



SERVICE DE L'URBANISME

CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DANS LE CADRE DES PLANS DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS DE POLYNESIE FRANÇAISE

RIVIERE VAIPOHE (TAIARAPU-OUEST)



Affaire n° 2054 19 EP

Date	Version	Rédaction	Validation	Modifications
31/01/2020	V1	GD	AV	-



Société Polynésienne de l'Eau, de l'Electricité et des Déchets
82 chemin vicinal de Tipaerui – Papeete
BP2120 – 98713 Papeete – Tahiti – Polynésie française
Tél (+689) 40 50 81 81 – Fax (+689) 40 41 00 36 – Email : speed@speed.pf

TABLE DES MATIERES

I	CADRE DE L'ETUDE	6
1.1	Objectifs de l'étude.....	6
1.2	Périmètre de l'étude	7
1.3	Etudes et données existantes	8
II	TERRAIN	10
2.1	Données topographiques.....	10
2.2	Visite de terrain.....	10
2.3	Evolution géomorphologique de la rivière	14
III	ANALYSE HYDROLOGIQUE	15
3.1	Temps de concentration	15
3.2	Débits caractéristiques	16
3.3	Hydrogrammes de projet.....	17
IV	MODELISATION HYDRAULIQUE	18
4.1	Schéma typologique du modèle	18
4.2	Paramétrage du modèle	19
4.3	Scénarii de modélisation.....	21
V	ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE CRUE.....	22
5.1	Crue décennale	22
5.2	Crue cinquantennale.....	23

5.3	Crue centennale.....	24
VI	CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION.....	27
6.1	Classification de l'aléa inondation	27
6.2	Cartographies de l'aléa inondation.....	27
6.3	Cartographie finale du PPR	28
VII	PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT	29
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	30
	ATLAS CARTOGRAPHIQUE.....	31

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Secteur d'étude et localisation du bassin-versant de la rivière Vaipohe. (Fond de carte : Service de l'Urbanisme, Digitalglobe Inc. 2017)	7
Figure 2.	Modèle Numérique de Terrain du Service de l'Urbanisme.....	9
Figure 3.	Hydrogrammes synthétiques unitaires pour les débits de projet Q10, Q50 et Q100.....	17
Figure 4.	Matrice de rugosité de la plaine d'inondation.....	20
Figure 5	Modélisation 1D de la crue décennale de la Vaipohe.....	22
Figure 6	Modélisation 2D de la crue décennale de la Vaipohe, hauteurs maximales (à gauche) et vitesses d'écoulement maximales (à droite).	23
Figure 7	Modélisation 1D de la crue cinquantennale de la Vaipohe.	23
Figure 8	Modélisation 2D de la crue cinquantennale de la Vaipohe, hauteurs maximales (à gauche) et vitesses d'écoulement maximales (à droite).	24
Figure 9.	Modélisation 1D de la crue centennale de la Vaipohe.....	25
Figure 10.	Modélisation 2D de la crue centennale de la Vaipohe, hauteurs maximales (à gauche) et vitesses d'écoulement maximales (à droite).	25
Figure 11.	Modélisation 1D de la crue centennale avec embâcle de la Vaipohe.....	26
Figure 12	Modélisation 2D de la crue centennale avec embâcle de la Vaipohe, hauteurs maximales (à gauche) et vitesses d'écoulement maximales (à droite).	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Principales caractéristiques du bassin-versant de la rivière Vaipohe.	8
Tableau 2.	Dimensions du dalot de la RDC.	12
Tableau 3.	Dimensions du second pont.	13
Tableau 4.	Détermination du temps de concentration du bassin-versant de la rivière Vaipohe.	15
Tableau 5.	Détermination des débits caractéristiques de la rivière Vaipohe.	16
Tableau 6.	Coefficients de Manning-Strickler en lit mineur.....	19
Tableau 7.	Coefficients de Manning-Strickler en lit majeur.....	20

Tableau 8.Scénarii du projet.	21
Tableau 9. Classification PPRI des niveaux d'aléa inondation.....	27

I CADRE DE L'ÉTUDE

1.1 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

En Polynésie française et à Tahiti plus particulièrement, les pressions démographique et foncière incitent à étendre et à densifier les constructions et les aménagements sur le bord de mer, dans les vallées et sur les reliefs. Cette évolution expose les populations à un risque de catastrophe naturelle de plus en plus important, conduisant le Pays à mettre en place progressivement depuis 2005 des Plans de Prévention des Risques naturels (PPR).

Les PPR sont des documents réalisés par le Service de l'Urbanisme réglementant l'utilisation des sols au regard des phénomènes naturels extrêmes auxquels ils peuvent être soumis. Ils ont pour objet l'analyse des aléas pouvant affecter un territoire, c'est-à-dire des probabilités d'occurrence de phénomènes naturels d'intensité extrême pour un lieu donné.

Dans le cas du risque inondation, la réalisation des PPR nécessite de cartographier l'aléa inondation pour des événements de différentes magnitudes de référence. Ceux-ci sont caractérisés par des périodes de retour allant de 10 à 100 ans, c'est-à-dire par des probabilités d'occurrence annuelle allant de 10 à 1%. Ces cartographies sont réalisées à partir d'expertises de terrain, d'études hydrologiques et de modélisations hydrauliques.

Ce rapport présente les résultats d'une étude réalisée par la Société Polynésienne de l'Eau, de l'Electricité et des Déchets (SPEED) dans le cadre du marché public n° 01/2018/SAU (Lot 3). Il porte sur la rivière Vaipohe s'écoulant dans la commune de Tairapu-Ouest (district de Teahupoo) sur la presqu'île de Tahiti. Les objectifs de cette étude sont de :

- Simuler les débordements observés lors de crues remarquables sur ce cours d'eau ;
- Définir la capacité d'évacuation maximale de son lit mineur ;
- Définir l'extension, la hauteur et la vitesse d'écoulement des crues de référence en lit majeur ;
- Evaluer le risque d'embâcle et ses conséquences possibles sur l'extension des inondations ;
- Diagnostiquer succinctement les ouvrages hydrauliques existants ;
- Proposer des aménagements permettant de réduire l'aléa inondation au droit de ce cours d'eau.

Après avoir brièvement introduit la zone d'étude, nous présentons les différentes observations de terrain qui nous permettront, avec l'analyse des données hydrologiques disponibles, de paramétrer un modèle hydraulique de la rivière Vaipohe. Les résultats des simulations obtenus pour différents scénarii de crues caractéristiques sont ensuite analysés et traduits en cartographie d'aléa inondation.

Finalement, différentes propositions d'aménagement permettant la mitigation des risques d'inondation et d'érosion au droit de cette rivière sont évaluées au regard des enjeux de vulnérabilité identifiés le long du cours d'eau.

1.2 PERIMETRE DE L'ETUDE

La rivière Vaipohe s'écoule dans la vallée Maire située dans le district de Teahupoo (PK16.8, commune de Taiarapu-Ouest) sur la presqu'île de Tahiti. Son bassin-versant s'étend sur une superficie de 2.291 km² et s'étire sur une distance maximale de 3 600 m, depuis une altitude maximale de 839 m jusqu'au lagon. La pente moyenne le long du thalweg est élevée, de l'ordre de 23 %. En sortie de vallée, elle se conclut par un vaste et puissant cône de déjection d'environ 450 m de rayon, marqué de part et d'autre de l'embouchure par les pointes Arahouhou et Pani.

Le secteur d'étude concerne le tronçon aval du linéaire, où sont présentes les habitations, sur une longueur d'environ 900 m.



Figure 1. Secteur d'étude et localisation du bassin-versant de la rivière Vaipohe.
(Fond de carte : Service de l'Urbanisme, Digitalglobe Inc. 2017)

CARACTERISTIQUES DU BASSIN-VERSANT	VAIPOHE
Superficie	2.291 km ²
Plus long chemin hydraulique	3 600 m
Altitude maximale	839 m
Altitude minimale	0 m
Pente moyenne le long du thalweg	23 %

Tableau 1. Principales caractéristiques du bassin-versant de la rivière Vaipohe.

