



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

Lot 1 – Modélisation

COURS D'EAU : PAPEHONU

Commune : PAPARA

Ile : TAHITI

Décembre 2014

N°rapport : 1581 14 03

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 du bassin versant	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	11
4. DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE DU LIT MINEUR	12
4.1.1. Ouvrages hydrauliques :	12
4.1.2. Calage des coefficients de Manning-Strickler	13
4.1.3. Conditions limites	13
4.1.4. Résultats de la modélisation	14
5. ANALYSE DU LIT MAJEUR	16
5.1. Identification des chenaux d'écoulement et des enveloppes de crue potentielles	16
5.2. Caractérisation de l'aléa des enveloppes de crue	16
5.2.1. Méthodologie	16
5.2.2. Caractérisation des enveloppes	17
6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT	18

Table des figures :

Figure 1 : carte de Tahiti	4
Figure 2 : Carte du bassin versant de la PAPEHONU.....	7
Figure 3 : Hydrogramme de crue	13
Figure 4 : Ligne d'eau Q10 et Q100 issues de la modélisation sous Mike.....	15

1. METHODOLOGIE

La rivière **PAPEHONU** est située au PK29, sur la commune de PAPARA, au sud-ouest de l'île de TAHITI. Elle se situe à proximité de la limite PAEA – PAPARA.

