

Ministère de l'équipement, de  
l'urbanisme, de  
l'aménagement, des  
transports intérieurs et de  
l'environnement

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

Cours d'eau : Tevaitoa



Rapport

RIV 140570F

Novembre 2014

## TABLE DES MATIERES

---

<b>1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE</b>	<b>2</b>
<b>2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN</b>	<b>4</b>
<b>3. ANALYSE HYDROLOGIQUE</b>	<b>7</b>
3.1. Caractéristiques pluviométriques de la zone d'étude	7
3.2. Caractéristiques du bassin versant	7
3.3. Les équipements hydrométriques sur l'île de Raiatea	9
3.3.1. Equipement hydrométriques sur la période 1982-1992	9
3.3.2. Les équipements hydrométriques mis en place dans le cadre du programme ARAI.	9
3.4. Evaluation des débits de projet	10
3.4.1. « Evaluation des maximums de crues connues à Raiatea et Moorea » (J.Danloux)	10
3.4.2. Etude BRGM menée dans le cadre du programme ARAI	11
3.4.3. Conclusion	13
<b>4. CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION</b>	<b>14</b>
4.1. Le fonctionnement des ouvrages hydrauliques	14
4.2. cartographie par expertise de l'aléa inondation	14
<b>5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS</b>	<b>18</b>
<b>ANNEXE 1 BASSINS VERSANTS EQUIPES SUR L'ILE DE RAIATEA</b>	<b>20</b>

## 1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

---

Le SAU avec l'appui du BRGM conduit depuis 2005 le programme ARAI qui a pour objectif principal la réalisation de Plans de Préventions des Risques (PPR).

Le présent projet s'inscrit dans la continuité de ce programme. Il consiste en la réalisation de cartographies de zones inondables sur différents cours d'eau de Polynésie française à partir de modélisations hydrauliques, hydrologiques ou d'expertises hydrogéomorphologiques.

**L'étude de la Tevaitoa à Raiatea**, a pour objectif de fournir les éléments suivants :

- Les principales caractéristiques morphologiques, géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques du bassin versant,
- L'identification des principaux ouvrages hydrauliques pouvant influencer les écoulements, en précisant leur état et quantifiant leur efficacité,
- La cartographie par expertise de l'aléa inondation,
- Les possibilités d'aménagement en vue de la réduction des aléas.

La localisation de la zone d'étude est présentée sur la figure 1.



### Rivière Tevaitoa - plan de situation et localisation des prises de vues



Légende :

- OH3 Ouvrage hydraulique
- 6 Prise de vue



RIV40570F • situation\_tevaitoa.cdr • JLF • 04/11/2014

Sources : fond de plan IGN

0 50m 100m





## 2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN

---

Les reconnaissances de terrain ont permis :

- d'analyser le processus d'inondation et d'identifier les axes structurant des écoulements,
- de recueillir les observations sur les crues passées,
- d'identifier l'état d'occupation des sols.

Les principales observations relevées sur le terrain sont présentées ci-dessous et sont illustrées par des photographies, qui sont localisées sur la figure n°1.

### La Tevaitoa au droit du franchissement de la RT

Le franchissement de la route Territoriale est assuré par un dalot de section 4 x 1m. Les berges de la Tevaitoa ne sont pas protégées, il n'a pas été identifié de problèmes d'érosion spécifique au droit de l'ouvrage.



**Photo1** : Franchissement de la RT



**Photo 2** : Pont de la RT : Vue aval

Les riverains situés à proximité de l'ouvrage mentionnent n'avoir jamais vu la route coupée par des débordements de la rivière, même lors du cyclone Alan en 1998. Par contre le cours d'eau déborde très souvent et inonde la quasi-totalité de la plaine le long et en amont de la RT.

Ce phénomène est accentué par les flottants qui obstruent régulièrement l'ouvrage de franchissement. Après obstruction (ou lors de fortes crues), les eaux se déversent en rive droite et gauche du cours d'eau principal, sont bloquées par le remblai de la RT, et peuvent menacer les habitations situées au Sud de la zone d'étude (seule zone habitée en bordure de la Tevaitoa et constituée de trois bâtis principaux dont un sur pilotis).

De manière à diminuer les risques pour la zone habitée, les services de l'équipement ont mis en place un second ouvrage de franchissement constitué par un dalot de section 1x0.6. Cet ouvrage permet aussi de canaliser un écoulement secondaire débouchant au droit de la zone habitée.



