

RAPPORT TECHNIQUE

CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DANS LE CADRE DES PLANS DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS DE POLYNESIE FRANÇAISE - VAIAMI (TAHITI)

22 septembre 2020



Informations relatives au document

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Auteur(s)	C. DENIZOT
Volume du document	Rapport technique
Version	V3
Référence	RIV0029

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédigé par	Visé par	Modifications
V1	7-Fev-2020	C. DENIZOT	B. OLIVIER	
V2	12-Fev-2020	C. DENIZOT	B.OLIVIER	
V3	22-Sept-2020	C. DENIZOT	J.MARMAGNE	

DESTINATAIRES

Nom	Entité
Dominique TARDY	SAU

SOMMAIRE

1 - CADRE ET OBJET DE L'ETUDE	6
2 - ENQUETES DE TERRAIN ET RECUEIL DE DONNEES	7
2.1 - Reconnaissance de terrain	7
2.2 - Recueil de données	22
3 - ANALYSE HYDROLOGIQUE	23
3.1 - Données fournies par le GEGDP	23
3.1.1 - Mesures hydrologiques	23
3.1.2 - Etudes hydrologiques	24
3.2 - Plus fort événement vécu	24
3.3 - Débits de projet	24
3.3.1 - Détermination des débits de projet.....	24
3.3.2 - Construction des hydrogrammes.....	25
4 - CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE	27
4.1 - Présentation du logiciel	27
4.2 - Construction du modèle	28
4.3 - Conditions aux limites	29
4.4 - Calage des paramètres du modèle hydraulique	29
5 - DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE EN ETAT ACTUEL	30
5.1 - Analyse des lignes d'eau et de la capacité du lit mineur	30
5.2 - Analyse de la zone inondable décennale	33
5.3 - Analyse de la zone inondable cinquantennale	33
5.4 - Analyse de la zone inondable centennale	33
5.5 - Analyse de la zone inondable centennale avec prise en compte d'hypothèses d'embâcles	34
5.6 - Analyse hydrogéomorphologique sur la partie amont de la Vaiami	34
5.6.1 - Présentation de la méthode hydrogéomorphologique.....	34
5.6.2 - Les outils utilisés.....	36
6 - CARTOGRAPHIE DE TYPE PPRI	37
6.1 - Risque d'érosion de berges	37
6.1.1 - Observations de terrain	37
6.1.2 - Analyse des photographies aériennes.....	37
6.1.3 - Estimation des forces tractrices de long des berges.....	38
6.1.4 - Définition des zones potentielles d'érosion et de la zone d'aléa fort.....	38
6.2 - Axes secondaires d'écoulement	38
7 - PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS	39
7.1 - Priorité 1 : Entretien du lit mineur	39

7.2 - Priorité 2 : Désobstruction des passerelles amont.....	39
7.3 - Priorité 3 : Amélioration des conditions d'écoulement en amont de la dérivation	40
7.3.1 - Reprise du pont amont.....	40
7.3.2 - Recalibrage du cuvelage béton à ciel ouvert en amont de la gendarmerie.....	41
7.3.3 - Reprise de l'ouvrage couvert sous la gendarmerie en amont du tronçon recalibré.....	42

REFERENCES

Légende 1 – Synthèse des données à la station pluviométrique de la Vaiami.....	23
Légende 2 – Evènements significatifs identifiés.....	24
Légende 3 – Synthèse des débits de projet de la Vaiami.....	25
Légende 4 – Hydrogrammes de la Vaiami.....	26
Légende 5 – Analyse de la capacité du lit mineur à ciel ouvert.....	30
Légende 6 – Profil en long et lignes d'eau de la Vaiami.....	31
Légende 7 – Analyse des ouvrages de la Vaiami.....	33
Légende 8 – Organisation d'une plaine alluviale fonctionnelle.....	35
Légende 9 – Estimation des forces tractrices.....	38
Légende 10 – Estimation du coût du pont amont PT2-PT3.....	41
Légende 11 – Estimation du coût du cuvelage béton.....	42
Légende 12 – Estimation du dalot sous la gendarmerie.....	43

1 - CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

Le cours d'eau étudié est la rivière Vaiami. Elle est située sur la commune de PAPEETE sur l'île de TAHITI.

Le linéaire à modéliser est de 1 km à partir de l'embouchure.

Dans le cadre de cette étude, il s'agit de cartographier l'aléa hydraulique de la Vaiami pour différentes crues de projet.

Pour cela, un modèle bidimensionnel a été mis en œuvre avec le logiciel INFOWORKS ICM.

Celui-ci permet de représenter les écoulements en lit majeur et de cartographier de façon précise le champ d'inondation.

L'objet de cette étude est de :

- Caractériser l'aléa inondation de la Vaiami pour différentes crues de projet
- Diagnostiquer les problèmes de débordements
- Proposer des solutions d'aménagement permettant de réduire le risque inondation sur le secteur

2 - ENQUETES DE TERRAIN ET RECUEIL DE DONNEES

Au préalable, une enquête de terrain a été réalisée pour avoir une bonne connaissance du secteur d'étude et recueillir les informations nécessaires à la réalisation de la prestation.

Un recueil de données a également été effectué de façon à prendre en compte les éléments existants sur le secteur d'étude.

2.1 - Reconnaissance de terrain

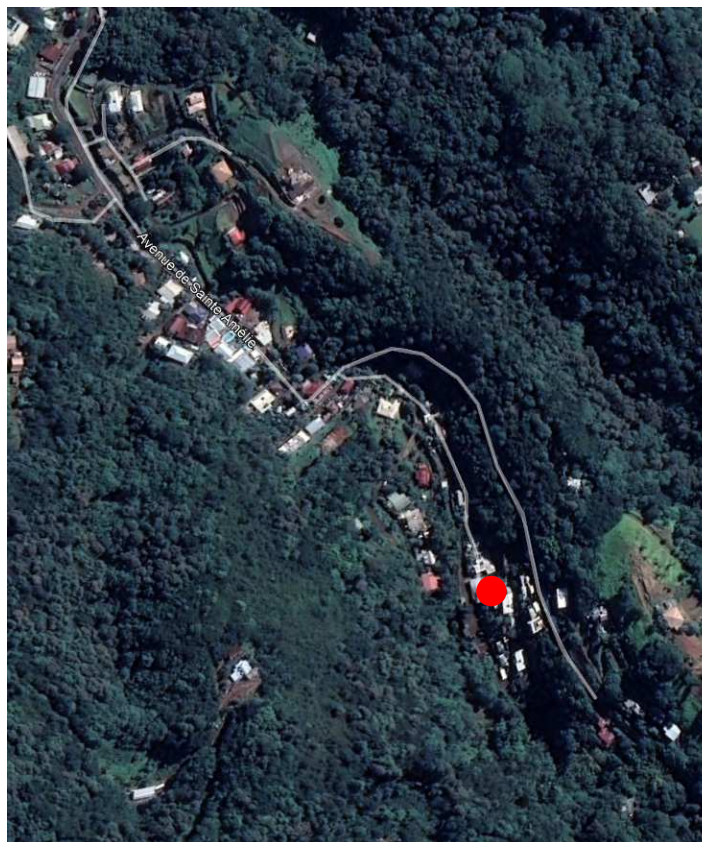
L'enquête de terrain a eu pour objectif de :

- D'analyser le fonctionnement de la Vaïami
- De visualiser l'état du lit (naturel, encombré, avec des embâcles...)
- De faire l'inventaire des ouvrages hydrauliques actuels
- De localiser les éventuels points sensibles de débordements et d'identifier leurs origines
- De recueillir des témoignages de riverains de façon à identifier d'éventuelles PHE (Plus Hautes Eaux)
- D'identifier les sous bassins versants du cours d'eau
- De faire l'inventaire des données topographiques nécessaires à la construction du modèle hydraulique

La rivière se décompose en deux parties :

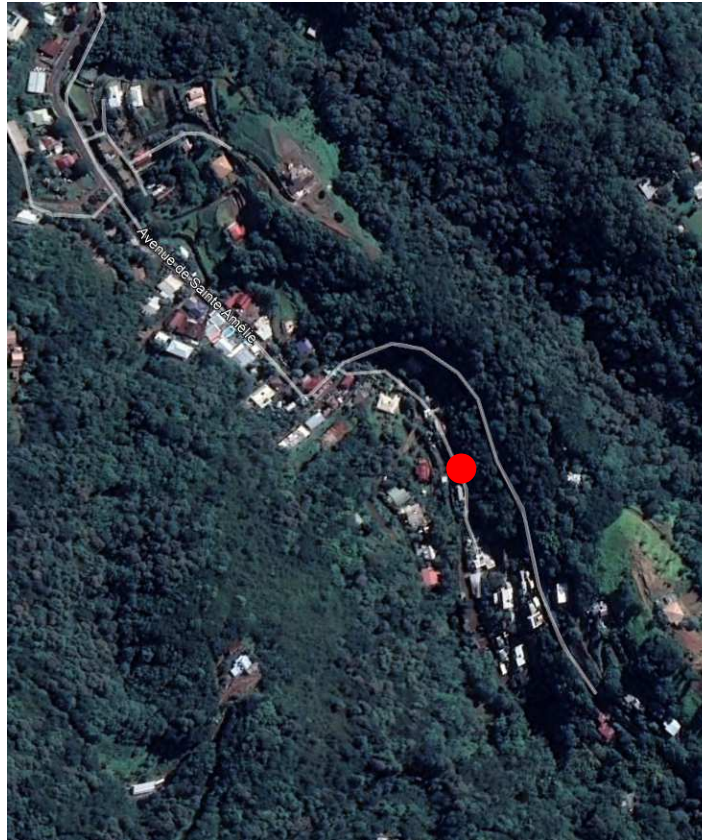
- Une partie amont avec un lit naturel
- Une partie aval entièrement canalisée constituée de 2 branches : 1 branche initiale de capacité limitée et 1 nouvelle branche en dérivation dimensionnée pour évacuer la majorité du débit

Les caractéristiques notables du cours d'eau, identifiées suite aux observations de terrain sont présentées ci-dessous :

