



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

Lot 2 – Expertise

COURS D'EAU : VAIPOHE

Commune : VAIRAO – Commune de TAIARAPU OUEST

Ile : TAHITI

Août 2010 – V2

N°rapport : 126310-01-V2

TABLE DES MATIERES

1.	METHODOLOGIE	3
2.	DONNEES D'ENTREES	4
2.1.	Données topographiques	4
2.1.1.	Lit Mineur :	4
2.1.2.	Lit Majeur :	4
2.2.	Données hydrologiques	4
2.2.1.	Caractéristiques du bassin versant de la Vaipohe	4
2.2.2.	Calcul des débits de projet	5
3.	ENQUETE DE TERRAIN	7
3.1.	Enquête auprès des riverains	7
3.2.	visite de terrain	8
4.	DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE DU LIT MINEUR	10
4.1.	Construction du modèle	10
4.1.1.	Construction du lit	10
4.1.2.	Calage du modèle	10
4.1.3.	Conditions limites	10
4.2.	Simulation des crues de projet	10
4.3.	Identification des points et des fréquences de débordement du lit mineur	12
5.	ANALYSE DU LIT MAJEUR	14
5.1.	Identification des chenaux d'écoulement et des enveloppes de crue potentiels	14
5.2.	Caractérisation de l'aléa des enveloppes de crue	15
5.2.1.	Methodologie	15
5.2.2.	Caractérisation des enveloppes	15
6.	PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT	17

1. METHODOLOGIE

La rivière **Vaipohé** est située dans un secteur encore peu urbanisé, sur la côté Sud de la Presqu'île de Tahiti.

Le faible enjeu d'urbanisation a conduit à privilégier pour la cartographie des zones inondables une expertise du cours d'eau plutôt qu'une modélisation 2D du cours d'eau.

La méthodologie retenue pour cette expertise 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 basée sur des levés topographiques au 1/500ème
- 3) **Identification des chenaux d'écoulements et des enveloppes de crue potentiels 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) .

Le linéaire d'étude est de 700 m à partir de l'embouchure, ce qui englobe donc la zone urbanisée de la vallée, qui s'étend sur 500 m depuis l'exutoire.

2. DONNEES D'ENTREES

2.1. DONNEES TOPOGRAPHIQUES

2.1.1. Lit Mineur :

La modélisation du lit mineur est basée sur un levé topographique du lit mineur au 1/500^{ème} effectué par le cabinet GRAND pour le compte de la Direction de l'Equipement en 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. Cette restitution permet d'établir un modèle numérique de terrain, d'où seront ensuite extraits les profils en travers servant à la construction du lit majeur.

A titre d'information, un 1/5000^{ème} est bâti avec une densité de points cotés de 1 point tous les 150 m (1 point tous les 3 cm sur plan). Cette densité peut être plus élevée sur certains secteurs dégagés ou au contraire plus faible dans d'autres zones.

2.2. DONNEES HYDROLOGIQUES

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

2.2.1. Caractéristiques du bassin versant de la Vaipohe

Le bassin versant de la Vaipohe est très allongé :

- longueur du plus long chemin hydraulique : 7.2 km
- pente moyenne : 6.9%

Cette morphologie a pour conséquence un « aplatissement » important de l'hydrogramme de crue et donc, un débit de crue moins important que pour des bassins de superficie égale mais moins allongés.

Surface du bassin versant	5.1 km ²
Temps de concentration (formule de Kirpich ¹)	51 mn
Coefficient de ruissellement décennal	0.5

¹ Formule du temps de concentration retenue par ANTEA dans sa note méthodologique.

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].

▪ Caractéristiques de la pluie de projet utilisée pour la Vaipohe

Station :	Taravao P1 ²
Durée de pluie intense	< 60 mn

Coefficients de Montana ³		
	P10	P100
a	4.91	5.65
b	-0.30	-0.26

▪ Estimation des débits de la Vaipohe

○ Méthode globale CRAEGER

La méthode est la suivante :

- 1) Recherche du débit maximal connu sur un bassin voisin de la Vaipohe disposant d'observations (Aivaro)
- 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	74	140
Module spécifique	m ³ /s/km ²	14.5	27.5

² Station pluviométrique retenue par ANTEA dans [3].

