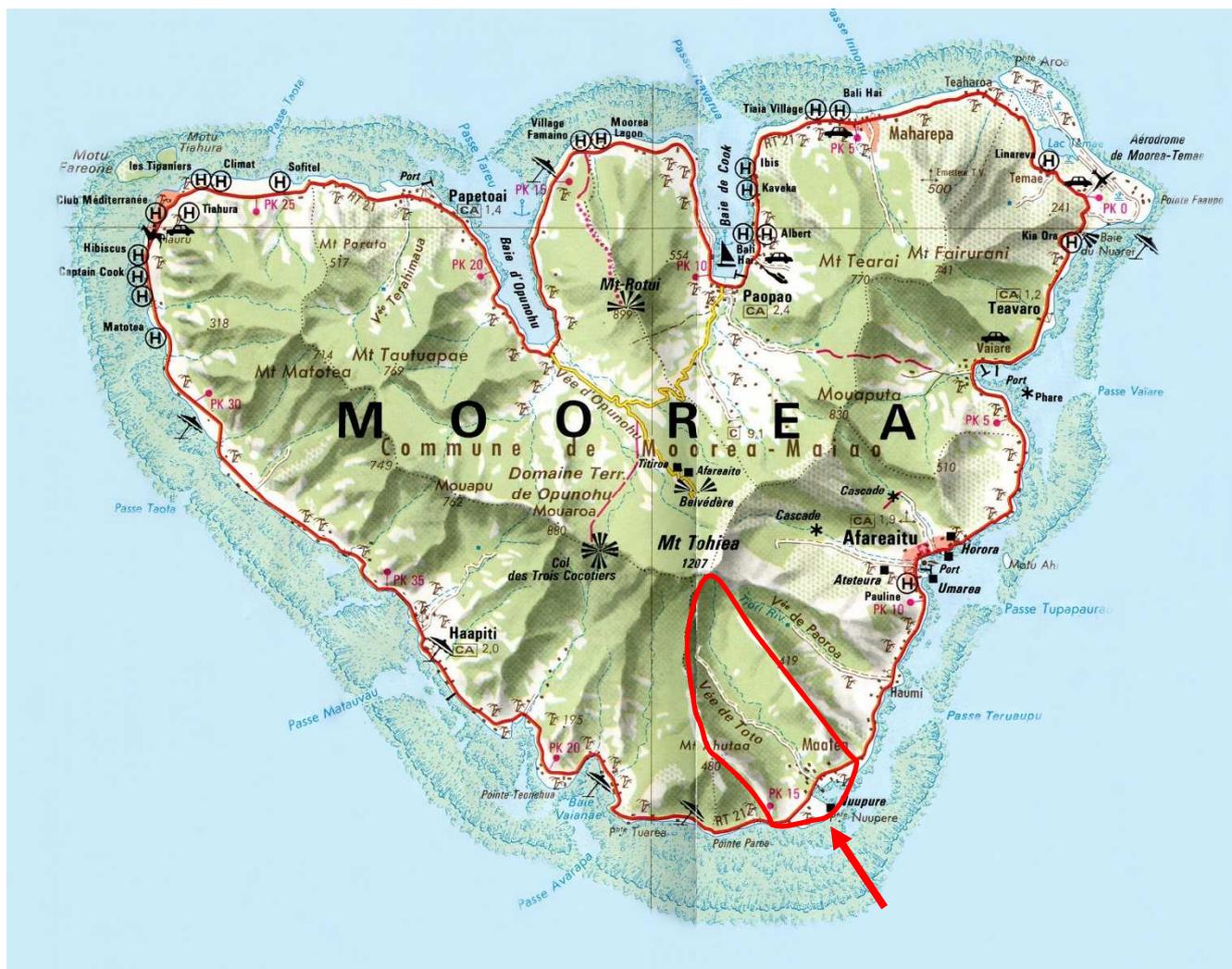


Figure 1 : carte de Moorea

Le linéaire d'étude est d'environ 1100 m à partir de l'embouchure, ce qui englobe la plaine littorale jusqu'en amont de la zone habitée à l'entrée de la vallée. Plus en amont la vallée se resserre et les habitations sont plus éparées.

La démarche retenue pour cette modélisation est la suivante :

- 1) **Visite de terrain** avec rencontre des riverains afin d'établir une carte des débordements passés la plus exhaustive possible et d'identifier les éventuelles limites hydrogéomorphologiques.
- 2) Réalisation de la **cartographie hydrogéomorphologique**.
- 3) **Modélisation du lit mineur et du lit majeur de la MAHAERUA**
 - Construction du modèle 2 D de la MAHAERUA (lit majeur + lit mineur)
 - 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 MAHAERUA est basée sur des profils en travers au 1/250^{ème} espacés de 100 m en moyenne et réalisés par le cabinet HUIN TOPO en juillet 2014.

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).

L'assemblage de ces plans, après suppression des éventuelles incohérences, permet d'établir un Modèle Numérique de Terrain (MNT) du lit majeur.

2.2. DONNEES HYDROLOGIQUES

2.2.1. Caractéristiques des bassins versants

Les caractéristiques physiques et hydrologiques des bassins versants de la MAHAERUA sont les suivantes :

	BV1 (PA)	BV2 (PB)	BV3 (PAA)
Superficie (ha)	530	38	17
Plus long chemin hydraulique (m)	4843	1701	873
Pente moyenne pondérée	4.5%	2.0%	27.9%
Pente moyenne globale	24.9%	15.3%	39.8%
Temps de concentration (formule de Kirpich¹)	23	12	5

