

Ministère de l'Aménagement
et des Relations avec les
Communes

Service de l'Urbanisme
Section Etudes et Plans

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

Programme ARAI
Cours d'eau : PAPEHUE



Rapport

GRI / N° 04635D

Décembre 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. Synthèse des inondations sur le secteur d'étude	10
2.3. Recueil de données	10
3. ANALYSE HYDROLOGIQUE	12
3.1. Généralités	12
3.2. Evaluation des débits de projet	13
3.2.1. Etude BCEOM de 1999	13
3.2.2. Etude LTPP de 2003 (J.Danloux)	14
3.2.3. Approche de P. STOLLSTEINER	14
3.3. Débits de projet retenus	15
4. MODELISATION HYDRAULIQUE	16
4.1. Le modèle mis en oeuvre	16
4.1.1. Conditions aux limites	17
4.2. hydrogrammes des crues de projet	17
4.3. Calage du modèle	18
4.4. profil en long du lit mineur	18
4.5. Simulation des crues de projet	21
4.5.1. Mécanismes d'écoulement en crue centennale	21
4.5.2. Mécanismes d'écoulement en crue décennale	23
4.5.3. Prise en compte du risque d'embâcles	23
4.5.4. Débits de premier débordement	24
4.6. Cartographie de l'aléa	26
4.6.1. Classification de l'aléa	26
4.6.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennal	26
5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS	27
5.1. Travaux d'urgence	27
5.2. la protection des zones habitées	27
5.2.1. Redimensionnement du pont au droit du profil P5	27
5.2.2. Redimensionnement du radier d'accès a l'usine de chloration	27
5.2.3. Redimensionnement du pont au droit du profil P18	27

5.2.4.	Protection à l'amont de la route Territoriale	28
5.2.5.	Redimensionnement du pont de la route Territoriale	28
5.3.	La mise en place d'un système d'alerte	29
5.4.	Les travaux d'entretien de la végétation	29
5.5.	Chiffrage estimatif	30

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 **PAPEHUE**, situé sur la commune de **PAEA**, au **PK 19.1**.

La cartographie du risque inondation est réalisée sur un linéaire de 1.4 km à partir de l'embouchure du cours d'eau.

Rivière Papehue
Paea, PK19,1, linéaire 1,4km
Plan de situation



2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN ET RECUEIL DE DONNEES

2.1. ENQUETE DE TERRAIN

Cette phase d'étude a permis :

- d'analyser le processus d'inondation et d'identifier les axes structurant les écoulements,
- d'identifier les données générales nécessaires à la mise en œuvre du modèle de simulation,
- de relever les informations concernant les inondations passées,
- d'identifier l'état d'occupation des sols.

Les principales observations relevées sur le terrain sont les suivantes :

*Remarque : la localisation des photographies ci-dessous est donnée en **annexe 1**.*



Photo1 : Ouvrage de franchissement amont



Photo 2 : Vue aval ouvrage

Le franchissement de la route d'accès à l'usine de chloration est assuré par un pont cadre de hauteur 1.80m et de largeur 3.50m, pour une section hydraulique totale de 6.3m². Cet ouvrage présente une importante fosse d'érosion aval. L'ouvrage est à prolonger par un radier en enrochements liés de manière à stopper le processus d'affouillement.

Sa section hydraulique est insuffisante pour de faibles débits de la rivière. En cas d'insuffisance, la route est submergée et l'accès à la zone urbanisée amont coupée.



Photo 3 : Radier d'accès à l'usine de chloration



Photo 4 : Canalisation AEP traversante

Au droit de la zone de chloration un radier donne accès à l'usine de chloration et à une zone habitée située en rive gauche de la rivière. Cette zone a été évacuée le 4 Mars 2009 par la Mairie, lors de fortes pluies. Lors de cet événement des débordements se sont produits en amont du radier, ont inondé la station de chloration, cassé le portail de la station et inondé sur près de 0.20m le jardin de la maison immédiatement en aval.

La présence du radier favorise le dépôt de sédiments à son amont (remontée du profil en long). La canalisation d'AEP située à l'amont du radier favorise l'accrochage des embâcles. En rive droite un merlon de tout venant limite les débordements vers la rive droite. De manière générale le lit est très encombré par la végétation.

Ce secteur sera à curer en priorité, la canalisation AEP devra être ensouillée dans le lit de la rivière. Il est conseillé la mise en place d'un pont permettant de limiter le risque d'isolement de la rive gauche habitée et de diminuer la fréquence des débordements qui empruntent la route en court-circuitant le lit de la rivière.



Photo 5 : Passerelle aval radier



Photo 6 : Etat du lit

En aval du radier se situe une passerelle d'accès à la zone habitée en rive gauche. Les berges sont protégées par des enrochements libres posés à forte pente. Etant donné les fortes vitesses d'écoulement en crue et les risques d'affouillement du lit, la stabilité de cette protection n'est pas avérée et devrait être confortée par une protection du radier en enrochements libres ou liés.



Photo 7 : Habitation M Kuntz : baie vitrée endommagée

Lors de l'épisode du 4 Mars 2009, des débordements se sont produits en amont du radier, et ont emprunté la route en provoquant des dégâts aux habitations situées de part et d'autre (murs de clôture, caves...). Il a été observé près de 0.50m sur la route avec des vitesses d'écoulement très fortes liées à la pente naturelle de la route.

Lors d'un épisode pluvieux datant de 1986, les riverains ont observé des excavations dans la route de près de 2m, liées à des débordements en provenance du radier amont.



Photo 8 et 9: Lit au niveau de la route du Marae Taata

Au niveau de la route du Marae Taata (photos 8 et 9) le lit a été recalibré et ses berges sont protégées par des enrochements. Il n'a pas été observé de débordements sur ce secteur lors du cyclone OLI ni lors de l'épisode 1998.

Sur ce secteur un ouvrage de franchissement de largeur moyenne 5m pour une hauteur de 2.70m permet le franchissement de la rivière.



Photo 10: Vue du lit amont



Photo 11 : OA franchissement RT (vue amont)

Le franchissement de la route territoriale est assuré par un pont cadre à une travée d'ouverture totale 5m, pour une section hydraulique totale de 7.5m². En amont du franchissement le lit du cours d'eau a été recalibré et est protégé par un perré en enrochements libres.

Cet ouvrage a été reconstruit suite à l'épisode de 1998. Lors de cet épisode l'ancien ouvrage a été détruit (blocage par embâcles) et la première maison située en rive gauche, inondée. A

noter que la RT est surélevée par rapport aux habitations amont et peut donc bloquer les écoulements en cas de débordements.



Photo 12: OA franchissement RT (vue aval)



Photo 13 : Vue aval pont RT

A l'aval du pont de la RT, seule la rive gauche est occupée par l'urbanisation. A noter une importante zone de dépôt au droit de l'embouchure.

