

RAPPORT TECHNIQUE

CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DANS LE CADRE DES PLANS DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS DE POLYNESIE FRANÇAISE - PAPEARE / VAIPOHE/ NUUATI (MOOREA)

12 février 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	20-Dec-2019	C. DENIZOT	B. OLIVIER	xx
V2	31-Jan-2020	C. DENIZOT	B. OLIVIER	
V3	12-Fev-2020	C. DENIZOT	B. OLIVIER	

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 - Plus fort événement vécu	23
3.2 - Débits de projet	23
3.2.1 - Méthodologie retenue	23
3.2.2 - Caractéristique des bassins versants.....	24
3.2.3 - Détermination des débits de projet.....	25
3.2.3.1 - Débit décennal.....	25
3.2.3.2 - Débit centennal	28
3.2.3.3 - Débit cinquantennal	28
3.2.3.4 - Synthèse des débits de projet retenu	29
3.2.4 - Construction des hydrogrammes.....	29
4 - CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE	32
4.1 - Présentation du logiciel	32
4.2 - Construction du modèle	33
4.3 - Conditions aux limites.....	33
4.4 - Calage des paramètres du modèle hydraulique	34
5 - DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE EN ETAT ACTUEL	35
5.1 - Analyse des lignes d'eau et de la capacité du lit mineur.....	35
5.1.1 - Cours d'eau Papeare	35
5.1.2 - Cours d'eau Vaipohe.....	38
5.1.3 - Cours d'eau Nuwati	40
5.2 - Analyse de la zone inondable décennale	42
5.3 - Analyse de la zone inondable cinquantennale	42
5.4 - Analyse de la zone inondable centennale	42
5.5 - Analyse de la zone inondable centennale avec prise en compte d'hypothèses d'embâcles	46
5.6 - Cartographie de type PPRI	47
5.6.1 - Risque d'érosion de berges.....	47
5.6.2 - Axes secondaires d'écoulement	48
6 - PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS	49
6.1 - Priorité 1 - Suppression des points de blocage en amont de la Vaipohe	49
6.2 - Priorité 2 – Entretien du lit mineur	49

6.3 - Priorité 3 – Amélioration de la capacité des passerelles	50
6.4 - Priorité 4 – Amélioration des écoulements sur la zone aval	51
6.4.1 - Papeare.....	51
6.4.2 - Vaipohe	52
6.4.3 - Nuwati.....	52

REFERENCES

Légende 1 – Hauteurs précipitées en mm en fonction de la durée et de la période de retour au Poste de Faa'a	23
Légende 2 – Cartographie des bassins versants de la PAPEARE, VAIPOHE et NUUATI	24
Légende 3 – Decoupage en sous bassins versants	26
Légende 4 – Pluies de projet et hydrogrammes resultants	30
Légende 5 – Analyse de la capacité du lit mineur de la Papeare	36
Légende 6 – Profil en long et lignes d'eau de la Papeare	37
Légende 7 – Analyse de la capacité du lit mineur de la Vaipohe	38
Légende 8 – Profil en long et lignes d'eau de la Vaipohe	39
Légende 9 – Analyse de la capacité du lit mineur de la Nuwati	40
Légende 10 – Profil en long et lignes d'eau de la Nuwati	41
Légende 11 – Lignes d'eau centennales avec et sans ouvrages	43
Légende 12 – Analyse des ouvrages de la Papeare	44
Légende 13 – Analyse des ouvrages de la Vaipohe	45
Légende 14 – Analyse des ouvrages de la Nuwati	46
Légende 15 – Estimation financière des ouvrages	50
Légende 16 – Schéma de principe du cuvelage béton	51
Légende 17 – Estimation du coût des travaux de réalisation du cuvelage béton	51

1 - CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

Les cours d'eau étudiés sont la Papeare, la Vaipohe et la Nuwati. Ils sont situés sur la commune de VAIARE sur l'île de MOOREA.

Le linéaire à modéliser est de 0.5 km, 1.2 km et 1 km à partir de l'embouchure.

Dans le cadre de cette étude, il s'agit de cartographier l'aléa hydraulique sur ces cours d'eau 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 Papeare, la Vaipohe et la Nuwati 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 :

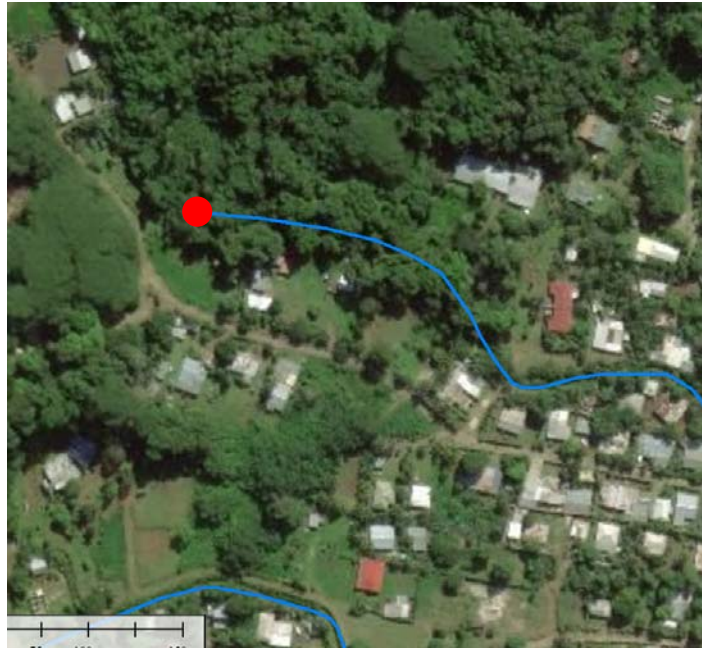
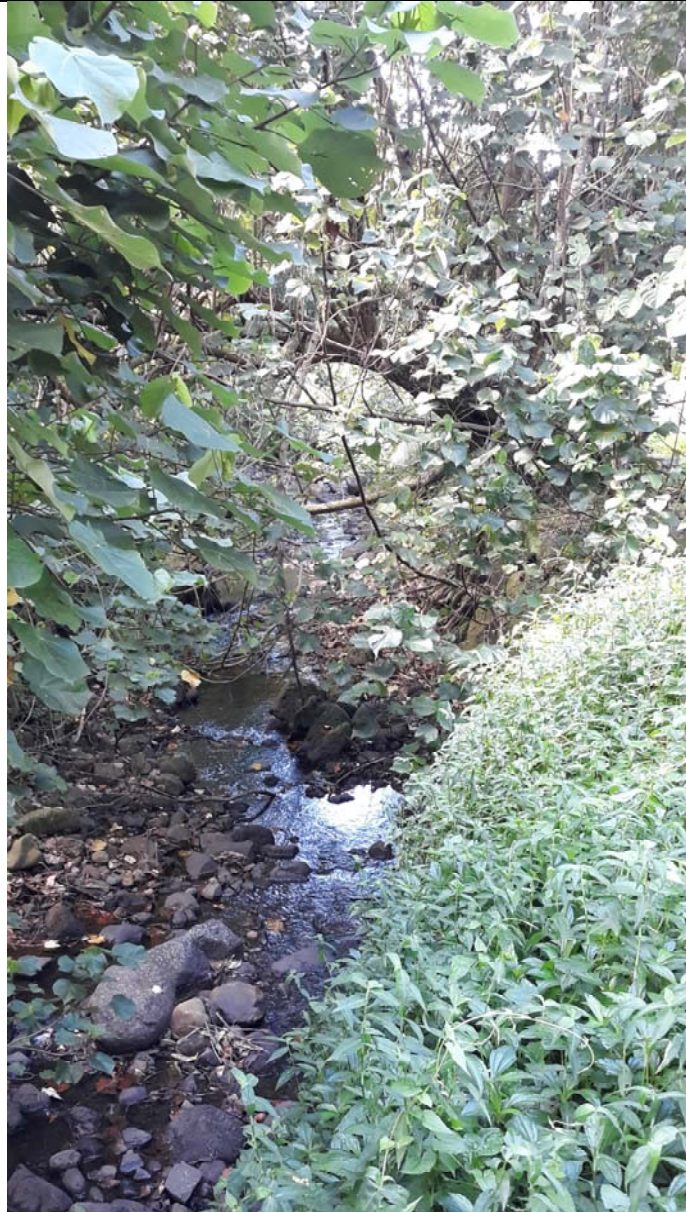
- D'analyser le fonctionnement de ces cours d'eau
- De visualiser l'état du lit (naturel, encombré, avec des embâcles...)
- De faire l'inventaire des ouvrages hydrauliques actuels
- De localiser les éventuels points sensibles de débordements et d'identifier leurs origines
- De recueillir des témoignages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

Les cours d'eau étudiés se décomposent en deux parties :

- Une partie amont avec des pentes importantes et peu de problèmes d'inondation ponctuels signalés
- Une partie aval avec un lit majeur qui s'élargit et des inondations signalées en particulier aux abords de la route de ceinture

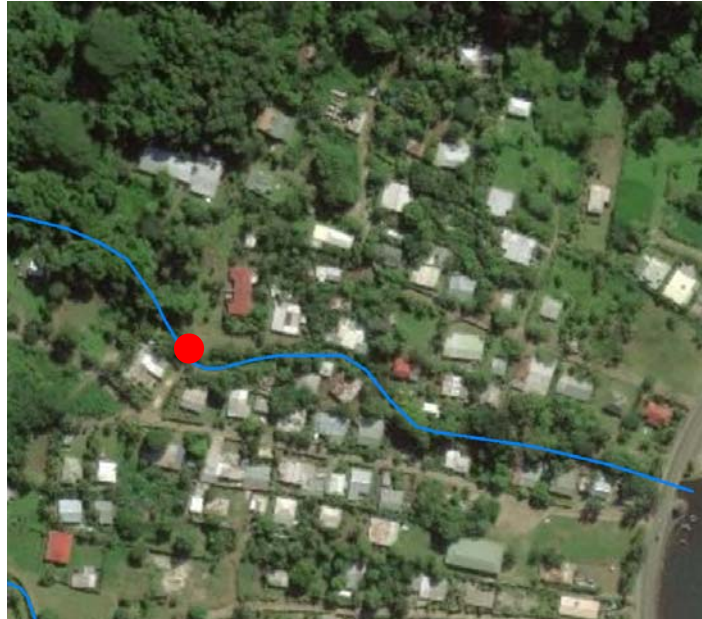
Les caractéristiques notables des cours d'eau, identifiées suite aux observations de terrain sont présentées ci-dessous :

PAPEARE



Amont de la zone d'étude

Le secteur amont est naturel avec un lit mineur entièrement végétalisé.



Une passerelle est implantée sur ce secteur amont de façon à franchir le cours d'eau pour accéder aux habitations amont.

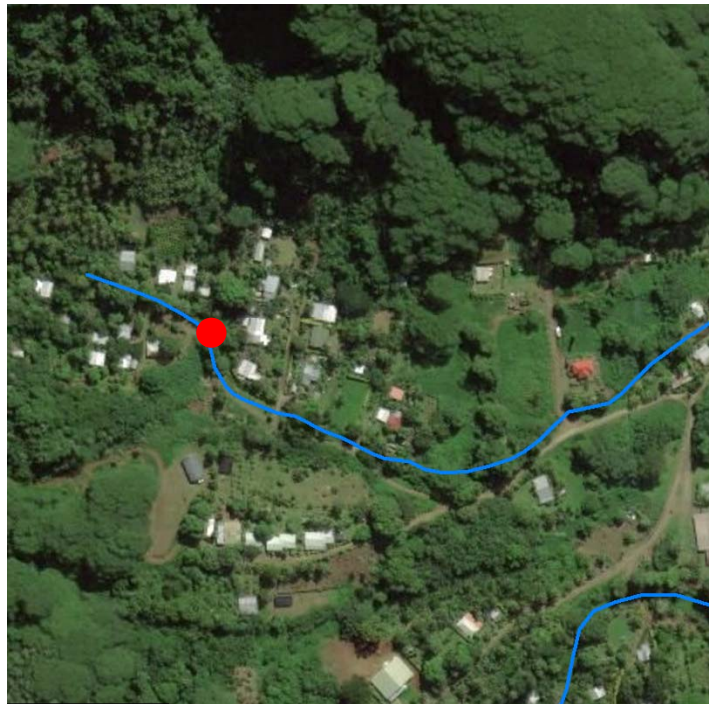
Celle-ci est constituée d'un tablier béton qui est fortement endommagé.