**Photo 3** : Zone habitée



**Photo 4** : second franchissement de la RT

Le secteur habité est situé sur une zone de faible altitude, en contrebas de la RT. Les riverains signalent le risque lié à la submersion marine sur ce secteur.

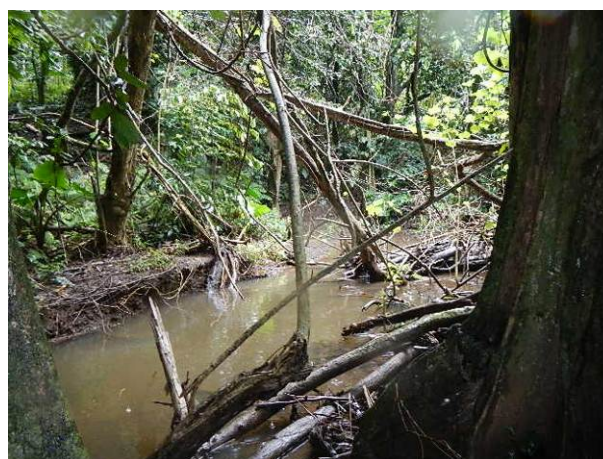
### **Le cours amont de la Tevaitoa**

Le lit de la Tevaitoa traverse sur la totalité du linéaire d'étude (450m) une zone marécageuse dont les sols sont gorgés d'eau (sols hydromorphes à gley et pseudogley).

Le lit, et l'ensemble de la plaine marécageuse sont extrêmement encombrés par la végétation. Les eaux sont stagnantes, en liaison directe avec le niveau de l'océan. Il n'est pas observé de traces d'érosion liée aux écoulements en crue dans la plaine d'inondation, qui s'étend sur un linéaire de 200m au droit de la RT.



**Photo 5**



**Photo 6**

La rivière longe le versant Nord de la cuvette jusqu' à 300m en amont de la RT (photo 7), puis son tracé s'incurve au Sud. Sur ce secteur le dénivelé du terrain devient plus important et des traces d'écoulements vifs sont observées sur le terrain (photo 8).



La rivière est régulièrement alimentée par des apports de versant. De nombreux chenaux faiblement marqués, traversent la plaine d'inondation.



**Photo 7**



**Photo 8**

Plus à l'amont le lit du cours d'eau est peu marqué, et les écoulements se répartissent dans la plaine d'inondation sans qu'un chenal principal soit clairement identifié (photo 10). Des fossés de drainage ont été creusés pour drainer les écoulements de versant vers le chenal principal (Photo 9).



**Photo 9**



**Photo 10**

### 3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

#### 3.1. CARACTERISTIQUES PLUVIOMETRIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

Il existe deux pluviomètres sur la zone d'étude : à Uturoa et à Opoa. Dans le cadre du programme ARAI, les données pluviométriques sur ces deux postes ont été récupérées auprès de Météo France entre Janvier 1998 et 2010 (figure 2, source BRGM).

Les données sources sont incomplètes mais mettent néanmoins en avant :

- Des cumuls de pluie annuelle dépassant fréquemment les 3000 mm,
- Des maximum journaliers à Uturoa proches de 200mm en 1998 et dépassant 150mm en 2004 et 2007.
- Des maximum journaliers à Opoa proches de 300mm en 1998 et dépassant 200mm en 1999, 2004 et 2010.