³ Données extraites de [1]

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

Les débits estimés selon cette méthode sont les suivants :

		Q10	Q100
Intensité pluvieuse (51 mn, X ans)	mm/mn	1.52	2.1
Débit de projet	m ³ /s	65	110
Module spécifique	m ³ /s/km ²	12.7	21.6

On constate un écart de 30 % entre les débits centennaux, ce qui peut s'expliquer notamment par l'absence de prise en compte de l'allongement du bassin dans la méthode CRAEGER, au contraire de la méthode rationnelle.

○ **Choix du débit de projet**

Selon les souhaits du Client et par sécurité, le débit retenu est le plus élevé soit :

		Q10	Q100
Débit de projet	m ³ /s	74	140

3. ENQUETE DE TERRAIN

La visite de terrain a été menée en mai 2010.

3.1. ENQUETE AUPRES DES RIVERAINS

L'enquête a été menée en mai 2010. Plusieurs phénomènes hydrologiques importants ont marqué le débit de l'année 2010 :

- cyclone OLI le 03 et 04 février, accompagné de fortes pluies sur la partie Sud-Ouest de l'île de Tahiti
- pluies très fortes les 04 et 05 Mars (pas de données sur l'occurrence exacte des pluies)

PT (amont vers l'aval)	Témoignage	Commentaires
A 150 m en amont du PT 26 en rive gauche	Débordement en rive gauche au niveau du portail d'accès aux zones agricoles. La rivière sort de son lit et suit la piste.	Lit très encaissé. Les débordements seraient liés à des embâcles bloqués en travers des coudes et n'affectent pas le lit majeur de la zone étudiée.
Entre les PT 16 et 21 en rive gauche	Débordements fréquents (bisannuels) en rive gauche, au droit du virage. Dernier en date lors du cyclone OLI (février 2010). Inondation jusqu'à 0.3 m dans la cour. L'eau part ensuite sur la servitude qui sert d'axe d'écoulement. Débordements importants en 1998. Problèmes d'embâcles dans la rivière, au droit des coudes.	Enrochements refaits après 1998 Terrain remblayé
Au PT13 en rive gauche	Un débordement en rive gauche en 1998.	Aucun débordement depuis la mise en place des enrochements au virage en 2007-2008
Au pont RDC	Déversements fréquents par dessus le pont de la RDC Problèmes d'embâcles fréquents + engrèvement du pont (au moins 0.6 m de dépôts sur 1.8 m d'ouverture).	
En aval du pont de la RDC en rive droite	Débordements annuels (hauteur d'eau jusqu'à 0.5 m), avec des vitesses importantes. Engrèvement de l'embouchure.	

3.2. VISITE DE TERRAIN

Lors de la visite de terrain, la rivière était à sec en amont du PT 15. Aux dires des riverains, cette rivière est à sec en dehors des périodes de pluie d'où peut-être la dénomination du cours d'eau (Vaipohe signifiant eaux mortes en tahitien).

Du pont de la RDC vers l'embouchure : lit canalisé avec berges enrochées



Pont de la RDC vue de l'amont : engravement d'1/3 de la hauteur du dalot et conduite faisant obstacle à l'écoulement



Du pont de la RDC vers l'amont : berges enrochées en rive droite, digue en terre fragile et végétalisée en rive gauche



PT 11 Vers l'amont	PT 11 Vers l'aval
	
PT 15 vers l'amont : lit peu encaissé, rive gauche enrochée	PT 15 vers l'aval : lit peu encaissé, rive gauche enrochée
	
PT21 vers l'amont : lit encaissé, berges naturelles	
	

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. CONSTRUCTION DU MODELE

4.1.1. Construction du lit

La modélisation est basée sur 12 profils en travers répartis sur 750 m soit un profil tous les 60 à 65 m (cf. implantation sur le plan topographique ci-joint).