Le pont de la route de ceinture aval est de capacité restreinte.

Une partie de la rambarde a été détruite.

VAIPOHE



Un passage à gué amont a été implanté avec 3 conduites de diamètre 150mm permettant de laisser transiter un filet d'eau.

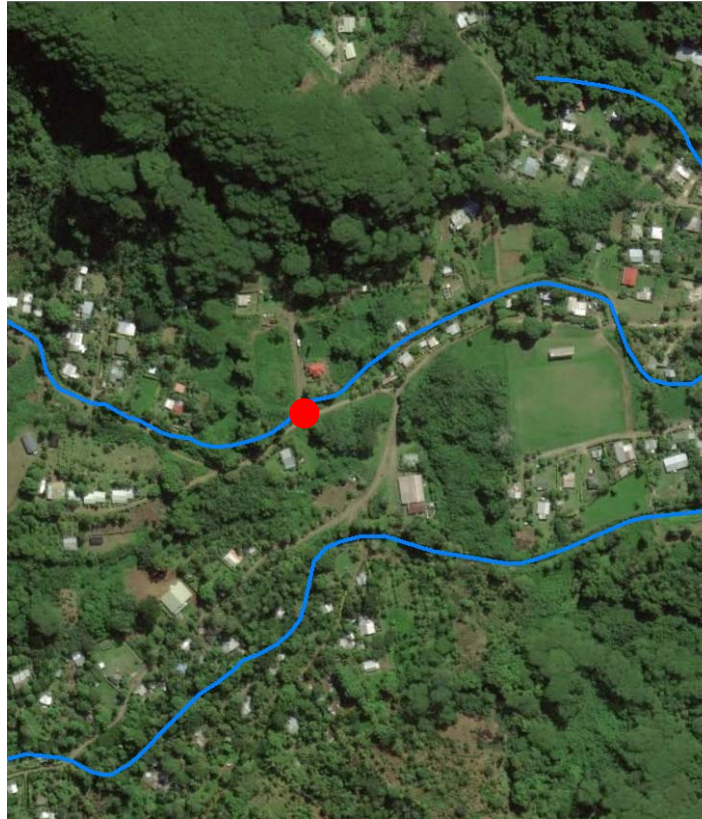
Cet ouvrage obstrue totalement le lit mineur.



La passerelle amont PT3 est constituée d'une poutrelle métallique et d'un platelage bois.

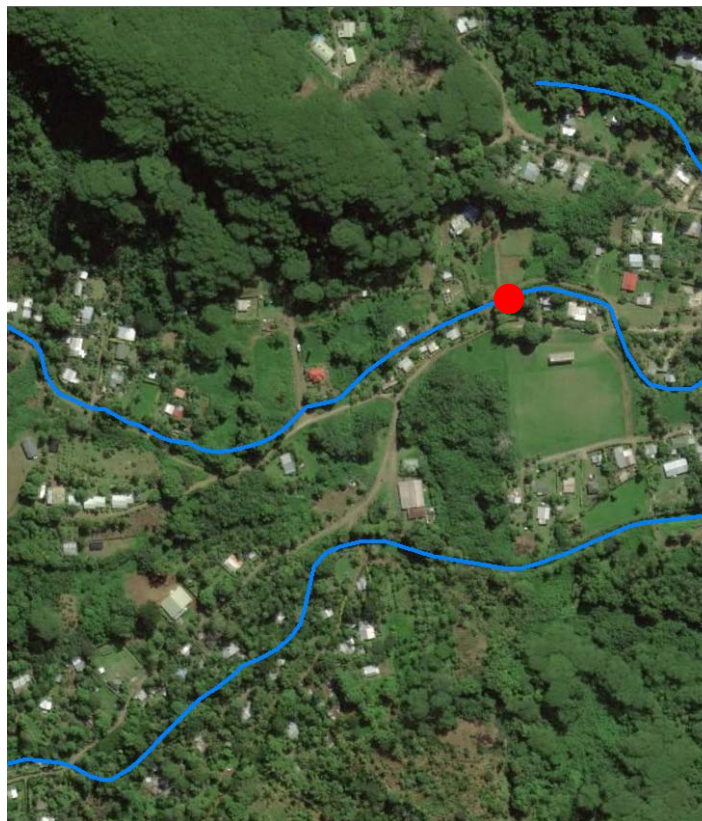


Un deuxième accès obstrue totalement le lit mineur avec uniquement deux conduites de diamètre 500mm permettant de laisser transiter le débit du cours d'eau.

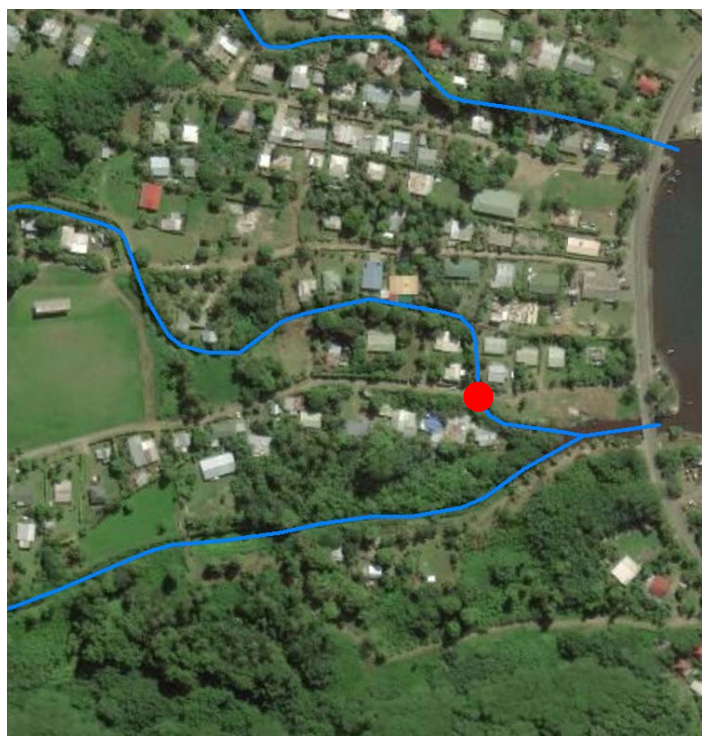


Le 3^{ème} passage à gué permettant l'accès aux propriétés privées est constitué uniquement d'une conduite de diamètre 600mm.

Il génère des débordements signalés par les riverains en aval.



La passerelle PT10 est constituée d'une poutrelle métallique et d'un platelage bois comme toutes les passerelles amont.



La passerelle aval PT17 est constituée d'un tablier béton.

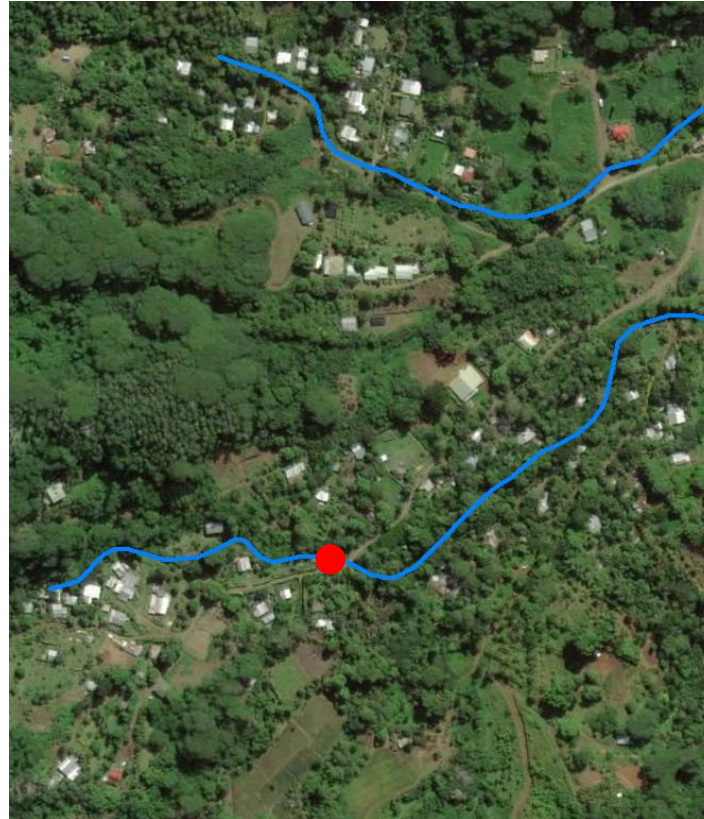


Le pont de la route de ceinture est relativement en bon état.

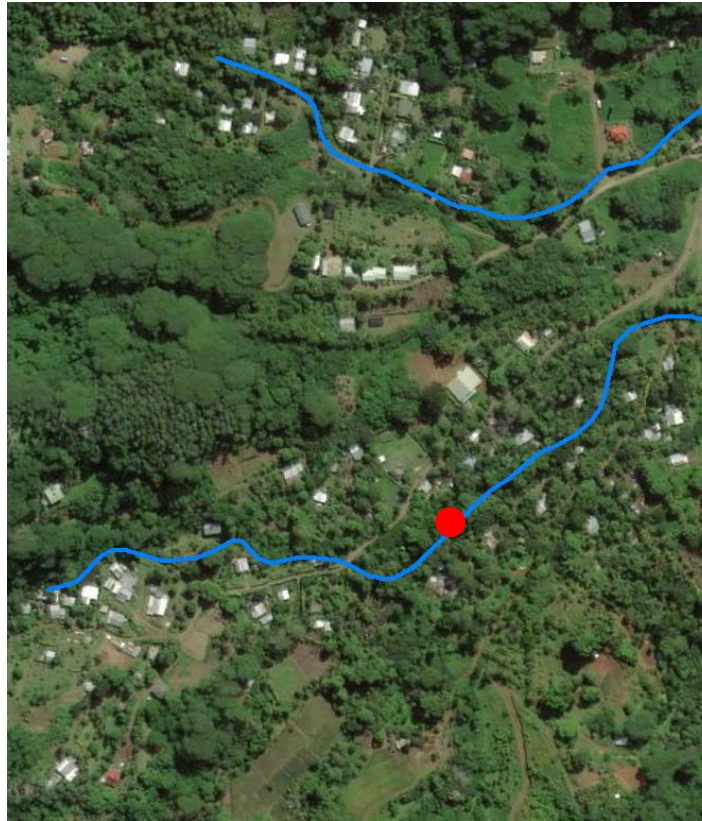
Un bouchon vaseux a été observé en aval. Il serait nécessaire de le curer puisqu'il diminue la section d'écoulement et risque de ne pas s'évacuer en cas de crue au vu de son état de sédimentation.



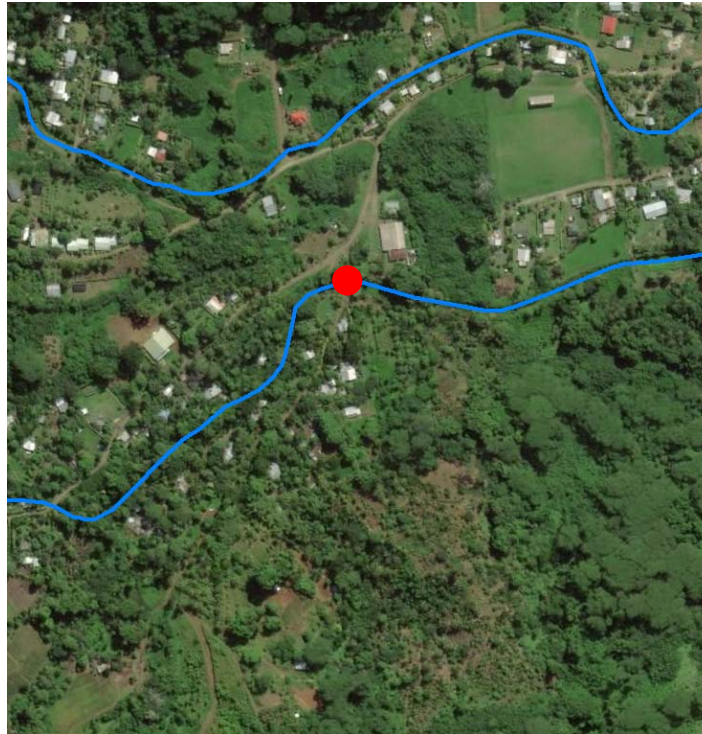
NUUATI



L'amont du lit est naturel avec un lit mineur très végétalisé et un transport solide important.

