

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  
Cours d'eau : Vairaharaha



Rapport

GRI / N° 04635D

Décembre 2010

## TABLE DES MATIERES

---

<b>1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE</b>	<b>3</b>
<b>2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN ET RECUEIL DE DONNEES</b>	<b>5</b>
2.1. Enquête de terrain	5
2.2. Recueil de données	8
<b>3. ANALYSE HYDROLOGIQUE</b>	<b>9</b>
3.1. Généralités	9
3.2. Evaluation des débits de projet	10
3.2.1. Etude BCEOM de 1999	10
3.2.2. Etude LTPP de 2003 (J.Danloux)	11
3.2.3. Approche de P. STOLLSTEINER	11
3.3. Débits de projet retenus	13
3.4. hydrogrammes des crues de projet	13
<b>4. MODELISATION HYDRAULIQUE</b>	<b>15</b>
4.1. Le modèle mis en oeuvre	15
4.1.1. Conditions aux limites	16
4.2. Calage du modèle	16
4.3. profil en long du lit mineur	17
4.4. Simulation des crues de projet	19
4.4.1. Mécanismes d'écoulement en crue centennale	19
4.4.2. Mécanismes d'écoulement en crue décennale	20
4.4.3. Prise en compte du risque d'embâcles	20
4.4.4. Débits de premier débordement	20
4.5. Cartographie de l'aléa	23
4.5.1. Classification de l'aléa	23
4.5.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennial	23
<b>5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS</b>	<b>24</b>
5.1. la protection des zones habitées	24
5.1.1. Protection globale en amont de la RT	24
5.1.2. Protection des berges à l'aval de la RT.	25
5.2. La mise en place d'un système d'alerte	26
5.3. Les travaux d'entretien de la végétation	26
5.4. Chiffrage estimatif	27



## 1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

---

Le SAU conduit depuis 2005 un programme qui a pour objectif principal la réalisation de Plans de Préventions des Risques (PPR) avec la réalisation de cartes d'aléa inondation.

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

La présente consultation concerne la suite de ce programme et la réalisation de cartographies de zones inondables sur différents cours d'eau de Polynésie française à partir de modélisations hydrauliques.

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 permettant de réduire les aléas inondations sur les zones soumises à un aléa fort.

Les modélisations demandées concernent essentiellement les rivières dont la partie aval comporte une plaine littorale fortement urbanisée ou pouvant être dans un proche avenir fortement urbanisée.

Le cours d'eau étudié dans le cadre de ce programme est la **Vairaharaha**, situé sur la commune de **TEVA I UTA**, au **PK 43.7**.

La cartographie du risque inondation est réalisée sur un linéaire de 1.2 km à partir de l'embouchure du cours d'eau.



## 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 les écoulements,
- d'identifier les données générales nécessaires à la mise en œuvre du modèle de simulation,
- de relever les informations 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 en **annexe 1**.*



**Photo 1** : Franchissement de la RT



**Photo 2** : Vue aval ouvrage

Le franchissement de la route territoriale est assuré par un pont à une travée d'ouverture totale 24m, pour une section hydraulique totale de 108m<sup>2</sup> (hauteur libre 4.5m). Les culées rive gauche et rive droite de l'ouvrage sont protégées par des enrochements libres.

D'après les enquêtes menées auprès des riverains cet ouvrage n'a pas été submergé lors du cyclone Veena.



**Photo 3** : Vue aval pont RT – rive gauche



**Photo 4** : Vue protections aval rive gauche

A l'aval de l'ouvrage de franchissement, la totalité du coude situé en rive gauche est protégé par un perré en enrochements libre, jusqu'à la limite de la zone habitée. Cet ouvrage a été mis en place suite au cyclone de 1998.

Les riverains signalent des problèmes au niveau de l'embouchure : il est constaté des problèmes d'ensablement du fait de la position du débouché de la rivière face à la passe.



**Photo 5** : Amont Franchissement



**Photo 6** : Eglise de JC des derniers jours

En amont du franchissement le lit est plus rectiligne et est bordé de part et d'autre par une végétation importante. Des dépôts d'alluvions sont notés en amont rive gauche du pont. Pas de protections de berge sur ce secteur.

La rive gauche a été urbanisée récemment : Eglise de Jésus Christ des Derniers Jours.



**Photo 7** : berge protégée en RD



**Photo 8** : Affaissement de berge

Plus à l'amont, au niveau du profil P7, le long de la route d'accès à la vallée amont, la rive droite de la rivière est protégée par enrochements. Ces ouvrages sont posés avec une pente très raide et ne disposent pas de protections anti-affouillement. Leur stabilité est donc menacée en crue.



**Photo 9** : Attaque de berge



**Photo 10** : Erosion en rive gauche

D'importantes zones d'érosion sont présentes en rive gauche de la rivière.

## **2.2. RECUEIL DE DONNEES**

Les informations topographiques utilisées dans le cadre de la modélisation hydraulique sont les levés des profils en travers du lit mineur réalisé en Septembre 2010 par le cabinet de géomètre Wild.

Ce levé est constitué de :

- 20 profils en travers du lit du cours d'eau,
- Du levé spécifique du pont de la RT.

### 3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

---

#### 3.1. GENERALITES

Le bassin versant de la Vairaharaha se situe sur se situe sur le secteur sous le 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. Le poste pluviographique le plus proche de la zone étudiée est le poste Vaihiria, situé à une altitude de 460m.

Le bassin versant de la Vairaharaha a une superficie de 14.8 km<sup>2</sup>.

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

Les principales caractéristiques du bassin versant sont les suivantes :

- Surface : 14.8 km<sup>2</sup>
- Périmètre : 24.77 km
- Longueur du rectangle équivalent : 11.04 km
- Altitude moyenne : 511m,
- Plus long cheminement hydraulique : 13.95 km
- Gradex de la pluie centennale / 15mn : 32mm, (source : G.Wotling « Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti »)
- Dénivelée entre sommet du bassin et exutoire : 1795 m,
- Indice de pente : 129 m/km
- Temps de concentration (Kirpich) : 1.1h

Figure n°1 : Bassin versant de la Vairaharaha



## 3.2. EVALUATION DES DEBITS DE PROJET

Différentes méthodes ont été utilisées pour calculer les débits de projet de la Vairaharaha.

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 pour la Vairaharaha)
- S est la superficie drainée en km<sup>2</sup>

- $P_o$  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 22mm,

Cette formulation s'applique à des bassins versant de plus de 1km<sup>2</sup>. 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 écrètements 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 km<sup>2</sup> et sur 30 minutes pour les autres, **soit un Gradex de 32mm** pour la Vairaharaha.
- un coefficient de passage du débit moyen au débit instantané de 1.5

### 3.2.2. Etude LTPP de 2003 (J.Danloux)

L'étude du LTPP 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 :

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

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

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

C : coefficient de Craeger

Dans le cadre de l'étude « modélisation hydrologique des cours d'eau de la liaison Tamanu-Taravao », menée en 2001 par le LTPP, les débits de crue de la Vairaharaha estimés à partir de lois d'ajustements statistiques sont les suivants :

- débit décennal : 220 m<sup>3</sup>/s
- débit cinquantennal : 360 m<sup>3</sup>/s
- débit centennal : 430 m<sup>3</sup>/s

### 3.2.3. Approche de P. STOLLSTEINER

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 ». Pour la Vairaharaha, le coefficient de ruissellement décennal retenu est de 0.65. Ce coefficient se rapporte 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).

### 3.3. DEBITS DE PROJET RETENUS

Les débits de crue de la Vairaharaha obtenus par les trois méthodes présentées ci-dessus sont les suivants :

Etude	Méthode de calcul	Q10 en m <sup>3</sup> /s	Q100 en m <sup>3</sup> /s
Etude BCEOM de 1999	Formule empirique et gradex	186	362
Etude LTPP de 2003 J.Danloux)	Analyse statistique	220	430
P STOLLSTEINER	Méthode rationnelle et gradex	222	321

**Tableau 1 : Comparaison des débits de projet obtenus**

Les trois méthodes d'évaluation des débits convergent vers des valeurs proches. Il est proposé de retenir les valeurs obtenues dans l'étude LTPP de J.Danloux, basées sur une analyse statistique des débits de crue.

Ces évaluations conduisent à de forts débits spécifiques (de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) pour le débit centennal.

