

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 : Ahonu



Rapport

HSO 11126K

Mai2012

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| 1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE | 4 |
| 2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN | 6 |
| 2.1. Enquête de terrain | 6 |
| 3. ANALYSE HYDROLOGIQUE | 12 |
| 3.1. Généralités | 12 |
| 3.1.1. Principales caractéristiques du bassin versant | 12 |
| 3.1.2. Les observations du GEGDP | 13 |
| 3.2. Evaluation des débits de projet | 14 |
| 3.2.1. Etude BCEOM de 1999 | 14 |
| 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 | 19 |
| 4.1. Modèle mis en oeuvre | 19 |
| 4.2. Conditions aux limites | 19 |
| 4.3. Calage du modèle | 20 |
| 4.4. Profil en long du lit mineur | 21 |
| 4.5. Simulation des crues de projet | 23 |
| 4.5.1. Mécanismes d'écoulement en crue décennale | 23 |
| 4.5.2. Mécanismes d'écoulement en crue centennale | 23 |
| 4.5.3. Prise en compte du risque d'embâcles | 24 |
| 4.5.4. Débits de premiers débordements | 24 |
| 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 reconstruction intégrale | 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 a engager | 36 |
| 5.2.1. Travaux d'urgence : curage du lit sur le secteur aval (PT7-PT9) | 36 |
| 5.2.2. Aménagement au droit du pont de la RT | 37 |
| 5.2.3. Protection contre les inondations du secteur aval | 37 |
| 5.2.4. Protection du coude PT12-PT13 et des habitations jusqu'au PT18 | 37 |
| 5.2.5. Protection du secteur amont PT 20- PT32 | 38 |
| 5.3. La mise en place d'un système d'alerte | 41 |
| 5.4. Les travaux d'entretien de la végétation | 41 |
| 5.5. Chiffrage estimatif | 42 |

TABLE DES ILLUSTRATIONS

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Conditions aux limites du modèle | 20 |
| Tableau 2 : Coefficients de Strickler retenus | 21 |
| Tableau 3 : Débits de premiers débordements..... | 25 |
| Tableau 4 : Définition des classes d'aléa..... | 27 |

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.

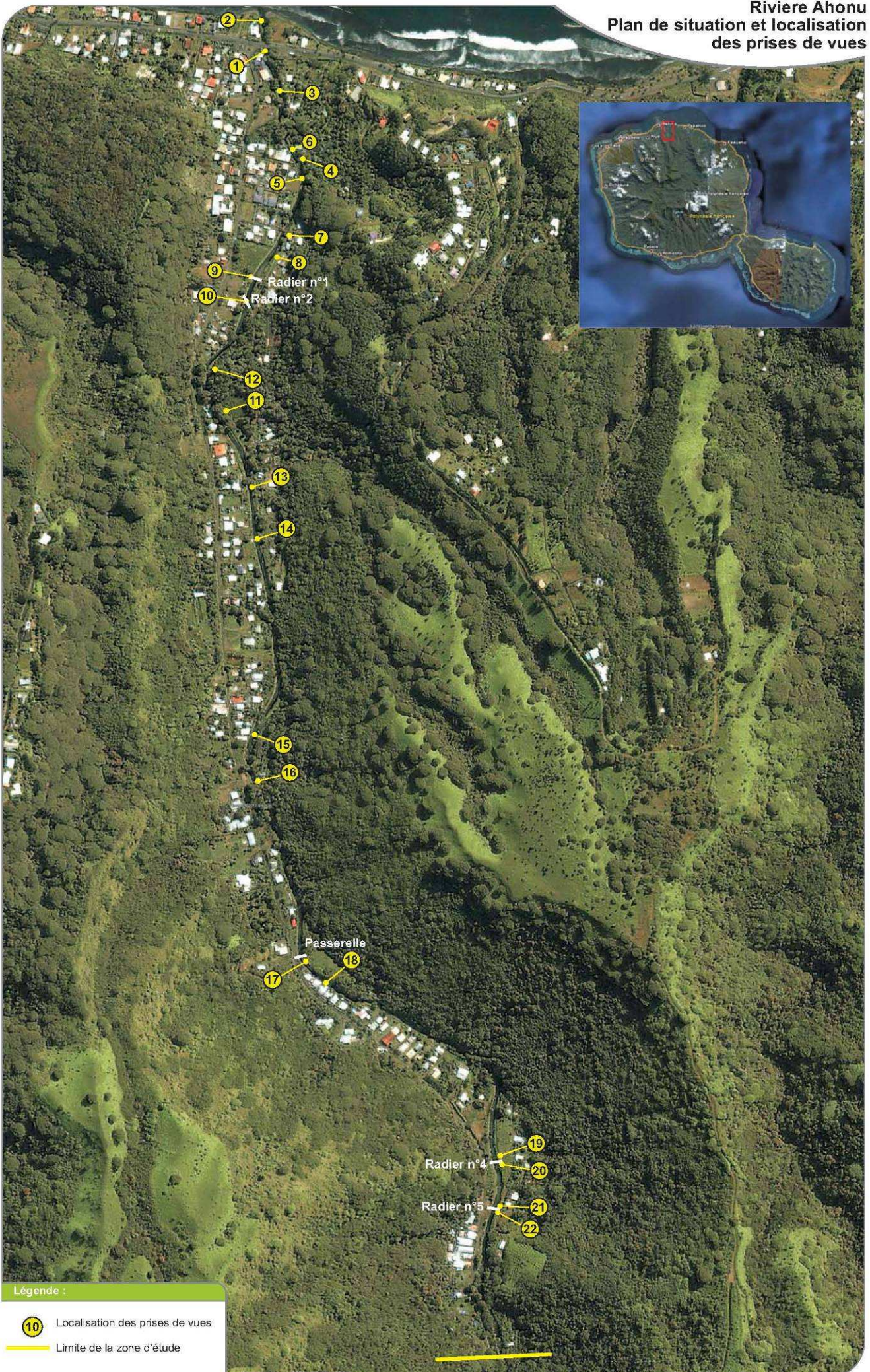
Le présent projet s'inscrit dans la continuité de ce programme. Il consiste en la réalisation de cartographies de zones inondables sur différents cours d'eau de Polynésie française à partir de modélisations hydrauliques, hydrologiques et d'expertises hydrogéomorphologiques.

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 Ahonu.

Riviere Ahonu Plan de situation et localisation des prises de vues



2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN

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 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 sur le plan de situation.



Photo1 : Franchissement de la RT (PT3)



Photo 2 : Vue aval pont RT

Le franchissement de la route Territoriale est assuré par un pont d'ouverture 15m, pour une hauteur de 2.80m, soit une section d'écoulement de 42m². Son ouverture n'est pas diminuée par la présence de piles, l'ouvrage n'est pas obstrué. Les berges à l'aval du pont sont protégées par des enrochements liés, puis par des enrochements libres au niveau de l'embouchure.

On note un manque d'entretien de la végétation en aval rive gauche, au niveau d'un terrain fortement remblayé dont l'assise se situe 0.60m en moyenne au dessus de la RT. En amont de l'ouvrage l'église Adventiste du 7^o jour s'est installée sur une ancienne culée d'ouvrage.

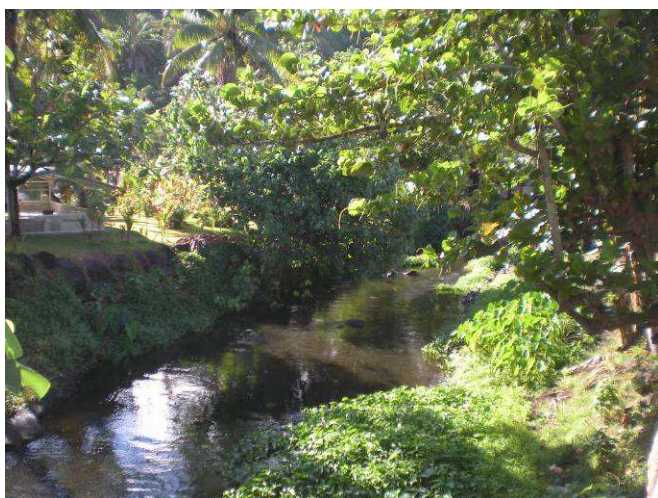


Photo 3 : Le lit a l'amont du pont de la RT



Photo 4 : Obstruction du lit dans le premier coude



Photo 5 : PHE +0.70m / terrain naturel



Photo 6 : Parcelle Fredo Tevira

En amont du pont les berges sont protégées par des enrochements, la végétation sur berge n'est pas entretenue, et des affaissements ponctuels des protections existantes sont observés. Dans le premier coude accentué de la rivière, au niveau de la photo 4 (cf plan de situation), on observe de très importants de dépôts de gravier dans la rivière qui obstruent pour partie sa section d'écoulement. Ces dépôts proviennent de l'inondation de 1997-98, qui est l'inondation la plus forte observée par les riverains. Sur ce secteur une partie de la falaise s'est écroulée dans la rivière et a provoqué sont débordement en rive gauche. Plusieurs repères de crue ont été relevés dans ce quartier :

- photo 5 : les eaux sont arrivées au niveau de la fenêtre, soit 0.70m par rapport au terrain naturel,
- photo 6 : 0.30m de hauteur de submersion, dans la propriété de Frédo Tevira



Photo 7 : Vue aval premier coude. Pont PT9



Photo 8 : Vue amont premier coude

La rivière est franchie par une passerelle d'ouverture 16m, pour une hauteur de 4m, soit une section d'écoulement de 64m². Les berges sont protégées par enrochements sur tout ce secteur. A noter la présence d'épaves de voitures dans le lit mineur du cours d'eau immédiatement en amont de l'ouvrage. Selon les riverains en 1998, les eaux ont débordé en amont rive gauche de la passerelle et a partir de ce point ont inondé toute la rive gauche. Depuis des enrochements ont été mis en protection de berge sur ce secteur (en 2002).



Photo 9 : Radier n°1



Photo 10 : Radier n°2

Deux radiers situés à 40m d'écart l'un de l'autre permettent l'accès à la rive droite. Les berges de la rivière sont protégées sur ce secteur. A noter une concentration importante d'épaves de voiture en dépôt sur ce secteur : en cas de forte crue ces épaves peuvent être emportées par la rivière et provoquer une obstruction des écoulements.



Photo 11: Attaque de berge dans le coude



Photo 12 : Protection affaissée.

De très fortes attaques de berges sont observées dans un coude prononcé, au niveau de la photo n°11. Sur ce secteur le lit est très pentu et s'écoule avec de très fortes vitesses. La végétation en rive n'est pas entretenue. Les encoches d'érosion sur les protections existantes sont nombreuses, et peuvent constituer le départ de la destruction totale des protections si des travaux de confortement ne sont pas rapidement réalisés.



Photo 13 : Berges non protégées



Photo 14 : Radier n°3

Au niveau de la photo 13, il n'existe plus de protections de berge (les protections existantes ont été détruites en 1998). Les riverains demandent une protection des berges sur ce secteur. En 1998, une maison existante en rive droite a été détruite par les inondations.

Quatre vingt mètres en amont se trouve le radier n°3, ce radier est en tout venant et n'a pas vocation à résister aux crues. Une passerelle permet un accès piéton immédiatement en amont de l'ouvrage. Il n'existe pas de protections de berge sur ce secteur.



Photo 15 : Vue du lit



Photo 16 : Passerelle

A niveau de la photo 15, les protections qui existaient dans le coude ont été détruites lors des inondations de 1998. Lors de cet événement, à partir de ce secteur, des déversements se sont produits en direction de toute la rive gauche. La maison située à l'entrée de ce coude en rive gauche a été inondée sous 0.30m d'eau et a risqué être emportée par les anses d'érosions provoquées par la rivière en crue.

Une passerelle située 60m à l'amont permet l'accès à la rive droite, l'appui droit de cet ouvrage, non protégé, est attaqué par les érosions et doit être conforté rapidement.



Photo 17 : Passerelle Aumeran



Photo 18 : Vue amont passerelle

Une passerelle récente permet l'accès à la rive droite, qui fait l'objet d'une demande de permis de construire (M.Aumeran Jean Claude). La protection existante dans le coude en rive gauche présente plusieurs encoches d'érosion importantes (>20m). La passerelle n'est pas protégée en rive droite et risque d'être emportée. En 1998, sur ce secteur la route a été détruite et des débordements se sont produits sur la rive gauche.

