

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 : Patio



Rapport

RIV 140570F

Novembre 2014

TABLE DES MATIERES

1.	CADRE ET OBJET DE L'ETUDE	1
2.	RECONNAISSANCE DE TERRAIN ET RECUEIL DE DONNEES	2
2.1.	Reconnaissance de terrain	2
2.2.	Les données topographiques	8
3.	ANALYSE HYDROLOGIQUE	9
3.1.	Caractéristiques pluviométriques de la zone d'étude	9
3.2.	Caractéristiques du bassin versant	10
3.3.	Les équipements hydrométriques sur l'île de Raiatea	12
3.3.1.	Équipement hydrométriques sur la période 1982-1992	12
3.3.2.	Les équipements hydrométriques mis en place dans le cadre du programme ARAI.	13
3.4.	Evaluation des débits de projet	13
3.4.1.	« Evaluation des maximums de crues connues à Raiatea et Moorea » (J.Danloux)	13
3.4.2.	Etude BRGM menée dans le cadre du programme ARAI	15
3.4.3.	Conclusion	17
4.	MODELISATION HYDRAULIQUE	18
4.1.	Modèle mis en oeuvre	18
4.2.	Conditions aux limites	18
4.3.	Calage du modèle	19
4.4.	Profil en long du lit mineur	20
4.5.	Réseau d'eaux pluviales	20
4.6.	Simulation des crues de projet	22
4.6.1.	Mécanismes d'écoulement en crue décennale	22
4.6.2.	Mécanismes d'écoulement en crue centennale	22
4.6.3.	Prise en compte du risque d'embâcles	23
4.6.4.	Crue de type Mai 1984	24
4.6.5.	Débits de premiers débordements	24
4.7.	Cartographie de l'aléa	26
4.7.1.	Classification de l'aléa	26
4.7.2.	Particularités de la cartographie de l'aléa centennal	26
5.	PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS	27
5.1.	Les travaux de protection contre les inondations	27

5.1.1.	Le pont de la RT (OH1)	27
5.1.2.	Protection du chemin d'accès à la vallée amont.	27
5.1.3.	Confortement des radiers R1 et R2 et de la section endiguée	29
5.1.4.	Mise en place d'un piège à embâcles en amont de l'OH4.	29
5.1.5.	Protection générale de la zone agglomérée en bordure de la RT	30
5.1.6.	Habitations isolées dans la plaine rive gauche entre les profils P7 et P12.	31
5.2.	La mise en place d'un système d'alerte	31
5.3.	Les travaux d'entretien de la végétation	31
5.4.	Chiffrage estimatif	32

1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

Le SAU conduit depuis 2005 un programme qui a pour objectif principal la réalisation de Plans de Préventions des Risques (PPR).

Une première partie de ce programme (ARAI 1, puis ARAI 2 et ARAI 3) a déjà été réalisée.

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 et d'expertises hydrogéomorphologiques.

Les modélisations des écoulements à surface libre demandées ont principalement pour objectif :

- De simuler les débordements observés lors des dernières crues remarquables,
- De définir la capacité d'évacuation maximale du lit mineur,
- De définir en état actuel l'extension, les hauteurs et vitesses maximales d'écoulement des crues de référence en lit majeur,
- D'envisager les phénomènes d'embâcles et évaluer leurs conséquences sur l'extension des inondations,
- De diagnostiquer les ouvrages hydrauliques existants de manière succincte,
- De proposer des aménagements au stade APS permettant de réduire les aléas

Le cours d'eau étudié dans le cadre de ce dossier est la rivière Patio sur l'île de Tahaa.

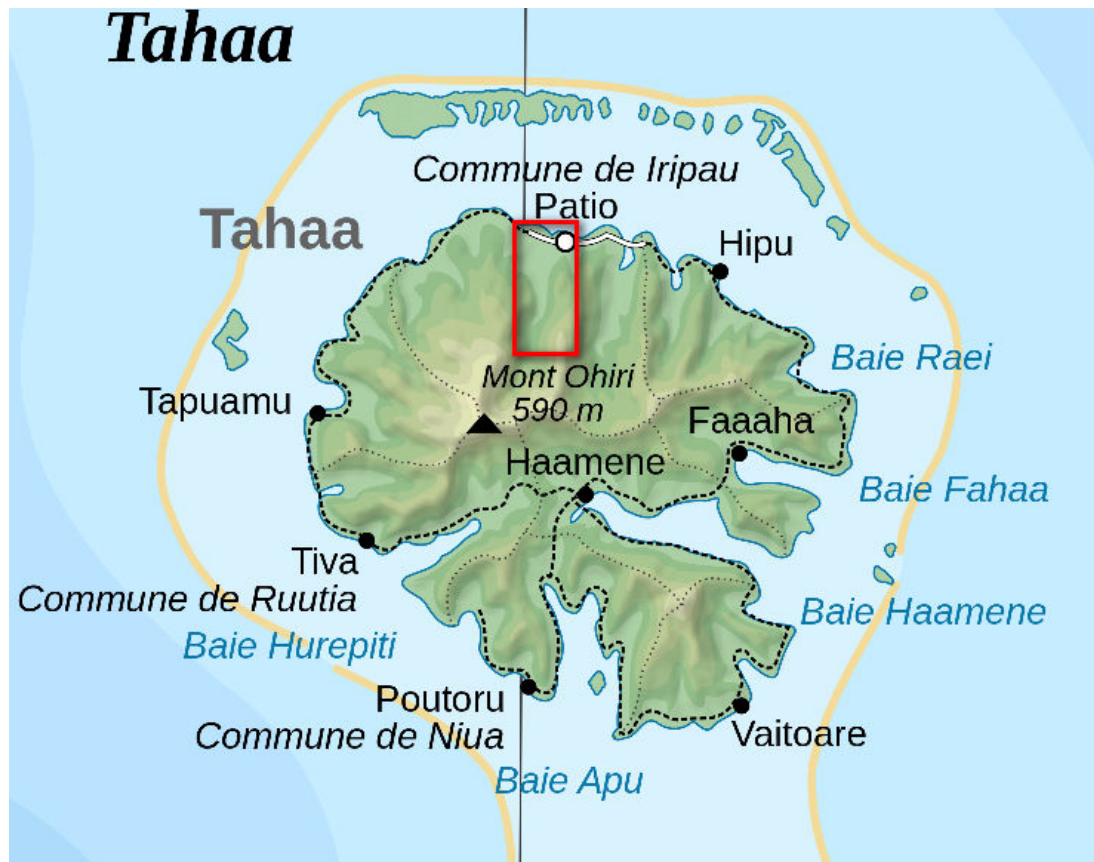


Figure 1 : localisation du site d'étude

2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN ET RECUEIL DE DONNEES

2.1. RECONNAISSANCE DE TERRAIN

Cette phase d'étude a permis :

- d'analyser le processus d'inondation et d'identifier les axes structurant des écoulements,
- d'identifier les données générales nécessaires à la mise en œuvre du modèle de simulation,
- de recueillir les observations sur les crues passées,
- d'identifier l'état d'occupation des sols.

Les principales observations relevées sur le terrain sont les suivantes :

Le franchissement de la Route Territoriale

Le franchissement de la route Territoriale est assuré par trois ponts, un pont principal (OH1), et deux ouvrages de décharge situés en rive droite et en rive gauche (OH2 et OH3). Les caractéristiques de ces ouvrages sont les suivantes :

- **OH1** : Pont principal (Photo 1) : 7.70x1.70 m en deux travées. Au droit du franchissement les berges sont protégées par des perrés bétonnés. La pile centrale est fortement affouillée (Photo 2), une auscultation de la profondeur de la fondation est à réaliser rapidement pour éviter la ruine de l'ouvrage. De la même manière, le perré en rive gauche est en cours de ruine, il ne semble pas qu'il soit lié à la culée de l'ouvrage, néanmoins une réparation rapide doit être entreprise. On n'observe pas de dépôt dans le lit du cours d'eau.



Photo 1 : OH1



Photo 2 : vue de la pile affouillée

- **OH2** : Ouvrage de décharge Rive droite : 6x1.20m en deux travées. Cet ouvrage a probablement été construit en même temps que l'ouvrage principal. Les riverains mentionnent qu'avant que la rivière soit recalibrée, une partie importante des débordements s'effectuaient par cet ouvrage. L'OH2 est en liaison directe avec un thalweg secondaire et une source. La pile est affouillée, le niveau de fondation de l'ouvrage est à vérifier. Le lit du cours d'eau est très encombré par la végétation en amont et en aval de l'ouvrage.



Photo 3 : OH2, décharge rive gauche



Photo 4 : vue aval de l'ouvrage

- **OH 3** : Ouvrage de décharge rive gauche, pont cadre de section 8X2 m. Cet ouvrage permet l'évacuation des eaux qui débordent en rive gauche quand le chenal principal de la Patio est insuffisant. En amont de l'ouvrage les berges sont protégées par des enrochements libres. En aval et jusqu'à l'embouchure les berges sont protégées par un perré maçonné.



Photo 5 : OH3, décharge rive droite



Photo 6 : vue amont de l'ouvrage

Les habitants de Patio font état de débordements importants et fréquents sur la RT :

- L'ensemble des habitants interrogés mentionnent l'obstruction extrêmement fréquente de l'OH1 par des flottants au niveau de la pile centrale de l'ouvrage : une fois le pont en tout ou partie obstrué des débordements se produisent en rive droite et majoritairement en rive gauche en direction de l'ouvrage de décharge OH3.
- Les habitations les plus exposées sont situées aux abords de l'OH1 : l'habitation située en rive gauche est très fréquemment inondée, 0.50m d'eau pour les inondations les plus fortes (Emma en 1970). Entre l'OH1 et l'OH3, la hauteur de submersion des habitations situées en bordure de la RT dépend de leur exhaussement par rapport au terrain naturel : la maison du diacre et le magasin d'alimentation, surélevés, n'ont pas été inondés, du moins récemment. Les habitations plus basses ont été inondées avec des hauteurs comprises entre 0.10 et 0.35m.
- L'ensemble de la RT a la traversée de la vallée de rivière est inondée lors des fortes dépressions : 0.35m en face du magasin d'alimentation lors d'Oli par exemple.

- Etant donné la faible altitude de la RT par rapport au terrain naturel, les hauteurs de submersion de cette partie de la plaine restent faibles, 0.50m au maximum.
- A noter que la quasi-totalité des habitations sur ce secteur sont situées en deçà de 1m NGPF, ce qui augmente le risque inondation du fait de la concomitance des crues avec de forts niveaux de marée.

La rive gauche de la rivière Patio

La rive gauche de la rivière constitue une vaste dépression en partie marécageuse, elle est située à une altitude plus basse que le lit du cours d'eau. Du fait de sa configuration elle est le réceptacle des débordements de la rivière, dont les écoulements sont drainés par l'OH3. Cette zone est desservie par un pont d'ouverture 6.50m (OH4, Photo 7), enjambant la section recalibrée de la rivière.

De nombreuses habitations sont situées sur ce secteur. Leur niveau d'inondation dépend de la cote de construction par rapport au terrain naturel (plusieurs habitations ont été construites sur des terrains remblayés dans ce secteur). Selon les habitants en période de forte inondation les niveaux de submersion atteignent 0.30m en moyenne.

Les riverains signalent le risque d'obstruction de l'OH4 comme facteur aggravant des inondations.



Photo 7 : OH4 accès à la rive gauche



Photo 8 : plaine rive gauche

Entre l'OH4 et le radier R1

Sur ce secteur la rivière est encore endiguée par des murs maçonnés sur la totalité de la rive gauche, et ponctuellement en rive droite. La section recalibrée s'achève en amont du radier R1, une partie de cet endiguement s'est écroulé en rive gauche en amont du radier. Le radier présente une importante fosse d'affouillement à son aval et un début de ruine de sa partie gauche.

A l'aval de ce radier la rivière menace le chemin d'accès à la vallée amont, des protections sont donc à mettre en œuvre.

C'est à partir de ce secteur que les débordements se produisent en direction de la rive gauche. La rive droite est plus haute que la rive gauche sur la totalité de ce secteur.

A l'aval les endiguements de la rive gauche sont sous cavés par endroit. La rivière présente peu de dépôts liés au transport solide.



Photo 9 : Radier R1 accès à la rive gauche **Photo 10 :** Sous-cavement de l'endiguement

Entre la radier R1 et le radier R2

Le radier R2 présente une fosse d'affouillement importante à son aval et dirige les écoulements sur la rive droite en provoquant une attaque de la berge importante qui menace la stabilité du chemin d'accès.

