

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 ARAI2

Cours d'eau : MAHATEAHO



Rapport

GRI / N° 04635D

Septembre 2010

TABLE DES MATIERES

1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE	3
2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN ET RECUEIL DE DONNEES	5
2.1. Enquête de terrain	5
2.2. Recueil de données	8
2.2.1. Données topographiques	8
3. ANALYSE HYDROLOGIQUE	9
3.1. Généralités	9
3.2. les données hydrométriques	10
3.3. Evaluation des débits de projet	11
3.3.1. Etude BCEOM de 1999	11
3.3.2. Etude LTPP de 2003 (J.Danloux)	11
3.3.3. Approche de P. STOLLSTEINER	12
3.4. Débits de projet retenus	13
3.5. Débit de la plus forte crue connue	13
3.6. hydrogrammes des crues de projet	14
4. MODELISATION HYDRAULIQUE DU SECTEUR AMONT	15
4.1. Le modèle mis en oeuvre	15
4.1.1. Conditions aux limites	16
4.2. Calage du modèle	17
4.3. profil en long du lit mineur	18
4.4. Simulation des crues de projet	20
4.4.1. Mécanismes d'écoulement en crue centennale	20
4.4.2. Mécanismes d'écoulement en crue décennale	21
4.4.3. Prise en compte du risque d'embâcles	21
4.4.4. Modélisation de la crue la plus importante observée : cyclone Veena	22
4.5. Cartographie de l'aléa	24
4.5.1. Classification de l'aléa	24
4.5.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennal	24
4.5.3. Débits de premier débordement	25
5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS	26
5.1. la protection des zones habitées	26

5.1.1.	Protection du secteur amont (P1-P18)	26
5.1.2.	Protection du secteur aval (P18-P26)	27
5.2.	La mise en place d'un système d'alerte	28
5.3.	Les travaux d'entretien de la végétation	28
5.4.	Chiffrage estimatif	29

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 **MAHATEAHO**, situé sur la commune de **Hitiaa O Te Ra**, au PK 37.5.

La cartographie du risque inondation est réalisée sur un linéaire de 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 éventuels repères de crue existants
- 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**.*



Photo1 : Franchissement de la RT



Photo 2 : Vue amont pont

Le franchissement de la route territoriale est assuré par un pont à deux travées d'ouverture totale 26m. En amont du franchissement le lit du cours d'eau est large et peu encombré, la végétation est dense sur les deux rives. A l'aval les berges sont enrochées en rive droite et en rive gauche.

Le secteur situé à l'aval du pont en rive gauche est soumis au risque d'inondation lié à la houle, un merlon de terre a été mis en place pour diminuer les intrusions d'eau sur ce secteur.

En cas de forte houle les habitants du quartier sont évacués dans l'école, qui possède un étage.

Le pont de la RT a été refait suite au passage du cyclone Veena.



Photo 3 : Magasin Jeanine Ly



Photo 4 : Vue amont rive droite : Eglise et école

Au droit du franchissement, le niveau de la route est surélevé par rapport à l'amont (de 2 à 2.50m au plus haut). En rive droite l'école et l'église sont au niveau de la route.

Le magasin d'alimentation (Jeanine Ly) se situe fortement en contre bas de la RT (1.70NGT), et a été fortement inondé, en particulier lors du cyclone Veena (1983). A l'intérieur du magasin les PHE levées se situent 0.40m par rapport au niveau du sol.

Selon les riverains, le magasin aurait été inondé lors du cyclone OLI, mais ce fait n'a pas été confirmé par la propriétaire.



Photo 5 : Sortie des gorges (RD)



Photo 6 : attaque de berge dans le coude

A la sortie des gorges les berges sont protégées en rive droite et en rive gauche.

Il s'agit d'un point clé pour la rive droite : si des débordements se produisent sur ce secteur ils envahissent toute la rive droite. En l'état actuel de fortes érosions de berge, suite à OLI, se développent dans le coude existant : ce point sera à conforter en priorité.

En rive gauche : cette rive est peu marquée par rapport au lit mineur du cours d'eau, et constitue le premier point de débordement en rive gauche. A noter deux maisons détruites en rive gauche à proximité du lit.



Photo 7 : Secteur faiblement touché lors d'Oli



Photo 8 : vue amont

En rive droite a été construit récemment le lotissement Paparua, sur un terrain remblayé en moyenne de 1m par rapport au terrain naturel. Le groupe d'habitations situé entre le lotissement et le lit mineur de la Mahateaho, se situe en contrebas, son risque inondation est accentué du fait du remblaiement des terrains d'assise du lotissement. Ce terrain a été faiblement inondé lors du passage du cyclone Oli.

En rive gauche, le lit majeur est beaucoup moins urbanisé. Il possède une altitude très peu élevée par rapport au lit du cours d'eau. D'après les riverains, le lit de la Mahateaho était « initialement » situé en rive gauche, le cours d'eau ayant été dévié dans son lit actuel. La topographie actuelle de la rive gauche ne présente pas la trace de cet ancien bras. De manière générale cette rive est très basse et ne présente pas de limite marquée par rapport au lit de la rivière.



Photo 9 : Vue aval



Photo 10 : vue amont

En amont de la carrière, un grand secteur vient d'être ouvert à l'urbanisation (photos aériennes non à jour). Des travaux ont été faits par l'Équipement pour protéger ce secteur contre les inondations :

- recalibrage du cours d'eau, approfondissement du lit,
- protection de la rive droite par enrochements libres,

Il n'a pas été noté de problème lors du passage du cyclone Oli. Lors du cyclone Veena, il n'y avait pas d'habitants sur ce secteur : selon les témoignages, tout aurait été détruit sur ce secteur, principalement par le vent.



Photos 11 et 12 : amont cours d'eau

Les berges de ce secteur non habité sont enrochées : projet d'urbanisation future ?

2.2. RECUEIL DE DONNEES

Un recueil de données a été effectué en identifiant toutes les sources d'informations existantes.

2.2.1. Données topographiques

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

Ce levé est constitué de :

- 12 profils en travers du lit mineur,
- 13 profils en travers du lit majeur,
- Du levé spécifique du pont de la RT.

3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1. GENERALITES

Le bassin versant de la Mahateaho se situe sur l'un des secteurs les plus arrosés de l'île de Tahiti. La station de mesure de la pluviométrie la plus proche se situe à Hitiaa, sur laquelle est enregistrée une pluviométrie moyenne annuelle de 3550mm

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.

Le bassin versant de la Mahateaho a une superficie de 10.45 km².

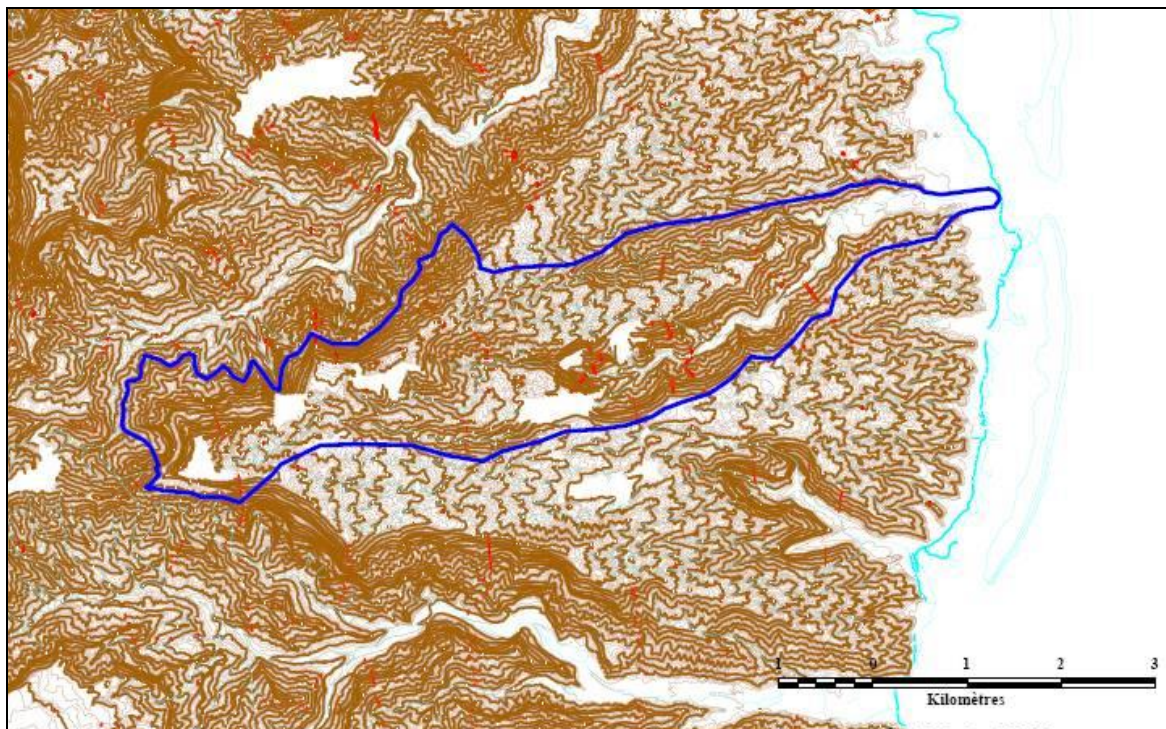
Les reliefs de ce bassin versant sont caractérisés par des versants de pentes très importantes.

