



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

Lot 2 – Expertise

COURS D'EAU : VAIOA

Commune : PUNAAUIA

Ile : TAHITI

Avril 2012

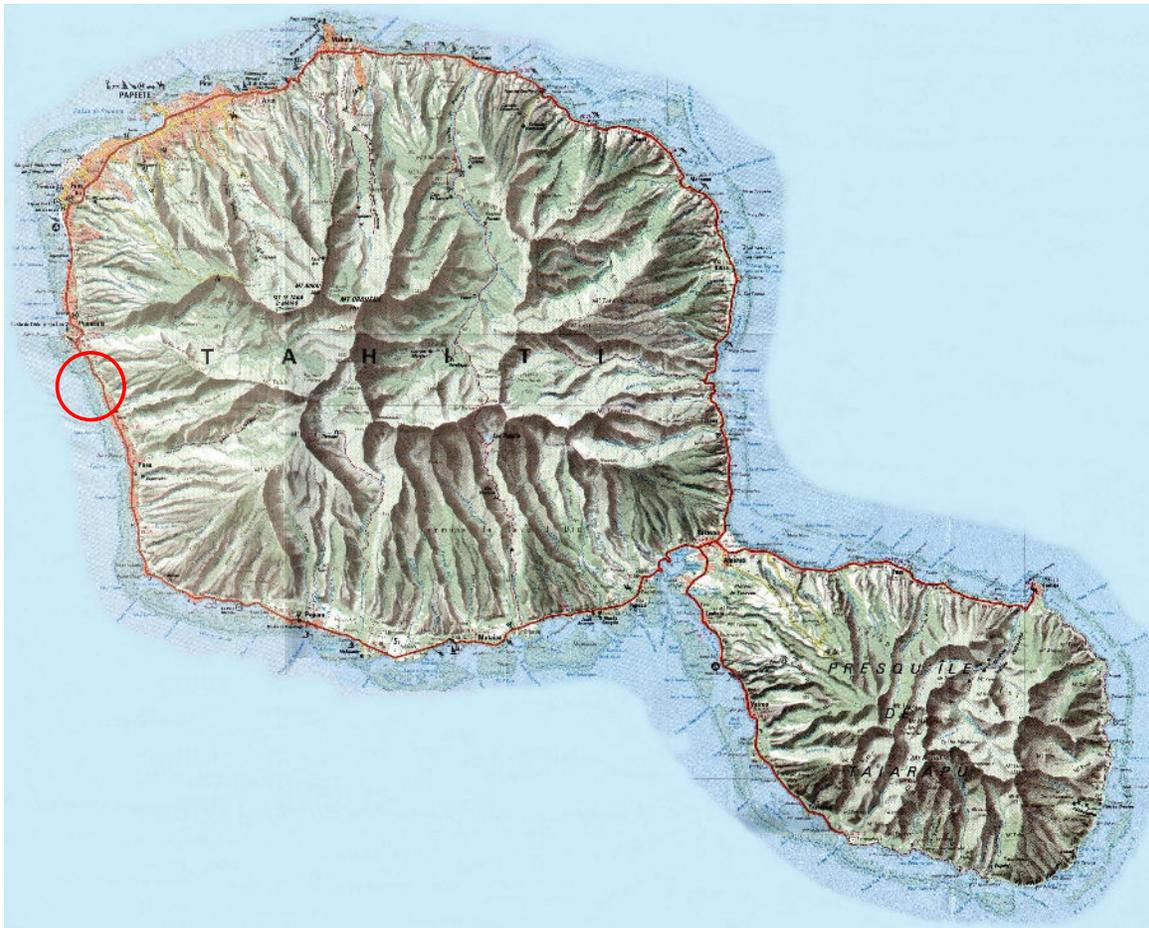
N°rapport : 1374 11 05-V2

TABLE DES MATIERES

1.	METHODOLOGIE	2
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	5
2.2.1.	Caractéristiques du bassin versant des trois cours d'eau	5
2.2.2.	Calcul des débits de projet	6
3.	ENQUETE DE TERRAIN	9
3.1.	Enquête auprès des riverains	9
3.2.	Visite de terrain	10
4.	DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE DU LIT MINEUR	12
4.1.	Construction du modèle	12
4.1.1.	Ouvrages hydrauliques	12
4.1.2.	Calage du modèle	12
4.1.3.	Conditions limites	12
4.2.	Simulation des crues de projet	12
4.3.	Identification des points et des fréquences de débordement du lit mineur	14
5.	ANALYSE DU LIT MAJEUR	15
5.1.	Identification des chenaux d'écoulement et des enveloppes de crue potentielles	15
5.2.	Caractérisation de l'aléa des enveloppes de crue	15
5.2.1.	Méthodologie	15
5.2.2.	Caractérisation des enveloppes	16
6.	PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT	17

1. METHODOLOGIE

La rivière VAIOA est située au PK 18 sur la commune de PUNAAUIA, sur la côte Ouest de TAHITI.



