VIVILLES DE SAINT-ANDRE ET DE SAINTE-SUZANNE

Etude générale de définition des aménagements et actions de réduction de la vulnérabilité sur le Territoire à Risque Inondation Saint-André / Sainte-Suzanne

DEFINITION DE L'ETAT DE REFERENCE

Ville & Transport
Réunion Océan Indien
121 boulevard Jean Jaurès
CS 31005
97404 SAINT-DENIS CEDEX
Tel. : 02 62 90 96 00
Fax : 02 62 90 96 01

HYDRETUDES OCEAN INDIEN
45 rue Luc Lorion
97410 SAINT-PIERRE
Tel. : 02 62 96 82 45
Fax : 02 62 32 69 05

DATE : JUILLET 2020 REF : 4702317-R1VH

H	Version intégrant les remarques MOA/AMO/DEAL	17/07/2020	CHe	CHe	CHe
G	Version intégrant les remarques MOA/AMO	30/04/2020	YML	CHe	CHe
F	Version intégrant les remarques MOA/AMO	14/02/2020	YML	CHe	CHe
E	Version intégrant les remarques MOA/AMO	23/12/2019	EMi	Che	CHe
D	Version intégrant les remarques MOA/AMO	03/09/2019	EMi	CHe	CHe
C	Version intégrant les remarques MOA/AMO	07/06/2019	EMi	CHe	CHe
B	Version complétée	11/2018	EMi	SGz/LDd	CHe
A	Version initiale	06/2018	RMx/SGz	CHe	SHo
INDICE	*OBJET DE LA MODIFICATION*	*DATE*	*VISA EMETTEUR*	*VISA RELECTURE*	*VISA APPROBATION*

SOMMAIRE

1. PREAMBULE 19
1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE 19
1.2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 20
1.3. CONTEXTE PHYSIQUE 21
1.4. SYSTEME DE REPERAGE ET LOCALISATION 23
1.5. CONTENU DE L'ETUDE 26
2. COLLECTE DE DONNEES 27
2.1. ETUDES ANTERIEURES ET DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES 27
2.2. BASES DE DONNEES NATIONALES 29
2.3. DONNEES RESEAUX 30
2.4. REFERENTIELS METHODOLOGIQUES 30
2.5. COLLECTES SPECIFIQUES AU VOLET DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE 31
2.6. DONNEES NON DISPONIBLES 31
3. RECONNAISSANCES DE TERRAIN 32
3.1. DEROULEMENT DES VISITES 32
3.2. OBJECTIFS 32
3.3. ETAT DES LIEUX DES PROTECTIONS CONTRE LES CRUES ET LES EROSIONS 33
3.3.1. Grande Rivière Saint-Jean 36
3.3.2. Petite Rivière Saint-Jean 48
3.3.3. Ravine Sèche 50
3.3.4. Ravine Payet 64
3.4. PRESENTATION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES 71
3.4.1. Description des ouvrages d'art 71
3.4.2. Ouvrages hydrauliques (OH) 83
3.5. RECENSEMENT DES POINTS NOIRS ET POINTS D'EROSION 85
3.5.1. Localisation des désordres 85
3.5.2. Cas de la Grande Rivière Saint-Jean 89
3.5.3. Cas de la ravine Sèche 105
3.5.3.1. EROSIONS PONCTUELLES 105
3.5.3.2. APPROFONDISSEMENT DU LIT MINEUR 107
3.5.4. Cas de la ravine Payet 108
3.5.5. Désordres liés à Fakir pour lesquels des travaux de confortement sont prévus 109
3.5.5.1. RAVINE SECHE – PK 3450 109
3.5.5.2. RAVINE SECHE – PK 1300 110
3.5.5.3. RAVINE SECHE – PK 1200 113
3.5.5.4. RAVINE SECHE – PK 930 114
3.5.5.5. RAVINE SECHE – PK 420 115
3.5.5.6. AFFLUENT RAVINE SECHE - PARCELLE BL 71 116
3.5.5.7. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN – PK -500 117
3.5.5.8. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN AU PK – 650 EN RG (COMMUNE BEGUE) 119
3.5.5.9. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN AU PK – 950 EN RG (CHEMIN GONZAGUES) 119
3.5.5.10. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN AU PK – 2000 EN RG (RESIDENCE SIDR) 119
3.5.5.1. TRAVAUX PROPOSES – A VENIR 120
3.5.6. Empiètement dans le lit des cours d'eau 125
3.5.6.1. ANALYSE DIACHRONIQUE 1989-2017 125
3.5.6.2. OPERATIONS RELEVEES PAR LA DEAL 133
3.5.6.3. CONTEXTE REGLEMENTAIRE 135
4. ANALYSE GEOMORPHOLOLOGIQUE 137
4.1. PROFIL EN LONG GENERAL DU LIT 137

4.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE 142
4.3. PHENOMENE D'EROSION ET TRANSPORT SOLIDE 143
4.3.1. Les mouvements de terrain historiques recensés sur le bassin versant 143
4.3.2. Les mouvements de terrain observés pendant les reconnaissances de 2010 (source PGRi) 143
4.3.3. Les mouvements de terrain observés pendant FAKIR (avril 2018) 144
4.3.4. Comportement des terrains vis-à-vis de l'érosion 145
4.3.5. Transport solide 147
5. ETUDE HISTORIQUE †BASSIN DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN 149
5.1. EVENEMENTS MARQUANTS 149
5.2. LAISSES DE CRUES HISTORIQUES 150
5.2.1. Fakir – 2018 150
5.2.1.1. RAVINE SECHE 150
5.2.1.2. PONT DE LA RN2002 155
5.2.1.3. BOIS ROUGE 157
5.2.2. Février 1990 158
5.2.2.1. RAVINE SECHE 158
5.2.2.2. BOIS ROUGE 158
5.2.2.3. CAMBUSTON 159
5.2.3. Clotilda - 1987 160
5.2.4. Hyacinthe - 1980 161
5.2.4.1. BOIS ROUGE 161
5.2.4.2. BRAS DES CHEVRETTES / RAVINE SECHE 161
5.2.5. Visite terrain - centre-ville de Saint-André 162
5.2.6. Autres données 165
5.2.7. Bilan des données 165
6. ANALYSE HYDROLOGIQUE ET CONDITIONS MARINES 170
6.1. RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET BASSINS VERSANTS 170
6.1.1. Généralités 170
6.1.2. Délimitation 172
6.1.3. Caractéristiques des bassins versants 173
6.1.3.1. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES 173
6.1.3.2. COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT 173
6.1.3.3. TEMPS DE CONCENTRATION 176
6.2. ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE 178
6.2.1. Rappel des valeurs précédemment admises 178
6.2.1.1. METHODE RATIONNELLE 178
6.2.1.2. MODELE DE TRANSFORMATION PLUIE-DEBIT 179
6.2.2. Nouvelle estimation des débits de pointe de crue 182
6.2.2.1. GUIDE DEAL 182
6.2.2.2. METHODE RATIONNELLE 183
6.2.2.3. COMPARAISON DES VALEURS DE DEBITS OBTENUES 185
6.2.3. Elaboration des hydrogrammes de crues caractéristiques 185
6.2.3.1. ACTUALISATION DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES 186
6.2.3.2. DEFINITION DES HYETOGRAMMES DE DUREE 12 H 186
6.2.3.3. DEFINITION DES HYETOGRAMMES DE DUREE 24 H 186
6.2.3.4. DEFINITION DES HYDROGRAMMES DE PERIODE DE RETOUR 10 ANS 189
6.2.3.5. DEFINITION DES HYDROGRAMMES DE PERIODE DE RETOUR 100 ANS 191
6.2.3.6. DEFINITION DES HYDROGRAMMES DE PERIODE DE RETOUR 10 000 ANS 193
6.2.4. Test et choix de la durée de la crue de référence 195
6.2.4.1. RAPPEL DE LA DUREE RETENUE DANS LE PGRI 195
6.2.4.2. COMPARAISON CRUES 12H ET 24H 195
6.3. COMPARAISON AVEC LES STATIONS HYDROLOGIQUES EXISTANTES 197
6.5. HYDROLOGIE DETAILLEE DES RAVINES SECHE ET PAYET SUR LA TRAVERSEE DU CENTRE VILLE 201
6.5.1. Méthode 201
6.5.2. Points de calcul et bassins versants 201
6.5.3. Débits de pointe 202
6.6. SYNTHESE DES DEBITS DE POINTE 203
6.7. CONDITIONS MARINES ET CORDON LITTORAL 204
6.7.1. Introduction 204

6.7.2. Niveaux marin 204
6.7.3. Comportement du cordon littoral 206

7. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE - MODELISATION 210

7.1. PRESENTATION 210
7.1.1. Choix du type de modélisation 210
7.1.2. Présentation du modèle 211
7.1.3. Synthèse des hypothèses hydrologiques 212

7.2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DES RAVINES SECHE ET PAYET - MODELE 1D 213
7.2.1. Hypothèses hydrologiques 213
7.2.2. Modèle 1D / 2D 214
7.2.3. Points de débordements de la Ravine Sèche en Crue décennale / centennale 217
7.2.4. Points de débordements de la Ravine Payet en Crue décénale / centennale 219

7.3. CONSTRUCTION DES MODELES 2D 221
7.3.1. Secteur Bois Rouge et la Marine 221
7.3.1.1. EMPRISE 221
7.3.1.2. SYSTEME DE COORDONNEES 222
7.3.1.3. MAILLAGE 222
7.3.1.4. COEFFICIENTS DE FROTTEMENT 223
7.3.1.5. CONDITIONS AUX LIMITES – INTRODUCTION DE DEBITS 224
7.3.1.6. CONDITIONS AUX LIMITES – CONDITION AVAL 227
7.3.2. Secteur rive gauche Ravine Sèche 228
7.3.2.1. PRESENTATION / EMPRISE 228
7.3.2.2. MAILLAGE 230
7.3.2.3. COEFFICIENTS DE FROTTEMENT 231
7.3.2.4. CONDITIONS AUX LIMITES 232
7.3.3. Secteur rive droite Ravine Sèche 235
7.3.3.1. PRESENTATION / EMPRISE 235
7.3.3.2. MAILLAGE / FROTTEMENTS 236
7.3.3.3. CONDITIONS AUX LIMITES 237

7.4. RESULTATS DE LA MODELISATION 2D 239
7.4.1. Centre-ville 239
7.4.1.1. CRUE DECENNALE 239
7.4.1.2. CRUE Q_{30} 243
7.4.1.3. CRUE Q50 246
7.4.1.4. CRUE CENTENNALE 249
7.4.1.5. CRUE DECAMILLENNALE 255
7.4.2. Bois Rouge / la Marine 258
7.4.2.1. CRUE DECENNALE 258
7.4.2.2. Q30 264
7.4.2.3. Q_{50} 267
7.4.2.4. CRUE CENTENNALE 270
7.4.2.5. CRUE DECAMILLENNALE 276

7.5. SYNTHESE DES RESULTATS DES MODELISATIONS 279

7.6. COHERENCES DES RESULTATS DES MODELISATIONS AVEC LES EVENEMENTS HISTORIQUES 286
7.6.1. Généralités 286
7.6.2. Centre-Ville St André 287
7.6.3. Cambuston / quartier Français 289
7.6.4. Plaine de Bois Rouge 289
7.6.5. Conclusion 290

7.7. LIMITES DU MODELE : EMBACLES 291
7.7.1. Constat 291
7.7.2. Zones de production 292
7.7.3. Solutions 294

7.8. IMPACT RIVIERE SAINTE SUZANNE 295
7.8.1. Résultats du PGRi 296
7.8.1.1. TYPE DE MODELE 296
7.8.1.2. RAPPEL DES HYPOTHESES 297
7.8.1.3. RAPPEL DES RESULTATS 297
7.8.1.4. SYNTHESE 299
7.8.2. Résultats de l'étude de dangers de la digue du Bocage 300
7.8.2.1. PRESENTATION DU MODELE 300
7.8.2.2. RESULTATS 301

7.8.2.3. SYNTHESE 303
7.8.3. Résultats de l'étude hydraulique pour le TCSP 304
7.8.4. Synthèse et orientation pour les scénarios d'inondation à retenir 305
7.9. THALWEG COMMUNE BEGUE 308
7.10. ZONE D'EXPANSION DES CRUES 312
8. CARACTERISATION DE L'ALEA 316
8.1. METHODOLOGIE 316
8.2. ERODABILITE DES BERGES 316
8.3. COMPILATION DES DONNEES SUR LES BERGES 317
8.4. ANALYSE TOPOGRAPHIQUE 320
8.5. PROBABILITE D'OCCURRENCE 322
8.6. CHIFFRAGE DES DOMMAGES 323
9. DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE 333
9.1. METHODOLOGIE 333
9.2. ÉTAPES PREALABLES 334
9.2.1. Définition du périmètre du diagnostic 334
9.2.2. Caractérisation succincte du territoire 340
9.2.3. Choix du scénario d'inondation 341
9.2.4. Réalisation des enquêtes 341
9.2.4.1. 1ERE PARTIE DES ENQUETES : DIAGNOSTIC EXTERIEUR 341
9.2.4.2. 2EME PARTIE DES ENQUETES : AVEC L'HABITANT 342
9.2.5. Résultats des enquêtes 346
9.2.5.1. RESULTATS DE LA 1ERE PARTIE D'ENQUETE 346
9.2.5.2. RESULTATS DE LA 2EME PARTIE DES ENQUETES 347
9.2.6. Choix des axes et des sources de vulnérabilité 353
9.2.7. Données utilisées 353
9.3. PRESENTATION SYNTHETIQUE DU DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE 354
9.3.1. Objectif n°1 : Sécurité des personnes 354
9.3.2. Objectif n°2 : Coût des dommages 362
9.3.3. Objectif n°3 : Retour à la normale 368
9.4. OBJECTIF N°1 : LA SECURITE DES PERSONNES 369
9.4.1. Axe 1.1 : Mise en danger des personnes au sein des bâtiments 369
9.4.1.1. **SOURCE 1/1 : MISE EN PÉRIL DE LA STRUCTURE DES BÂTIMENTS** 369
9.4.1.2. SOURCE 1/2 : INONDATION DE BÂTIMENTS D'HABITAT (COLLECTIFS ET INDIVIDUELS) 370
9.4.1.3. SOURCE 1/3 : DÉSTABILISATION OU INONDATION D'HABITATS LÉGERS OU DE LOISIR (CARAVANE, MOBIL-HOMES, TENTES) 377
9.4.1.4. SOURCE 1/4 : INONDATION DE CERTAINS ÉTABLISSEMENTS DITS SENSIBLES (CRÈCHES, ÉCOLES, MAISON DE RETRAITE, ÉTABLISSEMENT RECEVANT DES PERSONNES HANDICAPÉES) 377
9.4.1.5. SOURCE 1/5 : VULNERABILITE DES ÉTABLISSEMENTS DE SANTÉ. 383
9.4.1.6. BILAN : VULNERABILITE DES BATIMENTS 383
9.4.2. Axe 1.2 : Le dysfonctionnement des infrastructures et des réseaux 388
9.4.2.1. SOURCE 1/6 : PRESENCE D'EAU ET/OU DE COURANTS DANS LES ESPACES OUVERTS FRÉQUENTES PAR DES PIÉTONS OU DES VÉHICULES 388
9.4.2.2. SOURCE 1/7 : DANGEROSITÉ DES ITINÉRAIRES D'ACCÈS AUX HABITATIONS 392
9.4.2.3. SOURCE 1/8 : ISOLEMENT PROLONGE DE QUARTIERS PEUPLES 392
9.4.2.4. SOURCE 1/9 : DIFFICULTÉ D'ÉVACUATION DE ZONES DE CONCENTRATION DE POPULATIONS 392
9.4.2.5. SOURCE 1/10 : DANGERS LIES À UN DYSFONCTIONNEMENT DE RÉSEAU URBAIN 392
9.4.3. Axe 1.3 : La mise en danger des personnes liée aux suraléas 398
9.4.3.1. SOURCE 1/11 : SURALEA GENERE PAR UN OUVRAGE HYDRAULIQUE 398
9.4.3.2. SOURCE 1/12 : SURALEA TECHNOLOGIQUE 400
9.4.4. Axe 1.4 : Le manque de préparation à la crise 402
9.4.4.1. SOURCE 1/13 : PRÉPARATION INDIVIDUELLE À LA CRISE 402
9.4.4.2. SOURCE 1/14 : PRÉPARATION COLLECTIVE À LA CRISE 402
9.4.4.3. SOURCE 1/15 : ÉVOLUTION DE LA VULNERABILITE DANS LE TEMPS 405
9.5. OBJECTIF N°2 : LE COUT DES DOMMAGES 413
9.5.1. Axe 2.1 : Les dommages aux bâtiments 413
9.5.1.1. SOURCE 2/1 : ATTEINTE A LA STRUCTURE DES BÂTIMENTS 413
9.5.1.2. SOURCE 2/2 : PENETRATION D'EAU DANS LES LOGEMENTS 413

9.5.1.3. SOURCE 2/3 : DESTRUCTION OU ENDOMMAGEMENT DES HABITATS LEGERS 415
9.5.2. Axe 2.2 : Les dommages au patrimoine 415
9.5.2.1. SOURCE 2/4 : DOMMAGES DIVERS AU PATRIMOINE 415
9.5.2.2. SOURCE 2/5 : DOMMAGES A L'ENVIRONNEMENT : CHARRIAGE DE POLLUTIONS ET DÉCHETS 418
9.5.3. Axe 2.3 : Les dommages aux activités et aux biens 425
9.5.3.1. SOURCE 2/6 : INONDATION, ÉROSION, DÉPÔTS AU SEIN DES EXPLOITATIONS AGRICOLES 425
9.5.3.2. SOURCE 2/7 : INONDATION DES BÂTIMENTS, MOBILIERS ET STOCKS, ET PERTES D'ACTIVITÉ DES ENTREPRISES 427
9.5.3.3. SOURCE 2/8 : INONDATION DES BÂTIMENTS ET MOBILIERS DES ÉTABLISSEMENTS PUBLICS 442
9.5.4. Axe 2.4 : Les dommages aux infrastructures et aux réseaux 444
9.5.4.1. SOURCE 2/11 : DOMMAGES DUS AUX DYSFONCTIONNEMENTS DES RÉSEAUX PAR EFFETS DOMINOS 454
9.5.5. Axe 2.5 : Le manque de préparation à la crise. 456
9.5.5.1. SOURCE 2/12 : PRÉPARATION INDIVIDUELLE À LA CRISE 456
9.5.5.2. SOURCE 2/13 : PRÉPARATION COLLECTIVE À LA CRISE 456
9.5.5.3. SOURCE 2/14 : ÉVOLUTION DE LA VULNERABILITE DANS LE TEMPS 456
9.5.6. Bilan du coût des dommages 457
9.6. OBJECTIF N°3 : LE RETOUR A LA NORMALE 460
9.6.1. Axe 3.1 : L'impact au territoire 460
9.6.1.1. SOURCE 3/1 : IMPACT POTENTIEL D'UNE CRUE SUR LE TERRITOIRE 460
9.6.1.2. SOURCE 3/2 : CONFIGURATION DE L'HABITAT FACE À UNE INONDATION 462
9.6.1.3. SOURCE 3/3 : CAPACITÉ À FAIRE FACE AUX CONSÉQUENCES SOCIALES ET PSYCHOLOGIQUES LIÉES À DES MISES EN DANGER OU À LA PERTE DE BIENS 464
9.6.1.4. SOURCE 3/4 : CAPACITÉ DES SERVICES PUBLICS PRIORITAIRES (HÔPITAUX, ETC.) À FAIRE FACE À L'INONDATION. 464
9.6.1.5. SOURCE 3/5 : CAPACITÉ DES AUTRES SERVICES PUBLICS À FAIRE FACE À L'INONDATION 464
9.6.1.6. SOURCE 3/6 : CAPACITÉ DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES À FAIRE FACE À L'INONDATION 464
9.6.1.7. SOURCE 3/7 : CAPACITÉ À FAIRE FACE AUX IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX 464
9.6.1.8. SOURCE 3/8 : CAPACITÉ À FAIRE FACE AUX IMPACTS PATRIMONIAUX 464
9.6.2. Axe 3.2 : Le rétablissement des infrastructures et des réseaux 465
9.6.2.1. SOURCE 3/9 : CAPACITE DES GESTIONNAIRES À MAINTENIR OU À RÉTABLIR LE FONCTIONNEMENT DES INFRASTRUCTURES 465
9.6.2.2. SOURCE 3/10 : CAPACITÉ À MAINTENIR OU REMETTRE EN ÉTAT LES OUVRAGES DE PROTECTION 465
9.6.2.3. SOURCE 3/11 : CAPACITÉ DES GESTIONNAIRES A MAINTENIR OU RÉTABLIR LES RÉSEAUX 466
9.6.3. Axe 3.3 : Le manque de préparation de la crise 466
9.6.3.1. SOURCE 3/12 : PRÉPARATION INDIVIDUELLE AU RETOUR À LA NORMALE 466
9.6.3.2. SOURCE 3/13 : PRÉPARATION COLLECTIVE AU RETOUR À LA NORMALE 467
9.6.3.3. SOURCE 3/14 : MOYENS DISPONIBLES POUR LE NETTOYAGE ET LE RETOUR À LA NORMALE 467
9.7. CONCLUSION SUR LE DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE 468
10. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL 470
11. CONCLUSION GENERALE 473
Annexe 1 Levés LIDAR †5DSSRUW G•H[pFXWLRQ 477
Annexe 2 Cartographies des zones inondables 478
Annexe 3 &DUWH G•pURGDELOLWp GHV EHUJHV GH OD JU saint et de ses affluents 479
Annexe 4 Fiche Bati (fiches enquetes) 480
Annexe 5 Note méthodologique calcul des dommages 481

Annexe 6 1RWH PpWKRGRORJLTXH G•$RXW 482

TABLEAUX

TABL. 1 - POINTS DE REFERENCES GRADUES 23
TABL. 2 - ETUDES ANTERIEURES ET DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES 27
TABL. 3 - PRINCIPALES BASES DE DONNEES NATIONALES UTILISEES 29
TABL. 4 - DONNEES SUR LES RESEAUX 30
TABL. 5 - DONNEES NON DISPONIBLES 31
TABL. 6 - DIMENSIONS DES OUVRAGES DE LA RAVINE PAYET 83
TABL. 7 - TRAVAUX D'URGENCE POST FAKIR 121
TABL. 8 - SYNTHESE DU CONTEXTE GEOLOGIQUE (SOURCE : PGRI) 142
TABL. 9 - CLASSIFICATION DE L'ERODABILITE DES TERRAINS (SOURCE PGRI) 145
TABL. 10 - ESTIMATION DES VOLUMES MOYENS ANNUELS DE MATERIAUX MOBILISES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN 148
TABL. 11 - TABLEAU DE SYNTHESE DES DONNEES DE LAISSES DE CRUE DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN ET DE SES AFFLUENTS 169
TABL. 12 - CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS 173
TABL. 13 - RATIOS DE RUISSELLEMENT 174
TABL. 14 - COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT PAR BASSIN VERSANT 175
TABL. 15 - TEMPS DE CONCENTRATION PAR BASSIN VERSANT 176
TABL. 16 - INTENSITES DE PLUIE ET DEBITS DE POINTE ISSUS DE LA METHODE RATIONNELLE (PGRI – 2011) 178
TABL. 17 - COMPARAISON DES VALEURS DE DEBITS OBTENUES PAR LA METHODE RATIONNELLE ET LA MODELISATION PLUIE-DEBIT (PGRI – 2011) 180
TABL. 18 - ZONAGE PLUVIOMETRIQUE 182
TABL. 19 - COEFFICIENTS DE MONTANA RETENUS 182
TABL. 20 - DEBITS DE CRUE OBTENUS SELON LE GUIDE DE LA DEAL 183
TABL. 21 - HAUTEURS CARACTERISTIQUES DE PRECIPITATIONS ESTIMEES A MENCIOL (SOURCE : METEO-FRANCE) 183
TABL. 22 - DEBITS DE CRUE OBTENUS SELON LA FORMULE RATIONNELLE (2018) 184
TABL. 23 - COMPARAISON DES VALEURS DE DEBITS OBTENUES PAR LE GUIDE DEAL ET LA METHODE RATIONNELLE (2018) 185
TABL. 24 - HAUTEURS DE PLUIE A MENCIOL (SOURCE METEO FRANCE) 186
TABL. 25 - DEBITS ET VOLUMES DE LA CRUE DECENNALE (HEC-HMS) 190
TABL. 26 - DEBITS ET VOLUMES DE LA CRUE CENTENNALE (HEC-HMS) 192
TABL. 27 - DEBITS ET VOLUMES DE LA CRUE EXCEPTIONNELLE (HEC-HMS) 194
TABL. 28 - CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS 202
TABL. 29 - DEBITS DE POINTE EN AMONT DE LA RAVINE SECHE ET PAYET 202
TABL. 30 - SYNTHESE DES DEBITS DE POINTE RETENUS 203
TABL. 31 - SURCOTES MARINES 204
TABL. 32 - NIVEAUX DE LA MER CUMULES AVEC SURCOTES 205
TABL. 33 - NIVEAUX AVAL ADOPTES POUR LE MODELE HYDRAULIQUE 205
TABL. 34 - PARAMETRES DES DEVERSOIRS FUSIBLES DU CORDON LITTORAL SUR LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN 208
TABL. 35 - PARAMETRES DES DEVERSOIRS FUSIBLES DU CORDON LITTORAL SUR L'ETANG DE BOIS ROUGE 209
TABL. 36 - SENSIBILITE DES HYPOTHESES DE FONCTIONNEMENT DU CORDON LITTORAL (CRUE DE FEVRIER 1990) 209
TABL. 37 - SYNTHESE DES DEBITS DE POINTE ET COMPARAISON AVEC DES EVENEMENTS HISTORIQUES 212
TABL. 38 - PARAMETRES DES DEVERSOIRS FUSIBLES DU CORDON LITTORAL SUR LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN ET L'ETANG DE BOIS ROUGE 227
TABL. 39 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DES PONTS DU CENTRE-VILLE SUR LES RAVINES SECHE ET PAYET EN CRUE 281
TABL. 40 - HAUTES MODELISES – LAISSES DE CRUES – OBSERVATION FAKIR (30 A 50 ANS POUR LA RAVINE SECHE) 288
TABL. 41 - NIVEAUX MODELISES – PONT RN 2002 289
TABL. 42 - NIVEAUX MODELISES – PLAINE DE BOIS ROUGE 289
TABL. 43 - EVALUATION RISQUE EMBACLE – OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT 292
TABL. 44 - SURFACES « BANANIERS » 293
TABL. 45 - RAPPEL DES DEBITS DE POINTE (M^3/S) ADOPTES POUR LA MODELISATION (PGRI) 297
TABL. 46 - NIVEAUX AVAL ADOPTES POUR LE MODELE HYDRAULIQUE (PGRI) 297
TABL. 47 - DEBITS DE POINTE DU THALWEG COMMUNE BEGUE 309
TABL. 48 - PROBABILITE DE DEFAILLANCE POUR L'ALEA EROSION 322
TABL. 49 - PRIX MEDIANS A LA REUNION PAR EPCI POUR LES APPARTEMENTS ANCIENS, LES MAISONS ANCIENNES ET LES TERRAINS A BATIR AU 31 MAI 2019 323
TABL. 50 - PRIX MEDIANS POUR LA CONSTRUCTION D'UNE MAISON NEUVE A LA REUNION 323
TABL. 51 - COUT DE RECONSTRUCTION DES BATIS SITUES EN ZONE D'ALEA EROSION 324
TABL. 52 - DOMMAGES ESTIMES PAR CRUE 324
TABL. 53 - PARCELLES CONCERNEES PAR L'ALEA EROSION 325
TABL. 54 - DONNEES GENERALES DU TERRITOIRE 340
TABL. 55 - REPARTITION DES LOGEMENTS DONT LA STRUCTURE PEUT ETRE DESTABILISEE PAR L'INONDATION A DIRE D'EXPERT 370
TABL. 56 - PROPORTION DES LOGEMENTS AVEC OU SANS ETAGES 371
TABL. 57 - RECAPITULATIF DES EFFECTIFS ETABLISSEMENTS SENSIBLES ET DE L'ETABLISSEMENT DE SANTE 379
TABL. 58 - ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES IMPACTES PAR L'INONDATION 380
TABL. 59 - BILAN DES EFFECTIFS SCOLAIRES EN ZONE INONDABLE 381
TABL. 60 - DONNEES RELATIVES A L'EPAD DU CENTRE-VILLE 381
TABL. 61 - DONNEES RELATIVES A L'ANNEXE DU GHER DU CENTRE-VILLE DE SAINT ANDRE 383

TABL. 62 - ICPE EN ZONE INONDABLE 401
TABL. 63 - SYNTHESE DE L'ANALYSE « CAPACITE A FAIRE FACE » DE LA COMMUNE DE SAINTE-SUZANNE 404
TABL. 64 - COUT DES DOMMAGES AUX LOGEMENTS INONDES PAR QUARTIER 415
TABL. 65 - REPARTITION DES BATIMENTS PATRIMONIAUX EN ZONE INONDABLE PAR QUARTIER 417
TABL. 66 - COUT DES DOMMAGES AUX CULTURES POUR Q 100 425
TABL. 67 - CARACTERISTIQUES DES BATIMENTS CONCERNES PAR L'EVALUATION DES DOMMAGES POUR TEREOS 430
TABL. 68 - HAUTEUR MOYENNE (M) RETENUE POUR CHAQUE BATIMENT DE TEREOS 430
TABL. 69 - SYNTHESE DE L'EVALUATION DES DOMMAGES DIRECTS POUR L'ENSEMBLE DES BATIMENTS COMPOSANT LA SOCIETE TEREOS SUR LE SITE INDUSTRIEL DE BOIS ROUGE PAR L'APPLICATION DE LA METHODE DU GUIDE 431
TABL. 70 - SYNTHESE DE L'EVALUATION DES DOMMAGES DIRECTS ET INDIRECTS POUR L'ENSEMBLE DES BATIMENTS COMPOSANT LA SOCIETE TEREOS SUR LE SITE INDUSTRIEL DE BOIS ROUGE VIA LE DIAGNOSTIC INDIVIDUEL 432
TABL. 71 - COMPARAISON DES DEUX APPROCHES METHODOLOGIQUES POUR L'EVALUATION DES DOMMAGES DIRECTS POUR L'ENSEMBLE DES BATIMENTS COMPOSANT LA SOCIETE TEREOS SUR LE SITE INDUSTRIEL DE BOIS ROUGE 433
TABL. 72 - COMPARAISON DES DEUX APPROCHES METHODOLOGIQUES POUR L'EVALUATION DU DMA DES BATIMENTS DE LA SOCIETE TEREOS SUR LE SITE INDUSTRIEL DE BOIS ROUGE 433
TABL. 73 - CARACTERISTIQUES DES BATIMENTS CONCERNES PAR L'EVALUATION DES DOMMAGES POUR SAVANNA 434
TABL. 74 - HAUTEUR MOYENNE (M) RETENUE POUR CHAQUE BATIMENT DE SAVANNA 434
TABL. 75 - SYNTHESE DE L'EVALUATION DES DOMMAGES DIRECTS POUR L'ENSEMBLE DES BATIMENTS COMPOSANT LA SOCIETE SAVANNA SUR LE SITE INDUSTRIEL DE BOIS ROUGE PAR L'APPLICATION DE LA METHODE DU GUIDE 435
TABL. 76 - HAUTEUR MOYENNE (M) RETENUE POUR CHAQUE BATIMENT D'ALBIOMA 435
TABL. 77 - ANALYSE DE L'IMPACT DU CHOIX DU COEFFICIENT MULTIPLICATEUR SUR LE DMA GLOBAL 437
TABL. 78 - SYNTHESE DE L'EVALUATION DES DOMMAGES RETENUE POUR LE COMPLEXE INDUSTRIEL DE BOIS ROUGE 438
TABL. 79 - COUT DES DOMMAGES DIRECTS AUX ACTIVITES POUR Q 100 439
TABL. 80 - CALCUL DES INCERTITUDES A PRENDRE EN COMPTE DANS L'ANALYSE DE SENSIBILITE POUR L'EVALUATION DES DOMMAGES DIRECTS SUR LES ACTIVITES 441
TABL. 81 - COUT DES DOMMAGES AUX ERP 442
TABL. 82 - GRILLE DE COUT DES DOMMAGES POUR LES VOIRIES 446
TABL. 83 - DETAILS DES COUTS DES DOMMAGES POUR LES VOIRIES SUR L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ETUDE PAR OCCURRENCE 447
TABL. 84 - COUT TOTAL DES DOMMAGES (YC EROSION) POUR TOUTES LES OCCURRENCES 459
TABL. 85 - INDICATEURS A UTILISER DANS L'AMC 469

FIGURES

FIG. 1. TERRITOIRE A RISQUE IMPORTANT SAINT-ANDRE/SAINTE-SUZANNE 19
FIG. 2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 20
FIG. 3. LOCALISATION GENERALE DES BASSINS VERSANTS 23
FIG. 4. IMPLANTATION DES REPERES KILOMETRIQUES (PK) – SECTEUR AVAL 24
FIG. 5. IMPLANTATION DES REPERES KILOMETRIQUES (PK) – SECTEUR AMONT 25
FIG. 6. LOCALISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES ET LES EROSIONS – SECTEUR AVAL 34
FIG. 7. LOCALISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES ET LES EROSIONS – SECTEUR AMONT 35
FIG. 8. LOCALISATION ET PROPRIETE 36
FIG. 9. LOCALISATION ET PROPRIETE 37
FIG. 10. PRINCIPE DE LA PROTECTION ENVISAGEE EN RIVE DROITE PK -2200 A -2400 38
FIG. 11. LOCALISATION ET PROPRIETE 39
FIG. 12. LOCALISATION ET PROPRIETE 40
FIG. 13. LOCALISATION ET PROPRIETE 42
FIG. 14. LOCALISATION ET PROPRIETE 43
FIG. 15. LOCALISATION ET PROPRIETE 45
FIG. 16. LOCALISATION ET PROPRIETE 46
FIG. 17. LOCALISATION ET PROPRIETE 47
FIG. 18. LOCALISATION ET PROPRIETE 48
FIG. 19. LOCALISATION ET PROPRIETE 49
FIG. 20. LOCALISATION ET PROPRIETE 50
FIG. 21. LOCALISATION ET PROPRIETE 52
FIG. 22. LOCALISATION ET PROPRIETE 63
FIG. 23. LOCALISATION ET PROPRIETE 64
FIG. 24. LOCALISATION ET PROPRIETE 65
FIG. 25. LOCALISATION ET PROPRIETE 67
FIG. 26. OUVRAGES HYDRAULIQUES (OH) 83
FIG. 27. LOCALISATION DES DESORDRES – SECTEUR AVAL 86
FIG. 28. LOCALISATION DES DESORDRES – SECTEUR INTERMEDIAIRE 87
FIG. 29. LOCALISATION DES DESORDRES – SECTEUR AMONT 88
FIG. 30. ANALYSE TOPOGRAPHIQUE DU RECUL DE BERGE 92
FIG. 31. ANALYSE DES VUES AERIENNES (BRGM 2017 REF /4/) 97
FIG. 32. VUE AERIENNE ACTUELLE ET CADASTRE 98
FIG. 33. EROSION DE LA COULEE BOUEUSE EN PIED DE BERGE RG DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN AU PK -650 99
FIG. 34. SEUIL AU PK -650 - COMPARAISON DES VUES AERIENNES 100
FIG. 35. PLAN DE SITUATION DES PARCELLES DE PROJET – COMMUNE DE SAINT-ANDRE 109
FIG. 36. TOPOGRAPHIE DU SITE ET PRINCIPE DE DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS 110
FIG. 37. TOPOGRAPHIE DU SITE ET PRINCIPE DE DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS 111
FIG. 38. COMPARAISON PHOTOGRAPHIES AERIENNES 1997 - 2012 112
FIG. 39. RAVINE SECHE PK 1200 – EXTENSION DE BATIMENT 113
FIG. 40. RAVINE SECHE – PK930 114
FIG. 41. EROSION DE BERGE – GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN PK -500 - COMPARAISON DES VUES AERIENNES 118
FIG. 42. ANALYSE TOPOGRAPHIQUE DU RECUL DE BERGE 120
FIG. 43. ANALYSE DIACHRONIQUE (2017-1989) ET EMPIETEMENTS OBSERVES DANS LE DPF 132
FIG. 44. LOCALISATION DES OPERATIONS RELEVEES PAR LA DEAL 134
FIG. 45. SCHEMA TYPE DE POSITIONNEMENT DE LA SERVITUDE HYDRAULIQUE 136
FIG. 46. PROFILS EN LONG GENERAL DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN ET DE SES AFFLUENTS 138
FIG. 47. PENTES DES DIFFERENTS TRONÇONS HYDROGRAPHIQUES DES COURS D'EAU 141
FIG. 48. – MOUVEMENTS DE TERRAIN RECENSES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN (EN 2011) 144
FIG. 49. CARTE D'ERODABILITE DES TERRAINS (SOURCE PGRI) 146
FIG. 50. EXTRAIT DE SAINT-ANDRE DANS LA TOURMENTE POUR L'EPISODE DE FEVRIER 1990 158
FIG. 51. AVENUE ILE DE FRANCE APRES L'EPISODE 1990 158
FIG. 52. EXTRAIT DE SAINT-ANDRE DANS LA TOURMENTE 160
FIG. 53. EXTRAIT DE SAINT-ANDRE DANS LA TOURMENTE 161
FIG. 54. LOCALISATION DONNEES VISITE TERRAIN 24/27 AVRIL – ST ANDRE 166
FIG. 55. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN – LOCALISATION DES DONNEES 167
FIG. 56. RAVINE SECHE ET RAVINE PAYET – LOCALISATION DES DONNEES 168
FIG. 57. LOCALISATION GENERALE DES BASSINS VERSANTS 171
FIG. 58. DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS DE LA GRANDE RIVIERE S^{T}-JEAN 172
FIG. 59. EXTRAIT DU GUIDE SUR LES MODALITES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES A LA REUNION, DEAL, OCTOBRE 2012 174
FIG. 60. POSITION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUE ET HYDROMETRIQUE 177
FIG. 61. COMPARAISON PICS DE PLUIE ET DE CRUE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE S^{T}-JEAN 177
FIG. 62. SCHEMA TOPOLOGIQUE DU MODELE PLUIE – DEBIT 179
FIG. 63. HYDROGRAMME Q_{10ANS} MODELISATION HEC-HMS (2011) 181
FIG. 64. HYDROGRAMME Q_{100ANS} MODELISATION HEC-HMS (2011) 181
FIG. 65. NOUVEAUX HYETOGRAMMES ETABLIS POUR UNE PLUIE DE DUREE 12 H 187
FIG. 66. NOUVEAUX HYETOGRAMMES ETABLIS POUR UNE PLUIE DE DUREE 24 H 188

FIG. 67. HYDROGRAMMES Q_{10ANS} – PLUIE DE 12 H 189
FIG. 68. HYDROGRAMMES Q_{10ANS} – PLUIE DE 24 H 189
FIG. 69. HYDROGRAMMES Q_{100ANS} – PLUIE DE 12 H 191
FIG. 70. HYDROGRAMMES Q_{100ANS} – PLUIE DE 24 H 191
FIG. 71. HYDROGRAMMES $Q_{10\ 000\ ANS}$ – PLUIE DE 12 H 193
FIG. 72. HYDROGRAMMES $Q_{10\ 000\ ANS}$ – PLUIE DE 24 H 193
FIG. 73. MODELE PSEUDO 2D DE LA PLAINE DE BOIS ROUGE 196
FIG. 74. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM POUR UNE CRUE DE DUREE 24H 196
FIG. 75. STATIONS MESURES DE DEBITS – BV GRANDE RIVIERE ST JEAN 197
FIG. 76. LOCALISATION DES STATIONS DE MESURES DE DEBIT 197
FIG. 77. HAUTEURS D'EAU AU DROIT DE LA STATION RN 2002 – EPISODE FAKIR 198
FIG. 78. HAUTEURS D'EAU AU DROIT DE LA STATION GRAND BRAS – EPISODE FAKIR 199
FIG. 79. HAUTEURS D'EAU AU DROIT DE LA STATION CASCADE DELICE – EPISODE FAKIR 199
FIG. 80. POINTS DE CALCULS DES DEBITS RAVINE PAYET 201
FIG. 81. POINTS DE CALCULS DES DEBITS RAVINE PAYET 202
FIG. 82. EMPRISES DES TROIS MODELES 2D TELEMAC 211
FIG. 83. HYPOTHESES HYDROLOGIQUES – MODELE 1D 213
FIG. 84. MODELE HECRAS SUR LA RAVINE SECHE – VUE EN 2D DU SECTEUR AVAL 214
FIG. 85. MODELE HECRAS SUR LA RAVINE SECHE – MAILLAGE ET DETAIL DU LIT ET DES OUVRAGES SUR LE CENTRE-VILLE (TRONÇON MINOT-AUGUSTE) 214
FIG. 86. MODELE HECRAS SUR LA RAVINE SECHE – PROFIL EN LONG DU MODELE 1D SUR LE SECTEUR DU CENTRE-VILLE – HAUTEURS D'EAU 215
FIG. 87. EXEMPLE D'HYDROGRAMME DE DEBORDEMENT AU PONT MINOT POUR LA Q100 216
FIG. 88. PONT DU CHEMIN MORIN – FONCTIONNEMENT EN Q_{10}/Q_{100} 217
FIG. 89. PONT MINOT – FONCTIONNEMENT EN Q_{10}/Q_{100} 217
FIG. 90. PONT DE LA REPUBLIQUE – FONCTIONNEMENT EN Q10/Q100 218
FIG. 91. PONT AUGUSTE – FONCTIONNEMENT EN Q10/Q100 218
FIG. 92. HYPOTHESES HYDROLOGIQUES – AMONT RAVINE PAYET 219
FIG. 93. OUVRAGES EN CHARGE DES Q_{10} 220
FIG. 94. EMPRISE DU MODELE NORD 221
FIG. 95. TOPOGRAPHIE DU MODELE NORD 222
FIG. 96. COEFFICIENTS DE FROTTEMENTS DU MODELE NORD 223
FIG. 97. INTRODUCTIONS DE DEBITS DU MODELE NORD 224
FIG. 98. HYDROGRAMMES INTRODUITS DANS LE MODELE NORD POUR LES TEMPS DE RETOUR 10, 30, 50, 100 ET 10 000 ANS 226
FIG. 99. LOCALISATION DES RUPTURES DU CORDON LITTORAL 227
FIG. 100. EMPRISE DU MODELE SUD OUEST 228
FIG. 101. TOPOGRAPHIE DU MODELE SUD OUEST 229
FIG. 102. TOPOGRAPHIE ET MAILLAGE DU MODELE SUD OUEST (ZOOM) 230
FIG. 103. FROTTEMENTS DU MODELE SUD OUEST 231
FIG. 104. LOCALISATION DES CONDITIONS AUX LIMITES DU MODELE SUD OUEST 232
FIG. 105. HYDROGRAMMES INTRODUITS DANS LE MODELE SUD-OUEST POUR LES TEMPS DE RETOUR 10, 30, 50, 100 ET 10 000 ANS 234
FIG. 106. EMPRISE DU MODELE SUD EST 235
FIG. 107. TOPOGRAPHIE ET FROTTEMENT DU MODELE SUD EST 236
FIG. 108. LOCALISATION DES CONDITIONS AUX LIMITES DU MODELE SUD EST 237
FIG. 109. HYDROGRAMMES INTRODUITS DANS LE MODELE SUD EST POUR LES TEMPS DE RETOUR 10, 100 ET 10 000 ANS 238
FIG. 110. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE DECENNALE – CENTRE VILLE 239
FIG. 111. VITESSES MAXIMUM – CRUE DECENNALE – CENTRE VILLE 240
FIG. 112. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – Q_{30} – CENTRE VILLE 244
FIG. 113. VITESSES MAXIMUM – Q_{30} – CENTRE VILLE 245
FIG. 114. HAUTEURS MAXIMUM – Q_{50} – CENTRE VILLE 247
FIG. 115. VITESSES MAXIMUM – Q_{50} – CENTRE VILLE 248
FIG. 116. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE CENTENNALE – CENTRE VILLE 249
FIG. 117. VITESSES MAXIMUM – CRUE CENTENNALE – CENTRE VILLE 250
FIG. 118. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE DECAMILLENNALE – CENTRE VILLE 255
FIG. 119. VITESSES MAXIMUM – CRUE DECAMILLENNALE – CENTRE VILLE 256
FIG. 120. VERROUS HYDRAULIQUES - LOCALISATION 260
FIG. 121. VERROU HYDRAULIQUE – VESTIGE DU PONT CFR 261
FIG. 122. VERROU HYDRAULIQUE – TEMPLE TAMOUL 261
FIG. 123. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE DECENNALE – BOIS ROUGE 262
FIG. 124. VITESSES MAXIMUM – CRUE DECENNALE – BOIS ROUGE 263
FIG. 125. HAUTEURS MAXIMUM – Q_{30} – SECTEUR AVAL 265
FIG. 126. VITESSES MAXIMUM – Q_{30} – SECTEUR AVAL 266
FIG. 127. HAUTEURS MAXIMUM – Q_{50} – SECTEUR AVAL 268
FIG. 128. VITESSES MAXIMUM – Q_{50} – SECTEUR AVAL 269
FIG. 129. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE CENTENNALE – BOIS ROUGE 274
FIG. 130. VITESSES MAXIMUM – CRUE CENTENNALE – BOIS ROUGE 275
FIG. 131. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE DECAMILLENNALE – BOIS ROUGE 277
FIG. 132. VITESSES MAXIMUM – CRUE DECAMILLENNALE – BOIS ROUGE 278
FIG. 133. SYNTHESE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN Q100 – SECTEUR AVAL 280
FIG. 134. CAPACITE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES SUR LE SECTEUR DU CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE 282

FIG. 135. SYNTHESE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN Q100 – SECTEUR AMONT 283
FIG. 136. SCHEMA DE PRINCIPE DES ZONES D'EXPANSION DE CRUE 285
FIG. 137. ZONES DE PRODUCTION DE BANANIERS ISSUES DE L'ETUDE « ENTRETIEN DES BERGES ET DU DPF SUR SAINT-ANDRE – RECONNAISSANCE DE LA VEGETATION PRESENTE SUR LES BERGES DES COURS D'EAU DU DPF EN AMONT DU CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE - DECEMBRE 2018 » 293
FIG. 138. CARTOGRAPHIE DE LA CRUE CENTENNALE – QUARTER LA MARINE (SOURCE PGRI) 298
FIG. 139. CARTOGRAPHIE DE LA CRUE EXCEPTIONNELLE – QUARTER LA MARINE (SOURCE PGRI) 299
FIG. 140. LIMITE DU MODELE EDD BOCAGE (HYDRETUDES) 300
FIG. 141. HAUTEURS D'EAU MAXIMALES EN Q_{100} – SAINTE SUZANNE (SOURCE EDD CANAL DU BOCAGE, HYDRETUDES) 301
FIG. 142. HAUTEURS D'EAU MAXIMALES EN Q_{500} – SAINTE SUZANNE (SOURCE EDD CANAL DU BOCAGE, HYDRETUDES) 302
FIG. 143. EXTRAIT DU PPR DE SAINTE-SUZANNE – MAI 2015 302
FIG. 144. HAUTEURS D'EAU MAXIMALES EN Q_{100} – SAINTE SUZANNE (SOURCE ETUDE TCSP CENTRE-VILLE, HYDRETUDES) 304
FIG. 145. ZONE INONDEE – SAINTE-SUZANE 305
FIG. 146. SYNTHESE DES ZONES INONDEES EN CRUE CENTENNALE ISSUES DES DIFFERENTS MODELES 307
FIG. 147. LOCALISATION DU THALWEG 308
FIG. 148. EXTRAIT DU PPR DE SAINTE-SUZANNE – ZONAGE REGLEMENTAIRE – MAI 2015 309
FIG. 149. BASSIN VERSANT RELATIF AU THALWEG DE COMMUNE BEGUE 310
FIG. 150. ALEA INONDATION COMMUNE BEGUE – Q100 311
FIG. 151. ZONES POTENTIELLEMENT SANCTUARISABLES POUR EXPANSION DE CRUES – SECTEUR AMONT 313
FIG. 152. ZONES POTENTIELLEMENT SANCTUARISABLES POUR EXPANSION DE CRUES – SECTEUR INTERMEDIAIRE 315
FIG. 153. ZONES POTENTIELLEMENT SANCTUARISABLES POUR EXPANSION DE CRUES – SECTEUR AVAL 315
FIG. 154. NATURE ET HAUTEUR DES BERGES 318
FIG. 155. NATURE ET SENSIBILITE DES BERGES A L'EROSION SUR LES SECTEURS A ENJEUX 319
FIG. 156. ZONAGE DE L'ALEA EROSION 321
FIG. 157. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – CARTE GENERALE 326
FIG. 158. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 1 327
FIG. 159. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 2.1 328
FIG. 160. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 2.2 329
FIG. 161. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 3 330
FIG. 162. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 3 331
FIG. 163. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 4 332
FIG. 164. PERIMETRE DE L'ETUDE AVEC Q10 335
FIG. 165. PERIMETRE DE L'ETUDE AVEC Q30 336
FIG. 166. PERIMETRE DE L'ETUDE AVEC Q50 337
FIG. 167. PERIMETRE DE L'ETUDE AVEC Q100 338
FIG. 168. PERIMETRE DE L'ETUDE AVEC Q10 000 339
FIG. 169. **S**YNOPTIQUE DES ENQUETES SUR LES BATIMENTS 343
FIG. 170. FORMULAIRE DE LA 1ERE PARTIE DE L'ENQUETE 344
FIG. 171. FORMULAIRE DE LA 2NDE PARTIE DE L'ENQUETE POUR LES HABITATIONS 345
FIG. 172. FORMULAIRE DE LA 2NDE PARTIE DE L'ENQUETE POUR LES ACTIVITES 346
FIG. 173. RESULTATS DE LA 1ERE PARTIE DE L'ENQUETE (PRE-ENQUETES) 347
FIG. 174. REPARTITION DU TYPE DE BATI A ENQUETER 347
FIG. 175. RESULTATS DES ENQUETES SUR LES HABITATS 348
FIG. 176. LOCALISATION DES ENQUETES REALISEES A BOIS ROUGE 349
FIG. 177. LOCALISATION DES ENQUETES REALISEES A LA MARINE 350
FIG. 178. LOCALISATION DES ENQUETES REALISEES A QUARTIER FRANÇAIS, CAMBUSTON ET COMMUNE BEGUE 351
FIG. 179. LOCALISATION DES ENQUETES REALISEES AU CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE 352
FIG. 180. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 1 357
FIG. 181. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 1 – ZOOM SUR LE CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE 358
FIG. 182. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 1 – ZOOM SUR LE QUARTIER FRANÇAIS, CAMBUSTON, COMMUNE BEGUE 359
FIG. 183. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 1 – ZOOM SUR BOIS ROUGE 360
FIG. 184. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 1 – ZOOM SUR LA MARINE 361
FIG. 185. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 2 363
FIG. 186. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 2 – ZOOM SUR LE CENTRE-VILLE DE SAINT ANDRE 364
FIG. 187. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 2 – ZOOM SUR LE QUARTIER FRANÇAIS 365
FIG. 188. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 2 – ZOOM SUR BOIS ROUGE 366
FIG. 189. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 2 – ZOOM SUR LA MARINE 367
FIG. 190. REPARTITION DES LOGEMENTS DONT LA STRUCTURE PEUT ETRE DESTABILISEE PAR L'INONDATION A DIRE D'EXPERT 369
FIG. 191. PROPORTION DES LOGEMENTS INONDES AVEC OU SANS ETAGES 371
FIG. 192. CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU (Q100) AUTOUR DU COLLEGE BEDIER [M] 372
FIG. 193. CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS (Q100) AU DROIT DU CHEMIN MIGUEL 373
FIG. 194. CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU (Q100) SUR LE QUARTIER FRANÇAIS, EN FACE DU LEADER-PRICE 374
FIG. 195. CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU (Q100) SUR LE QUARTIER DE LA MARINE 375
FIG. 196. CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU (Q100) SUR LE QUARTIER DE COMMUNE BEGUE 376
FIG. 197. CAPACITE ET EFFECTIF DES ETABLISSEMENTS SENSIBLES ET ETABLISSEMENT DE SANTE 378
FIG. 198. PHOTOS DE L'ANNEXE DU GHER 383
FIG. 199. BILAN DE VULNERABILITE DES BATIMENTS ET DES PERSONNES (LA MARINE) 384
FIG. 200. BILAN DE VULNERABILITE DES BATIMENTS ET DES PERSONNES (QUARTIER FRANÇAIS) 385

FIG. 201. BILAN DE VULNERABILITE DES BATIMENTS ET DES PERSONNES (BOIS ROUGE) 386
FIG. 202. BILAN DE VULNERABILITE DES BATIMENTS ET DES PERSONNES (CENTRE-VILLE SAINT ANDRE) 387
FIG. 203. CRITERES POUR DEFINIR LES ZONES DANGEREUSES POUR LE DEPLACEMENT D'UNE PERSONNE 388
FIG. 204. INONDATION DE L'AVENUE DE BOURBON DURANT FAKIR 389
FIG. 205. INONDATION DE LA RN POUR Q100 389
FIG. 206. CARTOGRAPHIE DES VITESSES D'ECOULEMENT ATTEINTES DANS LE CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE POUR Q100 390
FIG. 207. CARTOGRAPHIE DES VITESSES D'ECOULEMENT SUR LA PARTIE AVAL DE LA ZONE D'ETUDE POUR Q100 (QUARTIER FRANÇAIS, BOIS ROUGE, LA MARINE) 391
FIG. 208. RESEAU ELECTRIQUE DE SAINT-ANDRE 394
FIG. 209. PLAN DU RESEAU HTB A LA REUNION (SOURCE : EDF) 395
FIG. 210. EFFETS DOMINOS LIES AU DYSFONCTIONNEMENT DU RESEAU ELECTRIQUE (SOURCE : CEPRI) 395
FIG. 211. POSTES ELECTRIQUES DE SAINT-ANDRE VULNERABLE AUX INONDATIONS 396
FIG. 212. REPARTITION DE LA PRODUCTION ELECTRIQUE (2017) 397
FIG. 213. CARTOGRAPHIE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES POUVANT ETRE SUJETS A EMBACLES (SUR ALEA) 399
FIG. 214. REPRESENTATION RADAR DE LA CAPACITE A FAIRE FACE DE LA COMMUNE DE SAINTE-SUZANNE 403
FIG. 215. LOCALISATION DU PROJET D'AMENAGEMENT DE BOIS ROUGE 406
FIG. 216. LOCALISATION DU PROJET D'AMENAGEMENT DE LA MARINE 407
FIG. 217. LOCALISATION DU NPRU DU CENTRE-VILLE DE SAINT ANDRE 408
FIG. 218. ZONES AU SUR LE QUARTIER DE LA MARINE 409
FIG. 219. ZONES AU DANS LE CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE 410
FIG. 220. ZONES AU DANS LE SECTEUR DE BOIS ROUGE 411
FIG. 221. COUT DES DOMMAGES AUX LOGEMENTS INONDES PAR QUARTIER 414
FIG. 222. REPARTITION DES BATIMENTS PATRIMONIAUX EN ZONE INONDABLE PAR QUARTIER 416
FIG. 223. SITUATION DU TRI VIS-A-VIS DES ZONES HUMIDES 419
FIG. 224. SITUATION DU TRI VIS-A-VIS DES EBC 420
FIG. 225. SITUATION DU TRI VIS-A-VIS DU ZNIEFF 421
FIG. 226. CARTOGRAPHIE DE LA SOURCE DE VULNERABILITE « DOMMAGES A L'ENVIRONNEMENT » 424
FIG. 227. COUT DES DOMMAGES AUX CULTURES PAR SECTEURS 426
FIG. 228. SOCIETES PRESENTES SUR LE SITE DE L'USINE DE BOIS ROUGE 428
FIG. 229. COUT DES DOMMAGES AUX ACTIVITES 440
FIG. 230. COUT DES DOMMAGES AUX ERP 443
FIG. 231. DIAGNOSTIC DU RESEAU ROUTIER 445
FIG. 232. RESEAU ELECTRIQUE HTA ET HTB 448
FIG. 233. DIAGNOSTIC DU RESEAU D'EAUX USEES 450
FIG. 234. DIAGNOSTIC DU RESEAU D'EAU POTABLE 452
FIG. 235. EMPRISE DE LA DECHETTERIE DE SAINT ANDRE TOUCHE PAR LES DEBORDEMENTS DE LA RAVINE PAYET 453
FIG. 236. SCHEMA DES INTERDEPENDANCES ENTRE RESEAUX (SOURCE : CEPRI) 455
FIG. 237. COUT TOTAL DES DOMMAGES ESTIMES 457
FIG. 238. COUT TOTAL DES DOMMAGES DIRECTS YC COUTS LIES A L'EROSION (HORS RESEAUX ET VOIRIES) POUR Q100 458
FIG. 239. NOMBRE DE PERSONNES DIRECTEMENT IMPACTEES PAR LA CRUE 461
FIG. 240. BATIMENTS SERVANT A LA GESTION DE CRISE 463
FIG. 241. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL – SECTEUR AVAL 471
FIG. 242. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL – SECTEUR AMONT 472

FIG. 1. TERRITOIRE A RISQUE IMPORTANT SAINT-ANDRE/SAINTE-SUZANNE 19
FIG. 2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 20
FIG. 3. LOCALISATION GENERALE DES BASSINS VERSANTS 23
FIG. 4. IMPLANTATION DES REPERES KILOMETRIQUES (PK) – SECTEUR AVAL 24
FIG. 5. IMPLANTATION DES REPERES KILOMETRIQUES (PK) – SECTEUR AMONT 25
FIG. 6. LOCALISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES ET LES EROSIONS – SECTEUR AVAL 34
FIG. 7. LOCALISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES ET LES EROSIONS – SECTEUR AMONT 35
FIG. 8. LOCALISATION ET PROPRIETE 36
FIG. 9. LOCALISATION ET PROPRIETE 37
FIG. 10. PRINCIPE DE LA PROTECTION ENVISAGEE EN RIVE DROITE PK -2200 A -2400 38
FIG. 11. LOCALISATION ET PROPRIETE 39
FIG. 12. LOCALISATION ET PROPRIETE 40
FIG. 13. LOCALISATION ET PROPRIETE 42
FIG. 14. LOCALISATION ET PROPRIETE 43
FIG. 15. LOCALISATION ET PROPRIETE 45
FIG. 16. LOCALISATION ET PROPRIETE 46
FIG. 17. LOCALISATION ET PROPRIETE 47
FIG. 18. LOCALISATION ET PROPRIETE 48
FIG. 19. LOCALISATION ET PROPRIETE 49
FIG. 20. LOCALISATION ET PROPRIETE 50
FIG. 21. LOCALISATION ET PROPRIETE 52
FIG. 22. LOCALISATION ET PROPRIETE 63
FIG. 23. LOCALISATION ET PROPRIETE 64

FIG. 24. LOCALISATION ET PROPRIETE 65
FIG. 25. LOCALISATION ET PROPRIETE 67
FIG. 26. OUVRAGES HYDRAULIQUES (OH) 83
FIG. 27. LOCALISATION DES DESORDRES – SECTEUR AVAL 86
FIG. 28. LOCALISATION DES DESORDRES – SECTEUR INTERMEDIAIRE 87
FIG. 29. LOCALISATION DES DESORDRES – SECTEUR AMONT 88
FIG. 30. ANALYSE TOPOGRAPHIQUE DU RECUL DE BERGE 92
FIG. 31. ANALYSE DES VUES AERIENNES (BRGM 2017 REF /4/) 97
FIG. 32. VUE AERIENNE ACTUELLE ET CADASTRE 98
FIG. 33. EROSION DE LA COULEE BOUEUSE EN PIED DE BERGE RG DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN AU PK -650 99
FIG. 34. SEUIL AU PK -650 - COMPARAISON DES VUES AERIENNES 100
FIG. 35. PLAN DE SITUATION DES PARCELLES DE PROJET – COMMUNE DE SAINT-ANDRE 109
FIG. 36. TOPOGRAPHIE DU SITE ET PRINCIPE DE DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS 110
FIG. 37. TOPOGRAPHIE DU SITE ET PRINCIPE DE DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS 111
FIG. 38. COMPARAISON PHOTOGRAPHIES AERIENNES 1997 - 2012 112
FIG. 39. RAVINE SECHE PK 1200 – EXTENSION DE BATIMENT 113
FIG. 40. RAVINE SECHE – PK930 114
FIG. 41. EROSION DE BERGE – GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN PK -500 - COMPARAISON DES VUES AERIENNES 118
FIG. 42. ANALYSE TOPOGRAPHIQUE DU RECUL DE BERGE 120
FIG. 43. ANALYSE DIACHRONIQUE (2017-1989) ET EMPIETEMENTS OBSERVES DANS LE DPF 132
FIG. 44. LOCALISATION DES OPERATIONS RELEVEES PAR LA DEAL 134
FIG. 45. SCHEMA TYPE DE POSITIONNEMENT DE LA SERVITUDE HYDRAULIQUE 136
FIG. 46. PROFILS EN LONG GENERAL DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN ET DE SES AFFLUENTS 138
FIG. 47. PENTES DES DIFFERENTS TRONÇONS HYDROGRAPHIQUES DES COURS D'EAU 141
FIG. 48. – MOUVEMENTS DE TERRAIN RECENSES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN (EN 2011) 144
FIG. 49. CARTE D'ERODABILITE DES TERRAINS (SOURCE PGRI) 146
FIG. 50. EXTRAIT DE SAINT-ANDRE DANS LA TOURMENTE POUR L'EPISODE DE FEVRIER 1990 158
FIG. 51. AVENUE ILE DE FRANCE APRES L'EPISODE 1990 158
FIG. 52. EXTRAIT DE SAINT-ANDRE DANS LA TOURMENTE 160
FIG. 53. EXTRAIT DE SAINT-ANDRE DANS LA TOURMENTE 161
FIG. 54. LOCALISATION DONNEES VISITE TERRAIN 24/27 AVRIL – ST ANDRE 166
FIG. 55. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN – LOCALISATION DES DONNEES 167
FIG. 56. RAVINE SECHE ET RAVINE PAYET – LOCALISATION DES DONNEES 168
FIG. 57. LOCALISATION GENERALE DES BASSINS VERSANTS 171
FIG. 58. DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS DE LA GRANDE RIVIERE S^T-JEAN 172
FIG. 59. EXTRAIT DU GUIDE SUR LES MODALITES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES A LA REUNION, DEAL, OCTOBRE 2012 174
FIG. 60. POSITION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUE ET HYDROMETRIQUE 177
FIG. 61. COMPARAISON PICS DE PLUIE ET DE CRUE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE S^T-JEAN 177
FIG. 62. SCHEMA TOPOLOGIQUE DU MODELE PLUIE – DEBIT 179
FIG. 63. HYDROGRAMME Q_{10ANS} MODELISATION HEC-HMS (2011) 181
FIG. 64. HYDROGRAMME Q_{100ANS} MODELISATION HEC-HMS (2011) 181
FIG. 65. NOUVEAUX HYETOGRAMMES ETABLIS POUR UNE PLUIE DE DUREE 12 H 187
FIG. 66. NOUVEAUX HYETOGRAMMES ETABLIS POUR UNE PLUIE DE DUREE 24 H 188
FIG. 67. HYDROGRAMMES Q_{10ANS} – PLUIE DE 12 H 189
FIG. 68. HYDROGRAMMES Q_{10ANS} – PLUIE DE 24 H 189
FIG. 69. HYDROGRAMMES Q_{100ANS} – PLUIE DE 12 H 191
FIG. 70. HYDROGRAMMES Q_{100ANS} – PLUIE DE 24 H 191
FIG. 71. HYDROGRAMMES $Q_{10\,000\,ANS}$ – PLUIE DE 12 H 193
FIG. 72. HYDROGRAMMES $Q_{10\,000\,ANS}$ – PLUIE DE 24 H 193
FIG. 73. MODELE PSEUDO 2D DE LA PLAINE DE BOIS ROUGE 196
FIG. 74. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM POUR UNE CRUE DE DUREE 24H 196
FIG. 75. POINTS DE CALCULS DES DEBITS RAVINE PAYET 201
FIG. 76. POINTS DE CALCULS DES DEBITS RAVINE PAYET 202
FIG. 77. EMPRISES DES TROIS MODELES 2D TELEMAC 211
FIG. 78. HYPOTHESES HYDROLOGIQUES – MODELE 1D 213
FIG. 79. MODELE HECRAS SUR LA RAVINE SECHE – VUE EN 2D DU SECTEUR AVAL 214
FIG. 80. MODELE HECRAS SUR LA RAVINE SECHE – MAILLAGE ET DETAIL DU LIT ET DES OUVRAGES SUR LE CENTRE-VILLE (TRONÇON MINOT-AUGUSTE) 214
FIG. 81. MODELE HECRAS SUR LA RAVINE SECHE – PROFIL EN LONG DU MODELE 1D SUR LE SECTEUR DU CENTRE-VILLE – HAUTEURS D'EAU 215
FIG. 82. EXEMPLE D'HYDROGRAMME DE DEBORDEMENT AU PONT MINOT POUR LA Q100 216
FIG. 83. PONT DU CHEMIN MORIN – FONCTIONNEMENT EN Q_{10}/Q_{100} 217
FIG. 84. PONT MINOT – FONCTIONNEMENT EN Q_{10}/Q_{100} 217
FIG. 85. PONT DE LA REPUBLIQUE – FONCTIONNEMENT EN Q10/Q100 218
FIG. 86. PONT AUGUSTE – FONCTIONNEMENT EN Q10/Q100 218
FIG. 87. HYPOTHESES HYDROLOGIQUES – AMONT RAVINE PAYET 219
FIG. 88. OUVRAGES EN CHARGE DES Q_{10} 220
FIG. 89. EMPRISE DU MODELE NORD 221
FIG. 90. TOPOGRAPHIE DU MODELE NORD 222
FIG. 91. COEFFICIENTS DE FROTTEMENTS DU MODELE NORD 223
FIG. 92. INTRODUCTIONS DE DEBITS DU MODELE NORD 224

FIG. 93. HYDROGRAMMES INTRODUITS DANS LE MODELE NORD POUR LES TEMPS DE RETOUR 10, 30, 50, 100 ET 10 000 ANS 226
FIG. 94. LOCALISATION DES RUPTURES DU CORDON LITTORAL 227
FIG. 95. EMPRISE DU MODELE SUD OUEST 228
FIG. 96. TOPOGRAPHIE DU MODELE SUD OUEST 229
FIG. 97. TOPOGRAPHIE ET MAILLAGE DU MODELE SUD OUEST (ZOOM) 230
FIG. 98. FROTTEMENTS DU MODELE SUD OUEST 231
FIG. 99. LOCALISATION DES CONDITIONS AUX LIMITES DU MODELE SUD OUEST 232
FIG. 100. HYDROGRAMMES INTRODUITS DANS LE MODELE SUD-OUEST POUR LES TEMPS DE RETOUR 10, 30, 50, 100 ET 10 000 ANS 234
FIG. 101. EMPRISE DU MODELE SUD EST 235
FIG. 102. TOPOGRAPHIE ET FROTTEMENT DU MODELE SUD EST 236
FIG. 103. LOCALISATION DES CONDITIONS AUX LIMITES DU MODELE SUD EST 237
FIG. 104. HYDROGRAMMES INTRODUITS DANS LE MODELE SUD EST POUR LES TEMPS DE RETOUR 10, 100 ET 10 000 ANS 238
FIG. 105. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE DECENNALE – CENTRE VILLE 239
FIG. 106. VITESSES MAXIMUM – CRUE DECENNALE – CENTRE VILLE 240
FIG. 107. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – Q_{30} – CENTRE VILLE 244
FIG. 108. VITESSES MAXIMUM – Q_{30} – CENTRE VILLE 245
FIG. 109. HAUTEURS MAXIMUM – Q_{50} – CENTRE VILLE 247
FIG. 110. VITESSES MAXIMUM – Q_{50} – CENTRE VILLE 248
FIG. 111. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE CENTENNALE – CENTRE VILLE 249
FIG. 112. VITESSES MAXIMUM – CRUE CENTENNALE – CENTRE VILLE 250
FIG. 113. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE DECAMILLENNALE – CENTRE VILLE 255
FIG. 114. VITESSES MAXIMUM – CRUE DECAMILLENNALE – CENTRE VILLE 256
FIG. 115. VERROUS HYDRAULIQUES - LOCALISATION 260
FIG. 116. VERROU HYDRAULIQUE – VESTIGE DU PONT CFR 261
FIG. 117. VERROU HYDRAULIQUE – TEMPLE TAMOUL 261
FIG. 118. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE DECENNALE – BOIS ROUGE 262
FIG. 119. VITESSES MAXIMUM – CRUE DECENNALE – BOIS ROUGE 263
FIG. 120. HAUTEURS MAXIMUM – Q_{30} – SECTEUR AVAL 265
FIG. 121. VITESSES MAXIMUM – Q_{30} – SECTEUR AVAL 266
FIG. 122. HAUTEURS MAXIMUM – Q_{50} – SECTEUR AVAL 268
FIG. 123. VITESSES MAXIMUM – Q_{50} – SECTEUR AVAL 269
FIG. 124. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE CENTENNALE – BOIS ROUGE 274
FIG. 125. VITESSES MAXIMUM – CRUE CENTENNALE – BOIS ROUGE 275
FIG. 126. HAUTEURS D'EAU MAXIMUM – CRUE DECAMILLENNALE – BOIS ROUGE 277
FIG. 127. VITESSES MAXIMUM – CRUE DECAMILLENNALE – BOIS ROUGE 278
FIG. 128. SYNTHESE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN Q100 – SECTEUR AVAL 280
FIG. 129. CAPACITE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES SUR LE SECTEUR DU CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE 282
FIG. 130. SYNTHESE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN Q100 – SECTEUR AMONT 283
FIG. 131. SCHEMA DE PRINCIPE DES ZONES D'EXPANSION DE CRUE 285
FIG. 132. ZONES DE PRODUCTION DE BANANIERS ISSUES DE L'ETUDE « ENTRETIEN DES BERGES ET DU DPF SUR SAINT-ANDRE – RECONNAISSANCE DE LA VEGETATION PRESENTE SUR LES BERGES DES COURS D'EAU DU DPF EN AMONT DU CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE - DECEMBRE 2018 » 293
FIG. 133. CARTOGRAPHIE DE LA CRUE CENTENNALE – QUARTER LA MARINE (SOURCE PGRI) 298
FIG. 134. CARTOGRAPHIE DE LA CRUE EXCEPTIONNELLE – QUARTER LA MARINE (SOURCE PGRI) 299
FIG. 135. LIMITE DU MODELE EDD BOCAGE (HYDRETUDES) 300
FIG. 136. HAUTEURS D'EAU MAXIMALES EN Q_{100} – SAINTE SUZANNE (SOURCE EDD CANAL DU BOCAGE, HYDRETUDES) 301
FIG. 137. HAUTEURS D'EAU MAXIMALES EN Q_{500} – SAINTE SUZANNE (SOURCE EDD CANAL DU BOCAGE, HYDRETUDES) 302
FIG. 138. EXTRAIT DU PPR DE SAINTE-SUZANNE – MAI 2015 302
FIG. 139. HAUTEURS D'EAU MAXIMALES EN Q_{100} – SAINTE SUZANNE (SOURCE ETUDE TCSP CENTRE-VILLE, HYDRETUDES) 304
FIG. 140. ZONE INONDEE – SAINTE-SUZANE 305
FIG. 141. SYNTHESE DES ZONES INONDEES EN CRUE CENTENNALE ISSUES DES DIFFERENTS MODELES 307
FIG. 142. LOCALISATION DU THALWEG 308
FIG. 143. EXTRAIT DU PPR DE SAINTE-SUZANNE – ZONAGE REGLEMENTAIRE – MAI 2015 309
FIG. 144. BASSIN VERSANT RELATIF AU THALWEG DE COMMUNE BEGUE 310
FIG. 145. ALEA INONDATION COMMUNE BEGUE – Q100 311
FIG. 146. ZONES POTENTIELLEMENT SANCTUARISABLES POUR EXPANSION DE CRUES – SECTEUR AMONT 313
FIG. 147. ZONES POTENTIELLEMENT SANCTUARISABLES POUR EXPANSION DE CRUES – SECTEUR INTERMEDIAIRE 315
FIG. 148. ZONES POTENTIELLEMENT SANCTUARISABLES POUR EXPANSION DE CRUES – SECTEUR AVAL 315
FIG. 149. NATURE ET HAUTEUR DES BERGES 318
FIG. 150. NATURE ET SENSIBILITE DES BERGES A L'EROSION SUR LES SECTEURS A ENJEUX 319
FIG. 151. ZONAGE DE L'ALEA EROSION 321
FIG. 152. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – CARTE GENERALE 326
FIG. 153. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 1 327
FIG. 154. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 2.1 328
FIG. 155. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 2.2 329
FIG. 156. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 3 330
FIG. 157. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 3 331

FIG. 158. ALEA EROSION – BATIMENTS IMPACTES – SECTEUR 4 332
FIG. 159. PERIMETRE DE L'ETUDE AVEC Q10 335
FIG. 160. PERIMETRE DE L'ETUDE AVEC Q30 336
FIG. 161. PERIMETRE DE L'ETUDE AVEC Q50 337
FIG. 162. PERIMETRE DE L'ETUDE AVEC Q100 338
FIG. 163. PERIMETRE DE L'ETUDE AVEC Q10 000 339
FIG. 164. **S**YNOPTIQUE DES ENQUETES SUR LES BATIMENTS 343
FIG. 165. FORMULAIRE DE LA 1ERE PARTIE DE L'ENQUETE 344
FIG. 166. FORMULAIRE DE LA 2NDE PARTIE DE L'ENQUETE POUR LES HABITATIONS 345
FIG. 167. FORMULAIRE DE LA 2NDE PARTIE DE L'ENQUETE POUR LES ACTIVITES 346
FIG. 168. RESULTATS DE LA 1ERE PARTIE DE L'ENQUETE (PRE-ENQUETES) 347
FIG. 169. REPARTITION DU TYPE DE BATI A ENQUETER 347
FIG. 170. RESULTATS DES ENQUETES SUR LES HABITATS 348
FIG. 171. LOCALISATION DES ENQUETES REALISEES A BOIS ROUGE 349
FIG. 172. LOCALISATION DES ENQUETES REALISEES A LA MARINE 350
FIG. 173. LOCALISATION DES ENQUETES REALISEES A QUARTIER FRANÇAIS, CAMBUSTON ET COMMUNE BEGUE 351
FIG. 174. LOCALISATION DES ENQUETES REALISEES AU CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE 352
FIG. 175. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 1 357
FIG. 176. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 1 – ZOOM SUR LE CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE 358
FIG. 177. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 1 – ZOOM SUR LE QUARTIER FRANÇAIS, CAMBUSTON, COMMUNE BEGUE 359
FIG. 178. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 1 – ZOOM SUR BOIS ROUGE 360
FIG. 179. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 1 – ZOOM SUR LA MARINE 361
FIG. 180. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 2 363
FIG. 181. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 2 – ZOOM SUR LE CENTRE-VILLE DE SAINT ANDRE 364
FIG. 182. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 2 – ZOOM SUR LE QUARTIER FRANÇAIS 365
FIG. 183. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 2 – ZOOM SUR BOIS ROUGE 366
FIG. 184. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DE L'OBJECTIF 2 – ZOOM SUR LA MARINE 367
FIG. 185. REPARTITION DES LOGEMENTS DONT LA STRUCTURE PEUT ETRE DESTABILISEE PAR L'INONDATION A DIRE D'EXPERT 369
FIG. 186. PROPORTION DES LOGEMENTS INONDES AVEC OU SANS ETAGES 371
FIG. 187. CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU (Q100) AUTOUR DU COLLEGE BEDIER [M] 372
FIG. 188. CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS (Q100) AU DROIT DU CHEMIN MIGUEL 373
FIG. 189. CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU (Q100) SUR LE QUARTIER FRANÇAIS, EN FACE DU LEADER-PRICE 374
FIG. 190. CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU (Q100) SUR LE QUARTIER DE LA MARINE 375
FIG. 191. CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU (Q100) SUR LE QUARTIER DE COMMUNE BEGUE 376
FIG. 192. CAPACITE ET EFFECTIF DES ETABLISSEMENTS SENSIBLES ET ETABLISSEMENT DE SANTE 378
FIG. 193. PHOTOS DE L'ANNEXE DU GHER 383
FIG. 194. BILAN DE VULNERABILITE DES BATIMENTS ET DES PERSONNES (LA MARINE) 384
FIG. 195. BILAN DE VULNERABILITE DES BATIMENTS ET DES PERSONNES (QUARTIER FRANÇAIS) 385
FIG. 196. BILAN DE VULNERABILITE DES BATIMENTS ET DES PERSONNES (BOIS ROUGE) 386
FIG. 197. BILAN DE VULNERABILITE DES BATIMENTS ET DES PERSONNES (CENTRE-VILLE SAINT ANDRE) 387
FIG. 198. CRITERES POUR DEFINIR LES ZONES DANGEREUSES POUR LE DEPLACEMENT D'UNE PERSONNE 388
FIG. 199. INONDATION DE L'AVENUE DE BOURBON DURANT FAKIR 389
FIG. 200. INONDATION DE LA RN POUR Q100 389
FIG. 201. CARTOGRAPHIE DES VITESSES D'ECOULEMENT ATTEINTES DANS LE CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE POUR Q100 390
FIG. 202. CARTOGRAPHIE DES VITESSES D'ECOULEMENT SUR LA PARTIE AVAL DE LA ZONE D'ETUDE POUR Q100 (QUARTIER FRANÇAIS, BOIS ROUGE, LA MARINE) 391
FIG. 203. RESEAU ELECTRIQUE DE SAINT-ANDRE 394
FIG. 204. PLAN DU RESEAU HTB A LA REUNION (SOURCE : EDF) 395
FIG. 205. EFFETS DOMINOS LIES AU DYSFONCTIONNEMENT DU RESEAU ELECTRIQUE (SOURCE : CEPRI) 395
FIG. 206. POSTES ELECTRIQUES DE SAINT-ANDRE VULNERABLE AUX INONDATIONS 396
FIG. 207. REPARTITION DE LA PRODUCTION ELECTRIQUE (2017) 397
FIG. 208. CARTOGRAPHIE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES POUVANT ETRE SUJETS A EMBACLES (SUR ALEA) 399
FIG. 209. REPRESENTATION RADAR DE LA CAPACITE A FAIRE FACE DE LA COMMUNE DE SAINTE-SUZANNE 403
FIG. 210. LOCALISATION DU PROJET D'AMENAGEMENT DE BOIS ROUGE 406
FIG. 211. LOCALISATION DU PROJET D'AMENAGEMENT DE LA MARINE 407
FIG. 212. LOCALISATION DU NPRU DU CENTRE-VILLE DE SAINT ANDRE 408
FIG. 213. ZONES AU SUR LE QUARTIER DE LA MARINE 409
FIG. 214. ZONES AU DANS LE CENTRE-VILLE DE SAINT-ANDRE 410
FIG. 215. ZONES AU DANS LE SECTEUR DE BOIS ROUGE 411
FIG. 216. COUT DES DOMMAGES AUX LOGEMENTS INONDES PAR QUARTIER 414
FIG. 217. REPARTITION DES BATIMENTS PATRIMONIAUX EN ZONE INONDABLE PAR QUARTIER 416
FIG. 218. SITUATION DU TRI VIS-A-VIS DES ZONES HUMIDES 419
FIG. 219. SITUATION DU TRI VIS-A-VIS DES EBC 420
FIG. 220. SITUATION DU TRI VIS-A-VIS DU ZNIEFF 421
FIG. 221. CARTOGRAPHIE DE LA SOURCE DE VULNERABILITE « DOMMAGES A L'ENVIRONNEMENT » 424
FIG. 222. COUT DES DOMMAGES AUX CULTURES PAR SECTEURS 426
FIG. 223. SOCIETES PRESENTES SUR LE SITE DE L'USINE DE BOIS ROUGE 428
FIG. 224. COUT DES DOMMAGES AUX ACTIVITES 440
FIG. 225. COUT DES DOMMAGES AUX ERP 443
FIG. 226. DIAGNOSTIC DU RESEAU ROUTIER 445

FIG. 227. RESEAU ELECTRIQUE HTA ET HTB 448
FIG. 228. DIAGNOSTIC DU RESEAU D'EAUX USEES 450
FIG. 229. DIAGNOSTIC DU RESEAU D'EAU POTABLE 452
FIG. 230. EMPRISE DE LA DECHETTERIE DE SAINT ANDRE TOUCHE PAR LES DEBORDEMENTS DE LA RAVINE PAYET 453
FIG. 231. SCHEMA DES INTERDEPENDANCES ENTRE RESEAUX (SOURCE : CEPRI) 455
FIG. 232. COUT TOTAL DES DOMMAGES ESTIMES 457
FIG. 233. NOMBRE DE PERSONNES DIRECTEMENT IMPACTEES PAR LA CRUE 461
FIG. 234. BATIMENTS SERVANT A LA GESTION DE CRISE 463
FIG. 235. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL – SECTEUR AVAL 471
FIG. 236. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL – SECTEUR AMONT 472

PHOTOS

PHOTO.-1. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN – PROTECTION DE BERGE RD AU PK -2250 (2011) 36
PHOTO.-2. PROTECTION RIVE DROITE PK-2200 A -2400 POST-FAKIR (2018) 37
PHOTO.-3. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN – PROTECTION DE BERGE RG AU PK -2025 39
PHOTO.-4. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN – PROTECTION DE BERGE RD AU PK -1850 (2011) 40
PHOTO.-5. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN – PROTECTION DE BERGE RG ENTRE PK -1550 ET -1700 41
PHOTO.-6. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN – PROTECTION DE BERGE AU PK -1150 (PHOTO 2018) 43
PHOTO.-7. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN – PROTECTION DE BERGE AU PK -800 44
PHOTO.-8. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN – MUR DE SOUTENEMENT AU PK -800 46
PHOTO.-9. – BRAS DES CHEVRETTES – MUR AMONT RIVE GAUCHE RD 46 47
PHOTO.-10. PETITE RIVIERE SAINT-JEAN – DIGUE EN TERRE EN AVAL DU PONT DE LA RN 2 48
PHOTO.-11. PETITE RIVIERE SAINT-JEAN – PROTECTIONS EN AMONT DU PONT DE LA RN2002 49
PHOTO.-12. RAVINE SECHE EN AMONT DE LA CONFLUENCE AVEC LA GRSJ – JUILLET 2019 APRES OPERATIONS DE CURAGE (PHOTOS CIREST) 51
PHOTO.-13. RAVINE SECHE – PAREMENT EN BETON EN AVAL DE LA CONFLUENCE AVEC LA RAVINE PAYET 52
PHOTO.-14. RAVINE SECHE – MUR GABIONS EN AVAL IMMEDIAT DE LA CONFLUENCE AVEC LA RAVINE PAYET 54
PHOTO.-15. RAVINE SECHE – SOUS-CAVEMENT ET FOSSE EN PIED D'OUVRAGE 55
PHOTO.-16. RAVINE SECHE – MUR EN BORDURE DE LA RUE MIGUEL 56
PHOTO.-17. SOUS-CAVEMENT DE LA SEMELLE 56
PHOTO.-18. BANIAN DANS LE MUR 57
PHOTO.-19. GAGE DE GABION DETERIOREE 57
PHOTO.-20. RAVINE SECHE – AFFOUILLEMENTS EN SORTIE DU PONT AUGUSTE EN 2011 58
PHOTO.-21. RAVINE SECHE – PROTECTION EN ENROCHEMENTS LIES EN SORTIE DU PONT AUGUSTE 58
PHOTO.-22. RAVINE SECHE – AFFOUILLEMENTS PONCTUELS EN AMONT DU PONT AUGUSTE 59
PHOTO.-23. RAVINE SECHE – PROTECTION EN PIED D'OUVRAGE EN AMONT DU PONT AUGUSTE 59
PHOTO.-24. RAVINE SECHE – PROTECTION DANS LE CENTRE-VILLE DE ST-ANDRE 60
PHOTO.-25. PRESENCE DE VEGETATION SUR LES BERGES 60
PHOTO.-26. FOSSE BETON EN AMONT DU PONT MINOT 61
PHOTO.-27. RAVINE SECHE – BERGE RIVE GAUCHE A HAUTEUR DU COLLEGE MORIN 61
PHOTO.-28. RAVINE SECHE – PROTECTION EN AVAL DU CHEMIN MORIN 62
PHOTO.-29. RAVINE SECHE – AVAL DU CHEMIN MORIN : FOSSE DE DISSIPATION 62
PHOTO.-30. RAVINE PAYET – PROTECTION BERGE RD AMONT PONT RUE MIGUEL 64
PHOTO.-31. RAVINE PAYET – PROTECTION BERGES AUX ABORDS DU COLLEGE BEDIER 65
PHOTO.-32. – RAVINE PAYET – PROTECTION DU LIT EN AMONT DE L'OH20 66
PHOTO.-33. RAVINE PAYET – PROTECTION DU LIT EN AMONT DE L'OUVRAGE DE LA RUE DU PERE REPOND 66
PHOTO.-34. OH 7 84
PHOTO.-35. OH 10 84
PHOTO.-36. EROSION DE LA BERGE RG DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN AU PK -3500 90
PHOTO.-37. VUE AERIENNE GRSJ AU PK – 2700 POST FAKIR (AVRIL 2018) 91
PHOTO.-38. VUE AERIENNE GRSJ AU PK – 2000 POST FAKIR (AVRIL 2018) 91
PHOTO.-39. BERGE DEGRADEE DE LA GRSJ AU PK – 2700 POST FAKIR (AVRIL 2018) 92
PHOTO.-40. EROSION DE LA BERGE RD DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN AU PK -1850 93
PHOTO.-41. –EROSION DE LA BERGE RG DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN AU PK -1335 (2011 PGRI) 94
PHOTO.-42. EROSION DE LA BERGE RD DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN AU PK -1100 94
PHOTO.-43. EROSION DE LA BERGE RG DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN AU PK -930 (2011-PGRI) 95
PHOTO.-44. EROSION DE LA BERGE RG DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN AU PK -930 (2017-BRGM REF /4/) 95
PHOTO.-45. EROSION DE LA BERGE RG DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN AU PK -930 (AVRIL 2018) 96
PHOTO.-46. FISSURE SUR L'HABITATION SITUEE AU PK -930 (2011-PGRI) 96
PHOTO.-47. FISSURE SUR L'HABITATION SITUEE AU PK -930 (2017-BRGM REF /4/) 97
PHOTO.-48. EROSION DE LA BERGE RG DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN AU PK -500 101
PHOTO.-49. BERGE ABRUPTE DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN EN RG ET AU PK 400 101
PHOTO.-50. EROSION DE LA BERGE RG DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN AU PK 4500 102
PHOTO.-51. REMBLAI EN RG AU PK -1200 (ROUTE DE COMMUNE BEGUE LES BAS) SOURCEPGRI 103
PHOTO.-52. REMBLAI EN RG AU PK -480 (SOURCE PGRI) 103
PHOTO.-53. REMBLAI EN RG AU PK -500 (FEVRIER 2019) 104
PHOTO.-54. REMBLAI EN RD AU PK -480 (DECEMBRE 2019) 104
PHOTO.-55. EROSION DE BERGE RD SUR LA RAVINE SECHE (PK 400) -2011 105
PHOTO.-56. EROSION DE BERGE RD SUR LA RAVINE SECHE (PK 1200) - 2011 105
PHOTO.-57. EROSION DE BERGE RD SUR LA RAVINE SECHE (PK 1200) - 2011 106
PHOTO.-58. VUE DU LIT DE LA RAVINE SECHE EN AVAL DU PONT AUGUSTE EN 2011 107
PHOTO.-59. VUE DU LIT DE LA RAVINE SECHE EN AVAL DU PONT AUGUSTE EN 2018 107
PHOTO.-60. VUE AVAL DE L'OH21 (RUE DU PERE REPOND) 108
PHOTO.-61. VUE DU RADIER DE L'OH17 (RUE MIGUEL) 108
PHOTO.-62. EROSION DE BERGE – RAVINE SECHE PK 3450 – AVRIL 2018 110
PHOTO.-63. EROSION DE BERGE – RAVINE SECHE PK 1300 112
PHOTO.-64. COMPARAISON PHOTOGRAPHIES AERIENNES 1997 – 2012 113
PHOTO.-65. EROSION DE BERGE – PK420 VERS L'AMONT 115
PHOTO.-66. EROSION DE BERGE – PK420 VERS L'AVAL 115
PHOTO.-68. EROSION DE BERGE – GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN PK -500 117
PHOTO.-69. VUE AERIENNE GRSJ AU PK – 2000 POST FAKIR (AVRIL 2018) 119

PHOTO.-70. BERGE DEGRADEE DE LA GRSJ AU PK – 2700 POST FAKIR (AVRIL 2018) 119
PHOTO.-71. RAVINE SECHE (AVENUE DE BOURBON) – PHOTOS PRISES DURANT LA CRUE (AVRIL 2018) 150
PHOTO.-72. RAVINE SECHE (AVENUE DE LA REPUBLIQUE ET D'ILE DE FRANCE) PHOTOS PRISES DURANT LA CRUE (AVRIL 2018) 151
PHOTO.-73. RAVINE SECHE (PONT MINOT) – PHOTO PRISE POST-CRUE (24 AVRIL 2018) 151
PHOTO.-74. RAVINE SECHE (PONT REPUBLIQUE) – PHOTO PRISE POST-CRUE (27 AVRIL 2018) 152
PHOTO.-75. RAVINE SECHE (MAIRIE) – PHOTO PRISE POST-CRUE (24 AVRIL 2018) 152
PHOTO.-76. RAVINE SECHE (PLACE DE LA MAIRIE) – PHOTO PRISE POST-CRUE (24 AVRIL 2018) 153
PHOTO.-77. RAVINE SECHE (PONT AVAL MAIRIE) – PHOTO PRISE POST-CRUE (24 AVRIL 2018) 153
PHOTO.-78. RAVINE SECHE (PONT AUGUSTE) – PHOTO PRISE POST-CRUE (24 AVRIL 2018) 154
PHOTO.-79. RAVINE SECHE (RUE MIGUEL) – PHOTO PRISE POST-CRUE (27 AVRIL 2018) 154
PHOTO.-80. RAVINE SECHE (PONT CONFLUENCE RAVINES SECHES ET PAYET) PHOTO PRISE POST-CRUE (24 AVRIL 2018) 155
PHOTO.-81. GRANDE RIVIERE ST-JEAN – PHOTO PRISE LE 24 AVRIL 2018 EN AMONT PONT RN2002 156
PHOTO.-82. GRANDE RIVIERE ST-JEAN – PHOTO PRISE LE 24 AVRIL 2018 EN AVAL PONT RN2002 156
PHOTO.-83. GRANDE RIVIERE ST-JEAN (BOIS ROUGE) – PHOTO PRISE LE 24 AVRIL 2018 157
PHOTO.-84. GRANDE RIVIERE ST-JEAN (BOIS ROUGE) – PHOTO PRISE LE 24 AVRIL 2018 157
PHOTO.-85. GRANDE RIVIERE ST-JEAN – LAISSE DE CRUE AU SEIN DE LA SUCRERIE (FEVRIER 1990) 159
PHOTO.-86. GRANDE RIVIERE ST-JEAN – LAISSE DE CRUE SUR LA CLOTURE A L'ENTREE DE L'USINE (FEVRIER 1990) 159
PHOTO.-87. – GRANDE RIVIERE ST-JEAN – LAISSE DE CRUE ET EMBACLES EN AMONT DU PONT DE BOIS ROUGE (FEVRIER 1990) 159
PHOTO.-88. GRANDE RIVIERE ST-JEAN – LAISSE DE CRUE EN AMONT RIVE DROITE DU PONT DE LA RN2002 (FEVRIER 1990) 160
PHOTO.-89. RAVINE SECHE (COLLEGE BEDIER) – PHOTOS PRISES POST-CRUE (27 AVRIL 2018) 162
PHOTO.-90. RAVINE SECHE (PISCINE MUNICIPALE) – PHOTO PRISE POST-CRUE (27 AVRIL 2018) 163
PHOTO.-91. RAVINE PAYET (AMONT LOTISSEMENT CAZALES) – PHOTO PRISE POST-CRUE (27 AVRIL 2018) 163
PHOTO.-92. RAVINE PAYET (HABITATION RUE MIGUEL) – PHOTO PRISE POST-CRUE (27 AVRIL 2018) 164
PHOTO.-93. RAVINE SECHE (CROISEMENT AVENUE ILE DE FRANCE / RUE DE LA GARE) PHOTO PRISE POST-CRUE (24 AVRIL 2018) 165
PHOTO.-94. EMBACLES SUR LE PONT DELA R N2002 SUR LA GRSJ POST FAKIR (AVRIL 2018) 291
PHOTO.-95. EMBACLES SUR LE PONT AUGUSTE POST FAKIR (AVRIL 2018) 291
PHOTO.-96. DECHETTERIE DE SAINT-ANDRE 423

1. PREAMBULE

1.1. &217(;7('(/•(78'(

Le PGRI (Plan de Gestion du Risque Inondation) définit, pour la période 2016-2021, les grandes orientations qui permettent de réduire les conséquences négatives des risques inondation sur l'ensemble de la Réunion. Ce plan de gestion traite de tous les aspects de la gestion des risques inondations : information préventive, connaissance, surveillance, prévision, prévention, réduction de la vulnérabilité, protection, organisation du territoire, gestion de crise et retour d'expérience. Il formalise la politique de gestion des inondations à l'échelle du département et en particulier pour les territoires à risque important (TRI).

Les territoires des communes de Saint-André et de Sainte-Suzanne sont en grande partie concernés par le risque inondation, liées notamment aux cours d'eau appartenant au bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean et de la Rivière Sainte Suzanne. Ainsi, les zones urbanisées de ces 2 communes ont été identifiés comme Territoire à Risque Inondation et font l'objet d'une Stratégie Locale de Gestion du Risque Inondation (SLGRI)[1]. La délimitation du TRI et les 6 quartiers intégrés sont présentés dans la figure ci-dessous :

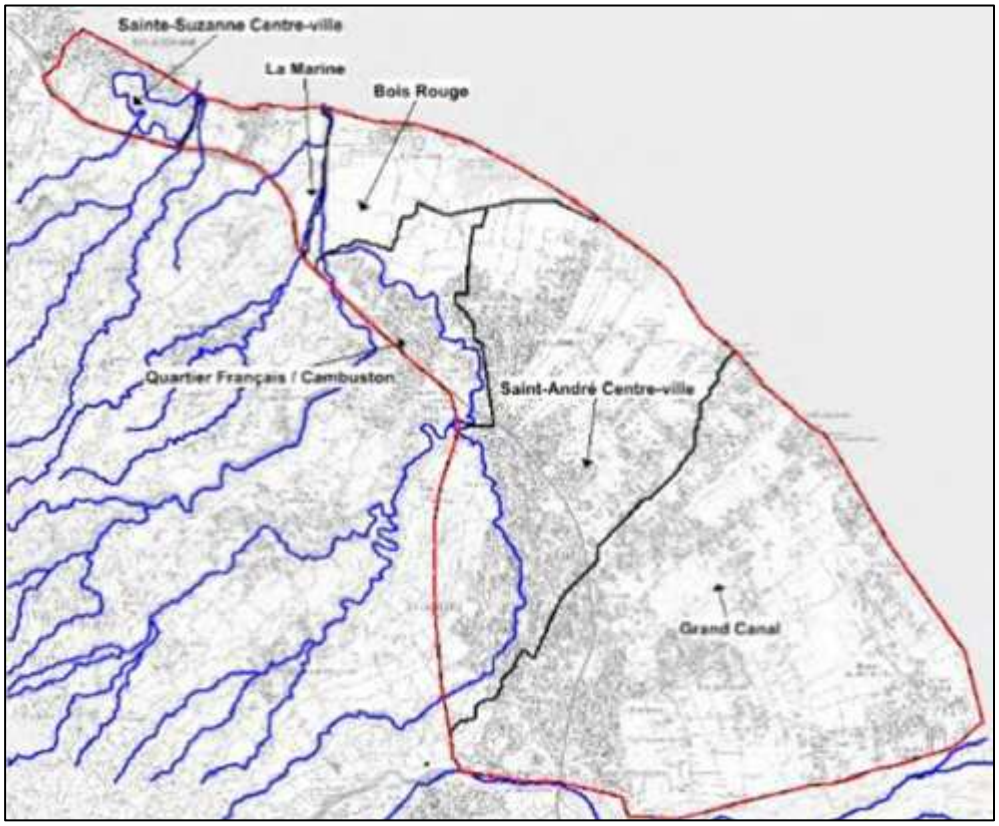


Fig. 1. Territoire à Risque Important Saint-André/Sainte-Suzanne

[1] Arrêté n°2016-566/SG/DRCTCV/BCLU

La SLGRI fixe les objectifs de réduction des conséquences des inondations pour le TRI. Elle est déclinée de façon opérationnelle par un programme d'actions et de prévention des inondations (PAPI) à court et moyen terme.

Un PAPI d'intention a été réalisé sur le territoire Saint-André/Sainte-Suzanne. Il est prévu la réalisation d'un PAPI prévoyant la réalisation de travaux de protection contre les crues, objet de la présente étude.

1.2. PRESENTATION DE LA ZON ('•(78'(

Au sein du TRI, le périmètre de l'étude englobe le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents. Les quartiers concernés sont décrits sur la figure suivante.

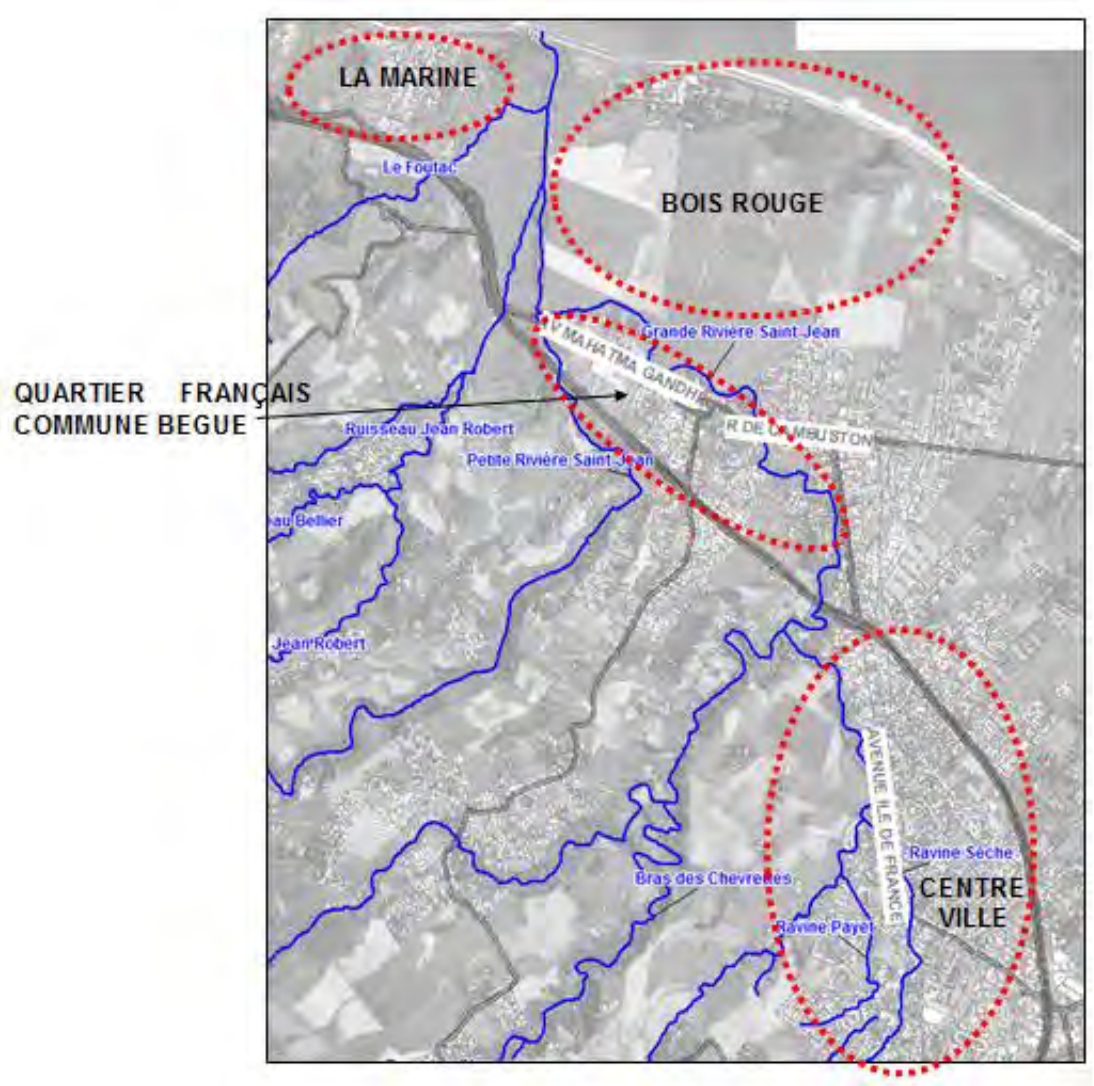


Fig. 2. 3UpVHQWDWLRQ GH OD]RQH G•pWXGH

En particulier, les quartiers Sainte-Suzanne Centre-Ville, Grand Canal et Saint-André centre-ville secteur nord ne sont pas concernés.

1.3. CONTEXTE PHYSIQUE

La présente étude se focalise plus particulièrement sur le bassin versant de la Grande Rivière St Jean. Ce bassin versant a fait l'objet de plusieurs études dont un Plan de Gestion des Risques d'Inondation[2] (PGRI) réalisé entre 2009 et 2012 et un Plan de Prévention des Risques d'Inondation[3] (PPRi).

La présente mission vise aujourd'hui à actualiser certaines thématiques abordées au cours de ces études (reconnaissances de terrain, hydrologie, propositions de mesures de protection) tout en analysant et approfondissant d'autres sujets (écoulements dans le centre-ville de Saint-André liés aux débordements des Ravines Sèche et Payet, diagnostic de vulnérabilité des zones inondées).

La figure présentée page suivante délimite le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean et identifie ses 4 principaux affluents que sont la Ravine Sèche, la Petite Rivière Saint-Jean, le Ruisseau Emmanuel et le Ruisseau du Foutac.

La pente moyenne des bassins versants se situe entre 5 et 14 % pour des altitudes comprises entre 1010 m NGR et quelques dizaines de m NGR.

La direction générale des écoulements s'effectue du *sud-ouest* vers le *nord-est.* Les apports de ces principaux affluents se font tous en dessous de 50 m NGR.

La Grande Rivière Saint-Jean s'écoule sur la planèze *est* de la Roche Ecrite et prend naissance à hauteur du rempart de la Rivière du Mât à une altitude proche de 910 m NGR. A son embouchure dans l'Océan Indien, son bassin versant atteint une superficie de 43 km² environ qui se répartit au travers de ses principaux affluents de la façon suivante :

- 8 km² qui correspondent au bassin versant de la Ravine Sèche. Celle-ci présente un cours aval densément urbanisé avec la traversée de Saint-André. Elle rejoint la Grande Rivière Saint-Jean en amont de son franchissement par la RN 2 ;
- 16 km² concernent la Grande Rivière Saint-Jean en amont de la Petite Rivière Saint-Jean (hors apports de la Ravine Sèche). A hauteur de commune Bègue, la Grande Rivière Saint-Jean reçoit les apports du Bras des Chevrettes (bassin versant de 5 km² environ) qui traverse le quartier Menciol ;
- 11 km² pour le bassin versant de la Petite Rivière Saint-Jean qui culmine à 1 010 m NGR environ. Celle-ci rejoint la Grande Rivière Saint-Jean en aval de son franchissement par la RN 2002 ;
- 5,2 km² pour le ruisseau Emmanuel qui traverse le quartier commune Carron ;
- 1,7 km² pour le ruisseau du Foutac qui constitue le plus petit des 4 principaux affluents et prend sa source à 150 m NGR.

Chacun de ces affluents rejoint la Grande Rivière Saint-Jean aux abords ou dans la plaine de Bois Rouge. Cette dernière se caractérise notamment par la présence d'un étang, d'une superficie de 2,6 ha, alimenté par drainage et ruissellement d'une partie de la plaine de Bois Rouge. Fréquemment lors de crues, la Grande Rivière Saint-Jean déborde sur sa rive droite et inonde la plaine. La configuration topographique du site conduit alors les eaux à cheminer en direction de l'océan (via passage dans l'étang) ce qui soustrait une part significative du débit transitant dans le lit mineur de la rivière.

Précisons à ce titre que le tracé de la Grande Rivière Saint-Jean présente la particularité de ne pas emprunter la ligne de plus grande pente qui la conduirait vers l'étang ou le secteur de la sucrerie.

[2] PGRI du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean établi entre 2009 et 2012 pour la DEAL (4 phases – ARTELIA – dossier n°4700841)
[3] PPRi de la commune de Saint-André (approuvé le 25 juin 2014) et PPR multirisques de la commune de Sainte-Suzanne (approuvé le 26 juin 2015)

Notons enfin que les bassins versants mitoyens sont ceux de la Rivière Sainte-Suzanne à l'*ouest* et de la Rivière du Mât à l'*est*.

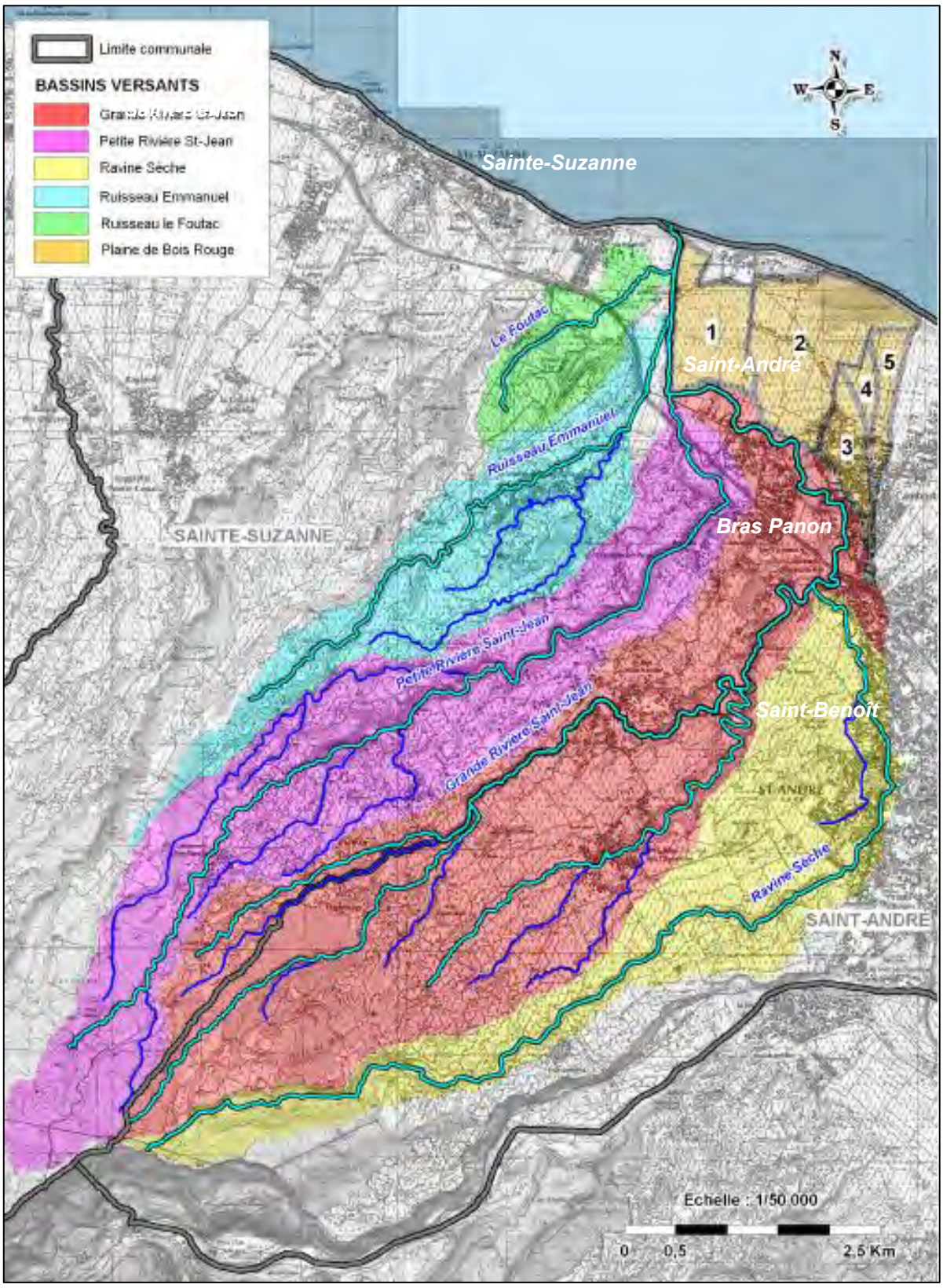


Fig. 3. Localisation générale des bassins versants

1.4. SYSTEME DE REPERAGE ET LOCALISATION

Pour faciliter le repérage le long de chacun des cours d'eau étudiés, les repères kilométriques du PGRi ont été repris. Ils sont indiqués sur l'orthophotographie IGN jointe sur la figure en page suivante. Dans la suite de ce rapport, il sera constamment fait référence à ces repères (Points Kilométriques ou PK).

Pour la Grande Rivière Saint-Jean, **le point caractéristique de référence (PK0) est le pont de la RN 2**. Vers l'aval, les distances sont comptées négativement et vers l'amont elles sont comptées positivement.

Pour ses différents affluents, le zéro des PK est pris au point de confluence avec la Grande Rivière St-Jean soit :

- Au PK -4740 pour le ruisseau du Foutac. Il sera dénommé FC0 ;
- Au PK -4275 pour le ruisseau Emmanuel (dénommé EM0) ;
- Au PK -3500 pour la Petite Rivière Saint-Jean (dénommé PJ0) ;
- Au PK 450 pour la ravine Sèche (dénommé RS0) ;
- Au PK 2300 pour le Bras des Chevrettes (dénommé BC0).

Le tableau ci-dessous donne les PK de référence de certains points importants sur le cours de la Grande Rivière St-Jean.

Tabl. 1 - Points de références gradués

Lieu	PK (en mètres)
Exutoire océan	- 5 225
Pont de Bois Rouge	- 4 465
Pont RN 2002	- 1 540
Pont RD 46	4 300

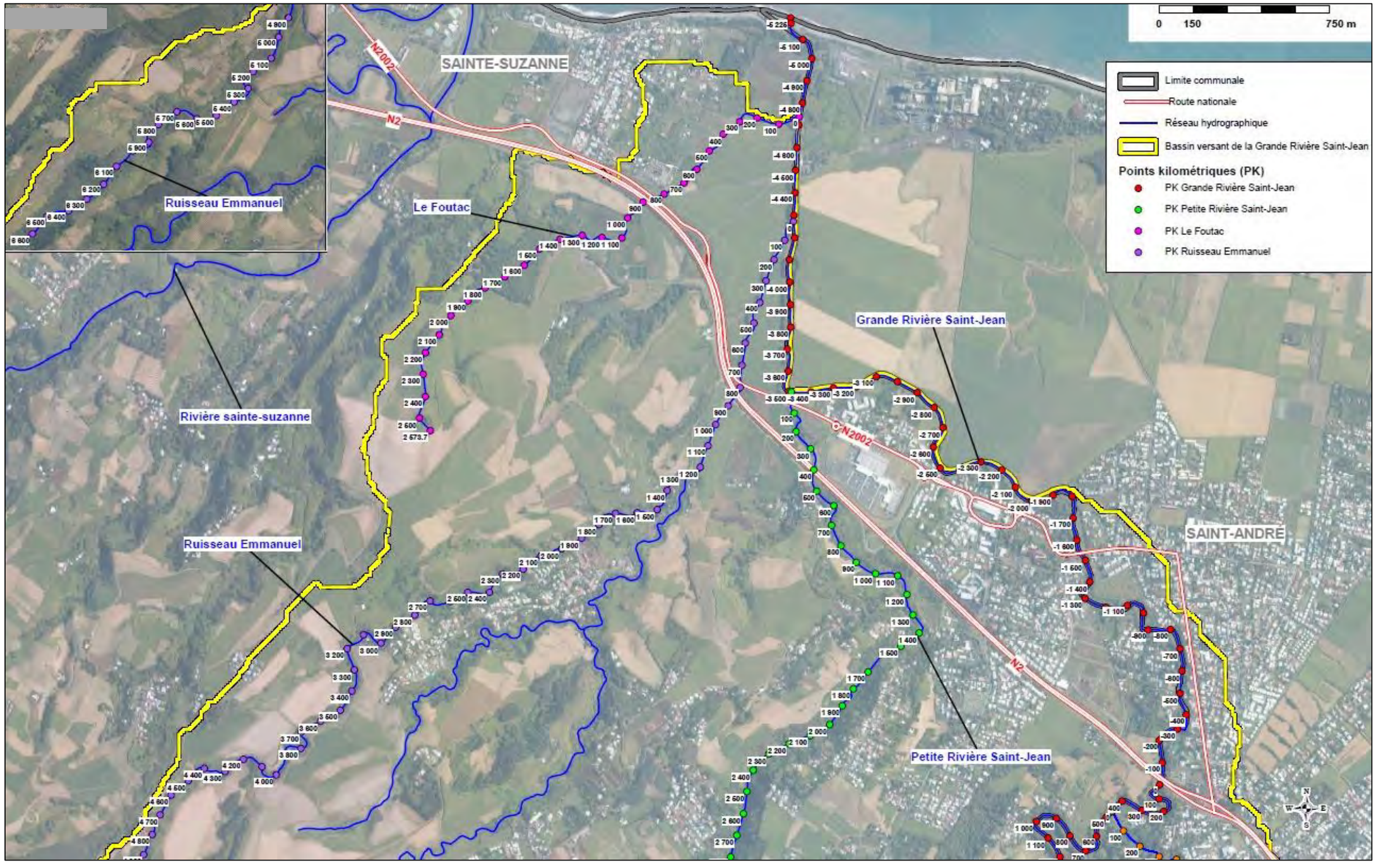


Fig. 4. Implantation des repères kilométriques (PK) ţsecteur aval

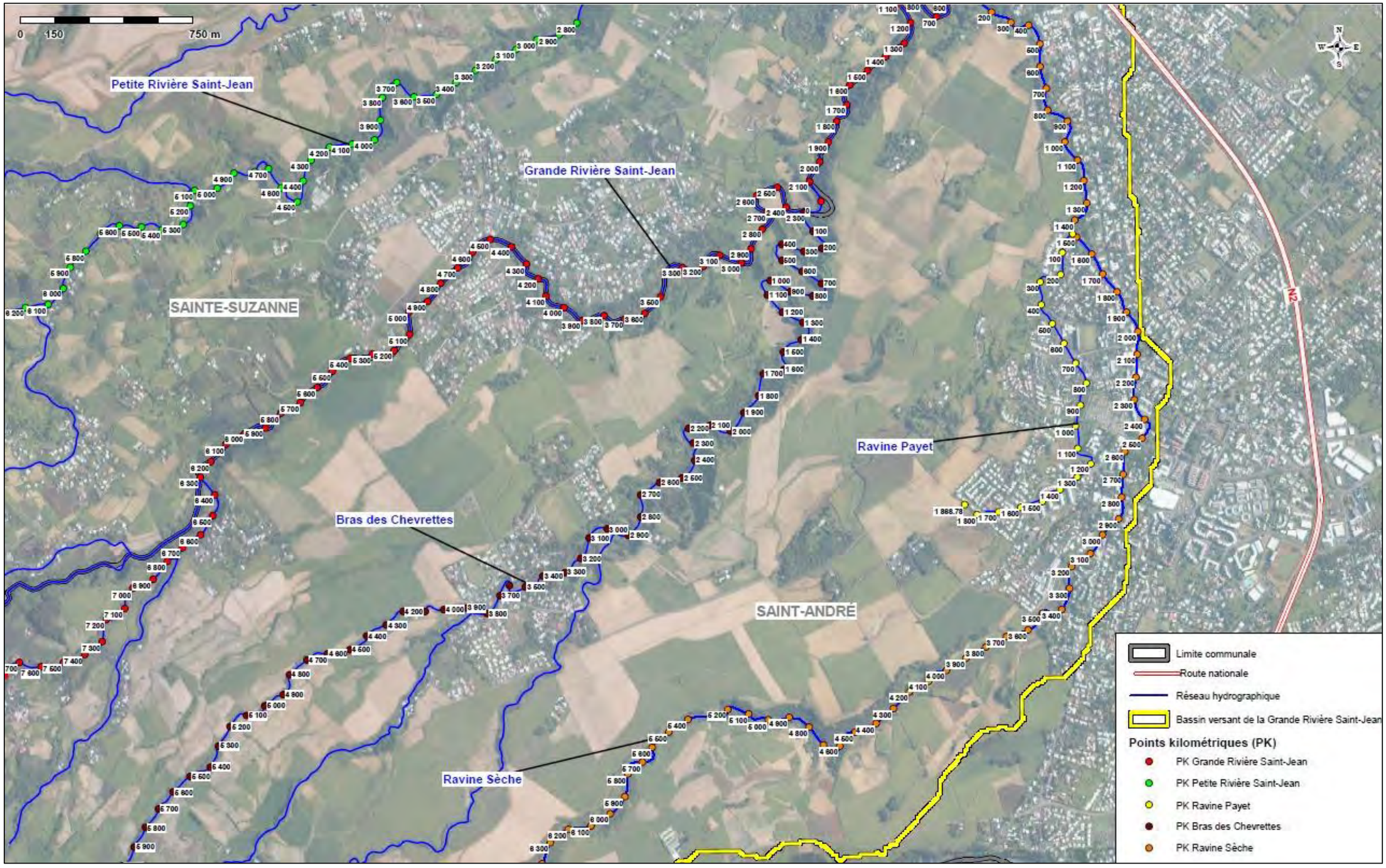


Fig. 5. Implantation des repères kilométriques (PK) †secteur amont

1.5. CONTENU DE /•(78'(

La mission s'articulera autour des 5 volets suivants :

1. **Définition de l'état de référence : objet du présent document ;**
2. Définition de l'état de référence avec protections ;
3. Définition des états aménagés ;
4. Bilan et estimation des bénéfices induits par les propositions d'aménagements ;
5. Définition du programme pluriannuel d'action et des coûts d'entretien (en vue de l'élaboration du dossier PAPI).

Le présent document concerne le volet n°1 (Définition de l'état de référence) qui se décline en 5 chapitres :

1. Collecte de données (bibliographie), réalisée par ARTELIA ;
2. Reconnaissances de terrain et levés topographiques, réalisés par ARTELIA et le cabinet Veyland ;
3. Analyse hydrologique, réalisée par ARTELIA ;
4. Modélisation hydraulique à l'état initial, réalisée par ARTELIA ;
5. Diagnostic de vulnérabilité, réalisé par Hydretudes.

2. COLLECTE DE DONNEES

La présente étude s'appuie sur de nombreuses données, listées dans le présent chapitre.

2.1. ETUDES ANTERIEURES ET DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES

Le tableau ci-dessous recense les principales données disponibles ayant servi à la réalisation de la présente étude.

Tabl. 2 - Etudes antérieures et données topographiques disponibles

REF.	INTITULE	AUTEURS	MAITRE D'OUVRAGE	DATE
	Etudes antérieures			
/1/	Mesures compensatoires hydrauliques et mise hors d'eau d'une desserte et d'une plateforme d'équipements de traitement de déchets et de valorisation énergétique	ARTELIA (4702215)	CIREST	2017-2018
/2/	Mission de maitrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière Saint-Jean suite à l'épisode FAKIR	ARTELIA (4702424)	Saint-André	Aout 2018
/3/	Opération de reprise de berge sur la Grande Rivière Saint-Jean suite à l'épisode pluvieux FAKIR	ARTELIA (4702416)	SA Adrien Bellier	Juin 2017
/4/	Diagnostic des risques géologiques – Chemin Gonzague à Sainte-Suzanne	BRGM (RP66920)	Sainte-Suzanne	Avril 2017
/5/	Projet SPICy « Système de Prévision des Inondations côtières et fluviales en contexte Cyclonique »	Armines BRL BRGM MétéoFrance		2016
/6/	Plan de prévention du risque inondation (PPRi) de la commune de Saint André	ARTELIA	DEAL – SPRINR	Décembre 2013
/7/	Etude Générale (PGRI) du bassin de la Grande Rivière Saint-Jean : ○ Phase 1 : Evaluation préliminaire des risques inondation ○ Phases 2 et 3 : fonctionnement hydro-géomorphologique des cours d'eau et caractérisation des zones à enjeux et de leur fonctionnement ○ Phase 4 : Elaboration d'une stratégie de gestion du risque inondation	ARTELIA (4700841)	DEAL	Déc-09 Déc-11 Mars-12

REF.	INTITULE	AUTEURS	MAITRE D'OUVRAGE	DATE
	Topographie			
/8/	LIDAR sur le secteur centre-ville couvrant la Ravine Payet, Ravine Sèche, Grande Rivière Saint-Jean	Cabinet Veyland	Saint-André	2018
/9/	Plaine de Bois Rouge - Levé LIDAR aéroporté	Cabinet Veyland	Groupement d'Intérêt Public Pôle Portuaire Industriel Energétique de Bois Rouge	2017
/10/	Rivière st jean Ouvrage précontraint sur la RN2002 – suivi topographique au droit de l'ouvrage	Région Réunion	Région Réunion	2017
/11/	LITTO3D	IGN	DEAL	2012
/12/	La Grande Rivière Saint-Jean : Profils en travers et élévations d'ouvrages (dossier 14480)	Cabinet MECHY - BROYON	DDE	Mars 2010
/13/	Orthophoto / Plan Vectoriel : Semis de points couvrant la plaine de bois rouge et le centre-ville de Saint-André	AIGL	DDE	2009
/14/	Ouvrage de franchissement du chemin MORIN sur la Ravine Payet – Vue en plan et coupes	FEDT	CG974	Juillet 2005
/15/	Relevé des ouvrages sur la Ravine Sèche : Pont Minot, Pont Auguste, Pont sur l'avenue de la République, Pont sur rue Lagourgue – Vues en élévation – Echelle 1/20	Cabinet MECHY	SEMAC	2002
/16/	Ravine Sèche : profil en travers et profil en long (dossier 12480)	Cabinet MECHY	Saint-André	2001

Des levés topographiques ont été réalisés dans le cadre de la présente étude. Ils ont consisté en une acquisition LIDAR puis traitement sous forme de MNT sur le secteur centre-ville et Bois Rouge amont. Ces données permettent de compléter les levés sur la plaine de Bois Rouge (réf. /9/) réalisés dans le cadre de l'étude *Mesures compensatoires hydrauliques et mise hors d'eau d'une desserte et d'une plateforme d'équipements de traitement de déchets et de valorisation énergétique.*

Le rapport d'exécution correspondant est présenté en annexe.

2.2. BASES DE DONNEES NATIONALES

Au niveau national, les bases de données suivantes ont été utilisées :

Tabl. 3 - Principales bases de données nationales utilisées

Nom	Producteur	Description
BD Carto	IGN	Représentation 2D du territoire et de ses infrastructures
BD Ortho	IGN	Fonds de plan ortho (photographie aérienne rectifiée)
BD Topo	IGN	Description en objets des éléments du territoire et de ses infrastructures
BD Carthage	IGN / SANDRE	Référentiel hydrographique (cours d'eau, plan d'eau…) basé sur des objets issus de BD Carto
Corine Land Cover	EEA / CGDD	Occupation des terres / usage des sols
Recensement général de la population	INSEE	Données issues du recensement de la population
Données carroyées de population	INSEE	Carreaux de 200 m de côté comportant un ensemble de données statistiques, dont le nombre d'habitants
Base de données SIRENE	INSEE	Informations économiques et juridiques sur les entreprises et établissements
S3IC	DGPR	Base des installations classées pour la protection de l'environnement

2.3. DONNEES RESEAUX

Les données recueillies concernant les réseaux sont présentées ci-dessous.

Tabl. 4 - Données sur les réseaux

Type	Commune	Source	Données recueillies	Format
Réseau électrique	Saint André Sainte Suzanne	EDF	Plans des réseaux HTB et HTA (haute et moyenne tension) et positionnement des postes de distribution publiques [absence de plan basse tension] *Saint-André* : Couches SIG des réseaux électriques (HTA, HTB, BT) et des postes électriques.	PDF SIG
Réseau AEP	Sainte-Suzanne	RUNEO	Plan du réseau AEP	SHP
Réseau EU	Sainte Suzanne	CISE Réunion	Plan du réseau EU	DWG
Réseau AEP	Saint André	CISE Réunion	Plan du réseau AEP	SHP
Réseau EU	Saint André	CISE Réunion	Plan du réseau EU	SHP
Réseau téléphonique	Saint André Sainte Suzanne	Orange	Couches SIG des sites radio orange réunion	SIG

2.4. REFERENTIELS METHODOLOGIQUES

Les référentiels méthodologiques suivants ont été utilisés :

- **Référentiel national de vulnérabilité aux inondations**, Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR), Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEM), juin 2016.
- **Note décrivant la méthodologie appliquée pour la réalisation de l'étude de vulnérabilité pilote à Bois d'Olive**, HYDRETUDES OI, DEAL de La Réunion, avril 2017.
- **Analyse multicritère des projets de prévention des inondations, Guide méthodologique 2018,** Commissariat général au développement durable, mars 2018,
- Enfin les différents **guides du CEPRI** (Centre européen de Prévention du Risque Inondation) sur la vulnérabilité aux inondations ont été utilisés dans le cadre de cette étude.

2.5. COLLECTES SPECIFIQUES AU VOLET DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE

Enfin, pour le volet diagnostic de vulnérabilité, un important travail de collecte et de synthèse de données auprès de différents organismes / acteurs a été engagé. Ces données proviennent :

- Du BRGM
- De bases de données nationales,
- De données produites lors d'études précédentes (SLGRI, PGRI),
- D'échanges d'informations et de données avec différents gestionnaires de réseau (EDF, CISE Réunion, RUNEO),
- D'échanges d'informations et de données avec les services techniques des mairies de Saint André et de Sainte Suzanne
- D'échanges d'informations et de données avec les services techniques des EPCI (CINOR et CIREST),
- D'échanges avec les principales activités du site de Bois Rouge : centrale thermique (Albioma), la sucrerie (Tereos), la distillerie (Savanna),
- D'une enquête sur l'ensemble des bâtiments se trouvant en zone inondable (logements et activités) réalisée durant les mois de septembre et octobre 2018. Cette enquête a permis :
  - De relever les caractéristiques extérieures des bâtiments se trouvant en zone inondable (hauteurs de seuil, nombre d'étages, nature et état de la structure),
  - De localiser précisément les différentes activités du territoire,
  - D'interroger les riverains, **si ceux-ci étaient présents lors de l'enquête** sur leur expérience des inondations.

2.6. DONNEES NON DISPONIBLES

Les données suivantes n'ont pu être consultées car non transmises :

Tabl. 5 - Données non disponibles

	INTITULE	*AUTEURS*	*MAITRE D'OUVRAGE*	*DATE*
Plan de gestion de la Rivière Sainte Suzanne			CINOR	En cours
Aménagement de la ZA La Marine			CINOR	
Photographies des inondations sur le quartier Commune Bègue à Sainte-Suzanne		M Duval ?		Fakir ?

3. RECONNAISSANCES DE TERRAIN

Une visite exhaustive des différents cours d'eau et ravines de la zone d'étude a été réalisée.

3.1. DEROULEMENT DES VISITES

Les visites de terrain permettant de dresser un état des lieux initial des cours d'eau et des différents ouvrages se sont déroulées aux dates suivantes :

- La visite initiale a eu lieu du 10 au 12 avril 2018.
- Des visites post-Fakir ont été réalisées dès le 25 avril 2018.

Le présent chapitre a été rédigé suite aux 2 premières visites. En particulier, les travaux post-Fakir ont été précisés dans un paragraphe spécifique (§ 3.5.5) comme « travaux à venir ».

Des visites plus ponctuelles ont été réalisées entre mai 2018 et mai 2019 pour confirmer certains points du rapport et s'informer sur l'avancement des travaux « post-Fakir ».

3.2. OBJECTIFS

Les reconnaissances de terrain ont pour objectifs :

- D'identifier les points caractéristiques au niveau des berges et du lit mineur des ravines et cours d'eau du secteur d'étude (dégradations des berges, chute du lit mineur, …)
- De comprendre son fonctionnement, sa morphologie et la nature des matériaux constituant son lit et ses berges (alluvions / substratum) et à identifier les secteurs sensibles ;
- De comprendre le fonctionnement du bassin versant et le mode d'alimentation de la rivière ;
- De recenser et de caractériser tous les ouvrages hydrauliques pouvant influencer le fonctionnement de la rivière (ouvrages de franchissement, ouvrages de protection) ;
- De caractériser les zones faisant ou ayant fait l'objet d'opérations de recalibrage, de dérivation ou d'endiguement (modifications de la morphologie du lit) ;
- D'enquêter auprès des riverains pour mieux appréhender le fonctionnement de la rivière en période de crue (régime d'écoulement, niveaux d'eau atteints, réactivité, événements de référence, phénomènes d'embâcles, phénomènes d'engravement ou d'érosion, phénomènes de diffluences).

3.3. ETAT DES LIEUX DES PROTECTIONS CONTRE LES CRUES ET LES EROSIONS

Les figures pages 33 et 34 localisent et précisent la nature des protections existantes le long de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents.

Celles-ci sont essentiellement présentes aux abords des zones urbanisées, c'est-à-dire sur les secteurs de Quartier Français, Cambuston et récemment commune Bègue (Grande Rivière St-Jean) et dans le centre-ville de Saint-André (ravines Sèche et Payet).

Elles concernent majoritairement des ouvrages de stabilisation des berges vis-à-vis des phénomènes d'érosion latérale (cas du centre-ville de Saint-André où la ravine Sèche est chenalisée) et dans une moindre mesure d'ouvrages destinés à contenir les crues (cas de la Grande Rivière St-Jean partiellement endiguée dans sa traversée de la plaine de Bois Rouge).

Les différents ouvrages de protection observés sur le terrain sont décrits dans les paragraphes qui suivent par cours d'eau, d'aval en amont et en termes de caractéristiques, linéaire et état actuel.

Ils sont repérés grâce aux PK présentés en préambule.

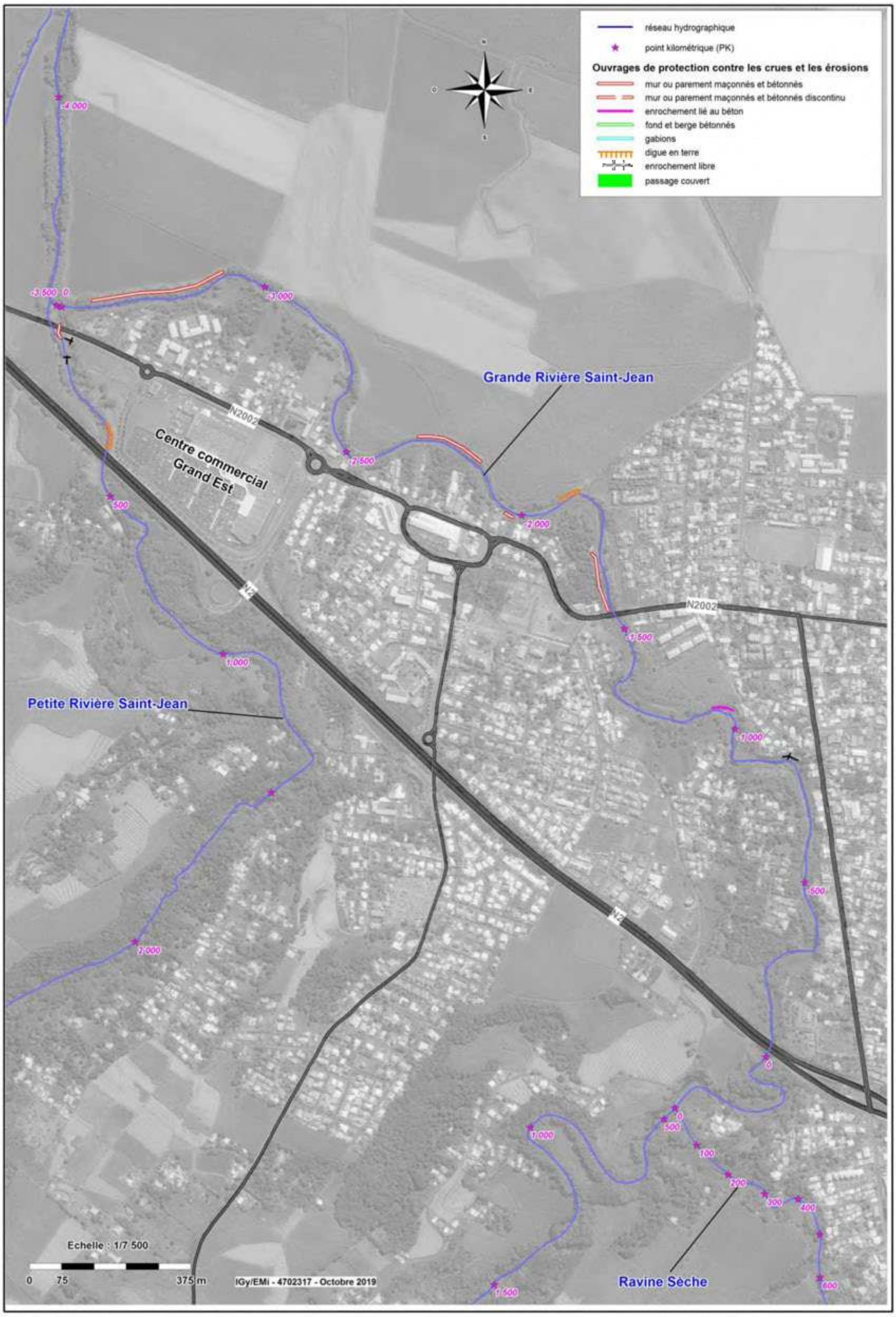


Fig. 6. Localisation des ouvrages de protection contre les crues et les érosions †Secteur aval

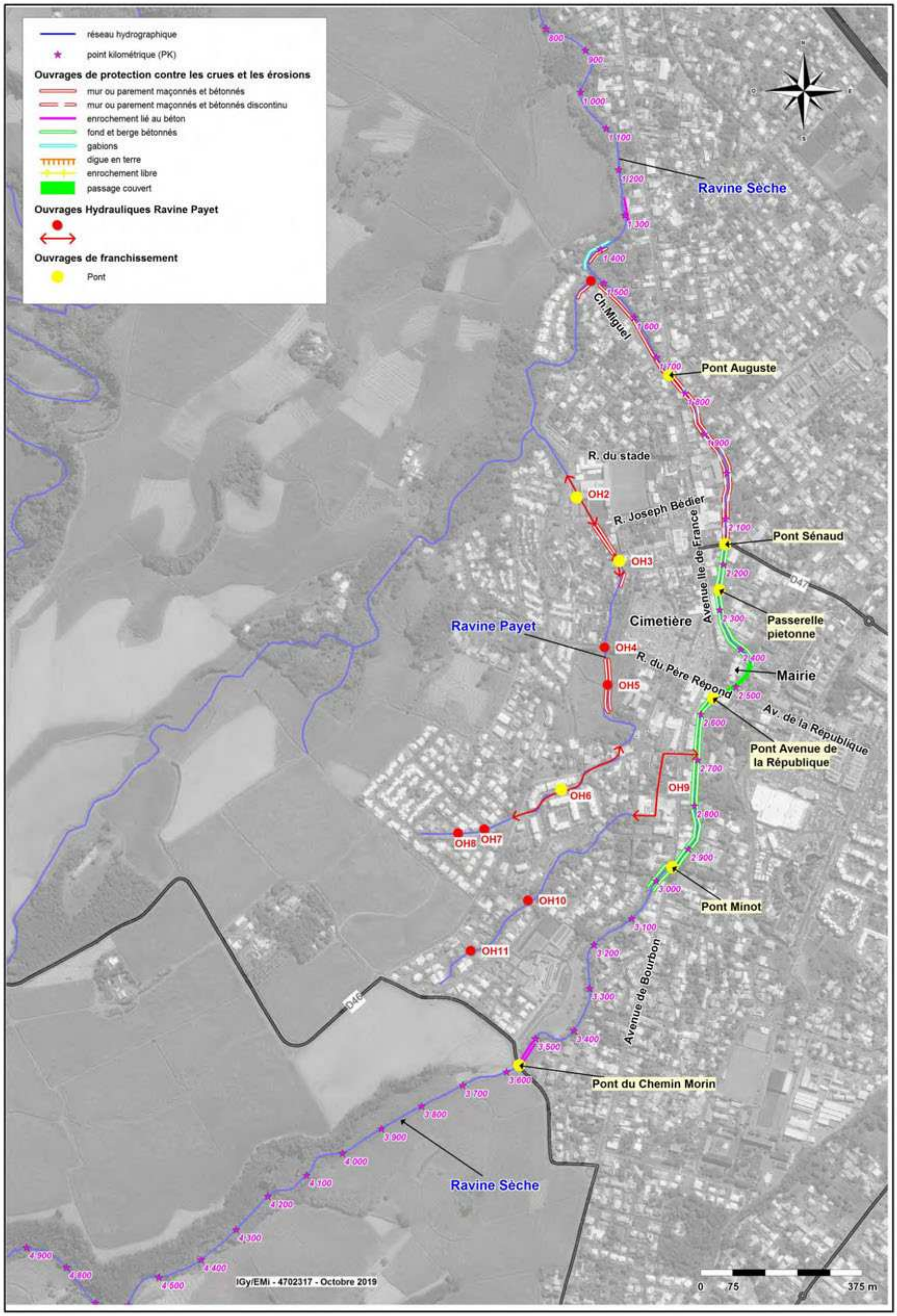


Fig. 7. Localisation des ouvrages de protection contre les crues et les érosions †Secteur amont

3.3.1. Grande Rivière Saint-Jean

- **Protection de la plaine agricole de Bois Rouge**

La plaine agricole de Bois Rouge étant fortement soumise aux débordements de la Grande Rivière St-Jean, des ouvrages de protection ont été mis en œuvre au début des années 90. Ces ouvrages ont été implantés dans les extrados des coudes formés par la rivière et sont constitués d'une digue en terre et de murs en pierres maçonnées :

- Mur en maçonnerie au PK – 2250 en RD :

  Cet ouvrage présente un linéaire de 300 m environ et est situé sur la parcelle privée AB570.

Photo.-1. Grande Rivière Saint-Jean †Protection de berge RD au PK -2250 (2011)

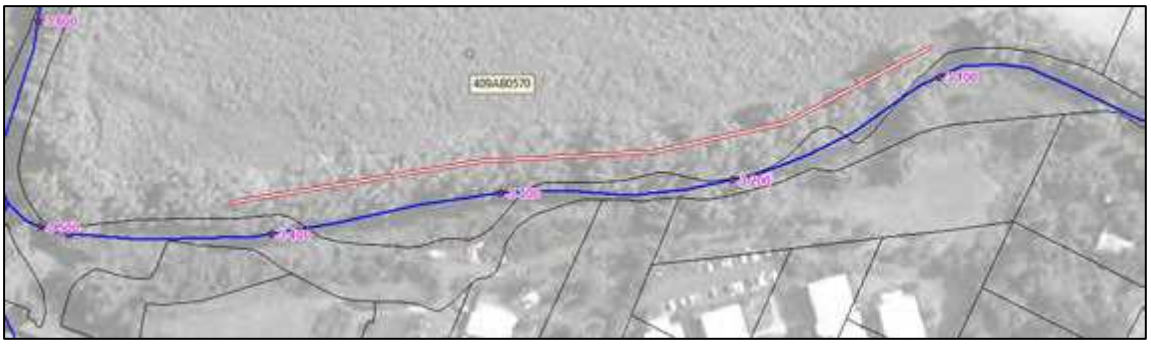


Fig. 8. Localisation et propriété

- *Mur en maçonnerie au PK -2200 à - 2400 en RD* : cet ouvrage a été fortement dégradé par la crue liée au cyclone Fakir (avril 2018). La partie aval du mur s'est effondrée et une fosse s'est créée en arrière de la partie amont. Cet ouvrage protège les terres agricoles (canne).

  Cet ouvrage présente un linéaire d'environ 160 m est situé sur les parcelles privées AB04 et 337.

Photo.-2. Protection rive droite PK-2200 à -2400 post-Fakir (2018)

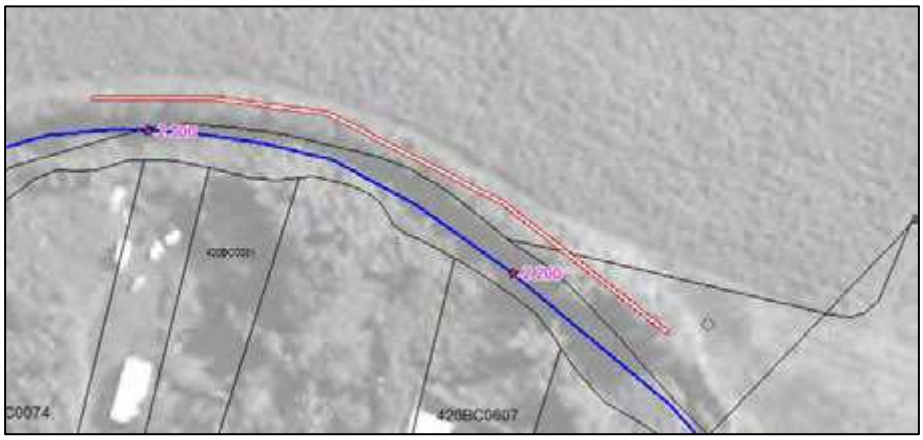


Fig. 9. Localisation et propriété

Sur cette zone, des travaux de réaménagement sont prévus :

- Une carapace en enrochements naturels libres ;
- En arrière de cette protection, un géotextile afin d'éviter les affouillements ;
- Dans les endroits où la fondation de l'ancien mur est inexistante, le principe d'une semelle en pied de mur ou de perré est retenu pour limiter les affouillements ;
- Dans les zones où une fosse s'est créée, mise en place d'une carapace antiérosive d'épaisseur 1,2 m

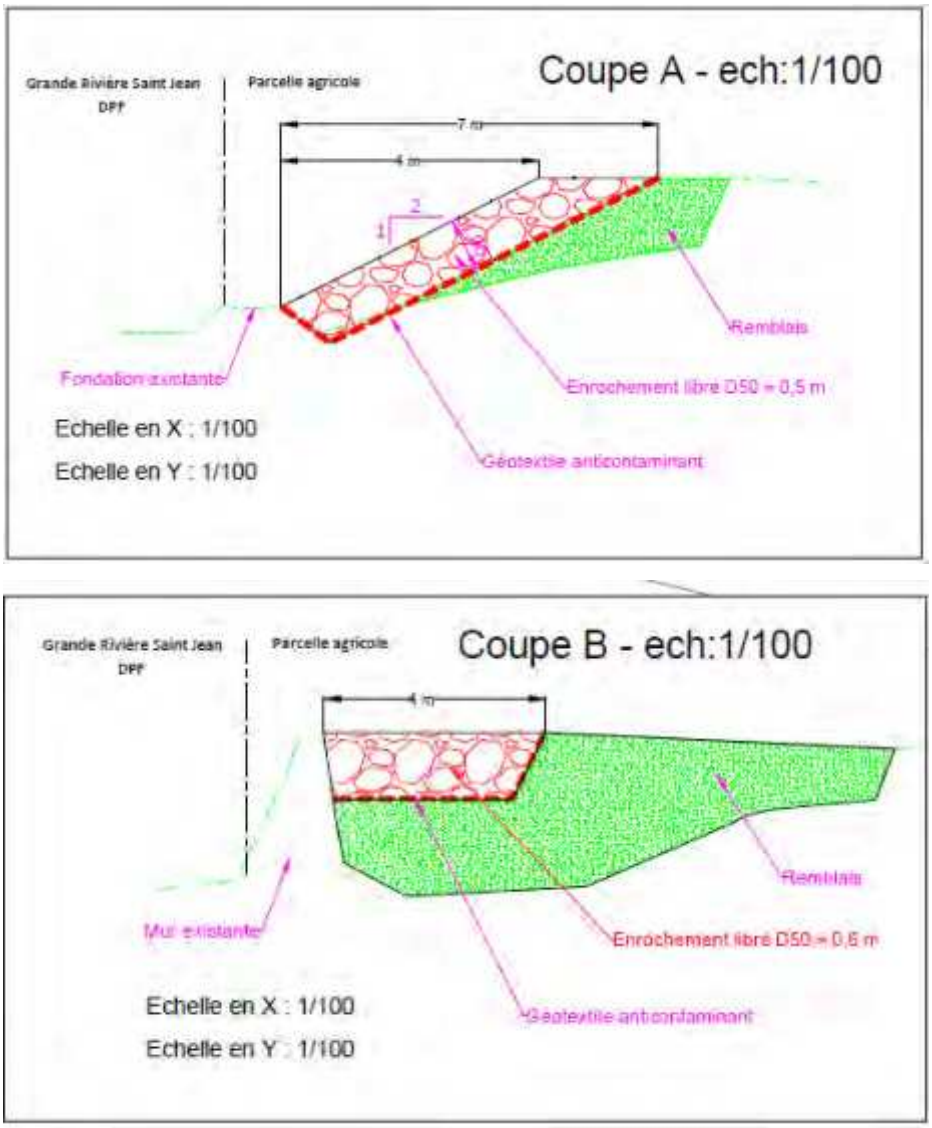


Fig. 10. Principe de la protection envisagée en rive droite PK -2200 à -2400

- Protection ponctuelle de la rive gauche au PK -2025

Cette protection a été mise en œuvre par un riverain pour éviter l'érosion de sa parcelle. Celle-ci est en effet située en rive gauche (Quartier Français), dans l'extrados d'un coude que forme la Grande Rivière St-Jean.

La protection en question est composée d'enrochements liés au béton mis en place au pied d'un mur en maçonnerie. Précisons que cette protection empiète assez nettement sur le lit mineur (cf. photo.-3 ci-dessous) et n'est pas réalisée selon les règles de l'art. Sa longueur est approximativement de 20 m.

Cette protection n'a pas évoluée depuis 2011. Elle protège **1 bâtiment** (pharmacie).

Cet ouvrage présente un linéaire d'environ 20 m et se situe dans le DPF.

Photo.-3. Grande Rivière Saint-Jean †Protection de berge RG au PK -2025

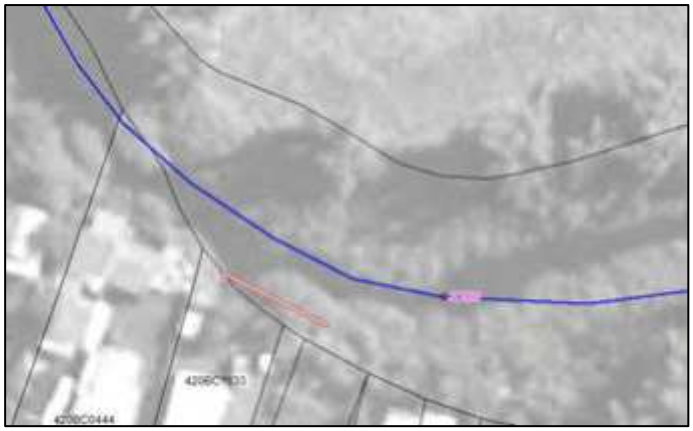


Fig. 11. Localisation et propriété

- Digue en terre au PK -1850 en RD

  Cet ouvrage présente un linéaire d'environ 60 m et est situé en partie sur les parcelles privées AB336 et 337 et dans le DPF.

