

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 3
Cours d'eau : Ahaavini



Rapport

HSO 11126K

Février 2012

TABLE DES MATIERES

1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE	4
2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN	6
3. ANALYSE HYDROLOGIQUE	10
3.1. Généralités	10
3.2. Evaluation des débits de projet	15
3.2.1. Etude BCEOM de 1999	15
3.2.2. Etude GEGDP de 2001 - Wotling	15
3.2.3. Etude GEGDP de 2003 (J.Danloux)	16
3.2.4. Etude BRGM	16
3.3. Débits de projet retenus	17
4. MODELISATION HYDRAULIQUE	20
4.1. Modèle mis en oeuvre	20
4.2. Conditions aux limites	20
4.3. Calage du modèle	21
4.4. Profil en long du lit mineur	22
4.5. Simulation des crues de projet	24
4.5.1. Mécanismes d'écoulement en crue décennale	24
4.5.2. Mécanismes d'écoulement en crue centennale	25
4.5.3. Prise en compte du risque d'embâcles	26
4.5.4. Prise en compte du risque de brèche	26
4.5.5. Débits de premiers débordements	26
4.6. Cartographie de l'aléa	29
4.6.1. Classification de l'aléa	29
4.6.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennal	29
5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS	30
5.1. Secteur amont (PT10-PT1)	30
5.2. Secteur aval (PT10-PT20)	30
5.2.1. Protection du coude entre les profils P10 et P11.	30
5.2.2. Protection du lit entre les profils PT17 et PT12	31
5.2.3. Protection a l'aval du pont de la RT	33
5.3. Aménagement au droit du pont de la RT	35

5.4.	La mise en place d'un système d'alerte	35
5.5.	Les travaux d'entretien de la végétation	35
5.6.	Chiffrage estimatif	36

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Bassin versant de l'Ahaavini.....	11
Figure 2 : Situation des postes pluviométriques et des bassins versants observés par le GEGDP.....	13
Figure 3 : Profil en long du lit mineur	23
Figure 4 : Lignes d'eau pour les différentes simulations.....	28
Tableau 1 : Comparaison des débits de projet obtenus	18
Tableau 2 : Débits de projet de l'Ahaavini	19
Tableau 3 : Conditions aux limites du modèle	21
Tableau 4 : Coefficients de Strickler retenus	21
Tableau 5 : Débits de premiers débordements.....	27
Tableau 6 : Définition des classes d'aléa.....	29

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.

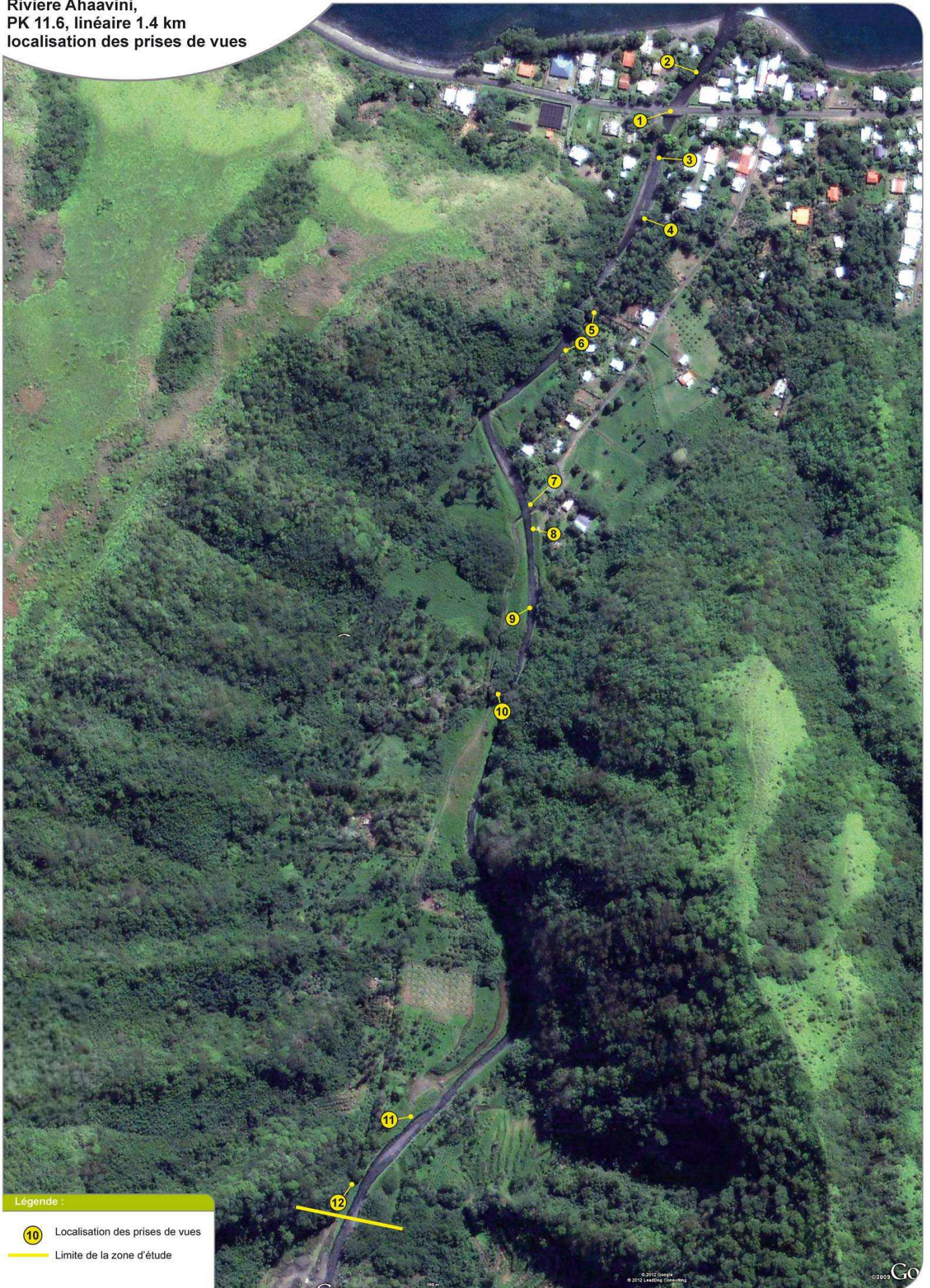
Le présent projet s'inscrit dans la continuité de ce programme. Il consiste en la réalisation de cartographies de zones inondables sur différents cours d'eau de Polynésie française à partir de modélisations hydrauliques, hydrologiques et d'expertises hydrogéomorphologiques.

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

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

Rivière Ahaavini,
PK 11.6, linéaire 1.4 km
localisation des prises de vues



Légende :

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

2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN

En préalable aux modélisations hydrauliques, des reconnaissances de terrain ont été réalisées.

Ce travail de terrain a permis :

- d'analyser le processus d'inondation et d'identifier les axes structurant les 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 présentées ci-dessous et sont illustrées par des photographies.



Photo 1 : Franchissement de la RT



Photo 2 : Vue aval prise du pont de la RT

Le franchissement de la route Territoriale est assuré par un pont cadre d'ouverture 21.5 m, pour une hauteur maximale de 2.40 m. Les berges en rive gauche et en rive droite sont protégées par des enrochements au droit de l'ouvrage et sur tout le cours aval de la rivière.

Les riverains situés à proximité de l'ouvrage mentionnent n'avoir pas subi de crues importantes depuis une quinzaine d'années. Le plus gros cyclone observé sur le secteur est Veena en 1983 durant lequel toute la plaine aval fût submergée.

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

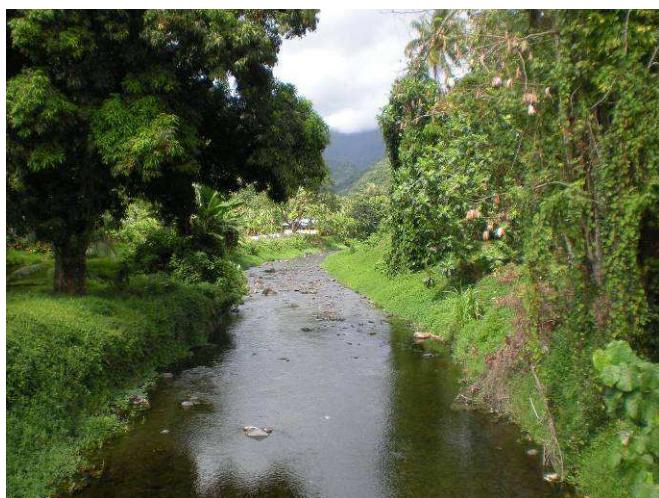


Photo 3 : Vue amont pont RT



Photo 4 : Vue du lit 120m en amont du pont

En amont du pont, le lit de la rivière est dégagé et les berges sont protégées par enrochements sur une trentaine de mètres. Plus en amont (photographie 4), les berges ne sont plus protégées, le lit a été curé et les produits de curage sont laissés en merlons en rive droite et en rive gauche. On note une forte tendance au dépôt sur ce secteur. De nombreuses habitations nouvelles existent en rive droite.