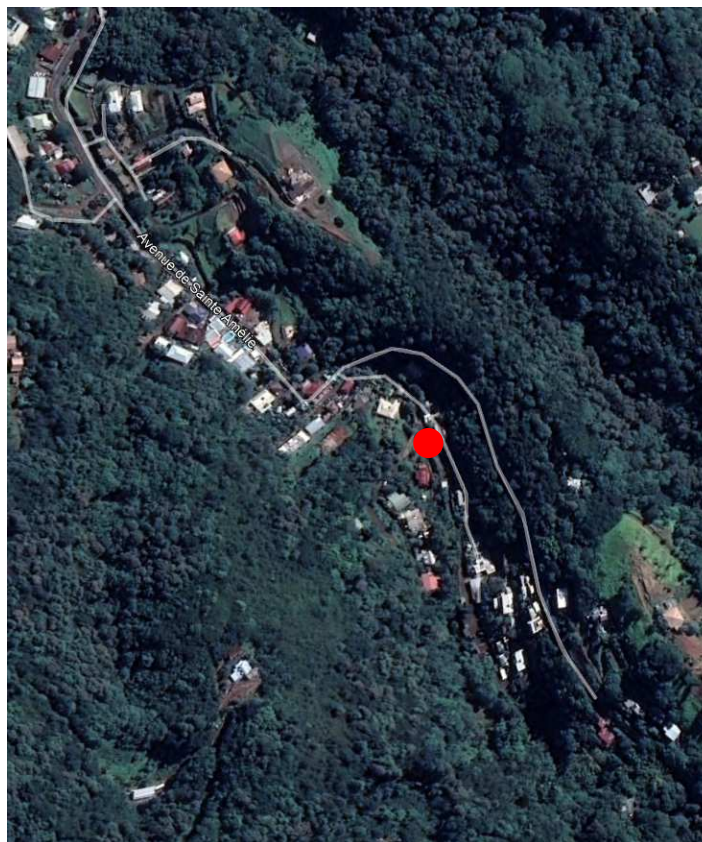


Amont de la zone d'étude

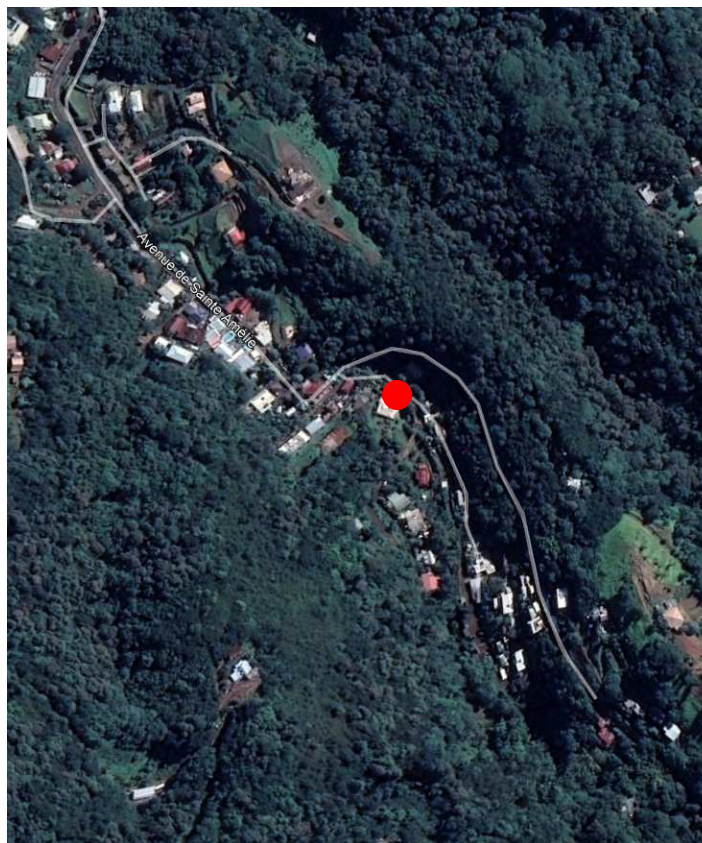
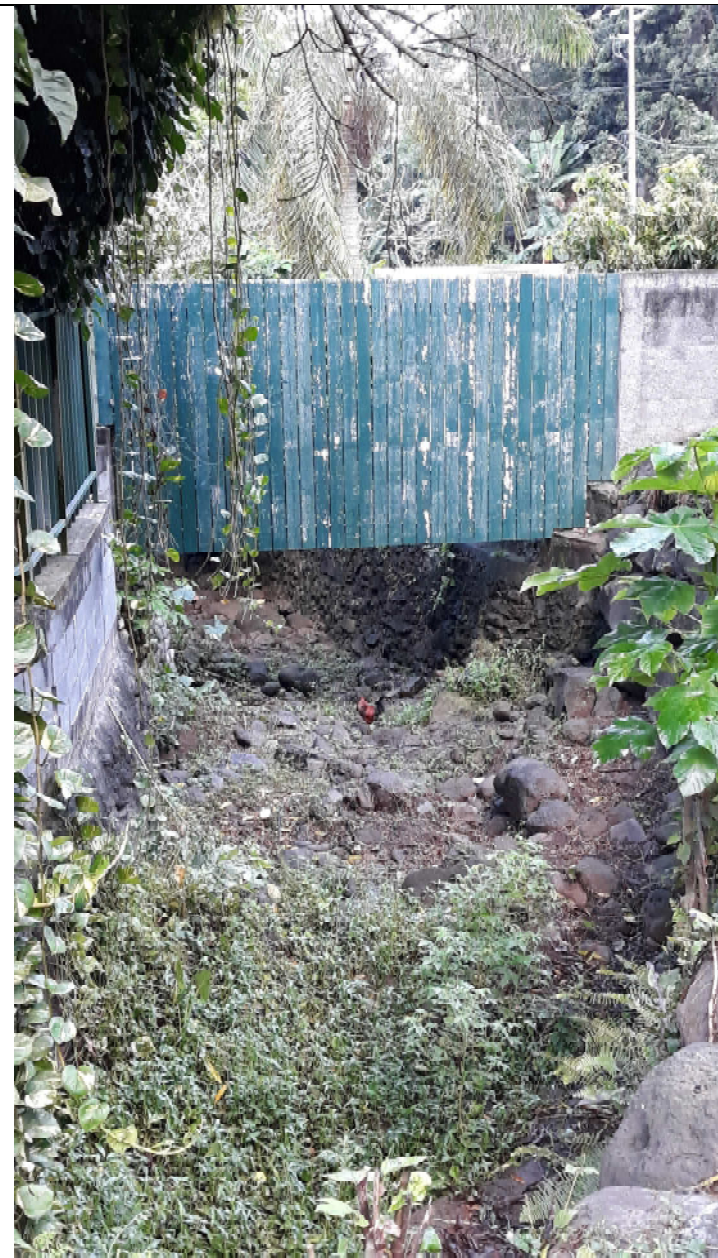
Le secteur amont est naturel avec des berges protégées par des enrochements.



Le lit mineur en amont est encombré avec une végétation importante et l'implantation de murs privés empiétant sur le lit vif de la Vaiami.

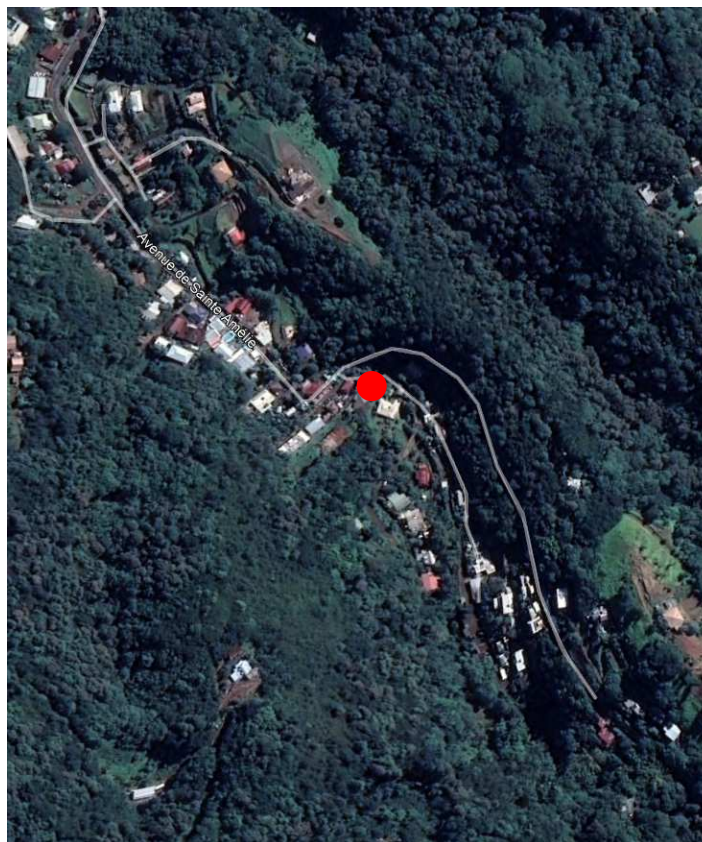


Plusieurs passerelles permettant l'accès aux habitations sont implantées sur la partie amont.

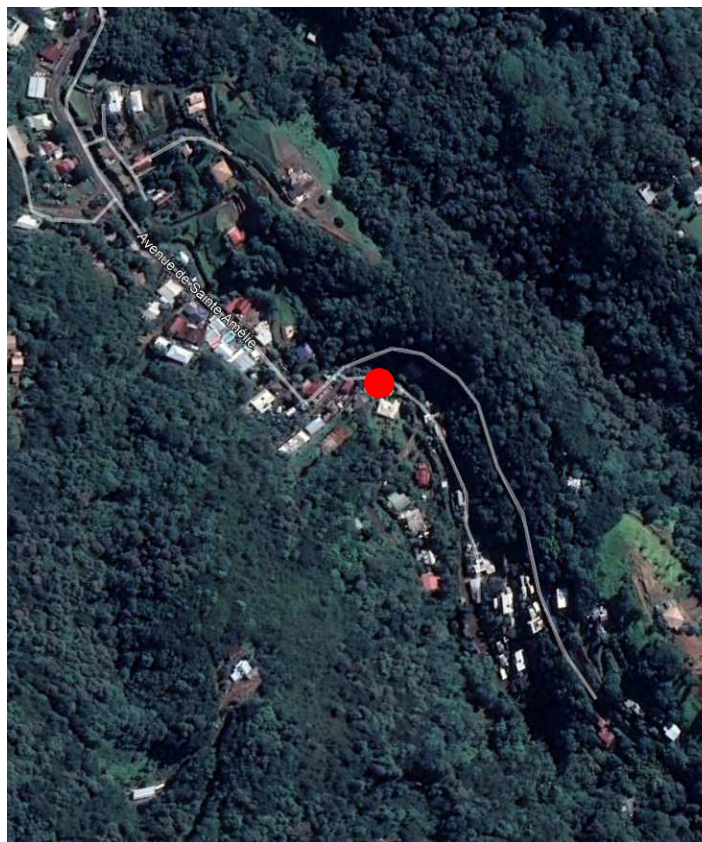


Certaines passerelles sont obstruées par des panneaux ce qui peut poser problèmes en cas de débordement.