2.2. SYNTHÈSE DES INONDATIONS SUR LE SECTEUR D'ÉTUDE

Les enquêtes de terrain fournissent les éléments suivants :

- Les dernières inondations connues remontent à l'épisode du 4 Mars 2009, des débordements se sont produits en amont du radier situé au droit de l'usine de chloration, et ont emprunté la route principale en provoquant des dégâts aux habitations riveraines. Il a été observé près de 0.50m sur la route avec des vitesses d'écoulement très fortes liées à la pente naturelle de la route.
- En 1998 : inondations au droit de l'ouvrage de franchissement de la route territoriale et inondation des habitations situées en rive gauche
- Lors d'un épisode pluvieux datant de 1986, inondations à partir du radier de l'usine de chloration : dégâts très importants sur la route d'accès à la vallée amont (même mécanisme d'inondation que lors de l'épisode de 2009).



2.3. RECUEIL DE DONNÉES

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

Ce levé est constitué de :

- 32 profils en travers du lit mineur et du lit majeur,
- Du levé spécifique trois ouvrages de franchissement et d'un radier.

3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1. GENERALITES

Le bassin versant de la **Papehue** se situe sur le secteur sous le vent de l'île de Tahiti.

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

Il n'existe pas de poste pluviographique à proximité du bassin versant de la Papehue. La station de mesure la plus proche est la station de Punaruu P1 située à une altitude de 600m.

Le bassin versant de la Papehue a une superficie de 5 km².

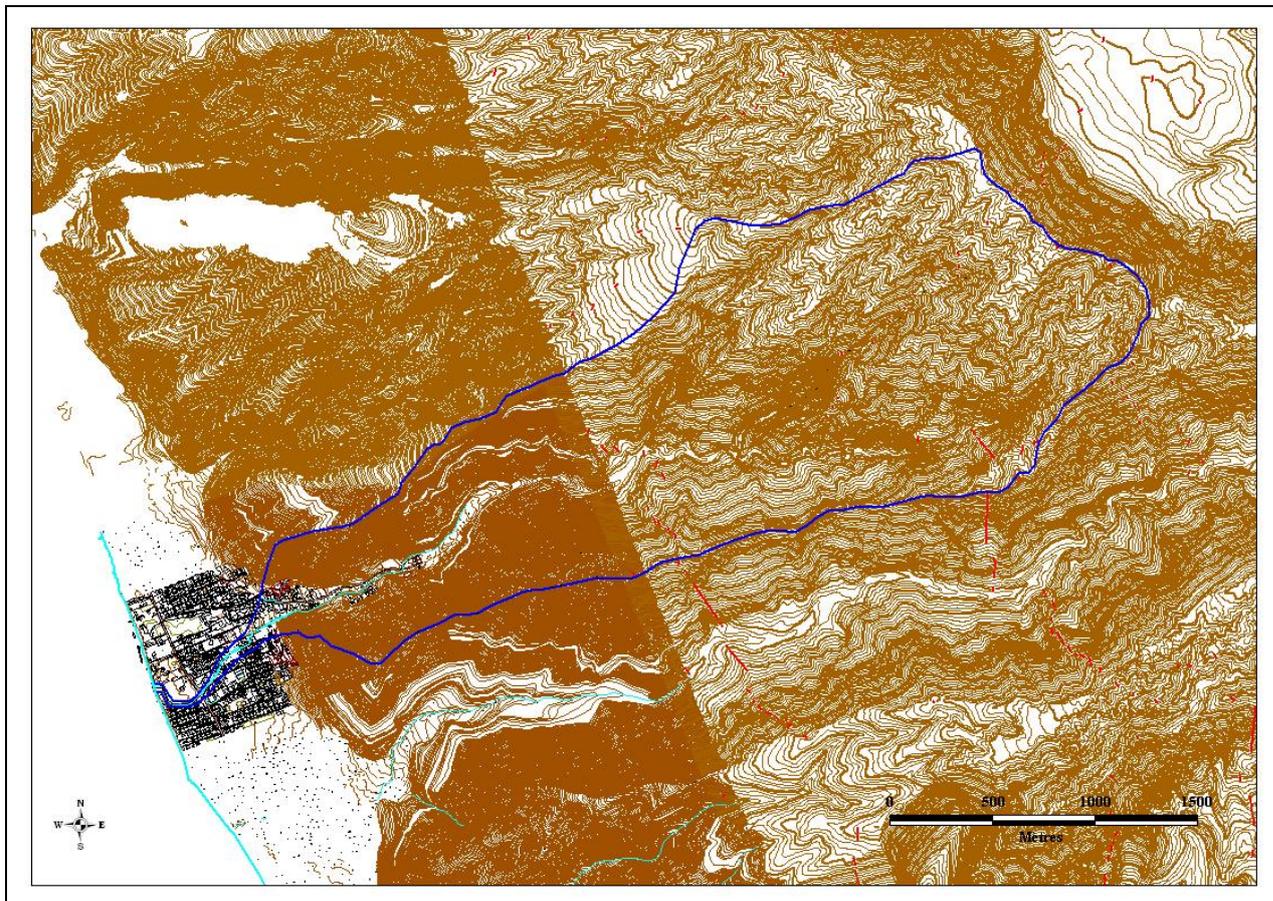
La forme de ce bassin est très allongée, avec un indice de compacité égal à 1.5.

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

Les principales caractéristiques du bassin versant sont les suivantes :

- Surface : 5 km²,
- Périmètre : 11.6 km
- Plus long cheminement hydraulique : 5.5 km,
- Longueur du rectangle équivalent : 4.9 km
- Gradex de la pluie centennale / 15mn : 35mm, (source : G.Wotling « Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti »)
- Dénivelée entre sommet du bassin et exutoire : 1250 m,
- Altitude moyenne : 594m
- Indice de pente : 224m/km
- Temps de concentration (Kirpich) : 0.5h.

Figure n°1 : Bassin versant de la Papehue



3.2. EVALUATION DES DEBITS DE PROJET

Différentes méthodes ont été utilisées pour calculer les débits de projet de la Papehue. 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 Papehue)
- S est la superficie drainée en km²

- Po est la moyenne sur le bassin versant de la hauteur de précipitations de période de retour 1 an en dixième de mm sur 15mn, soit 19mm,

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=35mm** pour la Papehue.
- un coefficient de passage du débit moyen au débit instantané de 1.5

3.2.2. Etude LTPP de 2003 (J.Danloux)

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

Cette étude comporte :

- le recensement, la critique et l'analyse des données hydrométriques en possession du GEGDP.
- L'évaluation sur les stations hydrométriques des rapports entre débit maximal connu et les débits caractéristiques de crue.
- L'évaluation des coefficients de Craeger correspondants pour la transposition de ces résultats aux autres rivières non suivies.

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

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

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

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

A : superficie du bassin versant en km².

C : coefficient de Craeger

3.2.3. Approche de P. STOLLSTEINER

P. STOLLSTEINER, dans le cadre d'une mission d'assistance technique pour l'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation en Polynésie française propose l'utilisation de la méthode Rationnelle pour la définition des débits de pointe décennaux et de la méthode du gradex pour l'évaluation des débits de pointe centennaux.

Cette méthode est préconisée pour des bassins versants pour lesquels on ne dispose pas de données observées.

