



# CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DE RIVIERES DE TAHITI VIA LE LIDAR DANS LE CADRE DES ATLAS DES RISQUES NATURELS DE POLYNESIE FRANCAISE

## RIVIERE VAHIRIA

28 Octobre 2024



## Informations relatives au document

### INFORMATIONS GÉNÉRALES

**Auteur(s)** HERLEDAN – YASSINE – LI - GINON  
**Version** V2

### HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Vérfié par	Fonction	Signature
V0	10-06-2024	BENE Arnaud	Directeur de projet	
V1	30-07-2024	BENE Arnaud	Directeur de projet	
V2	28-10-2024	BENE Arnaud	Directeur de projet	

### DESTINATAIRES

Nom	Entité
Emilie NOWAK CHAPELIER	Chargée de la Prévention des Risques Naturels – Direction de la Construction et de l'Aménagement
Dominique TARDY	Chargée de la Prévention des Risques Naturels – Direction de la Construction et de l'Aménagement

# SOMMAIRE

---

<b>1</b>	<b>CONTEXTE DE L'ETUDE</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>DONNEES D'ENTREE</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>ENQUETE TERRAIN</b>	<b>10</b>
4.1	Visite de terrain	10
4.2	Historique des évènements	14
<b>5</b>	<b>ANALYSE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE</b>	<b>15</b>
5.1	Méthodologie de l'analyse hydrogéomorphologique	15
5.1.1	Critères d'identification	16
5.1.1.1	La morphologie	16
5.1.1.2	Sédimentologie	17
5.1.1.3	Occupation du sol	17
5.2	Cartographie hydrogéomorphologique	18
5.2.1	Délimitation des sous-bassins versants	18
5.2.2	Identification des axes d'écoulement secondaires	18
5.2.3	Evolution du lit et érosion	18
5.2.4	Cartographie	22
<b>6</b>	<b>ANALYSE HYDROLOGIQUE</b>	<b>31</b>
6.1	Caractéristiques historiques	31
6.2	Découpage en sous-bassins versants	32
6.3	Estimation des temps de concentration	34
6.4	Analyse Pluviométrique	34
6.4.1	Courbes IDF	34
6.4.2	Comparaison des courbes IDF entre la période 1958-2008 et 2008-2020	35
6.4.3	Evènement historique	36
6.5	Evaluation des débits	37
6.5.1	Etude BCEOM de 1999	37
6.5.2	Etude LTPP de 2001	37
6.5.3	Estimation de Egis de 2024	38
6.5.3.1	Méthode rationnelle	38
6.5.3.2	Evaluation du débit de pointe centennal par la méthode du Gradex	38
6.5.3.3	Estimation n°1	40
6.5.3.4	Estimation n°2	40
6.5.4	Conclusion sur les débits	41
6.5.5	Construction des hydrogrammes	41
<b>7</b>	<b>MODELISATION HYDRAULIQUE</b>	<b>44</b>

<b>7.1 Construction du modèle .....</b>	<b>44</b>
7.1.1 Présentation succincte du logiciel HEC-RAS.....	44
7.1.2 Topographie .....	45
7.1.3 Emprise du modèle .....	47
7.1.4 Hydrogrammes.....	47
7.1.5 Rugosité .....	47
7.1.6 Description du maillage.....	47
7.1.7 Condition aval .....	48
7.1.8 Modélisation des ouvrages hydrauliques .....	48
7.1.9 Modélisation des embâcles .....	50
<b>7.2 Résultats de la modélisation.....</b>	<b>50</b>
<b>7.3 Présentation de la carte générale .....</b>	<b>55</b>
<b>7.4 Analyse du fonctionnement des inondations.....</b>	<b>57</b>
<b>7.5 Comparaison avec les résultats antérieurs.....</b>	<b>61</b>
<b>7.6 Cartographie des aléas.....</b>	<b>63</b>
7.6.1 Grille d'aléa .....	63
7.6.2 Traitement SIG de la cartographie des aléas .....	64
<b>8 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION RETENUE POUR LE FUTUR PPRI ..</b>	<b>66</b>
<b>9 PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS .....</b>	<b>68</b>
9.1 Aménagements envisagés mais difficiles à mettre en place.....	71
9.2 Redimensionnement de l'ouvrage de franchissement de la RT.....	71
9.3 Elargissement progressif et protection des berges en amont de la RT .....	72
9.4 Piège à embâcles .....	74
9.5 Phasage des travaux.....	77
9.6 Chiffrage des aménagements.....	77
9.6.1 Ouvrage de la RT.....	77
9.6.2 Travaux sur berge .....	78
9.6.3 Piège à embâcles.....	79
9.6.4 Synthèse des aménagements proposés.....	80
<b>10 ANNEXES .....</b>	<b>81</b>

## TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : ZONE D'ÉTUDE DE LA VAHIRIA.....	8
FIGURE 2 : LOCALISATION DES PRISES DE VUE.....	10
FIGURE 3 : TRAVERSÉE DE LA ROUTE TERRITORIALE.....	11
FIGURE 4 : VUE AVAL DEPUIS LE PONT DE LA ROUTE TERRITORIALE.....	11
FIGURE 5 : ENROCHEMENTS DES BERGES.....	12
FIGURE 6 : PASSERELLE ET VUE AMONT.....	12
FIGURE 7 : PASSERELLE ET VUE AVAL.....	13
FIGURE 8 : PASSERELLE ET VUE AVAL.....	13
FIGURE 9 : DERNIER OBSTACLE IDENTIFIÉ A L'AMONT.....	14
FIGURE 10 : AVAL DE LA VAHIRIA.....	14
FIGURE 11. APPROCHE INTÉGRÉE DE CARACTÉRISATION DE L'ALÉA INONDATION (SOURCE : RIVERDENE CONSULTANCY).....	15
FIGURE 12. SCHÉMA DU SYSTÈME FLUVIAL (SOURCE : CAMPY ET MACAIRE, 1989).....	16
FIGURE 13. RELATIONS TOPOGRAPHIQUES ENTRE LES DIFFÉRENTS LITS (J.L. BALLAIS ET AL., 2005).....	17
FIGURE 14 : EXEMPLE DE SECTEUR CONTRAINT EN RIVE GAUCHE PAR UN VERSANT.....	19
FIGURE 15 : RISQUE D'ÉROSION EN FONCTION DE LA FORME DU PROFIL EN TRAVERS.....	20
FIGURE 16 : GRADIENT GRANULOMÉTRIQUE AMONT - AVAL DU COURS D'EAU ET LOCALISATION DES ENROCHEMENTS / PROTECTIONS DE BERGES.....	21
FIGURE 17. DÉLIMITATION DES SOUS-BASSINS VERSANTS AVAL DE LA VAHIRA (DROITE) ET VAIRAHARAH (GAUCHE).....	23
FIGURE 18. IDENTIFICATION DES AXES SECONDAIRES À L'AIDE DE LA TOPOGRAPHIE ET DE PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES.....	24
FIGURE 19. LES AXES SECONDAIRES (LA PLAINE FLUVIALE) ET LES TORRENTS IDENTIFIÉS DE LA VAHIRIA ET LA VAIRAHARAH.....	25
FIGURE 20. ALÉAS FLUVIAUX ET TORRENTIELS DE LA VAHIRIA ET LA VAIRAHARAH.....	26
FIGURE 21 : ANCIENNES PHOTOS AERIENNES VAHIRIA AVAL.....	28
FIGURE 22. ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DE LA VAHIRIA ET DÉLIMITATION DES ZONES D'ÉROSION.....	29
FIGURE 23. ANALYSE DES CONTRAINTES DE CISALLEMENT (Q10) SUR LE LIT DE LA VAHIRIA POUR L'ANALYSE DU RISQUE D'ÉROSION.....	30
FIGURE 24 : CARTE DU DÉCOUPAGE EN SOUS-BASSINS VERSANTS DE LA VAHIRIA.....	33
FIGURE 25 : COMPARAISON DES COURBES IDF ENTRE 1958-2008 ET 2008-2020.....	36
FIGURE 26 : COMPARAISON DES CUMULS DE LA CRUE DE DÉCEMBRE 1998 AUX CUMULS THÉORIQUES SUR LA PÉRIODE DE 1958-2008.....	36
FIGURE 27 : HYDROGRAMME DE LA CRUE DE DÉCEMBRE 1998 SUR LA VAHIRIA.....	41
FIGURE 28 : HYDROGRAMME DE LA CRUE DÉCENNALE SUR LA VAHIRIA.....	42
FIGURE 29 : HYDROGRAMME DE LA CRUE CINQUANTENNALE SUR LA VAHIRIA.....	42
FIGURE 30 : HYDROGRAMME DE LA CRUE CENTENNALE SUR LA VAHIRIA.....	43
FIGURE 31 : EXEMPLE DE MODELISATION HEC-RAS 1D/2D.....	44
FIGURE 32 : EXTRAIT DU MNT CRÉÉ POUR LA MODÉLISATION.....	46
FIGURE 33 : EXEMPLE DE PROFIL EN TRAVERS.....	46
FIGURE 34 : SECTION AMONT DU VIEUX PONT.....	48
FIGURE 35 : SECTION AMONT DU PONT DE LA RT.....	48
FIGURE 36 : MODÈLE HEC-RAS.....	49
FIGURE 37 : HAUTEURS D'EAU POUR LA CRUE DÉCENNALE - COTE DE LA MER À 0 M.....	51
FIGURE 38 : VITESSES D'ÉCOULEMENT POUR LA CRUE DECENNALE - COTE DE LA MER A 0 M.....	52
FIGURE 39 : HAUTEURS D'EAU POUR LA CRUE CENTENNALE- COTE DE LA MER A 1.73 M.....	53
FIGURE 40 : VITESSES D'ÉCOULEMENT POUR LA CRUE CENTENNALE- COTE DE LA MER A 1.73 M.....	54
FIGURE 41 : CARTE GÉNÉRALE DU BASSIN VERSANT DE LA VAHIRIA.....	56
FIGURE 42 : ANALYSE DES DÉBORDEMENTS SUR L'AMONT DE LA VAHIRIA POUR LA CRUE 100 ANS– CL AVAL 1 M NGPF.....	57
FIGURE 43 : PROFIL EN LONG ET LIGNES D'EAU AU NIVEAU DE L'OUVRAGE SOUS LA RT.....	58

FIGURE 44 : ANALYSE DES DÉBORDEMENTS À CAUSE DES OUVRAGES SOUS LA RT POUR LA CRUE CENTENNALE DE LA VAHIRIA – CL AVAL 1 M NGPF .....	59
FIGURE 45 : ANALYSE DE L'INFLUENCE DU NIVEAU DE LA MER SUR L'ALÉA POUR LA CRUE CENTENNALE .....	59
FIGURE 46 : INFLUENCE DES EMBÂCLES SUR L'ALÉA DE LA CRUE CENTENNALE - NIVEAU DE LA MER À 1 M NGPF.....	60
FIGURE 47 : INFLUENCE DES EMBACLES SUR L'ALEA DE LA CRUE CENTENNALE - NIVEAU DE LA MER A 1.73 M NGPF.....	60
FIGURE 48 : COMPARAISON AVEC L'ÉTUDE PRÉCÉDENTE POUR LA CRUE 10 ANS .....	61
FIGURE 49 : COMPARAISON AVEC L'ÉTUDE PRÉCÉDENTE POUR LA CRUE 50 ANS .....	62
FIGURE 50 : COMPARAISON AVEC L'ETUDE PRECEDENTE POUR LA CRUE 100 ANS .....	63
FIGURE 51 : CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA INONDATION DE LA VAHIRIA AVANT TRAITEMENT DES ZONES EXONDÉES.....	65
FIGURE 52 : CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DE LA VAHIRIA APRÈS TRAITEMENT DES ZONES EXONDEES.....	67
FIGURE 53 : LOCALISATION DES AMÉNAGEMENTS PRÉVUS DANS LE BASSIN VERSANT DE LA VAHIRIA.....	69
FIGURE 54 : ZONAGE DES ENJEUX POUR LA PROPOSITION D'AMÉNAGEMENT .....	70
FIGURE 55 : LOCALISATION DES AMÉNAGEMENTS EN AMONT DE LA RT .....	72
FIGURE 56 : LOCALISATION DES REMBLAIS À SUPPRIMER .....	73
FIGURE 57 : EXEMPLE DE BERGE EN ENROCHEMENT .....	74
FIGURE 58 : LOCALISATION DU PIÈGE À EMBÂCLES EN AMONT DU COURS D'EAU.....	75
FIGURE 59 : EXEMPLE DE PIÈGE À EMBÂCLES AVEC AIRE DE RETOURNEMENT POUR CHARGER UN CAMION .....	76
FIGURE 60 : VUE EN COUPE DU PIÈGE À EMBÂCLES.....	76

## TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LISTING DES DONNÉES D'ENTREE .....	9
TABLEAU 2 : CARACTÉRISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS .....	32
TABLEAU 3 : CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS ET TEMPS DE CONCENTRATION .....	34
TABLEAU 4 : HAUTEURS D'EAU PRÉCIPITÉES D'APRÈS G. WOTLING .....	34
TABLEAU 5 : HAUTEURS D'EAU PRÉCIPITÉES À LA STATION DE FAA'A SUR LA PÉRIODE 1958-2008, EN MM.....	34
TABLEAU 6 : HAUTEURS D'EAU PRÉCIPITÉES À LA STATION DE FAA'A SUR LA PÉRIODE 2008-2020, EN MM.....	35
TABLEAU 7 : CARACTÉRISTIQUES, TC ET DURÉES CARACTÉRISTQUES DES SOUS BV .....	38
TABLEAU 8 : DÉBITS POUR LA PÉRIODE DE RETOUR 10 ANS - ESTIMATION 1.....	40
TABLEAU 9 : DEBITS POUR LA PERIODE DE RETOUR 100 ANS - ESTIMATION 1 .....	40
TABLEAU 10 : DÉBITS POUR LA PÉRIODE DE RETOUR 10 ANS - ESTIMATION 2 .....	40
TABLEAU 11 : DEBITS POUR LA PERIODE DE RETOUR 100 ANS - ESTIMATION 2.....	40
TABLEAU 12 : DÉBITS CALCULÉS SUR LE BASSIN VERSANT DE LA VAHIRIA SELON LES DIFFÉRENTES MÉTHODES .....	41
TABLEAU 13 : COEFFICIENTS DE MANNING SELON LE TYPE DE SURFACE .....	47
TABLEAU 14 : GRILLE DE QUALIFICATION DU NIVEAU D'ALÉA.....	63
TABLEAU 15 : ESTIMATION DU COÛT DES TRAVAUX POUR L'OUVRAGE DE LA RT.....	77
TABLEAU 16 : ESTIMATION DU COÛT POUR L'AMÉNAGEMENT DES BERGES .....	78
TABLEAU 17 : ESTIMATION DU COUT DU PIÈGE À EMBÂCLES .....	79
TABLEAU 18 : TABLEAU DE SYNTHÈSE DES AMÉNAGEMENTS.....	80

## SIGLES

---

MNT	Modèle Numérique de Terrain
PPR	Plan de Prévention des Risques
PK	Point Kilométrique
RD	Rive Droite
RG	Rive Gauche
RT	Route Territoriale

# 1 CONTEXTE DE L'ETUDE

L'étude porte sur la cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de la Vaihiria et de la Vairaharaha situées sur la commune de Teva I Uta et de la Papeivi (située sur la commune de Faaone).

Dans la continuité de la mise à jour des cartes d'aléa inondation issues des précédents Plans de Prévention des Risques (PPR) menés à l'état de projet, la mission consiste à cartographier l'aléa inondation à partir d'expertises hydrogéomorphologiques et des modélisations hydrauliques précises.

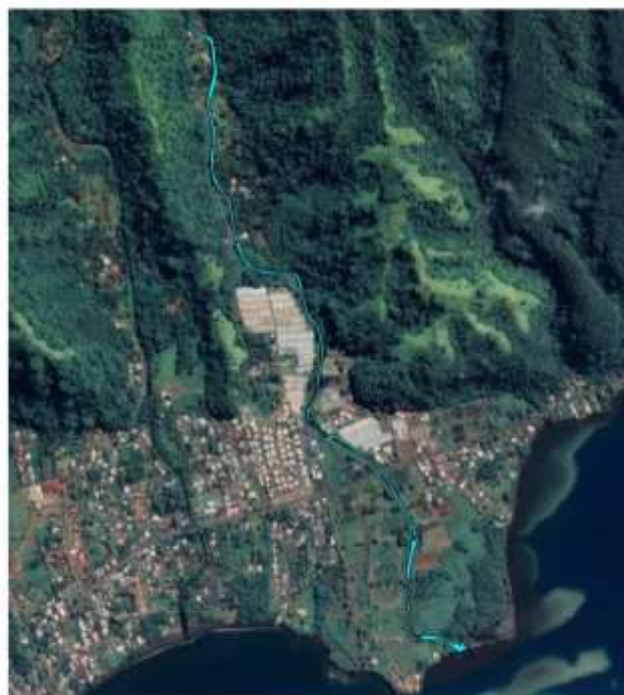
Les objectifs sont les suivants :

- Mettre à jour et affiner le diagnostic hydraulique afin de localiser les débordements et d'en estimer les conséquences en termes d'aléa inondation ;
- Mettre à jour la cartographie de l'aléa inondation ;
- Proposer des aménagements hydrauliques qui permettront de supprimer – ou du moins de limiter – ces débordements selon les différentes périodes de retour de crues.

Le présent rapport porte sur la rivière de la Vaihiria sur un linéaire d'environ 3.8 km à partir de l'embouchure.

## 2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude se situe sur l'île de Tahiti, sur la commune de Teva I Uta, au niveau du Point Kilométrique (PK) 48.



**FIGURE 1 : ZONE D'ETUDE DE LA VAIHIRIA**

### 3 DONNEES D'ENTREE

Dès le démarrage de l'étude, un recueil de données approfondi a été effectué en identifiant toutes les sources d'informations existantes.

Cette phase a permis de recueillir les documents suivants :

**TABLEAU 1 : LISTING DES DONNEES D'ENTREE**

Type	Contributeur	Année
Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie Française – Programme ARAI 2 – un modèle hydraulique a été réalisé dans le cadre de cette étude	EGIS	2009
Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie Française – un modèle hydraulique a été réalisé dans le cadre de cette étude	EGIS	2015
Données topographiques sur le cours d'eau – 22 profils en travers, 3 plans topographiques de passerelles et levés de l'ouvrage de la RT	WILD	2023
Plans de l'ouvrage de la RT	DCE	2012
Modèle Numérique de Terrain (MNT) – MNT de l'île en précision 5m x 5m	DCE	2013
Modèle Numérique de Terrain (MNT) – MNT du littoral de Mataiea en précision 0.5 m par 0.5 m	DCE	2015

## 4 ENQUETE TERRAIN

### 4.1 Visite de terrain

L'enquête de terrain réalisée en septembre 2023 a permis :

- De recenser l'ensemble des ouvrages hydrauliques ayant un impact sur la formation et l'écoulement des crues
- D'analyser le processus d'inondation et d'identifier les axes structurants les écoulements
- D'identifier toutes les données générales nécessaires à la mise à jour du modèle de simulation
- De relever les éventuels repères de crues existants
- D'identifier les axes secondaires menés suite à l'analyse hydro-géomorphologique

La carte ci-dessous permet de localiser les prises de vues et questionnaire réalisé.



FIGURE 2 : LOCALISATION DES PRISES DE VUE

Les principales observations relevées sur le terrain sont les suivantes :

Depuis le pont qui traverse la route territoriale, appelée aussi route de ceinture, jusqu'à l'embouchure, le linéaire de cours d'eau n'a pu être inspecté à cause d'une problématique d'accès (parcelles privées en RD et travaux en cours de réalisation interdisant l'accès au public en RG).

- Prise de vue n°1 : Au niveau du franchissement de la route territoriale, se trouve le pont existant permettant la traversée de la Vaihiria ainsi qu'un ancien pont en amont dont les dimensions réduisent la section d'écoulement. Ce passage peut constituer un goulot d'étranglement pour le passage des eaux et constituera un élément structurant à étudier dans la phase de modélisation.



**FIGURE 3 : TRAVERSEE DE LA ROUTE TERRITORIALE**

- Prise de vue n°2 : A l'aval de la RT, le lit est une zone humide.



**FIGURE 4 : VUE AVAL DEPUIS LE PONT DE LA ROUTE TERRITORIALE**

- Prise de vue n°3 : En amont du pont, les berges sont protégées par des enrochements en rive droite et gauche. Ces enrochements ont été posés sur un filtre géotextile. Des travaux récents semblent également avoir été entrepris comme en témoigne la piste d'accès dans le lit de la rivière et l'absence de végétation sur les berges en rive gauche. Plus en amont de cette zone la rivière longe une vaste zone de serres agricoles. Présence d'un seuil d'environ 30-40cm de hauteur.



**FIGURE 5 : ENROCHEMENTS DES BERGES**

- Prise de vue n°4 : Une première passerelle permettant l'accès à quelques habitations est identifiée, mais ne semble pas constituer un obstacle à l'écoulement. En amont de la passerelle, le lit semble avoir été recalibré.



**FIGURE 6 : PASSERELLE ET VUE AMONT**

- Prise de vue n°5 : Une seconde passerelle est relevée mais ne semble pas constituer un rétrécissement de la section. Présence d'un seuil à l'aval d'une hauteur d'environ 30-40cm.



**FIGURE 7 : PASSERELLE ET VUE AVAL**

- Prise de vue n°6 : Une troisième passerelle est identifiée permettant l'accès à une habitation en RG. Comme les précédents ouvrages, cette traversée ne semble pas constituer un obstacle à l'écoulement. Le propriétaire de cette habitation a pu être interrogé, le questionnaire se trouve en Annexe 1. Selon son retour, une partie de sa parcelle a été inondée sans impacter son habitation il y a environ 10 ans. Cette inondation proviendrait de la montée des eaux dues aux embâcles présents sous la passerelle. Depuis la mise en place des enrochements, aucun débordement n'a été constaté. En aval de la passerelle, le lit est rectiligne.



**FIGURE 8 : PASSERELLE ET VUE AVAL**

- Prise de vue n°7 : Un dernier obstacle est observé sur le linéaire étudié. Aucune habitation ne se trouve à proximité.



**FIGURE 9 : DERNIER OBSTACLE IDENTIFIE A L'AMONT**

- Prises de vue n°8 et n°9 : L'aval de la rivière depuis la RT jusqu'à l'embouchure, après accord avec le responsable des travaux en cours sur cette zone (construction d'une ferme solaire), a été parcouru. On observe une végétation dense de part et d'autre des berges. L'embouchure de la rivière semble se transformer en delta, caractérisé par une séparation de la branche principale en deux.



**FIGURE 10 : AVAL DE LA VAHIRIA**

## 4.2 Historique des évènements

Aucun évènement majeur n'a été identifié ni relevé lors des enquêtes terrains réalisés.

## 5 ANALYSE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

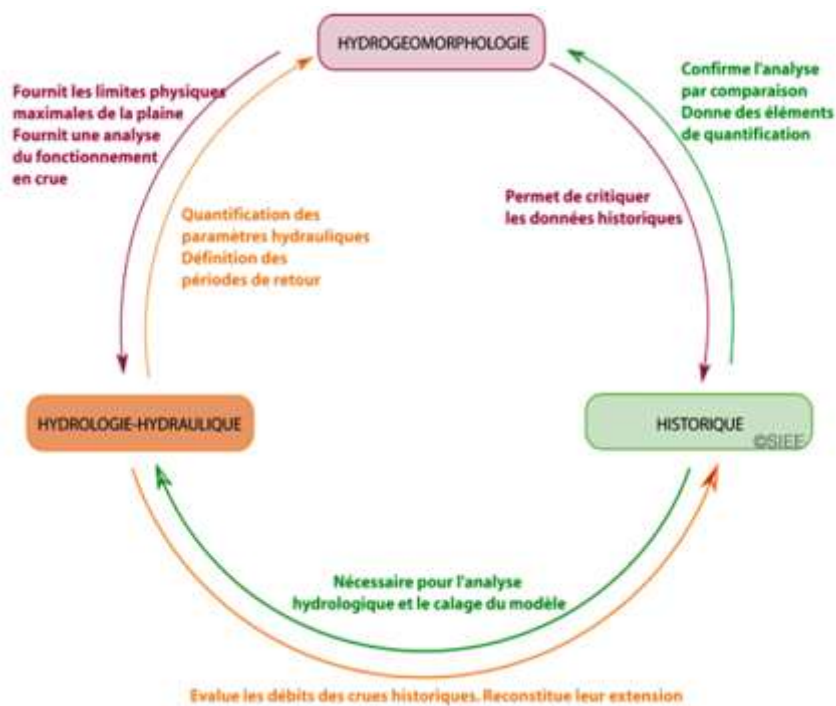
### 5.1 Méthodologie de l'analyse hydrogéomorphologique

---

*La méthodologie présentée dans cette étude se base principalement sur les travaux de Ballais et al. (2011) « la méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables » et Montané (2014) « l'approche hydrogéomorphologique : pratiques, valorisations et développement d'une méthode de cartographie des zones inondables ».*

---

L'hydrogéomorphologie est une méthodologie géographique appliquée qui étudie les fonctions naturelles des cours d'eau en analysant la structure des vallées fluviales. Il s'agit de l'une des trois approches de l'étude du risque inondation, avec les études historiques et la modélisation hydraulique (Figure 11).



**FIGURE 11. APPROCHE INTEGREE DE CARACTERISATION DE L'ALEA INONDATION (SOURCE : RIVERDENE CONSULTANCY)**

L'approche hydrogéomorphologique est avant tout une approche géomorphologique, applicable aux vallées et aux plaines inondables. Il s'agit d'une approche naturaliste qui s'inscrit dans les développements récents de la géomorphologie fluviale (Ballais et al., 2011). Schumm (1977) a proposé de diviser les systèmes fluviaux en trois zones d'amont en aval : la zone amont est la zone d'alimentation associée à l'ablation et au mouvement des sédiments, la zone de transit est la zone de transit et de dépôt partiel des sédiments, et la zone aval est la zone d'accumulation des sédiments (Figure 12).

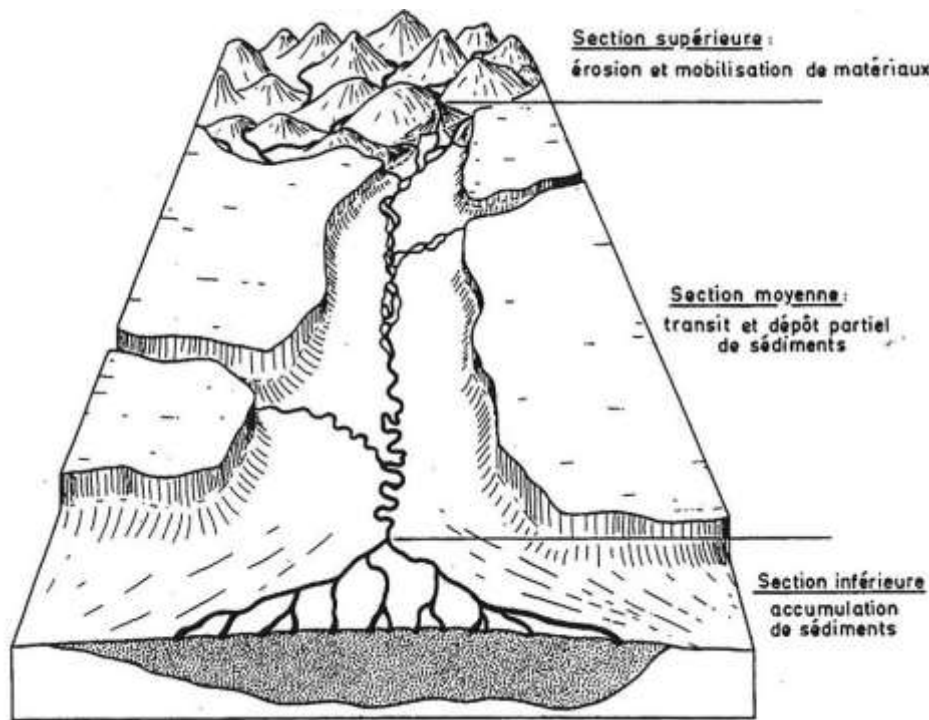


FIGURE 12. SCHEMA DU SYSTEME FLUVIAL (SOURCE : CAMPY ET MACAIRE, 1989)

Sur la base de ce schéma, l'approche hydrogéomorphologique consiste à déterminer les différentes formes de la plaine d'inondation tout au long de ce profil, c'est-à-dire à étudier le profil en travers de la plaine d'inondation et ensuite son évolution vers l'amont et vers l'aval.

### 5.1.1 Critères d'identification

La clé de l'interprétation hydrogéomorphologique est d'intégrer des critères d'identification dans les domaines de la morphologie, de la sédimentologie, de l'occupation des sols et des données historiques (Montané et al., 2014).

#### 5.1.1.1 La morphologie

**L'observation de la morphologie** est souvent la porte d'entrée de l'interprétation. Le regard du géomorphologue doit se tourner vers l'identification des ruptures de pente, synonymes de changements d'unités, ainsi que des surfaces subhorizontales, caractéristiques des formations alluviales (Derruau, 1974 ; Masson et al., 1996 ; Nanson et Croke, 1992).

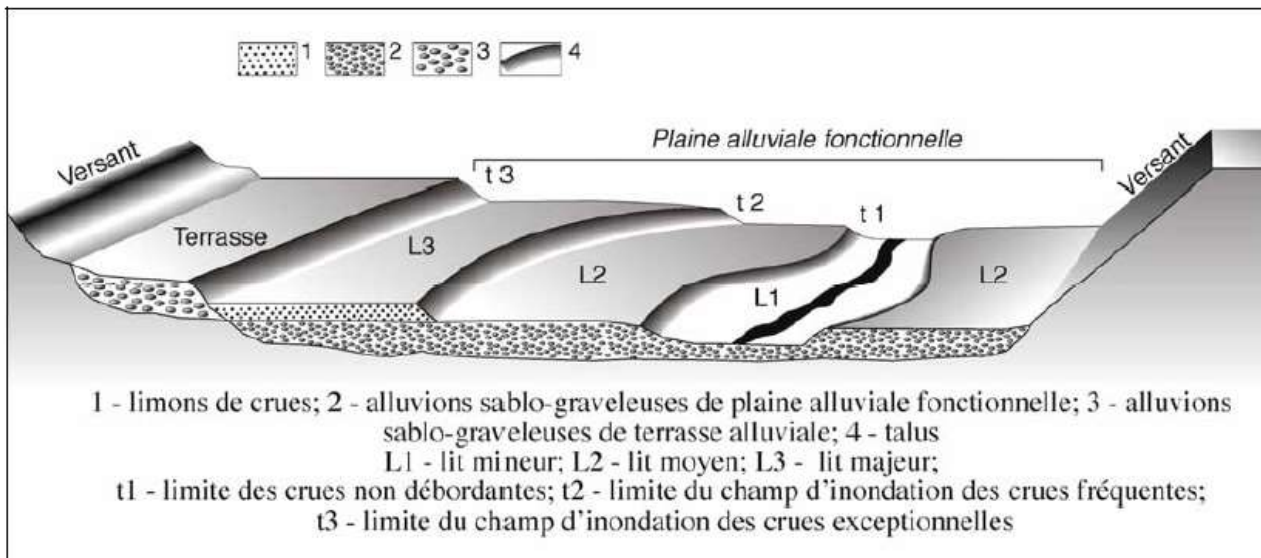
Le lit d'un cours d'eau est une unité spatiale située entre deux pentes consécutives qui forment la surface d'écoulement de l'eau (Figure 12). La classification du lit d'un cours d'eau dépend de son débit, qui peut aller de l'étiage aux crues extrêmes (Ballais et al., 2011).

**Le lit mineur** des cours d'eau (lit à faible débit) présente des formes actives de la dynamique du chenal qui changent fréquemment. Différents types de bancs sédimentaires (bars) peuvent être observés et fournir des informations sur la direction de la migration du chenal. Etant fréquemment en eau, le lit mineur est peu ou pas colonisé par la végétation aérienne.

**Le lit moyen** est séparé du lit mineur par un talus ; il s'agit d'une surface située à une hauteur intermédiaire entre le lit mineur et le lit majeur. Ces strates se rencontrent principalement dans les régions à fort contraste pluviométrique (Delorme-Laurent, 2007), comme la région méditerranéenne, et principalement dans les zones de transfert fluvial. Le lit moyen présente une topographie irrégulière composée de chenaux et de zones de dépôt de sédiments grossiers en raison des forts courants qui peuvent s'écouler sur la surface du lit. La fréquence d'inondation de cette surface varie de 1 à 10 ans (Masson et al., 1996). L'occupation du sol dans le

lit moyen du cours d'eau consiste principalement en une végétation riveraine dense, et les traces d'activité humaine sont à peine visibles en raison de la fréquence et de l'intensité de l'écoulement de l'eau.

**Le lit majeur** est situé directement au-dessus du lit moyen. Contrairement aux lits mineur et moyen, le lit majeur présente une topographie très régulière, représentant les courants les moins actifs et les plus fréquents qui l'atteignent. Cette strate est principalement constituée de grains fins. Le lit majeur est très prisé par les sociétés humaines pour ses sols fertiles et ses surfaces planes faciles à exploiter.



**FIGURE 13. RELATIONS TOPOGRAPHIQUES ENTRE LES DIFFERENTS LITS (J.L. BALLAIS ET AL., 2005)**

### 5.1.1.2 Sédimentologie

Les unités de plaine d'inondation sont constituées de matériaux déposés par la rivière, tels que le limon et le sable, ou de matériaux plus grossiers, tels que les galets qui ont été arrondis par la rivière. En revanche, les unités de l'encaissant sont constituées de matériaux anguleux ou de matériaux trop gros pour la capacité de transport de la rivière. **Les études sédimentologiques** sont particulièrement importantes en cas de doute sur la localisation des limites de la plaine d'inondation, par exemple entre le lit principal de la rivière et les alluvions qui adoucissent les pentes extérieures du lit principal de la rivière par un écoulement diffus (Ballais et al., 2011 ; Delorme-Laurent, 2007).

### 5.1.1.3 Occupation du sol

En plus des deux premiers critères, il est important de s'intéresser à **l'occupation du sol**, qui fournit des indices précieux pour déterminer la vulnérabilité d'une zone aux inondations. Par exemple, les comparaisons entre la végétation hydrophile (peuplier, aulne, frêne, etc.) et les espèces végétales qui n'aiment pas l'humidité dans les zones inondables peuvent s'avérer être des indicateurs intéressants (Ballais et al., 2011 ; Masson et al., 1996).

La manière dont les sociétés humaines ont aménagé leurs territoires peut fournir de nombreux indices utiles. Par exemple, l'âge des bâtiments doit être pris en compte. D'un point de vue schématique, les bâtiments les plus anciens sont situés en dehors de la zone inondable, alors que les bâtiments les plus récents (par exemple les quartiers résidentiels) occupent souvent la zone inondable (Masson et al., 1996).

En raison des limites des données disponibles, l'étude actuelle se base principalement sur des observations morphologiques à l'aide de MNT et des analyses historiques à l'aide de photographies aériennes.

## 5.2 Cartographie hydrogéomorphologique

Une analyse hydrogéomorphologique a été réalisée sur la Vaihiria par cette étude. Cette analyse se concentre principalement sur la plaine alluviale en aval où les données sont disponibles.

### 5.2.1 Délimitation des sous-bassins versants

Afin de mieux comprendre le fonctionnement de chaque bassin versant, la première étape consiste à **délimiter les sous-bassins versants et le réseau hydrographique** (Figure 17).

Pour Vaihiria, on constate que ce sont principalement les sous-bassins des zones montagneuses les plus élevées qui alimentent les cours d'eau et les ruisseaux des sous-bassins urbanisés situés en aval se jettent souvent directement dans la mer (Figure 17).

### 5.2.2 Identification des axes d'écoulement secondaires

Pour **identifier les axes d'écoulement secondaires** dans la plaine d'inondation, nous avons analysé et comparé les réseaux hydrologiques, les photographies aériennes et le MNT afin d'éliminer les faux écoulements (Figure 18). La Figure 19 montre les axes d'écoulement secondaires et les principaux torrents identifiés. Ces axes secondaires ont également fait l'objet d'une vérification sur le terrain.