Sur ce secteur les dépôts solides sont importants et de nombreuses érosions de berge sont présentes sur tout le parcours menaçant de chute la végétation des berges.

Un second radier sommaire constitué d'alluvions grossières, permet l'accès à la rive gauche. Cet ouvrage n'est pas protégé et doit être coupé à chaque crue importante. A l'aval de ce radier la rivière tourne à angle droit en menaçant à nouveau le chemin. Zone importante de dépôt de galets et graviers sur ce secteur.

La rive droite est plus haute que la rive gauche, et favorise encore les débordements en rive gauche.



Photo 11 : Affouillement aval radier R2 **Photo 12 :** Radier provisoire

Amont du radier R2

Sur ce secteur le lit de la rivière est encaissé en rive droite et gauche. Plusieurs coudes importants existent sur ce secteur, propices au dépôt et à l'obstruction par les flottants. Le diamètre moyen des sédiments transportés par la rivière est estimé à 20cm, témoin des vitesses importantes pouvant être atteinte par la rivière en crue.

Entre le radier R2 et le séchoir un coude a été rescindé suite aux dégâts provoqués par les cyclones Martin et Alan (1998). Plusieurs habitations isolées sont situées en bordure immédiate de rivière.

Les habitants témoignent du risque d'obstruction de la rivière au niveau des coudes (principalement liés aux bois coupés laissés en place). Lors des plus forts cyclones les eaux auraient débordés au niveau des deux principaux coudes situées en amont du séchoir et atteint le chemin d'accès avec des hauteurs de submersion de 0.20 à 0.30m.

Sur la partie amont du secteur d'étude un radier servant au passage de l'adduction d'eau d'un captage maintenant abandonné a été détruit.

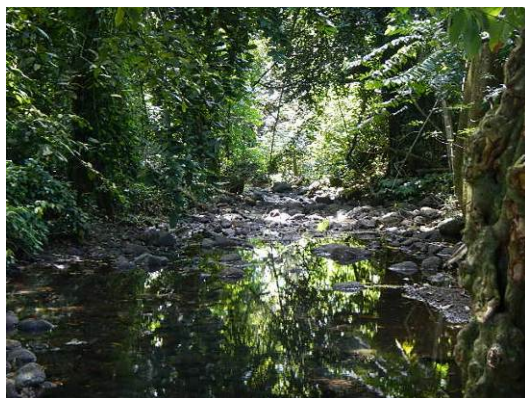


Photo 13 : Lit encombré par la végétation



Photo 14 : Habitations isolées

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

Rivière Patio - plan de situation et localisation des prises de vues



Légende :

- OH3 Ouvrage hydraulique
- 6 Prise de vue



RV40570F • situation_patio.cdr • JLF • 15/10/2014

Sources : fond de plan Google Earth



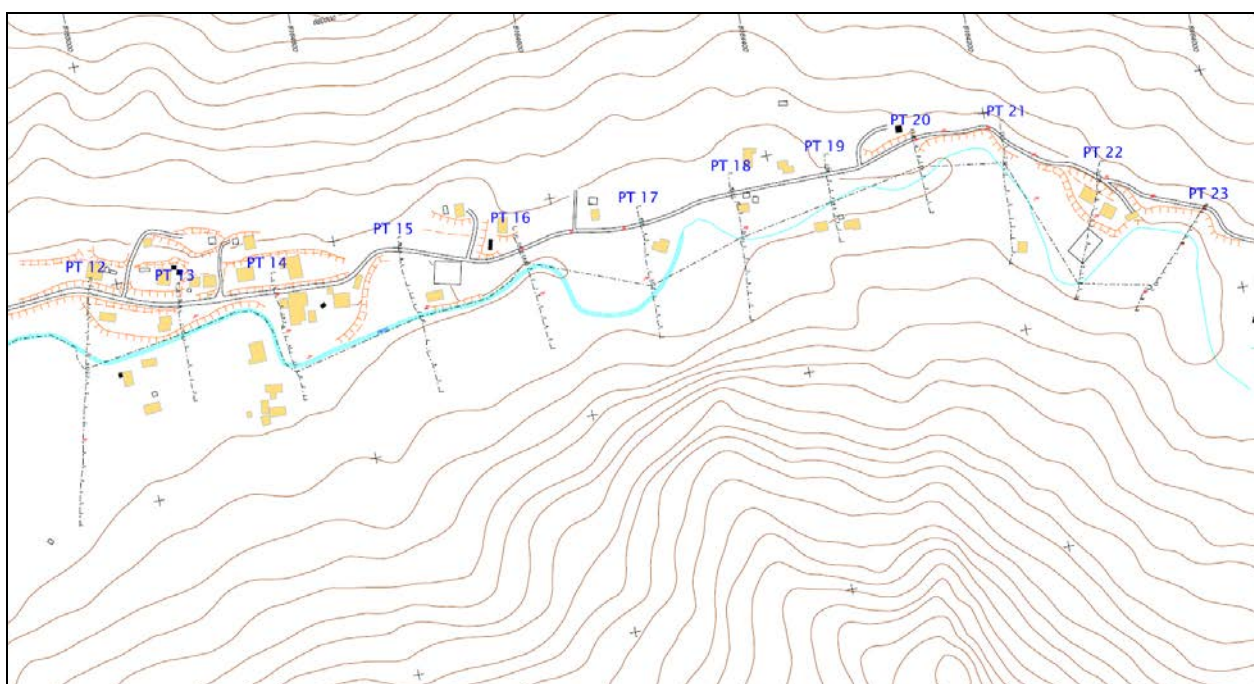
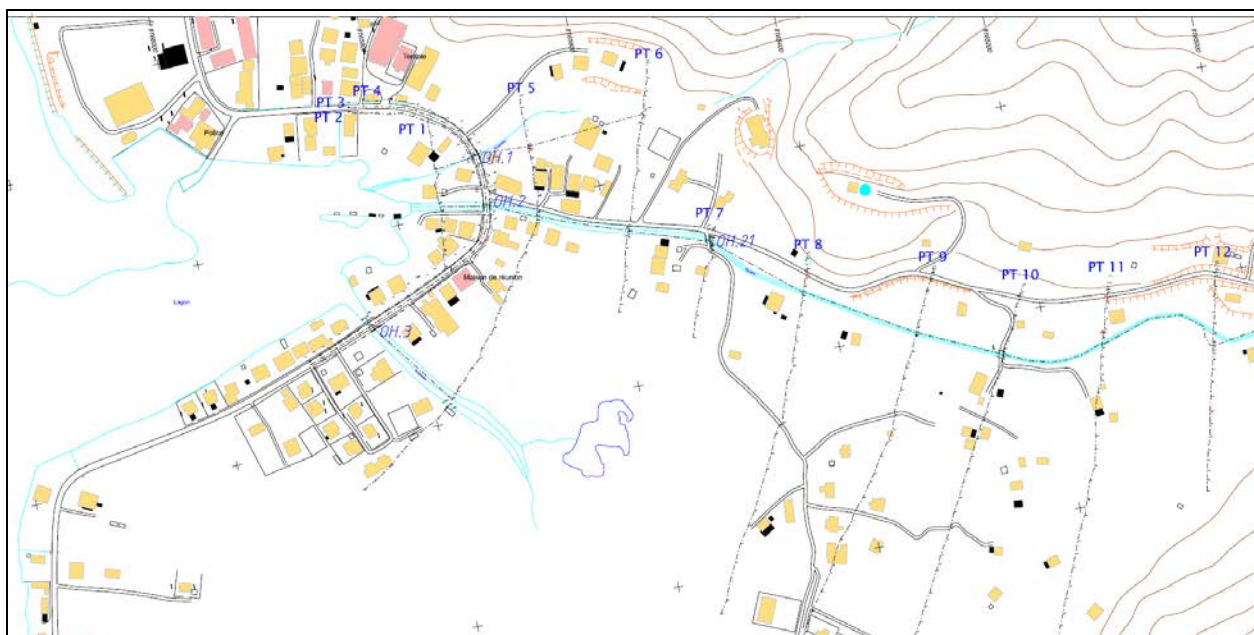
2.2. LES DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Les données topographiques utilisées dans le cadre de la présente étude sont les profils en travers du lit et des ouvrages hydrauliques réalisés en juin 2014 par le cabinet de géomètre WILD.

Ces données comprennent :

- 23 profils en travers lit mineur et majeur de la rivière Patio,
- 4 ouvrages de franchissement hydrauliques.

Ces levés sont localisés sur les figures ci-dessous.



3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1. CARACTERISTIQUES PLUVIOMETRIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

Les pluviomètres les plus proches de la zone d'étude se situent sur l'île de Raiatea, à Uturoa et à Opoa. Dans le cadre du programme ARAI, les données pluviométriques de 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.

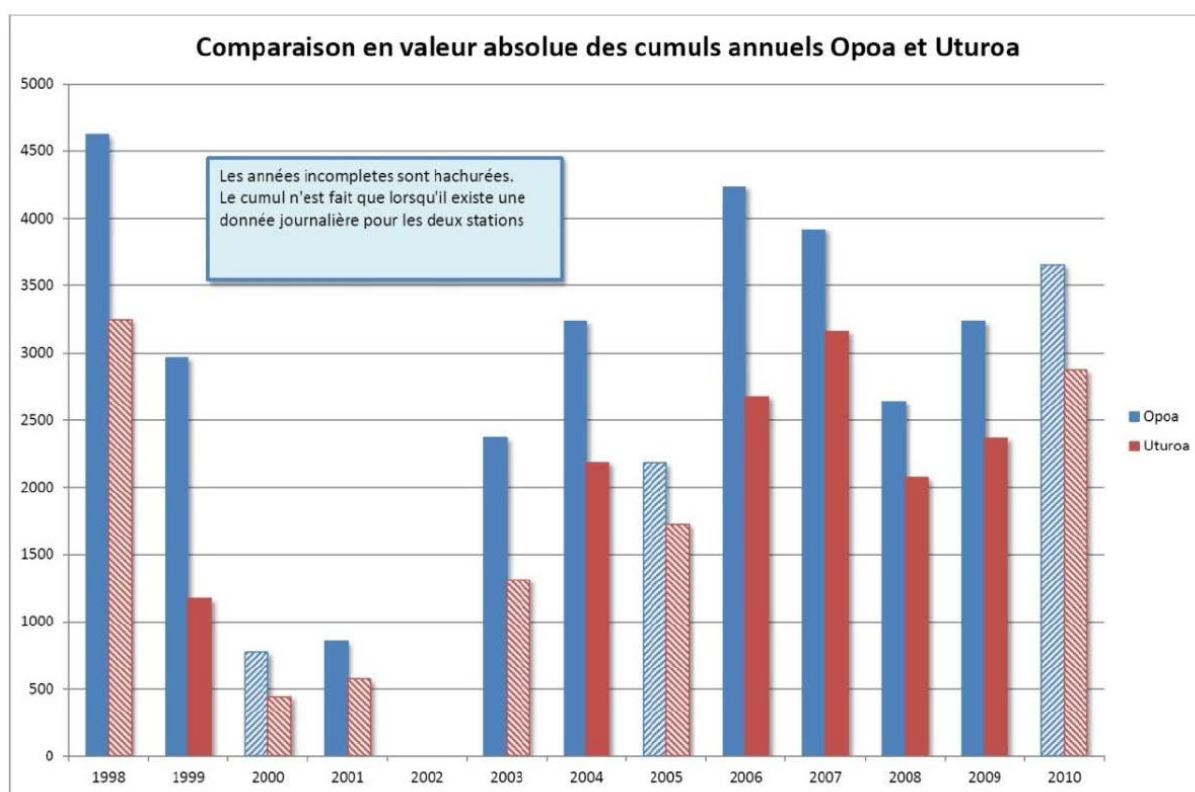


Figure 2 : Cumuls annuels à Opoa et Uturoa (BRGM)

3.2. CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT

Le bassin versant de la rivière Patio est essentiellement occupé par de la forêt. L'urbanisation n'est présente que sur la partie littorale du bassin. Sur les versants les sols sont ferrallitiques, humifères à texture fine argileuse à argilo-limoneuse. Sur la plaine littorale les sols deviennent marécageux, en rive gauche de la rivière et n'émergent que de très peu par rapport au niveau de la mer.

