

Ministère de l'Aménagement
et des Relations avec les
Communes

Service de l'Urbanisme
Section Etudes et Plans

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

Programme ARAI 4
Cours d'eau : Tevaifaara



Rapport

HSO 11126K

Juillet 2012

TABLE DES MATIERES

1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE	1
2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN ET RECUEIL DE DONNEES	2
2.1. Enquête de terrain	2
3. ANALYSE HYDROLOGIQUE	9
3.1. Généralités	9
3.2. Evaluation des débits de projet	10
3.2.1. Etude BCEOM de 1999	11
3.2.2. Etude GEGDP de 2001 - Wotling	11
3.2.3. Etude GEGDP de 2003 (J.Danloux)	12
3.2.4. Etude BRGM	13
3.3. Débits de projet retenus	14
3.3.1. Rivière Tevaifaara	14
3.3.2. Rivière Mahape	14
4. MODELISATION HYDRAULIQUE	16
4.1. Modèle mis en oeuvre	16
4.2. Conditions aux limites	16
4.3. Calage du modèle	17
4.4. Profil en long du lit mineur	18
4.5. Simulation des crues de projet	21
4.5.1. Mécanismes d'écoulement en crue décennale	21
4.5.2. Mécanismes d'écoulement en crue centennale	21
4.5.3. Prise en compte du risque d'embâcles	22
4.5.4. Crue de type Veena	22
4.5.5. Débits de premiers débordements	22
4.6. Cartographie de l'aléa	27
4.6.1. Classification de l'aléa	27
4.6.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennial	27
5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS	28
5.1. Les travaux de protection contre les inondations	28
5.1.1. Solutions générales envisagées	28
5.1.2. Travaux de mise en oeuvre de nouvelles protections	28

5.1.2.1. Perré incliné en enrochement libre (coupe type n°1)	28
5.1.2.2. Enrochement cyclopéen, mur poids en blocs bétonnés (coupe type n°3)	31
5.1.2.3. Parafouille	32
5.1.3. Travaux de confortement sans démolition de l'existant (coupe type n°2)	34
5.1.3.1. Programme de reconnaissances complémentaires	34
5.2. Les travaux à engager sur la rivière Tevaifaara (Vaitaara)	36
5.2.1. Impact du cordon littoral	37
5.2.2. Travaux de gestion des dépôts solides entre le profil P117 et l'embouchure	38
5.2.3. Travaux de protection contre les débordements du lit mineur de la rivière	38
5.2.4. Protection à l'aval de la RT2 (secteur de l'école de Mahaena)	39
5.2.5. Protection à l'aval rive droite du pont	40
5.3. Travaux à engager sur la Mahape	42
5.3.1. Confortement des ouvrages existants	42
5.3.2. Protection du secteur à l'amont du pont	42
5.3.3. Protection du secteur amont (P219-P223)	43
5.4. La mise en place d'un système d'alerte	46
5.5. Les travaux d'entretien de la végétation	46
5.6. Chiffrage estimatif	47
5.6.1. Tevaifaara	47
5.6.2. Mahape	49

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Bassins versants de la Mahape et de la Tevaifaara.....	10
Figure 2 : Profil en long du lit mineur-Branche sud - Tevaifaara.....	19
Figure 3 : Profil en long du lit mineur-Branche nord - Mahape	20
Figure 4 : Lignes d'eau pour les différentes simulations-Branche sud – Tevaifaara....	25
Figure 5 : Lignes d'eau pour les différentes simulations--Branche nord - Mahape.....	26
Tableau 1: Comparaison des débits de projet obtenus sur la Tevaifaara.....	14
Tableau 2 : Débits de projet de la Tevaifaara	14
Tableau 3 : Débits de projet de la Mahape.....	15
Tableau 4 : Conditions aux limites du modèle	17
Tableau 5 : Coefficients de Strickler retenus	18
Tableau 6 : Débit de premiers débordements- Branche sud – Tevaifaara.....	23
Tableau 7 : Débit de premiers débordements- Branche nord - Mahape.....	24
Tableau 8 : Définition des classes d'aléa	27
Tableau 9 : Ordre de grandeur de l'épaisseur moyenne d'un enrochement cyclopéen pour la stabilité au renversement.....	31

1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

Le SAU avec l'appui du BRGM 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'embâdes 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

Les cours d'eau étudiés dans le cadre de ce dossier sont les rivières Te Faaiti (Mahape) et Tevaifaara (Vaitaara).

2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN ET RECUEIL DE DONNEES

2.1. ENQUETE 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 :

Remarque : la localisation des photographies ci-dessous est donnée ci-après.



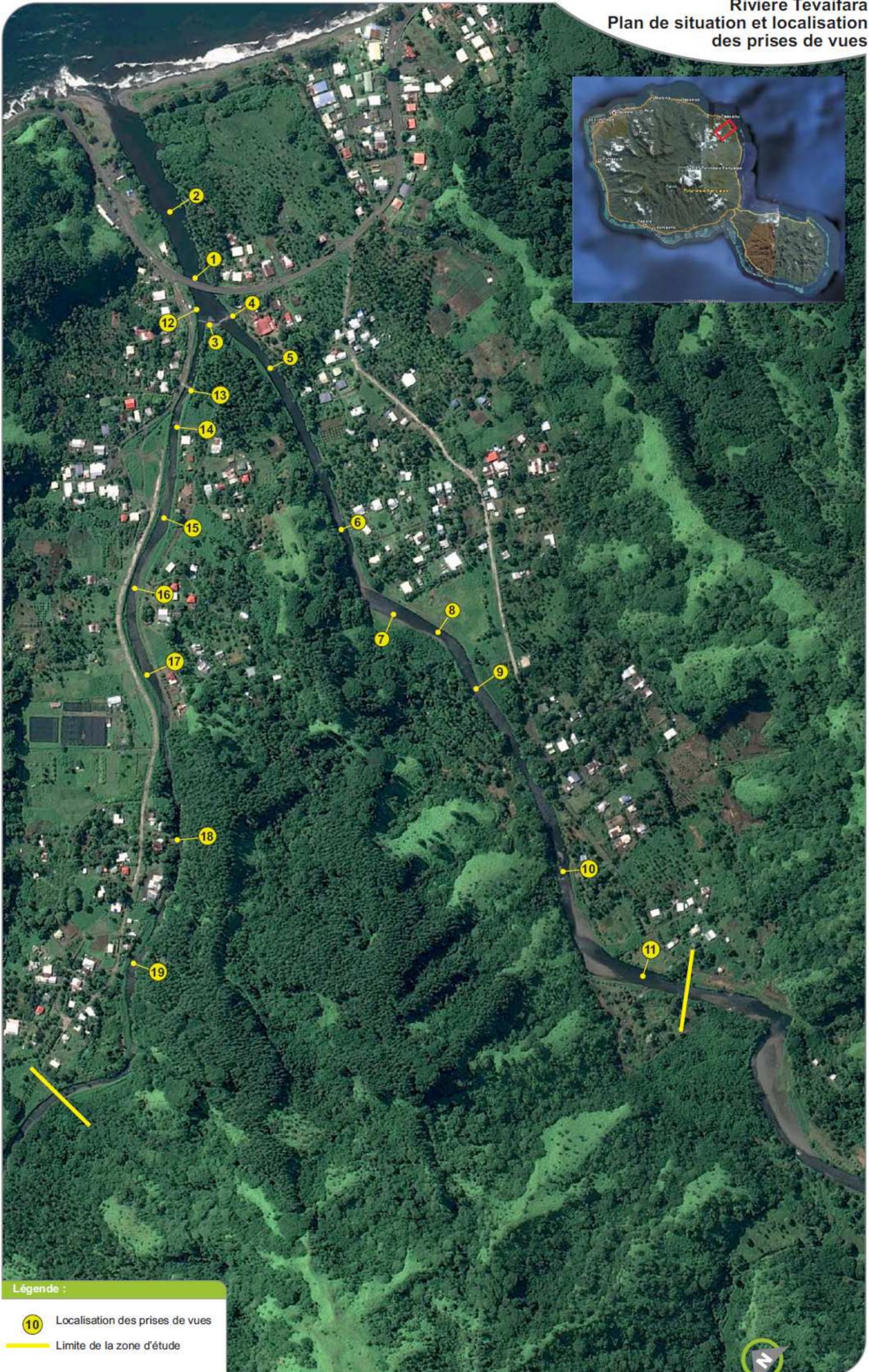
Photo1 : Franchissement de la RT



Photo 2 : Vue aval pont RT

Le franchissement de la route Territoriale est assuré par un pont d'ouverture de 74 m, pour une hauteur maximum de 5.6 m, soit une section d'écoulement d'un peu plus de 300 m². Les berges à l'aval du pont ne sont pas protégées par des enrochements. Un cordon littoral important, entravant les écoulements en période de crue, existe à l'exutoire.

La rive droite du cours d'eau est occupée par une vaste dépression fermée par le cordon littoral, située à une cote moyenne de 2.5 m NGP. Du fait de la fréquence des inondations, cette dépression n'est pas urbanisée. Les premières habitations se développent en bordure de la route territoriale, en rive droite du cours d'eau. Une petite rivière, la Puanuhe, draine la partie sud est de la zone, un exutoire à travers le cordon littoral a été créé récemment pour permettre l'évacuation de ses eaux en période de forte pluie.



Légende :

- 10 Localisation des prises de vues
- Limite de la zone d'étude





Photo 3 : Vue amont prise du pont RT

A l'amont du pont de la RT, deux cours d'eau confluent : la Mahape au Nord, la Tevaifaara (Vaitaraa) au Sud. Ces deux cours d'eau matérialisent une presqu'île centrale en partie urbanisée et desservie par un pont. Les berges des deux cours d'eau sont protégées par des enrochements libres. Sur ce secteur les riverains font état de débordements fréquents le dernier étant en date d'avril 2010. Le plus fort cyclone observé sur la zone est Veena, à l'époque le pont actuel sur la RT n'existait pas, et aucun travaux d'enrochements de berge non plus.

Rivière Tevaifaara (Vaitaraa)



Photo 4 : Vue aval Tevaifaara



Photo 5 : Rive droite amont pont

L'ensemble de la rive droite de la rivière est protégée par enrochements. On observe une encoche d'érosion et une destruction des protections existantes sur un linéaire de 8m, située 80m en amont du pont. Sur ce secteur le lit de la rivière est dégagé.



Photo 6 : Vue aval premier coude



Photo 7 : Vue amont premier coude

Les photos 6 et 7 sont prises au niveau du premier coude important de la rivière. Les riverains situés à l'aval du coude ont été inondés en avril 2010, en 2007, la pire inondation s'étant produite en 1998 (l'eau a pénétré à l'intérieur de l'habitation). De très importants dépôts de matériaux sont observés dans le lit du cours d'eau.



Photo 8 : Destruction de la protection existante



Photo 9 : Atterrissements

Une importante attaque de berge est notée en amont du premier coude de la rivière (photo 8). Cette protection est à réparer en urgence pour éviter que ce point de faiblesse n'entraîne la ruine de la totalité de la protection sur ce secteur. Un engrèvement important du lit existe sur ce secteur.



Photo 10: Chute de blocs dans le lit



Photo 11 : Vue amont du second coude

Au niveau de la photo 10, deux gros blocs sont situés dans le lit mineur de la rivière. Ils provoquent une zone de dépôt à leur amont. On observe également de très forts atterrissements dans le second coude prononcé de la rivière.

Rivière Mahape



Photo 12 : Vue aval Mahape



Photo 13 : Accès à la presqu'île

Toute la rive gauche est urbanisée, les habitations sont situées en contrebas par rapport à la route territoriale. Un pont d'ouverture de 14m, pour une hauteur maximum de 3.7 m, soit une section d'écoulement d'un peu moins de 50 m² assure le passage sur la rive droite où une dizaine d'habitations sont implantées.

Les berges sont protégées par enrochements en rive droite et en rive gauche.



Photo 14 : Vue aval premier coude



Photo 15 : Protection de la route d'accès

Sur ce secteur les berges sont protégées par enrochements en rive droite et en rive gauche



Photo 16 : Vue amont coude



Photo 17 : atterrissements

Sur ce secteur les berges sont protégées par enrochements en rive droite et en rive gauche. Il n'a pas été noté de problèmes particuliers sur les protections existantes.



Photo 18: Fin des protections



Photo 19 : Zone d'attaque de berges

A partir de la photo 17, le lit devient encombré et les berges ne sont plus protégées. Les riverains mentionnent des débordements anciens sur ce secteur datant d'une vingtaine d'années. Avant que le lit ne soit stabilisé plusieurs bras traversaient la plaine en rive gauche. Un ancien lit est encore visible au niveau de la photo 19, avec des ouvrages de franchissement existants en lit majeur.

Une attaque importante de berge menace la piste bétonnée ainsi qu'une maison au droit de la photo 19.

3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1. GENERALITES

Le bassin versant de la Tevaifaara se situe sur le secteur au vent de l'île de Tahiti.

Le climat est de type tropical océanique humide avec une saison des pluies (été austral) de novembre à avril et une saison sèche (hiver austral) de mai à octobre.

Il n'existe pas de station pluviométrique sur ce bassin versant. Les postes pluviographiques les plus proches de la zone étudiée sont les postes de Hitiaa au Sud Est, et les postes de la Papenoo à l'Ouest.

Deux cours d'eau sont présents sur le site d'étude :

- La rivière Mahape au Nord,
- La rivière Tevaifaara ou Vaitaraa au Sud.

Ces bassins versants sont essentiellement constitués de forêts. Seule la plaine littorale est urbanisée.