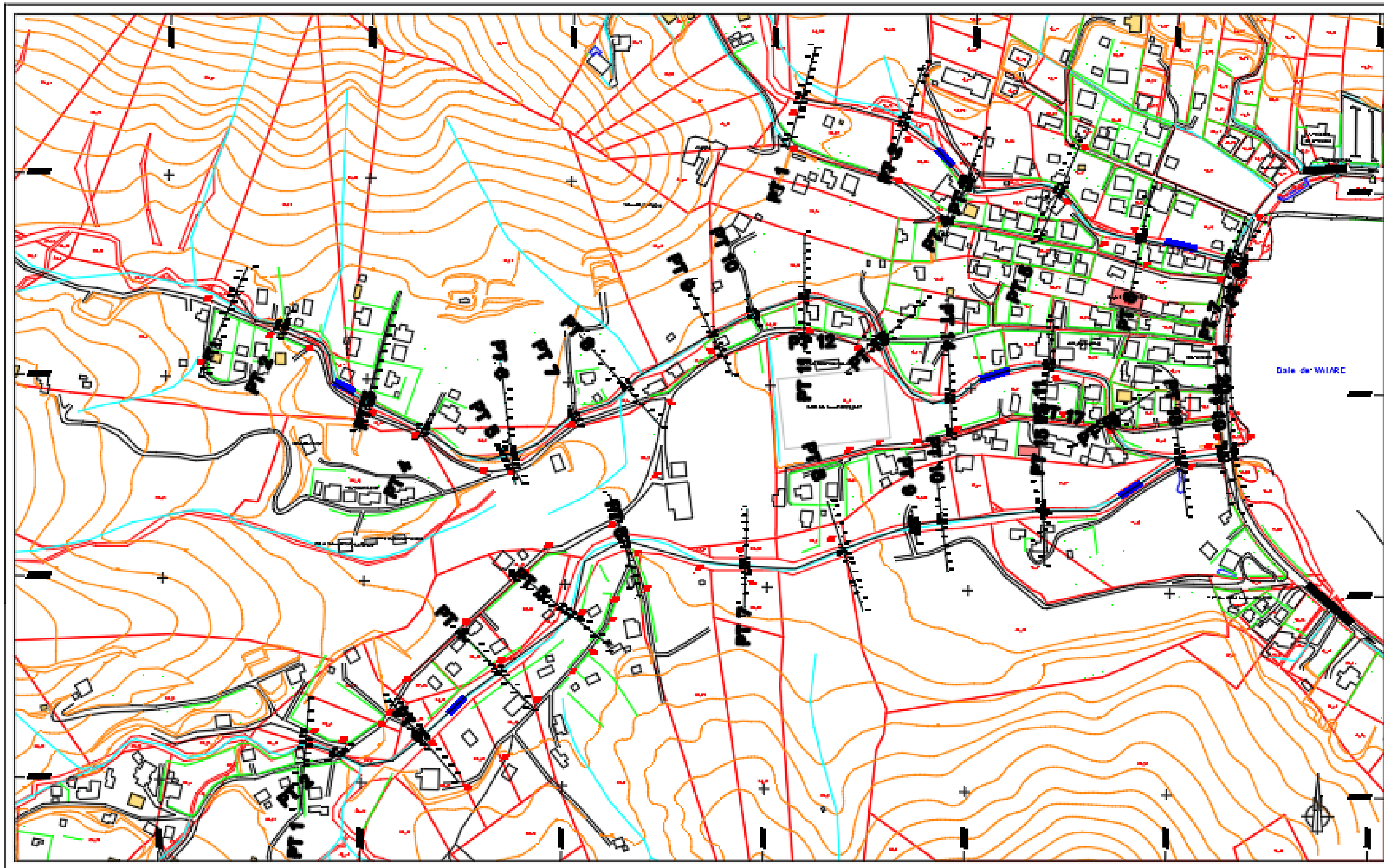


La passerelle PT3 est constituée d'une poutrelle métallique et d'un platelage bois, comme les autres passerelles amont.



La passerelle PT6

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.

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

Aucune donnée n'est disponible sur cette partie de l'île de Moorea.

La bibliographie disponible concernant l'hydrologie sur le secteur de Moorea est la suivante :

- Évaluation des maximums de crues connues à Raiatea et Moorea – 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

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

3 - ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1 - Plus fort événement vécu

Les crues les plus importantes signalées sur Moorea ces dernières années sont celles de :

- Décembre 1991 (source étude Danloux de 2003)
- Décembre 1998

Nous ne disposons pas de témoignages sur ces crues.

3.2 - Débits de projet

3.2.1 - Méthodologie retenue

La méthode de calcul des débits de projet sur le secteur de Vaiare est donnée dans la note méthodologique de Stollsteiner.

Aucun de ces cours d'eau n'est équipé de station hydrométrique. Une analyse statistique des débits (méthode utilisée pour l'île de Tahiti) n'est donc pas possible.

De plus, les données hydrométriques disponibles sur Moorea ne permettent pas d'envisager un transfert vers les bassins versants étudiés en raison des courtes durées d'observations et de la non représentativité des bassins versants jaugés par rapport aux bassins versants étudiés.

L'exploitation de données pluviométriques est donc utilisée pour le calcul des débits de projet.

Nous ne disposons pas d'enregistrements pluviométriques précis sur la zone de Vaiare. Les données disponibles sont issues d'une station dont les durées d'observations ne sont pas suffisamment longues pour pouvoir envisager une analyse statistique fiable.

Ce sont les données associées aux postes pluviographiques les plus proches et présentant les durées d'observations les plus longues qui sont retenues.

Il est proposé de retenir notamment le poste de FAAA, dont les hauteurs précipitées remarquables en mm sont présentées dans le tableau ci-dessous :

LEGENDE 1 – HAUTEURS PRECIPITEES EN MM EN FONCTION DE LA DUREE ET DE LA PERIODE DE RETOUR AU POSTE DE FAA'A

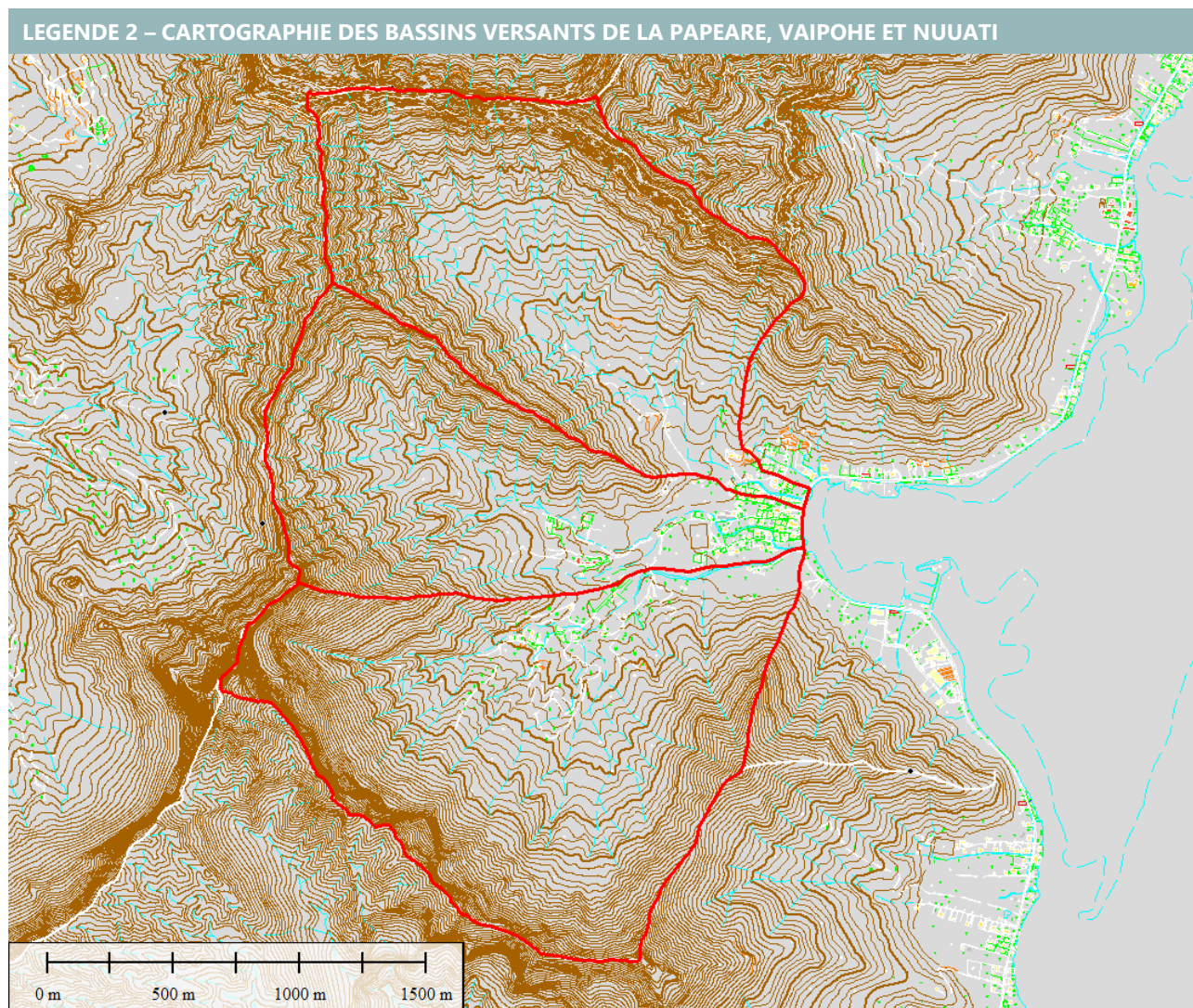
	PERIODE DE RETOUR EN ANNEES						
Durée	1	2	5	10	20	50	100
15 min	25.4	27.5	33.9	38.2	42.3	47.6	51.6
30 min	34.1	36.8	45.3	51	56.4	63.4	68.6
60 min	43.5	47.2	58.5	66	73.2	82.5	89.5
2 h	56.6	61.7	77.6	88.1	98.2	111.2	121
24 h	132.1	145.6	187.4	215.1	241.7	276.1	301.8

La méthode utilisée est issue de l'étude "Assistance technique pour l'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation en Polynésie Française" réalisée par P. Stollsteiner.

Les préconisations de P. Stollsteiner sont d'utiliser une relation pluie-débit lorsque aucun ajustement statistique n'est possible.

3.2.2 - Caractéristique des bassins versants

Les bassins versants globaux de la Papeare, de la Vaipohe et de la Nuuati sont représentés sur la figure ci-dessous :



Les caractéristiques de ce bassin versant sont les suivantes :

	BV PAPEARE	BV VAIPOHE	BV NUUATI
Surface en km²	1.94	1.45	2.23
Longueur en km	2.79	2.32	2.57
Pente pondérée en m/m	0.094	0.029	0.057

3.2.3 - Détermination des débits de projet

3.2.3.1 - Débit décennal

Le débit décennal est calculé par application de la méthode rationnelle :

$$Q = \frac{C \times I(t_c, T) \times S}{3.6}$$

Avec :

- ▶ C : coefficient de ruissellement du bassin versant
- ▶ I(t_c, T) : intensité en mm/h de la pluie de durée égale au temps de concentration du bassin versant pour la période de retour étudiée
- ▶ S : surface en km²

Le temps de concentration du bassin versant a été calculé selon deux méthodes :

■ Méthode de Kirpich :

$$t_c = 0.0195 \times \left(\frac{L}{\sqrt{p}} \right)^{0.77}$$

Avec :*

- ▶ t_c : temps de concentration en min
- ▶ L : longueur du bassin versant en m
- ▶ p : pente moyenne en m/m

Avec cette méthode de calcul :

	BV PAPEARE	BV VAIPOHE	BV NUUATI
Longueur en km	2.79	2.32	2.57
Pente pondérée en m/m	0.094	0.029	0.057
Temps de concentration en min	22	30	25

■ Par évaluation du temps de propagation de la crue :

Il s'agit de découper le bassin versant global en sous bassins versants de pente homogène (voir figure page suivante) et de calculer pas à pas le temps de concentration global.