En amont de la passerelle la rive gauche est protégée par enrochements, avec des encoches d'érosion importantes.



Photo 19: Radier n°4 et passerelle



Photo 20 : Vue aval radier.

Le radier n°4 donne accès à une vaste zone urbanisée en rive droite. La totalité de la rive droite n'est pas enrochée. Le radier est coupé très fréquemment.



Photo 21: Radier n°5



Photo 22 : Détail de l'ouvrage.

En 1998, des débordements ont été observés vers la rive droite. Les protections en place sur la rive droite sont fortement exposées aux inondations. L'ouvrage existant est affouillé et doit être conforté par un radier béton.

En amont du radier n°5, la piste d'accès à la vallée amont est attaquée en de nombreux endroits par la rivière. Des protections sommaires ont été mises en place, mais elles sont insuffisantes.

3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1. GENERALITES

3.1.1. Principales caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant de l'Ahonu se situe sur le secteur au vent de la presqu'île de Tahiti sur la commune de Mahina.

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 Tuauru, situé à une altitude de 520m.

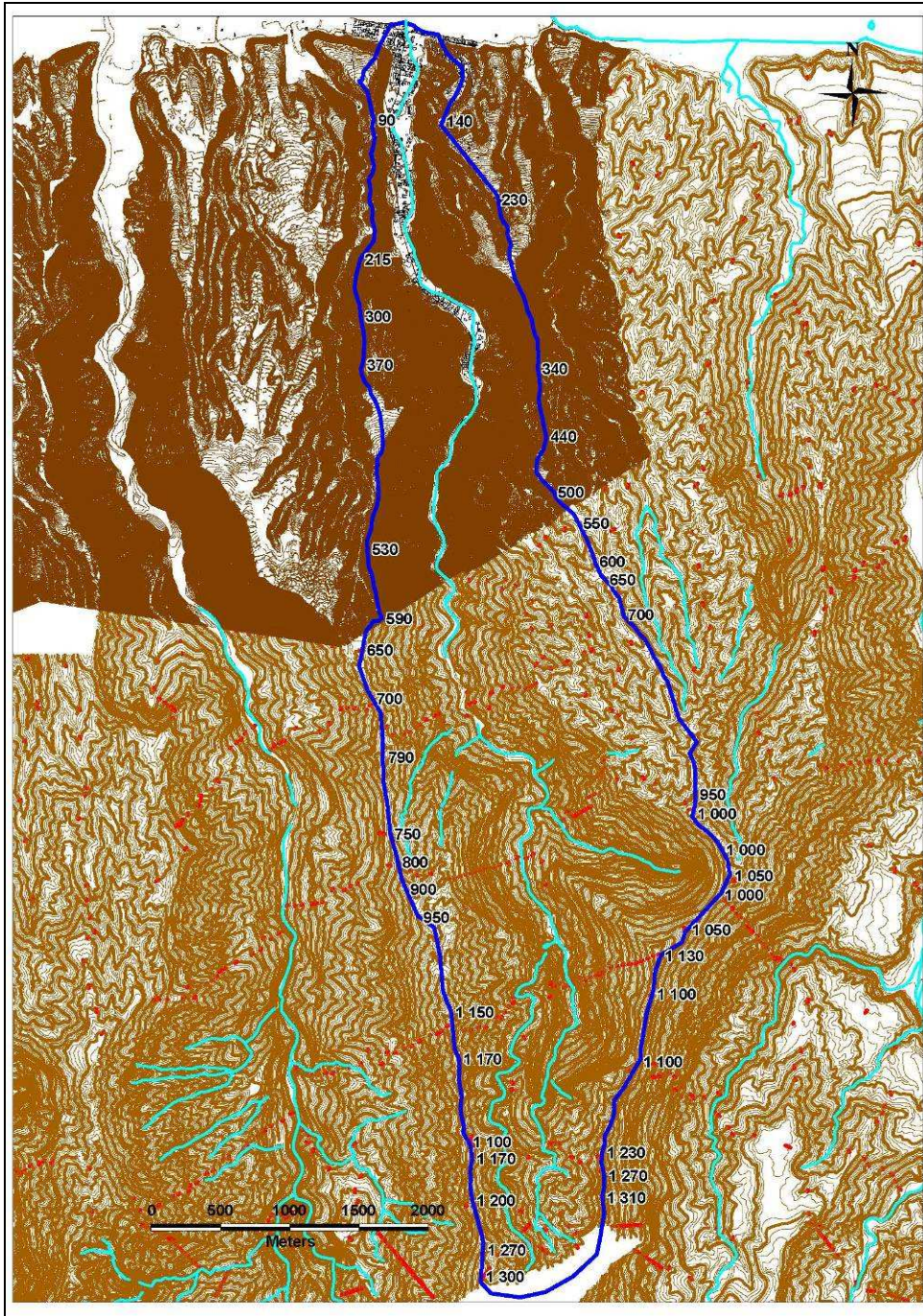
Le bassin versant de l'Ahonu a une superficie de 13.1 km².

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

Les principales caractéristiques du bassin versant sont les suivantes :

- Surface : 13.1 km²
- Périmètre : 20.9 km
- Longueur du rectangle équivalent : 9.1km
- Plus long cheminement hydraulique : 11.1 km
- Coefficient de compacité Kc : 1.67
- Altitude moyenne : 800m,
- Gradex de la pluie centennale / 15mn : 3.97mm (source : G.Wotling « Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti »)
- Dénivelée entre sommet du bassin et exutoire : 1310 m,
- Indice de pente : 119 m/km
- Temps de concentration (Kirpich) : 1h

Figure n°1 : Bassin versant de l'Ahonu



3.1.2. Les observations du GEGDP

3.1.2.1. Observations sur l'Ahonu

Le GEGDP a installé une station d'observation de la rivière **Ahonu** à la cote 120.

Les crues les plus importantes estimées sur cette station sont les suivantes :

- Cyclone Veena en 1982 : 116m³/s

- Entre 1975 et 1982 (date précise inconnue): 140m³/s.
- Décembre 1998 : 240 m³/s.

3.1.2.2. Observations sur la Tuauru

La rivière Tuauru est également suivie par le GEGDP en amont du pont de la RT2, pour un bassin versant de 26.6 km², le débit maximum observé sur la période 1965-2003 a été de 480 m³/s lors de l'épisode du 19-20 décembre 1998.

Les autres épisodes remarquables enregistrés sur cette station sont les suivants :

- 13 Janvier 1979 : 280 m³/s
- 10 Mars 1981 : 260 m³/s
- 25 Février 1982 : 210 m³/s
- 12 Avril 1983 : 230 m³/s

Les ajustements statistiques conduits par J.Danloux à partir d'une loi de Galton sur la période 1974-2003 conduisent aux évaluations suivantes :

- Débit décennal : 250 m³/s
- Débit cinquantennal : 403 m³/s
- Débit centennal : 479 m³/s
- Période de retour de la crue de Décembre 1998 : 100 ans.

3.2. EVALUATION DES DEBITS DE PROJET

Différentes méthodes ont été utilisées pour calculer les débits de projet de l'Ahonu.

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=2 pour la Vallée de l' Ahonu)
- 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 25mm** pour l'Ahonu,

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 3.97 mm** pour l'Ahonu.
- 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 : 111 m³/s
- Débit cinquantennal : 251 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 porté 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 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 Tuauru) :

- $Q_{max}/T10 = 0.52$
- $Q_{max}/T100 = 1$

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

- Débit maximal sur la période (Craeger) : 348 m³/s
- Débit décennal : 181 m³/s
- Débit cinquantennal : 293 m³/s
- Débit centennal : 348 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 ».

Pour l'Ahonu, le coefficient de ruissellement décennal retenu est de **0.46**. 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).

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

- Débit décennal : 169 m³/s
- Débit centennal : 299 m³/s

3.3. DEBITS DE PROJET RETENUS

Les débits de crue de l'Ahonu 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 | 111 | 311 |
| Etude GEGDP de 2003 (J.Danloux) | Méthode Craeger | 181 | 348 |
| Etude BRGM | Méthode rationnelle et gradex | 169 | 299 |

Tableau 1 : Comparaison des débits de projet obtenus

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 l'utilisation des données observées sur ce bassin versant.

Cette méthode conduit à retenir un débit spécifique centennal de 27 m³/s/km²

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

| Crue | Crue décennale | Crue centennale |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Débit en m ³ /s | 181 | 348 |

Tableau 2 : Débits de projet de l'Ahonu

La plus forte crue observée sur le bassin versant de l'Ahonu est celle de Décembre 1998. Son débit est estimé à 240 m³/s.

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 | 181 m ³ /s | 0 m NGT |
| Crue centennale | 348m ³ /s | 1 m NGT |
| Décembre 1998 | 240m ³ /s | 1 m NGT |

Tableau 1 : 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 :

- 22 à 29 en lit mineur.
- 10 en lit majeur.

Les coefficients de Strickler en lit mineur ont été établis a 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 (P12-P39) | 0.02 | 0.01 | 0.005 | 0 | 0.01 | 1 | 0.045 | 22 |
| Médian (P3-P12) | 0.024 | 0.01 | 0.005 | 0 | 0 | 1 | 0.039 | 25 |
| Aval (P1 -P3) | 0.024 | 0.005 | 0 | 0 | 0.005 | 1 | 0.034 | 29 |

Tableau 2 : Coefficients de Strickler retenus

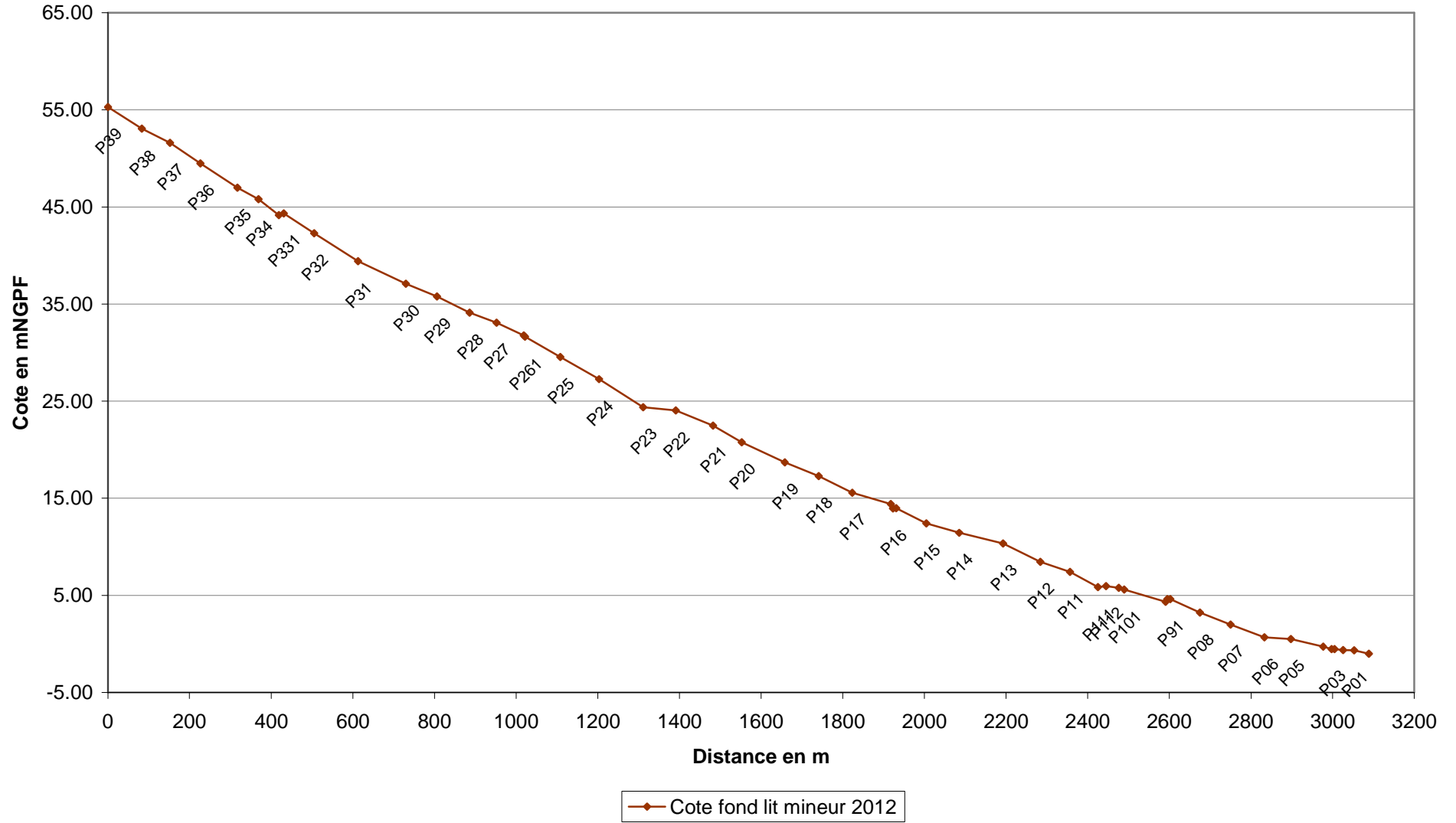
4.4. PROFIL EN LONG DU LIT MINEUR

Le profil en long du lit mineur est présenté sur la figure suivante. Il possède une pente variant de 2.3% à 1.1% de l'amont vers l'aval.

| Localisation | Pente (%) |
|--------------|-----------|
| P39-P27 | 2.3% |
| P21-P27 | 2 % |
| P10-P21 | 1.7% |
| P3-P10 | 1.1% |

Les éboulements de la falaise dans le lit mineur de la rivière sont encore visibles au droit du profil P7 et provoquent une remontée ponctuelle du profil en long.