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

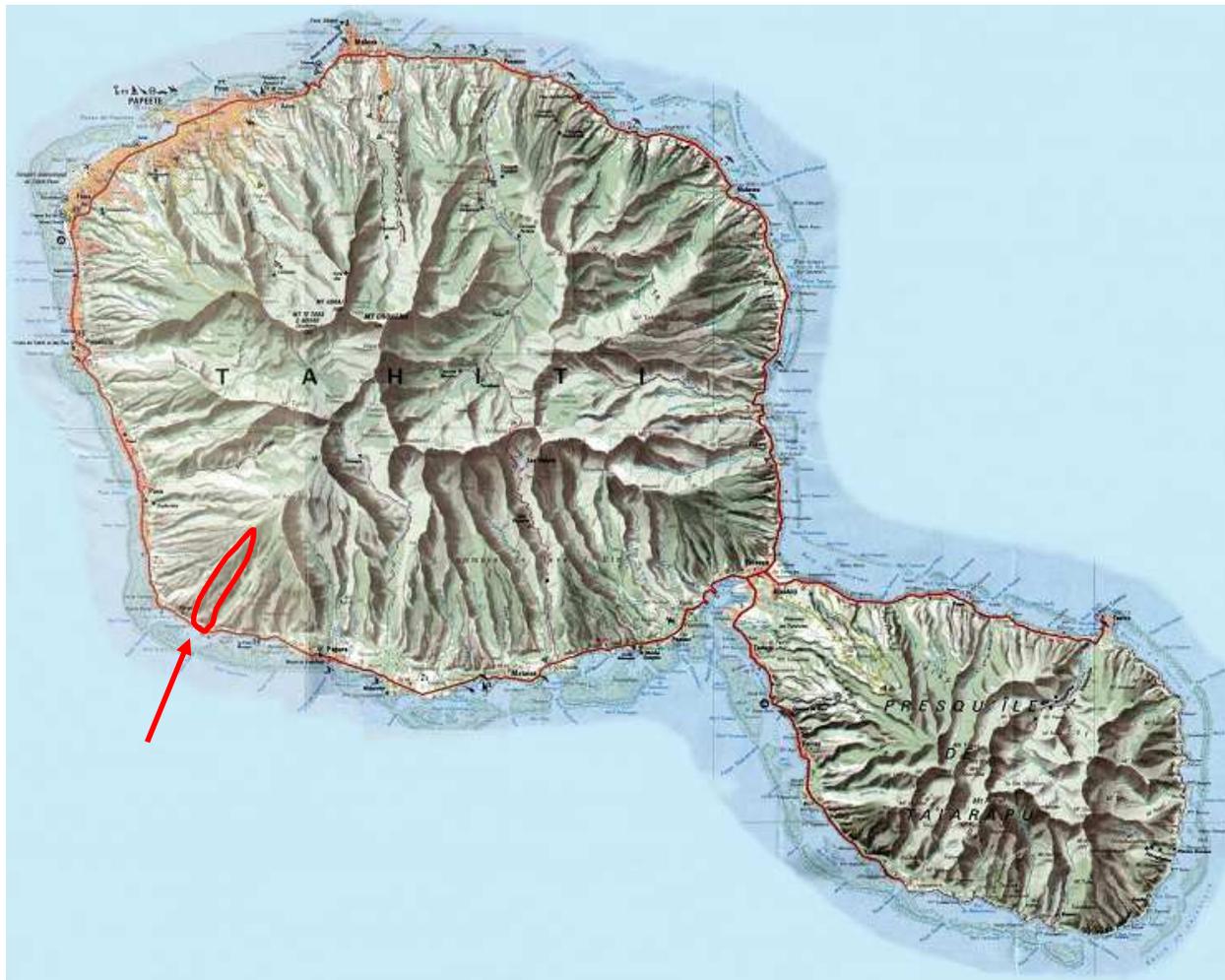


Figure 1 : carte de Tahiti

Le linéaire d'étude est d'environ 250 m à partir de l'embouchure, ce qui englobe toute la plaine littorale habitée jusqu'à l'entrée de la vallée. Plus en amont la vallée se resserre et les habitations sont quasi-inexistantes.

La démarche retenue pour cette étude est la suivante :

- 1) **Visite de terrain** avec rencontres des riverains afin d'établir une liste des points noirs la plus exhaustive possible.
- 2) **Identification des points de débordement du lit mineur et de leur fréquence de débordement** par une modélisation 1D du lit mineur.
- 3) **Identification des chenaux d'écoulements et des enveloppes de crue potentielles en lit majeur** selon enquête de terrain ainsi que par analyse des photos aériennes et de la restitution photogrammétrique de l'Urbanisme.
- 4) **Caractérisation des enveloppes de crue par des aléas** en couplant les points et fréquences de débordement du lit mineur (identifiés au point 2) avec les aléas pour caractériser chaque enveloppe de crue en lit majeur (identifiée au point 3) .

2. DONNEES D'ENTREES

2.1. DONNEES TOPOGRAPHIQUES

2.1.1. Lit Mineur :

La modélisation du lit mineur de la PAPEHONU est basée sur des profils en travers au 1/250^{ème} espacés de 100 m en moyenne et réalisés par le cabinet WILD 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).

Elle est complétée par la restitution photogrammétrique au 1/2500^{ème} réalisée par le Pays dans le cadre de la LOPT (1999).

2.2. DONNEES HYDROLOGIQUES

2.2.1. Caractéristiques du bassin versant

Les caractéristiques du bassin versant de la PAPEHONU sont les suivantes :

- Superficie : 2.8 km²
- Plus long chemin hydraulique : 5.6 km
- Pente moyenne pondérée : 14 %
- Pente moyenne globale : 18.6 %
- Temps de concentration (formule de Kirpich¹) : 29 min
- Coefficient de ruissellement décennal : 0.31²

La figure ci-dessous montre le bassin versant de PAPEHONU :