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

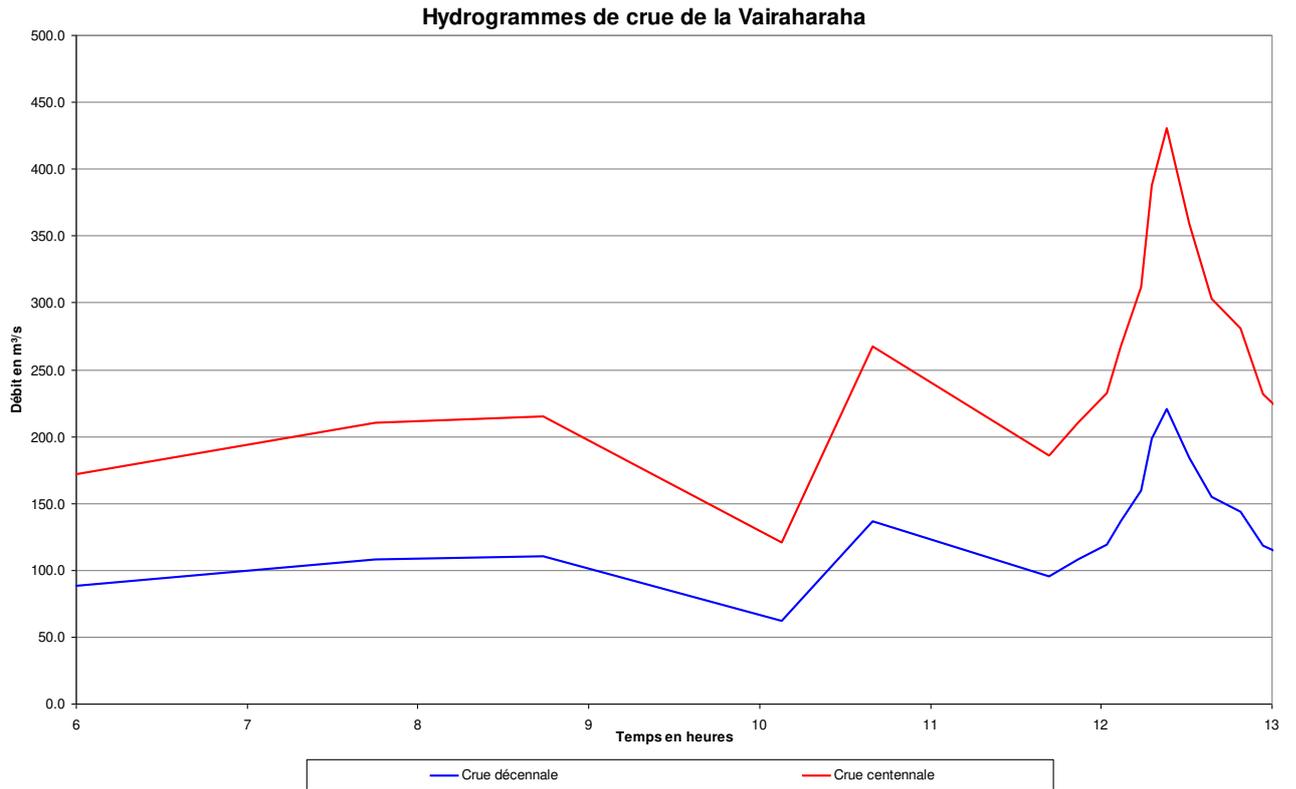
Crue	Crue décennale	Crue centennale
Débit en m <sup>3</sup> /s	220	430

**Tableau 2 : Débits de projet de la Vairaharaha**

### 3.4. HYDROGRAMMES DES CRUES DE PROJET

Les hydrogrammes des crues décennale et centennale sont déduits de l'hydrogramme enregistré sur la Taharuu lors de la crue du 12 avril 1983 au passage du cyclone Veena.

Ils sont construits en appliquant un coefficient multiplicateur égal au rapport des débits de pointe.



## 4. MODELISATION HYDRAULIQUE

---

### 4.1. LE MODELE MIS EN OEUVRE

L'outil de modélisation utilisé est le logiciel INFOWORKS RS qui permet la modélisation en régime transitoire et prend en compte des écoulements unidirectionnels pouvant être ramifiés ou maillés.

Le modèle INFOWORKS RS est basé sur la résolution des équations de St Venant :

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

*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,...).

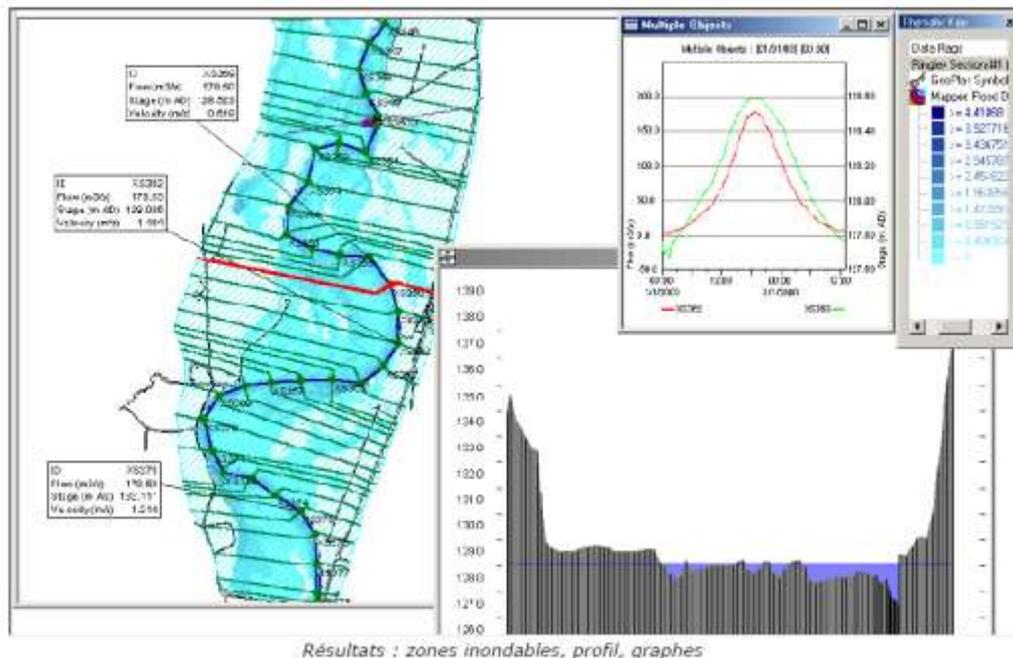
Z	cote de la surface libre
Q	débit
a	apport ou perte au m2
x	abscisse
S	section mouillée
J	gradient de charge hydraulique

Le logiciel INFOWORKS utilise le schéma numérique de PREISSMANN pour la résolution des équations de St-Venant.

La schématisation du site d'étude est décrite dans une base de données au moyen d'une série de profils en travers et d'ouvrages tels que ponts, gués...

Il permet notamment d'établir des cartes de zones inondables, d'optimiser les débouchés des ouvrages hydrauliques, les protections qui leur sont associés, et d'analyser le fonctionnement des systèmes hydrauliques complexes, de type unidirectionnels.

## Modèle Infoworks



### 4.1.1. Conditions aux limites

Les conditions limite aval prise en compte dans le modèle sont les suivantes :

	Débit de pointe	Niveau aval du lagon
<b>Crue décennale</b>	220 m <sup>3</sup> /s	0 m NGT
<b>Crue centennale</b>	430 m <sup>3</sup> /s	1 m NGT

Tableau 3 : Conditions aux limites du modèle

## 4.2. 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 :

- 22 à 26 en lit mineur.
- 7 à 10 en lit majeur en fonction de la densité de la végétation.

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

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

Avec :

**n0** : Dépend du type de matériaux qui constitue le lit de la rivière (de 0.02 pour l'argile nue, à 0.028 pour les gros graviers).

**n1** : Degré d'érosion de la surface du canal (de 0.00 pour surface lisse, à 0.02 pour un canal très érodé).

**n2** : Variation des sections du canal (de 0.00 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 0.00 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).