Figure n°1: Profils 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 Décembre 1998, de débit 240m³/s (plus forte crue connue sur le secteur d'étude).

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

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

4.5.1. Mécanismes d'écoulement en crue décennale

Pour une crue décennale les débordements restent cantonnés sur la partie aval de la rivière.

Les premiers débordements significatifs sont localisés à l'aval du PT17, tant en rive droite qu'en rive gauche :

- De 12 à 19 m³/s en rive droite,
- 2 à 3 m³/s en rive gauche

A l'aval du PT12 la route d'accès à la vallée concentre les débordements. Les débordements les plus importants se situent dans le méandre à l'aval du PT8, où les atterrissements de la crue de 1998 obstruent encore le lit. Sur ce secteur il est observé des débordements de :

- 11 m³/s en rive gauche. Sur cette rive les eaux s'étalent largement et provoquent la coupure de la RT.

Le gabarit hydraulique du pont de la RT est suffisant pour le passage de la crue décennale.

Les vitesses d'écoulement moyennes d'écoulement sont comprises entre 5 et 6 m/s en lit mineur.

4.5.2. Mécanismes d'écoulement en crue centennale

Pour une crue centennale des débordements généralisés sont observés sur toute la vallée.

Les habitations isolées situées en rive droite du cours d'eau sont particulièrement à risque. Ces habitations sont isolées en période de crue, reliées à la rive gauche par des radiers qui seront détruits et par des passerelles dont la stabilité ne peut être assurée.

En 1998 une personne est morte en essayant d'emprunter un radier.

Les secteurs les plus exposés en rive droite sont les suivants :

- Rive droite entre les profils P9 et P18 : une vingtaine d'habitations,
- Rive droite entre les profils P20 et P22 : deux habitations,
- Rive droite entre les profils P25 et P28 : deux habitations,
- Rive droite entre les profils P32 et P35 : sept habitations,
- Rive droite entre les profils P38 et P39 : une habitation.

En rive gauche :

La première zone de débordements importante se situe entre les profils P29 et P33 (débordements compris entre 15 et 49 m³/s). Ces débordements touchent une zone fortement habitée.

Entre les profils P16 et P9, les écoulements en lit majeur rive gauche sont quantifiés entre 30 et 40 m³/s, jusqu'au niveau du profil P8 ou la réduction de section du lit conjuguée à l'impact du franchissement de la RT provoquent des débordements compris entre 70 et 80 m³/s.

A partir du profil PT16 le chemin d'accès à la vallée amont est un vecteur d'inondation : il concentre les débordements se produisant au droit des coudes situés profils P17 et P22. Sur cette route les vitesses sont fortes (> 1 m/s), empêchent tout déplacement en isolant la vallée amont et provoqueront à terme la destruction de la chaussée.

Le pont de la RT est fortement en charge et provoque un exhaussement des niveaux de crue de 1.40m à son amont. La route Territoriale est coupée : 68 m³/s se déversent en rive gauche, 75 m³/s en rive droite.

Les vitesses d'écoulement moyennes d'écoulement sont comprises entre 5 et 6 m/s en lit mineur.

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 0.30m 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 250 m en amont de la RT (fin de l'aggravation au droit du PT7).

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.

Le débit dans l'ouvrage de franchissement n'est plus que de 106 m³/s. Les débits débordés sur la RT sont donc plus importants : 68 m³/s surversent en rive gauche, plus de 160 m³/s en rive droite.

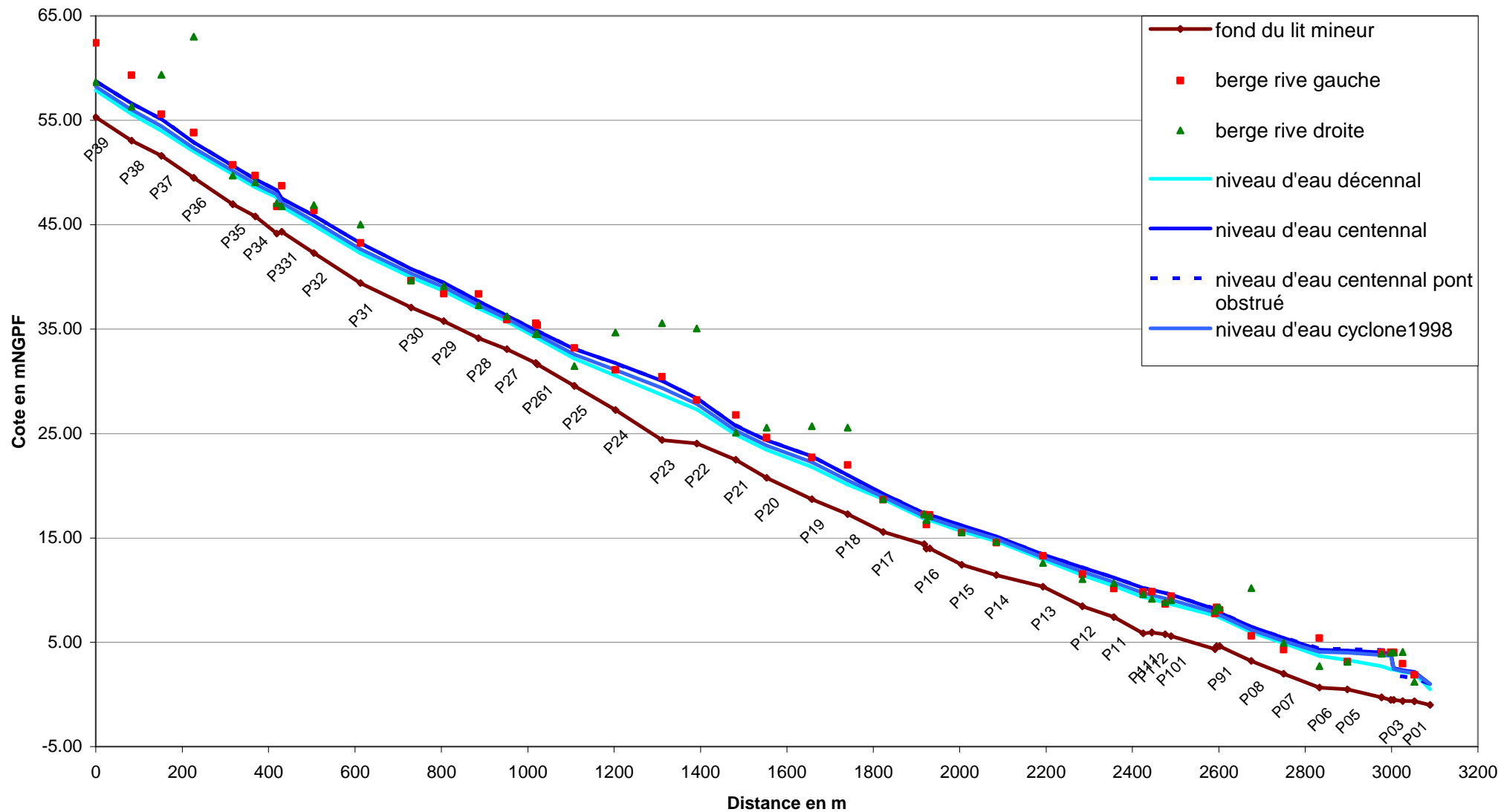
4.5.4. Débits de premiers débordements

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

| Profil | Débit de premier débordement (m ³ /s) | |
|----------|---|-------------|
| | Rive gauche | Rive droite |
| P39 | | 330 |
| P38 | | 295 |
| P37 | | |
| P36 | | |
| P35 | | 159 |
| P34 | | 277 |
| P330 | | 109 |
| P331 | | 182 |
| P30 | 138 | 138 |
| P29 | 144 | 258 |
| P28 | | 243 |
| P27 | 223 | 323 |
| P260 | 246 | 243 |
| P261 | | 255 |
| P25 | | 87 |
| P24 | 246 | |
| P23 | | |
| P22 | 299 | |
| P21 | | 210 |
| P20 | | |
| P19 | 315 | |
| P18 | | |
| P17 | 168 | 174 |
| P160 | 269 | 289 |
| P16 | 106 | 172 |
| P161 | | 262 |
| P15 | 154 | 157 |
| P14 | 154 | 166 |
| P13 | 259 | 135 |
| P12 | 191 | 137 |
| P11 | 151 | 211 |
| P100 | 166 | 186 |
| P101 | 287 | 226 |
| P09 | 204 | 267 |
| P08 | 113 | |
| P07 | 84 | 175 |
| P06 | | 56 |
| P05 | 104 | 102 |
| P04 | 271 | 233 |
| Pont P03 | Capacité du pont avant mise en charge 190m ³ /s | |
| P02 | | |
| P01 | 149 | 79 |

Tableau 3 : Débits de premiers débordements

Figure n°2: Lignes d'eau décennales et centennales



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 2 : cartographie de l'enveloppe d'inondation pour la crue de 1998

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 4 : 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 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 10m 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 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. 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 de la présence d'enjeux limitant l'emprise disponible pour l'aménagement.

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 l'occupation des sols (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.

Il ne faut toutefois pas négliger :

- le coût plus important des ouvrages réalisant un soutènement
- la nécessité dans tous les cas de taluter en arrière des ouvrages afin de réaliser des déblais provisoires, à moins de réaliser des blindages permanents ou définitifs qui se révèlent coûteux.

