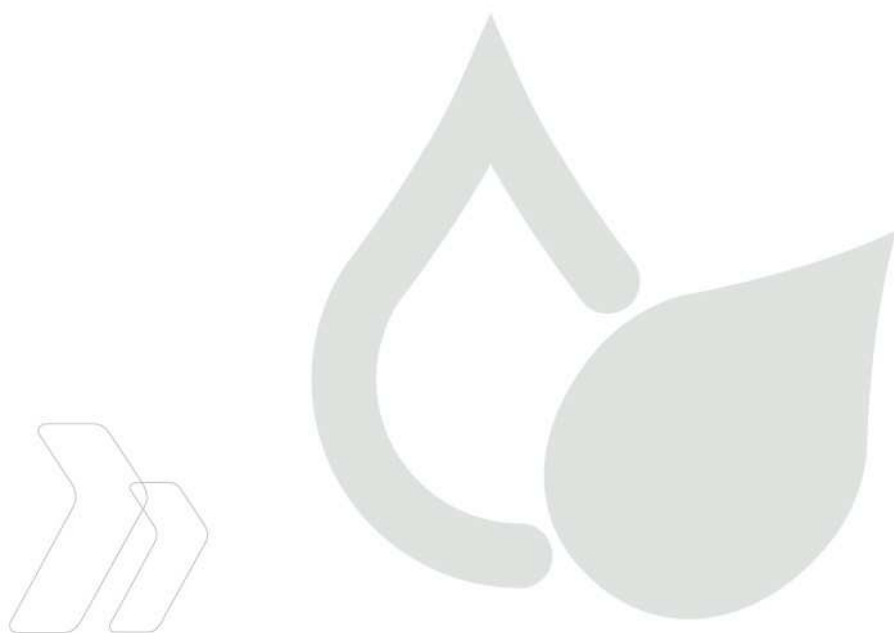


Eau
Environnement



ETUDE DE LA ZONE INONDABLE DE LA VOH ET LA FALEANE

Rapport final consolidé de l'étude de la zone
inondable de la Voh et la Faléane



MAIRIE DE VOH

Rapport n° : 18F-231P-RX-3

Révision n° : A

Date : 21/10/2020

Votre contact :

Guillaume GONZALEZ

gonzalez@isl.fr

Rapport



DAVAR
Direction des Affaires
Vétérinaires, Alimentaires
et Rurales

ISL Ingénierie SAS - XPACIFIQUE
15 bis rue de Verdun, Espace
Performance CCI
BP M3
98849 - Nouméa, Nouvelle-Calédonie
FRANCE
Tel. : (+687) 24 23 18
www.isl.fr 24 31 04

ISL
Ingénierie

Visa

Document verrouillé du 22/10/2020.

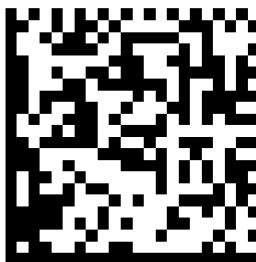
Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	21/10/2020	GGO	GGO	NVH	Contribution MAD Fusion des rapports de phases 1 et 2 - Fin de consolidation Finalisation du document

GGO : GONZALEZ Guillaume

NVH : VANHECKE Nicolas

Rapport ISL
18F-231P-RX-3
Revision A

<http://www.isl.fr/r.php?c=192226>



SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE	1
2	PRESENTATION DES DONNEES RECUEILLIES	2
2.1	ETUDES RELATIVES A L'HYDROLOGIE	2
2.2	DOCUMENTS D'URBANISME	3
2.3	DONNEES TOPOGRAPHIQUES	3
2.4	DONNEES PLUVIOMETRIQUES ET HYDROMETRIQUES	4
2.5	LAISSES DE CRUE ET JAUGEAGES	4
3	ANALYSE DES ETUDES EXISTANTES	5
3.1	RAPPORT D'ETUDE HYDRAULIQUE DE LA VOH, SOGREAH 2000 [1]	5
3.1.1	HYDROLOGIE	5
3.1.2	HYDRAULIQUE	6
3.2	ETUDE DES ZONES INONDABLES, ALEA D'INONDATION DE LA COCO, A2EP 2009 [2]	6
3.2.1	HYDROLOGIE	6
3.2.2	HYDRAULIQUE	7
3.3	CONTEXTE D'INONDABILITE EN VUE DE CONSTRUCTIONS SUR PARCELLES DANS LA COMMUNE DE VOH, A2EP 2016 [3]	7
3.4	ATLAS DES CARTES D'INONDABILITES POTENTIELLES AU 1/10000, SEPTEMBRE 2004 [4]	8
3.5	ENQUETES HISTORIQUES DE CRUE, DAVAR 2004 [5]	8
3.6	RECUEIL DES DEBITS CARACTERISTIQUES, DAVAR 2009 [6]	8
3.7	SYNTHESE ET REGIONALISATION DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES DE LA NOUVELLE-CALEDONIE, DAVAR 2011 [7]	9
3.8	COURBES ENVELOPPES DES DEBITS SPECIFIQUES MAXIMUMS DE CRUES [8]	10
3.9	SCHEMA D'AMENAGEMENT PARTIEL SUR 3 SECTEURS [11]	11
4	ETUDE HYDROLOGIQUE	14
4.1	ORGANISATION DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE	14
4.2	PRESENTATION DES BASSINS VERSANTS	14

4.2.1	CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS _____	14
4.2.1.1	Surface des bassins versants _____	14
4.2.1.2	Relief des bassins versants _____	15
4.2.1.3	Caractéristiques de forme : Indice de compacité et rectangle équivalent _____	17
4.2.1.4	Valeurs pour les bassins versants _____	17
4.2.2	GEOLOGIE _____	17
4.2.3	OCCUPATION DU SOL _____	19
4.2.4	CONTEXTE CLIMATIQUE _____	20
4.2.4.1	Temps de concentration _____	20
4.3	ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE : ANALYSE REGIONALE _____	21
4.4	ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE : ANALYSE STATISTIQUE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA FATENAOUE _____	22
4.4.1	REMARQUE PREALABLE _____	22
4.4.2	AJUSTEMENTS SUR LA CHRONIQUE 1998-2018 _____	22
4.4.3	AJUSTEMENTS SUR L'ENSEMBLE DE LA CHRONIQUE _____	23
4.4.4	CONCLUSION _____	23
4.5	APPROCHE PLUVIOMETRIQUE _____	24
4.5.1	PLUVIOMETRIE _____	24
4.5.2	METHODE RATIONNELLE _____	26
4.5.3	METHODE DU GRADEX _____	27
4.5.3.1	Généralités _____	27
4.5.3.2	Formulation de la méthode du GRADEX _____	27
4.5.3.3	Estimation de la durée caractéristique du bassin versant et du coefficient de forme _____	28
4.5.3.4	Débit pivot _____	29
4.5.3.5	Résultats _____	29
4.6	COMPARAISON DES RESULTATS DES DIFFERENTES METHODES AVEC LES ETUDES EXISTANTES ET CHOIX DES CRUES DE PROJET _____	29
4.6.1	SUR LA VOH _____	29
4.6.2	SUR LA FALÉANE _____	30
4.7	CRUES HISTORIQUES _____	31
4.7.1	SUR LA VOH _____	31
4.7.2	SUR LA FALÉANE _____	31
4.8	CONCLUSION SUR L'HYDROLOGIE DES CRUES _____	32
5	RECONNAISSANCES ET ENQUETES DE TERRAIN _____	33
5.1	INSPECTION DU COURS D'EAU – ETAT DES LIEUX _____	33

5.2	NATURE DU COURS D'EAU	33
5.2.1	LA VOH	33
5.2.2	LA FALÉANE	37
5.3	SINGULARITES DU SECTEUR	38
5.4	CARTOGRAPHIE DU SECTEUR	39
5.5	HISTORIQUE GENERAL DU SECTEUR	39
5.6	LAISSES DE CRUES DES EVENEMENTS REMARQUABLES	40
6	LEVES TOPOGRAPHIQUES COMPLEMENTAIRES	41
7	HYPOTHESES ET DONNEES D'ENTREES DE LA MODELISATION	44
7.1	TYPE DE MODELISATION	44
7.2	HYPOTHESES GENERALES DE MODELISATION	44
7.3	DONNEES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMETRIQUES DISPONIBLES POUR LA CONSTRUCTION DU MNT	44
7.3.1	ETAT ACTUEL	44
7.3.2	COHERENCE ET ASSEMBLAGES DES DIFFERENTES DONNEES TOPOGRAPHIQUES	46
7.4	EMPRISE DE LA MODELISATION	49
7.5	CONDITIONS LIMITES ET INITIALES	50
7.5.1	CRUES HISTORIQUES	50
7.5.2	CONDITION LIMITE AMONT	51
7.5.3	CONDITION LIMITE AVAL	51
7.5.4	CONDITION LIMITE DU RESTE DE L'EMPRISE DU MODELE	52
7.5.5	CONDITIONS INITIALES	52
7.6	MAILLAGE	53
7.7	OUVRAGES	53
7.8	OCCUPATION DES SOLS ET COEFFICIENT DE STRICKLER	55
7.8.1	LA RUGOSITE	55
7.8.2	OCCUPATION DU SOL EN LIT MAJEUR	55
7.8.3	JEUX DE COEFFICIENTS DE STRICKLER TESTES	59
7.9	VALIDATION DE L'HYPOTHESE DU REGIME PERMANENT SUR LES DEBITS DE CRUES POUR LE CALAGE	61
7.9.1	EVALUATION D'UN HYDROGRAMME DE CRUE REALISTE DE LA VOH	61
7.9.2	IMPACT DE L'HYPOTHESE DU REGIME PERMANENT SUR LES RESULTATS	63

8	CALAGE DU MODELE	66
8.1	LES LAISSES DE CRUE	66
8.1.1	SOURCES D'INCERTITUDES	66
8.1.2	LAISSES DE CRUES DE L'ENQUETE TERRAIN ISL	67
8.1.3	LAISSES DE CRUE EXPLOITABLES	69
8.2	MODELISATION DE LA CRUE DE CALAGE : BETI 1996	75
8.2.1	ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE GLOBAL DU SECTEUR ETUDIE	75
8.2.2	ANALYSE DETAILLEE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE AU DROIT DES ZONES D'ENJEUX IDENTIFIEES	77
8.2.3	ANALYSE DU PROFIL EN LONG	82
8.2.4	COMPARAISON AVEC LES LAISSES DE CRUE	85
8.3	MODELISATION DES CRUES DE CALAGE : FRANCK 1999 ET MARS 0888	
8.3.1	ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU SECTEUR ETUDIE	88
8.3.2	COMPARAISON AVEC LES LAISSES DE CRUE	91
8.4	SYNTHESE ET DISCUSSION SUR LE CALAGE	96
9	ANALYSES DE SENSIBILITE DU MODELE	105
9.1	ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE AUX CONDITIONS LIMITE AVAL DE MAREE – CRUE BETI	105
9.2	ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE SUR L'EXTENSION DE LA CONDITION LIMITE AVAL LIQUIDE DE LA VOH – CRUE BETI	109
9.3	ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE SUR LA VARIABILITE DES DEBITS DE POINTES – CRUE BETI	112
9.4	ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE SUR LES COEFFICIENTS DE STRICKLER – CRUE BETI	117
9.5	ANALYSES DE SENSIBILITE DU MODELE SUR LA PRESENCE D'EMBACLE AU NIVEAU DES OUVRAGES HYDRAULIQUES – CRUE BETI	122
9.5.1	ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE SUR LA PRESENCE D'EMBACLE AU NIVEAU DU PONT DE LA VOH – CRUE BETI	122
9.5.2	ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE SUR LA PRESENCE D'EMBACLE AU NIVEAU DES OUVRAGES DE LA FALÉANE – CRUE BETI – VALIDATION DE L'HYPOTHESE D'EMBACLE NULLE.	124
9.6	CONCLUSION SUR LES ANALYSES DE SENSIBILITE	129
10	MODELISATION DES CRUES DE PROJET	130
10.1	HYPOTHESES SUR LES CONDITIONS LIMITEES AVAL	130

10.2	HYPOTHESES SUR LES HYDROGRAMMES DE CRUES DE PROJET	130
10.3	ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE : Q100	133
10.3.1	LA DYNAMIQUE DE LA CRUE	133
10.3.2	L'EMPRISE DE LA ZONE INONDABLE	136
10.3.3	REPARTITION DES DEBITS DANS LE LIT MAJEUR	138
	Profils en long et ouvrages hydrauliques	139
10.4	ANALYSE DES CRUES DECENNALE (Q10) ET QUINQUENNALE(Q5)	141
11	PHASE 3 : CARTOGRAPHIE REGLEMENTAIRE DES CRUES DE PROJETS	144
11.1	CARTOGRAPHIES DES HAUTEURS ET DES VITESSES	144
11.1.1	EMPRISE DE LA ZONE CARTOGRAPHIEE	144
11.1.2	CLASSES DE HAUTEUR ET DE VITESSE REPRESENTEE	144
11.1.3	EVALUATION DES HAUTEURS D'EAU ENTRE 2 ISOCOTES	145
11.1.4	PRESENTATION DES CARTOGRAPHIES POUR LES CRUES DE PROJET	147
11.1.4.1	Cartographie de la crue centennale Q100	147
11.1.4.2	Cartographie pour les crues décennale (Q10) et quinquennale (Q5)	150
11.2	CARTOGRAPHIE DE L'ALEA	151
11.2.1	DEFINITION DE LA GRILLE DES ALEAS	151
11.2.2	ZONE DE PROTECTION DES THALWEG	152
11.2.3	CARTOGRAPHIE DES ALEAS	154

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 CARTOGRAPHIES DES ZONES INONDABLES DE LA VOH ET LA FALÉANE

ANNEXE 2 PROFILS EN LONG DE LA VOH ET LA FALÉANE

ANNEXE 3 LAISSES DE CRUES

ANNEXE 4 RELEVES TOPOGRAPHIQUES

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : (extrait graphique de [2]) coefficient de Montana à Koné _____	7
Figure 2 : (extrait graphique de [2]) coefficient de Montana à Tango _____	7
Figure 3 : synthèse des Q100 obtenus par ajustement de Gumbel sur l'ensemble des 22 stations hydrométriques de la Nouvelle-Calédonie (cf. [8]) _____	10
Figure 4 : rapport Q_{100}/Q_T défini à partir des ajustements de Gumbel sur l'ensemble des 22 stations hydrométriques de la Nouvelle-Calédonie (cf. [8]) _____	11
Figure 5 : secteur étudiés dans le document [11] _____	12
Figure 6 : synthèse sur le secteur B (source : document [11]) _____	13
Figure 7 : synthèse sur le secteur C (source : document [11]) _____	13
Figure 8: bassin versant de la Voh _____	15
Figure 9: relief des bassins versants _____	16
Figure 10 : géologie des bassins versants (source : Explo CartEau, échelle 1/200 000) _____	18
Figure 11 : occupation du sol des bassins versants (source : DTSI 2008) _____	19
Figure 12: isohyètes, carte issue des données de la DAVAR d'Explo Cart'Eau _____	20
Figure 13 : ajustement de Weibull sur la chronique 1998-2018 à Faténaoué _____	23
Figure 14 : ajustement de Weibull sur l'ensemble de la chronique à Faténaoué _____	23
Figure 15 : position des stations pluviométriques sur le bassin versant _____	25
Figure 16 : hydrogrammes centrés réduits des crues historiques à Faténaoué _____	28
Figure 17 : exemple de terrain privé remblayé _____	38
Figure 18 : cartographie globale du secteur _____	39
Figure 19 : Profils en travers réalisé lors de la campagne terrain 2019 _____	42
Figure 20 : Ouvrages hydrauliques ayant fait l'objet d'un relevé topographique lors de la campagne de terrain 2019 _____	43
Figure 21 : Relevé topographique du pont de la Voh _____	43
Figure 22 : Représentation du MNT actuel de la zone d'étude _____	45
Figure 23 : Illustration du traitement des points altimétriques d'une SERRE anormalement haute (+3,5m) pour des points topographiques pris au sol selon la norme NEIGE – Topographie 2000 ^{ème} _____	46
Figure 24 : Vue en coupe sur la Faléane – Modification de l'interpolation HEC-RAS pour garder une cohérence avec la donnée topographique au 2000 ^{ème} . _____	47
Figure 25 : Linéaire d'extrapolation du lit mineur (du profil P38 à la frontière aval) _____	48
Figure 26 : Emprise de la modélisation avec les conditions limites amont et aval _____	49
Figure 27 : Marégramme/Hydrogramme sur l'événement Beti 1996 – source SHOM _____	52
Figure 28 : Extrait du maillage de la modélisation 2D _____	53
Figure 29 : Localisation des ouvrages hydrauliques intégrés à la modélisation _____	54
Figure 30 : Orthophotos de la zone d'étude datant de 1976 à 2018 (Sources : géorep et google earth) _____	56

Figure 31 : Orthophoto de la zone d'étude datant d'aujourd'hui (Source DITTT : géorep / date de révision de la donnée : 2019-08-06)	57
Figure 32 : Occupation du sol – état 2014	58
Figure 33 : Jeu de coefficient de Strickler retenu pour le calage du modèle	60
Figure 34 : Hydrogramme de crue de la Voh au niveau du pont de la tribu de Tieta construit à partir de la Faténaoué – Beti 1996	62
Figure 35 : Profils en long sur les plus hautes eaux observées - test de sensibilité de la condition limite amont – Crue Beti 1996	63
Figure 36 : Carte des impacts altimétriques de la modélisation sur la condition limite amont	65
Figure 37 : Détails de l'influence de l'hypothèse du régime transitoire ou permanent sur l'emprise de l'inondation	65
Figure 38 : Localisation des laisses de crue identifiées par l'enquête terrain ISL	67
Figure 39 : Illustration des mesures sur le groupe de laisse L1/L2/L3 en rive gauche de la Voh	69
Figure 40 : Localisation des laisses de crues sur le secteur d'étude et des zones d'enjeux	71
Figure 41 : Implantation de l'échelle à maxima L2 sur le maillage du modèle (altimétrie des mailles précisées en m NGNC).	72
Figure 42 : Laisses de crues historiques rapportées sur les linéaires des cours d'eau	73
Figure 43 : Cartographie des écoulements pour la crue de Beti 1996, pic de la crue : débordement généralisé	75
Figure 44 : Cartographie des écoulements – zoom sur le bras mort se réactivant pour former un bras de décharge secondaire pour la crue de Beti 1996	76
Figure 45 : Zone d'enjeux habitat De Gaulle à l'amont de la Faléane pour la crue de Beti 1996	77
Figure 46 : Zone d'enjeux habitat De Gaulle en rive droite de la Faléane pour la crue de Beti 1996	78
Figure 47 : Zone d'enjeux du lotissement communal pour la crue de Beti 1996	79
Figure 48 : Zone d'enjeux Habitat rive droite de la Voh pour la crue de Beti 1996	80
Figure 49 : Zone d'enjeux Habitat rive gauche de la Voh pour la crue de Beti 1996	81
Figure 50 : Profils en long sur les plus hautes eaux – Calage Beti 1996	83
Figure 51 : Profils en long sur les plus hautes eaux – ZOOM sur la partie amont de la Voh - Calage Beti 1996	84
Figure 52 : Comparaison entre les hauteurs d'eau maximales calculées par le modèle et les laisses de crue relevées pour l'évènement – Beti 1996	86
Figure 53 : Profils en long sur les plus hautes eaux – Beti 1996 et Franck 1999	89
Figure 54 : Comparaison des emprises inondables entre les événements de calage	90
Figure 55 : Comparaison entre les hauteurs d'eau maximales calculées par le modèle et les laisses de crue relevées pour l'évènement – Franck 1999	93
Figure 56 : Comparaison entre les hauteurs d'eau maximales calculées par le modèle et les laisses de crue relevées pour l'évènement – Mars 2008	94
Figure 57 : Section du cours d'eau au droit des laisses L9 et L10 – Beti 96	98

Figure 58 : Exemple de plaine deltaïque sans végétation à l'aval du linéaire avec la Voh et sa mangrove en arrière-plan _____	99
Figure 59 : Profil en long du débordement de la Voh sur la Faléane _____	101
Figure 60 : Valorisation - Localisation des laisses de crue de l'enquête terrain ISL _____	103
Figure 61 : Profils en long sur les plus hautes eaux - test de sensibilité de la condition limite aval – Crue Beti 1996 _____	106
Figure 62 : Carte des impacts sur les différences hauteurs d'eau maximales atteintes en passant d'une condition limite aval de 1,4 m NGNC à PBMA (- 0,55 m NGNC) – Crue Beti 1996 _____	107
Figure 63 : Profils en long de la Voh des plus hautes eaux sur le dernier kilomètre modélisé à l'aval - test de sensibilité de la condition limite aval – Crue Beti 1996 _____	108
Figure 64 : Extension de la frontière à la condition limite aval de la Voh _____	109
Figure 65 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant la frontière à la condition limite aval – Crue Beti 1996 _____	110
Figure 66 : Localisation des potentiels apports des bassins voisins au niveau de l'Anse de Vavouto et zone d'aléa cartographié pour le creek Taléa (« Coco ») _____	111
Figure 67 : Profils en long sur les plus hautes eaux - test de sensibilité des débits de pointes injectés – Crue Beti 1996 _____	113
Figure 68 : Carte des différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant de +25% le débit de crue – Crue Beti 1996 _____	114
Figure 69 : Carte des différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en diminuant de -25% le débit de crue – Crue Beti 1996 _____	115
Figure 70 : Profils en long sur les plus hautes eaux - test de sensibilité des coefficients de Strickler – Crue Beti 1996 _____	118
Figure 71 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant de +20% les coefficients de Strickler– Crue Beti 1996 _____	119
Figure 72 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en diminuant de -20% les coefficients de Strickler– Crue Beti 1996 _____	120
Figure 73 : Profil en long sur les plus hautes eaux - test de sensibilité à la présence d'embâcle au niveau du pont de la Voh – Crue Beti 1996 _____	122
Figure 74 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant de +20% l'obstruction de la section d'écoulement du pont de la Voh– Crue Beti 1996 _____	123
Figure 75 Illustration de 2 types d'obstruction de 20% de la section d'écoulement du pont de la Voh _____	124
Figure 76 : Profils en long sur les plus hautes eaux - test de sensibilité à la présence d'embâcle au niveau des ouvrages de la Faleane – Crue Beti 1996 _____	125
Figure 77 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant de +100% l'obstruction de la section d'écoulement de l'ouvrage 1– Crue Beti 1996 _____	127
Figure 78 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant de +100% l'obstruction de la section d'écoulement de l'ouvrage 2 et 3– Crue Beti 1996 _____	128
Figure 79 : Hydrogrammes types pour la crue de projet Q100 _____	131

Figure 80 : Hydrogrammes centrés réduits des crues historiques à Faténaoué	132
Figure 81 : Hydrogrammes de crues retenues pour les crues de projet	132
Figure 82 : Dynamique de crue - Q100	133
Figure 83 : Vue en coupe de l'inondation sur la RT1	135
Figure 84 : Comparaison des emprises inondables actuelle (ISL en rouge) et de 2000 (Sogreah en jaune)	136
Figure 85 : Augmentation de la zone inondée cartographiée pour la crue centennale (en jaune limite de l'ancienne zone inondable – en rouge la nouvelle zone)	137
Figure 86 : Cartographie des écoulements pour la crue Q100 – Plus hautes eaux : débordement généralisé	138
Figure 87 : Profils en long des plus hautes eaux – Q100	139
Figure 88 : Profils en long sur les plus hautes eaux – comparaison Q100/Q10/Q5	142
Figure 89 : Profil en long de la RT1 sur les plus hautes eaux – comparaison des trois crues de projet Q100/Q10/Q5	143
Figure 90 : Superposition de l'emprise cartographiée et la zone d'aléa cartographié pour le creek Taléa (« Coco »)	144
Figure 91 Classes de hauteurs pour la cartographie réglementaire	144
Figure 92 Classes de vitesses pour la cartographie réglementaire	145
Figure 93 Exemple de détermination de la cote d'inondation au droit d'une habitation isolée le long de la VU 19 pour la crue centennale	146
Figure 94 Cartographie des écoulements pour la crue Q100 – Plus grandes hauteurs d'eau atteintes	147
Figure 95 : Cartographie des écoulements pour la crue Q100 – Plus hautes vitesses atteintes	148
Figure 96 : Les vitesses d'écoulement de l'inondation des zones d'enjeux sur la Q100	149
Figure 97 : Cartographie pour la crue Q10 et Q5 – Plus hautes eaux : débordement généralisé	150
Figure 98 : Cartographie pour la crue Q10 et Q5 – Plus hautes vitesses : débordement généralisé	151
Figure 99 : Capacité de déplacement estimée et possibilités d'intervention en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement.	152
Figure 100 Localisation du thalweg de drainage des eaux rejoignant la Faléane et intégré dans la zone de protection des thalwegs	153
Figure 101 : Cartographie des écoulements pour la crue Q100 – Aléa inondation : débordement généralisé	154
Figure 102 : L'aléa de l'inondation des zones à enjeux sur la Q100	155

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : études recueillies relatives à l'étude hydrologique	2
---	---

Tableau 2 : documents d'urbanisme recueillis lors de l'étude.....	3
Tableau 3 : données topographiques recueillies	3
Tableau 4 : données pluviométriques et hydrométriques recueillies.....	4
Tableau 5 : débit de pointe de la Voh calculés dans l'étude [1] (source : rapport [1])	5
Tableau 6 : synthèse des informations historiques recueillies dans l'étude [5]	8
Tableau 7 : paramètres pluviométriques aux stations de Congos et Tipindje Col (source [7])	9
Tableau 8 : méthodologie et plan de l'étude hydrologique.....	14
Tableau 9 : caractéristiques géomorphologiques des bassins versants	17
Tableau 10 : Estimation des débits de pointe par la formule régionale.....	22
Tableau 11 : résultats des ajustements sur la chronique 1998-2018.....	22
Tableau 12 : résultats des ajustements sur l'ensemble de la chronique	23
Tableau 13 : transposition des ajustements de la Faténaoué aux bassins versants de la Voh et de la Faléane.....	24
Tableau 14 : intensité durée fréquence aux pluviomètres de Congos et Tipindje Col (source [7]) .	26
Tableau 15 : résultats de la méthode rationnelle.....	27
Tableau 16 : caractéristiques des crues historiques de la Faténaoué	29
Tableau 17 : débit pivot considéré dans la formule du Gradex.....	29
Tableau 18 : synthèse des débits de pointe de la Voh calculés avec les différentes méthodes et comparaison avec l'étude [1]	30
Tableau 19 : synthèse des débits de pointe de la Faléane calculés avec les différentes méthodes	30
Tableau 20 : estimation des débits de pointe des crues historiques de la Voh	31
Tableau 21 : Débits de pointes disponibles à l'issue de la phase 1	31
Tableau 22 : Débits estimés des crues historiques de la Faléane	32
Tableau 23 : débits de pointe de projet de la Voh et de la Faléane	32
Tableau 24 Débits de pointe estimés des crues historiques.....	32
Tableau 25 : laisses de crue identifiées chez les riverains	40
Tableau 26 : Débits de pointe estimés des crues historiques (rappel du paragraphe 4.8)	50
Tableau 27 : Conditions limites amont des différentes crues.....	51
Tableau 28 : Conditions limites aval des différentes crues	51
Tableau 29 : Caractéristiques des mailles du modèle	53
Tableau 30 : Présentation des ouvrages hydrauliques du modèle	54
Tableau 31 : Valeurs types de coefficient de Strickler	59
Tableau 32 : Laisses de crue identifiées lors de l'enquête terrain ISL	67
Tableau 33 : Laisses de crue relevées par le topographe	68
Tableau 34 : Présentation des échelles/laisses de crues sur le secteur d'étude	70
Tableau 35 : Cotes des laisses de crues pour les événements historiques.....	70

Tableau 36 : Ouvrages de la Faléane - Beti 1996	82
Tableau 37 : Comparaison au droit des laisses de crue – Beti 1996	85
Tableau 38 : Ouvrages de la Faléane – Franck 1999.....	88
Tableau 39 : Ouvrages de la Faléane – Mars 2008.....	88
Tableau 40 : Comparaison au droit des laisses de crue – Franck 1999	91
Tableau 41 : Comparaison au droit des laisses de crue – Mars 2008	92
Tableau 42 : Synthèse des comparaisons entre les résultats des modélisations et les laisses de crues observées	96
Tableau 43 : Valorisation des laisses de crue de l'enquête terrain ISL.....	102
Tableau 44 : Impact de la variation des débits d'injection à ± 25 % sur les hauteurs d'eau maximale atteintes au niveau des laisses de crue.....	116
Tableau 45 : Impact de la variation des coefficients de Strickler à ± 20 % sur les hauteurs d'eau maximale atteintes au niveau des laisses de crue	121
Tableau 46 : Analyses sur le pic de crue des hydrogrammes types pour la crue de projet Q100	131
Tableau 47 : Ouvrages de la Faléane – Q100.....	140
Tableau 48 : Ouvrages de la Faléane - Q10	141
Tableau 49 : Ouvrages de la Faléane – Q5.....	141
Tableau 50 : Grille de définition de l'aléa inondation par croisement des hauteurs d'eau et des vitesses.....	152

1 CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

La présente étude vise à actualiser la connaissance des zones inondables en termes de hauteurs et de vitesses d'écoulement sur la commune de Voh.

Elle fait suite à deux études hydrauliques sur le secteur réalisées en 2000 et 2016 et basées sur une modélisation hydraulique unidimensionnelle à casiers construite avec des profils topographiques antérieurs à 2000.

L'étude s'attache donc à mettre à jour ces précédentes études afin de tenir compte des évolutions topographiques de la zone d'étude depuis 2000 et des évolutions techniques permettant de mettre en place plus aisément une modélisation hydraulique bidimensionnelle plus adaptée au contexte de la vallée de la rivière Voh.

Les objectifs de l'étude sont de :

1. recueillir et synthétiser l'ensemble des études et données concernant la problématique d'inondation et d'aménagements récentes sur le secteur de la Voh,
2. réaliser les reconnaissances visuelles nécessaires à l'établissement d'un cahier des charges de levés topographiques nécessaires à la construction d'un modèle hydraulique,
3. réaliser les enquêtes de terrain concernant les inondations passées sur la zone d'étude et son fonctionnement hydraulique ainsi que les projets d'aménagements envisagés,
4. réaliser une étude hydrologique sur la zone d'étude afin de caractériser les hydrogrammes de crue de période de retour 5 ans, 10 ans et 100 ans,
5. conduire une campagne de reconnaissances topographiques nécessaires à la mise en place d'un modèle hydraulique bidimensionnel,
6. établir un état des lieux et décrire le fonctionnement hydraulique du secteur d'étude,
7. construire, caler et exploiter un modèle hydraulique bidimensionnel,
8. actualiser la cartographie des zones inondables de la Voh pour les crues de périodes de retour de 5 ans, 10 ans et 100 ans,
9. actualiser la cartographie des aléas pour la crue centennale de la Voh,

L'étude est scindée en quatre phases, dont une optionnelle :

- phase 1 : études préliminaires (objectifs 1 à 4 ci-avant)
- phase 2 : travaux topographiques et études hydrauliques (objectifs 5 à 7 ci-avant)
- phase 3 : cartographie et rapport d'études (objectifs 8 et 9 ci-avant)

Ce rapport constitue le rapport finale consolidé regroupant l'ensemble des rapports précédents et rendus de la présente étude.

2 PRESENTATION DES DONNEES RECUEILLIES

Les données récoltées pour la réalisation de l'étude sont présentées ci-après.

2.1 ETUDES RELATIVES A L'HYDROLOGIE

Les études recueillies sont présentées dans le tableau 1 :

Maître d'Ouvrage	Détails	N°
DAF	Rapport d'étude hydraulique pour la cartographie des zones inondables de la rivière Voh, Sogreah, janvier 2000	[1]
Direction de l'Aménagement Nord	Etudes des Zones inondables Voh – Aléa d'inondation de la Coco, A2EP, août 2009	[2]
Mairie de Voh	Contexte d'inondabilité en vue de constructions sur parcelles dans la commune de VOH – rapport diagnostic – A2EP, juin 2016	[3]
DAVAR	Atlas des cartes d'inondabilités potentielles au 1/10000, septembre 2004	[4]
DAVAR	Enquêtes historiques de crues, rapport sur les cotes d'inondation, Davar, septembre 2004	[5]
DAVAR	Recueil des débits caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie, Davar, décembre 2009	[6]
DAVAR	Synthèse et régionalisation des données pluviométriques de la Nouvelle-Calédonie, Davar, novembre 2011	[7]
DAVAR	Courbes enveloppes des débits spécifiques maximums de crues pour le quart Sud Ouest de la Nouvelle-Calédonie, DAVAR	[8]

Tableau 1 : études recueillies relatives à l'étude hydrologique

Dans la suite du document, la numérotation présentée dans le tableau sera utilisée pour faire référence à ces études.

2.2 DOCUMENTS D'URBANISME

Source	Détails	N°
Commune de Voh	Plan d'Urbanisme Directeur de la commune de Voh – règlement Approuvé le 12/09/2015 par délibération n°2015-239/APN	[9]
Commune de Voh	Plan d'Urbanisme Directeur de la commune de Voh – documents graphiques Planche II.1 : Partie Ouest de la commune Planche II.2 : Partie Est de la commune Planche II.3 : Village Planche II.4 : Voh sud Planche II.5 : Gatope Planche II.6 : Témala Planche II.7 : Vavouto	[10]
Commune de Voh	Traversée d'agglomération de Voh Schéma d'aménagement partiel sur 3 secteurs – Phase 1/diagnostic ETEC/ATHANOR/BIOEKO-janvier 2017	[11]

Tableau 2 : documents d'urbanisme recueillis lors de l'étude

2.3 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Les données topographiques recueillies sont présentées dans le tableau 3 :

Source de la donnée	Fichier	Détails	N°
DITTT	RASTER10-NC	Données topographiques sur l'ensemble de la Nouvelle Calédonie combinant les données topographiques de la DITTT et celles gérées par le GIE Sérail, résolution de 10 m. La précision en altitude est estimée à ± 2 m dans la note d'accompagnement des données.	[12]
STF-DAF	Voh-Ensemble+Habillage-2018	Données topographiques au 2000 ^{ème} sur la commune de Voh (semis de points du terrain naturel réalisé par photogrammétrie)	[13]
Présente étude – Bourail Topo	TOPO_VOH_2019	48 Profils en travers de la Voh et la Faléane levés par le topographe (y compris point bathymétrique) accompagnés de photos.	[14]

Tableau 3 : données topographiques recueillies

2.4 DONNEES PLUVIOMETRIQUES ET HYDROMETRIQUES

Aucune donnée pluviométrique complémentaire n'a été recueillie lors de la présente étude. L'étude se base sur la synthèse pluviométrique réalisée par la DAVAR en 2011 et jugée suffisante par le comité technique du projet pour la réalisation de l'étude.

Les débits instantanés maximaux annuels à la station de Faténaoué de 1954 à 2018 ainsi que les hydrogrammes à cette même station pour les crues de mars 1996, février 1999, mars 2008 et février 2014 ont été recueillis.

Source de la donnée	Fichier	Détails
DAVAR	Station de Faténaoué	Débits instantanés maximaux annuels à la station de Faténaoué de 1954 à 2018
DAVAR	Station de Faténaoué	Hydrogrammes des crues de mars 1996, février 1999, mars 2008 et février 2014

Tableau 4 : données pluviométriques et hydrométriques recueillies

Nota : seules les années complètes pour lesquelles la crue maximale a été mesurée sont renseignées dans le fichier de débits instantanés maximaux annuels transmis. La chronique est donc lacunaire. Les années hydrologiques incomplètes sont : 1959-1960, 1965-1966, de 1968 à 1981, 1983-1984, 1984-1985, 1989-1990, 1991-1992, 1997-1998. Ces années ne sont donc pas considérées dans les ajustements.

Plusieurs ajustements seront donc réalisés pour prendre en compte le fait que la chronique soit incomplète.

2.5 LAISSES DE CRUE ET JAUGEAGES

Vingt-trois échelles à maxima ont été installées par la Davar et quinze laisses de crue ont été récoltées par la Davar sur le bassin versant de la Voh dans la zone d'étude. Ces données sont disponibles sous la forme d'un fichier SIG et d'un tableur Excel.

Certaines échelles fournissent des niveaux pour plusieurs évènements, dont notamment :

- Le cyclone Franck de février 1999 (niveau relevé par 11 échelles);
- Le cyclone Béti de mars 1996 (niveau relevé par 10 échelles)
- Le cyclone Drena de janvier 1997 (niveau relevé par 9 échelles);
- La crue de mars 2010 (niveau relevé par 9 échelles);
- Le cyclone Edna de février 2014 (niveau relevé par 9 échelles);
- Le cyclone June de janvier 2014 (niveau relevé par 8 échelles);
- La crue de mai 2008 (niveau relevé par 7 échelles);
- La pluie de juillet 1997 (niveau relevé par 6 échelles);
- La pluie de février 2006 (niveau relevé par 6 échelles) ;
- Le cyclone Oma de février 2019 (niveau relevé par 6 échelles);
- La pluie de mars 2004 (niveau relevé par 5 échelles);
- Le cyclone Innis de février 2009 (niveau relevé par 5 échelles);
- Le cyclone Freda de janvier 2013 (niveau relevé par 5 échelles);

- La pluie de juillet 2013 (niveau relevé par 5 échelles) ;
- Le cyclone Cook d'avril 2017 (niveau relevé par 4 échelles);
- Le cyclone Olinda de janvier 1999 (niveau relevé par 4 échelles),
- Le cyclone Erica de mars 2003 (niveau relevé par 4 échelles);

Les quinze laisses de crue concernent le cyclone Esau de mars 1992.

Les laisses de crue et les niveaux mesurés aux échelles seront utilisés pour le calage du modèle hydraulique.

3 ANALYSE DES ETUDES EXISTANTES

3.1 RAPPORT D'ETUDE HYDRAULIQUE DE LA VOH, SOGREAH 2000 [1]

3.1.1 HYDROLOGIE

Les débits de pointe des crues de période de retour de 2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans sont évalués **sur la base** de la méthode Speed. A partir d'un ajustement de Gumbel à la station de Faténaoué (bassin versant jaugé adjacent à celui de la Voh et présentant un contexte hydrologique semblable), un débit réduit est calculé pour chaque période de retour à la station de Faténaoué, puis transposé au bassin versant de la Voh. Par interprétation de la méthode Speed, le débit réduit est égal au débit divisé par la superficie du bassin versant à la puissance 0,75 et multiplié par 12.

En réalité, la méthode mise en place est la transposition par application de la formule de Myer en considérant un coefficient alpha de 0,75.

L'approche est donc entièrement hydrométrique. La méthode Speed n'a pas été mise en place tel que décrit dans l'annexe A du rapport [1] et dans le rapport [3]. Aucune méthode de transformation pluie débit n'a été mise en place pour la détermination des crues rares.

Les débits de pointe obtenus sont présentés dans le tableau 5.

Période de retour (ans)	Débit (m ³ /s)
2	522
5	1565
10	2390
20	3190
50	4230
100	5000

Tableau 5 : débit de pointe de la Voh calculés dans l'étude [1] (source : rapport [1])

La modélisation hydraulique ayant été réalisée en régime permanent, les volumes et les hydrogrammes de crue n'ont pas été estimés.

Une estimation du débit de pointe de la crue du 27/03/96 (cyclone Béti) a également été réalisée par l'application de la même méthode. Il en découle une valeur de 3000 m³/s environ.

3.1.2 HYDRAULIQUE

La modélisation hydraulique a été réalisée avec le logiciel Carima. Il s'agit d'une modélisation unidimensionnelle à casiers, le lit mineur étant représenté par des profils en travers et le lit majeur par des casiers définis par une relation cote-surface.

Comme mentionné dans le rapport [3], une modélisation bidimensionnelle semble davantage adaptée au contexte de la zone d'étude (rivière méandriforme, échanges entre cours d'eau en crue, nombreuses confluences et défluences).

Le modèle s'étend depuis 1800 m en amont de la confluence avec le Ouano jusqu'à la mer et intègre la défluence constituant la Tambéo. L'emprise du modèle couvre l'emprise de la zone d'étude à modéliser dans la présente étude.

La condition limite aval de marée est considéré constante à un niveau de 1,39 m NGNC pour les événements exceptionnels.

Le modèle est calé sur des laisses de crue dont l'origine n'est pas présentée dans le rapport. L'évènement de calage est le cyclone Béti. Les coefficients de Strickler finalement retenus sont de 30 en lit mineur de la Voh et de 6 à 15 en lit majeur suivant la couverture végétale.

3.2 ETUDE DES ZONES INONDABLES, ALEA D'INONDATION DE LA COCO, A2EP 2009 [2]

L'étude porte sur le Creek Coco débouchant dans la mer 5 km au Sud de la Voh et dont le bassin versant est proche de celui de la Voh. Le principe est très semblable à celui de la présente étude. Elle fournit des informations locales jugées intéressantes pour la présente étude et présentées dans les paragraphes ci-après.

3.2.1 HYDROLOGIE

L'estimation des débits de crue se base sur deux méthodes :

- une transposition à partir d'un ajustement aux stations de Faténaoué et Boutana par application de la formule de Myer avec un coefficient alpha de 0,75,
- l'application de la méthode rationnelle.

Les résultats de ces deux méthodes sont ensuite comparés aux courbes enveloppes de la Davar établies pour le quart Sud Ouest de la Nouvelle Calédonie.

L'application de la méthode rationnelle s'appuie sur l'exploitation des courbes IDF disponibles aux postes de Koné et Tango (postes Météo France). Les extraits exploitables de ces données sont présentés ci-après :

Les coefficients a et b issus de l'analyse de ces données par Météo France sont :

KONE 1995-2005	d entre 6mn et 60 mn	d entre 60mn et 1440 mn	d entre 1 440mn et 5760 mn
T (ans)	a	b	a
2	149.5	-0.238	1005.1
5	169.2	-0.215	1151.8
10	184.5	-0.203	1270.7
20	200	-0.193	1393.3
50	220.7	-0.183	1558.5
100	236.5	-0.177	1685.1

Tableau 4 : Coefficients de Montana pour poste de Koné.

Le poste de Koné possède 10,2 années de mesures utilisables pour les calculs d'intensités de précipitations sur la période 1995-2005. La période de mesure est relativement courte mais la qualité des données est bonne et le nombre de données manquantes relativement faible.

La méthode n'autorise pas les extrapolations au-delà de 4 fois la taille de l'échantillon², soit approximativement 40 ans. Les valeurs des durées de retour 50 ans et centennales de ce poste sont donc présentées à titre informatif.

Figure 1 : (extrait graphique de [2]) coefficient de Montana à Koné

Les coefficients a et b issus de l'analyse de ces données par Météo France sont :

TANGO 1991-2006	d entre 6mn et 30 mn	d entre 30mn et 180 mn	d entre 180mn et 5760 mn
T (ans)	A	B	A
2	148.7	-0.171	464.2
5	160.5	-0.125	514.6
10	170.5	-0.099	559.4
20	181.1	-0.079	607.2
50	195.7	-0.058	672.8
100	207	-0.046	723.6

Tableau 5 : Coefficients de Montana pour poste de Tango.

Pour Tango, nous disposons de 14,8 années de mesures utilisables pour les calculs d'intensités de précipitations sur la période 1991-2006 mais uniquement pour les périodes d'intégrations supérieures ou égales à 60 minutes (8,1 années pour les périodes d'intégrations inférieures à 60 minutes). Le pourcentage de données manquantes est plus important avec 7,7%, ce qui donne une moins bonne confiance dans les résultats. Comme pour Koné, les valeurs des durées de retour 50 ans et centennales de ce poste sont présentées à titre informatif.

Figure 2 : (extrait graphique de [2]) coefficient de Montana à Tango

Les résultats de la méthode rationnelle sont finalement retenus. Le débit spécifique de la crue centennale est de l'ordre de 25 m³/s/km², semblable à celui retenu dans l'étude [1].

3.2.2 HYDRAULIQUE

Les coefficients de Strickler retenus sont de 15 en lit majeur courant, 20 en lit mineur et 8 pour la mangrove. Aucune laisse de crue ou jaugeage n'a permis de caler ces coefficients.

La condition limite aval retenue est un niveau de marée constant égal à :

- 1,10 m NGNC pour les périodes de retour de 5 et 10 ans,
- 1,40 m NGNC pour la crue centennale.

3.3 CONTEXTE D'INONDABILITE EN VUE DE CONSTRUCTIONS SUR PARCELLES DANS LA COMMUNE DE VOH, A2EP 2016 [3]

Ce rapport s'appuie intégralement sur les résultats de l'étude [1] et n'apporte pas d'informations jugées utiles pour la réalisation de la présente étude.

3.4 ATLAS DES CARTES D'INONDABILITES POTENTIELLES AU 1/10000, SEPTEMBRE 2004 [4]

Cette étude concerne la partie aval des cours d'eau de la Témala et de la Faténaoué, dont les bassins versants sont adjacents au bassin versant de la Voh. Il s'agit d'une analyse hydrogéomorphologique des cours d'eau de la Témala et de la Faténaoué. Une cartographie du lit majeur, du lit moyen, des cônes de déjection, des axes de ruissellement et de crue. L'étude ne concerne pas le bassin versant de la Voh. Les informations qui en découlent ne sont donc pas directement exploitables pour la présente étude.

3.5 ENQUETES HISTORIQUES DE CRUE, DAVAR 2004 [5]

Ce rapport concerne les laisses de crue recueillies sur les cours d'eau de la Témala et de la Faténaoué. Une synthèse des données historiques sur la zone d'étude est faite et présentée dans le tableau suivant.

Commune	Lieu dit	Hauteurs d'eau recensées	Date / événement	Référence du journal
Voh	Monument aux morts	"Plus 1m d'eau autour du monument situé au centre du village, dans les premiers jours de l'inondation."	Grande inondation 1990	Les Nouvelles-Calédonniennes du 24 janvier 1990
Voh	Village	"Certaines maison de Voh ont été totalement recouvertes par l'eau. Dans les autres l'eau est montée de 40cm à 2m."	Cyclone Essau du 4 mars 1992	Les Nouvelles-Calédonniennes du 7 mars 1992

Tableau 6 : synthèse des informations historiques recueillies dans l'étude [5]

Les débits maximaux des crues de 1990 et 1992 ne sont pas connus à la station de Faténaoué (années lacunaires). Ces informations pourront néanmoins être utilisées qualitativement pour le calage du modèle.

3.6 RECUEIL DES DEBITS CARACTERISTIQUES, DAVAR 2009 [6]

Ce document présente les caractéristiques hydrométriques de 23 bassins versants jaugés sur la Grande Terre, dont celui de la Faténaoué. Ces données sont utilisées dans la présente étude pour comparer les caractéristiques du bassin versant de la Faténaoué à celles du bassin versant de la Voh afin de vérifier la pertinence de l'application de la méthode de transposition.

Les principales caractéristiques du bassin versant de la Faténaoué sont :

- Surface : 111 km² ;
- Cote moyenne : 317 m NGNC
- Pente moyenne des versants : 30,6%
- Pente moyenne du chemin hydraulique : 1,8 %
- Temps de concentration : 3,7 h
- Vitesse moyenne de transfert : 2,3 m/s
- Occupation des sols : broussailles (34%), végétation dense (46%), savane (9%) et maquis plus ou moins clairsemé (11%)
- Précipitation moyenne : 1529 mm/an
- Débits de crue calculés par ajustement de Gumbel : $Q_5 = 755 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{10}=1048 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{100}=1964 \text{ m}^3/\text{s}$;

3.7 SYNTHÈSE ET REGIONALISATION DES DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE, DAVAR 2011 [7]

L'objectif de cette étude est d'analyser les mesures des stations pluviométriques de Nouvelle-Calédonie afin de spatialiser les données pluviométriques sur la Grande Terre. Cette étude a permis de spatialiser les paramètres suivants :

- Pluie interannuelle moyenne ;
- Paramètre de position P0 et Gradex Gd pour différentes durées de pluie ;
- Courbes Intensité Durée.

Dans le cadre de la présente étude, nous nous intéressons essentiellement aux stations de Congos et Tipindje Col situées sur le bassin versant de la Voh.

Les différents paramètres sont présentés dans le tableau suivant pour les deux stations.

	Durée (min)	6	15	30	60	90	120	360	1440
P0 (mm)	Congos	8,8	17,2	26	37,3	45,2	50,9	79	125
	Tipindje Col	10,8	21,4	33,4	47,3	56,6	63,4	98,7	155
Gd (mm)	Congos	1,7	3,9	6,6	10,4	13,4	15,5	27	48
	Tipindje Col	2,1	4,9	8,7	13	16,2	18,7	33	59
Cumul T5 (mm)	Congos	11,3	23,0	35,9	52,9	65,3	74,1	119,5	197,0
	Tipindje Col	13,9	28,7	46,4	66,8	80,9	91,4	148,2	243,5
Cumul T10 (mm)	Congos	12,6	26,0	40,9	60,7	75,4	85,8	139,8	233,0
	Tipindje Col	15,5	32,4	53,0	76,6	93,1	105,5	173,0	287,8
Cumul T100 (mm)	Congos	16,6	35,1	56,4	85,1	106,8	122,2	203,2	345,8
	Tipindje Col	20,5	43,9	73,4	107,1	131,1	149,4	250,5	426,4

Tableau 7 : paramètres pluviométriques aux stations de Congos et Tipindje Col (source [7])

3.8 COURBES ENVELOPPES DES DEBITS SPECIFIQUES MAXIMUMS DE CRUES [8]

La DAVAR propose une hydrologie régionale sous forme de courbes enveloppes des crues de référence. Ces courbes sont basées sur l'analyse statistique (ajustement de Gumbel) des données de 22 stations hydrométriques de la Nouvelle-Calédonie. La pluviométrie variant fortement sur le territoire de la Grande Terre, les enveloppes distinguent trois zones géographiques.

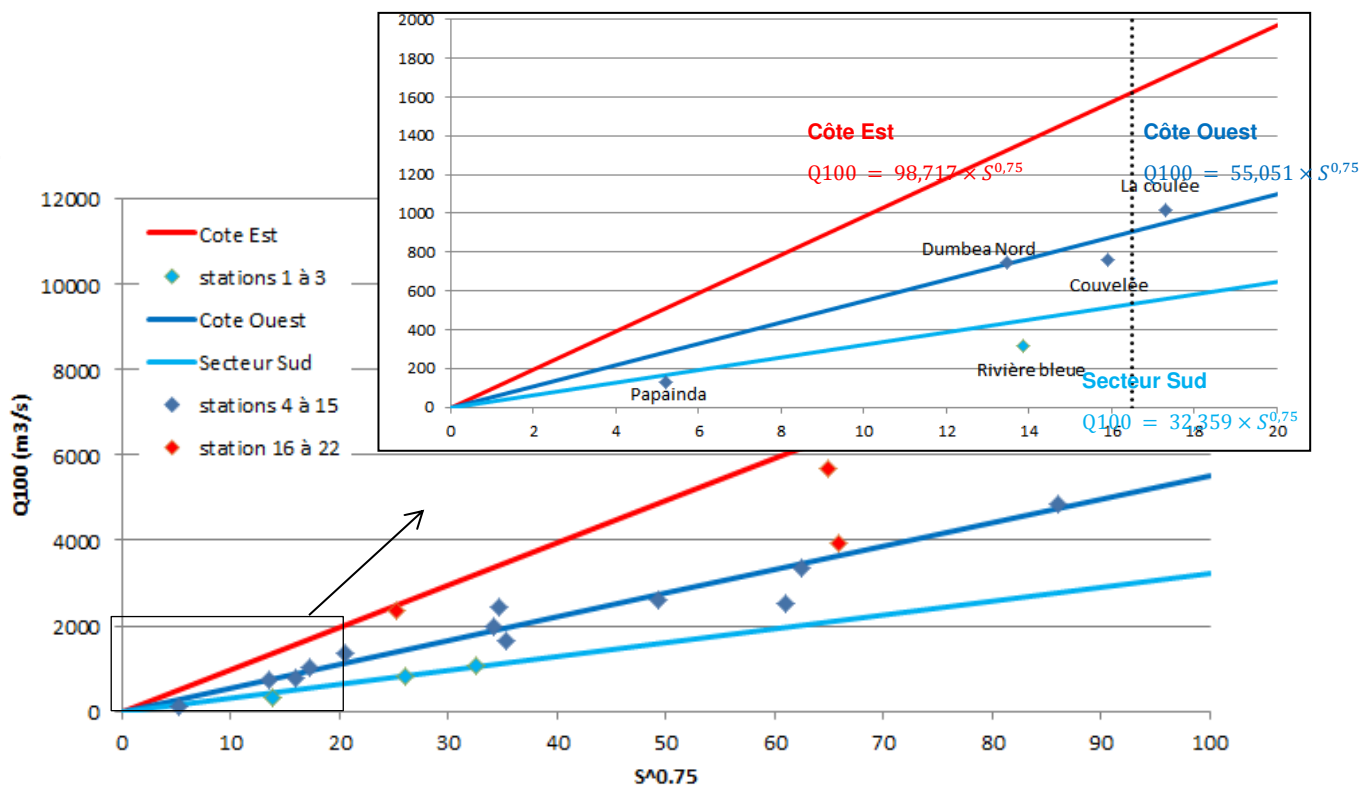


Figure 3 : synthèse des Q100 obtenus par ajustement de Gumbel sur l'ensemble des 22 stations hydrométriques de la Nouvelle-Calédonie (cf. [8])

Le bassin versant de la Voh se trouve sur la cote Ouest.

Les débits caractéristiques de crues pour des périodes de retour inférieures à la centennale peuvent se déduire d'après cet ajustement via un coefficient de proportionnalité relativement stable à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie comme l'atteste la figure 4 (ex : $Q_{10} = Q_{100}/1,81$). Ce graphique est valable quelle que soit la zone géographique (les ajustements linéaires ont été réalisés sur les 22 stations).

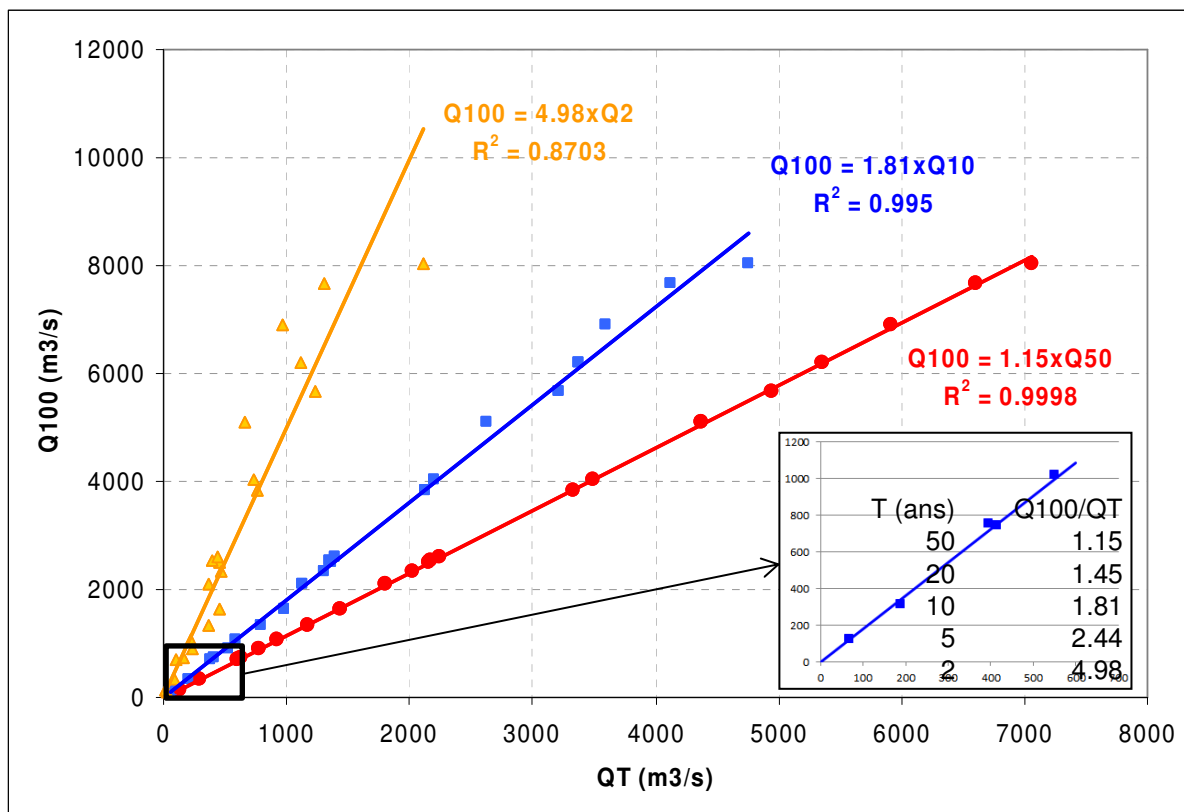


Figure 4 : rapport Q_{100}/Q_T défini à partir des ajustements de Gumbel sur l'ensemble des 22 stations hydrométriques de la Nouvelle-Calédonie (cf. [8])

3.9 SCHEMA D'AMENAGEMENT PARTIEL SUR 3 SECTEURS [11]

Ce document présente pour 3 secteurs préidentifiés pour un aménagement potentiel :

- le milieu géographique et paysager (relief, hydrographie, topographie, paysage et formations végétales) ;
- le contexte réglementaire (PUD, servitudes et aléas d'inondation et périmètre de protection) ;
- le contexte urbain et l'accessibilité (réseaux AEP, EU, EP, réseaux secs, évolution urbaine).

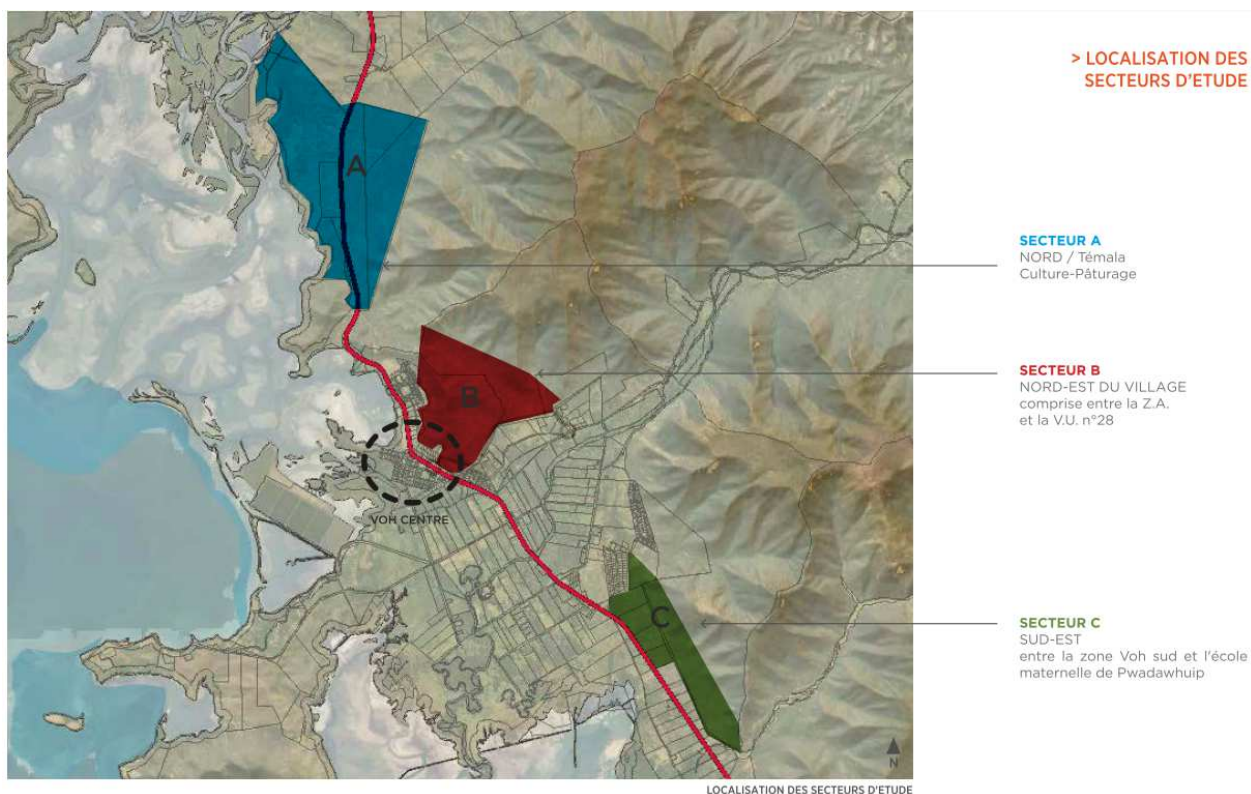


Figure 5 : secteur étudiés dans le document [11]

Seuls les secteurs B et C sont potentiellement impactés par la présente étude, le secteur A étant situé sur le bassin versant de la Témala. Les secteurs B et C sont situés en bordure de la zone inondable en crue centennale identifiée dans l'étude [1]. La majeure partie de ces secteurs n'est donc pas inondable selon les résultats de l'étude [1]. Ces résultats seront précisés par la modélisation réalisée au cours des phases ultérieures 2 et 3.

Les synthèses effectuées sur ces secteurs sont présentées dans les figures ci-après.

CONTEXTE URBAIN ET PAYSAGER

L'accès au site se fait par des dessertes et pistes.
Le relief et les accès à ce secteur en fait une zone plutôt enclavée.
Préservé de constructions, ce site constitue l'écrin du centre de Voh.

ENJEUX POUR LE MILIEU NATUREL

Les enjeux au niveau des formations végétales restent le maquis sur serpentine pouvant abriter des espèces protégées et/ou classées à l'UICN.
→ Nécessité d'un inventaire botanique pour cette formation.

ENJEUX URBAINS

L'enjeu majeur de ce secteur est la préservation liée à la végétation et au paysage en général : relief, crêtes et formation végétale de maquis.

La desserte envisagée par la commune et les zones de constructibilité inscrites au PUD (zones NAB et UB sur la carte ci-dessous) devront prendre en compte ces enjeux.



Figure 6 : synthèse sur le secteur B (source : document [11])

CONTEXTE URBAIN ET PAYSAGER

Une desserte facile via la RT1

On note qu'une nouvelle dynamique émerge sur cette zone Sud, amorcée avec la construction du Centre culturel et le Stade communal et confortée par de nouvelles réserves d'emprises inscrites au PUD concernant des équipements : Salle multi-sports, Centre d'hébergement pour sportifs, Centre de secours.

Des lotissements d'habitat se sont implantés au Nord de ce secteur C.

ENJEUX POUR LE MILIEU NATUREL

La savane reste prédominante (43%) au niveau de la plaine (relief relativement plat), le maquis se retrouve en amorce du relief. Les enjeux au niveau des formations végétales demeurent le maquis sur serpentine pouvant abriter des espèces protégées et/ou classées à l'UICN.
→ Nécessité d'un inventaire botanique pour cette formation.

