



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

## RIVIERE VAIRAHARAH

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'ENTREES</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	16
<b>5</b>	<b>ANALYSE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE</b>	<b>17</b>
5.1	Méthodologie de l'analyse hydrogéomorphologique	17
5.1.1	Critères d'identification	18
5.1.1.1	La morphologie	18
5.1.1.2	Sédimentologie	19
5.1.1.3	Occupation du sol	19
5.2	Cartographie hydrogéomorphologique	20
5.2.1	Délimitation des sous-bassins versants	20
5.2.2	Identification des axes d'écoulement secondaires	20
5.2.3	Evolution du lit et érosion	20
5.2.4	Cartographie	24
<b>6</b>	<b>ANALYSE HYDROLOGIQUE</b>	<b>33</b>
6.1	Caractéristiques historiques	33
6.2	Découpage en sous-bassins versants	33
6.3	Estimation des temps de concentration	35
6.4	Analyse Pluviométrique	35
6.4.1	Courbes IDF	35
6.4.2	Comparaison des courbes IDF entre la période 1958-2008 et 2008-2020	36
6.4.3	Evènement historique	37
6.5	Evaluation des débits	37
6.5.1	Etude BCEOM de 1999	37
6.5.2	Etude LTPP de 2003 (J. Danloux)	38
6.5.3	Approche de P. STOLLSTEINER	38
6.5.4	Estimation de Egis de 2024	39
6.5.4.1	Méthode rationnelle	39
6.5.4.2	Evaluation du débit de pointe centennal par la méthode du Gradex	39
6.5.4.3	Estimation n°1	41
6.5.4.4	Estimation n°2	41
6.5.5	Conclusion sur les débits	42
6.5.6	Construction des hydrogrammes	43

<b>7</b>	<b>MODELISATION HYDRAULIQUE</b>	<b>47</b>
<b>7.1</b>	<b>Construction du modèle</b>	<b>47</b>
7.1.1	Présentation succincte du logiciel HEC-RAS	47
7.1.2	Topographie	48
7.1.3	Emprise du modèle	50
7.1.4	Hydrogrammes	50
7.1.5	Rugosité	50
7.1.6	Description du maillage	51
7.1.7	Condition aval	51
7.1.8	Modélisation des ouvrages hydrauliques	51
7.1.9	Modélisation des embâcles	53
<b>7.2</b>	<b>Résultats de la modélisation</b>	<b>53</b>
<b>7.3</b>	<b>Présentation de la carte générale</b>	<b>58</b>
<b>7.4</b>	<b>Analyse du fonctionnement des inondations</b>	<b>60</b>
<b>7.5</b>	<b>Comparaison avec les résultats antérieurs</b>	<b>63</b>
<b>7.6</b>	<b>Cartographie des aléas</b>	<b>65</b>
7.6.1	Grille d'aléa	65
7.6.2	Traitement SIG de la cartographie des aléas	65
<b>8</b>	<b>CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION RETENUE POUR LE FUTUR PPRI</b>	<b>67</b>
<b>9</b>	<b>PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS</b>	<b>69</b>
<b>9.1</b>	<b>Aménagements envisagés mais difficiles à mettre en place</b>	<b>72</b>
<b>9.2</b>	<b>Gestion des sédiments</b>	<b>72</b>
<b>9.3</b>	<b>Protection de berges</b>	<b>73</b>
<b>9.4</b>	<b>Piège à embâcles</b>	<b>74</b>
<b>9.5</b>	<b>Phasage des travaux</b>	<b>74</b>
<b>9.6</b>	<b>Chiffrage des aménagements</b>	<b>76</b>
9.6.1	Ouverture dans le cordon dunaire	76
9.6.2	Protection de berges	77
9.6.3	Piège à embâcles	78
9.6.4	Synthèse des aménagements proposés	79
<b>10</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>80</b>

## TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : ZONE D'ÉTUDE.....	8
FIGURE 2 : LOCALISATION DES PRISES DE VUES.....	11
FIGURE 3 : EMBOUCHURE DE LA VAIRAHARAH.....	13
FIGURE 4 : MEANDRE.....	13
FIGURE 5 : AVAL DU PONT FRANCHISSANT LA RT.....	14
FIGURE 6 : AMONT DU PONT FRANCHISSANT LA RT.....	14
FIGURE 7 : VEGETATION DENSE ET DEPOT ALLUVIONNAIRE.....	14
FIGURE 8 : ALTERNANCE DE PETITS SEUILS SUR LA PARTIE AMONT DE LA VAIRAHARAH.....	15
FIGURE 9 : CONFLUENCE DE DEUX TRONÇONS.....	15
FIGURE 10. APPROCHE INTÉGRÉE DE CARACTÉRISATION DE L'ALÉA INONDATION (SOURCE : RIVERDENE CONSULTANCY).....	17
FIGURE 11. SCHÉMA DU SYSTÈME FLUVIAL (SOURCE : CAMPY ET MACAIRE, 1989).....	18
FIGURE 12. RELATIONS TOPOGRAPHIQUES ENTRE LES DIFFÉRENTS LITS (J.L. BALLAIS ET AL., 2005).....	19
FIGURE 13 : EXEMPLE DE SECTEUR CONTRAINT EN RIVE GAUCHE PAR UN VERSANT.....	21
FIGURE 14 : RISQUE D'ÉROSION EN FONCTION DE LA FORME DU PROFIL EN TRAVERS.....	22
FIGURE 15 : GRADIENT GRANULOMÉTRIQUE AMONT - AVAL DU COURS D'EAU ET LOCALISATION DES ENROCHEMENTS / PROTECTIONS DE BERGES.....	23
FIGURE 16. DÉLIMITATION DES SOUS-BASSINS VERSANTS DE LA VAHIRA (DROITE) ET VAIRAHARAH (GAUCHE) DANS LA PLAINE ALLUVIALE AVAL.....	25
FIGURE 17. IDENTIFICATION DES AXES SECONDAIRES À L'AIDE DE LA TOPOGRAPHIE ET DE PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES.....	26
FIGURE 18. LES AXES SECONDAIRES ET LES TORRENTS IDENTIFIÉS DE LA VAHIRIA ET LA VAIRAHARAH DANS LA PLAINE ALLUVIALE AVAL.....	27
FIGURE 19. ALÉAS FLUVIAUX ET TORRENTIELS DE LA VAHIRIA ET LA VAIRAHARAH DANS LA PLAINE ALLUVIALE AVAL.....	28
FIGURE 20 : ANCIENNES PHOTOS AERIENNES VAIRAHARAH AMONT.....	29
FIGURE 21 : ANCIENNES PHOTOS AERIENNES VAIRAHARAH AVAL.....	30
FIGURE 22. ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DE LA VAIRAHARAH ET DÉLIMITATION DES ZONES D'ÉROSION.....	31
FIGURE 23. ANALYSE DES CONTRAINTES DE CISAILLEMENT (Q10) SUR LE LIT DE LA VAIRAHARAH POUR L'ANALYSE DU RISQUE D'ÉROSION.....	32
FIGURE 24 : CARTE DU DÉCOUPAGE EN SOUS-BASSINS VERSANTS DE LA VAIRAHARAH.....	34
FIGURE 25 : COMPARAISON DES COURBES IDF ENTRE 1958-2008 ET 2008-2020.....	37
FIGURE 26 : HYDROGRAMME DE LA CRUE DE DÉCEMBRE 1998 SUR LA VAHIRIA.....	44
FIGURE 27 : HYDROGRAMMES DE LA CRUE DÉCENNALE SUR LA VAIRAHARAH.....	45
FIGURE 28 : HYDROGRAMMES DE LA CRUE CINQUANTENNALE SUR LA VAIRAHARAH.....	45
FIGURE 29 : HYDROGRAMMES DE LA CRUE CENTENNALE SUR LA VAIRAHARAH.....	46
FIGURE 30 : EXEMPLE DE MODÉLISATION HEC-RAS 1D/2D.....	47
FIGURE 31 : EXTRAIT DU MNT CRÉÉ POUR LA MODÉLISATION.....	49
FIGURE 32 : EXEMPLE DE PROFIL EN TRAVERS.....	50
FIGURE 33 : SECTION AMONT DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE LA RT.....	51
FIGURE 34 : MODÈLE HEC-RAS.....	52
FIGURE 35 : HAUTEURS D'EAU POUR LA CRUE DÉCENNALE – COTE DE LA MER À 0.....	54
FIGURE 36 : VITESSES D'ÉCOULEMENT POUR LA CRUE DÉCENNALE – COTE DE LA MER À 0.....	55
FIGURE 37 : HAUTEURS D'EAU POUR LA CRUE CENTENNALE – COTE DE LA MER À 1.73 M.....	56
FIGURE 38 : VITESSES D'ÉCOULEMENT POUR LA CRUE CENTENNALE – COTE DE LA MER À 1.73 M.....	57
FIGURE 39 : CARTE GÉNÉRALE DU BASSIN VERSANT DE LA VAIRAHARAH.....	59
FIGURE 40 : ANALYSE DU MÉCANISME D'INONDATION DE LA VAIRAHARAH.....	61
FIGURE 41 : ANALYSE DE L'IMPACT DES EMBÂCLES SUR L'ALÉA.....	62
FIGURE 42 : VUE EN COUPE DU PONT DE LA RT AVEC ET SANS EMBÂCLE POUR LA CENTENNALE.....	62
FIGURE 43 : ANALYSE DE L'INFLUENCE DU NIVEAU DE LA MER SUR L'ALÉA.....	62
FIGURE 44 : HAUTEUR CALCULÉE DANS L'ÉTUDE DE 2010 POUR LA CENTENNALE.....	63

FIGURE 45 : HAUTEUR D'EAU CALCULÉE DANS L'ÉTUDE DE 2010 POUR LA DÉCENNALE .....	64
FIGURE 46 : CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA INONDATION DE LA VAIRAHARAHА AVANT TRAITEMENT DES ZONES EXONDÉES.....	66
FIGURE 47 : CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA INONDATION DE LA VAIRAHARAHА APRÈS TRAITEMENT DES ZONES EXONDÉES.....	68
FIGURE 48 : LOCALISATION DES AMÉNAGEMENTS PRÉVUS DANS LE BASSIN VERSANT DE LA VAIRAHARAHА .....	70
FIGURE 49 : ZONAGE DES ENJEUX POUR LA PROPOSITION D'AMÉNAGEMENT .....	71
FIGURE 50 : PHOTO DE L'EMBOUCHURE DE LA VAIRAHARAHА.....	72
FIGURE 51 : LOCALISATION DES OUVERTURES POTENTIELLES DANS LE CORDON DUNAIRE.....	73
FIGURE 52 : LOCALISATION DES PROTECTIONS DE BERGE EN ENROCHEMENT PROPOSÉES.....	74
FIGURE 53 : LOCALISATION DU PIÈGE À EMBÂCLES EN AMONT DU COURS D'EAU.....	75
FIGURE 54 : EXEMPLE DE PIÈGE À EMBÂCLES AVEC AIRE DE RETOURNEMENT POUR CHARGER UN CAMION .....	75
FIGURE 55 : VUE EN COUPE DU PIÈGE À EMBÂCLES .....	76

## TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LISTING DES DONNÉES D'ENTREES.....	9
TABLEAU 2 : CARACTÉRISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS .....	33
TABLEAU 3 : CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS ET TEMPS DE CONCENTRATION .....	35
TABLEAU 4 : HAUTEURS D'EAU PRÉCIPITÉES D'APRÈS G. WOTLING .....	35
TABLEAU 5 : HAUTEURS D'EAU PRÉCIPITÉES À LA STATION DE FAA'A SUR LA PÉRIODE 1958-2008, EN MM.....	36
TABLEAU 6 : HAUTEURS D'EAU PRÉCIPITÉES À LA STATION DE FAA'A SUR LA PÉRIODE 2008-2020 EN MM.....	36
TABLEAU 7 : CARACTÉRISTIQUES, TC ET DURÉES CARACTÉRISTIQUES DES SOUS BV .....	39
TABLEAU 8 : DÉBITS POUR LA PÉRIODE DE RETOUR 10 ANS - ESTIMATION 1.....	41
TABLEAU 9 : DÉBITS POUR LA PÉRIODE DE RETOUR 100 ANS – ESTIMATION 1.....	41
TABLEAU 10 : DÉBITS POUR LA PÉRIODE DE RETOUR 10 ANS - ESTIMATION 2 .....	41
TABLEAU 11 : DÉBITS POUR LA PÉRIODE DE RETOUR 100 ANS – ESTIMATION 2 .....	42
TABLEAU 12 : DÉBITS CALCULÉS SUR LE BASSIN VERSANT DE LA VAHIRIA SELON LES DIFFÉRENTES MÉTHODES .....	42
TABLEAU 13 : COMPARAISON DES DÉBITS SPÉCIFIQUES ENTRE LES ETUDES ET LES BASSINS VERSANTS DE LA VAHIRIA ET DE LA VAIRAHARAHА.....	43
TABLEAU 14 : COEFFICIENTS DE MANNING SELON LE TYPE DE SURFACE .....	51
TABLEAU 15 : GRILLE DE QUALIFICATION DU NIVEAU D'ALÉA.....	65
TABLEAU 16 : ESTIMATION DU COÛT POUR L'AMÉNAGEMENT DES BERGES .....	77
TABLEAU 17 : ESTIMATION DU COUT DU PIÈGE À EMBÂCLES .....	78
TABLEAU 18 : TABLEAU DE SYNTHÈSE DES AMÉNAGEMENTS.....	79

## 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 Vairaharaha sur un linéaire d'environ 3 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) 47.3.



FIGURE 1 : ZONE D'ETUDE

### 3 DONNEES D'ENTREES

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'ENTREES**

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	2010
Données topographiques sur le cours d'eau – 16 profils en travers	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 questionnaires réalisés.



## FIGURE 2 : LOCALISATION DES PRISES DE VUES

Les principales observations relevées sur le terrain sont les suivantes :

- Prises de vue n°1 et n°2 : Au niveau de l'embouchure on constate un phénomène d'ensablement prédominant en rive droite. La rive droite et gauche sont protégées par des enrochements dont la pente est très raide. Ces enrochements sont posés sur un filtre géotextile. D'après les riverains (cf. Q1, Q2 et Q3 en Annexe 1), depuis la mise en place de cette protection de berge aucun débordements/inondations n'a été recensés. En RD au niveau de l'embouchure a été observé l'affaissement d'un enrochement et des gros blocs sont identifiés dans le lit de la rivière. Ces observations témoignent d'une légère dégradation de cet aménagement.





**FIGURE 3 : EMBOUCHURE DE LA VAIRAHARAHA**

- Prise de vue n°3 : Entre l'embouchure et le pont qui traverse la route de ceinture, on observe dans le méandre RG un léger dépôt de galets.



**FIGURE 4 : MEANDRE**

- Prise de vue n°4 : Le franchissement de la route territoriale est assuré par un pont. A l'aval de l'ouvrage, on observe une légère zone de dépôt alluvionnaire en RG. En amont du pont, le lit est plus rectiligne et est bordé de part et d'autre par une végétation abondante.



**FIGURE 5 : AVAL DU PONT FRANCHISSANT LA RT**



**FIGURE 6 : AMONT DU PONT FRANCHISSANT LA RT**

- Prise de vue n°5 : Zone de dépôt alluvionnaire RG. Plantation de taro en RD, ce tubercule pousse sur des sols saturés en eau. Végétation abondante le long du linéaire parcouru.



**FIGURE 7 : VEGETATION DENSE ET DEPOT ALLUVIONNAIRE**

- Prise de vue n°6 à n°10 : Le linéaire est homogène sur environ 500 m avec une alternance de seuils d'environ 30-50 cm de hauteur avec des zones de dépôts alternés en RD et RG et une végétation dense de part et d'autre de la rivière.



**FIGURE 8 : ALTERNANCE DE PETITS SEUILS SUR LA PARTIE AMONT DE LA VAIRAHARAH**

- Prise de vue n°11 : Confluence de deux tronçons séparés par un dépôt terrigène. La partie amont de ce secteur n'a pu être parcouru car la parcelle n'était pas accessible (privée).



**FIGURE 9 : CONFLUENCE DE DEUX TRONÇONS**

## 4.2 Historique des évènements

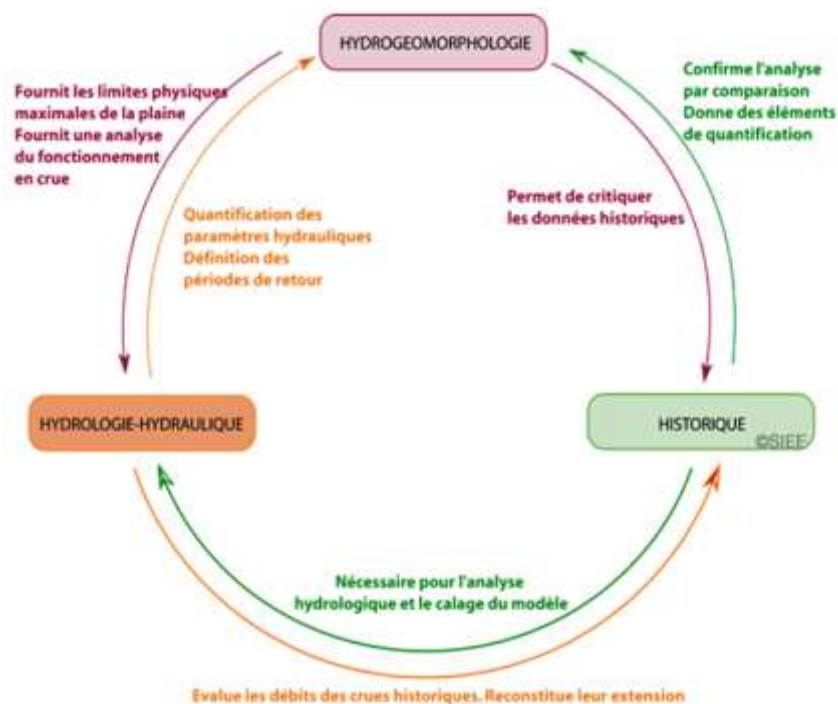
Aucun évènement majeur n'a été identifié ni relevé lors des enquêtes terrains réalisés.

## 5 ANALYSE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE

### 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 10).



**FIGURE 10. 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 11).

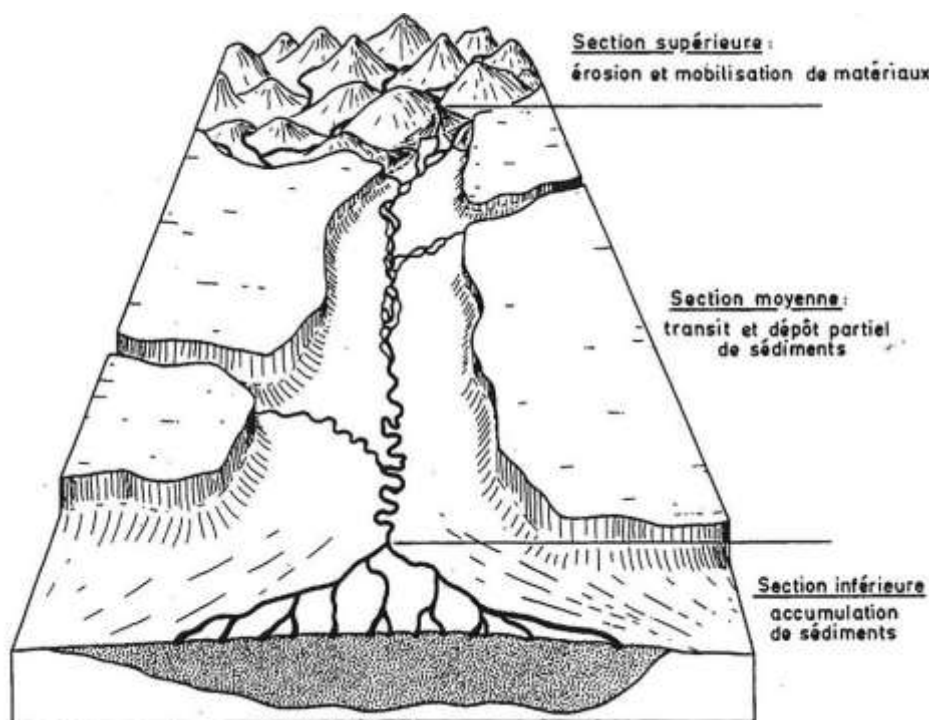


FIGURE 11. SCHEMA DU SYSTEME FLUVIAL (SOURCE : CAMPY ET MACAIRE, 1989)

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).

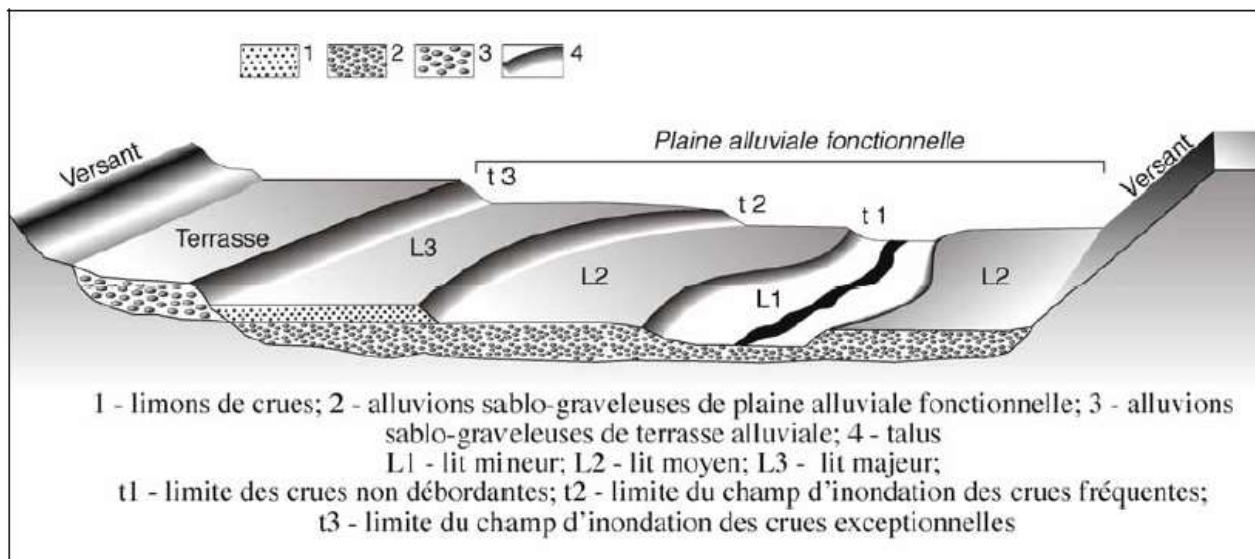
Le lit d'un cours d'eau est une unité spatiale située entre deux pentes consécutives qui forment la surface d'écoulement de l'eau (Figure 11). La classification du lit d'un cours d'eau dépend de son débit, qui peut aller de l'étiage aux crues extrêmes (Ballais et al., 2011).