Sur le linéaire étudié, seul un ouvrage est répertorié : il s'agit du pont cadre de la RDC, situé à proximité du lagon. Sa section moyenne, prise perpendiculairement à l'écoulement, est de 5m x 1.2m ht.

Les riverains font état d'un engravement de 0.6 m ce qui porterait la hauteur initiale de l'ouvrage à 1.8 m ht.

Deux passages à gué ont été repérés dont un en amont du tronçon étudié. Les passages à gué constituent des points bas dans les berges souvent à l'origine de débordement.

4.1.2. Calage du modèle

Sur le linéaire étudié, les coefficients de rugosité moyens retenus, selon la bibliographie [7], sont de :

- 20 en amont du profil 22 (berges naturelles, sections droites et bien dégagées)
- 22 entre le profil 22 et le pont de la RDC (une berge enrochée, une berge naturelle, coudes marqués)
- 30 en aval de la RDC (les deux berges enrochées)

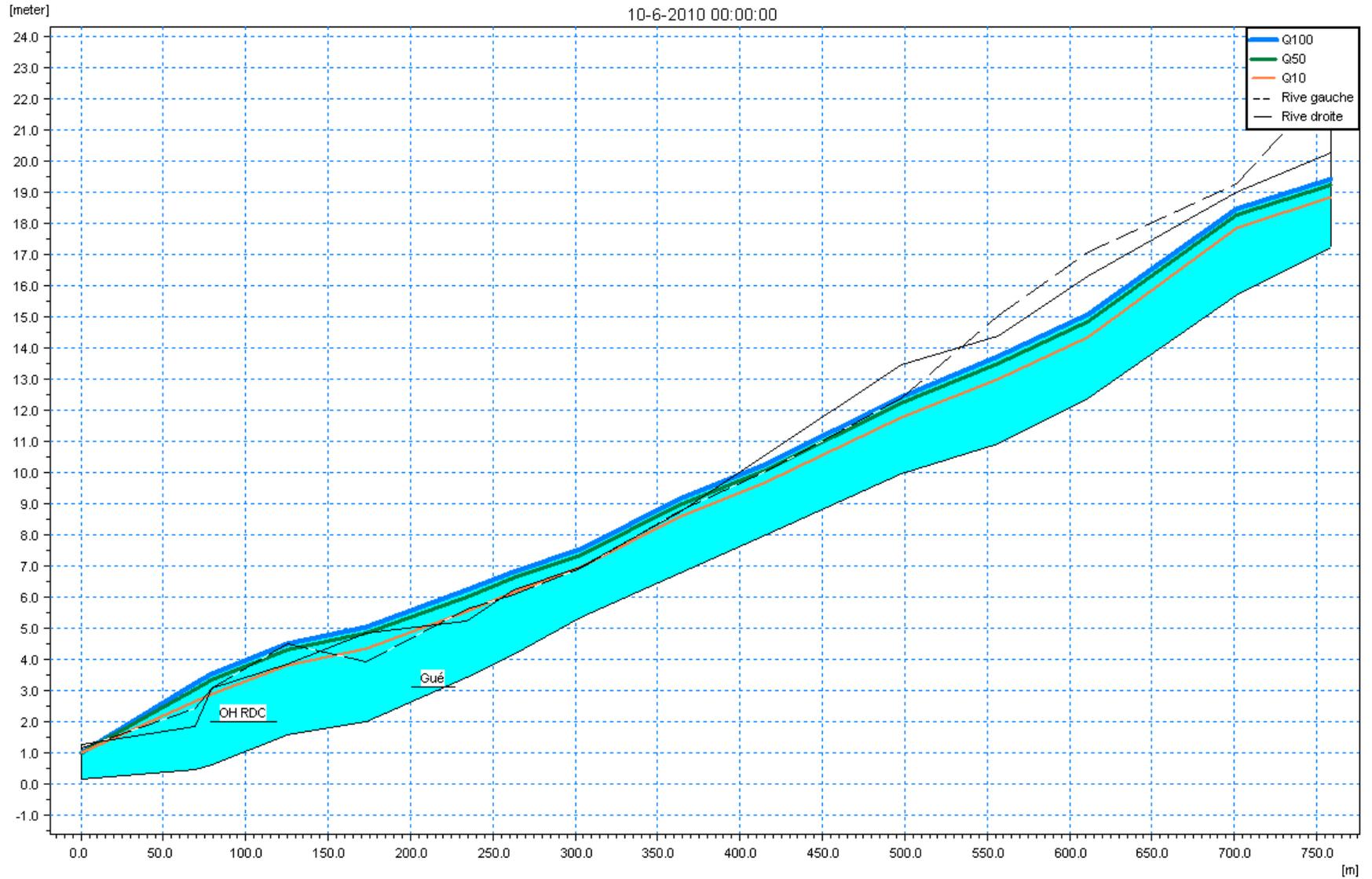
4.1.3. Conditions limites

La condition limite aval est la cote imposée par le lagon à l'exutoire de la VAIPOHE. Elle est fixée à + 1 m NGPF conformément au scénario retenu pour l'établissement des PPRI.

La condition amont est le débit de crue centennal en régime permanent présenté au § 2.2.2