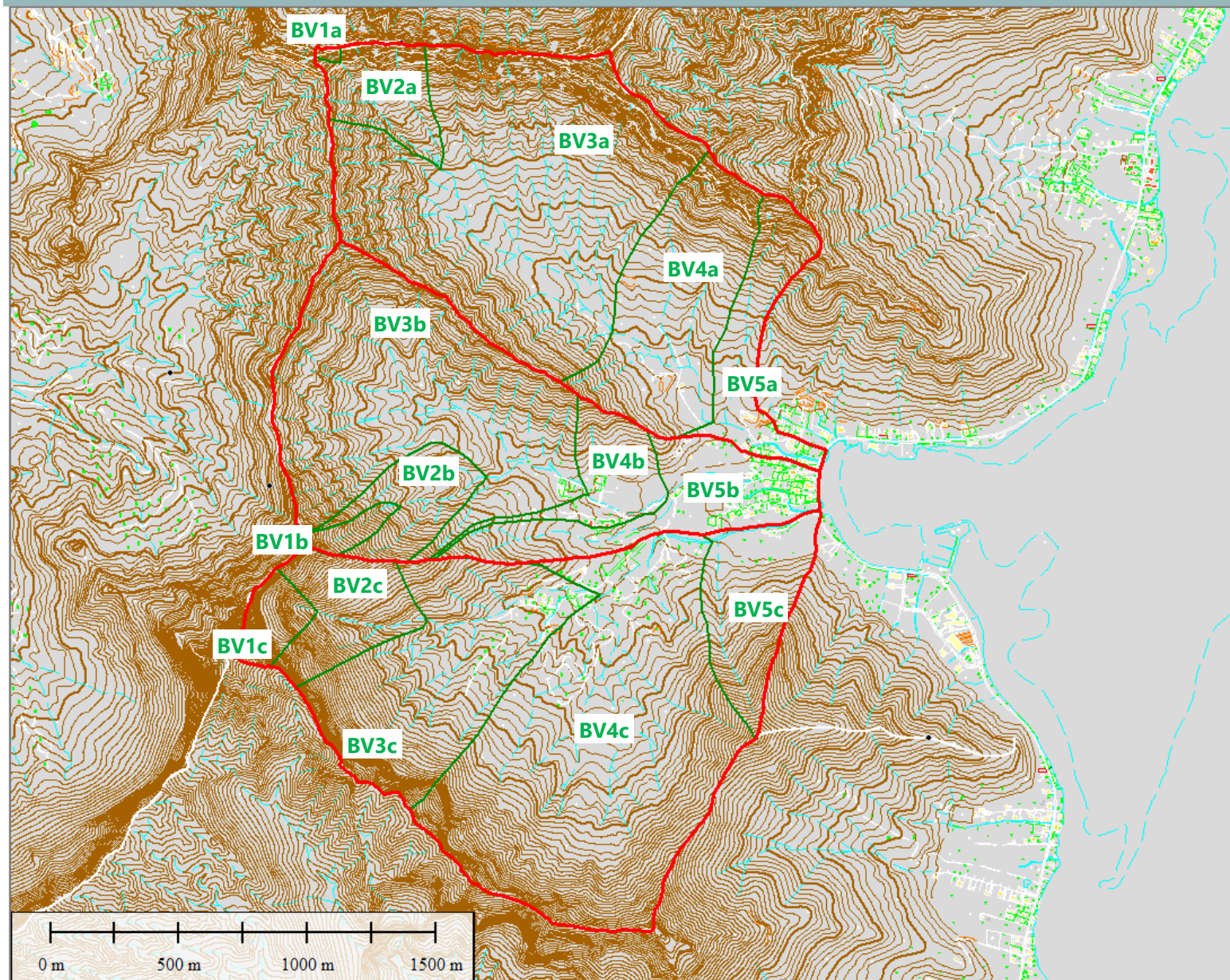
■ Le temps de concentration du bassin versant amont est calculé avec la formule SCS :

$$t_c = \frac{5.48 \times (n \times L)^{0.8}}{\sqrt{P_2} \times p^{0.4}}$$

Avec :

- ▶ t_c : temps de concentration en min
- ▶ n : coefficient de Manning
- ▶ L : longueur du bassin versant en m
- ▶ P₂ : précipitation en mm sur 24 heures de période de retour 2 ans
- ▶ p : pente moyenne en m/m

LEGENDE 3 – DECOUPAGE EN SOUS BASSINS VERSANTS



CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DANS LE CADRE DES PLANS DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS DE POLYNESIE FRANÇAISE - PAPEARE / VAIPOHE/ NUUATI (MOOREA) 26/53

- Ce résultat permet de calculer par la méthode rationnelle le débit décennal généré par le bassin versant amont. A partir du débit, on obtient par la formule de Manning Strickler la vitesse d'écoulement des eaux le long du sous bassin versant suivant :

$$v = K \times R_h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{p}$$

Avec

- ▶ v : vitesse d'écoulement en m/s
- ▶ k : coefficient de Strickler
- ▶ Rh : rayon hydraulique en m
- ▶ p : pente moyenne en m/m
- La vitesse d'écoulement permet de calculer le temps de propagation des eaux le long du sous bassin versant et ainsi, le débit généré par les sous-bassins versants cumulés.

Les étapes et résultats de cette méthode de calcul sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

BV	Surface en km ²	Longueur en km	Pente	Surface cumulée (BV+ BV précédents)	Vitesse d'écoulement moyenne en m/s	Temps de concentration du sous BV en min	Temps de concentration total en min	Q ₁₀ des sous BV cumulés en m ³ /s
BV1A	0.01	0.11	2.474	0.01		2	2	0.1
BV2A	0.14	0.59	0.488	0.15	1.1	9	11	2.5
BV3A	1.14	1.00	0.150	1.29	2.1	8	19	19.7
BV4A	0.44	0.62	0.065	1.73	2.9	3	22	23.7
BV5A	0.20	0.47	0.021	1.94	2.1	4	26	24.0
BV TOTAL			0.094	1.94			26	24

BV	Surface en km ²	Longueur en km	Pente	Surface cumulée (BV+ BV précédents)	Vitesse d'écoulement moyenne en m/s	Temps de concentration du sous BV en min	Temps de concentration total en min	Q ₁₀ des sous BV cumulés en m ³ /s
BV1B	0.03	0.42	0.944	0.03		7	7	0.6
BV2B	0.14	0.37	0.273	0.18	1.9	3	10	3.0
BV3B	0.84	0.46	0.076	1.01	1.8	4	14	17.2
BV4B	0.15	0.35	0.028	1.16	2.2	3	17	18.8
BV5B	0.29	0.72	0.007	1.45	1.4	8	25	18.2
BV TOTAL			0.029	1.45			25	18.2

BV	Surface en km ²	Longueur en km	Pente	Surface cumulée (BV+ BV précédents)	Vitesse d'écoulement moyenne en m/s	Temps de concentration du sous BV en min	Temps de concentration total en min	Q ₁₀ des sous BV cumulés en m ³ /s
BV1	0.07	0.40	1.447	0.07		5	5	1.2
BV2	0.18	0.44	0.332	0.25	2.7	3	8	4.3
BV3	0.55	0.73	0.109	0.81	2.3	5	13	13.7
BV4	1.19	0.55	0.027	2.00	2.0	5	18	30.9
BV5	0.23	0.44	0.011	2.23	1.9	4	22	30.6
BV TOTAL			0.057	2.23			22	30.6

Le temps de concentration moyen est de **25 minutes**.

	BV PAPEARE	BV VAIPOHE	BV NUUATI
Temps de concentration Passini	22 min	30 min	25 min
Temps de concentration vitesses	26 min	25 min	22 min
Temps de concentration retenu	24 min	28 min	23 min
Q₁₀	25 m³/s	17 m³/s	29 m³/s

3.2.3.2 - Débit centennal

Le débit centennal est ensuite calculé par la méthode du Gradex :

$$Q_{100} = Q_{10} + \frac{(I(t_c,100) - I(t_c,10)) \times S}{3.6}$$

Avec :

- ▶ $I(t_c, T)$: intensité en mm/h de la pluie de durée égale au temps de concentration du bassin versant pour la période de retour étudiée
- ▶ S : surface en km²

3.2.3.3 - Débit cinquantennal

Le débit de période de retour 50 ans est calculé à partir de la méthode rationnelle.

Le coefficient de ruissellement retenu correspond à la moyenne entre le coefficient de ruissellement décennal et le coefficient de ruissellement équivalent centennal.

3.2.3.4 - Synthèse des débits de projet retenu

BV	PAPEARE	VAIPOHE	NUUATI
Surface	1.94 km ²	1.45 km ²	2.23 km ²
Longueur	2.79 km	2.32 km	2.57 km
Pente	0.094	0.029	0.057
Temps de concentration retenu	24 min	28 min	23 min
C10	0.4	0.4	0.4
C50	0.49	0.45	0.5
Q ₁₀	25 m ³ /s	17 m ³ /s	29 m ³ /s
Q ₅₀	38 m ³ /s	26 m ³ /s	44 m ³ /s
Q ₁₀₀	47 m³/s	32 m³/s	55 m³/s
Q ₁₀₀ spécifique	24.4 m ³ /s/km ²	22.3 m ³ /s/km ²	24.6 m ³ /s/km ²

3.2.4 - Construction des hydrogrammes

L'utilisation d'un logiciel de transformation Pluie - Débit permet d'obtenir un hydrogramme à partir d'une pluie de projet.

Pour cette étude, le module hydrologique du logiciel INOWORKS ICM développé par Wallingford, a été mis en œuvre.