ENJEUX URBAINS

Ce secteur sud apparaît comme un nouveau pôle de Voh qui voit aussi la potentielle installation d'autres équipements plus liés au scolaire : école + collège. La Mairie souhaite acheter une des parcelles afin d'y réaliser un équipement de type scolaire ou associé. (parcelle avec une croix)

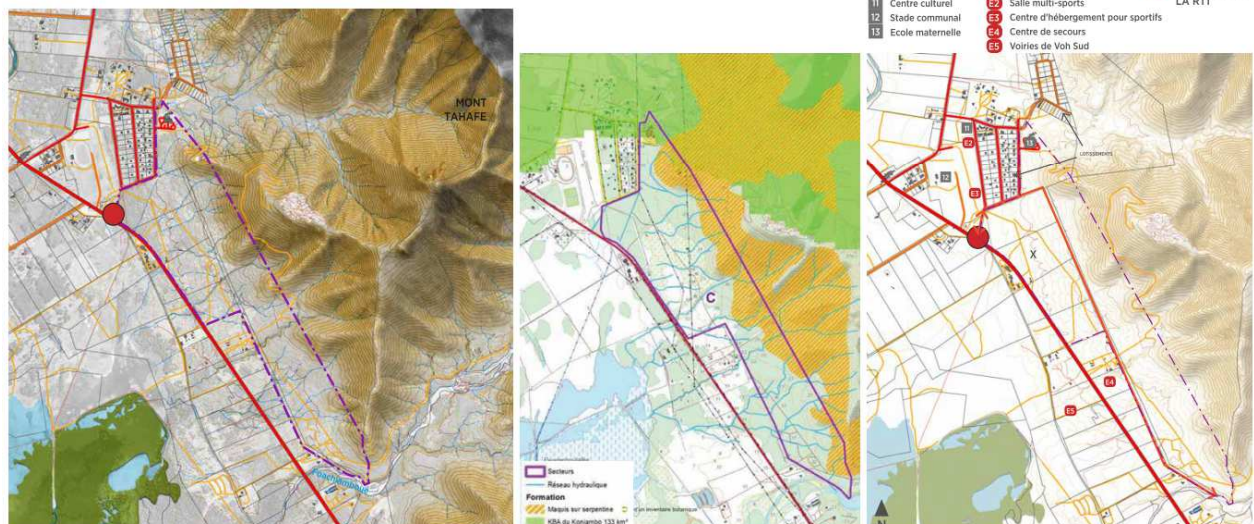


Figure 7 : synthèse sur le secteur C (source : document [11])

4 ETUDE HYDROLOGIQUE

4.1 ORGANISATION DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE

L'étude hydrologique se base sur l'application de différentes méthodes afin de comparer les débits de pointe obtenus entre eux et avec ceux des précédentes études. Sur la base de ces résultats, les débits de pointe des crues de projet et historiques utilisés en données d'entrée dans la modélisation hydraulique sont définis.

Le tableau 8 présente le plan de l'étude hydrologique.

Description	Paragraphe du rapport
Détermination des caractéristiques hydrologiques des bassins versants étudiés et comparaison avec celles du bassin versant de Faténaoué, bassin versant jaugé à proximité de la zone d'étude	§ 4.2
Analyse régionale sur la base des courbes enveloppes de débit de pointe établies par la Davar afin d'évaluer les débits de pointe des cours d'eau étudiés	§ 4.3
Analyse statistique des débits sur le bassin versant jaugé de la Faténaoué et transposition des résultats aux bassins versants étudiés	§4.4
Etude hydro-pluviométrique : - analyse statistique des pluies, - application de la méthode rationnelle, - application de la méthode du Gradex.	§ 4.5
Comparaison des résultats issus des différentes méthodes avec les résultats issus des études hydrologiques précédentes	§ 4.6
Estimation des débits de pointe des événements historiques	§ 4.7

Tableau 8 : méthodologie et plan de l'étude hydrologique

4.2 PRESENTATION DES BASSINS VERSANTS

4.2.1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS

4.2.1.1 Surface des bassins versants

La zone d'étude se situe sur la partie aval du bassin versant de la Voh et de la Faléane.

A l'entrée de la zone d'étude, les surfaces drainées sont :

- 202 km² pour la Voh,
- 1,7 km² pour la Faléane.

La figure 8 présente le contour des deux bassins versants.

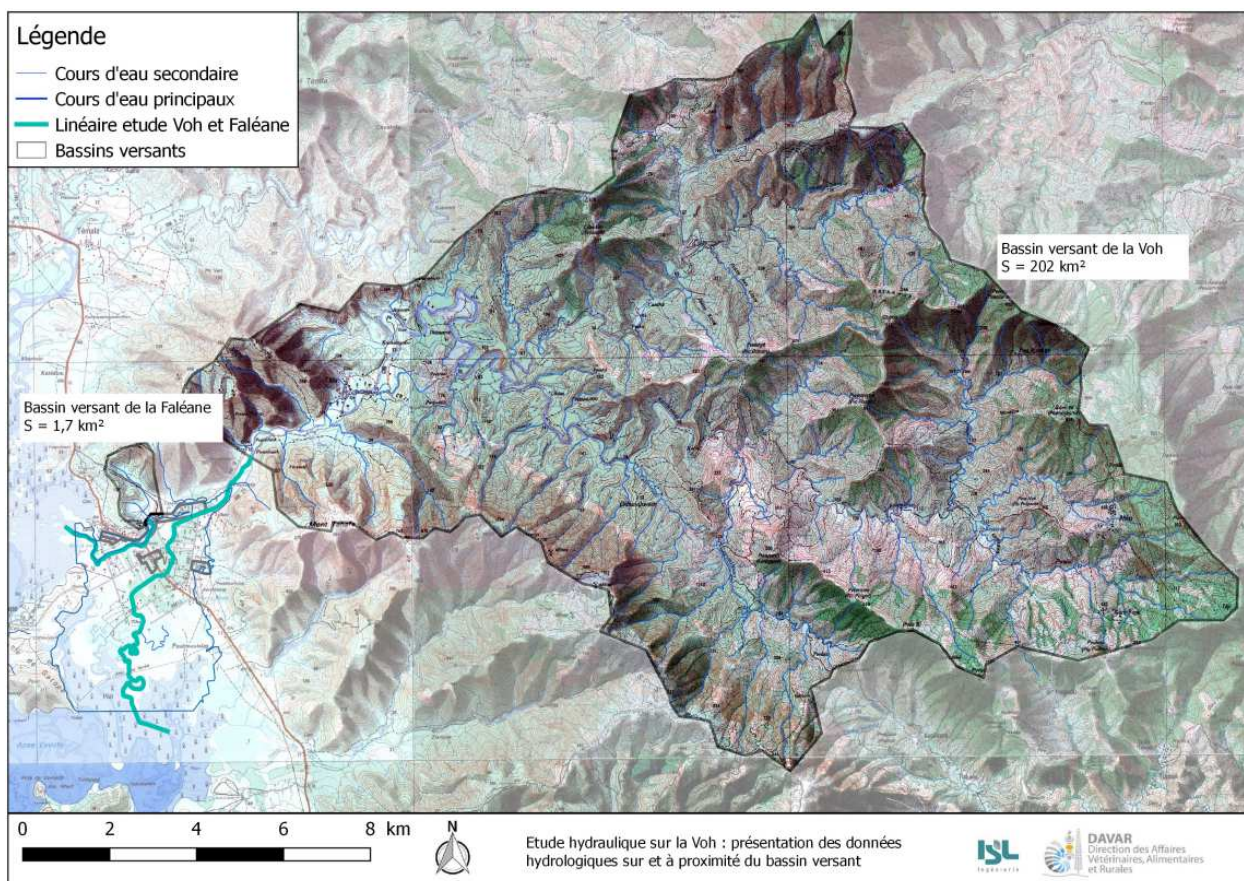


Figure 8: bassin versant de la Voh

4.2.1.2 Relief des bassins versants

La figure 9 représente la répartition des altitudes au sein de la zone étudiée. La topographie des bassins versants de la Voh et de la Faténaoué est semblable avec un fond de vallée encaissée et des pentes de versants abruptes. Le bassin versant de la Faléane est situé à des altitudes moindres que ceux de la Voh et de la Faténaoué.

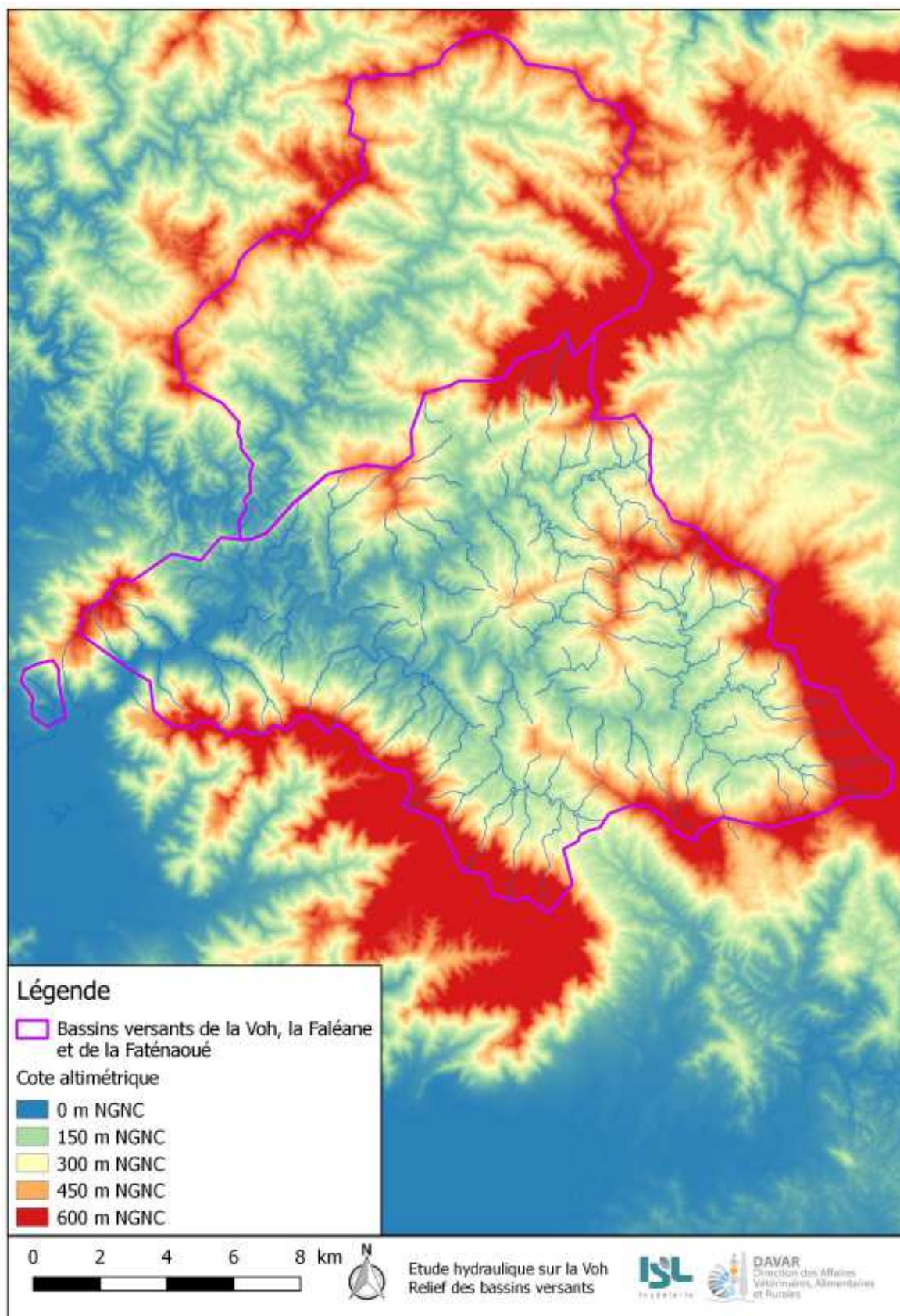


Figure 9: relief des bassins versants

4.2.1.3 Caractéristiques de forme : Indice de compacité et rectangle équivalent

L'indice de compacité, ou indice de Gravelius, se calcule à partir de la surface A du bassin versant et du périmètre P du bassin versant à partir de la relation suivante :

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Le bassin versant est quasiment circulaire lorsque l'indice de compacité est proche de 1. Plus l'indice est élevé, plus le bassin versant est allongé.

Les longueurs et largeurs du rectangle équivalent se calculent à partir des relations suivantes :

$$L = \frac{K \times \sqrt{A}}{1,12} \times \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K} \right)^2} \right]$$

$$l = \frac{A}{L}$$

Les valeurs pour les bassins versants étudiés sont présentées dans le tableau 9.

4.2.1.4 Valeurs pour les bassins versants

Le tableau 9 synthétise les différents paramètres géomorphologiques des bassins versants étudiés.

	Voh	Faténaoué	Faléane
Surface (km ²)	202	111	1,7
Périmètre (km)	73,5	51,4	5,4
Indice de Gravelius	1,45	1,37	1,16
Chemin hydraulique (km)	40,1	30,6	1,9
Altitude min (m NGNC)	6	25	5
Altitude max (m NGNC)	1 150	1 150	380
Pente du chemin hydraulique (%)	2,5 %	1,8 %	5,5 %

Tableau 9 : caractéristiques géomorphologiques des bassins versants

La forme et la topographie des bassins versants de la Voh et de la Faténaoué sont semblables.

Le bassin versant de la Faléane, nettement plus petit et plus proche de la côte, présente des caractéristiques très différentes.

4.2.2 GEOLOGIE

La géologie des bassins versants de la Voh et de la Faténaoué est essentiellement composée de schistes, de trias volcano sédimentaire et de conglomérats. Ces roches sont majoritairement peu perméables.

La géologie du bassin versant de la Faléane est essentiellement composée de serpentinite.

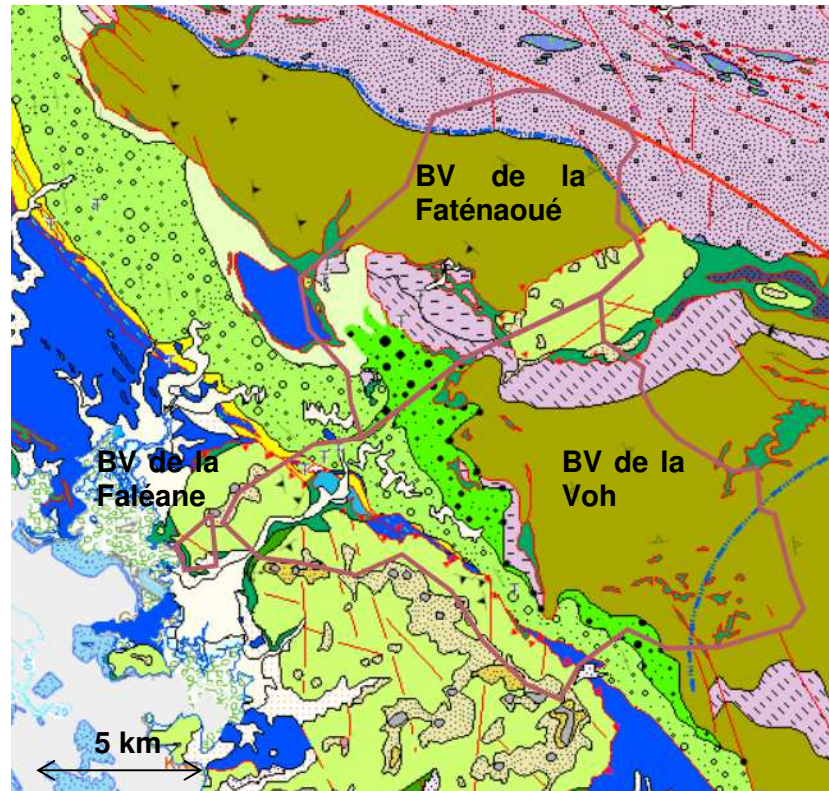


Figure 10 : géologie des bassins versants (source : Explo CartEau, échelle 1/200 000)

- Sénonien; Faciès "à charbons" (terrigenes) : conglomérats
- Roches basiques et ultrabasiques (mise en place : Éocène supérieur); Péridotites indifférenciées, harzburgites pour l'essentiel, roche relativement saine prédominante
- Sénonien; Faciès "à charbons" (terrigenes) : siltites, arénites, shales charbonneux
- Anté-Permien ?; Volcano-sédimentaire : formation polymétamorphique et polystructurale des massifs centraux : schistes quartzo-feldspathiques, métavolcanites
- Trias à Jurrassique inférieur; Trias à Lias indifférenciés
- Trias à Jurrassique inférieur; Norien : faciès terrigenes à Monotis (faciès "à charbons")
- Terres minces à "squelette" rocheux apparent sur harzburgites pour l'essentiel
- Terres épaisses indifférenciées sur sur dunités prépondérantes
- Formation des "basaltes" (Crétacé à Paléogène); Dolérites dominantes, basaltes, gabbros et sédiments associés

4.2.3 OCCUPATION DU SOL

La figure 11 présente l'occupation du sol sur les bassins versants de la Voh, de la Faléane et de la Faténaoué.

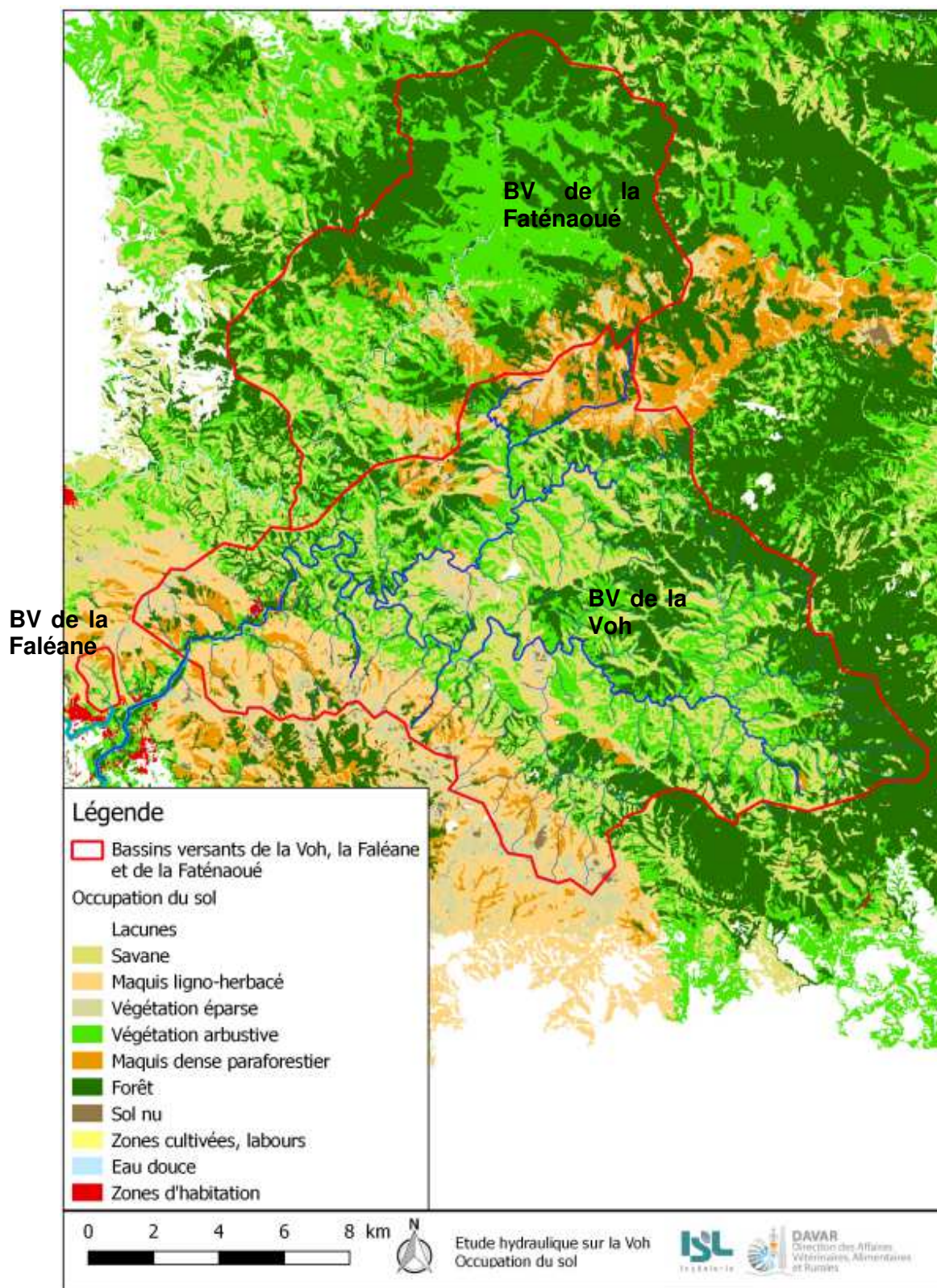


Figure 11 : occupation du sol des bassins versants (source : DTSI 2008)

Le bassin versant de la Faténaoué est essentiellement constitué de végétation forestière et arbustive.

Le bassin versant de la Voh présente une proportion de forêt moins importante, la partie sud ouest étant recouverte principalement par du maquis et de la savane.

Le bassin versant de la Faléane est essentiellement recouvert par du maquis et de la savane.

4.2.4 CONTEXTE CLIMATIQUE

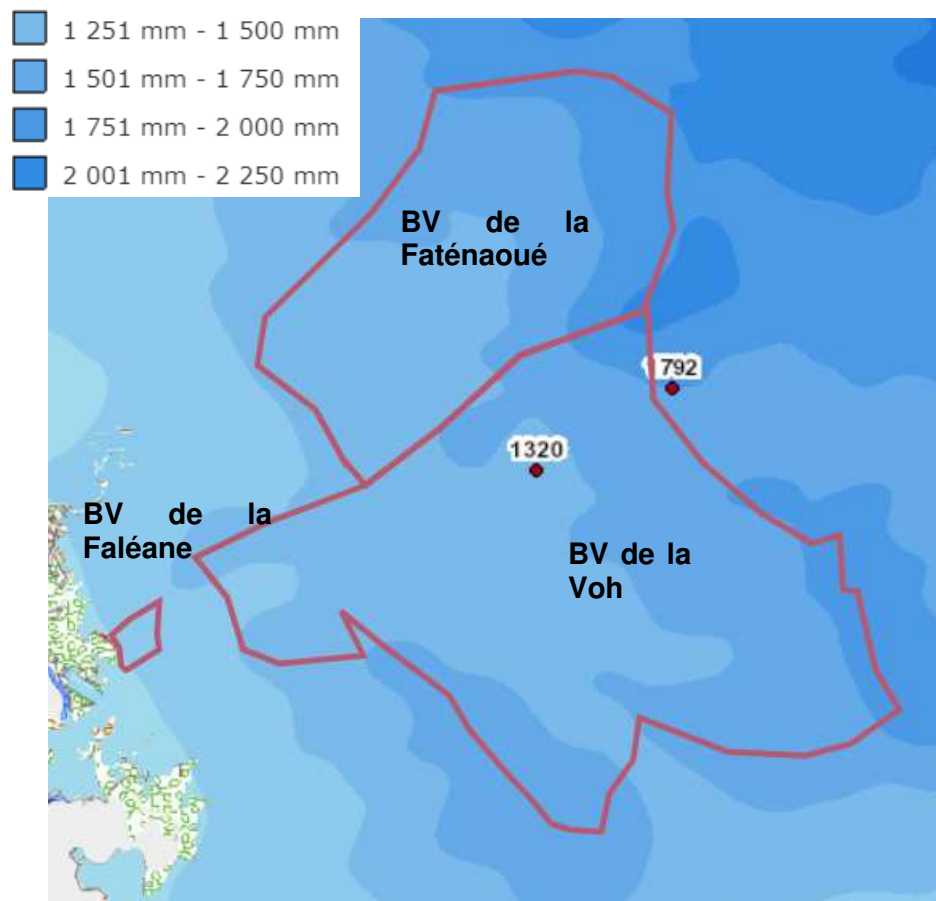


Figure 12: isohyètes, carte issue des données de la DAVAR d'Explo Cart'Eau

La figure 12 montre que l'orientation des pluies et la pluviométrie moyenne annuelle sont similaires sur le bassin versant de Voh et de la Faténaoué. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 1500 mm/an sur ces deux bassins versants. La pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin versant de la Faléane est comprise entre 1000 et 1250 mm.

4.2.4.1 Temps de concentration

Bassin versant de la Faléane

Le temps de concentration du bassin versant de la Faléane est calculé à partir des formules de Kirpich et de Turazza et de la méthode des temps de transfert. Les surfaces et les pentes des bassins versants étudiés sont dans le domaine de validité de ces trois méthodes.

La méthode des temps de transfert se base sur la pente du drain hydraulique le plus long. On retient :

- 1 m/s si la pente est inférieure à 5 % ;
- 2 m/s si la pente est comprise entre 5 et 15 % ;

- 4 m/s si la pente est supérieure à 15%.

Le drain hydraulique est alors décomposé en trois sections en fonction de la pente et la vitesse de transfert est calculée en fonction de la longueur de chacune de ces sections.

Les temps de concentration obtenus sont de :

- Méthode de Kirpich : 20 min, soit une vitesse de transfert de 1,6 m/s.
- Méthode de Turraza : 38 min, soit une vitesse de transfert de 0,8 m/s
- Méthode des temps de transfert : 23 min, soit une vitesse de transfert de 1,4 m/s.

Le temps de concentration étant utilisé dans l'application de la formule rationnelle, une analyse de sensibilité sur le temps de concentration sera réalisée.

Bassin versant de la Voh

Le bassin versant de la Voh présente des caractéristiques morphologiques semblables à celui de la Faténaoué. L'étude [6] a estimé un temps de concentration de 3,7 h pour le bassin versant de la Faténaoué soit une vitesse de transfert de 2,3 m/s. En appliquant cette vitesse de transfert au bassin versant de la Voh, le temps de concentration est estimé à 4,8 h.

L'application de la méthode des temps de transfert conduit à une vitesse de transfert de 1,2 m/s, soit un temps de concentration de 9,5 h.

Suivant la méthode utilisée, le temps de concentration du bassin versant de la Voh calculé est très variable. Ce temps de concentration n'est pas directement utilisé dans la suite de l'étude sur le bassin de la Voh.

Une durée caractéristique de crue est calculée en 4.5.3.3 à partir des hydrogrammes observés à la station de Faténaoué. Cette durée caractéristique est utilisée pour appliquer la méthode du Gradex.

4.3 ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE : ANALYSE REGIONALE

Les bassins versants étudiés sont situés sur la Côte Ouest. La courbe enveloppe estimée par la Davar pour les bassins versants de la Côte Ouest et présentée dans le § 3.8 conduit aux formules suivantes :

$$Q_{100} = 55,05 \times S^{0,75}$$

$$Q_{10} = \frac{Q_{100}}{1,81}$$

$$Q_5 = \frac{Q_{100}}{2,44}$$

Le tableau 10 présente les résultats de l'application de ces formules aux bassins versants étudiés.

	Qp₅	Qp₁₀	Qp₁₀₀
BV Voh	1 209 m ³ /s	1 630 m ³ /s	2 950 m ³ /s
BV Faléane	34 m ³ /s	45 m ³ /s	82 m ³ /s
BV Faténaoué	772 m ³ /s	1 040 m ³ /s	1 883 m ³ /s

Tableau 10 : Estimation des débits de pointe par la formule régionale

4.4 ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE : ANALYSE STATISTIQUE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA FATENAOUÉ

4.4.1 REMARQUE PREALABLE

Comme indiqué au §2.4, la chronique des débits maximaux annuels à la station de Faténaoué transmise présente des lacunes. Notamment, les deux évènements de 1990 et 1992 mentionnés au §3.5 ne sont pas dans la chronique transmise. La Davar indique qu'il n'y a pas eu de dégradations de la station durant ces crues. Les ajustements de débits sont utilisés pour estimer les débits de pointe des crues fréquentes (jusqu'à la crue décennale). L'approche pluviométrique sera mise en place pour estimer la crue centennale.

Les ajustements de débits ont été réalisés sur deux chroniques :

- une chronique de 20 années complètes (1998-2018),
- l'ensemble de la chronique de 44 années (années complètes uniquement entre 1954-2018).

4.4.2 AJUSTEMENTS SUR LA CHRONIQUE 1998-2018

Plusieurs ajustements sont testés : Gumbel, Weibull, GEV, Person type 3 et loi exponentielle.

	Gumbel	Weibull	GEV	Person type 3	Exponentielle
5 ans	449 m ³ /s	428 m ³ /s	432 m ³ /s	435 m ³ /s	424 m ³ /s
10 ans	597 m ³ /s	601 m ³ /s	584 m ³ /s	602 m ³ /s	602 m ³ /s
100 ans¹	1060 m ³ /s	1160 m ³ /s	1120 m ³ /s	1130 m ³ /s	1190 m ³ /s

Tableau 11 : résultats des ajustements sur la chronique 1998-2018

Les résultats sont relativement homogènes. Selon le critère de qualité des moindres carrés, le meilleur ajustement est obtenu pour une loi de type Weibull et est présenté ci-après.

¹ A titre indicatif

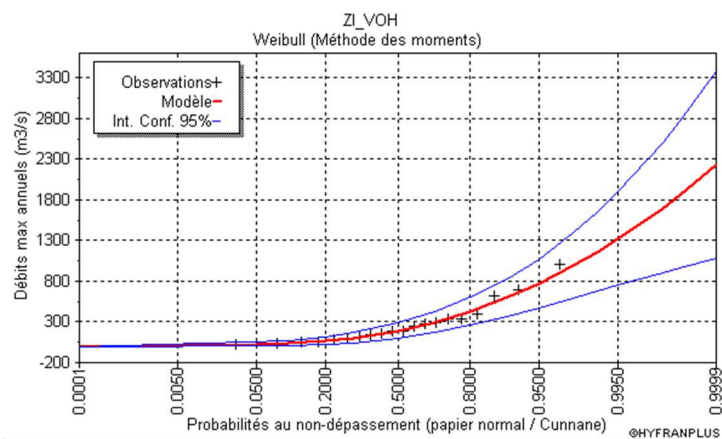


Figure 13 : ajustement de Weibull sur la chronique 1998-2018 à Faténaoué

4.4.3 AJUSTEMENTS SUR L'ENSEMBLE DE LA CHRONIQUE

Plusieurs ajustements sont testés : Gumbel, Weibull, GEV, Person type 3 et loi exponentielle.

	Gumbel	Weibull	GEV	Person type 3	Exponentielle
5 ans	688 m ³ /s	632 m ³ /s	653 m ³ /s	656 m ³ /s	631 m ³ /s
10 ans	928 m ³ /s	920 m ³ /s	902 m ³ /s	933 m ³ /s	903 m ³ /s
100 ans ²	1 680 m ³ /s	1 900 m ³ /s	1 800 m ³ /s	1 830 m ³ /s	1 810 m ³ /s

Tableau 12 : résultats des ajustements sur l'ensemble de la chronique

Les résultats sont relativement homogènes. Le meilleur ajustement est obtenu pour une loi de type Weibull et est présenté ci-après.

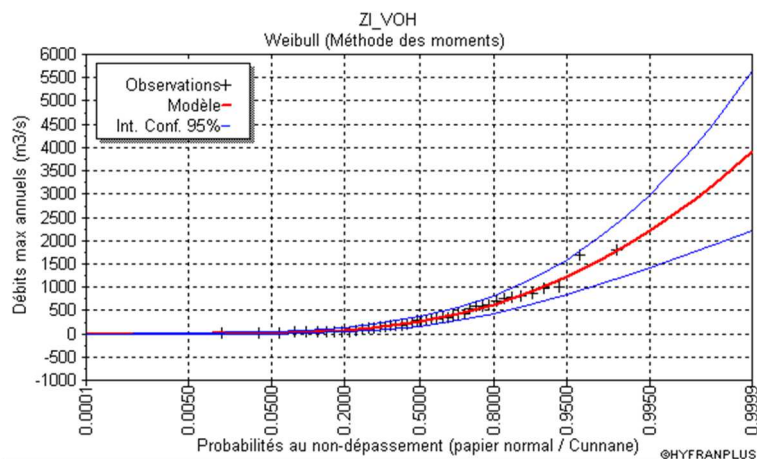


Figure 14 : ajustement de Weibull sur l'ensemble de la chronique à Faténaoué

4.4.4 CONCLUSION

Les deux ajustements conduisent à des débits inférieurs à ceux retenus dans l'étude [1]

Les ajustements sur la chronique de 1998 à 2018 conduisent à des débits de pointe en moyenne 30% inférieurs à ceux obtenus avec les ajustements sur l'ensemble de la chronique disponible (années complètes uniquement).

² A titre indicatif

Compte-tenu de la taille plus importante de l'ensemble de la chronique (44 années complètes) et de manière conservative, l'ajustement de Weibull sur l'ensemble de la chronique est retenu, soit :

- 632 m³/s pour la crue de la Faténaoué de période de retour de 5 ans,
- 920 m³/s pour la crue de la Faténaoué de période de retour de 10 ans.

Pour rappel, les débits estimés dans l'étude [5] étaient de 755 m³/s pour la crue de période de retour de 5 ans et 1 048 m³/s pour la crue de période de retour de 10 ans.

Par application de la formule de Myer à la puissance 0,75, les débits de pointe estimés de la Faléane et la Voh sont présentés dans le tableau 13.

	Surface	Q ₅	Q ₁₀
Fatenaoué (1955-2018)	111 km ²	632 m ³ /s	920 m ³ /s
Voh	202 km ²	990 m ³ /s	1 441 m ³ /s
Faléane	1,7 km ²	28 m ³ /s	40 m ³ /s

Tableau 13 : transposition des ajustements de la Fatenaoué aux bassins versants de la Voh et de la Faléane

4.5 APPROCHE PLUVIOMETRIQUE

4.5.1 PLUVIOMETRIE

Aucune donnée pluviométrique brute n'a pu être recueillie dans le cadre de cette étude. L'analyse pluviométrique se base sur les éléments fournis par le rapport [7], à savoir les courbes Intensité/Durée/Fréquence au droit des pluviomètres Congos et Tipindje Col situés sur le bassin versant de la Voh et gérés par la Davar.

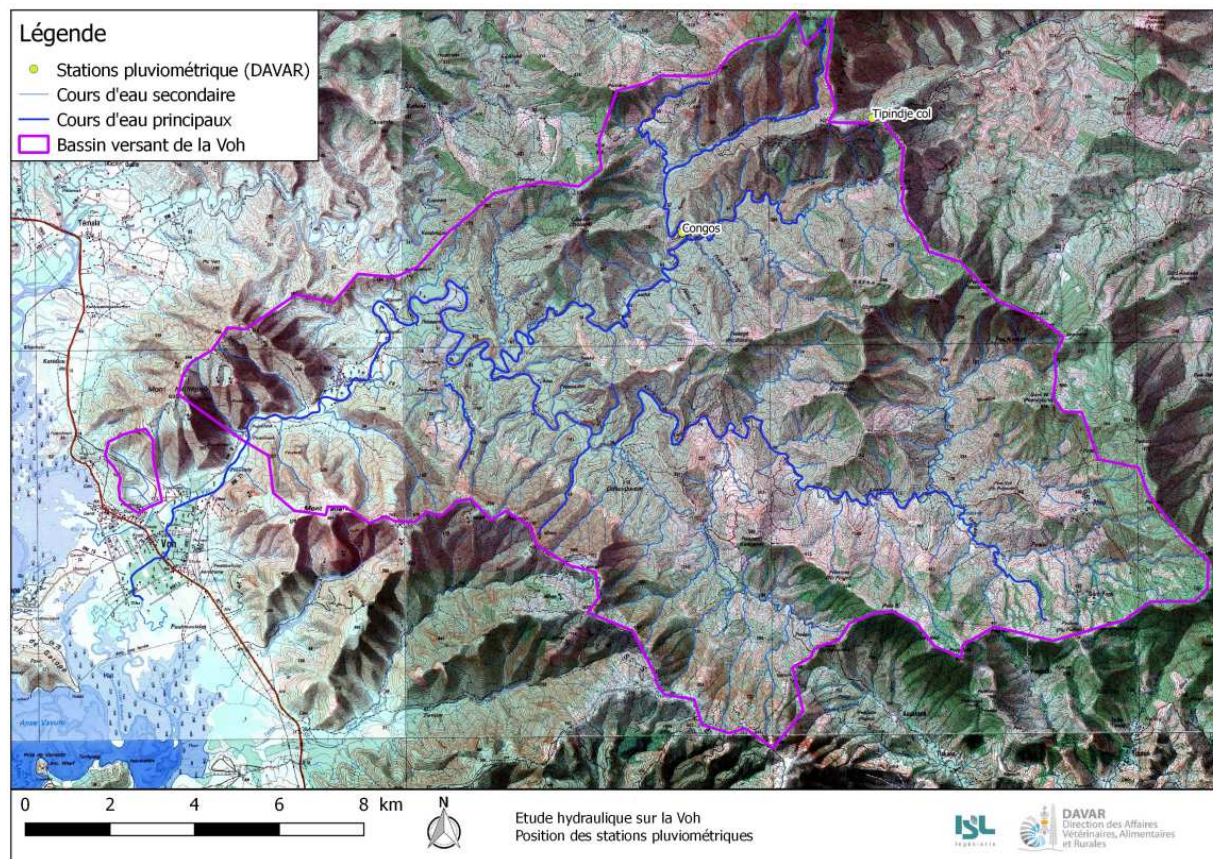


Figure 15 : position des stations pluviométriques sur le bassin versant

Le pluviomètre de Tipindje Col est situé sur les hauteurs du bassin versant. La pluviométrie moyenne annuelle mesurée à ce pluviomètre est de 1792 mm/an.

Le pluviomètre de Congos est situé en fond de vallée en partie relativement centrale du bassin versant de la Voh. La pluviométrie moyenne annuelle mesurée à ce pluviomètre est de 1320 mm/an.

La pluviométrie moyenne du bassin versant de la Voh est de l'ordre de 1500 mm/an en considérant une pondération de 50% pour chacun des deux pluviomètres.

La pluviométrie moyenne du bassin versant de la Faléane est comprise entre 1000 et 1250 mm/an. Le pluviomètre de Congos est considéré pour les calculs réalisés sur le bassin versant de la Faléane.

	Durée (min)	6	15	30	60	90	120	360	1440
Cumul T5 (mm)	Congos	11,3	23,0	35,9	52,9	65,3	74,1	119,5	197,0
	Tipindje Col	13,9	28,7	46,4	66,8	80,9	91,4	148,2	243,5
Cumul T10 (mm)	Congos	12,6	26,0	40,9	60,7	75,4	85,8	139,8	233,0
	Tipindje Col	15,5	32,4	53,0	76,6	93,1	105,5	173,0	287,8
Cumul T100 (mm)	Congos	16,6	35,1	56,4	85,1	106,8	122,2	203,2	345,8
	Tipindje Col	20,5	43,9	73,4	107,1	131,1	149,4	250,5	426,4
Gd (mm/durée considérée)	Congos	1,7	3,9	6,6	10,4	13,4	15,5	27	48
	Tipindje Col	2,1	4,9	8,7	13	16,2	18,7	33	59

Tableau 14 : intensité durée fréquence aux pluviomètres de Congos et Tipindje Col (source [7])

4.5.2 METHODE RATIONNELLE

La méthode rationnelle est réservée aux petits bassins versants ($S < 10 \text{ km}^2$). Elle est donc appliquée ici pour le bassin versant de la Faléane.

Cette méthode se fonde sur l'hypothèse que les débits maximaux de crue d'un bassin versant sont directement proportionnels aux intensités pluviométriques calculées sur son temps de concentration. Le coefficient de proportionnalité, ou coefficient de ruissellement (C), varie en fonction de l'occupation du sol du bassin versant, de sa superficie, de sa pente et de l'intensité des précipitations. Basée sur une connaissance de la pluviométrie locale et des caractéristiques du bassin versant, l'équation s'écrit comme suit :

$$Q = \frac{1}{3,6} \times C \times i(t_c) \times A$$

Avec :

- C, le coefficient de ruissellement
- $i(t_c)$, l'intensité pluviométrique associée à la période de retour de l'événement pluvieux et au temps de concentration du bassin (mm/h)
- A, la superficie du bassin versant (km^2)
- Q, le débit de pointe (m^3/s)

Le temps de concentration a été estimé entre 20 et 38 min selon la méthode utilisée. Deux calculs sont réalisés, un considérant une durée d'évènement de 15 min et un considérant une durée d'évènement de 30 min. Les intensités retenues sont celles du poste de Congos.

L'estimation des débits de crue nécessite une évaluation du coefficient de ruissellement du bassin (C). Ce paramètre traduit l'aptitude du sol à ruisseler et représente la portion de pluie tombée qui rejoint effectivement l'exutoire du bassin versant par écoulement superficiel.

Par cohérence avec l'étude [2] et les recommandations de la Davar, nous retenons un coefficient de 0,7 pour la pluie de 5 ans et un coefficient de 0,9 pour les évènements de 10 et 100 ans. Ces coefficients sont élevés mais réaliste au regard de l'occupation des sols (savane), de la faible superficie, et des fortes intensités considérées.

Les résultats issus de la méthode rationnelle sont présentés dans le tableau 15.

		Evènement 15 min	Evènement 30 min
Surface		1,7 km ²	1,7 km ²
Durée		15 min	30 min
5 ans	I	92 mm/h	72 mm/h
	C	0,7	0,7
	Q	30 m³/s	24 m³/s
10 ans	I	104 mm/h	82 mm/h
	C	0,9	0,9
	Q	44 m³/s	35 m³/s
100 ans	I	140 mm/h	113 mm/h
	C	0,9	0,9
	Q	60 m³/s	48 m³/s

Tableau 15 : résultats de la méthode rationnelle

4.5.3 METHODE DU GRADEX

4.5.3.1 Généralités

La méthode du Gradex tient compte du fait que les informations pluviométriques sont en général plus nombreuses que les informations hydrométriques.

Elle repose sur l'hypothèse qu'au-delà d'une période de retour, en général prise égale à 10 ans, le volume correspondant à l'épisode pluvieux considéré ruisselle entièrement.

Dans la pratique, l'analyse statistique des pluies fournit le Gradex des pluies qui est la pente de l'ajustement statistique des pluies maximales pendant une durée correspondant à la durée caractéristique du bassin versant.

Cette valeur est reprise pour calculer les lames d'eau écoulées à partir de la lame d'eau décennale, estimée grâce aux mesures faites sur le bassin considéré ou un bassin voisin.

4.5.3.2 Formulation de la méthode du GRADEX

Le débit de période de retour 10 ans est retenu comme point de départ de l'extrapolation par le GRADEX.

La formule du GRADEX s'écrit de la manière suivante :

Pour $T > 10$ ans,

$$Q_p(T) = Q_{pivot} + C_f \times G_{p,durée} \times \frac{S}{3,6 \times d} \times \ln\left(\frac{T}{T_{pivot}}\right)$$

Avec :

$Q_p(T)$: le débit de pointe de période de retour T , en m^3/s

Q_{pivot} : le débit de pointe au point pivot, ici $T_{pivot}=10$ ans, en m^3/s

C_f : le coefficient de forme (rapport entre le débit de pointe et le débit moyen sur la durée d)

$G_{p,durée}$: le gradex des pluies de durée d , en mm

S : la surface du bassin versant, en km^2 ,

d : la durée de l'évènement, en heure, prise égale à la durée caractéristique du bassin versant

4.5.3.3 Estimation de la durée caractéristique du bassin versant et du coefficient de forme

Les hydrogrammes de crue historiques ont été recueillis sur le bassin versant de la Faténaoué pour les crues de mars 1996, février 1999, mars 2008, 18 janvier 2014 et 04 février 2014.

Afin de comparer la forme des hydrogrammes sur une même figure, ceux-ci ont été centrés sur le pic de crue et réduits (division par le débit de pointe).

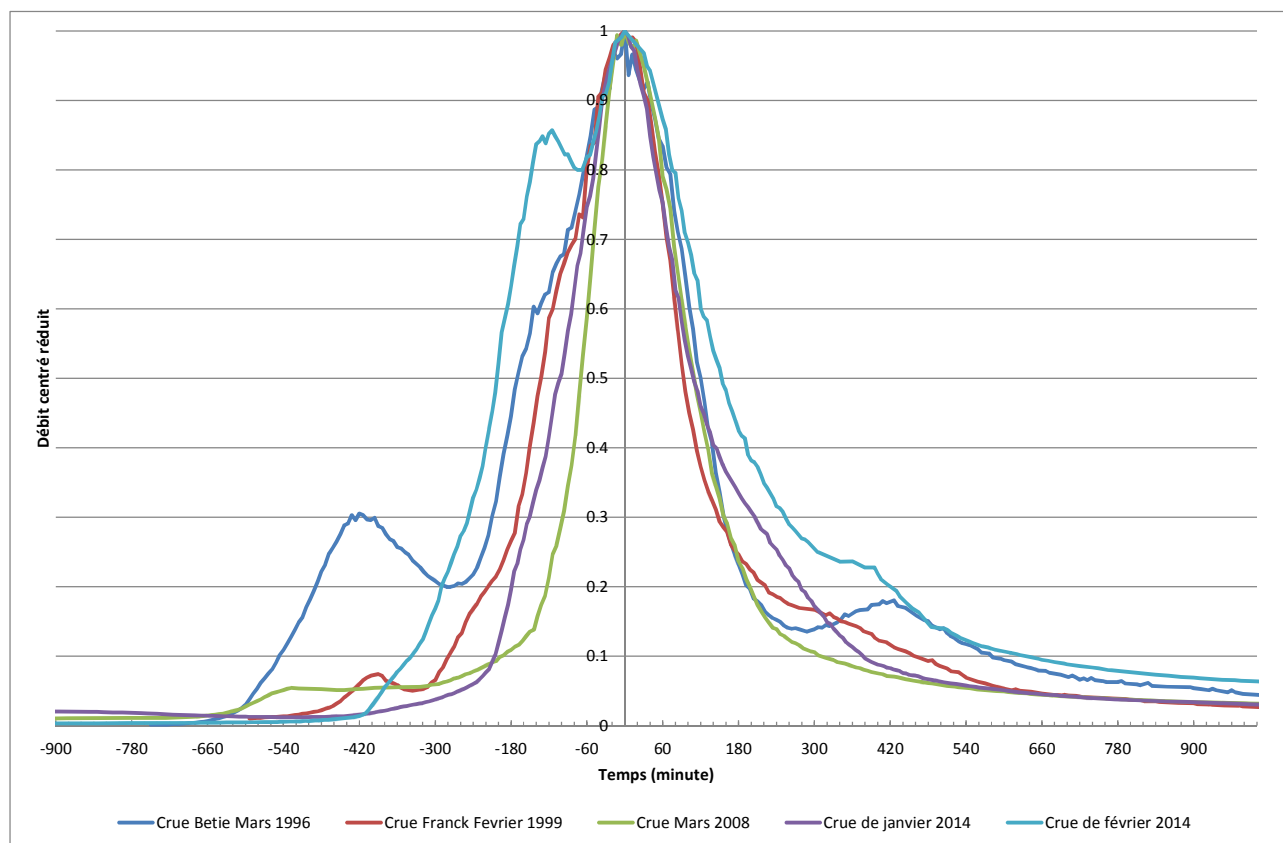


Figure 16 : hydrogrammes centrés réduits des crues historiques à Faténaoué

Cette figure permet d'estimer :

- la durée caractéristique de la crue, prise comme la durée pendant laquelle la moitié du débit de pointe est dépassée,
- le coefficient de forme égal au ratio entre le débit de pointe et le débit moyen sur la durée caractéristique.

Le tableau 16 présente ces caractéristiques pour les crues historiques.

	janv-14	févr-14	mars-08	févr-99	mars-96
Débit pointe (m ³ /s)	622	475	399	1003	1802
Durée caractéristique (min)	220	360	190	230	290
Coefficient de forme (Qp/Qmoy,d)	1,29	1,25	1,25	1,27	1,30

Tableau 16 : caractéristiques des crues historiques de la Faténaoué

La durée caractéristique moyenne est de l'ordre de 4 heures, valeur proche du temps de concentration calculé sur le bassin versant de la Faténaoué. Le coefficient de forme est relativement homogène pour les 5 crues historiques (de 1,25 à 1,30).

Une transposition est faite au bassin versant de la Voh :

- la durée caractéristique est estimée à environ 6 heures par conservation du ratio des temps de concentration entre les deux bassins versants,
- un coefficient de forme de 1,3 est retenu.

Pour une durée de 6 heures, le tableau 14 indique un Gradex moyen entre les deux stations pluviométriques de 30 mm/6h.

4.5.3.4 Débit pivot

Le point pivot est pris égal à la période de retour de 10 ans. Le débit décennal a été calculé précédemment avec la formule régionale et la transposition avec la station de Faténaoué.

	Formule régionale Davar	Transposition avec la station de Faténaoué	Débit retenu
Débit décennal	1 630 m ³ /s	1 441 m ³ /s	1 500 m ³ /s

Tableau 17 : débit pivot considéré dans la formule du Gradex

L'ordre de grandeur du débit décennal obtenu par les deux méthodes est cohérent. Un débit décennal de 1500 m³/s est retenu.

4.5.3.5 Résultats

L'application de la méthode du Gradex conduit à un débit centennal de la Voh de 2 360 m³/s.

4.6 COMPARAISON DES RESULTATS DES DIFFERENTES METHODES AVEC LES ETUDES EXISTANTES ET CHOIX DES CRUES DE PROJET

4.6.1 SUR LA VOH

Les débits de pointe de la Voh obtenus pour chaque méthode sont comparés avec les débits de pointe calculés dans l'étude [1] dans le tableau 18.

	Q ₅	Q ₁₀	Q ₁₀₀
Formule régionale	1 210 m³/s	1 630 m³/s	2 950 m³/s
Transposition depuis la station de Faténaoué	990 m ³ /s	1 440 m ³ /s	-
Méthode du Gradex	-	-	2 360 m ³ /s
Etude [1]	1 565 m ³ /s	2 390 m ³ /s	5 000 m ³ /s
Débit de pointe retenu	1 210 m³/s	1 630 m³/s	2 950 m³/s

Tableau 18 : synthèse des débits de pointe de la Voh calculés avec les différentes méthodes et comparaison avec l'étude [1]

L'ensemble des méthodes conduit à des débits de pointe sensiblement moins importants que les débits de pointe calculés dans l'étude [1]. Ce point se justifie compte tenu du fait que la chronique de débit utilisée dans l'étude [1] était nettement moins longue (20 années de moins). Le poids du cyclone Béti était donc nettement plus important dans les anciens ajustements. Les ajustements réalisés dans la présente étude ont montré qu'un ajustement sur les 20 années les plus récentes conduirait à des débits nettement moins importants.

La formule régionale conduit à des débits de crue de période de retour de 5 et 10 compris entre les débits de la précédente étude et les débits calculés par la méthode de transposition.

La formule régionale conduit à un débit de crue centennale compris entre celui de la précédente étude et celui obtenu avec la méthode du Gradex.

Pour les trois crues, les valeurs obtenues par la formule régionale sont retenues.

4.6.2 SUR LA FALÉANE

Les débits de pointe de la Faléane obtenus pour chaque méthode sont présentés dans le tableau 19.

	Q ₅	Q ₁₀	Q ₁₀₀
Formule régionale	34 m ³ /s	45 m ³ /s	82 m ³ /s
Transposition depuis la station de Faténaoué	28 m ³ /s	40 m ³ /s	
Méthode rationnelle (15 min)	30 m³/s	44 m³/s	60 m³/s
Méthode rationnelle (30 min)	24 m ³ /s	35 m ³ /s	48 m ³ /s
Débit de pointe retenu	30 m³/s	44 m³/s	60 m³/s

Tableau 19 : synthèse des débits de pointe de la Faléane calculés avec les différentes méthodes

La méthode rationnelle avec une durée d'évènement de 15 min conduit à des débits de pointe cohérents avec la formule régionale et la transposition depuis la station de Faténaoué pour les périodes de retour de 5 et 10 ans.

Les valeurs de débits de pointe centennaux sont relativement dispersées. Il est proposé de retenir les valeurs calculées avec la méthode rationnelle et une durée de 15 min, adaptée au contexte local.

4.7 CRUES HISTORIQUES

4.7.1 SUR LA VOH

Les hydrogrammes de crues de la Faténaoué des événements de janvier et février 2014, de mars 2008, de février 1999 et de mars 1996 ont été recueillis.

A défaut de données plus précises, une transposition au bassin versant de Voh est réalisée par application de la formule de Myer à la puissance 0,75.

Les débits de pointe estimés sont présentés dans le tableau 20.

	janv-14	févr-14	mars-08	févr-99	mars-96
Débit pointe de la Faténaoué (m ³ /s)	622	475	399	1003	1802
Débit pointe de la Voh (m ³ /s)	975	744	625	1 571	2 824

Tableau 20 : estimation des débits de pointe des crues historiques de la Voh

Ces débits de pointe pourront être ajustés en phase 2 en fonction des résultats du calage de la modélisation hydraulique.

4.7.2 SUR LA FALÉANE

Une transposition des débits de crue du bassin-versant de la Faténaoué au bassin versant de la Faléane par application de la formule de Myer avec le coefficient ($\alpha=0.75$) ne paraît pas judicieux étant donnée les caractéristiques différentes (Surface, Pente, Forme, ...) des deux bassins-versants (cf. rapport de phase 1) et donnerait des valeurs incohérentes (par exemple : un débit de pointe sur la Faléane pour la crue de BETI supérieur au débit de pointe de la Faléane pour la crue centennale alors qu'on observerait l'inverse sur la Voh).

Afin de garder une cohérence entre tous les débits, les débits de pointes de crues historiques de la Faléane sont estimés par interpolation linéaire à partir des débits déterminés dans les paragraphes précédents et rappelés dans le tableau ci-dessous.

Crue	Débit de pointe sur la Voh (m ³ /s)	Débit de pointe sur la féaleane (m ³ /s)
Q100	2950	60
Beti	2824	Interpolation linéaire
Q10	1630	44
Franck	1571	Interpolation linéaire
Q5	1209	30
June 2014	975	Interpolation linéaire
Edna 2014	744	Interpolation linéaire
Mars-08	625	Interpolation linéaire
Méthode hydrologique retenue et utilisée		
Transposition de Myer depuis Faténaoué ($\alpha=0.75$)		
Rationnelle TC=15 min		
Formules régionales		

Tableau 21 : Débits de pointes disponibles à l'issue de la phase 1

$$\text{A titre d'exemple : } Q_{\text{BETI Faléane}} = Q_{10 \text{ Faléane}} + \frac{(Q_{100 \text{ Faléane}} - Q_{10 \text{ Faléane}})}{(Q_{100 \text{ Voh}} - Q_{10 \text{ Voh}})} * (Q_{\text{BETI Voh}} - Q_{10 \text{ Voh}})$$

	Débit de pointe : Faléane
« BETI » 1996	58 m³/s
« FRANCK » 1999	42 m³/s
June 2014	22 m³/s
Edna 2014	15 m³/s
Mars 2008	11 m³/s

Tableau 22 : Débits estimés des crues historiques de la Faléane

A noter que les débits de la Faléane n'ont que peu d'impact sur l'inondabilité (représentant 2,8% du débit de la Voh) par rapport aux débordements de la Voh sur les crues historiques.

4.8 CONCLUSION SUR L'HYDROLOGIE DES CRUES

L'étude hydrologique menée complète la précédente étude hydrologique menée en 2000 par l'application de méthodes hydro-pluviométriques telles que la méthode rationnelle sur le bassin versant de la Faléane (S=1,7 km²) et la méthode du Gradex sur le bassin versant de la Voh (S=202 km²).

Les débits de pointe retenus dans la présente étude sont sensiblement inférieurs à ceux calculés dans l'étude de 2000 en raison notamment de la chronique des débits utilisée étoffée de 20 années supplémentaires réduisant le poids du cyclone Béti dans les ajustements.

Les débits de pointe de la Voh et de la Faléane retenus pour la suite de l'étude sont synthétisés dans le Tableau 23.

Période de retour	Voh	Faléane
5 ans	1210 m³/s	30 m³/s
10 ans	1630 m³/s	44 m³/s
100 ans	2950 m³/s	60 m³/s

Tableau 23 : débits de pointe de projet de la Voh et de la Faléane

Par ailleurs, l'étude hydrologique a permis d'estimer les débits de pointe des crues historiques de la Voh à l'amont de la zone d'étude à partir des hydrogrammes mesurés sur le bassin versant de la Fatéanoué :

	Débit de pointe : Voh	Période de retour estimée
BETI 1996	2824 m³/s	Environ 80 ans
FRANCK 1999	1571 m³/s	Environ 9 ans
JUNE 2014	975 m³/s	Proche de 5 ans
EDNA 2014	744 m³/s	Entre 5 et 2 ans
Mars 2008	625 m³/s	Proche de 2 ans

Tableau 24 Débits de pointe estimés des crues historiques

Les périodes de retour estimées des crues historiques sont :

- Issues du calage sur la droite de l'ajustement de Gumbel pour les crues de fortes périodes de retour (FRANCK et BETI),
- En comparaison des rapports globaux estimés par la DAVAR sur l'ensemble des 22 stations hydrométriques de Nouvelle-Calédonie : $Q_{100}/Q_5 = 2.44$ et $Q_{100}/Q_2 = 4.98$.

5 RECONNAISSANCES ET ENQUETES DE TERRAIN

5.1 INSPECTION DU COURS D'EAU – ETAT DES LIEUX

Les visites de terrain se sont déroulées les 27 et 28 mars 2019. Elles ont consisté à parcourir le linéaire des cours d'eau en canoë et le lit majeur sur la zone d'étude.

Les observations faites lors de ces visites de terrain sont détaillées dans la présente section.

Les visites se sont déroulées par temps ensoleillé et consécutivement au cyclone OMA ayant impacté la Nouvelle-Calédonie entre le 16 et 23 février 2019 (soit un mois avant la visite) et ayant provoqué une crue de la Voh.

5.2 NATURE DU COURS D'EAU

5.2.1 LA VOH

Globalement le lit mineur du cours d'eau est encaissé et présente des berges dont les hauteurs atteignent parfois la dizaine de mètres. Aucune « digue » ou merlon significatif et susceptible de limiter les débordements du cours d'eau par rapport au lit majeur n'a été constaté.

Le profil du cours d'eau alterne entre des linéaires comportant de grandes sections hydrauliques (largeur de 15 à 30 mètres et de profondeur atteignant les 2 m en période hydrologique moyenne) et des linéaires de « rapides » (largeur restreinte, profondeur faible et vitesses d'écoulement élevées).

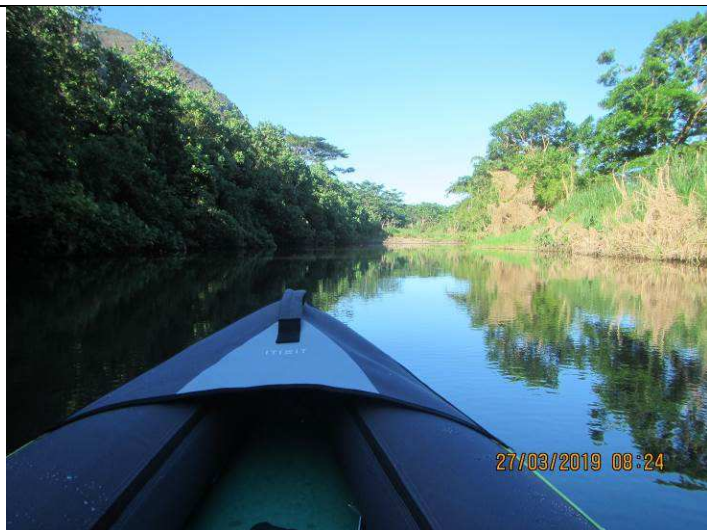
On note la présence de nombreux atterrissements qui sont majoritairement fortement colonisés par la végétation (essentiellement herbacée et frutescente avec quelques arbres).

A l'aval du pont de la RM14, le lit mineur du cours d'eau est plus sinueux et les berges sont colonisées par la mangrove.

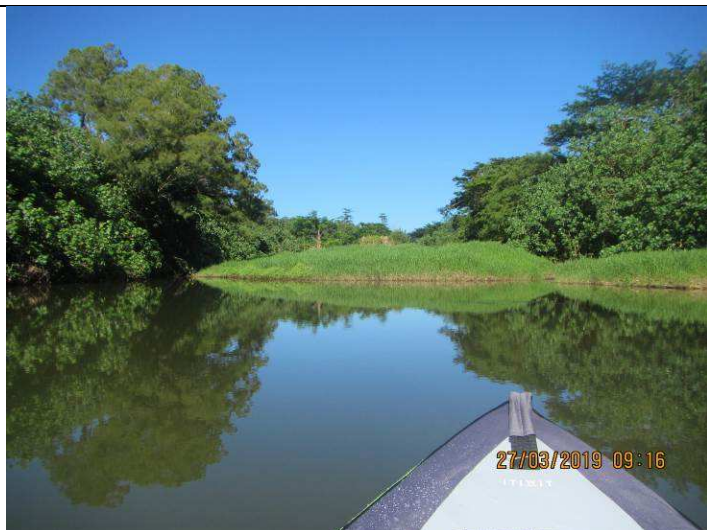
On note localement les singularités suivantes :

- sur sa traversée du bourg à proprement parlé (à partir de 1,2 km à l'amont du pont de la RT1 et jusqu'à 1,4 km à l'aval), la présence d'enrochements de protection sur les talus et en pied de berges (au moins 4 linéaires distincts identifiés) ;
- la présence régulière d'embâcles qui nous ont obligés à mettre pied à terre depuis le canoë et qui ont certainement un rôle de ralentissement des écoulements ;
- de nombreuses traces d'érosion des berges qui paraissent plus prononcées à l'aval du pont de la RT1.