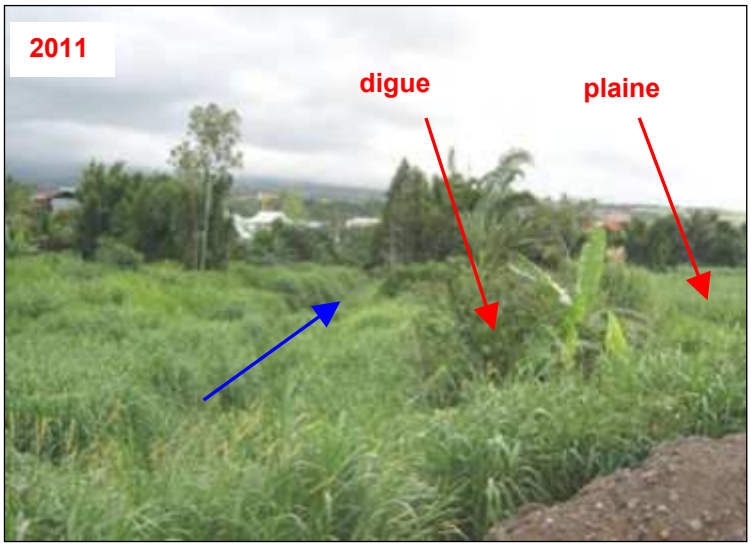


Photo.-4. Grande Rivière Saint-Jean †Protection de berge RD au PK -1850 (2011)

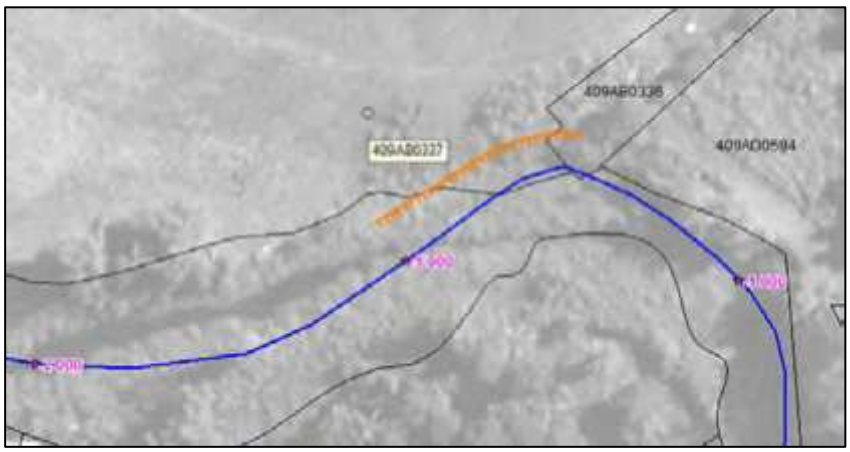


Fig. 12. Localisation et propriété

Ces 2 ouvrages ne semblent pas avoir évolués depuis 2011. Néanmoins, ils sont fortement encombrés par la végétation, ce qui empêche toute inspection visuelle.

- **Aval immédiat rive gauche du pont de la RN 2002 (PK -1550 à -1700)**

Historiquement, un mur de protection en pierres maçonnées implanté en retrait du lit mineur d'environ 150 m de long assurait la protection d'**une propriété**. Lors de la crue liée à Fakir (avril 2018), cet ouvrage a été rompu et un nouvel ouvrage a été construit.

Le nouveau mur présente une hauteur d'environ 2 m et un linéaire d'environ 150 m, mais la population protégée par cet ouvrage étant relativement faible (< 30 personnes). L'ouvrage ne constitue pas une digue au sens du décret du 12 mai 2015, néanmoins, compte tenu des évolutions réglementaires à prévoir (suppression du seuil de 1,5 m et du seuil de 30 personnes), **la DEAL demande à ce que l'ouvrage reconstruit après Fakir soit considéré comme une digue**.

Le niveau et le type de fondation de cet ouvrage ne sont pas connus et il est probable que cet ouvrage rompe dès sa mise en eau. Les modélisations hydrauliques ont été réalisées en supposant que cet ouvrage avait rompu.

Cet ouvrage se situe en partie sur la parcelle privée BC1155 et en partie dans le DPF.

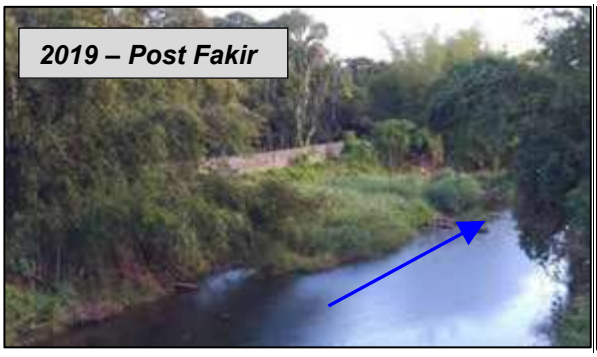


Photo.-5. Grande Rivière Saint-Jean †Protection de berge RG entre PK -1550 et -1700

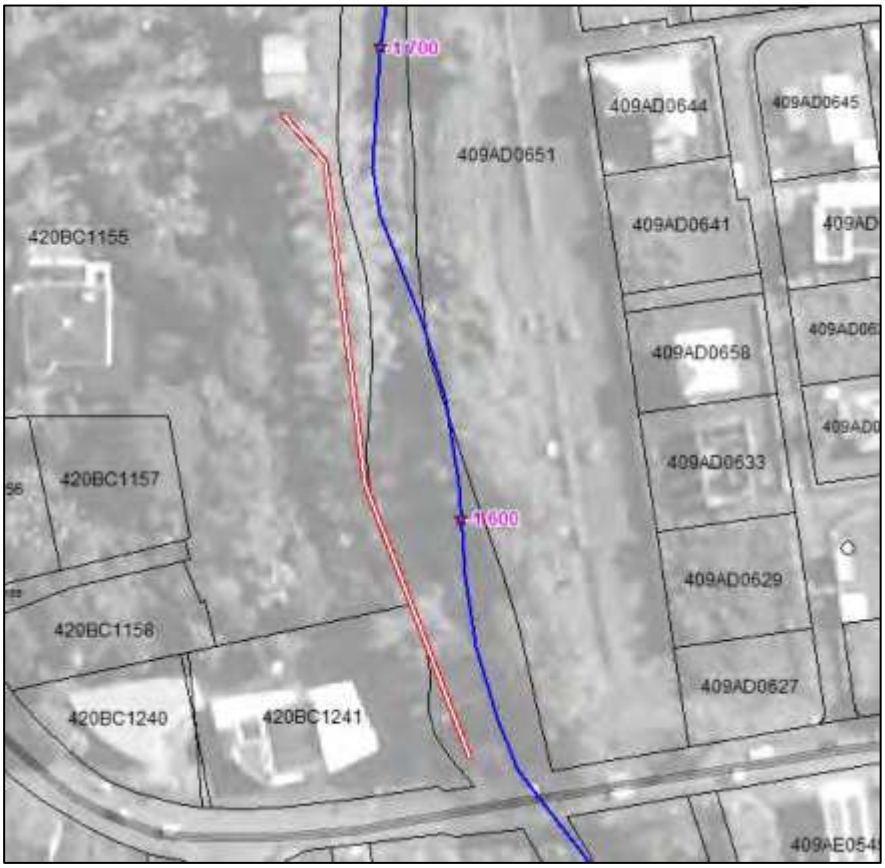


Fig. 13. Localisation et propriété

- **1 150 m en aval du pont de la RN 2 (PK -1150)**

Ce site présente la même configuration que le précédent, à savoir un coude marqué dont l'extrados côté Saint-André subissait de fréquentes érosions.

Dans le cas présent, la protection mise en œuvre par la commune comporte une simple semelle en enrochements liaisonnés au béton, couvrant un linéaire de l'ordre de 35 m, qui sert à contenir les phénomènes d'affouillements et d'érosions pour éviter qu'ils n'atteignent la berge. L'ouvrage est fortement sous cavé sur l'ensemble de son linéaire. Le phénomène va s'accentuer lors des crues futures, l'ouvrage risque de rompre. Il n'y a **pas d'enjeu recensé à proximité immédiate**.

Cet ouvrage présente un linéaire d'environ 50 m et se situe sur les parcelles privées AE628 et BC863 et dans le DPF.

La photo.-6 présentée page suivante illustre la protection mise en place.

Photo.-6. Grande Rivière Saint-Jean †Protection de berge au PK -1150 (photo 2018)

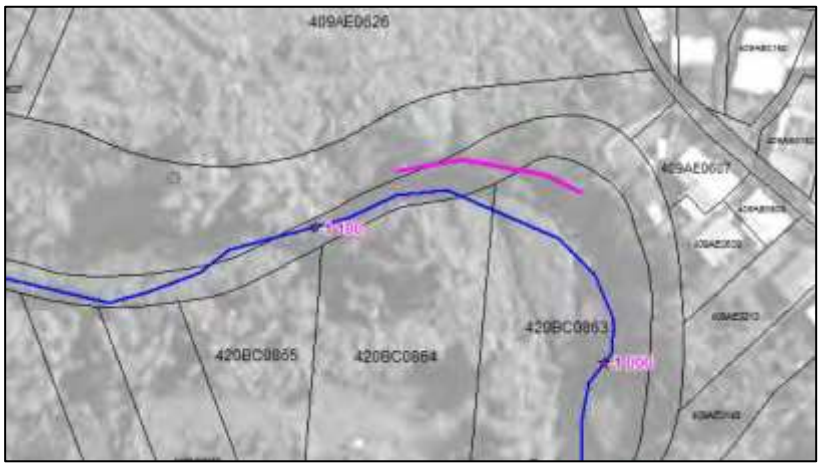


Fig. 14. Localisation et propriété

- **800 m en aval du pont de la RN 2 (PK -800)**

Il s'agit d'un coude formé par la Grande Rivière Saint-Jean à hauteur de la jonction entre l'avenue des Mascareignes et la rue de l'Espérance. A ce niveau, une protection de berge contre l'érosion et en enrochements libres a été mise en place par la commune de Saint-André dans l'extrados (cf. photo.-7 ci-après).

Cette protection couvre un linéaire de près de 70 m et a permis jusqu'à présent de contenir les érosions provoquées par la rivière sur cette zone sensible. **Trois habitations** sont actuellement protégées par ce dispositif.

Actuellement, la zone est fortement encombrée par la végétation, si bien qu'il est difficile de juger de l'état de la protection. Des gros blocs sont toutefois encore visibles à proximité immédiate du chenal d'écoulement ce qui laisse penser qu'il y aurait eu peu d'évolution entre 2011 et 2018.

Cet ouvrage présente un linéaire d'environ 40 m et se situe sur les parcelles privées AE206 et 144.

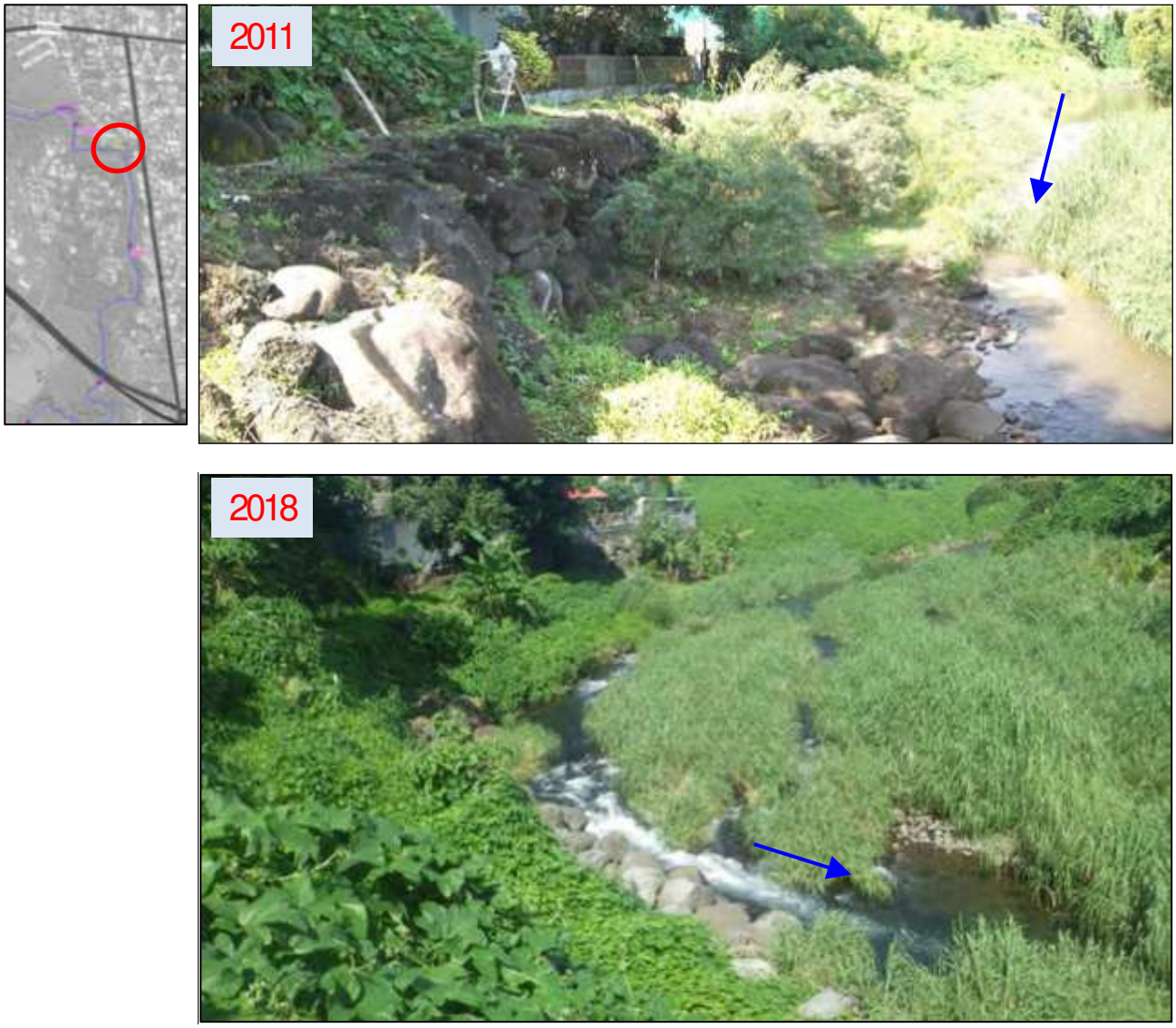


Photo.-7. Grande Rivière Saint-Jean †Protection de berge au PK -800

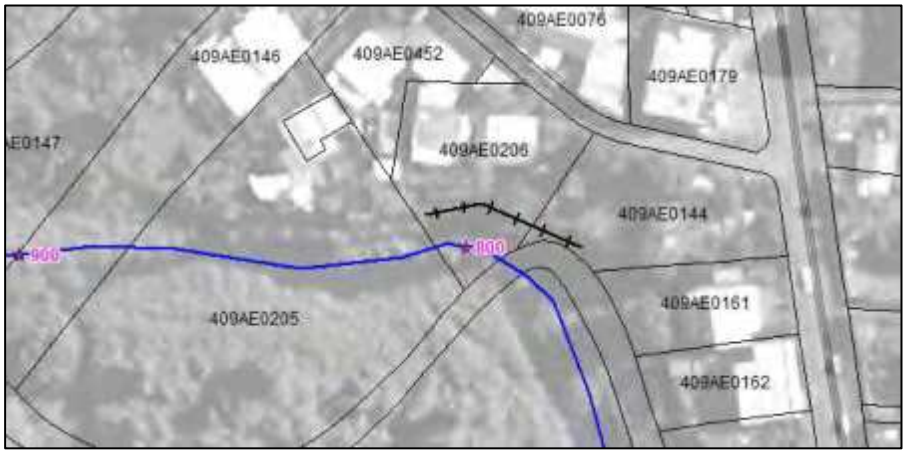


Fig. 15. Localisation et propriété

- **650 m en aval du pont de la RN 2 (PK -600)**

Sur une portion linéaire de la Grande Rivière Saint-Jean, un mur en maçonnerie de moellons a été réalisé en rive droite. Cet ouvrage, d'environ 5 à 6 m de haut, sert de soutènement à 2 habitations. Cet ouvrage empiète dans le lit mineur et réduit la section hydraulique du cours d'eau.

Il est en bon état, néanmoins, en l'absence d'éléments précis sur sa conception (fondations, épaisseur, drainage), il est difficile de juger de sa résistance aux crues.

Cet ouvrage présente un linéaire d'environ 20 m se situe sur les parcelles privées AH025 et AH144.

Photo.-8. Grande Rivière Saint-Jean †Mur de soutènement au PK -800

Fig. 16. Localisation et propriété

- **Bras des Chevrettes en amont de la RD 46 – PK 3 600**

En amont de son franchissement par la RD 46, le Bras des Chevrettes forme un coude prononcé dont l'extrados est protégé par un ancien mur en pierres maçonnés. Cet ouvrage est aujourd'hui fortement dégradé avec rupture de sa continuité et déchaussement de ses fondations (cf. photo.-9 ci-dessous).

Cet ouvrage de quelques dizaines de mètres linéaires est situé sur la parcelle BM967.

Photo.-9. †Bras des Chevrettes †Mur amont rive gauche RD 46

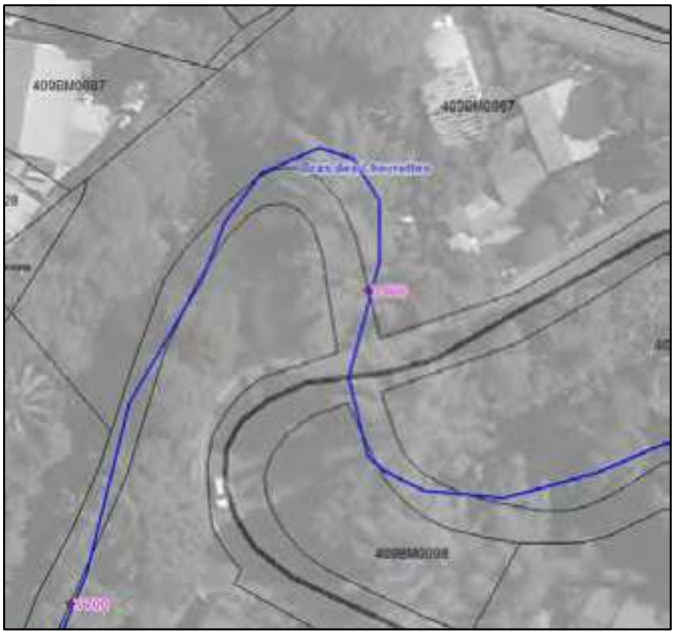


Fig. 17. Localisation et propriété

Bien qu'aucun enjeu ne soit directement menacé en cas de ruine totale de cet ouvrage, sa disparition risque d'accentuer le méandre que forme le cours d'eau et dégrader les conditions d'alimentation de l'ouvrage hydraulique de la RD 46. Par ailleurs, si l'érosion de la berge se poursuit, les habitations implantées en haut de berge seront, à terme, menacées.

Quoiqu'il en soit, il peut être affirmé que la configuration actuelle favorise les affouillements au doit de la discontinuité de l'ouvrage.

3.3.2. Petite Rivière Saint-Jean

La présence limitée d'enjeux sur le bassin versant de la Petite Rivière Saint-Jean se traduit par une quasi absence d'ouvrages de protection contre les crues et les érosions.

Il est recensé :

- **Petite Rivière Saint-Jean en aval de la RN2 en RD (PK350)**

  Une **digue en terre végétalisée** mise en place en aval rive droite du pont de la RN 2 et sur un linéaire de l'ordre de 80 m est observée (PK 350). Cet ouvrage a été mis en œuvre lors de la réalisation de la nouvelle RN 2 et en même temps qu'un seuil destiné à rattraper la modification de pente de la rivière liée à la réduction de la longueur de son tracé.

  Compte tenu de sa longueur limitée, cette digue ne supprime pas les débordements vers la rive droite (occupée par le centre commercial Grand Est) mais les limite quelque peu.

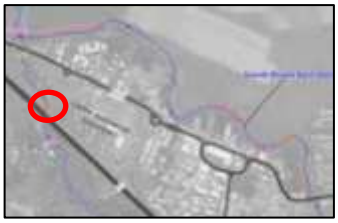
  Cet ouvrage présente un linaire d'environ 70 m et est situé dans le DPF.

Photo.-10. Petite Rivière Saint-Jean †Digue en terre en aval du pont de la RN 2

Fig. 18. Localisation et propriété

- **Petite Rivière Saint-Jean en amont de la RN2002 (PK75)**

En amont immédiat du pont de la RN2002 sur la Petite Rivière Saint-Jean, on recense comme protection :



- un mur en maçonnerie de moellon en RG prolongeant la culée et protégeant l'extrados de la Rivière (PK70). Cet ouvrage de quelques dizaines de mètres linéaires est situé en partie dans le DPF, en partie sur la parcelle AY295 ;
- une protection en enrochements libres de quelques dizaines de mètres linéaires protégeant le poste de relevage en RD (PK80). Cette protection a été mise en œuvre en 2018 et est située sur la parcelle AZ380 ;
- une protection en enrochements libres de quelques dizaines de mètres linéaires en RG (PK100) situé sur la parcelle AY295.

Les ouvrages en RG stabilisent la berge sur laquelle est implantée un temple. En RD, la protection stabilise la berge sur laquelle est implantée un poste de relevage. Les ouvrages de rétention du centre commercial Grand Est se situent plus en retrait du haut de berge.

Photo.-11. Petite Rivière Saint-Jean †Protections en amont du pont de la RN2002

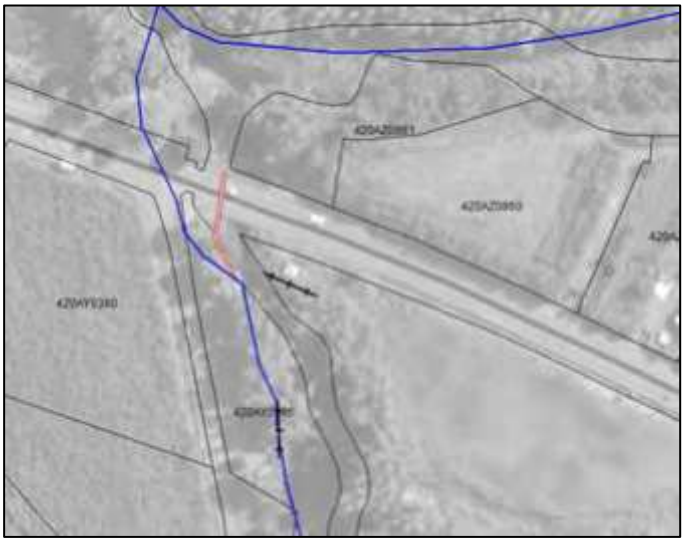


Fig. 19. Localisation et propriété

3.3.3. Ravine Sèche

De par la forte urbanisation qu'il concentre sur sa partie aval, le bassin versant de la ravine Sèche est celui qui comporte le plus grand nombre d'ouvrages de protection.

La plupart de ces ouvrages est recensée dans le centre-ville entre le pont Minot et le pont Sénaud, soit sur un linéaire de près de 900 m. Ils sont décrits par tronçon homogène dans les paragraphes qui suivent.

- **PK 75 – Rive droite en amont de la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean**

Il s'agit du quartier "Petit Bazar-chemin d'eau" situé en rive droite de la ravine Sèche à proximité immédiate de sa confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean.

D'après l'étude générale du bassin versant de la Grande Rivière St Jean (PGRI) réalisée en 2010, une étude de 2008 indiquait la présence d'une petite levée en terre, d'une hauteur de moins d'un mètre et à peine visible sur site, qui permettait de limiter les débordements vers les habitations riveraines. D'un linéaire d'environ 80 m, elle se situait sur les parcelles privées BL08 et 09. Compte tenu de la végétation présente, son état était difficile à évaluer.

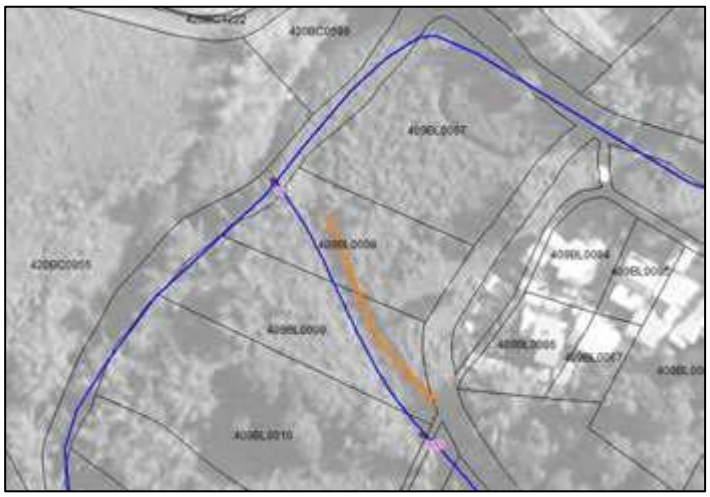


Fig. 20. Localisation et propriété

Suite à la présence d'embâcles et de dépôts de matériaux en rive droite de la ravine Sèche, des opérations de curage et d'élargissement du lit à 5 m ont été réalisés en juillet 2019 par la DEAL suite à une visite commune DEAL/CIREST/élus/Riverains. En aval, le lit de la Grande Rivière St Jean a été rehaussé d'environ 4 m en rive droite, entre la confluence avec la ravine Sèche et le lieu de culte situé dans le quartier.

Cette nouvelle configuration a pour effet de réorienter les écoulements de la ravine Sèche vers son lit mineur pour ainsi limiter les débordements vers les parcelles habitées. Les talus n'étant pas protégés, cette configuration est à considérer comme non pérenne. Des modifications sont à prévoir lors du passage des futures crues.

Photo.-12. Ravine sèche en amont de la confluence avec la GRSJ tjuillet 2019 après opérations de curage (photos CIREST)

- **PK 1250 au PK 1400 – Rive droite aval confluence ravines Sèche et Payet**

Deux protections peuvent être distinguées sur ce linéaire :

- Une première située en aval d'un virage à gauche de la ravine et composée d'un parement en enrochements bétonnés (PK 1260 à 1310) sur environ 50 ml. Ici, la berge dispose d'une forte hauteur (~ 4 m) et **deux bâtiments** sont proches de la crête de berge et sont donc directement concernées par cette protection ;
- Une seconde qui est composée d'un parement en béton (PK 1350 à 1400) sur environ 50 ml. **Aucun enjeu** n'est implanté à proximité immédiate de la ravine (cf. photo.-13).

Ces deux protections présentaient une mise à nu de leurs fondations en 2011. En 2018, le sous cavement de la semelle semble s'être amplifié. A ce jour, aucun signe de déstabilisation du perré n'a été constaté mais tout nouvel affouillement est susceptible de provoquer son glissement.

Ces 2 ouvrages sont situés dans le DPF

Photo.-13. Ravine Sèche †Parement en béton en aval de la confluence avec la ravine Payet

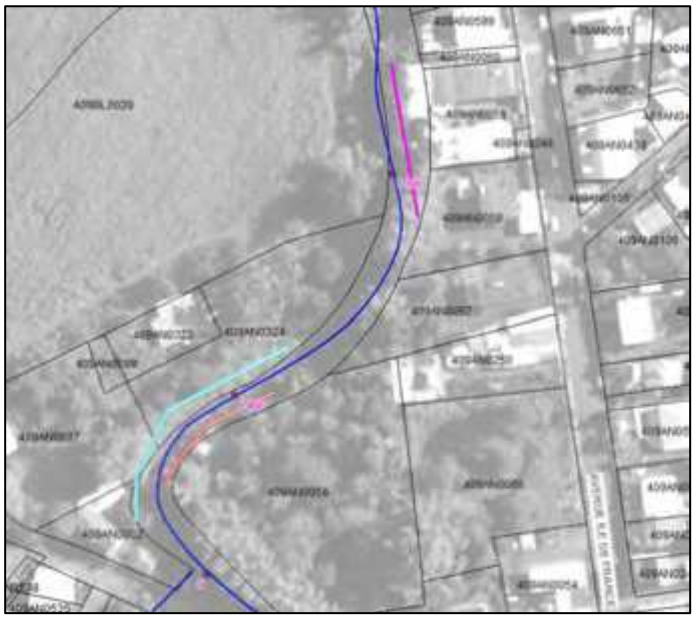


Fig. 21. Localisation et propriété

- **PK 1350 au PK 1450 – Rive gauche aval confluence ravines Sèche et Payet**

Sur ce secteur, la ravine forme un coude marqué sur la droite. La berge rive gauche, située dans l'extrados, subit donc les plus fortes contraintes hydrauliques.

A ce titre, elle est protégée par un parement en gabions d'une grande hauteur (4 m) et d'une longueur de 50 m environ.

Cet ouvrage a subi des confortements depuis 2011 où il apparaissait affaissé. Une semelle en enrochements bétonnés a été réalisée et les gabions ont été reconstitués. L'ouvrage est désormais stable (cf. photo ci-dessous).

L'enrochement lié de la semelle est néanmoins très lisse, peu de blocs sont apparents si bien que les vitesses sont fortement accélérées en pied d'ouvrage. Des sous-cavement commencent à être observés en pied d'ouvrage.

Sur près de 50 m supplémentaires, cet ouvrage est prolongé par un mur en gabion de plus petit gabarit (2 m de hauteur en moyenne) qui fait face à la protection évoquée au point précédent, reposant sur une semelle en enrochements liés. Cet ouvrage est encombré par la végétation, si bien que son inspection est difficile.

Des sous cavement de cette semelle sont également observés, ils sont dûs à l'approfondissement généralisé du lit dans ce secteur (mêmes symptômes que pour les protections implantées aux PK 1300 et 1400) couplé aux fortes vitesses de l'écoulement en crue contre un ouvrage « lisse » (peu de gros blocs apparents).

En 2019, le sous cavement s'est accentué avec la création d'une fosse d'environ 1.5 m de profondeur en pied d'ouvrage. Cette situation fragilise fortement l'ouvrage : risque de lessivage des fines, création de cavité sous le parement, perte de la butée en pied... Le risque de ruine de l'ouvrage est élevé.

Actuellement, l'ouvrage assure la protection d'**une habitation**.

Cet ouvrage est situé en partie sur les parcelles AN324, AN067 et AN02, en partie dans le DPF.

Photo.-14. Ravine Sèche †Mur gabions en aval immédiat de la confluence avec la ravine Payet

Photo.-15. Ravine Sèche †Sous-FDYHPHQW HW IRVVH HQ SLHG G•RXYUDJ

- **PK 1500 au PK 1850 – Rive gauche le long de la rue Miguel**

Ce tronçon, situé immédiatement en aval du pont Auguste, bénéficie d'un mur de protection en béton sur sa rive gauche, surmonté par endroit d'un soutènement en gabion.

Cet ouvrage présente un linéaire de 250 m environ et est situé dans le DPF.

L'approfondissement du lit avait conduit à la mise à nu des fondations de ce mur (cf. photo.-16 de 2011 jointe ci-après). Depuis 2011, des travaux de confortement ont été réalisés : mise en place d'une semelle en enrochements liés. Ces travaux ont permis de stabiliser le mur mais l'approfondissement du lit se poursuit.

Photo.-16. Ravine Sèche †Mur en bordure de la rue Miguel

Cet ouvrage souffre actuellement de plusieurs désordres :

- Sous cavement en pied sur l'ensemble du linéaire
- Végétation dans l'ouvrage (banian) – PK 1600 environ
- Cage de gabion détériorée – PK 1650 environ

Photo.-17. Sous-cavement de la semelle

Photo.-18. Banian dans le mur

Photo.-19. Gage de gabion détériorée

La chute de ce mur ne met toutefois pas en péril d'habitations mais est susceptible de dégrader la voirie et donc les conditions de circulation sur le chemin Miguel.

- **PK 1850 – Pont Auguste**

En amont et en aval du pont Auguste, des ouvrages d'entonnement sont présents et sont constitués de murs en pierres maçonnés.

Un radier en béton recouvre le fond de lit sur un linéaire de 40 m environ.

En 2011, il avait été observé, sur l'aval, que sa jonction avec le lit naturel était fortement dégradée avec formation d'une chute significative liée à l'approfondissement du lit.

Depuis, le radier a été prolongé par de l'enrochement lié. Néanmoins, la limite aval de l'ouvrage montre des signes de sous cavement et d'érosion.

Photo.-20. Ravine Sèche †Affouillements en sortie du pont Auguste en 2011

Photo.-21. Ravine Sèche †Protection en enrochements liés en sortie du pont Auguste

- **PK 1750 au PK 2150 – Entre les ponts Auguste et Sénaud**

Malgré la **présence d'enjeux sur les rives**, dans une proportion sensiblement similaire au tronçon situé plus en amont, les travaux de chenalisation n'ont pas été prolongés ici. Les riverains ont ponctuellement érigé des murs de soutènement. En 2011, certains murs de soutènement présentaient des points d'affouillements (cf. photo.-22 page suivante). Depuis, le pied de berge a été conforté à l'aide d'enrochements liés, qui pourrait à nouveau présenter des signes d'affouillement.

L'ampleur de ces phénomènes d'affouillement reste toutefois faible car la présence sur l'aval du radier en béton du pont Auguste limite leur évolution.

Sur ce tronçon présentant un linaire d'environ 400 m, les ouvrages ne sont pas continus et sont situés sur des parcelles privées et dans le DPF.

Photo.-22. Ravine Sèche †Affouillements ponctuels en amont du pont Auguste

Photo.-23. Ravine Sèche †3URWHFWLRQ HQ SLHG G•RXYUDJH HQ DPRQW GX

- **PK 2150 au PK 2980 – Traversée du centre-ville de Saint-André**

Ce tronçon de ravine est intégralement chenalisé avec un fond de lit bétonné et des berges revêtues d'un parement en pierres maçonnées (cf. photo.-24 ci-dessous prise en aval du pont de la rue de la République – PK 2400).

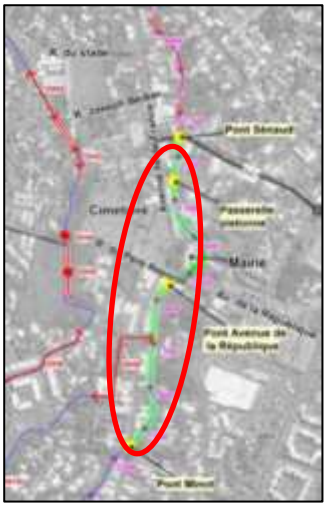


Photo.-24. Ravine Sèche †Protection dans le centre-ville de St-André

Cet ouvrage présente un linéaire d'environ 830 m et est situé en partie dans le DPF, en partie sur des parcelles privées[4].

L'analyse visuelle de l'ensemble de ce tronçon n'a révélé aucun signe de détérioration structurelle.

La présence de végétation sur le parement en moellons est à noter, comme le montre les photos ci-dessous. Si elle ne semble pas fragiliser l'ouvrage dans l'immédiat, la végétation rend plus difficile l'inspection, est susceptible de créer des embâcles ou de destabiliser l'ouvrage en cas d'arrachement pendant une crue.

Photo.-25. Présence de végétation sur les berges

En amont du pont Minot, un ouvrage béton est présent dans le fond du lit. Il s'agit d'une fosse de faible profondeur, munie de deux petits seuils. Sa fonction n'est pas connue, il pourrait s'agir d'une fosse à matériaux permettant le dépôt de blocs avant l'entrée dans la section chenalisée.

[4] Il s'agit de la situation cadastrale. Les propriétaire et gestionnaire des ouvrages ne sont pas nécessairement privés.

Photo.-26. Fosse béton en amont du pont Minot

- **PK 3190 au PK 3250 – Berge rive gauche à hauteur du collège Morin**

Sur ce secteur, la berge rive gauche correspond à la limite *ouest* du cône de déjection de la Rivière du Mât. Cette berge apparaît beaucoup plus haute, abrupte et constituée d'un matériau plus cohésif et résistant (basalte). Sa sensibilité à l'érosion apparaît donc nettement moindre que les matériaux présents en fond de lit et en rive droite qui sont composés d'alluvions grossières issues de la Rivière du Mât.

Photo.-27. Ravine Sèche †Berge rive gauche à hauteur du collège Morin

- **PK 3510 au PK 3565 – Aval du pont du chemin Morin**

En aval de l'ouvrage du chemin Morin (enrochements bétonnés), des parements en enrochements liés au béton ont été mis en œuvre sur les deux talus en 2011.

La protection rive gauche est implantée 20 m environ en aval du pont et sur un linéaire d'une quinzaine de mètres. Aucun enjeu n'y est en revanche recensé.

En rive droite, la protection protège des logements et couvre a priori un linéaire de 50 m en s'appuyant sur celle du pont du chemin Morin.

Une fosse de dissipation d'énergie est observée en aval.

Cet ouvrage présente un linéaire d'environ 60 m et est situé dans le DPF et sur la parcelle BK663.

Photo.-28. Ravine Sèche †Protection en aval du chemin Morin

Photo.-29. Ravine Sèche †Aval du chemin Morin : fosse de dissipation

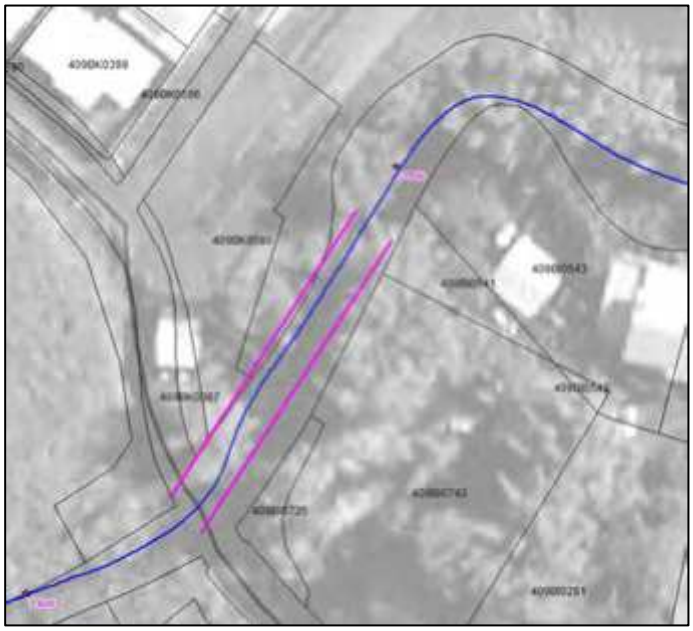


Fig. 22. Localisation et propriété

3.3.4. Ravine Payet

- **Ravine Payet (PK 5 – 65) – Rive droite en amont du pont de la rue Miguel**

Un mur en pierres maçonnées couvre le talus rive droite sur un linéaire de 60 m le long des habitations présentes à proximité de la ravine.

Cet ouvrage apparaît en bon état.

Il est situé sur des parcelles privées AN557 et 558 et dans le DPF.

Photo.-30. Ravine Payet †Protection berge RD amont pont rue Miguel

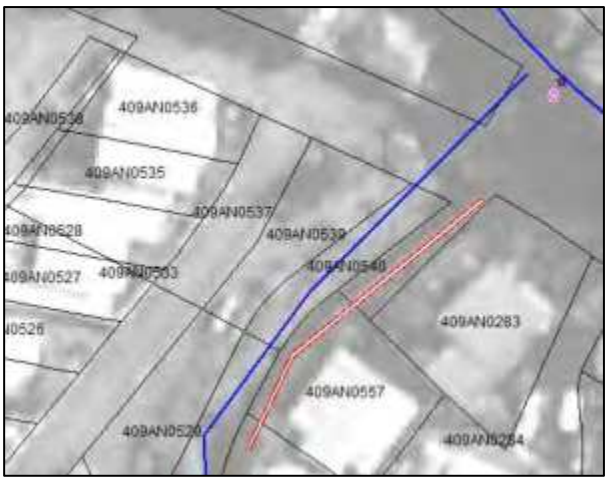


Fig. 23. Localisation et propriété

- **Ravine Payet (PK 670 – 750) – Protection de berge à hauteur du collège Bédier**

La ravine est ici canalisée entre deux murs béton mis en place entre les ouvrages de la rue Bédier et du lotissement du collège Bédier. De part et d'autre de la ravine sont implantées des habitations et le collège Bédier.

Le linéaire protégé atteint 80 m. Les murs sont jugés en bon état (cf. photo.-31 ci-dessous).

Cet ouvrage est situé dans le DPF pour la RD et sur des parcelles privées pour la RG.

Photo.-31. Ravine Payet †Protection berges aux abords du collège Bédier

Fig. 24. Localisation et propriété

- **Ravine Payet (PK 800 – 835) – Protection du lit en amont du lotissement du collège Bédier**

Sur 35 ml en amont de l'OH20, la ravine Payet présente un lit étroit et chenalisé à l'aide d'un revêtement béton sur le fond et d'un mur béton sur sa rive gauche. Ce mur constitue un soutènement pour une voie d'accès à une habitation. Cette voie est a priori inondable. Ces aménagements apparaissent récents et sont donc à ce jour en bon état.

Cet ouvrage est situé dans le DPF.

Photo.-32. †Ravine Payet †3URWHFWLRQ GX OLW HQ DPRQW GH O•2+

- **Ravine Payet (PK 970 – 1100) – Protection du lit en amont de la rue du Père Répond**

Sur ce secteur, un pont franchissant la ravine a été mis en place de même que des murs en pierres maçonnées longeant la ravine. Bien que la végétation présente en fond de lit masque partiellement ces ouvrages, leur état semble correct.

Cet ouvrage est situé sur la parcelle AO643.

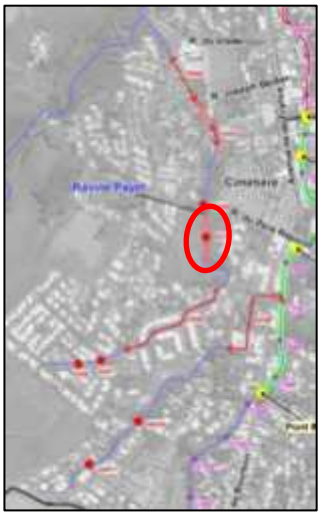


Photo.-33. Ravine Payet †3URWHFWLRQ GX OLW HQ DPRQW GH O•RXYUDJH G Répond

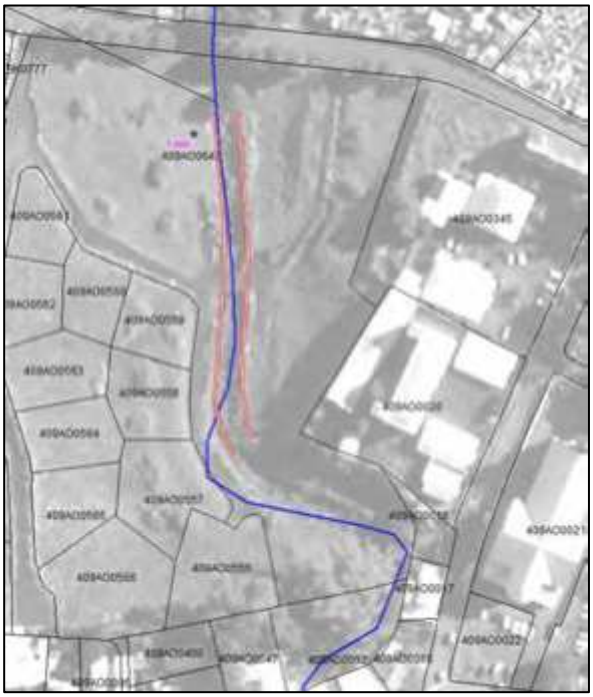


Fig. 25. Localisation et propriété

Le tableau suivant synthétise les différentes protections recensées sur tout le linéaire, et leurs principales caractéristiques.

Le tableau présente les enjeux situés en arrière des ouvrages et pouvant être affectés en cas de défaillance. Les zones protégées, au sens du décret digue, par les ouvrages de protection contre les inondations sont quant à elles inexistantes pour les raisons suivantes :

- Soit les ouvrages de protection sont contournés par les écoulements par l'aval ou l'amont, la zone en arrière digue est donc toujours soumise au risque d'inondation ;
- Soit la tenue de l'ouvrage vis-à-vis des crues est inconnue (absence d'étude de dangers, de recollements et de tout document nous permettant de statuer sur ce point). La zone protégée ne peut donc pas être établie dans ces conditions.

Ouvrage de protection	Foncier	Gestionnaire des ouvrages*	Propriétaire des ouvrages*	Etat	Règlementaire	Type de protection	Enjeux**	Niveau de protection pour l'inondation
GRSJ - Mur en maçonnerie au PK – 3100 en RD	AB570	privé (SAAB)	privé (SAAB)	Encombré par la végétation. L'ouvrage n'a pas pu être inspecté correctement pour juger de son état.	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	Terrains agricoles / plaine de Bois Rouge	Nul
GRSJ - Mur en maçonnerie au PK – 2200 à 2400 en RD	AB04 et AB 337	privé (SAAB)	privé (SAAB)	Ouvrage rompu durant FAKIR et remis en œuvre en 2019.	DLE + AOT	Protection contre l'érosion	Terrains agricoles / plaine de Bois Rouge	Nul
GRSJ - protection de la berge RG au PK -2025	DPF	privé	privé	Enrochements liés, absence de fondation, risque de déstabilisation en cas de crue.	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	1 bâtiment	Nul
GRSJ - Digue en terre au PK -1850 en RD	AB336 et 337 et DPF	privé	privé	Encombré par la végétation. L'ouvrage n'a pas pu être inspecté correctement pour juger de son état.	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre les inondations	Terrains agricoles / plaine de Bois Rouge	Inondation : Faible
GRSJ - Aval immédiat rive gauche du pont de la RN 2002 (PK -1550 à -1700)	BC1155 et DPF	privé	privé	Ouvrage rompu durant FAKIR et remis en œuvre en 2019. Fondations non connues, la tenue de l'ouvrage en cas de crue n'est pas garantie.	Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre les inondations.	1 habitation	Inondation : Faible (risque de ruine en cas de crue)
GRSJ - 1 150 m en aval du pont de la RN 2 (PK -1150)	AE628 et BC863 et DPF	Commune de Saint-André	Commune de Saint-André	L'ouvrage est fortement sous cavé sur l'ensemble de son linéaire. Le phénomène va s'accentuer lors des crues futures, l'ouvrage risque de rompre.	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	Habitations collectives en haut de berge en amont.	Nul
GRSJ - 800 m en aval du pont de la RN 2 (PK -800)	AE206 et 144	Commune de Saint-André	Commune de Saint-André	La zone est fortement encombrée par la végétation, si bien qu'il est difficile de juger de l'état de la protection. L'enrochement libre présente la particularité de s'adapter aux évolutions du lit.	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	3 habitations	Nul
GRSJ - 650 m en aval du pont de la RN 2 (PK -600)	AH025 et AH144	privé	privé	Il est en bon état, néanmoins, en l'absence d'éléments précis sur sa conception (fondations, épaisseur, drainage), il est difficile de juger de sa résistance aux crues	Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	2 habitations	Nul
GRSJ - Bras des Chevrettes en amont de la RD 46 – PK 3 600	BM967	Commune de Saint-André	Commune de Saint-André	Fortement dégradé avec rupture de sa continuité et déchaussement de ses fondations	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	quelques habitations	Nul

Ouvrage de protection	Foncier	Gestionnaire des ouvrages*	Propriétaire des ouvrages*	Etat	Règlementaire	Type de protection	Enjeux**	Niveau de protection pour l'inondation
PRSJ - digue en terre végétalisée en aval de la RN2 en RD (PK350)	DPF	Région Réunion****	Région Réunion****	Bon état	Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre les inondations	Centre commercial Grand Est	Inondation : faible (compte tenu de sa longueur limitée, cette digue ne supprime pas les débordements vers la rive droite mais les limite quelque peu)
PRSJ - mur en moellons RG en amont de la RN2002 (PK70)	AY295 et DPF	Région Réunion****	Région Réunion****	Bon état	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	temple	Nul
PRSJ - enrochements libres en RD en amont de la RN2002 (PK80)	AZ380	Cise****	Cise****	Bon état - fondations?	Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	poste de relevage	Nul
PRSJ - enrochements libres en RG en amont de la RN2002 (PK100)	AY295	Commune de Sainte-Suzanne ? CINOR?****	Commune de Sainte-Suzanne ? CINOR?****	Bon état - fondations?	Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	temple + chemin	Nul
Ravine Sèche - PK 1250 au PK 1400 – RD aval confluence ravines Sèche et Payet - enrochements liés	DPF	Saint-André	CIREST	Parement en enrochements bétonnés sous cavé	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	2 habitations	Nul
Ravine Sèche -PK 1350 au PK 1450 – RG aval confluence ravines Sèche et Payet - ouvrage gabion	DPF	Saint-André	CIREST	sous cavement de la semelle en enrochements liés, affaissement des gabions	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	-	Nul
Ravine Sèche - PK 1500 au PK 1850 – RG le long de la rue Miguel	DPF	Saint-André	CIREST	sous cavement (approfondissement du lit), végértation dans l'ouvrage, cage de gabion détériorée	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	route et habitations	Inondation : capacité < Q10 en RG (***)

Ouvrage de protection	Foncier	Gestionnaire des ouvrages*	Propriétaire des ouvrages*	Etat	Règlementaire	Type de protection	Enjeux**	Niveau de protection pour l'inondation
Ravine Sèche - PK 1850 – entonement aval du pont Auguste	DPF	Saint-André	CIREST	sous cavement et érosion en aval de l'ouvrage / radier béton stabilisant le lit sous l'ouvrage	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	pont Auguste	Inondation : capacité > Q100
Ravine Sèche - PK 1750 au PK 2150 – Entre les ponts Auguste et Sénaud	DPF	Saint-André	CIREST	sous cavement (lit naturel)	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	habitations (centre ville de Saint-André)	Inondation / capacité 50 à 70 m3/s T=10ans (***)
Ravine Sèche - PK 2150 au PK 2980 – Traversée du centre-ville de Saint-André	DPF+ parcelles privées	Saint-André	CIREST	bon état	Ouvrage ancien - Pas de dossier règlementaire réalisé	Protection contre l'érosion	habitations (centre ville de Saint-André)	Inondation : capacité > Q100
Ravine Sèche - PK 3510 au PK 3565 – Aval du pont du chemin Morin	DPF + BK663	CIREST	CIREST	bon état	NC	Protection contre l'érosion	habitations	Inondation : capacité 30 ans en RD (***)
Ravine Payet - (PK 5 – 65) – Rive droite en amont du pont de la rue Miguel	DPF+ AN557 et 558	Saint-André	CIREST	bon état	NC	Protection contre l'érosion	habitations	Inondation : capacité 30 à 50 ans (***)
Ravine Payet (PK 670 – 750) – Protection de berge à hauteur du collège Bédier	RD : DPF / RG : parcelles privées	St André ****	St André ****	bon état	NC	Protection contre l'érosion	collège Bédier	Inondation : capacité Q100 ans mais mise en charge dès 10 ans par OH2 (***)
Ravine Payet - (PK 800 – 835) – Protection du lit en amont du lotissement du collège Bédier	DPF	St André ****	St André ****	bon état	NC	Protection contre l'érosion	habitations	Inondation : capacité > 10ans (***)

** le lit appartient et est entretenu par la DEAL qui s'assure du maintien du libre écoulement des eaux*

*** il s'agit des enjeux situés en arrière des ouvrages et pouvant être affectés en cas de défaillance et non de la zone protégée a5u sens du décret digue .*

**** : L'ouvrage a pour objectif de lutter contre le risque érosion et non le risque inondation. Ce niveau de protection n'est donc pas lié à l'ouvrage en lui-même mais à l'inondation globale du secteur liée à la topographie globale de la zone et aux autres ouvrages existants.*

**** : Gestionnaire supposé mais non confirmé par l'intéressé. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour valider le propriétaire et le gestionnaire

3.4. PRESENTATION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Les ouvrages hydrauliques sont localisés sur les figures en pages 35 et 34.

3.4.1. 'HVFULSWLRQ GHV RXYUDJHV G•DUW

Les ouvrages d'arts suivants sont recensés sur la zone d'étude :

- **Grande Rivière Saint Jean :**
  - Vestiges de l'ancien pont CFR
  - Pont de Bois Rouge
  - Ouvrage de la RN2002
  - Pont de la RN2
- **Petite Rivière Saint-Jean :**
  - Pont de la RN2002
  - Pont de la RN2
- **Ravine Sèche** :

  La Ravine Sèche possède 6 ouvrages d'art et 1 passerelle piétonne :
  - Pont du Chemin Morin
  - Pont Minot
  - Pont de l'Avenue de la République (en amont de la mairie)
  - Pont Sénaud (Rue Lagourgue / rue de la gare)
  - Pont Auguste.

Ces ouvrages sont décrits dans les fiches qui suivent.

Vestiges du pont CFR

Général	
Commune	Sainte-Suzanne / Saint André
Voie suportée	Aucune
Ravine Franchie	Grande Rivière Saint-Jean
Gestionnaire	Etat

Description de l'ouvrage	
Dimensions de l'ouvrage	-
Nombres de piles	Abscence de pile centrale et de tablier
Réseaux supportés	-
Matériau du lit de ravine	Alluvionnaire
Evolution du lit	Pas d'évolution

PHOTOGRAPHIES / PLAN

culée RG

Culée RD

Pont de Bois Rouge

Général	
Commune	Sainte-Suzanne / Saint André
Voie suportée	Voie privée vers la sucrerie
Ravine Franchie	Grande Rivière Saint-Jean
Gestionnaire	Privé

Description de l'ouvrage	
Dimensions de l'ouvrage	
Nombres de piles	Abscence de pile centrale
Réseaux supportés	HTA en aérien / 3 canalisations refoulement Foutac
Matériau du lit de ravine	Limons sableux + galets
Evolution du lit	Pas d'évolution

PHOTOGRAPHIES / PLAN

depuis la RD

depuis la RG

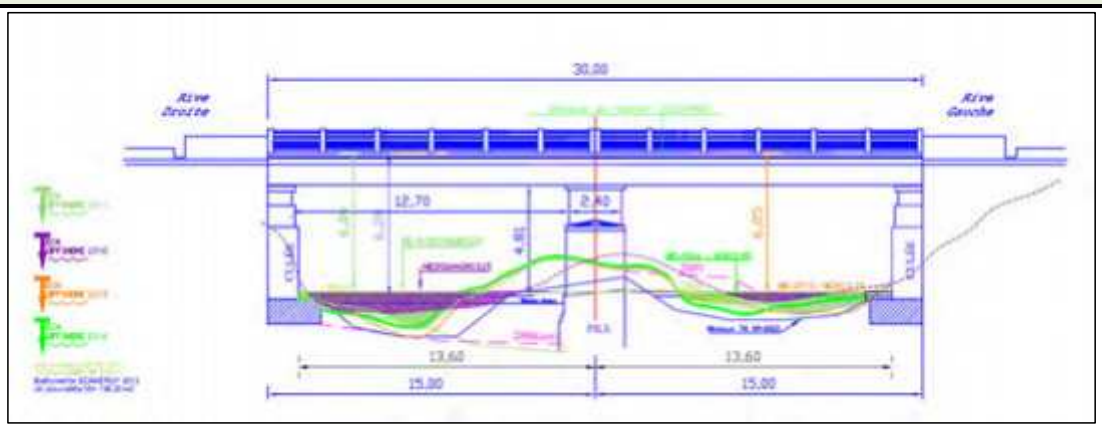
Réseaux supportés

Ouvrage de la RN2002 sur la GRSJ

Général	
Commune	Saint-André (RD) / Sainte Suzanne (RG)
Voie suportée	RN2002
Ravine Franchie	Grande Rivière Saint-Jean
Gestionnaire	Région Réunion / DRR-SOA
date de construction	1960

Description de l'ouvrage	
Dimensions de l'ouvrage	longueur 30m / largeur 6m / section hydraulique 135 m²
Nombres de piles	1 pile centrale / largeur 2.4 m
Réseaux supportés	canalisation AEP / réseau éléctrique aérien / télécom
Matériau du lit de ravine	alluvions
Evolution du lit	Env. + 0.5 m entre 2013 et 2017

PHOTOGRAPHIES / PLAN



Elévation aval (source : Région Réunion)

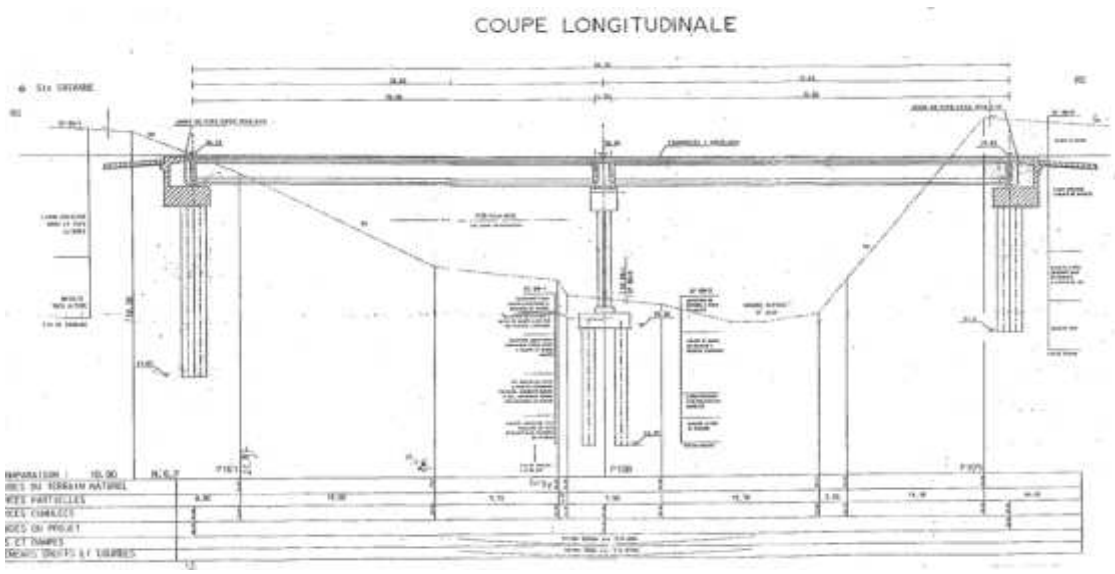
Photographie

Ouvrage de la RN2 sur la GRSJ

Général	
Commune	Saint-André (RD) / Sainte Suzanne (RG)
Voie suportée	RN2
Ravine Franchie	Grande Rivière Saint-Jean
Gestionnaire	Région Réunion / DRR-SOA
date de construction	1993

Description de l'ouvrage	
Dimensions de l'ouvrage	longueur : 65,3 m / largeur : 25,76 m
Nombres de piles	1 pile centrale
Réseaux supportés	-
Matériau du lit de ravine	alluvions
Evolution du lit	pas de données

PHOTOGRAPHIES / PLAN



Elévation amont (source : Région Réunion / DRR / SOA)

Ouvrage de la RN2002 sur la PRSJ

Général	
Commune	Sainte Suzanne
Voie suportée	RN2002
Ravine Franchie	Petite Rivière Saint-Jean
Gestionnaire	Région Réunion / DRR-SOA
date de construction	1985

Description de l'ouvrage	
Dimensions de l'ouvrage	longueur 13,4 m / largeur 11,7 m
Nombres de piles	Abscence de pile centrale
Réseaux supportés	canalisation AEP / télécom / EU
Matériau du lit de ravine	alluvions
Evolution du lit	pas de données

PHOTOGRAPHIES / PLAN

Vue amont

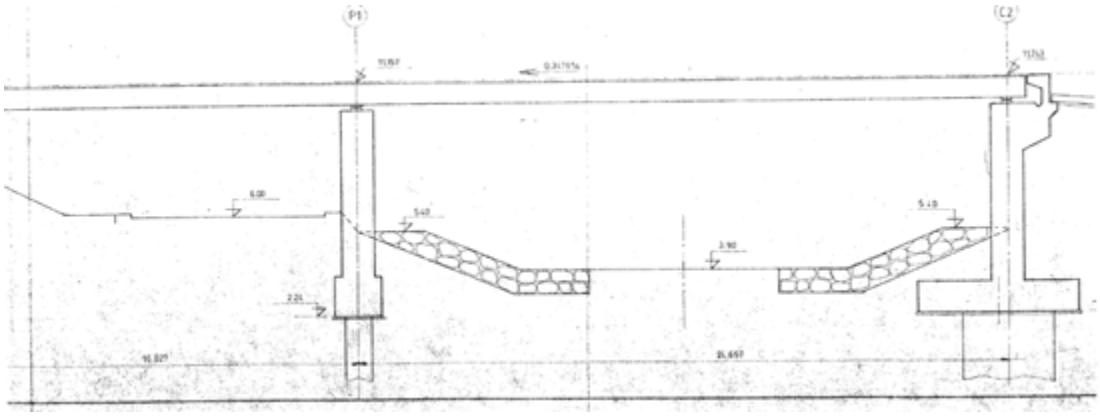
Ouvrage de la RN2 sur la PRSJ

Général	
Commune	Sainte Suzanne
Voie suportée	RN2
Ravine Franchie	Petite Rivière Saint-Jean
Gestionnaire	Région Réunion / DRR-SOA
date de construction	1993

Description de l'ouvrage	
Dimensions de l'ouvrage	longueur : 42,2 m / largeur : 27,42 m
Nombres de piles	1 pile en RG
Réseaux supportés	-
Matériau du lit de ravine	alluvions
Evolution du lit	pas de données

PHOTOGRAPHIES / PLAN

Vue amont



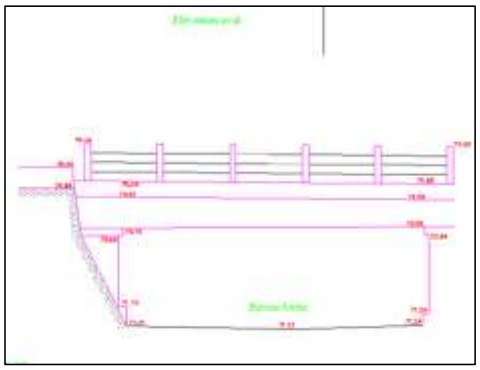
Elévation amont (source : Région Réunion / DRR / SOA)

Pont Auguste

Général	
Commune	Saint André
Voie suportée	Avenue Ile de France
Ravine Franchie	Ravine Sèche
Gestionnaire	Commune de Saint-André

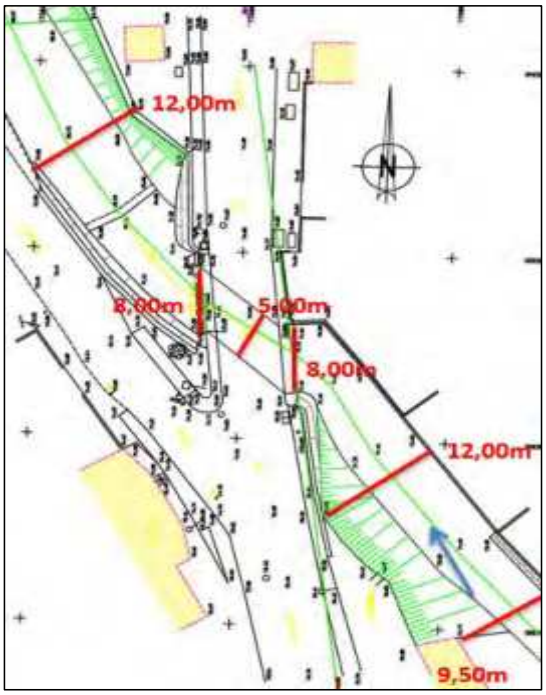
Description de l'ouvrage	
Dimensions de l'ouvrage	Hauteur : 2,6 m / section hydraulique 13m²
Nombres de piles	Abscence de pile centrale
Réseaux supportés	Canalisation AEP / télécom / électrique / EU
Matériau du lit de ravine	Radier béton
Evolution du lit	Pas d'évolution

PHOTOGRAPHIES / PLAN



Elévation aval

vue amont



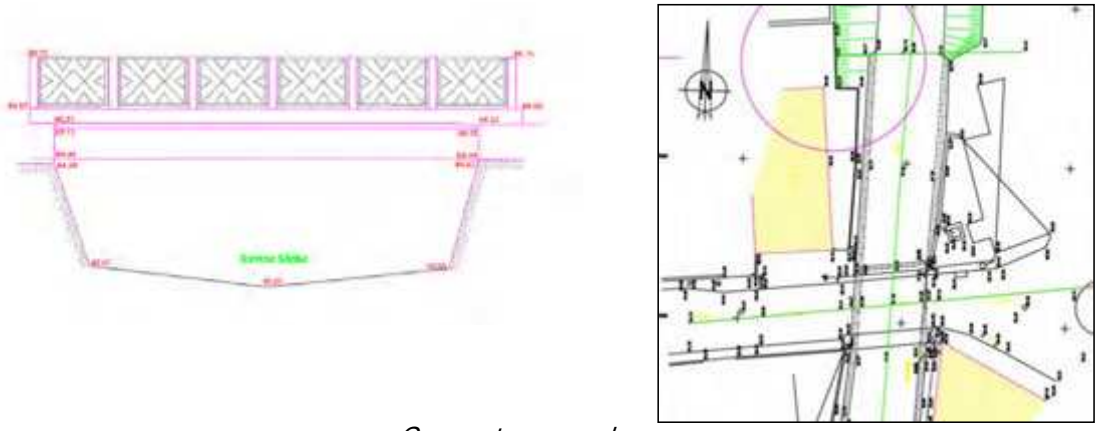
Vue en plan

Pont Sénaud

Général	
Commune	Saint André
Voie suportée	Rue Lagourgue / rue de la Gare
Ravine Franchie	Ravine Sèche
Gestionnaire	Commune de Saint-André

Description de l'ouvrage	
Dimensions de l'ouvrage	Hauteur : 2,4 à 2,8 m / section hydraulique 22 m²
Nombres de piles	Abscence de pile centrale
Réseaux supportés	Télécom / électrique
Matériau du lit de ravine	Radier béton
Evolution du lit	Pas d'évolution

PHOTOGRAPHIES / PLAN



Coupe et vue en plan

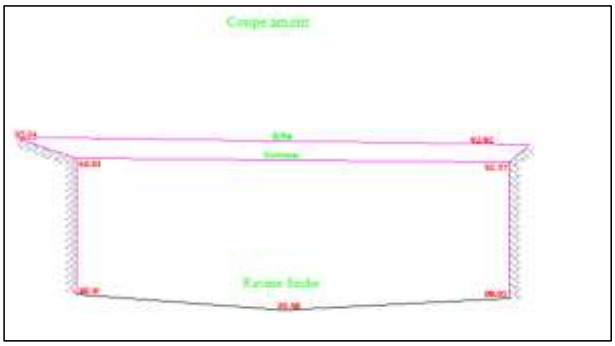
vue aval

Pont de la République

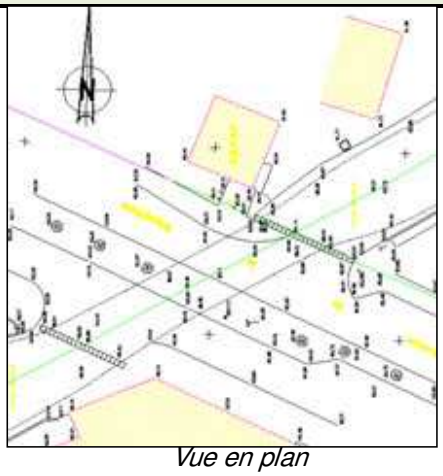
Général	
Commune	Saint André
Voie suportée	Avenue de la République
Ravine Franchie	Ravine Sèche
Gestionnaire	Commune de Saint-André

Description de l'ouvrage	
Dimensions de l'ouvrage	hauteur : 2.75 à 3 m / section hydraulique 17 m²
Nombres de piles	Abscence de pile centrale
Réseaux supportés	Canalisation AEP / télécom
Matériau du lit de ravine	Radier béton
Evolution du lit	Pas d'évolution

PHOTOGRAPHIES / PLAN



Elévation amont



Vue en plan

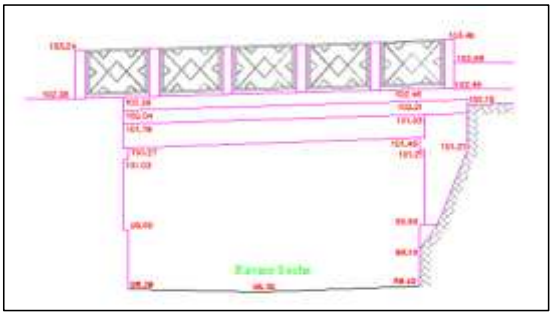
vue aval

Pont Minot

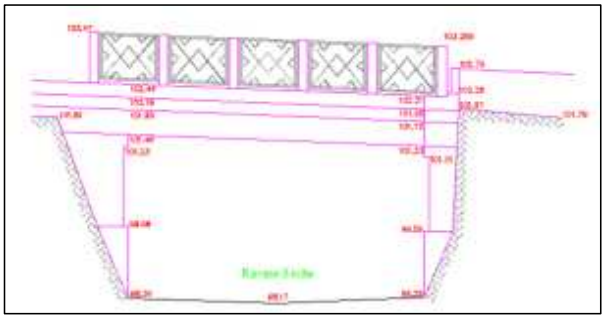
Général	
Commune	Saint André
Voie suportée	Avenue de Bourbon
Ravine Franchie	Ravine Sèche
Gestionnaire	Commune de Saint-André

Description de l'ouvrage	
Dimensions de l'ouvrage	hauteur : 3m / section hydraulique 16 m²
Nombres de piles	Abscence de pile centrale
Réseaux supportés	Canalisation AEP / télécom / électrique / EU
Matériau du lit de ravine	Radier béton
Evolution du lit	Pas d'évolution

PHOTOGRAPHIES / PLAN

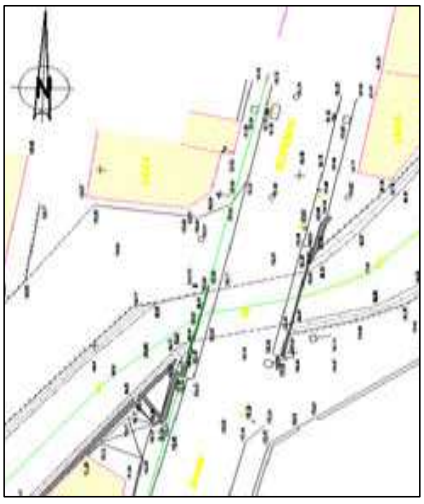


Elévation amont



Elévation aval

vue amont



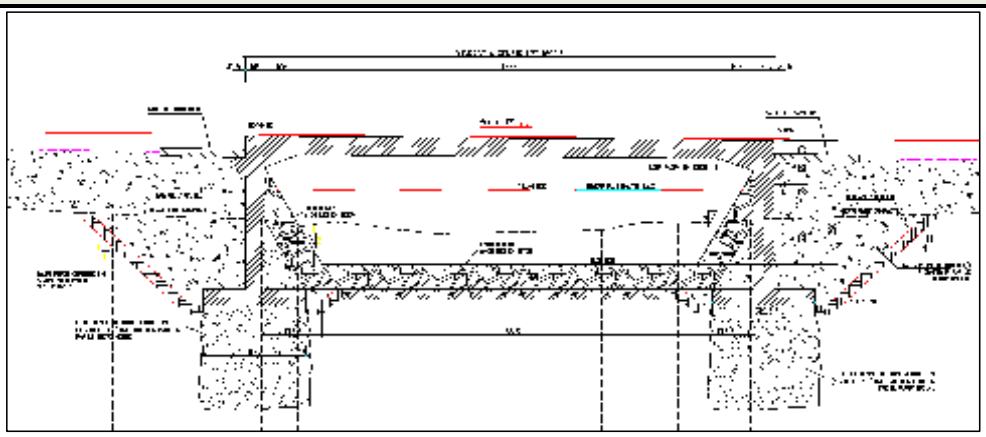
vue en plan

Ouvrage du chemin Morin

Général	
Commune	Saint André
Voie suportée	Chemin Morin
Ravine Franchie	Ravine Sèche
Gestionnaire	CG974
Date de construction	2009

Description de l'ouvrage	
Dimensions de l'ouvrage	longueur 14.9 m / hauteur : 4.4 m
Nombres de piles	Abscence de pile centrale
Réseaux supportés	canalisation AEP / électrique
Matériau du lit de ravine	alluvions amont/aval et enrochements liés sous OA
Evolution du lit	pas de données

PHOTOGRAPHIES / PLAN



Elevation

vue aval

3.4.2. Ouvrages hydrauliques (OH)

On recense 11 ouvrages hydrauliques sur la Ravine Payet et sur un affluent de la Ravine Sèche.

La figure suivante localise ces ouvrages. Le tableau suivant dresse leurs caractéristiques.

Tabl. 6 - Dimensions des ouvrages de la Ravine Payet

N° OH	Nature	Diamètre [m]	Largeur [m]	Hauteur [m]
1	cadre béton		4.6	2
2	cadre béton		1.6	1.6
3	cadre béton		1.9	2
4	buse métal	2.2		
5	cadre béton		2.8	2.1
6 aval	2 cadres béton		2.95 / 2.3	1.2 / 0.75
6 amont	buse béton	0.8		
7	cadre béton		2	1.25
8	cadre béton		2	1.25
9	buse béton	0.8		
10	cadre béton		1.5	1
11	cadre béton		1.5	1

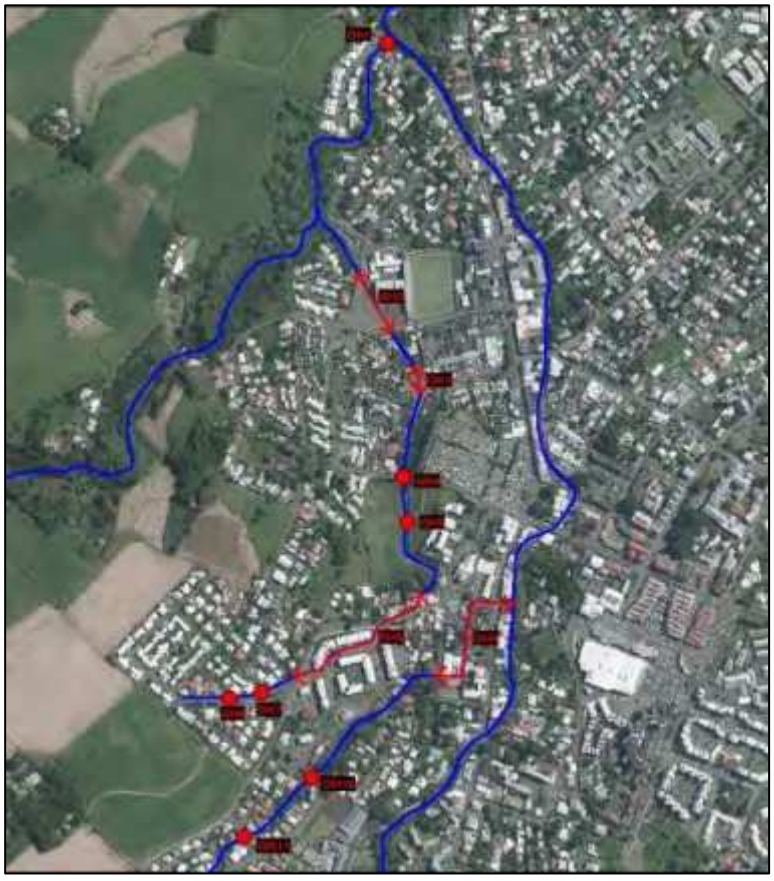


Fig. 26. Ouvrages hydrauliques (OH)

Photo.-34. OH 7

Photo.-35. OH 10

3.5. RECENSEMENT DES POINTS NOIRS ET POINTS '•(526,21

Certains secteurs du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean présentent actuellement des dysfonctionnements sans que des dispositifs destinés à y remédier aient été mis en œuvre.

Outre les problématiques d'inondation, il s'agit essentiellement ici de zones d'érosion et d'approfondissement du lit, qui peuvent à plus ou moins court terme mettre en danger des enjeux, mais également de problématiques telles que la dégradation d'ouvrages hydrauliques ou la présence de déchets dans le lit des cours d'eau.

Trois cours d'eau sont concernés par ces dysfonctionnements : la Grande Rivière Saint-Jean (§ 3.5.1), la ravine Sèche (§3.5.3) et la ravine Payet (§ 3.5.4).

Par ailleurs, le passage de la crue liée à l'épisode FAKIR en avril 2018 a causé de nombreux dégâts. Ils sont présentés dans un paragraphe spécifique § 3.5.5. Un certain nombre de ces zones d'érosion se situe au niveau de secteurs urbanisés et nécessitaient une intervention urgente. Sur ces secteurs, des travaux de confortement ont été proposés et devraient être mis en œuvre rapidement.

3.5.1. Localisation des désordres

Les cartographies suivantes synthétisent et localisent les désordres observés, qui sont décrits cours d'eau par cours d'eau dans les paragraphes qui suivent.

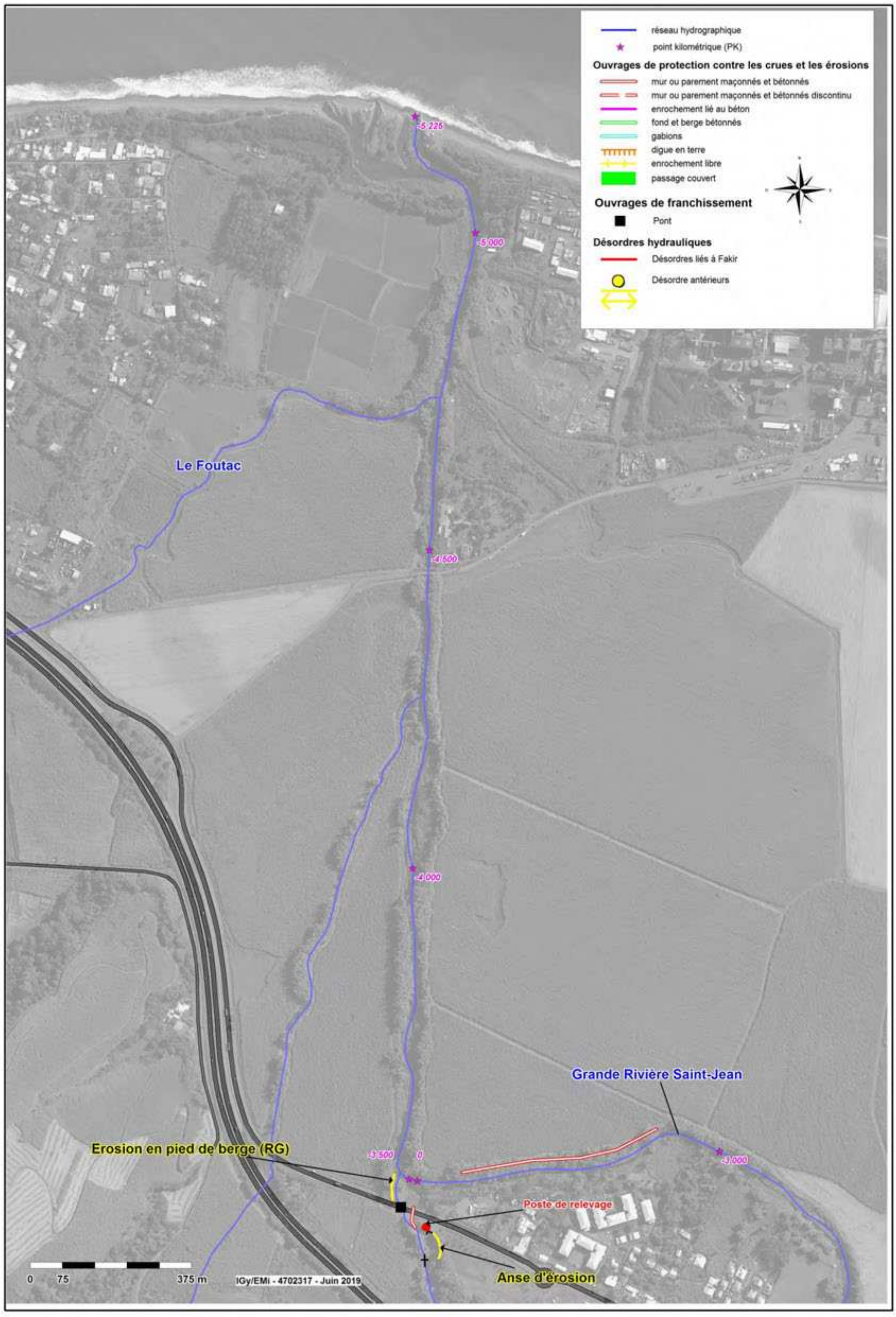


Fig. 27. Localisation des désordres †Secteur aval

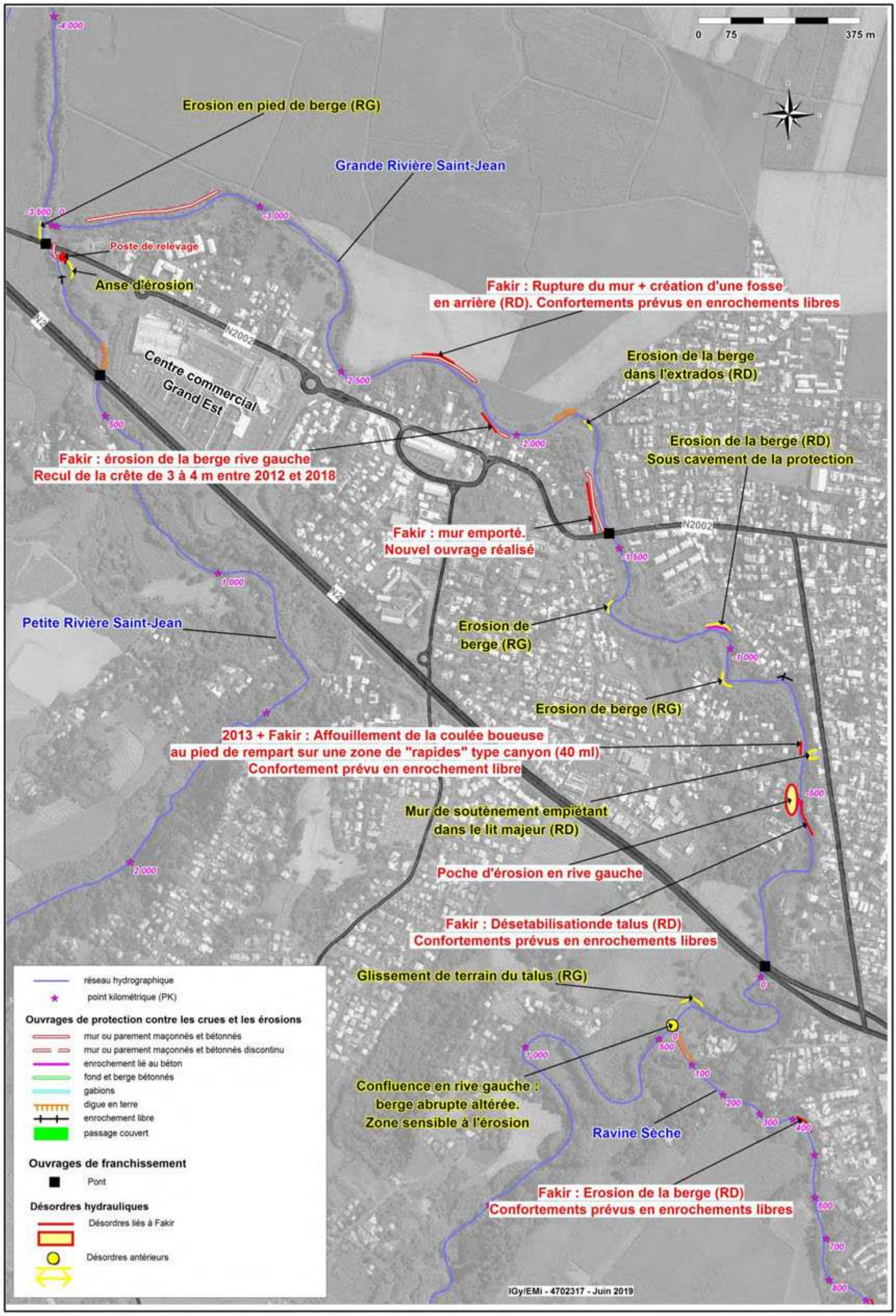


Fig. 28. Localisation des désordres †Secteur intermédiaire

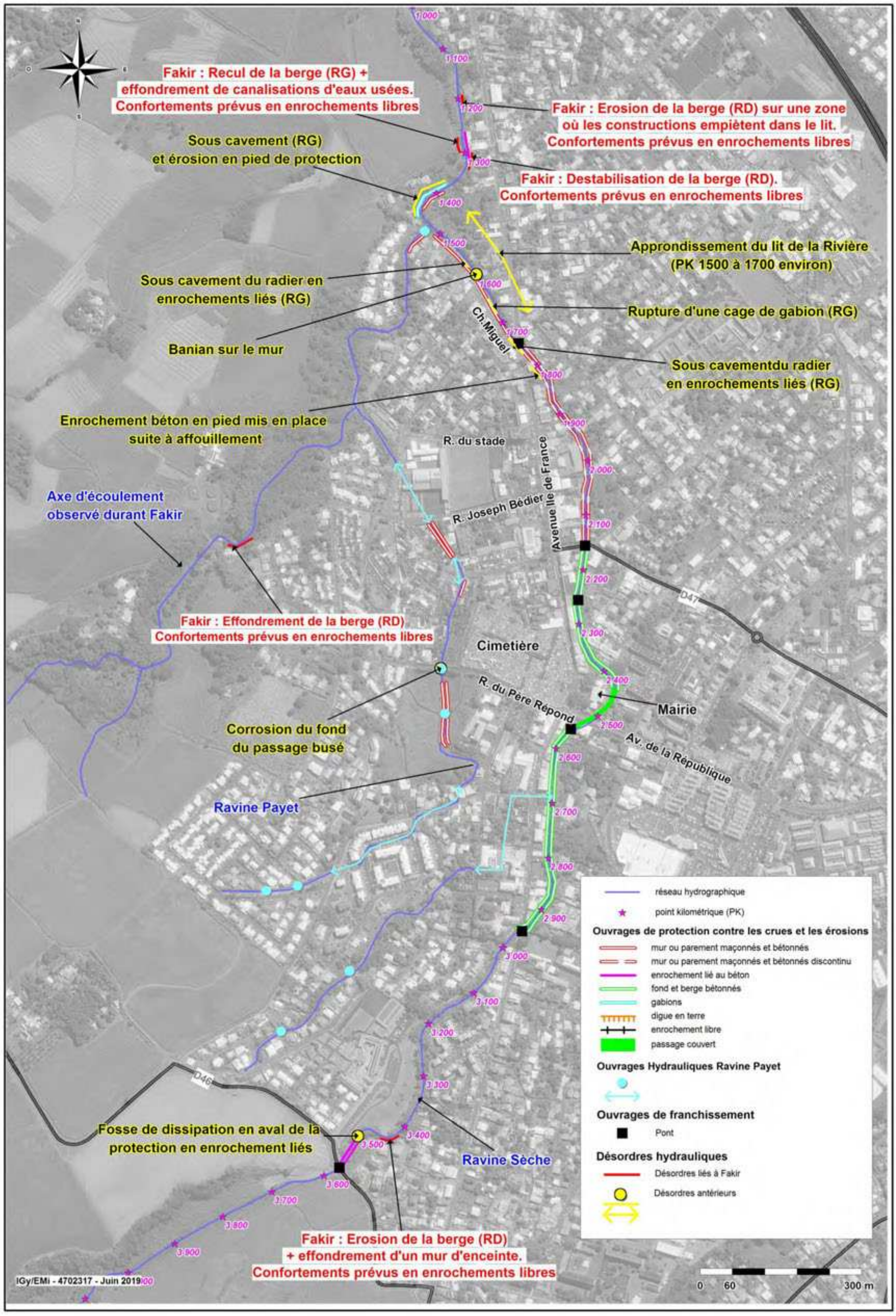


Fig. 29. Localisation des désordres †Secteur amont

3.5.2. Cas de la Grande Rivière Saint-Jean

Les dysfonctionnements observés sur la Grande Rivière St-Jean concernent les érosions de berges sur son cours inférieur et plus précisément entre sa confluence avec la Petite Rivière St-Jean et l'ouvrage de la RN 2.

Sur ce tronçon, la rivière forme plusieurs coudes dont certains ont déjà fait l'objet de protections (côté commune de Saint-André). D'autres, en l'occurrence côté Sainte-Suzanne, sont restés naturels et connaissent aujourd'hui d'importantes érosions qui progressent et mettent en péril la stabilité d'habitations situées à proximité.

La crue liée à Fakir (avril 2018) a également causé des érosions de berges, une étude spécifique a été menée et des travaux de confortement devraient être engagés rapidement.

Les différentes érosions relevées sur le terrain sont décrites dans les paragraphes qui suivent.

- **PK -3500 – Confluence avec la Petite Rivière St-Jean**

Ce secteur est marqué par une érosion de la berge rive gauche qui s'avère a priori liée aux seuls écoulements en crue de la Grande Rivière St-Jean. Celle-ci forme en effet un coude à près de 90° au droit de sa confluence qui favorise fortement les érosions.

Il est vraisemblable que lorsque les deux rivières sont en crues concomitantes, le phénomène d'érosion soit moins prononcé dans la mesure où les écoulements de la Grande Rivière St-Jean sont contrariés par ceux de la Petite Rivière St-Jean.

Actuellement, les zones d'érosion ont été protégées très localement par de l'enrochement libre, cette zone reste néanmoins susceptible de se dégrader à nouveau, en amont et en aval des aménagements.

La photo.-36 présentée page suivante localise la zone d'érosion en 2011 et la même zone protégée en 2018.

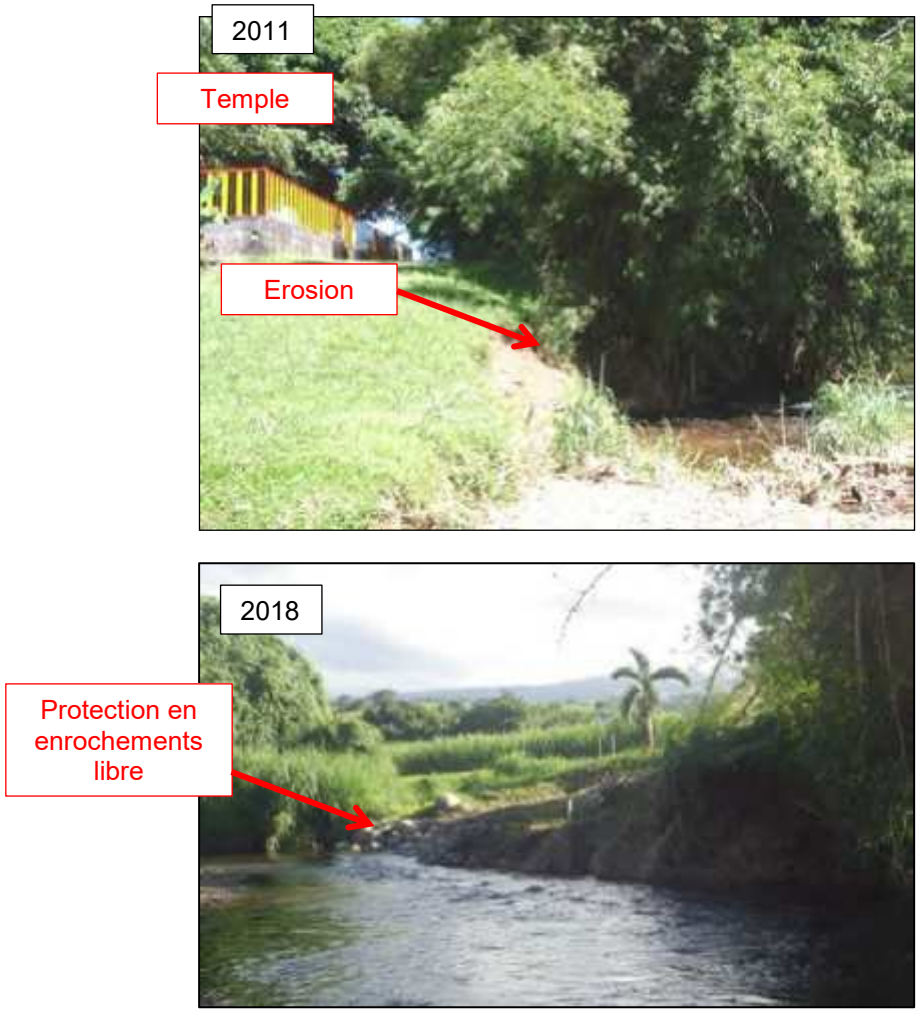
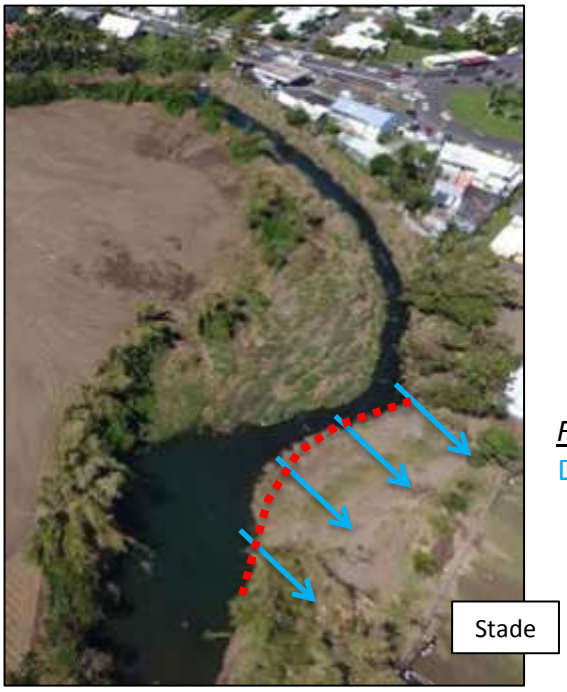


Photo.-36. Erosion de la berge RG de la Grande Rivière St-Jean au PK -3500

- **PK -2000 à -3000 – Erosions dans les extrados des coudes en RG à quartier Français**

Sur ce secteur, la Grande Rivière Saint-Jean présente des méandres. Les extrados du cours d'eau sont fortement sollicités par les écoulements en crue et des zones d'érosions sont observés :

- Au PK -2700 au niveau du stade, des débordements ont été observés durant Fakir (avril 2018) avec une possibilité d'érosion localisée sur la berge située à l'est du stade :



Fakir :
Débordements + Érosion

Photo.-37. Vue aérienne GRSJ au PK †2700 post Fakir (avril 2018)

- Au PK -2000, la berge située devant la résidence SIDR est dégradée durant Fakir (avril 2018). Un recul de berge de l'ordre de 3 à 4 m est constaté entre 2012 et 2018. Des travaux d'urgence sont prévus, ils sont décrits au § 3.5.5.

Photo.-38. Vue aérienne GRSJ au PK †2000 post Fakir (avril 2018)

Photo.-39. Berge dégradée de la GRSJ au PK †2700 post Fakir (avril 2018)

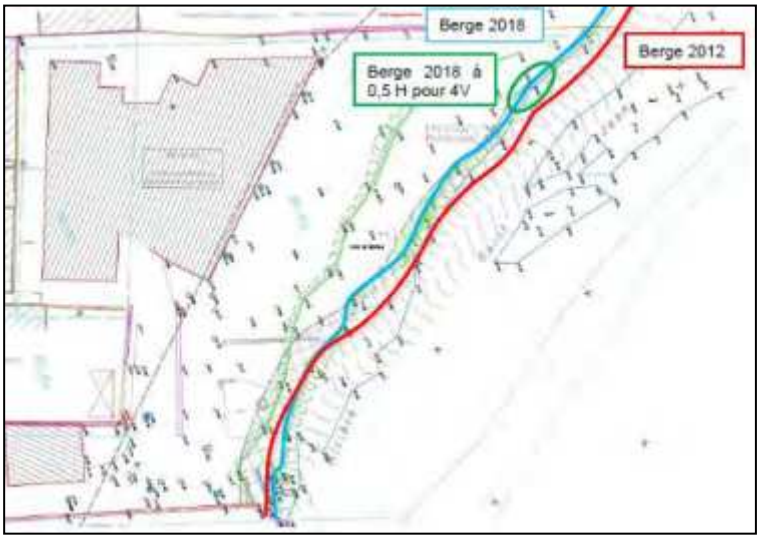


Fig. 30. Analyse topographique du recul de berge

- **PK -1850 – Entrée dans la plaine agricole de Bois Rouge**

Ce secteur marque le premier coude formé par la rivière après le franchissement par la RN 2002. Le secteur est assez fortement végétalisé (avec présence de bambous bénéficiant d'un système racinaire dense) mais quelques points d'érosion sont malgré tout observés (cf. photo ci-après). En dehors des champs de cannes, aucun enjeu n'y est recensé.

Photo.-40. Erosion de la berge RD de la Grande Rivière St-Jean au PK -1850

- **PK -1335 , -1100 et -930 – Erosions dans l'extrados de trois coudes**

Les berges concernées par ces érosions présentent chacune un talus très abrupt qui ne cesse d'être rogné au fil des crues comme en témoigne l'absence de végétation sur les photos ci-après.

Photo.-41. Erosion de la berge RG de la Grande Rivière St-Jean au PK -1335 (2011 PGRi)

Au PK -1100, l'érosion de la berge a lieu en aval de la semelle en enrochements liées. A cet endroit, la berge est abrupte, sans végétation.

Photo.-42. Erosion de la berge RD de la Grande Rivière St-Jean au PK -1100

Au PK -930 (secteur du Chemin Gonzagues), la Grande Rivière Saint-Jean présente également une berge abrupte et dans l'extrados. Ce secteur est régulièrement érodé et a été fortement dégradé lors

du passage de la tempête Carlos en février 2017 : destruction d'un mur de soutènement, effondrement d'une partie de la berge, fissure sur la dalle béton de la varangue (quelques centimètres d'épaisseur) et mise en péril d'une habitation implantée à moins de 3 m en recul du sommet de berge (parcelle BC145 à l'extrémité du chemin Gonzagues, Sainte-Suzanne).

Précisons qu'en 2011 déjà, le PGRi indiquait un léger affaissement du terrain aux abords de l'habitation et une fissure en périphérie de l'habitation.

Photo.-43. Erosion de la berge RG de la Grande Rivière St-Jean au PK -930 (2011-PGRi)

Photo.-44. Erosion de la berge RG de la Grande Rivière St-Jean au PK -930 (2017-BRGM réf /4/)

Photo.-45. Erosion de la berge RG de la Grande Rivière St-Jean au PK -930 (avril 2018)

Photo.-46.)LVVXUH VXU O•KDELWDWLRQ (2019 - PGRi)DX 3.

Illustration 11 – Dalle fissurée en recul du talus instable et en pied de la varangue

Photo.-47.)LVVXUH VXU O•KDELWDWLRQ (2017 BRGM Réf /4/)

Cette situation particulière a abouti à la réalisation d'un rapport par le BRGM (réf /4/) dont les principales conclusions sont les suivantes :

- La berge semble avoir « progressée » vers le lit ce qui pourrait correspondre aux travaux de construction du mur (maintenant effondré) et de remblaiement ponctuel à l'arrière pour créer une plateforme plane plus importante au niveau de la parcelle BC145 :

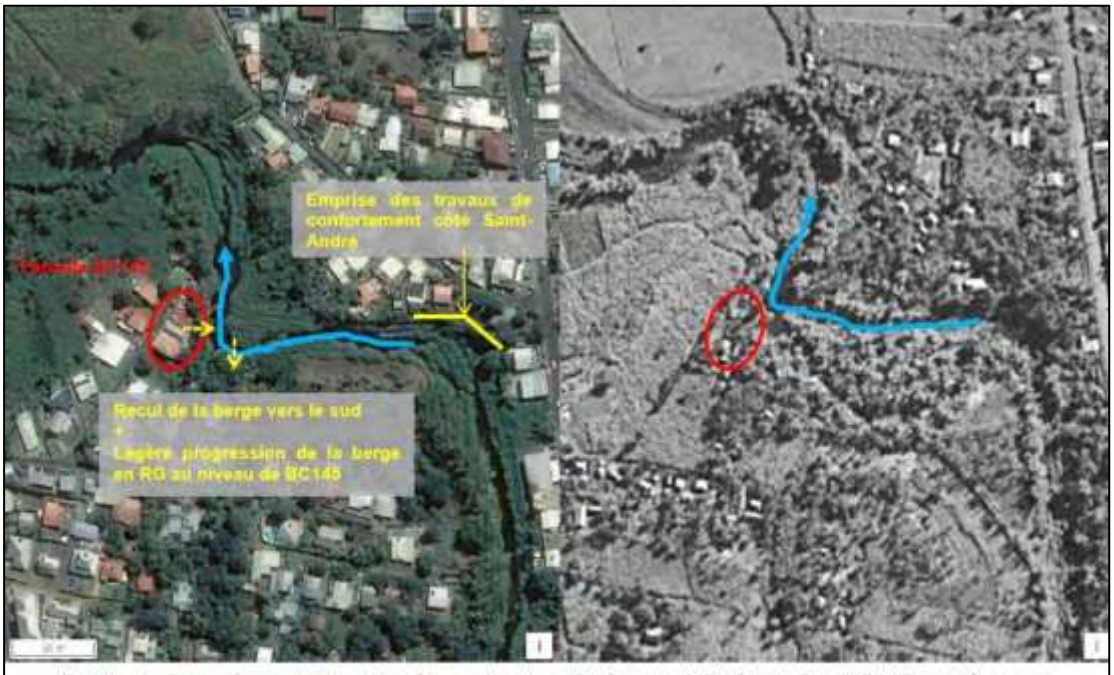


Illustration 9 – Comparaison des photographies aériennes du secteur, 2011 à gauche et 1949 à droite. Parcelle BC145 encerclée en rouge (http://remonterletemps.ign.fr/comparer/basic?x=55.644888&y=-20.935065&z=18&layer1=ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS&layer2=ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS.1950-1965&mode=doubleMap)

Fig. 31. Analyse des vues aériennes (BRGM 2017 réf /4/)

- Les travaux en rive droite côté Saint-André dans les années 2000 qui ont nécessité l'accès au lit par l'aval, avec la création d'une piste de chantier dans le lit depuis du Chemin Gonzague et à l'aval de la parcelle BC145, semblent avoir modifié l'axe d'écoulement du lit mineur ;
- Les parcelles BC145, BC146, BC147 et dans une moindre mesure BC152 sont directement concernées par le risque érosif sur ce secteur (seule la parcelle BC145 est bâtie) ;
- A plus long terme, l'évolution probable du lit de la Grand Rivière Saint-Jean concernera également les parcelles situées au droit du coude immédiatement à l'aval (parcelles BC863 et BC864 à l'intrados et surtout celles à l'extrados côté Saint-André).
- Les travaux préconisés dans le PGRi sont proposés pour une sécurisation durable : adoucir le talus existant (avec apport de matériaux), protéger le pied de berge à l'aide d'une carapace en enrochements libres, végétaliser le talus, évacuer une partie des sédiments qui se sont déposés dans l'intrados du méandre pour maintenir la section hydraulique. Ces travaux n'ont pas été réalisés à ce jour.

La figure suivante donne les limites cadastrales sur la photo aérienne de 2018.

Fig. 32. Vue aérienne actuelle et cadastre

- **PK -650 – Erosion du pied de talus à Commune Bègue en RG**

Sur ce secteur, la Grande Rivière Saint-Jean est assez linéaire et présente une zone de « rapides » dans laquelle de petites chutes se succèdent, les vitesses sont relativement fortes et les berges sont fortement sollicitées.

L'empiètement des terrains en RD dans le lit mineur a généré un renvoi du bras vif vers la RG et expose particulièrement la berge RG à l'érosion.

La berge RD a été très dégradée lors du passage du cyclone FAKIR (cf § 3.5.5) et le pied de berge RG contre lequel s'effectue l'écoulement, constitué de coulée boueuse, est érodé depuis 2013. Le passage de la crue liée à Fakir a amplifié le phénomène.

Fig. 33. Erosion de la coulée boueuse en pied de berge RG de la Grande Rivière St-Jean au PK -650

L'analyse des photos aériennes indique l'existence d'un seuil transversal dans les années 60, qui semble avoir disparu. Cet ouvrage avait peut-être un rôle de stabilisation du lit en altimétrie. Dans ce cas, sa disparition a pu entrainer un abaissement du lit et amplifier le sapement du pied de berge.

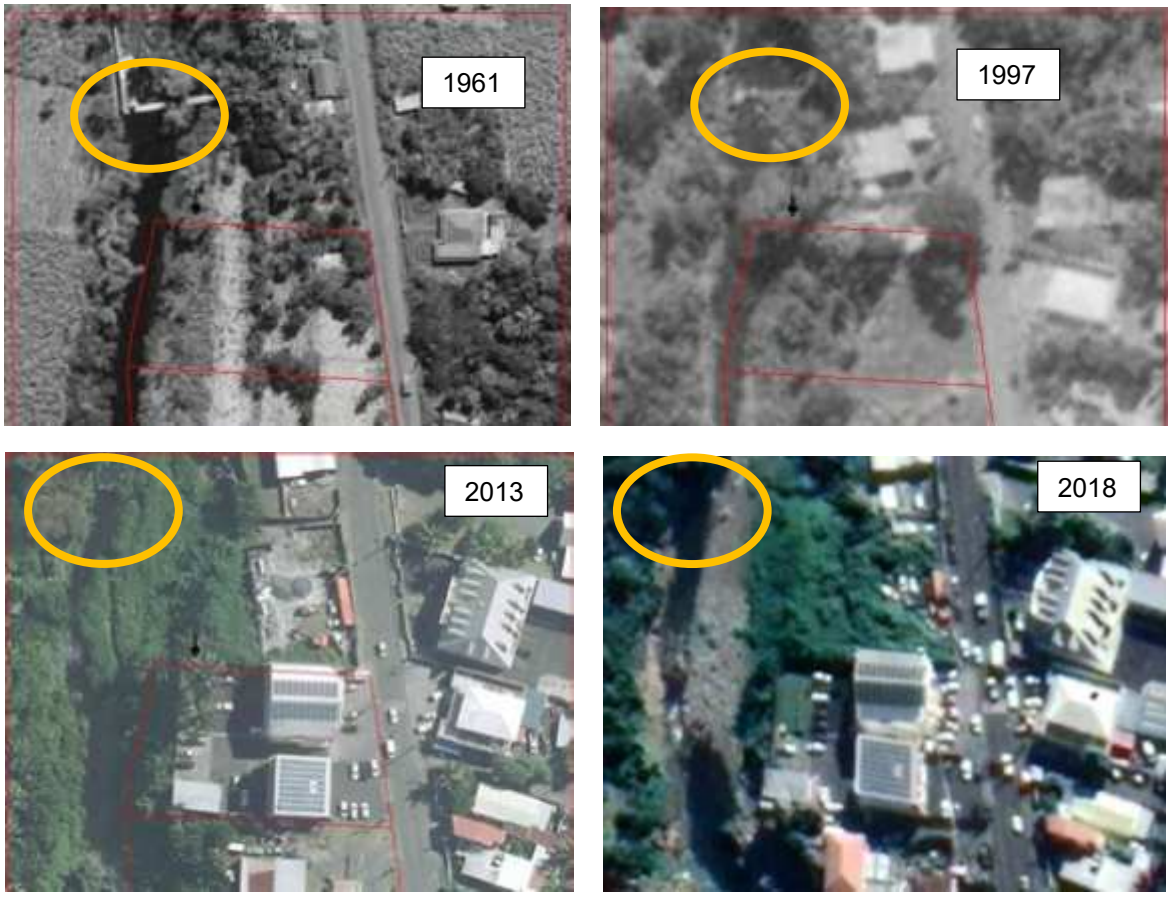


Fig. 34. Seuil au PK -650 - Comparaison des vues aériennes

Sur ce secteur, des travaux de confortement d'urgence sont prévus. Ils sont décrits au § 3.5.5.

- **PK -500 – Erosion à Quartier Français / Commune Bègue**

Ce secteur marque le passage de la rivière au sein d'une formation géologique plus sensible à l'érosion dans un secteur où les enjeux sont présents aussi bien en RD qu'en RG, notamment entre les PK -300 et -800. La présence d'un léger coude à hauteur du PK -500 conduit donc à la formation d'une poche d'érosion en RD qui constitue un risque pour les habitations riveraines qui se situent en retrait du haut de berge.

Photo.-48. Erosion de la berge RG de la Grande Rivière St-Jean au PK -500

- **PK 400 – Confluence avec la ravine Sèche**

Au droit de cette confluence, la Grande Rivière St-Jean présente une berge rive gauche extrêmement abrupte en haut de laquelle est implantée la route menant à Commune Bègue les Bas. Bien que le talus soit végétalisé, la formation géologique en présence est altérée et relativement sensible à l'érosion. Par ailleurs, en l'absence de crue de la Grande Rivière St-Jean, la ravine Sèche vient buter contre ce talus qui peut dès lors s'affouiller et partiellement glisser.

Photo.-49. Berge abrupte de la Grande Rivière St-Jean en RG et au PK 400

- **PK 4500 – Coude en amont du pont de la RD 46**

La Grande Rivière St-Jean s'écoule ici sur des coulées de basalte fissurées et altérées. Au droit du PK 4500, la rivière forme un coude dont l'extrados est fortement sollicité en période de crue. Sous l'effet des remous, la berge a donc reculé de plusieurs mètres et se trouve aujourd'hui plus abrupte (cf. photo.-50 page suivante).

Le talus est bien végétalisé, ce qui conduit inévitablement à une lente dégradation de la roche mère mais permet également de retenir les matériaux. Une habitation est présente en haut de berge et ne s'avère pas à ce jour menacée. Une surveillance accrue de la tenue de la berge est toutefois recommandée.

Photo.-50. Erosion de la berge RG de la Grande Rivière St-Jean au PK 4500

- **Remblais dans le lit de la rivière**

L'étude PGRi indique des remblais, plus ou moins récents et mis en place dans la rivière (lits mineur et majeur).

Ces remblais peuvent avoir pour objectif de gagner des terres constructibles (à plus ou moins long terme) mais également de se débarrasser de matériaux non utilisables (gravats par exemple). Les deux photos ci-après datent de 2011 et présentent les remblais relevés à l'époque.

Photo.-51. Remblai en RG au PK -1200 (route de Commune Bègue les Bas) SourcePGRi

Photo.-52. Remblai en RG au PK -480 (Source PGRi)

Ces remblais ne sont plus visibles actuellement car ils ont été végétalisés.

De nouveau remblais ont été identifiés lors de différentes visites sur site en 2019, notamment en rive gauche au PK -500 et en rive droite au PK -480.

Photo.-53. Remblai en RG au PK -500 (février 2019)

Photo.-54. Remblai en RD au PK -480 (Décembre 2019)

La végétalisation rapide des talus remblayés rend difficile leur identification, d'où la difficulté de disposer d'une liste exhaustive des remblais effectués.

Une identification des remblais est proposée dans le paragraphe 3.5.6.1 Elle se base sur :

- Une analyse diachronique : comparaison de la vue aérienne 2017 avec un plan IGN de 1989
- Le tableau des procédures relatives à des opérations de remblaiement en cours engagées par la DEAL

3.5.3. Cas de la ravine Sèche

Trois problématiques distinctes sont recensées sur la ravine Sèche :

- Le phénomène d'érosion ponctuelle de berge ;
- L'approfondissement du lit en aval du pont Auguste ;
- La présence de déchets dans la ravine.

3.5.3.1. EROSIONS PONCTUELLES

Ces érosions concernent ici essentiellement les berges de la ravine Sèche sur son tronçon situé en aval de sa confluence avec la ravine Payet. Dans le PGRi datant de 2011, trois zones d'érosion avaient été observées et sont situées aux PK 400 et 1200 (cf. photos ci-après).

Sur ces zones, les riverains ont mis en œuvre quelques protections pour contenir les assauts de la ravine Sèche. Néanmoins, ces protections constituent fréquemment un obstacle à l'écoulement des eaux et manquent de résistance face aux crues

Photo.-55. Erosion de berge RD sur la ravine Sèche (PK 400) -2011

Photo.-56. Erosion de berge RD sur la ravine Sèche (PK 1200) - 2011

Photo.-57. Erosion de berge RD sur la ravine Sèche (PK 1200) - 2011

Ces érosions se sont poursuivies, notamment lors de l'épisode FAKIR en avril 2018. 4 zones d'érosion principales nécessitant des travaux d'urgence ont été observées. Les désordres associés sont décrits au § 3.5.5.

3.5.3.2. APPROFONDISSEMENT DU LIT MINEUR

L'ampleur de l'approfondissement est, par endroits, considérable (jusqu'à 1,20 m le long de la rue Miguel) et semble s'accentuer à mesure que l'on se dirige vers l'amont c'est-à-dire jusqu'au pont Auguste.

Les causes de ce phénomène sont encore mal connues mais il pourrait s'agir d'une érosion progressive liée à un déséquilibre sédimentaire : il y a un excédent de débit liquide par rapport aux apports solides (déficit d'apports solides du fait d'une artificialisation du lit dans la traversée de St-André) ce qui entraine une diminution de la pente du lit en aval des aménagements pour rétablir l'équilibre.

Pour confirmer cette hypothèse, il conviendrait de relever de manière régulière le profil en long de la ravine sur ce secteur pour apprécier son évolution dans le temps. Le seul document topographique précis dont nous disposons à ce jour date d'octobre 2001. Les levés LIDAR et la LITTO3D ne sont pas assez précis pour permettre d'analyser l'évolution du fond de lit et du trait de berge. Les reconnaissances de terrain semblent indiquer un approfondissement jusqu'à plusieurs dizaines de centimètres par endroits.

Quoiqu'il en soit, l'enfoncement actuel du lit est tel qu'il constitue désormais un risque majeur de ruine des ouvrages existants (murs de soutènement).

Photo.-58. Vue du lit de la ravine Sèche en aval du pont Auguste en 2011

Photo.-59. Vue du lit de la ravine Sèche en aval du pont Auguste en 2018

Indépendamment du paramètre pollution, qui s'avère fortement préjudiciable pour un cours d'eau, les déchets rejetés en ravine peuvent également accentuer les inondations en créant des embâcles sur les ouvrages et en réduisant dès lors leur capacité hydraulique.

3.5.4. Cas de la ravine Payet

Sur la ravine Payet, l'ouvrage de la rue du Père Répond qui est constitué d'une buse métallique de 2,2 m de diamètre. Comme le montre la photo suivante, la base de cet ouvrage est aujourd'hui totalement corrodée avec par ailleurs une importante chute sur l'aval. La buse étant fendue sur toute sa longueur, sa résistance aux charges (poids du remblai, des véhicules qui circulent sur la voie) n'est plus assurée si bien qu'elle peut s'effondrer sur elle-même en présence de toute nouvelle contrainte telle qu'une crue.

Des travaux visant à remplacer cet ouvrage sont donc à envisager à court terme.

Photo.-60. 9XH DYDO GH O•2+ UXH GX 3qUH 5pSRQG

Remarque : En 2011, un dysfonctionnement avait été relevé sur l'ouvrage de la rue Miguel, à hauteur de sa confluence avec la ravine Sèche. Le béton constituant le radier était en effet érodé au centre ce qui laissait entrevoir les alluvions du lit (cf. photo ci-après). Depuis, le radier a été reconstitué.

Photo.-61. 9XH GX UDGLHU GH O•2+ UXH 0LJXHO

3.5.5. Désordres liés à Fakir pour lesquels des travaux de confortement sont prévus

Suite au passage de la Forte Tempête Tropical Fakir en Avril 2018, des zones d'érosion ont été observées sur la Ravine Sèche, Payet et la Grande Rivière St Jean. Un certain nombre de ces zones d'érosion se situe au niveau de secteurs urbanisés et nécessitent une intervention urgente afin de protéger les biens existants.

Plusieurs Maitre d'Ouvrage (commune de Saint-André et Sainte Suzanne puis CIREST et CINOR, SIDR, notamment) ont lancé des études de maitrise d'œuvre pour le confortement de ces zones. Les études ont été réalisées, les travaux devraient être réalisés fin 2018/début 2019.

La figure suivante présente les parcelles concernées par ces phénomènes d'érosion sur la commune de Saint-André et pour lesquelles un arrêté municipal interdit l'accès à une partie du terrain.

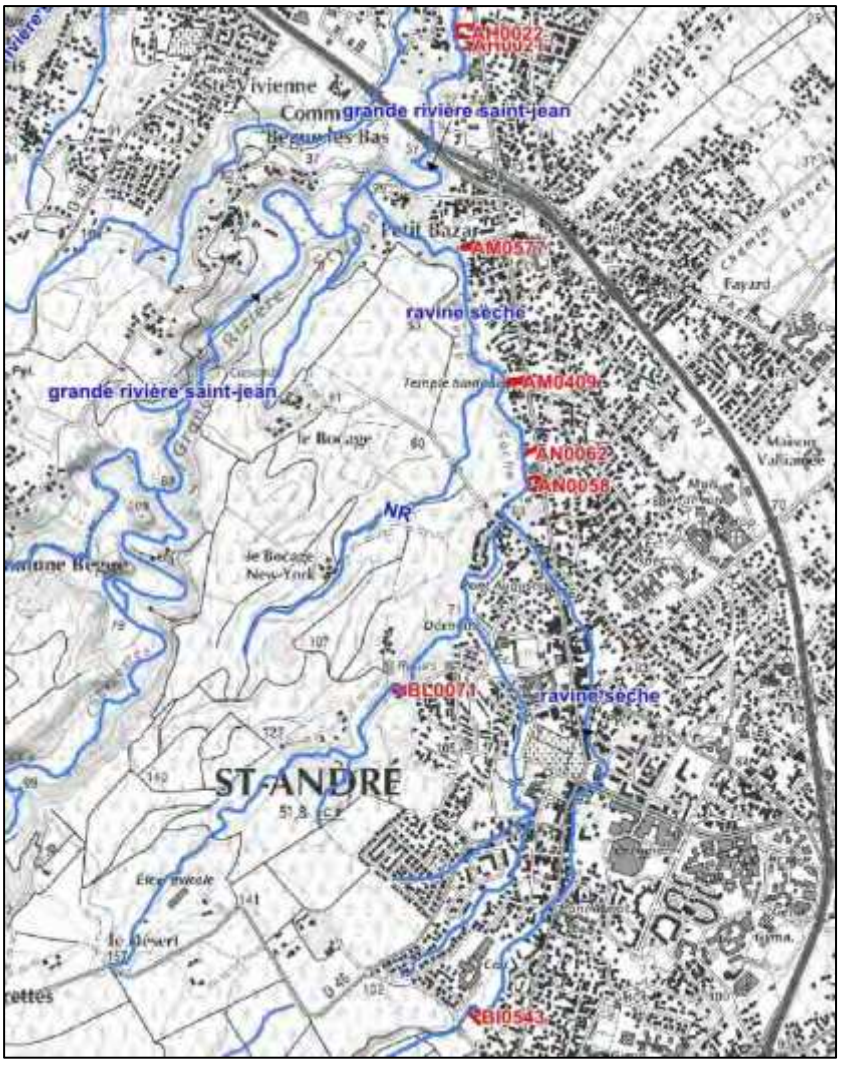


Fig. 35. Plan de situation des parcelles de projet †Commune de Saint-André

3.5.5.1. RAVINE SECHE – PK 3450

Vers le PK 3450, environ 90 m en aval du franchissement du chemin Morin, la berge RD supportant la parcelle BI 543 s'est dégradée durant le passage de la crue liée à Fakir (avril 2018).

En amont et au droit de la parcelle, la Ravine présente un double coude, le flux « ricoche » d'une berge à l'autre entrainant une survitesse à l'extrados du virage. Cette survitesse induit une augmentation des risques d'érosion des sols. Cette zone de survitesse correspond à la zone d'érosion maximale observée post crue.

En amont de cette zone, le mur d'enceinte est également effondré. Celui-ci c'est affaissé sous le poids de l'eau accumulée en amont, à priori sans liens directs avec la Ravine Sèche.

L'analyse comparative de la topographie entre 2018 et 2001 précise l'érosion de la berge. Le recul maximum est de 4 à 5 m.

Fig. 36. Topographie du site et principe de dynamique des écoulements

Photo.-62. Erosion de berge †Ravine Sèche PK 3450 †Avril 2018

3.5.5.2. RAVINE SECHE – PK 1300

Vers le PK1300, environ 400 m en aval du franchissement du Pont Auguste, la berge RD supportant la parcelle AN58 s'est dégradée durant le passage de la crue liée à Fakir (avril 2018).

Au droit de la parcelle, la Ravine présente un coude. La parcelle est positionnée à l'extrados de ce coude, le flux longe la berge entrainant une survitesse dans ce secteur. Cette survitesse induit une augmentation des risques d'érosion des sols. Cette zone de survitesse correspond à la zone d'érosion maximale observé post crue.

L'analyse comparative de la topographie entre 2018 et 2001 précise l'érosion de la berge. Elle ne fait pas apparaitre de recul de la berge mais un raidissement de celle-ci est visible. Par contre, un recul important de la berge rive gauche est observé en aval du site[5]. Aucun approfondissement du lit mineur n'est observé.

Sur ce secteur, la rivière est contrainte par les enrochements liés posés en rive droite. Ces enrochements ont été mise en place pour protéger des extensions de bâtiments qui ont fortement empiétés dans le lit de la Ravine.

Ce décalage de la berge rive droite, et les protections mises en œuvre, sont en partie responsable des désordres observés en rive gauche (effondrement de la canalisation d'eau usée). Les protections actuellement mise en œuvre (travaux GTOI de reprise de la canalisation EU) ne remontent pas assez en amont et l'évolution de la berge à ce niveau risque de continuer.

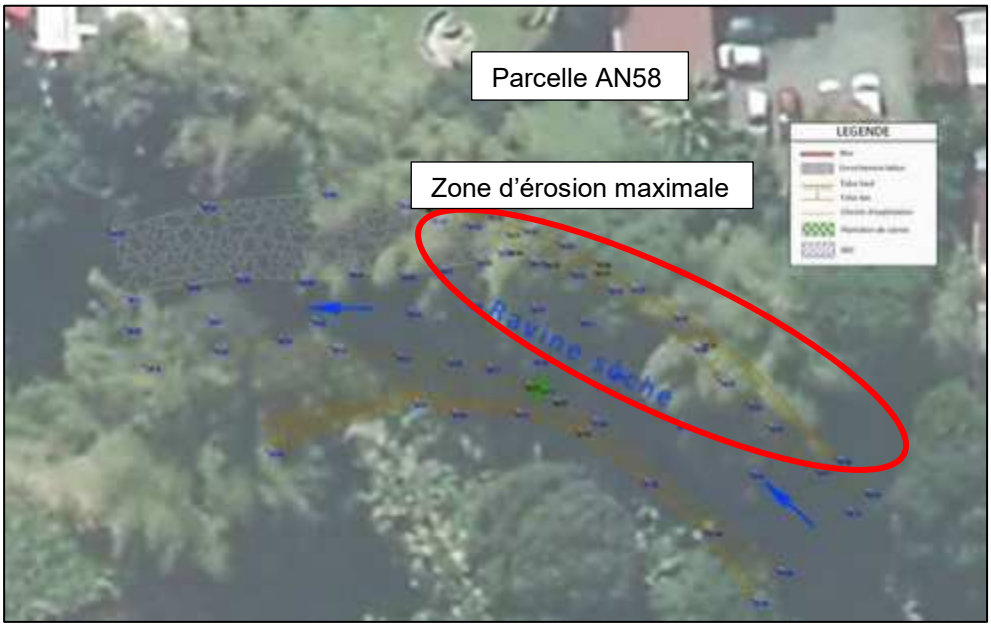


Fig. 37. Topographie du site et principe de dynamique des écoulements

[5] Il est important de noter que la topographie de 2001 manque de précision au droit de la zone de projet ce qui apporte une incertitude sur l'importance du recul de la berge.

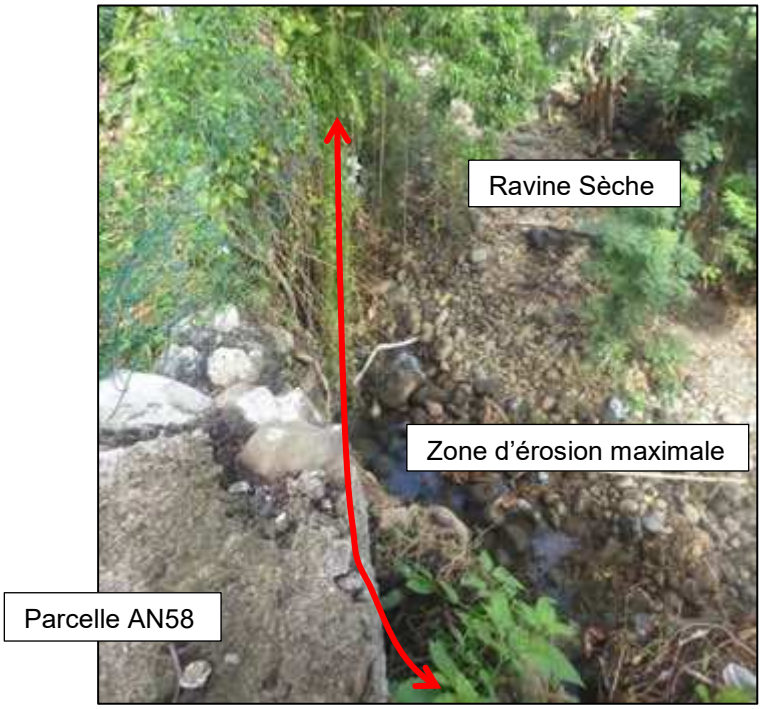


Photo.-63. Erosion de berge †Ravine Sèche PK 1300

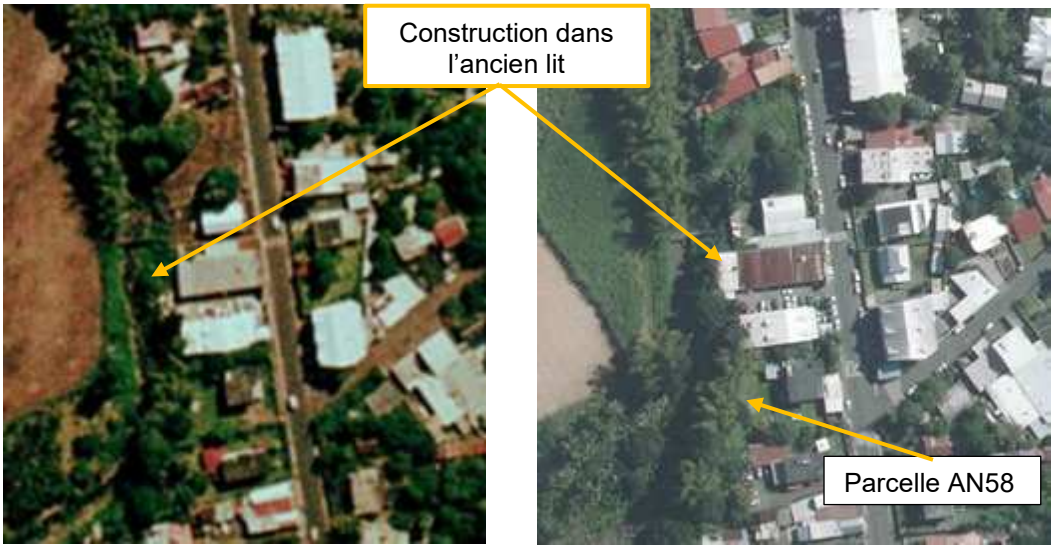


Fig. 38. Comparaison photographies aériennes 1997 - 2012

3.5.5.3. RAVINE SECHE – PK 1200

Au PK 1200, environ 550 m en aval du franchissement du Pont Auguste, la berge RD supportant la parcelle AN62 s'est dégradée durant le passage de la crue liée à Fakir (avril 2018).

La parcelle se situe en aval d'une zone fortement perturbée (cf. chapitre précèdent). La zone d'érosion visible en amont de la parcelle découle de ces perturbations et se trouve accentuer par les extensions de logements, de la parcelle étudiée, très présent dans le lit mineur.

L'analyse des photos aérienne laisse supposer des constructions dans le lit mineur, au droit et en aval de la parcelle de projet.

L'analyse comparative de la topographie entre 2018 et 2001 ne fait pas apparaitre de recul de la crête de berge, cependant un raidissement de celle-ci est visible. En amont et en aval de la parcelle, on observe un recul de la berge.

Fig. 39. Ravine Sèche PK 1200 †Extension de bâtiment

Photo.-64. Comparaison photographies aériennes 1997 †2012

3.5.5.4. RAVINE SECHE – PK 930

Vers le PK930, environ 800 m en aval du franchissement du Pont Auguste, la berge RD supportant la parcelle AM 409 s'est dégradée durant le passage de la crue liée à Fakir (avril 2018).

Au droit de la parcelle, la Ravine présente un coude entrainant une survitesse à l'extrados du virage. Cette survitesse induit une augmentation des risques d'érosion des sols. Cette zone de survitesse correspond à la zone d'érosion maximale observée post crue.

Fig. 40. Ravine Sèche †PK930

En aval de la parcelle, on observe un recul de la berge. Aucun approfondissement du lit mineur n'est observé.

3.5.5.5. RAVINE SECHE – PK 420

Vers le PK 420, au niveau de Petit Bazar environ 450 m en amont de la confluence avec la Grande Rivière Saint Jean, la berge RD supportant la parcelle AM577 s'est dégradée durant le passage de la crue liée à Fakir (avril 2018).

L'analyse comparative de la topographie entre 2018 et 2001 laisse apparaitre un recul maximum de l'ordre de 10 m, le maximum étant observé au plus près de la maison, avec un raidissement de la berge.

Photo.-65. Erosion de berge † 3. YHU VDPRQW

Photo.-66. Erosion de berge † 3. YHU Vaval

3.5.5.6. AFFLUENT RAVINE SECHE - PARCELLE BL 71

Sur un affluent rive gauche de la Ravine Sèche, environ 850 m en amont de sa confluence, la berge au droit de la parcelle BL71 s'est dégradée durant le passage de la crue liée à Fakir (avril 2018).

La zone déstabilisée est située en aval du franchissement du chemin. La berge s'est effondrée en rive droite de la ravine.

L'analyse in-situ montre que l'effondrement de la berge est dû aux retours d'eau de ruissellement de la route vers la Ravine et principalement concentrés à ce niveau sur une berge sans protection spécifique.

Photo.-67. Ouvrage de franchissement et zone déstabilisée en rive droite

3.5.5.7. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN – PK -500

Au PK -500, au niveau de Cambuston, environ 450 m en aval du franchissement de la RN 2, la berge RD supportant les parcelles AH21 et AH22 s'est dégradée durant le passage de la crue liée à Fakir (avril 2018).

La zone érodée semble constituée de remblais (plus sensible à l'érosion).

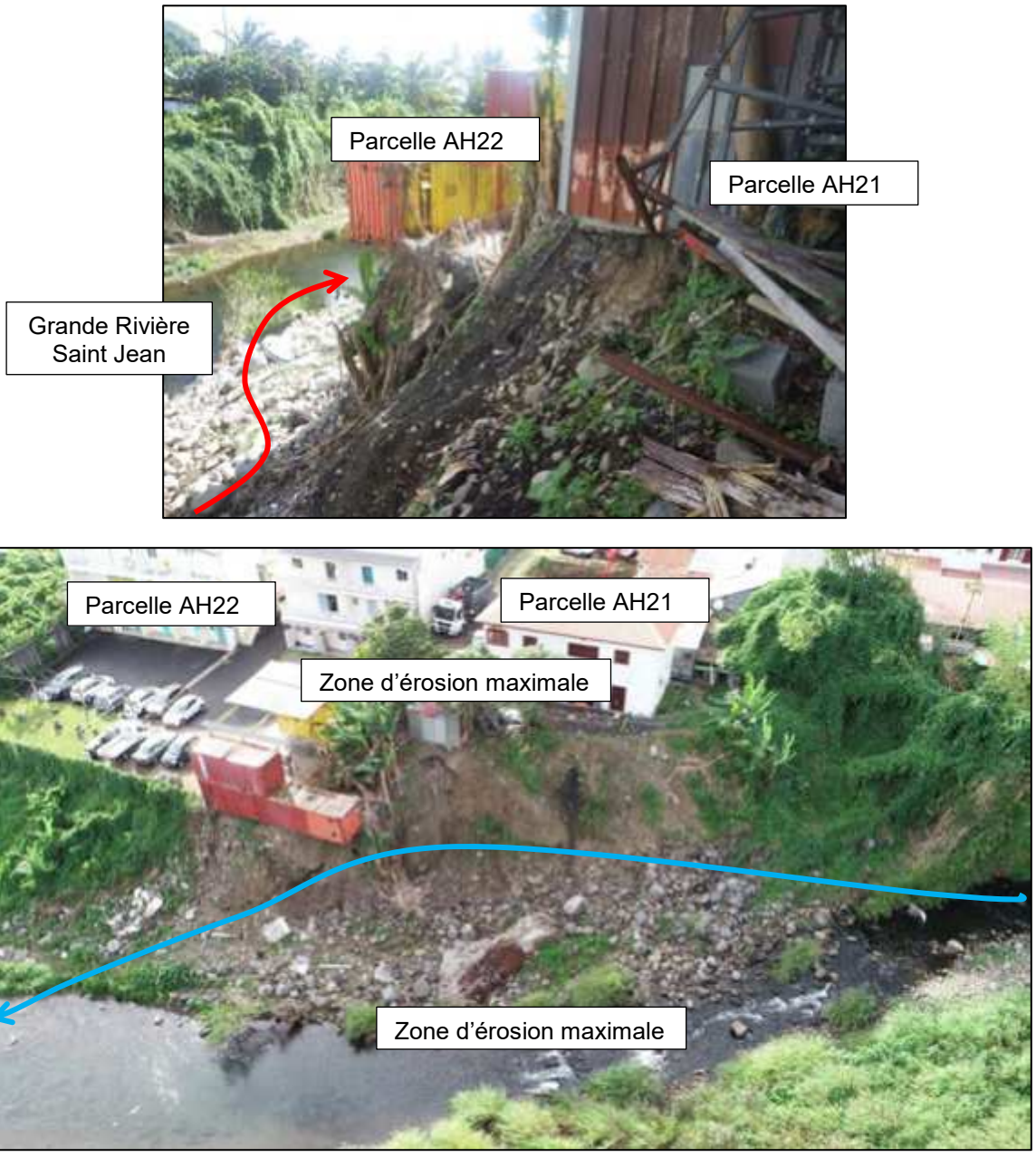


Photo.-68. Erosion de berge †Grande Rivière Saint-Jean PK -500

L'analyse comparative des photos aérienne de 1961 / 1997 et 2013 montre l'évolution des constructions. Dans un premier temps en terrasse supérieure de la rivière (notamment pour la parcelle AH21 – photo 1997) puis dans un second temps jusqu'en limite du lit courant de la ravine (essentiellement sur la parcelle AH22 – photo 2013).

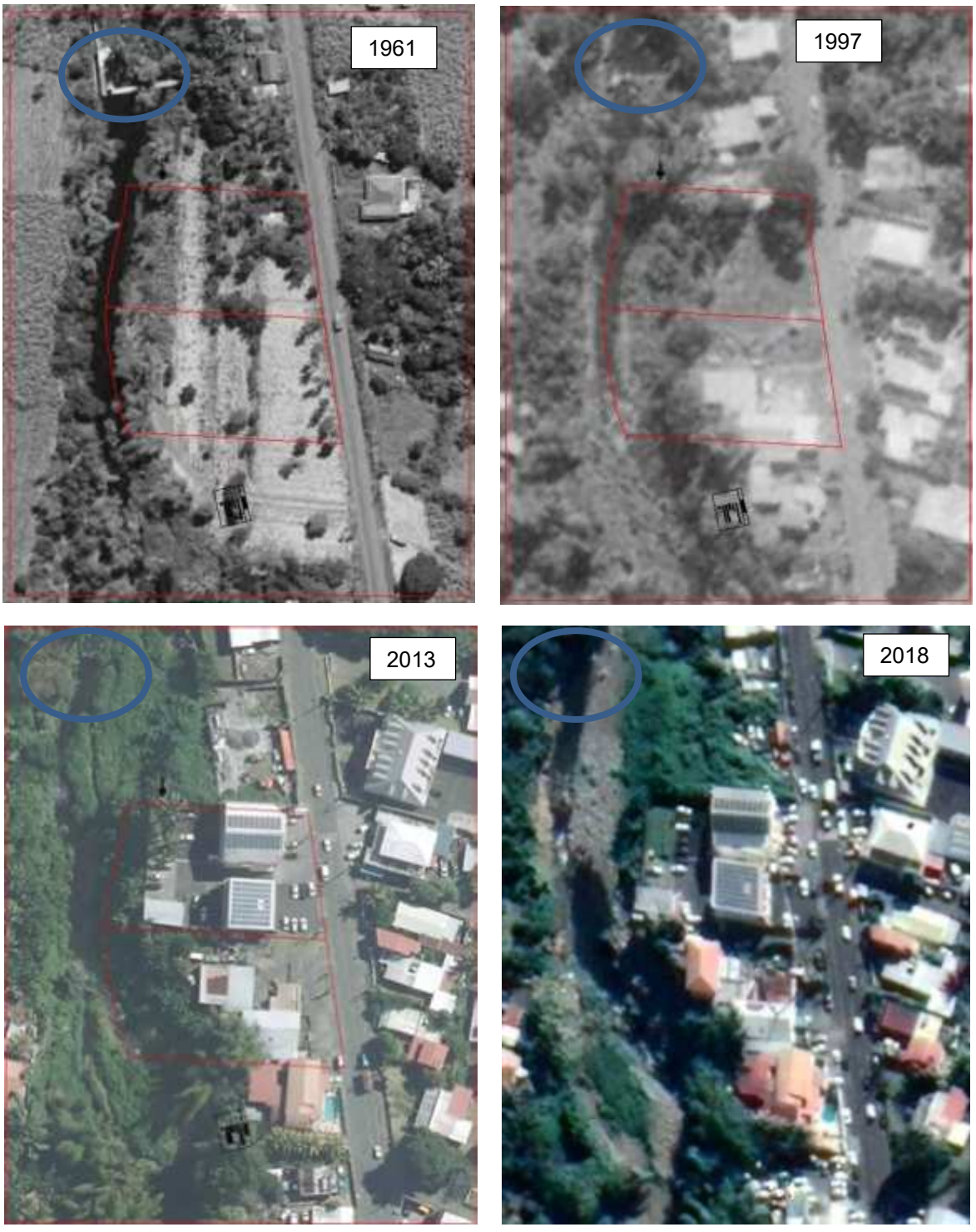


Fig. 41. Erosion de berge †Grande Rivière Saint-Jean PK -500 - Comparaison des vues aériennes

Cette avancée constitue un point dur qui amplifie les phénomènes d'érosion en crue et est en grande partie responsable des désordres observées.

On peut aussi noter la présence d'un seuil (prise d'eau) en aval de la zone d'étude, très visible en 1961, il apparait dégradé sur la photo de 1997 et a complètement disparu en 2013. Ce seuil participait à la stabilisation du lit mineur de la ravine.

3.5.5.8. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN AU PK – 650 EN RG (COMMUNE BEGUE)

En parallèle des désordres observés en RD, la berge en RG, constituée en pied de coulée boueuse, a souffert d'une érosion lente au gré des crues successives, amplifiée par le passage de la crue liée au cyclone Fakir (avril 2018). Les désordres ayant débuté avant Fakir, ils sont décrits au § 3.5.1.

3.5.5.9. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN AU PK – 950 EN RG (CHEMIN GONZAGUES)

Les désordres sur ce secteur ayant débuté avant Fakir, ils sont décrits au § 3.5.1.

3.5.5.10. GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN AU PK – 2000 EN RG (RESIDENCE SIDR)

Les désordres sur ce secteur ayant débuté avant Fakir, ils sont décrits au § 3.5.1 et rappelés ici.

Au PK -2000, la berge située devant la résidence SIDR est dégradée durant Fakir (avril 2018). Un recul de berge de l'ordre de 3 à 4 m est constaté entre 2012 et 2018.

Photo.-69. Vue aérienne GRSJ au PK †2000 post Fakir (avril 2018)

Photo.-70. Berge dégradée de la GRSJ au PK †2700 post Fakir (avril 2018)

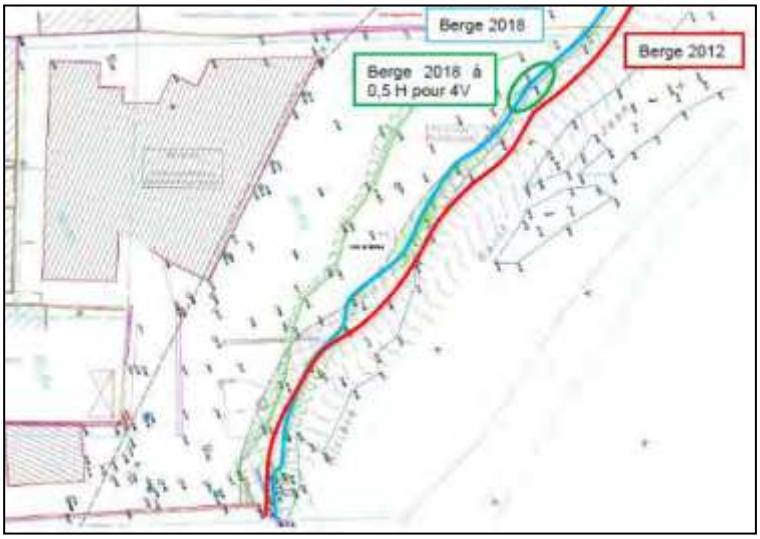


Fig. 42. Analyse topographique du recul de berge

3.5.5.1. TRAVAUX PROPOSES – A VENIR

Sur l'ensemble de ces secteurs, des travaux vont être réalisés.

Les travaux d'urgence sur le territoire de Saint-André ainsi que ceux de la SIDR et de commune Bègue ont fait l'objet d'une mission de maîtrise d'œuvre spécifique confiée à Artelia.

Les travaux d'urgence sur le secteur du chemin Gonzagues ont fait l'objet d'une mission de maîtrise d'œuvre spécifique confiée à Hydrétudes.

Ces travaux sont prévus être réalisés début 2019 pour les travaux coté Saint-André, et avant fin 2019 pour les travaux coté Sainte-Suzanne. L'objectif de ces travaux est de sécuriser les zones dégradées durant Fakir qui présentent des risques accrues de déstabilisation des berges actuellement le plus rapidement possible.

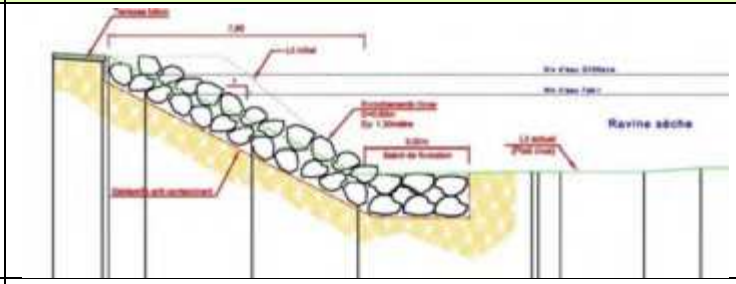
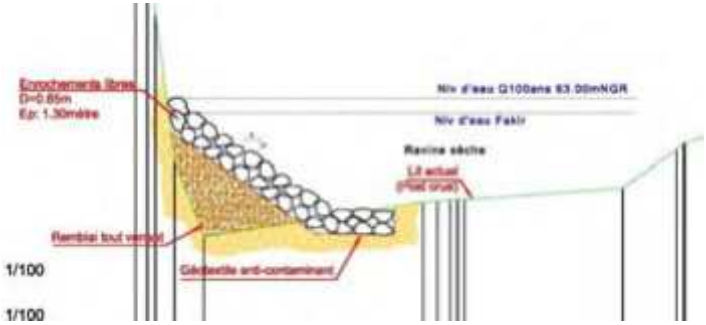
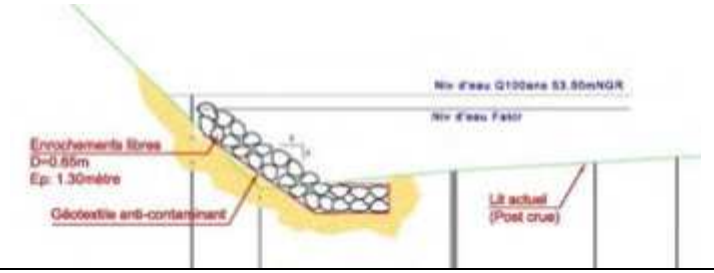
Les principales caractéristiques pour chaque zone de travaux sont reprises dans le tableau en page suivante.

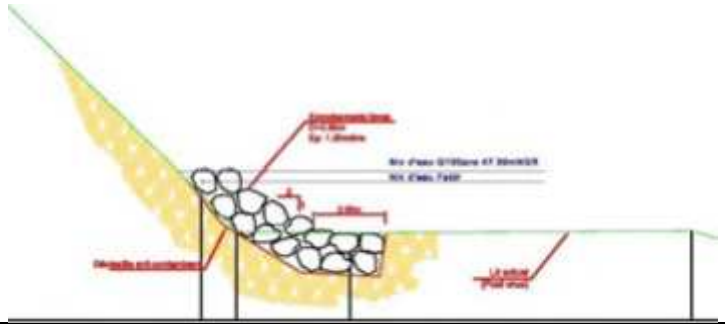
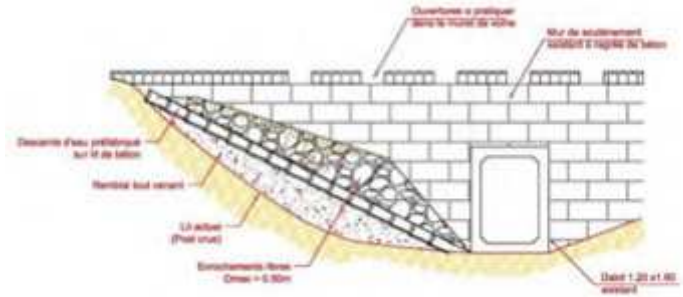
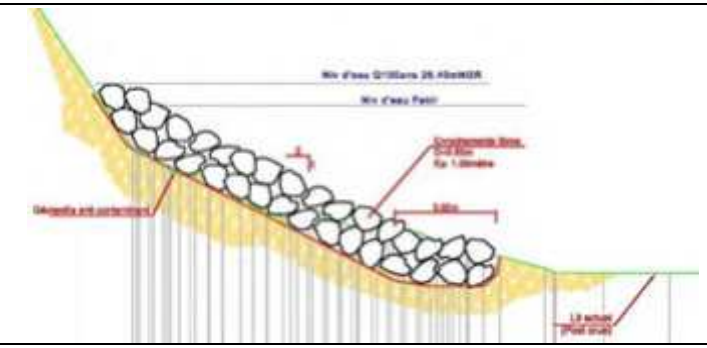
L'ensemble de ces travaux ont fait l'objet de démarches règlementaires (demandes d'AOT et dossier loi sur l'eau notamment).

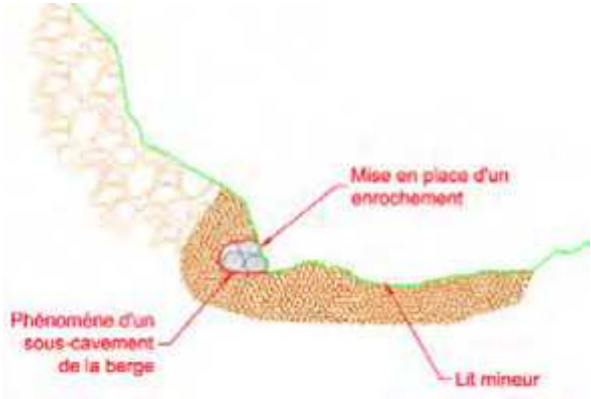
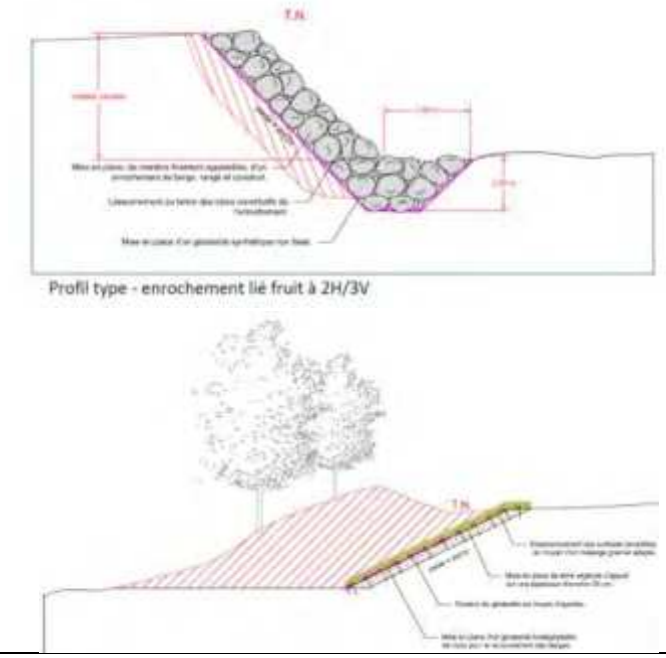
Ces travaux sont qualifiés de travaux d'urgence car ils ont dû être menés rapidement après les désordres, afin d'éviter le passage d'une nouvelle crue sur ces zones fragilisées. Les travaux prévus et décrits ci-après sont supposés consolider les berges localement et temporairement. Les blocs mis en place sont dimensionnés pour être stable pour une crue de période de retour estimée à 30 ans. Cependant, la pérennité de cette protection doit être confirmée avec une vision globale des aménagements à l'échelle du cours d'eau et non à l'échelle de la parcelle.

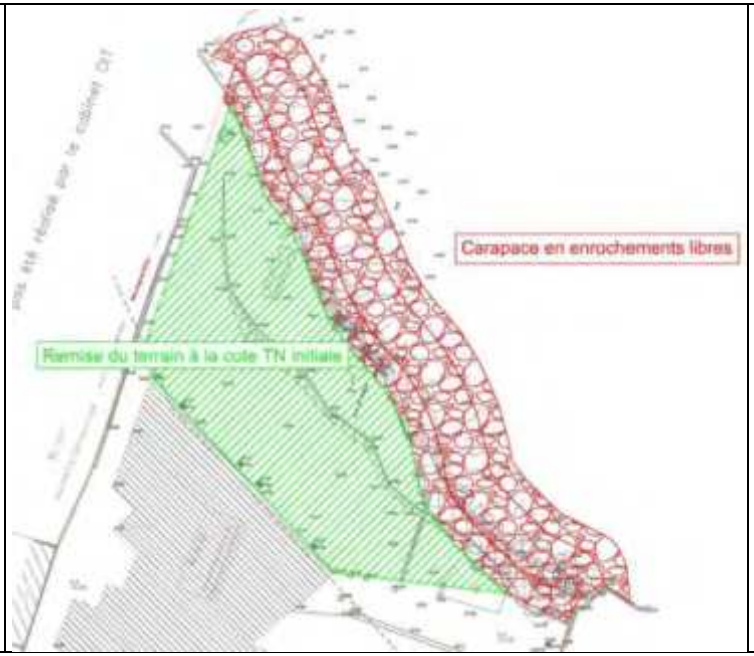
Seuls les travaux prévus sur le secteur du chemin Gonzagues ont été dimensionnés pour crue centennale.