Le linéaire d'étude est de 750 m à partir de l'embouchure ce qui correspond à la plaine littorale habitée jusqu'au pied de montagne.

Cette partie de la côte Ouest de TAHITI est très urbanisée. Les photos aériennes prises entre 1984 et 2001 ne montrent qu'une faible augmentation de l'urbanisation en 17 ans. Cette urbanisation ancienne du site permet d'obtenir des témoignages de bonne qualité de la part des riverains.

On remarque également que le cours d'eau a été entièrement canalisé entre 1984 et 2001.



Photo aérienne de 1977

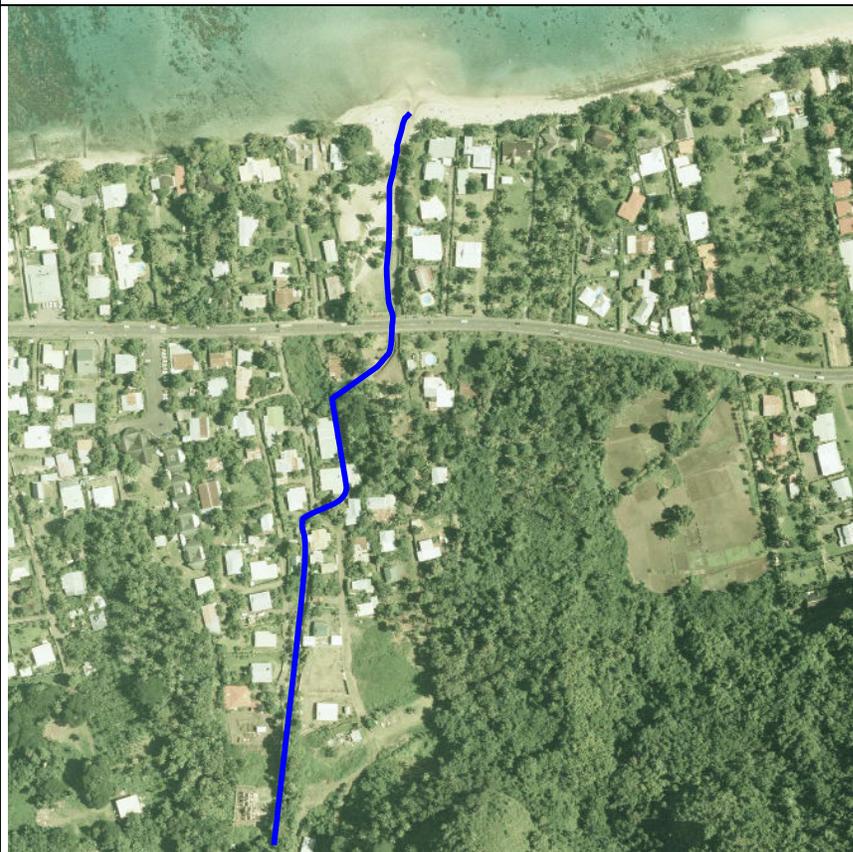


Photo aérienne de 2001

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 profils en travers au 1/200ème
- 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 chaque cours d'eau, qui se fait sur 750 ml, est basée sur des profils en travers au 1/200^{ème} levés par le cabinet TOPOPACIFIQUE pour le projet « Te ara Nui ». Ces levés en travers, espacés de 30 à 60 m, ont été réalisés en 2003

2.1.2. Lit Majeur :

L'analyse en lit majeur s'est basée sur la restitution photogrammétrique au 1/2000^{ème} fournie par les services de l'Urbanisme.