5.1.2. TRAVAUX DE RECONSTRUCTION INTEGRALE

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 :

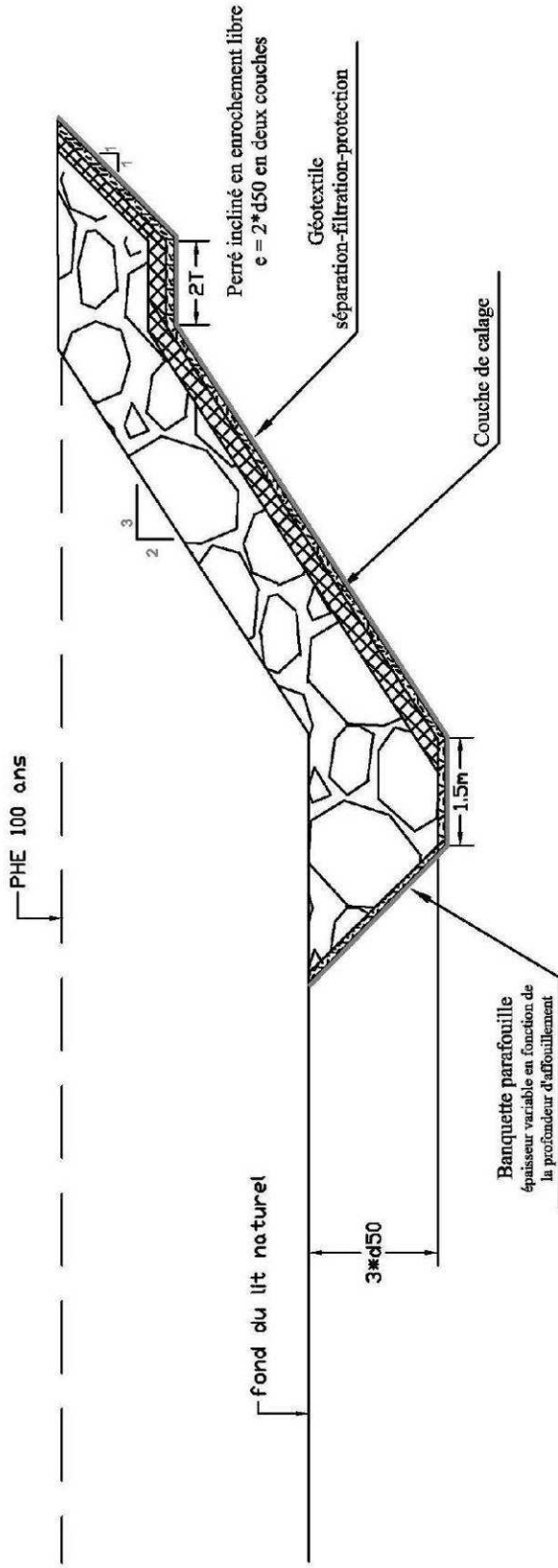
$$d_{\text{talus}} = \frac{d}{\lambda}, \lambda = \cos \phi \cdot \sqrt{1 - \frac{\text{tg}^2 \phi}{\text{tg}^2 \theta}}$$

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.

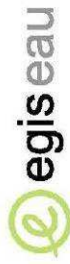
COUPE DE PRINCIPE



| Métrés d50 = 0.8 m | | | |
|--------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------|
| hauteurs m | volume d'enrochements m3/ml | géotextile m2/ml | déblai m3/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 |

| Métrés d50 = 0.7 m | | | |
|--------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------|
| hauteurs m | volume d'enrochements m3/ml | géotextile m2/ml | déblai m3/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 |

| Métrés d50 = 0.6 m | | | |
|--------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------|
| hauteurs m | volume d'enrochements m3/ml | géotextile m2/ml | déblai m3/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 | Étude N° HSO 11126 K |
| Vérifié par CL | Indice A |
| Echelle: 1/100 | Plan N°1 |
| Date: 23/0.4/12 | 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 parallélépipède. 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 valeurs du Ordre de grandeur de l'épaisseur moyenne d'un enrochement cyclopéen pour la stabilité au renversement).

| | | 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 |

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 barbicanes |
| 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 de 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).

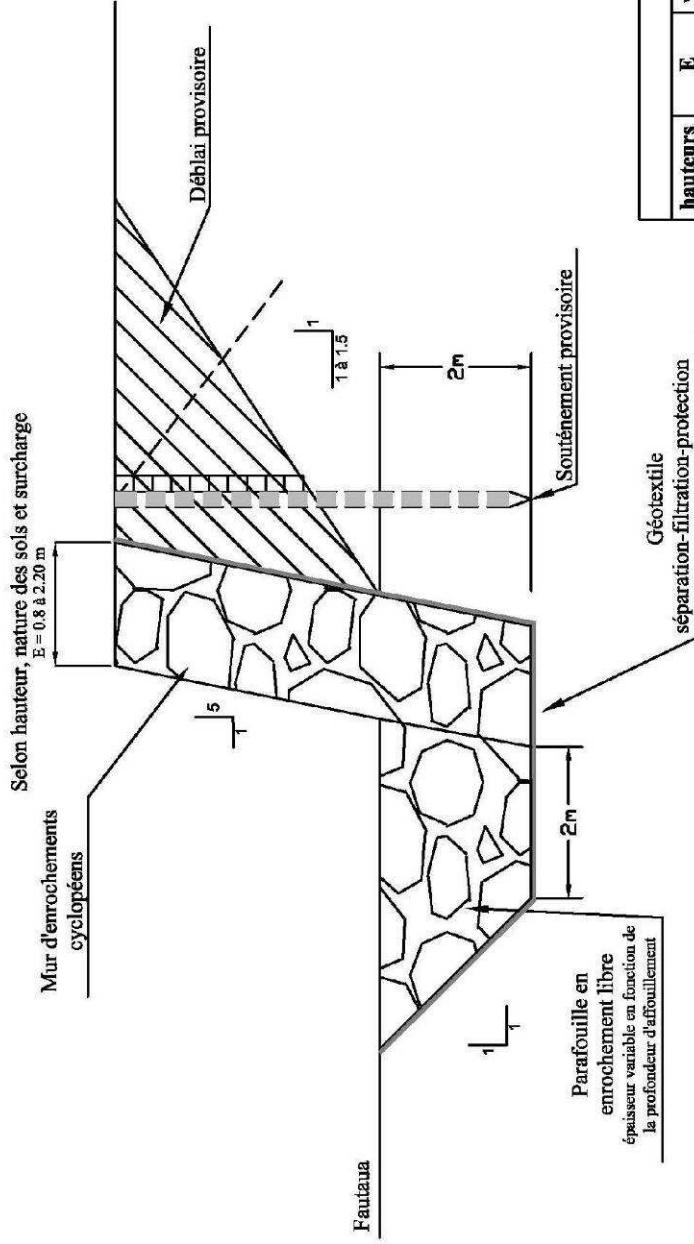
Afin de cibler les protections là où le risque est le plus fort, la stratégie d'aménagement se basera sur :

- une cote inférieure des radiers de pied 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

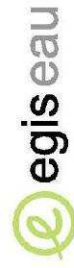
Une alternative à étudier dans les phases ultérieures de conception sera la mise en œuvre d'un tapis souple posé en profondeur (matelas gabions ou béton articulé), qui s'adaptera en cas de crue exceptionnelle à la déformation du fond.

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

Étude N°
HSO 11126 K

Vérifié par
CL

Indice
A

Echelle: 1/100
Date: 23/04/12

Plan N°3
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)

A proximité de bâtis existants, les enjeux sont à la fois plus forts, de même que les contraintes d'exécution (impossibilité de réaliser des talus de déblai provisoires sans démolir les bâtis).

Il est ainsi nécessaire d'envisager la possibilité de réaliser un programme de confortement de l'existant.

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 le mur visant à en déterminer la géométrie des enrochements en place (épaisseur)
 - o sondages en arrière du mur 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.

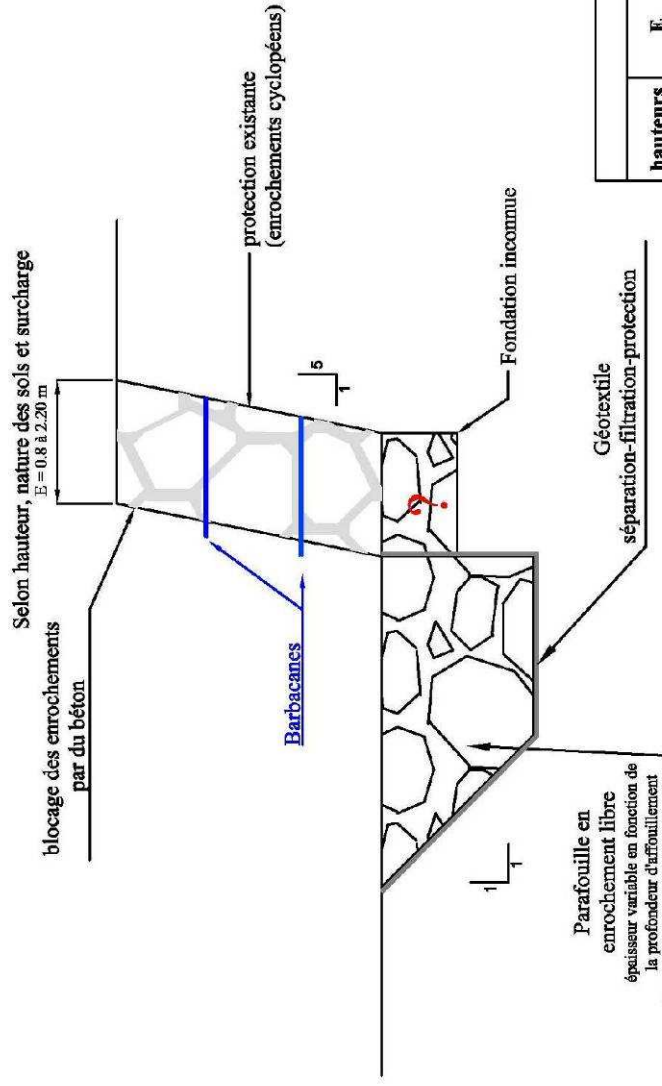
Cette solution permet le cas échéant de s'affranchir des déblais provisoires.

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.

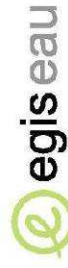
COUPE DE PRINCIPE

Protections existantes

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



| hauteurs m | E m | Mètres | | | |
|---------------|--------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------|
| | | volume d'enrochements m3/ml | géotextile m2/ml | volume de béton m3/ml | déblai m3/ml |
| 2 | 1.3 | 6.7 | 7.3 | 4 | 6.7 |
| 3.5 | 1.3 | 6.7 | 7.3 | 4.7 | 6.7 |
| 4 | 1.75 | 6.7 | 7.3 | 4.9 | 6.7 |
| 5 | 1.75 | 6.7 | 7.3 | 5.3 | 6.7 |



Dessiné par
AT

Étude N°
HSO 11126 K

Vérifié par
CL

Indice
A

Echelle: 1/100
Date: 23/04/12

Plan N°2
Format: A4

TAHITI - SAU

Programme ARAI

COUPE TYPE N°2 : CONFORTEMENT
PROTECTIONS EXISTANTES

5.2. LES TRAVAUX A ENGAGER

La quasi-totalité du linéaire de rivière étudié 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 cyclopiéens sur les berges.

Ces protections ont été détruites en de nombreux 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 devrait être refait et/ou conforté.

Les travaux proposés sont relatifs :

- Au franchissement de la route territoriale qui présente à l'heure actuelle une section d'écoulement insuffisante (42m² de section hydraulique pour un débit centennal de 348 m³/s).
- A la partie aval de la zone d'étude où le gabarit du lit existant est insuffisant pour la crue centennale et engendre des zones d'aléa fort pour les zones habitées,
- 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,
- 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 :

- curage du lit sur le secteur aval (atterrissements de la crue de 1998 encore présents dans le lit),
- évacuation des épaves de voitures qui sont dans la zone inondable (profil 10) et qui risquent d'aggraver les conséquences des crues.

5.2.1. Travaux d'urgence : curage du lit sur le secteur aval (PT7-PT9)

Il est proposé un curage du lit permettant d'évacuer les éboulements de Décembre 1998 encore présents dans le lit de la rivière. Ces dépôts provoquent une diminution de la section d'écoulement et donc une augmentation du risque débordement sur ce secteur.

Le linéaire de lit à curer est de 120m.



Dépôts dans le lit mineur



Erosion du versant provoquant les éboulements

5.2.2. Aménagement au droit du pont de la RT

Le pont de la RT est sous dimensionné à partir d'un débit de 190 m³/s. 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 110m², soit une largeur de 40m et une hauteur de 2.75m en tenant compte d'un tirant d'air de 0.50m.

Une autre solution est la mise en place d'un ouvrage de décharge en rive droite de la rivière, sur le secteur où se produisent les plus forts débordements.

Les travaux de redimensionnement de l'ouvrage de franchissement permettent d'abaisser les niveaux de crue d'une valeur de l'ordre de 1 m 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.

5.2.3. Protection contre les inondations du secteur aval

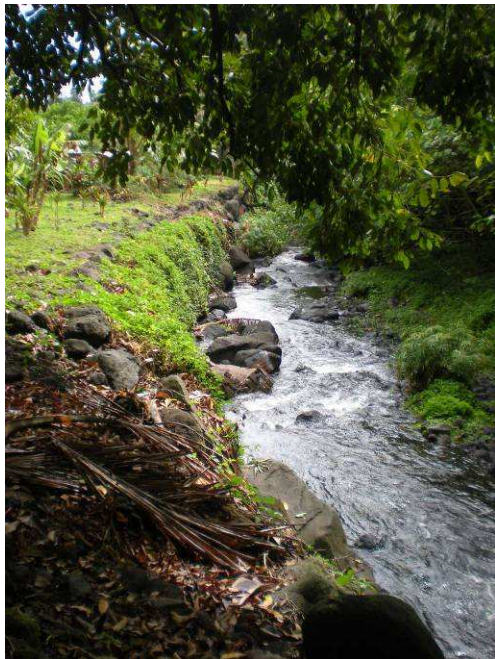
Ces protections sont définies pour protéger les habitations situées en zone d'aléa fort sur la partie aval du secteur d'étude :

- En rive droite entre les profils P1 et P12 sur un linéaire de 750m,
- En rive gauche entre les profils P1 et P10 sur un linéaire de 600m.