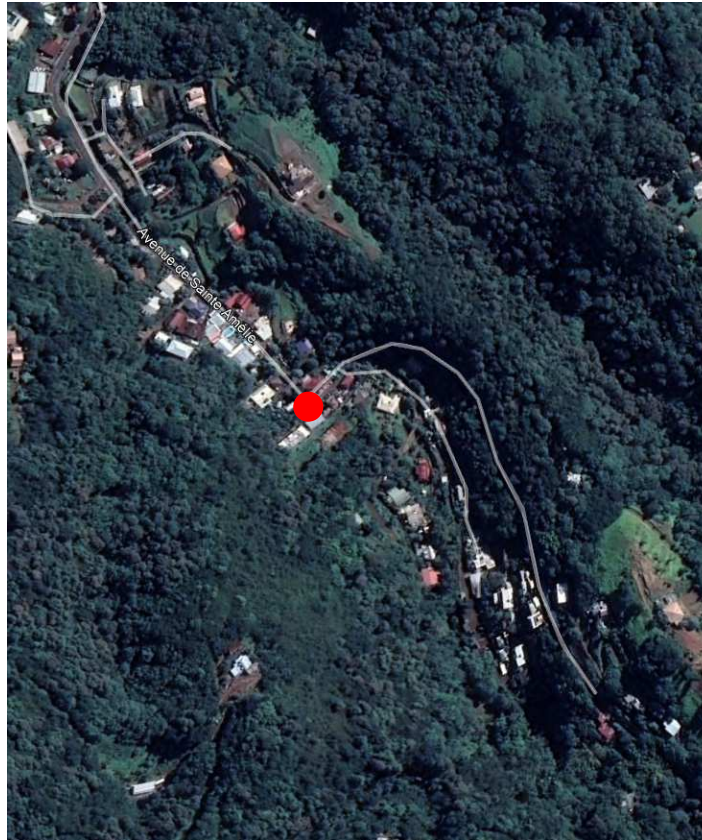
Ceux-ci peuvent être emportés en cas de crue et constituer des embâcles importants.



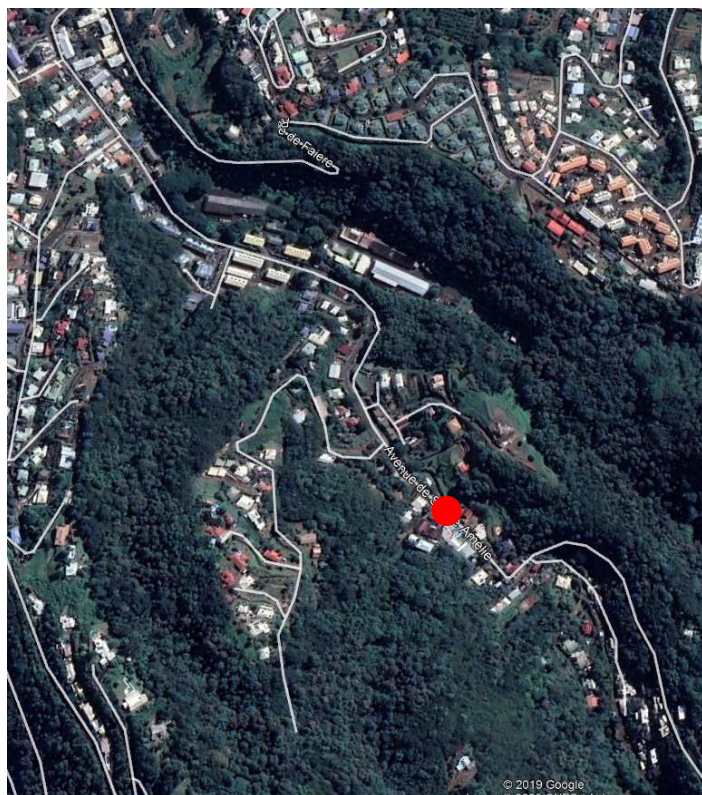
De même qu'en amont immédiat, cette passerelle est obstruée.



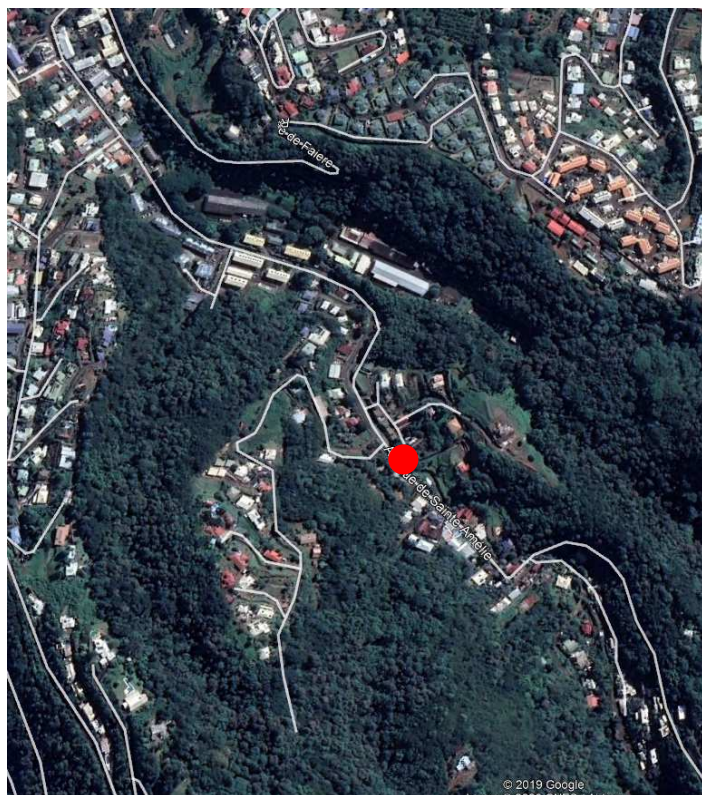
D'autres au contraire sont laissées libre et permettent une surverse au-dessus en cas d'insuffisance de l'ouvrage.



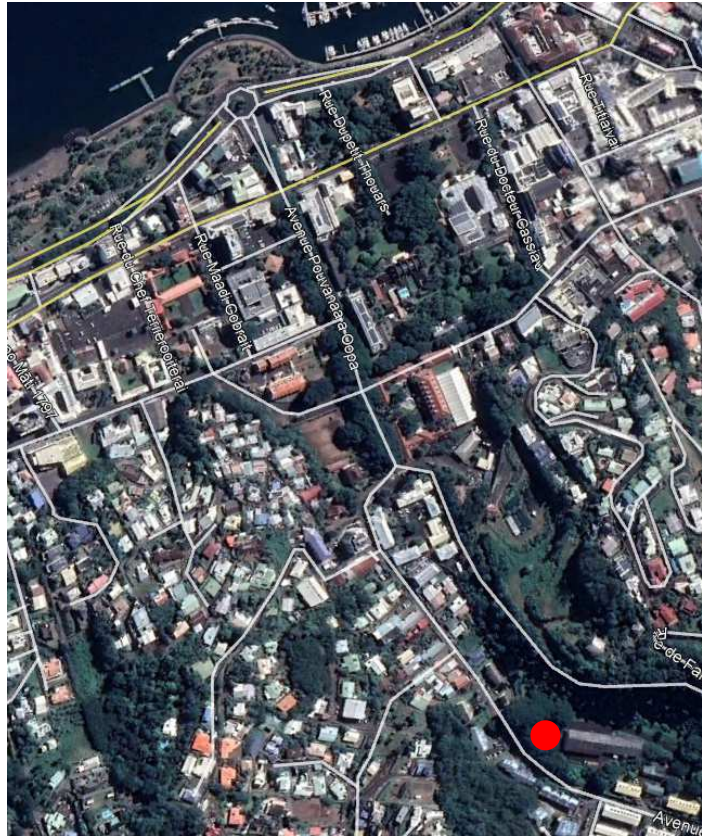
Au droit de ce carrefour, l'ouvrage de traversée est de dimension importante.



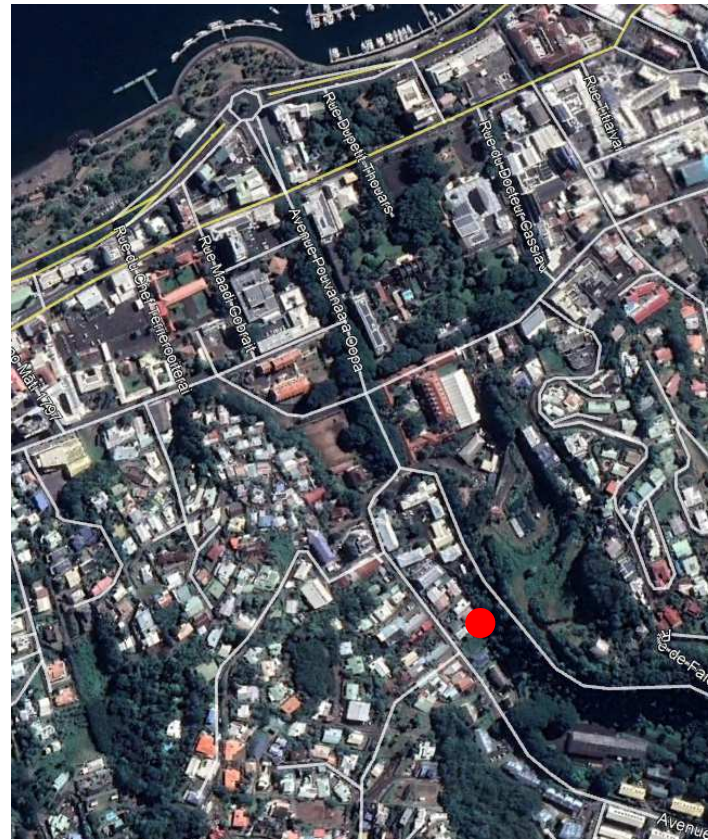
La partie médiane de la Vaiami est fortement végétalisée et peu entretenue.



Les berges, sur ce tronçon, sont protégées par des enrochements.



Cet ouvrage de capacité limitée se situe en amont de la zone à modéliser.



Sur ce tronçon à ciel ouvert, le lit mineur est étroit et bétonné. Les habitations implantées en bordure immédiate sont protégées par des murs.



La présence d'embâcles a été constatée sur cette partie cuvelée. Un piège à embâcles, implanté en amont de cette partie à ciel ouvert, constitué de tiges métalliques d'1m de hauteur environ était plein lors de la visite sur site et constituait une chute d'1m de hauteur environ.



En amont immédiat de la gendarmerie, la Vaïami passe en souterrain et n'est plus visible jusqu'à son exutoire. Des débordements ont été constatés dans la gendarmerie pouvant atteindre 80cm environ avec a présence de beaucoup d'accumulation de boue.

Cette reconnaissance de terrain a également permis de définir les besoins topographiques sur la zone d'étude pour la réalisation du modèle hydraulique :



2.2 - Recueil de données

En complément de cette campagne de terrain et des levés topographiques, un recueil de données a été effectué auprès du GEGDP.

Les plans existants sur le tronçon aval couvert ont été récupérés auprès de l'Arrondissement Infrastructures

Aucun plan de récolement de la Vaiami aval enterrée n'a pu être recueilli.