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

Les principales caractéristiques du bassin versant sont les suivantes :

- Surface : 10.45 km²
- Plus long cheminement hydraulique : 10 km,
- Longueur du rectangle équivalent : 10.09 km,
- Gradex de la pluie centennale / 30mn : 51mm, (source : G.Wotling « Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti »)
- Dénivelée entre sommet du bassin et exutoire : 1200m,
- Temps de concentration (Kirpich) : 0.9 h,

Figure n°1 : Bassin versant de la Mahateaho



3.2. LES DONNEES HYDROMETRIQUES

En raison des potentialités hydroélectriques de la rivière, plusieurs installations de mesure de débit ont été mises en place : au droit des aménagements hydroélectriques du plateau de Hitiaa, puis, en amont du bassin versant, à la cote 700.

À cette cote, pour une surface de bassin versant drainée de 1.37 km², un débit maximal de l'ordre de 70 m³/s a été atteint au moins deux fois sur la période 1979-2003.

Dans le cadre de l'étude « évaluation des maximums de crue sur l'île de Tahiti... », menée en 2003 par J. Danloux, une analyse statistique a été réalisée. La série compte 26 années d'observations reconstituées à partir de la station de Paraura à la cote 100, et les enregistrements réalisés à la cote 100 entre 1978 et 1984.

Les débits de crue de la Mahateaho, à la cote 700, estimés à partir d'une loi de Galton sont les suivants :

- débit décennal : 58 m³/s
- débit cinquantennal : 75 m³/s
- débit centennal : 83 m³/s

La qualité de ces ajustements (intervalle de confiance) n'est pas présentée dans le rapport de Danloux.

3.3. EVALUATION DES DEBITS DE PROJET

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

Elles sont rappelées et détaillées ci-dessous.

3.3.1. 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 Mahateaho)
- S est la superficie drainée en km²
 - Po est la moyenne sur le bassin versant de la hauteur de précipitations de période de retour 1 an en dixième de mm sur 15mn (28mm),

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 Gd=51mm** pour la Mahateaho.
- un coefficient de passage du débit moyen au débit instantané de 1.5

3.3.2. 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 km².

C : coefficient de Craeger

3.3.3. 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 débimétriques disponibles. L'intensité retenue est celle survenant sur une durée égale au temps de concentration du bassin versant étudié.

A défaut d'ajustements débimétriques, P. STOLLSTEINER recommande « de choisir le coefficient de ruissellement décennal parmi ceux de l'île la plus proche et la plus semblable en considérant le contexte géologique, l'altitude maximale du bassin versant et son orientation ». Pour la Mahateaho, le coefficient de ruissellement décennal retenu est de 0.9. 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 Tc et journalière égal à ce même rapport à la station pluviographique la plus proche ou jugée comparable).

3.4. DEBITS DE PROJET RETENUS

Les débits de projet de la Mahateaho obtenus 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	230	435
Etude LTPP de 2003 J.Danloux)	Formule de Craeger + analyse statistique	270	420
P STOLLSTEINER	Méthode rationnelle et gradex	290	398

Tableau 1 : Comparaison des débits de projet obtenus

Les trois méthodes d'évaluation des débits convergent vers des valeurs très proches. Il est proposé de retenir les valeurs obtenues dans l'étude LTPP de J.Danloux, basées sur la méthode de Craeger calée sur les évaluations de la rivière Papeiha.

Ces évaluations conduisent à de forts débits spécifiques (de l'ordre de 40m³/s) pour le débit centennal, dont l'origine est liée aux très forts débits spécifiques de la Papeiha obtenus par ajustements statistiques.

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

Crue	Crue décennale	Crue centennale
Débit en m ³ /s	270	420

Tableau 2 : Débits de projet de la Mahateaho

3.5. DEBIT DE LA PLUS FORTE CRUE CONNUE

Les enquêtes de terrain ont permis de montrer que de mémoire de riverains le cyclone Veena, est l'épisode le plus important observé sur le site.

Les éléments recueillis sont les suivants :

- La vallée amont (en amont du profil P13), a été ravagée par l'eau et surtout par le vent qui a détruit une grande partie des arbres présents sur la zone. Le lit de la Mahateaho a été recalibré sur ce secteur depuis cet évènement.

- De très forts débordements se sont produits sur la rive gauche entre le profil P18 et le pont de la RT. Des lits secondaires se sont formés sur ce secteur.
- Le pont de la RT a fait obstacle à l'écoulement de la crue : l'école et l'église ont été inondées, par le phénomène conjoint de la crue et de la remontée de la houle. Depuis Veena, le pont de la RT a été refait.

Les seules estimations de débit existantes pour cet événement sont celles de l'IRD qui a quantifié le débit spécifique de la Mahateaho à une valeur de 31.6 m³/s par km², soit un débit de **330 m³/s**.

3.6. HYDROGRAMMES DES CRUES DE PROJET

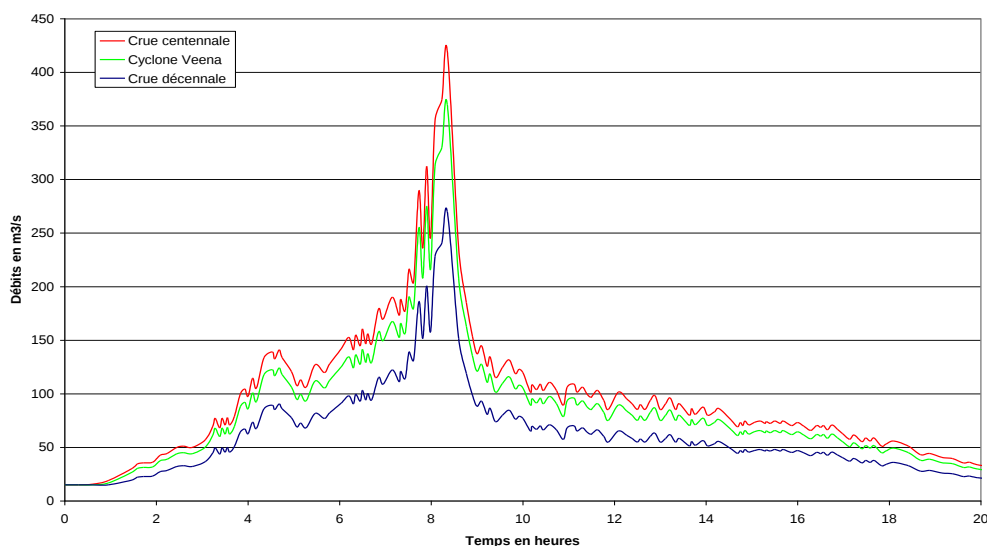
Les hydrogrammes des crues décennale et centennale de la Mahateaho ont été définis à partir des hydrogrammes de la crue observée sur la Papenoo du 11 au 14 avril 1983 (Cyclone VEENA) par affinité du rapport du débit de projet de la Mahateaho et du débit maximal observé sur la Papenoo.

Le bassin versant de la Mahateaho vers lesquels s'effectue le transfert a une superficie (10.45 km²) inférieure à celle du bassin de référence (79.7 km²). Or, si la forme des hydrogrammes est surtout liée à la durée de la pluie, la taille du bassin versant influe notamment en début et fin de crue.

La comparaison d'hydrogrammes de crue relevés simultanément sur des bassins versants proches, de même orientation mais de superficies drainées différentes, aurait permis de vérifier s'il y a lieu ou non d'effectuer une correction sur la durée des crues observées sur un bassin versant lors du transfert vers un plus petit bassin versant. Or les données disponibles ne permettent pas cette comparaison.

Compte tenu des temps très courts de réponse et de décrue des bassins versants étudiés comparés aux durées des crues observées, il sera fait l'hypothèse que la probable surévaluation des volumes de crue liée au transfert d'hydrogrammes a une incidence négligeable sur les lignes d'eau.

Hydrogrammes des crues décennales et centennales de la Mahateaho



4. MODELISATION HYDRAULIQUE DU SECTEUR AMONT

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

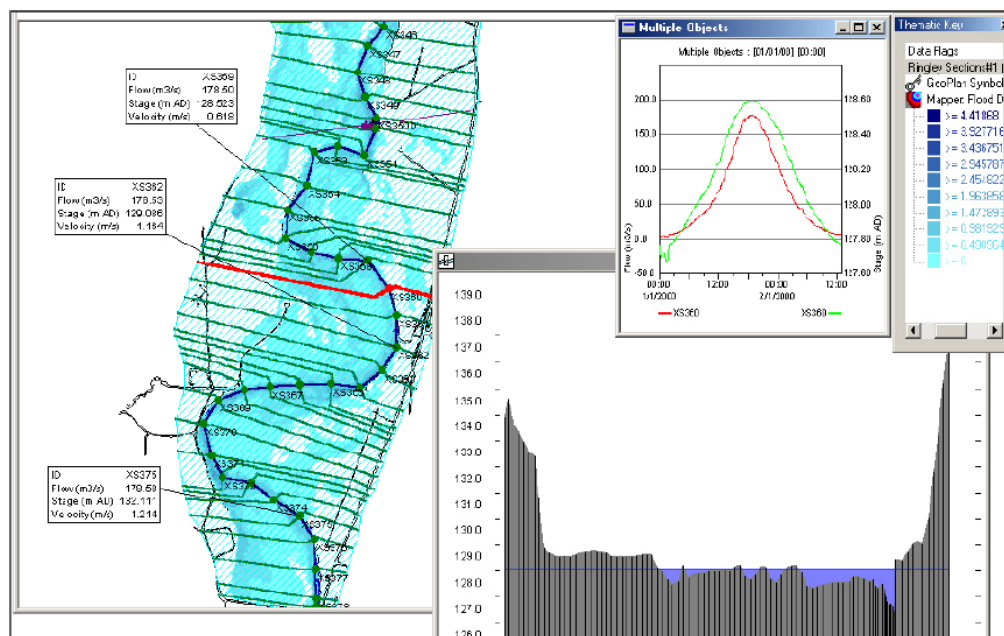
Le logiciel INFOWORKS utilise le schéma numérique de PREISSMANN pour la résolution des équations de St-Venant.