Le coefficient de ruissellement décennal est régionalisé sur la base des ajustements débiométriques 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 Papeivi, le coefficient de ruissellement décennal retenu est de 0.31. Ce coefficient se rapporte à la pluie journalière mesurée et non à la pluviométrie journalière réellement reçue par le bassin versant.

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

3.3. DEBITS DE PROJET RETENUS

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

Etude	Méthode de calcul	Q10 en m ³ /s	Q100 en m ³ /s
Etude BCEOM de 1999	Formule empirique et gradex	28	95
Etude LTPP de 2003 J.Danloux)	Formule de Craeger + analyse statistique	30	71
P STOLLSTEINER	Méthode rationnelle et gradex	45	95

Tableau 1 : Comparaison des débits de projet obtenus

Les trois méthodes d'évaluation des débits convergent vers des valeurs proches. Il est proposé de retenir les valeurs obtenues par P.Stollsteiner, établies à partir d'une méthode permettant de prendre en compte la forte urbanisation du bassin aval de la rivière par le biais d'un coefficient de ruissellement spécifique à la zone d'étude.

Ces évaluations conduisent à des débits spécifiques de l'ordre de 19m³/s/km² pour le débit centennal et de 9 m³/s/km² pour le débit décennal.

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

Crue	Crue décennale	Crue centennale
Débit en m ³ /s	45	95

Tableau 2 : Débits de projet de la Papehue

4. MODELISATION HYDRAULIQUE

4.1. LE MODELE MIS EN OEUVRE

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

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

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

Equation de continuité exprimant la conservation des volumes.

$$\partial Q / \partial t + \frac{\partial(Q^2/S)}{\partial x} = -gS \left(\frac{\partial Z}{\partial x} + J \right)$$

*Equation dynamique exprimant la conservation
de la quantité de mouvement.*

La résolution de ces équations repose sur la connaissance de lois empiriques de pertes de charge établies expérimentalement pour des écoulements filaires (ex : formules de Manning Strickler, ou de Chézy, lois de seuils,...).

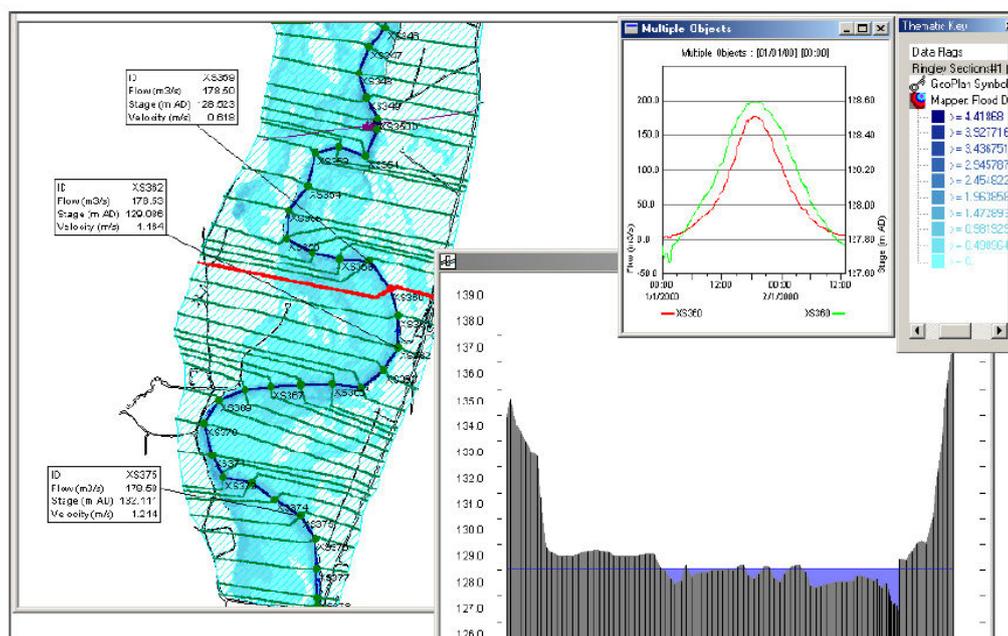
Z	cote de la surface libre
Q	débit
a	apport ou perte au m2
x	abscisse
S	section mouillée
J	gradient de charge hydraulique

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

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

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

Modèle Infoworks



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 décennale	45 m ³ /s	0 m NGT
Crue centennale	95 m ³ /s	1 m NGT

Tableau 3 : Conditions aux limites du modèle

4.2. HYDROGRAMMES DES CRUES DE PROJET

Il n'a pas été défini d'hydrogramme de crue pour le bassin versant de la Papehue : étant donné l'inexistence de zones de stockage et d'écrêtement des crues sur le secteur d'étude les modélisations ont été menées en régime permanent.

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 :

- 20 à 25 en lit mineur.
- 7 à 10 en lit majeur en fonction de la densité de la végétation.

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

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

Avec :

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

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

n2 : Variation des sections du canal (de 0.00 quand les variations de la dimension et de la forme de la section de la rivière se produisent graduellement, à 0.015 quand ces variations se produisent brusquement).

n3 : Degré d'obstruction à l'écoulement, dû au dépôt de débris et de roches (de 0.00 quand l'obstruction est négligeable, à 0.06 quand elle occupe un espace relativement important par rapport à la surface de la section).

n4 : Présence de végétation (de 0.005 pour des herbes souples dont la hauteur ne dépasse pas le tiers de la hauteur de l'écoulement, à 0.1 pour une hauteur moyenne de l'écoulement moins que la hauteur de la végétation et une densité importante d'arbustes).

m5 : Coefficient qui dépend du ratio entre les longueurs curviligne et droite du lit de l'oued (de 1.00 si ce ratio est entre 1 et 1.2, à 1.15 si ce ratio est entre 1.2 et 1.5 à 1.3 si ce ratio dépasse 1.5).

	n0	n1	n2	n3	n4	m5	n	K
Amont (P1-P10)	0.024	0.01	0.005	0	0.01	1	0.049	20
Médian (P10-P27)	0.02	0.01	0.005	0	0.01	1	0.045	22
Aval (P27-P32)	0.02	0.01	0.005	0	0.005	1	0.04	25