Les principales caractéristiques du bassin versant sont les suivantes :

Rivière Mahape

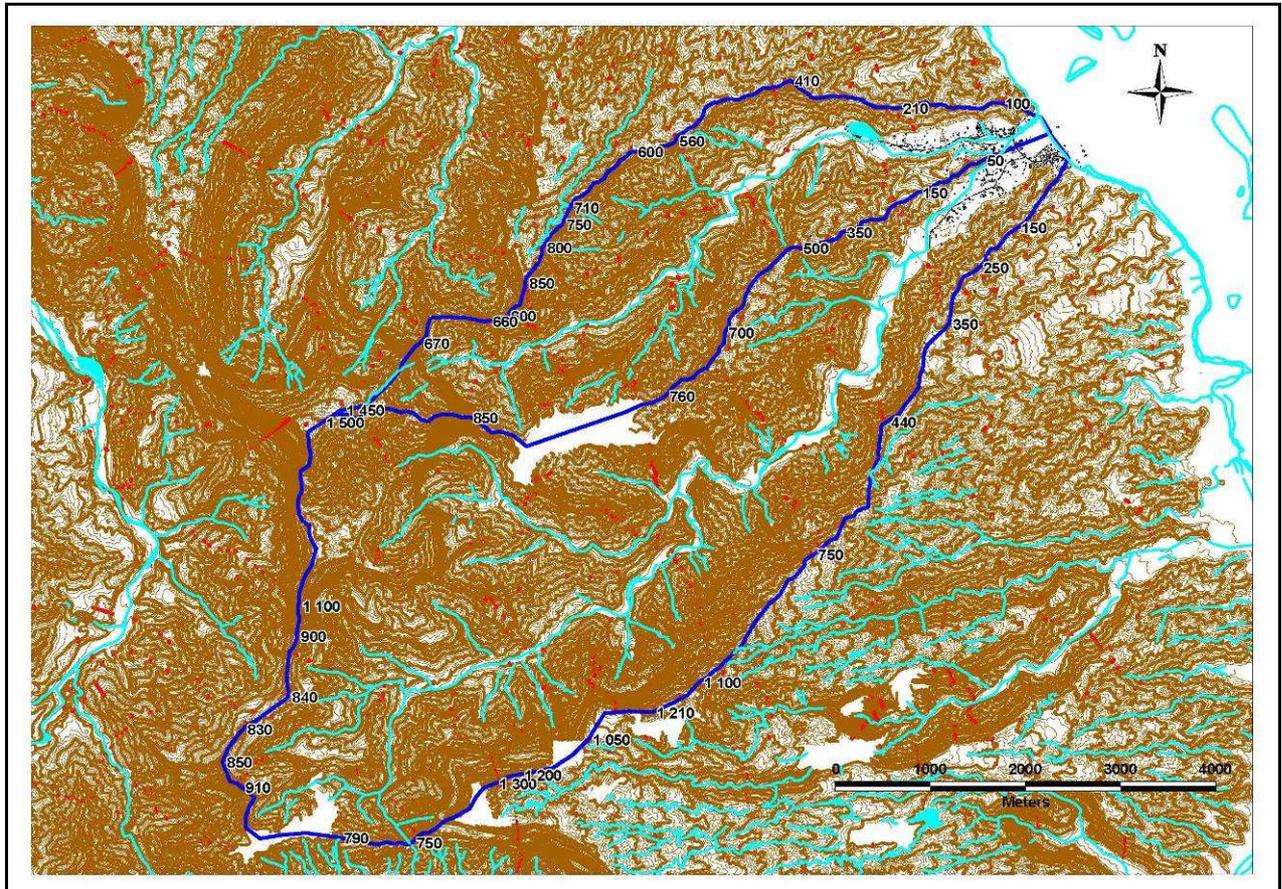
- Surface : 10.10 km²
- Périmètre : 18.7 km
- Longueur du rectangle équivalent : 8 km,
- Plus long cheminement hydraulique : 9.5
- Coefficient de compacité Kc : 1.6
- Altitude moyenne : 680m,
- Gradex de la pluie centennale / 15mn : 4.125 mm (source : G.Wotling « Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti »)
- Dénivelée entre sommet du bassin et exutoire : 1450 m,
- Indice de pente : 75 m/km
- Temps de concentration (Kirpich) : 0.75 h

Rivière Tevaifaara (Vaitaraa)

- Surface : 26.2 km²
- Périmètre : 27.3 km
- Longueur du rectangle équivalent : 11.4 km
- Coefficient de compacité Kc : 1.51
- Altitude moyenne : 900m,
- Gradex de la pluie centennale / 15mn : 6.5 mm (source : G.Wotling « Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti »)
- Dénivelée entre sommet du bassin et exutoire : 1500 m,

- Indice de pente : 83 m/km
- Temps de concentration (Kirpich) : 1.2h

Figure 1 : Bassins versants de la Mahape et de la Tevaifaara



La rivière Tevaifaara a fait l'objet d'un suivi durant une dizaine d'années à la cote 5. Le débit maximal observé sur la période 1969-2003 est évaluée à 740 m³/s lors du cyclone Veena le 12 Avril 1983.

Les autres observations de crue rares sur ce bassin versant sont les suivantes :

- 680 m³/s le 24 Décembre 1983,
- 650 m³/s le 6 Octobre 1998.

3.2. EVALUATION DES DEBITS DE PROJET

Différentes méthodes ont été utilisées pour calculer les débits de projet de ces rivières. Elles sont rappelées et détaillées ci-dessous.

3.2.1. Etude BCEOM de 1999

Dans le cadre de l'étude "Etude des priorités d'aménagements des cours d'eau de Tahiti", en absence de données hydrologiques disponibles, BCEOM a proposé, afin d'obtenir un ordre de grandeur du débit de pointe décennal, une formulation du type :

$$Q_{10} = K \times S^{0.85} \times \left(\frac{P_0}{100} \right)^2$$

Avec :

- K est un coefficient régional (**K=4**)
- S est la superficie drainée en km²
- Po est la moyenne sur le bassin versant de la hauteur de précipitations de période de retour 1 an en dixième de mm sur 15mn, **soit 29mm** pour les bassins versants étudiés.

Cette formulation s'applique à des bassins versant de plus de 1km². Elle est déconseillée dans le cas où des phénomènes hypodermiques sont connus ou pressentis et est à relativiser en cas de phénomènes d'écoulement superficiel particuliers tels des débits solides ou des écrêtements non négligeables.

Le débit de pointe centennal est calculé par application de la méthode du gradex avec les caractéristiques suivantes :

- Point pivot à la période de retour 10 ans
- Gradex des pluies sur 15 minutes pour les bassins versants de superficie inférieures à 20 km² et sur 30 minutes pour les autres, soit un Gradex de 4.125 mm pour la Mahape et de 6.5mm pour la Tevaifaraa.
- un coefficient de passage du débit moyen au débit instantané de **1.5**

Les évaluations faites dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

Pour la Mahape

- Débit décennal : 240 m³/s
- Débit cinquantennal : 352m³/s
- Débit centennal : 400 m³/s

Pour la Tevaifaraa

- Débit décennal : 458 m³/s
- Débit cinquantennal : 686 m³/s
- Débit centennal : 784 m³/s

3.2.2. Etude GEGDP de 2001 - Wotling

Dans le cadre de l'étude « modélisation hydrologique des cours d'eau de la liaison Tamanu-Taravao », menée en 2001 par le LTPP, une évaluation des débits de crue des rivières présentes sur **la côte Sud-Ouest** de l'île de Tahiti a été réalisée.

Ces débits ont été établis à partir d'une modélisation hydrologique globale intégrant les fonctions de production et de transfert du modèle MOHTA (IRD-GEGDP, Wotling).

Ce travail a permis:

- La définition des pluies de projet pour chacun des bassins versants étudiés,
- Le calage des modèles hydrologiques lorsqu'une information hydrométéorologique fiable était disponible,
- La mise en œuvre soit d'un modèle global soit d'un modèle spatialisé qui autorise la possibilité d'appliquer des pluies de projet différentes sur le bassin versant.

Les conclusions de cette étude sont que seuls des modèles spatialisés, basés sur un modèle numérique de terrain sont conduant pour des bassins versants de superficie supérieure à 5 km² ou en partie urbanisés.

En deçà, une modélisation globale donne de bons résultats pour des superficies drainées inférieures à 2 km² et des résultats cohérents pour des superficies comprises entre 2 et 5km².

3.2.3. Etude GEGDP de 2003 (J.Danloux)

L'étude du LTTP de 2003 a portée sur l'évaluation des maximums de crues sur l'île de Tahiti suivant une approche régionale a partir des données acquises sur les réseaux hydrologiques pendant la période 1969-2003 (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.

Ce travail couvre la côte Est et la presqu'île de Tahiti et complète ainsi l'étude de 2001 de Wotling.

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

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

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

A : superficie du bassin versant en km².

C : coefficient de Craeger

Rivière Tevaifaara (Vaitaraa)

Les évaluations faites dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

- Débit maximal sur la période (Craeger) : 740 m³/s
- Débit décennal : 410 m³/s
- Débit cinquantennal : 520 m³/s
- Débit centennal : 830 m³/s

Rivière Mahape

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 déduits de l'analyse statistique a été utilisé.

Sur le secteur d'étude les rapports suivants ont été utilisés (bassin de référence Papenoo 45) :

- $Q_{max}/T10 = 0.56$
- $Q_{max}/T100 = 1.12$

Les évaluations faites dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

- Débit maximal sur la période (Craeger) : 280 m³/s (C=70)
- Débit décennal : 160 m³/s
- Débit cinquantiennal : 200 m³/s
- Débit centennal : 319 m³/s

3.2.4. Etude BRGM

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.

Le coefficient de ruissellement décennal est régionalisé sur la base des ajustements débitométriques disponibles. L'intensité retenue est celle survenant sur une durée égale au temps de concentration du bassin versant étudié.

A défaut d'ajustements débitométriques, P. STOLLSTEINER recommande « de choisir le coefficient de ruissellement décennal parmi ceux de l'île la plus proche et la plus semblable en considérant le contexte géologique, l'altitude maximale du bassin versant et son orientation ».

Les coefficients de ruissellement décennaux retenus sont présentés dans le tableau ci-dessous. Ces coefficients se rapportent à la pluie journalière mesurée et non à la pluviométrie journalière réellement reçue par le bassin versant.

A défaut d'ajustements pluviométriques sur des courtes durées, P. STOLLSTEINER propose « d'estimer les valeurs fréquentielles des pluies de durée égale au temps de concentration à partir d'informations disponibles sur les pluies journalières » (rapport des pluies sur sites de durée T_c et journalière égal à ce même rapport à la station pluviographique la plus proche ou jugée comparable).

Les évaluations faites dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

Rivière	Coefficient de ruissellement décennal	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)
Tevaifaara (Vaitaara)	0.90	640	876
Mahape	0.46	154	266

3.3. DEBITS DE PROJET RETENUS

3.3.1. Rivière Tevaifaara

Les débits de crue du cours d'eau étudié, obtenus par les trois méthodes présentées ci-dessus, sont les suivants :

Etude	Méthode de calcul	Q10 en m ³ /s	Q100 en m ³ /s
Etude BCEOM de 1999	Formule empirique et gradex	458	784
Etude GEGDP de 2003 (J.Danloux)	Modèle hydrologique Moahta	410	830
Etude BRGM	Méthode rationnelle et gradex	640	876

Tableau 1: Comparaison des débits de projet obtenus sur la Tevaifaara

Les trois méthodes convergent vers des valeurs de débit centennal sensiblement équivalentes. Il est proposé de retenir les valeurs obtenues dans l'étude GEGDP de 2003 qui favorise les données observées sur ce bassin versant.

Cette méthode conduit à retenir un débit spécifique centennal de 32 m³/s/km².

Les débits de projet retenus pour la Tevaifaara sont donc les suivants :

Crue	Crue décennale	Crue centennale
Débit en m ³ /s	410	830

Tableau 2 : Débits de projet de la Tevaifaara

3.3.2. Rivière Mahape

Les débits de crue du cours d'eau étudié, obtenus par les trois méthodes présentées ci-dessus, sont les suivants :

Etude	Méthode de calcul	Q10 en m ³ /s	Q100 en m ³ /s
Etude BCEOM de 1999	Formule empirique et gradex	240	400
Etude GEGDP de 2003 (J.Danloux)	Modèle hydrologique Moahta	160	319
Etude BRGM	Méthode rationnelle et gradex	154	266

Tableau 1 : Comparaison des débits de projet obtenus sur la Mahape

Il est proposé de retenir les valeurs obtenues dans l'étude GEGDP de 2003 qui favorise l'analogie avec les données enregistrées sur les bassins versants observés.

Cette méthode conduit à retenir un débit spécifique centennal de 32 m³/s/km² qui est analogue au débit spécifique retenu pour la Tevaifaara.

Les débits de projet retenus pour la Mahape sont donc les suivants :

Crue	Crue décennale	Crue centennale
Débit en m ³ /s	160	319

Tableau 3 : Débits de projet de la Mahape

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	160 m ³ /s (Mahape)	0 m NGPF
	410 m ³ /s (Tevaifaara)	
Crue centennale	319 m ³ /s (Mahape)	1 m NGPF
	830 m ³ /s (Tevaifaara)	
Veena	280 m ³ /s (Mahape)	1 m NGPF
	740 m ³ /s (Tevaifaara)	

Tableau 4 : 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 :

- 26 à 29 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 :

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 moins que 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).

	n0	n1	n2	n3	n4	m5	n	K
Amont (P8-P28)	0.024	0.01	0.005	0	0	1	0.039	26
Amont (P1-P15)	0.024	0.01	0.005	0	0	1	0.039	26
Aval (P1-P8)	0.024	0.01	0	0	0	1	0.034	29

Tableau 5 : Coefficients de Strickler retenus

4.4. PROFIL EN LONG DU LIT MINEUR

Les profils en long du lit mineur sont présentés sur les figures suivantes. Ils possèdent :

- pour la branche sud, la Tevaifaara : une pente moyenne d'amont en aval de 0.008m/m, puis 0.003m/m. Le profil en long permet de localiser la rupture de pente du cours d'eau à l'aval du profil P15, ce qui matérialise une zone d'alluvionnement et de dépôts importante sur tout le secteur situé à l'aval de ce profil jusqu'à l'embouchure.
- pour la branche nord : une pente moyenne d'amont en aval de 0.019 m/m, puis de 0.009 m/m.