Des photos illustrant la géométrie et la nature du cours d'eau sont présentées ci-dessous :



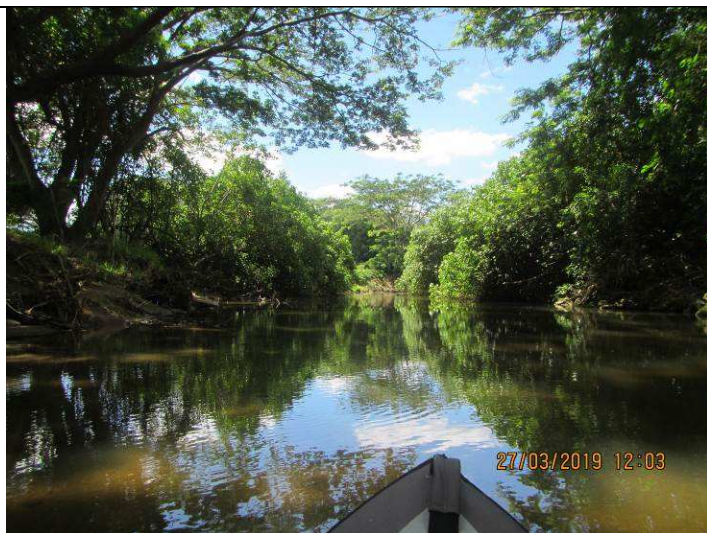
Lit mineur de section très large avec un tirant d'eau de l'ordre de 1,5 mètres



Rétrécissement d'une section large au droit d'un atterrissement



Vue d'une section de grande largeur depuis un atterrissement



Section large au droit de l'ancien pont de la RM14



Secteur de rapide de section plus restreinte



Secteurs intermédiaires (largeur moyenne d'environ 10 mètres et vitesse modérée)



Secteur aval : sinueux et colonisé par la mangrove



Nouveau pont de la tribu de Tieta (à gauche) et de la RT1 (à droite)



Exemple d'embâcles barrant le cours d'eau



Enrochements de protections en pied de berge



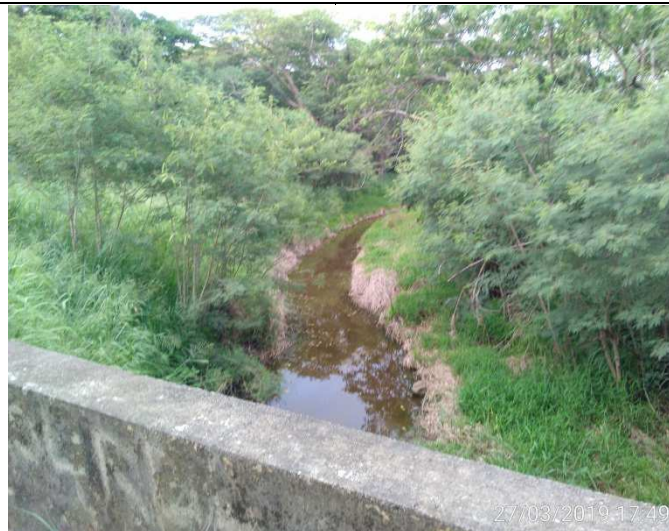
Traces (récentes ?) d'érosion de berge sur le secteur à l'aval du pont de la RT1

5.2.2 LA FALÉANE

La Faléane est un petit cours d'eau de 4 km de long qui draine le versant sud du Tiao (premier relief au nord de Voh). Le cours d'eau a une largeur de l'ordre du mètre jusqu'au pont de la route du cimetière. A l'aval de ce pont, le cours d'eau s'élargit brusquement à 10 mètres et s'élargit ensuite progressivement jusqu'à la zone côtière de mangrove « Fwadinip ».



Faléane à l'aval immédiat de sa traversée de la RT1
(largeur de quelques mètres)



Faléane à l'amont immédiat du pont de la route du
cimetière



Section hydraulique du pont de la route du cimetière



Faléane à l'aval immédiat du pont de la route du
cimetière (largeur d'une dizaine de mètres)



A quelques centaines de mètres à l'aval du pont de la route du cimetière, la Faléane s'élargit rapidement et atteint des largeurs de 40 mètres.

5.3 SINGULARITES DU SECTEUR

Les singularités pouvant avoir un impact sur les écoulements sont les suivantes :

- Une buse de diamètre 500 mm environ a été constatée sous la route VU 18 et permet de connecter la Voh avec le bassin versant de la Faléane à partir d'un certain niveau. Toutefois les dimensions de l'ouvrage ne permettent pas de faire passer un débit significatif (en particulier pour les crues).
- De part et d'autre du pont de la RT1, celle-ci est constituée d'un remblai perpendiculaire au sens des écoulements, le tablier du pont étant surélevé par rapport au terrain naturel avoisinant.
- On constate que de nombreuses parcelles du lit majeur ont été remblayées sur de plus ou moins grandes surfaces, qui vont de la simple emprise de maison individuelle à l'ensemble de la propriété (terrain de sport de la commune par exemple). Il a été vérifié que les remblais antérieurs à la dernière version du plan au 2000^{ème} sont bien représentés sur le plan.



Figure 17 : exemple de terrain privé remblayé

- On note que l'ancienne voie ferrée de l'exploitation minière menant à l'ancien wharf au sud de la presqu'île de Gatope n'aurait à priori aucune influence sur les écoulements étant donné :
 - sa hauteur très limitée

- la discontinuité du vestige de ce remblai qui a disparu sur un grand linéaire

5.4 CARTOGRAPHIE DU SECTEUR

La cartographie des éléments particuliers recensés lors de la visite de terrain est présentée sur la figure 18.

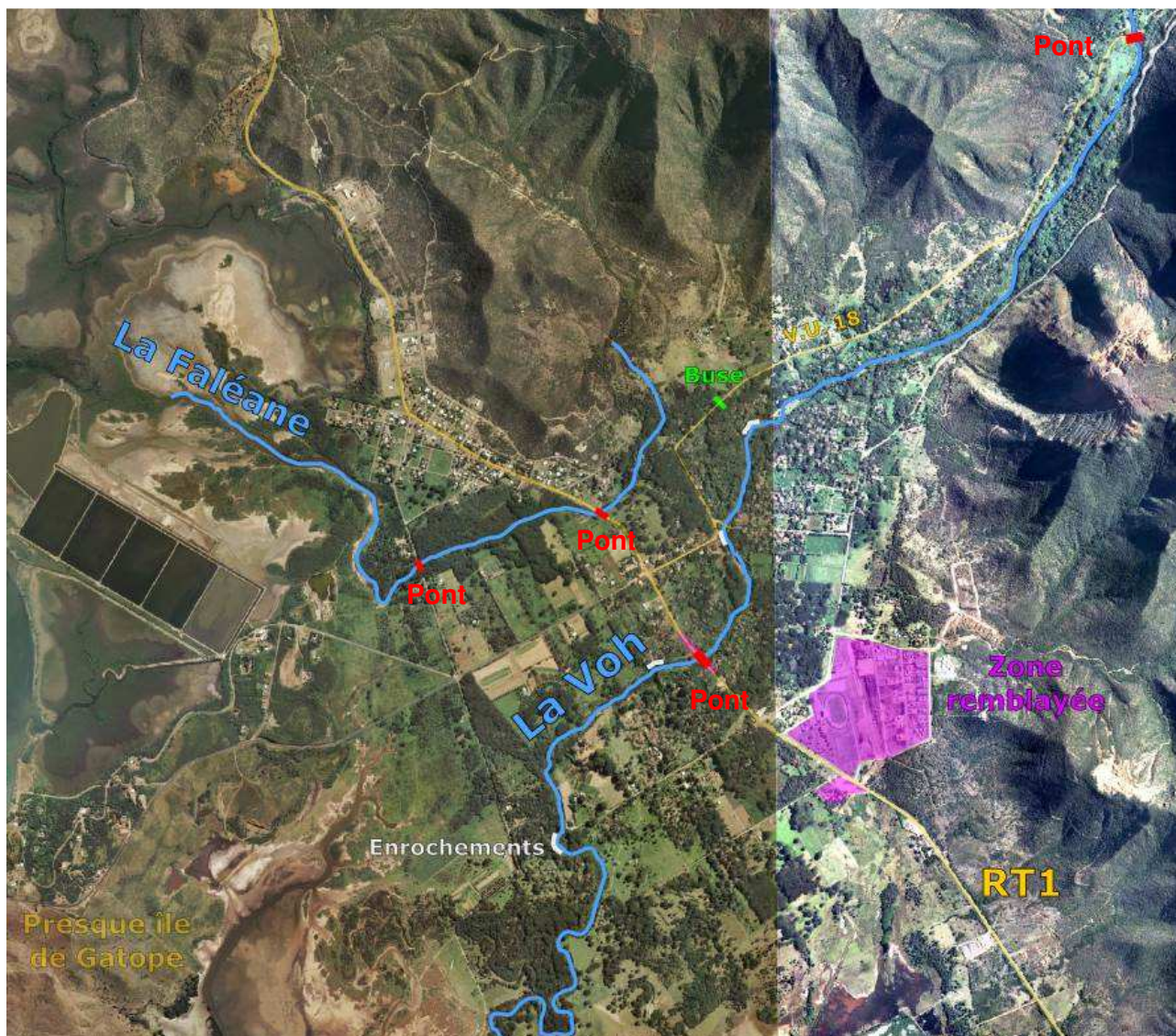


Figure 18 : cartographie globale du secteur

5.5 HISTORIQUE GENERAL DU SECTEUR

Les différents entretiens et la visite de terrain ont permis d'établir l'historique du secteur suivant :

- 1892 : installation des premiers colons et création d'un centre agricole sur les rives de la Voh ;
- Au cours du 20^{ème} siècle : Exploitation des mines sur les hauteurs par la SLN qui entretenait la rivière en draguant le lit du cours d'eau dans son embouchure. Les éléments à disposition ne précisent pas la raison de ces dragages (passage de bateaux ou écoulement hydraulique) ;

- Les ponts franchissant la VOH sont régulièrement détruits par les crues ;
- En 1948, une inondation entraîne un niveau d'eau égal au niveau bas des fenêtres des locaux de l'ancienne école (situé à proximité du rond point de la route de Gatope). Au cours de cette crue, il semblerait qu'un embâcle massif ait joué un rôle dans la dynamique de l'inondation. Cet embâcle aurait pour origine une campagne de défrichage pour laquelle les chutes et billes de bois auraient été laissées en vrac dans le lit majeur du cours d'eau.
- Afin de limiter les érosions et de fixer le lit de la rivière (en particulier pour protéger les anciennes exploitations de café), des Bouraos étaient plantés sur les berges. Ces bouraos étaient autrefois entretenus et élagués tous les 2 ans, ce qui n'est plus le cas aujourd'hui.
- L'année 1967 aurait vu se succéder 7 inondations consécutives entre janvier et juillet.
- Dans les années 70, le génie rural réalise une opération de curage du lit mineur de la Voh depuis l'amont de la tribu de Tieta jusqu'à l'ancien pont de la route municipale 14 (V.U. 20). La partie à l'aval de ce pont jusqu'à l'embouchure n'a pas fait l'objet de curage.
- On note que le lit majeur fait régulièrement l'objet de travaux de remblaiement par des propriétaires privés ou des structures collectives.
- 19/02/2019 : D'après plusieurs riverains, les eaux de la Voh refluent par l'aval suite aux précipitations liées au cyclone OMA. Le niveau de l'inondation n'a pas atteint le rond point de l'école. Une partie des eaux s'est évacuée par la Faléane.

5.6 LAISSES DE CRUES DES EVENEMENTS REMARQUABLES

Au cours des visites de terrains, 8 laisses de crues ont pu être identifiées et sont répertoriées dans le tableau ci-dessous :

N°	Nom du contact	Contact	Commentaires
P1L1	George HERVOUET	47.27.50	Repère de laisse de crue sur un meuble dans la maison pour le cyclone Esaü 1992
P1L2	Gladys HERVOUET	47.27.68	Environ 5 cm d'eau dans la maison pour un événement cyclonique en 1986 (peut être confondu avec le cyclone Bété 1996) ?
P1L3	Jonas		Marque au stylo dans la maison de la laisse de crue du cyclone Bété 1996
PL4	Etienne et Robet MAEDA	42.41.59	Hauteur d'eau approximative par rapport au seuil de la maison pour les cyclones Allison (1975), Esaü (1992) et Bété (1996)
PL5	Marcel MANAUTE	47.28.16	Marque de peinture de la laisse de crue pour le cyclone Bété 1996 et positionnement relatif de la laisse de crue du cyclone Allison 1975
PL6	Karl RIMPLER		Hauteur d'eau approximative par rapport au seuil de la maison pour le cyclone Bété (1996)
PL7	André SAUVAGEOT		Hauteur d'eau approximative dans la maison pour le cyclone Bété (1996)
PL8	Saïmin SOEPARNO	42.48.71	Hauteur d'eau approximative par rapport au seuil de la maison pour le cyclone Bété (1996) et Oma (2019)

Tableau 25 : laisses de crue identifiées chez les riverains

On constate que les événements marquants sur le secteur sont par ordre d'importance les cyclones Bété (1996), Esaü (1992) et Allison (1975). On note que le cyclone le plus récent Oma (2019) n'a entraîné que de faibles débordements dans le lit majeur par rapport au 3 événements cités ci-dessus.

Ces laisses de crue complètent les laisses de crue et les niveaux aux échelles fournis par la DAVAR (cf. paragraphe 2.5).

6 LEVES TOPOGRAPHIQUES COMPLEMENTAIRES

Afin de mener à bien la modélisation hydraulique du secteur, les relevés topographiques complémentaires suivants ont été réalisés dans le cadre de cette étude octobre-novembre 2019 :

- Campagnes de levés des profils en travers du lit mineur (y compris les points bathymétriques) des 2 cours d'eau à étudier : la Faléane,
 - 10 profils sur la Faléane
 - 38 profils sur la Voh
- Les relevés des sections hydrauliques de 5 ponts :
 - Nouveau pont de la tribu de Tieta (au droit du profil 1 à l'extrémité amont du linéaire à modéliser)
 - Pont de la RT1 au dessus de la Voh
 - Pont de la RT1 au dessus de la Faléane
 - Pont de la route du cimetière au dessus de la Faléane
 - Pont de décharge de la route du cimetière en rive droite de la Faléane
- Relevés de 8 laisses de crues chez les habitants locaux.

Compte-tenu de l'absence d'informations sur les crues les plus récentes, le niveau d'eau observé lors de la campagne de reconnaissance devra être relevé. Un jaugeage de la Voh pourra être réalisé lors du relevé. Les niveaux relevés pourront alors être utilisés pour réaliser le calage en lit mineur du modèle hydraulique.

Les travaux topographiques de la campagne octobre-novembre 2019 sont présentés sur la Figure 19 et sur la Figure 20,



Figure 19 : Profils en travers réalisé lors de la campagne terrain 2019

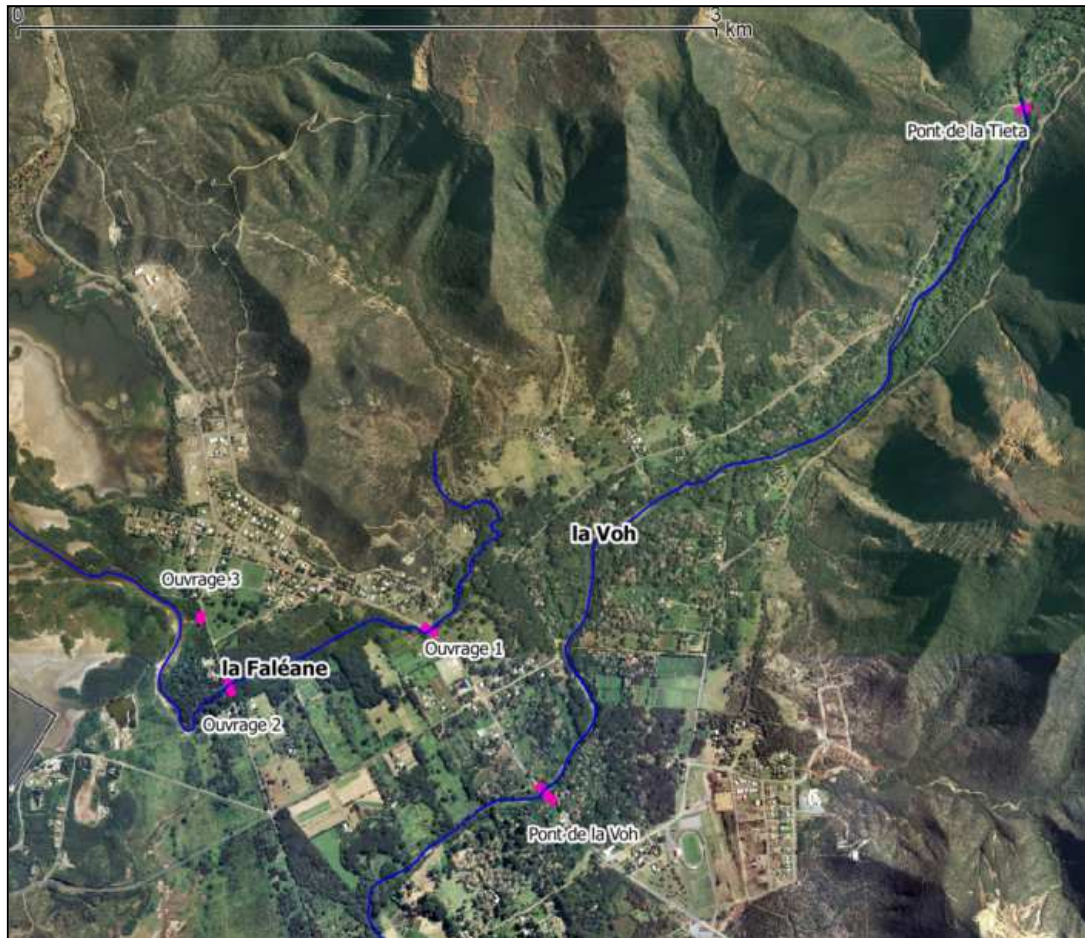
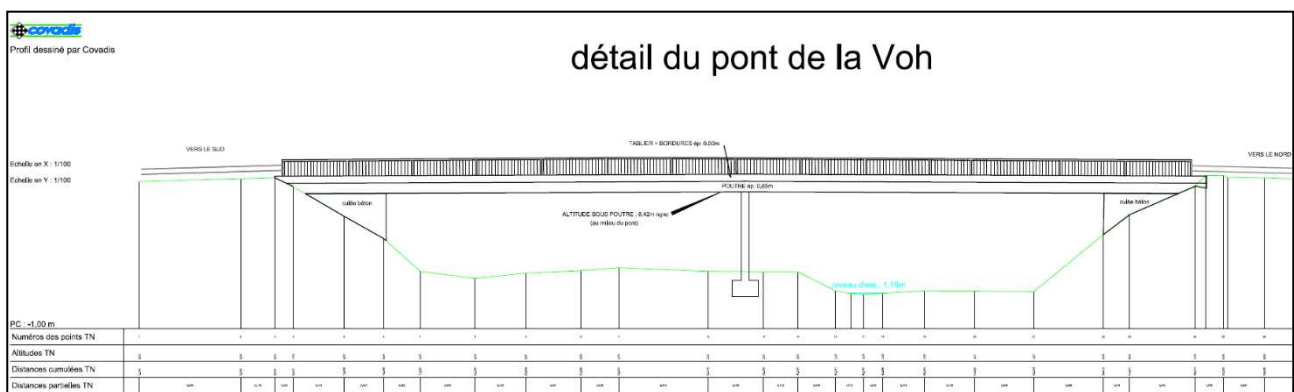


Figure 20 : Ouvrages hydrauliques ayant fait l'objet d'un relevé topographique lors de la campagne de terrain 2019

L'exemple du relevé du pont de la Voh est présenté en Figure 21 :



7 HYPOTHESES ET DONNEES D'ENTREES DE LA MODELISATION

7.1 TYPE DE MODELISATION

La modélisation employée dans le cadre du présent rapport est une modélisation hydraulique à surface libre bi-dimensionnelle. Le logiciel employé pour la réalisation des calculs numériques est Infoworks ICM.

7.2 HYPOTHESES GENERALES DE MODELISATION

Les hypothèses prises en compte pour les scénarios de base pour le calage et l'exploitation du modèle hydraulique sont les suivantes :

- la modélisation effectuée est une modélisation à surface libre destinée à représenter l'aléa dû aux débordements de cours d'eau. Le réseau d'eau pluvial n'est pas intégré dans cette modélisation,
- aucun embâcle n'entrave la capacité des ouvrages hydrauliques. Cette hypothèse est discutée avec les tests de sensibilité de la modélisation aux embâcles décrite dans la section 9.
- aucune rupture de digue n'est considérée.

7.3 DONNEES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMETRIQUES DISPONIBLES POUR LA CONSTRUCTION DU MNT

7.3.1 ETAT ACTUEL

La construction du modèle numérique de terrain de l'état actuel (cf Figure 22) se base :

- en lit majeur : sur les données topographiques au 2000^{ème} sur la commune de Voh (semi de points du terrain naturel réalisé par photogrammétrie), et sur les données topographiques de la DITTT pour compléter l'absence de points sur l'amont du secteur d'étude (cf. données présentées au 2.3),
- en lit mineur : sur des interpolations des profils en travers levés en 2019 (cf. paragraphe 6) des deux cours d'eau étudiés sous HEC-RAS.

Une attention particulière est portée à la génération du MNT dans les zones de lit mineur. L'objectif est de s'assurer de la continuité de représentation de la bathymétrie et, par conséquent, de la continuité de représentation de l'écoulement. Pour cela, les profils en lit mineur levés sont interpolés à l'aide du logiciel HEC-RAS au sein de l'emprise du lit mineur. L'interpolation se base sur la définition de lignes de structure dans le logiciel (hauts de berge et pieds de berge définis par ISL sur les profils topographiques en travers relevés). La distance entre profils interpolés est prise égale à 2 m. Les points des profils interpolés sont ensuite intégrés aux points altimétriques utilisés pour la génération du modèle numérique de terrain. La distance entre profils interpolés a été prise suffisamment petite devant la largeur des cours d'eau pour s'affranchir de la réalisation de lignes de contraintes pour construire le MNT général.

Le pont de la Tieta n'a pas été modélisé pour les raisons suivantes :

- L'ouvrage est récent, sa construction (et son remblai routier) ayant été achevé fin 2018 – il n'était donc pas présent lors de l'ensemble des crues de calage étudiées – si ce dernier influence l'écoulement au droit des premières laisses disponibles à l'aval (ce qui est peu probable cf 3^{ème} point et 4^{ème} point évoqué ci-dessous) il pourrait fausser le calage.
- L'ouvrage se situe au niveau de la frontière amont du modèle – le modéliser n'aurait de sens qu'en étendant le modèle à l'amont sur une zone où les données topo 2000^{ème} ne sont plus disponibles
- Les premières zones d'enjeux et d'habitation sont situées à plus d'un kilomètre à l'aval de l'ouvrage après plusieurs seuils et atterrissement naturels.
- Le régime d'écoulement de l'inondation du modèle est fluvial, c'est-à-dire que l'inondation se « pilote » par l'aval. Toute perturbation sur le cours d'eau perturbera l'amont du linéaire d'étude. Le fait de rajouter le pont à la frontière amont n'aura donc pas de conséquence marquée en aval du linéaire mais plutôt en amont dans le cas d'une extension des frontières du modèle.

En conséquence la modélisation du pont de la Tieta ne présente que peu d'intérêt voire serait contre-productive pour le calage du modèle.

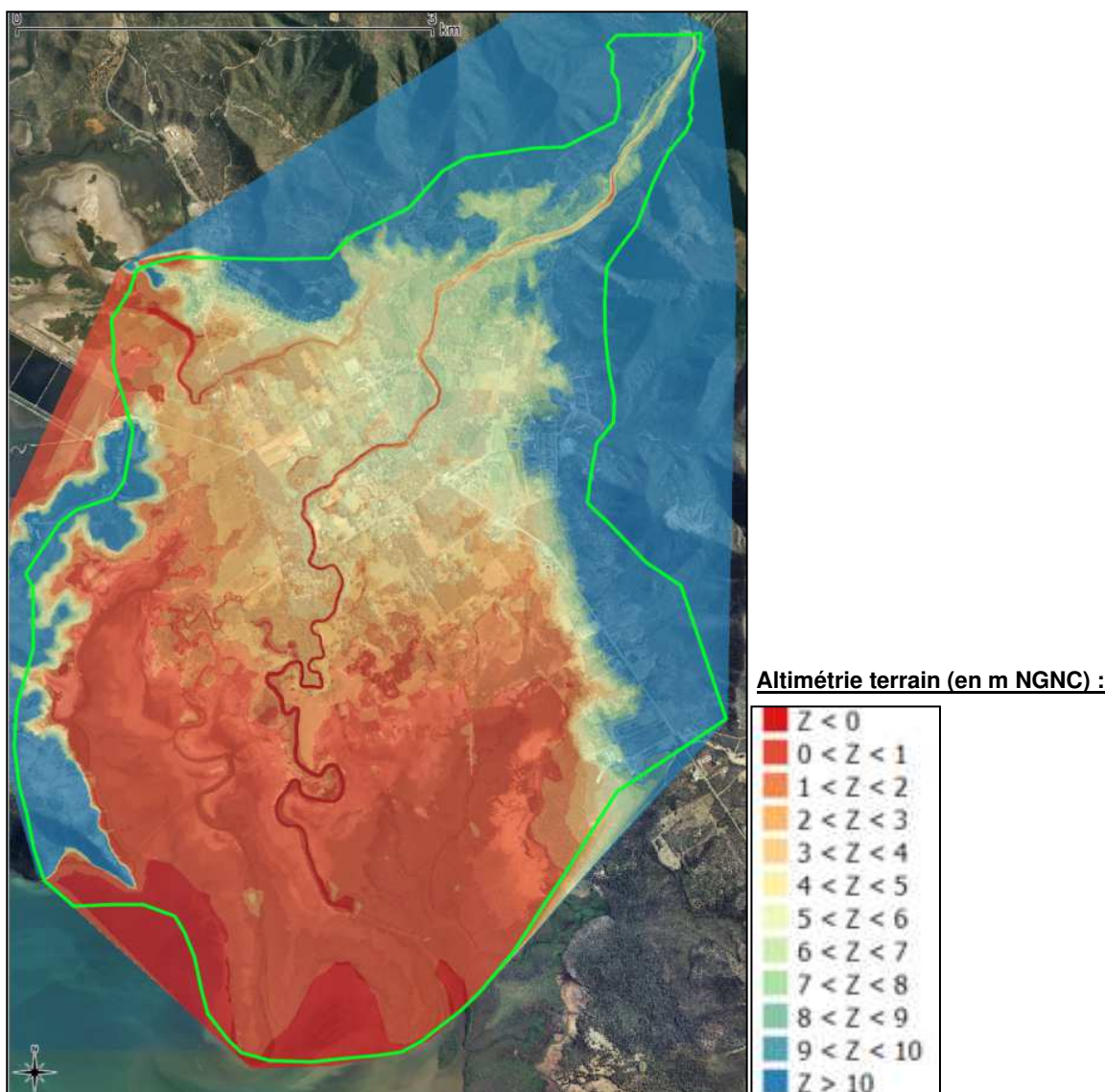


Figure 22 : Représentation du MNT actuel de la zone d'étude

7.3.2 COHERENCE ET ASSEMBLAGES DES DIFFERENTES DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Plusieurs points ont fait l'objet d'une attention particulière :

- Les données topographiques au 2000^{ème} ont été transmises sous le format NEIGE. Les couches de points de ce format représentant les éléments du bâti ont été supprimées. Par ailleurs certaines données identifiées dans la nomenclature comme étant des mesures au sols semblaient plutôt correspondre à des niveaux du bâti et ont été manuellement supprimées.



Figure 23 : Illustration du traitement des points altimétriques d'une SERRE anormalement haute (+3,5m) pour des points topographiques pris au sol selon la norme NEIGE – Topographie 2000^{ème}

- la cohérence de la superposition des relevés topographiques réalisés en 2019 dans le cadre de la présente étude et des données topographiques au 2000^{ème} a été vérifiée. Dans l'ensemble, une bonne cohérence est observée entre les mesures des profils relevés par le topographe et les données topographiques au 2000^{ème} proche des cours d'eau de la Voh et de la Faléane.
- la cohérence entre les données topographiques issues de l'interpolation HEC-RAS et les données topographiques au 2000^{ème} lorsqu'elles se recouvrent a été vérifiée. Ces recouvrements apparaissent à proximité des hauts de berge de l'interpolation HEC-RAS. Les incohérences repérées sont corrigées en considérant que la donnée topographique au 2000^{ème} est plus fiable que l'interpolation qui constitue une simplification théorique de la géométrie réelle. Les points incohérents de l'interpolation sont alors retirés. Par exemple l'illustration ci-dessous montre des zones de l'interpolation qui ont été supprimées pour permettre de générer une pente cohérente entre les données topographiques au 2000^{ème} et l'interpolation HEC-RAS,

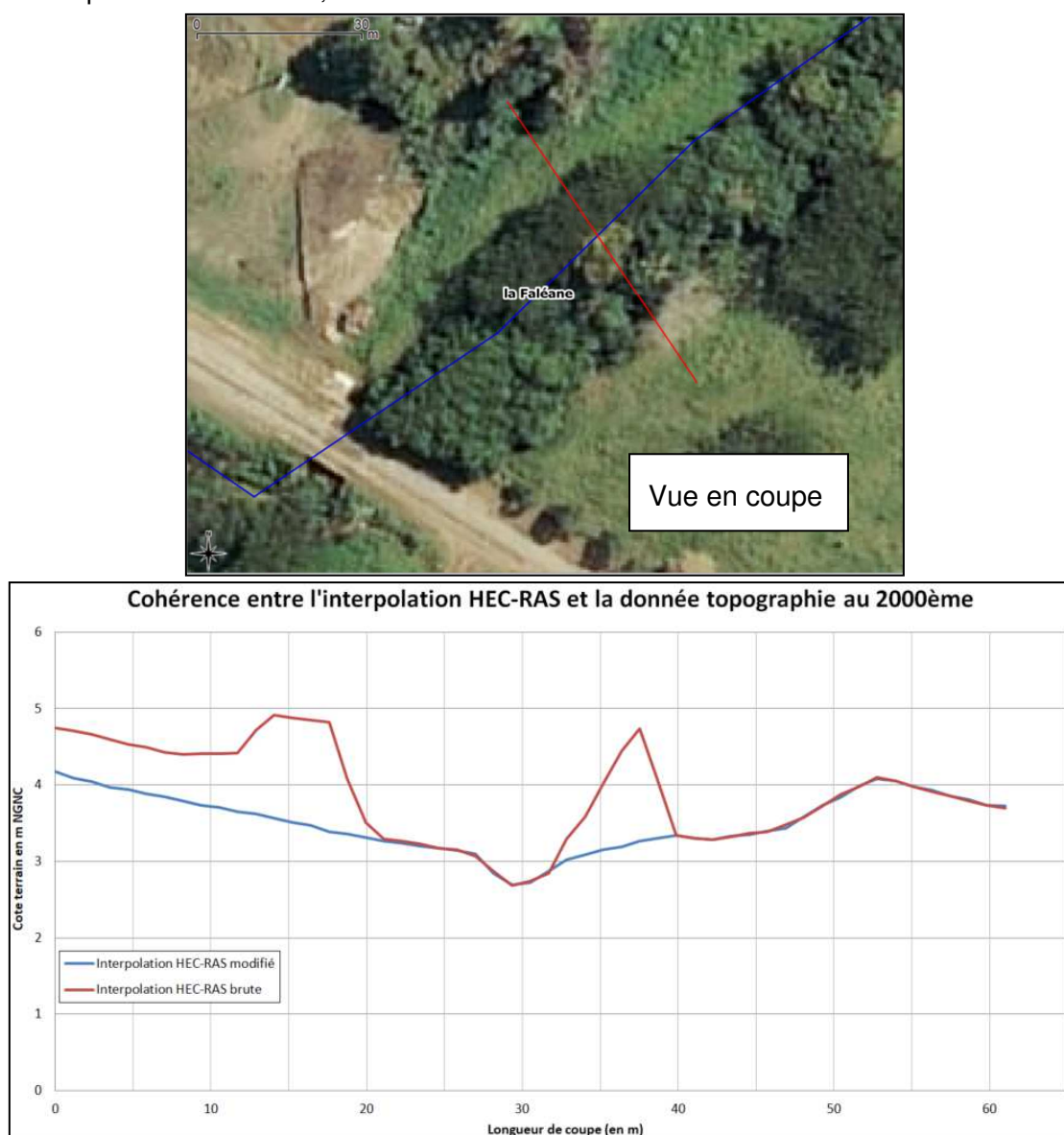


Figure 24 : Vue en coupe sur la Faléane – Modification de l'interpolation HEC-RAS pour garder une cohérence avec la donnée topographique au 2000^{ème}.

- Les profils topographiques réalisés dans le cadre de cette étude n'allant pas jusqu'au frontières aval du modèle sur la Voh et la Faléane (nombre de profils limités dans les reconnaissance topographiques), le lit mineur entre le dernier profil disponible et l'extrémité aval du modèle a été extrapolé. Les incertitudes sur la géométrie du lit mineur au droit de ce secteur n'ont quasiment aucune influence sur les résultats, puisque les terrains sont déjà largement submergés par les conditions aval de marées pour les modélisations réalisées.

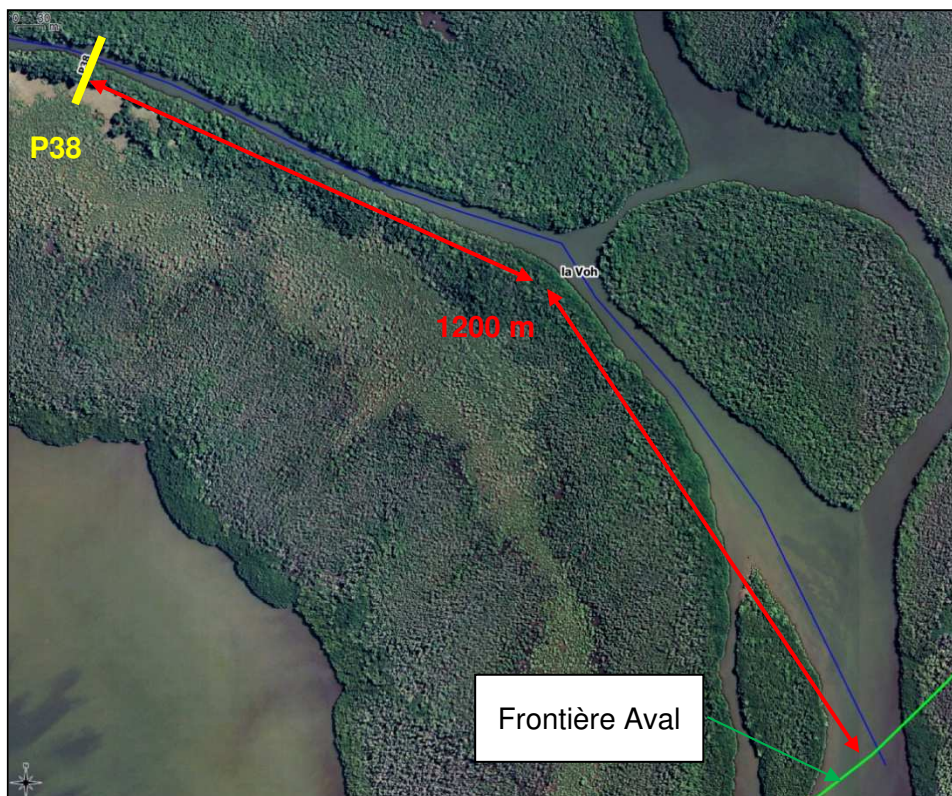


Figure 25 : Linéaire d'extrapolation du lit mineur (du profil P38 à la frontière aval)

7.4 EMPRISE DE LA MODELISATION

L'emprise de la modélisation a été définie à partir d'une analyse préliminaire de la topographie, ainsi que des anciennes études hydrauliques mises à disposition. L'emprise de la modélisation couvre ainsi l'ensemble de la zone d'étude potentiellement inondable.

Cette emprise avec les conditions aux limites est présentée sur la Figure 26.

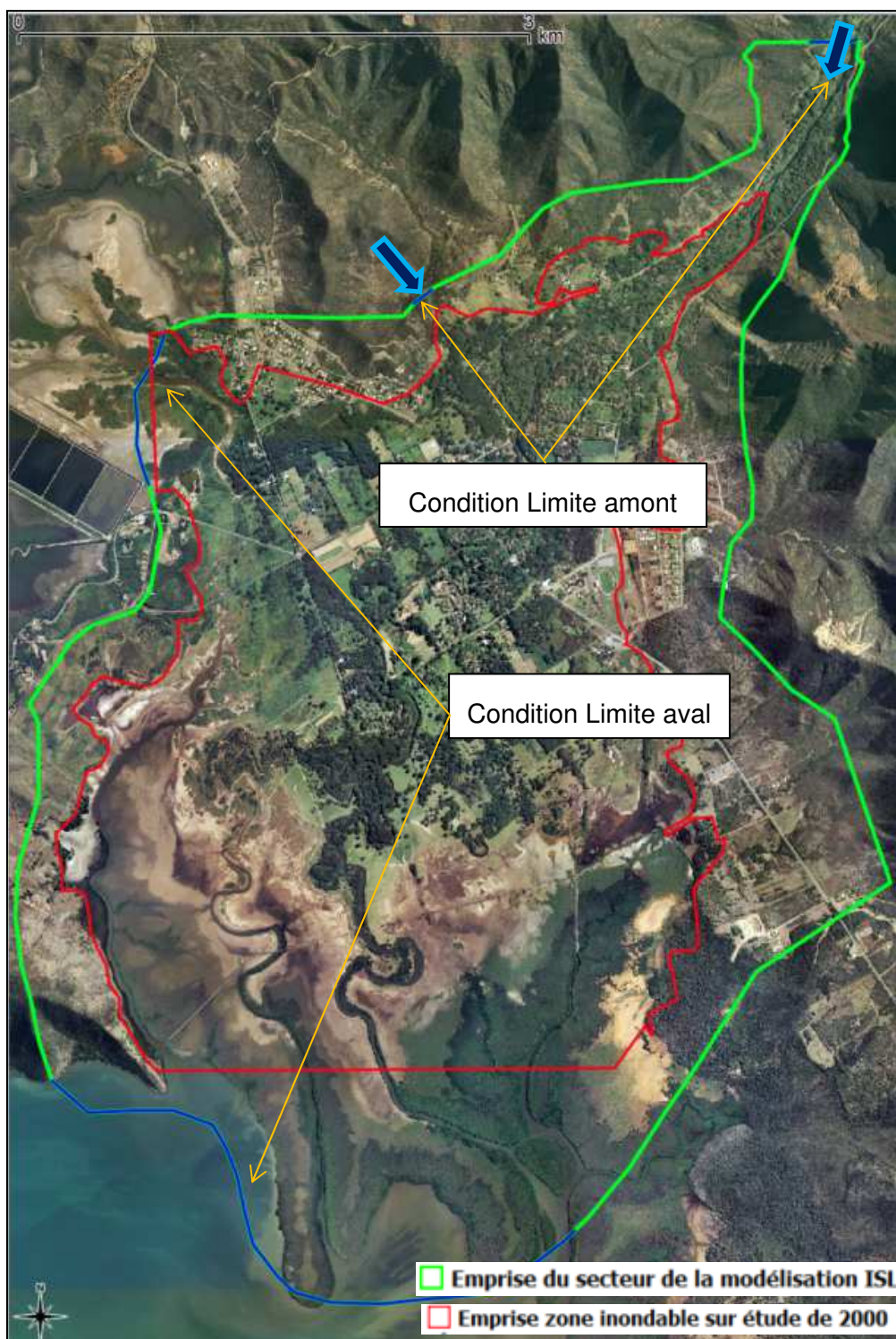


Figure 26 : Emprise de la modélisation avec les conditions limites amont et aval

7.5 CONDITIONS LIMITES ET INITIALES

7.5.1 CRUES HISTORIQUES

Le calage du modèle est fait par rapport à la disponibilité des données hydrologiques et des laisses de crue sur des événements marquants dans la zone d'étude. Les événements sur lesquels les données sont disponibles à la fois sur l'hydrologie et sur les laisses de crue en nombre suffisant sont listés ci-dessous :

- Cyclone tropical Beti daté du 27/03/1996
- Cyclone tropical Franck daté du 20/02/1999
- L'événement du 21/03/2008 (hors épisode cyclonique)
- Dépression tropicale modérée June daté du 18/01/2014
- Dépression tropicale forte Edna daté du 03/02/2014

Les débits de pointes de la Voh sur les événements sont reconstitués par une loi de Myer à partir des hydrogrammes mesurés sur le bassin-versant de la Faténaoué et sont présentés dans le Tableau 26 :

	Débit de pointe : Voh	Période de retour estimée
BETI 1996	2824 m ³ /s	Environ 80 ans
FRANCK 1999	1571 m ³ /s	Environ 9 ans
JUNE 2014	975m ³ /s	Proche de 5 ans
EDNA 2014	744 m ³ /s	Entre 5 et 2 ans
Mars 2008	625 m ³ /s	Proche de 2 ans

Tableau 26 : Débits de pointe estimés des crues historiques (rappel du paragraphe 4.8)

Les trois événements suivants sont retenus comme crue de calage afin de balayer une gamme de débit la plus large possible :

- Le cyclone Beti de 1996 étant l'événement historique le plus important proche de la Q100,
- Le cyclone Franck de 1999 étant un événement proche de la Q10,
- L'événement de Mars 08, en dessous de la Q5 et la plus petite crue sur laquelle les données de calage sont disponibles,

Le calage sur ces événements permet de rendre le modèle plus fiable et plus robuste sur une large plage de débit allant de Q5 à Q100.

7.5.2 CONDITION LIMITE AMONT

La modélisation est réalisée en régime permanent pour le calage. La validité de cette hypothèse et la similitude des résultats par rapport à une modélisation en régime transitoire (i.e. avec injection d'un hydrogramme de crue) est vérifiée au paragraphe 7.9 ci-après.

En conséquence, la condition limite amont est un débit de pointe constant réparti linéairement dans la section transversale des cours d'eau sur chacun des lits mineurs. Pour la Voh, la condition limite est située à l'aval direct du nouveau pont de la tribu de Tieta, au profil « P1 ». Pour la Faléane, la condition limite est située à environ 325 m en amont du premier profil en travers « P1F ».

En référence de la phase 1, les débits de pointe injectés pour les différentes crues modélisées sont rappelés dans le Tableau 27 :

	Débit de pointe : Voh	Débit de pointe : Faléane
Crue de calage « BETI » 1996	2824 m ³ /s	58 m ³ /s
Crue de calage « FRANCK » 1999	1571 m ³ /s	42 m ³ /s
Crue de calage de Mars 2008	625 m ³ /s	11 m ³ /s
Q100	2950 m ³ /s	60 m ³ /s
Q10	1630 m ³ /s	44 m ³ /s
Q5	1209 m ³ /s	30 m ³ /s

Tableau 27 : Conditions limites amont des différentes crues

7.5.3 CONDITION LIMITE AVAL

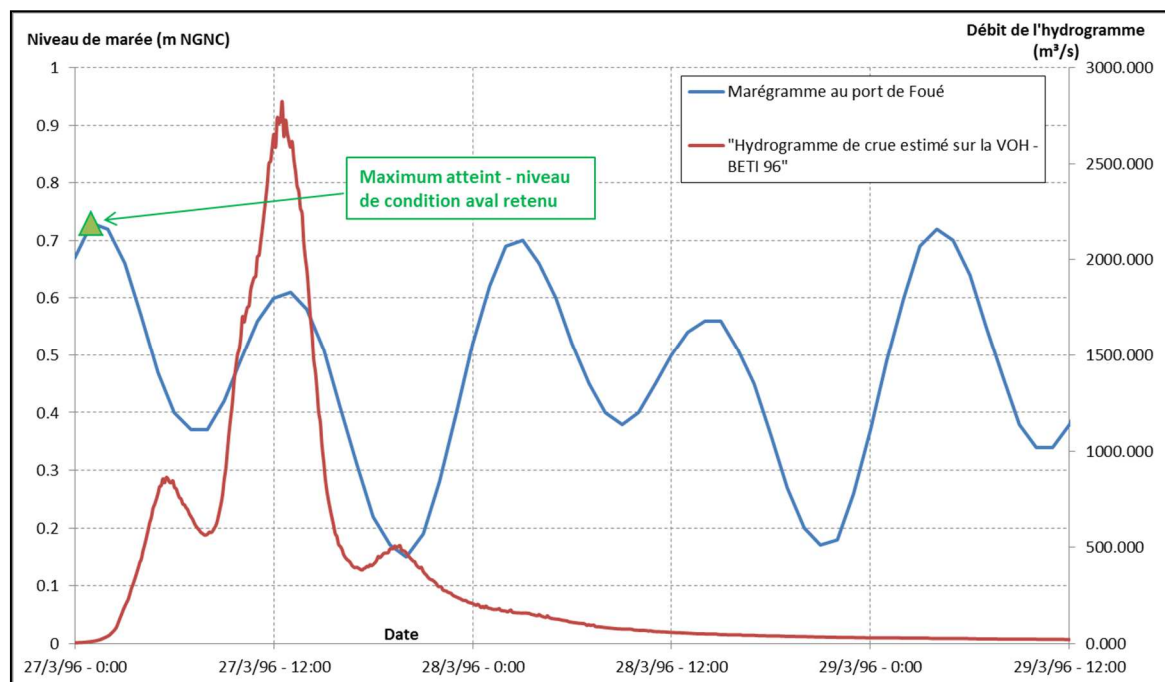
La condition limite aval est la condition de marée. Un niveau d'eau constant sur la durée de la modélisation est imposé sur toute la frontière du modèle située sous le niveau de la dite condition de marée. L'emprise de cette frontière est déterminée sur la base de l'analyse du MNT généré.

Pour les crues de calage historiques, les hauteurs maximales mesurées des marées au niveau du port de Foué le jour de l'évènement considéré sont retenues et sont présentées dans le Tableau 28 ci-dessous :

	Niveau de marée imposé à l'aval	Source
Crue de calage - BETI 1996	0,73 m NGNC	Marée historique - SHOM
Crue de calage -FRANCK 1999	1,09 m NGNC	Marée historique - SHOM
Crue de calage – Mars 2008	1,07 m NGNC	Marée historique - SHOM

Tableau 28 : Conditions limites aval des différentes crues

Le marégramme au port de Foué sur l'événement Beti 96 (encadré sur trois jours) est présenté Figure 27:



Des tests de sensibilité sur les niveaux de marée de l'événement Beti sont présentés en section 9.1 et permettent de confirmer la pertinence des hauteurs de marée considérées. Pour les crues de projet il est proposé de retenir les valeurs usuellement utilisées dans les études hydrauliques en Nouvelle-Calédonie, correspondant à une valeur de marée haute majorée par une surcote cyclonique, à savoir :

- 1,1 m NGNC pour les crues de période de retour 5 et 10 ans ;
- 1,4 m NGNC pour les crues de période de retour 100 ans.

Ces valeurs seront validées par le comité de pilotage en clôture de la phase 2.

7.5.4 CONDITION LIMITE DU RESTE DE L'EMPRISE DU MODELE

Sur le reste du contour de l'emprise du modèle, une frontière solide est prise en compte, aucun échange d'eau n'y est possible.

7.5.5 CONDITIONS INITIALES

La condition initiale considérée est un modèle complètement sec, sans volume d'eau préalable.

7.6 MAILLAGE

L'ensemble de l'emprise modélisée (cf Figure 26) est recouverte d'un maillage de calcul polygonale de densité variable, chaque maille (ou « élément 2D ») étant composé de « sous-élément » triangulaire. Plus ce maillage est fin et plus le temps de calcul nécessaire est important. Un compromis doit donc être trouvé entre représentation fine et temps de calcul. La finesse du maillage est par ailleurs aussi conditionnée par la densité des données topographiques et bathymétriques disponibles.

La taille des mailles est adaptée en fonction des différents types de zones à modéliser.

Ces zones sont présentées dans le Tableau 29 et la Figure 28:

	Aire des éléments 2D de maillage
Route	4 à 20 m ²
Lits mineurs des cours d'eau	4 à 15 m ²
Lit majeur proche des cours d'eau	4 à 20 m ²
Zones à fort enjeux	4 à 18 m ²
Lit majeur	25 à 200 m ²

Tableau 29 : Caractéristiques des mailles du modèle

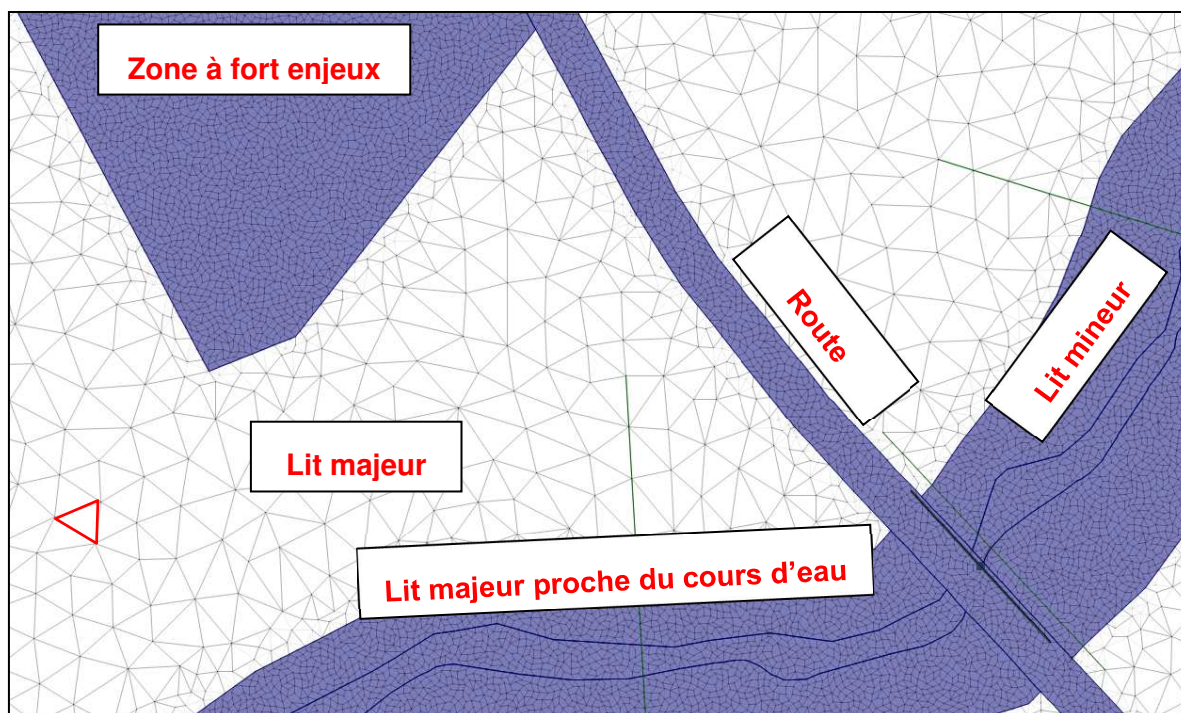


Figure 28 : Extrait du maillage de la modélisation 2D

7.7 OUVRAGES

Les ouvrages d'art suivants sont considérés dans la modélisation :

- deux ponts cadres de sections d'écoulement réduites sur la Faléane,
- un pont cadre permettant le franchissement de l'avenue du village par un fossé parallèle à la Faléane,
- un pont sur le cours d'eau principal de la Voh.

Ces ouvrages sont modélisés sur ICM infoworks avec des lignes de type « bridge linear structure » associées à des lignes de type « base linear structure ».

L'ensemble des ouvrages modélisés sont présentés dans le Tableau 30 et sur la Figure 29 :

Ouvrage 1 de la Faléane : Pont cadre situé au niveau du profil en travers P3F. L'ouvrage possède deux ouvertures de l'ordre de 2 x 4 m, dont seulement une est visible sur la photo associée.	Deuxième ouverture 	
Ouvrage 2 de la Faléane : Pont cadre situé au niveau du profil en travers P6F. Une ouverture de l'ordre de 2,2 x 5 m		
Ouvrage 3 de décharge du fossé parallèle à la Faléane : pont cadre du même type que l'ouvrage 2, plus petit avec une ouverture de l'ordre de 2 x 2,7 m		
Pont de la Voh situé au niveau du profil en travers P21, d'une longueur d'environ 60 m pour une cote sous poutre à 8,42 m NGNC.		

Tableau 30 : Présentation des ouvrages hydrauliques du modèle

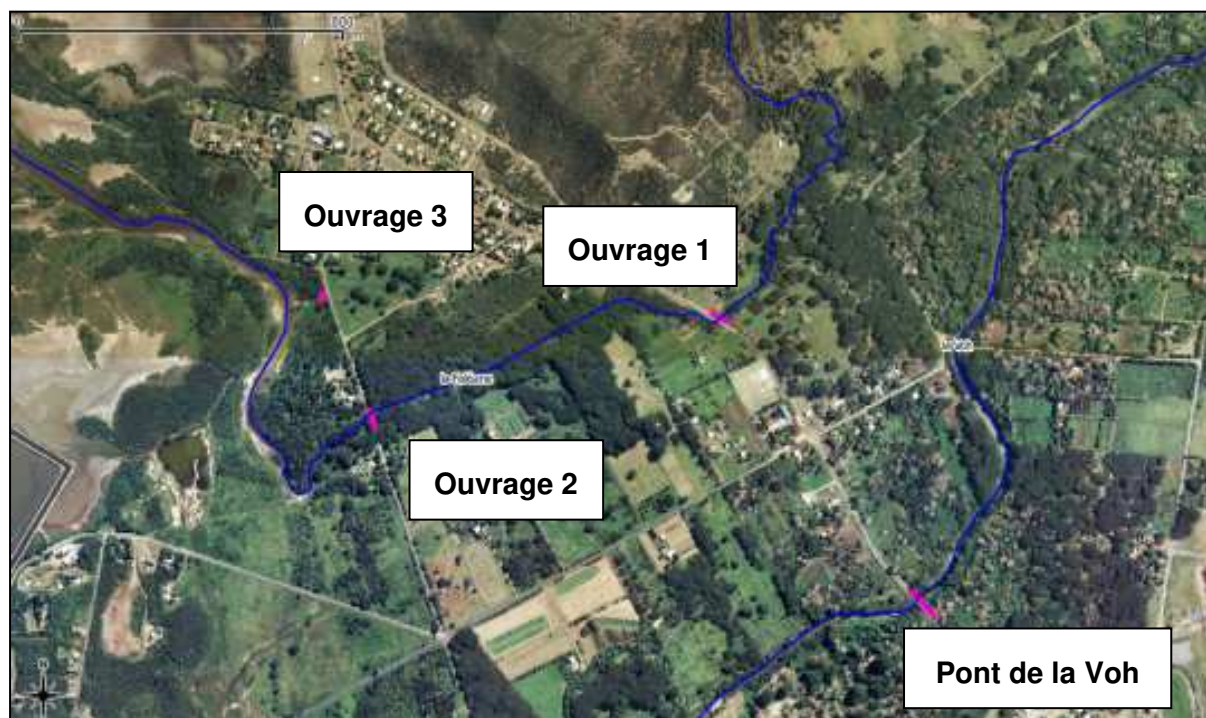


Figure 29 : Localisation des ouvrages hydrauliques intégrés à la modélisation

7.8 OCCUPATION DES SOLS ET COEFFICIENT DE STRICKLER

7.8.1 LA RUGOSITE

L'état de la surface d'écoulement est représenté par l'application de la rugosité. Les zones comme la végétation dense sont représentées par l'application d'une rugosité plus importante, à l'inverse une faible rugosité est appliquée sur des sols nus ou les voiries. Cette représentation permet de mieux décrire la dynamique des écoulements avec des :

- vitesses fortes et lames d'eau plus faibles sur des sols nus ou les voiries,
- vitesses plus faibles et lames d'eau plus importantes au niveau des zones de végétation dense.

7.8.2 OCCUPATION DU SOL EN LIT MAJEUR

Le calage du modèle est réalisé à l'aide des jeux de coefficient de Strickler selon l'occupation du sol du secteur de Voh (cf Figure 33). Il est important de noter que les crues historiques Beti et Franck datent d'avant 2000.

Le site <https://georep.nc/> présente l'occupation du sol :

- datant de 1996, plus proche des événements, mais moins précise que les données ultérieures,
- datant de 2005, présentant un nombre de catégories d'occupation des sols beaucoup plus détaillé que celle de 1996,
- datant de 2014 strictement identique à celle de 2005 sur la zone inondable.

L'analyse des données listées ci-dessus, démontre que l'occupation des sols a faiblement évolué entre 1996 et 2014. C'est l'occupation des sols de 2014 qui est finalement considérée dans la construction du modèle pour la définition des coefficients de Strickler lors du calage.

Les orthophotos satellite de la zone d'étude présentées en Figure 31, permettent de tracer l'évolution de l'occupation des sols de 1976 à aujourd'hui.

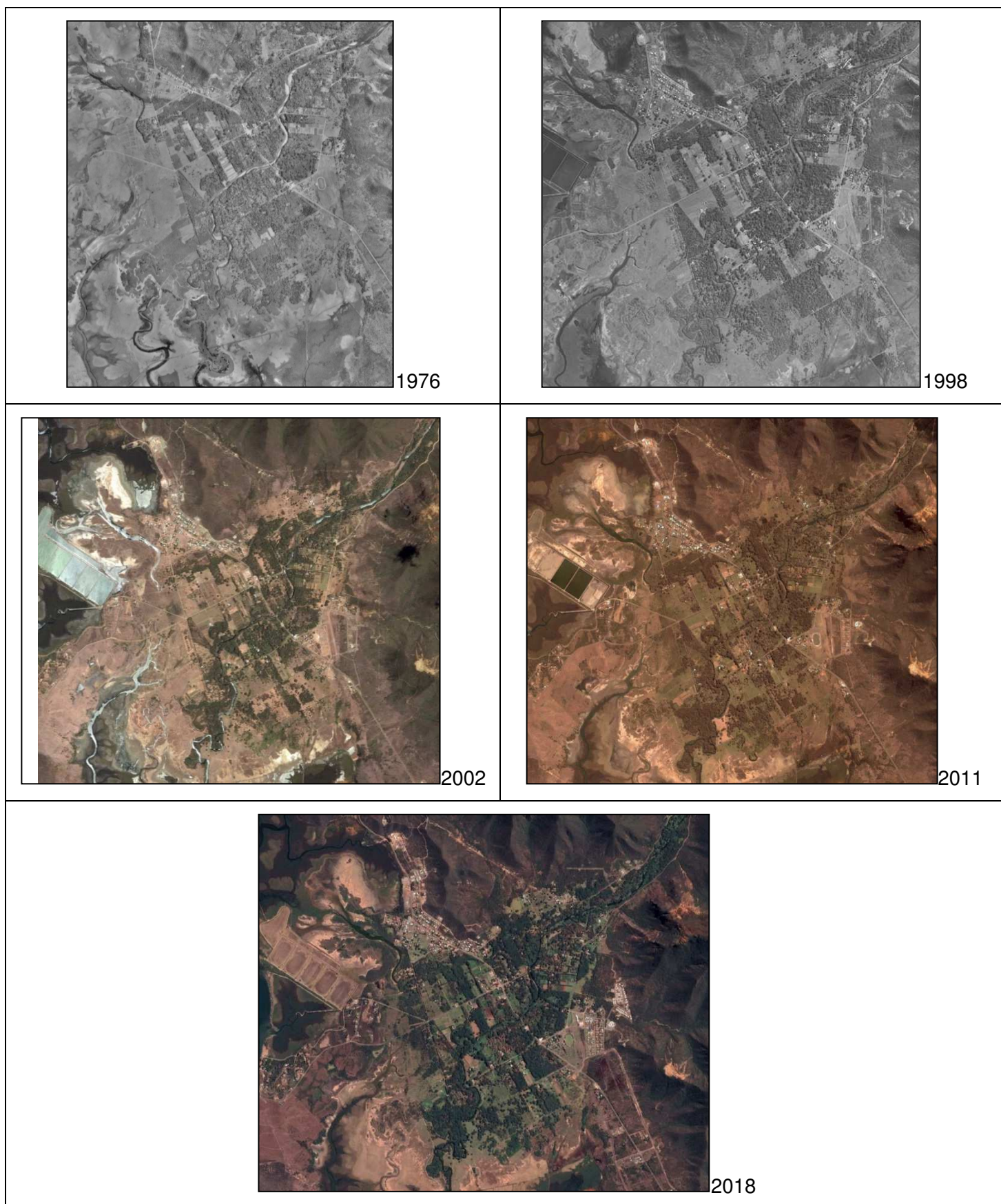


Figure 30 : Orthophotos de la zone d'étude datant de 1976 à 2018 (Sources : géorep et google earth)



Figure 31 : Orthophoto de la zone d'étude datant d'aujourd'hui (Source DITTT : géorep / date de révision de la donnée : 2019-08-06)

L'ensemble de l'emprise du modèle a été découpée en fonction des données :

- de la dernière occupation du sol observée (2014),
- des dernières orthophotographies du secteur d'étude. (date de révision de la donnée : 2019-08-06).

Ce découpage est représenté sur la Figure 32 :

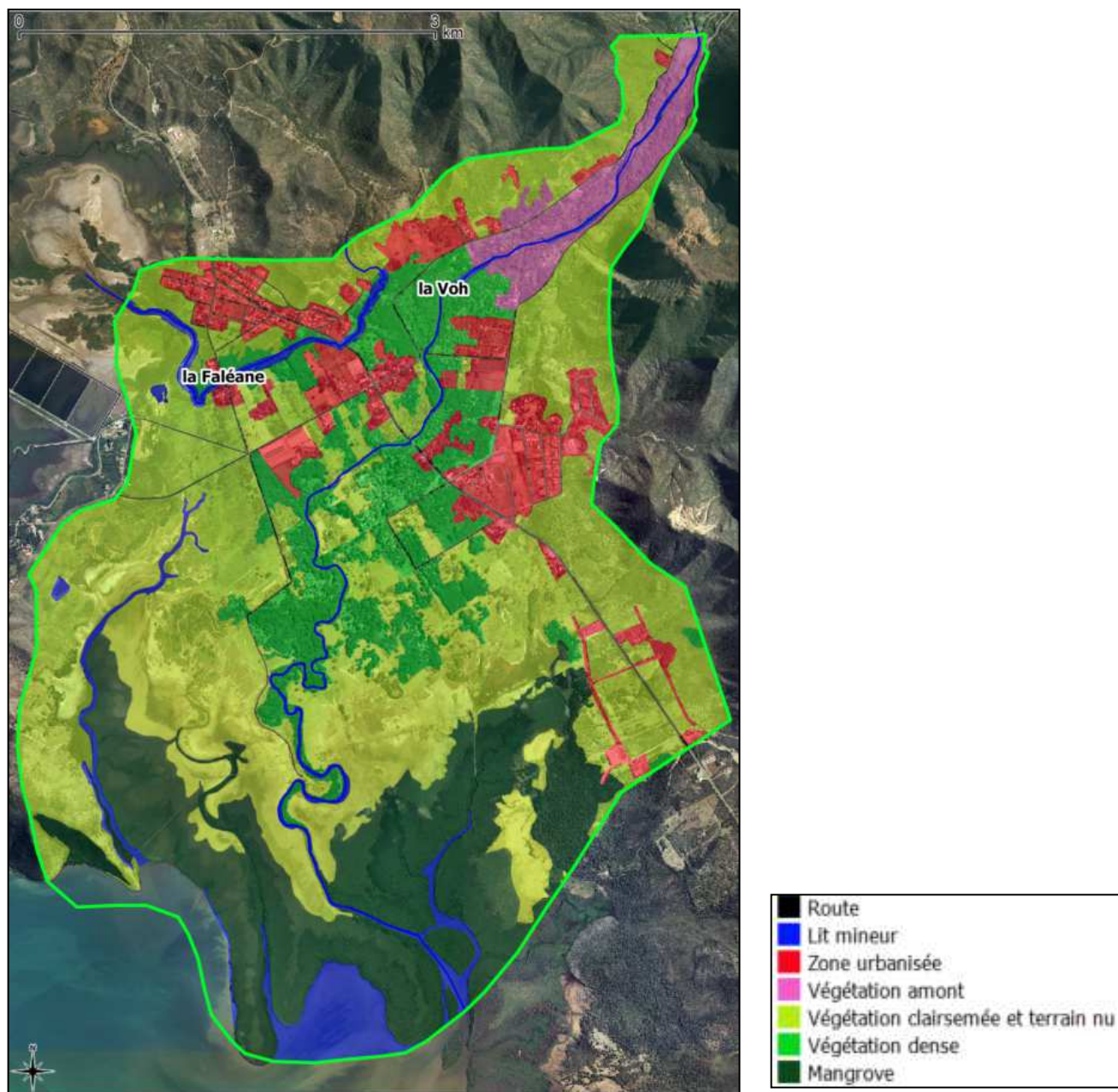


Figure 32 : Occupation du sol – état 2014

Lors du calage une distinction a dû être réalisée entre la « Végétation amont » (zone en rose) nécessitant des coefficients de Strickler plus haut que de la « Végétation dense » (zone en vert) alors que l'occupation des sols de ces deux zones ne semble pas si foncièrement différente. Cette différenciation s'explique très certainement par le type d'écoulement observé au droit de ces deux zones : à l'amont l'écoulement est concentré dans la vallée qui est encore étroite et qui est caractérisé par des fortes hauteurs d'eau et des vitesses élevées, tandis qu'à l'aval lorsque le cours d'eau entre dans la plaine alluviale côtière, les écoulements sont plus étalés et présentent des vitesses moindres.