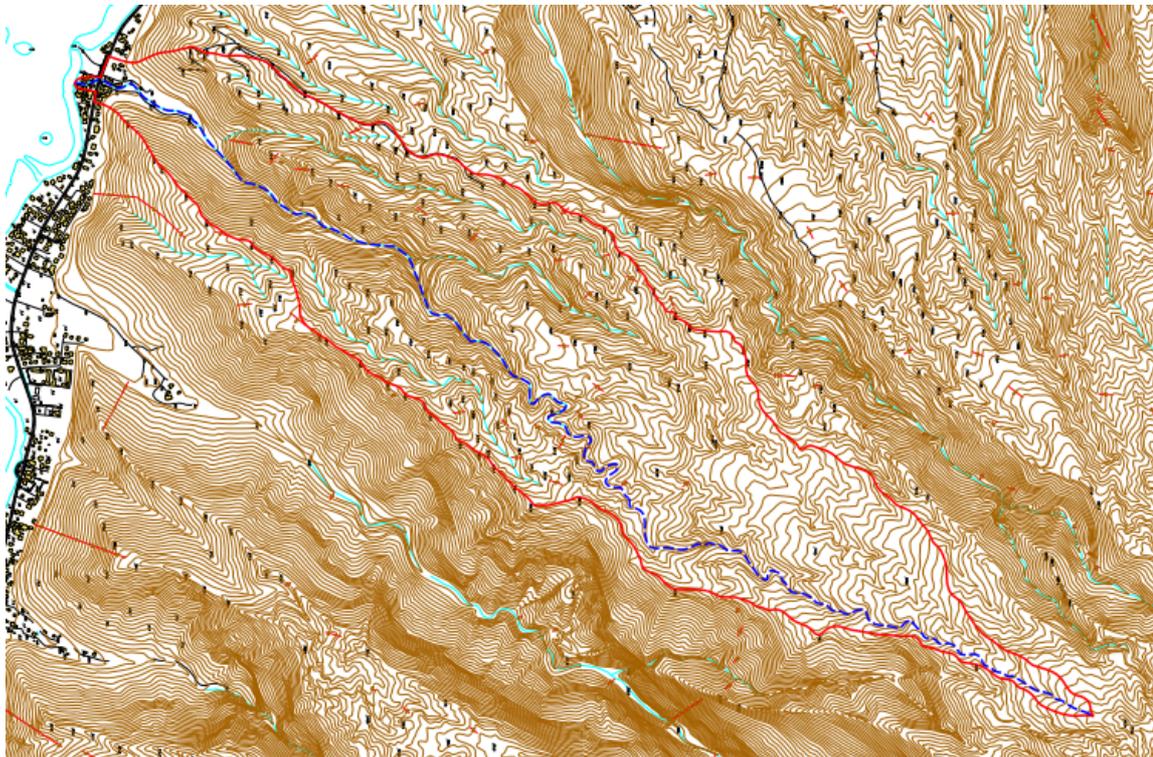


Figure 2 : Carte du bassin versant de la PAPEHONU

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

² Valeur calée par P.Stollsteiner dans la note de ANTEA [3]

2.2.2. Calcul des débits de projet

La rivière PAPEHONU n'a pas fait l'objet de mesures de débits

Conformément à la demande de l'Urbanisme, dans un objectif d'homogénéisation, le calcul des débits s'est basé sur les recommandations de la note méthodologique [4] réalisée en 2006, lors du programme ARAI1. Cette note avait proposé, en l'absence de données statistiques disponibles, d'utiliser les deux méthodes suivantes et de retenir la valeur la plus pessimiste :

- Extrapolation des ajustements statistiques aux bassins versants voisins par la méthode de Creager (Cf. J.Danloux dans [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].

▪ Caractéristiques de la pluie de projet utilisée pour la Papehonu

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

Coefficients de Montana ⁴		
	P10	P100
a	5.08	6.43
b	-0.27	-0.27

▪ Estimation des débits de la PAPEHONU

○ Méthode de Creager (recalculé C = 47)

Les débits estimés selon cette méthode sont les suivants :

		Q10	Q100
Débit de projet	m ³ /s	27	77
Module spécifique	m ³ /s/km ²	10	28

○ Méthode Rationnelle et GRADEX (ANTEA)

Les débits estimés selon cette méthode sont les suivants :

		Q10	Q100
Débit de projet	m ³ /s	30	56
Module spécifique	m ³ /s/km ²	11	20

³ Station pluviométrique retenue par ANTEA dans [3].

⁴ Données extraites de [3]

- **Choix du débit de projet**

Pour la crue décennale, les deux méthodes donnent des résultats similaires.

Pour la crue centennale, la méthode de Creager donne un débit qui paraît trop élevé au regard des modules spécifiques obtenues habituellement sur ce genre de bassin (plutôt de l'ordre de 20-25 m³/s/km² contre 28 m³/s/km² ici).

De plus, le ratio Q100/Q10 obtenue par cette méthode de Creager semble anormalement élevé, il est ici de 2.8 contre 1.6 à 2 habituellement.

Par conséquent, il est proposé de retenir les valeurs issues de la méthode rationnelle, certes moins pessimistes mais plus homogènes avec les résultats habituels.