**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 12. 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 Vairaharaha. 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 16).

Pour Vairaharaha, 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 16).

### 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 17). La Figure 18 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 19 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 Vairaharaha 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 20 et Figure 21).

Les bandes actives des cours d'eau ont été délimitées et comparées à chaque période (Figure 22). La tendance est plutôt à la rétractation de la bande active, notamment pour la Vairaharaha. 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.

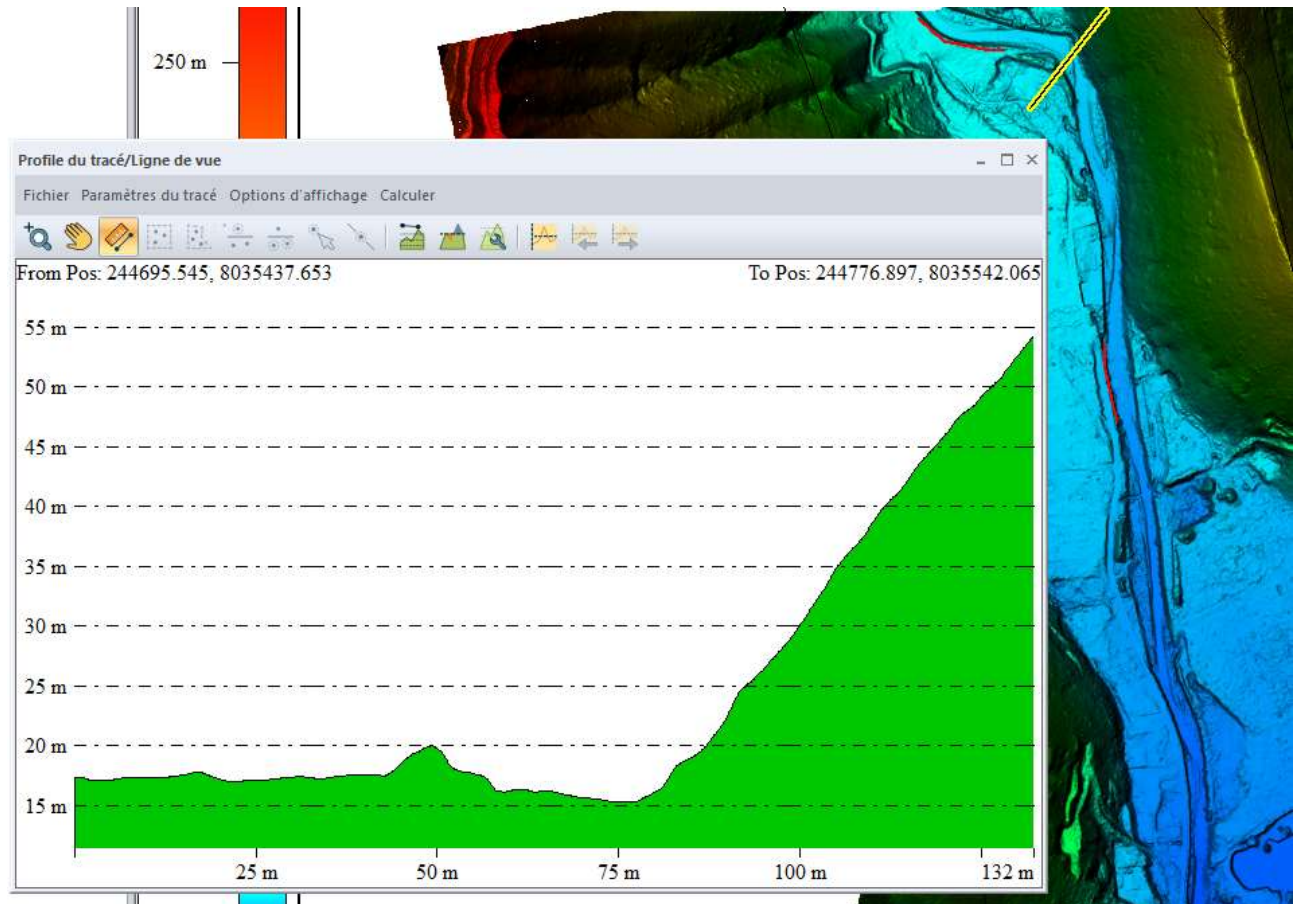
Il a toutefois été possible de délimiter des traces de méandres qui ont servi à la délimitation de l'expansion maximale potentielle d'une érosion. Les secteurs les plus sensibles à l'érosion ont donc pu être délimités ainsi que leur emprise potentielle.

#### 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.

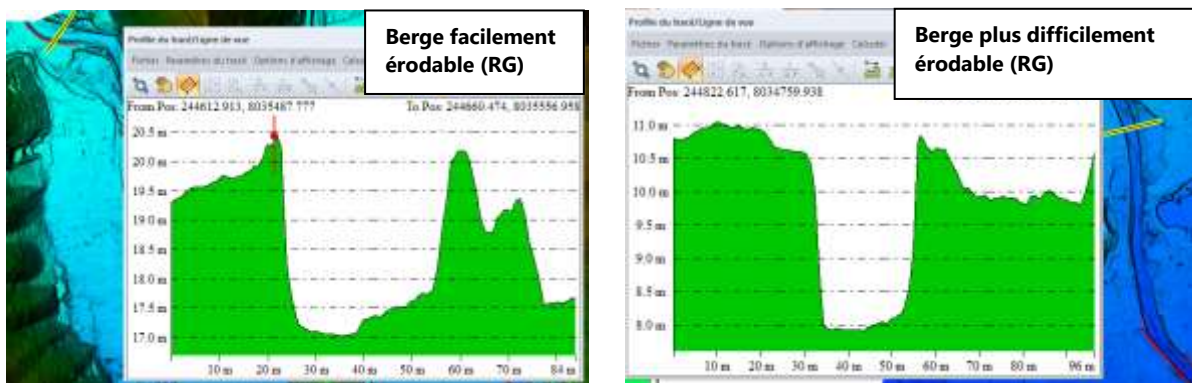
Dans le cas de la Vairaharaha, peu de zones concaves de méandres sont contraintes par un versant qui limiterait les phénomènes d'érosion. Seule la partie amont est concernée (Figure 17). Ce cours d'eau semble être moins contraint latéralement que les deux autres concernés par le lot 3 de cette étude. Cette opération de vérification a toutefois été menée sur tout le linéaire du cours d'eau afin d'exclure rapidement les secteurs non concernés par ce risque.



**FIGURE 13 : 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. Dans le cas de la Vairaharaha, les profils en travers ne varient pas de façon notable de l'amont vers l'aval (Figure 14). Le risque est donc surtout lié à l'incision sur ces secteurs plutôt qu'à l'érosion latérale contrairement aux autres cours d'eau concernés par cette étude. 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 14 : 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 15 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 15 : 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 Vairaharaha est présentée ci-dessous :

## Délimitation des sous-bassins versants

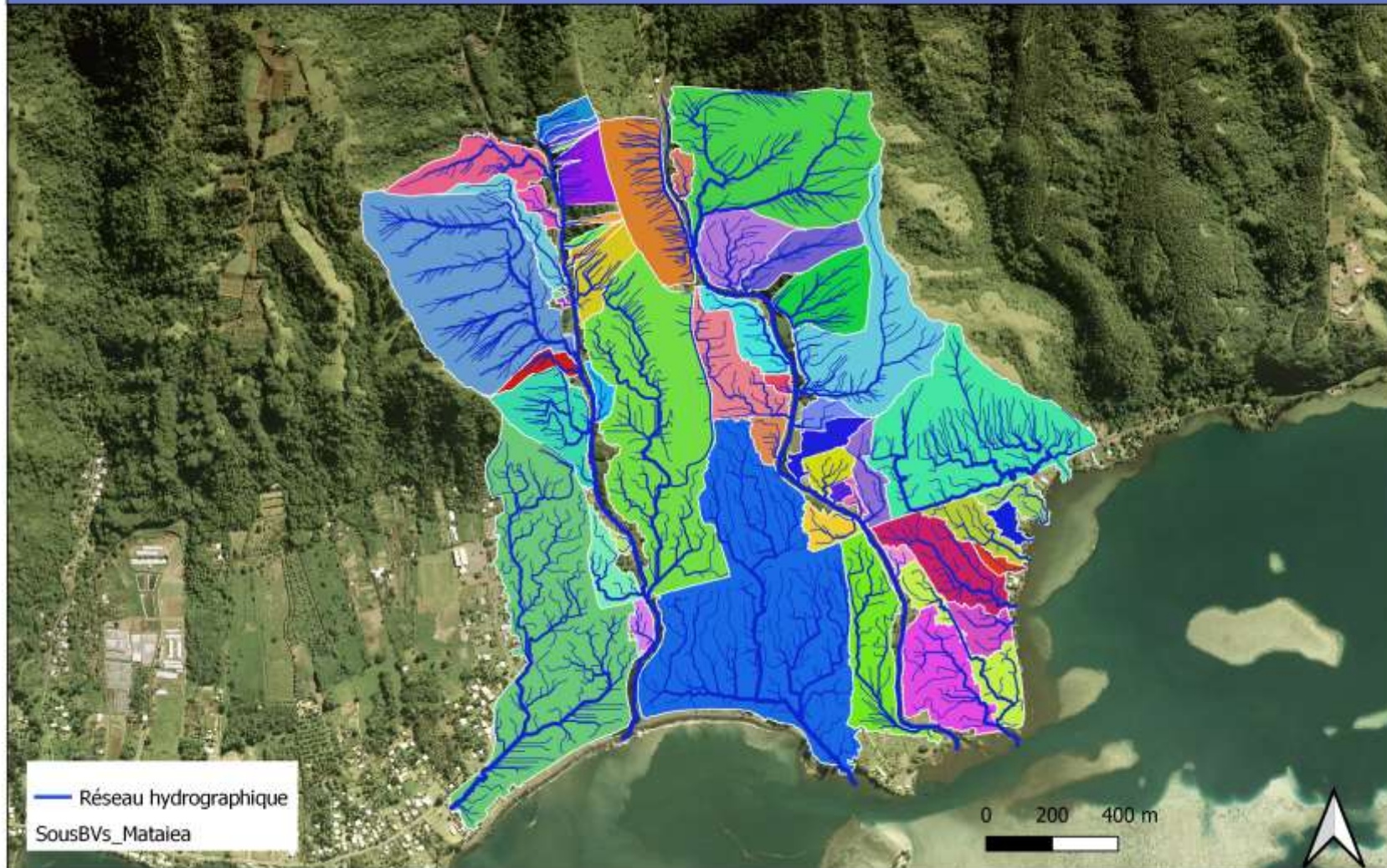
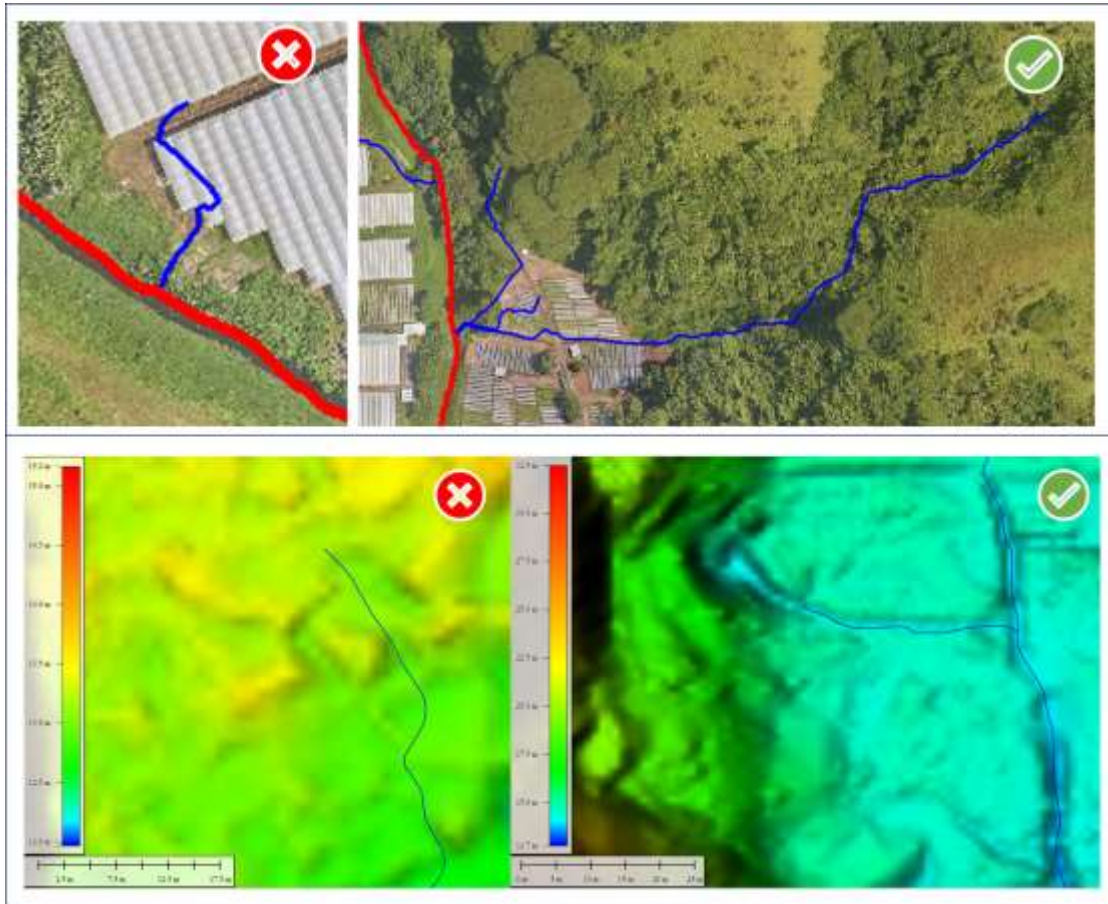


FIGURE 16. DELIMITATION DES SOUS-BASSINS VERSANTS DE LA VAIHIRA (DROITE) ET VAIRAHARAHA (GAUCHE) DANS LA PLAINE ALLUVIALE AVAL