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.

Figure 2 : modèle Infoworks



Résultats : zones inondables, profil, graphes

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
Crue maximale observée (Veena)	330 m³/s	1 m NGT
Crue décennale	270 m³/s	0 m NGT
Crue centennale	420 m³/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 :

- 15 à 20 en lit mineur
- 10 en lit majeur

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

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

Avec :

n0 : Dépend du type de matériaux qui constitue le lit 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).

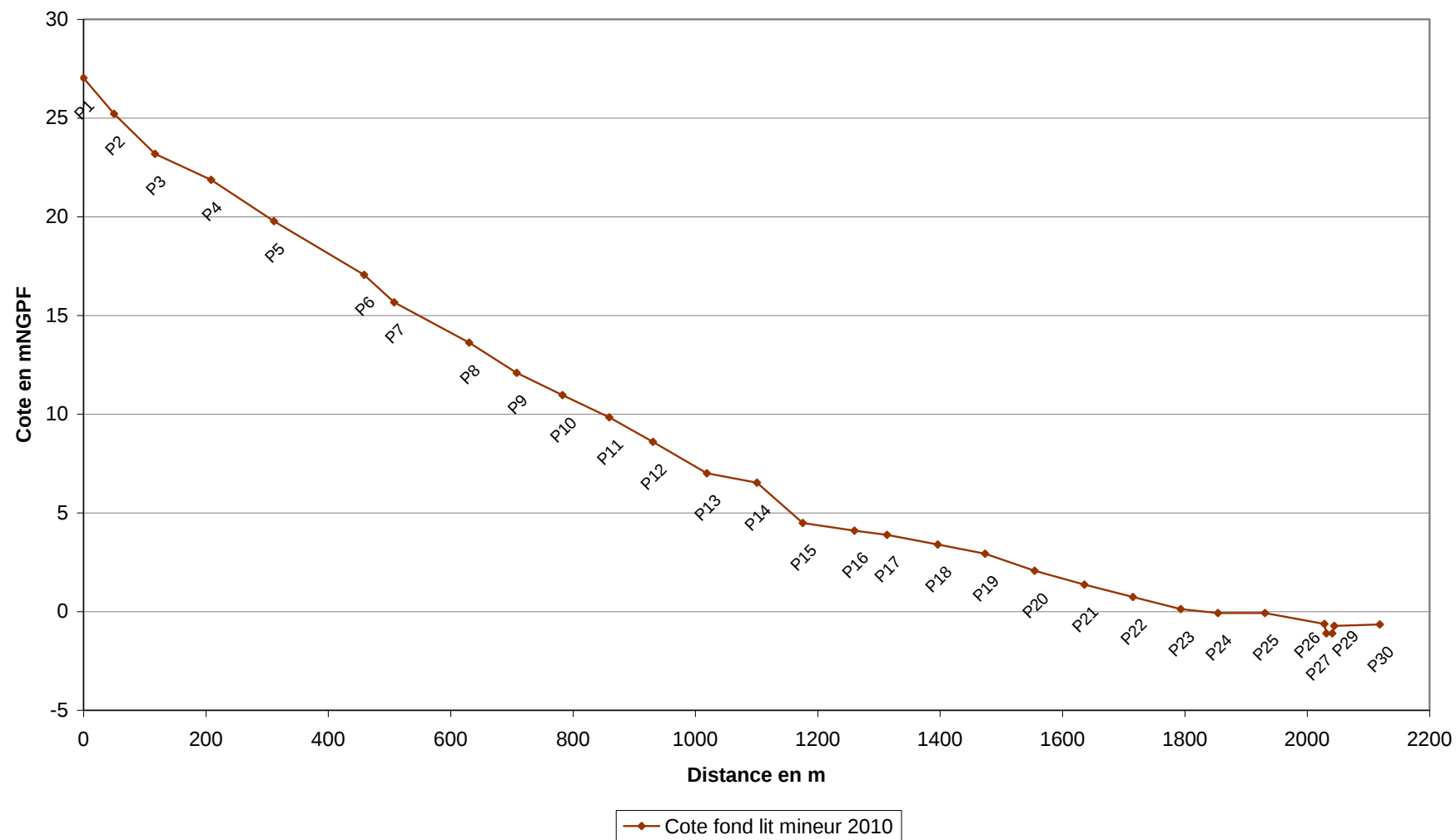
Sectorisation	n0	n1	n2	n3	n4	m5	n	K
Amont (P1-P15)	0.028	0.01	0.005	0.015	0.01	1	0.068	15
Aval (P15-P30)	0.024	0.01	0.005	0	0.01	1	0.049	20

4.3. PROFIL EN LONG DU LIT MINEUR

Le profil en long du lit mineur est présenté sur la figure n°3. Il possède une pente régulière de l'ordre de 2%, sur sa partie amont, de l'ordre de 0.7% sur sa partie aval.

Ce profil a été imposé par les travaux de recalibrage réalisés par l'Équipement en particulier sur la partie amont. Nous ne disposons pas sur ce secteur de levés topographiques antérieurs permettant de mettre en évidence une évolution des fonds de la Mahateaho.

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 la plus importante observée (Veena)
- 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 quatre 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 P18)

Ce secteur a été urbanisé récemment, le lit de la rivière a été recalibré sur tout son linéaire, la rive droite est protégée par des enrochements. De forts débordements sont observés sur la partie amont de ce secteur en rive droite, entre les profils P2 et P5. Ces débordements inondent cette rive en générant localement des hauteurs de submersion comprises entre 0.5 et 1m. Bien que le modèle ne permette pas de le modéliser, il est probable que ces débordements puissent être à l'origine de la création de chenaux secondaires de crue : les profils topographiques levés mettent en évidence la présence de chenaux anciens pouvant être réactivés.

L'ensemble de la rive droite a été classée en zone d'aléa moyen, soit du fait de hauteurs d'eau supérieures à 0.50m, soit de vitesses élevées (supérieures à 0.5m/s), en particulier en bordure du lit mineur, sur les secteurs de débordement.

Il est à signaler le risque d'isolement de cette zone en cas de submersion ou de destruction de la route d'accès entre les profils P21 et P16.

Les fortes vitesses d'écoulement observées en lit mineur, supérieures à 5m/s, peuvent entraîner une destruction des protections en enrochement de la rive droite.

Secteur aval rive droite (profils P18 à P26)

Entre les profils P18 et P25 les débordements restent circonscrits à proximité du lit mineur. Le lotissement Paparaoa, remblayé est situé hors zone inondable. A noter, au droit du lotissement, la présence d'un affluent de la Mahatehao, qui peut en période de crue provoquer des inondations ponctuelles et surtout rendre impraticable l'accès à la vallée amont.

A l'aval du profil 24 et jusqu'au pont de la RT, de fortes hauteurs de submersion sont observées (supérieures à 0.5m), associées à des vitesses d'écoulement importantes. Ce secteur a été classé en zone d'aléa fort.

En crue centennale, le tirant d'air du pont de la RT est de 0.60m. Le pont n'est donc pas en charge. Cependant du fait de la constriction des écoulements provoquée par le franchissement, les eaux débordées coupent les points bas de la RT en rive gauche et en rive droite : le niveau de la crue centennale au droit du pont se situe à 2.78 NGT alors que les points bas de la RT se trouvent à une altitude inférieure à 2mNGT.

Secteur aval rive gauche (profils P18 à P26)

A partir du profil P18 et jusqu'au pont de la RT, les eaux de crue débordent très fortement sur la rive gauche. Au total, près de 190 m³/s débordent sur ce secteur. Ces débordements s'étalent très largement sur un linéaire de près de 800m. Ces débordements sont confirmés par le témoignage des riverains en particulier lors du cyclone Veena.

Du fait de la configuration en toit de la vallée, la cartographie de la zone inondable, établie à partir du MNT au 1/5000^e existant reste imprécise. Il a été néanmoins distingué une zone d'aléa fort, qui englobe la zone des débordements située à proximité du lit mineur, ainsi qu'une zone d'aléa moyen qui s'étend jusqu'à la mairie.

4.4.2. Mécanismes d'écoulement en crue décennale

Vallée amont (profils P1 à P18)

Il est observé en rive droite, de légers débordements entre le profil P4 et le profil P5. Au droit de ces profils, le lit mineur est en limite de débordement. Ces débordements sont diffus et sont repris plus à l'aval par le réseau de chenaux existants.

Secteur aval rive droite (profils P18 à P26)

Les débordements restent cantonnés à partir du profil 24 entre le lit mineur et l'école. Ce secteur est classé en aléa moyen du fait des hauteurs d'eau supérieures à 0.50m observées.