Selon les différentes sources documentaires, la rivière peut être nommée Vaipohe ou Vairoae. Elle ne doit pas être confondue avec la rivière Vaipohe s'écoulant dans la vallée Arupa, à Vairao (PK9.3), dans cette même commune de Taiarapu-Ouest.

1.3 ETUDES ET DONNEES EXISTANTES

A notre connaissance, la rivière Vaipohe n'a fait l'objet d'aucune campagne de mesures hydrologiques à ce jour. Néanmoins, différentes études, monographiques ou régionales, apportent cependant des éléments utiles à l'analyse de ce cours d'eau :

- En 1999, l'étude BCEOM sur les priorités d'aménagements des cours d'eau de Tahiti attribue à la Vaipohe une priorité de 5 sur 5 (priorité forte = 1, priorité faible = 5), indiquant un risque d'inondation faible ;
- En 2003, Joël Danloux utilise la formule empirique de Creager régionalisée pour estimer les débits caractéristiques de la Vaipohe. En se basant sur les mesures de débits réalisées sur la rivière voisine Urihae, il retient un débit de 38 m³/s pour la crue décennale (Q10), 60 m³/s pour la crue cinquantennale (Q50) et 72 m³/s pour la crue centennale (Q100).

Il estime par ailleurs que pour ce secteur de la presqu'île, les Plus Hautes Eaux (PHE) connues ont dû être atteintes lors de la tempête Alan, en avril 1998. Les débits atteints alors furent de l'ordre de la crue cinquantennale (60 m³/s) ;

- Par ailleurs, le Service de l'Urbanisme dispose d'un ensemble de données couvrant la totalité de Tahiti qui seront également mobilisées dans cette étude : Une ortho-photographie satellite WorldView3 de 2017, un modèle numérique de terrain obtenu par restitution photogrammétrique à une résolution de 5m en 2013 et une série de photographies aériennes. Concernant notre secteur d'étude, les photographies aériennes disponibles couvrent les années suivantes : 2003, 2002, 2001, 1996, 1993, 1990, 1989, 1987, 1982, 1981, 1977, 1967 et 1955.

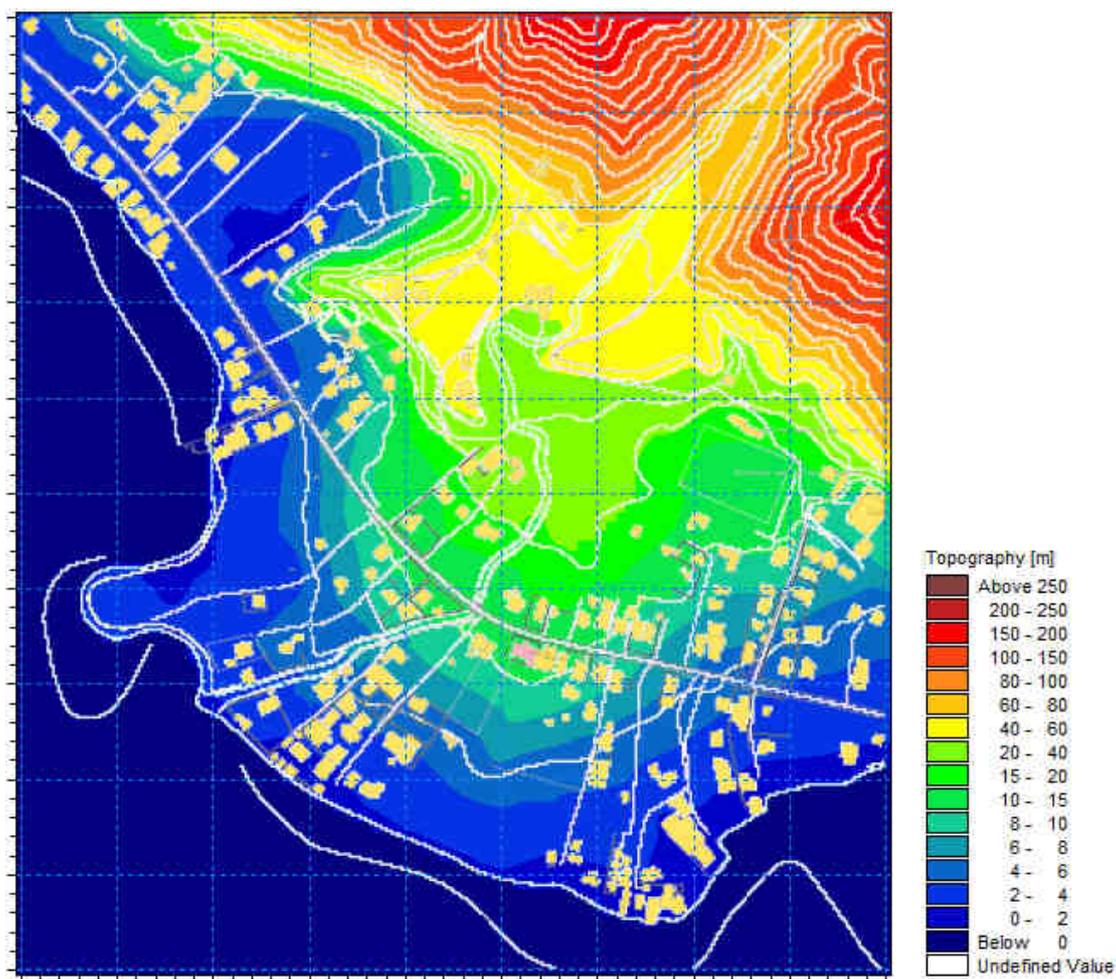


Figure 2. Modèle Numérique de Terrain du Service de l'Urbanisme.

II TERRAIN

2.1 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Les levés topographiques du lit mineur de la rivière Vaipohe furent réalisés par le cabinet de géomètres WILD en juillet 2019 :

- Un profil en long au 1/500 sur un linéaire de 941 m depuis l'embouchure,
- 17 profils en travers au 1/200 (espacement moyen de 80m et sections amont et aval de chaque ouvrage hydraulique).

2.2 VISITE DE TERRAIN

Une visite de terrain fut organisée en juillet 2019 le long de la rivière Vaipohe afin d'effectuer des observations hydrauliques et hydrogéomorphologiques et de mener une enquête auprès des riverains (8 entretiens réalisés).

On notera d'une façon générale le caractère torrentiel de la rivière jusqu'au lagon, avec de fortes pentes, un cône de déjection très marqué et de nombreux blocs charriés jusqu'à l'aval.

2.2.1 Vallée

Sur le tronçon amont de la zone d'étude, du PM0 au PM200, la vallée de la Vaipohe est encore encaissée. La pente du cours d'eau y est forte, de l'ordre de 9%, et la hauteur des berges est marquée, généralement supérieure à 2m. Selon le propriétaire du fa'a'apu occupant la rive gauche de la rivière, la situation à flanc de versant de celle-ci serait artificielle. Le lit de la rivière, autrefois au centre de la vallée, aurait été déplacé afin de pouvoir exploiter ce terrain.

La rivière charrie de nombreux blocs métriques témoignant du caractère torrentiel des écoulements. On note la présence de 2 blocs particulièrement massifs :

- le premier, au PM40, probablement issu de la falaise, qui obstrue la quasi-totalité du lit mineur,
- le second vers PM 130, moins volumineux, occupant une petite moitié du lit mineur.

Selon le propriétaire du terrain, le premier bloc force régulièrement la rivière à sortir de son lit et à s'écouler sur son fa'a'apu avant de retrouver le lit de la rivière. Le second bloc cause une érosion marquée du versant opposé.



Photo 1 et 2. Lit mineur et premier bloc plurimétrique.



Photo 3 et 4. Erosion du versant causée par le second bloc plurimétrique.

2.2.2 Méandrement en sortie de vallée

Du PM200 au PM646 (dalot de la RDC), le lit de la Vaipohe forme une succession de méandres alors que la rivière sort de la vallée et s'écoule sur la partie supérieure de son cône alluvial. La pente du cours d'eau diminue sensiblement pour atteindre 7% environ, et le lit s'encaisse avec une hauteur de berges variant entre 3 et 5 m. Celles-ci sont ponctuellement enrochées au droit des habitations présentes en aval. Le calibre des blocs transportés tend à diminuer le long du tronçon mais reste pluridécimétrique.