	Q10	Q100
Débit de projet (m ³ /s)	30	56

3. ENQUETE DE TERRAIN

3.1. ENQUETE AUPRES DES RIVERAINS

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

Localisation	Témoignage	Commentaires
Enquête 4	Cette habitation semble être la plus touchée par le débordement de la rivière en 2010, avec des hauteurs d'eau comprises entre 40 et 50 cm. Le débordement de la rivière serait dû à l'obstruction du pont par des troncs d'arbres provenant d'un élagage d'un particulier en amont.	Hauteur sous pont faible (1,50m de tirant d'air sous la poutre le jour de la visite)
Côté montagne, proche de la route de ceinture	Habitation (3) : (en rive droite) depuis 1964 un seul débordement observé en 2010, dû à l'obstruction du pont par des troncs d'arbres. Hauteur d'eau de 40 à 50cm Habitation (9) : (en rive gauche) depuis 2005, un seul débordement observé en 2010 ; hauteur d'eau de 40 à 50cm dû à l'obstruction du pont par des troncs d'arbres. Habitation (10) : (en rive gauche) depuis 1964, deux débordements observés en 1983 (VEENA) et en 2010 dus à l'obstruction du pont par des troncs d'arbres ; hauteurs d'eau de 50cm.	Le débordement de la rivière se fait au niveau du pont lorsque les embâcles obstruent l'OH. Les inondations se propagent par la route de ceinture et touchent essentiellement les entrées, pas d'inondation à l'arrière des habitations.
Côté mer, en rive droite	Habitations (1 et 2) : depuis 1971 (2) et depuis 1958 (1) une seule inondation observée en 2010 avec des hauteurs d'eau comprises entre 30 et 40cm. Pas de débordement de la rivière, remblais assez haut. Le débordement de la rivière en amont, au niveau du pont, provoqua une inondation par la route de ces habitations.	Ces maisons sont en contre bas de la route de ceinture. Ces habitations sont inondées par la mer aussi (montée des eaux importantes)
Côté mer, en rive gauche	Habitations (5 et 6) : depuis 1994, un seul débordement observé en 2010 avec une hauteur d'eau de 50 à 60 cm. Habitations (7) : depuis 1984, un seul débordement observé en 2010 avec une hauteur d'eau de 20 cm. Habitations (8) : depuis 1974, un seul débordement observé en 2010 avec une hauteur d'eau de 40 à 50 cm.	Ces maisons sont en contre bas de la route de ceinture. Ces habitations sont inondées par la mer aussi (montée des eaux importantes)

En conclusion pour la majorité des riverains, un seul évènement notable a été répertorié, il s'agit d'une inondation survenue en 2010 due à l'obstruction du pont de la RDC par des embâcles suite un élagage en amont.

A noter qu'aucun débordement ne s'est produit en 1998 alors que plusieurs débordements s'étaient produits aux alentours. Ceci montre qu'en l'absence d'embâcles, la capacité du lit mineur est plutôt satisfaisante.

3.2. VISITE DE TERRAIN

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

- tronçon 1 : PM172 au PM261 (pente moyenne à 1.4 %)
- tronçon 2 : PM91 à PM 172 (pente moyenne à 3.1 %)
- tronçon 3 : PM 0 à PM91 (pente moyenne 4.6%)

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

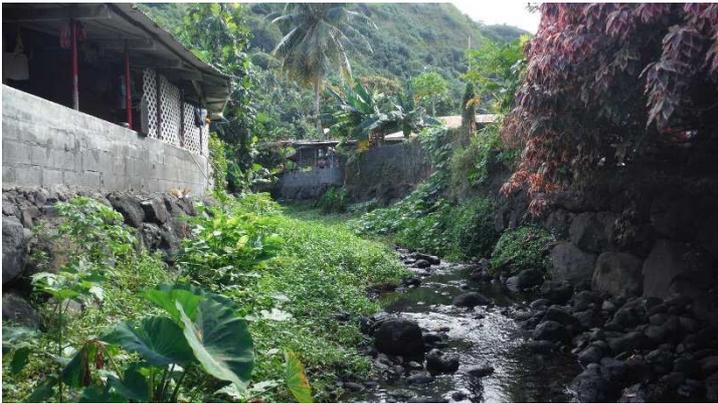
TRONCON 1 (AVAL)	
	berges enrochées ou perré maçonné + murs en parpaings
TRONCON 2 (MEDIAN)	
	Berges en enrochements libres
TRONCON AMONT	
	Berges à l'état naturel ou enrochées

Tableau 1 : Visite de terrain

Une rupture de pente (passage de 3.1 % à 1.4 %) se situe au droit du pont de la RDC. Il y a donc un risque de dépôts à ce niveau.