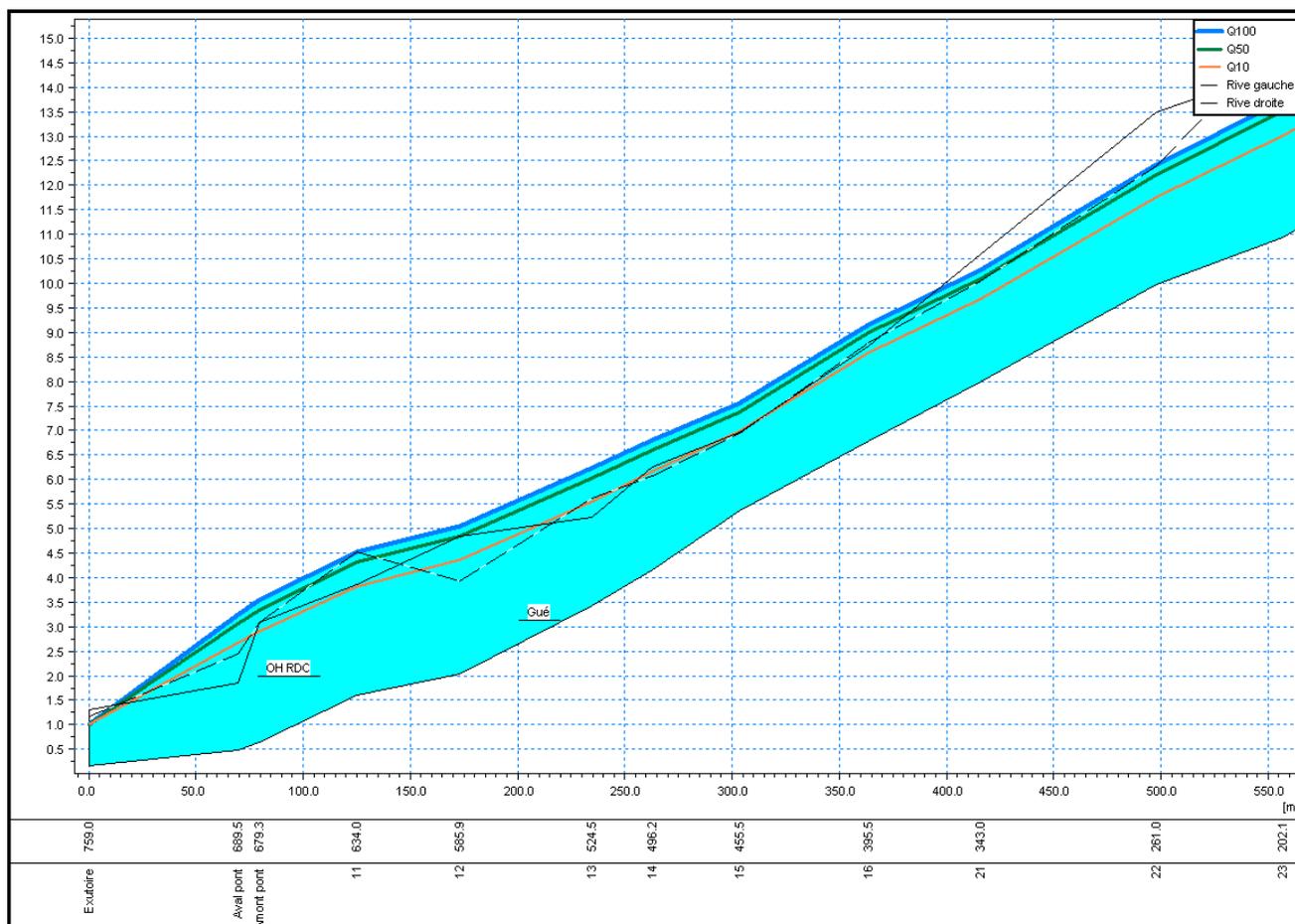
4.2. SIMULATION DES CRUES DE PROJET

Le graphique en page suivante présente les lignes d'eau atteintes pour différentes crues de projet transitant dans le lit mineur. La totalité du débit est considérée comme transitant dans le lit mineur (la largeur maximale de la section est celle du lit mineur).



PK	759.0	689.5	634.0	585.9	524.5	496.2	455.5	395.5	343.0	261.0	202.1	147.4	57.8	0.0
PT	Exutoire	Aval pont	11	12	13	14	15	16	21	22	23	24	25	26

4.3. IDENTIFICATION DES POINTS ET DES FREQUENCES DE DEBORDEMENT DU LIT MINEUR



En Q10, les débordements sont situés :

- en aval du PT 15 pour la rive gauche
- en aval du PT14 pour la rive droite.

En Q100, les débordements sont situés :

- en aval du PT22 en rive gauche
- en aval du PT 21 en rive droite

Les digues sont submergées :

- avant le Q10 pour la digue située en rive droite entre les PT 14 et 12
- entre le Q50 et le Q100 pour la digue située en rive gauche entre le PT 12 et le pont de la RDC

Compte tenu de la fréquence de leur submersion et de leur fragilité (digues non compactées et dont la géométrie ne répond pas aux règles de l'art), le risque de rupture de ces digues est élevé, ce qui entraînerait le déferlement d'une lame d'eau importante (> 1 m) sur les terrains situés derrière elles.