**FIGURE 17. IDENTIFICATION DES AXES SECONDAIRES A L'AIDE DE LA TOPOGRAPHIE ET DE PHOTOGRAPHIES AERIENNES**

## Identification des axes secondaires et des torrents

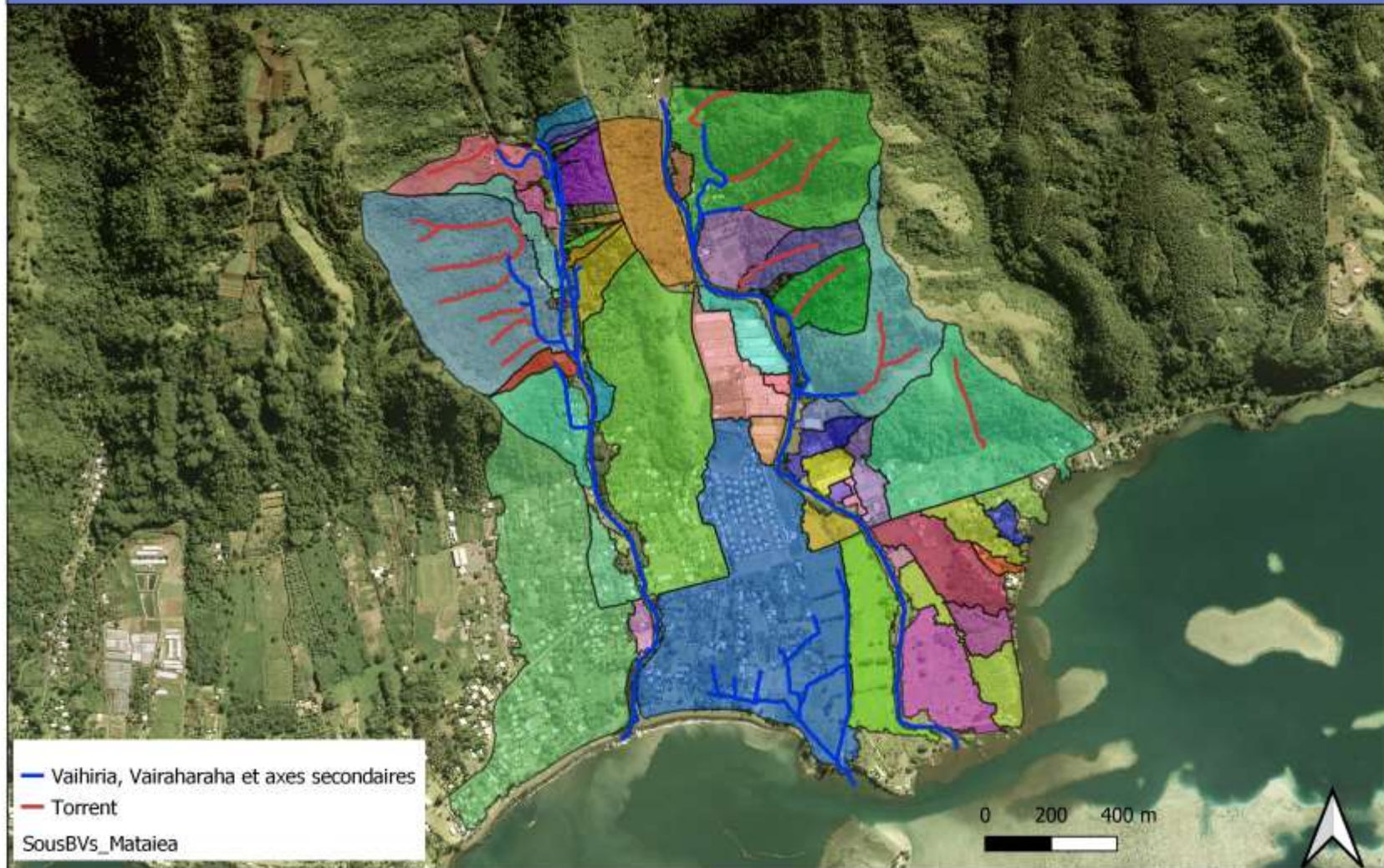


FIGURE 18. LES AXES SECONDAIRES ET LES TORRENTS IDENTIFIES DE LA VAHIRIA ET LA VAIRAHARAH DANS LA PLAINE ALLUVIALE AVAL

## Aléas fluviaux et torrentiels



FIGURE 19. ALEAS FLUVIAUX ET TORRENTIELS DE LA VAHIRIA ET LA VAIRAHARAHA DANS LA PLAINE ALLUVIALE AVAL



**FIGURE 20 : ANCIENNES PHOTOS AERIENNES VAIRAHARAH AMONT**



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

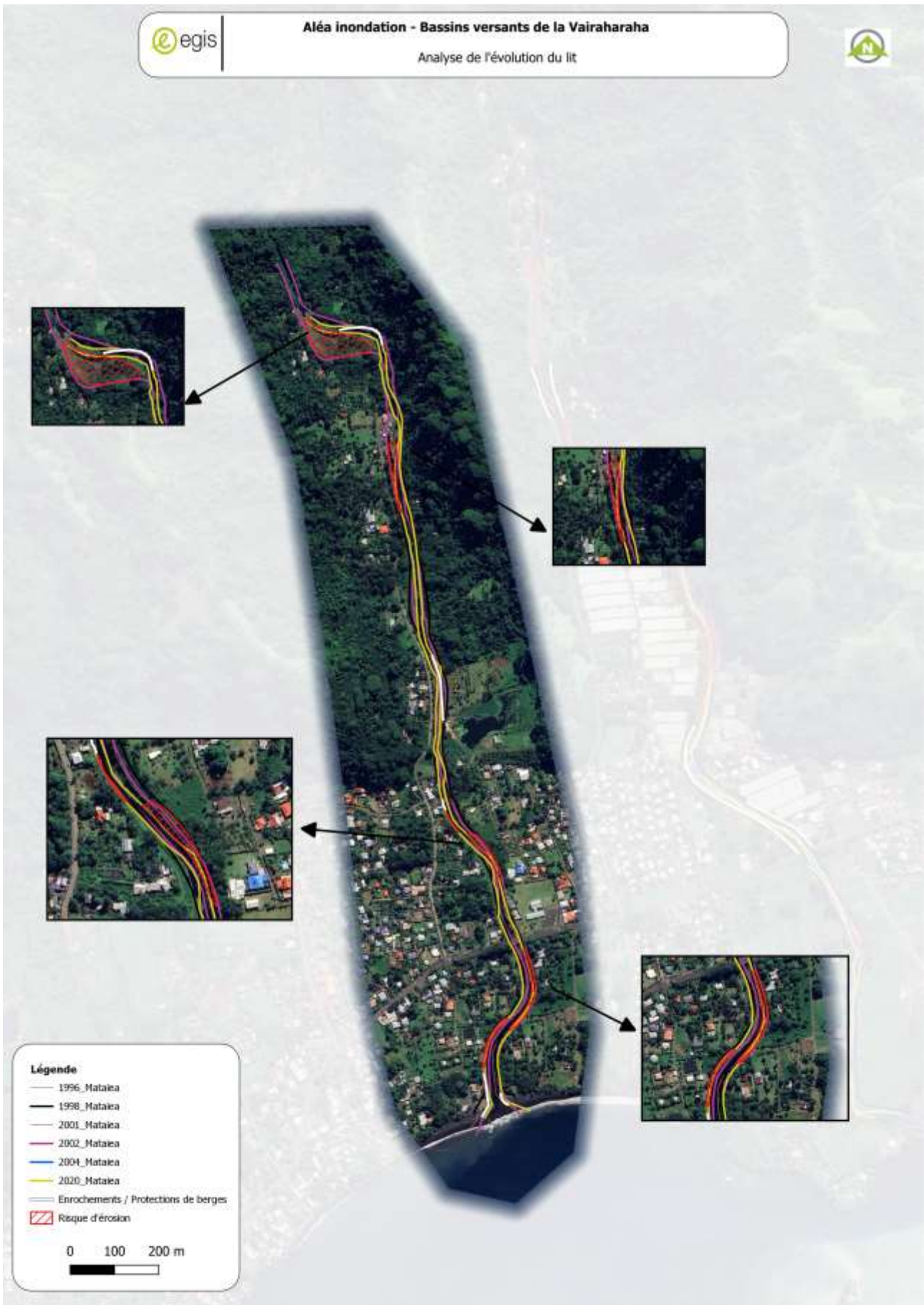


FIGURE 22. ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA VAIRAHARAHA ET DELIMITATION DES ZONES D'EROSION

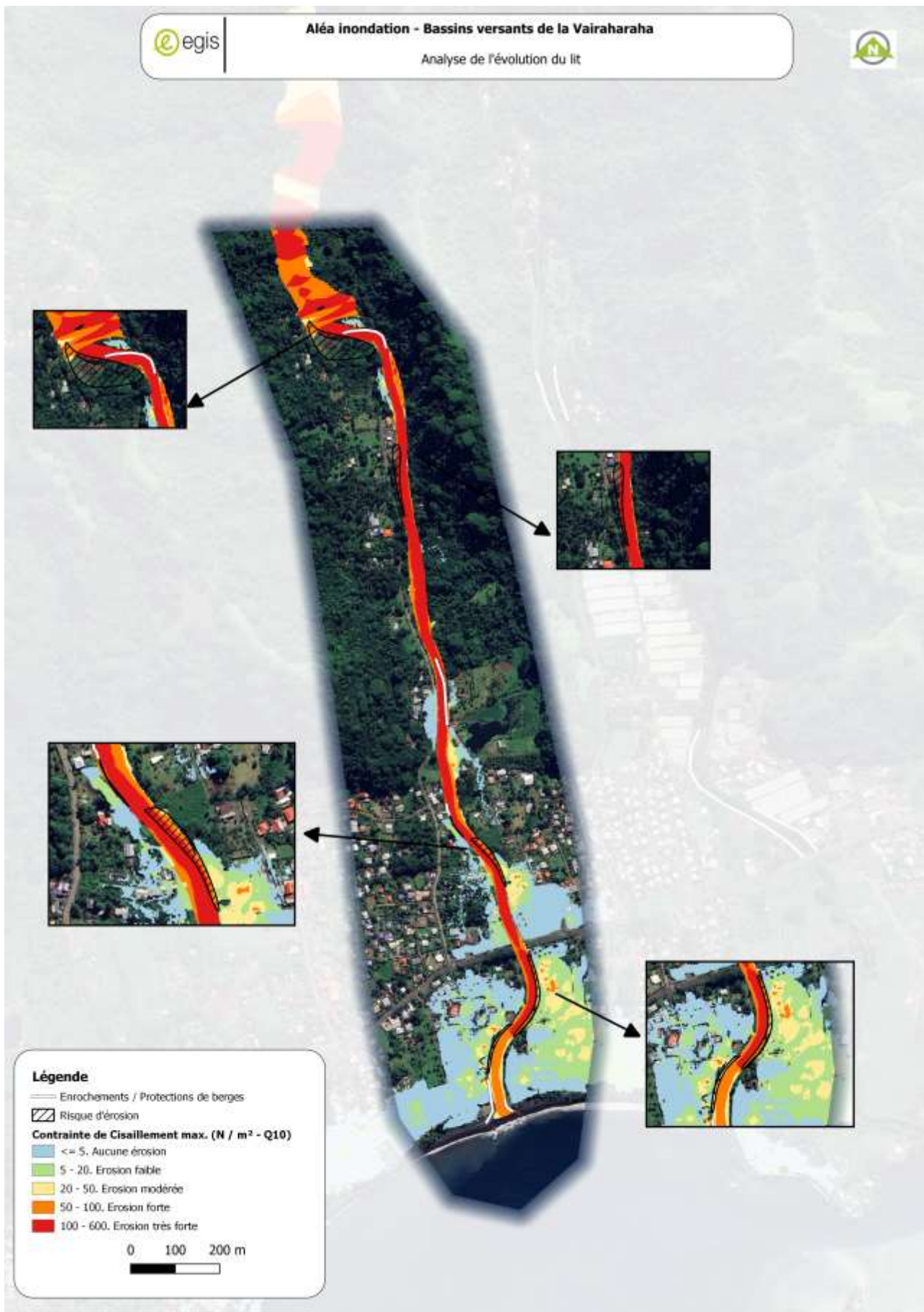


FIGURE 23. ANALYSE DES CONTRAINTES DE CISAILLEMENT ( $Q_{10}$ ) SUR LE LIT DE LA VAIRAHARAH POUR L'ANALYSE DU RISQUE D'ÉROSION

## 6 ANALYSE HYDROLOGIQUE

### 6.1 Caractéristiques historiques

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

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

Le bassin versant de la Vairaharaha a une superficie de 14.8 km<sup>2</sup>.

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

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

- Surface : 14.8 km<sup>2</sup>
- Périmètre : 24.77 km
- Plus long cheminement hydraulique : 11.04 km
- Altitude moyenne : 511m,
- Plus long cheminement hydraulique : 13.95 km
- Dénivelée entre sommet du bassin et exutoire : 1 795 m,
- Indice de pente : 129 m/km
- Temps de concentration (Kirpich) : 1.1h

Ces données seront 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 Vairaharaha ce qui permettaient d'injecter un hydrogramme en amont du modèle mais ne donnaient pas la possibilité de créer des injections de débits intermédiaires.

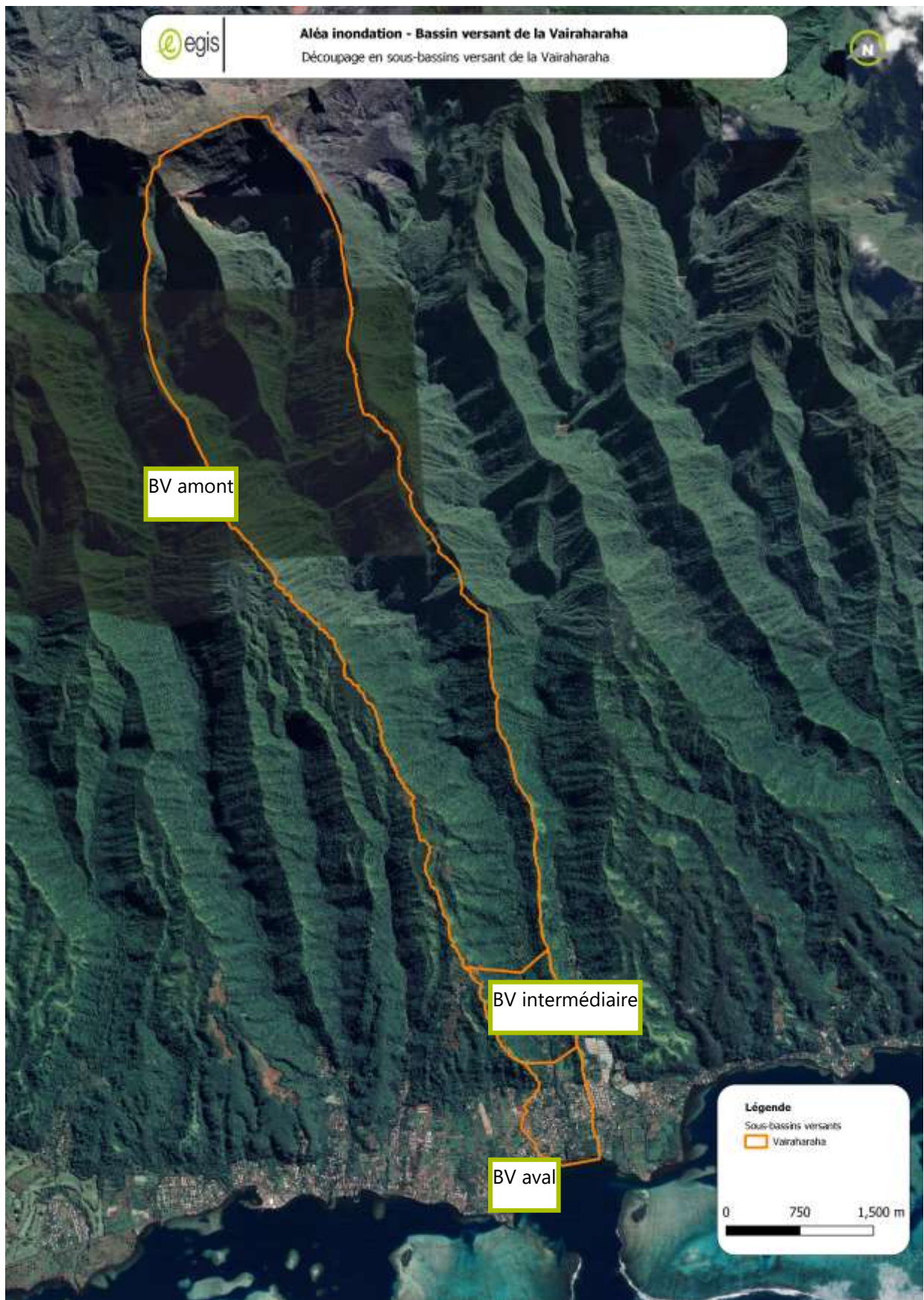
L'actualisation de l'étude hydraulique est l'occasion découper le bassin versant de la Vairaharaha en trois sous-bassins versants présentés dans la Figure 24. Ce découpage permet de distinguer la partie en altitude et peu urbanisée à l'amont, la partie intermédiaire légèrement urbanisée et en enfin la 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 (%)
<b>Amont</b>	1 373	11 751	15.0%
<b>Intermédiaire</b>	75	1 068	1.1%
<b>Aval</b>	64	1 147	0.6%
<b>Vairaharaha</b>	<b>1 512</b>	<b>13 966</b>	<b>13%</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 VAIRAHARAHA**

### 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)
<b>Amont</b>	1 373	11 751	15.0%	55
<b>Intermédiaire</b>	75	1 068	1.1%	24
<b>Aval</b>	64	1 147	0.6%	32
<b>Vairaharaha</b>	<b>1 512</b>	<b>13 966</b>	<b>13%</b>	<b>66</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
15 min	24.5	30.7	34.9	41.2	47.9
30 min	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.

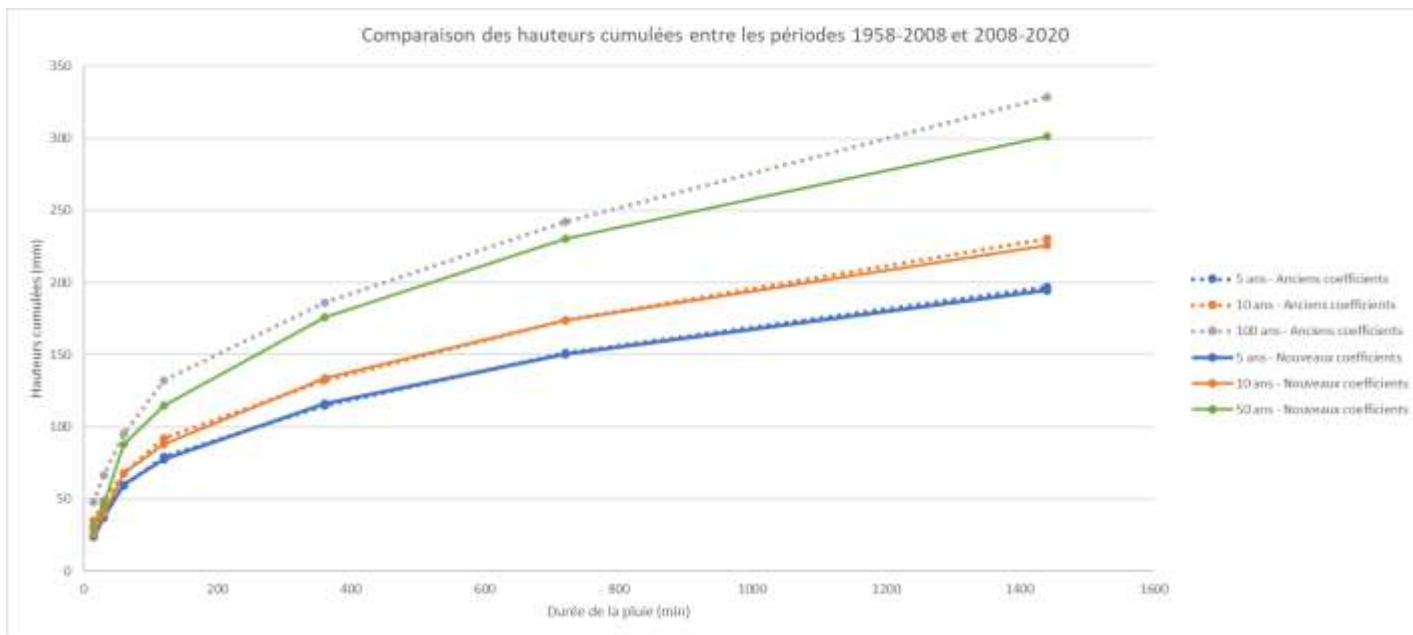
La station météo de Faa'a a été utilisée dans cette étude car elle est la station principale de l'île et permet d'avoir les coefficients de Montana estimés par Météo France.

#### 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

Il n'y a pas de station pluviométrique sur le bassin versant de la Vairaharaha, aucun évènement caractéristique a été enregistré.

## 6.5 Evaluation des débits

Différentes méthodes d'évaluation des débits ont été réalisées dans les études précédentes. Une actualisation de ces estimations est proposée dans ce rapport. Cette actualisation permet d'étudier 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 est un coefficient régional (K=4 pour la Vairaharaha)
- S est la superficie drainée en km<sup>2</sup>
- P<sub>0</sub> est la moyenne sur le bassin versant de la hauteur de précipitations de période de retour 1 an en dixième de mm sur 15mn, soit 22mm,

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, **soit un Gradex de 32mm** pour la Vairaharaha.
- un coefficient de passage du débit moyen au débit instantané de 1.5

### 6.5.2 Etude LTPP de 2003 (J. Danloux)

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

Cette étude comporte :

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

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

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

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

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

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

Dans le cadre de l'étude « modélisation hydrologique des cours d'eau de la liaison Tamanu-Taravao », menée en 2001 par le LTPP, les débits de crue de la Vairaharaha estimés à partir de lois d'ajustements statistiques sont les suivants :

- Débit décennal : 220 m<sup>3</sup>/s
- Débit cinquantennal : 360 m<sup>3</sup>/s
- Débit centennal : 430 m<sup>3</sup>/s

### 6.5.3 Approche de P. STOLLSTEINER

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

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

Le coefficient de ruissellement décennal est régionalisé sur la base des ajustements débimétriques disponibles. L'intensité retenue est celle survenant sur une durée égale au temps de concentration du bassin versant étudié.

A défaut d'ajustements débimétriques, P. STOLLSTEINER recommande « de choisir le coefficient de ruissellement décennal parmi ceux de l'île la plus proche et la plus semblable en considérant le contexte géologique, l'altitude maximale du bassin versant et son orientation ». Pour la Vairaharaha, le coefficient de

ruissellement décennal retenu est de 0.65. Ce coefficient se rapporte à la pluie journalière mesurée et non à la pluviométrie journalière réellement reçue par le bassin versant.

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

#### 6.5.4 Estimation de Egis de 2024

Les nouvelles estimations de débit de pointe sont une mise à jour de l'approche de P. Stollsteiner.

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.

##### 6.5.4.1 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	1 373	11 751	15.0%	0.65	55	60
Intermédiaire	75	1 068	1.1%	0.8	24	30
Aval	64	1 147	0.6%	0.85	32	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.

##### 6.5.4.2 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 :

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

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,  $u_{10} = 2.25$ )
- $g_{Q_{max}}^t$  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 :

$$g_{Q_{max}}^t = \frac{S_{BV}}{3,6 \cdot t} \cdot g_{P_{max}}^t \cdot R_m$$

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.

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

Le gradex des pluies est calculé de la façon suivante :

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

$H_{T1}$  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.

### 6.5.4.3 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	167.9	12.2
Intermédiaire	0.80	30	79.9	13.3	17.8
Aval	0.85	30	79.9	12.1	18.9
Total	0.67	-	-	193.3	12.8

- 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	69.4	282.4	330.9	24.1
Intermédiaire	4.0	1.5	2.5	17.4	19.2	25.5
Aval	4.0	1.5	2.1	15.6	17.1	26.6
Total	-	-	-	315.4	367.1	24.3

### 6.5.4.4 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	168.1	12.2
Intermédiaire	0.80	30	97.4	16.2	21.6
Aval	0.85	30	97.4	14.7	23.0
Total	0.68	-	-	199.0	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 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	67.0	278.7	325.4	23.7
Intermédiaire	7.4	1.5	4.7	23.9	27.2	36.2
Aval	7.4	1.5	4.0	21.3	24.1	37.6
Total	-	-	-	323.9	376.6	24.9

### 6.5.5 Conclusion sur les débits

Les débits obtenus sur le bassin versant de la Vairaharaha 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	186	-	362
Etude LTPP de 2003 (J.Danloux)	Analyse statistique	220	-	430
P STOLLSTEINER	Méthode rationnelle et gradex	222	-	321
Egis 2023 Estimation 1	Rationnelle + gradex(10/50,Durée caractéristique) avec IDF 2008/2020	193	296	340
Egis 2023 Estimation 2	Rationnelle + gradex(10/100,Durée caractéristique) avec IDF 1958/2008	199	324	377

Les débits de projet retenus sont ceux calculés par Egis avec les courbes IDF sur la période de 1958-2008 (Estimation 2).

Ce choix se base sur 3 critères :

- Critère 1 : La comparaison des débits spécifiques avec le bassin versant de la Vairaharaha et présente des caractéristiques similaires. Les débits spécifiques selon les études et le bassin versant sont présentés dans le tableau suivant :

**TABLEAU 13 : COMPARAISON DES DEBITS SPECIFIQUES ENTRE LES ETUDES ET LES BASSINS VERSANTS DE LA VAIHIRIA ET DE LA VAIRAHARAH**

Etudes sur la Vaihiria	Débits spécifiques (m3/s)/km2)	Etudes sur la Vairaharaha	Débits spécifiques ((m3/s)/km2)
<b>Etude BCEOM de 1999</b>	25.4	<b>Etude BCEOM de 1999</b>	23.9
<b>Etude LTPP de 2001</b>	15.9	<b>Etude LTPP de 2003 (J.Danloux)</b>	28.4
<b>Etude LTPP de 2001</b>	23.3	<b>P STOLLSTEINER</b>	21.2
<b>Egis 2023</b>	24.4	<b>Egis 2023 Estimation 1</b>	22.5
<b>Egis 2023</b>	25.9	<b>Egis 2023 Estimation 2</b>	24.9

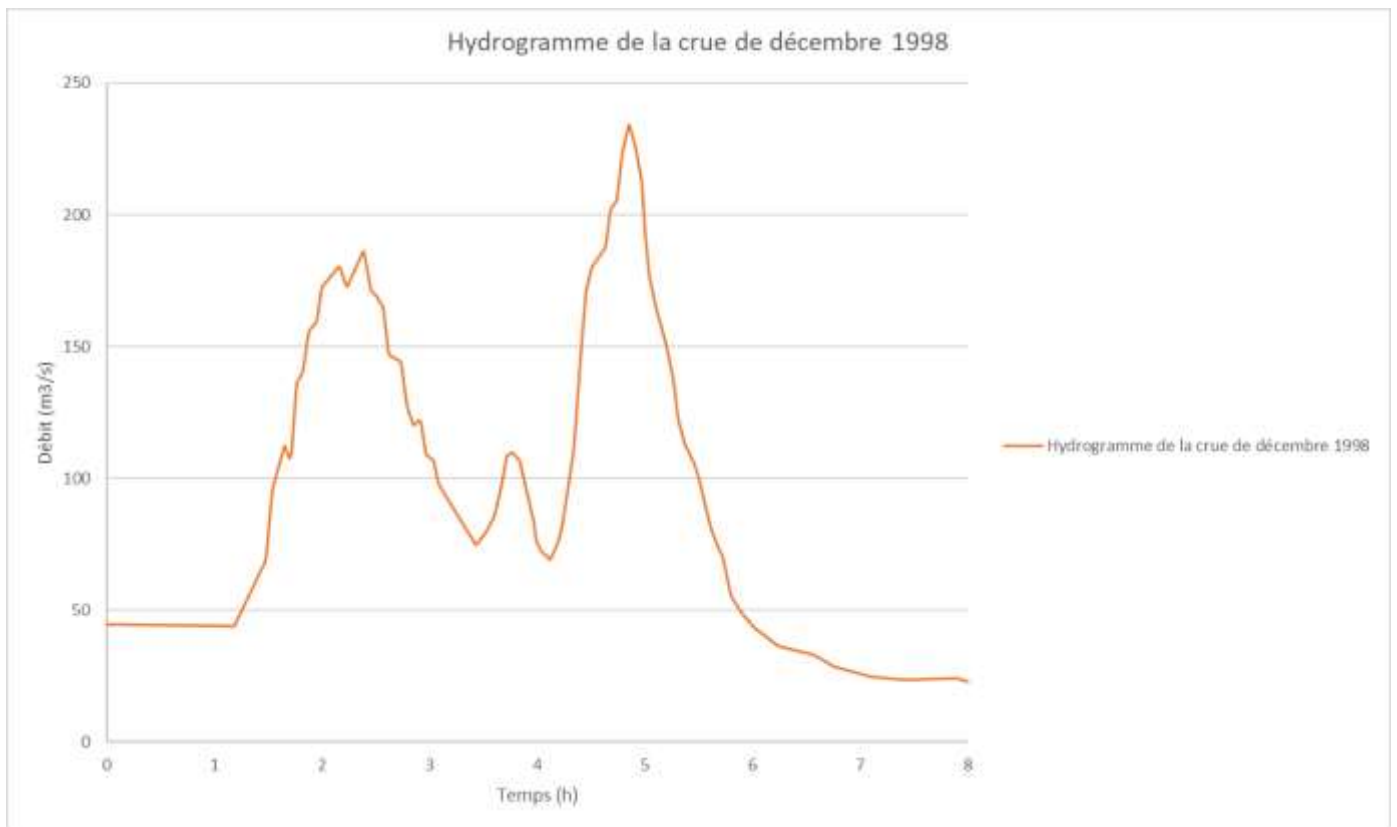
- Critère 2 : La comparaison avec les débits de pointes des autres études. Le choix du débit de pointe doit être suffisamment proche du débit de pointe de l'ancienne étude.
- Critère 3 : La méthode de calcul retenue permet un découpage en sous bassin versant et elle peut être mise à jour grâce aux courbes IDF.