Secteur aval rive gauche (profils P18 à P26)

Des débordements évalués à environ 60m³/s sont déversés sur la rive gauche. Ces débordements sont stockés en amont de la RT et s'étendent sur un linéaire de 400m, jusqu'à la mairie. Les hauteurs de submersion sont faibles sur l'ensemble de la zone inondable à l'exception d'une bande de 60m en bordure du lit mineur où ces hauteurs sont supérieures à 0.50m.

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 rive gauche qui passent à 250m³/s (190 m³/s sans embâcle) ainsi qu'en rive droite où 57 m³/s débordent (27 m³/s sans embâcle).

En amont immédiat du pont les niveaux de crue ne sont augmentés que de 0.23m. Le principal impact d'une obstruction du pont de la RT est donc l'augmentation des déversements en rive droite et en rive gauche, qui se traduit par une augmentation des niveaux de crue de l'ordre de 10cm dans les casiers de rive gauche, et de 0.18m dans le casier de rive droite.

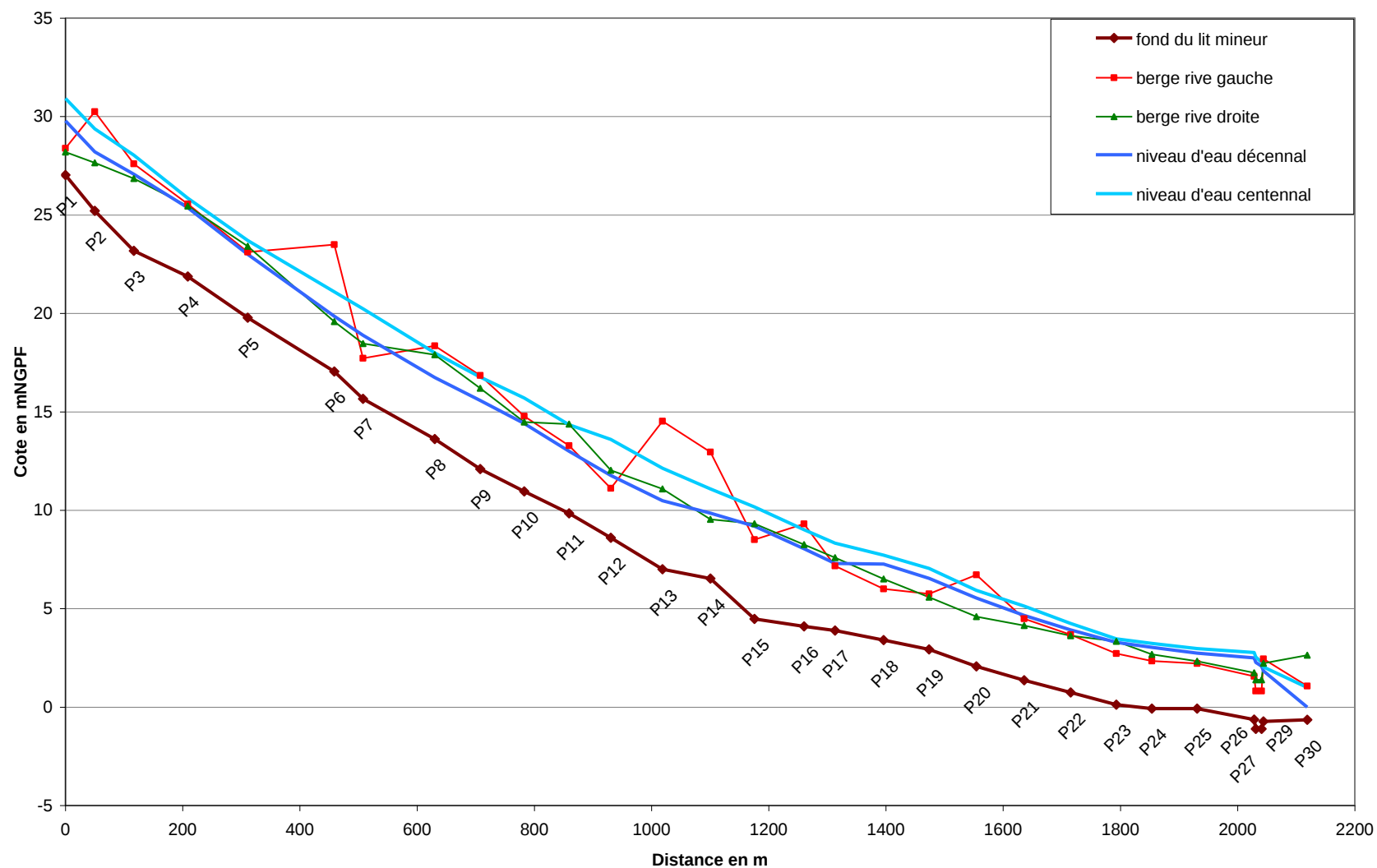
4.4.4. Modélisation de la crue la plus importante observée : cyclone Veena

Il n'a pas été possible de caler cette crue sur des PHE observées lors de Veena : le gabarit du cours d'eau a été profondément modifié par les travaux de recalibrage, le pont de la RT a été agrandi.

La cartographie produite prend en compte l'inondation totale de la vallée amont, soit une emprise plus large que celle cartographiée pour la crue centennale (emprise hydrogéomorphologique). Il est probable que pour cet événement, les chutes d'arbres dues au vent mentionnées par les riverains, aient obstrué pour partie les capacités d'écoulement du cours d'eau. Le lit majeur rive droite porte les stigmates de chenaux secondaires ayant pu être mis en eau lors de cet événement.

Sur le secteur aval l'emprise des inondations est très proche de celle de la zone inondable centennale, et occupent la totalité des zones basses situées en amont de la RT.

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'enveloppe d'inondation de la crue maximale observée
- CARTE 2 : cartographie de l'aléa inondation de la crue décennale
- CARTE 3 : cartographie de l'aléa inondation de la crue centennale
- CARTE 4 : cartographie de l'enveloppe d'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, en particulier sur la rive gauche de la rivière où la cartographie a été réalisée à partir du MNT au 1/5000°.

4.5.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennal

Dans le cadre de l'aléa centennal, le phénomène d'érosion de berges a été pris en compte dans la cartographie de l'aléa. Une bande d'aléa très fort 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 suite à une érosion trop importante.

Actuellement, des enrochements verticaux ont été mis en place en différents points de la Mahateaho dont récemment en amont du secteur étudié.

Le manque d'informations sur leur installation ne permet pas de dire s'ils résisteront à une crue importante. Une bande inconstructible en bordure de lit est donc nécessaire vis à vis de ce risque particulier.

4.5.3. Débits de premier débordement

Profil	Débit de premier débordement (m³/s)	
	Rive gauche	Rive droite
P1		
P2	315	300
P3	340	
P4	175	160
P5	180	200
P6		175
P7		150
P8		412
P9		280
P10	335	200
P11	250	
P12	130	200
P13		290
P14		180
P15		255
P16		305
P17		290
P18	210	150
P19	235	140
P20		135
P21	245	212
P22	150	
P23	105	
P24	105	150
P25	140	150
P26	130	140
P27		
P27!		
P29		240
P30		

5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

5.1. LA PROTECTION DES ZONES HABITEES

5.1.1. Protection du secteur amont (P1-P18)

Des débordements importants sont observés sur la partie amont de ce secteur.

Il est proposé :

Le recalibrage du lit mineur de la rivière entre les profils P2 et P6 :

- Linéaire 400m
- Enrochements percolés au béton posés en deux couches,
- Pente du talus 3/2 (33°)
- Diamètre moyen des enrochements : 0.40m.
- Para fouille en enrochements libres de longueur 3m, épaisseur 2 x 0.60m. Le dimensionnement précis du risque affouillement devra être fait en phase projet, après réalisation des essais géotechniques.

La mise en place d'une digue de protection en rive droite entre les profils P6 et P18 :

- Linéaire 900m
- Hauteur moyenne 1.50m
- Protection coté rivière par enrochements libres posés en deux couches sur filtre géotextile,
- Pente du talus 2/1

Le confortement de la protection en enrochement existante en rive droite entre les profils P6 et P18 :

- Linéaire 900m
- Para fouille en enrochements libres de longueur 3m, épaisseur 2 x 0.60m. Le dimensionnement précis du risque affouillement devra être fait en phase projet, après réalisation des essais géotechniques.



5.1.2. Protection du secteur aval (P18-P26)

Le secteur aval est particulièrement difficile à protéger : du fait de la configuration topographique de la rive gauche, d'importants débordements se produisent dès un seuil de débit évalué à 200m³/s.

Il a été modélisé un endiguement partiel de la rive gauche entre les profils P18 et P21. Ces travaux conduisent à aggraver les inondations sur les secteurs les plus sensibles (église, école), situés en amont immédiat de la RT (aggravation des niveaux supérieure à 0.15m).