2.2. DONNEES HYDROLOGIQUES

Aucune observation de débit n'a été effectuée sur la rivière VAIOA.

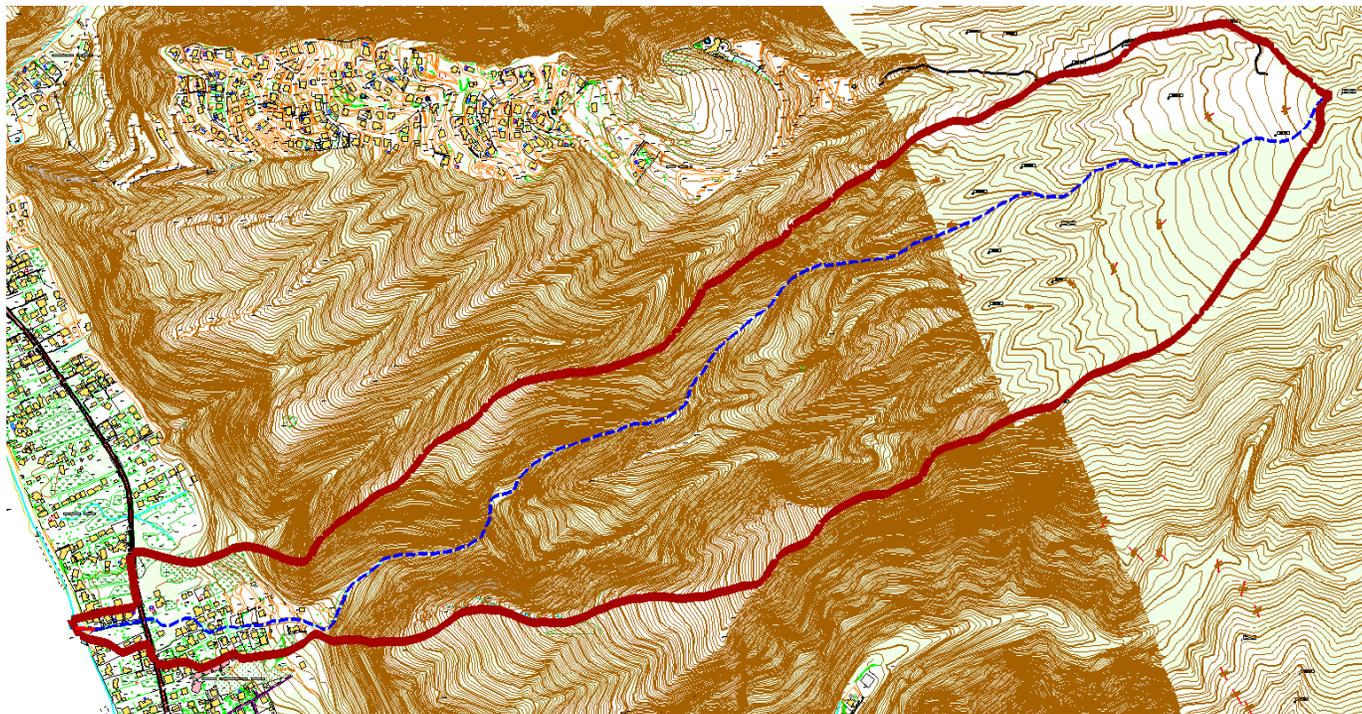
2.2.1. Caractéristiques du bassin versant des trois cours d'eau

Les caractéristiques des deux bassins versants sont données ci-dessous :

	VAIOA
Surface (km ²)	1.64
Longueur du plus long chemin hydraulique	3 616 ml
Altitude maximale du bassin versant	+ 890 m
Pente moyenne pondérée	14.6 %
Pente moyenne globale	9.4%
Temps de concentration (formule de Kirpich ¹)	27mn

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

La figure suivante présente le découpage du bassin versant de la VAIOA :



2.2.2. Calcul des débits de projet

Trois méthodes différentes ont été utilisées pour l'estimation des débits :

- **Modèle global MOAHTA**

A l'occasion du projet de la Liaison Ouest Papeete-Taravao, le cours d'eau VAIOA avait fait l'objet d'une estimation en 2001 par le modèle global MOAHTA mis en place par G. WOTLING [6].