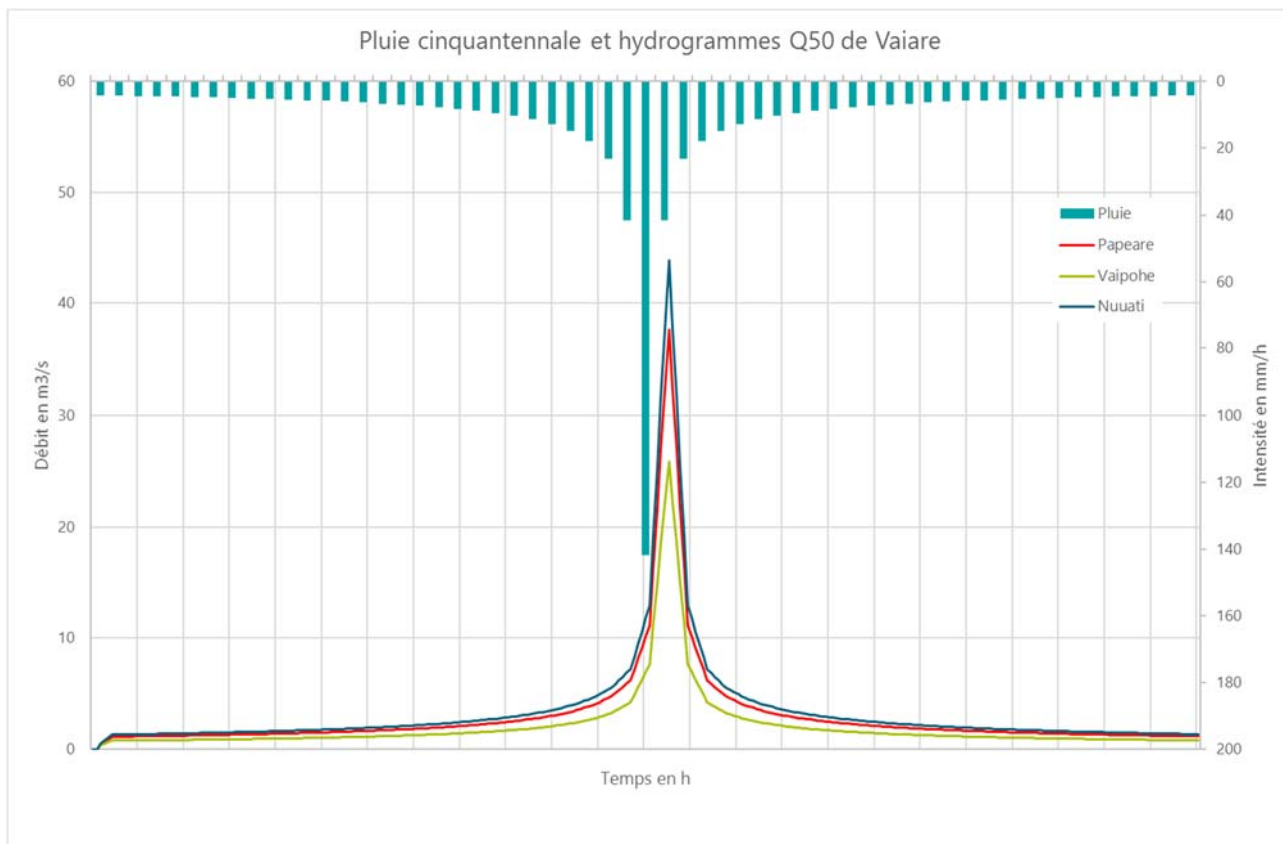
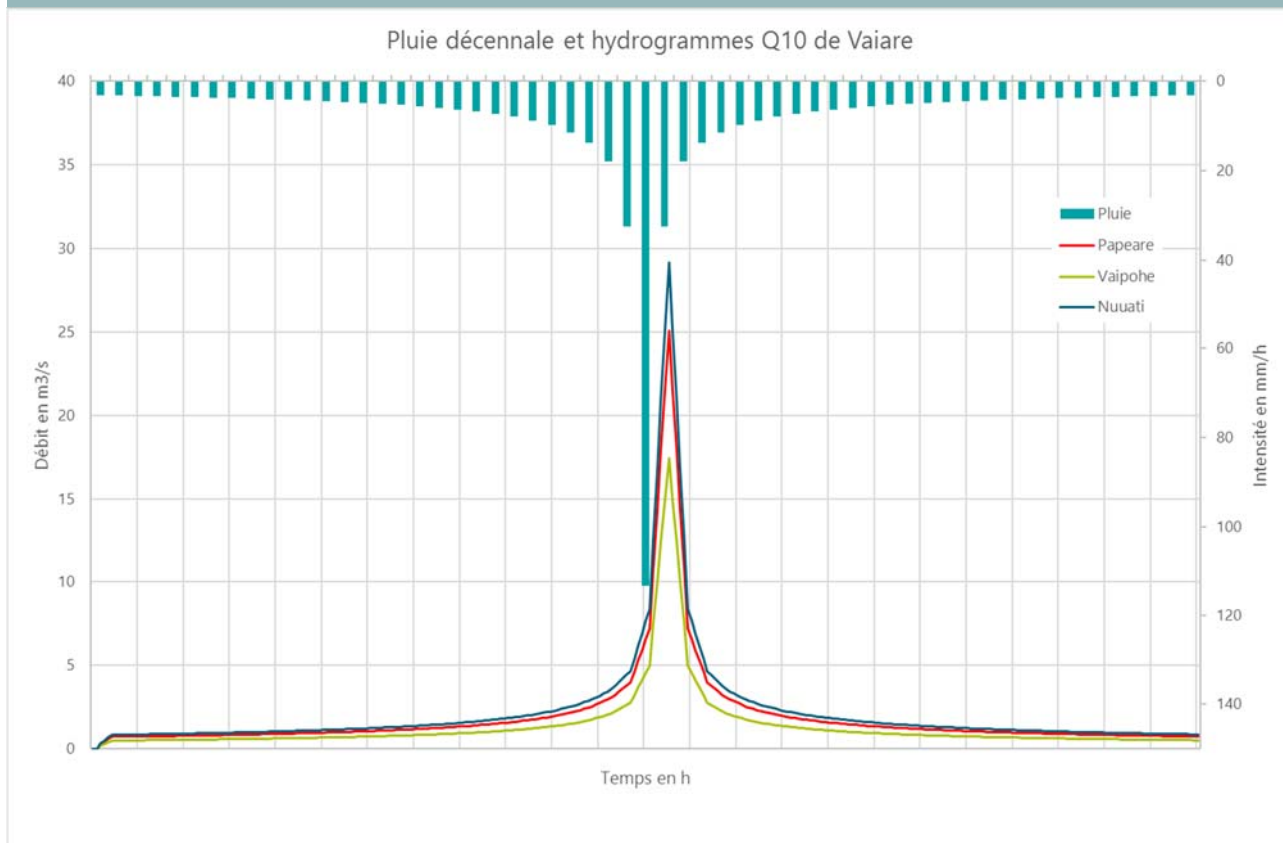
Des pluies de Kiefer de période de retour 10, 50 et 100 ans ont été construites, elles sont données page suivante.

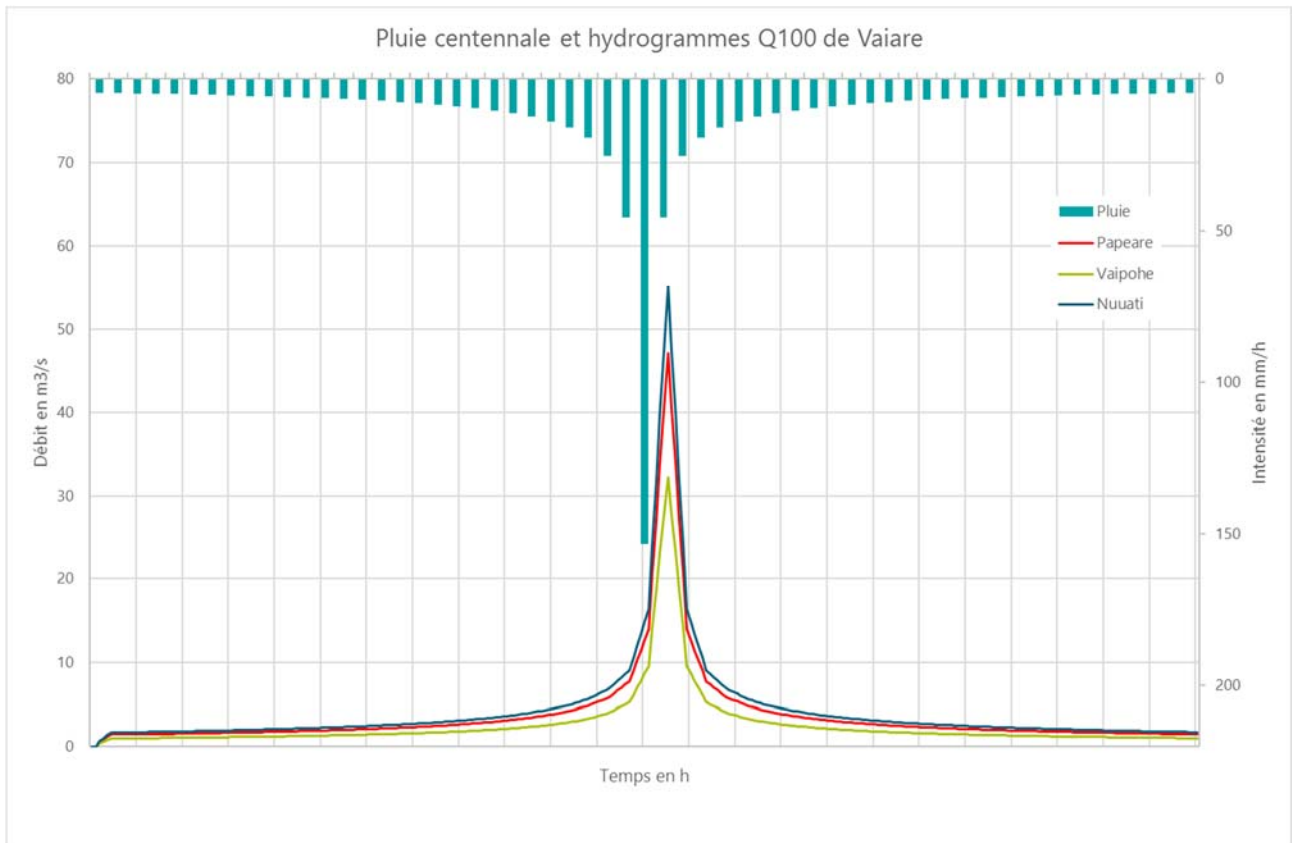
Les caractéristiques de ces pluies sont les suivantes :

- Durée : 24 heures
- Période intense d'une durée de 30 min (égal au temps de concentration du bassin versant)

Les hydrogrammes issus de cette modélisation pluie-débit sont présentés page suivante.

LEGENDE 4 – PLUIES DE PROJET ET HYDROGRAMMES RESULTANTS





4 - CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE

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

Ce logiciel a l'avantage de combiner :

- Un module hydrologique permettant de transformer la pluie en débit
- Un module hydraulique couplant modélisation 1D et 2D

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.

Le module hydrologique permet de modéliser les différents bassins versants et de connaître les débits générés pour les pluies de projet par une transformation pluie-débit.

Les débits résultants sont ensuite directement injectés dans le modèle hydraulique 1D-2D.

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 (digues, 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...).

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 30 profils en travers environ réalisés en juillet et août 2019 par le cabinet de géomètre WILD dans le cadre de cette prestation
- Le levé des ouvrages hydrauliques
- 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

4.3 - Conditions aux limites

Les conditions aux limites sont les suivantes :

- Les hydrogrammes amont générés par les bassins versants pour chacun des cours d'eau
- Une cote marine en aval variant entre 0 et 1 m NGT

4.4 - Calage des paramètres du modèle hydraulique

Aucune donnée de calage n'a pu être collectée sur le secteur d'étude.

Les paramètres de calage sont les suivants :

- Les coefficients de Strickler
- Les coefficients de perte de charge au droit des ouvrages couverts

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 (forte pente) : 15
- Coefficient de Strickler en lit mineur sur la partie aval (faible pente) : 20
- 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, les hypothèses suivantes ont été prises en compte :

- Obstruction de la section à 100% pour les passages à gué équipés de conduites
- Obstruction de la section à 50% pour les passerelles et les ponts de la route de ceinture

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.

5.1.1 - Cours d'eau Papeare

Une analyse de la capacité du lit mineure a été faite au droit de chaque profil en travers.

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 :

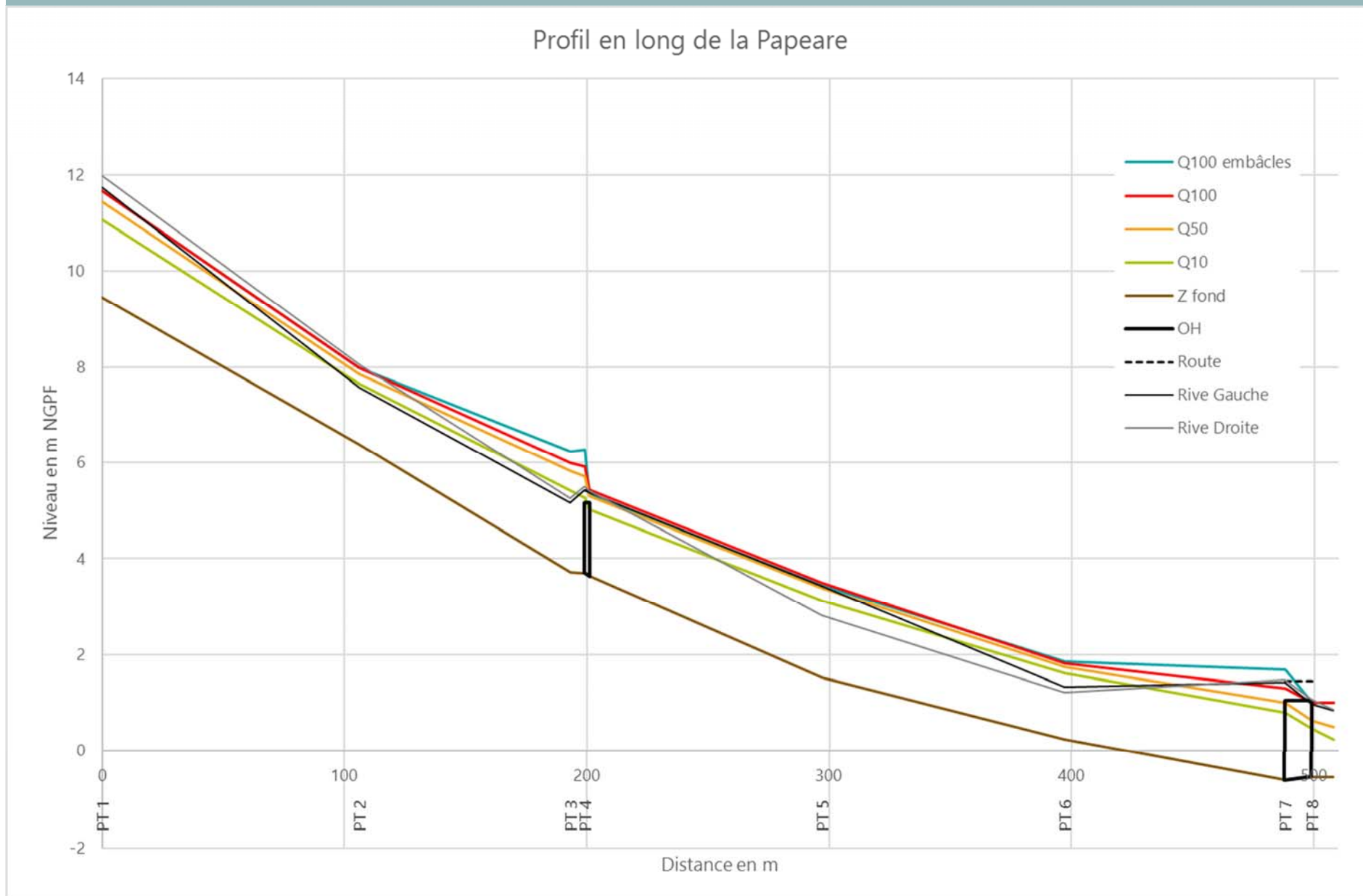
LEGENDE 5 – ANALYSE DE LA CAPACITE DU LIT MINEUR DE LA PAPEARE

	Débit de début de débordement en Rive Gauche	Débit de début de débordement en Rive Droite	Période de retour correspondante
PT 1	54 m ³ /s		Supérieure à 100 ans
PT 2	22 m ³ /s		Inférieure à 10 ans
PT 3	18 m ³ /s		Inférieure à 10 ans
PT 4	27 m ³ /s		Entre 10 et 50 ans
PT 5		15 m ³ /s	Inférieure à 10 ans
PT 6		10 m ³ /s	Inférieure à 10 ans
PT 7	40 m ³ /s		Entre 50 et 100 ans
PT 8	30 m ³ /s		Entre 10 et 50 ans

La capacité du lit mineur est hétérogène avec une majorité de profil en travers de capacité inférieure à 10ans.