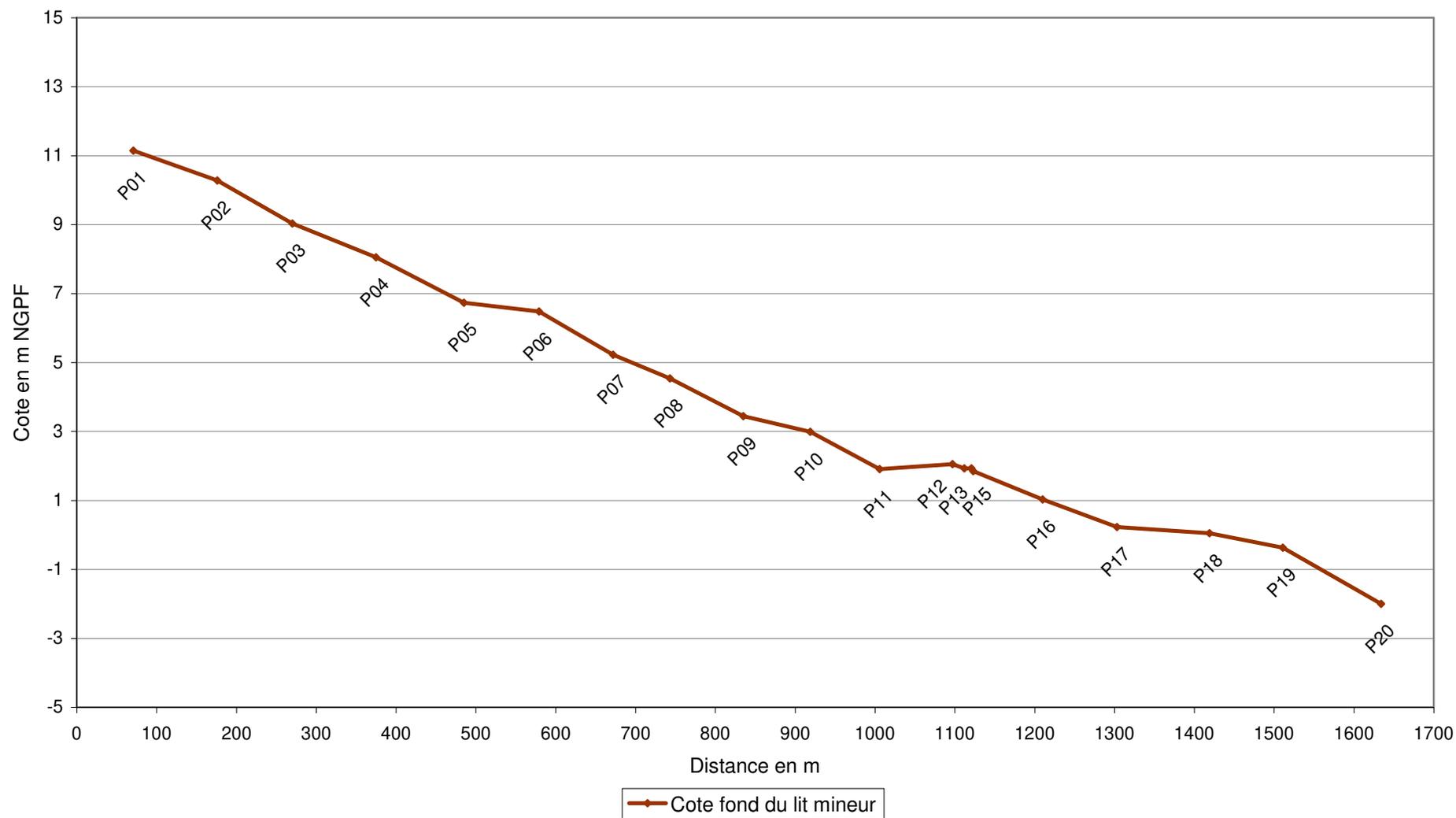
	<b>n0</b>	<b>n1</b>	<b>n2</b>	<b>n3</b>	<b>n4</b>	<b>m5</b>	<b>n</b>	<b>K</b>
Amont (P1-P15)	0.02	0.01	0.005	0	0.01	1	0.045	22
Aval (P14-P20)	0.024	0.01	0.005	0	0	1	0.039	26

### 4.3. PROFIL EN LONG DU LIT MINEUR

Le profil en long du lit mineur est présenté sur la figure n°3. Sur le secteur amont, du profil P1 au profil P11, la pente moyenne est de 1%.

A l'aval de l'ouvrage de franchissement la pente de la rivière reste forte : 0.6% du profil P15 au profil P19.

Figure n°3: Profils en long du lit mineur



## 4.4. 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.

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

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

Les lignes d'eau sont données en figure 4.

### 4.4.1. Mécanismes d'écoulement en crue centennale

#### Vallée amont (profils P1 à P7)

Les écoulements en crue sur la partie amont de ce secteur n'atteignent pas les limites hydrogéomorphologiques du lit majeur du cours d'eau.

Il est observé une zone d'aléa fort à très fort en bordure du lit mineur, du fait des hauteurs de submersion et des fortes vitesses d'écoulement. La rive gauche est classée en zone d'aléa faible.

#### Secteur médian (profils P7 à P12)

De forts débordements se produisent sur la rive gauche. Ces débordements sont évalués à environ 40m<sup>3</sup>/s au droit du profil P8, 75 m<sup>3</sup>/s au droit du profil P11 et génèrent une zone d'aléa moyen en rive gauche du cours d'eau.

Au droit du pont de la route de ceinture :

Pont de la route de ceinture	Cote en m NGT
Cote sous poutre	6.70
Cote de surverse sur l'ouvrage	8.26
Cote d'eau en crue décennale	4.44
Cote d'eau en crue centennale	5.07
Mise en charge	Non : déversement par points bas de la route

Le pont de la route de ceinture n'est pas en charge pour la crue centennale : les débordements amont court-circuitent le lit de la rivière, viennent buter sur le talus routier et coupent la RT à l'est et à l'ouest de l'ouvrage de franchissement. Les débits qui coupent l'accès routier sont évalués à :

- 34m<sup>3</sup>/s en rive droite,
- 15m<sup>3</sup>/s en rive gauche.

L'effet d'obstruction provoqué par la RT conduit à des zones d'aléa fort immédiatement en amont du talus routier (fortes hauteurs de submersion).

#### **Secteur aval (profils P13 à P19)**

Les débordements de la rivière s'étalent largement en rive droite et en rive gauche. Cette situation peut-être aggravée en cas de non rupture du cordon littoral dans les zones inondées.

#### **4.4.2. Mécanismes d'écoulement en crue décennale**

En crue décennale, les débordements restent cantonnés à proximité du lit mineur dans la partie amont (P1-P7). Étant donnée les fortes vitesses d'écoulement, le risque d'érosion de berge et de divagation du lit est présent sur tout ce secteur.

À l'aval, des débordements sont observés :

- En amont de l'ouvrage de franchissement (faible section d'écoulement au droit du profil P11).
- Dans les coudes de la rivière situés en aval du pont de la RT.

#### **4.4.3. 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 accentue les débordements sur la route territoriale :

- 180m<sup>3</sup>/s en rive droite,
- 65m<sup>3</sup>/s en rive gauche.

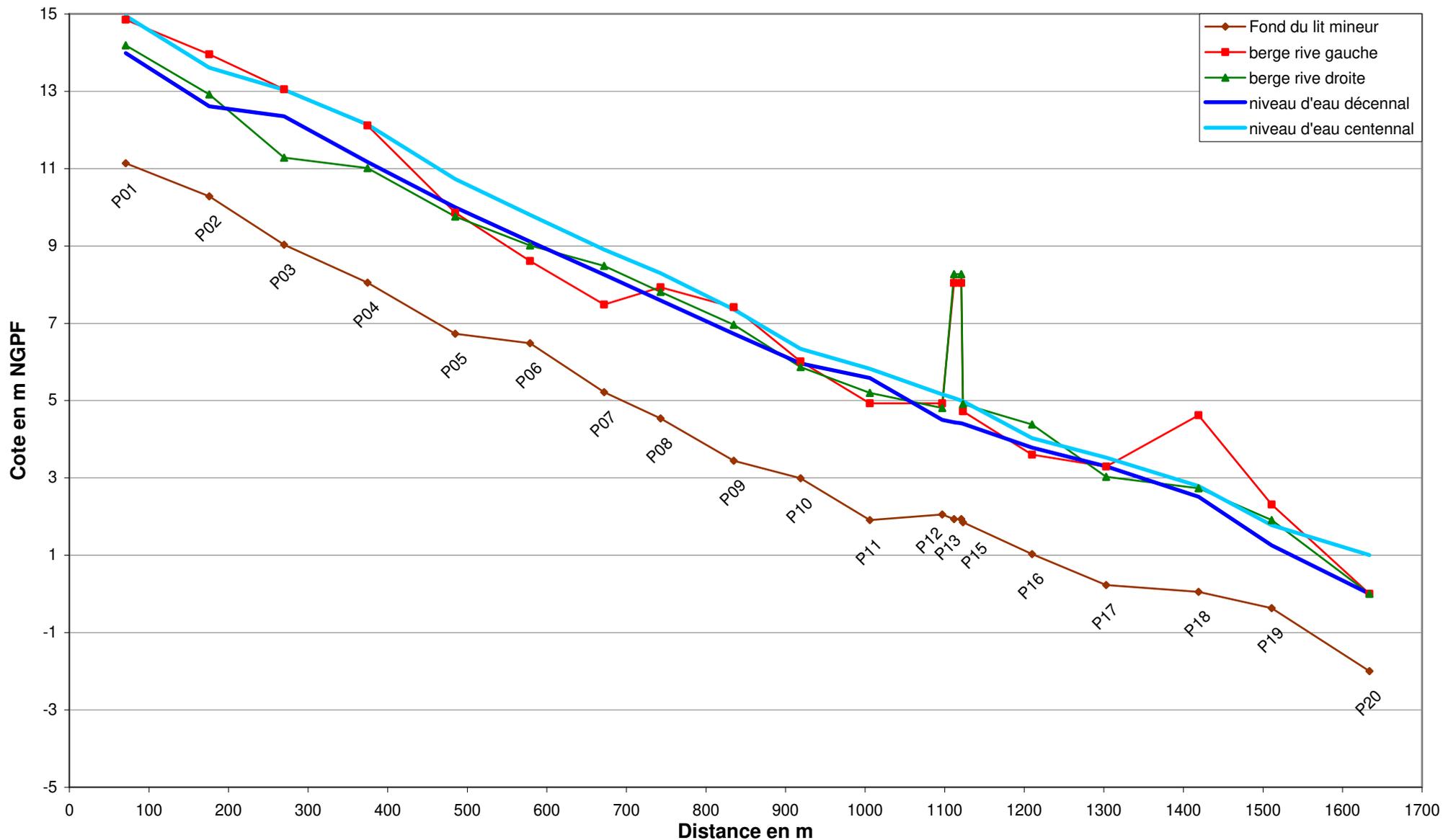
La zone inondée est plus étendue en surface avec des hauteurs d'eau pouvant augmenter de 1m en amont immédiat du pont, 0.40m au niveau du profil P11. Le pont n'est pas submergé, les écoulements se produisent préférentiellement en rive droite de l'ouvrage.