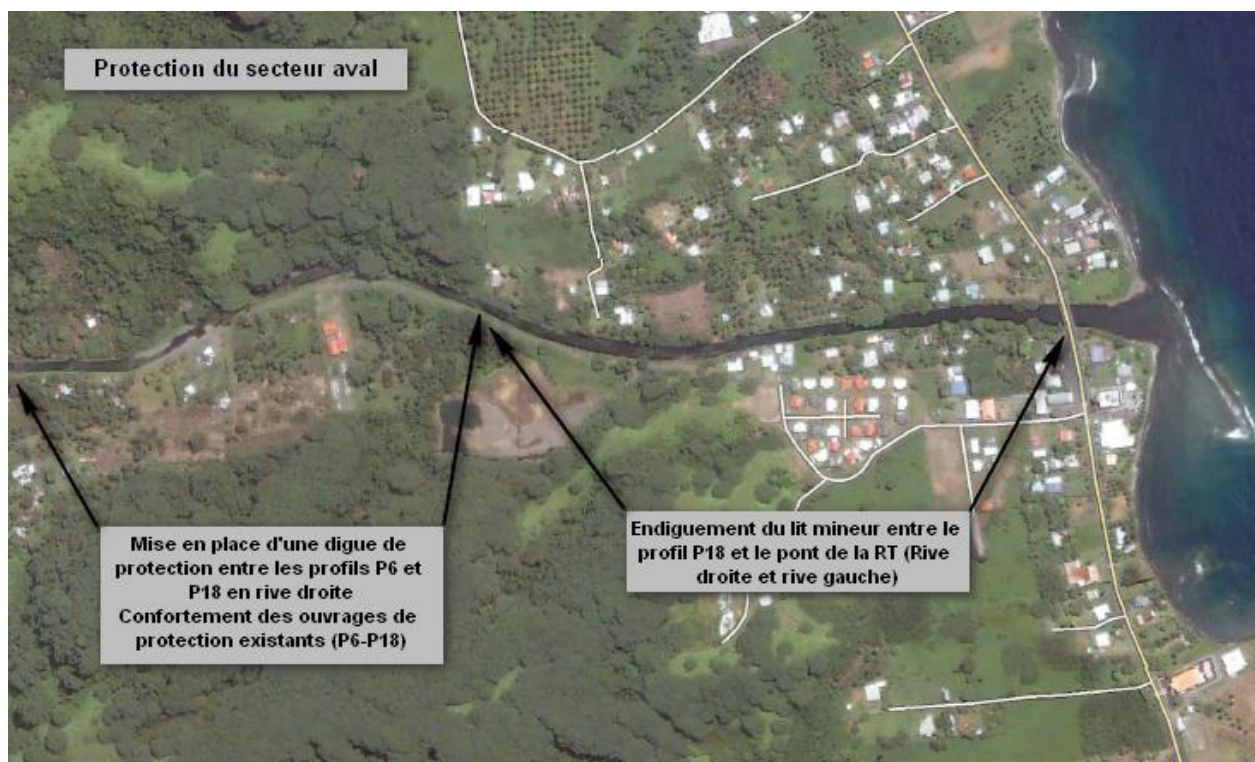
Le recalibrage du lit par élargissement se trouve confronté aux faibles emprises foncières existantes, de nombreuses habitations étant situées en bordure du lit mineur.

La seule solution possible passe par une protection globale du secteur aval, soit l'endiguement du lit de la Mahateaho entre le profil P18 et le pont de la RT, avec élargissement de l'ouvrage de franchissement existant.

Il est proposé la mise en place d'ouvrages dimensionnés pour le débit centennal, de caractéristiques suivantes :

- Linéaire : 650 m,
- Emprise du lit mineur : 25 à 30m,
- Murs poids de hauteur comprise entre 4 et 5m en rive droite et gauche,
- Para fouille en enrochements libres de longueur 3m, épaisseur 2 x 0.60m.

Le dimensionnement du nouvel ouvrage de franchissement devra faire l'objet d'une étude spécifique.



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 située dans la vallée amont (risque d'isolement).

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

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

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

La fréquence d'entretien proposée est la suivante :

- Un entretien complet tous les 3 ans : élagage et tronçonnage des arbres pouvant former embâcle,

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

5.4. CHIFFRAGE ESTIMATIF

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

Le tableau suivant donne un estimatif du coût financier des ces travaux, hors nouvel ouvrage de franchissement de la RT :

Désignation	Unité	Quantitatif	Prix unitaire HT en FCFP	Prix HT en FCFP
Protection du secteur amont (P1-P18)				
Recalibrage P2-P6				
Enrochements liés	m ³	2700	12 000	32400000
Enrochements libres	m ³	1700	6 000	10200000
Géotextile	m ²	4300	1 500	6450000
Déblais	m ³	7200	1 500	10800000
Digue de protection P6-P18				
Enrochements libres	m ³	4700	6 000	28200000
Géotextile	m ²	5400	1 500	8100000
Remblais compacté	m ³	7560	3000	22680000
Para fouille P1-P18				
Enrochements libres	m ³	3900	6 000	23400000
Déblais	m ³	5400	1 500	8100000
Sous Total				150330000
Protection du secteur aval (P18-P26)				
Murs poids - Enrochements liés ou maçonnerie de moellons	m ³	13650	25 000	341250000
Para fouille enrochements libres	m ³	6240	6 000	37440000
Drainage	m ²	11000	1500	16500000
Déblais	m ³	47000	1 500	70500000
Remblais	m ³	39000	1 500	58500000
Sous Total				524190000
Total général				674520000
Divers et aléa 20%				134904000
TOTAL arrondi				809424000

Tableau 5: Chiffrage estimatif

Ces prix ne tiennent pas compte des acquisitions foncières.

ANNEXES

Annexe 1
Localisation des photos

Riviere Mahateaho
Hitiaa O Te ra, Hitia PK37,5
linéaire 2km
planche A

planche A planche B

01



Légende :

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

Riviere Mahateaho
Hitiaa O Te ra, Hitia PK37,5
linéaire 2km
planche B

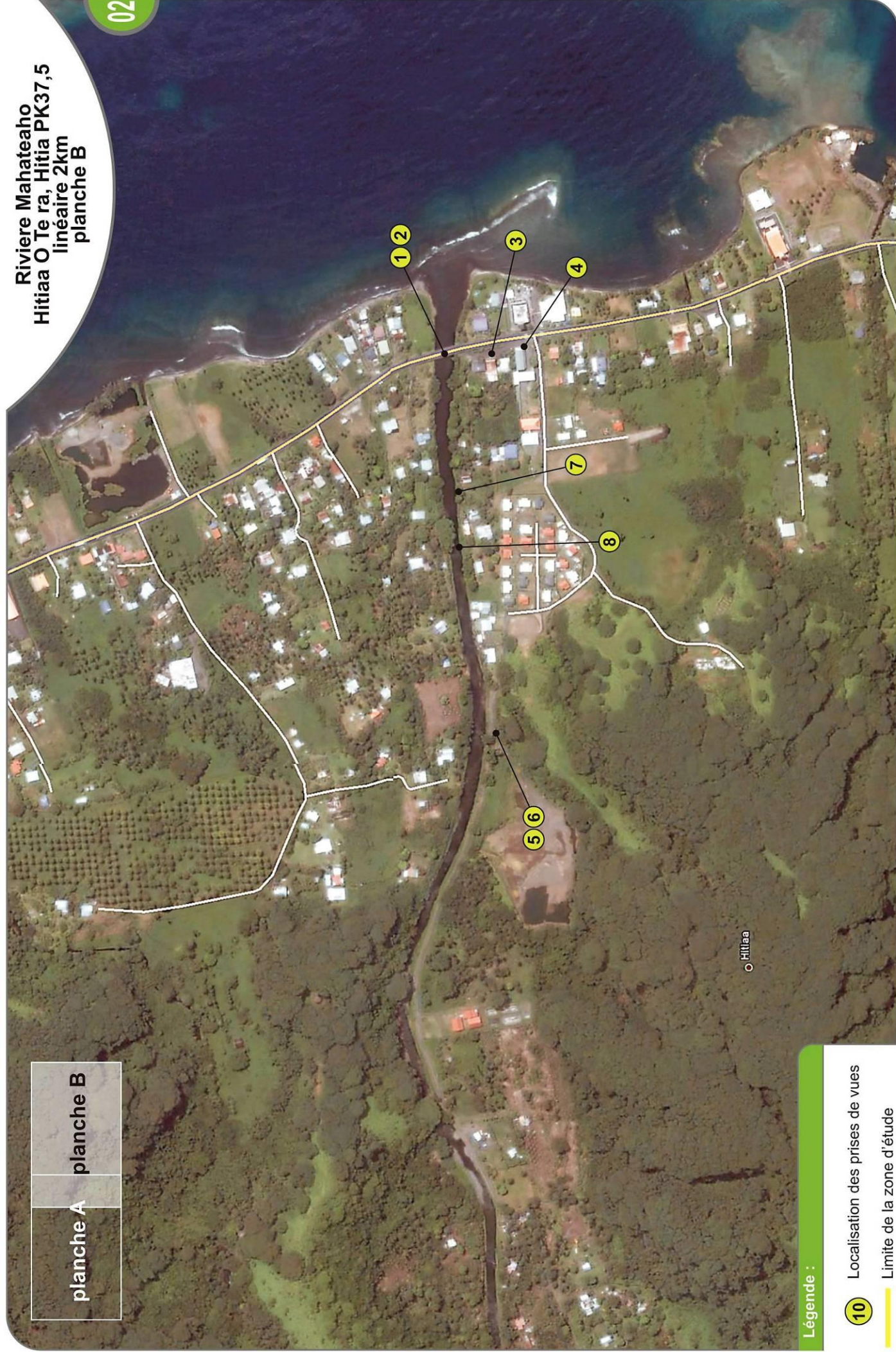
02

planche A planche B

Légende :