Tabl. 7 - 7UDYDX[G•XUJHQFH SRVW)DNLU

ZONE CONCERNEE	CARACTERISTIQUES DES TRAVAUX	SCHEMA DE PRINCIPE	PROPRIETE DU SITE (DPF/PRIVE)	ENJEUX PROTEGES	NIVEAU DE PROTECTION
Ravine Sèche – PK 3450	Carapace en enrochement libre posé sur géotextile Linéaire de reprise 50 m ; Talus à 2/1 en enrochements libres ; D50 à 0,65 m. MOA : CIREST MOE : Artelia		DPF + parcelles privées	2 habitations / 6 personnes estimées	Q_{30} si inspections et entretiens réguliers.
Ravine sèche – PK 1300 et PK 1200	Carapace en enrochement libre posé sur géotextile en RD et en RG (protection d'une canalisation EU) ; Linéaire de reprise total : 30 m + 35 m / 40 m en RG Talus à 2/1 en enrochements libres ; D50 à 0,65 m Gabion sur 22 m en amont RD MOA : CIREST MOE : Artelia		DPF + parcelles privées	5 habitations / 15 personnes estimées + Axe de circulation majeur à proximité (35 m en retrait de la berge)	Q_{30} si inspections et entretiens réguliers.
Ravine sèche – PK 930	Carapace en enrochement libre posé sur géotextile Linéaire de reprise 90 m ; Talus à 3/2 en enrochements libres ; D50 à 1 m. MOA : CIREST MOE : Artelia		DPF	3 habitations / 9 personnes estimées + Axe de circulation majeur à proximité	Q_{30} si inspections et entretiens réguliers.

Ravine Sèche – PK 420	Carapace en enrochement libre posé sur géotextile Linéaire de reprise 80 m ; Talus à 2/1 en enrochements libres ; D50 à 0.65 m. MOA : CIREST MOE : Artelia		DPF + parcelles privées	3 habitations / 9 personnes estimées	Q_{30} si inspections et entretiens réguliers.
Affluent ravine Sèche - Parcelle BL71	Mise en place d'une descente en écailles afin de guider les eaux complétée d'une carapace en enrochements libres Talus à 2/1 en enrochements libres ; D50 à 0,65 m. MOA : CIREST MOE : Artelia		Parcelles privées + voirie communale	1 habitation / 3 personnes estimées + Axe de circulation majeur à proximité immédiate	Q_{30} si inspections et entretiens réguliers.
Grande Rivière Saint-Jean – PK - 500	Carapace en enrochement libre posé sur géotextile Linéaire de reprise 90 m ; Talus à 2/1 en enrochements libres ; D50 à 0,65 m. MOA : CIREST MOE : Artelia		DPF + parcelles privées	5 bâtiments / 20 personnes en activité estimées + Axe de circulation majeur à proximité	Q_{30} si inspections et entretiens réguliers.

Grande Rivière Saint-Jean – RG – PK-650 (commune Bègue)	Comblement de la zone sous cavée par de l'enrochement libre. Cette protection permet de ralentir le phénomène érosif et d'apporter une butée supplémentaire à la berge, mais reste peu pérenne. Le risque de déstabilisation de la coulée boueuse et l'instabilité de la berge la surplombant persiste. MOA : CIREST MOE : Artelia		DPF	2 habitations / 6 personnes estimées	Faible
Grande Rivière Saint-Jean – RG – PK-1000 (Ch. Gonzagues)	Carapace en enrochements liés 2H/3V de 91 ml Sur la RG Arrasement de la terrasse dans l'intrados (RD) Talus RD ensemencé MOA : CINOR MOE : Hydrétudes		DPF + parcelles privées	2 habitations / 6 personnes estimées	Q_{100} si inspections et entretiens réguliers.

Grande Rivière Saint-Jean – RG – PK -2000 (SIDR) :	carapace en enrochements libres MOA : SIDR MOE : Artelia		Parcelle privée	Résidence SIDR	Q_{30} si inspections et entretiens réguliers.

3.5.6. (PSLqWHPHQW GDQV OH OLW GHV FRXUV G•HDX

3.5.6.1. ANALYSE DIACHRONIQUE 1989-2017

L'empiètement des terrains dans le lit mineur est préjudiciable

- Pour la stabilité des berges empiétantes,
- Sur le risque de déstabilisation du lit et des berges en amont, en aval et en rive opposée,
- Sur le risque d'obstruction de la capacité des écoulements.

Les reconnaissances de terrains montrent que certains riverains pourraient avoir étendu leur terrain dans le cours d'eau. Cependant, sans levés topographiques initiales, il est difficile d'identifier précisément ces parcelles et la surface empiétée.

Ainsi, une analyse diachronique est menée à partir des données existantes les plus pertinentes :

- De la carte IGN au 5000ème de l'ile de la Réunion, réalisée en 1979 et mise à jour en 1989 **en noir** ;
- De l'orthophoto 2017 de l'IGN en couleurs en fond de plan.

Les observations sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

1/ GRSJ RG – PK-2500

=> 1 bâtiment semble empiéter sur l'emplacement du lit en 1989.

2 bâtiments sont proches de l'emplacement du lit en 1989.

2/ GRSJ RD – PK-1000

=> 4 bâtiments pourraient avoir été construits sur la berge de1989.

3/ GRSJ RD – PK-800

=> 1 bâtiment pourrait avoir été construit sur la berge de1989.

4/ GRSJ RD – PK750

=> 1 bâtiment semble empiéter sur l'emplacement du lit en 1989.

5/ GRSJ RD – PK-600

=> 1 bâtiment semble empiéter sur l'emplacement des berges de 1989.

6/ GRSJ RD – PK-500

=> 1 parking et 1 bâtiment semblent empiéter sur la berge de 1989.

7/ GRSJ RD – PK-200

=> 1 exploitation semble empiéter sur la berge de 1989.

8/ GRSJ RG – PK1100

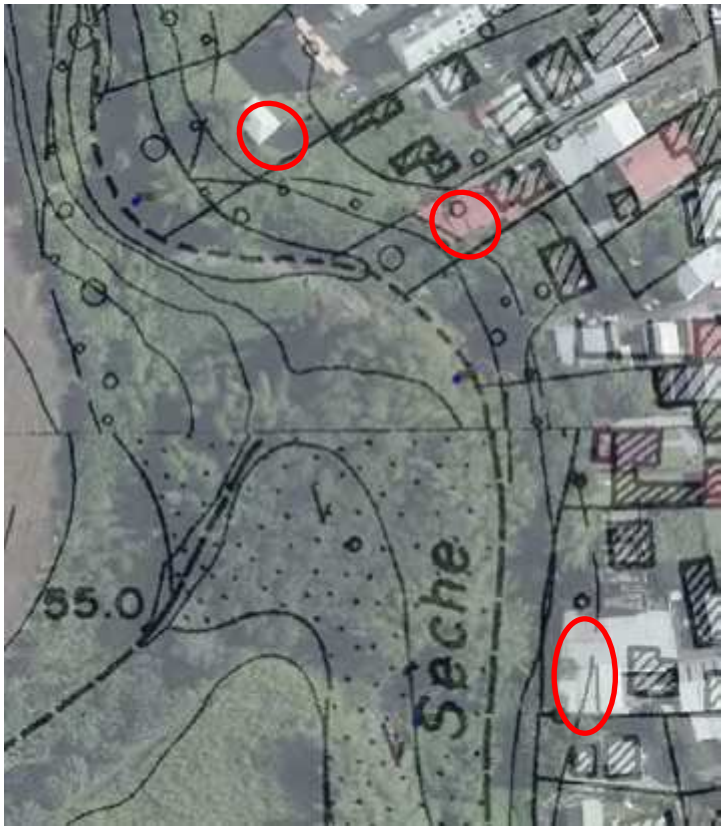
=> 3 bâtiments semblent empiéter sur la berge de 1989.

9/ Ravine Sèche RD PK100

1 bâtiment est positionné sur la berge de 1989.

10/ Ravine Sèche RD PK100

1 bâtiment est positionné sur la berge de 1989.



11 à 13/ Ravine Sèche RD PK800 à 1000

3 bâtiments sont positionnés sur la berge de 1989.

14 et 15/ Ravine Sèche RD PK 1300

2 bâtiments sont positionnés dans le lit historique de 1989.

16 / Ravine Sèche RD PK 3400

1 bâtiment est positionné sur la berge de 1989.

La figure en page suivante synthétise ces empiètements constatés.

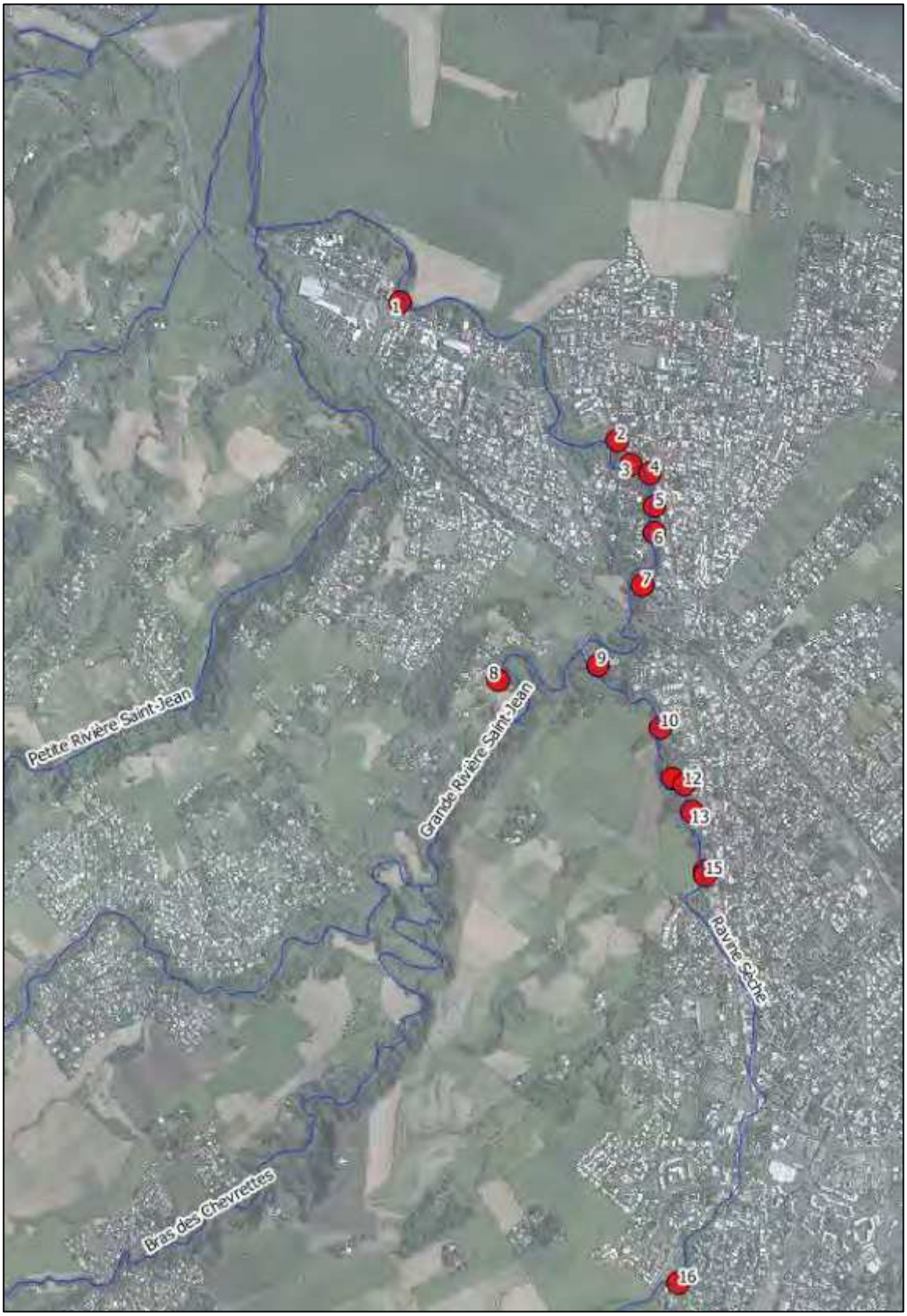


Fig. 43. Analyse diachronique (2017-1989) et empiètements observés dans le DPF

3.5.6.2. OPERATIONS RELEVEES PAR LA DEAL

Le tableau suivant liste les opérations non autorisées ou non conformes relevées par la DEAL dans le lit mineur des cours d'eau concernés.

Commerçant		Commune	Parcelle	Lieu-dit	Cours d'eau	Procédure	Observations	Op
BALACE	Philippe	BRAS PANON	AE 0061	Refuge	Riv . Bras Panon	Rapport Ctrl pas envoyé	Vérifier W avant envoi	
RIVIERE FENELON PAQUIRY	Nicolas /	ST ANDRE	AZ 552	Riv Mat les Bas	Riv du Mât	RMA RMA RMA	/ Entreprise effectuant Ws chez Rivière /	
CIREST		ST ANDRE	AH 21&22	Av. Mascareignes	Grde Riv St Jean	demande justifications	W autorisés non conformes au projet (récolement)	/
SCI INCANA		ST ANDRE	AH 26	Cambuston	Grde Riv St Jean	PCGV – Tribunal	mur a démolir	
SA Adrien BELIER		ST ANDRE	AB 337	Cambuston	Grde Riv St Jean	RMA	Travaux stoppés	OK
LATCHIMY	Daimin	ST ANDRE	AH119	Av. Mascareignes	Grde Riv St Jean	LMD	Ws construent ? (riverain) – PVGV	
ANANDIN	Jeanny	ST ANDRE	AH 0015	Av. Mascareignes	Grde Riv St Jean	Rappel Reglem	déversement déblais – enlevés	OK
GANNE	Rémy	ST ANDRE	BS 112	Ti Trou	Riv du Mât	Rapport Ctrl	Construction + aménagements EBC = Urbanisme + (Antenne)	/
?	?	ST ANDRE	?	Menciol	Bras des Chevrettes		à voir avec BNOI (gros dépôts signalés)	
THEVENIN	Julien	STE SUZANNE	BH 1114	Deux Rives	Petite Riv St Jean	Rapport Ctrl	Entreprise effectuant Ws chez Theverin	
POULBASSIA	Marie Juliane	STE SUZANNE	AK 33	Le Brûlon	Ruisseau Emmanuel	RMA		
BARCATOULA PAULO	Augustin&Olga	STE SUZANNE	AH 195	Maingard	Grde Riv Ste Suzanne	Transaction pénale RMA	/ Entreprise loue terrain Barca	
DUGAIN		STE SUZANNE		Deux Rives	Bras Douyere	AMD	Aménagement terrain agricole	/

La figure suivante localise ces opérations.

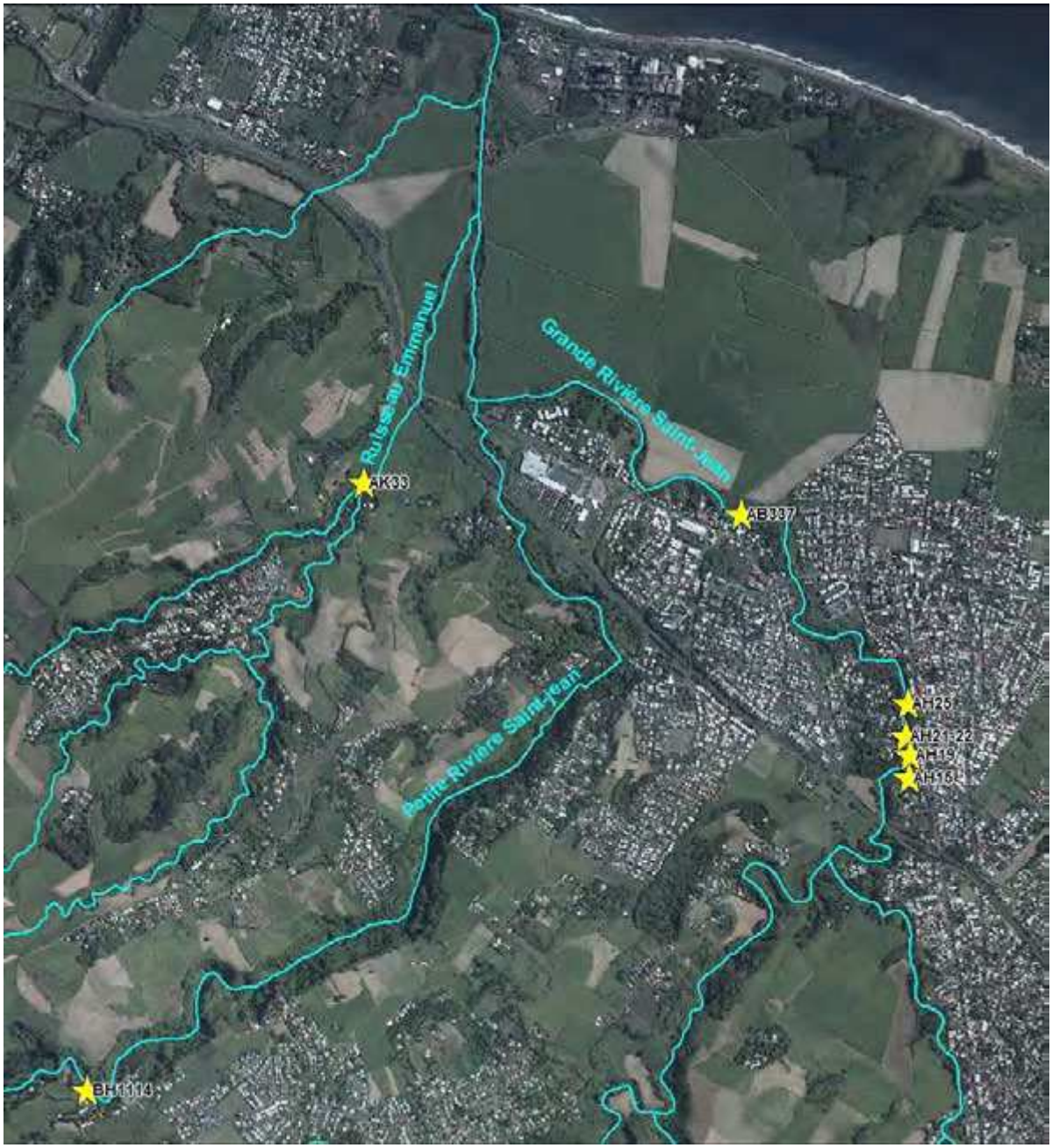


Fig. 44. Localisation des opérations relevées par la DEAL

3.5.6.3. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

3.5.6.3.1. Arrêté ministériel du 26 décembre 2006 relatif à l'identification et la gestion du DPF de l'état à la Réunion

L'arrêté n°06-3077/SG/DRCTCV du 21/08/2006 identifie les ravines situées dans le DPF à la Réunion. La Petite Rivière St Jean, la Grande Rivière St Jean, la Ravine Sèche et le Foutac sont situés dans le DPF.

La DEAL est le service chargé de la gestion du DPF et notamment, du maintien du libre écoulement des eaux et de la délivrance des Autorisation d'Occupation Temporaire (AOT).

Au-delà, les servitudes forestières et hydrauliques ainsi que le Code Civil, pour les aspects hydrauliques, s'appliquent pour les cours d'eau.

La limite exacte du DPF correspond aux plus hautes eaux avant débordement.

3.5.6.3.2. Servitudes forestières (ravines)

La servitude forestière, instituée par le décret n° 79-430 du 31 mai 1979 (article L.363- 12 du Code forestier), entraîne **l'interdiction de défricher**, d'exploiter et de faire paître sur les versants des rivières, bras ou ravines et de leurs affluents. Les dispositions de l'article précédent s'appliquent :

- Aux versants des rivières, bras ou ravines et de leurs affluents, aux pentes supérieures ou égales à 30 grades ;
- Aux abords des rivières, bras ou ravines et de leurs affluents sur une largeur de 10 mètres de chaque côté, à partir du niveau atteint par les plus hautes eaux.

Il est d'usage à la Réunion d'appliquer cette servitude forestière sur une bande de 10 mètres à partir de la crête d'une ravine ou d'un versant de rivière dont la pente est supérieure ou égale à 30 grades. Cette servitude peut être réduite à 1 ou 3 mètres à la demande des riverains.

3.5.6.3.3. Servitude de marche pied

La **servitude de marchepied** est instaurée par l'article L2131-2 du **Code Général de la Propriété des Personnes Publiques** (CGPPP). Elle correspond à une bande d'une largeur de 3.25 m comptée à partir de la limite du DPF :

Les propriétaires riverains d'un cours d'eau ou d'un lac domanial ne peuvent planter d'arbres ni se clore par haies ou autrement qu'à une distance de 3,25 mètres. Leurs propriétés sont grevées sur chaque rive de cette dernière servitude de 3,25 mètres, dite servitude de marchepied.

Tout propriétaire, locataire, fermier ou titulaire d'un droit réel, riverain d'un cours d'eau ou d'un lac domanial est tenu de laisser les terrains grevés de cette servitude de marchepied à l'usage du gestionnaire de ce cours d'eau ou de ce lac, des pêcheurs et des piétons.

Cette servitude peut être réduite jusqu'à 1.5 m par application de l'article L2131-2 du CGPPP :

Lorsque l'exercice de la pêche, le passage des piétons et les nécessités d'entretien et de surveillance du cours d'eau ou du lac le permettent, la distance de 3,25 mètres mentionnée à l'article L. 2131-2 pour la servitude de marchepied peut être exceptionnellement réduite, sur décision de l'autorité gestionnaire, jusqu'à 1,50 mètre.

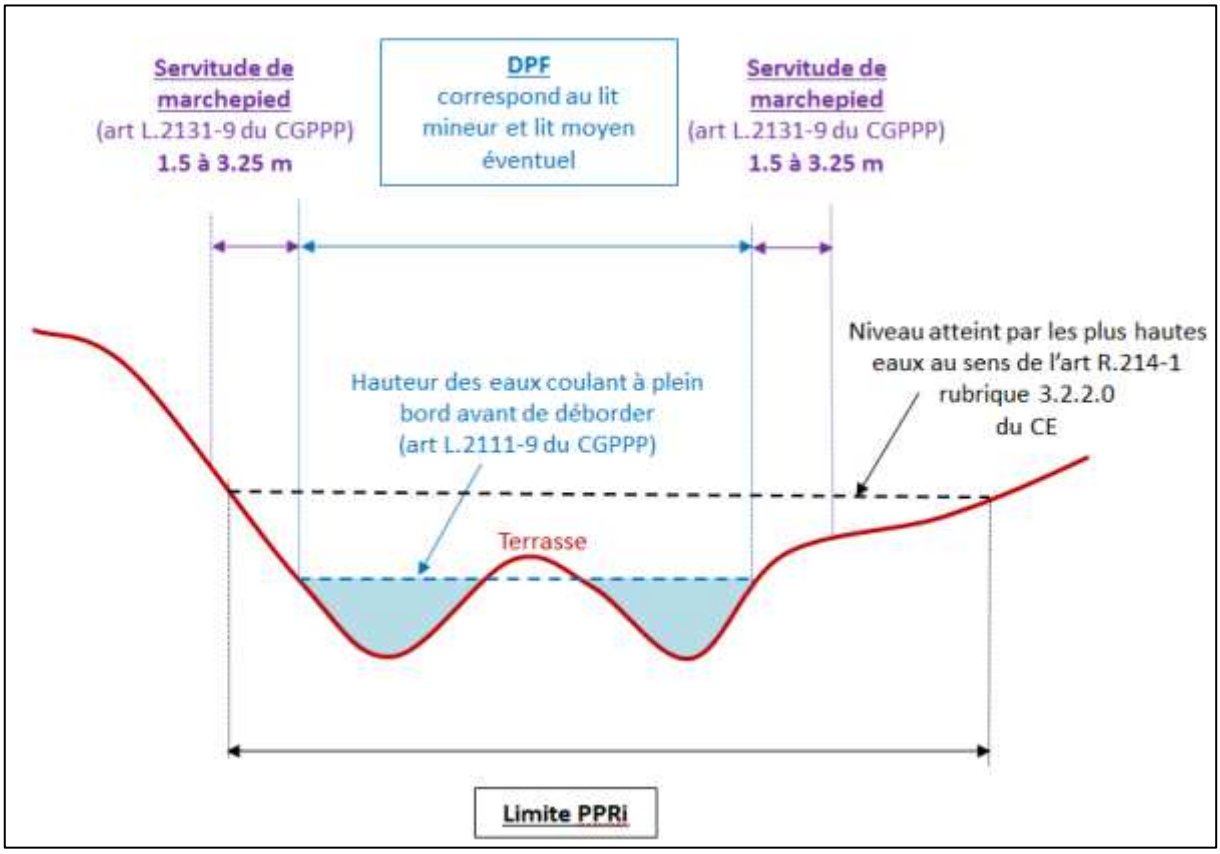


FIG. 45. Schéma type de positionnement de la servitude hydraulique

4. ANALYSE GEOMORPHOLOGIQUE

4.1. PROFIL EN LONG GENERAL DU LIT

La forme générale des profils en long de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses principaux affluents est représentée sur les figures fournies pages suivantes. Ils sont issus du PGRi. Ils ont été établis à partir :

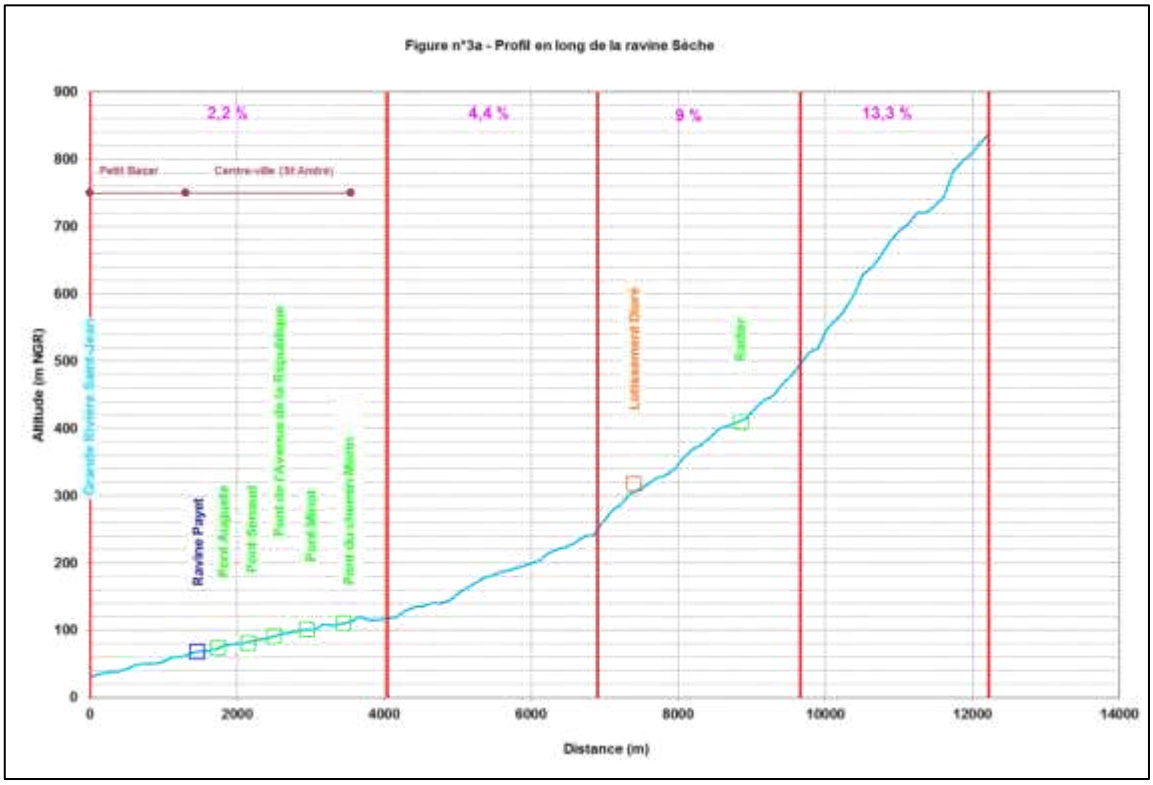
- De la BDTopo IGN de 1997 ;
- Des cartes IGN au 1/25 000 de 2002 ;
- Des levés topographiques terrestres réalisés dans le cadre du PGRi.

En plus du profil des fonds, la figure présente les pentes des cours d'eau par tronçons homogènes.

De façon classique, la pente décroît d'amont en aval avec toutefois quelques singularités observées sur la Petite Rivière Saint-Jean ou le ruisseau Emmanuel qui connaissent tous deux une accentuation de leur encaissement à mi-parcours (PK 7000 pour la Petite Rivière Saint-Jean et PK 3000 pour le ruisseau Emmanuel).

La Grande Rivière Saint-Jean présente quant à elle une diminution continue de sa pente longitudinale qui est de 15 % en amont pour passer à 0,5 % dans la plaine de Bois Rouge.

Fig. 46. Profils en long général de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents



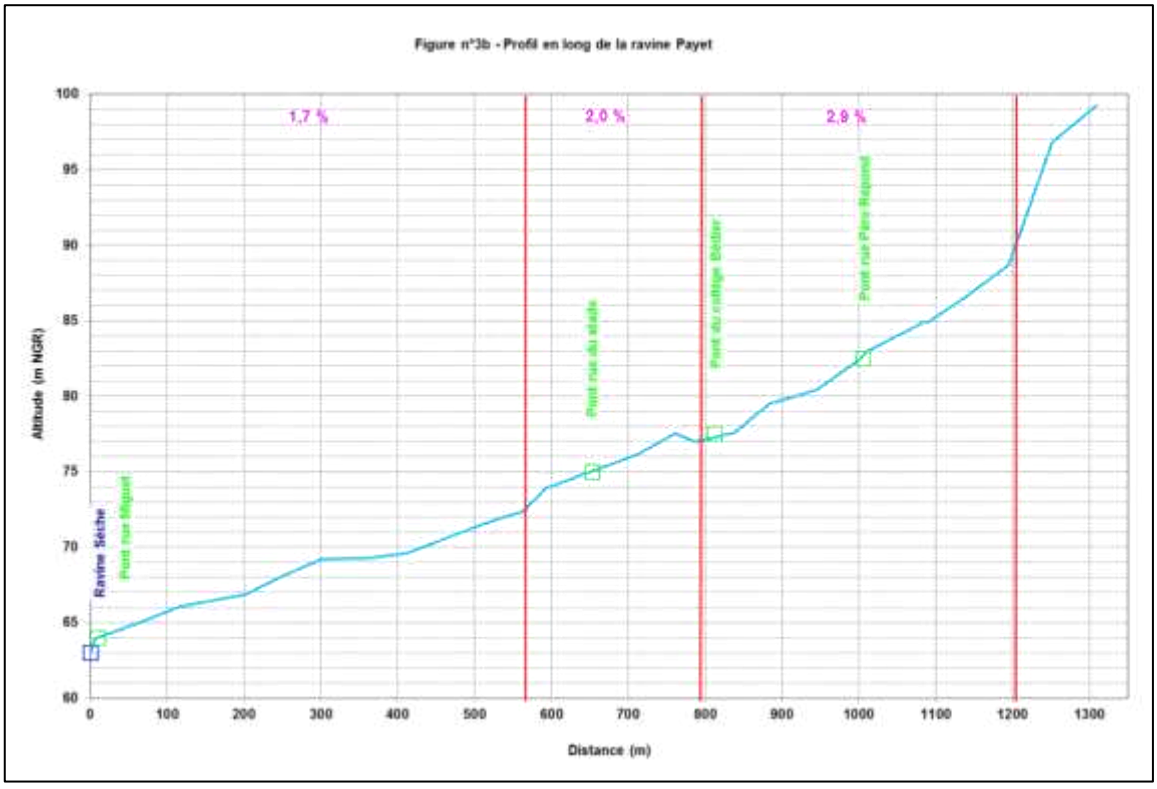


Figure n°3c - Profil en long de la Grande Rivière St-Jean

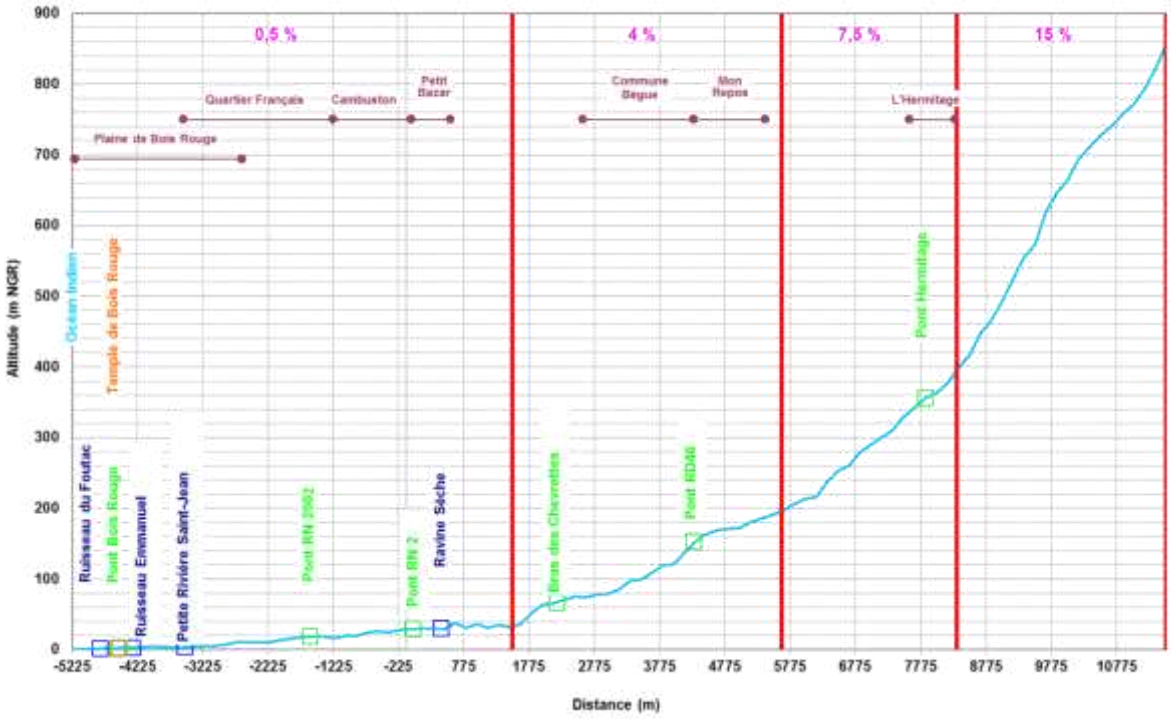
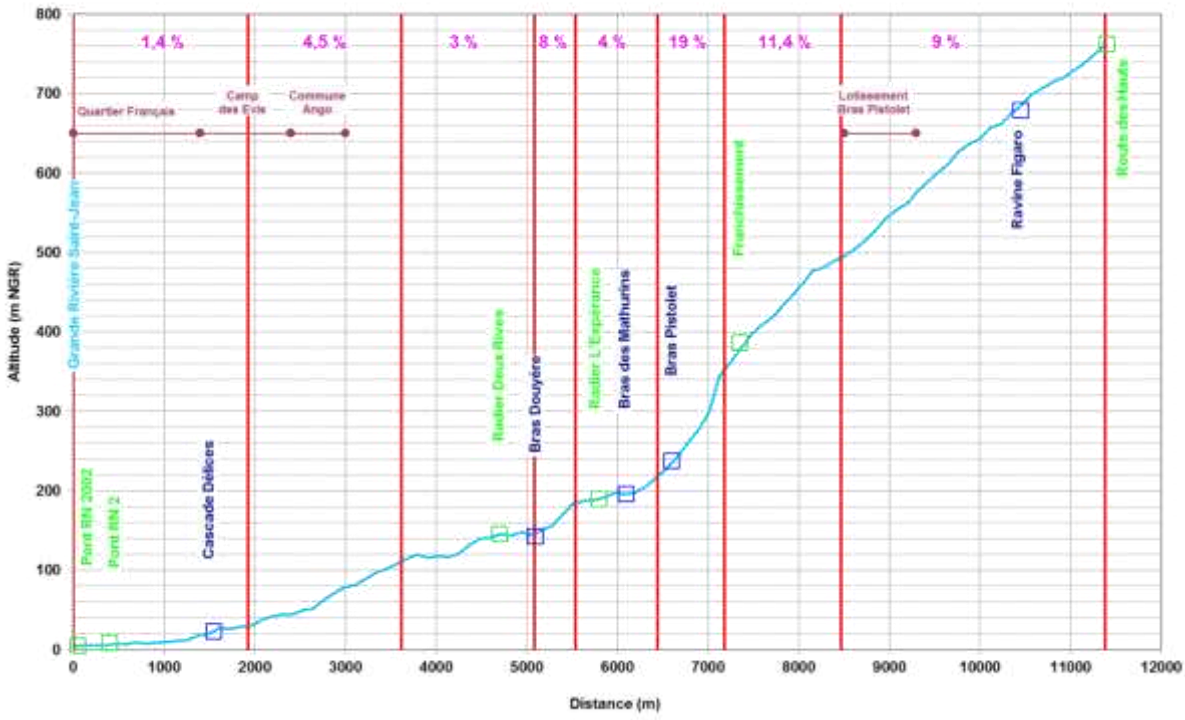


Figure n°3d - Profil en long de la Petite Rivière St-Jean



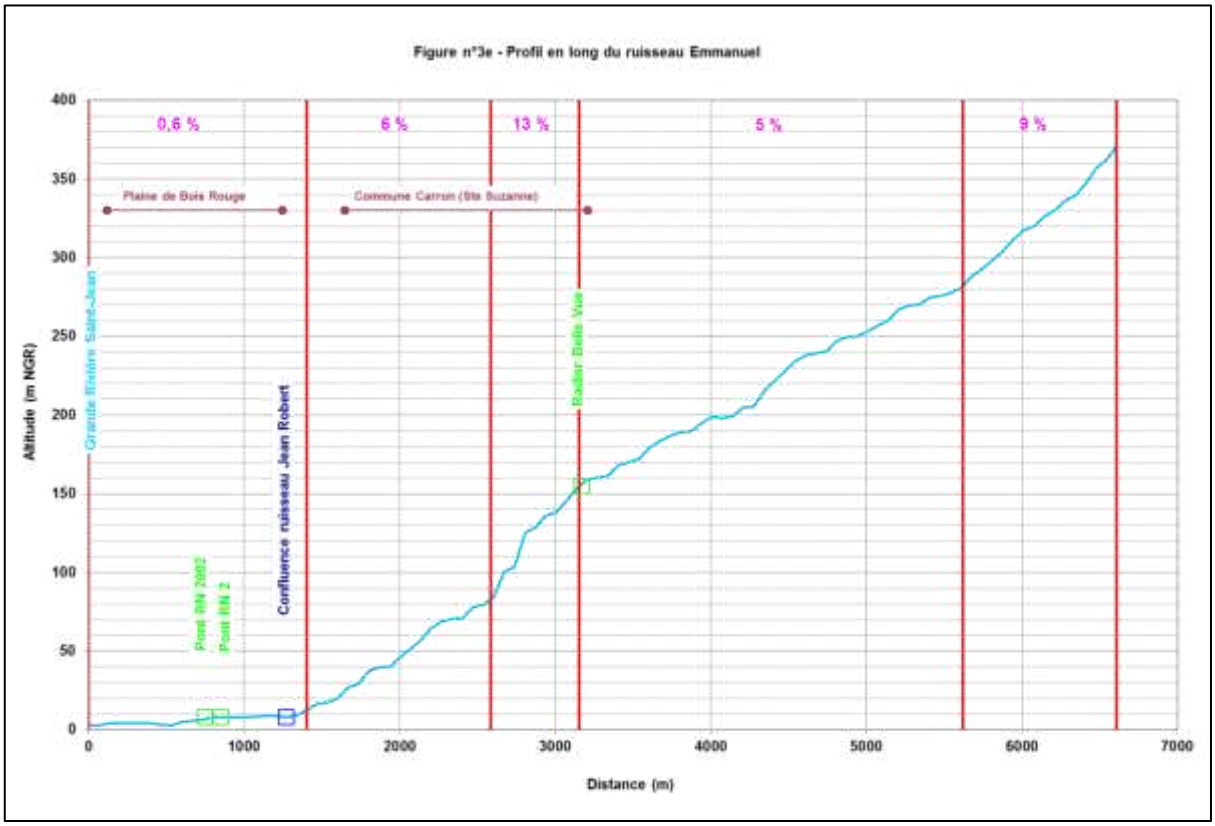


Figure n°3e - Profil en long du ruisseau Emmanuel
0,6 %
6 %
13 %
5 %
9 %
Plaine de Bois Rouge
Commune Carrun (Ste Suzanne)
Grande Rivière Saint-Jean
Confluence ruisseau Jean Robert
Radier Bois Vlse
Pont RN 2002
Pont RN 2
Altitude (m NGR)
Distance (m)
0
50
100
150
200
250
300
350
400
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000

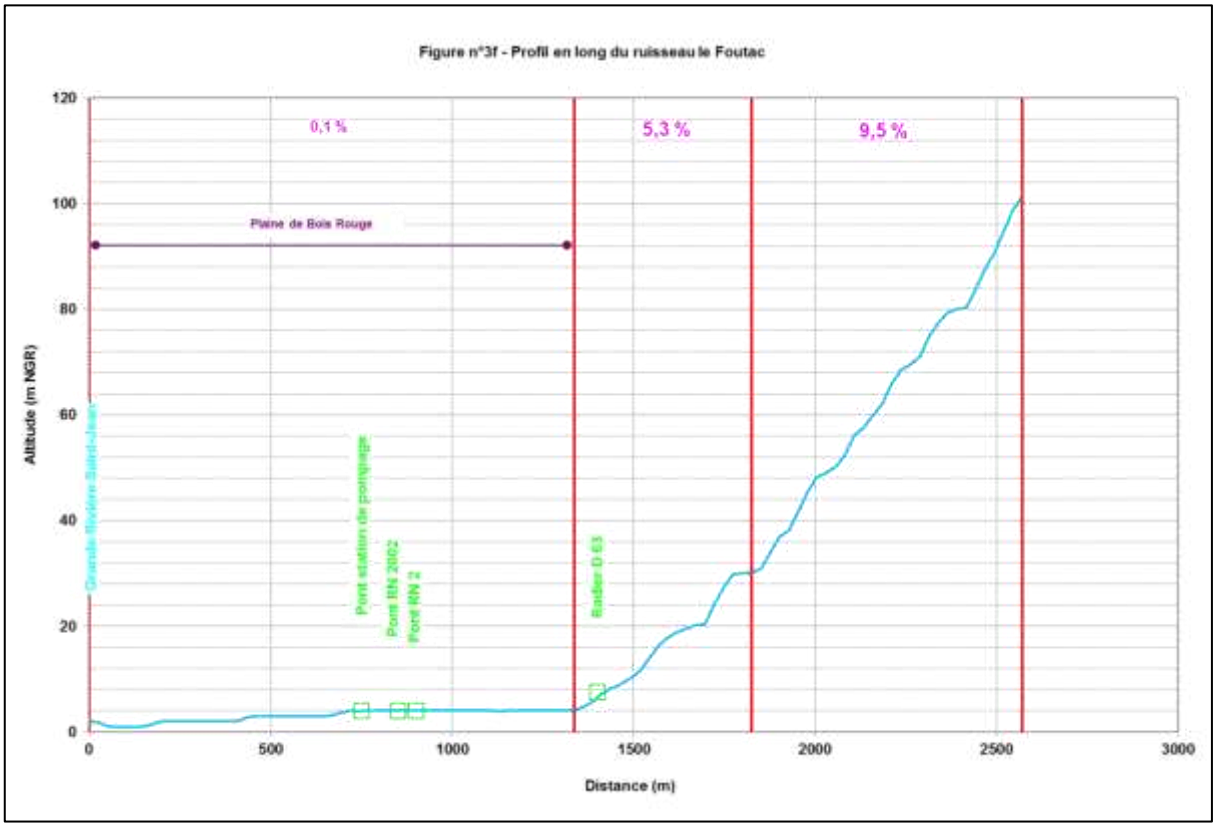


Figure n°3f - Profil en long du ruisseau le Foutac
0,1 %
5,3 %
9,5 %
Plaine de Bois Rouge
Grande Rivière Saint-Jean
Pont station de pompage
Pont RN 2002
Pont RN 2
Radier D 63
Altitude (m NGR)
Distance (m)
0
20
40
60
80
100
120
500
1000
1500
2000
2500
3000

La figure suivante localise les différents tronçons hydrographiques sur une vue en plan :

- En **rouge**, pente > 10% : on retrouve ces pentes élevées principalement en tête de bassin versant ou lors des chutes des cours d'eau. Les vitesses sur ces tronçons sont élevées, l'écoulement est souvent torrentiel, le pouvoir érosif est donc important.
- En **orange**, pente comprise entre 5 et 10% : on retrouve ces pentes élevées principalement en tête de bassin versant ou lors des chutes des cours d'eau. Les vitesses sur ces tronçons restent élevées, l'écoulement est souvent torrentiel, le pouvoir érosif est donc important.
- En **jaune**, pente comprise entre 2 et 5 % : il s'agit des secteurs intermédiaires des cours d'eau. Souvent assez profonds, les vitesses peuvent encore être importantes et le potentiel érosif dans les extrados est fort.
- En **vert**, pente < 2% : il s'agit des tronçons aval, les hauteurs d'eau y sont les plus importantes.

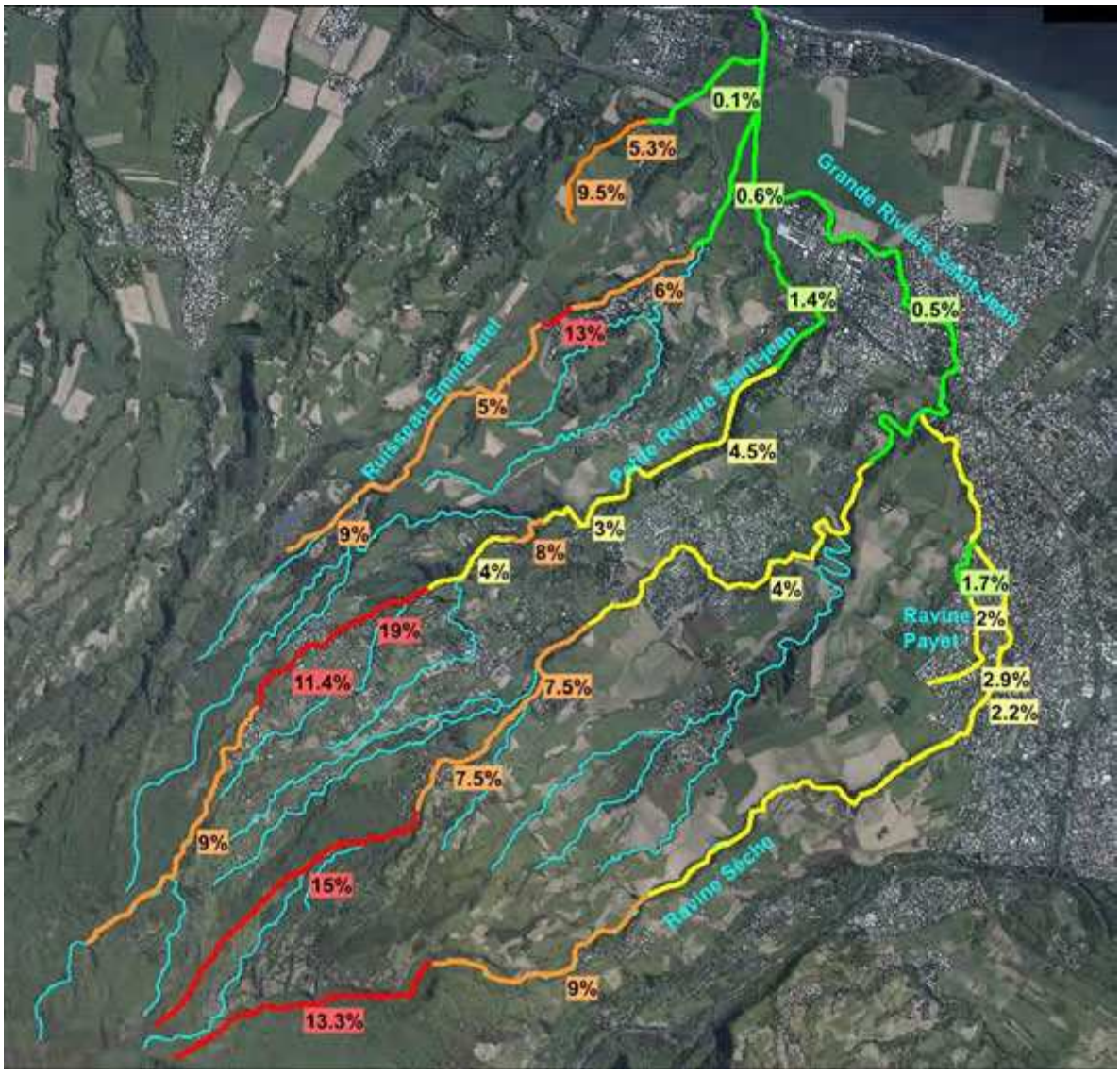


FIG. 47. Pentes GHV GLIIpUHQWV WURQoRQV KIGURJUDSKLTXHV GHV FR

4.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le PGRi définit dans le rapport de phases 2 & 3 les formations affleurantes en place.

Tabl. 8 - Synthèse du contexte géologique (source : PGRi)

Formations	Localisation	Caractéristiques
Substratum ancien (coulées de basalte)	Rive gauche du ruisseau Emmanuel. Rive gauche de la Ravine Sèche en amont du cimetière dans le centre ville de Saint-André (chemin des Roland sur 70 ml).	Roche « dure ». Peu d'incision des cours d'eau.
Coulées de lave récentes	Grande Rivière Saint-Jean : à partir et en amont de la cascade Pichon Petite Rivière Saint-Jean : en aval de la cascade Délice.	Roche « dure ». Peu d'incision des cours d'eau.
Tufs (brèches anciennes, souvent altérées	Rive gauche de la Petite Rivière Saint-Jean. Bras des Chevrettes, en amont de sa confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean	Facilement érodables. Tendance à l'incision des cours d'eau. Formation de méandres prononcés.
Formations argileuses	Berges de la Grande Rivière Saint-Jean et de la ravine Sèche, sur leur cours aval	Formation cohésive mais “tendre”. Formation propice aux glissements de terrain. Tendance à l'incision des cours d'eau. Formation de coudes marqués au dénivelé parfois important.
Alluvions du cône de déjection torrentiel de la Rivière du Mât	Berges de la ravine Sèche dans les portions non bétonnées de la traversée de la ville de Saint-André, en aval du pont Minot (RD et RG). Berges rive droite de la Grande Rivière Saint-Jean, sur son cours aval	Alluvions grossières hétérométriques (jusqu’à 500 voire 1 000 mm), à matrice sablo-graveleuse propre. Affouillables et soumises à l'érosion. Dépôts de matériaux possibles dans les intrados des méandres.
Alluvions issues de la planèze	Cours aval de la ravine Sèche et de la Grande Rivière Saint-Jean, Dans les basses terrasses surélevées de quelques mètres par rapport au lit de la rivière	Affouillables. Tendance à l'incision des cours d'eau. Dépôts de matériaux possibles. Formation de terrasses basses à l’intérieur des méandres.
Alluvions fluvio-lacustres de la plaine de Bois Rouge	Plaine de Bois Rouge	Alluvions sont de type lacustres, riches en éléments fins limoneux, argileux et organiques tourbeux. **Compressibles** : Des tassements de grande amplitude ont été constatés lors de la construction des remblais de la RN 2 en 1992. Affouillables.

		Dépôts de matériaux possibles.

4.3. 3+(120(1('•(526,21ET TRANSPORT SOLIDE

4.3.1. Les mouvements de terrain historiques recensés sur le bassin versant

Les mouvements de terrains recensés sur le bassin versant sont peu nombreux.

8 événements sont recensés dans la banque de données Mv du BRGM, 4 sont anciens et 4 ont été recensés lors des cartographies mouvements de terrain conduites sur les communes de Sainte-Suzanne et de Saint-André. Ils sont reportés sur la fig. 48 page suivante Ces mouvements sont exclusivement situés sur le bassin versant de la Petite Rivière Saint-Jean :

- 1 glissement sur la route des Hauts, vers la forêt Dugain ;
- 2 éboulements dans l'escarpement de Notre Dame des Hauts ;
- 2 glissements de terrain dans le versant de la Petite Rivière Saint-Jean ;
- 3 glissements vers le quartier des Délices, sur la butte et sur la route départementale.

Les quelques événements recensés sont localisés dans les secteurs plus pentus, à savoir, les secteurs de Délices et de Notre Dame des Hauts.

4.3.2. Les mouvements de terrain observés pendant les reconnaissances de 2010 (source PGRi)

Plusieurs mouvements de terrain ont été recensés dans les berges des cours aval des rivières visitées. Ils se situent :

- Dans les coudes de la Grande Rivière Saint-Jean entre la cascade Pichon et le pont de la RN 2002 ;
- Dans les berges de la Petite Rivière Saint-Jean à Deux-Rives ;
- Dans les talus des routes desservant les quartiers de Délices et Deux-Rives ;
- Sur la ravine Sèche, sur les sections non canalisées.

Ces mouvements se produisent soit dans les terrains argileux (colluvions, altérites) et/ou affouillables (alluvions lâches), soit dans les berges de grande hauteur. Les mouvements observés sont reportés sur la fig. 48 page suivante.

Les mécanismes d'érosion sont étroitement liés à la nature des terrains constituant les berges. Ainsi, les **glissements de terrain** surviennent dans **les terrains argileux** tels que les alluvions argileuses des berges de la Grande Rivière Saint-Jean, entre les ponts de la RN 2 et de la RN 2002, ou dans les colluvions argileuses et sols d'altération de la planèze (Deux-Rives).

Les berges constituées d'**alluvions gravelo-sableuses** sont sensibles aux phénomènes d'**affouillement** par les eaux en crue. Ces érosions de berge sont visibles dans les berges de la ravine Sèche, dans la traversée de la ville de Saint-André.

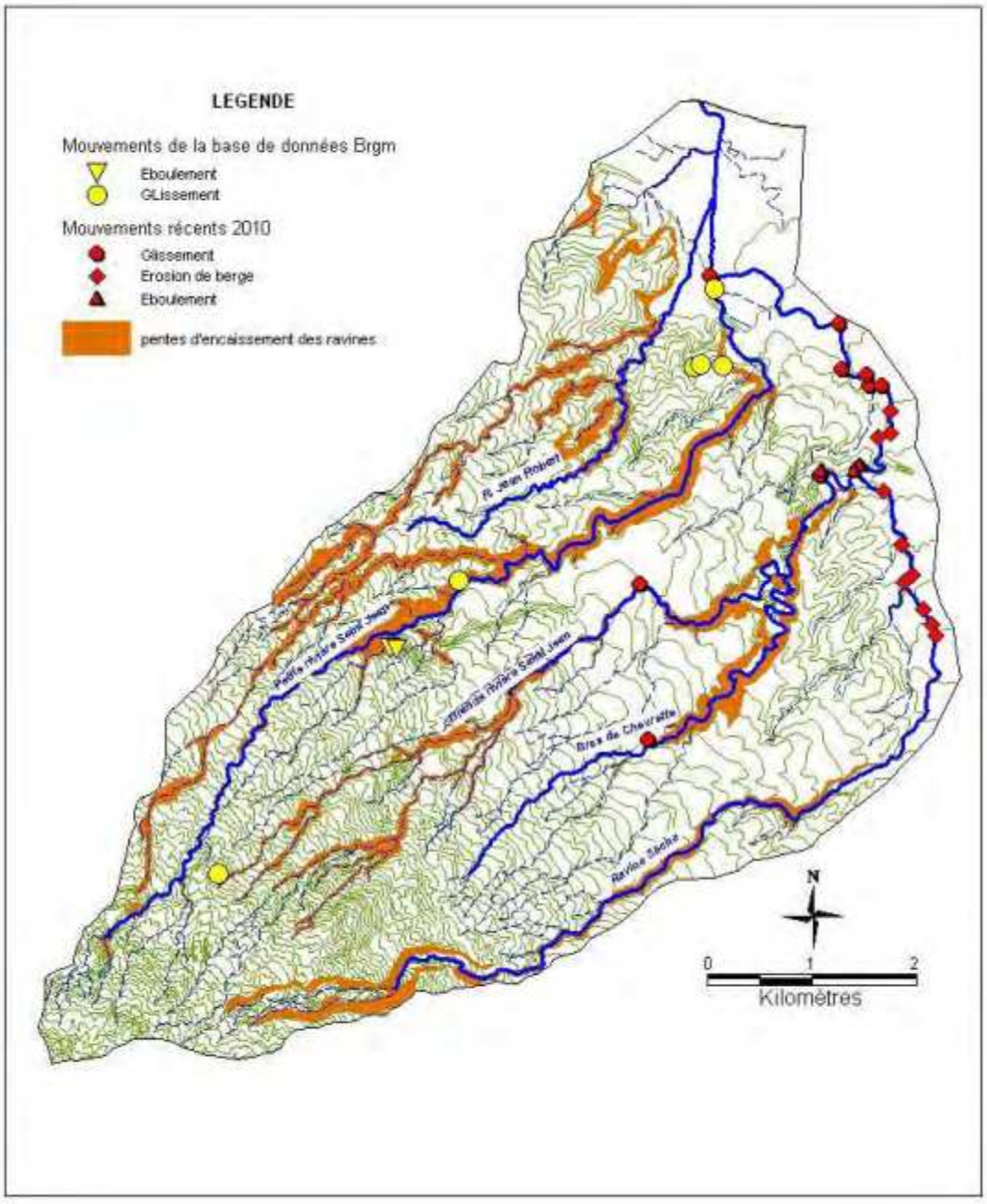


Fig. 48. †Mouvements de terrain recensés sur le bassin versant de la Grande Rivière St-Jean (en 2011)

4.3.3. Les mouvements de terrain observés pendant FAKIR (avril 2018)

Lors de Fakir, de nombreux phénomènes d'érosion de berge ont été observés. Ils concernent essentiellement la Grande Rivière Saint-Jean.

Ces mouvements de terrain sont décrits dans le § « Recensement des points noirs et points d'érosion ».

4.3.4. Comportement des terrains vis-à-YLV GH O•pURVLRQ

Les observations géologiques conduites sur les cours aval de la Grande Rivière Saint-Jean et sur la ravine Sèche dans le PGRi ont mis en évidence un **nombre important de points d'érosion des berges**. Ces phénomènes sont liés à la présence de terrains tendres et/ou facilement affouillables sur ces deux ravines comme les alluvions, les limons bruns. Sur le cours aval de ces deux cours d'eau, les affleurements rocheux sont rares.

Sur la Grande Rivière Saint-Jean, les derniers affleurements rocheux (basaltiques) apparaissent sur quelques centaines de mètres en aval de la cascade Pichon. Des gros blocs sont visibles vers le pont de la RN 2 et pourraient correspondre au vestige d'une coulée très altérée.

Quant à la ravine Sèche, les deniers pointements rocheux observés dans les berges sont visibles au *sud* de l'église de Saint-André.

En revanche, la Petite Rivière Saint-Jean et le ruisseau Emmanuel coulent sur un lit à fond rocheux pratiquement sur l'ensemble de leur cours jusqu'à la plaine littorale.

Sur la planèze, l'érosion se manifeste dans les ravines peu encaissées. Les berges y sont constituées d'altérites et de colluvions argileuses potentiellement instables. Tel est le cas sur le plateau de Deux-Rives où la Petite Rivière Saint-Jean érode la berge rive gauche constituée de colluvions argileuses.

Les tufs de la planèze amont sont également plus facilement érodables. Ils sont plus tendres que les coulées de laves massives. L'empilement de tufs et de coulées de laves est à l'origine des "morphologies de méandres" très particulières du bras des Chevrettes.

Pour appréhender le comportement érosif des terrains, une classification est proposée dans le tabl. 9 - et sur la figure présentée page suivante. Elle est empirique et s'appuie sur les observations de terrain. Trois classes ont été définies et chacune d'entre elle est divisée en deux sous classes.

Un indice d'érodabilité a été attribué à chaque formation géologique cartographiée. La carte ainsi établie (cf. page suivante) permet de visualiser le comportement des berges des cours aval des rivières étudiées. Les points d'érosion remarquables sont localisés dans les formations meubles (classe 3) ou érodables (classe 2).

Tabl. 9 - Classification de O•pURGDELOLWp GHV IRUPDWLRQV

Type de matériaux	Indice	Sous-indice	Formations géologiques
Matériaux rocheux résistants à l'érosion	1	1a	Coulées de lave massives
		1b	Coulées de lave avec des lits scoriacés. Laves fracturées et/ou altérées
Matériaux cohésifs érodables mais peu affouillables	2	2a	Tufs
		2b	Coulées de débris altérées – Altérites Limons bruns
Matériaux meubles très facilement affouillables	3	3a	Alluvions anciennes légèrement cimentées
		3b	Alluvions meubles - Eboulis, colluvions – Sols ferralitiques

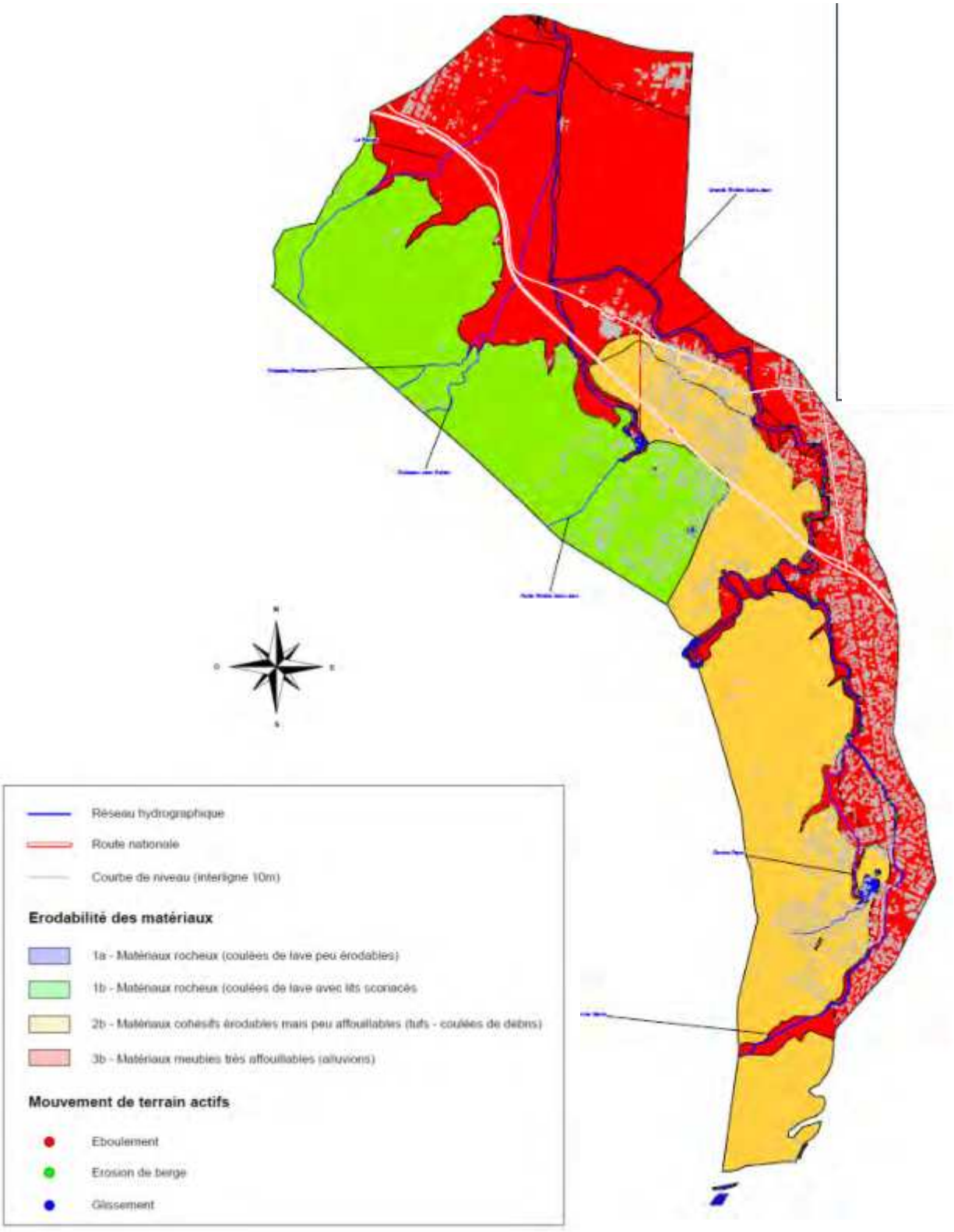


*FIG. 49. &DUWH G•pURGDELOLWp GHV WHUUDLQV VRXUFH 3*5L*

4.3.5. Transport solide

Le PGRi dresse une analyse du transport solide de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents et aboutit à une estimation des volumes de matériaux transportés par les crues. Les principales conclusions sont les suivantes :

- La Grande Rivière Saint-Jean et ses affluents transportent peu de matériaux. Les lits sont rocheux et rarement engravés, excepté sur leur cours aval dans les plaines littorales.
- Les matériaux transportés par ces cours d'eau, issus de la planèze, ont deux principales origines :
  - **L'érosion des terres agricoles** de la planèze qui produit des quantités importantes d'argiles et de limons, bruns rouges et d'éléments sablo-graveleux altérés.
  - **L'érosion des pentes d'encaissement des cours d'eau** constituées de coulées de lave, de gratons et d'altérites argileuses. L'érosion se manifeste par des mouvements de terrain qui alimentent les cours d'eau en blocs, en éléments altérés.

    Actuellement, les mouvements de terrains recensés y sont rares et correspondent à des glissements de terrain de faible ampleur, à des phénomènes de reptation, à des ravinements, à la propagation de blocs sur ces pentes. Ces mouvements apparaissent souvent aux points de concentration des eaux en provenance des pentes cultivées ou urbanisées de la planèze.

    Les zones de production potentielle de matériaux sur l'ensemble du bassin versant proviennent pour l'essentiel de ces pentes d'encaissement situées :
    - Sur le cours amont de la ravine Sèche dans les Hauts de Menciol ;
    - Sur le cours aval du Bras des Chevrettes en aval du quartier Menciol ;
    - Sur la Grande Rivière Saint-Jean, vers Bras Pistolet et en aval de Mon Repos ;
    - Sur la Petite Rivière Saint-Jean en aval de Notre Dame des Hauts ;
    - Dans les secteurs de communes Ango et Carron, sur le bassin versant du ruisseau Emmanuel ;
    - Et sur le Foutac.
- Dans le cas du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean, il est considéré en première approche un taux d'érosion de 1 mm/an pour les pentes faibles inférieures à 25 % et de 2 mm/an pour les zones abruptes comprenant les pentes d'encaissement et les versants plus pentus soumis au ravinement en période de fortes pluies et pouvant être le siège de mouvements de terrain. Préciserons en effet que les mouvements dans les pentes d'encaissement sont plus rares que dans les remparts de l'île.

L'estimation présentée dans le tableau page suivante donne des volumes de l'ordre de la dizaine de milliers de m^3 pour les principaux cours d'eau.

Tabl. 10 - Estimation des volumes moyens annuels de matériaux mobilisés sur le bassin versant de la Grande Rivière St-Jean

Bassin versant	Superficie	Surface de pente faible	Surface de pente forte	Volume planèze	Volume pente d'encaissement	Volume total
	km²	km²	km²	m³	m³	m³
Ravine Sèche	8	7	1	7 000	2 000	9 000
Grande Rivière St-Jean	13	12	2	12 000	4 000	16 000
Petite Rivière St-Jean	11	9,15	1,85	9 150	3 700	12 850
Ruisseau Emmanuel	5,2	4	1,2	4 000	2 400	6 400
Ruisseau le Foutac	1,7	1,5	0,2	1 500	400	1 900

Bien que théorique, cette estimation montre que les quantités provenant de l'érosion des sols des planèzes sont trois fois plus élevées que les quantités provenant des pentes d'encaissement des cours d'eau.

Les observations de terrain des zones de sédimentation confirment que les sédiments fins provenant des sols d'altération de la planèze sont prépondérants. Ces éléments terrigènes se sont déposés dans la plaine lacustre de Bois Rouge. La puissance des dépôts de sables et de limons argileux, bruns noirs, dépasse 50 m vers l'usine de Bois Rouge.

A ces apports de matériaux terrigènes issus de la planèze, s'ajoutent ceux provenant de l'érosion des alluvions grossières du cône de la Rivière du Mât, par la ravine Sèche et la Grande Rivière Saint-Jean sur son cours aval (concernant les secteurs confortés). **Les volumes remobilisés restent faibles et cantonnés aux tronçons érodés**.

5. ETUDE HISTORIQUE †BASSIN DE LA GRANDE RIVIERE SAINT-JEAN

Ce paragraphe reprend des extraits du rapport « Etude de définition d'un réseau de repères de crues sur les TRI de la CIREST – Phase 1 – Recensement, recherche et analyse – ARTELIA – Novembre 2018 ».

5.1. EVENEMENTS MARQUANTS

Les évènements historiques marquants sur le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean sont :

- L'événement **Fakir** (du 25 **avril 2018**) pour lequel il a été relevé 151 mm en 3 h à la station du Colosse et 96 mm en 1 h à la station de Bagatelle ce qui représente une période de retour comprise entre 10 et 30 ans. A noter que la station de Menciol, très représentative du bassin versant de la Grande Rivière St-Jean, n'était pas opérationnelle lors de cet événement ;
- L'évènement du **12 février 1990** qui détient les records de la station de Menciol pour les durées de pluies de 1,5 à 12 h. Il a été mesuré près de 480 mm en 9 h à la station de Menciol ;
- L'évènement **Hyacinthe (1980)** qui a lui aussi été marquant sur le secteur avec des précipitations de l'ordre de 400 mm en 24 h à Menciol et 1298 mm en 6 jours ;
- L'évènement **Inès** (du 13 au 19 **mars 1975**) qui détient les records de la station de Menciol pour les durées de pluies de 30 mn, 1 h et 24 h.

A la station de Bagatelle, il a été relevé :

- Hyacinthe : 261 mm en 24 h ;
- Février 1990 : 243 mm en 24 h.

Des crues importantes sur la Grande Rivière St Jean et la Ravine Sèche ont également été observées pendant le mois de février 1993 (avec notamment des débordements de la Ravine Sèche avec l'inondation de 15 habitations individuelles sur le lotissement Doré) ainsi que du 24 au 26 février 1998 mais d'une ampleur moindre.

Par conséquent, Fakir 2018, Inès 1975, Hyacinthe 1980 et les pluies du 12 février 1990 sont considérés comme les crues de référence sur ce bassin versant.

5.2. LAISSES DE CRUES HISTORIQUES

5.2.1. Fakir †2018

La crue liée à l'épisode Fakir a marqué le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean et plus particulièrement son affluent la Ravine Sèche qui traverse le centre urbain de Saint-André. De nombreux débordements et dégâts ont été recensés si bien que cet événement peut être considéré à ce jour comme une référence.

5.2.1.1. RAVINE SECHE

La Ravine Sèche est sortie de son lit au niveau des trois principaux ponts qui la franchissent. D'amont en aval, il s'agit des ponts Minot, de l'avenue de la République et Auguste.

Pour les deux premiers ouvrages, les garde-corps ont cédé sous le poids des embâcles et des eaux. Ces dernières se sont donc largement écoulées dans les principales artères de Saint-André à savoir : les avenues de Bourbon, d'Ile de France et de la République. D'une manière générale, tout le centre urbain de Saint-André s'est retrouvé sous les eaux comme en témoignent les photos suivantes.

Photo.-71. Ravine Sèche (Avenue de Bourbon) †Photos prises durant la crue (avril 2018)

Photo.-72. 5DYLQH 6qFKH $YHQXH GH OD 5pSXEOLTXH HW G•,OH GH
Photos prises durant la crue (avril 2018)

Photo.-73. Ravine Sèche (Pont Minot) †Photo prise post-crue (24 avril 2018)

Photo.-74. Ravine Sèche (Pont République) †Photo prise post-crue (27 avril 2018)

Photo.-75. Ravine Sèche (Mairie) †Photo prise post-crue (24 avril 2018)

Photo.-76. Ravine Sèche (Place de la mairie) †Photo prise post-crue (24 avril 2018)

Photo.-77. Ravine Sèche (pont aval mairie) †Photo prise post-crue (24 avril 2018)

Photo.-78. Ravine Sèche (Pont Auguste) †Photo prise post-crue (24 avril 2018)

Photo.-79. Ravine Sèche (Rue Miguel) †Photo prise post-crue (27 avril 2018)

Photo.-80. Ravine Sèche (pont confluence Ravines Sèches et Payet)
Photo prise post-crue (24 avril 2018)

5.2.1.2. PONT DE LA RN2002

D'importants embâcles se sont accumulés sur le tablier du pont franchissant la Grande Rivière St-Jean entrainant une légère surverse de l'ouvrage. La majeure partie de ces eaux de débordement a rejoint le lit en aval en contournant l'ouvrage.

Les photos présentées ci-après illustrent le phénomène.

Photo.-81. Grande Rivière St-Jean †Photo prise le 24 avril 2018 en amont pont RN2002

Photo.-82. Grande Rivière St-Jean †Photo prise le 24 avril 2018 en aval pont RN2002

5.2.1.3. BOIS ROUGE

La plaine de Bois Rouge a également connu d'importants écoulements qui sont liés aux débordements de la Grande Rivière St-Jean sur son tronçon compris entre le pont de la RN 2002 et sa confluence avec la Petite Rivière St-Jean. Le quartier de Bois Rouge (notamment le complexe industriel) a donc subi des inondations comme le montre la photo suivante.

Photo.-83. Grande Rivière St-Jean (Bois Rouge) †Photo prise le 24 avril 2018

Une laisse de crue post-Fakir au niveau du parking de la sucrerie (voiture garée sur le site lors de l'épisode de crue) indique un niveau d'eau estimé à 4.3 mNGR sur le complexe industriel (h = 60 cm au droit de la voiture).

Photo.-84. Grande Rivière St-Jean (Bois Rouge) †Photo prise le 24 avril 2018

5.2.2. Février 1990

Malgré une quantité de données relativement faible en termes de laisses de crue, les documents consultés et les études réalisées sur la Grande Rivière Saint Jean permettent de considérer, au même titre que l'épisode Fakir, la pluie du **12 février 1990** comme un évènement de référence.

5.2.2.1. RAVINE SECHE

Lors des fortes pluies de février 1990, la Ravine Sèche a débordé de son lit et l'avenue d'Ile de France s'est retrouvée inondée. Les hauteurs d'eau ne sont pas connues, les vitesses d'écoulement semblent avoir été importantes.

«De mémoire de Saint-Andréen, on n'a jamais vu ça : la Ravine Sèche (...) quittant son lit pour emprunter l'ancienne nationale 2 (avenue de l'Ile de France). On imagine que tout cela ne s'est pas fait en douceur : c'est un véritable torrent qui a, pendant plusieurs heures, taraudé, raviné tout l'avenue».

Le Quotidien, supplément spécial

Fig. 50. Extrait de Saint-André GDQV OD WRXUPHQWH SRXU O•pSLVRGH GH IpY

Fig. 51. $YHQXH ,OH GH)UDQFH DSUqV O•pSLVRGH

Lors de cet épisode pluvieux, « Le propriétaire du garage Auto Royal […] une grande partie de son bâtiment a été emportée par les eaux »

5.2.2.2. BOIS ROUGE

Le niveau atteint par les eaux lors de cet événement au droit de la sucrerie est de l'ordre de 4,46 m NGR, ce niveau correspond à une laisse de crue sur un des poteaux électriques au sein de la sucrerie (*cf. photo suivante)*.

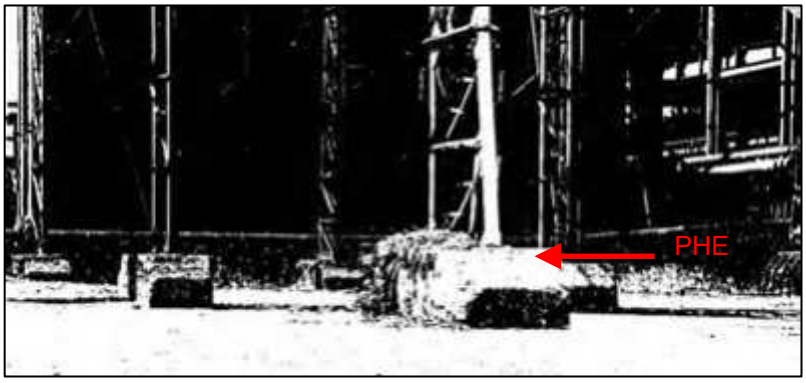


Photo.-85. Grande Rivière St-Jean †Laisse de crue au sein de la sucrerie (février 1990)

Photo.-86. Grande Rivière St-Jean †
/DLVVH GH FUXH VXU OD FO{WXUH j O•HQWUpH GH O•XVLQH

Le pont de Bois Rouge a été en grande partie obstrué par des embâcles ce qui a provoqué un phénomène de surverse et de débordement (cf. photo suivante).

Photo.-87. †Grande Rivière St-Jean †
Laisse de crue et embâcles en amont du pont de Bois Rouge (février 1990)

5.2.2.3. CAMBUSTON

Des laisses de crue ont été constatées et photographiées en amont immédiat du pont de la RN2002 reliant Quartier Français à Cambuston. Le niveau atteint correspond au rebord de la passerelle métallique (cf. photo suivante).

Photo.-88. Grande Rivière St-Jean †
Laisse de crue en amont rive droite du pont de la RN2002 (février 1990)

5.2.3. Clotilda - 1987

La crue liée au passage de la dépression Clotilda, bien que ne constituant pas un évènement hydrologique majeur, a marqué les esprits et occasionné beaucoup de dégâts.

Clotilda, 1987.

«Le nombre d'interventions des pompiers seuls - 150 - donne la mesure de celui des familles gravement touchées par les inondations.
Celles-ci furent particulièrement graves à Champ-Borne, Rivière-du-Mât les Bas, Ravine-Creuse et Dioré. Quant au Chemin Maunier, on aurait pu y circuler en barque au plus fort du passage de Clotilda».

Le Quotidien, supplément spécial Clotilda, 1987.

Fig. 52. Extrait de Saint-André dans la tourmente

5.2.4. Hyacinthe - 1980

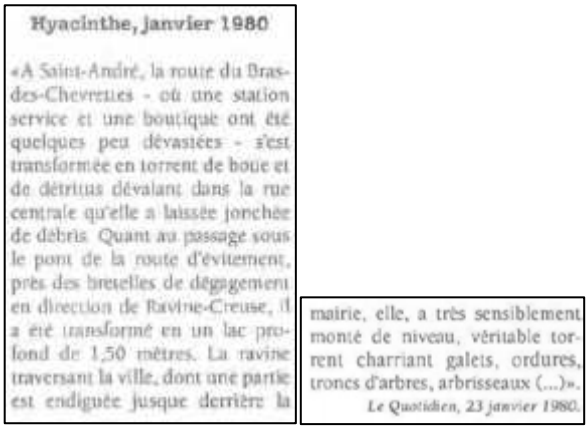
5.2.4.1. BOIS ROUGE

Le niveau d'eau atteint au sein de la sucrerie en 1990 a été comparé à celui de Hyacinthe et est jugé 40 cm plus élevé par un employé de l'usine sucrière.

5.2.4.2. BRAS DES CHEVRETTES / RAVINE SECHE

Les coupures de presse rapportent des inondations liées au débordement du Bras des Chevrettes sans indication sur le niveau d'eau.

En revanche, la Ravine Sèche n'a pas débordé.



Hyacinthe, janvier 1980

«A Saint-André, la route du Bras-des-Chevrettes - où une station service et une boutique ont été quelques peu dévastées - s'est transformée en torrent de boue et de détritus dévalant dans la rue centrale qu'elle a laissée jonchée de débris. Quant au passage sous le pont de la route d'évitement, près des bretelles de dégagement en direction de Ravine-Creuse, il a été transformé en un lac profond de 1,50 mètres. La ravine traversant la ville, dont une partie est endiguée jusque derrière la mairie, elle, a très sensiblement monté de niveau, véritable torrent charriant galets, ordures, troncs d'arbres, arbrisseaux (...)».

Le Quotidien, 23 janvier 1980.

Fig. 53. Extrait de Saint-André dans la tourmente

5.2.5. Visite terrain - centre-ville de Saint-André

Deux visites de terrain sur le centre-ville de Saint-André ont été réalisées le 21 février puis le 27 avril (post-crue Fakir) afin d'échanger avec les riverains et commerçants sur les antécédents concernant le risque inondation sur ce secteur :

- **Au niveau du collège Bédier,** le principal a présenté les hauteurs d'eau atteintes au sein de l'établissement lors de l'épisode Fakir ainsi que le déroulement de l'évènement. D'importantes hauteurs ont ainsi été relevées dans les salles implantées côté rue d'accès au lotissement Cazales du fait de l'effondrement d'une clôture les séparant des habitations existantes (1,35 à 1,60 m d'eau – cf. photo ci-après). Dans la cour de l'établissement, se sont près de 35 cm d'eau qui ont été relevé (cf. également photo ci-dessous).

Photo.-89. Ravine Sèche (Collège Bédier) †Photos prises post-crue (27 avril 2018)

- **Au niveau de la piscine municipale,** il a été constaté une hauteur d'eau comprise entre 22 et 26 cm dans les vestiaires au cours de la crue de Fakir (cf. photo page suivante). La piscine a également été submergée à cette occasion et s'est remplie de boue. Précisons que l'eau s'écoule depuis l'avenue d'Ile de France située altimétriquement plus haut que la piscine et que les inondations de cette infrastructure sont relativement récurrentes depuis 1977.

Photo.-90. Ravine Sèche (Piscine municipale) †Photo prise post-crue (27 avril 2018)

- **Le long de l'avenue d'Ile de France,** divers commerçants ont été rencontrés. La plupart ont subi des inondations, en particulier pour Fakir, avec des hauteurs d'eau de quelques centimètres dans les magasins. Toutefois, aucune trace fiable n'a pu être identifiée.
- **En amont immédiat du lotissement Cazales**, le lit de la Ravine Payet est entouré d'un grillage sur lequel une hauteur d'eau de 50 cm a été relevée suite à Fakir (cf. photo ci-après).

Photo.-91. Ravine Payet (Amont lotissement Cazales) †Photo prise post-crue (27 avril 2018)

- **A proximité de la confluence Ravine Sèche / Ravine Payet,** une habitation située rue Miguel a subi d'importants dégâts lors de Fakir avec une hauteur d'eau de 1,47 m sur le mur extérieur (cf. photo suivante).

Photo.-92. Ravine Payet (Habitation rue Miguel) †Photo prise post-crue (27 avril 2018)

A la jonction entre l'avenue d'Ile de France et la rue de la Gare (face à la piscine municipale), une visite effectuée le 24 avril (immédiatement après le passage de la crue de Fakir) a permis également de relever une laisse de crue supplémentaire (cf. photo page suivante). Elle peut être mise en corrélation avec celle prise pendant la crue au même endroit (cf. photo.-72 page 151).

Photo.-93. Ravine Sèche (croisement Avenue Ile de France / Rue de la Gare)
Photo prise post-crue (24 avril 2018)

Les implantations de ces commerces sont présentées sur la figure fournie page suivante (Fig. 54).

5.2.6. Autres données

On recense des inondations régulières lors des épisodes de fortes crues de la Grande Rivière Saint-Jean au fond de la rue des Bambous dans le quartier de Cambuston.

Le chemin piéton longeant la Grande Rivière Saint-Jean en berge rive droite depuis ce lieu est également submergé dans ce cas.

5.2.7. Bilan des données

Le tableau et la cartographie (Fig. 55) suivants synthétisent les données historiques disponibles.

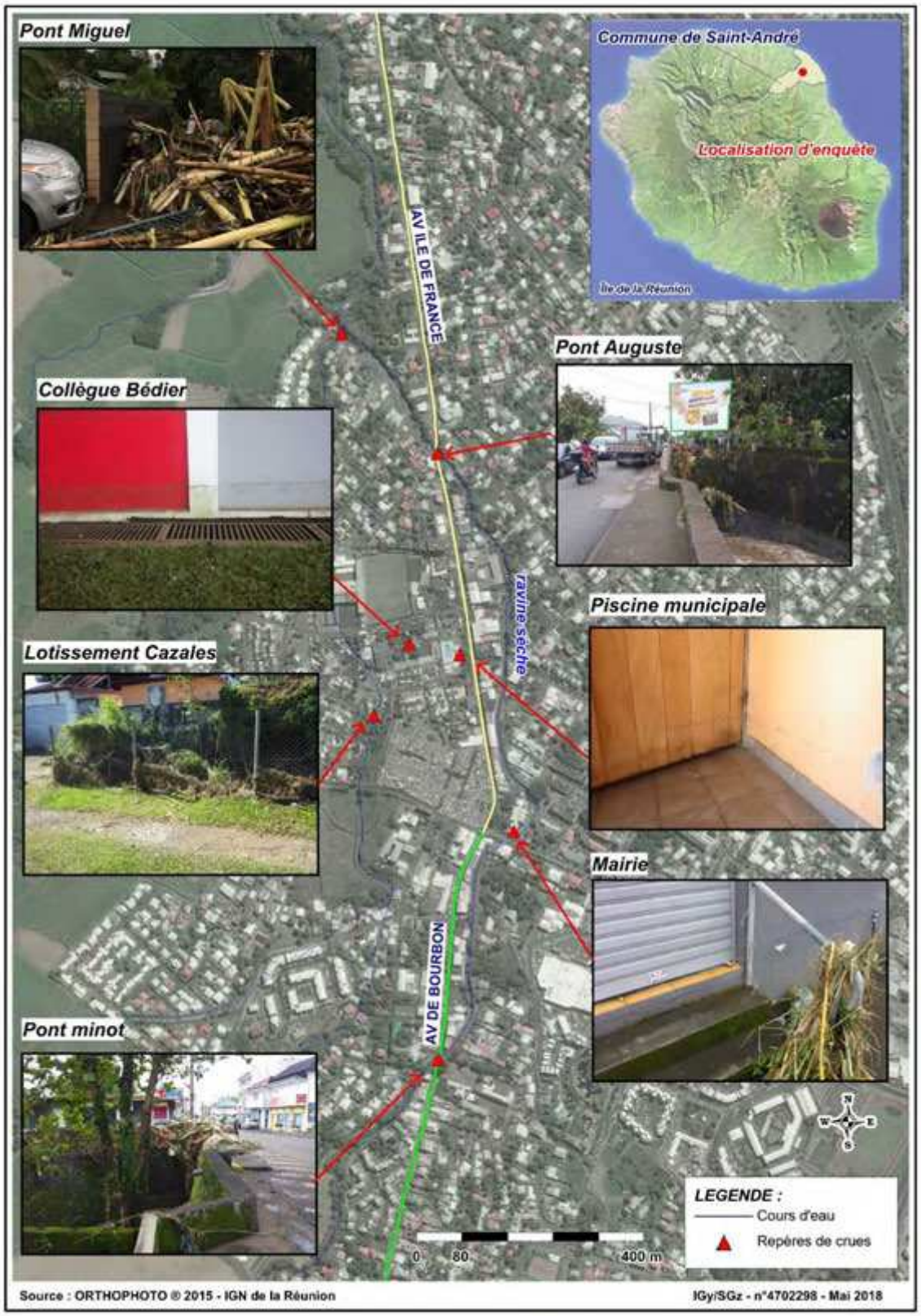


Fig. 54. Localisation données visite terrain 24/27 avril †St André

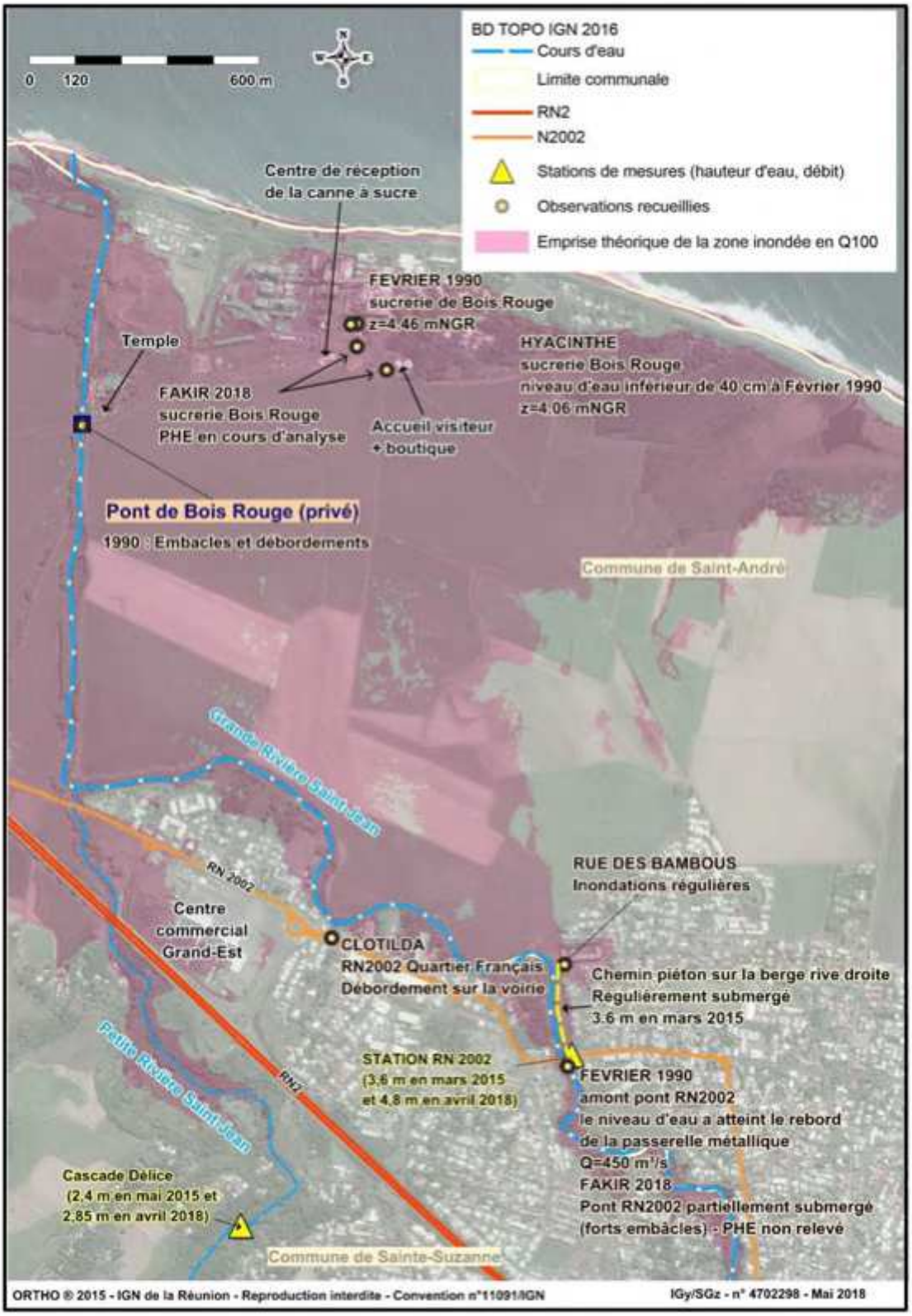


Fig. 55. Grande Rivière Saint-Jean †Localisation des données

!

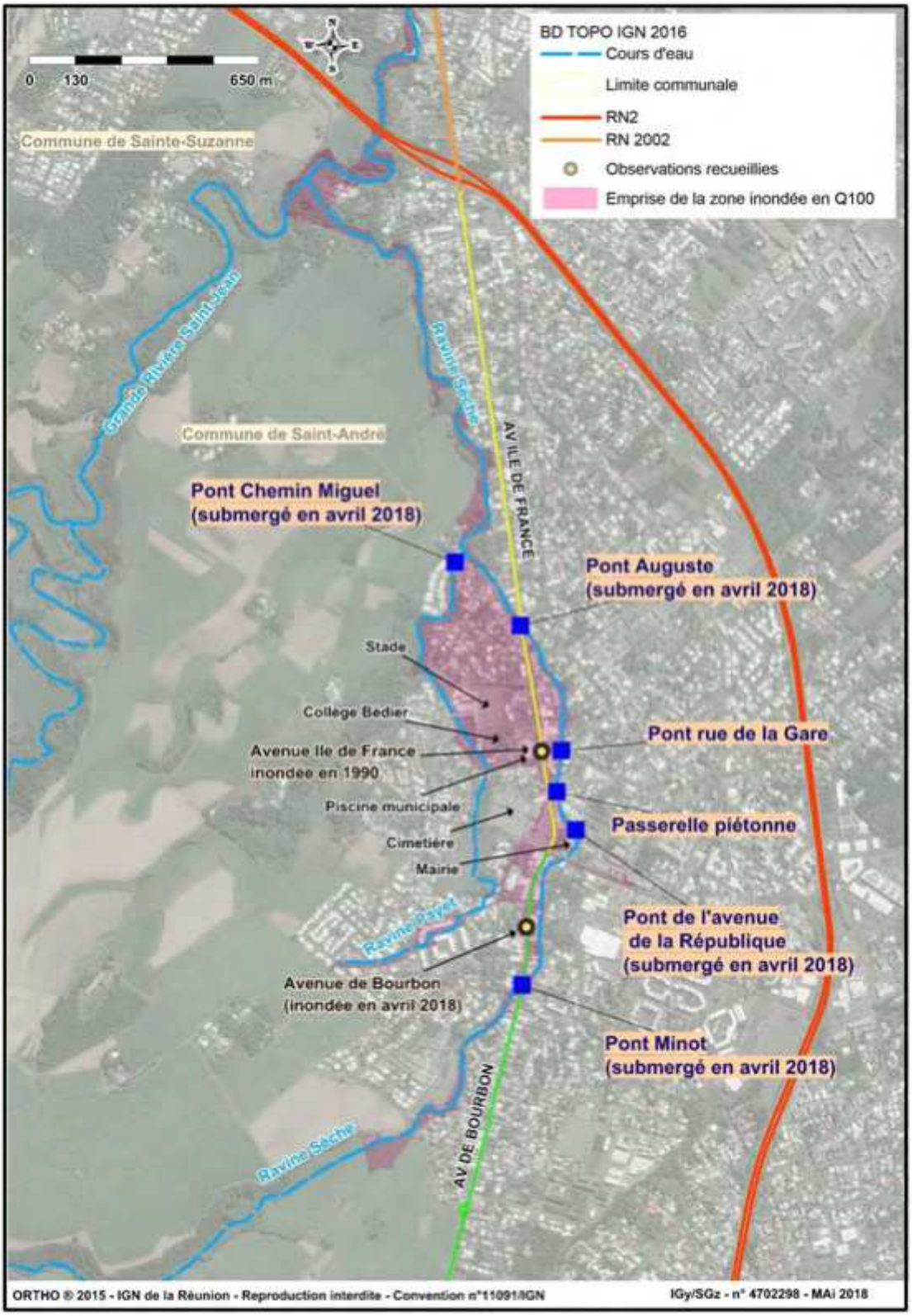


Fig. 56. Ravine Sèche et Ravine Payet †Localisation des données

Tabl. 11 - Tableau de synthèse des données de laisses de crue de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents

Localisation	Données	Evènement associé	Intensité de l'évènement	Source et fiabilité
Centre-ville de Saint-André	Nombreuses voiries inondées ainsi que des bâtiments publics (collège, piscine) par les débordements de la Ravine Sèche PHE non relevées à ce jour	Fakir 2018	151 mm de pluie en 3h à la station du Colosse	Enquêtes de terrain
Bois Rouge (Sucrerie)	Usine partiellement inondée PHE non relevées à ce jour	Fakir 2018	151 mm de pluie en 3h à la station du Colosse	Enquête auprès de l'exploitant
	PHEC = 4,46 m NGR	Pluies de février 1990	480 mm de pluie en 9h à la station de Menciol	Photographie de laisse de crue
	PHEC = 4,06 m NGR	Hyacinthe 1980	Précipitations de l'ordre de 400 mm en 24 h à Menciol et 1298 mm en 6 jours	Enquête auprès d'un employé de l'usine
Pont de Bois Rouge	Embâcles en amont du pont	Pluies de février 1990	480 mm de pluie en 9h à la station de Menciol	Photographie
Cambuston – Grande Rivière Saint Jean en amont du pont de la RN2002	Pont ayant été légèrement submergé (forts embâcles sur la passerelle métallique)	Fakir 2018	151 mm de pluie en 3h à la station du Colosse	Enquêtes de terrain
	Le niveau d'eau atteint correspond au rebord de la passerelle métallique	Pluies de février 1990	480 mm de pluie en 9h à la station de Menciol	Photographie de laisse de crue
Bras des Chevrettes	Inondations sans données sur les niveaux d'eau	Hyacinthe 1980	Précipitations de l'ordre de 400 mm en 24 h à Menciol et 1298 mm en 6 jours	Coupures de presse

6. ANALYSE HYDROLOGIQUE ET CONDITIONS MARINES

Cette étape a pour objectif d'actualiser les débits de pointe de crue des différents cours d'eau composant le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean pour des périodes de retour comprises entre 2 et 100 ans, ainsi que de définir les niveaux marins.

6.1. RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET BASSINS VERSANTS

6.1.1. Généralités

La figure présentée page suivante délimite le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean et identifie ses 4 principaux affluents que sont la Ravine Sèche, la Petite Rivière Saint-Jean, le Ruisseau Emmanuel et le Ruisseau du Foutac.

La pente moyenne des bassins versants se situe entre 5 et 14 % pour des altitudes comprises entre 1010 m NGR et quelques dizaines de m NGR.

La direction générale des écoulements s'effectue du *sud-ouest* vers le *nord-est.* Les apports de ces principaux affluents se font tous en dessous de 50 m NGR.

La Grande Rivière Saint-Jean s'écoule sur la planèze *est* de la Roche Ecrite et prend naissance à hauteur du rempart de la Rivière du Mât à une altitude proche de 910 m NGR. A son embouchure dans l'Océan Indien, son bassin versant atteint une superficie de 43 km² environ qui se répartit au travers de ses principaux affluents de la façon suivante :

- 8 km² qui correspondent au bassin versant de la Ravine Sèche. Celle-ci présente un cours aval densément urbanisé avec la traversée de Saint-André. Elle rejoint la Grande Rivière Saint-Jean en amont de son franchissement par la RN 2 ;
- 16 km² concernent la Grande Rivière Saint-Jean en amont de la Petite Rivière Saint-Jean (hors apports de la Ravine Sèche). A hauteur de commune Bègue, la Grande Rivière Saint-Jean reçoit les apports du Bras des Chevrettes (bassin versant de 5 km² environ) qui traverse le quartier Menciol ;
- 11 km² pour le bassin versant de la Petite Rivière Saint-Jean qui culmine à 1 010 m NGR environ. Celle-ci rejoint la Grande Rivière Saint-Jean en aval de son franchissement par la RN 2002 ;
- 5,2 km² pour le ruisseau Emmanuel qui traverse le quartier commune Carron ;
- 1,7 km² pour le ruisseau du Foutac qui constitue le plus petit des 4 principaux affluents et prend sa source à 150 m NGR.

Chacun de ces affluents rejoint la Grande Rivière Saint-Jean aux abords ou dans la plaine de Bois Rouge. Cette dernière se caractérise notamment par la présence d'un étang, d'une superficie de 2,6 ha, alimenté par drainage et ruissellement d'une partie de la plaine de Bois Rouge. Fréquemment lors de crues, la Grande Rivière Saint-Jean déborde sur sa rive droite et inonde la plaine. La configuration topographique du site conduit alors les eaux à cheminer en direction de l'océan (via passage dans l'étang) ce qui soustrait une part significative du débit transitant dans le lit mineur de la rivière.

Précisons à ce titre que le tracé de la Grande Rivière Saint-Jean présente la particularité de ne pas emprunter la ligne de plus grande pente qui la conduirait vers l'étang ou le secteur de la sucrerie.

Notons enfin que les bassins versants mitoyens sont ceux de la Rivière Sainte-Suzanne à l'*ouest* et de la Rivière du Mât à l'*est*.

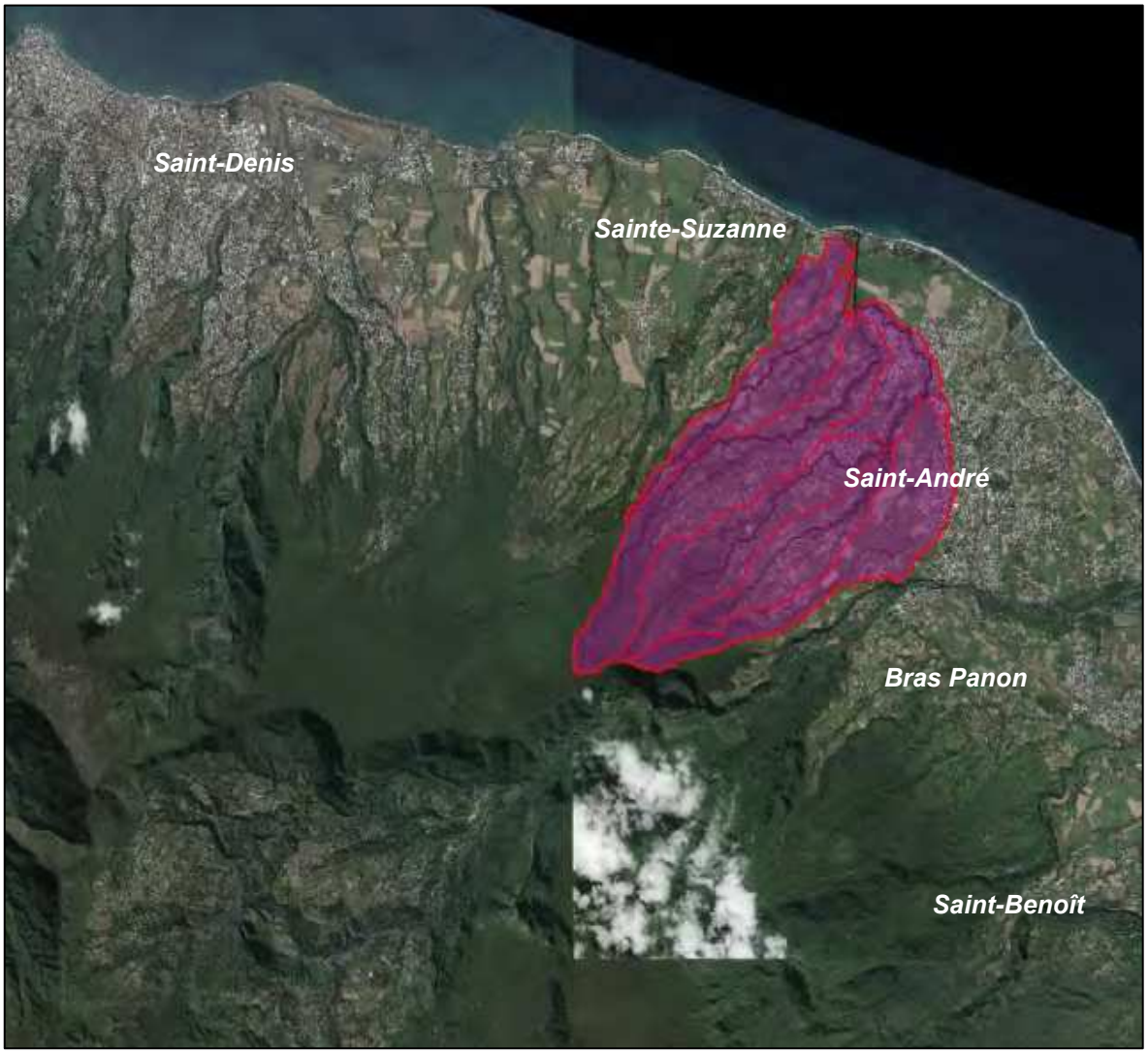


Fig. 57. Localisation générale des bassins versants

6.1.2. Délimitation

La reconnaissance de terrain et l'analyse de la topographie du secteur (LITTO3D de l'IGN) ont permis de délimiter les différents bassins versants de la Grande Rivière Saint-Jean.

La figure suivante illustre ces bassins versants.

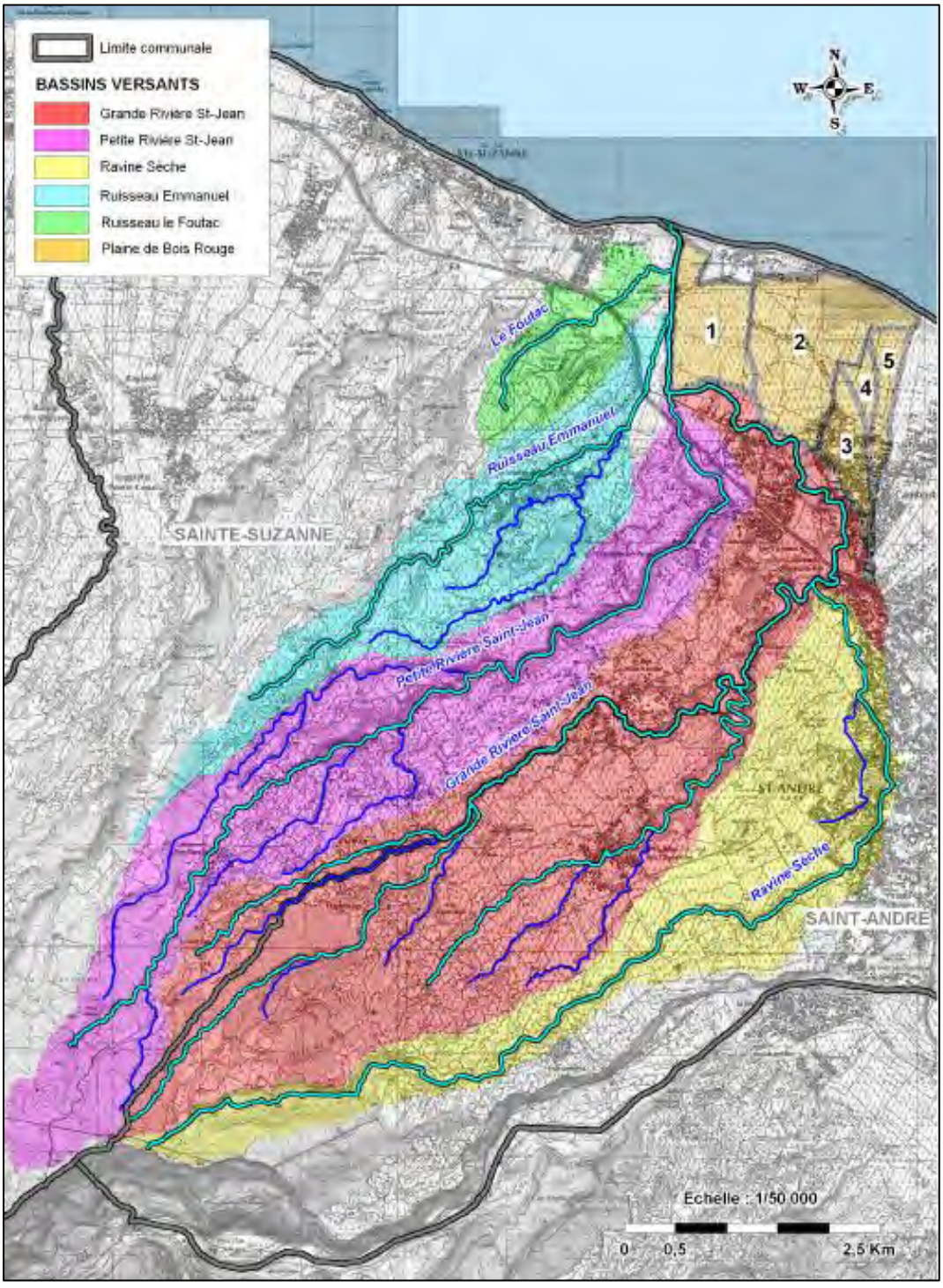


Fig. 58. Délimitation des bassins versants de la Grande Rivière St-Jean

6.1.3. Caractéristiques des bassins versants

6.1.3.1. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

Les informations fournies dans le tableau suivant sont issues de l'analyse des cartes et orthographies de l'IGN complétée par une reconnaissance in situ.

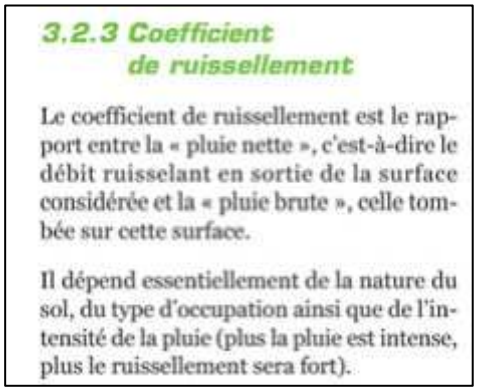
Tabl. 12 - Caractéristiques des bassins versants

Nom du BV	S totale (km²)	Longueur (km)	Périmètre (km)	Altitude min (m NGR)	Altitude max (m NGR)	Pente globale (%)
Ravine Sèche*	8,0	12,2	24,4	29	882	7,0
Gde R St Jean (Aval confluence Ravine Sèche)	21,3	10,7	27,5	29	913	8,3
Gde R St Jean (Pont RN 2002)	23,0	12,5	30,2	16	913	7,2
Gde R St Jean (Amont confluence Pte R St Jean)	23,9	14,6	34,3	4	913	6,2
Pte R St Jean*	11,0	12,8	31,5	4	1011	7,9
Gde R St Jean (Aval confluence Pte R St Jean)	34,9	14,6	35,6	4	1011	6,9
Ruisseau Emmanuel*	5,2	8,5	22,0	2	581	6,8
Gde Rivière St Jean (Aval conf Ruisseau Emmanuel)	40,3	15,4	36,7	2	1011	6,6
Ruisseau Foutac*	1,7	3,0	8,7	1	151	5,0
Gde Rivière St Jean (Aval Plaine Bois Rouge - exutoire)	43,0	15,9	44,0	1	1011	6,4

* : en amont immédiat de la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean

6.1.3.2. COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT

Les coefficients de ruissellement (C_r) dépendent de la période de retour de l'événement pluviométrique [comme l'indique le *Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion* – DEAL 2012 - dont un extrait est proposé ci-après] et du type de terrains rencontrés (occupation du sol). Ceux-ci sont répartis en 3 catégories : urbain, rural ou forêt.



3.2.3 Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est le rapport entre la « pluie nette », c'est-à-dire le débit ruisselant en sortie de la surface considérée et la « pluie brute », celle tombée sur cette surface.

Il dépend essentiellement de la nature du sol, du type d'occupation ainsi que de l'intensité de la pluie (plus la pluie est intense, plus le ruissellement sera fort).

Fig. 59. Extrait du guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion, DEAL, octobre 2012

Pour déterminer les coefficients de ruissellement à l'échelle du bassin versant, le référentiel d'occupation des sols « Corine Land Cover » de 2012 a été utilisé.

Le tableau suivant résume les ratios permettant de prendre en compte ces paramètres.

Tabl. 13 - Ratios de ruissellement

CR	Période de retour						
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
urbain*	0.70	0.75	0.80	0.82	0.85	0.90	0.95
rural	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80
forêt	0.15	0.20	0.30	0.35	0.40	0.50	0.60

* : zone incluant des espaces verts

Les coefficients de ruissellement globaux sont donc calculés, pour une période de retour N tel que :

$$Cr(Nans) = \frac{CR(Nans, urbain) * S(urbain) + CR(Nans, rural) * S(rural) + CR(Nans, forêt) * S(forêt)}{S(totale)}$$

Tabl. 14 - Coefficients de ruissellement par bassin versant

Nom du BV	S urbain (km²)	S rural (km²)	S forêt (km²)	Cr 2 ans	Cr 5 ans	Cr 10 ans	Cr 20 ans	Cr 30 ans	Cr 50 ans	Cr 100 ans
Ravine Sèche	3	3,5	1,5	0,42	0,49	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82
Gde R St Jean (Aval confluence Ravine Sèche)	4	13	4,3	0,36	0,44	0,53	0,61	0,69	0,75	0,82
Gde R St Jean (Pont RN 2002)	4,8	14,7	3,5	0,36	0,44	0,53	0,61	0,68	0,74	0,80
Gde R St Jean (Amont confluence Pte R St Jean)	4,8	15,5	3,6	0,36	0,44	0,53	0,61	0,69	0,74	0,80
Pte R St Jean	1,3	6	3,7	0,31	0,40	0,50	0,58	0,66	0,73	0,81
Gde R St Jean (Aval confluence Pte R St Jean)	6	21	7,9	0,34	0,43	0,52	0,60	0,68	0,74	0,80
Ruisseau Emmanuel	0,4	4	0,8	0,31	0,40	0,50	0,58	0,67	0,73	0,78
Gde Rivière St Jean (Aval conf Ruisseau Emmanuel)	6,5	25	8,8	0,33	0,41	0,50	0,58	0,66	0,72	0,78
Ruisseau Foutac	0,1	1,5	0,1	0,31	0,40	0,50	0,59	0,69	0,74	0,79
Gde Rivière St Jean (Aval Plaine Bois Rouge - exutoire)	6,7	27,3	9	0,33	0,41	0,50	0,58	0,66	0,72	0,78

6.1.3.3. TEMPS DE CONCENTRATION

Le temps de concentration correspond au temps que met une particule d'eau pour parvenir à l'exutoire depuis le point du bassin le plus éloigné.

Ils ont été calculés à partir des caractéristiques morphologiques des bassins versants et par application de différentes formules adaptées aux bassins versants étudiés (Giandotti, Passini, Kirpich, Turazza, Rectangle Equivalent).

Tabl. 15 - Temps de concentration par bassin versant

Nom du BV	Tc retenu (h)	V moyenne (m/s)
Ravine Sèche	1,45	2,3
Gde R St Jean (Aval confluence Ravine Sèche)	1,6	1,8
Gde R St Jean (Pont RN 2002)	1,85	1,9
Gde R St Jean (Amont confluence Pte R St Jean)	2,1	1,9
Pte R St Jean	1,5	2,3
Gde R St Jean (Aval confluence Pte R St Jean)	2,2	1,9
Ruisseau Emmanuel	1,2	2,0
Gde Rivière St Jean (Aval conf Ruisseau Emmanuel)	2,35	1,8
Ruisseau Foutac	0,75	1,1
Gde Rivière St Jean (Aval Plaine Bois Rouge - exutoire)	2,45	1,8

Une vérification du temps de concentration obtenu pour la Grande Rivière Saint-Jean a pu être menée en déterminant l'écart entre le pic de pluie observé à la station pluviométrique de Bras Pistolet (située en partie haute du bassin versant) et le pic de crue relevé à la station hydrométrique de la RN 2002 (cf. implantation sur la figure page suivante).

Cet écart est ainsi compris entre 1h et 1h45 (cf. explication sur les figures pages suivantes) ce qui est cohérent avec la valeur indiquée dans le tableau précédent.

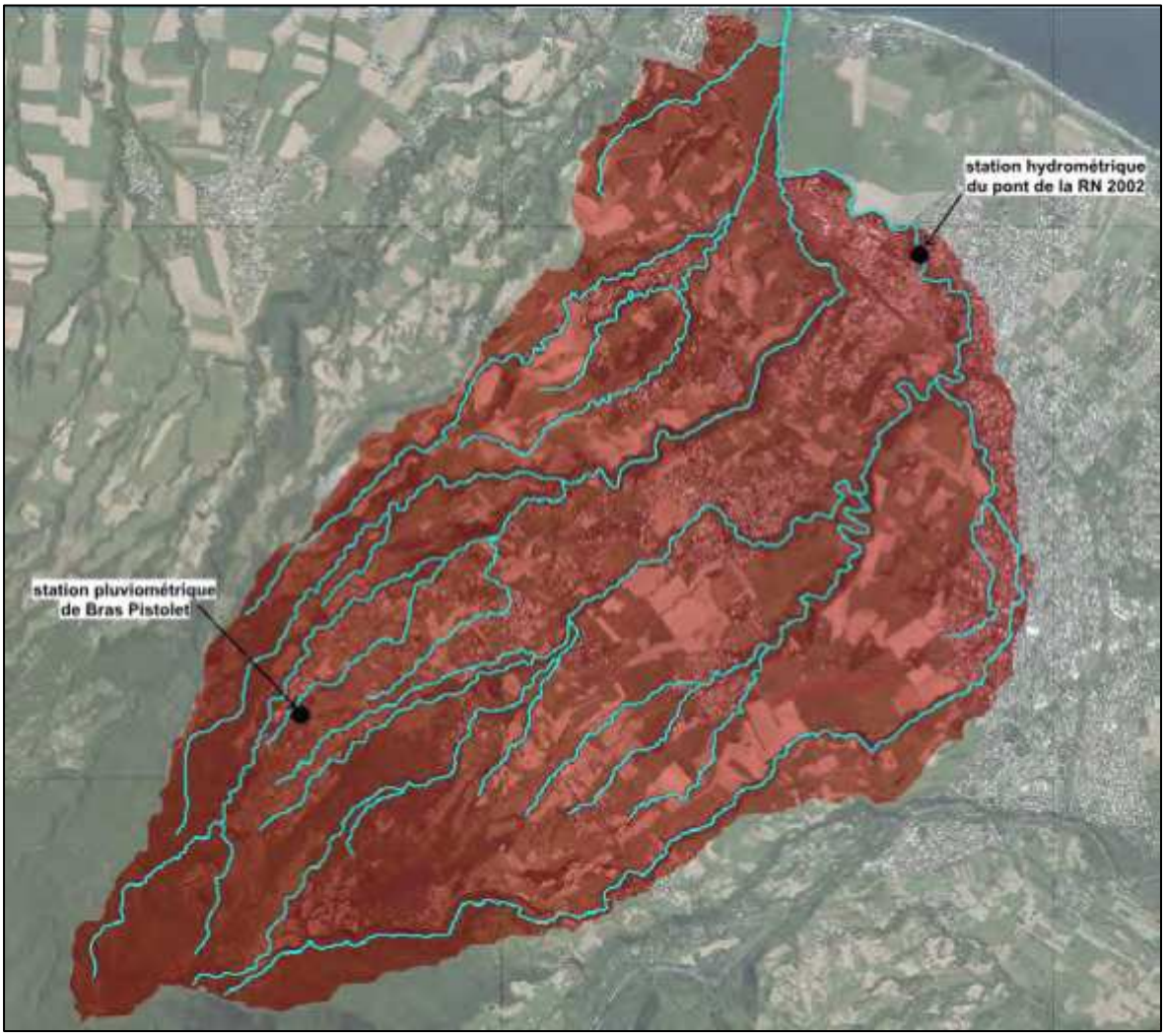


Fig. 60. Position des stations pluviométrique et hydrométrique

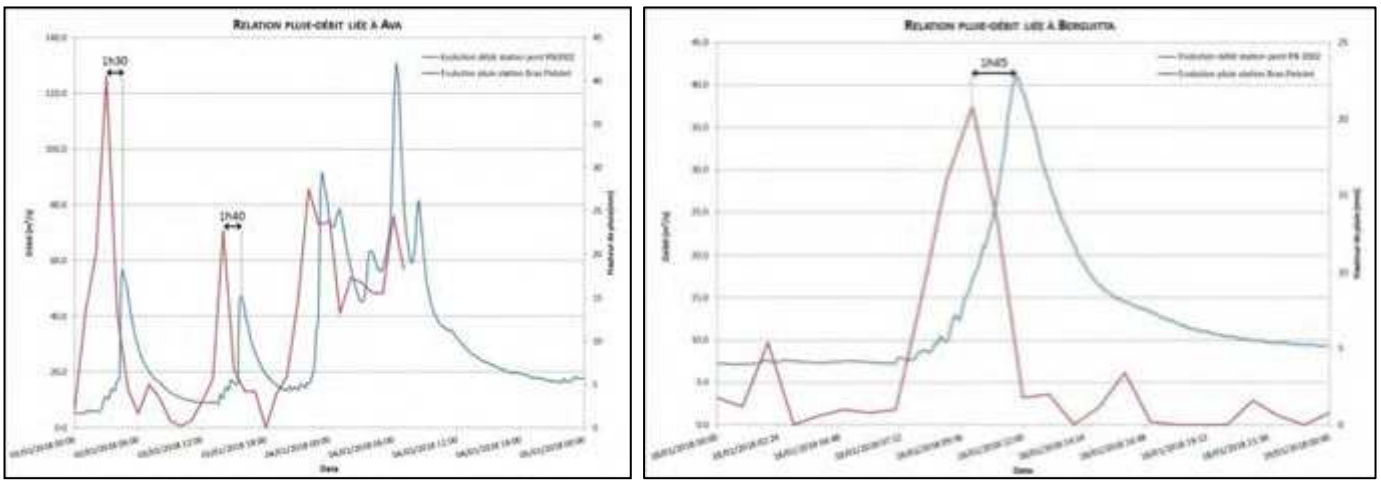


Fig. 61. Comparaison pics de pluie et de crue sur le bassin versant de la Grande Rivière St-Jean

6.2. ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE

6.2.1. Rappel des valeurs précédemment admises

Les méthodes d'évaluation des débits et les valeurs indiquées dans les chapitres qui suivent sont issues de l'étude PGRI du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean.

6.2.1.1. METHODE RATIONNELLE

Pour rappel, la méthode rationnelle repose sur la formule suivante :

$$Q = \frac{CiA}{36.10^3}$$

Où :

- Q est le débit de pointe en m³/s ;
- C le coefficient de ruissellement du bassin versant (sans unité) déterminé selon l'occupation des sols ;
- i l'intensité pluviométrique relative au temps de concentration du bassin versant, exprimée en mm/h et calculée selon la formule suivante : $I = a.t^{-b}$ avec t durée de la pluie et a et b coefficients de Montana issus de la station pluviographique de Menciol ;
- Et A la superficie du bassin versant en hectares.

La limite de validité de la méthode rationnelle est indiquée pour des bassins versants inférieurs à 10 km². Cette limite est atteinte pour le bassin versant de Grande Rivière Saint-Jean Amont (24 km²) et celui de Grande Rivière Saint-Jean Aval (35 km²). Les résultats sont donc à prendre avec précaution pour ces 2 bassins versants. Le modèle hydrologique HEC-MS et la formule du guide DEAL présentés ci-après permettent de compléter cette analyse hydrologique.

Tabl. 16 - Intensités de pluie et débits de pointe issus de la méthode rationnelle (PGRI †2011)

Point de calcul	S (km²)	Tc (h)	ITc10 ans (mm/h) (Menciol)	ITc100 ans (mm/h) (Menciol)	Q10ans (m³/s)	Q30ans (m³/s)	Q50ans (m³/s)	Q100ans (m³/s)
Ravine Sèche conf Gde RSJ	7,95	1,5 (1,3-1,9)	78	115	**98** (82-130)	**133**	**159**	**193** (148-232)
Petite Rivière Saint-Jean	10,95	1,5 (1,3- 2)	78	115	**156** (128-207)	**212**	**265**	**321** (242-386)
Grande.Riv. St Jean amont conf Ptte RSJ	23,9	2,3 (1,5-3,1)	66	103	**263** (213-389)	**366**	**443**	**547** (398-713)
Grande Riv. St Jean aval conf Ptte RSJ	34,9	2,4 (1,5-3,3)	65	102	**385** (309-580)	**538**	**652**	**806** (580-1062)
Ruisseau Emmanuel	5,15	1,2 (1-1,5)	85	121	**71** (60-95)	**95**	**113**	**136** (107-163)
Ruisseau du Foutac	1,7	0,8 (0,5-1)	99	134	**20** (17-30)	**26**	**31**	**37** (30-45)

Remarque : les valeurs entre parenthèses correspondent aux valeurs minimales et maximales (marge d'incertitude de certains paramètres tels que le coefficient de ruissellement et le temps de concentration).

6.2.1.2. MODELE DE TRANSFORMATION PLUIE-DEBIT

Afin d'établir des hydrogrammes de crue et de mieux comprendre la genèse des crues, il a été mis en œuvre lors du PGRI une modélisation pluie – débit des bassins versants de la Grande Rivière Saint-Jean à l'aide du logiciel HEC-HMS (version 3.1.0.).

Le modèle se compose ainsi de sous-bassins versants, de points de jonction et de tronçons de liaisons (ou biefs) entre ces points de jonction (cf. schéma simplifié du modèle mis en œuvre ci-dessous).

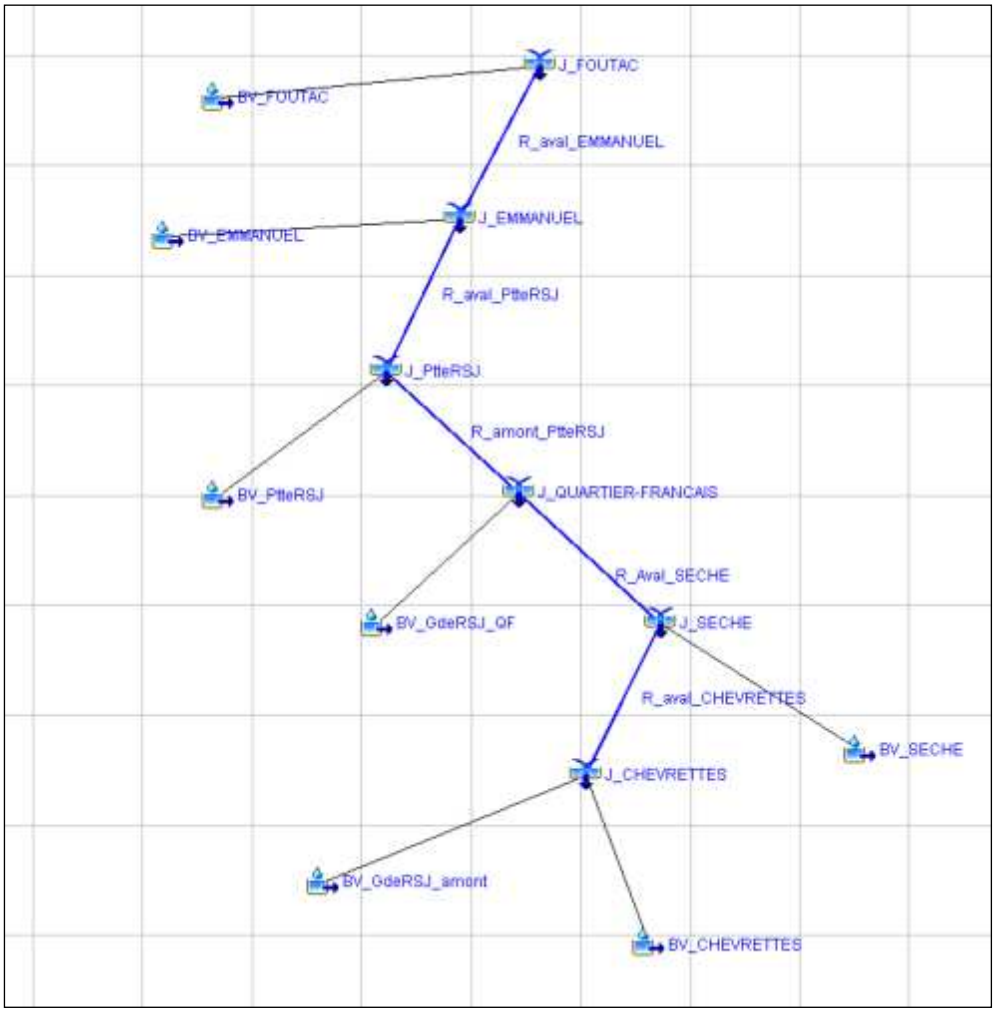


Fig. 62. Schéma topologique du modèle pluie †débit

Ce modèle a été calé sur la base d'événements connus et pour lesquels nous disposions de données (ou estimation) de pluie et de débit : 1975 (Inès), 1980 (Hyacinthe), 1987 (Clotilda), février 1990, décembre 2008 et avril 2009 (Jade).

A partir de là, des hydrogrammes de crues décennale et centennale ont pu être établis en définissant un hyétogramme fictif à Menciol suivant les hypothèses suivantes :

- Durée de la pluie : 12 heures (durée du pic de pluie généralement observé) ;
- Temps de montée deux fois plus rapide que le temps de descente ;
- Période de retour de la hauteur de pluie égale à la période de retour souhaitée pour le hyétogramme quelle que soit la durée.

Il a ensuite été vérifié que la hauteur d'eau totale du hyétogramme de 12 h était cohérente avec les hauteurs d'eau totales observées pour des événements de période de retour proches pour des durées similaires :

- La hauteur de pluie totale du hyétogramme fictif décennal est de 330 mm ;
- celle du hyétogramme centennal de 538 mm.

Une crue a ensuite été simulée à l'aide du modèle HEC-HMS sur la base de ce hyétogramme fictif en lui appliquant un coefficient fonction du gradient altimétrique entre Menciol et l'altitude du bassin versant HEC-HMS considéré.

Remarque : cette démarche est construite sur la base des données à la seule station pluviométrique de Menciol car il s'agit de l'unique station qui dispose de données sur une longue période d'exploitation. Cette station présente également l'avantage d'être localisée à un point central du bassin versant, elle apparait donc assez représentative. Il en résulte néanmoins une certaine incertitude sur les débits en résultant.

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant (en les comparant aux valeurs obtenues par la méthode rationnelle).

Tabl. 17 - Comparaison des valeurs de débits obtenues par la méthode rationnelle et la modélisation pluie-débit (PGRI †2011)

BV	Q_{10ans} (m³/s)			Q_{100ans} (m³/s)		
	Méthode rationnelle	HEC-HMS	Ecart	Méthode rationnelle	HEC-HMS	Ecart
Ravine Sèche conf Gde RSJ	100	95	5%	195	187	4%
Gde R St Jean (Amont confluence Pte R St Jean)	265	277	4,5%	545	589	8%
Pte R St Jean	155	145	6,4%	320	319	1%
Gde R St Jean (Aval confluence Pte R St Jean)	385	418	8,6%	805	902	12%
Ruisseau Emmanuel	70	66	5,7%	135	129	4%
Ruisseau Foutac	20	13	35%	35	30	19%

A la lecture de tableau, on constate que les valeurs obtenues avec les deux méthodologies sont relativement cohérentes.

Les figures présentées page suivante illustrent les hydrogrammes obtenus par la modélisation pluie-débit.

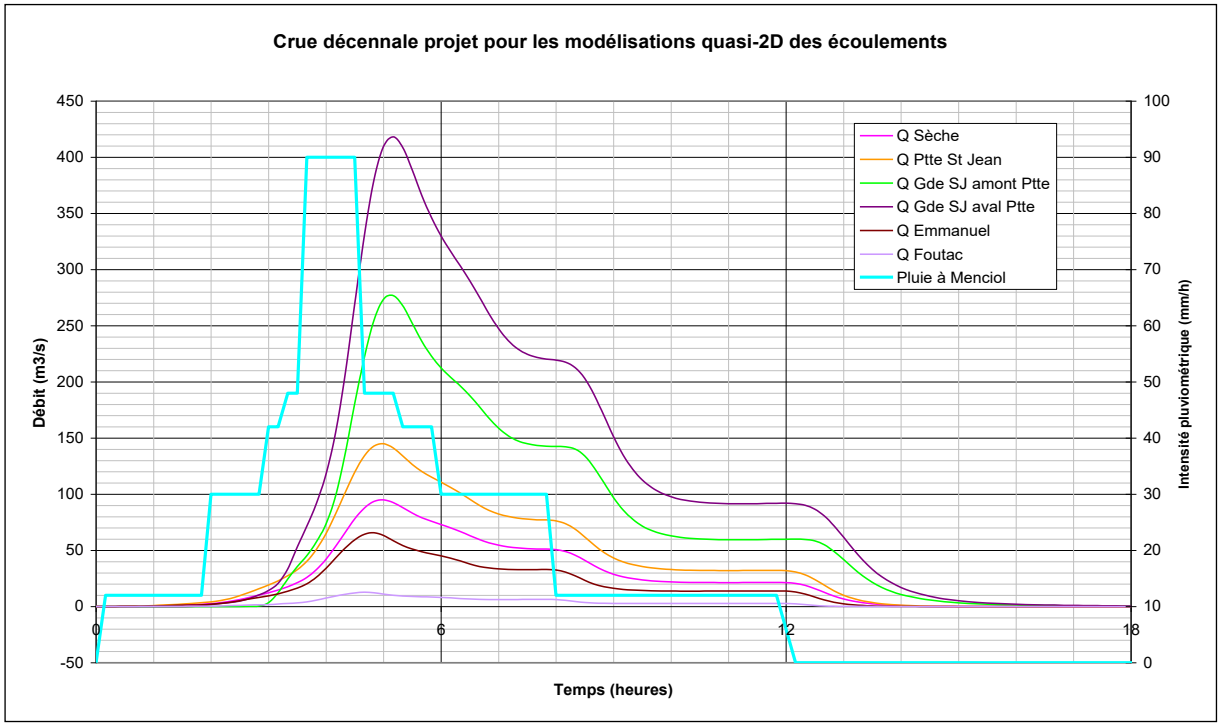


Fig. 63. Hydrogramme Q_{10ans} modélisation HEC-HMS (2011)

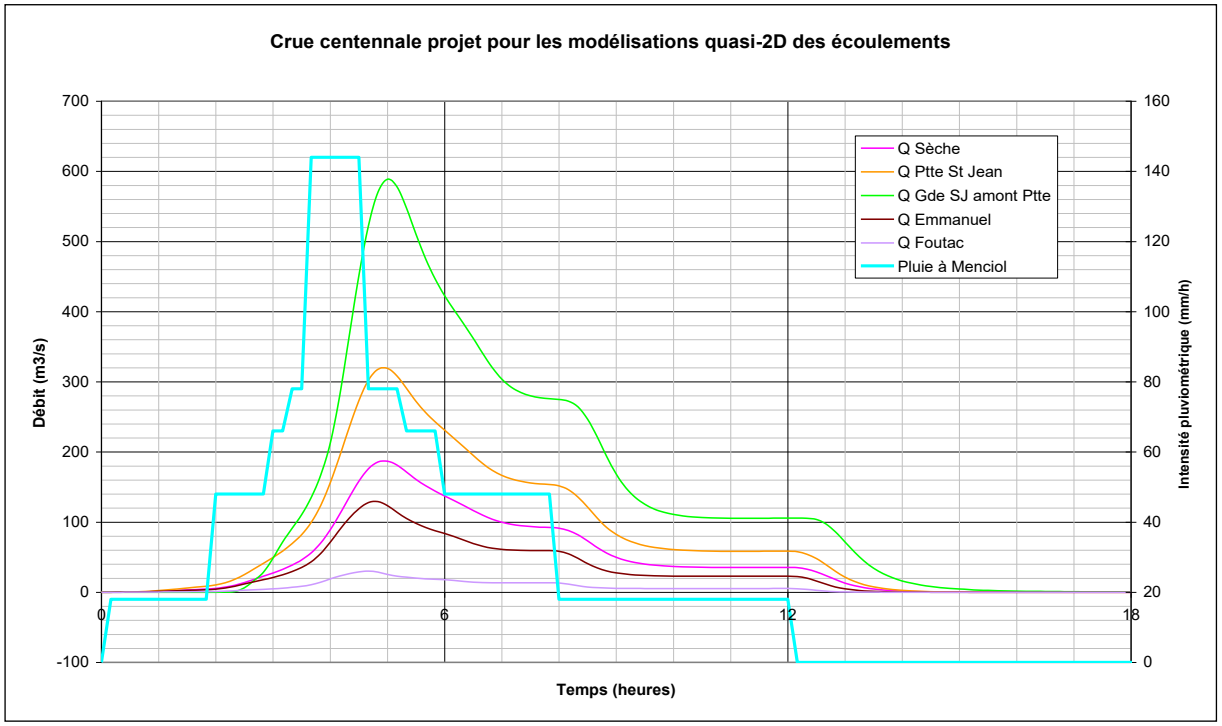


Fig. 64. Hydrogramme Q_{100ans} modélisation HEC-HMS (2011)

6.2.2. Nouvelle estimation des débits de pointe de crue

Deux méthodologies ont été employées pour réévaluer les débits caractéristiques de crue des bassins versants étudiés : la méthode issue du guide DEAL et la méthode rationnelle actualisée. Elles sont décrites dans ce qui suit.

6.2.2.1. GUIDE DEAL

La méthodologie issue du *Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion* (DEAL – 2012) fait appel à des données pluviométriques régionalisées et à la méthode rationnelle.

6.2.2.1.1. Données météorologiques

Le guide prescrit l'utilisation d'une carte de zonage pluviométrique en fonction de la commune et de l'altitude de la zone étudiée. Le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean étant situé sur les communes de Saint-André et de Sainte-Suzanne, les valeurs à retenir sont les suivantes :

Tabl. 18 - Zonage pluviométrique

Commune	Zonage pluviométrique (altitude en m NGR)					
	0 - 100	100 - 250	250 - 500	500 - 1000	1000 - 1600	> 1600
Saint-André	2	3	3	3	-	-
Sainte-Suzanne (*Est* de la rivière)	2	3	3	3	4	-

Selon la carte du zonage pluviométrique simplifié, les bassins versants étudiés se trouvent en zone 2 et essentiellement en zone 3 (altimétrie maximale inférieure ou égale à 1000 m NGR pour chaque bassin versant).

Les coefficients de Montana relatifs à ces zones (pour une pluie décennale horaire) sont les suivants :

Tabl. 19 - Coefficients de Montana retenus

Zone	Coefficient *a*	Coefficient *b*
2	72	0,33
3	85	

Pour d'autres périodes de retour, les coefficients sont calculés selon une loi de Gumbel :

$$i_{(d,\,T)} = i_{(1h,\,10ans)} * [0{,}186 * \ln(T) + 0{,}572] * d^{-0{,}33}$$

Avec :

- d la durée de la pluie en heures correspondant au temps de concentration ;
- T la période de retour en année.

On obtient donc une intensité de pluie pour chaque période de retour et pour chaque temps de concentration.

6.2.2.1.2. Détermination des débits caractéristiques

La détermination des débits est réalisée ici au moyen de la méthode rationnelle dont la formule est donnée page 178.

Remarque : pour les bassins versants interceptant plusieurs zones pluviométriques, les débits sont calculés pour chacune des zones concernées puis pondérés selon la part de surface de bassin versant comprise dans chaque zone pluviométrique.

L'application de cette méthodologie donne les résultats suivants :

Tabl. 20 - Débits de crue obtenus selon le guide de la DEAL

BV	Débits (m³/s)				
	Q_{5ans}	Q_{10ans}	Q_{30ans}	Q_{50ans}	Q_{100ans}
Ravine Sèche conf. Gde R St Jean	70	92	135	158	187
Gde R St Jean (Amont confluence Pte R St Jean)	164	225	353	412	490
Pte R St Jean	75	110	175	210	255
Gde R St Jean (Aval confluence Pte R St Jean)	230	320	505	595	708
Ruisseau Emmanuel	40	55	88	103	122
Ruisseau Foutac	13	19	32	37	44
Gde Rivière St Jean (Aval Plaine Bois Rouge - exutoire)	260	365	577	680	810

6.2.2.2. METHODE RATIONNELLE

L'objectif est ici d'actualiser les valeurs retenues en 2011 à partir des données pluviométriques récentes relevées à la station de Menciol. Pour cela, les courbes hauteur-durée-fréquence établies par Météo-France sur la période 1963-2016 ont été recueillies. Rappelons à ce titre qu'il s'agit de la seule station du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean pour laquelle les courbes HDF sont disponibles.

Les hauteurs pluviométriques caractéristiques pour les durées proches des temps de concentration du bassin versant sont fournies dans le tableau suivant :

Tabl. 21 - Hauteurs caractéristiques de précipitations estimées à Menciol (source : Météo-France)

Période de retour	10 ans			20 ans			30 ans			50 ans			100 ans		
Durée de l'épisode	Hauteur estimée	IC à 70 %		Hauteur estimée	IC à 70 %		Hauteur estimée	IC à 70 %		Hauteur estimée	IC à 70 %		Hauteur estimée	IC à 70 %	
30 min	**57,3**	54,8	60,0	**63,0**	60,2	66,4	**66,2**	63,2	70,0	**70,1**	66,7	74,5	**75,2**	71,2	80,7
1 h	**84,8**	80,7	89,6	**94,4**	89,8	100,3	**99,8**	94,8	106,5	**106,5**	100,9	114,4	**115,3**	108,6	125,0
2 h	**132,2**	124,7	141,3	**151,1**	142,4	163,0	**162,2**	152,7	176,0	**176,4**	165,9	193,3	**196,0**	183,3	218,2
3 h	**169,1**	158,9	181,1	**194,1**	182,3	209,6	**208,9**	196,0	227,0	**227,8**	213,4	250,1	**254,1**	236,6	283,0

La comparaison avec les valeurs indiquées au PGRI (période 1969-2008) met en évidence une évolution assez peu marquée (5 à 12 %). On relève ainsi une légère diminution des hauteurs de pluie qui est liée à l'allongement de la période d'exploitation (de 40 à 50 ans) et à l'absence de pluie de hauteur supérieure à celle de 1975 ce qui conduit à attribuer à cet événement une période de retour supérieure et par conséquent à diminuer sensiblement les valeurs de hauteurs de pluies caractéristiques.

L'application de la formule rationnelle tenant compte de ces nouvelles données pluviométriques donne lieu aux résultats fournis dans le tableau suivant.

Rappelons toutefois :

- Qu'un coefficient est appliqué sur l'intensité horaire de Menciol pour prendre en compte l'altitude médiane des bassins versants (coefficient identique au gradient de la pluie journalière en fonction de l'altitude – cf. étude PGRI) ;
- Que les marges d'incertitude indiquées dans le tableau (valeurs entre parenthèses) ont été définies en faisant varier les temps de concentration et les intensités pluviométriques selon l'intervalle de confiance (cf. tableau précédent).

Tabl. 22 - Débits de crue obtenus selon la formule rationnelle (2018)

BV	Débits (m^3/s)				
	Q_{5ans}	Q_{10ans}	Q_{30ans}	Q_{50ans}	Q_{100ans}
Ravine Sèche confluence Gde Riv St Jean	66	90 (77-101)	130	153	180 (157-204)
Gde R St Jean (Amont confluence Pte R St Jean)	162	220 (184-276)	350	410	490 (422-605)
Pte R St Jean	85	123 (104-140)	196	235	280 (243-323)
Gde R St Jean (Aval confluence Pte R St Jean)	230	315 (261-403)	505	600	722 (615-901)
Ruisseau Emmanuel	40	56 (49-64)	90	106	121 (107-138)
Ruisseau Foutac	12	16 (13-20)	26	30	33 (29-40)
Gde Rivière St Jean (Aval Plaine Bois Rouge - exutoire)	262	373 (295-470)	606	720	870 (716-1075)

6.2.2.3. COMPARAISON DES VALEURS DE DEBITS OBTENUES

Tabl. 23 - Comparaison des valeurs de débits obtenues par le guide DEAL et la méthode rationnelle (2018)

BV	Q_{10ans} (m³/s)			Q_{100ans} (m³/s)		
	Guide DEAL (2018)	Méthode rationnelle (2018)	Ecart	Guide DEAL (2018)	Méthode rationnelle (2018)	Ecart
Ravine Sèche confluence Gde Riv St Jean	92	90	2%	187	180	4%
Gde R St Jean (Amont confluence Pte R St Jean)	225	220	2,2%	490	490	0%
Pte R St Jean	110	123	12%	255	280	10%
Gde R St Jean (Aval confluence Pte R St Jean)	320	315	1,5%	708	722	2%
Ruisseau Emmanuel	55	56	2%	122	121	1%
Ruisseau Foutac	19	16	19%	44	33	33%
Gde Rivière St Jean (Aval Plaine Bois Rouge - exutoire)	365	373	2,2%	810	870	7%

A la lecture de ce tableau, on constate que les valeurs obtenues selon les deux méthodes de calcul sont relativement homogènes avec des écarts faibles (3 à 4 % en moyenne) sauf pour le ruisseau du Foutac où cet écart atteint 20 à 30 %.

6.2.3. Elaboration des hydrogrammes de crues caractéristiques

L'objectif de cette étape est d'actualiser les hydrogrammes de crues définis au PGRI qui constituent une donnée d'entrée des modèles hydrauliques 2D qui sont à élaborer (cf. prochain chapitre).

De manière générale, les hypothèses retenues lors de la construction du modèle de transformation pluie-débit sont conservées, les deux principales modifications portant sur la pluviométrie intégrée au modèle (données récentes issues de Météo-France) et sur la définition d'un événement de crue exceptionnelle d'une période de retour de 10 000 ans (qui double les débits centennaux et remplace la crue exceptionnelle décrite au PGRI dont la période de retour était de l'ordre de 500 ans).

Enfin, comparativement à l'étude PGRI, il est intégré la définition d'une crue de longue durée afin d'apprécier son incidence sur l'étendue des zones inondables. Lors du PGRI, les événements pluvieux testés sur HEC-HMS étaient d'une durée de 12 h. L'objectif est donc de doubler la durée de ces événements avec par conséquent une diminution de l'intensité des pluies afin de respecter les volumes caractéristiques de pluie définis par Météo-France.

6.2.3.1. ACTUALISATION DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Comme évoqué au chapitre 6.2.2.2, les données pluviométriques récentes de la station pluviographique de Menciol ont été recueillies afin d'actualiser les valeurs indiquées au PGRI. Pour des durées de pluie de 12 et 24 h, les valeurs à retenir sont les suivantes :

Tabl. 24 - Hauteurs de pluie à Menciol (source Météo France)

		Données 2011		Données 2018	
Période de retour		**10 ans**	**100 ans**	**10 ans**	**100 ans**
Durée de la pluie	12 h	330 mm	538 mm	321 mm	509 mm
	24 h	-	-	430 mm	620 mm

6.2.3.2. DEFINITION DES HYETOGRAMMES DE DUREE 12 H

Les hyétogrammes issus du modèle de transformation pluie-débit du PGRI ont été repris et modifiés pour respecter les nouvelles données pluviométriques de Météo France. Ils sont présentés sur la Fig. 65 en page 187.

Le hyétogramme correspondant à la pluie dite exceptionnelle a été construit en multipliant par un coefficient de 1,65 les intensités pluviométriques de la pluie de temps de retour 100 ans. C'est en effet ce qui permet d'approcher les débits attendus pour ce type d'événement (Q_{100ans} x 2).

Comparativement aux hyétogrammes établis en 2011, les intensités pluviométriques ont logiquement baissé.

6.2.3.3. DEFINITION DES HYETOGRAMMES DE DUREE 24 H

Pour les hyétogrammes s'étendant sur 24 h, la forme a été conservée mais chaque pallier d'intensité pluviométrique a une durée deux fois plus longue. Les intensités ont donc été multipliées par un ratio R_n pour chaque crue de temps de retour N :

$$R10 = \frac{Volume\ pluie(10ans, 24h)}{Volume\ pluie(10ans, 12h) * 2} = 0.7$$

$$R100 = \frac{Volume\ pluie(100ans, 24h)}{Volume\ pluie(100ans, 12h) * 2} = 0.61$$

Comme nous ne disposons pas de valeurs pour des pluies d'une période de retour de 10 000 ans, nous avons pris le même coefficient que pour les crues centennales. Cela surestime vraisemblablement un peu les intensités pluviométriques car R10 > R100 et on peut donc supposer que R100 > R10000.

Les nouveaux hyétogrammes sont présentés sur la Fig. 66 en page 188.