Photo 5 : Vue aval



Photo 6 : Vue amont

Sur ce secteur les berges sont très basses. On note une forte tendance à l'engravement malgré les opérations d'entretien de l'équipement. De nombreuses habitations récentes existent en rive gauche. Les riverains mentionnent une inondation en 2006 provoquée par des arbres tombés dans le lit ayant provoqué des débordements sur ce secteur dont l'inondation d'une petite pisciculture.



Photo 7 : Passage a gué



Photo 8 : Protection du coude au droit du gué

L'accès à la vallée amont est assuré par un gué, protégé par enrochements. Toute la rive droite de la rivière sur ce secteur est protégée par des enrochements libres pour éviter le risque d'inondation de la rive droite.

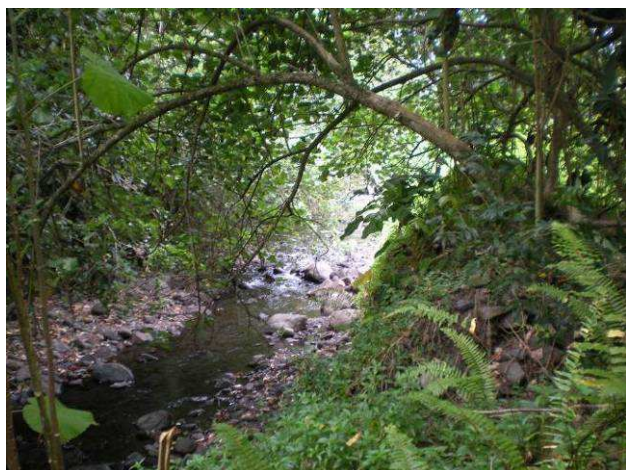


Photo 9 : Lit encombré par la végétation



Photo 10 : Zone d'érosion Tuinaa

En amont du gué, le lit redevient naturel, encombré par la végétation. Il possède une forte pente et est soumis à un transport solide intense. A noter une forte zone d'érosion face à la maison Tuinaa. La piste bétonnée est en surplomb par rapport au lit du cours d'eau.



Photo 11: Dépôts importants en lit mineur



Photo 12 : Nouvelle zone d'érosion

En amont, le lit est maintenu par les curages de l'équipement. Il existe de fortes zones de dépôt.

3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1. GENERALITES

Le bassin versant de la Ahaavini se situe sur le secteur au vent de la presqu'île de Tahiti, à proximité de Tautira Village.

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. Le poste pluviographique le plus proche de la zone étudiée est le poste Taravao, situé à une altitude de 630m.

Le bassin versant de l'Ahaavini a une superficie de 9.9 km².

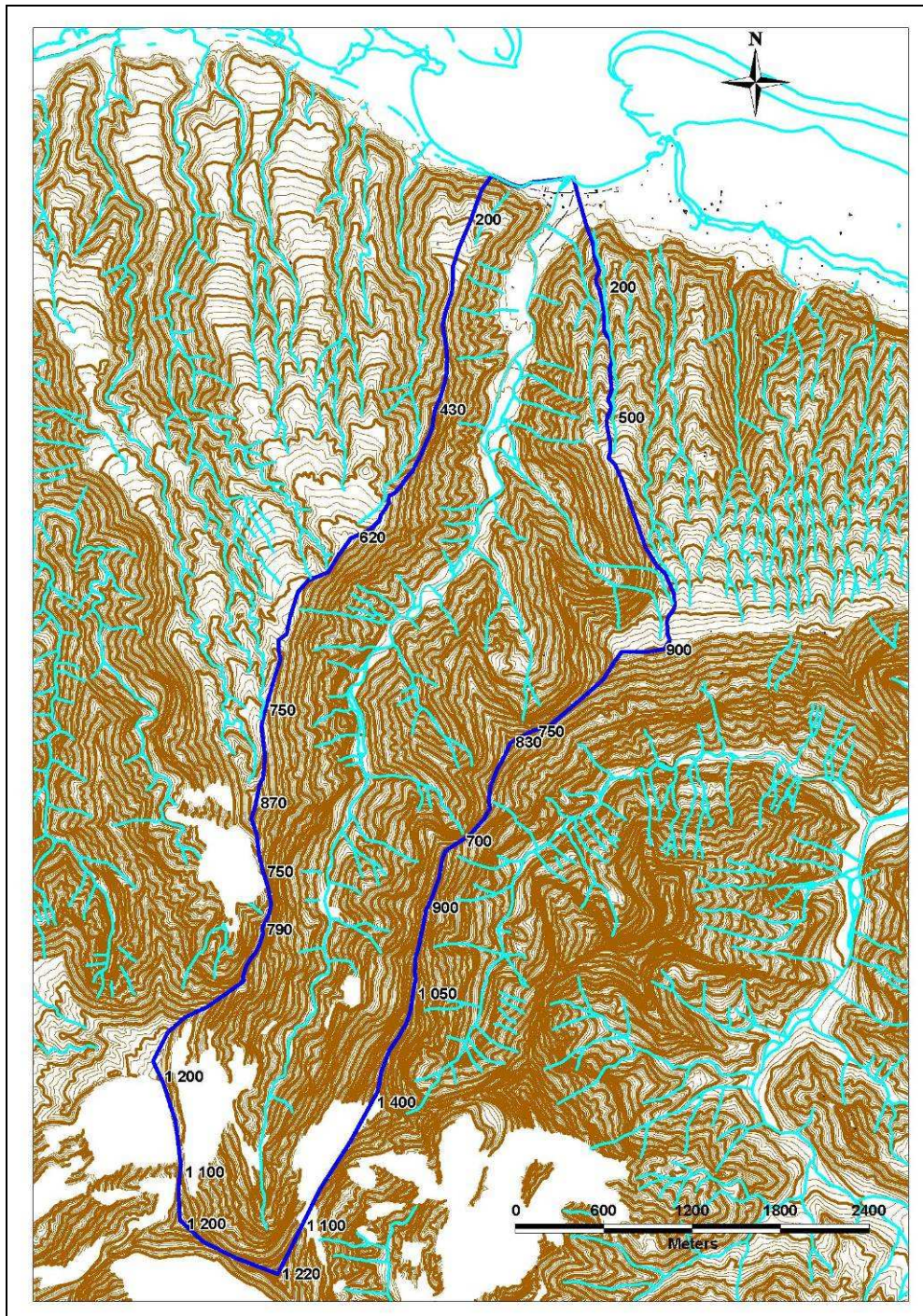
Le bassin versant est essentiellement constitué de forêts. Seule la plaine littorale est urbanisée.

Les principales caractéristiques du bassin versant sont les suivantes :

- Surface : 9.9 km²
- Périmètre : 18.2 km
- Longueur du rectangle équivalent : 7.7 km
- Plus long cheminement hydraulique : 9km
- Coefficient de compacité Kc : 1.6
- Altitude moyenne : 700 m,
- Gradex de la pluie centennale / 15mn : 4.0mm (source : G.Wotling « Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti »)
- Dénivelée entre sommet du bassin et exutoire : 1070 m,
- Indice de pente : 138 m/km
- Temps de concentration (Kirpich) : 0.75h

Les riverains mentionnent n'avoir pas subi de crues importantes depuis une quinzaine d'années. Le plus gros cyclone observé sur le secteur est Veena en 1983 durant lequel la totalité de la plaine aval fût submergée.

Figure 1 : Bassin versant de l'Ahaavini



Les observations du GEGDP

Une campagne d'observation et de jaugeage menée par le GEGDP sur la Ahaavini a permis d'estimer le débit maximal de la crue du 19 décembre 1998 à 170m³/s (17 m³/s km²). La crue de septembre 1998 était proche du maximum de décembre 1998. Deux crues plus importantes que les événements observés en 1998, dont Veena, ont été signalées sur cette rivière depuis 1970.

Les bassins versants observés, situés à proximité du bassin versant étudié sont les suivants :

La rivière Vaitepiha qui est observée par le GEGDP depuis 1970. Son bassin versant est estimé à 33.4 km². Les crues les plus importantes estimées sur cette station sont les suivantes :

- Cyclone Wasa en décembre 1991 : 450m³/s
- Cyclone Veena en avril 1983 : 550 m³/s soit 16.5 m³/s/km².
- Avril 1998 : 470 m³/s.

Les ajustements statistiques conduits par J.Danloux à partir d'une loi de Galton sur la période 1970-2003 conduisent aux évaluations suivantes :

- Débit décennal : 396 m³/s
- Débit centennal : 595 m³/s
- Période de retour de la crue d'Avril 1998 : 24 ans.
- Période de retour de la crue liée au cyclone Veena : 60 ans.