Seule l'extrémité amont est supérieure à 100 ans.

Le lit mineur au droit du pont de la route de ceinture est également de capacité plus importante avec une capacité moyenne de 35 m³/s.



5.1.2 - Cours d'eau Vaipohe

Une analyse de la capacité du lit mineure a été faite au droit de chaque profil en travers.

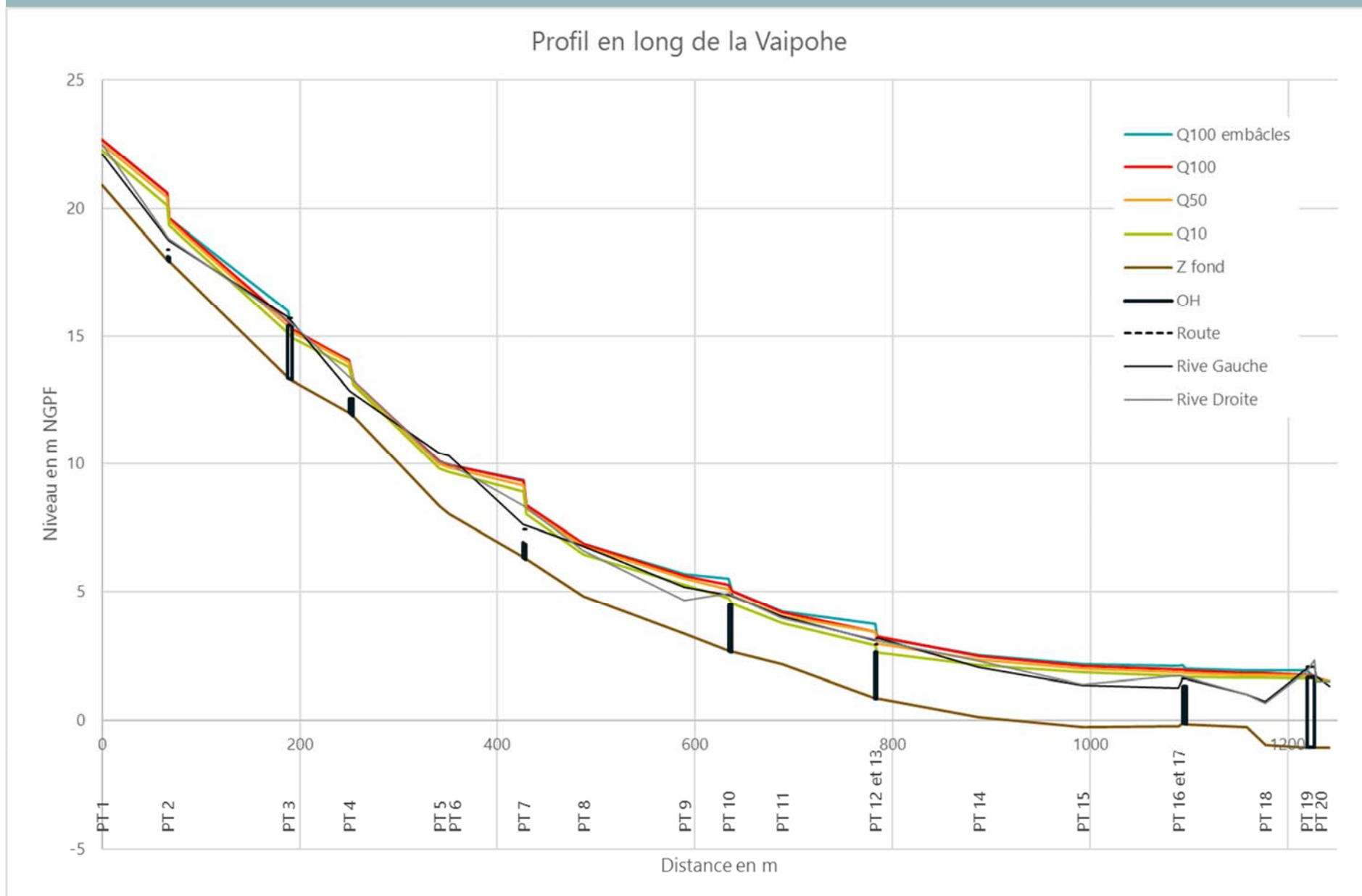
Celle-ci ne tient pas compte de l'influence des ouvrages hydrauliques.

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

LEGENDE 7 – ANALYSE DE LA CAPACITE DU LIT MINEUR DE LA VAIPOHE			
	Débit de début de débordement en Rive Gauche	Débit de début de débordement en Rive Droite	Période de retour correspondante
PT 1	14		Inférieure à 10 ans
PT 2	2		Inférieure à 10 ans
PT 3		24	Entre 10 et 50 ans
PT 4	2		Inférieure à 10 ans
PT 5		22	Entre 10 et 50 ans
PT 6		24	Entre 10 et 50 ans
PT 7	2		Inférieure à 10 ans
PT 8		20	Entre 10 et 50 ans
PT 9		8	Inférieure à 10 ans
PT 10	15		Inférieure à 10 ans
PT 11		20	Entre 10 et 50 ans
PT 12	22		Entre 10 et 50 ans
PT 13		25	Entre 10 et 50 ans
PT 14	26		Entre 10 et 50 ans
PT 15	5		Inférieure à 10 ans
PT 16	5		Inférieure à 10 ans
PT 17	30		Entre 50 et 100 ans
PT 18		12	Inférieure à 10 ans
PT 19		Influence du niveau marin	Supérieure à 100 ans
PT 20		Influence du niveau marin	Supérieure à 100 ans

La capacité du lit mineur de la Vaipohe est inférieure à 50 ans sur la totalité du linéaire. On peut considérer qu'elle est en moyenne de 10 ans.

Cette analyse ne tient pas compte des ouvrages hydrauliques, hors les ouvrages de traversée implantés en amont de section fortement restreinte diminuent encore cette capacité hydraulique.



5.1.3 - Cours d'eau Nuwati

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

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 :

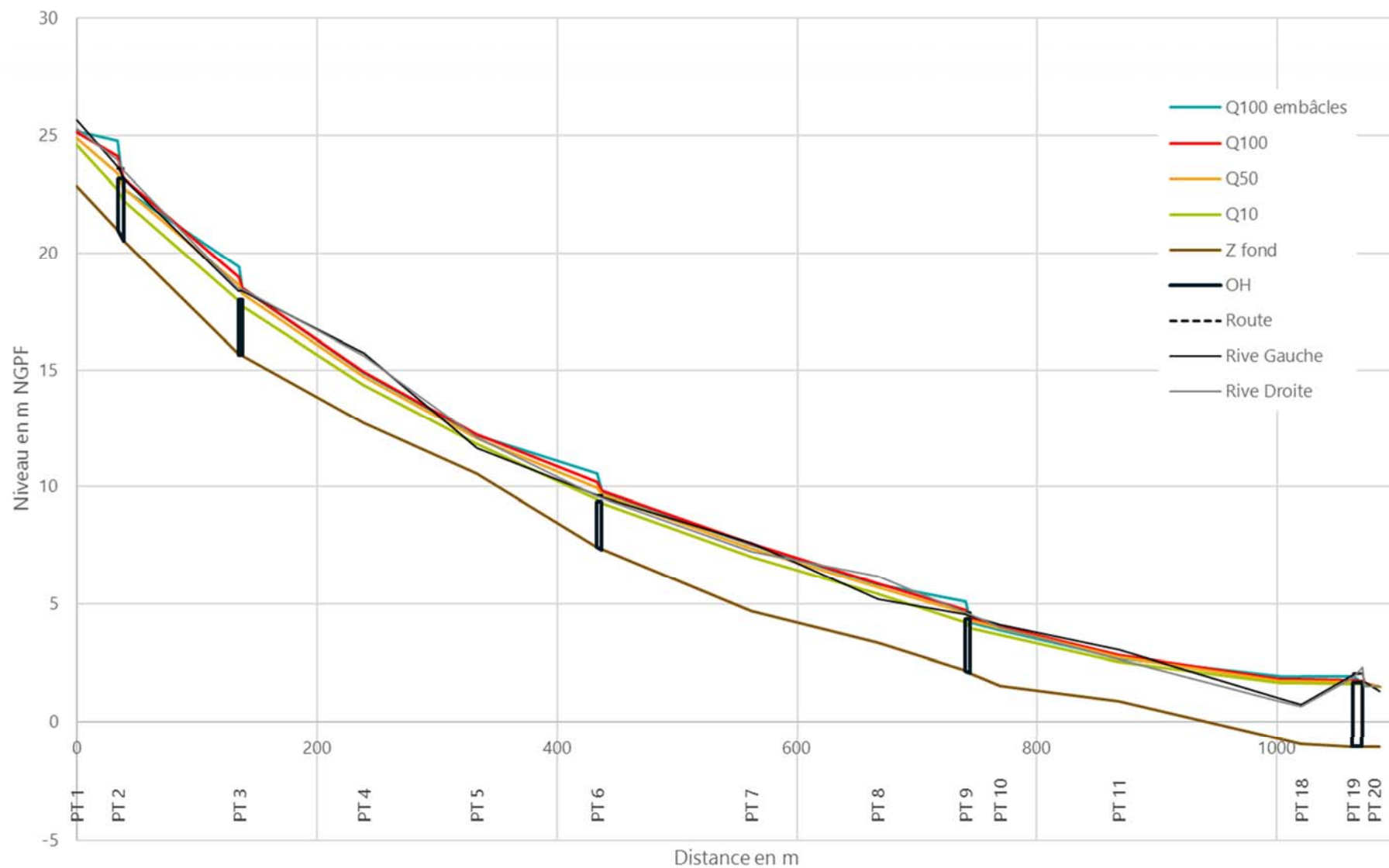
LEGENDE 9 – ANALYSE DE LA CAPACITE DU LIT MINEUR DE LA NUUATI			
	Débit de début de débordement en Rive Gauche	Débit de début de débordement en Rive Droite	Période de retour correspondante
PT 1		>55 m ³ /s	Supérieure à 100 ans
PT 2	48		Entre 50 et 100 ans
PT 3	38		Entre 10 et 50 ans
PT 4		>55 m ³ /s	Supérieure à 100 ans
PT 5	20		Inférieure à 10 ans
PT 6		32	Entre 10 et 50 ans
PT 7		35	Entre 10 et 50 ans
PT 8	22		Inférieure à 10 ans
PT 9	38		Entre 10 et 50 ans
PT 10		40	Entre 10 et 50 ans
PT 11		35	Entre 10 et 50 ans
PT 18		12	Inférieure à 10 ans
PT 19		Influence du niveau marin	Supérieure à 100 ans
PT 20		Influence du niveau marin	Supérieure à 100 ans

La capacité hydraulique de la Nuwati est globalement de période de retour 50 ans environ.

Quelques profils ont une capacité limitée : PT 5, PT 8.