Branche sud

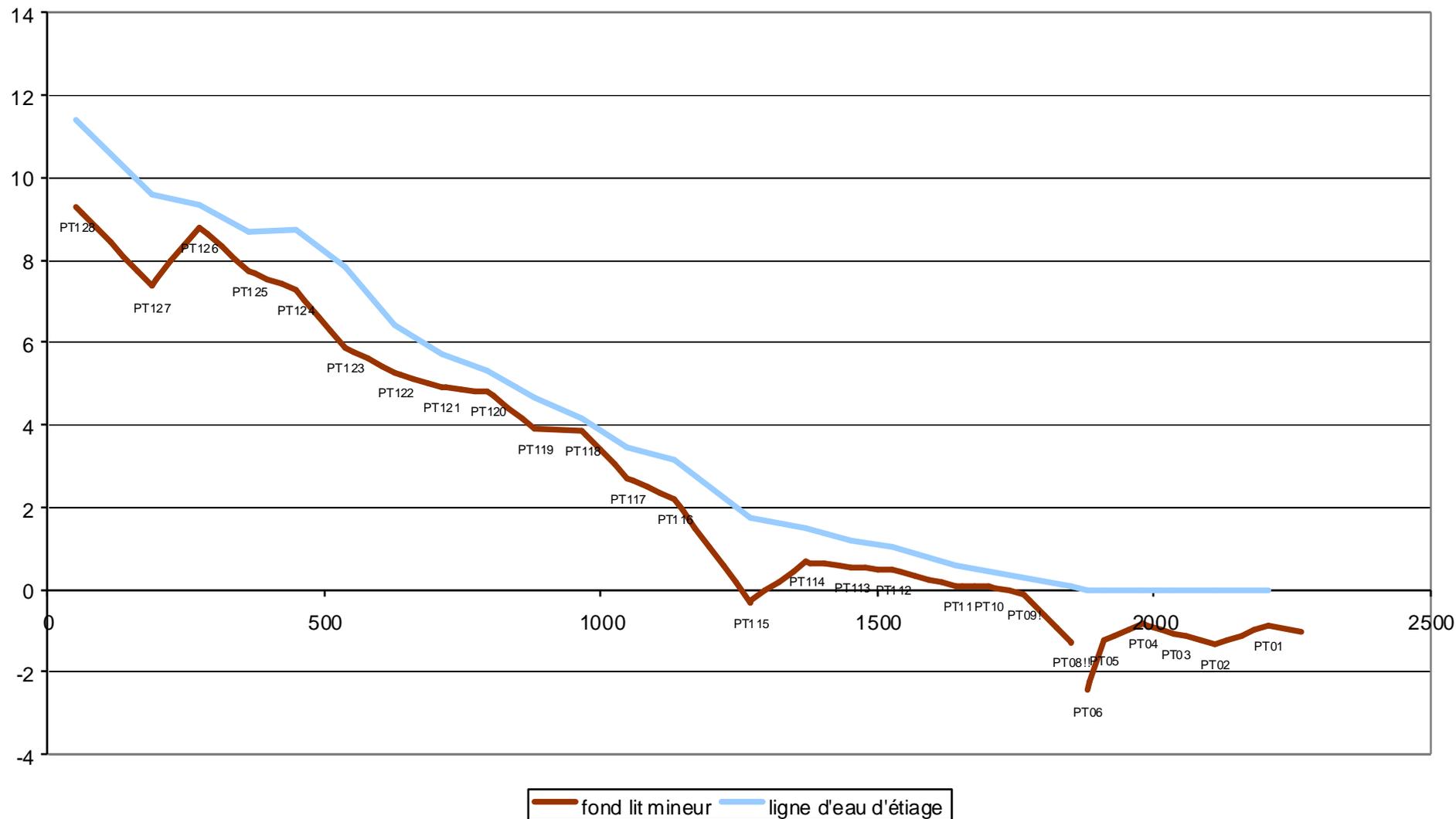


Figure 2 : Profil en long du lit mineur-Branche sud - Tevaifaara

Branche nord

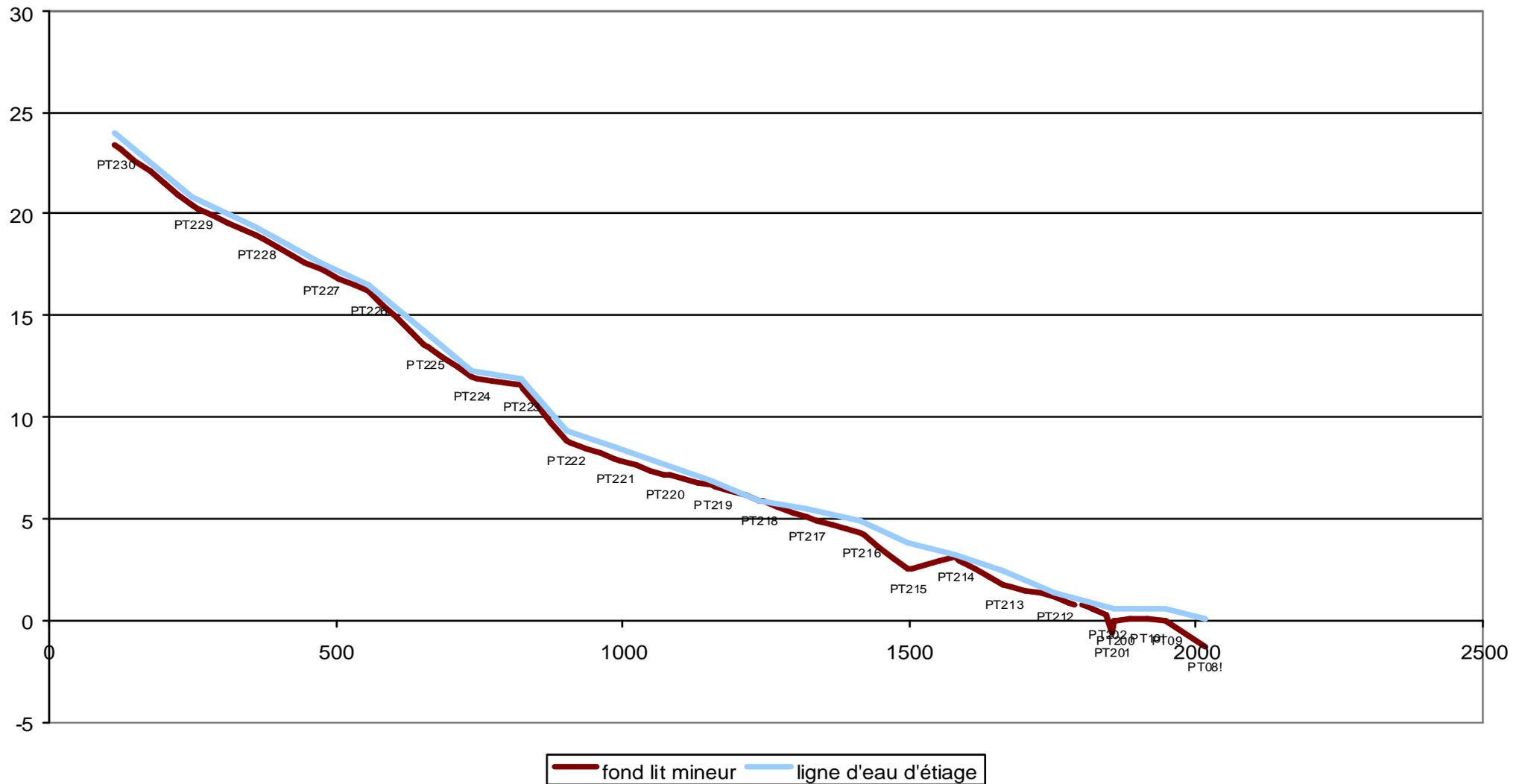


Figure 3 : Profil en long du lit mineur-Branche nord - Mahape

4.5. 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 du pont de la RT,
- la crue type Veena.

Les résultats de la modélisation sont donnés en annexe 2. 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.

4.5.1. Mécanismes d'écoulement en crue décennale

Sur le Mahape (branche nord), aucun débordement ne se produit sur la partie amont.

Les premiers débordements se produisent en rive gauche en amont de la confluence dans le secteur du PT213. Ces débordements sont assez faibles et entraînent de faibles hauteurs d'eau.

En amont immédiat de la RT, une dizaine de m³/s déversent en rive gauche entraînant des hauteurs faibles à fortes de par l'obstacle de la route qui fait obstruction aux écoulements.

Sur le Tevaifaara (branche sud), les premiers débordements se produisent au niveau du premier coude (secteur PT 127). Ces débordements sont faibles de l'ordre de quelques m³/s, les hauteurs d'eau sont par conséquent faibles dans cette zone. L'ensemble des débordements retrouvent le cours d'eau au niveau du coude suivant.

Des débordements se produisent en amont du coude (PT115) sur les deux rives mais principalement en rive droite. Une vingtaine de m³/s débordent au niveau de ce coude. Les hauteurs d'eau générées par ce débit dans cette zone restent globalement faibles, quelques zones avec des hauteurs moyennes (entre 0.5 et 1m) apparaissent ponctuellement.

En amont de la confluence, des débordements se produisent également, globalement plus importants sur la rive droite. Les eaux retournent ensuite dans le cours d'eau au niveau de la confluence. En rive droite, une partie des débordements surverse sur la route.

Globalement, il passe ainsi environ 25 m³/s en rive droite sur la route et via l'ouvrage de décharge.

En aval de la route, le cordon littoral fait obstacle aux écoulements. De nombreux échanges se produisent de ce fait entre le lit mineur et le lit majeur. La présence du cordon à plus de 2 m NGPF entraîne des hauteurs d'eau importantes à son amont.

Une trentaine de m³/s surversent sur le cordon littoral.

4.5.2. Mécanismes d'écoulement en crue centennale

Les zones de débordements sont beaucoup plus nombreuses que pour la crue décennale.

Sur le Mahape (branche nord), des débordements se produisent en rive gauche sur la partie amont. Au niveau du coude (PT225), une vingtaine de m³/s se propagent en lit majeur. Une partie de cette eau retourne ensuite dans le cours d'eau avant que de nouveaux débordements se produisent en amont du pont de la RT en rive gauche. Ces débordements se produisent sur les deux rives. Globalement en amont du P212 en rive gauche, les

hauteurs d'eau restent globalement faibles de par la présence de faibles débordements et d'une large plaine d'inondation.

En aval du PT213, il faut noter qu'une partie du débit arrive après avoir traversé un petit canal transversal et ceci en plus des débordements directs du cours d'eau. De fortes hauteurs d'eau peuvent ainsi être observées sur cette zone qui est située à l'arrière de la route qui fait barrage.

Sur le Tevaifaara, comme pour la crue décennale, les premiers débordements se produisent en rive gauche au niveau du coude ; ils retournent ensuite dans le cours d'eau. Les hauteurs d'eau sont fortes sur cette zone.

En amont du coude (secteur PT125), les premiers débordements en rive droite se produisent. Au niveau du coude PT115, environ 200 m³/s se propagent en rive droite.

Au niveau de la confluence, on peut noter qu'environ 210 m³/s passent en rive droite sur la route et via l'ouvrage de décharge.

En aval, comme pour la crue décennale, la présence du cordon littoral à plus de 2 m NGPF entraîne des hauteurs d'eau importantes en son amont.

200 de m³/s environ surversent sur le cordon littoral.

4.5.3. Prise en compte du risque d'embâcles

La prise en compte d'un embâcle à 50% de l'ouvrage sous la route territoriale entraîne une surcote de 1.70m en lit mineur.

Au niveau de la confluence, on peut noter qu'environ 425 m³/s passent en rive droite sur la route et via l'ouvrage de décharge.

Sur la branche sud, l'impact de cet embâcle est fort jusqu'au PT112 indus.

Sur la branche nord, l'impact de cet embâcle est fort jusqu'au PT212 indus.

4.5.4. Crue de type Veena

La dynamique d'écoulement pour la crue Veena est sensiblement la même que pour la crue centennale. Les cotes sont globalement plus faibles en lit mineur (2 à 37 cm de moins).

Au niveau de la confluence, on peut noter qu'environ 160 m³/s passent en rive droite sur la route et via l'ouvrage de décharge.

4.5.5. 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.

	Rive gauche – Débit de premier débordement en rive gauche en m ³ /s	Rive droite – Débit de premier débordement en rive droite en m ³ /s
PT128	460	–
PT127	380	–
PT126	540	–
PT125	440	620
PT124	200	570
PT123	–	480
PT122	–	650
PT121	–	530
PT120	410	430
PT119	330	410
PT118	480	400
PT117	–	510
PT116	550	640
PT115	–	390
PT114	–	290
PT113	–	320
PT112	230	340
PT11	250	240
PT10	250	360
PT09!	365	–
PT08!!		
PT06		
PT05		
PT04	–	Débordements pour un débit inférieur à 100 m ³ /s du fait de la condition limite aval (1 m NGT)
PT03		
PT02		
PT01		

Tableau 6 : Débit de premiers débordements- Branche sud – Tevaifaara

	Rive gauche – Débit de premier débordement en rive gauche en m ³ /s	Rive droite – Débit de premier débordement en rive droite en m ³ /s
PT230	–	–
PT229	270	–
PT228	210	–
PT227	–	–
PT226	190	–
PT225	–	300
PT224	210	–
PT223	–	–
PT222	200	–
PT221	–	–
PT220	–	–
PT219	–	–
PT218	280	–
PT217	–	–
PT216	260	–
PT215	–	260
PT214	300	–
PT213	140	–
PT212	150	210
PT200	190	140
PT10!	140	130
PT09	140	180