Un riverain sur l'amont du tronçon souligne l'intermittence du cours d'eau qui ne coule que très rarement. En revanche il constate une érosion régressive importante résultant d'extractions sur l'aval de la rivière. Alors qu'avant la rivière pouvait atteindre ici la hauteur de certaines berges, le cours d'eau resterait désormais plusieurs mètres en dessous de celles-ci.

En aval au contraire, une autre riveraine souligne l'absence de problèmes depuis l'enrochement du lit.



Photo 5 et 6. Amont et aval du tronçon à méandres.

2.2.3 Dalot de la RDC

Le dalot de la RDC présente plusieurs facteurs aggravants au regard du risque d'embâcles :

- Un sous-dimensionnement évident,
- Des conduites d'eau traversantes en amont et en aval, en dessous du niveau du radier,
- Une situation de premier obstacle à l'aval immédiat d'un secteur forestier.

Par ailleurs, sa dalle présente un état d'usure très avancé et un affouillement à son aval la fragilisant plus encore.

HAUTEUR	LARGEUR	SECTION	LONGUEUR
2.4 m	3.7 m	9 m ²	10 m

Tableau 2. Dimensions du dalot de la RDC.



Photo 7 et 8. Sections amont et aval du dalot de la RDC.

2.2.4 Chenal rectiligne en plaine alluviale

Du PM656 (dalot de la RDC) au PM957 (embouchure), la rivière Vaipohe s'écoule sur la plaine littorale formée par la partie inférieure du cône alluvial. La pente y est plus faible, avoisinant 3%. Les berges restent marquées avec environ 2 m de hauteur généralement, et sont partiellement protégées par des enrochements. Le lit de la rivière est en partie végétalisé, notamment du fait de plantations réalisées par les riverains (bananiers, taro...) sur l'aval du tronçon.



Photo 7 et 8. Secteur amont du tronçon et second pont.

Au milieu de ce tronçon (PM752) se trouve un pont. Celui-ci, du fait de sa hauteur et de sa situation en aval du dalot de la RDC, ne présente pas de risque d'embâcle particulier.

HAUTEUR	LARGEUR	SECTION	LONGUEUR
4.25 m	10.5 m	35 m ²	4 m

Tableau 3. Dimensions du second pont.



Photo 9 et 10. Aval du second pont.

L'ensemble des habitants de l'aval du bassin s'accordent sur le fait que la rivière n'a plus débordé depuis la mise en place des enrochements, vraisemblablement dans les années 2000, alors qu'auparavant les terrains étaient régulièrement inondés. Aujourd'hui le lit de la rivière semble s'être significativement creusé. En hautes eaux, le niveau du cours d'eau reste à plus d'un mètre des berges.

Il convient néanmoins de rappeler qu'au vu des fortes pentes du lit majeur, en cas de débordement, de fortes vitesses et donc des dégâts importants pourraient être attendus en lit majeur.

2.3 EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE

L'analyse des photographies aériennes historiques disponibles ne permet pas d'identifier de dynamiques morphologiques particulières sur la rivière Vaipohe.

Le cône de déjection, très marqué, a été incisé par les extractions puis par la pose des enrochements dans les années 2000, ce qui a figé le lit mineur.

Un petit cours d'eau draine le sud-est du cône de déjection. Ce petit cours d'eau, qui possède son exutoire propre, pourrait éventuellement servir de décharge à la VAIPOHE pour des crues extrêmes.

Si la rivière a donc peu évolué au cours des dernières décennies, on note néanmoins que l'analyse est ici limitée par l'étroitesse du cours d'eau, la couverture forestière du bassin et la résolution relativement faible des photographies aériennes historiques.

III ANALYSE HYDROLOGIQUE

Le bassin-versant de la rivière Vaipohe n'a jamais fait l'objet de campagne de mesures hydrologiques et nous ne disposons d'aucune observation directe de débit sur ce cours d'eau. De la même manière, il n'existe pas non plus de mesures pluviométriques sur ce bassin. Il est donc nécessaire ici d'estimer les débits caractéristiques de la rivière Vaipohe ainsi que son hydrogramme de crue à partir des données existantes sur des bassins voisins similaires et des caractéristiques géographiques de son bassin-versant.

Conformément à l'usage dans ce type de situation, l'hypothèse de travail retenue ici est celle d'une pluie unitaire et uniforme s'abattant sur la totalité du bassin-versant pendant une durée correspondant à son temps de concentration. Ces précipitations résultent alors en un hydrogramme de crue synthétique unitaire.

3.1 TEMPS DE CONCENTRATION

FORMULE	TEMPS DE CONCENTRATION (min)
Giandotti	29.6
Izzard-Meunier	26.2
Kirpich	18.7
Ven Te Chow	18.7
Ventura	23.9
TEMPS DE CONCENTRATION DE PROJET	22.9

Tableau 4. Détermination du temps de concentration du bassin-versant de la rivière Vaipohe.

Le temps de concentration est une caractéristique essentielle du bassin-versant. Selon les méthodes choisies, il est utilisé dans l'estimation des débits caractéristiques ainsi que dans la construction de l'hydrogramme de crue synthétique. Au cours des années, de nombreuses formules ont été proposées dans la littérature. Nous ne retenons ici que les formules les plus communes adaptées aux bassins-versants naturels/ruraux de petite dimension.

Le temps de concentration retenu dans cette étude est $T_c = 22.9$ min. Il correspond à la moyenne des valeurs obtenues par les différentes formules utilisées desquelles on retire les 2 valeurs extrêmes.

3.2 DEBITS CARACTERISTIQUES

Les débits caractéristiques de la rivière Vaipohe n'ont fait l'objet que d'une seule estimation à ce jour. Dans son étude régionale de 2003 sur les maximums de crue sur l'île de Tahiti, Danloux utilise la formule empirique de Creager à partir des données du bassin-versant voisin de la rivière Urihae afin d'estimer ses débits Q10, Q50 et Q100.

Nous proposons ici de nouvelles estimations résultant de l'application de la méthode rationnelle pour l'estimation du débit de référence décennal et de son extrapolation par la méthode du gradex pour l'estimation des débits de référence cinquantennal et centennal.

Cette méthode est successivement appliquée à partir des paramètres hydrologiques (coefficients de Montana dérivés des valeurs d'Intensité-Durée-Fréquence) de différentes stations :

- La station météorologique de Faa'a, qui présente la plus longue série de données avec des valeurs d'IDF déterminées sur une période de 50 ans (1958-2008) ;
- La station de Taravao, plus proche géographiquement du bassin-versant étudié mais ne disposant d'observations que pour une période de 20 ans seulement.

Par ailleurs, pour l'application de la méthode rationnelle, un coefficient de ruissellement $C = 0.55$ est retenu. Celui-ci correspond à la valeur retenue dans les études réalisées sur les bassins-versants voisins. En outre, l'imperméabilisation des sols sur le bassin-versant (1.16% de la surface) est ici trop faible pour être impactante.

METHODE	Q10 (m ³ /s)	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)
DANLOUX 2003 Formule empirique de Creager régionalisée	38	60	72
Méthode rationnelle + Gradex (station : Taravao)	44	62	70
Méthode rationnelle + Gradex (station : Faa'a)	41	63	73
DEBITS DE PROJET	41	63	73

Tableau 5. Détermination des débits caractéristiques de la rivière Vaipohe.

Les différentes estimations réalisées sont relativement homogènes. L'utilisation d'une station plutôt qu'une autre pour la méthode rationnelle influence peu ici les résultats et cette méthode semble confirmer les ordres de grandeur proposés par Danloux en 2003.

Nous retiendrons ici les résultats obtenus à partir des données pluviométriques de Faa'a qui sont statistiquement les plus robustes du fait de la longueur de la série de mesures.

Les débits de crues caractéristiques retenus dans cette étude seront par conséquent 41 (Q10), 63 (Q50) et 73 m³/s (Q100).