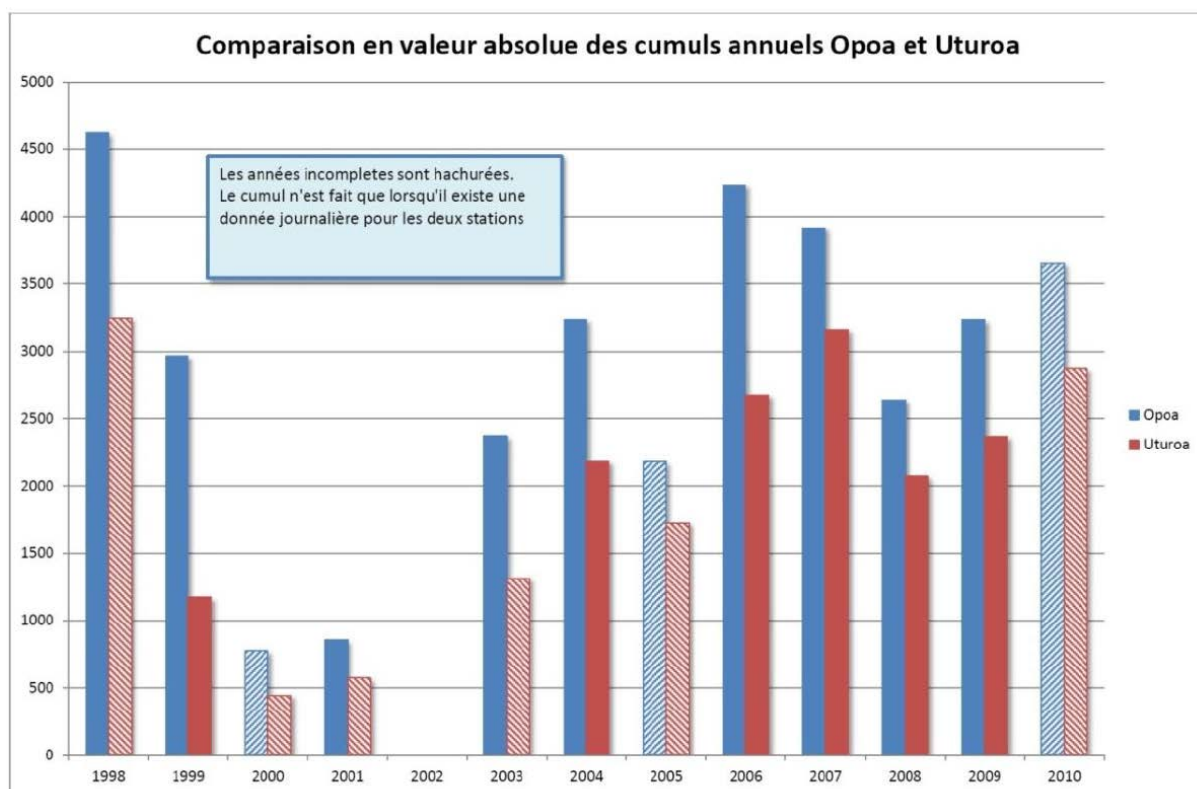


Figure 2 : Cumuls annuels à Opoa et Uturoa (BRGM)

#### 3.2. CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT

Le bassin versant de la Tevaitoa est essentiellement constitué de forêts. Sur les versants les sols sont ferrallitiques, humifères à texture fine argileuse à argilo-limoneuse. Sur la plaine



littorale les sols sont fortement marécageux et n'émergent que de très peu par rapport au niveau de la mer.

**Les principales caractéristiques du bassin versant sont les suivantes :**

- Surface : 0.9 km<sup>2</sup>
- Périmètre : 4.5 km
- Plus long cheminement hydraulique : 2km
- Coefficient de compacité Kc : 0.9
- Dénivelée entre sommet du bassin et exutoire : 320 m,
- Indice de pente : 160 m/km
- Temps de concentration (Kirpich) : 15mn

**Formule de KIRPICH :**

$$T_c = 0.0195 \times \left( \frac{L}{\sqrt{p}} \right)^{0.77}$$

Où :

- $T_c$  est le temps de concentration (min),
- $L$  est la longueur du cours d'eau principal (m),
- $p$  est la pente moyenne (m/m).