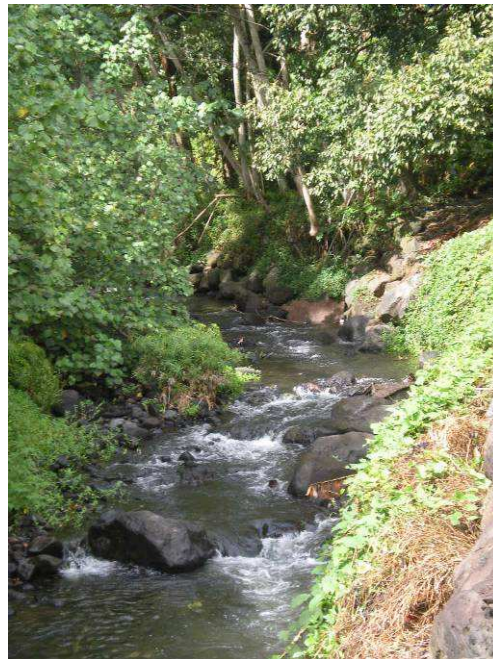
Les ouvrages proposés sont de type mur poids en encochements cyclopéens (coupe type n°3). L'emprise du lit devra être au minimum de 20m. Le dimensionnement final de ces ouvrages devra être établi à partir d'une étude géotechnique (§ 5.1.2.2).

5.2.4. Protection du coude PT12-PT13 et des habitations jusqu'au PT18

La protection de berge est fortement attaquée dans le coude situé entre les PT12 et PT13. Il existe un risque de changement de lit sur ce secteur. Les hauteurs de berge sont fortes, de l'ordre de 3m. La protection proposée est présentée sur la coupe type n°2.



Vue aval – encoche d'érosion



Vue amont coude

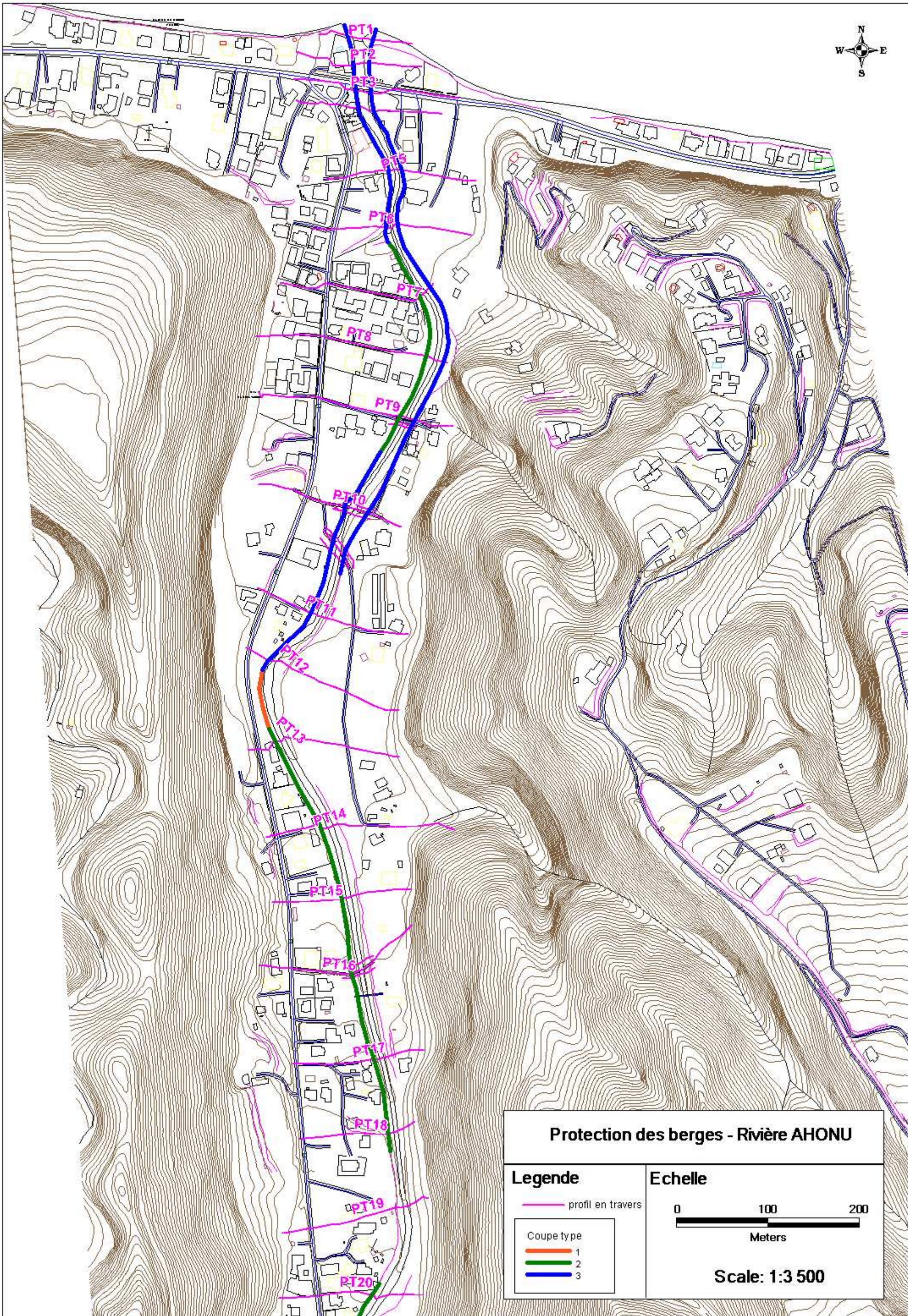
La protection s'étend en amont pour protéger les habitations existantes situées à proximité immédiate du lit jusqu'au profil en travers PT18.

- Protection coude PT12-PT13, linéaire 90m, coupe type n°1.
- Protection zone habitée amont PT13-PT18, linéaire 450m, coupe type 2.

5.2.5. Protection du secteur amont PT 20- PT32

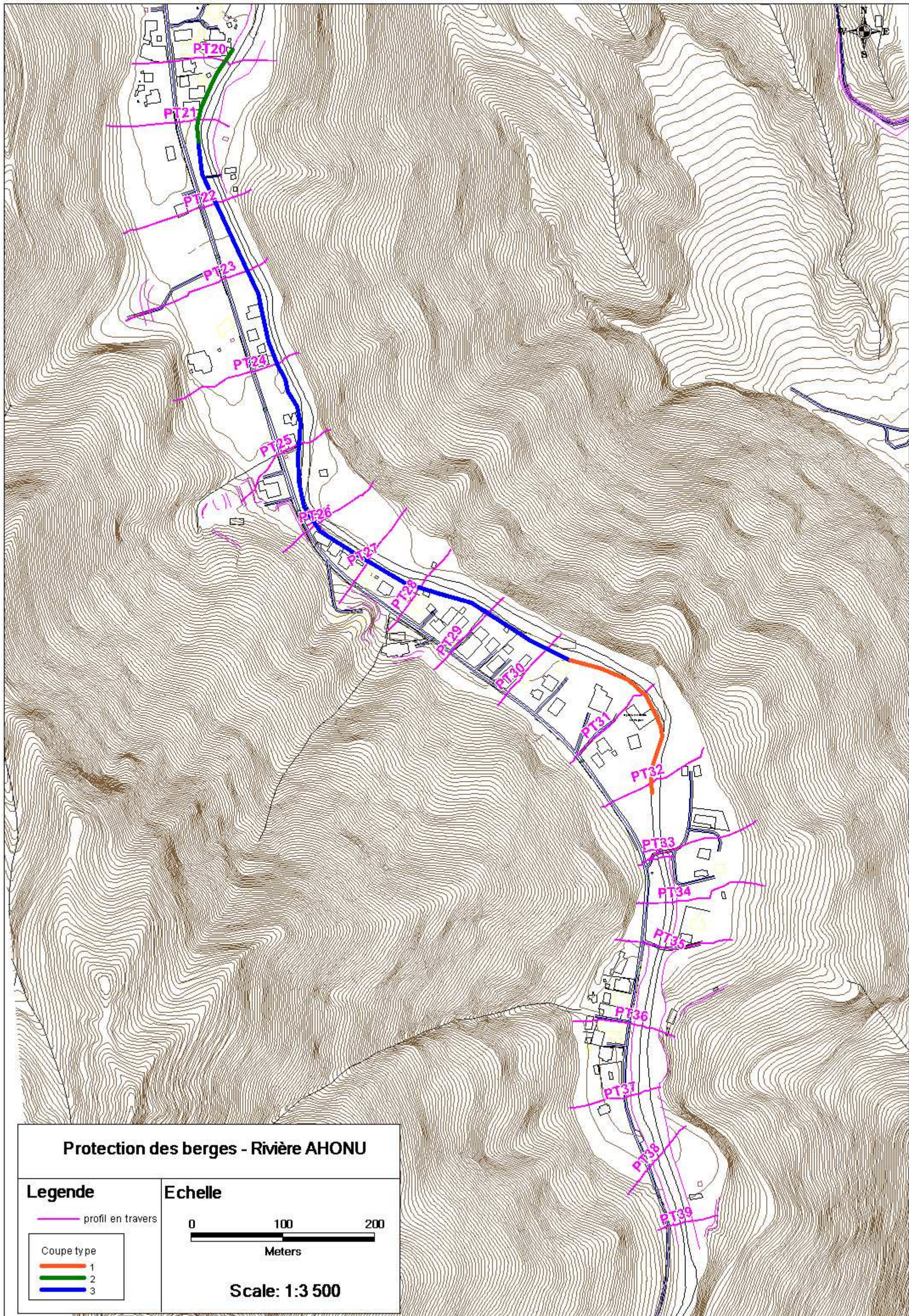
Les travaux consistent à conforter/refaire les protections existantes en rive droite, sur un secteur où les habitations ont été construites à proximité immédiate du lit mineur de la rivière, et où un risque fort d'érosion de berge et de destruction des habitations existe.

- Protection PT20-PT21, linéaire 100m, coupe type n°2.
- Protection PT23-PT30, linéaire 580m, coupe type n°3.
- Protection PT30-PT32, linéaire 230m, coupe type n°1.



Protection des berges - Rivière AHONU

| | |
|-------------------|-----------------------|
| Legende | Echelle |
| profil en travers | |
| Coupe type | Scale: 1:3 500 |
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |



5.3. 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...).

5.4. 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 ...