Tableau 7 : Débit de premiers débordements- Branche nord - Mahape

Branche sud

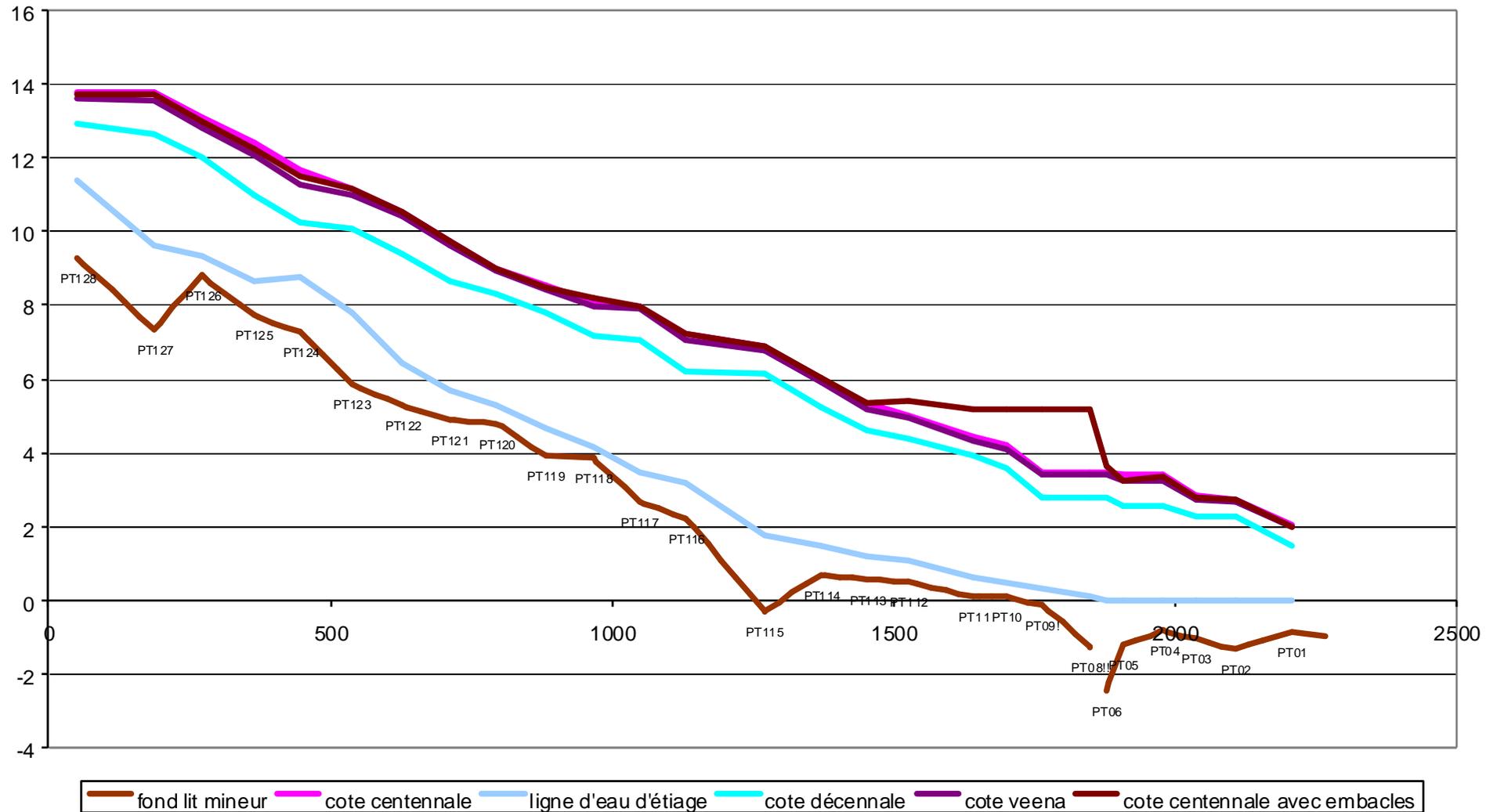


Figure 4 : Lignes d'eau pour les différentes simulations-Branche sud – Tev aifaara

Branche nord

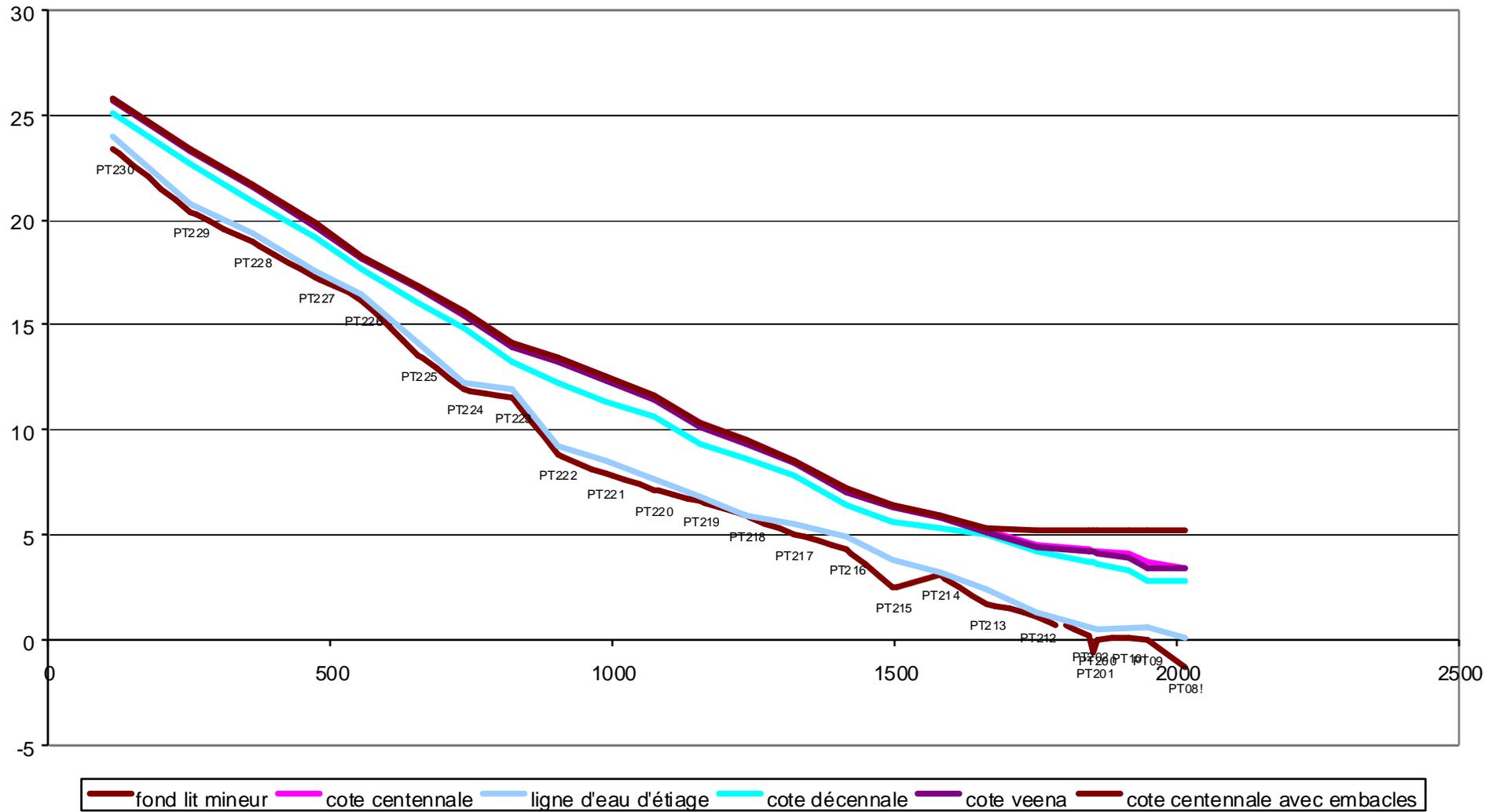


Figure 5 : Lignes d'eau pour les différentes simulations--Branche nord - Mahape

4.6. CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

4.6.1. 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 Veena

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

Tableau 8 : 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.

4.6.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennal

Dans le cadre de l'aléa centennal, 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.

5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

5.1. LES TRAVAUX DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

5.1.1. SOLUTIONS GENERALES ENVISAGEES

Compte tenu des fortes vitesses d'écoulement, et du fort transport solide, il est nécessaire d'étudier des solutions « dures » à base d'enrochements et/ou de béton. Les solutions plus souples (végétalisation de berge, renforcement de sol, enrochements en pente douce et végétalisés) sont plus difficilement envisageables du fait des fortes vitesses d'écoulement et des emprises foncières disponibles.

Deux principales catégories de protections peuvent être distinguées :

- les protections mises en œuvre sur des talus à pente modérée (<3H/2V), jouant principalement le rôle de protection contre l'érosion
- les protections mises en œuvre sur des talus à pente forte, jouant le rôle d'ouvrages de soutènement

Dans le secteur d'étude les fortes contraintes liées à la disponibilité du foncier (limitant la possibilité de taluter en déblai dans la berge) et la sensibilité aux inondations (limitant les possibilités de taluter en remblai dans le lit mineur) tendent à proposer d'emblée des solutions à pente forte.

5.1.2. TRAVAUX DE MISE EN ŒUVRE DE NOUVELLE PROTECTIONS

5.1.2.1. Perré incliné en enrochement libre (coupe type n°1)

5.1.2.1.1 Principe

Le perré incliné en enrochement libre est une protection de berge classique, ne nécessitant pas de technicité particulière. Elle nécessite par contre une emprise significative.

La pente maximale admissible pour l'enrochement sans mise en œuvre bloc à bloc est de 3h/2V. La pente conseillée est de 2h/1V.

La pose se fait en deux couches pour une épaisseur totale égale à deux fois le diamètre moyen ainsi calculé. Dans le cas d'enrochements métriques, une pose en une couche peut être réalisée si le positionnement des blocs est fait avec soin.

Une couche de transition (filtre granulométrique ou géotextile) est positionnée sous la protection, et un massif de pied permet l'ancrage et la protection contre l'affouillement.

5.1.2.1.2 Stabilité par rapport à la vitesse du courant

Le dimensionnement des blocs se fait selon la formule d'Isbach.

Calcul du diamètre moyen d'enrochement sur fond plat :

$$d = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} (\alpha \cdot V)^2$$

Avec : V = vitesse d'écoulement en m/s, γ_w = densité de l'eau, γ_s = densité de la roche,
 d = diamètre de l'enrochement, α = coefficient de survitesse

Calcul du diamètre moyen d'enrochement posé en talus :

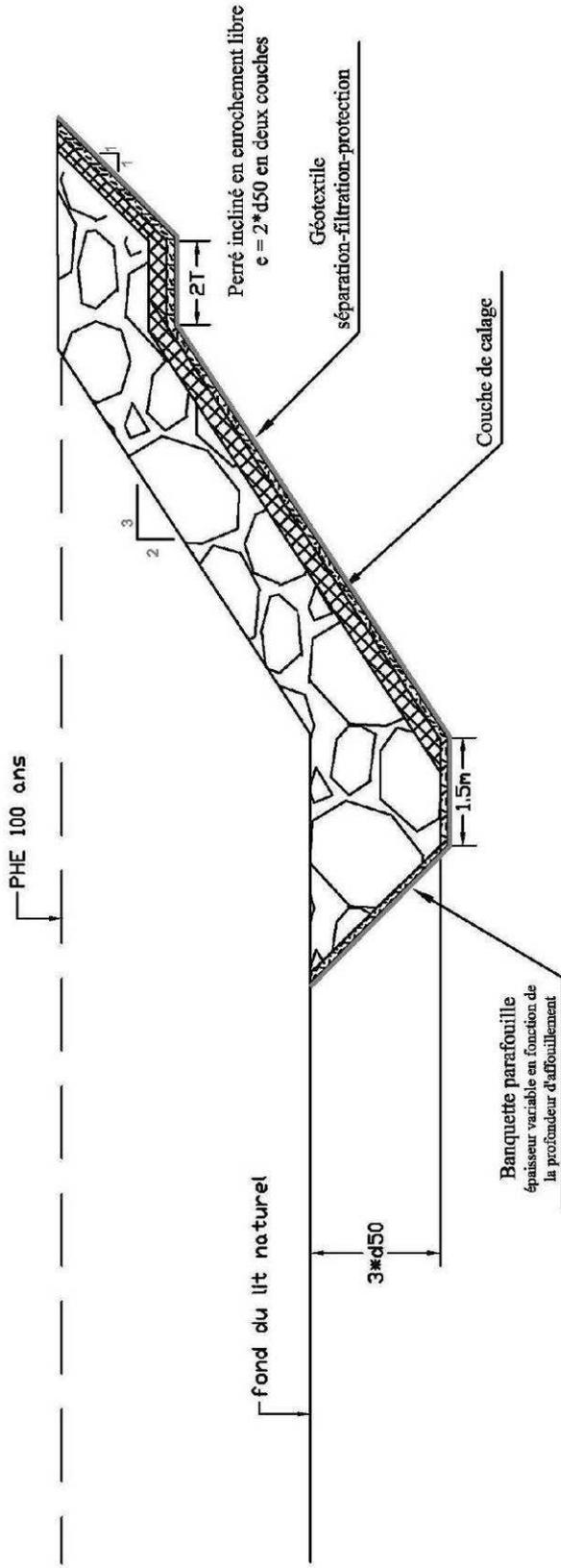
$$d_{\text{talus}} = \frac{d}{\lambda}, \lambda = \cos \phi \cdot \sqrt{1 - \frac{\text{tg}^2 \phi}{\text{tg}^2 \theta}}$$

Avec : V = vitesse d'écoulement en m/s, ϕ = angle du talus de pose, θ = angle du talus d'équilibre du matériau

5.1.2.1.3 Stabilité du talus au glissement

Un calcul de stabilité à l'aide d'un logiciel de calcul spécifique est nécessaire pour confirmer l'angle de pose des enrochements en fonction de la nature des terres et de la charge imposée en crête de talus. Ce calcul sera à effectuer dans le cadre de la conception plus poussée des ouvrages.

COUPE DE PRINCIPE



Mètres d50 = 0.8 m			
hauteurs m	volume d'enrochements m ³ /ml	géotextile m ² /ml	déblai m ³ /ml
2	16.5	13.2	16.5
3	19.2	15.0	19.2
4	21.8	16.8	21.8
5	24.5	18.6	24.5

Mètres d50 = 0.7 m			
hauteurs m	volume d'enrochements m ³ /ml	géotextile m ² /ml	déblai m ³ /ml
2	13.4	12.4	13.4
3	15.8	14.2	15.8
4	18.3	16.0	18.3
5	20.7	17.8	20.7

Mètres d50 = 0.6 m			
hauteurs m	volume d'enrochements m ³ /ml	géotextile m ² /ml	déblai m ³ /ml
2	10.6	11.8	10.6
3	12.7	13.6	12.7
4	14.9	15.4	14.9
5	17.1	17.2	17.1



Dessiné par
AT

Vérfifié par
CL

Echelle: 1/100
Date: 23/0,4/12

Etude N°
HSO 11126 K

Indice
A

Plan N°1
Format: A4

TAHITI - SAU

Programme ARAI

COUPE TYPE N°1 : PERRE EN ENROCHEMENTS LIBRES

5.1.2.2. Enrochement cyclopéen, mur poids en blocs bétonnés (coupe type n°3)

5.1.2.2.1 Principe

Le mur poids est une solution de confortement qui peut être déclinée en plusieurs type selon le matériau utilisé : pierres maçonnées, enrochements bétonnés, béton armé, enrochements libres.

Dans ce dernier cas on a affaire à un mur en « enrochements cyclopéens », constitué d'un empilement de blocs présentant une forme régulière, proche du parallépipède. **Il s'agit de la protection traditionnelle employée sur l'île.**

5.1.2.2.2 Stabilité par rapport à la poussée

Le dimensionnement des murs cyclopéen en enrochements libres et des murs en maçonnerie se fait de manière similaire. La différence réside dans la densité du mur maçonné, plus forte, qui limite la largeur de mise en œuvre, et dans la sensibilité du mur libre à la qualité des enrochements.