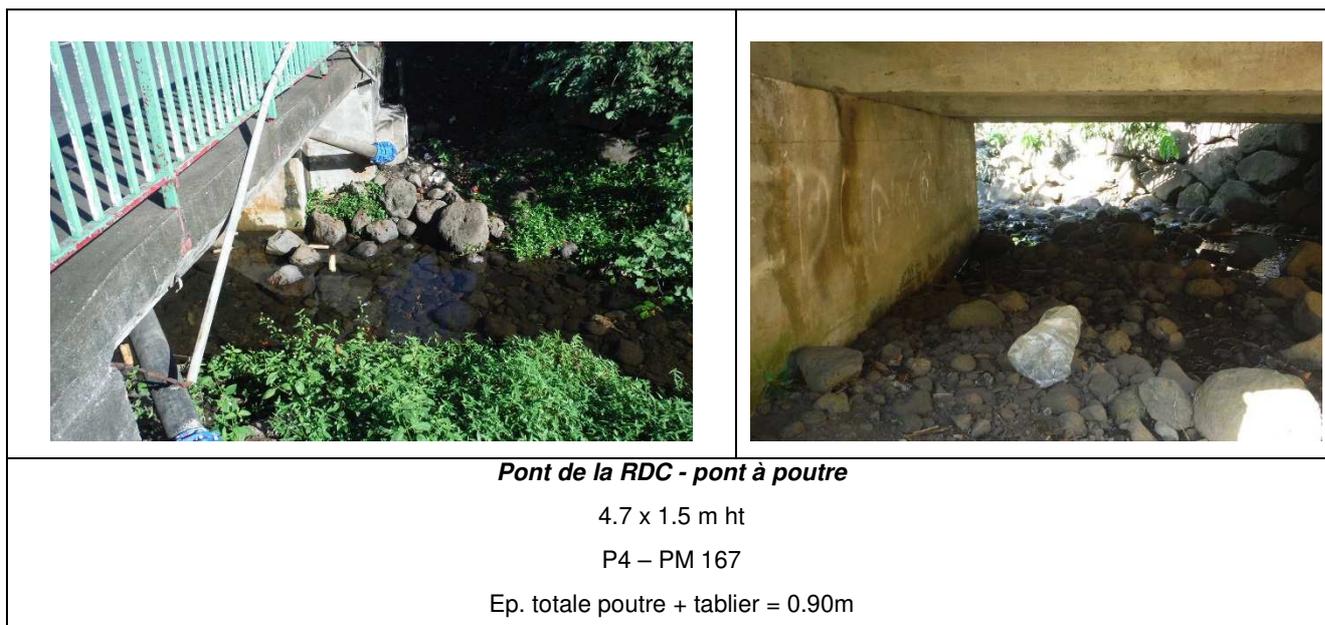
4. DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE DU LIT MINEUR

Le logiciel retenu par la SPEED pour cette modélisation est le logiciel MIKE 11 qui effectue des modélisations de type 1 D et 1 D à casier, développé par DHI Software.

4.1.1. Ouvrages hydrauliques :

4.1.1.1. Recensement des ouvrages de la PAPEHONU

Un seul ouvrage a été identifié sur le lit mineur étudié : celui de la RDC :



Cet ouvrage présente en amont une conduite d'eau potable avec deux coudes accentuant le risque d'obstruction par des embâcles.

4.1.1.2. Modélisation :

Les trois scénarii suivants ont été modélisés :

- scénario 1 : Q10 / H lagon = + 0mNGT ;
- scénario 2 : Q100 / H lagon = + 1mNGT ;
- Scénario 3 : Q100 / H lagon = + 1mNGT section obstruées à 50 % par des embâcles.

4.1.2. Calage des coefficients de Manning-Strickler

Nature de la section	Coefficient de Manning retenu ($m^{1/3}/s$)
Berges en enrochements libres + végétation, section régulière, végétation moyenne, méandrement faible	25

4.1.3. Conditions limites

Condition limite amont

En l'absence de mesure, c'est la méthode de l'hydrogramme unitaire qui a été retenue pour les débits de pointe calculés précédemment.