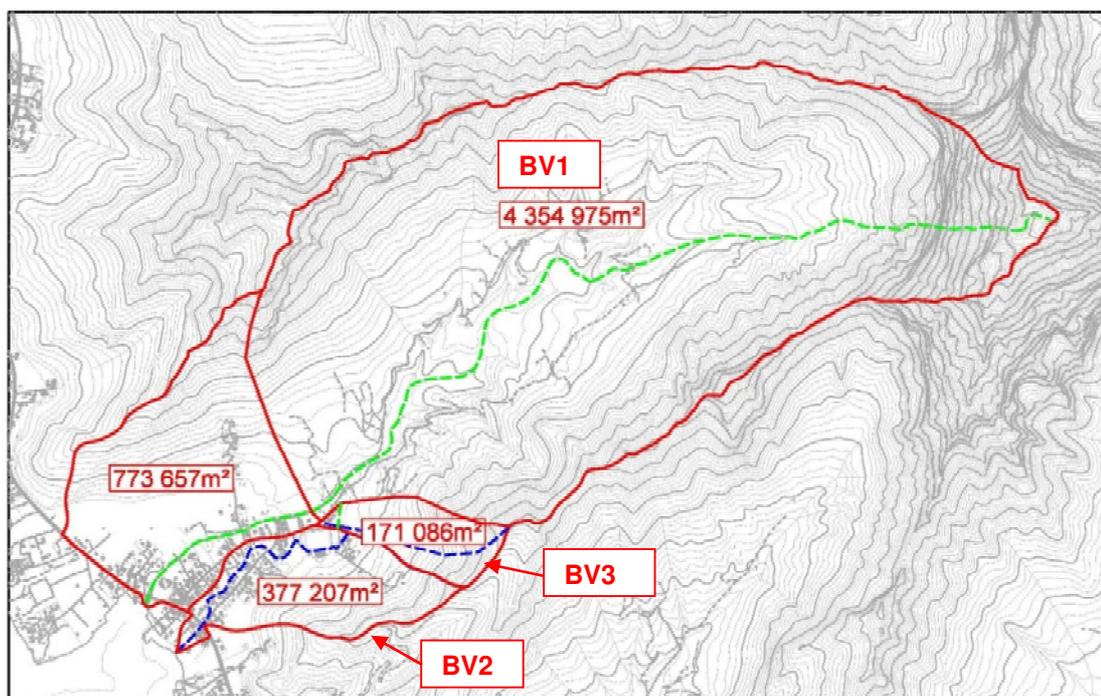


Figure 2 : Carte des bassins versants de la MAHAERUA

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

2.2.2. Calcul des débits de projet

- **Choix de la méthode de calcul**

La rivière MAHAERUA, n'a pas fait l'objet de mesures de débits.

De plus, aucun coefficient de Creager n'a été calé sur les cours d'eau de Moorea. Par conséquent, c'est la méthode rationnelle Q10 + GRADEX qui a été retenue.

La méthode d'ANTEA, établie par P.Stollsteiner préconise de se baser sur les coefficients de Montana de Vaihiria (8 ans d'observations), tandis que la note [4] recommande de se baser sur la station de Faa'a qui dispose d'un plus grand nombre de données (>50ans de mesures).

- **Coefficients de Montana**

Les différents coefficients de Montana sont donnés pour une pluie de durée inférieure à 30 min.

	Coefficients de Montana de Vaihiria		Coefficients de Montana de Faa'a	
	P10	P100	P10	P100
a	5.08	6.03	10.80	17.74
b	-0.27	-0.27	-0.55	-0.60

Les courbes d'intensité pluvieuse (mm/min) en fonction du temps ont été tracées à partir de ces coefficients. Ce graphique, présenté ci-dessous montre que pour une pluie de durée inférieure à 15 min, l'intensité pluvieuse calculée avec la station des Faa'a est plus importante que celle calculée avec les données de Vahiria. Au-delà de 15 min, les résultats deviennent sensiblement les mêmes.

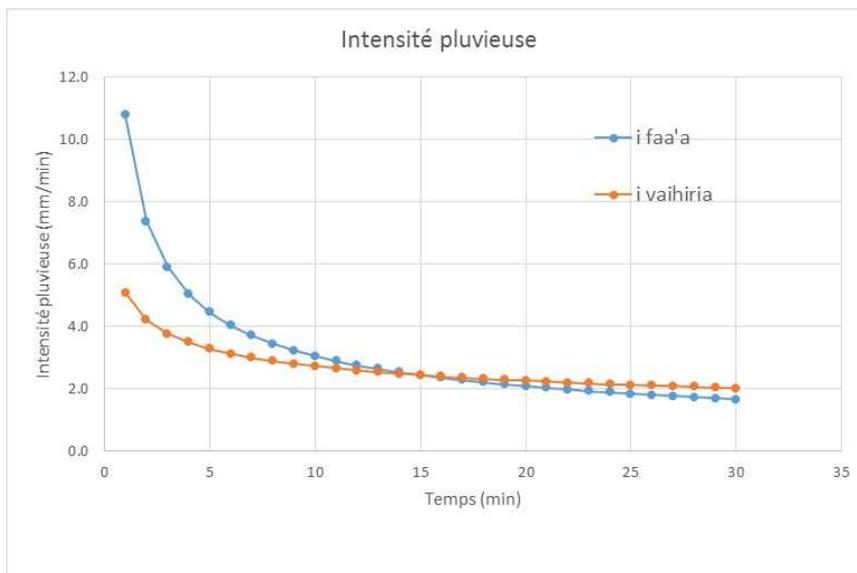


Figure 3 : Intensité pluvieuse décennale en fonction du temps

Le calcul des débits par la méthode rationnelle prend en compte le temps de pluie le plus défavorable, égal au temps de concentration du bassin versant. Par conséquent, le graphique précédent peut être interprété de la manière suivante : pour les bassins versants de petites tailles (temps de concentration faible), les valeurs de Faa'a donneront un débit plus important qu'avec la station de Vahiria. Pour les bassins versants plus grand (temps de concentration plus important), les résultats seront sensiblement les mêmes quelque soit l'une des deux stations retenue (Faa'a ou Vahiria).

- **Coefficients de ruissellement**

Le coefficient de ruissellement décennal retenu par ANTEA est de 0.36. Ce coefficient a été calé par P.Stollsteiner sur le bassin versant voisin de Vaianae.

Avec les coefficients de Montana de Faa'a, le calage donne un coefficient de ruissellement de 0.33.

- **Calcul des débits**

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Station utilisée pour les calculs	Q10		Q100	
	Faa'a	Vahiria	Faa'a	Vahiria
BV1	56 m3/s	69 m3/s	125 m3/s	122 m3/s
BV2	5.6 m3/s	6 m3/s	13.3 m3/s	10 m3/s
BV3	4 m3/s	3 m3/s	11 m3/s	6 m3/s

Les calculs de débits sont conformes à l'analyse sur les intensités pluvieuses effectuée précédemment.

Compte tenu du nombre plus important de mesures, il serait préférable de retenir la station de Faa'a plutôt que Vahiria. Toutefois, par souci d'homogénéité avec les cartographies précédentes, c'est le poste de Vahiria qui a été choisi.