#### **4.4.4. Débits de premier débordement**

Casier	Débit de premier débordement (m <sup>3</sup> /s)	
	Rive gauche	Rive droite
P01	401	243
P02		323
P03	430	152
P04	430	225
P05	153	175
P06	153	167

P07	144	274
P08	262	201
P09	334	263
P10	270	210
P11	119	147
P12	257	238
P13		
P13!		
P15	245	305
P16	174	
P17	183	146
P18		
P19		

Figure n°4: Lignes d'eau décennales et centennales



## 4.5. CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

### 4.5.1. 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'aléa inondation de la crue centennale en tenant compte du risque d'embâcles

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

Vitesse Hauteur	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 4 : Définition des classes d'aléa**

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

### 4.5.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennial

Dans le cadre de l'aléa centennial, le phénomène d'érosion de berges a été pris en compte dans la cartographie de l'aléa. Une bande d'aléa très fort de 10 m de large en bordure de lit mineur a été ajoutée à la cartographie finale.

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

## 5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

---

### 5.1. LA PROTECTION DES ZONES HABITEES

Les principales zones habitées soumises à un aléa fort se situent :

- à l'amont du franchissement de la route territoriale, en rive droite et en rive gauche,
- sur le secteur médian de la rivière entre les profils P4 et P7, en rive droite.

Il est difficile de mettre en œuvre des protections strictement localisées sur ces secteurs car les problèmes d'inondation proviennent en grande partie de débordement de la rivière se produisant à l'amont des secteurs habités.

Il est donc proposé la mise en œuvre d'ouvrages de protection assurant une protection globale des rives du cours d'eau en amont de l'ouvrage de franchissement de la RT.

A l'aval de la RT, il est préconisé de fixer le lit de la rivière pour stopper les phénomènes de méandrement liés aux difficultés d'évacuation à l'embouchure. Les protections de berge existantes devront être diagnostiquées, en particulier sur leur capacité de résister aux affouillements en pied d'ouvrage (il n'a pas été identifié de protections parafoilles lors des reconnaissances de terrain). L'estimation du coût des travaux intègre une refonte complète des protections existantes.

#### 5.1.1. Protection globale en amont de la RT

##### Protection de la rive droite

Les caractéristiques de l'ouvrage de protection sont les suivantes :

- Linéaire : 720m
- Hauteur moyenne : 4 à 4.50m
- Protection par enrochements libres posés en deux couches sur filtre géotextile,
- Pente de talus 2/1,
- Hauteur en crête des protections : 1m en moyenne au dessus des berges existantes.

##### Protection de la rive gauche

Il est proposé de réaliser un endiguement éloigné du lit mineur de la rivière entre les profils P5 et P10. Cet ouvrage permettra de préserver une emprise pour le libre écoulement des eaux nécessaire à la dispersion de l'énergie cinétique de la rivière. Le positionnement d'un endiguement éloigné du lit mineur permettra de plus de diminuer la vulnérabilité de l'ouvrage (vitesses d'écoulement plus faibles en pied d'ouvrage) en préservant la qualité du milieu naturel.

Les caractéristiques de l'ouvrage de protection sont les suivantes :

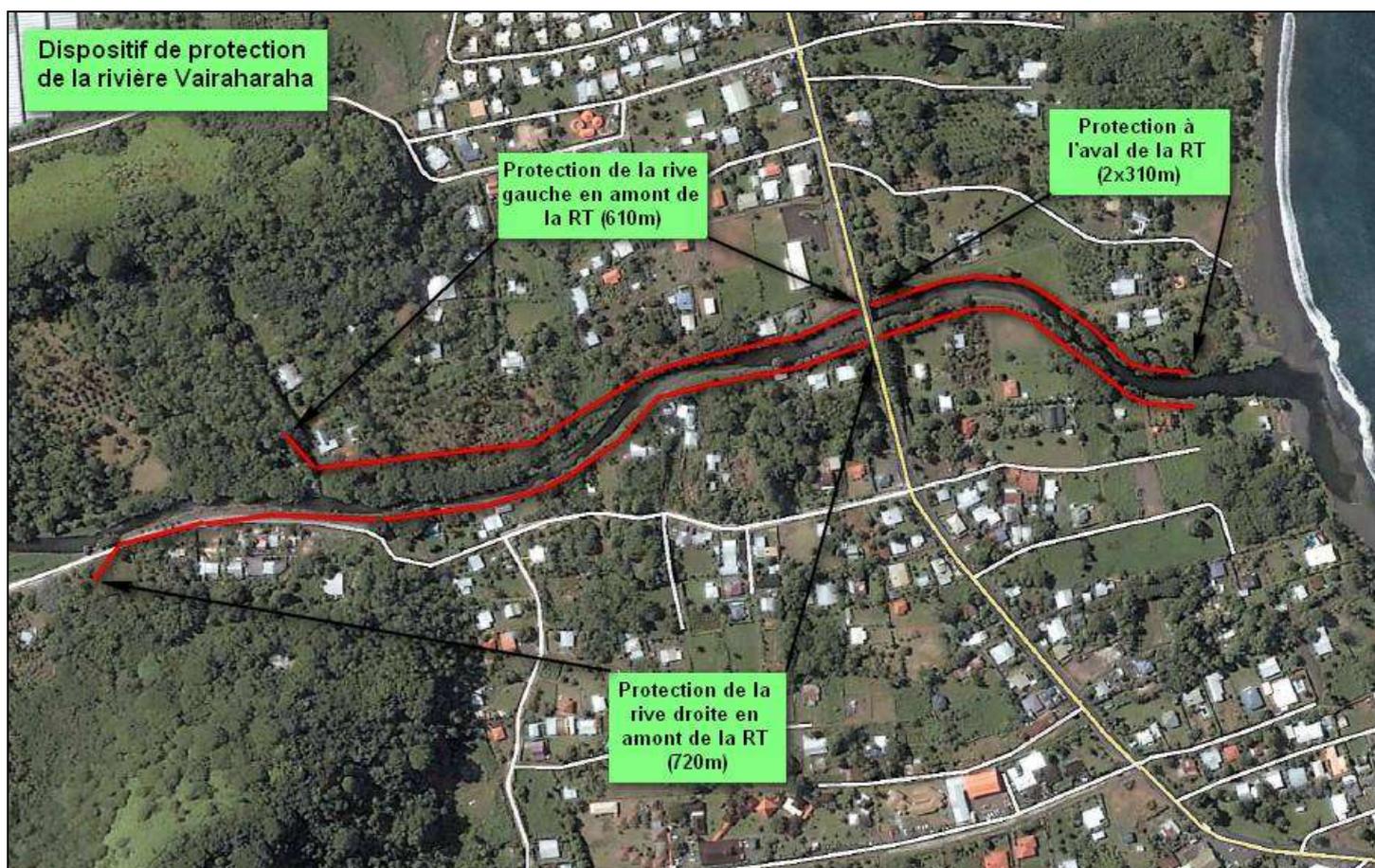
- Linéaire : 610m

- Hauteur moyenne : 4 m
- Protection par enrochements libres posés en deux couches sur filtre géotextile,
- Pente de talus 2/1,
- Hauteur en crête des protections : 1m en moyenne au dessus des berges existantes.