En raison de la situation géographique particulière de l'île de Tahiti, les zones de production, de transit et les zones d'accumulation des sédiments sont très proches les unes des autres. Les cours d'eau ne disposent pas d'une distance et d'un espace suffisants pour former clairement le lit mineur, moyen et majeur. De plus, la zone aval est fortement urbanisée avec des bâtiments, des routes et des digues, ce qui rend l'identification encore plus difficile.

La Figure 20 montre les résultats de l'analyse de l'**aléa d'inondation**, qui correspond **aux limites du lit mineur des axes d'écoulement secondaires identifiés** dans la plaine d'inondation. L'aléa torrentiel est défini par la largeur du fond de vallée dans laquelle le torrent s'écoule.

### 5.2.3 Evolution du lit et érosion

**Le risque d'érosion** sur la Vaihiria a été analysé selon les 4 étapes suivantes :

#### 1. Analyse de l'évolution du lit et divagations passées :

L'analyse de l'évolution du lit permet de comprendre les changements historiques du lit pour anticiper ses trajectoires futures et identifier les sections susceptibles de subir une érosion ou une divagation.

L'évolution du lit a été analysée à l'aide d'anciennes photographies aériennes géoréférencées (Figure 22).

Les bandes actives des cours d'eau ont été délimitées et comparées à chaque période. La tendance est plutôt à la rétractation de la bande active, notamment pour la Vaihiria. Le cours d'eau d'aujourd'hui est bien plus étroit, les débits sont plus faibles et les capacités de transport semblent avoir fortement diminué. Une des raisons pouvant être à l'origine de ces phénomènes peut être la construction de barrages en amont du bassin versant qui ont très certainement eu pour effet de réduire fortement les débits et par conséquent les capacités de transport.

Il a toutefois été possible de délimiter des traces de méandres qui ont servi à la délimitation de l'expansion maximale potentielle d'une érosion. Les secteurs les plus sensibles à l'érosion ont donc pu être délimités ainsi que leur emprise potentielle.

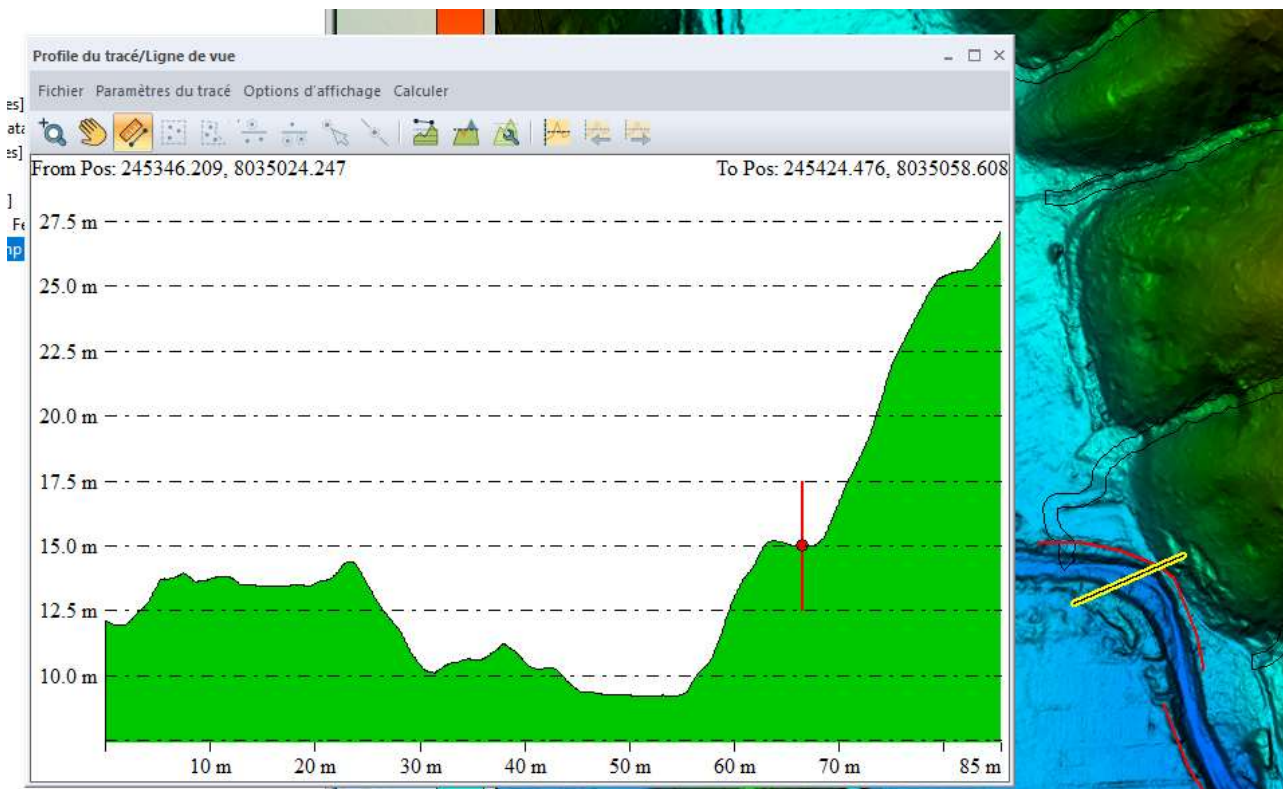
#### 2. Analyse de la topographie des berges :

Après cette première délimitation planimétrique, l'objectif était d'analyser des données topographiques pour identifier les secteurs qui sont naturellement contraints latéralement par un versant. Ces secteurs sont donc à exclure des zones à risque d'érosion car le cours d'eau n'est pas en mesure de divaguer latéralement. L'analyse

des profils en travers tracés à partir du MNT disponible, a permis d'identifier les secteurs critiques où la pente des berges les rend instables et plus vulnérables à l'érosion.

Un exemple est présenté sur la Figure 14 ci-dessous. Bien que le cours d'eau semble former un méandre sur ce secteur ce qui pourrait laisser entendre que la zone concave est potentiellement soumise au risque d'érosion, la topographie en rive droite ne permettra clairement pas au cours d'eau de poursuivre cette érosion. Ce secteur est donc à exclure des zones à risque d'érosion, initialement digitalisé à partir de l'évolution des bandes actives.

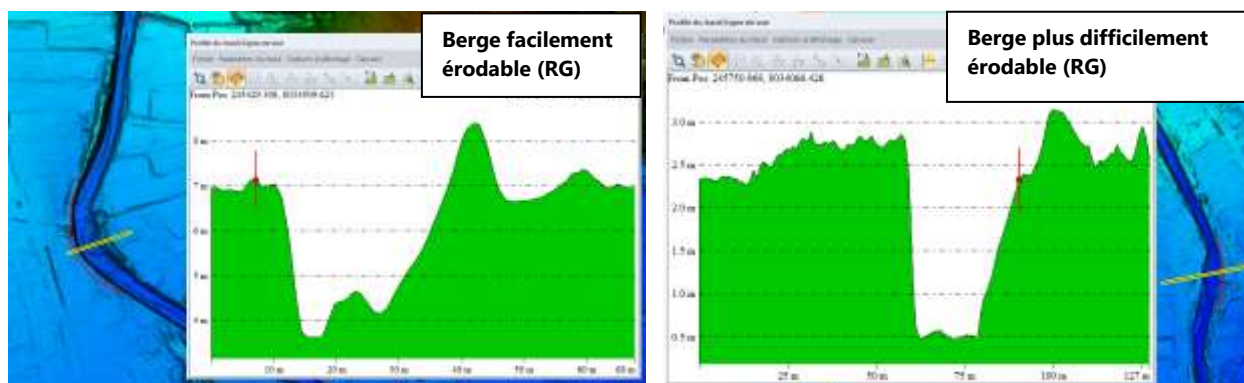
Cette opération a été menée sur tout le linéaire du cours d'eau afin d'exclure rapidement les secteurs non concernés par ce risque.



**FIGURE 14 : EXEMPLE DE SECTEUR CONTRAINT EN RIVE GAUCHE PAR UN VERSANT**

La forme du profil en travers influence également considérablement les processus d'érosion au sein d'un cours d'eau, car elle affecte la répartition de l'énergie et des forces hydrauliques sur les berges et le lit du cours d'eau.

Une forme en « U » ou « V » indique que le profil en travers est étroit et que l'énergie est canalisée dans le lit (Figure 15). Le risque est donc lié à l'incision sur ces secteurs plutôt qu'à l'érosion latérale. Au fur et à mesure que le profil s'élargit et que le cours d'eau devient moins profond, l'érosion de berge est donc favorisée par rapport à celle du lit.



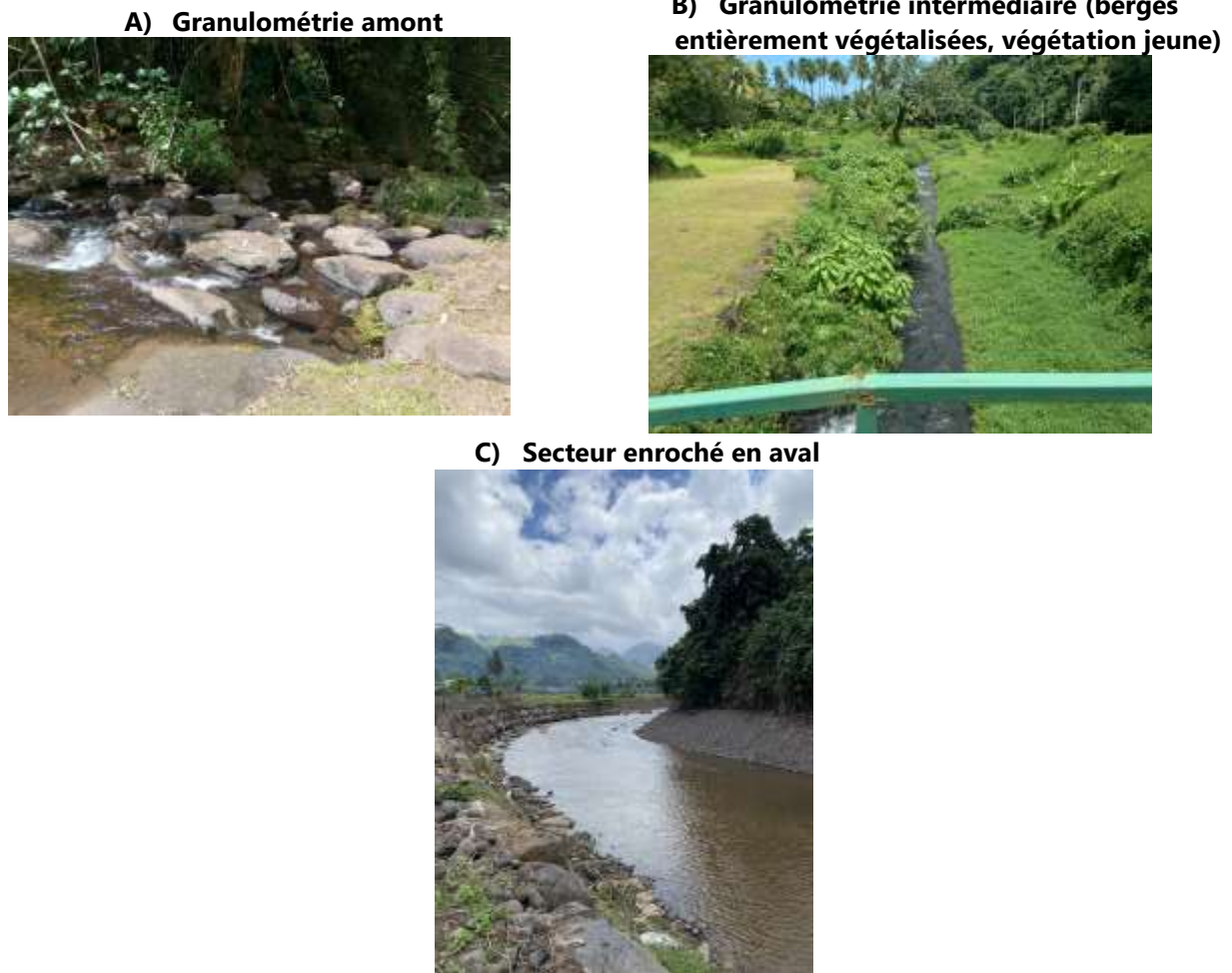
**FIGURE 15 : RISQUE D'ÉROSION EN FONCTION DE LA FORME DU PROFIL EN TRAVERS**

### **3. Analyse des données de terrain :**

Les données issues des campagnes de terrain ont également permis d'affiner cette analyse. En effet les investigations terrain ont permis d'analyser la composition des sédiments des berges du lit (gravier, sables, limons). Les matériaux fins du type sables, limons sont beaucoup plus sensibles à l'érosion que des blocs ou galets. Cette information associée à l'analyse des contraintes de cisaillement (voir section suivante) permet de conclure quant à l'érodabilité des berges.

La végétation des berges peut aussi jouer un rôle stabilisateur non négligeable. Les zones fortement végétalisées avec une présence d'espèces ligneuses, bien enracinées ont également été prises en compte pour évaluer la vulnérabilité des berges à l'érosion.

Enfin, le parcours du cours d'eau a permis d'identifier les secteurs où des protections de berges sont disposées (Figure 16 C). Ces linéaires ont été exclus des zones potentiellement érodables étant donné que les berges sont protégées par ces ouvrages. Leur qualité devra toutefois être surveillée avec le temps : un enrochement qui commence à être affouillé peut, à terme, s'effondrer et rendre la berge concernée, de nouveau vulnérable à l'érosion. Par ailleurs ces ouvrages sont implantés sur des secteurs à enjeux d'où l'intérêt de bien suivre leur évolution dans le temps et assurer leur maintenance.



**FIGURE 16 : GRADIENT GRANULOMETRIQUE AMONT - AVAL DU COURS D'EAU ET LOCALISATION DES ENROCHEMENTS / PROTECTIONS DE BERGES**

#### **4. Analyse de la contrainte de cisaillement :**

Afin de compléter et clôturer l'analyse, la contrainte de cisaillement issue des modélisations réalisées (voir section 7 Modélisation hydraulique) a été analysée. Une contrainte de cisaillement élevée signifie que l'eau exerce une force importante sur le lit et les berges d'un cours d'eau. Cela peut entraîner des érosions, surtout si les matériaux constitutifs des berges le permettent (matériaux friables et peu résistants à l'image des limons et des sables).

Par ailleurs, un cisaillement élevé est un indicateur d'un fort transport solide. Plus la contrainte est élevée, plus il y a de chances que des sédiments soient déplacés et transportés par les écoulements. Si la contrainte dépasse la résistance du substrat, cela peut provoquer une dégradation progressive du lit et des berges.

Dans le cas de la présente étude, la crue décennale a été retenue pour analyser la contrainte de cisaillement. En effet, le cisaillement est plus élevé pour les crues non ou peu débordantes car les écoulements sont concentrés dans le lit ce qui favorise la mobilisation des sédiments. Ceci justifie donc le choix de cette occurrence et non d'une occurrence plus forte.

Les résultats de cette analyse sont présentés sur la Figure 23. Les secteurs où la contrainte est élevée ( $> 50 \text{ N/m}^2$ ) sont généralement les plus vulnérables aux phénomènes d'érosion. En superposant ces résultats au diagnostic terrain, à l'analyse de la topographie et à l'analyse de l'évolution du lit, il est ainsi possible de confirmer / supprimer les zones les plus susceptibles à l'érosion identifiées dans les étapes préalables.

## 5.2.4 Cartographie

La cartographie des éléments hydrogéomorphologiques délimités pour la rivière de la Vaihiria est présentée ci-dessous :

## Délimitation des sous-bassins versants

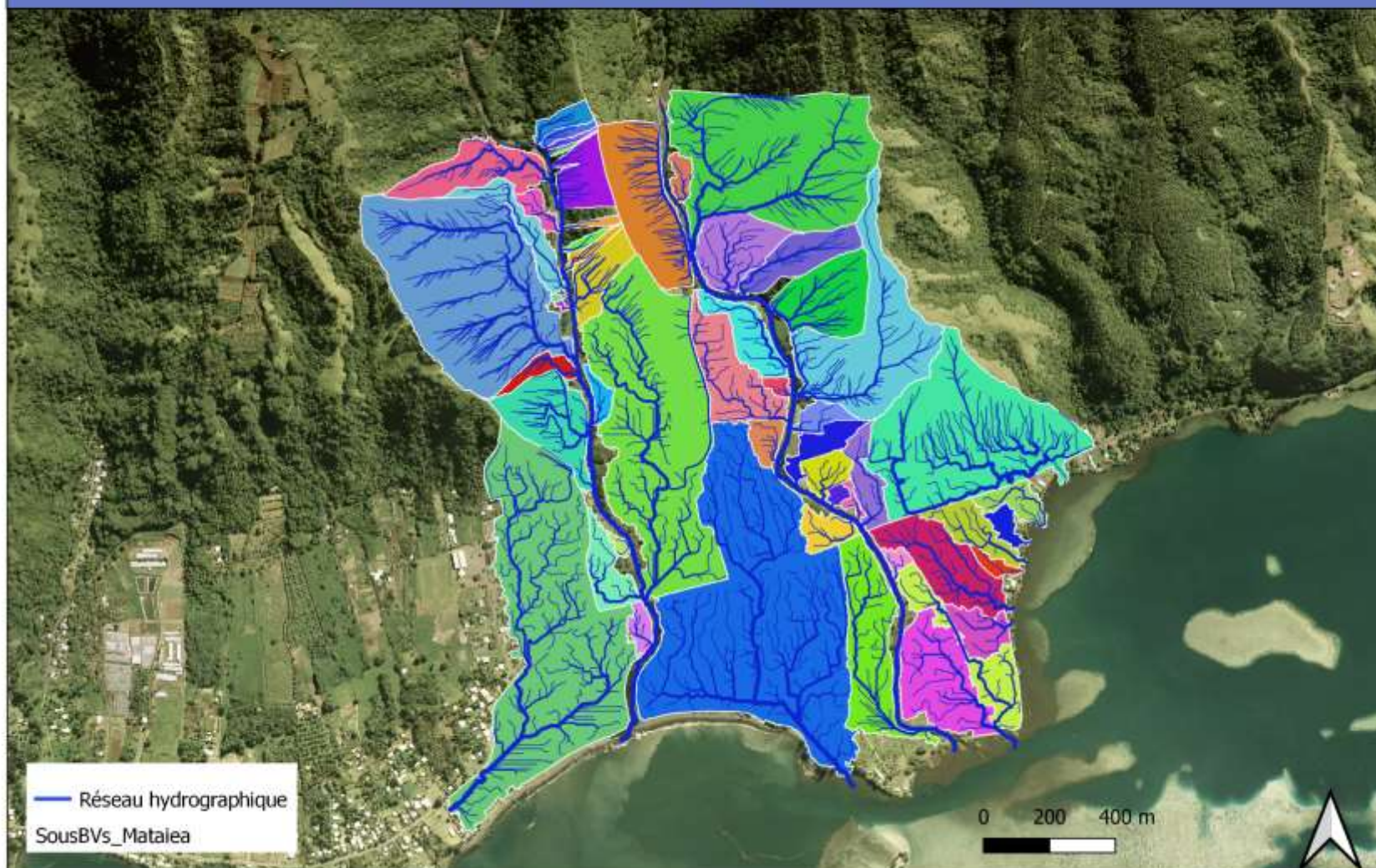


FIGURE 17. DELIMITATION DES SOUS-BASSINS VERSANTS AVAL DE LA VAHIRA (DROITE) ET VAIRAHARAHA (GAUCHE)



**FIGURE 18. IDENTIFICATION DES AXES SECONDAIRES A L'AIDE DE LA TOPOGRAPHIE ET DE PHOTOGRAPHIES AERIENNES**

## Identification des axes secondaires et des torrents

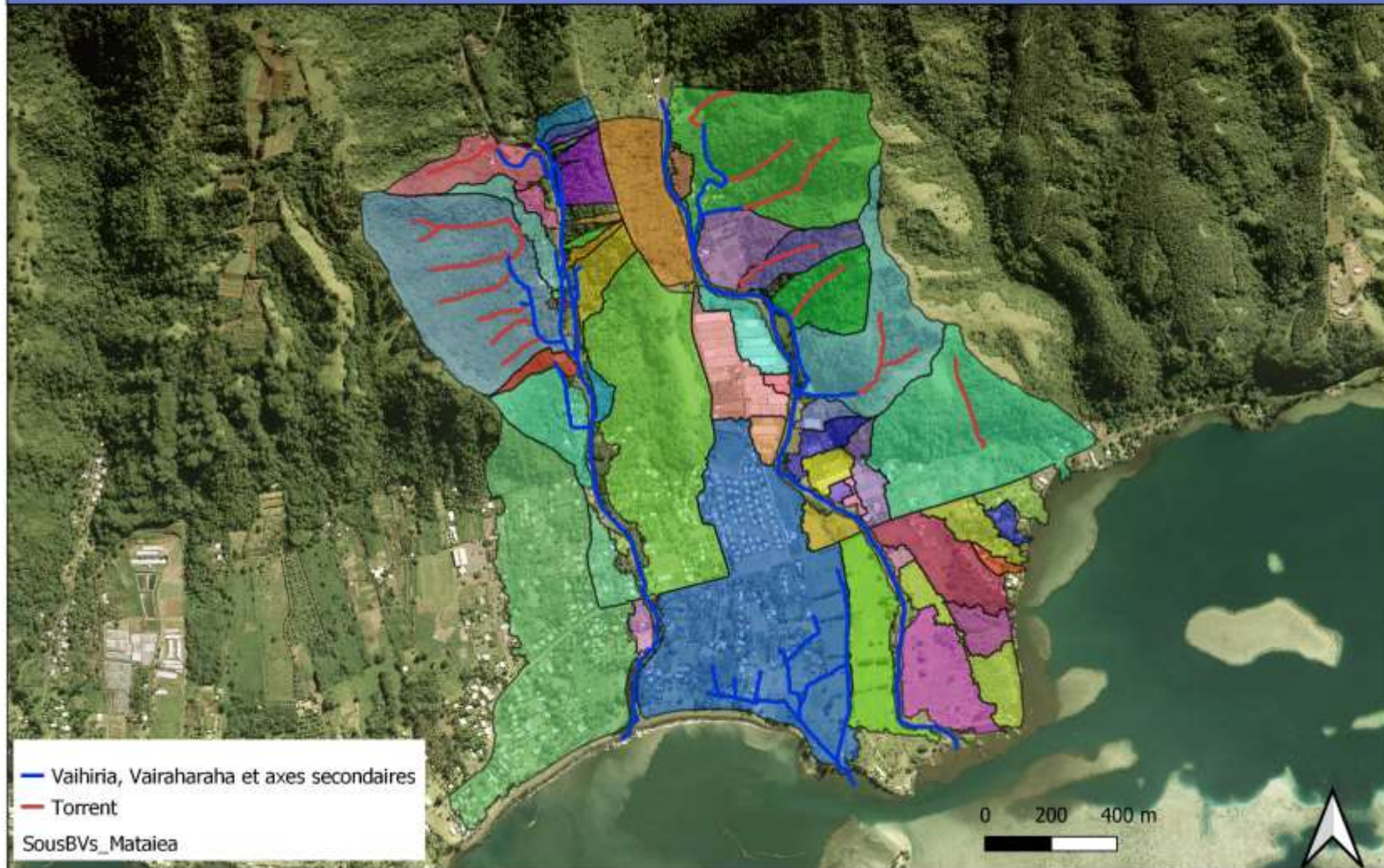
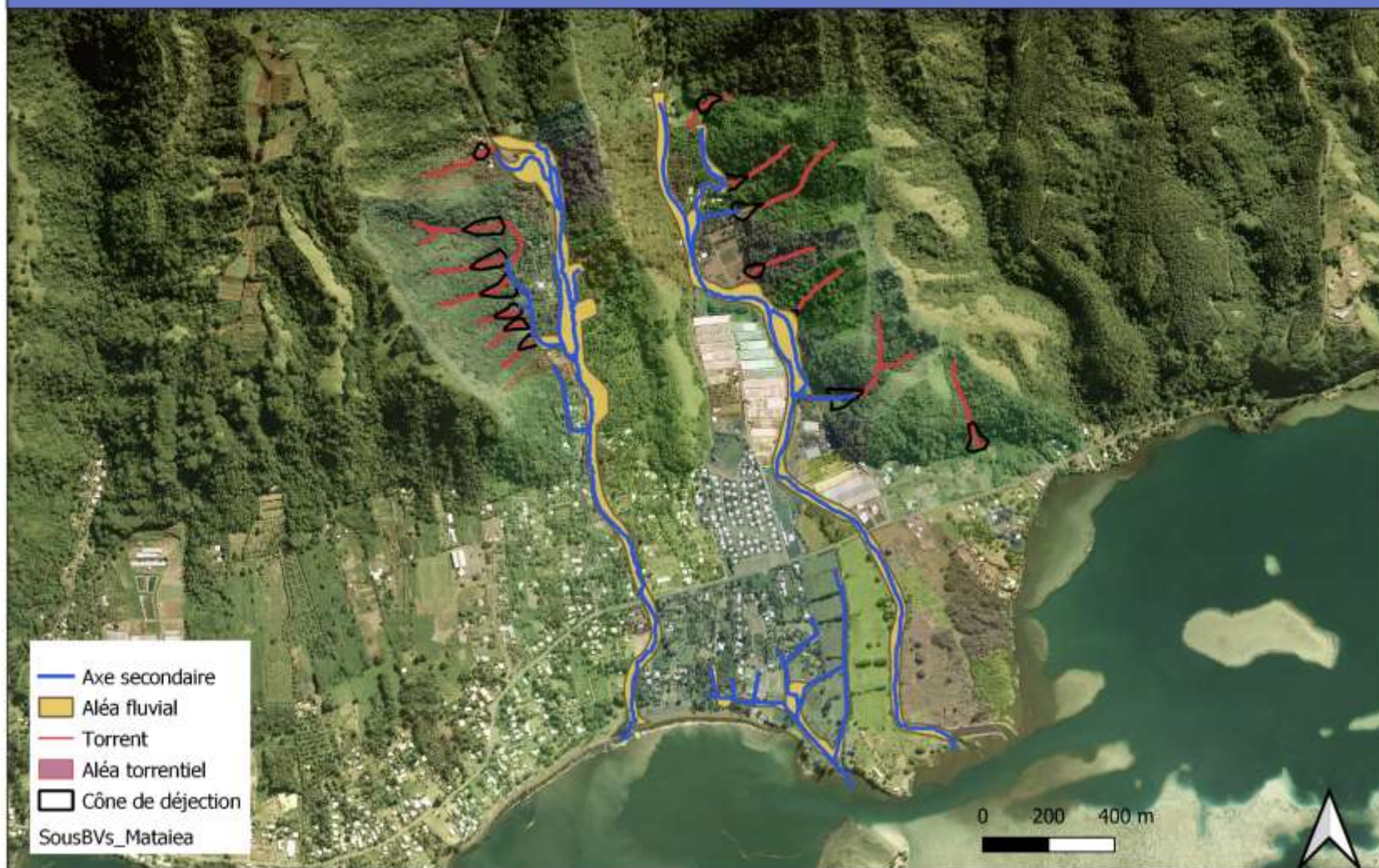


FIGURE 19. LES AXES SECONDAIRES (LA PLAINE FLUVIALE) ET LES TORRENTS IDENTIFIES DE LA VAHIRIA ET LA VAIRAHARAHA

## Aléas fluviaux et torrentiels



**FIGURE 20. ALEAS FLUVIAUX ET TORRENTIELS DE LA VAHIRIA ET LA VAIRAHARAH**



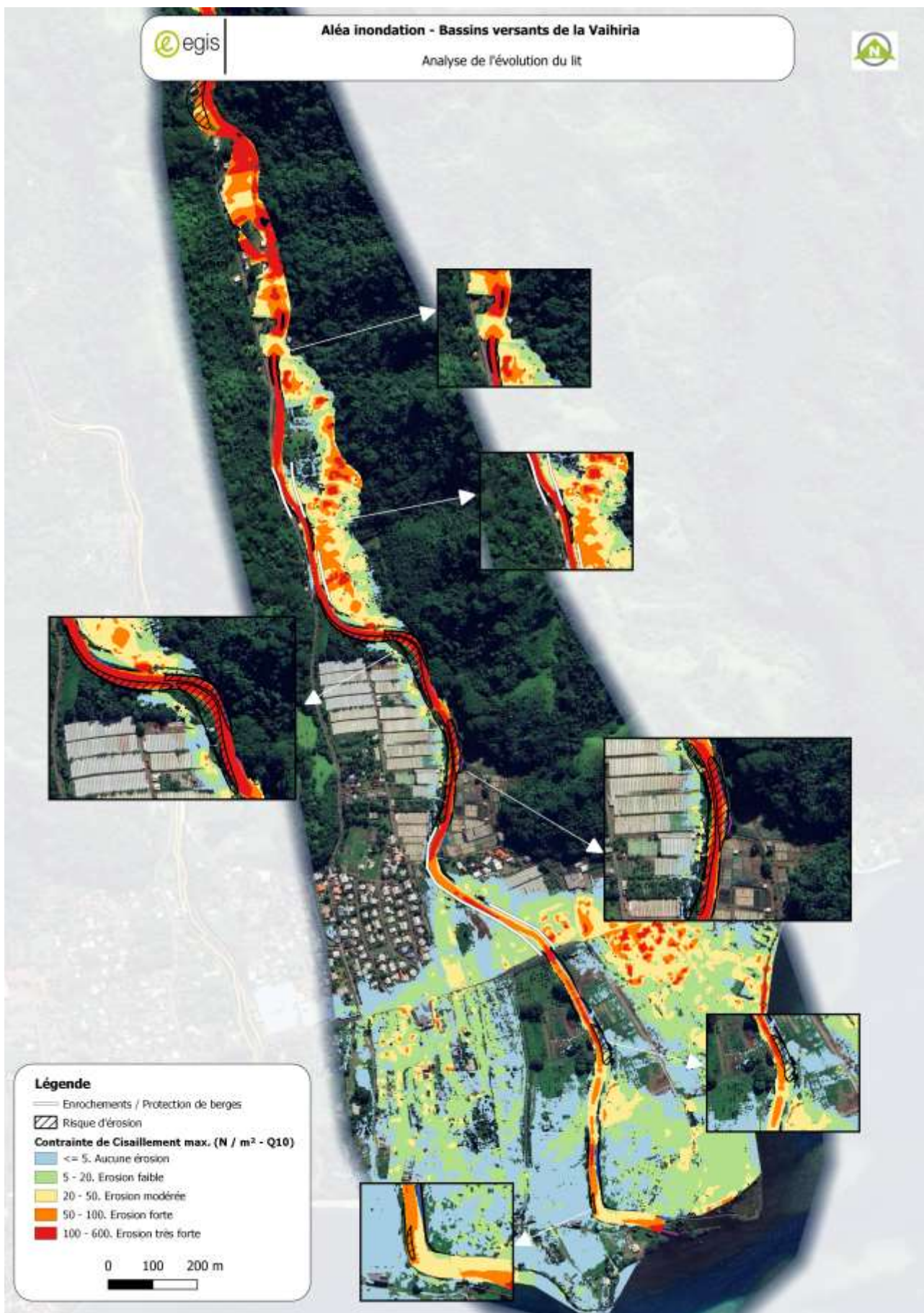
**FIGURE 18 : ANCIENNES PHOTOS AERIENNES VAHIRIA AMONT**



**FIGURE 21 : ANCIENNES PHOTOS AERIENNES VAHIRIA AVAL**



FIGURE 22. ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA VAHIRIA ET DELIMITATION DES ZONES D'EROSION



**FIGURE 23. ANALYSE DES CONTRAINTES DE CISAILLEMENT ( $Q_{10}$ ) SUR LE LIT DE LA VAIHIRIA POUR L'ANALYSE DU RISQUE D'ÉROSION**

## 6 ANALYSE HYDROLOGIQUE

### 6.1 Caractéristiques historiques

Le bassin versant de la Vaihiria se situe sur l'un des secteurs les plus arrosés de l'île de Tahiti. En effet la pluviométrie moyenne interannuelle est comprise entre 2500 à 5000 mm en plaine et s'élève à plus de 7500 mm dans les reliefs.

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

La Vaihiria prend sa source au pied du mont Urufa situé entre les monts Tetuferu et Punui et dont le versant nord alimente également la Papenoo.

Le bassin versant de la Vaihiria a une superficie de 14.6 km<sup>2</sup>, un plus long chemin hydraulique de 12.8 km et culmine à 1493 m d'altitude. Les reliefs de ce bassin versant sont caractérisés par des versants de pentes très importantes. La pente du lit mineur varie entre 7% en amont et moins de 0.6% à l'aval de la route territoriale.

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

En tête de bassin, le **lac Vaihiria** draine un sous bassin versant de 3.3 km<sup>2</sup>. Ce lac s'est formé à la suite de l'effondrement d'une masse importante de terrain provenant des versants, notamment du versant Est. Les blocs résultants de cet écroulement se sont amoncelés, formant le chaos que l'on appelle Teraiputo.

Le lac d'une superficie d'environ 12 hectares pour une profondeur maximale de 28 mètres est contenu par un barrage naturel d'une hauteur d'environ 200 mètres sur son parement aval pour une largeur de crête d'environ 500 mètres.

#### Les données caractéristiques historiques du bassin versant sont les suivantes :

- Surface : 14.6 km<sup>2</sup>
- Périmètre : 21 km
- Plus long cheminement hydraulique : 12.8 km
- Coefficient de compacité Kc : 1.5
- Altitude moyenne : 500m,
- Dénivelée entre sommet du bassin et exutoire : 1 493 m,
- Indice de pente : 74 m/km
- Temps de concentration (Kirpich) : 1h

Ces données ont été mises à jour avec l'aide des nouveaux outils de SIG et de calculs et selon un découpage en sous-bassins versants présenté dans la section suivante.

## 6.2 Découpage en sous-bassins versants

Les précédentes études étudiaient globalement le bassin versant de la Vaihiria ce qui permettait d'injecter un hydrogramme en amont du modèle mais ne donnaient pas la possibilité de créer des injections de débits intermédiaires.

L'actualisation de l'étude hydraulique est l'occasion découper le bassin versant de la Vaihiria en trois sous-bassins versants présentés dans la Figure 24. Ce découpage permet de distinguer la partie en altitude et peu urbanisée à l'amont, la partie intermédiaire légèrement urbanisée et en enfin la partie aval avec une urbanisation plus dense et des enjeux plus présents.

Les caractéristiques des sous-bassins versants sont présentées dans le tableau suivant :

**TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS**

Sous BVs	Surface (ha)	Longueur (m)	Pente (%)
Amont	1 178	10 930	14.3%
Intermédiaire	138	1 874	1.6%
Aval	101	1 923	0.7%
<b>Vaihiria</b>	<b>1 417</b>	<b>14 727</b>	<b>11%</b>

Les pentes ont été calculées par pondération et la surface a été ajustée par analyse du MNT grâce aux logiciels de SIG.



FIGURE 24 : CARTE DU DECOUPAGE EN SOUS-BASSINS VERSANTS DE LA VAIHIRIA

### 6.3 Estimation des temps de concentration

Le temps de concentration des sous-bassins versants a été calculé à partir de la 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

Les temps de concentration ainsi calculés sont synthétisés dans le tableau ci-après :

**TABLEAU 3 : CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS ET TEMPS DE CONCENTRATION**

Sous BVs	Surface (ha)	Longueur (m)	Pente (%)	Tc (min)
Amont	1 178	10 930	14.3%	53
Intermédiaire	138	1 874	1.6%	32
Aval	101	1 923	0.7%	45
<b>Vaihiria</b>	<b>1 417</b>	<b>14 727</b>	<b>11%</b>	<b>74</b>

### 6.4 Analyse Pluviométrique

#### 6.4.1 Courbes IDF

Il existe plusieurs sources pour les hauteurs issues de courbe IDF.