Figure 2 : Situation des postes pluviométriques et des bassins versants observés par le GEGDP



La rivière Aivaro est également suivie par le GEGDP, pour un bassin versant de 6.43 km², le débit maximum observé sur la période 1974-2003 a été de 187 m³/s en avril 1998. Lors de l'épisode de 1998 les PHE (Plus Hautes eaux) observées étaient supérieures aux PHE de Veena dont la pointe de débit a été évaluée à 110m³/s.

Les ajustements statistiques conduits par J.Danloux à partir d'une loi de Galton sur la période 1973-2003 conduisent aux évaluations suivantes :

- Débit décennal : 117 m³/s
- Débit centennal : 224 m³/s
- Période de retour de la crue d'Avril 1998 : 56 ans.

La rivière Vavii à la cote 80 (bassin versant 9.2 km²) a été observée, la crue d'avril 1998 à cette station a atteint 129m³/s, soit un événement nettement supérieur aux crues de la saison 1980-1981 (43m³/s) et de 1982_1983 (47m³/s).



La photo aérienne prise en 1984 met en évidence les stigmates de Veena :

- Importantes divagations du lit mineur en amont en amont du radier, dans la zone de maraichage
- Importantes érosions de berge sur le cours aval de l'Ahaavini
- Inondations de la partie aval de la rivière

Le méandre présent au droit du radier a été redressé dans le cadre de travaux post-Veena.

3.2. EVALUATION DES DEBITS DE PROJET

Différentes méthodes ont été utilisées pour calculer les débits de projet de l'Ahaavini. 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=3 pour la Vallée de l'Ahaavini**)
- S est la superficie drainée en km²
- P₀ est la moyenne sur le bassin versant de la hauteur de précipitations de période de retour 1 an sur 15mn, **soit 27.5mm** pour l'Ahaavini.

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 4.0 mm** pour l'Ahaavini.
- 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 :

- Débit décennal : 159 m³/s
- Débit cinquantennal : 265 m³/s
- Débit centennal : 311 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 cote 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 MOAHTA (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 concluant 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 à 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 cote 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 :

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

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

A : superficie du bassin versant en km².

C : coefficient de Craeger

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 Vaitepiha) :

- $Q_{\max}/T10 = 0.72$
- $Q_{\max}/T100 = 1.08$

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

- Débit maximal sur la période (Craeger) : 240 m³/s
- Débit décennal : 173 m³/s
- Débit cinquantennal : 233 m³/s
- Débit centennal : 259 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 débimétriques disponibles. L'intensité retenue est celle survenant sur une durée égale au temps de concentration du bassin versant étudié.

A défaut d'ajustements débimétriques, 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 ».

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).

Evaluation du temps de concentration du bassin versant

Le temps de concentration des bassins versants a été calculé à partir de la méthode de Kirpich :

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

avec t_c : temps de concentration en min
L : longueur du bassin versant en m
p : pente moyenne en m/m

En prenant en compte une longueur de bassin versant de 9000m et une pente moyenne de 13.8%, **la valeur retenue pour le temps de concentration est de 45mn.**

Données pluviométriques

Les données pluviométriques sont issues du poste de Taravao (source : Assistance Technique BRGM), soit :

- Intensité décennale sur le temps de concentration du bassin versant (45mn)= 96.6 mm/h
- Intensité centennale sur le temps de concentration du bassin versant (45mn)= 129.3mm/h

Evaluation du débit décennal par la méthode rationnelle

Le débit décennal est obtenu par application de la méthode rationnelle :

$$Q = \frac{C \times I(t_c, T) \times S}{3.6}$$

où : C : coefficient de ruissellement du bassin versant

$I(t_c, T)$: intensité en mm/h de la pluie de durée égale au temps de concentration du bassin versant pour la période de retour étudiée

S : surface en km²

Le coefficient de ruissellement décennal du bassin versant retenu est issu de la méthode développée par le BRGM, soit une valeur de 0.55 déduite de l'analogie faite avec le bassin versant de l'Aveiro.

Dans ces conditions le débit décennal est évalué à **146 m³/s**.

Evaluation du débit centennal par la méthode du gradex

Cette méthode repose sur l'hypothèse qu'au-delà d'un seuil de pluviométrie (point pivot), tout supplément de pluie provoquera un supplément égal de ruissellement.

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 le débit centennal, à partir de la formule suivante :

$$Q_{100} = Q_{10} + (i_{100} - i_{10}) * A / 3.6$$

où :

- Q_{10} est le débit décennal (point pivot),
- i_{100} est l'intensité centennale sur le temps de concentration pour une période de retour de 100 ans,
- i_{10} est l'intensité décennale sur le temps de concentration pour une période de retour de 10 ans,
- A est la surface du bassin versant (km²).

Dans ces conditions le débit centennal de l'Ahaavini par cette méthode est évalué à **236 m³/s**, soit un débit spécifique de 24 m³/s/km².

3.3. DEBITS DE PROJET RETENUS

Les débits de crue de l'Ahaavini obtenus par les 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	159	311
Etude GEGDP de 2003 J.Danloux)	Méthode Craeger	173	259
Méthode BRGM		146	236

Tableau 1 : Comparaison des débits de projet obtenus

L'évaluation des débits par les méthodes BCEOM, BRGM et GEGDP convergent vers des valeurs proches pour le débit décennal.

Pour le débit centennal les méthodes BRGM et GEGDP fournissent des évaluations équivalentes. Il est proposé de retenir les débits issus de l'étude du GEGDP qui s'appuie sur une analyse statistique actualisée des débits de crue.

Cette méthode conduit à retenir un débit spécifique centennal de 26 m³/s/km², qui est compris entre le débit spécifique retenu pour la Vaitepiha (18m³/s/km² pour 33,4 km²) et le débit spécifique retenu pour l'Aivaro (34m³/s/km² pour un bassin versant de 6.43 km²) obtenus par ajustements statistiques dans l'étude du GEGDP de 2003.

Les débits de projet retenus pour l'Ahaavini sont donc les suivants :

Crue	Crue décennale	Crue centennale
Débit en m ³ /s	173	259

Tableau 2 : Débits de projet de l'Ahaavini

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	173 m ³ /s	0 m NGT
Crue centennale	259 m ³ /s	1 m NGT

Tableau 3 : 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 :

- 19 à 26 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 du canal (de 0 pour une surface lisse, à 0.02 pour un canal très érodé).

n2 : Variation des sections du canal (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 l'oued (de 1.00 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 (P1-P11)	0.028	0.005	0.005	0.005	0.01	1	0.053	19
Médian (P17-P11)	0.02	0.01	0.005	0	0.01	1	0.045	22
Aval (P20-P19)	0.024	0.005	0	0	0.01	1	0.039	26

Tableau 4 : Coefficients de Strickler retenus

4.4. PROFIL EN LONG DU LIT MINEUR

Le profil en long du lit mineur est présenté sur la figure suivante. Il possède une pente moyenne d'environ 1.7%.