On note finalement que les plus fortes crues observées sur les rivières de Teahupoo sont celles du 11 avril 1998 lors du passage de la tempête Alan. Pour cet événement, Danloux évalue le maximum de crue sur la rivière Vaipohe à un débit de crue cinquantennale Q50.

3.3 HYDROGRAMMES DE PROJET

Ne disposant pas d'enregistrement d'hydrogramme unitaire de crue sur la rivière Vaipohe, des hydrogrammes synthétiques unitaires, de type triangulaire, sont générés pour chacun des 3 débits de projet à partir du temps de concentration du bassin-versant.

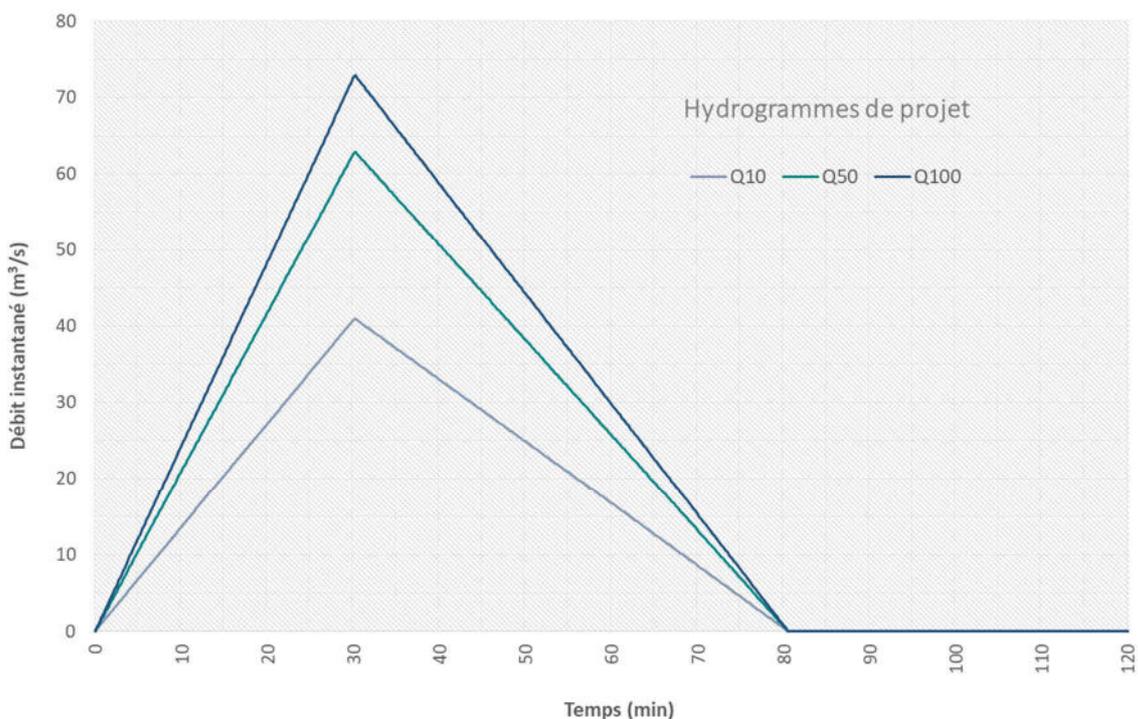


Figure 3. Hydrogrammes synthétiques unitaires pour les débits de projet Q10, Q50 et Q100.

IV MODELISATION HYDRAULIQUE

4.1 SCHEMA TYPOLOGIQUE DU MODELE

4.1.1 Modélisation 1D sous Mike 11

La modélisation de l'écoulement dans le lit mineur s'effectue au moyen du logiciel unidimensionnel MIKE 11. Celui-ci reconstitue la géométrie du lit mineur par l'intégration des données issues des levés topographiques (profil en long et profils en travers) pour permettre une analyse fine des écoulements le long du linéaire de la rivière (hauteurs d'eau, vitesses d'écoulement, débits, points de débordement...).

4.1.2 Modélisation 2D sous Mike 21

Le logiciel MIKE 21 est utilisé pour modéliser la plaine d'inondation à une résolution de 10 m à partir des données topographiques disponibles et du modèle numérique de terrain du Service de l'Urbanisme. Ce modèle bidimensionnel permet de simuler les écoulements de surface dans le lit majeur en fonction des obstacles topographiques naturels et artificiels (digues, remblais...) et d'en extraire entre autres les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement nécessaires à la cartographie de l'aléa inondation.

On notera que dans cette étude, compte-tenu de l'urbanisation très réduite, les bâtiments sont considérés comme transparents hydrologiquement, c'est-à-dire que leur influence sur les écoulements n'est pas prise en compte directement à l'échelle du bâti, mais seulement de manière plus large à travers des coefficients de rugosité adaptés.

4.1.3 Couplage 1D-2D sous Mike Flood

Le couplage des modèles 1D et 2D s'effectue finalement sous l'interface MIKE FLOOD qui connecte le lit mineur à sa plaine d'inondation. Les déversements de l'un vers l'autre, et réciproquement, sont

modélisés au moyen de lois de seuil automatisées en fonction de la cote des berges, de la cote du lit majeur et du niveau d'eau.

4.1.4 Limites du modèle hydraulique

Les limites du modèle hydraulique sont principalement :

- La précision de la géométrie du lit mineur, dépendant en particulier de la densité de profils en travers levés sur le terrain ;
- La précision de la topographie du lit majeur, dépendant de la qualité des données topographiques disponibles (points géodésiques, modèle numérique de terrain réalisé par restitution photogrammétrique, données LIDAR...) ;
- Le calage des paramètres de rugosité en lit mineur et en lit majeur à partir de mesures ou d'observations précises d'événements passés ou, à défaut, d'estimations tirées de la littérature.

4.2 PARAMETRAGE DU MODELE

4.2.1 Rugosité du lit mineur

La rugosité du lit mineur est caractérisée par des coefficients de Strickler (ou Manning's M) exprimés en $m^{1/3}/s$. Faute d'observations ou témoignages permettant de caler empiriquement ces coefficients de Strickler, nous retenons, après analyse de la littérature scientifique, les valeurs suivantes pour chacun des tronçons rencontrés le long du linéaire de la rivière.

TRONCON	NATURE DU LIT MINEUR	MANNING-STRICKLER ($m^{1/3}/s$)
Vallée	Torrent à gros blocs, berges naturelles très végétalisées	15
Chenal à méandres	Nombreux blocs, berges naturelles très végétalisées	20
Dalot sous RDC	Berges bétonnées peu entretenues	40
Chenal rectiligne	Berges partiellement enrochées, peu végétalisées	30

Tableau 6. Coefficients de Manning-Strickler en lit mineur.

4.2.2 Rugosité de la plaine d'inondation

De la même manière, des coefficients de Strickler relatifs à chaque type de surface caractérisent la rugosité de la plaine d'inondation sous la forme d'une matrice géoréférencée.