- La plus ancienne et utilisée pour certaines anciennes estimations de débit. Ces hauteurs ont été estimées en 2000 dans le cadre de l'étude « Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti » par G. WOTLING de l'ORSTOM. Elles ont été estimées par une analyse statistique des enregistrements les plus fiables pour des durées de pluies de 5 min, 15 min, 30 min, 60 mn, 2 heures et 24 heures. Ces analyses statistiques ont été réalisées sur 8 années d'observations et ne comportent pas les plus fortes dépressions enregistrées sur le site d'étude (les années 1982, 1983 et 1998). En raison de ce faible nombre d'années d'observations ces résultats sont probablement sous évalués.

**TABLEAU 4 : HAUTEURS D'EAU PRECIPITEES D'APRES G. WOTLING**

Période de retour	Durée (min)		
	15 minutes	30 minutes	60 minutes
<b>2 ans</b>	29.4 mm	45.9 mm	67.1 mm
<b>10 ans</b>	37.9 mm	59.3 mm	87.0 mm
<b>100 ans</b>	48.4 mm	75.9 mm	111.9 mm

- La seconde source pour les courbes IDF est donnée par Météo-France sur la station de mesure de l'aéroport Faa'a. Ces cumuls ont été réalisés sur la période d'observation de 1958 à 2008.

**TABLEAU 5 : HAUTEURS D'EAU PRECIPITEES A LA STATION DE FAA'A SUR LA PERIODE 1958-2008, EN MM**

Courbes IDF en cumul					
Durée	Période de retour				
	2 ans	5 ans	10 ans	30 ans	100 ans
<b>15 min</b>	24.5	30.7	34.9	41.2	47.9
<b>30 min</b>	34.7	43.1	48.7	57.2	66.2

1h	45.7	59.0	67.8	81.1	95.3
2h	60.2	79.4	92.2	111.6	132.2
6h	88.2	114.6	132.0	157.8	186.0
12h	117.6	151.2	174.0	206.4	242.4
24h	148.8	196.8	230.4	278.4	328.8

- La troisième source pour les courbes IDF est la plus récente (achetée à Météo France en Janvier 2024). Ces courbes IDF sont basées sur la station de mesure de l'aéroport Faa'a, sur la période d'observation de 2008 à 2020.

**TABLEAU 6 : HAUTEURS D'EAU PRECIPITEES A LA STATION DE FAA'A SUR LA PERIODE 2008-2020, EN MM**

Courbes IDF en cumul					
Durée	Période de retour				
	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans
15 min	23.6	25.5	27.4	28.3	29.6
30 min	36.9	39.9	42.9	44.5	46.5
1h	59.7	67.7	76.2	81.2	87.7
2h	77.2	88.1	99.4	106.2	114.8
6h	116.2	133.6	151.6	162.2	175.9
12h	150.4	173.7	197.8	212.0	230.1
24h	194.6	225.9	258.2	277.0	301.1

Les dernières données de Météo France ne permettent pas d'estimer les cumuls pour la période de retour 100 ans.

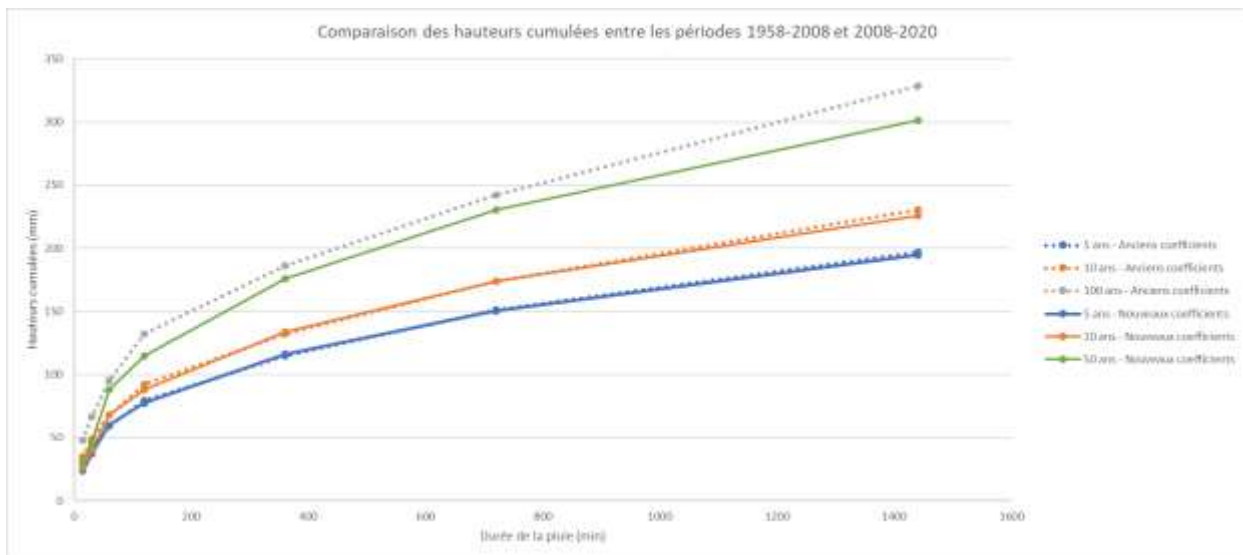
La station météo de Faa'a a été utilisée dans cette étude car elle est la station principale de l'île et permet d'avoir les coefficients de Montana estimés par Météo France.

#### 6.4.2 Comparaison des courbes IDF entre la période 1958-2008 et 2008-2020

Les cumuls sont proches entre les deux jeux de données. Les nouvelles données ont une légère tendance à avoir des cumuls plus faibles.

La comparaison pour la période de retour 100 ans n'est pas possible car les coefficients de Montana sur la période 2008-2020 pour la crue centennale ne sont pas fournis par Météo France.

Les débits seront calculés pour les deux jeux de données.



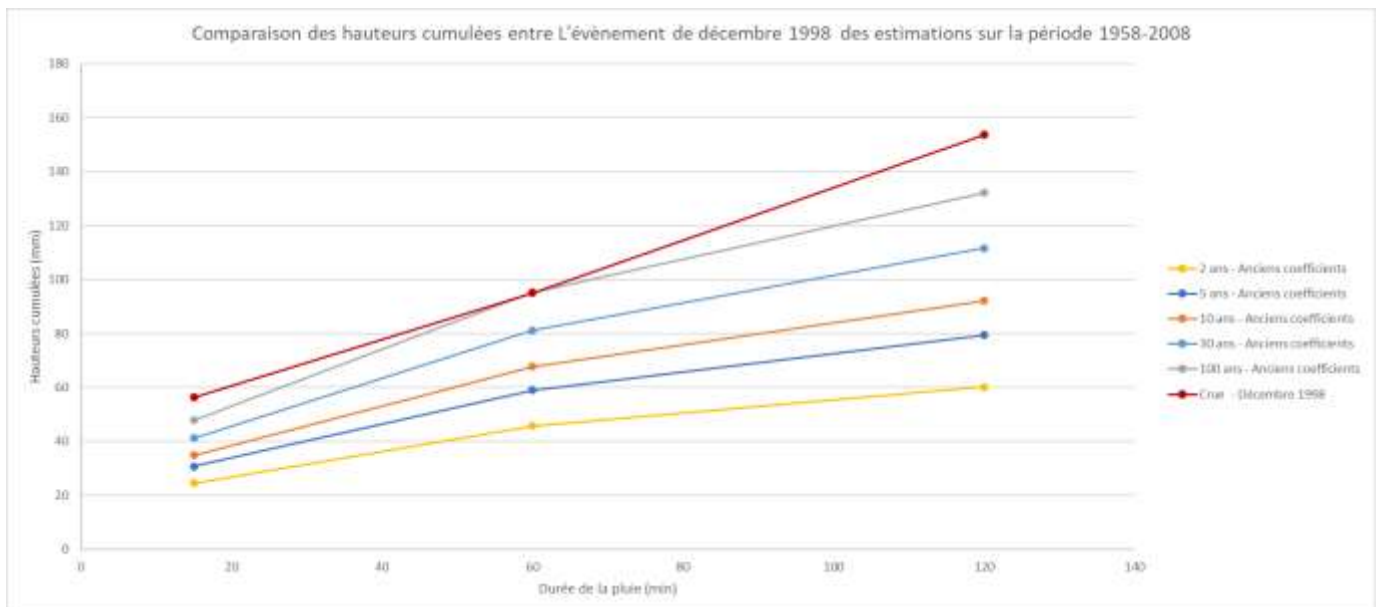
**FIGURE 25 : COMPARAISON DES COURBES IDF ENTRE 1958-2008 ET 2008-2020**

### 6.4.3 Evènement historique

Lors de l'épisode pluvieux de décembre 1998, il a été observé sur le pluviographe Vaihiria 2: 491.8 mm le 19 Décembre, 238.7 mm le 20 Décembre, soit une pluviométrie totale de près de 830mm en deux jours. Les intensités les plus remarquables lors de cet épisode sont les suivantes :

- 56.3 mm en 30 mn,
- 95 mm en 1h,
- 153.6 mm en 2h.

La comparaison des cumuls de la crue de décembre 1998 dans le graphique suivant montre que cette évènement pluvieux historique a une période de retour supérieur à une période de retour 100 ans.



**FIGURE 26 : COMPARAISON DES CUMULS DE LA CRUE DE DECEMBRE 1998 AUX CUMULS THEORIQUES SUR LA PERIODE DE 1958-2008**

## 6.5 Evaluation des débits

Différentes méthodes d'évaluation des débits ont été réalisées dans les études précédentes :

- Etude de BCEOM en 1999
- Etude LTPP de 2001 (2 estimations)

Une actualisation de ces estimations est proposée dans ce rapport. Cette actualisation permet d'utiliser les dernières données pluviométriques et d'adapter les calculs au découpage en sous-bassins versants.

Les débits calculés sur les sous-bassins versants sont sommés afin de les comparer aux débits du bassin versant entier estimé précédemment.

### 6.5.1 Etude BCEOM de 1999

Dans le cadre de l'étude "Etude des priorités d'aménagements des cours d'eau de Tahiti", en absence de données hydrologiques disponibles, BCEOM a proposé, afin d'obtenir un ordre de grandeur du débit de pointe décennal, une formulation du type :

$$Q_{10} = K \times S^{0.85} \times \left( \frac{P_0}{100} \right)^2$$

Avec :

- K, coefficient régional (K=4 pour la VAHIRIA)
- S, superficie drainée en km<sup>2</sup>
- Po est la moyenne sur le bassin versant de la hauteur de précipitations de période de retour 1 an en dixième de mm sur 15mn (P0=25mm pour la Vaihira)

Cette formulation s'applique à des bassins versant de plus de 1km<sup>2</sup>. Elle est déconseillée dans le cas où des phénomènes hypodermiques sont connus ou pressentis et est à relativiser en cas de phénomènes d'écoulement superficiel particuliers tels des débits solides ou des écrêtements non négligeables.

Le débit de pointe centennal est calculé par application de la méthode du Gradex avec les caractéristiques suivantes :

- Point pivot à la période de retour 10 ans
- Gradex des pluies sur 15 minutes pour les bassins versants de superficie inférieures à 20 km<sup>2</sup> et sur 30 minutes pour les autres
- un coefficient de passage du débit moyen au débit instantané de 1.5

### 6.5.2 Etude LTPP de 2001

En 2001, dans le cadre de l'étude « Modélisation hydrologique des cours d'eau de la liaison Tamanu-Taravao », G. WOTLING a mis en œuvre des modélisations successives de la relation pluie-débit sur les cours d'eau situés entre Tamanu et Taravao.

- Pour des superficies drainées inférieures à 2 km<sup>2</sup>, un modèle global a été mis en œuvre permettant d'obtenir des résultats concluants. Ces résultats sont également cohérents pour des superficies comprises entre 2 et 5 km<sup>2</sup>.
- Pour des superficies drainées supérieures à 5 km<sup>2</sup>, deux méthodes ont été utilisées pour la détermination des débits de projet : pour la Maripehe, la Vaite et la Titaaviri, des modèles spatialisés, basés sur un modèle numérique de terrain, ont été construits, pour les autres cours d'eau, la formule empirique de Craeger (préconisée par G. DANLOUX) a été utilisée :

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

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

- A : superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.
- C : coefficient de Craeger

### 6.5.3 Estimation de Egis de 2024

Dans le cadre d'une mission d'assistance technique pour l'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation en Polynésie française, P. Stollsteiner a proposé l'utilisation de la méthode rationnelle pour la définition des débits de pointe jusqu'à la période de retour 10 ans et de la méthode du Gradex pour l'évaluation des débits au-delà de 10 ans.

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet un découpage en sous-versant de la zone d'étude et de calculer toutes les périodes de retour désirées.

Cette méthode a été mise en place en se basant sur les IDF de 1958-2008 et de 2008-2020 afin de déterminer l'influence des différences entre les deux jeux de données sur le calcul des débits.

#### 6.5.3.1 Méthode rationnelle

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

$$Q = \frac{C \cdot I(t, T) \cdot S}{3.6}$$

où : C : coefficient de ruissellement du bassin versant

I(t,T): intensité en mm/h de la pluie de durée égale au temps caractéristique du bassin versant pour la période de retour étudiée

S : surface en km<sup>2</sup>

Il a été choisi de calculer l'intensité sur une durée caractéristique des bassins versants en accord avec le temps de concentration.

**TABLEAU 7 : CARACTERISTIQUES, TC ET DUREES CARACTERISTQUES DES SOUS BV**

Sous BVs	Surface (ha)	Longueur (m)	Pente (%)	Cr	Tc (min)	Durée caractéristique (min)
Amont	1 178	10 930	14.3%	0.65	53	60
Intermédiaire	138	1 874	1.6%	0.8	32	30
Aval	101	1 923	0.7%	0.85	45	30

Le coefficient de ruissellement décennal des bassins versants est issu de l'analyse de l'occupation du sol par photo aérienne et des investigations de terrain.

#### 6.5.3.2 Evaluation du débit de pointe centennal par la méthode du Gradex

Cette méthode repose sur l'hypothèse qu'au-delà d'un seuil de pluviométrie (point pivot), tout supplément de pluie provoquera un supplément égal de ruissellement.

Il en résulte que la fonction de répartition des débits extrêmes a pour direction asymptotique la droite de répartition des pluies extrêmes, à condition de prendre un intervalle de temps t, commun pour le volume de

pluie et le volume d'écoulement, qui soit de l'ordre de grandeur du temps de base moyen des hydrogrammes de ruissellement direct du bassin versant.

Le principe de la méthode du Gradex consiste alors à réaliser l'extrapolation depuis un débit de période de retour donné (point pivot : Q10, déterminé précédemment) vers le débit centennal, à partir de la formule suivante :

$$Q_c = Q_p + (u_c - u_p) \cdot g_{Qmax}^t$$

Où :

- $Q_p$  est le débit pour la période de retour pivot, le point pivot, ici Q10
- $Q_c$  est le débit pour la période de retour cible, ici Q100
- $u_c$  est la variable réduite de GUMBEL pour la période de retour cible (pour 100 ans,  $u_{100} = 4.60$ )
- $u_p$  est la variable réduite de GUMBEL pour le point pivot ( pour 10 ans,  $u_{10} = 2.25$ )
- $g_{Qmax}^t$  est le gradex des débits de pointe maximaux sur la durée de pluie t.

Le gradex des débits de pointe sur la durée de pluie t est égal à :

$$g_{Qmax}^t = \frac{S_{BV}}{3,6 \cdot t} \cdot g_{Pmax}^t \cdot R_m$$

Où :

t est le temps de base (en h). Le choix de t dépendra de la méthode de calcul effectuée

$S_{BV}$  est la surface du BV (km<sup>2</sup>),

$R_m$  est le rapport entre le débit de pointe et le débit moyen sur le temps de base. Pour le bassin versant de la Vaihiria, ce coefficient est pris égal à 1.5.

$g_{Pmax}^t$  est le gradex des pluies maximales sur t (mm),

Le gradex des pluies est calculé de la façon suivante :

$$g_{Pmax}^t = \frac{(H_{T1} - H_{T2})}{(u_{T1} - u_{T2})}$$

$H_{T1}$  est la hauteur cumulé sur la durée t pour la période de retour T1

$H_{T2}$  est la hauteur cumulé sur la durée t pour la période de retour T2

$u_{T1}$  et  $u_{T2}$  sont les variable réduites de GUMBEL pour les périodes de retour T1 et T2.

En théorie, le gradex des pluies est constant entre toutes les périodes de retour sur la même durée et les mêmes courbes IDF.

### 6.5.3.3 Estimation n°1

Cette première estimation est réalisée à partir des courbes IDF de la station de Faa'a sur la période 2008-2020.

■ Méthode rationnelle pour Q10 :

**TABLEAU 8 : DEBITS POUR LA PERIODE DE RETOUR 10 ANS - ESTIMATION 1**

BV	C 10	Durée caractéristique (min)	I 10 (mm/h)	Q10 (m3/s)	Qspé 10 (m3/s/km2)
Amont	0.65	60	67.7	144.0	12.2
Intermédiaire	0.80	30	79.9	25.5	17.8
Aval	0.85	30	79.9	19.1	18.9
Total	0.68	-	-	187.6	13.2

■ Gradex pour Q100 et Q50

Le gradex est calculé pour la durée caractéristique du sous-bassin versant et entre les périodes de retour 10 ans et 50 ans.

**TABLEAU 9 : DEBITS POUR LA PERIODE DE RETOUR 100 ANS - ESTIMATION 1**

BV	$g_{Pmax}^t$	Rm	$g_{Qmax}^t$	Q50 (m3/s)	Q100 (m3/s)	Qspé 100 (m3/s/km2)
Amont	12.1	1.5	59.5	242.3	283.9	24.1
Intermédiaire	4	1.5	4.6	32.1	35.2	25.5
Aval	4	1.5	3.3	24.6	26.9	26.6
Total	-	-	-	299.0	346.0	24.4

### 6.5.3.4 Estimation n°2

Cette estimation est réalisée à partir des courbes IDF de la station de Faa'a sur la période 1958-2008.

■ Méthode rationnelle pour Q10 :

**TABLEAU 10 : DEBITS POUR LA PERIODE DE RETOUR 10 ANS - ESTIMATION 2**

BV	C 10	Durée caractéristique (min)	I 10 (mm/h)	Q10 (m3/s)	Qspé 10 (m3/s/km2)
Amont	0.65	60	67.8	144.2	12.2
Intermédiaire	0.80	30	97.4	29.9	21.6
Aval	0.85	30	97.4	23.2	23.0
Total	0.68	-	-	197.3	13.5

■ Gradex pour Q100 et Q50

Le gradex est calculé pour la durée caractéristique du sous-bassin versant et entre les périodes de retour 10 ans et 50 ans.

**TABLEAU 11 : DEBITS POUR LA PERIODE DE RETOUR 100 ANS - ESTIMATION 2**

BV	$g_{Pmax}^t$	Rm	$g_{Qmax}^t$	Q50 (m3/s)	Q100 (m3/s)	Qspé 100 (m3/s/km2)
Amont	11.7	1.5	57.4	239.1	279.2	23.7
Intermédiaire	7.4	1.5	8.6	44.0	50.0	36.2
Aval	7.4	1.5	6.3	33.6	38.0	37.6
Total	-	-	-	316.7	367.1	25.1

### 6.5.4 Conclusion sur les débits

Les débits obtenus sur le bassin versant de la Vaihiria sont présentés dans le tableau suivant :

**TABLEAU 12 : DEBITS CALCULES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA VAHIRIA SELON LES DIFFERENTES METHODES**

Etudes	Méthode de calcul	Q10 en m3/s	Q50 en m3/s	Q100 en m3/s
Etude BCEOM de 1999	Formule empirique et gradex	235	330	360
Etude LTPP de 2001	Modèle global	121	192	225
Etude LTPP de 2001	Formule de Craeger	170	270	330
Egis 2023	Rationnelle + gradex(10/50,Durée caractéristique) avec IDF 2008/1958	188	299	346
Egis 2023	Rationnelle + gradex(10/100,Durée caractéristique) avec IDF 1958/2008	197	317	367

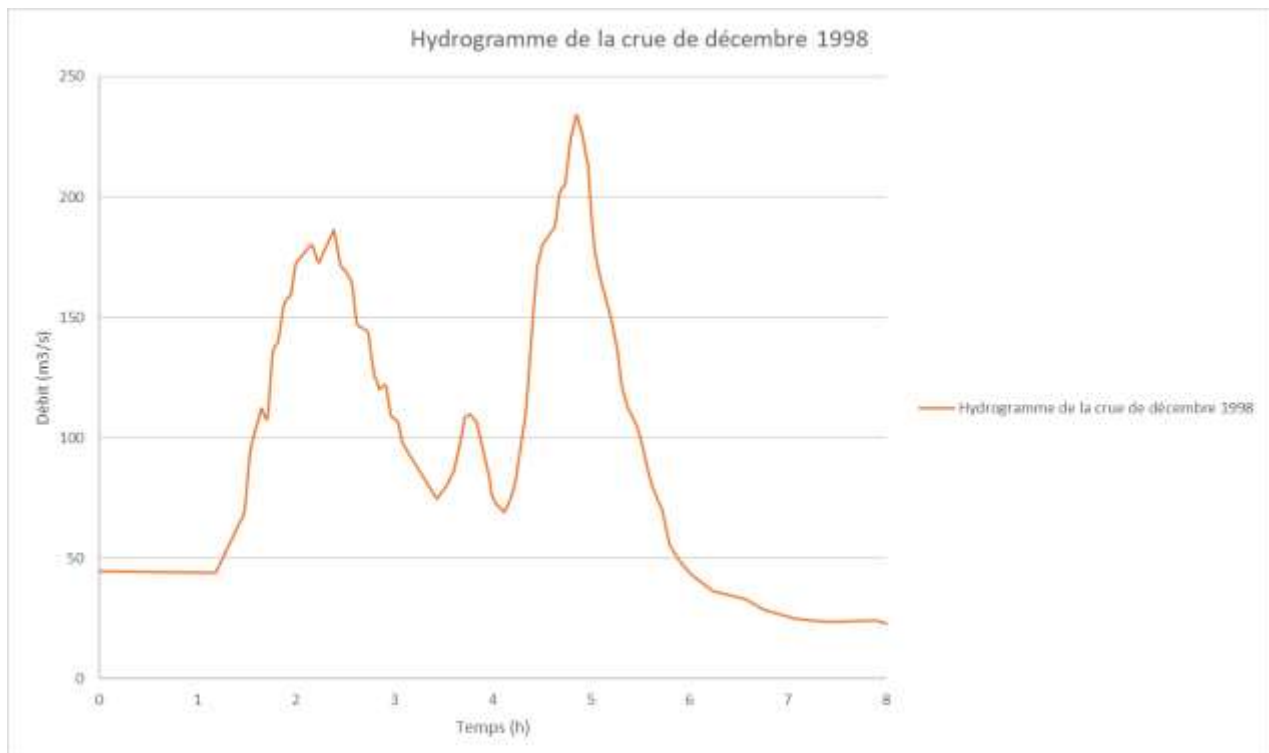
Les cumuls obtenus à partir des courbes IDF sur la période 2008-2020 sont plus faibles, ce qui entraîne un débit de pointe du bassin versant réduit. Nous ne disposons pas des détails expliquant la différence entre les deux ensembles de données.

**Les débits de projet retenus sont ceux calculés par Egis avec les courbes IDF sur la période de 1958-2008.** Les débits obtenus avec cette méthode sont les plus proches de ceux utilisés lors de la dernière mise à jour de l'aléa inondation dans le bassin versant de la Vaihiria.

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet un découpage en sous-bassins versants et peut être mise à jour grâce aux courbes IDF.

### 6.5.5 Construction des hydrogrammes

Les hydrogrammes sont construits par homothétie de la crue de décembre 1998.



**FIGURE 27 : HYDROGRAMME DE LA CRUE DE DECEMBRE 1998 SUR LA VAHIRIA**

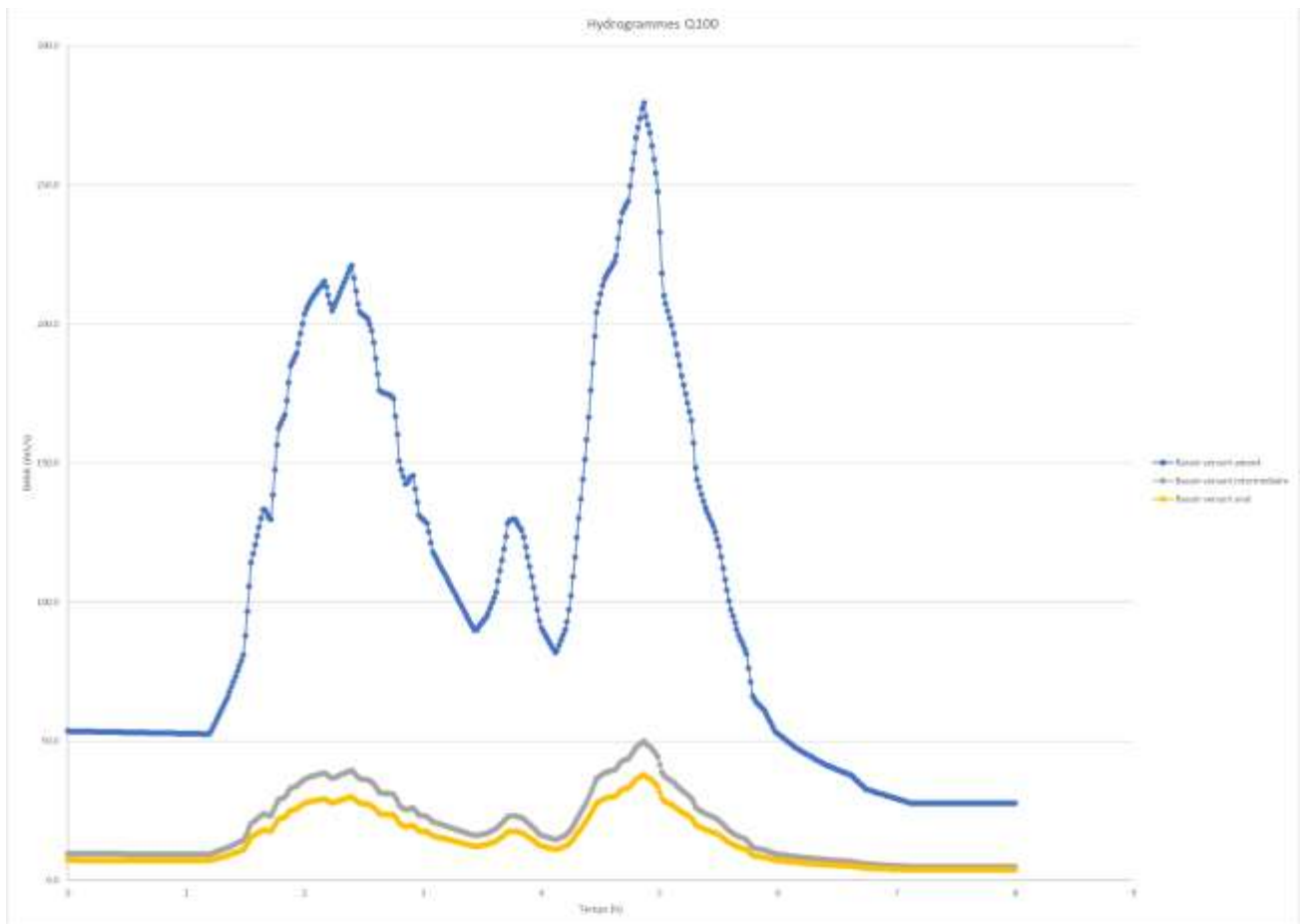


FIGURE 28 : HYDROGRAMME DE LA CRUE DECENNALE SUR LA VAHIRIA

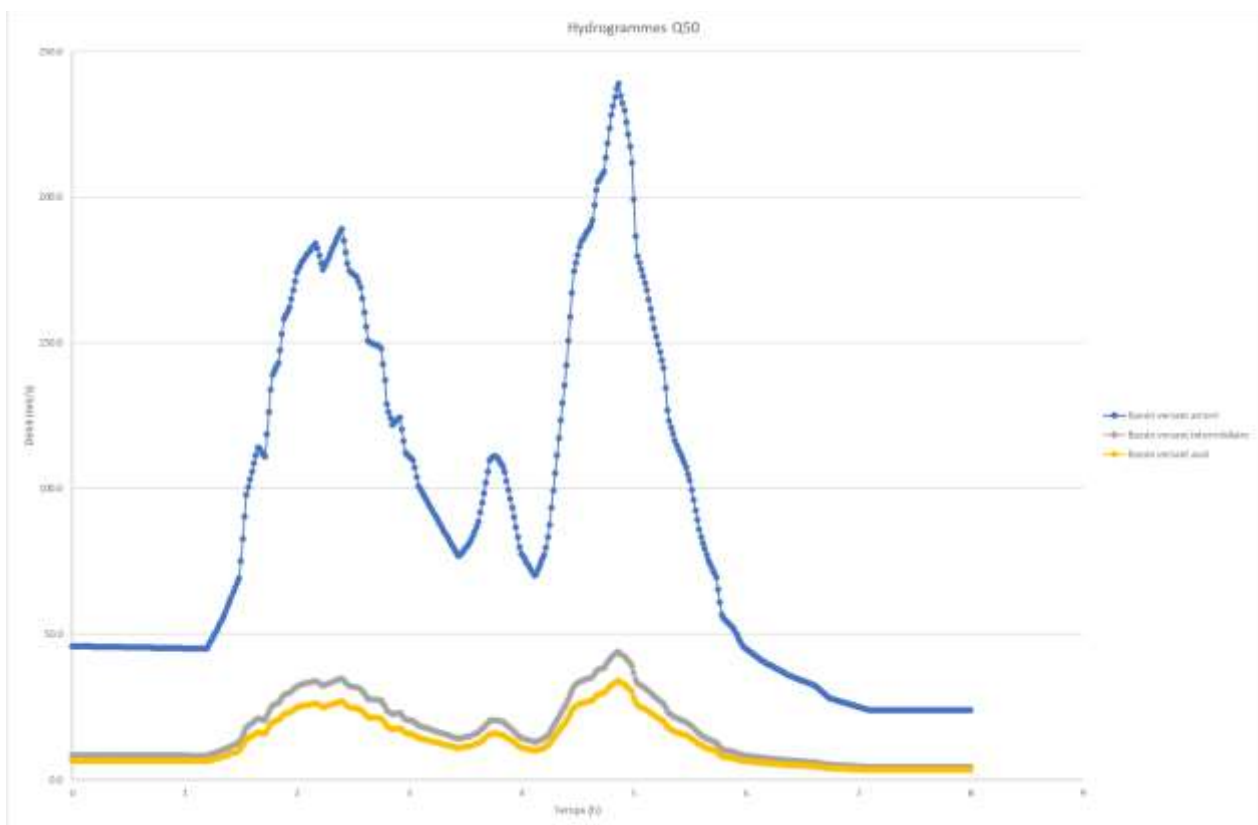
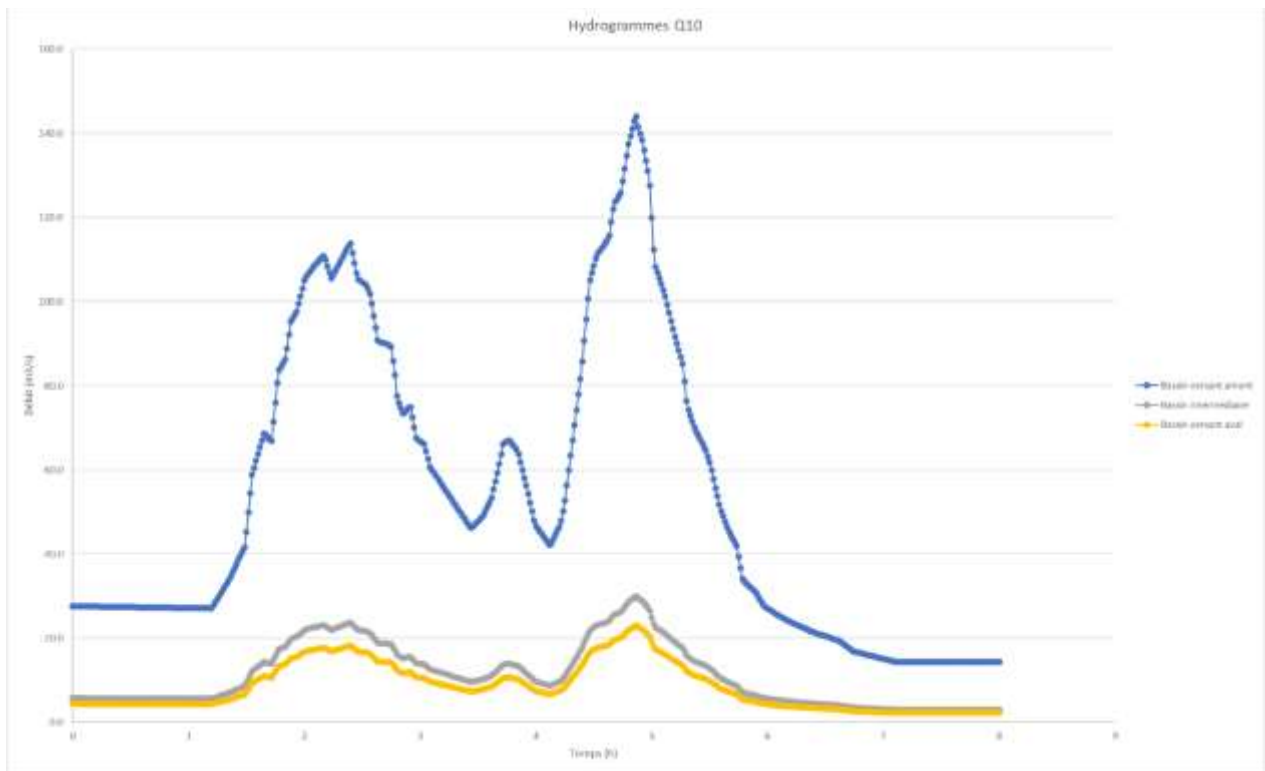


FIGURE 29 : HYDROGRAMME DE LA CRUE CINQUANTEENNALE SUR LA VAHIRIA



**FIGURE 30 : HYDROGRAMME DE LA CRUE CENTENNALE SUR LA VAIHIRIA**

## 7 MODELISATION HYDRAULIQUE

### 7.1 Construction du modèle

#### 7.1.1 Présentation succincte du logiciel HEC-RAS

HEC-RAS est issu d'un développement réalisé par le Département Hydrologie du Corps des Ingénieurs de l'Armée des Etats Unis.

Il permet d'effectuer plusieurs types de modélisations en régime permanent et en régime transitoire :

- Modélisation 1D ;
- Modélisation 2D de lit mineur ;
- Modélisation 2D de lit mineur et du lit majeur ;
- Modélisation couplée 1D du lit mineur et 2D pour le lit majeur ;
- Modélisation couplée 1D/2D et casier.

HEC-RAS est plus particulièrement dédié à l'étude de la propagation des crues le long d'une rivière.

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

Il permet notamment d'établir des cartes d'inondabilité fiables, d'optimiser des aménagements ou protections et d'analyser le fonctionnement des systèmes hydrauliques complexes.

La prise en compte du relief peut être réalisée au moyen d'un modèle numérique de terrain basé sur des levés topographiques d'origine variée. Il est ainsi possible d'automatiser la constitution du modèle hydraulique de calcul et la réalisation des cartes d'inondabilité en prenant en compte à la fois les hauteurs en chaque point et les vitesses d'écoulement.

La diversité des fonctions de présentation des calculs offre toute une palette de moyens de valorisation des modélisations réalisées au cours d'études, facilitant par ce biais la compréhension des résultats.

La Figure 31 donne un aperçu d'un modèle HEC-RAS 1D/2D.