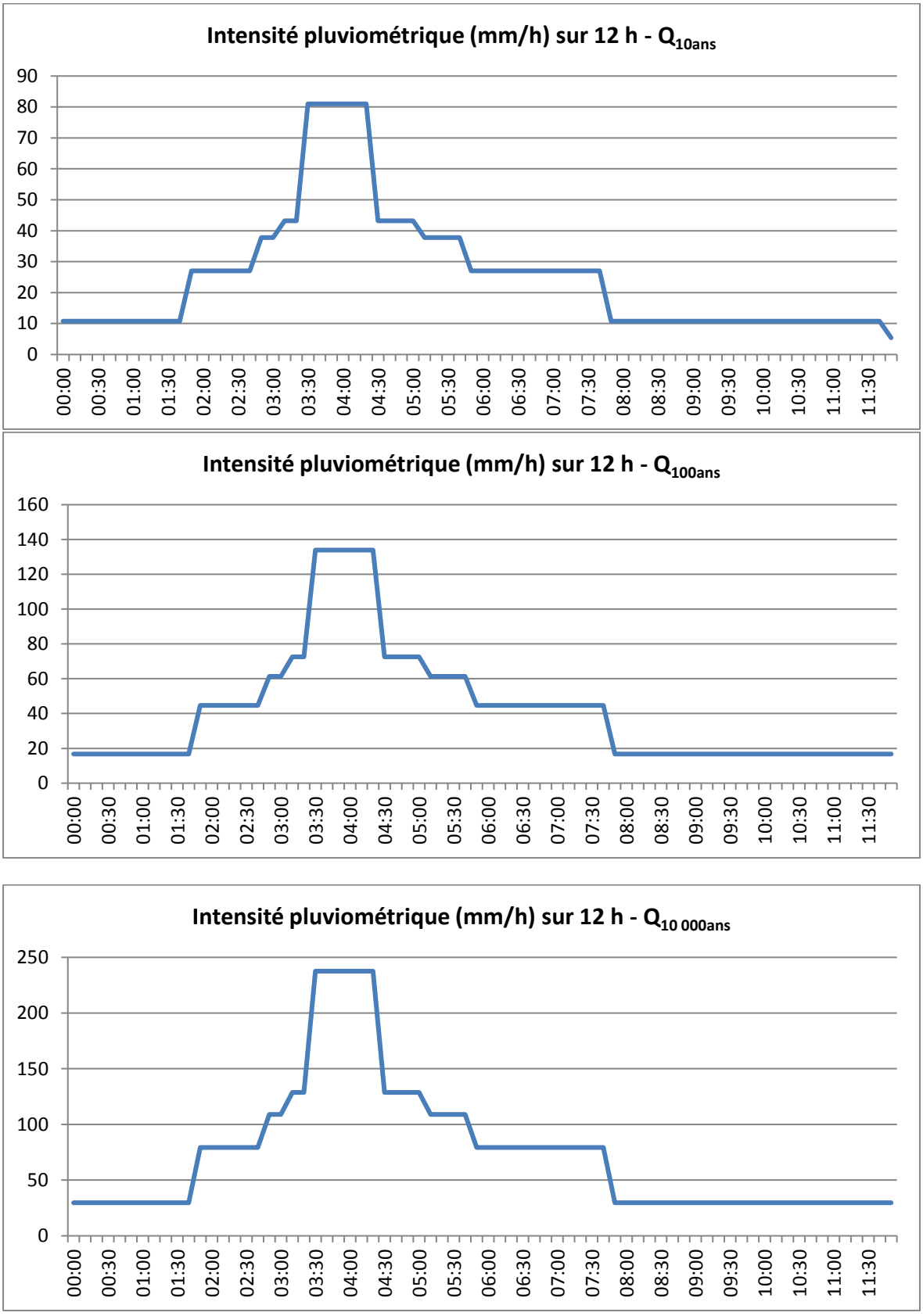


Fig. 65. Nouveaux hyétogrammes établis pour une pluie de durée 12 h

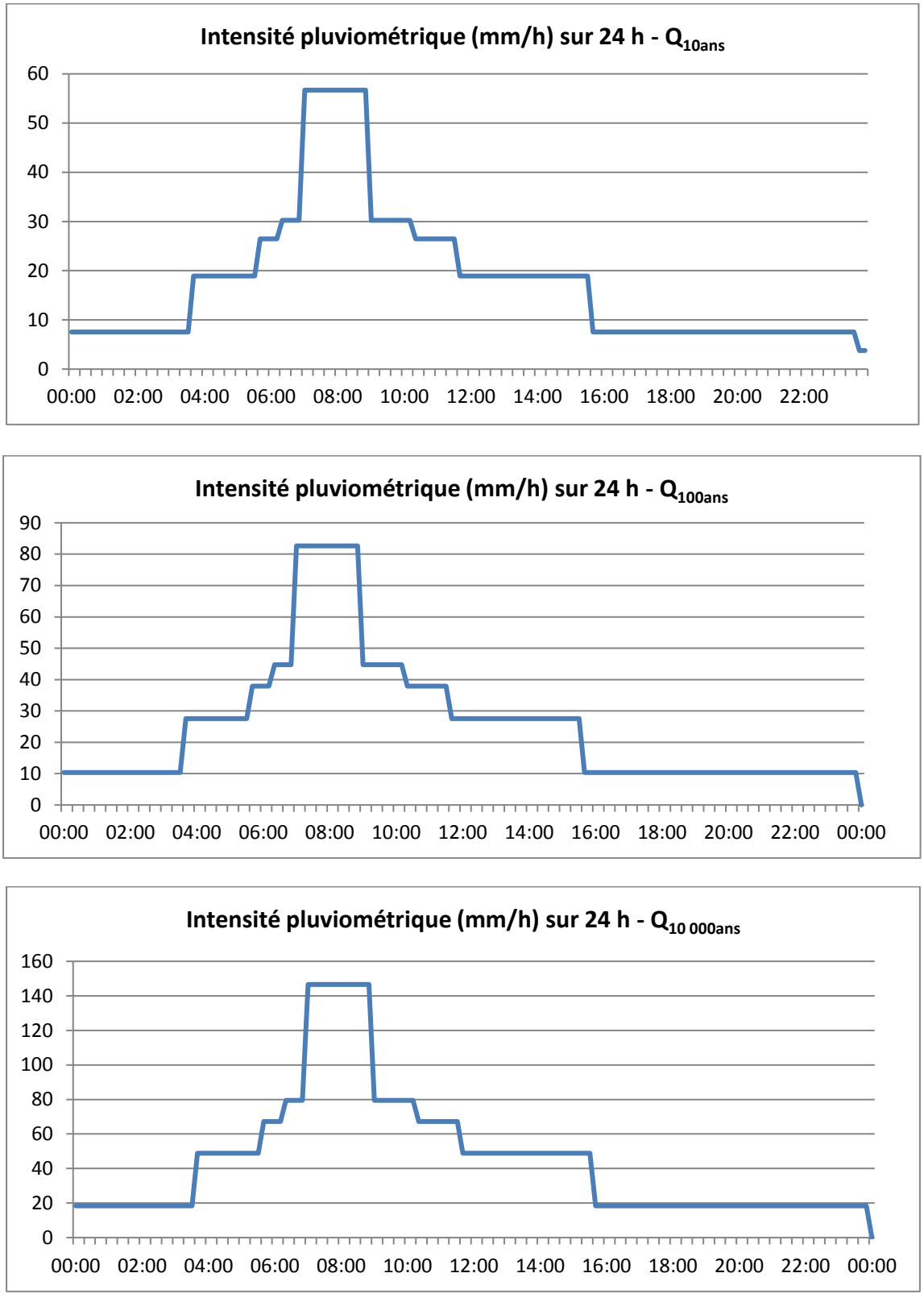


Fig. 66. Nouveaux hyétogrammes établis pour une pluie de durée 24 h

6.2.3.4. DEFINITION DES HYDROGRAMMES DE PERIODE DE RETOUR 10 ANS

Les deux figures présentées ci-après illustrent les hydrogrammes de crue obtenus pour des pluies de durées 12 et 24 h.

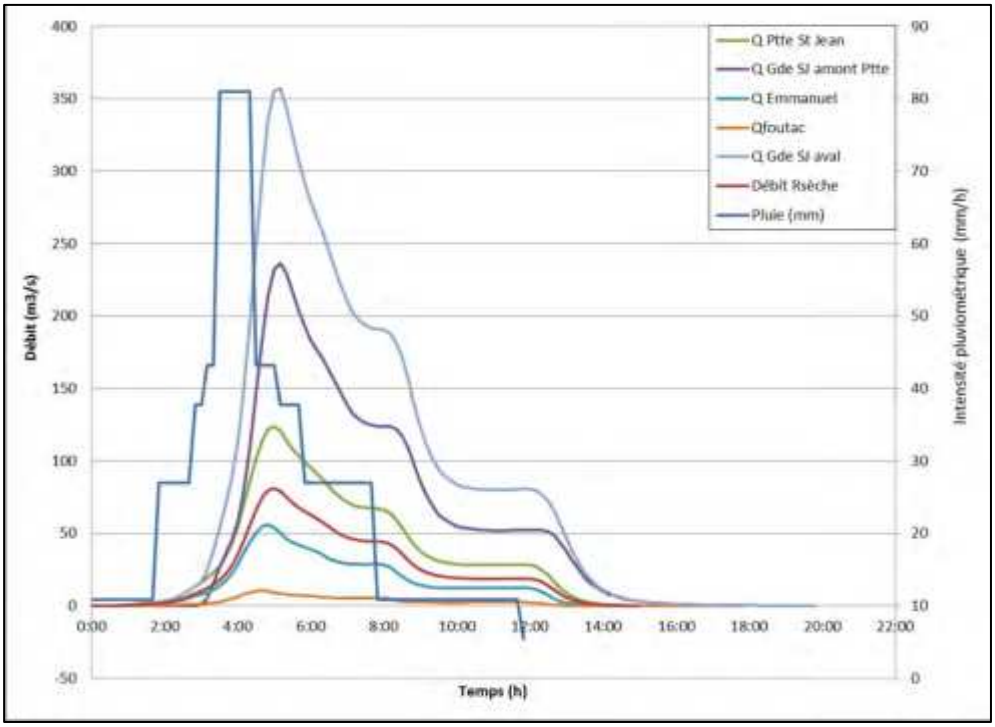


Fig. 67. Hydrogrammes Q_{10ans} †Pluie de 12 h

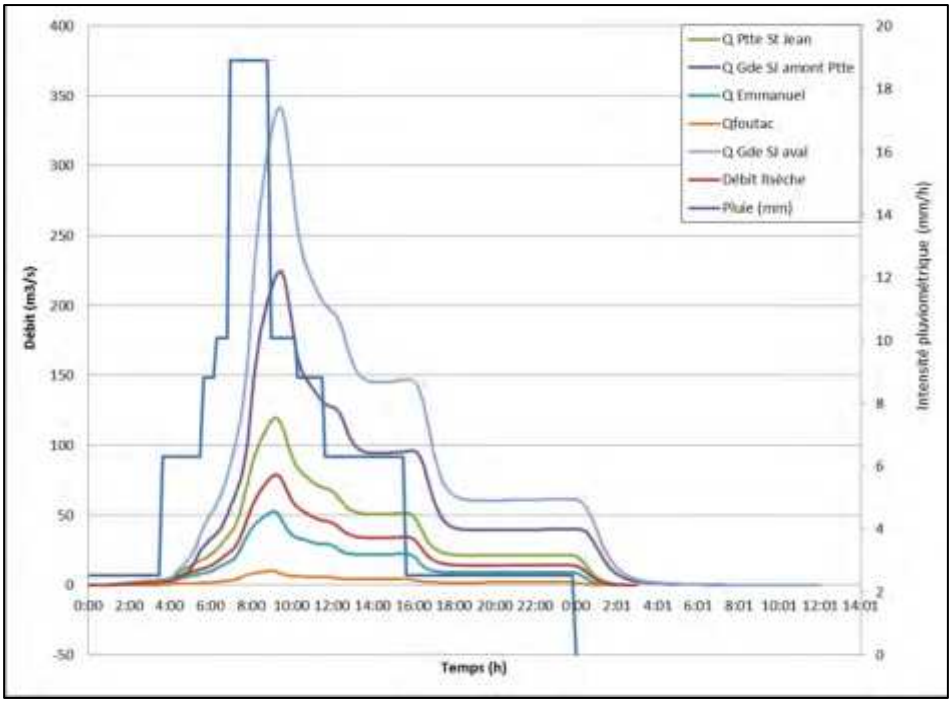


Fig. 68. Hydrogrammes Q_{10ans} †Pluie de 24 h

Les valeurs de débits et de volumes ruisselés correspondant à ces deux événements sont synthétisées dans le tableau suivant :

Tabl. 25 - Débits et volumes de la crue décennale (HEC-HMS)

	Pluie de 12 h		Pluie de 24 h	
	Débit (m³/s)	**Volume (m³)**	**Débit (m³/s)**	**Volume (m³)**
Ravine Sèche confluence Gde Riv St Jean	81	1 335	79	2 147
Gde R St Jean (Amont confluence Pte R St Jean)	236	3 744	225	6 013
Pte R St Jean	124	2 029	120	3 245
Gde R St Jean (Aval confluence Pte R St Jean)	356	5 770	341	9 256
Ruisseau Emmanuel	56	865	53	1 390
Ruisseau Foutac	11	160	10	266

6.2.3.5. DEFINITION DES HYDROGRAMMES DE PERIODE DE RETOUR 100 ANS

Les deux figures présentées ci-après illustrent les hydrogrammes de crue obtenus pour des pluies de durées 12 et 24 h.

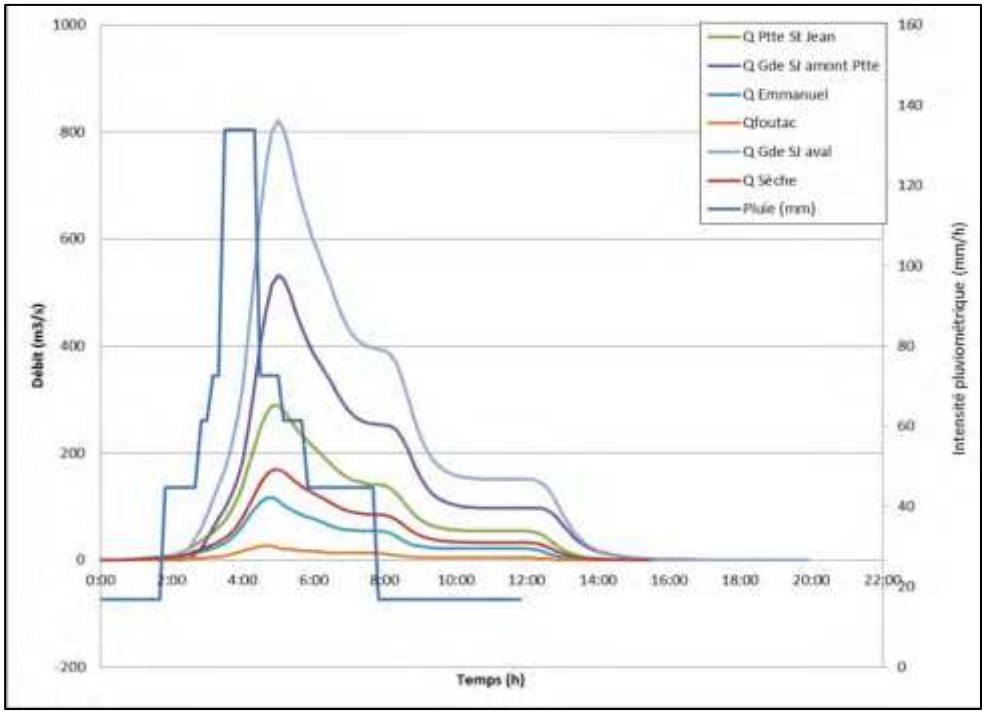


Fig. 69. Hydrogrammes Q_{100ans} †Pluie de 12 h

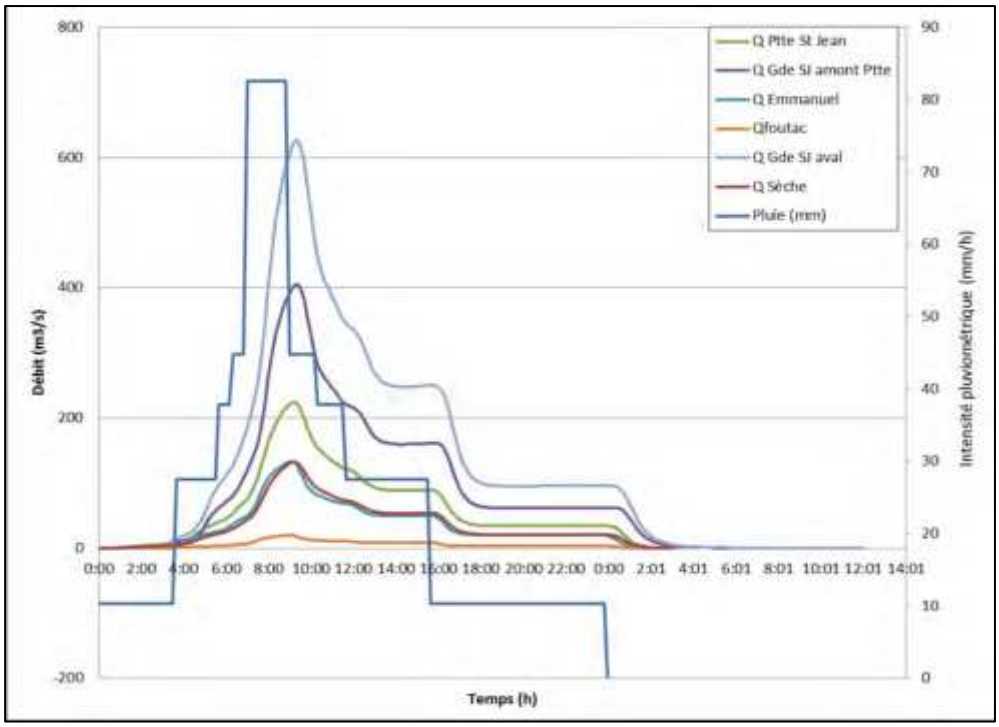


Fig. 70. Hydrogrammes Q_{100ans} †Pluie de 24 h

Les valeurs de débits et de volumes ruisselés correspondant à ces deux événements sont synthétisées dans le tableau suivant :

Tabl. 26 - Débits et volumes de la crue centennale (HEC-HMS)

	Pluie de 12 h		Pluie de 24 h	
	Débit (m³/s)	**Volume (m³)**	**Débit (m³/s)**	**Volume (m³)**
Ravine Sèche confluence Gde Riv St Jean	162	2 370	133	3 493
Gde R St Jean (Amont confluence Pte R St Jean)	553	7 728	406	10 528
Pte R St Jean	311	4 494	225	5 882
Gde R St Jean (Aval confluence Pte R St Jean)	822	12 220	627	16 408
Ruisseau Emmanuel	122	1 535	112	2 263
Ruisseau Foutac	29	379	28	505

6.2.3.6. DEFINITION DES HYDROGRAMMES DE PERIODE DE RETOUR 10 000 ANS

Les deux figures présentées ci-après illustrent les hydrogrammes de crue obtenus pour des pluies de durées 12 et 24 h.

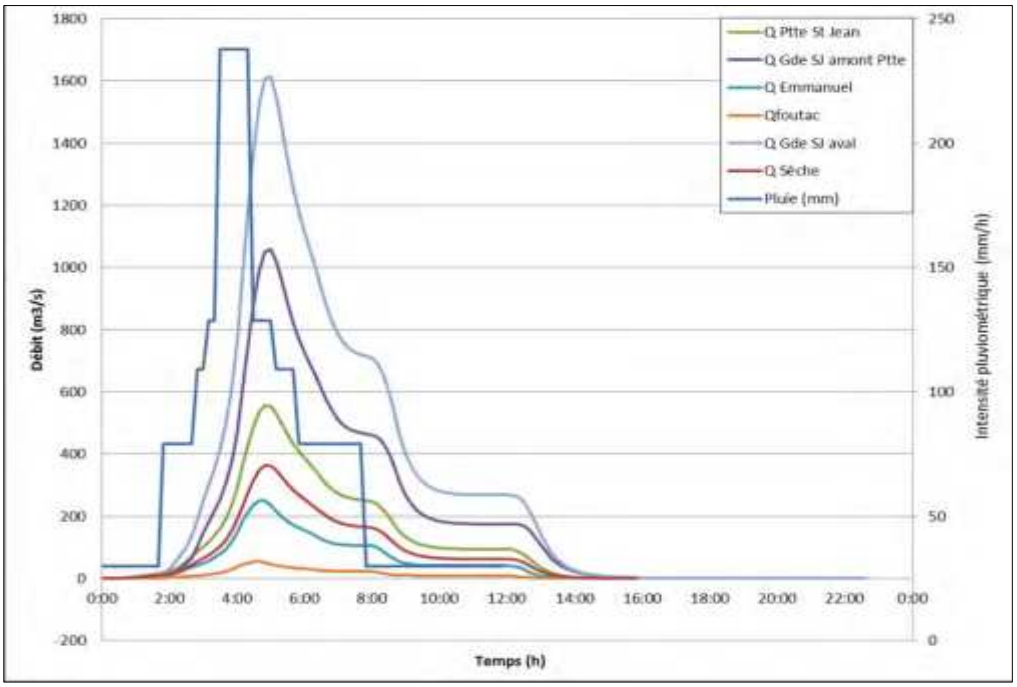


Fig. 71. Hydrogrammes $Q_{10\ 000\ ans}$ †Pluie de 12 h

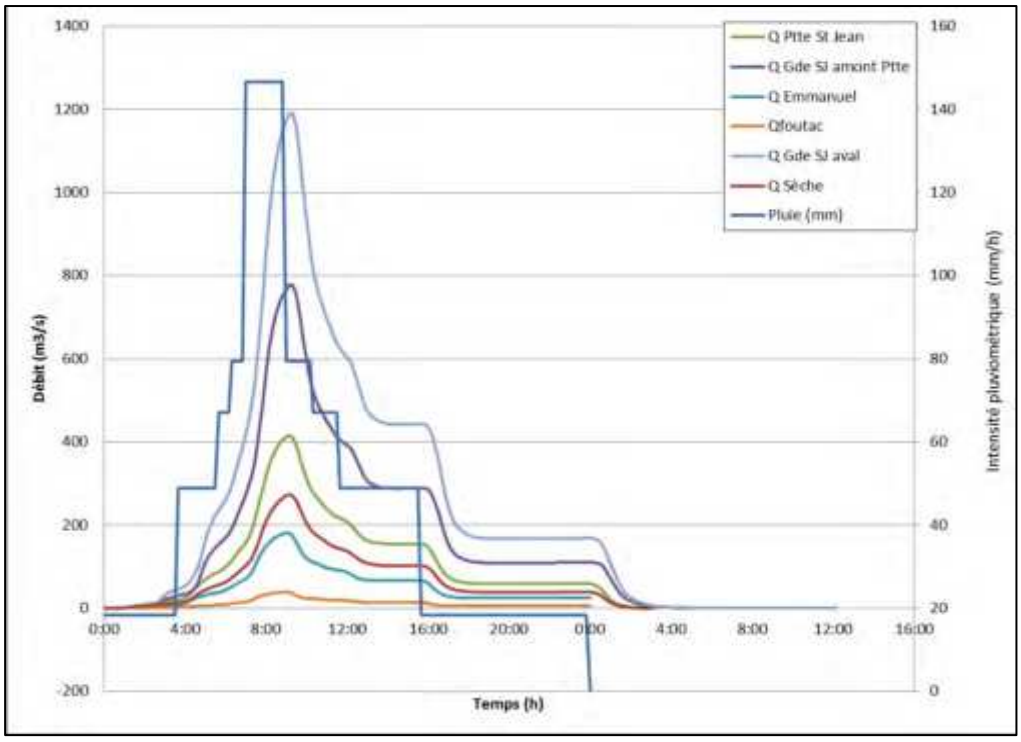


Fig. 72. Hydrogrammes $Q_{10\ 000\ ans}$ †Pluie de 24 h

Les valeurs de débits et de volumes ruisselés correspondant à ces deux événements sont synthétisées dans le tableau suivant :

Tabl. 27 - Débits et volumes de la crue exceptionnelle (HEC-HMS)

	Pluie de 12 h		Pluie de 24 h	
	Débit (m³/s)	**Volume (m³)**	**Débit (m³/s)**	**Volume (m³)**
Ravine sèche confluence Gde Riv St Jean	363	5 512	274	7 101
Gde R St Jean (Amont confluence Pte R St Jean)	1 059	15 587	778	20 064
Pte R St Jean	556	8 415	417	10 813
Gde R St Jean (Aval confluence Pte R St Jean)	1 611	24 002	1 191	30 876
Ruisseau Emmanuel	249	3 571	181	4 600
Ruisseau Foutac	55	743	39	970

Comme évoqué en début de chapitre, un test a été effectué pour apprécier l'impact de la durée de la crue (12 ou 24 h) sur l'étendue des zones inondables puis arrêter le choix de la durée de la crue de référence. Il est décrit au chapitre suivant.

6.2.4. Test et choix de la durée de la crue de référence

6.2.4.1. RAPPEL DE LA DUREE RETENUE DANS LE PGRI

Les hydrogrammes retenus dans le PGRi sont d'une durée de 12h.

Ils ont été construits à partir de hyétogrammes monofréquence et une transformation pluie/débit sous HEC-HMS. Pour établir ces hydrogrammes, 7 crues significatives ont été intégrées à la modélisation.

Il a été mis en évidence que le pic de pluie dure en général environ 12h avec un temps de montée d'environ 4 h pour un temps de descente de 8 h environ. Ainsi, les hyétogrammes de projets (décennal et centennal) ont été construits comme suit :

- Durée de la pluie : 12 heures ;
- Temps de montée deux fois plus rapide que le temps de descente ;
- Période de retour de la hauteur de pluie égale à la période de retour souhaitée pour le hyétogramme quelle que soit la durée.

Il a ensuite été vérifié que la hauteur d'eau totale du hyétogramme de 12h était cohérente avec les hauteurs d'eau totales observées pour des événements de période de retour proches pour des durées similaires :

- La hauteur de pluie totale du hyétogramme décennal est de 330 mm ;
- celle du hyétogramme centennal de 538 mm.

6.2.4.2. COMPARAISON CRUES 12H ET 24H

Dans le cadre de la présente étude, un test de comparaison des crues de durées 12 et 24h a été mené sur le modèle mathématique pseudo-2D du PGRI qui couvre toute la plaine de Bois Rouge (cf. emprise sur la figure ci-après). Ce modèle, moins précis que le modèle 2D réalisé dans le cadre de cette étude mais plus rapide d'utilisation, est pertinent pour vérifier les ordres de grandeur tels que nécessaire dans le présent paragraphe.

Pour rappel, ce type de modèle distingue deux écoulements :

- L'écoulement unidimensionnel (1D) qui décrit le lit mineur des cours d'eau sous la forme de profils en travers ;
- L'écoulement bidimensionnel (2D) qui représente le lit majeur par une série de casiers communiquant entre eux.

Les hydrogrammes présentés au chapitre précédent ont été intégrés au modèle et les résultats obtenus montrent que la crue de durée 24 h conduit à des hauteurs sensiblement moins élevées : 10 à 35 cm de hauteur d'eau en moins (cf. figure page suivante).

Bien que d'un volume plus important, la crue de 24 h bénéficie en effet de débits de pointe moins élevés d'où des hauteurs d'eau dans les lits mineurs plus faibles et des débordements moins importants.

Il a par conséquent été décidé de conserver les hypothèses du PGRI pour la suite de l'étude, à savoir des hydrogrammes d'une durée de 12 h.[6]

[6] Validé en réunion technique le 07/06/2018

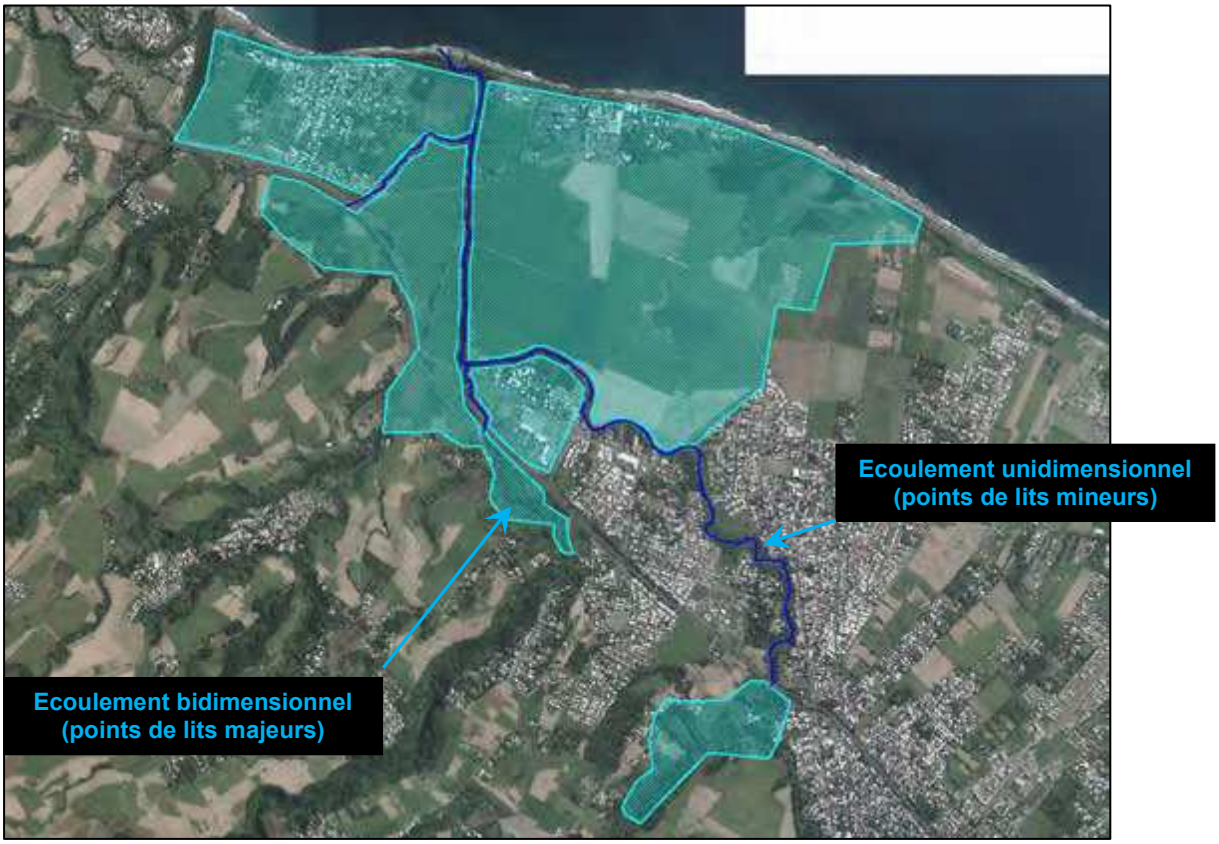


Fig. 73. Modèle pseudo 2D de la plaine de Bois Rouge

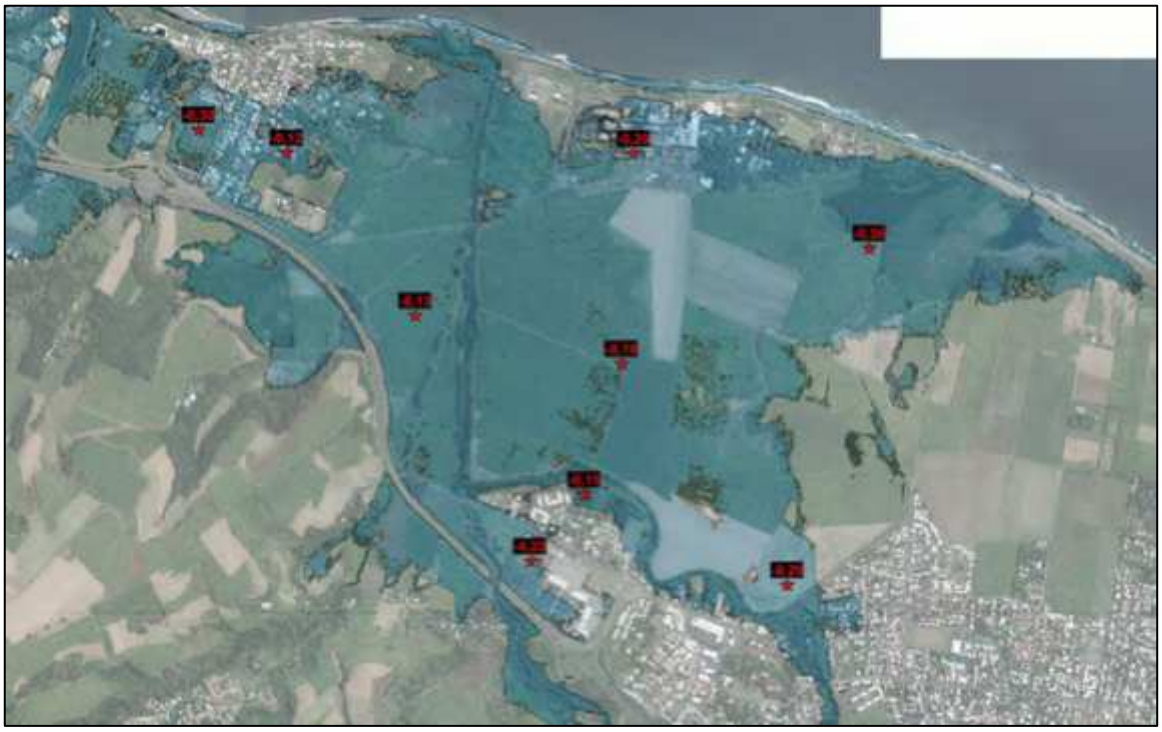


Fig. 74. + D X W H X U V m a x H D X m pour une crue de durée 24h

6.3. COMPARAISON AVEC LES STATIONS HYDROLOGIQUES EXISTANTES

Le présent chapitre a pour objet de comparer la caractérisation des évènements hydrologiques théoriques issus des analyses présentées dans les paragraphes précédents avec des épisodes pluvieux réels et marquants observés sur le bassin versant de la Grande Rivière St Jean.

En 2020, ce bassin versant est équipé de 3 points de mesure des débits :

- Station Grande Rivière St Jean – Grand Bras, avec des données disponibles entre 1982 et 2020 ;
- Station Grand Rivière St Jean – RN 2002, avec des données disponibles entre 2010 et 2020 ;
- Station Grande Rivière St Jean – Délice, avec des données disponibles entre 2010 et 2020.

Code de la station	Libellé de la station	Département de localisation de la station	Hauteurs Données disponibles	Débits Données disponibles
40300100	Le Grand Bras à Saint André	Réunion (974)	2009 - 2020	1982 - 2020
40300101	La Grande Rivière Saint-Jean à Sainte Suzanne [Pont Rn2002]	Réunion (974)	2010 - 2020	2010 - 2020
40301090	La Petite Rivière Saint-Jean à Sainte Suzanne [Cascade Délice]	Réunion (974)	2010 - 2020	2010 - 2020

Fig. 75. Stations mesures de débits †BV Grande Rivière St Jean

L'implantation de ces stations est présentée ci-dessous.

Fig. 76. Localisation des stations de mesures de débit

Sur la période 2010 – 2020 (données disponibles pour ces 3 stations), seul l'épisode Fakir a généré une crue de la Grande Rivière St Jean. Cet évènement peut être retenu comme représentatif du fonctionnement hydrologique de la Grande Rivière Saint-Jean en période de crue.

Les épisodes intermédiaires de type Bejisa (2013) ou Dumile (2013), n'ayant pas généré de débordements majeurs sur le bassin versant, ne permettent pas de proposer une analyse correcte de ces épisodes de crues pour la Grande Rivière Saint-Jean.

Concernant l'épisode Fakir, les données du rapport de la DEAL – Service Veille Hydrologique indique les éléments suivants *:*

« Le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean (communes de Saint-André et Sainte-Suzanne) est équipé de trois stations hydrométriques. Des pics de crues de Durées de Retour estimées supérieures à 20 ans, avec des débits de pointes estimés à environ 400 m³/s (Débit spécifique de plus de 17 m³/s/km²) ont été enregistrés à la station Grande Rivière Saint-Jean - Pont Rn2002 et 110 m³/s (Débit spécifique de plus de 12 m³/s/km²) à la station Petite Rivière Saint-Jean - Cascade Délices ».

Il est à noter que le débit spécifique au droit de la station RN 2002 est plus important que le débit spécifique au droit de la petite Rivière St Jean. On peut donc estimer que le bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean et celui de la Ravine Sèche ont été plus sollicités que celui de la Petite Rivière St Jean. Les retours d'expérience à la suite de cet évènement, et les dégâts observés au niveau du centre-ville de Saint-André confirment la très forte sollicitation hydrologique du bassin versant de la Ravine Sèche. Ceci est confirmée par les laisses de crue constatés sur le terrain (cf paragraphe 7.6).

Cette analyse permet d'affirmer que la période de retour de l'épisode Fakir est supérieure à 20 ans sur le bassin versant de la Ravine Sèche. Ceci ne remet pas en cause l'estimation de la période de retour de 20 ans menée à une échelle plus globale de l'intégralité du bassin versant de La Grande Rivière Saint-Jean.

Les données suivantes présentent les limnigrammes mesurés aux stations pour l'évènement Fakir (hauteurs d'eau au droit des stations de mesures en fonction de de l'heure sur la journée du 24 avril 2018). Elles permettent d'estimer la forme des hydrogrammes de crues correspondant (variation dans le temps du débit).

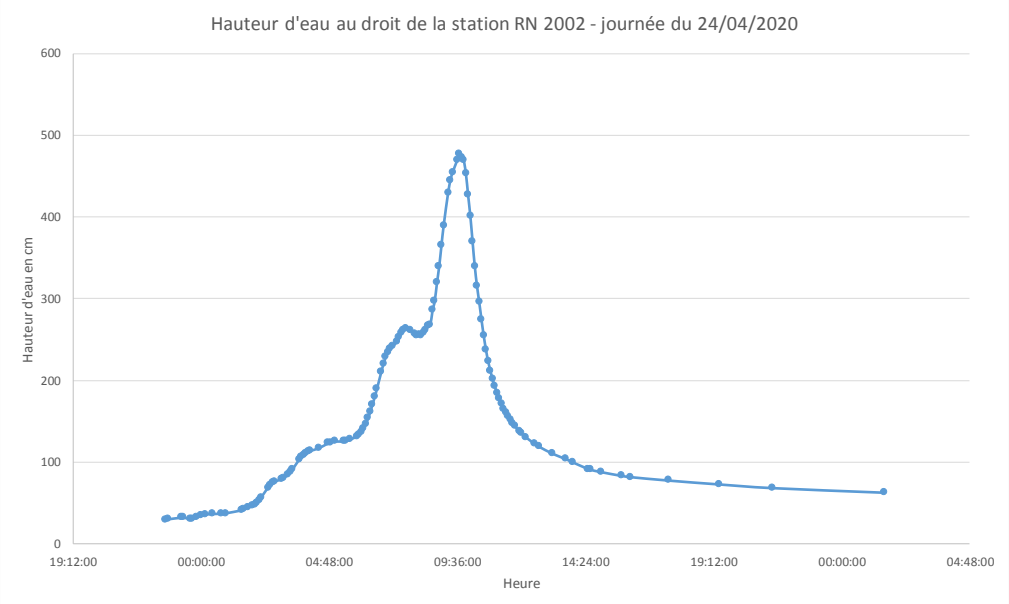


Fig. 77. Hauteurs G•HDX DX GURLW GH OD VWDWLRQ RN2002 lors de l'épisode Fakir

*Fig. 78. Hauteurs G•HDX DX GURLW GH OD VWDWLRQ GH *UDQG %UDV*

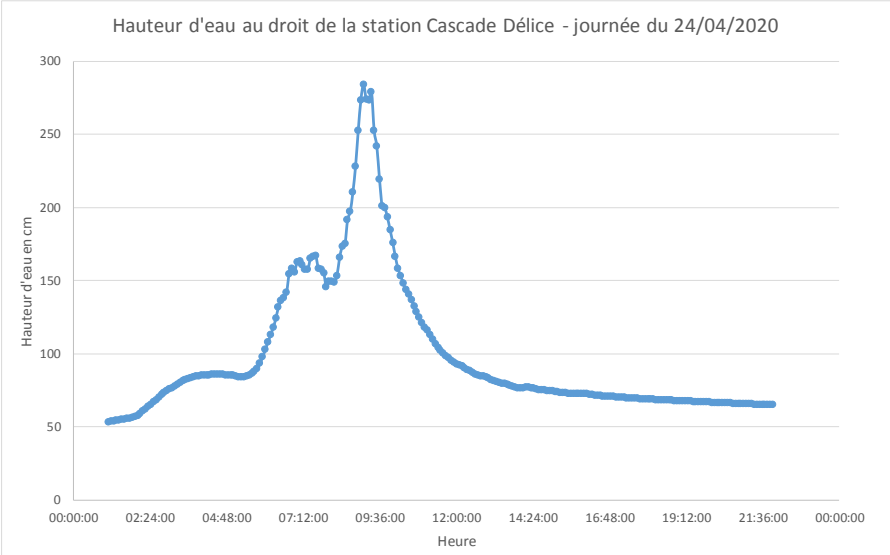


Fig. 79. Hauteurs G•HDX DX GURLW GH OD VWDWLRQ GH &DVFDGH 'pOLFH

Sur ces limnigrammes, on constate :

- Une montée l'épisode de crue entre 00h00 et 9h40, soit sur une durée de 10 heures environ ;
- Une accélération sensible de l'épisode de crue à partir de 06h00 (sur 3 heures 40);
- Une décrue rapide d'une durée d'environ 5 heures,
- Une durée de l'évènement intense sur moins de 7 heures.

En l'absence de données sur la station météorologique de Menciol lors de cet épisode (données pluviométriques), il n'est pas possible de caler le modèle HEC-MS avec cet épisode (modèle de transformation pluie-débit). Cependant, les stations météorologiques avoisinantes (Colosse, Bras Pistoler, Bagatelle) montrent un épisode pluviométrique très caractérisé, avec une montée progressive

de l'intensité pluviométrique depuis le 23/04 à 22h et un pic d'intensité le 24/04 à partir de 7h30 qui a duré 1h. La pluviométrie s'est ensuite stoppée brusquement.

On retrouve cette intensité sur les hydrogrammes présentés ci-dessus, avec une montée progressive de la crue et un pic de débit (et de niveau) situé entre 8h et 11h, puis une décrue très rapide.

Les caractéristiques de ces hydrogrammes « réels » sont différentes de celles des hydrogrammes théoriques de crue retenues pour caractériser les évènements de référence dans le cadre de cette mission et présentées paragraphe 6.2.3.

Les hydrogrammes théoriques, construits à partir de chroniques de pluies théoriques, sont plus « classiques » : ils présentent une montée rapide de la pluviométrie, puis une descente plus lente. Cette méthode classique de crue de projet permet ainsi de représenter les pics de crue à l'origine des risques de débordement. Elle est notamment bien adaptée pour l'analyse et la définition de solutions de réduction sur le bassin versant de la ravine sèche. Concernant les mesures de réductions au niveau de la Plaine de Bois Rouge, l'analyse présentée dans le paragraphe précédent (chap 6.2.4.2) permet de choisir la durée de crue la plus contraignante pour la protection des enjeux situés sur ce secteur.

Ainsi, ces éléments analysés sur l'épisode Fakir ne remettent pas en cause les choix opérés pour la définition des évènements de référence qui sont des évènements théoriques permettant de caractériser différents niveaux de sollicitation du territoire d'étude.

Le chapitre 7.6 complète cette analyse des épisodes pluvieux historiques en confrontant les résultats des modélisations hydrauliques avec les débordements et laisses de crue constatés lors de ces épisodes de crue historique.

6.5. HYDROLOGIE DETAILLEE DES RAVINES SECHE ET PAYET SUR LA TRAVERSEE DU CENTRE VILLE

Le paragraphe précédent donne l'hydrogramme de crue de la Ravine Sèche au point de confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean.

Ce paragraphe précise les débits en différents points de son bassin versant, notamment au niveau de chaque affluent, axe d'écoulement ou ouvrage.

6.5.1. Méthode

L'analyse hydrologique menée dans le paragraphe précédent est complexe car la forme de l'hydrogramme influence fortement les niveaux d'eau, la plaine de Bois Rouge étant fortement inondable, peu pentue, et les tronçons de cours d'eau associés présentant des pentes plus douces que sur les tronçons plus en amont.

En revanche, sur les ravines Sèche et Payet, les axes d'écoulements et les zones inondées sont plus pentus. La méthode rationnelle peut donc être utilisée.

6.5.2. Points de calcul et bassins versants

Les points de calculs de débits pour la Ravine Payet sont définis dans la figure suivante :

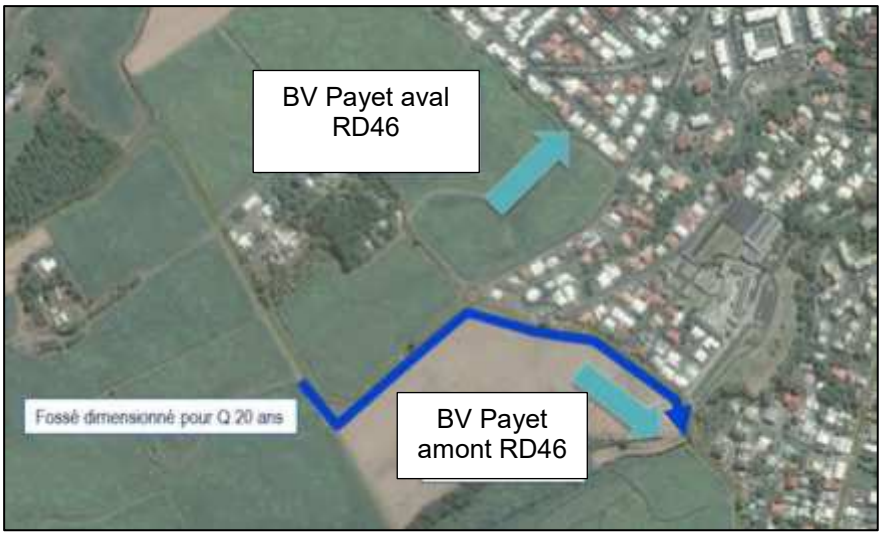


Fig. 80. Points de calculs des débits Ravine Payet

Il est observé un fossé d'eaux pluviales en amont de la RD46 qui intercepte les eaux pluviales pour les diriger vers le canal Masure le plus à l'*est* (BV Payet amont RD46). Ce fossé est supposé être dimensionné pour Q_{20} car réalisé pour gérer les eaux pluviales de la voirie. Des débordements ont notamment été constatés lors de l'épisode Fakir.

Les caractéristiques des bassins versants aux points de calculs sont les suivantes :

Tabl. 28 - Caractéristiques des bassins versants

BV	S totale (km^2)	S totale (ha)	Longueur (m)	Périmètre (km)	Alt max (m)	Alt min (m)
BV ravine Sèche au pont Morin	5.1	507.0	10 000	22.5	882	76
BV ravine Payet amont RD46	0.4	42.1	1870	4.2	240	140
BV ravine Payet aval RD46	0.3	30.6	830	2.7	140	112

6.5.3. Débits de pointe

Les débits de pointe ainsi calculés sont les suivants :

Tabl. 29 - Débits de pointe en amont de la Ravine Sèche et Payet

BV	Q10 m^3/s	Q20 m^3/s	Q100 m^3/s
BV ravine Sèche pont Morin	60	80	130
BV ravine Payet amont RD46	7	10	15
BV ravine Payet aval RD46	6	8	19

Les résultats sont conformes aux observations post-Fakir, qui représentait une période de retour de l'ordre de 30 à 50 ans sur ces cours d'eau.

Le canal Masure ne reprend que les eaux collectées par le fossé en Q100, soit 10 m^3/s environ.

FIG. 81. Points de calculs des débits Ravine Payet

6.6. SYNTHESE DES DEBITS DE POINTE

Les débits de pointe retenus dans le cadre de la présente étude sont synthétisés dans le tableau suivant.

Tabl. 30 - Synthèse des débits de pointe retenus

	Q10	Q30	Q50	Q100	Q10 000
Débit de référence pour la Grande Rivière Saint-Jean au niveau de son exutoire	357 m^3/s	505 m^3/s	600 m^3/s	822 m^3/s	1 613 m^3/s
Débit de référence pour la Grande Rivière Saint-Jean en amont de la confluence avec la PRSJ	237 m^3/s	350 m^3/s	410 m^3/s	533 m^3/s	1 060 m^3/s
Débit de référence Ravine sèche en amont du Pont Morin	60 m^3/s	90 m^3/s	100 m^3/s	130 m^3/s	195 m^3/s

6.7. CONDITIONS MARINES ET CORDON LITTORAL

6.7.1. Introduction

Les niveaux marins ont un impact considérable sur les niveaux d'eaux sur la plaine de Bois Rouge et dans le quartier de la Marine lors des épisodes de fortes crues. Ils ont fait l'objet d'une étude poussée dans l'étude PGRI de la Grande Rivière Saint Jean et l'étude GIP. Les conclusions de ces études sont reprises ici. Elles sont présentées dans le présent paragraphe.

6.7.2. Niveaux marin

Les fluctuations du niveau de la mer ont deux origines :

- La marée astronomique ;
- Les surcotes liées aux conditions météorologiques,

Marée astronomique

L'annuaire des marées donne au port de la Pointe des Galets :

- Pleine mer de vive eau (coefficient 95) **+ 0,28 m NGR** (arrondi à **0,3 mNGR**) ;
- Basse mer de vive eau (coefficient 95) - 0,32 m NGR,

Pour des marées de vive eau exceptionnelles, des niveaux de l'ordre de + 0,45 m NGR peuvent être atteints,

Surélévation cyclonique

Elle est due au passage des cyclones au voisinage de l'île et dépend :

- De la pression barométrique : on peut admettre que le niveau s'élève d'autant de centimètres que la pression a baissé de millibars, ce qui signifie des surcotes de 0,2 m à 0,6 m ;
- Des vents : les surcotes sont de l'ordre d'une dizaine de centimètres ;
- De la morphologie des fonds,

Pour déterminer la surcote globale, des enregistrements réalisés par le SPBA au Port *Est* de la Pointe des Galets, sur la période 1993 – 1997, ont permis d'estimer la fréquence de dépassement d'une surcote donnée,

Tabl. 31 - Surcotes marines

Période de retour (années)	10	100
Surcote (m)	0,5	**0,85**

Niveau de la mer

Cumulées à une marée, les surcotes précédentes conduisent aux niveaux de la mer suivants :

Tabl. 32 - Niveaux de la mer cumulés avec surcotes

Période de retour (années)	**100**
Niveau (m NGR) houles cycloniques avec **une marée de 95**	**+ 1,15**
Niveau (m NGR) houles cycloniques avec une marée exceptionnelle	+ 1,30
Niveau (m NGR) houles d'alizés	+ 0,45

A cette surcote, vient s'ajouter une surélévation locale, le set-up, générée par le déferlement, Cette surélévation est progressive : elle est nulle au large, de quelques centimètres dans la zone de déferlement, et peut atteindre au maximum 0,5 à 0,6 m près du rivage (soit en moyenne **0,55 m**),

Au final, les valeurs de niveaux marins retenues pour la modélisation sont synthétisées dans le tableau suivant et sont identiques pour la Grande Rivière St-Jean et la rivière Ste-Suzanne :

Tabl. 33 - Niveaux aval adoptés pour le modèle hydraulique

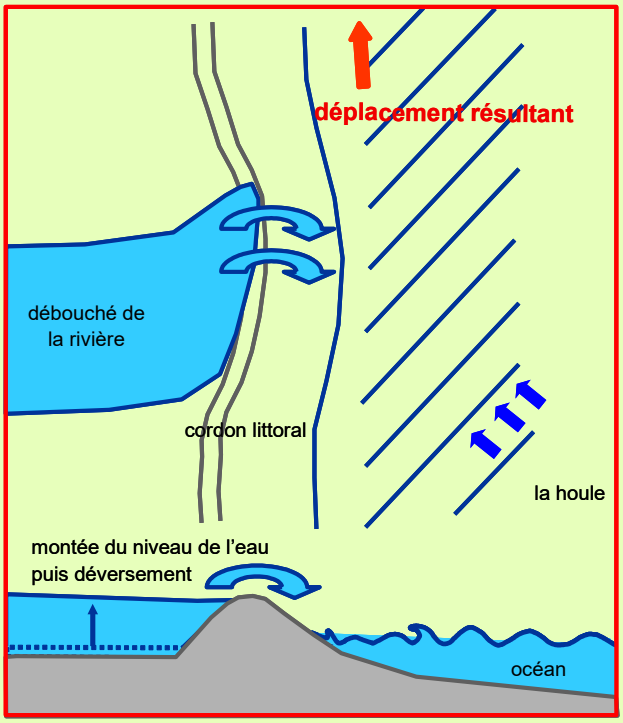
Crue	**centennale**
Niveau aval (m NGR)	**1,7** (soit 0,3 pour la marée + 0,85 pour la surcote + 0,55 m pour le set-up)

Dans le cadre de la définition de l'état initial, ce niveau n'intègre pas la rehausse du niveau d'eau à l'horizon 50 ans liée au changement climatique, estimée à + 0.5m. Il sera cependant pris en compte dans le cadre de la définition de l'état projet et de la définition des aménagements.

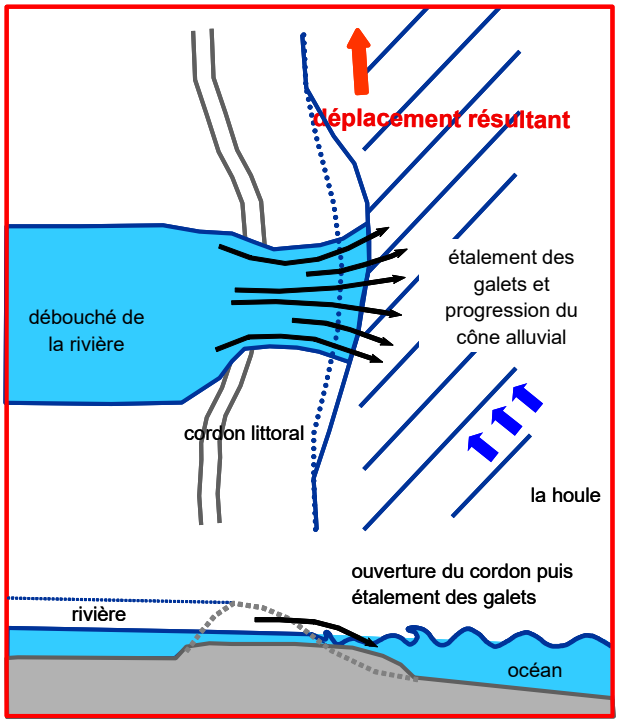
6.7.3. Comportement du cordon littoral

La démonstration suivante découle des études antérieures réalisées sur la zone d'étude.

Evolution du cordon de galets en période de crue

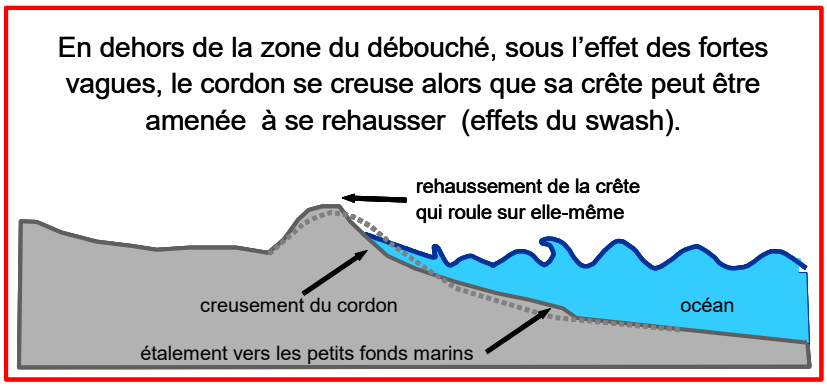


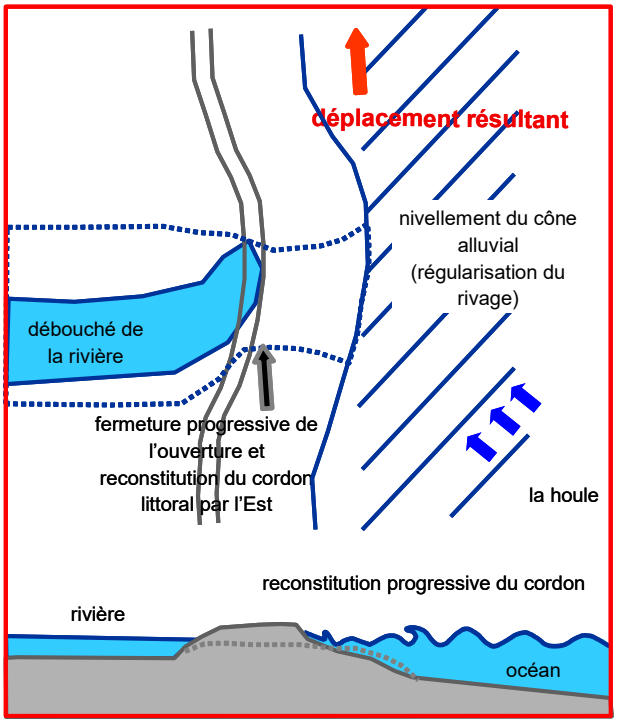
Lors des crues, la rivière sort de son lit mineur et le niveau de l'eau monte progressivement jusqu'à atteindre et surverser par-dessus la crête du cordon de galets.



Le déversement de l'eau s'accompagne d'un étalement des galets en crête du cordon. Dès qu'une brèche s'ouvre en haut de cordon, le "barrage" que constitue ce cordon est enfoncé. Un chenal s'établit permettant à la rivière de s'écouler.
L'importance de ce chenal et la rapidité de son ouverture dépend de la magnitude du débit du cours d'eau et des conditions océanographiques.

Lorsque les épisodes pluvieux s'accompagnent d'un renforcement significatif de la mer (dépression tropicale ou cyclone), la zone du débouché (plage et cordon) est soumise à des actions antagonistes des fortes vagues qui remontent les galets lors du swash (zone où les vagues remontent et descendent le long de la plage) et l'écoulement des eaux qui les repoussent.





A la fin de la crue, la houle et le courant littoral reforment ensuite le "barrage".

Enseignement et principes de représentation adoptés

L'étude de la rivière Sainte-Suzanne a montré qu'en cas de forte houle cyclonique concomitante à la crue de la rivière, la rupture du cordon était progressive et pouvait se faire en plusieurs points. En particulier, il n'était pas observé d'ouverture franche du cordon avec des profondeurs importantes mais au contraire le maintien d'un seuil à des cotes voisines de +1 m NGR.

Cependant, il faut souligner qu'il est délicat d'estimer la période de retour d'un événement conjuguant une forte crue (centennale par exemple) et une forte houle (période de retour d'au moins 10 à 30 ans), qui est supérieure ou égale à 100 ans (hypothèse sécuritaire).

Sur le littoral de Saint-André et de Sainte-Suzanne, cette conjonction dépend essentiellement de la nature du phénomène à l'origine de la crue :

- Si les pluies sont d'origine convectives (précipitations orageuses sans système dépressionnaire organisé – exemple février 1990), il n'y a pas de houle significative ;
- Si les pluies sont liées à un système dépressionnaire (cyclone ou tempête tropicale), la houle est significative et concomitante (ou en avance) avec la crue, compte tenu des trajectoires habituellement observées des systèmes (exemple : Dina en janvier 2002).

Au cours de l'étude de 2007, les hypothèses de rupture du cordon avaient été définies selon la procédure suivante :

- Modélisation de chacun des exutoires par trois déversoirs fusibles en parallèle, dont les cotes de départ et finale, largeur et rapidité de destruction étaient fixées en fonction des paramètres déjà retenus dans des cas similaires et par analogie avec le fonctionnement de la Rivière Sainte-Suzanne, les largeurs déversantes de cordon étant similaires ;
- Deux hypothèses (basse et haute) étaient adoptées : l'hypothèse basse correspondait au fonctionnement du cordon sans influence notable de la houle, l'hypothèse haute correspondait au fonctionnement du cordon avec une influence notable de la houle ;
- Tests de sensibilité sur la plaine de Bois Rouge en fonction des hypothèses adoptées ;
- Choix d'hypothèses de fonctionnement du cordon littoral des exutoires.

Les paramètres des déversoirs fusibles adoptés étaient les suivants :

Tabl. 34 - Paramètres des déversoirs fusibles du cordon littoral sur la Grande Rivière St-Jean

Largeur du déversoir (m)	Cote d'amorce de destruction (m NGR)		Cote finale (m NGR)		Délai de destruction (mn)	
	basse	haute	basse	haute	basse	haute
15	0,50	1,50	0,50	1,00	Fixe	60
60	1,00	2,00	0,50	1,00	60	120
60	1,50	2,50	0,50	1,00	60	120
60	2,00	3,00	0,50	1,00	60	120

Tabl. 35 - 3DUDPqWUHV GHV GpYHUVRLUV IXVLEOHV GX FRUGRQ OLWW Bois Rouge

Largeur du déversoir (m)	Cote d'amorce de destruction (m NGR)		Cote finale (m NGR)		Délai de destruction (mn)	
	basse	haute	basse	haute	basse	haute
10	0,50	1,50	0,50	1,00	Fixe	60
15	1,00	2,00	0,50	1,00	60	120
15	1,50	2,50	0,50	1,00	60	120
15	2,00	3,00	0,50	1,00	60	120

Le test de sensibilité des hypothèses de fonctionnement du cordon littoral avait été réalisé sur la crue de février 1990. Les cotes d'inondation sont présentées dans le tableau suivant.

Tabl. 36 - Sensibilité des hypothèses de fonctionnement du cordon littoral (crue de février 1990)

Point de calcul	Cote d'inondation (m NGR)	
	Déversoirs fusibles, hypothèse basse	Déversoirs fusibles, hypothèse haute
Amont immédiat cordon littoral Grande Rivière Saint-Jean	2,17	2,90
Etang de Bois Rouge	2,09	2,90
Sucrerie de Bois Rouge	4,46	4,50
Amont chemin de Bois Rouge	4,90	4,92
Aval chemin de Bois Rouge	3,36	3,43

A la lecture de ce tableau, il avait été constaté que l'influence des conditions de fonctionnement du cordon littoral était logiquement forte à proximité immédiate des exutoires, sensible en aval du chemin de Bois Rouge, et faible en amont de celui-ci. La réhausse du niveau marin liée au réchauffement climatique aura également un impact faible sur les niveaux amont du chemin de Bois Rouge.

Au final, le choix s'était porté, par sécurité, sur l'hypothèse haute de fonctionnement du cordon littoral et a été maintenu pour l'étude en cours. Cette hypothèse correspond donc à un cordon de largeur totale de 195 m avec une côte d'amorce de destruction située entre 1.5 et 3.0 mNGR.

7. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE - MODELISATION

7.1. PRESENTATION

La définition du fonctionnement hydraulique de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents, et la définition des inondations causées par les débordements de ces cours d'eau repose sur une modélisation hydraulique du secteur.

7.1.1. Choix du type de modélisation

Le secteur d'étude étant de taille importante avec des zones d'écoulements complexes, il a été choisi de coupler deux types de modèles :

- **Un modèle 1D** qui représente avec finesse les écoulements en lit mineur. Il représente également le lit majeur, cependant il ne permet pas de connaitre le détail de la hauteur et la vitesse dans chaque rue ;
- **Des modèles 2D** sur les secteurs à enjeux et à écoulements complexes. Ces modèles représentent avec précision les éléments structurants tels que les bâtiments ou groupe de bâtiments, les remblais, les fossés… Le modèle 1D fourni les conditions aux limites aux modèles 2D.

Ce choix a été motivé par les arguments suivants :

- un modèle 1D global, aussi précis soit-il ne permettait pas d'avoir le détail nécessaire dans les quartiers à enjeu au niveau des rues et bâtiments.
- Construire un unique modèle 2D de l'ensemble de la zone est techniquement possible mais cela engendrerait les inconvénients suivants :
  - Un cout de construction du modèle important
  - Un cout important pour la construction des scénarios de protection dans le lit mineur
  - Des temps de calcul très long
  - Des risques d'instabilité et des problèmes de paramétrage numérique dus à la grande taille du modèle et aux fortes pentes du secteur.
- De plus les résultats ne serait ni meilleurs ni plus précis en ne construisant qu'un seul grand modèle. Au contraire, construire des modèles imbriqués permet de concentrer les efforts sur les endroits complexes ou plus importants.

7.1.2. Présentation du modèle

La modélisation hydraulique réalisée comprend :

- **Une modélisation 1D** à l'aide du logiciel HEC-RAS de la ravine Sèche depuis son entrée dans le centre-ville de Saint André jusque son exutoire dans la Grande Rivière Saint Jean.
- **Une modélisation 2D** à l'aide du logiciel TELEMAC 2D :
  - Les débordements de la ravine Sèche dans le centre-ville de Saint André (débordement en rive droite et débordement en rive gauche en intégrant la Ravine Payet) ;
  - Les débordements de la Grande Rivière Saint Jean au niveau de la Plaine de Bois Rouge et du quartier de la Marine (modèle en cours de réalisation dans le cadre de l'étude du GIP et qui sera étendu dans le cadre de la présente étude).

La figure ci-dessous présente les emprises des modèles 2D. En rose les trois modèles construits pour la présente étude. En noir le modèle déjà existant, les zones roses représentent dans ce cas un agrandissement de ce modèle.

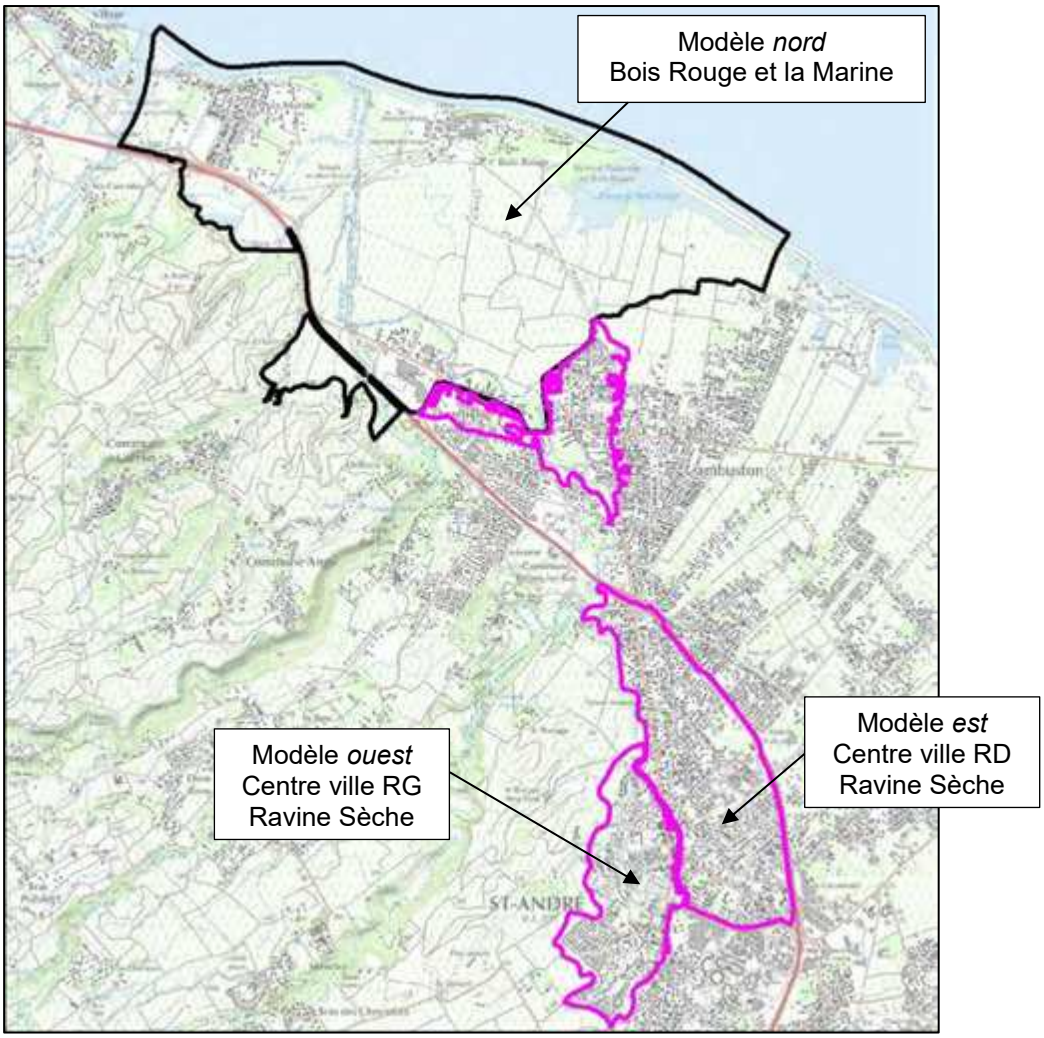


Fig. 82. Emprises des trois modèles 2D Télémac

Le territoire d'étude est ainsi scindé en 2 modèle : un modèle amont (centre-ville) et un modèle aval (Bois Rouge / La Marine). En effet, la Grande Rivière Saint-Jean est encaissée et ne déborde pas sur le tronçon intermédiaire aux 2 modèles. Les 2 modèles sont donc indépendants. La séparation de ces 2 modèles permet de limiter la taille du modèle et d'affiner les conditions d'écoulement.

Les zones en rose correspondent également à l'emprise des levés LIDAR réalisés dans le cadre de la présente étude.

7.1.3. Synthèse des hypothèses hydrologiques

Cinq niveaux de crues ont donc été modélisés, des débits de premier débordements (10 ans) aux débits extrêmes (10 000 ans). Les estimations de ces débits sont présentées dans l'analyse hydrologique menée au § 5.

Les débits de références sont synthétisés dans le tableau suivant et sont comparés avec des évènements historiques et avec les débits sur d'autres cours d'eau majeurs de l'île.

Tabl. 37 - Synthèse des débits de pointe et comparaison avec des évènements historiques

	Q10	Q30	Q50	Q100	Q10 000
Débit de référence pour la Grande Rivière Saint-Jean au niveau de son exutoire	357 m^3/s	505 m^3/s	600 m^3/s	822 m^3/s	1 613 m^3/s
Débit de référence pour la Grande Rivière Saint-Jean en amont de la confluence avec la PRSJ	237 m^3/s	350 m^3/s	410 m^3/s	533 m^3/s	1 060 m^3/s
Débit de référence Ravine sèche en amont du Pont Morin	60 m^3/s	90 m^3/s	100 m^3/s	130 m^3/s	195 m^3/s
Evènements météorologiques de référence	*Cyclone Hyacinthe (1980)*	*Cyclone Fakir (2018)*		*Cyclone Inès (1975)*	-
Débit Rivière des Galets	*1 150 m^3/s*			*3 400 m^3/s*	*8 400 m^3/s*
Débit Rivière des Marsouins	*1 355 m^3/s*			*2 610 m^3/s*	*4 700 m^3/s*

7.2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DES RAVINES SECHE ET PAYET - MODELE 1D

Le fonctionnement de la Ravine Sèche en crue décennale / centennale, et notamment les points de débordements et les débits associés, résulte de la modélisation 1D. En effet, cette modélisation intègre le lit mineur des cours d'eau et les ouvrages hydrauliques (ponts et OH).

7.2.1. Hypothèses hydrologiques

Les hypothèses hydrologiques sont les suivantes :

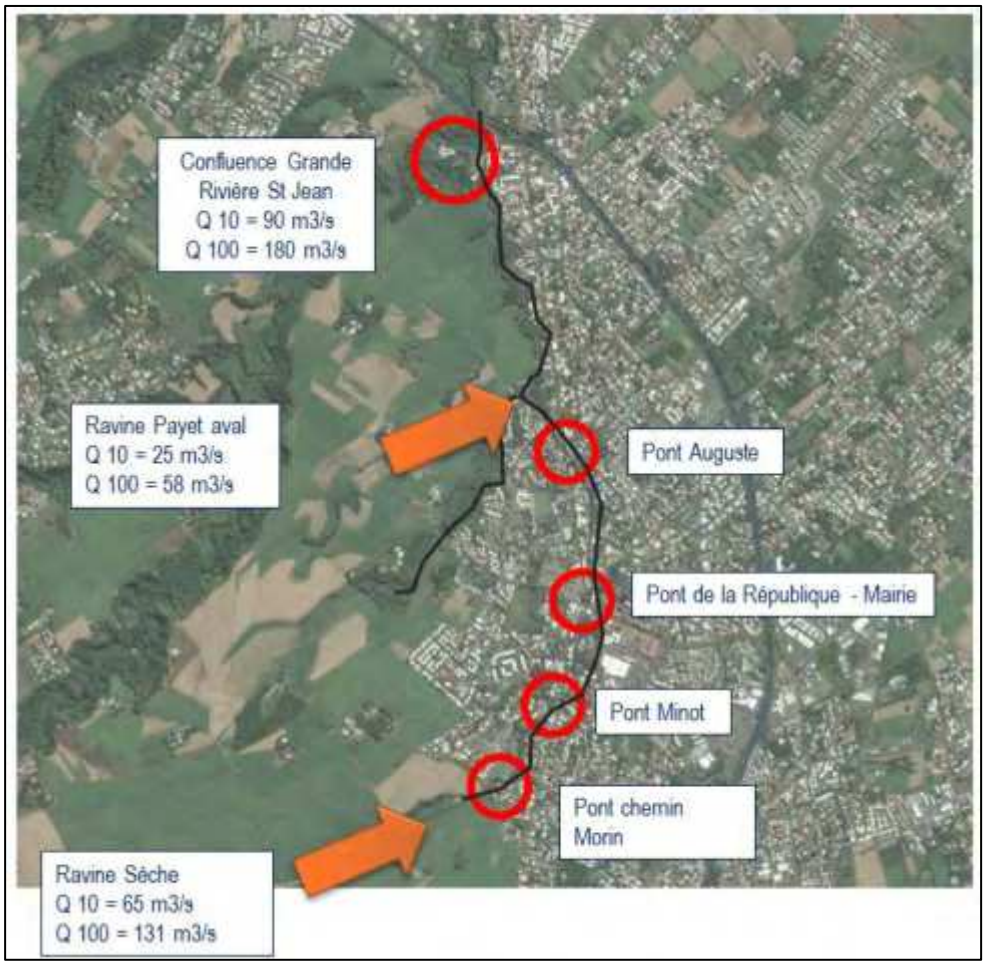


Fig. 83. Hypothèses hydrologiques †Modèle 1D

7.2.2. Modèle 1D / 2D

Le modèle 1D/2D est monté sous le logiciel HEC-RAS. Son emprise porte depuis l'amont du pont chemin Morin jusque la confluence avec la Grande Rivière St Jean.

Ce modèle est monté :

- Pour la partie 1D, à partir des différentes sections de la ravine Sèche et des ouvrages de franchissement existants.
- Pour la partie 2D, à partir des MNT issus des LIDAR.

Fig. 84. Modèle HECRAS sur la Ravine Sèche †vue en 2D du secteur aval

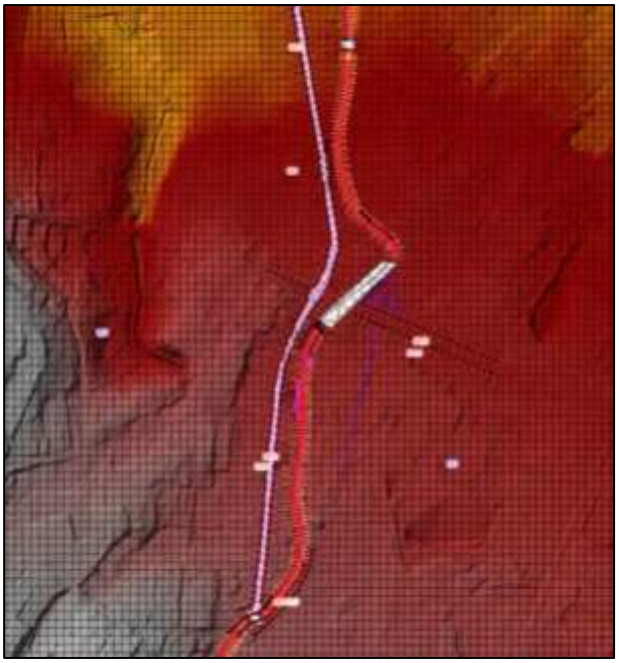


Fig. 85. Modèle HECRAS sur la Ravine Sèche †Maillage et détail du lit et des ouvrages sur le centre-ville (tronçon Minot-Auguste)

Les différentes crues sont modélisées selon les hydrogrammes présentés dans le paragraphe 6.2.3.4 et suivants.

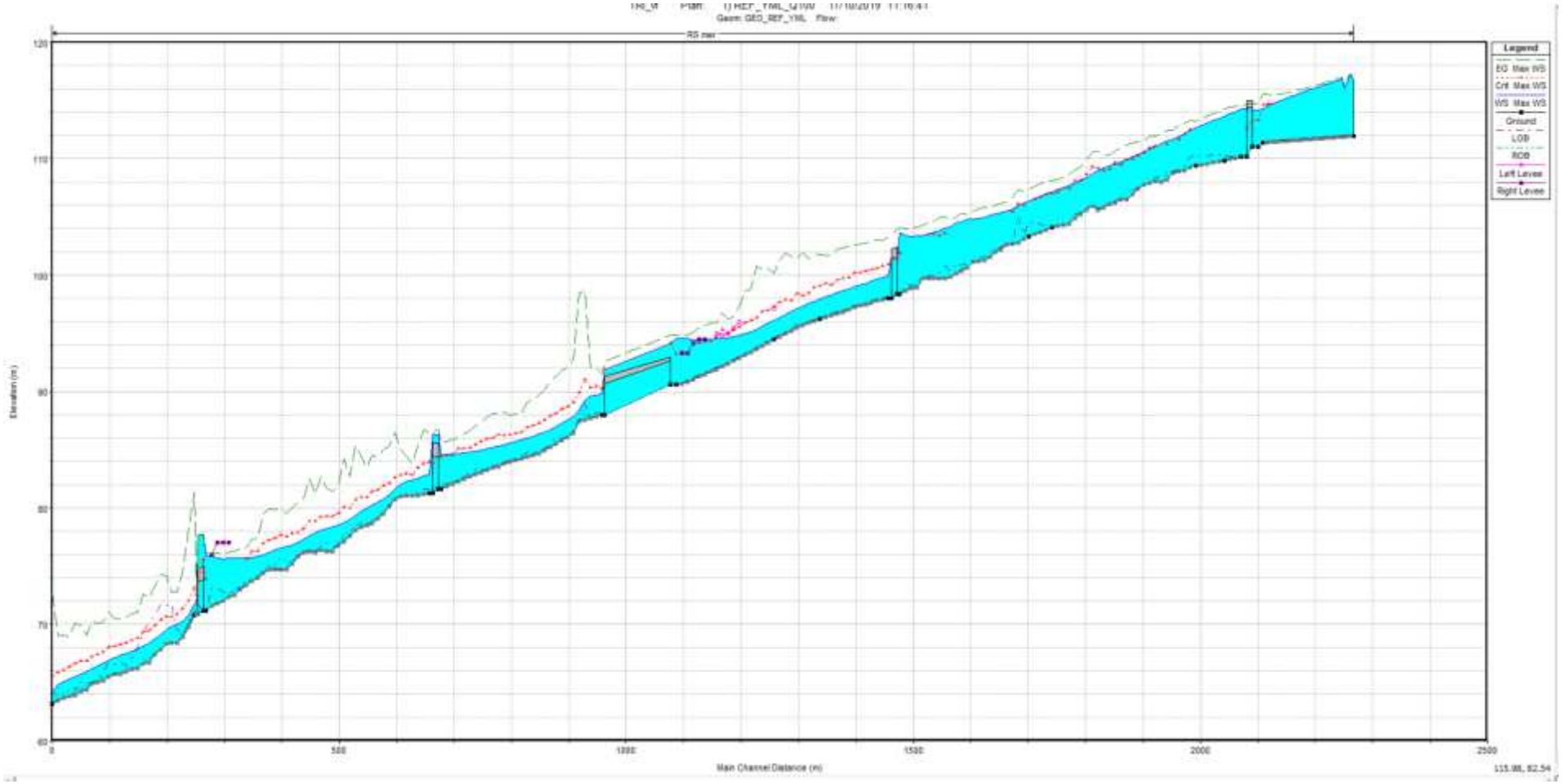


Fig. 86. Modèle HECRAS sur la Ravine Sèche – Profil en long du modèle 1D sur le secteur du centre-ville – Aléa Q100

Les zones de débordements de la ravine Sèche sont alors localisées et quantifiées via des hydrogrammes. Elles sont ensuite réinjectées dans les modèles 2D rive droite et rive gauche en tant que conditions aux limites. Ces points d'injection sont présentés dans les paragraphes 7.3.1.5 et 7.3.2.4.

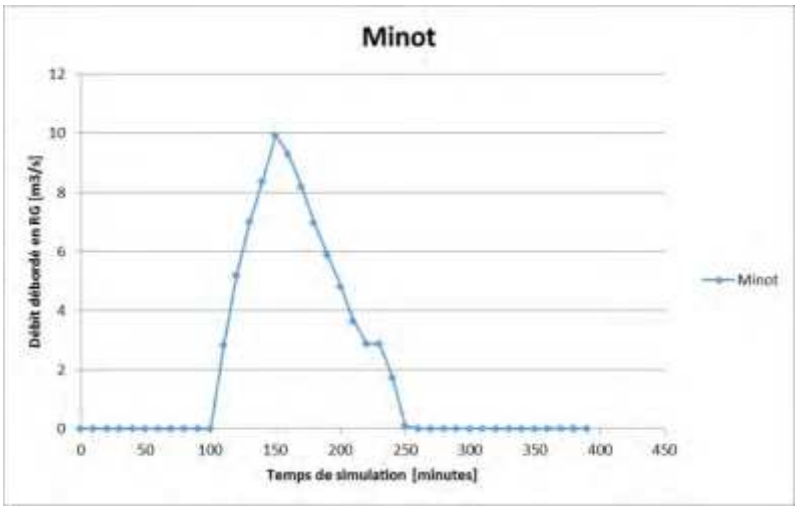


Fig. 87. Hydrogramme de débordement en rive gauche pour la Q100

Les paragraphes ci-dessous présentent les débordements (débits de pointe) de la ravine Sèche lors de sa traversée du centre-ville de la commune de St André.

7.2.3. Points de débordements de la Ravine Sèche en Crue décennale / centennale

La crue reste dans le lit mineur de la Ravine Sèche au droit du chemin Morin jusqu'à la crue centennale :

Fig. 88. Pont du chemin Morin †Fonctionnement en Q_{10}/Q_{100}

Des débordements sont observés en rive gauche au droit du Pont Minot pour la Q_{100}. Les eaux débordées empruntent l'avenue de Bourbon. En rive droite, des débordements sont observés en aval du pont, mais ces écoulements retournent dans le lit mineur de la ravine.

Fig. 89. Pont Minot †Fonctionnement en Q_{10}/Q_{100}

Au droit de la mairie, des débordements ont lieu en rive droite et empruntent l'avenue de la République. L'Avenue de Bourbon est toujours en eau pour Q_{100} :

Fig. 90. Pont de la République †Fonctionnement en Q10/Q100

Le pont Auguste est en charge dès Q_{10}, des débordements ont lieu sur l'avenue Ile de France, vers le *nord*. La rue Miguel est également inondée dès Q_{10}.

Fig. 91. Pont Auguste †Fonctionnement en Q10/Q100

7.2.4. Points de débordements de la Ravine Payet en Crue décénale / centennale

Le fonctionnement de la Ravine Payet en crue décennale / centennale est le suivant :

Un fossé intercepteur collecte une partie des eaux du bassin versant amont et les ramènent vers la Ravine Sèche. Le fonctionnement est indiqué sur la figure suivante.

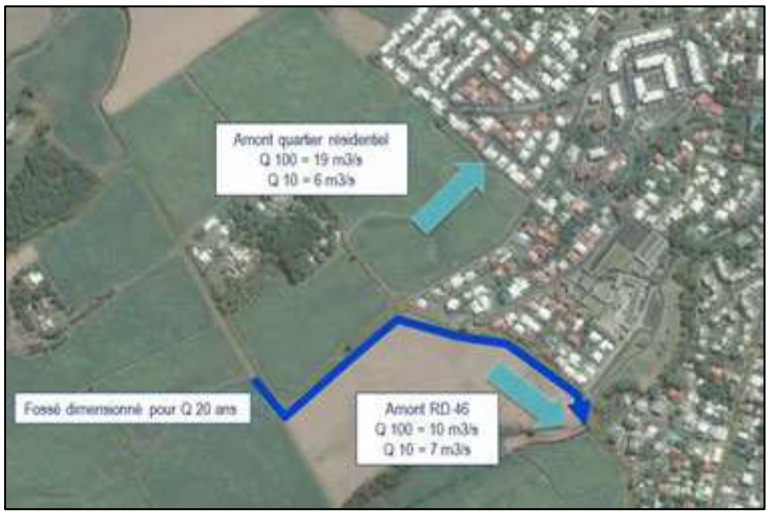


Fig. 92. Hypothèses hydrologiques †amont Ravine Payet

La modélisation indique que les ouvrages OH2, OH3, OH6 et OH7 sont sous dimensionnés dès la Q_{10}. Ces ouvrages sont néanmoins intégrés au modèle 2D. Les débordements ne sont donc pas détaillés ici.

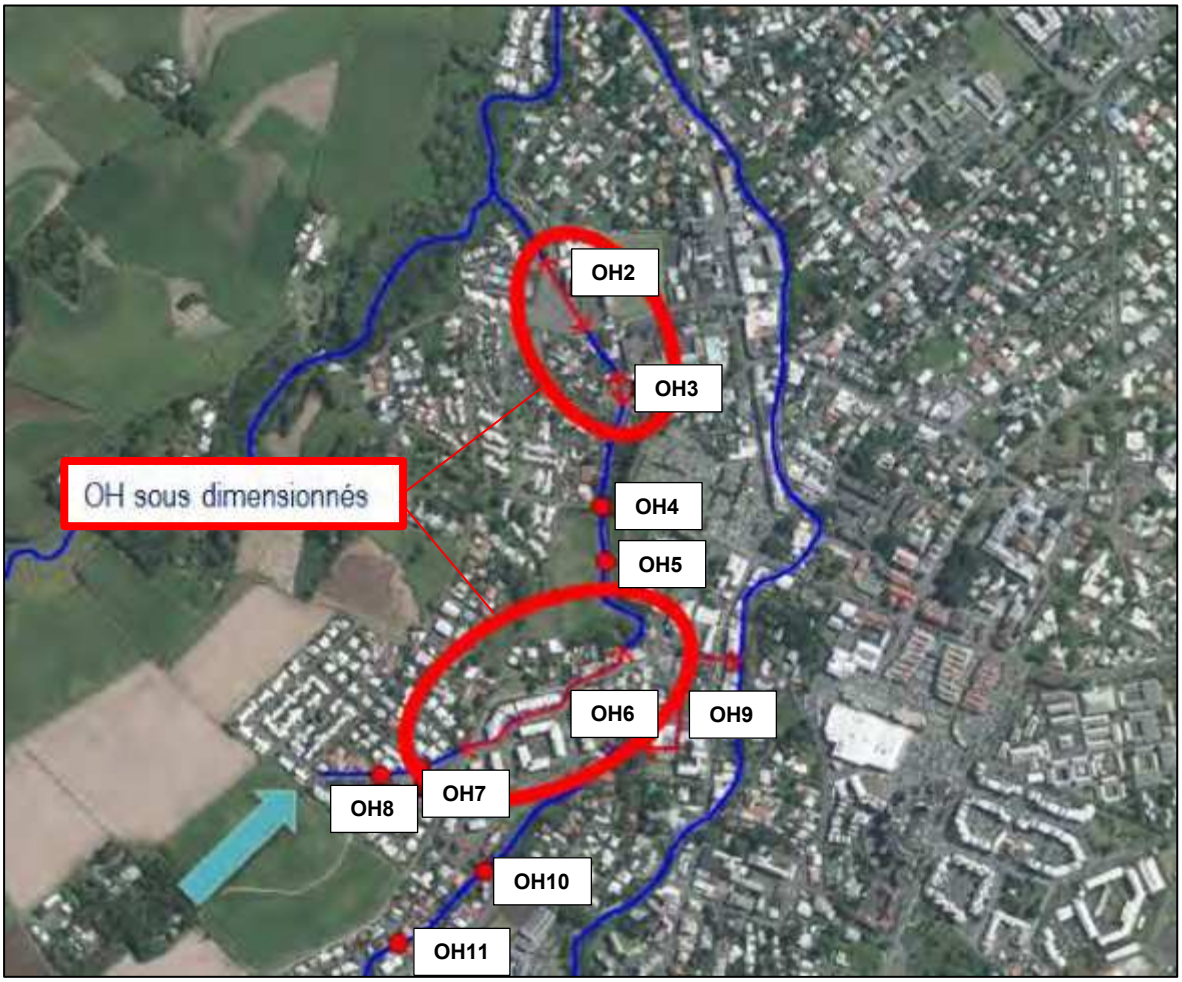


Fig. 93. Ouvrages en charge dès Q_{10}

7.3. CONSTRUCTION DES MODELES 2D

7.3.1. Secteur Bois Rouge et la Marine

Il s'agit du modèle *nord*, correspondant à la partie aval de la zone inondée par la Grande Rivière Saint-Jean.

7.3.1.1. EMPRISE

Le modèle *nord* est une extension du modèle existant qui a été réalisé dans le cadre de l'étude *«Mesures compensatoires hydrauliques et mise hors d'eau d'une desserte et d'une plateforme d'équipements de traitement de déchets et valorisation énergétique »* pour le viVilles de Saint-André et de Sainte-Suzanne. La figure ci après présente :

- en rouge le modèle initial
- en noir l'extension du modèle réalisée dans le cadre de la présente étude.

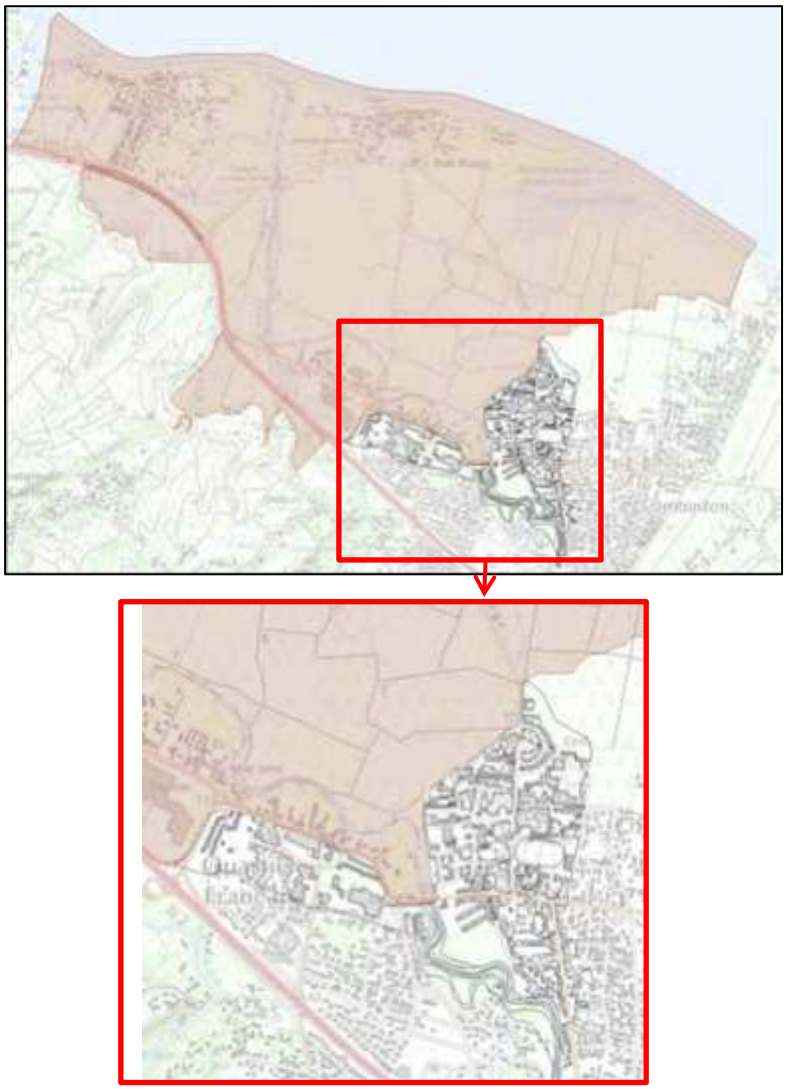


FIG. 94. Emprise du modèle nord

7.3.1.2. SYSTEME DE COORDONNEES

Les coordonnées X et Y des modèles visibles sur les figures présentent un décalage par rapport au système de projection suivant : Réunion IGN / Réunion, RGR92-UTM 40 sud – IGN 1989 [EPSG : 10 012] :

- $X_{modèle} = X_{Réunion\ IGN} - 350\ 000$
- $Y_{modèle} = Y_{Réunion\ IGN} - 7\ 680\ 000$

7.3.1.3. MAILLAGE

Le maillage obtenu est constitué de 249 628 mailles et 128 240 nœuds. L'image ci-après présente l'ensemble du modèle, la topographie s'étend de -7 à 35 m NGR.

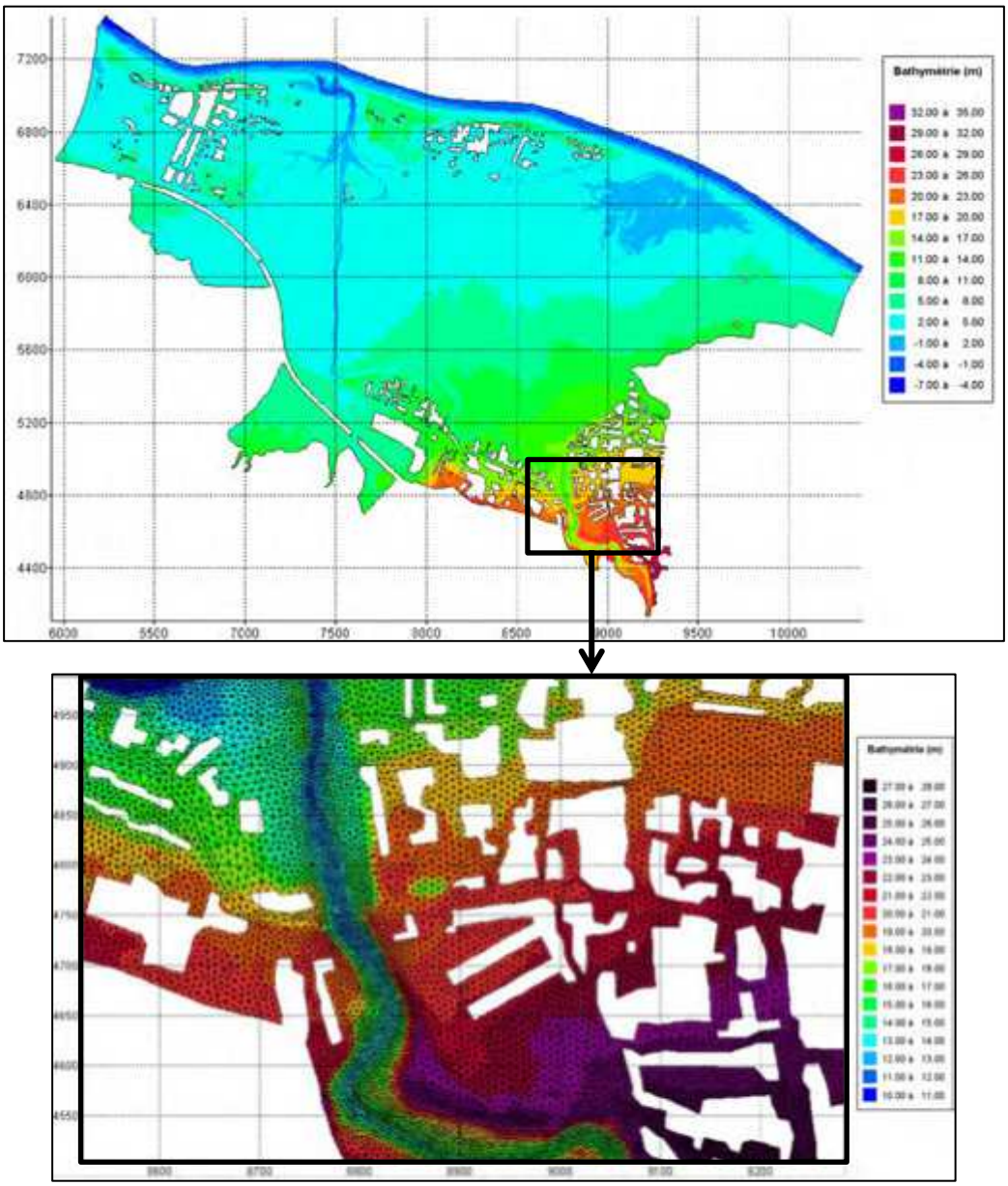


FIG. 95. Topographie du modèle nord

7.3.1.4. COEFFICIENTS DE FROTTEMENT

Les coefficients de frottement retenus sont les suivants :

- Zones urbaines, routes et océan : 30
- Zones couvertes de végétation rase : 20
- Zones couvertes de végétation mixte non cultivées : 10
- Zones couvertes de végétation dense : 5
- Zones de champs de cannes coupées : 15
- Lit mineur de la Grande Rivière St-Jean : 35
- Lit mineur de la Petite Rivière St-Jean : 30

La répartition des frottements est présentée sur la figure suivante.

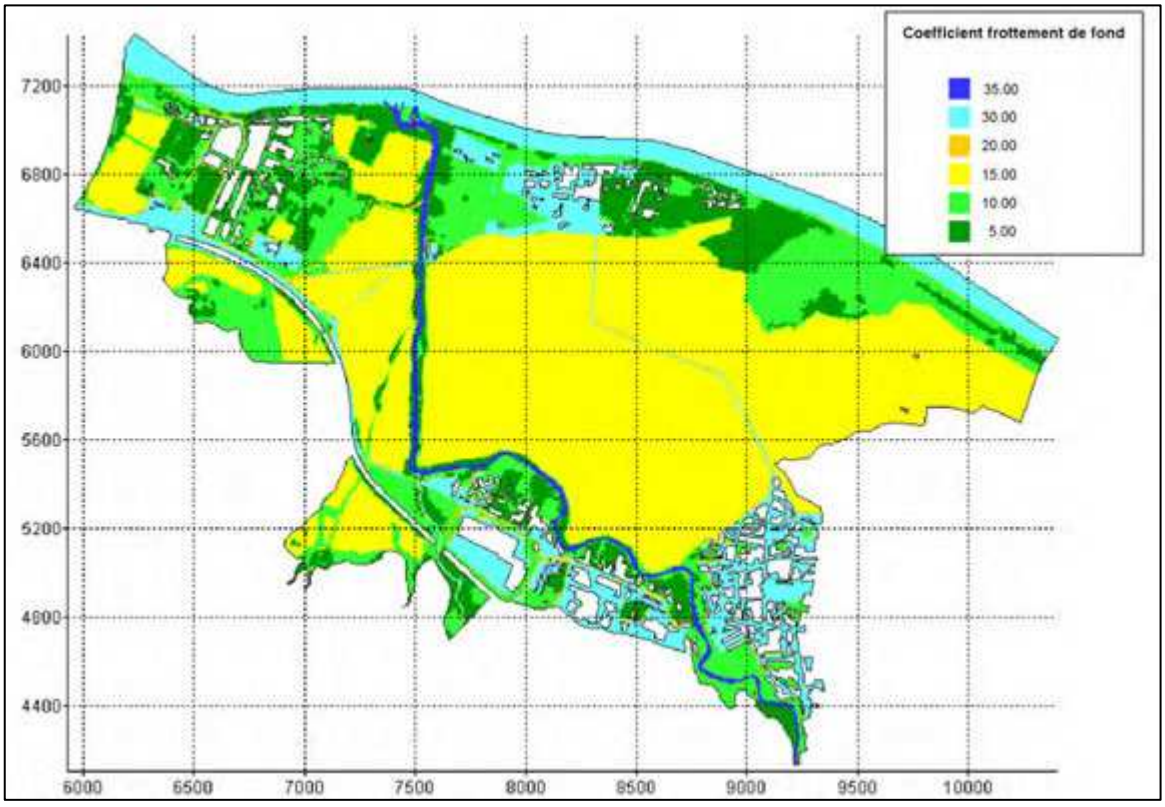


Fig. 96. Coefficients de frottements du modèle nord

7.3.1.5. CONDITIONS AUX LIMITES – INTRODUCTION DE DEBITS

Les points d'introduction de débits sont présentés sur l'image suivante :

- Les points d'injection de type « source » numérotés de 1 à 5 représentent les sous-bassins versants de la Plaine Cambuston / Bois Rouge.
- La source 6 figure le ruisseau Foutac et la source 7 le ruisseau Emmanuel.
- Quant aux frontières Q(1) et Q(2), elles matérialisent respectivement La Petite Rivière St-Jean et La Grande Rivière St-Jean.

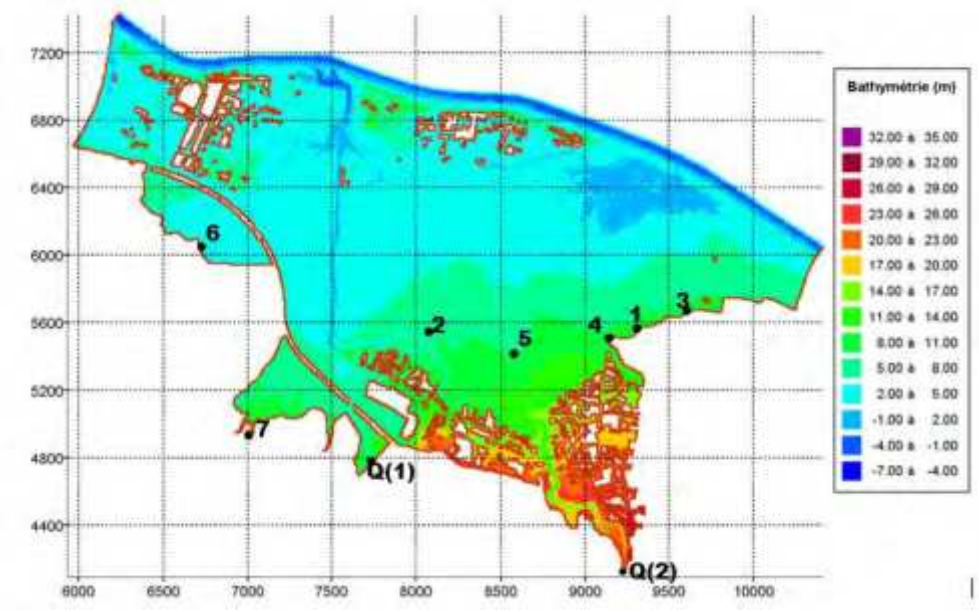
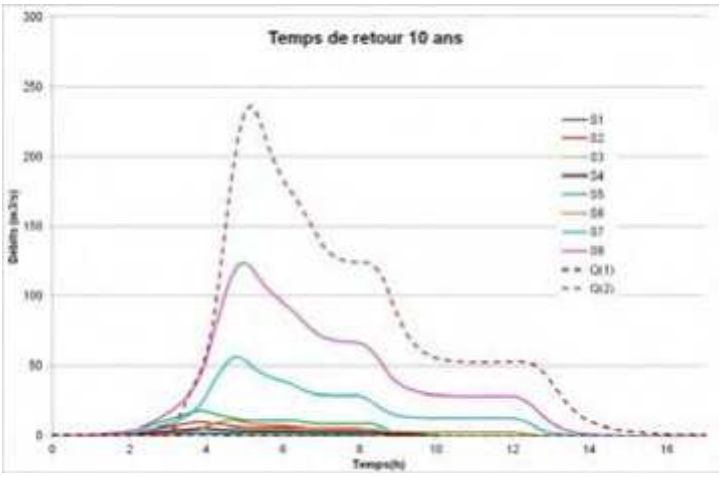
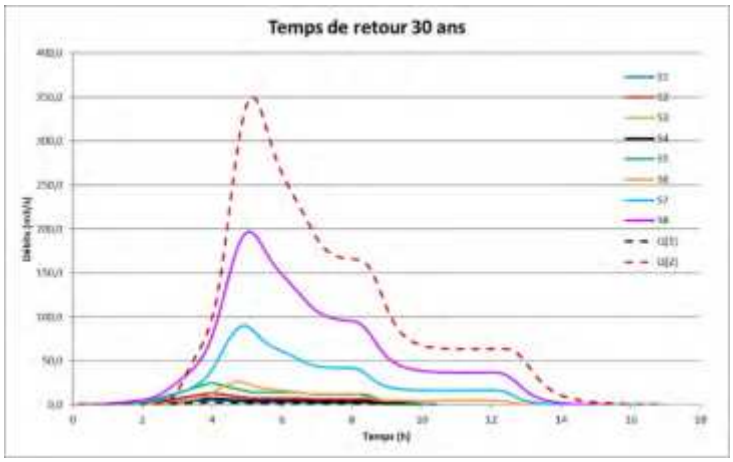
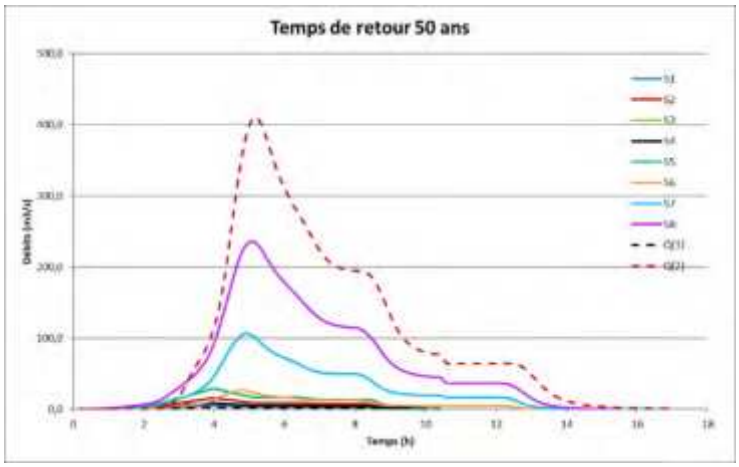


Fig. 97. Introductions de débits du modèle nord

Les trois graphiques ci-après montrent les hydrogrammes introduits dans le modèle pour les crues de temps de retour 10, 30, 50, 100 et 10 000 ans :


Temps de retour 10 ans
Temps(h)


Temps de retour 30 ans


Temps de retour 50 ans

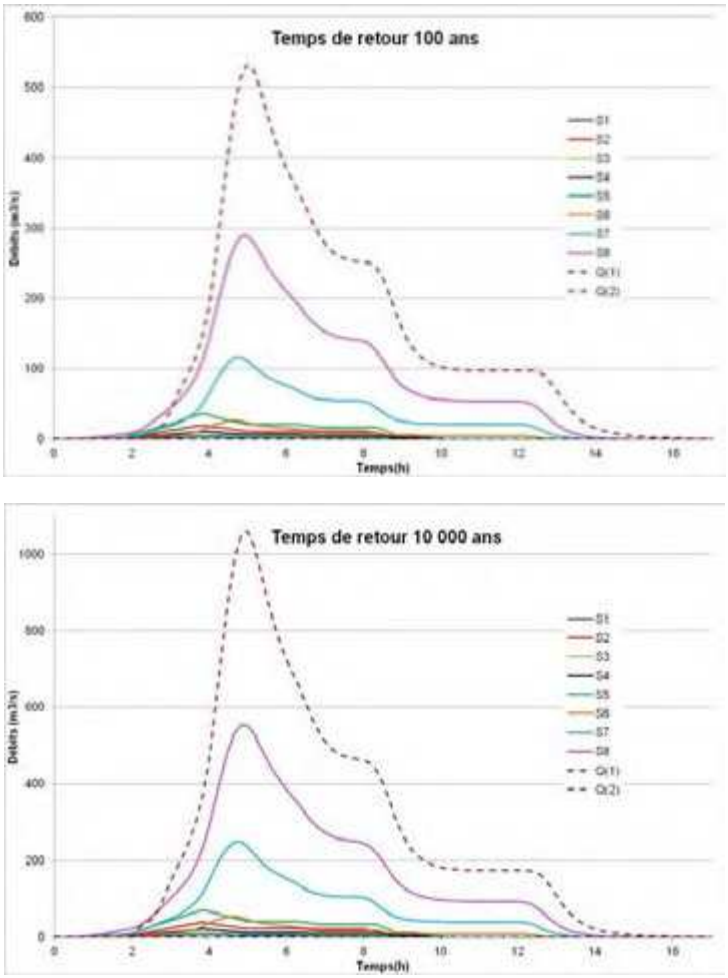


Fig. 98. Hydrogrammes introduits dans le modèle nord pour les temps de retour 10, 30, 50, 100 et 10 000 ans

7.3.1.6. CONDITIONS AUX LIMITES – CONDITION AVAL

Concernant la frontière maritime du modèle, il est imposé un niveau d'eau constant à 1,70 m NGR. Ce niveau d'eau correspond aux conditions climatiques d'une crue centennale. Elle se compose comme suit : 0,3 m pour la marée (pleine mer de vive eau – coefficient 95) + 0,85 m pour la surcote (surélévation cyclonique) + 0,55 m pour le set-up / déferlement (cf. réf. /1/).

L'ouverture du cordon littoral, sous l'effet combiné de la crue des rivières et de la houle en mer, est aussi prise en compte : des déversoirs fusibles sont intégrés dans le modèle aux exutoires de la Grande Rivière St-Jean et de l'étang de Bois Rouge. Il a été choisi d'utiliser l'hypothèse haute de rupture du cordon littoral, c'est-à-dire avec une influence notable de la houle (cf. réf. /1/).

Tabl. 38 - Paramètres des déversoirs fusibles du cordon littoral sur la Grande Rivière St-Jean et de l'étang de Bois Rouge

Largeur du déversoir (m)		Cote d'amorce de destruction (m NGR)	Cote finale (m NGR)	Délai de destruction (mn)
Grande Rivière St-Jean	Etang de Bois Rouge			
15	10	1.5	1.0	60
60	15	2.0	1.0	120
60	15	2.5	1.0	120
60	15	3.0	1.0	120

Fig. 99. Localisation des ruptures du cordon littoral

7.3.2. Secteur rive gauche Ravine Sèche

Il s'agit du modèle *sud ouest*, correspondant à la berge en rive gauche de la Ravine Sèche lors de sa traversée du centre-ville de Saint-André.

7.3.2.1. PRESENTATION / EMPRISE

Ce modèle mesure environ 1.8 km de long pour 0. 6 km de large, sa frontière *ouest* est limitée par les reliefs. La frontière aval correspond à la passerelle en aval du pont Saint Auguste, celle-ci représentant une section de contrôle.

Pour le modèle *sud ouest* les bâtiments sont représentés sous forme d'ilots insubmersibles dans le maillage. La figure ci-après présente en marron l'emprise du modèle et les bâtiments modélisés.

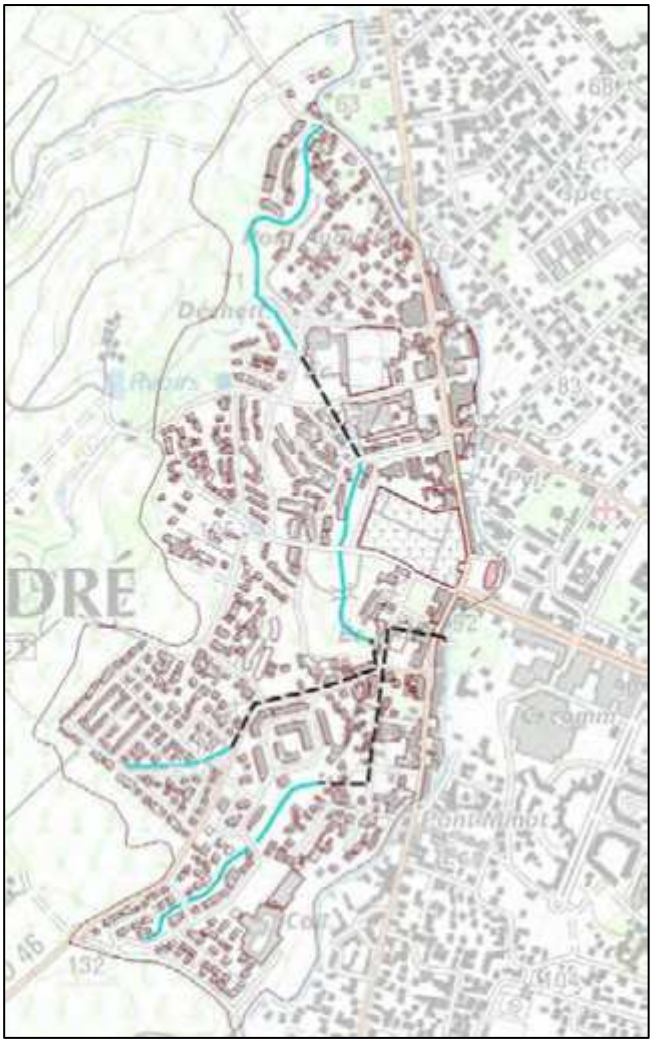


Fig. 100. Emprise du modèle sud ouest

Dans ce modèle sont représentés la ravine Payet et le canal Masure, les parties à ciel ouvert sont représentées en bleu sur la figure précédente, ces parties sont modélisées dans le maillage. Les parties couvertes sont schématisées par des pointillés noir sur la figure précédente. Elles sont intégrées dans le modèle sous la forme d'une buse, c'est-à-dire un système d'équation reliant deux points.

L'image ci-après présente l'ensemble du modèle, la topographie va de 60 à 140 m.

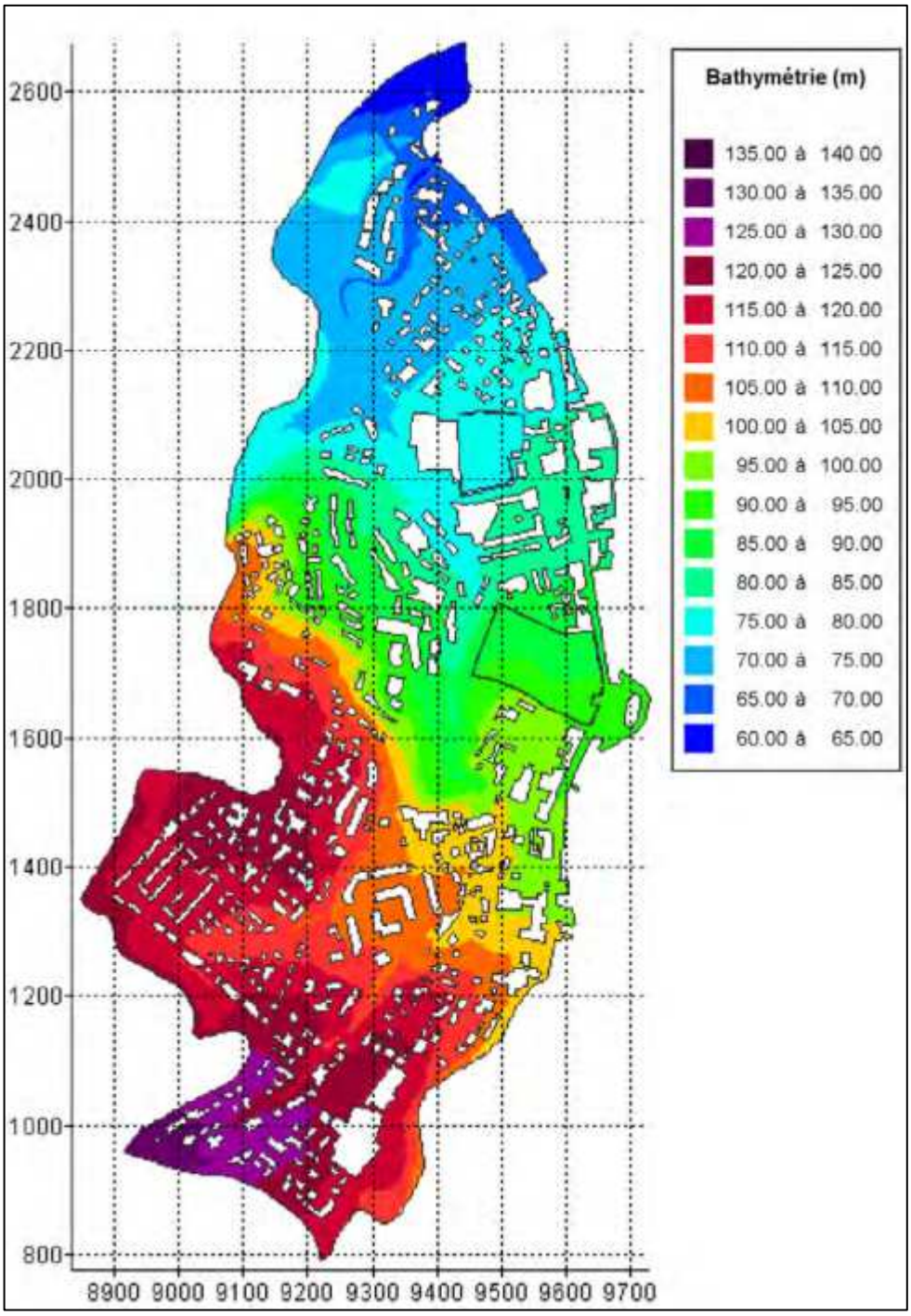


Fig. 101. Topographie du modèle sud ouest

7.3.2.2. MAILLAGE

Le maillage obtenu est constitué de 56 010 mailles et 31 105 nœuds.

L'image suivante montre un zoom sur le maillage et la topographie du modèle.

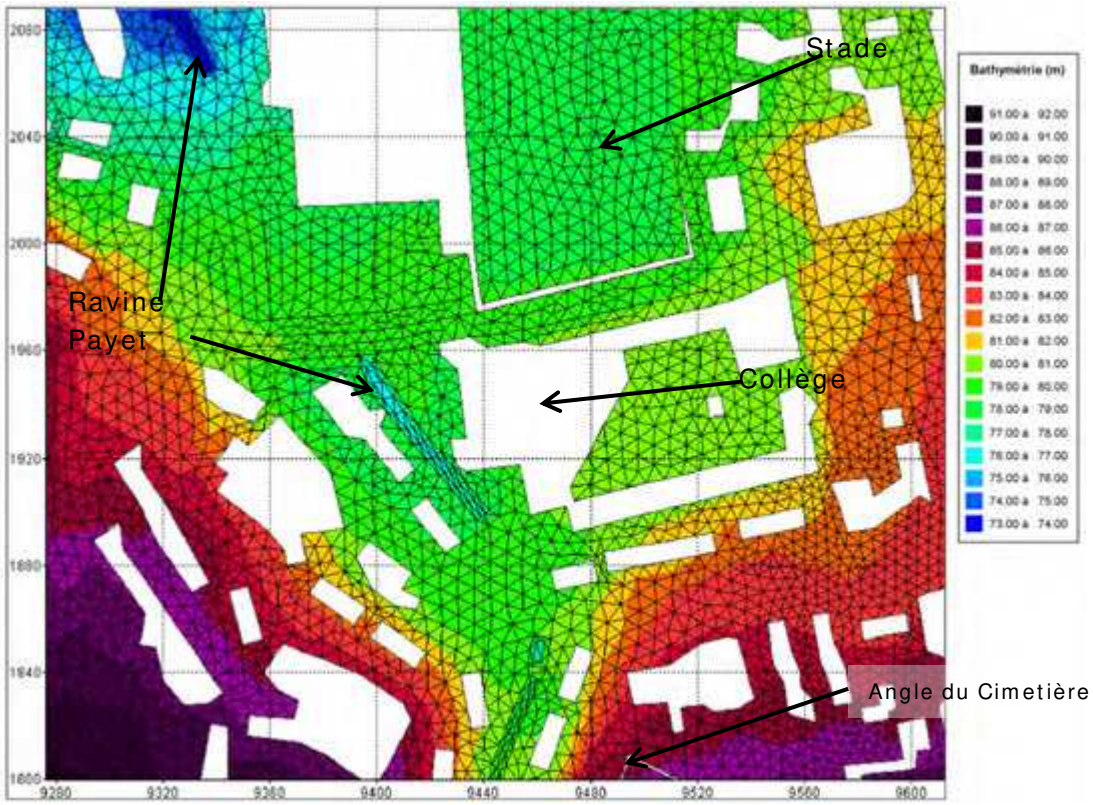


Fig. 102. Topographie et maillage du modèle sud ouest (zoom)

7.3.2.3. COEFFICIENTS DE FROTTEMENT

Les coefficients de frottement retenus sont les suivant :

- 10 pour les zones boisées très denses
- 15 pour les zones végétalisées classique
- 20 pour les zones urbanisées classiques
- 25 pour les zones moins rugueuses (parking, stade….)
- 30 pour les ravines
- 40 pour les routes

La répartition des frottements est présentée sur la figure suivante.

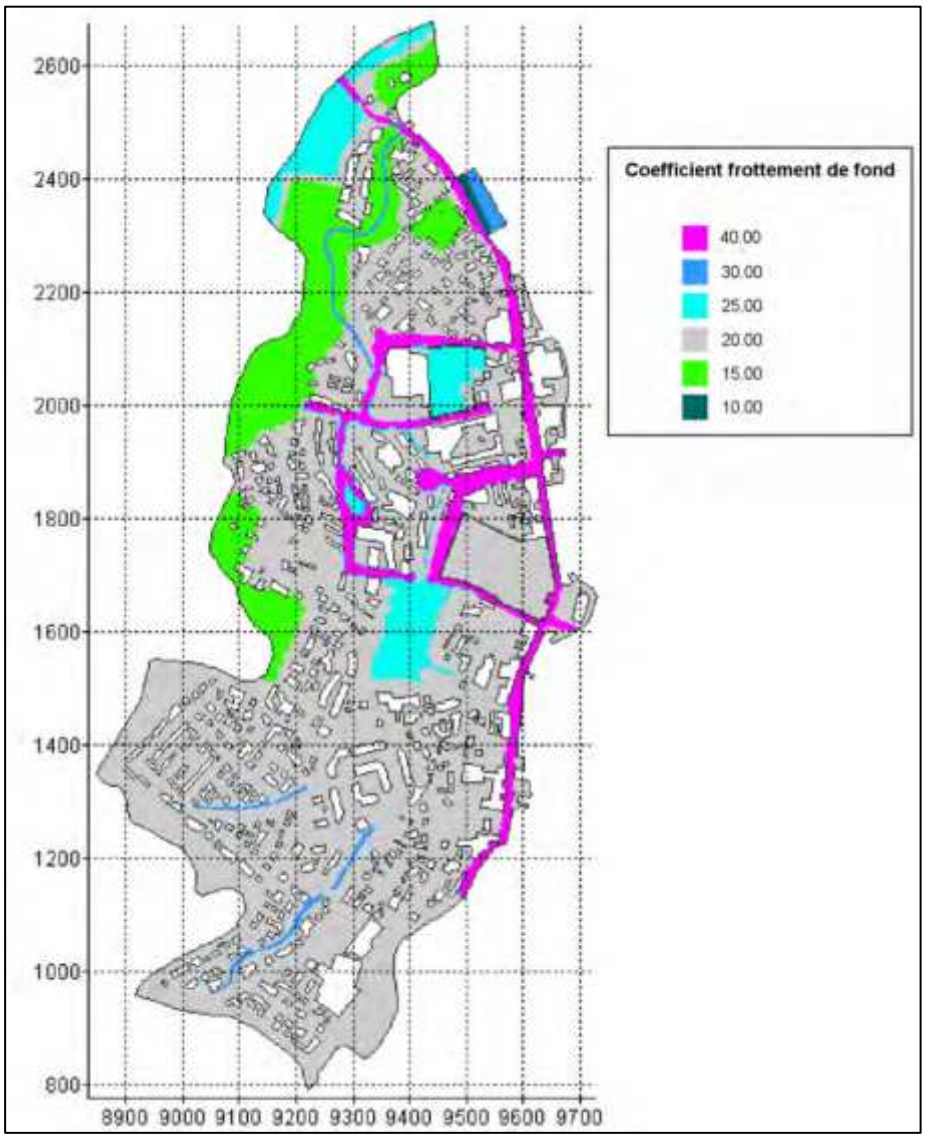


Fig. 103. Frottements du modèle sud ouest

7.3.2.4. CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions aux limites sont représentées sur la figure ci-après, elles sont de trois types :

- En rose les introductions de débit dans la ravine Payet et le canal Masure
  - a : point d'introduction amont du canal Masure
  - b : point d'introduction amont de la ravine Payet
  - c : point d'introduction dans la ravine Payet, correspondant à l'arrivée d'un bras en rive gauche
- En bleu claire les introductions de débits correspondant au débordement de la ravine Sèche
  - d : débordement de la ravine Sèche au pont Minot
  - e : débordement de la ravine Sèche à Sénaud
  - f : débordement de la ravine Sèche au pont Auguste
- En bleu foncé les zones de retour des débordements vers la ravine Sèche
  - g : retour à la ravine sèche de l'eau du canal Masure
  - h : retour à la ravine sèche de l'eau circulant sur la route
  - i : retour à la ravine sèche de l'eau de la ravine Payet

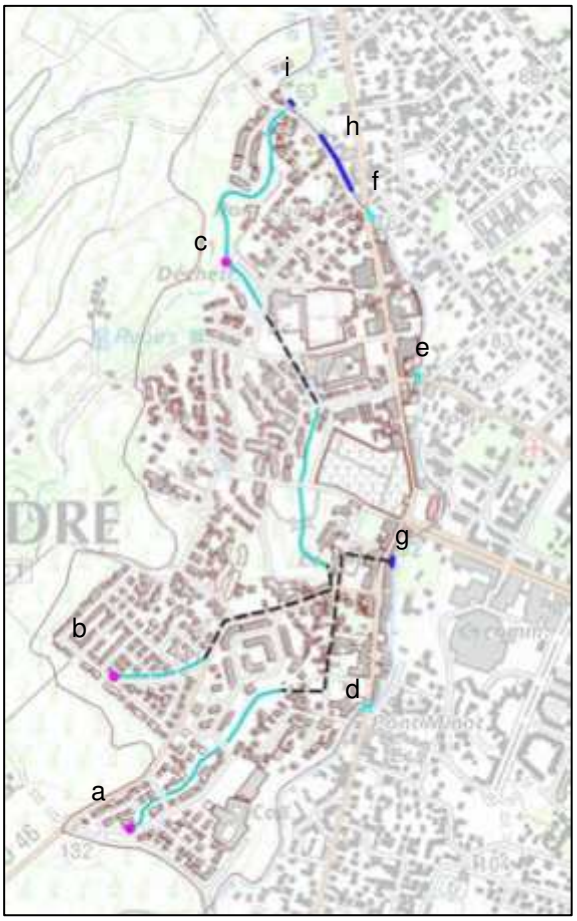
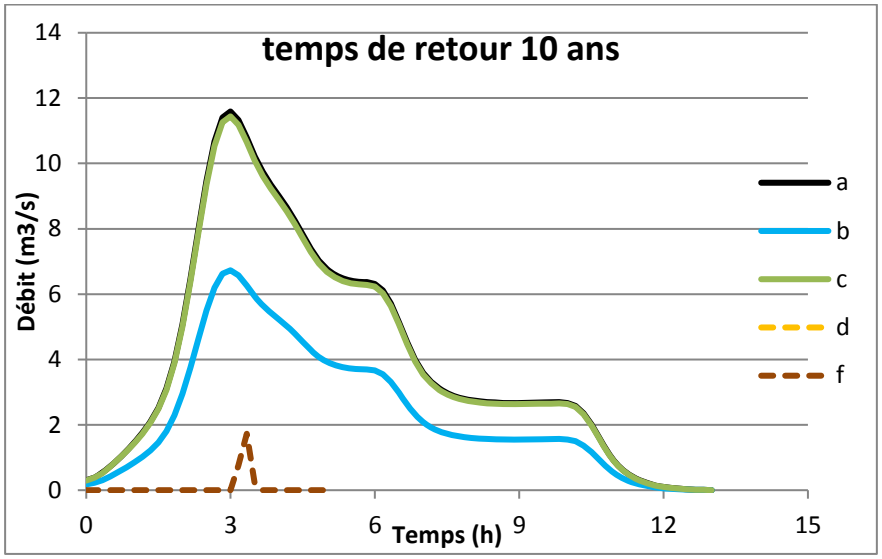
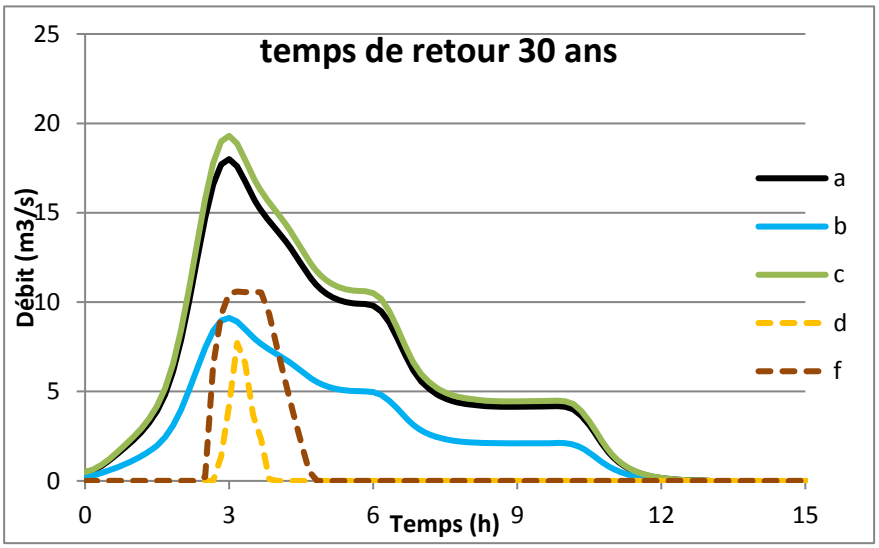
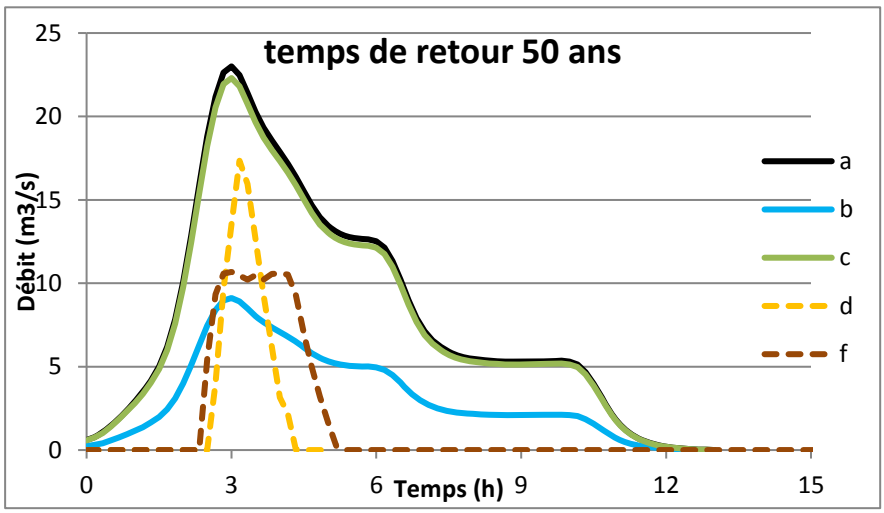


Fig. 104. Localisation des conditions aux limites du modèle sud ouest

Les trois graphiques ci-après montrent les hydrogrammes introduits dans le modèle pour les crues de temps de retour 10, 100 et 10 000 ans.


temps de retour 10 ans
Débit (m3/s)
Temps (h)
a
b
c
d
f


temps de retour 30 ans
Débit (m3/s)
Temps (h)
a
b
c
d
f


temps de retour 50 ans
Débit (m3/s)
Temps (h)
a
b
c
d
f

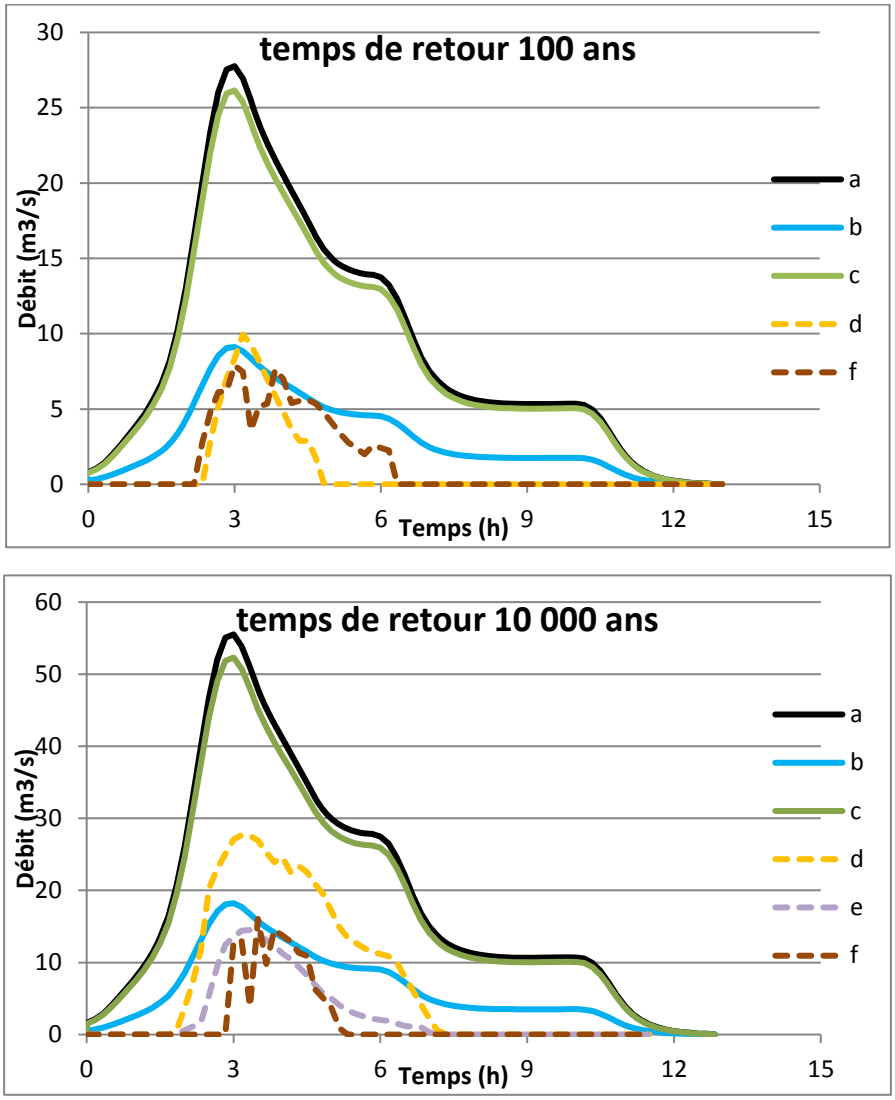


Fig. 105. Hydrogrammes introduits dans le modèle sud-ouest pour les temps de retour 10, 30, 50, 100 et 10 000 ans

7.3.3. Secteur rive droite Ravine Sèche

Il s'agit du modèle *sud est*, correspondant à la berge en rive droite de la Ravine Sèche lors de sa traversée du centre-ville de Saint-André.

7.3.3.1. PRESENTATION / EMPRISE

Ce modèle mesure environ 2.4 km de long pour 0.4 km de large, il représente la zone comprise entre la ravine sèche et la N2.

La figure ci-après présente l'emprise du modèle en noir. Contrairement aux autres modèles les bâtiments n'ont pas été représentés sous forme d'ilots dans le maillage. Sur ce secteur la pente et les effets topographiques sont prépondérants dans l'orientation des écoulements. Les différentes zones d'écoulement (rue, parking, zones urbanisés, zones boisées…) sont représentés grâce aux frottements dans le modèle. Sur la figure ci-après ces différentes zones sont représentées par les traits marron.

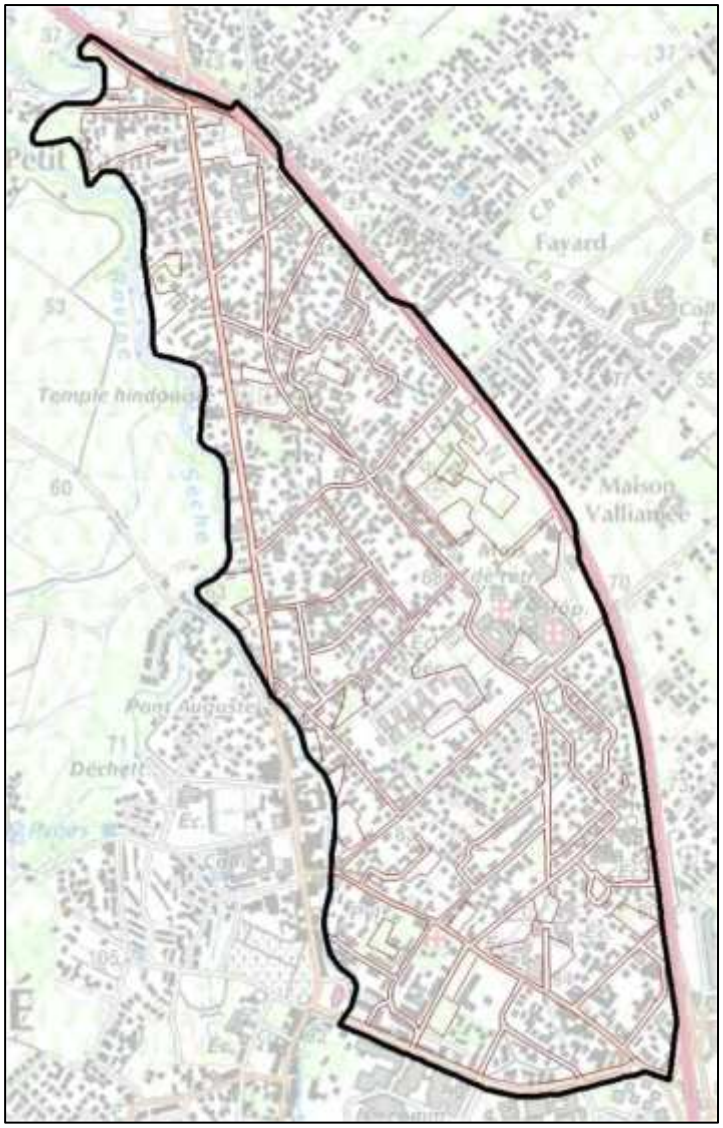


Fig. 106. Emprise du modèle sud est

7.3.3.2. MAILLAGE / FROTTEMENTS

Le maillage obtenu est constitué de 75 708 mailles et 38 307 nœuds. Les images ci-après présentent l'ensemble du modèle. La topographie (figure de gauche) s'étend de 35 à 95 m NGR. La figure de droite présente les frottements.

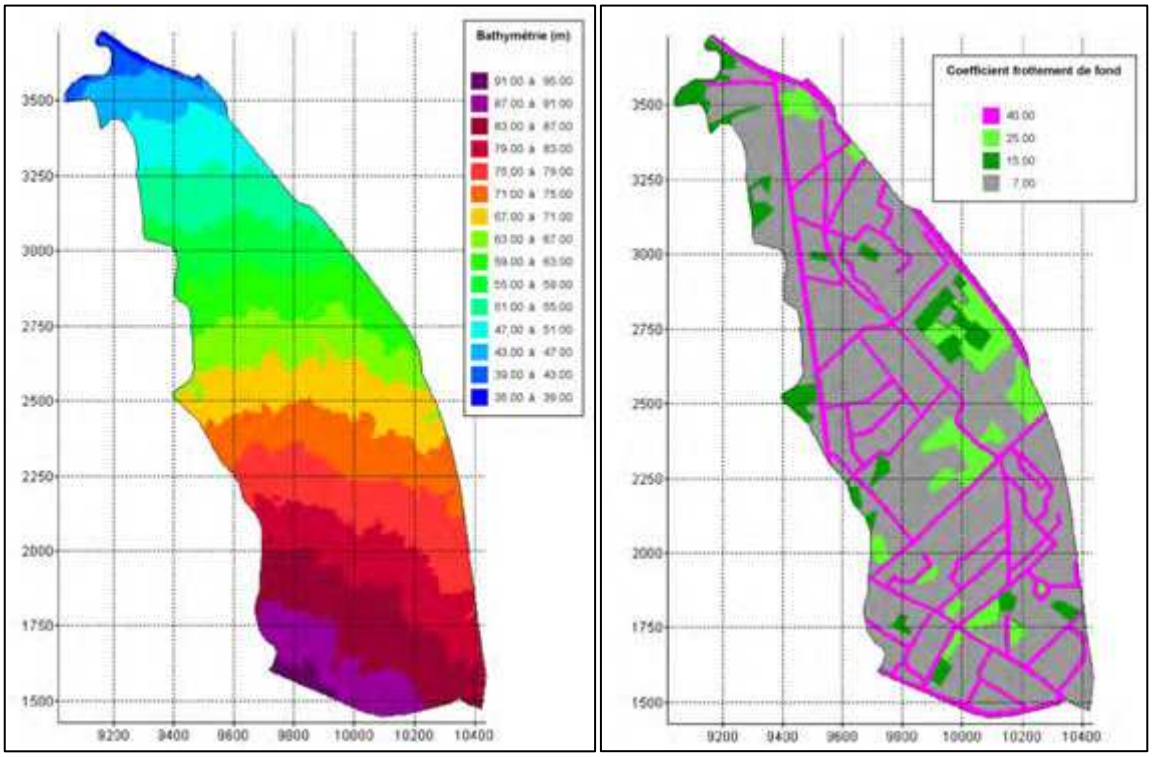


Fig. 107. Topographie et frottement du modèle sud est

Les coefficients de frottement retenus sont les suivant :

- 7 pour les zones urbanisées
- 15 pour les zones végétalisées dense
- 25 pour les zones moins rugueuses (parking, stade, végétation peu dense….)
- 40 pour les routes.

7.3.3.3. CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions aux limites sont représentées sur la figure ci-après, elles sont de deux types :

- En bleu claire les introductions de débits correspondant au débordement de la ravine Sèche
  - a : débordement de la ravine Sèche au niveau de la mairie
  - b : débordement de la ravine Sèche à Sénaud
  - c : débordement de la ravine Sèche au pont Auguste
  - d : débordement de la ravine Sèche ayant lieu en amont du modèle
- En vert les zones de sortie de l'eau
  - e, f, g : passage routier sous la RN
  - h et i : l'eau qui se trouve sur la RN à ces endroits peut s'évacuer librement. Le tronçon i-h correspond à un secteur où la RN peut être inondée par les écoulements arrivant de l'amont (avenue Ile de France) et empruntant l'échangeur. L'eau inondant la RN peut alors rejoindre la Grande Rivière Saint-Jean au point i. Au point h, l'eau inondant la RN un peut plus à l'est peut s'évacuer vers la voie nord sous l'échangeur, au point h.

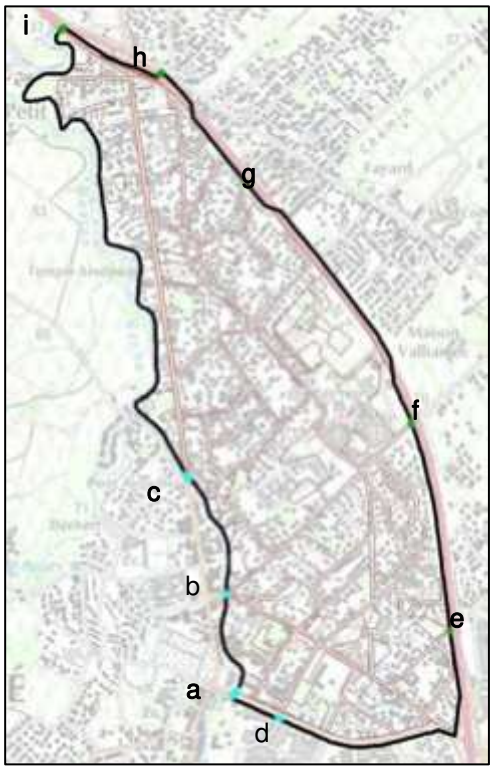


Fig. 108. Localisation des conditions aux limites du modèle sud est

Les trois graphiques ci-après montrent les hydrogrammes introduits dans le modèle pour les crues de temps de retour 10, 100 et 10 000 ans.

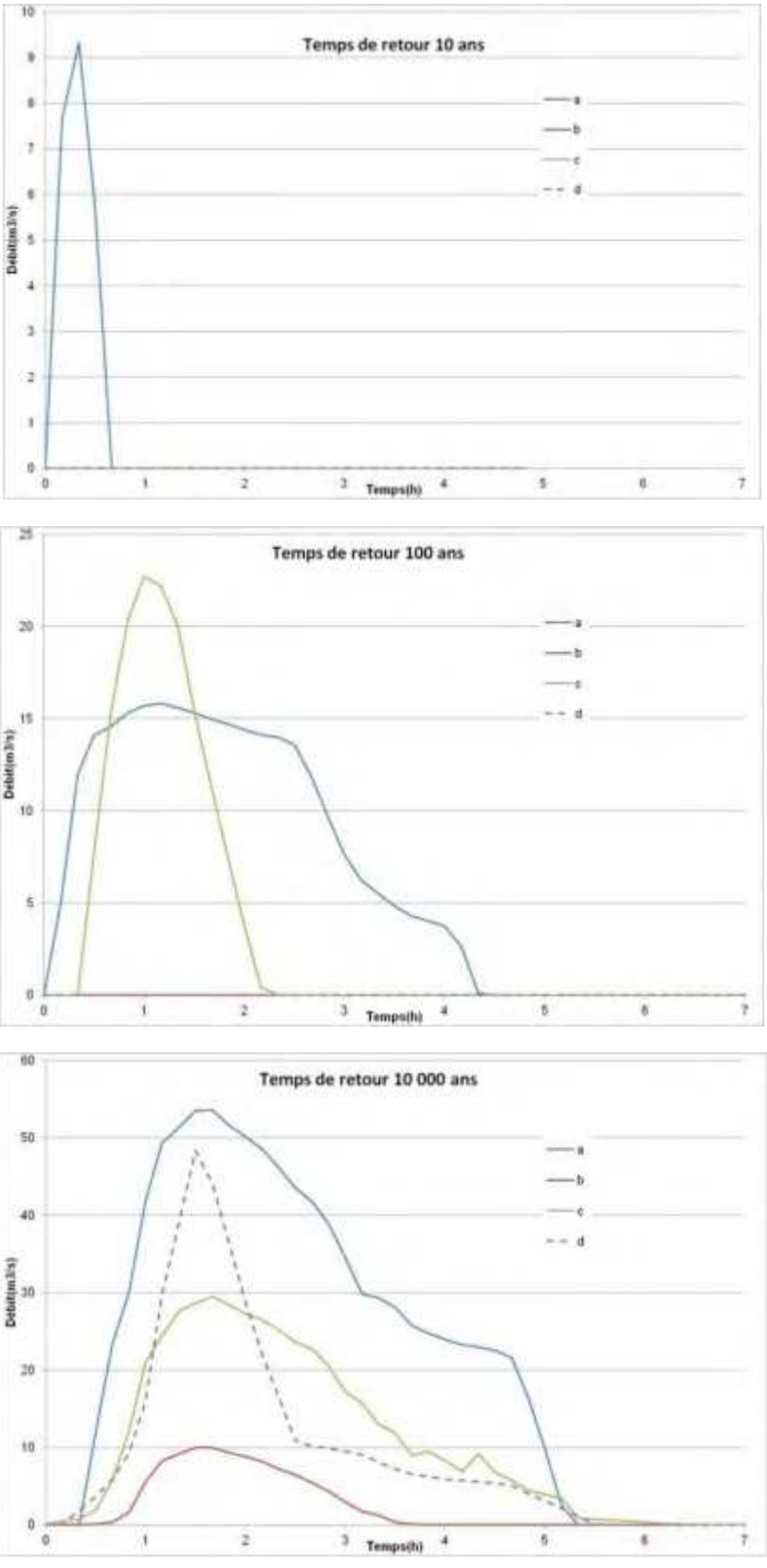


Fig. 109. Hydrogrammes introduits dans le modèle sud est pour les temps de retour 10, 100 et 10 000 ans

7.4. RESULTATS DE LA MODELISATION 2D

7.4.1. Centre-ville

7.4.1.1. CRUE DECENNALE

Les figures suivantes présentent les hauteurs d'eau et vitesses maximum pour la crue décennale.