Les valeurs fournies par ce modèle sont :

- Q10 : **18** m³/s
- Q100 : **36** m³/s

- **Méthode globale CRAEGER**

La méthode globale CRAEGER, appliquée à Tahiti par J. Danloux [2] est la suivante :

- 1) Recherche du débit maximal connu sur un bassin voisin de la VAIOA disposant d'observations (Punaruu)
- 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 :

	Unité	VAIOA
Q10	m ³ /s	17
Q100	m ³ /s	48
Module spécifique centennal	m ³ /s/km ²	29

Le rapport entre le Q10 et le Q100 est de 2.8 ce qui est très supérieur aux valeurs usuelles de la littérature (2) et aux valeurs habituellement rencontrées sur Tahiti (1.7).

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

Cette méthode consiste à calculer le débit décennal par la méthode rationnelle et le débit centennal par la méthode du gradex, selon la note réalisée par le bureau d'études ANTEA dans le cadre des PPRI [3].

La station retenue pour ce cours d'eau dans [3] est la suivante :

Station :	Punaruu P1
Durée de pluie intense	< 60 mn

Coefficients de Montana ²		
	P10	P100
a	4.91	5.65
b	-0.30	-0.26

Les débits estimés selon cette méthode sont les suivants :

Intensité pluvieuse (Tc, 100 ans)	mm/mn	2.3
Q10	M3/s	15
Intensité pluvieuse (Tc, 100 ans)	mm/mn	2.9
Q100	m ³ /s	30
Module spécifique centennal	m ³ /s/km ²	18

² Données extraites de [1]

- **Choix du débit de projet**

Les trois méthodes donnent des résultats quasiment identiques pour Q10.

En revanche, les débits centennaux présentent des écarts importants de plus de 50%. La valeur centennale donnée par la méthode CRAEGER paraît anormalement élevée au regard du débit décennal (facteur 2.8).

Les valeurs obtenues par le modèle MOAHTA sont plus cohérentes avec les ratios usuellement observés sur les cours d'eau polynésiens. Elles sont plus sécuritaires par rapport aux valeurs obtenues par la méthode rationnelle et le gradex. Il est donc proposé de les retenir :

Q10	m3/s	18
Q100	m3/s	36

3. ENQUETE DE TERRAIN

3.1. ENQUETE AUPRES DES RIVERAINS

L'enquête a été menée en février 2012 et est retranscrite sur le plan PPR 052.

N°	Témoignage	Commentaires
4 (aval RDC rive droite) – P21	Aucun débordement en rive droite en 40 ans d'observation. Le pont de la RDC ne pose pas de problèmes. Enrochements des berges depuis 10 ans.	40 ans d'observation
5 en amont de la RDC en rive droite	Inondation de la servitude (5 cm d'eau) lors de fortes pluies dues aux eaux pluviales.	
6 en amont de la RDC en rive droite	Aucun débordement de la rivière même en 1998. Les problèmes viennent plutôt des eaux de pluie non canalisées.	15 ans d'observations
7 en bordure du cours d'eau rive droite – P10	Une inondation observée.	
8 en amont rive droite (pied de montagne) – P3	Depuis les enrochements de la rivière il y a 5-6 ans, les débordements ont cessé.	
9 en bordure du cours d'eau en rive gauche – P7	Un débordement observé avant la mise en place des enrochements en 2007. Inondation des maisons situées en aval (+0.2 m) avec de fortes vitesses. Cette inondation aurait été causée par la rupture d'un barrage dans le cours d'eau formé par des embâcles.	
10 en amont de la passerelle en rive droite – P6	Unique débordement en 1983 causé par un tronc d'arbre dans le cours d'eau, qui a inondé toute la servitude jusqu'à la RDC. Fortes vitesses dans le cours d'eau, avec charriage important. Les OH des PK 330 et 440 se sont plusieurs fois obstrués mais n'ont pas créé de débordements	50 ans d'observation
11 en amont de la passerelle en rive droite – P5	Pas de débordement depuis la mise en place des enrochements. Ecoulement avec de fortes vitesses et une revanche importante.	34 ans d'observation