Remarque : Afin de conforter ce choix de station, les deux modélisations ont été effectuées et comparées. L'analyse montre qu'à l'échelle de ce bassin versant, les deux cartographies sont sensiblement similaires.

3. ENQUETE DE TERRAIN

3.1. ENQUETE AUPRES DES RIVERAINS

Ci-dessous sont présentés les résultats de l'enquête réalisée en septembre 2014.

Cours d'eau	Points d'enquête (aval vers amont)	Localisation	Témoignages	Commentaires
MAHAERUA NUI	1, 2 et 4	côté montagne rive droite en aval	Plusieurs inondations ont été observées à cause de l'obstruction du pont par des embâcles . Les deux épisodes les plus marquants datent de 1998 et 2010 (Oli). Des débordements se produisent toujours malgré la réfection du pont en 2010 . L'habitation n°4 signale une fréquence de débordement biannuelle.	
	3 et 5	côté montagne rive droite en aval	Ces deux habitations mentionnent l'absence de débordement depuis la réfection du pont en 2010.	La côte de ces terrains est plus élevée que les terrains mitoyens.
	6	Côté montagne rive gauche	Aucune inondation observée	
	7 et 8	côté montagne rive gauche en aval	Plusieurs inondations observées malgré la réfection du pont en 2010 due à une remontée de la ligne d'eau suite à l'obstruction du pont de la RDC par des embâcles.	
	9 et 10	côté montagne rive gauche en aval	1 inondation au n°10 en 2011 ou 2012 (+10cm) à cause de l'obstruction de la passerelle PA7 .	
	11 et 12	côté montagne rive droite tronçon médian	Une inondation observée au n°12 (+10cm) Pas de soucis sur la passerelle mitoyenne (PA12).	
	13 et 14	côté montagne rive gauche en amont	Une inondation en 1998 suite à l'obstruction du cours d'eau par un pistachier aux points 13-14.	
	15 et 17	côté montagne rive gauche en amont	Pas d'inondation au point 15 mais des problèmes d'érosion des berges sont constatés.	
	16	Côté montagne Rive gauche affluent	Inondation provoquée par la buse qui est obstruée	
MAHA RUA ITI	23	côté mer rive gauche en aval	Pas d'inondation en aval de la route de ceinture.	Cours d'eau canalisé bien entretenu par les riverains
	22	côté montagne rive droite en aval	Une légère inondation (+5cm) suite à l'obstruction de l'ouvrage de la RDC.	
	19-20 et 21	côté montagne rive gauche en aval	Pas d'inondation observée.	
	18	côté montagne rive droite en aval	Une inondation il y a longtemps mais l'eau n'a pas atteint la maison.	

Les conclusions de cette enquête de terrain sont les suivantes :

- 1) Malgré la réfection du pont de la RDC en 2010, des débordements se produisent toujours sur le cours d'eau principal Mahaerua Nui. Selon les témoignages les débordements sont principalement dus aux embâcles qui viennent obstruer le pont de la RDC dont les piles de pont sont trop rapprochées et le tirant d'air insuffisant.
- 2) Concernant le cours d'eau secondaire Mahaerua Iti, les débordements sont quasiment inexistantes sauf aux abords de l'ouvrage en amont de la RDC.

3.2. VISITE DE TERRAIN

MAHAERUA NUI :

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

- tronçon 1 : PK 0 au PK 275 (pente moyenne à 0.4 %)
- tronçon 2 : PK 275 au PK 860 (pente moyenne à 1.4 %)
- tronçon 3 : PK 860 au PK 1092 (pente moyenne à 2.8 %)

Au niveau de la rupture de pente au PK275, il y a un risque de dépôts de matériaux susceptible d'augmenter la fréquence de débordement.

MAHAERUA ITI :

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

- tronçon 1 : PK 0 au PK 267 (pente moyenne à 0.2%)
- tronçon 2 : PK267 au PK844 (pente moyenne à 1.4%)
- tronçon 3 : PK844 au PK 920 (pente moyenne à 3.3%)

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

MAHAERUA NUI	TRONCON 1 (AVAL)	
		<p>lit large avec berges enrochées Hauteur moyenne des berges = 1.70m</p>
	TRONCON 2 (MEDIAN)	
		<p>lit moins large avec une section hétérogène berges naturelles ou ponctuellement revêtues par des enrochements au droit des ouvrages</p>
TRONCON 3 (AMONT)		
		<p>Lit encaissé, Berges à l'état naturel</p>

MAHAERUA ITI	TRONCON 1 (AVAL)	
		<p>Lit canalisé en aval de la RDC et bien entretenu</p> <p>Lit encombré par la végétation en amont de la RDC</p>
	TRONCON 2 (MEDIAN)	
		<p>Lit entretenu et relativement large</p> <p>Berges enrochées</p>
TRONCON 3 (AMONT)		
		<p>Lit encaissé,</p> <p>Berges à l'état naturel</p>

Tableau 1 : Visite de terrain

3.3. ANALYSE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

Sur la zone amont, le cours d'eau ne présente pas de plancher alluvial ; il est encaissé entre les versants.

Au débouché de la plaine littorale, soit à environ 1300m de l'exutoire, un cortège alluvionnaire se forme et s'élargit progressivement pour atteindre une largeur moyenne de 340m. Cette zone, qui englobe les deux lits mineurs, représente le lit moyen du cours d'eau et délimite la zone de mobilité du lit.

A noter qu'à 650 m en amont de l'exutoire, ce cortège alluvionnaire s'élargit vers l'ouest pour atteindre une largeur totale de 500m. Ceci traduit des apports de matériaux en provenance d'un talweg secondaire situé à l'ouest.

Le cortège alluvionnaire (lit moyen) est encaissé par une zone de formation détritique d'origine marine (galets, sables graveleux volcaniques et coralliens). Cette zone peut être identifiée comme le lit majeur du cours d'eau.

La modélisation numérique du terrain présentée ci-dessous fait apparaître légèrement cette zone alluvionnaire (terrain surélevé correspondant à la zone de dépôts, en mauve plus foncé sur la carte) et révèle aussi quelques chenaux d'écoulement secondaires potentiels (flèches rouges).