Le débit retenu n'est pas celui calculé à partir des cumuls obtenus grâce aux courbes IDF sur la période 2008-2020 car ils sont plus faibles que pour la période 1958-2008 et entraînent un débit de pointe du bassin versant plus faible. Nous ne disposons pas des détails expliquant la différence entre les deux jeux de données.

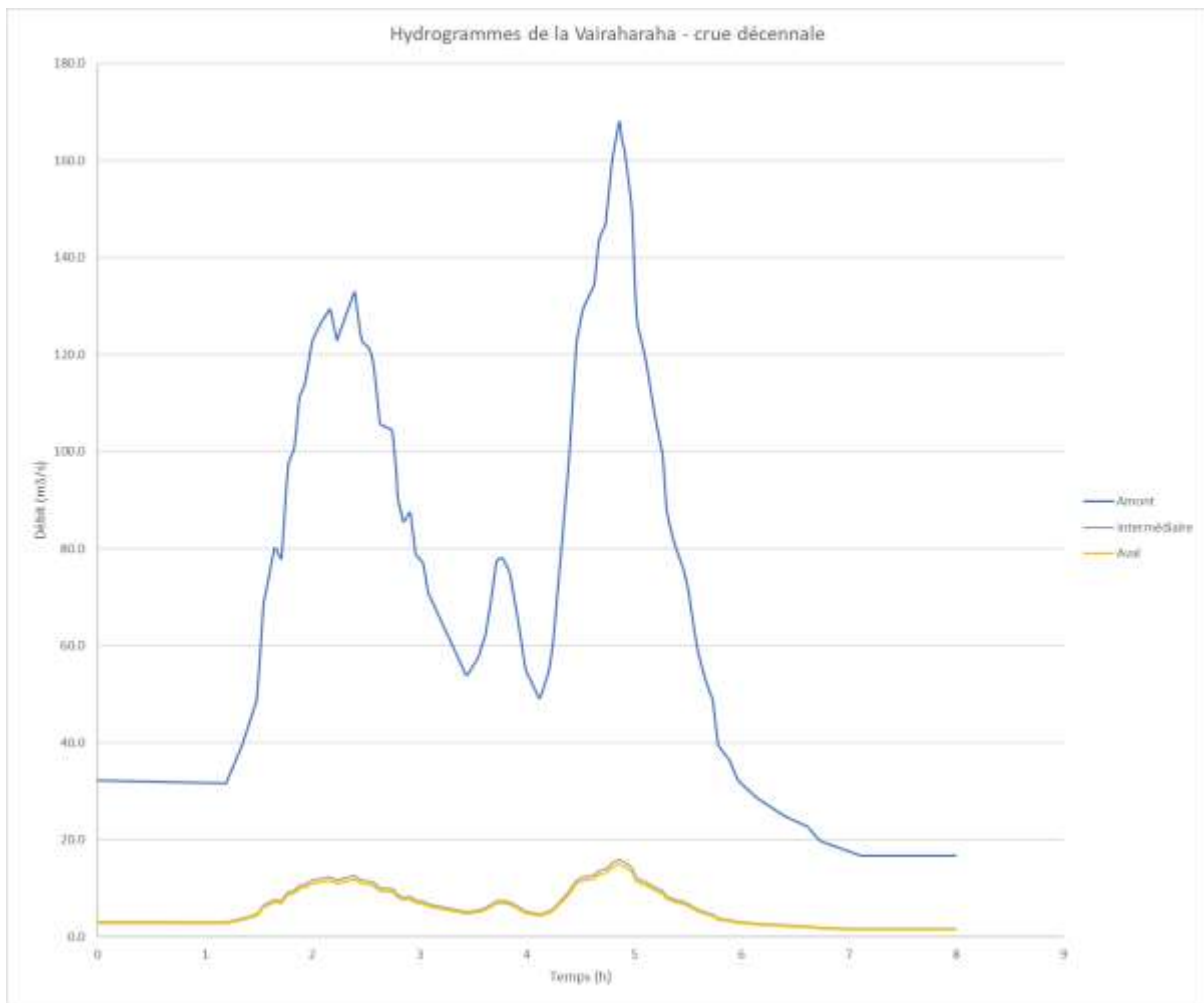
Le débit de pointe précédemment utilisé paraît surestimé par rapport aux caractéristiques du bassin versant de la Vairaharaha.

### 6.5.6 Construction des hydrogrammes

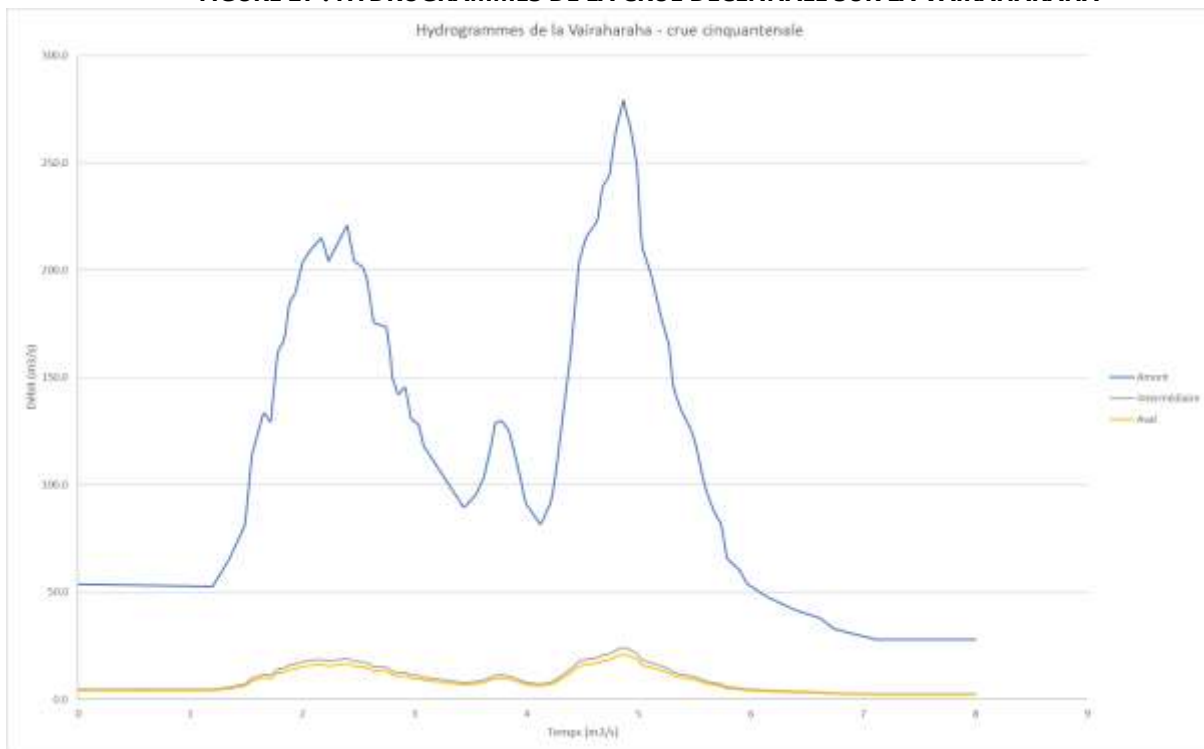
Aucun hydrogramme de crue n'a pu être enregistré sur le cours d'eau de la Vairaharaha. Par conséquent, les hydrogrammes des crues décennale et centennale sont déduits par homothétie de l'hydrogramme enregistré sur la Vaihiria lors de la crue de décembre 1998. La Vaihiria est le bassin versant étudié le plus proche de la Vairaharaha.



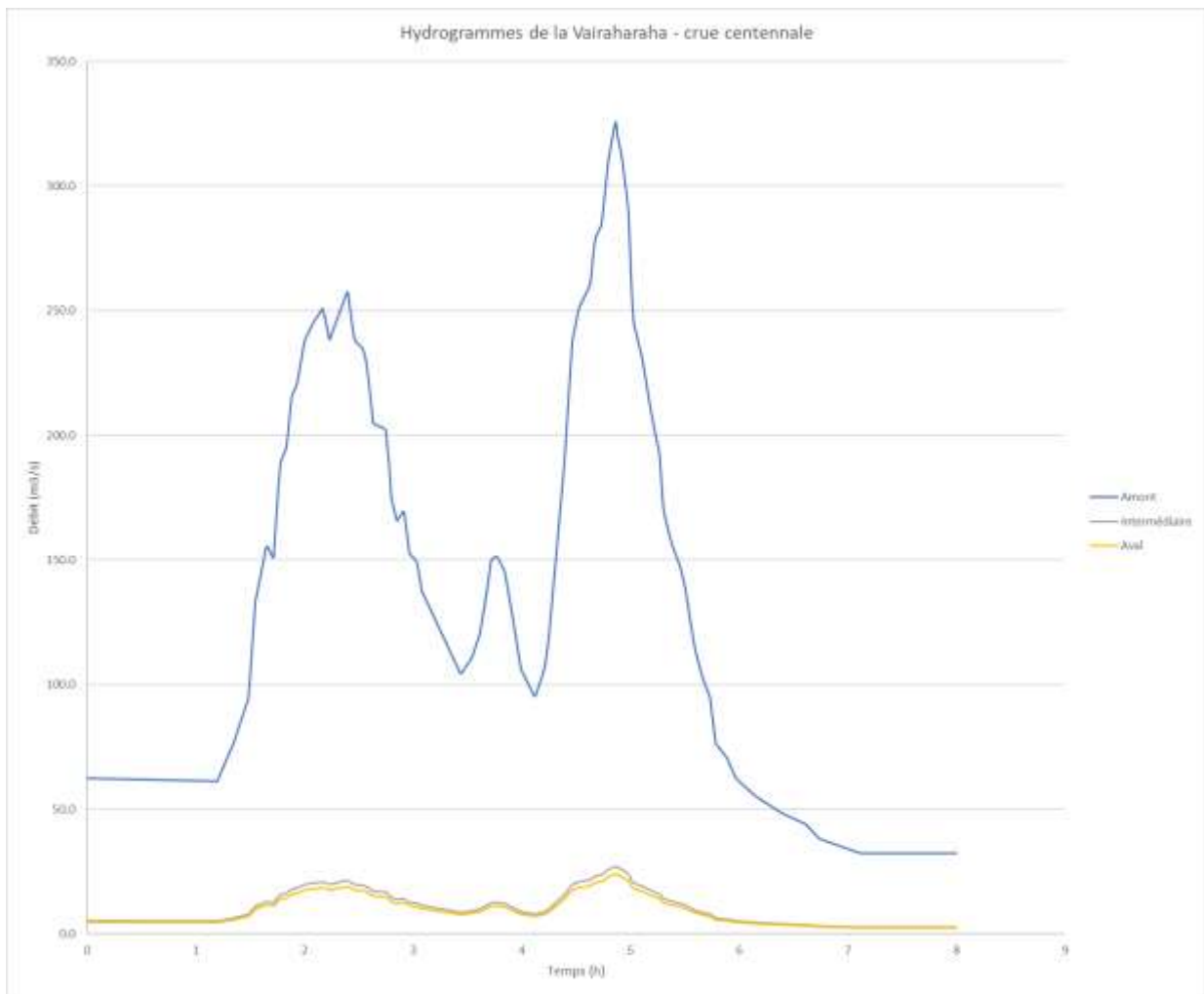
**FIGURE 26 : HYDROGRAMME DE LA CRUE DE DECEMBRE 1998 SUR LA VAIHIRIA**



**FIGURE 27 : HYDROGRAMMES DE LA CRUE DECENNALE SUR LA VAIRAHARAHA**



**FIGURE 28 : HYDROGRAMMES DE LA CRUE CINQUANTENNALE SUR LA VAIRAHARAHA**



**FIGURE 29 : HYDROGRAMMES DE LA CRUE CENTENNALE SUR LA VAIRAHARAH**

## 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 30 donne un aperçu d'un modèle HEC-RAS 1D/2D.

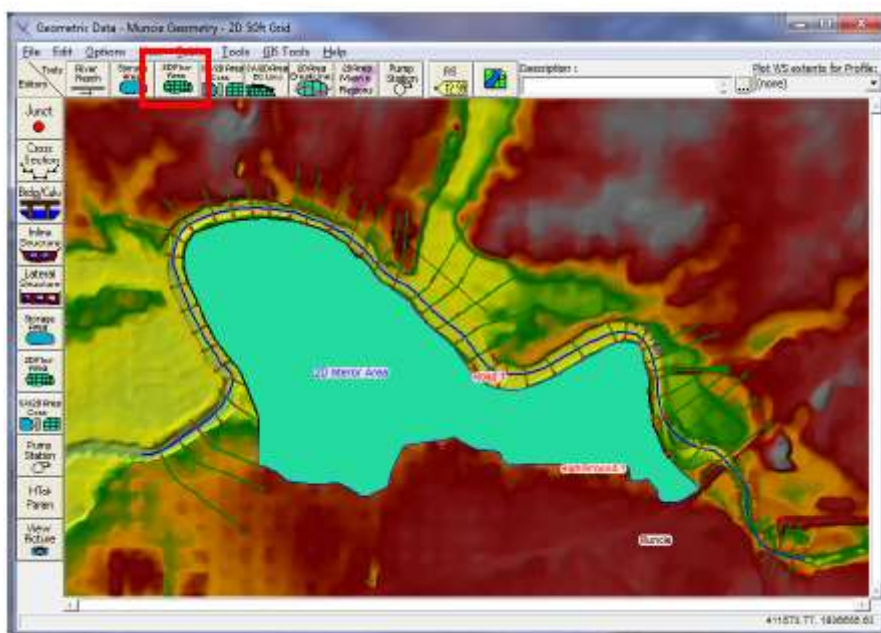


FIGURE 30 : EXEMPLE DE MODELISATION HEC-RAS 1D/2D

### 7.1.2 Topographie

Un MNT a été reconstitué en agglomérant le MNT de l'île en précision 5m x 5m et 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 31 donne l'implantation des profils en travers sur le MNT du modèle de la Vairaharaha et la Figure 32 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.

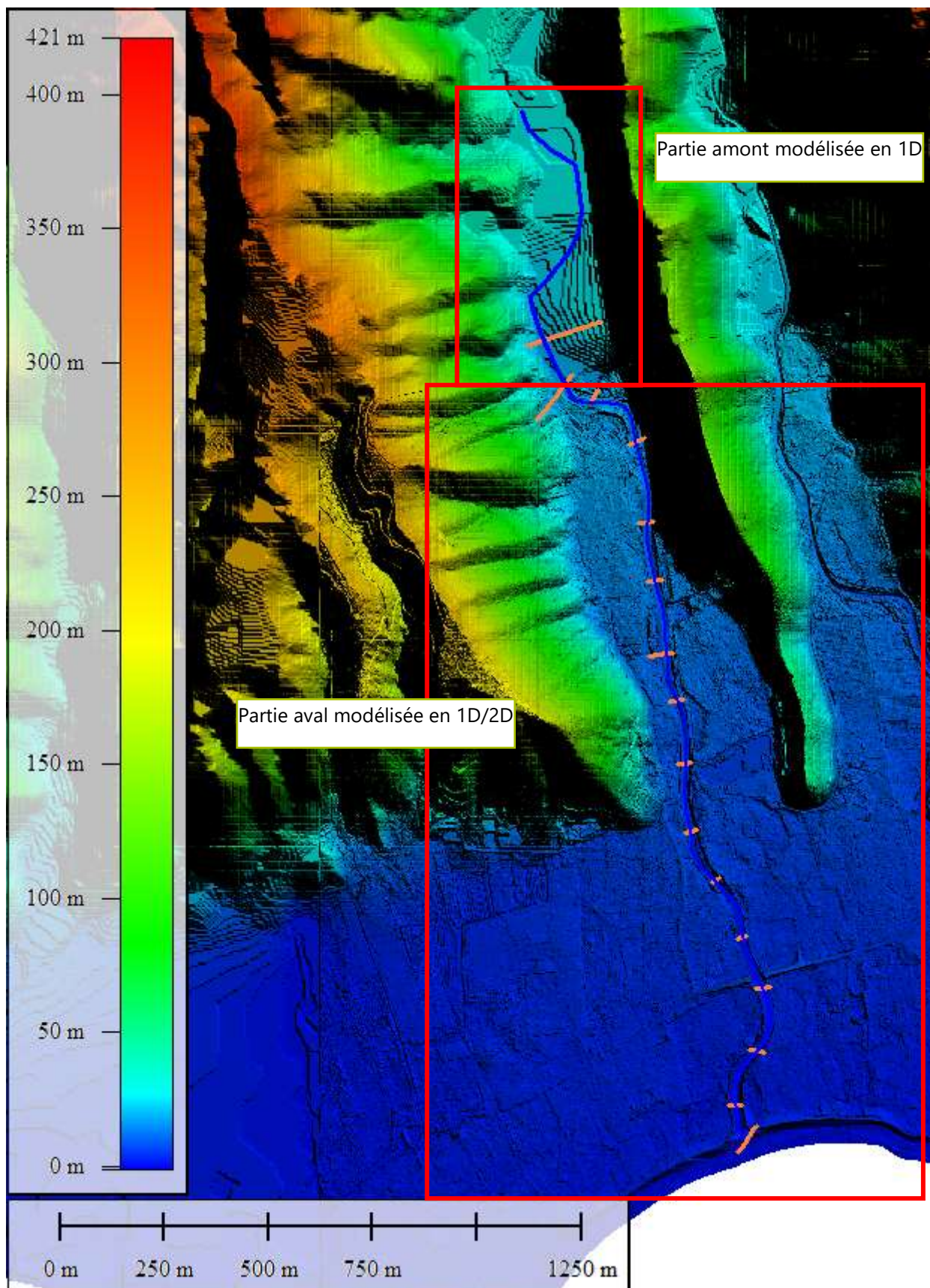


FIGURE 31 : EXTRAIT DU MNT CREE POUR LA MODELISATION



**TABLEAU 14 : 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

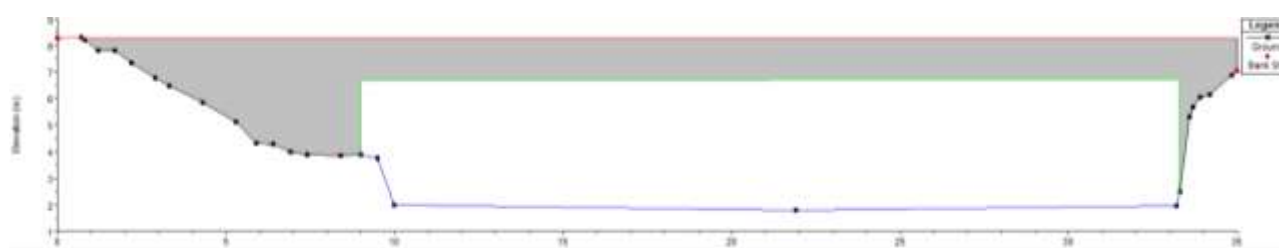
### 7.1.7 Condition aval

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

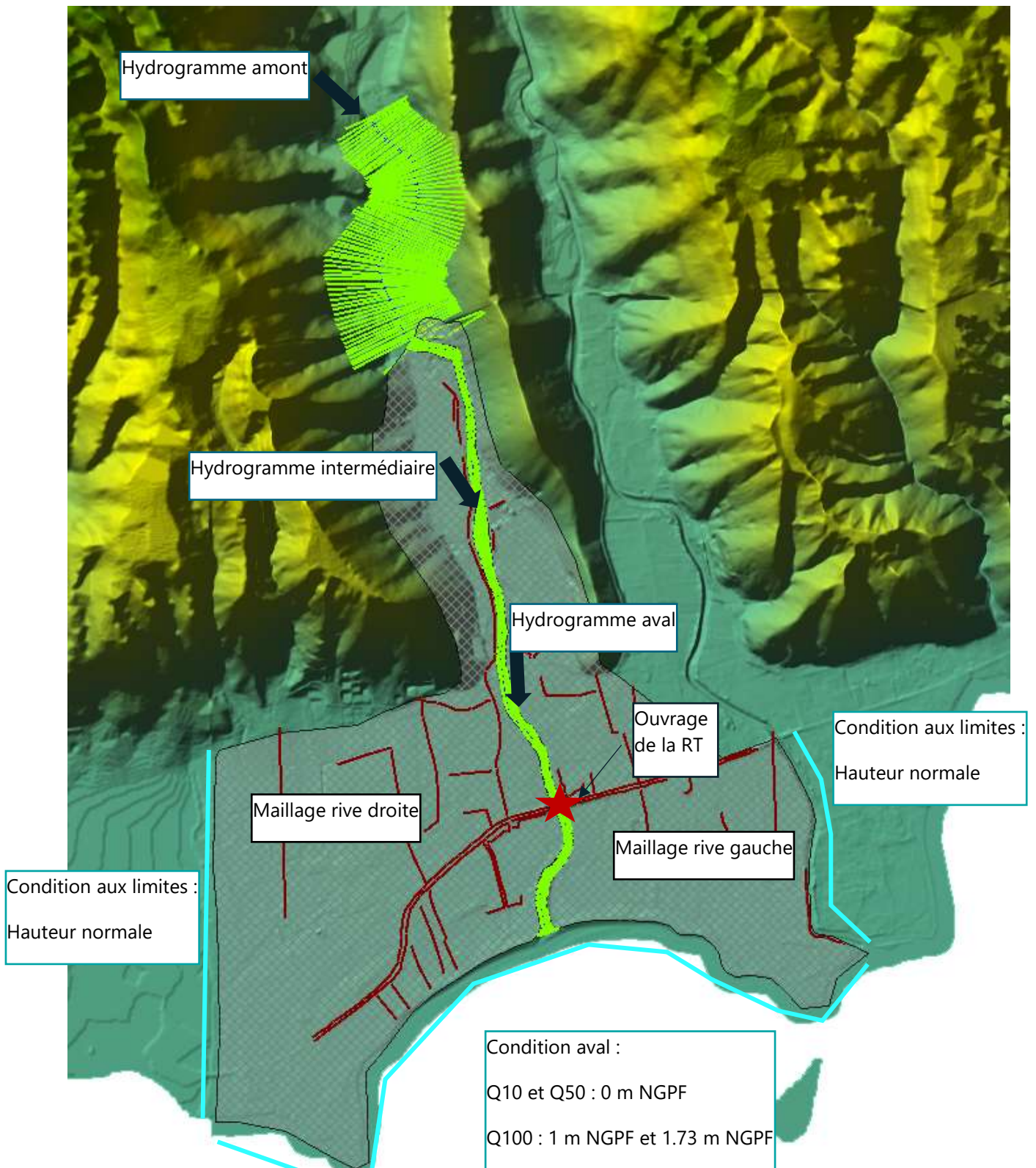
- Pour les crues 10 ans et 50 ans : cote de niveau normale : de 0 m NGPF
- Pour la crue 100 ans :
  - Surcote du niveau de la mer : 1 m NGPF
  - Surcote du niveau de la mer à +1 m et surélévation liée au changement climatique de +0,73 : 1,73 m NGPF

### 7.1.8 Modélisation des ouvrages hydrauliques

Un seul ouvrage hydraulique est présent sur le cours d'eau de la Vairaharaha, il s'agit du pont de la RT. La coupe de l'ouvrage dans le modèle est présentée ci-dessous.