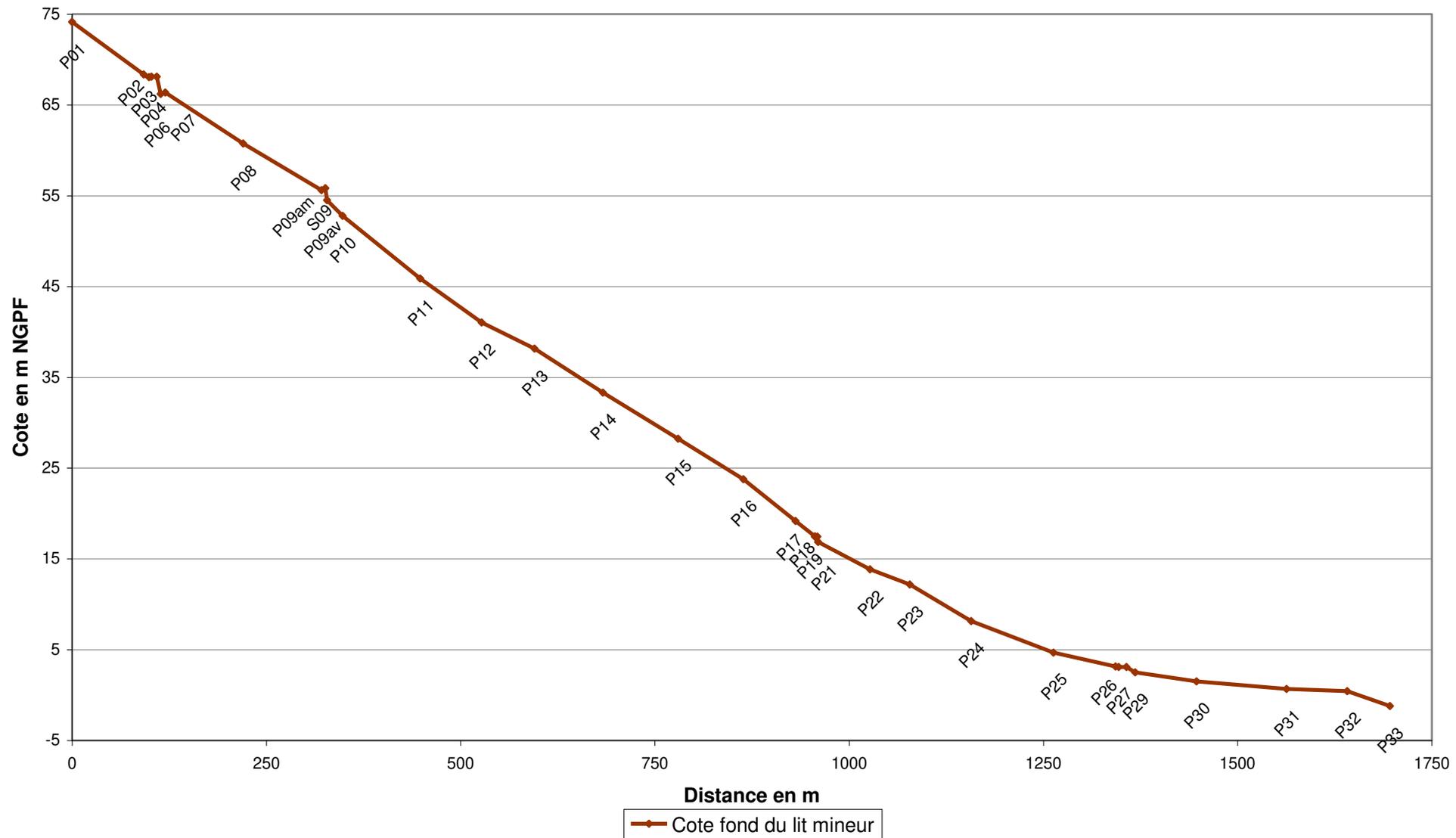
4.4. PROFIL EN LONG DU LIT MINEUR

Le profil en long du lit mineur est présenté sur la figure n°3. Il possède une pente extrêmement forte, de l'ordre de 6%, sur la plus grande partie de son cours (du profil P1 au profil P17).

Entre les profils P17 et P27 (route territoriale) cette pente reste forte et s'établit à une valeur de 3.9%.

A l'aval de la route territoriale la pente chute brutalement, et est évaluée à 0.8%. Ce secteur constitue un endroit privilégié pour le dépôt du transport solide de la rivière.

Figure n°3: 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 des ponts présents sur le secteur d'étude.

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

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

Les lignes d'eau sont données en figure 4.

4.5.1. Mécanismes d'écoulement en crue centennale

Secteur amont (profils P1 à P18)

Le premier point noir sur ce secteur se localise au droit de l'ouvrage de franchissement localisé au droit du profil P5. Cet ouvrage est très largement sous dimensionné pour le débit centennial. Pour une crue de ce type l'ouvrage est submergé et l'accès à la vallée coupé durant la crue. Il existe un risque de ruine de l'ouvrage : la fosse d'affouillement existante à son aval doit être colmatée.

Pont profil P5	Cote en m NGT
Cote sous poutre	69.76
Cote de surverse sur l'ouvrage	70.34
Cote d'eau en crue décennale	70.88
Cote d'eau en crue centennale	71.40
Mise en charge	<Q10

Le second point noir est localisé au niveau du radier permettant l'accès à l'usine de chloration. Cet ouvrage provoque un fort exhaussement des lignes d'eau en crue et favorise les débordements :

- Au droit de l'usine de chloration et de la zone habitée en rive gauche,
- En rive droite au droit de la route de desserte en provoquant des dommages sur les habitations situées en bordure de chaussée. . Pour un évènement centennial ces débordements sont évalués à une vingtaine de m³/s, avec de fortes vitesses d'écoulement

En dehors des deux points noirs mentionnés ci-dessus, la modélisation ne met pas en évidence de zones de débordement importante, mais la dynamique de la crue peut être aggravée par le risque de dépôts solides ou de flottants provoquant des embâcle dans le lit mineur.

De manière générale, les écoulements en crue sur ce secteur se caractérisent par des vitesses d'écoulement très fortes, comprises entre 5 et 6m/s. Ce secteur peut-être soumis à d'importantes attaques de berge. Des protections de berge existent sur tout le secteur, leur stabilité doit être évaluée vis-à-vis du risque d'affouillement en pied.

Secteur médian (profils P18 à P26)

Ce secteur, recalibré et protégé, présente de très fortes vitesses d'écoulement (proches de 5m/s).

Le premier point préférentiel de débordement est localisé au droit de l'ouvrage de franchissement situé au droit du profil P18. Cet ouvrage est largement sous dimensionné pour le débit centennal et provoque des débordements a son amont.

Pont profil P18	Cote en m NGT
Cote sous poutre	20.31
Cote de surverse sur l'ouvrage	20.74
Cote d'eau en crue décennale	20.57
Cote d'eau en crue centennale	21.42
Mise en charge	<Q10

Plus à l'aval il est observé des débordements en rive droite et en rive gauche liés a un sous dimensionnement du gabarit du cours d'eau. Des protections de berge existent sur tout le secteur, leur stabilité doit être évaluée vis-à-vis du risque d'affouillement en pied.

L'ouvrage de franchissement de la route territoriale est très largement sous dimensionné pour le débit centennal. Il constitue un point de blocage des écoulements et entraine une large submersion de la RT en période de crue.

Pont de la RT	Cote en m NGT
Cote sous poutre	4.64
Cote de surverse sur l'ouvrage	5.45
Cote d'eau en crue décennale	5.16
Cote d'eau en crue centennale	5.38
Mise en charge	<Q10

Le sous dimensionnement du pont de la RT provoque de larges débordements s'effectuant préférentiellement en rive droite du cours d'eau. Ces débordements submergent la route territoriale. Le sous dimensionnement de l'ouvrage de franchissement est accentué par les niveaux de crue existants à son aval (ouvrage

noyé par l'aval). Les déversements modélisés au droit de la route territoriale sont les suivants :

- 62m³/s en rive droite,
- 13 m³/s en rive gauche.