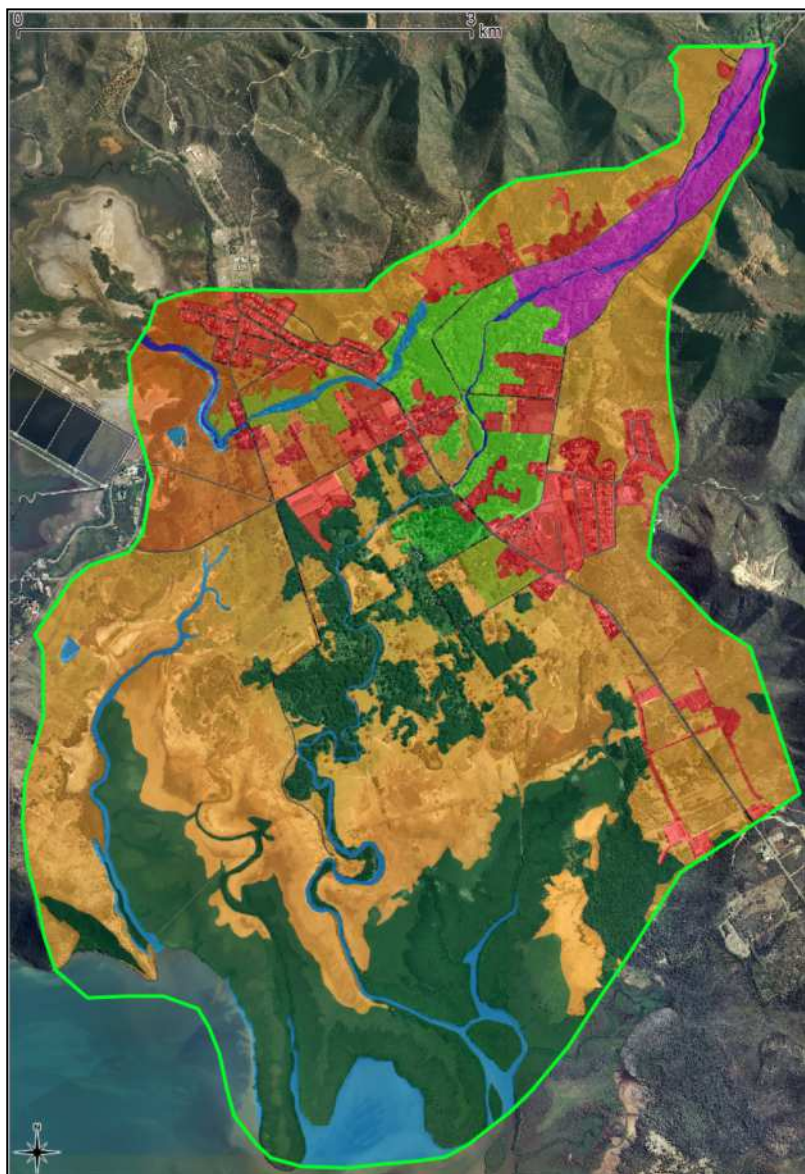
7.8.3 JEUX DE COEFFICIENTS DE STRICKLER TESTES

Le Tableau 31, issu de l'*Aide-mémoire d'hydraulique à surface libre* de Degoutte, donne quelques valeurs de coefficients de Strickler types pour les modélisations hydrauliques 1D.

Nature des parois	Valeur de K en $m^{1/3} / s$
Béton lisse	75-90
Canal en terre, non enherbé	60
Canal en terre, enherbé	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en vigne ou taillis	10-15
Lit majeur urbanisé	10-15
Lit majeur en forêt	<10

Tableau 31 : Valeurs types de coefficient de Strickler

Lors du calage de nombreux jeux de coefficient de Strickler ont été testés, dans la suite du rapport il a été décidé de ne présenter que les résultats correspondants au jeu le plus adapté au calage du modèle. La Figure 33 présente le jeu de coefficient de Strickler retenu pour le calage du modèle ainsi que le jeu initial. Il peut être noté que les zones ont été adaptées par rapport au jeu initial des coefficients de Strickler. Ces coefficients sont imposés selon l'occupation du sol présentée Figure 32. Par ailleurs une analyse de sensibilité sur le jeu de Strickler finalement retenu est réalisée en section 9 du présent rapport.



Coefficient de Strickler (en $m^{1/3}/s$) :

	Retenu	Initial
Végétation dense / Mangrove	6	10
	8	
	10	
	12	
Végétation clairsemée et terrain nu	15	25
	20	
Végétation amont	28	10
Zone urbanisée	30	25
Lit mineur	40	35
	45	
Route	70	60

Figure 33 : Jeu de coefficient de Strickler retenu pour le calage du modèle

7.9 VALIDATION DE L'HYPOTHESE DU REGIME PERMANENT SUR LES DEBITS DE CRUES POUR LE CALAGE

Le présent paragraphe a pour objectif de démontrer que l'hypothèse de mener les modélisations en régime permanent n'a pas d'impact significatif sur les résultats du calage.

Pour cela deux simulations sont comparées pour l'épisode de crue de Beti 96 (avec le jeu de calage retenu à l'issue de cette phase 2) :

- modélisation 0 : la condition limite amont injectée correspond à un débit de pointe constant de 2824 m³/s (voir 7.5.2),
- modélisation 1 : la condition limite amont injectée correspond à un hydrogramme type du régime transitoire construit selon les données hydrologique du rapport de phase 1,

Tous les autres paramètres du modèle sont conservés à l'identique pour les deux modélisations tels que présentés dans les précédentes sections :

- Topographie : état actuel (cf 7.3.1),
- Rugosité : jeu de coefficient de calage (cf 7.8),
- Conditions d'écoulement sous les ponts : pas d'embâcles,
- Condition limite aval constante est égale au niveau maximal mesuré le jour de l'évènement Beti de 1996 : 0,73 m NGNC.

7.9.1 EVALUATION D'UN HYDROGRAMME DE CRUE REALISTE DE LA VOH

Le bassin versant de la Voh présente une durée caractéristique estimée de crue de 6 heures (cf rapport de phase 1), durée pendant laquelle la moitié du débit de pointe est dépassée.

Un hydrogramme caractéristique du régime transitoire est construit en vérifiant les critères suivants :

- un débit de pointe de 2824 m³/s (cf 7.5.2),
- dépassement de 95 % du débit de pointe pendant environ 1 heure,
- dépassement de 50 % du débit de pointe pendant 6 heures,
- un coefficient de forme de 1,3.

Modélisation 1 : Homothétie de l'hydrogramme de la Faténaoué sur Voh

Un hydrogramme de crue mesuré sur le bassin versant voisin de la Faténaoué est disponible pour l'évènement de Beti 96. Cet hydrogramme est recalé par homothétie sur le bassin de la Voh au niveau du pont de la tribu de Tieta afin de satisfaire les critères énoncés ci-dessus.

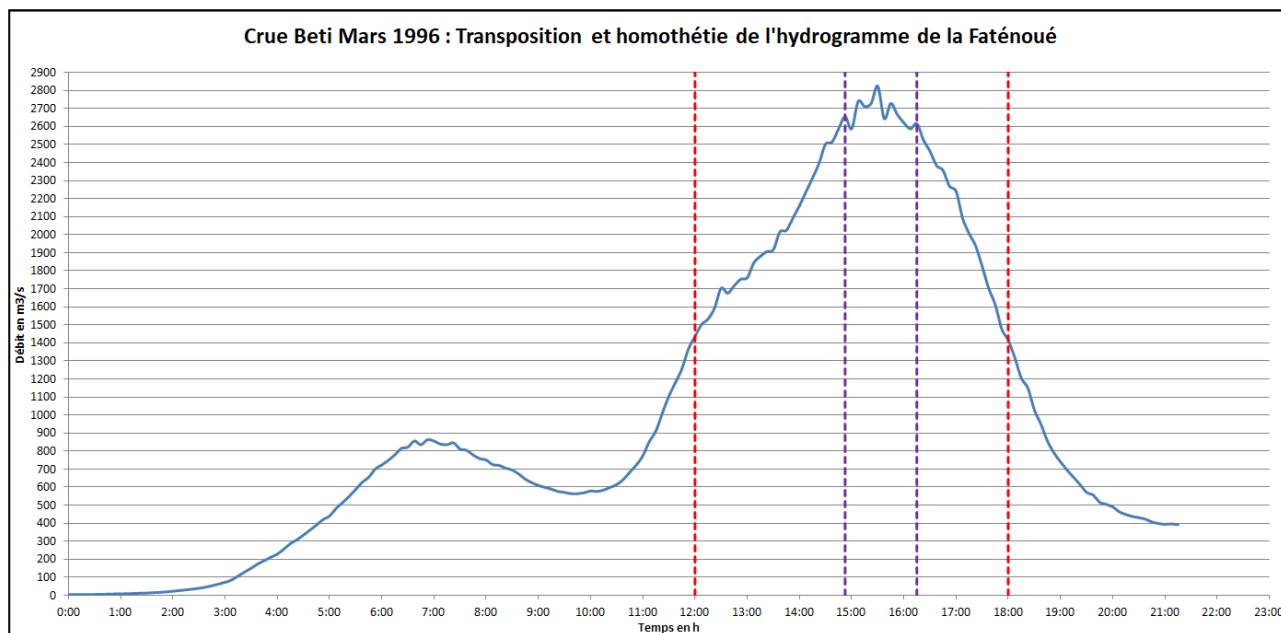


Figure 34 : Hydrogramme de crue de la Voh au niveau du pont de la tribu de Tieta construit à partir de la Faténaoué – Beti 1996

Sur le pic de crue (période où le débit dépasse 50% du débit de pointe) estimé à 6 heures, le volume d'injection est de 47 M m³.

Sur 21h de simulation, le volume d'injection est de 75 M m³.

Modélisation 0 : régime permanent

L'hydrogramme considéré pour la modélisation 0 consistera à injecter un débit de pointe constant à l'amont du modèle de 2824 m³/s.

Durant une période de 6 heures (équivalente au pic de crue sur le régime transitoire) le volume d'injection est de 61 M m³. Le volume injecté de la modélisation 1 en régime transitoire représente 78% du volume injecté dans la modélisation 0 en régime permanent. Durant une période de 21h le volume d'injection est de 213 M m³. L'injection de la modélisation 1 en régime transitoire représente 33% de l'injection de la modélisation 0 en régime permanent.

7.9.2 IMPACT DE L'HYPOTHESE DU REGIME PERMANENT SUR LES RESULTATS

L'impact sur la ligne d'eau de la condition limite amont est représenté sur les profils en long en Figure 35.

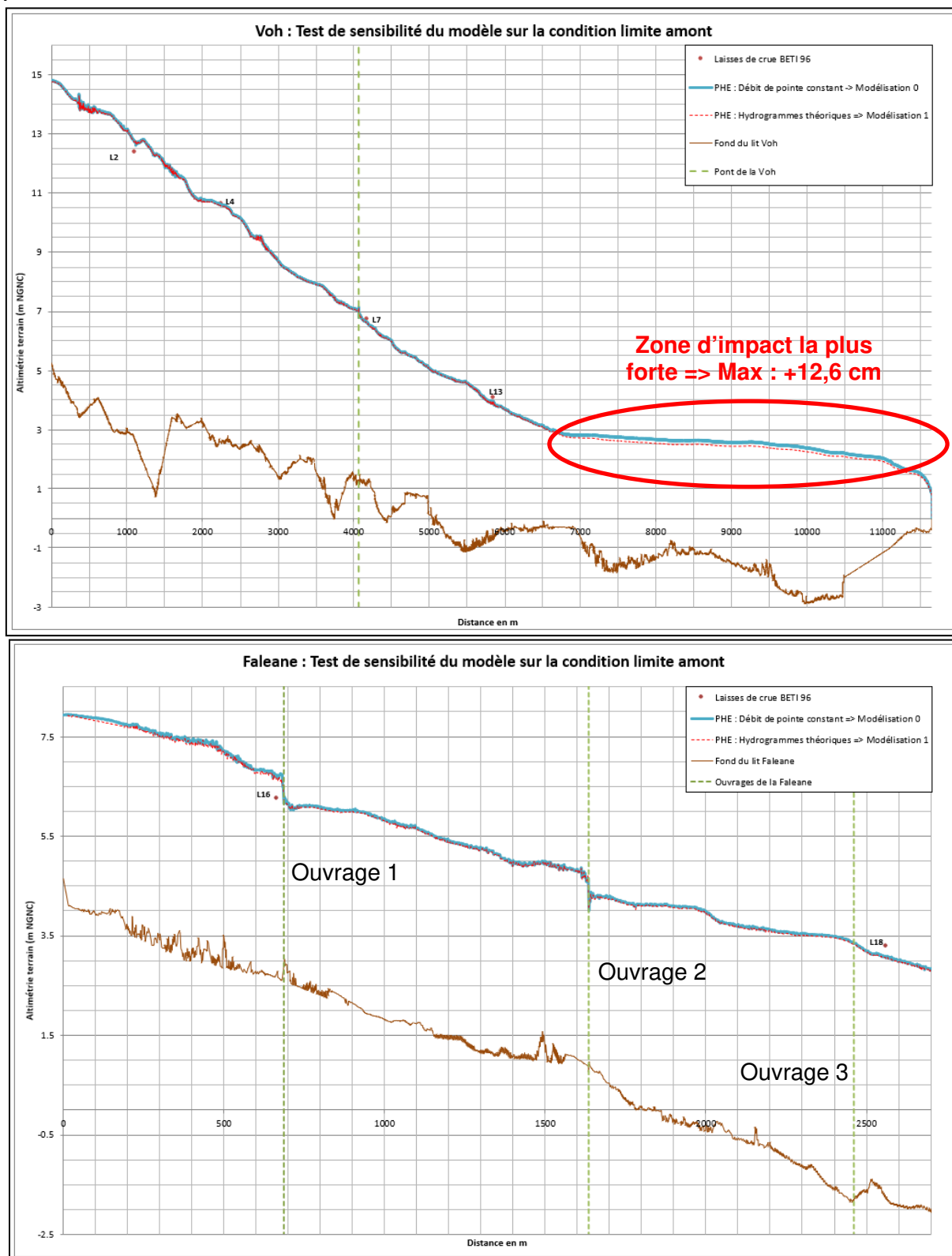


Figure 35 : Profils en long sur les plus hautes eaux observées - test de sensibilité de la condition limite amont – Crue Beti 1996

Les profils en long des hauteurs d'eau maximales pour le régime transitoire et le régime constant sont quasiment similaires, présentent les mêmes pentes et les mêmes variations. Sur le linéaire de la Voh, la seule différence entre les deux modélisations s'observe entre le point métrique 6500 (en partant de l'amont du linéaire) et la limite aval du linéaire (secteur de la zone de plaine deltaïque), où les hauteurs d'eau maximales pour la modélisation à débit constant sont supérieures d'un maximum 12,6 cm.

Les écarts mineurs entre ces deux modélisations peuvent s'expliquer de la sorte : dans la partie amont du secteur modélisé (vallée plus étroite, peu de casier d'inondation ou de zone de stockage temporaire naturelle) le terrain dispose de peu de capacité de stockage naturelle et est très rapidement inondé, le débit de pointe maximale arrive donc quel que soit la modélisation (régime permanent ou transitoire) sur un lit majeur déjà totalement inondé et saturé en terme de capacité de rétention et les résultats sont similaires pour ces deux modélisations. Tandis qu'à l'aval du PM 6500, la zone de plaines deltaïques de grande largeur et de faible altimétrie représente un volume de stockage beaucoup plus important pour lequel une différence de remplissage est visible entre les deux modélisations induisant des hauteurs d'eau plus faibles pour la modélisation transitoire.

De plus, la comparaison entre les volumes d'eau maximum accumulés dans le modèle pour les deux modélisations montre un faible écart : le volume maximum atteint dans le modèle pour le régime permanent est de 29,4 M m³ contre 27,6 M m³ dans le cas du régime transitoire. Soit une différence de 6% par rapport au régime permanent, qui retiendra donc majoritairement le surplus en aval dans la zone de plaines deltaïques. Ce faible écart confirme que le modèle est déjà largement saturé pour le régime transitoire.

L'impact sur les altimétries de la ligne d'eau de la condition limite amont est également représenté sur une vue en plan de la zone d'étude en Figure 36 (une variation positive signifie que la modélisation en régime permanent surestime les hauteurs par rapport au régime transitoire),

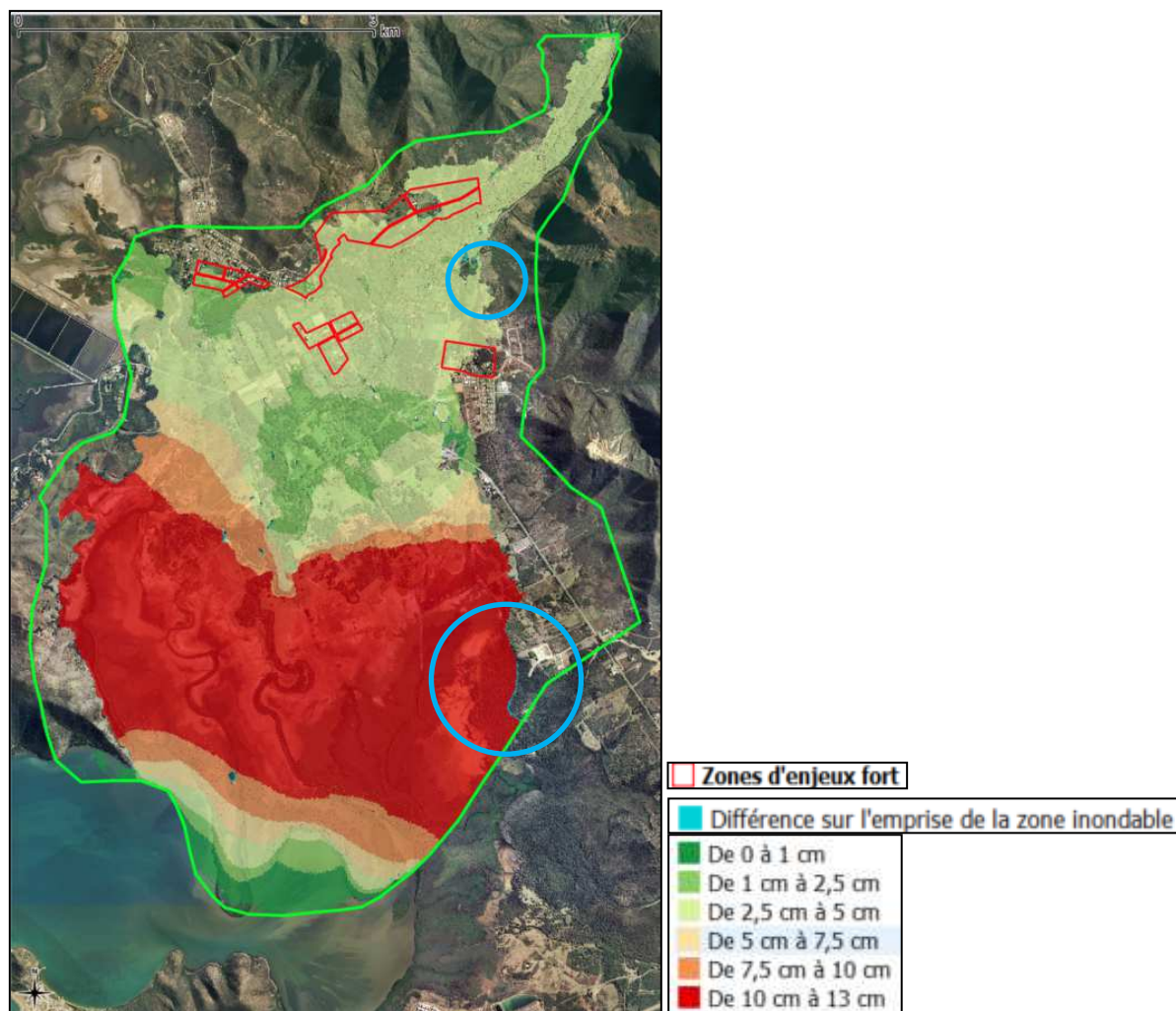


Figure 36 : Carte des impacts altimétriques de la modélisation sur la condition limite amont

La variation la plus importante est de 12,6 cm sur la zone d'étude, hors zone d'enjeux au droit de la plaine deltaïque du modèle. Sur le reste du modèle la surestimation des hauteurs d'inondations est inférieure à 5 cm. A noter que l'emprise des zones inondables entre les deux modélisations testées est pratiquement identique, des différences minimales (de l'ordre de la maille de calcul) sont néanmoins observées comme illustrés ci-dessous (zoom sur les zones cerclées de bleu dans la figure ci-dessus). :



Figure 37 : Détails de l'influence de l'hypothèse du régime transitoire ou permanent sur l'emprise de l'inondation

8 CALAGE DU MODELE

8.1 LES LAISSES DE CRUE

8.1.1 SOURCES D'INCERTITUDES

Les traces laissées par le niveau de l'eau lors d'épisodes hydrologiques remarquables témoignent des plus hautes eaux atteintes lors du débordement des cours d'eau. Néanmoins, il est important de noter que les laisses de crue relevées présentent des sources d'incertitudes par rapport à la réalité, même quand celle-ci sont jugées fiables.

Les sources d'incertitudes possibles sont liées :

- au fait que le moment d'observation ne correspond pas forcément à l'instant du pic de crue (pour les laisses relevées à partir d'un témoignage),
- au fait que les laisses de crues sur les murs ou les éléments fixes peuvent être légèrement supérieures aux hauteurs d'eau en crue à cause de la capillarité,
- à l'incertitude sur le calage de l'échelle de crue par rapport au référentiel NGNC,
- à l'approximation liée à la mémoire humaine (pour les laisses relevées à partir d'un témoignage).
- un éventuel défaut mécanique pour les échelles à maxima (blocage du flotteur).

8.1.2 LAISSES DE CRUES DE L'ENQUETE TERRAIN ISL

L'ensemble des laisses identifiées lors de l'enquête terrain pour différents événements de crue sont présentées Tableau 32 et Figure 38 :

N°	Allison 75	Esau 92	Beti 96	Oma 2019	Non identifié	X	Y
P1L1		Identifié				264328.87	359764.46
P1L2					1986 ou 1988	263187.15	360260.54
P1L3	Identifié		Identifié			265198.45	358754.21
P1L4	Identifié	Identifié	Identifié			264979.84	359865.13
P1L5	Identifié		Identifié	Identifié		264428.4	358942.7
P1L6					Beti ou Esau	264668.85	358853.01
P1L7			Identifié			265043.53	359109.8
P1L8		Identifié		Identifié		265062.81	360080.51
P1L9		Identifié				264421.81	359809.61

Tableau 32 : Laisses de crue identifiées lors de l'enquête terrain ISL



Figure 38 : Localisation des laisses de crue identifiées par l'enquête terrain ISL

Les laisses de crue identifiées lors de la phase 1 sont présentées Tableau 33 :

N°	Allison 75	Esau 92	Beti 96	Oma 2019	Non identifié
P1L1		7.280 m NGNC			
P1L2					3.977 m NGNC
P1L3	4.233 m NGNC		4.591 m NGNC (L20)		
P1L4	N.A	N.A	N.A		
P1L5	N.A		N.A	N.A	
P1L6					6.581 m NGNC
P1L7			N.A		
P1L8		N.A		N.A	
P1L9		6.505 m NGNC			

-  : Laisses non relevées et correspondant aux événements d'étude
 : Laisses non relevées et ne correspondant pas aux événements d'étude
 : Laisses relevées et ne correspondant pas aux événements d'étude
 : Laisses relevées et correspondant aux événements d'étude

Tableau 33 : Laisses de crue relevées par le topographe

L'unique laisse exploitable dans le cadre de l'étude est la P1L3 renommée L20 dans la suite du rapport de phase 2, elle servira au calage de l'événement Beti de 1996.

Les laisses de crue relevées et ne correspondant pas aux événements d'étude seront valorisés dans le cadre de l'étude en section 8.4.

8.1.3 LAISSES DE CRUE EXPLOITABLES

Les laisses de crue disponibles ont été relevées par différents organismes lors de différentes campagnes d'enquêtes de terrain :

- Rapport d'enquêtes historiques des crues réalisé par la DAVAR, daté de 2004
- Enquêtes de terrain de phase 1 réalisées par ISL et mesures réalisées lors de la campagne topographique d'octobre-novembre 2019.
- Aux échelles de crue à maxima (de type « calédomax ») installées et suivies par la DAVAR

Les échelles de crue à maxima sont le plus souvent regroupées par groupe de 3 échelles situées à proximités, chacun des 3 échelles couvrant des plages altimétriques différentes. A titre d'exemple les 3 laisses de crue L1, L2, L3 sont situées au droit du point métrique 1100 de la Voh depuis l'amont.

En fonction du niveau atteint par la crue, si ce dernier excède la borne haute ou au contraire ne dépasse pas la borne basse d'une échelle, l'information est indiquée sous forme d'inégalité. A titre d'exemple pour la crue de Beti 1996, au niveau du groupe L1/L2/L3 le niveau a été mesuré à 12,41 m NGNC sur L2, et les 2 échelles « complémentaires » (L1 et L3) situées à proximité ne donne qu'une information partielle corroborant cette mesure : L1 > 11,53 m NGNC et L3 < 12.82 m NGNC.



Figure 39 : Illustration des mesures sur le groupe de laisse L1/L2/L3 en rive gauche de la Voh

L'ensemble des laisses de crues pour les événements historiques disponibles sont présentés dans le Tableau 34, Tableau 35 et Figure 40 :

Nom DAVAR	Nom ISL	Date des relevés/Organisme	Lieux	Niveau terrain selon le MNT du modèle ICM (en m NGNC)
1 53 11 002	L1	1996/DAVAR	Voh	9.07
1 53 11 003	L2	1996/DAVAR	Voh	11.81*
1 53 11 004	L3	1996/DAVAR	Voh	12.10
1 53 09 002	L4	1996/DAVAR	Voh	10.02
1 53 09 003	L5	1996/DAVAR	Voh	9.02
1 53 09 004	L6	1996/DAVAR	Voh	7.26
1 53 05 003	L7	1996/DAVAR	Voh	4.72
1 53 05 004	L8	1996/DAVAR	Voh	5.45
1 53 06 008	L9	1996/DAVAR	Village	5.04
1 53 06 009	L10	1996/DAVAR	Village	5.48
1 53 03 001	L11	1996/DAVAR	Voh	3.09
1 53 03 002	L12	1996/DAVAR	Voh	2.96
1 53 03 004	L13	1996/DAVAR	Voh	3.57
1 53 03 005	L14	1996/DAVAR	Voh	1.71
1 53 06 005	L15	1996/DAVAR	Faleane	4.17
1 53 06 006	L16	1996/DAVAR	Faleane	5.68
1 53 06 007	L17	1996/DAVAR	Faleane	8.04*
1 53 00 002	L18	1996/DAVAR	Faleane	1.14
1 53 00 003	L19	1996/DAVAR	Faleane	0.32
	L20**	2019/ISL	Village	3.64

*Altimétrie non cohérente avec les laisses de crues historiques (Voir Tableau suivant)

**la laisse L20 correspond à la laisse relevée sur le terrain en 2018 pour Beti 96 et nommée P1L3 dans le Tableau 33.

Tableau 34 : Présentation des échelles/laisses de crues sur le secteur d'étude

Nom ISL	Beti Cote des laisses (en m NGNC)	Franck Cote des laisses (en m NGNC)	June Cote des laisses (en m NGNC)	Edna Cote des laisses (en m NGNC)	Mars 08 Cote des laisses (en m NGNC)
L1	> 11.53		10.39	11.08	9.93
L2	12.41	11.61	< 11.35	< 11.35	< 11.35
L3	< 12.82	< 12.82	< 12.82	< 12.82	< 12.82
L4	10.62		10.37	<10.29	<10.29
L5	> 10.49	10.03	<8.79	9.43	<8.79
L6	> 8.96		8.84	8.87	8.46
L7	6.75	6.53	6.07	6.23	6.02
L8	6.71	6.43	<6.07	6.18	<6.07
L9	> 6.67	6.42	5.86	6.10	5.69
L10	6.44	6.23	<6.25	<6.25	<6.25
L11	3.69	3.32	3.20	3.28	3.14
L12	< 3.67	<3.67	<3.67	<3.67	<3.67
L13	4.06	3.82	3.76	3.79	3.72
L14	3.75	3.61	<3.5	<3.5	<3.5
L15	> 6.09	5.95	5.17	5.64	4.65
L16	6.26		< 5.85	< 5.85	< 5.85
L17	< 7.36	< 7.36	< 7.36	< 7.36	< 7.36
L18	3.28		< 3.15	< 3.15	< 3.15
L19	> 3.38	2.87	< 1.68	< 1.68	< 1.68
L20	4.59				

Tableau 35 : Cotes des laisses de crues pour les événements historiques

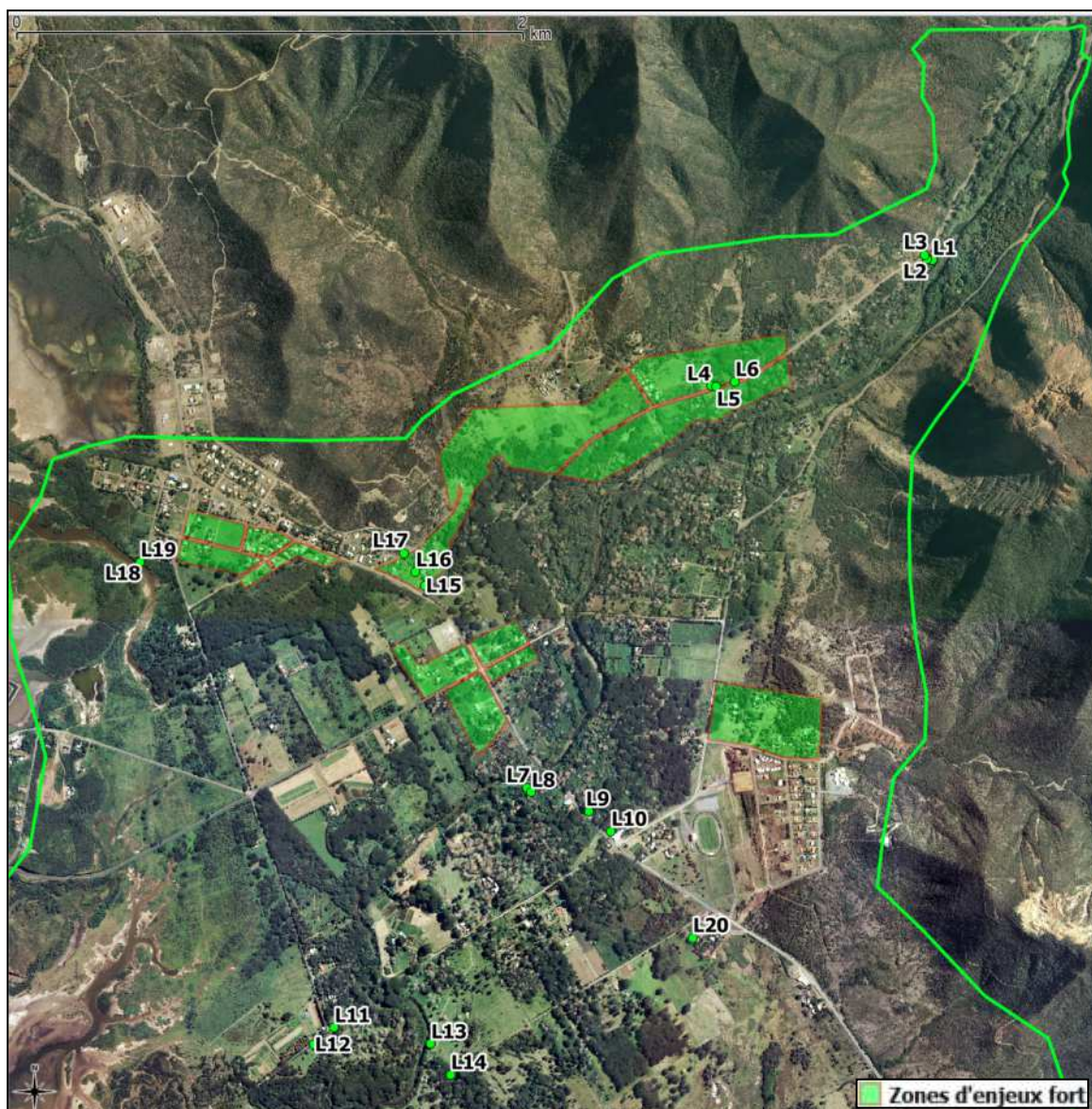


Figure 40 : Localisation des laisses de crues sur le secteur d'étude et des zones d'enjeux

En tout huit groupes de laisses de crue sont identifiables sur la zone d'étude :

- L1/L2/L3 : situé sur le linéaire amont dans la vallée de la Voh,
- L4/L5/L6 : situé sur le linéaire de la Voh à l'amont, dans la zone d'enjeux « Habitat De Gaulle »,
- L7/L8 : situé sur le linéaire de la Voh en aval direct du pont de la Voh,
- L9/L10 : situé en rive gauche de la Voh au niveau de la RT1, à environ 300 m du groupe L7/L8,
- L11/L12/L13/L14 : situé en rive droite et rive gauche de la Voh sur la partie aval de la zone d'étude,
- L15/L16/L17 : situé sur le linéaire amont de la Faléane, proche de la RT1, dans la zone d'enjeux « Habitat De Gaulle »,
- L18/L19 : situé sur le linéaire aval de la Faléane,
- L20 : situé à l'est de la zone d'étude dans le village de la Voh à proximité de la RT1.

Le niveau bas de l'échelle à maxima « L2 » (11,35 m NGNC) est inférieur au niveau du MNT (11,81 m NGNC) mesuré au droit de l'implantation de cette échelle ce qui constitue une « incohérence » du MNT. En regardant plus en détail, l'implantation géographique de l'échelle est dans une zone de maillage plutôt grossière, (lit majeur), et à 50 cm d'une maille dont l'altimétrie moyenne est de 11,28 m NGNC. Cette incohérence apparente est en réalité liée à la simplification de la géométrie réelle dans le modèle numérique de terrain (et dans une moindre mesure à la précision de l'implantation du point géoréférencé L2), comme présenté en Figure 41.

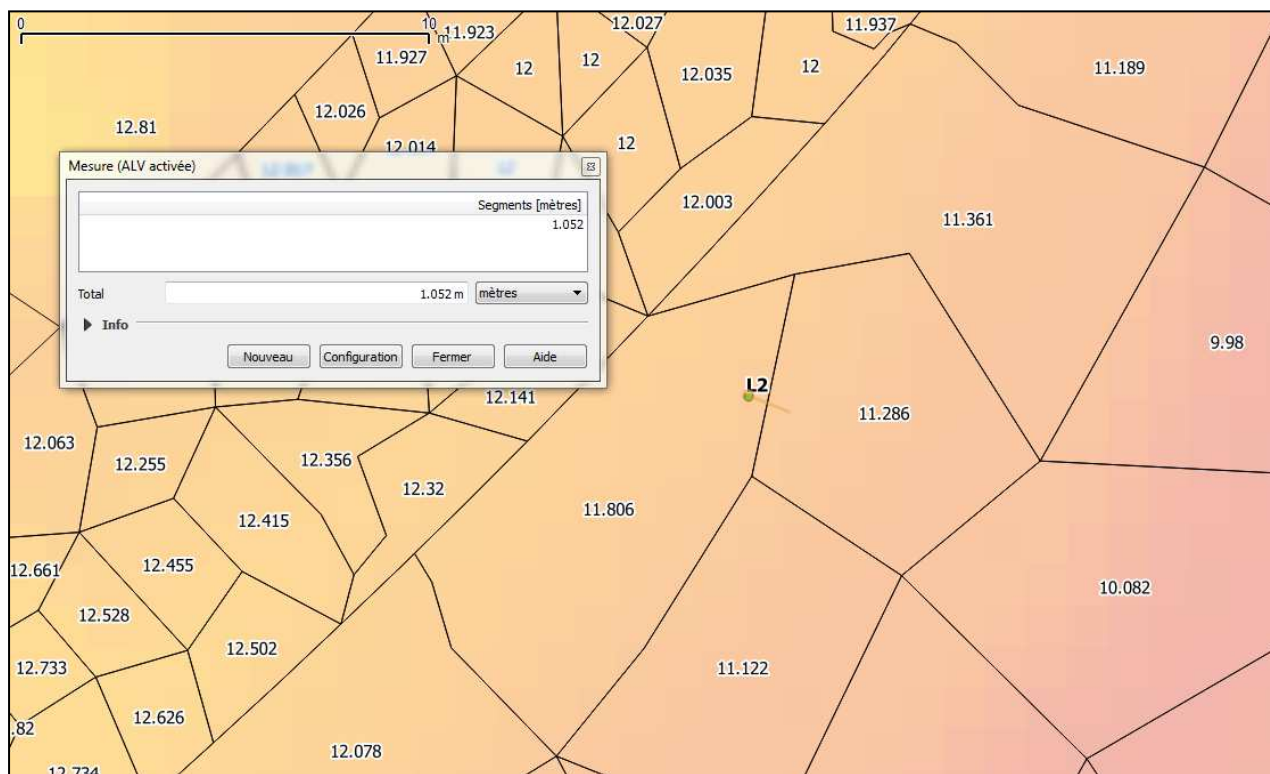


Figure 41 : Implantation de l'échelle à maxima L2 sur le maillage du modèle (altimétrie des mailles précisées en m NGNC).

Les laisses de crue de l'échelle L2 restent donc utilisables dans le calage du modèle et les résultats de modélisation de hauteur d'eau à proximité immédiate du point pour les comparaisons avec les laisses historiques sont considérés.

Le même type d'incohérence est constaté pour l'échelle de crue « L17 » avec un niveau bas de l'échelle (7,37 m NGNC) inférieur au niveau du MNT (8,04 m NGNC). Les informations en crue ou droit de l'échelle L17 restent exploitables en considérant le résultat de la modélisation à proximité immédiate du point.

Les cotes des laisses de crues sur les événements historiques sont présentées sur les linéaires des cours d'eau en Figure 42 :

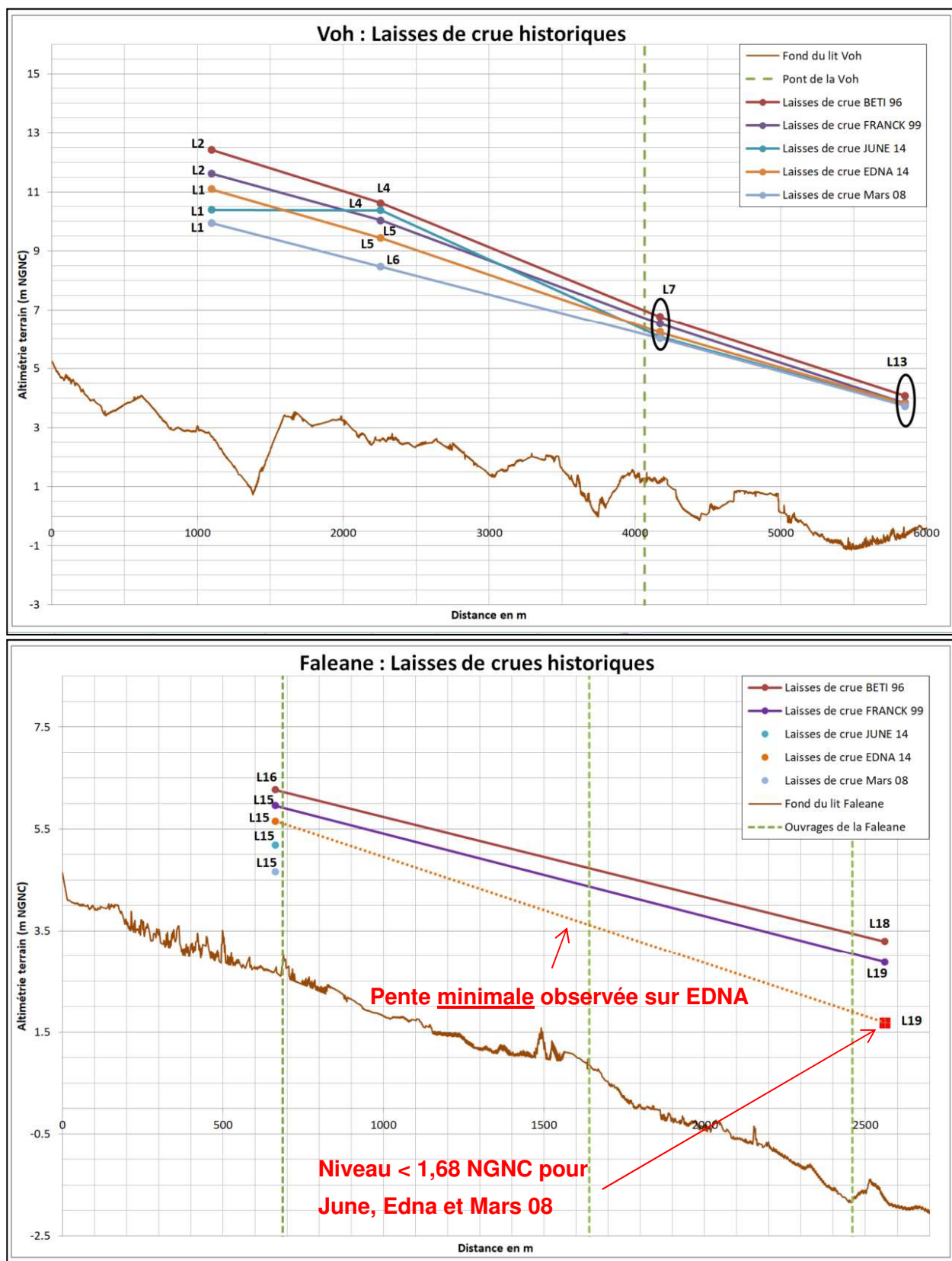


Figure 42 : Laisses de crues historiques rapportées sur les linéaires des cours d'eau

Les observations des laisses de crues historiques montrent :

- que les altimétries des laisses de crues sur les événements Beti, Franck, Edna et Mars 08 sont cohérentes entre elles par rapport aux estimations des intensités (débits de pointes) des crues, tant bien sur le linéaire de la Voh que sur le linéaire de la Faléane,
- que les laisses de crues de l'événement June semblent présenter une incohérence, tant bien sur le linéaire de la Voh que de la Faléane. En comparaison des autres événements, les laisses de crues de June devraient se situer entre celles de l'événement Franck et celles de l'événement Edna. Or le contraire est observé sur toutes les laisses à l'exception de la laisse L4 qui mesure même des niveaux supérieurs à ceux de Franck. Plusieurs hypothèses potentiellement concomitantes peuvent expliquer ces résultats :
 - ◇ L'épisode de June a peut-être entraîné des intensités pluviométriques sensiblement différentes sur la Faténaoué et la Voh entraînant une surestimation du débit de pointe sur la Voh.
 - ◇ Présences d'embâcles importants venant perturber l'écoulement à l'aval de la laisse L4.
 - ◇ Erreur humaine dans la mesure des laisses de crues,
- que la pente de la ligne d'eau de la Faléane semble changer à partir d'un certain seuil de débit de crue. Ce changement de pente s'observe entre l'événement Franck proche de la Q10 et les événements de moindre intensité (June, Edna, Mars 08), pour lesquels la pente de la ligne d'eau serait étonnamment plus élevée.
- que plusieurs mesures de laisses semblent douteuses :
 - ◇ Sur l'échelle L15 de la Faléane à l'amont immédiat du pont cadre de RT1 : Entre l'événement Edna (744 m³/s) et Mars 08 (625 m³/s) pour une différence de débit de pointe de seulement 120 m³/s un écart particulièrement élevé de près de 1 m entre les 2 laisses de crues est observé. Alors qu'entre l'événement Beti (2824 m³/s) et Franck (1571 m³/s) pour une différence de 1250 m³/s un écart de seulement 30 cm. De même entre Franck et Edna pour une différence de 600 m³/s un écart de 30 cm est observé. En conséquence la mesure de laisse de crue de mars 08 au droit de l'échelle L15 est suspectée d'être erronée. Ces suspicions sont confortées par l'analyse des résultats de la modélisation (cf 8.3).
 - ◇ La non réaction de l'échelle à maxima L19 (i.e. niveau de crue inférieur au niveau bas de l'échelle de 1,68 m NGNC) pour les événements de June, Edna et Mars 08 paraît suspect. Notamment l'échelle n'est pas située dans la zone d'influence de la condition aval qui aurait pu expliquer des niveaux si bas.

8.2 MODELISATION DE LA CRUE DE CALAGE : BETI 1996

8.2.1 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE GLOBAL DU SECTEUR ETUDIE

Les débordements lors du pic de crue de l'évènement Beti sont présentés Figure 43 :



Figure 43 : Cartographie des écoulements pour la crue de Beti 1996, pic de la crue : débordement généralisé

Le paragraphe suivant décrit la dynamique de la crue de Beti 1996 issue de la modélisation.

Globalement le lit majeur de la Voh est largement inondé jusqu'aux coteaux et la presqu'île de Gatope est totalement isolée. La Faléane fonctionne comme bras de décharge de la Voh et 34% du débit de crue de cette dernière rejoint la mer par la Faléane. La part du débit transitant dans le lit mineur de la Voh décroît progressivement de l'amont vers l'aval :

- Au point métrique 3400 compté à partir de l'amont du linéaire modélisé, à environ 700 m en amont du pont de la Voh, 42% du débit de la Voh s'écoule dans le lit majeur en rive droite vers la Faléane, et 31% du débit s'écoule dans le lit majeur en rive gauche,
- Au point métrique 5300 compté à partir de l'amont du linéaire modélisé, à environ 1500 m en aval du pont de la route provinciale, l'essentiel du débit transite dans le lit majeur : moins de 12 % du débit est concentré dans le lit mineur. Dans le lit majeur en rive droite, c'est environ 29 % du débit total qui va transiter, dont environ 10 % du débit total concentré dans ce qui semble être un ancien lit mineur ou un bras mort de la Voh, qui se comporte alors comme bras de décharge du cours d'eau, soit autant que dans le lit mineur de la Voh :

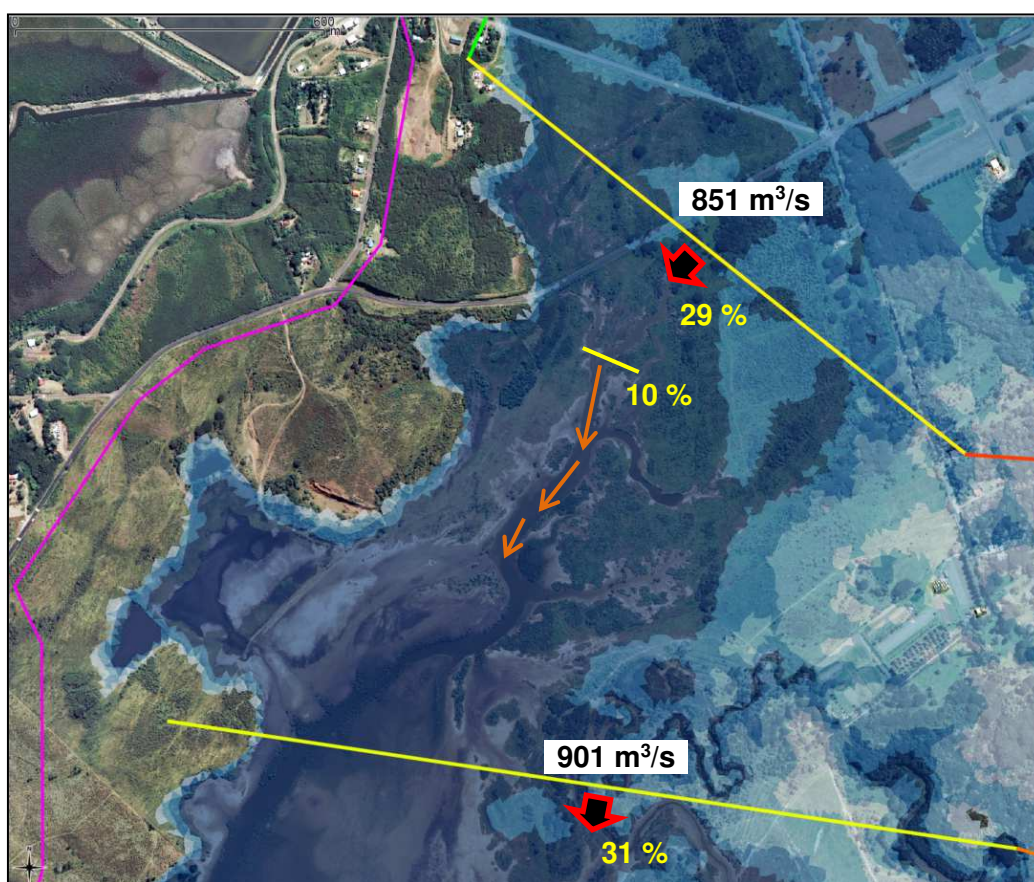


Figure 44 : Cartographie des écoulements – zoom sur le bras mort se réactivant pour former un bras de décharge secondaire pour la crue de Beti 1996

- Au point métrique 6500 compté à partir de l'amont du linéaire modélisé, le débit transitant dans le lit mineur de la Voh descend à moins de 9% du débit total de crue, une partie substantielle du débit (31 %) transite dans le lit majeur en rive droite, toujours au droit du bras de décharge,

8.2.2 ANALYSE DETAILLEE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE AU DROIT DES ZONES D'ENJEUX IDENTIFIEES

Le présent paragraphe détaille et précise les écoulements remarquables calculés au droit des zones d'enjeux qui ont été identifiées en phase 1 et présentées Figure 40.

• Habitat De Gaulle à l'amont de la Faléane

En amont de la zone d'étude l'habitat de Guaulle est fortement impacté par les débordements de la Voh, où les hauteurs d'eau dépassent les 1,5 m. En rive droite du lit majeur de la Voh, les écoulements suivent le linéaire de la Voh. Environ 830 m³/s d'eau transite en entrée de la zone, dont environ 90% de ce débit réparti entre le remblais routier et le lit mineur. Au droit de cette zone les vitesses atteignent 2,5 m/s. La topographie du terrain oriente ensuite les écoulements vers la Voh et sur la section inondée la plus réduite de la zone environ 130 m³/s d'eau transite. A l'aval immédiat de l'entrée de l'Auberge Degaulle, 365 m³/s d'eau surverse au dessus du remblais routier, les vitesses au droit de cette surverse sont comprises entre 1 et 2 m/s. C'est au final 260 m³/s d'eau qui rejoignent la Faléane au droit du secteur à enjeux.

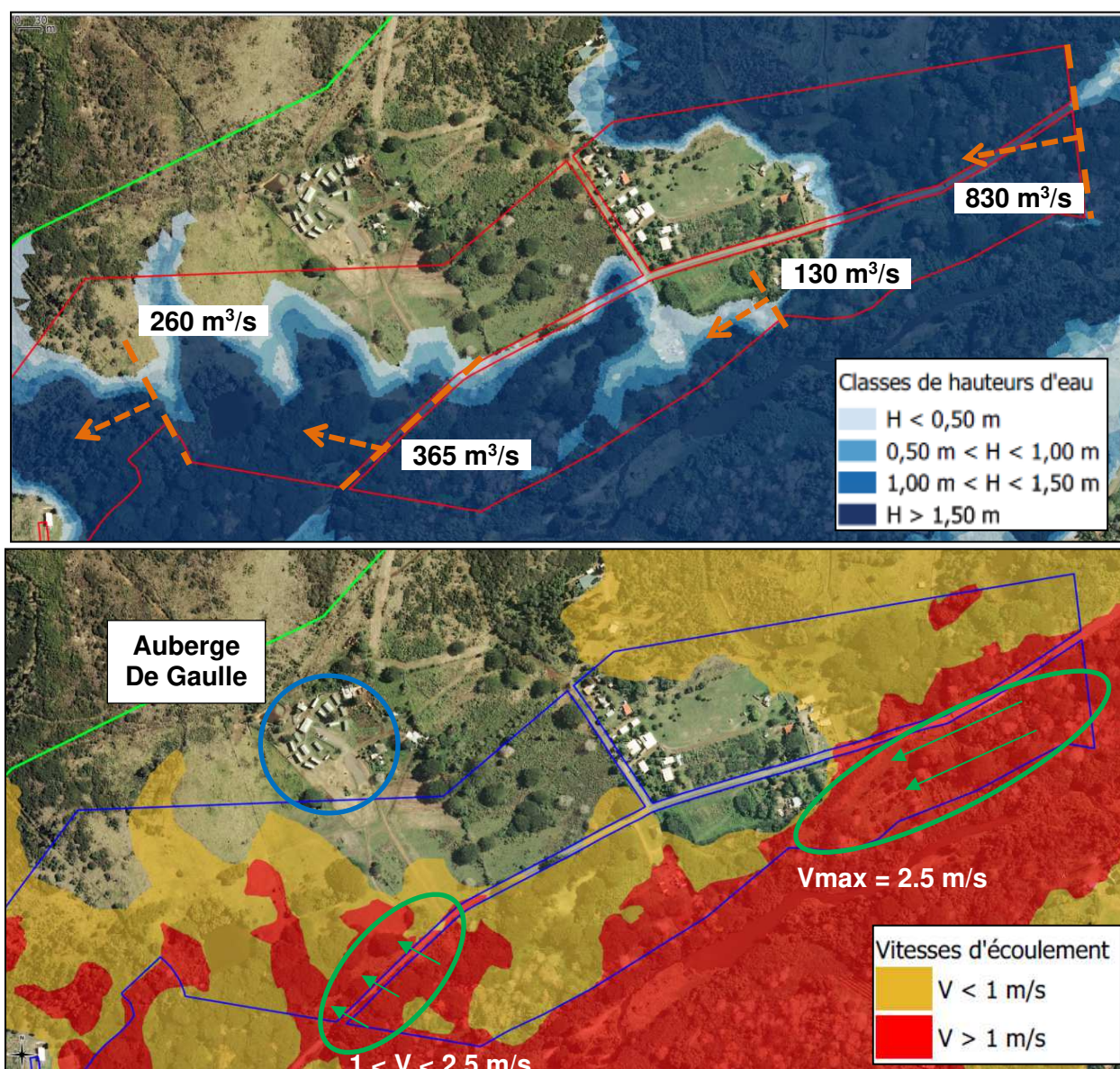


Figure 45 : Zone d'enjeux habitat De Gaulle à l'amont de la Faléane pour la crue de Beti 1996

- **Habitat De Gaulle en rive droite de la Faléane**

Sur le linéaire amont de la Faléane la majorité de la zone d'enjeux située en rive droite du cours d'eau est inondée avec des hauteurs d'eau dépassant les 1,5 m. Les écoulements y sont parallèles au lit mineur de la Faléane et sont alimentés par les débordements des cours d'eau : en amont de la zone le débit transitant est de 200 m³/s, s'agissant principalement des débordements de la Voh comme énoncé précédemment. Le débordement des cours d'eau en rive droite de la Faléane génère un débit d'environ 75 m³/s sur la section réduite de la zone d'enjeux, les vitesses d'écoulement y sont majoritairement inférieures à 1 m/s. Au niveau des habitations situées dans la zone construites en partie sur des terrains remblayés les hauteurs d'eau sont réduites et ne dépassent pas les 50 cm, cependant sur au moins 50 % de la section inondée les vitesses d'écoulement dépassent les 1 m/s. Le remblai routier de la route territoriale se comporte comme un seuil (en faisant barrage à l'écoulement) et l'ouvrage n°1 est en charge ce qui provoque un niveau élevé à l'amont de cette route, et sa surverse. Au droit de la surverse de la route, les vitesses peuvent atteindre les 4 m/s. Pour la crue Beti c'est 150 m³/s qui surversent par la RT1 au droit de la frontière aval de la zone.

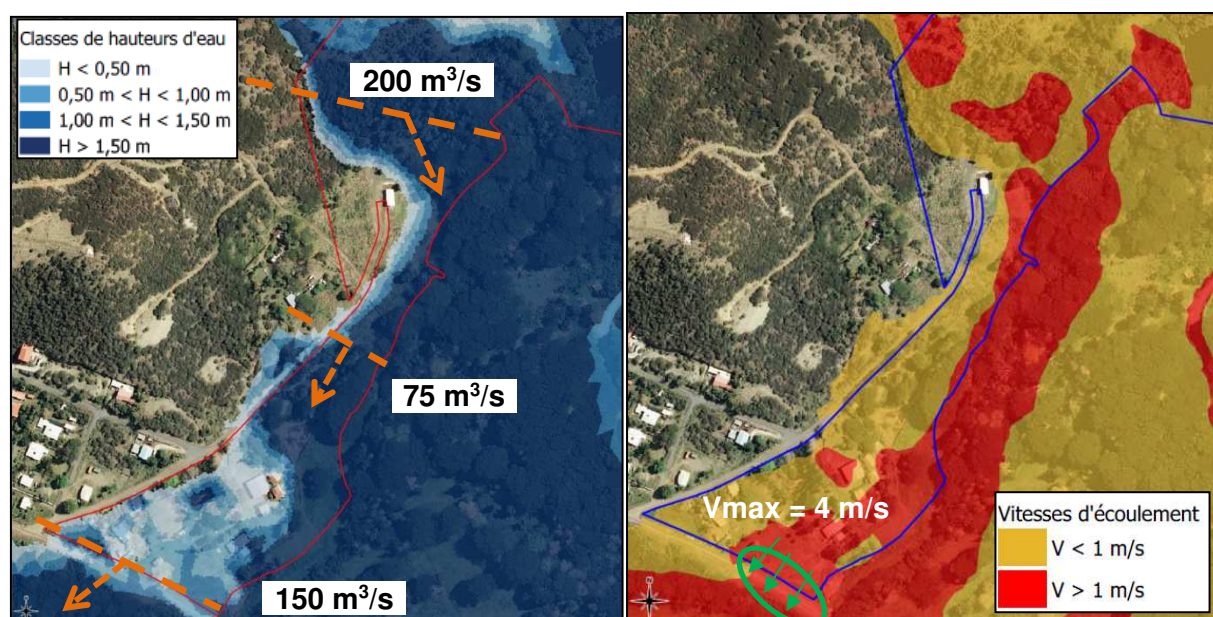


Figure 46 : Zone d'enjeux habitat De Gaulle en rive droite de la Faléane pour la crue de Beti 1996

- **Village et lotissement communal**

La zone d'enjeux du village est partiellement inondée et les vitesses d'écoulement sont majoritairement très faibles et largement inférieures à 1 m/s. La route de l'école (en vert sur la figure ci-dessous) est sous 1 mètre d'eau et un débit maximal de 50 m³/s pénètre dans la zone par le sud-ouest, au droit de cette venue d'eau les vitesses atteignent très localement 3 m/s. Les lotissements entre la route de l'école et la route de la gendarmerie et le long de la RT1 sont principalement hors d'eau (1 maison le long de la route de l'école étant inondée).

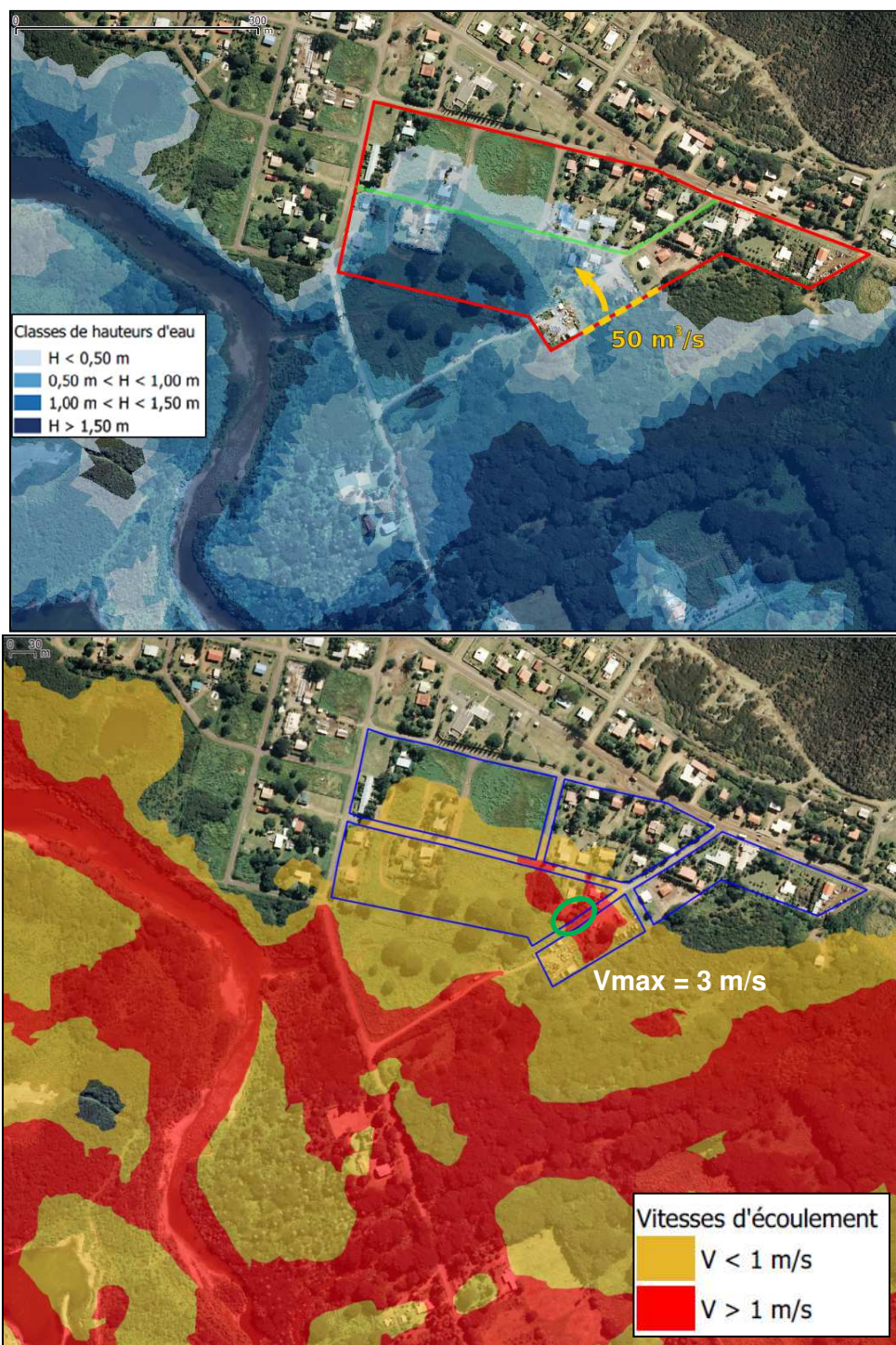


Figure 47 : Zone d'enjeux du lotissement communal pour la crue de Beti 1996

- **Habitat rive droite**

La zone dite d'enjeux « habitat rive droite » est totalement submergée pour la crue Beti avec des hauteurs d'eau allant de 50 cm à 1,5 m, et sur la majorité de la zone les vitesses d'écoulement dépassent les 1 m/s et atteignent en de nombreux endroits 2m/s. Les écoulements au droit de la zone se font perpendiculairement à l'axe de la RT1 (en vert sur la figure ci-dessous).