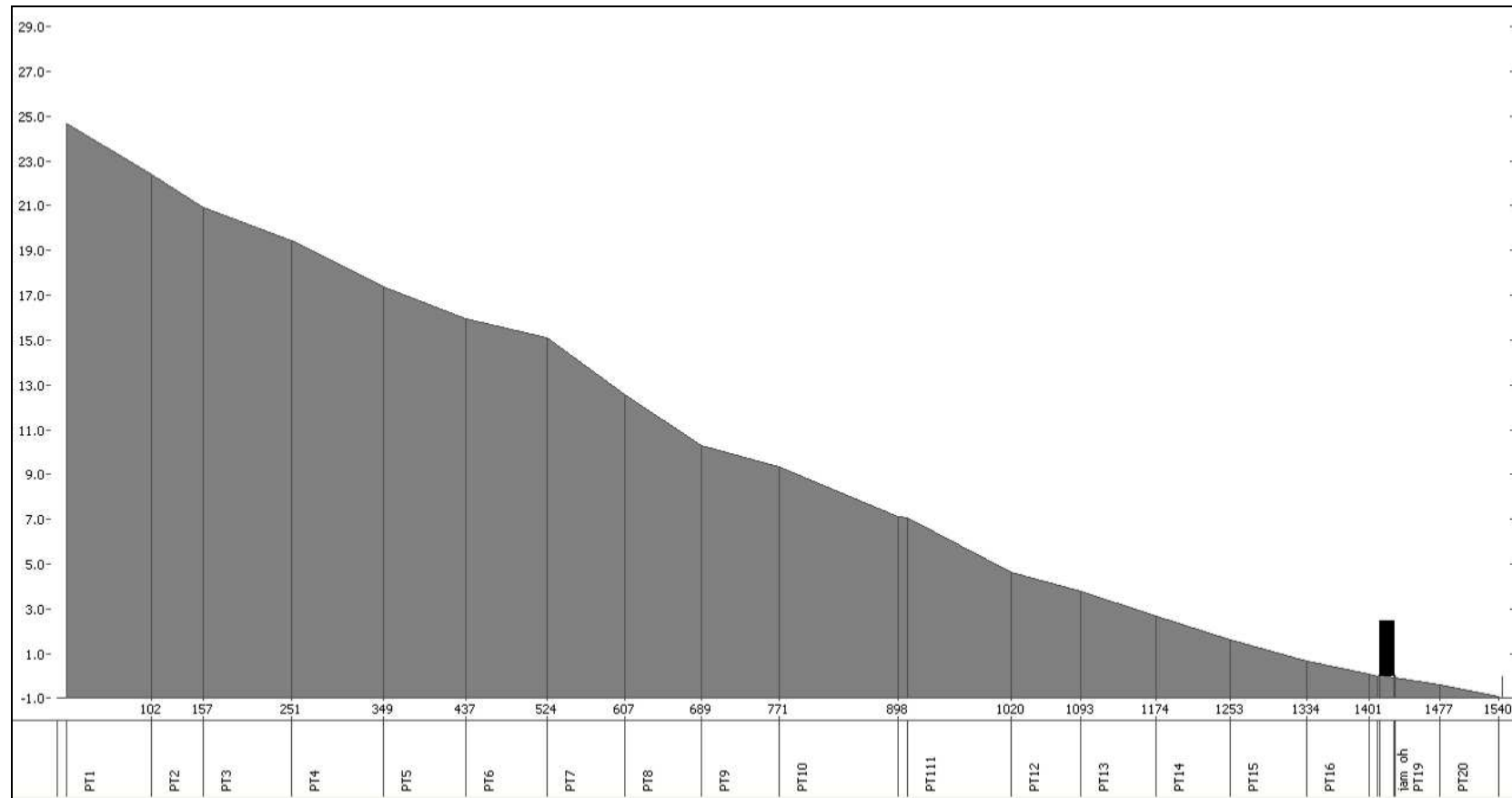


Figure 3 : Profil en long du lit mineur

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,
- Une crue type Veena correspondant au débit de la crue centennale intégrant une brèche en rive droite en amont du gué situé au PT11. Cette simulation prend en compte le risque de destruction de la protection en enrochement située en amont du gué existant, comme observé lors du cyclone Veena.

Les résultats de la modélisation sont donnés en annexe 2. Ils intègrent, pour les trois crues modélisées :

- la cote de crue maximale en lit mineur en m NGT,
- les vitesses en lit mineur, en rive gauche et en rive droite.

4.5.1. Mécanismes d'écoulement en crue décennale

Plusieurs zones de débordement apparaissent dès la crue décennale.

Sur la zone intermédiaire, en amont du coude, des débordements se produisent en rive gauche de l'Ahaavini. Les eaux, débordant à partir du secteur situé entre le PT7 et le PT8 ($37\text{m}^3/\text{s}$), retournent vers le cours d'eau en aval du PT8 et dans le secteur du passage à gué en empruntant des axes d'écoulements secondaires du cours d'eau.

A noter que sur ce secteur, les cotes en rive gauche sont parfois bien supérieures à celles de l'axe d'écoulement principal. Au niveau des profils en travers 9 et 10, les écoulements en rive gauche sont quasiment-déconnectés de l'axe principal d'écoulement et se propagent parallèlement à l'axe principal dans un axe secondaire. Sur le secteur du passage à gué, les niveaux d'eau sont conditionnés par le niveau de la berge rive gauche de l'axe principal d'écoulement.

A noter également le rétrécissement de l'axe principal d'écoulement entre le PT6 et le PT7 entraînant de fortes vitesses en lit mineur au niveau du PT7 et par conséquent une problématique érosion très forte.

En aval du passage à gué, des débordements se produisent en rive droite entre le PT12 et le PT13 ($5\text{m}^3/\text{s}$). Les eaux s'écoulent entre le cours d'eau et le chemin existant en rive droite. Les plus gros débordements, se produisant en amont de la RT sur cette rive, se situent entre le PT16 et le PT17 ($28\text{m}^3/\text{s}$). A noter que sur ce secteur les écoulements en lit mineur et en lit majeur au niveau du PT14 sont déconnectés, les cotes calculées en lit majeur sont supérieures à celles rencontrées en lit mineur. En amont du pont de la RT, les niveaux d'eau sont contrôlés par l'ouverture du pont et le niveau de la RT.

En rive gauche, la plaine s'ouvre à partir du PT15, des débordements s'y produisent alors. Les plus gros débordements se produisent entre le PT16 et le PT18, une dizaine de m^3/s .

Sur la plaine aval, les hauteurs sont plus conséquentes en amont de la RT qui est en remblai par rapport au lit majeur du cours d'eau. L'étalement des eaux est plus important sur la plaine aval. A noter que ce secteur est une zone habitée relativement

dense et que la RT est submergée en certains points de sa rive droite et de sa rive gauche (un peu moins de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ surversent en rive gauche et une trentaine de m^3/s en rive droite).

Les débits déversant sur la RT se retrouvent en aval de celle-ci au niveau du PT19. Au niveau de ce secteur, le niveau d'eau en rive gauche est inférieur à celui du lit mineur. Des débordements se produisent donc vers la rive gauche, environ $14 \text{ m}^3/\text{s}$. Le niveau en rive droite est quant à lui supérieur à celui du lit mineur, environ $2 \text{ m}^3/\text{s}$ reviennent alors vers le lit mineur.

Pour la cartographie, il a été considéré que les gravats présents sur la berge rive gauche sur les PT16 à PT18 peuvent être emportés. Les cotes au niveau de l'axe principal d'écoulement ont donc été utilisées pour cartographier l'aléa inondation sur ce secteur en lit majeur.

4.5.2. Mécanismes d'écoulement en crue centennale

Globalement pour la crue centennale, les zones de débordement se situent sur les mêmes secteurs que pour la crue décennale. Les hauteurs et les vitesses sont par contre plus conséquentes.

Les débordements dans la zone intermédiaire (zone avec axes d'écoulement secondaires) et sur le secteur du passage à gué en rive droite commencent un peu plus à l'amont que pour la crue décennale. Le débit débordé entre le PT6 et le PT8 est de $65 \text{ m}^3/\text{s}$ environ.

A noter que sur ce secteur, comme pour la crue décennale, les cotes en rive gauche sont parfois bien supérieures à celles de l'axe d'écoulement principal. Au niveau des profils en travers 9 et 10, les écoulements en rive gauche sont quasiment-déconnectés de l'axe principal d'écoulement et se propagent parallèlement à l'axe principal dans un axe secondaire. Sur le secteur du passage à gué, les niveaux d'eau sont conditionnés par le niveau de la berge rive gauche de l'axe principal d'écoulement.

A noter également, comme pour la crue décennale, le rétrécissement de l'axe principal d'écoulement entre le PT6 et le PT7 entraînant de fortes vitesses en lit mineur au niveau du PT7 et par conséquent une problématique érosion très forte.

En aval immédiat du passage à gué, des débordements se produisent en rive droite. Les eaux s'écoulent entre le cours d'eau et le chemin existant en rive droite. Les plus gros débordements, se produisant en amont de la RT sur cette rive, se situent entre le PT12 et le PT13 ($18 \text{ m}^3/\text{s}$), entre le PT16 et le PT18 ($49 \text{ m}^3/\text{s}$). Les débordements se produisant entre le PT11 et le PT13, retournent pour moitié ($10 \text{ m}^3/\text{s}$) dans le lit mineur entre les PT13 et PT14 ; le niveau de la berge permettant des retours sur ce secteur. L'ouvrage sous la RT étant insuffisant pour la crue centennale, de gros débordements se produisent alors entre la PT14 et la RT sur cette rive, une soixantaine de m^3/s .

En rive gauche, la plaine s'ouvre à partir du PT15, des débordements s'y produisent alors. Entre le PT15 et le PT18, une trentaine de m^3/s débordent en rive gauche.

A noter qu'au droit de la RT une trentaine de m^3/s surversent en rive gauche, une soixantaine de m^3/s en rive droite et quelques m^3/s au droit de l'ouvrage.

Les débits déversant sur la RT se retrouvent en aval de celle-ci au niveau du PT19. Au niveau de ce secteur, le niveau d'eau en rive gauche est inférieur à celui du lit mineur. Des débordements se produisent donc vers la rive gauche, environ $27 \text{ m}^3/\text{s}$. Le niveau en rive droite est quant à lui supérieur à celui du lit mineur, environ $2 \text{ m}^3/\text{s}$ reviennent alors vers le lit mineur.

Pour la cartographie, il a été considéré que les gravats présents sur la berge rive gauche sur les PT16 à PT18 peuvent être emportés. De même, il a été considéré que la

berge au niveau du PT5-PT6 pouvait être emportée. Les cotes au niveau de l'axe principal d'écoulement ont donc été utilisées pour cartographier l'aléa inondation sur ces secteurs en lit majeur.