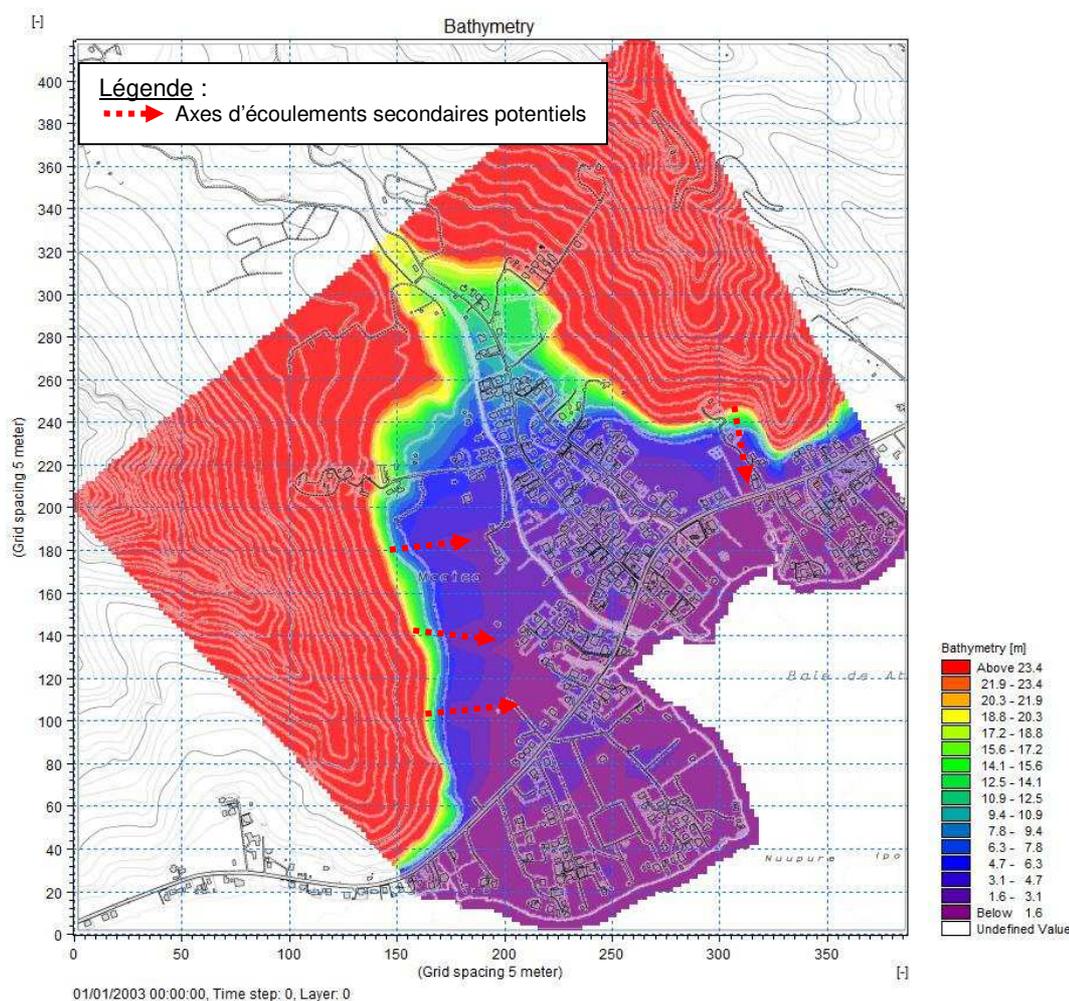


Figure 4 : MNT de la zone d'étude

4. CONSTRUCTION DU MODELE

La **modélisation** de la Mahaerua 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 :

Les deux lits mineurs identifiés précédemment (Mahaerua Nui et Mahaerua Nui) ont été modélisés.

4.1.2. Ouvrages hydrauliques :

4.1.2.1. Recensement des ouvrages de la MAHAERUA NUI

Quatre ouvrages de traversée ont été identifiés sur le linéaire d'études.

	
<p><i>Pont de la RDC - pont à 3 travées</i> 3 travées de 7.40 x 1.10 mht PA3 – PM 34 Ep. totale tablier= 0.75 m</p>	<p><i>Passerelle métal-bois</i> 7 x 2 m ht PA7 – PM244 Ep. totale tablier = 0.50 m</p>

	
<p>Passerelle – métal béton 8.10 x 2.4 m ht PA12 – PM 551 Ep. totale tablier = 0.80 m</p>	<p>Passerelle 7 x 3.50 m ht PA19 – PM 1040 Ep. totale tablier (hors garde-corps = 0.90 m)</p>

Parmi ces quatre ouvrages, seule la passerelle PA12 présente une légère contraction de section en amont impliquant une rehausse ponctuelle de la ligne d'eau.

Du fait de leur faible largeur, l'ensemble de ces ouvrages présente un risque d'obstruction par des embâcles.

4.1.2.2. Recensement des ouvrages de la MAHAERUA ITI

Cinq ouvrages de traversée ont été identifiés sur le linéaire d'études.

	
<p>Ouvrage de la RDC 2 buses Ø1000mm PB5 – PM176</p>	<p>Passerelle métal – bois 3 x 0.80 mht PB8 – PM240</p>

	
<p style="text-align: center;">Passerelle métallique 2 x 1.5 m ht PB11 – PM504</p>	<p style="text-align: center;">Passerelle béton 2 x 1.4 m ht PB11 – PM510</p>
	
<p style="text-align: center;">Passerelle béton 2 x 1.15 m ht PB15 – PM690 Ep. totale tablier = 0.60 m</p>	

Mis à part celui de la RDC, ces ouvrages ne créent pas de contraction à l'écoulement dans le cours d'eau.

Le lit mineur de Mahaerua Iti, de faible dimension est un bras secondaire qui appartient au domaine de l'assainissement pluvial plutôt que de celui du cours d'eau. La faible végétation de cette zone urbanisée limite le risque d'obstruction des ouvrages par des troncs d'arbres ou branchages. Des déchets flottants de petites tailles sont toutefois susceptibles d'être transportés.

4.1.2.3. Modélisation :

L'ensemble des ouvrages ont été modélisés avec une section libre à 100% dans le cadre du scénario Q100. Pour le scénario Q100 avec embâcles, seul les ouvrages du lit Mahaerua Nui ont été modélisés avec une section obstruée à 50 %.