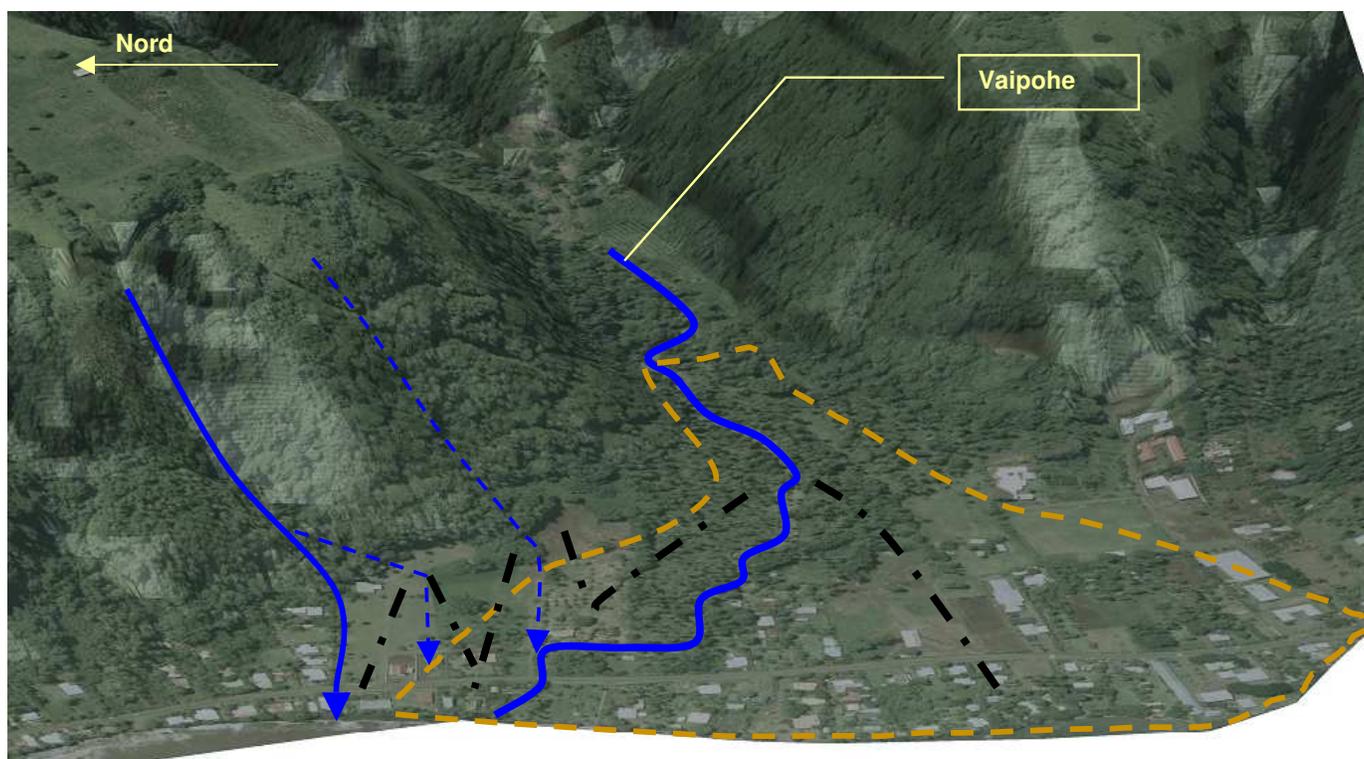
L'ouvrage de la RDC se met en charge dès 35 m³/s soit la crue annuelle, faisant progressivement remonter la ligne d'eau en amont et favorisant le débordement au P12.

Le déversement par dessus la RDC se fait à partir de 84 m³/s soit le Q20.

La mise en charge de l'ouvrage exclut tout tirant d'air dès le Q1 et implique donc le blocage systématique des éventuels embâcles en amont du pont. Le déversement par dessus la RDC se fera alors avant le Q20.

5. ANALYSE DU LIT MAJEUR

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



La Vaipohe présente une vallée peu encaissée en partie basse, avec un plancher de 120 m de large. Au sortir de cette vallée, le cours d'eau rejoint rapidement, en moins de 400 m, le niveau marin.

La plaine littorale est recouverte par le cône de déjection du cours d'eau (en marron ci-dessus).

Thalwegs secondaires

En rive droite, deux thalwegs secondaires sont identifiés.

Le thalweg situé au Nord est canalisé (flèche bleue pleine) à son arrivée sur la plaine mais des débordements peuvent se produire en direction d'un thalweg secondaire peu marqué (pas de chenal d'écoulement visible sur le terrain) signalé par une flèche bleue en pointillé.

Le deuxième, thalweg, également signalé par une flèche bleue en pointillé, est très peu marqué (pas de chenal d'écoulement visible sur le terrain). Il rejoint le cours d'eau avant la RDC.

Ces thalwegs, à sec lors de la visite de terrains, canalisent les écoulements lors des épisodes pluvieux intenses. Les sous-bassins versants drainés par ces deux thalwegs ont des superficies réduites, le débit est donc limité ($< 1 \text{ m}^3/\text{s}$ en Q100).