### 5.1.2. Protection des berges à l'aval de la RT.

Les caractéristiques de cet ouvrage sont les suivantes :

- Linéaire 620m
- Hauteur moyenne 3 à 3.50m,
- Protection coté rivière par enrochements libres posés en deux couches sur filtre géotextile,
- Pente du talus 2/1.



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

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

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

## **5.3. LES TRAVAUX D'ENTRETIEN DE LA VEGETATION**

Les reconnaissances menées dans le cadre de cette étude ont mis en évidence la nécessité de contrôler la végétation présente en bordure du lit de la rivière. Sur de nombreux secteurs la végétation, en colonisant les bancs de gravier et de galets déposés par le transport solide important du cours d'eau, réduit les sections d'écoulement et risque d'augmenter la fréquence d'exposition au risque inondation des zones vulnérables.

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

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

La fréquence d'entretien proposée est la suivante :

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

#### 5.4. CHIFFRAGE ESTIMATIF

Les aménagements proposés précédemment sont définis au stade de la faisabilité. En particulier les ouvrages de protection de berge devront être dimensionnés à partir d'essais géotechniques et d'une topographie détaillée des emprises des ouvrages.

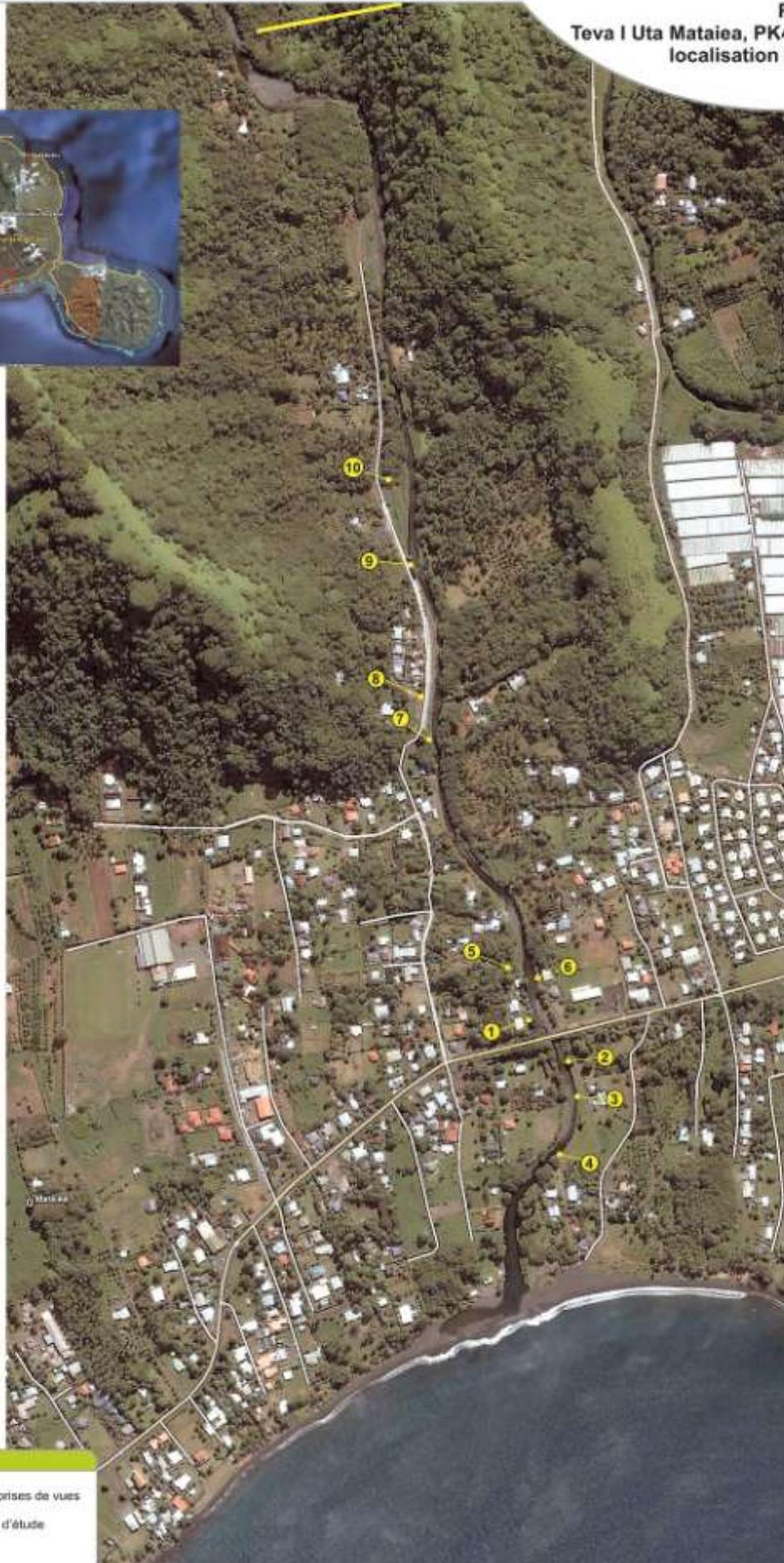
Le tableau ci-dessous donne un estimatif du coût financier des ces travaux, hors coût des acquisitions foncières.

Désignation	Unité	Quantitatif	Prix unitaire HT en FCFP	Prix HT en FCFP
<b>Protection de la rive droite</b>				
Enrochements libres	m <sup>3</sup>	17280	6 000	103680000
Géotextile	m <sup>2</sup>	10800	1 500	16200000
Déblais (y compris évacuation)	m <sup>3</sup>	18720	1500	28080000
<b>Sous Total</b>				<b>147960000</b>
<b>Protection de la rive gauche</b>				
Enrochements libres	m <sup>3</sup>	14640	6 000	87840000
Géotextile	m <sup>2</sup>	9150	1 500	13725000
Déblais (y compris évacuation)	m <sup>3</sup>	15860	1500	23790000
<b>Sous Total</b>				<b>125355000</b>
<b>Protection de berge aval RT</b>				
Enrochements libres	m <sup>3</sup>	9300	6 000	55800000
Géotextile	m <sup>2</sup>	8060	1 500	12090000
Déblais (y compris évacuation)	m <sup>3</sup>	9920	1500	14880000
<b>Sous Total</b>				<b>82770000</b>
<b>Total général</b>				<b>356085000</b>
Divers et aléa 20%				<b>71217000</b>
<b>TOTAL arrondi</b>				<b>427302000</b>

## ANNEXES

Annexe 1  
Localisation des photos

Rivière Vairaharaha  
Teva I Uta Mataiea, PK43,7, linéaire 1,2km  
localisation des prises de vues