Les éléments à notre disposition sont les suivants :

- Plans topographiques de la branche initiale sous l'Avenue Pouvanaa A Oopa datant de 1999 ou 2000 : cette branche était en partie à ciel ouvert et a été couverte depuis
- Plans topographiques de 2002 de l'exutoire aval de la branche initiale de la Vaiami : passage de la Vaiami sous le passage inférieur routier du giratoire « Bounty »
- Plans DCE pour le curage de l'ouvrage de dérivation datant de 2015
- Levés topographiques de 2019 des deux trémies situées dans le parc Paofai : ces 2 trémies ont été rebouchées et étaient non visibles lors de la visite sur site

Le GEGDP répertorie également toutes les informations pluviométriques et hydrométriques enregistrées sur le secteur.

La Vaiami est actuellement suivi par un pluviomètre installé en 1987 à 470m d'altitude.

La bibliographie et les données disponibles concernant l'hydrologie sur le cours d'eau étudié sont les suivantes :

- Synthèse des données pluviométriques mensuelles et journalières de la station de 1997 à 2018
- Données pluviométriques brutes des 4 dernières périodes significatives :
 - ▶ [Jenv-fév 2018](#)
 - ▶ [Janv – fev 2017](#)
 - ▶ [Fev-mars 2010](#)
 - ▶ [Dec 1998](#)
- Rapports de campagne hydrologique du bassin versant de la Vaiami de 1988 à 1991
- Mesures des pluies de Tahiti de 1990-1991
- Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti – G. Wotling – janvier 2000
- Evaluation des maximums de crue sur l'île de Tahiti suivant une approche régionale et à partir des données acquises sur les réseaux hydrologiques pendant la période 1969-2003 – J. Danloux, juillet 2003
- Assistance technique pour l'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation en Polynésie française – Compte rendu de mission de P. Stollsteiner
- Aménagement du quartier Bruat – cours d'eau Vaiami – AVP et plans DCE – SPEED – avril 1999 : définition des débits de projet de la Vaiami et dimensionnement de la dérivation aval

Ces éléments ont été analysés et utilisés dans le cadre de l'analyse hydrologique.

3 - ANALYSE HYDROLOGIQUE

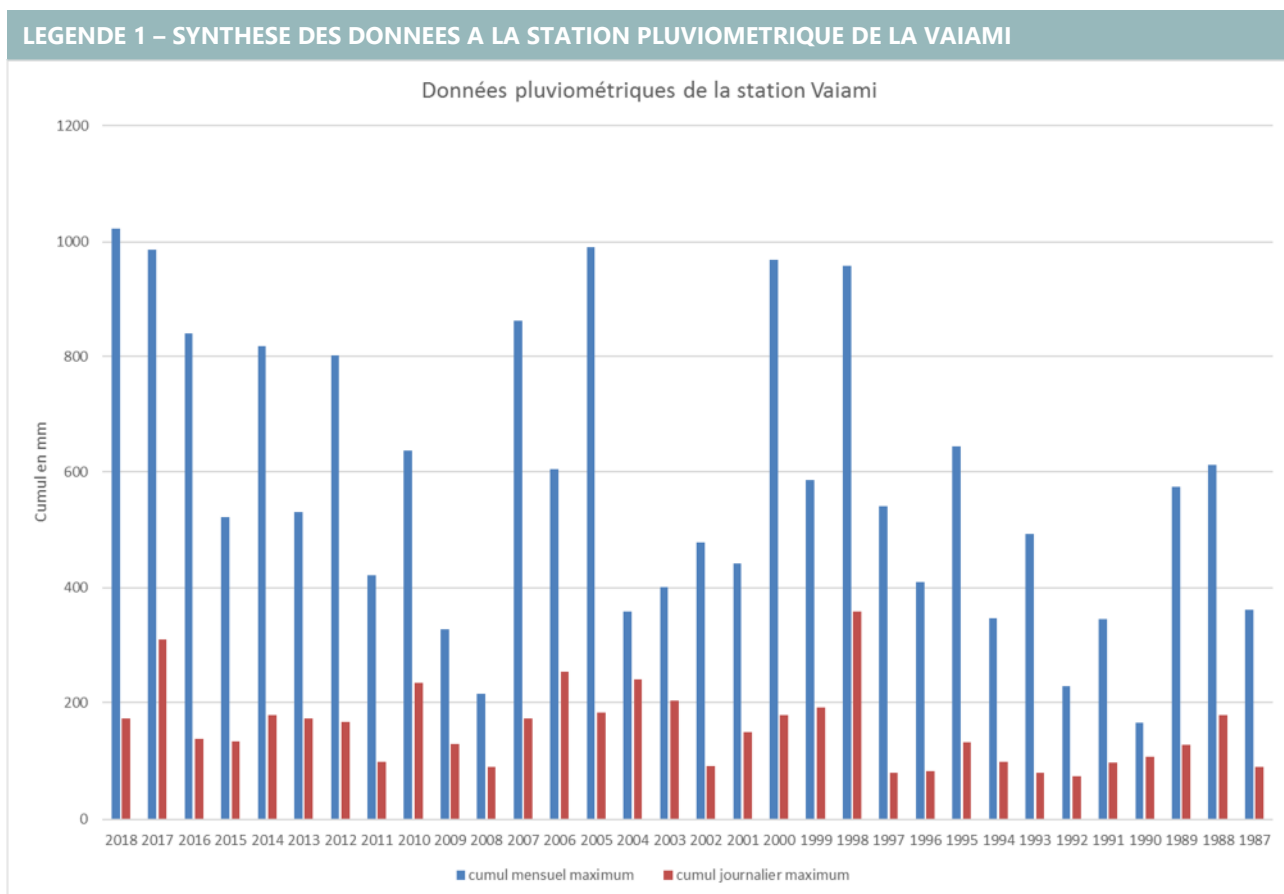
3.1 - Données fournies par le GEGDP

3.1.1 - Mesures hydrologiques

La Vaiami est actuellement suivi par un pluviomètre installé en 1987 à 470m d'altitude.

Le GEGDP dispose des éléments suivants :

- Synthèse des données pluviométriques mensuelles et journalières de la station de 1997 à 2018
- Données pluviométriques brutes des 4 dernières périodes significatives :
 - ▶ Jenv-fév 2018
 - ▶ Janv – fev 2017
 - ▶ Fev-mars 2010
 - ▶ Dec 1998
- Rapports de campagne hydrologique du bassin versant de la Vaiami de 1988 à 1991 : jaugeages à la station de Sainte Amélie – débit enregistré de quelques m³/s uniquement – pas d'épisode significatif
- Mesures des pluies de Tahiti de 1990-1991



3.1.2 - Etudes hydrologiques

Les études hydrologiques sur le cours d'eau étudié sont les suivantes :

- Aménagement du quartier Bruat – cours d'eau Vaiami – AVP et plans DCE – SPEED – avril 1999 : définition des débits de projet de la Vaiami et dimensionnement de la dérivation aval
- Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti – G. Wotling – janvier 2000 : définition des pluies de projet sur la Vaiami et calage du modèle hydrologique sur des enregistrements de la Vaiami
- Evaluation des maximums de crue sur l'île de Tahiti suivant une approche régionale et à partir des données acquises sur les réseaux hydrologiques pendant la période 1969-2003 – J. Danloux, juillet 2003 : définition des débits de projet de la Vaiami
- Assistance technique pour l'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation en Polynésie française – Compte rendu de mission de P. Stollsteiner : méthodologie à appliquer dans le cadre des études PPRi

3.2 - Plus fort événement vécu

Les crues les plus importantes, extraites des différentes données fournies, sont les suivantes :

LEGENDE 2 – EVENEMENTS SIGNIFICATIFS IDENTIFIES		
DATE	INFORMATION SUR L'EVENEMENT	SOURCE
19 décembre 1998	>26.5 m ³ /s (33 m ³ /s)	Evaluation des maximums de crue sur l'île de Tahiti
19 décembre 1998	359 mm à la station pluvio	Enregistrement à la station
5 mars 2010	234.5 mm à la station pluvio	Enregistrement à la station
22 janvier 2017	307.5 mm à la station pluvio	Enregistrement à la station
9 février 2018	172.5 mm à la station pluvio	Enregistrement à la station

Nous disposons uniquement de témoignages pour l'épisode de 2017 au niveau de la gendarmerie : 80cm d'eau sur la chaussée.

C'est l'évènement le plus pertinent et le plus intéressant mais nous ne disposons pas de débit associé à cet évènement.

L'autre évènement intéressant est celui de 1998 mais il est plus ancien et nous ne disposons d'aucun témoignage permettant de caler le modèle hydraulique.

3.3 - Débits de projet

3.3.1 - Détermination des débits de projet

Le bassin versant de la Vaiami a une superficie de 2.60 km².

La méthode de calcul des débits de projet de la Vaiami est donnée dans la note méthodologique de Stollsteiner.

Si le cours d'eau étudié est jaugé, une analyse statistique des débits ou une exploitation des études existantes basées sur des analyses statistiques est préférable à la mise en œuvre d'une modélisation pluie-débit pour laquelle nous ne disposons d'aucune donnée de calage.

Dans le cas de la Vaïami, nous disposons que d'enregistrements pluviométriques. Les mesures de débit ne concernent que des débits de quelques m³/s.

Néanmoins, nous disposons d'études existantes indiquant des débits de projet calculés à partir de modèles hydrologiques globaux calés sur différents évènements.

Les résultats obtenus sont les suivants :

LEGENDE 3 – SYNTHÈSE DES DÉBITS DE PROJET DE LA VAIAMI			
SOURCE	Q10 EN M ³ /S	Q50 EN M ³ /S	Q100 EN M ³ /S
Modèle Pluie/débit « Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti »	24	38	45
Estimation méthode de Craeger « Evaluation des maximums de crue sur l'île de Tahiti »	20	30	35
Modélisation hydrologique « Evaluation des maximums de crue sur l'île de Tahiti »	31	44	49
Modélisation hydrologique « AVP SPEED »	47	65	89

Dans un souci sécuritaire, il est conseillé de retenir les débits les plus forts : ceux issus de l'étude SPEED de 1999.