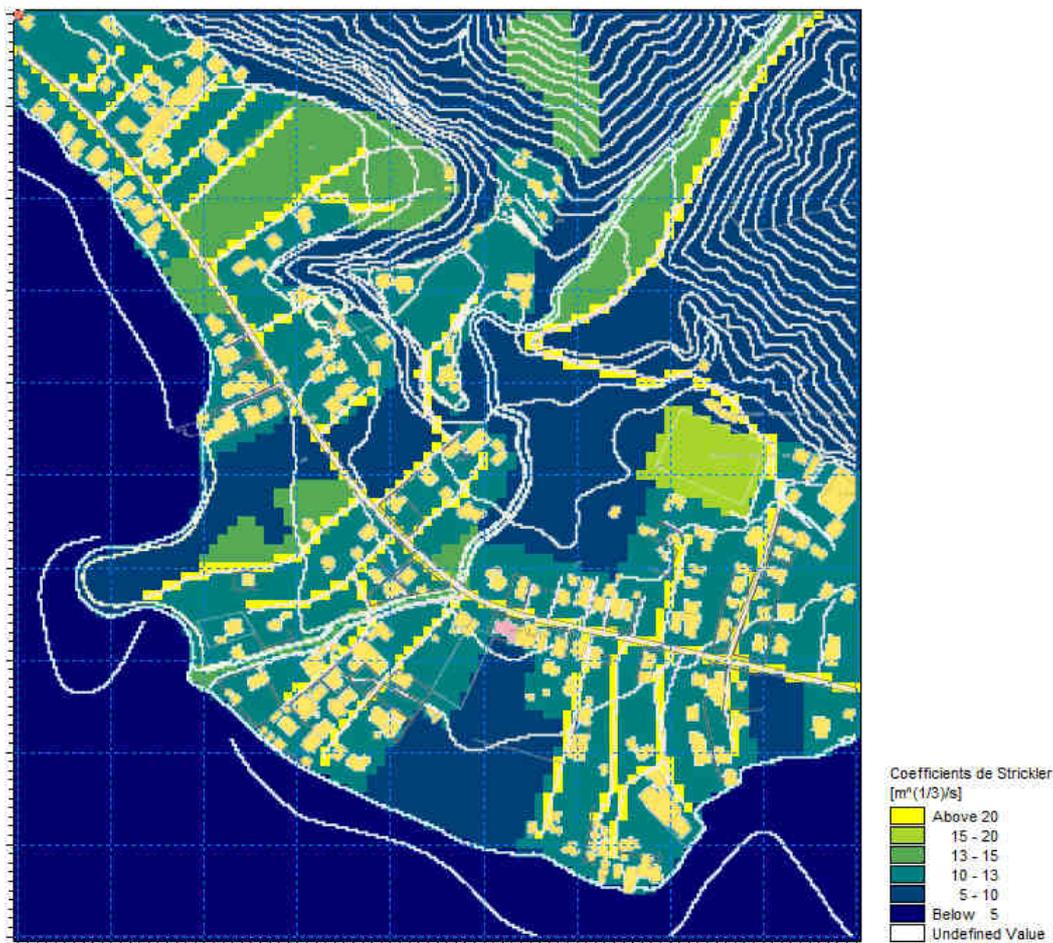


Figure 4. Matrice de rugosité de la plaine d'inondation.

Les valeurs suivantes sont retenues en accord avec les données issues de la littérature scientifique :

NATURE DU LIT MAJEUR	MANNING-STRICKLER ($m^{1/3}/s$)
Surface dégagée non-végétalisée	25
Surface dégagée peu végétalisée (herbes basses)	20
Surface dégagée très végétalisée (herbes hautes, buissons)	15
Surface forestière	8
Zone d'habitat rural de densité modérée	13

Tableau 7. Coefficients de Manning-Strickler en lit majeur.

4.3 SCENARII DE MODELISATION

Le modèle hydraulique est utilisé afin de simuler les écoulements de la rivière Vaipohe pour différents scénarii. Chaque scénario est caractérisé par un débit de crue (condition limite amont du modèle), un niveau lagonaire (condition limite aval du modèle) et la modélisation ou non d'embâcle au droit des ouvrages hydrauliques sensibles à ce type de phénomène.

Pour les embâcles, une réduction de 50% de la section est simulée au droit du dalot de la RDC lors d'une crue centennale. En revanche, aucun embâcle n'est simulé pour la seconde passerelle car le risque d'embâcle y est significativement moindre du fait de la hauteur de l'ouvrage et de sa situation en aval.

La rivière Vaipohe n'étant pas endiguée, aucune modification de la géométrie du lit mineur permettant de simuler l'érosion de digue n'a donc été réalisée. En revanche, le bloc plurimétrique présent sur le tronçon amont de la rivière et obstruant la plus grande partie du lit mineur a été représenté schématiquement par une réduction de la section du cours d'eau.

Conformément aux objectifs de l'étude, des simulations des crues décennale, cinquantennale et centennales avec et sans embâcle sont donc réalisées. Des simulations complémentaires permettent également d'évaluer la sensibilité du modèle aux variations du niveau lagonaire et au nombre d'embâcles.

SCENARIO	DEBIT	NIVEAU LAGONAIRE	EMBÂCLE	AUTRE ELEMENT
Crue décennale	41 m ³ /s	0m NGF	-	Bloc obstruant le lit mineur en amont
Crue cinquantennale	63 m ³ /s	0m NGF	-	Bloc obstruant le lit mineur en amont
Crue centennale avec surcote marine	73 m ³ /s	+1m NGF	-	Bloc obstruant le lit mineur en amont
Crue centennale avec surcote marine et embâcles	73 m ³ /s	+1m NGF	Dalot sous RDC (50%)	Bloc obstruant le lit mineur en amont

Tableau 8.Scénarii du projet.

On note finalement que la plus grande crue observée sur le bassin versant de la rivière Vaipohe ne fait pas l'objet d'une simulation dans cette étude. Il s'agirait a priori d'une crue cinquantennale survenue lors du passage de la tempête Alan en avril 1998. Or aucune donnée et aucun des témoignages recueillis ne permet de caractériser cet événement plus précisément.

V ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE CRUE

5.1 CRUE DECENNALE

Lors de la simulation du scénario de crue décennale, un seul point de débordement est observé au droit du bloc obstruant le lit mineur sur le tronçon amont de la rivière Vaipohe (PM40, $Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$). La rivière sort alors de son lit en rive gauche et s'écoule parallèlement à celui-ci sur 130 m environ, en inondant le fa'a'apu de ce secteur amont, avant de regagner le lit de la rivière au PM170.

Les débordements modélisés correspondent aux enquêtes de terrain.

En l'absence de bloc au contraire, aucun débordement n'est observé pour ce débit.

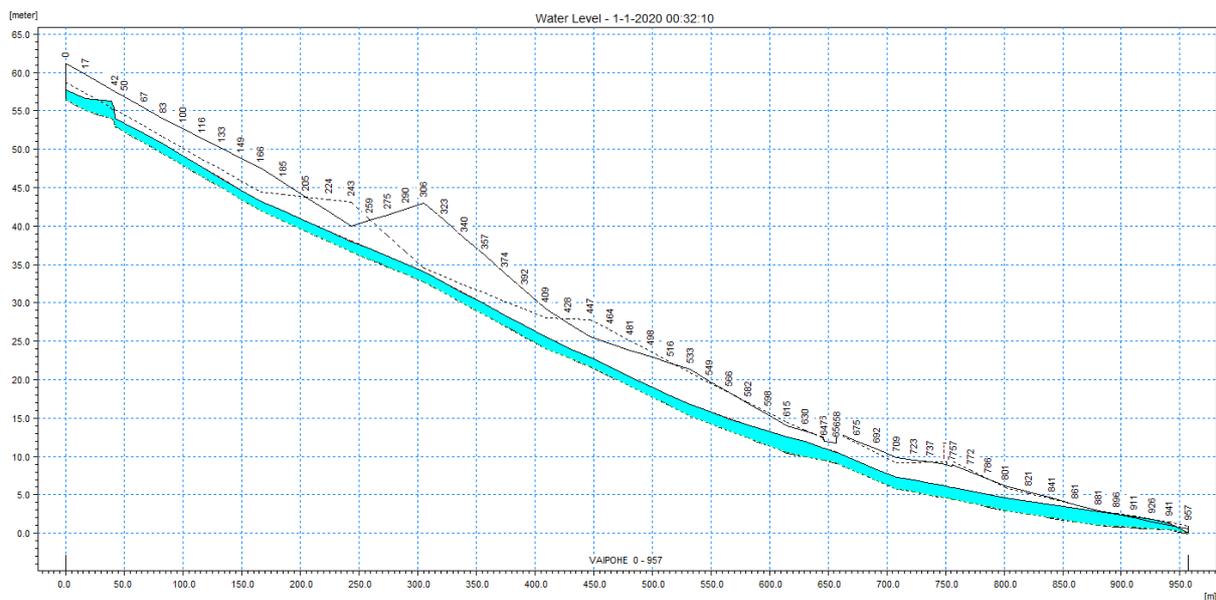


Figure 5 Modélisation 1D de la crue décennale de la Vaipohe.

En crue décennale, le tirant d'air au droit du dalot de la RDC est de 0.80 m et celui au droit du pont aval de 2.75 m.