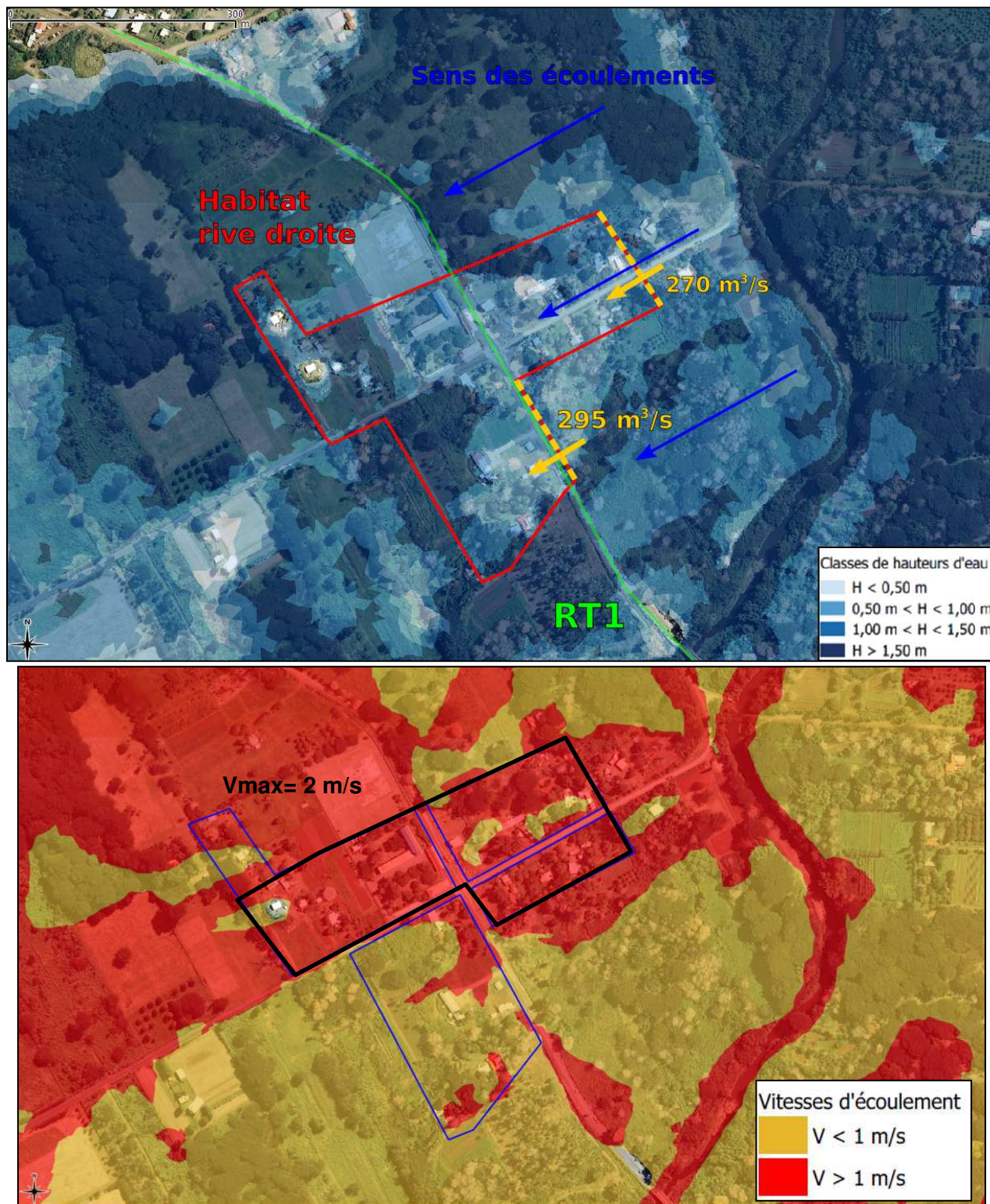


Figure 48 : Zone d'enjeux Habitat rive droite de la Voh pour la crue de Beti 1996

- **Habitat rive gauche**

Enfin au droit de la zone « habitat rive gauche » en amont du stade et de la salle omnisport, les débordements en rive gauche de la Voh inondent une partie de cette zone et atteignent les premières habitations. Les hauteurs d'eau atteignent plus de 1,5 m le long de la route RM1 et 210 m³/s y transitent, les vitesses d'écoulement y sont inférieures à 1 m/s.

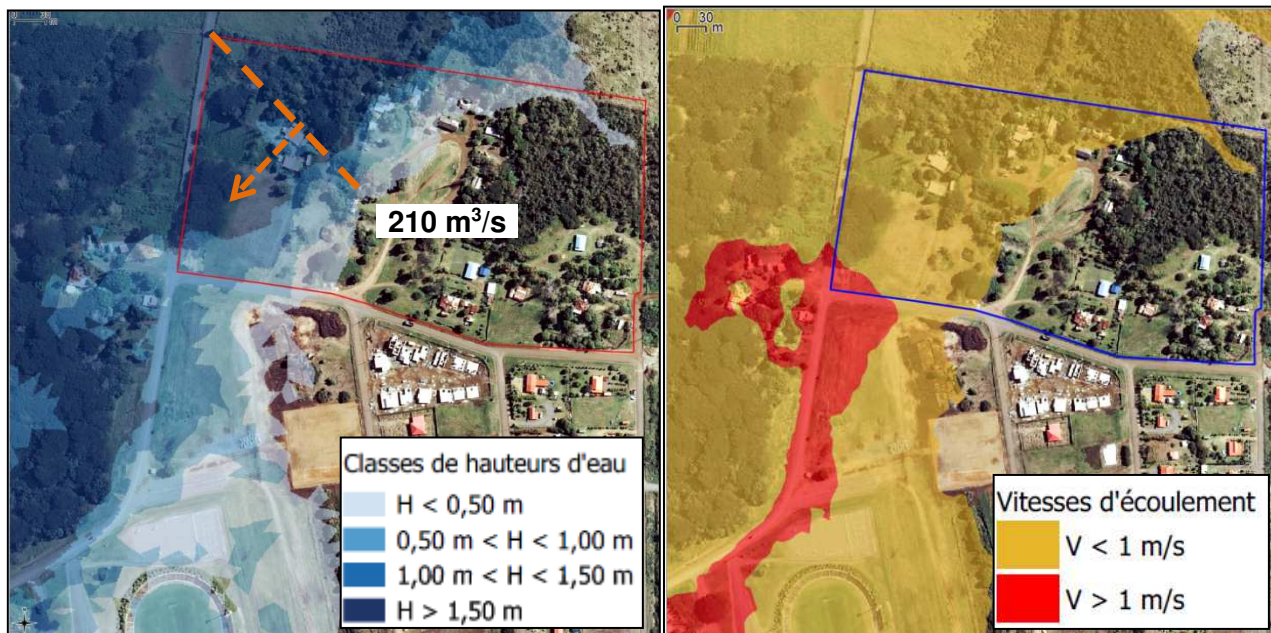


Figure 49 : Zone d'enjeux Habitat rive gauche de la Voh pour la crue de Beti 1996

8.2.3 ANALYSE DU PROFIL EN LONG

Les profils en long (présentés Figure 50 et Figure 51) et l'analyse des inondations permettent d'appréhender le fonctionnement général des deux cours d'eau.

Entre le PM 0 et le PM 6500, le profil général de la ligne d'eau de la Voh présente une pente moyenne constante d'environ 0,18 % sur ce linéaire la ligne d'eau alterne entre pente légèrement moins raide au droit des trous d'eau et légèrement plus raide au droit des « seuils naturels ».

Après le PM 6500 une rupture de pente est observée et la ligne d'eau rejoint la limite aval du modèle avec une pente de 0,02 % environ, sur cette portion la ligne d'eau est influencée par la condition aval de marée (cf section 9),

Les phénomènes et points particuliers sur les ouvrages hydrauliques sont observés :

- Le pont de la RT1 sur la Voh n'est pas en charge. Le débit transitant sous l'ouvrage est 291 m³/s (10% du débit total) et génère une perte de charge de l'ordre de 0,25 m. Malgré l'intensité de l'évènement le tirant d'air entre la ligne d'eau et le tablier du pont est de 1,4 m, attestant d'un bon dimensionnement hydraulique du pont pour les crues d'intensité similaire à l'évènement Beti (proche de la centennale),
- Les ouvrages hydrauliques de la Faléane génèrent des pertes de charges de l'ordre de 0,50 m. Ces 3 ouvrages sont tous en charge et surversent par-dessus l'arase supérieur de leurs tabliers :

	Débit transitant dans la section hydraulique de l'ouvrage	Lame d'eau surversante au-dessus du tablier ou de la dalle supérieur de l'ouvrage
Ouvrage 1 (sur la RT1)	71 m ³ /s	Environ 1,15 m
Ouvrage 2 (sur la RM16)	30 m ³ /s	Environ 90 cm
Ouvrage 3 (ouvrage de décharge secondaire sur la RM16)	10 m ³ /s	Environ 40 cm

Tableau 36 : Ouvrages de la Faléane - Beti 1996

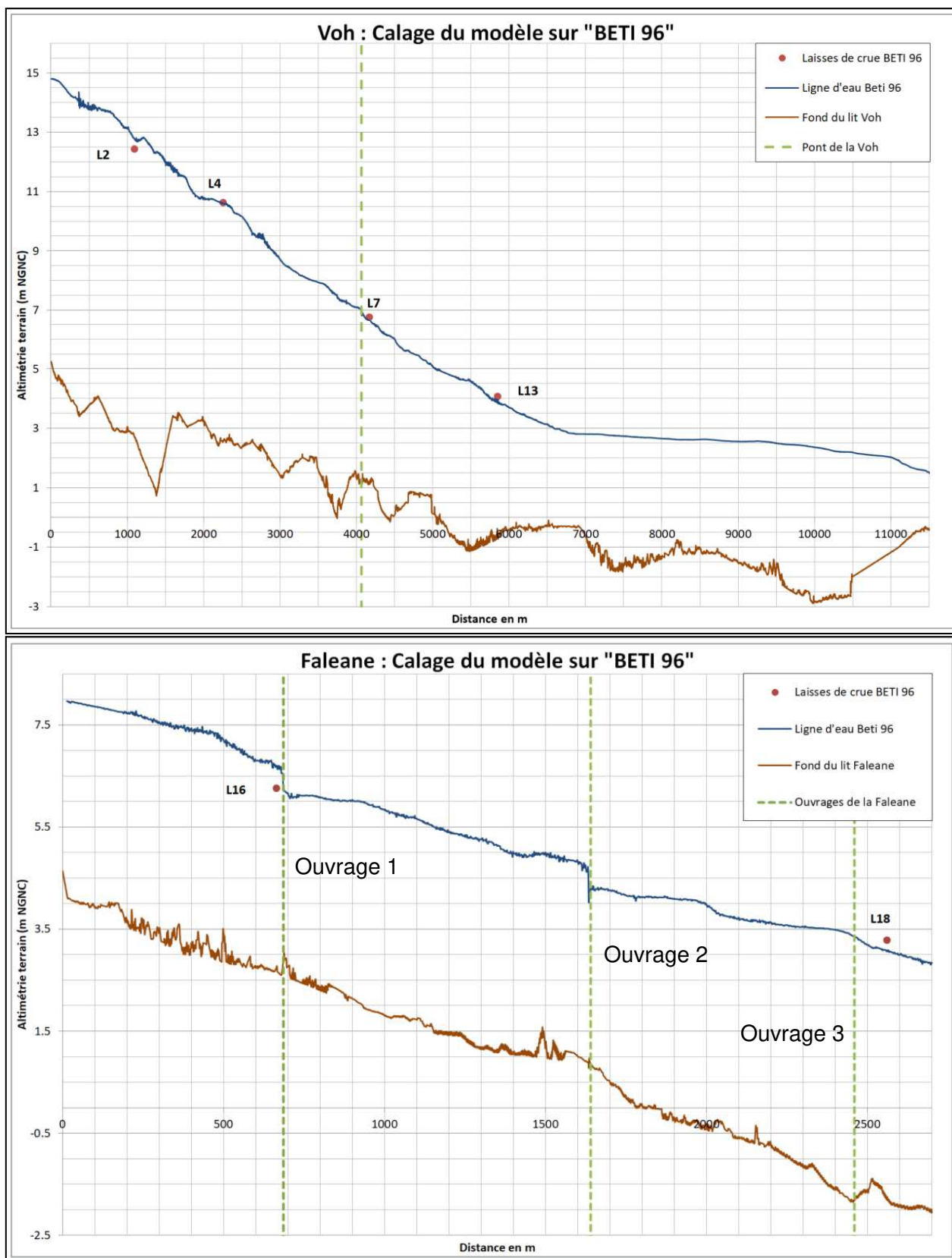


Figure 50 : Profils en long sur les plus hautes eaux – Calage Beti 1996

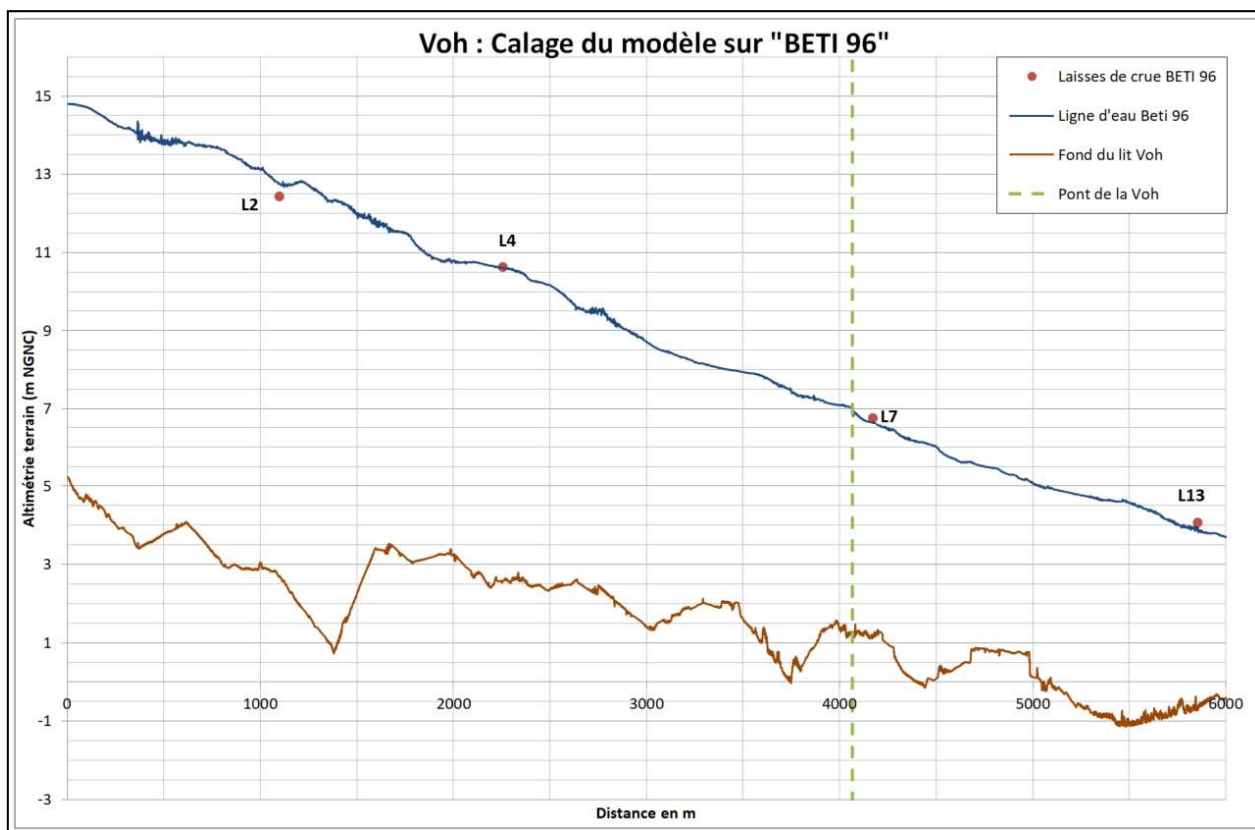


Figure 51 : Profils en long sur les plus hautes eaux – ZOOM sur la partie amont de la Voh - Calage Beti 1996

8.2.4 COMPARAISON AVEC LES LAISSES DE CRUE

Les niveaux obtenus lors de la modélisation de calage sont comparés aux laisses de crues. Les différences sont représentées :

- sur les profils en long des rivières, pour les laisses de crue à proximité du lit mineur, Figure 51 au paragraphe précédent,
- dans le Tableau 37,
- dans la Figure 52 sur une représentation planimétrique.

Les écarts obtenus sont calculés en suivant :

- $H_{\text{calcul_modèle}} - H_{\text{Laisse_mesurée}}$ (écarts positifs = surestimation de la modélisation par rapport aux laisses, et inversement)

Nom ISL	Lieux	Cote des laisses (en m NGNC)	Cote modélisation BETI 96 (en m NGNC)	Ecart (en m NGNC)
L1	Voh	> 11.53	12.63	
L2	Voh	12.41	12.68	0.27
L3	Voh	< 12.82	12.78	
L4	Voh	10.62	10.83	0.21
L5	Voh	> 10.49	10.79	
L6	Voh	> 8.96	10.82	
L7	Voh	6.75	6.64	-0.11
L8	Voh	6.71	6.63	-0.08
L9	Voh	> 6.67	6.79	
L10	Voh	6.44	6.8	0.36
L11	Voh	3.69	3.5	-0.19
L12	Voh	< 3.67	3.36	
L13	Voh	4.06	3.86	-0.20
L14	Voh	3.75	3.68	-0.07
L15	Faleane	> 6.09	6.75	
L16	Faleane	6.26	6.47	0.21
L17	Faleane	< 7.36	Hors d'eau	
L18	Faleane	3.28	3.11	-0.16
L19	Faleane	> 3.38	3.08	< -0.30
L20	Village	4.59	4.89	0.30

Tableau 37 : Comparaison au droit des laisses de crue – Beti 1996

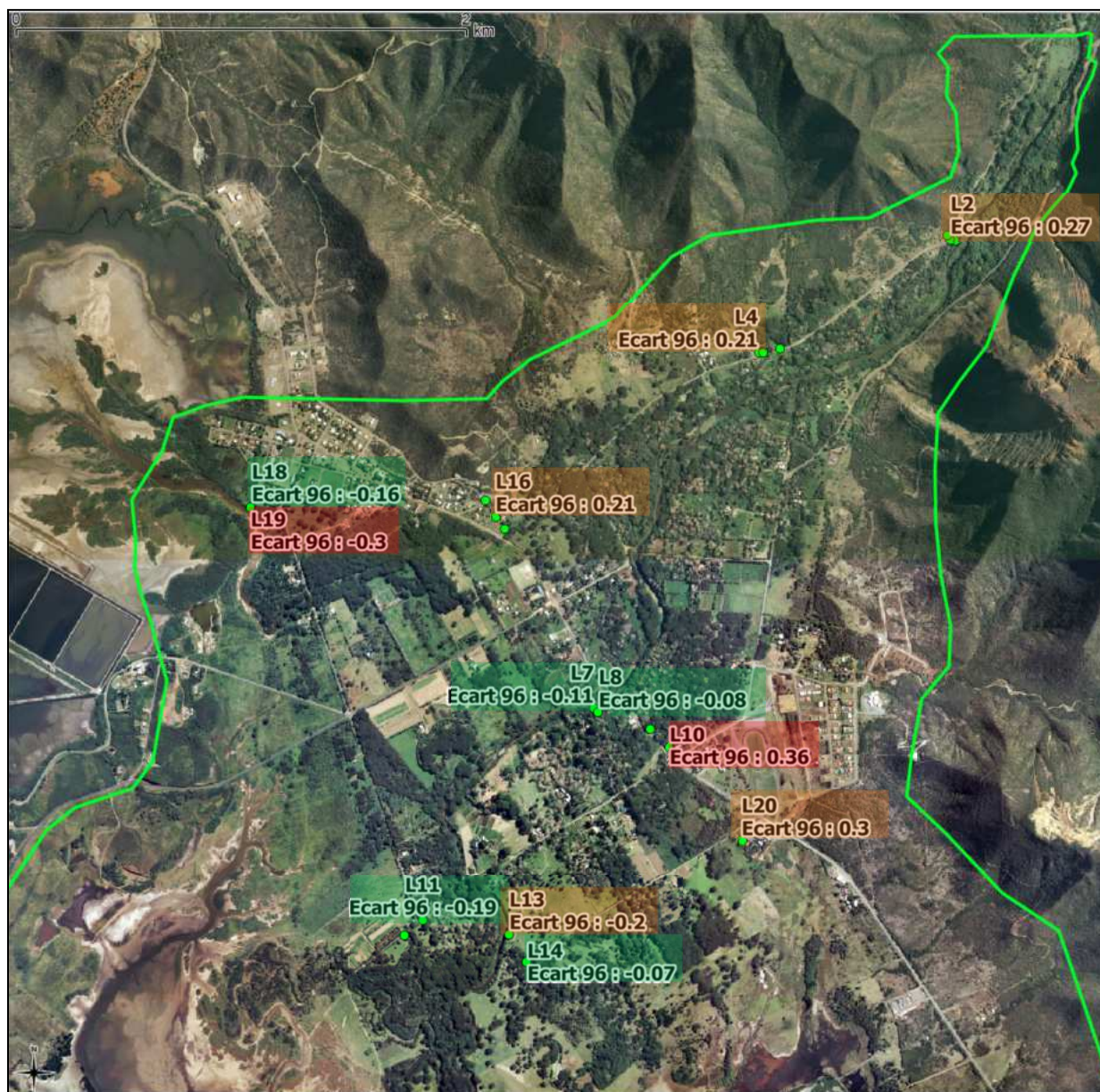
X : Ecart absolu de plus de 30 cm

X : Ecart absolu entre 20 et 30 cm

X : Ecart absolu de moins de 20 cm

Orange : Observation non cohérente avec les échelles à maxima complémentaires à proximité

Vert : Observation cohérente avec les échelles à maxima complémentaire à proximité



- : Ecart absolu de plus de 30 cm
- : Ecart absolu entre 20 et 30 cm
- : Ecart absolu de moins de 20 cm

Figure 52 : Comparaison entre les hauteurs d'eau maximales calculées par le modèle et les laisses de crue relevées pour l'évènement – Beti 1996

Ecarts avec les laisses de crue

Globalement pour le jeu de coefficient de Strickler retenu, les écarts entre les laisses de crues et les niveaux d'eau calculés sont inférieurs à 30 cm à l'exception de la laisse L10, L19 et L20.

La modélisation hydraulique sur Beti 1996 montre que :

- l'inondation est surestimée en amont du pont de la Voh et au niveau de la route territoriale, les écarts entre la modélisation et les laisses de crue sont inférieurs à 30 cm à l'exception de la laisse L10 où l'écart atteint +35 cm,
- en aval du pont, l'inondation est sous-estimée pour les laisses situées à proximité du lit mineurs (L7, L8, L11, L13 et L14) avec des écarts compris entre -7 et -20 cm,
- l'inondation est surestimée sur l'amont du linéaire de la Faléane avec un écart de 21 cm sur L16,
- l'ensemble des laisses complémentaires, qui ne donne pas des mesures de niveau d'eaux précis mais des critères à vérifier (du type niveau d'eau > a XX m NGNC) sont toutes respectées, sauf pour la laisse L19 en aval de la Faléane, où le niveau d'eau de l'inondation est sous-estimé d'au moins 30 cm.

La moyenne des écarts est de 20 cm sur l'ensemble des laisses exploitables.

8.3 MODELISATION DES CRUES DE CALAGE : FRANCK 1999 ET MARS 08

8.3.1 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU SECTEUR ETUDIE

Les modélisations de l'évènement Franck de 1999 (période de retour proche de 9 ans) et de Mars 2008 (période de retour proche de 2 ans) démontrent globalement un fonctionnement hydraulique du secteur d'étude similaire à celui de la crue de Beti de 1996 avec une inondation généralisée du lit majeur jusqu'aux coteaux, comme présentée Figure 54. Les hauteurs d'eau sont moins importantes, par rapport à l'évènement Beti :

- de 49 cm au niveau des laisses de crues de Franck, ce qui est cohérent avec le débit de pointe injecté de 54% inférieur à celui de la crue Beti,
- de 1,08 m au niveau des laisses de crues de Mars 08, ce qui est cohérent avec le débit de pointe injecté de 78% inférieur à celui de la crue Beti,

Sur la crue Franck 1999 :

- Le pont de la RT1 sur la Voh n'est pas en charge. Le débit transitant sous l'ouvrage est 237 m³/s (15% du débit total) et génère une perte de charge de l'ordre de 0,25 m. Malgré l'intensité de l'évènement le tirant d'air entre la ligne d'eau et le tablier du pont est de 1,8 m,
- Les ouvrages hydrauliques de la Faléane génèrent des pertes de charges de l'ordre de 0,50 m. Ces 3 ouvrages sont tous en charge et surversent par-dessus l'arase supérieur de leurs tabliers :

	Débit transitant dans la section hydraulique de l'ouvrage	Lame d'eau surversante au-dessus du tablier ou de la dalle supérieure de l'ouvrage
Ouvrage 1 (sur la RT1)	64 m ³ /s	Environ 60 cm
Ouvrage 2 (sur la RM16)	27 m ³ /s	Environ 60 cm
Ouvrage 3 (ouvrage de décharge secondaire sur la RM16)	8 m ³ /s	Environ 15 cm

Tableau 38 : Ouvrages de la Faléane – Franck 1999

Sur la crue Mars 2008 :

- Le pont de la RT1 sur la Voh n'est pas en charge. Le débit transitant sous l'ouvrage est 185 m³/s (29% du débit total) et génère une perte de charge de l'ordre de 0,25 m. Malgré l'intensité de l'évènement le tirant d'air entre la ligne d'eau et le tablier du pont est de 2,2 m,
- Les ouvrages hydrauliques de la Faléane génèrent des pertes de charges de l'ordre de 0,50 m. Ces 3 ouvrages sont tous en charge et surversent par-dessus l'arase supérieur de leurs tabliers :

	Débit transitant dans la section hydraulique de l'ouvrage	Lame d'eau surversante au-dessus du tablier ou de la dalle supérieure de l'ouvrage
Ouvrage 1 (sur la RT1)	32 m ³ /s	Environ 5 cm
Ouvrage 2 (sur la RM16)	22 m ³ /s	Environ 25 cm
Ouvrage 3 (ouvrage de décharge secondaire sur la RM16)	6 m ³ /s	Environ 2 cm

Tableau 39 : Ouvrages de la Faléane – Mars 2008

Les profils en long des lignes d'eau de la Voh pour les crues de calages sont présentés Figure 53,

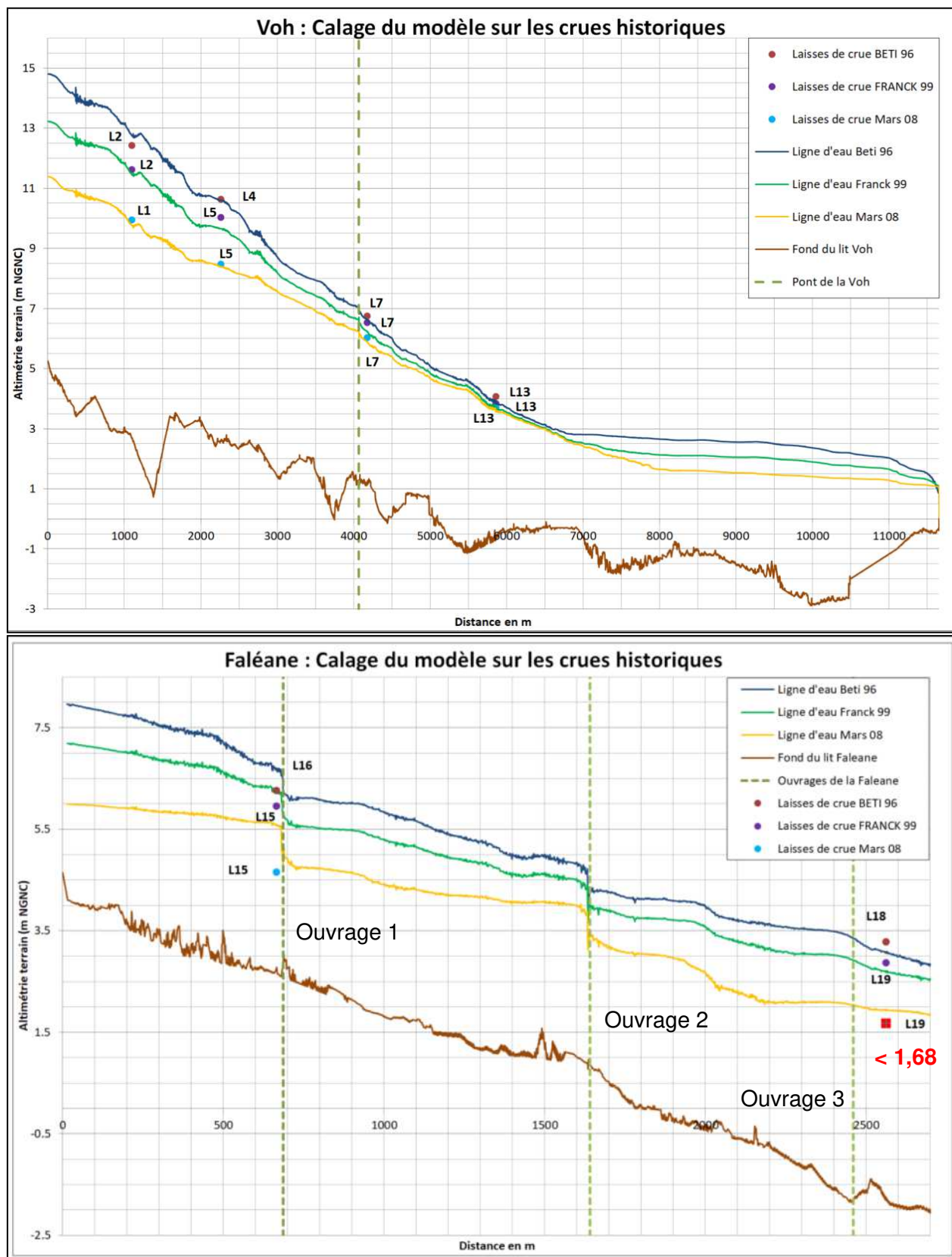
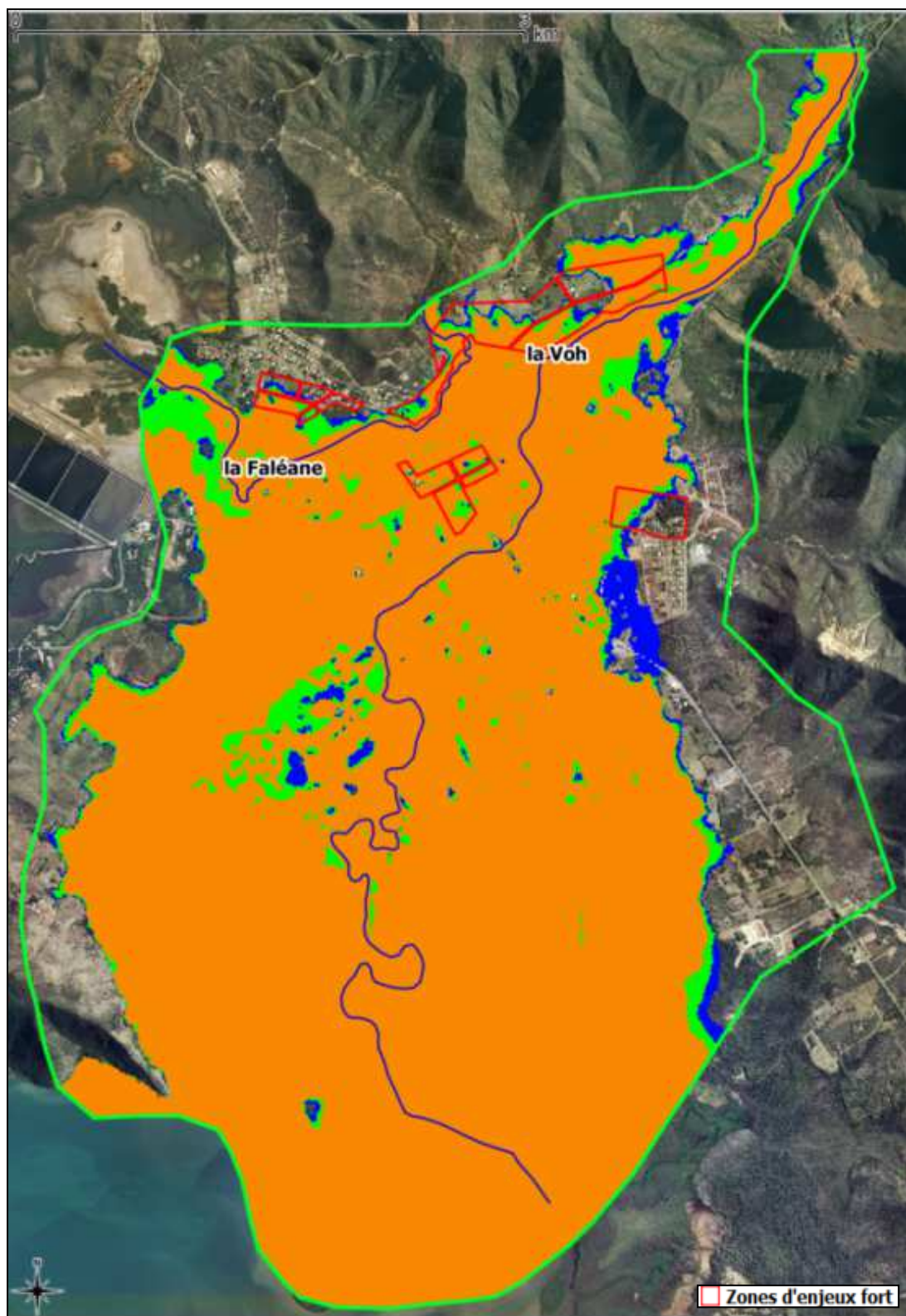


Figure 53 : Profils en long sur les plus hautes eaux – Beti 1996 et Franck 1999



- : Emprise inondable de Beti 1996
- : Emprise inondable de Franck 1999
- : Emprise inondable de Mars 2008

Figure 54 : Comparaison des emprises inondables entre les événements de calage

8.3.2 COMPARAISON AVEC LES LAISSES DE CRUE

Les niveaux obtenus par les modélisations de l'événement Franck 99 et Mars 08 par rapport aux laisses de crues sont présentées :

- sur les profils en long des rivières, pour les laisses de crue à proximité du lit mineur, Figure 53 présentée précédemment,
- dans le Tableau 40 et Tableau 41
- sur des représentations planimétriques, Figure 55 et Figure 56

Les écarts obtenus sont calculés en suivant :

- $H_{\text{calcul_modèle}} - H_{\text{Laisse_mesurée}}$ (écarts positifs = surestimation de la modélisation par rapport aux laisses, et inversement)

Nom ISL	Lieux	Cote des laisses (en m NGNC)	Cote modélisation Franck 99 (en m NGNC)	Ecart (en m NGNC)
L1	Voh			
L2	Voh	11.61	11.36*	-0.25
L3	Voh	< 12.82	Hors d'eau	
L4	Voh			
L5	Voh	10.03	9.72	-0.31
L6	Voh			
L7	Voh	6.53	6.25	-0.28
L8	Voh	6.43	6.25	-0.18
L9	Voh	6.42	6.39	-0.03
L10	Voh	6.23	6.42	0.19
L11	Voh	3.32	3.26	-0.06
L12	Voh	<3.67	3.11	
L13	Voh	3.82	3.67	-0.15
L14	Voh	3.61	3.42	-0.19
L15	Faleane	5.95	6.30	0.35
L16	Faleane			
L17	Faleane	< 7.36	Hors d'eau	
L18	Faleane			
L19	Faleane	2.87	2.70	-0.17
L20	Village			

Tableau 40 : Comparaison au droit des laisses de crue – Franck 1999

*Valeurs évaluées à proximité des points, ces derniers étant situés au droit de terrain hors d'eau selon les résultats de la modélisation

X : Ecart absolu de plus de 30 cm

X : Ecart absolu entre 20 et 30 cm

X : Ecart absolu de moins de 20 cm

 : Observation non cohérente avec les laisses complémentaires

 : Observation cohérente avec les laisses complémentaires

Nom ISL	Lieux	Cote des laisses (en m NGNC)	Cote modélisation Mars 08 (en m NGNC)	Ecart (en m NGNC)
L1	Voh	9.93	9.73	-0.20
L2	Voh	< 11.35	Hors d'eau	
L3	Voh	< 12.82	Hors d'eau	
L4	Voh	<10.29	Hors d'eau	
L5	Voh	<8.79	Hors d'eau	
L6	Voh	8.46	8.35	-0.11
L7	Voh	6.02	5.91	-0.11
L8	Voh	<6.07	5.91	
L9	Voh	5.69	5.96	0.27
L10	Voh	<6.25	6.00	
L11	Voh	3.14	3.09	-0.05
L12	Voh	<3.67	2.98	
L13	Voh	3.72	3.6	-0.12
L14	Voh	<3.5	3.22	
L15	Faleane	4.65	5.63	0.98
L16	Faleane	< 5.85	Hors d'eau	
L17	Faleane	< 7.36	Hors d'eau	
L18	Faleane	< 3.15	1.96	
L19	Faleane	< 1.68	1.94	> 0.26
L20	Village			

Tableau 41 : Comparaison au droit des laisses de crue – Mars 2008

X : Ecart absolu de plus de 30 cm

X : Ecart absolu entre 20 et 30 cm

X : Ecart absolu de moins de 20 cm

 : Observation non cohérente avec les laisses complémentaires

 : Observation cohérente avec les laisses complémentaires

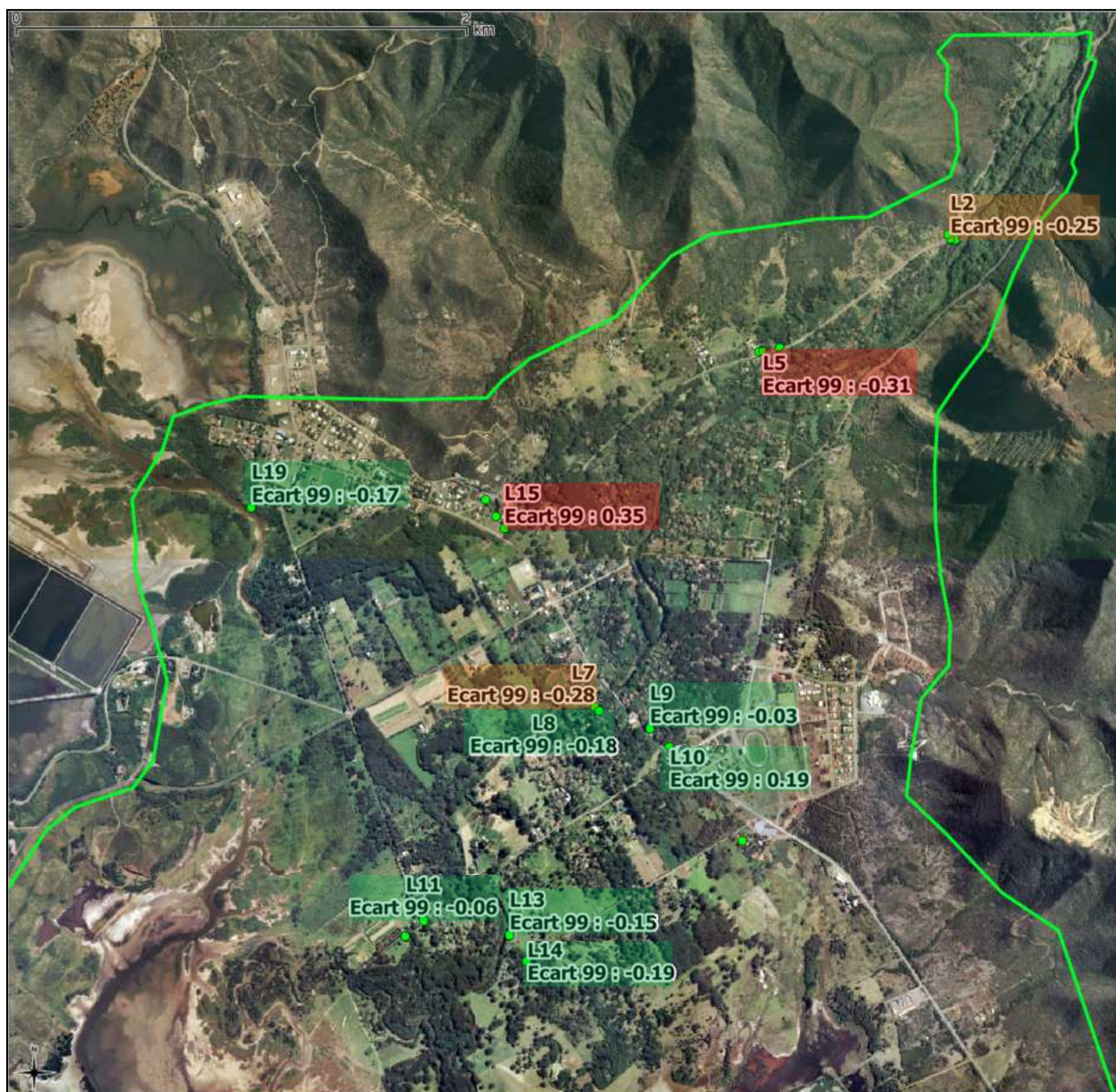
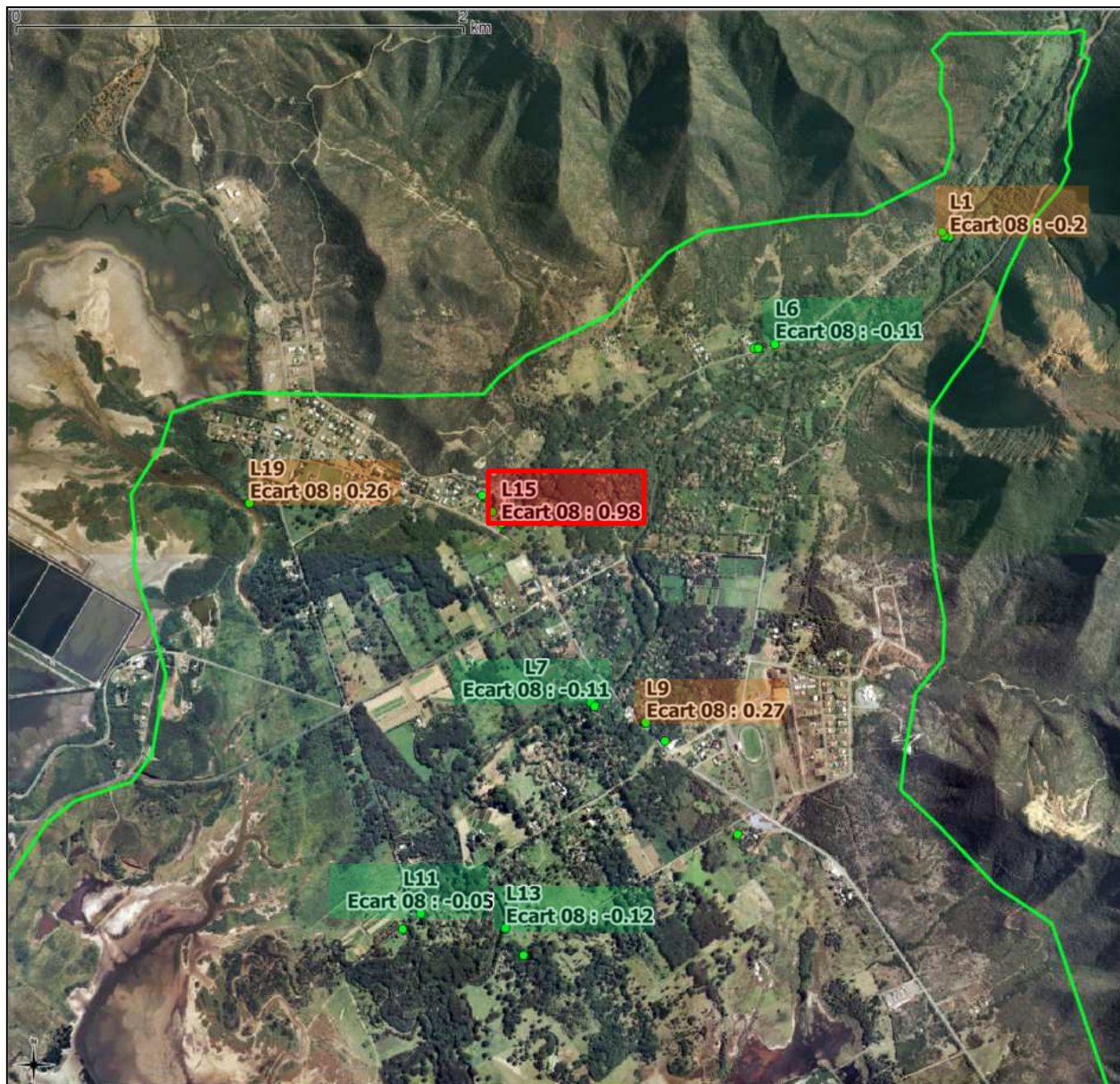


Figure 55 : Comparaison entre les hauteurs d'eau maximales calculées par le modèle et les laisses de crue relevées pour l'évènement – Franck 1999



- : Ecart absolu de plus de 30 cm
- : Ecart absolu entre 20 et 30 cm
- : Ecart absolu de moins de 20 cm

Figure 56 : Comparaison entre les hauteurs d'eau maximales calculées par le modèle et les laisses de crue relevées pour l'évènement – Mars 2008

Ecart avec les laisses de crue

FRANCK 1999:

Globalement pour le jeu de coefficient de Strickler retenu, les écarts entre les laisses de crues et les niveaux d'eau calculés sont inférieurs à 30 cm à l'exception de la laisse L5 et L15.

La modélisation hydraulique sur Franck 1999 montre que :

- l'inondation est sous-estimée sur l'ensemble du linéaire de la Voh avec des écarts pouvant atteindre -31 cm (sur L5),
- l'inondation est surestimée au niveau de la route territoriale proche du pont de la Voh avec un écart au maximum de 19 cm (sur L10),
- l'inondation est surestimée sur l'amont du linéaire de la Faléane avec un écart de 35 cm, à l'inverse sur l'aval de la Faléane l'inondation est sous-estimée avec un écart de 17 cm,
- l'ensemble des laisses complémentaires, qui ne donne pas des mesures de niveau d'eaux précis mais des critères à vérifier (du type niveau d'eau > a XX m NGNC) sont toutes respectées sur la donnée disponible,

La moyenne des écarts est de 20 cm sur l'ensemble des laisses exploitables.

Mars 2008:

Globalement pour le jeu de coefficient de Strickler retenu, les écarts entre les laisses de crues et les niveaux d'eau calculés sont inférieurs à 30 cm à l'exception de la laisse L15 et L19.

La modélisation hydraulique sur Mars 2008 montre que :

- l'inondation est sous-estimée sur l'ensemble du linéaire de la Voh avec des écarts pouvant atteindre -20 cm (sur L1),
- l'inondation est surestimée au niveau de la route territoriale proche du pont de la Voh avec un écart au maximum de 27 cm (sur L9),
- l'inondation est surestimée sur l'amont du linéaire de la Faléane avec un écart conséquent de 98 cm (sur L15), toutefois la mesure de cette laisse est jugée comme étant particulièrement douteuse (cf. justification dans la section suivante),
- l'ensemble des laisses complémentaires, qui ne donne pas des mesures de niveau d'eaux précis mais des critères à vérifier (du type niveau d'eau > a XX m NGNC) sont toutes respectées sur la donnée disponible, sauf pour la laisse L19 en aval de la Faléane, où le niveau d'eau de l'inondation est surestimé d'un minimum de 26 cm.

La moyenne des écarts est de 26 cm sur l'ensemble des laisses exploitables.

8.4 SYNTHÈSE ET DISCUSSION SUR LE CALAGE

Une synthèse de la donnée du calage sur les groupes de laisses est présentée dans le Tableau 42, les écarts sont donnés en centimètres.

Nom ISL	Calage sur BETI	Calage sur FRANCK	Calage sur Mars 08	Tendance de la modélisation par rapport aux observations	Remarque
L1			-20 cm		Limite sur le calage atteinte Bon compromis sur les 3 crues
L2	+27 cm	-25 cm			
L3					
L4	+21 cm				Limite sur le calage atteinte Bon compromis sur les 3 crues
L5		-31 cm			
L6			-11		
L7	-11 cm	-28 cm	-11 cm		Le groupe L7/L8 est proche du groupe L9/L10, ces groupes ont une tendance contraire sur l'inondation Bon compromis sur les 3 crues
L8	-08 cm	-18 cm			
L9		-03 cm	+27 cm		
L10	+36 cm	+19 cm			
L11	-19 cm	-06 cm	-05 cm		Légère sous-estimation de l'inondation généralisée à l'aval du modèle hors zone d'enjeux. Les écarts sont tous inférieurs à 20 cm
L12					
L13	-20 cm	-15 cm	-12 cm		
L14	-07 cm	-19 cm			
L15		+35 cm	+98 cm		Surestimation de l'inondation généralisée, les écarts sont plus conséquents et soumis à discussion (cf pages suivantes)
L16	+21 cm				
L17					
L18	-17 cm				Limite sur le calage atteinte Bon compromis sur les 3 crues
L19	< -30 cm	-17 cm	> +26 cm		
L20	+30 cm				
					Pas de données suffisantes pour conclure

Tableau 42 : Synthèse des comparaisons entre les résultats des modélisations et les laisses de crues observées

- : Sous-estimation de l'inondation sur les événements
- : Surestimation de l'inondation sur les événements
- : Tendance d'inondation opposée entre les événements : Limite sur le calage
- : Pas de donnée disponible pour observer la tendance de l'inondation

Amont du linéaire de la Voh :

Sur le linéaire amont de la Voh (groupe L1/L2/L3 et groupe L4/L5/L6), le calage est satisfaisant sur les événements considérés compte tenu des incertitudes sur les données (laisses de crue, topographie, hydrologie) et celles de la modélisation : Sur l'événement Beti 96, la surestimation pousse à définir des coefficients de Strickler plus élevés pour la zone considérée afin de favoriser les écoulements et se rapprocher des laisses de crues observées (normalement une zone assez végétalisée). Or dès l'événement Franck 99, une tendance inverse est observée avec une sous-estimation de l'inondation (confirmée sur mars 08). Le calage des coefficients de Strickler est donc optimisé sur la zone et permet sur les 3 événements de conserver des résultats à moins de 30 cm (une laisse à +31 cm). Par ailleurs sur ce secteur l'occupation des sols et la géométrie structurant les écoulements a peu évolué depuis 1996.

Proche du pont de la Voh :

A l'aval immédiat du pont (groupe L7/L8) la tendance montre que l'inondation est sous-estimée, l'écart maximal atteignant 28 cm sur Franck. Toutefois le calage du groupe (L7/L8) est dépendant et fortement influencé par les niveaux obtenus immédiatement à l'amont du remblai routier de la RT1 (L9/L10). Or sur ces 2 laisses la modélisation a tendance à surestimer l'inondation. Toute réduction du niveau à l'amont pour se rapprocher des valeurs de L9/L10 entraînerait une réduction sur L7/L8. Il n'est par ailleurs pas possible de jouer sur le fonctionnement hydraulique du pont (en réduisant les pertes de charges par exemple) puisque le pont n'est pas en charge, et est par ailleurs totalement débordé par la rive droite et la rive gauche. Le calage du modèle sur le secteur du pont ne peut donc plus être optimisé.

La cohérence entre les mesures des échelles L9/L10 est également discutée sur l'événement Beti. La fiabilité/précision de ces laisses est remise en question puisque L10 était mesurée à la cote de 6,44 m NGNC alors que la laisse L9 pourtant située sur le même profil à seulement 120 m de L10 mesurait un niveau supérieur à 6,67 m NGNC. La figure ci-dessous présente la section inondée du profil en travers du cours d'eau et de son lit majeur en rive gauche au droit des laisses L9 et L10. Les altimétries des deux laisses mesurées paraissent incohérentes avec l'écoulement modélisé dont le sens est plutôt orthogonal (angle d'environ 76° avec la route) à la ligne L9-L10 (et à la RT1). Pour pouvoir se caler convenablement sur les deux laisses il faut une pente latérale d'écoulement à 0,29 % (soit un fort écoulement parallèle à la RT1). Par ailleurs la modélisation de la crue Beti avec un hydrogramme réaliste injecté à l'amont (régime transitoire) fournit exactement les mêmes hauteurs d'eau moins 2,5 centimètres sur la zone et ne change donc pas les conclusions de cette analyse.

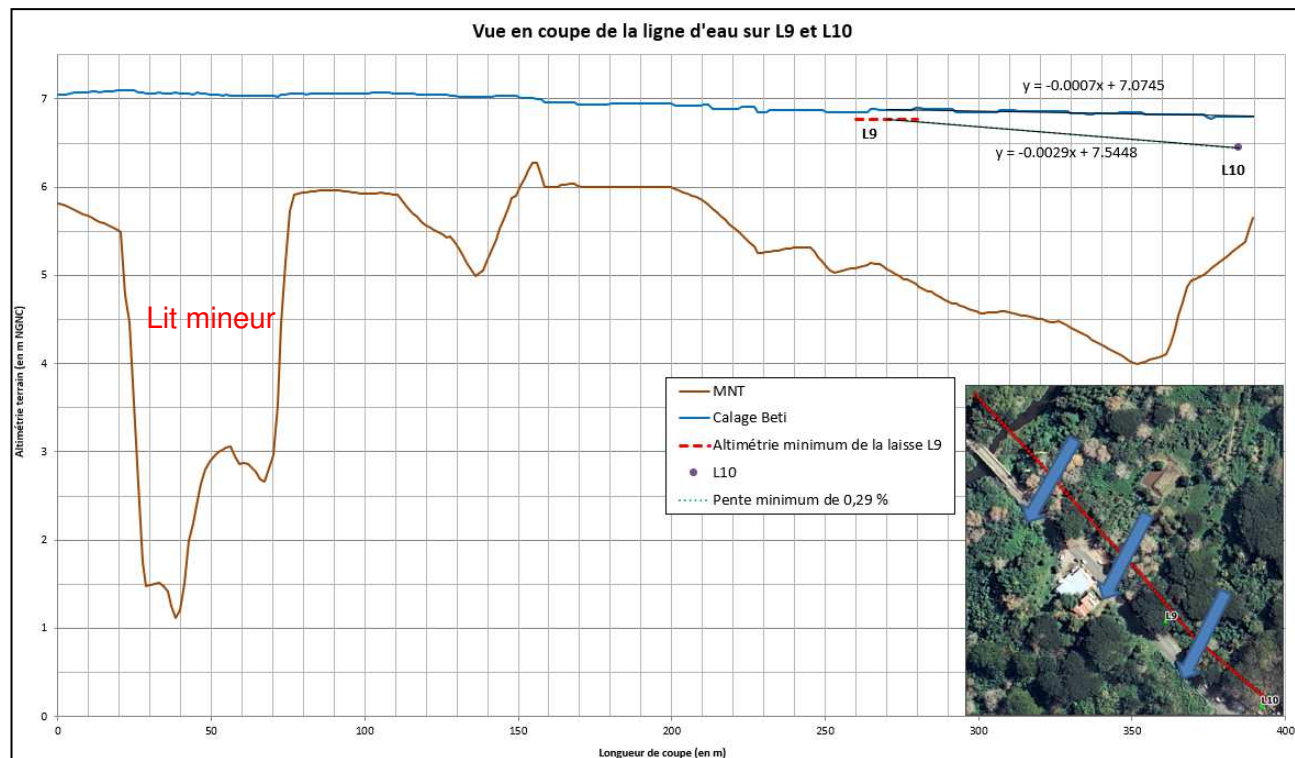


Figure 57 : Section du cours d'eau au droit des laisses L9 et L10 – Beti 96

Aval du linéaire de la Voh :

Sur les crues de calage, une sous-estimation de l'inondation est observée en aval du pont de la Voh sur le groupe de laisse L11/L12/L13/L14 hors zone d'enjeux, les écarts restent néanmoins tous inférieurs à 20 cm.

Malgré cette tendance globale (toutefois faible) à la sous-estimation, le calage sur la zone paraît optimisé pour les raisons suivantes :

- Les coefficients de Strickler sont déjà particulièrement faibles (6 pour les zones de végétation dense type bourao ou mangrove et 15 pour des zones de plaines sans végétation de type plaines deltaïque/supratidale) et les abaisser encore paraît peu cohérent avec l'occupation des sols réellement observée,



Figure 58 : Exemple de plaine deltaïque sans végétation à l'aval du linéaire avec la Voh et sa mangrove en arrière-plan

- Les laisses sont situées en dehors de la zone d'influence de la marée – les écarts ne peuvent donc être expliqués ou ajustés par une différence entre le niveau de marée considéré (niveau par ailleurs considéré comme constant) et l'évolution réelle de la marée lors de l'évènement,
- Il n'existe pas de structure influençant l'écoulement sur laquelle des caractéristiques pourraient être modifiées afin d'optimiser le calage. La route de l'avenue du village est faiblement marquée et ne constitue pas de remblai faisant barrage aux écoulements, elle est par ailleurs prise en compte dans le MNT du modèle.

Amont du linéaire de la Faléane :

Sur les crues de calage, une surestimation de l'inondation est observée sur la Faléane en amont immédiat l'ouvrage 1 de franchissement de la RT1 (groupe L15/L16/L17). Les écarts restent acceptables pour Beti (+21 cm), à la limite pour Franck (+35 cm) mais plus conséquents sur Mars 08 (+98 cm). Plusieurs tentatives non-concluantes ont été menées sur le modèle afin de réduire à la baisse la ligne d'eau au droit de ce secteur :

- Une modification locale au droit de la zone concernée des coefficients de Strickler à la hausse pour favoriser l'écoulement, toutefois ces derniers ont très peu d'influence sur les hauteurs d'eau à l'amont de la RT1,
- Une modification locale à l'amont de la zone concernée des coefficients de Strickler à la baisse afin de limiter les débits de débordement de la Voh allant vers la Faléane,
- Une modification des lois de débitance de l'ouvrage afin d'augmenter sa capacité. La suppression totale du pont entraînerait au mieux une réduction de 50 cm de la ligne d'eau, soit une surestimation de +48 cm sur la crue de Mars 08,

Par ailleurs comme évoquée dans le paragraphe 8.1.3 la fiabilité de la valeur de la laisse L15 sur la crue de Mars 08 est remise en cause pour les raisons suivantes :

- Au droit de l'échelle L15 l'écoulement est contrôlé à l'amont et à l'aval par des remblais routiers se comportant comme des seuils : route municipale 9 (RM9) à l'amont et RT1 à l'aval,
- En particulier la chaussée du remblai routier de la RT1 est calée à une cote d'environ 5,15 m NGNC au droit du pont de la Faléane et ce remblai fait office de barrage aux écoulements de la Faléane. Or même en considérant un modèle sans ouvrage (sans pont avec la section du cours d'eau entièrement libre), le calcul montre que la route surverse pour la crue de Mars 08 et que les niveaux à l'amont sont donc nécessairement supérieurs à 5,15 m NGNC. Or la laisse de crue relevée sur L15 est de 4,65 m NGNC pour la crue de Mars 08. Cette valeur paraît donc hautement improbable étant donné le fonctionnement global du modèle au droit de ce secteur (route RT1) inondé.

A noter que le calage sur la crue de Mars 08 semble contraint par deux sections hydrauliques de contrôles générés par la présence de remblais routiers (agissant comme des seuils) en amont et en aval de la laisse L15 rendant le calage difficile sur la zone d'étude. Un profil en long du débordement de la Voh jusqu'au linéaire de la Faléane est présenté Figure 59.