Il est à observer qu'en amont du gué, entre les profils PT11 et PT1, le lit du cours d'eau n'est pas fixé par des enrochements et est donc soumis à une intense activité érosive. Un risque de divagations latérales importantes du lit mineur est donc à prévoir.

4.5.3. Prise en compte du risque d'embâcles

Une simulation a été réalisée en crue centennale en prenant en compte une obstruction de moitié de la section d'écoulement de l'ouvrage de franchissement de la RT.

Cette obstruction entraîne une rehausse du niveau d'eau d'environ 15-20 cm en lit mineur et en lit majeur en amont de la route.

La prise en compte de ce phénomène d'embâcles entraîne une aggravation de l'inondation sur environ 200 m en amont de la RT (fin de l'aggravation entre les PT14 et 15).

L'obstruction de l'ouvrage, entraînant une augmentation des niveaux d'eau en lit mineur du cours d'eau, provoque des débordements plus importants vers le lit majeur et moins de retours possibles vers le lit mineur.

Les débits débordés sur la RT sont donc plus importants : une quarantaine de m³/s surversent en rive gauche, plus de 90 m³/s en rive droite et une dizaine de m³/s au droit de l'ouvrage.

Une cartographie de l'emprise de la zone inondable est fournie.

4.5.4. Prise en compte du risque de brèche

Une simulation a été réalisée avec une destruction des protections de berge au droit du gué, comme observé lors du cyclone Veena.

Cette destruction a peu d'influence sur le niveau d'eau en lit mineur, seule l'emprise de la zone inondable est plus importante localement.

Les débits débordés sont globalement très proches de ceux de la crue centennale, à l'exception du fait que quelques m³/s débordent un peu plus à l'amont sur le secteur de la brèche.

A noter que pour cette simulation, les débits débordés sur la RT restent quasi-identiques à ceux de la crue centennale.

Une cartographie de l'emprise de la zone inondable est fournie.

4.5.5. Débits de premiers débordements

Le tableau ci-dessous indique les débits à partir desquels les principaux débordements se produisent au droit des 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
PT1	/	230-235
PT6	240-245	/

PT8	Atteinte du chemin de terre pour la crue décennale	/
Aval passage à gué	/	230-235 m ³ /s
PT13	/	85-90
PT15	115-120	135-140
PT16	/	130-135
PT17	90-95	45-50
PT19	80-85	115-120
PT20	65-70	/

Tableau 5 : Débits de premiers débordements

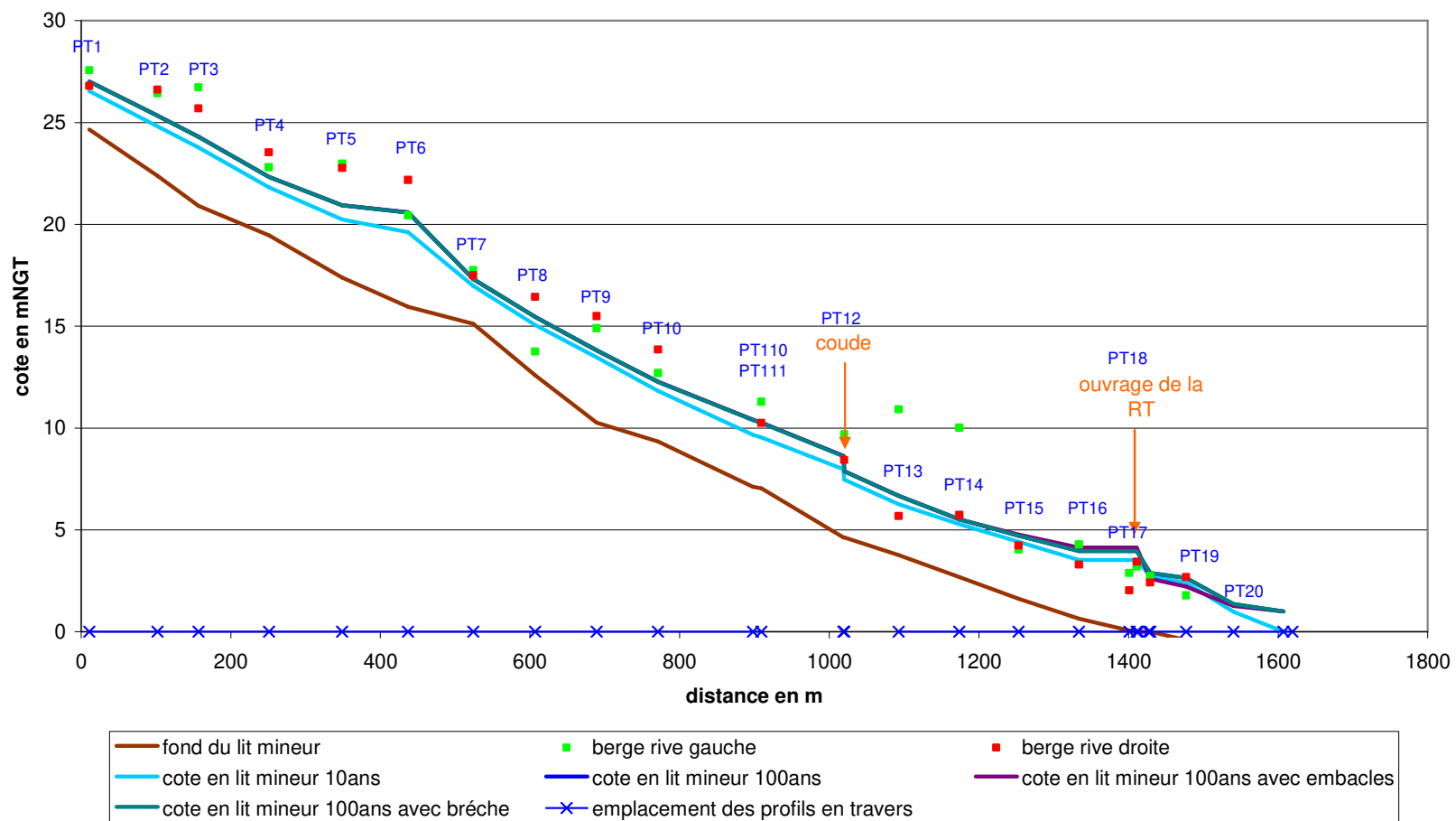


Figure 4 : Lignes d'eau pour les différentes simulations

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 et en tenant compte d'une brèche

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 6 : 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 :

- du PT1 au PT12 : 15 m en rive gauche,
- du PT1 au PT5 : 15 m en rive droite,
- du PT10 au lagon : 10 m en rive droite,
- du PT15 au lagon : 10 m en rive gauche.

Cette bande permet de préserver un espace non constructible en bordure de lit mineur prenant ainsi en compte le risque de destruction de berges lié à la dynamique érosive de la rivière.

5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

5.1. SECTEUR AMONT (PT10-PT1)

Il n'est pas proposé de travaux sur le secteur amont de l'Ahaavini (en amont du profil 10). Sur ce secteur il n'existe pas de zones habitées, le lit de la rivière est soumis à de vastes divagations comme observé lors du cyclone Veena. Il s'agit donc d'une zone à risque important du fait de la mobilité du lit de la rivière.

5.2. SECTEUR AVAL (PT10-PT20)

5.2.1. Protection du coude entre les profils P10 et P11.

Sur ce secteur le lit de la rivière est protégé en rive droite par une protection en enrochements libres. Il n'a pas été observé de dispositif parafouille au pied de ces protections.

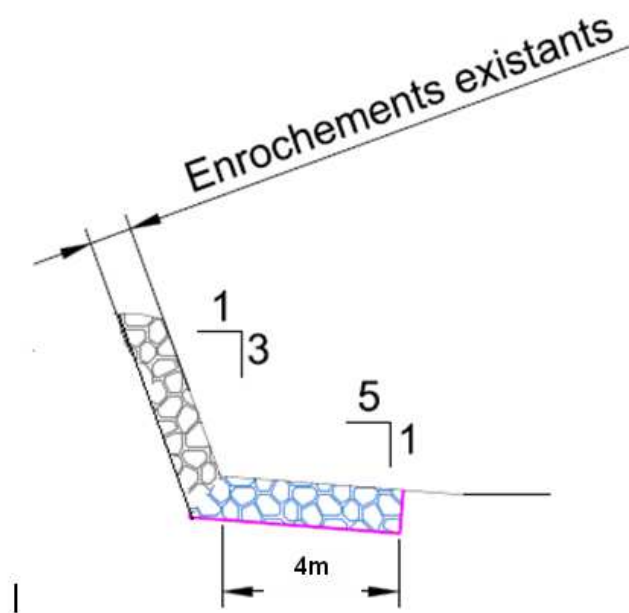
Il est proposé de conforter ces protections par la mise en place d'un tapis parafouille selon les principes présentés ci-dessous.