Les principales caractéristiques du bassin versant sont les suivantes :

- Surface : 5.7 km²
- Périmètre : 11 km
- Plus long cheminement hydraulique : 4.6 km
- Coefficient de compacité Kc : 1.3
- Dénivelée entre sommet du bassin et exutoire : 490 m,
- Indice de pente : 106 m/km
- Temps de concentration (Kirpich) : 30 mn

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).

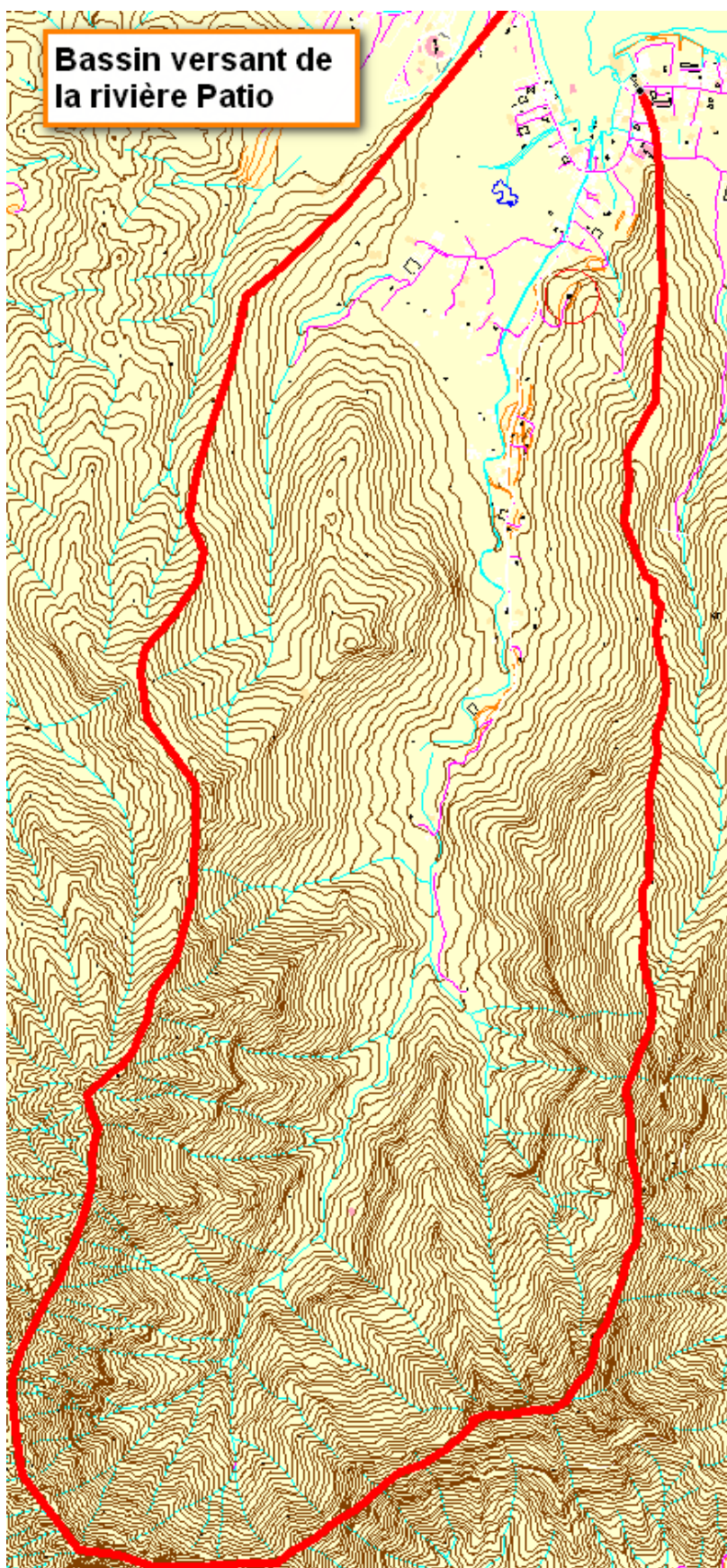


Figure 3 : Bassin versant de la rivière Patio

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 3. 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 km², la rivière Apoomau a été contrôlée de 1983 à 1992 au pont de la route territoriale. Le débit maximum a été évalué à 175 m³/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 ³ /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 km². L'étalonnage de hautes eaux permet d'estimer le maximum observé durant cette période : débit de 102 m³/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 ³ /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 m³/s. Son bassin versant est de 4.75 km².

Les plus forts débits observés sur l'Apoomau et la Maoroa correspondent respectivement à des débits spécifiques de 13 et 16 m³/s/km².

L'île de TAHAA ayant été touchée en Mai 1984 par des pluies qui, d'après les habitants et à en juger par l'ampleur des dégâts, présentaient une violence exceptionnelle, des levées topographiques ont été effectuées le 06/06/84 par l'ORSTOM sur les délaissées de crue aux débouchés des deux principaux cours d'eau de cette île. Les évaluations de pentes et de sections mouillées qui ont résulté de ces travaux, ont permis d'estimer respectivement à 57

et 80 m3/s, les débits de pointe des crues sur les rivières HAAMENE et **PATIO**, soit encore des débits spécifiques de 32,4 et 18,4 m3/s/km2 pour des superficies respectives de 1,76 et 4,35 Km2. **Appliquée à la totalité du bassin versant de la rivière Patio, le débit de cet évènement est estimé à 105 m3/s.** On notera que ces valeurs fournies à ± 20 % près, recoupent les estimations relatives au même évènement et pour des superficies comparables sur les bassins de l'AVERA-RAHI (22 m3/s/Km2 à la cote 70 et 26 m3/s/Km2 à la cote 170).

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'Équipement) qui assure également la gestion des données collectées.

Les bassins versants instrumentés sur Raiatea sont les suivants : Faaroa (6.18 km2), Pufua (5.52 km2), Vaitahe (1.08 km2).

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 km².

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 (m3/s)	A (km2)	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 (m3/s)	Q spec (m3/s/km2)	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 Patio

Les coefficients de Craeger (coefficients compris entre 45 et 60), conduisent à évaluer des débits centennaux compris entre 115 et 153 m3/s. Or le débit évalué par l'ORSTOM en Mai 1984 sur la rivière Patio, ramené à la surface totale du bassin versant, est de 105 m3/s. Soit une valeur très proche de la fourchette basse de l'évaluation du débit centennal. De plus l'analyse des éléments de l'ORSTOM indique que le cyclone Emma en Mars 1970 était plus fort que celui de Mai 1984. Etant donné que la probabilité d'occurrence de deux événements proches de 100ans sur une période de 40 ans est faible, nous pensons donc que les valeurs de débits centennaux calculées avec la fourchette basse des coefficients de Craeger sont probablement sous évaluées.

Nous avons donc retenu les valeurs issues de la fourchette haute (K=60) pour le calcul du débit centennal. Ceci constitue pour nous une mesure de précaution, étant donné les incertitudes liées à ce type de phénomène.

De plus l'approche sommaire réalisée à partir de la méthode de Stollsteiner (cf §3-4-2) confirme les ordres de grandeur fournis par la méthode Danloux.

L'application de la formule de Craeger en tenant compte d'une surface de bassin versant de 5.7 km² et d'un coefficient de Craeger de 60 pour le débit centennal et de 37 pour le débit décennal, conduit aux résultats suivants :

- Débit décennal de l'ordre de 95 m³/s, en retenant un coefficient de Craeger de 37, par analogie avec le débit décennal de la Maoroa qui possède une altitude moyenne et une superficie proche de celles du bassin de la Patio.
- Un débit centennal de 153 m³/s correspondant à un débit spécifique de 26.8 m³/s.

	Crue décennale	Crue centennale
Débit en m ³ /s	95	153

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 (km²),

$g^{T_b}_{P_{max}}$ 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 :

- $g^{T_b}_{P_{max}} = 10$ mm
- $g^{T_b}_{Q_{max}} = 25.3$ m³/s
- Q10 = 95 m³/s
- Q100 = 154 m³/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 :

	Crue décennale	Crue centennale
Débit en m ³ /s	95	153

Ces débits correspondent à des valeurs de débit spécifiques retenues sur la côte Est de Tahiti dans la cadre du programme ARAI.

4. MODELISATION HYDRAULIQUE

4.1. MODELE MIS EN OEUVRE

La modélisation a été réalisée à l'aide du logiciel d'écoulements **bidimensionnels INFOWORKS-2D**.

Ce type de **logiciel 2D** réalise un calcul des écoulements à **surface libre bidimensionnels** en résolvant les équations complètes de Barré de Saint Venant sur un maillage triangulaire.

$$\partial S / \partial t + \partial Q / \partial x = q$$

Equation de continuité exprimant la conservation des volumes.

$$\partial Q / \partial t + \frac{\partial(Q^2/S)}{\partial x} = -gS \left(\frac{\partial Z}{\partial x} + J \right)$$

Equation dynamique exprimant la conservation de la quantité de mouvement.

La résolution de ces équations repose sur la connaissance de lois empiriques de pertes de charge établies expérimentalement pour des écoulements filaires (ex : formules de Manning Strickler, ou de Chézy, lois de seuils,...).

Z	cote de la surface libre
Q	débit
a	apport ou perte au m ²
x	abscisse
S	section mouillée
J	gradient de charge hydraulique

La modélisation 2D se justifie pour représenter finement les écoulements bidimensionnels à surface libre et de calculer précisément le fonctionnement sur les secteurs particuliers. Il permet en particulier de représenter les écoulements se produisant de manière distincte en rive droite et en rive gauche.

Le module 2D utilise le principe de discrétisation de la zone inondable sous forme de mailles triangulaires et résout les équations de St Venant pour la hauteur et la vitesse en deux dimensions. La solution utilise la méthode des volumes finis, basée sur le programme de Goudonov et le solveur de Riemann. Le modèle de résolution est semi-implicite.

4.2. CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions aux limites prises en compte dans le modèle sont présentées dans le tableau suivant.

	Débit de pointe	Niveau aval - Océan
Crue décennale	95 m ³ /s	0 m NGPF
Crue centennale	153 m ³ /s	1 m NGPF
Mai 1984	105 m ³ /s	1 m NGPF

Conditions aux limites du modèle

4.3. CALAGE DU MODELE

Le calage du modèle a été réalisé essentiellement à partir des enquêtes de terrain, en estimant les coefficients de Strickler caractérisant le frottement en fonction de la nature du lit.

Les coefficients de Strickler utilisés sont les suivants :

- 12 à 43 en lit mineur.
- 10 en lit majeur.

Les coefficients de Strickler en lit mineur ont été établis à partir de la méthode du Soil Conservation Service, soit:

$$n = (n0 + n1 + n2 + n3 + n4) \times m5$$

Avec :

n0 : Dépend du type de matériaux qui constitue le lit du cours d'eau (de 0.02 pour l'argile nue, à 0.028 pour les gros graviers). **n0**=0.023 pour du béton avec traces d'usure.

n1 : Degré d'érosion de la surface de la rivière (de 0 pour une surface lisse, à 0.02 pour une rivière très érodée).

n2 : Variation des sections de la rivière (de 0 quand les variations de la dimension et de la forme de la section de la rivière se produisent graduellement, à 0.015 quand ces variations se produisent brusquement).

n3 : Degré d'obstruction à l'écoulement, dû au dépôt de débris et de roches (de 0 quand l'obstruction est négligeable, à 0.06 quand elle occupe un espace relativement important par rapport à la surface de la section).

n4 : Présence de végétation (de 0.005 pour des herbes souples dont la hauteur ne dépasse pas le tiers de la hauteur de l'écoulement, à 0.1 pour une hauteur moyenne de l'écoulement proche de la hauteur de la végétation et une densité importante d'arbustes).

m5 : Coefficient qui dépend du ratio entre les longueurs curviligne et droite du lit de la rivière (de 1 si ce ratio est entre 1 et 1.2, à 1.15 si ce ratio est entre 1.2 et 1.5 à 1.3 si ce ratio dépasse 1.5).