En aval, la Nuwati rejoint la Vaipohe dont la capacité du lit mineur est inférieure à 10 ans (PT 18 à 20).

Profil en long de la Nuuat



5.2 - Analyse de la zone inondable décennale

La partie amont de la Papeare présente peu de zones de débordements en crue décennale à l'exception de quelques débordements en amont du profil PT 2.

Des débordements sont observés sur la partie aval, à partir du profil PT 5 avec un champ d'inondation qui rejoint celui de la Vaipohe.

Le Pont de la route de ceinture est hors d'eau.

La Vaipohe déborde largement sur la partie amont. Ces écoulements en lit majeur sont dus aux nombreux passages à gué implantés par les riverains qui obstruent le lit mineur.

Ces débordements diminuent à partir du PT 8 et sont cantonnés à la rive droite.

A partir du PT 14, des débordements généralisés se produisent avec des hauteurs d'eau importantes ponctuellement du fait de zones topographiquement basses.

La Nuuati ne présente pas de débordement en crue décennale jusqu'à la confluence avec la Vaipohe.

5.3 - Analyse de la zone inondable cinquantennale

En crue cinquantennale, les débordements sont plus marqués.

La Papeare déborde dès le PT 2 en rive gauche avec des vitesses d'écoulement importantes.

En aval de ce profil, les débordements sont généralisés et étendus avec des hauteurs d'eau principalement inférieures à 50 cm et des vitesses d'écoulement inférieures à 0.5 m/s.

La Vaipohe déborde sur la quasi-totalité de son linéaire avec des vitesses d'écoulement supérieures à 0.5m/s sur la partie amont. Les habitations sont inondées sous des hauteurs d'eau inférieures à 50cm.

Sur la partie aval les vitesses sont plus faibles mais les hauteurs dépassent les 50cm sur une surface importante et même 1m au niveau d'une parcelle topographiquement basse.

La Nuuati présente quelques débordements restreints autour du PT 3 et du PT 6 mais ces écoulements restent localisés en bordure de lit mineur.

A partir du PT 8, les débordements rejoignent la zone inondable de la Vaipohe.

5.4 - Analyse de la zone inondable centennale

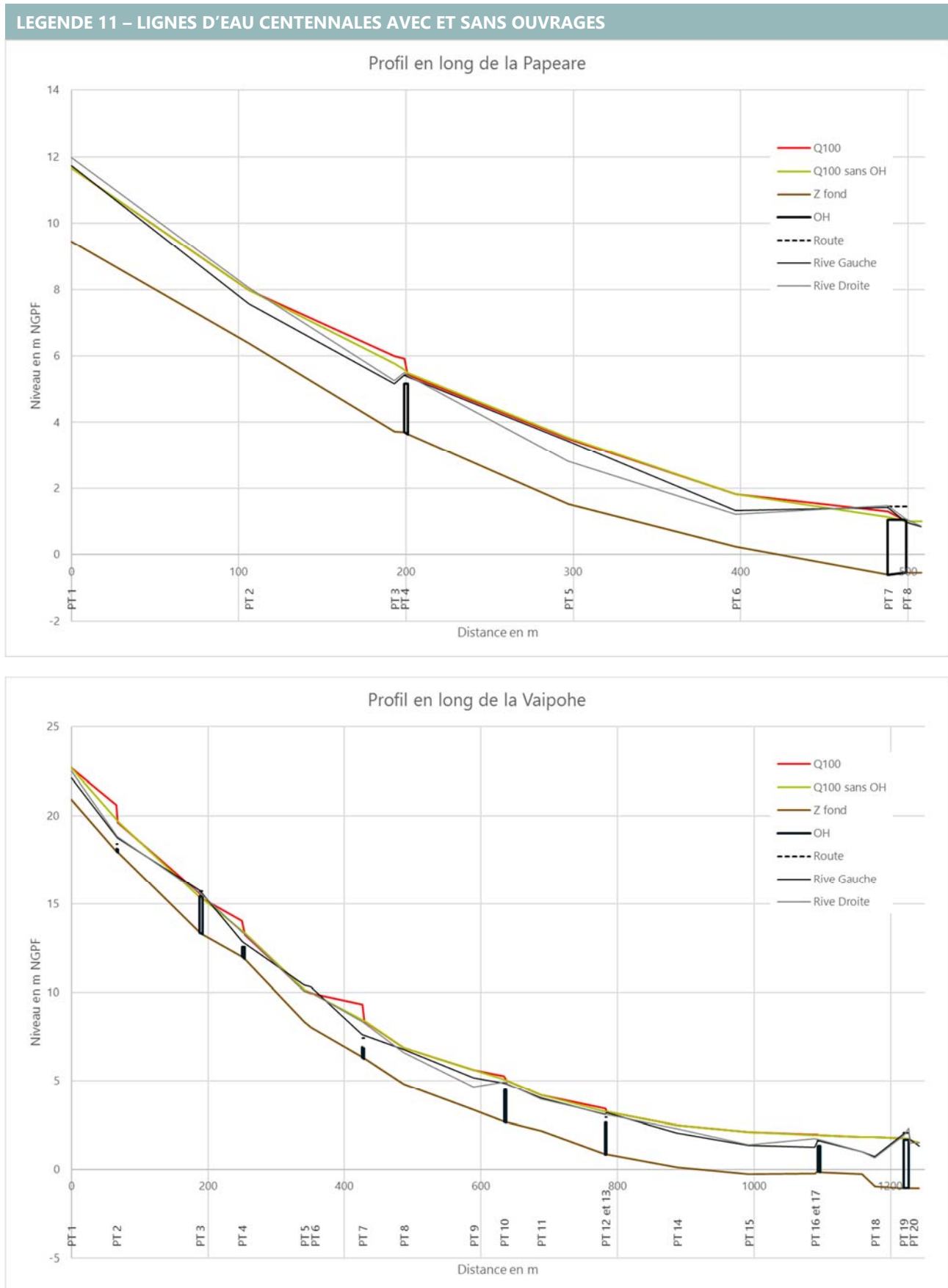
Les mécanismes d'inondation en crue centennale sont similaires à ceux de la crue cinquantennale.

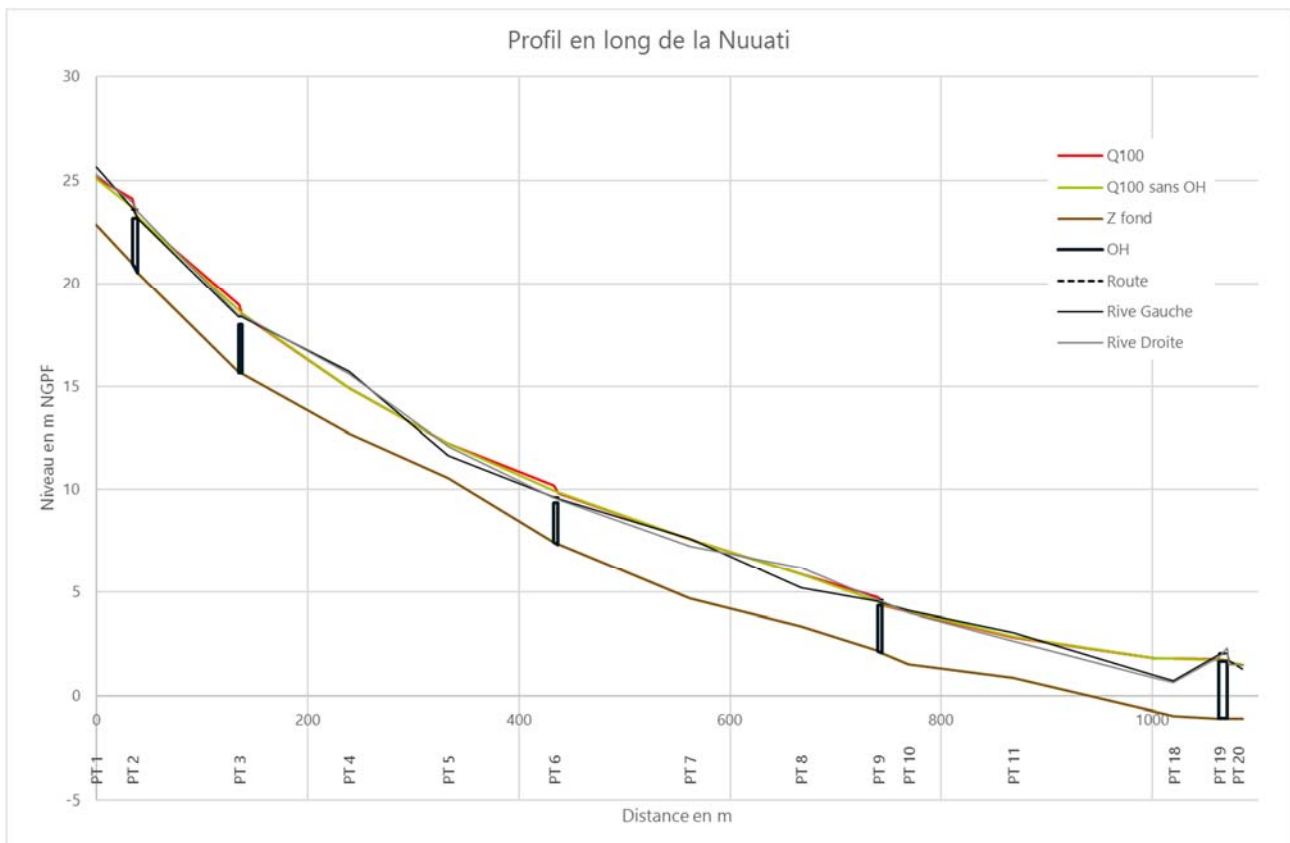
Les trois cours d'eau débordent largement.

La Nuuati déborde également sur sa partie amont en rive gauche.

De façon à analyser l'influence des ouvrages hydrauliques sur la ligne d'eau, une simulation sans prise en compte de ces ouvrages a été réalisée.

Les lignes d'eau sont données ci-dessous.





Les lignes d'eau sont différentes en amont immédiat des ouvrages mais les débordements en lit majeur sont davantage dus à une insuffisance du lit mineur qu'à la mise en charge des ouvrages à l'exception de la partie amont de la Vaipohe.

Les accès aux habitations obstruant totalement le lit mineur, ils créent des pertes de charge très importantes et donc des débordements significatifs.

LEGENDE 12 – ANALYSE DES OUVRAGES DE LA PAPEARE

	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 m³/s
Passerelle PT 3	5.91	3.71	5.16	5.41	En charge, débordement sur chaussée	39
Pont route de ceinture	1.3	-0.6	1.05	1.45	En charge, pas de débordement sur chaussée	33

La passerelle PT3 génère une surélévation de la cote d'eau de 30cm environ par rapport à la ligne d'eau centennale sans ouvrage.

La perte de charge est donc significative avec 50cm d'eau environ sur la chaussée.

Le pont de la route de ceinture génère une surélévation de 17 cm par rapport à la ligne d'eau sans ouvrage.

LEGENDE 13 – ANALYSE DES OUVRAGES DE LA VAIPOHE

	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 m³/s
Passage à gué bétonné PT2	20.59	17.99	18.14	18.40	En charge, débordement sur passage à gué	Négligeable dans les conduites sous l'ouvrage
Passerelle PT3	15.59	13.36	15.4	15.7	En charge, pas de débordement sur chaussée	23
Passage à gué bétonné PT4	14.02	12.02	12.5	12.58	En charge, débordement sur passage à gué	1.5
Passage à gué bétonné PT7	9.31	6.34	6.94	7.45	En charge, débordement sur passage à gué	1.3
Passerelle PT10	5.28	2.67	4.49	4.88	En charge, débordement sur chaussée	18
Passerelle PT13	3.44	0.83	2.63	2.93	En charge, débordement sur chaussée	28
Passerelle PT17	1.97	-0.12	1.32	1.6	En charge, débordement sur chaussée	14
Pont route de ceinture	1.75	-0.71	1.66	2.07	En charge, pas de débordement sur chaussée	54

Les accès aux habitations PT2, PT4 et PT7 génère des surélévations variant de 55 à 85 cm par rapport à la ligne d'eau lit mineur sans prise en compte des ouvrages.

Ces obstructions du lit mineur génèrent des pertes de charge très importantes.

Les passerelles PT3, PT10 et PT13 génèrent des surélévations de 20cm environ par rapport à la ligne d'eau sans ouvrage.