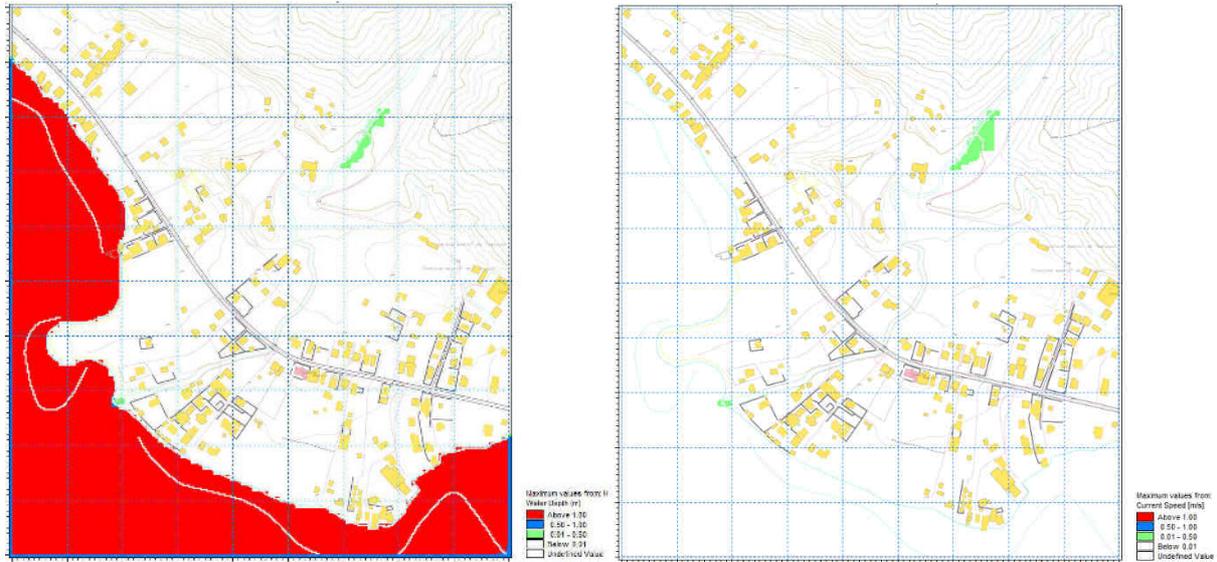


Figure 6 Modélisation 2D de la crue décennale de la Vaipohe, hauteurs maximales (à gauche) et vitesses d'écoulement maximales (à droite).

5.2 CRUE CINQUANTENNALE

En crue cinquanteennale, la dynamique de crue est similaire à celle de la crue décennale. Un seul débordement est observé au droit du bloc le lit mineur sur le tronçon amont de la rivière (PM40, $Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$). Le débordement, plus important, inonde le secteur amont jusqu'au PM200 environ.

En l'absence de bloc, aucun débordement n'est observé pour ce débit.

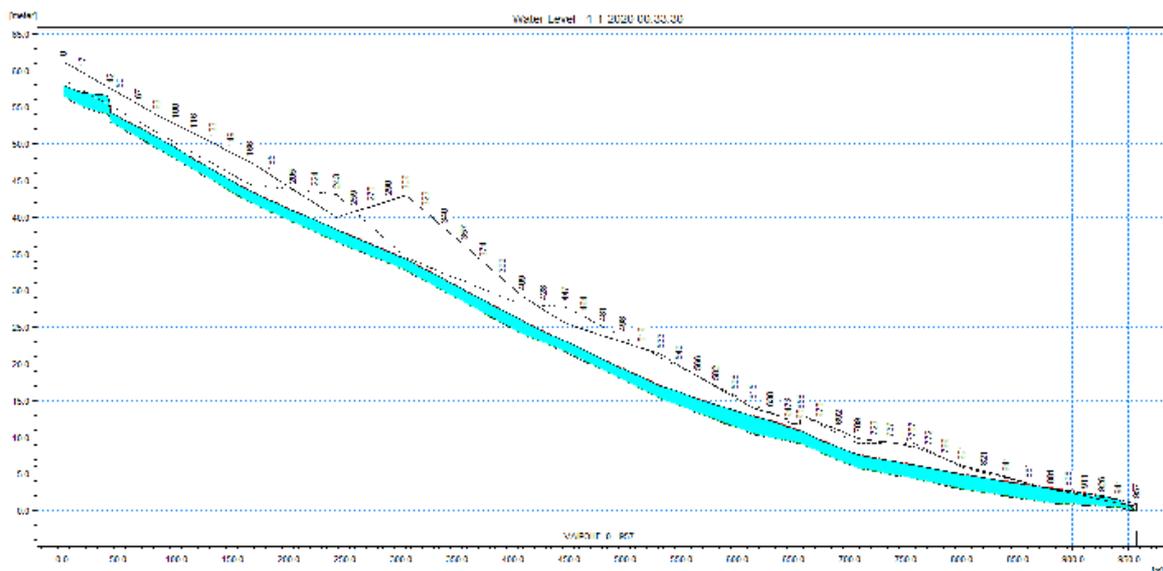


Figure 7 Modélisation 1D de la crue cinquanteennale de la Vaipohe.

En crue cinquanteennale, le tirant d'air au droit du dalot de la RDC est de 0.50 m et celui au droit du pont aval de 2.40 m.

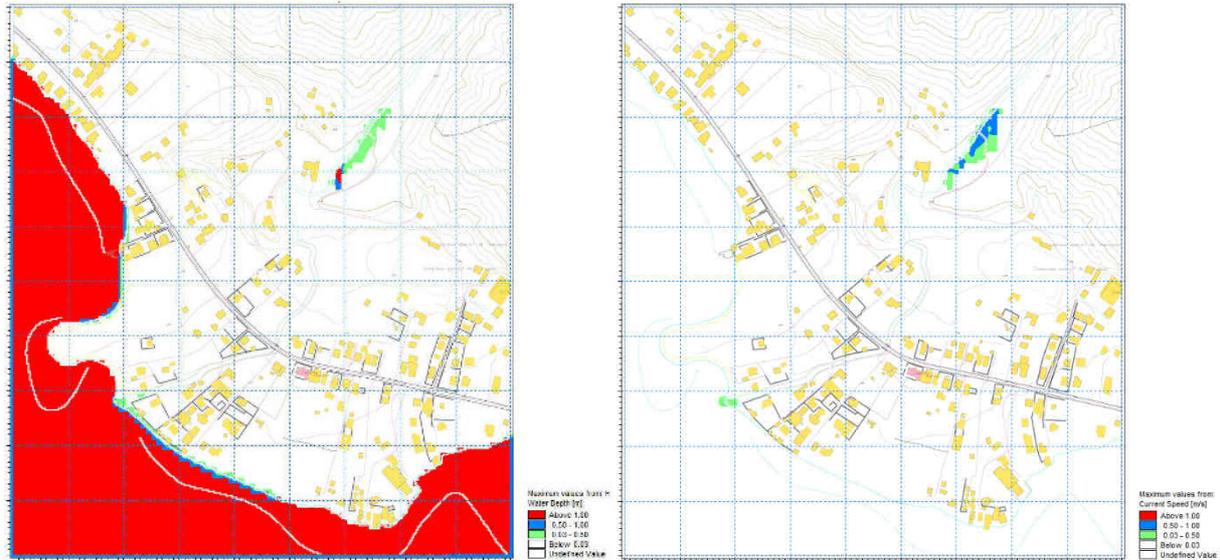


Figure 8 Modélisation 2D de la crue cinquantennale de la Vaipohe, hauteurs maximales (à gauche) et vitesses d'écoulement maximales (à droite).

5.3 CRUE CENTENNALE

5.3.1 Crue centennale sans embâcle

En crue centennale, la dynamique de crue est identique aux précédentes. Le bloc obstruant le lit de la rivière provoque l'inondation du secteur amont (PM40, $Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$). Les débordements modélisés correspondent donc sensiblement aux observations. Le bras de décharge situé au sud-est du cône de déjection n'est pas sollicité.

En l'absence de bloc, aucun débordement n'est observé pour ce débit.