Secteur aval pont RT (P26-P32)

A l'aval de l'ouvrage de franchissement, la rivière déborde largement dans le coude situé entre les profils P29 et P31. La rive gauche, fortement urbanisée se situe à une altitude supérieure à la rive droite, et est marginalement touchée par des débordements en provenance de l'amont de la RT.

L'ensemble de la rive droite est inondée avec des hauteurs de submersion comprises entre 0.5 et 1m.

4.5.2. Mécanismes d'écoulement en crue décennale

Pour une crue décennale, les points noirs recensés sont les suivants :

- Submersion du pont amont (profil P5),
- Submersion du radier d'accès à l'usine de chloration,
- Submersion du pont profil P18
- Submersion du pont de la route territoriale (profil P26).
- Inondation de la rive droite à l'aval du pont de la RT.

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 des trois ouvrages de franchissement présents sur le secteur d'étude.

Ces obstructions amplifient les constats réalisés :

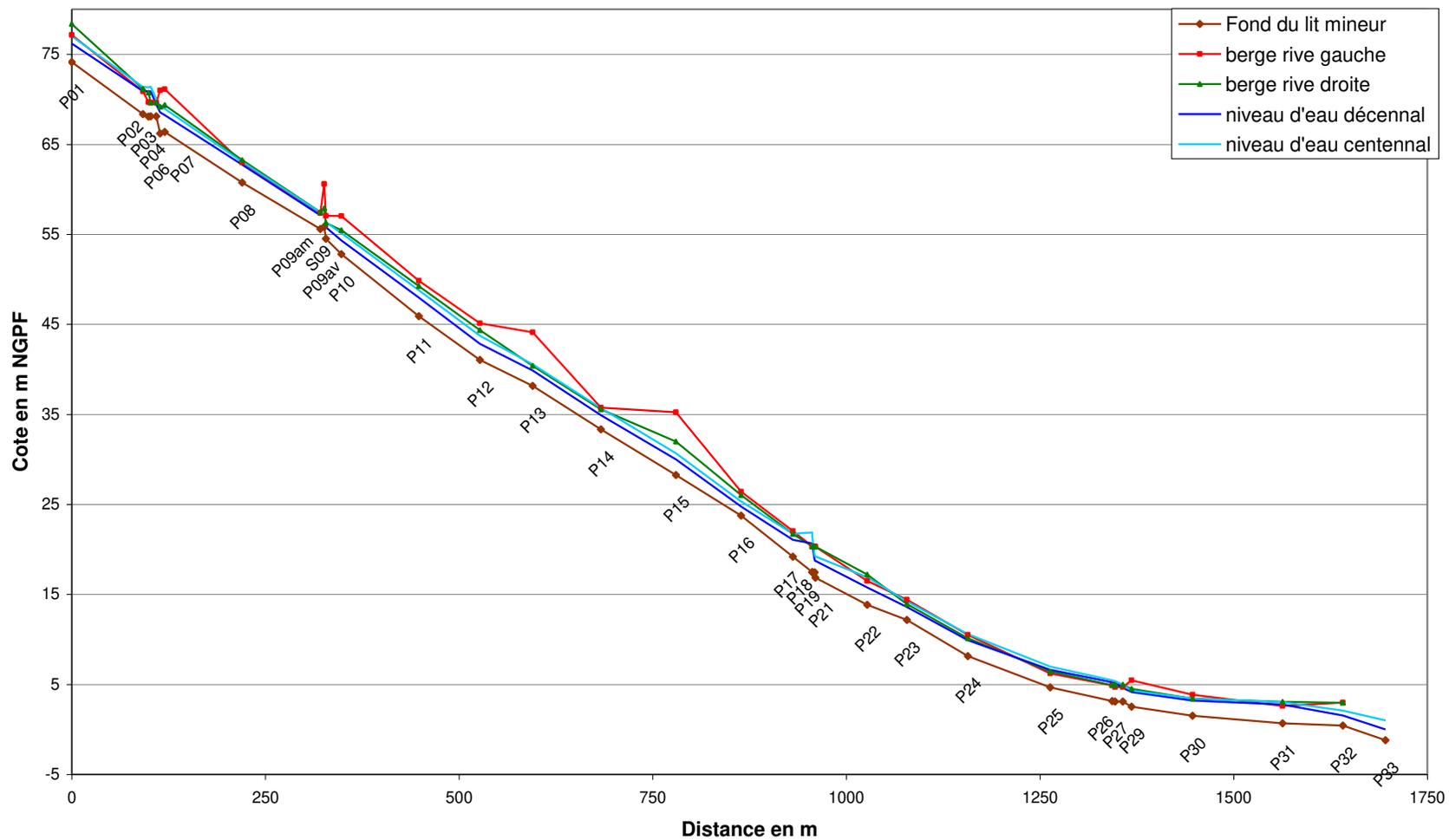
- Submersion du pont amont (profil P5) : seuls 12m³/s sur les 95 m³/s transitent dans l'ouvrage,
- Submersion du radier d'accès à l'usine de chloration
- Submersion du pont profil P18 : 37m³/s sur les 95 m³/s transitent dans l'ouvrage,
- Submersion du pont de la route territoriale (profil P26) : les débordements sont amplifiés en rive droite (68m³/s) au lieu de 62m³/s.

4.5.4. Débits de premier débordement

Les débits correspondant à un premier débordement de la rivière sont les suivants :

Profils	Débit de premier débordement (m ³ /s)	
	Rive gauche	Rive droite
P01		
P02		39
P03	30	22
P04	28	20
P04!		70
P06		81
P07		
P08		85
P09am	52	51
P09av		65
P10		
P11		
P12		
P13		
P14		
P15		
P16		
P17		89
P18		44
P19		46
P19!		
P21		
P22	62	
P23		65
P24	80	58
P25	42	34
P26	38	32
P27	34	37
P27!		
P29		50
P30		46
P31	22	33
P32		
P33		

Figure n°4: 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

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

Vitesse Hauteur	Vitesse < 0.5m/s	Vitesse > 0.5m/s
Hauteur < 0.5m	Faible	Moyen
0.5m < Hauteur < 1m	Moyen	Fort
Hauteur > 1m	Fort	Très fort

Tableau 4 : Définition des classes d'aléa

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

4.6.2. 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 5 m de large en bordure de lit mineur a été ajoutée à la cartographie finale.

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

5. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

5.1. TRAVAUX D'URGENCE

Ces travaux sont les suivants :

- L'ouvrage amont situé au profil P5 est à prolonger par un radier en enrochements liés de manière à stopper le processus d'affouillement.
- Radier d'accès à l'usine de chloration : curage du lit en amont du radier et ensouillement de la canalisation AEP à la traversée de la rivière.

5.2. LA PROTECTION DES ZONES HABITEES

5.2.1. Redimensionnement du pont au droit du profil P5

Cet ouvrage est submersible pour de faibles débits et provoque l'isolement en crue des zones habitées de la vallée amont.