4.1.3. Calage des coefficients de Manning-Strickler

Cours d'eau	Pk	Nature de la section	Coefficient de Manning retenu (m ^{1/3} /s)
Mahaerua Nui	Tronçon aval PM 0 à 200	berges enrochées, tronçon large rectiligne, peu ou pas de végétation	30
	Tronçon amont	Section hétérogène, présence de végétation, lit peu entretenu	15
Mahaerua ITI	Tronçon aval PM 0 à 175	section rectiligne, canal béton bien entretenu	35
	Tronçon médian PM 175 à 500	Cours d'eau hétérogène, présence de végétation dans le cours d'eau	15
	Tronçon amont PM 500 à 675	Berges enrochées, section bien entretenue et homogène, tracé rectiligne,	30
	Tronçon amont amont du PM 675	Cours d'eau à l'état naturel, lit encaissé	15

4.1.4. Conditions limites

Condition limite amont

En l'absence de mesure sur ce bassin versant et les bassins versants voisins, c'est la méthode de l'hydrogramme unitaire qui a été retenue. Les données sont présentées sur le graphique suivant pour le débit de pointe centennal.

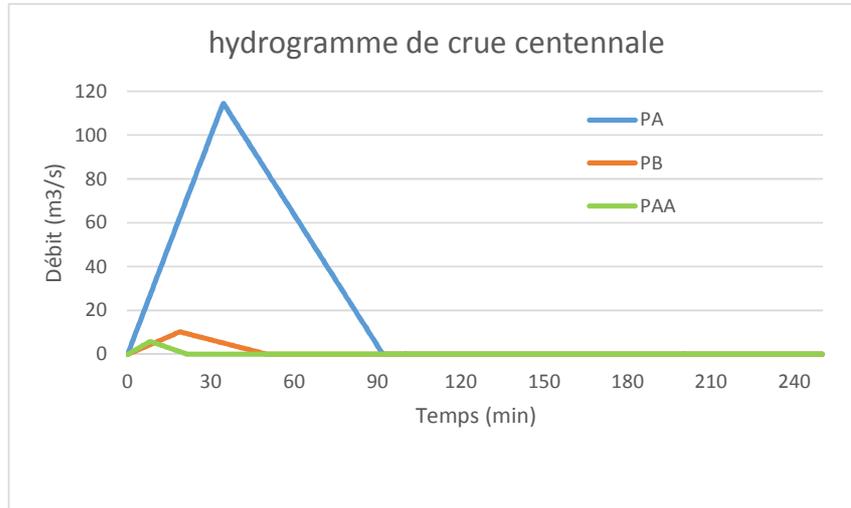


Figure 5 : Hydrogramme de crue

PA = Mahaerua Nui

PB = Mahaerua Iti

PAA est affluent de Mahaerua Nui

Condition limite avale

La condition limite avale est la cote imposée par le lagon à l'exutoire de la MAHAERUA.

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 $97 \times 105 = 10185$ mailles de 20 m x 20m, couvrant une superficie de 407 ha.

La visite de terrain n'a pas révélé de discordance entre le MNT et le terrain actuel.

4.2.2. Coefficients de Manning-Strickler du lit majeur

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

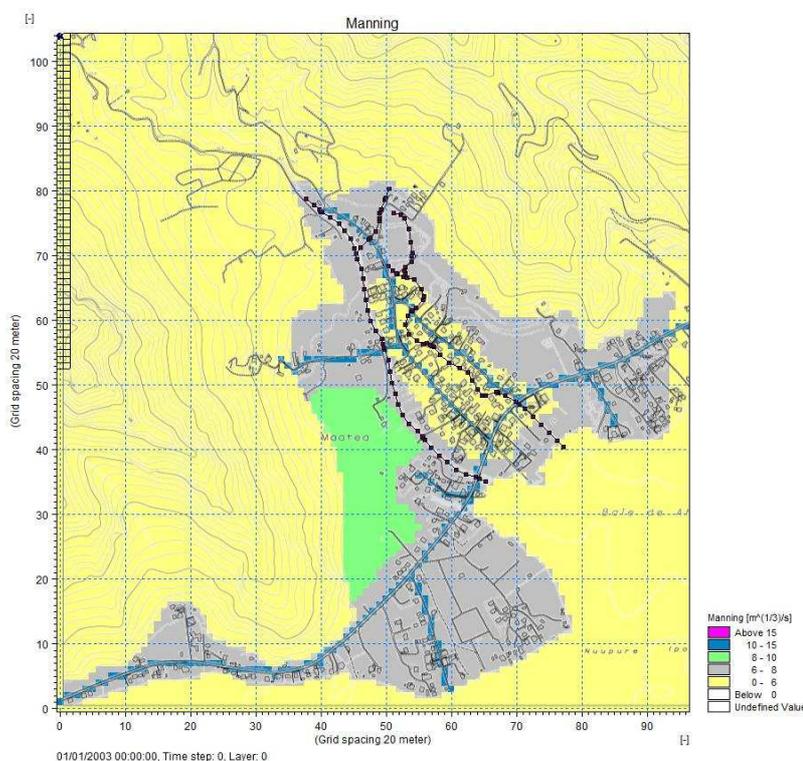


Figure 6 : Coefficient de Manning Strickler en lit majeur

Les valeurs retenues sont comprises entre 6 et 15 :

- 6 : lit majeur très encombré (forte urbanisation)
- 8 : terrains relativement dégagés mais avec présence d'obstacles éparses (arbres, habitations)
- 10 : terrains très dégagés
- 15 : axes préférentiels d'écoulement : routes, servitudes

4.2.3. Conditions limites :

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

- **A l'est et à l'ouest** : l'analyse topographique ne montre aucune limite physique entre le bassin versant de la MAHAERUA et ses bassins versants voisins. Le positionnement de cette limite sera donc vérifié au cours de la modélisation.
- **au nord** : les montagnes empêchent l'eau de s'écouler dans cette direction. Il n'y a donc pas d'échange avec l'extérieur du modèle au nord, cette limite est dite fermée.
- **au sud** : 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.

Les hypothèses prise pour les limites est et ouest 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 types de liens entre le lit mineur et le lit majeur.

Dans la présente étude, le type de lien 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 débit sur ce bassin versant rend difficile le calage du modèle.

Vérification des hypothèses prises pour les limites du lit majeur :

Les hypothèses prises pour les limites est et ouest du modèle 2 D doivent être vérifiées dans le cas de la simulation la plus défavorable, la simulation 3 : Q100 +embâcles.