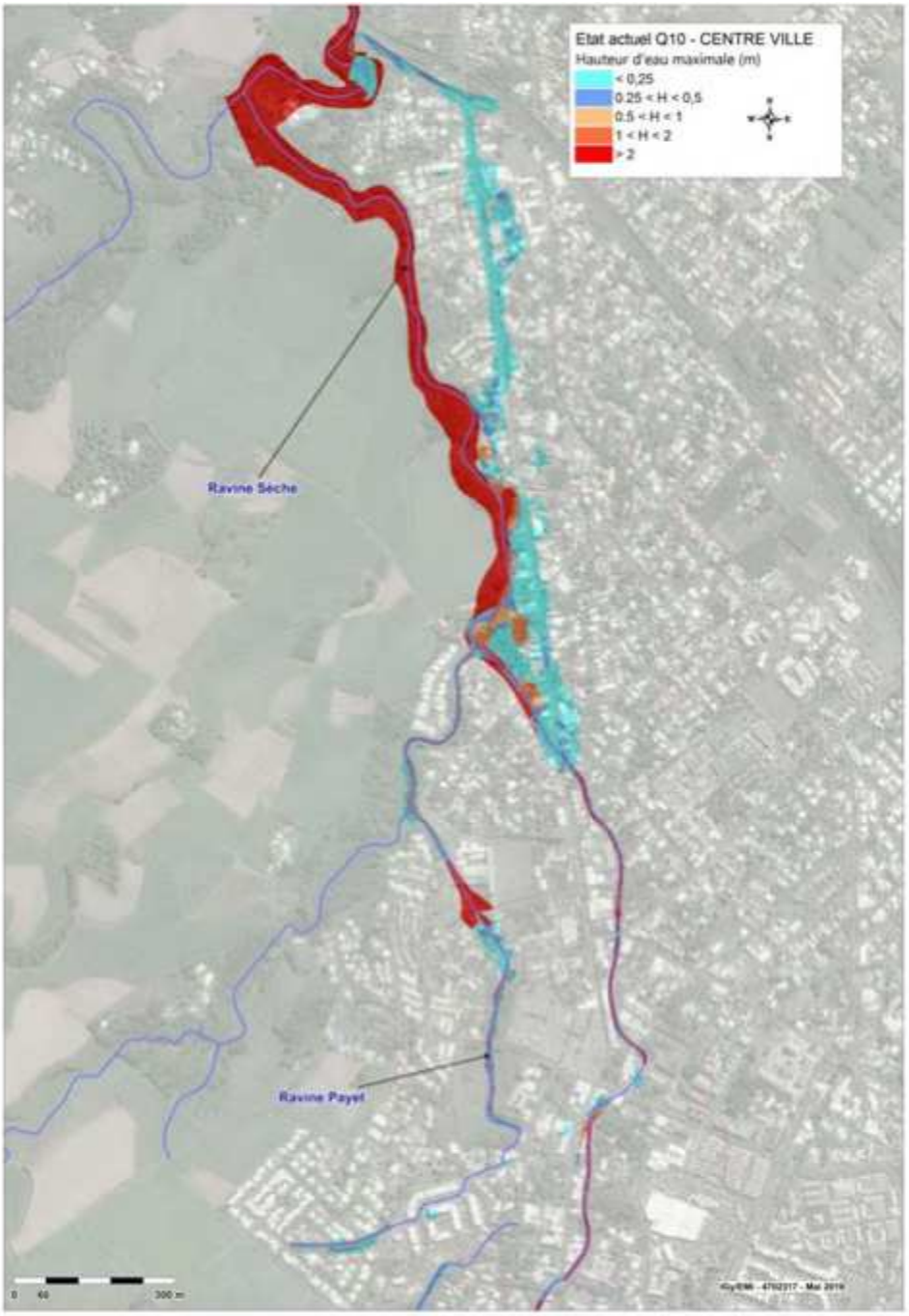


Fig. 110. + D X W H X U V G • H D X P f l l D f l u P d é e n n a l e † C e n t r e V i l l e

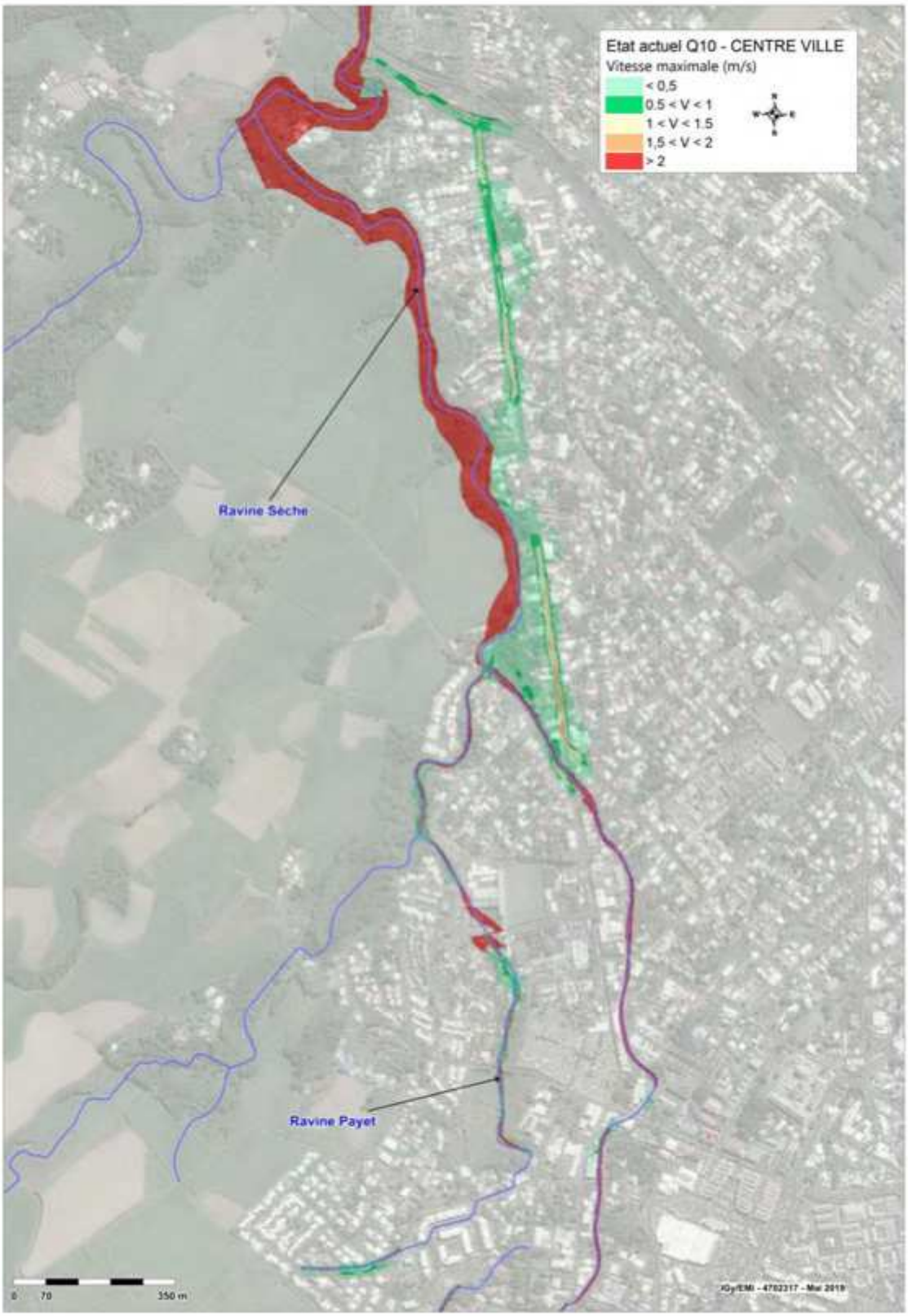
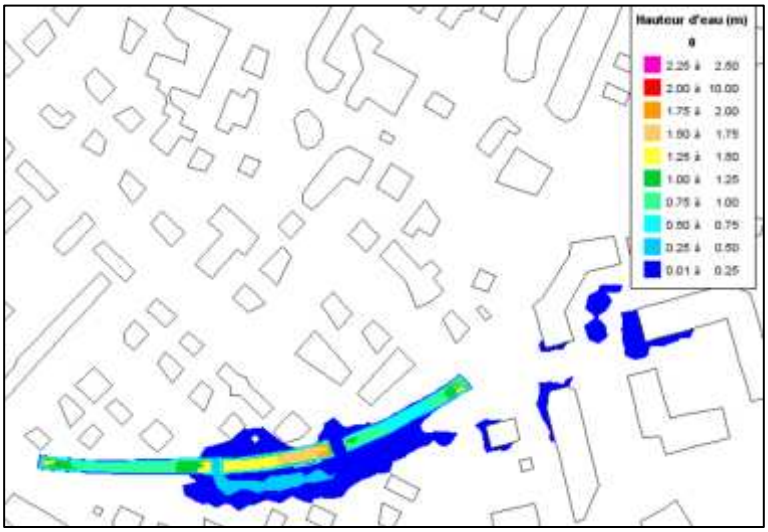


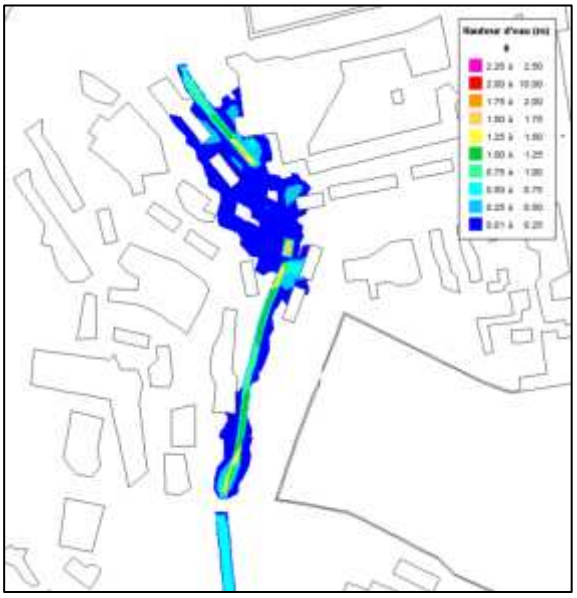
Fig. 111. Vitesses maximum †Crue décennale †Centre Ville

On observe :

- Sur la Ravine Payet :
  - Le débordement de la Ravine Payet sur le tronçon du lotissement « Les feuillantines » due à la mise en charge de l'OH7. Les débordements affectent la voirie en rive droite et 2 habitations en rive gauche :



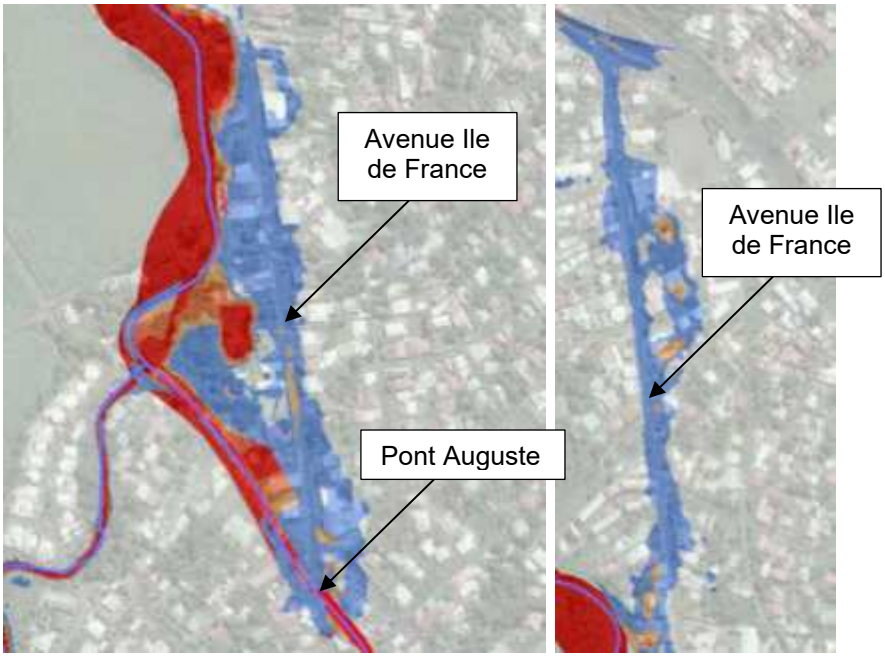
  - Le débordement de la Ravine Payet au niveau du lotissement « Les Cazales » due à la mise en charge de l'OH7. Les débordements affectent des habitations de part et d'autres de la ravine, le collège n'est pas inondé :



Les cartographies A0 des résultats sont présentées en annexes du présent rapport.

- Sur la Ravine Sèche :
  - Le débordement au droit du pont de la République, la zone inondée reste limitée à quelques bâtiments, l'écoulement rejoignant rapidement la ravine ;

  - Le débordement au droit du pont Auguste, inondant la rue Miguel ainsi que l'avenue Ile de France jusqu'à la RN2. De nombreux bâtiments sont inondés de parts et d'autres de l'avenue :



7.4.1.2. CRUE Q_{30}

Les cartographies ci-après présentent les hauteurs d'eau et vitesses maximum pour la crue de période de retour 30 ans.

Sur le secteur du centre-ville, 3 ponts débordent : pont Minot, pont Avenue de La République et pont Auguste. Le tronçon de la ravine Sèche en amont du pont Auguste déborde également. Les débordements entrainent des inondations sur la rue de Bourbon puis de la rue ile de France. L'avenue de la République est également inondée pour cette occurrence.

Cinq ouvrages de la ravine Payet donnent également lieu à des débordements : OH1 à OH4 et OH6 mais avec des hauteurs d'eaux relativement limitées sur les zones à enjeux.

Les zones inondées comprennent notamment : la RN2, l'avenue Ile de France, le secteur du collège Bédier et l'avenue de la République et quelques rues au *nord* de l'avenue de la république.

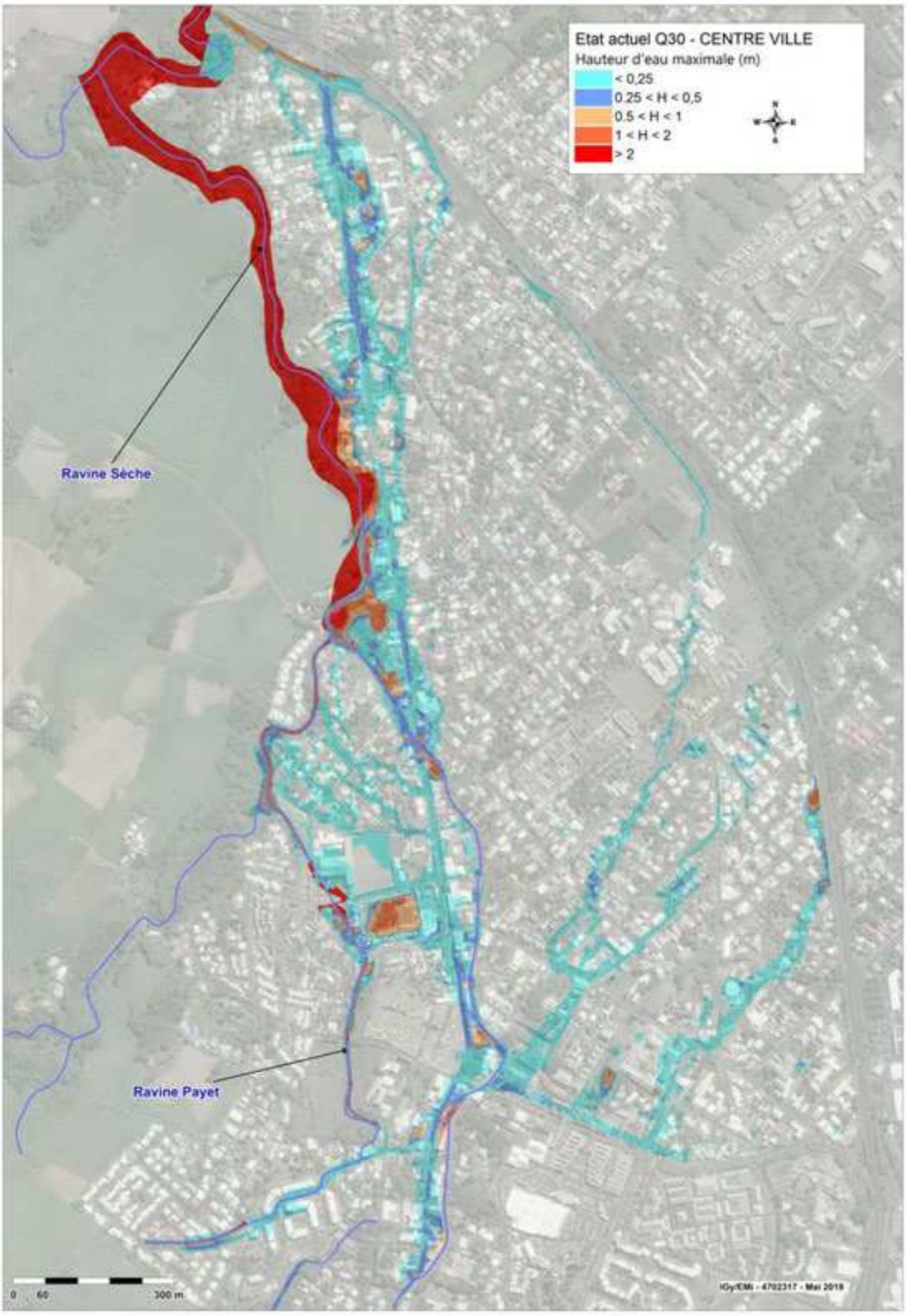


Fig. 112. + D X W H X U V G • H D X P ¿ O L H X U Centre Ville

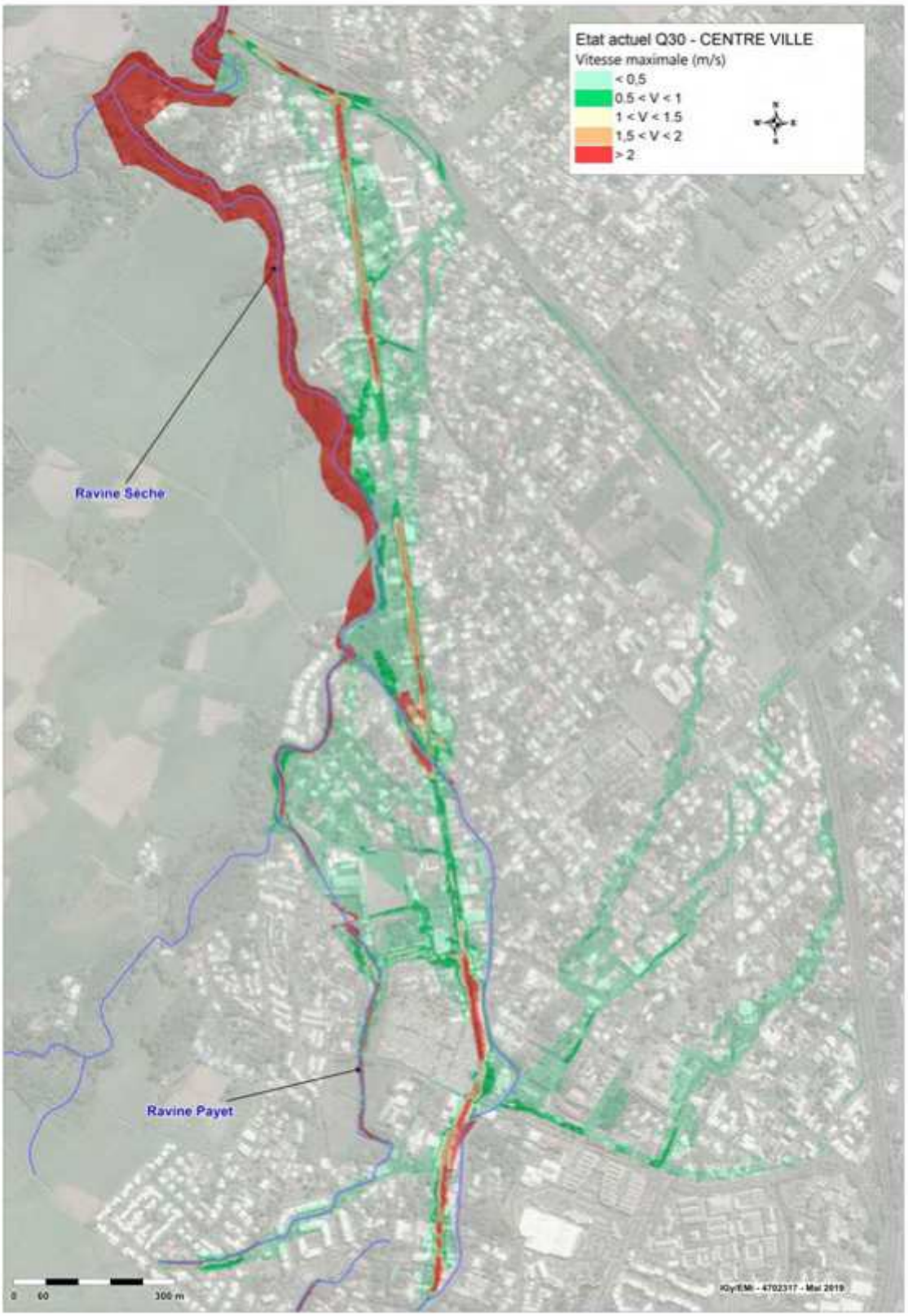


Fig. 113. Vitesses maximum †Q30 †Centre Ville

7.4.1.3. CRUE Q50

Les cartographies ci-après présentent les hauteurs d'eau et vitesses maximum pour la crue de période de retour 50 ans.

Sur le secteur du centre-ville, 3 ponts débordent : pont Minot, pont Avenue de La République et pont Auguste. Le tronçon de la ravine Sèche en amont du pont Auguste déborde également. Les débordements entrainent des inondations sur la rue de Bourbon puis de la rue ile de France. L'avenue de la République est également inondée pour cette occurrence.

Cinq ouvrages de la ravine Payet donnent également lieu à des débordements : OH1 à OH4 et OH6 mais avec des hauteurs d'eaux relativement limitées sur les zones à enjeux.

Les zones inondées comprennent notamment : la RN2, l'avenue Ile de France, le secteur du collège Bédier et l'avenue de la République et quelques rues au *nord* de l'avenue de la république.

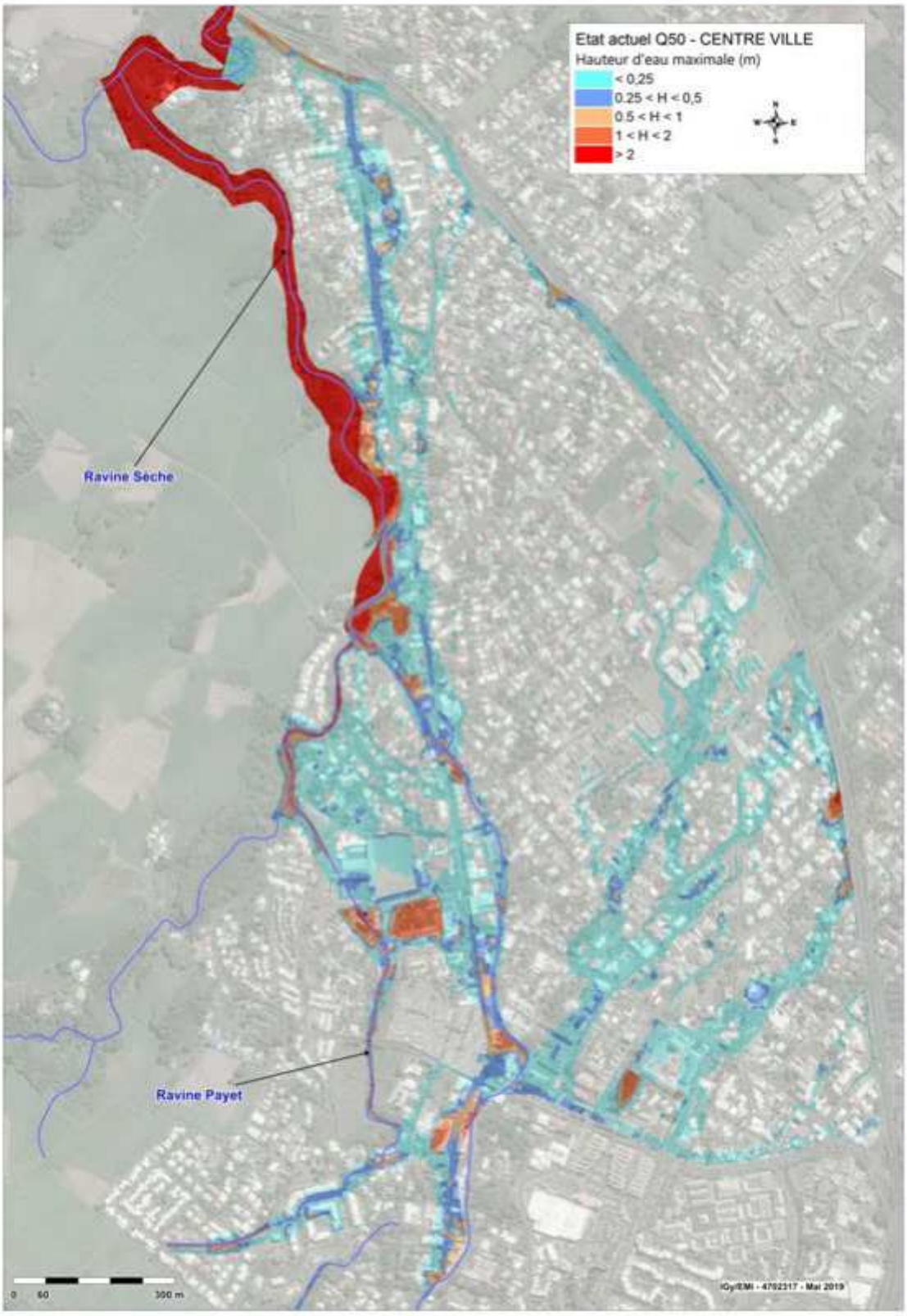


Fig. 114. Hauteurs maximum †Q50 †Centre ville

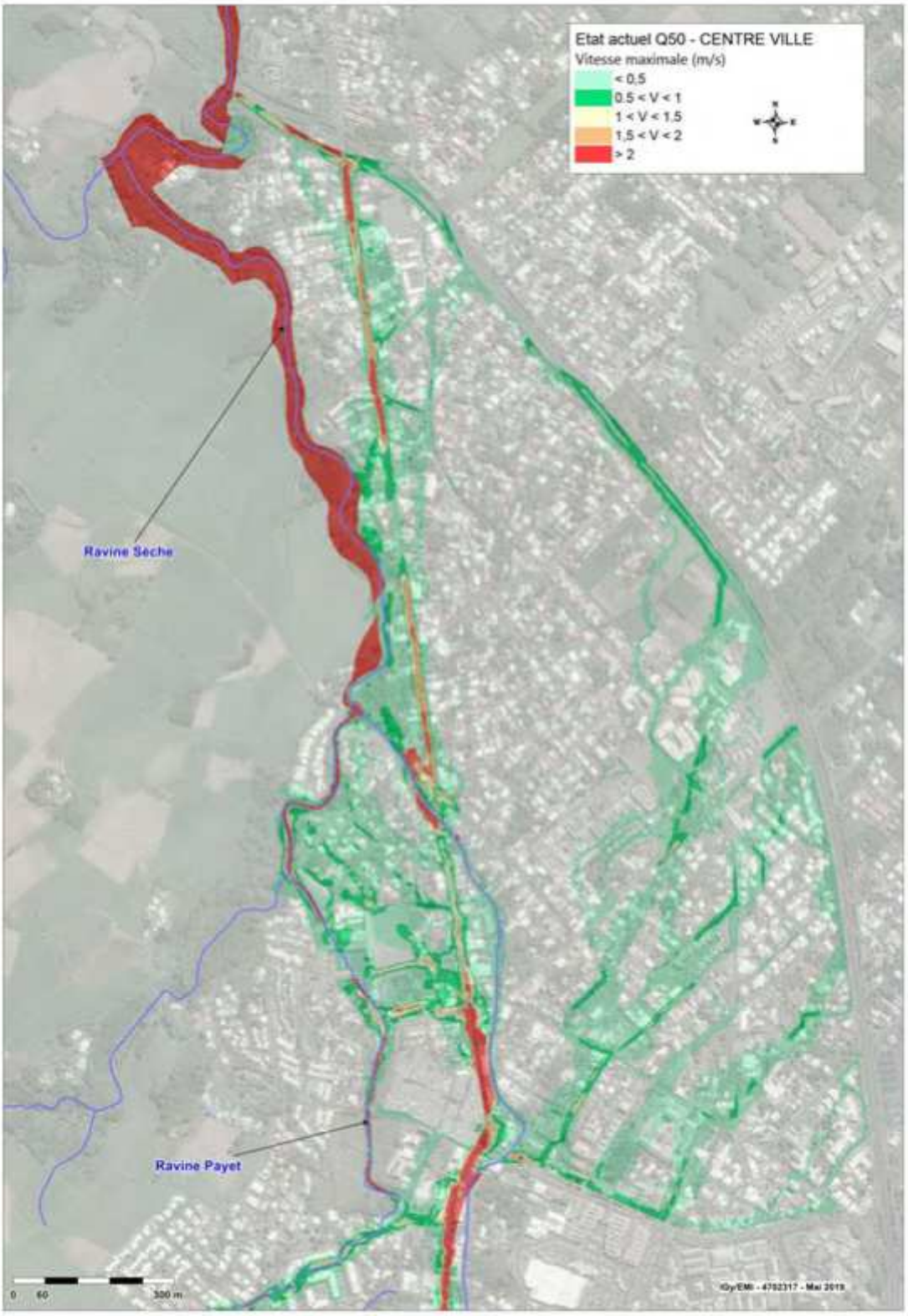


Fig. 115. Vitesses maximum †Q50 †Centre ville

7.4.1.4. CRUE CENTENNALE

Les figures suivantes présentent les hauteurs d'eau et vitesses maximum pour la crue centennale.

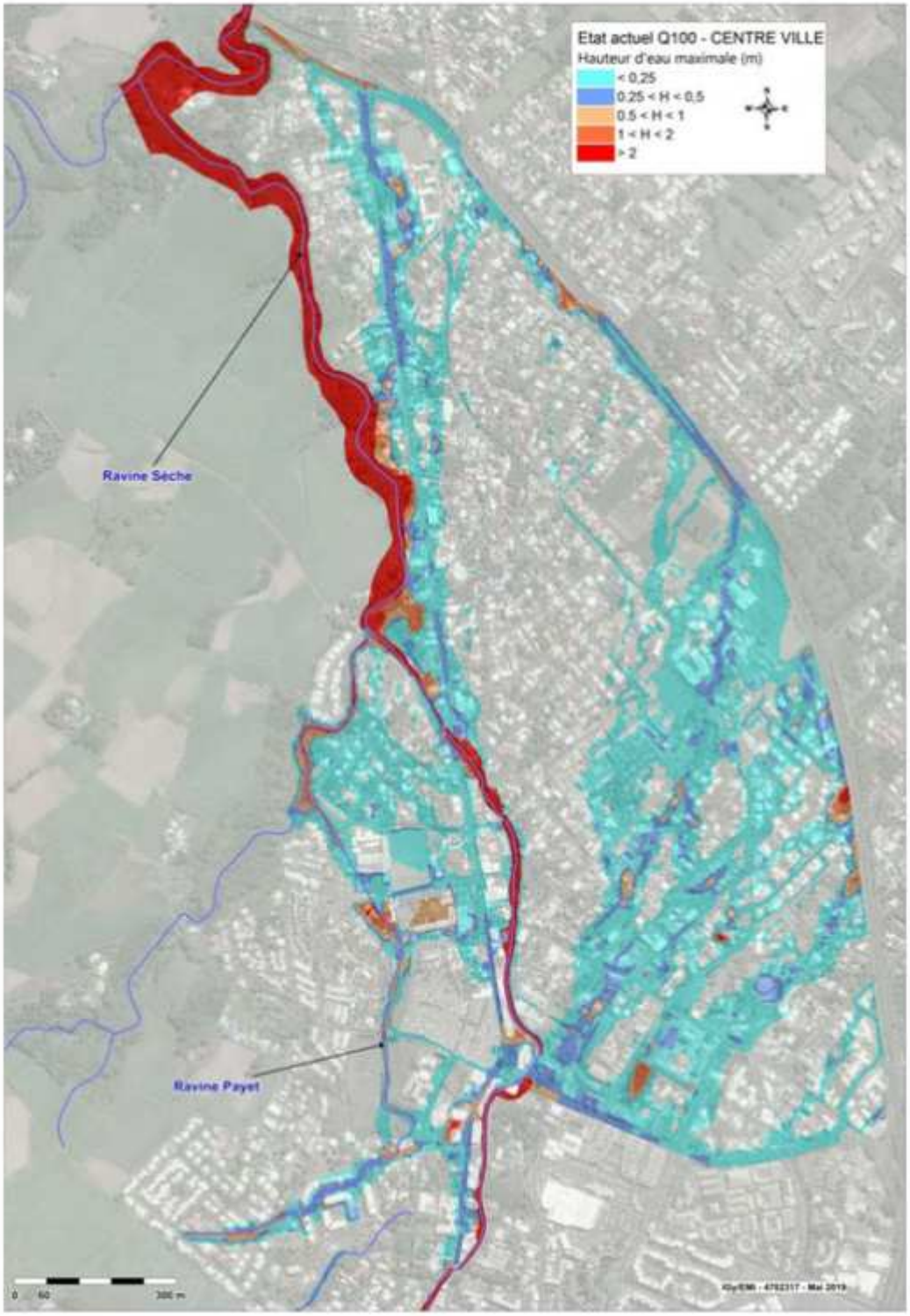


Fig. 116. + D X W H X U V G • H D X P ƒ1 C f l u P o t e n t i e l l e n n a l e † Centre Ville

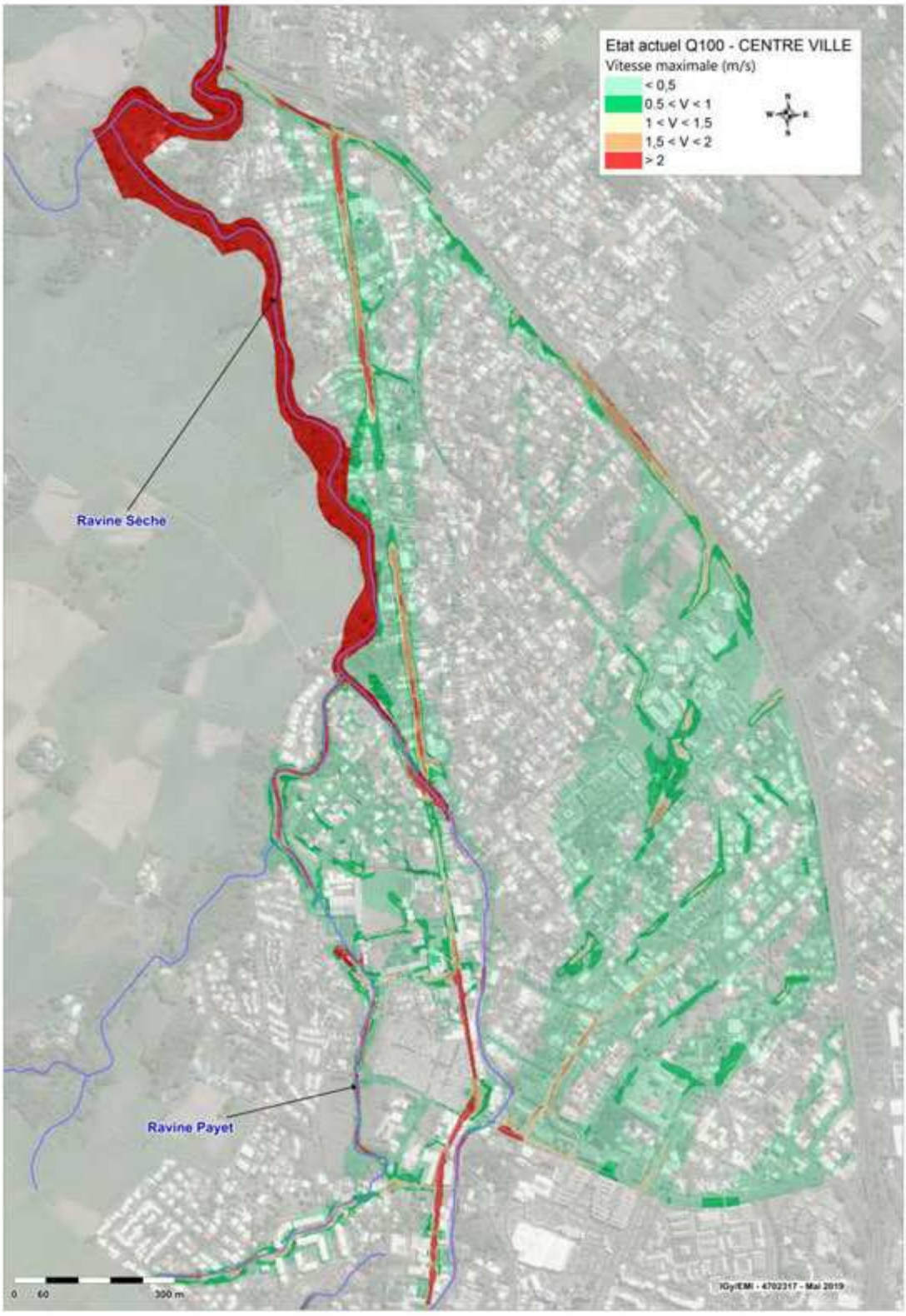
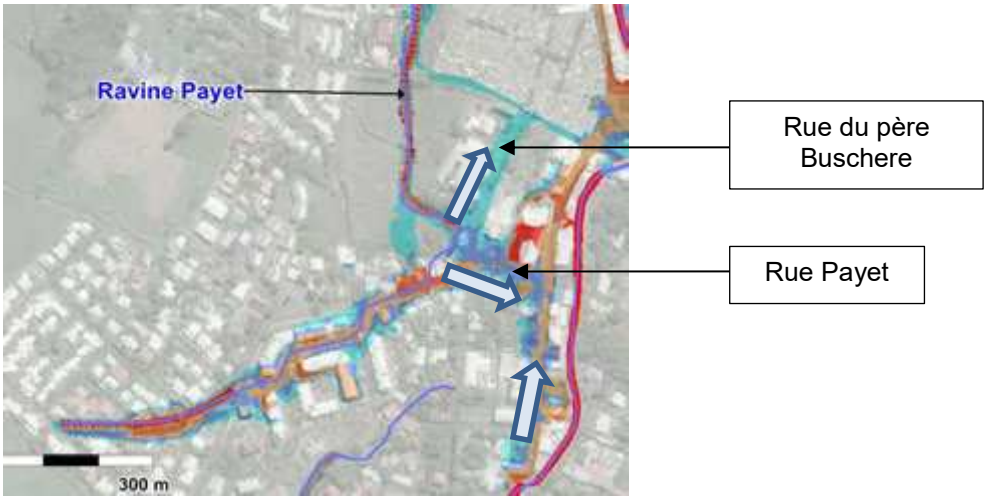


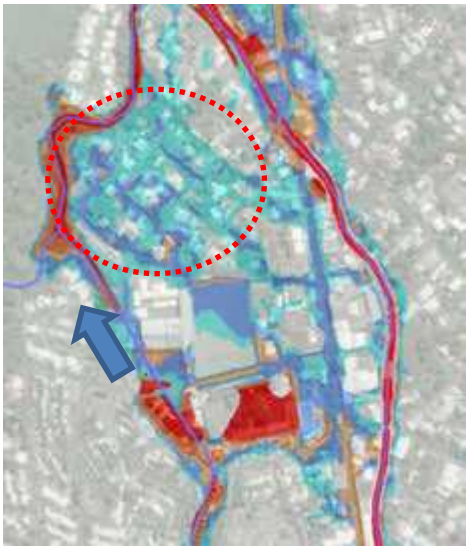
Fig. 117. Vitesses maximum †Crue centennale †Centre Ville

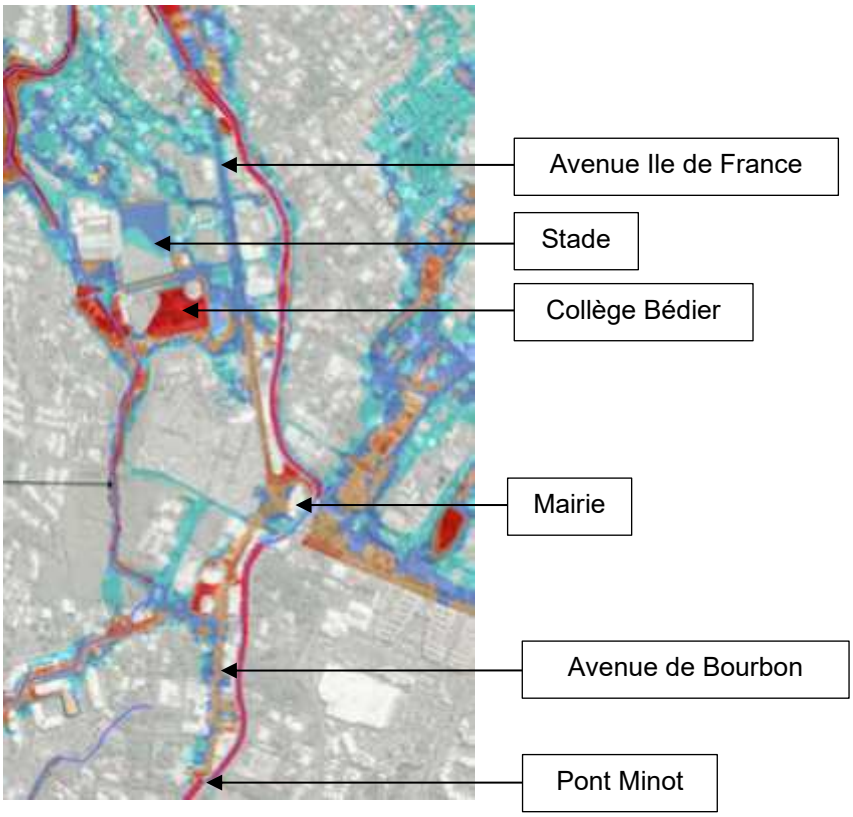
On observe :

- Sur la Ravine Payet :
  - Le débordement de la Ravine Payet sur le tronçon du lotissement « Les feuillantines » due à la sous capacité de la ravine et à la mise en charge des ouvrages. Les débordements affectent la voirie en rive droite et les bâtiments de parts et d'autres du cours d'eau créant 2 axes d'écoulements vers la rue du Père Buschere et la rue Payet vers l'avenue de Bourbon où les eaux débordées rejoignent l'écoulement sur l'avenue de Bourbon issu du débordement de la Ravine Sèche :

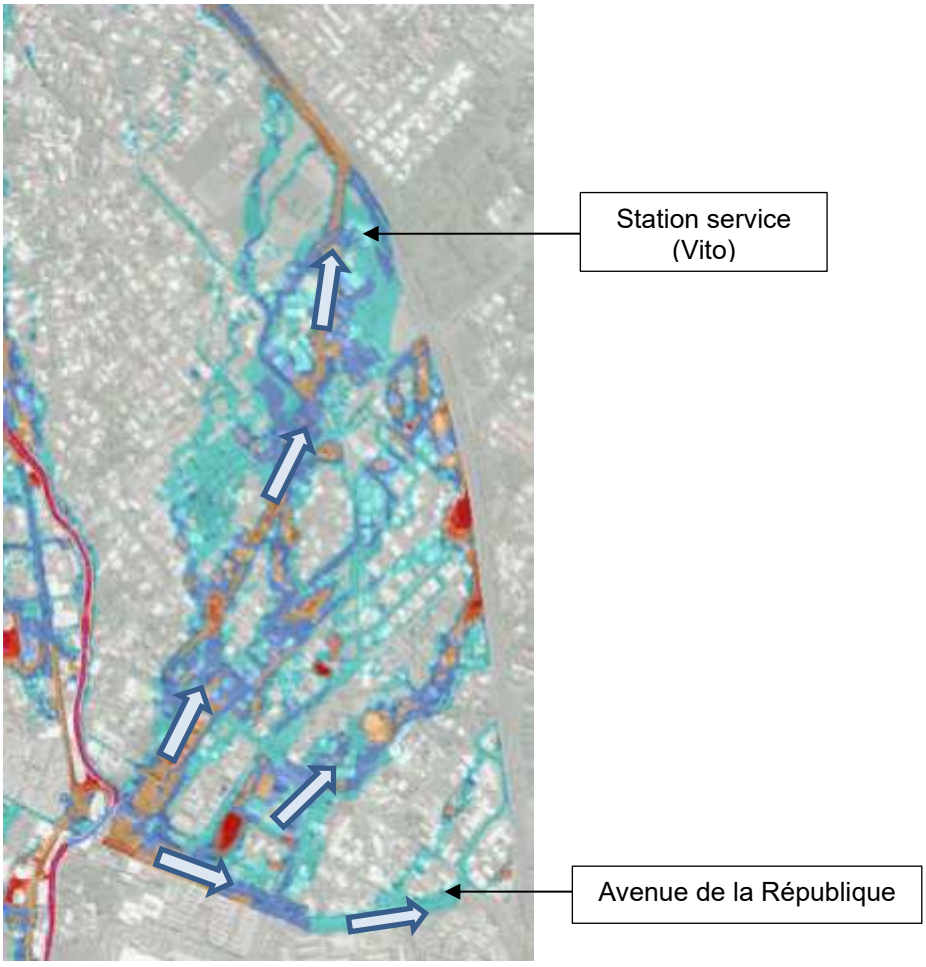


  - Le débordement de la Ravine Payet au niveau du lotissement « Les Cazales » due à la mise en charge de l'OH7. Les débordements affectent des habitations de part et d'autres de la ravine jusqu'à la rue du stade. Sur ce secteur, les eaux en provenance de la Ravine Sèche sont également présentes. Le secteur en aval du stade est particulièrement touchés (habitations).

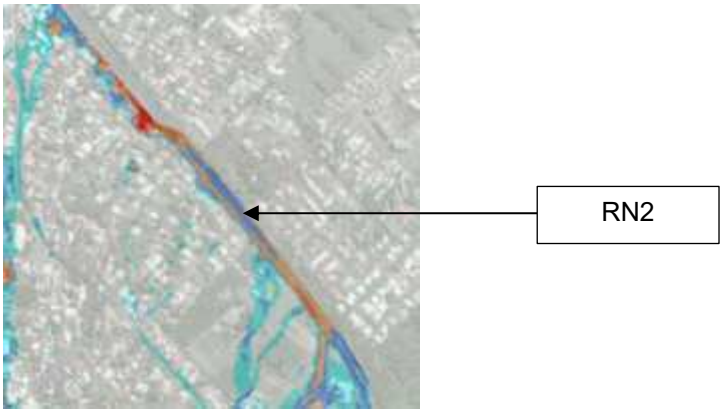


- Sur la Ravine Sèche :
  - Le débordement au droit du pont Minot due à la mise en charge de l'ouvrage. Les eaux débordées empruntent l'avenue de Bourbon puis l'avenue Ile de France, la rue du stade et l'avenue de la République. La mairie, le collège Bédier, la piscine et le stade sont en particulier touchés.
  - 

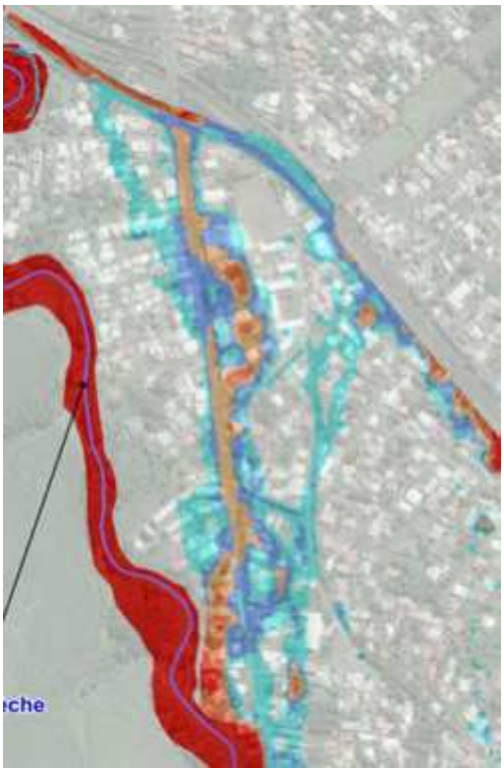
- Depuis l'avenue de la république, l'ensemble des rues descendant vers le *nord* constituent des axes d'écoulement en crue centennale. De nombreux bâtiments sont inondés.



- La RN2 est également affectée par ces écoulements entre la station service (Vito) et la rue Pause :



- Le débordement au droit du pont Auguste, inondant la rue Miguel ainsi que l'avenue Ile de France jusqu'à la RN2. De nombreux bâtiments sont inondés de parts et d'autres de l'avenue, ainsi que l'allée Zelmar, quelques habitations du quartier de petit Bazar et a RN2 au niveau de la rue du centre :



7.4.1.5. CRUE DECAMILLENNALE

Les figures suivantes présentent les hauteurs d'eau et vitesses maximum pour la crue décamillénnale.

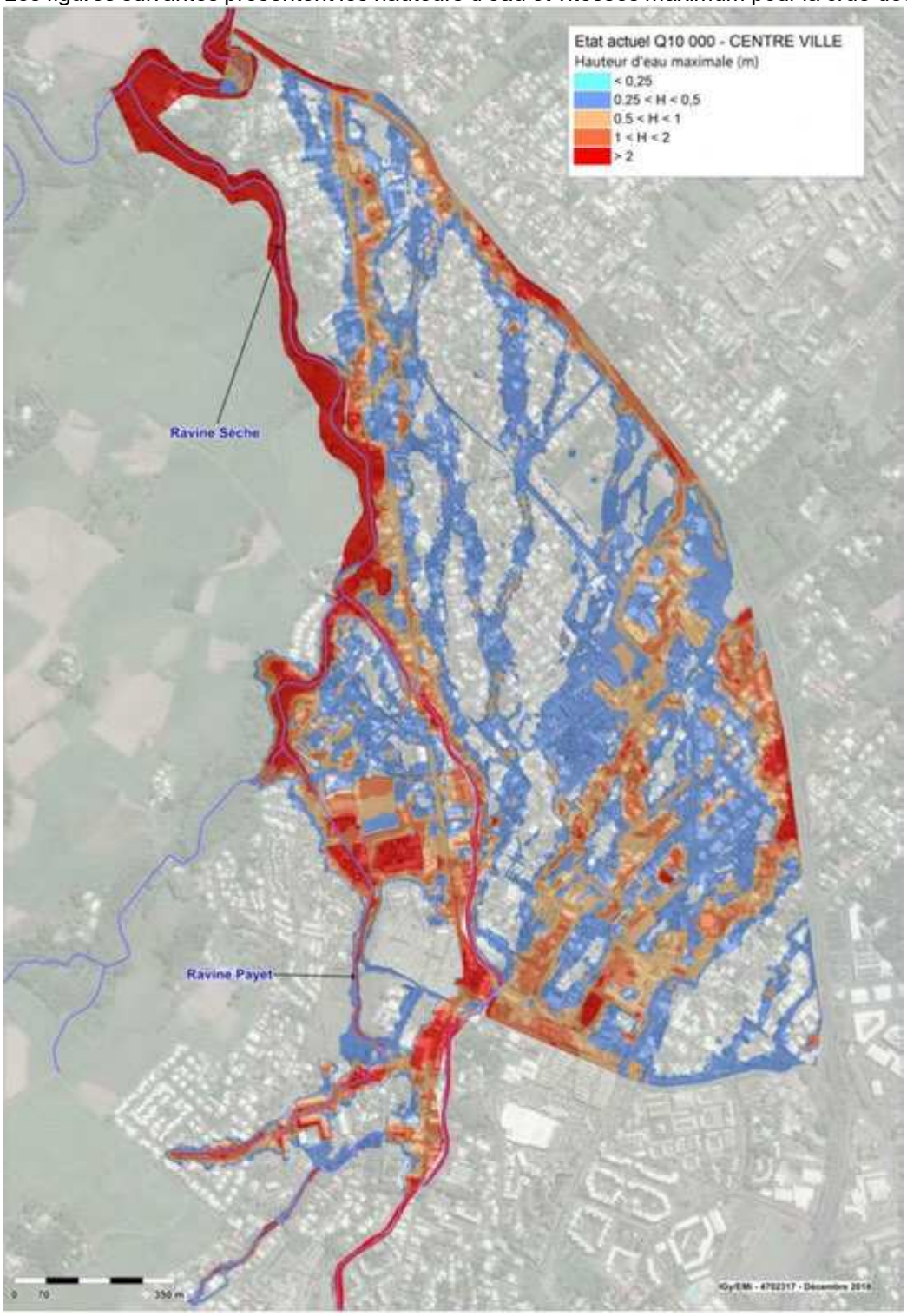


Fig. 118. + D X W H X U V G • H D X P t C r u e D é c a millénnale † Centre Ville

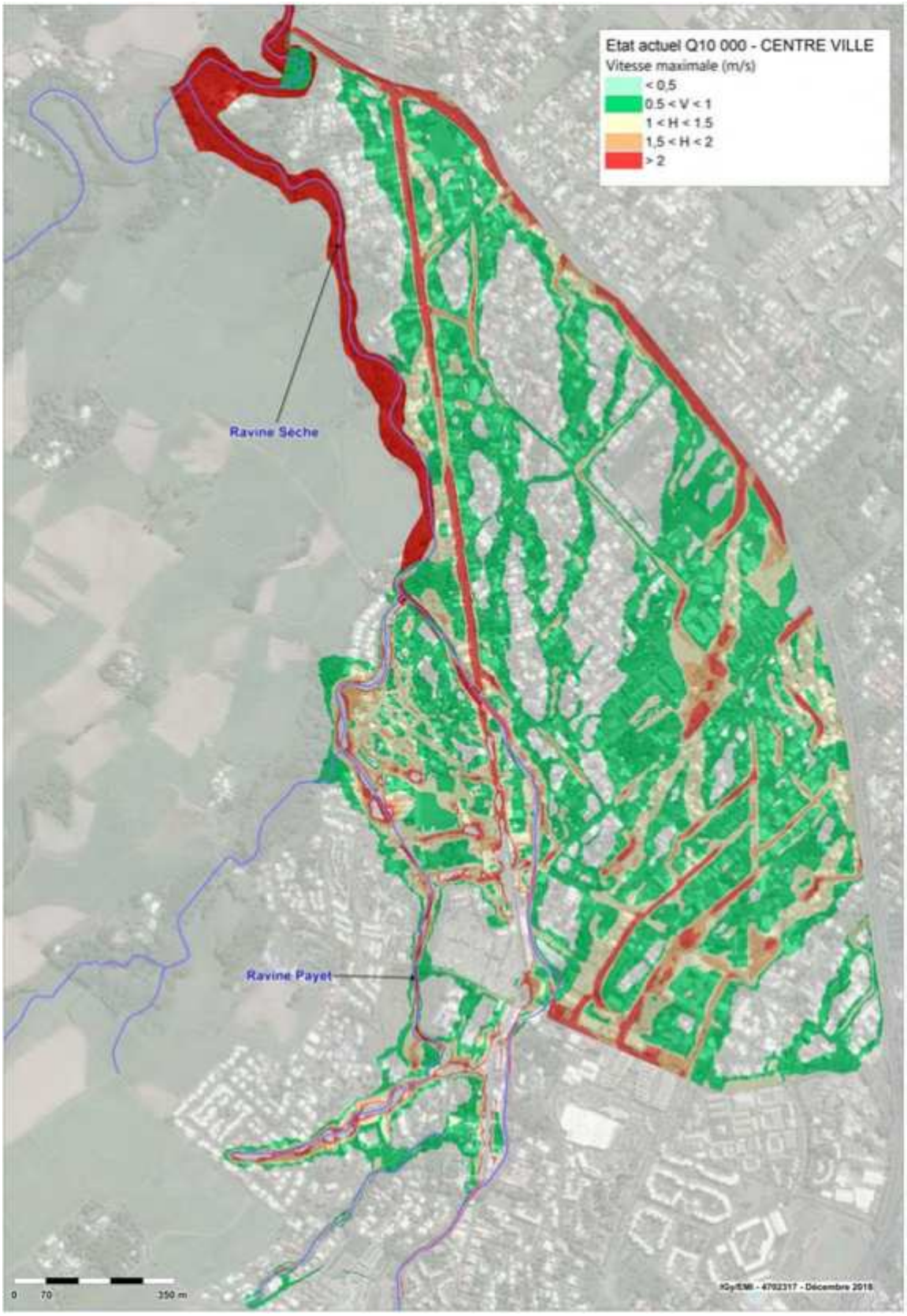


Fig. 119. Vitesses maximum †Crue décamillénnale †Centre Ville

L'ensemble des ouvrages est mis en charge et une partie du centre-ville est inondé.

Les axes d'écoulements principaux sont :

- Pour la Ravine Payet :
  - Rue du stade,
  - Rue Bédier,
- Pour la Ravine Sèche :
  - L'avenue de Bourbon,
  - L'avenue Ile de France,
  - Rue Miguel,
  - L'avenue de la République,
  - Rue Melodium / Chemin Defloris,
  - Rue Victor Hugo / Rue Lacaussade,
  - Rue Lacoaret.

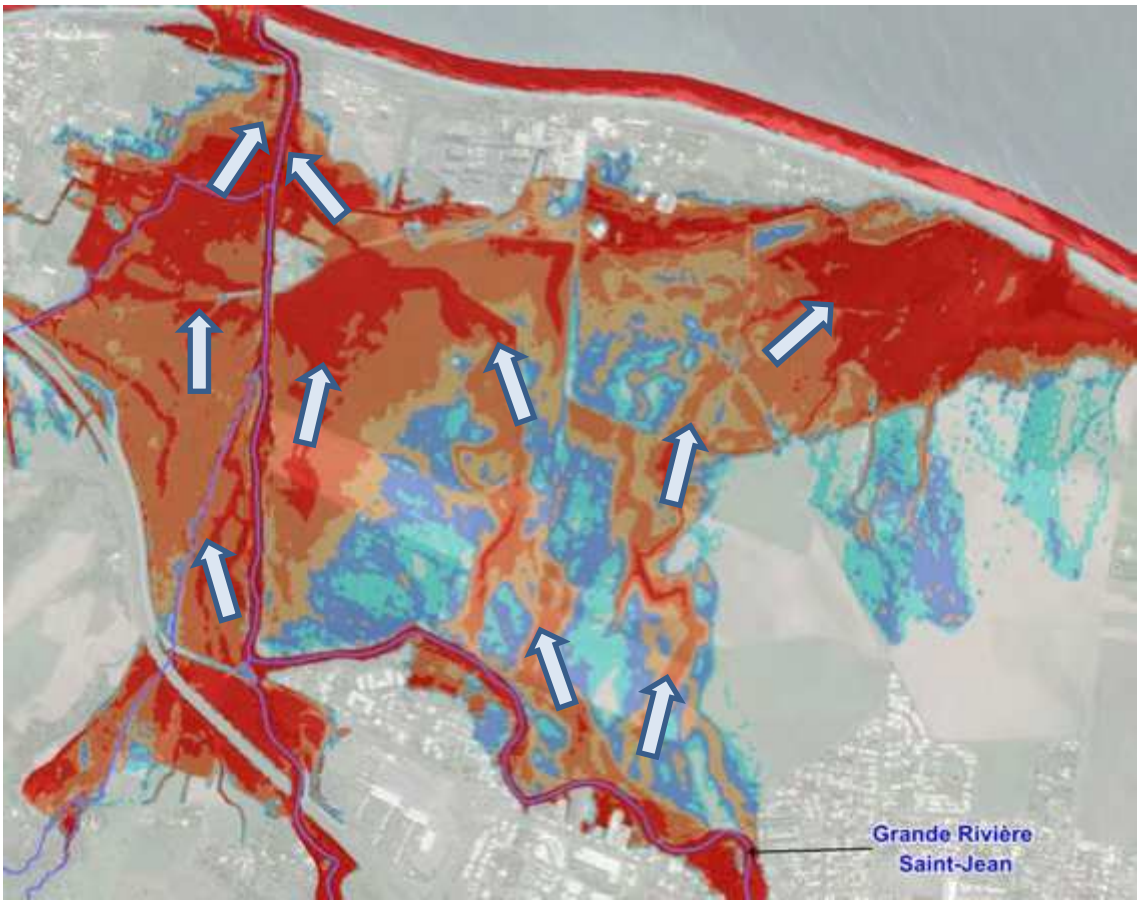
7.4.2. Bois Rouge / la Marine

7.4.2.1. CRUE DECENNALE

On constate que, dès une crue de période de retour décennale, la plaine de Bois Rouge et le quartier de la Marine sont inondés.

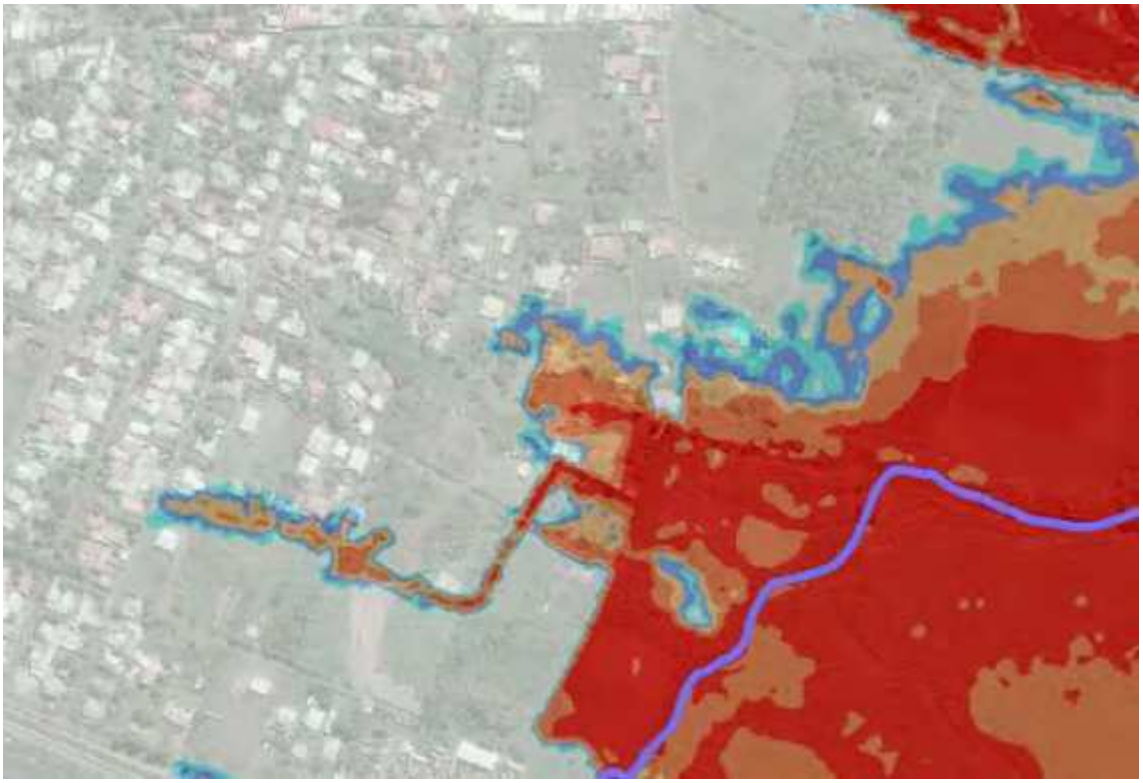
Les débordements se font :

- En rive droite de la Grande Rivière Saint Jean, en amont de la confluence avec la petite Rivière St Jean. Les eaux débordent alors sur les champs de cannes en exploitation pour rejoindre ensuite soit l'étang de Bois Rouge, soit l'embouchure de la Grande Rivière St Jean.
- En rive droite et en rive gauche de la Grande Rivière St Jean, en aval de la confluence avec petite Rivière St Jean. Ces eaux rejoignent ensuite l'embouchure en contournant le temple pour la rive droite, et longeant le quartier de la Marine pour la rive gauche.

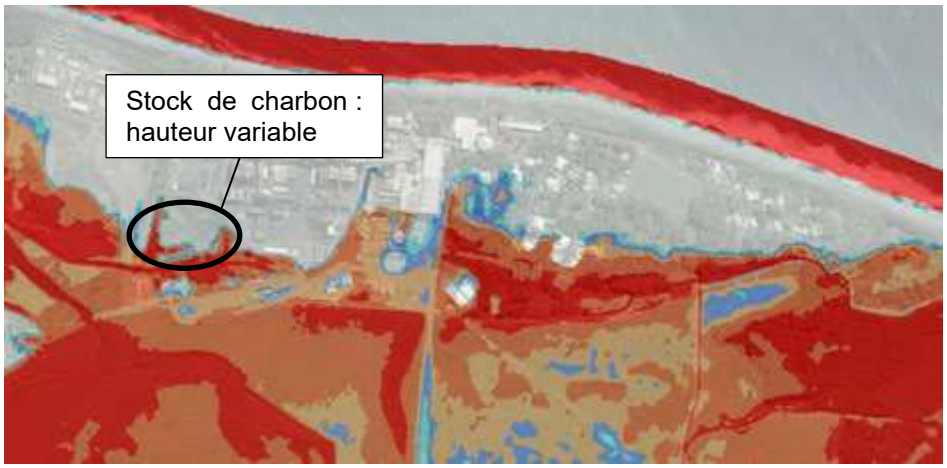


Les enjeux impactés par cette zone inondable sont faibles :

- L'impact sur le quartier de la Marine reste localisé. Les habitations situées au plus près de la Grande Rivière St Jean sont impactées avec une hauteur d'eau maximale d'1m sur quelques habitations. Les vitesses d'écoulement restent faibles (inférieures à 0.5 m/s).

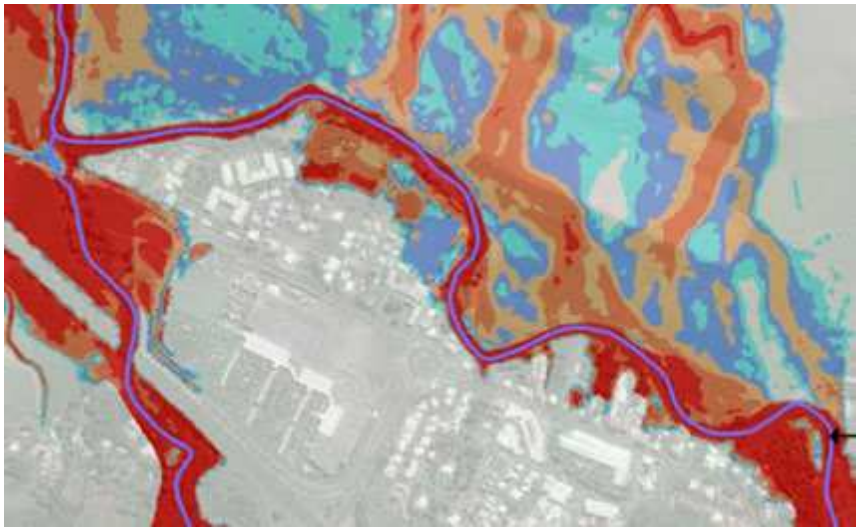


- La zone industrielle et la zone résidentielle de Bois Rouge sont partiellement inondées. Seule la cour de réception de la canne est inondée avec des hauteurs d'eau inférieures à 1m. La zone résidentielle de Bois Rouge est inondée sur sa partie basse avec une hauteur d'eau d'environ 1m. Les habitations sont peu impactées. Les vitesses d'écoulement restent relativement faibles (inférieures à 1 m/s).



La zone en noir correspond au stock de charbon de la sucrerie. Il est autorisé par la deal que ce stock varie : il peut aussi bien être nul que plein. La hauteur d'eau est donc variable sur ce secteur. Les incidences sont jugées négligeables.

- En amont de la confluence de la Petite Rivière St Jean, on constate des débordements limités en rive gauche vers les habitations situées en limite de la rivière. Ces débordements restent très localisés. On constate également que les bassins de rétention du centre commercial Carrefour sont inondés mais pas les parkings ni les bâtiments. Au niveau du débordement en rive droite dans les champs de cannes, la vitesse des écoulements est inférieure à 2 m/s. Les cannes ne sont pas endommagées avec cette vitesse.



Pour cette occurrence, le chemin de Bois Rouge est inondé sur la totalité de son linéaire. La route n'étant pas surélevée par rapport aux parcelles situées de part et d'autre de l'aménagement, elle ne fait pas office de barrage aux écoulements. L'eau peut donc cheminer sans être bloquée par cet ouvrage.

Des verrous hydrauliques sont identifiés pour cette crue : vestiges du pont CFR, pont de Bois Rouge, temple tamoul.

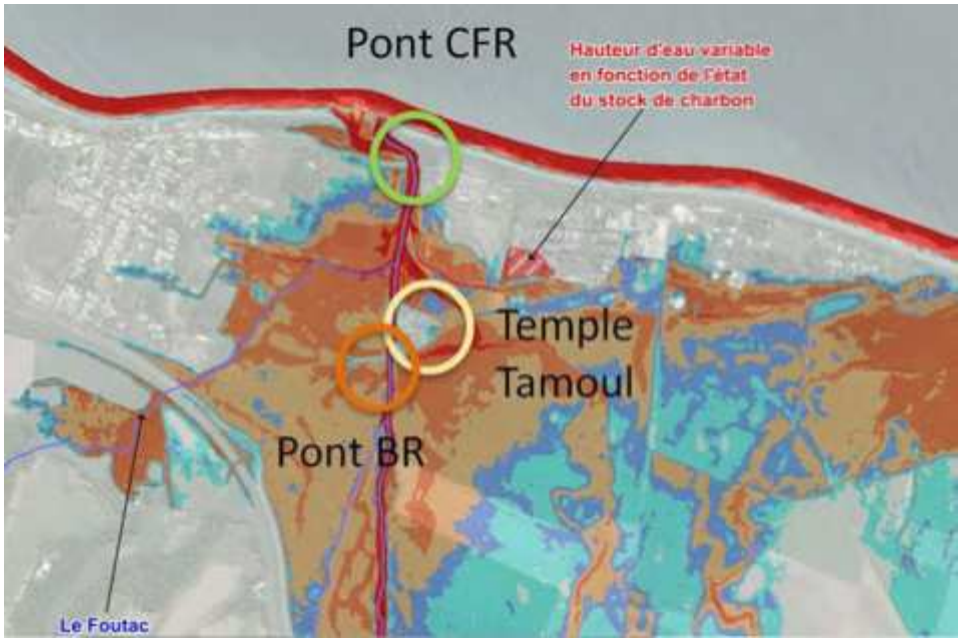


Fig. 120. Verrous hydrauliques - localisation

Le contexte topographique est précisé sur les figures qui suivent. Il met en avant des zones surélevées empêchant le libre écoulement des eaux. Ces verrous ont tendance à :

- rehausser la ligne d'eau dans le lit mineur de la Grande Rivière Saint-Jean, accentuant les débordements
- supprimer du volume d'expansion de crue.

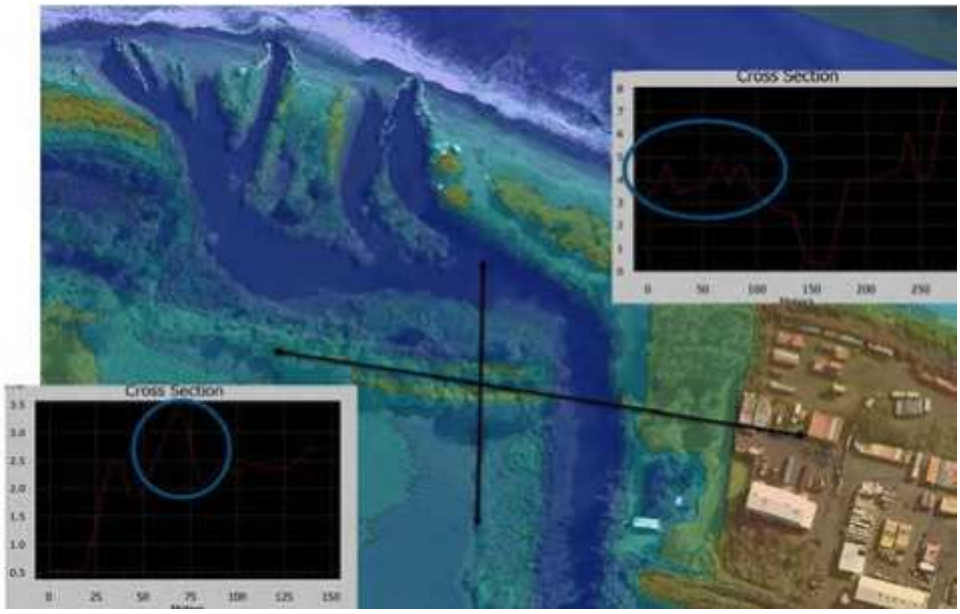


Fig. 121. Verrou hydraulique †vestige du pont CFR

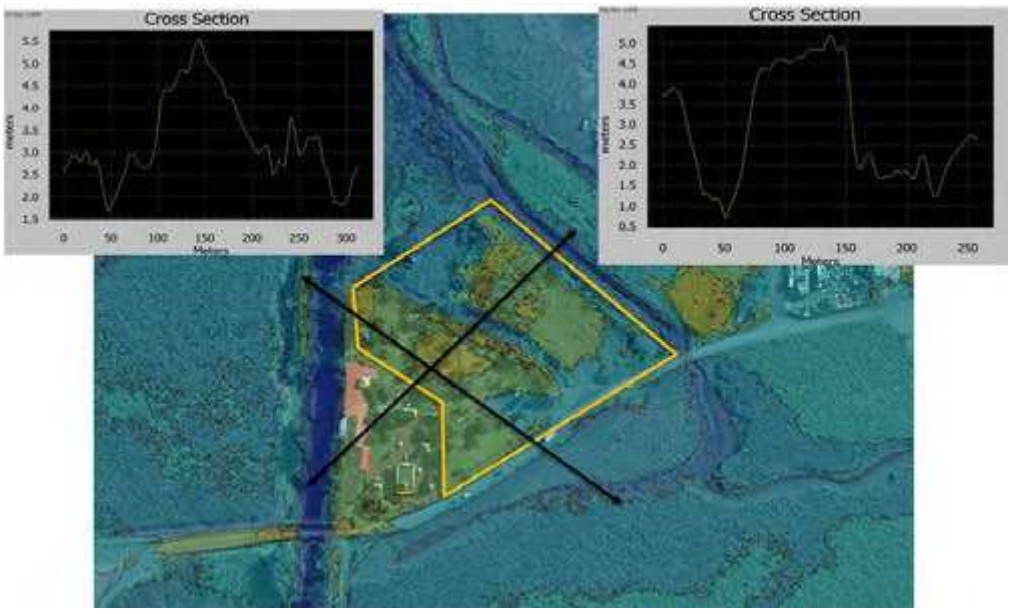


Fig. 122. Verrou hydraulique †temple tamoul

On constate également que le pont pour traverser la Grande Rivière Saint Jean n'est pas inondé.

Les figures suivantes présentent les hauteurs d'eau et vitesses maximum pour la crue décennale.

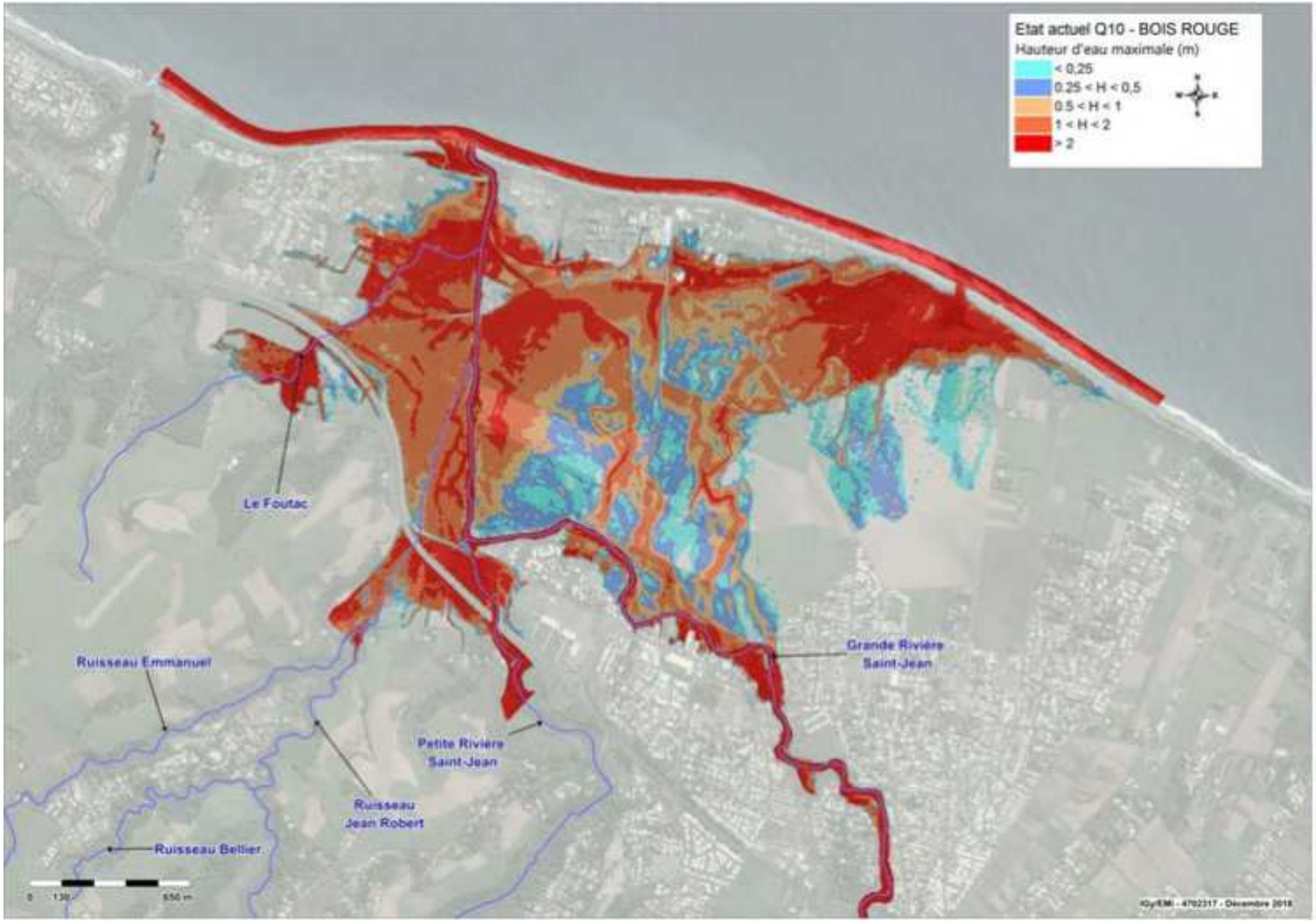


Fig. 123. + D X W H X U V G • H D X P†OLXHV SRXU OD SOXLH GH UpIpUHQFH WUHQWHQQDOH †Bois Rouge

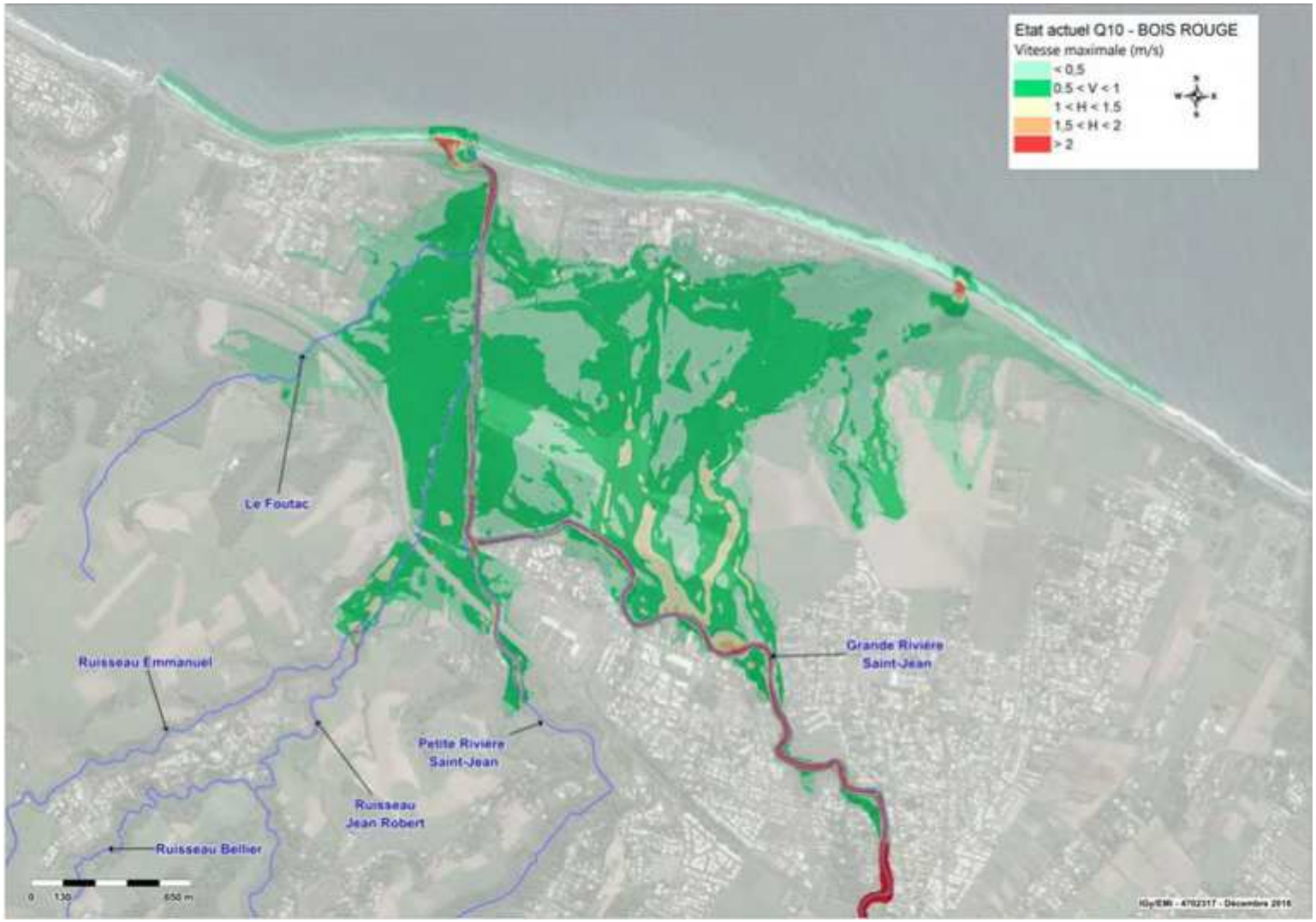


Fig. 124. Vitesses maximum †Crue décennale †Bois Rouge

7.4.2.2. Q30

Les figures ci-après présentent les hauteurs d'eau et vitesses maximumpour une période de retour 30 ans.

On constate :

- Sur le quartier La Marine :

  La zone inondable est plus étendue, de nouvelle habitations sont inondées par rapport à Q10 : + 10 logements impactés notamment le long des rues de la Source, Héritiers François et de l'Ardour ainsi que la rue des Pêcheurs et le chemin Foutaque ;

- Sur le quartier Français : le nombre de logement impacté ne varie pas mais les hauteurs d'eau sont plus importantes. Les logements situés le long de la RN2002 sont particulièrement touchés ;

- Sur la Plaine de Bois Rouge : L'emprise de la zone inondable des champs agricoles sur la Plaine de Bois Rouge est sensiblement identique à la zone inondée pour 10 ans. Par contre, les niveaux d'eau augmentent ;

- Les 3 verrous hydrauliques identifiés restreignent toujours le libre écoulement des eaux et diminuent le volume d'expansion des crues.

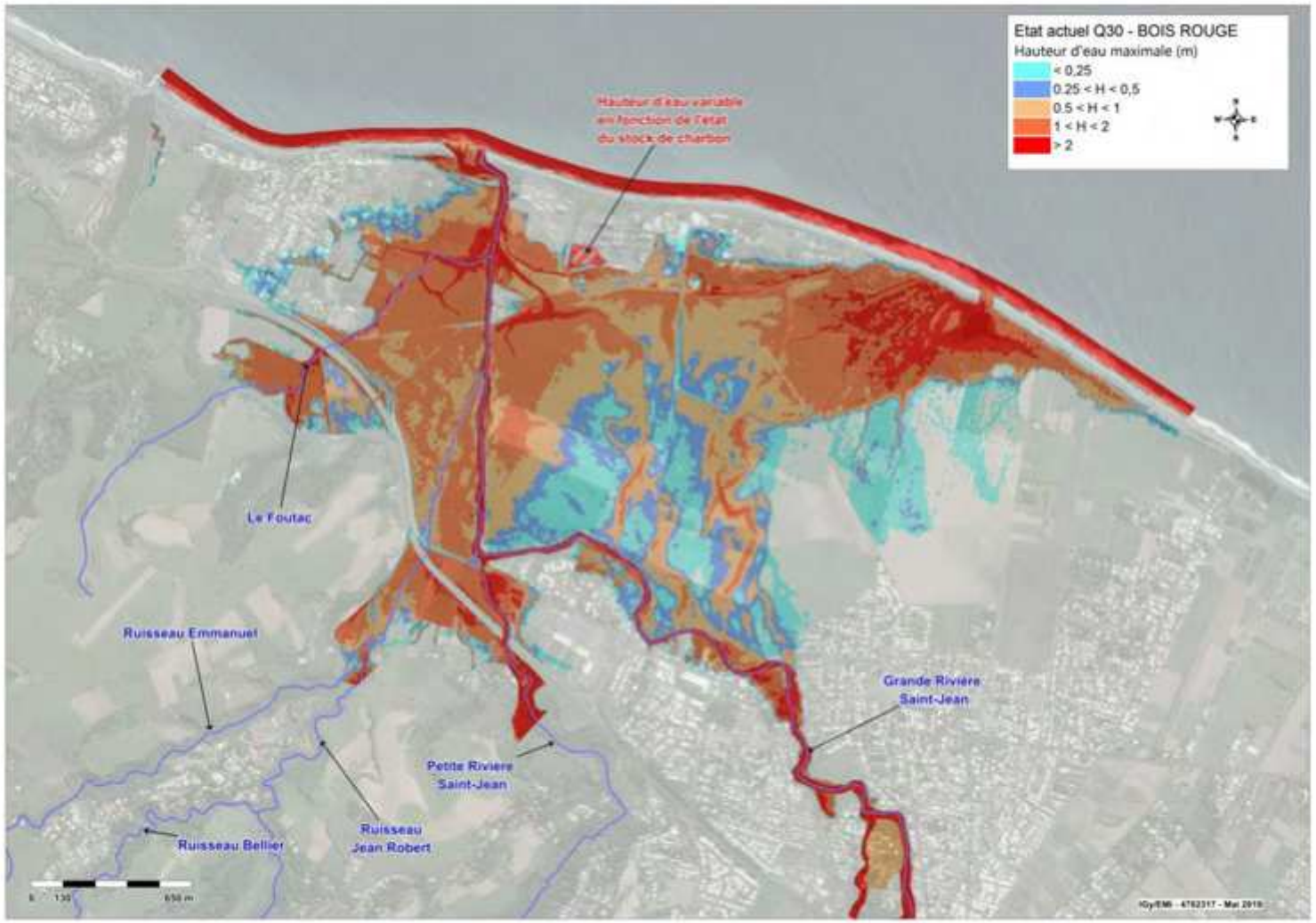


Fig. 125. Hauteurs maximum †Q30 †Secteur aval

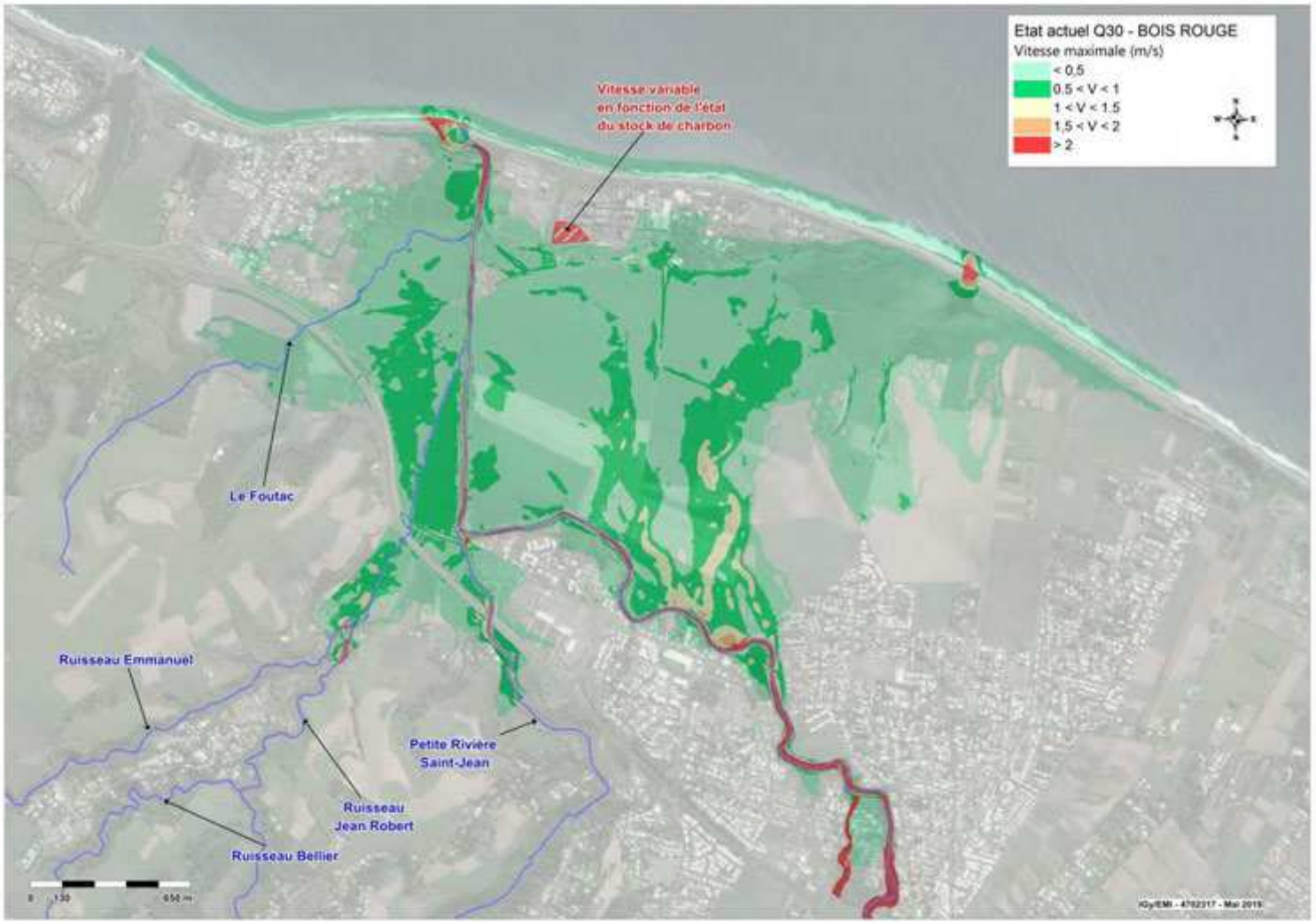


Fig. 126. Vitesses maximum †Q30 †Secteur aval

7.4.2.3. Q_{50}

La zone inondable est étendue par rapport à la Q_{30} :

Les figures ci-après présentent les hauteurs d'eau et vitesses maximum pour une période de retour 50 ans.

On constate :

- Sur le quartier La Marine :

  La zone inondable la zone inondable s'étend vers le *nord*, de nouvelles habitations sont inondées par rapport à Q30 (34 logements impactés). En particulier, les habitations situées le long des rues des Canelles et Bois d'Ebene sont inondées à partir de la crue de fréquence 50 ans ;

- Sur le quartier Français : la zone inondée s'étend légèrement. Les logements situés le long de la RN2002 sont particulièrement touchés ;

- Sur la Plaine de Bois Rouge : L'emprise de la zone inondable des champs agricoles sur la Plaine de Bois Rouge est sensiblement identique à la zone inondée pour 10 et 30 ans. Par contre, les niveaux d'eau augmentent ;

- Les 3 verrous hydrauliques identifiés restreignent toujours le libre écoulement des eaux et diminuent le volume d'expansion des crues.

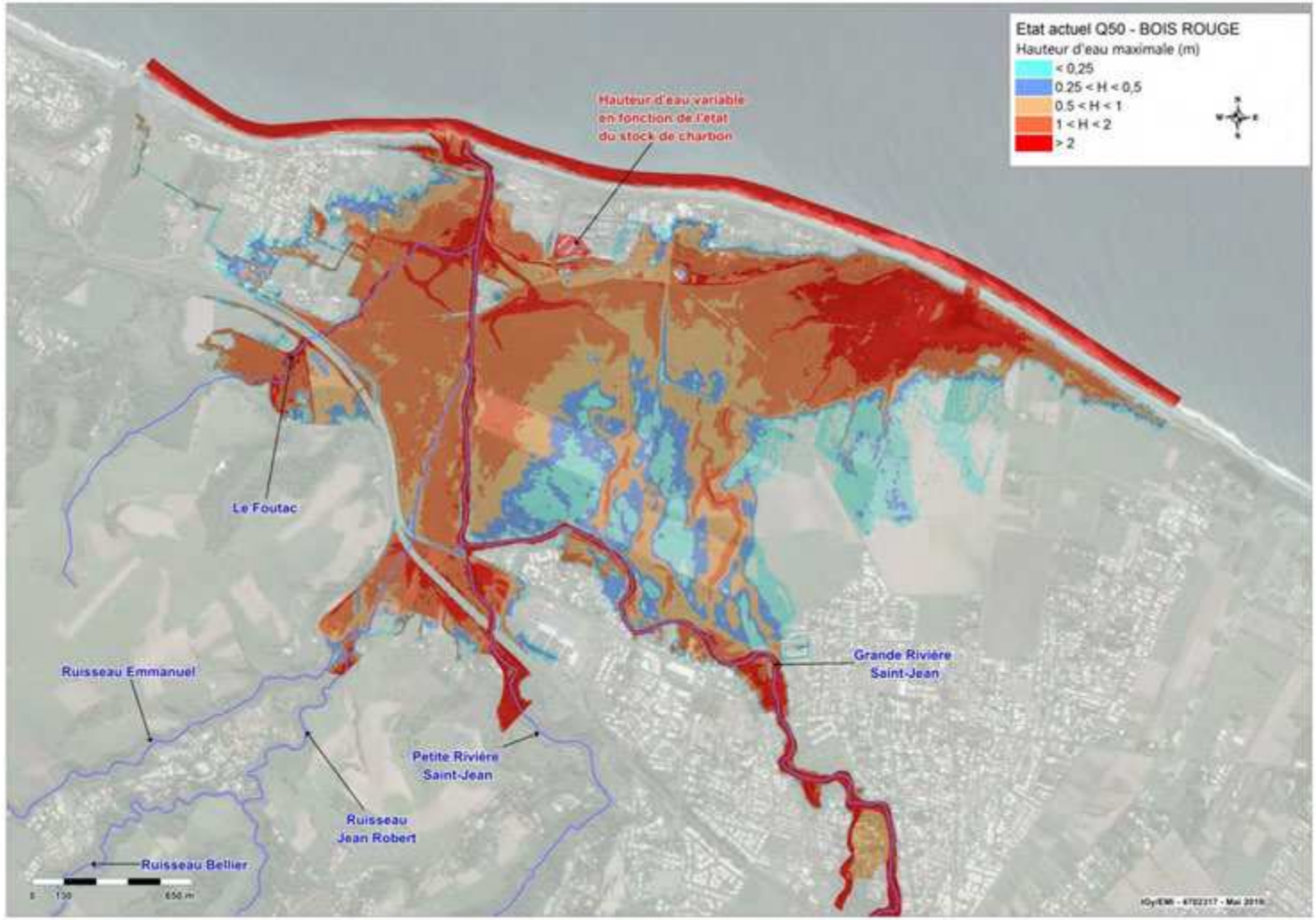


Fig. 127. Hauteurs maximum †Q50 †Secteur aval

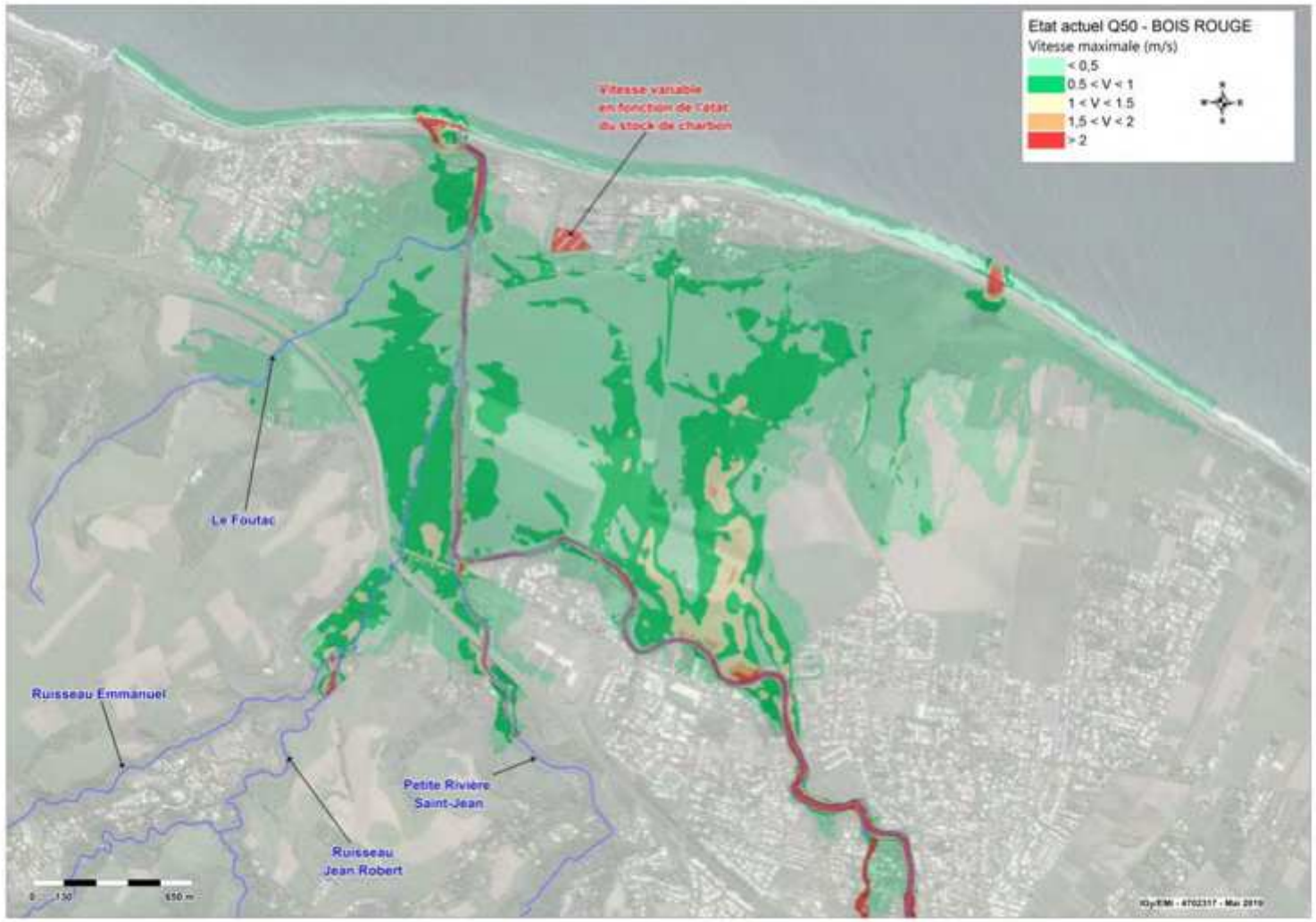


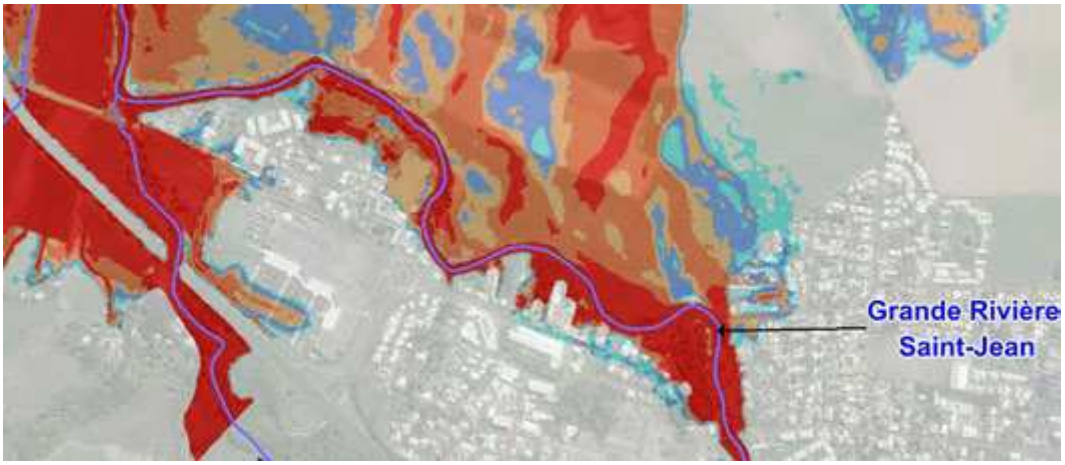
Fig. 128. Vitesses maximum †Q50 †Secteur aval

7.4.2.4. CRUE CENTENNALE

Les débordements en rive droite de la Grande Rivière St Jean sont donc accentués par rapport aux crues précédentes. La quasi-totalité de la berge est sollicitée, avec des vitesses de débordements importantes sur la partie amont (supérieurs à 2 m/s). Ces vitesses peuvent causer des risques de destruction de berges et d'endommagement des parcelles de cannes situées en aval. Ces dysfonctionnements ont été notamment constatés lors de l'épisode pluvieux Fakir.

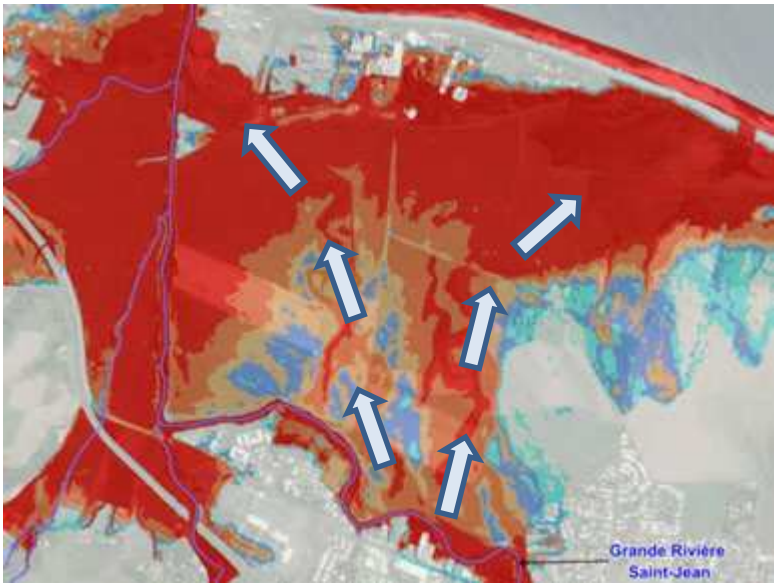
En rive gauche, on constate une inondation des parcelles situées entre la Grande Rivière St Jean et la RN2002.

Le parking du centre commercial Carrefour est également inondé via le débordement de la Petite Rivière St Jean. Cependant, les bâtiments commerciaux sont situés hors d'eau.



2 axes préférentiels d'écoulements sont constatés pour les débordements vers la plaine de Bois Rouge :

- Un premier axe rejoint le Petit Etang de Bois Rouge ;
- Un second axe rejoint la Grand Rivière St Jean sur son tronçon situé en aval du temple.



7.4.2.4.1. Grand Rivière St Jean – aval confluence Petite Rivière St Jean

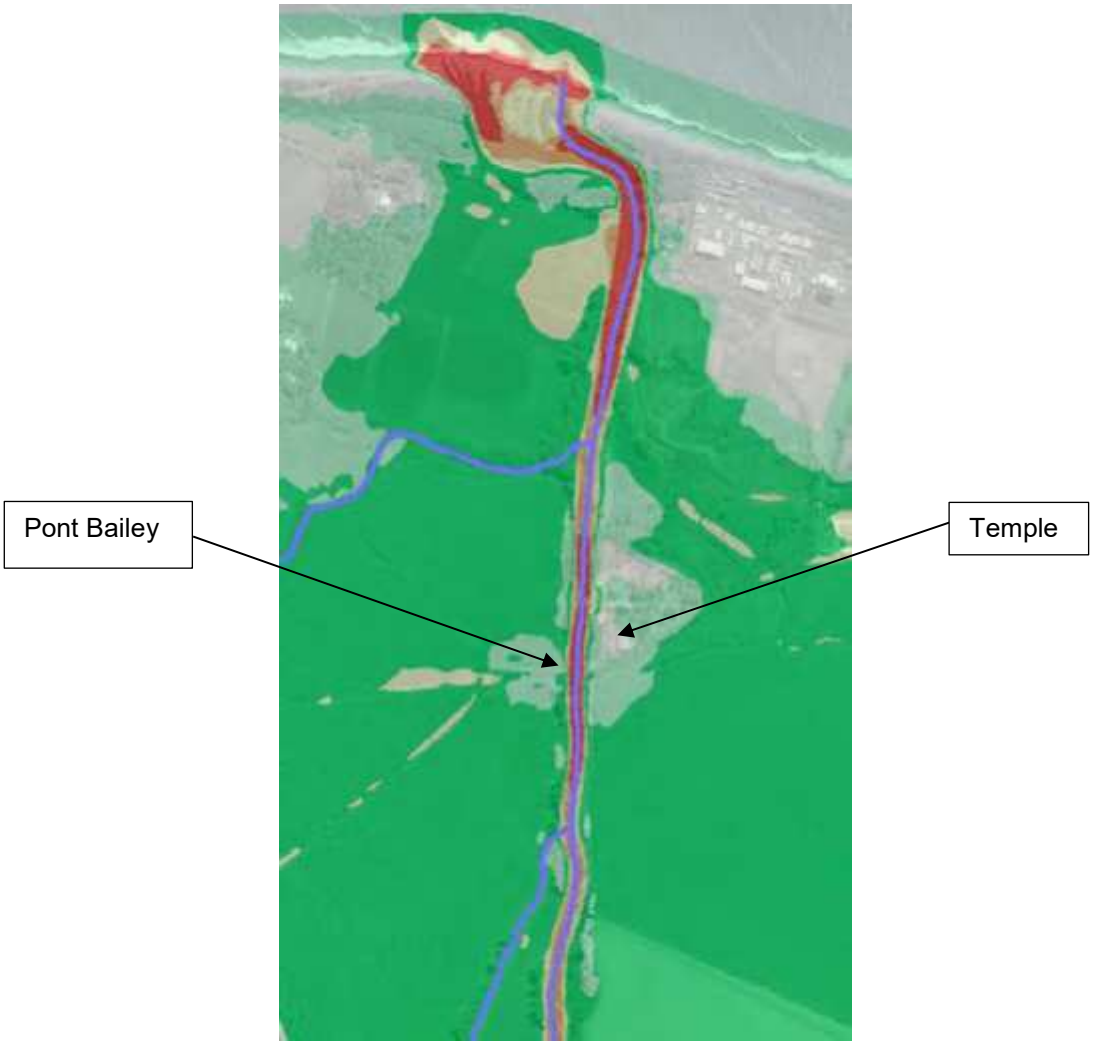
Lors de son cheminement sur la plaine de Bois Rouge, la grande Rivière St Jean débordent en rive droite et en rive gauche, avec des retours de débit dans le lit mineur sur certains secteurs.

En amont du pont Bailey, les débordements sont continus avec des écoulements dirigés vers le quartier de la Marine pour la rive gauche et le quartier de Bois Rouge pour la rive droite.

Le Pont Bailey créé un point de contraction qui limite les écoulements dans le lit mineur. Cette contraction est accentuée par la présence du temple situé hors d'eau, qui favorise un départ des écoulements vers le quartier de Bois Rouge et non vers un retour vers la Grande Rivière St Jean. Ce temple est un élément très important dans la dynamique des écoulements. Son implantation sur une zone préférentielle d'écoulement a pour conséquence d'accentuer les zones de débordement autour de lui.

En aval du pont et du temple et en amont de son exutoire, on constate un retour important des écoulements provenant du quartier de La Marine et du quartier de Bois Rouge.

Au niveau de son exutoire, le remblai de l'ancien CFR accentue la contraction des écoulements et limite l'évacuation des eaux vers le littoral

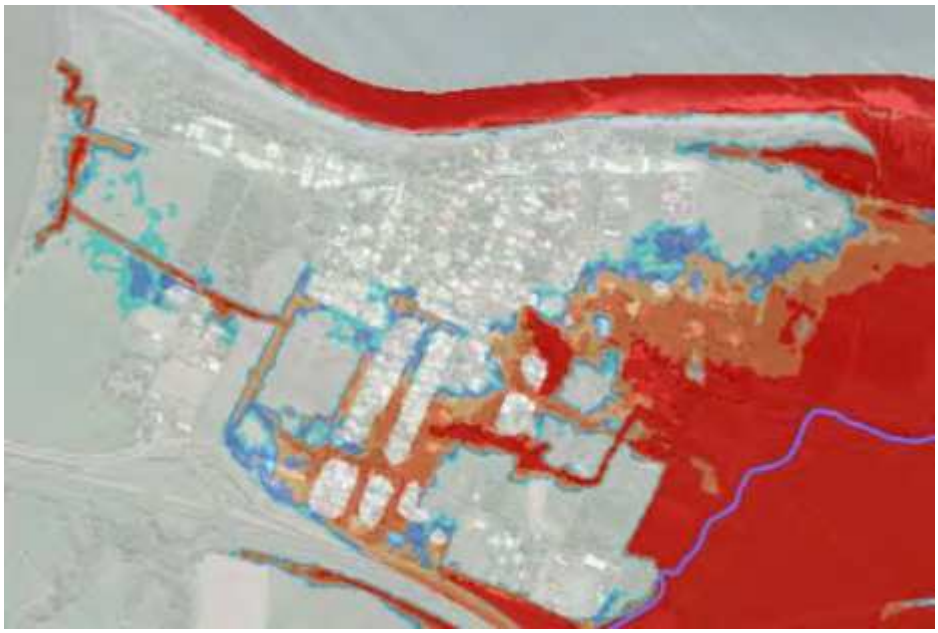


7.4.2.4.2. Quartier de la Marine

La modélisation réalisée ne tient pas compte des apports de Rivière Ste Suzanne sur les inondations du quartier de la Marine. Les résultats proposés sont liés uniquement aux débordements de la Grande Rivière St Jean sans impact de la Rivière Ste Suzanne.

On constate que la zone inondable est étendue sur une grande partie du quartier de la Marine. A certains endroits, la hauteur d'eau peut atteindre 2 m d'eau.

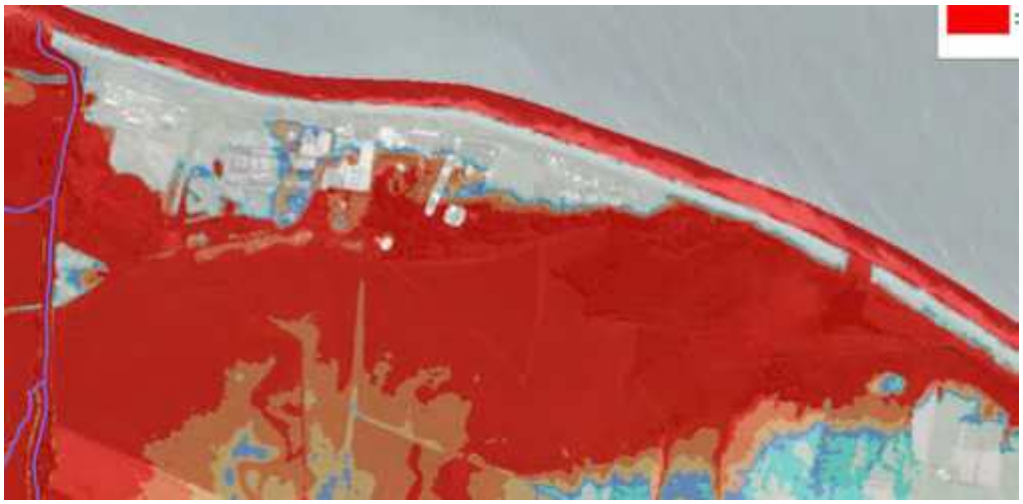
Les débordements se font principalement le long de la RN 2002, s'écoulent dans le quartier puis rejoignent la Grande Rivière St Jean. Les vitesses restent relativement faibles (inférieures à 1 m/s).



7.4.2.4.3. Quartier Bois Rouge

Le quartier de Bois Rouge se situe entre la plaine de Bois Rouge et le cordon dunaire. Ainsi, les eaux de débordement s'écoulant de façon diffuse sur la plaine viennent se confronter à ces aménagements avant de rejoindre les 2 exutoires (Grande Rivière St Jean et Petit Etang de Bois Rouge).

Les hauteurs d'eau sont élevés, supérieurs à 2 m à certains endroits (quartier résidentiel). Les vitesses restent cependant relativement faibles (inférieures à 1m/s). Les eaux s'évacuent ensuite soit vers *l'ouest* (Grande Rivière St Jean), soit vers *l'est* (Petit Etang de Bois Rouge).



Les figures suivantes présentent les hauteurs d'eau et vitesses maximum pour la crue centennale.

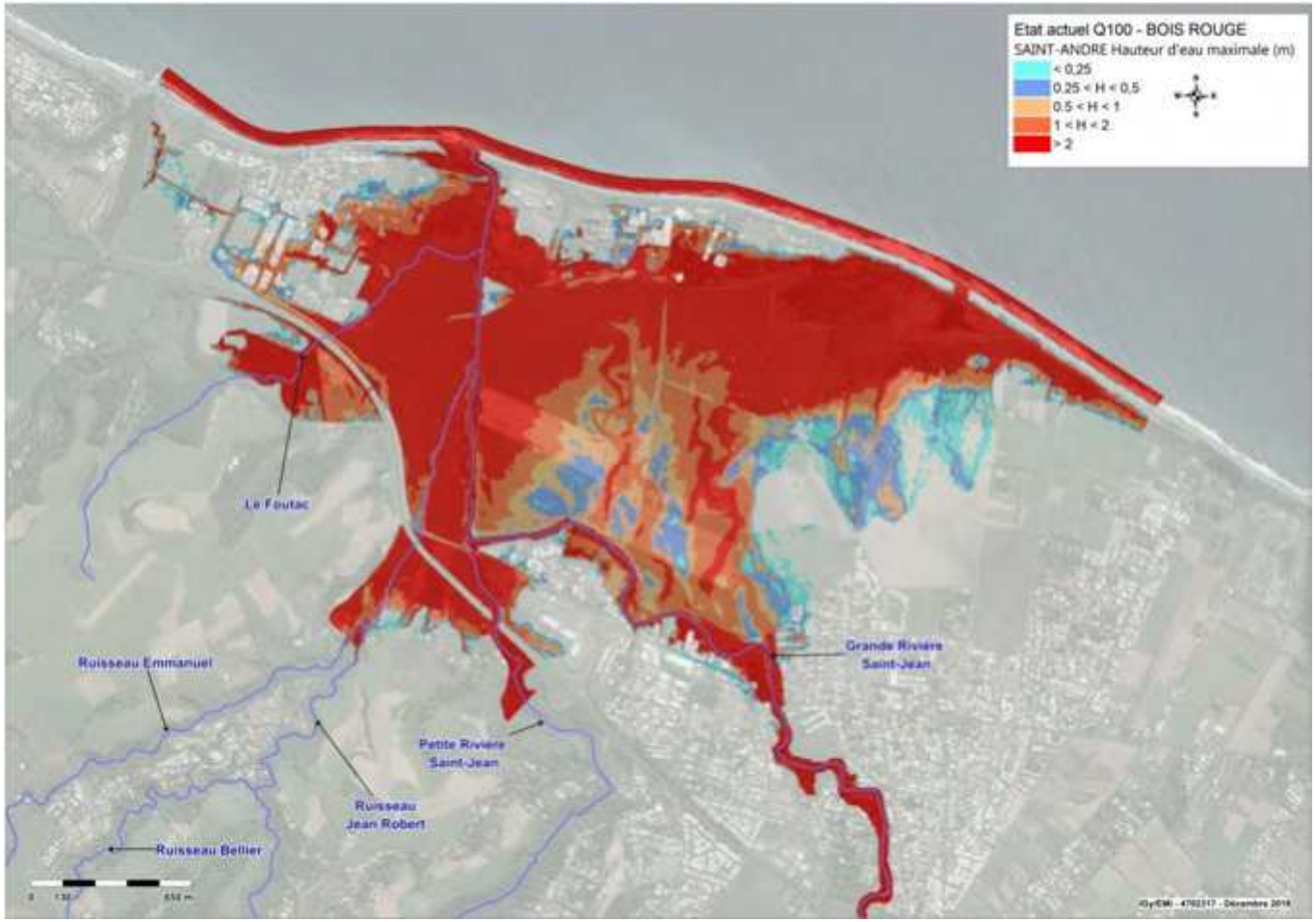


Fig. 129. + D X W H X U V G • H D X P ŧ D f X O H Ρ ◊ H Q Q D O H † Bois Rouge

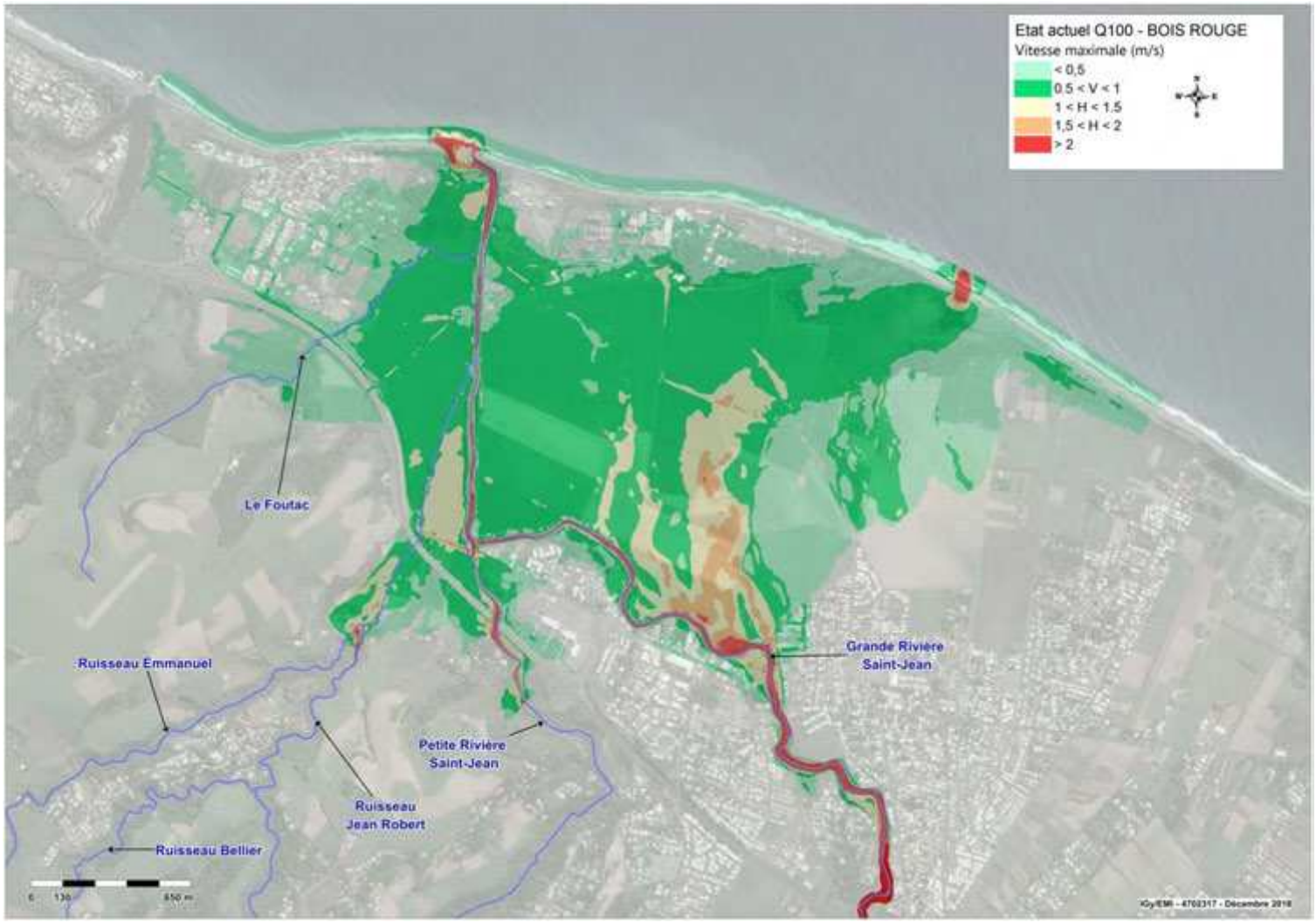


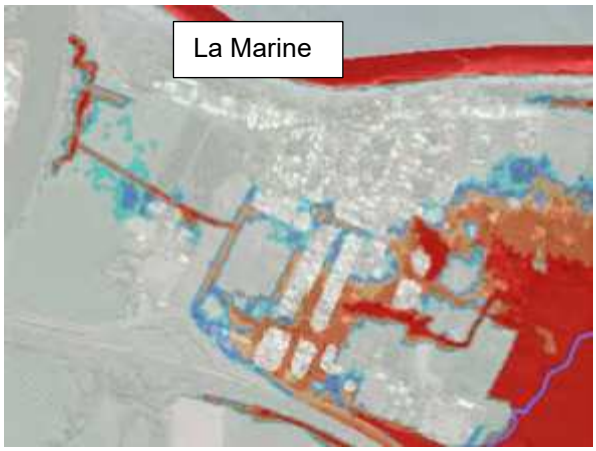
Fig. 130. Vitesses maximum †Crue centennale †Bois Rouge

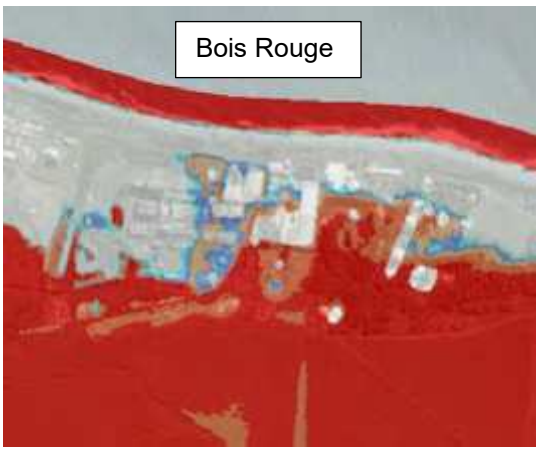
7.4.2.5. CRUE DECAMILLENNALE

Les débordements en rive droite de la Grande Rivière St Jean sont donc accentués par rapport à la crue centennale. La quasi-totalité de la berge est sollicitée, avec des vitesses de débordements importantes sur la partie amont (supérieurs à 2m/s). Ces vitesses peuvent causer des risques de destruction de berges et d'endommagement des parcelles de cannes situées en aval.

Les zones inondées en Q100 restent inondées, mais avec des hauteurs d'eau et des vitesses plus importantes.

De nouvelles zones inondées apparaissent notamment sur le quartier de la Marine et au droit de l'usine de Bois Rouge.





En amont de la confluence avec la Petite Rivière Saint Jean, les débordements issus des 2 cours d'eau se rejoignent (secteur arrière du centre commercial).

Les figures suivantes présentent les hauteurs d'eau et vitesses maximum pour la crue décamillennale.

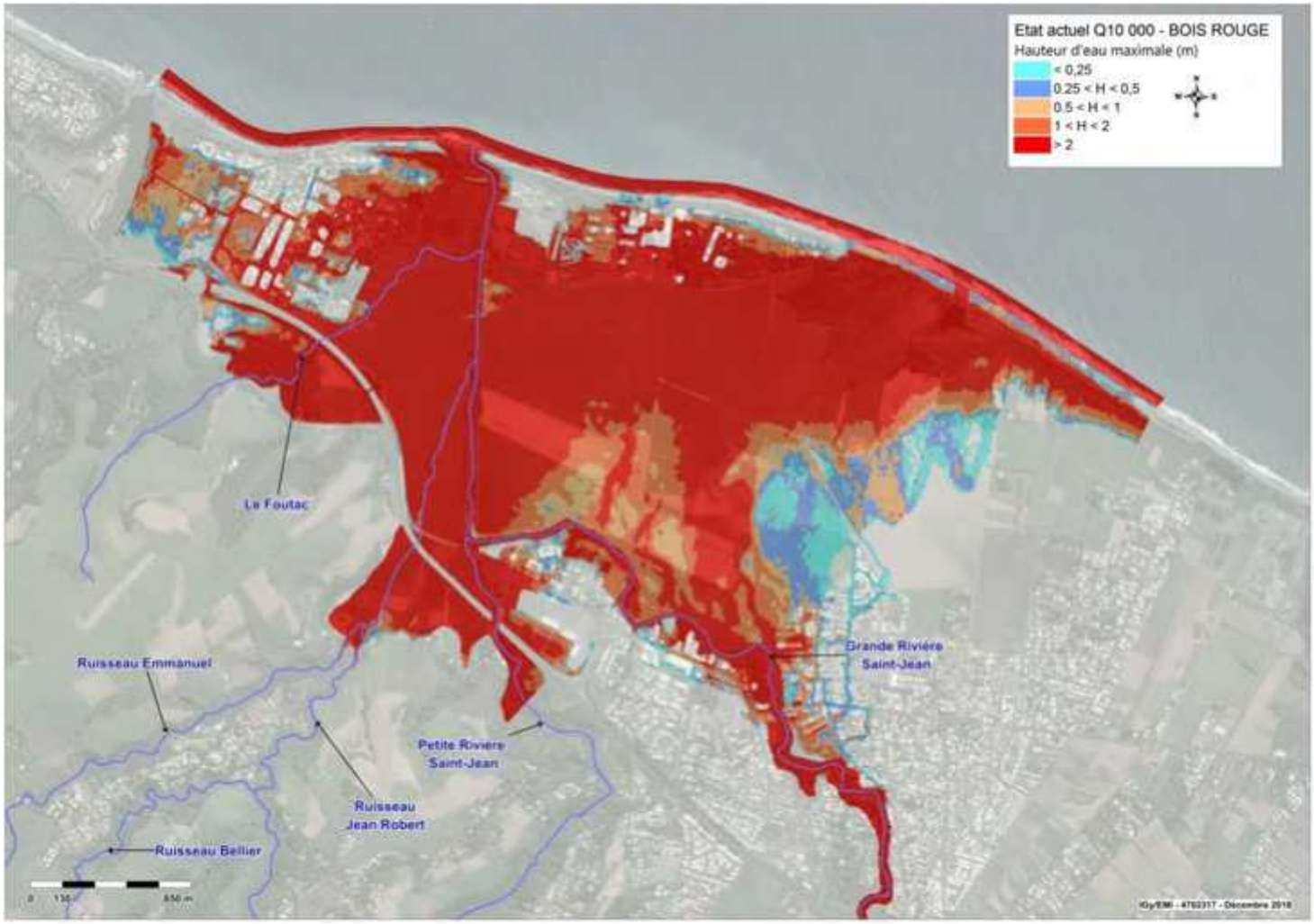


Fig. 131. + D X W H X U V G • H D X P†U[Pd[2 amillénnale †Bois Rouge

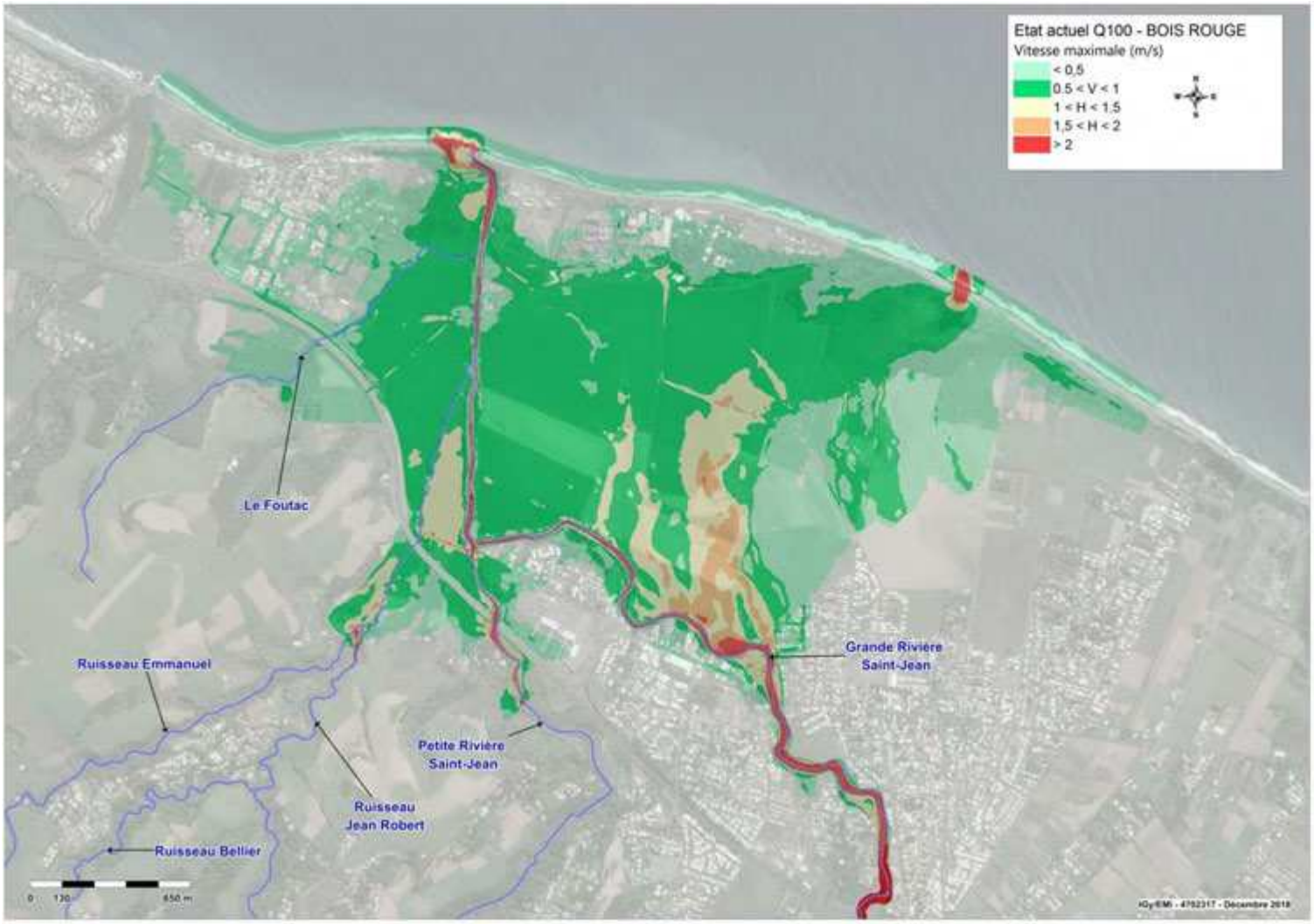


Fig. 132. Vitesses maximum †Crue décamillénnale †Bois Rouge

7.5. SYNTHESE DES RESULTATS DES MODELISATIONS

Les inondations sur le secteur d'étude sont liées à la mise en charge d'ouvrages hydrauliques et à l'insuffisance hydraulique de certains tronçons de cours d'eau.

Les zones de débordements et les secteurs impactés par les inondations sont issus des résultats de la modélisation hydraulique 2D :

- **Le quartier de Bois Rouge** est impacté par des débordements généralisés de la Grand Rivière Saint Jean en rive droite. Le cours d'eau déborde en effet sur une majeure partie de son linéaire, et ce dès la crue décennale. L'ensemble de la plaine de Bois Rouge est inondé.

  La particularité de ce secteur est la présence des enjeux suivants :

  - Enjeu industriel fort et indispensable à l'échelle du territoire réunionnais (notamment production d'énergie) avec des dommages importants : sucrerie, distillerie et centrale de production d'énergie ;
  - Enjeux agricole : près de 515 ha de champs de canne se situent en zone inondable de la Grande Rivière Saint Jean ;
  - Enjeu environnemental : l'Etang Bois Rouge et son espace fonctionnel. Il s'agit d'une zone humide important en termes de biodiversité. Elle fait fonction d'éponge naturelle (stockage de l'eau puis restitution) et de filtre des pollutions.

    Ces enjeux sont impactés dès le crue décennale.

- **Le quartier de La Marine** est impacté par les inondations de la Grande Rivière St Jean (débordement rive gauche) et de la Rivière Ste Suzanne (débordement rive droite). Les enjeux sont des bâtiments d'habitation et d'activité. En crue centennale, 48 logements et 2 activités sont impactés. Les crues Q_{10} Q_{30} et Q_{50} affectent des emprises plus réduites.

- **Le quartier Français** est impacté par les débordements de la Grande et de la Petite Rivière Saint-Jean en rive gauche, et ceux de la Petite Rivière Saint-Jean en rive droite. Les enjeux sont des habitations, des activités, des réseaux, 1 stade.

- **Sur la commune Bègue**, un thalweg affluent de la Grande Rivière Saint-Jean déborde et inonde quelques dizaines d'habitations, dès la crue décennale.

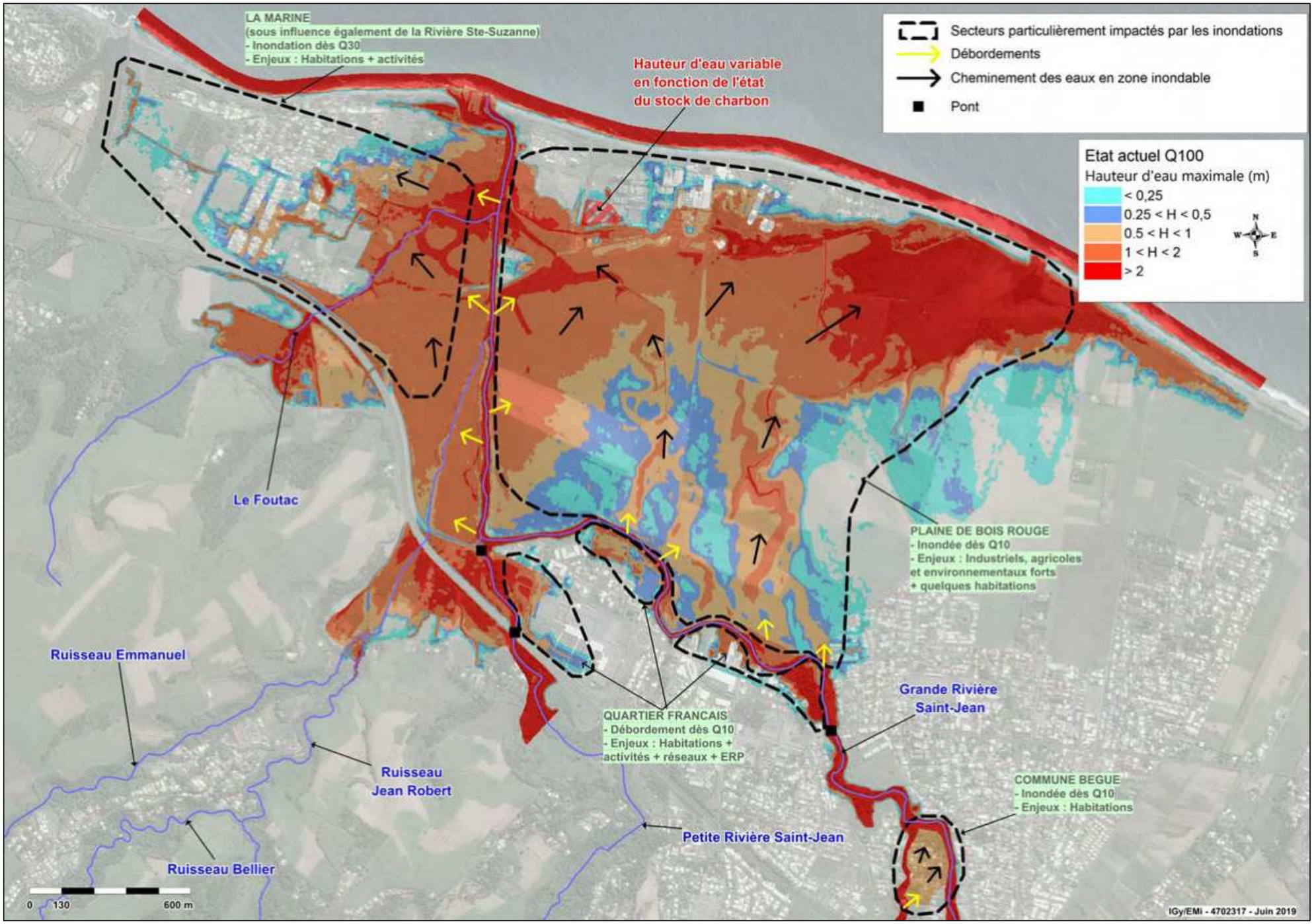


Fig. 133. Synthèse du fonctionnement hydraulique en Q100 †secteur aval

- **Sur le centre-ville de Saint-André**, ce quartier est impacté par des débordements importants et ponctuels liés à une insuffisance de gabarit des ravines Sèche et Payet et à la mise en charge de nombreux ouvrages dès les petites crues.

  Le tableau suivant synthétise le fonctionnement hydraulique des ponts et ouvrages hydrauliques du centre-ville sur les ravines Sèche et Payet en crue.

Tabl. 39 - Fonctionnement hydraulique des ponts du centre-ville sur les ravines Sèche et Payet en crue

Pont	1er débordement	Débordement Q 100 ans
Ravine Sèche		
Morin	> 100 ans	-
Minot	15 ans	RG : 10 m3/s RD : retour
République	15 ans	RG : retour RD : 22 m3/s
Sénaud	> 100 ans	-
Auguste	**5 ans**	RG : 8 m3/s RD : 16 m3/s
Ravine Payet		
OH1 (ch Miguel)	30 à 50 ans	23 m3/s
OH2 (stade)	10 ans	13 m3/s
OH3 (rue Cazal)	> 10 ans	9 m3/s
OH4 (Père répond)	> 10 ans	9 m3/s
OH5	-	-
OH6 (DN800)	<< Q10	18 m3/s
OH7	Q100	4 m3/s
OH8	Q100	4 m3/s

  Les enjeux sont très nombreux sur cette zone dense : logements, activités, ERP, réseaux.

  La RN2 est coupée dès la crue décennale (au niveau de l'échangeur de Petit Bazar) et sur un tronçon de l'ordre de 1 500 m pour la crue centennale.

Ces inondations peuvent être aggravées par la création d'embâcles contre les différents ouvrages qui ont pour effet de diminuer la fréquence de submersion des ouvrages et d'amplifier les débordements pour une crue donnée.

Les ouvrages les plus sensibles à la formation d'embâcles sont :

- sur le secteur aval : les ponts de la RN2002 sur la Petite et la Grande Rivière Saint-Jean et le pont de Bois Rouge, les vestiges du pont CFR ;
- Sur la ravine Sèche : le pont auguste, le pont de la république et le pont Minot qui sont les 3 ouvrages en charge du secteur (Q_{100}) ;
- Sur la ravine Payet : l'ensemble des ouvrages hydrauliques.

Fig. 134. Capacité des ouvrages hydrauliques sur le secteur du centre-ville de Saint-André

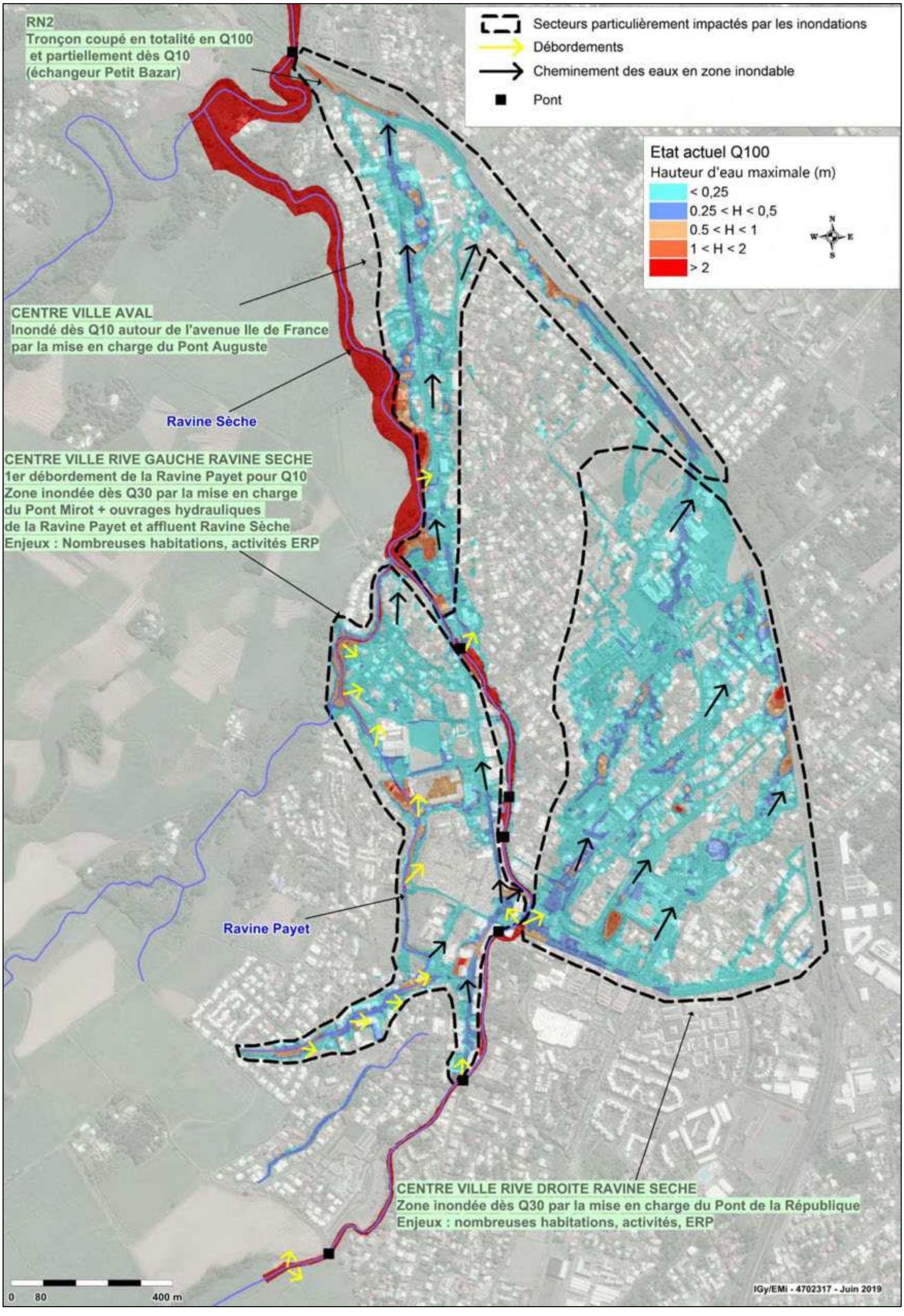


FIG. 135. Synthèse du fonctionnement hydraulique en Q100 †secteur amont

Les résultats des modélisations permettent également de mettre en évidence 2 types de fonctionnement hydrauliques sur la zone d'étude :

- Sur la partie amont, les écoulements sont torrentiels, **c'est essentiellement la capacité hydraulique des cours d'eau et ouvrages qui influencent les zones inondables**. Seules quelques zones jouent un rôle d'expansion de crues : en amont du chemin Morin notamment et au niveau de la confluence de la ravine Sèche avec la Grande Rivière St Jean.

  Cette partie amont est donc historiquement non inondable, les inondations étant liées à l'anthropisation du cours d'eau et la réalisation d'ouvrages hydrauliques limitant sur tout le linéaire de la ravine Sèche et de la ravine Payet.

  Pour limiter ces débordements, le redimensionnement de ces ouvrages est nécessaire, tout en conservant les zones de divagation des ravines au niveau des secteurs non anthropisés.

- Sur la partie aval, la plaine de Bois Rouge est une zone historiquement inondable présentant des verrous hydrauliques naturels (cordon littoral) et anthropiques (pont CFR, pont de Bois Rouge, temple tamoul). **C'est essentiellement le volume de crue et la capacité à évacuer cette eau qui influence la zone inondable**.

  Il convient donc **de conserver ces volumes de compensation de crue qui sont essentiels au fonctionnement hydraulique de la zone**.

  Pour protéger les zones à enjeux, les futurs ouvrages devront donc se situer au plus proche des enjeux, en limitant au maximum l'empiètement sur ces zones d'expansion.

La figure suivante synthétise les zones contribuant à l'expansion des crues et au ralentissement de la dynamique : plaine de Bois Rouge et La Marine, amont du pont Morin, confluence Ravine Sèche / Grande Rivière Saint-Jean.

La vidange de la zone aval se fait via 2 exutoires (cordons littoraux). Les 3 verrous hydrauliques sur le cours d'eau ralentissent l'évacuation des eaux stockées.

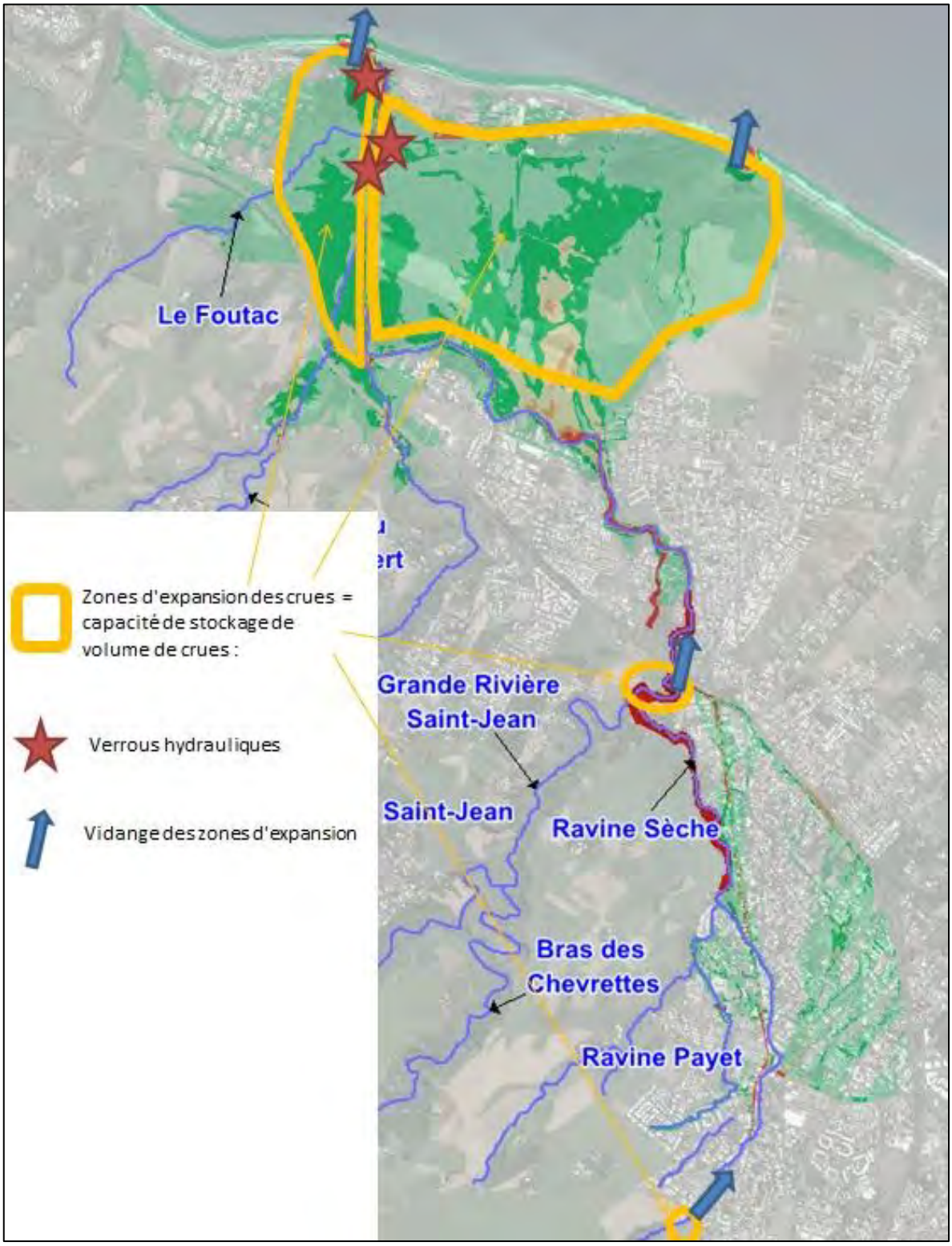


Fig. 136. 6FKpPD GH SULQFLSH GHV]RQHV G•H[SDQVLRQ GH FUX

7.6. COHERENCES DES RESULTATS DES MODELISATIONS AVEC LES EVENEMENTS HISTORIQUES

7.6.1. Généralités

Ce chapitre a pour objectif de montrer la bonne représentation des phénomènes de crue par les outils de modélisation mis en œuvre dans le cadre de l'Etude Générale. Pour cela, les résultats de modélisation sont comparés aux observations réalisées lors des évènements historiques recensés sur la zone d'étude. Ces éléments ont été exploités dans la phase de calage des outils de modélisation.

Ces évènements ont été présentés dans le chapitre 5et sont, pour rappel :

- **En 1975** : Cyclone Inès (occurrence centennale estimée) ;
- **En 1980** : Cyclone Hyacinthe (occurrence décennale estimée) ;
- **En 1990** : Pluies de février 1990 (occurrence cinquentenale) ;
- **En 2018** : Cyclone Fakir (occurrence trentennale à cinquantenale estimée au niveau de la Ravine Sèche, occurrence vingtennale au niveau de la Grand Rivière St Jean).

Il existe peu de données fiables sur la zone d'étude permettant un calage très précis du modèle (station de mesure des niveaux d'eau).