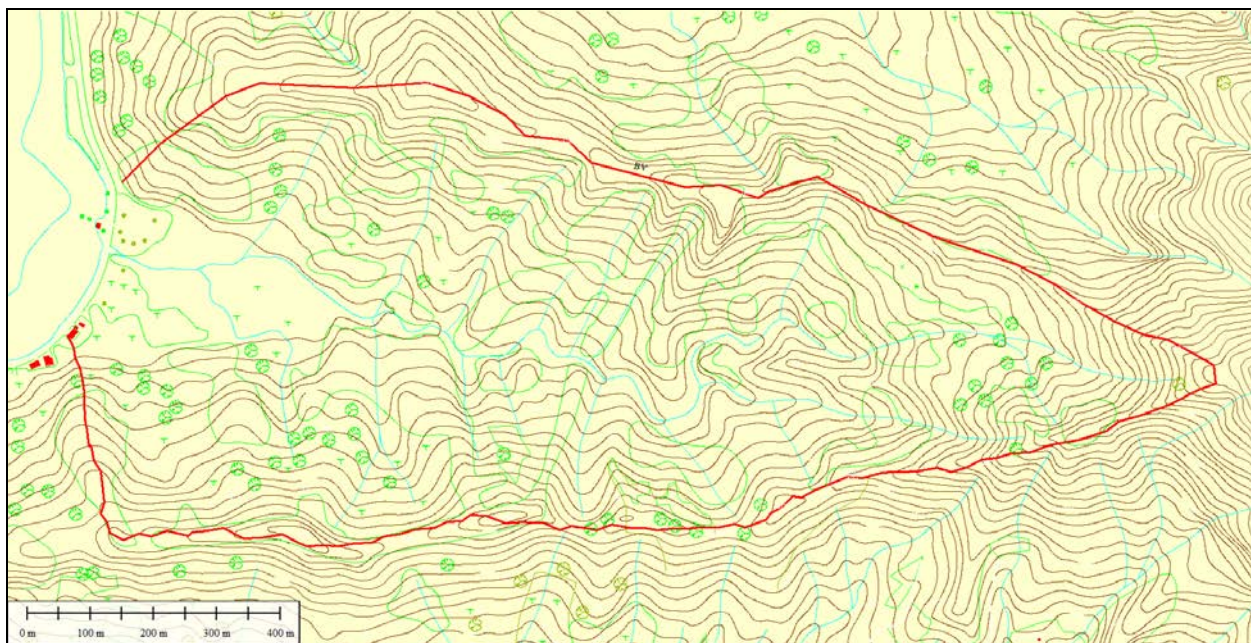


Figure 3 : Emprise du bassin versant de la Tevaitoa

### 3.3. LES EQUIPEMENTS HYDROMETRIQUES SUR L'ILE DE RAIATEA

#### 3.3.1. Equipement hydrométriques sur la période 1982-1992

Trois bassins versants ont été observés par l'ORSTOM et le GEGDP sur l'île de Raiatea sur la période 1982-1992 : Apoomau, Maoroa, Avera Rahi. Ces trois bassins sont localisés en annexe 1. Les éléments issus de ces observations ont fait l'objet d'une étude spécifique menée par J.Danloux en 2003 : « Evaluation des maximums de crues connues à Raiatea et Moorea ».

Les principales caractéristiques de ces trois bassins sont les suivantes :

- **Rivière Apoomau (Vallée Faaroa) vers la cote 5** : Bassin ouvert au nord-est de surface 13.2 km<sup>2</sup>, la rivière Apoomau a été contrôlée de 1983 à 1992 au pont de la route territoriale. Le débit maximum a été évalué à 175 m<sup>3</sup>/s le 29/01/1992.

Les ajustements statistiques sur les débits maximaux annuels menés par J.Danloux sur cette station (loi de Galton) conduisent aux résultats suivants :

Période de retour	10 ans	50 ans	100 ans
Débit (m <sup>3</sup> /s)	168	195	205

- **Rivière Maoroa (Vallée Vaiaau) au pont de la RT** : cette rivière a été contrôlée de 1983 à 1991. Son bassin versant est de 6.38 km<sup>2</sup>. L'étalonnage de hautes eaux permet d'estimer le maximum observé durant cette période : débit de 102 m<sup>3</sup>/s pour une cote à l'échelle de 3,08 m. Le cyclone plus ancien, Emma, aurait atteint la cote 3.18m sur le site de la station.

Les ajustements statistiques sur les débits maximaux annuels menés par J.Danloux sur cette station (loi de Galton) conduisent aux résultats suivants :

Période de retour	10 ans	50 ans	100 ans
Débit (m <sup>3</sup> /s)	104	120	126

- **Rivière Avera Rahi vers la cote 70** : cette station, observée sur la période 1982-1984, a été soumise à des détarages fréquents en raison de l'engrèvement du lit du cours d'eau. La crue du 26/05/1984 est la plus importante enregistrée sur cette station et correspond à un débit de 104 m<sup>3</sup>/s. Son bassin versant est de 4.75 km<sup>2</sup>.