Le pré-dimensionnement de la section de cet ouvrage pour le passage du débit centennal est de 30m², soit 10m d'ouverture pour une hauteur libre de 3m intégrant une revanche de 1m par rapport au tirant d'eau centennal pour le passage des flottants. Ce gabarit pourra être obtenu par un approfondissement du lit mineur de la rivière sur ce secteur.

De manière à limiter le coût de ces travaux, étant donné que la submersion de cet ouvrage ne menace pas de zones habitées, il peut-être envisagé une variante concernant le redimensionnement de cet ouvrage pour un événement de période de retour 10 ans. La section de l'ouvrage serait alors de l'ordre de 20m² et intègre également une revanche de 1m par rapport au tirant d'eau centennal.

5.2.2. Redimensionnement du radier d'accès à l'usine de chloration

Cet ouvrage constitue un risque important en cas de forte crue de la Papehue et est à l'origine de l'inondation de zones habitées en rive droite et en rive gauche.

Il est proposé la construction d'un pont. Le pré-dimensionnement de la section de cet ouvrage pour le passage du débit centennal est de 30m², soit 10m d'ouverture pour une hauteur libre de 3m intégrant une revanche de 1m par rapport au tirant d'eau centennal pour le passage des flottants.

5.2.3. Redimensionnement du pont au droit du profil P18

Cet ouvrage constitue un risque important en cas de forte crue de la Papehue et est à l'origine de l'inondation de zones habitées en rive droite et en rive gauche.

Le pré-dimensionnement de la section de cet ouvrage pour le passage du débit centennal est de 30m², soit 10m d'ouverture pour une hauteur libre de 3m intégrant une revanche de 1m par rapport au tirant d'eau centennal pour le passage des flottants.

5.2.4. Protection à l'amont de la route Territoriale

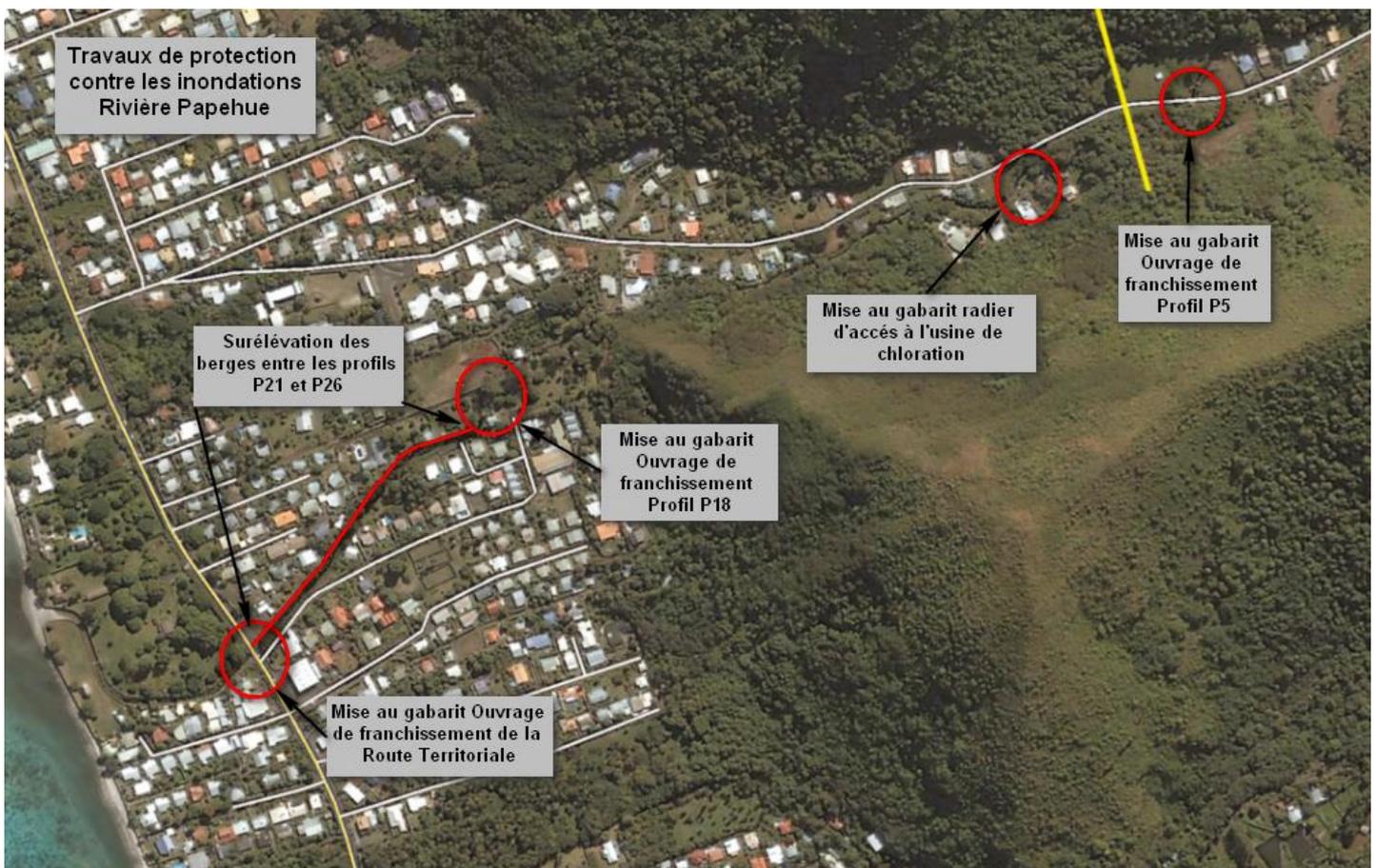
Les ouvrages de protection existant entre les profils P21 et P26 (enrochements libres, et perrés maçonnés) devront faire l'objet d'un diagnostic et le cas échéant être confortés vis-à-vis du risque érosion de berge. Sur ce secteur, étant données les fortes vitesses d'écoulement, il est préconisé la mise en place de protections par enrochements liés.

Il est proposé, après confortement des ouvrages existants, de réaliser une surélévation des berges en rive droite et en rive gauche sur une hauteur comprise entre 0.80 et 1 m (linéaire 380m soit 760m au total). Cet ouvrage pourrait être constitué par un muret en maçonnerie de moellons.

5.2.5. Redimensionnement du pont de la route Territoriale

Le dimensionnement hydraulique de cet ouvrage devra faire l'objet d'une étude hydraulique spécifique du fait de l'incidence des niveaux de crue aval qui limitent ses capacités d'évacuation.

Au stade actuel de l'étude il est proposé le dimensionnement d'un ouvrage d'ouverture 12m pour une hauteur libre de 2.50m.



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, en particulier pour la zone habitée aval et le secteur de la porcherie.

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

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

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

La fréquence d'entretien proposée est la suivante :

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

5.5. 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 de ces travaux, hors acquisitions foncières.