Les outils ont été calés en tenant compte des repères de crues identifiés sur le secteur d'étude. Il s'agit des repères suivants :

Localisation	*Données*	*Evènement associé*	*Occurrence estimée*
Centre-ville de Saint-André	Nombreuses voiries inondées ainsi que des bâtiments publics (collège, piscine) par les débordements de la Ravine Sèche PHE non relevées à ce jour	Fakir 2018	Entre 30 et 50 ans pour Ravine Sèche – 20 ans pour Grande Rivière St Jean
Bois Rouge (Sucrerie)	Usine partiellement inondée PHEC = 4,30 m NGR	Fakir 2018	Entre 30 et 50 ans pour Ravine Sèche – 20 ans pour Grande Rivière St Jean
	PHEC = 4,46 m NGR	Pluies de février 1990	50 ans
	PHEC = 4,06 m NGR	Hyacinthe 1980	10 ans
Pont de Bois Rouge	Embâcles en amont du pont	Pluies de février 1990	50 ans
Cambuston – Grande Rivière Saint Jean en amont du pont de la RN2002	Pont ayant été légèrement submergé (forts embâcles sur la passerelle métallique)	Fakir 2018	Entre 30 et 50 ans pour Ravine Sèche – 20 ans pour Grande Rivière St Jean
	Le niveau d'eau atteint correspond au rebord de la passerelle métallique	Pluies de février 1990	50 ans
Bras des Chevrettes	Inondations sans données sur les niveaux d'eau	Hyacinthe 1980	10 ans

Dans les paragraphes suivants, il est comparé pour chaque quartier, les résultats de la modélisation avec les données collectées sur le terrain lors de ces évènements historiques.

Il convient également de préciser que lors des évènements historiques; il existe des phénomènes qui ne sont pas représentés dans les modélisations mises en œuvre :

- Phénomènes des embâcles, au niveau des ponts, mais également sur les voies (voitures, poubelles,…)
- Phénomènes morpho-dynamiques forts : évolutions des fonds, zone de dépôts, d'érosion,…

7.6.2. Centre-Ville St André

Il convient dans un premier temps de préciser que les écoulements dans la centre-ville de St André s'effectuent dans un milieu urbain, présentant des pentes élevées et donc des vitesses d'écoulement importantes.

La présence d'obstacles physiques en travers des écoulements peut donc avoir une forte incidence sur ces écoulements au droit de ceux-ci (transformation des niveaux d'eau en charge hydraulique au niveau des points d'arrêt, déviation des écoulements…). La comparaison des hauteurs d'eau à des points particuliers doit donc être prise avec un certain recul.

L'évènement le plus significatif est l'évènement Fakir car cet évènement est récent et d'une intensité élevée (occurrence estimée entre 30 et 50 ans). Pour cet évènement, il a été constaté :

- **un débordement de 3 ponts de la Ravine Sèche (Pont Minot, Pont de la République, Pont Auguste**). Les hauteurs d'eaux au-dessus de ces ouvrages ne sont pas connues mais ces 3 ouvrages sont passés en charge lors de cet évènement (garde-corps renversé) ;
- **un débordement généralisé des ouvrages de la ravine Payet** ;
- **les avenues de Bourbon, d'Ile de France et de la République ont été inondées**. Les photos montrent des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm au plus fort de la crue, notamment au niveau de l'avenue de Bourbon (cf Photo.-71) ;
- il a été constaté, sur 4 points du centre-ville, les hauteurs d'eau suivantes :
  - **Point n°1** : 35 cm d'eau dans le collège Bédier (cour de l'établissement)
  - **Point n°2** : 1,35 à 1,60 m d'eau dans les classes du collège
  - **Point n°3** : 25 cm dans les vestiaires de la piscine municipale
  - **Point n°4 :** 50 cm au droit du lotissement Cazales

Ces 4 points sont géographiquement proches, entre le cimetière et le stade, et sont inondés par les débordements cumulés de la ravine Sèche et de la ravine Payet. Ces points ne sont pas géo-localisés et n'ont pas fait l'objet d'un nivellement topographique suite à la crue. Il s'agit d'observations terrain réalisées lors d'une visite post-crue.

La modélisation identifie les premiers débordements des 3 ponts de la Ravine Sèche pour une occurrence comprise entre 5 et 15 ans. Cela est cohérent avec les observations faites lors de l'épisode Fakir (épisode d'une occurrence plus élevé), ainsi qu'avec l'épisode des pluies de 1990. On constate également le non-débordement des ponts Sénaud et Morin pour Fakir, en cohérence avec les capacités d'évacuation de ces 2 ouvrages (supérieures à une occurrence de 100 ans).

Le sous-dimensionnement des ouvrages de la ravine Payet identifié dans les modélisations (occurrence des premiers débordements estimée à 10 ans) a également été constaté lors de l'épisode Fakir, avec des débordements importants et généralisés de la ravine Payet dans le centre-ville de St André.

D'après les modélisations, les avenues de Bourbon, d'Ile de France et de La République sont inondées dès les premiers débordements au niveau des ouvrages du centre-ville de St André, soit pour une occurrence supérieure à 15 ans.

Les hauteurs d'eau modélisées sur ces grands axes peuvent atteindre 50 cm pour une crue d'occurrence 30 ans et 1,00 m pour une crue d'occurrence 50 ans. Ces données modélisées sont cohérentes avec les observations faites lors de l'épisode Fakir.

Sur les 4 points dont les hauteurs d'eaux ont été identifiées ci-dessus, on constate que cette zone est inondée dès une crue d'occurrence supérieure à la décennale.

Bien que l'implantation précise de ces points ne soit pas connue, on peut cependant comparer ces hauteurs constatées sur site suite à Fakir avec celles modélisées autour de la zone de projet (plage de hauteur) :

	10 ans	30 ans	50 ans	100 ans	Observations Fakir
Hauteurs d'eau dans l'enceinte du collège Bédier	75 cm	**1,30 m**	**1,40 m**	1,70 m	1,35 à 1,60 m à l'intérieur des classes 35 cm au niveau de la cour (point haut)
Hauteurs d'eau autour de la piscine municipale	0 – 25 cm	**15 - 38 cm**	**15 - 40 cm**	25 - 60 cm	25 cm dans le vestiaire
Hauteurs d'eau autour dans le lotissement Cazale	12 - 31 cm	**17 - 51 cm**	**30 - 60 cm**	40 - 80 cm	50 cm

Tabl. 40 - Hautes modélisés †laisses de crues †Observation Fakir (30 à 50 ans pour la Ravine Sèche)

On constate bien que les hauteurs d'eaux relevées pendant Fakir sont cohérentes avec les hauteurs d'eau modélisées pour des occurrences comprises entre 30 et 50 ans. Seul le niveau d'eau dans la cour du collège parait faible mais il a peut-être été pris au niveau d'un point haut. De plus, les informations collectées dans les salles de classe sont cohérentes avec les hauteurs modélisées pour une crue d'occurrence Fakir.

7.6.3. Cambuston / quartier Français

Il existe peu de données permettant de caler la modélisation sur ce secteur. Les seules informations disponibles se situent au niveau du pont de la RN 2002 : celui-ci a été légèrement submergé lors de l'épisode Fakir (présence notamment d'embâcles qui ont limité les capacités d'évacuation du pont). Au niveau de ce même pont, l'eau a atteint le rebord de la passerelle métallique lors des crues de 1990. Les occurrences de ces 2 crues sont estimées entre 30 et 50 ans environ.

Les données de l'ouvrage présentée chapitre 3.4.1 permettent de présenter les altimétries caractéristiques de cet ouvrage :

- Fond du lit calé à environ 13,0 mNGR ;
- Côte du tablier calé à environ 18,0 mNGR ;
- Voirie située à environ 19,5 mNGR.

Au droit de cet ouvrage, les niveaux d'eau et les niveaux de charge suivants ont été modélisés :

	10 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Niveau d'eau	16,81 mNGR	17,60 mNGR	17,92 mNGR	18,52 mNGR
Niveau de charge	17,28 mNGR	17,96 mNGR	18,42 mNGR	19,16 mNGR

Tabl. 41 - Niveaux modélisés †pont RN 2002

L'ouvrage commence donc à être en charge à partir d'une occurrence trentennale, ce qui correspond aux observations faites lors des épisodes de 1990 et de Fakir. Le léger débordement constaté lors de l'épisode Fakir est lié à la présence de très nombreux embâcles au niveau de ce pont qui ne sont pas intégrés dans les modélisations réalisées.

7.6.4. Plaine de Bois Rouge

Au niveau de la plaine de Bois Rouge (en face de la sucrerie), les niveaux suivants ont été relevés lors d'épisodes de crues :

- Hyacinthe : 4,06 mNGR
- Pluies de 1990 : 4,46 mNGR ;
- Fakir : 4,30 mNGR.

Les niveaux modélisés sur ce secteur sont les suivants :

	10 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Plaine de Bois Rouge	4,10 mNGR	4,32 mNGR	4,45 mNGR	4,68 mNGR

Tabl. 42 - Niveaux modélisés †plaine de Bois Rouge

Ainsi :

- La fréquence de retour du cyclone Hyacinthe étant estimé à 10 ans, les valeurs relevées sur site (4,06 mNGR) sont cohérentes avec les niveaux d'eau modélisés pour une crue décennale ;
- La période de retour des pluies de 1990 est estimée à environ 50 ans. Ainsi, les valeurs relevées sur site (4,46 mNGR) sont cohérentes avec les niveaux modélisés pour une crue 50 ans ;
- La période de retour Fakir est estimée à environ 20 ans pour la Grande Rivière St Jean. Ainsi, les valeurs relevées sur site (4,30 mNGR) sont cohérentes avec les niveaux modélisés pour une crue située entre 10 et 30 ans.

7.6.5. Conclusion

Les éléments présentés ci-dessus montrent la très bonne représentation par les outils numériques des phénomènes observés sur le territoire d'étude.

7.7. LIMITES DU MODELE : EMBACLES

7.7.1. Constat

Les embâcles sont formés par les nombreux végétaux, déchets et remblais présents et qui se développent sur les berges et dans le lit de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents. Ces éléments sont arrachés, puis emportés par les crues et bloqués sous les ouvrages lorsque le tirant d'air est insuffisant, contre les appuis des ouvrages ou contre les gardes corps. Ils diminuent ainsi fortement la section hydraulique.

Les embâcles ont pour effet de diminuer la fréquence de submersion des ouvrages et d'amplifier les débordements pour une crue donnée.

Les modélisations hydrauliques menées supposent que les différents ouvrages disposent de leur pleine capacité hydraulique, sans embâcles.

En réalité, les ouvrages suivants sont susceptibles de retenir des embâcles avec un risque FORT :

- sur le secteur aval : les ponts de la RN2002 sur la Petite et la Grande Rivière Saint-Jean et le pont de Bois Rouge, les vestiges du pont CFR ;
- Sur la ravine Sèche : le pont auguste, le pont de la république et le pont Minot qui sont les 3 ouvrages en charge du secteur (Q_{100}) ;
- Sur la ravine Payet : l'ensemble des ouvrages hydrauliques.

Ces embâcles pourront localement venir rehausser la ligne d'eau et aggraver les débordements.

Photo.-94. Embacles sur le pont dela R N2002 sur la GRSJ post Fakir (avril 2018)

Photo.-95. Embacles sur le pont Auguste post Fakir (avril 2018)

Les autres ouvrages pourraient être concernés par les embâcles, le risque étant jugé FAIBLE.

Le tableau ci-dessous synthétise ces risque d'embâcle :

	Evaluation risque embâcle	
	Faible	Fort
Petite et Grande Rivière St Jean		
Ponts RN2002		X
Pont Bois Rouge		X
Vestiges pont CFR		X
Ponts RN2	X	
Ravine Sèche		
Pont Auguste		X
Pont Minot		X
Pont de la République		X
Pont Sénaud	X	
Pont du Chemin Morin	X	
Passerelle piétonne	X	
Ravine Payet		
Tous les ouvrages		

Tabl. 43 - Evaluation risque embâcle †ouvrages de franchissement

7.7.2. Zones de production

De nombreux végétaux sont présents à proximité des berges. Certains vont facilement être arrachés par les crues car ils disposent d'un faible système racinaire. Ils vont alors former des embâcles. C'est le cas des bananiers, bambous et cannes.

L'étude *Entretien des berges et du DPF sur Saint-André – Reconnaissance de la végétation présente sur les berges des cours d'eau du DPF en amont du centre-ville de Saint-André*, décembre 2018, transmise par la CIREST, définit les secteurs de production de bananiers à proximité des cours d'eau concernés, sur la commune de Saint-André.

Ils sont localisés sur la figure suivante.

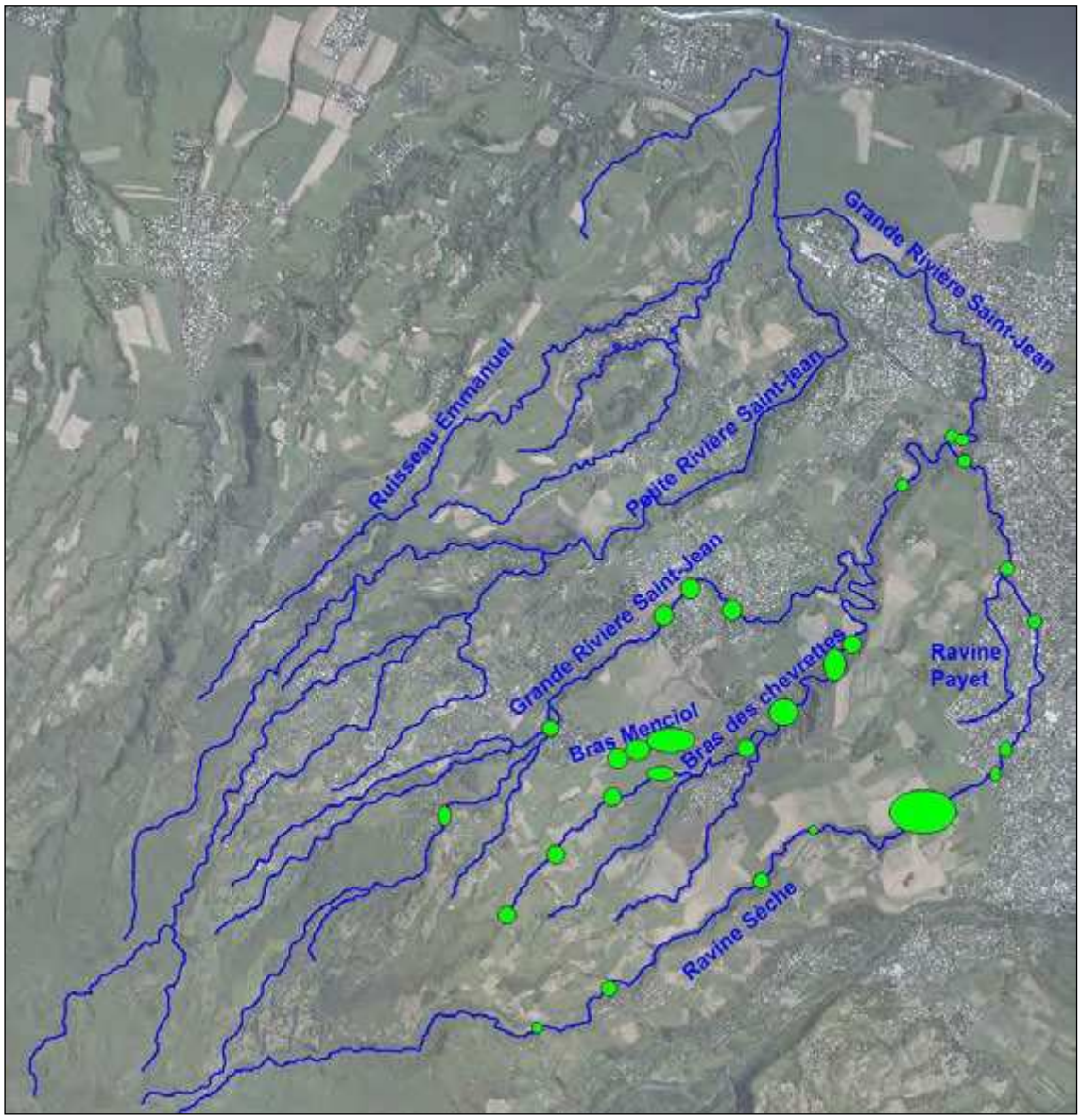


*Fig. 137. = R Q H V G H S U R G X F W L R Q G H E D Q D Q L H U V H Q U H Y H V G H V E H U J H V S U R G X L W H V G H V E H U J H V S U R G X L W H V G H V E H U J H V S U R G X L W

Il en ressort les observations suivantes :

- Les surfaces de végétaux pouvant être arrachés par les crues sont nombreux sur les bassins versants de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents ;
- Ils s'étendent depuis la tête des BV jusqu'aux secteurs urbanisés ;
- Les opérations de fauchage sur l'ensemble des secteurs identifiés sont estimées à 180 j.

7.7.3. Solutions

La problématique des embâcles sera intégrée dans la recherche de solutions pour réduire les aléas :

- En proposant un nettoyage du lit et des berges, opérations déjà réalisées actuellement mais qui pourront être étendues ;
- En remplaçant les bananiers, bambous et cannes par des espèces plus résistantes à l'arrachement sur et à proximité des berges. Ces espèces[7] pourraient être par exemple du :
  - Bois d'arnette (dodonaea viscosa) ;
  - Mahot tantan (Dombeya acutangula) ;
  - Bois de quivi (Dombeya acutangula) ;
  - Bois de nèfles à petites feuilles (Engenia buxifolia) ;
  - Bois de coral (Chassalia corallioides).
- En redimensionnant les ouvrages susceptibles de les retenir afin de limiter les obstructions, en gardant à l'esprit que le traitement des ouvrages les plus en amont déplacent la problématique sur les ouvrages et verrous les plus en aval. Une vision globale sur l'ensemble du linéaire des cours d'eau est indispensable ;
- En ouvrant les verrous hydrauliques afin de limiter les obstructions, avec la même vision globale sur l'ensemble du linéaire des cours d'eau.

[7] Espèces issues de la liste DAUPI avec structure souple permettant de limiter le risque à l'arrachement

7.8. IMPACT RIVIERE SAINTE SUZANNE

Les résultats de la présente étude ne traitent que du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean.

Néanmoins, le quartier de la Marine, en plus des débordements de la grande Rivière Saint-Jean, est sous l'influence des débordements de la Rivière Sainte Suzanne. L'impact de la Rivière Sainte-Suzanne sur la zone inondée est complexe à étudier.

Plusieurs études ont été menées ces dernières années sur les débordements de la Rivière Ste Suzanne :

- Etude Générale (PGRi) du Bassin Versant de la Grande Rivière St Jean (2012 – DEAL – ARTELIA).
- L'étude de dangers des ouvrages hydrauliques du Canal du Bocage (2013 – commune Ste Suzanne – HYDRETUDES OI) ;
- L'étude hydraulique pour l'aménagement d'un TCSP à Ste Suzanne (2016 – CINOR – HYDRETUDES OI) ;

Le présent chapitre a pour objectif de présenter les résultats de ces études et de préciser l'interaction entre les zones inondables de la Rivière Ste Suzanne et la Grande Rivière St Jean.

7.8.1. Résultats du PGRi

Le PGRi dresse une analyse de l'inondation de ce quartier basée sur une modélisation spécifique couplant la Grande Rivière Saint-Jean et la Rivière Sainte Suzanne. Il s'agit, à ce jour, du seul modèle informatique intégrant le fonctionnement global de ces 2 rivières dans un même outil.

Une synthèse de cette modélisation et des résultats est présentée dans les paragraphes qui suivent.

7.8.1.1. TYPE DE MODELE

Les calculs se sont appuyés sur la construction et l'exploitation d'un modèle mathématique pseudo 2D décrivant le champ d'inondation sous la forme de casiers communiquant entre eux (logiciel CARIMA développé par SOGREAH).

Ce modèle, initialement élaboré pour définir l'aléa inondation sur la zone industrielle de Bois Rouge, a été actualisé et complété pour prendre en compte les quartiers Français et Cambuston puis assemblé à celui existant de la Rivière Sainte-Suzanne pour évaluer le risque inondation sur le quartier de la Marine situé à l'interface entre les deux cours d'eau.

La représentation des écoulements sur les secteurs modélisés comporte deux types de schématisation :

- *L'écoulement unidimensionnel (1D)* suivant le lit mineur des cours d'eau (Grande et Petite Rivière St-Jean, ruisseaux Emmanuel et du Foutac, Rivière Ste-Suzanne en incluant son bras de dérivation) ;
- *L'écoulement bidimensionnel (2D)* dans le lit majeur inondable par une série de casiers qui communiquent entre eux. L'écoulement entre ces derniers est supposé obéir soit à une loi de frottement, soit à une loi de types déversoir (routes, digues, etc.) ou dalots (en charge ou à surface libres).

7.8.1.2. RAPPEL DES HYPOTHESES

Le modèle comprend 95 casiers et 165 points 1D.

Leurs caractéristiques géométriques ont été établies à partir de différents levés topographiques dont le plus ancien date de 1992, complété notamment par :

- Le levé photogrammétrique complet de la plaine de Bois Rouge (cabinet AIGL – mars 2009) ;
- Le levé des ouvrages de la RN 2 et de la RN 2002 (Grande Rivière St-Jean) et de 18 profils en travers répartis entre la RN 2 et l'entrée de la rivière dans la plaine de Bois Rouge (cabinet MECHY – janvier 2010).

Les débits de pointe adoptés pour chacune de ces crues sont rappelés dans le tableau suivant. Les débits de pointe sont relativement proche des débits ré-estimés dans le cadre de la présente étude :

Tabl. 45 - Rappel des débits de pointe (m³/s) adoptés pour la modélisation (PGRi)

Cours d'eau	Evénement		
	Crue décennale	Crue centennale	Crue exceptionnelle
Grande Rivière St-Jean	265	545	820
Petite Rivière St-Jean	155	320	480
Ruisseau Emmanuel	70	135	200
Ruisseau du Foutac	20	35	55
Rivière Ste-Suzanne	365	800	1 200
BV de Cambuston / Bois Rouge			
1	9,3	19,5	29
2	17,3	36	54
3	5,8	11	16,5
4	1,7	3,5	5,2
5	3,4	7,1	10 6

Les valeurs de niveaux marins retenues pour la modélisation sont synthétisées dans le tableau suivant et sont identiques pour la Grande Rivière St-Jean et la rivière Ste-Suzanne :

Tabl. 46 - Niveaux aval adoptés pour le modèle hydraulique (PGRi)

Crue	décennale	centennale	exceptionnelle
Niveau aval (m NGR)	1,00	1,70	1,70

7.8.1.3. RAPPEL DES RESULTATS

7.8.1.3.1. Crue décennale

La simulation qui a été engagée repose sur la concomitance des crues de fréquence décennale des différents cours d'eau modélisés, y compris sur la Rivière Ste-Suzanne.

Sur le quartier de la Marine, des inondations sont observées sur les habitations situées à l'est et sont liées aux débordements des ruisseaux du Foutac et Emmanuel mais également de la Grande Rivière St-Jean. **Aucune venue d'eau depuis la Rivière Ste-Suzanne n'est recensée pour cet événement de crue.**

7.8.1.3.2. Crue centennale

3 configurations ont été testées :

- *Configuration 1 :* concomitance des crues (Q100) sur l'ensemble des cours d'eau étudiés ;
- *Configuration 2 :* une crue de fréquence centennale sur les cours d'eau appartenant au bassin versant de la Grande Rivière St-Jean et une crue de fréquence décennale sur la Rivière Ste-Suzanne ;
- *Configuration 3* : une crue de fréquence décennale sur les cours d'eau du bassin versant de la Grande Rivière St-Jean et une crue de fréquence centennale sur la Rivière Ste-Suzanne.

L'analyse de ces tests a mis en évidence que **les inondations du quartier de la Marine étaient essentiellement dues aux débordements de la Grande Rivière St-Jean** qui, du point de vue topographique, peuvent s'étaler en direction de la Rivière Ste-Suzanne.

Les résultats de la configuration 1 (la plus pessimiste en termes de hauteurs d'eau) indiquent qu'au-delà de la confluence entre la Grande et la Petite Rivière St-Jean, d'importants écoulements s'observent en rive gauche autour de l'axe du ruisseau Emmanuel. Ces écoulements, qui s'associent à ceux du ruisseau du Foutac, s'étalent pour partie dans le quartier de la Marine. Ainsi, près de 40 m³/s transitent en direction de la Rivière Ste-Suzanne et inondent la partie *sud* du quartier sous des hauteurs d'eau qui dépassent localement 1 m. Seules les habitations isolées et situées au *sud-ouest* du quartier sont soumises aux deux inondations (Grande Rivière St-Jean et Rivière Ste-Suzanne).

Fig. 138. Cartographie de la crue centennale †Quarter La Marine (Source PGRi)

7.8.1.3.3. Crue exceptionnelle

Pour cet événement, il a été considéré un débit de crue exceptionnel sur l'ensemble des cours d'eau composant le bassin versant de la Grande Rivière St-Jean et une crue de fréquence centennale sur la Rivière Ste-Suzanne.

L'étendue de la zone inondable sur le quartier de la Marine s'est également accrue et de nombreux secteurs sont inondés par plus de 1 m d'eau. Deux zones du quartier restent néanmoins hors d'eau : la partie située au *nord*, où se trouvent notamment un établissement scolaire et la station d'épuration, et le groupe d'habitations situé au sud-est du quartier à proximité de la RN 2002.

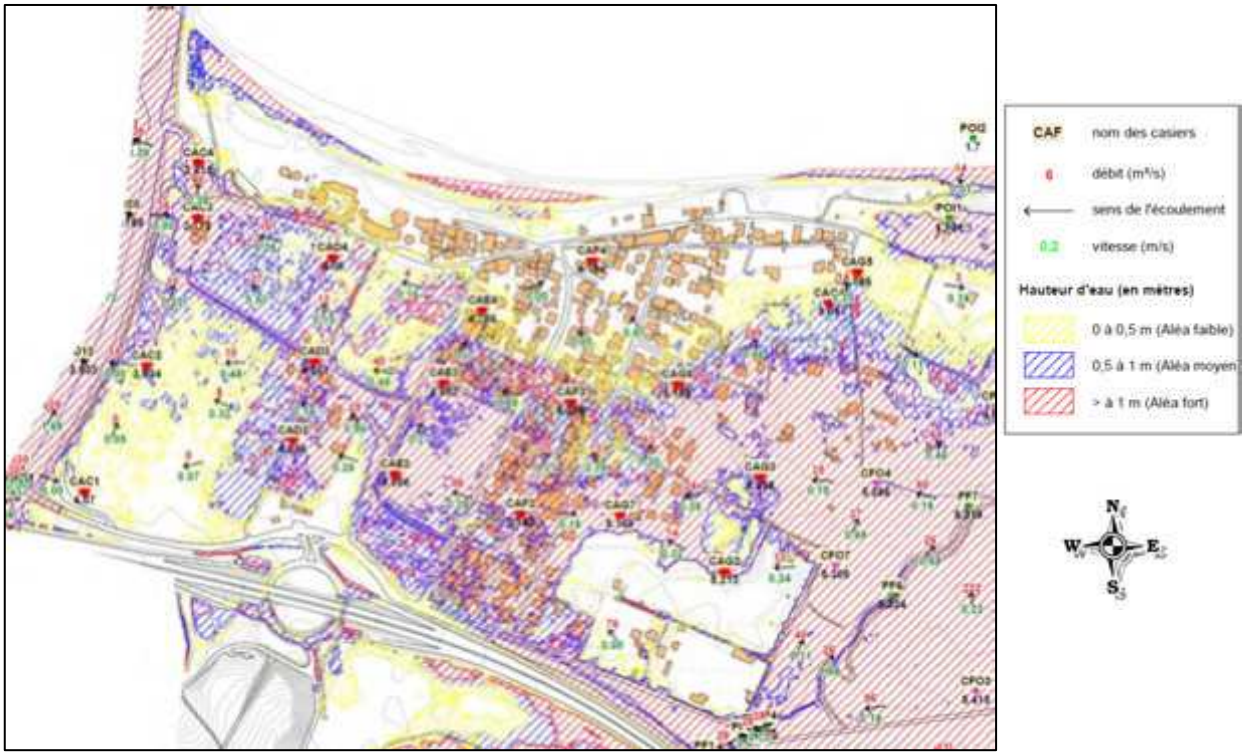


Fig. 139. Cartographie de la crue exceptionnelle †Quarter La Marine (Source PGRi)

7.8.1.4. SYNTHESE

Il s'agit du seul modèle disponible couplant les apports des 2 cours d'eau : Rivière Sainte-Suzanne et Grande Rivière Saint-Jean, et, pour cette raison, ce modèle semble pertinent pour définir l'aléa inondation à l'état de référence sur le quartier de la Marine.

L'hydrologie prise en compte n'est pas très éloignée de l'hydrologie actualisée intégrée dans le présent rapport, les conditions marines n'ont pas évolué.

7.8.2. 5pVXOWDWV GH O•pWXGH GH GDQJHUHGH OD GLJXH GX Bocage

7.8.2.1. PRESENTATION DU MODELE

Les débits pris en compte dans la modélisation sont les suivants :

Débits caractéristiques de la rivière Sainte-Suzanne (m³/s)	
Q10	587.6
Q30	778.7
Q100	983.6
Q500	1652.5

Ils sont supérieurs aux débits du PGRi de 20 (Q_{100}) à 60% (Q_{10}).

La méthode de détermination n'est pas connue, l'étude fait référence à l'Etude hydraulique du centre-ville de la commune de Sainte-Suzanne (Hydrétudes 2011).

La condition marine retenue est une hauteur de mer à 2 m NGR, quel que soit le débit de crue.

Les limites du modèle sont les suivantes :

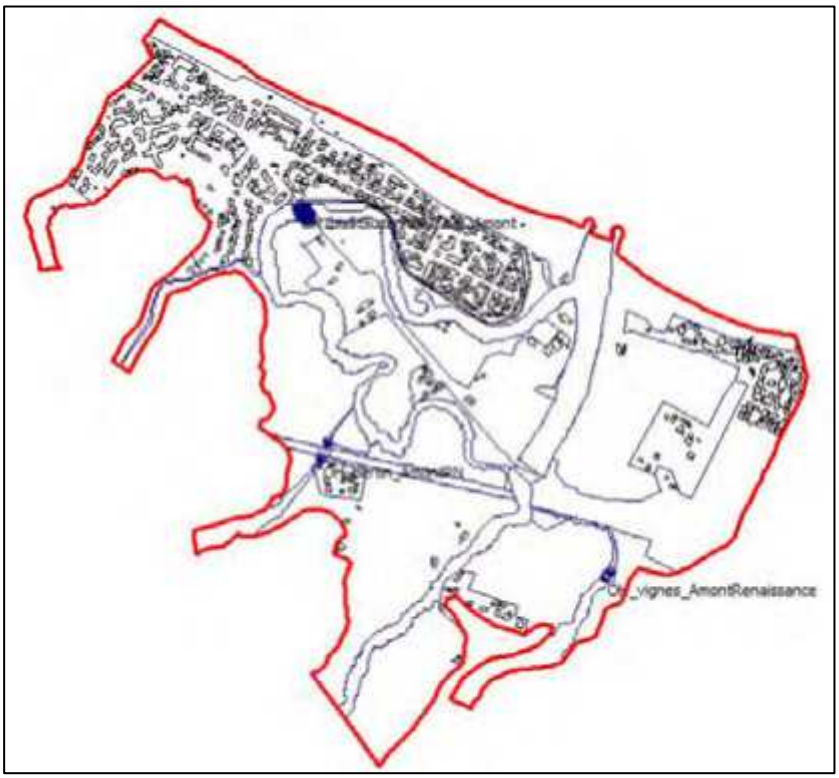


Fig. 140. Limite du modèle EDD Bocage (Hydrétudes)

La limite *est* du modèle [rue de l'Adour] présente comme condition de laisser l'eau s'évacuer. L'apport de la Grande Rivière St Jean vers le quartier de La Marine n'est donc pas quantifié dans la présente modélisation.

La modélisation a été réalisée sous le logiciel InfoWorks RS, sur la base du MNT de la Litto 3D (dalles 1m et 5 m) et d'un levé terrestre au droit du Stade d'Eaux vives. Le modèle prend également en compte le nouveau pont et les modifications au droit de l'ancien radier.

Le maillage effectué sur le secteur d'étude génère 166 217 facettes de calcul avec des triangles de calcul d'une superficie comprise entre 5 et 25 m² (avec une moyenne de 11m²).

Les bâtiments ont été pris en compte dans le modèle avec 10% de porosité.

Il convient de préciser que l'objectif de cette étude était de vérifier le fonctionnement hydraulique de la digue du Bocage et non de décrire les phénomènes d'inondations sur le quartier de la Marine.

7.8.2.2. RESULTATS

Les hauteurs d'eau maximales pour Q_{100} et Q_{500} sont présentées sur les figures suivantes.

Globalement, les résultats sont semblables à ceux du modèle PGRi. On constate :

- Quelques bâtiments inondés supplémentaires, notamment au *nord*,
- Des hauteurs d'eau plus importantes sur l'ensemble de la zone inondée.

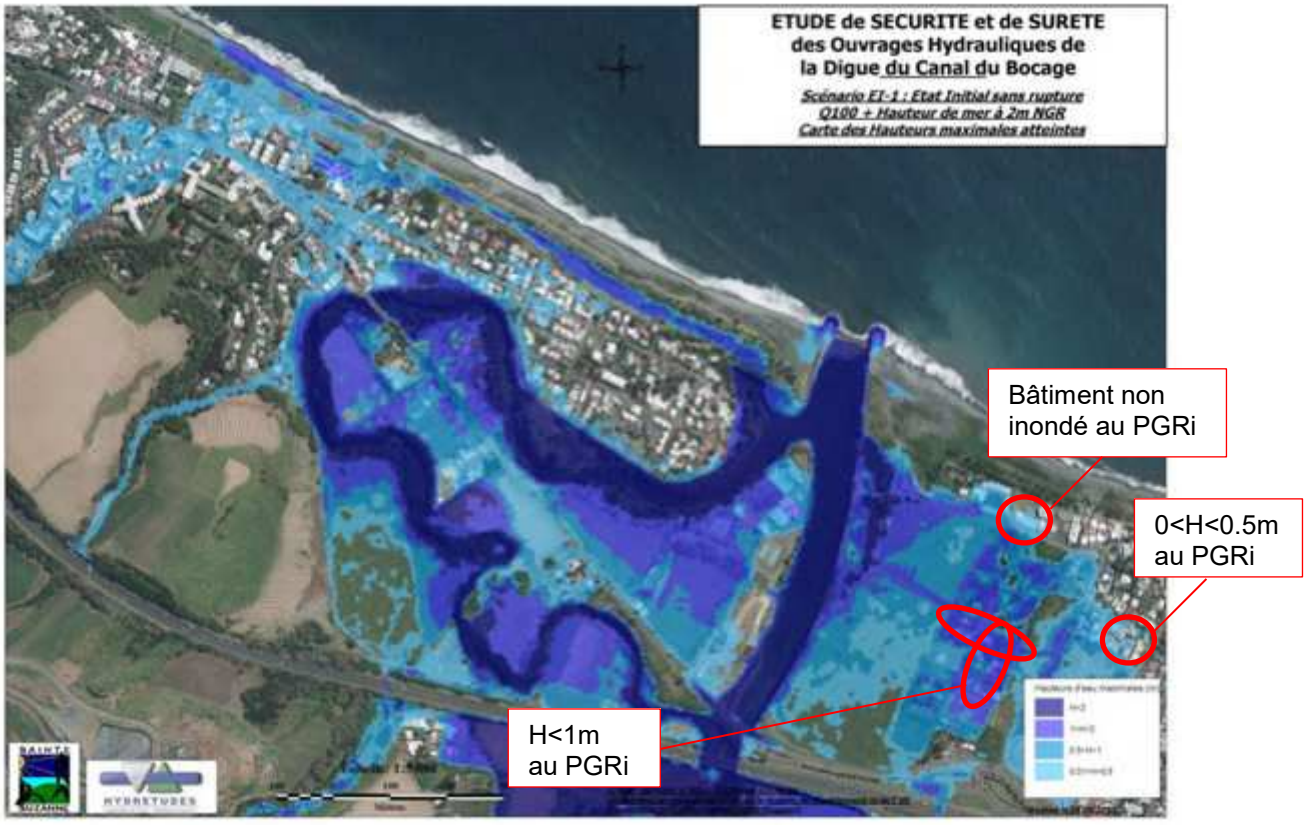


Fig. 141. Hauteurs d'eau maximales pour Q100 + Houle sur Sainte-Suzanne (source EDD Canal du Bocage, Hydrétudes)

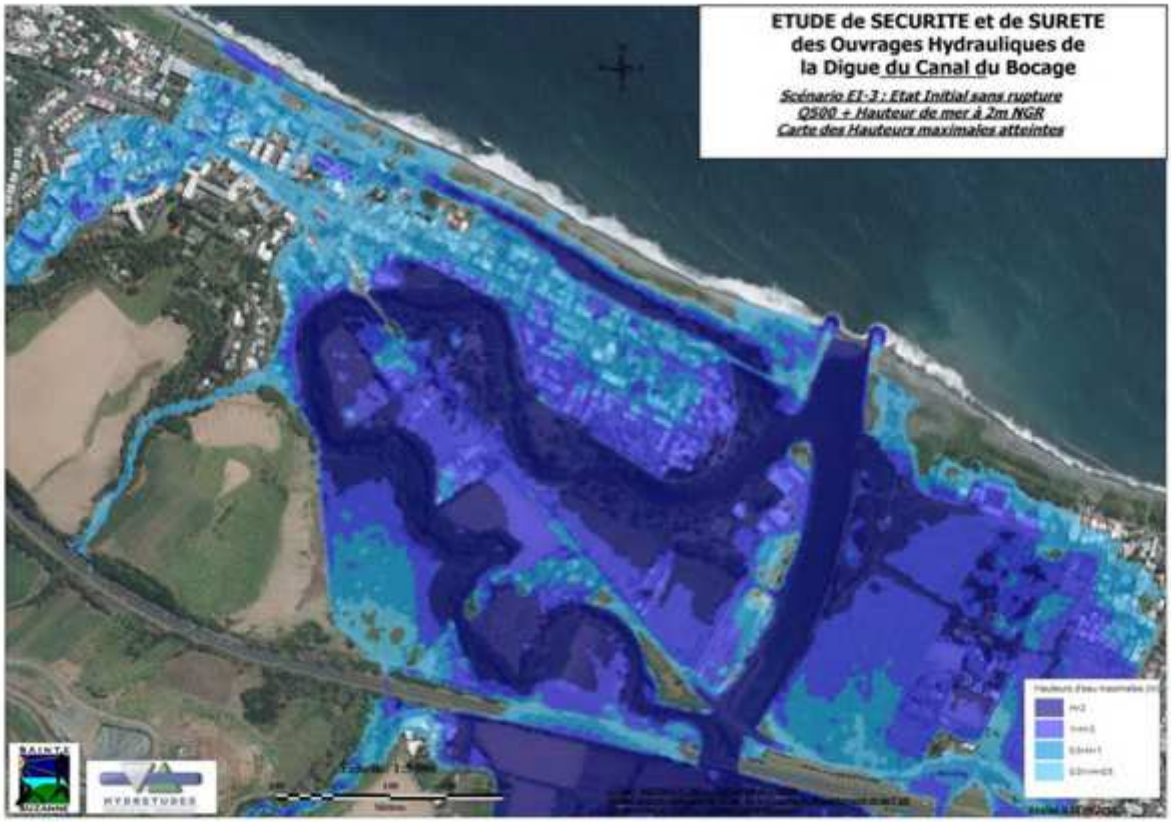


Fig. 142. + D X W H X U V G • H D X P D [L P D O H V D X W R X U G H V D L Q W H 6 X Z D Q Q H (source EDD Canal du Bocage, Hydrétudes)

Le PPR de Sainte Suzanne se base sur cette cartographie :

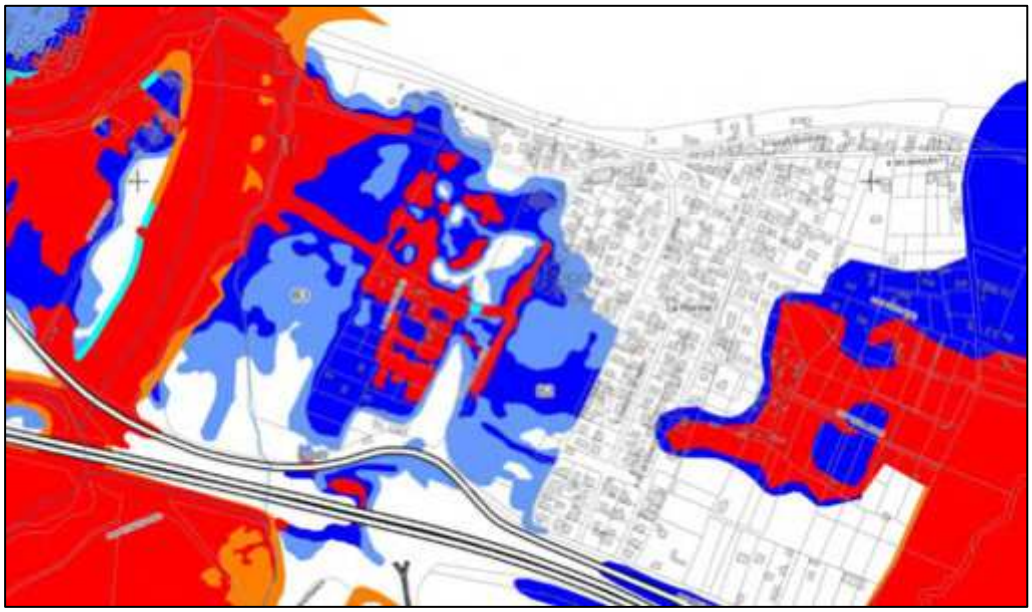


Fig. 143. Extrait du PPR de Sainte-Suzanne †Mai 2015

7.8.2.3. SYNTHESE

Les résultats de l'EDD Bocage sont légèrement plus défavorables que ceux du PGRi mais les principales zones inondables et les hauteurs de submersion sont cohérents entre les 2 simulations. Ces légères différences sont essentiellement liées à la prise en compte d'une hydrologie plus élevée de la Rivière Sainte Suzanne dans l'EDD.

Le modèle s'arrête rue de l'Adour, si bien que l'aléa inondation sur les zones résidentielles plus à l'*est* n'est pas connu. Cet aléa est lié aux débordements de la Grande Rivière St Jean et non de la rivière Sainte Suzanne, il n'a donc pas été quantifié dans le cadre l'étude de danger.

Ce modèle permet donc de connaitre l'aléa inondation relatif à la Rivière Sainte-Suzanne, sans les apports de la grande Rivière Saint-Jean. Cette zone d'aléa sera donc conservée dans le cas d'une protection contre l'inondation en berge rive gauche de la Grande Rivière Saint-Jean.

7.8.3. 5pVXOWDWV GH O•pWXGH K\GUDXOLTXH SRXU OH 7&63

L'hydrologie est identique à celle de l'EDD canal du bocage.

L'étude a été finalisée en Février 2017 et prend en compte le nouveau pont et les modifications au droit de l'ancien radier.

Par ailleurs, l'objectif de cette étude était de dimensionner un pont dans le centre-ville de Sainte Suzanne et non de décrire les phénomènes d'inondations sur le quartier de la Marine. Ainsi, le maillage du modèle informatique au droit du quartier de la Marine n'est pas affiné. Les résultats du fonctionnement hydraulique au niveau de ce quartier issus de ce modèle sont donc à prendre avec précaution.

Les hauteurs d'eau maximales en Q_{100} sont présentées sur la figure suivante :

Fig. 144. +DXWHXUV G•HDX PD[LPDOHV HQ 4100 GDQV OH VHFWHXU GH OD Marine à Sainte-Suzanne (source étude TCSP centre-ville, Hydrétudes)

Sur le quartier de la Marine, les résultats sont différents du modèle EDD canal du Bocage. La zone inondée est plus restreinte, seules quelques habitations sont en eau en crue centennale. L'apport d'eau sous l'échangeur de la RN2 de La Marine ne semble pas avoir été intégré dans ce modèle.

Il est donc proposé de retenir les résultats de l'EDD du Bocage dans la suite de l'étude. Ces résultats semblent plus proches des conditions réelles d'écoulement en cas de crue de la Rivière Sainte Suzanne sans apport de la Grand Rivière St Jean.

7.8.4. 6\QWKqVH HW RULHQWDWLRQ SRXU OHV VFpQDULRV G•LQRQ

La figure Fig. 146 superpose les zones inondées en Q100 issues des différents modèles retenus (PGRI, EDD Bocage, présente étude).

On constate que les enveloppes des zones inondables sont sensiblement identiques entre les différents modèles. L'étude du PGRI étant la seule à simuler dans un même modèle les crues de la Rivière Ste Suzanne et de la Grande Rivière St Jean, il s'agit de l'étude la plus poussée pour définir l'interaction entre les zones de débordements de ces 2 rivières.

Les conclusions du PGRi sont que :

- **Pour une crue décennale**, il n'y a pas d'interférence entre les zones de débordement des 2 rivières ;
- **Pour une crue centennale**, les débordements de la Grande Rivière St Jean rejoignent la Rivière Ste Suzanne. Cette donnée est confirmée dans le modèle réalisé pour la présente étude. Par contre, on ne constate pas de débordements de la Rivière Ste Suzanne vers la Grande Rivière St Jean ;
- **Pour une crue extrême**, les 2 zones inondables sont totalement confondues.

A partir de cette analyse, en estimant que les inondations de la rivière Ste Suzanne ne dépassent pas la rue d'Adour pour la $Q_{100\ ans}$, on peut donc considérer que seules quelques habitations sont inondées par la Grande Rivière St Jean et par la Rivière Ste Suzanne pour la crue centennale (présentées ci-dessous – à *l'ouest* de la rue d'Adour).

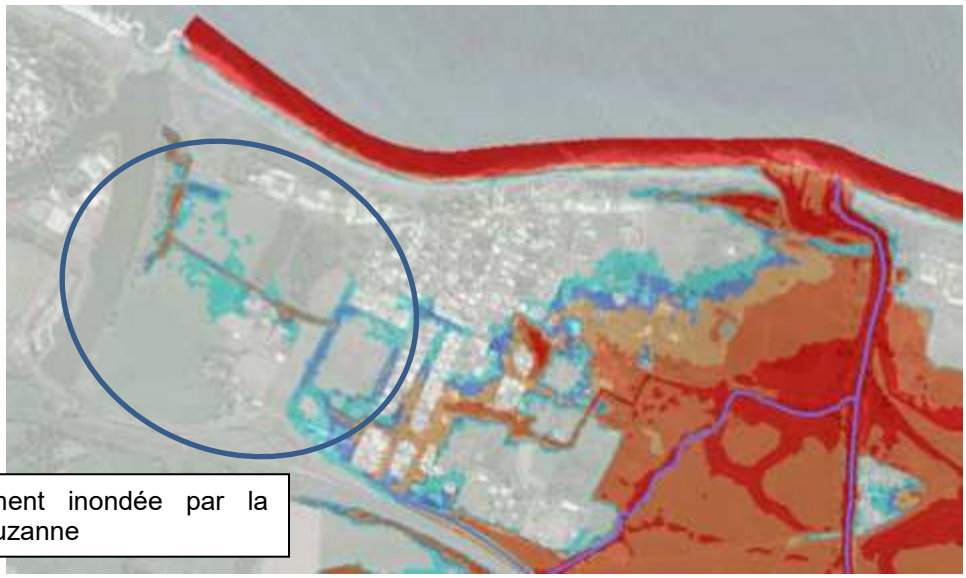


Fig. 145.Zone inondée †Sainte-Suzane

Pour les crues inférieures (30 et 50 ans), on constate un faible écoulement des eaux de la Grande Rivière St jean vers la Rivière Ste Suzanne via les chemins agricoles mais sans inonder des zones à enjeux.

Pour les crues supérieures, on peut considérer que l'ensemble du quartier de la Marie est inondé par les 2 cours d'eau.

Par ailleurs, les temps de concentration des 2 cours d'eau sont les suivants :

- *Rivière Sainte Suzanne* : le PGRi retient comme valeur de référence un temps de concentration de 2h ;
- *Grande Rivière Saint-Jean* : le temps de concentration est estimé à 2,45 h au niveau de l'exutoire.

Les temps de concentration sont donc relativement similaires, une concomitance des crues issues des 2 cours d'eau ne peut être exclue, notamment en cas d'évènement cyclonique majeur, sans qu'elle soit systématique.

Ainsi, pour la suite, il est proposé de retenir :

- *Pour définir l'aléa inondation de la Grande Rivière Saint-Jean uniquement* : la modélisation de la présente étude (TRI 2018). Le diagnostic de vulnérabilité sera alors réalisé sur cette zone inondable ;
- *Pour définir l'aléa inondation de la Grande Rivière Saint-Jean et de la Rivière Sainte-Suzanne* (état de référence) : la modélisation de la présente étude (TRI 2018) à l'*est* de la rue de l'Ardour et la modélisation du PGRi à l'*ouest* de la rue de l'Ardour ;
- *Pour définir l'aléa inondation relatif à la Rivière Sainte-Suzanne uniquement, sans les apports de la grande Rivière Saint-Jean, par exemple dans le cas d'une protection contre l'inondation en berge rive gauche de la Grande Rivière Saint-Jean* : la cartographie issue de l'EDD est retenue. Pour ne pas perdre l'information, cette zone d'inondation de la Rivière Sainte Suzanne sera matérialisée sur les cartographies des futures phases de l'étude.

Il convient également de préciser qu'à notre lecture, le PPR Inondation de la commune de Ste Suzanne sur le quartier de La Marine sous-estime les débordements de la Grande Rivière St Jean vers ce quartier. Il ne semble intégrer que les résultats de la modélisation de l'Etude de Danger du Bocage, en ne tenant pas compte des débordements de la Grande Rivière St Jean identifiés dans le PGRI et dans la présente étude.

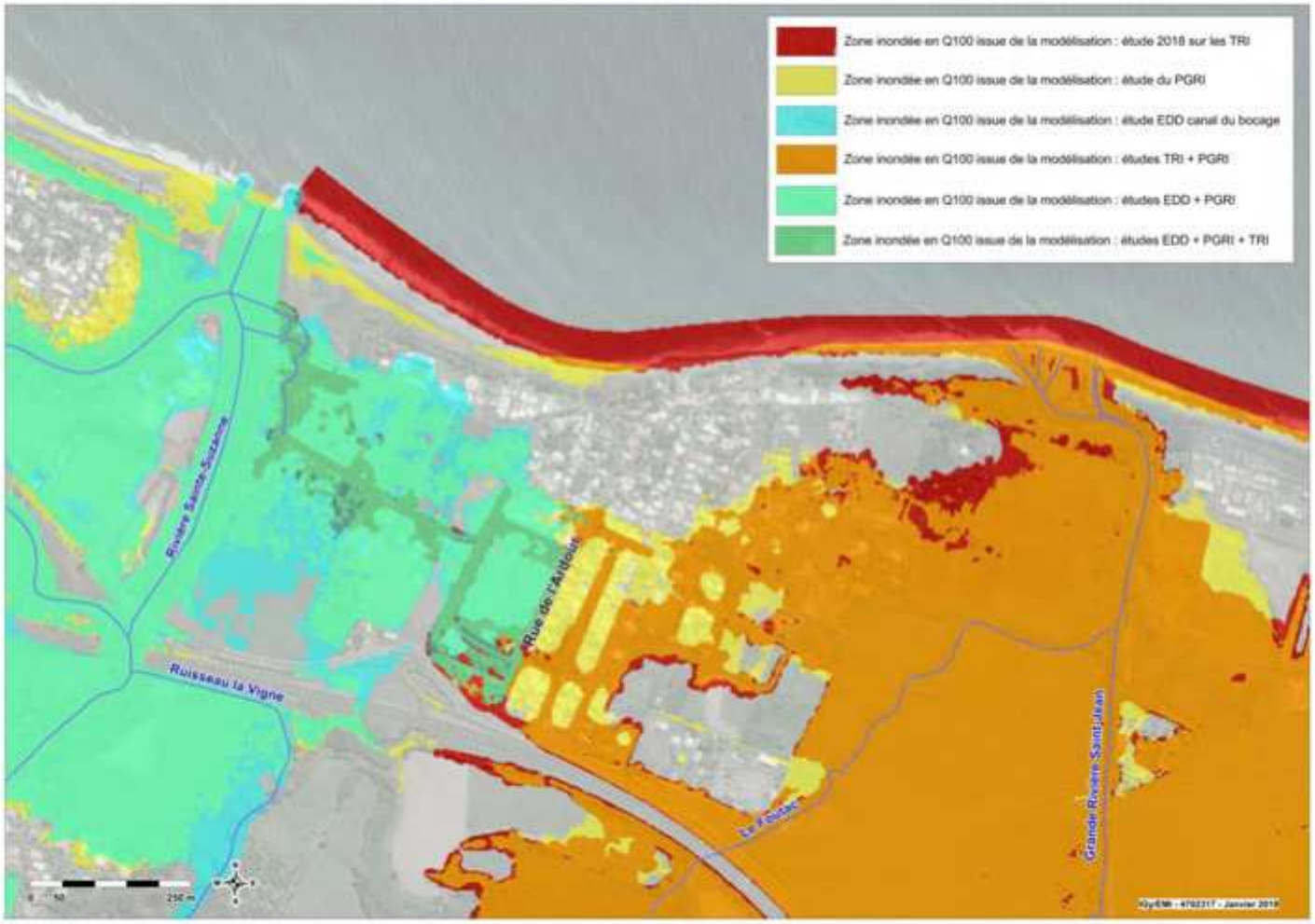


Fig. 146. Synthèse des zones inondées en crue centennale issues des différents modèles

7.9. THALWEG COMMUNE BEGUE

Le quartier de commune Bègue en RG de la Grande Rivière Saint-Jean est traversé par un thalweg marqué, affluent de la Grande Rivière Saint-Jean.

Fig. 147. Localisation du thalweg

D'après les riverains, ce thalweg occasionnerait des inondations dans le quartier, notamment sur la rue des Joncs, chemin Baldine. Ce fut le cas lors du passage du cyclone FAKIR en avril 2018.

Le PPR de la commune indique également un aléa inondation sur ce secteur :

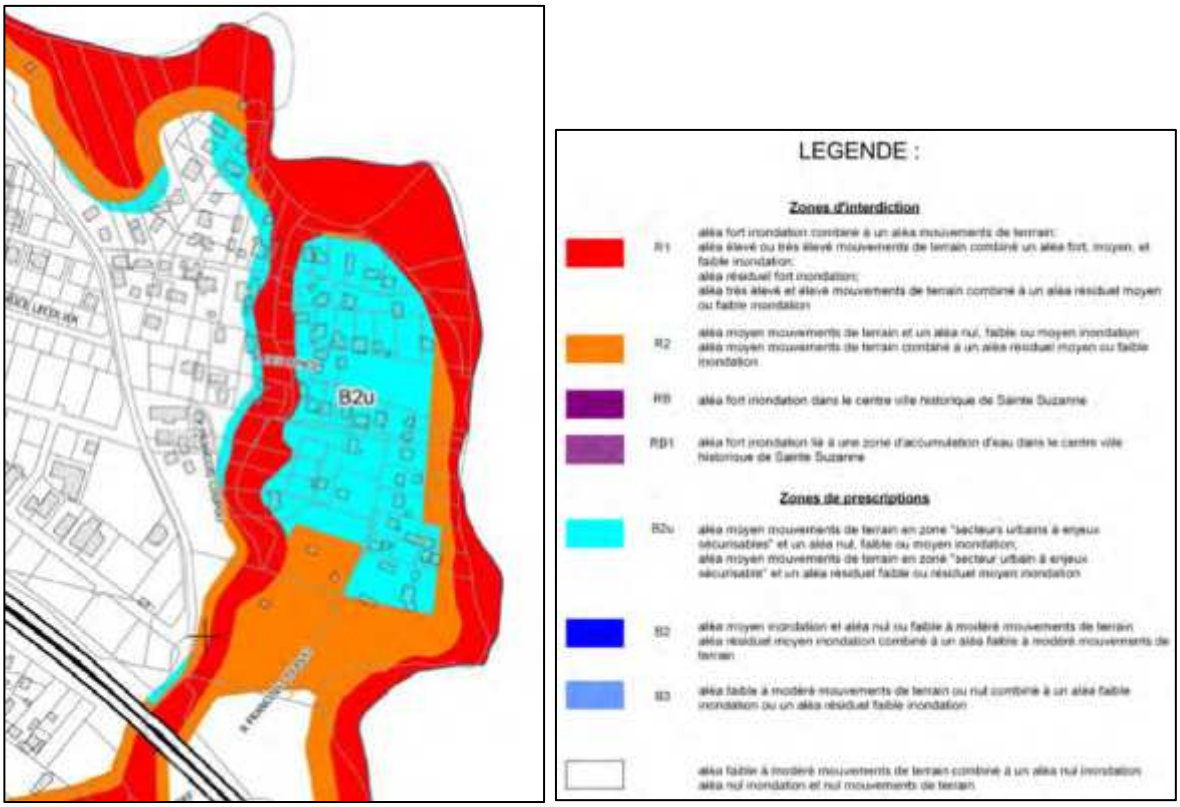


Fig. 148. Extrait du PPR de Sainte-Suzanne – Zonage réglementaire – mai 2015

Afin de préciser l'aléa inondation pour les différentes crues sur ce quartier, une analyse hydraulique spécifique a été menée.

Le bassin versant correspondant à ce thalweg est délimité sur la figure suivante. Les écoulements transitent sous la RN2 par le biais d'un ouvrage hydraulique. Les débits de pointe associés ont été calculés sur la base de la méthodologie retenue dans la présente étude (cf. § 5). Les résultats sont indiqués dans le tableau suivant :

Tabl. 47 - Débits de pointe du thalweg Commune Bègue

Période de retour	Débit [m^3/s]
T=10 ans	14
T=30 ans	22
T=50 ans	26
T=100 ans	30

Fig. 149. Bassin versant relatif au thalweg de commune Bègue

Le fonctionnement hydraulique du thalweg est apprécié au moyen d'une modélisation 1D réalisée sous le logiciel HECRAS. Le modèle repose sur la définition de 12 profils en travers issus de la litto3D depuis la RN2 jusqu'à la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean. La profondeur du thalweg est variable : de 1 m à 5 m selon les tronçons. En aval du coude qu'elle présente, la ravine profondeur est fortement réduite et le profil en long présente un point haut.

Les coefficients de Strickler sont pris égaux à 10 afin de tenir compte de la végétation très dense dans le thalweg et des habitations en rive.

Les résultats indiquent des hauteurs d'eau comprises entre :

- 90 cm et 2 m pour la Q_{10}
- 90 cm et 2,4 m pour la Q_{30}
- 90 cm et 2,5 m pour la Q_{50}
- 90 cm et 2,7 m pour la Q_{100}

Des débordements sont observés en amont du 1er coude du thalweg. Ces débordements inondent la berge rive droite du thalweg, et notamment la rue des joncs, la rue François Coupou, et le chemin Baldine.

Les résultats indiquent des hauteurs d'eau dans le thalweg comprises entre :

- 90 cm et 2 m pour la Q_{10}
- 90 cm et 2,4 m pour la Q_{30}
- 90 cm et 2,5 m pour la Q_{50}
- 90 cm et 2,7 m pour la Q_{100}

L'étendue de la zone inondée est présentée sur la figure suivante. Les hauteurs de charge maximales sur la zone inondée sont :

- 30 cm en Q_{10}
- 60 cm en Q_{30}
- 70 cm en Q_{50}
- 80 cm en Q_{100}

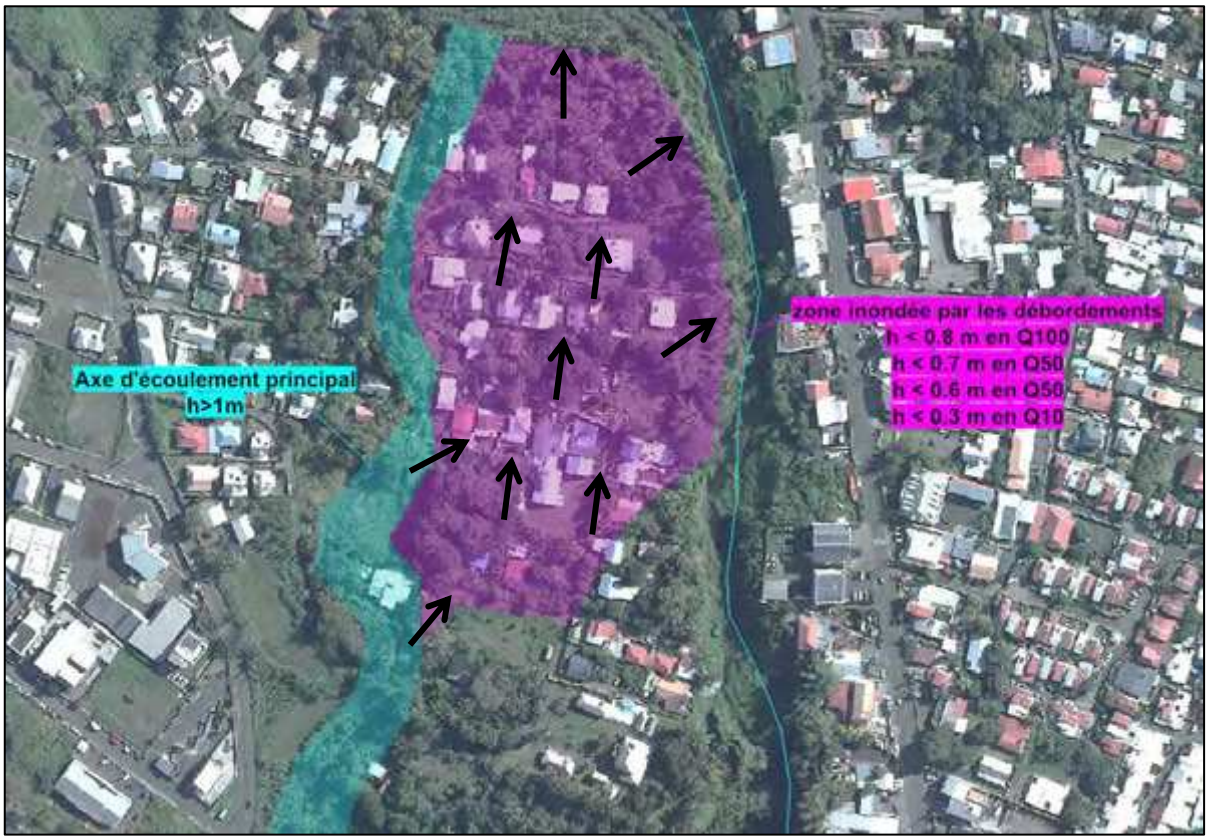


Fig. 150. Aléa inondation commune Bègue †Q100

7.10. =21('•(;3$16,21 '(6CRUES

Les figures suivantes présentent les zones pouvant être utilisées :

- Comme zone d'expansion de crues (capacité à stocker un certain volume d'eau)
- Comme espace de liberté des cours d'eau (espace permettant une respiration du cours d'eau : divagation, mobilité du lit et des berges et une fourniture de matériaux nécessaires à satisfaire la capacité de transport solide).

Ces zones ont été estimées à partir des secteurs actuellement inondables au niveau de zone sans enjeux humains. L'objectif est donc de conserver ces zones, et d'étudier la possibilité d'optimiser leur fonctionnement hydraulique afin de temporiser la crue tout au long de son parcours avant de rejoindre son exutoire.

On peut distinguer quelques secteurs qu'ils seraient intéressant d'étudier lors des phases ultérieures :

Les terrains situés en amont du centre-ville de Saint André au niveau de la Ravine Sèche (amont pont Morin) et de la Ravine Payet (amont lotissement). Ces terrains sont actuellement des zones agricoles (cannes, bananier) qui pourraient servir de zone d'expansion des crues afin de limiter les débits de pointes lors de la traversée du centre-ville de St André ;

Quelques secteurs le long de la traversée du centre-ville (ravine Payet et ravine Sèche). Bien que ces surfaces soient faibles et ne permettent pas de diminuer de façon significative le débit de la crue, la conservation de ces secteurs en zone inondable permet de limiter l'accélération de la vitesse des écoulements dans sa traversée du Centre-Ville.

Sur la partie aval, l'ensemble de la plaine de Bois Rouge au niveau des enjeux naturels et agricoles ainsi que la zone inondable de la Petite Rivière St Jean, en amont de sa confluence avec la Grande Rivière St Jean (notamment au niveau du centre commercial).

Les phases ultérieures (phase 2 notamment) permettront de définir, parmi ces zones identifiées, celles à conserver et celles pouvant être aménagées afin d'augmenter son impact sur la réduction des débits de pointe.

Il conviendra alors de distinguer :

- **Les Zones d'Expansion des Crues qui sont des zones subissant des inondations naturelles**. Elles font partie du lit majeur d'un cours d'eau et présente de l'intérêt à la conserver à l'état naturel dans le cadre de la gestion du risque inondation à l'échelle du cours d'eau. Leur caractère inondable peut être préservé par un classement en zone inconstructible dans le plan local d'urbanisme ou dans le plan de prévention des risques inondation. Ces zones étant naturellement inondables, leurs propriétaires ne peuvent pas demander une indemnisation liée au caractère inondable de son terrain ;
- **Les zones de surinondation qui sont des zones permettant le surstockage des** crues et qui sont souvent accompagnées de travaux d'aménagement du lit du cours d'eau permettant d'optimiser le stockage sur ces zones. Ces zones sont identifiées via l'instauration d'une servitude d'inondation, dont les modalités sont présentées à l'article L211-12 du code de l'environnement.

Cette zone est alors indemnisable au titre de l'aggravation de la situation des terrains concernés vis-à-vis du risque inondation par rapport à la situation antérieure aux aménagements.

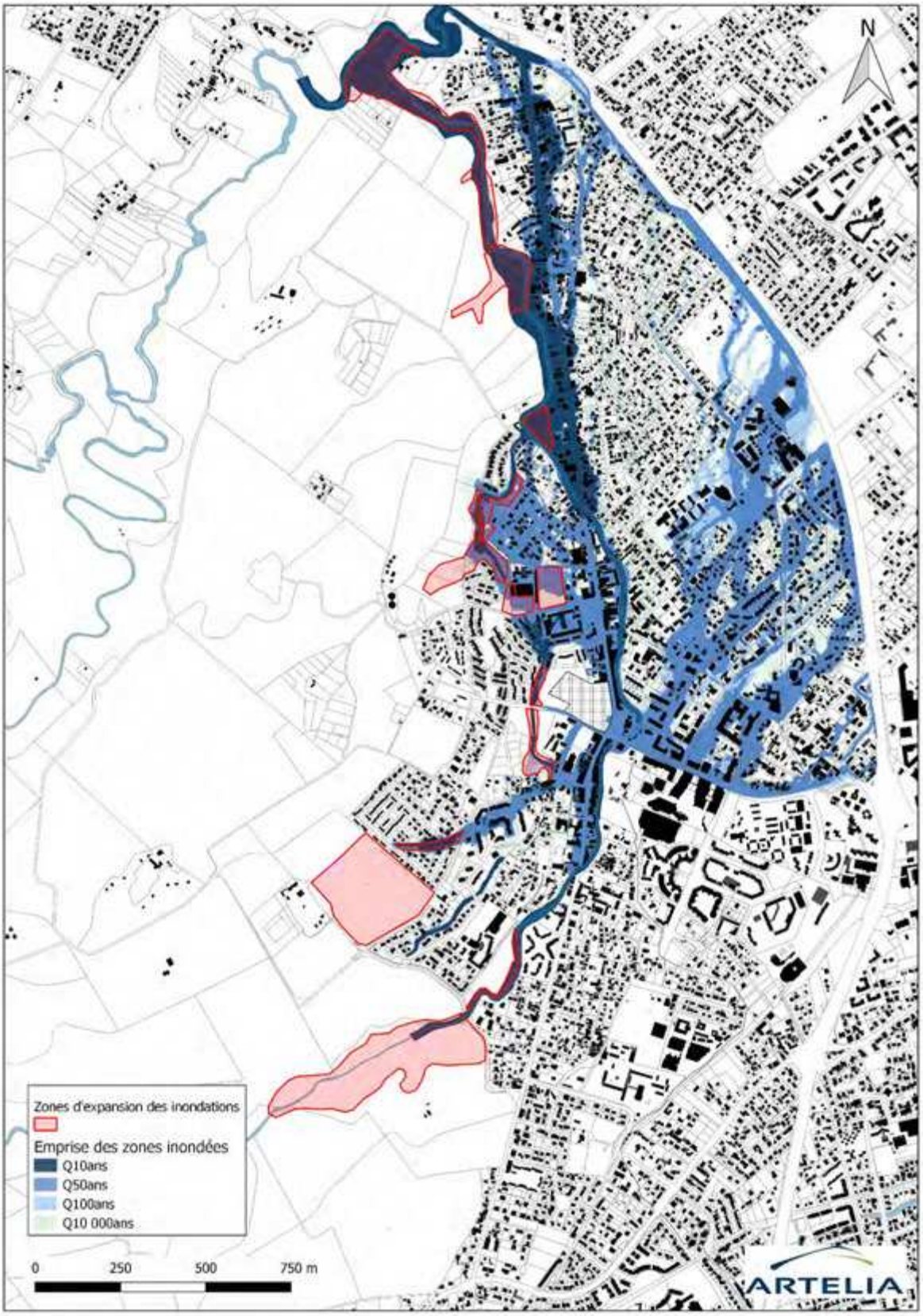


Fig. 151.Zones potentiellement sanctuarisables pour expansion de crues †secteur amont

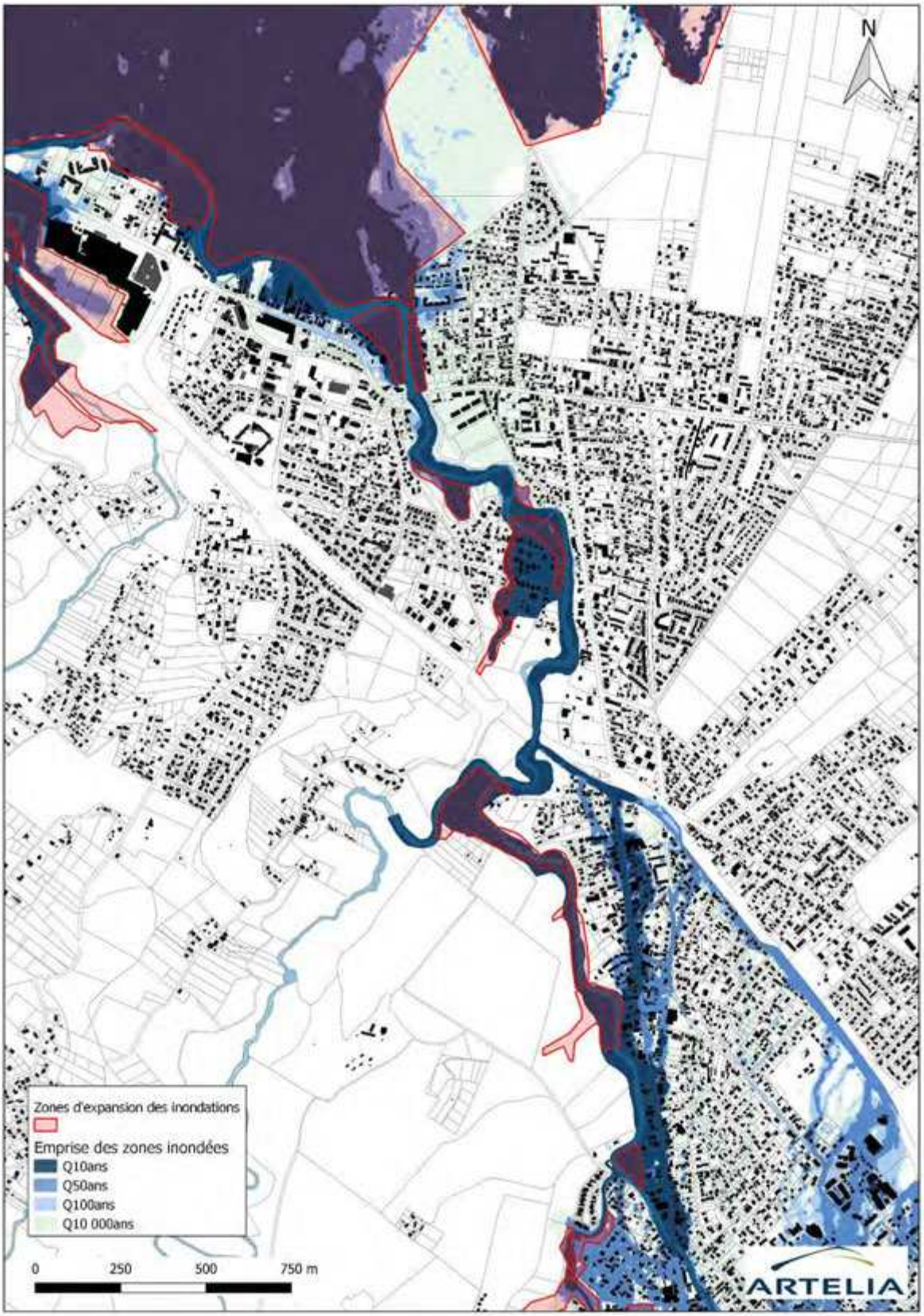

N
Zones d'expansion des inondations
Emprise des zones inondées
Q10ans
Q50ans
Q100ans
Q10 000ans
0
250
500
750 m
ARTELIA

Fig. 152. Zones potentiellement sanctuarisables pour expansion de crues – secteur intermédiaire

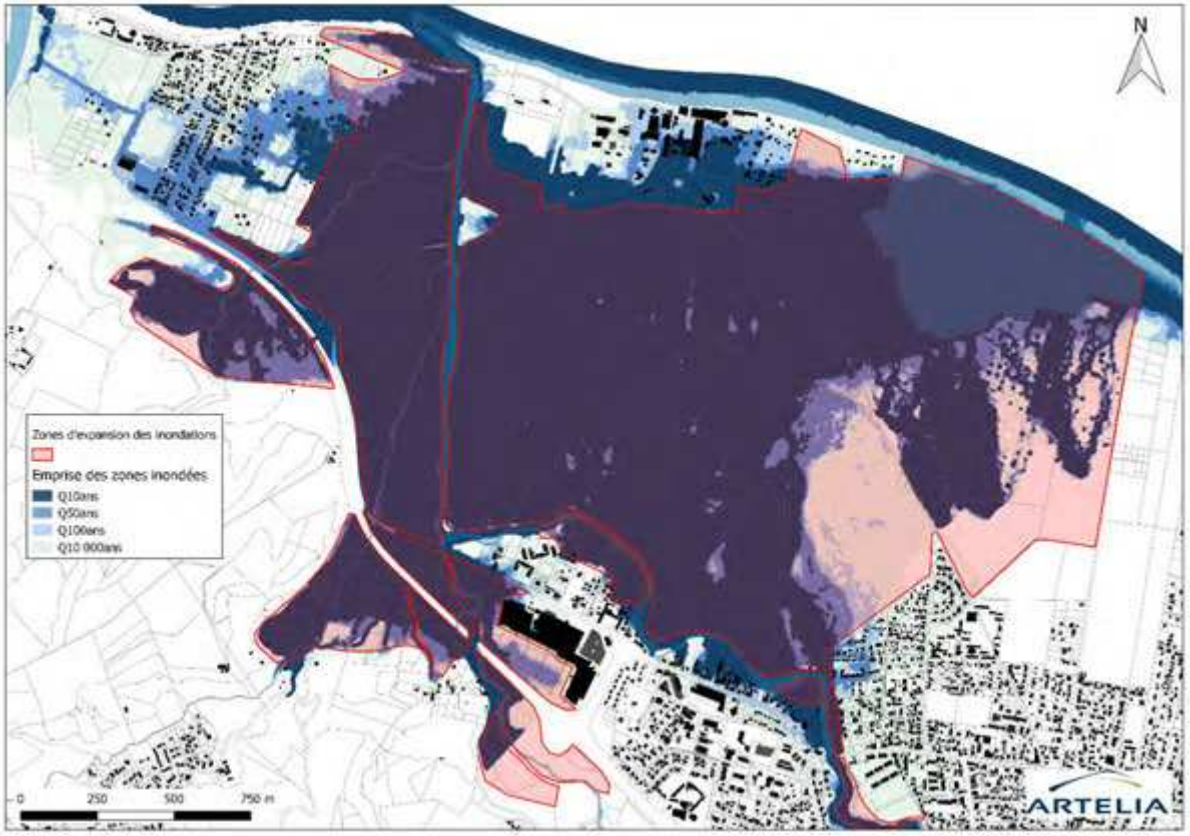


Fig. 153. Zones potentiellement sanctuarisables pour expansion de crues – secteur aval

8. CARACTERISATION DE L•$/($ (526,21

Comme le montre les nombreuses dégradations de berges observées durant Fakir en avril 2018, les berges de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents sont très sensibles à l'érosion.

Le présent chapitre a pour objectif de caractériser l'aléa érosion sur les berges des cours d'eau concernés.

Notre démarche s'est limitée aux zones à enjeux.

8.1. METHODOLOGIE

Afin de caractériser l'aléa érosion, une analyse spécifique des berges de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents a été menée, en plusieurs étapes :

- Compilation des données sur les berges : nature, hauteur des berges, zones érodées historiquement, configuration…
- Analyse topographique spécifique avec calcul du fruit de talus et prise en compte de l'évolution géomorphologique attendue (affouillement, recul de berge) conduisant à l'estimation d'un recul de crête de plusieurs mètres avec un fruit d'équilibre résiduel de 2h/1v.
- Délimitation d'un zonage où l'aléa érosion est présent.

8.2. ERODABILITE DES BERGES

Les mécanismes de transport solide et d'évolution géomorphologique des cours d'eau ont été exposés au § 4 du rapport. Il est ici question plus précisément de l'érodabilité des berges.

Le potentiel érosif des berges et son ampleur est fonction :

- De la nature des berges : les berges constituées d'alluvions sont ainsi fortement érodables et affouillables, celles constituées de coulée boueuse vont s'éroder plus lentement au gré des crues ;
- De la hauteur et du fruit des berges : les berges raides vont entrainer des glissements de terrain lorsqu'elles sont sollicitées par les écoulements en crue. En particulier, on considère ici que les berges dont le fruit est plus faible que 1h/1v (plus raide) sont particulièrement instables. Les berges de fruits supérieurs à 2h/1v sont supposées stables sans autre phénomène déstabilisateur ;
- De la configuration du lit : les berges situées dans les extrados sont fortement sollicitées, les vitesses y sont plus élevées, le potentiel érosif y est très fort. A l'inverse, les intrados sont plus généralement le siège de dépôts et d'engraissement ;
- De l'évolution attendue : le recul de berge et l'approfondissement du lit sont des phénomènes qui vont favoriser les instabilités de berges, en les rendant plus raides ;
- Plus généralement, des rejets d'eaux pluviales non maitrisés qui peuvent également participer à déstabiliser les talus.

8.3. COMPILATION DES DONNEES SUR LES BERGES

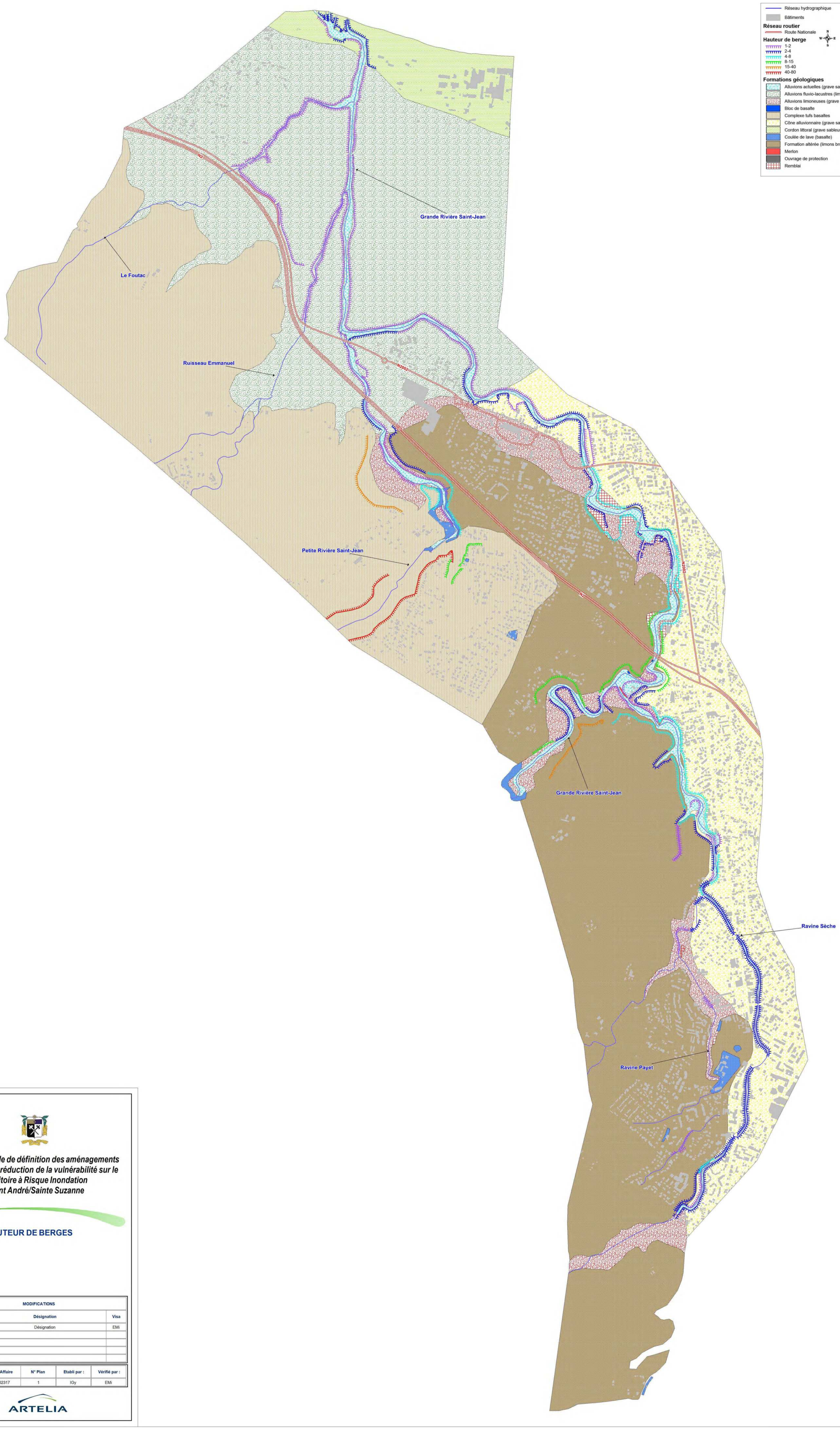
La cartographie suivante présente les hauteurs des berges et leur nature. Ces données sont issues du PGRi (réf. /7/).

Les principales observations sont les suivantes :

- Nature des berges :
  - l'ensemble des berges des ravines Sèche et Payet, de la Grande Rivière Saint-Jean ainsi que de la Petite Rivière Saint-Jean entre les PK0 et 1100 (en amont de la RN2) sont constituées d'**alluvions** ou de **formation altérée**, qui sont **fortement affouillables et érodables**, notamment par les écoulements en crue. Dans ces formations, les extrados, les zones où le lit a été réduit et les berges les plus abruptes sont particulièrement sensibles à l'érosion.
  - Au-delà du PK1100, les berges de la Petite Rivière Saint-Jean sont essentiellement constituées de **tufs basaltiques** et **blocs de basaltes**. Ces formations sont plus résistantes à l'érosion.
- Hauteur des berges :
  - La hauteur des berges croit de l'aval vers l'amont.
  - Elle est **inférieure à 4 m** sur la Petite Rivière Saint-Jean en aval de la RN2 et Grande Rivière Saint-Jean en aval de la RN2002. Des glissements de talus et des fosses d'érosion entrainant un recul de berge peuvent se produire avec ses hauteurs.
  - Sur la Grande Rivière Saint-Jean, **les berges atteignent 15 m de haut** au niveau de Commune Bègue (haut et bas) et de Petit Bazar. Sur ce tronçon, des glissements de grande ampleur peuvent se produire.
  - La ravine Sèche présente des hauteurs de berges **de 2 à 4 m** dans sa traversée du centre-ville de Saint-André sur sa partie canalisée, des hauteurs jusqu'à 8 m en aval de sa confluence avec la Ravine Payet.
  - La ravine Payet est le cours d'eau le moins encaissé, avec une profondeur **inférieure à 2 m**.

Le croisement de ces 2 données associé aux désordres observés décrits au § 3.5 et à la configuration de la rivière permet de dresser une cartographie de la sensibilité des berges à l'érosion. Ainsi, il a été considéré :

- Sensibilité faible : secteurs constitués de tufs ou blocs de basalte, intrados des cours d'eau, secteurs peu profonds (ravine Payet) ;
- Sensibilité moyenne : secteurs linéaires ;
- Sensibilité forte : coudes dans les secteurs alluvionnaires, zones sur lesquelles des désordres ont déjà été observés, berges très abruptes.



Etude générale de définition des aménagements et actions de réduction de la vulnérabilité sur le Territoire à Risque Inondation Saint André/Sainte Suzanne

HAUTEUR DE BERGES

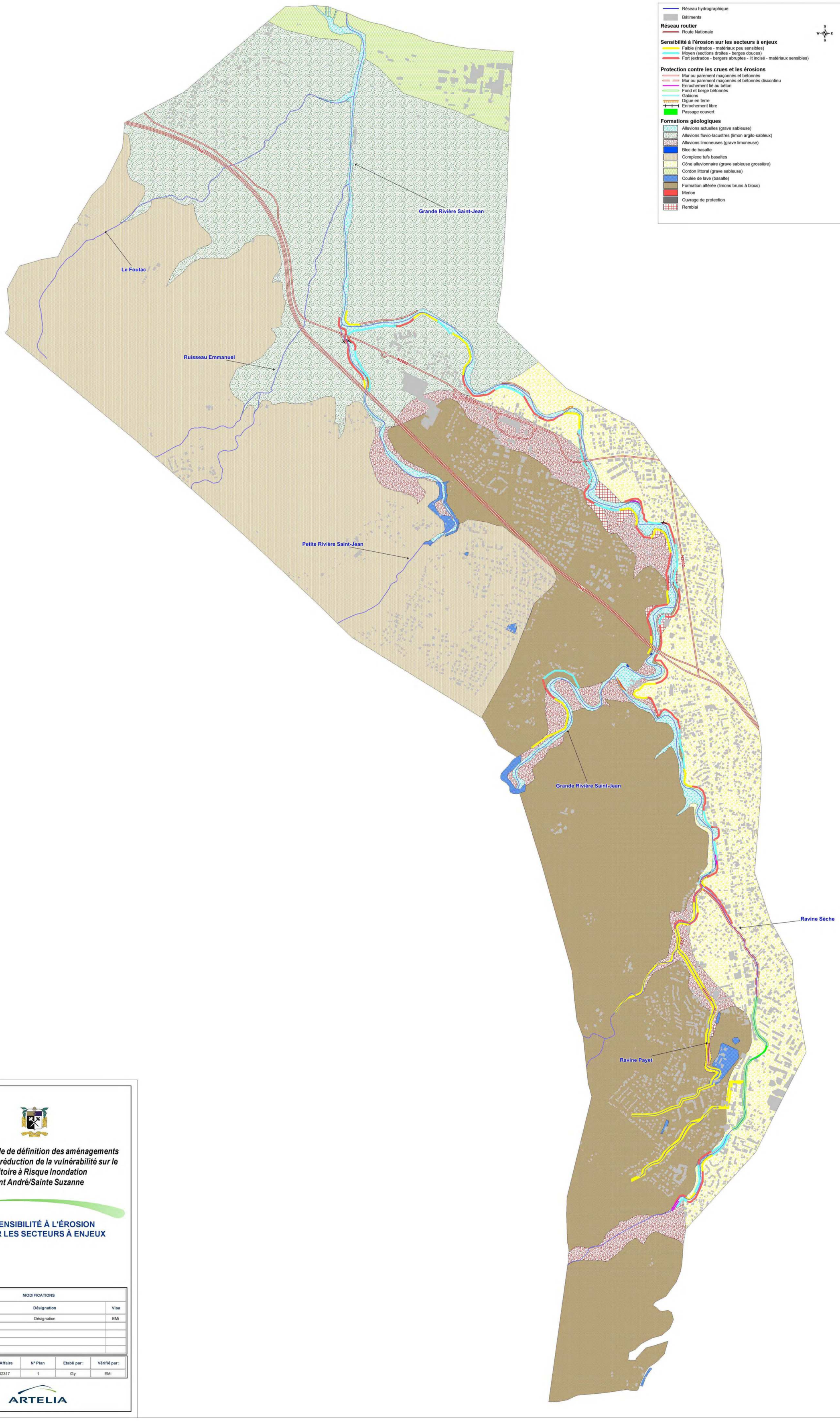
MODIFICATIONS			
Ind.	Date	Désignation	Visa
A	06/2019	Désignation	EMi

Date	N° Affaire	N° Plan	Etabli par :	Vérifié par :
06/2019	4702317	1	IGy	EMi

ECHELLE : 1/6 500

Source : Orthophoto 2018 IGN

ARTELIA



Réseau hydrographique
Bâtiments

Réseau routier
Route Nationale

Sensibilité à l'érosion sur les secteurs à enjeux
Faible (intrados - matériaux peu sensibles)
Moyen (sections droites - berges douces)
Fort (extrados - bergers abruptes - lit incisé - matériaux sensibles)

Protection contre les crues et les érosions
Mur ou parement maçonnés et bétonnés
Mur ou parement maçonnés et bétonnés discontinu
Enrochement lié au béton
Fond et berge bétonnés
Gabions
Digue en terre
Enrochement libre
Passage couvert

Formations géologiques
Alluvions actuelles (grave sableuse)
Alluvions fluvio-lacustres (limon argilo-sableux)
Alluvions limoneuses (grave limoneuse)
Bloc de basalte
Complexe tufs basaltes
Cône alluvionnaire (grave sableuse grossière)
Cordon littoral (grave sableuse)
Coulée de lave (basalte)
Formation altérée (limons bruns à blocs)
Merlon
Ouvrage de protection
Remblai

Etude générale de définition des aménagements et actions de réduction de la vulnérabilité sur le Territoire à Risque Inondation Saint André/Sainte Suzanne

SENSIBILITÉ À L'ÉROSION SUR LES SECTEURS À ENJEUX

MODIFICATIONS			
Ind.	Date	Désignation	Visa
A	06/2019	Désignation	EMi

Date	N° Affaire	N° Plan	Etabli par :	Vérifié par :
06/2019	4702317	1	IGy	EMi

ECHELLE :
1/6 500
Source : Orthophoto 2018 IGN

ARTELIA

8.4. ANALYSE TOPOGRAPHIQUE

Une analyse topographique a été menée sur la base du LIDAR (Réf. /9/) et de la litto3D (réf. /11/) sur le secteur de commune Bègue les Hauts (Grande Rivière Saint-Jean).

Elle a été réalisée tous les 100 m environ sur chacun des cours d'eau.

Elle a consisté à :

- Définir le pied et la crête de berge actuels,
- Définir le fruit des berges,
- Proposer une profondeur d'affouillement ou un recul en pied lié à l'évolution géomorphologique pressentie et à la situation de la berge. Il a été pris en particulier :
  - dans les extrados de coudes marqués : un recul du pied de berge de 10m ;
  - dans les extrados de coudes peu marqués : un recul du pied de berge de 7 m ;
  - dans les sections linéaires des secteurs alluvionnaires : un recul du pied de berge de 5 m ;
  - dans les intrados : pas de recul.
- Calculer le haut de berge en intégrant ce recul et en proposant un fruit résiduel de 2h/1v.

Cette analyse ne tient pas compte des protections post-Fakir.

La cartographie suivante présente le zonage en résultant. Il s'agit des zones potentiellement érodables lors d'une crue. Il est précisé ici que les phénomènes érosifs sont difficilement prévisibles. Certains secteurs de forte sensibilité à l'érosion vont résister tandis que d'autres vont souffrir de déstabilisation durant un même épisode de crue. A l'inverse, un même secteur pourra résister à plusieurs crues successives et rompre brutalement sur une enième crue pourtant de la même occurrence.

Cette carte amène les observations suivantes :

- L'aléa érosion se réparti entre les rives gauche et droite des cours d'eau.
- Coté Sainte Suzanne, les secteurs à enjeux suivants sont particulièrement impactés :
  - Quartier français en amont du stade (PK -2200 environ) jusqu'à la RN2002 (linéaire 600 m environ, de façon discontinue) ;
  - En amont de la RN2002 dans les zones d'extrados (GRSJ entre les PK -1400 et -1300 / linéaire 100 m environ) et sur le secteur du chemin Gonzagues (linéaire 100 m environ);
  - Au niveau de commune Bègue les Bas (GRSJ entre les PK-300 et -800 / linéaire 500 m environ) ;
  - Au niveau de commune Bègue les Hauts (GRSJ entre les PK800 et 1000 / linéaire 200 m environ).
- Coté Saint André, les secteurs à enjeux suivants sont particulièrement impactés :
  - La berge de la GRSJ entre la RN2002 et la RN2 correspondant au quartier à l'*ouest* de la RN2002 (linéaire 1600 m environ, de façon discontinue) ;
  - Plus en amont en direction du centre-ville, la berge de la ravine sèche entre les PK 300 et 1 400 correspondant au quartier à l'*ouest* de l'avenue Ile de France (linéaire 1100 m environ) ;
  - En amont de la confluence avec la Ravine Payet, le secteur du chemin Miguel et la rive opposée (linéaire 200 m environ).

Réseau hydrographique
Bâtiments
Route Nationale
Crête de berges (2012)
Zone soumise au risque érosion

N
W E
S

-5 225
-5 100
-5 000
-4 900
-4 800
-4 700
-4 600
-4 500
-4 400
-4 300
-4 200
-4 100
-4 000
-3 900
-3 800
-3 700
-3 600
-3 500
-3 400
-3 300
-3 200
-3 100
-3 000
-2 900
-2 800
-2 700
-2 600
-2 500
-2 400
-2 300
-2 200
-2 100
-2 000
-1 900
-1 800
-1 700
-1 600
-1 500
-1 400
-1 300
-1 200
-1 000
-900
-800
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1 000
1 100
1 200
1 300
1 400
1 500
1 600
1 700
1 800
1 900
2 000
2 100
2 200
2 300
2 400
2 500
2 600
2 700
2 800
2 900
3 000
3 100
3 200
3 300
3 400
3 500
4 300
4 400
4 500
4 600
4 700

Grande Rivière Saint-Jean
Grande Rivière Saint-Jean
Ravine Sèche
N2
N2002

Etude générale de définition des aménagements et actions de réduction de la vulnérabilité sur le Territoire à Risque Inondation Saint André/Sainte Suzanne

ZONE SOUMISE AU RISQUE EROSION

MODIFICATIONS			
Ind.	Date	Désignation	Visa
A	06/2019	Désignation	EMi

Date	N° Affaire	N° Plan	Etabli par :	Vérifié par :
06/2019	4702317	1	IGy	EMi

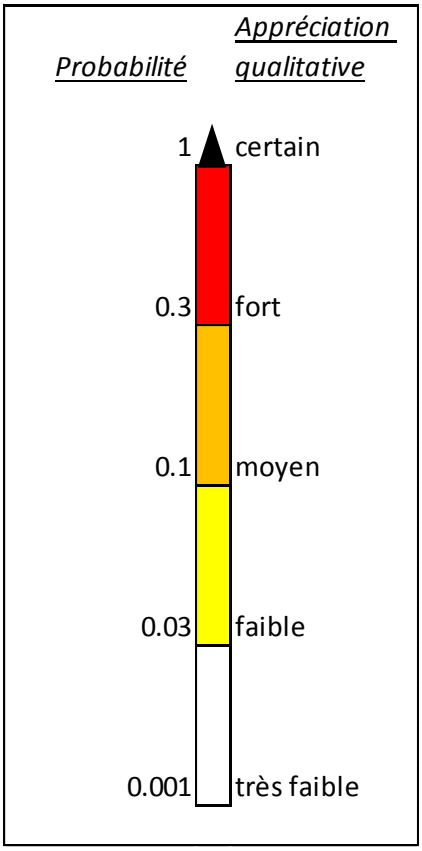
ECHELLE :
1/5 500

Source : Orthophoto 2018 IGN

ARTELIA

8.5. 3 5 2 % $ % , / , 7 (' • 2 & & 8 5 5 (1&(

La probabilité de défaillance pour l'aléa érosif est difficile à établir. A titre purement indicatif et afin de disposer d'éléments permettant de réaliser l'analyse ACB pour ce volet, une approche est proposée ici. Elle se base sur des considérations « à dire d'expert ». Une échelle d'appréciation est proposée :



La probabilité découle de la classe de « sensibilité de la berge à l'érosion » défini sur la Fig. 155 selon le tableau suivant :

Tabl. 48 - 3 U R E D E L O L W p G H G p I D L O O D Q F H S R X U O • D O p D p U R V L R Q

Classe de sensibilité à l'érosion (cf. Fig. 155)	**Q10**	**Q100**	**Q10 000**
Pas de sensibilité	0.001	0.002	0.003
Faible	0.03	0.05	0.1
Moyen	0.1	0.2	0.3
Fort	0.3	0.5	0.8

8.6. CHIFFRAGE DES DOMMAGES

Les dommages sont estimés de la manière suivante.

Il est supposé que l'ensemble des bâtiments situés en zone érodable sont détruits. Dans le cas où seule une partie du bâti est concerné par l'aléa érosion, on suppose que la totalité du bâtiment est à reprendre.

Le cout des dommages est pris égal au cout de reconstruction, estimé à 1 400€ HT par m². Cette valeur est en adéquation avec le prix de l'immobilier de la CIREST, dont la valeur immobilière est plus faible que la moyenne sur l'île de La Réunion :

	Appartements	Maisons	Terrains
La Réunion	**2 020€ / m²**	**210 000 €**	**210 € / m²**
Nord (CINOR)	1 840 € / m²	280 000 €	320 € / m²
Ouest (TCO)	2 830 € / m²	317 500 €	360 € / m²
Est (CIREST)	1 300 € / m²	147 000 €	140 € / m²
Sud (CIVIS)	2 180 € / m²	227 900 €	200 € / m²
Sud (CASUD)	1 500 € / m²	175 000 €	160 € / m²

Tabl. 49 - Prix médians à La Réunion par EPCI pour les appartements anciens, les maisons anciennes et les terrains à bâtir au 31 mai 2019

Ce coût est également cohérent le prix au m² pour la construction d'une maison neuve à La Réunion :

Qualité du constructeur	Prix au m²	Part de marché
Architecte	1 622 euros	5%
Constructeur	1 361 euros	61%
Entrepreneur ou artisan	1 381 euros	10 %
Auto-construction	1 251 euros	21 %

Tabl. 50 - 3UL[PpGLDQV SRXU OD FRQVWUXFWLRQ G•XQH PDLVRQ QHX

Les figures en pages suivantes permettent de définir les parcelles impactées par l'aléa érosion. Ces figurent présentent la zone impactée par l'aléa érosion et détaille le contexte cadastral. **Seuls les bâtiments situés en zone d'aléa érosion ont été comptabilisés dans l'analyse.**

Le tableau en page suivante restitue ces parcelles concernées par un aléa érosion et donne les probabilités associées, les surface de bâtis concernées (nulle si le bâtiment n'est pas impacté par l'aléa érosion) et le cout de reconstruction estimé.

Le tableau suivant synthétise le nombre de bâtis impactés, leur surface et le cout de reconstruction estimé.

Tabl. 51 - Coût de reconstruction des bâtis situés en zone d'

	nombre de bâtis impactés *nb*	surface au sol des bâtis impacté *m²*	Coût de reconstruction *€ HT*
secteur 1	18	2 671	3 738 858
secteur 2	58	8 017	11 224 469
secteur 3	25	5 095	7 132 451
secteur 4	3	350	490 000
total	*104*	*16 133*	*22 585 778*

A partir de ces données, il est estimé le cout des dommages pour une crue de référence avec la formule ci-dessous :

$$Dommage = \sum (cout\ de\ reconstruction * probabilité)$$

Les résultats sont donnés par secteurs dans le tableau suivant :

Tabl. 52 - Dommages estimés par crue

	Montant estimé des dommages pour chaque crue *€ HT*		
	Q10	Q100	Q10000
secteur 1	740 229	1 297 286	2 037 514
secteur 2	2 307 204	4 022 030	6 329 234
secteur 3	1 632 215	2 768 771	4 417 063
secteur 4	8 610	14 420	28 630
total	**4 688 258**	**8 102 506**	**12 812 441**

Tabl. 53 - Parcelles concernées SDU O•DOpD pURVLRQ

	COMMUNE	SECTION	N° de PARCELLE	Sensibilité à l'érosion	***Probabilité associée***			Surface de bâti	Coût de reconstruction
				0=nul, 1=faible, 2=moyen, 3=fort	*Q10*	*Q100*	*Q10000*	*m²*	*€ HT*
SECTEUR 1	ST-ANDRE	BI	45	3	0,3	0,5	0,8	26,3647	36 911
	ST-ANDRE	BI	52	2	0,1	0,2	0,3	400	559 446
	ST-ANDRE	BI	55	2	0,1	0,2	0,3	217	304 063
	ST-ANDRE	BI	56	2	0,1	0,2	0,3	237	331 492
	ST-ANDRE	BI	57	2	0,1	0,2	0,3	107	150 149
	ST-ANDRE	BI	58	2	0,1	0,2	0,3	99	138 969
	ST-ANDRE	BI	62	2	0,1	0,2	0,3	54	75 976
	ST-ANDRE	BI	339	3	0,3	0,5	0,8	88	122 716
	ST-ANDRE	BI	441	3	0,3	0,5	0,8	203	283 984
	ST-ANDRE	BI	461	2	0,1	0,2	0,3	225	315 077
	ST-ANDRE	BI	529	3	0,3	0,5	0,8	170	238 694
	ST-ANDRE	BI	534	2	0,1	0,2	0,3	23	31 972
	ST-ANDRE	BI	535	2	0,1	0,2	0,3	-	-
	ST-ANDRE	BI	543	3	0,3	0,5	0,8	328	458 574
	ST-ANDRE	BI	549	3	0,3	0,5	0,8	-	-
	ST-ANDRE	BI	550	3	0,3	0,5	0,8	145	202 738
	ST-ANDRE	BI	657	3	0,3	0,5	0,8	213	298 696
	ST-ANDRE	BI	658	3	0,3	0,5	0,8	135	189 400
SECTEUR 2	ST-ANDRE	BL	1	3	0,3	0,5	0,8	12	16 349
	ST-ANDRE	AH	226	3	0,3	0,5	0,8	106	147 711
	ST-ANDRE	AN	51	3	0,3	0,5	0,8	81	113 040
	ST-ANDRE	AN	59	2	0,1	0,2	0,3	478	668 598
	ST-ANDRE	AN	60	2	0,1	0,2	0,3	117	164 480
	ST-ANDRE	AN	62	2	0,1	0,2	0,3	157	220 212
	ST-ANDRE	AN	64	3	0,3	0,5	0,8	71	98 717
	ST-ANDRE	AN	280	2	0,1	0,2	0,3	346	484 557
	ST-ANDRE	AN	285	3	0,3	0,5	0,8	777	1 088 058
	ST-ANDRE	AN	286	3	0,3	0,5	0,8	267	373 646
	ST-ANDRE	AN	287	3	0,3	0,5	0,8	541	757 659
	ST-ANDRE	AN	288	3	0,3	0,5	0,8	-	-
	ST-ANDRE	AN	365	3	0,3	0,5	0,8	180	251 908
	ST-ANDRE	AN	368	2	0,1	0,2	0,3	212	296 330
	ST-ANDRE	AN	369	2	0,1	0,2	0,3	129	180 438
	ST-ANDRE	AN	457	3	0,3	0,5	0,8	-	-
	ST-ANDRE	AN	458	3	0,3	0,5	0,8	12	16 603
	ST-ANDRE	AN	599	2	0,1	0,2	0,3	120	168 403
	ST-ANDRE	AN	671	3	0,3	0,5	0,8	44	61 960
	ST-ANDRE	AN	672	3	0,3	0,5	0,8	86	120 201
	ST-ANDRE	AN	692	2	0,1	0,2	0,3	100	139 596
	ST-ANDRE	AM	24	3	0,3	0,5	0,8	108	151 456
	ST-ANDRE	AM	31	3	0,3	0,5	0,8	97	136 260
	ST-ANDRE	AM	60	3	0,3	0,5	0,8	248	346 867
	ST-ANDRE	AM	214	3	0,3	0,5	0,8	85	118 786
	ST-ANDRE	AM	215	3	0,3	0,5	0,8	25	35 476
	ST-ANDRE	AM	216	3	0,3	0,5	0,8	-	-
	ST-ANDRE	AM	256	2	0,1	0,2	0,3	94	131 320
	ST-ANDRE	AM	298	3	0,3	0,5	0,8	-	-
	ST-ANDRE	AM	308	2	0,1	0,2	0,3	14	19 205
	ST-ANDRE	AM	329	3	0,3	0,5	0,8	560	783 885
	ST-ANDRE	AM	408	3	0,3	0,5	0,8	80	112 662
	ST-ANDRE	AM	437	2	0,1	0,2	0,3	30	42 481
	ST-ANDRE	AM	444	2	0,1	0,2	0,3	-	-
	ST-ANDRE	AM	475	3	0,3	0,5	0,8	98	137 657
	ST-ANDRE	AM	506	3	0,3	0,5	0,8	-	-
	ST-ANDRE	AM	577	3	0,3	0,5	0,8	64	89 763
	ST-ANDRE	AM	578	3	0,3	0,5	0,8	103	143 601
	ST-ANDRE	AM	579	3	0,3	0,5	0,8	92	128 897
	ST-ANDRE	AM	580	3	0,3	0,5	0,8	67	93 564
	ST-ANDRE	AM	581	3	0,3	0,5	0,8	75	104 666
	ST-ANDRE	AM	608	2	0,1	0,2	0,3	26	36 481
	ST-ANDRE	AM	611	2	0,1	0,2	0,3	-	-
	ST-ANDRE	AM	638	3	0,3	0,5	0,8	-	-
	ST-ANDRE	AM	639	3	0,3	0,5	0,8	-	-
	ST-ANDRE	AM	731	3	0,3	0,5	0,8	-	-
	ST-ANDRE	AM	732	2	0,1	0,2	0,3	-	-
	ST-ANDRE	AM	733	2	0,1	0,2	0,3	-	-
	ST-ANDRE	AM	767	3	0,3	0,5	0,8	158	220 548
	STE SUZANNE	BC	208	2	0,1	0,2	0,3	175	244 860
	STE SUZANNE	BC	209	2	0,1	0,2	0,3	309	433 016
	STE SUZANNE	BC	210	2	0,1	0,2	0,3	323	452 224
	STE SUZANNE	BC	211	2	0,1	0,2	0,3	641	897 133
	STE SUZANNE	BC	271	2	0,1	0,2	0,3	185	258 831
	STE SUZANNE	BC	272	2	0,1	0,2	0,3	115	160 863
	STE SUZANNE	BC	519	2	0,1	0,2	0,3	215	301 658
	STE SUZANNE	BC	866	3	0,3	0,5	0,8	196	273 844
	STE SUZANNE	BC	1123	3	0,3	0,5	0,8	-	-
SECTEUR 3	ST-ANDRE	AE	138	2	0,1	0,2	0,3	58	81 861
	ST-ANDRE	AE	139	2	0,1	0,2	0,3	79	110 309
	ST-ANDRE	AE	141	3	0,3	0,5	0,8	407	570 189
	ST-ANDRE	AE	161	3	0,3	0,5	0,8	131	183 838
	ST-ANDRE	AE	162	3	0,3	0,5	0,8	100	139 406
	ST-ANDRE	AE	523	2	0,1	0,2	0,3	76	106 253
	ST-ANDRE	AE	524	2	0,1	0,2	0,3	86	120 693
	ST-ANDRE	AH	16	3	0,3	0,5	0,8	154	215 568
	ST-ANDRE	AH	18	3	0,3	0,5	0,8	377	528 010
	ST-ANDRE	AH	19	3	0,3	0,5	0,8	175	245 280
	ST-ANDRE	AH	20	3	0,3	0,5	0,8	223	311 548
	ST-ANDRE	AH	21	2	0,1	0,2	0,3	465	651 620
	ST-ANDRE	AH	25	2	0,1	0,2	0,3	61	85 907
	ST-ANDRE	AH	144	2	0,1	0,2	0,3	131	183 656
	ST-ANDRE	AH	416	3	0,3	0,5	0,8	207	290 045
	STE SUZANNE	AZ	2	3	0,3	0,5	0,8	187	262 240
	STE SUZANNE	AZ	3	3	0,3	0,5	0,8	149	207 943
	STE SUZANNE	AZ	305	3	0,3	0,5	0,8	322	450 640
	STE SUZANNE	BC	85	3	0,3	0,5	0,8	157	219 761
	STE SUZANNE	BC	145	1	0,03	0,05	0,1	466	652 043
	STE SUZANNE	BC	251	2	0,1	0,2	0,3	80	112 078
	STE SUZANNE	BC	444	3	0,3	0,5	0,8	618	865 700
	STE SUZANNE	BC	468	3	0,3	0,5	0,8	129	180 398
	STE SUZANNE	BC	471	3	0,3	0,5	0,8	147	205 638
	STE SUZANNE	BC	1005	1	0,03	0,05	0,1	108	151 827
S.4	ST-ANDRE	AB	330	1	0,03	0,05	0,1	200	280 000
	ST-ANDRE	AB	657	0	0,001	0,002	0,003	-	-
	ST-ANDRE	AB	892	0	0,001	0,002	0,003	150	210 000

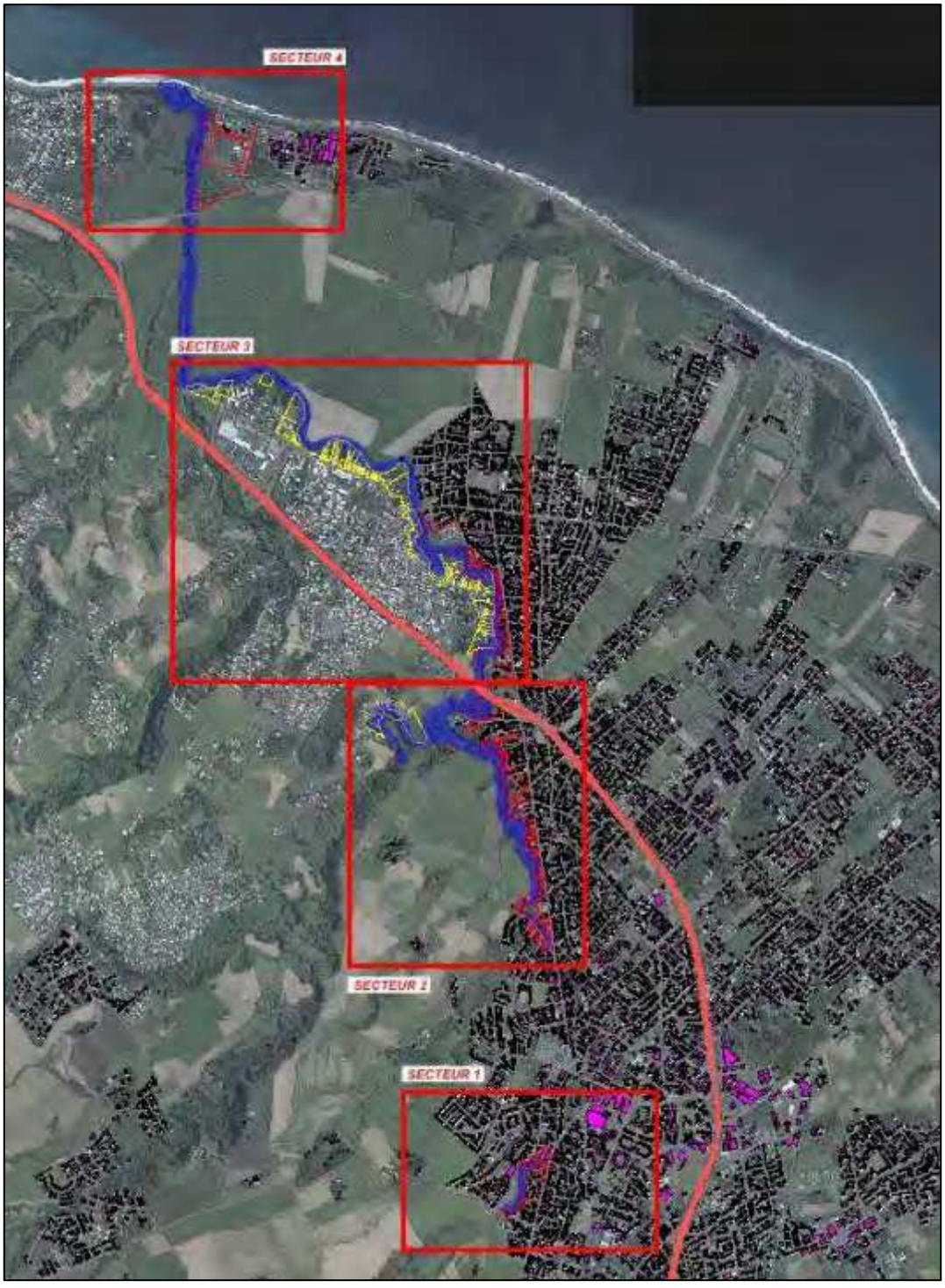


Fig. 157.Aléa érosion †Bâtiments impactés †Carte générale

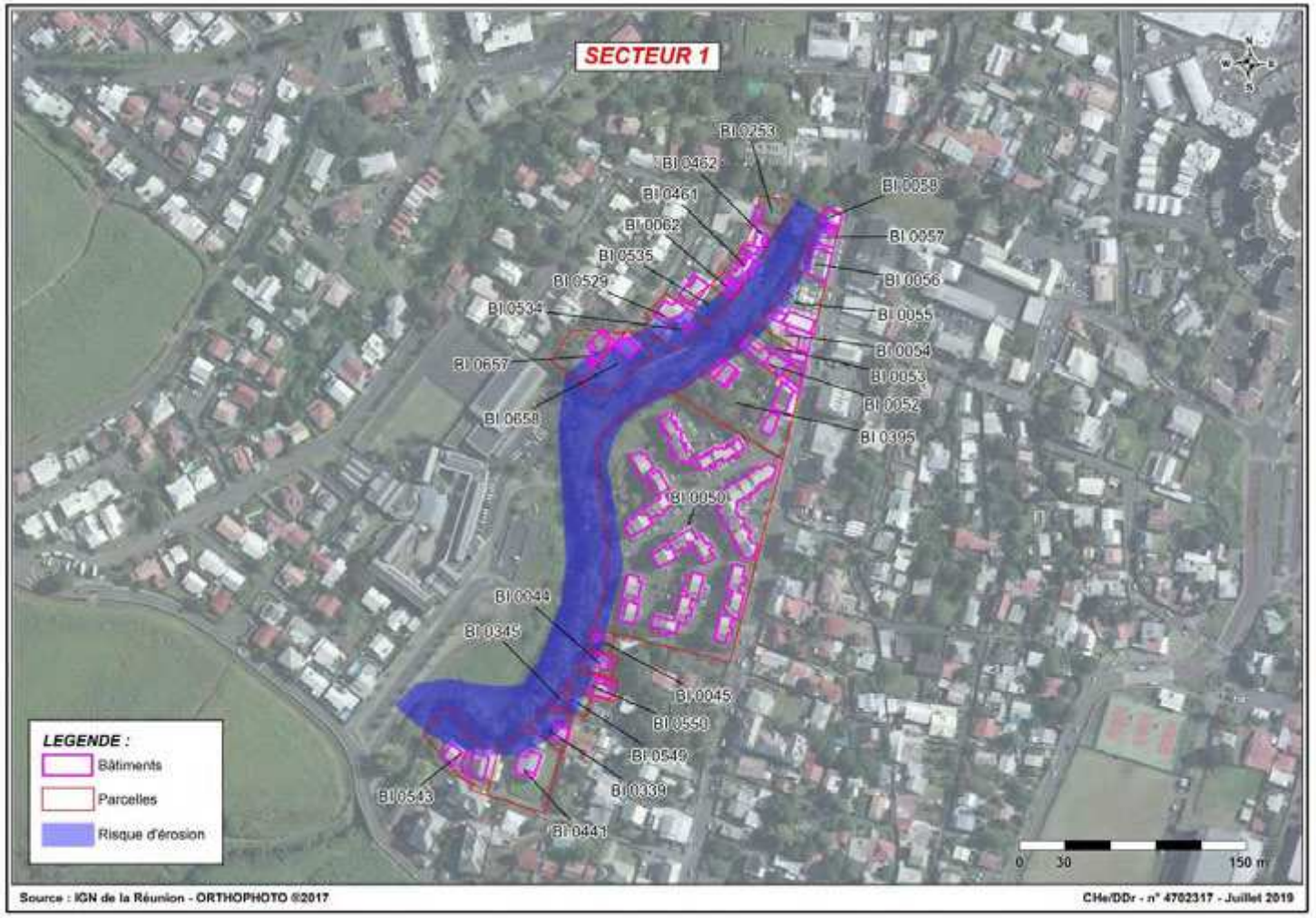


Fig. 158. Aléa érosion † Bâtiments impactés † Secteur 1

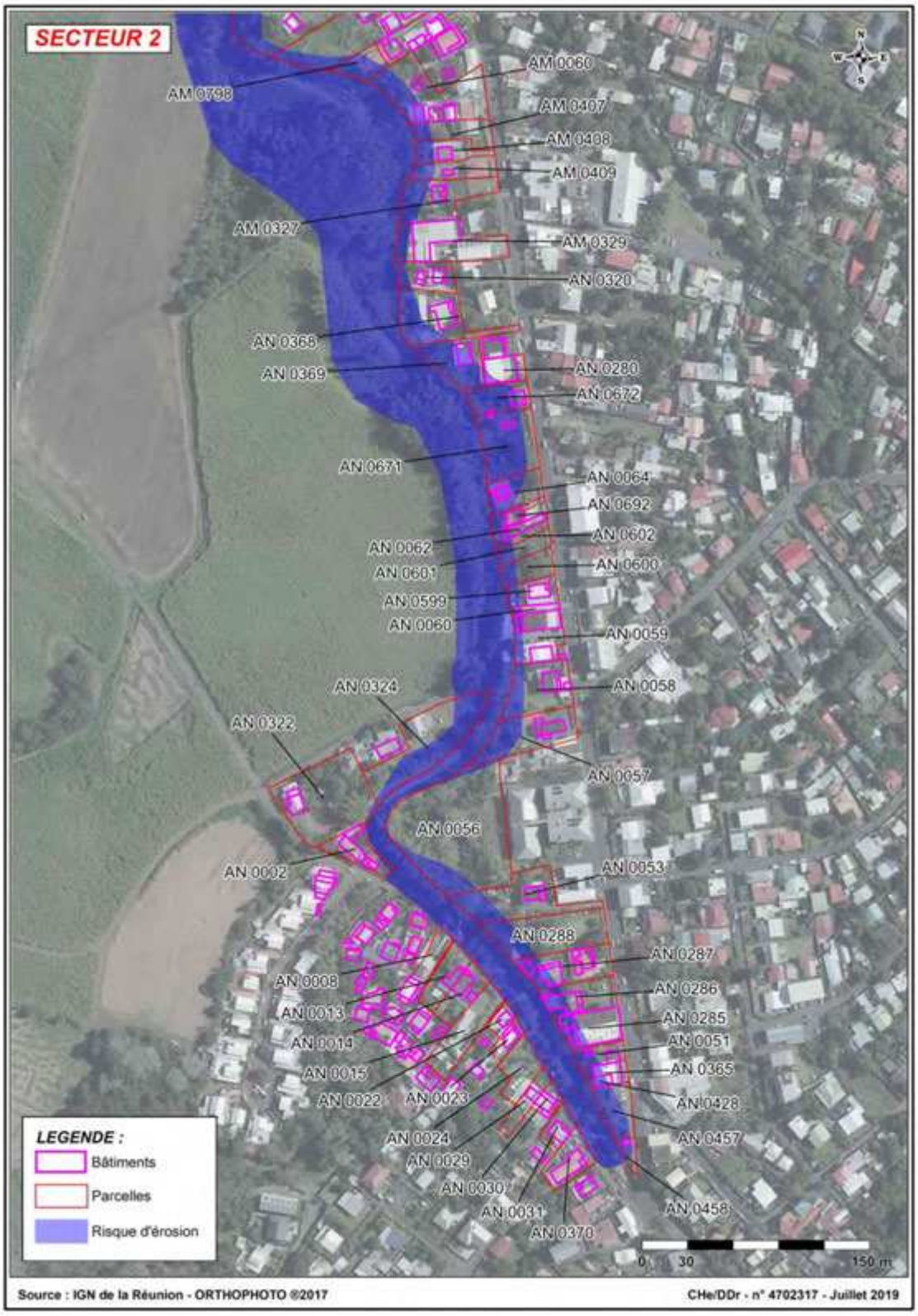


Fig. 159. Aléa érosion †Bâtiments impactés †Secteur 2.1

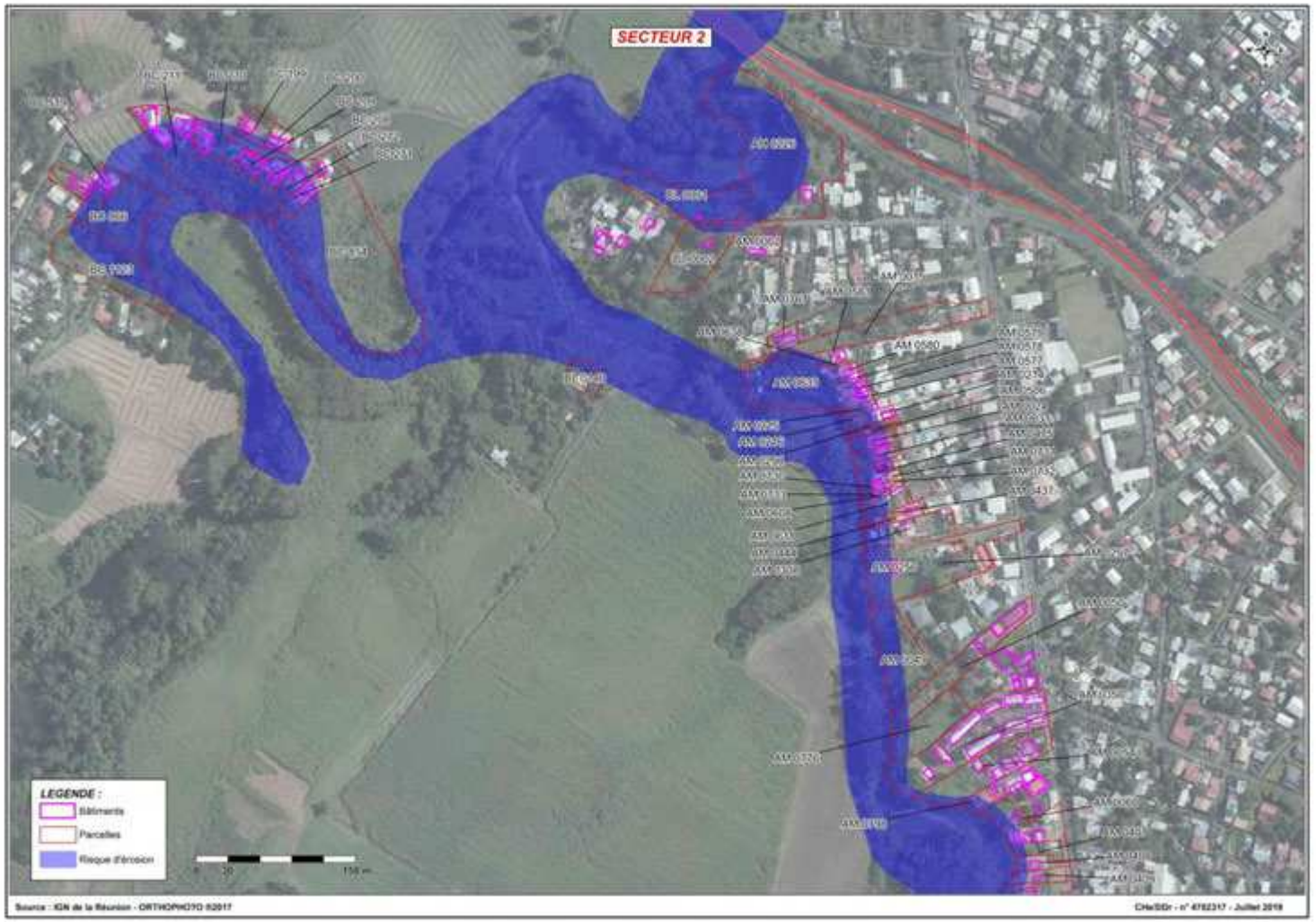


Fig. 160. Aléa érosion †Bâtiments impactés †Secteur 2.2

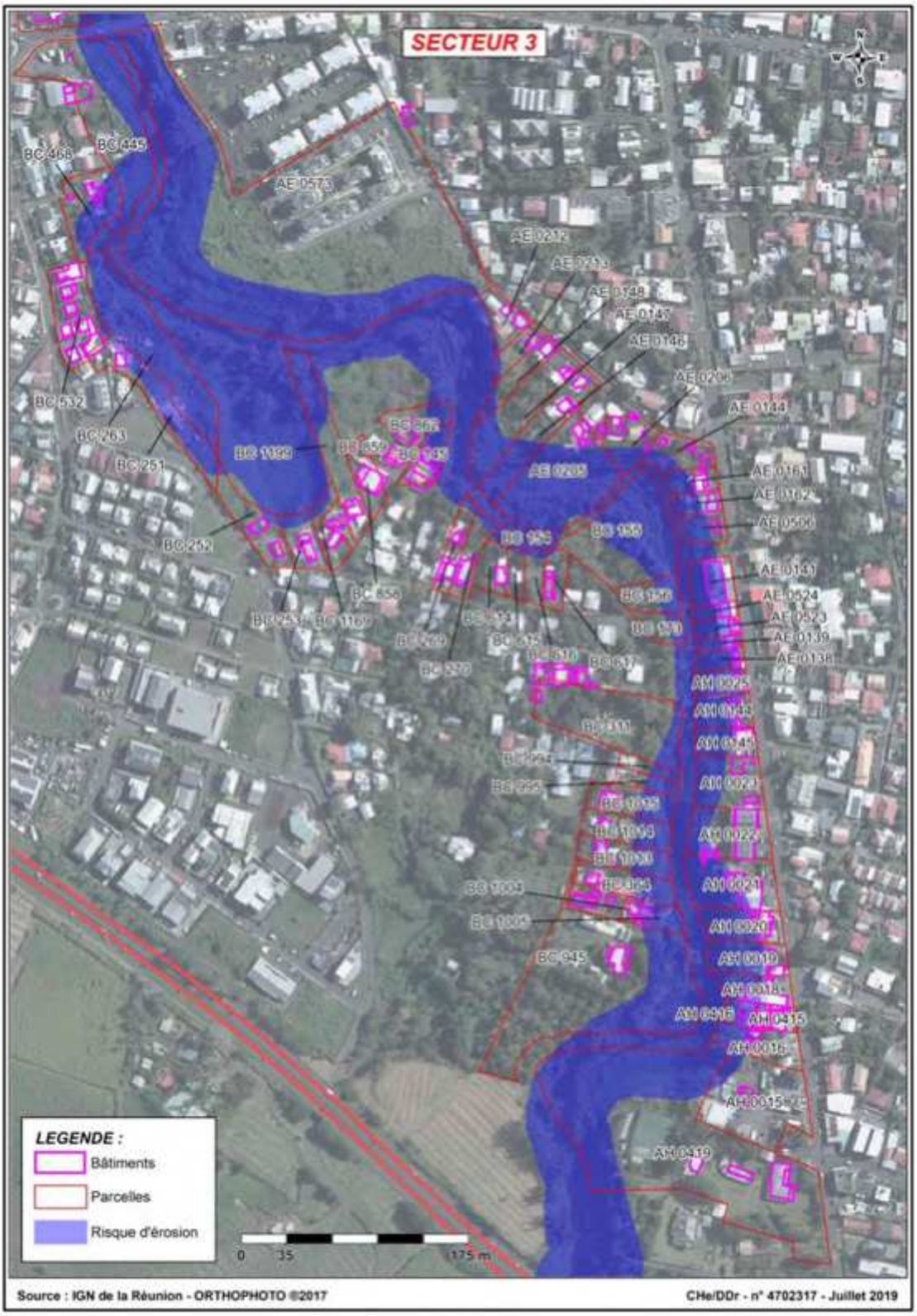


Fig. 161. Aléa érosion †Bâtiments impactés †Secteur 3

Fig. 162.Aléa érosion †Bâtiments impactés †Secteur 3

Fig. 163.Aléa érosion †Bâtiments impactés †Secteur 4

9. DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE

9.1. METHODOLOGIE

La méthodologie pour la réalisation de diagnostics de vulnérabilité est l'objet de nombreux documents. À l'heure actuelle, deux documents références doivent être principalement utilisés.

Au niveau national, le « Référentiel national de vulnérabilité aux inondations » a été réalisé en 2016 par le ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, le centre européen de prévention du risque inondation (CEPRI) et le Cerema. Cette méthodologie est requise dans le cahier des charges PAPI 3. Ce référentiel se présente comme un « cadre de référence opérationnel, souple et modulable ».

Il propose d'étudier la vulnérabilité à partir des trois objectifs de la SNGRI et de les décliner en axes puis en sources de vulnérabilité. Des indicateurs sont proposés pour évaluer ces sources de vulnérabilités.

Ce référentiel ne propose pas de méthode pour réaliser les enquêtes de terrain et recueillir des données sur le bâti. En revanche, à partir de bases de données existantes (IGN, INSEE, etc.) il fournit des méthodes de calcul des différents indicateurs.

À l'échelle de la Réunion, le « Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de vulnérabilité vis-à-vis des risques inondation à la Réunion » (2017) a été réalisé par HYDRETUDES OI dans le cadre de l'étude pilote de vulnérabilité à Bois d'Olives, et a été validé par la DEAL Réunion.

Il est adapté au contexte réunionnais (crues à cinétique rapide, principalement torrentielles, spécificités de l'habitat et de l'urbanisme réunionnais) et appliqué sur des quartiers de petite taille (Bois d'Olives à Saint-Pierre et Jacquot à Saint-Paul) et propose notamment, une méthodologie et des grilles d'enquête de terrain. Le scénario d'inondation établi par modélisation hydraulique 2D est complété par une analyse hydraulique sur le terrain prenant en compte le mobilier urbain.

À partir de ces deux approches, une méthodologie a été mise en place pour répondre aux besoins de la présente étude. Elle a fait l'objet d'une note méthodologique qui a été transmise aux parties prenantes de l'étude en août 2018.

9.2. ÉTAPES PREALABLES

9.2.1. Définition du périmètre du diagnostic

Le périmètre du diagnostic est le périmètre au sein duquel vont être caractérisés les axes et les sources de vulnérabilité. Il est défini en fonction des spécificités du territoire et en tenant compte de différents critères : caractéristiques géomorphologiques, bassin de vie, enjeux susceptibles d'être impactés, organisation administrative, etc.

Il est également défini en fonction des objectifs et contraintes de réalisation de l'étude. Ici, l'objectif de l'étude est la définition des aménagements et des actions de réductions de la vulnérabilité sur l'aval du bassin versant de la grande rivière Saint Jean ainsi que sur l'un de ses affluents, la ravine Sèche.

Par ailleurs, sur la partie centre-ville de Saint-André, la majorité des enjeux pouvant être touchée par les débordements de la ravine sèche se trouve au sud (ou en amont) de la RN2. Les contraintes de calculs liées à la réalisation de la modélisation ont ainsi limité la définition de la zone inondable sur la partie se trouvant au sud de la RN2.

Ainsi, la zone d'étude comprend :

- Sur la commune de Sainte Suzanne :
  - La Marine,
  - Le Quartier Français,
  - Commune Bègue,
- Sur la commune de Saint André :
  - Le centre-ville de Saint-André,
  - Bois Rouge.

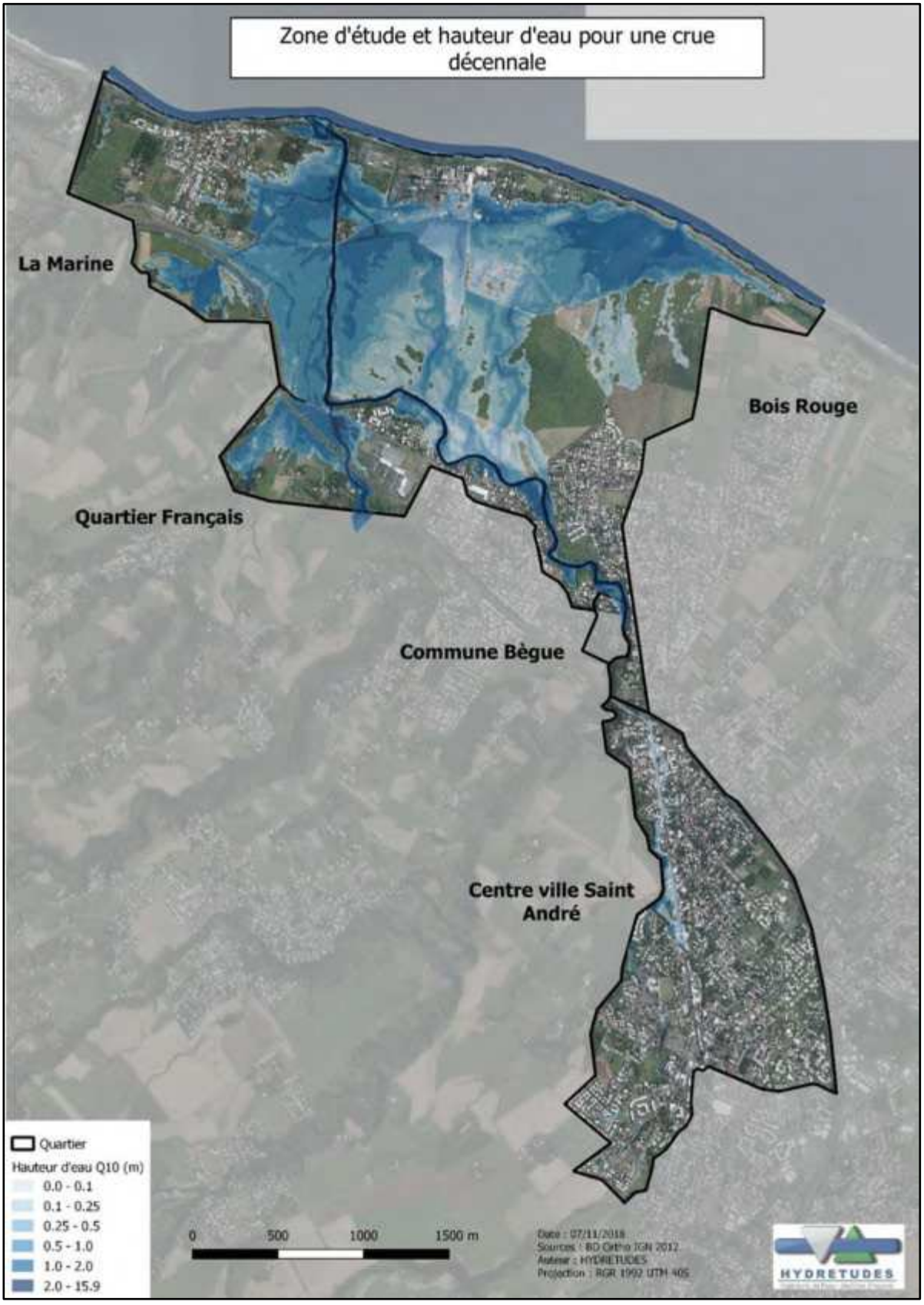


Fig. 164. 3pULPqWUH GH O•pWXGH DYHF 4

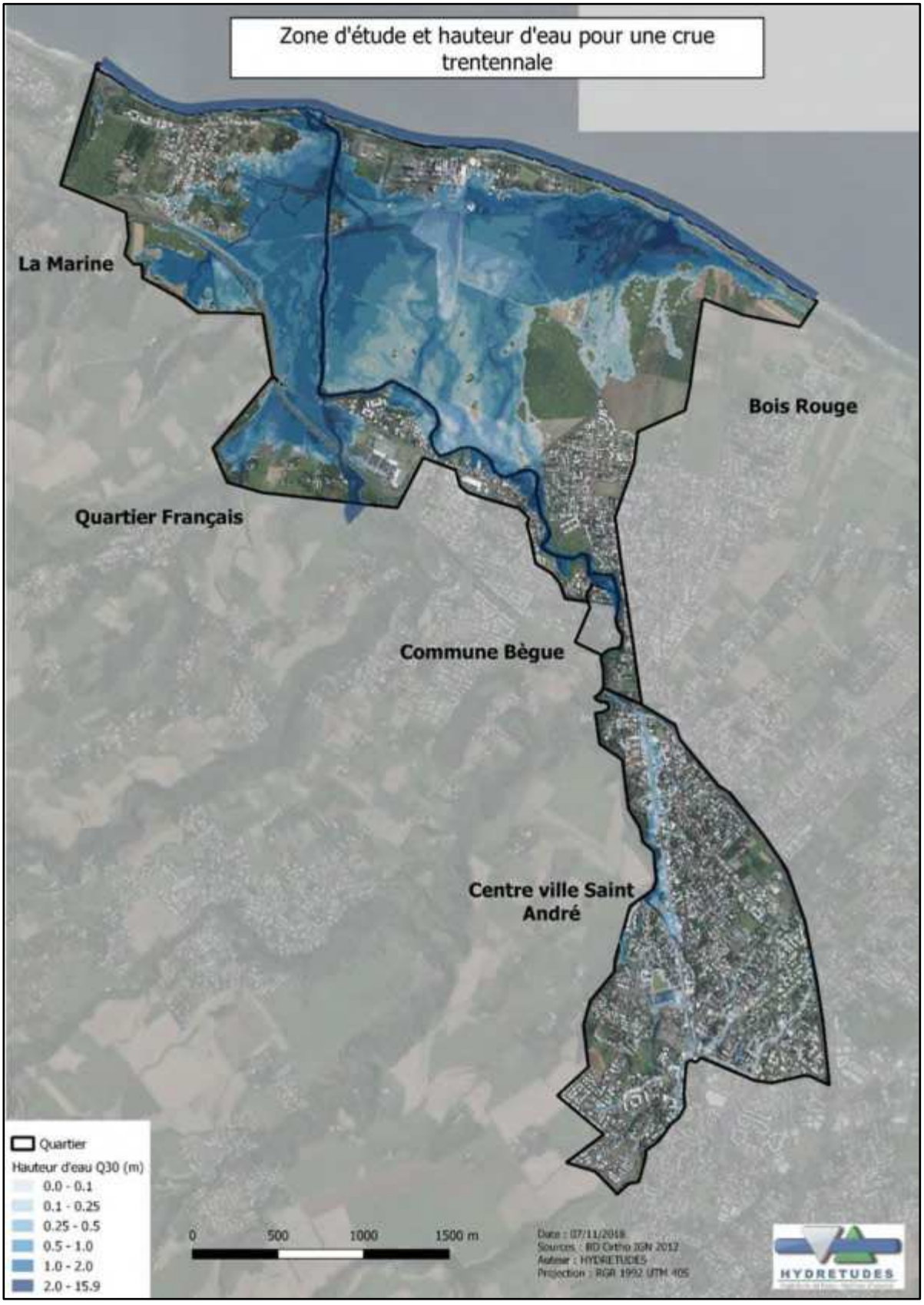


Fig. 165. 3pULPqWUH GH O•pWXGH DYHF 4

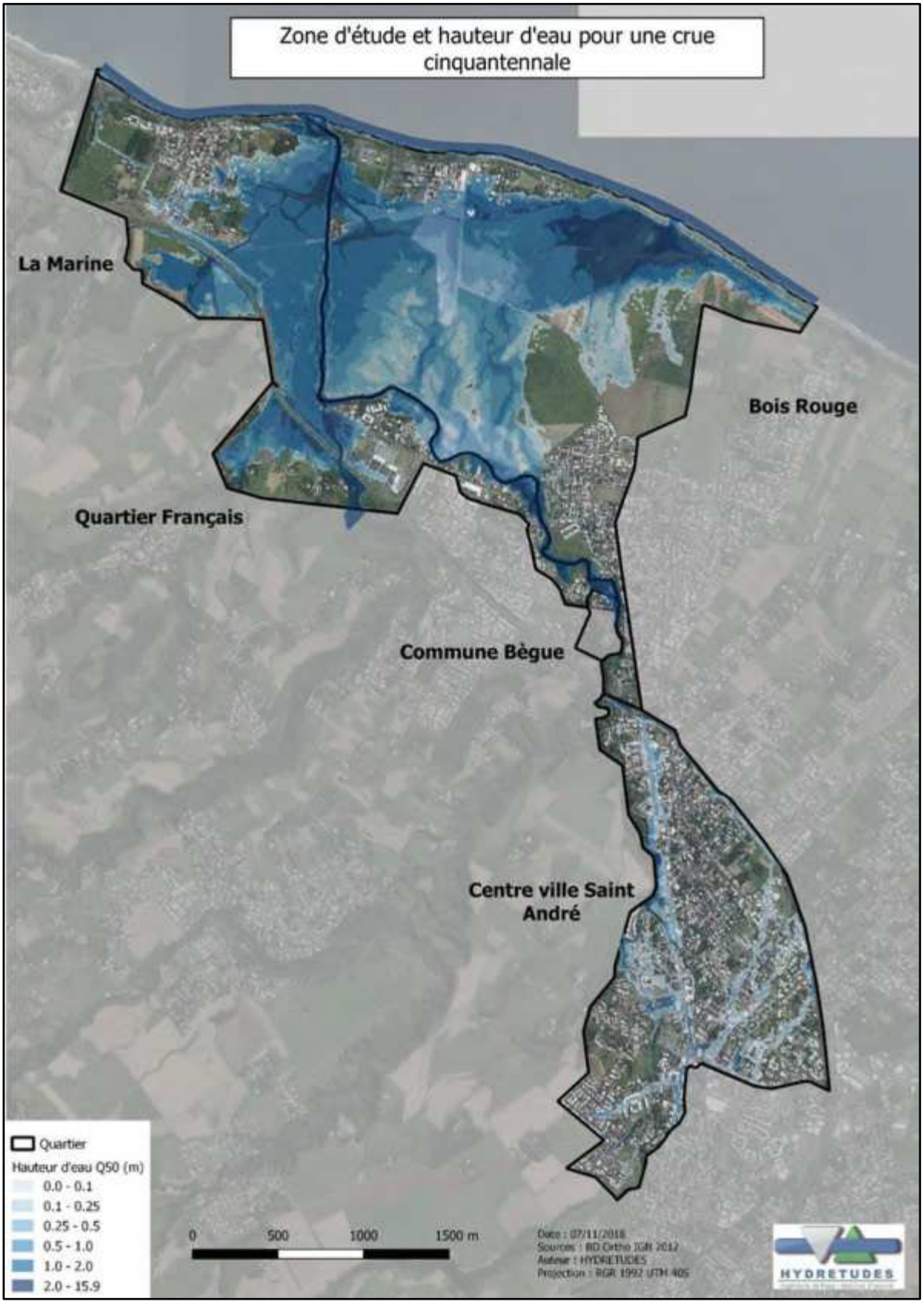


Fig. 166. 3pULPqWUH GHaOeqX50 GH

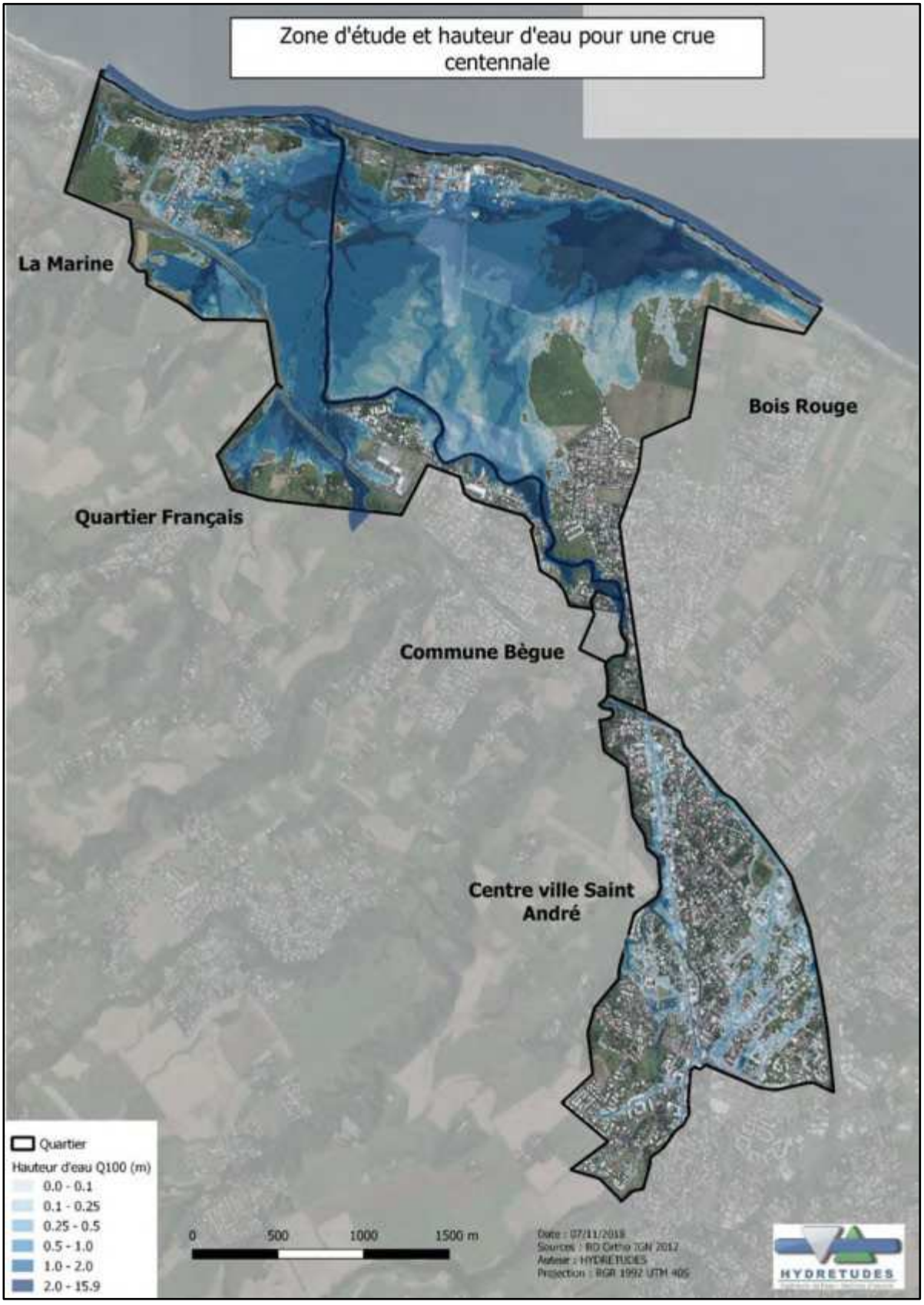


Fig. 167. 3pULPqWUH GH O•pWXGH DYHF 4

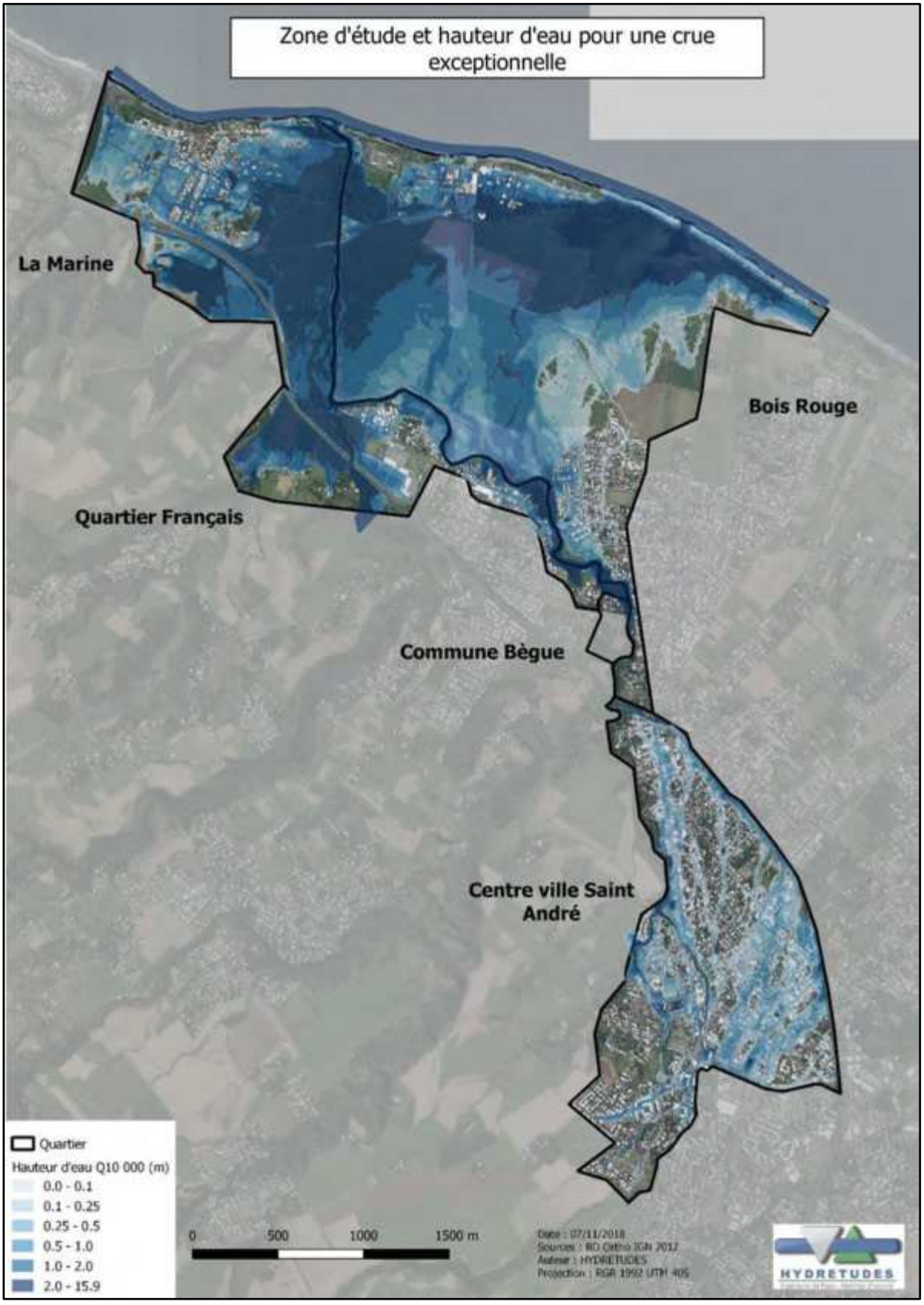


Fig. 168. 3pULPqWUH GH O•pWXGH GH DYHF 4

9.2.2. Caractérisation succincte du territoire

Tabl. 54 - Données générales du territoire

Nombre de communes	**2 communes : Saint André et Sainte Suzanne**
Superficie du territoire	La Marine : 1 700 000 hectares dont 1 360 000 hectares en ZI Quartier Français : 1 000 000 hectares dont 700 000 hectares en ZI Bois rouge : 4 000 000 hectares dont 1 725 000 hectares en ZI Centre-Ville : 2 300 000 hectares dont 400 000 hectares en ZI
Population totale des communes (2015)	Saint André : 56 000 habitants Sainte Suzanne : 25 000 habitants
Spécificités du territoire	La zone inondable se trouve principalement en zone urbanisée (résidentiels et activités). Le quartier de Bois Rouge présente également une surface agricole importante, principalement en cannes à sucre. Un pôle industriel d'importance régionale se trouve sur le quartier de Bois Rouge. Le quartier de la Marine est principalement résidentiel. Le Centre-Ville de Saint André et le Quartier-Français se dédient aux petites et moyennes activités et aux logements.
Documents-cadres	Saint André : PPR approuvé le 25 juin 2014 Sainte-Suzanne : PPR approuvé le 26 juin 2015 SLGRI du TRI Saint-André Sainte-Suzanne : arrêté le 14 avril 2016 PGRI du bassin versant de la grande rivière Saint Jean (2011)
Structure hydrographique	Territoire situé sur le bassin versant de la grande rivière Saint Jean. Les quartiers de La Marine, Bois Rouge et Quartier Français sont directement touchés par les débordements de la Grande Rivière Saint Jean. Le centre-ville de Saint-André est quant à lui concerné par les débordements de 2 affluents de la Grande Rivière Saint Jean : la Ravine Sèche et la Ravine Payet.