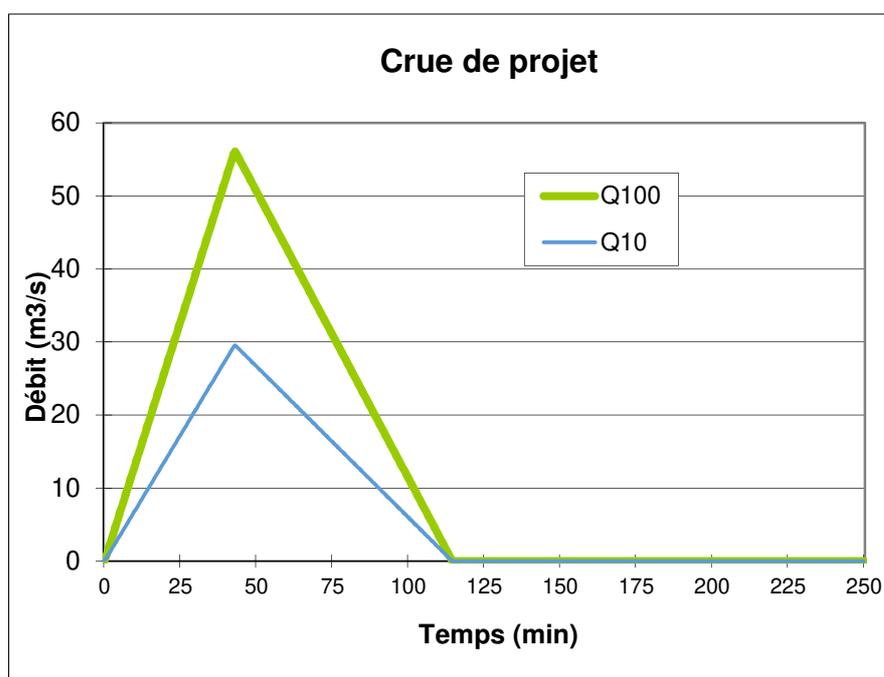


Figure 3 : Hydrogramme de crue

Condition limite aval

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

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.

4.1.4. Résultats de la modélisation

Sur la page suivante sont présentés les résultats de la modélisation pour les 2 scénarios : Q10 et Q100.

Le scénario Q100 n'a pas été représenté ici car les débordements sont trop importants et la modélisation en lit mineur n'est donc plus représentative → une modélisation 2D avec le lit majeur serait nécessaire.

4.1.4.1. Crue décennale

Ce graphique montre que pour la crue décennale, il n'y a pas de débordement du lit mineur. Le pont de la RDC est toutefois en limite de mise en charge.

4.1.4.2. Crue centennale

Lit mineur

Pour la crue centennale, il y a de légers débordements du lit mineur en amont du pont de la RDC:

- +15cm au PT 1 en rive gauche
- limite de débordement en rive droite → avec une surélévation de la ligne d'eau à l'extrados du coude, des débordements pourraient se produire.

Pont de la RDC

Le pont de la RDC se met en charge pour la crue décennale environ ce qui provoque une remonté de la lame d'eau. Le niveau d'eau atteint la route pour un débit de 45m³/s soit une période de retour comprise entre 20 et 50 ans.

Vitesses

Concernant les vitesses moyennes en lit mineur, elles atteignent environ 7m/s en amont et 4m/s en aval de la RDC. Au droit de l'ouvrage une augmentation est constatée avec des vitesses atteignant 7.5 m/s.

Ces résultats montrent la nécessité de mettre en place des protections de berges adaptées.