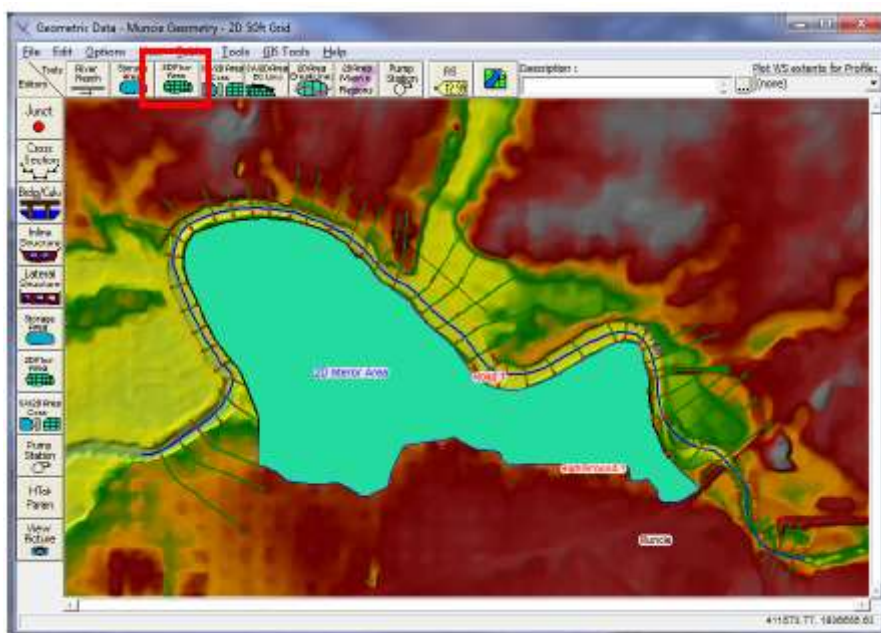


FIGURE 31 : EXEMPLE DE MODELISATION HEC-RAS 1D/2D

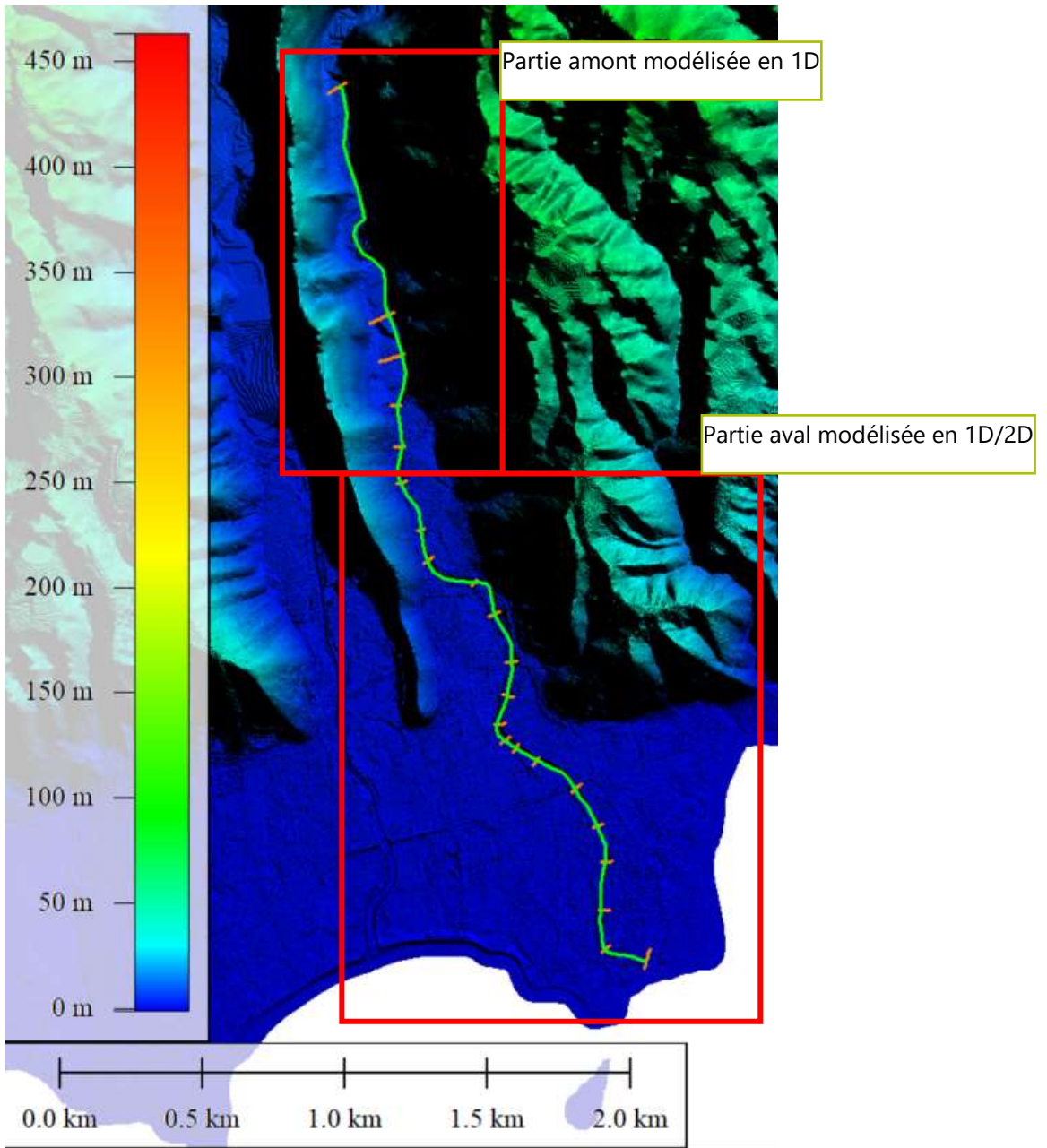
### 7.1.2 Topographie

Un MNT a été reconstitué en agglomérant le MNT de l'île en précision 5m x 5m, le MNT du littoral de Mataiea en précision 0.5 m par 0.5 m. En complément, des levés terrestres de profils en travers ont été réalisés par un géomètre-expert. Ces levés terrestres ont été intégrés au MNT afin de représenter au mieux le fond du cours d'eau.

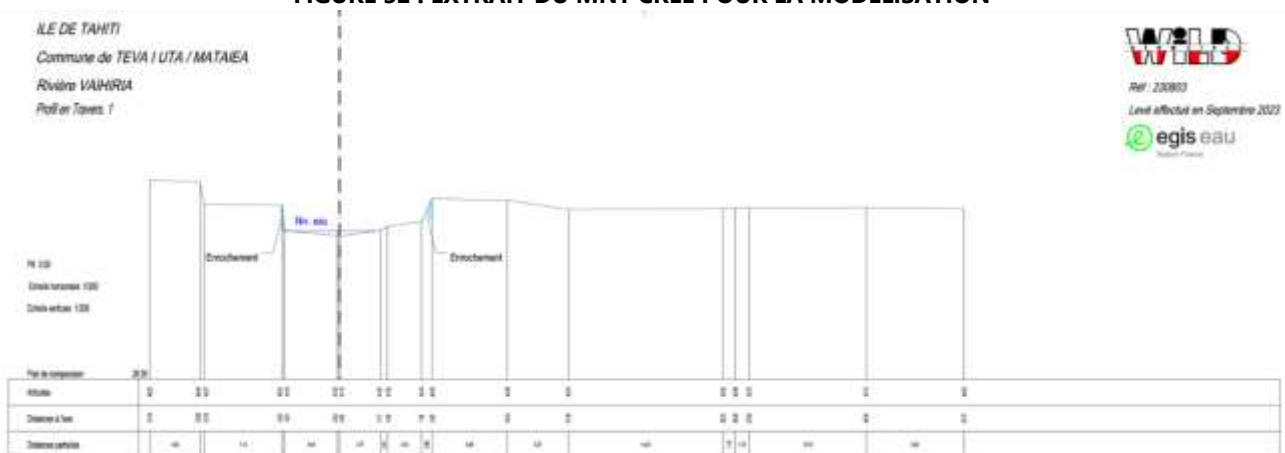
Les profils levés (en long et en travers) par le géomètre sont envoyés au format DWG et PDF. La Figure 32 donne l'implantation des profils en travers sur le MNT du modèle de la Vaihiria et la Figure 33 montre un extrait de profil en travers.

La partie amont du modèle est en dehors du MNT littoral disposant d'une précision suffisante pour une modélisation 1D/2D. De plus le géomètre n'a pas pu accéder à cette zone afin de lever des profils en travers. Par conséquent, la partie amont du modèle a été modélisée en 1D et la partie aval en 1D/2D.

Il a été proposé à la DCA de réaliser un lidar par drone de la zone amont afin de préciser l'aléa au maximum mais cette proposition n'a pas été retenue.



**FIGURE 32 : EXTRAIT DU MNT CREE POUR LA MODELISATION**



**FIGURE 33 : EXEMPLE DE PROFIL EN TRAVERS**

### 7.1.3 Emprise du modèle

La partie amont est modélisée en 1D et la partie aval est modélisée en 1D/2D. Les rasters de résultats sont ensuite combinés en post-traitement.

L'emprise des modèles est présentée dans la Figure 36

### 7.1.4 Hydrogrammes

Les hydrogrammes calculés lors de l'analyse hydrologique sont injectés dans le modèle selon les points d'injection indiqués dans la Figure 36.

L'hydrogramme calculé en sortie du modèle 1D est injecté dans le modèle 1D/2D aval.

### 7.1.5 Rugosité

L'évaluation de la rugosité est indispensable afin de réaliser le modèle.

Les valeurs de rugosité ont été évaluées grâce à :

- Analyse topographique ;
- Etude des orthophotos ;
- Visite de terrain ;

La rugosité est un des paramètres les plus influents sur le calage du modèle.

Une carte des coefficients de Manning a été réalisée et injectée dans le modèle. Les valeurs contenues dans cette carte des coefficients de Manning sont associées automatiquement aux profils en travers et aux mailles.

**TABLEAU 13 : COEFFICIENTS DE MANNING SELON LE TYPE DE SURFACE**

Type de surface	Coefficient de Manning
<b>Bâti</b>	0.2
<b>Forêt</b>	0.1
<b>Champs</b>	0.05
<b>Route</b>	0.025
<b>Lit mineur</b>	0.04

### 7.1.6 Description du maillage

Le maillage est composé de deux zones : la zone d'expansion de crue en rive droite et la zone d'expansion de crue en rive gauche.

La taille caractéristique des mailles retenues est de 5 m

### 7.1.7 Condition aval

Les conditions aval dépendent de la crue modélisée et des hypothèses sur le niveau de la mer.

- Pour les crues 10 ans et 50 ans : cote de niveau normale : de 0 m NGPF
- Pour la crue 100 ans :
- Surcote du niveau de la mer : 1 m NGPF
- Surcote du niveau de la mer à +1 m et surélévation liée au changement climatique de +0,73 : 1,73 m NGPF.

### 7.1.8 Modélisation des ouvrages hydrauliques

Plusieurs ouvrages de franchissement du cours d'eau ont été identifiés. Il y a 3 passerelles sur la partie amont de la Vaihiria. L'ouvrage le plus important est le pont de la RT. L'ouvrage modélisé de la RT est composé du vieux pont à l'amont et du pont plus récent à l'aval.

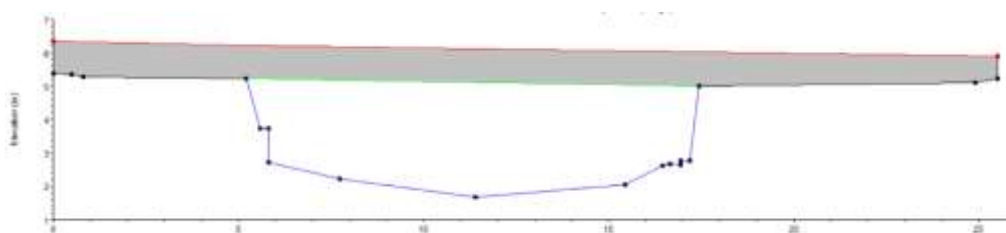


FIGURE 34 : SECTION AMONT DU VIEUX PONT



FIGURE 35 : SECTION AMONT DU PONT DE LA RT

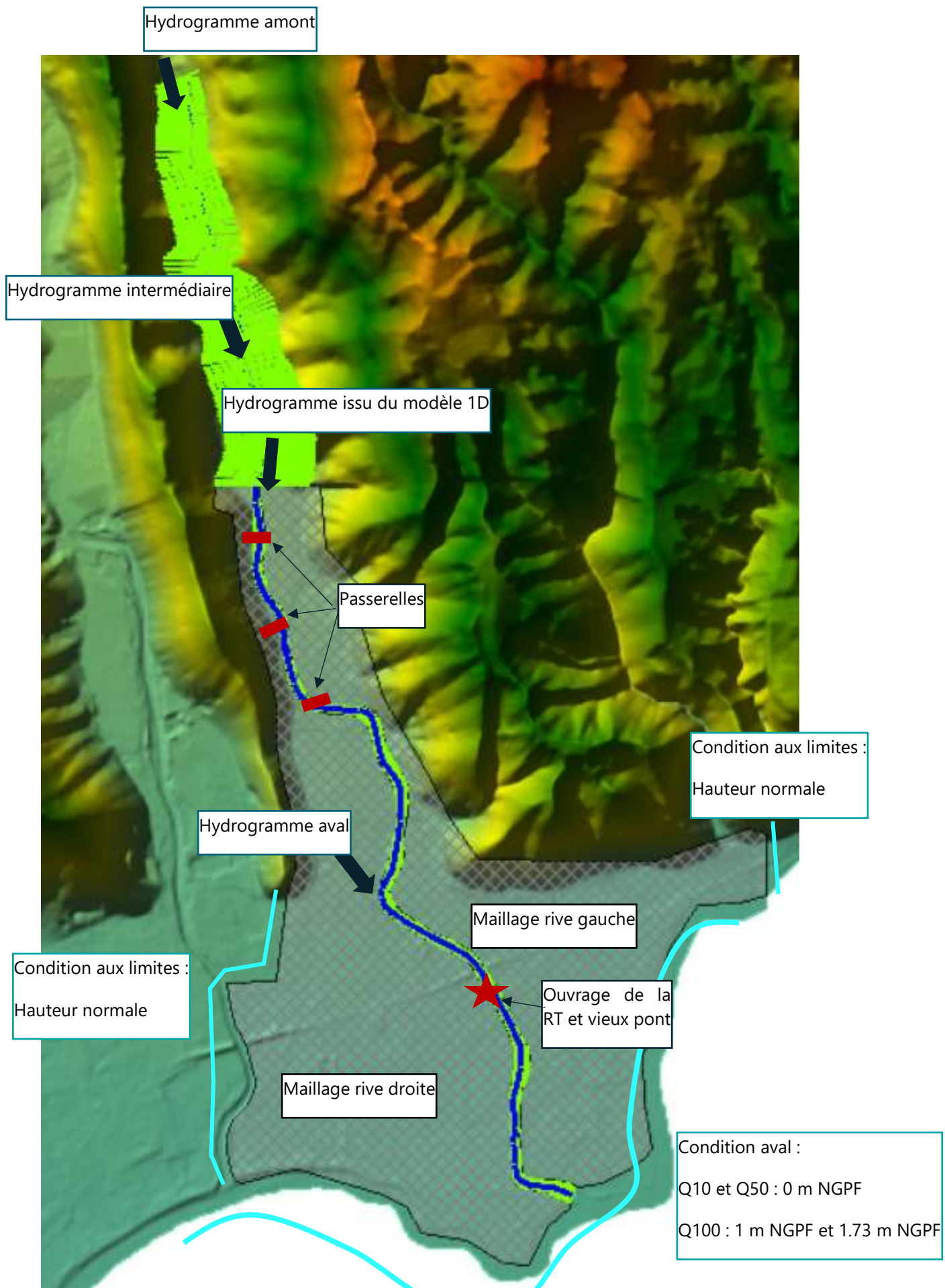


FIGURE 36 : MODELE HEC-RAS

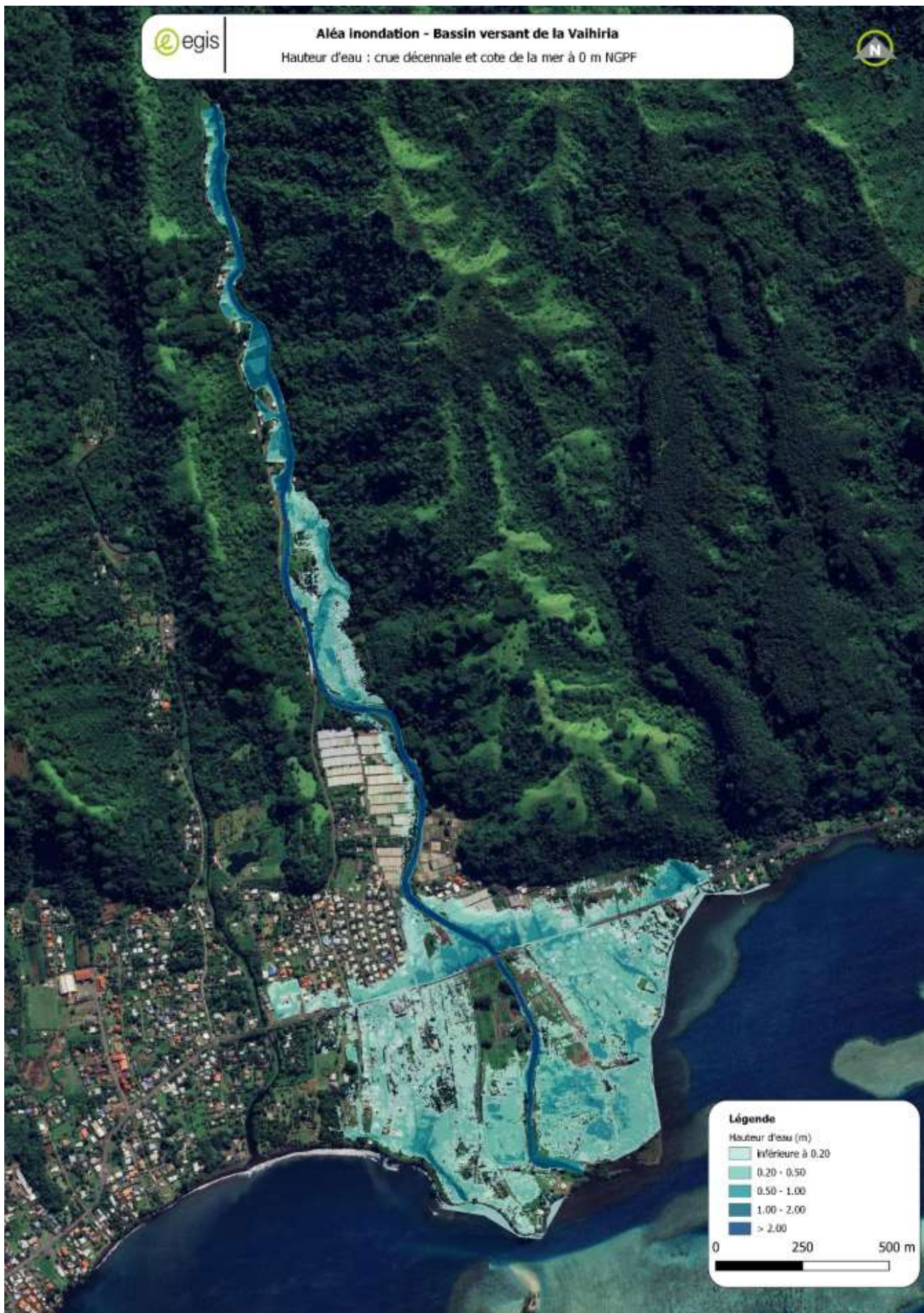
### 7.1.9 Modélisation des embâcles

Les embâcles sont une source d'aggravation des débordements lors des événements pluvieux extrêmes. Il est important d'en étudier l'impact pour les fortes crues. Pour modéliser l'impact de l'accumulation d'embâcles dans le cours d'eau, la crue centennale a été modélisée en obstruant 50% de la hauteur du vieux pont et de l'ouvrage de la RT. Les passerelles amont sont quant à elles considérées comme trop fragiles pour résister à la pression des embâcles. Elles sont donc supprimées du modèle mais le coefficient de Manning est augmenté à 0.1 pour montrer l'influence de l'effondrement de la passerelle.

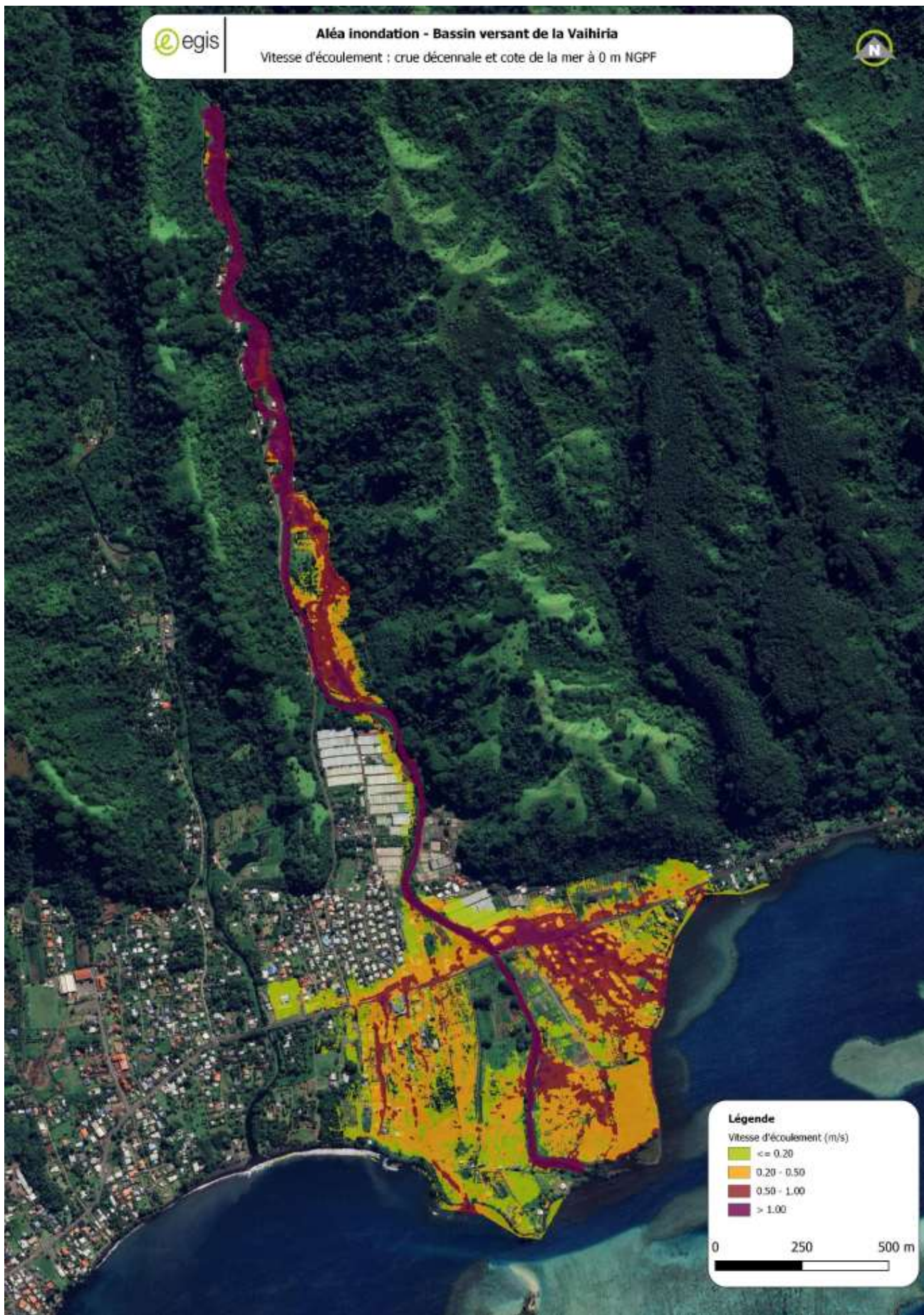
## 7.2 Résultats de la modélisation

Les résultats de vitesse et de hauteur sont envoyés sous forme de raster.

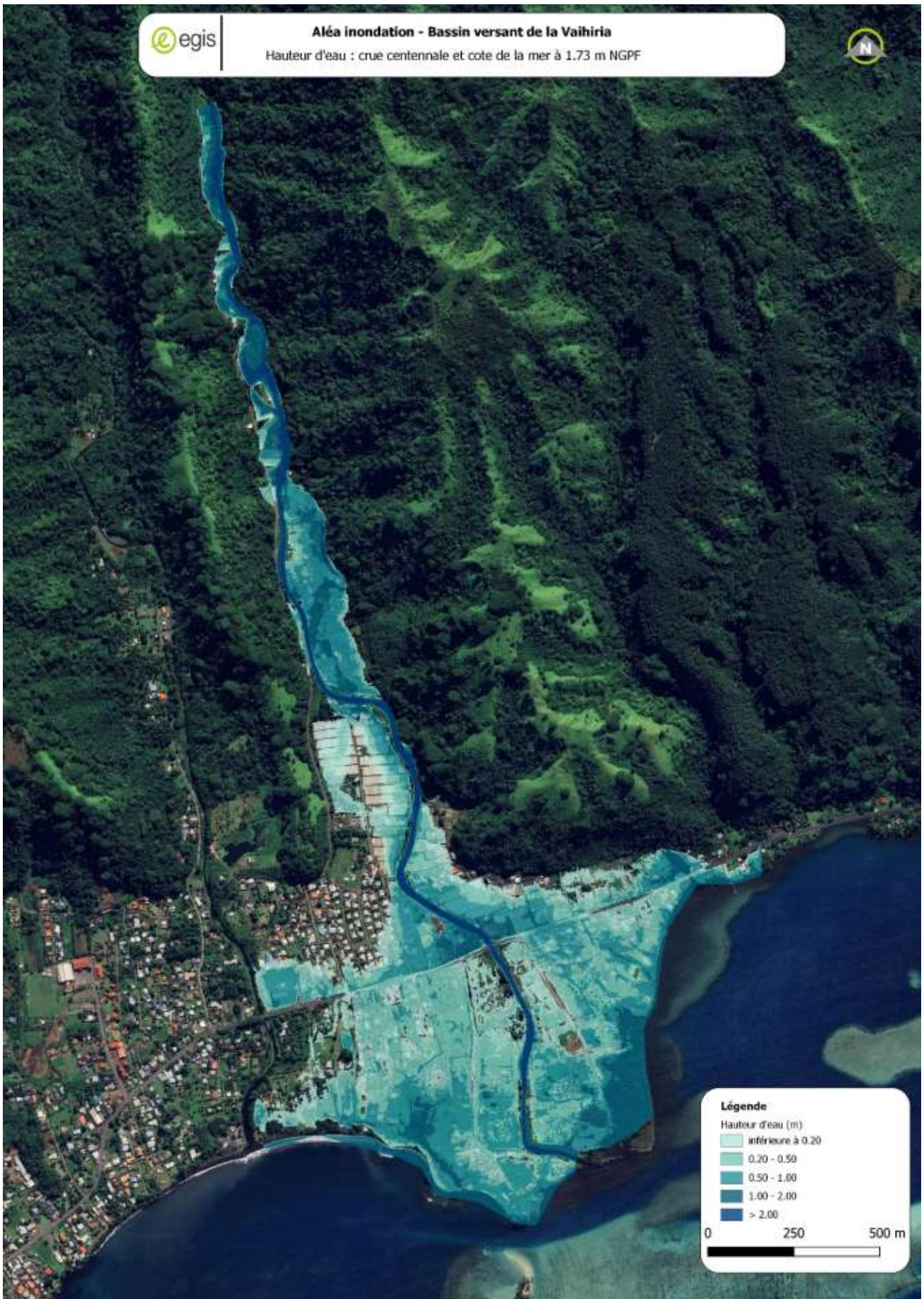
Les figures suivantes présentent les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement pour la crue 10 ans et cote de la mer à 0 m NGPF et pour la crue 100 ans et cote de la mer à 1.73 m NGPF. Les résultats pour tous les scénarios sont présentés en annexe.



**FIGURE 37 : HAUTEURS D'EAU POUR LA CRUE DECENNALE - COTE DE LA MER A 0 M**



**FIGURE 38 : VITESSES D'ÉCOULEMENT POUR LA CRUE DECENNALE - COTE DE LA MER A 0 M**



**FIGURE 39 : HAUTEURS D'EAU POUR LA CRUE CENTENNALE- COTE DE LA MER A 1.73 M**

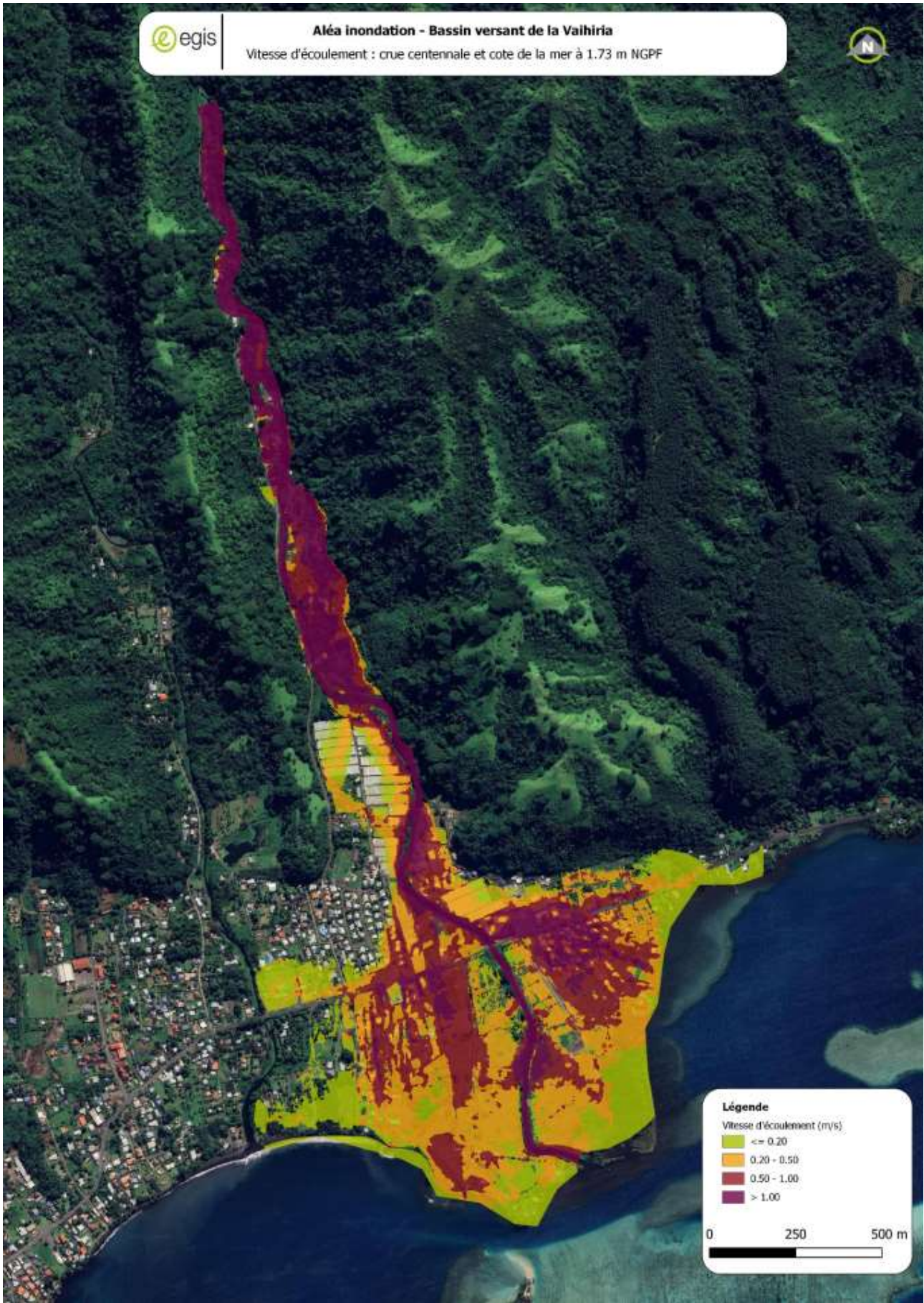


FIGURE 40 : VITESSES D'ÉCOULEMENT POUR LA CRUE CENTENNALE- COTE DE LA MER A 1.73 M

### 7.3 Présentation de la carte générale

La figure suivante permet de visualiser une représentation générale du bassin versant de la Vaihiria.