#### 3.3.2. Les équipements hydrométriques mis en place dans le cadre du programme ARAI.

Dans le cadre du programme ARAI, 9 bassins versants ont été instrumentés sur l'île de Tahiti et 3 sur l'île de Raiatea entre Septembre 2004 et Mai 2006 (Danloux et Wotling. 2003). L'installation des limnigraphes et des pluviographes ainsi que le suivi des mesures a été



réalisée par la cellule hydrologique du Groupement d'Etude et de Gestion du Domaine Public (Direction de l'Equipement) qui assure également la gestion des données collectées.

Les bassins versants instrumentés sur Raiatea sont les suivants : Faaroa (6.18 km<sup>2</sup>), Pufua (5.52 km<sup>2</sup>), Vaitahe (1.08 km<sup>2</sup>).

Ces bassins ne sont plus suivis depuis Mai 2006.

### 3.4. EVALUATION DES DEBITS DE PROJET

#### 3.4.1. « Evaluation des maximums de crues connues à Raiatea et Moorea » (J.Danloux)

L'étude « Evaluation des maximums de crues connues à Raiatea et Moorea » réalisée en 2003 a porté sur l'évaluation des maximums de crues selon une approche régionale à partir des données acquises sur les réseaux hydrologiques pendant la période 1982-1992 (J.Danloux).

Cette étude comporte :

- le recensement, la critique et l'analyse des données hydrométriques en possession du GEGDP.
- L'évaluation sur les stations hydrométriques des rapports entre débit maximal connu et les débits caractéristiques de crue.
- L'évaluation des coefficients de Craeger correspondants pour la transposition de ces résultats aux autres rivières non suivies.

La formule de Craeger permet d'évaluer la crue maximale sur un bassin versant sur une période d'observation donnée. Pour le passage à une approche fréquentielle des débits, le rapport entre la crue maximale et les débits issus de l'analyse statistique a été utilisé.

La formule de Craeger s'exprime de la manière suivante :

$$Q = 1.3 \times C \times \left( \frac{A}{2.59} \right)^n$$

Avec :  $n = 0.936 \times A^{-0.048}$

A : superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.

C : coefficient de Craeger

L'évaluation du coefficient de Craeger pour la plus forte crue connue de la période d'observation est la suivante :

Bassin versant	Q (m <sup>3</sup> /s)	A (km <sup>2</sup> )	IPG (m/km)	C Calculé
Apoomau cote 5	175	13.2	67	35
Maoroa pont RT	107	6.38	98	38
Avera Rahi	104	4.75	242	47

Pour les maxima **décennaux** de crue, les valeurs caractéristiques des débits spécifiques et des coefficients de Craeger sont les suivantes :

Bassin versant	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q spec (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	C Calculé
Apoomau cote 5	168	13	34
Maoroa pont RT	104	16	37

En tenant compte des résultats de l'analyse statistique et de l'Indice de Pente Global de chaque bassin, les coefficients de Craeger suivants sont proposés **pour l'évaluation du débit centennal des rivières de Raiatea** :

- 40 à 45 pour 50 < IPG < 100 m/km.
- 45 à 60 pour 100 < IPG < 200 m/km.
- 60 à 75 pour 200 < IPG < 300 m/km.

A noter que Danloux fait état qu'il n'existe pas de différences notable du comportement hydrologique des bassins versants par rapport à leur exposition (aucune barrière montagneuse suffisamment élevée pour constituer un véritable écran entre secteur au vent et sous le vent). C'est une différence importante par rapport à Tahiti Nui. Dès lors les principaux facteurs explicatifs des crues sont la taille et la pente des bassins versants, paramètres utilisés dans la méthode proposée.

#### Application au bassin de la Tevaitoa

L'application de la formule de Craeger en tenant compte d'une surface de bassin versant de 0.9 km<sup>2</sup> et d'un coefficient de Craeger de 60 pour le débit centennal et de 37 pour le débit décennal, conduit aux résultats suivants :

	Crue décennale	Crue centennale
Débit en m <sup>3</sup> /s	<b>18</b>	<b>28</b>

### 3.4.2. Etude BRGM menée dans le cadre du programme ARAI

P. Stollsteiner, dans le cadre d'une mission d'assistance technique pour l'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation en Polynésie française propose l'utilisation de la **méthode Rationnelle** pour la définition des débits de pointe décennaux et de la méthode du **Gradex** pour l'évaluation des débits de pointe centennaux.

Cette méthode est préconisée pour des bassins versants pour lesquels on ne dispose pas de données observées.