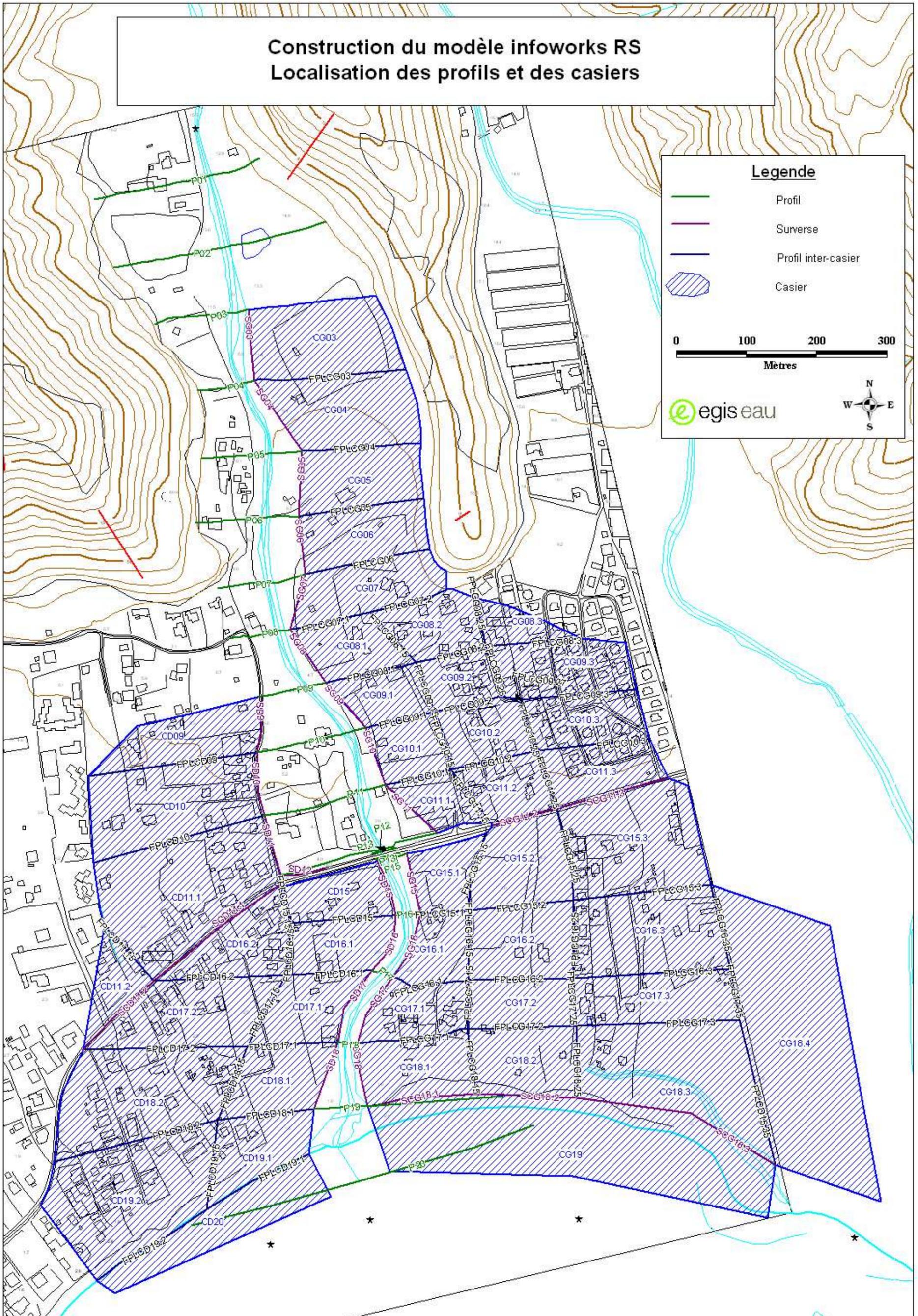


Légende

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

Annexe 2  
Construction et résultats de la modélisation Infoworks

# Construction du modèle infoworks RS Localisation des profils et des casiers



## Legende

- Profil
  - Surverse
  - Profil inter-casier
  - Casier
- 0 100 200 300  
Mètres
- egis eau
- N  
W E  
S



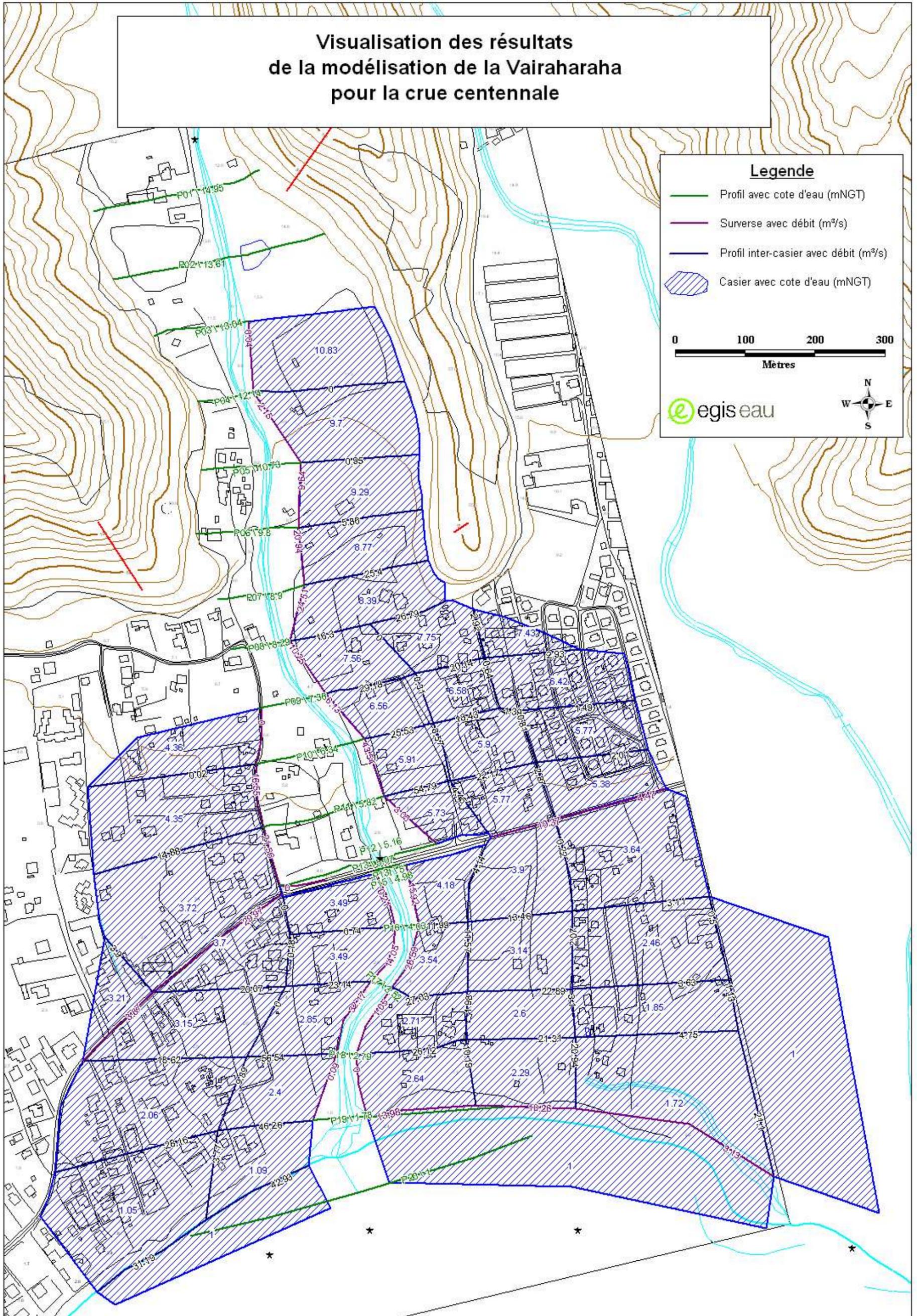
# Visualisation des résultats de la modélisation de la Vairaharaha pour la crue centennale

## Legende

- Profil avec cote d'eau (mNGT)
- Surverse avec débit (m<sup>3</sup>/s)
- Profil inter-casier avec débit (m<sup>3</sup>/s)
- ▨ Casier avec cote d'eau (mNGT)



egis eau



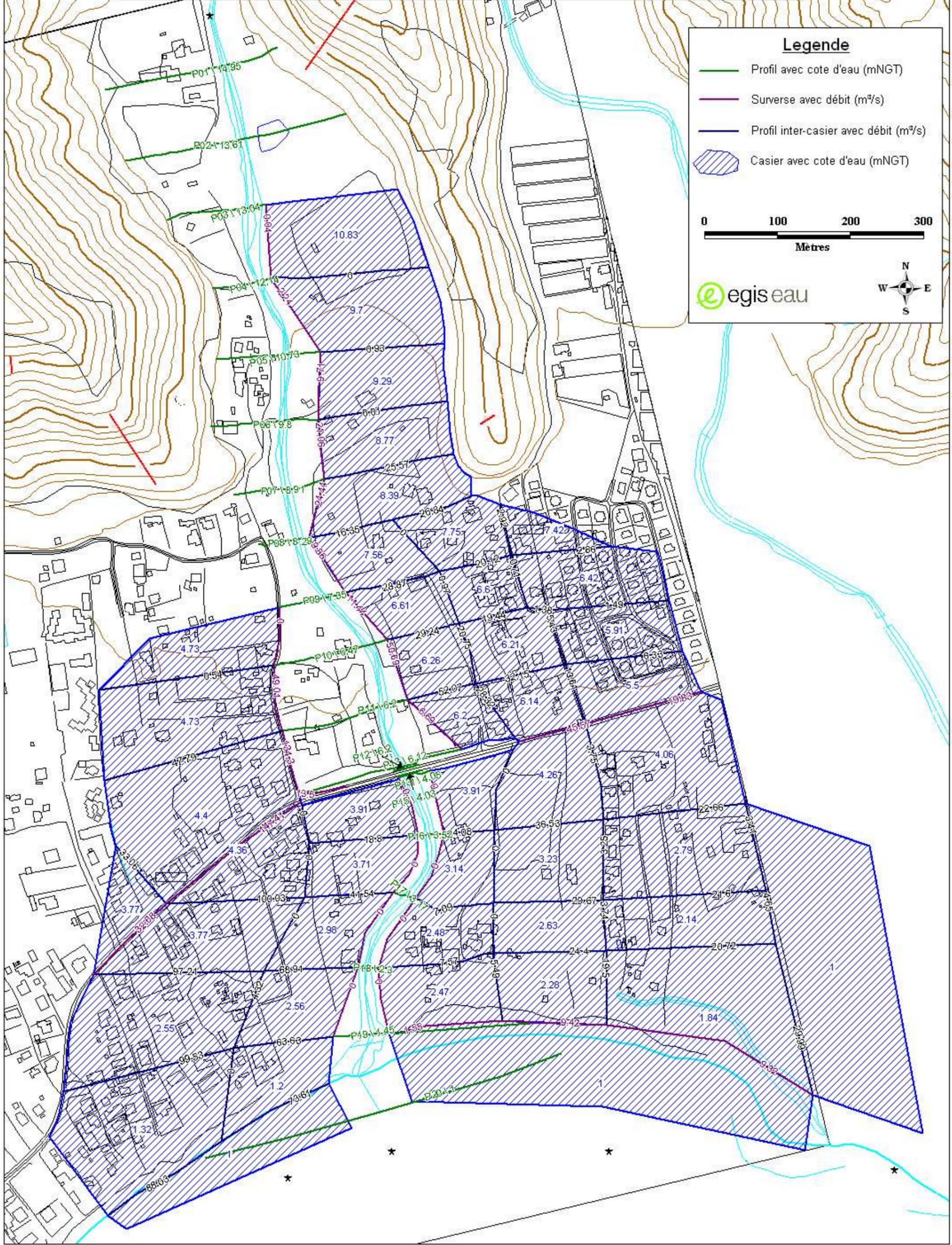
# Visualisation des résultats de la modélisation de la Vairaharaha pour la crue centennale avec le pont obstrué à 50%