Elle contient :

- La localisation de l'ouvrage de franchissement de la RT
- L'emprise du lit mineur
- L'enveloppe de la zone inondable de la crue décennale
- L'enveloppe de la zone inondable de la crue centennale

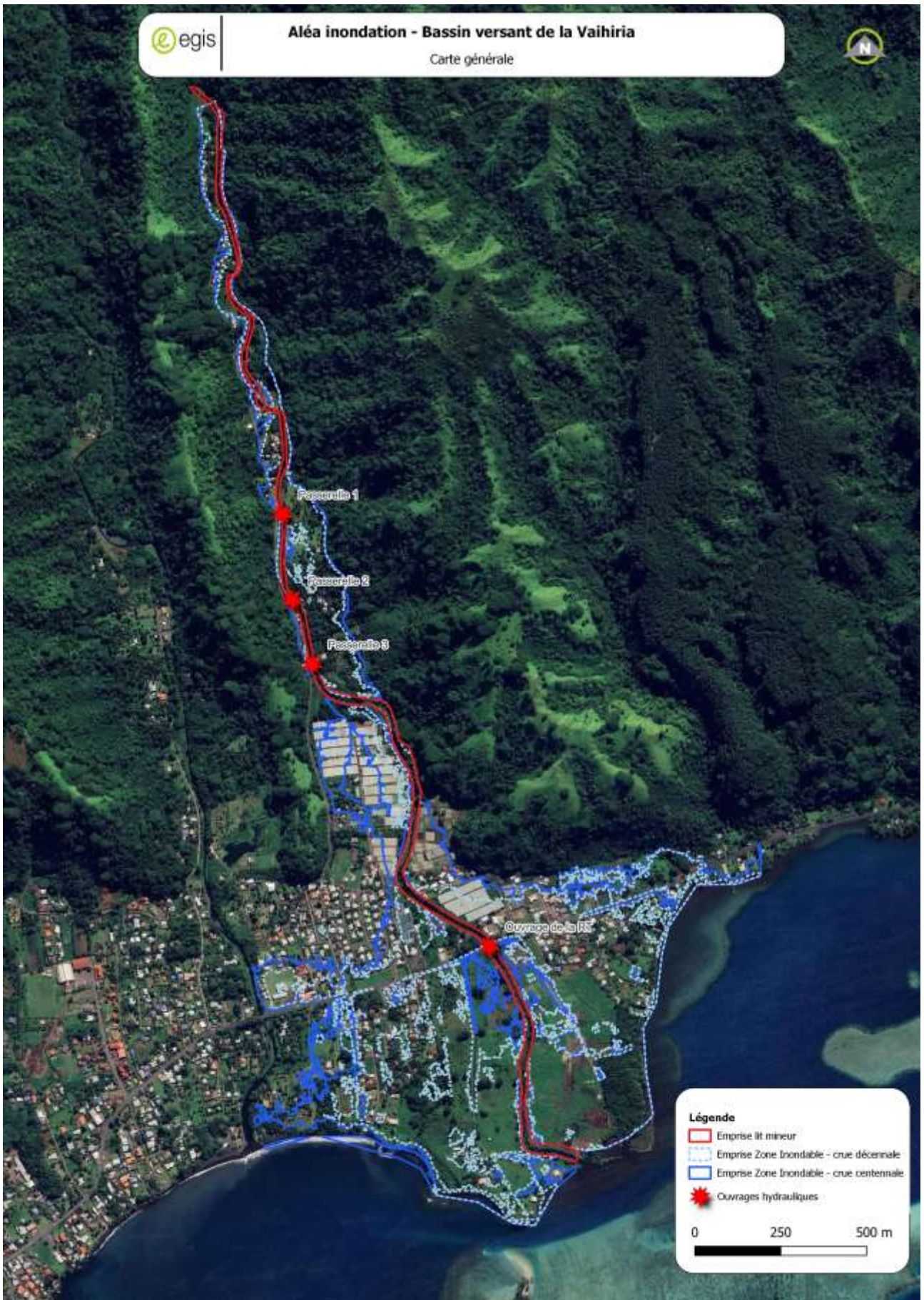


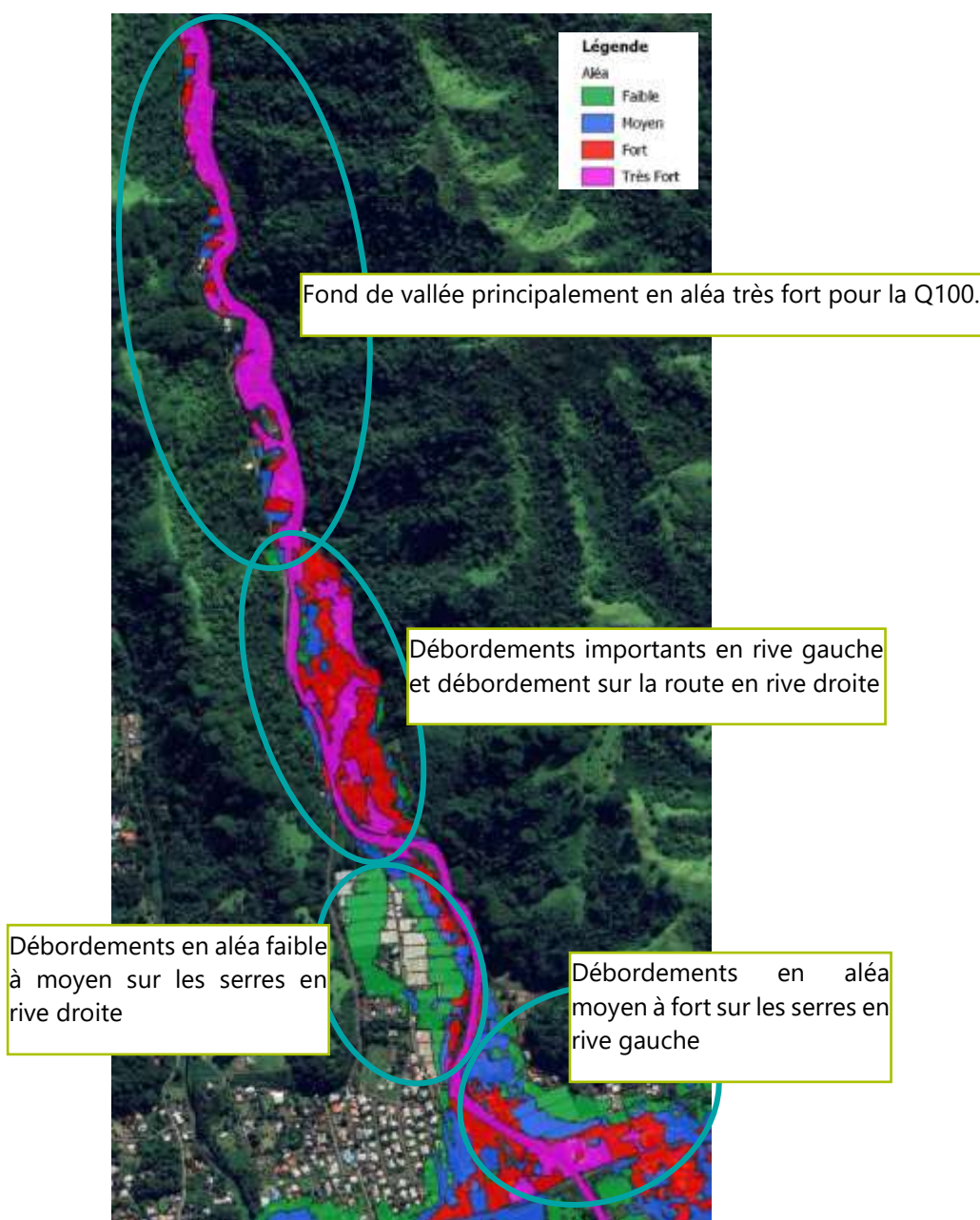
FIGURE 41 : CARTE GENERALE DU BASSIN VERSANT DE LA VAIHIRIA

## 7.4 Analyse du fonctionnement des inondations

Dans la partie la plus en amont, le lit mineur de la Vaihiria déborde dès la crue décennale. Les maisons en bord de cours d'eau sont en zone d'aléa moyen à très fort dès la Q10. Pour la crue centennale, le fond de vallée est en aléa fort à très fort.

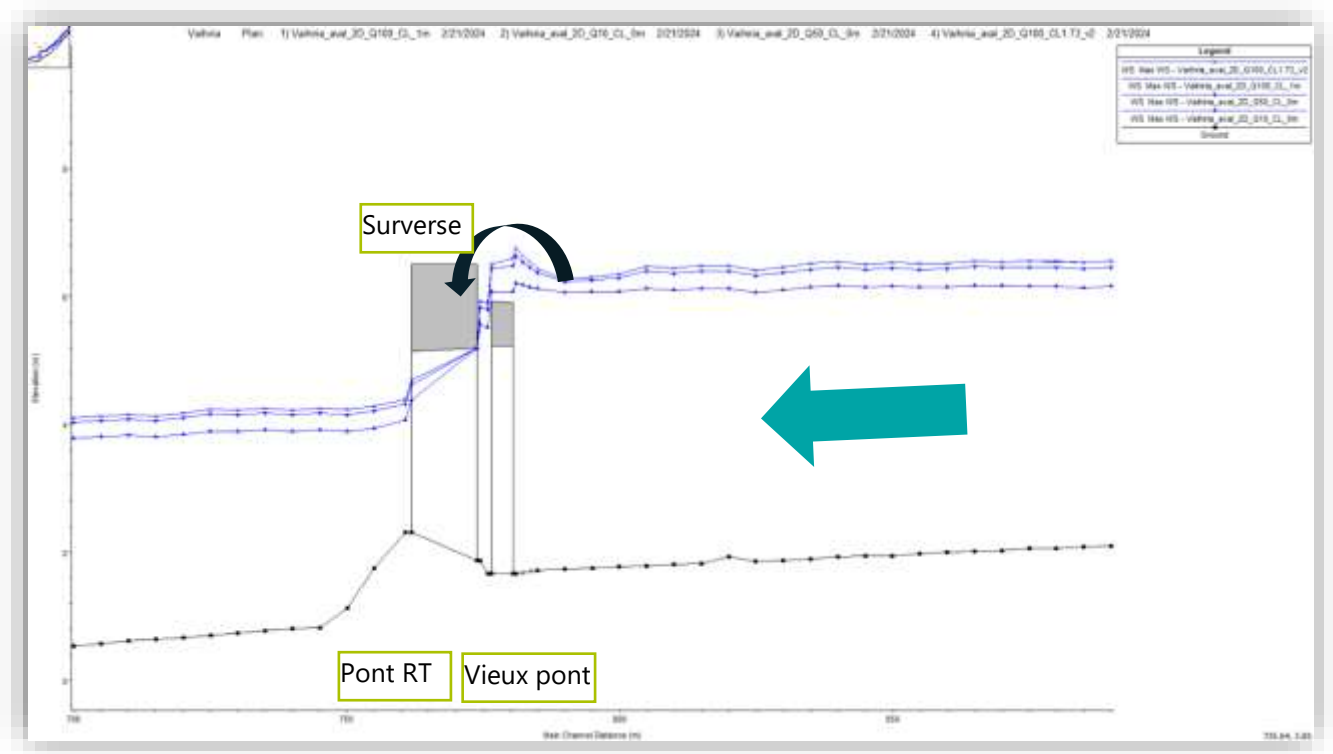
A l'amont des serres, des débordements surviennent en rive gauche dès la crue décennale. L'aléa y est moyen à fort en crue décennale et passe de fort à très fort pour la crue centennale. Des débordements sur la route en rive droite sont également notables dès la crue cinquantennale. L'aléa est moyen pour les crues cinquantennales et centennales.

Les débordements sur les serres sont faibles pour la crue décennale mais se généralisent dès la cinquantennale. L'aléa passe de moyen à fort entre la crue cinquantennale et la crue centennale sur les serres en rive droite et en rive gauche.



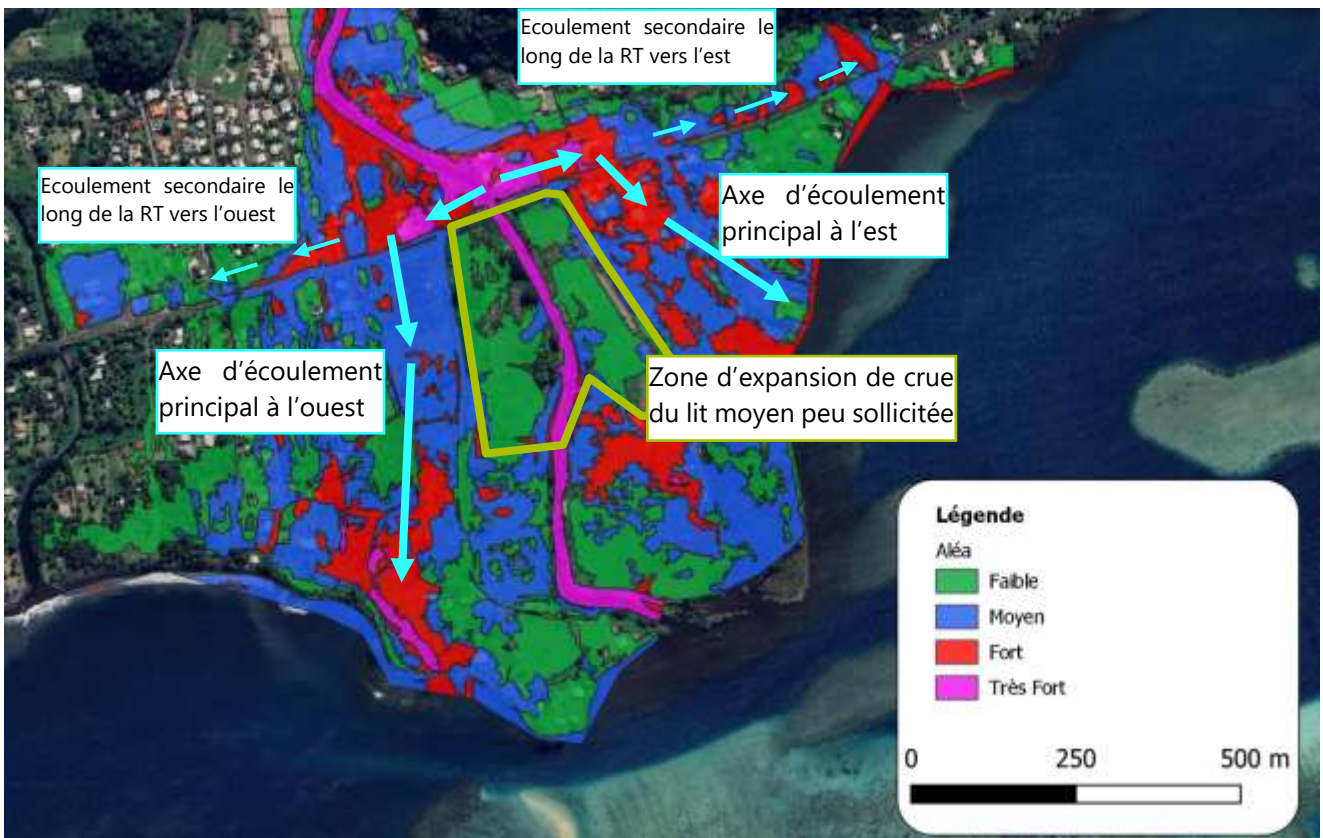
**FIGURE 42 : ANALYSE DES DEBORDEMENTS SUR L'AMONT DE LA VAHIRIA POUR LA CRUE 100 ANS- CL AVAL 1 M NGPF**

L'ouvrage sous la RT est en charge dès la crue décennale mais ne surverse pas, même pour la crue centennale. En revanche la section du vieux pont amont étant plus faible, celui-ci surverse dès la crue décennale et entraîne des débordements sur les deux rives. Ces débordements circulent le long de la RT vers l'ouest et vers l'est jusqu'aux endroits où l'eau peut la franchir. La zone à l'amont de la RT est en aléa moyen à fort dès la crue décennale et passe en fort à très fort pour la centennale.



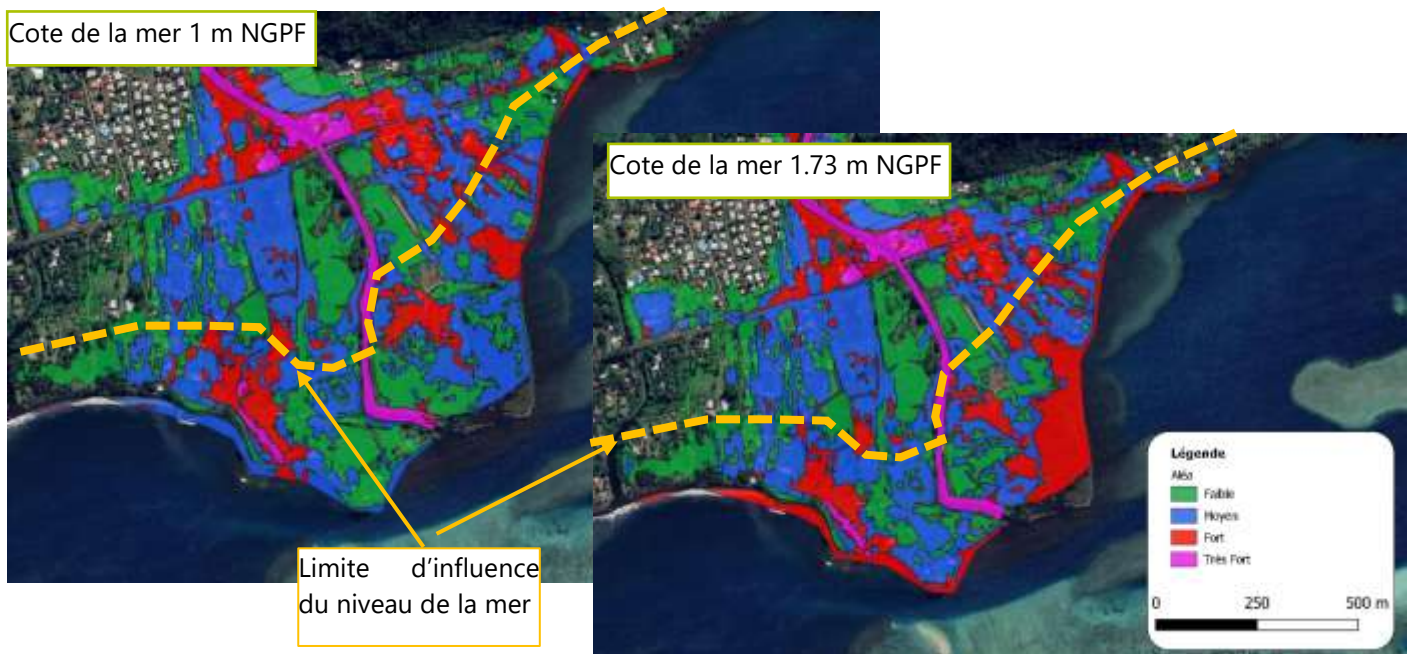
**FIGURE 43 : PROFIL EN LONG ET LIGNES D'EAU AU NIVEAU DE L'OUVRAGE SOUS LA RT**

A l'aval de la RT, le lit moyen de la Vaihiria est peu sollicité par les débordements car l'ouvrage de franchissement de la RT redirige les écoulements en deux axes plus à l'ouest et plus à l'est. L'axe d'écoulement à l'est est en aléa faible à moyen pour la crue décennale et passe de moyen à fort sur une large zone dès la crue cinquantennale. L'axe d'écoulement à l'ouest est en aléa faible pour la crue décennale et passe en aléa moyen à fort sur une large zone dès la crue cinquantennale avec quelques zones d'aléa très fort pour la centennale.



**FIGURE 44 : ANALYSE DES DEBORDEMENTS A CAUSE DES OUVRAGES SOUS LA RT POUR LA CRUE CENTENNALE DE LA VAHIRIA – CL AVAL 1 M NGPF**

Le niveau de la mer n'influence que la partie littorale du bassin versant de la Vaihiria. L'aléa passe de moyen à fort sur une zone non négligeable lorsque la cote de la mer passe de 1 m NGPF à 1.73 m NGPF.



**FIGURE 45 : ANALYSE DE L'INFLUENCE DU NIVEAU DE LA MER SUR L'ALEA POUR LA CRUE CENTENNALE**

Les embâcles obstruent le vieux pont et le pont de la RT. Cette obstruction accentue les effets de débordements en amont de la RT et augmentent l'aléa le long de la RT et sur les deux axes d'écoulement à l'ouest et à l'est.

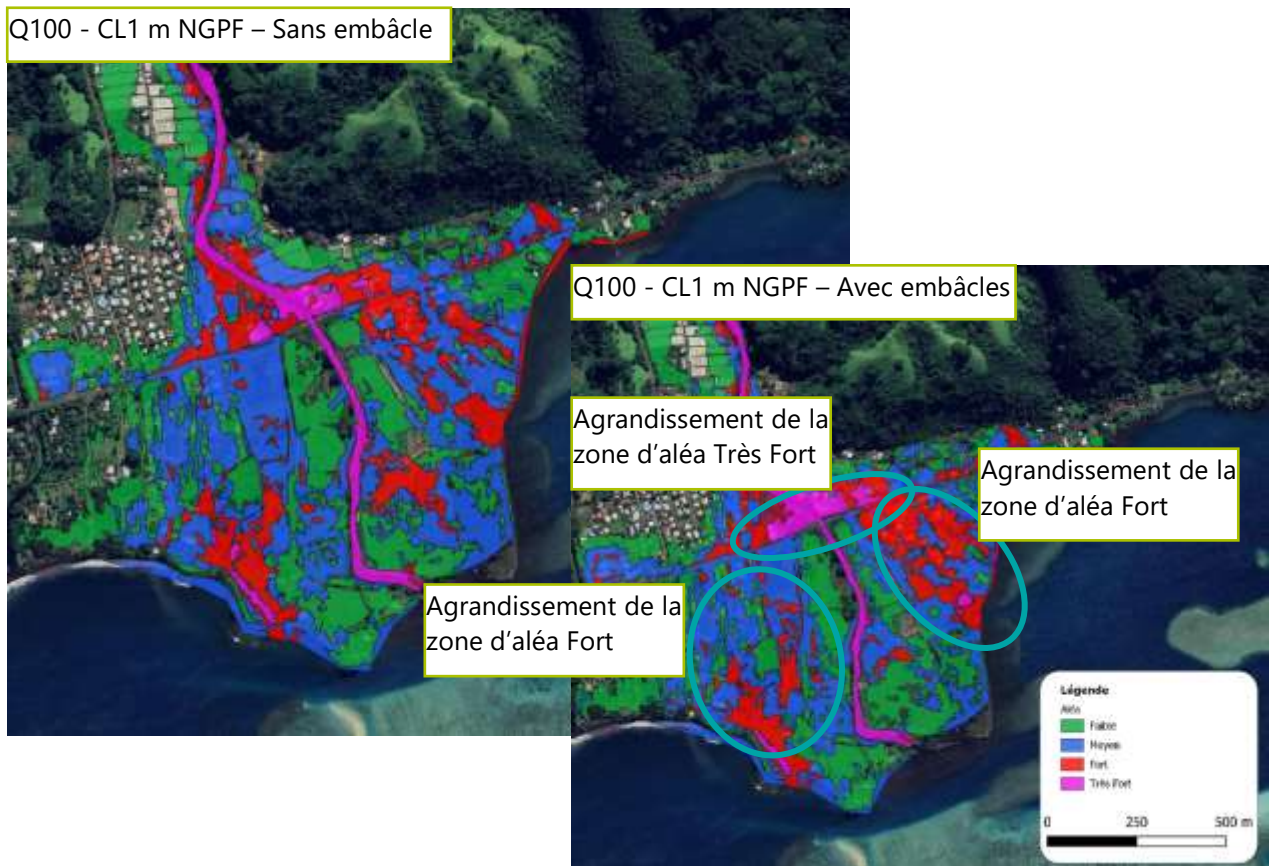


FIGURE 46 : INFLUENCE DES EMBACLES SUR L'ALEA DE LA CRUE CENTENNALE - NIVEAU DE LA MER A 1 M NGPF

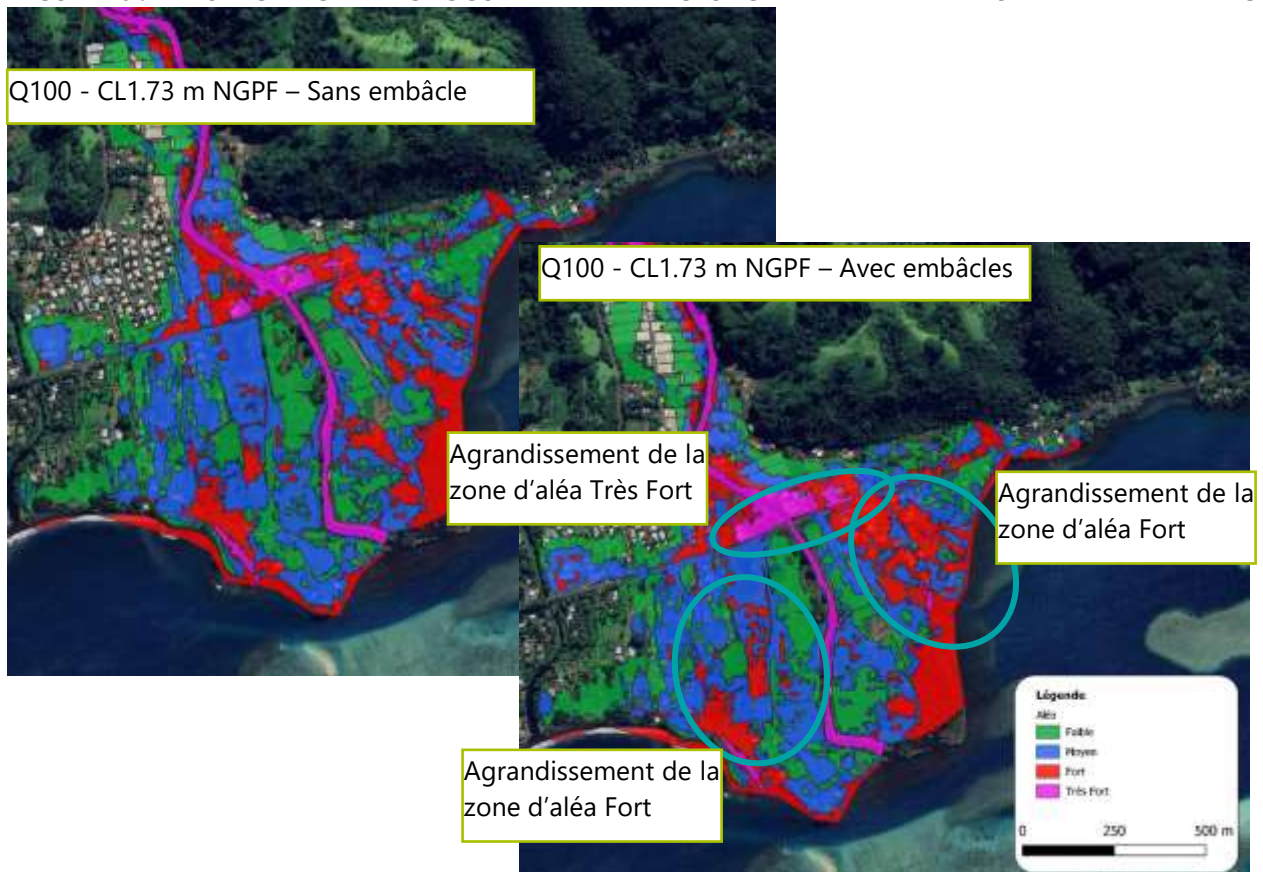


FIGURE 47 : INFLUENCE DES EMBACLES SUR L'ALEA DE LA CRUE CENTENNALE - NIVEAU DE LA MER A 1.73 M NGPF

## 7.5 Comparaison avec les résultats antérieurs

L'étude du bassin versant de la Vaihiria réalisé en 2015 a permis d'établir les cartes d'aléas pour les crues 10 ans, 50 ans et 100 ans. La comparaison de ces cartes avec les résultats actuels nous permet de dire que les résultats sont cohérents entre eux.

Le modèle actuel est plus précis en termes de construction et d'utilisation de la topographie que le modèle Stream de 2015. Cette différence se traduit par une emprise inondable actuel plus précise. La zone inondable est plus étalée le long de la RT et les serres en rive gauche ne sont pas totalement en zone aléa faible pour Q50 et Q100.

La précédente emprise de l'aléa donnait une emprise de l'aléa Très Fort pour le lit mineur plus large que pour la nouvelle estimation pour les 3 crues.

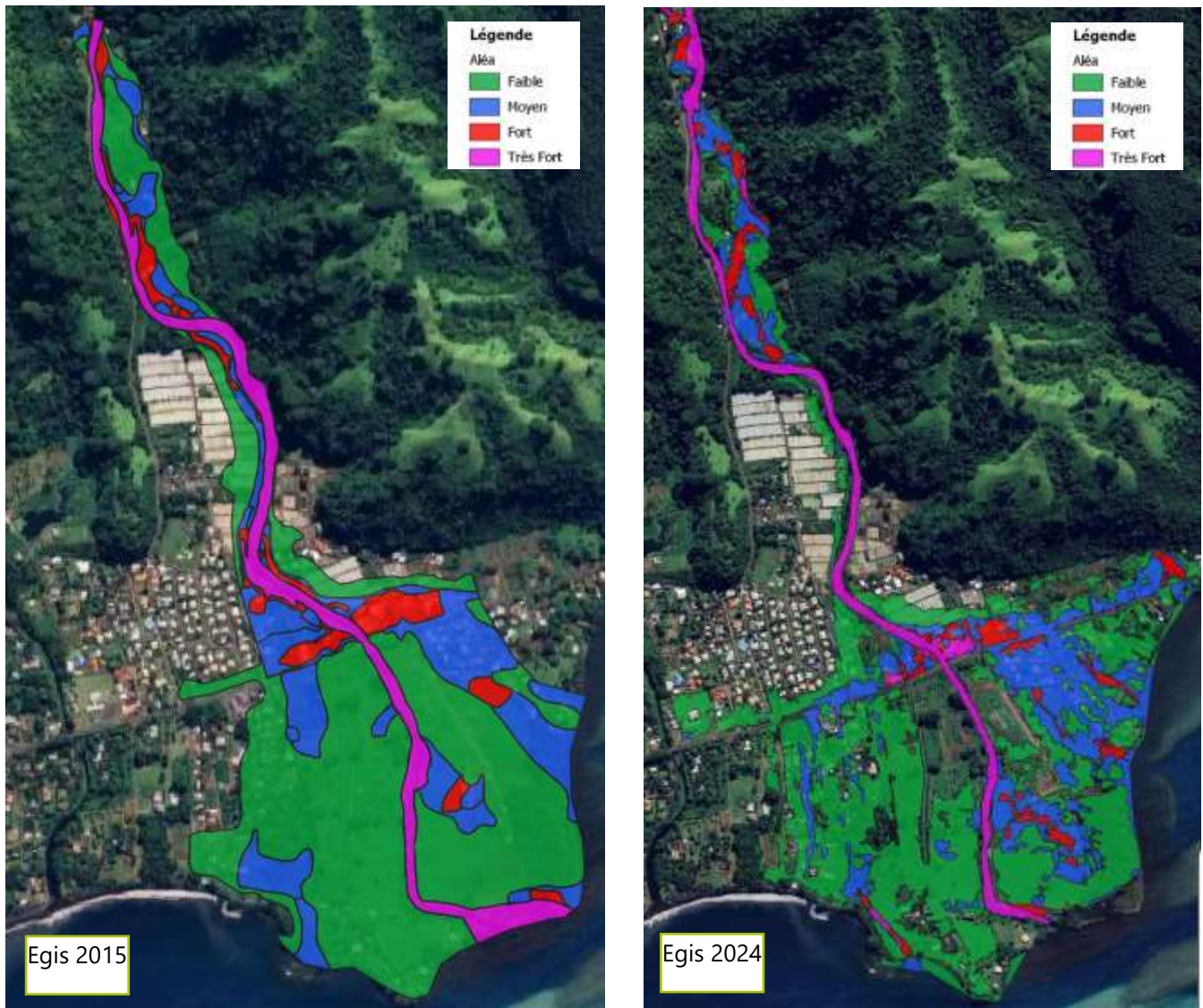
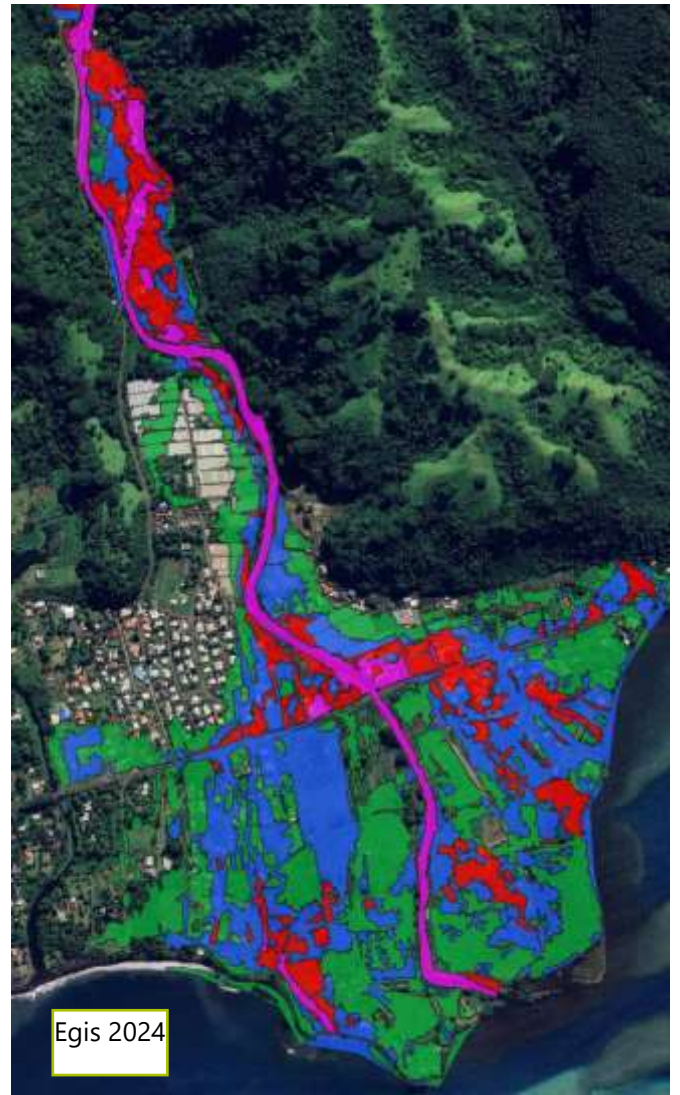
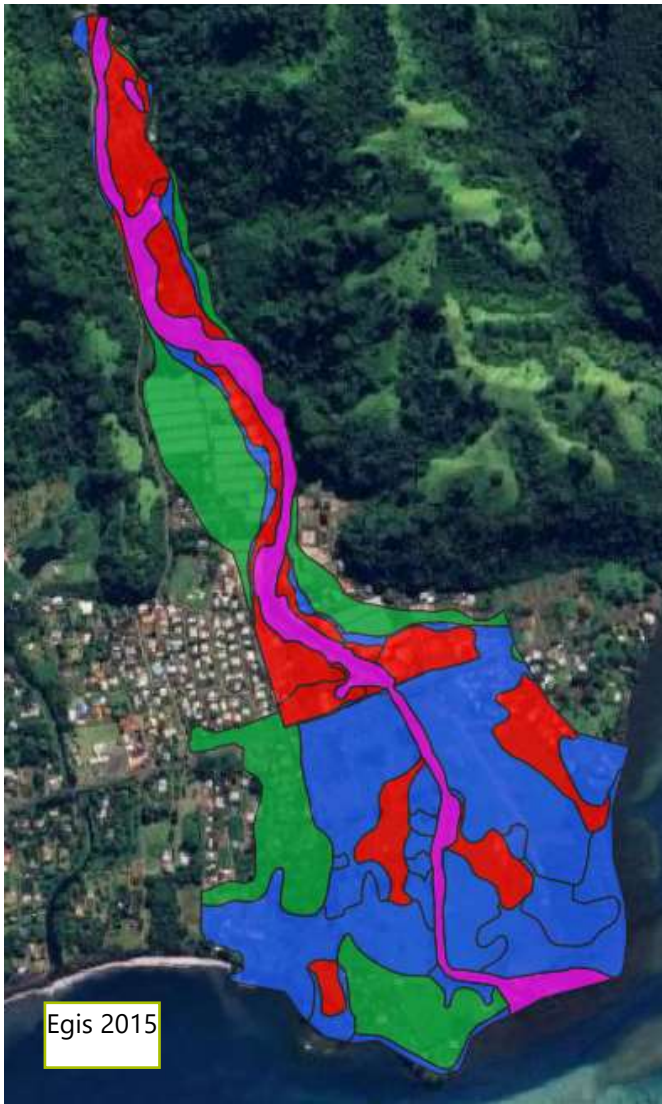


FIGURE 48 : COMPARAISON AVEC L'ETUDE PRECEDENTE POUR LA CRUE 10 ANS



**FIGURE 49 : COMPARAISON AVEC L'ETUDE PRECEDENTE POUR LA CRUE 50 ANS**

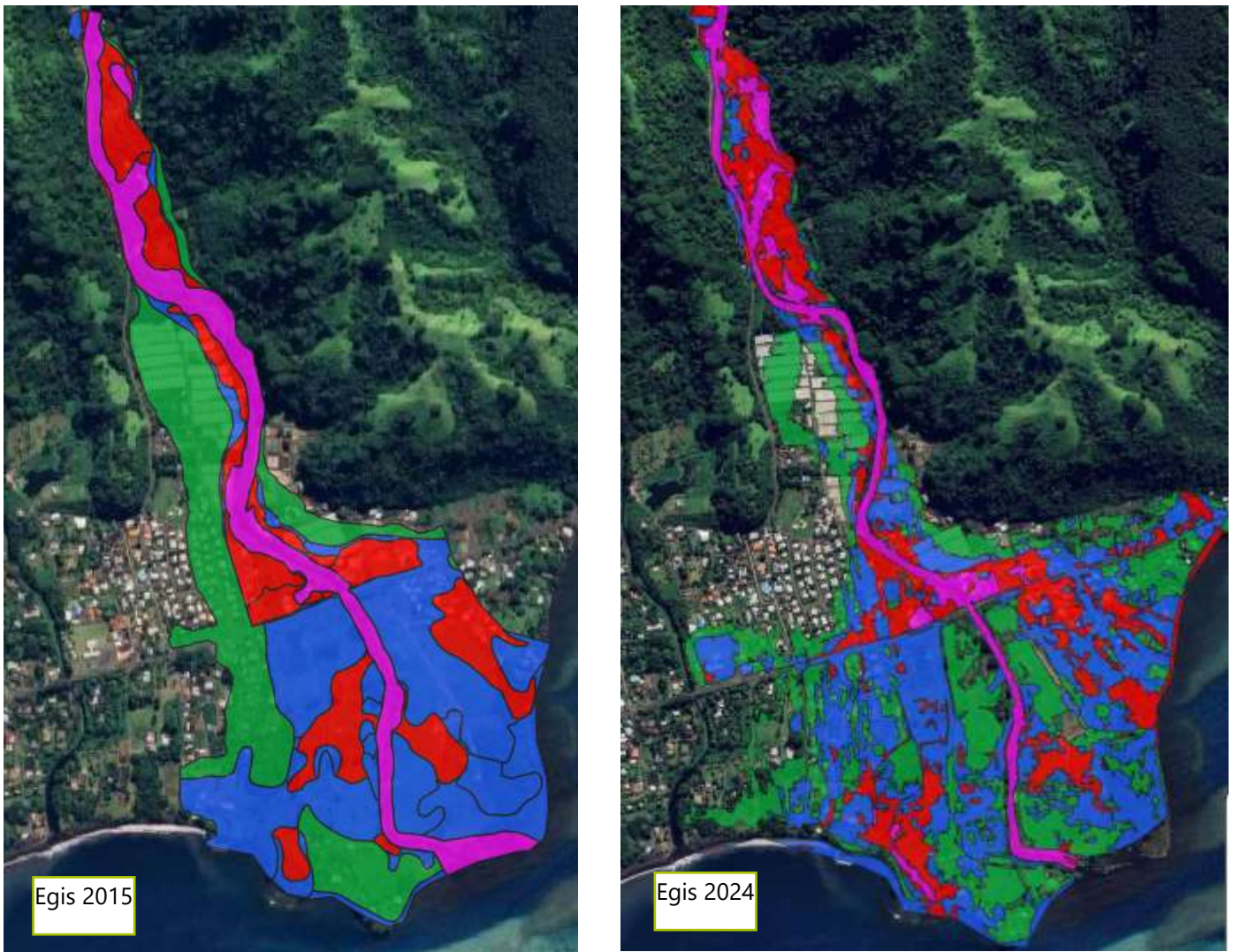


FIGURE 50 : COMPARAISON AVEC L'ETUDE PRECEDENTE POUR LA CRUE 100 ANS

## 7.6 Cartographie des aléas

### 7.6.1 Grille d'aléa

La grille d'aléa utilisée pour le croisement hauteur vitesse a été fournie dans le CCTP par le maitre d'ouvrage.