**FIGURE 33 : SECTION AMONT DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE LA RT**



**FIGURE 34 : 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 de l'ouvrage de la RT.

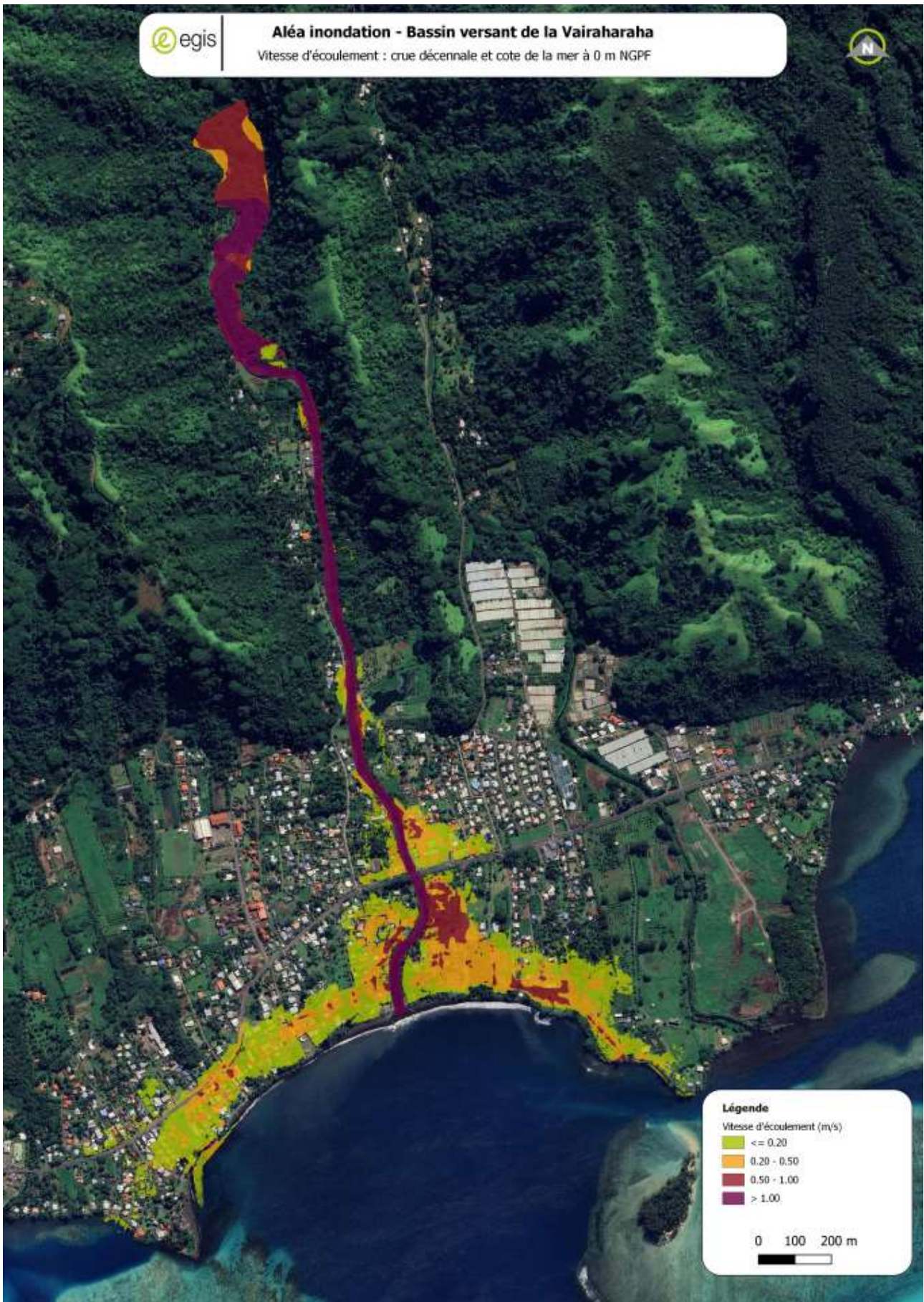
### 7.2 Résultats de la modélisation

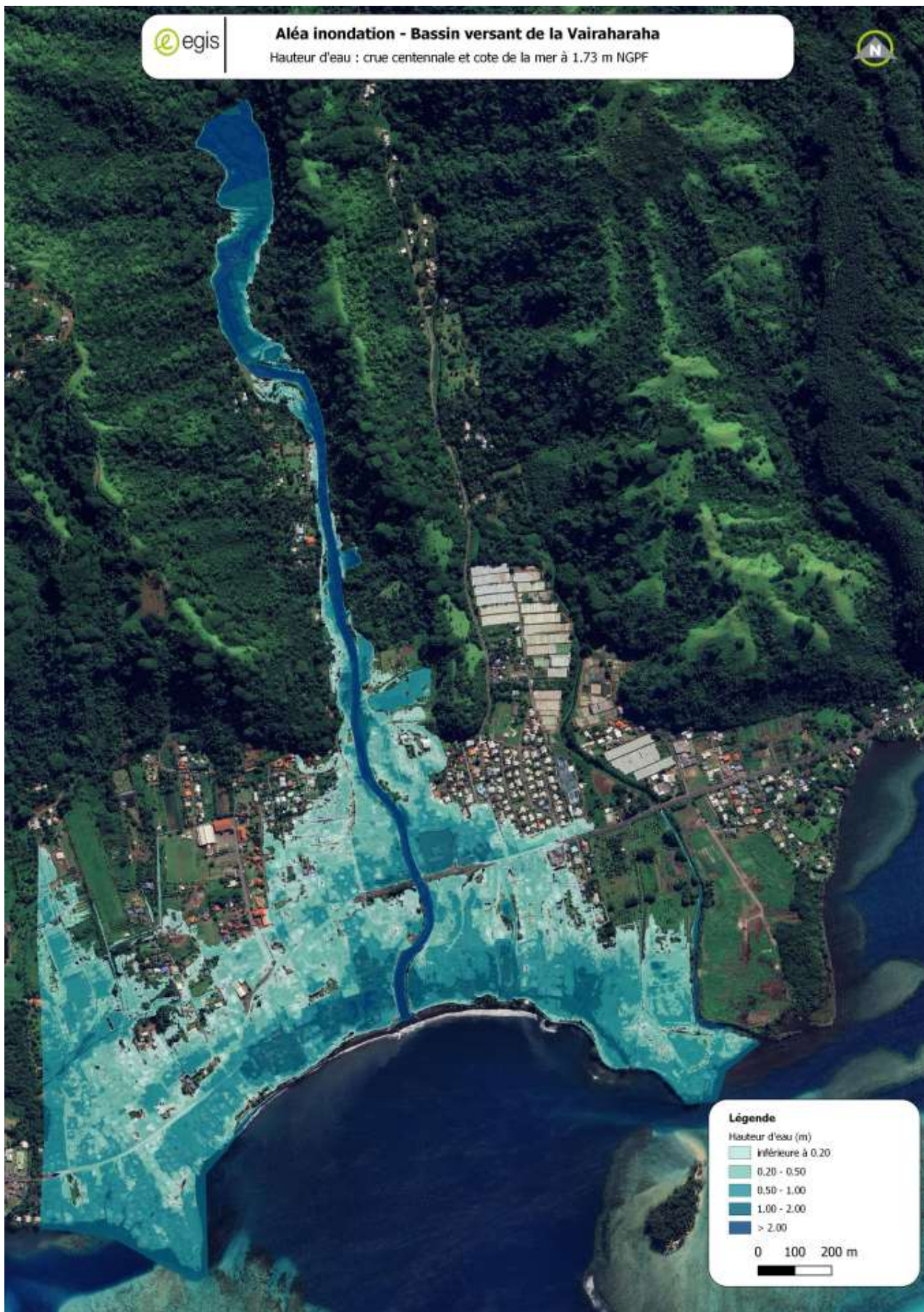
Les résultats de vitesse et de hauteur seront envoyés sous forme de raster.

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.

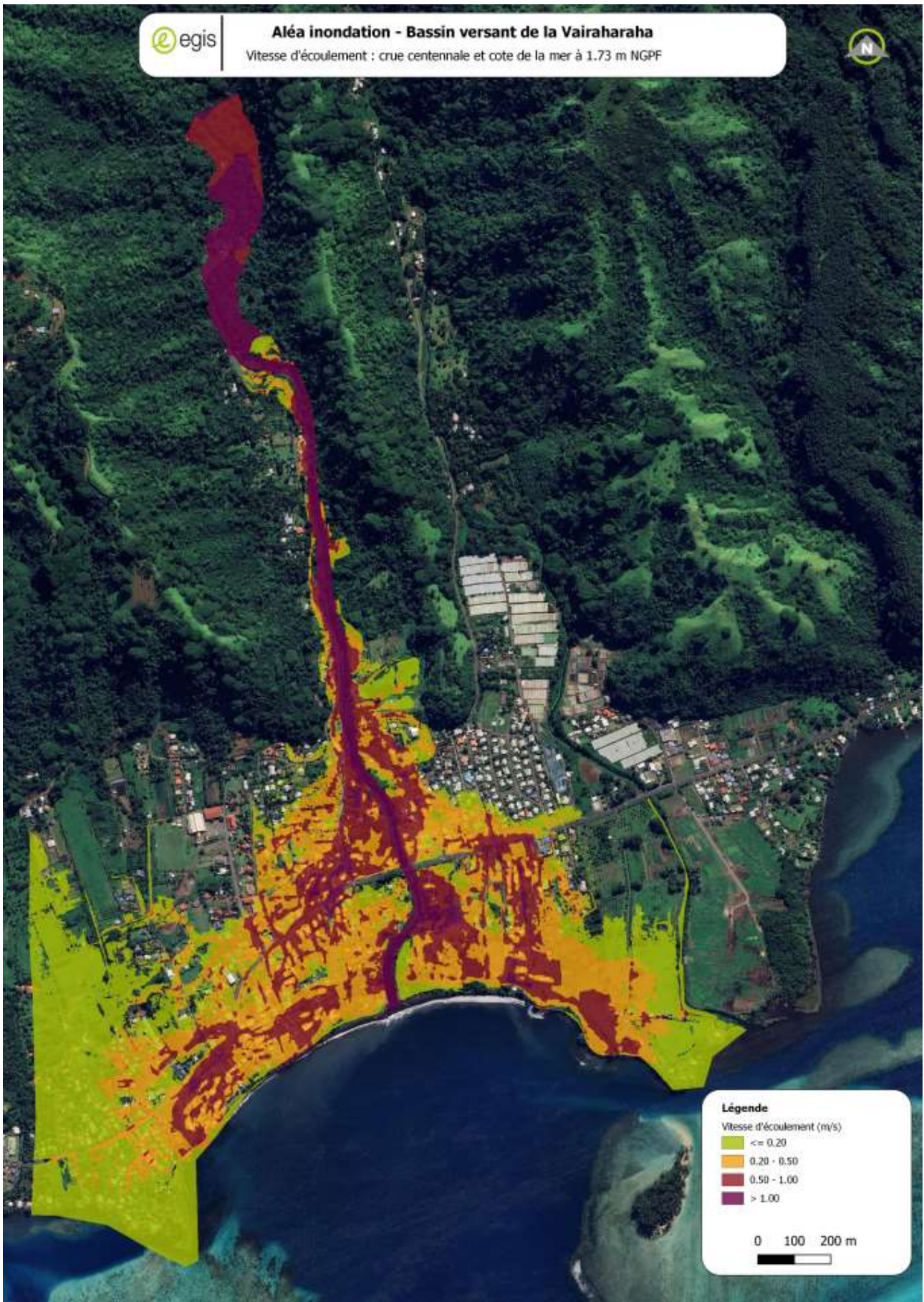


**FIGURE 35 : HAUTEURS D'EAU POUR LA CRUE DECENNALE – COTE DE LA MER A 0**

**FIGURE 36 : VITESSES D'ÉCOULEMENT POUR LA CRUE DÉCENNALE – COTE DE LA MER A 0**



**FIGURE 37 : HAUTEURS D'EAU POUR LA CRUE CENTENNALE – COTE DE LA MER A 1.73 M**

**FIGURE 38 : 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 Vairaharaha.

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 39 : CARTE GENERALE DU BASSIN VERSANT DE LA VAIRAHARAHA

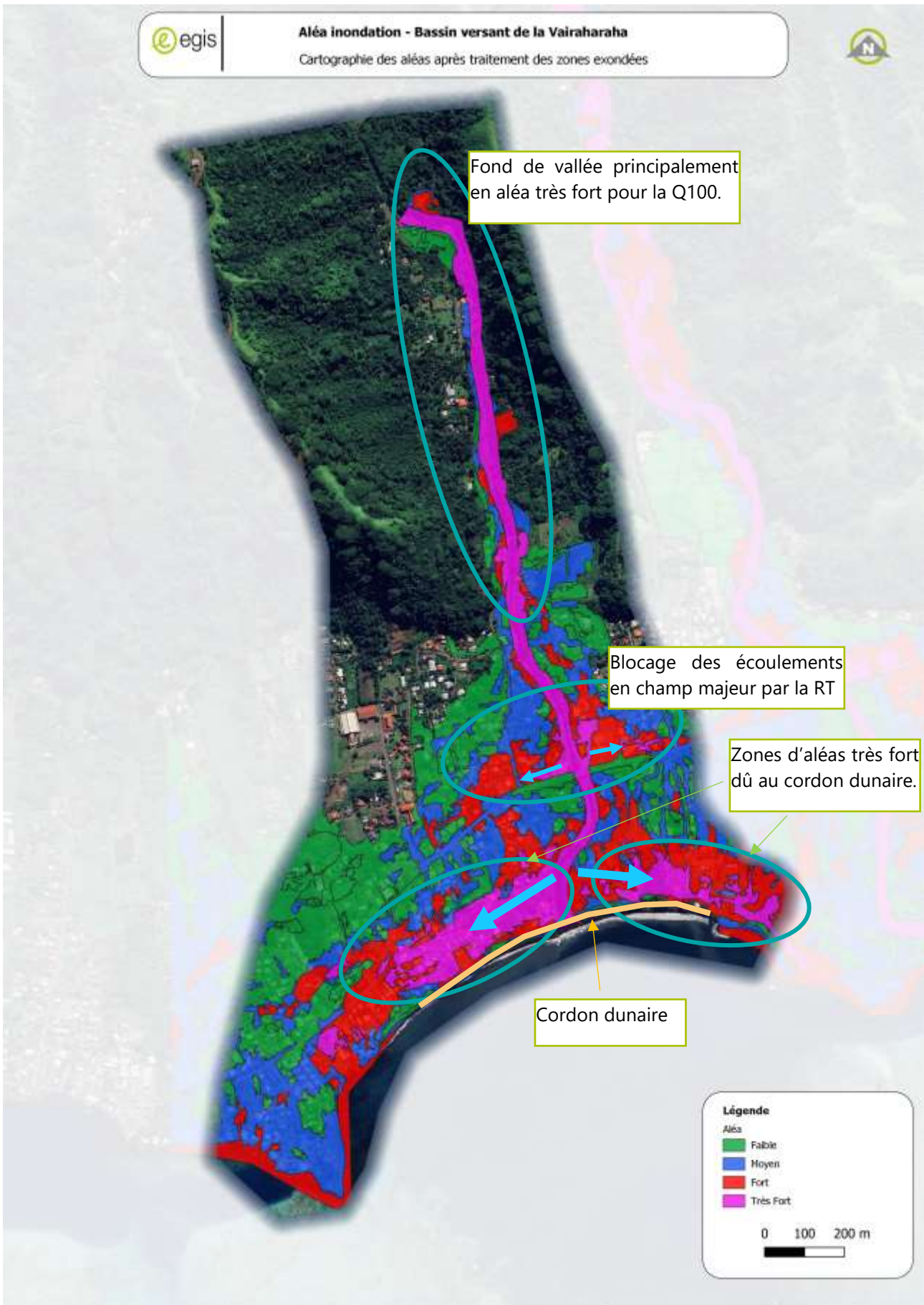
## 7.4 Analyse du fonctionnement des inondations

La partie amont de la Vairaharaha est très encaissée et a une pente assez forte entre 1 et 2%. Les premiers débordements dans cette zone interviennent entre la crue décennale et la crue cinquantennale. Dans le lit mineur, les hauteurs d'eau et les vitesses importantes donnent un aléa très fort.

Les premiers débordements en amont de la RT se constate dès la crue décennale. De même, en aval de la RT, les débordements sont remarqués dès la crue décennale.

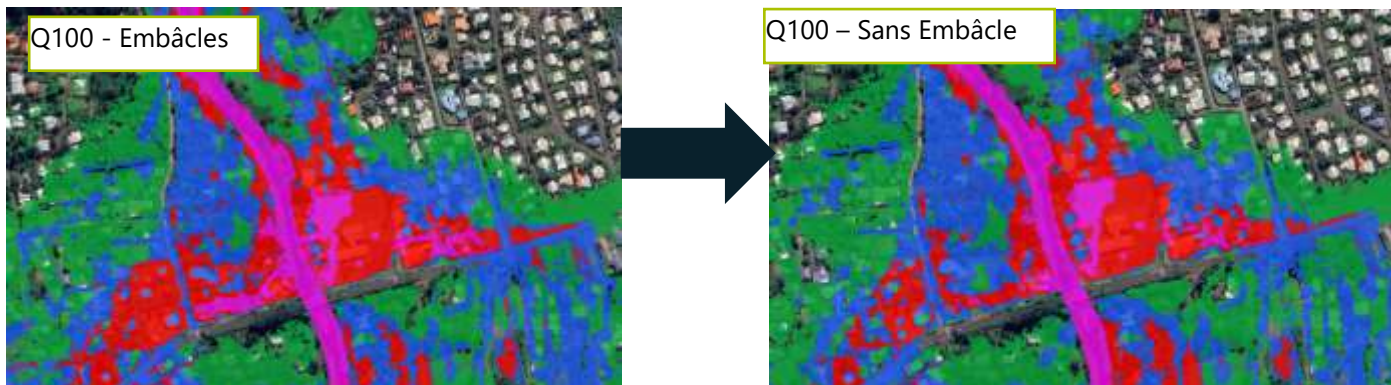
A l'approche du front de mer, il y a un étalement des aléas très fort et très fort pour la crue centennale. Cela est dû à la présence d'un cordon dunaire redirigeant les écoulements vers l'est et vers l'ouest. Par conséquent, les quartiers résidentiels le long de la mer sont fortement soumis à l'aléa inondation.

Le cours d'eau en aval de la RT a une pente plus faible que la partie amont, cela entraîne des dépôts de sédiments dans le lit mineur et notamment à l'embouchure, entravant l'écoulement.



**FIGURE 40 : ANALYSE DU MECANISME D'INONDATION DE LA VAIRAHARAHA**

En crue centennale en état actuel, en considérant les débordements en amont et sans prendre en compte les embâcles, le pont de la RT ne surverse pas et tout le débit en lit mineur peut transiter. Avec la prise en compte des embâcles (obstruction de 50%), l'ouvrage est en charge et les zones d'aléas très fort et fort sont accrues. Également, la RT est en remblai en champ majeur et bloque les écoulements vers la mer, ce qui crée des zones d'aléa très fort et fort le long de celle-ci.

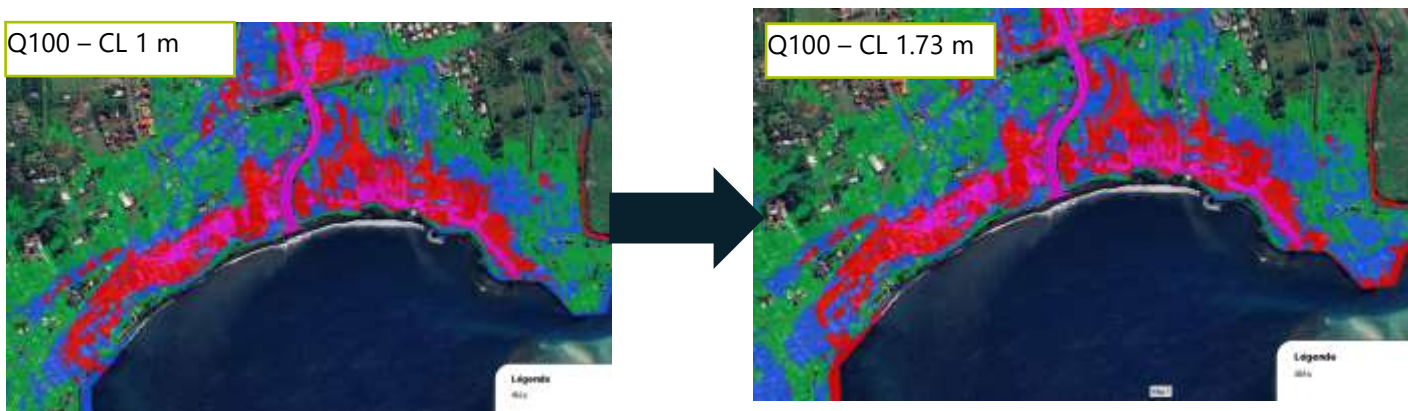


**FIGURE 41 : ANALYSE DE L'IMPACT DES EMBACLES SUR L'ALEA**



**FIGURE 42 : VUE EN COUPE DU PONT DE LA RT AVEC ET SANS EMBACLE POUR LA CENTENNALE**

Le niveau de la mer influence peu l'aléa inondation sur le bassin versant de la Vairaharaha car la plaine aval est protégée par un cordon dunaire.



**FIGURE 43 : ANALYSE DE L'INFLUENCE DU NIVEAU DE LA MER SUR L'ALEA**

## 7.5 Comparaison avec les résultats antérieurs

La modélisation actualisée montre mieux l'influence des remblais le long du front de mer et l'étalement est-ouest des écoulements qui en découlent. Pour les crues centennale et décennale, la zone inondable en amont de la RT est proche entre les deux modèles.