⑩ Localisation des prises de vues

— Limite de la zone d'étude



Annexe 2
Résultats de la modélisation Infoworks



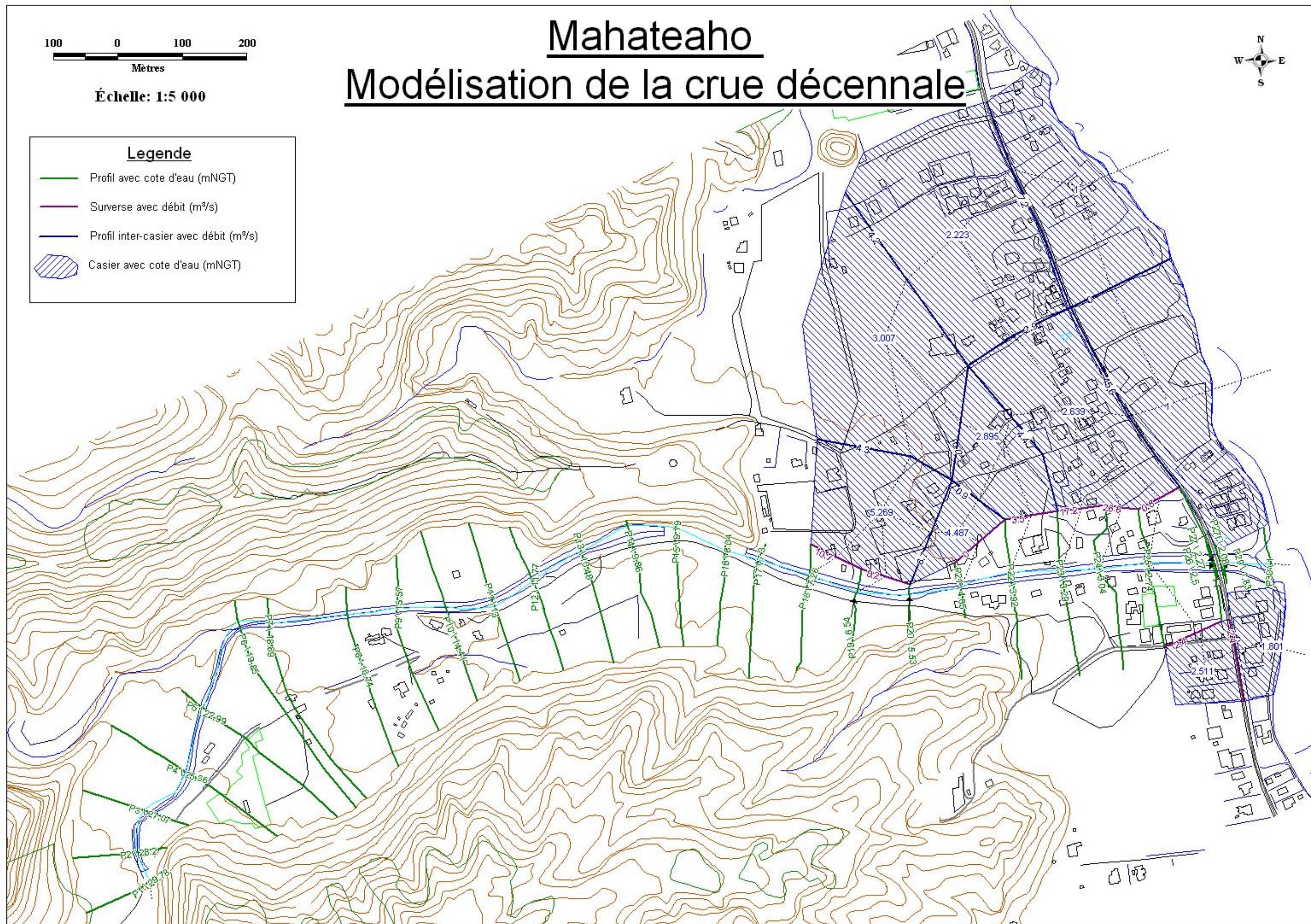
Échelle: 1:5 000

Legende

- Profil avec cote d'eau (mNGT)
- Surverse avec débit (m^3/s)
- Profil inter-casier avec débit (m^3/s)
- Casier avec cote d'eau (mNGT)

Mahateaho

Modélisation de la crue décennale



Mahateaho

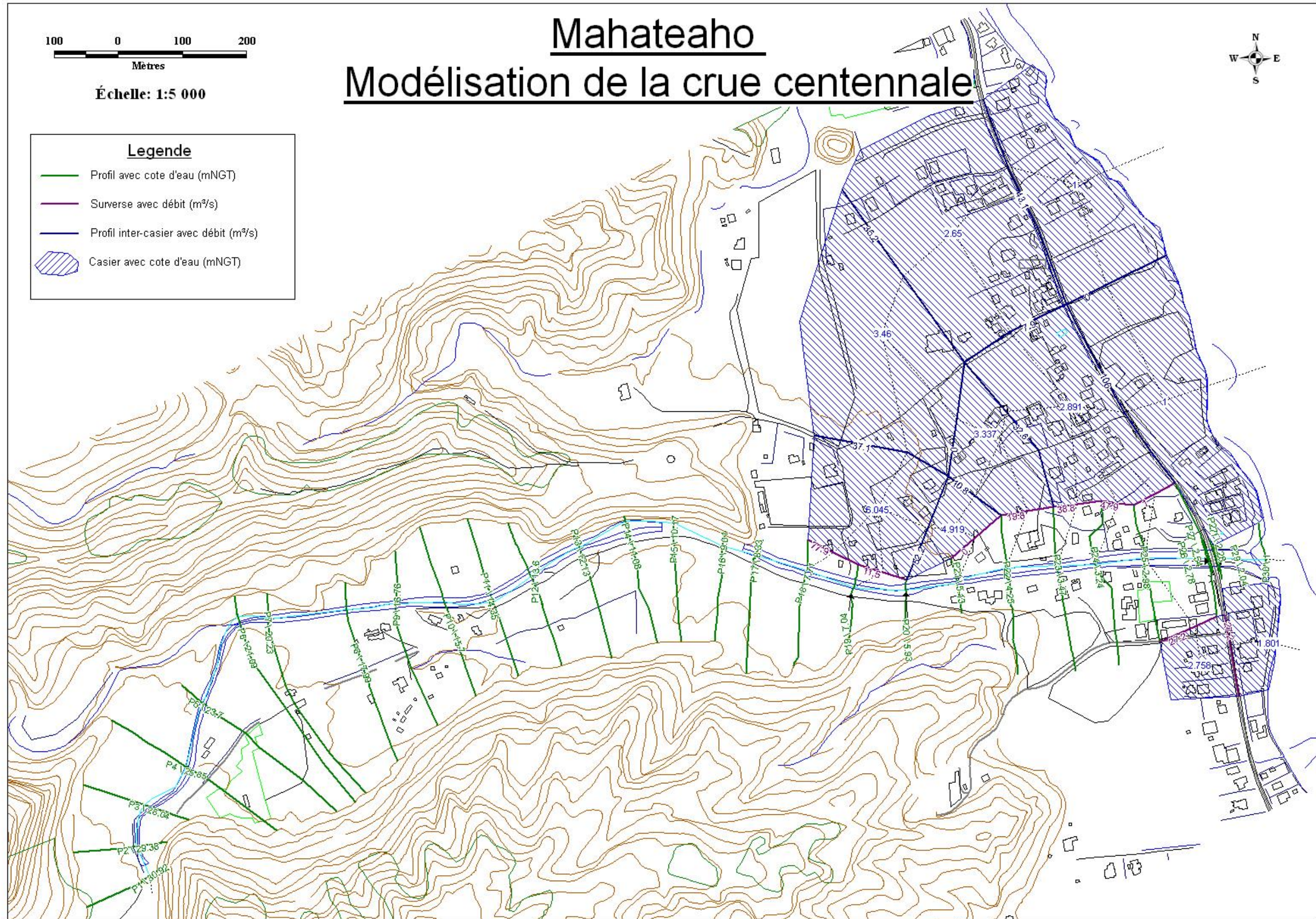
Modélisation de la crue centennale

100 0 100 200
Mètres

Échelle: 1:5 000

Legende

- Profil avec cote d'eau (mNGT)
- Surverse avec débit (m^3/s)
- Profil inter-casier avec débit (m^3/s)
- Casier avec cote d'eau (mNGT)