Par ailleurs nous avons aussi ajusté ces coefficients en fonction des renseignements recueillis auprès des riverains. Par exemple nous avons retenu des valeurs faibles de coefficients de Strickler sur la partie amont du cours d'eau, car les riverains font état

d'embâcles dans les principaux méandres du cours d'eau (et de débordements court-circuitant les coudes).

	n0	n1	n2	n3	n4	m5	n	K
Amont(P23-P10)	0.024	0.01	0.01	0.01	0.03	1	0.084	11.9
Aval(P10-P1)	0.023	0	0	0	0	1	0.023	43.5

Coefficients de Strickler retenus

4.4. PROFIL EN LONG DU LIT MINEUR

Le profil en long du lit mineur de la rivière Patio est présenté sur la figure n°2. Ce profil se caractérise par :

- Une pente moyenne de 2.7% sur son cours amont, entre les profils P23 et P16,
- Une pente moyenne de 1% sur sa partie médiane entre les profils P16 et P10,
- Une pente moyenne de 3°/°° sur sa partie canalisée.

La plus grande partie du transport solide se dépose sur la partie médiane du cours d'eau notamment au droit des coudes très accentués situés au droit des profils P12 et P14. Seuls les sédiments les plus fins se retrouvent sur la partie canalisée de la rivière, sans engendrer de zones de dépôts importantes.

4.5. RESEAU D'EAUX PLUVIALES

Le seul exutoire pluvial important au niveau de la zone urbanisée, se situe en rive droite de la rivière et a pour exutoire l'OH n°2. Cet exutoire a été intégré dans la modélisation.

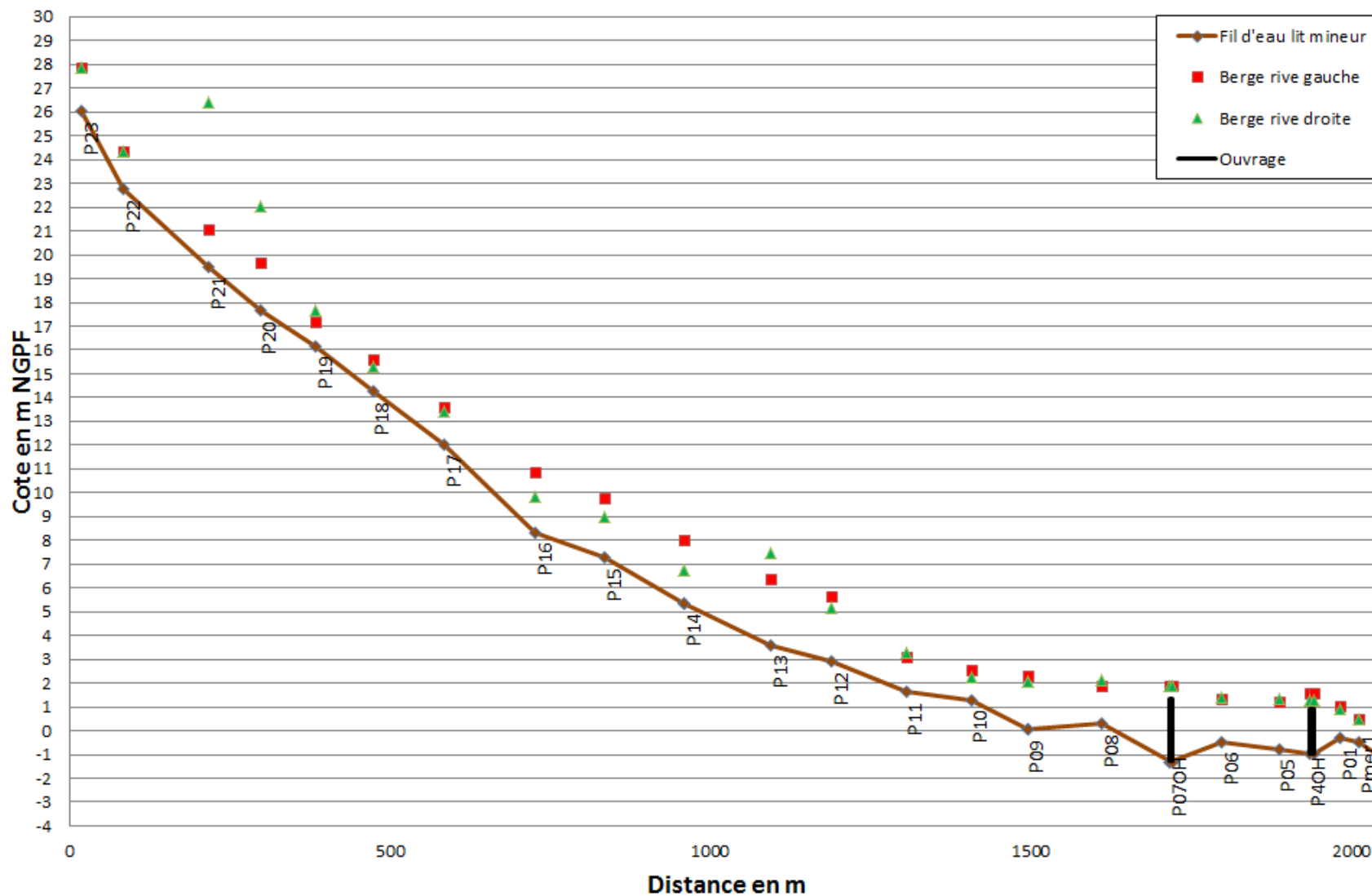


Figure 4 : Profil en long du lit mineur-Rivière Patio

4.6. SIMULATION DES CRUES DE PROJET

Le modèle hydraulique a été utilisé pour simuler plusieurs crues de différentes périodes de retour :

- la crue décennale,
- la crue centennale,
- la crue centennale en prenant en compte une obstruction de 50% de l'ouverture des ouvrages de franchissements hydrauliques suivants OH1, OH2, OH3 et OH4.
- la crue maximale observée sur le cours d'eau : celle de Mai 1984, pour laquelle un débit de 105 m³/s a été évalué par l'ORSTOM.

Les résultats de la modélisation sont donnés en annexe 3. Ils intègrent, pour les quatre crues modélisées :

- les cotes de crue en lit mineur et en lit majeur en m NGPF,
- les vitesses en lit mineur, en rive gauche et en rive droite.

4.6.1. Mécanismes d'écoulement en crue décennale

La capacité de la rivière avant débordement a la traversée de la zone agglomérée en bordure de la RT est évaluée à 63m³/s : 35 m³/s pour l'OH1, 22 m³/s pour l'OH3, 6 m³/s pour l'OH2. Ce débit est à comparer au débit décennal pris en compte : 95m³/s, ce qui confirme les renseignements recueillis auprès des habitants sur la fréquence des inondations se produisant sur le secteur d'étude.

Les débordements commencent à se produire en rive gauche à partir du profil P12 et se poursuivent jusqu'à l'OH1. Ces débordements cheminent en rive gauche puis remplissent la zone en dépression située en amont de la RT. Les niveaux d'eau en rive gauche sont alors contrôlés par l'altitude de la RT qui bloque les écoulements vers la mer. Pour des débits supérieurs à ceux pouvant être transités par les ouvrages de franchissement, soit environ 63m³/s, la RT est submergée au droit de ses points les plus bas, entre l'OH1 et l'OH3.

La pile de l'OH1 induit un remous de l'ordre de 30cm, ce qui favorise les débordements au droit de cet ouvrage. De faibles débordements sont localisés en rive droite principalement en amont de l'OH1.

En amont du profil P12, la zone inondable est limitée par le relief des versants à l'exception du secteur compris entre les profils P14 et P15 où la rive droite est inondée.

4.6.2. Mécanismes d'écoulement en crue centennale

La contrainte à 1mNGF suffit à inonder la plus grande partie de la zone d'étude, et met clairement en évidence les zones dépressionnaires situées en rive gauche de la rivière Patio (cf figure ci-dessous). Même sans apport de la rivière, la contrainte marine suffit à submerger :

- la majeure partie des habitations se situant en rive gauche le long de la RT,
- les habitations situées entre la RT et la mer en rive droite. .

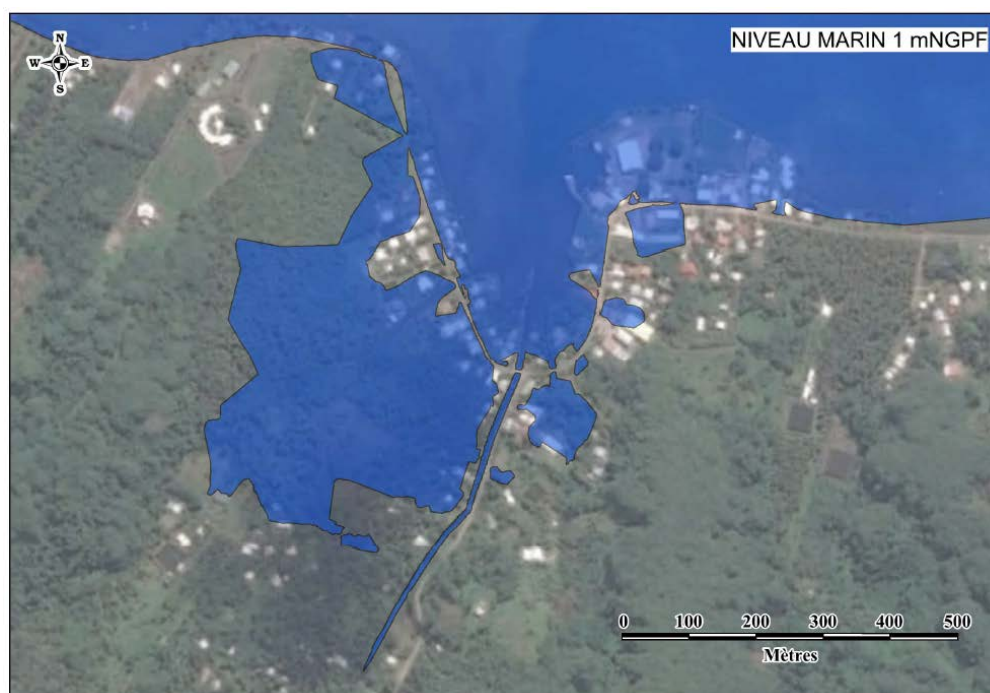


Figure 5 : Cartographie des altitudes de terrain inférieures à 1mNGPF

Les mécanismes de débordement sont les mêmes que pour la crue décennale :

- les débordements se produisent majoritairement en rive gauche dès la sortie des gorges de la rivière,
- ces débordements, une fois la capacité des ouvrages de franchissement saturés, viennent buter contre la RT en entraînant une surélévation des niveaux d'inondation en amont.

En amont de la RT, en rive gauche, la différence de cote d'inondation entre la crue décennale et la crue centennale est faible, de l'ordre de 20cm (1.55 m NGPF pour la crue décennale, 1.75 m NGPF pour la crue centennale). Ceci est dû au contrôle qu'exerce la RT sur les niveaux d'inondation.

Le volume total stocké en rive gauche est de 270000m³, dont 200000m³ au-dessus de la cote 1mNGPF. Ce volume reste faible par rapport au volume pouvant être généré par des épisodes pluvieux importants qui peuvent dépasser 1million de m³. Le volume de stockage existant en rive gauche n'est pas suffisant pour diminuer le débit de pointe de la crue (ce volume est rempli avant que le débit de pointe arrive sur la zone). Les débits de crue de la Patio ne sont donc pas écrêtés par la zone inondable existante.

Pour la crue centennale la rive droite est inondée, avec des cotes d'eau inférieures à 0.50m. Sur ce secteur les inondations sont sans commune mesure avec les inondations observées en rive gauche (hauteurs de submersion faibles, vitesses d'écoulement faibles).

En amont du profil 12 et jusqu'au profil P22, la rivière déborde dans les coudes les plus importants et longe la piste d'accès avec des vitesses importantes. Etant donné le manque d'entretien de cette partie de la rivière, la probabilité de formation d'embâcle dans les coudes est forte (coudes situés au droit des profils P14, P16 et P17). Ces secteurs ont été cartographiés en aléa fort sur la carte finale d'aléa.

4.6.3. Prise en compte du risque d'embâcles

La prise en compte d'un embâcle à 50% des ouvrages de la route territoriale entraîne une surcote moyenne de :

- De 0.10 à 0.15m en lit mineur,
- De 0.05m en lit majeur rive gauche (1.80 m NGPF)

Cette surcote est de +0.35m en lit mineur en amont de l'OH4, ce qui accentue fortement les débordements en direction de la rive gauche.

4.6.4. Crue de type Mai 1984

Nous n'avons pas réussi à identifier la date de mise en place de l'ouvrage de décharge noté OH3, qui est probablement postérieure aux ouvrages OH1 et OH2. Dans le doute nous avons pris en compte cet ouvrage dans la modélisation.