La crue centennale actualisée a une zone inondable aval plus étendue que l'ancienne modélisation. La modélisation actualisée montre également l'étalement total des écoulements provenant de la Vairaharaha tandis que l'ancienne étude avait fait le choix tronquer la zone inondable selon un cône de déjection.



FIGURE 44 : HAUTEUR CALCULEE DANS L'ETUDE DE 2010 POUR LA CENTENNALE



FIGURE 45 : HAUTEUR D'EAU CALCULEE DANS L'ETUDE DE 2010 POUR LA DECENNALE

## 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 maître d'ouvrage.

**TABLEAU 15 : 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 l'aléa pour chaque modélisation sont donnés en annexe 2.

### 7.6.2 Traitement SIG de la cartographie des aléas

Les cartographies d'aléa pour chaque scénario simulé du bassin versant de la Vairaharaha seule sont données en Annexe.

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 :

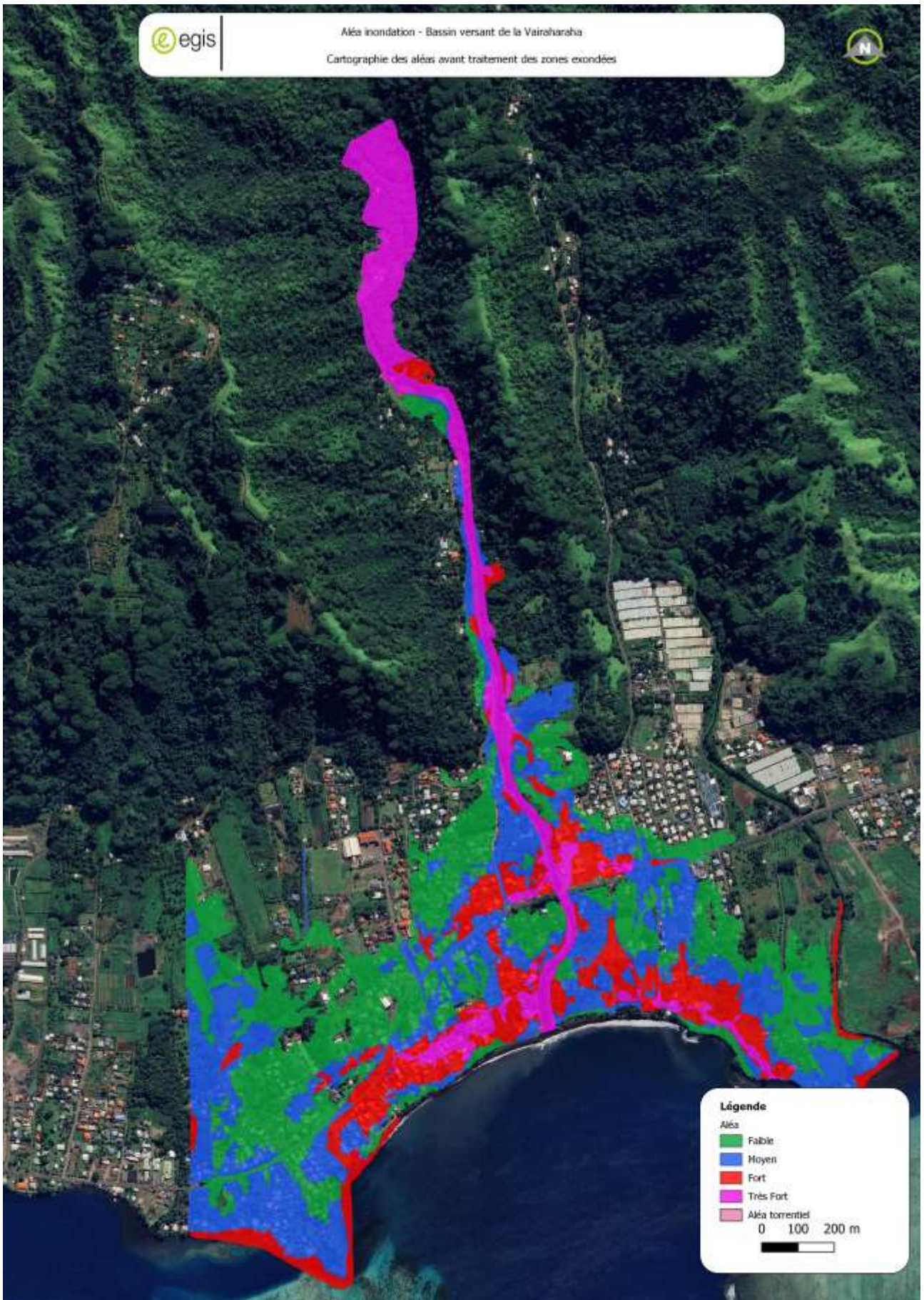
- Lissage des limites du raster aléa,
- Suppression des zones exondées de moins de 1000 m<sup>2</sup> dans la zone inondable.

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 a 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.

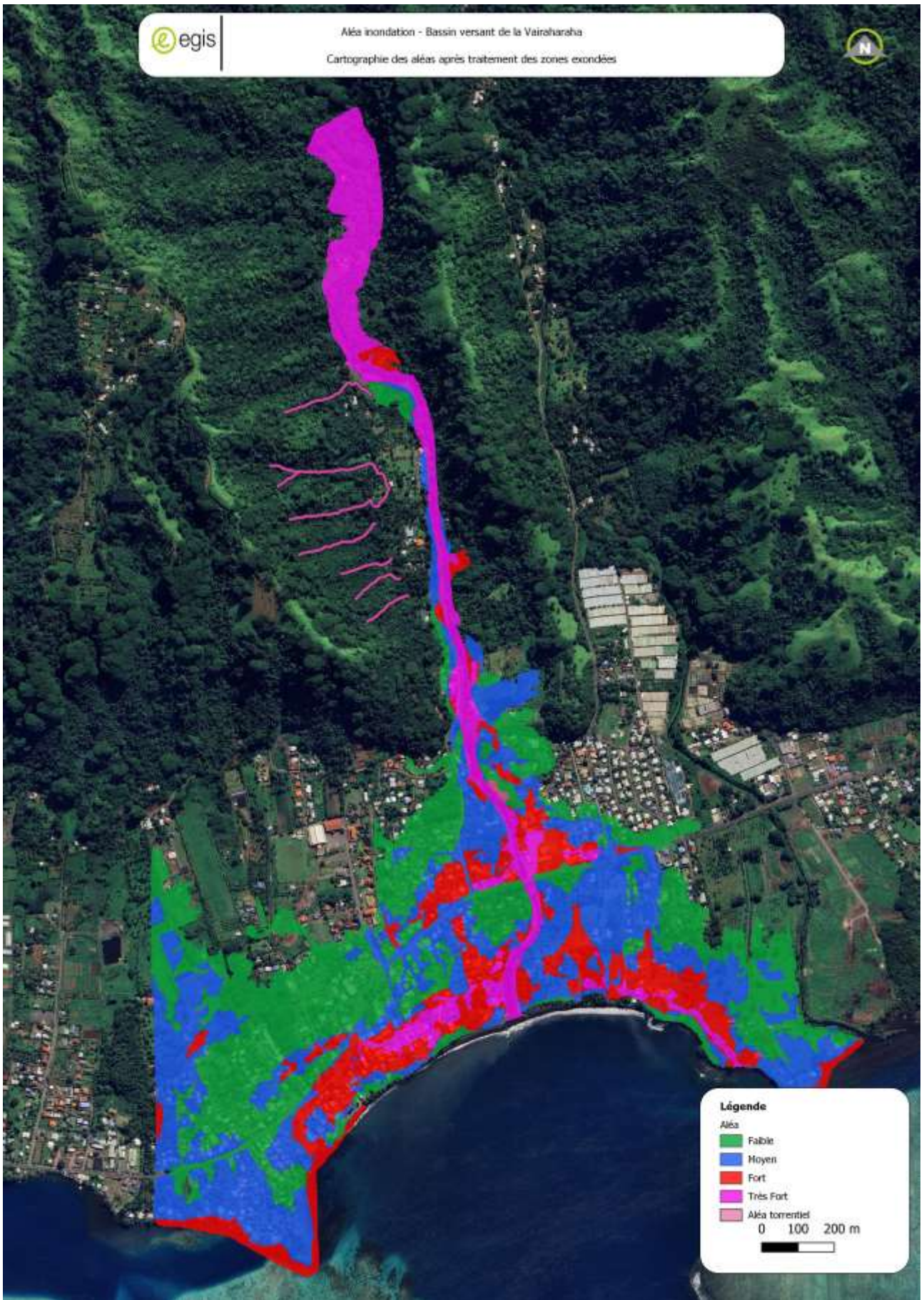


**FIGURE 46 : CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DE LA VAIRAHARAH A AVANT TRAITEMENT DES ZONES EXONDEES**

## 8 Cartographie de l'aléa inondation retenue pour le futur PPRI

La carte présentée dans la Figure 47 est la carte de l'aléa inondation proposée pour le futur PPRI après l'analyse hydrogéomorphologique, hydrologique et hydraulique du bassin versant de la Vairaharaha.

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 47 : CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DE LA VAIRAHARAH A PRES 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.**

La Vairaharaha étant contrainte par l'urbanisation limitrophe et le manque d'espace disponible pour proposer des zones d'expansion de crues, les options d'aménagement choisies sont les suivantes :

- Gestion des sédiments et du cordon dunaire,
- Protection de berges,
- Piège à embâcles.

La configuration hydraulique du cours d'eau de la Vairaharaha 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 48 permet de localiser les aménagements proposés dans le bassin versant de la Vairaharaha

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 Vairaharaha sont les suivants :

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

La Figure 49 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 48 : LOCALISATION DES AMENAGEMENTS PREVUS DANS LE BASSIN VERSANT DE LA VAIRAHARAHA



FIGURE 49 : 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 Vairaharaha 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 Vairaharaha ne dispose pas d'espace suffisant.

### ■ 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 sont extrêmement coûteuse et aurait un impact écologique sur le cours d'eau non négligeable.

## 9.2 Gestion des sédiments

L'embouchure de la Vairaharaha est ensablée, un curage de ces dépôts sédimentaires pourrait améliorer l'écoulement vers la mer.

Des ouvertures dans le cordon dunaire pourrait aider à l'évacuation des eaux vers la mer et ainsi diminuer les aléas sur le front de mer. Ce type de solution nécessite une étude à part entière de génie côtier combinée à une étude des eaux pluviales. Le risque est que de telles ouvertures aggravent le risque de submersion marine.



**FIGURE 50 : PHOTO DE L'EMBOUCHURE DE LA VAIRAHARAHA**



**FIGURE 51 : LOCALISATION DES OUVERTURES POTENTIELLES DANS LE CORDON DUNAIRE**

### 9.3 Protection de berges

De nombreuses protection de berge en enrochement libre sont existantes sur la Vairaharaha. Une restauration est nécessaire à certains endroits ainsi que le prolongement de ces protections dans certains endroits.



**FIGURE 52 : LOCALISATION DES PROTECTIONS DE BERGE EN ENROCHEMENT PROPOSEES**

#### 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.

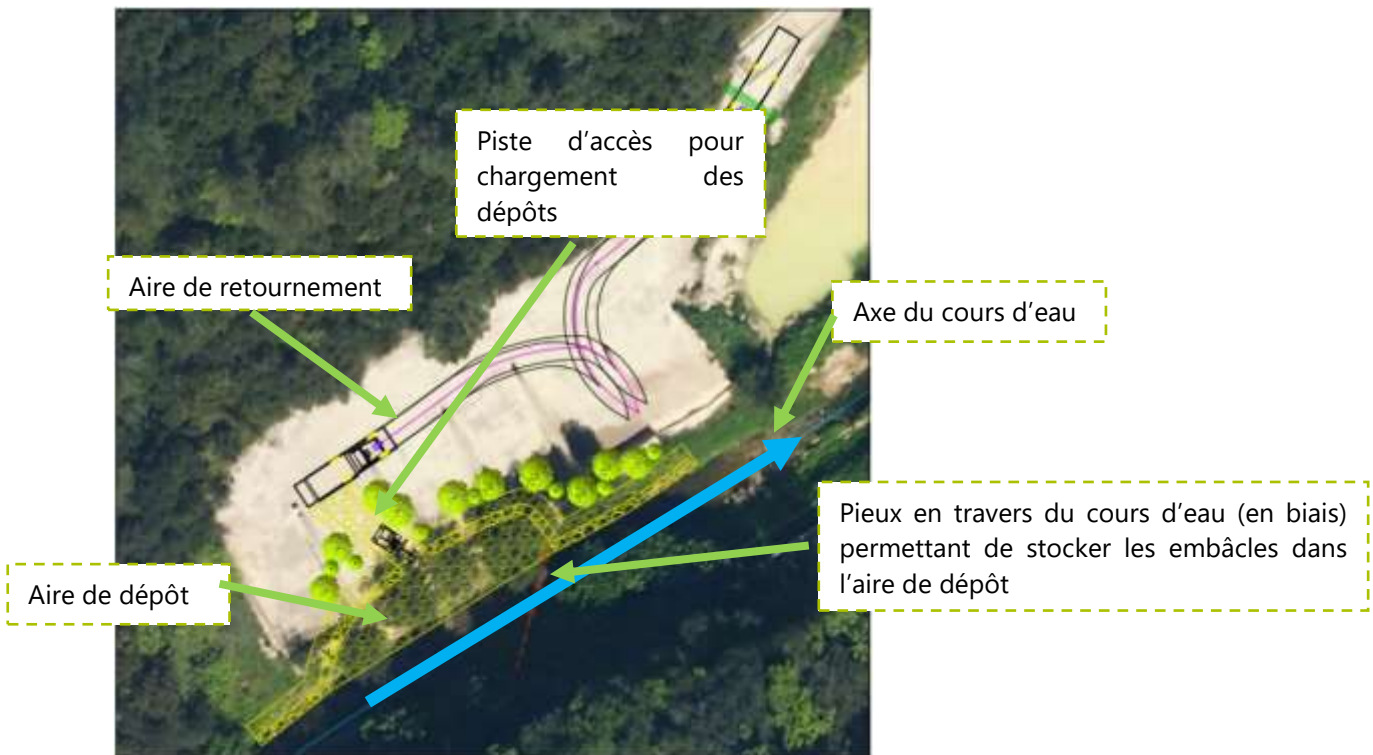
Cet emplacement est suffisamment spacieux afin d'implanter le piège et il bien amont afin de protéger un maximum d'ouvrage.

#### 9.5 Phasage des travaux

Les travaux prioritaires sont les travaux de protection de berges. La gestion des sédiments et l'ouverture du cordon dunaire sont également des aménagements prioritaires. Le piège à embâcle peut être mis en place à tout moment.



**FIGURE 53 : LOCALISATION DU PIEGE A EMBACLES EN AMONT DU COURS D'EAU**



**FIGURE 54 : EXEMPLE DE PIEGE A EMBACLES AVEC AIRE DE RETOURNEMENT POUR CHARGER UN CAMION**

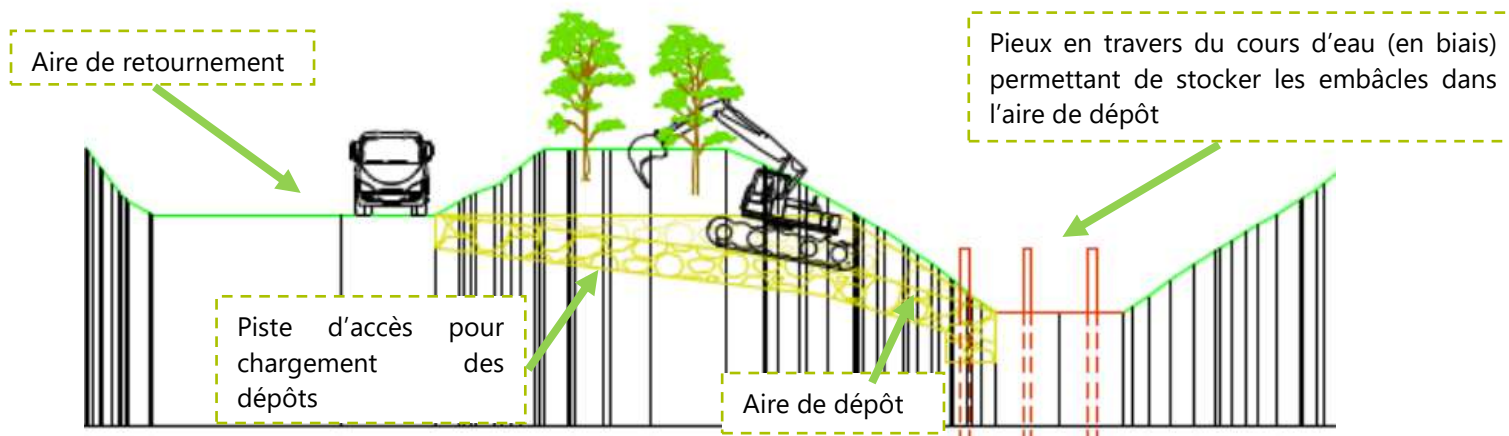


FIGURE 55 : VUE EN COUPE DU PIEGE A EMBACLES

## 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 Ouverture dans le cordon dunaire

Il est difficile d'estimer le coût d'une telle opération car elle nécessite une étude à part entière.

## 9.6.2 Protection de berges

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

<b>Travaux sur berges</b>			
<b>Actions</b>	<b>Quantité</b>	<b>Prix unitaire (XPF H.T)</b>	<b>Prix total (XPF H.T)</b>
<b>Préparation</b>			
Etude d'exécution (u)	1	500 000	500 000
Essais et test (u)	1	500 000	500 000
Récolement des ouvrages (u)	1	300 000	300 000
Constat d'huissier (u)	1	120 000	120 000
<b>Total préparation</b>			<b>1 420 000</b>
<b>Travaux</b>			
Installation de chantier (u)	1	2 000 000	2 000 000
<b>Protection des maisons en rive droite</b>			
Terrassement (m3)	1875	6 000	11 250 000
Enrochement (m3)	1250	10 000	12 500 000
<b>Protection des berges en amont du pont et de la maison se trouvant en rive gauche</b>			
Terrassement rive droite (m3)	1200	6 000	7 200 000
Enrochement droite (m3)	800	10 000	8 000 000
Terrassement rive gauche (m3)	1500	6 000	9 000 000
Enrochement gauche (m3)	1000	10 000	10 000 000
<b>Protection des berges dans les extrados</b>			
Terrassement rive droite (m3)	2250	6 000	13 500 000
Enrochement droite (m3)	1500	10 000	15 000 000
Terrassement rive gauche (m3)	2550	6 000	15 300 000
Enrochement gauche (m3)	1700	10 000	17 000 000
<b>Coûts des travaux</b>			<b>120 750 000</b>
Aléa travaux (20%)			24 150 000
<b>Total</b>			<b>146 320 000</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	500 000	500 000
Essais et test (u)	1	500 000	500 000
Récolement des ouvrages (u)	1	300 000	300 000
Constat d'huissier (u)	1	120 000	120 000
<b>Total préparation</b>			<b>1 420 000</b>
<b>Travaux</b>			
Installation de chantier (u)	1	2 000 000	2 000 000
Terrassement (m3)	500	6 000	3 000 000
Enrochement (m3)	700	10 000	7 000 000
Béton et maçonnerie (m3)	200	23 934	4 786 800
Travaux divers (m2)	250	5 984	1 495 875
Génie végétal (m2)	500	11 967	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.