Ce type de confortement en augmentant la butée de pied de l'ouvrage permet d'augmenter la stabilité au basculement et limite le risque d'érosion en pied d'ouvrage. Par contre il existe toujours un risque de déstabilisation de l'ouvrage lié à l'aspiration des fines à l'arrière de la protection. Donc, même après travaux de confortement un risque existera pour la stabilité de cet ouvrage.

Le tapis parafouille est calculé à partir de la formule d'Isbach pour une vitesse moyenne de 5m/s et une pente de 1V/5H. Dans ces conditions le diamètre des enrochements constituant le tapis est de 0.70m, posé en deux couches sur filtre géotextile ou couche de transition.

La longueur du tapis parafouille est comprise entre 3.5m et 4m et sera à préciser lors des études de maîtrise d'œuvre.

La longueur d'application de cette protection est de **250m**, comprise entre les profils P12 et P10.



5.2.2. Protection du lit entre les profils PT17 et PT12

La mise en place d'une protection sur ce secteur se justifie pour fixer le lit et éviter les divagations du lit mineur de l'Ahaavini comme constatées lors du cyclone Veena.

Les protections s'appliquent :

- En rive gauche entre les profils PT15 et PT17, sur un linéaire de 150m,
- En rive droite entre les profils PT17 et PT12, sur un linéaire de 480m.

La crête de ces protections sera calée à la cote de la crue centennale, soit :

Profil	Fil d'eau lit mineur (m NGT)	Cote crue centennale (m NGT)	Hauteur des protections (m)
PT12	4.62	7.93	3.30
PT13	3.76	6.68	2.92
PT14	2.69	5.64	2.95
PT15	1.62	4.78	3.16
PT16	0.64	3.73	3.09
PT17	0.06	3.73	3.67

Les vitesses mises en évidence dans le modèle sont comprises entre 4 et 5m/s pour une crue centennale.

La protection des berges recalibrées devra être faite par enrochements libres de caractéristiques suivantes :

- Enrochements posés en deux couches sur filtre géotextile ou couche de transition
- Pente des talus 3H/2V
- Diamètre des enrochements :

Le diamètre des enrochements a été défini à partir de la formule d'Izbach

$$V_c = 1.20 * \sqrt{2g \frac{w_s - w}{w} x \sqrt{\Delta}}$$

Avec

- V_c , vitesse critique de l'écoulement,
- W_s , densité des enrochements
- W , densité de l'eau
- Δ , diamètre de l'enrochement

La vitesse critique est obtenue à partir de la vitesse de l'écoulement calculée à partir du modèle Infoworks, soit:

$$V_c = \alpha * V$$

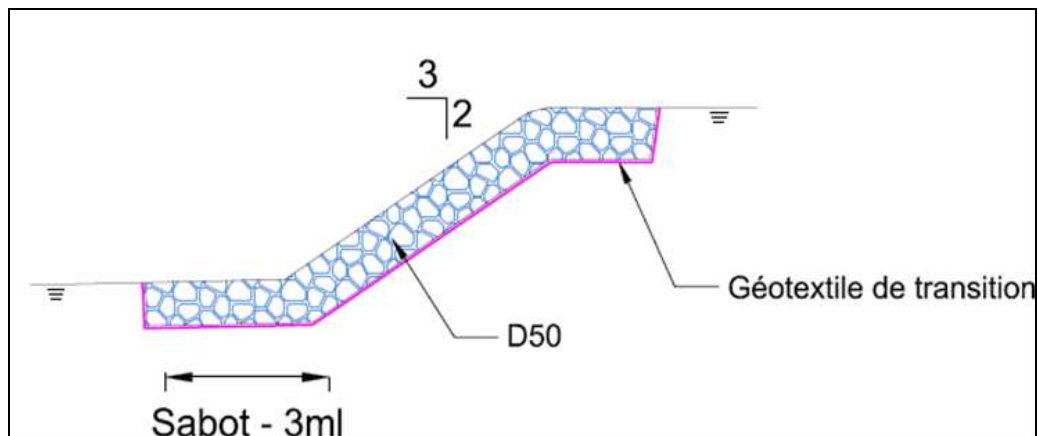
Alpha est un coefficient variant entre 1.1 – 1.5 en fonction de la sinuosité de l'écoulement à 2 en cas de contraction importante de l'écoulement.

Le diamètre obtenu doit être augmenté en fonction de la pente de pose:

$$\Delta' = 2\Delta \text{ pour une pente de } 3H/2V$$

$$\Delta' = 1.4\Delta \text{ pour une pente de } 2H/1V$$

L'application de la formule d'Izbach conduit à retenir un diamètre moyen d'enrochements de 0.80m.

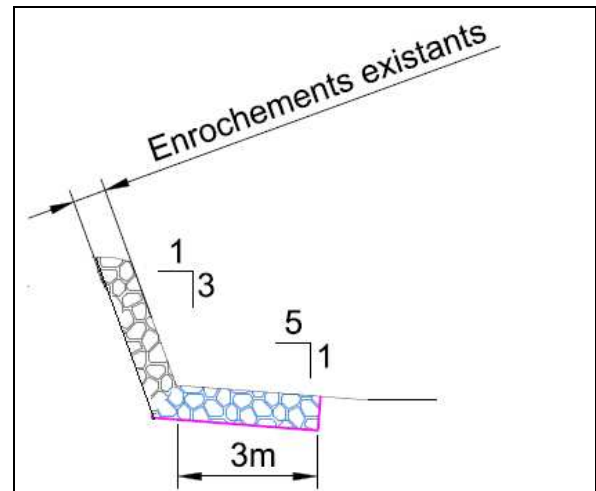


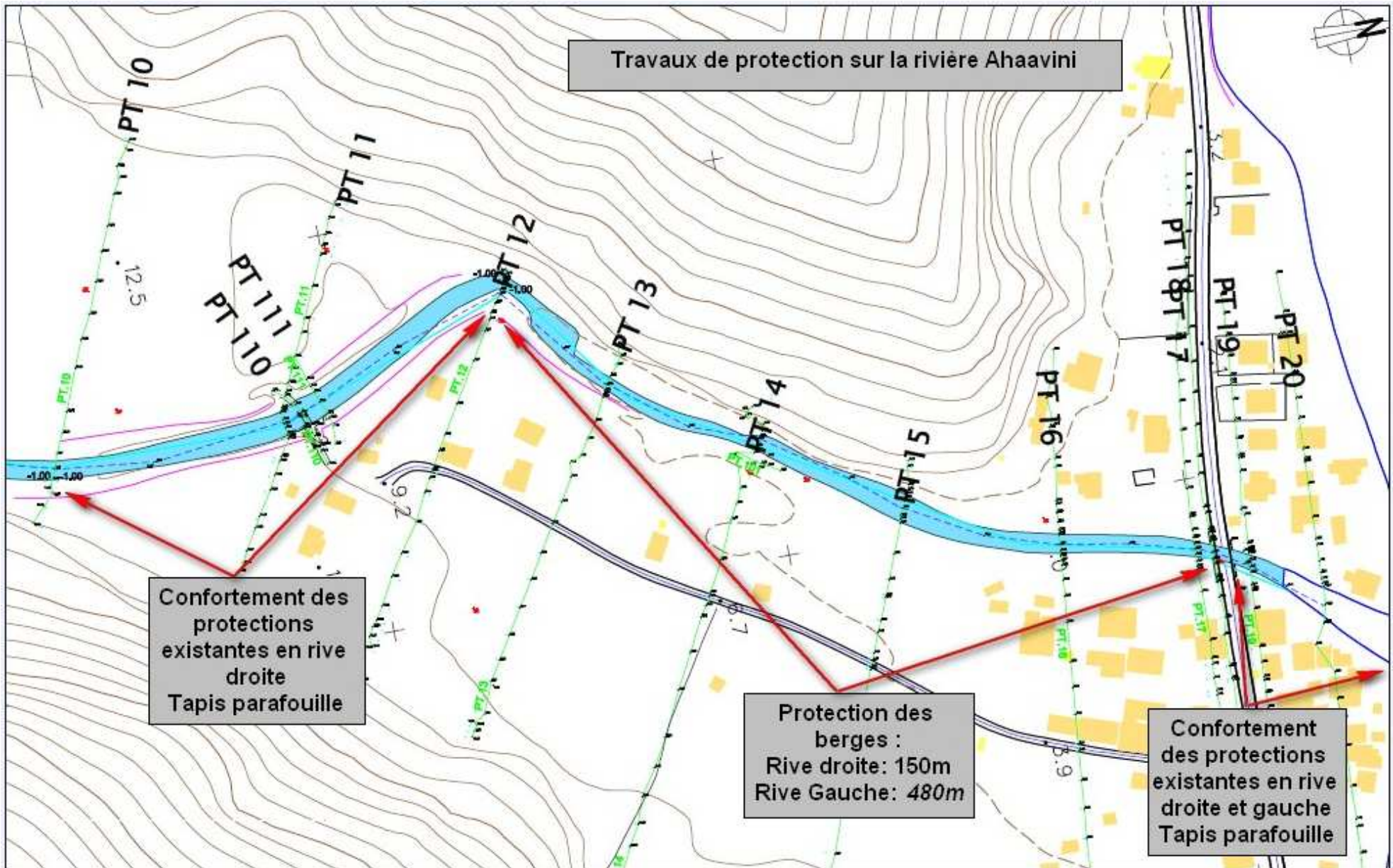
Les travaux de recalibrage proposés permettent d'éviter les débordements pour une crue centennale entre les profils P12 et P17 (ils permettent aussi de stabiliser le lit de la rivière en évitant ses divagations naturelles).