Les débits de projet suivants sont donc retenus :

$$Q_{10\text{ans}} = 47 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{50\text{ans}} = 65 \text{ m}^3/\text{s}$$

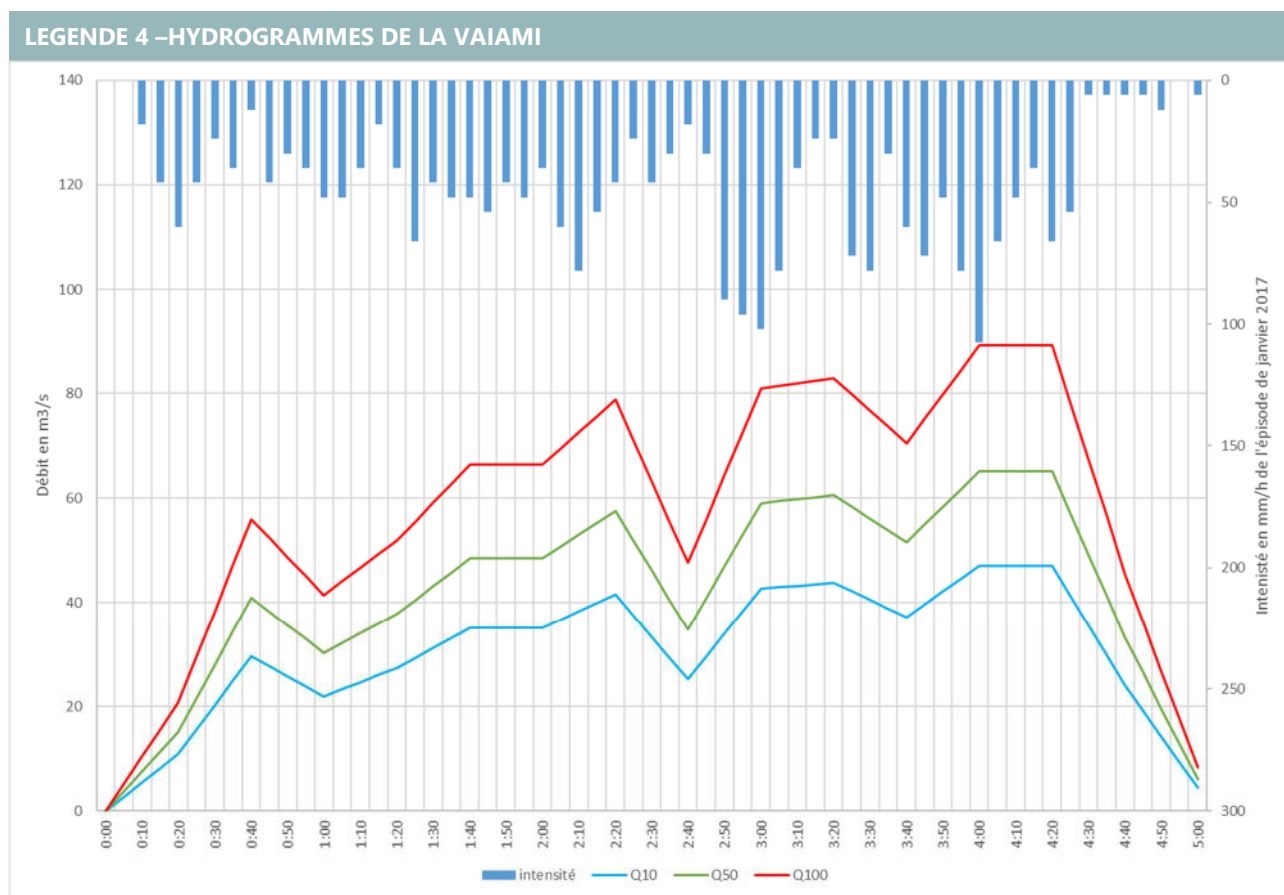
$$Q_{100\text{ans}} = 89 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.3.2 - Construction des hydrogrammes

Les hydrogrammes de projet seront construits sur la base du hyétogramme de l'épisode pluvieux du 22 janvier 2017 qui constitue l'évènement le plus important et le plus récent pour lequel nous disposons de données.

Ce hyétogramme a fait l'objet d'une transformation pluie débit puis d'une homothétie sur les débits obtenus de façon à retrouver les débits de projet retenus.

Les hydrogrammes obtenus sont les suivants :



4 - CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE

Le modèle hydraulique bidimensionnel a été construit à l'aide du logiciel INFOWORKS ICM.

4.1 - Présentation du logiciel

La modélisation 1D – 2D est réalisée à l'aide de la suite logicielle INFOWORK ICM sur le secteur étudié.

Ce logiciel développé par HR WALLINGFORD SOFTWARE est commercialisé en France par la société GEOMOD. Cette suite logicielle bénéficie des dernières évolutions cartographiques (intégration d'outils SIG) et présente donc une convivialité très supérieure pour la construction du modèle, et pour l'exploitation graphique des résultats.

L'autre intérêt de ce logiciel est qu'il permet de coupler des zones en 1D et en 2D.

Un module 2D a été développé par HR WALLINGFORD, permettant de modéliser les écoulements de surface complexes en zones inondables par un maillage bidimensionnel. La zone inondable est alors représentée par des mailles triangulaires. Les hauteurs d'eau et vitesses sont calculées localement en chaque point du maillage.

La modélisation 2D se justifie pour représenter finement les écoulements bidimensionnels à surface libre, et permet de calculer précisément le fonctionnement sur les secteurs particuliers (zones urbaines, digues, ...).

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 surface à modéliser est discrétisée en un maillage triangulaire. Le MNT doit être utilisé pour la création du maillage. Des zones de vides, des lignes de contrainte et des murs peuvent être inclus dans le maillage.

L'intérêt du logiciel utilisé INFOWORKS ICM 2D est qu'il permet en outre de coupler la modélisation à surface libre 2D dans le lit majeur avec une modélisation 1D de cours d'eau permettant de représenter correctement la bathymétrie des cours d'eau (sans simplification topographique lié à la limitation du nombre de mailles 2D) et les ouvrages en charge.

Dans ce cas, toutes les lois d'hydraulique classiques sont modélisables en fonction du type d'ouvrage et de son fonctionnement (lois d'orifice, lois de Bernoulli, lois de seuils, siphons, vannes mobiles...).

L'intérêt du logiciel INFOWORKS réside dans ses possibilités d'adaptation aux écoulements à modéliser, du plus simple au plus complexe.

Le modèle, en couplage 1D/2D permet de représenter les écoulements, les ouvrages de franchissements, et les aménagements connexes (digue, seuils, bras morts ...).

■ Modélisations 1D

En effet, il permet de représenter les écoulements simples par des profils en travers (modélisation 1D représentant sans simplification la bathymétrie), qui peuvent être maillés (dans le cas de bras de dérivation, ou de lit majeur actif).

Les surverses sur digues et ou berges sont représentées par des lois de seuils.

Les ouvrages sont modélisés en fonction de leurs caractéristiques par différentes lois : de type Bradley pour les ouvrages à surface libre, de type lois de seuil ou d'orifice pour les ouvrages en charge.

■ Modélisations 2D

Les lits majeurs avec des écoulements plus complexes peuvent être représentés par le module bidimensionnel du logiciel. Dans ce cas, le maillage du lit majeur est beaucoup plus dense et adapté aux contraintes du terrain. Le lit mineur reste modélisé en 1D (pour une meilleure discrétisation de la bathymétrie).

Le maillage 2D est construit pour prendre en compte les particularités des écoulements en se basant sur des lignes topographiques structurantes appelées « lignes de contraintes » (obstacles, remblais, ouvrages, discontinuités topographiques...).

Le modèle comprend près de 104 000 mailles.

4.2 - Construction du modèle

Les levés topographiques réalisés par le cabinet de géomètre WILD dans le cadre de cette prestation ont été utilisés pour la construction du modèle hydraulique 2D., comprennent :

- Le levé de 3 profils en travers réalisés en juillet 2019 réalisés par le cabinet de géomètre WILD dans le cadre de cette prestation
- Le levé des ouvrages hydrauliques amont (entrée de l'ouvrage enterré et pont arche en amont)
- Les plans DCE de l'étude SPEED pour la partie aval non visitable
- Le LIDAR du SHOM datant de 2015 de précision 1m
- La restitution photogrammétrique au 1/5000 du lit majeur réalisée à partir de photos aériennes (fournie par le Service de l'Urbanisme) – précision altimétrique de 50 cm

Pour la partie aval enterrée, les ouvrages n'ont pu être levés, les dalots actuels n'étant pas visitables (pas de grilles accessibles permettant de visualiser le dalot, pas de regards visitables).

L'étude SPEED de 1999 a été donc analysée et les caractéristiques des ouvrages aval (fil d'eau et dimensions des dalots) ont été extraits de cette étude et des plans DCE.

Les hypothèses de dimensionnement définies dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

- Capacité de l'ouvrage initial de 23 m³/s
- Dimensionnement de la branche en dérivation pour un débit centennal de Q100-23m³/s
- Le débit amont est dirigé prioritairement vers la branche en dérivation et au-delà du débit de dimensionnement, le débit excédentaire est évacué par l'ouvrage initial

Des regards ont été pris en compte dans le modèle hydraulique, permettant les échanges entre la voirie en surface et le dalot.

En l'absence de données précises, ils ont été positionnés tous les 50 m le long de la branche initiale. Sur la branche principale, ils ont été positionnés à partir du plan DCE fourni.

D'après les observations de terrain, la surface d'engouffrement de ces avaloirs est relativement limitée : le long de la Rue du Chef Teriierooiterai, quelques grilles de dimension significative ont été mises en place mais elles débouchent sur des conduites de taille limitée qui se rejettent dans le dalot principal en formant un coude. La surface d'engouffrement résultante n'est donc pas très importante.

4.3 - Conditions aux limites

Les conditions aux limites sont les suivantes :

- L'hydrogramme amont issu de l'analyse hydrologique
- Une cote marine en aval variant entre 0 et 1 m NGT

4.4 - Calage des paramètres du modèle hydraulique

Une donnée de calage a pu être collectée au niveau de la gendarmerie mais nous ne disposons pas du débit associé pour l'épisode de 2017.

Cette donnée sera comparée au résultats obtenus en crue centennale.

Les paramètres de calage sont les suivants :

- Les coefficients de Strickler
- Les coefficients de perte de charge au droit de l'ouvrage aval

Le calage a été réalisé à partir des observations de terrain et des paramètres couramment utilisés en fonction de la nature du lit ou de l'occupation du sol :

- Coefficient de Strickler en lit mineur sur la partie amont non bétonnée : 30
- Coefficient de Strickler en lit mineur sur la partie cuvelage béton à ciel ouvert : 60
- Coefficient de Strickler en lit mineur sur la partie cadre enterré : 70
- Coefficient de Strickler en lit majeur : 10

5 - DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE EN ETAT ACTUEL

Une fois le modèle construit, différentes crues de projet ont été simulées :

- Crue décennale avec un niveau marin de 0 m NGT
- Crue cinquantennale avec un niveau marin de 0.5 m NGT
- Crue centennale avec un niveau marin de 1 m NGT
- Crue centennale avec prise en compte d'hypothèses d'embâcles et un niveau marin de 1 m NGT

Pour le scénario avec embâcles, l'hypothèse suivante a été prise en compte :

- Obstruction de la section à 50% pour le pont amont et pour l'entrée de la partie couverte
- Ensablement de l'embouchure des deux branches

L'aléa de chacune de ces crues a été cartographié selon la grille suivante :

	Vitesse inférieure à 0.5 m/s	Vitesse supérieure à 0.5 m/s
Hauteur d'eau inférieure à 0.5 m	Faible	Moyen
Hauteur d'eau entre 0.5 m et 1 m	Moyen	Fort
Hauteur d'eau supérieure à 1 m	Fort	Très fort

5.1 - Analyse des lignes d'eau et de la capacité du lit mineur

Les lignes d'eau obtenues sont données page suivante pour les différentes crues de projet (au droit des ouvrages enterrés, les lignes d'eau données correspondent au niveau d'eau dans les ouvrages et non sur la chaussée en surface)

Une analyse de la capacité du lit mineur a été faite au droit de chaque profil en travers à ciel ouvert.