Nous ne disposons pas, comme sur l'île de Tahiti, d'évaluation de coefficients de ruissellement à partir de rivière jaugées. Nous proposons donc de retenir une évaluation du



débit décennal à partir de la méthode de Craeger précédemment développée, puis l'application de la méthode du Gradex à partir de la station pluviométrique de Faaa.

Les intensités remarquables calculées sur cette station sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Hauteur (mm)	Période de retour en années						
	1	2	5	10	20	50	100
15 min	25.4	27.5	33.9	38.2	42.3	47.6	51.6
30 min	34.1	36.8	45.3	51	56.4	63.4	68.6
60 min	43.5	47.2	58.5	66	73.2	82.5	89.5
2 h	56.6	61.7	77.6	88.1	98.2	111.2	121
24 h	132.1	145.6	187.4	215.1	241.7	276.1	301.8

La méthode du Gradex repose sur l'hypothèse qu'au-delà des plus fortes crues qui ont pu être observées en quelques dizaines d'années sur un bassin versant, tout supplément de pluie provoquera un supplément égal de ruissellement.

Il en résulte que la fonction de répartition des débits extrêmes a pour direction asymptotique la droite de répartition des pluies extrêmes, à condition de prendre un intervalle de temps  $t$ , commun pour le volume de pluie et le volume d'écoulement, qui soit de l'ordre de grandeur du temps de base moyen des hydrogrammes de ruissellement direct du bassin versant.

L'approche statistique ne permettant pas d'évaluer le temps de base moyen des hydrogrammes de ruissellement direct, ce temps de base peut être assimilé à la durée caractéristique de crue, calculée à partir de la formule suivante:

$$t_b = D = 2 * T_c$$

Le Gradex des écoulements exprimé en lames d'eau sur le bassin versant, est égal par définition au Gradex de la pluie maximale.

Le Gradex des débits de pointe sur  $T_b$  est égal à :

$$g^{T_b} Q_{max} = \frac{S_{BV}}{3.6 \times T_b} \times g^{T_b} P_{max} \times R_m$$

Où :

- $T_b$  est le temps de base (h),
- $S_{BV}$  est la surface du BV (km<sup>2</sup>),
- $g^{T_b} P_{max}$  est le gradex des pluies maximales sur  $T_b$  (mm),
- $R_m$  est le rapport entre le débit de pointe et le débit moyen sur le temps de base. Ce rapport est pris égal à 1.6, valeur moyenne retenue pour des bassins versants du même type.

Le principe de la méthode du Gradex consiste alors à réaliser l'extrapolation depuis un débit de période de retour donné (point pivot : Q10, déterminé précédemment) vers un débit centennal, à partir de la formule suivante :

$$Q_{100} = Q_{10} + (u_{100} - u_{10}) * g^{T_b}_{Q_{max}}$$

Où :

- $Q_{10}$  est le débit décennal (point pivot),
- $u_{100} = 4.60$  est la variable réduite de GUMBEL pour une période de retour de 100 ans,
- $u_{10} = 2.25$  est la variable réduite de GUMBEL pour une période de retour de 10 ans,
- $g^{T_b}_{Q_{max}}$  est le Gradex des débits de pointe maximaux sur  $T_b$ .

**Cette approche conduit aux résultats suivants sur la Tevaitoa :**

- $g^{T_b}_{P_{max}} = 7.4\text{mm}$
- $g^{T_b}_{Q_{max}} = 6 \text{ m}^3/\text{s}$
- **Q10= 18 m<sup>3</sup>/s**
- **Q100=32 m<sup>3</sup>/s**

### 3.4.3. Conclusion

Les deux méthodes fournissent des résultats équivalents. Nous pensons que la meilleure méthode pour l'estimation des débits est celle de Danloux : elle s'appuie sur des données tangibles issues de mesures de terrain. Nous proposons de retenir les valeurs issues de cette méthode, soit :

	<b>Crue décennale</b>	<b>Crue centennale</b>
Débit en m <sup>3</sup> /s	<b>18</b>	<b>28</b>



## 4. CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION

---

### 4.1. LE FONCTIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Les ouvrages hydrauliques existants contrôlent les inondations en amont de la RT. Ces ouvrages sont les suivants :

- Dalot de section 4 x 1m sur le cours d'eau principal,
- Dalot de décharge rive gauche : 1X0.6m.