5.5. 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 P1 et P6 Protection par mur poids en rive droite et gauche | | | | |
| Enrochements libres | m ³ | 5650 | 6 000 | 33900000 |
| Géotextile | m ² | 8400 | 1 000 | 8400000 |
| Déblais (y compris évacuation) | m ³ | 1950 | 600 | 1170000 |
| Sous Total | | | | 43 470 000 |
| Travaux de protection entre les profils P6 et P9+500 Protection par mur poids en rive droite et confortement des protections existantes en rive gauche | | | | |
| Enrochements libres | m ³ | 3750 | 6 000 | 22500000 |
| Géotextile | m ² | 3750 | 1 000 | 3750000 |
| Déblais (y compris évacuation) | m ³ | 2200 | 600 | 1320000 |
| Volume de béton | m ³ | 1500 | 54000 | 81000000 |
| Sous Total | | | | 108 570 000 |
| Travaux de protection entre les profils P9+500 et P10+500 Protection par mur poids en rive droite et gauche | | | | |
| Enrochements libres | m ³ | 3200 | 6 000 | 19200000 |
| Géotextile | m ² | 4650 | 1 000 | 4650000 |
| Déblais (y compris évacuation) | m ³ | 1100 | 600 | 660000 |
| Sous Total | | | | 24 510 000 |
| Travaux de protection entre les profils P10+500 et P12 Protection par mur poids en rive gauche | | | | |
| Enrochements libres | m ³ | 1100 | 6 000 | 6600000 |
| Géotextile | m ² | 1650 | 1 000 | 1650000 |
| Déblais (y compris évacuation) | m ³ | 380 | 600 | 228000 |
| Sous Total | | | | 8 478 000 |

| | | | | |
|--|----------------|-------|-------|--------------------|
| Travaux de protection entre les profils P12 et P13 | | | | |
| Confortement pied de protection alterné avec perré en enrochement libre en rive gauche | | | | |
| Enrochements libres | m ³ | 1050 | 6 000 | 6300000 |
| Géotextile | m ² | 950 | 1 000 | 950000 |
| Déblais (y compris évacuation) | m ³ | 1050 | 600 | 630000 |
| Sous Total | | | | 7 880 000 |
| Travaux de protection entre les profils P13 et P18 | | | | |
| Confortement pied de protection en rive gauche | | | | |
| Enrochements libres (parafouille) | m ³ | 2500 | 6 000 | 15000000 |
| Géotextile | m ² | 2700 | 1 000 | 2700000 |
| Déblais (y compris évacuation) | m ³ | 2500 | 600 | 1500000 |
| Volume de béton | m ³ | 1450 | 54000 | 78300000 |
| Sous Total | | | | 97 500 000 |
| Travaux de protection entre les profils P20 et P21 | | | | |
| Confortement pied de protection en rive gauche | | | | |
| Enrochements libres (parafouille) | m ³ | 800 | 6 000 | 4800000 |
| Géotextile | m ² | 850 | 1 000 | 850000 |
| Déblais (y compris évacuation) | m ³ | 800 | 600 | 480000 |
| Volume de béton | m ³ | 600 | 54000 | 32400000 |
| Sous Total | | | | 38 530 000 |
| Travaux de protection entre les profils P23 et P30 | | | | |
| Mur poids de protection en enrochements en rive gauche | | | | |
| Enrochements libres (parafouille) | m ³ | 11000 | 6 000 | 66000000 |
| Géotextile | m ² | 16300 | 1 000 | 16300000 |
| Déblais (y compris évacuation) | m ³ | 3800 | 600 | 2280000 |
| Sous Total | | | | 84 580 000 |
| Travaux de protection entre les profils P31 et P32 | | | | |
| Perré de protection en enrochements libres en rive gauche | | | | |
| Enrochements libres (parafouille) | m ³ | 3900 | 6 000 | 23400000 |
| Géotextile | m ² | 3500 | 1 000 | 3500000 |
| Déblais (y compris évacuation) | m ³ | 3900 | 600 | 2340000 |
| Sous Total | | | | 29 240 000 |
| Total général | | | | 442 758 000 |
| Divers et aléa 15% | | | | 66 413 700 |
| TOTAL arrondi | | | | 509 171 700 |

Tableau 5: Chiffrage estimatif

ANNEXES

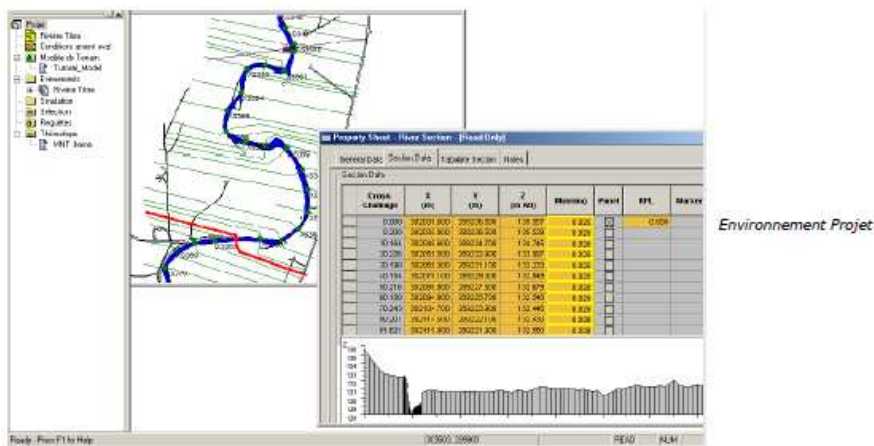
Annexe 1
Logiciel Infoworks



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.

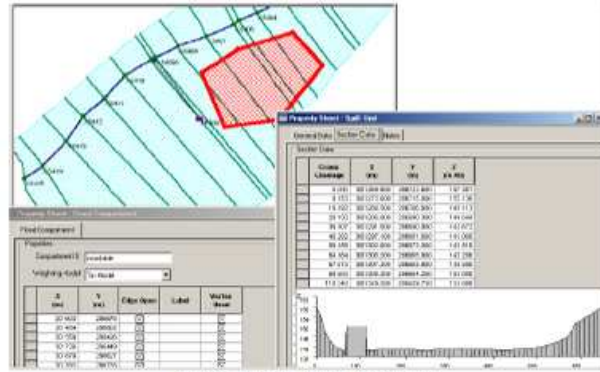


Tracé d'un profil à partir du MNT

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

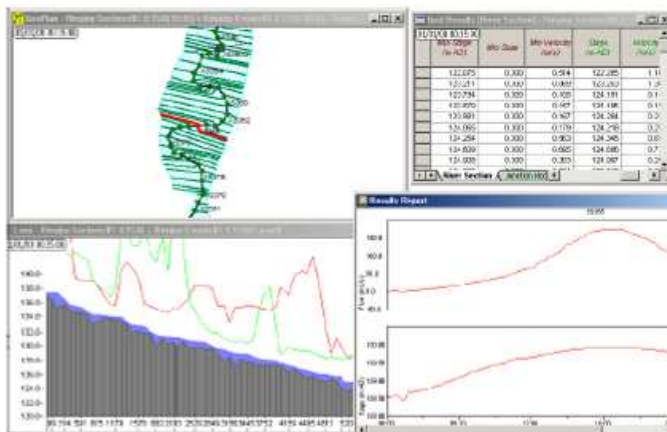
Moteur de calcul

- 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 :

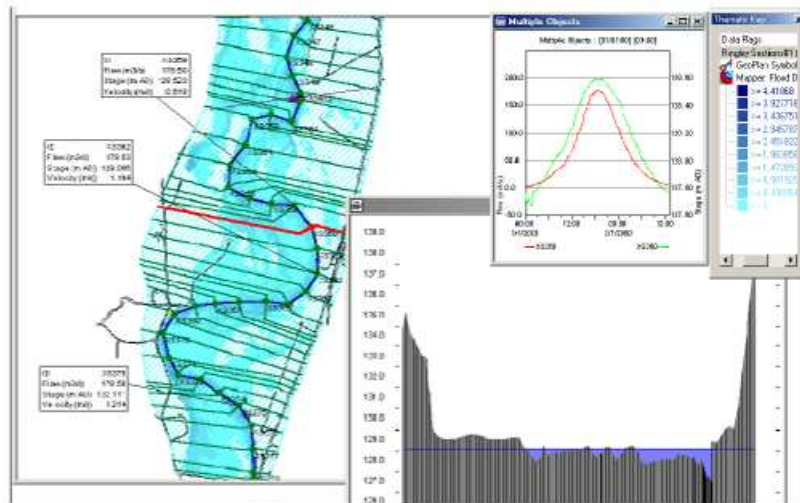
- Importation des modèles existants sous ISIS 2.0®.
- Importation au format CSV.
- Importation de bassins et polygones de stockage de MapInfo® et ArcView®.
- Exportation des données et résultats de simulation vers MapInfo® et ArcView®.
- Exporte les modèles vers ISIS 2.0®.

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
Résultats de la modélisation Infoworks

| Profil geo | Fil d'eau lit mineur en m NGT | Crue décennale | | | | | | | | |
|------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | | Cote en lit mineur en m NGT | Débit lit mineur m³/s | Vitesse moyenne en lit mineur en m/s | Cote en rive gauche en m NGT | Débit en rive gauche m³/s | Vitesse moyenne en rive gauche en m/s | Cote en rive droite en m NGT | Débit en rive droite m³/s | Vitesse moyenne en rive droite en m/s |
| P39 | 55.29 | 57.87 | 181.00 | 5.68 | | | | | | |
| P38 | 53.05 | 55.60 | 181.00 | 4.53 | | | | | | |
| P37 | 51.59 | 53.99 | 181.00 | 5.38 | | | | | | |
| P36 | 49.49 | 52.01 | 181.00 | 5.30 | | | | | | |
| P35 | 46.97 | 49.85 | 181.00 | 3.97 | | | | | | |
| P34 | 45.79 | 48.58 | 181.00 | 5.23 | | | | | | |
| P330 | 44.16 | 47.61 | 153.77 | 4.19 | 47.61 | 5.19 | 1.54 | 47.61 | 22.05 | 1.07 |
| P331 | 44.34 | 46.75 | 181.00 | 4.74 | | | | | | |
| P32 | 42.27 | 44.94 | 177.22 | 5.24 | | | | 44.94 | 3.78 | 1.85 |
| P31 | 39.41 | 42.26 | 181.00 | 5.05 | | | | | | |
| P30 | 37.08 | 39.98 | 179.97 | 4.25 | 39.98 | 0.96 | 0.81 | 39.98 | 0.07 | 0.73 |
| P29 | 35.76 | 38.67 | 179.19 | 4.70 | 38.67 | 1.81 | 0.83 | | | |
| P28 | 34.12 | 36.99 | 181.00 | 4.31 | | | | | | |
| P27 | 33.08 | 35.73 | 126.20 | 3.67 | | | | 35.73 | 54.80 | 1.95 |
| P260 | 31.75 | 34.21 | 150.76 | 5.39 | | | | 34.21 | 30.24 | 2.33 |
| P261 | 31.63 | 34.13 | 159.57 | 4.19 | | | | 34.13 | 21.43 | 2.20 |
| P25 | 29.55 | 32.18 | 155.14 | 5.35 | | | | 32.18 | 25.86 | 2.37 |
| P24 | 27.26 | 30.55 | 181.00 | 4.72 | | | | | | |
| P23 | 24.37 | 28.71 | 181.00 | 4.68 | | | | | | |
| P22 | 24.04 | 27.30 | 181.01 | 5.12 | | | | | | |
| P21 | 22.48 | 24.89 | 181.01 | 5.77 | | | | | | |
| P20 | 20.76 | 23.42 | 181.00 | 2.97 | | | | | | |
| P19 | 18.71 | 21.79 | 180.98 | 4.89 | | | | | | |
| P18 | 17.29 | 20.11 | 180.99 | 4.66 | | | | | | |
| P17 | 15.57 | 18.73 | 180.43 | 4.63 | 18.47 | 0.20 | 0.39 | 18.73 | 0.42 | 0.82 |
| P160 | 14.40 | 16.84 | 166.41 | 4.58 | 16.79 | 1.79 | 0.85 | 16.84 | 12.22 | 1.35 |
| P16 | 13.95 | 16.76 | 155.71 | 2.97 | 16.74 | 1.71 | 0.45 | 16.76 | 22.57 | 1.14 |
| P161 | 13.98 | 16.68 | 149.73 | 3.72 | 16.69 | 2.55 | 0.58 | 16.68 | 27.34 | 1.44 |
| P15 | 12.42 | 15.64 | 164.57 | 4.43 | 15.96 | 2.87 | 0.70 | 15.64 | 12.84 | 1.07 |
| P14 | 11.44 | 14.69 | 164.16 | 3.27 | 14.80 | 2.44 | 0.73 | 14.69 | 13.90 | 1.43 |
| P13 | 10.35 | 12.93 | 171.11 | 5.05 | 13.69 | 2.06 | 0.88 | 12.93 | 7.83 | 0.86 |
| P12 | 8.45 | 11.44 | 178.98 | 3.75 | 11.85 | 1.01 | 0.99 | 11.44 | 0.73 | 0.63 |
| P11 | 7.42 | 10.40 | 180.09 | 5.54 | 10.74 | 0.70 | 0.44 | | | |
| P111 | 5.85 | 9.34 | 180.09 | 4.40 | 9.87 | 0.39 | 0.29 | 9.34 | 0.25 | 0.48 |
| P112 | 5.94 | 9.14 | 180.33 | 3.78 | 9.51 | 0.37 | 0.30 | | | |
| P100 | 5.77 | 8.79 | 180.32 | 4.65 | 9.15 | 0.38 | 0.33 | | | |
| P101 | 5.60 | 8.65 | 180.32 | 3.58 | 8.85 | 0.42 | 0.35 | | | |
| P90 | 4.33 | 7.58 | 180.86 | 4.68 | 7.88 | 0.30 | 0.29 | | | |
| P09 | 4.62 | 7.52 | 180.89 | 5.34 | 7.75 | 0.34 | 0.30 | | | |
| P91 | 4.62 | 7.37 | 180.96 | 5.72 | 7.66 | 0.34 | 0.30 | | | |
| P08 | 3.22 | 5.97 | 177.78 | 5.26 | 6.33 | 3.67 | 0.50 | | | |
| P07 | 2.00 | 4.90 | 166.59 | 4.88 | 5.49 | 14.58 | 0.63 | | | |
| P06 | 0.68 | 3.67 | 115.42 | 3.34 | 4.92 | 10.50 | 0.74 | 3.67 | 52.67 | 1.38 |
| P05 | 0.49 | 3.30 | 146.49 | 3.60 | 4.00 | 11.49 | 0.66 | 3.30 | 22.65 | 0.51 |
| P04 | -0.27 | 2.71 | 156.47 | 4.40 | 3.79 | 12.35 | 0.24 | 2.71 | 12.89 | 1.48 |
| P03! | -0.53 | 2.40 | 169.37 | 4.91 | 3.75 | 11.53 | 0.39 | | | |
| P03 | -0.53 | 2.38 | 169.37 | 4.87 | 3.75 | 10.19 | 0.47 | | | |
| P02 | -0.63 | 2.16 | 169.37 | 4.87 | 3.65 | 9.33 | 0.53 | | | |
| P01 | -0.65 | 2.00 | 169.38 | 4.11 | | | | | | |
| Ptmer | -1.00 | 0.50 | 178.70 | | | | | | | |