Désignation	Unité	Quantitatif	Prix unitaire HT en FCFP	Prix HT en FCFP
Surélévation berges entre les profils P21 et P26				
Muret maçonnerie de moellons (H=1m) y compris ancrage	m ³	570	40 000	22800000
Travaux complémentaires				
Reconstruction Pont Profil P5	F	1	25000000	25000000
Reconstruction Radier Usine de chloration	F	1	25000000	25000000
Reconstruction Pont Profil P18	F	1	25000000	25000000
Reconstruction Pont Route Territoriale	F	1	35000000	35000000
Sous Total				110000000
Total général				132800000
Divers et aléa 20%				26560000
TOTAL arrondi				159360000

Tableau 5: Chiffrage estimatif

ANNEXES

Annexe 1
Localisation des photos

Riviere Papehue
 Paea, PK19,1, linéaire 1,4km
 localisation des prises de vues



Légende :

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

Annexe 2
Résultats de la modélisation Infoworks

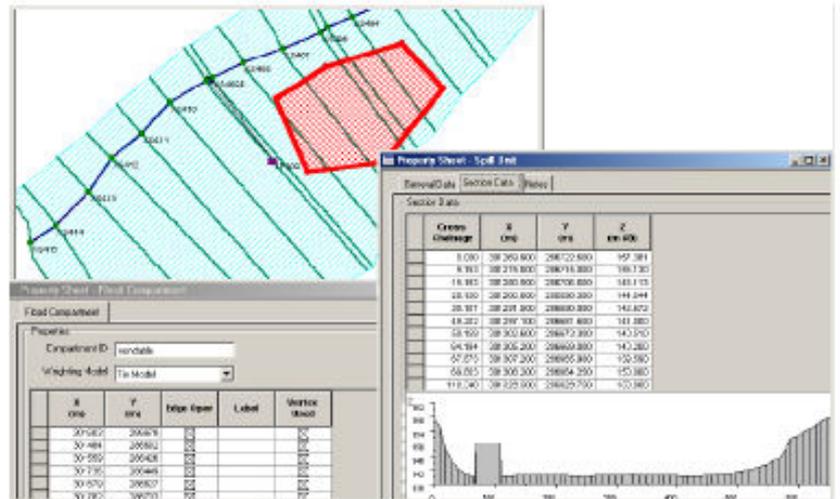
Débit par surverse (m³/s)

Nom	Crue décennale	Crue centennale	Crue centennale - pont obstrué 50%
S04	18.94	62.94	72.71
S09	44.80	94.96	94.95
SD02	0.10	3.75	4.54
SD03	1.70	4.91	5.57
SD07	1.79	8.66	10.11
S19	0.00	4.96	15.23
S27	21.43	62.37	67.86
SC19	0.00	25.52	43.02
SCG27	0.00	13.30	12.88
SD17	0.00	25.48	43.02
SG22	0.00	2.33	5.30
SG26	3.72	12.58	12.05
SG27	0.00	0.72	0.82

Profils	Z_Fe en m NGPF	Crue décennale				Crue centennale				Crue centennale pont obstrué de 50%			
		Cote (m NGPF)	Vitesse rive gauche (m/s)	Vitesse lit mineur (m/s)	Vitesse rive droite (m/s)	Cote (m NGPF)	Vitesse rive gauche (m/s)	Vitesse lit mineur (m/s)	Vitesse rive droite (m/s)	Cote (m NGPF)	Vitesse rive gauche (m/s)	Vitesse lit mineur (m/s)	Vitesse rive droite (m/s)
P01	74.14	76.21	0.0	4.9	0.0	77.0	0.0	6.1	0.0	77.0	0.0	6.1	0.0
P02	68.36	70.91	0.5	3.2	0.0	71.4	0.7	5.4	0.0	71.4	0.8	5.3	0.0
P03	68.07	70.87	0.9	3.4	0.6	71.3	1.6	5.5	0.9	71.4	1.6	5.2	0.8
P04	68.11	70.88	0.8	3.7	0.9	71.4	1.3	4.9	1.2	71.5	1.3	4.5	1.1
P04!	68.11	69.42	0.0	8.7	0.6	70.0	1.8	10.5	2.5	70.2	1.8	10.4	2.4
P06	66.2	68.54	0.0	3.9	0.0	69.2	0.0	4.8	0.4	69.2	0.0	4.7	0.5
P07	66.37	68.24	0.0	5.6	0.0	68.9	0.0	5.5	0.0	68.9	0.0	5.5	0.0
P08	60.74	62.73	0.0	3.6	0.5	63.1	0.3	5.8	0.9	63.1	0.3	5.7	0.9
P09amont	55.6	57.12	0.5	5.0	1.6	57.4	0.6	4.4	2.0	57.4	0.6	4.4	2.0
P09aval	54.52	55.78	0.0	6.3	0.6	56.4	0.0	7.6	1.0	56.4	0.0	7.6	1.0
P10	52.8	54.31	0.0	4.3	0.0	55.1	0.0	5.5	0.0	55.1	0.0	5.5	0.0
P11	45.89	47.97	0.0	6.3	0.0	48.8	0.0	7.8	0.0	48.8	0.0	7.8	0.0
P12	41.04	42.84	0.0	4.5	0.0	43.7	0.0	5.4	0.0	43.7	0.0	5.5	0.0
P13	38.16	39.88	0.0	5.1	0.0	40.5	0.0	6.7	0.5	40.6	0.0	6.7	0.5
P14	33.32	34.91	0.0	5.3	0.0	35.7	0.0	6.1	0.5	35.7	0.0	6.2	0.5
P15	28.25	30.00	0.0	4.8	0.0	30.7	0.0	6.5	0.0	30.7	0.0	6.4	0.0
P16	23.76	24.75	0.0	5.5	0.0	25.3	0.0	6.7	0.0	25.3	0.0	6.8	0.0
P17	19.18	21.07	0.0	3.9	0.0	21.7	0.0	5.3	0.0	21.9	0.0	4.8	0.0
P18	17.48	20.66	0.0	2.6	0.0	21.9	0.5	2.5	0.5	22.2	0.4	1.6	0.3
P19	17.46	20.57	0.0	2.8	0.0	21.4	0.0	3.4	0.0	22.0	0.0	2.1	0.0
P19!	17.46	18.78	0.0	7.2	0.0	19.3	0.0	7.8	0.0	19.0	0.0	7.4	0.0
P21	16.85	18.72	0.0	5.4	0.0	19.2	0.0	6.3	0.0	18.9	0.0	5.7	0.0
P22	13.84	15.78	0.0	4.6	0.0	16.9	0.0	3.9	0.0	17.1	0.0	2.5	0.0
P23	12.17	13.59	0.0	4.9	0.0	14.2	0.0	5.8	0.8	14.2	0.0	5.8	0.8
P24	8.14	9.91	0.0	4.9	0.0	10.6	0.9	6.3	0.8	10.6	0.9	6.2	0.8
P25	4.67	6.63	0.6	3.6	0.4	7.0	1.0	4.4	0.7	6.9	1.0	4.4	0.7
P26	3.14	5.23	0.4	3.5	0.4	5.4	0.8	4.2	0.6	5.5	0.8	4.0	0.6
P27	3.1	5.17	0.5	3.1	0.4	5.4	0.7	3.4	0.6	5.4	0.7	3.2	0.6
P27!	3.1	4.60	0.0	5.9	0.4	5.0	1.0	8.1	0.8	4.9	1.0	7.9	0.7
P29	2.51	4.14	0.0	2.8	0.4	4.3	0.0	3.2	0.5	4.3	0.0	3.2	0.5
P30	1.52	3.21	0.0	2.8	0.4	3.4	0.0	2.7	0.5	3.4	0.0	2.7	0.5
P31	0.68	2.76	0.1	2.0	0.2	3.0	0.2	2.5	0.4	3.0	0.2	2.5	0.3
P32	0.42	1.54	0.0	1.9	0.0	2.1	0.0	2.1	0.0	2.1	0.0	2.1	0.0
P33	-1.2	0.00	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0