La passerelle PT17 entraîne une surcote de 7cm : celle-ci se trouve dans un méandre et l'essentiel du débit transite en lit majeur. Celle-ci n'entraîne pas de perte de charge significative puisque l'essentiel du débit déborde en amont et passe en lit majeur, en dehors de l'ouvrage.

Le pont de la route de ceinture ne génère que quelques centimètres de surcote par rapport à une ligne d'eau sans ouvrage.

Aucun débordement ne se produit sur la chaussée, le débit transitant essentiellement en lit majeur.

LEGENDE 14 – ANALYSE DES OUVRAGES DE LA NUUATI

	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
Passerelle PT2	24.13	20.98	23.16	23.62	En charge, débordement sur chaussée	53
Passerelle PT3	18.95	15.66	18.02	18.41	En charge, débordement sur chaussée	49
Passerelle PT6	10.19	7.44	9.38	9.63	En charge, débordement sur chaussée	49
Passerelle PT9	4.76	2.16	4.37	4.61	En charge, débordement sur chaussée	44

La passerelle la plus en amont au PT2 génère une surélévation d'environ 40 cm par rapport à une ligne d'eau sans prise en compte d'ouvrages.

Les 3 passerelles aval ne génèrent des surcotes que de 25 cm en moyenne.

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

Les hypothèses d'embâcles prises en compte pour les ouvrages sont les suivantes :

- Diminution de la section de 50% pour toutes les passerelles et les ponts de la route de ceinture : suite aux témoignages recueillis, les risques d'embâcles sont réels et ont déjà été observés par le passé
- Obstruction totale de la section pour les 3 accès aux habitations en amont de la Vaipohe : les ouvrages hydrauliques sont constitués de conduites de diamètre limité. Ceux-ci seront facilement obstrués en totalité en cas de crue importante.

On observe des hauteurs d'eau plus importantes en amont avec une augmentation de l'emprise de l'aléa moyen du fait de l'augmentation des pertes de charge au droit des ouvrages.

Sur la Papeare, l'obstruction à 50% de la section de la passerelle PT3 génère une surélévation de 35 cm par rapport à la cote centennale sans embâcles.

Au niveau de la route de ceinture, la surcote est de 40 cm.

Sur la Vaipohe, l'obstruction totale des passages à gué ne génère que des surcotes variant entre 1 et 4cm. Le débit transitant dans les conduites étant faibles en comparaison du débit totale, une obstruction dégrade peu la situation actuelle.

La surélévation générée par l'obstruction des passerelles est plus significative avec :

- + 40 cm pour la passerelle PT3
- + 22 cm pour la passerelle PT10
- + 30 cm pour la passerelle PT13
- + 15 cm pour la passerelle PT17
- + 17 cm pour le pont de la route de ceinture

Pour la Nuwati, les surcotes par rapport à la ligne d'eau centennale sans embâcles au droit des passerelles obstruées sont de :

- + 65 cm pour la passerelle PT2
- + 45 cm pour la passerelle PT3
- + 35cm pour la passerelle PT6
- + 33 cm pour la passerelle PT9

Ces pertes de charge sont significatives, ce qui s'explique par l'importance du débit transitant dans ces ouvrages. Le lit mineur est de capacité plus importante que la Vaipohe, les débits transitant au droit des ouvrages est donc plus important et le risque d'embâcles a davantage d'impact.

5.6 - 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.

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

5.6.1 - Risque d'érosion de berges

Une zone tampon d'aléa très fort a été définie de part et d'autre du lit mineur de façon à prendre en compte le risque d'érosion.

Ce risque d'érosion devient non négligeable si la pente du lit est importante et si les berges sont non protégées.

Il augmente également au droit des méandres et des irrégularités ponctuelles du lit de type rétrécissement brusque de section.

Cette zone tampon est de :

- 5 m de large de part et d'autre du lit mineur lorsque les hauteurs de berge ne sont pas trop importantes
- 10 m de large de part et d'autre du lit mineur dès que les hauteurs de berges deviennent importantes ou si les berges présentent des risques d'érosion suite aux investigations de terrain

Dans le cas des cours d'eau étudiés, les hauteurs de berges ne sont pas trop importantes. Une zone de 5 m a été prise en compte de part et d'autre du lit mineur.

5.6.2 - Axes secondaires d'écoulement

Les axes secondaires d'écoulement ont été ajoutés en aléa très fort.

Ceux-ci ont été établis sur la base des éléments à notre disposition (carte d'aléa inondation initiale, photogrammétrie, enquêtes de terrain).

6 - PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

6.1 - Priorité 1 - Suppression des points de blocage en amont de la Vaipohe

Les accès aux habitations en amont de la Vaipohe ont une capacité hydraulique très faible du fait de l'obstruction de la section du lit et de la taille des conduites sous ces passages.

Il est nécessaire en tout premier lieu de recréer des accès avec la mise en place de passerelles hors d'eau.

Le lit mineur est de capacité limitée sur ce tronçon amont. Des débordements seront observés mais le risque inondation sera diminué y compris pour des crues fréquentes.

Les montants de travaux pour la suppression des passages busés et leur remplacement par des passerelles franchissables par des véhicules légers sont donnés ci-après :

- **Passage à gué PT2 : 14 000 000 XPF HT**
- **Passage à gué PT4 : 14 000 000 XPF HT**
- **Passage à gué PT7 : 15 000 000 XPF HT**

6.2 - Priorité 2 – 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 ...

6.3 - Priorité 3 – Amélioration de la capacité des passerelles

La capacité hydraulique des passerelles peut être améliorée.

Le lit mineur au droit de ces passerelles étant de capacité insuffisante, le redimensionnement de celles-ci ne peut permettre de résoudre entièrement les problèmes de débordement.

Mais les pertes de charge générées par celle-ci peuvent être diminuées en repoussant les appuis de façon à améliorer la section d'écoulement et en remontant la cote sous poutre des ouvrages de façon à ne plus les mettre en charge.

L'analyse des surcotes générées par les passerelles par rapport à une situation sans ouvrages permet de prioriser les aménagements et de cibler les ouvrages les plus limitants.

Pour certains ouvrages, le lit mineur étant de capacité largement insuffisante, une reprise de ceux-ci aura moins d'impact sur la ligne d'eau.

Il est nécessaire également de prendre en compte les impacts d'embâcles au droit de ces ouvrages et de croiser les deux informations de manière à définir des priorités sur cette thématique d'aménagement.

LEGENDE 15 – ESTIMATION FINANCIERE DES OUVRAGES					
	Ouvrages	Surcote générée par l'ouvrage en Q100 par rapport au scénario sans ouvrage	Surcote générée par des embâcles en Q100	Priorité	Montant de travaux
PAPEARE	Passerelle PT 3	33 cm	35 cm	P2	15 000 000 XPF HT
	Passerelle PT3	20 cm	42 cm	P3	13 500 000 XPF HT
	Passerelle PT10	18 cm	22 cm	P4	13 500 000 XPF HT
	Passerelle PT13	18 cm	30 cm	P4	15 000 000 XPF HT
VAIPOHE					
	Passerelle PT17	7 cm	15 cm	Pas nécessaire si la capacité du lit mineur n'est pas augmentée	
	Passerelle PT2	42 cm	64 cm	P1	10 000 000 XPF HT
	Passerelle PT3	29 cm	45 cm	P2	11 000 000 XPF HT
NUUATI					
	Passerelle PT6	24 cm	36 cm	P2	15 000 000 XPF HT
	Passerelle PT9	24 cm	33 cm	P3	24 000 000 XPF HT

6.4 - Priorité 4 – Amélioration des écoulements sur la zone aval

6.4.1 - Papeare

La Papeare présente des insuffisances particulièrement sur la partie aval : PT5 et 6.

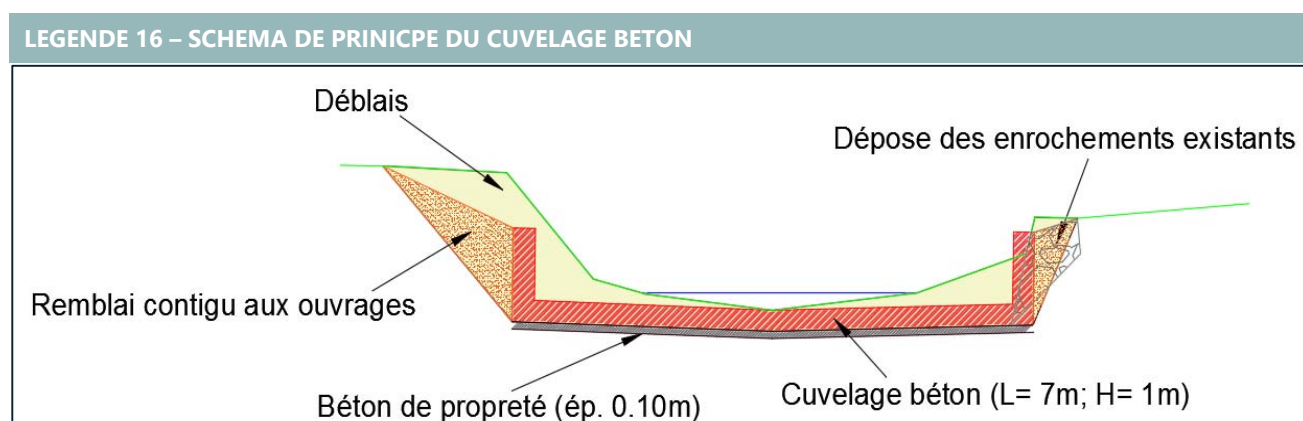
L'emprise au droit de ce secteur est limitée du fait de l'implantation d'habitations en bordure de lit mineur.

Une protection centennale est difficilement envisageable au vu de l'insuffisance générale de la capacité du lit mineur en Q100 mais une protection décennale peut être étudiée.

Un recalibrage du tronçon aval pourrait améliorer les écoulements.

Le gabarit nécessaire pour faire transiter un débit décennal de 25m³/s est de :

- Cuvelage béton de façon à améliorer les frottements dans le lit (K=50)
- Largeur de 7m
- Hauteur de 1m
- Berges verticales de façon à limiter l'emprise
- Pente moyenne de 0.01 m/m
- Hauteur d'eau de 90 cm pour Q10



Le coût de l'ouvrage est estimé à environ **119 284 900 XPF hors taxes.**

LEGENDE 17 – ESTIMATION DU COUT DES TRAVAUX DE REALISATION DU CUVELAGE BETON

N° Prix	Poste	Unité	Prix Unitaire HT	Quantités	Total HT
1-1	Installations, études d'exécution, contrôles et qualité	Fft	9 500 000 XPF	1	9 500 000 XPF
1-2	Dépose enrochements	m ³	2 400 XPF	660	1 584 000 XPF
1-3	Déblais	m ³	1 200 XPF	1760	2 112 000 XPF
1-4	Béton de propreté	m ³	50 000 XPF	154	7 700 000 XPF
1-5	Réalisation cuvelage (y/c aciers et coffrages)	m ³	120 000 XPF	660	79 200 000 XPF
1-6	Remblais contigus aux ouvrages	m ³	3 000 XPF	660	1 980 000 XPF
1-7	Evacuation des excédents de déblais	m ³	1 500 XPF	1100	1 650 000 XPF
Total (XPF HT)					103 726 000 XPF
Aléa et non chiffrés (15%)					15 558 900 XPF
Total XPF HT (y/c Aléa et non chiffrés)					119 284 900 XPF

6.4.2 - Vaipohe

La capacité du lit mineur de la Vaipohe est largement insuffisante sur tout le linéaire.

Un recalibrage complet laissant transiter une crue centennale paraît inenvisageable au vu des travaux nécessaires à une telle protection.

Les pentes d'écoulement en aval sont très faibles, ce qui explique les hauteurs d'eau importantes observées.

Toutes ces zones sont topographiquement très basses et se mettent en eau très rapidement. Le lit mineur de la Vaipohe est en dessous du niveau marin depuis le PT15 soit sur 250m en amont de l'embouchure.

Une protection de ce secteur semble difficile sauf à disposer d'une emprise foncière très importante.

Seule l'évacuation aval pourrait être améliorée avec l'ajout d'ouvrages de décharge en complément du pont de la route de ceinture actuel.

6.4.3 - Nuwati

La capacité hydraulique de la Nuwati est relativement bonne avec quelques points bas ponctuellement.

Les zones d'aléa moyen restent limitées et proches du lit mineur.

La réduction des pertes de charge au droit des passerelles amont devrait suffire à améliorer les débordements en amont.

Département

communication.egis@egis.fr

www.egis-group.com