Synthèse de l'enquête de terrain :

- Problèmes d'embâcles et nombreuses passerelles à l'origine des débordements du cours d'eau en amont de la RDC.
- Cours d'eau avec de fortes vitesses et un charriage important

3.2. VISITE DE TERRAIN

<p>Embouchure (P24 à OH RDC) – Parking de la plage du PK 18</p> <p>berges en perré maçonné - 7 m x 1m ht – 170 ml</p>	<p>Dalot de la RDC</p> <p>5 m x 1.5 m ht</p> 
<p>OH RDC à P15 : Tronçon en amont de la RDC</p> <p>Berges naturelles: 8 x 4 x 1.6 m ht. Cours d'eau très végétalisé – 40 ml</p> 	<p>P15 à P8</p> <p>Tronçon canalisé avec nombreuses passerelles</p> <p>Berges en perré maçonné 3 m x 2 x 1.5 m ht – 110 ml</p>
<p>P 8 à P5/P6 : Tronçon canalisé</p> <p>4 mx 2 x 2 m ht - 70 ml</p> 	<p>P5/P6 à P1 : tronçon récemment enroché</p> <p>6 x 4 x 2.5 m ht – 266 ml</p> 

Synthèse de la visite de terrain :

- En aval de la RDC, rive gauche, côté parking plus basse que la rive droite, constituant une zone de débordement préférentielle
- Tronçon très végétalisé en amont immédiat de la RDC
- Section du cours d'eau réduite entre les profils P8 et P15 avec de nombreuses passerelles
- En amont, section large et bien canalisée.

4. DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE DU LIT MINEUR

4.1. CONSTRUCTION DU MODELE

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

Le tableau ci-dessous récapitule les ouvrages rencontrés sur le cours d'eau d'aval en amont :

PK 472 - OH RDC	PK430 P 16	PK 385 – P 12	PK 330-P9
Dalot Béton	Dalle béton sur enrochements libres	Dalle béton sur mur béton	Dalle béton sur perré maçonné

L'OH de la RDC a été modélisé. Les autres ouvrages amonts n'ont pas fait l'objet de modélisation car ils sont submergés en cas d'inondation, sans remontée de la ligne d'eau en amont.

4.1.2. Calage du modèle

Sur le linéaire étudié, le coefficient de rugosité moyen retenu est de 30 selon la bibliographie [7], à l'exception de :