TABLEAU 14 : GRILLE DE QUALIFICATION DU NIVEAU D'ALEA

Vitesse \ Hauteur	Faible à moyenne Vitesse $\leq 0,5$ m/s	Moyenne à forte Vitesse $> 0,5$ m/s
H < 0,5 m	Faible	Moyen
$0,5 \leq H \leq 1$ m	Moyen	Fort
H > 1 m	Fort	Très fort

Les résultats bruts de cartographie l'aléa pour chaque modélisation sont donnés en Annexe.

## 7.6.2 Traitement SIG de la cartographie des aléas

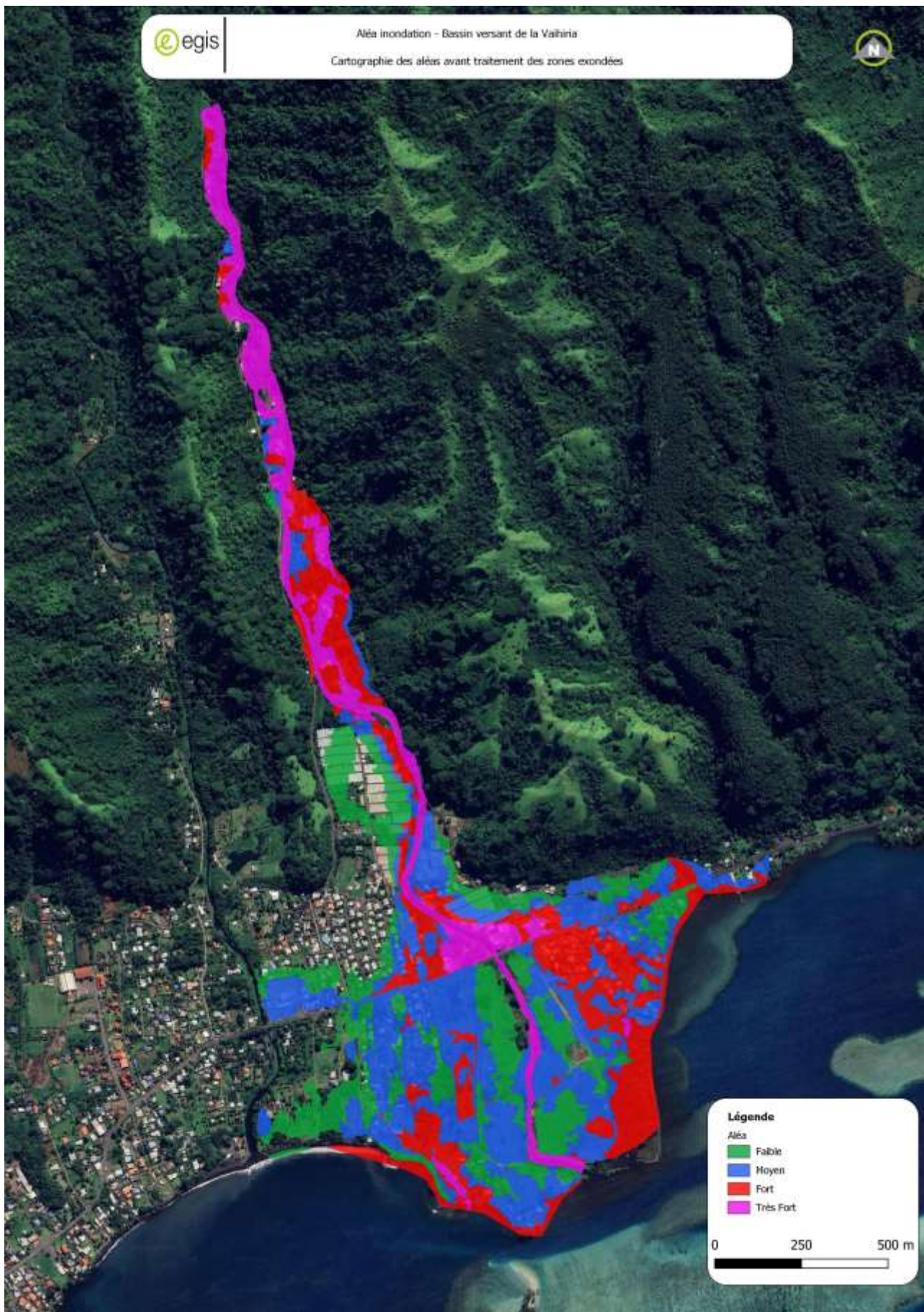
Les cartographies d'aléa pour chaque scénario simulé du bassin versant de la Vaihiria sont données en annexe.

Le maître d'ouvrage souhaite caractériser l'aléa avec la simulation crue décennale avec prise en compte des embâcles et côte de la mer à 1.73 m NGPF.

Le croisement hauteur / vitesse brut nécessite une analyse et un traitement SIG spécifique afin de donner une carte d'aléa correspondant à la réalité.

La première étape vers la finalisation de la cartographie d'aléa passe par la mise en pratique des hypothèses suivantes :

- Lissage des limites du raster aléa,
- Suppression des zones exondées de moins de 1000 m<sup>2</sup> dans la zone inondable.



**FIGURE 51 : CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DE LA VAIHIRIA AVANT TRAITEMENT DES ZONES EXONDEES**

La deuxième étape consiste à montrer la prise en compte des risques d'érosion du lit mineur. Les zones d'érosion ont été définies lors de l'étude hydrogéomorphologique.

La dernière étape consiste à traiter les zones exondées mais entourées d'eau. La cartographie des aléas ne doit pas avoir de zone vide sauf s'il y a possibilité de se réfugier dans une zone protégée. Dans le cas du cours d'eau étudié, il n'y pas de zone de refuge pour les inondations existantes dans les zones exondées.

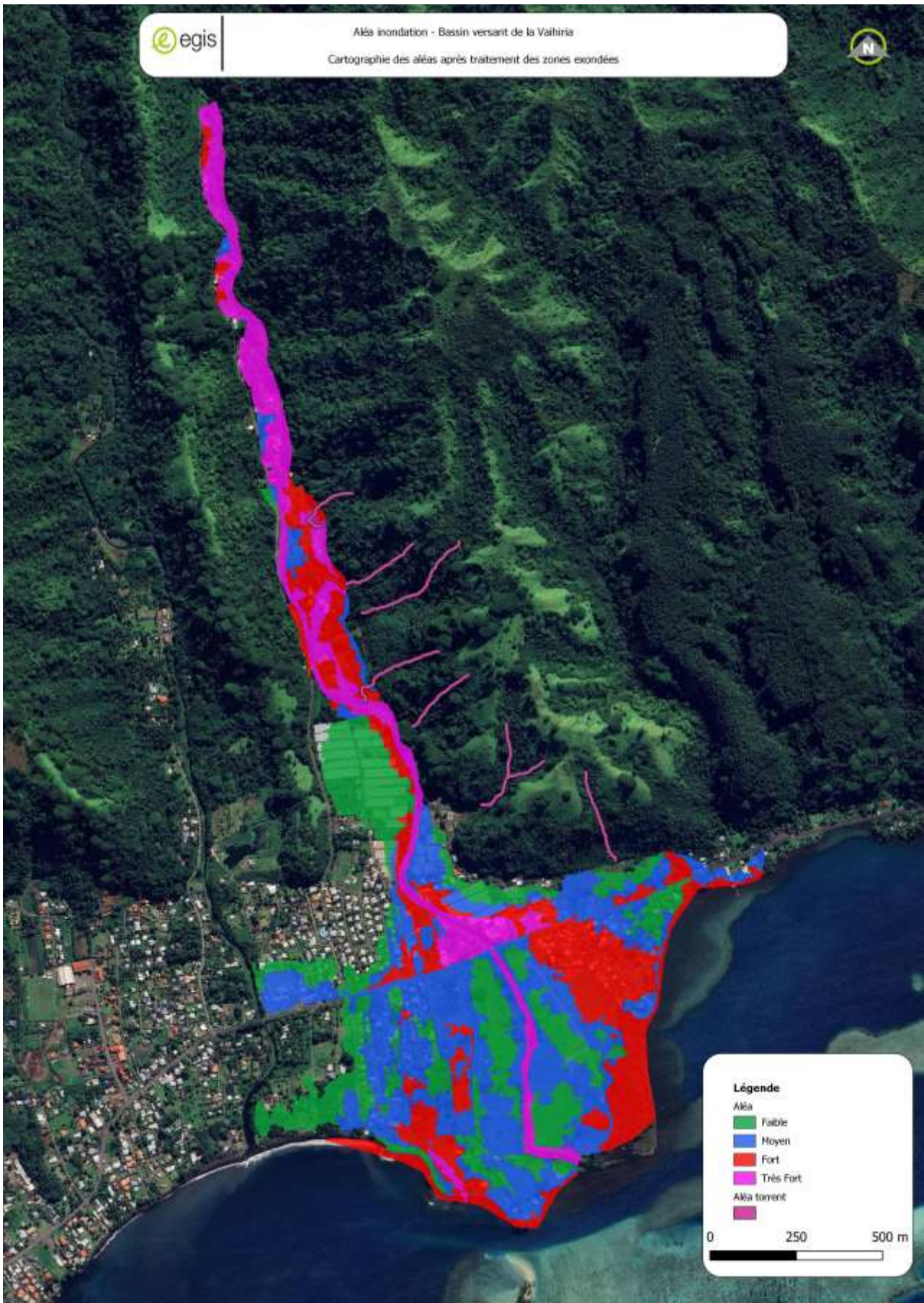
Les paragraphes suivants proposent un classement de ces zones selon les hypothèses suivantes :

- Si la mise hors d'eau est dû à un remblai d'origine anthropique, il sera considéré que ce remblai ne sera pas résistant à la crue centennale et la zone sera donc à classer.
- Si la zone mise hors d'eau doit être classée en aléa, elle sera classée selon l'aléa le plus fort majoritairement en contact avec cette zone.

## **8 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION RETENUE POUR LE FUTUR PPRI**

La carte présentée dans la Figure 52 est la carte de l'aléa inondation proposée pour le futur PPRI après l'analyse hydrogéomorphologique, hydrologique et hydraulique du bassin versant de la Vaihiria.

Pour rappel, cette carte d'aléa est basée sur le scénario de la crue centennale avec une cote maritime de 1.73 m NGPF avec prise en compte des embâcles.



**FIGURE 52 : CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DE LA VAIHIRIA APRES TRAITEMENT DES ZONES EXONDEES**

## 9 PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

**Il est important de préciser que les aménagements proposés constituent des orientations non modélisées. Leur mise en œuvre ne permettra pas de supprimer complètement le risque mais pourra au mieux l'atténuer.**

Les aménagements proposés s'articulent autour de 3 grands axes :

- Recalibrage du lit mineur et confortement des berges,
- Redimensionnement de l'ouvrage de franchissement de la RT,
- Piège à embâcles.

La configuration hydraulique du cours d'eau de la Vaihiria ainsi que les débits en jeu ne permettent pas de créer des aménagements qui permettraient de supprimer totalement les aléas pour les fortes crues. Les aménagements proposés par la suite sont des aménagements qui permettront de diminuer l'aléa sans pour autant le supprimer. Des études plus détaillées permettraient de proposer des aménagements plus aboutis et ainsi estimer précisément leur capacité à diminuer l'aléa inondation.

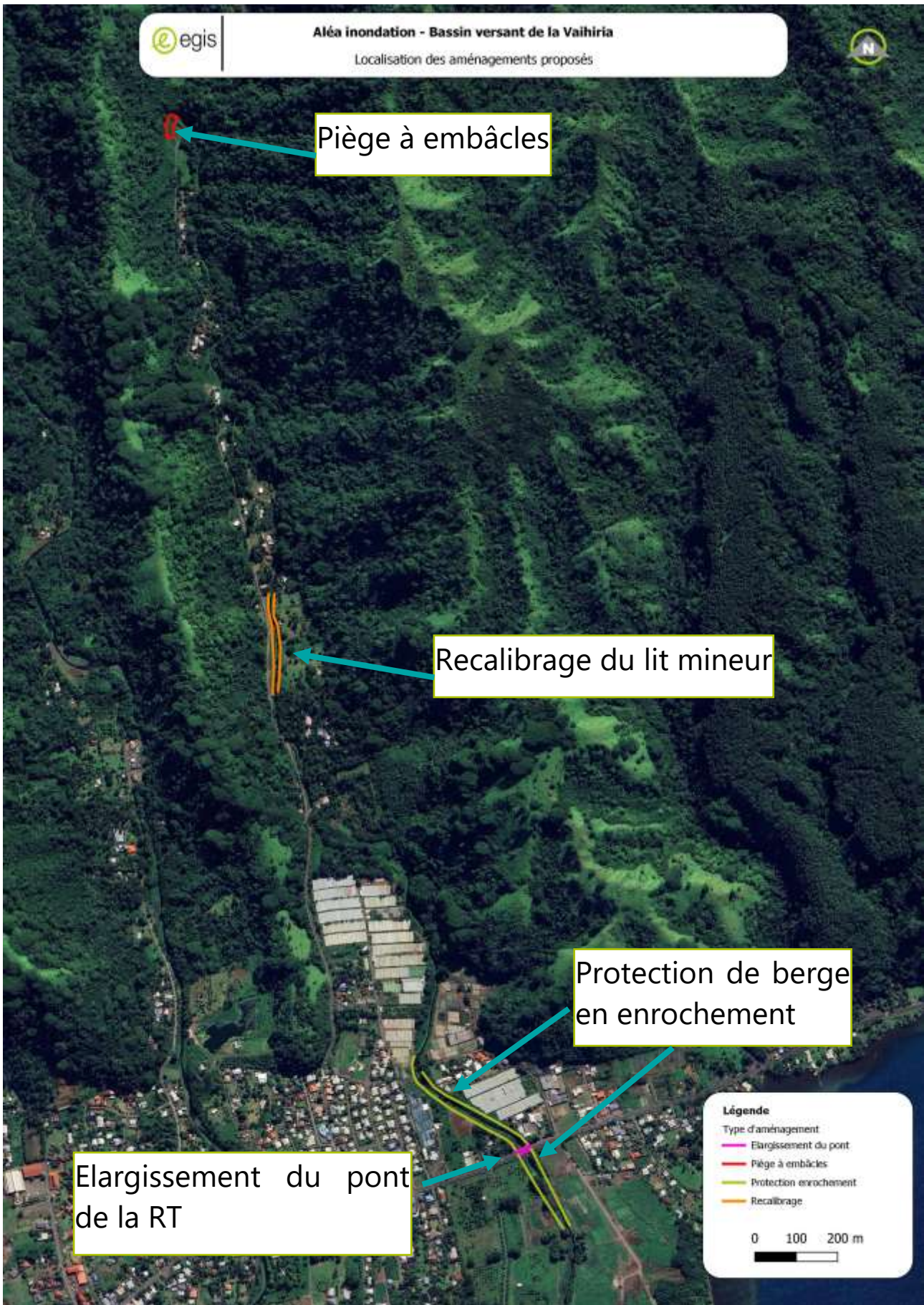
La Figure 53 permet de localiser les aménagements proposés dans le bassin versant de la Vaihiria

Afin d'orienter le choix des aménagements, une délimitation grossière des zones à enjeu a été réalisée en utilisant les photos aériennes et l'occupation du sol. Les types de zones retenues sur le bassin versant de la Vaihiria sont les suivants :

- Urbanisation dense,
- Urbanisation diffuse,
- Habitation isolée,
- Zone de culture.

La Figure 54 permet de localiser les zones à enjeux.

La disponibilité foncière n'a pas été étudié pour l'implantation des aménagements. Par conséquent, le chiffrage ne tient pas compte de l'acquisition foncière le cas échéant.



**FIGURE 53 : LOCALISATION DES AMENAGEMENTS PREVUS DANS LE BASSIN VERSANT DE LA VAIHIRIA**



**FIGURE 54 : ZONAGE DES ENJEUX POUR LA PROPOSITION D'AMENAGEMENT**

## 9.1 Aménagements envisagés mais difficiles à mettre en place

### ■ Recalibrage du cours d'eau

Le recalibrage du cours d'eau est complexe car il nécessite beaucoup d'espace or la Vaihiria est dans une vallée encaissée avec des habitations et autres enjeux très proches de son lit mineur. Le recalibrage n'a du sens que sur des linéaires conséquents or la Vaihiria ne dispose pas d'espace suffisant.

L'espace disponible est en aval de la RT mais la pente est faible dans cette zone et soumise à une forte influence du niveau de la mer. Un recalibrage pourrait conduire à un engravement et un ensablement du cours d'eau.

### ■ Ouvrage de protection contre les inondations

La question de la mise en place d'ouvrage de protection de type digue ou mur béton se pose. Cependant, la place disponible ne permet pas la mise en place de digue et les solutions types mur en béton ou palplanches qui sont extrêmement coûteuse et auraient un impact écologique sur le cours d'eau non négligeable. Enfin, le risque de rupture des murs de protections peut fortement aggraver l'aléa inondation.

## 9.2 Redimensionnement de l'ouvrage de franchissement de la RT

L'ouvrage de franchissement de la Vaihiria par la RT est sous dimensionné. De plus, l'ancien pont est toujours en place et gêne les écoulements par sa forme en voute. Il est proposé de détruire le vieux pont et le pont actuel afin d'en construire un nouveau permettant de faire transiter la crue centennale. Cet agrandissement de section permettra de diminuer l'aléa inondation sur les habitations en amont de la RT, dans les zones 1, 3, 4 et 11.

Les hypothèses de dimensionnement du pont sont les suivantes :

- Le débit centennal est de 380 m<sup>3</sup>/s,
- La hauteur sous poutre amont est conservée : 2.70 m,
- Un revêtement au sol naturel car encombré par les sédiments : Strickler de 25,
- Formule de Manning-Strickler,

L'application de la formule de Manning Strickler donne un une ouverture de largeur 27m et de hauteur 2.70.

La mise en place devrait permettre de diminuer l'aléa sur les zones 1, 3, 4 et 5. Une aggravation de l'aléa est probable sur la zone 8 et la zone 6. La zone 8 est une zone à faible enjeu car il s'agit actuellement d'une zone agricole.

Des aménagements provisoires seront prévus afin d'assurer le fonctionnement hydraulique de la rivière pendant les travaux. Le vieux pont pourra également être mobilisé pendant la destruction du pont actuel et la construction du nouveau afin d'assurer le trafic. Il sera ensuite détruit définitivement. Les travaux seront effectués pendant la saison sèche afin d'éviter les crues en phase travaux.

### 9.3 Elargissement progressif et protection des berges en amont de la RT

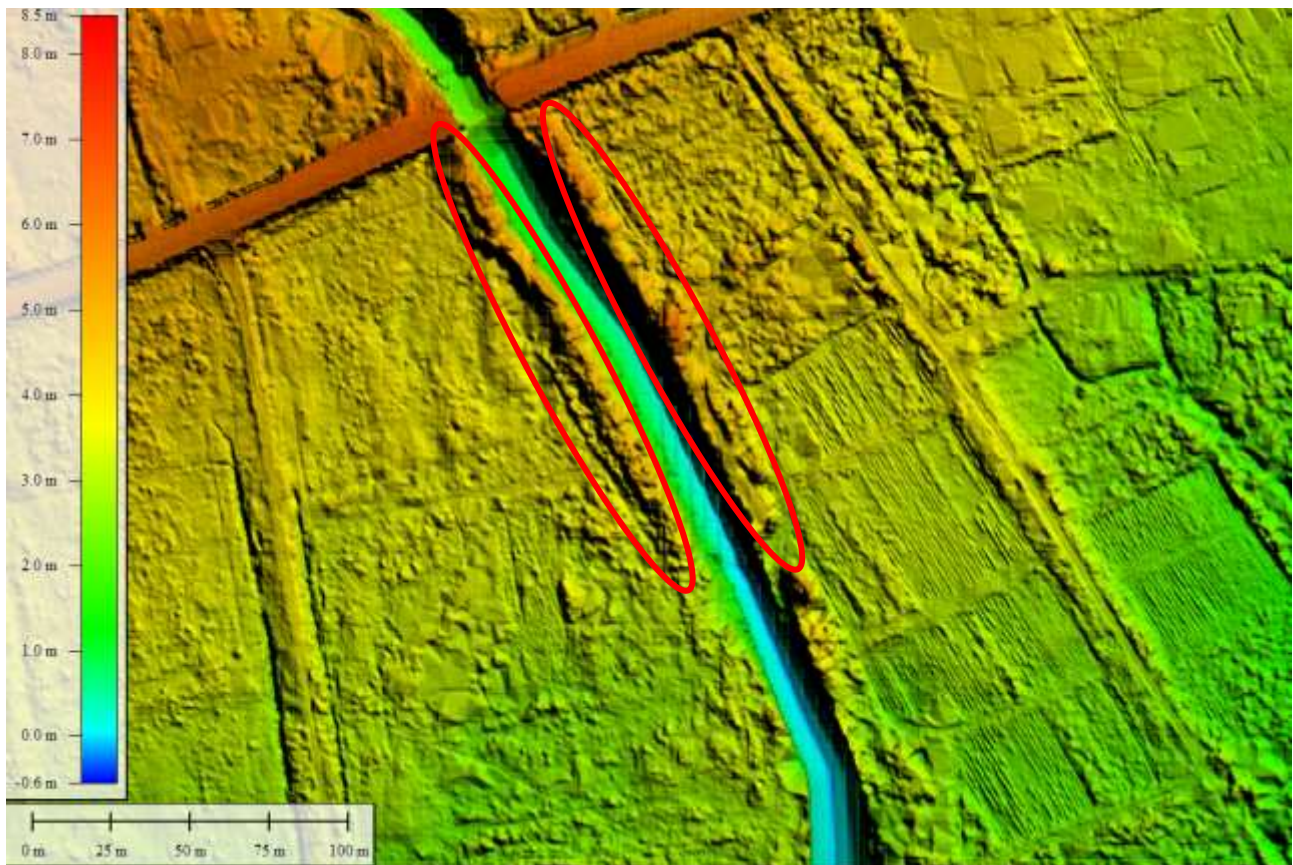
Afin de favoriser l'engouffrement des écoulements dans le nouvel ouvrage de la RT, il est proposé de redessiner le lit mineur et notamment de l'élargir en rive droite et de compléter les protections de berges existantes. Cette intervention permettra de diminuer les aléas sur les zones à enjeu des zones 1, 3, 4 et 5

Afin d'assurer une bonne transition avec le lit mineur en aval, il est également proposé de créer un rétrécissement doux entre l'ouvrage et le lit existant. Cette intervention permettra de supprimer les merlons anthropiques en rive droite et en rive gauche. La suppression de ces merlons permettra de faciliter le débordement dans la zone 8 constitué de champ.

La figure suivante montre les aménagements proposés.



FIGURE 55 : LOCALISATION DES AMENAGEMENTS EN AMONT DE LA RT

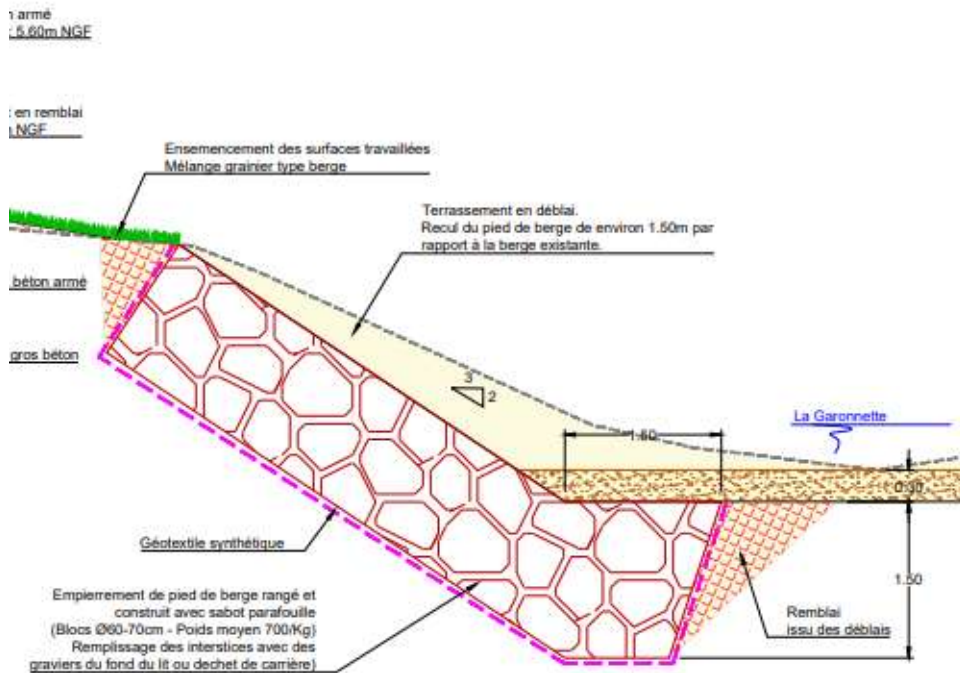


**FIGURE 56 : LOCALISATION DES REMBLAIS A SUPPRIMER**

■ Dimensionnement des enrochements :

Les enrochements seront libres, d'environ 60 cm (1.5 tonnes en moyenne). Les blocs seront empilés les uns sur les autres. Un sabot de 4 m dans le lit mineur sera mis en place pour éviter l'affouillement.

Le linéaire d'enrochement en rive gauche est de 315 m et de 360 m en rive droite. En rive droite, le travail de la berge nécessite un décaissement d'environ 5000 m<sup>3</sup>.



**FIGURE 57 : EXEMPLE DE BERGE EN ENROCEMENT**

## 9.4 Piège à embâcles

L'installation d'un piège à embâcles en amont du bassin versant permettrait de fortement diminuer le risque de blocage des ouvrages traversants en lit mineur et notamment le passage sous la RT.

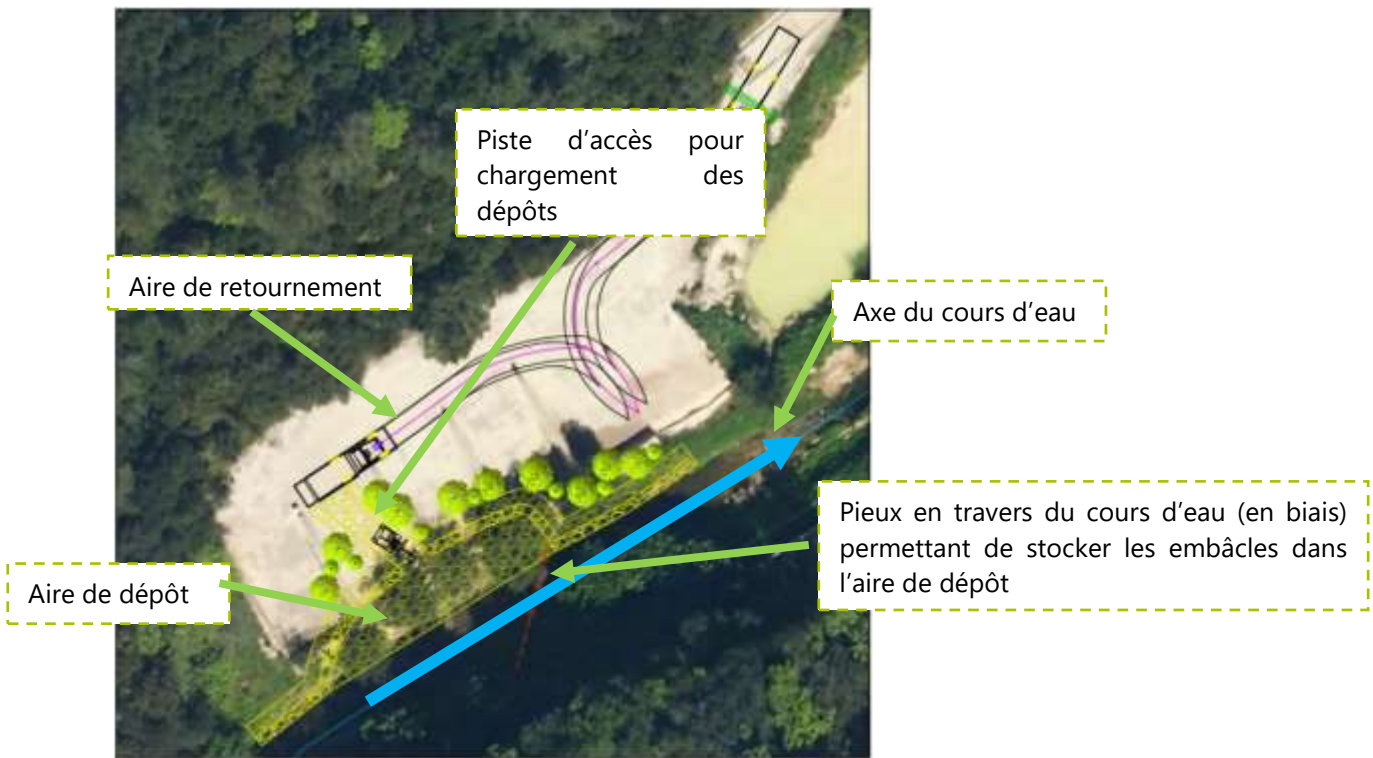
L'emplacement proposé pour l'implantation du piège à embâcle est indiqué dans la figure suivante.

Cet emplacement est suffisamment spacieux afin d'implanter le piège et suffisamment en amont afin de protéger un maximum les ouvrages situés à l'aval.

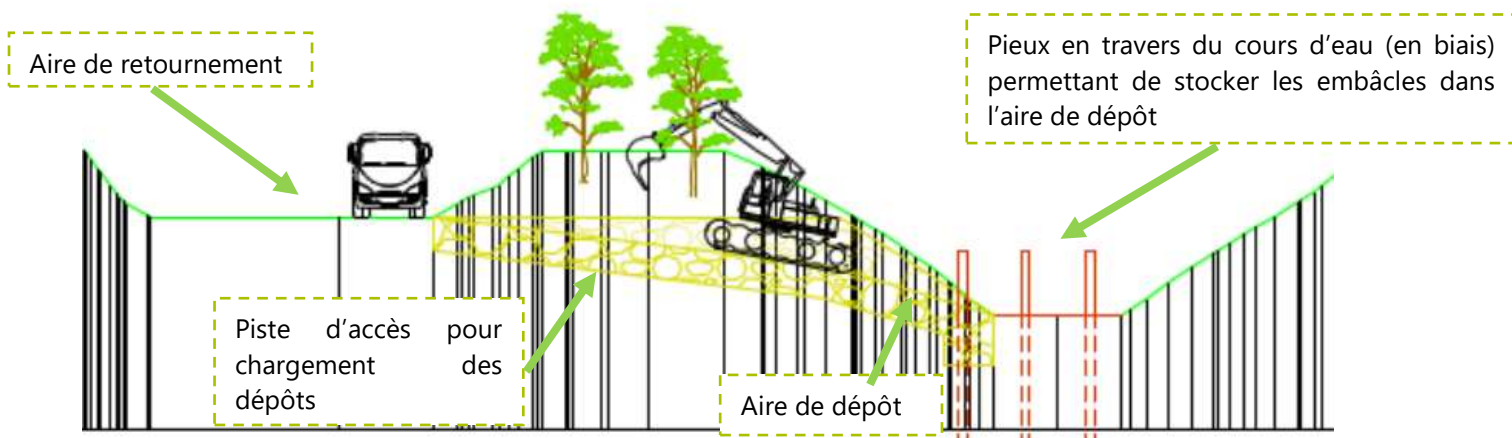
Un exemple de piège à embâcle et une coupe type sont présentés dans la Figure 59 et Figure 60



**FIGURE 58 : LOCALISATION DU PIEGE A EMBACLES EN AMONT DU COURS D'EAU**



**FIGURE 59 : EXEMPLE DE PIEGE A EMBACLES AVEC AIRE DE RETOURNEMENT POUR CHARGER UN CAMION**



**FIGURE 60 : VUE EN COUPE DU PIEGE A EMBACLES**

## 9.5 Phasage des travaux

Les travaux prioritaires sont les travaux de redimensionnement de l'ouvrage sous la RT. Les travaux sur berges doivent être effectués en même temps que la réalisation de l'ouvrage sous la RT. Le piège à embâcle peut être mis en place à tout moment.

## 9.6 Chiffrage des aménagements

Les coûts des ouvrages ont été établis individuellement. Les coûts pourront être optimisés dans le cas d'un seul marché de travaux pour l'ensemble des aménagements.

La disponibilité foncière n'a pas été étudiée pour l'implantation des aménagements. Par conséquent, le chiffrage ne tient pas compte de l'acquisition foncière le cas échéant.

### 9.6.1 Ouvrage de la RT

TABLEAU 15 : ESTIMATION DU COUT DES TRAVAUX POUR L'OUVRAGE DE LA RT

Ouvrage sous la RT			
Actions	Quantité	Prix unitaire (XPF H.T)	Prix total (XPF H.T)
<b>Préparation</b>			
Etude d'exécution (u)	1	500000	500 000
Essais et test (u)	1	500000	500 000
Récolement des ouvrages (u)	1	300000	300 000
Constat d'huissier (u)	1	120000	120 000
<b>Total préparation</b>			<b>1 420 000</b>
<b>Travaux</b>			
Installation de chantier (u)	1	2000000	2 000 000
Dépose de l'ouvrage existant (ancien et nouveau ponts) (m3)	1750	21000	36 750 000
Terrassement (m3)	2000	6000	12 000 000
Construction ouvrage d'art (m2)	500	720000	360 000 000
<b>Coûts des travaux</b>			<b>410 750 000</b>
Aléa travaux (20%)			82 150 000
<b>Total</b>			<b>494 320 000</b>

## 9.6.2 Travaux sur berge

**TABLEAU 16 : ESTIMATION DU COUT POUR L'AMENAGEMENT DES BERGES**

Travaux sur berges			
Actions	Quantité	Prix unitaire (XPF H.T)	Prix total (XPF H.T)
<b>Préparation</b>			
Etude d'exécution (u)	1	500000	500 000
Essais et test (u)	1	500000	500 000
Récolement des ouvrages (u)	1	300000	300 000
Constat d'huissier (u)	1	120000	120 000
<b>Total préparation</b>			<b>1 420 000</b>
<b>Travaux</b>			
Installation de chantier (u)	1	2000000	2 000 000
Suppression des merlons existants en aval (m3)	900	3000	2 700 000
Terrassement berge droite (m3)	8550	6000	51 300 000
Enrochement rive droite (m3)	5700	10000	57 000 000
Terrassement berge gauche (m3)	2500	6000	15 000 000
Enrochement rive droite (m3)	2500	10000	25 000 000
<b>Coûts des travaux</b>			<b>153 000 000</b>
Aléa travaux (20%)			30 600 000
<b>Total</b>			<b>185 020 000</b>

### 9.6.3 Piège à embâcles

TABLEAU 17 : ESTIMATION DU COUT DU PIEGE A EMBACLES

Piège à embâcles			
Actions	Quantité	Prix unitaire (XPF H.T)	Prix total (XPF H.T)
<b>Préparation</b>			
Etude d'exécution (u)	1	500000	500 000
Essais et test (u)	1	500000	500 000
Récolement des ouvrages (u)	1	300000	300 000
Constat d'huissier (u)	1	120000	120 000
<b>Total préparation</b>			<b>1 420 000</b>
<b>Travaux</b>			
Installation de chantier (u)	1	2000000	2 000 000
Terrassement (m3)	500	6000	3 000 000
Enrochement (m3)	700	10000	7 000 000
Béton et maçonnerie (m3)	200	23934	4 786 800
Travaux divers (m2)	250	5983.5	1 495 875
Génie végétal (m2)	500	11967	5 983 500
<b>Coûts des travaux</b>			<b>24 266 175</b>
Aléa travaux (20%)			4 853 235
<b>Total</b>			<b>30 539 410</b>

### 9.6.4 Synthèse des aménagements proposés

Le tableau ci-dessous expose les principes des aménagements proposés, en résumant leurs principales contraintes et avantages. Ce tableau de synthèse est conçu comme un outil d'aide à la décision, destiné à guider le maître d'ouvrage dans le choix des aménagements à mettre en œuvre.