Le champ d'inondation s'arrête avant les limites fermées. A l'est comme à l'ouest la lame d'eau débordée rejoint directement le lagon en franchissant la route de ceinture. Par conséquent les hypothèses sont validées.

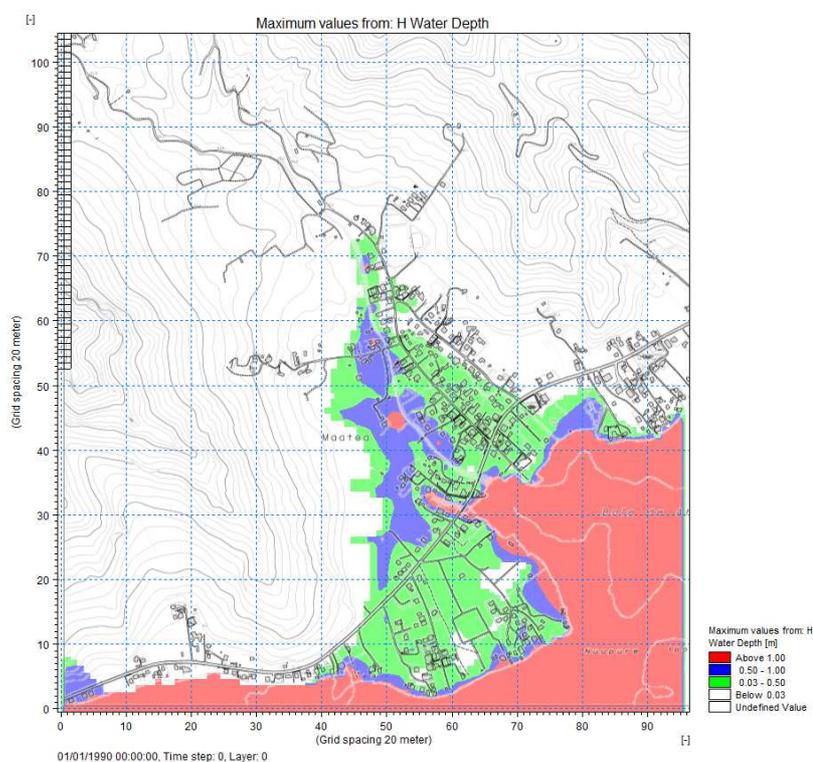


Figure 7 : Hauteur d'eau en Q100 avec embâcles

5.2. COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS DE MODELISATION

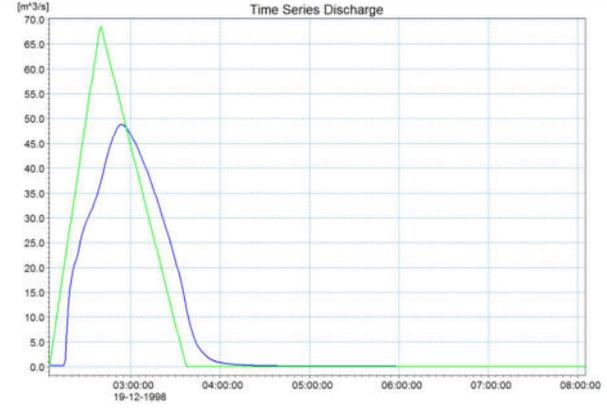
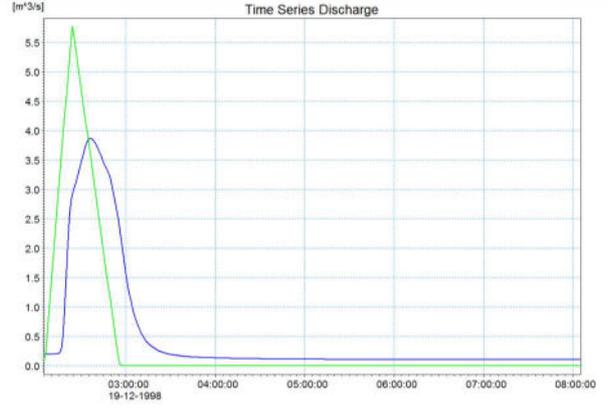
5.2.1. Choix des simulations

Les simulations effectuées sont les suivantes :

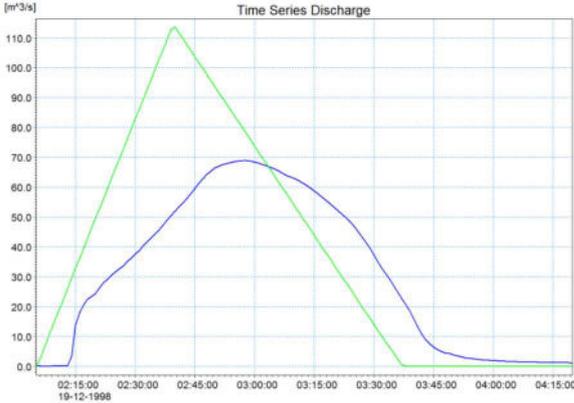
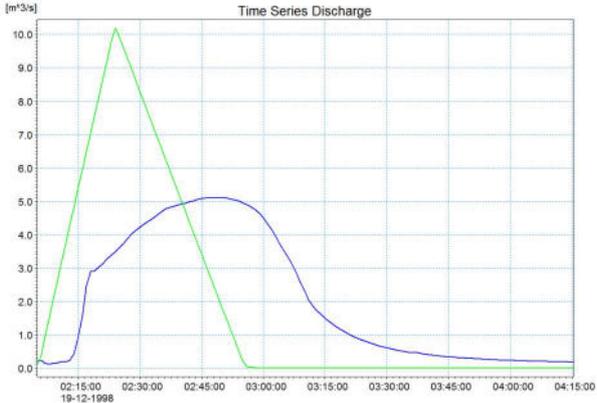
- Simulation 1 : Q10 – Hlagon = 0 m
- Simulation 2 : Q100 / H lagon = 1 m
- Simulation 3 : Q100 avec obstruction des ouvrages de la Mahaerua Nui par les embâcles/ H lagon = 1 m NGT.