- K = 25 entre le P15 et l'OH de la RDC,
- K=50 au droit de l'ouvrage de la RDC

4.1.3. Conditions limites

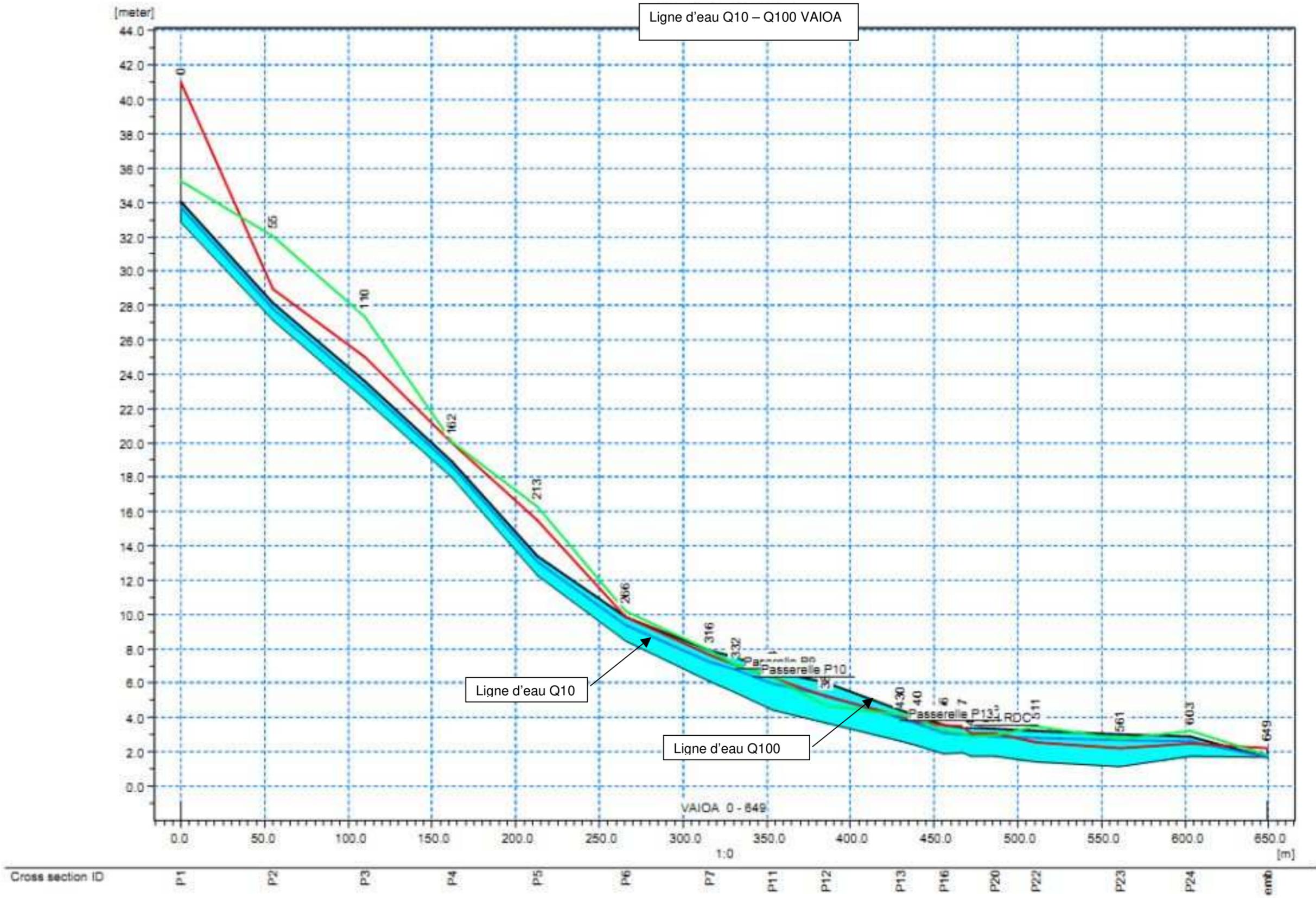
La condition limite avale est la cote imposée par le lagon à l'exutoire de la rivière. Elle est fixée à + 1 m NGPF conformément au scénario retenu pour l'établissement des PPRI.

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 le Q10 et le Q100 sans embâcle en régime permanent. La totalité du débit est considérée comme transitant dans le lit mineur (la largeur maximale de la section est celle du lit mineur).

Les hauteurs d'eau indiquées au-dessus du niveau des berges sont donc uniquement une indication des pertes de charge rencontrée dans le lit mineur et ne doivent pas être considérées comme les hauteurs d'eau réelles.



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

En Q10, les débordements sont très localisés :

- en amont de la RDC, en rive droite au P12
- en aval de la RDC, entre le P22 et le P24 en rive gauche (parking de la plage).

En Q100, les débordements se généralisent en aval du PK 330 (P7) jusqu'en amont de la RDC (P15).

Les passerelles P9, P10 et P13, qui ont une capacité de transit décennale, interceptent tous les embâcles ce qui accentue les débordements.

L'ouvrage de la RDC dispose d'une capacité de transit centennale avec un tirant d'air faible ce qui le rend sensible aux embâcles mais la majorité de ces embâcles sont interceptés en amont par les passerelles.

En aval de la RDC, les débordements se font sur tout le linéaire en rive gauche et uniquement au P23 en rive droite.

En amont du P5, la modélisation est cohérente avec les témoignages des riverains (n°1) qui indiquent des revanches importantes entre la ligne d'eau et le haut des berges.