5.2.3. Protection a l'aval du pont de la RT

A l'aval de la RT les berges sont protégées par enrochements. Il est proposé de conforter ces protections par la mise en place d'un tapis parafouille selon les principes présentés ci-dessous.

La longueur de ces protections est de 100m en rive droite et de 100m en rive gauche.





5.3. AMENAGEMENT AU DROIT DU PONT DE LA RT

Le pont de la RT est sous dimensionné à partir de crues d'occurrence décennales. Cet ouvrage devra être élargi.

Pour être suffisant pour le passage de la crue centennale, le futur ouvrage de franchissement devra disposer d'une section de passage d'au moins 95m², soit une largeur de 50m et une hauteur de 2.50m en tenant compte d'un tirant d'air de 0.50m.

Les travaux de redimensionnement de l'ouvrage de franchissement permettent d'abaisser les niveaux de crue d'une valeur de l'ordre de 1.05m en amont immédiat de l'ouvrage. Cet impact permet de diminuer le risque inondation pour les maisons situées à l'heure actuelle en zone d'aléa fort : passage en aléa moyen.

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'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 ...

5.6. CHIFFRAGE ESTIMATIF

Les aménagements proposés précédemment sont définis au stade faisabilité. En particulier les dispositifs parafouille, devront être dimensionnés à partir d'essais géotechniques.

Le tableau suivant donne un estimatif du coût financier des ces travaux, hors acquisitions foncières et hors remplacement du pont existant.

Désignation	Unité	Quantitatif	Prix unitaire HT en FCFP	Prix HT en FCFP
Travaux de protection entre les profils P10 et P12				
Confortement pied de de protection				
Enrochements libres (parafouille)	m ³	1400	6 000	8400000
Géotextile	m ²	1250	1 000	1250000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	1400	600	840000
Sous Total				10490000
Protection des berges entre les profils P17 et P12				
Enrochements libres	m ³	10836	6 000	65016000
Géotextile	m ²	8820	1 000	8820000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	11000	600	6600000
Sous Total				80436000
Travaux de protection entre les profils P17 et P20				
Confortement pied de protection				
Enrochements libres (parafouille)	m ³	840	6 000	5040000
Géotextile	m ²	800	1 000	800000
Déblais (y compris évacuation)	m ³	840	600	504000
Sous Total				6344000
Total général				97270000
Divers et aléa 15%				14590500
TOTAL arrondi				111860500

Tableau 5: Chiffrage estimatif

ANNEXES

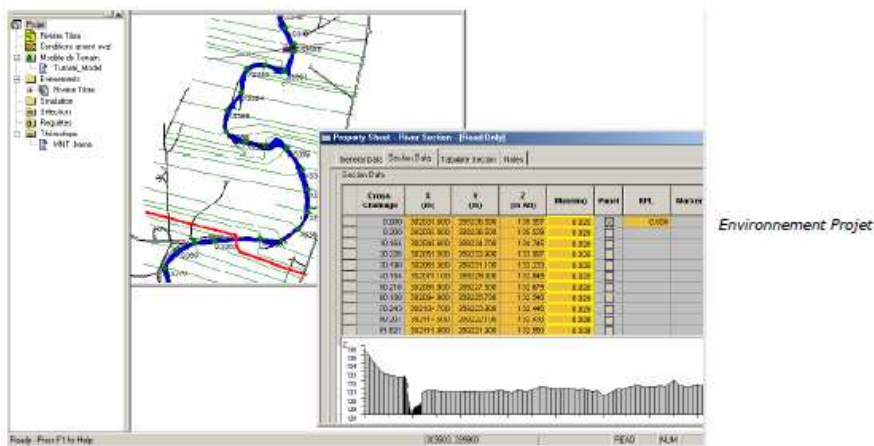
Annexe 1
Logiciel Infoworks



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.



Gamme Modélisation

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.

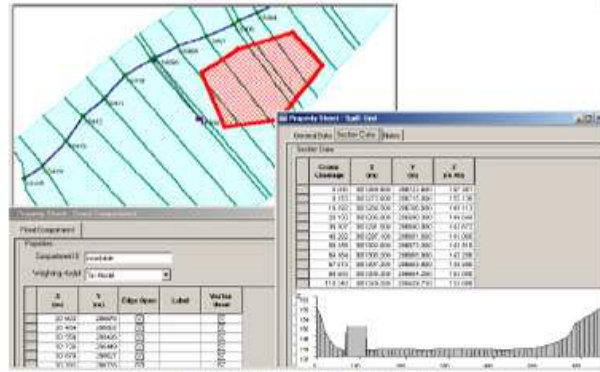


Tracé d'un profil à partir du MNT

Le Galaxie, 89 rue de la Villette 69003 LYON
 Tel : 04.37.56.10.99 - Ligne directe : 04.78.22.28.69 - Fax : 04.37.56.10.98 - www.geomod.fr - info@geomod.fr

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

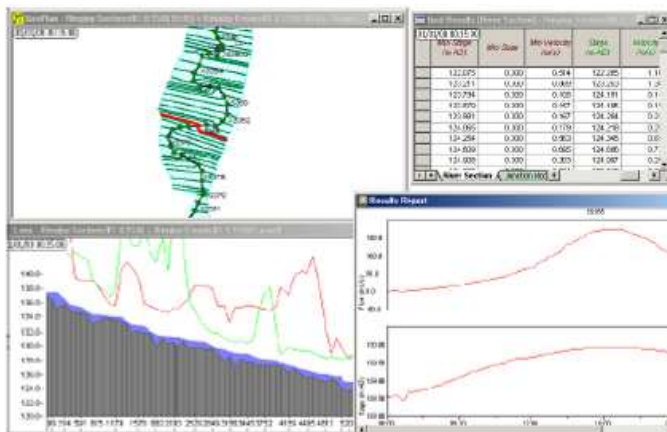
Moteur de calcul

- 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

InfoWorks RS®

Une solution intégrée

Transfert de données en import / export :

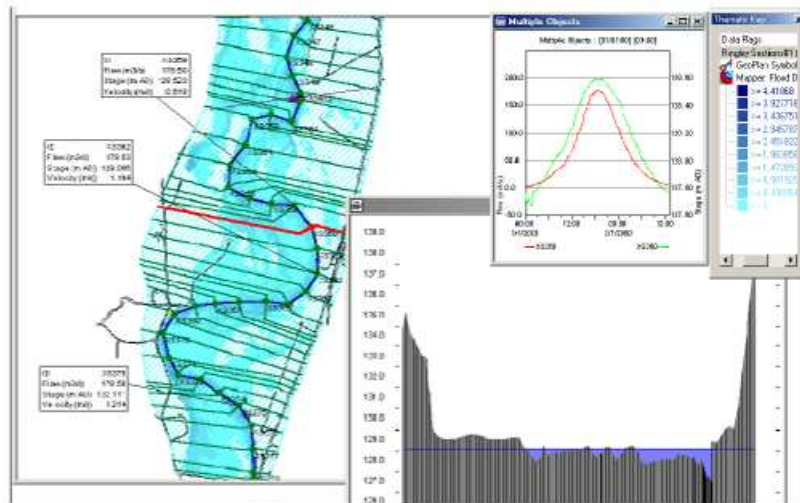
- Importation des modèles existants sous ISIS 2.0®.
- Importation au format CSV.
- Importation de bassins et polygones de stockage de MapInfo® et ArcView®.
- Exportation des données et résultats de simulation vers MapInfo® et ArcView®.
- Exporte les modèles vers ISIS 2.0®.

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.