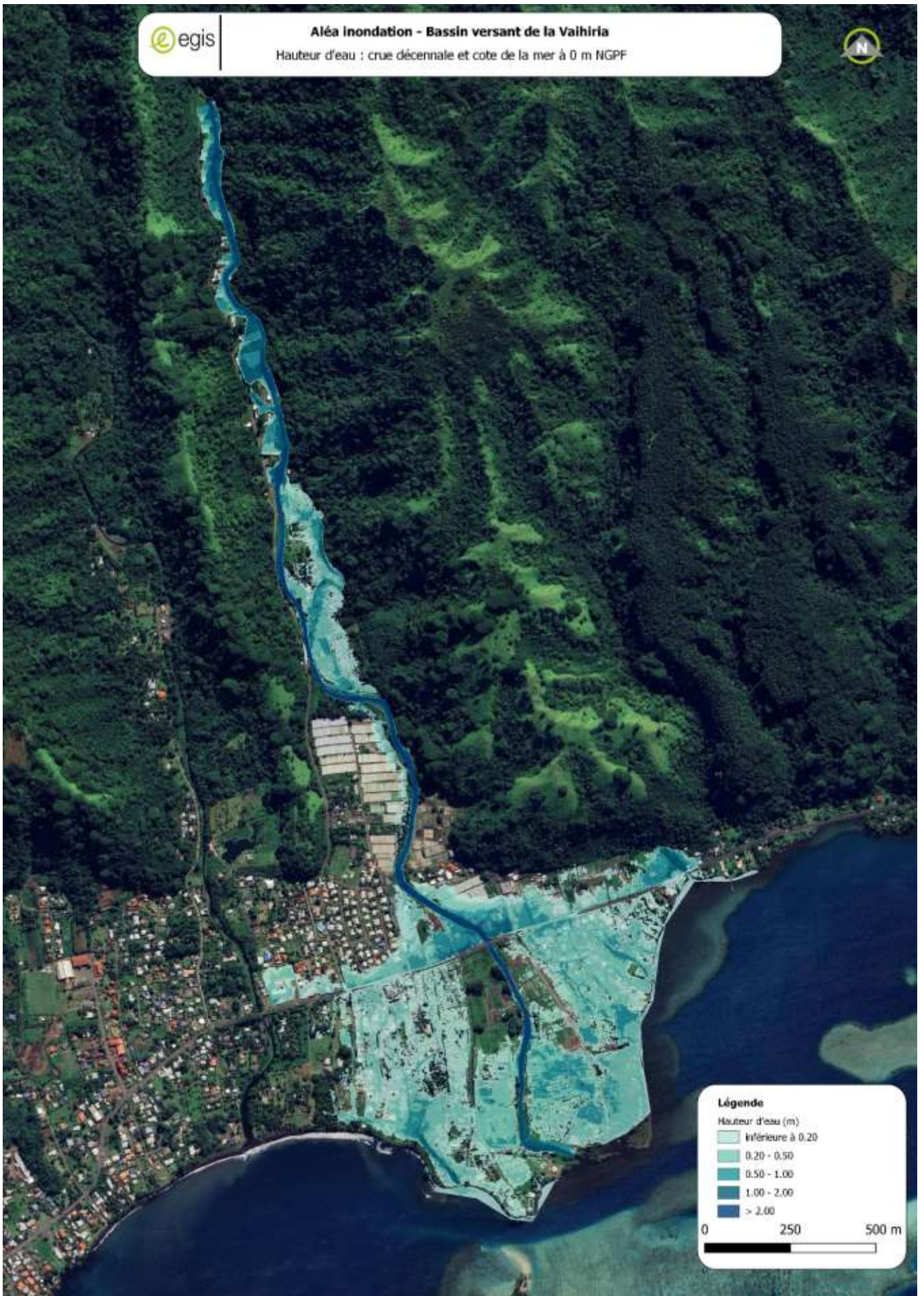
**TABLEAU 18 : TABLEAU DE SYNTHÈSE DES AMÉNAGEMENTS**

Aménagement proposé	Zones à enjeux concernées – impact positif	Zones à enjeux concernées – impact négatif	Avantages	Inconvénients	Chiffrage
Redimensionnement de l'ouvrage de franchissement de la RT	1 – 3 – 4 – 5	6 – 8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Améliorer le libre écoulement de l'eau sous le pont de la RT</li> <li>- Diminution des débordements vers les habitations en amont en de la RT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difficulté de réalisation en termes de gestion de la circulation et de la phase travaux en phase provisoire</li> <li>- Cout élevé</li> <li>- Aggravation de l'aléa sur 2 zones</li> </ul>	494 320 k XPF HT
Travaux sur berge	1-3 -4 -5	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restauration des zones inondables naturelles</li> <li>- Réduction de l'érosion des berges</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Foncier à maîtriser pour les zones ciblées à être élargis</li> <li>- Débordement sur la zone 8</li> </ul>	185 000 k XPF HT
Piège à embâcle	Toutes les zones		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration des écoulements dans le cours d'eau en diminuant fortement le risque de blocage des ouvrages hydrauliques</li> <li>- Réduction des couts d'entretien à l'aval</li> <li>- Protection des infrastructures aval</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espace nécessaire pour le chargement/aire de retournement à prévoir</li> <li>- Maintenance fréquente à prévoir en particulier en période pluvieuse</li> <li>- Impact sur la continuité écologique</li> </ul>	31 000 k XPF HT

## 10 ANNEXES

**ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE 01 – VAIHIRIA**

**ANNEXE 2: CARTOGRAPHIES DES HAUTEURS D'EAU ET DES VITESSES D'ECOULEMENT POUR LES DIFFERENTS SCENARIOS**

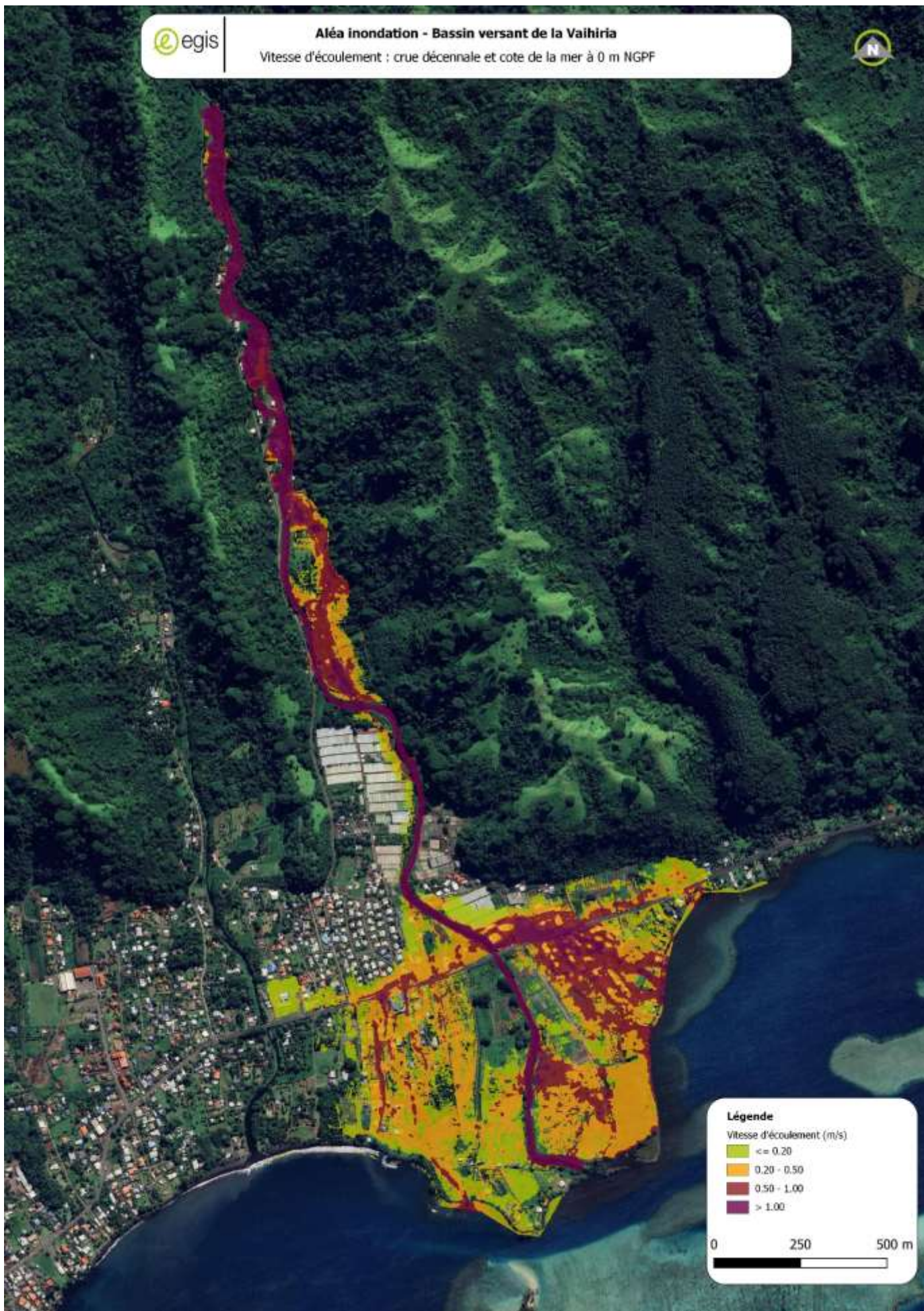


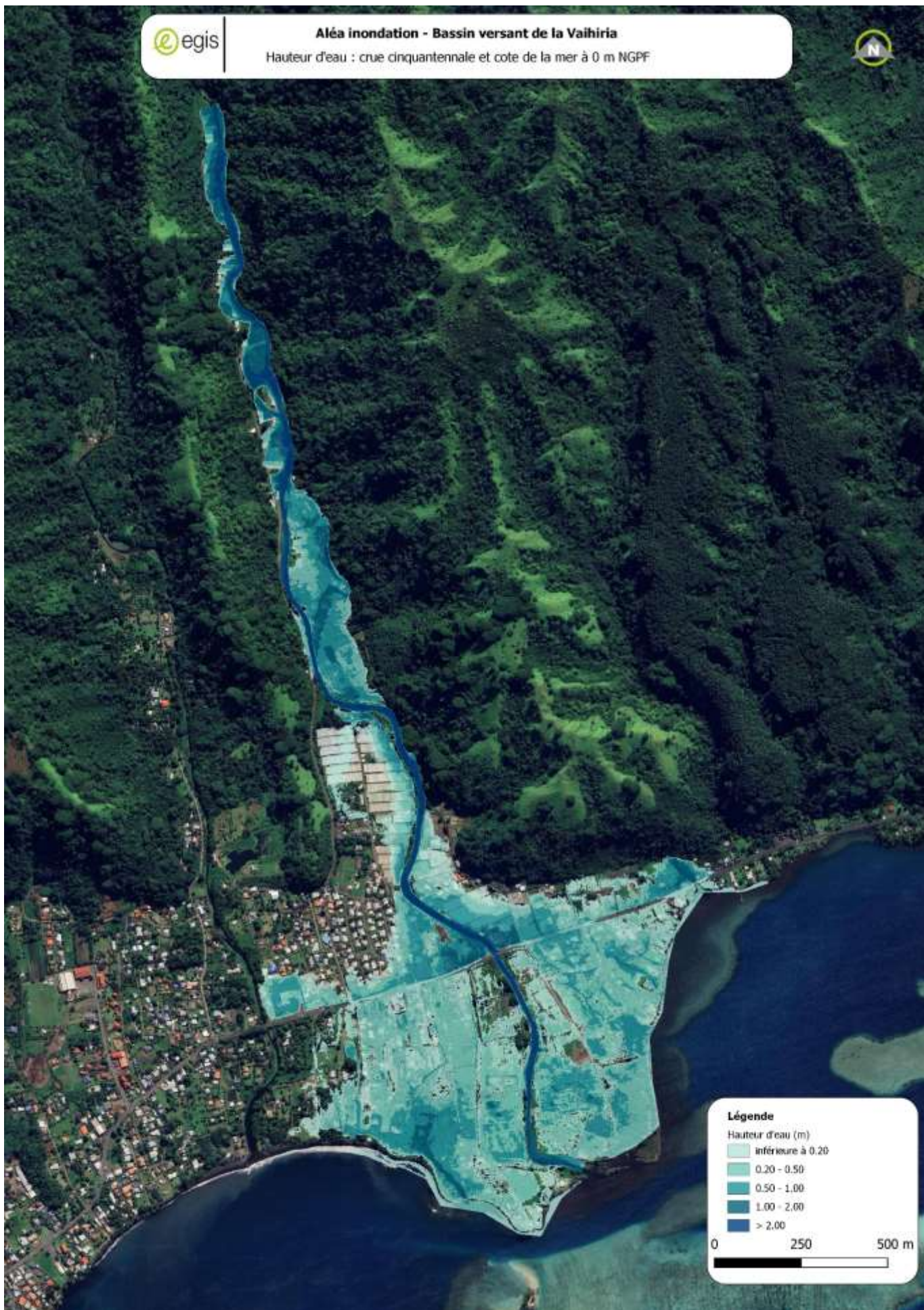
**Légende**

Hauteur d'eau (m)

- inférieure à 0.20
- 0.20 - 0.50
- 0.50 - 1.00
- 1.00 - 2.00
- > 2.00

0 250 500 m

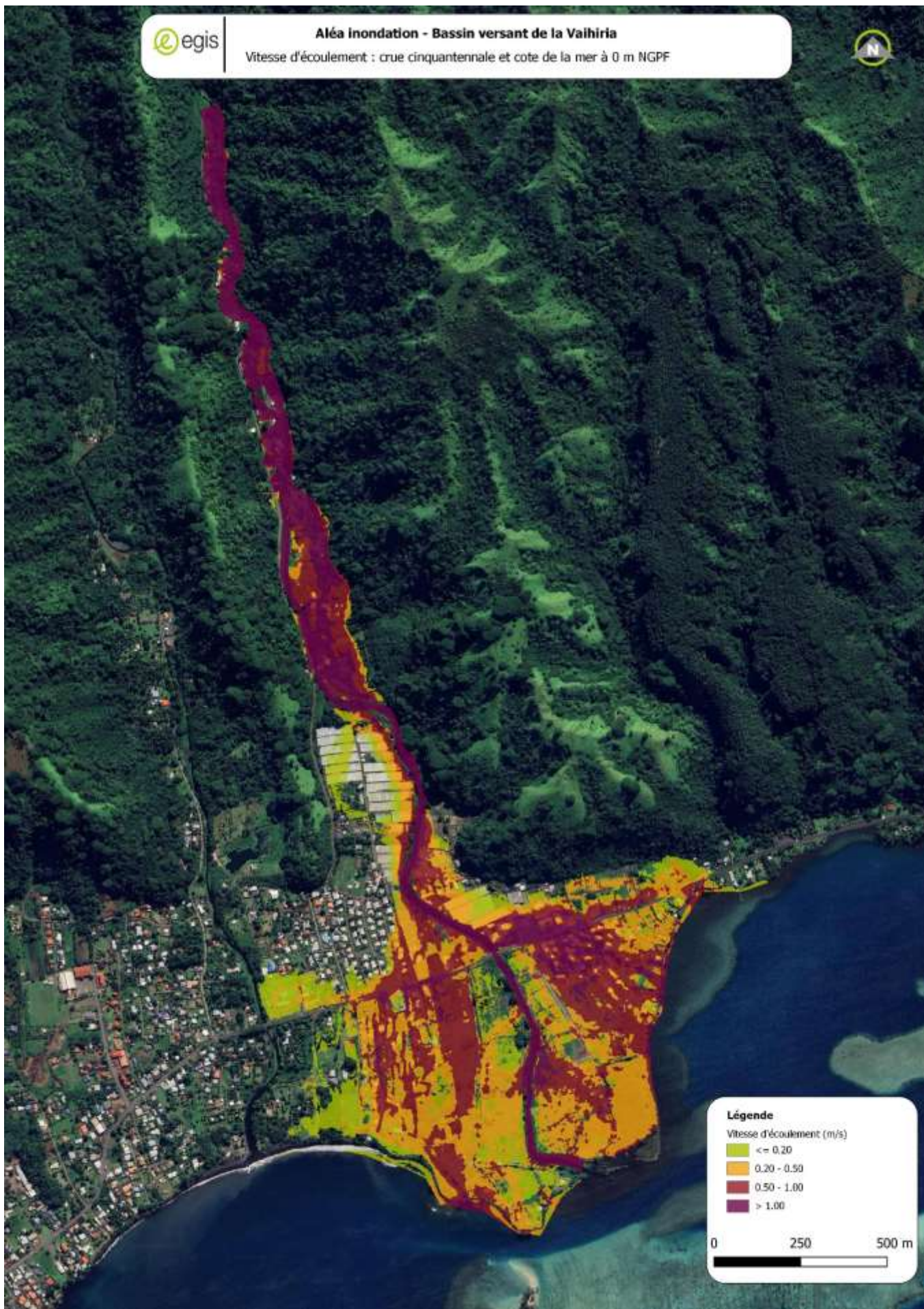




**Légende**  
Hauteur d'eau (m)

inférieure à 0,20
0,20 - 0,50
0,50 - 1,00
1,00 - 2,00
> 2,00

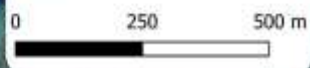
0 250 500 m

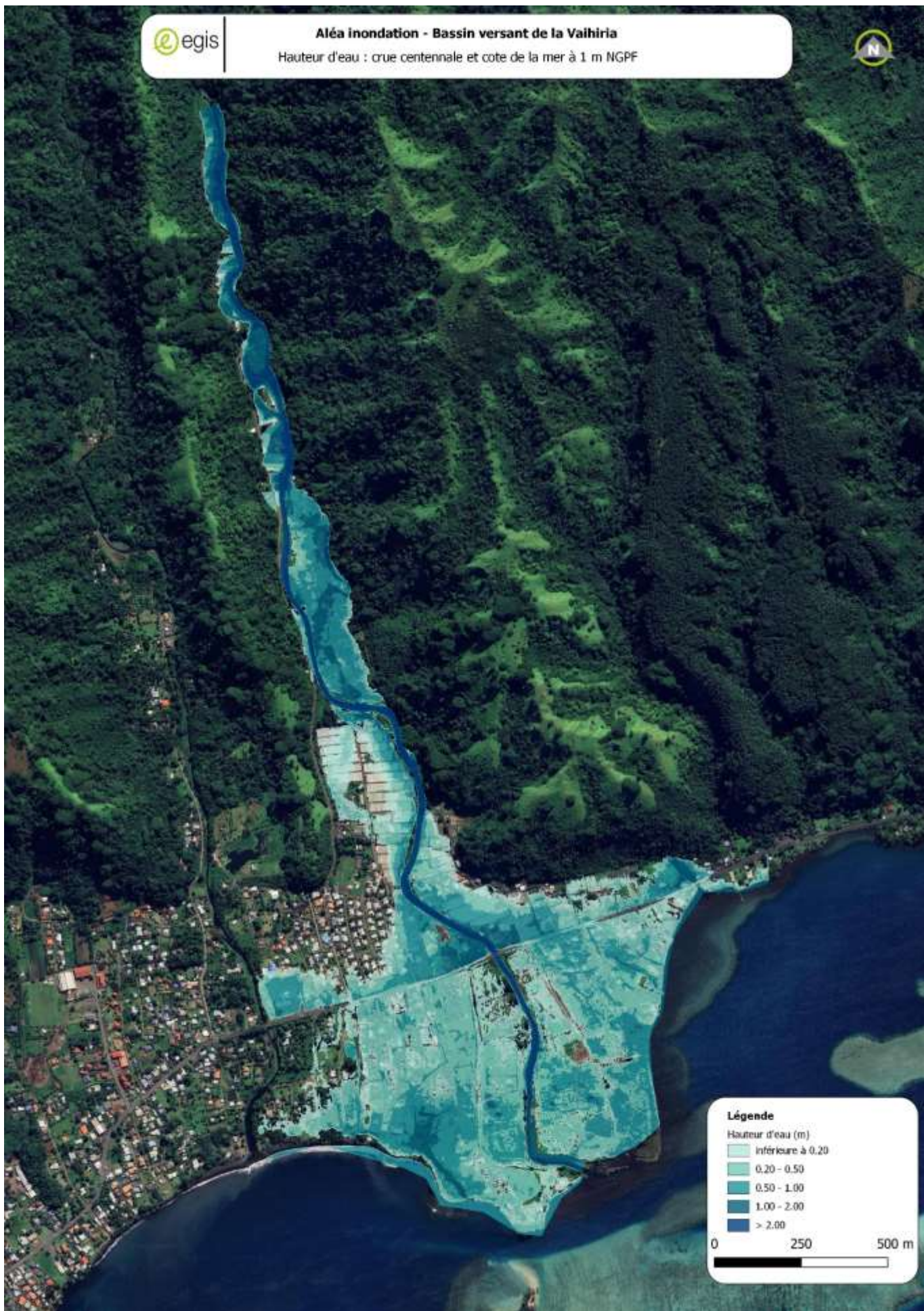


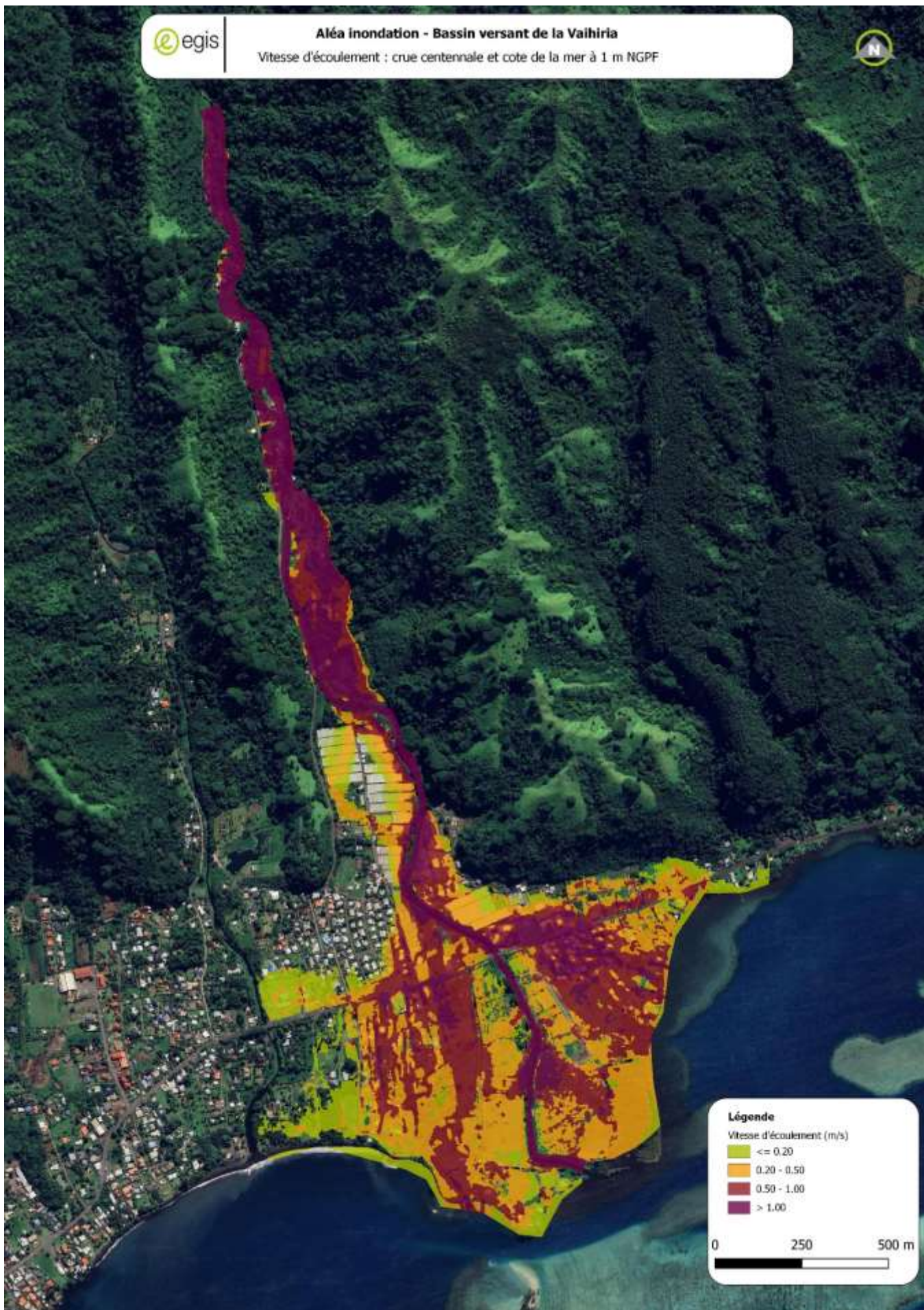
**Légende**

Vitesse d'écoulement (m/s)

- <= 0.20
- 0.20 - 0.50
- 0.50 - 1.00
- > 1.00



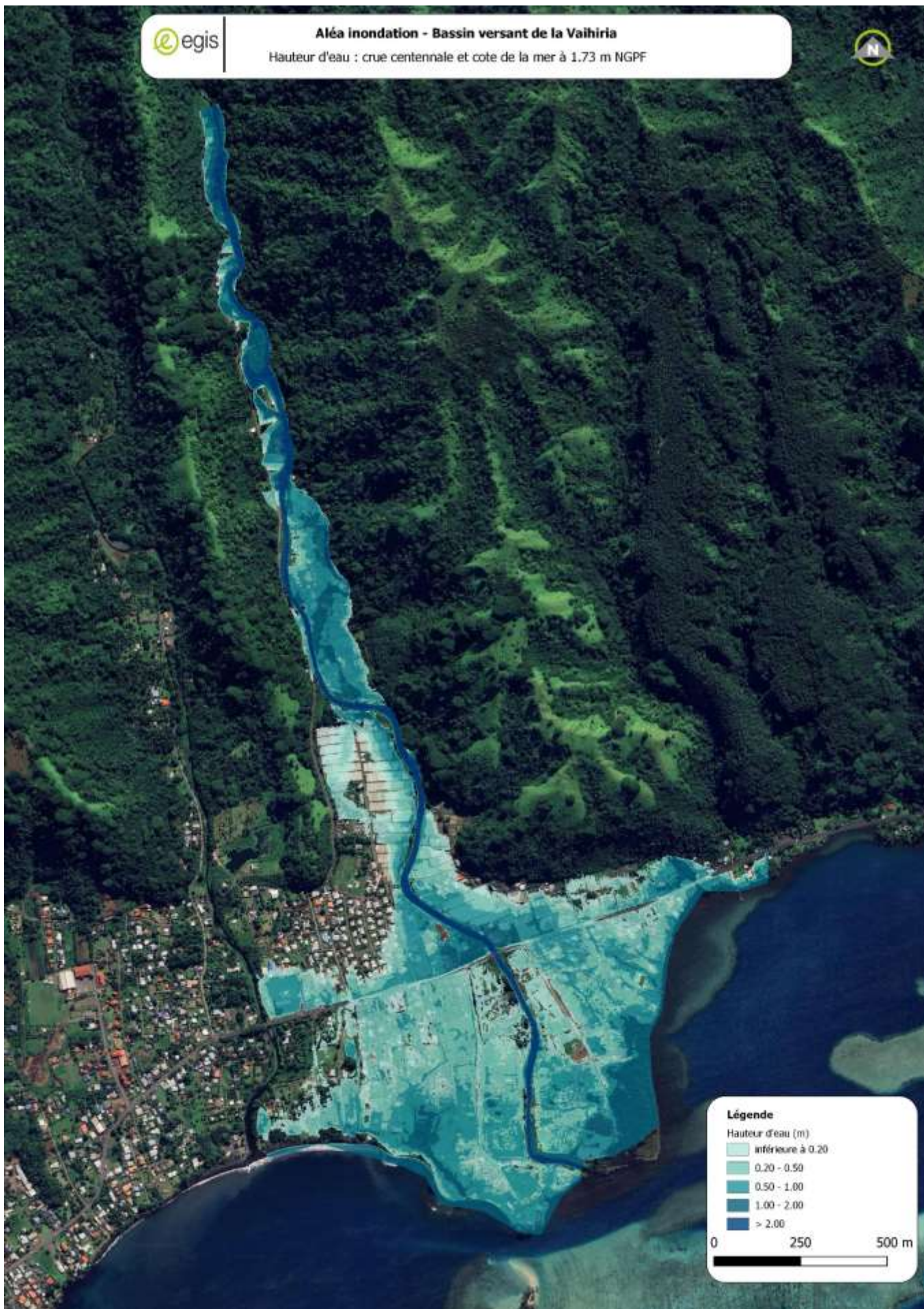




**Légende**  
Vitesse d'écoulement (m/s)

<= 0.20
0.20 - 0.50
0.50 - 1.00
> 1.00

0 250 500 m

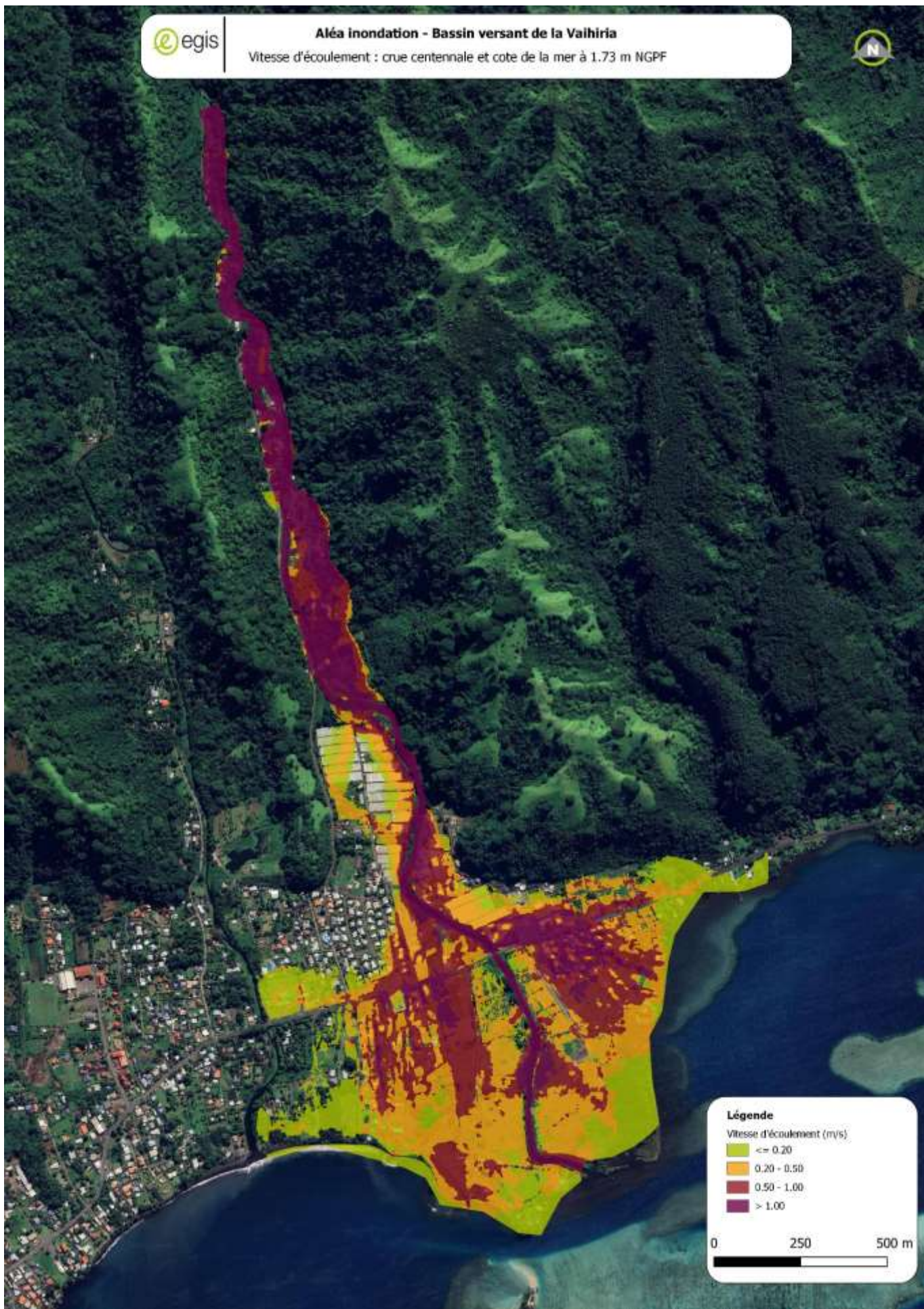


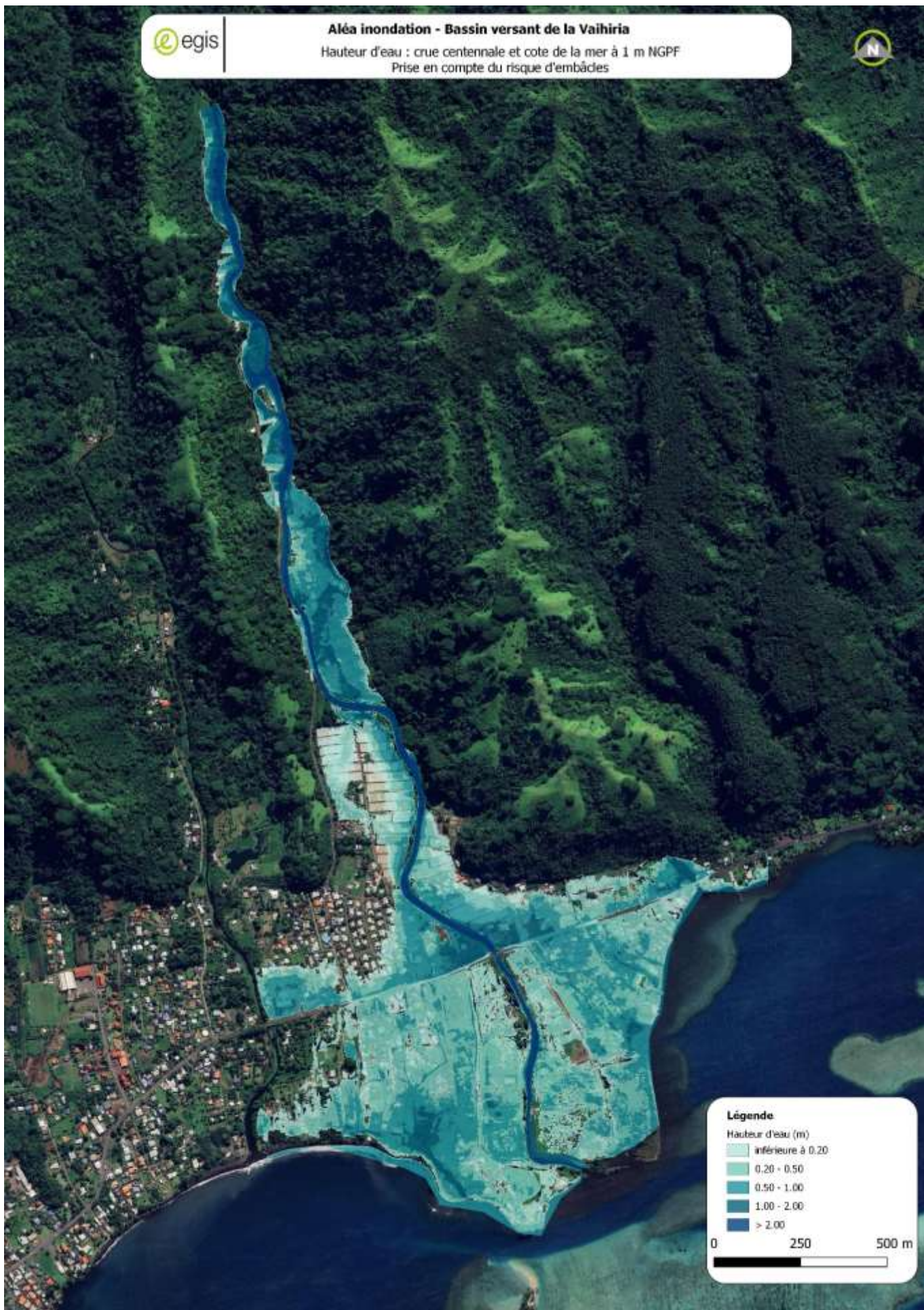
**Légende**

Hauteur d'eau (m)