9.2.3. &KRL[GX VFpQDULR G•LQRQGDWLRQ

Le diagnostic de vulnérabilité est réalisé sur la base des scénarii d'inondations étudiés dans la présente étude, à savoir Q10, Q30, Q50 et Q100, établis à partir de modélisations hydrauliques 2D des débordements de la Grande Rivière Saint Jean et de certains de ses affluents : la Petite Rivière Saint-Jean, la Ravine Sèche et la Ravine Payet ainsi que la rivière Sainte-Suzanne en rive droite.

Le scénario retenu pour établir le diagnostic de vulnérabilité ne porte que sur l'aléa inondation lui-même, sans intégrer des aléas naturels induits comme les mouvements de terrain ou la création d'embâcles sur les ouvrages de franchissement. Ces phénomènes aggravants (notion de suraléa) sont pris en compte localement, à dire d'expert, pour retranscrire le risque dans ses différentes composantes, sans se limiter à l'inondation lorsque des aléas sont liés cf. § 6.5).

De plus, le risque naturel lié à l'érosion de berges sera pris en compte dans un chapitre dédié à l'érosion. La méthodologie pour déterminer la vulnérabilité des biens vis-à-vis de l'érosion étant totalement différente de la méthodologie pour déterminer la vulnérabilité des biens vis-à-vis des inondations.

Ainsi, pour le diagnostic de vulnérabilité vis-à-vis des inondations, tous les bâtiments inscrits dans l'enveloppe de la crue centennale ont fait l'objet d'un diagnostic de vulnérabilité selon les guides en vigueur et notamment le « Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de vulnérabilité vis-à-vis des risques inondation à la Réunion » (2017) a été réalisé par HYDRETUDES OI dans le cadre de l'étude pilote de vulnérabilité à Bois d'Olives, et a été validé par la DEAL Réunion.

A partir de ces enquêtes de terrain, une analyse du territoire a été réalisée pour la crue centennale, crue la plus impactante pour le territoire. Des spécificités sur les crues moins importantes ont également été mentionnées dans le présent rapport notamment pour les ERP et le réseau viaire.

Le chiffrage des dommages a été réalisé pour toutes les occurrences modélisées (Q10, Q30, Q50, Q100 et Q10000).

9.2.4. Réalisation des enquêtes

Les enquêtes se sont déroulées en 2 phases.

9.2.4.1. 1ERE PARTIE DES ENQUETES : DIAGNOSTIC EXTERIEUR

La première partie des enquêtes a consisté à réaliser un diagnostic extérieur de la parcelle et/ou du bâtiment sans participation de l'habitant. L'objectif de cette première phase est, pour chaque bâtiment, de déterminer si le bâtiment est réellement inondé ou pas.

En effet, chaque scénario modélisé donne une hauteur d'eau différente selon l'occurrence. En tenant en compte des observations de terrain telles que la topographie, le réseau d'eau pluviale ou les protections extérieures existantes (murets, portails, surélévation du bâtiment), un tri des bâtiments a été effectué en plusieurs catégories :

- Les observations de terrain indiquent que l'eau ne pénètre pas dans le bâtiment, le bâtiment ne sera alors pas pris en compte dans la suite du diagnostic,
- Les observations de terrain indiquent que l'eau pénètre dans le bâtiment, mais que la situation topographique offre un exutoire naturel aux écoulements, et que des installations de dispositifs d'étanchéité type batardeaux peuvent être mises en place pour stopper l'eau. Le bâtiment fera l'objet d'un diagnostic approfondi.
- Les observations de terrain indiquent que l'eau pénètre dans le bâtiment même avec la mise en place de dispositifs d'étanchéité et que la topographie ne permet pas un écoulement rapide de l'eau. Ces bâtiments feront l'objet d'un diagnostic approfondi.

Ainsi la 1re partie de l'enquête permet de vérifier et confirmer sur l'ensemble des bâtiments en zone inondable, ceux qui ne sont pas vulnérables au vu de la modélisation grâce à des dispositions existantes, et ceux qui sont exposés et directement vulnérables. Ce sont ces bâtiments vulnérables qui seront retenus pour la 2e partie, à savoir l'enquête de vulnérabilité. Les bâtiments non vulnérables ne seront pas retenus pour l'enquête de vulnérabilité, mais restent en zone inondable et peuvent être isolés en cas d'inondation.

Cette première partie de l'enquête a permis également de déterminer la situation hydraulique du bâtiment (indicateur S1/2) et l'état de sa structure (indicateur S1/1).

Par ailleurs, les enquêtes et le choix des bâtis se basent essentiellement sur les résultats des modélisations hydrauliques qui dépendent des données d'entrées qui ont des limites. Par exemple, pour réaliser une modélisation, un relevé Lidar est nécessaire, cependant ce relevé ne prend pas forcément en compte les murs dont l'épaisseur est inférieure à 20 cm.

Par ailleurs, une analyse SIG a aussi été menée en réalisant une jointure entre la couche des bâtiments et les modélisations des différentes crues, afin d'obtenir les hauteurs d'eau exactes au droit de chaque bâtiment. Cette jointure a permis de confirmer la venue d'eau dans les bâtiments suite à la première phase d'enquête, et permettra par la suite un calcul plus précis des coûts de dommages aux bâtiments.

9.2.4.2. 2EME PARTIE DES ENQUETES : AVEC L'HABITANT

La deuxième partie des enquêtes consiste à rentrer dans les bâtiments dont la situation hydraulique implique des entrées d'eau, d'interroger les habitants sur leurs éventuelles expériences des précédentes inondations, et de recueillir les données nécessaires à la suite de l'étude notamment pour estimer les coûts des mesures de réduction de la vulnérabilité à mettre en place.

Le synoptique de l'enquête correspond au processus à suivre sur le terrain lors de la réalisation des enquêtes. Il est présenté sur la figure suivante.

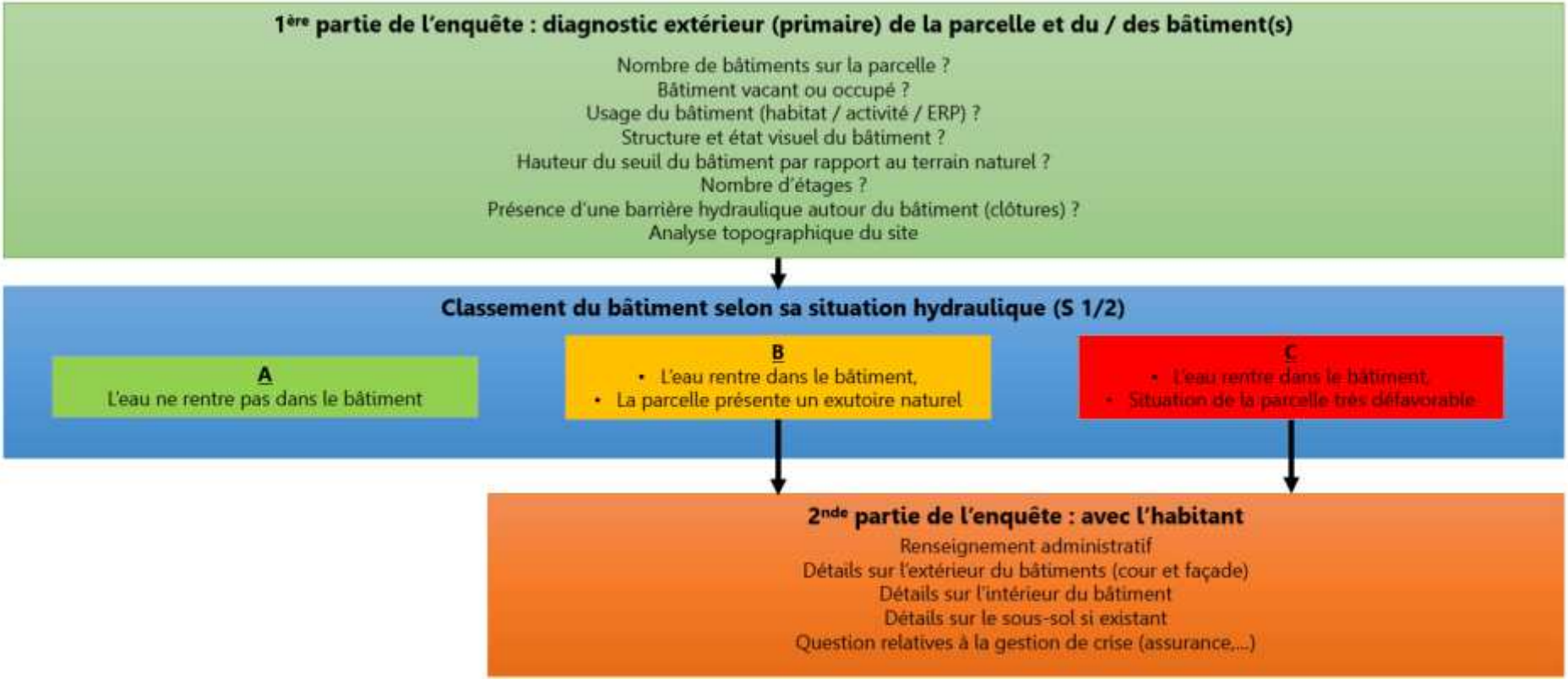


Fig. 169. Synoptique des enquêtes sur les bâtiments

Les figures suivantes présentes questionnaires utilisés lors de la deuxième partie des enquêtes. Notons que la première partie de l'enquête est traduite par le diagnostic primaire extérieur du bâtiment :

Etude de vulnérabilité aux inondations
sur le TRI de Saint-André et Sainte-Suzanne

1ère partie de l'enquête

Diagnostic primaire extérieur du bâtiment	
Numéro du bâtiment	
Usage	
Structure du bâtiment	
Etat visuel du bâtiment	
Hauteur du seuil du bâtiment par rapport au terrain naturel	
Hauteur d'eau	

Renseignements administratifs	
Qualité de la personne interrogée	
Nombre d'habitants	
Nombre d'enfants	
Nombre de personnes à mobilité réduite (PMR)	
Nombre de personne à assistance respiratoire (PAR)	

Dans le jardin ou la cour	
Hauteur du coffret électrique extérieur	
Y-a-t-il une piscine ?	
Si oui, dispose t-elle d'un dispositif de sécurité ?	
Nature du système d'évacuation des eaux usées	
Le réseau est-il muni d'un clapet anti-retour ?	
Combien de regards ?	

Extérieur du bâtiment	
Matériaux des fenêtres et des portes extérieures	
Type de vitrage	
Hauteur du ballon chauffeu-eau solaire	

Commentaires 1ère partie de l'enquête:

Fig. 170. Formulaire de la 1ère partie de l'enquête

Etude de vulnérabilité aux inondations
sur le TRI de Saint-André et Sainte-Suzanne

2ème partie de l'enquête

Intérieur du bâtiment	
Nature du revêtement des sols	
Nature des cloisons	
Nature des portes intérieures	
Hauteur du coffret électrique intérieur	
Circuit électrique montant ou descendant ?	
Surélévation du matériel audiovisuel et informatique	
Surélévation du matériel électroménager	
Hauteur du chauffe-eau électrique	
Hauteur des interrupteurs	

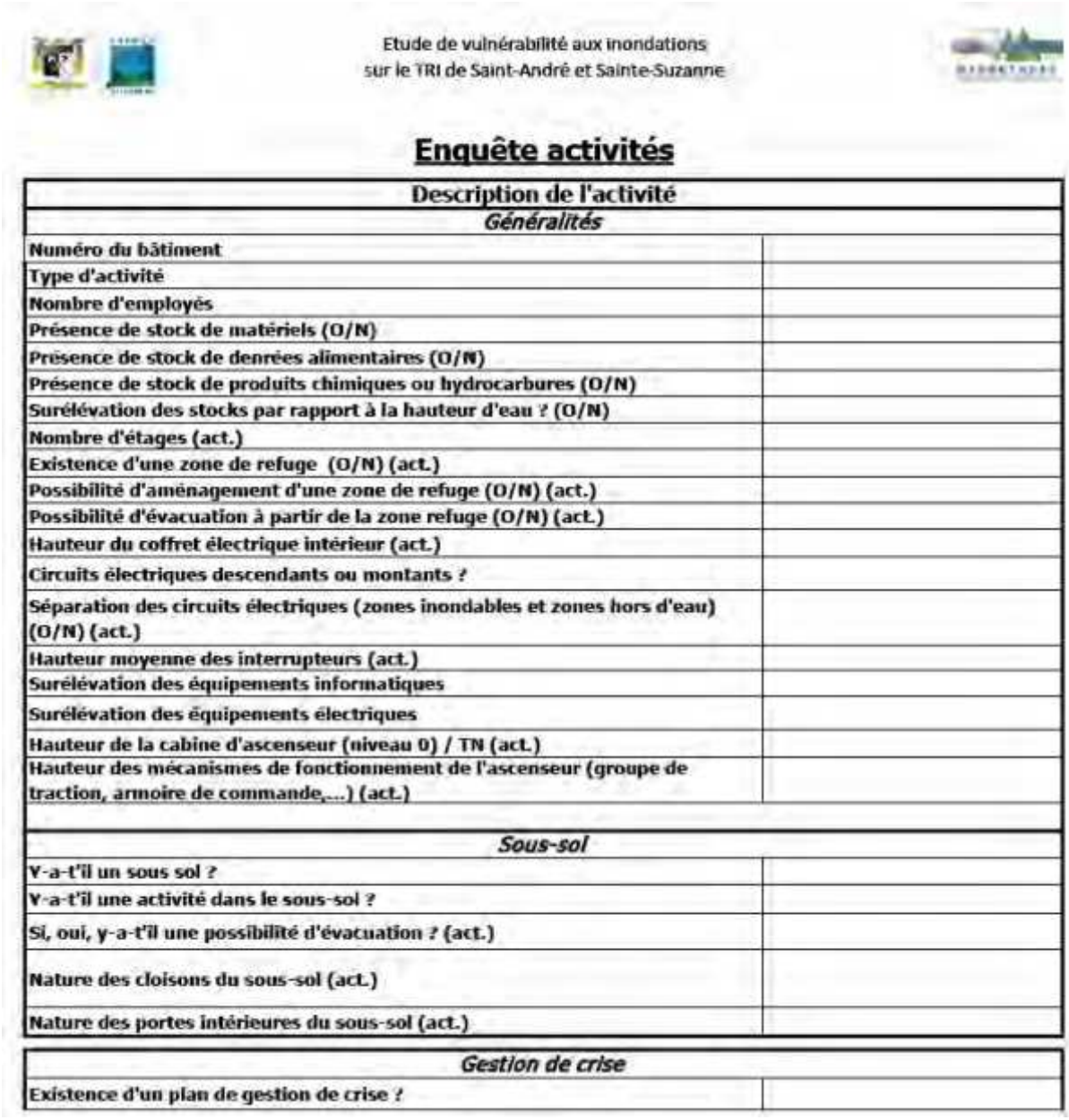
Etage	
Présence d'étage ?	
Nombres d'étages ?	
Si oui, y-a-t-il une séparation des circuits électriques entre les étages ?	
Y a-t-il un ascenceur	
Présence d'une zone refuge ?	
Si non, est-il possible d'aménager une zone refuge ?	
Est-il possible d'évacuer à partir de la zone refuge ?	

Sous-sol	
Y-a-t-il un sous-sol ?	
Si oui, quel est la nature des cloisons ?	
Si oui, le sous-sol est il habité ?	
Si oui, y-a-t-il une possibilité d'évacuation ?	

Gestion de crise	
En cas d'inondation, pouvez vous vous réfugier chez des proches hors zone inondable ?	
Assuré ?	

Commentaire 2ème partie de l'enquête:

Fig. 171. Formulaire de la 2nde partie de l'enquête sous les habitations



Etude de vulnérabilité aux inondations
sur le TRI de Saint-André et Sainte-Suzanne

Enquête activités

Description de l'activité	
Généralités	
Numéro du bâtiment	
Type d'activité	
Nombre d'employés	
Présence de stock de matériels (O/N)	
Présence de stock de denrées alimentaires (O/N)	
Présence de stock de produits chimiques ou hydrocarbures (O/N)	
Surélévation des stocks par rapport à la hauteur d'eau ? (O/N)	
Nombre d'étages (act.)	
Existence d'une zone de refuge (O/N) (act.)	
Possibilité d'aménagement d'une zone de refuge (O/N) (act.)	
Possibilité d'évacuation à partir de la zone refuge (O/N) (act.)	
Hauteur du coffret électrique intérieur (act.)	
Circuits électriques descendants ou montants ?	
Séparation des circuits électriques (zones inondables et zones hors d'eau) (O/N) (act.)	
Hauteur moyenne des interrupteurs (act.)	
Surélévation des équipements informatiques	
Surélévation des équipements électriques	
Hauteur de la cabine d'ascenseur (niveau 0) / TN (act.)	
Hauteur des mécanismes de fonctionnement de l'ascenseur (groupe de traction, armoire de commande,...) (act.)	
Sous-sol	
Y-a-t'il un sous sol ?	
Y-a-t'il une activité dans le sous-sol ?	
Si, oui, y-a-t'il une possibilité d'évacuation ? (act.)	
Nature des cloisons du sous-sol (act.)	
Nature des portes intérieures du sous-sol (act.)	

Gestion de crise	
Existence d'un plan de gestion de crise ?	

Fig. 172. Formulaire de la 2nde partie des questionnaires activités

9.2.5. Résultats des enquêtes

9.2.5.1. RESULTATS DE LA 1ERE PARTIE D'ENQUETE

Au total 1778 bâtiments en zone inondable on fait l'objet d'une pré-enquête. A l'issue de cette 1ère partie, 607 bâtiments (dont 200 bâtiments avec activité) ont été retenus pour les enquêtes de vulnérabilités car directement vulnérable, soit 34 % des bâtiments au total.

Il y a donc 1171 bâtiments en zone inondable qui ne sont pas vulnérable, soit 70 % des bâtiments qui n'ont pas fait l'objet d'une enquête pour les raisons suivantes :

- Pour 928 bâtiments, soit 52%, le diagnostic extérieur a fait ressortir que le bâtiment dispose d'un seuil suffisant pour que l'eau ne pénètre pas pendant une crue centennale, ou bien que les conditions topographiques où la présence de clôtures pleines et solides empêche les écoulements de pénétrer dans le bâtiment,

- Pour 243 bâtiments, soit 14 %, le bâtiment ne présente pas d'usage d'habitation ni d'activité. Ces bâtiments peuvent être des dépendances non habités, des garages, des bâtiments abandonnés.

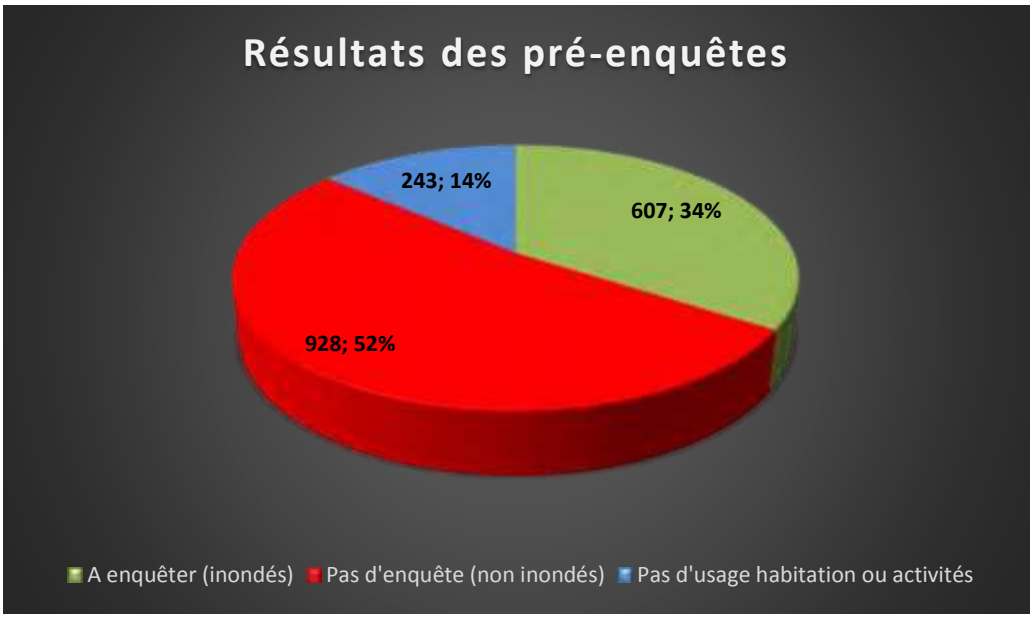


Fig. 173. Résultats de la 1ère phase d'enquêtes (Terrain)

9.2.5.2. RESULTATS DE LA 2EME PARTIE DES ENQUETES

Au total, 607 bâtiments on fait l'objet d'une enquête. Sur ces 607 bâtiments, 407 sont des habitas et 200 des activités.

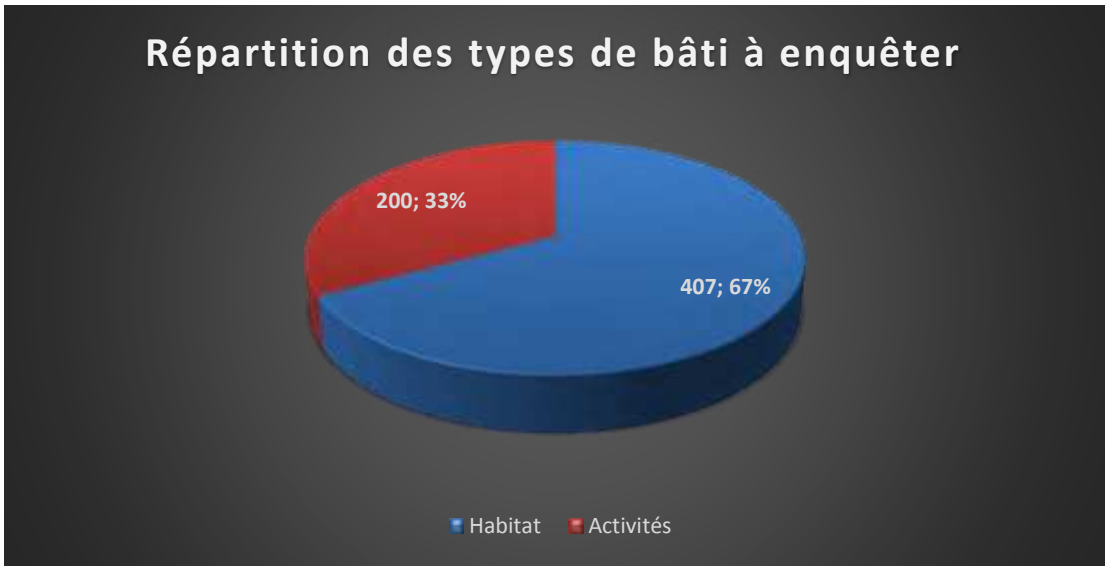


Fig. 174. Répartition du type de bâti à enquêter

Sur les 607 enquêtes réalisées, on dénombre 116 absences (19%) et 9 refus (2%).

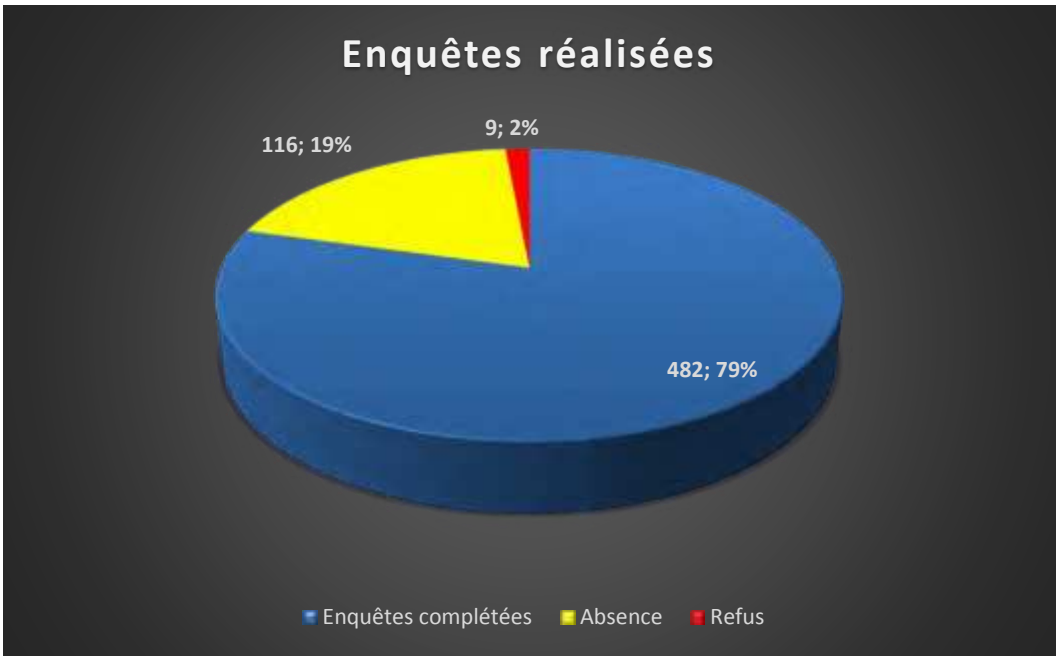


Fig. 175. Résultats des enquêtes sur les habitats

Chaque bâtiments à fait l'objet d'une fiche d'enquête. Ces fiches d'enquêtes peuvent être consultées dans le rapport annexe.

Les figures suivantes indiquent par quartier, les bâtiments ayant fait l'objet d'une enquête.

Nota : Sur les cartes suivantes, le terme « Non retenu » désigne les bâtiments non vulnérables, de par les dispositions existantes (tels que les murs d'enceintes ou les seuils par exemple) confirmé par la phase de terrain lors de la 1ère partie de l'enquête. Ces bâtiments peuvent aussi ne pas être à usage d'habitations ou d'activités (dépendance, garage …). Ils n'ont donc pas été retenus pour les enquêtes de vulnérabilités puisqu'ils ne présentent pas d'entrer d'eau au vu de la modélisation, mais sont bien en zone inondable.

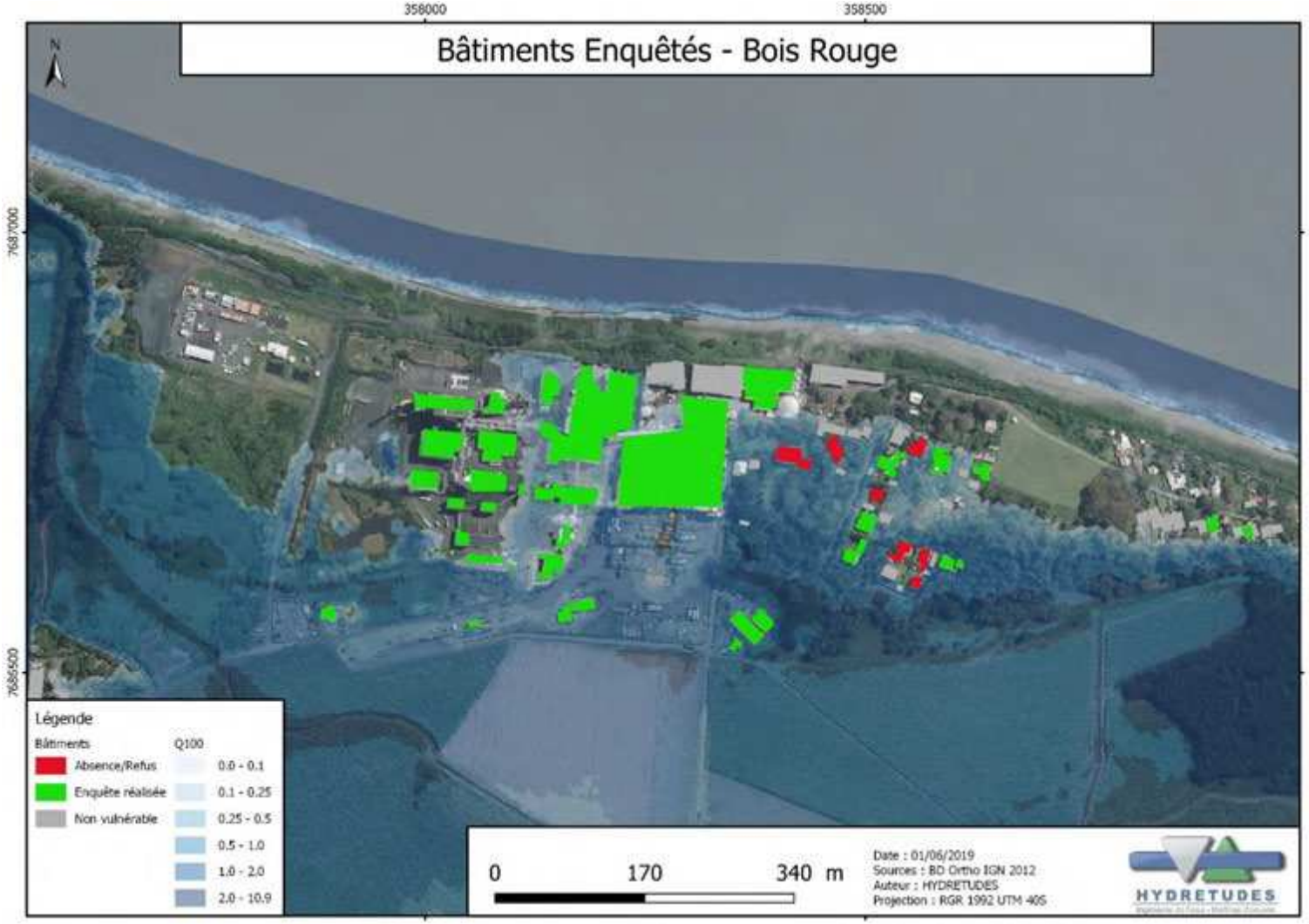


Fig. 176. Localisation des enquêtes réalisées à Bois rouge

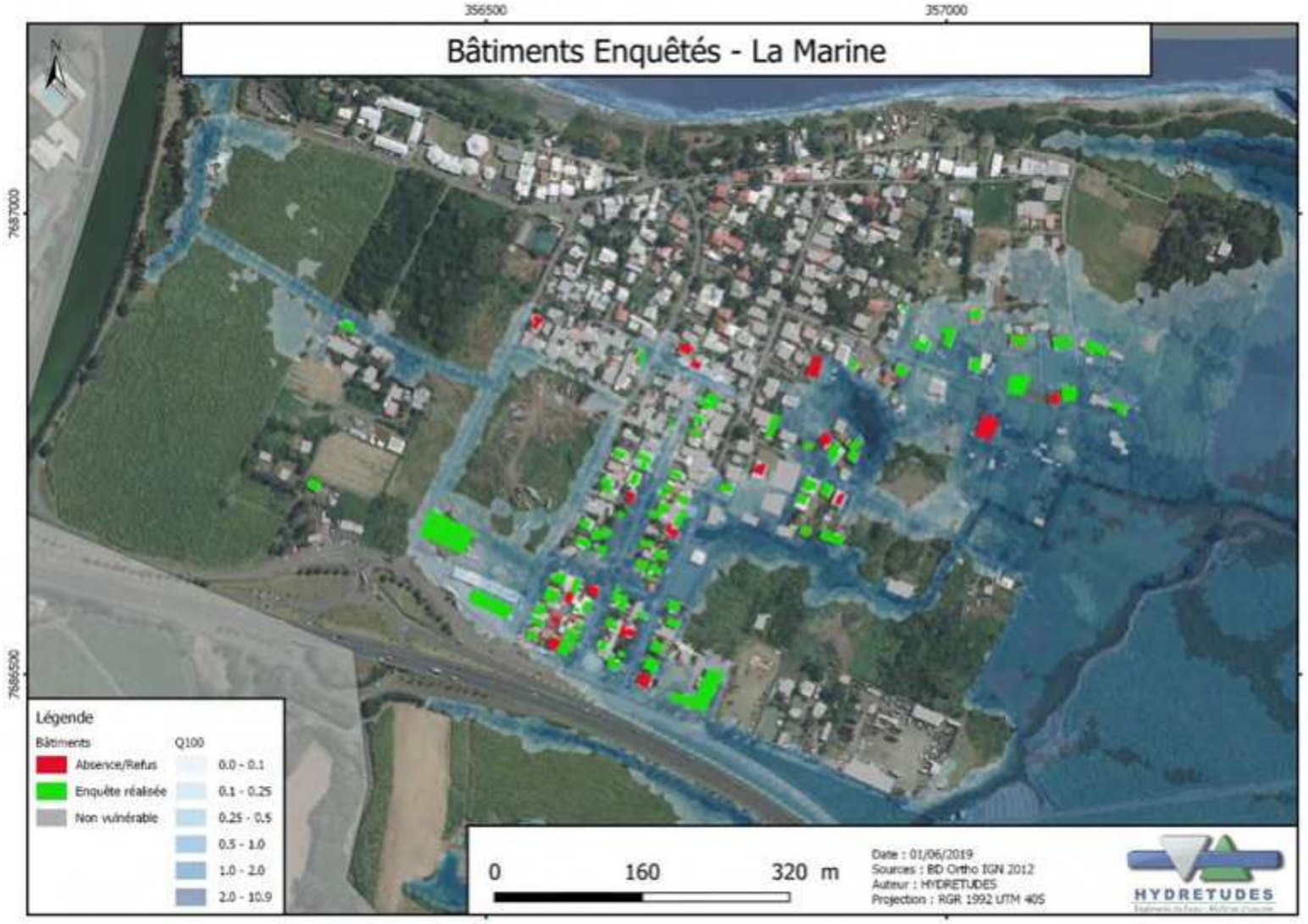


Fig. 177. Localisation des enquêtes réalisées à La Marine

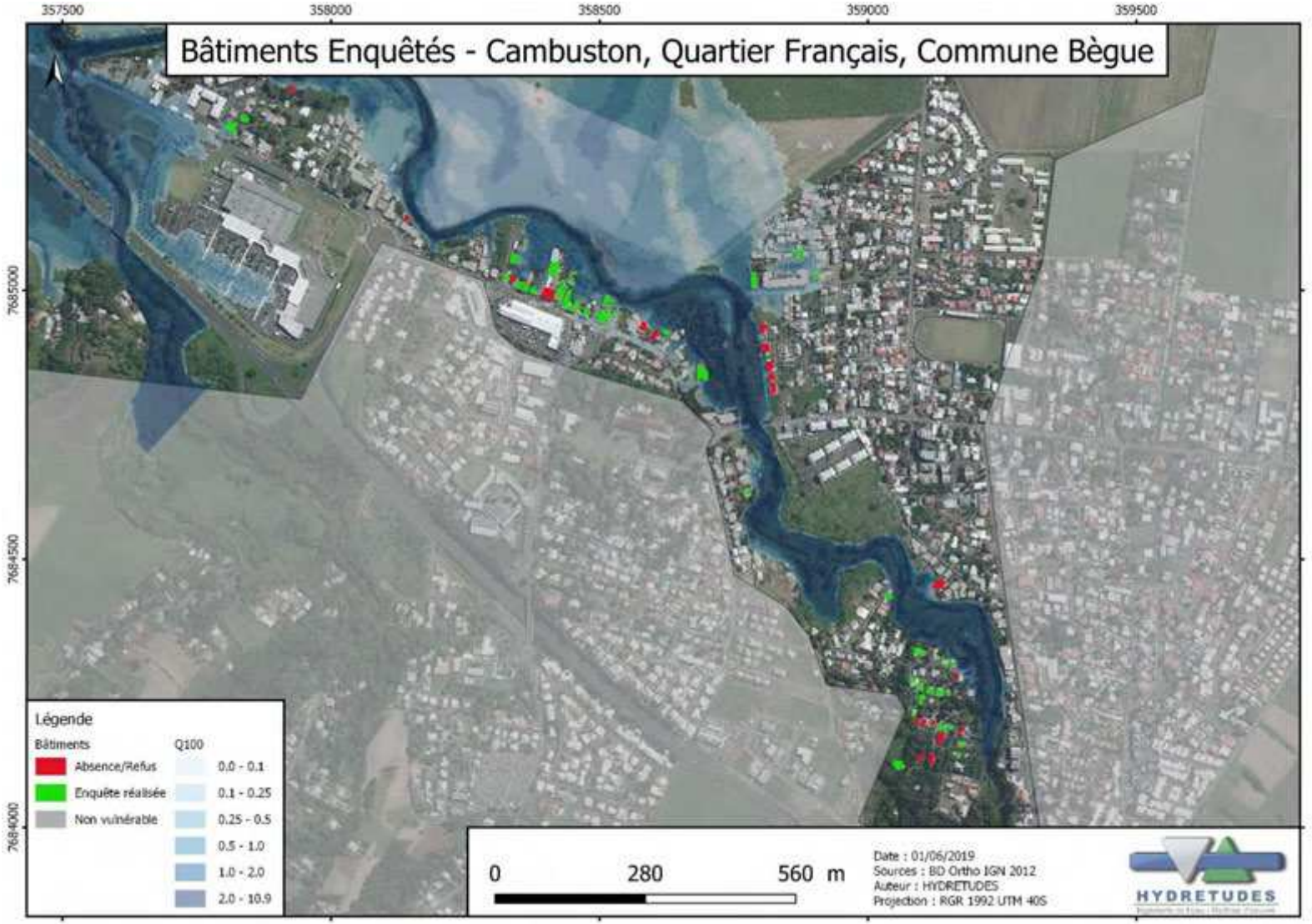


Fig. 178. Localisation des enquêtes réalisées à Quartier Français, Cambuston et commune Bègue

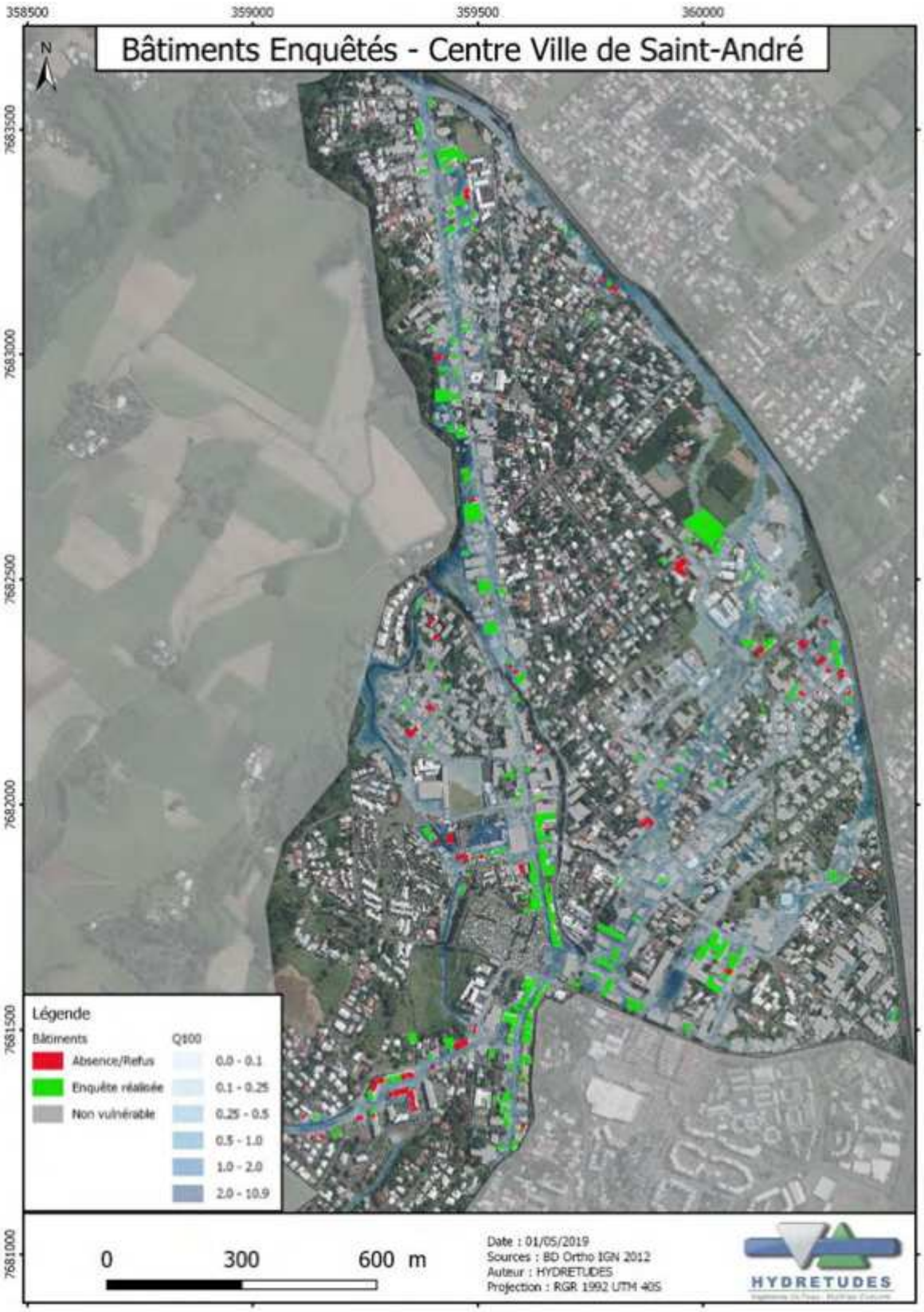


Fig. 179. Localisation des enquêtes réalisées au centre-ville de Saint-André

9.2.6. Choix des axes et des sources de vulnérabilité

Les axes et sources de vulnérabilité ont été proposés et présentés au maitre d'ouvrage dans une note méthodologique. Cette proposition relativement exhaustive des différents indicateurs, inspirés du référentiel national, n'a occasionné aucune remarque de la part de la maitrise d'ouvrage (cf. annexe – note méthodologique enquêtes). Ainsi, l'ensemble des indicateurs proposés ont fait l'objet d'un travail d'évaluation dans le présent diagnostic (cf. conclusion).

Nota : la mise en œuvre des indicateurs proposés a également été conditionnée à l'obtention des données nécessaire pour leurs évaluations.

La réalisation du présent diagnostic a permis :

- De réaliser l'ensemble des enquêtes sur la zone d'étude. Elles ont permis :
    - d'affiner le chiffrage des dommages,
    - obtention des informations nécessaires à la réalisation de la phase 2 :
        - orientation générale des aménagements,
        - futurs chiffrages des mesures de réduction de la vulnérabilité compris dans les analyses coûts bénéfices,
        - réalisation des AMC,
- De présenter une analyse territoriale de la vulnérabilité selon les guides en vigueur avec la complétude des indicateurs.

9.2.7. Données utilisées

Les données utilisées sont listées au § 2.

9.3. PRESENTATION SYNTHETIQUE DU DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE

Le diagnostic détaillé est présenté dans les § 9.4 à 9.6. Le présent paragraphe constitue une synthèse de ce diagnostic.

9.3.1. Objectif n°1 : Sécurité des personnes

Axe 1 : La mise en danger des personnes au sein des bâtiments

À la Réunion, les fortes crues sont surtout liées à des phénomènes cycloniques qui peuvent être prévus plusieurs jours à l'avance et la fermeture préventive des bâtiments publics et autres lieux d'activités peut être anticipée. Ainsi, la sécurité des personnes au sein des bâtiments est à appréhender au niveau des bâtiments d'habitation principalement.

Les zones urbanisées exposées peuvent présenter des hauteurs d'eau dépassant 1,5 m. Au vu de la dynamique de crue de la Grande Rivière Saint-Jean et de la Ravine Sèche, ces hauteurs d'eau sont potentiellement atteintes en 1 à 2 heures.

L'analyse effectuée, au droit du quartier de La Marine, montre une mise en danger potentielle des 230 personnes habitant les 75 bâtiments d'habitation ne disposant pas d'étage. Les enquêteurs ont également noté que la population de ce quartier était relativement âgée et comptait un nombre important de personnes à mobilité réduite. De plus, le quartier de la Marine présente une large zone hydrauliquement défavorable, où les hauteurs d'eau peuvent dépasser 1,5 m, comme lors de l'épisode Fakir.

Le Quartier Français et le Centre-Ville (sur la rue Miguel, et autour du collège Bédier) présentent des zones de forte vulnérabilité plus localisée, où la mise en danger de la population dans leur bâtiment de logement est importante (hauteurs d'eau supérieure à 1m dans des bâtiments sans étages).

L'établissement hospitalier (annexe du GHER) se trouvant dans le centre-ville de Saint-André, regroupant 85 patients, est situé dans la zone inondable. Son fonctionnement peut être altéré par l'inondation : coupures d'électricité et d'accès, inondation légère des rez-de-chaussée.

Enfin, bien que cette part reste faible, des bâtiments à la structure fragile (très vétustes, et/ou à structure bois sous tôle) ont été relevées (3% sur l'ensemble de la zone inondée).

Un dysfonctionnement du système d'alerte préfectoral devant être envisagé (pas de fermeture préventive), les effectifs des établissements scolaires se trouvant en zone inondable peuvent également être mis en danger. Ceux-ci se trouvent principalement dans le centre-ville de Saint-André avec 8 écoles primaires (pour 1 943 élèves) et un collège (710 élèves). Notons que ce collège (le collège Bédier) a déjà été durement touché lors de l'évènement Fakir d'avril 2018.

Plusieurs problématiques liées aux érosions de berges peuvent aussi survenir dues aux crues dans les rivières, cependant ces problématiques seront traitées ultérieurement.

Axe 2 : La mise en danger des personnes due aux dysfonctionnements des infrastructures et des réseaux

Sur ce territoire la zone dangereuse pour les déplacements des personnes est particulièrement étendue. En effet, les axes routiers du centre-ville de Saint André sont des axes d'écoulements préférentiels avec des vitesses pouvant atteindre 5 m/s. Ceci est particulièrement vrai pour les artères principales de la ville : l'avenue Bourbon, l'Avenue Ile de France, l'Avenue de la République et le Chemin Lagourgue.

Sur le quartier Français, la rue Gandhi est également inondée, d'une part avec le débordement de la rivière Saint Jean, mais aussi par l'incapacité fréquente du réseau d'eau pluviale (selon les riverains). Les rues et chemins d'accès des quartiers de la Marine et de Bois rouge sont également totalement inondés. Ainsi, l'inondation du réseau routier représente une source d'accident sur l'ensemble de la zone d'étude.

La définition de zones enclavées est difficilement réalisable en se basant uniquement sur le périmètre de la modélisation hydraulique en crue centennale. Une réflexion sur un périmètre plus large, ainsi que l'expérience des inondations sur le territoire montrent cependant que sur le centre-ville de Saint André et sur le quartier Grand Canal, une grande partie des axes routiers est inondée, et que sur les hauteurs du territoire, les routes traversent des radiers qui seront certainement submergés, rendant les déplacements impossibles. Les quartiers de la Marine et de Bois Rouge se retrouvent également totalement enclavés.

Enfin, la RN2 est coupée au niveau du centre-ville de Saint-André. De ce fait l'évacuation d'urgence des personnes vers les établissements hospitaliers de Saint Denis et Saint Benoît, ou vers des centres d'hébergement d'urgence, sera complexe à mettre en œuvre au regard du nombre important d'infrastructures routières coupées. En effet, le collecteur de la RN2 récupère actuellement une grande partie des eaux de ruissellement du triangle défini par la rue Lagourgue, la RN2, et l'avenue Ile de France en plus des eaux de la RN2. En cas de forte pluie, il y a risque de saturation de ce collecteur avec débordement sur la chaussée de la RN2 ce qui représente un danger important pour la circulation.

De plus, ce collecteur trouve son exutoire dans la rivière Saint-Jean : ce rejet est une source de dégradation de la qualité des eaux de la rivière, et en cas de forte pluie, il vient aggraver les débordements de la rivière dans son cours aval.

Axe 3 : La mise en danger des personnes liée aux suraléas

La survenue d'une crue peut engendrer des sur-aléas liés à la rupture d'ouvrages de protection ou à des endommagements de sites industriels.

La création d'embâcles sur les ouvrages hydrauliques du centre-ville de Saint André représente un suraléa important. En effet, on sait que ces ouvrages sont submergés pour des crues d'occurrence fréquente. De plus, l'expérience des précédentes inondations montre que des embâcles peuvent obstruer ces ouvrages, comme cela a pu être observé durant Fakir, selon le témoignage des habitants. Les embâcles augmentent les débits de débordements, donc les hauteurs d'eau, les vitesses d'écoulement et la surface de la zone inondée.

Le territoire est également caractérisé par la présence d'installations pouvant générer un suraléa (notamment pollution par stockage de produits dangereux, pouvant être entrainés par les écoulements). En premier lieu, le complexe industriel de Bois Rouge (centrale thermique / distillerie / sucrerie), classé ICPE, se trouve dans la zone inondable. Notons que deux autres installations classées ICPE se trouvent en bordure de la zone inondée (mais ne semblent pas atteintes) : (1) la plateforme de traitement de déchets dangereux à Bois-Rouge / (2) l'usine GOC enrobés sur le quartier Français.

Les 6 stations-service en zone inondable dans le centre-ville de Saint André, la station-service de Quartier Français, la station-service de Cambuston, les déchetteries de Saint-André et de la Marine ainsi que la vulnérabilité du réseau d'eaux usées peuvent aussi générer des pollutions pouvant créer un risque sanitaire nuisible pour la population.

Actuellement aucune étude ne vient préciser le niveau de danger pour les personnes en cas de suraléa lié aux pollutions.

Nota : d'après le Référentiel national de vulnérabilité face au risque inondation, l'érosion n'est pas considérée comme un suraléa mais un risque naturel à proprement dit. C'est pourquoi l'aléa érosion est traité dans un chapitre dédié.

Axe 4 : Le manque de préparation à la crise

Les communes de Saint André et Sainte Suzanne disposent de PCS (Plan Communal de Sauvegarde) afin de mieux tenir compte de la prise en charge des personnes et de leur relogement.

Cependant, de nombreux bâtiments servant à la gestion de crise se trouvent en zone inondable (la Mairie de Saint André, le commissariat de Police de Saint André, le collège Bédier qui sert de centre d'hébergement d'urgence).

La commune de Sainte Suzanne ne présente pas de bâtiment de gestion de crise en zone inondable. Néanmoins, deux de ses centres d'hébergement (groupe scolaire de La Marine et Groupe scolaire René Manglou) sont touchées par les inondations. Au-delà de la problématique inondation, c'est l'enclavement et la congestion du quartier Français qui engendre une problématique supplémentaire dans le cadre de la gestion de crise pour l'intervention des secours.

A noter que dans le cadre du projet SPICy, le PCS de la commune de Sainte-Suzanne a été particulièrement étudié. Des axes d'amélioration ont été identifiés (amélioration de la transmission des bulletins de prévision, plan d'intervention gradué…).

Au niveau individuel, la culture du risque est renforcée par des opérations de sensibilisation dans les établissements scolaires menées par le PIROI sur l'ensemble du territoire réunionnais.

A noter qu'un réseau de repères de crues doit être mis en place par la CIREST et la CINOR sur le bassin versant de la Grande rivière Saint Jean et ses affluents conformément à l'axe 1 du PAPI (études de définition du réseau de repères de crues réalisée).

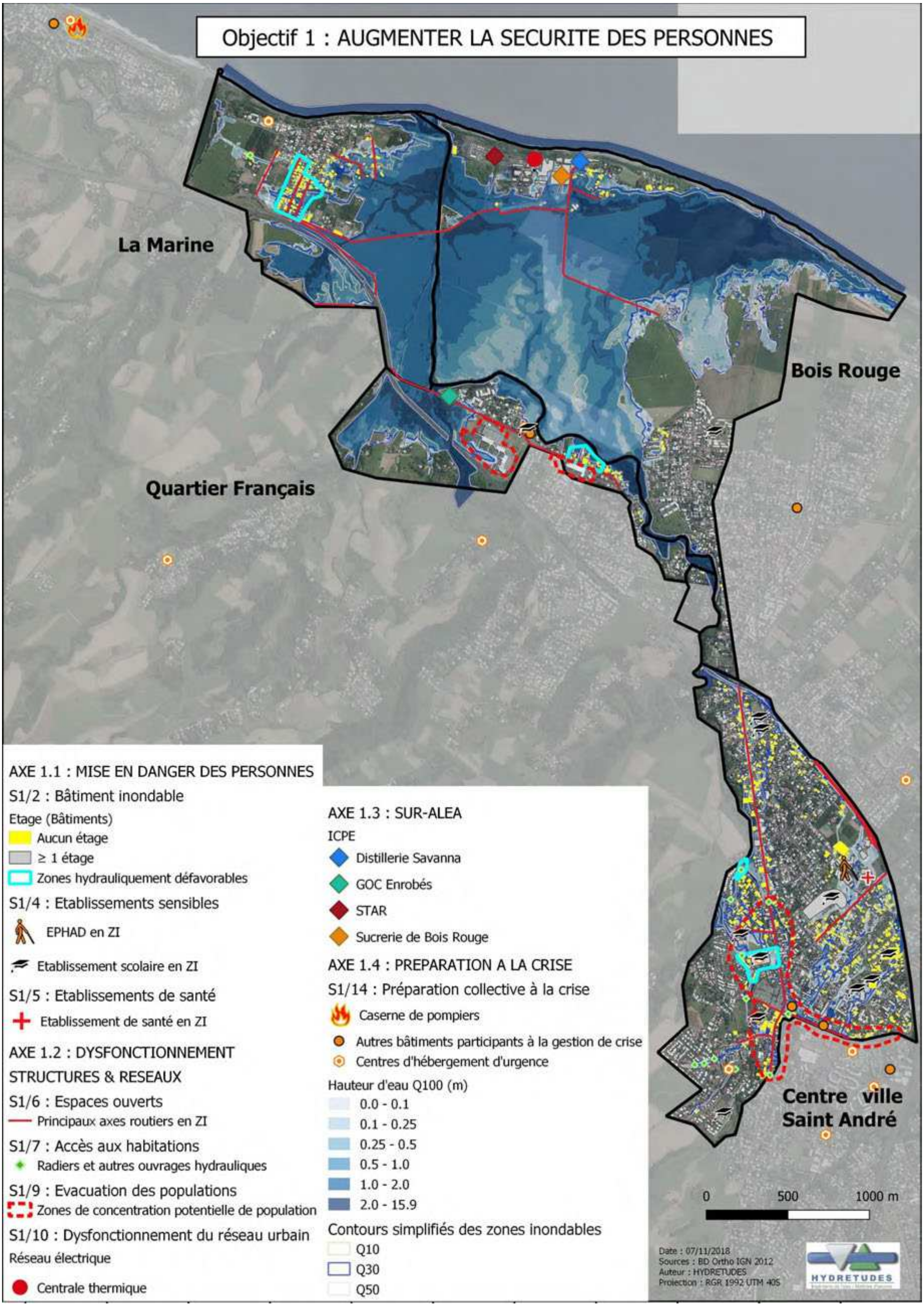


Fig. 180. &DUWRJUDSKLH GH V\QWKqVH GH O•REMHFWLI

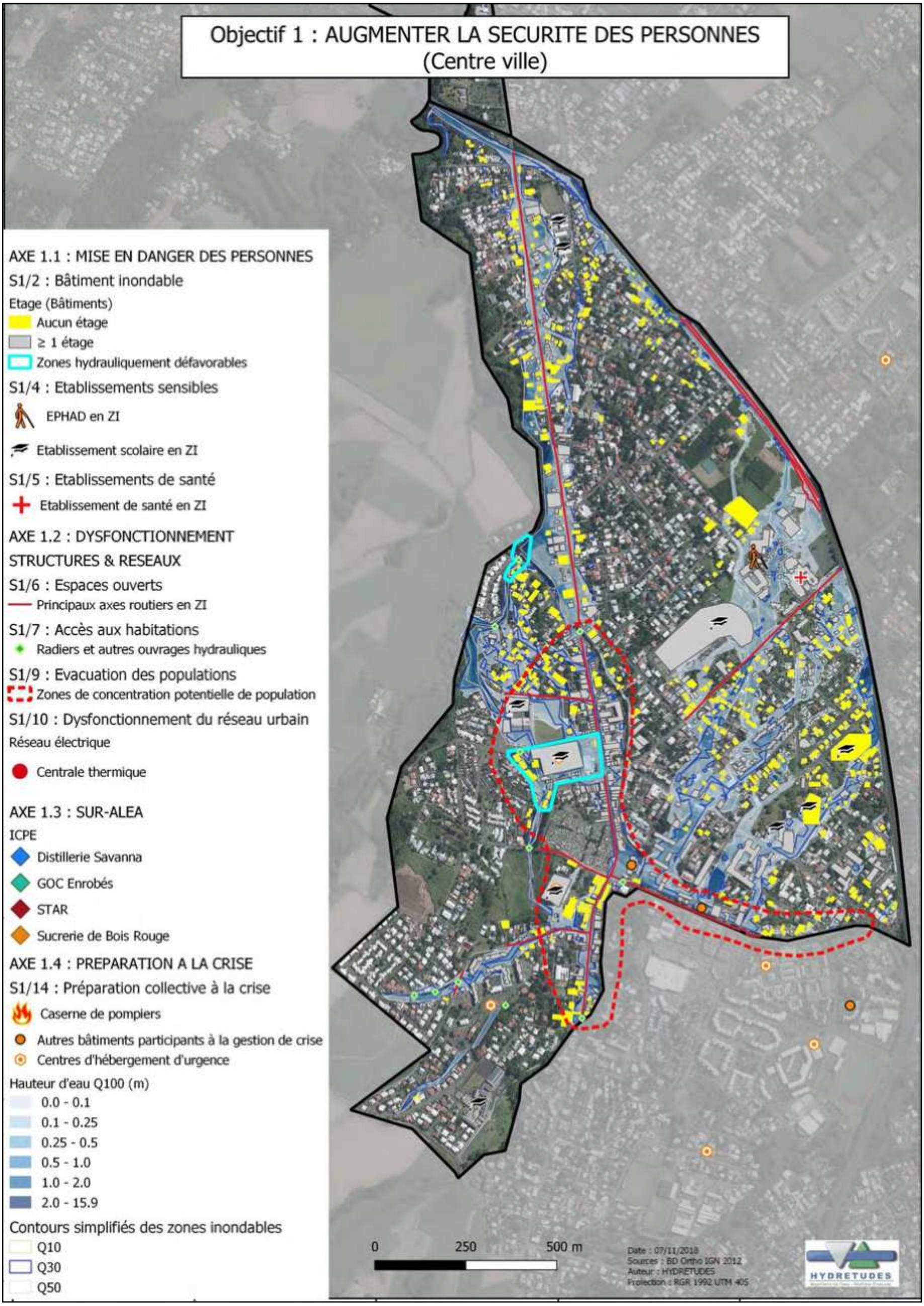


Fig. 181. &DUWRJUDSKLH GH V\QWKqVH GHV PHVXUHV VXU OD YLOOH de Saint-André

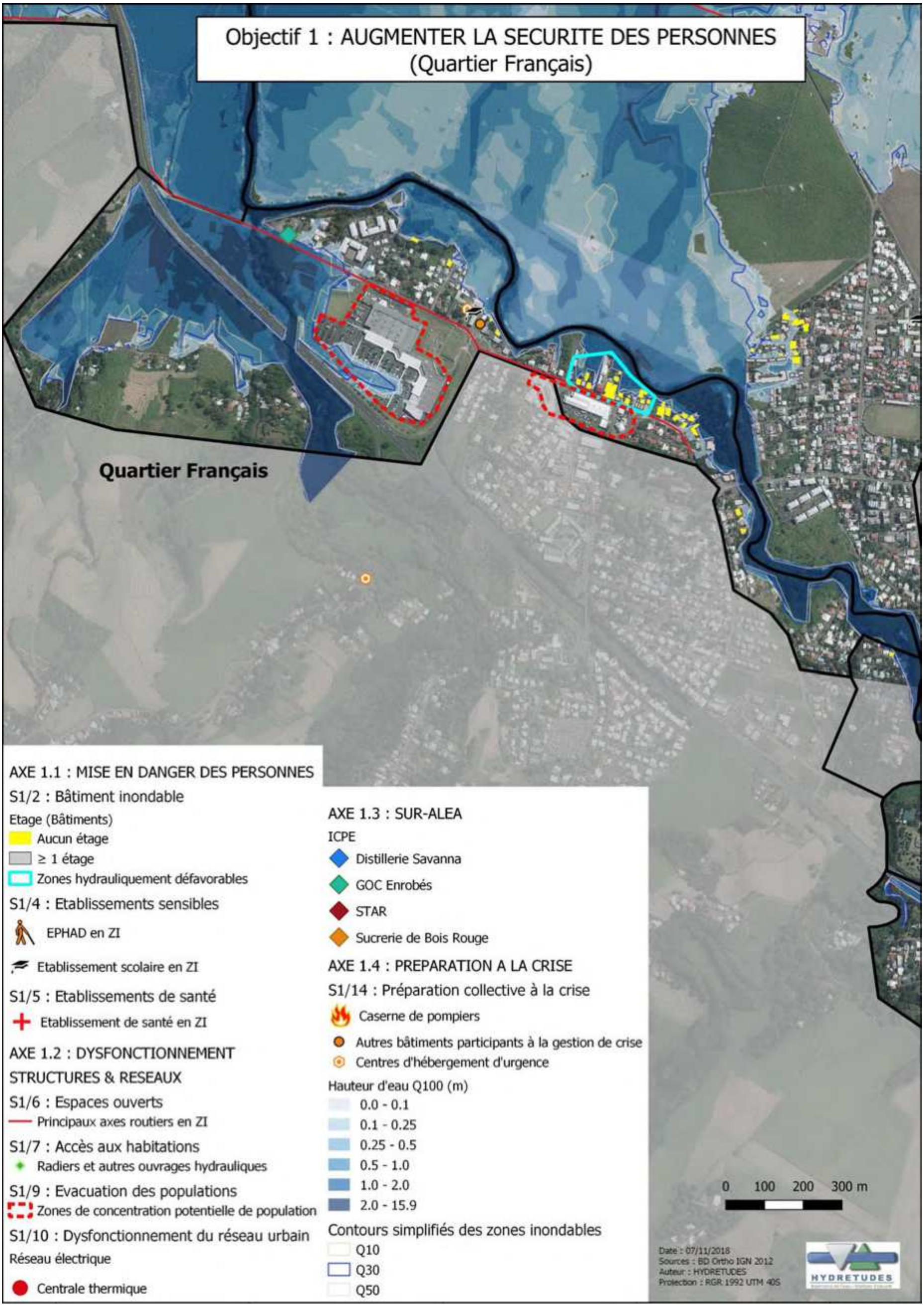


Fig. 182. & D U W R J U D S K L H G H V I Q W K q V H Z Z Z R E M H F W L I Français, Cambuston, Commune Bègue

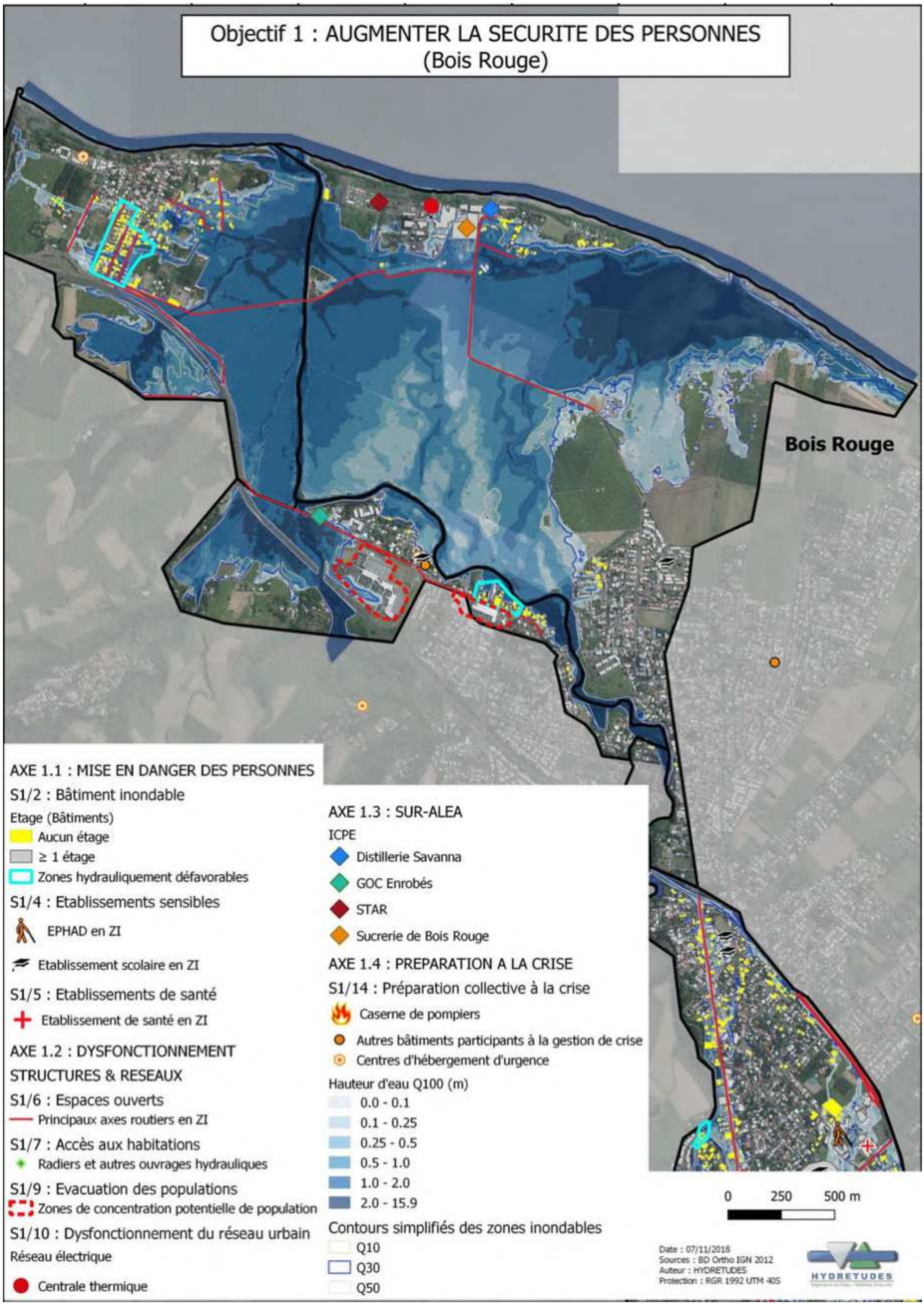


Fig. 183. &DUWRJUDSKLH GH V\QWKqVH †ODERUDWLRQ (WXGH

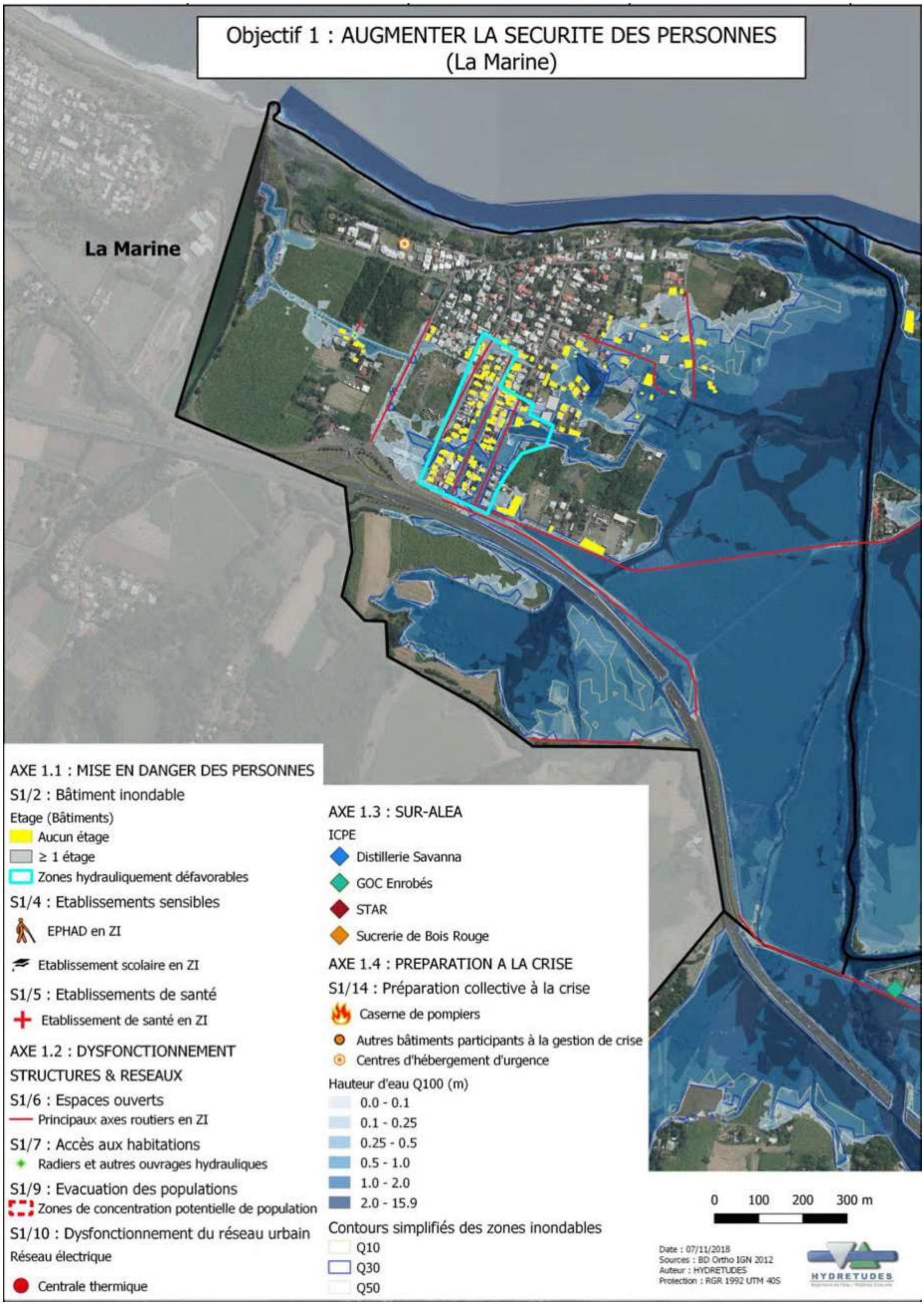


Fig. 184. & D U W R J U D S K L H G H V I Q W K q V H † Z o l d m O s u R E a M l a r W L I

9.3.2. Objectif n°2 : Coût des dommages

Axe 1 : Les dommages aux bâtiments

Un nombre élevé de bâtiments (327 pour une crue centennale) est inondé, la durée de l'inondation ne dépassant pas 48 heures. Les dégâts sont évalués à environ 5,5 millions euros pour une crue centennale.

Axe 2 : Les dommages au patrimoine

Le centre-ville de Saint André est particulièrement touché par les dommages au patrimoine culturel, religieux ou sportif. En effet, 10 édifices religieux importants, ainsi que des équipements sportifs se situent dans la zone inondable. La piscine de Saint André a été particulièrement touchée durant Fakir.

Le temple de Bois Rouge se situant à l'embouchure de la grande rivière Saint Jean est particulièrement vulnérable car situé dans une zone où la hauteur d'eau peut dépasser 2m.

La ressource en eau du territoire est située en amont de la zone d'étude.

De même, les milieux naturels remarquables situés à l'aval (zones humides du bocage de la rivière sainte Suzanne et étang de Bois Rouge) sont susceptibles d'être impactés par une pollution liée au charriage des déchets

Axe 3 : Les dommages aux activités et aux biens

140 entreprises, totalisant 830 emplois, ont été répertoriées comme inondées. La vulnérabilité économique du secteur est donc importante, tout particulièrement sur le centre-ville de Saint André et à Bois Rouge.

L'estimation des coûts de la crue pour les activités est de 29,5 M€ environ dont 13 millions pour le centre-ville de Saint André et 16 millions pour Bois rouge.

En outre, 23 établissements publics sont situés dans la zone inondable et donc potentiellement inondés. Le coût total d'une inondation centennale pour ces établissements est évalué à 7,5 M€ environ.

Enfin, sur les quartiers de Bois Rouge et la Marine, une grande partie de la zone inondable est occupée par des champs de cannes (environ 163 k€ environ, 96%). Le cout des dommages sur les cultures est évalué à 170 190 € pour toute la zone d'étude.

Axe 4 : Les dommages aux infrastructures et aux réseaux

Le secteur d'étude est protégé par un linéaire conséquent de digues. Ce dispositif d'endiguement fait l'objet d'un classement en catégorie C au titre de la sécurité des ouvrages. Ce classement implique en particulier la mise en œuvre de visites régulières. En cas de crue dépassant le niveau de protection de la digue, des désordres du type affouillement en pied, voire ouverture de brèches sont possibles. Des opérations de remise en état engendreront alors un coût non négligeable.

Par ailleurs, l'important linéaire de voiries présent dans la zone inondable entraînerait la mise en place d'opérations de nettoyage, voire de réfection.

Actuellement, il n'existe pas de méthode permettant d'évaluer ces coûts.

Axe 5 : Le manque de préparation à la crise

Il n'y a à priori pas de démarches engagées par le territoire dans une démarche de réduction de vulnérabilité du bâti et des activités en vue de réduire le coût des inondations

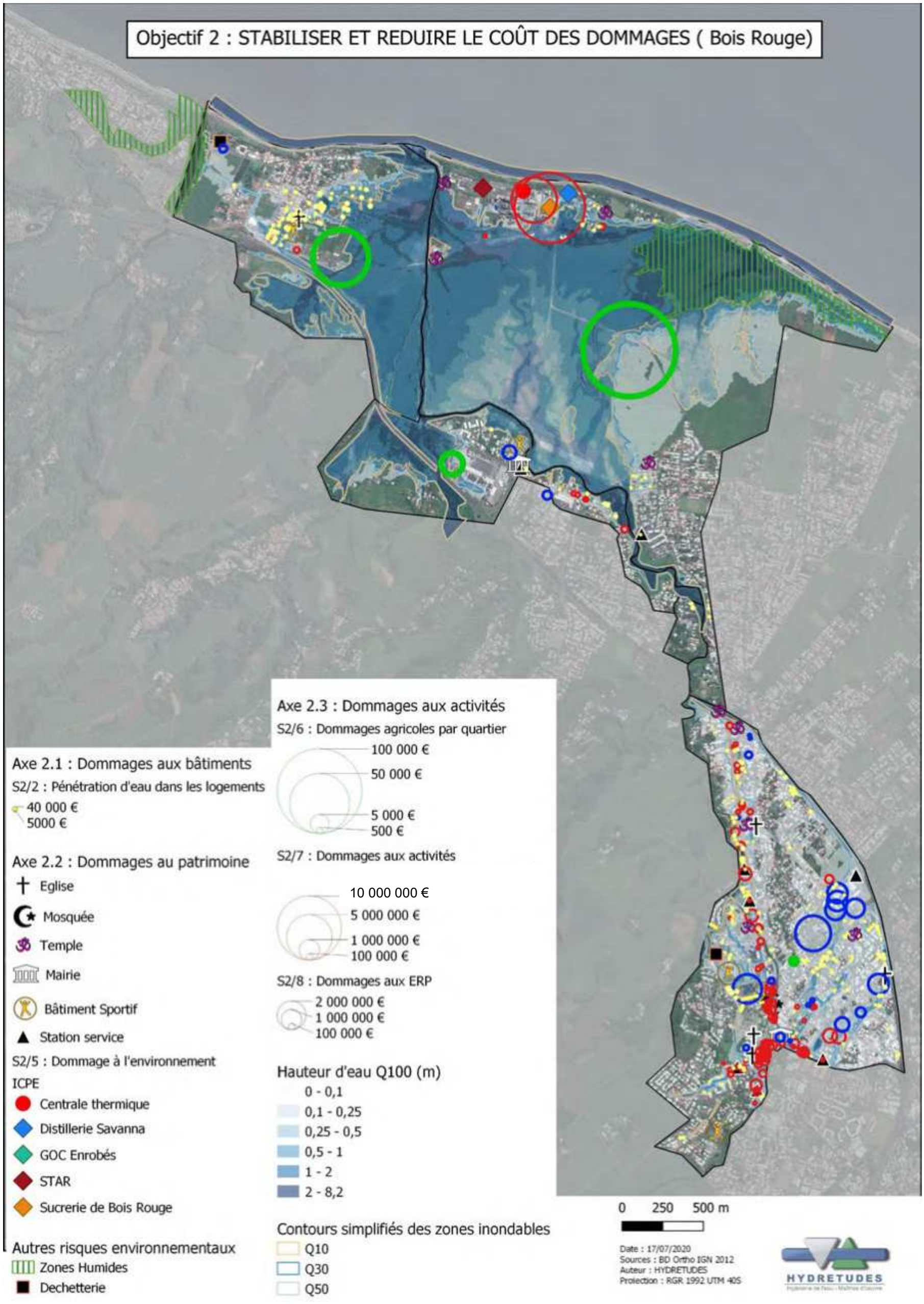


Fig. 185. &DUWRJUDSKLH GH V\QWKqVH GH O•REMHFWLI

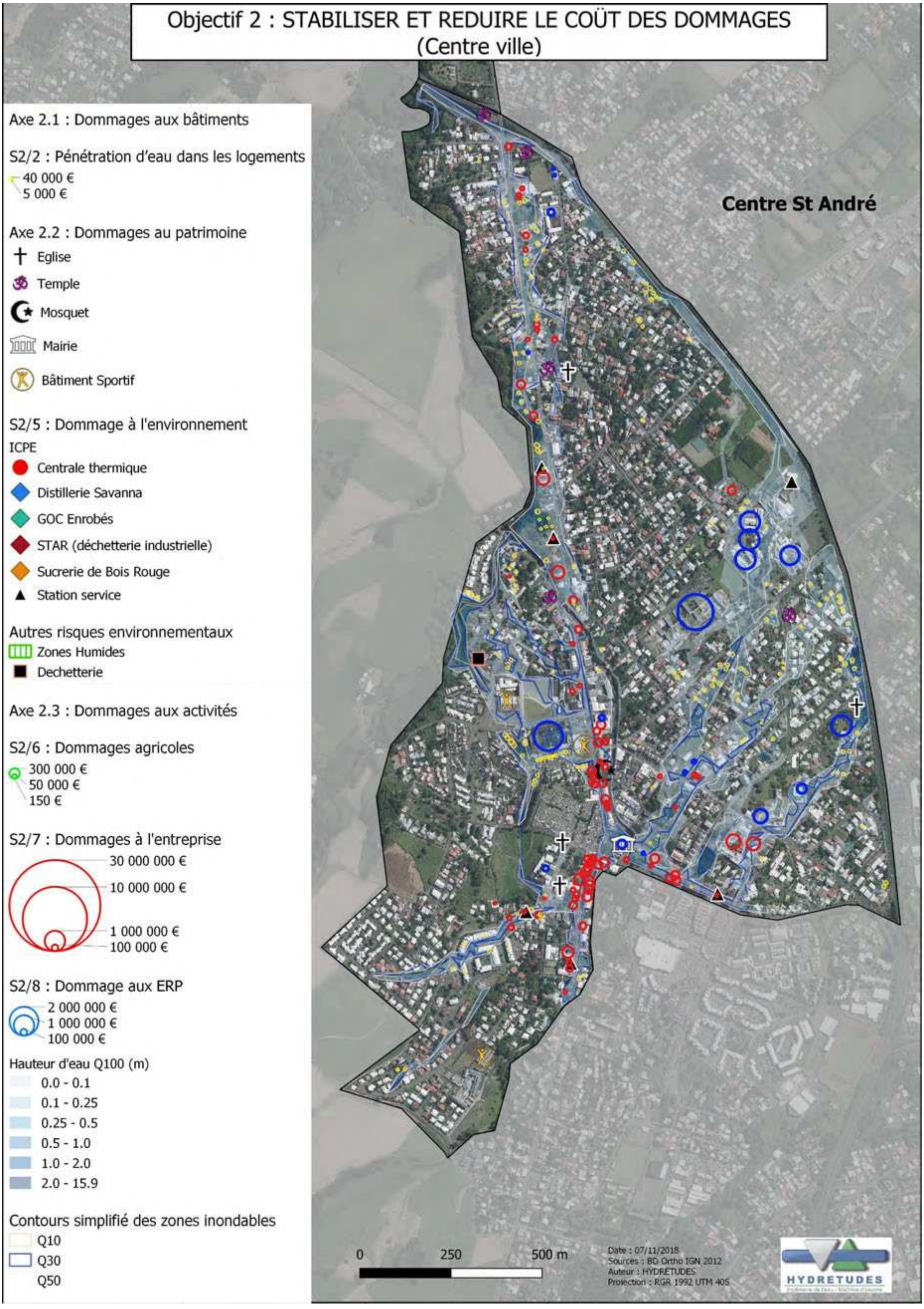


Fig. 186. & D U W R J U D S K L H G H V \ Q W K q V H ‡ Z R Q H V U H Q R Y p H V G H O D Ville de Saint André

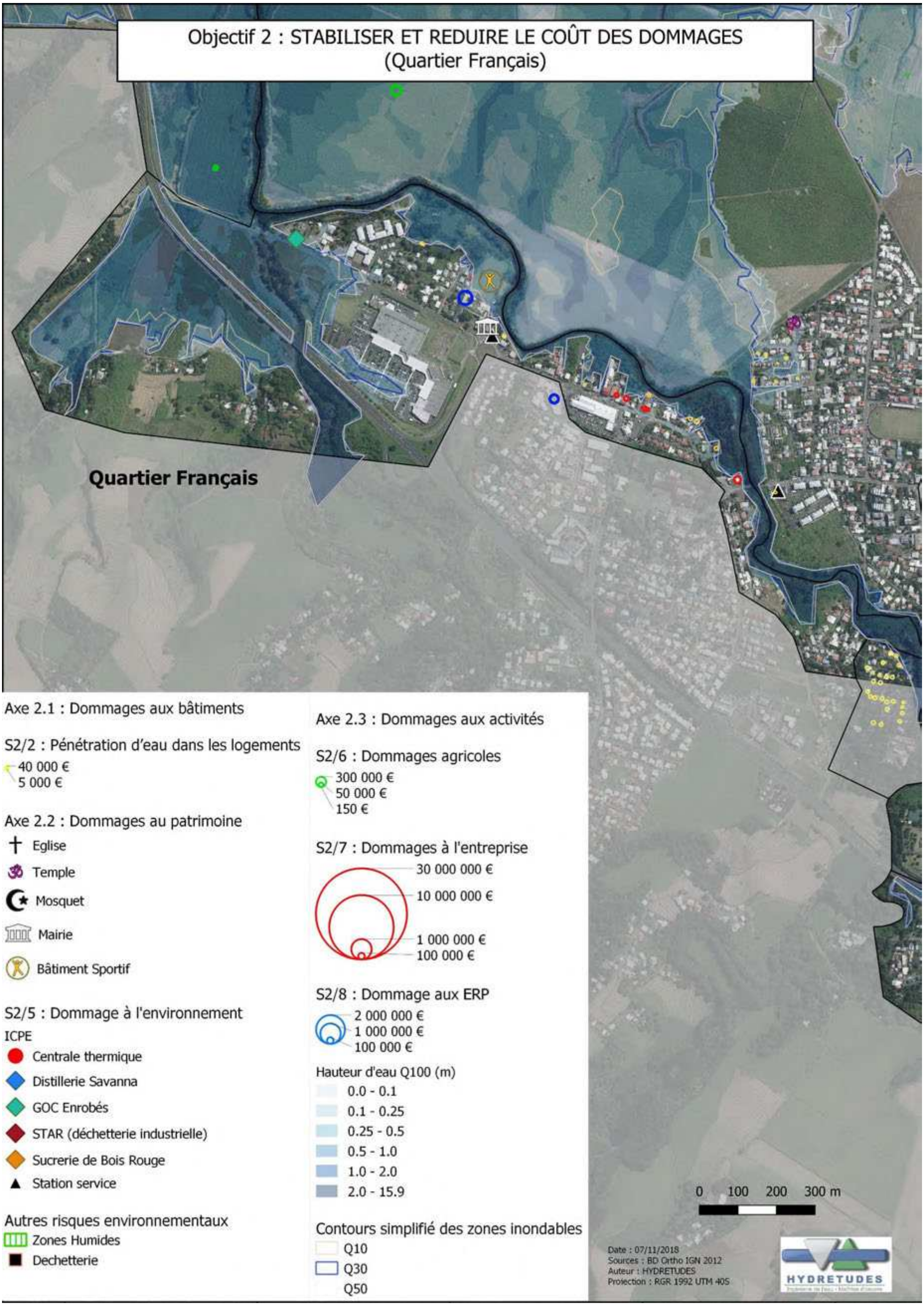


Fig. 187. Cartographie de synthèse de O•REMHH-Zoom sur le Quartier Français

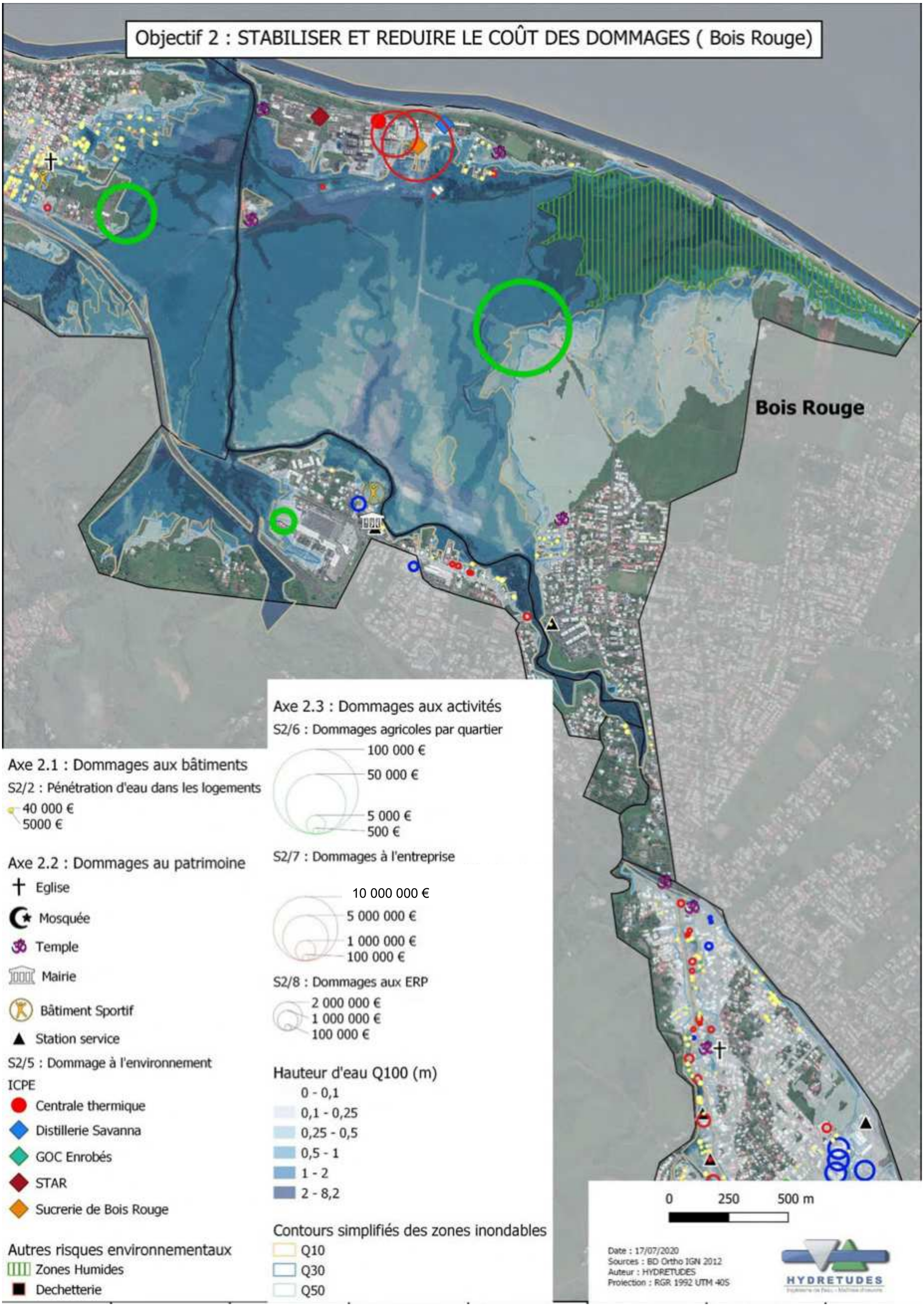


Fig. 188. & D U W R J U D S K L H G H V I Q W K q V H † Z o l d m O s u R E M S H F o W g e l

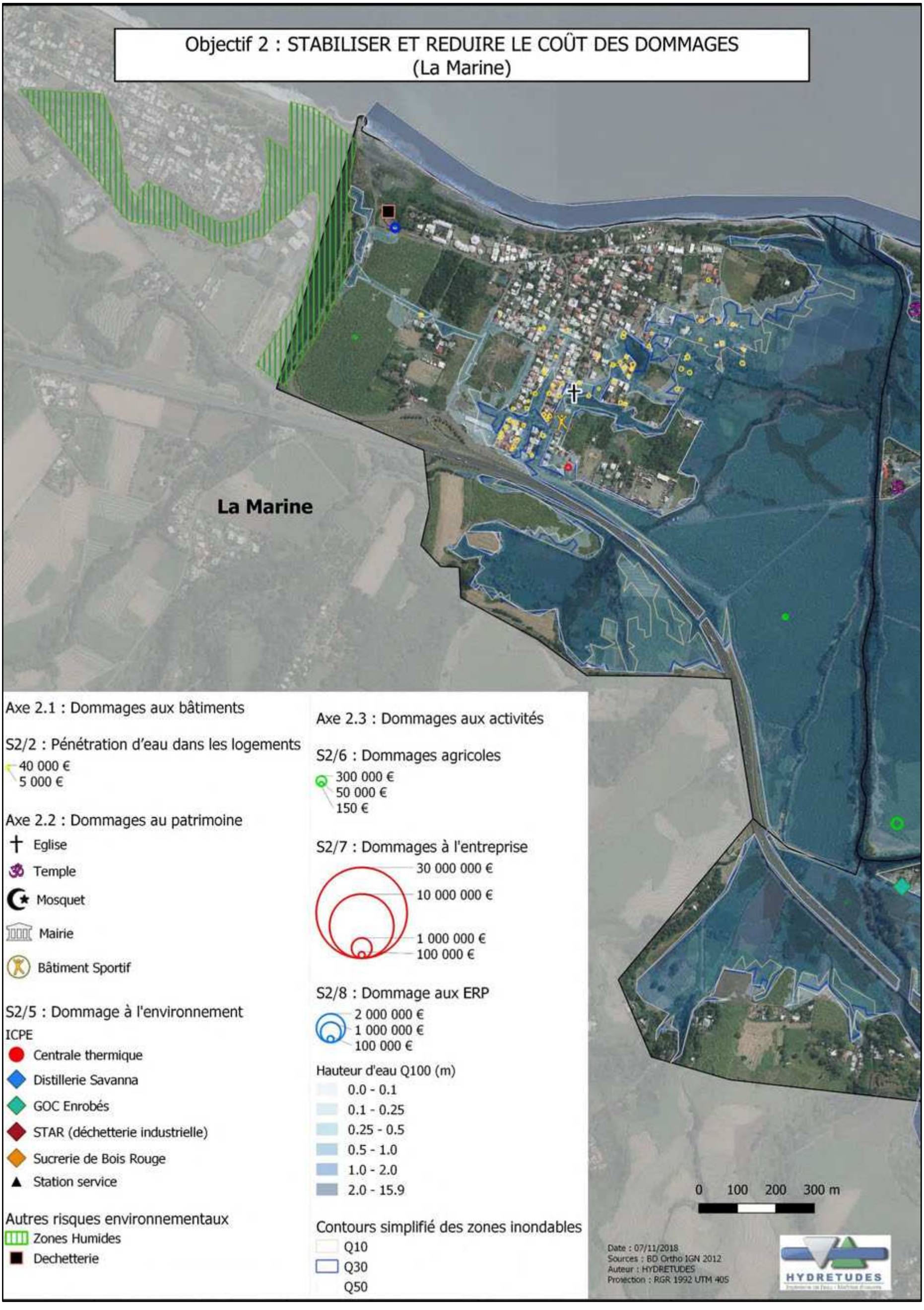


Fig. 189. & D U W R J U D S K L H G H V I Q W K q V H † Zoldm Os uR Ea MMa fr Wd L I

9.3.3. Objectif n°3 : Retour à la normale

Axe 3.1 : L'impact au territoire

La commune de Saint André peut souffrir du fait qu'une proportion importante des établissements publics (écoles, hôpitaux, police) et des activités se situent dans la zone inondable.

Pour Sainte-Suzanne, les ERP sont moins touchés mais les 2 centres d'hébergement (groupe scolaire René Manglou et groupe scolaire de la Marine) sont inondables. Le retour à la normal sera également conditionné par le rétablissement du réseau viaire.

Aucun service public (prioritaire ou non) et aucune entreprise ne dispose d'un plan de continuité d'activité (PCA) excepté EDF.

Axe 3.2 : Le rétablissement des infrastructures et des réseaux

L'inondation du réseau routier peut provoquer des dommages important un délai de retour à la normale de plusieurs semaines, voire plusieurs mois en cas de rupture d'un ouvrage hydraulique. Les gestionnaires des voiries disposent de dispositifs organisationnels permettant d'optimiser un retour à la normale du réseau routier en priorisant les secteurs à remettre en état.

La plupart des gestionnaires de réseau sont munis de Plans Internes de Gestion de Crise permettant d'optimiser également le délai de retour à la normale.

Axe 3.3 : Le manque de préparation de la crise

Le retour à la normale post-inondation est géré par l'intermédiaire des PCS. Il n'existe pas d'autres dispositifs opérationnels et techniques formalisés permettant d'optimiser le retour à la normale, que ce soit à l'échelle individuelle ou collective.

Des dispositifs financiers peuvent en revanche être activés : le dispositif FARU (Fonds d'aide au relogement d'urgence), porté par la Direction de la jeunesse des sports et de la cohésion sociale (DJSCS), ainsi que le FSOM (Fonds de secours pour l'Outre-mer) porté par la DEAL.

9.4. OBJECTIF N°1 : LA SECURITE DES PERSONNES

9.4.1. Axe 1.1 : Mise en danger des personnes au sein des bâtiments

Lors de la survenue d'inondations avec de fortes vitesses de courant ou des hauteurs d'eau importantes, les bâtiments, selon leur localisation, leur configuration ou leur fonction, peuvent contribuer à mettre en péril la sécurité des occupants.

9.4.1.1. SOURCE 1/1 : MISE EN PÉRIL DE LA STRUCTURE DES BÂTIMENTS

Au cours d'une inondation, la structure des bâtiments dans les zones de fortes vitesses d'écoulement peut être partiellement ou totalement détruite par la poussée des eaux ou l'affouillement des fondations. Dans ce contexte, les occupants courent un danger lié à l'effondrement potentiel du bâtiment.

C'est pourquoi lors des enquêtes, les habitations à structure bois sous tôle, et tout autre bâtiment dont l'état visuel de la structure parait instable à dire d'expert vis-à-vis du scénario d'inondation (hauteur, vitesse), ont été identifiés. Il s'agit :

- Des bâtiments à structure bois sous tôle en zone inondable,
- Des autres bâtiments dont la structure peut être déstabilisée par des hauteurs et des vitesses d'eau importantes.

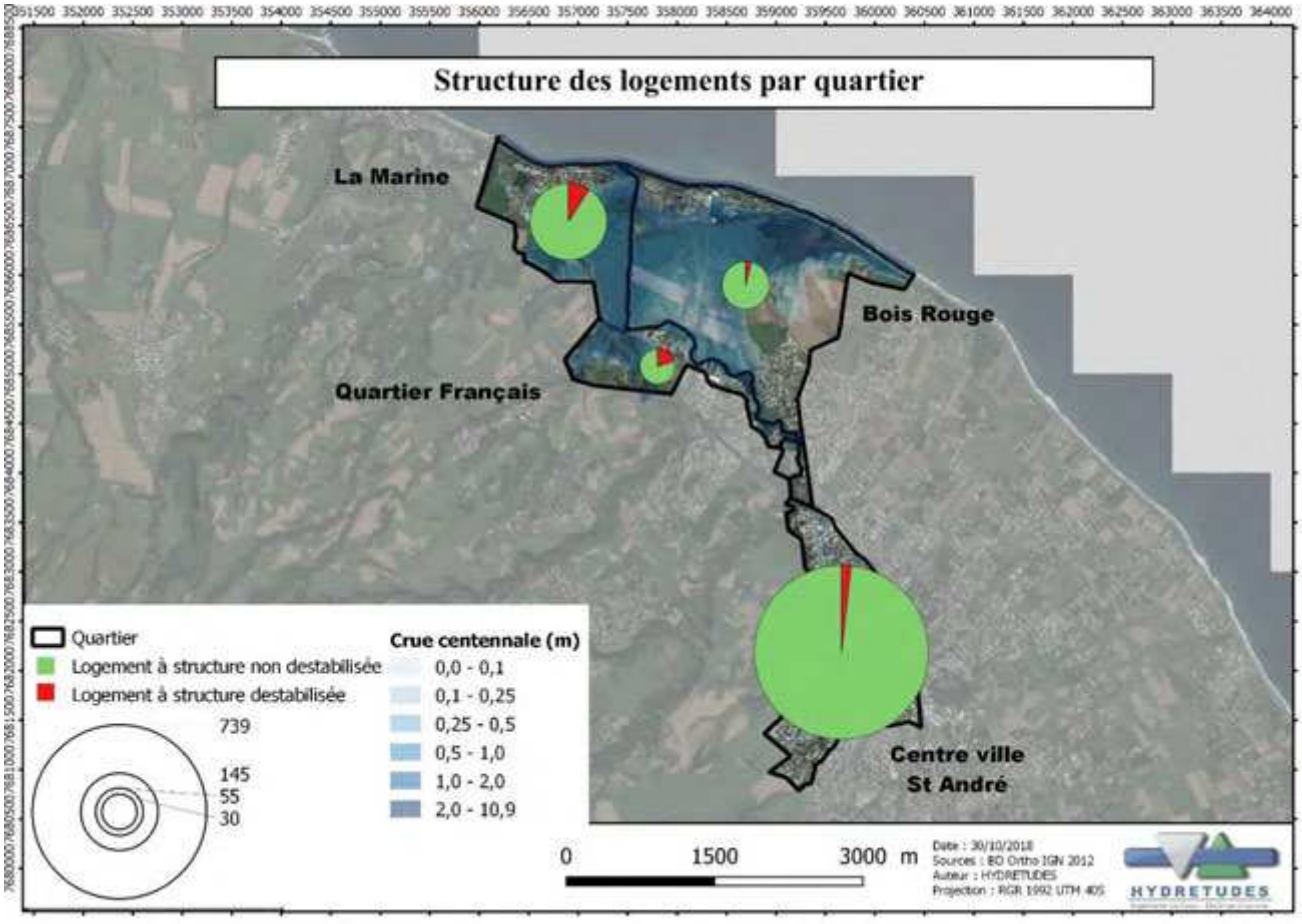


Fig. 190. Répartition des logements dont la structure peut être déstabilisée par O•LQRQGDWLRQ j GLUH G•H[SHUW

Tabl. 55 - Répartition des logements dont la structure peut être déstabilisée par O•LQRQGDWLRQ j GLUH G•H[SHUW

	Logement à structure non déstabilisée	Logement à structure déstabilisée*
La Marine	132	13
Quartier Français	24	6
Centre-Ville de Saint-André	726	13
Bois Rouge	53	2

**bâti bois sous tôle et bâti en très mauvais état*

Constats sur la mise en péril de la structure des bâtiments :

Au vu des enquêtes, un enjeu urbain peut être constaté au niveau du quartier de la Marine et de Quartier Français (logements en bordure de la Grande Rivière Saint-Jean). Ce sont des zones présentant déjà un certain nombre d'habitats à structure fragile.

Il est intéressant de noter que le développement de logements à structures fragiles dans le centre de Saint-André est relativement moindre, bien que l'enjeu urbain y soit plus important.

Bois Rouge étant une zone industrielle, elle ne présente pas ce même enjeu d'urbanisme, les habitations actuelles se trouvant en zone inondable y étant le plus souvent solides.

N. B. Certains bâtiments étaient inaccessibles durant l'enquête (résidences privées, rues fermées, etc.). Ainsi les informations de certains bâtiments n'ont pu être obtenues.

9.4.1.2. SOURCE 1/2 : INONDATION DE BÂTIMENTS D'HABITAT (COLLECTIFS ET INDIVIDUELS)

L'inondation de bâtiments d'habitation(s) dans les zones de montée rapide des eaux et/ou dans les zones pouvant comporter une hauteur d'eau importante représente un danger pour les personnes et est principalement liée à la pénétration d'eau dans des locaux occupés. Il s'agit soit d'une montée d'eau progressive mais importante, soit d'un afflux massif dû à la rupture des ouvrants. Ces arrivées d'eau ne permettent pas toujours de rejoindre un étage refuge, lorsqu'il y en a un.

On se focalise ici sur les logements où la population s'abrite généralement lors des inondations. Les bâtiments d'activités seront traités dans l'objectif 2.

a) Les habitats sans étages refuges ont été identifiés

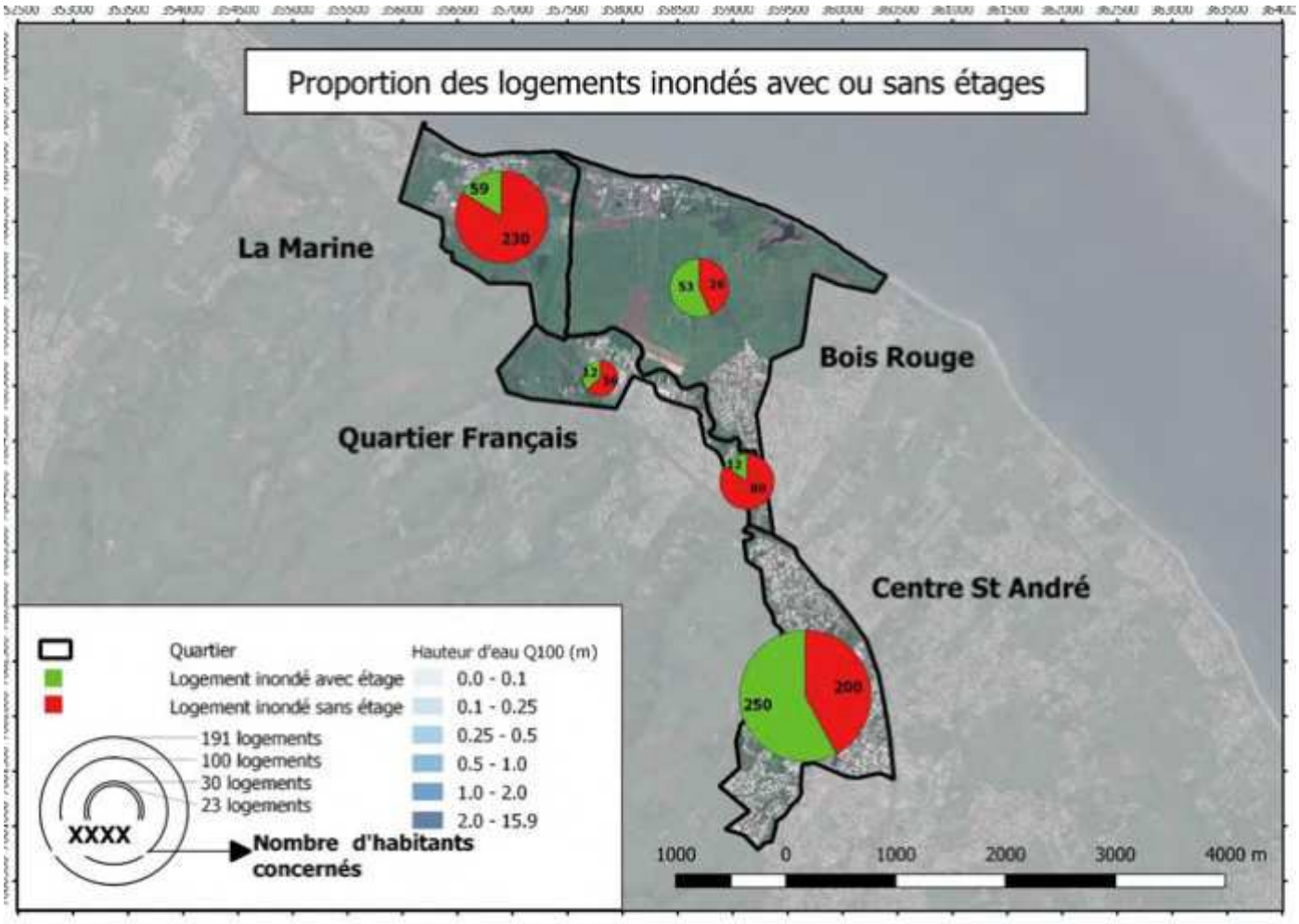


Fig. 191. Proportion des logements inondés avec ou sans étages

	Logement inondé avec étage(s)	Logement inondé sans étage		
		Logements	% (nb de logements inondés sans étage du quartier / nb de logements inondés sans étages totaux)	Nombre d'habitants concernés
Marine	13	75	*38,9%*	230
Quartier Français	4	15	*7,7%*	36
Centre-ville	95	68	*35,3%*	200
Bois Rouge	17	13	*6,7%*	26
Commune Bègue	4	22	*11,4%*	80

Tabl. 56 - Proportion des logements avec ou sans étages

Le nombre d'habitants a été évalué par les enquêtes sur le terrain, corrélées aux chiffres de l'INSEE (issus du carroyage). À noter que nous n'avons ici pas pris en compte les ERP constituant des logements temporaires (hôpitaux, maisons de retraite, etc.), ni les bâtiments annexes aux logements (garages, abris de jardins, etc.). Les bâtiments abandonnés n'ont également pas été pris en compte.

b) <u>Une détermination des zones hydrauliquement très défavorables a été établie avec :</u>

- le scénario d'inondation (modélisation hydraulique) précisé par les observations topographiques de terrain, comme les sens de dévers, les aménagements hydrauliques, le mobilier urbain, etc.
- le retour d'expérience des habitants, notamment durant l'évènement Fakir,
- l'architecture et l'état des bâtiments et notamment son éventuelle surélévation (hauteur de seuil).

Ainsi, les zones ainsi dénombrées sont les suivantes :

- Dans le centre-ville de Saint-André :
  - Autour du collège Bédier,
  - Le chemin Miguel,
- Le sud du quartier de La Marine,
- Les habitations en bordure de la grande rivière Saint Jean dans la portion comprise entre le PR-2300 et le PR-1800,
- Les berges rive gauche de la commune Bègue entre le PR-800 et le PR-300 (inondation par érosion de berge).

i) <u>Autour du collège Bédier.</u>

Le secteur d'étude est traversé par la ravine Payet qui déborde en crue centennale et inonde les habitations qui se trouvent sur sa berge.

Par ailleurs, ce secteur qui se trouve en contrebas de l'avenue Ile de France, recueille aussi les écoulements provenant des débordements de la ravine sèche au niveau du Pont Minot et du pont de la République. L'eau s'accumule dans la cour du collège, et peut y atteindre des hauteurs d'eau importantes. Les habitations se trouvant au sud du collège sont également fortement touchées.

Fig. 192. &DUWRJUDSKLH GHV KDXWHXUV G•HDX 4 DXWRXU GX FROO

ii) Rue Miguel

Le secteur se trouve à la confluence de la ravine Payet et de la ravine Sèche. Il est principalement impacté par le débordement de la ravine Payet. L'ouvrage hydraulique du chemin Miguel aggrave la situation. Il représente en effet un verrou hydraulique où viennent se former des embâcles, ce qui a pour effet de rehausser la ligne d'eau en amont. Durant l'épisode FAKIR, le rez-de-chaussée de ces habitations a été inondé avec des hauteurs d'eau dépassant 1m50 (selon les habitants).

Enfin, à l'aval, le bâtiment se trouvant en bordure de la ravine sèche est fortement vulnérable à la vue des hauteurs d'eau (>2m) auquel il est soumis.

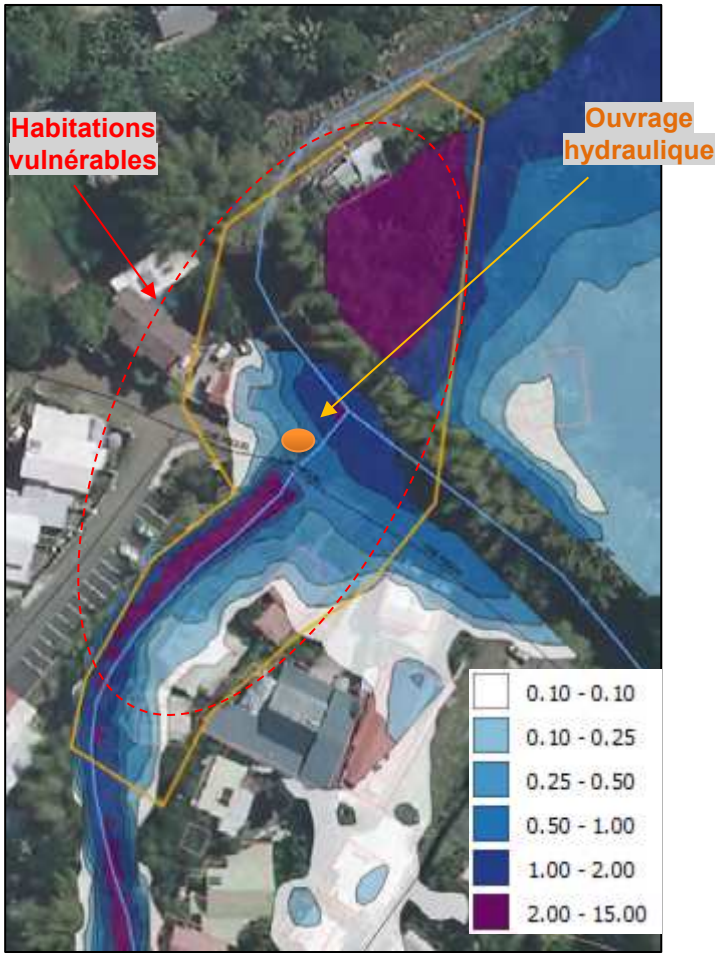


Fig. 193. Cartographie des hauteurs (Q100) au droit du chemin Miguel

iii) Quartier Français portion comprise entre le PR-2300 et le PR-1800

Ces bâtiments (activités et habitations) se trouvant en rive gauche de la Grande Rivière Saint Jean sont soumis aux débordements de la rivière.

La situation est aggravée par les écoulements provenant du ruissellement urbain de l'avenue M. Gandhi.

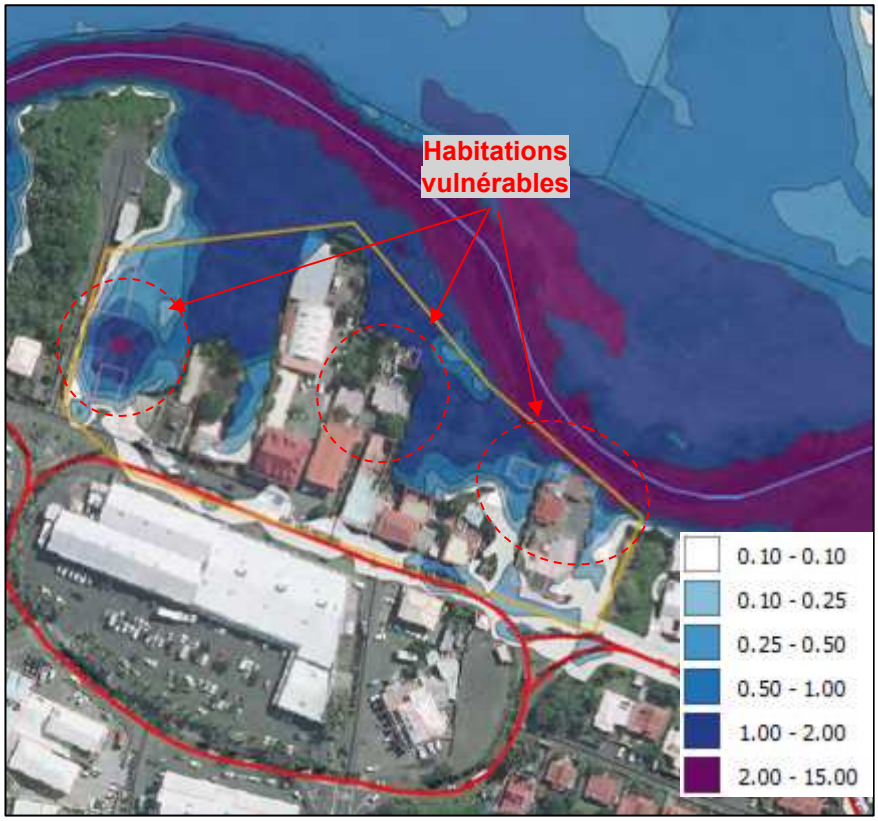


Fig. 194. &DUWRJUDSKLH GHV pWDW[QRQ[XV le Quartier Français, en face du Leader-Price

iv) Sud de la Marine

Le quartier de La Marine dans son ensemble est fortement inondé lors de fortes crues. En plus des débordements de la Grande Rivière Saint Jean, objet de cette étude, il faut aussi envisager que ce phénomène se couple avec les débordements de la Rivière Sainte Suzanne, mais aussi avec des dysfonctionnements importants du réseau d'assainissement pluvial.

Le secteur sud de la Marine est d'autant plus touché car il se situe sur le point le plus bas du quartier, et recueille les débordements de petits canaux.

Le secteur nord-est de la Marine possède un point bas important où l'eau vient s'accumuler, cependant la majorité habitations aux alentours possède des murs permettant de dévier l'écoulement de l'eau, et/ou des seuils suffisants permettant d'éviter l'entrer d'eau. Ainsi globalement les habitations restent moins vulnérables que le secteur sud.

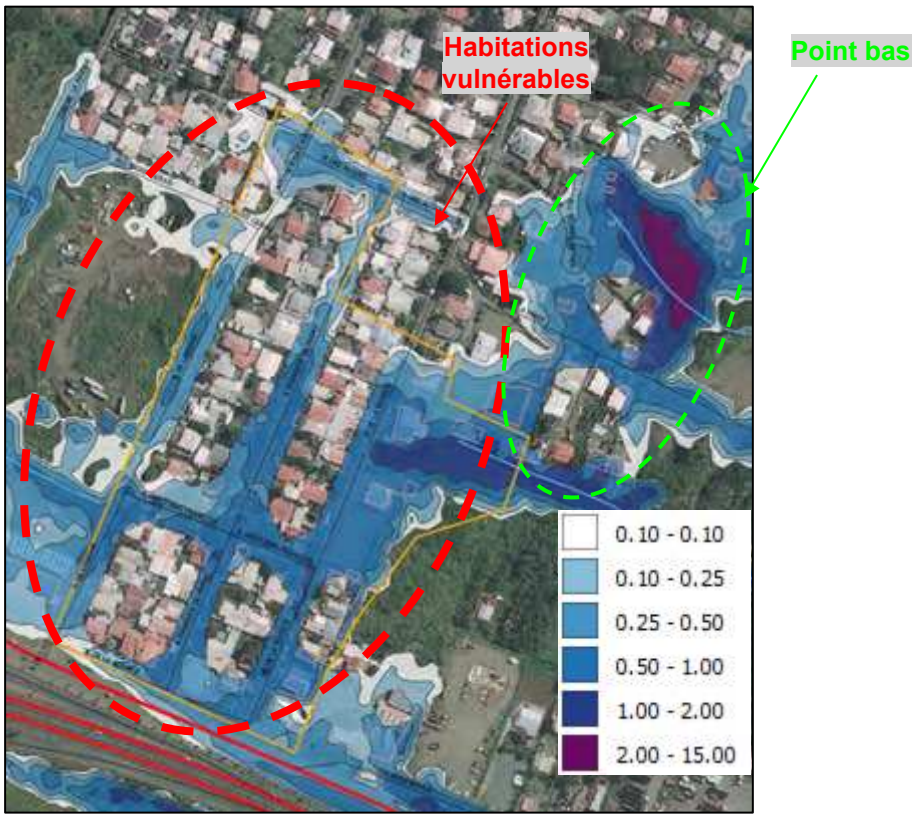


Fig. 195. &DUWRJUDSKLH GHV KDXWHXUV GH GXUHH de la Marine OH

v) Commune Bègue entre PR-300 et PR-800

Le secteur du quartier de Commune bègue se situe sur la rive gauche de la Grande Rivière Saint-Jean, dans la commune de Sainte-Suzanne. Ce secteur est principalement impacté par le débordement de la GRSJ et d'un petit cours d'eau aux abords des maisons. Durant l'épisode Fakir, les terrains étaient submergés par le débordement de la Grande Rivière Saint-Jean surtout au niveau du chemin Balbine et de la rue des Joncs.

Cependant les bâtiments situés en bordure de rivière possèdent un seuil suffisant permettant d'éviter l'entrée d'eau à l'intérieur, de même le dénivelé important des terrains dans le secteur permet une évacuation de l'eau rapidement.

De plus, étant situé en bordure de rivière, le quartier de commune bègue est soumis à une deuxième problématique, l'érosion des berges. Cependant toutes les problématiques liées à l'érosion des berges seront traités ultérieurement.

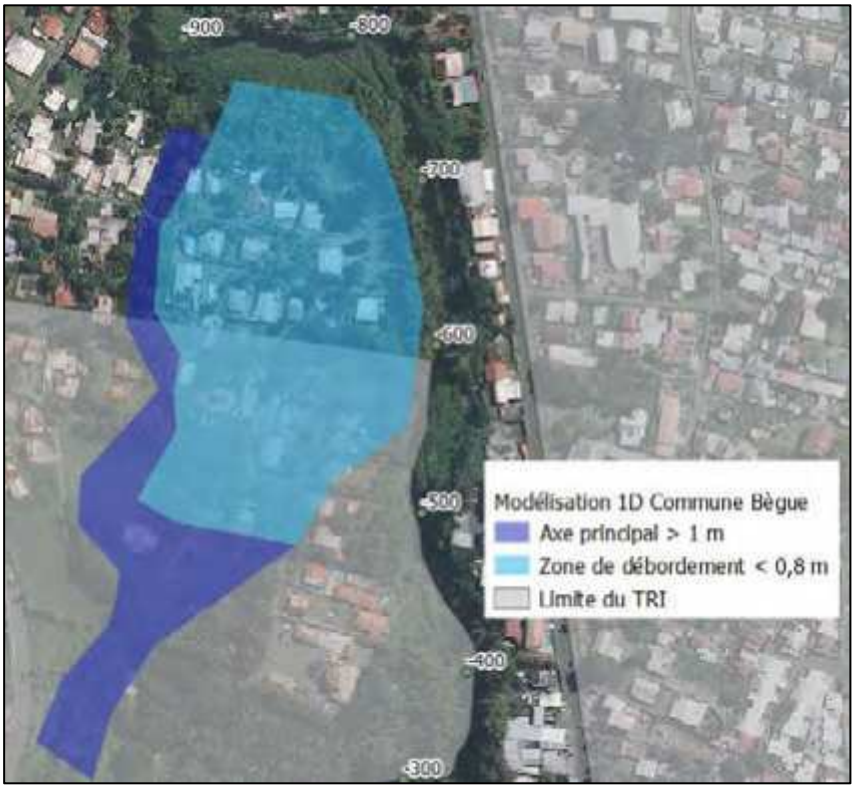


Fig. 196. Cartographie des hauteurs G•HDX 4 VXU OH TXDUWLHU GH &RPPXQH

Constats concernant l'inondation des logements

Dans le quartier résidentiel de la Marine, plus de 32% (88) des logements connaissent une entrée d'eau en cas d'inondation centennale. La mise en danger des habitants au sein de leur logement y est donc importante. Elle est aggravée par le fait que 88% de ces logements ne disposent pas d'étage refuge.

Le centre-ville de Saint André souffre de cette même vulnérabilité : près de 200 logements seront impactés par ces mêmes inondations. En revanche, une proportion faible d'habitants ne dispose pas de logements inondés sans étage refuge (beaucoup d'habitats collectifs avec étages).

Le Quartier Français et Bois Rouge présentent un nombre de logements moindre.

Par ailleurs, cinq zones fortement vulnérables pour les habitations ont été identifiées par analyse du contexte hydraulique : autour du collège Bédier et au droit de la rue Miguel dans le Centre-Ville de Saint-André, les habitations situées sur les berges de la Grande Rivière Saint Jean à Quartier Français, le quartier de la Marine et tout particulièrement le sud de La Marine, et Commune Bègue entre les PR-800 et PR-300.

9.4.1.3. SOURCE 1/3 : DÉSTABILISATION OU INONDATION D'HABITATS LÉGERS OU DE LOISIR (CARAVANE, MOBIL-HOMES, TENTES)

Il n'existe pas de campings sur le territoire.

Aucun habitat léger n'a été répertorié sur la zone inondable lors des enquêtes.

9.4.1.4. SOURCE 1/4 : INONDATION DE CERTAINS ÉTABLISSEMENTS DITS SENSIBLES (CRÈCHES, ÉCOLES, MAISON DE RETRAITE, ÉTABLISSEMENT RECEVANT DES PERSONNES HANDICAPÉES)

Ces établissements reçoivent un public plus vulnérable. Au sein de ces établissements, l'évacuation des personnes peut être rendue complexe, en raison de leurs difficultés de mobilité, de leur état de santé ou de leur nombre. Le manque d'autonomie de ces personnes les rend plus vulnérables et justifie donc leur identification.

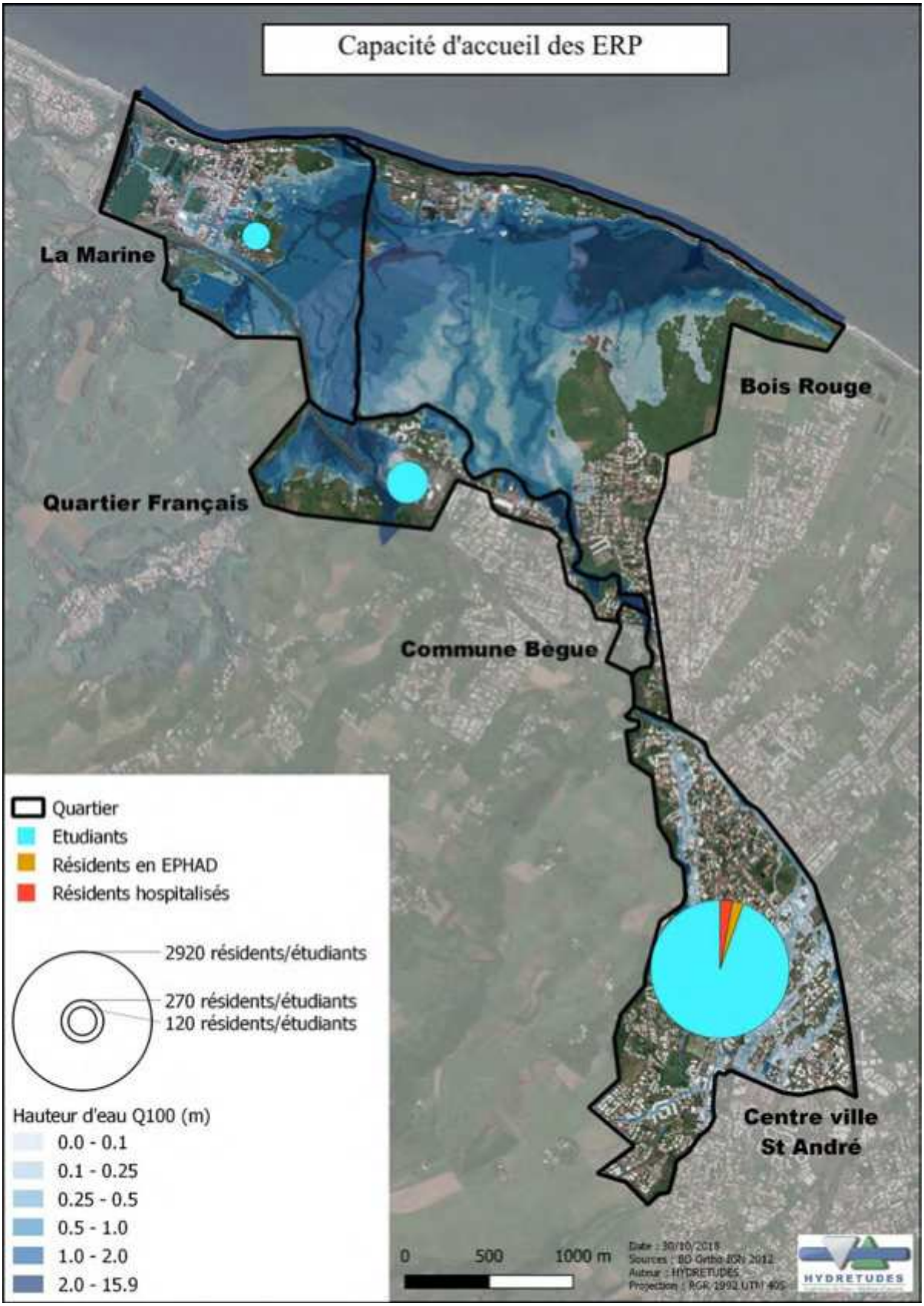


Fig. 197. Capacité et effectif des établissements sensibles et établissement de santé

Tabl. 57 - Récapitulatif des effectifs établissements sensibles et de
O•p W3E ment de santé

	Effectifs totaux des établissements scolaires	Maison de retraite	Hôpital (cf. S1/5)
Marine	122	0	0
Quartier Français	273	0	0
Centre	2766	75	85
Bois Rouge	0	0	0
TOTAL	**3161**	**75**	**85**

Les établissements considérés sont présentés ci-dessous.

a) Établissements scolaires

Les établissements scolaires pouvant être impactés par l'inondation (inondation des bâtiments ou enclavement) sont présentés dans le tableau suivant. Il est utile de préciser qu'aucune crèche ne se trouve en zone inondable.

Tabl. 58 - eWDEOLVVHPHQWV VFRODLUHV LPSDFWpV SDU O•LQRQGDWLRQ

Quartier	Commune	ERP	Effectif	Contexte Hydraulique	PPMS à jour face au risque inondation
La Marine	Sainte-Suzanne	Groupe scolaire de La Marine	122	L'école de La Marine est touché uniquement pour une crue exceptionnelle.	OUI (exercices réguliers)
Quartier Français	Sainte-Suzanne	Groupe scolaire René Manglou	273	Bâtiment en bordure de la zone inondable à priori peu touché par le débordement de la Grande Rivière Saint Jean, hormis un bâtiment annexe situé au Nord Est. Néanmoins, d'après les enquêtes, il apparaît que l'école est touchée par des écoulements issues d'une saturation des réseaux d'eaux pluviales. Bâtiments avec étage. Cette école est donc touchée dès une crue décennale.	Oui
Quartier Français	Sainte-Suzanne	Collège de Cambuston	NC	Le collège de Cambuston est concerné uniquement par la crue exceptionnelle.	NC
Centre ville de Saint-André	Saint-André	Ecole Maternelle Les Tourterelles	190	Lors de FAKIR, l'établissement n'a pas signalé d'inondation (sauf par infiltration). En effet des murs protège l'établissement des venues d'eau. Néanmoins, à partir d'une crue centennale, une petite partie des bâtiments sont touchés. On peut de plus noter la présence d'un étage permettant de mettre les étudiants en sécurité.	Non
Centre ville de Saint-André	Saint-André	Ecole primaire Petit Bazar	361	Idem école maternelle Les Tourterelles.	Non
Centre ville de Saint-André	Saint-André	A.F.P.A.R.	20 Formateurs Entre 100 et 300 stagiaires	Etablissement touché dès une crue décennale.	NC
Centre ville de Saint-André	Saint-André	Ecole Paul Hermann	329	Les salles de classe possèdent un seuil de 25 cm et aucun étage. Toutefois, l'écoulementatteint 100 cm (Q100) dans ce secteur. Cet établissement est touché dès une crue décennale.	Non
Centre ville de Saint-André	Saint-André	Collège Bédier	710	Le collège Bédier est **très vulnérable** car il se situe sur un point bas. La cour recueille les écoulements venant des débordements de la ravine sèche par ruissellement sur l'avenue Ile de France. La hauteur d'eau peut dépasser 1m50 dans les classes du rez-de-chaussée. Les bâtiments ont des étages, ce qui permet de mettre les élèves à l'abri. **Le collège est un centre d'hébergement en cas d'inondation...**	Oui
Centre ville de Saint-André	Saint-André	Ecole maternelle des Capucines	294	Lors de FAKIR, l'établissement a signalé une inondation de 20 cm (avec présence de boue) malgré un seuil d'une hauteur de 50 cm. Les inondations peuvent touchées ce bâtiment dès une crue trentennale. L'établissement est très vulnérable du fait de son absence d'étages refuges pour les centaines d'enfants présents chaque jour.	Non
Centre ville de Saint-André	Saint-André	Ecole Lacaussade (yc médiathéque et école de musique)	328	L'établissement scolaire n'a pas été inondé lors de FAKIR. Néanmoins, il se trouve en zone inondée, avec une hauteur d'eau pouvant monter à 40 cm (Q100). L'établissement est impacté par les inondations au dela d'une crue tricennale malgré la présence d'un seuil de 25 cm. L'établissement présente toutefois un étage permettant de mettre ses étudiants en refuge si nécessaire.	Non
Centre ville de Saint-André	Saint-André	Ecole primaire Félicienne Jean	254	L'établissement scolaire n'a pas été inondé lors de FAKIR. Cet établissement est surélevé mais est impacté par les inondations lors d'une crue centennale ou exceptionnelle. Notons que cet établissement est totalement enclavé car les rues autour sont inondées. Bâtiments avec étages.	Non

Au total, les effectifs scolaires pouvant être touchés par l'inondation sont présentés dans le tableau suivant.

Tabl. 59 - Bilan des effectifs scolaires en zone inondable

Quartier	Effectifs totaux des établissements recevant un jeune public
CENTRE-VILLE	2766
QUARTIER FANCAIS	273
LA MARINE	122
BOIS ROUGE	0
TOTAL	**3161**

b) EPHAD

Un EPHAD se trouve également en zone inondable. Il s'agit de l'EPHAD Village 3ème âge, situé au 60, rue Dumesnil-d'Engente à Saint André. Sa capacité d'accueil est de **50 à 100 places.**

Tabl. 60 - 'RQQpHV UHODWLYHV j O•(3Vl'eGX FHQWUH

Description	Quartier	Adresse	Capacité
EPHAD Village 3ème âge	Centre-Ville	Rue Dumesnil-d'Engente	50 à 100 places

Avec une hauteur de seuil presque nulle alors que l'eau peut monter à 25 cm dans ce secteur, l'EPHAD peut être fortement inondé. L'eau rentre dans le bâtiment, mais la parcelle présente un exutoire naturel permettant d'éviter à l'eau de stagner. Cet EPHAD possède deux étages permettant de mettre ses résidents en sécurité en cas d'inondation. Toutefois, vu la vulnérabilité des résidents (difficultés de mobilité), la mise en sécurité peut s'avérer complexe.

Constats sur les inondations des établissements sensibles

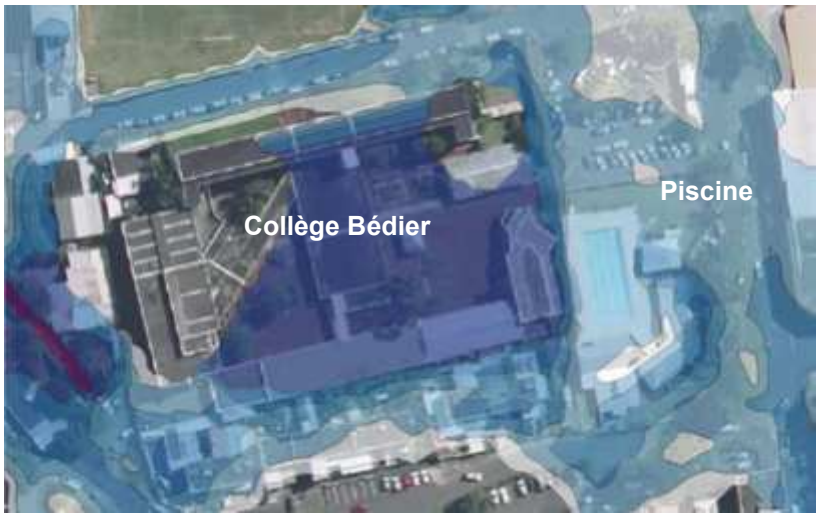
Le centre-ville de Saint André est particulièrement impacté par cette source de vulnérabilité.

De par sa situation hydraulique, l'établissement le plus vulnérable est le collège Bédier où des hauteurs d'eau dépassant 1m50 ont été observées au rez-de-chaussée durant l'épisode Fakir. Néanmoins, les bâtiments de cet établissement ont des étages permettant de mettre les effectifs à l'abri de l'inondation.

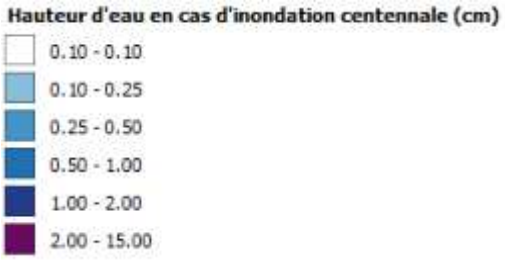
La plupart des établissements scolaires touchés par les inondations ne disposent pas de PPMS (volet inondation).

L'EPHAD se trouvant dans le centre-ville de Saint-André est également dans la zone inondable, et des arrivées d'eau dans le rez-de-chaussée du bâtiment doivent être envisagées. La vulnérabilité des personnes âgées qui y résident est ainsi jugée élevée, même si l'établissement possède des étages refuges.

Focus sur les établissements les plus vulnérables



Le collège Bédier est inondé par plus de 1 m d'eau. Il a connu de gros dommages matériels après le passage de Fakir, la situation n'y étant pas revenue totalement à la normale depuis.



L'EPHAD et l'annexe du GHER (cf. S1/5) du centre-ville de Saint André sont eux aussi sensibles en cas d'inondation du fait notamment du public qu'ils accueillent (personnes à mobilité réduite). Les hauteurs d'eau peuvent atteindre 25 cm, voire 50 cm par endroit. Or l'hôpital ne présente pas d'étage, aggravant sa vulnérabilité.

9.4.1.5. SOURCE 1/5 : VULNERABILITE DES ÉTABLISSEMENTS DE SANTÉ.

Les établissements de santé hébergent des patients dont l'état est susceptible d'empirer lors d'une inondation en raison des difficultés à pratiquer les soins appropriés. Contrairement aux établissements sensibles (S1/4), la problématique ne se résume pas à l'évacuation mais également à la prise en charge médicale (inaccessibilité de l'établissement par le personnel soignant, coupures d'électricités, etc.).

Une annexe de l'hôpital du Groupe Hospitalier Est Réunion se trouve en zone inondable dans le Centre-Ville de Saint André, rue Lagourgue.

Cette annexe accueille :

- une unité de Soins de Suite et de Réadaptation (SSR) à orientation gériatrique d'une capacité de 30 lits,
- une Unité de Soins de Longue Durée (USLD) d'une capacité de 55 lits.

*Fig. 198. 3KRWRV GH O•DQQH[H GX *+(5*

Tabl. 61 - Données rHODWLYHV j O•DQQH[H GX *+(5 GH Saint-André

Description	Quartier	Adresse	Capacité
Annexe du GHER	Centre-Ville	Rue Lagourgue	85 lits

Au vu des enquêtes, l'hôpital ne présente pas de seuil et est donc inondé en cas d'écoulements pouvant atteindre 25 cm dans ce secteur.

Constats sur la vulnérabilité des établissements de santé :

Des entrées d'eau dans le bâtiment doivent être envisagées car il n'y a pas seuil. De plus, le bâtiment n'a pas d'étages, ce qui rend la mise à l'abri des patients extrêmement compliquée.

9.4.1.6. BILAN : VULNERABILITE DES BATIMENTS

Les cartes ci-dessous permettent d'identifier les bâtiments en fonction de leur vulnérabilité face aux inondations. Les bâtiments sans étages sont plus vulnérables que les bâtiments avec étages. La vulnérabilité augmente par ailleurs avec la hauteur d'eau dans la bâtiment en cas d'inondation.

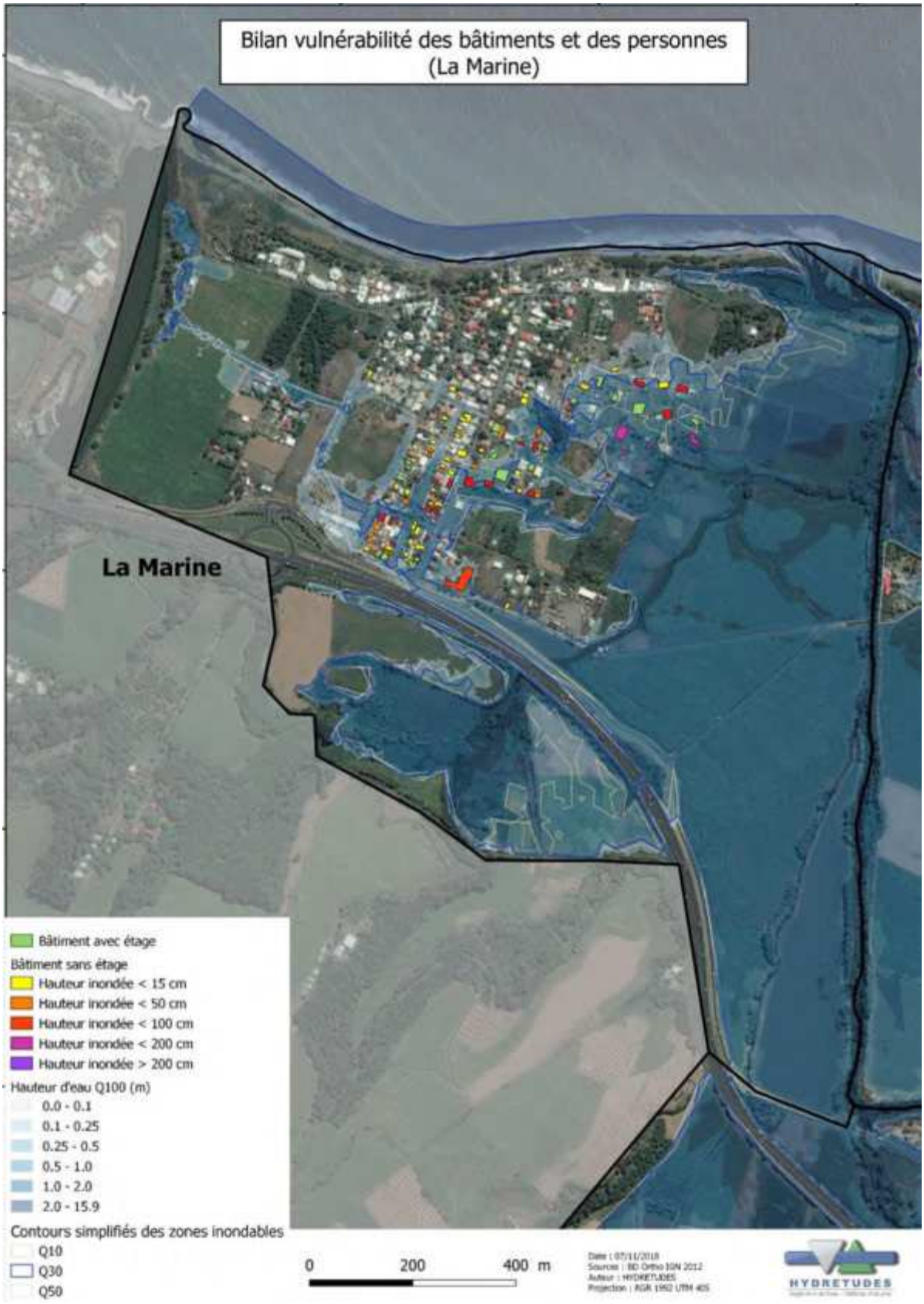


Fig. 199. Bilan de vulnérabilité des bâtiments et des personnes (la Marine)

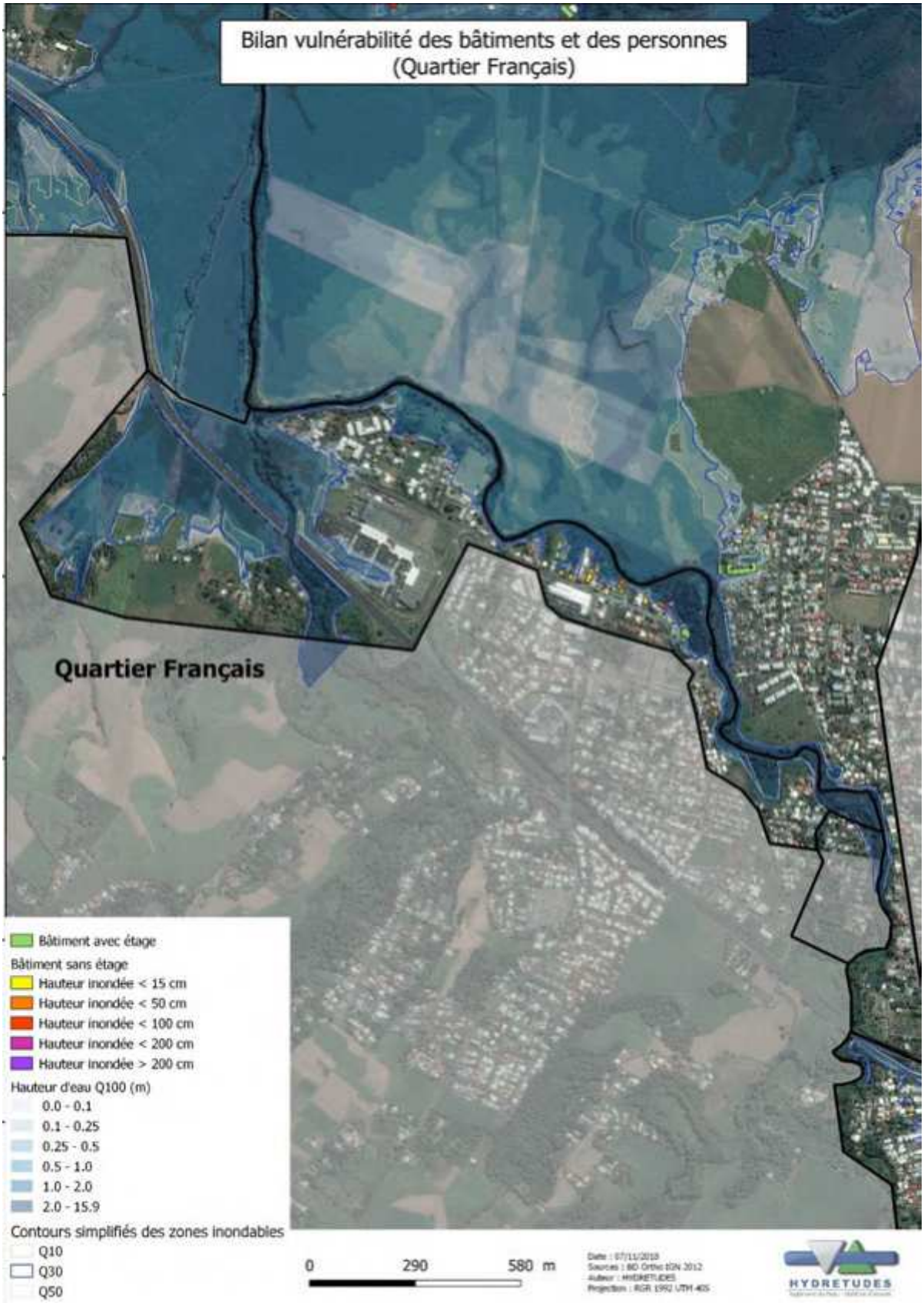


Fig. 200. Bilan de vulnérabilité des bâtiments et des personnes (Quartier Français)

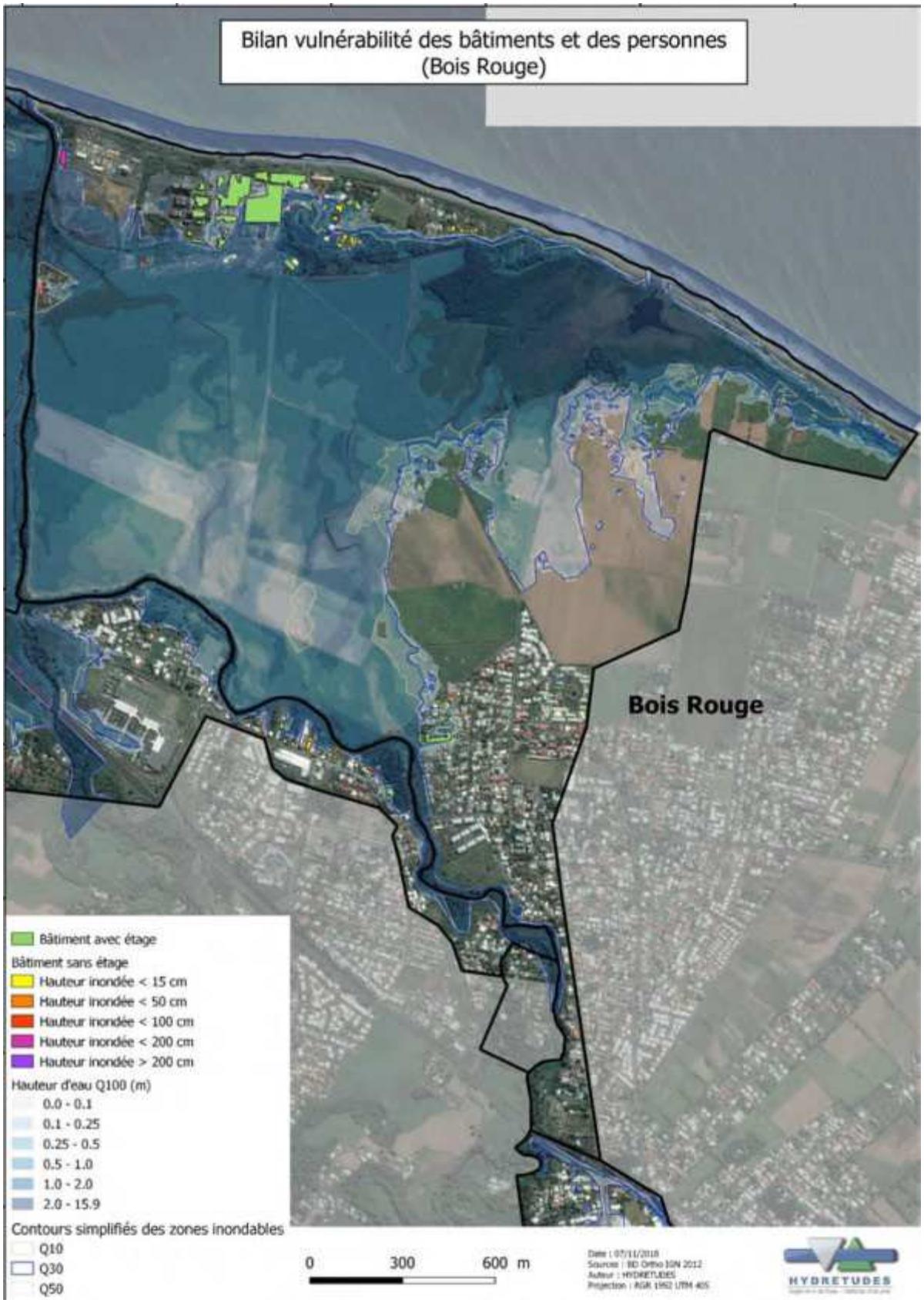


Fig. 201. Bilan de vulnérabilité des bâtiments et des personnes (Bois Rouge)

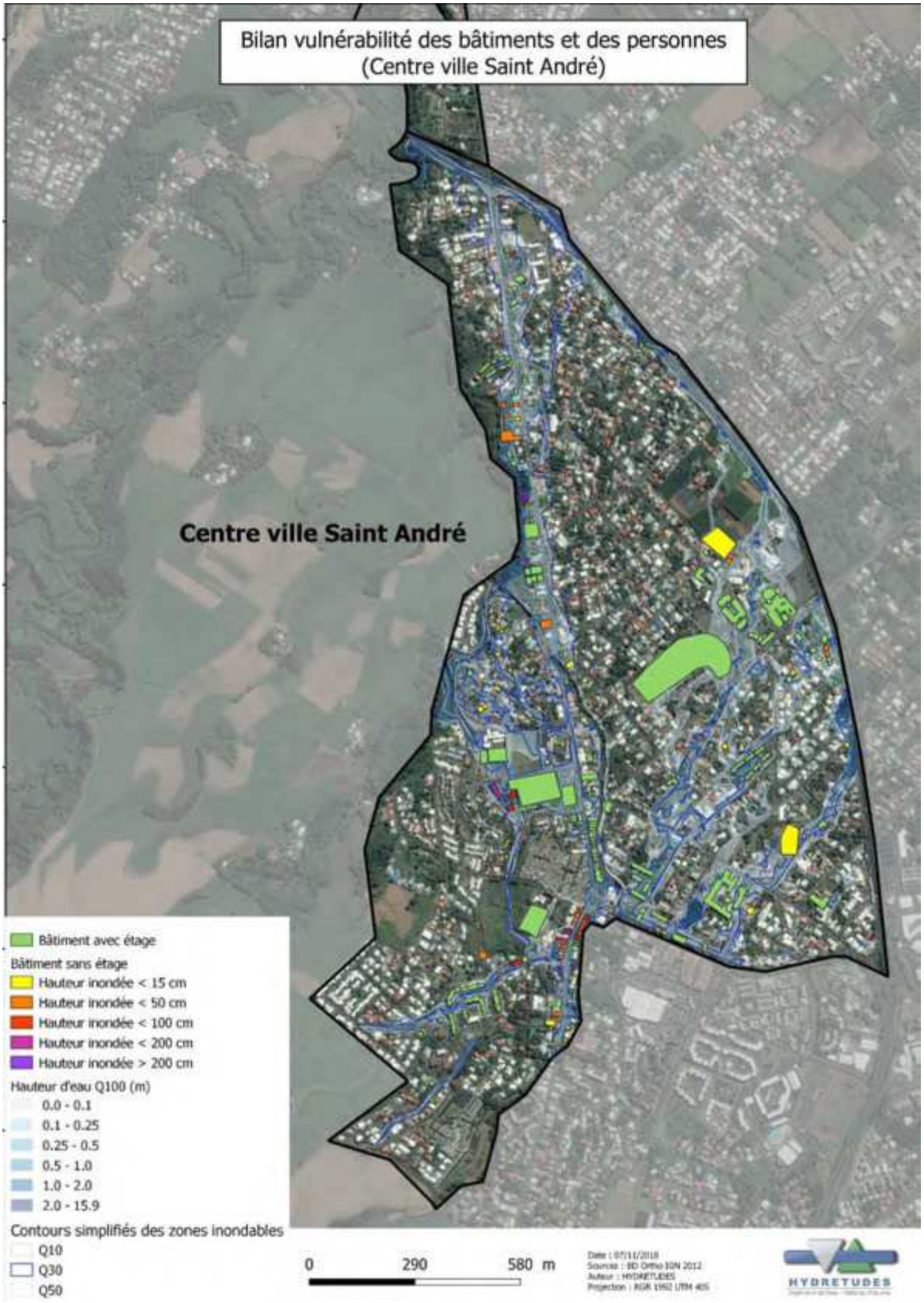


Fig. 202. Bilan de vulnérabilité des bâtiments et des personnes (Centre-ville Saint André)

9.4.2. Axe 1.2 : Le dysfonctionnement des infrastructures et des réseaux

L'arrêt prolongé de certains réseaux (électriques, eaux usées, AEP, Télécom) peut rendre les conditions de vie difficiles à l'échelle d'un territoire, voire représenter un danger pour les personnes. De la même façon, les coupures d'infrastructures, routières notamment, peuvent isoler des secteurs d'habitats ou d'activités, pouvant mettre en danger les personnes empruntant ces axes de circulation.