Du fait de la proximité des débits simulés (95 m³/s pour la crue décennale, 105 m³/s pour la crue de 1984), la dynamique d'écoulement pour la crue de Mai 1984 est sensiblement la même que celle de la crue décennale sur le secteur amont de l'étude. Les cotes en lit mineur sont très proches de celles obtenues pour la crue décennale en amont de l'OH4 (profil P7).

Sur la partie aval ces cotes se rapprochent de la crue centennale du fait de la condition à la limite de 1 m retenue en mer pour cet épisode.

4.6.5. Débits de premiers débordements

Le tableau ci-dessous indique les débits à partir desquels des débordements se produisent au droit des principaux profils en travers levés.

Profil	Débit de premier débordement (m ³ /s)	
	Rive gauche	Rive droite
P23		30
P22		45
P21	37	
P20	46	
P19	45	45
P18	41	35
P17	34	30
P16	50	
P15		25
P14	80	20
P13	31	
P12	61	33
P11	51	20
P10	35	15
P09	25	19
P08	42	
P07OH_am	40	
P07OH_av		
P06	30	35
P05	32	32
P04OH_am	37	32
P04OH_av		
P01	CL aval	CL aval

Débits de premiers débordements-

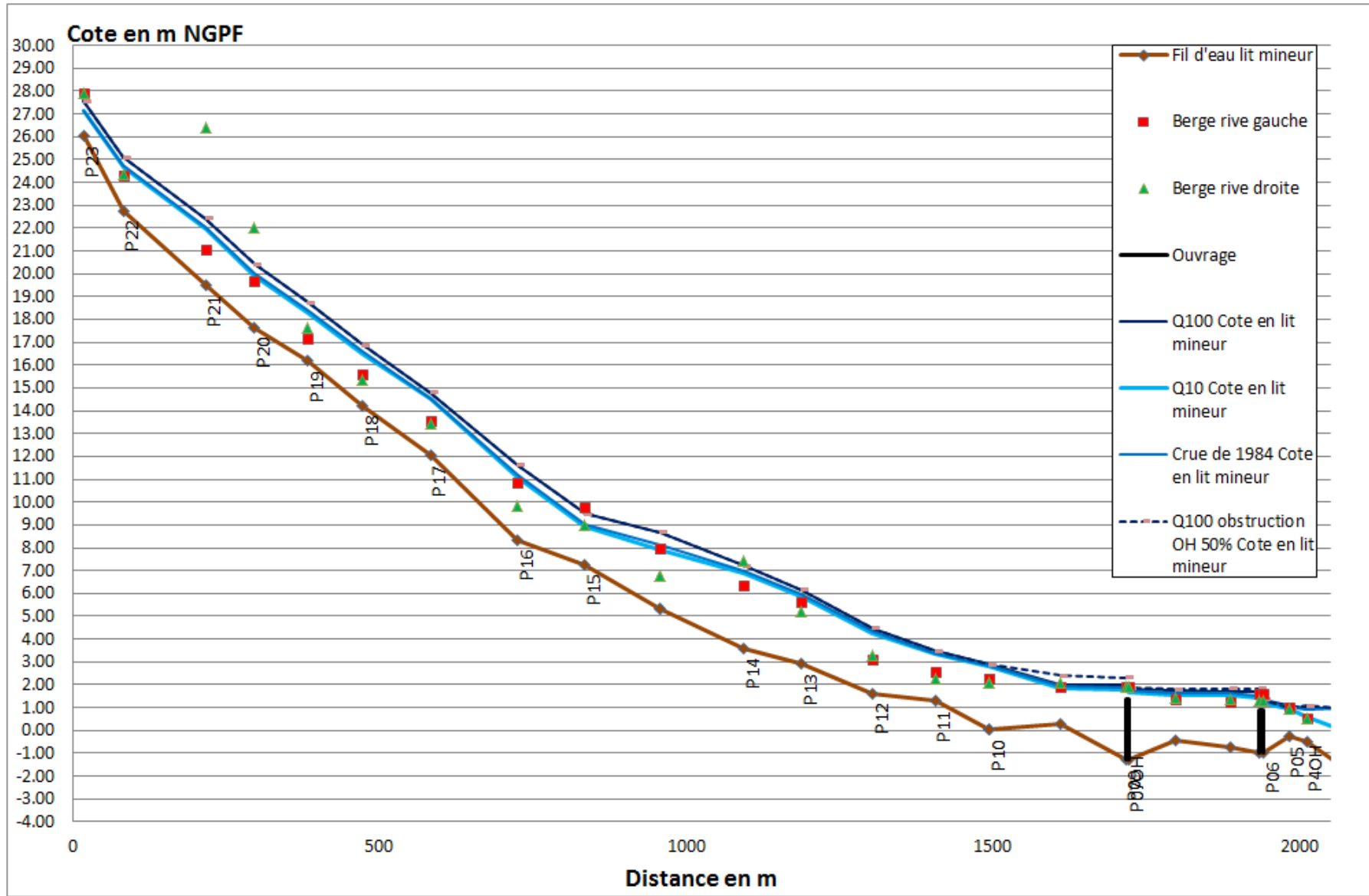


Figure 6 : Lignes d'eau pour les différentes simulations

4.7. CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

4.7.1. Classification de l'aléa

La cartographie fournie comprend :

- **CARTE 1** : cartographie de l'aléa inondation de la crue décennale
- **CARTE 2** : cartographie de l'aléa inondation de la crue centennale
- **CARTE 3** : cartographie de l'enveloppe d'inondation de la crue centennale en tenant compte du risque d'embâcles
- **CARTE 4** : cartographie de l'enveloppe d'inondation de la crue de type Mai 84.

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

N.B : La précision des cartographies reste liée à la densité et à la précision de la topographie existante en lit majeur.

4.7.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennial

Dans le cadre de l'aléa centennial, le phénomène d'érosion de berges a été pris en compte dans la cartographie de l'aléa. Une bande d'aléa très fort en bordure de lit mineur a été ajoutée à la cartographie finale :

- 10 m de part et d'autre des berges sur le secteur amont ou les berges sont en majorité hautes et soumises à d'intenses phénomènes d'érosion,
- 5m de part et d'autre des berges sur le secteur aval correspondant à la section qui a été recalibrée.

5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

5.1. LES TRAVAUX DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

5.1.1. Le pont de la RT (OH1)

Le pont principal de la RT présente de forts affouillements au droit de sa pile centrale. Du fait de cette pile, pour des crues fréquentes, cet ouvrage est soumis à de très fréquents embâcles qui provoquent des inondations au droit de la RT et sur les habitations environnantes.

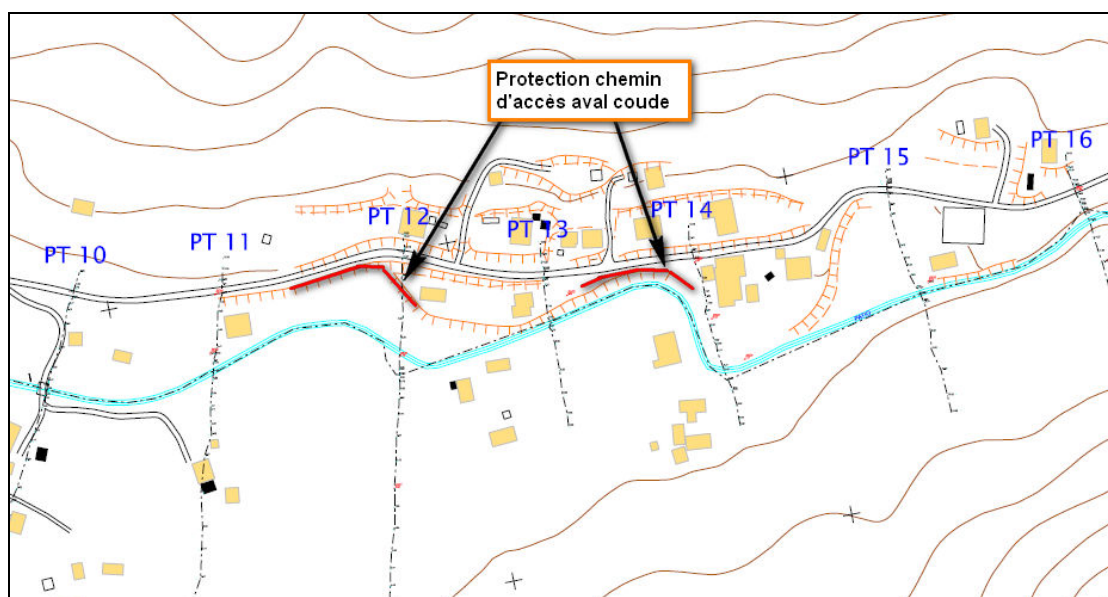
Il est proposé de refaire cet ouvrage en supprimant l'appui central, et en conservant la section hydraulique existante soit 8X1.70m.