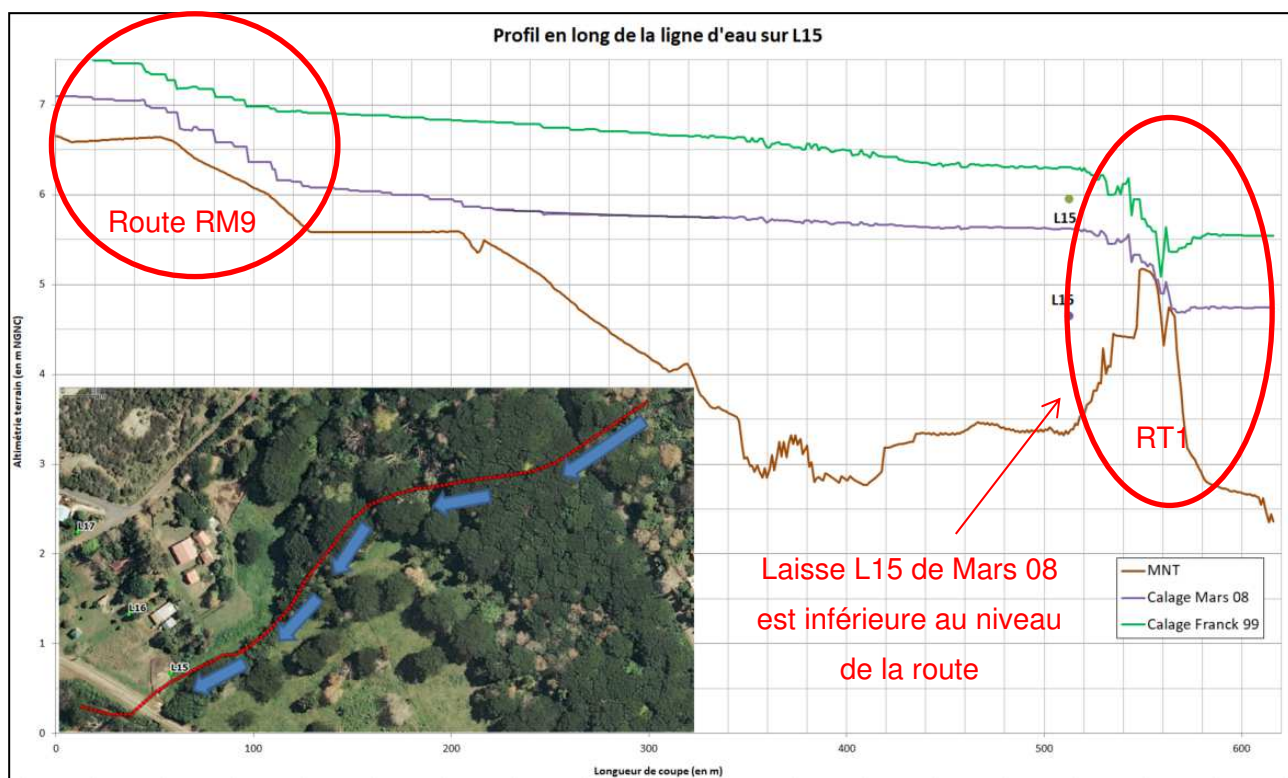


Figure 59 : Profil en long du débordement de la Voh sur la Faléane

Par ailleurs les résultats du modèle sont plutôt cohérents avec les laisses du groupe (L15/L16/L17) sur les autres crues et/ou sur les autres échelles, ce qui renforce la suspicion sur les mesures de L15 pour l'événement de mars 2008. Cette laisse a été considérée comme erronée pour le calage.

Aval du linéaire de la Faléane :

Sur le linéaire aval de la Faléane (groupe L18/L19), le calage est optimal sur les événements considérés. Pour Beti l'inondation est sous-estimée d'au moins 30 cm, pour Franck la crue est sous-estimée de 17 cm et pour Mars 08 la crue est surestimée d'au moins 26 cm. Tout changement de tendance d'écoulement (à la hausse ou la baisse) sur la zone concernée réduirait l'écart pour l'une mais augmenterait l'écart pour l'autre et vice-versa.

Valorisation des laisses de crue de l'enquête terrain ISL :

Tel qu'évoqué dans le paragraphe 8.1.2, seule une unique laisse de crue relevée sur le terrain a pu être intégrée au calage du modèle. Le présent paragraphe cherche à valoriser le reste des laisses en les comparant à posteriori aux résultats du modèles.

Les niveaux altimétriques de trois laisses de crues de l'événement Beti 1996 (P1L4, P1L5 et P1L7) non relevées par le topographe sur site ont fait l'objet d'une estimation grossière. A partir des données topographiques et des observations de terrain (à titre d'exemple la laisse P1L5 a été estimée comme étant 35 cm au-dessus du TN (à 5,45 m NGNC) considéré comme quasiment plat autour de la maison). Ces valeurs n'ont pas été prise en compte dans le calage puisque étant entachées de trop d'incertitude.

L'analyse de la cohérence entre ces relevés de site et la modélisation est réalisée Tableau 43 et Figure 60,

N°	Niveau d'eau de la modélisation Beti 1996 (en m NGNC)	Laisses de crue valorisables (en m NGNC)	Commentaire et cohérence
P1L1	6.61	Esau 1992 : 7.28	Non exploitable mais incohérente avec le relevé P1L9 située à 100 mètres en amont. Dans les anciennes laisses de crues DAVAR disponibles cette laisse était mesurée à 6,43 m NGNC.
P1L2	4.14	Non identifié (1986 ou 1988) : 3.977	Non exploitable
P1L3 (=L20)	4.89	Beti 1996 : 4.591 Allison 1975 : 4.233	Laisse relevée par le topographe et utilisée dans le calage : surestimation de l'inondation
P1L4	8.00	Beti 1996 : N.A <i>Estimation grossière</i> <i>ISL : 7,87</i>	Plutôt cohérent
P1L5	5.68	Beti 1996 : N.A <i>Estimation grossière</i> <i>ISL : 5,80</i>	Plutôt cohérent
P1L6	5.34	Non identifié (Beti ou Esau) : 6.581	Non exploitable
P1L7	6.40	Beti 1996 : N.A	Non exploitable Pas d'estimation possible : Altimétrie du TN autour du bâtiment trop incertaine
P1L8	8.12	N.A	Non exploitable
P1L9	6.78	Esau 1992 : 6.505	Non exploitable mais incohérente avec le relevé P1L1 située à 100 m en aval

Tableau 43 : Valorisation des laisses de crue de l'enquête terrain ISL



- : Cohérent avec sous-estimation par rapport à l'inondation
- : Cohérent avec surestimation par rapport à l'inondation

Figure 60 : Valorisation - Localisation des laisses de crue de l'enquête terrain ISL

Sources d'incertitudes d'une modélisation hydraulique :

Le calage du modèle numérique sur les observations de terrains a pour objectif de rendre les calculs de ce modèle les plus fidèles possible au fonctionnement réel du cours d'eau et sa dynamique d'inondation.

Néanmoins de multiples sources d'incertitudes sont présentes et les résultats du modèle sont à prendre avec du recul, en considérant les incertitudes et la précision des résultats inhérentes à ce type de modèle. Les causes identifiées de ces incertitudes comprennent entre autres :

- Les incertitudes inhérentes aux données hydrologiques,
- Les incertitudes liées aux laisses de crues utilisées pour le calage du modèle (discutées dans le paragraphe 8.1.1),
- La précision des données topographiques utilisées (densités des points et des profils).
- La précision de la modélisation (taille des mailles, loi de calcul),
- Les simplifications liées à la définition de l'occupation des sols en grande catégorie,
- Les incertitudes liées aux variations de la géométrie physique des lieux au cours du temps,
- Les incertitudes sur les conditions limite aval à considérer (aléa de la concomitance des marées et des crues),
- Les aléas liés aux éventuelles singularités observées lors des évènements historiques utilisés pour le calage (embâcles, état de la végétation, etc...)

Les analyses de sensibilités réalisées dans la section suivante, ont pour objectif de contrôler certaines de ces sources d'incertitudes et d'évaluer l'ampleur potentielle de leurs influences.

9 ANALYSES DE SENSIBILITE DU MODELE

Les analyses de sensibilité du modèle permettent d'apprécier l'effet dû à certaines hypothèses ou incertitudes sur les résultats du modèle et par conséquent sur la cartographie qui sera réalisée en phase 3.

L'ensemble des analyses de sensibilité, sont réalisées par rapport à une « modélisation 0 » considérée comme état de référence : modélisation de l'évènement de Beti 1996 à l'issue du calage dont l'ensemble des hypothèses et données d'entrée sont présentées dans la partie 7.

9.1 ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE AUX CONDITIONS LIMITE AVAL DE MAREE – CRUE BETI

Une analyse de sensibilité du modèle au choix de la condition limite aval est réalisée pour l'épisode de crue de Beti 96. Deux conditions limites aval extrêmes sont considérées ainsi que la condition limite aval historique sur Beti 96, trois modélisations sont réalisées :

- modélisation 0 : la condition limite aval constante est égale au niveau maximal mesuré le jour de l'évènement : **0,73 m NGNC**,
- modélisation 1 : la condition limite aval constante est égale à la cote **1,4 m NGNC**, valeur usuellement utilisées dans les études hydrauliques en Nouvelle-Calédonie, correspondant à une valeur de marée haute (PHMA : Plus Haute Mer Astronomique) majorée par une surcote cyclonique,
- modélisation 2 : la condition limite aval constante est égale à la cote PBMA (Plus Basse Mer Astronomique) mesurée sur la zone la plus proche « Baie Chasseloup » : **- 0,55 m NGNC**.

Tous les autres paramètres du modèle sont conservés à l'identique pour les modélisations :

- Topographie : état actuel (cf Etat actuel 7.3.1),
- Rugosité : jeu de coefficient de calage (cf 7.8),
- Conditions d'écoulement sous les ponts : pas d'embâcles,
- Débits de pointe constants de l'épisode Beti, injectés à l'amont sur la Voh et la Faléane.

L'impact de la variation de la condition limite aval sur les hauteurs d'eau maximales atteintes au cours de l'épisode Beti est représenté :

- sur les profils en long, Figure 61,
- sur la vue en plan, Figure 62.

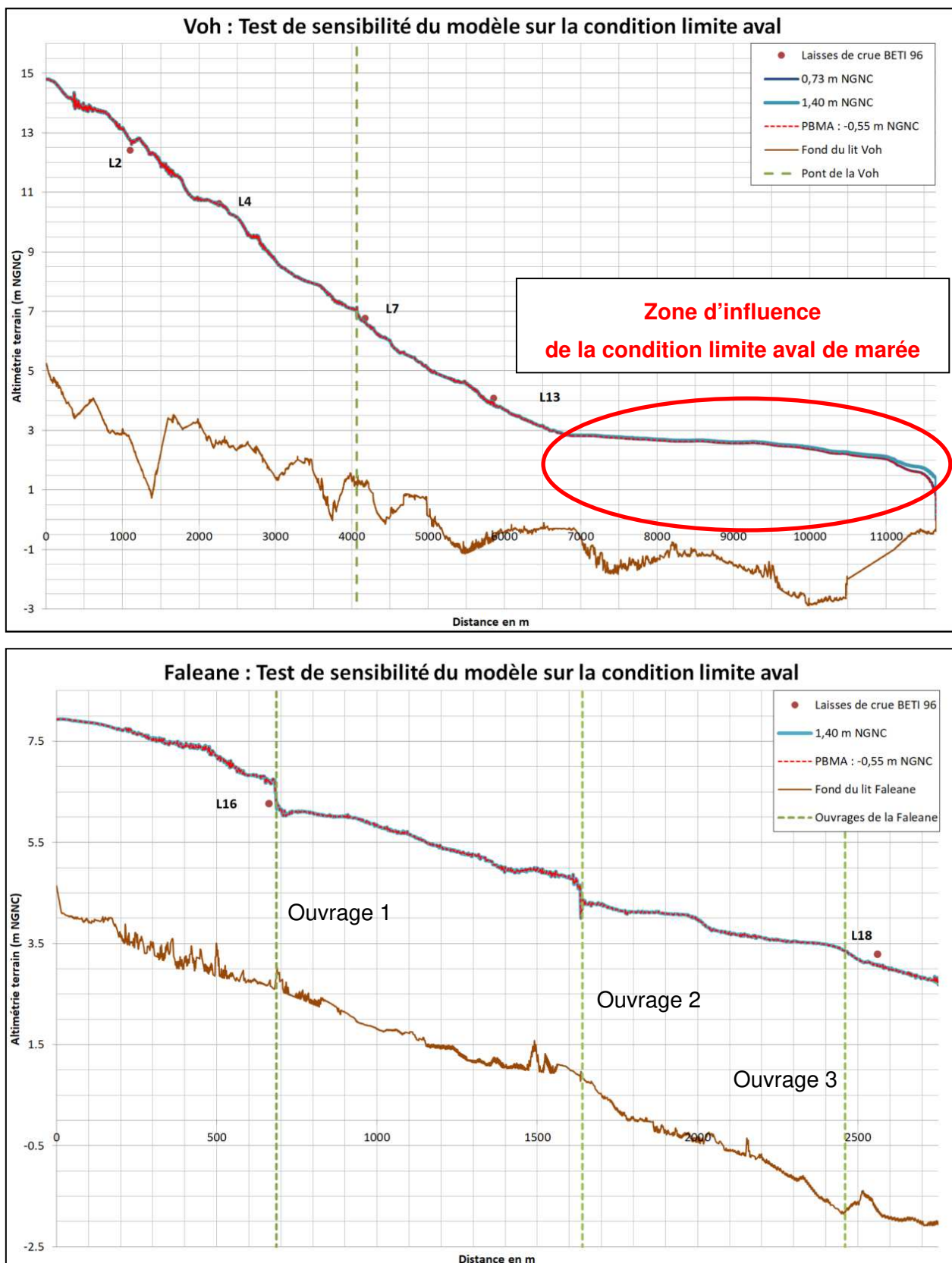


Figure 61 : Profils en long sur les plus hautes eaux - test de sensibilité de la condition limite aval –
Crue Beti 1996

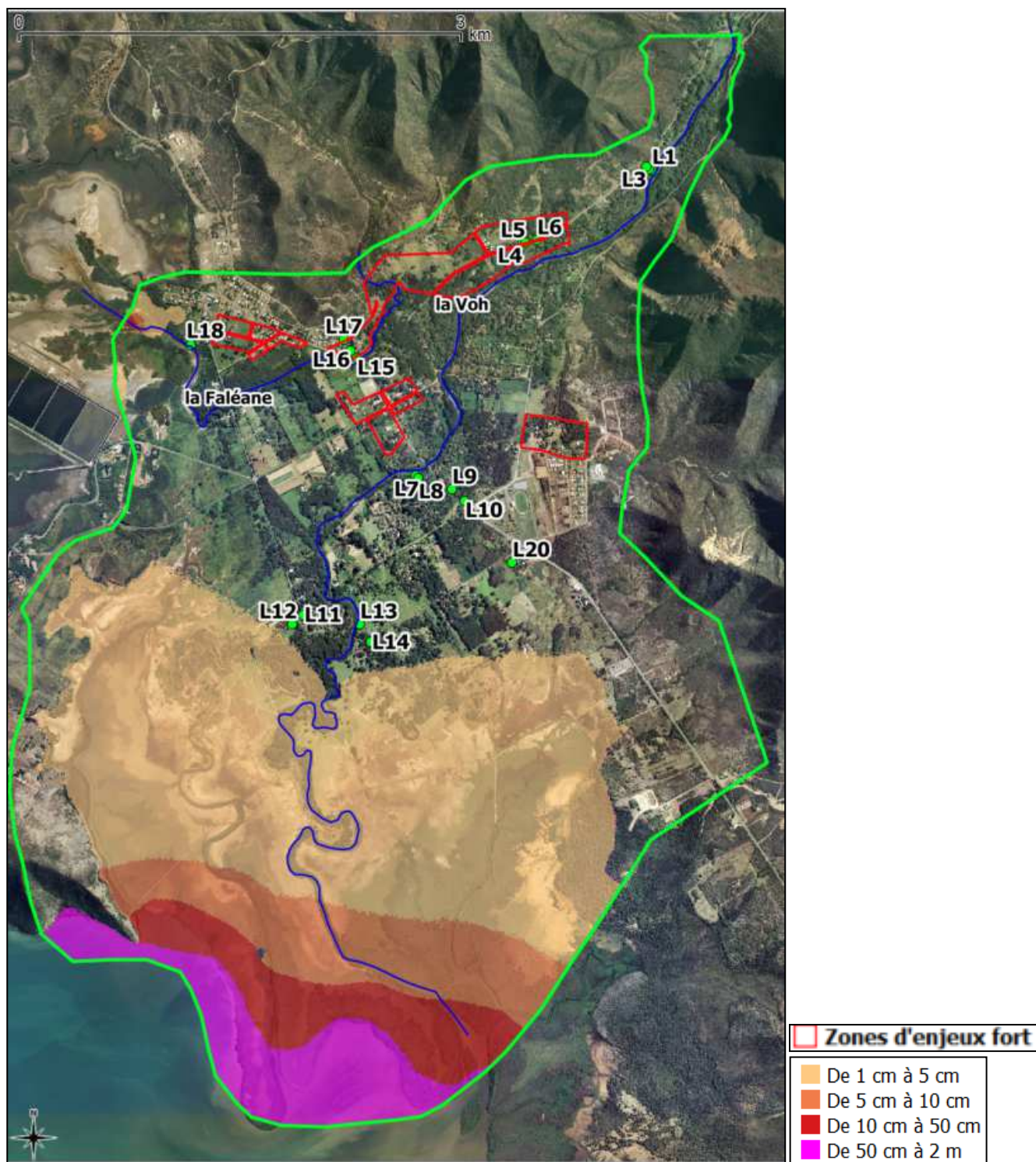


Figure 62 : Carte des impacts sur les différences hauteurs d'eau maximales atteintes en passant d'une condition limite aval de 1,4 m NGNC à PBMA (- 0,55 m NGNC) – Crue Beti 1996

L'écart entre les lignes d'eau induit par le changement de condition limite aval entre la modélisation 2 (PBMA : - 0.55 m NGNC) et la modélisation 0 (marée maximale atteinte lors de l'événement de Beti : 0.73 m NGNC), s'atténue assez rapidement, à 150 m de la condition aval du modèle les lignes d'eau calculées pour ces deux modélisations sont inférieures à 1 cm (cf Figure 63).

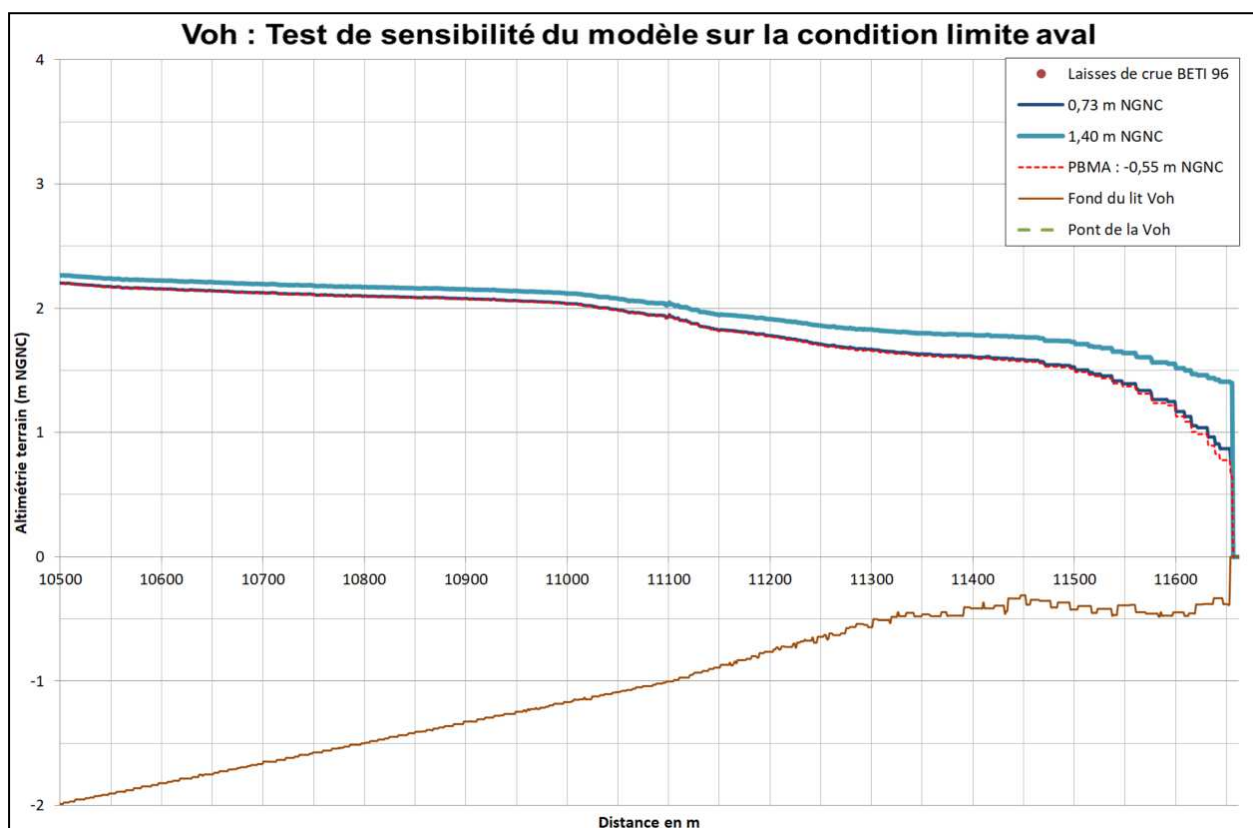


Figure 63 : Profils en long de la Voh des plus hautes eaux sur le dernier kilomètre modélisé à l'aval - test de sensibilité de la condition limite aval – Crue Beti 1996

L'influence de la marée haute s'étend jusqu'à 5.5 km en amont de la frontière aval du modèle.

Les hauteurs d'eau au niveau des zones d'enjeux prioritaires ne sont pas influencées par les conditions limites aval de marée. Les laisses de crues L11, L12, L14 se situent à la limite de la zone de faible impact (variation des niveaux d'eaux entre 1 cm à 5 cm). Au maximum 3 bâtiments dans la zone de faible impact sont dénombrés. Aucune habitation n'est repérée dans des zones où les impacts dépassent les 5 cm, proche du littoral, présentées dans la Figure 62.

Etant donné le faible impact de la cote de marée considérée en condition limite aval du modèle sur les zones d'enjeux prioritaires, et afin de rester sécuritaire dans l'évaluation des zones inondables, les conditions limites aval seront prises égales aux valeurs usuellement utilisées dans les études hydrauliques en Nouvelle-Calédonie correspondant à une valeur de marée haute majorée par une surcote cyclonique, à savoir :

- 1,1 m NGNC pour les crues de période de retour 5 et 10 ans ;
- 1,4 m NGNC pour les crues de période de retour 100 ans.

9.2 ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE SUR L'EXTENSION DE LA CONDITION LIMITE AVAL LIQUIDE DE LA VOH – CRUE BETI

Une analyse de sensibilité du modèle à l'extension de la frontière liquide (limite sur laquelle un écoulement peut avoir lieu) sur la condition limite aval est réalisée pour l'épisode de crue de Beti 96. Deux extensions de la frontière liquide aux conditions limites aval sont considérées sur Beti 96, deux modélisations sont lancées :

- modélisation 0 : Frontière définie à la section 7.4 dont la condition limite aval constante est égale au niveau maximal mesuré le jour de l'évènement : 0,73 m NGNC,
- modélisation 1 : Extension de la frontière jusqu'à l'endroit où le modèle numérique de terrain est supérieur à 1,4 m NGNC (cote maximale de la condition aval imposée pour la crue centennale) L'extension de la frontière à la condition limite aval est visible en rose ci-dessous :



Figure 64 : Extension de la frontière à la condition limite aval de la Voh

Tous les autres paramètres du modèle sont conservés à l'identique pour les modélisations :

- Topographie : état actuel (cf 7.3.1),
- Rugosité : jeu de coefficient de calage (cf 7.8),
- Conditions d'écoulement sous les ponts : pas d'embâcles,
- Débits de pointe constants de l'épisode Beti, injectés à l'amont sur la Voh et la Faléane.

L'impact de la variation de la frontière à la condition limite aval sur les différences de hauteurs d'eau atteintes au cours de l'épisode Beti est représenté sur la vue en plan en Figure 65,

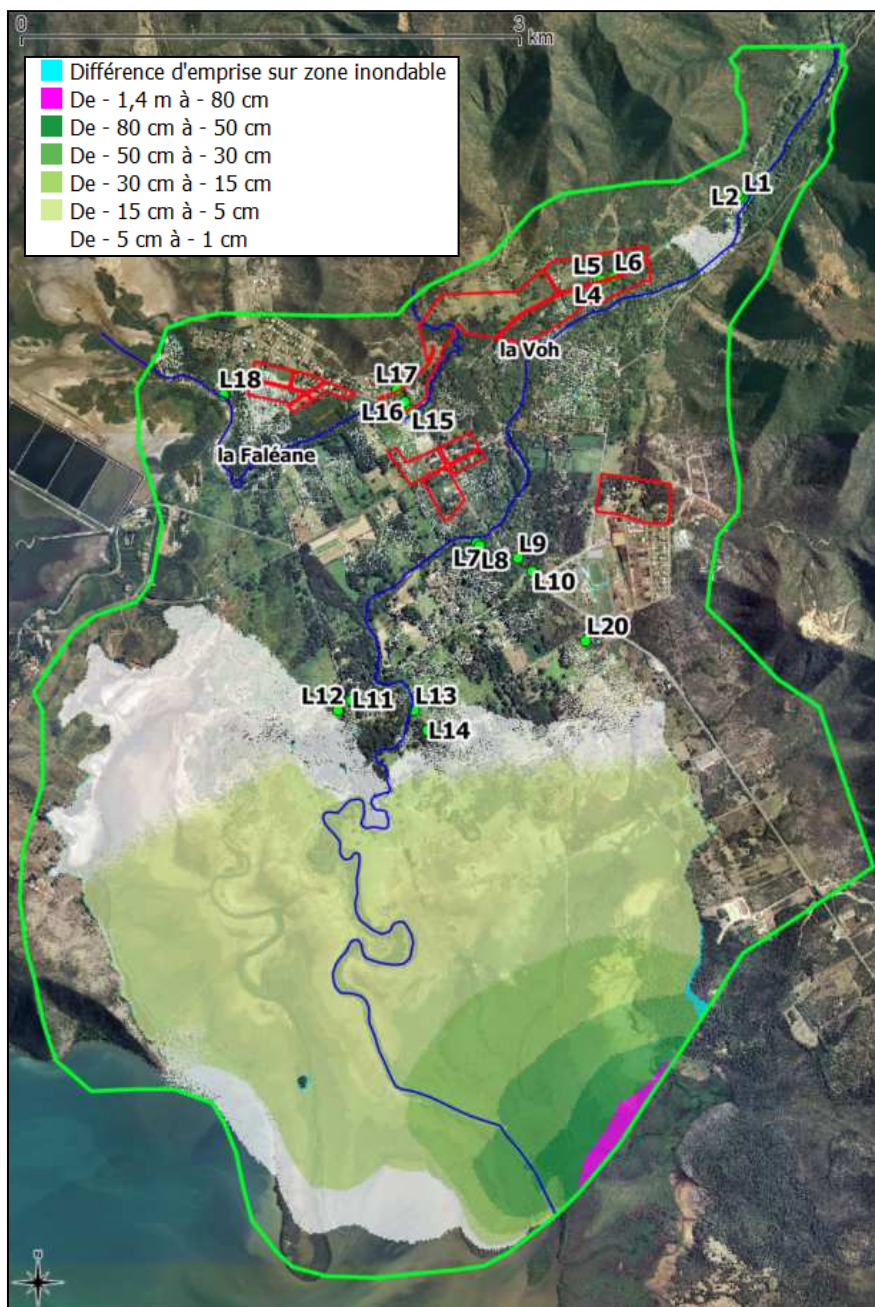


Figure 65 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant la frontière à la condition limite aval – Crue Beti 1996

Les impacts de plus de 15 cm restent localisés sur une zone proche de l'extension de la frontière à la condition limite aval (zone de mangrove et plaine deltaïque). L'impact décroît rapidement en s'éloignant de cette frontière. L'impact maximal est une diminution maximale de 1,4 m localement à la frontière aval étendue.

Aucune laisse de crue et aucune zone d'enjeux ne sont influencées de plus de 1 cm par l'extension de la frontière à la condition limite aval.

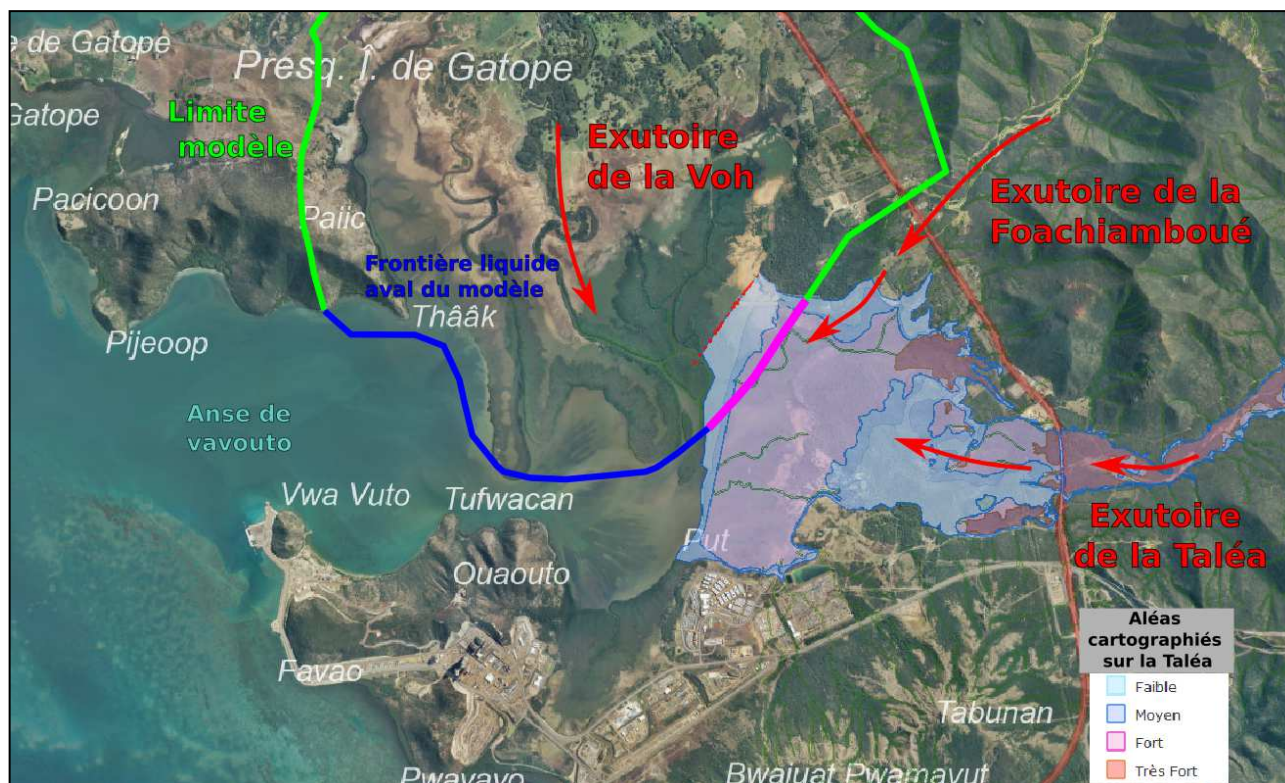


Figure 66 : Localisation des potentiels apports des bassins voisins au niveau de l'Anse de Vavouto et zone d'aléa cartographié pour le creek Taléa (« Coco »)

La définition de cette frontière liquide aval reste incertaine notamment du fait de la présence dans l'anse de Vavouto des exutoires des bassins-versants voisins de la Foachiamboué et de la Taléa. En cas d'absence de crue sur ces bassins versants, une partie du débit de crue de la Voh pourrait être évacuée par cette frontière et ainsi réduire les hauteurs d'eau localement tel que présenté ci-dessus. Toutefois en cas de concomitance de crue entre le bassin de la Voh et les bassins voisins suscités (par exemple en cas de dépression cyclonique et de pluie généralisée sur la chaîne) des écoulements non pris en compte dans le modèle et issus de ces BVs pourraient interférer avec la bonne évacuation des débits de la Voh (malgré la taille moindre de ces BVs). La cartographie issue de l'étude du creek Taléa (ou « Coco ») d'août 2009 par A2EP montre que la zone inondée pour la crue centennale de ce creek se superpose partiellement avec l'emprise du modèle de la Voh au droit de la zone d'extension étudiée.

Afin de ne pas négliger ces apports des bassins voisins, rester sécuritaire et étant donné le faible impact sur les hauteurs d'eau au droit des zone d'enjeux, il est proposé de ne pas retenir l'extension de la frontière liquide à la condition limite aval dans la suite des modélisations.

9.3 ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE SUR LA VARIABILITE DES DEBITS DE POINTES – CRUE BETI

Une analyse de sensibilité du modèle à la variation des débits de pointes est réalisée pour l'épisode de crue de Beti 96. Deux variations sur les débits d'injections à $\pm 25\%$ sont considérées sur la crue de Beti 96, trois modélisations sont lancées :

- modélisation 0 : débits de pointe constants de l'épisode Beti injectés à l'amont sur la Voh et la Faléane : **2824 m³/s** pour la Voh et **58 m³/s** pour la Faléane,
- modélisation 1 : +25 % sur les débits de pointe de l'épisode Beti injectés à l'amont sur la Voh et la Faléane : **3530 m³/s** pour la Voh et **73 m³/s** pour la Faléane,
- modélisation 2 : -25 % sur les débits de pointe constants de l'épisode Beti injectés à l'amont sur la Voh et la Faléane : **2118 m³/s** pour la Voh et **44 m³/s** pour la Faléane.

Tous les autres paramètres du modèle sont conservés à l'identique pour les modélisations :

- Topographie : état actuel (cf 7.3.1),
- Rugosité : jeu de coefficient de calage (cf 7.8),
- Conditions d'écoulement sous les ponts : pas d'embâcles,
- Condition limite aval du modèle constante : égale au niveau maximal mesuré le jour de l'évènement.

L'impact de la variation des débits de pointes sur les hauteurs d'eau maximales atteintes au cours de l'épisode Beti est représenté :

- sur les profils en long, Figure 67,
- sur les vues en plan, Figure 68 et Figure 69.

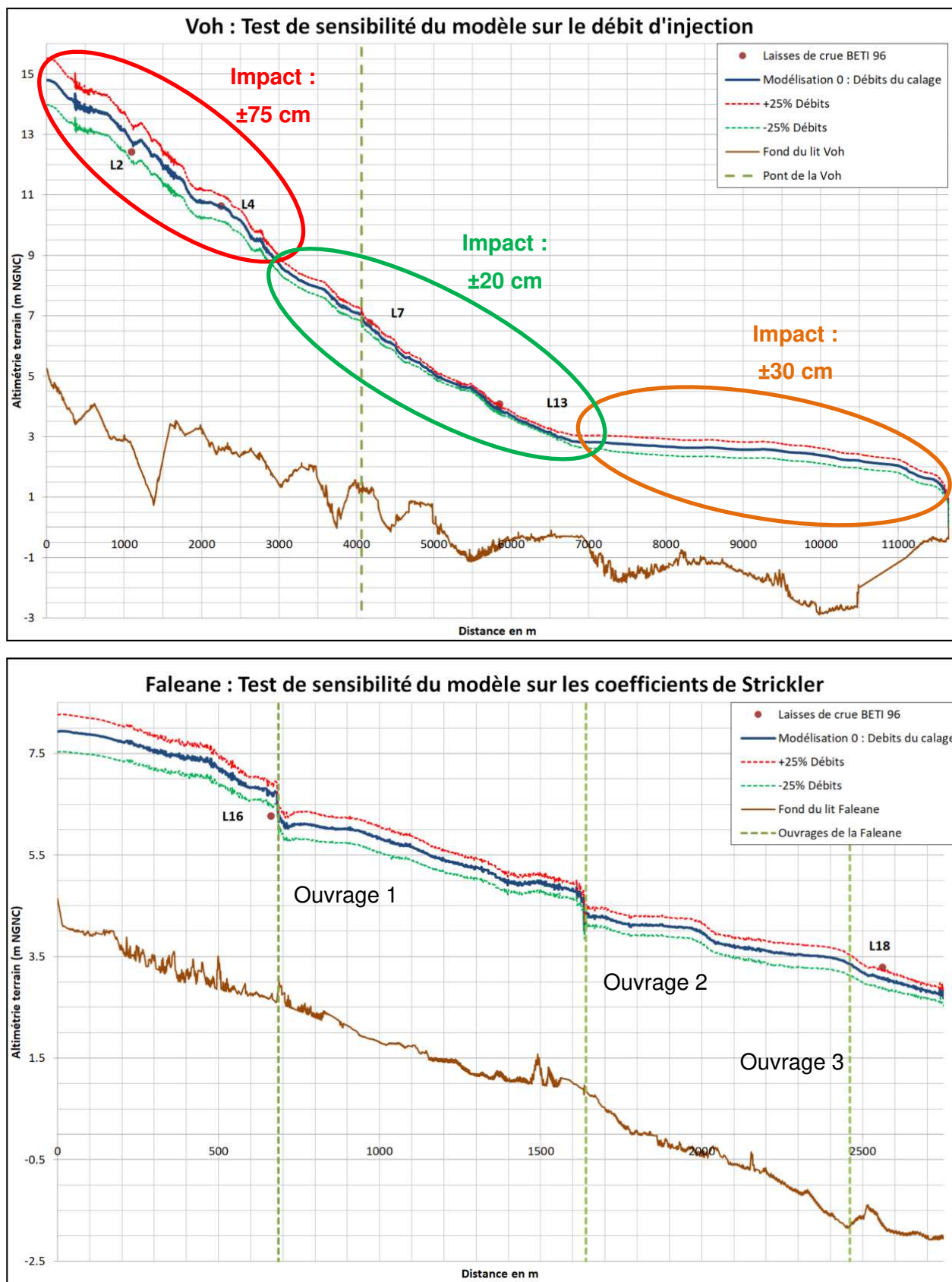


Figure 67 : Profils en long sur les plus hautes eaux - test de sensibilité des débits de pointes injectés
– Crue Beti 1996

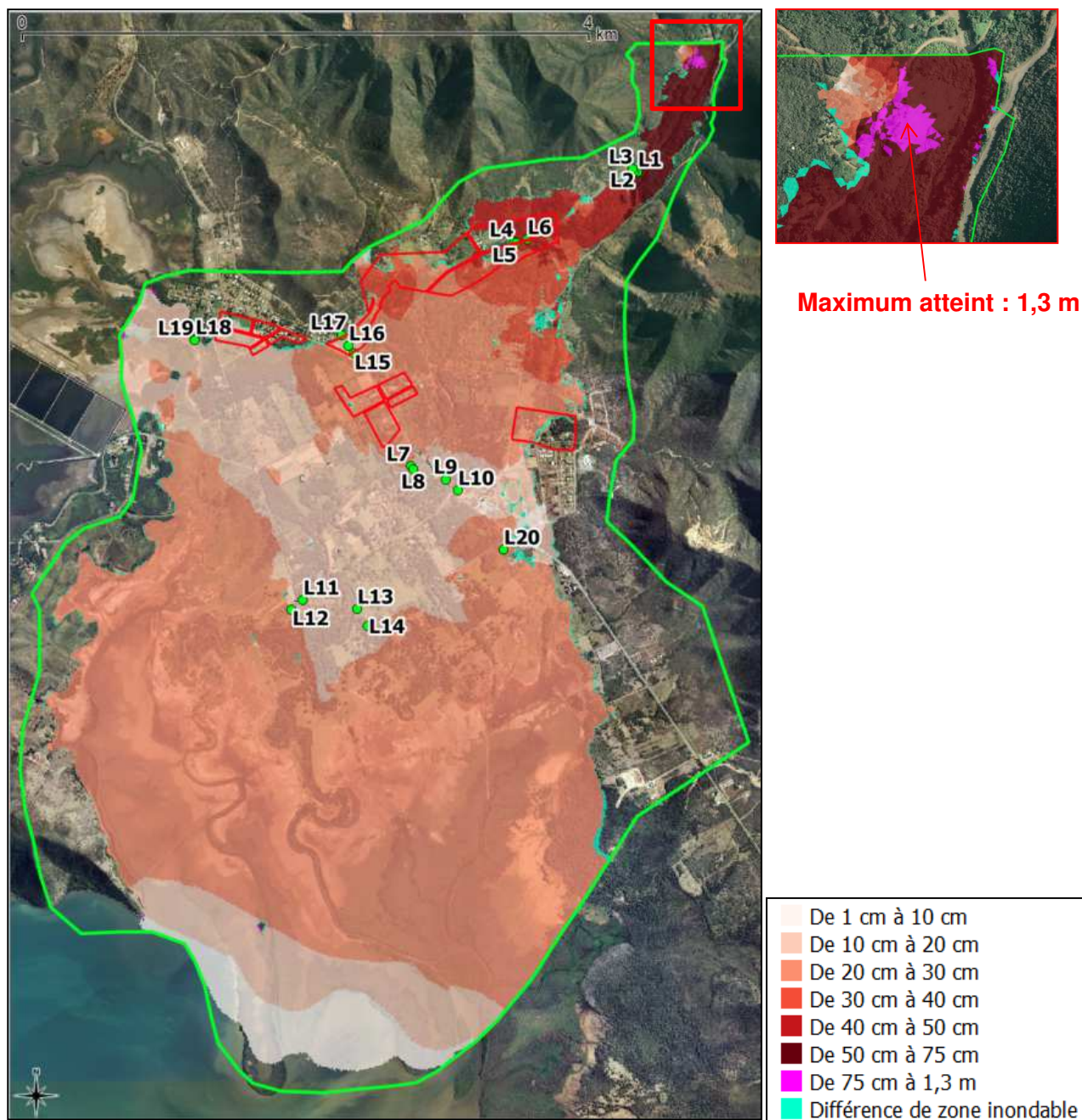


Figure 68 : Carte des différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant de +25% le débit de crue – Crue Beti 1996

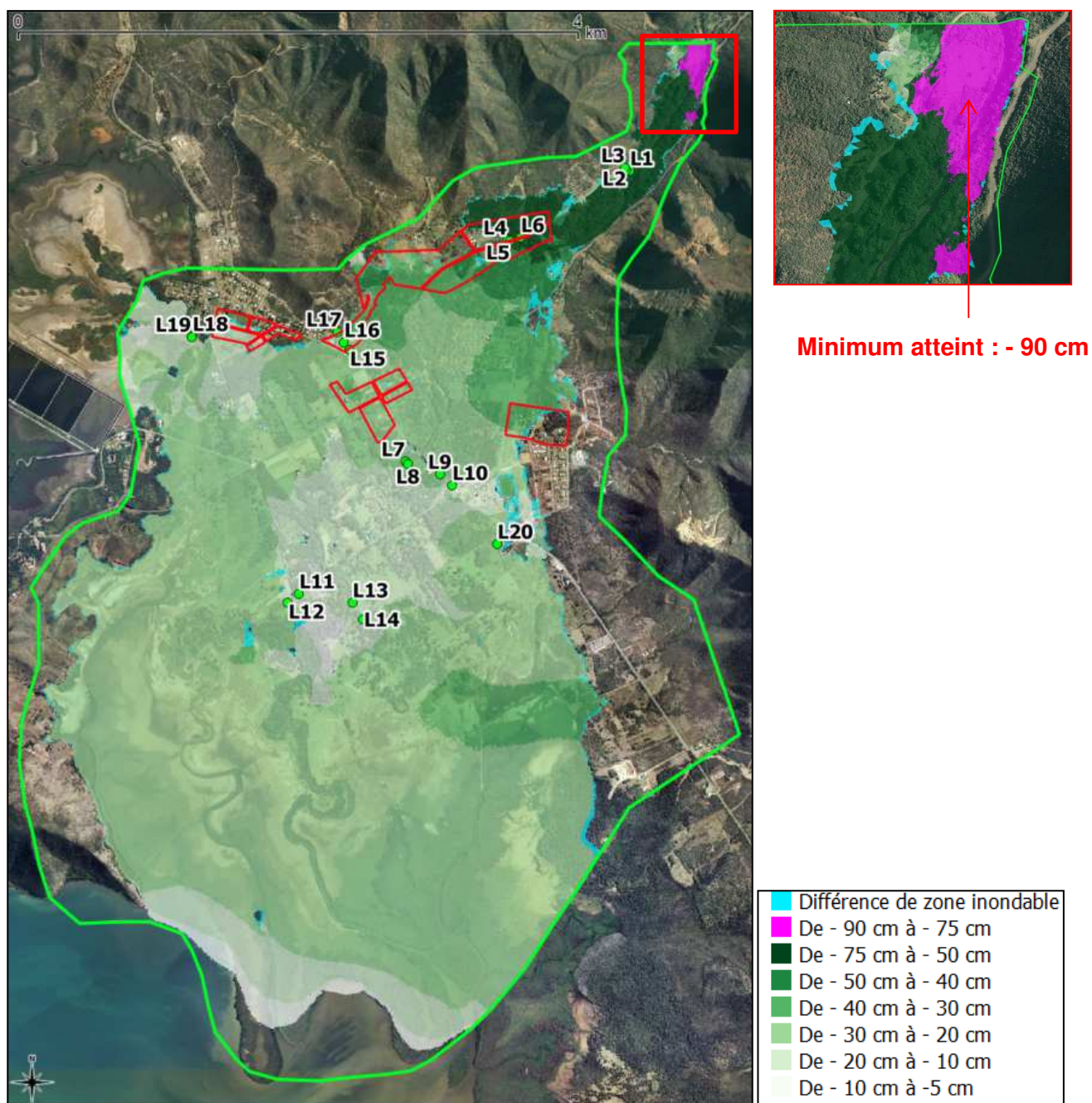


Figure 69 : Carte des différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en diminuant de -25% le débit de crue – Crue Beti 1996

Logiquement, l'augmentation des débits d'injection sur la zone d'étude augmente les hauteurs d'eau maximales atteintes, à l'inverse une diminution des débits d'injection sur la zone d'étude diminue les hauteurs d'eau maximales atteintes par rapport à la modélisation 0 de calage.

L'augmentation ou la réduction des hauteurs d'eau calculée est quasiment symétrique par rapport à l'état initial (l'impact est légèrement plus prononcé pour la réduction de débit). A l'aval du PM 2500, une variation de ± 25 % du débit entraîne une variation des niveaux compris entre ± 10 et 30 cm. Dans la section la plus étroite de la vallée (à l'amont du PM 2500) l'impact sur les hauteurs d'eau augmente progressivement de l'aval vers l'amont pour atteindre des valeurs de l'ordre du mètre.

Le tableau ci-dessous regroupe les impacts localement aux différentes laisses de crue du calage :

Nom ISL	Impacts sur +25% des débits	Impacts sur -25% des débits
L1	+54 cm	-66 cm
L2	+50 cm	-67 cm
L3	+50 cm	-57 cm
L4	+42 cm	-52 cm
L5	+42 cm	-56 cm
L6	+42 cm	-53 cm
L7	+20 cm	-21 cm
L8	+19 cm	-21 cm
L9	+18 cm	-21 cm
L10	+17 cm	-20 cm
L11	+17 cm	-15 cm
L12	+19 cm	-16 cm
L13	+15 cm	-12 cm
L14	+16 cm	-15 cm
L15	+18 cm	-22 cm
L16	+17 cm	-22 cm
L17	Aucun impact : Hors d'eau	Aucun impact : Hors d'eau
L18	+17 cm	-22 cm
L19	+16 cm	-19 cm
L20	+24 cm	-26 cm

X : Ecart de plus de 30 cm

X : Ecart entre 20 et 30 cm

X : Ecart de moins de 20 cm

Tableau 44 : Impact de la variation des débits d'injection à ± 25 % sur les hauteurs d'eau maximale atteintes au niveau des laisses de crue

Globalement, le modèle réagit fortement à la variation des débits d'injections (en moyenne à ± 29 cm sur les laisses de crue) où la partie amont est la plus sensible à ces variations (jusqu'à environ ± 1 m). Cette sensibilité du modèle aux débits injectés est une source importante d'incertitude sur le calage de ce dernier et confirme la nécessité de le réaliser sur le plus grand nombre de crues historiques disponibles, d'où l'importance de disposer de repères de plus hautes eaux pour les crues historiques (à travers des campagnes de terrain post-crues) et dans la mesure du possible de mesures des débits en continu (station limnimétrique).

9.4 ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE SUR LES COEFFICIENTS DE STRICKLER – CRUE BETI

Une analyse de sensibilité du modèle à la variation des coefficients de Strickler est réalisée pour l'épisode de crue de Beti 96. Deux variations sur les coefficients de Strickler à $\pm 20\%$ sont considérées sur la crue de Beti 96, trois modélisations sont lancées :

- modélisation 0 : Jeu de coefficients de Strickler du calage présenté en section 7.8.3,
- modélisation 1 : +20 % sur les coefficients de Strickler de calage,
- modélisation 2 : -20 % sur les coefficients de Strickler de calage.

Tous les autres paramètres du modèle sont conservés à l'identique pour les modélisations :

- Topographie : état actuel (cf 7.3.1),
- Conditions d'écoulement sous les ponts : pas d'embâcles,
- Condition limite aval du modèle constante : égale au niveau maximal mesuré le jour de l'évènement,
- Débits de pointe constants de l'épisode Beti, injectés à l'amont sur la Voh et la Faléane.

L'impact de la variation des coefficients de Strickler sur les hauteurs d'eau maximales atteintes au cours de l'épisode Beti est représenté :

- sur les profils en long, Figure 70,
- sur les vues en plan, Figure 71 et Figure 72.

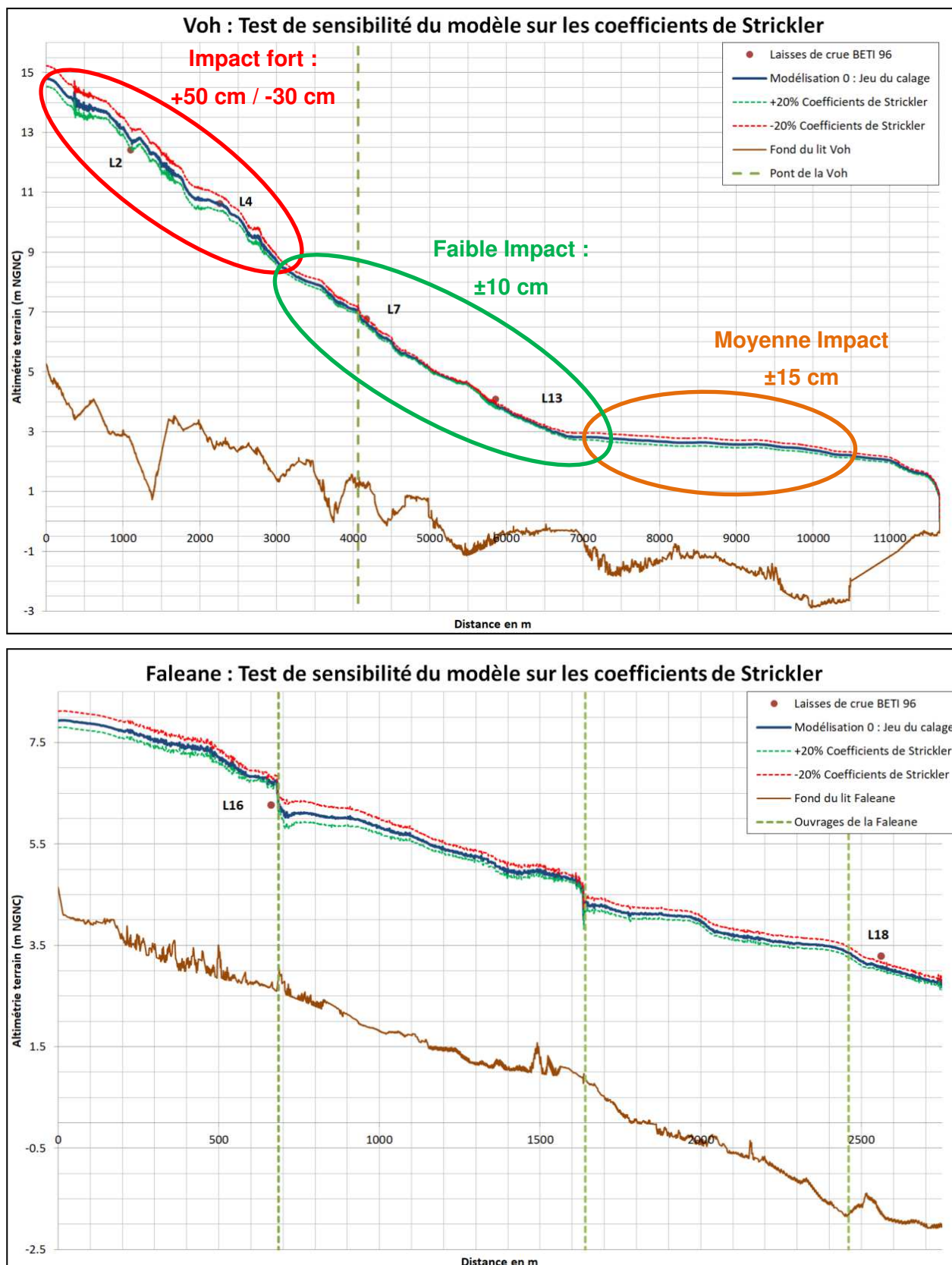


Figure 70 : Profils en long sur les plus hautes eaux - test de sensibilité des coefficients de Strickler – Crue Beti 1996

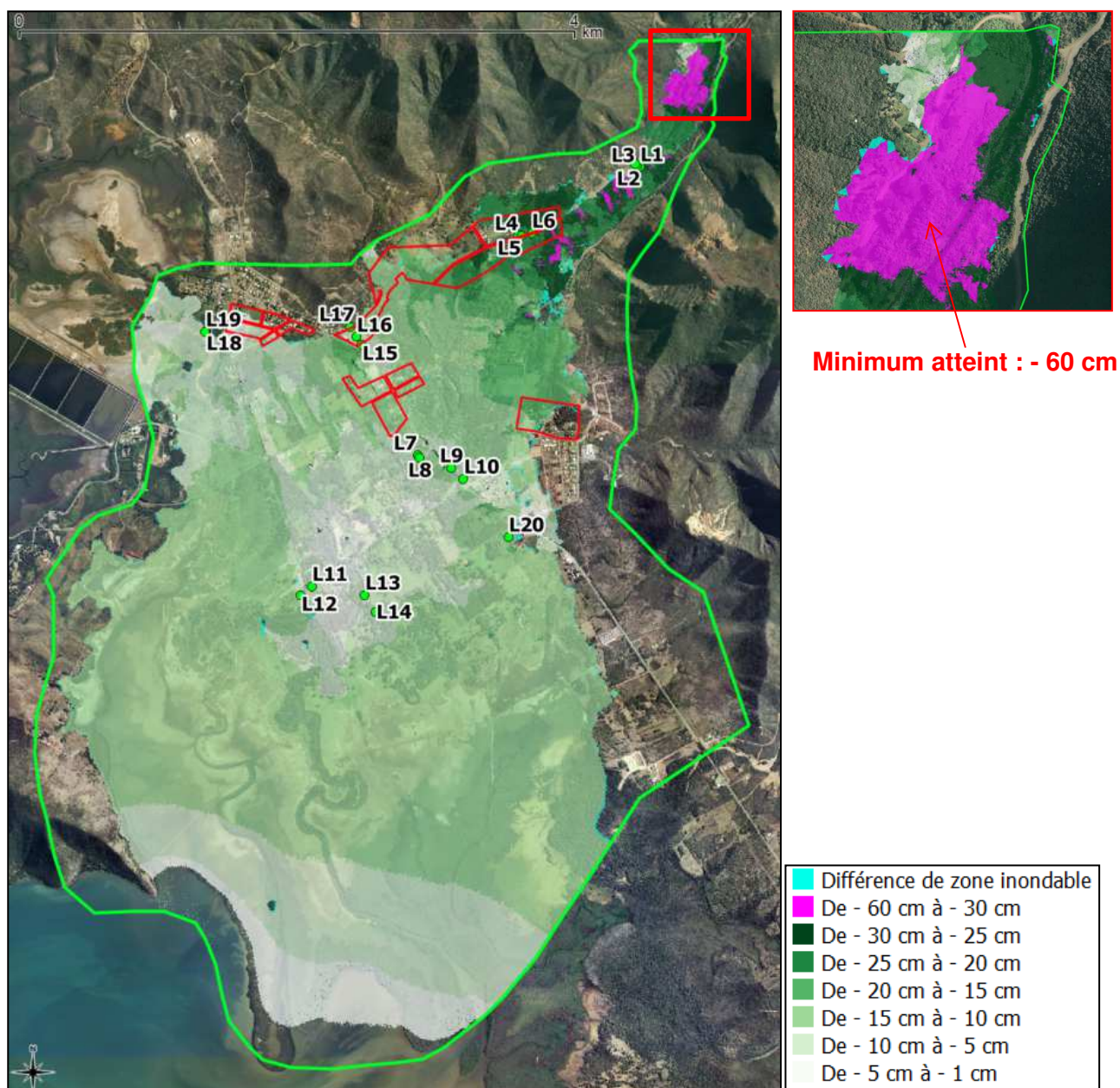


Figure 71 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant de +20% les coefficients de Strickler– Crue Beti 1996

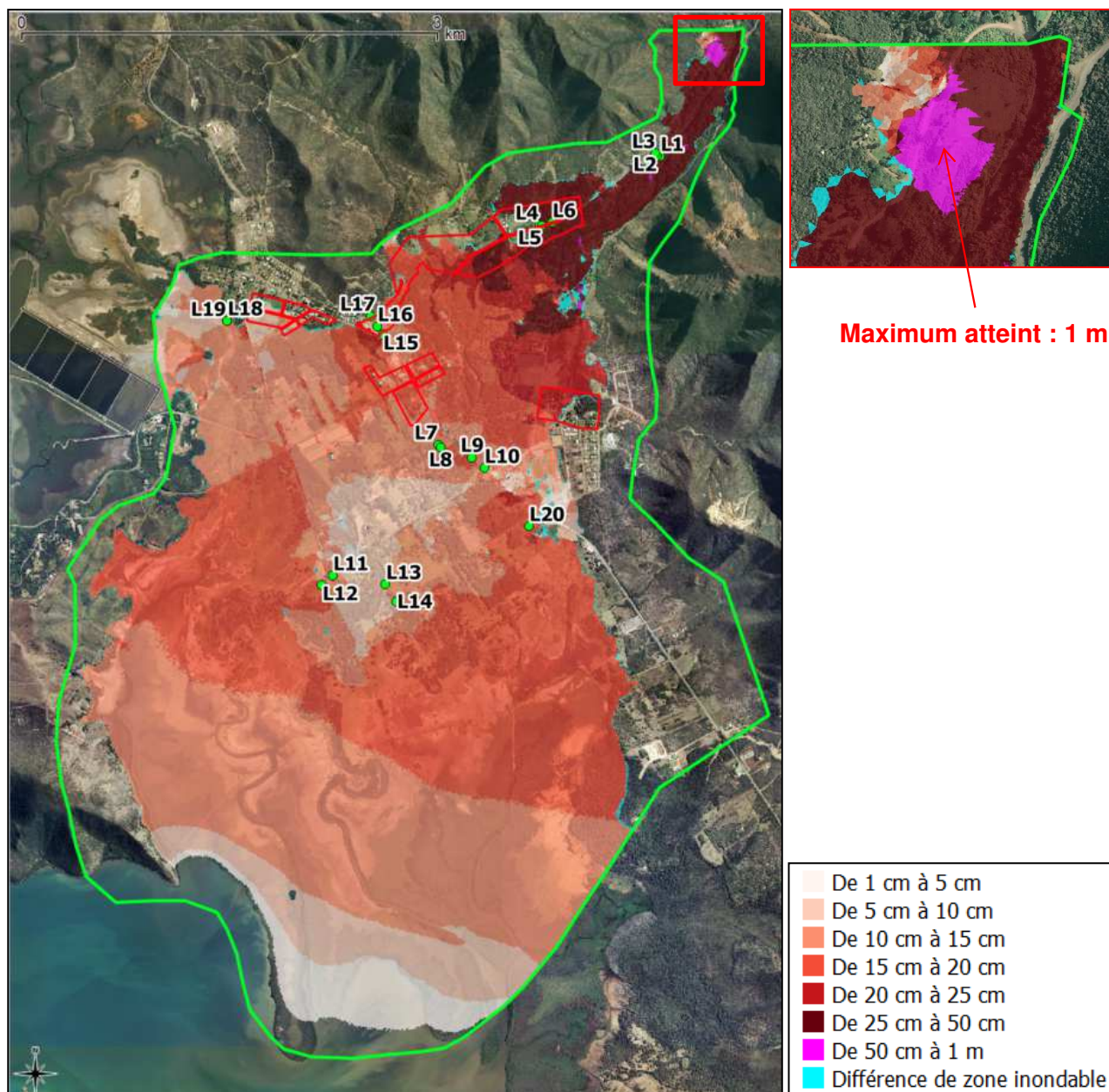


Figure 72 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en diminuant de -20% les coefficients de Strickler- Crue Beti 1996

L'augmentation des coefficients de Strickler sur la zone d'étude qui correspond à une diminution de la rugosité et des frottements diminue les hauteurs d'eau maximales atteintes, à l'inverse une diminution des coefficients de Strickler sur la zone d'étude augmente les hauteurs d'eau maximales atteintes par rapport à la modélisation 0 de calage.

Globalement sur la zone d'étude la variation des hauteurs d'eau maximales est de +20 cm dans le cas d'une diminution des coefficients de Strickler et à l'inverse de -15 cm dans le cas d'une augmentation des coefficients de Strickler. Dans la vallée en amont les impacts sont plus conséquents avec des écarts au maximum de +1 m et au minimum de -60 cm atteint à l'extrémité amont du modèle.

Le tableau ci-dessous regroupe les impacts aux droits des différentes laisses de crue:

Nom ISL	Impacts sur +20% Strickler	Impacts sur -20% Strickler
L1	-29 cm	+42 cm
L2	-28 cm	+40 cm
L3	-22 cm	+36 cm
L4	-22 cm	+29 cm
L5	-23 cm	+29 cm
L6	-24 cm	+32 cm
L7	-9 cm	+14 cm
L8	-10 cm	+14 cm
L9	-10 cm	+14 cm
L10	-9 cm	+13 cm
L11	-6 cm	+12 cm
L12	-7 cm	+13 cm
L13	-6 cm	+9 cm
L14	-6 cm	+10 cm
L15	-7 cm	+12 cm
L16	-8 cm	+12 cm
L17	Aucun impact : Hors d'eau	Aucun impact : Hors d'eau
L18	-9 cm	+10 cm
L19	-7 cm	+10 cm
L20	-13 cm	+18 cm

X : Ecart de plus de 20 cm

X : Ecart entre 10 et 20 cm

X : Ecart de moins de 10 cm

Tableau 45 : Impact de la variation des coefficients de Strickler à ± 20 % sur les hauteurs d'eau maximale atteintes au niveau des laisses de crue

L'augmentation des coefficients de Strickler entraîne des variations plus faibles par rapport à une diminution des coefficients de Strickler.

L'augmentation des coefficients de Strickler conduit à une ligne d'eau systématiquement inférieure aux laisses de crue et inversement pour la diminution des coefficients de Strickler.

En comparaison du test précédent sur les débits d'injection, la modélisation réagit un peu plus faiblement à la variation des coefficients de Strickler à $\pm 20\%$ (en moyenne ± 16 cm sur les laisses de crue). La partie amont du modèle reste également la plus sensible à ces variations (jusqu'à +1 m et -60 cm).