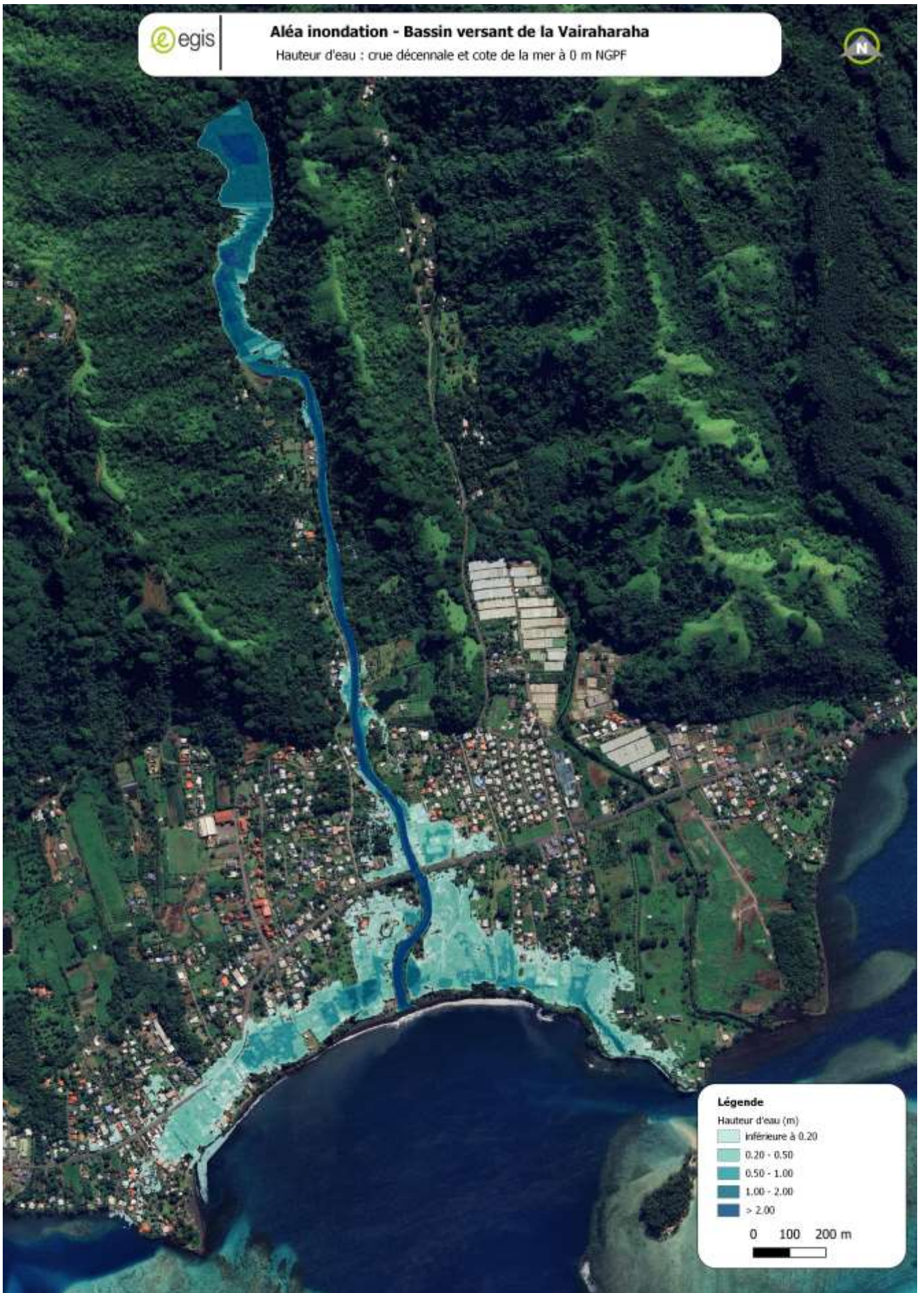
**TABLEAU 18 : TABLEAU DE SYNTHESE DES AMENAGEMENTS**

Aménagement proposé	Zones à enjeux concernées – impact positif	Zones à enjeux concernées – impact négatif	Avantages	Inconvénients	Chiffrage
Gestion des sédiments	Toutes		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Améliorer le libre écoulement dans le cours d'eau</li> <li>- Faciliter l'évacuation des eaux en champs majeur vers la mer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travaux lourds</li> <li>- Attention à l'élévation du niveau de la mer et à la submersion marine</li> </ul>	Etude nécessaire pour l'estimation
Protection de berges	1 et 2		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protège les berges de l'érosion</li> <li>- Diminue le risque de dommage sur les parcelles le long de la rivière</li> <li>- Diminue le risque de modification du lit mineur pouvant impacter les maisons proches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu d'impact sur le risque inondation</li> <li>- Coûteux par rapport au gain hydraulique</li> </ul>	146 320 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>	30 539 k XPF HT

## 10 ANNEXES

**ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE 01/02/03 – VAIRAHARAHA**

**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

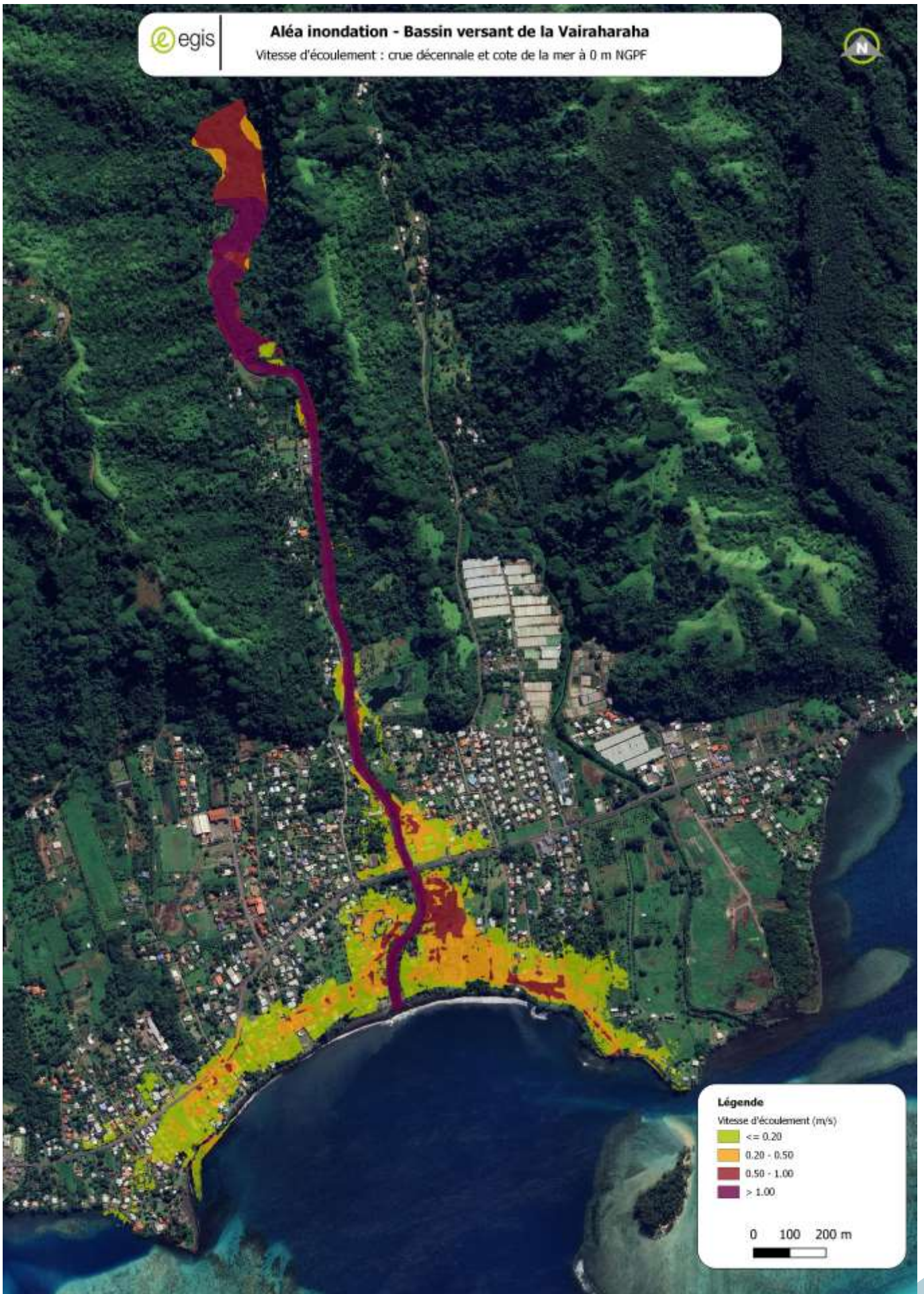
0.50 - 1.00

1.00 - 2.00

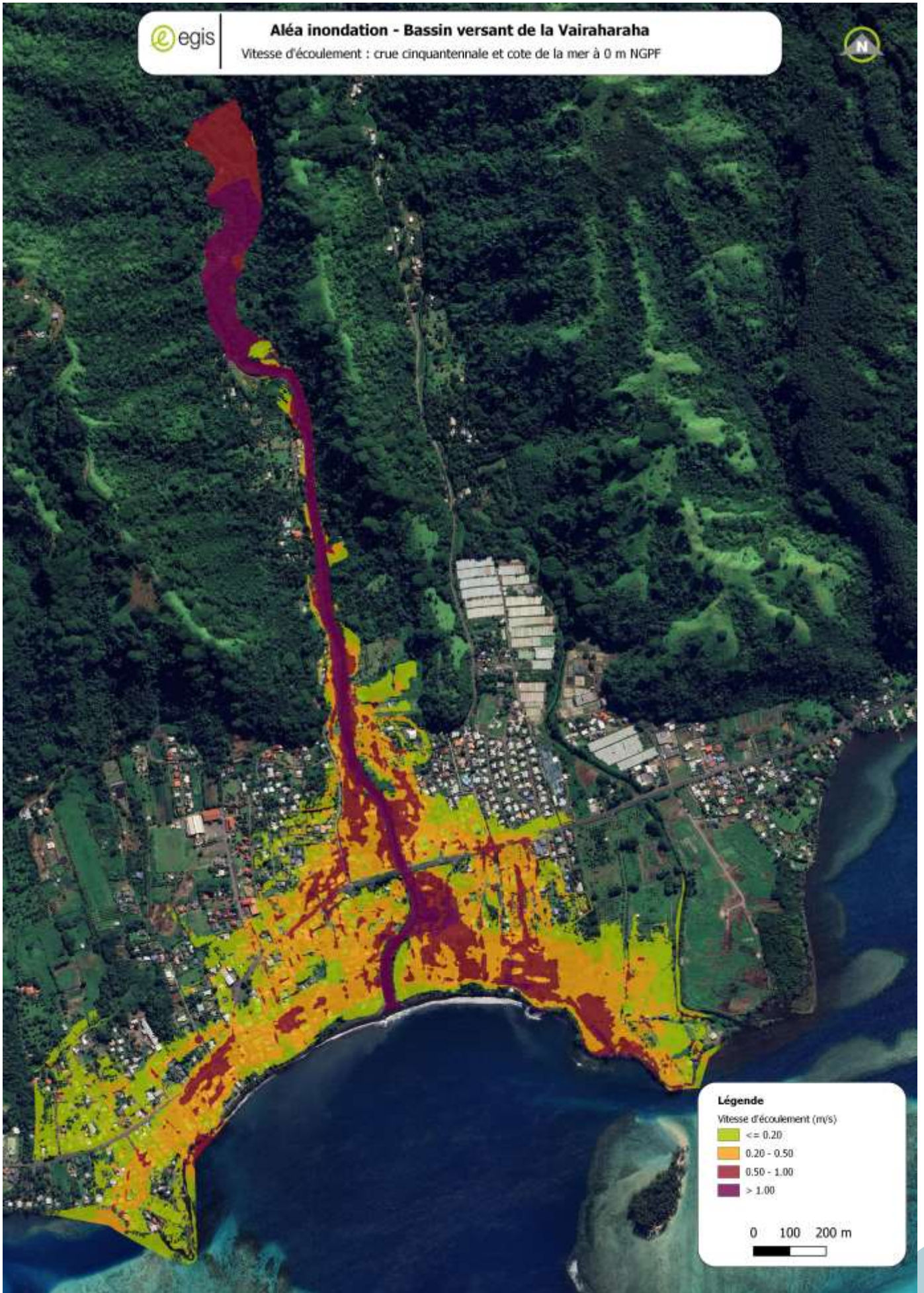
> 2.00

0 100 200 m









#### Légende

Vitesse d'écoulement (m/s)

<= 0.20

0.20 - 0.50

0.50 - 1.00

> 1.00

0 100 200 m

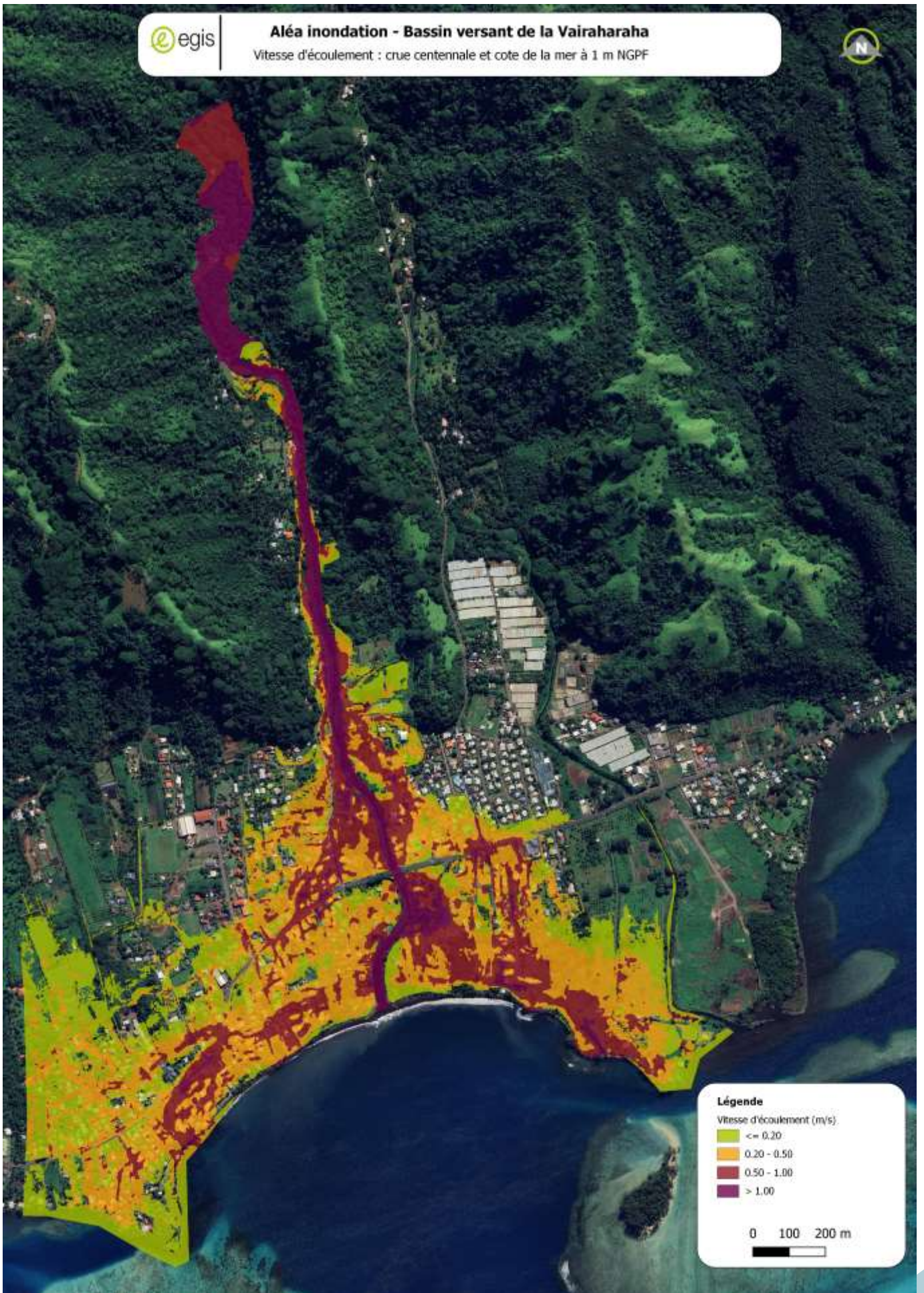


#### Légende

Hauteur d'eau (m)

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

0 100 200 m





#### Légende

Hauteur d'eau (m)

inférieure à 0.20

0.20 - 0.50

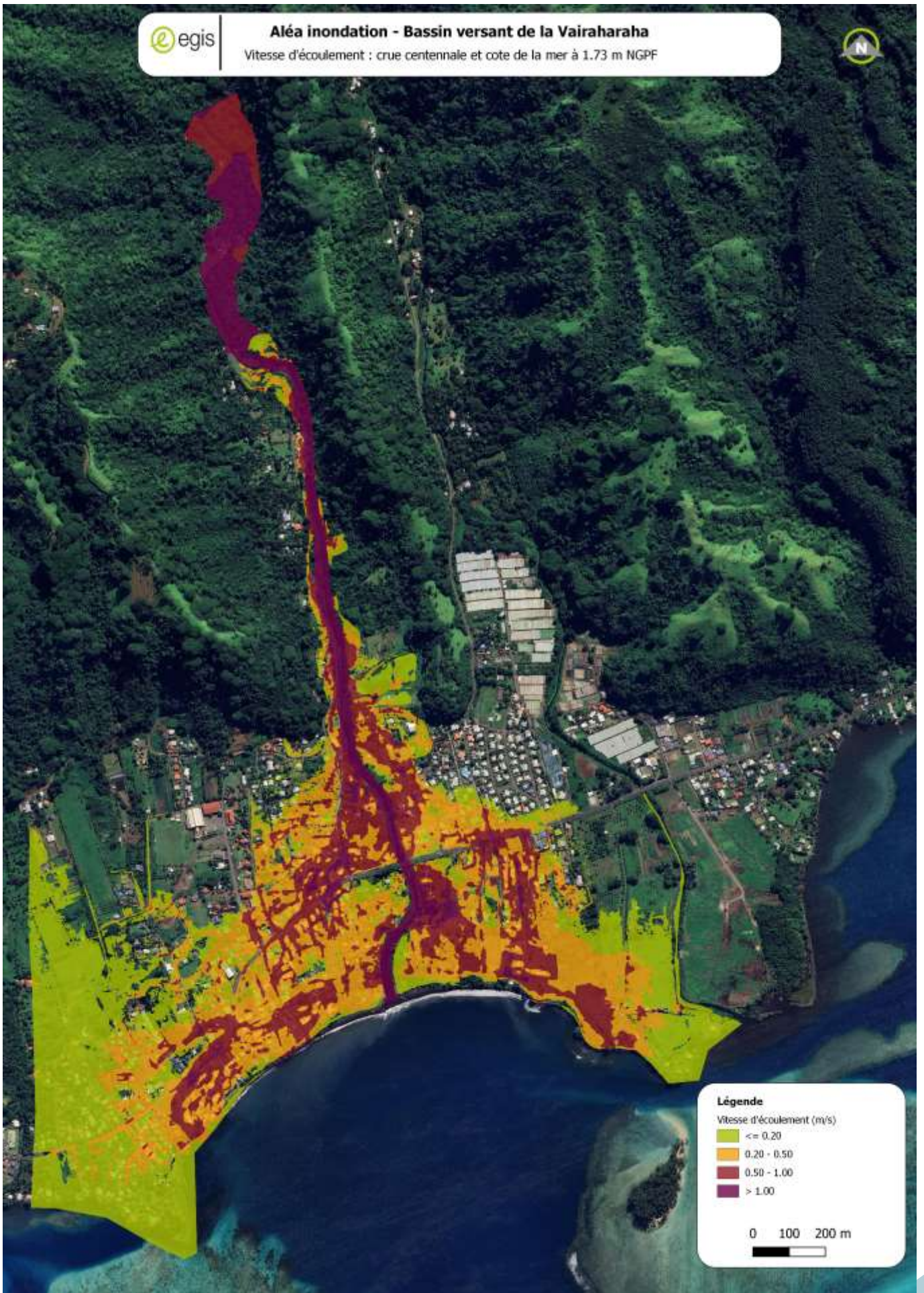
0.50 - 1.00

1.00 - 2.00

> 2.00





0 100 200 m





**Légende**

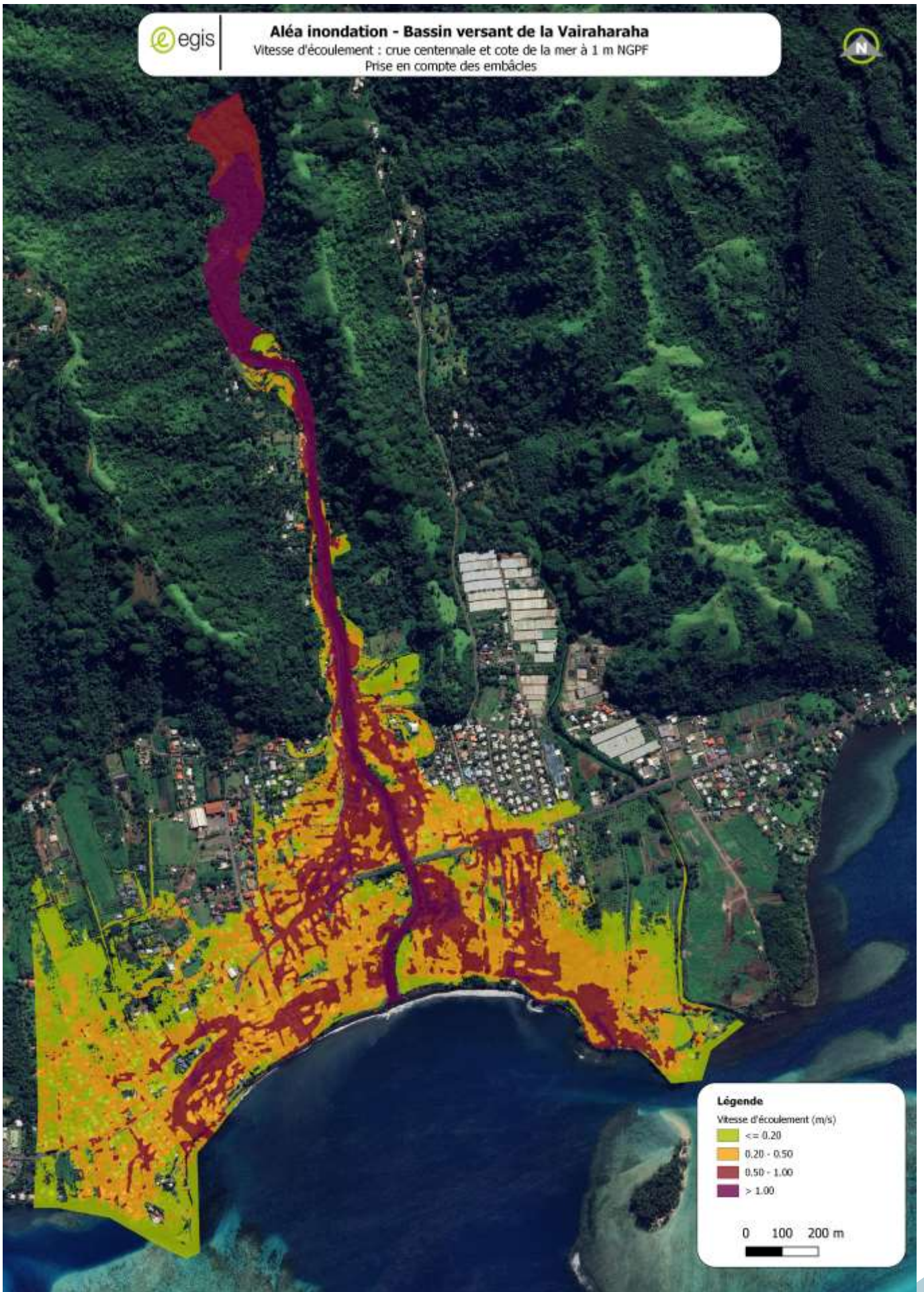
Vitesse d'écoulement (m/s)

-   $\leq 0.20$
-   $0.20 - 0.50$
-   $0.50 - 1.00$
-   $> 1.00$

0 100 200 m







#### Légende

Vitesse d'écoulement (m/s)