inférieure à 0.20
0.20 - 0.50
0.50 - 1.00
1.00 - 2.00
> 2.00

0 250 500 m



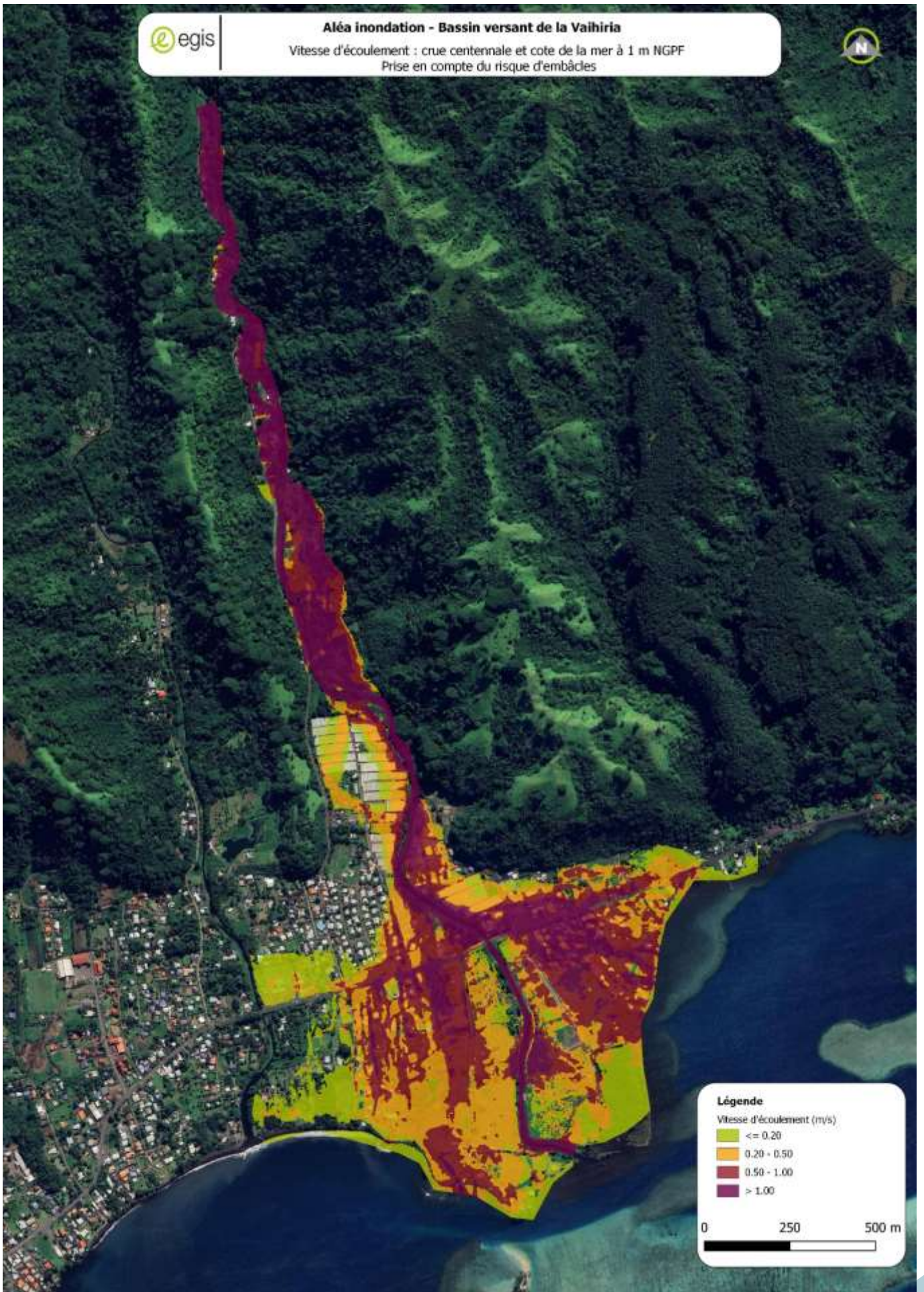


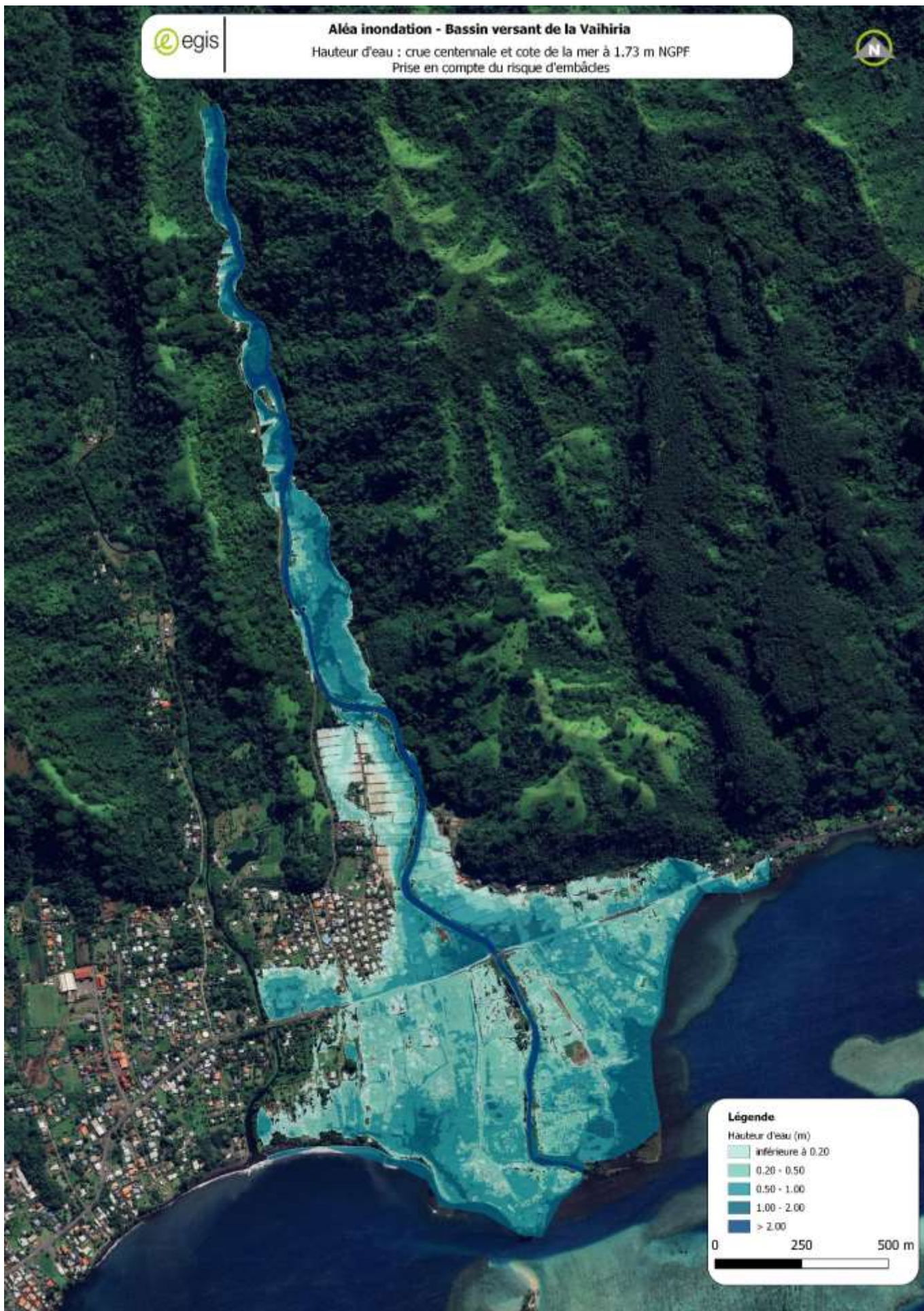
#### Légende

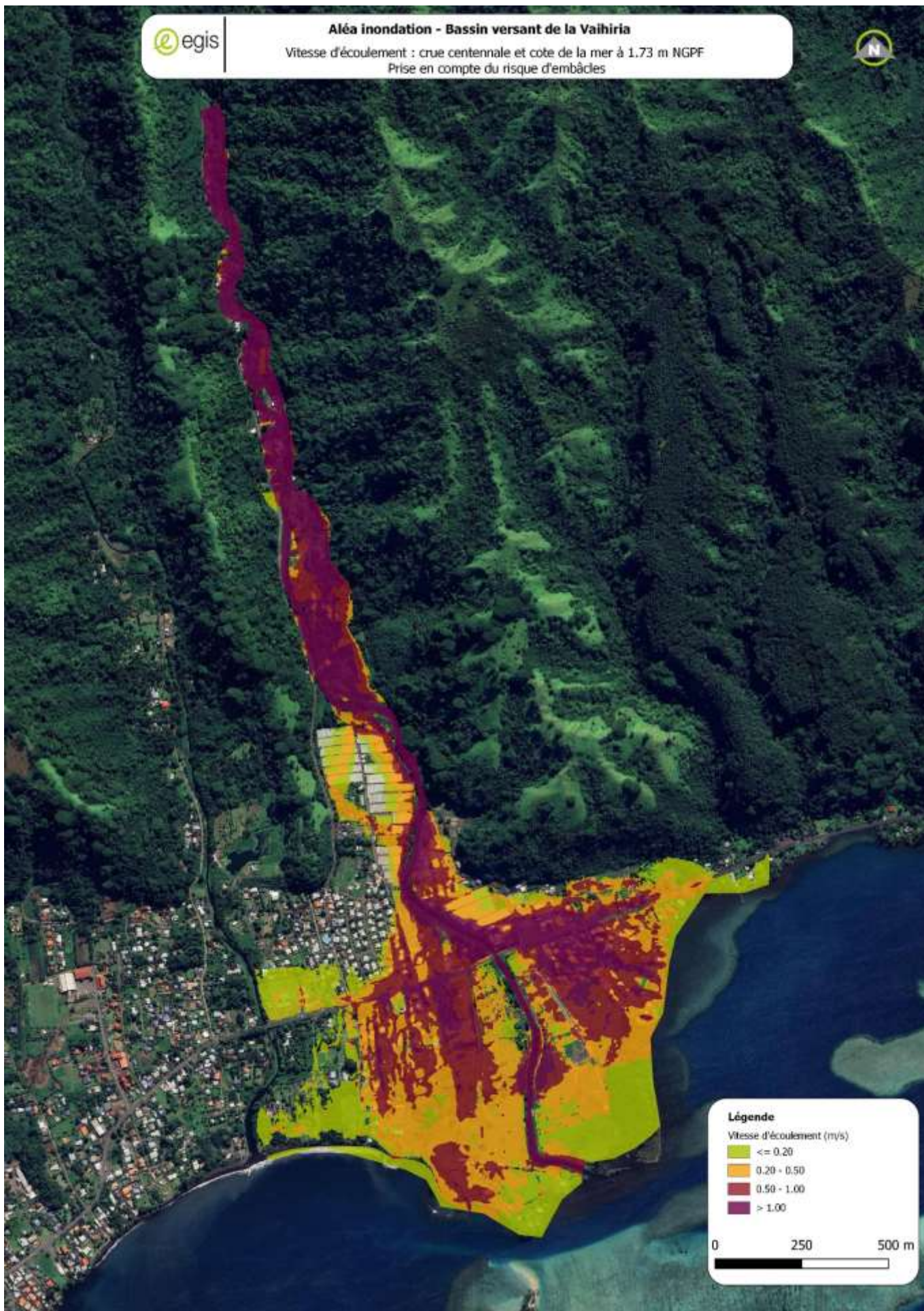
Hauteur d'eau (m)

- inférieure à 0.20
- 0.20 - 0.50
- 0.50 - 1.00
- 1.00 - 2.00
- > 2.00

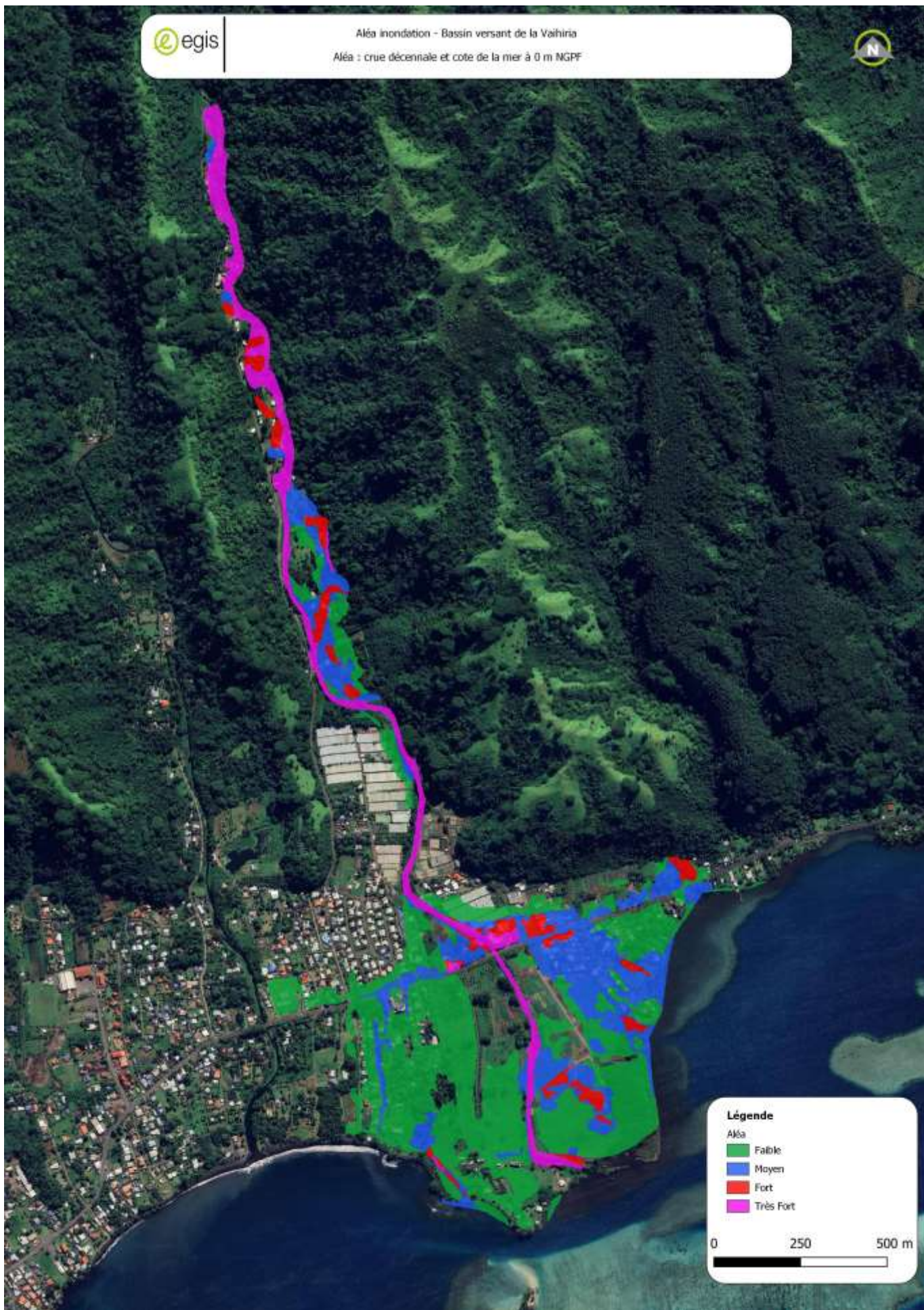
0 250 500 m







**ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIES DE L'ALEA INONDATION POUR CHAQUE SCENARIO**

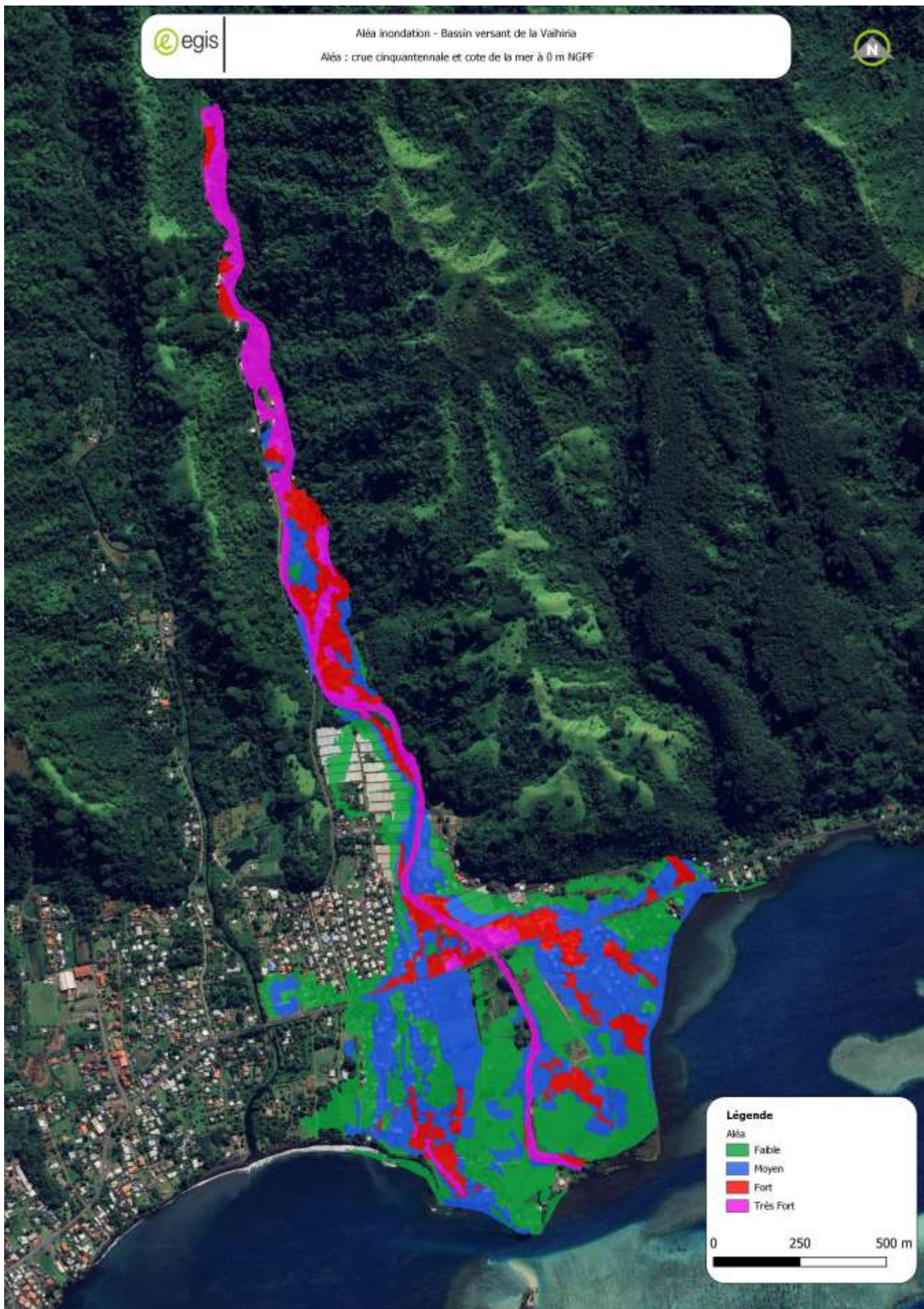


**Légende**

Ak'a

- Faible
- Moyen
- Fort
- Très Fort

0 250 500 m

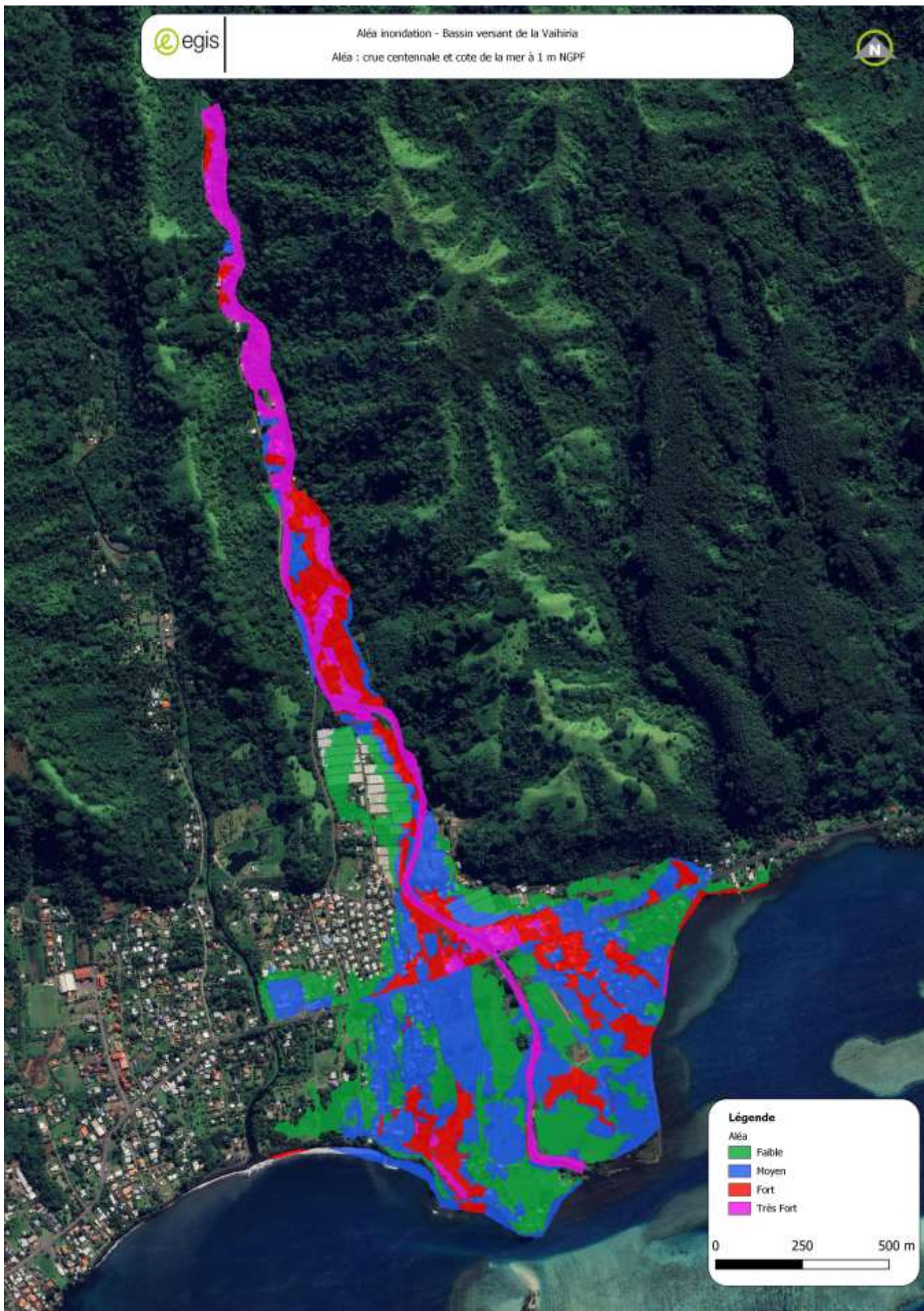


**Légende**

Aléa

- Fable
- Moyen
- Fort
- Très Fort

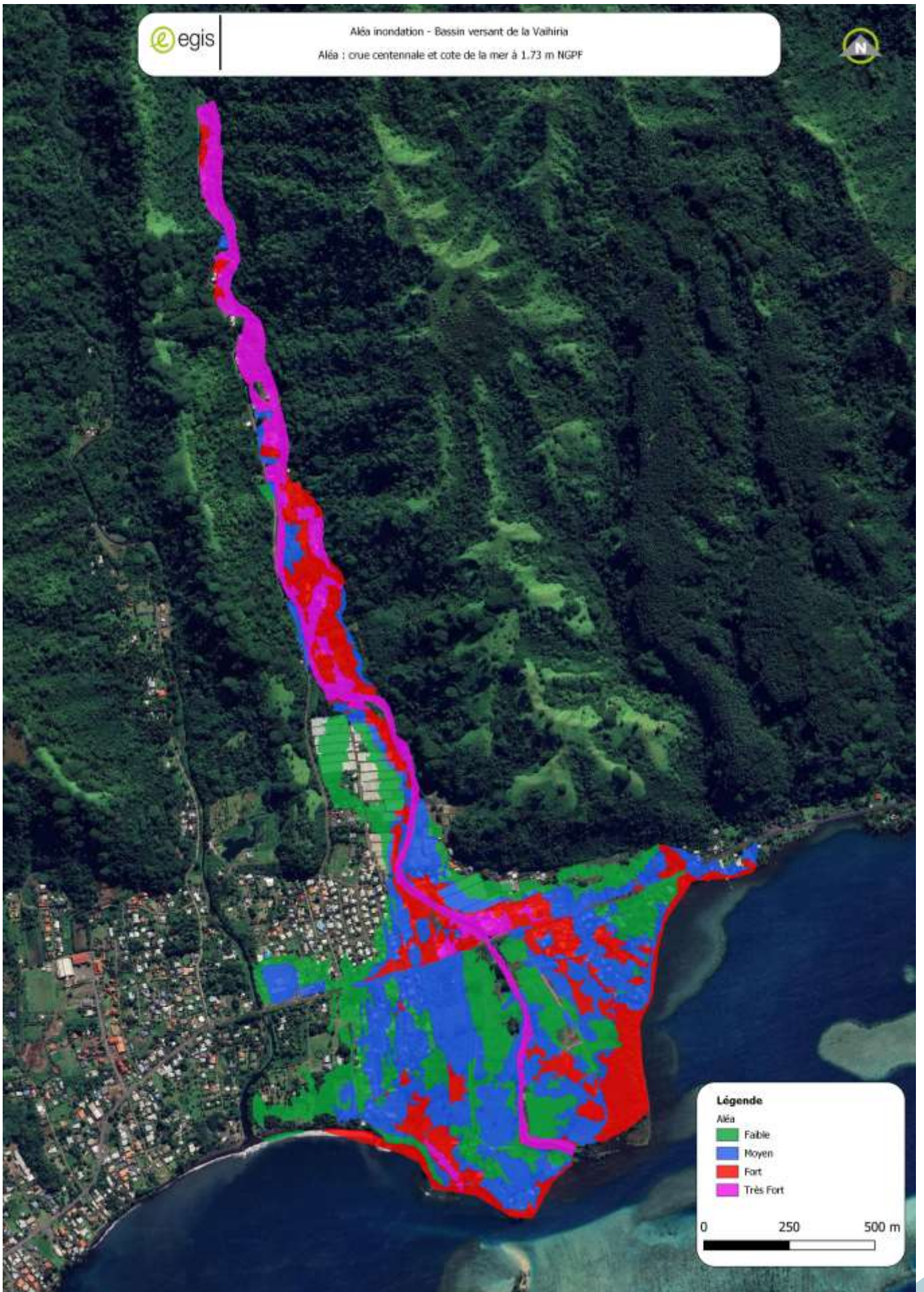
0 250 500 m



**Légende**

- Aléa
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très Fort

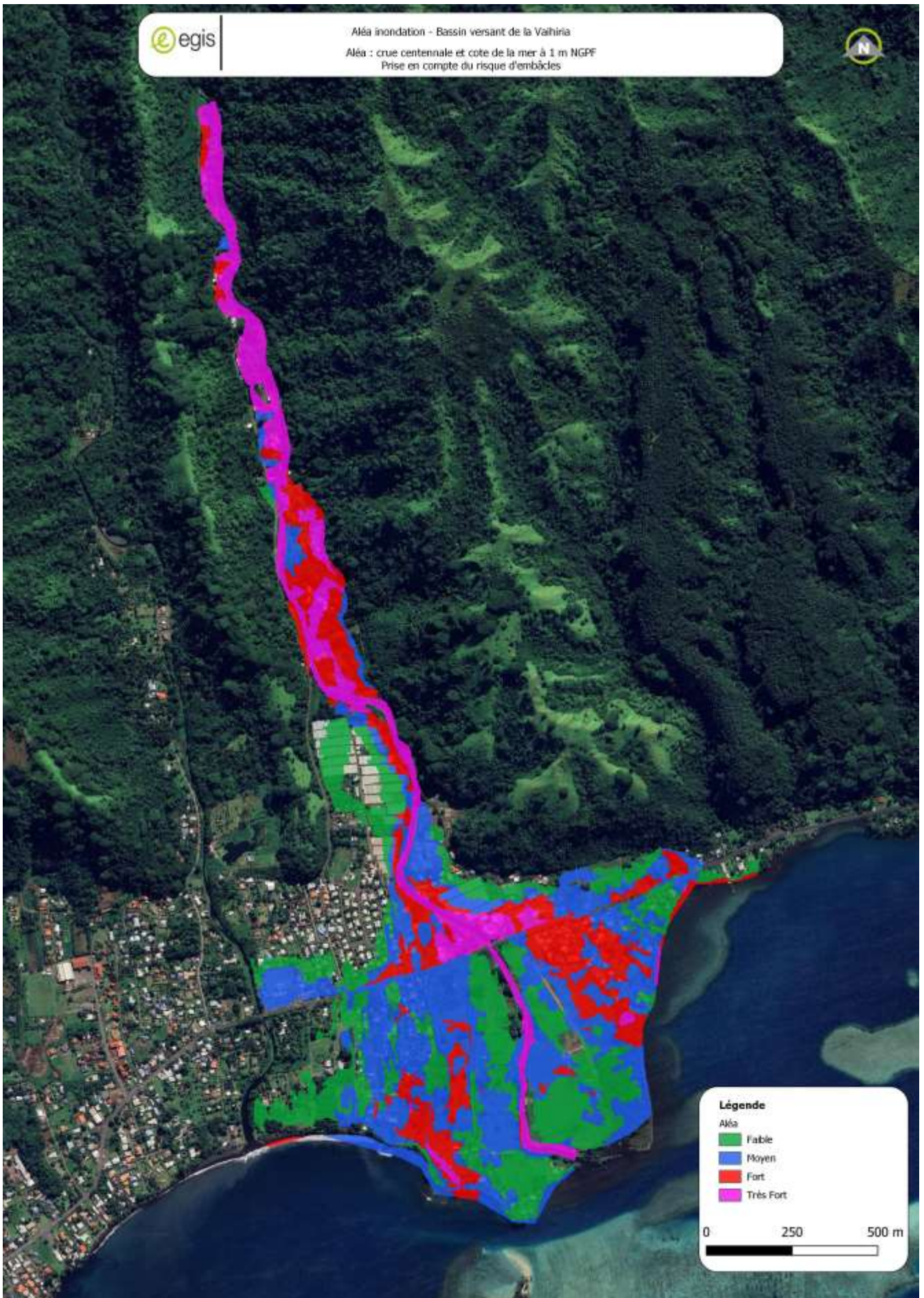
0 250 500 m



**Légende**

- Aléa
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très Fort

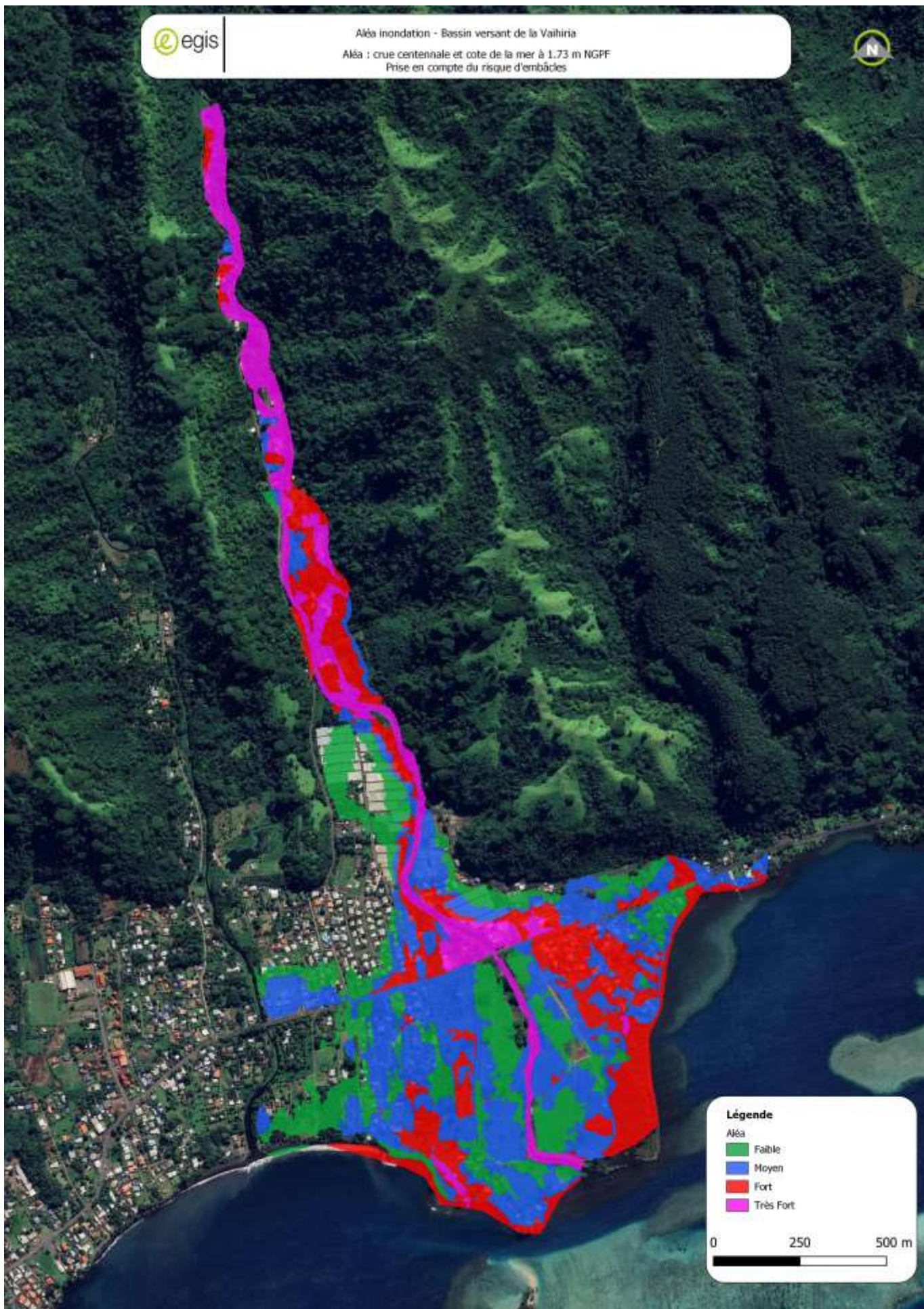
0 250 500 m



**Légende**

- Aléa
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très Fort

0 250 500 m



**Légende**

- Aléa
- Faible
  - Moyen
  - Fort
  - Très Fort

0 250 500 m