Le calcul évalue le rapport entre les forces appliquées au mur et les forces de résistance exercées par le mur en réponse.

En fonction de la nature des terres retenues, de la charge supplémentaires portée en crête (zone piétonne, passage de véhicules légers, de camions) l'ouvrage doit présenter une largeur minimale pour atteindre un certain facteur de sécurité.

Un facteur de sécurité de 1 signifie que la balance est juste équilibrée, ce qui est insuffisant pour garantir la tenue de l'ouvrage.

Ainsi l'existence de ce facteur de sécurité explique que certains ouvrages peuvent tenir en situation actuelle, sans pour autant être satisfaisants sur le plan du dimensionnement.

La chute peut être brutale suite à une situation de décrue rapide, de charge ponctuelle appliquée au sommet de la berge (passage ou stationnement de véhicules, bâtis), de séisme.

Le dimensionnement géotechnique doit donc être fait selon les normes en vigueur et sur la base de toutes les contraintes d'exploitation de l'ouvrage.

A titre indicatif on peut retenir les ordres de grandeur suivants :

		Ordre de grandeur de l'épaisseur moyenne du soutènement	
Hauteur	Surcharge	Terres favorables (angle de talus 45°), densité 1,6t/m ³ , drainées, F=1.5	Terres défavorables angle de talus 35°, densité 1,6t/m ³ , drainées, F=2
3.5m	0	0.8m	1.3m
3.5m	1.5t	1m	1.6m
5m	0	1.1m	1.90m
5m	1.5t	1.3m	2.2m

Tableau 9 : Ordre de grandeur de l'épaisseur moyenne d'un enrochement cyclopéen pour la stabilité au renversement.

5.1.2.2.3 Conditions de mise en œuvre

La stabilité de la protection est soumise à la qualité de mise en œuvre, qui peut être définie précisément pour les solutions maçonnerie, et qui restent qualitatives et sans garantie pour la mise en œuvre de mur en enrochement non lié.

Ouvrage	Conditions de mise en œuvre
Mur poids en maçonnerie ou béton	Drainage des terres en arrière du mur, mise en œuvre de barbacanes
Mur poids en enrochement libre cyclopéen	Blocs d'enrochement de forme proche du parallépipède, soigneusement empilés de sorte à limiter les vides et garantir une bonne surface de contact entre les blocs. Drainage des terres en arrière du mur et couche de transition (géotextile de séparation/filtration). Poids unitaire supérieur à 1 tonne.

5.1.2.2.4 Réalisation et ouvrages provisoires

La principale contrainte sur la zone d'étude est la présence d'avoisinant en sommet de berge : voiries et habitations.

Pour la reconstruction des protections de berges, deux options sont possibles :

- la solution standard est un talus de déblai d'une pente minimale de 1/1 à partir de l'arrière de la protection à mettre en œuvre (ou pente plus douce selon étude géotechnique à mener), avec démolition et remise en état des surfaces excavées,
- la solution évitant le talus de déblai est la mise en œuvre d'un blindage de type paroi berlinoise ou micro berlinoise. Ce dispositif est délicat à mettre en œuvre et couteux. La problématique de la zone d'étude est la présence présumée d'éléments grossiers (blocs) dans le sol limitant les possibilités de battage de palplanches ou de profilés. Il sera probablement nécessaire de réaliser des forages pour mettre en œuvre les éléments verticaux de blindages, et/ou des tirants d'ancrage.

Dans le cas où l'on souhaite éviter ces solutions, il pourra être envisagé les solutions de confortement de l'existant, présentées au paragraphe 5.1.3 « Travaux de confortement sans démolition de l'existant. »

5.1.2.3. Parafouille

Les résultats de l'estimation des profondeurs maximale d'affouillement donnent des valeurs très élevées (2 à 4 mètres).

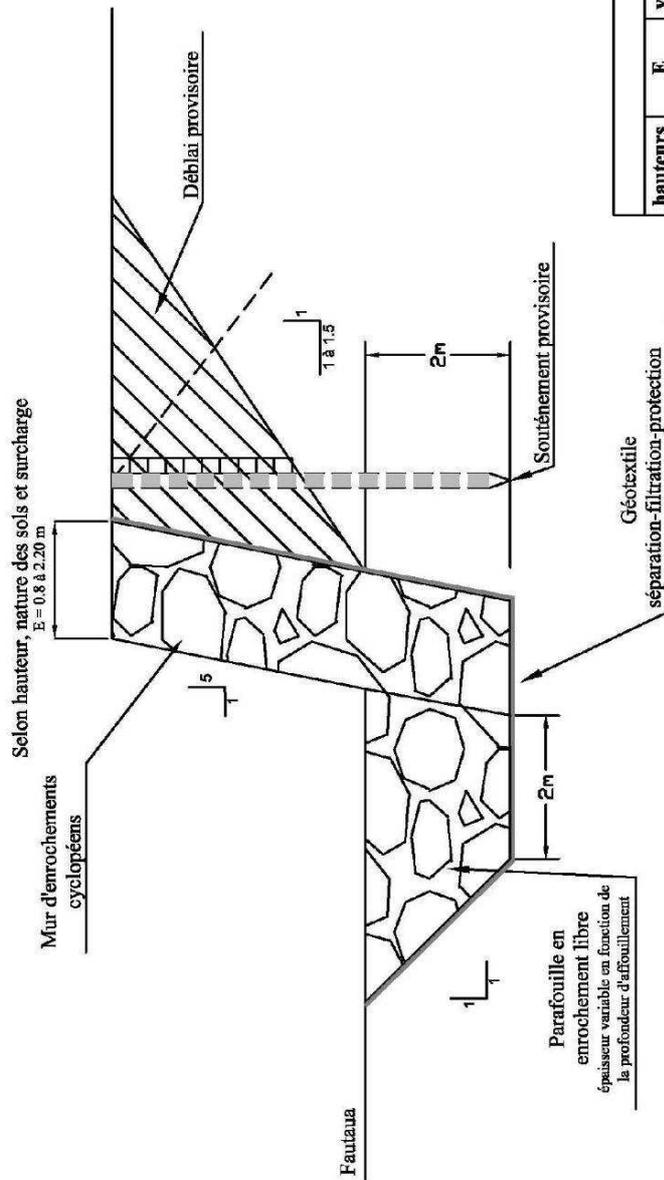
Afin de cibler les protections là où le risque est le plus fort, la stratégie d'aménagement se basera sur :

- une cote inférieure des radiers de pied en enrochements libres toujours au moins 2m sous le fond du lit naturel, en dehors de toute singularité (rétrécissement ponctuel, obstacle)
- une plus grande profondeur dans les zones d'affouillement d'extrados

Une alternative à étudier dans les phases ultérieures de conception sera la mise en œuvre d'un tapis souple posé en profondeur (matelas gabions ou béton articulé), qui s'adaptera en cas de crue exceptionnelle à la déformation du fond.

COUPE DE PRINCIPE

Protection par mur poids en enrochement



hauteurs m	Métrés			déblai m ³ /ml
	E m	volume d'enrochements m ³ /ml	géotextile m ² /ml	
2	1.3	12.2	12	1.6
3.5	1.3	14.2	21	4.9
4	1.75	14.8	25	6.4
5	1.75	16.1	34	10



Dessiné par
AT

Etude N°
HSO 11126 K

Vérifié par
CL

Indice
A

Echelle: 1/100

Plan N°3

Date: 23/04/12

Format: A4

TAHITI - SAU

Programme ARAI

COUPE TYPE N°3 : MUR POIDS EN ENROCHEMENT

5.1.3. TRAVAUX DE CONFORTEMENT SANS DEMOLITION DE L'EXISTANT (COUPE TYPE N°2)

Les berges de la Tevaifara sont déjà protégées sur la quasi-totalité des linéaires à enjeux. Plutôt que refaire en totalité les protections existantes, il peut être envisagé un programme de confortement.

5.1.3.1. Programme de reconnaissances complémentaires

La programmation de travaux sera faite après réalisation des investigations suivantes, en l'absence de document de récolement attestant des dimensions des ouvrages :

- fouilles de reconnaissance en pied coté cours d'eau afin de vérifier la présence d'une parafouille
- étude géotechnique comprenant
 - o sondages dans la protection en place visant à en déterminer la géométrie des enrochements en place (épaisseur)
 - o sondages en arrière de la protection et essais visant à déterminer les caractéristiques des matériaux à retenir
 - o analyse des charges particulières appliquées à l'ouvrage, des fondations des avoisinants
 - o évaluation de la stabilité des ouvrages et du choix du confortement parmi les solutions type présentement définies.

5.1.3.1.1 Stabilité du talus

En cas de géométrie irrégulière des enrochements utilisés actuellement en perré, et pour éviter le phénomène de succion des fines à l'arrière de la protection :

Il est dans proposé d'injecter du béton dans les vides du mur, après positionnement de barbacanes qui devront rester fonctionnelles.

En cas de parafouille insuffisant

Il est proposé de réaliser une parafouille en enrochements libres en pied d'ouvrage.

En cas d'instabilité du mur en enrochement existant

L'instabilité (au renversement ou au glissement) peut être contrée par la réalisation d'un voile béton ancré sur des tirants mis en œuvre au préalable dans la berge.

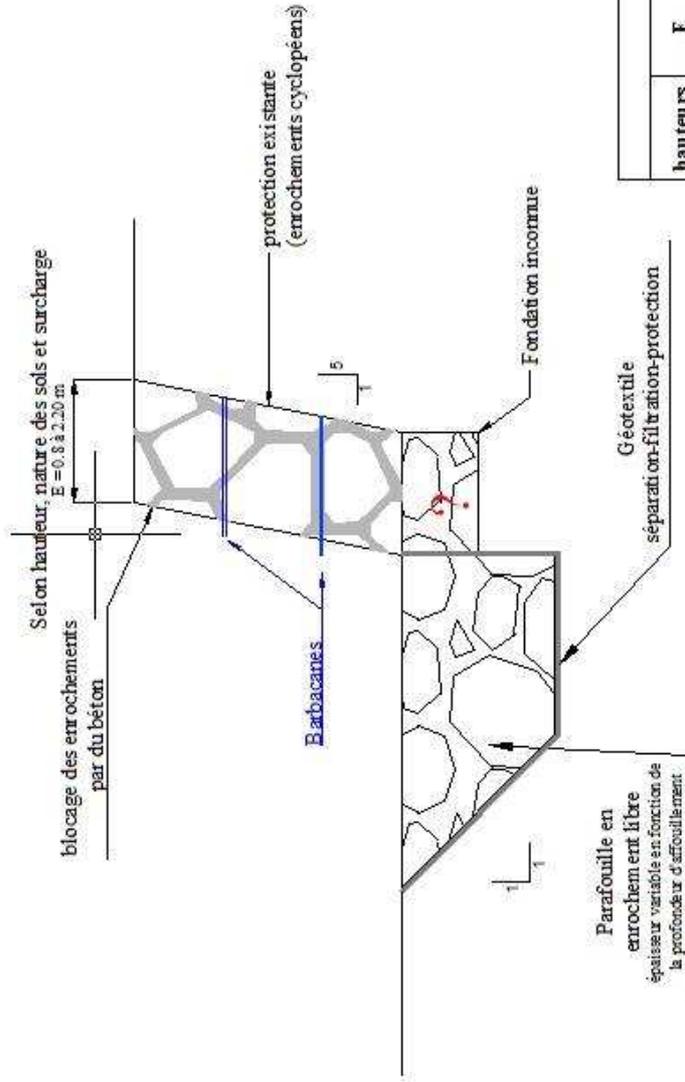
Cette solution permet le cas échéant de s'affranchir des déblais provisoires.

Elle relève d'un dimensionnement spécifique à réaliser dans le cadre d'études géotechniques adaptées. Les ouvrages précisés dans la présente étude définissent uniquement des principes généraux. Si cette solution n'est pas possible la reconstruction de l'ouvrage sera à envisager.

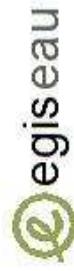
COUPE DE PRINCIPE

Protections existantes

Protections contre l'affouillement et amélioration de la stabilité des blocs



hauteurs m	E m	Mètres			
		volume d'entrochements m ³ /ml	géotextile m ² /ml	volume de béton m ³ /ml	d'éblai m ³ /ml
2	1.3	6.7	7.3	1.0	6.7
3.5	1.3	6.7	7.3	1.6	6.7
4	1.75	6.7	7.3	2.5	6.7
5	1.75	6.7	7.3	3.0	6.7



Dessiné par
AT

Etude N°
HS0 11126 K

Vérifié par
CL

Indice
A

Echelle: 1/100
Plan N°2

Date: 23/04/12
Format: A4

TAHITI - SAU

Programme ARAI

COUPE TYPE N°2 : CONFORMEMENT
PROTECTIONS EXISTANTES

5.2. LES TRAVAUX A ENGAGER SUR LA RIVIERE TEVAIFAARA (VAITAARA)

La quasi-totalité du linéaire des deux rivières étudiées a fait l'objet de travaux de protection : le lit de la rivière a été fixé par la mise en place de murs poids en enrochements cyclopéens sur les berges.

Ces protections ont été détruites en plusieurs endroits, en particulier du fait de la non présence de parafeuilles en pied des ouvrages de protection. De fait la totalité du linéaire des protections de berge doit être conforté.



Encoche d'érosion P08-P09 et au droit du coude P115-P116

Les travaux proposés sont relatifs :

- A la gestion des dépôts solides de la rivière sur toute la partie aval de la Tevaifaara comprise entre le profil P117 et l'embouchure. Cette zone correspond à une rupture de pente du profil en long du cours d'eau et est donc une zone préférentielle pour le dépôt des sédiments.
- Aux secteurs où la rivière risque d'évoluer en créant des bras secondaires en période de crue en particulier au droit des trois coudes principaux de la zone d'étude situés profils P115- P116, P124-122 et P125-P127.
- A la gestion du cordon littoral qui constitue un frein à l'évacuation des eaux pour toute la partie aval du cours d'eau.
- A la protection des habitations situées à l'aval de la RTA en rive droite du canal de décharge situé au sud de la zone d'étude,
- Aux zones où les habitants sont les plus exposés, notamment du fait de leur proximité par rapport aux berges du cours d'eau avec un risque fort de destruction d'habitations en cas d'érosion et d'affaissement de berge.