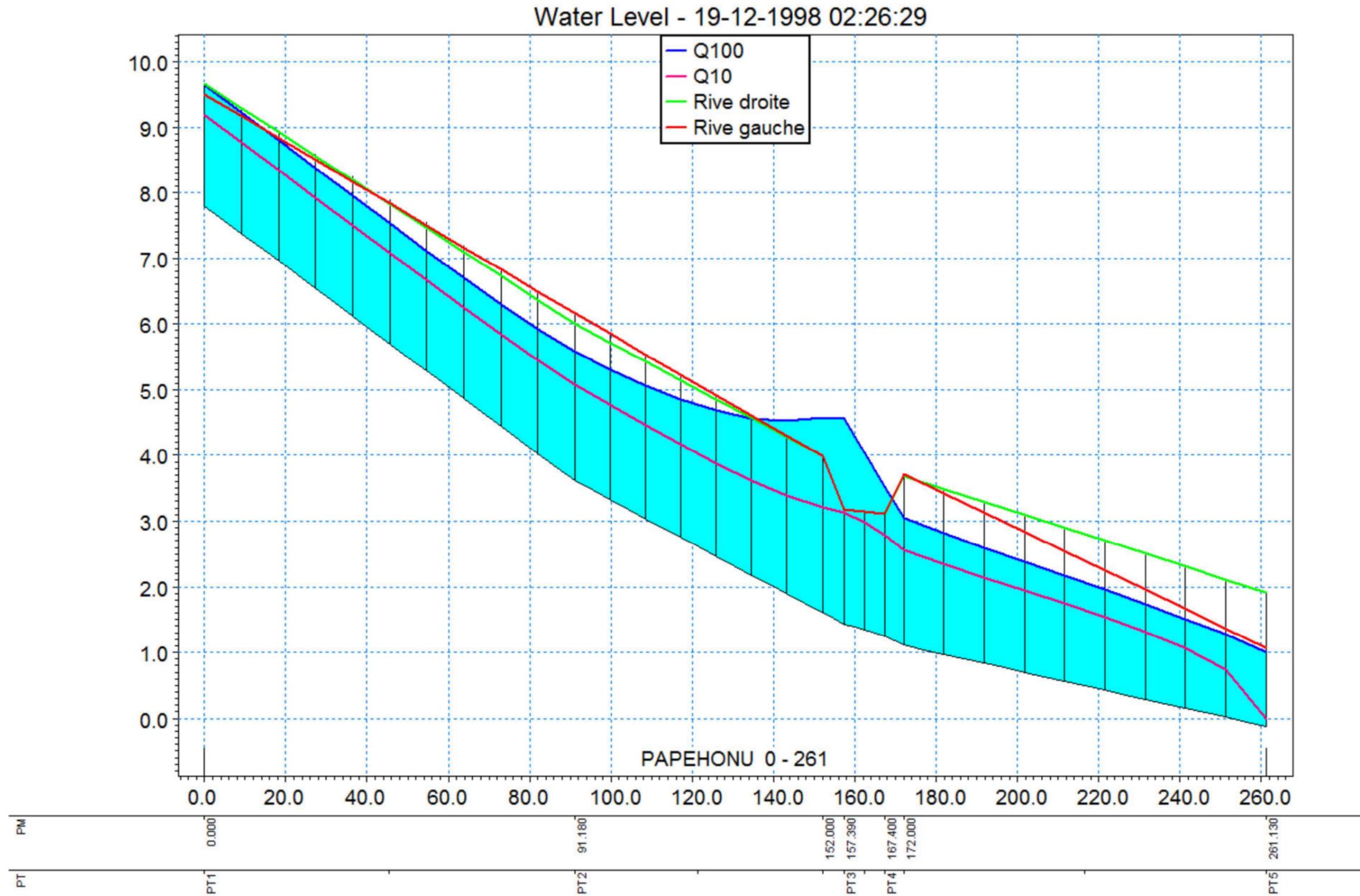


Figure 4 : Ligne d'eau Q10 et Q100 issues de la modélisation sous Mike

5. ANALYSE DU LIT MAJEUR

5.1. IDENTIFICATION DES CHENAUX D'ÉCOULEMENT ET DES ENVELOPPES DE CRUE POTENTIELLES

En amont de la zone d'étude, il n'y a pas de plancher alluvial : le cours d'eau est encaissé entre les versant de la montagne.

A 800m de l'embouchure, un plancher alluvial se forme et s'élargit progressivement pour atteindre une largeur moyenne de 80m autour du lit mineur. Ce cortège alluvionnaire témoigne des dépôts de matériaux déposés par le passé. Il correspond au lit moyen du cours d'eau ou encore à une ancienne zone de mobilité.

Plus en aval (-400m de l'embouchure), cette zone de mobilité n'est plus représentative aujourd'hui car l'anthropisation de la vallée et en particulier la protection des berges par des enrochements, fige les déplacements du lit du cours d'eau.

Le cortège alluvionnaire est encaissé dans une zone de limons sablo-graveleux qui délimite le lit majeur du cours d'eau.

A 250 mètre de l'embouchure, le lit mineur du cours d'eau forme un coude vers gauche. L'extrados de ce coude marqué constitue un point potentiel de débordement.