Annexe 3
Logiciel Infoworks

- Outils d'édition et de modification pour les profils, unité de déversement, casiers.
- Construction de zones (pour générer les cartes d'inondation sur le MNT importé).



Edition de seuils, zones de stockage

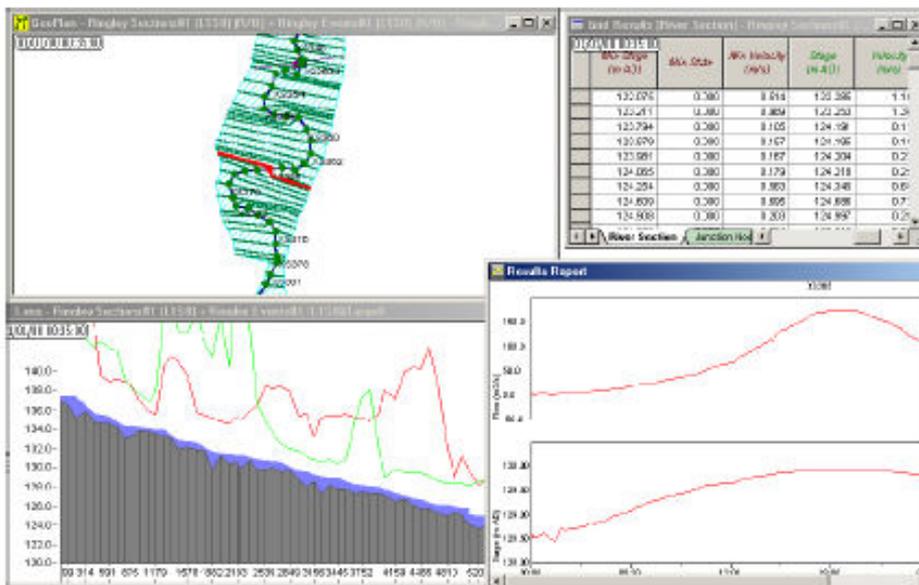
Moteur de calcul

- Utilise le moteur de calcul ISIS réputé pour sa gamme de structures hydrauliques et sa flexibilité.
- Inclus le modèle conceptuel pluie débit PDM (option) et les modèles de ruissellement (SCS, FSR, FEH).
- Régime permanent et transitoire.
- Utilisé dans plus de 30 pays dans le monde.

Interprétation des résultats

Visualisation simultanée des données, des résultats, avec animation en vue en plan et sous forme tabulaire.

- Représentation thématique des données et résultats sur fond de plan.
- Visualisation des données et résultats sous forme de table.
- Profil en long du canal avec ses hauteurs d'eau.
- Profil en travers avec ses hauteurs d'eau.
- Graphes débit, hauteur, vitesse, ... disponible à chaque point de calcul.



Résultats : grille, profil, graphes

Une solution intégrée

Transfert de données en import / export :

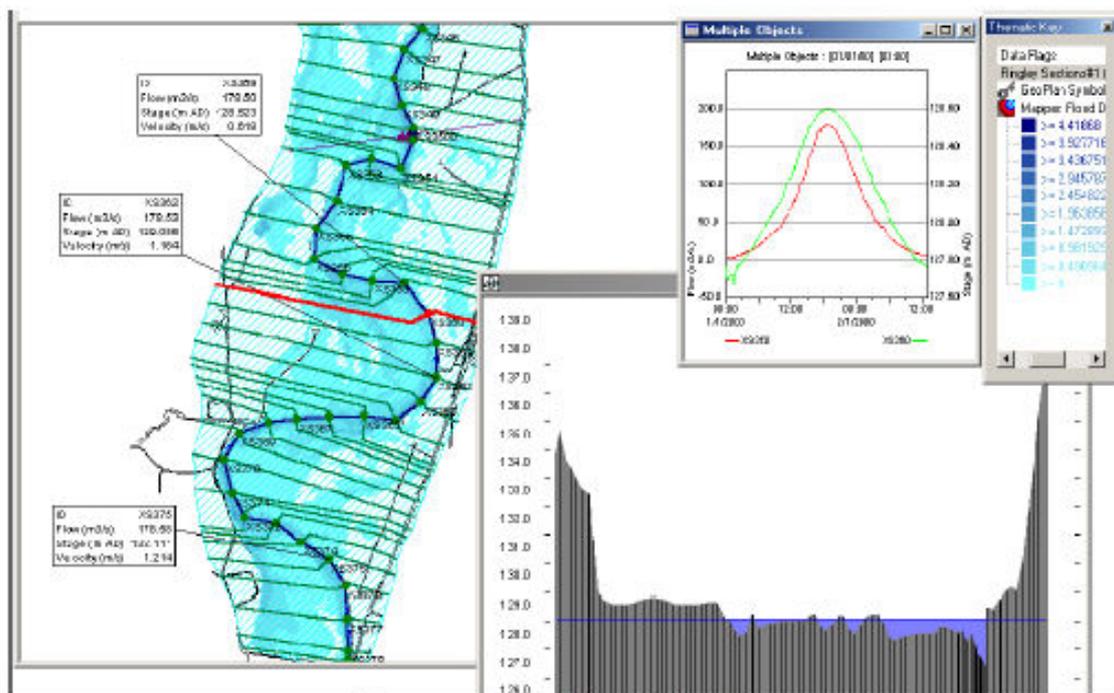
- Importation des modèles existants sous ISIS 2.0®.
- Importation au format CSV.
- Importation de bassins et polygones de stockage de MapInfo® et ArcView®.
- Exportation des données et résultats de simulation vers MapInfo® et ArcView®.
- Exporte les modèles vers ISIS 2.0®.

Visualisation dynamique des zones inondables

Ce modèle d'interpolation est bâti autour d'un Modèle Numérique de Terrain sous forme de TIN.

Il permet :

- La représentation instantanée des zones inondables de n'importe quel événement, comprenant l'animation complète.
- Le contour des hauteurs d'inondation.
- Les graphes des hauteurs d'eau en chaque point de la zone inondée.
- L'extraction et la localisation des hauteurs et durées d'inondation.



Résultats : zones inondables, profil, graphes