| Profil geo | Fil d'eau lit mineur en m NGT | Crue centennale | | | | | | | | |
|------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | | Cote en lit mineur en m NGT | Débit lit mineur m³/s | Vitesse moyenne en lit mineur en m/s | Cote en rive gauche en m NGT | Débit en rive gauche m³/s | Vitesse moyenne en rive gauche en m/s | Cote en rive droite en m NGT | Débit en rive droite m³/s | Vitesse moyenne en rive droite en m/s |
| P39 | 55.29 | 58.74 | 339.32 | 6.94 | | | | 58.74 | 8.68 | 1.66 |
| P38 | 53.05 | 56.62 | 321.30 | 5.20 | | | | 56.62 | 26.70 | 1.87 |
| P37 | 51.59 | 55.12 | 348.00 | 6.57 | | | | | | |
| P36 | 49.49 | 52.88 | 347.82 | 7.07 | 52.88 | 0.18 | 0.90 | | | |
| P35 | 46.97 | 50.65 | 330.96 | 4.36 | 50.65 | 2.40 | 0.86 | 50.65 | 14.64 | 1.64 |
| P34 | 45.79 | 49.36 | 338.25 | 6.94 | 49.36 | 0.01 | 0.44 | 49.36 | 9.74 | 1.48 |
| P330 | 44.16 | 48.30 | 197.89 | 4.21 | 48.30 | 15.75 | 1.93 | 48.30 | 134.36 | 1.87 |
| P331 | 44.34 | 47.52 | 319.66 | 5.81 | | | | 47.52 | 28.34 | 1.64 |
| P32 | 42.27 | 45.86 | 296.89 | 5.83 | | | | 45.86 | 51.12 | 2.32 |
| P31 | 39.41 | 43.22 | 346.28 | 6.31 | 43.22 | 1.73 | 0.58 | | | |
| P30 | 37.08 | 40.77 | 318.27 | 5.36 | 40.77 | 27.89 | 1.59 | 40.77 | 1.85 | 1.58 |
| P29 | 35.76 | 39.44 | 298.71 | 5.69 | 39.44 | 49.16 | 1.81 | 39.44 | 0.10 | 0.83 |
| P28 | 34.12 | 37.67 | 345.46 | 5.37 | 37.67 | 0.86 | 1.18 | 37.67 | 1.69 | 1.11 |
| P27 | 33.08 | 36.29 | 202.27 | 4.46 | 36.29 | 7.78 | 1.19 | 36.29 | 137.61 | 2.65 |
| P260 | 31.75 | 34.88 | 228.63 | 5.82 | 34.88 | 0.06 | 0.67 | 34.88 | 120.32 | 2.74 |
| P261 | 31.63 | 34.82 | 278.39 | 4.97 | | | | 34.82 | 67.22 | 3.20 |
| P25 | 29.55 | 33.10 | 242.22 | 5.94 | 32.94 | 4.81 | 0.52 | 33.10 | 106.93 | 2.64 |
| P24 | 27.26 | 31.76 | 336.04 | 5.40 | 31.61 | 4.81 | 0.52 | | | |
| P23 | 24.37 | 30.05 | 334.45 | 5.54 | 30.77 | 13.73 | 1.37 | | | |
| P22 | 24.04 | 28.37 | 334.48 | 6.31 | 28.54 | 11.97 | 1.25 | | | |
| P21 | 22.48 | 25.75 | 322.87 | 6.91 | 26.86 | 10.09 | 1.39 | 25.75 | 11.75 | 1.81 |
| P20 | 20.76 | 24.36 | 334.56 | 3.67 | 24.29 | 10.28 | 0.93 | | | |
| P19 | 18.71 | 22.82 | 332.92 | 5.66 | 23.29 | 12.51 | 0.84 | | | |
| P18 | 17.29 | 21.01 | 333.53 | 5.95 | 22.28 | 8.64 | 1.52 | | | |
| P17 | 15.57 | 19.21 | 320.20 | 6.82 | 19.63 | 19.02 | 0.83 | 19.21 | 5.60 | 2.24 |
| P160 | 14.40 | 17.35 | 232.51 | 4.74 | 17.37 | 43.87 | 1.85 | 17.35 | 67.83 | 2.25 |
| P16 | 13.95 | 17.28 | 227.04 | 3.32 | 17.23 | 44.22 | 1.80 | 17.28 | 73.50 | 1.71 |
| P161 | 13.98 | 17.19 | 215.44 | 4.18 | 17.18 | 44.45 | 1.47 | 17.19 | 85.28 | 2.05 |
| P15 | 12.42 | 16.19 | 225.00 | 4.86 | 16.43 | 43.12 | 1.22 | 16.19 | 77.76 | 1.99 |
| P14 | 11.44 | 15.14 | 268.83 | 4.45 | 15.10 | 41.25 | 1.08 | 15.14 | 35.77 | 1.38 |
| P13 | 10.35 | 13.42 | 219.63 | 5.21 | 15.05 | 40.62 | 1.93 | 13.42 | 88.78 | 1.90 |
| P12 | 8.45 | 12.16 | 273.91 | 4.38 | 13.39 | 34.83 | 2.33 | 12.16 | 35.96 | 1.09 |
| P11 | 7.42 | 11.20 | 283.22 | 6.37 | 11.76 | 34.54 | 1.02 | 11.20 | 26.74 | 1.63 |
| P111 | 5.85 | 10.20 | 284.44 | 5.04 | 11.17 | 33.94 | 1.17 | 10.20 | 27.31 | 1.40 |
| P112 | 5.94 | 10.02 | 297.44 | 4.51 | 10.23 | 33.75 | 1.68 | 10.02 | 14.12 | 0.98 |
| P100 | 5.77 | 9.72 | 279.76 | 5.12 | 10.07 | 34.23 | 1.23 | 9.72 | 31.47 | 1.56 |
| P101 | 5.60 | 9.57 | 298.29 | 3.98 | 9.85 | 34.20 | 1.38 | 9.57 | 12.94 | 1.09 |
| P90 | 4.33 | 8.19 | 313.93 | 6.58 | 8.18 | 31.58 | 1.34 | 8.19 | 0.67 | 0.84 |
| P09 | 4.62 | 8.09 | 314.79 | 7.16 | 8.10 | 31.56 | 1.32 | | | |
| P91 | 4.62 | 7.83 | 315.18 | 8.04 | 8.03 | 31.56 | 1.32 | | | |
| P08 | 3.22 | 6.49 | 287.34 | 6.83 | 6.20 | 57.57 | 1.13 | | | |
| P07 | 2.00 | 5.42 | 265.22 | 6.11 | 6.72 | 83.46 | 0.85 | 5.42 | 0.59 | 1.18 |
| P06 | 0.68 | 4.27 | 136.47 | 2.92 | 5.24 | 75.99 | 1.73 | 4.27 | 132.06 | 1.60 |
| P05 | 0.49 | 4.21 | 216.93 | 3.05 | 4.36 | 77.75 | 1.11 | 4.21 | 53.45 | 0.51 |
| P04 | -0.27 | 4.03 | 160.51 | 2.73 | 4.09 | 74.92 | 0.66 | 4.03 | 110.85 | 1.05 |
| P03! | -0.53 | 3.93 | 214.46 | 3.53 | 4.37 | 72.14 | 0.73 | 3.93 | 56.96 | 0.84 |
| P03 | -0.53 | 2.54 | 195.54 | 5.25 | 4.37 | 68.07 | 0.86 | 3.50 | 75.00 | 1.20 |
| P02 | -0.63 | 2.31 | 195.59 | 4.09 | 4.01 | 69.24 | 1.07 | | | |
| P01 | -0.65 | 2.16 | 196.17 | 2.62 | | | | | | |
| Ptmer | -1.00 | 1.00 | 340.00 | | | | | | | |