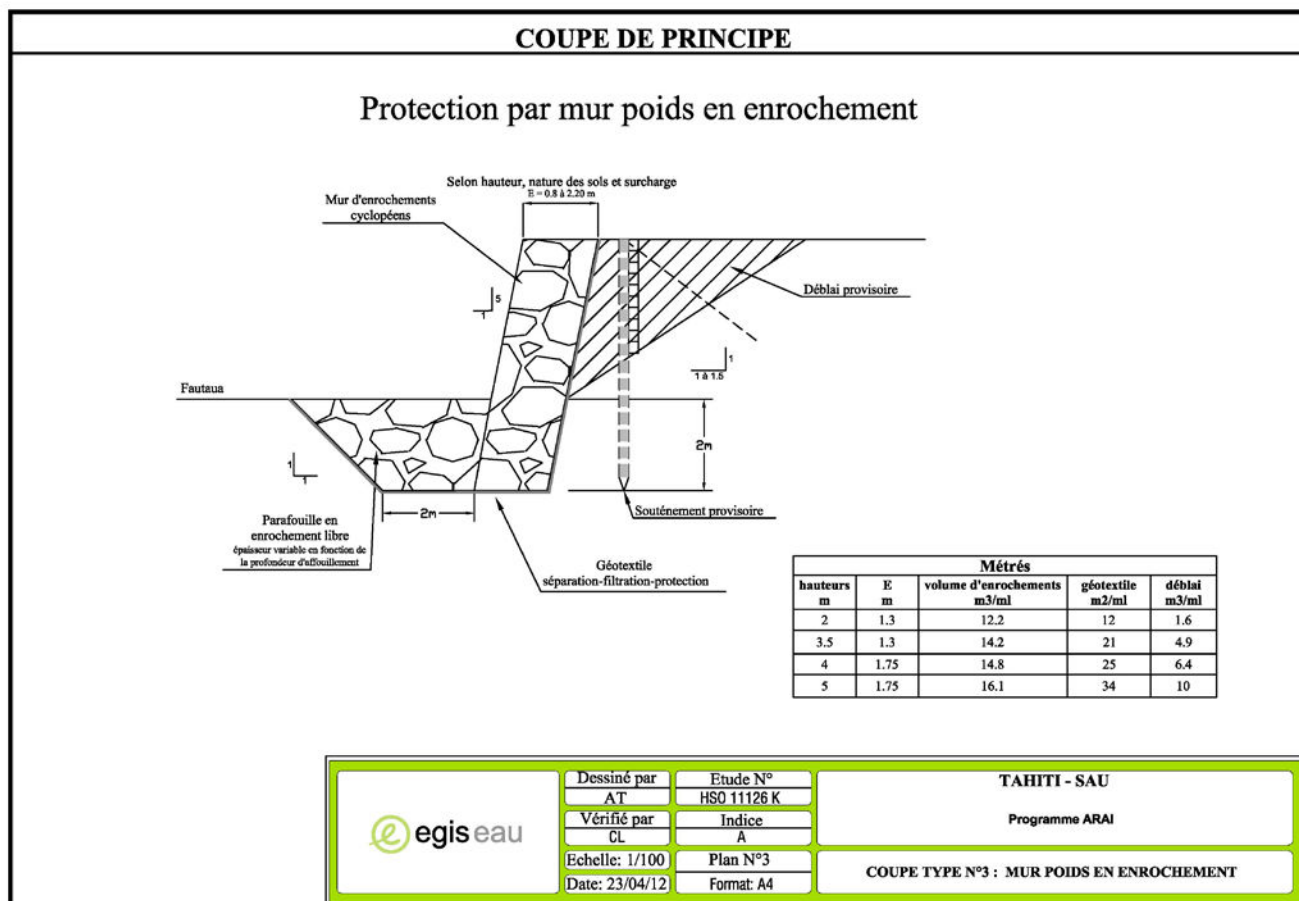
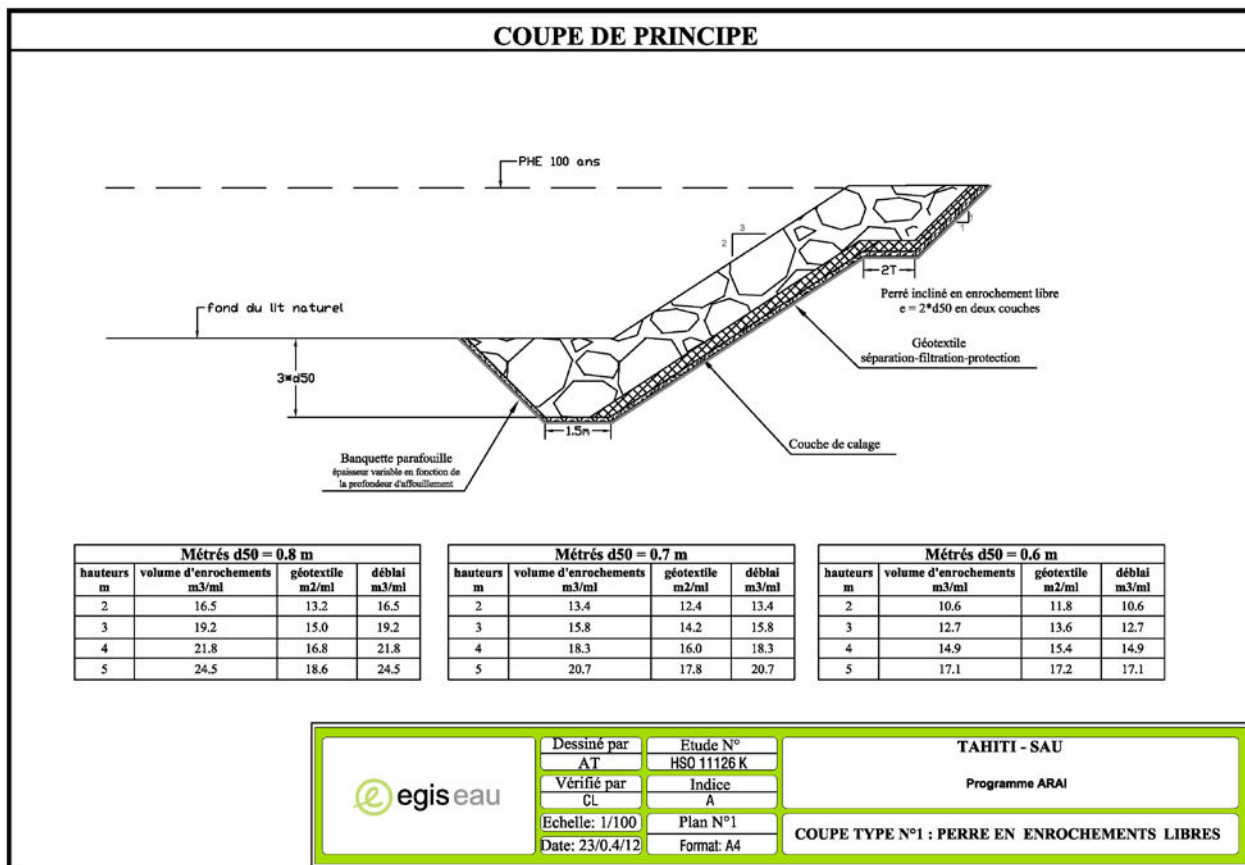
Deux solutions ont été envisagées pour refaire cet ouvrage : soit un pont dont le tablier repose sur des poutres en béton armé, soit un ouvrage de type cadre. Ces solutions sont présentées en annexe 4, leur coût à ce stade de l'étude est très proche.

5.1.2. Protection du chemin d'accès à la vallée amont.

Le chemin d'accès à la vallée amont est menacé par les risques d'érosion au droit des coudes existants à l'aval des profils PT12 et PT14.

Ces coudes seront à protéger par la mise en place d'enrochements libres (coupe type n°1) ou par un mur poids (coupe type 3) en cas de non disponibilité foncière, sur un linéaire de 60m chacun et une hauteur moyenne de 3.50m.





5.1.3. Confortement des radiers R1 et R2 et de la section endiguée

Les radiers R1 et R2 présentent de fortes dégradations. Les fosses d'affouillement présentes à l'aval de ces ouvrages devront être comblées par des enrochements libres.

En amont du radier R1 le mur de protection présent en rive gauche, a été affouillé en base et est en partie détruit. Il doit être conforté sur un linéaire de 80m.

A l'aval du radier R1, les murs de l'endiguement sont sous cavés et doivent être confortés par reprise en sous œuvre sur un linéaire de 80m.



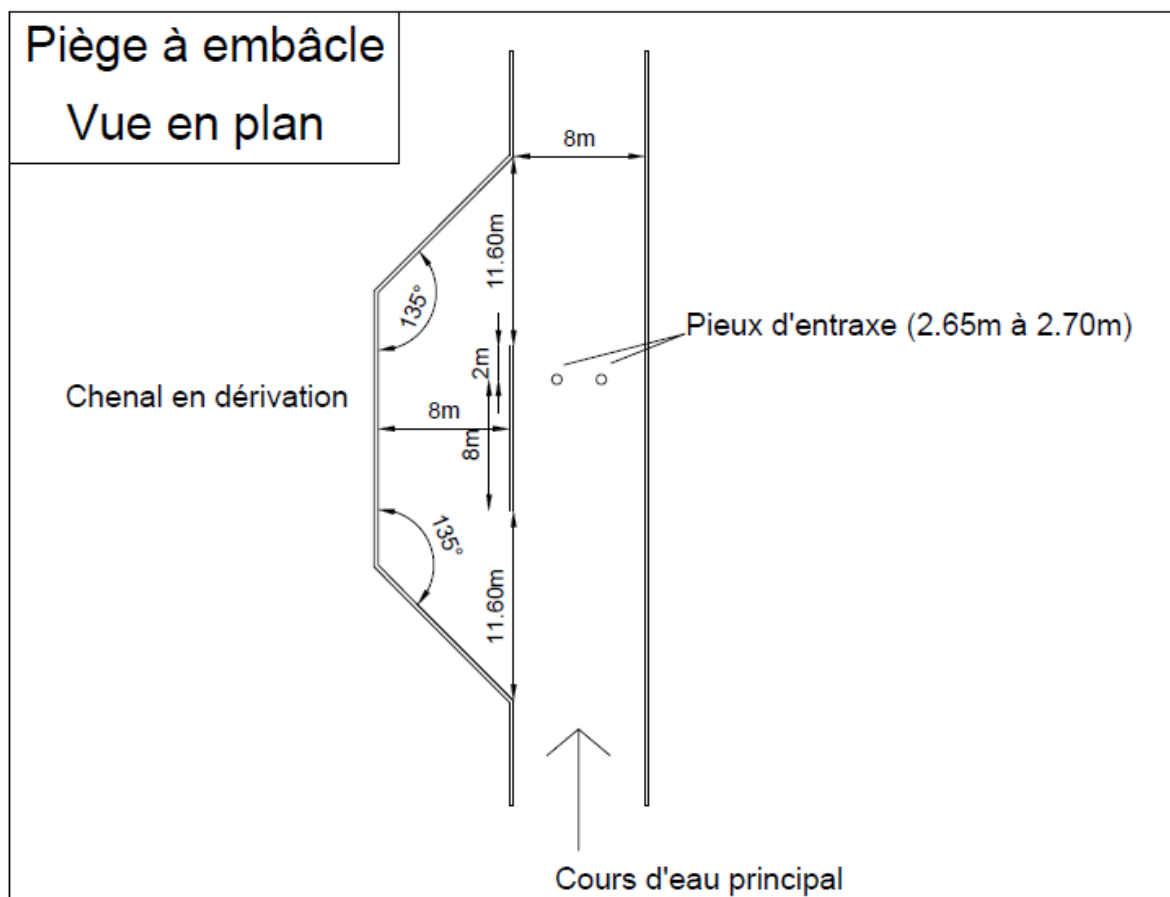
Destruction du mur en amont R1 en rive droite Sous-cavement aval radier R1

5.1.4. Mise en place d'un piège à embâcles en amont de l'OH4.

Cet ouvrage est nécessaire pour éviter l'obstruction des OH4 et OH1 par les embâcles. Il est proposé de positionner cet ouvrage au droit du profil P8, sur un secteur qui permet d'éviter les débordements en rive droite (rivière encaissée en rive droite).

Cet ouvrage est constitué des éléments suivants :

- Doublement de la section du cours d'eau au droit de l'ouvrage, soit 16m d'emprise.
- Mise en place de deux pieux d'entraxe 2.70m sur le chenal principal permettant l'arrêt des flottants, soit une largeur légèrement inférieure à celle du pont OH1 au droit de la RT,
- Mise en place d'un chenal en dérivation permettant d'accepter le débit en cas d'obstruction totale du chenal principal,
- Longueur totale de l'ouvrage 33m.



5.1.5. Protection générale de la zone agglomérée en bordure de la RT

La suppression de la pile centrale de l'OH1 ainsi que la mise en place d'un piège à embâcle devrait permettre de diminuer la fréquence des débordements au droit de la RT.

Néanmoins pour des épisodes majeurs il est extrêmement difficile de protéger les habitations exposées sur la zone d'étude :

- Une cote marine égale à 1m NGPF est suffisante pour submerger les habitations exposées,
- Il n'existe pas de foncier disponible pour agrandir de manière conséquente le lit de la Patio à la traversée de la zone agglomérée,
- Il n'est pas possible d'envisager la protection des habitations situées en amont de la RT par des ouvrages de type digue parallèles à la RT : en cas de Tsunami ces protections aggraveraient les risques

La seule solution envisageable est une protection pour un évènement d'ordre de grandeur décennal. Dans ce cadre, il est proposé :

- **D'augmenter la section hydraulique de l'OH3 en rajoutant deux nouveaux ouvrages de décharge de section 8X2m.**
- Calage du radier de l'ouvrage : -1m NGPF, calage de la sous poutre : +1m NGPF

Sous cette condition et pour cette occurrence de crue, l'aménagement proposé permet d'éviter l'inondation des habitations en bordure de la RT.

5.1.6. Habitations isolées dans la plaine rive gauche entre les profils P7 et P12.

Un certain nombre d'habitations situées sur ce secteur sont déjà remblayées par rapport au terrain naturel. Il est préconisé :

- D'éviter toute construction sur les zones identifiées en aléa fort qui correspondent soit à des zones d'accumulation d'eau dans les zones dépressionnaires, soit à des zones d'écoulement générées par les débordements du chenal principal de la Patio,
- De respecter les cotes centennales fournies dans ce rapport pour les nouvelles constructions à réaliser sur pilotis.

5.2. LA MISE EN PLACE D'UN SYSTEME D'ALERTE

Les enjeux présents en zone inondable justifient la mise en place d'un système d'alerte aux inondations destiné à prévenir et évacuer la population présente sur les secteurs les plus exposés.

Etant donné les faibles temps de réponse du bassin versant, ce système d'alerte pourrait être basé sur la pluviométrie (pluviographes, radar pluviométrique...).

5.3. LES TRAVAUX D'ENTRETIEN DE LA VEGETATION

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 de nombreux secteurs la végétation, en colonisant les bancs de gravier et de galets déposés par le transport solide important du cours d'eau, réduit les sections d'écoulement et risque d'augmenter la fréquence d'exposition au risque inondation des zones vulnérables.

De la même manière le risque d'embâcle constitue un enjeu majeur 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, identification des affouillements au droit des ouvrages de protection de berges ...

5.4. CHIFFRAGE ESTIMATIF

Les aménagements proposés précédemment sont définis au stade faisabilité. En particulier la stabilité des ouvrages de protection et les dispositifs parafouille, devront être dimensionnés à partir d'essais géotechniques.

Le tableau suivant donne un estimatif du coût financier de ces travaux, hors acquisitions foncières.

Un ordre de priorité est associé à la réalisation de ces travaux.