Les débits capables de ces ouvrages, avant débordement sur la RT, sont présentés dans le tableau ci-dessous :

N°Ouvrage	Section hydraulique	Débit capable (m3/s)
OH1	4X1m	10.7
OH2	1X0.6m	1.4

Le cumul des débits capable de ces deux ouvrages est inférieur au débit de période de retour 10 ans. Cette sous capacité n'entraîne cependant pas de débordements sur la RT car la plaine inondable située en amont joue le rôle d'une vaste zone d'écrêtement qui permet de laminier de manière très importante les débits de crue.

### 4.2. CARTOGRAPHIE PAR EXPERTISE DE L'ALEA INONDATION

La délimitation de la zone inondable de la rivière Tevaitoa en amont de la RT a été réalisée de la manière suivante :

- Recueil d'informations auprès des riverains sur l'extension des zones inondées en période de forte crue,
- Analyse de terrain pour localiser les versants limitant la zone marécageuse et la zone inondable.
- Levés de profils en travers sommaires du cours d'eau et analyse de leur capacité hydraulique.

#### Levés de profils en travers

Trois profils en travers sommaires en coordonnées relatives ont été levés sur le cours de la rivière, en amont de la RT. Ces profils sont localisés :

- 30m en amont de la RT : largeur du lit mineur 7m, hauteur des berges 0.80m,
- 130m en amont de la RT : largeur du lit mineur 5.5m, hauteur des berges 0.60m
- 210m en amont de la RT : largeur du lit mineur 4m, hauteur des berges 1.1m



Figure n°4 : localisation des profils en travers

#### Calcul des caractéristiques hydrauliques pour la crue centennale

Les calculs hydrauliques sont menés à partir de la formule de Manning Strickler, en prenant en compte les coefficients de Strickler (K) suivants :

- Lit mineur : K=20
- Lit majeur : K=7

Les pentes retenues pour le calcul sont comprises entre 1.5 et 2°<sup>00</sup>

Localisation des profils en travers	Section hydraulique Lit mineur	Lit majeur rive droite (m)	Lit majeur rive gauche (m)	Débit capable du lit mineur avant débordement (m <sup>3</sup> /s))	Hauteur d'eau moyenne en lit majeur (m)	Vitesse en lit mineur (m/s)	Vitesse moyenne en lit majeur (m/s)
30m/amont RT	6x0.80	90	160	2.2	0.58	0.5	0.16
130m/amont RT	5.5x0.60	70	125	1.8	0.55	0.7	0.21
210m/amont RT	4x1.10	35	130	3.1	0.57	0.8	0.22

Le lit mineur de la rivière possède une très faible capacité, de l'ordre de 2 à 3 m<sup>3</sup>/s, ce qui entraîne des débordements très fréquents sur cette zone.

Pour une crue centennale, il est observé :

- Des hauteurs de submersion moyennes comprises entre 0.5 et 0.6m,
- Des vitesses d'écoulement de l'ordre de 0.2 m/s en lit majeur.

### Cartographie de l'aléa

Les cartographies d'aléa ont été établies sur la base des règles suivantes :

	Vitesse < 0.5m/s	Vitesse > 0.5m/s
Hauteur < 0.5m	Faible	Moyen
0.5m < Hauteur < 1m	Moyen	Fort
Hauteur > 1m	Fort	Très fort

*Définition des classes d'aléa*

L'application de ces règles conduit à retenir sur la totalité du secteur d'étude un aléa moyen.

La cartographie finale du risque sur la Tevaitoa est présentée sur la figure page suivante.