Dans le cadre de ces travaux on distingue des **travaux d'urgence** :

- confortement des protections existantes situées dans le coude entre les profils P115 et P116 (cf photo ci-dessus),
- confortement des protections existante situées à l'amont rive droite du pont entre les profils P08- P09 (cf photo ci-dessus)

5.2.1. Impact du cordon littoral

Une modélisation a été réalisée pour juger l'impact du cordon littoral sur les niveaux de crue pour un événement centennal. Les travaux pris en compte sont les suivants :

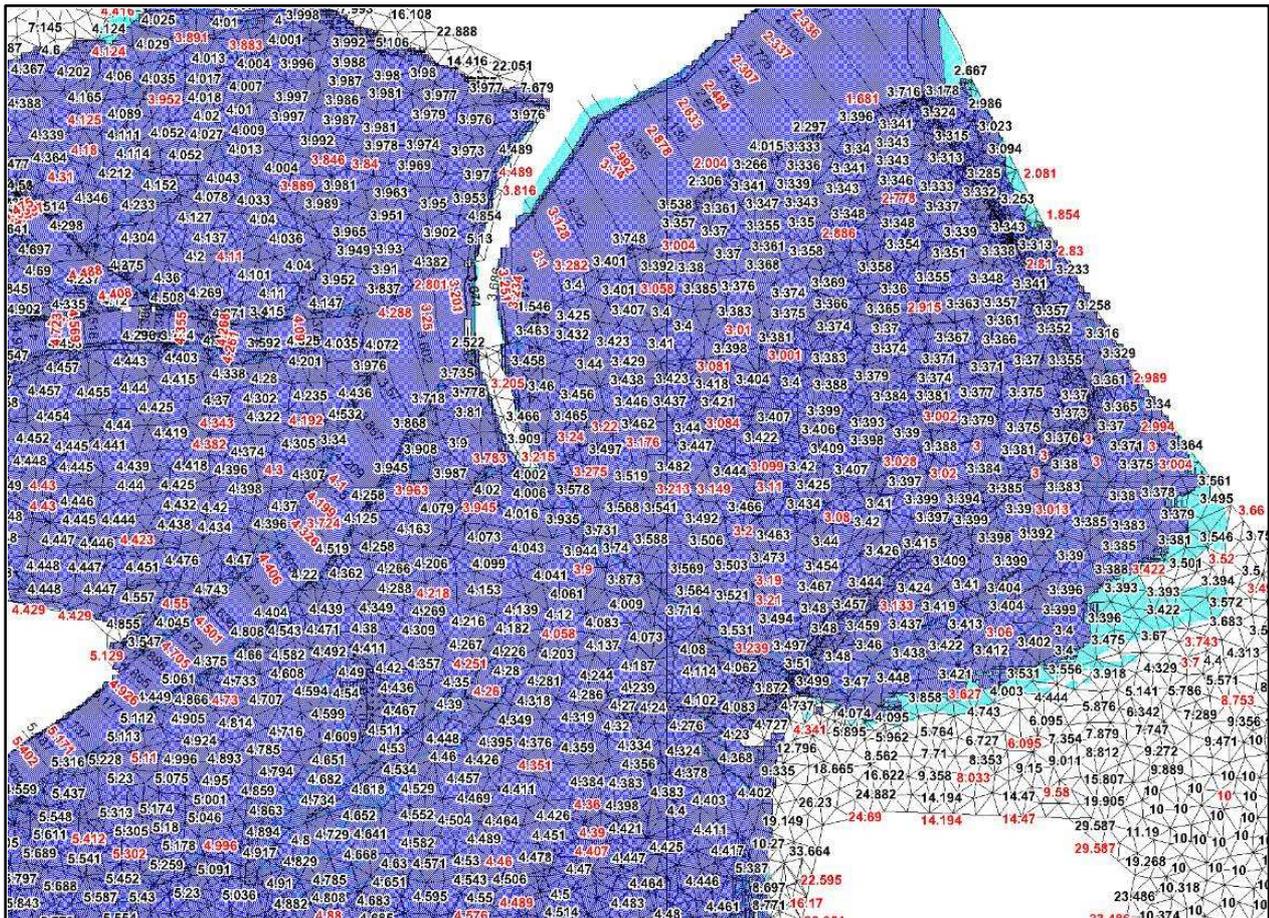
- Curage jusqu'à la cote -1NGPF du lit de la rivière au droit de l'embouchure,
- Abaissement du cordon littoral sur un linéaire de 100m à la cote +1NGPF dans le prolongement du débouché du cours d'eau (le cordon est à l'heure actuelle calé à des cotes comprises entre +2 et +3 m NGPF).



Les résultats obtenus sont les suivants :

- Abaissement des niveaux de crue de l'ordre de 0.40 à 0.50m entre la RT et le cordon littoral. La zone située en rive droite de la rivière, dont l'altitude moyenne est comprise entre 1 et 2m NGPF reste donc fortement inondable avec des hauteurs de submersion comprises entre 1 et 2m (cf figure ci-dessous).
- A l'amont de la RT l'impact des travaux sur le cordon littoral ne se traduit plus que par des abaissements de l'ordre ou inférieurs à 10cm.

Le curage de l'embouchure et l'abaissement du cordon littoral sur une longueur de 100m permet donc de diminuer les hauteurs de submersion sur la zone aval mais ne permet pas de limiter la dangerosité de cette zone en cas de concomitance de hauts niveaux de mer à l'embouchure et de forte crue des cours d'eau.



Impact de l'ouverture du cordon littoral pour une crue centennale: en noir les cotes actuelles, en rouge les cotes après aménagement.

5.2.2. Travaux de gestion des dépôts solides entre le profil P117 et l'embouchure

Ce secteur correspond à une rupture de pente du profil en long et est soumis à d'importants dépôts. Il est proposé :

- Des travaux de curage sur un linéaire de 1150m,
- La mise en place d'un dispositif de surveillance de l'évolution des fonds, les profils en travers levés dans le cadre de cette étude permettant de faire un état 0 du profil en long.

5.2.3. Travaux de protection contre les débordements du lit mineur de la rivière

Ces travaux sont décomposés selon deux ordres de priorité en fonction des enjeux existants :

Priorité 1 : protection de la rive droite en amont de la RT entre les profils P08 et P10. Sur ce secteur l'enjeu est la zone d'habitation située en amont immédiat du pont, menacée par une encoche d'érosion. Il est proposé un confortement des protections existantes en rive droite et un élargissement du lit en rive gauche :

- Rive droite : Linéaire d'application : 140 m, protection selon coupe type n°2,
- Rive gauche : linéaire d'application : 80m, protection selon coupe type n°3,

Priorité 2 : protection entre les profils P10 et P114, sur ce secteur le lit n'est pas assez capacitif. Il est proposé de conforter les protections existantes en rive droite entre les profils P10 et P112, d'élargir le lit en rive gauche entre les profils P10 et P112, puis en rive droite entre les profils P112 et P114.

- Linéaire d'application : 170 m, protection selon coupe type n°2,
- Linéaire d'application : 330m, protection selon coupe type n°3,

Priorité 1 : protection et surélévation (1m) de la rive droite dans le coude situé entre les profils P114 et P117. Sur ce secteur l'enjeu est le risque de débordement et de divagation du lit mineur de la rivière.

- Linéaire d'application : 330 m
- Protection selon coupe type n°2

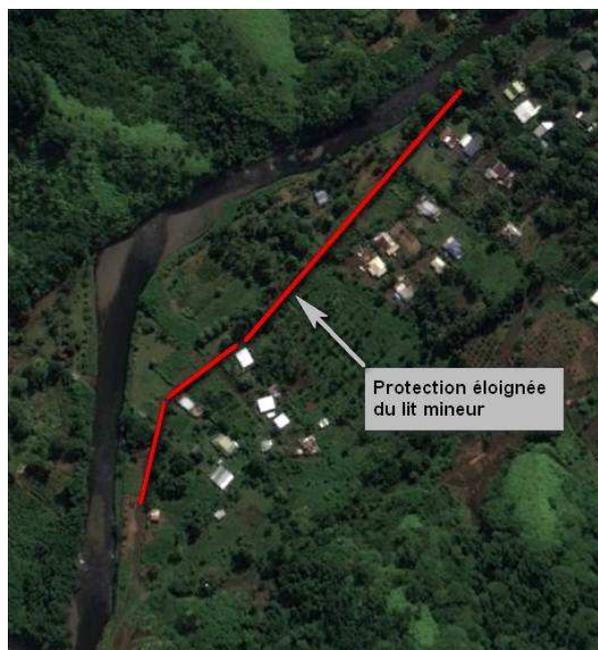
Priorité 2 : protection et surélévation (1m) de la rive droite entre les profils P117 et P121,

- Linéaire d'application : 330 m
- Protection selon coupe type n°2

Priorité 1 : protection et surélévation (1m) de la rive droite dans le coude situé entre les profils P121 et P126, y compris curage de la zone d'atterrissement située entre les profils P122 et P124. Sur ce secteur l'enjeu est le risque de débordement et de divagation du lit mineur de la rivière.

- Linéaire d'application : 430 m
- Protection selon coupe type n°2

Une alternative à cette protection pourrait être la mise en place d'une protection le long du chemin existant plutôt que le long des berges de la rivière, selon l'implantation présentée ci-dessous.



5.2.4. Protection à l'aval de la RT2 (secteur de l'école de Mahaena)

La protection proposée a pour objet la protection contre les inondations du quartier de Mahaena situé à l'aval de la RT2, en bordure du canal existant. Une quinzaine d'habitations et l'école de Mahaena sont concernées.

Il s'agit de mettre en place un mur poids ou un mur Cantilever de caractéristiques suivantes :

- Hauteur moyenne entre 1.30m et 1.50m pour un épisode centennal, 0.80m pour une protection décennale,
- Longueur d'application : 260m.

Les écoulements pluviaux du secteur protégé seront évacués via des clapets anti-retour dans le canal existant en pied de protection.



5.2.5. Protection à l'aval rive droite du pont

Il est difficile de protéger ce secteur car les inondations proviennent de vastes zones de débordement aval et des débordements franchissant la RT au sud de cette zone. La seule solution envisageable serait de ceinturer l'ensemble de cette zone par un mur poids ou un mur cantilever de hauteur 1.50m se raccordant sur le remblai routier de la RT.

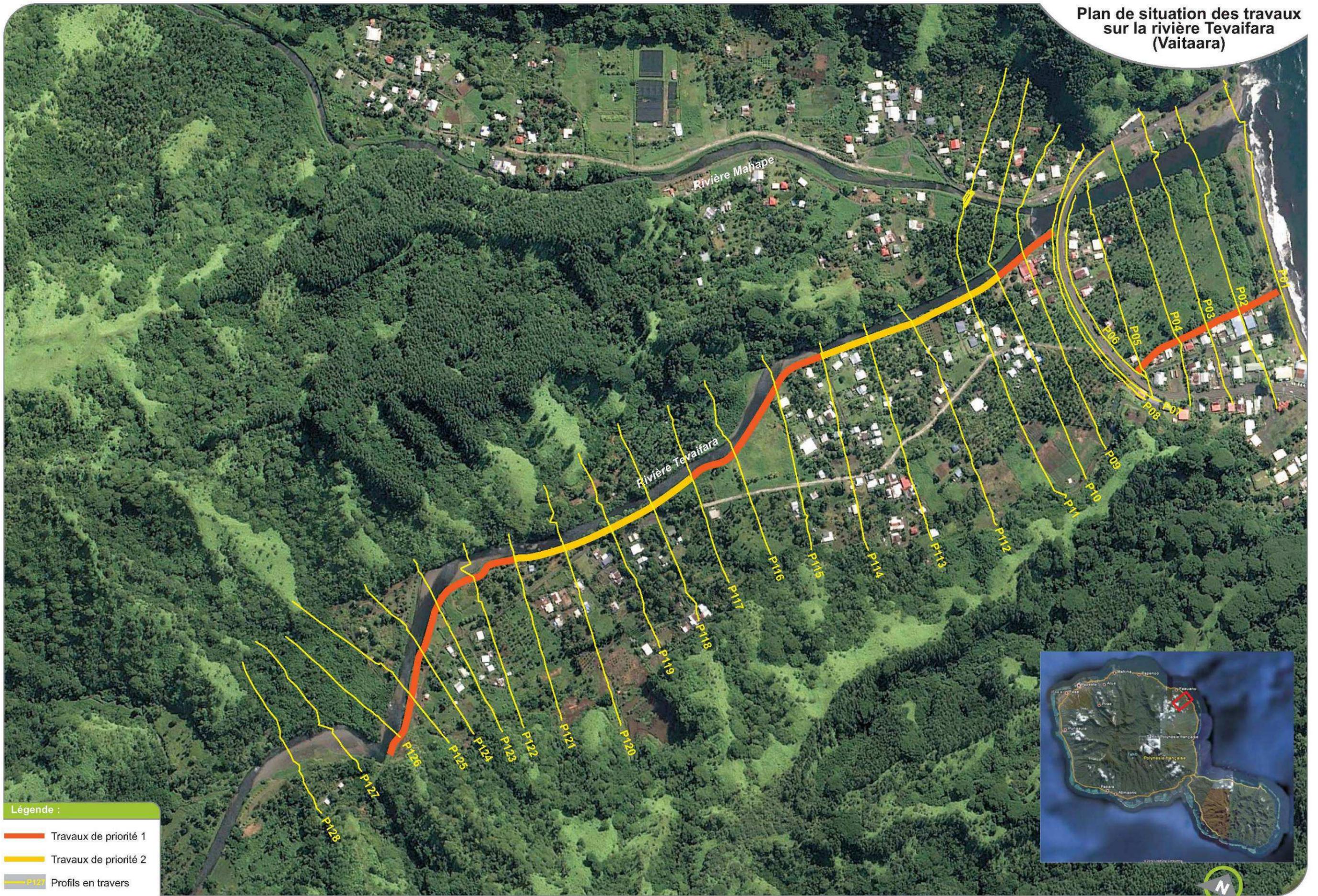
Devant la difficulté de la mise en place de ce type de protection, il serait plutôt à étudier des mesures de réduction de la vulnérabilité :

- Construction sur pilotis pour tout projet de rénovation ou d'extension,
- Mise en place de batardeaux au droit des entrées des bâtis,
- Possibilité de mise à l'abri à l'étage,
- Possibilité d'évacuation vers le pont de la RT.