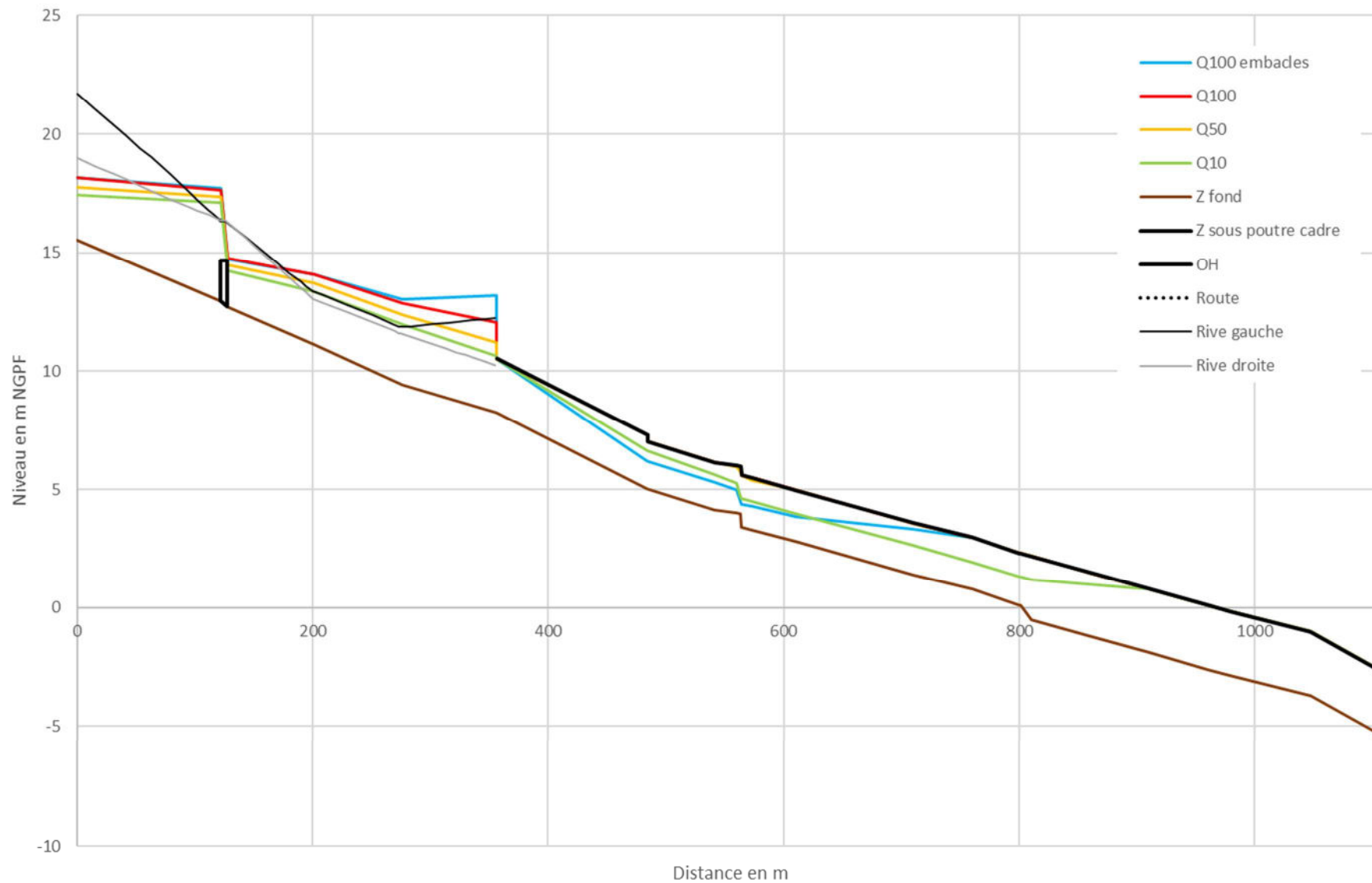
Celle-ci ne tient pas compte de l'influence des ouvrages hydrauliques.

Le tableau ci-dessous indique le débit de début de débordement au droit de chaque profil :

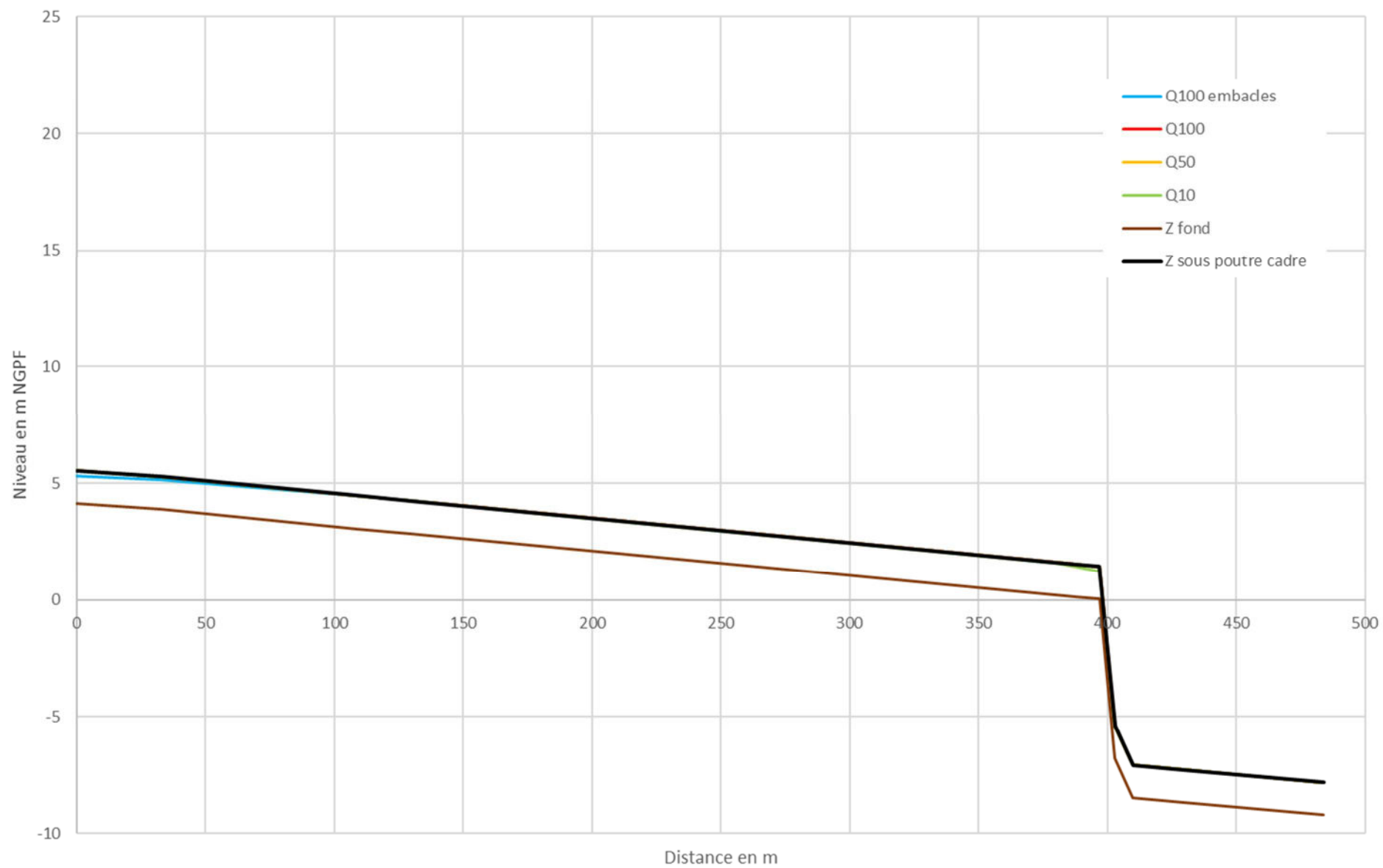
LEGENDE 5 – ANALYSE DE LA CAPACITE DU LIT MINEUR A CIEL OUVERT			
	Débit de début de débordement en Rive Gauche	Débit de début de débordement en Rive Droite	Période de retour correspondante
PT 1		>89 m ³ /s	Supérieure à 100 ans
PT 2	>89 m ³ /s		Supérieure à 100 ans
PT 3	>89 m ³ /s		Supérieure à 100 ans
PT 4	47 m ³ /s		10 ans
PT 5	50 m ³ /s		Entre 10 et 50 ans
PT 6	54 m ³ /s		Entre 10 et 50 ans

Les sections amont à ciel ouvert naturelles sont de capacité suffisante mais le tronçon en cuvelage béton en amont immédiat du passage sous la gendarmerie est de capacité à peine supérieure à un débit décennal.

Profil en long de la branche principale de la Vaiami



Profil en long de la branche secondaire de la Vaiami



5.2 - Analyse de la zone inondable décennale

En crue décennale, on observe des premiers débordements au droit du pont arche entre le PT2 et e PT3.

Celui-ci étant de capacité très limité, les débordements suivent la voirie et inondent tout le secteur aval.

L'ouvrage couvert sous la gendarmerie est en limite de mise en charge : le niveau d'eau amont atteint la cote sous poutre de l'ouvrage.

L'ouvrage de dérivation n'est pas en charge à l'exception de l'extrémité aval du fait du niveau du fil d'eau du dalot par rapport au niveau marin.

L'ouvrage cadre initial est en charge avec une lame débordante sur la chaussée qui provient notamment des débordements amont.

La capacité d'engouffrement des eaux de surface est assez limitée tout le long des parties enterrées. Les grilles avaloirs sont de dimension limitée et peu nombreuses.

Par exemple, le long de la Rue du Chef Teriierooiterai, on observe quelques grilles de dimension significatives mais elles débouchent sur des conduites de taille limitée qui se rejettent dans le dalot principal en formant un coude. Cela diminue la capacité d'engouffrement des eaux de surface.

5.3 - Analyse de la zone inondable cinquantennale

En crue cinquantennale, les mêmes phénomènes sont observés qu'en crue décennale.

Le pont arche amont génère des débordements importants qui suivent la voirie jusqu'en aval avec peu de possibilité de se réengouffrer dans le cours d'eau.

Les deux branches couvertes de la Vaiami sont en charge avec des débordements importants sur la chaussée.

Les vitesses d'écoulement en surface étant importantes, les voiries sont en aléa moyen.