Le montant total des travaux s'élève à la somme de 195880000 FCFP HT décomposé de la manière suivante :

- Travaux de priorité 1 : 127880000 FCFP HT
- Travaux de priorité 2 : 68000000 FCFP HT

Désignation	Unité	Quantitatif	Prix unitaire HT en FCFP	Prix HT en FCFP	Ordre de priorité
Remplacement du pont principal sur la RT					1
Pont section 8x1.70m	U	F	34000000	34000000	
Sous Total				34000000	
Protection du chemin d'accès à la vallée amont Protection par enrochements libres sur deux secteurs : profils P12 et P14					1
Enrochements libres	m ³	2400	6 000	14400000	
Géotextile	m ²	1900	1 000	1900000	
Déblais (y compris évacuation)	m ³	2800	600	1680000	
Sous Total				17 980 000	
Confortement des radiers R1 et R2 et de la section endiguée Comblement fosses d'affouillement, reconstruction et reprise en sous œuvre des endiguements					1
Enrochements libres pour parafouille	m ³	150	6 000	900000	
Béton de reprise en sous œuvre	m ³	120	50 000	6000000	
Reconstruction endiguement rive gauche	ml	80	425000	34000000	
Sous Total				40 900 000	
Mise en place d'un piège à embâcle					1
Piège à embâcle	U	F		35000000	
Sous Total				35000000	
Augmentation de la section hydraulique de l'OH3					2
Ajout 2 ouvrages 8x2m	U	F	68000000	68000000	
Sous Total				68000000	
Total général				195880000	

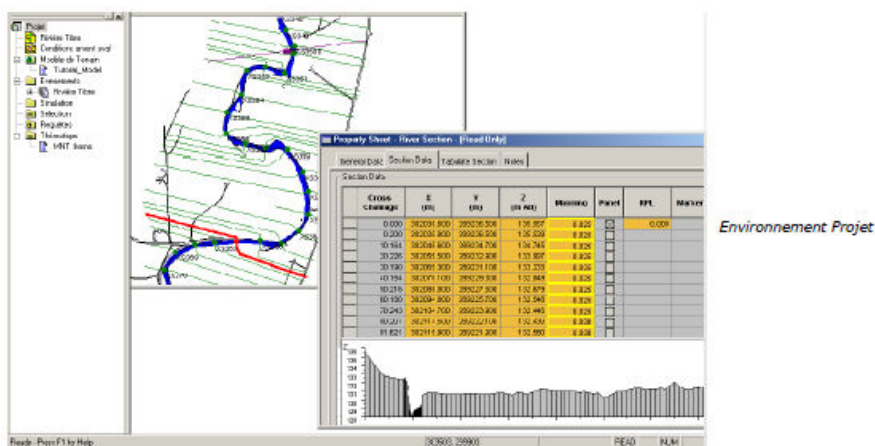
ANNEXES

Annexe 1
Logiciel Infoworks

La solution de modélisation des rivières

Gestion des modèles

- Gère plusieurs utilisateurs sur de multiples projets.
- Contrôle et suivi des versions.
- Consolide les données de source hétérogène sous la même interface.
- Indicateurs relatifs aux sources de données et leur degré de fiabilité.
- Gestion local du système et contrôle d'accès utilisateurs.
- Comparaison entre réseaux.



Outils d'édition

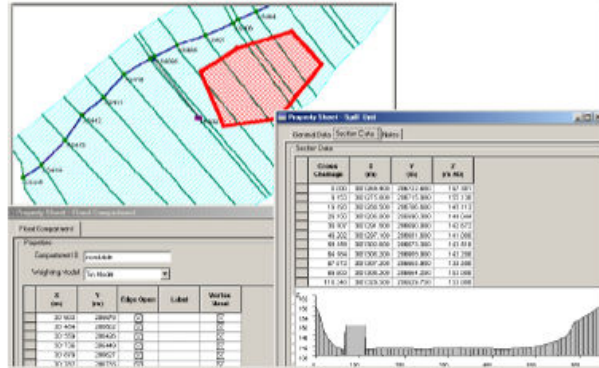
- Construction géographique sur le fond de plan.
- Importation des bassins et polygones de stockage (réservoirs).
- Importation et visualisation de Modèles Numériques de Terrain (TIN).
- Extraction de données du TIN, telles que la construction directe des profils, ou réservoirs.



Tracé d'un profil à partir du MNT

Gamme Modélisation

- Outils d'édition et de modification pour les profils, unité de déversement, casiers.
- Construction de zones (pour générer les cartes d'inondation sur le MNT importé).



Edition de seuils, zones de stockage

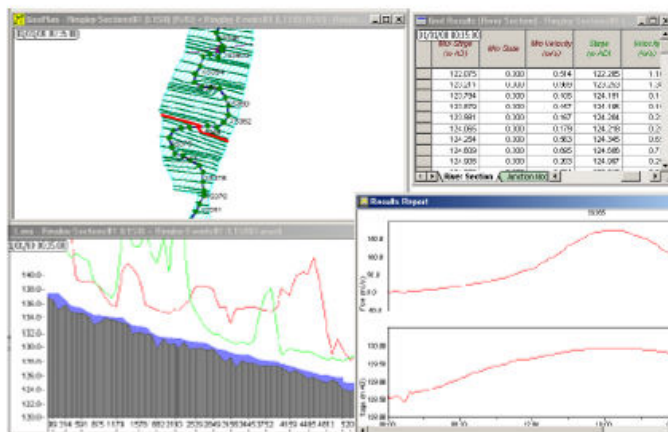
Moteur de calcul

- Utilise le moteur de calcul ISIS réputé pour sa gamme de structures hydrauliques et sa flexibilité.
- Inclus le modèle conceptuel pluie débit PDM (option) et les modèles de ruissellement (SCS, FSR, FEH).
- Régime permanent et transitoire.
- Utilisé dans plus de 30 pays dans le monde.

Interprétation des résultats

Visualisation simultanée des données, des résultats, avec animation en vue en plan et sous forme tabulaire.

- Représentation thématique des données et résultats sur fond de plan.
- Visualisation des données et résultats sous forme de table.
- Profil en long du canal avec ses hauteurs d'eau.
- Profil en travers avec ses hauteurs d'eau.
- Graphes débit, hauteur, vitesse, ... disponible à chaque point de calcul.



Résultats : grille, profil, graphes

Une solution intégrée

Transfert de données en import / export :

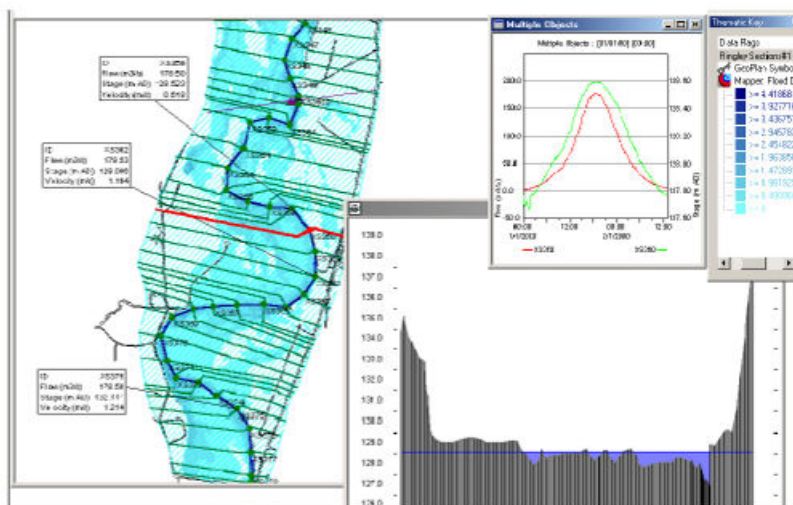
- Importation des modèles existants sous ISIS 2.0®.
- Importation au format CSV.
- Importation de bassins et polygones de stockage de MapInfo® et ArcView®.
- Exportation des données et résultats de simulation vers MapInfo® et ArcView®.
- Exporte les modèles vers ISIS 2.0®.

Visualisation dynamique des zones inondables

Ce modèle d'interpolation est bâti autour d'un Modèle Numérique de Terrain sous forme de TIN.

Il permet :

- La représentation instantanée des zones inondables de n'importe quel événement, comprenant l'animation complète.
- Le contour des hauteurs d'inondation.
- Les graphes des hauteurs d'eau en chaque point de la zone inondée.
- L'extraction et la localisation des hauteurs et durées d'inondation.



Résultats : zones inondables, profil, graphes

Annexe 2
Résultats de la modélisation Infoworks

Chainage	Profil	Fil d'eau lit mineur	Berge rive gauche	Berge rive droite	Q100				Q10				Crue de 1984				Q100 obstruction OH 50%			
					Débit lit mineur	Froude	Cote en lit mineur	Vitesse moyenne en lit mineur	Débit lit mineur	Froude	Cote en lit mineur	Vitesse moyenne en lit mineur	Débit lit mineur	Froude	Cote en lit mineur	Vitesse moyenne en lit mineur	Débit lit mineur	Froude	Cote en lit mineur	Vitesse moyenne en lit mineur
					m³/s		en m NGPF	en m/s	m³/s		en m NGPF	en m/s	m³/s		en m NGPF	en m/s	m³/s		en m NGPF	en m/s
(m)		en m NGPF	en m NGPF	en m NGPF																
18	P23	26.03	27.88	27.89	95.0	0.8	27.56	2.70	59.0	0.8	27.10	2.54	65.0	0.8	27.17	2.60	95.0	0.8	27.56	2.70
83	P22	22.76	24.32	24.35	95.0	0.5	25.10	1.63	59.0	0.5	24.67	1.54	65.0	0.5	24.75	1.57	95.1	0.5	25.10	1.63
217	P21	19.50	21.08	26.42	95.0	0.8	22.42	2.37	59.0	0.8	21.95	2.28	65.0	0.8	22.05	2.28	95.1	0.8	22.42	2.37
297	P20	17.66	19.69	22.01	95.0	0.8	20.43	2.35	59.0	0.7	19.94	2.30	65.0	0.8	20.04	2.34	95.1	0.8	20.43	2.36
384	P19	16.17	17.19	17.65	95.0	0.6	18.72	2.19	59.0	0.6	18.30	1.89	65.0	0.6	18.38	1.94	95.1	0.6	18.72	2.19
473	P18	14.24	15.61	15.33	95.0	0.8	16.88	2.04	59.0	0.8	16.52	1.94	65.0	0.8	16.59	1.96	95.0	0.8	16.88	2.04
584	P17	12.04	13.58	13.42	95.1	1.0	14.81	2.08	59.0	1.0	14.49	2.08	65.0	1.0	14.55	2.08	95.0	1.0	14.82	2.08
726	P16	8.34	10.86	9.82	95.1	0.8	11.62	2.83	59.0	0.8	11.10	2.62	65.1	0.8	11.19	2.70	95.1	0.8	11.62	2.83
835	P15	7.28	9.79	8.97	95.1	0.5	9.48	1.36	59.0	0.5	8.93	1.31	65.1	0.5	9.03	1.31	95.2	0.5	9.48	1.36
958		5.36	8.00	6.77	95.1	0.5	8.66	0.97	59.0	0.5	7.94	0.97	65.1	0.5	8.14	0.97	95.5	0.5	8.66	0.97
958	P14	5.36	8.00	6.77	116.1	0.5	8.66	1.01	73.0	0.5	7.94	1.01	84.1	0.5	8.14	1.01	116.5	0.5	8.66	1.01
1094	P13	3.61	6.36	7.45	109.8	0.5	7.21	2.41	71.6	0.4	6.91	1.81	81.7	0.4	7.00	1.98	109.9	0.5	7.21	2.41
1188	P12	2.92	5.66	5.18	91.7	0.6	6.17	1.68	65.5	0.6	5.86	1.68	72.7	0.6	5.95	1.68	91.9	0.6	6.17	1.68
1305	P11	1.62	3.12	3.31	89.8	0.6	4.48	1.92	65.9	0.6	4.24	1.73	72.8	0.6	4.32	1.79	89.9	0.6	4.48	1.92
1406	P10	1.29	2.56	2.27	70.1	0.4	3.47	1.11	55.2	0.4	3.33	1.03	59.6	0.4	3.37	1.06	70.3	0.4	3.48	1.11
1494		0.05	2.29	2.09	45.6	0.5	2.88	1.14	36.4	0.5	2.83	1.14	38.3	0.5	2.86	1.13	45.8	0.5	2.88	1.05
1494	P09	0.05	2.29	2.09	66.6	0.6	2.88	1.29	50.4	0.6	2.83	1.27	57.3	0.6	2.86	1.28	66.8	0.6	2.88	1.30
1611	P08	0.30	1.88	2.11	51.4	0.9	1.98	3.33	40.2	0.8	1.87	2.84	44.4	0.8	1.91	3.03	52.5	0.9	2.40	3.42
1717	P07OH	-1.30	1.90	1.88	41.9	0.4	1.97	2.01	38.6	0.4	1.79	1.98	39.9	0.4	1.86	2.01	23.4	0.2	2.31	1.05
1717							1.97				1.79				1.86				2.31	
1721		-1.30	1.90	1.88	41.9	0.4	1.81	2.14	38.6	0.4	1.69	2.08	39.9	0.4	1.74	2.11	23.4	0.3	1.87	1.30
1797	P06	-0.46	1.35	1.42	37.2	0.6	1.75	2.42	35.1	0.6	1.57	2.42	36.2	0.6	1.63	2.44	23.6	0.4	1.82	1.56
1887	P05	-0.76	1.24	1.36	36.4	0.5	1.72	2.01	33.5	0.5	1.54	1.99	34.1	0.5	1.63	2.00	26.6	0.3	1.82	1.32
1934	P4OH	-0.97	1.59	1.30	36.3	0.5	1.67	1.97	35.1	0.5	1.45	1.98	35.3	0.5	1.55	1.95	22.2	0.3	1.82	1.11
1941		-0.97	1.59	1.30	36.3	0.5	1.36	2.28	35.1	0.5	1.18	2.29	35.3	0.5	1.26	2.24	22.2	0.4	1.34	1.58
1983	P01	-0.27	1.01	0.94	38.5	1.1	1.10	3.69	35.1	1.1	0.97	3.72	35.8	1.1	1.07	3.56	27.0	1.0	0.95	3.21
2012	Pmer1	-0.50	0.50	0.50	38.5	1.5	0.95	3.19	35.1	1.8	0.57	3.88	35.8	1.4	0.92	3.06	27.8	1.3	1.08	2.60
2067	Pmer2	-1.50	0.50	0.50	38.5	0.1	1.00	0.32	35.1	0.2	0.02	0.48	35.8	0.1	1.00	0.30	56.1	0.1	1.00	0.34