| Profil geo | Fil d'eau lit mineur en m NGT | Crue centennale avec embâcles | | | | | | | | |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | | Cote en lit mineur en m NGT | Débit lit mineur m³/s | Vitesse moyenne en lit mineur en m/s | Cote en rive gauche en m NGT | Débit en rive gauche m³/s | Vitesse moyenne en rive gauche en m/s | Cote en rive droite en m NGT | Débit en rive droite m³/s | Vitesse moyenne en rive droite en m/s |
| P39 | 55.29 | 58.74 | 339.32 | 6.94 | | | | 58.74 | 8.68 | 1.66 |
| P38 | 53.05 | 56.62 | 321.30 | 5.20 | | | | 56.62 | 26.70 | 1.87 |
| P37 | 51.59 | 55.12 | 348.00 | 6.57 | | | | | | |
| P36 | 49.49 | 52.88 | 347.82 | 7.07 | 52.88 | 0.18 | 0.90 | | | |
| P35 | 46.97 | 50.65 | 330.95 | 4.36 | 50.65 | 2.40 | 0.86 | 50.65 | 14.64 | 1.64 |
| P34 | 45.79 | 49.36 | 338.26 | 6.94 | 49.36 | 0.01 | 0.44 | 49.36 | 9.74 | 1.48 |
| P330 | 44.16 | 48.30 | 197.89 | 4.21 | 48.30 | 15.75 | 1.93 | 48.30 | 134.36 | 1.87 |
| P331 | 44.34 | 47.52 | 319.67 | 5.81 | | | | 47.52 | 28.33 | 1.64 |
| P32 | 42.27 | 45.86 | 296.88 | 5.83 | | | | 45.86 | 51.12 | 2.32 |
| P31 | 39.41 | 43.22 | 346.27 | 6.31 | 43.22 | 1.73 | 0.58 | | | |
| P30 | 37.08 | 40.77 | 318.28 | 5.36 | 40.77 | 27.89 | 1.59 | 40.77 | 1.85 | 1.58 |
| P29 | 35.76 | 39.44 | 298.80 | 5.69 | 39.44 | 49.16 | 1.81 | 39.44 | 0.10 | 0.83 |
| P28 | 34.12 | 37.68 | 345.39 | 5.36 | 37.68 | 0.87 | 1.18 | 37.68 | 1.71 | 1.11 |
| P27 | 33.08 | 36.29 | 202.64 | 4.47 | 36.29 | 7.72 | 1.19 | 36.29 | 137.62 | 2.66 |
| P260 | 31.75 | 34.89 | 226.73 | 5.74 | 34.89 | 0.06 | 0.66 | 34.89 | 120.62 | 2.71 |
| P261 | 31.63 | 34.828 | 279.11 | 5.00 | | | | 34.83 | 67.22 | 3.22 |
| P25 | 29.55 | 33.088 | 239.70 | 5.85 | 32.94 | 5.92 | 0.30 | 33.09 | 107.66 | 2.61 |
| P24 | 27.26 | 31.7 | 341.68 | 5.60 | 31.87 | 5.92 | 0.30 | | | |
| P23 | 24.37 | 30.059 | 336.37 | 5.55 | 30.78 | 12.40 | 1.35 | | | |
| P22 | 24.04 | 28.377 | 336.44 | 6.33 | 28.50 | 11.19 | 1.19 | | | |
| P21 | 22.48 | 25.753 | 324.39 | 6.92 | 26.94 | 10.77 | 1.42 | 25.75 | 12.09 | 1.82 |
| P20 | 20.76 | 24.361 | 336.27 | 3.68 | 24.54 | 10.77 | 0.94 | | | |
| P19 | 18.71 | 22.82 | 334.23 | 5.67 | 23.28 | 13.53 | 0.86 | | | |
| P18 | 17.29 | 20.992 | 335.31 | 6.01 | 22.36 | 8.94 | 1.53 | | | |
| P17 | 15.57 | 19.212 | 320.03 | 6.80 | 19.58 | 21.40 | 0.89 | 19.21 | 5.68 | 2.24 |
| P160 | 14.40 | 17.347 | 232.15 | 4.74 | 17.54 | 44.07 | 1.87 | 17.35 | 67.38 | 2.24 |
| P16 | 13.95 | 17.273 | 226.59 | 3.31 | 17.42 | 44.33 | 1.81 | 17.27 | 73.13 | 1.71 |
| P161 | 13.98 | 17.189 | 215.09 | 4.18 | 17.35 | 44.49 | 1.48 | 17.19 | 84.82 | 2.05 |
| P15 | 12.42 | 16.185 | 224.67 | 4.86 | 16.46 | 42.93 | 1.22 | 16.19 | 77.23 | 1.99 |
| P14 | 11.44 | 15.135 | 268.41 | 4.45 | 15.62 | 41.48 | 1.08 | 15.14 | 35.37 | 1.38 |
| P13 | 10.35 | 13.418 | 219.21 | 5.21 | 14.64 | 40.46 | 1.93 | 13.42 | 88.42 | 1.89 |
| P12 | 8.45 | 12.15 | 274.88 | 4.41 | 12.67 | 34.44 | 2.32 | 12.15 | 34.93 | 1.09 |
| P11 | 7.42 | 11.192 | 282.62 | 6.37 | 11.42 | 34.33 | 1.01 | 11.19 | 26.40 | 1.62 |
| P111 | 5.85 | 10.198 | 283.85 | 5.03 | 11.17 | 34.02 | 1.17 | 10.20 | 27.03 | 1.40 |
| P112 | 5.94 | 10.014 | 296.75 | 4.51 | 10.25 | 33.86 | 1.68 | 10.01 | 13.94 | 0.97 |
| P100 | 5.77 | 9.715 | 279.10 | 5.11 | 10.02 | 34.32 | 1.23 | 9.72 | 31.20 | 1.56 |
| P101 | 5.60 | 9.559 | 297.56 | 3.98 | 9.78 | 34.28 | 1.39 | 9.56 | 12.74 | 1.08 |
| P90 | 4.33 | 8.202 | 312.62 | 6.53 | 8.41 | 31.52 | 1.34 | 8.20 | 0.71 | 0.83 |
| P09 | 4.62 | 8.1 | 313.53 | 7.09 | 8.40 | 31.52 | 1.32 | | | |
| P91 | 4.62 | 7.852 | 313.92 | 7.94 | 8.26 | 31.52 | 1.32 | | | |
| P08 | 3.22 | 6.475 | 287.55 | 6.87 | 6.46 | 56.89 | 1.13 | | | |
| P07 | 2.00 | 5.446 | 264.46 | 6.02 | 5.99 | 82.21 | 0.84 | 5.45 | 0.64 | 1.18 |
| P06 | 0.68 | 4.401 | 130.09 | 2.63 | 5.42 | 75.32 | 1.72 | 4.40 | 137.86 | 1.50 |
| P05 | 0.49 | 4.361 | 214.99 | 2.83 | 4.71 | 77.41 | 1.10 | 4.36 | 54.83 | 0.48 |
| P04 | -0.27 | 4.281 | 139.24 | 2.19 | 4.33 | 75.29 | 0.66 | 4.28 | 131.42 | 0.95 |
| P03! | -0.53 | 4.20 | 176.10 | 2.61 | 4.20 | 72.71 | 0.73 | 4.20 | 94.36 | 0.83 |
| P03 | -0.53 | 1.90 | 106.87 | 3.86 | 4.16 | 68.67 | 0.87 | 3.70 | 163.60 | 1.40 |
| P02 | -0.63 | 1.71 | 106.90 | 3.68 | 4.01 | 69.91 | 1.07 | | | |
| P01 | -0.65 | 1.54 | 107.70 | 2.19 | | | | | | |
| Ptmer | -1.00 | 1.00 | 340.00 | | | | | | | |

| Profil geo | Fil d'eau lit mineur en m NGT | Crue 1998 | | | | | | | | |
|------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | | Cote en lit mineur en m NGT | Débit lit mineur m³/s | Vitesse en lit mineur en m/s | Cote en rive gauche en m NGT | Débit en rive gauche m³/s | Vitesse moyenne en rive gauche en m/s | Cote en rive droite en m NGT | Débit en rive droite m³/s | Vitesse moyenne en rive droite en m/s |
| P39 | 55.29 | 58.23 | 240.00 | 6.22 | | | | | | |
| P38 | 53.05 | 55.99 | 235.12 | 4.88 | | | | 55.99 | 4.88 | 1.42 |
| P37 | 51.59 | 54.43 | 240.00 | 5.86 | | | | | | |
| P36 | 49.49 | 52.34 | 239.98 | 6.04 | 52.34 | 0.02 | 0.53 | | | |
| P35 | 46.97 | 50.17 | 236.55 | 4.12 | 50.17 | 0.38 | 0.89 | 50.17 | 3.07 | 1.22 |
| P34 | 45.79 | 48.90 | 240.00 | 5.96 | | | | | | |
| P330 | 44.16 | 47.89 | 171.59 | 4.20 | 47.89 | 8.98 | 1.74 | 47.89 | 59.43 | 1.44 |
| P331 | 44.34 | 47.09 | 235.69 | 5.17 | | | | 47.09 | 4.31 | 1.12 |
| P32 | 42.27 | 45.34 | 230.30 | 5.61 | | | | 45.34 | 9.70 | 1.46 |
| P31 | 39.41 | 42.65 | 240.00 | 5.56 | | | | | | |
| P30 | 37.08 | 40.32 | 233.51 | 4.70 | 40.32 | 6.02 | 1.11 | 40.32 | 0.47 | 1.12 |
| P29 | 35.76 | 39.03 | 227.21 | 5.08 | 39.03 | 12.79 | 1.29 | | | |
| P28 | 34.12 | 37.30 | 239.98 | 4.65 | 37.30 | 0.02 | 0.49 | 37.30 | 0.01 | 0.48 |
| P27 | 33.08 | 36.01 | 152.95 | 3.85 | 36.01 | 1.48 | 0.86 | 36.01 | 85.56 | 2.18 |
| P260 | 31.75 | 34.53 | 189.76 | 5.72 | 34.53 | 0.01 | 0.24 | 34.53 | 50.24 | 2.07 |
| P261 | 31.63 | 34.45 | 202.55 | 4.45 | | | | 34.45 | 37.45 | 2.61 |
| P25 | 29.55 | 32.56 | 195.00 | 5.68 | | | | 32.56 | 45.00 | 2.16 |
| P24 | 27.26 | 31.07 | 240.00 | 4.97 | | | | | | |
| P23 | 24.37 | 29.36 | 240.00 | 4.93 | | | | | | |
| P22 | 24.04 | 27.83 | 240.00 | 5.53 | | | | | | |
| P21 | 22.48 | 25.27 | 239.49 | 6.29 | | | | 25.27 | 0.52 | 0.86 |
| P20 | 20.76 | 23.84 | 240.00 | 3.22 | | | | | | |
| P19 | 18.71 | 22.24 | 239.97 | 5.21 | | | | | | |
| P18 | 17.29 | 20.51 | 239.97 | 5.19 | | | | | | |
| P17 | 15.57 | 18.93 | 235.82 | 5.57 | 18.69 | 2.10 | 0.41 | 18.93 | 1.97 | 1.49 |
| P160 | 14.40 | 17.07 | 194.40 | 4.64 | 17.12 | 11.52 | 1.40 | 17.07 | 32.15 | 1.77 |
| P16 | 13.95 | 16.99 | 184.09 | 3.09 | 17.01 | 11.71 | 1.22 | 16.99 | 42.42 | 1.41 |
| P161 | 13.98 | 16.91 | 177.83 | 3.93 | 16.96 | 12.08 | 1.00 | 16.91 | 48.15 | 1.70 |
| P15 | 12.42 | 15.89 | 189.40 | 4.57 | 16.09 | 11.62 | 0.86 | 15.89 | 37.51 | 1.53 |
| P14 | 11.44 | 14.90 | 211.23 | 3.84 | 15.04 | 11.10 | 0.90 | 14.90 | 16.68 | 1.14 |
| P13 | 10.35 | 13.15 | 193.24 | 5.13 | 14.01 | 10.45 | 1.27 | 13.15 | 36.82 | 1.44 |
| P12 | 8.45 | 11.77 | 222.60 | 4.09 | 12.14 | 7.72 | 1.50 | 11.77 | 8.27 | 0.81 |
| P11 | 7.42 | 10.78 | 226.72 | 5.93 | 10.96 | 7.35 | 0.65 | 10.78 | 2.83 | 0.81 |
| P111 | 5.85 | 9.73 | 225.48 | 4.71 | 10.38 | 8.55 | 0.77 | 9.73 | 5.14 | 0.89 |
| P112 | 5.94 | 9.53 | 229.55 | 4.12 | 9.93 | 8.70 | 1.07 | 9.53 | 1.04 | 0.60 |
| P100 | 5.77 | 9.20 | 225.87 | 4.94 | 9.49 | 9.33 | 0.82 | 9.20 | 4.77 | 0.85 |
| P101 | 5.60 | 9.05 | 229.95 | 3.78 | 9.27 | 8.97 | 0.87 | 9.05 | 0.69 | 0.41 |
| P90 | 4.33 | 7.86 | 231.49 | 5.41 | 8.10 | 7.28 | 0.85 | | | |
| P09 | 4.62 | 7.78 | 231.52 | 6.04 | 8.11 | 7.39 | 0.85 | | | |
| P91 | 4.62 | 7.61 | 231.59 | 6.55 | 7.98 | 7.39 | 0.85 | | | |
| P08 | 3.22 | 6.18 | 220.24 | 5.93 | 6.18 | 18.67 | 0.76 | | | |
| P07 | 2.00 | 5.12 | 204.51 | 5.37 | 5.59 | 35.97 | 0.74 | 5.12 | 0.07 | 0.75 |
| P06 | 0.68 | 4.07 | 114.47 | 2.70 | 5.13 | 29.53 | 1.04 | 4.07 | 92.22 | 1.38 |
| P05 | 0.49 | 4.01 | 168.93 | 2.63 | 4.30 | 30.94 | 0.82 | 4.01 | 39.21 | 0.43 |
| P04 | -0.27 | 3.80 | 142.20 | 2.61 | 4.06 | 31.26 | 0.42 | 3.80 | 66.57 | 0.87 |
| P03! | -0.53 | 3.71 | 191.05 | 3.42 | 3.94 | 29.50 | 0.54 | 3.71 | 17.79 | 0.54 |
| P03 | -0.53 | 2.45 | 180.55 | 5.03 | 3.92 | 27.11 | 0.64 | 3.00 | 28.40 | 0.80 |
| P02 | -0.63 | 2.23 | 180.54 | 4.09 | 3.85 | 26.57 | 0.71 | | | |
| P01 | -0.65 | 2.07 | 180.91 | 2.56 | 3.85 | 26.57 | 0.71 | | | |
| Ptmer | -1.00 | 1.00 | 236.00 | | | | | | | |