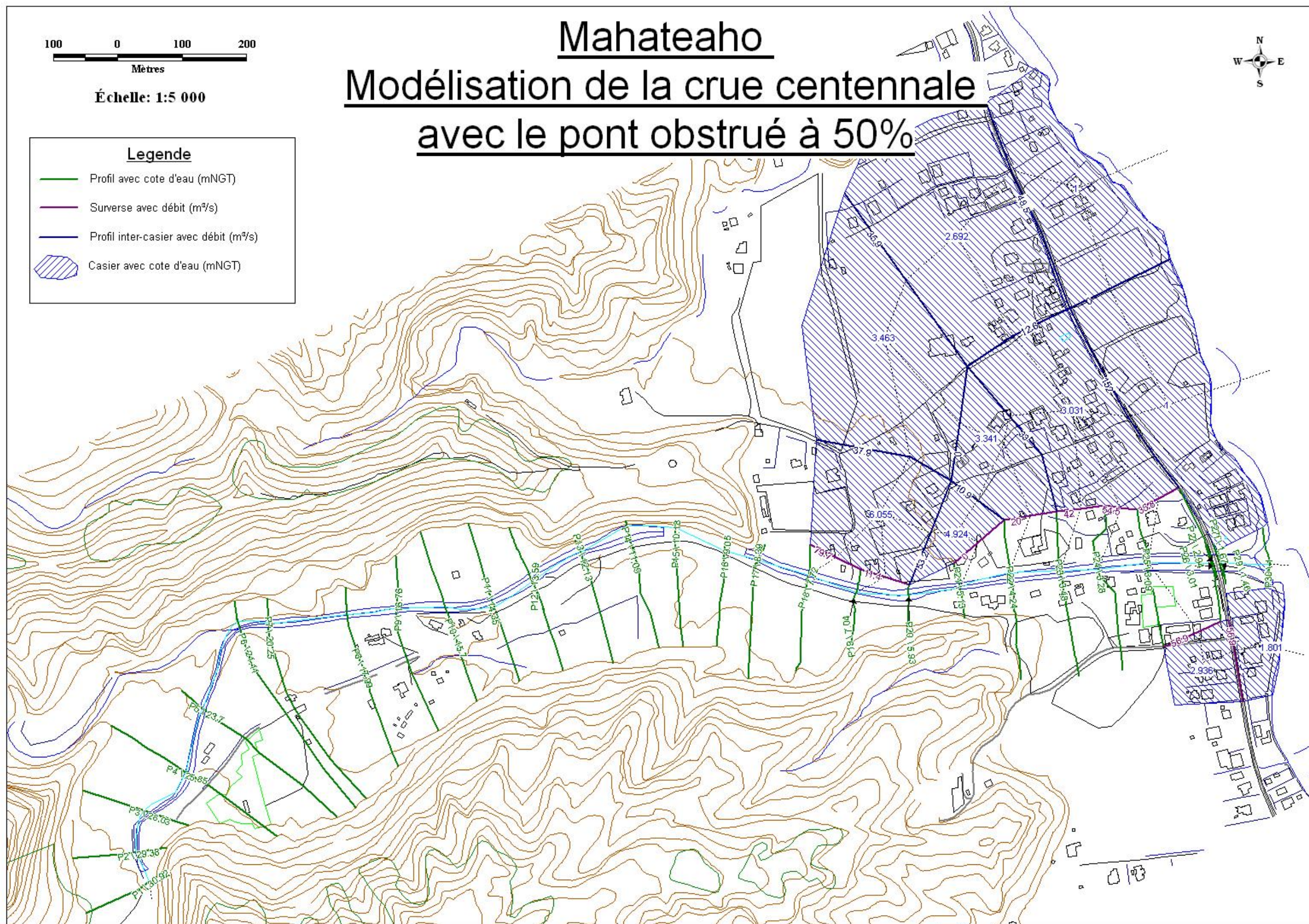
Échelle: 1:5 000

Legende

- Profil avec cote d'eau (mNGT)
- Surverse avec débit (m^3/s)
- Profil inter-casier avec débit (m^3/s)
- Casier avec cote d'eau (mNGT)

Mahateaho

Modélisation de la crue centennale avec le pont obstrué à 50%





Échelle: 1:5 000

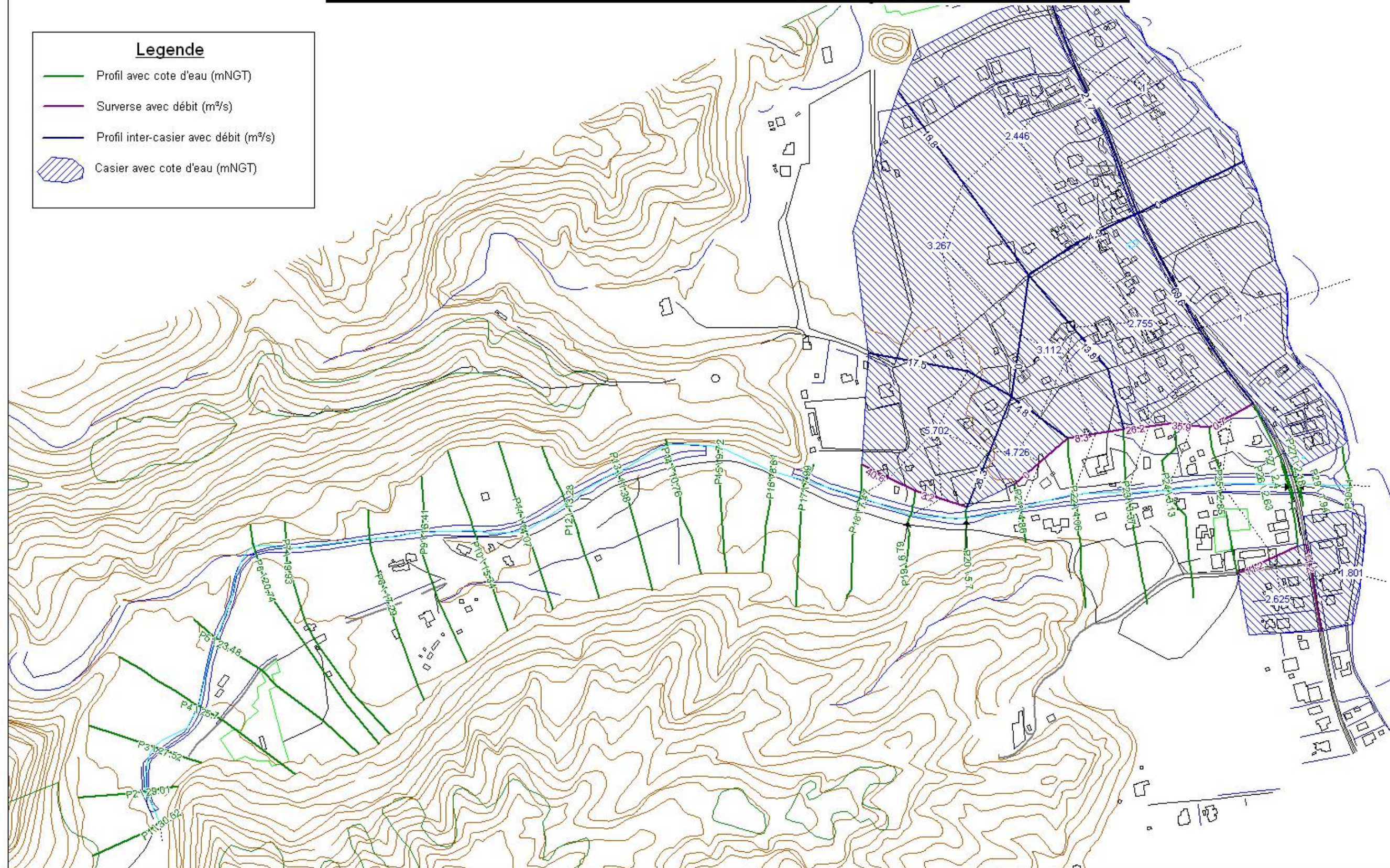
Mahateaho

Modélisation de la crue du cyclone Veena



Legende

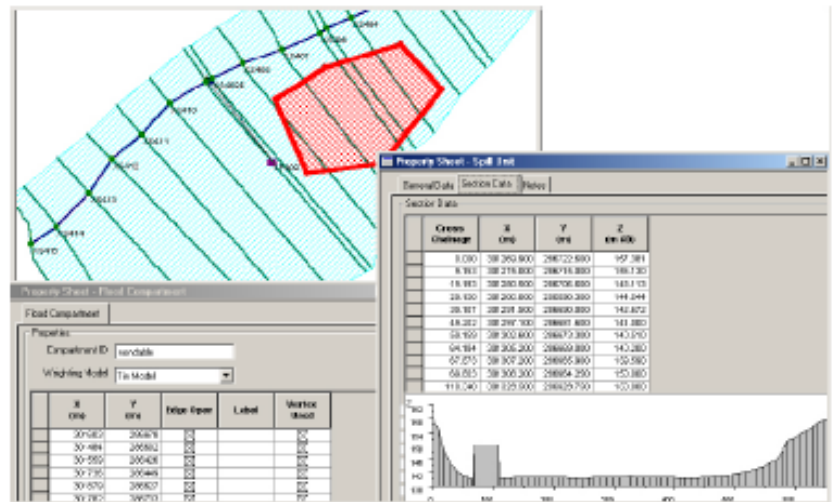
- Profil avec cote d'eau (mNGT)
- Surverse avec débit (m^3/s)
- Profil inter-casier avec débit (m^3/s)
- Casier avec cote d'eau (mNGT)