<= 0,20

0,20 - 0,50

0,50 - 1,00

> 1,00

0 100 200 m





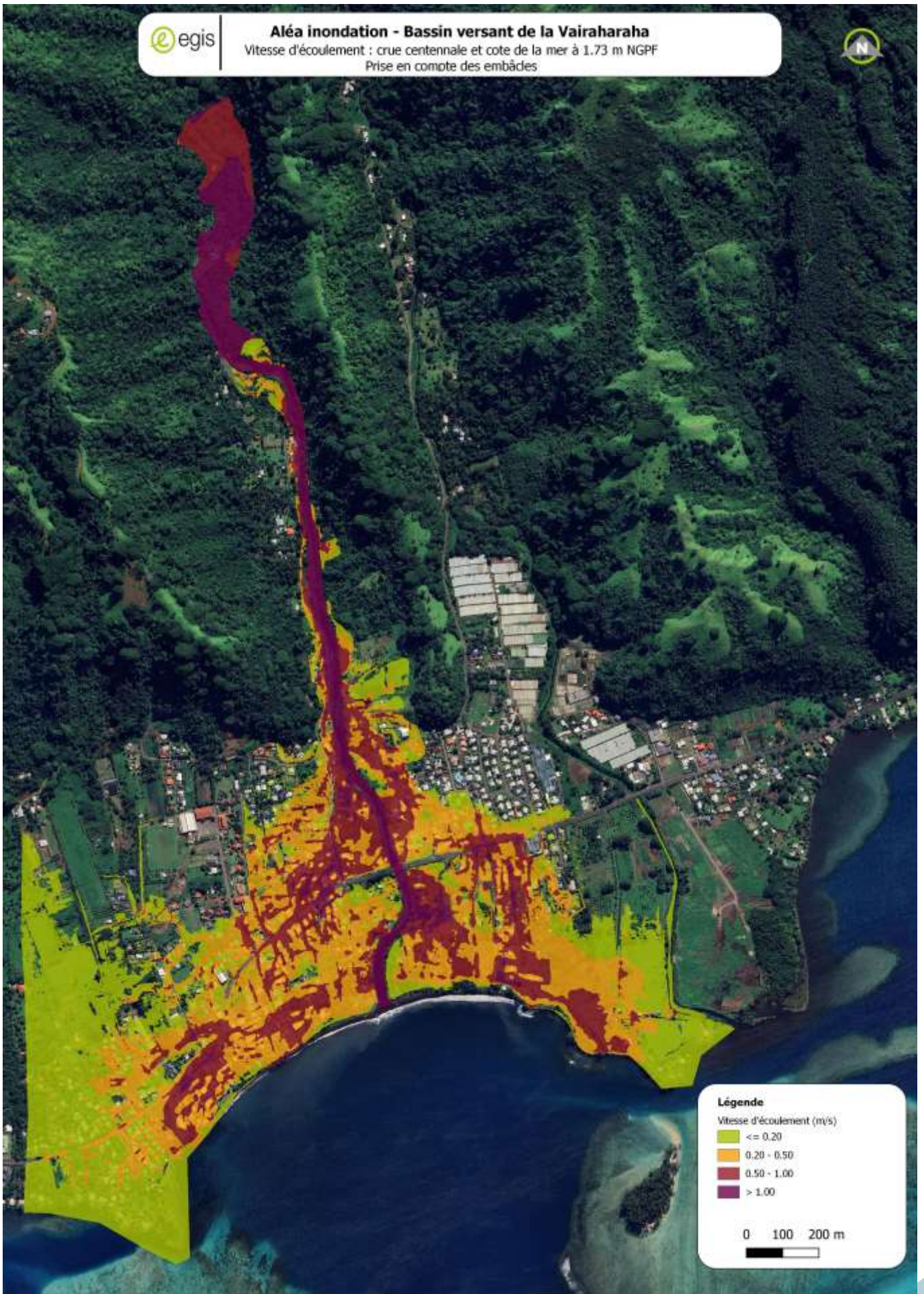
#### Légende

Hauteur d'eau (m)

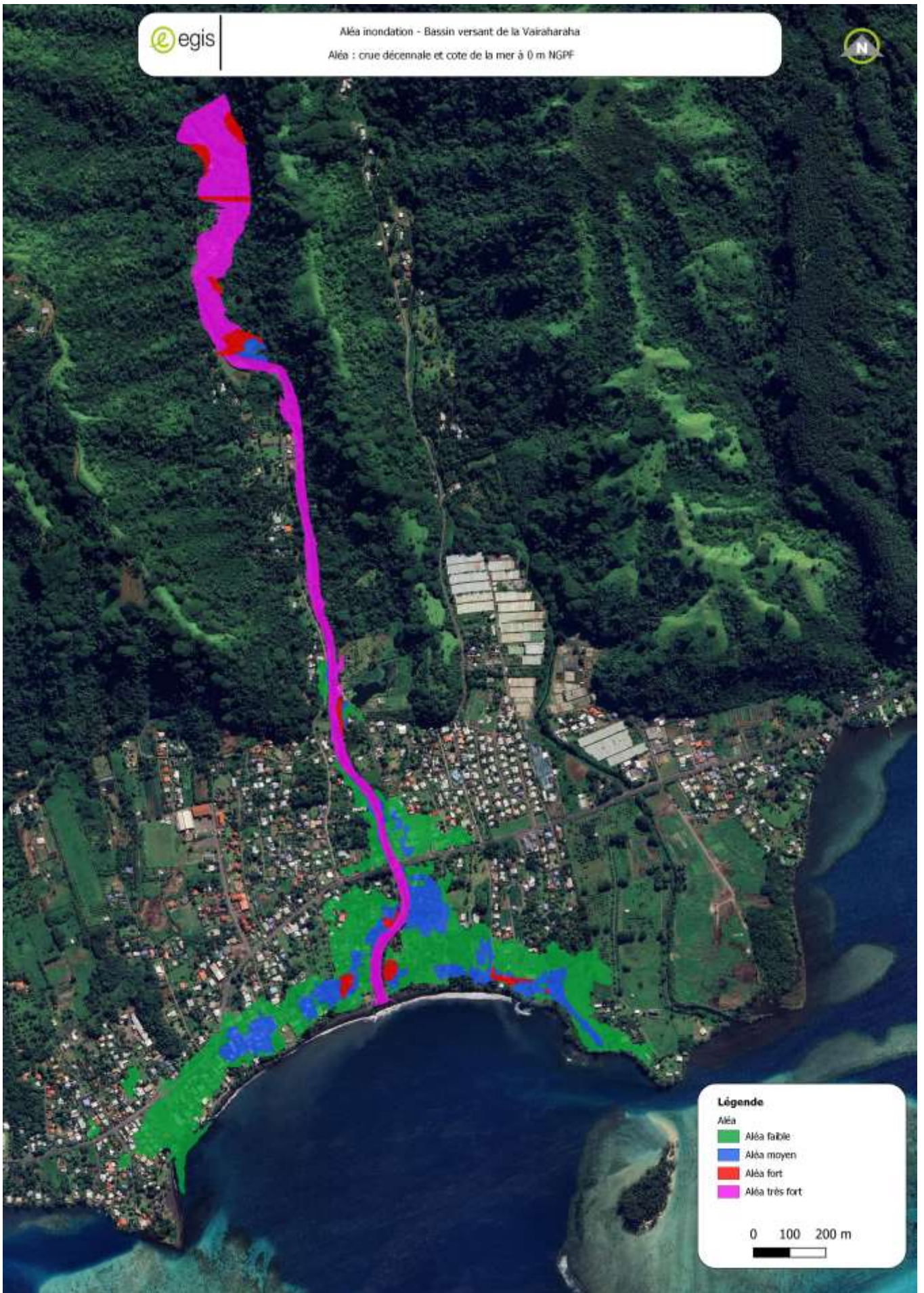
- inférieure à 0,20
- 0,20 - 0,50
- 0,50 - 1,00
- 1,00 - 2,00
- > 2,00

0 100 200 m



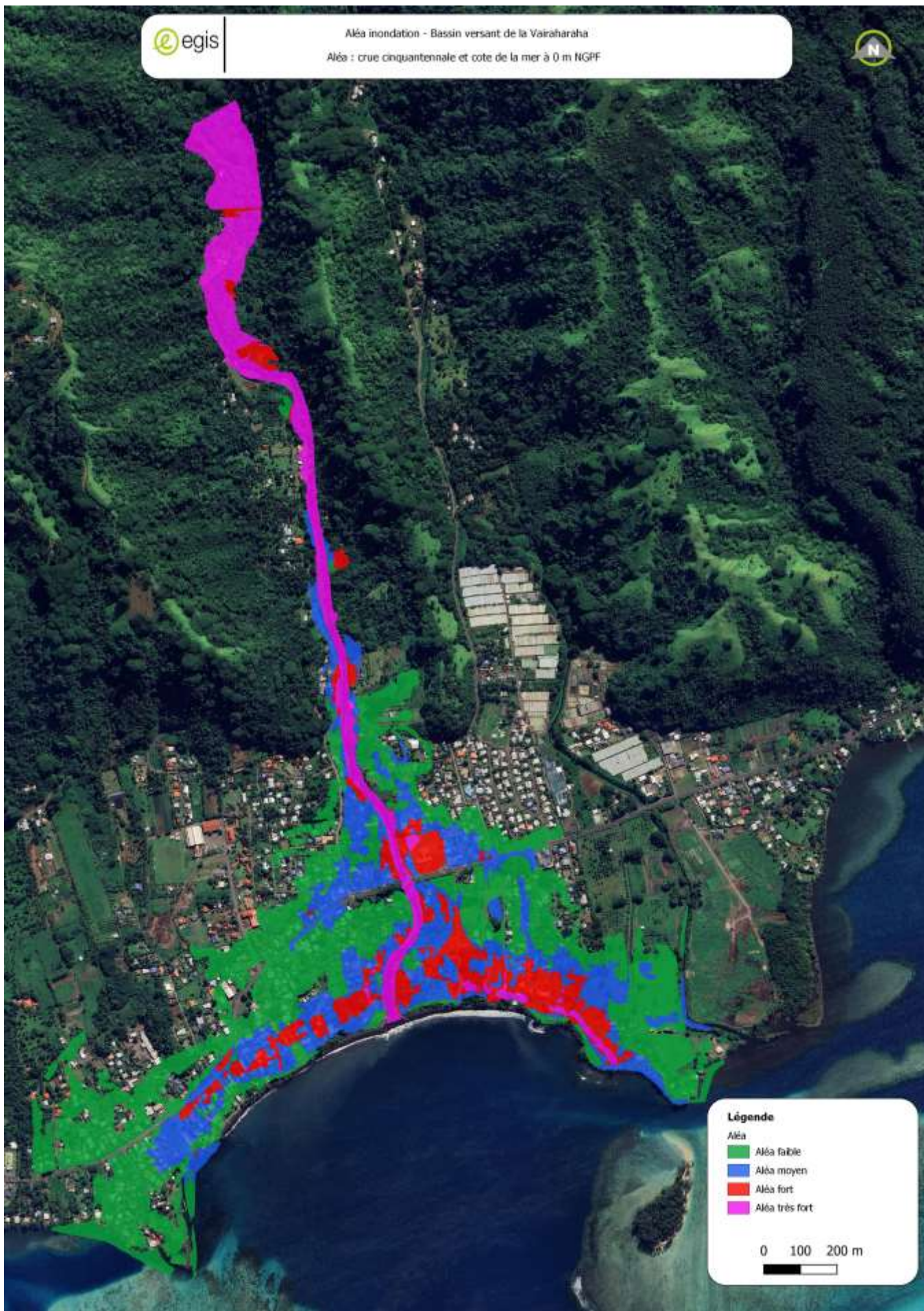


**ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIES DE L'ALEA INONDATION POUR CHAQUE SCENARIO**



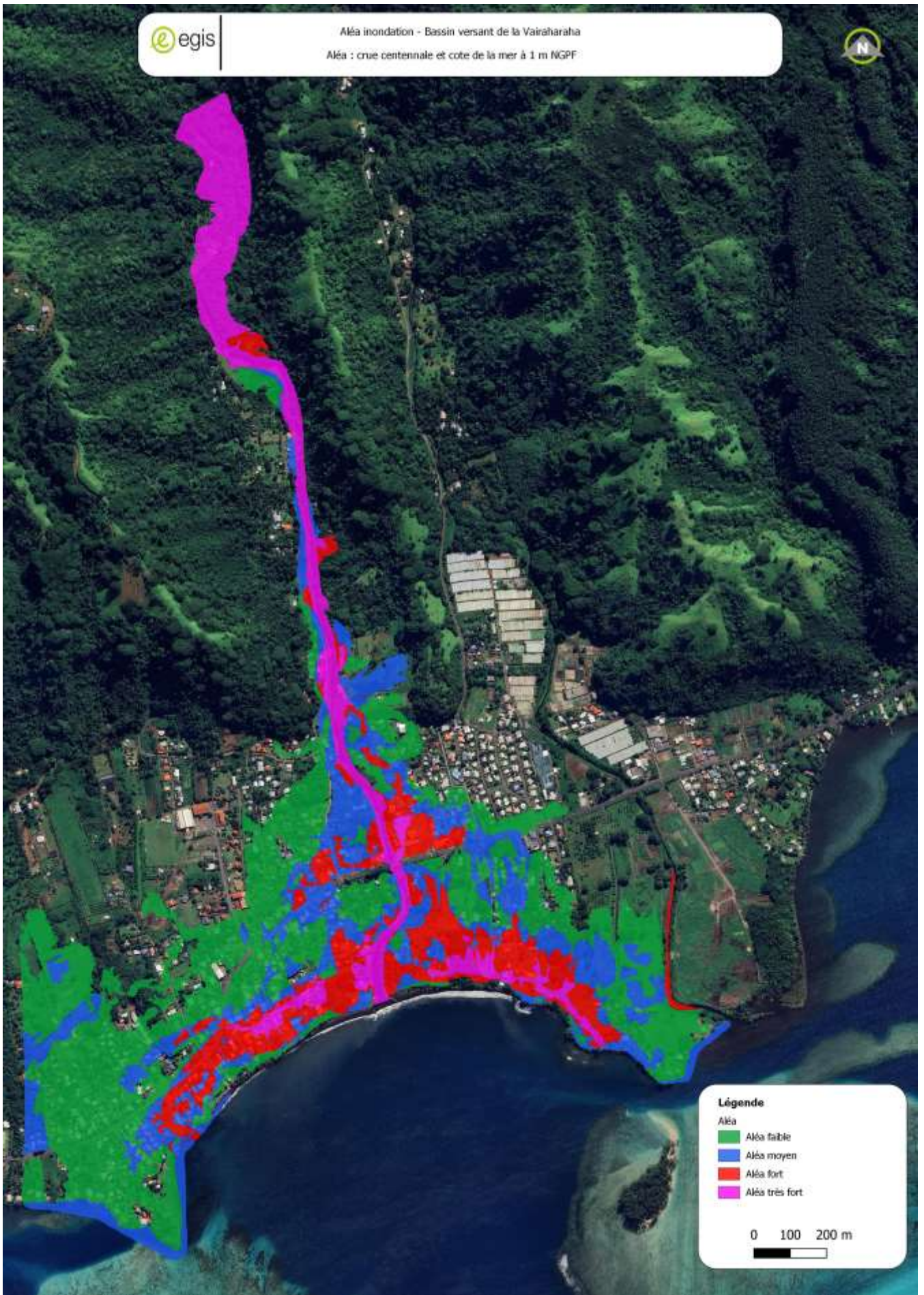
**Légende**  
Aléa  
Aléa faible  
Aléa moyen  
Aléa fort  
Aléa très fort

0 100 200 m



- Légende**
- Aléa
  - Aléa faible
  - Aléa moyen
  - Aléa fort
  - Aléa très fort

0 100 200 m



**Légende**

Aléa

Aléa faible

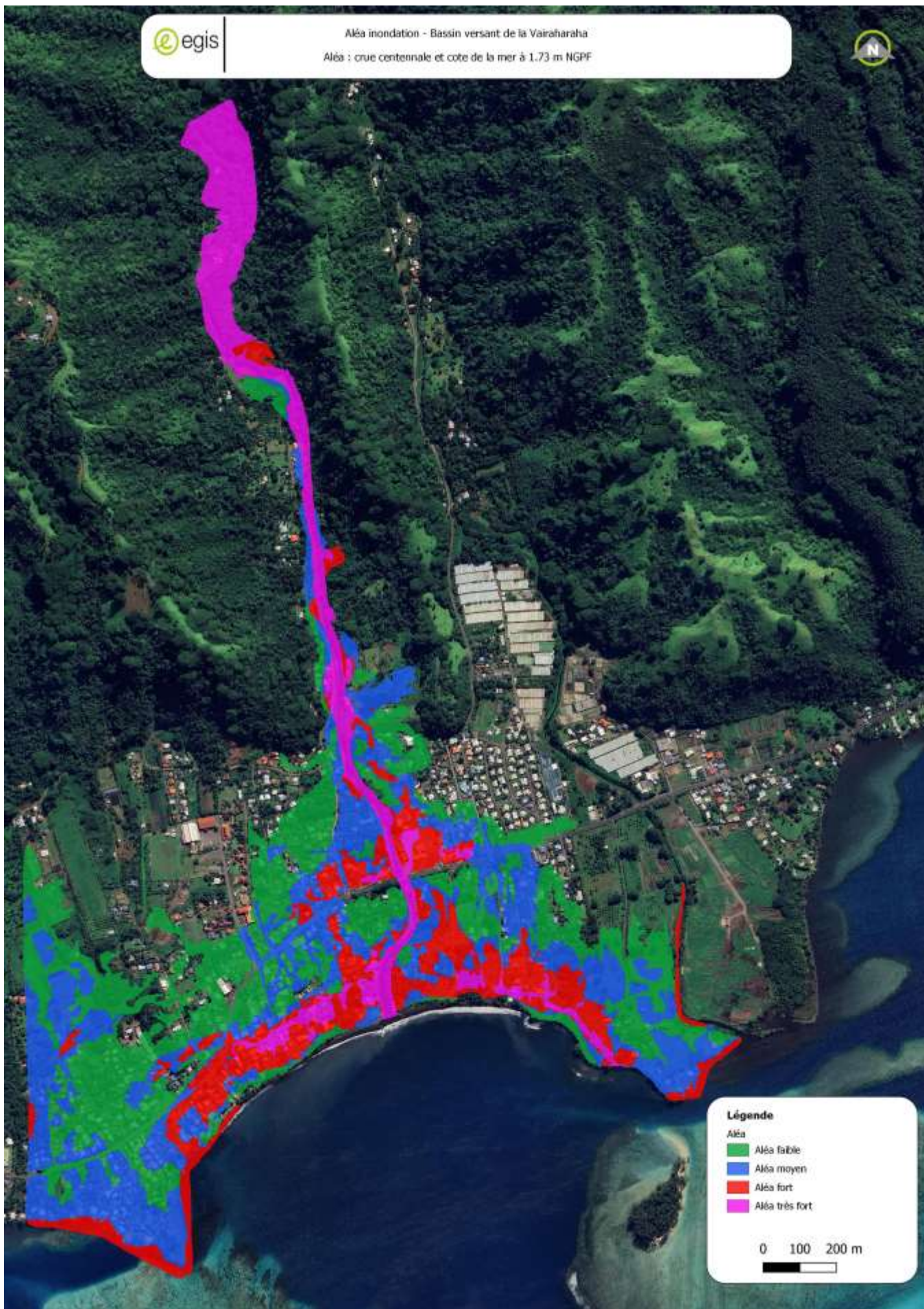
Aléa moyen

Aléa fort

Aléa très fort

0 100 200 m

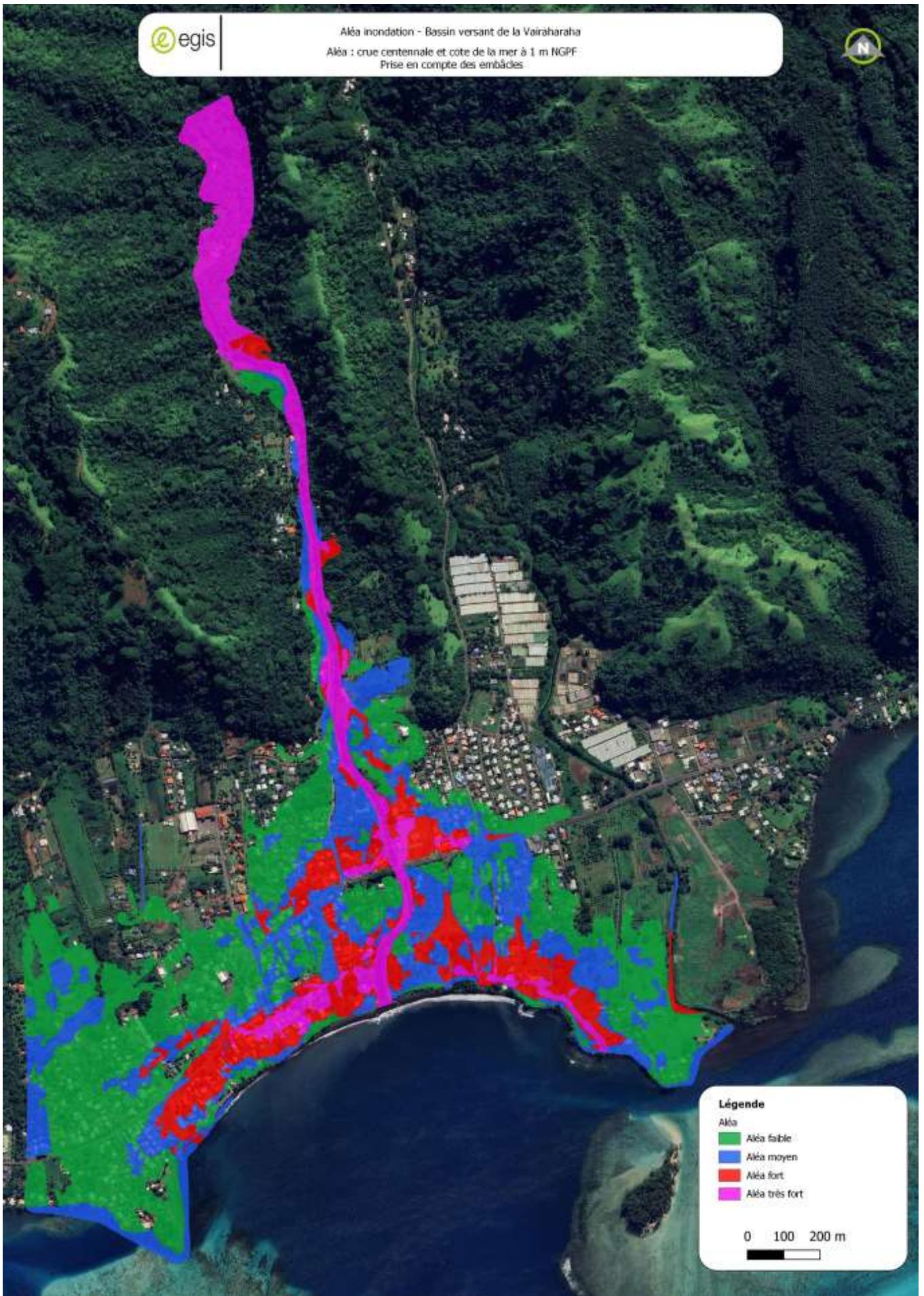




**Légende**

- Aléa
- Aléa faible
- Aléa moyen
- Aléa fort
- Aléa très fort

0 100 200 m



**Légende**

- Aléa
- Aléa faible
- Aléa moyen
- Aléa fort
- Aléa très fort

0 100 200 m