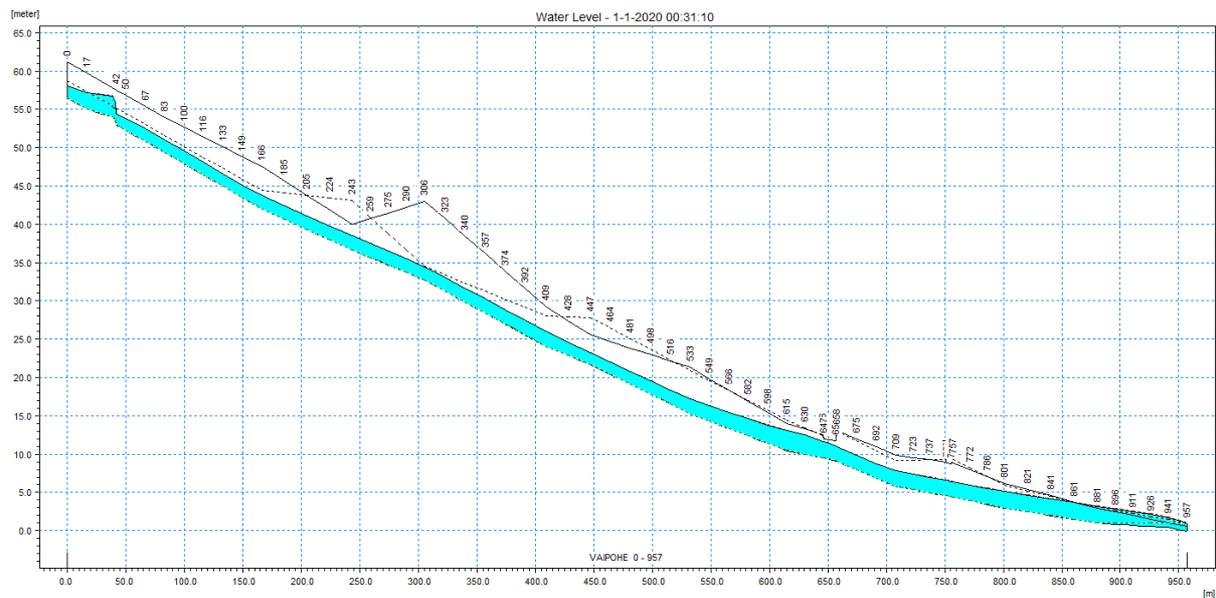


Figure 9. Modélisation 1D de la crue centennale de la Vaipohe.

En crue centennale, le tirant d'air au droit du dalot de la RDC est de 0.30 m et celui au droit du pont aval de 2.25 m.

On note par ailleurs que la surcote marine de 1 m n'influence pas ici la dynamique de crue, le cours d'eau gardant un écoulement torrentiel jusqu'à l'exutoire.

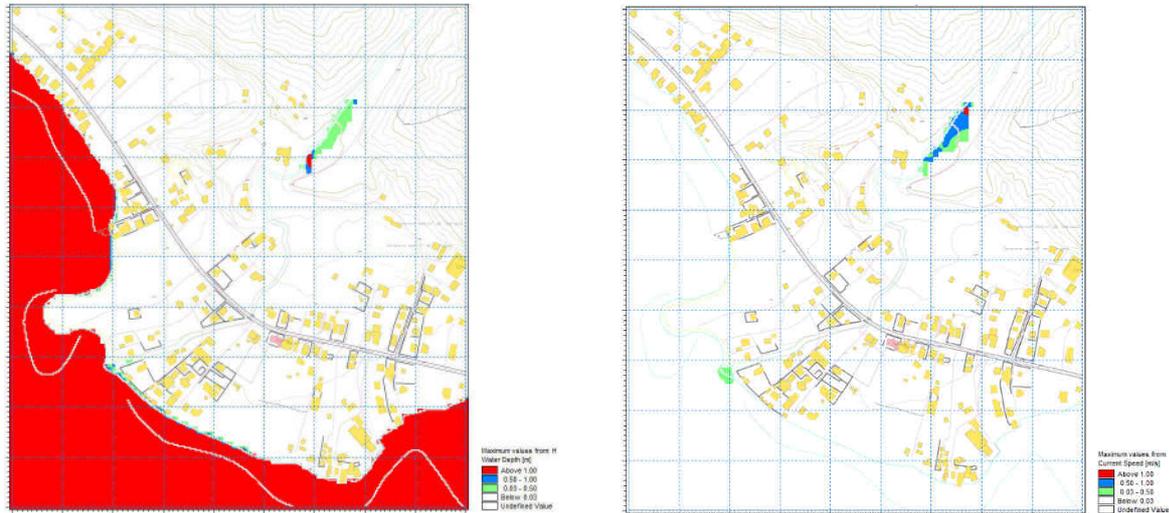


Figure 10. Modélisation 2D de la crue centennale de la Vaipohe, hauteurs maximales (à gauche) et vitesses d'écoulement maximales (à droite).

5.3.2 Crue centennale avec embâcle

Le dalot de la RDC est vulnérable au risque d'embâcle. La simulation d'un embâcle par la réduction de 50% de la section du dalot indique, dans cette hypothèse, une mise en charge de l'ouvrage à partir de $Q = 27 \text{ m}^3/\text{s}$.

En plus du débordement du secteur amont, l'embâcle cause un débordement supplémentaire de part et d'autre du dalot. Le flux s'écoule alors principalement en rive droite avec une forte vitesse en sortie du lit sur la parcelle immédiatement en aval de la RDC.

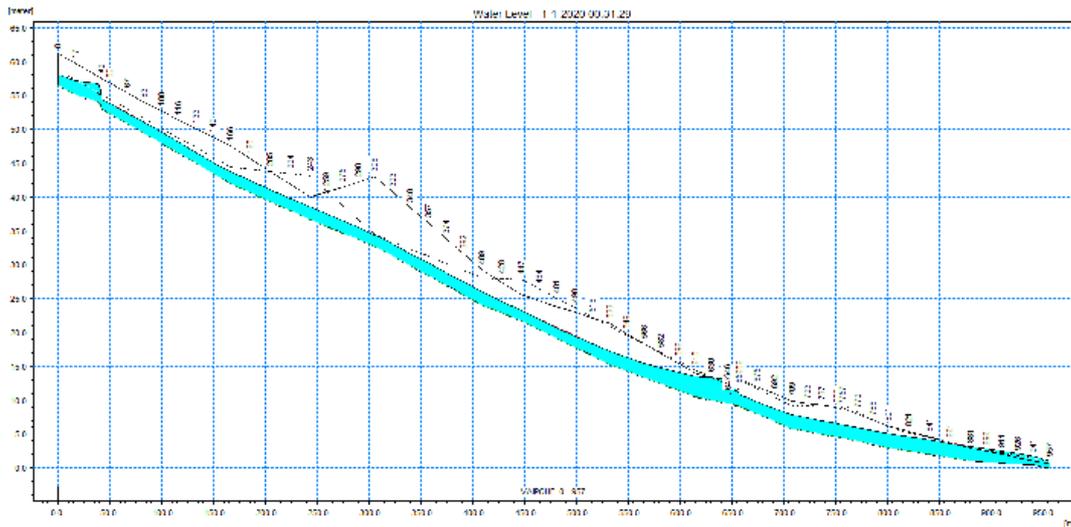


Figure 11. Modélisation 1D de la crue centennale avec embâcle de la Vaipohe.

Plus en aval, le tirant d'air au droit du second pont est alors de 2.30 m.

Là encore, la surcote marine n'a pas d'influence sur ce scénario.