**Legende**

- Profil avec cote d'eau (mNGT)
- Surverse avec débit (m<sup>3</sup>/s)
- Profil inter-casier avec débit (m<sup>3</sup>/s)
- ▨ Casier avec cote d'eau (mNGT)

0 100 200 300  
Mètres

egis eau



Profils	Z_Fe en m NGPF	Crue décennale				Crue centennale				Crue centennale pont obstrué de 50%			
		Cote (m NGPF)	Vitesse rive gauche (m/s)	Vitesse lit mineur (m/s)	Vitesse rive droite (m/s)	Cote (m NGPF)	Vitesse rive gauche (m/s)	Vitesse lit mineur (m/s)	Vitesse rive droite (m/s)	Cote (m NGPF)	Vitesse rive gauche (m/s)	Vitesse lit mineur (m/s)	Vitesse rive droite (m/s)
P01	11.14	13.99	0	3.5	0	14.95	0	4.2	0.8	14.95	0	4.2	0.8
P02	10.28	12.61	0	2.8	0	13.61	0	3.4	0.3	13.61	0	3.4	0.3
P03	9.03	12.35	0	1.7	0.2	13.04	0	2.4	0.5	13.04	0	2.4	0.5
P04	8.05	11.17	0	3.2	0	12.14	0.1	4.5	0.5	12.14	0.1	4.5	0.5
P05	6.73	10.00	0.0	3.6	0.4	10.73	0.2	4.5	0.9	10.73	0.2	4.5	0.9
P06	6.48	9.11	0.0	2.7	0.4	9.80	0.4	3.4	0.7	9.80	0.4	3.4	0.7
P07	5.22	8.25	0.0	3.6	0	8.90	0.5	4.6	0.4	8.91	0.5	4.6	0.4
P08	4.54	7.59	0	3.2	0	8.29	0.5	4.0	0.4	8.29	0.5	4.0	0.4
P09	3.44	6.73	0	3.3	0	7.36	0.5	4.0	0.4	7.35	0.5	4.1	0.4
P10	2.99	5.96	0	2.7	0.2	6.34	0.5	3.6	0.5	6.47	0.5	3.2	0.4
P11	1.91	5.58	0.3	1.6	0.4	5.82	0.3	2.2	0.6	6.20	0.3	1.5	0.4
P12	2.05	4.50		3.3		5.16	0.4	3.9	0.5	6.20	0.2	0.8	0.4
P13	1.93	4.44		3.3		5.07		4.4		6.12		1.2	
P13!	1.93	4.41		3.3		5.00		4.5		4.05		2.6	
P15	1.85	4.49		3.0		4.98		3.9		4.03		2.6	
P16	1.03	3.78	0.2	3.5	0.2	4.03	0.4	5.3	0.3	3.52	0.5	2.6	0.8
P17	0.23	3.30	0.2	2.6	0.2	3.52	0.5	3.6	0.4	3.17	0.5	2.2	0.6
P18	0.05	2.51	0.2	3.1	0.3	2.79	0.2	3.8	0.4	2.30	0.2	3.0	0.6
P19	-0.37	1.26		4.0	0.2	1.78		3.8	0.5	1.45		3.0	0.7
P20	-2	0.00		0.3		1.00		0.2		1.00		0.1	

Nom	Cote casier en m NGPF		
	Crue décennale	Crue centennale	Crue centennale - pont obstrué 50%
CD09	4.30	4.36	4.73
CD10	3.93	4.35	4.73
CD11.1	3.25	3.72	4.40
CD11.2	2.90	3.21	3.77
CD15	3.10	3.49	3.91
CD16.1	3.01	3.49	3.71
CD16.2	2.93	3.70	4.36
CD17.1	1.97	2.85	2.98
CD17.2	2.46	3.15	3.77
CD18.1	1.76	2.40	2.56
CD18.2	1.43	2.06	2.55
CD19.1	0.43	1.09	1.20
CD19.2	0.23	1.06	1.32
CD20	0.00	1.00	1.00
CG03	10.80	10.83	10.83
CG04	9.30	9.70	9.70
CG05	8.30	9.29	9.29
CG06	7.20	8.77	8.77
CG07	7.00	8.39	8.39
CG08.1	6.50	7.56	7.56
CG08.2	6.70	7.75	7.75
CG08.3	7.00	7.43	7.42
CG09.1	5.55	6.56	6.61
CG09.2	5.70	6.58	6.60
CG09.3	5.90	6.42	6.42
CG10.1	5.49	5.91	6.26
CG10.2	5.40	5.90	6.21
CG10.3	5.55	5.77	5.91
CG11.1	5.40	5.73	6.20
CG11.2	5.30	5.77	6.14
CG11.3	5.00	5.38	5.50
CG15.1	3.68	4.18	3.91
CG15.2	3.06	3.91	4.26
CG15.3	3.10	3.64	4.06
CG16.1	2.94	3.54	3.14
CG16.2	2.43	3.14	3.23
CG16.3	2.00	2.46	2.79
CG17.1	1.78	2.71	2.48
CG17.2	2.00	2.60	2.64
CG17.3	1.36	1.85	2.14
CG18.1	1.78	2.64	2.47
CG18.2	1.40	2.29	2.28
CG18.3	0.91	1.72	1.84
CG18.4	0.00	1.00	1.00
CG19	0.00	1.00	1.00

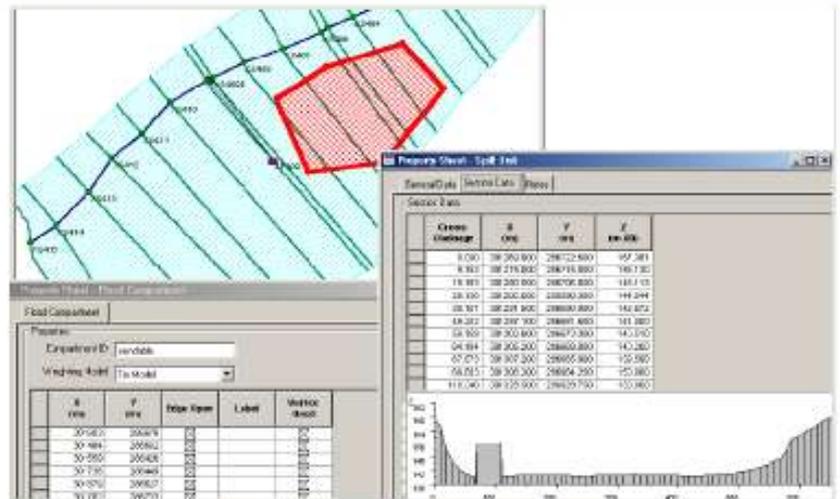
<b>Débit seuils casiers (m<sup>3</sup>/s)</b>			
Nom	Crue décennale	Crue centennale	Crue centennale - pont obstrué 50%
SCD11.1	0.00	29.97	147.42
SCD11.2	0.00	3.87	32.68
SCG11.2	0.00	10.37	45.57
SCG11.3	0.00	4.47	19.83
SCG18.1	0.00	13.98	1.55
SCG18.2	0.00	10.26	9.42
SCG18.3	0.00	3.13	9.32
SD10	2.27	16.55	49.01
SD11	1.75	21.56	134.30
SD12	0.00	0.00	13.50
SD15	0.00	0.21	0.00
SD16	3.03	14.05	0.00
SD17	6.56	32.17	0.00
SD18	0.00	0.09	0.00
SD9	0.00	0.00	0.00
SG03	0.00	0.04	0.04
SG04	0.00	2.15	2.24
SG05	0.00	9.64	9.71
SG06	0.00	20.94	21.06
SG07	0.00	24.51	24.44
SG08	0.00	10.25	9.86
SG09	0.00	6.13	11.44
SG10	24.82	43.54	50.69
SG11	9.64	3.05	6.69
SG15	0.90	15.92	0.00
SG16	2.83	26.59	0.00
SG17	0.00	1.05	0.00
SG18	0.00	0.00	0.00