Secteur aval Rive Droite Pont

Plan de situation des travaux sur la rivière Tevaifara (Vaitaara)



Légende :

- Travaux de priorité 1
- Travaux de priorité 2
- P127 Profils en travers



5.3. TRAVAUX A ENGAGER SUR LA MAHAPE

Pour une crue centennale les zones de risque sur la Mahape sont sans commune mesure avec les risques existants sur la Tevaifara (Vaitaara). La rive gauche de la rivière est inondée avec de faibles hauteurs d'eau à l'exception du secteur situé à l'amont immédiat rive gauche du pont de la RT.

Les travaux préconisés visent :

- A conforter les ouvrages de protection en place contre le risque d'affouillement en pied de berge.
- A protéger le secteur situé en amont rive gauche du pont.

5.3.1. Confortement des ouvrages existants

Ces travaux sont décomposés selon deux ordres de priorité en fonction des enjeux existants :

Priorité 1 : Confortement des protections existantes en rive gauche dans le coude situé entre les profils P214 et P217 :

- Linéaire d'application : 250 m
- Protection selon coupe type n°2

Priorité 2 Confortement des protections existantes en rive gauche et droite entre les profils P08 et P214 et P217 et P219,

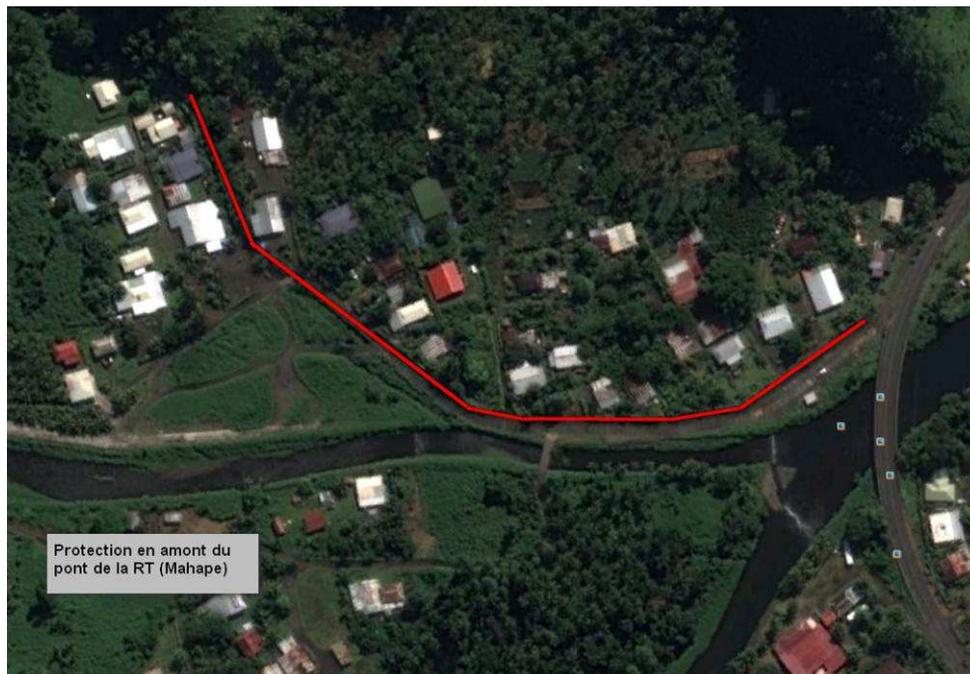
- Linéaire d'application : 1260 m
- Protection selon coupe type n°2

5.3.2. Protection du secteur a l'amont du pont

Sur ce secteur il est proposé la mise en place d'une protection rapprochée de la zone soumise à un risque fort d'inondation, intégrant :

- Une surélévation de 0.40m de la route de desserte,
- La mise en place d'un muret de hauteur comprise entre 0.50 et 0.80m sur un linéaire de 380m, empêchant les eaux de pénétrer dans la zone à protéger.

L'assainissement pluvial de la zone protégée sera assuré par l'ouvrage existant sous la RT à la limite nord de la zone d'étude. Les accès aux propriétés riveraines devront être munis de batardeaux qui devront être mis en place en cas d'inondation.



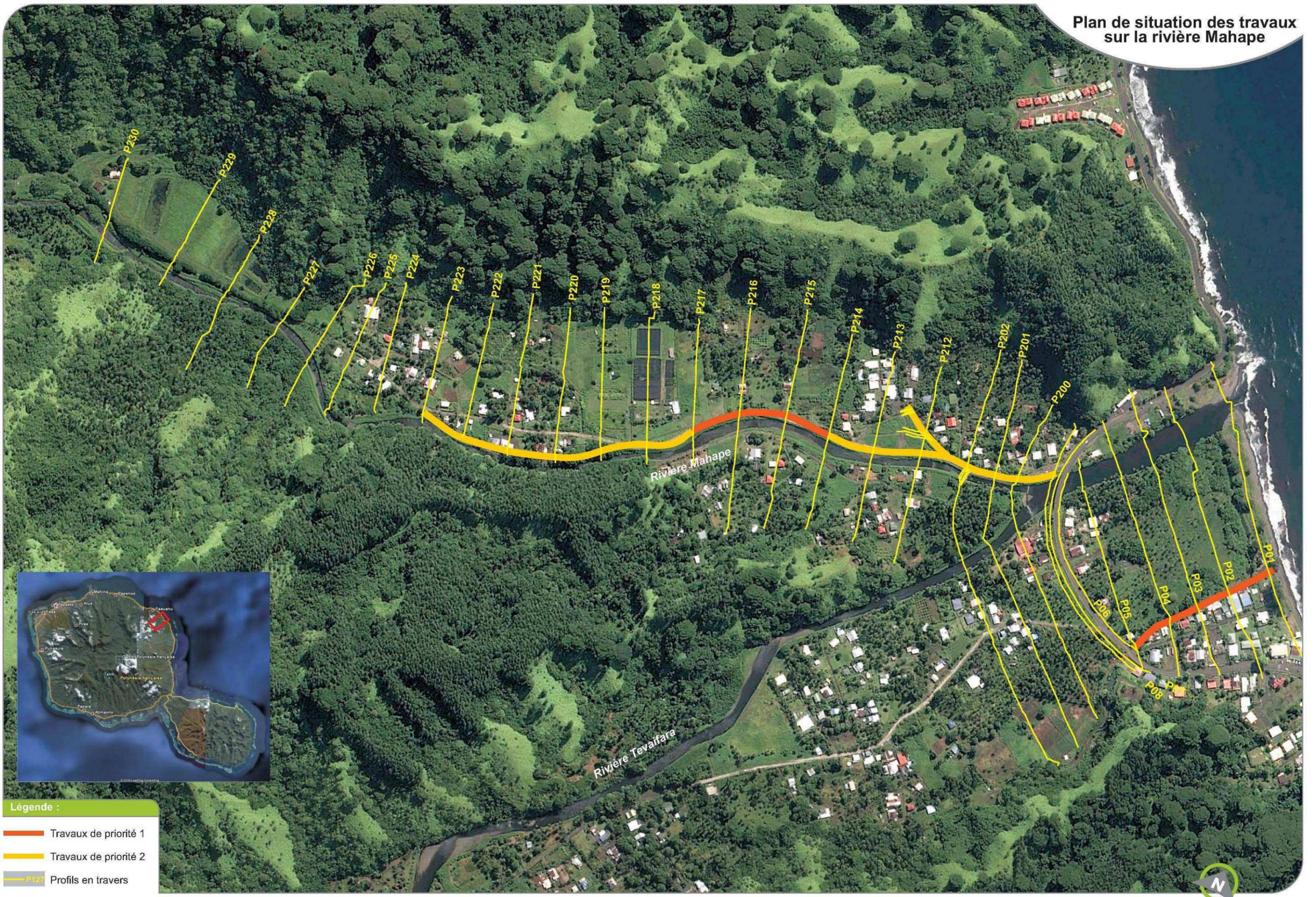
Exemple de mise en place batardeaux

5.3.3. Protection du secteur amont (P219-P223)

La protection proposée est réalisée en rive gauche ente les profils P219 et P223, dans la continuité de la protection existante. Elle permet de répondre aux attaques de berge constatées sur le terrain. Les caractéristiques de cet ouvrage sont les suivantes :

- Linéaire d'application : 430 m
- Protection selon coupe type n°3





Légende :

- Travaux de priorité 1
- Travaux de priorité 2
- P127 Profils en travers

5.4. 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...).

5.5. 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'embâde 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 embâde,
- Un passage avant chaque saison cyclonique : gestion de la végétation, évacuation des encombrants, identification des affouillements au droit des ouvrages de protection de berges ...

5.6. CHIFFRAGE ESTIMATIF

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

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

5.6.1. Tevaifaara

Désignation	Unité	Quantitatif	Prix unitaire HT en FCFP	Prix HT en FCFP
TEVAIFAARA (VAITAARA)				
Travaux de protection entre les profils P08 et P10 (Priorité 1)				
Enrochements libres	m ³	2122	6 000	12732000
Géotextile	m ²	3022	1 000	3022000
Béton	m ³	350	54 000	18900000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	1738	600	1042800
Sous Total				35 696 800
Travaux de protection entre les profils P10 et P14 (priorité 2)				
Enrochements libres	m ³	6023	6 000	36138000
Géotextile	m ²	9491	1 000	9491000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	4439	600	2663400
Volume de béton	m ³	425	54000	22950000
Sous Total				71 242 400
Travaux de protection entre les profils P114 et P117 (priorité 1)				
Enrochements libres	m ³	2211	6 000	13266000
Géotextile	m ²	2409	1 000	2409000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	2211	600	1326600
Volume de béton	m ³	825	54000	44550000
Sous Total				61 551 600

Travaux de protection entre les profils P117 et P121 (priorité 2)				
Enrochements libres	m ³	2211	6 000	13266000
Géotextile	m ²	2409	1 000	2409000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	2211	600	1326600
Volume de béton	m ³	825	54000	44550000
Sous Total				61 551 600
Travaux de protection entre les profils P121 et P126 (priorité 1)				
Enrochements libres	m ³	2881	6 000	17286000
Géotextile	m ²	3139	1 000	3139000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	2881	600	1728600
Volume de béton	m ³	1075	54000	58050000
Sous Total				80 203 600
Protection à l'aval de la RT2 (école de Mahaena)				
Béton armé	m ³	91	100 000	78300000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	260	600	1500000
Sous Total				79 800 000
Total général				390 046 000
Divers et aléa 15%				58 506 900
TOTAL arrondi				448 500 000

5.6.2. Mahape

Désignation	Unité	Quantitatif	Prix unitaire HT en FCFP	Prix HT en FCFP
MAH APE				
Travaux de protection entre les profils P214 et P217 (Priorité 1)				
Enrochements libres	m ³	1675	6 000	10050000
Géotextile	m ²	1825	1 000	1825000
Béton	m ³	400	54 000	21600000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	1675	600	1005000
Sous Total				34 480 000
Travaux de protection entre les profils P09 et P219 (priorité 2)				
Enrochements libres	m ³	8442	6 000	50652000
Géotextile	m ²	9198	1 000	9198000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	8442	600	5065200
Volume de béton	m ³	2016	54000	108864000
Sous Total				173 779 200
Travaux de protection entre les profils P219 et P223 (priorité 2)				
Enrochements libres	m3	6020	6 000	36120000
Géotextile	m2	9030	1 000	9030000
Déblais (y compris évacuation)	m3	4300	600	2580000
Sous Total				47 730 000
Protection a l'aval de la RT2 (école de Mahaena)				
Béton armé	m3	60.8	100 000	6080000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	380	600	228000
Sous Total				6 308 000
Total général				262 297 200
Divers et aléa 15%				39 344 580
TOTAL arrondi				300 000 000

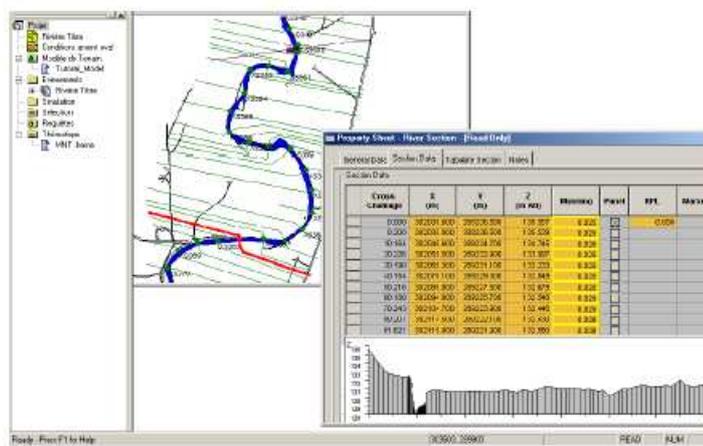
ANNEXES

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.



Environnement Projet

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.

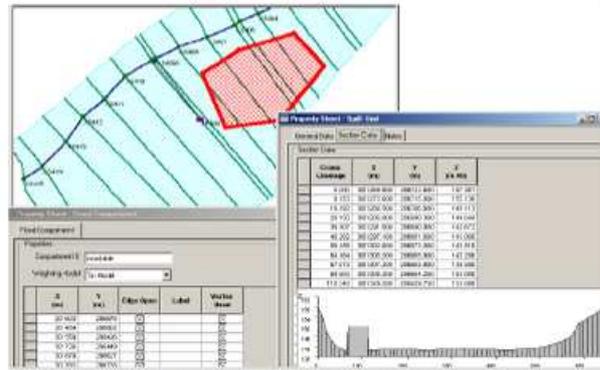


Tracé d'un profil à partir du MNT

Gamme Modélisation

InfoWorks RS®

- 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

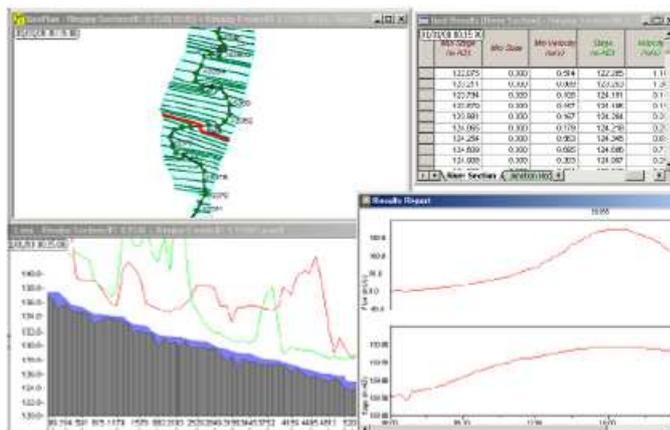
Moteur de calcul

- 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 :

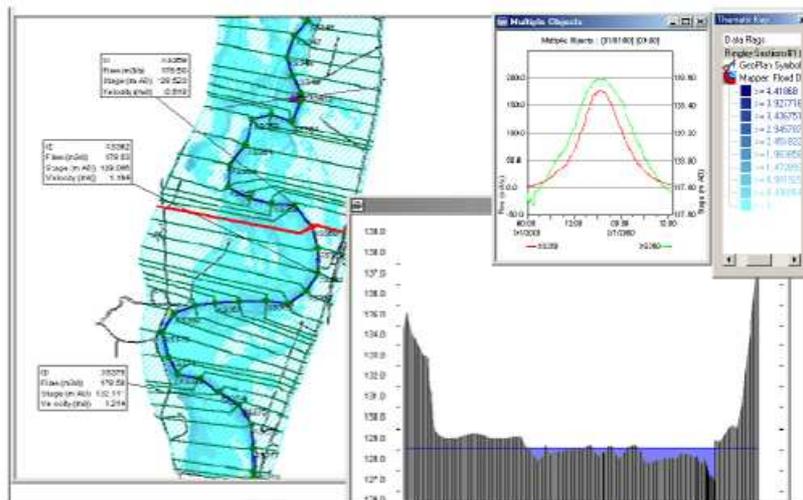
- Importation des modèles existants sous ISIS 2.0®.
- Importation au format CSV.
- Importation de bassins et polygones de stockage de MapInfo® et ArcView®.
- Exportation des données et résultats de simulation vers MapInfo® et ArcView®.
- Exporte les modèles vers ISIS 2.0®.