Annexe 3
Bassins versants équipés sur l'île de Raiatea

ILE DE RAIATEA

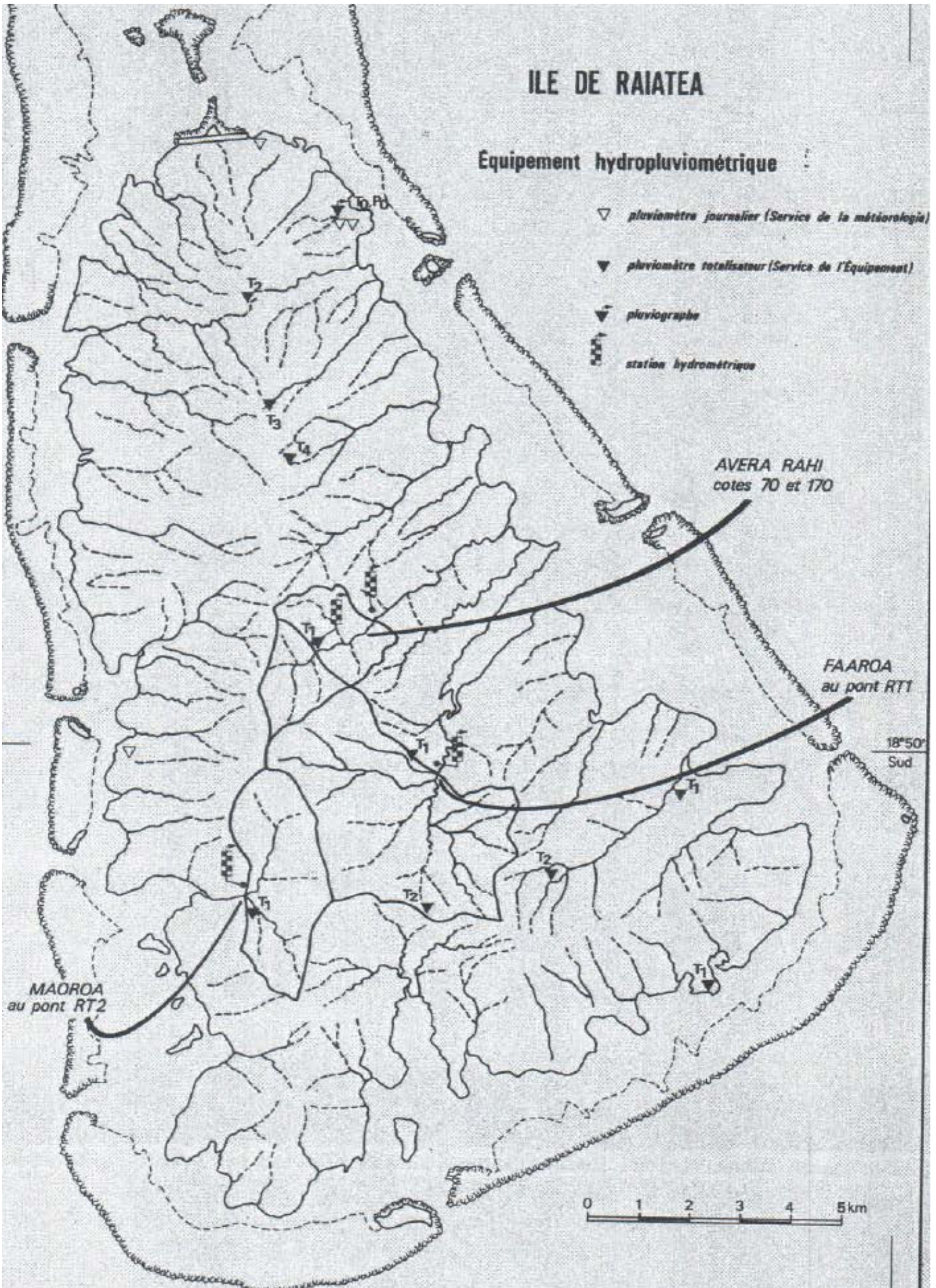
Équipement hydropluviométrique

▽ pluviomètre journalier (Service de la météorologie)

▼ pluviomètre totalisateur (Service de l'Équipement)

▽ pluviographe

station hydrométrique



Annexe 4
Estimation du coût des ouvrages sous la RT

Estimation du coût d'un ouvrage cadre d'ouverture 8m

N° de PRIX	DESIGNATION DES TRAVAUX	U	Quantités	P.U. H.T. (€)	TOTAL H.T. (€)	P.U. H.T. (XPF)	TOTAL H.T. (XPF)
	I - ETUDES ET TRAVAUX PREPARATOIRES						
101	Installation de chantier	Ft	1	27 000.00	27 000.00	3 098 034.00	3 098 034.00
102	Signalisation de chantier	Ft	1	5 000.00	5 000.00	573 710.00	573 710.00
103	Etudes et plans d'exécution	Ft	1	7 500.00	7 500.00	860 565.00	860 565.00
104	Epreuves de l'ouvrage	Ft	1	5 000.00	5 000.00	573 710.00	573 710.00
105	Epreuves de convenance C30	Ft	1	3 000.00	3 000.00	344 226.00	344 226.00
106	Epreuve de contrôle des bétons	u	50	50.00	2 500.00	5 737.10	286 855.00
	SOUS-TOTAL I				50 000.00		5 737 100.00
	II - TERRASSEMENTS						
201	Déviation provisoire	Ft	1	5 500.00	5 500.00	631 081.00	631 081.00
202	Démolition, reprise et évacuation en décharge de l'ouvrage existant	Ft	1	10 000.00	10 000.00	1 147 420.00	1 147 420.00
203	Installation des batardeaux avec fouilles à l'intérieur des batardeaux	Ft	1	10 000.00	10 000.00	1 147 420.00	1 147 420.00
204	Substitution sous radier	m ³	150	30.00	4 500.00	3 442.26	516 339.00
	SOUS-TOTAL II				30 000.00		3 442 260.00
	III - Cadres et dalles de transition						
301	Cadres et dalles de transition	Ft	1	155 000.00	155 000.00	17 785 010.00	17 785 010.00
	SOUS-TOTAL III				155 000.00		17 785 010.00
	IV - EQUIPEMENTS ET CHAUSSEE						
401	Equipements et chaussée	Ft	1	35 000.00	35 000.00	4 015 970.00	4 015 970.00
	SOUS-TOTAL VI				35 000.00		4 015 970.00
	RECAPITULATIF PI 105						
I	ETUDES ET TRAVAUX PREPARATOIRES				50 000.00		5 737 100.00
II	TERRASSEMENTS				30 000.00		3 442 260.00
III	CADRES				155 000.00		17 785 010.00
IV	EQUIPEMENTS				35 000.00		4 015 970.00
	TOTAL H.T				270 000.00		30 980 340.00
	Taxes (10 %)				27 000.00		3 098 034.00
	MONTANT TOTAL T.T.C				297 000.00		34 078 374.00
	Surface du tablier	m ²	86				
	Prix de l'ouvrage	€/m ²			3 474		398 577
	arrondi à	€/m ²			3 500	XPF/m ²	400 000

Estimation du coût d'un pont d'ouverture 8m

N° de PRIX	DESIGNATION DES TRAVAUX	U	Quantités	P.U. H.T.(€)	TOTAL H.T.(€)	P.U. H.T. (XPF)	TOTAL H.T. (XPF)
	I - ETUDES ET TRAVAUX PREPARATOIRES						
101	Installation de chantier	F	1	27 000.00	27 000.00	3 098 034.00	3 098 034.00
102	Signalisation de chantier	F	1	5 000.00	5 000.00	573 710.00	573 710.00
103	Etudes et plans d'exécution	F	1	7 500.00	7 500.00	860 565.00	860 565.00
104	Epreuves de l'ouvrage	F	1	5 000.00	5 000.00	573 710.00	573 710.00
105	Epreuves de convenance C30	F	1	3 000.00	3 000.00	344 226.00	344 226.00
106	Epreuve de contrôle des bétons	u	50	50.00	2 500.00	5 737.10	286 855.00
	SOUS-TOTAL I				50 000.00		5 737 100.00
	II - TERRASSEMENTS						
201	Déviation provisoire	Ft	1	5 000.00	5 000.00	573 710.00	573 710.00
202	Démolition, reprise et évacuation en décharge de l'ouvrage existant	Ft	1	10 000.00	10 000.00	1 147 420.00	1 147 420.00
203	Déblais de toute nature avec transport des déblais au-delà de 5 km	m ³	150	10.00	1 500.00	1 147.42	172 113.00
204	Remblais contigus à l'ouvrage	m ³	50	30.00	1 500.00	3 442.26	172 113.00
	SOUS-TOTAL II				18 000.00		2 065 356.00
	III - Tablier du pont à poutres en béton armé						
301	Poutres, hourdis et dalle de transition	Ft	1	90 000.00	90 000.00	#####	10 326 780.00
	SOUS-TOTAL III				90 000.00		10 326 780.00
	IV - CULEES ET MURS EN RETOUR						
401	Culées et Murs	Ft	1	72 000.00	72 000.00	8 261 424.00	8 261 424.00
	SOUS-TOTAL IV				72 000.00		8 261 424.00
	V - EQUIPEMENTS ET CHAUSSEE						
501	Equipements et chaussée	Ft	1	38 000.00	38 000.00	4 360 196.00	4 360 196.00
	SOUS-TOTAL V				38 000.00		4 360 196.00
	RECAPITULATIF PONT A POUTRES EN BETON ARMEE						
I	ETUDES ET TRAVAUX PREPARATOIRES				50 000.00		5 737 100.00
II	TERRASSEMENTS				18 000.00		2 065 356.00
III	PONT A POUTRES EN BETON ARMEE				90 000.00		10 326 780.00
IV	CULEES ET MURS EN RETOUR				72 000.00		8 261 424.00
V	EQUIPEMENTS				38 000.00		4 360 196.00
	TOTAL H.T				268 000.00		30 750 856.00
	Taxes (10 %)				26 800.00		3 075 085.60
	MONTANT TOTAL T.T.C				294 800.00		33 825 941.60
	Surface du tablier (m2)	m ²	95				
	Prix de l'ouvrage / m2	€/m ²			3 103		356 063
	arrondi à (€/m2)	€/m ²			3 100	XPF/m ²	357 000