9.5 ANALYSES DE SENSIBILITE DU MODELE SUR LA PRESENCE D'EMBACLE AU NIVEAU DES OUVRAGES HYDRAULIQUES – CRUE BETI

9.5.1 ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE SUR LA PRESENCE D'EMBACLE AU NIVEAU DU PONT DE LA VOH – CRUE BETI

Une analyse de sensibilité du modèle à la variation d'embâcle sur le pont de la Voh est réalisée pour l'épisode de crue de Beti 96. Une variation de l'obstruction de la section d'écoulement à +20% est considéré sur la crue de Beti 96, deux modélisations sont lancées :

- modélisation 0 : Aucune obstruction sur le pont de la Voh, le pont laisse passer 100 % des écoulements sur sa section.
- modélisation 1 : +20% obstruction sur la section d'écoulement du pont de la Voh,

Tous les autres paramètres du modèle sont conservés à l'identique pour les modélisations :

- Topographie : état actuel (cf 7.3.1),
- Rugosité : jeu de coefficient de calage (cf 7.8),
- Condition limite aval du modèle constante : égale au niveau maximal mesuré le jour de l'évènement.
- Débits de pointe constants de l'épisode Beti, injectés à l'amont sur la Voh et la Faléane.

L'impact de la variation de la présence d'embâcle du pont de la Voh sur les hauteurs d'eau maximales atteintes au cours de l'épisode Beti est représenté :

- sur le profil en long, Figure 73,
- sur la vue en plan, Figure 74.

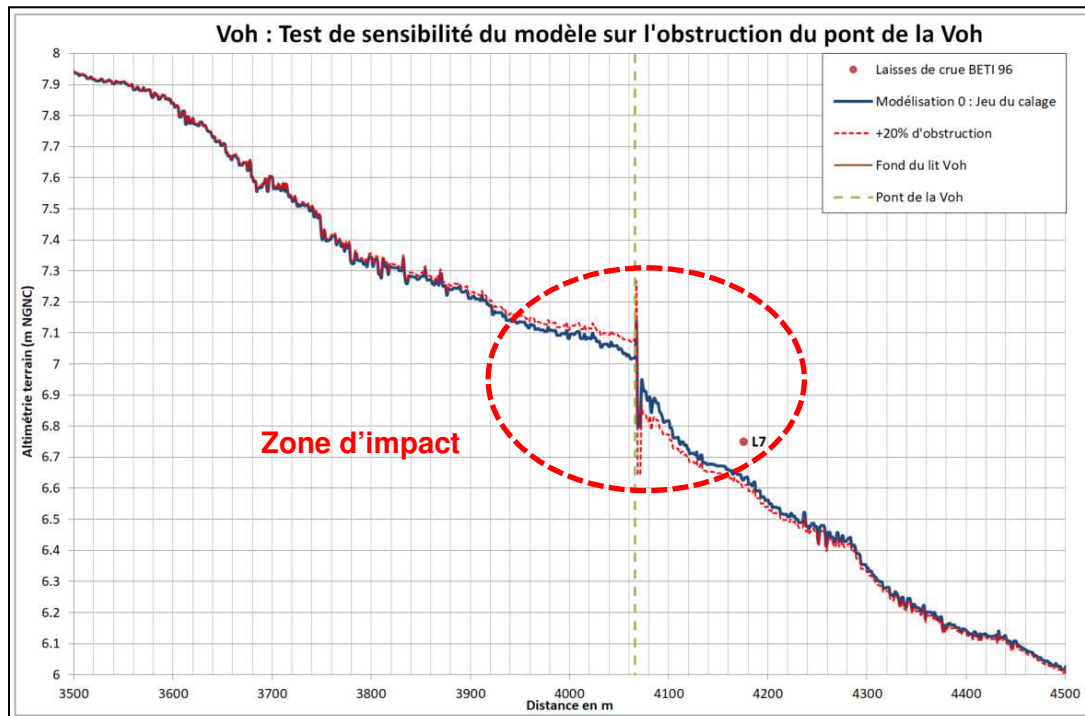


Figure 73 : Profil en long sur les plus hautes eaux - test de sensibilité à la présence d'embâcle au niveau du pont de la Voh – Crue Beti 1996

Le profil en long, zoomé sur le pont de la Voh, permet d'observer l'impact d'une obstruction à +20% de la section d'écoulement du pont. Le pont n'est pas mis en charge avec ou sans embâcle et conserve un tirant d'air d'environ 1,3 m y compris avec l'embâcle occultant 20 % de sa section d'écoulement. La perte de charge amont/aval est égale à 0,25 m. L'impact maximum de l'embâcle sur les hauteurs d'eau est de +6cm à l'amont immédiat du pont et -7cm à l'aval immédiat. Les impacts de l'embâcle ne sont quasiment plus perceptibles à +/-100 m à l'amont et à l'aval du pont. Le débit circulant se voit diminuer de 10% en passant de 291 m³/s à 270 m³/s.

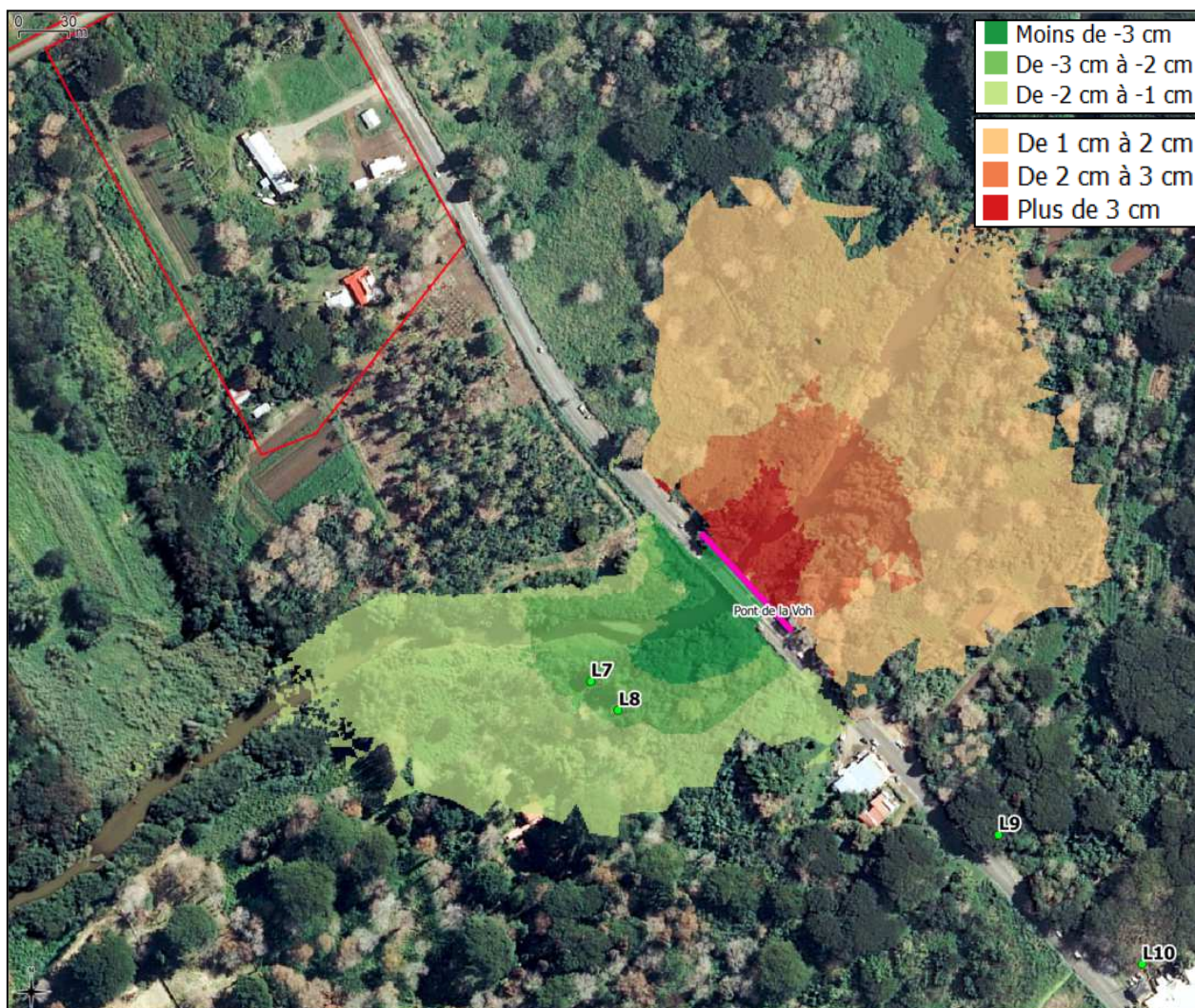


Figure 74 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant de +20% l'obstruction de la section d'écoulement du pont de la Voh – Crue Beti 1996

La vue en plan présente la zone d'impact de l'obstruction à +20%. Aucune zone d'enjeux n'est impactée par une obstruction du pont à 20% pour la crue Beti 1996.

Etant donnée la géométrie du pont qui comporte deux grandes travées de 22 mètres de longueur chacune et de 5 m de hauteur minimale sous le tablier, une obstruction de 20 % de la section d'écoulement lors d'une crue est une hypothèse forte – cela représenterait un bouchon d'embâcle de 9 m de largeur pour 5 mètres de hauteur (cf Figure 76 ci-dessous qui représente schématiquement l'emprise que représenterait une obstruction de 20 %). Or l'impact reste très faible et plutôt négligeable par rapport aux autres paramètres du modèle hydraulique. En conséquence il est jugé peu pertinent de modéliser les crues de projet avec un embâcle sur le pont de la Voh.

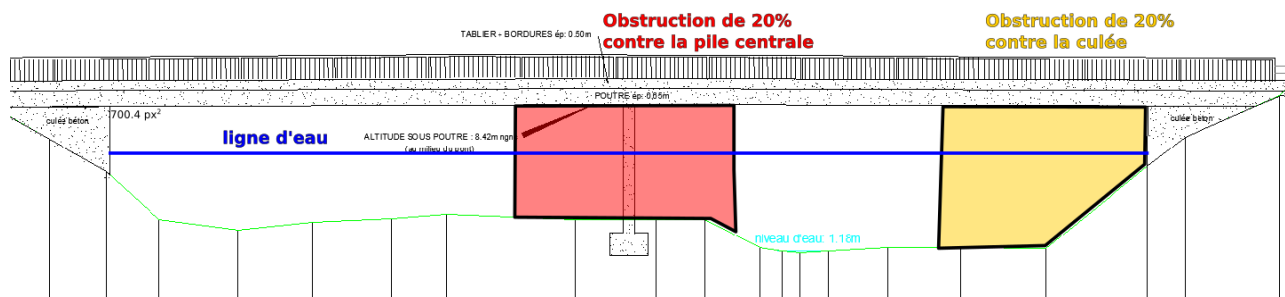


Figure 75 Illustration de 2 types d'obstruction de 20% de la section d'écoulement du pont de la Voh

9.5.2 ANALYSE DE SENSIBILITE DU MODELE SUR LA PRESENCE D'EMBACLE AU NIVEAU DES OUVRAGES DE LA FALÉANE – CRUE BETI – VALIDATION DE L'HYPOTHESE D'EMBACLE NULLE.

Une analyse de sensibilité du modèle à la variation d'embâcle sur les ouvrages de la Faléane est réalisée pour l'épisode de crue de Beti 96. Une variation de l'obstruction des sections d'écoulement à +100% est considéré sur la crue de Beti 96, deux modélisations sont lancées :

- modélisation 0 : Aucune obstruction sur les ouvrages de la modélisation, les ouvrages laissent passer 100 % des écoulements sur leur section.
- modélisation 1 : +100% d'obstruction sur les sections d'écoulement des ouvrages de la Faléane,

Tous les autres paramètres du modèle sont conservés à l'identique pour les modélisations :

- Topographie : état actuel (cf 7.3.1),
- Rugosité : jeu de coefficient de calage (cf 7.8),
- Condition limite aval du modèle constante : égale au niveau maximal mesuré le jour de l'évènement.
- Débits de pointe constants de l'épisode Beti, injectés à l'amont sur la Voh et la Faléane.

L'impact de la variation à la présence d'embâcle des ouvrages de la Faléane sur les hauteurs d'eau maximales atteintes au cours de l'épisode Beti est représenté :

- sur les profils en long, Figure 76 ,
- sur les vues en plan ,Figure 77 et Figure 78 .

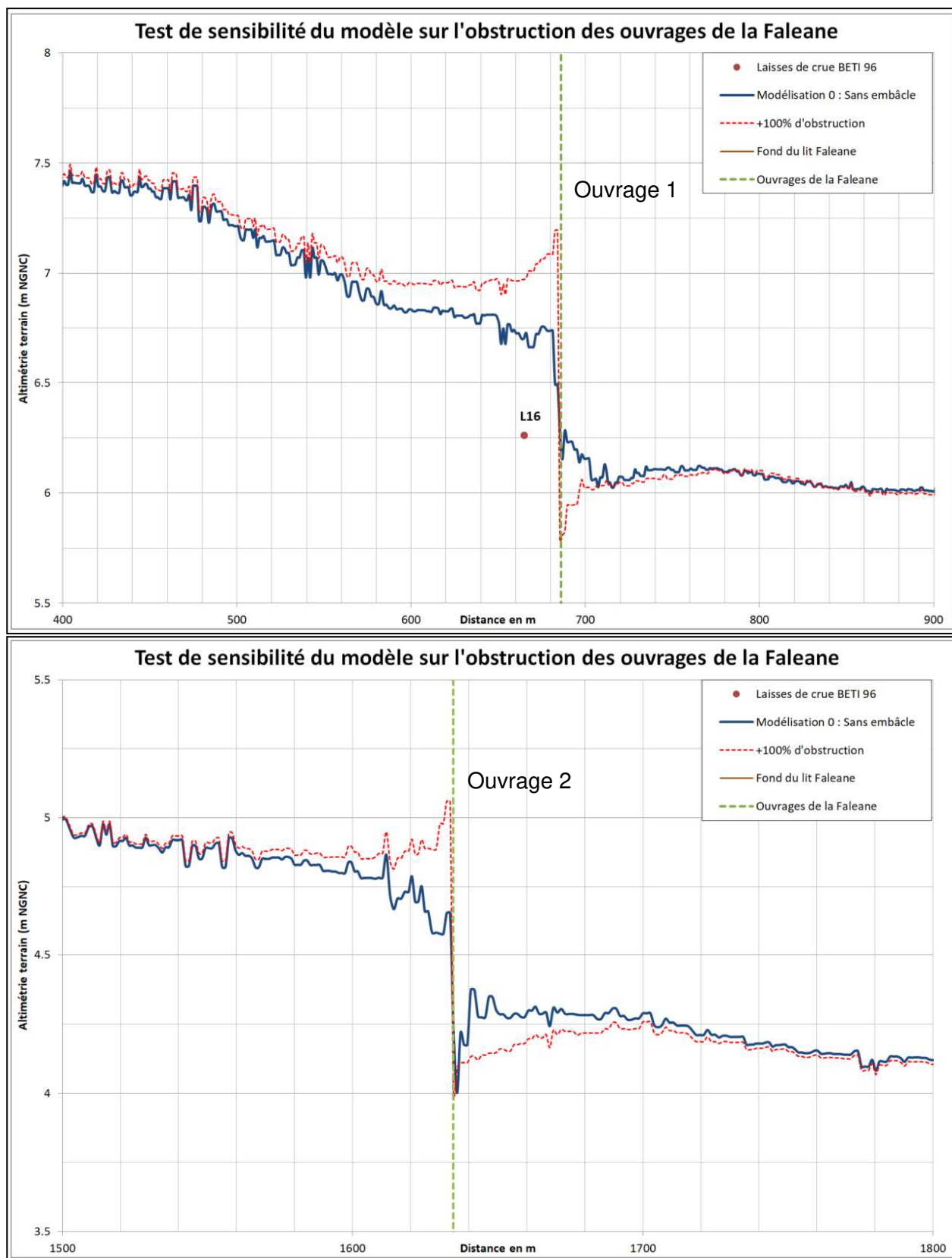


Figure 76 : Profils en long sur les plus hautes eaux - test de sensibilité à la présence d'embâcle au niveau des ouvrages de la Faléane – Crue Beti 1996

Les profils en long, zoomés sur les ouvrages 1 et 2 de la Faléane, permettent d'observer l'impact d'une obstruction à +100% sur les sections d'écoulement.

Pour rappel initialement les pertes de charge des ouvrages sont de l'ordre de 0,50 m, et :

- l'ouvrage 1 sur la RT1 est en charge avec un débit de passage à $71 \text{ m}^3/\text{s}$,
- l'ouvrage 2 est en charge avec un débit de passage à $30 \text{ m}^3/\text{s}$,
- l'ouvrage 3 est en charge avec un débit de passage à $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dans le cas d'une obstruction à 100% les trois ouvrages et les remblais routier attenants font office de barrage à l'écoulement, plus aucun débit ne circule dans l'ouverture des ouvrages et ceux-ci deviennent surversant.

Avec obstruction, les pertes de charge observées de part et d'autre des ouvrages sont les suivantes :

- pour l'ouvrage 1 près de 1 m, soit une perte de charge doublé par rapport à l'état de calage. Localement en amont du pont l'écart maximum atteint est de +40cm et localement à l'aval du pont l'écart minimum est de -40cm,
- pour l'ouvrage 2 près de 0,75 m, soit une perte de charge augmentée de 50 % par rapport à l'état de calage. Localement en amont du pont l'écart maximum atteint est de +30cm et localement à l'aval du pont l'écart minimum est de -25cm,
- pour l'ouvrage 3 (non présenté en Figure précédente), la perte de charge reste de l'ordre de 0,50 m. Localement en amont du pont l'écart maximum atteint est de +4cm et localement à l'aval du pont l'écart minimum est de -3cm.

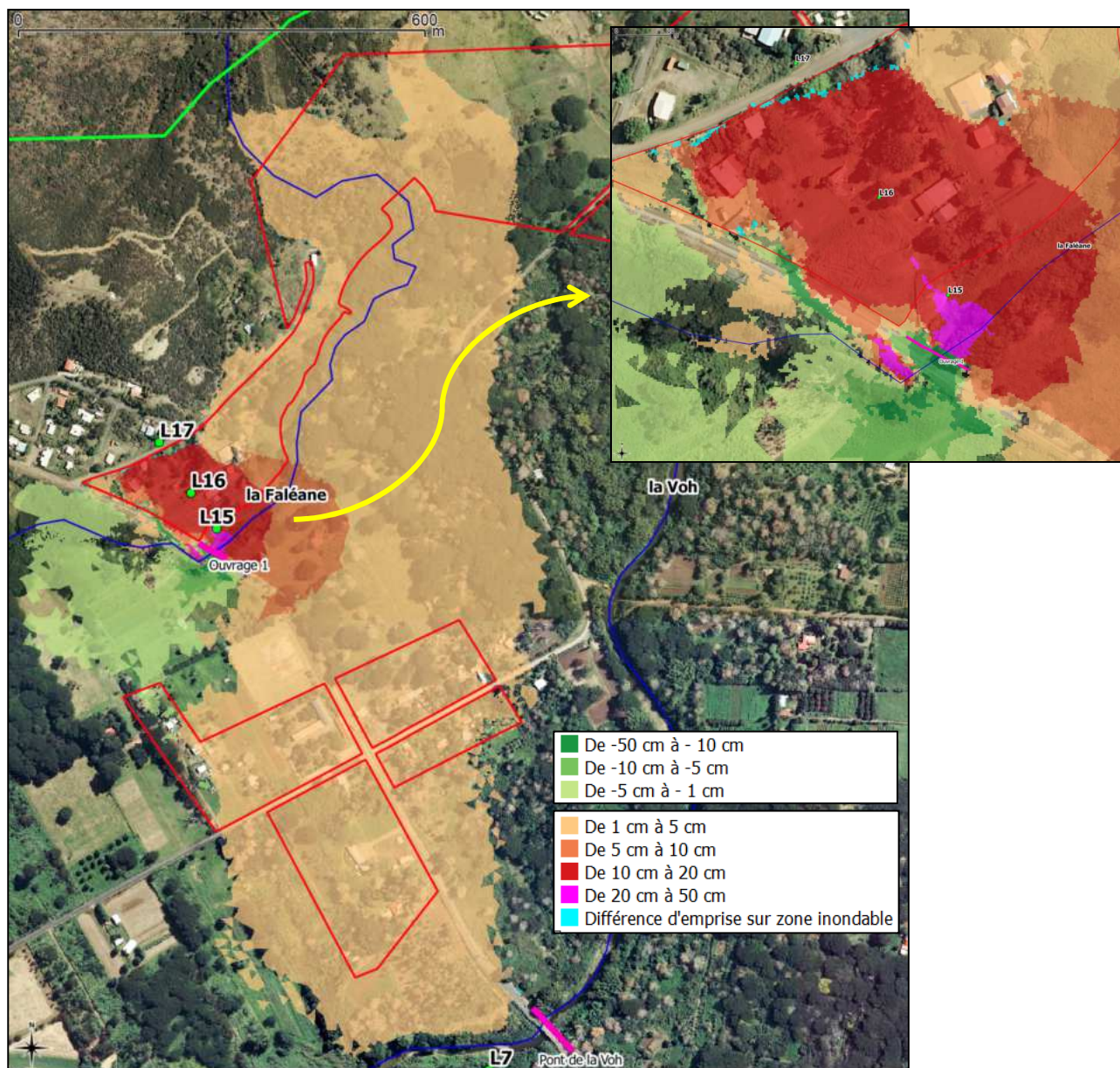


Figure 77 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant de +100% l'obstruction de la section d'écoulement de l'ouvrage 1 – Crue Beti 1996

La figure ci-dessus permet de définir la zone d'impact de l'ouvrage 1 sur la RT1. Localement à l'ouvrage les laisses de crues de calage L15 et L16 se retrouve impacté d'au maximum +18cm. La partie en amont de l'ouvrage (proche de la Faléane) de la zone d'enjeu « Habitat De Gaulle » se retrouve impacté dans une zone entre +1cm et +5cm. En rive gauche, les débordements sur la zone d'enjeu « Habitat Rive Droite » se retrouve également impacté entre +1cm et +5cm, cette zone s'étend localement en rive droite de la Voh légèrement en aval du pont de la Voh. Sur une zone localisée en aval du pont, un abaissement de la ligne d'eau entre -5cm et -1cm est observé.

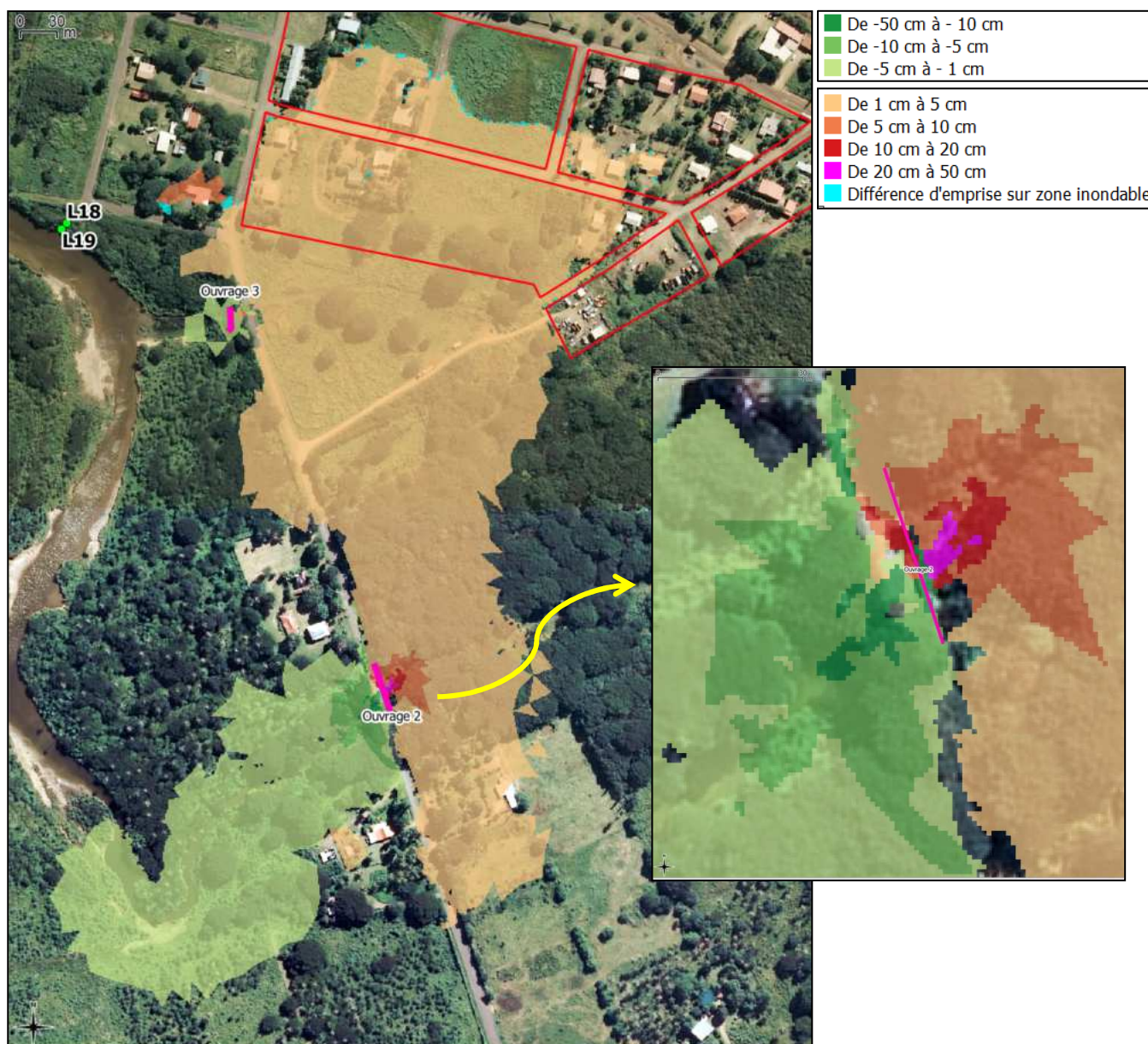


Figure 78 : Carte des impacts sur les différences de hauteurs d'eau maximales atteintes en augmentant de +100% l'obstruction de la section d'écoulement de l'ouvrage 2 et 3— Crue Beti 1996

La figure ci-dessus permet de définir la zone d'impact de l'ouvrage 2 sur la Faléane et de l'ouvrage 3 de décharge en rive droite de la Faléane. Aucune laisse de crue n'est impactée par l'obstruction de l'ouvrage 2 et de l'ouvrage 3. Seule la zone d'enjeux « Village et lotissement communal » se retrouve impacté entre +1cm et +5cm par l'obstruction de l'ouvrage 3 permettant justement de décharger les eaux de la zone par la Faléane. En amont de l'ouvrage 2 l'impact entre +1cm et +5cm se localise sur une bande d'environ 110 m à partir du remblai routier. En aval de l'ouvrage 2 un abaissement de la ligne d'eau entre -5cm et -1cm est observé jusqu'au méandre. L'impact en aval de l'ouvrage 3 reste très localisé avec un abaissement de la ligne d'eau entre -5cm et -1cm.

9.6 CONCLUSION SUR LES ANALYSES DE SENSIBILITE

Les différentes analyses de sensibilité réalisées, démontrent que les paramètres testés ont peu d'influence sur les résultats globales du modèle et se restreignent à des impacts très localisés à l'exception :

- des coefficients de Strickler,
- des débits injectés,

Ce sont donc essentiellement ces deux paramètres qui vont conditionner le bon calage du modèle par rapport au comportement réel du secteur en crue. Le calage du modèle sur trois crues différentes et les tendances contraires (surestimation ou sous-estimation) des résultats pour ces trois événements pour les différentes laisses de crues permettent de proposer une estimation raisonnable du fonctionnement hydraulique des cours d'eau modélisés au regard des données disponibles.

Pour permettre à l'avenir une amélioration de cette estimation, il serait intéressant de disposer d'informations précises sur les prochaines crues historiques par le biais :

- de réalisation de campagnes de relevés systématiques des plus hautes eaux après les crues,
- dans la mesure du possible de l'estimation ou de mesure des débits des crues historiques,
- de la collecte de prise de vue lors des épisodes de crues (photos et vidéo) auprès des riverains,

10 MODELISATION DES CRUES DE PROJET

10.1 HYPOTHESES SUR LES CONDITIONS LIMITES AVAL

Pour les crues de projet il est retenu les valeurs usuellement utilisées dans les études hydrauliques en Nouvelle-Calédonie, correspondant à une valeur de marée haute majorée par une surcote cyclonique, à savoir :

- 1,1 m NGNC pour les crues de période de retour 5 et 10 ans ;
- 1,4 m NGNC pour les crues de période de retour 100 ans.

10.2 HYPOTHESES SUR LES HYDROGRAMMES DE CRUES DE PROJET

Le régime permanent aura permis un gain du temps sur les modélisations de calage, et aura notamment permis de pousser le calage sur trois événements de crues.

Contrairement au calage, les crues de projet seront modélisées en régime transitoire pour plus de réalisme dans la dynamique de crue sur la zone d'étude. Trois hydrogrammes sont proposés pour les crues de projet.

En référence au rapport de phase 1, les hydrogrammes de crue de la Voh doivent respecter les conditions suivantes :

- Dépassement de 95 % du débit de pointe pendant 1 heure,
- Dépassement de 50 % du débit de pointe pendant 6 heures,
- Un coefficient de forme de 1,3.
- Débits de pointes des crues de référence :
 - ♦ $Q_5 = 1209 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - ♦ $Q_{10} = 1630 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - ♦ $Q_{100} = 2950 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour compléter le rapport de phase 1 sur la dynamique de crue un temps de montée **$D=7h$** a été pris en compte pour l'ensemble des crues de projet. Ce temps de montée a été calculé par rapport aux temps de montée moyens constatés sur les hydrogrammes de la Faténaoué (5,5 h) et au ratio des temps de concentration de ces deux bassins-versants ($T_{cVoh}/T_{cFaténaoué} = 4,8 \text{ h} / 3,7 \text{ h}$: cf rapport de phase 1).

Une analyse a été faite sur quatre hydrogrammes types (pour la crue de projet $Q_{p100}=2950\text{m}^3/\text{s}$) :

- un hydrogramme type en trapèze avec 2 pentes pour prise en compte de la décrue (trapèze 1),
- un hydrogramme type en trapèze simple (trapèze 2),
- un hydrogramme type de SOCOSE avec un temps de montée $D=7h$,
- un hydrogramme type par transposition de Myer et homothétie du bassin-versant voisin (Faténaoué) sur l'événement de crue Beti 1996 (proche de la Q_{100}).

La Figure 79 et Tableau 46 présentent les comparaisons des hydrogrammes types de la crue de projet Q_{100} .

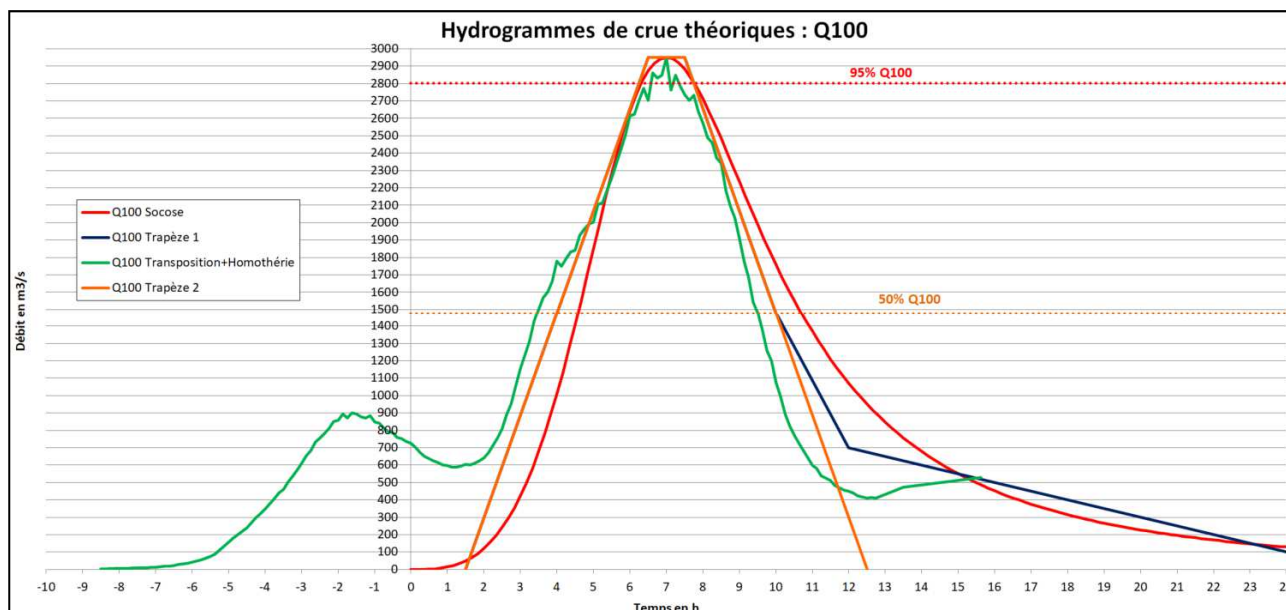


Figure 79 : Hydrogrammes types pour la crue de projet Q100

	Q100 Socose	Q100 Trapèze 1	Q100 Transposition+Homothétie	Q100 Trapèze 2
Durée sur + 95% Q (en h)	1,2	1	1,4	1
Durée sur + 50% Q (en h)	5,7	6	6,0	6
Coefficient de Forme	1,26	1,33	1,31	1,33
Volume de crue sur + 50%Q	50 755 282	50 445 000	49 571 831	50 445 000
Volume tot sur 24 h	80 840 052	82 192 500	79 126 774	71 685 000

Tableau 46 : Analyses sur le pic de crue des hydrogrammes types pour la crue de projet Q100

L'ensemble des hydrogrammes de crues construits respectent les conditions fixées par la phase 1 sur le pic de crue (à partir de 50% du débit de pointe).

L'utilisation de l'hydrogramme trapézoïdale (trapèze 1) reste possible mais la définition de la rupture de pente à la décrue laisse plus de choix et de latitude et est donc plus facilement soumis à discussion.

La solution de type trapèze 2 sous-estime les volumes de crues et présente une décrue un peu rapide.

Les hydrogrammes de crue réelle présentent l'inconvénient d'avoir des formes parfois différentes et singulières (pics multiples) fonction des événements pluviométriques réels s'étant déroulés et pouvant induire un biais entre les comparaisons des trois crues de projet. Pour rappel est présenté en Figure 80 une superposition des crues (centrée et réduite) étudiées sur le bassin-versant de la Faténaoué (cf rapport de phase 1) :

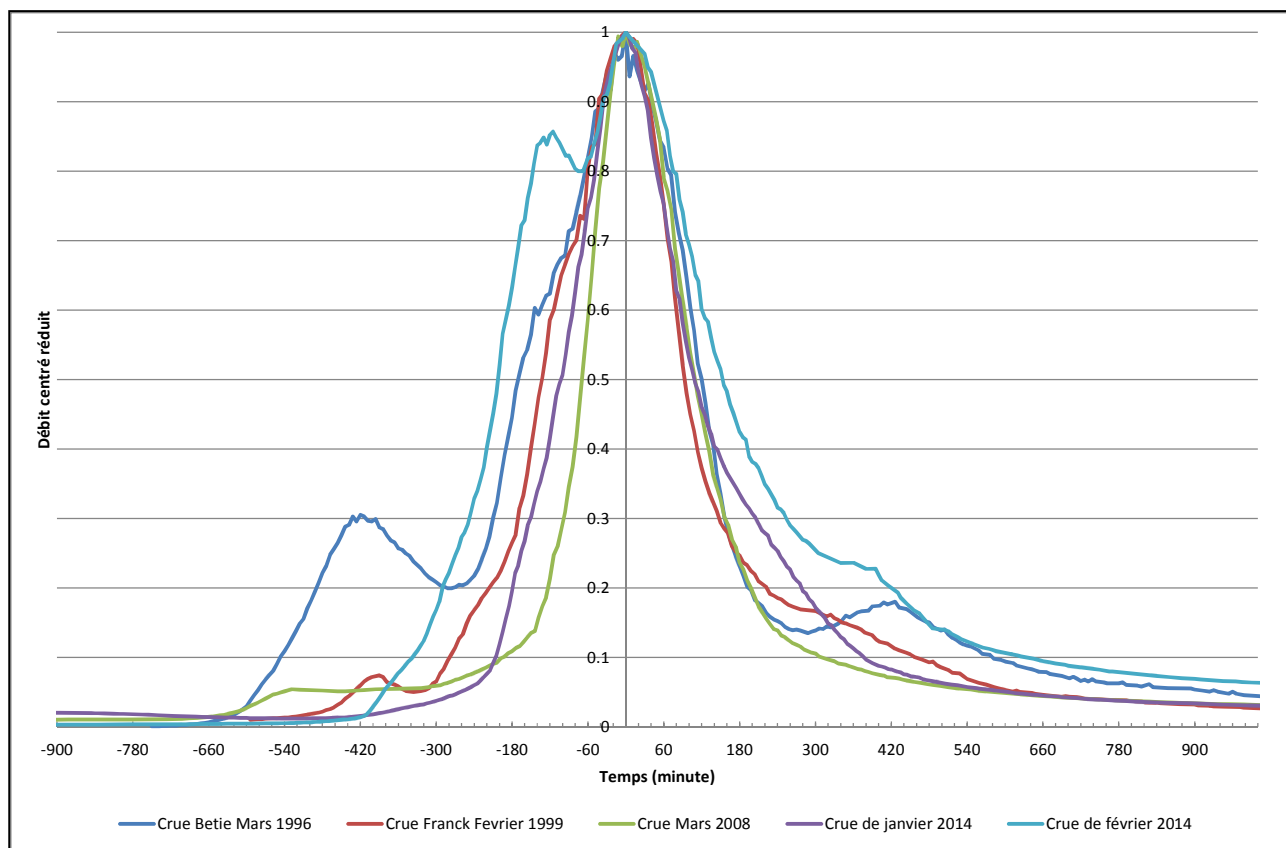


Figure 80 : Hydrogrammes centrés réduits des crues historiques à Faténaoué

Au vu des résultats très proches pour les quatre approches, **l'hydrogramme type de SOCOSE**, dont la forme est la plus réaliste et sécuritaire (montée plus rapide que pour les trapèzes et décrue plus lente) est retenue pour les crues de projet de l'étude (Q5, Q10 et Q100).

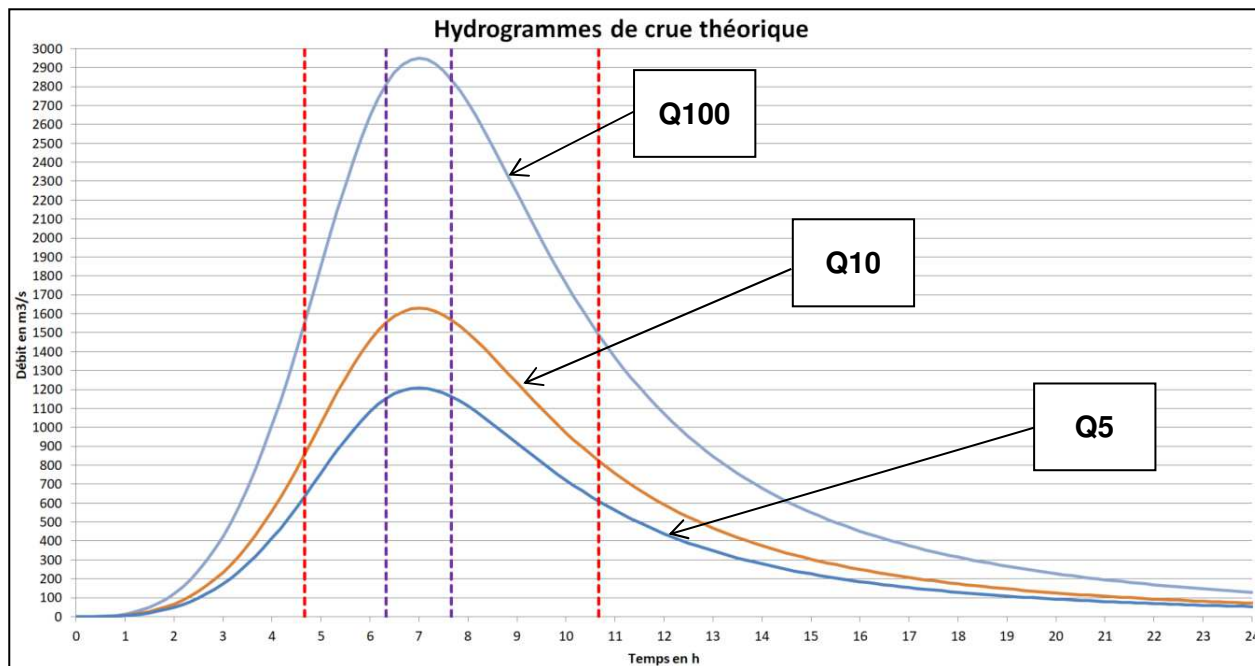


Figure 81 : Hydrogrammes de crues retenues pour les crues de projet

10.3 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE : Q100

10.3.1 LA DYNAMIQUE DE LA CRUE

La dynamique de la crue Q100 sur la zone d'étude est présentée en Figure 82,

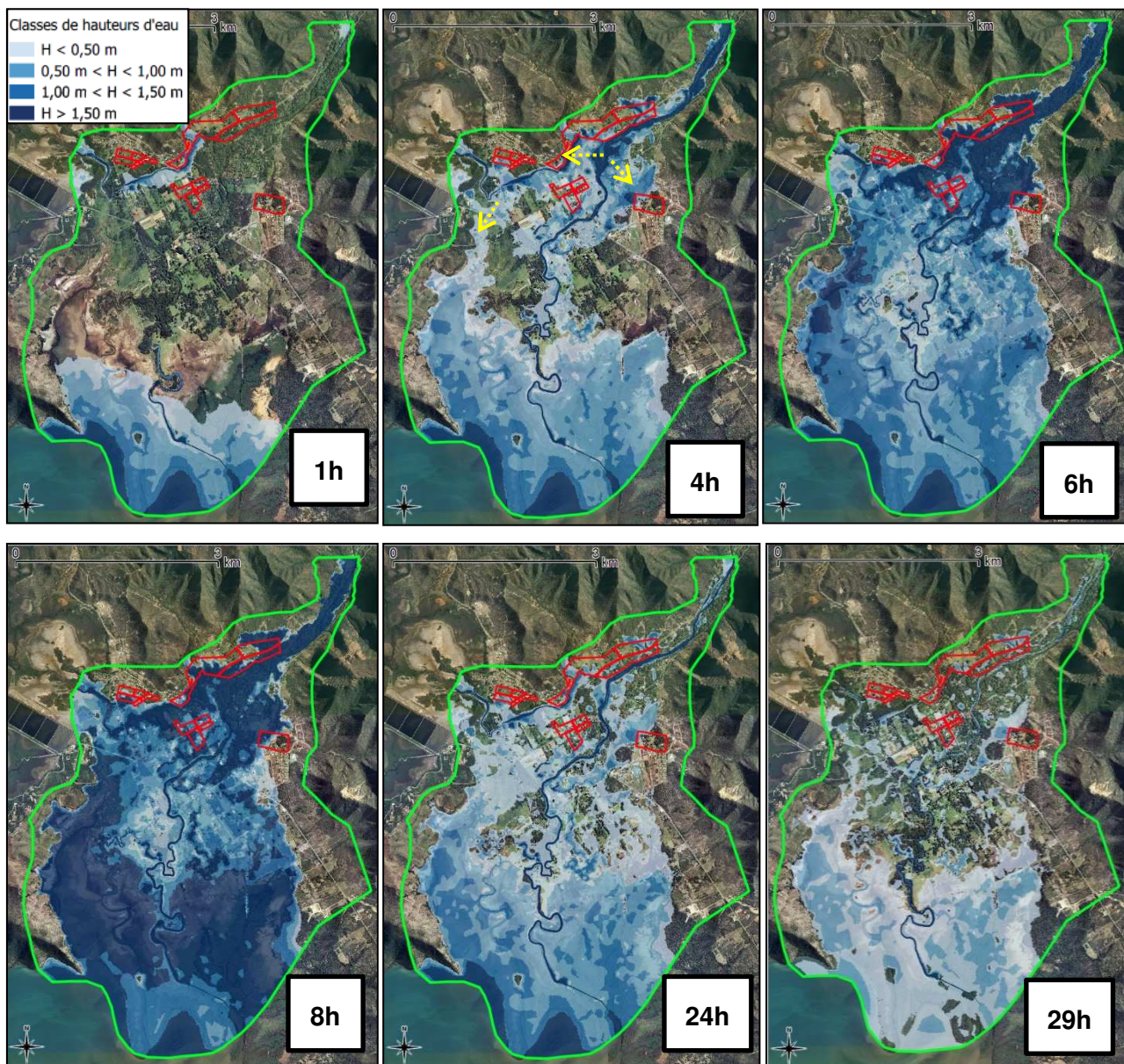
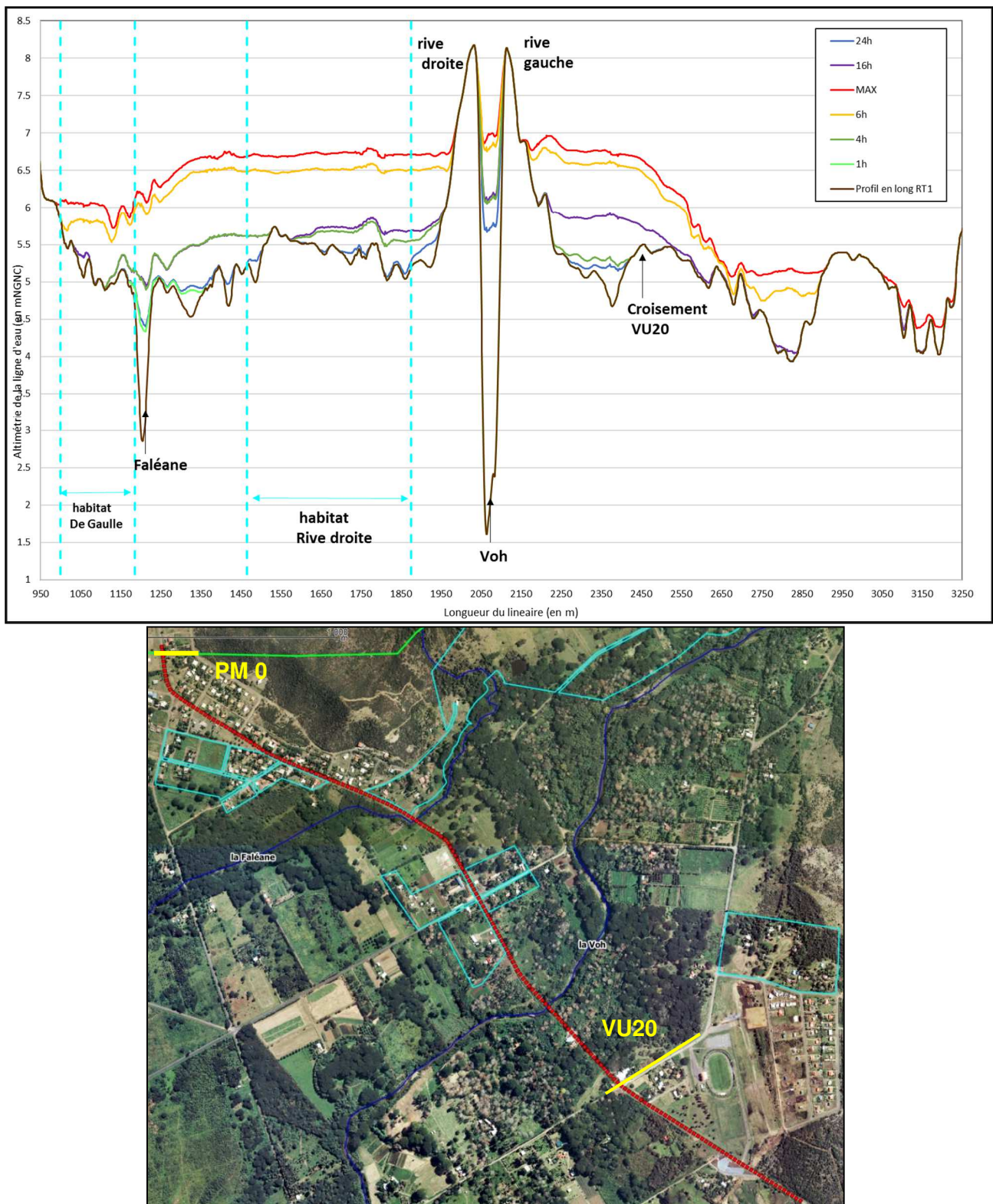


Figure 82 : Dynamique de crue - Q100

La dynamique de la crue est la suivante :

- A 0h00 début de la modélisation : injection de l'hydrogramme de crue de SOCOSE sur la frontière amont du linéaire, et d'un débit de pointe constant sur la Faléane :
 - ♦ le modèle est mise en eau par l'aval et la plaine deltaïque est inondée du fait de la condition aval imposé à 1,4 m NGNC,
 - ♦ Le lit de la Faléane déborde très rapidement du fait de l'injection d'un débit constant correspondant à son débit de pointe estimé. Cette hypothèse a une influence forte sur l'inondation en début de modélisation mais qui est rapidement masquée par les débordements de la Voh en direction du lit mineur de la Faléane qui vont devenir prépondérants.
- A 3h30 les premiers débordements de la Voh en direction de la Faléane sont observés par la zone d'enjeux « Habitat de Gaulle à l'amont de la Faléane »,
- A 4h00 les débits issus de la Faléane ajoutés aux débits débordants de la Voh vont faire déborder la Faléane en rive gauche en direction du bras de décharge en parti ouest de la zone d'étude. Les premiers débordements de la Voh localement en rive gauche et particulièrement en amont du stade vont également apparaître,
- A 6h00 les débordements sont généralisés sur la zone d'étude,
- Entre 7h00 et 7h30, le pic de crue se localise sur la partie amont de la zone d'étude (en sortie de la vallée jusqu'à évacuation des eaux par la Faléane en frontière ouest),
- Entre 7h30 et 8h00, le pic de crue se localise sur la partie en aval de la zone d'étude (des débordements en rive gauche de la Faléane jusqu'à la zone impactée par la condition limite aval de marée),
- A 9h30, le pic de crue prend fin au niveau de la frontière limite aval de la Voh,
- Sur les zones concernées, après passage du pic de crue commence une décrue lente,
- A 24h00, la Voh commence à rentrer dans son lit mineur et n'est plus débordantes sur l'extrémité amont du linéaire. Afin d'observer le ressuyage de la zone inondée, le débit de pointe de la Faléane est ramené à 0 m³/s à partir de 24h,
- Au bout de 29h00 de modélisation, la Voh ne déborde plus. Le lit majeur n'est pas totalement ressuyé et comporte de nombreuses zones caractérisées par des creux topographiques constituant des zones d'eau stagnantes,

Le Figure 83 ci-dessous représente la submersion du profil en long de la route territoriale RT1 à différents instants de la crue :



La RT1 est inondée pour la crue centennale sur un linéaire d'environ trois kilomètres. La dynamique de l'inondation est la suivante :

- Au bout de 1h les premiers débordements ont lieu en rive gauche de la Faléane, entre l'école et la Faléane,
- Au bout de 4h les débordements de la Voh et de la Faléane sont généralisés sur la RT1 avec des hauteurs d'eau pouvant atteindre environ 50 cm,
- Les maximums sont atteints entre 6h et 8h, les hauteurs d'eau sont plus conséquentes avec plus de 1 mètre d'eau sur une distance de 1,5 km autour du pont de la Voh. Localement les hauteurs d'eau atteignent 2 mètres,
- Après le pic de crue s'ensuit une lente décrue et la route redevient à sec après 24h.

10.3.2 L'EMPRISE DE LA ZONE INONDABLE

La dernière étude en vigueur sur la délimitation de la zone inondable de la Voh fut réalisée par Sogreah en 2000. Une comparaison de l'emprise inondable actuel de la Q100 modélisée par ISL est faite par rapport à l'emprise définie par Sogreah en Figure 84 :

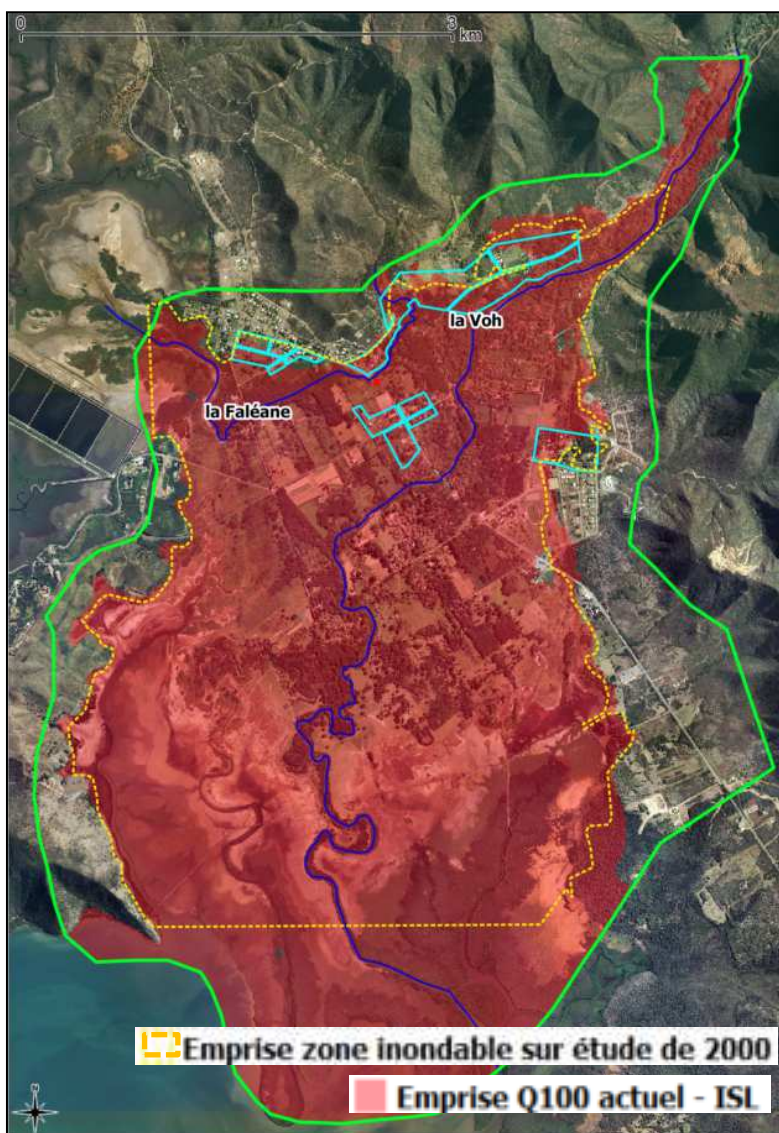


Figure 84 : Comparaison des emprises inondables actuelle (ISL en rouge) et de 2000 (Sogreah en jaune)

Le précédent modèle était un modèle simple 1D (11 profils) couplé à 13 casiers latéraux communiquant entre eux et avec le lit mineur. Le modèle ICM infoworks 2D réalisé au cours de la présente étude permet d'avoir une vision plus fine des écoulements.

La zone inondée conserve la même emprise globale, mais est affinée au droit de ces frontières. La nouvelle modélisation permet notamment de distinguer au droit des trois zones à enjeux « habitat De gaulle », « Village et lotissement » et « habitat rive gauche » des zones inondées et des zones hors d'eau différentes de celle de la première emprise. Une augmentation de la zone inondable cartographiée est aussi visible à l'est du stade.



Figure 85 : Augmentation de la zone inondée cartographiée pour la crue centennale (en jaune limite de l'ancienne zone inondable – en rouge la nouvelle zone)

10.3.3 REPARTITION DES DEBITS DANS LE LIT MAJEUR

Comme présenté en Figure 86, les répartitions des débits de crue sur la zone d'étude lors du pic de crue sont similaires à la crue de calage Beti de 1996. Les débits sont augmentés de 4% par rapport à l'événement de Beti 1996.

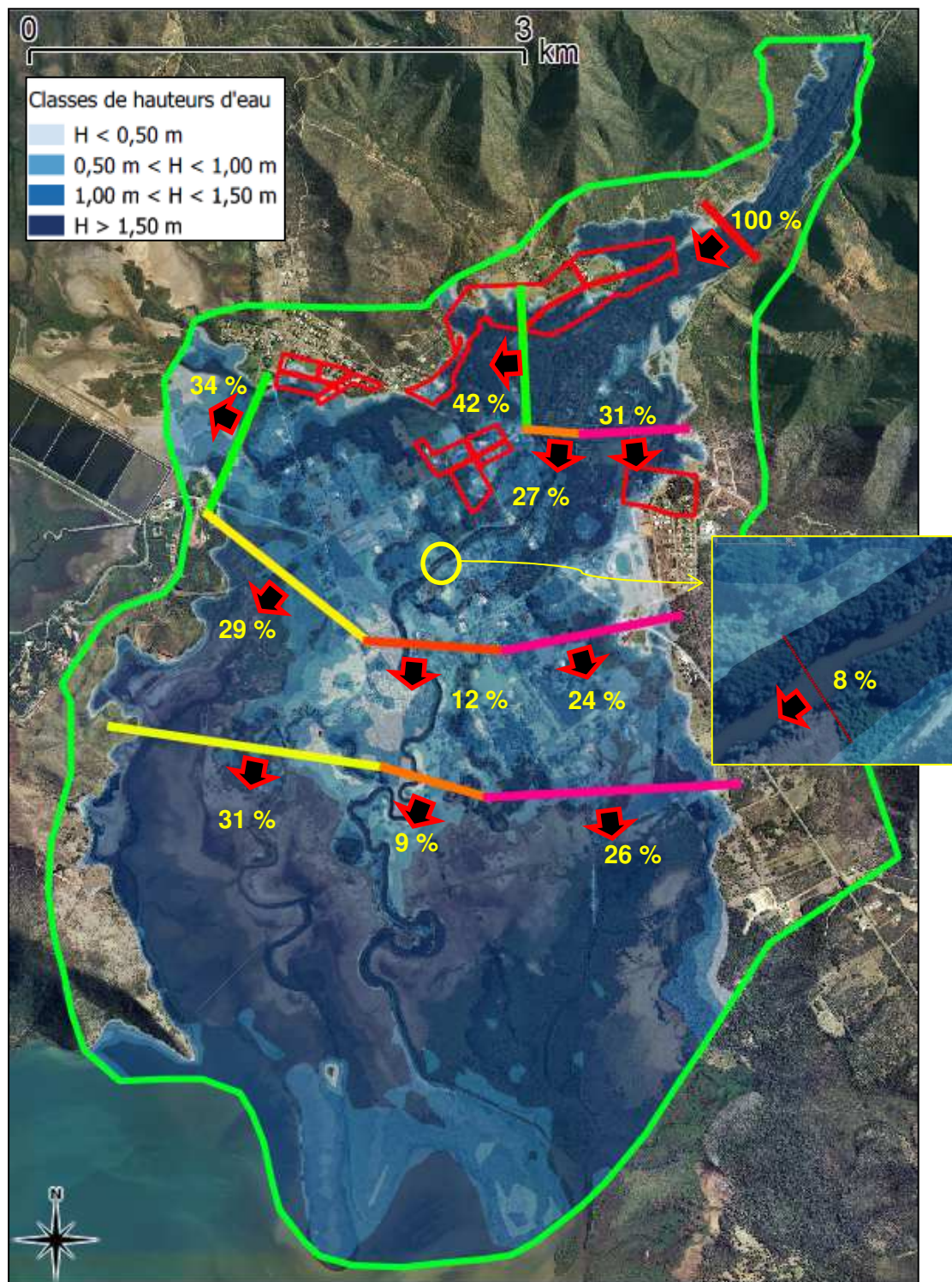


Figure 86 : Cartographie des écoulements pour la crue Q100 – Plus hautes eaux : débordement généralisé

Profils en long et ouvrages hydrauliques

Les profils en long des plus hautes eaux de la crue centennale sont présentés en Figure 87 :

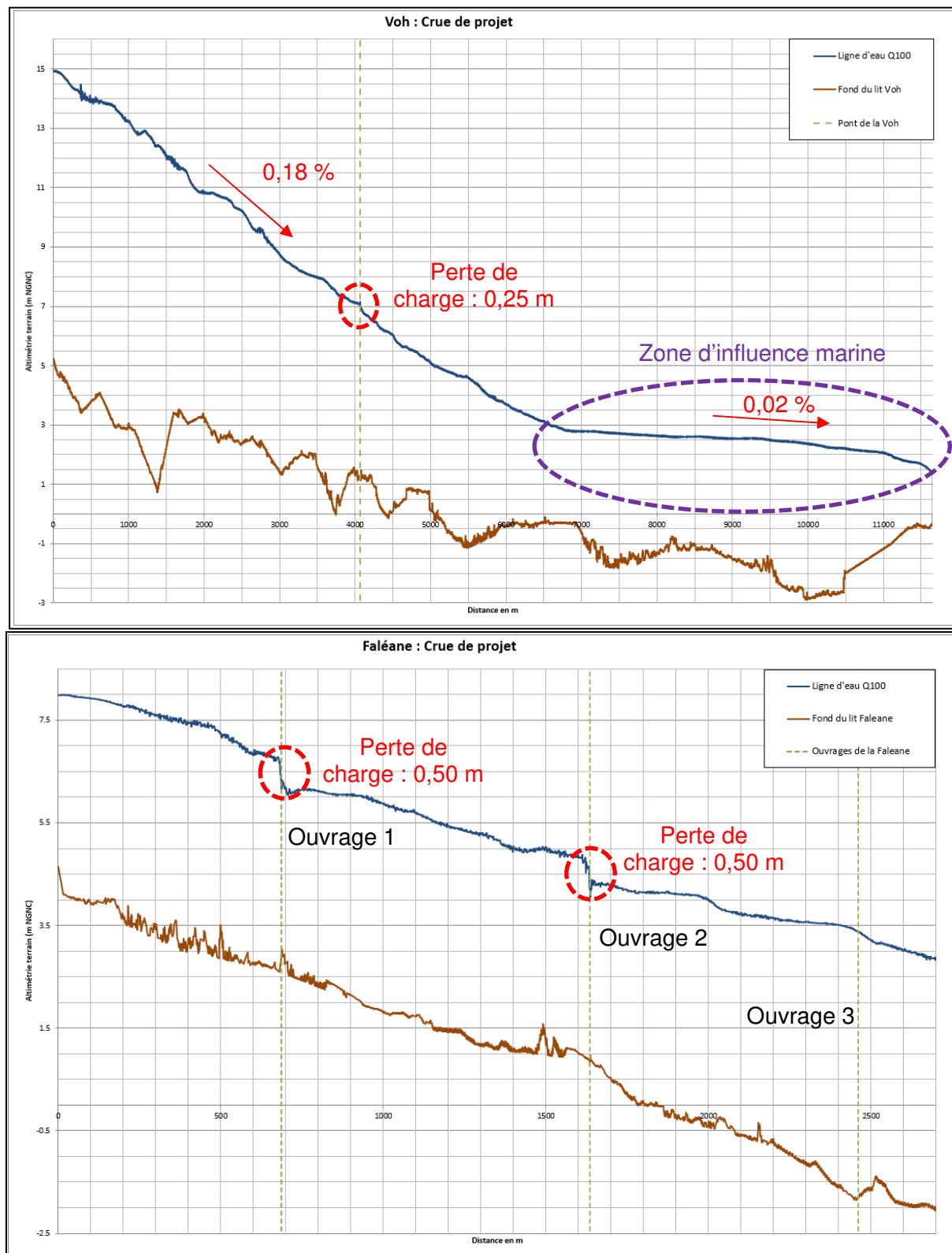


Figure 87 : Profils en long des plus hautes eaux – Q100

L'allure de la ligne d'eau de la crue centennale est identique à la crue de Beti 1996 (Voir section 8.2.3) :

- Entre le PM 0 et le PM 6500, le profil général de la ligne d'eau de la Voh présente une pente moyenne constante d'environ 0,18 % sur ce linéaire et la ligne d'eau alterne entre une pente légèrement moins raide au droit des trous d'eau et légèrement plus raide au droit des « seuils naturels »,
- Après le PM 6500 une rupture de pente est observée et la ligne d'eau rejoint la limite aval du modèle avec une pente de 0,02 % environ, sur cette portion la ligne d'eau est influencée par la condition aval de marée.