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

InfoWorks RS® est un logiciel développé par Wallingford Software.



Annexe 2
Résultats de la modélisation Infoworks

Profil	Fil d'eau limiteur en m NGT	Cru e d e c e n n a l e						Cru e c e n t e n n a l e						Cru e c e n t e n n a l e a v e c e m b a c l e s						Cru e V e e n a					
		Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Cote maximum en rive gauche en m NGT	Cote maximum en rive droite en m NGT	Vitesse maximum en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en rive droite en m/s	Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Cote maximum en rive gauche en m NGT	Cote maximum en rive droite en m NGT	Vitesse maximum en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en rive droite en m/s	Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Cote maximum en rive gauche en m NGT	Cote maximum en rive droite en m NGT	Vitesse maximum en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en rive droite en m/s	Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Cote maximum en rive gauche en m NGT	Cote maximum en rive droite en m NGT	Vitesse maximum en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en rive droite en m/s
PT128	9.27	12.92	4.31	-	-	-	-	13.79	5.36	13.39	-	0.26	-	13.75	5.49	13.40	-	0.25	-	13.58	5.23	13.27	-	0.22	-
PT127	7.35	12.64	1.53	12.61	-	0.05	-	13.79	2.02	13.36	-	0.47	-	13.75	2.09	13.40	-	0.47	-	13.55	1.99	13.23	-	0.45	-
PT126	8.79	12.00	4.33	12.33	-	0.13	-	13.12	4.69	13.08	-	0.94	-	13.00	5.20	13.12	-	0.98	-	12.81	5.10	12.94	-	0.85	-
PT125	7.72	10.99	4.28	11.23	-	0.23	-	12.41	4.60	12.48	12.39	0.67	0.59	12.26	4.96	12.59	12.51	0.66	0.71	12.04	4.87	12.25	12.07	0.60	0.48
PT124	7.27	10.25	4.30	10.36	-	0.34	-	11.64	4.78	12.35	11.56	0.90	0.00	11.48	5.25	12.48	11.59	0.73	0.00	11.29	5.10	12.15	11.42	0.96	0.00
PT123	5.85	10.05	2.68	-	-	-	-	11.13	3.73	-	11.01	-	0.69	11.14	3.75	-	11.01	-	0.68	11.01	3.53	-	10.86	-	0.57
PT122	5.28	9.36	3.43	-	-	-	-	10.55	4.28	-	10.45	-	0.87	10.55	4.30	-	10.45	-	0.88	10.43	4.07	-	10.31	-	0.81
PT121	4.90	8.65	3.95	-	-	-	-	9.75	5.24	-	9.82	-	0.98	9.74	5.26	-	9.82	-	0.98	9.61	4.98	-	9.70	-	0.90
PT120	4.80	8.29	3.70	8.29	-	0.23	-	9.02	5.38	8.85	9.07	0.33	0.74	9.00	5.41	8.88	9.07	0.43	0.73	8.91	5.13	8.78	8.98	0.30	0.66
PT119	3.90	7.81	3.64	7.85	7.59	0.37	0.02	8.55	5.16	8.44	8.45	0.53	0.92	8.47	5.31	8.47	8.45	0.48	0.92	8.42	4.96	8.37	8.35	0.39	0.81
PT118	3.88	7.17	4.76	7.48	7.18	0.02	0.18	8.11	6.05	8.07	8.06	0.53	0.93	8.17	5.92	8.08	8.06	0.54	0.93	8.00	5.76	7.96	7.96	0.49	0.85
PT117	2.69	7.06	2.92	5.97	6.89	0.05	0.06	7.97	3.56	7.76	7.74	0.49	0.74	7.98	3.54	7.77	7.75	0.50	0.74	7.89	3.41	7.63	7.64	0.42	0.64
PT116	2.19	6.22	4.28	5.09	5.92	0.00	0.04	7.22	4.80	7.73	7.03	0.54	1.28	7.23	4.76	7.74	7.03	0.55	1.28	7.08	4.74	7.63	6.81	0.51	1.16
PT115	0.29	6.16	2.47	-	5.85	-	0.35	6.88	3.27	-	6.52	-	1.30	6.87	3.28	-	6.54	-	1.28	6.78	3.18	-	6.36	-	1.23
PT114	0.67	5.23	5.34	-	5.18	-	0.63	5.98	6.22	-	6.00	-	0.99	6.02	6.11	-	6.03	-	0.99	5.89	6.11	-	5.84	-	0.91
PT113	0.56	4.60	4.67	-	4.75	-	0.47	5.32	5.39	-	5.48	-	0.99	5.34	5.39	-	5.54	-	0.93	5.17	5.38	-	5.34	-	0.94
PT112	0.47	4.35	4.04	-	4.27	-	0.43	4.99	4.76	-	4.84	-	0.89	5.42	4.21	-	5.20	-	0.71	4.97	4.54	-	4.81	-	0.82
PT11	0.09	3.91	3.77	3.80	3.87	0.41	0.52	4.42	4.71	4.42	4.53	0.56	0.74	5.19	4.05	5.15	5.00	0.67	0.59	4.31	4.60	4.28	4.32	0.56	0.69
PT10	0.10	3.57	4.55	3.54	3.53	0.77	0.51	4.23	5.11	4.32	4.50	1.54	0.75	5.19	4.67	5.15	4.88	1.28	0.78	4.08	5.12	4.14	4.29	1.45	0.69
PT09I	-0.14	2.80	3.95	-	3.29	-	0.38	3.46	4.39	-	4.41	-	0.73	5.19	2.89	-	4.82	-	0.86	3.41	4.26	-	4.22	-	0.65
PT08III	-1.26	2.80	3.16	2.87	3.20	0.05	0.49	3.46	4.46	3.93	4.11	0.16	1.16	5.19	2.26	5.17	5.06	0.28	1.54	3.41	4.08	3.71	3.96	0.14	1.09
PT06	-2.45	2.80	2.85	-	2.75	-	0.79	3.45	4.06	-	3.62	-	1.25	3.65	2.83	-	4.09	-	1.75	3.41	3.68	-	3.47	-	1.19
PT05	-1.21	2.56	3.97	-	2.60	-	0.78	3.39	5.23	-	3.47	-	1.14	3.25	4.01	-	3.85	-	1.28	3.24	4.98	-	3.32	-	1.10
PT04	-0.83	2.56	2.67	-	2.53	-	0.31	3.39	3.44	-	3.40	-	0.61	3.37	2.89	-	3.70	-	0.85	3.24	3.30	-	3.26	-	0.55
PT03	-1.06	2.25	3.39	-	2.52	-	0.16	2.85	4.50	-	3.37	-	0.47	2.80	3.96	-	3.64	-	0.62	2.70	4.32	-	3.23	-	0.37
PT02	-1.33	2.25	2.24	-	2.51	-	0.42	2.70	3.35	-	3.35	-	0.65	2.73	3.03	-	3.60	-	0.82	2.64	3.11	-	3.21	-	0.62
PT01	-0.85	1.46	5.40	-	2.51	-	cordon littoral	2.02	5.74	-	3.34	-	cordon littoral	1.98	5.59	-	3.57	-	cordon littoral	1.95	5.52	-	3.19	-	cordon littoral

Profil	Fil d'eau lit mineur en m NGT	Crue décennale						Crue centennale						Crue centennale avec embâcles						Crue Veena					
		Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Cote maximum en rive gauche en m NGT	Cote maximum en rive droite en m NGT	Vitesse maximum en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en rive droite en m/s	Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Cote maximum en rive gauche en m NGT	Cote maximum en rive droite en m NGT	Vitesse maximum en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en rive droite en m/s	Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Cote maximum en rive gauche en m NGT	Cote maximum en rive droite en m NGT	Vitesse maximum en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en rive droite en m/s	Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Cote maximum en rive gauche en m NGT	Cote maximum en rive droite en m NGT	Vitesse maximum en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en rive droite en m/s
PT230	23.39	25.11	4.00	-	-	-	-	25.79	5.03	-	-	-	-	25.80	5.03	-	-	-	-	25.65	4.80	-	-	-	-
PT229	20.39	22.67	4.52	-	-	-	-	23.42	6.18	23.12	-	0.32	-	23.42	6.18	23.12	-	0.32	-	23.30	5.71	22.87	-	0.04	-
PT228	18.92	20.90	3.99	-	-	-	-	21.69	4.88	21.60	-	0.78	-	21.69	4.88	21.60	-	0.78	-	21.53	4.67	21.46	-	0.66	-
PT227	17.25	19.18	4.08	-	-	-	-	19.81	5.65	19.56	-	0.63	-	19.81	5.65	19.56	-	0.63	-	19.70	5.28	19.51	-	0.27	-
PT226	16.19	17.65	3.94	-	-	-	-	18.26	4.96	18.38	-	0.83	-	18.26	4.97	18.38	-	0.84	-	18.16	4.73	18.26	-	0.71	-
PT225	13.54	16.02	4.13	-	-	-	-	16.84	5.14	17.31	16.89	0.62	0.00	16.84	5.14	17.31	16.89	0.62	0.00	16.70	4.93	17.21	-	0.41	0.00
PT224	11.95	14.81	4.60	-	-	-	-	15.64	5.69	16.69	-	0.71	-	15.65	5.68	16.69	-	0.71	-	15.50	5.48	16.04	-	0.50	-
PT223	11.53	13.21	4.20	-	-	-	-	14.12	4.86	15.15	-	0.51	-	14.12	4.87	15.15	-	0.51	-	13.94	4.72	14.97	-	0.35	-
PT222	8.83	12.26	3.29	-	-	-	-	13.43	4.14	13.73	-	0.44	-	13.44	4.14	13.73	-	0.44	-	13.24	3.94	13.68	-	0.29	-
PT221	7.93	11.35	4.41	-	-	-	-	12.59	5.56	12.81	-	0.67	-	12.58	5.56	12.81	-	0.67	-	12.37	5.34	12.72	-	0.55	-
PT220	7.17	10.63	3.84	-	-	-	-	11.65	4.94	11.91	-	0.48	-	11.65	4.95	11.91	-	0.48	-	11.47	4.75	11.88	-	0.35	-
PT219	6.61	9.39	3.76	-	-	-	-	10.36	4.68	10.77	-	0.40	-	10.36	4.69	10.77	-	0.40	-	10.19	4.51	10.74	-	0.30	-
PT218	5.91	8.62	3.62	-	-	-	-	9.49	4.59	9.50	-	0.44	-	9.49	4.61	9.50	-	0.44	-	9.34	4.49	9.44	-	0.34	-
PT217	5.07	7.81	3.05	-	-	-	-	8.57	4.09	8.21	-	0.50	-	8.56	4.11	8.21	-	0.50	-	8.42	3.95	8.09	-	0.38	-
PT216	4.33	6.39	3.84	-	-	-	-	7.27	4.61	7.25	-	0.44	-	7.26	4.64	7.25	-	0.44	-	7.09	4.53	7.09	-	0.32	-
PT215	2.50	5.66	3.13	-	-	-	-	6.47	4.25	6.78	6.46	0.48	0.33	6.45	4.29	6.78	6.46	0.48	0.30	6.31	4.08	6.72	6.31	0.30	0.17
PT214	3.08	5.38	2.61	-	-	-	-	5.94	3.85	6.14	5.31	0.52	0.29	5.97	3.83	6.14	5.31	0.43	0.20	5.87	3.60	6.11	5.28	0.31	0.10
PT213	1.74	5.04	2.53	4.64	3.74	0.33	0.00	5.26	4.26	5.05	4.46	0.93	0.00	5.36	4.12	5.32	5.17	1.36	0.00	5.17	4.05	4.97	4.30	0.83	0.00
PT212	1.15	4.22	3.33	4.02	3.74	canal	0.09	4.58	4.90	4.52	4.46	canal	0.13	5.19	3.84	5.17	5.17	canal	0.36	4.42	4.85	4.42	4.30	canal	0.11
PT202	0.26	3.73	3.77					4.29	4.72					5.19	3.95					4.21	4.60				
PT201	-0.62	3.73	3.17	3.66	3.67	0.24	0.41	4.28	4.37	4.15	4.41	0.48	0.56	5.19	3.95	5.17	5.16	0.44	0.67	4.21	4.10	4.00	4.26	0.47	0.56
PT200	-0.02	3.59	3.49					4.28	4.37					5.19	3.81					4.14	4.23				
PT101	0.08	3.32	3.30	3.21	3.44	0.28	0.77	4.11	3.88	4.03	4.21	0.56	1.54	5.19	3.18	5.17	5.16	0.49	1.28	3.95	3.79	3.85	4.04	0.54	1.45
PT09	-0.01	2.86	3.96	2.92	-	0.47	0.38	3.70	4.38	3.93	-	0.65	-	5.19	3.87	5.17	-	0.38	-	3.47	4.40	3.71	-	0.65	-