Les vitesses sont très élevées en Q100 :

- entre 4 et 8 m/s en amont de la RDC
- entre 3 et 4 m/s en aval de la RDC

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, le thalweg a une forme en V, **sans plancher alluvial**. Celui-ci **apparaît à 200 m** avant le débouché dans la **plaine littorale**.

Le **cône de déjection** de la rivière, visible sur la topographie, **s'avance jusqu'à la RDC**. Le lit mineur est déporté vers le Nord Ouest du Cône. Compte tenu de l'encaissement du chenal jusqu'au P5, il paraît probable que le tracé de ce chenal se modifie lors des crues. En revanche, sur les tronçons moins marqués en aval de ce profil, les débordements avec création de chenaux secondaires sont possibles. Néanmoins, dans cette zone très urbanisée, ces **chenaux secondaires** seront essentiellement **tracés par les servitudes**.

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 hydrogéomorphologique ³ :

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 (décennaires ou plus) rattachées à des séries climatiques n'ayant rien de commun avec la période actuelle.

³ Extraits de [6]

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 très restreints qui se produisent avant le Q10 :

- - en amont de la RDC, en rive droite au P10-P12
- en aval de la RDC, en rive gauche entre le P22 et le P24 (parking de la plage)

sont cartographiés en **aléa fort**.

En amont du P5, la ligne d'eau est très basse en Q100 avec de fortes vitesses. La revanche par rapport aux berges est supérieure à 1m. La classification en aléa vert ne paraît pas justifiée, même dans le lit majeur hydrogéomorphologique.

Par contre, au vu des fortes vitesses rencontrées **en amont de la RDC**, une zone **d'aléa fort** lié au risque d'**érosion des berges** sera accolée au tracé du lit mineur même si ces berges ont été protégées par des enrochements depuis peu. La largeur de cette bande est fixée à la hauteur maximale des berges soit :

- 4 m en amont du P5
- 2 m entre le P5 et la RDC
- 3 m à l'extrados des coudes entre le P5 et le P15 (entre le P15 et la RDC, berges couchées à 1H/1V voir 3H/2V ne justifiant pas l'augmentation de la bande d'érosion)

Suivant la modélisation du lit mineur en Q100, en aval du P6 en rive gauche, et en aval du P7 en rive droite, le lit majeur hydrogéomorphologique sera placé en **aléa moyen**. Ces débordements, liés à une **capacité de transit insuffisante**, peuvent **s'aggraver suite au blocage d'embâcles** sous les nombreuses passerelles.

La RDC ne faisant pas barrage à cet écoulement, celui-ci se déversera sur les terrains en aval de la RDC, dans le prolongement du lit majeur hydrogéomorphologique. Ce déversement en aval de la RDC est classé en **aléa faible** compte tenu des faibles pentes et de l'étalement de la lame d'eau.

En aval de la RDC, en dehors de la zone d'aléa fort entre le P22 et le P23, le reste du **parking du PK 18**, qui constitue une zone préférentielle de débordement par rapport à la rive droite, est classé en **aléa moyen**.

6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT

La cartographie d'aléas de la VAIOA ne justifie pas d'intervention d'urgence.

Néanmoins, les points suivants sont à rappeler :

- 1) supprimer les couvertures anarchiques du lit mineur, notamment entre le P7 et le P12, afin de limiter les risques de débordement sur ce tronçon.
- 2) maintenir la zone de débordement préférentielle au droit du parking du PK 18 en aval de la RDC.

De plus les fortes vitesses développées sur le cours d'eau en Q100 nécessitent la mise en place de protection de berges adaptées (enrochements percolés de béton ou autre).

PLANS

- PPR 050 Cartographie de l'aléa inondation
- PPR 051 Cartographie hydrogéomorphologique
- PPR 052 Carte des enquêtes de terrain

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
6. Modélisation hydrologique des cours d'eau de la liaison Tamanu – Taravao , mai 2001 - GEGDP

Hydrogéomorphologie :

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

Hydraulique :

8. Hydraulique générale, A. LENCASTRE, édition 1995