5.2.2. Constat en lit mineur de la MAHAERUA

5.2.2.1. Analyse des débordements en simulation 1 : Q10 + Hlagon 0mNGT

MAHAERUA NUI	MAHAERUA ITI
<p>Le premier débordement a lieu au droit du profil PA9 (PM 405) en rive droite, pour un débit de 18 m3/s environ (<Q1). Les débordements se propagent ensuite en amont et en aval de ce point entre les profils PA5 (PM200) et PA13 (PM611), tronçon où la hauteur des berges est plus faible et le lit plus étroit.</p>	<p>Le premier débordement a lieu en rive droite au droit du profil PB6 (PM 213) pour un débit de 1.1m3/s (<Q1). Ensuite les débordements se propagent en amont jusqu'au profil P5 (Pm504).</p> <p>La fréquence de débordement du cours d'eau semble pessimiste par rapport aux témoignages relevés lors de l'enquête de terrain. Toutefois, ceci traduit la situation actuelle avec un lit mineur encombré par la végétation en amont de la RDC au moment de la réalisation des levés topographiques.</p>
 <p><i>Figure 8 : Hydrogramme MAHAERUA NUI Q10 (à l'amont en vert et en bleu à l'aval)</i></p> <p>L'écrêtement du débit de pointe est d'environ 20 m3/s entre l'amont et l'exutoire.</p>	 <p><i>Figure 9 : Hydrogramme MAHAERUA ITI Q10 (à l'amont en vert et en bleu à l'aval)</i></p> <p>L'écrêtement du débit de pointe est d'environ 1.9 m3/s entre l'amont et l'exutoire.</p>
<p>Les vitesses constatées dans le lit mineur de la MAHAERUA Nui sont de 2.8m/s en moyenne avec un maximum à 4m/s au droit de la passerelle amont (PA19).</p>	<p>Les vitesses constatées dans le lit mineur de la MAHAERUA Nui sont de 1.7m/s en moyenne avec un maximum à 2.3m/s au profil PB3 (PM150).</p>

5.2.2.2. Analyse des débordements en simulation 2 : Q100 + Hlagon = +1mNGT

MAHAERUA NUI	MAHAERUA ITI
<p>Avec une côte du lagon à +1mNGT, les terrains situés à proximité de l’embouchure, en aval du PK 75, seront inondés par la mer.</p> <p>Par rapport aux débordements observés en Q10, la zone de débordement s’étend en amont jusqu’au PA15 (PM 810) ainsi qu’en aval jusqu’à l’embouchure.</p>	<p>Avec la côte à +1mNGT, le lagon inonde les terrains en aval, sur une distance d’environ 140m de l’embouchure.</p> <p>Pour la partie amont, la zone de débordement est sensiblement la même que pour le scénario Q10 mais avec des hauteurs d’eau plus importante de 15 à 20cm.</p>
<p>Comme le montre l’hydrogramme ci-dessous, le débit de pointe est écrêté pour la crue centennale de 45 m³/s entre l’amont et l’aval, soit un volume débordé du lit mineur et non réintroduit de 49 500 m³. Une partie de ce volume débordé rejoint directement le lagon et une autre partie stagne dans le lit majeur.</p>  <p><i>Figure 10 : Hydrogramme de la MAHAERUA NUI pour le débit Q100 (à l’amont en vert et en bleu à l’aval)</i></p>	<p>L’hydrogramme ci-dessous montre un écrêtement du débit de pointe de 5m³/s avec un volume débordé non réintroduit d’environ 2500m³.</p>  <p><i>Figure 11 : Hydrogramme du cours d’eau Mahaerua Iti – Q100 (à l’amont en vert et en bleu à l’aval)</i></p>
<p>Les vitesses moyennes dans le cours d’eau sont de 3m/s avec un maximum à 4.8m/s au droit de la passerelle amont, ce qui justifie les phénomènes d’érosion observés sur le terrain en sortie de cette dernière.</p>	<p>Les vitesses moyennes dans le cours d’eau sont de 1.9 m/s avec un maximum à 3.7m/s au PM575.</p>

5.2.2.3. Analyse des débordements en simulation 3 : Q100 avec embâcles

MAHAERUA NUI

Comme pour la simulation précédente, la zone en aval du pont de la RDC, dont la côte est inférieure à +1mNGT est inondée par la mer. De ce fait, le pont de la RDC, obstrué à 50% dans ce scénario est en charge.

Ensuite les autres passerelles, obstruées elles aussi à 50% se mettent en charge rapidement à commencer par la passerelle PM550 pour un débit de 10m³/s (équivalent à une crue mensuelle), suivi par la passerelle au PM 235.

Les premiers débordements du lit mineur se produisent pour un débit faible de 20m³/s (crue inférieure à la crue semestrielle).

Ensuite les débordements se généralisent entre le profil PM611 et l'embouchure.

A noter que la passerelle amont se met en charge pour un débit de 55m³/s, soit environ la crue quinquennale.

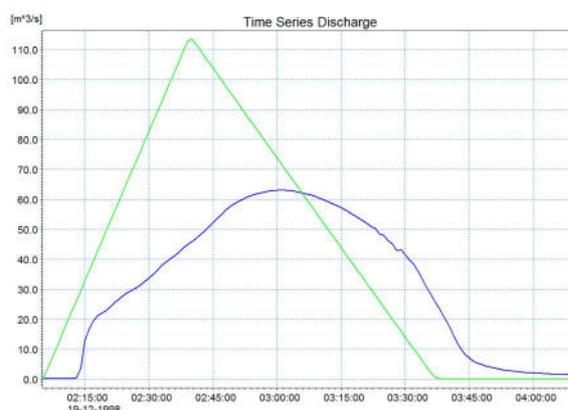


Figure 12 : Hydrogramme de la MAHAERUA NUI pour le débit Q100 + embâcles (à l'amont en vert et en bleu à l'aval)

L'écêtement est plus important que la simulation précédente : 50m³/s pour un volume débordé non réintroduit de 73 700 m³.

La vitesse moyenne est de 3m/s avec des points allant jusqu'à 7m/s au droit des ouvrages.

Pour le cours d'eau Mahaerua iti, les résultats sont les mêmes que pour la simulation précédente compte tenu de l'absence d'obstruction des ouvrages par des embâcles.