Les débordements de surface arrivant au niveau du front de mer suivent le Boulevard de la Reine Pomare IV tout le long jusqu'au giratoire Rue de Bovis. Ils sont bloqués par le terre-plein central et s'étendent sur tout le secteur sans pouvoir rejoindre le port.

5.4 - Analyse de la zone inondable centennale

Le mécanisme d'inondation est identique en crue centennale avec des hauteurs d'eau de surface très importante.

Les branches couvertes sont en charge et les ouvrages amont génèrent des pertes de charge importantes.

LEGENDE 7 – ANALYSE DES OUVRAGES DE LA VAIAMI						
	Cote centennale amont en m NGPF	Cote fond en m NGPF	Cote sous poutre en m NGPF	Cote route ou chemin en m NGPF	Analyse de la mise en charge	Débit transitant dans l'ouvrage en Q100 en m ³ /s
Pont arche entre PT2 et PT3	17.64	12.96	14.68	16.35	En charge avec débordement sur chaussée	20
Entrée de la partie couverte PT6	12.07	8.25	10.52	11.02	En charge avec débordement sur chaussée	58

La quasi-totalité des chaussées est en aléa moyen avec des vitesses d'écoulement importantes du fait des fortes pentes et des frottements réduits sur ces secteurs.

5.5 - Analyse de la zone inondable centennale avec prise en compte d'hypothèses d'embâcles

Les hypothèses d'embâcles sont les suivantes :

- Obstruction à 50% du pont arche amont
- Obstruction à 50% de l'entrée de la partie couverte en amont de la gendarmerie
- Ensablement aval des deux parties couvertes :
 - 50% de la section ensablée sur le tronçon initial en aval du siphon sous le giratoire
 - 50% de la section ensablée sur le tronçon en dérivation jusqu'au Boulevard Pomare

L'obstruction du pont arche ne génère une surcote que de 10cm. La part du débit débordant étant tellement importante en proportion du débit transitant dans l'ouvrage, une obstruction de l'arche à moitié n'augmente pas de façon significative le débit surversant qui est déjà important en crue centennale.

Par contre, au niveau de l'entrée du passage couvert en amont de la gendarmerie, la diminution de section de l'ouvrage entraîne une surcote de 1m.

Cette obstruction limite de fait le débit transitant dans la partie couverte et le dalot en aval n'est plus en charge (voir le profil en long du cadre de la branche principale).

Le réengouffrement des eaux débordées se fait de façon progressive sur tout le linéaire de la partie couverte mais une bonne partie du dalot de la branche principale fonctionne à surface libre.

Un ajout de grilles plus larges le long de cette partie couverte permettrait une meilleure collecte des eaux de surface.

Les débordements de surface s'entendent très largement en aval et s'engouffrant le long du Boulevard Pomare.

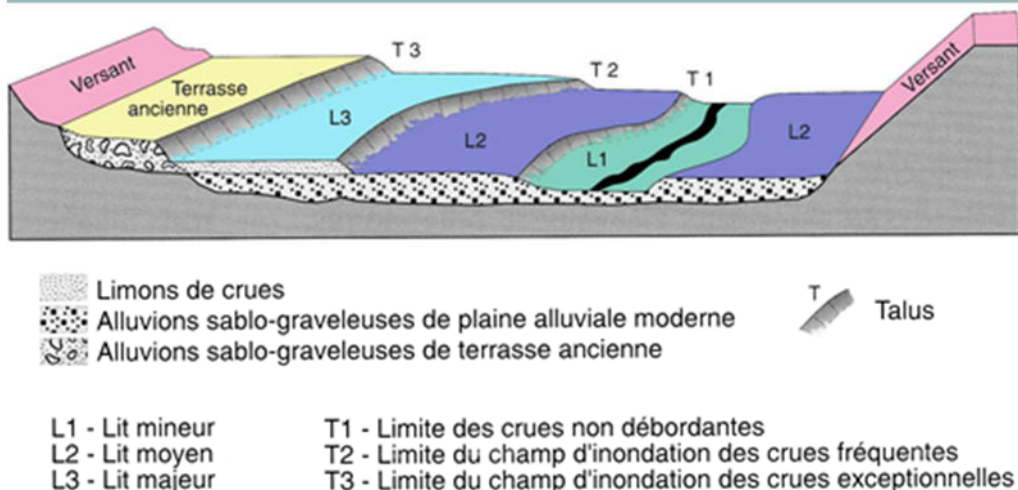
5.6 - Analyse hydrogéomorphologique sur la partie amont de la Vaiami

En amont de la zone faisant l'objet d'une modélisation hydraulique, la méthode hydrogéomorphologique a été retenue pour la définition de la zone inondable.

5.6.1 - Présentation de la méthode hydrogéomorphologique

La méthode hydrogéomorphologique repose sur l'analyse des différentes unités constituant le plancher alluvial. Les critères d'identification et de délimitation de ces unités sont la topographie, la morphologie, la sédimentologie et les données relatives aux crues historiques, souvent corrélées avec l'occupation du sol.

LEGENDE 8 – ORGANISATION D'UNE PLAINE ALLUVIALE FONCTIONNELLE



Le fonctionnement des cours d'eau génère des stigmates morphologiques identifiables au sein des vallées. Ces zones actives se présentent suivant une hiérarchie graduelle, susceptible d'accueillir des crues d'intensité et de récurrence variables.

Il s'agit dans le détail du :

- lit mineur, incluant le lit d'étiage, qui est le lit des crues très fréquentes (annuelles). Il correspond au lit intra-berges et aux secteurs d'alluvionnement immédiats (plages de galets). Il apparaît, sur le support cartographique, sous forme de polygone sans trame lorsque ce dernier est assez large. Si ce lit devient étroit et difficilement représentable dans le SIG, il se transforme en polyligne bleu marine.
- lit moyen représenté en bleu foncé, qui accueille les crues fréquentes (en principe période de retour allant de 2 à 10 ans). Dans ce lit, les mises en vitesse et les transferts de charge solides sont importants et induisent une dynamique morphogénique complexe. Ces berges sont souvent remaniées par les crues qui s'y développent. Lorsque l'espacement des crues le permet, une végétation de ripisylve se développe dessus. Dans notre secteur, cette unité est peu présente compte tenu du système de fonctionnement des cours d'eau. Sa représentation est plus le fait d'une fréquence de débordement que des caractéristiques morphologiques décrites ci-dessus.
- lit majeur représenté en bleu clair, qui est fonctionnel pour les crues rares à exceptionnelles. Il présente un modelé plus plat et est emboîté dans des terrains formant l'encaissant. Les hauteurs d'eau et les vitesses plus faibles que dans le lit moyen favorisent les processus de décantation. Ces dépôts de sédiments fins rendent ces terrains très attractifs pour les cultures. Toutefois, les dynamiques affectant ce lit peuvent être soutenues. Les lames d'eau et les vitesses sont parfois importantes, elles dépendent de la topographie et du contexte physique de certains secteurs.
- lit majeur exceptionnel ou résiduel qui correspond au secteur le plus externe du lit majeur où les colluvions viennent se raccorder progressivement à la plaine alluviale.

Les aménagements anthropiques, ainsi que certains éléments du milieu naturel, ont des incidences directes sur l'hydrodynamisme des cours d'eau.

Il s'agit d'identifier ces éléments lors de la phase de reconnaissance de terrain et d'évaluer leurs impacts potentiels sur la zone inondable.

Dans le cas de la Vaiami, il s'agit essentiellement des passerelles et des ouvrages de franchissement.

5.6.2 - Les outils utilisés

Dans le cadre de la Vaiami, la première étape a consisté en une visite de terrain approfondie permettant d'identifier les éléments structurants (pont de capacité insuffisante) ainsi que les différentes zones du cours d'eau (lit mineur, lit moyen, lit majeur...)

Dans le cas de la Vaiami, le secteur amont étant très encaissé avec des pentes d'écoulement importantes, le cours d'eau est essentiellement constitué du lit mineur et d'un lit majeur sur les secteurs en bordure de cours d'eau avec des berges plus basses.

Ces observations de terrain ont été complétées par une évaluation des niveaux d'eau en différentes sections de la Vaiami en crue centennale.

Les éléments topographiques à notre disposition ont été exploités :

- Plan photogrammétrique sur la partie amont
- LIDAR sur la partie aval
- Dimensions du lit vif suite aux observations de terrain

Des calculs simplifiés effectués à partir de l'application de la formule de Manning ont permis d'établir des niveaux d'eau en différents points du cours d'eau.

Une zone inondable a été identifiée sur la base de cette estimation complétée par les observations de terrain.

L'obstruction des passerelles et la configuration des habitations sur le secteur amont a été prise en compte.

L'aléa en lit majeur a été considéré comme aléa moyen avec de faibles hauteurs d'eau mais des vitesses d'écoulement importantes du fait des pentes importantes sur cette partie amont.

Cette expertise a donné lieu à une cartographie des zones inondables jointe au présent rapport.

6 - CARTOGRAPHIE DE TYPE PPRI

Une cartographie finale de type PPRI a été établie sur la base de la cartographie centennale avec prise en compte du risque d'embâcles.

Un lissage a été effectué sur la base de cette zone inondable selon les principes suivants :

- Intégration des polygones de petite taille aux polygones de taille plus importante
- Intégration des bâtiments à cheval sur deux zones d'aléas :
 - à la zone d'aléa prédominante en pourcentage de surface
 - à la zone d'aléa la plus forte si celui-ci est scindé en deux parts similaires
- Intégration des bâtiments en zone d'aléa faible entourés par une zone d'aléa moyen à la zone d'aléa moyen (la prise en compte des bâtiments dans la modélisation entraîne une diminution de la vitesse d'écoulement au droit de ceux-ci et de ce fait une zone d'aléa plus faible)

Cette cartographie a été complétée par deux éléments :

- Prise en compte du risque d'érosion de berges
- Prise en compte des axes secondaires d'écoulement

6.1 - Risque d'érosion de berges

La prise en compte du risque d'érosion de berges a fait l'objet d'une analyse à plusieurs niveaux selon la méthodologie suivante :

- Observations de terrain
- Analyse des photographies aériennes disponibles
- Estimation des forces tractrices de long des berges
- Détermination de la largeur de la zone d'aléa fort en fonction de la nature des protections de berges actuelles et des forces tractrices calculées

6.1.1 - Observations de terrain

Sur toute la partie aval, les berges de la Vaiami sont enrochées. Elles ne présentent aucun signe d'érosion.

6.1.2 - Analyse des photographies aériennes

Pour ces cours d'eau, la photographie aérienne la plus ancienne dont nous disposons date de 2003, ce qui est trop récent pour observer des zones de divagation.

Les photo aériennes analysées sont issues de deux sources :

- SAU
- Google Earth

L'analyse de ces photographies aériennes indique que les lits mineurs des cours d'eau étudiés n'ont pas été modifiés depuis 2003.

6.1.3 - Estimation des forces tractrices de long des berges

Une estimation des forces tractrices a également été effectuée de façon à évaluer le risque d'érosion et à vérifier la compatibilité des protections de berges existantes.