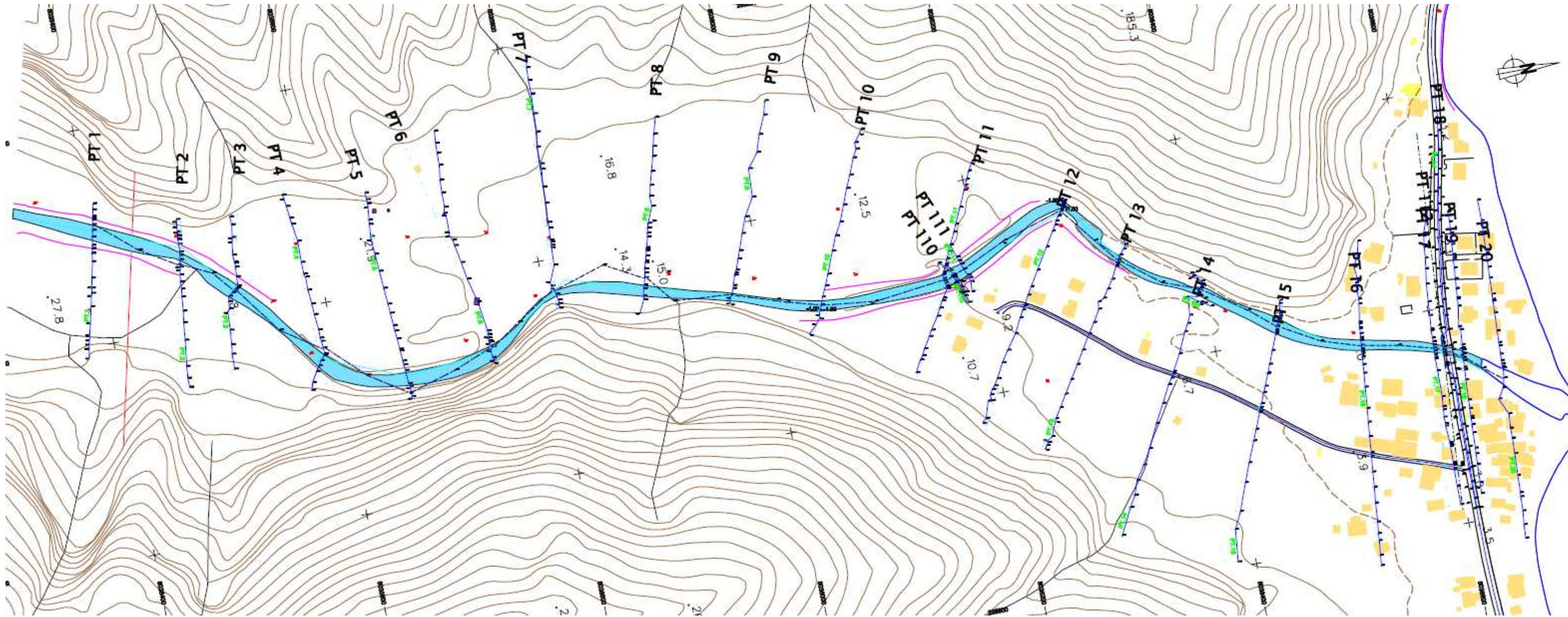


Résultats : zones inondables, profil, graphes

InfoWorks RS® est un logiciel développé par Wallingford Software.



Annexe 2
Emplacement des levés topographiques et résultats de la
modélisation Infoworks



Profil	Fil d'eau lit mineur en m NGT	Crue décennale						Crue centennale						Crue centennale avec embâcles						Crue centennale avec brèche					
		Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Hauteur maximum en rive gauche en m	Hauteur maximum en rive droite en m	Vitesse maximum en une maille en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en une maille en rive droite en m/s	Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Hauteur maximum en rive gauche en m	Hauteur maximum en rive droite en m	Vitesse maximum en une maille en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en une maille en rive droite en m/s	Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Hauteur maximum en rive gauche en m	Hauteur maximum en rive droite en m	Vitesse maximum en une maille en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en une maille en rive droite en m/s	Cote en lit mineur en m NGT	Vitesse en lit mineur en m/s	Hauteur maximum en rive gauche en m	Hauteur maximum en rive droite en m	Vitesse maximum en une maille en rive gauche en m/s	Vitesse maximum en une maille en rive droite en m/s
PT1	24.65	26.55	3.94	0.00	0.00	0.00	0.00	27.01	4.51	0.00	0.39	0.00	0.20	27.01	4.51	0.00	0.39	0.00	0.20	27.01	4.51	0.00	0.39	0.00	0.20
PT2	22.37	24.82	2.52	0.00	0.00	0.00	0.00	25.33	2.88	0.00	0.00	0.00	0.00	25.33	2.87	0.00	0.00	0.00	0.00	25.33	2.88	0.00	0.00	0.00	0.00
PT3	20.91	23.78	4.15	0.00	0.00	0.00	0.00	24.30	4.73	0.00	0.00	0.00	0.00	24.30	4.73	0.00	0.00	0.00	0.00	24.30	4.73	0.00	0.00	0.00	0.00
PT4	19.45	21.82	3.37	0.00	0.00	0.00	0.00	22.33	3.87	0.00	0.00	0.00	0.00	22.33	3.87	0.00	0.00	0.00	0.00	22.33	3.87	0.00	0.00	0.00	0.00
PT5	17.39	20.24	3.39	0.00	0.00	0.00	0.00	20.94	3.65	0.00	0.00	0.00	0.00	20.94	3.65	0.00	0.00	0.00	0.00	20.94	3.64	0.00	0.00	0.00	0.00
PT6	15.96	19.62	2.19	0.00	0.00	0.00	0.00	20.59	2.44	0.11	0.00	0.22	0.00	20.60	2.44	0.11	0.00	0.22	0.00	20.59	2.44	0.11	0.00	0.22	0.00
PT7	15.12	16.99	5.92	0.00	0.00	0.00	0.00	17.31	7.30	0.00	0.00	0.88	0.00	17.31	7.32	0.00	0.00	0.88	0.00	17.31	7.30	0.00	0.00	0.88	0.00
PT8	12.59	15.07	3.64	1.28	0.00	2.27	0.00	15.47	4.31	1.72	0.00	2.59	0.00	15.47	4.30	1.70	0.00	2.59	0.00	15.47	4.31	1.70	0.00	2.58	0.00
PT9	10.27	13.48	3.76	0.46	0.00	2.51	0.00	13.82	4.28	0.52	0.00	3.85	0.00	13.82	4.28	0.52	0.00	3.85	0.00	13.83	4.27	0.52	0.00	3.85	0.00
PT10	9.34	11.83	4.13	0.26	0.00	2.72	0.00	12.28	4.19	0.44	0.00	4.01	0.00	12.28	4.18	0.44	0.00	4.01	0.00	12.26	4.19	0.44	0.00	4.01	0.00
PT11 (PT110-PT111)	7.11	9.67	2.60					10.41	2.61	0.00				10.41	2.62					10.40	2.62				
PT11 (PT110-PT111)	7.05	9.54	4.48	2.51	0.00	1.72	0.00	10.27	4.70	2.91	0.00	2.28	0.00	10.27	4.70	2.91	0.00	2.35	0.00	10.26	4.66	2.91	0.12	2.28	0.59
PT12 (amont aval coude)	4.62	7.97	3.48	0.00	0.00	0.00	0.00	8.64	3.96	0.00	0.16	0.00	1.57	8.64	3.95	0.00	0.16	0.00	1.57	8.62	3.93	0.00	0.16	0.00	1.60
	4.62	7.47	4.42					7.88	5.49					7.88	5.46					7.88	5.38				
PT13	3.76	6.25	4.01	0.00	0.87	0.00	1.09	6.67	4.70	0.00	1.14	0.00	1.76	6.67	4.70	0.00	1.44	0.00	1.76	6.67	4.68	0.00	1.15	0.00	1.76
PT14	2.69	5.29	2.29	0.00	0.05	0.00	0.70	5.53	2.90	0.00	0.24	0.00	2.44	5.52	2.92	0.00	0.24	0.00	2.43	5.53	2.90	0.00	0.24	0.00	2.43
PT15	1.62	4.42	3.89	0.00	0.33	0.00	0.66	4.73	4.72	0.00	0.85	0.00	2.06	4.77	4.60	0.00	0.88	0.00	1.95	4.73	4.71	0.00	0.85	0.00	2.06
PT16	0.64	3.53	3.80	0.00	1.59	1.37	1.70	3.97	4.35	0.00	1.83	2.54	3.38	4.14	4.66	0.00	2.00	2.52	3.65	3.97	4.34	0.00	1.82	2.54	3.31
PT17	0.06	3.53	2.37	0.90	1.59	0.85	0.67	3.97	2.96	1.26	1.83	1.17	1.14	4.14	2.14	1.39	2.00	1.29	1.15	3.97	2.97	1.27	1.82	1.18	1.12
PT18	-0.01	3.53	1.70					3.97	1.81					4.14	1.26					3.97	1.82				
PT19	0.02	2.75	2.38	0.19	0.30	2.01	2.43	2.89	2.79	0.36	0.47	2.84	2.94	2.61	2.06	0.41	0.55	3.16	3.21	2.89	2.80	0.37	0.47	2.85	2.93
PT20	-0.41	2.41	2.09	0.55	0.30	1.99	2.55	2.64	2.16	0.68	0.47	3.11	3.41	2.21	2.10	0.43	0.55	3.46	3.90	2.65	2.16	0.68	0.47	3.12	3.40