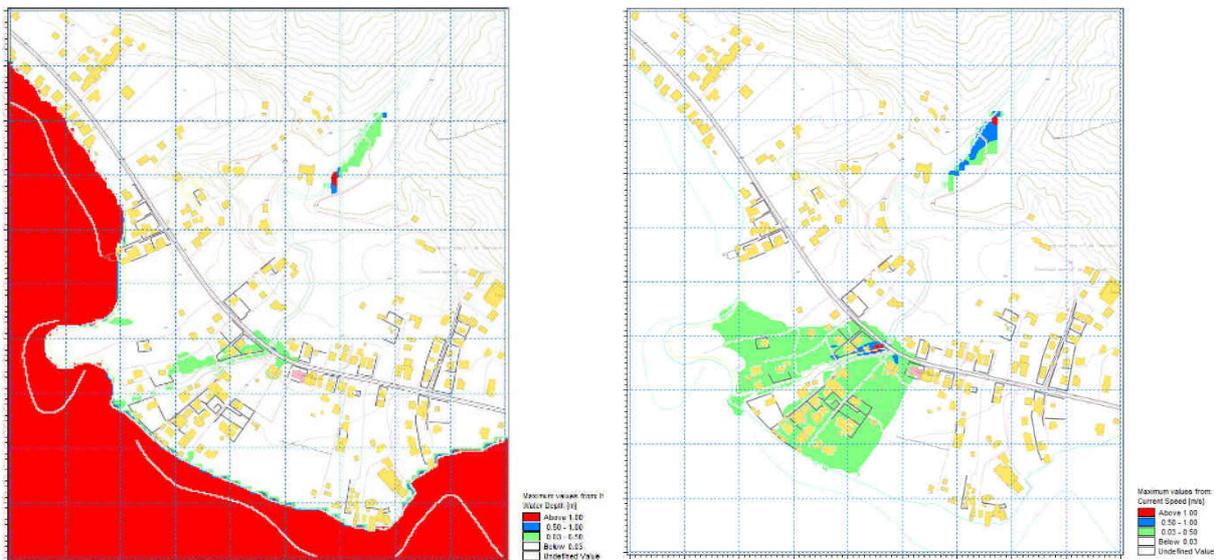


Figure 12 Modélisation 2D de la crue centennale avec embâcle de la Vaipohe, hauteurs maximales (à gauche) et vitesses d'écoulement maximales (à droite).

VI CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION

6.1 CLASSIFICATION DE L'ALEA INONDATION

Dans le cadre des Plans de Prévention des Risques Inondations, les différents niveaux d'aléa inondation pour chaque crue de référence sont classés en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement concomitantes maximales selon les critères suivants :

ALEA INONDATION	HAUTEUR D'EAU MAXIMALE	VITESSE MAXIMALE
Aléa faible (vert)	$H < 0.5 \text{ m}$	$V < 0.5 \text{ m/s}$
Aléa moyen (bleu)	$H < 0.5 \text{ m}$	$V \geq 0.5 \text{ m/s}$
	$0.5 \leq H \leq 1 \text{ m}$	$V < 0.5 \text{ m/s}$
Aléa fort (orange)	$0.5 \leq H \leq 1 \text{ m}$	$V \geq 0.5 \text{ m/s}$
	$H > 1 \text{ m}$	$V < 0.5 \text{ m/s}$
Aléa très fort (rouge)	$H > 1 \text{ m}$	$V \geq 0.5 \text{ m/s}$

Tableau 9. Classification PPRI des niveaux d'aléa inondation.

6.2 CARTOGRAPHIES DE L'ALEA INONDATION

Les cartographies d'aléa inondation sont générées en interpolant spatialement les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement maximales obtenues lors de la simulation de chaque scénario de crue de

référence, puis en classifiant et en croisant ces deux données suivant les critères présentés précédemment.

La concomitance des pics de hauteurs et de vitesse est préalablement vérifiée et lorsque ce n'est pas le cas, la combinaison de valeurs correspondant au niveau d'aléa le plus élevé est retenue.

En outre, un seuil minimal est appliqué à chaque variable :

- La hauteur d'eau minimale retenue pour la caractérisation des espaces inondés est de 0.03 m, en dessous duquel l'inondation est jugée non-significative au regard de la rugosité de la surface et de l'infiltration ;
- La vitesse d'écoulement minimale retenue pour la caractérisation du débordement est de 0.01 m/s, en dessous duquel les eaux stagnantes correspondront soit à des espaces inondés par l'élévation du niveau lagonaire plutôt que le débordement de la rivière, soit à un débordement résiduel non-significatif au regard de la rugosité de la surface et de l'infiltration.

Finalement les cartographies obtenues sont lissées en généralisant les tracés, de manière à gommer les artefacts liés à la résolution du modèle hydraulique, et en supprimant les éléments non-significatifs à l'échelle de la carte, tels que les polygones inférieurs à la taille d'une parcelle (400 m²).

6.3 CARTOGRAPHIE FINALE DU PPR

La cartographie finale utilisée dans le cadre des PPR considère à la fois l'aléa inondation et l'aléa érosion.

La sensibilité à l'érosion est évaluée au regard de la hauteur et de la pente des berges. Nous considérons ici que les berges, enrochées de façon non réglementaire, c'est-à-dire avec une pente raide de 2H/5V, peuvent être soumises à l'érosion jusqu'à une pente d'équilibre caractérisée par le rapport 3H2V, c'est-à-dire 3 unités horizontales pour 2 unités verticales.

Le recul potentiel de chaque berge vulnérable au risque érosion est ainsi calculé au droit de chaque profil topographique avant d'être interpolé le long du lit mineur en prenant en compte la morphologie du cours d'eau (coude, méandrement...) et les observations de terrain.

VII PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT

La cartographie de l'aléa inondation ne met pas en évidence de zone d'aléa fort en dehors du lit mineur et de la bande d'érosion des berges.

En l'absence d'enjeux sur les habitations, il n'y a pas lieu de refaire les protections de berges.

Pour résorber les zones d'aléa moyen et faible autour de la RDC, la réfection du pont de la RDC est à prévoir (dalot de 5 m x 2.5 m de haut au lieu de 3.5 x 2.5 m ht), pour un coût estimé à 54 MF HTVA (hors dévoiement provisoire routier et réseaux).

En l'absence d'habitation en amont, l'enlèvement du bloc plurimétrique n'est pas proposé ici. Si les débordements causés par ce bloc venaient à être considérés comme gênants, après vérification sur l'importance du bloc dans l'histoire et la culture de la vallée, il pourrait être envisagé :

- soit de le casser et de l'extraire,
- soit de canaliser les débordements amont pour favoriser leur retour à la rivière juste en aval du bloc.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BALLAIS J-L., CHAVE S., DUPONT N., MASSON E. & PENVEN M-J., 2011, « *La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables* », Physio-Géo.

BCEOM, 1999, « *Etude des priorités d'aménagements des cours d'eau de Tahiti* », Direction de L'Equipement.

BCEOM/SPEED/VAIAD, 2005, « *Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie française* », Bureau des Recherches Géologiques et Minières.

DANLOUX J., 2001, « *Etudes hydrologiques de la liaison ouest Papeete-Taravao. Evaluation des maximums de crue pour les franchissements à partir des données hydrologiques connues et suivant une approche régionale* », LTPP/GEGDP, Direction de l'Equipement.

DANLOUX J., 2003, « *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* », LTPP/GEGDP, Direction de l'Equipement.

DEGOUTTE G., 2006, « *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières* », Lavoisier.

PEIZERAT S., 1995, « *Guide pratique d'hydrologie* », BURGEAP.

STOLLSTEINER P., 2005, « *Assistance technique pour l'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation en Polynésie française* », ANTEA/Bureau des Recherches Géologiques et Minières.

WOTLING G., 2000, « *Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti* », Université de Montpellier 2.

WOTLING G., 2001a, « *Modélisation hydrologique des cours d'eau de la liaison Tamanu-Taravao* », LTPP/GEGDP, Direction de l'Equipement.

WOTLING G., 2001b, « *Notice technique pour l'évaluation de l'aléa hydrologique à Tahiti* », IRD/GEGDP, Direction de l'Equipement.

ATLAS CARTOGRAPHIQUE

- CAI001** Localisation du bassin-versant et de la zone d'étude.
- CAI002** Evolution naturelle du lit et sensibilité à l'érosion.
- CAI003** Cartographie générale des enveloppes de crue.
- CAI004** Crue décennale.
- CAI005** Crue cinquantiennale.
- CAI006** Crue centennale avec surcote marine (+1m NGF).
- CAI007** Crue centennale avec surcote marine (+1m NGF) et embâcles.
- CAI008** Cartographie finale PPRI.