Cette estimation a été réalisée pour une crue centennale sur certains profils.

LEGENDE 9 – ESTIMATION DES FORCES TRACTRICES						
N° PROFIL HYDRAULIQUE	HAUTEUR D'EAU H (M)	I = PENTE* (M/M)	FORCE TRACTRICE T (N/M ²)	C = COEFFICIENT DE SINUOSITE	FORCE TRACTRICE CORRIGEE TC (N/M ²)	PROTECTION THEORIQUE A APPLIQUER
Profil 1	2.61	0.021	550	1.35	740	Protection minérale : enrochements, gabions...
Profil 3	2.06	0.021	440	1.35	600	Protection minérale : enrochements, gabions...
Profil 5	3.45	0.015	500	1.00	500	Protection minérale : enrochements, gabions...

Pour la Vaiami, les hauteurs d'eau et les pentes d'écoulement sont telles que la mise en place de protection en enrochement est préconisée pour protéger les berges.

6.1.4 - Définition des zones potentielles d'érosion et de la zone d'aléa fort

Les berges actuelles sur le secteur aval de la Vaiami sont enrochées sur tout le linéaire, ce qui permet de réduire le risque d'érosion sur tout le tronçon aval étudié.

Néanmoins, de façon à permettre une réparation de ces protections en cas d'endommagement de celles-ci suite à une crue, il est conseillé de conserver une bande de 5m sans construction de façon à permettre à un engin d'intervenir.

6.2 - Axes secondaires d'écoulement

Les axes secondaires d'écoulement ont été établis sur la base des éléments à notre disposition (carte d'aléa inondation initiale, photogrammétrie, enquêtes de terrain).

Ils ont été ajoutés en aléa moyen pour tous les écoulements secondaires (hauteurs d'eau inférieures à 0.5m et vitesses d'écoulement supérieures à 0.5m/s du fait des fortes pentes sur les secteurs amont)

7 - PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

Les aménagements proposés pour améliorer la protection contre les inondations sur le secteur sont définies par ordre de priorité.

7.1 - Priorité 1 : Entretien du lit mineur

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 les passerelles ainsi que l'ouvrage de franchissement de la route de ceinture.

Il s'agit également de favoriser l'implantation au niveau des berges de certaines espèces végétales plutôt que d'autres.

Ce travail de sélection peut permettre de limiter l'implantation d'espèces fragilisant les berges, pouvant générer des embâcles importants alors que d'autres peuvent protéger celles-ci du risque d'érosion.

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 ...

7.2 - Priorité 2 : Désobstruction des passerelles amont

Certaines passerelles permettant l'accès aux propriétés privées sur la zone amont de la Vaiami sont obstruées par des brise-vues probablement mises en place par les riverains.

Ces éléments peuvent créer des pertes de charge importantes en cas de crue ou générer des embâcles en aval s'ils se détachent.

Il serait bon de retrouver une transparence hydraulique au droit de ces ouvrages.

Rappelons que ces passerelles sont privées et les services de la Polynésie Française notamment les services de l'Équipement ne sont responsables ni de leur entretien ni de leur remplacement.



7.3 - Priorité 3 : Amélioration des conditions d'écoulement en amont de la dérivation

7.3.1 - Reprise du pont amont

Le pont sur la zone amont de la partie modélisée est un ouvrage arche qui crée une réduction de section importante.

Il génère une perte de charge non négligeable et devrait être redimensionné.

Le gabarit nécessaire pour faire transiter un débit de $89 \text{ m}^3/\text{s}$ est de :

- Pont cadre ($K=30$ pour le dimensionnement)
- Largeur de 8 m
- Hauteur de 2.50 m
- Pente moyenne de 0.021 m/m du lit mineur en amont et en aval
- Hauteur d'eau de 2.10 m pour Q_{100} (tirant d'air de 40cm)

LEGENDE 10 – ESTIMATION DU COUT DU PONT AMONT PT2-PT3					
N° Prix	Poste	Unité	Prix Unitaire HT	Quantités	Total HT
1-1	Installations, études d'exécution, Démolition et évacuation de l'ouvrage existant	Fft	919 300 XPF	1	919 300 XPF
1-2	Déblais	m ³	5 000 XPF	270	1 350 000 XPF
1-3	Béton de propreté	m ³	1 200 XPF	40	48 000 XPF
1-4	Dalots 4x2,5m	m ³	50 000 XPF	5	250 000 XPF
1-5	Remblais contigus aux ouvrages	m ³	120 000 XPF	52	6 240 000 XPF
1-6	Réfection voirie	m ²	3 000 XPF	30	90 000 XPF
1-7	Evacuation des excédents de déblais	m ³	12 000 XPF	100	1 200 000 XPF
1-8			1 500 XPF	10	15 000 XPF
Total (XPF HT)					10 112 300 XPF
Aléa et non chiffrés (15%)					1 516 845 XPF
Total XPF HT (y/c Aléa et non chiffrés)					11 629 145 XPF

7.3.2 - Recalibrage du cuvelage béton à ciel ouvert en amont de la gendarmerie

En amont de la partie couverte sous la gendarmerie, la Vaiami est en cuvelage béton d'un peu plus de 3m de large. Cette largeur est insuffisante. Il serait nécessaire de l'élargir vers la rive droite de façon à préserver les habitations en rive gauche.

Le gabarit nécessaire pour faire transiter un débit de 89 m³/s est de :

- Cuvelage béton (K=70)
- Largeur de 4.5 m
- Hauteur de 2.25 m (hauteur moyenne actuelle des berges au droit des habitations)
- Berges verticales de façon à limiter l'emprise
- Pente moyenne de 0.021 m/m
- Hauteur d'eau de 1.90 m pour Q100
- Longueur : 220m

Le cuvelage actuel est étroit et implanté entre les habitations existantes et un talus de hauteur très importante.

L'élargissement de la section actuelle ne peut pas se faire du côté des habitations par manque de place. Il est donc nécessaire d'empiéter sur le talus pour pouvoir élargir le lit.

Des murs de soutènement de hauteur importante devront être mis en place. Nous attirons l'attention sur le fait que la faisabilité de cet ouvrage devra être vérifiée puisque celui-ci nécessitera la mise en œuvre de techniques particulières.

L'estimation financière de cet ouvrage est donc donné à titre indicatif mais devra être ajustée en fonction des contraintes locales dans les prochaines phases d'étude de celui-ci.

LEGENDE 11 – ESTIMATION DU COUT DU CUVELAGE BETON					
N° Prix	Poste	Unité	Prix Unitaire HT	Quantités	Total HT
1-1	Installations	Fft	14 540 000 XPF	1	14 540 000 XPF
1-2	Démolition et évacuation du cuvelage existant	m ³	5 000 XPF	160	800 000 XPF
1-3	Déblais	m ³	1 200 XPF	1500	1 800 000 XPF
1-4	Béton de propreté	m ³	50 000 XPF	120	6 000 000 XPF
1-5	Réalisation cuvelage (y/c aciers et coffrages)	m ³	120 000 XPF	800	96 000 000 XPF
1-6	Forage et mise en œuvre de pieux armés	ml	16 000 XPF	1200	19 200 000 XPF
1-7	Clouage de la tête des pieux	ml	16 000 XPF	1200	19 200 000 XPF
1-8	Remblais contigus aux ouvrages	m ³	3 000 XPF	100	300 000 XPF
1-9	Evacuation des excédents de déblais	m ³	1 500 XPF	1400	2 100 000 XPF
Total (XPF HT)					159 940 000 XPF
Aléa et non chiffrés (15%)					23 991 000 XPF
Total XPF HT (y/c Aléa et non chiffrés)					183 931 000 XPF

NB : Une dérivation du débit a été envisagée le long de la voirie existante avec la mise en place d'un ouvrage sous la route d'accès à l'amont de la Vaiami.

Au vu de la dimension de l'ouvrage nécessaire, celui-ci empièterait une trop grande partie de la chaussée et couperait l'accès aux habitations en amont de la Vaiami pendant tout la durée des travaux.

Une dérivation d'une partie du débit pourrait être envisageable avec la mise en place d'un ouvrage plus petit sous la chaussée mais nous émettons des doutes sur l'efficacité du fonctionnement de celui-ci en cas de crue. Il se boucherait rapidement du fait des embâcles et les pertes de charge liées aux coudes et aux divers raccordements limiteraient l'efficacité hydraulique de celui-ci.

7.3.3 - Reprise de l'ouvrage couvert sous la gendarmerie en amont du tronçon recalibré

Le passage couvert sous la gendarmerie n'a pas été repris lors des travaux de dérivation. Le débit de la Vaiami ne peut donc s'engouffrer correctement dans la partie aval redimensionnée.

Le gabarit nécessaire pour faire transiter un débit de 89 m³/s est de :

- Cadre béton (K=70)
- Largeur de 4.5 m
- Hauteur de 2.3m
- Pente moyenne de 0.025 m/m
- Hauteur d'eau de 1.80 m pour Q100 (tirant d'air de 50cm)
- Longueur : 140m

La difficulté de ces travaux réside dans le fait que des bâtiments sont implantés à proximité du dalot existant voire sur celui-ci. La reprise de celui-ci doit donc être analysée davantage dans le détail du fait du faible espace disponible entre les bâtiments existants.

L'idéal serait de réaliser ces travaux en marge d'un réaménagement du site actuel.

L'estimation financière de cet ouvrage est donc donné à titre indicatif mais devra être ajustée en fonction des contraintes locales dans les prochaines phases d'étude de celui-ci.

LEGENDE 12 – ESTIMATION DU DALOT SOUS LA GENDARMERIE					
N° Prix	Poste	Unité	Prix Unitaire HT	Quantités	Total HT
1-1	Installations, études d'exécution,	Fft	22 575 000 XPF	1	22 575 000 XPF
1-2	Soutènement provisoire type berlinoise pour terrassement à proximité bâtiments	m ²	100 000 XPF	250	25 000 000 XPF
1-3	Déblais	m ³	1 200 XPF	5500	6 600 000 XPF
1-4	Béton de propreté	m ³	50 000 XPF	80	4 000 000 XPF
1-5	Dalots 4,5x2,5m	m ³	120 000 XPF	1200	144 000 000 XPF
1-6	Remblais contigus aux ouvrages	m ³	3 000 XPF	3200	9 600 000 XPF
1-7	Réfection voirie	m ²	12 000 XPF	2300	27 600 000 XPF
1-8	Nappage des enrochements en matériaux issus des déblais	m ³	2 500 XPF	2200	5 500 000 XPF
1-9	Evacuation des excédents de déblais	m ³	1 500 XPF	2300	3 450 000 XPF
Total (XPF HT)					248 325 000 XPF
Aléa et non chiffrés (15%)					37 248 750 XPF
Total XPF HT (y/c Aléa et non chiffrés)					285 573 750 XPF

Département

communication.egis@egis.fr

www.egis-group.com