5.2. CARACTERISATION DE L'ALEA DES ENVELOPPES DE CRUE

5.2.1. Méthodologie

En hydrogéomorphologie et conformément au cahier des charges, la classification des zones selon les aléas se fera selon le principe suivant :

- **aléa fort** : lit mineur et ses zones de mobilité et lit majeur inondé fréquemment (de Q1 à Q10) ainsi que les axes d'écoulement de lit majeur présentant des hauteurs d'eau ou des vitesses importantes (hauteurs > 1 m ou vitesses > 0.5 m/s)
- **aléa moyen** : reste du lit majeur inondé entre Q20 et Q100 ainsi que les zones présentant des hauteurs d'eau comprises entre 0.5 et 1 m et des vitesses inférieures à 0.5 m/s.
- **aléa faible** : lit majeur exceptionnel. Les hauteurs et vitesses y sont faibles, respectivement inférieures à 0.5 m et 0.5 m/s.

Limites de la Méthode hydrogéomorphologique⁵ :

Ce diagnostic du lit majeur est basé sur l'identification de thalwegs secondaires et d'axes d'écoulements en lit majeur qui se sont formés lors de crues extrêmes (décennales ou plus) rattachées à des séries climatiques n'ayant rien de commun avec la période actuelle.

En outre, il ne permet pas de prendre en compte les éventuels aménagements hydrauliques (recalibrage, endiguement) réalisés depuis leur occurrence ainsi que les modifications anthropiques du lit majeur. Cette méthode est donc souvent jugée maximaliste.

Néanmoins, ici, sa corrélation avec la modélisation du lit mineur permet d'affiner la délimitation du lit majeur et de prendre en compte les aménagements réalisés en lit mineur.

5.2.2. Caractérisation des enveloppes

Aléa fort

Au vue de la modélisation hydraulique du lit mineur et des témoignages, le pont de la RDC constitue un point faible avec une mise en charge pour la crue décennale.

La modélisation montre que cette mise en charge entraîne une rehausse de la ligne d'eau en amont, jusqu'à trente mètres pour la crue centennale. En présence d'embâcles, ce phénomène est accentué comme cela s'est produit en 2010. Par conséquent **la zone en amont immédiat de la RDC, en particulier en rive gauche, plus basse, est donc classée en aléa fort.**

D'après l'enquête de terrain, suite à l'inondation, la lame d'eau a traversé la route des deux côtés (principalement en rive gauche plus basse) et inondée les terrains mitoyens situés en aval. Ces terrains en contrebas de la route de ceinture (-1m par rapport à la RDC) ont été inondés avec des hauteurs d'eau importantes (20 à 50cm) et des vitesses d'écoulement rapides du fait de la pente élevée de la servitude (12% de pente). Par conséquent **cette zone en bordure du cours d'eau, en aval de la RDC, est classée en aléa fort.**

Aléa moyen

Suite à l'obstruction du pont, la lame d'eau débordée s'est ensuite étalée en rive gauche et droite. Préférentiellement en rive gauche car la côte des terrains est plus faible. **Cette zone est donc classée en aléa moyen.**

La modélisation a montré qu'au droit du coude le lit mineur est en limite de débordement. De ce fait, **dans l'axe du coude, la zone a été classée également en aléa moyen.**

La zone d'étude s'arrête au droit du coude. En l'absence de données topographiques, la classification de la zone amont n'a pu être affinée. Par conséquent, le zonage actuel en bleue, cohérent du point vue hydrogéomorphologique a été conservé.

Aléa faible Le lit majeur géomorphologique potentiellement mobilisable en cas de forte crue est classé en **aléa faible.**

⁵ Extraits de [6]

6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT

Réfection du pont

Un des points urgents à traiter est la réfection du pont de la RDC. Ce pont devra être recalibré pour permettre le transit de la crue centennale avec un tirant d'air de 0.80m.

Des mesures devront être prises pour assurer le transit des eaux pluviales en cas de rehausse du profil en long pour ne pas endiguer les terrains situés en amont qui sont déjà pénalisés en cas de crue.

A souligner qu'au vu de la configuration du site, la création de voies de déviation sur les côtés pour la réfection de l'ouvrage risque fortement d'impacter le foncier et le bâti. Ce point sera à confirmer par des études de faisabilité.

Réfection des berges

Au vue des fortes vitesses, il est conseillé de renforcer les berges :

- en aval, à proximité de l'embouchure,
- en amont et en aval du pont.

L'enveloppe prévisionnelle des travaux est de 100 à 150 MFCP HTVA.

PLANS

- PPR 031 Cartographie hydrogéomorphologique
- PPR 032 Carte des enquêtes de terrain
- PPR 033 Cartographie de l'aléa inondation

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