Nom	Débit entre profil inter-casier (m <sup>3</sup> /s)		
	Crue décennale	Crue centennale	Crue centennale - pont obstrué 50%
FPLCD09	0.00	0.02	0.54
FPLCD10	0.57	14.88	47.79
FPLCD11.15	0.00	3.90	33.06
FPLCD15	0.00	0.74	18.80
FPLCD15.15	0.00	0.00	0.00
FPLCD15.35	0.21	21.10	29.99
FPLCD16.1	2.71	23.14	41.54
FPLCD16.15	0.02	0.18	0.00
FPLCD16.2	0.00	20.07	100.04
FPLCD17.1	7.77	56.54	68.91
FPLCD17.15	0.00	0.00	0.00
FPLCD17.2	0.00	18.62	97.21
FPLCD18.1	6.53	46.26	63.63
FPLCD18.15	0.59	9.89	4.32
FPLCD18.2	0.50	28.17	99.53
FPLCD19.1	5.70	42.93	73.61
FPLCD19.15	0.35	3.77	0.00
FPLCD19.2	0.64	31.19	88.04
FPLCG03	0.00	0.00	0.00
FPLCG04	0.00	0.95	0.93
FPLCG05	0.00	5.86	6.01
FPLCG06	0.00	25.40	25.57
FPLCG07.1	0.00	16.30	16.35
FPLCG07.2	0.00	26.79	26.84
FPLCG08.1	0.00	29.18	28.87
FPLCG08.15	0.00	0.00	0.00
FPLCG08.2	0.00	20.14	20.12
FPLCG08.25	0.00	2.92	2.92
FPLCG08.3	0.00	2.93	2.86
FPLCG09.1	0.00	25.53	29.24
FPLCG09.15	0.00	0.31	0.97
FPLCG09.2	0.00	18.43	19.44
FPLCG09.25	0.00	0.64	0.71
FPLCG09.27	0.00	1.39	1.38
FPLCG09.3	0.00	1.49	1.49
FPLCG10.1	19.72	54.79	52.07
FPLCG10.15	3.04	8.57	20.76
FPLCG10.2	2.10	22.17	32.15
FPLCG10.25	0.00	0.81	5.43
FPLCG10.3	0.00	2.01	6.33
FPLCG11.15	4.05	4.45	28.32
FPLCG11.25	0.00	2.87	13.61
FPLCG15.1	0.76	11.99	4.08
FPLCG15.15	0.03	4.14	0.00

<b>Débit entre profil inter-casier (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Nom</b>	<b>Crue décennale</b>	<b>Crue centennale</b>	<b>Crue centennale - pont obstrué 50%</b>
FPLCG15.2	0.00	13.46	36.53
FPLCG15.25	0.00	0.22	3.75
FPLCG15.3	0.00	3.11	22.66
FPLCG16.1	2.38	27.03	7.09
FPLCG16.15	0.32	11.57	0.00
FPLCG16.2	0.06	22.89	29.67
FPLCG16.25	0.00	2.07	3.25
FPLCG16.3	0.00	3.63	21.60
FPLCG16.35	0.00	0.50	3.41
FPLCG17.1	2.11	26.12	7.57
FPLCG17.15	0.00	1.98	0.00
FPLCG17.2	0.05	21.31	24.40
FPLCG17.25	0.01	3.10	3.74
FPLCG17.3	0.00	4.75	20.72
FPLCG17.35	0.00	1.13	4.65
FPLCG18.15	0.00	10.19	5.49
FPLCG18.25	0.21	20.94	19.50

Annexe 3  
Logiciel Infoworks

- 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

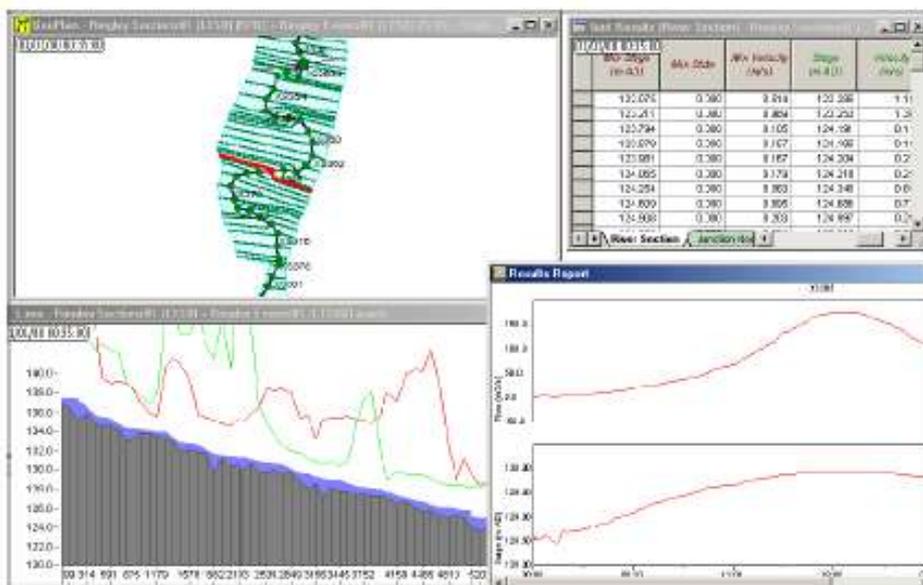
## Moteur de calcul

- 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 :

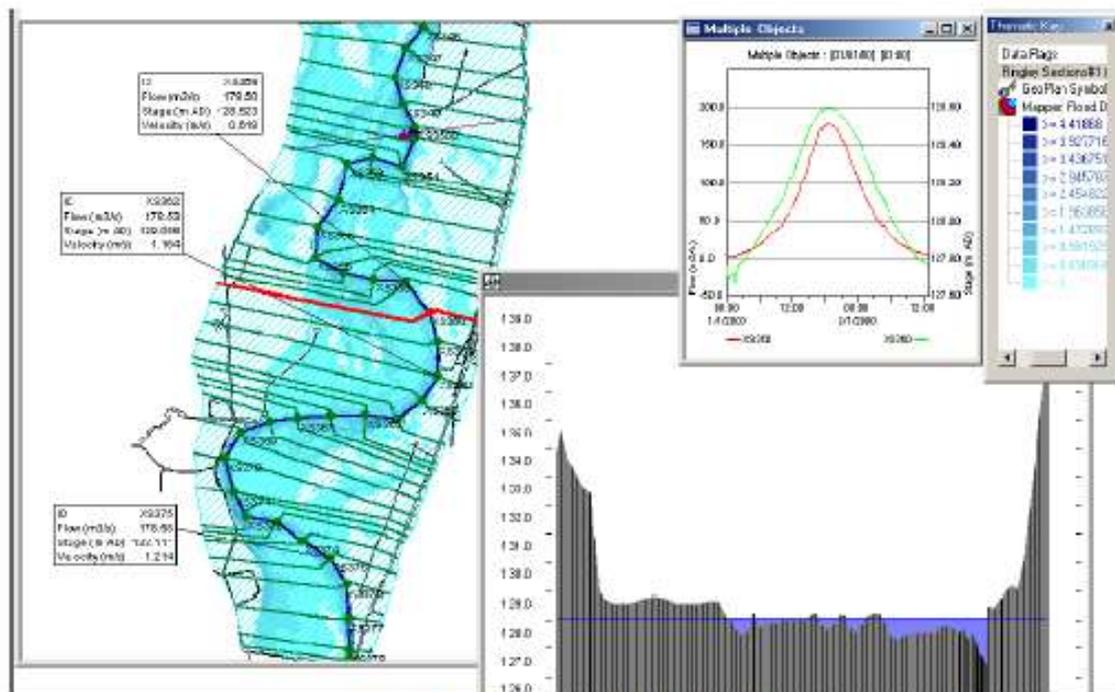
- Importation des modèles existants sous ISIS 2.0®.
- Importation au format CSV.
- Importation de bassins et polygones de stockage de MapInfo® et ArcView®.
- Exportation des données et résultats de simulation vers MapInfo® et ArcView®.
- Exporte les modèles vers ISIS 2.0®.

## 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