Au pic de crue les phénomènes suivants sont observés :

- Le pont de la RT1 sur la Voh n'est pas en charge. Le débit transitant sous l'ouvrage est 295 m³/s (10% du débit total) et génère une perte de charge de l'ordre de 0,25 m. Malgré l'intensité de l'évènement le tirant d'air entre la ligne d'eau et le tablier du pont est de 1,3 m, attestant d'un bon dimensionnement hydraulique du pont pour une crue centennale,
- Les ouvrages hydrauliques de la Faléane génèrent des pertes de charges de l'ordre de 0,50 m. Ces 3 ouvrages sont tous en charge et surversent par-dessus l'arase supérieur de leurs tabliers :

	Débit transitant dans la section hydraulique de l'ouvrage	Lame d'eau surversante au-dessus du tablier ou de la dalle supérieure de l'ouvrage
Ouvrage 1 (sur la RT1)	75 m ³ /s	Environ 1,25 m
Ouvrage 2 (sur la RM16)	30 m ³ /s	Environ 95 cm
Ouvrage 3 (ouvrage de décharge secondaire sur la RM16)	10 m ³ /s	Environ 45 cm

Tableau 47 : Ouvrages de la Faléane – Q100

10.4 ANALYSE DES CRUES DECENNALE (Q10) ET QUINQUENNALE(Q5)

Les modélisations de Q10 et Q5 démontrent globalement un fonctionnement hydraulique du secteur d'étude similaire à celui de la crue Q100 avec une inondation généralisée du lit majeur jusqu'aux coteaux. Seule l'intensité des phénomènes change (hauteurs d'eau et vitesses moins élevées).

Les lignes d'eau des crues de projet ont la même allure, comme présenté en Figure 88.

Au pic de crue décennale :

- Le pont de la RT1 sur la Voh n'est pas en charge. Le débit transitant sous l'ouvrage est 239 m³/s (15% du débit total) et génère une perte de charge de l'ordre de 0,25 m. Le tirant d'air entre la ligne d'eau et le tablier du pont est de 1,6 m,
- Les ouvrages hydrauliques de la Faléane génèrent des pertes de charges de l'ordre de 0,50 m. Ces 3 ouvrages sont tous en charge et surversent par-dessus l'arase supérieure de leurs tabliers :

	Débit transitant dans la section hydraulique de l'ouvrage	Lame d'eau surversante au-dessus du tablier ou de la dalle supérieure de l'ouvrage
Ouvrage 1 (sur la RT1)	68 m ³ /s	Environ 75 cm
Ouvrage 2 (sur la RM16)	27 m ³ /s	Environ 65 cm
Ouvrage 3 (ouvrage de décharge secondaire sur la RM16)	7 m ³ /s	Environ 20 cm

Tableau 48 : Ouvrages de la Faléane - Q10

Au pic de crue quinquennale :

- Le pont de la RT1 sur la Voh n'est pas en charge. Le débit transitant sous l'ouvrage est 218 m³/s (18% du débit total) et génère une perte de charge de l'ordre de 0,25 m. Le tirant d'air entre la ligne d'eau et le tablier du pont est de 1,9 m,
- Les ouvrages hydrauliques de la Faléane génèrent des pertes de charges de l'ordre de 0,50 m. Ces 3 ouvrages sont tous en charge et surversent par-dessus l'arase supérieure de leurs tabliers :

	Débit transitant dans la section hydraulique de l'ouvrage	Lame d'eau surversante au-dessus du tablier ou de la dalle supérieure de l'ouvrage
Ouvrage 1 (sur la RT1)	64 m ³ /s	Environ 40 cm
Ouvrage 2 (sur la RM16)	26 m ³ /s	Environ 50 cm
Ouvrage 3 (ouvrage de décharge secondaire sur la RM16)	6 m ³ /s	Environ 10 cm

Tableau 49 : Ouvrages de la Faléane – Q5

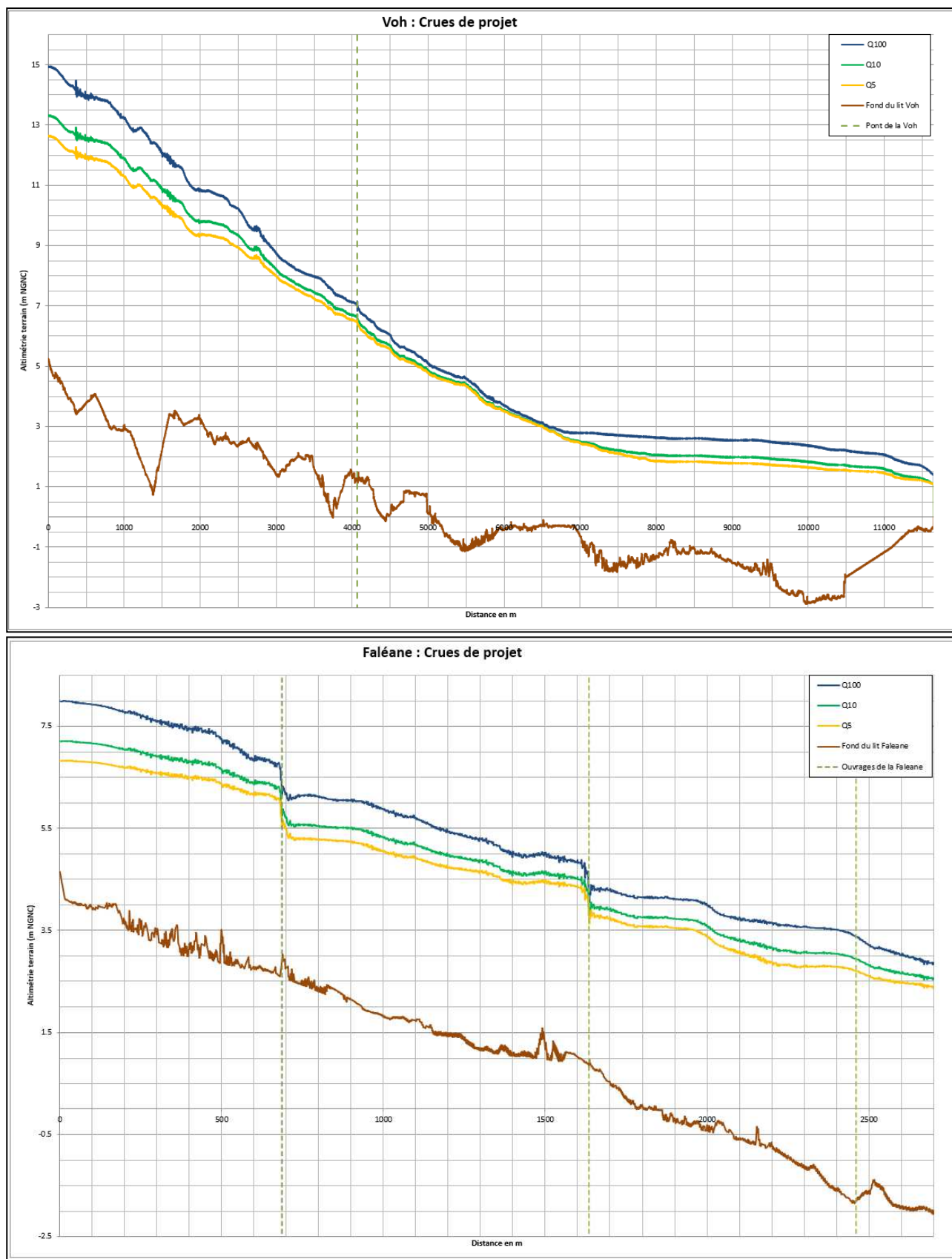


Figure 88 : Profils en long sur les plus hautes eaux – comparaison Q100/Q10/Q5

La RT1 est déjà inondée pour les crues Q5 et Q10, et surverse en plusieurs endroits sur un linéaire de 2km. Pour la Q10 la route est submergée par des hauteurs d'eau allant jusqu'à 1 m et jusqu'à 75 cm pour la crue quinquennale.

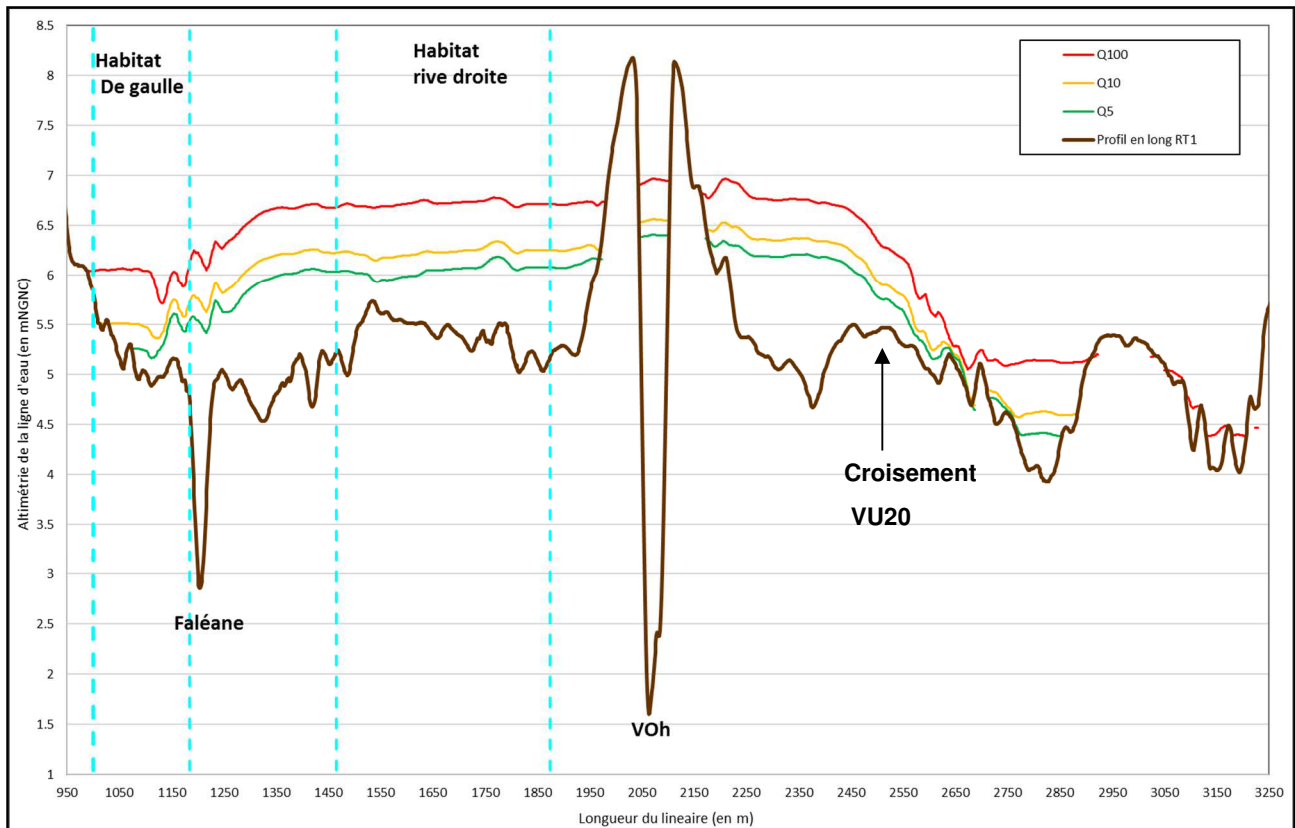


Figure 89 : Profil en long de la RT1 sur les plus hautes eaux – comparaison des trois crues de projet Q100/Q10/Q5

11 PHASE 3 : CARTOGRAPHIE REGLEMENTAIRE DES CRUES DE PROJETS

11.1 CARTOGRAPHIES DES HAUTEURS ET DES VITESSES

11.1.1 EMPRISE DE LA ZONE CARTOGRAPHIEE

L'emprise de la zone cartographiée correspond aux limites du modèle numérique 2D.

On rappelle que la limite aval de la zone cartographiée se superpose sur une largeur d'environ 300 mètres avec la zone d'alea inondation du creek Coco (aussi prénommée Taléa).

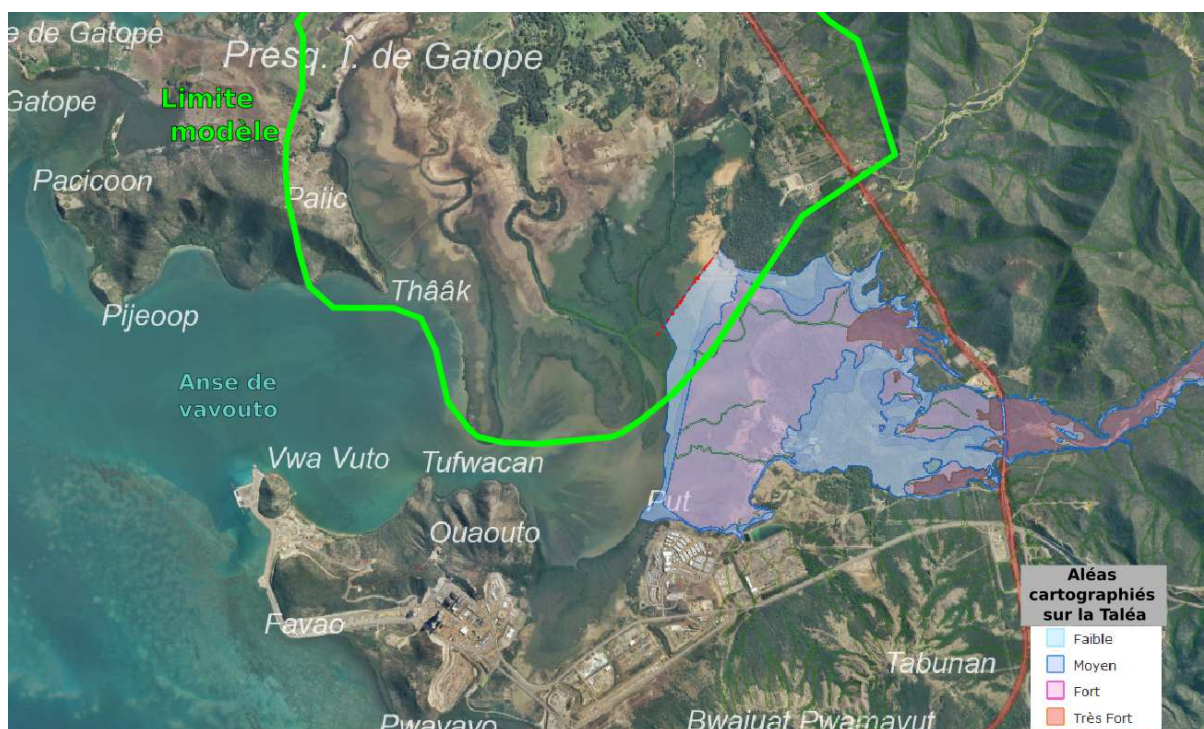


Figure 90 : Superposition de l'emprise cartographiée et la zone d'alea cartographié pour le creek Taléa (« Coco »)

11.1.2 CLASSES DE HAUTEUR ET DE VITESSE REPRESENTEE

Les hauteurs d'eau sont représentées sous la forme de classes d'iso-hauteurs par incrément de 0,5 m. Les hauteurs d'eau sont calculées par croisement des niveaux d'eau extraits à chaque nœud de la modélisation hydraulique avec le modèle numérique de terrain. Les classes de hauteurs d'eau sont :

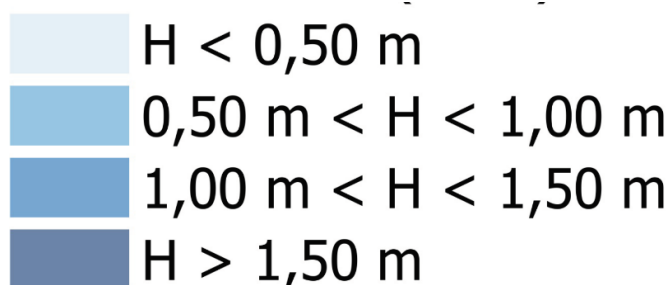


Figure 91 Classes de hauteurs pour la cartographie réglementaire

Cette cartographie fait également apparaître les isocotes le long desquelles les niveaux d'eau (en m NGNC) modélisés en crue centennale sont égaux.

Les vitesses d'écoulement sont représentées sous la forme des classes d'iso-vitesses suivantes :

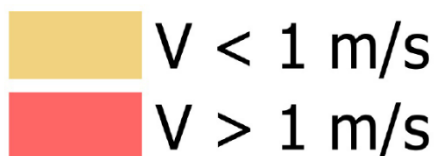


Figure 92 Classes de vitesses pour la cartographie réglementaire

Les cartographies réglementaires sont présentées en Annexe 1

11.1.3 EVALUATION DES HAUTEURS D'EAU ENTRE 2 ISOCOTES

Entre deux isocotes, le niveau peut être estimé sommairement selon les étapes suivantes :

- Tracé le segment de droite le plus court entre les 2 isocotes amont et aval les plus proches du point où la cote d'eau doit être estimée et passant par ce point,
- Mesurer la longueur de ce segment L_1
- Mesurer la distance entre le point d'estimation et l'isocote aval L_2
- La cote d'eau estimée au droit du point ($Z_{inondation}$) est alors déterminée en appliquant la formule suivante :

$$Z_{inondation} = Z_{IsocoteAval} + 0.5 * \left(\frac{L_2}{L_1}\right)$$

Cette méthode ne prend toutefois pas en compte les éventuelles pertes de charges ponctuelles induites par les singularités topographiques du terrain.

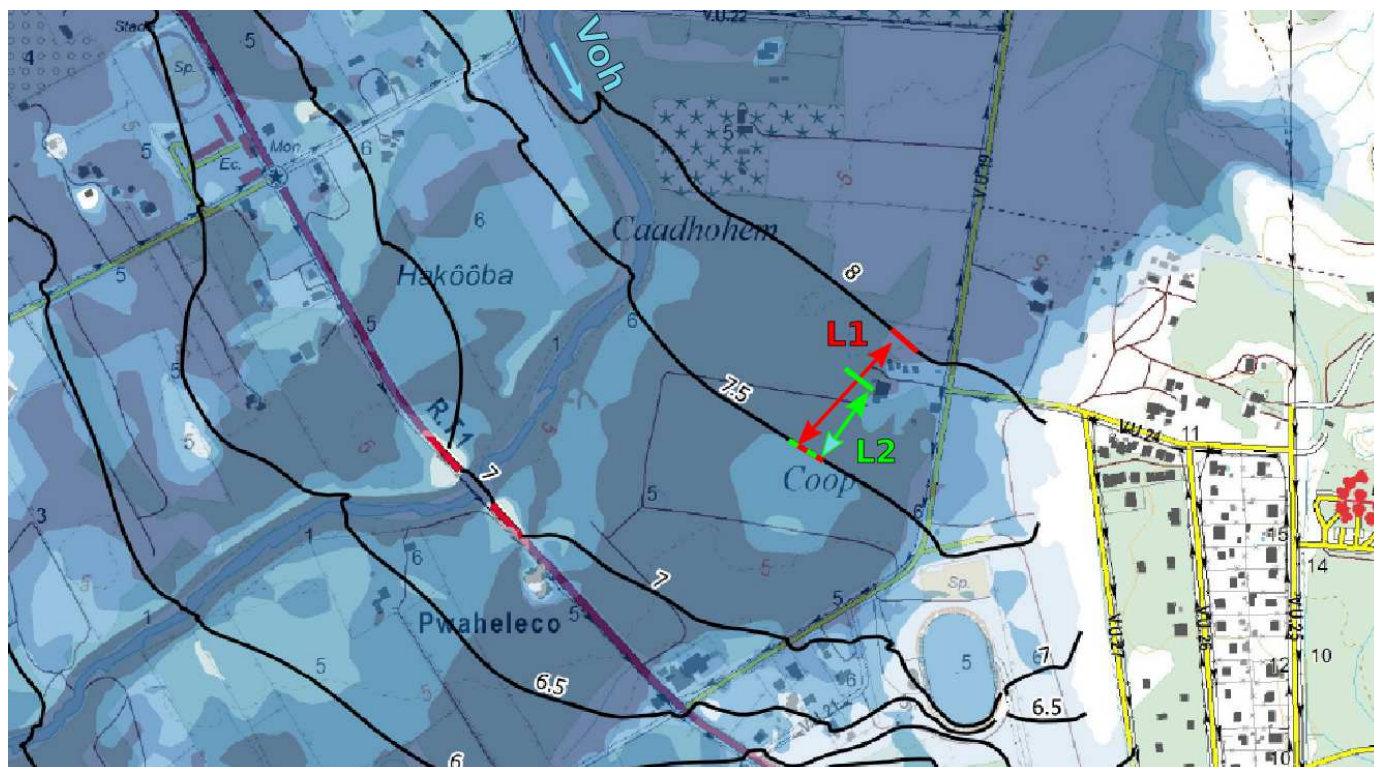


Figure 93 Exemple de détermination de la cote d'inondation au droit d'une habitation isolée le long de la VU 19 pour la crue centennale

A titre d'exemple pour estimer la cote d'inondation au droit de l'habitation située le long de la VU19 dont l'entrée est en face de la VU 24, on mesure :

- L1 = 19 mm
- L2 = 12 mm

On a alors $Z_{inondation} = 7.5 + 0.5 * \left(\frac{12}{19}\right) = 7.82 \text{ m NGNC}$

11.1.4 PRESENTATION DES CARTOGRAPHIES POUR LES CRUES DE PROJET

11.1.4.1 Cartographie de la crue centennale Q100

La cartographie des hauteurs d'eau maximale atteinte pour la crue centennale est présentée en Figure 94 ci-dessous. La zone inondée l'est majoritairement sous des hauteurs d'eau supérieures à 1,5 m. Cela est particulièrement vrai sur le tier amont du linéaire à l'amont du pont de la Voh et sur le tiers aval de la modélisation (zone de plaine deltaïque).

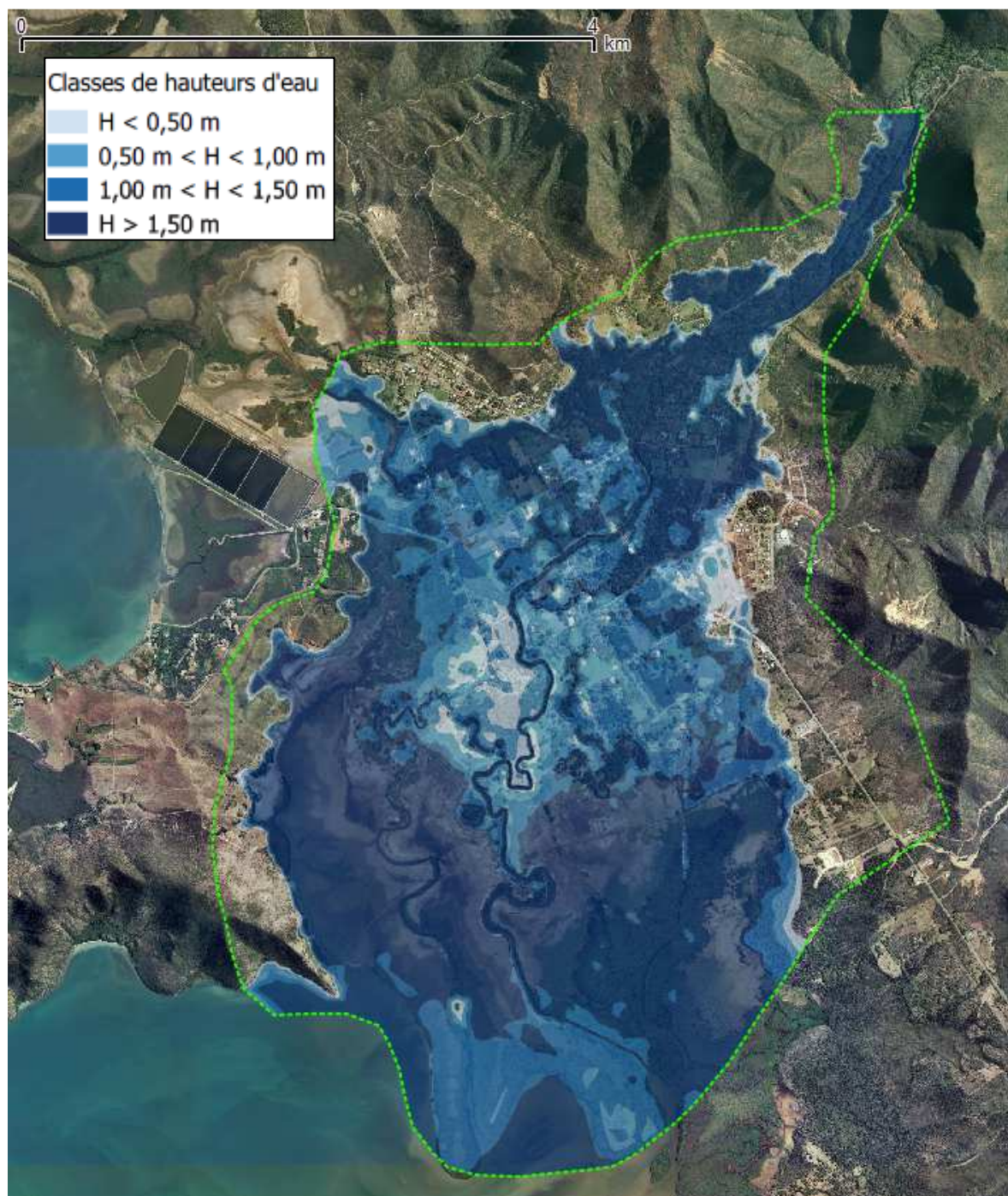


Figure 94 Cartographie des écoulements pour la crue Q100 – Plus grandes hauteurs d'eau atteintes

La cartographie réglementaire des vitesses est présentée en Figure 95. Les vitesses d'écoulements fortes ($> 1\text{ m/s}$) s'observent essentiellement sur la majorité du lit majeur sur le tier amont de la zone d'étude, dans le lit mineur de la Voh et la Faléane, ainsi qu'en lit majeur entre le lit de la Faléane et la route de Gatope (VU 17) et ponctuellement au droit des zones de surverse sur les routes (notamment sur la RT1 au droit du franchissement de la Faléane).

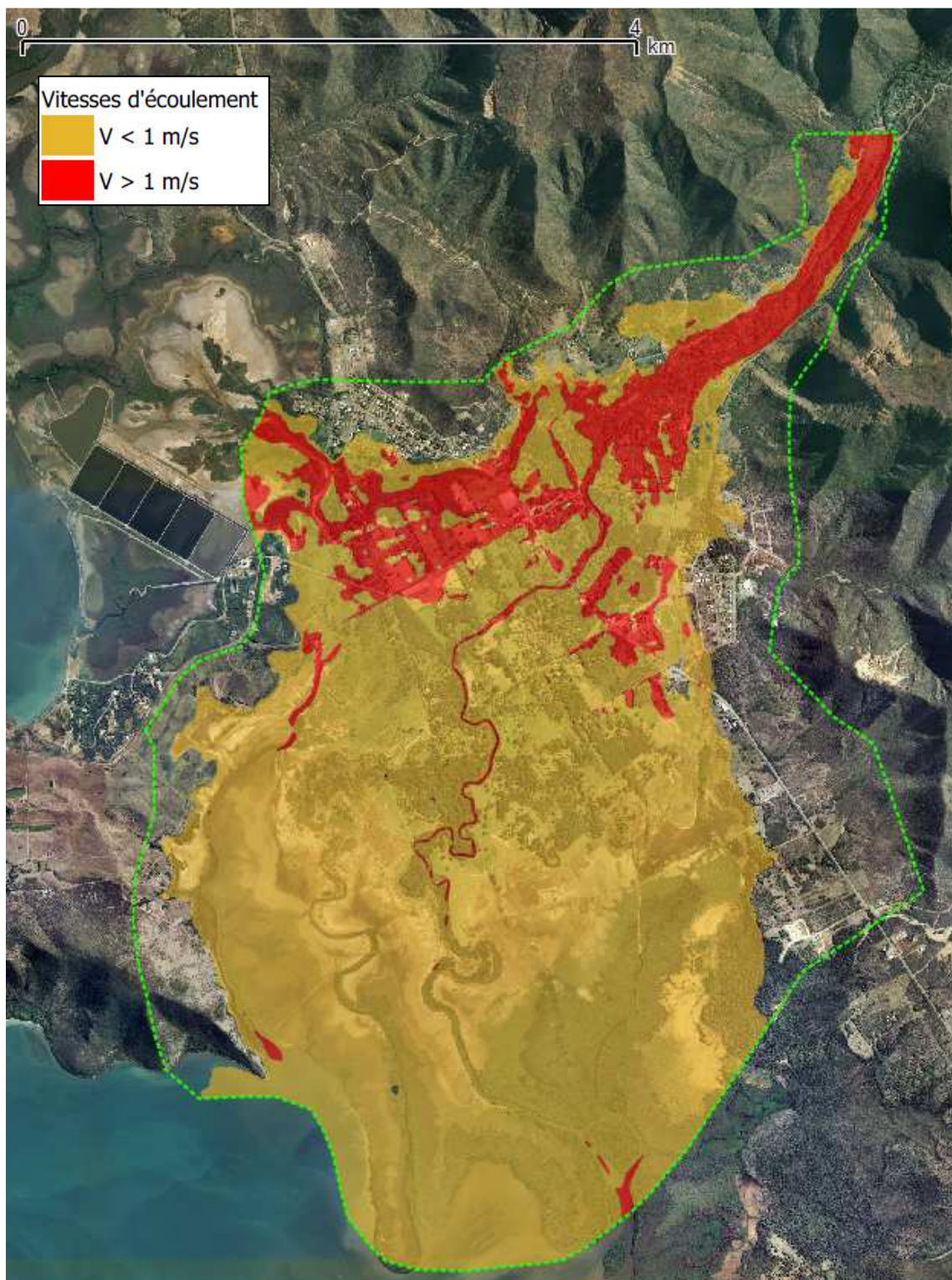


Figure 95 : Cartographie des écoulements pour la crue Q100 – Plus hautes vitesses atteintes

Au vu du débit de pointe peu changé entre l'événement de Beti 1996 et la crue de projet Q100, l'impact de l'inondation sur les zones d'enjeux de la Voh est identique à celui présenté en section 8.2.2.

Un complément sur les vitesses d'écoulements dans les zones d'enjeux est présenté en Figure 96.

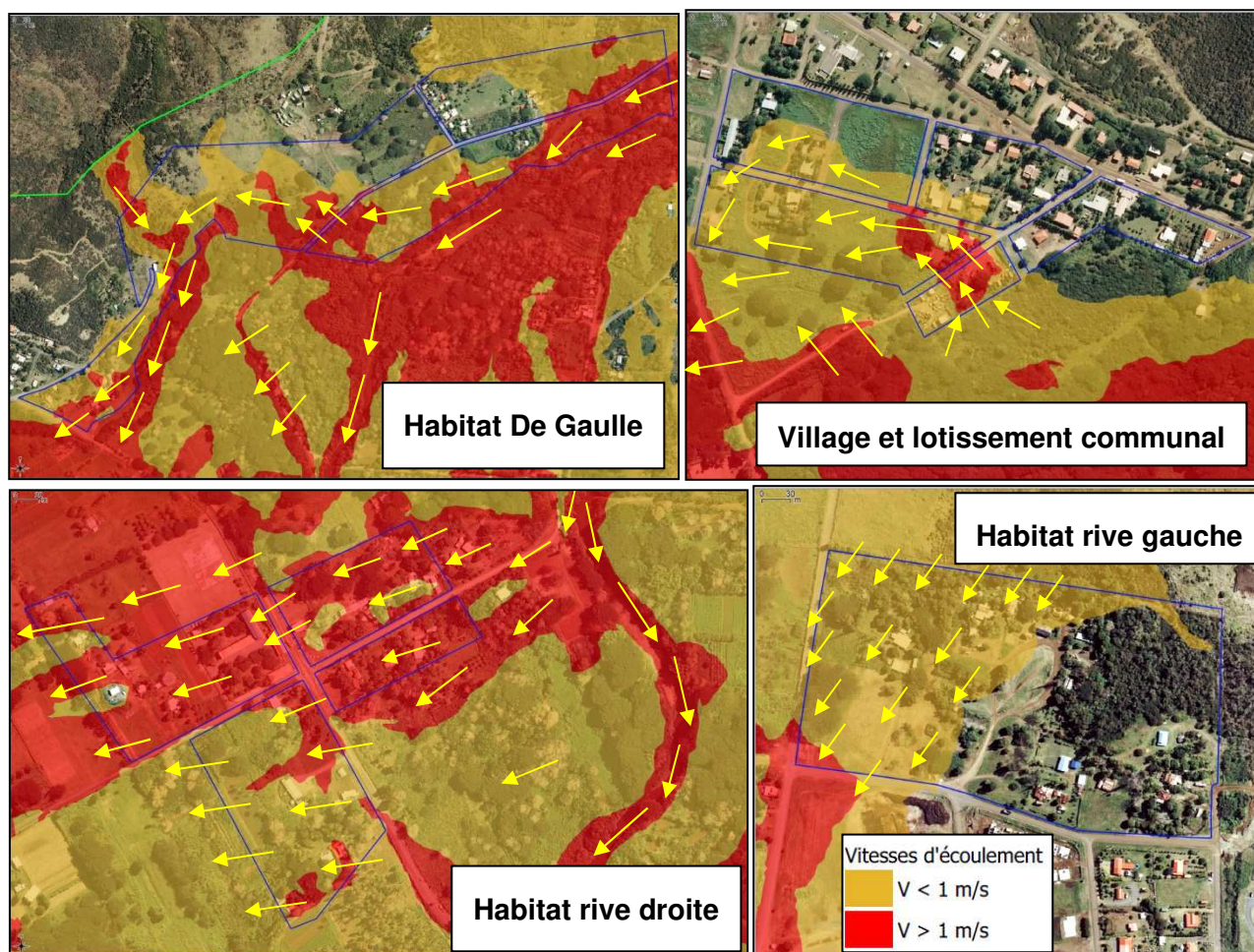


Figure 96 : Les vitesses d'écoulement de l'inondation des zones d'enjeux sur la Q100

La zone à enjeux Habitat De Gaulle est partiellement touchée par des vitesses d'écoulements supérieures à 1 m/s, directement issues des débordements en rive gauche de la Voh et de la Faléane proche de celle-ci. Pour rappel, en limite aval, le remblai routier de la route territoriale se comporte comme un seuil (en faisant barrage à l'écoulement) et l'ouvrage n°1 est en charge ce qui provoque un niveau élevé à l'amont de cette route, et sa surverse. Au droit de la surverse de la route, les vitesses peuvent atteindre les 4 m/s.

La zone Habitat rive droite est majoritairement inondée par des écoulements où les vitesses sont supérieures à 1 m/s et atteignent localement 2m/s

Les vitesses d'écoulement dépassent localement les 1 m/s au droit du secteur où les écoulements pénètrent dans la zone « village et lotissement » (cf Figure 96) et atteignent ponctuellement 3m/s. Le reste de la zone constitue plutôt une zone d'eau morte avec de faible vitesses ou l'eau s'accumule rapidement en début d'inondation et se ressuie en fin d'inondation.

La zone Habitat rive gauche est inondée avec des vitesses inférieures à 1 m/s.

11.1.4.2 Cartographie pour les crues décennale (Q10) et quinquennale (Q5)

Les hauteurs d'eau maximales des crues de projet Q5 et Q10 sont définies et présentées Figure 97.

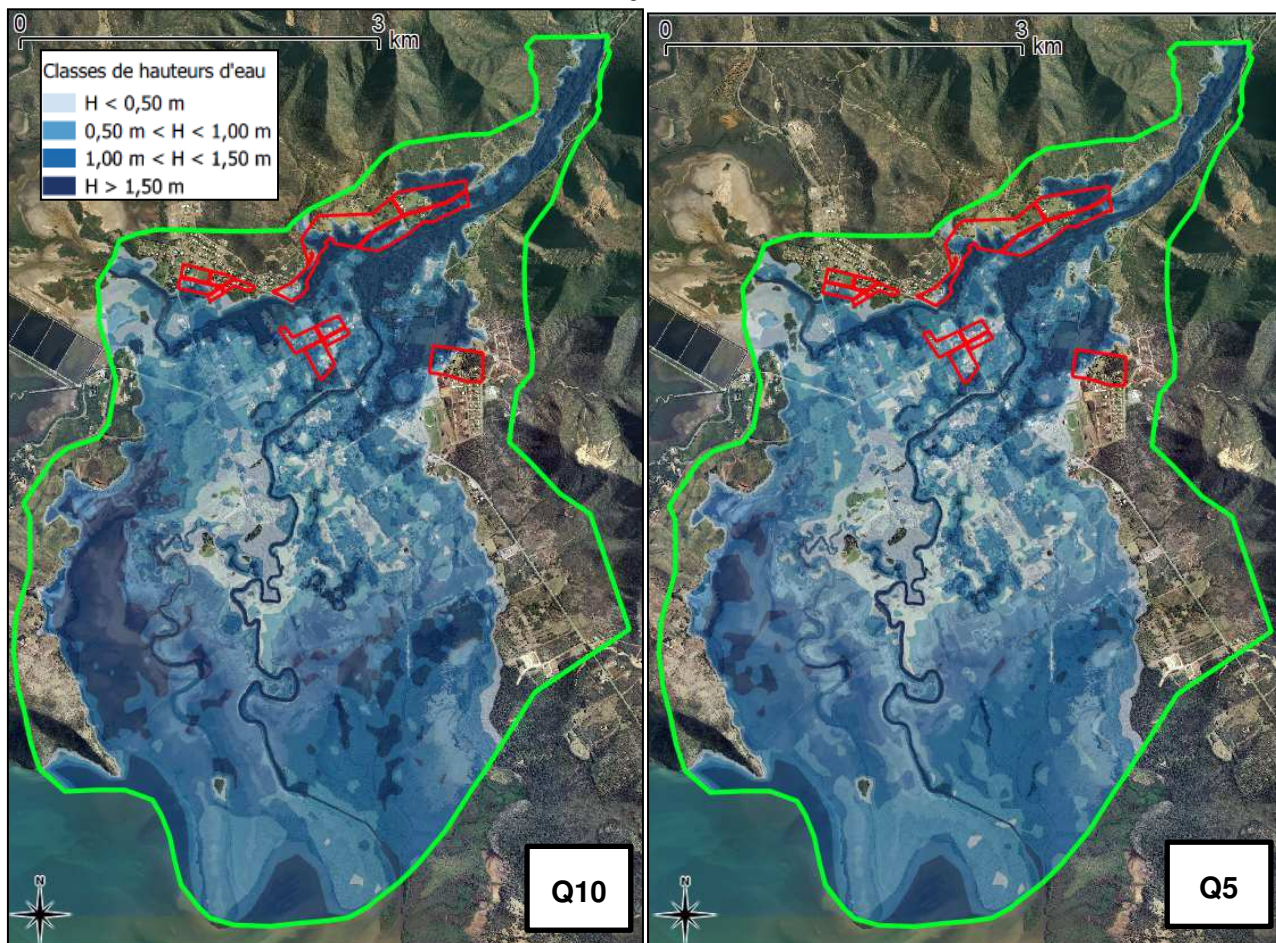


Figure 97 : Cartographie pour la crue Q10 et Q5 – Plus hautes eaux : débordement généralisé

Les hauteurs d'inondation baisse logiquement plus la période de retour de la crue est faible, toutefois l'emprise globale de l'inondation varie peu entre les crues centennale et quinquennale, témoignant de la faible capacité du lit mineur de la Voh.

Les vitesses d'écoulements maximales des crues de projet Q5 et Q10 sont définies et présentées Figure 98

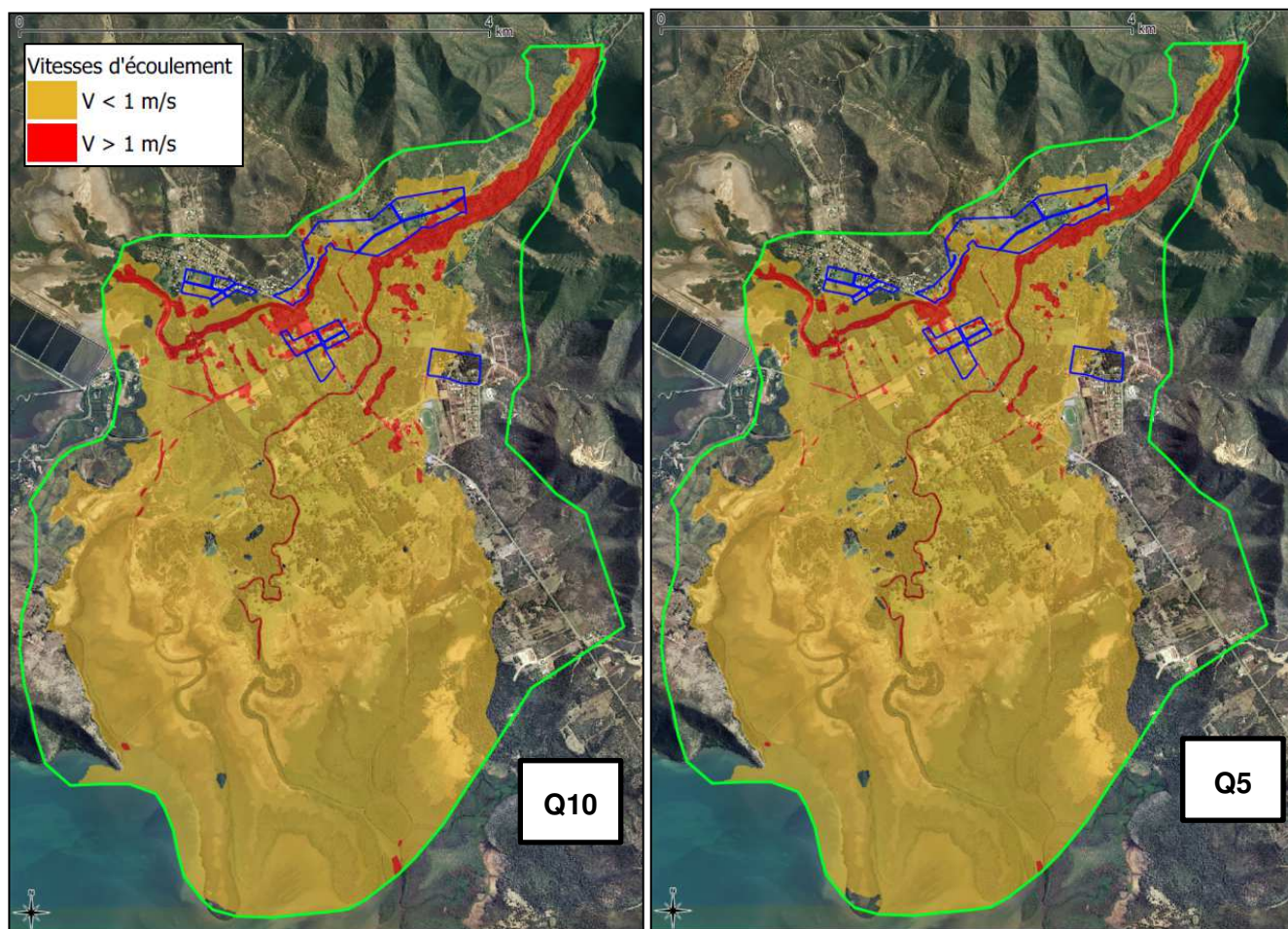


Figure 98 : Cartographie pour la crue Q10 et Q5 – Plus hautes vitesses : débordement généralisé

Les zones où les vitesses d'écoulements maximales atteintes sont supérieures à 1 m/s restent sensiblement similaires dans le cas des crues de projet Q10 et Q5 et moins étendues que pour la crue centennale.

Les zones où les vitesses dépassent les 1 m/s sont les suivantes :

- Les lits mineurs de la Voh et la Faléane,
- Le lit majeur de la Voh sur son quart-amont,
- Les zones de surverses sur les routes se comportant comme des seuils (RT1, route du cimetière).
- Au droit des routes ou remblais surversant,

11.2 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

11.2.1 DEFINITION DE LA GRILLE DES ALEAS

La qualification des aléas traduit le niveau de menace des inondations sur la vie humaine.

La cartographie des aléas est établie pour la crue centennale. Celle-ci est construite par croisement des classes de vitesses et des classes de hauteurs d'eau selon la grille présentée dans le tableau ci-dessous.

Vitesse \ Hauteur d'eau	Faible à modérée ≤ 1 m/s	Forte à très forte > 1 m/s
$H \leq 1$ m	Moyen	Fort
$1 < H \leq 1,5$ m	Fort	Très fort
$H > 1,5$ m	Très fort	Très fort

Tableau 50 : Grille de définition de l'aléa inondation par croisement des hauteurs d'eau et des vitesses

L'aléa pour la crue centennale sur le secteur de Voh est très proche de l'aléa subit par le territoire pour la crue liée à l'épisode Cyclonique de Beti en mars 1996.

L'interprétation des niveaux de risque en fonction des vitesses et hauteur d'eau est à rapprocher des estimations des capacités d'évolution moyenne des personnes et des possibilités d'intervention. Ci-après un graphique reprenant les principales estimations (les couleurs représentent les classes d'aléa).

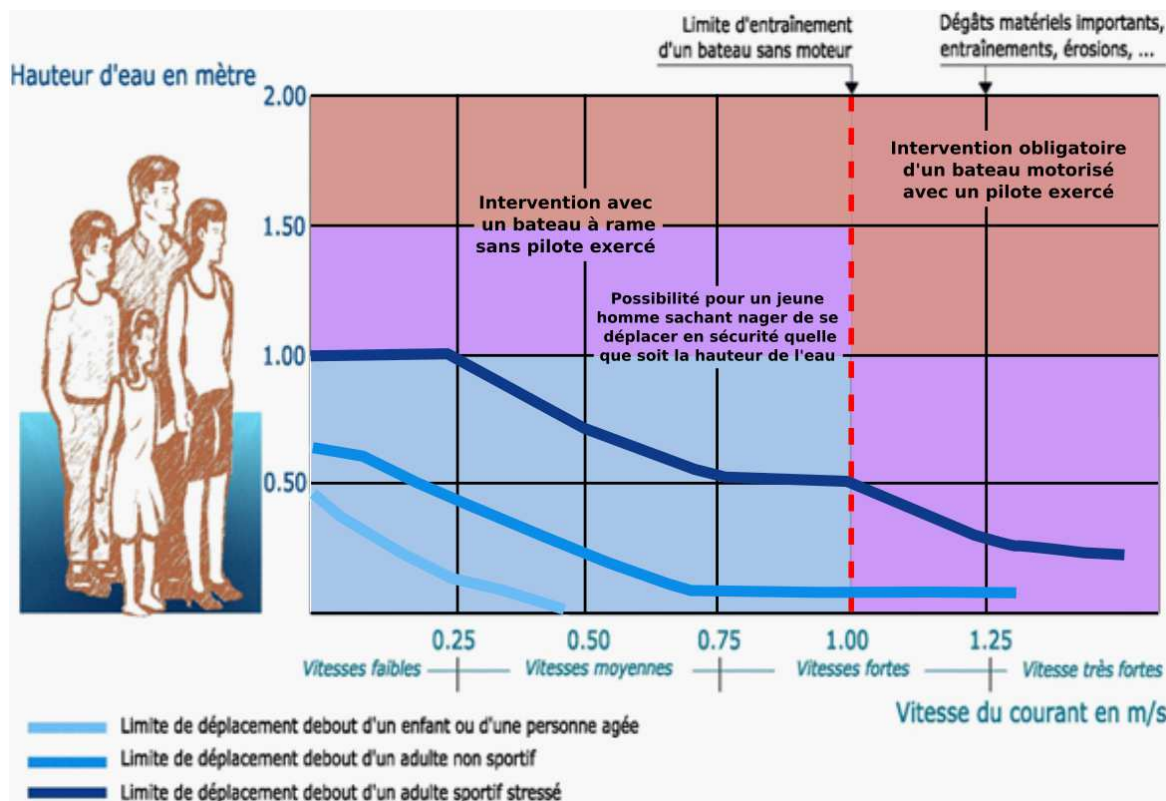


Figure 99 : Capacité de déplacement estimée et possibilités d'intervention en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement.

11.2.2 ZONE DE PROTECTION DES THALWEG

Une zone de protection des thalwegs est tracée sur la carte des aléas. Elle correspond aux lits mineurs des cours d'eau ou aux éventuels thalwegs en eau les rejoignant identifiés plus une bande tampon de 6 m de part et d'autre des leurs berges.

Lorsque le lit mineur comporte plusieurs bras avec la présence potentielle d'atterrissements ou d'ilots centraux, la zone de protection est tracée par rapport aux berges les plus extérieures et englobe donc ces atterrissements/ilots.

Sur le secteur d'étude, la zone de protection concerne uniquement les éléments suivants : le lit mineur de la Voh, le lit mineur de la Faléane et le thalweg de dimensions modestes traversant la route du cimetière et rejoignant la Faléane à l'aide de l'ouvrage hydraulique n°3 (cf. paragraphe 7.7). A l'exception de ce fossé de drainage des eaux aucun autre thalweg significatif, en eau et drainant des écoulements pour la crue centennale n'est observé sur le secteur d'étude.

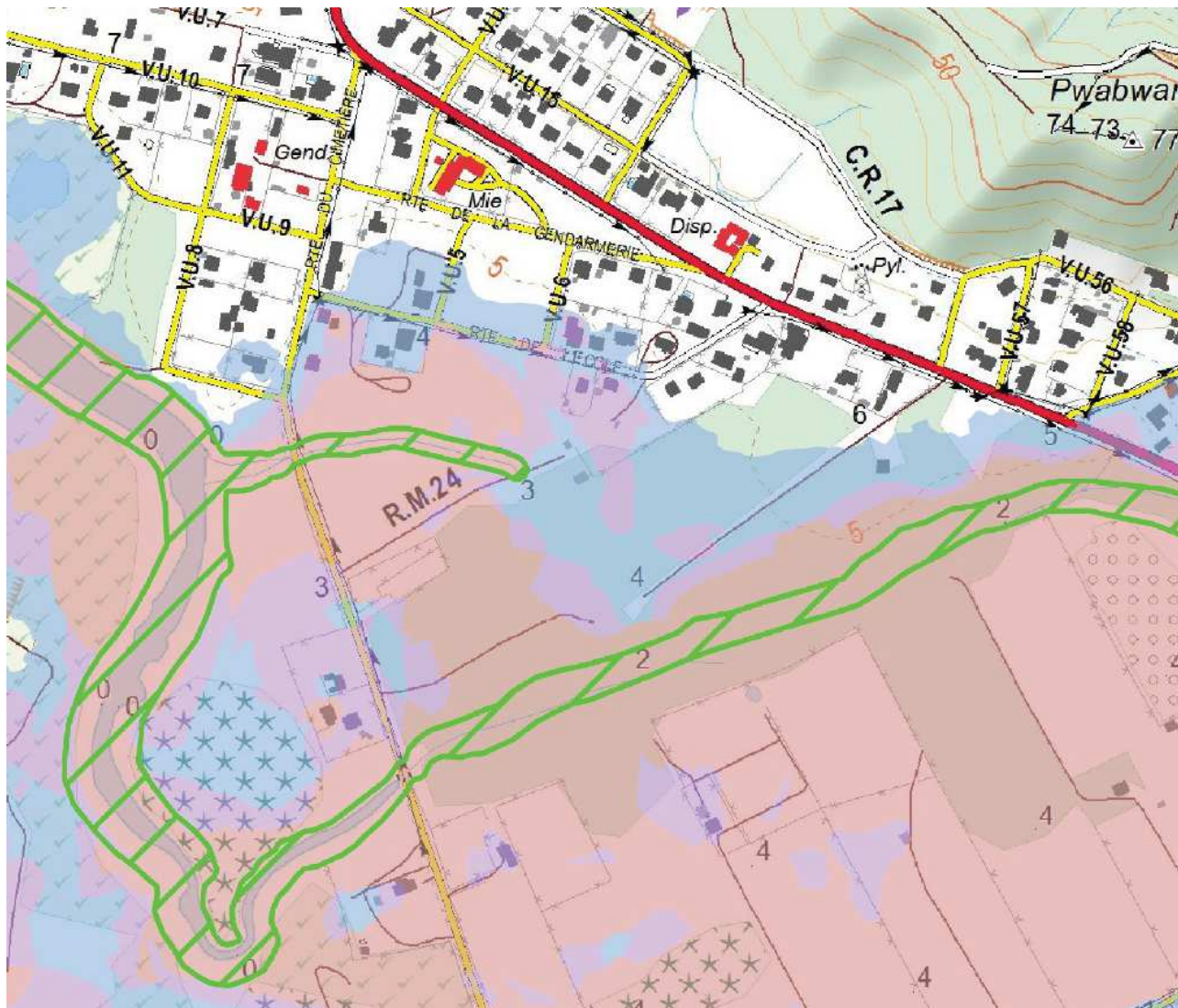


Figure 100 Localisation du thalweg de drainage des eaux rejoignant la Faléane et intégré dans la zone de protection des thalwegs

Les vitesses sont faibles dans ce thalweg à l'amont de la route du cimetière, puisque cette dernière est en charge et se comporte comme un obstacle/seuil à l'écoulement. Les écoulements dans le thalweg prennent de la vitesse uniquement à l'aval de l'ouvrage n°3 (qui est en charge) et atteignent une vitesse maximale de 1.6 m/s.

11.2.3 CARTOGRAPHIE DES ALEAS

La cartographie de l'aléa inondation sur la Q100 est présentée **Figure 101**. La zone inondable de la Voh par une crue Q100 est majoritairement en aléa très fort. En amont l'aléa est très fort du fait des fortes hauteurs d'eau et des fortes vitesses d'écoulements en sortie de la vallée. En aval, l'aléa est très fort principalement du fait des fortes hauteurs d'eau, notamment dans la plaine inondable sous influence marine.

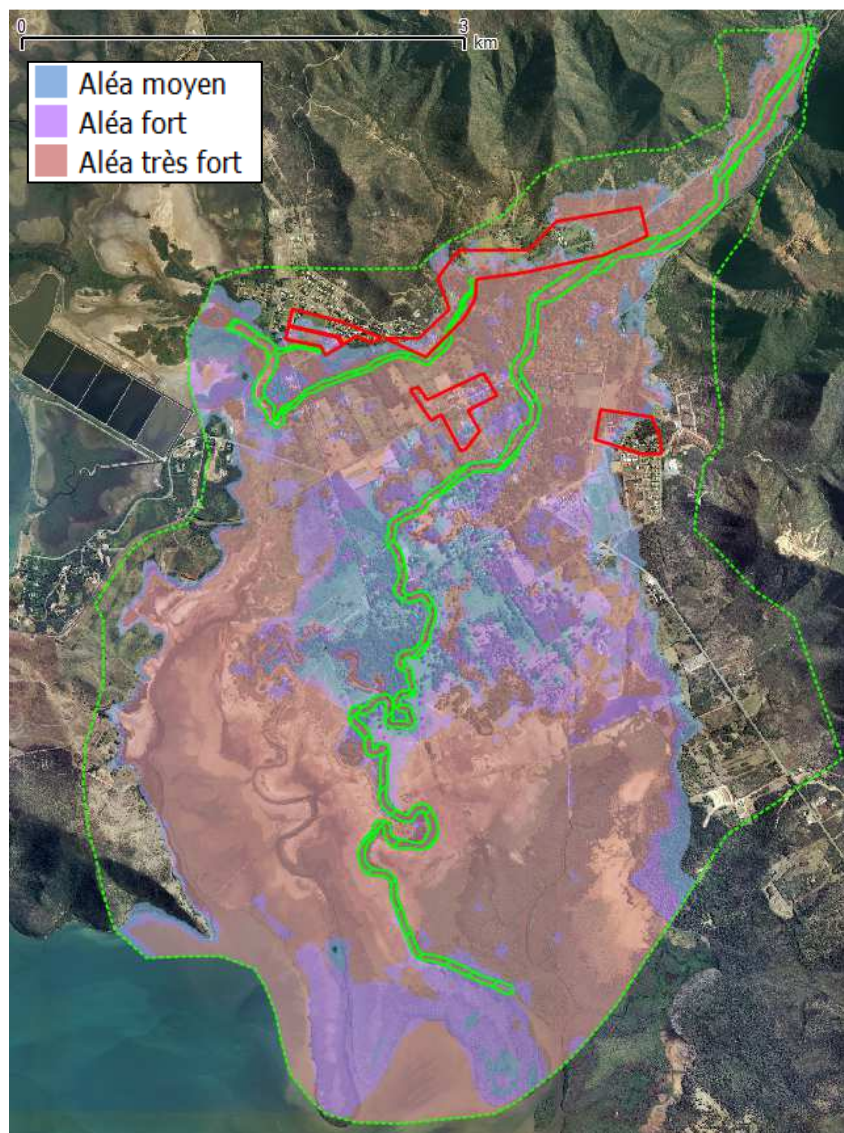


Figure 101 : Cartographie des écoulements pour la crue Q100 – Aléa inondation : débordement généralisé

Dans la majorité des zones à enjeux, l'inondation est caractérisée par un aléa très fort. L'aléa diminue lorsqu'on s'approche des franges de l'inondation ainsi qu'au droit des zones remblayées (habitation de la zone « habitat rive droite) du fait de la diminution des hauteurs d'eau.

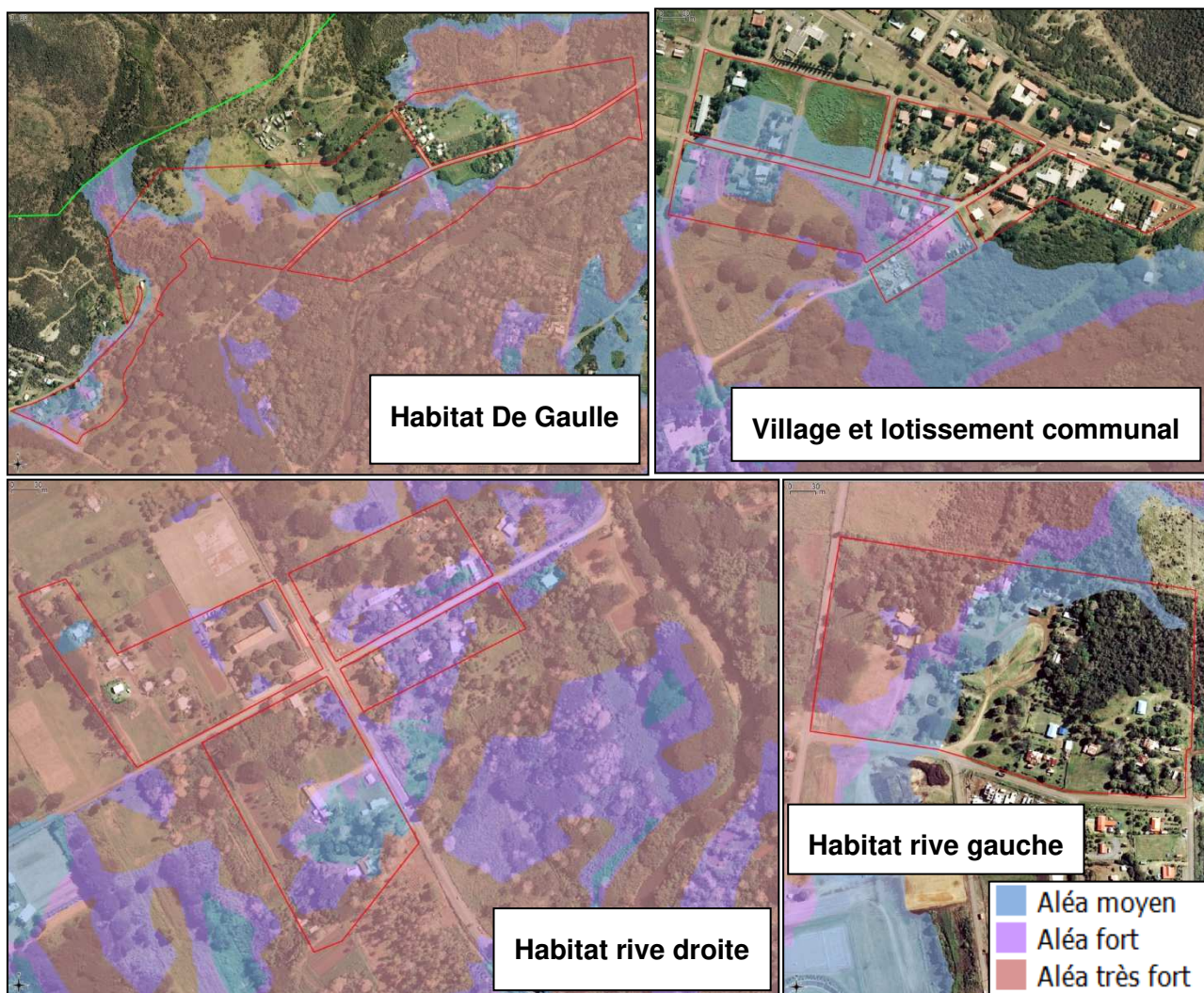


Figure 102 : L'aléa de l'inondation des zones à enjeux sur la Q100

ANNEXE 1 CARTOGRAPHIES DES ZONES INONDABLES DE LA VOH ET LA FALEANE

ANNEXE 2 PROFILS EN LONG DE LA VOH ET LA FALEANE

ANNEXE 3 LAISSES DE CRUES

ANNEXE 4 RELEVES TOPOGRAPHIQUES