5.2.3. Constat en lit majeur

5.2.3.1. Analyse des écoulements en lit majeur en simulation 1 : Q10

MAHAERUA NUI	MAHAERUA ITI
<p>Sur le cours d'eau Mahaerua Nui, après débordement du lit mineur, le champ d'inondation s'étend principalement en rive droite. Une partie de l'écoulement est évacuée vers le lagon par l'intermédiaire de l'exutoire secondaire situé à l'ouest. Une autre partie se déverse au-dessus de la route de ceinture encore plus à l'ouest avant de rejoindre progressivement le lagon.</p> <p>Concernant les débordements en rive gauche, ils réintègrent le cours d'eau en amont de la RDC.</p> <p>A la fin de la simulation, les quelques zones de « cuvettes » restent en eau.</p>	<p>Les débordements se produisent en amont de la RDC en rive droite. Du fait de la faible capacité de l'ouvrage, une partie du volume débordé submerge la route de ceinture pour rejoindre, soit l'exutoire, soit directement le lagon.</p>
<p>En rive droite en amont de la RDC, une zone de forte vitesse est identifiée à proximité du lit mineur avec des vitesses moyennes de 0.60m/s mais atteignant ponctuellement 0.7 à 0.8 m/s.</p>	<p>Les vitesses restent inférieures à 0.5m/s en lit majeur à proximité de ce lit mineur.</p>

5.2.3.2. Analyse des écoulements en lit majeur en simulation 2 : Q100

MAHAERUA NUI	MAHAERUA ITI
<p>Comparé à la simulation précédente, la zone inondée est plus importante : elle remonte plus en amont jusqu'au niveau du terrain de foot, vers le profil PA15.</p> <p>Le champ d'inondation s'étend également en rive gauche pour rejoindre celui de la Mahaerua Iti.</p> <p>Les hauteurs d'eau sont importantes en lit majeur et atteignent jusqu'à 1.30m au droit des points bas topographiques.</p>	<p>La zone d'inondation identifiée en Q10, en rive droite s'étend jusqu'à rejoindre celle du cours d'eau Mahaerua Nui.</p>
<p>De même, la zone de forte vitesse identifiée en rive droite s'étend fortement et les vitesses en lit majeur atteignent en moyenne 0.7 m/s voire ponctuellement plus de 1m/s au droit des points de débordements du lit mineur.</p>	

5.2.3.3. Analyse des écoulements en lit majeur en simulation 3

La zone d'inondation est quasiment la même que pour le scénario sans embâcles. Les hauteurs d'eau et les vitesses sont toutefois légèrement supérieures à proximité du lit mineur de la Mahaerua Nui.

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 cartographiées.

La carte des hauteurs d'eau maximales est couplée 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
$H \leq 0,5$ m	Faible	Moyen
$0,5 < H \leq 1$ m	Moyen	Fort
$H > 1$ m	Fort	Très fort

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

La modélisation a montré que les vitesses dans le lit mineur sont relativement faibles car elles sont inférieures ou égales à 3m/s pour le lit mineur de la Mahaerua Nui et inférieure ou égale à 2m/s pour celui de la Mahaerua Iti, sauf ponctuellement au droit des ouvrages où les vitesses augmentent. Toutefois, l'enquête de terrain a révélé que les protections des berges ne sont pas existantes de partout et celles qui existent présentent un fruit trop raide et l'absence de sabot en pied. En l'absence de diagnostic précis, par précaution, une **zone érodable de 5 mètres** est rajoutée en **aléa fort** de part et d'autres des berges du lit mineur de la MAHAERUA Nui et une bande de 3m autour du cours d'eau Mahaerua ITI.

- La simulation 1 (Q10/Hlagon = 0 m) est cartographiée sur le plan PPR 043,
- la simulation 2 (Q100/Hlagon = 1 m) correspondant au plan PPR 044,
- la simulation 3 (Q100 avec embâcles /Hlagon = 1 m) au plan PPR 045.

6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT

6.1. ENJEUX

La majeure partie des zones d'aléa fort d'inondation concernent des terrains situés en rive droite du cours d'eau MAHAERUA NUI.

Le cours d'eau est sous -dimensionné et les ouvrages de traversé, sensibles aux embâcles, accentuent le risque de débordement.

Concernant le cours d'eau Mahaerua ITI, un recalibrage de la partie avale avec une végétalisation des berges et recalibrage de l'ouvrage de la RDC permettrait de diminuer voire de supprimer les débordements.

6.2. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT

Les aménagements proposés sont synthétisés dans le tableau suivant :

Ordre de priorité	Localisation	Objectif	Travaux à court terme	Travaux à moyen terme	Travaux à long terme
1	MAHAERUA NUI	Protéger les habitations contre l'aléa inondation (zone rouge)	Recalibrage du cours d'eau + protection des berges en enrochements libres avec sabot entre les profils PA13 (PM611 et PA1 PM0) soit 611 ml + Réfection de la passerelle PA12	Réfection de la passerelle PA 7 Protection des berges en aval de la passerelle PA19	Recalibrage du cours d'eau et protection de berges entre les profils PA16 (PM906) et PA13 (PM611) soit 295ml
2	MAHAERUA NUI	Limiter le risque d'obstruction par des embâcles	Elagage des arbres + piège à embâcles en amont selon l'emprise disponible.	Réfection du pont de la RDC en une ou deux travées maximum et rehausse de la côte du tablier (sans endiguement des terrains amont)	
3	MAHAERUA ITI	Limiter le risque d'inondation (zone verte)	Curage de l'ouvrage de la RDC et du tronçon amont sur 330 m Curage de la buse situé au PAA3	Recalibrage du cours d'eau en aval du PM504 à PM175 (330ml) + végétalisation des berges	

L'enveloppe des travaux est estimée entre 250 et 300 MFCP. Cette enveloppe devra être affinée par une étude de faisabilité car plusieurs piste d'optimisation sont possibles : réutilisation des enrochements existants, utilisation de techniques alternatives pour les protections de berges (par exemple gabions), optimisation de l'objectif de protection.

PLANS

- PPR 041 Cartographie hydrogéomorphologique
- PPR 042 Carte des enquêtes de terrain
- PPR 043 Cartographie de l'aléa inondation Q10 / H lagon = 0 m
- PPR 044 Cartographie de l'aléa inondation Q100 / H lagon = 1 m
- PPR 045 Cartographie de l'aléa inondation Q100 avec embâcles / H lagon = 1 m

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. Guide technique de l'assainissement – Le Moniteur – Régis Bourrier

Hydrogéomorphologie :

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

Hydraulique :

9. 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 : Topographie de la modélisation (fichier informatique)

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