Points hauts

Outre les limites des thalwegs secondaires, des lignes de « crête » ont également été identifiées dans la plaine par les traits pointillés noirs.

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 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 > 1 m/s)
- **aléa moyen** : reste du lit majeur inondé entre Q20 et Q100 ainsi que les zones présentant des hauteurs d'eau inférieures à 1 m et des vitesses inférieures à 1 m/s .
- **aléa faible** : zone de piémont ou bordure de lit majeur. Les hauteurs et vitesses y sont faibles, respectivement inférieures à 0.5 m et 0.5 m/s.

Limites de la Méthode hydrogéomorphologique ⁴ :

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

Les débordements compris entre Q1 et Q10 se produisent en aval du PT 14 et 15. Ces débordements fréquents indiquent un classement en **aléa fort**, d'autant que l'ouvrage de la RDC, qui constitue une forte constriction, favorise ces débordements et les déversements par dessus la RDC.

Selon l'enquête de terrain, la servitude située en sortie de virage en rive gauche au PT 16, sert d'axe d'écoulement pour la rivière en crue. Elle est donc également classée en **aléa fort**.

⁴ Extraits de [6]

Le reste du lit majeur en rive gauche, entre le PT 21 et la RDC, est classé en **aléa moyen** compte tenu de la fréquence de débordement (entre Q10 et Q100) et des possibilités d'étalement.

Dans cette zone, les débordements peuvent s'intensifier en raison des embâcles bloqués dans les coudes.

En rive droite, les débouchés des thalwegs secondaires identifiés en pointillés sont classés en **aléa moyen** compte tenu :

- des faibles débits attendus (< 1 m³/s)
- de la possibilité immédiate d'extension des crues (zone dégagée et plate).

En aval du pont de la RDC, la rive droite , premier point de débordement, est classée en **aléa fort** compte tenu des vitesses constatées par les riverains et de la fréquence de débordement qui peut s'accroître si l'on tient compte des déversements par dessus la RDC.

La rive gauche est elle aussi classée en **aléa fort** en partie basse où elle est à niveau avec la rive droite, le reste de la rive étant en **aléa moyen** (rive gauche surélevée).

Les zones intermédiaires entre thalwegs secondaires, les zones d'étalement et de piémont sont classées en **aléa faible**.

6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT

D'une façon générale, en aval du PT22, compte tenu du faible différentiel actuel entre le fond du cours d'eau et le haut des berges (1 à 1.5 m), le **remblaiement des terrains** est à préconiser dans toute nouvelle opération de construction, moyennant la vérification de la capacité de transit du lit en aval.

Opération immédiate :

- curage du dalot existant à l'embouchure
- curage entre les PT23 et PT14

Programme de travaux :

- **réfection du pont** de la RDC en abaissant le fil d'eau pour atteindre un objectif Q100 avec tirant d'air de 0.8 m (section : 12 x 2.8 m ht).
- **élargissement de la rivière** en aval du PT 21, avec création d'une **section mixte** pour limiter les dépôts

Largeur en gueule	Pente	Hauteur totale	Objectif de protection
15 m	1.90%	2 m	Q100

- si nécessaire pour atteindre un objectif Q100 et selon la disponibilité des emprises foncières, réalisation de **digues en terre** selon les règles de l'art avec une hauteur ponctuelle ne dépassant pas 1 m. Ces digues devront être protégées de l'érosion par des enrochements côté rivière (vitesse maximale ne dépassant pas 5 m/s).

PLANS

- Levés topographiques du lit mineur au 1/500^{ème} avec implantation des profils en travers
- PPR 010 Cartographie hydrogéomorphologique
- PPR 011 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. Guide technique de l'assainissement – Le Moniteur – Régis Bourrier

Hydrogéomorphologie :

6. Les bases techniques de la méthode Inondabilité – Editions CEMAGREF – O. GILARD, 1998

Hydraulique :

7. Hydraulique générale, A. LENCASTRE, édition 1995