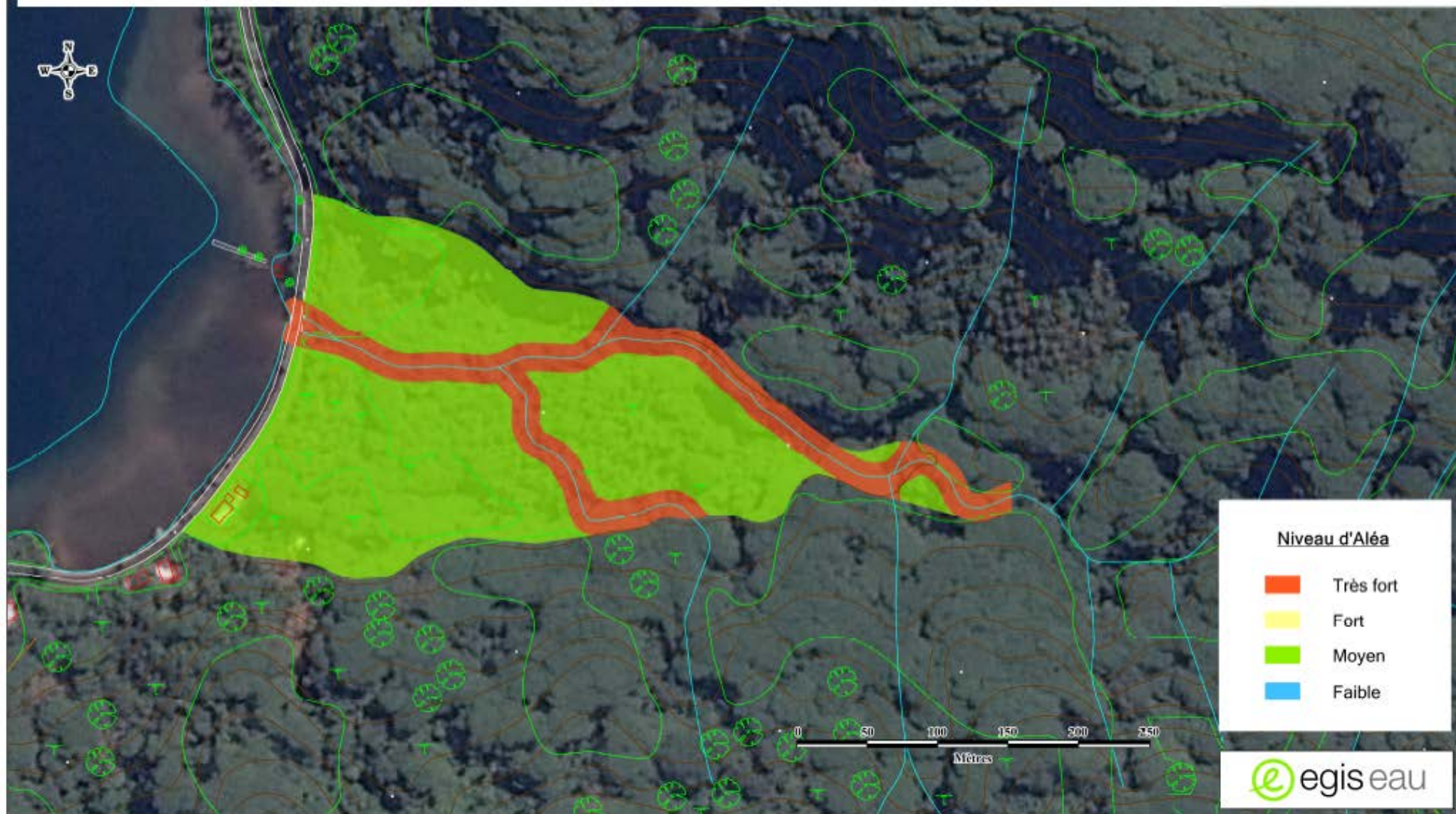




MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT  
ET DES RELATIONS AVEC LES COMMUNES  
SERVICE DE L'URBANISME  
SECTION ETUDES ET PLANS

# CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION AU DROIT DES COURS D'EAU DE POLYNESIE FRANCAISE Programme ARAI

Cours d'eau : TEVAITOVA Crue centennale



## 5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

---

Les reconnaissances menées dans le cadre de cette étude ont mis en évidence la nécessité d'entretenir la végétation présente en bordure du lit de la rivière. Sur la totalité du linéaire le lit mineur est encombré par une végétation très dense et des bois morts en embâcle.

Le risque d'embâcle constitue un enjeu sur la zone d'étude : des arbres arrachés peuvent venir obturer l'ouvrage de franchissement de la route territoriale.

Un entretien périodique devra être favorisé par la création d'accès au lit de la rivière.

La fréquence d'entretien proposée est la suivante :

- Un entretien complet tous les 3 ans : élagage et tronçonnage des arbres pouvant former embâcle,
- Un passage avant chaque saison cyclonique : gestion de la végétation, évacuation des encombrants...

ANNEXES



Annexe 1  
Bassins versants équipés sur l'île de Raiatea