Profil	Crue decennale				Crue centennale				Crue centennale pont obstrué 50%				Crue du cyclone Veena			
	Cote (mNGT)	Vitesse rive gauche (m³/s)	Vitesse lit mineur (m³/s)	Vitesse rive droite (m³/s)	Cote (mNGT)	Vitesse rive gauche (m³/s)	Vitesse lit mineur (m³/s)	Vitesse rive droite (m³/s)	Cote (mNGT)	Vitesse rive gauche (m³/s)	Vitesse lit mineur (m³/s)	Vitesse rive droite (m³/s)	Cote (mNGT)	Vitesse rive gauche (m³/s)	Vitesse lit mineur (m³/s)	Vitesse rive droite (m³/s)
P1	29.783	1.40	6.88	2.65	30.919	1.80	6.57	3.10	30.92	1.80	6.57	3.10	30.521	1.78	5.93	2.91
P2	28.205	0.00	4.37	0.65	29.378	0.53	3.86	1.22	29.377	0.53	3.86	1.22	29.014	0.25	3.60	0.96
P3	27.066	0.00	4.11	0.29	28.035	0.67	4.56	1.04	28.033	0.67	4.57	1.04	27.518	0.00	4.29	0.75
P4	25.364	0.17	4.65	0.00	25.852	0.76	3.92	1.45	25.854	0.76	3.91	1.45	25.695	0.58	3.65	1.23
P5	22.994	0.00	4.98	0.70	23.705	0.74	3.45	1.09	23.703	0.74	3.46	1.10	23.475	0.59	3.48	0.96
P6	19.854	0.00	4.89	0.41	21.093	0.00	4.34	1.06	21.107	0.00	4.30	1.05	20.742	0.00	4.05	0.93
P7	18.887	0.92	4.84	0.65	20.232	1.43	4.24	0.82	20.248	1.42	4.22	0.80	19.933	1.19	3.72	1.15
P8	16.738	0.00	4.22	0.00	17.992	0.00	4.08	0.45	17.994	0.00	4.08	0.45	17.288	0.00	4.14	0.00
P9	15.574	0.00	0.00	4.08	16.757	0.00	3.16	0.98	16.758	0.00	3.15	0.98	16.41	0.00	3.05	0.85
P10	14.409	0.00	4.76	0.74	15.703	0.50	4.34	0.98	15.704	0.50	4.34	0.98	15.342	0.57	4.05	0.87
P11	12.996	0.40	4.79	0.00	14.345	1.05	4.27	0.00	14.35	1.05	4.27	0.00	14.068	0.75	3.78	0.00
P12	11.765	0.63	4.28	0.00	13.598	1.23	3.41	0.63	13.592	1.23	3.41	0.63	13.275	0.97	2.68	0.49
P13	10.484	0.00	4.41	0.00	12.13	0.00	4.27	0.57	12.13	0.00	4.26	0.57	11.375	0.00	4.10	0.62
P14	9.856	0.00	3.15	0.39	11.084	0.00	3.26	0.79	11.093	0.00	3.25	0.79	10.758	0.00	2.79	0.68
P15	9.194	0.17	3.44	0.40	10.167	0.40	3.86	0.70	10.177	0.40	3.85	0.69	9.715	0.32	3.55	0.82
P16	8.042	0.00	4.45	0.00	9.014	0.00	5.11	0.59	9.049	0.00	5.06	0.56	8.607	0.00	4.53	0.40
P17	7.298	0.27	4.31	0.21	8.33	0.72	4.77	0.90	8.388	0.72	4.69	0.90	7.993	0.54	4.16	0.63
P18	7.261	0.60	2.97	0.60	7.714	0.96	3.77	0.91	7.719	0.96	3.77	0.91	7.475	0.75	3.29	0.73
P19	6.542	0.52	3.41	0.78	7.041	0.81	3.69	0.95	7.036	0.80	3.67	0.94	6.785	0.65	3.44	0.84
P20	5.534	0.00	3.75	0.93	5.932	0.00	3.92	1.15	5.926	3.91	1.14	0.00	5.697	3.80	1.03	0.00
P21	4.654	0.20	3.96	0.51	5.129	0.55	4.14	0.84	5.127	0.54	4.12	0.84	4.864	0.34	4.01	0.67
P22	3.915	0.96	2.87	0.27	4.248	1.16	3.35	0.54	4.243	1.16	3.35	0.53	4.064	1.04	3.07	0.39
P23	3.292	0.88	3.22	0.00	3.467	1.13	3.87	0.19	3.475	1.13	3.84	0.20	3.371	0.99	3.50	0.14
P24	3.036	0.63	2.64	0.33	3.24	0.76	2.90	0.44	3.28	0.74	2.78	0.44	3.127	0.69	2.75	0.38
P25	2.742	0.62	2.34	0.35	2.977	0.69	2.38	0.41	3.085	0.63	2.10	0.40	2.85	0.65	2.36	0.35
P26	2.497	0.45	1.78	0.35	2.778	0.47	1.65	0.39	3.013	0.29	0.94	0.25	2.628	0.46	1.71	0.37
P27	2.268	0.73	2.39	0.51	2.539	0.79	2.45	0.57	2.935	0.49	1.43	0.36	2.395	0.76	2.41	0.54
P27!	2.082	0.76	2.58	0.50	2.28	0.83	2.70	0.58	1.665	0.59	2.36	0.29	2.177	0.79	2.63	0.53
P29	1.835	0.00	3.10	0.34	2.041	0.00	3.21	0.48	1.459	0.00	2.79	0.00	1.938	0.00	3.14	0.41
P30	0	0.00	2.73	0.00	1	0.00	3.10	0.00	1	0.00	2.06	0.00	1	0.00	2.89	0.00

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).



Édition de seuils, zones de stockage

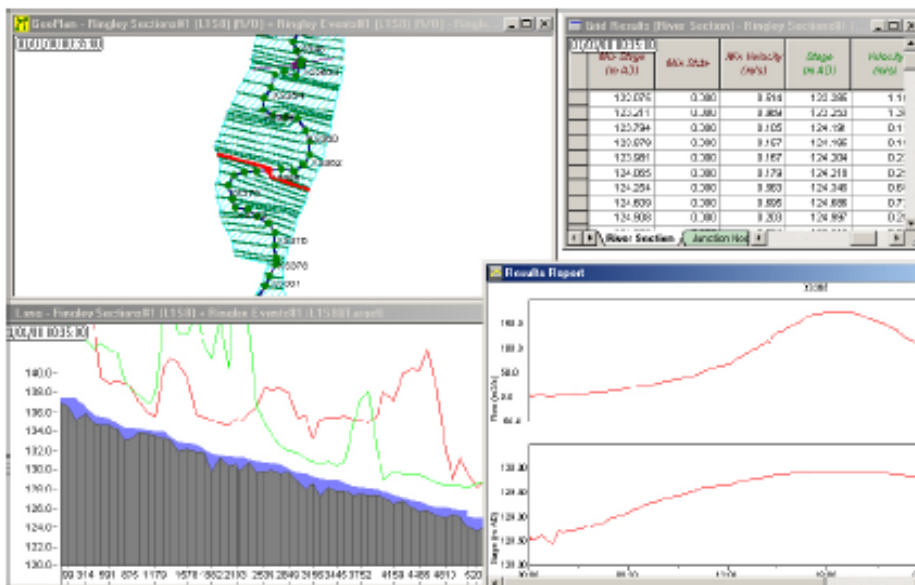
Moteur de calcul

- 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 :

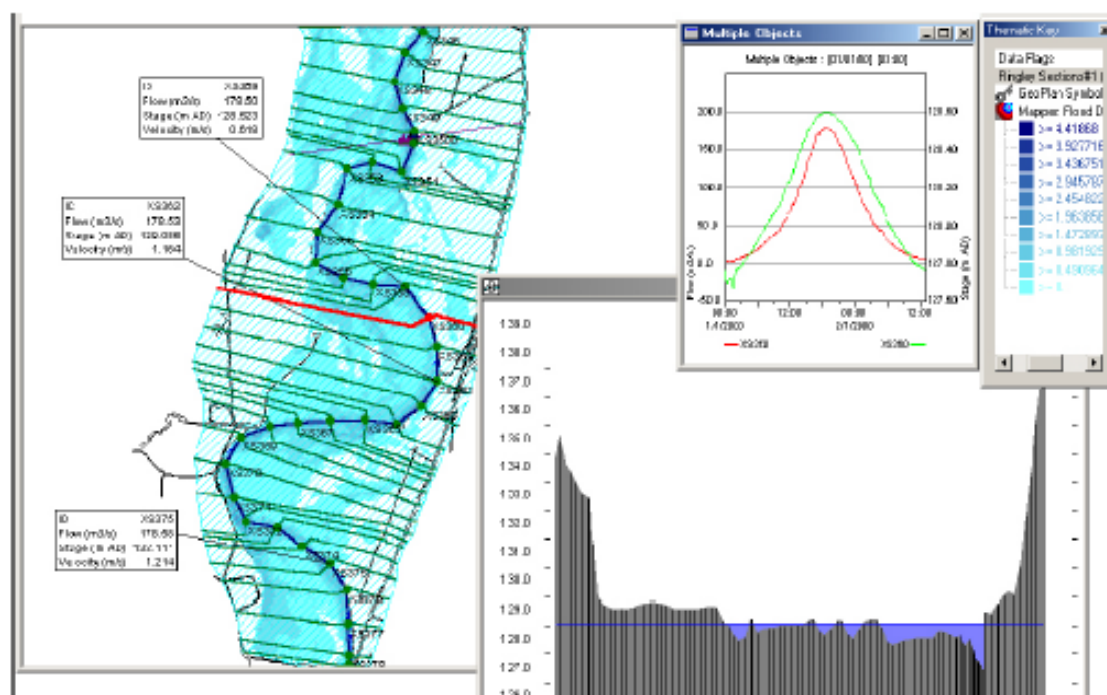
- Importation des modèles existants sous ISIS 2.0®.
- Importation au format CSV.
- Importation de bassins et polygones de stockage de MapInfo® et ArcView®.
- Exportation des données et résultats de simulation vers MapInfo® et ArcView®.
- Exporte les modèles vers ISIS 2.0®.

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