9.4.2.1. SOURCE 1/6 : PRESENCE D'EAU ET/OU DE COURANTS DANS LES ESPACES OUVERTS FRÉQUENTES PAR DES PIÉTONS OU DES VÉHICULES

La présence et le déplacement des personnes dans des zones inondées représentent de multiples dangers. Les piétons peuvent être emportés par le courant et/ou se noyer lorsque les hauteurs d'eau sont importantes. Les chutes dans les regards de visite de réseaux dont les tampons ont été soulevés, représentent également un véritable danger pour les personnes. Par ailleurs, des personnes peuvent se retrouver emportées en présence de courant.

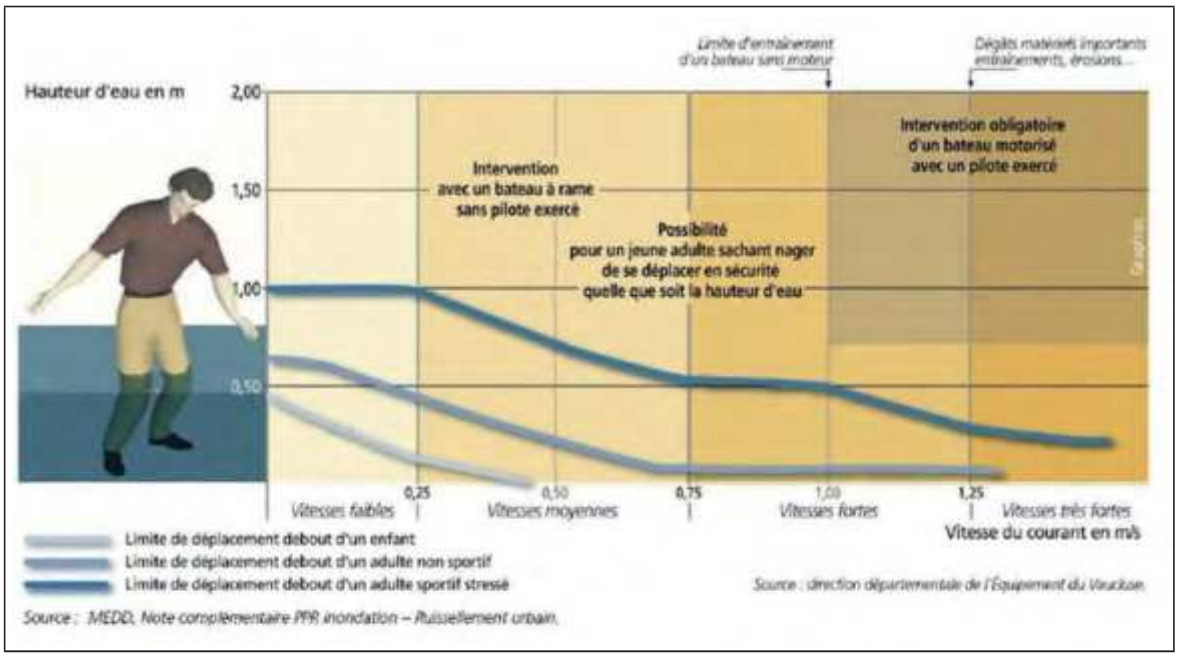


Fig. 203. Critères pour définir les zones dangereuses pour le déplacement d'une personne

Dans le scénario d'inondation, les axes routiers représentent des axes d'écoulements préférentiels particulièrement dangereux, où des hauteurs d'eau et surtout les vitesses d'écoulement importantes (>1m/s) peuvent être observées.

Cela est particulièrement le cas sur le centre-ville de Saint André où les principales artères de la ville sont inondées par le débordement de la ravine sèche.

Fig. 204. , QRQGDWLRQ GH O•DYHQXH GH %RXUERQ GXUDQW)DN

On note également que les débordements de la ravine sèche vers le Centre-Ville de Saint-André impactent la RN depuis l'échangeur de petit bazar et vers l'est. Les coupures sont indiquées sur les figures suivantes pour les différentes occurrences de crue :

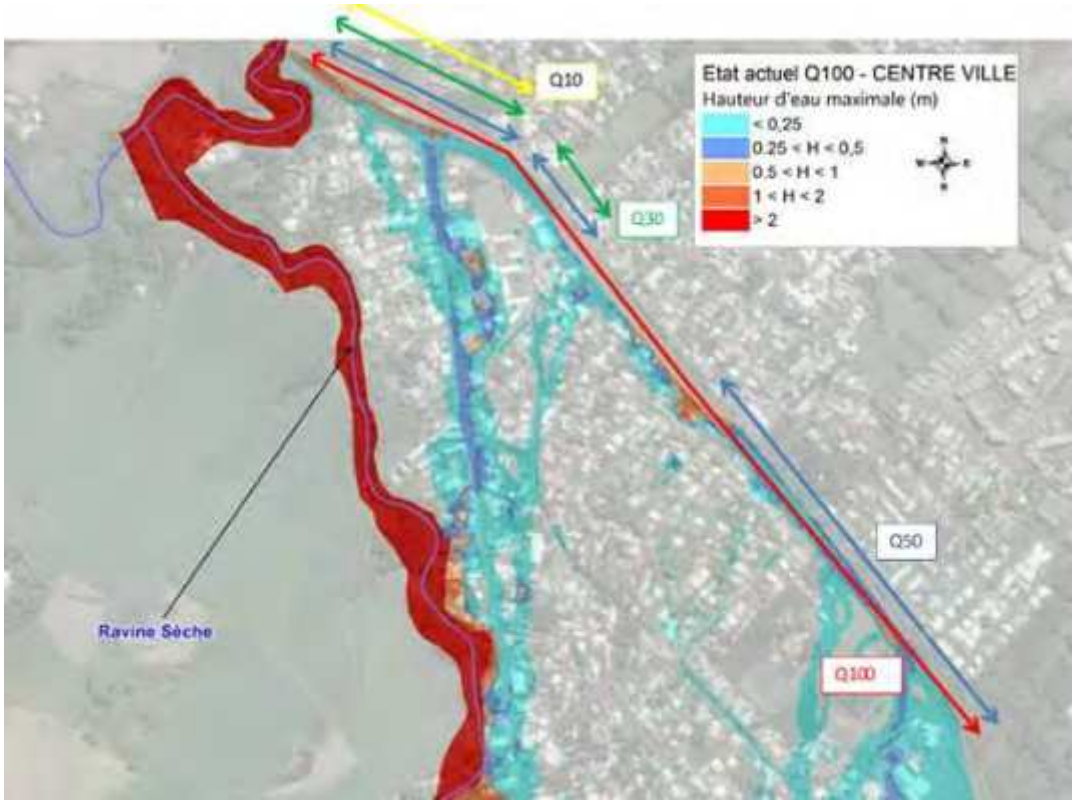


Fig. 205. Inondation de la RN pour Q100

Du côté de Sainte-Suzanne, le Quartier Français se retrouve assez rapidement isolé lors d'évènements pluvieux relativement important. En effet, tous les axes principaux menant à Quartier

Français sont submergés, bloquant de fait toutes circulations. Le pont de la Petite Rivière Saint-Jean est submergé quasiment à chaque événement pluvieux.

De plus, sur la RN2 au niveau de l'échangeur de Carrefour, et de celui de la Marine les axes sont souvent submergés. Il y a eu par exemple pour Fakir 2 mètres d'eau à ces endroits. Ce qui amplifie le phénomène d'isolement des quartiers concernés. Cependant, les coupures au droit de ces échangeurs résultent des apports d'eau pluviales, et non pas de débordements de la Grande ou de la Petite Rivière Saint-Jean.

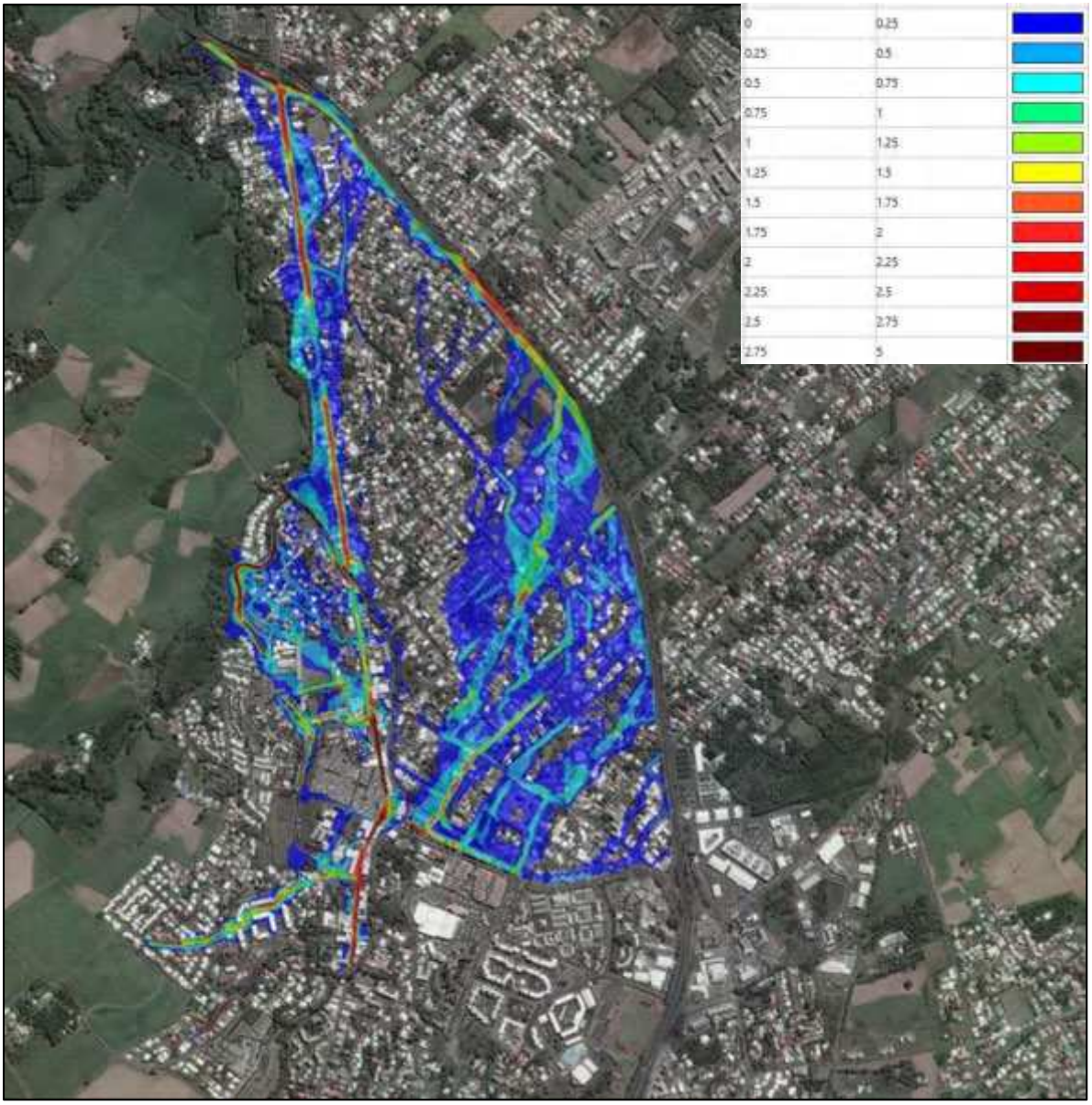


Fig. 206. Cartographie des vitesses d'écoulement atteintes dans le centre-ville de Saint-André pour Q100

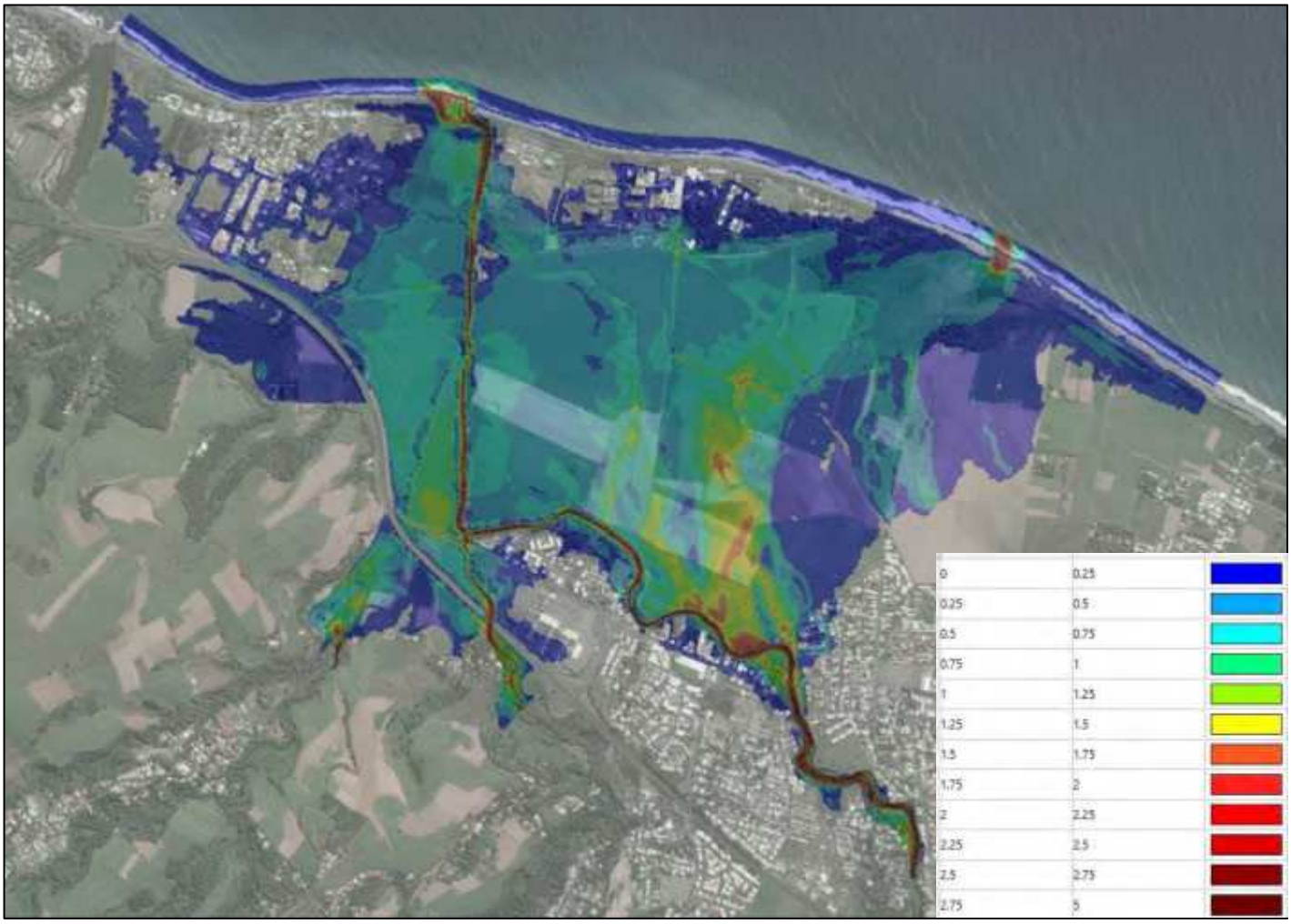


Fig. 207. &DUWRJUDSKLH GHV YLWHVVHV G•pFRXOHPHQW VXU ODpSDUWLH D Q100 (Quartier Français, Bois Rouge, La Marine)

Constats sur la présence d'eau et/ou de courants dans les espaces ouverts :

Les principaux axes routiers et rues commerçantes du centre-ville de Saint André sont coupés Les vitesses d'écoulement peuvent y atteindre 5 m/s, et les hauteurs d'eau se situent en 0,5 et 1 m, ce qui est suffisant pour emporter des piétons et des véhicules.

L'Avenue de Bourbon et l'Avenue Ile de France sont particulièrement concernées, ainsi que Quartier Français qui peut facilement se retrouver isolé. De plus, sur la RN au niveau de l'échangeur de petit bazar, de carrefour et de la Marine, les hauteurs d'eau peuvent rapidement dépasser les 2 mètres bloquant ainsi la circulation.

Sur les quartiers de la Marine et Bois Rouge, les vitesses d'écoulement sont moindres, car la pente est plus faible. En revanche, des hauteurs d'eau importantes (>2m) peuvent être observées sur les routes d'accès vers Bois Rouge.

9.4.2.2. SOURCE 1/7 : DANGEROSITÉ DES ITINÉRAIRES D'ACCÈS AUX HABITATIONS

Lors d'une inondation, la tendance de certains habitants à retourner chez eux peut occasionner des prises de risques sur les routes. Il en est ainsi pour toute personne habitant dans un secteur dont l'accès nécessite de traverser des zones dangereuses.

Constats sur la dangerosité des itinéraires d'accès aux habitations :

Mêmes constats que pour la source S1/6.

Les quartiers du Centre-Ville de Saint-André et de la Marine sont particulièrement concernés car ils sont les plus peuplés.

9.4.2.3. SOURCE 1/8 : ISOLEMENT PROLONGE DE QUARTIERS PEUPLES

Lors d'une inondation, des quartiers peuvent se retrouver isolés de façon prolongée et il n'est pas toujours possible de les évacuer préventivement. L'inondation peut alors représenter un danger pour la santé humaine, en particulier pour les individus les plus fragiles.

À la réunion, la dynamique des inondations est rapide et l'enclavement dû à l'inondation des axes routiers ne dure généralement pas longtemps (<48h).

On a vu qu'une grande partie des axes routiers sont inondés le temps de la crue rendant les déplacements compliqués, voire impossibles. La RN2 est coupée au niveau du centre-ville de Saint André. De ce fait, les évacuations vers les établissements de gestion de crise lors de l'évènement peuvent être rendues complexes.

Constats sur l'isolement prolongé de quartiers peuplés :

Vu les dynamiques de crues rapides, il n'y a à priori pas d'isolement prolongé (>48h).

NB : L'enclavement de quartiers peuplés durant la durée de l'inondation (<48h) est néanmoins une source de vulnérabilité importante qui sera traitée dans la source S2/10.

9.4.2.4. SOURCE 1/9 : DIFFICULTÉ D'ÉVACUATION DE ZONES DE CONCENTRATION DE POPULATIONS

Lors d'une inondation rapide, des zones de concentration de populations telles que centres commerciaux, ou les zones d'activités denses peuvent poser des problèmes d'évacuation et par conséquent de sécurité des personnes.

Constats sur la difficulté d'évacuation de zones de concentration de populations :

Le Centre-Ville de Saint André concentre de multiples commerces et autres activités et peut être considéré comme une zone de concentration de population, au-delà des personnes qui y habitent. Il se trouve enclavé lors de l'inondation car ses principaux axes routiers sont impraticables.

Les centres commerciaux situés à Quartier Français (Carrefour et Leader-Price) ne sont pas dans la zone inondable. En revanche, ils pourraient être concernés par l'enclavement, si on prend en compte les problèmes de ruissellement, notamment sur l'avenue Gandhi.

9.4.2.5. SOURCE 1/10 : DANGERS LIES À UN DYSFONCTIONNEMENT DE RÉSEAU URBAIN

L'inondation, en impactant des installations du réseau électrique, peut engendrer une coupure de ce réseau dont les conséquences vont au-delà de la simple zone inondable. Certaines personnes

dépendantes d'un dispositif électrique peuvent potentiellement être mises en danger, notamment les publics des établissements hospitaliers.

Les données fournies par EDF ne permettent pas de déterminer précisément les zones de fragilité. Néanmoins, de nombreux postes de distribution électrique se trouvent en zone inondable et des coupures électriques sont donc possibles sur l'ensemble du territoire, notamment sur l'annexe du GHER. Les plans fournis par EDF avec la position des postes de distribution sont représentés pour la source 2/10. De plus des données SIG récupérées auprès de la CIREST ont permis d'avoir une idée des différents dysfonctionnements que peux avoir le réseau sur le secteur de Saint-André.

Tout part du poste source, où l'électricité haute tension fournie par RTE est transformée en moyenne tension. De là, des lignes aériennes ou enterrées rejoignent soit des postes privés d'usagers nécessitant un approvisionnement en moyenne tension (industries, hôpitaux…), soit des postes de transformation, également appelés postes de distribution publique (DP), qui transforment en basse tension. C'est de là que partent les lignes qui alimentent les compteurs de tous les autres usagers.

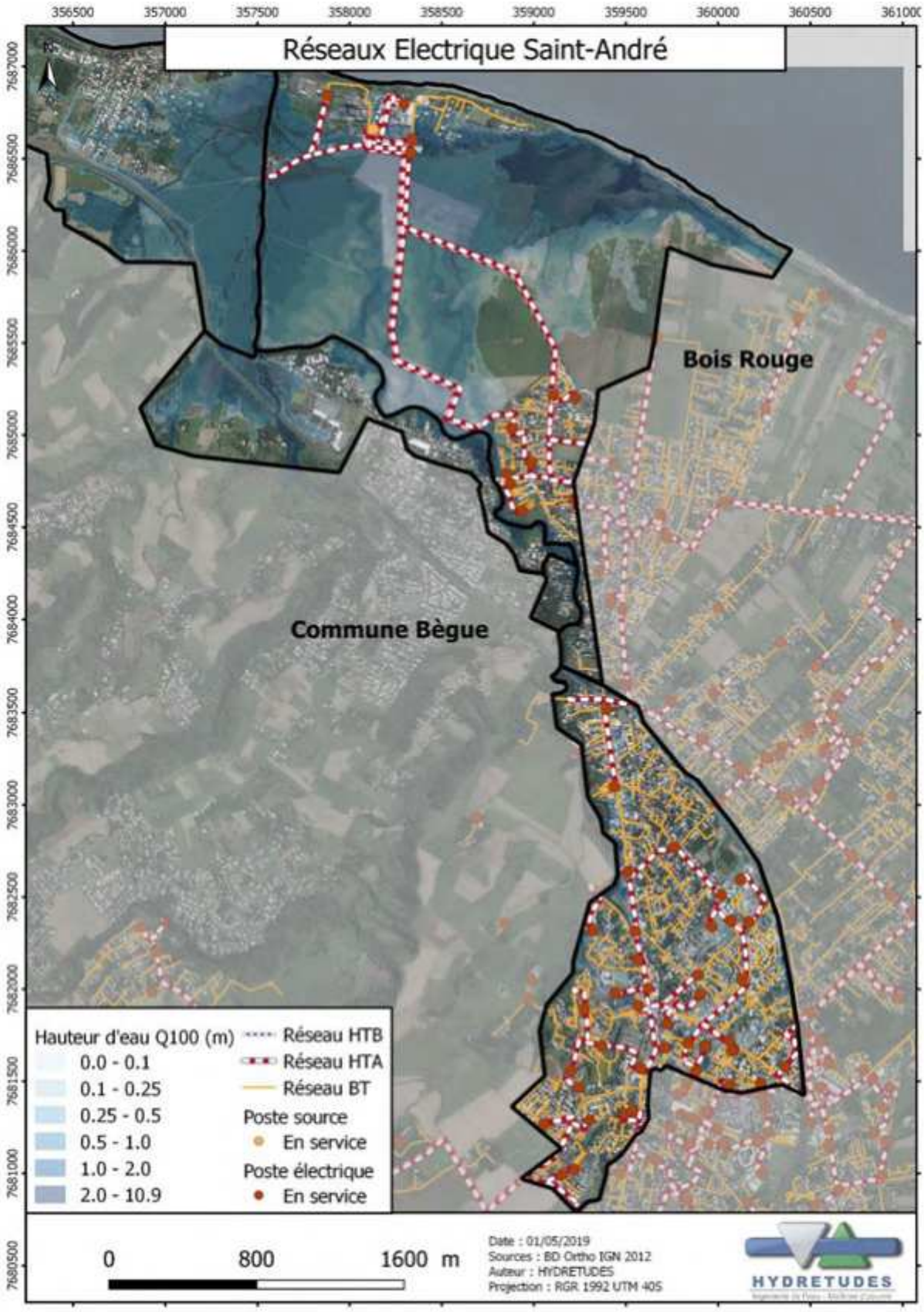


Fig. 208.réseau électrique de Saint-André

Par ailleurs, la centrale thermique (charbon / bagasse) de Bois Rouge exploitée par Albioma, d'une puissance de 100 MW se trouve dans la zone inondable. Elle est d'une importance cruciale pour tout le réseau électrique Nord Est réunionnais.

Fig. 209. Plan du réseau HTB à la réunion (Source : edf)

Le dysfonctionnement de la centrale de Bois Rouge se répercuterait sur l'ensemble du territoire par effet domino.

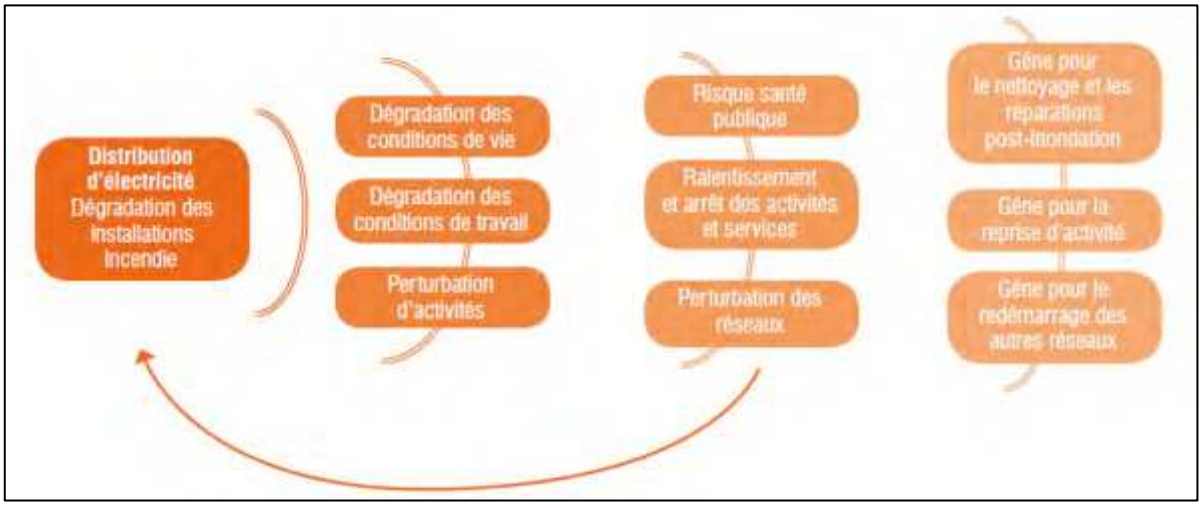


Fig. 210. Effets dominos liés au dysfonctionnement du réseau électrique (Source : CEPRI)

- Dépendance aux autres réseaux

La dépendance du réseau de distribution électrique à d'autres réseaux constitue une vulnérabilité. Si certains mécanismes sont automatisés, d'autres nécessitent une intervention humaine, à distance ou sur le terrain. L'exposition du personnel au risque inondation chez lui ou sur son trajet domicile-travail peut donc représenter une gêne.

➢ Coupure des postes de distribution publique (DP)

Les postes source, les postes de distribution publique et les compteurs des usagers comportent des éléments sensibles à l'eau. Si un poste source ou un poste DP est coupé, c'est tout l'aval du réseau à partir de ce poste qui est coupé, à moins qu'il n'y ait une redondance d'approvisionnement.

Quinze poste de distribution se trouvent en zone inondable et sont vulnérable aux inondations.

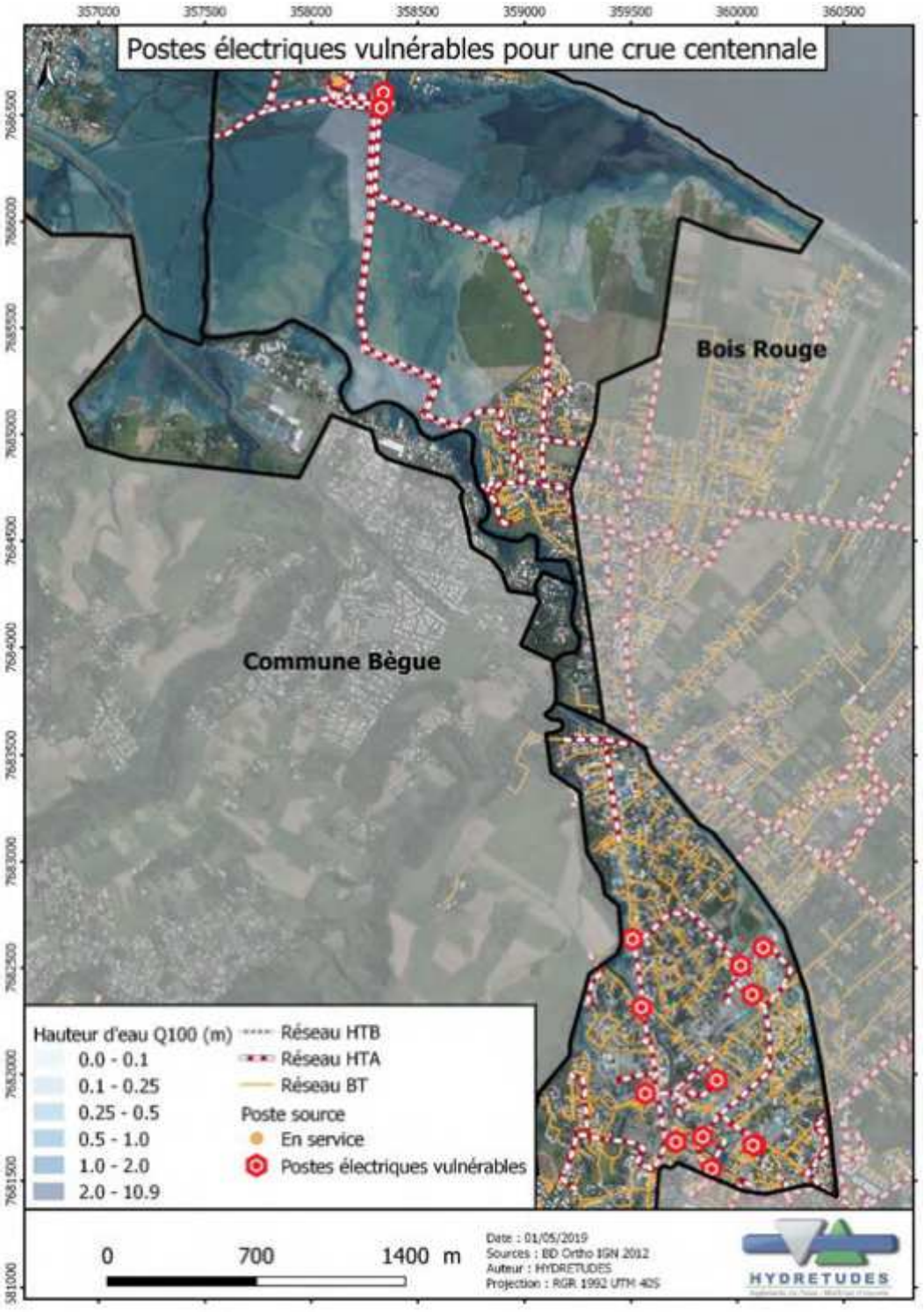


Fig. 211. Postes électriques de Saint-André vulnérable aux inondations

➢ Arrachement de câbles

Les câbles sont plutôt sensibles à l'arrachement en cas de courant fort ou aux tensions en cas de déformation du sol. C'est également le cas des poteaux portant les câbles aériens, qui sont également vulnérables face aux chocs des éléments portés par les flots.

Le réseau de moyenne tension (HTA) présente un maillage redondant. En effet, les divers postes de distributions sont souvent alimentés par au moins deux lignes de moyenne tension. Ainsi, une rupture d'un câble de moyenne tension peut être compensée. De plus, le réseau HTA sur la zone d'étude est essentiellement enterrées et enrobées, et possède des gaines en principe étanche, ainsi le réseau est peu vulnérable aux inondations dans la mesure où il n'y a pas d'affouillement important sur les chaussées.

En revanche, le réseau basse tension présente moins de sécurité. En effet, une grande partie des câbles basses tension (et donc, finalement, des usagers) ne se trouvent connectés qu'à un seul poste de distribution. Les lignes basses tension sur la zone d'étude sont en grande majorité des lignes aériennes. Pour ce type de ligne, la source de vulnérabilité liée aux inondations est la présence de poteaux électriques dans des zones de courant fort. La chute d'un poteau due à la force des écoulements (hauteur d'eau et vitesse importante) et aux chocs des éléments solide portés par les flots est envisageable, et provoquerai probablement une rupture de la ligne électrique. Ce type de rupture, due à une chute de poteau, envisagée dans cette étude, reste cependant bien moins probable qu'une rupture due à une chute d'arbre ou de branche sur la ligne aérienne.

Ainsi les risques de coupures les plus probables dues à une fragilité du réseau liée à la rupture ou aux inondations des postes électriques sont essentiellement regroupés dans les différents secteurs du centre-ville de Saint-André.

Constats liés au dysfonctionnement d'un réseau urbain :

La centrale de production d'électricité de Bois Rouge se situe dans la zone inondable. En cas d'arrêt de fonctionnement, les dommages indirects dus à la baisse de production électrique sur le territoire réunionnais (qui représente environ 25% de la production électrique de la Réunion) seraient conséquente, en effet, de nombreux bâtiments se retrouveraient sans courant.

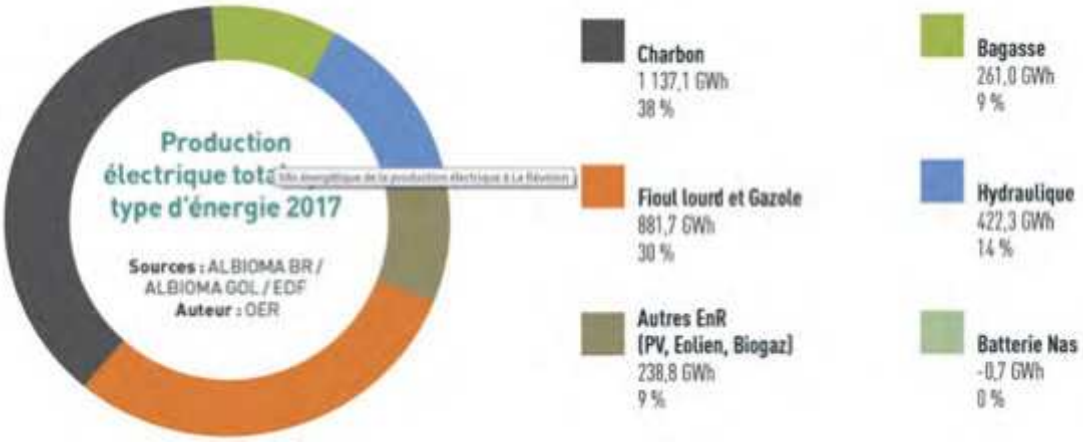


Fig. 212. Répartition de la production électrique (2017)

Des coupures liées à l'inondation de postes de distribution électrique ou à la rupture des câbles basses tensions aériens représentent une source de vulnérabilité.

9.4.3. Axe 1.3 : La mise en danger des personnes liée aux suraléas

La survenue d'une crue peut engendrer des suraléas liés à la rupture d'un ouvrage de protection ou à la création d'embâcles sur des ouvrages hydrauliques, mais encore à des impacts sanitaires liés au drainage de produits dangereux ou de pollution par les écoulements.

9.4.3.1. SOURCE 1/11 : SURALEA GENERE PAR UN OUVRAGE HYDRAULIQUE

Tout ouvrage linéaire, lorsqu'il n'a pas été conçu pour supporter une charge hydraulique ou lorsque le niveau hydraulique pour lequel il a été dimensionné est dépassé, peut céder et engendrer des zones de danger pour les personnes exposées: cinétique rapide, vitesses importantes.

De plus, certains ouvrages hydrauliques de franchissement comme les ponts de faible capacité ou les radiers peuvent être sujets à la création d'embâcles. Ces embâcles ont pour effet d'augmenter les risques de submersion et de débordement de l'ouvrage et d'augmenter les débits débordés et donc les hauteurs d'eau, les vitesses d'écoulement et la surface de la zone inondée.

Le centre-ville de Saint André, peut être particulièrement affecté par cette source de vulnérabilité. On constate en effet la présence :

- D'un ouvrage de protection ; cet ouvrage est en bon état et est suffisamment dimensionné pour un débit centennal sur la partie totalement canalisée. Il ne représente à priori pas une source de vulnérabilité importante par suraléa,
- En revanche, le tronçon de la ravine Sèche entre les PK 2150 et 1400 présente des désordres liés notamment à l'abaissement du lit et aux sous cavement. Cette partie pourrait représentée un suraléa.
- Plusieurs ouvrages hydrauliques pouvant être sujets à embâcles, et tout particulièrement :
  - Le pont Minot sur l'avenue de Bourbon qui provoque le débordement de la ravine sèche vers le centre-ville,
  - L'ouvrage hydraulique de la ravine Payet passant sous la rue Payet,
  - L'ouvrage hydraulique de la rue Miguel sur la ravine Payet dont les embâcles ont pour effet de relever la ligne d'eau à l'amont et d'aggraver les inondations des habitations se trouvant sur la berge à l'amont.
  - Tous les autres ouvrages hydrauliques du centre-ville qui sont sous-dimensionnés pour un débit centennal.
  - Le pont de la Petite Rivière Saint-Jean qui provoque le débordement de la rivière vers Quartier Français.
  - Le pont de Bois Rouge traversant la Grande Rivière Saint-Jean.

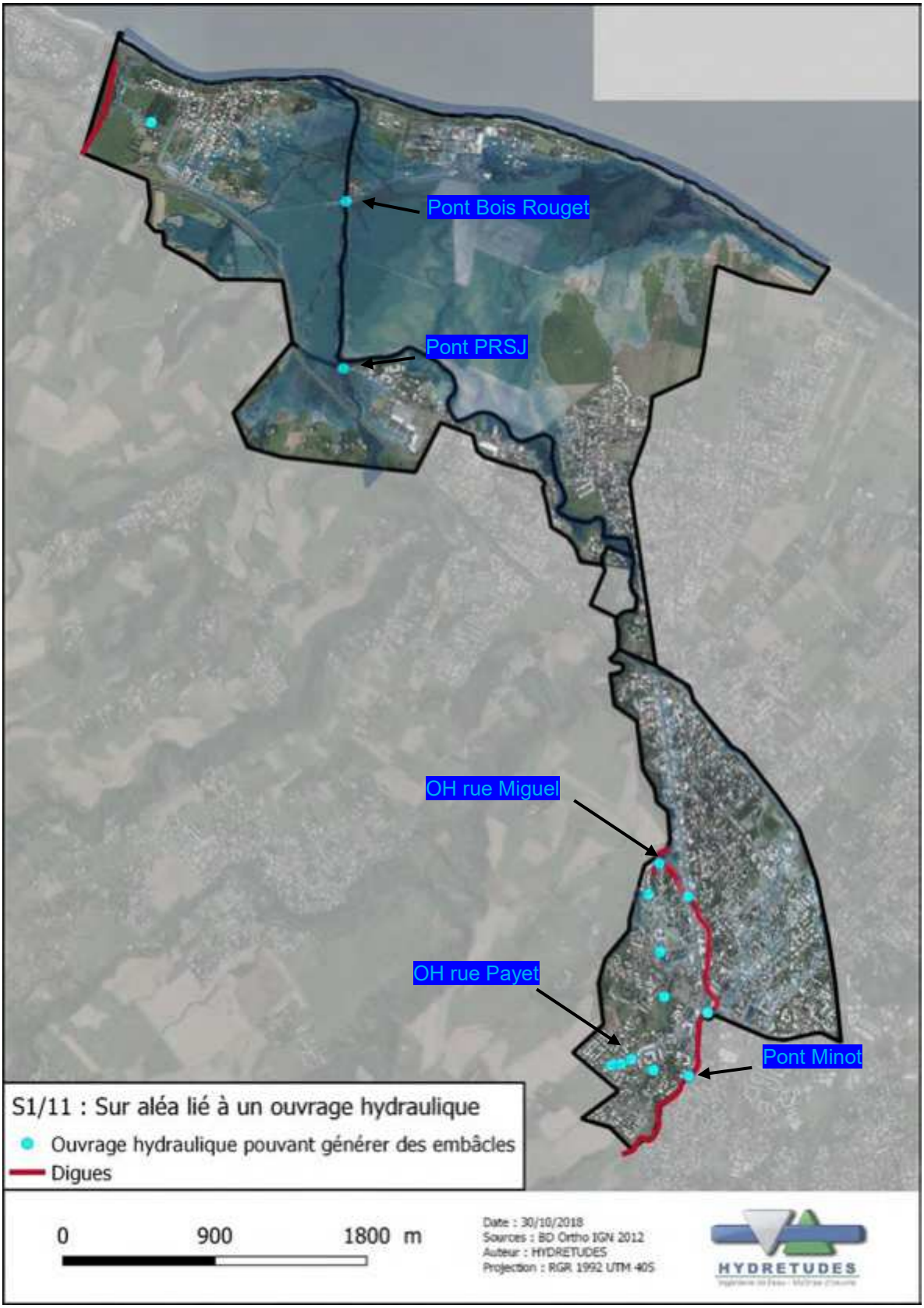


Fig. 213. Cartographie des ouvrages hydrauliques pouvant être sujets à embâcles (sur aléa)

Constats sur les suraléas générés par les ouvrages hydrauliques :

Vu le bon état et la capacité suffisante pour une crue centennale de l'ouvrage du centre-ville de Saint-André sur la partie totalement canalisée (PK2150 à 2950), celle-ci ne représente pas une source de vulnérabilité par suraléa importante.

En revanche, le tronçon de la ravine Sèche entre les PK 2150 et 1400 présente des désordres liés notamment à l'abaissement du lit et aux sous-cavements. Cette partie pourrait représentée un suraléa.

Les ouvrages hydrauliques du centre-ville de Saint-André représentent une source de vulnérabilité par sur aléa du fait de la création possible d'embâcles qui augmente les débits de débordement, particulièrement le Pont Minot, l'ouvrage hydraulique de la rue Payet et le dalot de la rue Miguel.

Le reste de la zone d'étude n'est pas concerné par cette source de vulnérabilité.

9.4.3.2. SOURCE 1/12 : SURALEA TECHNOLOGIQUE

Par effet domino, l'inondation d'établissements dangereux est potentiellement la source d'accidents technologiques. Il peut s'agir de phénomènes d'explosion, de projections, d'effets thermiques, d'effets toxiques, etc., dont les effets sur la population peuvent être létaux.

Tabl. 62 - ICPE en zone inondable

Quartier	Commune	Type	Situation hydraulique
La Marine	Sainte-Suzanne	Déchetterie de La Marine	Inondé à partir d'une crue centennale
Quartier Français	Sainte-Suzanne	STAR (déchet dangereux) - NS - NON SEVESO - Régime autorisation	Non inondé (surélevé)
Bois Rouge	Saint-André	STAR - NS - NON SEVESO - Régime autorisation	Non inondé
Bois Rouge	Saint-André	CTBR Centrale Thermique - NS - NON SEVESO - Régime autorisation	Inondé à partir d'une crue decennale
Bois Rouge	Saint-André	Sucrerie de Bois Rouge - NS - NON SEVESO - Régime autorisation	Inondé à partir d'une crue decennale
Bois Rouge	Saint-André	Distillerie Savanna - NS - NON SEVESO - Régime autorisation	Non inondé
Centre-ville Saint André	Saint-André	AMEYEN Garage - NS - NON SEVESO - Régime autorisation	Inondé à partir d'une crue cinquentennale
Centre-ville Saint André	Saint-André	6 Stations services	En zone inondable
Quartier Français	Sainte-Suzanne	2 Stations services (une à quartier Français et une à Cambuston	En zone inondable

D'autres sources de pollution de l'eau peuvent aussi avoir des effets sanitaires néfastes sur la population. Ces phénomènes sont traités dans la source 2/5 (dommages à l'environnement).

Constats sur les suraléas technologiques :

Le pôle industriel de Bois Rouge (sucrerie / distillerie / centrale thermique) classé ICPE se trouve en zone inondable.

Deux autres ICPE se trouvent dans la zone d'étude et leur fonctionnement peut être impacté par l'inondation (coupures électriques, enclavement, etc.)

9.4.4. Axe 1.4 : Le manque de préparation à la crise

Pour limiter les risques de mise en danger des personnes, une inondation nécessite d'être anticipée et préparée. Cela se traduit notamment par la mise en œuvre de démarches à la fois individuelles et collectives de préparation à la crise.

9.4.4.1. SOURCE 1/13 : PRÉPARATION INDIVIDUELLE À LA CRISE

Les comportements inappropriés tels que déplacements périlleux, refus d'évacuer, etc. sont à l'origine d'accidents mortels. La culture du risque permet de réduire les prises de risque et de renforcer la sécurité des personnes. Un indicateur objectif et pertinent consiste à répertorier les actions de formation et de sensibilisation aux inondations.

Pour améliorer cette prise de conscience de la population vis-à-vis du risque inondation, le PIROI réalise à la Réunion de nombreuses actions de formation et de sensibilisation parmi lesquelles :

- des formations sur la conduite à tenir en milieu inondé,
- un projet de sensibilisation « Inondation, Nout kartié lé paré ! », notamment sur le TRI Saint-André / Sainte-Suzanne
- le projet de sensibilisation du jeune public « Paré / pas paré » dans les écoles,
- l'élaboration d'un livret familial « Nout fami lé Paré - Guide de préparation aux risques de catastrophes naturelles à la Réunion » qui s'apparente à un PFMS.

A noter qu'un réseau de repères de crues doit être mis en place par la CIREST et la CINOR **sur le bassin versant de la Grande rivière Saint Jean et ses affluents (études de définition du réseau de repères de crues réalisée)**.

Constats sur la préparation individuelle à la crise :

Des actions de sensibilisation et de formation sont réalisées par le PIROI sur le territoire réunionnais.

9.4.4.2. SOURCE 1/14 : PRÉPARATION COLLECTIVE À LA CRISE

À l'échelle collective, il est possible de prendre des mesures améliorant la sécurité des personnes ; à savoir l'évacuation préventive des secteurs les plus dangereux, la gestion efficace des ouvrages de protection, la gestion des axes de circulation, etc. Cette préparation à l'échelle collective passe par la réalisation régulière d'exercices et la mise en œuvre de procédures, dont certaines sont consignées dans des documents réglementaires comme le plan communal de sauvegarde (PCS).

Sur la zone d'étude, les communes de Saint André et de Sainte Suzanne ont toutes deux élaboré un PCS.

Le PCS de Sainte-Suzanne (mises à jour, notamment pour les annuaires et listings en 2015) comprend notamment la mise en place du dispositif communal de crise avec :

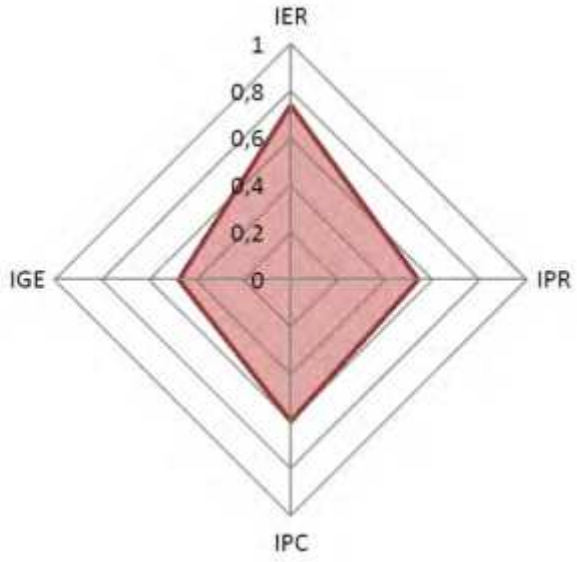
- Le schéma d'alerte des principaux responsables communaux,
- Le schéma de fonctionnement du poste de commandement communal,
- La distribution des responsabilités de chaque service au début de la crise, pendant la crise, et après la crise,
- Le recensement des moyens (centre d'accueil, moyens matériels),
- Des fiches d'aide à la décision.

De plus, la commune de Sainte-Suzanne a fait l'objet d'un exercice de simulation de crise dans le cadre du projet de recherche SPICy (« Système de Prévision des Inondations côtières et fluviales en contexte Cyclonique») dont l'objectif est de développer les briques technologiques nécessaires à la mise en place d'un système de prévision des inondations côtières et fluviales d'origine cyclonique pour les Territoires d'Outre-Mer. L'objectif général de l'exercice est de tester les réponses opérationnelles de la commune de Sainte-Suzanne, en possession des bulletins de prévision SPICy, et dans le cadre de la mise en œuvre de leur Plan Communal de Sauvegarde dans un contexte cyclonique.

Dans ce cadre, le PCS de la commune de Sainte-Suzanne a été particulièrement étudié..) Il en ressort un manque d'élément en terme de :

- **Recensement des enjeux,**
- **D'organisation de l'alerte et d'information de la population,**
- **D'organisation de la coopération avec les EPCI, la communauté scolaire et les associations locales,**
- **Traduction de l'aléa en scénario.**

La capacité de la commune à faire face à un évènement météorologique important a également été étudiée :



Indice d'Evaluation du Risque (IER)

Indice de Prévention du Risque (IPR)

Indice de Préparation à la Crise (IPC)

Indice de Gestion de l'Evènement (IGE)

Fig. 214. Représentation radar de la capacité à faire face de la commune de Sainte-Suzanne

Tabl. 63 - 6\QWKqVH GH O•DQDO\VH GH OD FDSDFLWp « à faire face » de la commune de Sainte-Suzanne

Résultats de la commune de Sainte-Suzanne		Valeur
Indice d'Evaluation du Risque (IER)		**0,74/1**
IER1	Archivage de données concernant les évènements passées sur la commune	0,14/0 ,2
IER2	Evaluation de l'aléa	0,3/0,3
IER3	Plan d'intervention gradué	0/0,2
IER4	Evaluation des vulnérabilités et du risque sur la commune	0,3/0,3
Indice de Prévention du Risque (IPR)		**0,54/1**
IPR1	Information de la population	0,24/0,4
IPR2	Evolution du bâti construit entre 1950 et 2015 en zone inondable	0/0,2
IPR3	Mise en œuvre de moyens et techniques de protection contre les inondations/submersion	0,3/0,4
Indice de Préparation à la Crise (IPC)		**0,6/1**
IPC1	Ressources de communication externes	0,16/0,2
IPC2	Mise en place de réserves communales de sauvegarde impliquant la population	0,1/0,2
IPC3	Existence de plan de gestion de crise et identification des différents moyens d'alerte de la population	0,12/0,3
IPC4	Ressources à disposition de la commune	0,12/0,2
IPC5	Connaissance du PCS	0,1/0,1
Indice de Gestion de l'Evènement (IGE)		**0,474/1**
IGE1	Action de protections anticipées pour les biens et les personnes	0,264/0,4
IGE2	Analyse de l'évolution de l'évènement par le PCC	0,15/0,3
IGE3	Alerte des riverains	0,06/0,3

A l'issue de cette analyse, des axes d'amélioration (proposition d'outils) ont été identifiés :

- **Un premier volet concernant des bulletins de prévisions des conditions océaniques et hydrologiques associées à un scénario météorologique, issus des résultats de modélisation développés tout au long du projet. Produits à échéances régulières, ces bulletins permettraient de prévoir différents critères tels que les impacts des fortes houles, d'anticiper des crues éclairs ainsi qu'une éventuelle combinaison des deux phénomènes. Ces bulletins pourraient être réalisés à différentes échelles afin de répondre aux attentes de la préfecture au travers du COP, des sous-préfectures et des communes.**

- **Un second volet consistant à accompagner les communes pilotes dans l'optimisation de leur organisation de gestion de crise au travers de leur PCS. Suite aux différentes analyses réalisées sur leur organisation lors d'un évènement de sécurité civile, plusieurs axes d'amélioration ont été soulevés. En l'occurrence, l'absence de plan d'intervention gradué au sein des PCS a été un axe de travail abordé au travers du projet SPICy.**

Le PCS de Saint-André ne nous a pas été transmis. Cependant, quelques données sont disponibles sur le site internet de la mairie :

- Les personnes en charge de donner l'alerte sont :
  - Le Maire ou son représentant : M. Alain SINARETTY ;
  - Un élu : M. Fabrice BOUCHER ;
  - Le Directeur Général des Services
  - Le responsable de la cellule ERP
  - Le secrétariat

- Le gardien de la mairie

- Le poste de commandement communal est situé à l'hôtel de ville – place du 2 décembre – BP 505 – 97 440 St André – direction générale de l'Hôtel de Ville (n°0262 58 88 85) Il est dirigé par le Maire ou son représentant et est entouré par :
  - Le Directeur Général des Services et/ou un DGA en charge de l'organisation des secours, l'accueil et les relations publiques,
  - Le Directeur des Services Techniques ou son représentant, en charge de la logistique pour les opérations sur le terrain,
  - Le coordonnateur PCS
  - Le secrétariat

Par ailleurs, à l'échelle de la Réunion, un dispositif ORSEC départemental a été mis en place spécifiquement pour les risques cycloniques. Il a été validé par arrêté préfectoral le 3 décembre 2014. Cependant aux vues des évènements de ces dernières années, le dispositif ORSEC a été amélioré en 2018. Ainsi, le nouveau dispositif ORSEC cyclone prend désormais en considération l'ensemble des facteurs météorologiques liés au cyclone. Les alertes seront donc déclenchées en tenant compte à la fois de critères de vents et de critères de pluie. Cela permettra d'adapter la conduite de crise à la grande diversité de phénomènes que peut rencontrer La Réunion, notamment les cyclones dits « de vents » ou les cyclones dits « de pluie » (exemple de Berguitta). Le dispositif de vigilances sur les crues (VIGICRUES) a quant à lui été validé par arrêté préfectoral le 18 décembre 2015.

Notons également que dans le PCS de Saint André (ORSEC Inondation) une entreprise est mentionnée pour l'aide à la reconstruction (actuellement FENELON BTP 3 ZONE ARTISANALE GRD CANAL 97440 SAINT-ANDRE - située hors zone d'étude)

Dans le PCS de Sainte-Suzanne, il n'y a pas mention d'entreprise aidant à la reconstruction.

Constats sur la préparation collective à la crise :

PCS de la commune de Sainte-Suzanne : octobre 2013,

Exercice de simulation de crise à Sainte-Suzanne dans le cadre du projet SPICy : 2015-2016

PCS de la commune de Saint-André : février 2017.

Plan ORSEC 2018

PPMS Groupe scolaire de la Marine

9.4.4.3. SOURCE 1/15 : ÉVOLUTION DE LA VULNERABILITE DANS LE TEMPS

Les politiques d'aménagement d'aujourd'hui conditionnent la vulnérabilité humaine de demain. La mise en place de PPR, comme l'intégration du risque dans les différents documents d'urbanisme, permet d'agir à terme sur la sécurité des personnes.

a) Principaux projets d'aménagement

Trois projets d'aménagement majeurs se situent dans la zone inondable. Il s'agit :

- De l'aménagement du site de Bois Rouge,
- Du projet de la ZA de la Marine,
- Du Nouveau Programme de Renouvellement Urbain NPRU du Centre-ville de Saint-André.

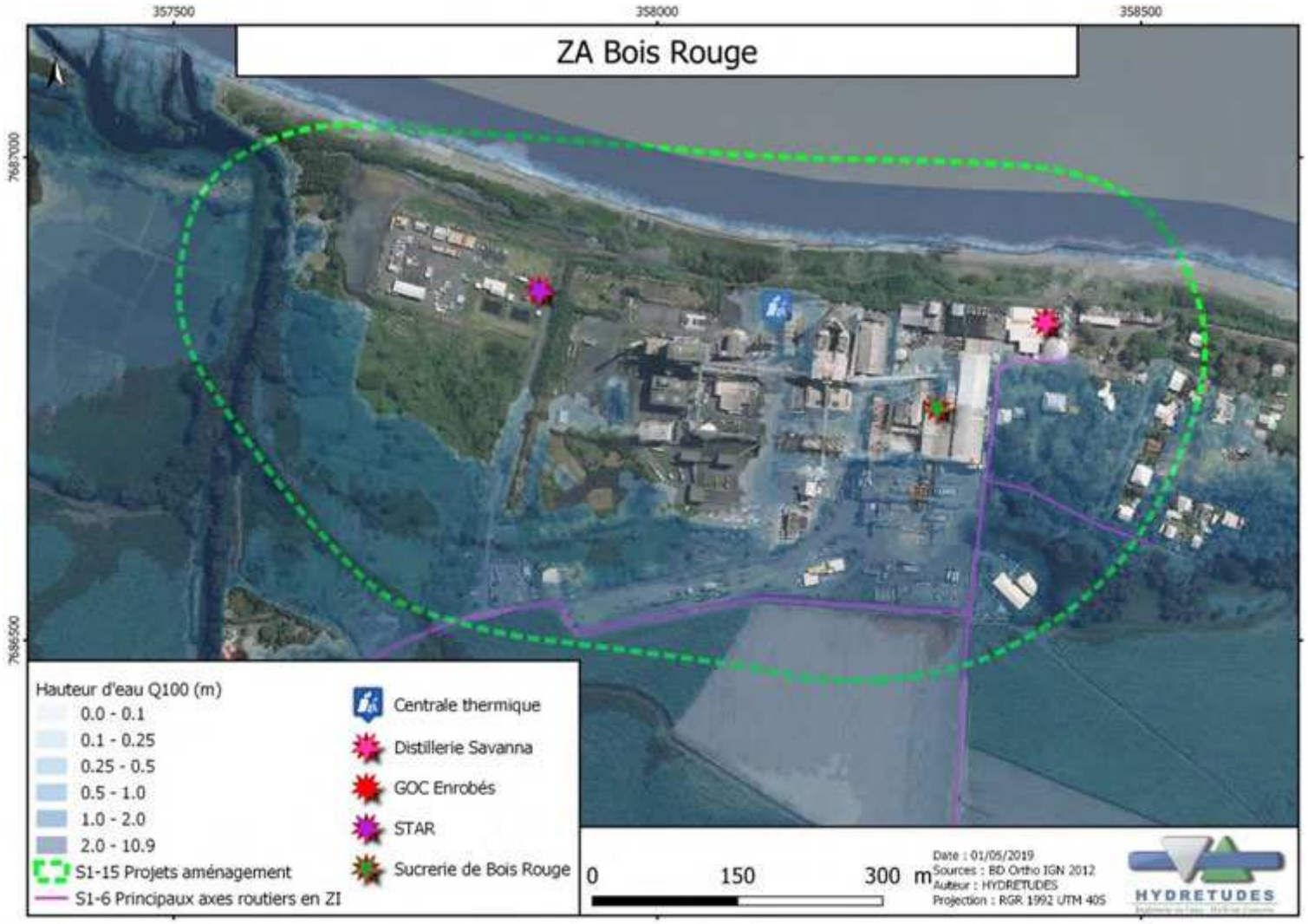


Fig. 215. L R F D O L V D W L R Q G X S U R M H W G H ' H I L Q L W L R Q G H V D P q Q D J H P H Q W V H W G H V D F W L R Q V G H U p G X F W L R Q G X U L V T X H V X U O H W H U U L W R L U H G H U p I p U H Q F H

Fig. 216. L R F D O L V D W L R Q G X S U R M H W G • D P p Q D J H P H Q W G H O D 0 D U L Q H

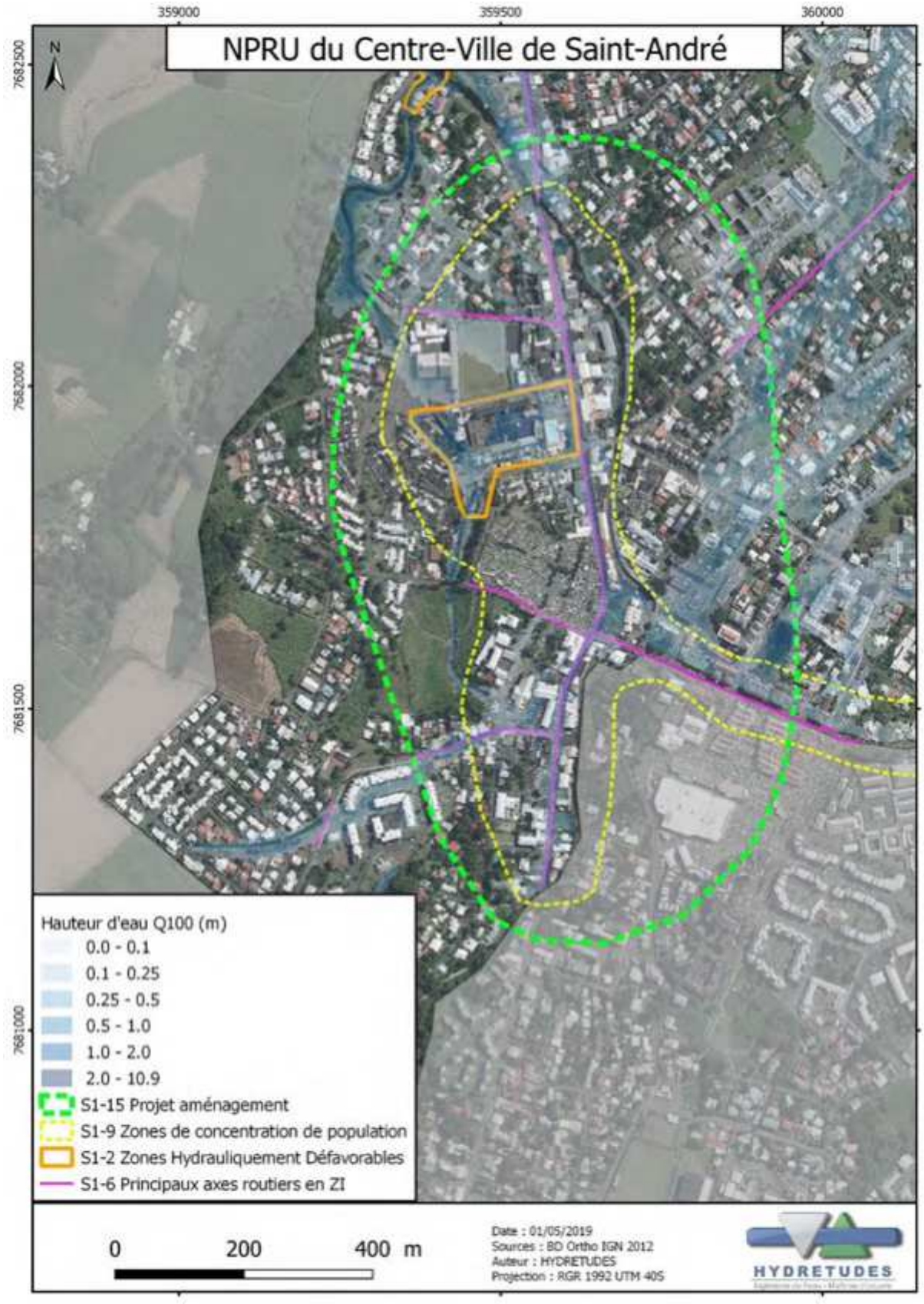
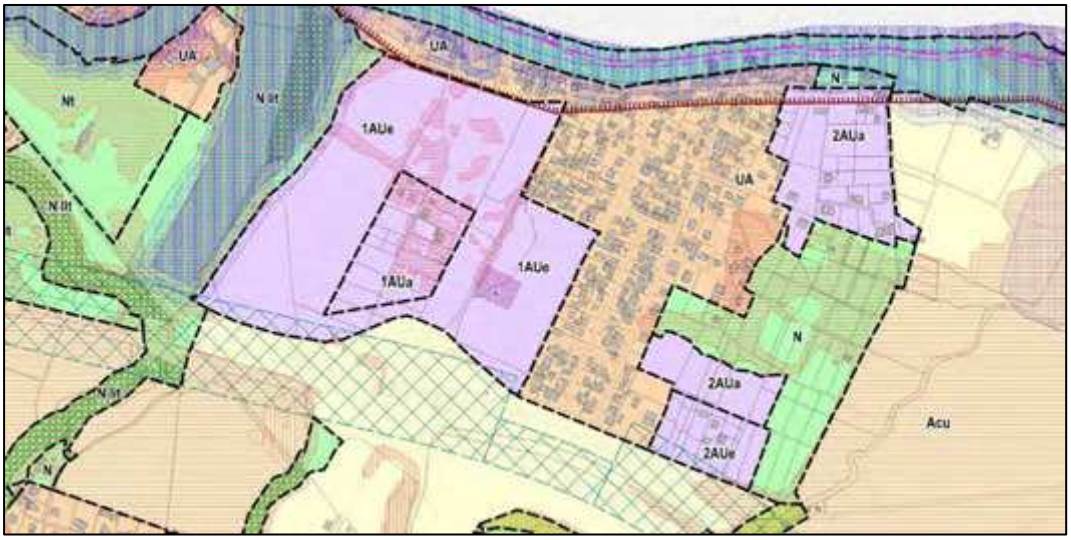


Fig. 217. Localisation du NPRU du Centre-Ville de Saint André

b) Zones ouvertes à l'urbanisation (PLU)

L'évolution de la vulnérabilité dans le temps peut également être appréhendée par l'analyse du positionnement des zones ouvertes à l'urbanisation (AU) vis-à-vis de la zone inondable.

On constate que Sainte Suzanne a défini dans son PLU certaines zones AU se trouvant en zone inondable comme le montre la superposition de la couche des hauteurs d'eau sur la couche des zones AU. C'est le cas notamment de la zone AU située Nord Est de Sainte Suzanne, près du littoral, ainsi que de la zone AU le long la rive droite de la rivière Sainte Suzanne. La vulnérabilité serait augmentée dans le cas où ces milieux connaitraient effectivement une urbanisation.



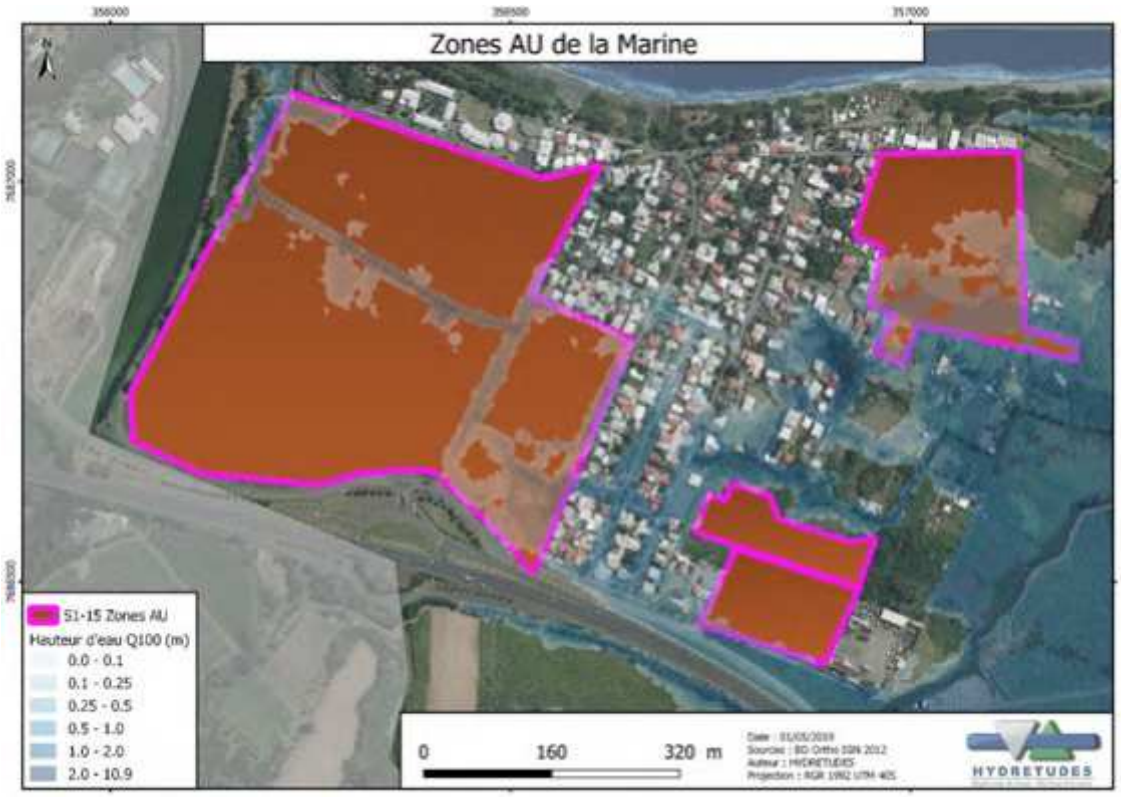


Fig. 218. Zones AU sur le quartier de La Marine

Sur le Quartier Français, il n'y a pas de zone AU.

A Saint-André, deux zones sont classées AU et sont traversées par les écoulements en cas d'inondation, la première dans le centre-ville, et la seconde à Bois Rouge.

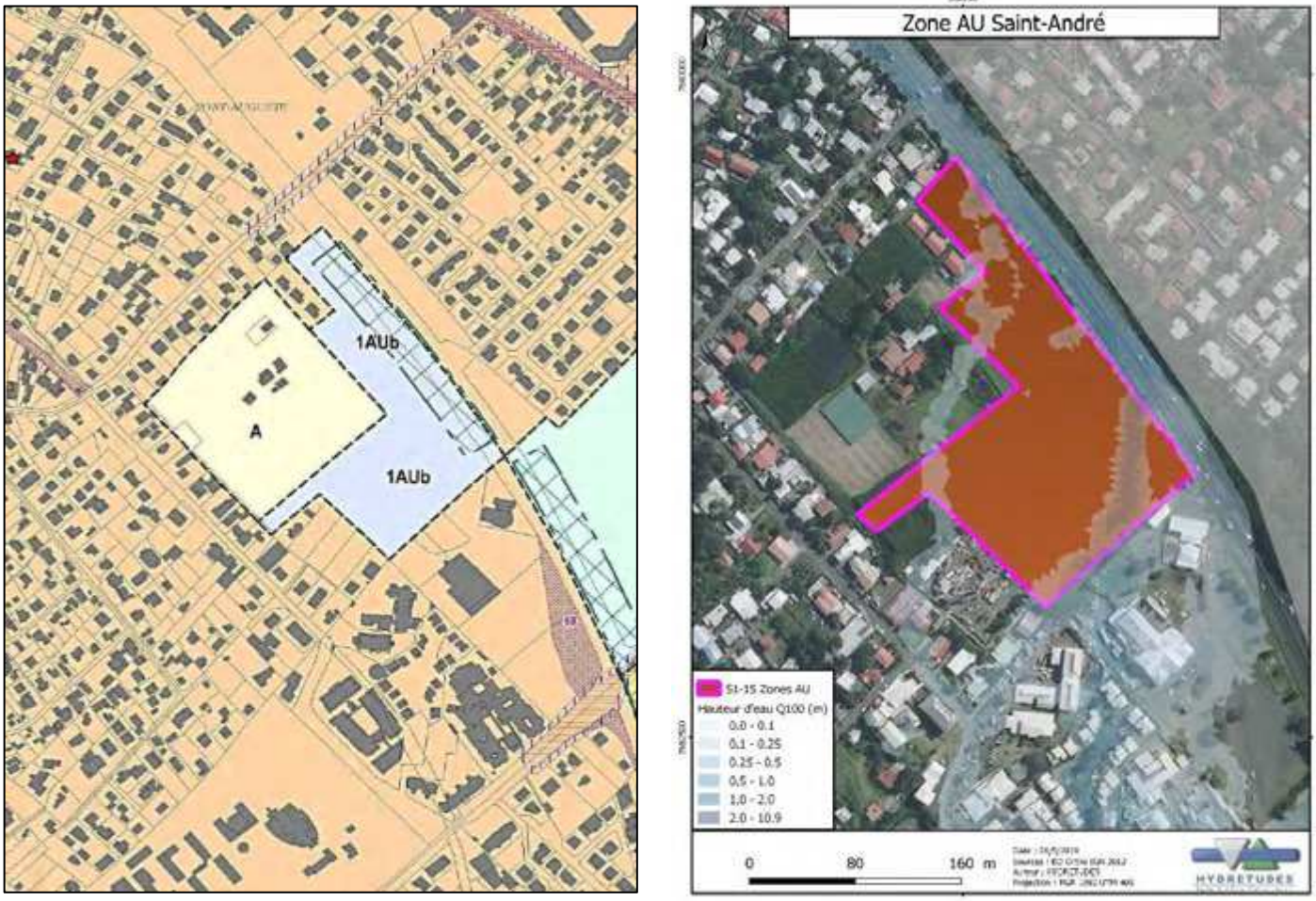


Fig. 219. Zones AU dans le centre-ville de Saint-André

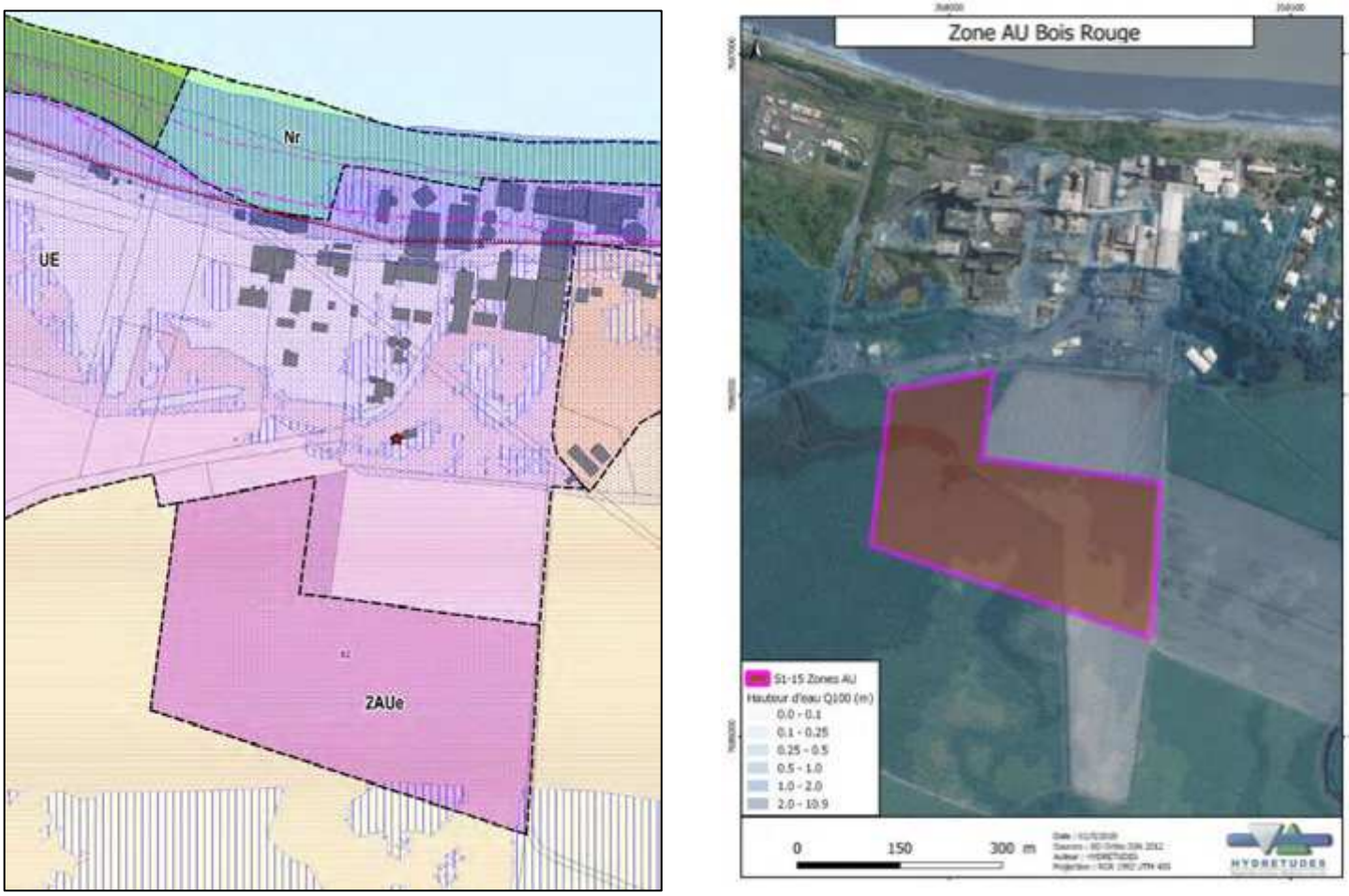


Fig. 220.Zones AU dans le secteur de Bois Rouge

c) Plans de Prévision des Risques Naturels

Enfin, les deux communes ont élaboré un PPRn, approuvé en 2014 par Saint André et en 2015 par Sainte Suzanne (selon le statut des PPR de la Réunion en date du 01/01/17).

d) Le dispositif FPRNM (Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs)

Le dispositif financier FPRNM porté par la DEAL et à destination des collectivités permet de financer les actions relative à la gestion du risque inondation, sur le principe « Prévenir plutôt que guérir ». Les opérations suivantes sont notamment éligibles :

- Dépenses d'acquisition de biens exposés et dépenses connexes (expropriation, acquisition amiable, évacuation d'urgence et relogement temporaire)
  - Dépenses de réduction du risque et de la vulnérabilité face aux risques,
  - Études, travaux ou équipements de prévention ou de protection des collectivités territoriales,
- Aide financière et financement des frais de démolition des habitations édifiées sans droit ni titre dans une zone exposée,
- Dépenses afférentes à des campagnes d'information sur la garantie catastrophes naturelles.

Constats sur l'évolution de la vulnérabilité dans le temps :

Trois projets d'aménagements d'envergure se situent dans la zone d'étude : le projet d'aménagement du site de Bois Rouge, le projet d'aménagements de la Marine et le projet de Nouvelle opération de Renouvellement Urbain (PNRU) sur le centre-ville de Saint André.

On constate également que certaines zones destinées à être urbanisées selon le PLU sont en zone inondable selon la modélisation, imposant donc une réflexion sur ces secteurs pour éviter toute augmentation de la vulnérabilité.

Les deux communes sont dotées d'un PPRn.

9.5. OBJECTIF N°2 : LE COUT DES DOMMAGES

Nota : une note présentant la méthodologie de calcul des coûts peut être consulté dans le rapport d'annexes.

Hypothèses et limites sur l'évaluation des coûts :

- Les dommages « atteintes à la structure » n'ont pas été intégré au chiffrage des dommages sur les bâtis. Néanmoins, les dommages sur ces bâtis ont été évalués,
- Les dommages sur les réseaux EDF, AEP, EU, et EP n'ont également pas été intégré dans les coûts des dommages car les données acquises ne présentent pas le niveau de précision requis pour chiffrer,
- Les dommages indirects n'ont également pas été intégré aux chiffrages (pas de méthodologie ni de données pertinentes),
- Une majoration sur les coûts des dommages aux bâtiments (habitations, ERP et activité – hors Bois Rouge) de 12 % a été ajouté pour prendre en compte le surcoût à la Réunion (source : Avis n° 18-A-09 du 3 octobre 2018 relatif à la situation concurrentielle sur les marchés des matériaux de construction à Mayotte et à La Réunion).

9.5.1. Axe 2.1 : Les dommages aux bâtiments

L'inondation peut provoquer des dommages à la structure des bâtiments, des dommages sur les équipements, etc.

9.5.1.1. SOURCE 2/1 : ATTEINTE A LA STRUCTURE DES BÂTIMENTS

Au cours d'une crue, un bâtiment peut être partiellement ou totalement détruit par la poussée des eaux ou l'affouillement des fondations. La destruction de ces bâtiments représente un coût. Actuellement, il n'existe pas de méthode permettant d'évaluer ce coût.

Constats sur le coût de l'atteinte à la structure des bâtiments :

Sur le secteur d'étude, cette source de vulnérabilité concerne 41 bâtiments, dont 34 logements (cf. S1/1).

9.5.1.2. SOURCE 2/2 : PENETRATION D'EAU DANS LES LOGEMENTS

La pénétration d'eau dans les logements, par les ouvrants, les réseaux d'eaux usées et toutes les ouvertures donnant sur l'extérieur engendre des dégâts sur le second œuvre, sur les équipements ainsi que sur le mobilier.

Le coût de ces dommages peut être évalué par l'intermédiaire des courbes de dommages.

Les fonctions de dommages moyennés à l'entité de bien et les fonctions de dommages moyennés au mobilier fournies dans les annexes techniques du guide méthodologique de l'analyse multicritère des projets de prévention des inondations (ministère de la transition écologique et solidaire, mars 2018) ont été utilisées.

Les paramètres suivants ont été pris en compte : hauteur d'eau et hauteur de seuil, durée de submersion (supposée <48h), nombre d'étages, ainsi que le type de logement (collectif ou individuel).

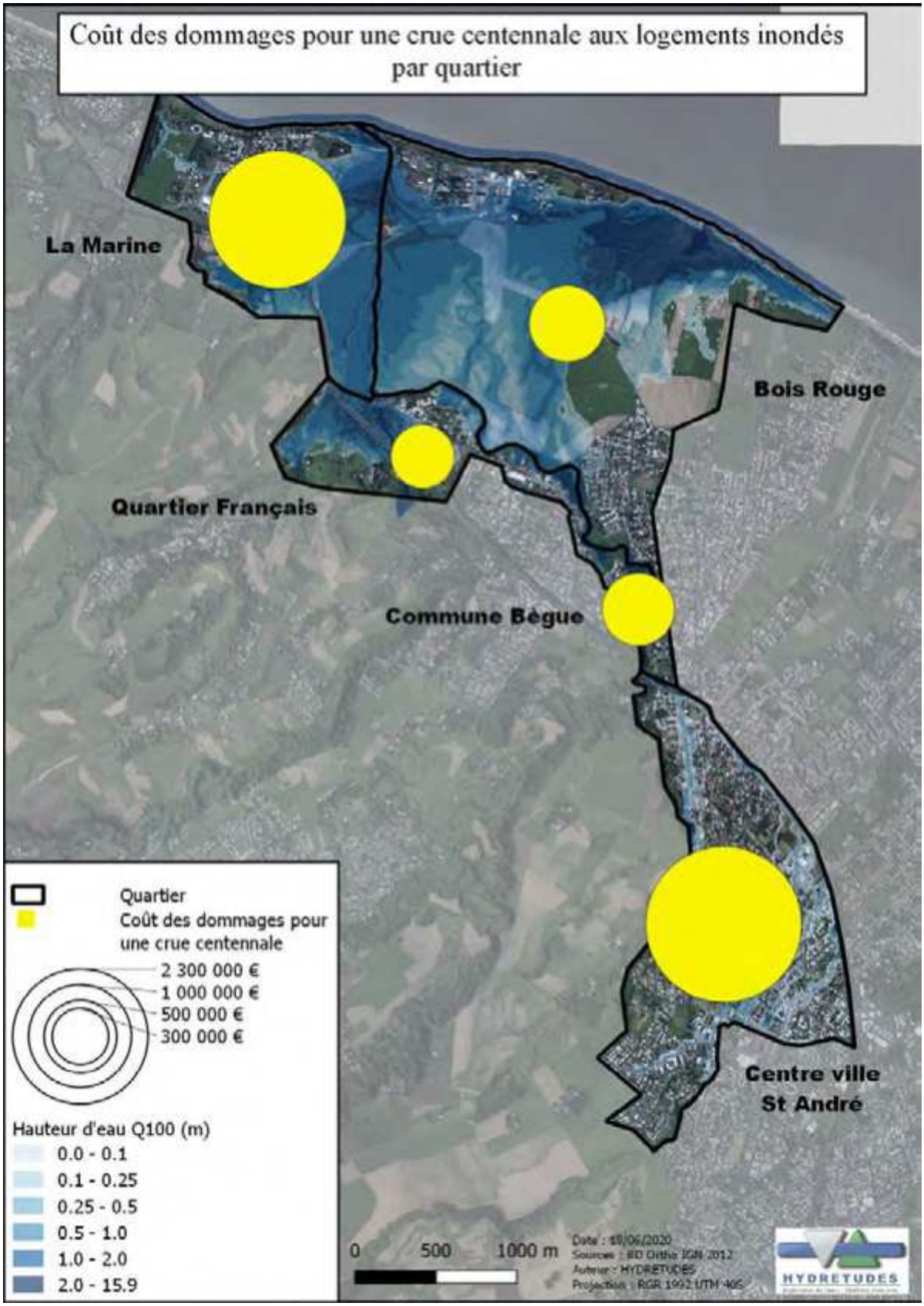


Fig. 221. Coût des dommages aux logements inondés par quartier

Tabl. 64 - Coût des dommages aux logements inondés par quartier

	Nombre de logements inondés	Coût des dommages aux logements inondés (€)	
Marine	88	1 785 167	*32,3%*
Quartier Français	19	389 210	*7,0%*
Centre-ville	164	2 295 788	*41,5%*
Bois Rouge	30	558 617	*10,1%*
Commune Bègue	26	498 134	*9%*
TOTAL	303	5 526 916	

Constats sur le coût des dommages lié à la pénétration d'eau dans les logements :
Les zones résidentielles du centre-ville de Saint André et de la Marine subissent les plus forts coûts de dommage. Le coût du quartier de la Marine est toutefois très important au vu du nombre de logements en zone inondable sur ce secteur, ce qui atteste d'une plus grande vulnérabilité des habitations aux inondations dans cette zone.

9.5.1.3. SOURCE 2/3 : DESTRUCTION OU ENDOMMAGEMENT DES HABITATS LEGERS

Il n'y a pas de campings sur le TRI. De plus, aucune caravane, camping-car, habitation légère de loisir, mobile home, bateau – logement n'a été identifié en zone inondable.

9.5.2. Axe 2.2 : Les dommages au patrimoine

Le patrimoine culturel est parfois très exposé aux effets de l'inondation les dommages subis peuvent être irréversibles

Le patrimoine environnemental peut aussi être touché de manière directe et indirecte (pollution pour les milieux naturels). L'inondation peut impacter durablement l'environnement et les ressources naturelles.

Les équipements municipaux et équipements sportifs peuvent aussi subir de durs dommages.

9.5.2.1. SOURCE 2/4 : DOMMAGES DIVERS AU PATRIMOINE

La pénétration d'eau dans les bâtiments à caractère patrimonial est susceptible d'engendrer des dommages sur ces bâtiments (second - œuvre). L'eau est, de plus, susceptible d'endommager les monuments, les jardins, etc.

Les coûts de ces dommages n'ont pas été calculés car il n'existe aucune courbe permettant de l'estimer à l'heure actuelle. Toutefois, la proportion de ces bâtiments patrimoniaux touchés par l'inondation sur chaque secteur est une donnée permettant de dresser un premier bilan de cette source de vulnérabilité.

On s'intéresse ici aux bâtiments religieux (temples, églises, mosquée), aux bâtiments et installations sportives. On remarque aussi que la Mairie de Saint André et la Mairie annexe de Quartier Français se trouvent en zone inondable.

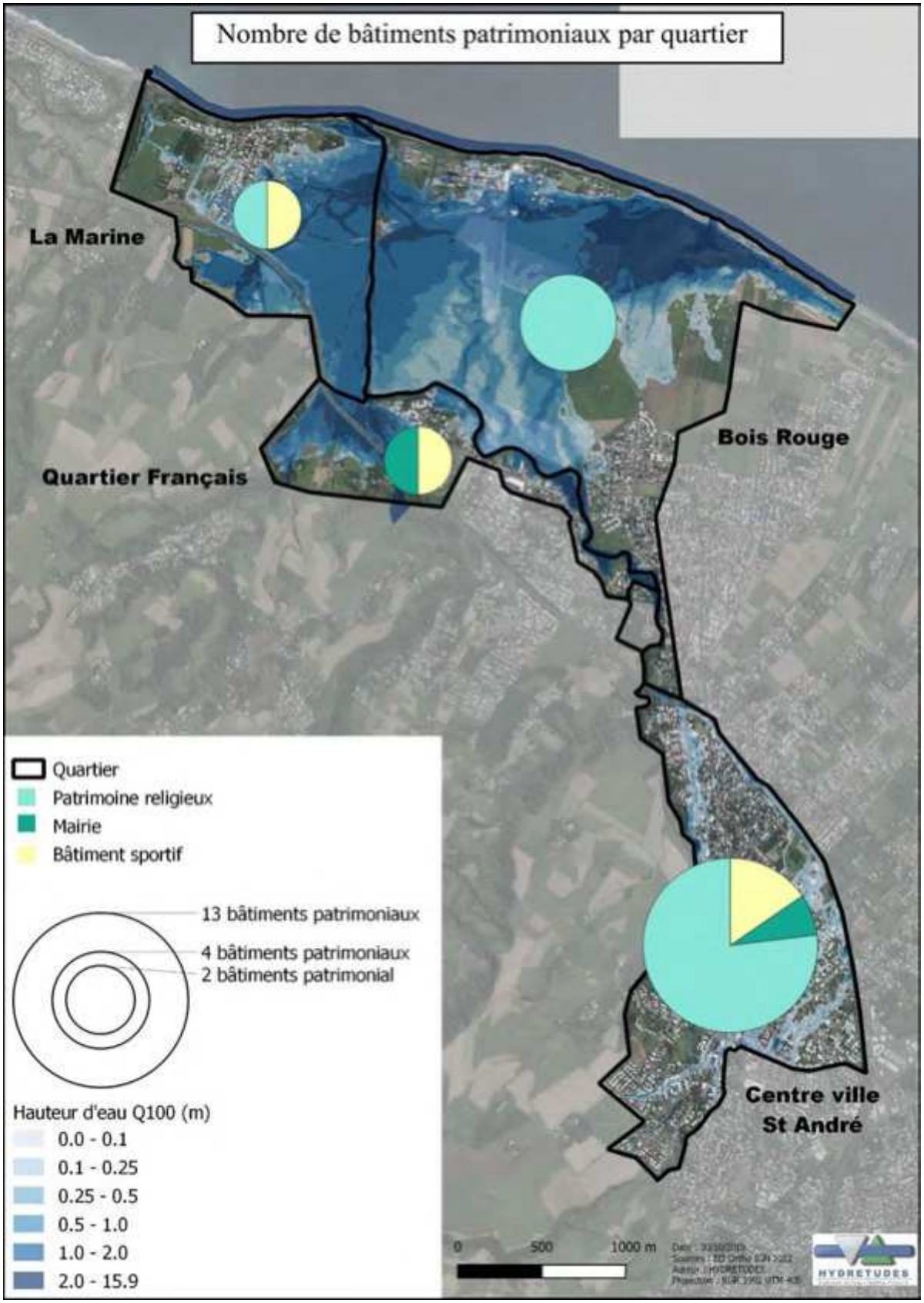


Fig. 222. Répartition des bâtiments patrimoniaux en zone inondable par quartier

Tabl. 65 - Répartition des bâtiments patrimoniaux en zone inondable par quartier

	Bâtiment religieux	Mairie	Bâtiment sportif
Marine	1	0	1
Quartier Français	0	1	1
Centre	10	1	2
Bois Rouge	4	0	0

Constats sur les dommages divers au patrimoine :

Le centre-ville de Saint-André est principalement concerné par cette source de vulnérabilité car de nombreux bâtiments religieux et des installations sportives sont concernés par l'inondation. La piscine de Saint André est particulièrement impactée lors des inondations.

Notons aussi la forte vulnérabilité du temple de bois Rouge situé à l'embouchure de la Grande Rivière Saint Jean, sur la berge rive droite. En effet, la hauteur d'eau peut y atteindre 2 m.

9.5.2.2. SOURCE 2/5 : DOMMAGES A L'ENVIRONNEMENT : CHARRIAGE DE POLLUTIONS ET DÉCHETS

L'inondation d'installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), de sites de stockage ou de dépôts de matériaux en zone inondable entraîne vers l'aval des pollutions diverses, susceptibles de causer des dommages aux espaces naturels, captages d'eau potable et espaces urbanisés.

Le charriage de pollution va ainsi impacter les espaces agricoles le milieu marin ainsi que les zones humides suivantes qui représentent un fort enjeu écologique :

- Le Bocage de Sainte Suzanne, situé à l'embouchure de la rivière Sainte-Suzanne,
- L'étang de Bois Rouge qui est un espace boisé classé (EBC),
- La Grande Rivière Saint-Jean qui est un EBC et un ZNIEFF de types 1 et 2.

Les zones naturelles d'intérêts écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) sont mises en place par l'Inventaire National du Patrimoine Naturel pour le compte du Muséum d'Histoire Naturelle, et se déclinent deux types :

- Les ZNIEFF de type 1 : Secteurs de grand intérêt biologique ou écologique.
- Les ZNIEFF de type 2 : Grands ensembles naturels riches et peu modifiés, offrant des potentialités biologiques importantes. Ce type de ZNIEFF couvre des territoires qui représentent en fait des superficies imposantes. Ces superficies peuvent d'ailleurs inclure en leur sein, une ou plusieurs zones de type 1 et couvrent de grands ensembles. Certaines parties de la zone peuvent ne pas comporter d'espèces ou d'espaces remarquables mais participent à un ensemble.

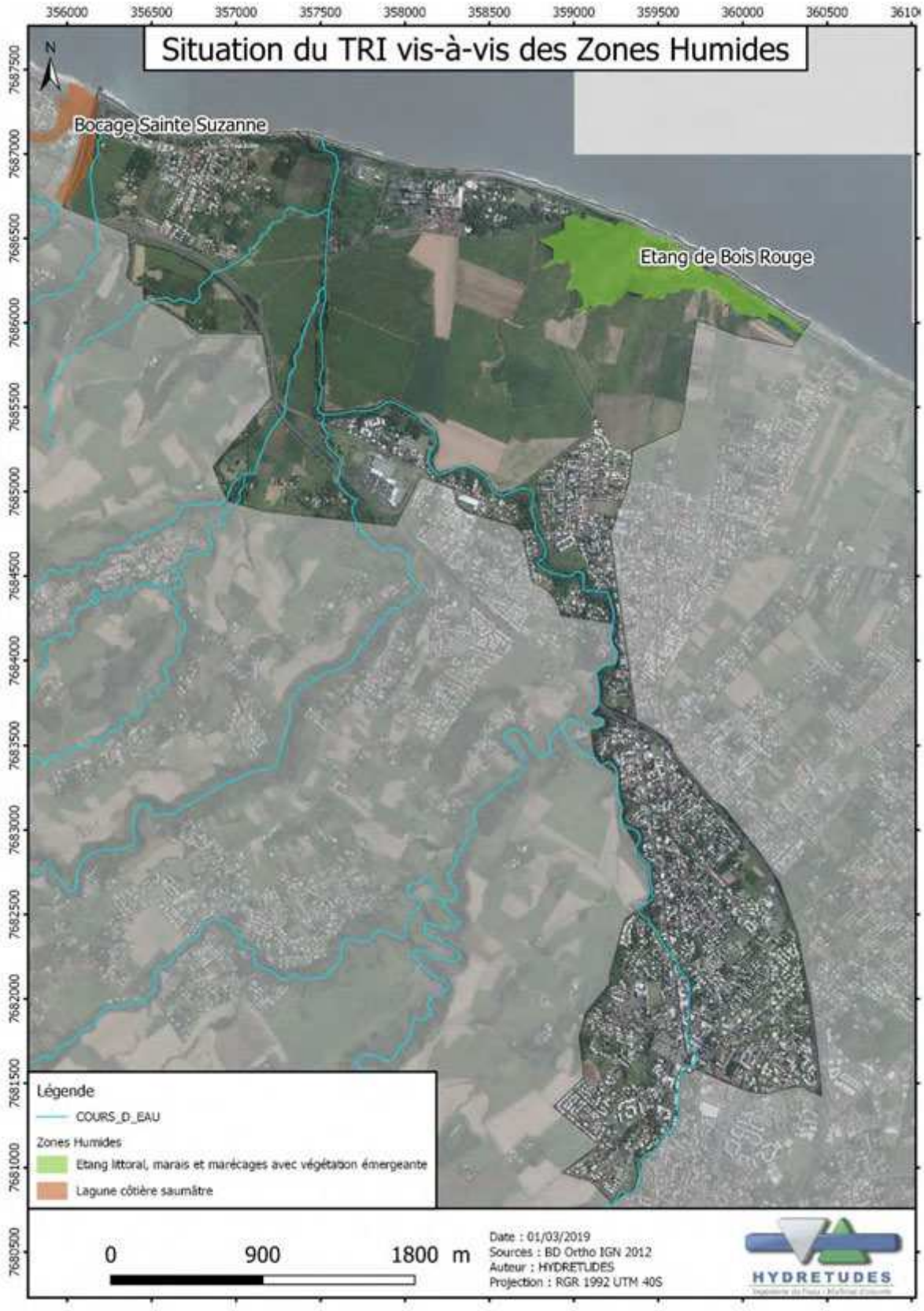


Fig. 223. Situation du TRI vis-à-vis des zones humides

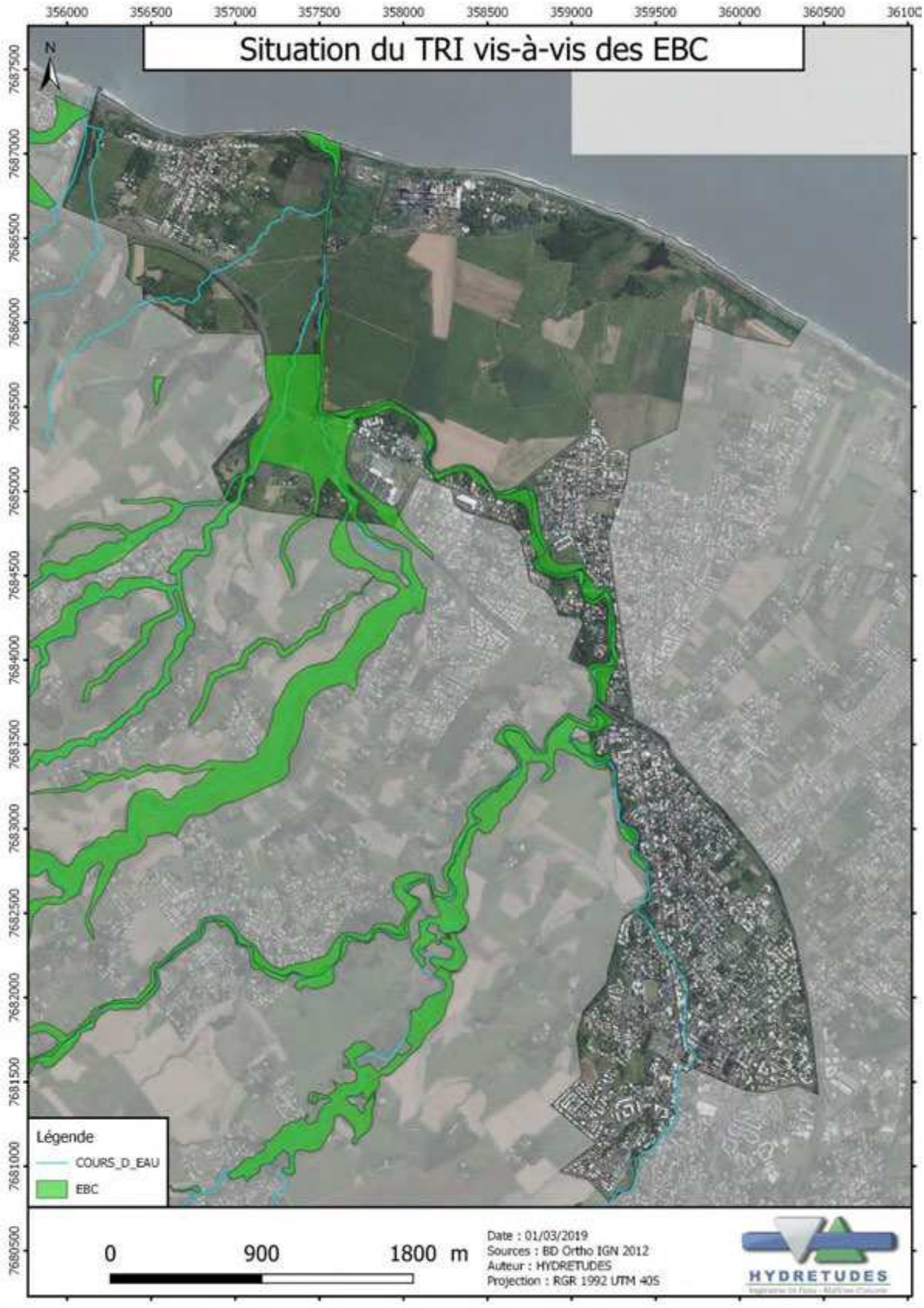


Fig. 224. Situation du TRI vis-à-vis des EBC

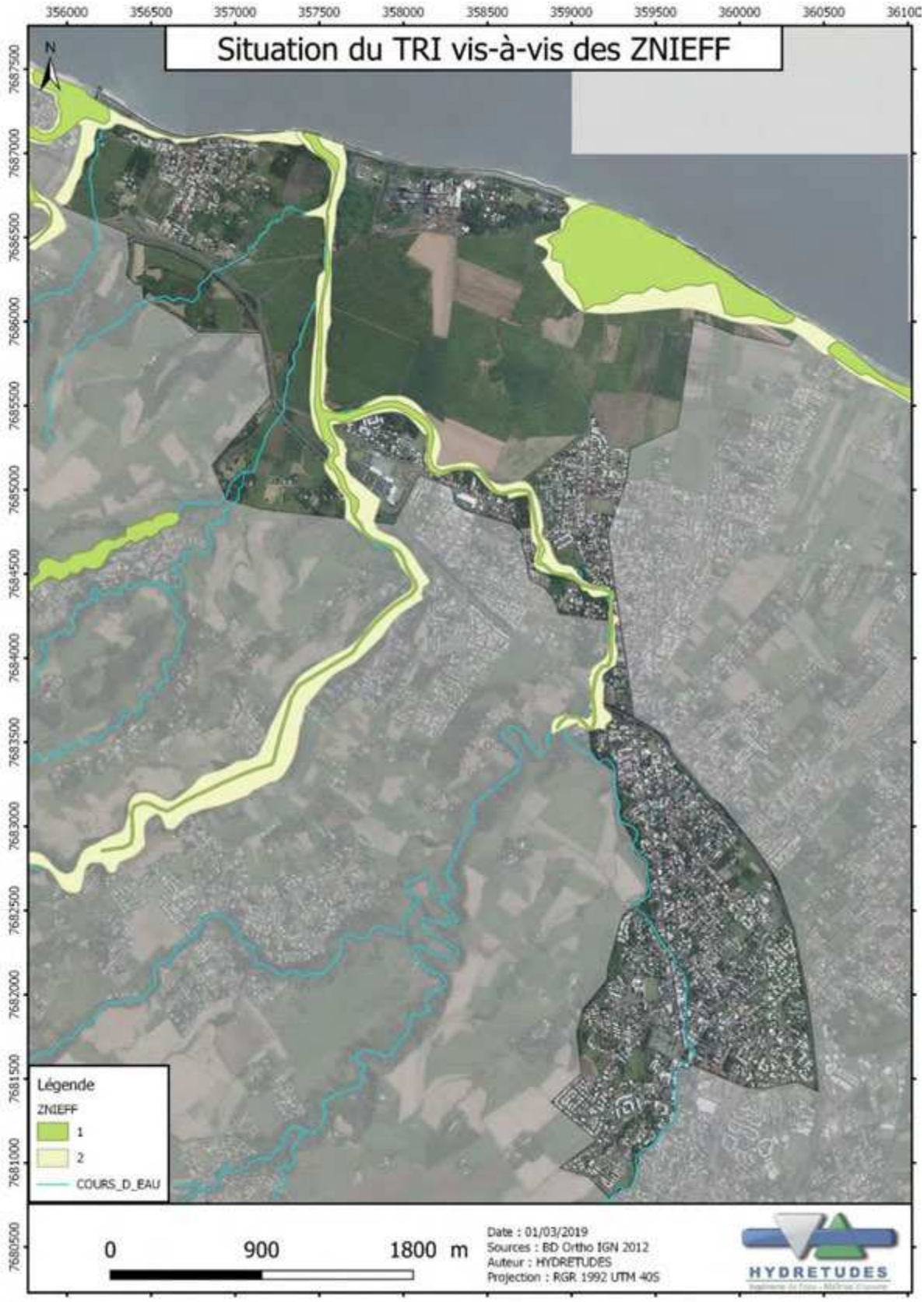


Fig. 225. Situation du TRI vis-à-vis du ZNIEFF

Il n'y a pas de captages ni de forage eau potable à l'aval de la zone d'étude (cf. diagnostic du réseau AEP, S2/10).

Les installations pouvant générer des pollutions sont les suivantes :

a) Les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

La sucrerie-distillerie-centrale thermique de Bois Rouge, se trouvant en zone inondable, est classée ICPE.

De plus, d'autres ICPE se trouvent en bordure de zone inondable. Il s'agit de la déchetterie industrielle STAR (SUEZ) sur le site de Bois Rouge et de l'usine d'enrobage « GOC enrobés » à Quartier Français. Ces deux installations sont à priori hors d'atteinte selon le scénario étudié, mais des pollutions sont possibles par ruissellement.

b) Stations-service

L'inondation de stations-service peut donner lieu à une pollution aux hydrocarbures.
Seul le centre-ville de Saint André présente des stations-service se trouvant en zone inondable, au nombre de 6. L'eau s'écoule à l'intérieur de l'activité du fait de l'absence de seuil. Cet écoulement peut atteindre 25 cm par endroit, voire 50 cm à d'autres.
La station-service de Quartier Français et la station-service de Cambuston ne sont pas touchées par le scénario d'inondation, mais des pollutions sont possibles par ruissellement.

c) Déchetterie

La déchetterie de Saint-André se trouve en zone inondable, en bordure de la ravine Payet. Elle accueille :

- des déchets volumineux (encombrants, déchets verts, métaux, gravats, cartons) : ceux-ci peuvent aggraver le risque d'embâcle à l'aval,
- des déchets spéciaux (huile de vidange, piles) qui peuvent provoquer des pollutions.

La déchetterie de la Marine quant à elle se trouve en bordure de la rivière Sainte-Suzanne, et se situe à la limite de la zone inondable en Q100. Elle accueille :

- des déchets volumineux (encombrants, déchets verts, métaux, gravats, cartons)
- des déchets spéciaux (huile de vidange, piles) qui peuvent provoquer des pollutions.

Photo.-96. Déchetterie de Saint-André

d) Vulnérabilité du réseau d'eaux usées

Le réseau d'eau usée peut constituer une source de pollution des eaux, soit par débordement, soit par dysfonctionnement d'un poste de relevage, soit par rupture d'une canalisation, si celle-ci est installée en encorbellement.

Le diagnostic du réseau d'eaux usées est réalisé pour la source S 2/10.

e) Pollution de captages AEP

Pour l'alimentation en eau potable, les secteurs étudiés sont alimentés par des captages qui se situent en amont de la zone d'étude. Ils ne sont pas impactés par le scénario d'inondation étudié.

Constats sur les dommages à l'environnement :

Les principaux enjeux environnementaux sont :

- **les zones humides du bocage de la Rivière Sainte Suzanne, l'étang de Bois Rouge,**
- **la Grande Rivière Saint-Jean,**
- **le milieu marin.**

Les principales sources de pollution identifiées sont :

- **- les ICPE, principalement le complexe industriel de Bois Rouge,**
- **- les stations-service du centre-ville qui se trouvent en zone inondable,**
- **- la déchetterie de Saint André se situant en zone inondable,**
- **- un dysfonctionnement du réseau EU.**

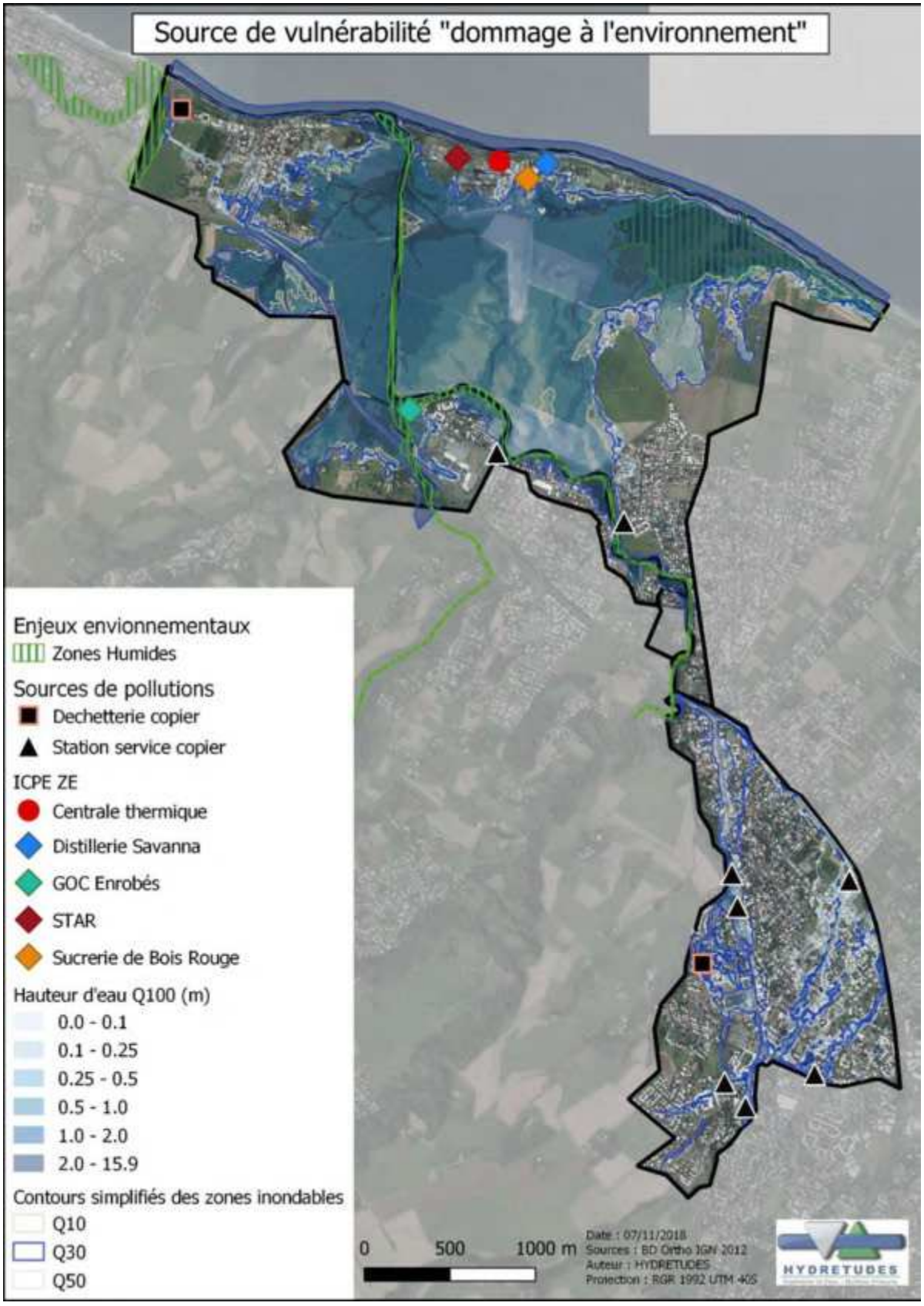


Fig. 226. Cartographie de la source de vulnérabilité « GRPPDJHV j O•HQYLURQQHPHQW

9.5.3. Axe 2.3 : Les dommages aux activités et aux biens

Une crue impacte les activités au sens large : agriculture, entreprises des secteurs secondaire et tertiaire, établissements publics. Les pertes subies peuvent être de différentes natures : destruction de stocks, arrêt de la production, atteinte à la structure des bâtiments, etc.

9.5.3.1. SOURCE 2/6 : INONDATION, ÉROSION, DÉPÔTS AU SEIN DES EXPLOITATIONS AGRICOLES

L'inondation peut entraîner des dommages sur le bâti et le matériel des exploitations agricoles, sur les stocks (engrais, produits divers, récoltes), sur les cultures. Les bâtiments d'habitation relèvent quant à eux de la source S2/2.

La zone d'étude présente une surface de champ de cannes grandement touchée par l'inondation, principalement sur Bois Rouge et La Marine.

Les dommages aux exploitations agricoles ont été évalués par application de la courbe de dommage « Dommages aux autres cultures industrielles (durée de submersion courte) », saison : printemps (guide AMC 2018).

Tabl. 66 - Coût des dommages aux cultures pour Q 100

	Surface agricole (ha)	Coût des dommages aux parcelles agricoles (€)	
Marine	45,5	43 013	*25,3%*
Quartier Français	7,9	6696	*3,9%*
Centre	1,7	532	*0,3%*
Bois Rouge	195	119 949	*70,5%*
TOTAL	250,1	170 190	

Constats sur le coût des dommages aux exploitations agricoles :
La zone de Bois Rouge est la plus touchée par cette source de vulnérabilité.

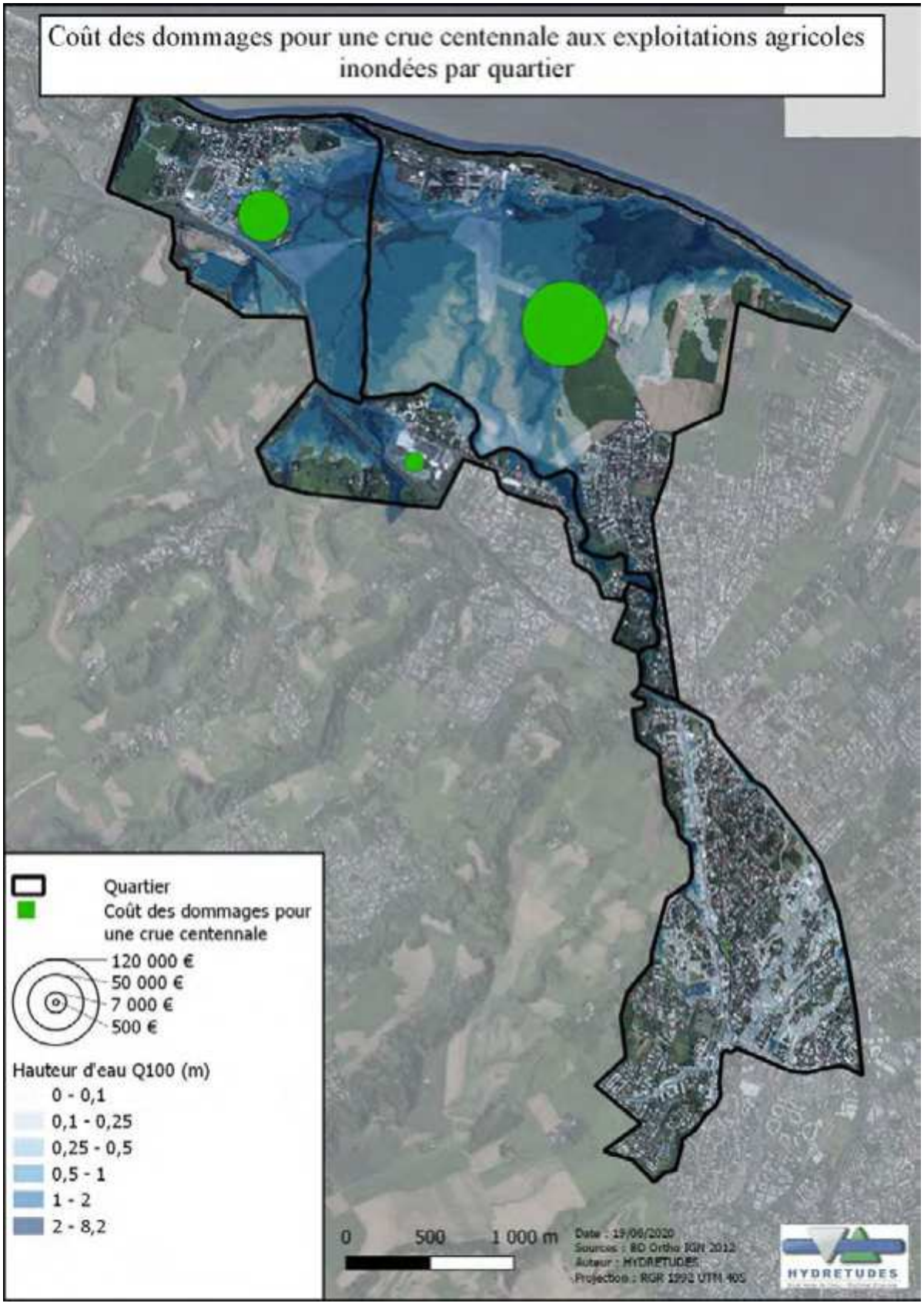


Fig. 227. Coût des dommages aux cultures par secteurs

9.5.3.2. SOURCE 2/7 : INONDATION DES BÂTIMENTS, MOBILIERS ET STOCKS, ET PERTES D'ACTIVITÉ DES ENTREPRISES

L'inondation des entreprises entraîne :

- des pertes directes en raison des dommages aux bâtiments, aux matériels, aux stocks de matériaux divers ou de produits finis, etc.,
- et des pertes indirectes telles que pertes d'activité, etc.

Comme indiqué dans l'annexe 5 du présent rapport « Note méthodologique calcul des dommages – Phase 1 », l'évaluation des dommages aux entreprises est réalisée par application de la méthode « total.employe » et en considérant une majoration des coûts des dommages aux bâtiments (activité – hors Bois Rouge) de 12 % (surcoût à la Réunion - source : Avis n° 18-A-09 du 3 octobre 2018 relatif à la situation concurrentielle sur les marchés des matériaux de construction à Mayotte et à La Réunion). Il convient de se reporter à l'annexe 5 en page 7 pour la justification de l'application de cette méthode.

Le site industriel de Bois Rouge comprend les 3 sociétés ALBIOMA, TEREOS et SAVANNA d'importance fait l'objet d'une analyse spécifique et détaillée. Pour ce site, l'application de la méthode « total.employe » fait ressortir des dommages supérieurs à 1,5 M€.

Dans ce cas, le guide méthodologique ACB indique (dans l'onglet notice du fichier Excel AMC – Fonctions de dommages fluvial submersions entreprises) :

« Lorsque l'acquisition des données des surfaces des bâtiments est problématique, il est possible d'utiliser directement les fonctions de dommage de l'onglet total.employe. Cette méthode n'est pas à privilégier, elle repose sur des hypothèses moins solides.

Lorsque cette utilisation est retenue, il est demandé de vérifier pour chaque enjeu si le seuil d'employés n'est pas atteint. S'il est atteint, les dommages attendus par l'enjeu sont potentiellement supérieurs à 1,5 millions €. Il est nécessaire alors de mobiliser la méthode recommandée, en passant par une analyse plus détaillée de l'enjeu permettant de préciser la surface du ou des bâtiments. »

La méthode recommandée est alors la suivante :

«… utilisation de la fonction de dommage batiment.surface pour la partie bâtie et utilisation de la fonction de dommage equipement.stock.employe pour la partie mobilière.

Le dommage total est donné par la formule suivante : dommage.total = dommage.bati + dommage.equipement.stock »

Les chapitres suivants décrivent les méthodologies appliquées et retenues pour estimer les dommages pour chaque société présente sur le site industriel de Bois Rouge.

La figure suivante présente les emprises de ces 3 sociétés sur le site industriel de Bois Rouge et la localisation de leurs différents bâtiments.

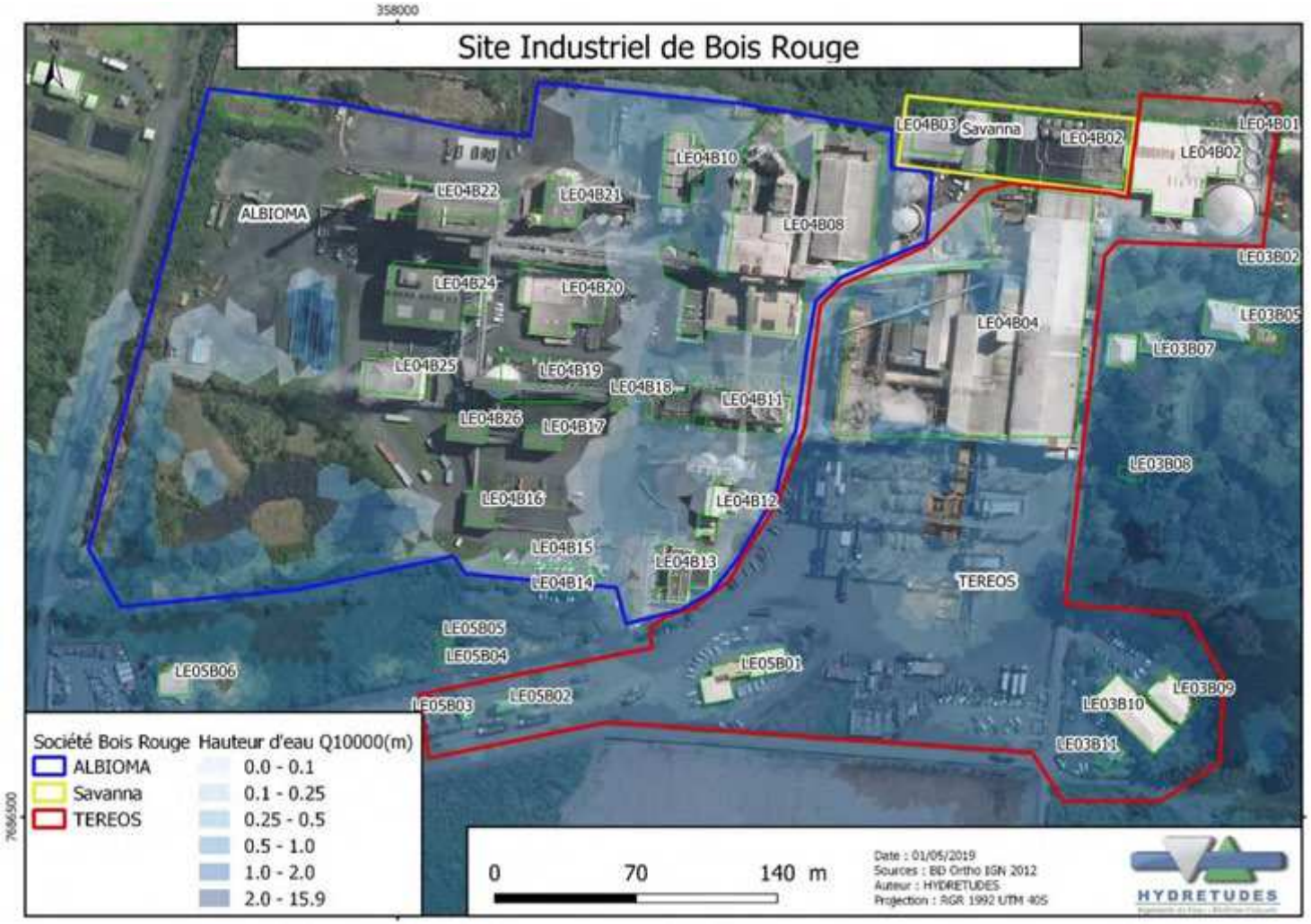


Fig. 228. Scénario sur le site industriel de Bois Rouge

❖ **Préambule méthodologique**

Pour la société ALBIOMA, il apparait que l'application de la méthode préconisée par le guide méthodologique n'est pas possible (absence de fonction de dommage spécifique à l'activité « Production d'électricité » dans le guide). Pour cette société, il convient donc d'estimer les coûts de dommages à partir d'un diagnostic du site.

Pour cadrer l'application de cette méthode et s'assurer de la cohérence de traitement pour l'estimation des dommages entre les entreprises du site de Bois Rouge, il a été fait le choix d'appliquer ces deux méthodes sur le site de TERREOS à titre comparatif.

L'analyse des écarts obtenus par l'application de ces deux méthodes permet :

- ❖ de définir les ordres de grandeur de la précision de la définition des coûts de dommages aux entreprises,
- ❖ de déterminer les marges de variations à retenir pour les analyses de sensibilité à mener en phase 4 de la mission pour l'ACB,
- ❖ d'estimer les ratios de dommages entre Q100 et Q10 000 pour une application spécifique sur le site ALBIOMA (cf. paragraphe spécifique).

❖ **EVALUATION DES DOMMAGES POUR LA SOCIETE TEREOS**

TEREOS est un groupe coopératif sucrier français de dimension internationale, dont l'activité à la Réunion est la transformation de la canne à sucre. Le procédé de transformation de la canne à sucre est long et nécessite de nombreuses machines, qui, si elles sont impactées par une inondation, peuvent être sensiblement endommagées, nécessitant de ce fait l'arrêt de l'usine et le remplacement des installations qui sont relativement onéreuses. TERREOS est situé sur la partie *est* de l'usine de Bois Rouge, qui est la plus impactée par une crue centennale (topographie basse de la zone).

Deux approches méthodologiques ont été appliquées et comparées pour évaluer les dommages pour la société TEREOS :

1. Application de la méthode du guide méthodologique AMC « *dommage.total = dommage.bati + dommage.equipement.stock* »
2. Réalisation d'un diagnostic individuel

1 - Application de la méthode du guide méthodologique pour l'évaluation des dommages directs de la société TEREOS sur le site industriel de Bois Rouge

Pour calculer le coût de ces dommages, la '*Courbe de dommages fluviales submersions entreprises*' du guide de l'AMC a été utilisée. Elle prend en compte la hauteur d'eau au droit du bâtiment, la hauteur de seuil des locaux, la durée de submersion (supposée <48h) et le type d'activité (code APE).

Comme indiqué dans le guide méthodologique cette méthode prend en compte les dommages surfaciques imputés aux éléments immobiliers des établissements et les dommages par employé imputés aux éléments mobiliers des établissements (dommage.total = dommage.bati + dommage.equipement.stock).

Concernant la société TEREOS, l'évaluation des dommages a été appliquée en considérant les caractéristiques suivantes pour ses bâtiments :

Tabl. 67 - &DUDFWpULVWLTXHV GHV EkWLPHQWV FRQFHUQpV SDU O•pY dommages pour TEREOS

Nom	Hseuil (cm)	Activité précisée lors de la 1ère visite	CODE APE retenu	Libellé APE	Surface BD Topo (m²)	Surface BD Topo -25% (m²)
LE04B02B	20	Atelier Tereos	1081Z	Production de sucre	2050	1537.5
LE03B09	0	Administratif Tereos	8211Z	Services administratifs combinés de bureau	361	270.75
LE03B10	0	Administratif Tereos	8211Z	Services administratifs combinés de bureau	644	483
LE03B11	100	Accueil tourisme	7990Z	Autres services de réservation et activités connexes	123	92.25
LE04B04	0	Production de sucre	1081Z	Production de sucre	11600	8700
LE05B01	0	Administratif et laboratoires Tereos	7120B	Activités de contrôle et analyses techniques Analyses, essais et inspections techniques	540	405
LE05B02	0	Balance Tereos	7120B	Activités de contrôle et analyses techniques Analyses, essais et inspections techniques	79	59.25
LE05B03	0	Balance Tereos	7120B	Activités de contrôle et analyses techniques Analyses, essais et inspections techniques	18	13.5

Le tableau suivant présente, pour ces bâtiments, les hauteurs d'eau obtenues en moyenne sur le périmètre de chaque bâtiment pour les différentes crues de référence étudiées.

Tabl. 68 - Hauteur moyenne (m) retenue pour chaque bâtiment de TEREOS

Numéro du bâtiment	HQ10 (m)	HQ30 (m)	HQ50 (m)	HQ100 (m)	HQ10000 (m)
LE04B02B	0	0	0	0.057191	0.547382
LE03B09	0.181313	0.34476	0.542714	0.859867	1.812465
LE03B10	0.470604	0.774302	0.960913	1.267898	2.220642
LE03B11	0.687209	0.991359	1.173103	1.475974	2.429668
LE04B04	0.255421	0.342818	0.438072	0.498301	1.350694
LE05B01	0.312606	0.515762	0.646087	0.906359	1.847949
LE05B02	0.233719	0.437506	0.555077	0.786059	1.719287
LE05B03	0.347536	0.574554	0.690365	0.914122	1.844712

L'application de la méthode permet d'obtenir les coûts de dommages suivants pour le site TERREOS de Bois Rouge :

Tabl. 69 - 6\QWKqVH GH O•pYDOXDWLRQ GHV GRPPDJHV GLUHFWV VXU WRXV OHV bâtiments composant la société TEREOS sur le site industriel de Bois Rouge par O•DSSOLFDWLRQ GH OD PpWKRGH GX JXLGH

	Q10	Q30	Q50	Q100	Q10000
Evaluation des dommages pour TEREOS	7 677 742 €	7 978 838 €	10 557 960 €	10 704 822 €	26 222 387 €
Evaluation des dommages pour TEREOS + majoration 12 %	8 599 071 €	8 936 299 €	11 824 915 €	11 989 401 €	29 369 073 €

2 -Réalisation d'un diagnostic individuel pour l'évaluation des dommages directs et indirects de la société TEREOS sur le site industriel de Bois Rouge

Une rencontre avec Sébastien BEYOU, responsable BE, a permis d'estimer le coût des dommages que pourrait causer une crue aux équipements de TEREOS, et plus globalement les conséquences que cela pourrait engendrer à leur activité. Cette démarche repose donc sur une concertation avec l'industriel.

Les bâtiments administratifs (LE03B09, LE03B10 et LE03B11) sont impactés par des hauteurs d'eaux plus importantes mais représentent de faibles dommages comparés à celui obtenus sur les bâtiments de production.

De plus, le coût matériel n'est pas la seule conséquence d'une telle crue pour les activités de TEREOS. En effet, la remise en état du site de production prendrait dans ce cas au minimum 3 mois, ce qui aurait pour effet de retarder la saison de la campagne sucrière pour une durée au moins égale.

Voici les estimations que nous avons réalisées avec TEREOS, en faisant l'hypothèse que les machines ne pourraient pas être récupérées après l'inondation malgré à un passage à l'étuve :

1. Pour une crue décennale (Q10) : 410 000€ de dommages :
   - Bâtiments administratifs (LE03B09 et LE03B10) : 60 000€
   - Laboratoire (LE05B01) : 50 000€
   - Ensemble des échantillonneurs près du laboratoire : 300 000€

2. Pour une crue trentennale (Q30) : 1 270 000€ de dommages :
   - Les bâtiments de Q10 : 410 000€
   - Le bâtiment d'accueil de tourisme (LE03B11) : 10 000€
   - Le bâtiment de production (LE04B04) impliquant diverses machines (dont pompes, moteurs, etc...) : 350 000€
   - Quelques jours d'arrêt de production (environ 1 semaine) pour remise en état du site : 500 000€ de dommages indirects.

3. Pour une crue cinquantennale (Q50), 7 270 000€ de dommages :
   - Les bâtiments de Q30 : 770 000€
   - De nouvelles machines dans le bâtiment de production (LE04B04) : 1 500 000 €
   - 1 mois d'arrêt de production pour la réception des nouvelles machines et la remise en état du site : 5 000 000€ de dommages indirects, avec report de la campagne sucrière d'une durée équivalente.

4. Pour une crue centennale (Q100) : 25 270 000€ de dommages :
   - Les bâtiments de Q50 : 2 270 000€
   - La quasi-totalité des machines dans le bâtiment de production (LE04B04), ainsi que la grande majorité des transfos, et la salle des serveurs regroupant les ordinateurs contrôlant les machines : 4 000 000€
   - Prestation pour la remise en état du site impliquant entre autres le câblage des machines et la remise en état du serveur : 4 000 000 €
   - 5 mois d'arrêt pour la fabrication et la réception des machines dites "critiques" essentielles au fonctionnement de l'usine, ainsi que pour la remise en état du site, impliquant de fait un report de la campagne sucrière. Pour exemple, en considérant une crue centennale survenant fin avril, il faudra 5 mois pour la réception des nouvelles machines et la remise en état le site, ainsi la campagne sucrière qui débute généralement fin juin débutera finalement début octobre, il y a donc une perte de production de 3 mois équivalents à 15 000 000€ de dommage indirect.

4. Pour une crue exceptionnelle (Q10000) : 45 000 000€ de dommages :
   - La totalité du site et des machines sont touchés : 8 000 000€
   - Prestation pour la remise en état du site impliquant entre autres le câblage des machines et la remise en état du serveur : 7 000 000 €
   - Au moins 6 mois d'arrêt de production pour la réception des nouvelles machines et la remise en état du site : 30 000 000€ de dommages indirects, avec report de la campagne sucrière d'un minimum de 4 à 5 mois dans le meilleur des cas.

Le tableau suivant synthétise ces éléments.

Tabl. 70 - 6\QWKqVH GH O•pYDOXDWLRQ GHV GRPPDJHV pYLWpV HQ FDV GH FUXH
O•HQVHPEOH GHV EkWLPHQWV FRPSRVDQW OD VRFLpWp 7(5(26 VXU
Bois Rouge via le diagnostic individuel

Société concernée	Occurrence	TEREOS
Dommages directs	Q_{10}	410 000 €
	Q_{30}	770 000 €
	Q_{50}	2 270 000 €
	Q_{100}	10 270 000 €
	Q_{10000}	15 000 000 €
Dommages indirects	Q_{10}	- €
	Q_{30}	500 000 €
	Q_{50}	5 000 000 €
	Q_{100}	15 000 000 €
	Q_{10000}	30 000 000 €

3- Comparaison des deux approches méthodologiques pour l'évaluation des dommages

Il s'agit ici de proposer l'analyse comparative des deux méthodes d'estimations des dommages sur le site de TERREOS.

Tabl. 71 - &RPSDUDLVRQ GHV GHX[DSSURFKHV PpWKRGRORJLTXHV SR GHV GRPPDJHV GLUHFWV SRXU O•HQVHPEOH GHV EkWLPHQWV FRPS TEREOS sur le site industriel de Bois Rouge

	Evaluation des dommages directs via la méthodologie du guide		Evaluation des dommages directs via la diagnostic individuel	Comparaison des évaluations Référence : méthode guide	
	Sans majoration	Avec majoration 12 %	-	Sans majoration	Avec majoration 12%
Q10	7 677 742 €	8 599 071 €	410 000 €	-94.7%	-95.2%
Q30	7 978 838 €	8 936 299 €	1 270 000 €	-84.1%	-85.8%
Q50	10 557 960 €	11 824 915 €	7 270 000 €	-31.1%	-38.5%
Q100	10 704 822 €	11 989 401 €	25 000 000 €	133.5%	108.5%
Q10000	26 222 387 €	29 369 073 €	45 000 000 €	71.6%	53.2%

On constate que pour les crues Q10, Q30 et Q50, le diagnostic individuel sous-évalue les dommages d'environ 30 à 95 % par rapport à l'application des méthodes du Guide AMC.

A contrario, pour les crues plus importantes, Q100 et Q10000, le diagnostic individuel sur évalue les dommages d'environ 50 à 130 % par rapport à la méthode d'estimation du Guide AMC.

Ces différences sont dues à la nature des 2 approches méthodologiques. En effet, la méthode du guide évalue les dommages en prenant en compte les hauteurs d'eau. Or, l'évolution des hauteurs d'eau entre les différentes occurrences de crues est relativement faible. Pour la réalisation des diagnostics individuels, l'industriel a une approche matérialiste concrète. C'est-à-dire que pour telles hauteurs d'eau, il y a tant de machines hors d'usage. Donc pour des hauteurs d'eau différentes, les dommages sont identiques pour la même machine.

On peut donc considérer que les incertitudes liées au diagnostic individuel varient de -95% à +130 % selon la période de retour de l'évènement considéré.

L'intégration de ces éléments pour déterminer le Dommage Moyen Annuel (DMA) permet d'obtenir les résultats suivants :

Tabl. 72 - &RPSDUDLVRQ GHV GHX[DSSURFKHV PpWKRGRORJLTXHV SR DMA des bâtiments de la société TEREOS sur le site industriel de Bois Rouge

Méthode appliquée	DMA pour toute la zone d'étude	Δ(%)
Guide (TEREOS et SAVANNA)/diag (ALBIOMA)	4 387 556.60 €	-
Diag (TEREOS et ALBIOMA)/Guide - SAVANNA	3 521 419.93 €	-
Δ	866 136.67 €	19.74%

Sur le DMA, l'écart obtenu entre les deux méthodes d'estimation des dommages est d'environ 20%. Cet écart est relativement faible : les différences observées sur l'estimation des dommages par type d'évènement sont donc « moyennées » par l'intégration sur la période de retour des évènements.

L'application des deux méthodes a permis d'analyser les différences obtenues en matière d'évaluation des dommages. Dans le cadre de la présente étude, nous proposons de retenir la méthode « diagnostic individuel ». En effet, cette méthode nous semble plus adaptée car elle a été élaborée en concertation avec l'industriel qui a une connaissance précise de la valeur et du fonctionnement des machines.

De plus, la comparaison des DMA montre que la DMA est plus faible quand on applique les diagnostics individuels. De ce fait, l'approche est plus sécuritaire, notamment vis-à-vis de la réalisation des analyses coûts-bénéfices qui seront réalisés en phase 4.

❖ EVALUATION DES DOMMAGES POUR LA SOCIETE SAVANNA

La distillerie Savanna produit des boissons alcoolisées à base de canne. Cette société est située au nord du site industriel. Elle possède 2 bâtiments qui du fait de leur localisation et leur hauteur de seuil, ne sont inondés que pour Q10 000.

L'évaluation des dommages pour la société SAVANNA a été réalisée par application de la méthode du guide AMC de la même façon que pour TEREOS (dommage.total = dommage.bati + dommage.equipement.stock) en intégrant les seuils des bâtiments.

Les tableaux suivants présentant les principaux éléments utiles à la mise en œuvre de cette méthode et les résultats obtenus.

Tabl. 73 - Caractéristiques des bâtiments concernés par O•pYDOXDWLRQ GHV dommages pour SAVANNA

Nom	Hseuil (cm)	Activité précisée lors de la 1ère visite	CODE APE retenu	Libellé APE	Surface BD Topo (m²)	Surface BD Topo -25% (m²)
LE04B03	20	Production de boissons	1101Z	Production de boissons alcooliques distillées	977	732.75
LE04B02A	20	Production de boissons	1101Z	Production de boissons alcooliques distillées	1955	1466.25

Tabl. 74 - Hauteur moyenne (m) retenue pour chaque bâtiment de SAVANNA

	Numéro du bâtiment	HQ10 (m)	HQ30 (m)	HQ50 (m)	HQ100 (m)	HQ10000 (m)
SAVANNA	LE04B03	0	0	0	0.129717	0.446657
	LE04B02A	0	0	0	0.057191	0.547382

L'application de la méthode donne les résultats suivants :

Tabl. 75 - 6\QWKqVH GH O•pYDOXDWLRQ GHV GRPPDJHV GLUHFWV SRX
bâtiments composant la société SAVANNA sur le site industriel de Bois Rouge
SDU O•DSSOLFDWLRQ GH OD PpWKRGH GX JXLGH

	Q10	Q30	Q50	Q100	Q10000
SAVANNA	- €	- €	- €	- €	1 810 559 €
SAVANNA + majoration 12 %	- €	- €	- €	- €	2 027 826 €

Pour Q100, il n'y a pas de dommages car l'eau ne pénètre pas dans les bâtiments (hauteur de seuil 20 cm).

❖ EVALUATION DES DOMMAGES POUR LA SOCIETE ALBIOMA

Albioma est un producteur d'énergie renouvelable indépendant. Sur le site de Bois Rouge, Albioma produit de l'énergie grâce à la bagasse de canne que lui fournit TEREOS lors de la saison sucrière. Pour information, en 2018 Albioma a utilisé 230 mille tonnes de bagasse générant ainsi 650 GWh. Lorsque l'utilisation de bagasse n'est pas possible, l'utilisation de charbon permet de maintenir la production d'énergie nécessaire.

La société Albioma occupe la partie *ouest* du site de Bois Rouge.

À noter que pour des crues inférieures à Q100, Albioma n'est pratiquement pas impacté par les inondations. En effet, sur les 15 bâtiments que compte la société sur le site de Bois Rouge, seul le poste de garde (LE04B14) est inondé pour les crues décennale et trentennale. On peut considérer que le site ALBIOMA commence à être touché globalement par les inondations pour une crue d'occurrence supérieure à Q30.

Tabl. 76 - +DXWHXU PR\HQQH P UHWHQXH SRXU FKDTXH EkWLPHQW

	Numéro du bâtiment	Hauteur seuil (cm)	HQ10 (m)	HQ30 (m)	HQ50 (m)	HQ100 (m)	HQ10000 (m)
ALBIOMA	LE04B08	0	0	0	0.035802	0.215259	1.099201
	LE04B10	0	0	0	0	0.265521	1.218262
	LE04B11	0	0	0	0.073841	0.240625	1.18424
	LE04B12	100	0	0	0	0.155372	1.034482
	LE04B14	20	0.03598	0.210074	0.201779	0.385979	1.323437
	LE04B16	0	0	0	0	0.019571	0.772319
	LE04B17	0	0	0	0	0.020106	0.720625
	LE04B18	0	0	0	0.041472	0.10286	0.960171
	LE04B19	0	0	0	0	0.002477	0.793432
	LE04B20	0	0	0	0	0.036782	0.900099
	LE04B21	0	0	0	0	0.020024	0.759109
	LE04B22	0	0	0	0	0	0.899122
	LE04B24	0	0	0	0	0	0.772668
	LE04B25	0	0	0	0	0	0.814942
	LE04B26	0	0	0	0	0	0.764716

Notons que le poste de garde commence à être inondé pour une crue trentennale (hauteur de seuil de 20 cm).

Comme indiqué précédemment, la société ALBIOMA produit de l'électricité. Le code NAF.05 (code APE) correspondant à cette activité est le code 3511Z – Production d'électricité. Or, pour ce type d'activité, le guide en vigueur n'a pas défini de fonction de dommage.

Sur ce site, seuls 4 bâtiments sur les 15 recensés présentent un code NAF.05 permettant le calcul des dommages par application de la méthode du guide :

- LE04B20, code NAF :5210B, Entreposage et stockage non frigorifique,
- LE04B19, code NAF : 8211Z, Services administratifs combinés de bureau
- LE04B14, poste de garde, code NAF : 8010Z, Activités de sécurité privée
- LE04B11, Tour aéro. / zone traitement chimie, code NAF : 7120B, Activités de contrôle et analyses techniques et Analyses, essais et inspections techniques

L'application de la méthode du guide à ces seuls bâtiments ne permet pas d'approcher de manière réaliste le coût des dommages observés sur l'ensemble des 15 bâtiments du site. Elle ne peut donc pas être retenue pour l'estimation des dommages sur le site d'Albioma.

Pour ce cas de figure (courbe de dommage non disponible), le guide méthodologique AMC indique :

« Recommandations pour les établissements publics qui ne disposent pas d'une fonction de dommages

En l'absence de courbes de dommages spécifiques pour toutes les catégories d'établissements publics, chaque établissement a été rattaché à une autre catégorie d'établissement public ou d'entreprise considérée comme proche. ***Enfin, certaines catégories d'établissements, en raison de leur nature particulière et de leurs spécificités, devraient être abordées à travers la réalisation de diagnostics individuels.*** **»**

Le guide recommande donc de réaliser un diagnostic individuel pour cette catégorie d'établissement puisque cette catégorie n'a pas été rattachée à une autre catégorie considérée comme proche.

Le guide n'indique toutefois pas les modalités de réalisation de ce diagnostic individuel.

Pour réaliser ce diagnostic individuel, une rencontre avec Thomas HUIN directeur adjoint, et Aurore Poulain responsable Qualité Sécurité Environnement a été réalisée. Celle-ci a permis d'établir un coût des dommages pouvant éventuellement survenir lors des différents scénarios d'inondation, ainsi que de comprendre les conséquences que ces inondations pourraient plus globalement impliquer.

Voici les estimations que nous avons réalisées avec ALBIOMA :

1. Pour une crue décennale (Q10) : aucun bâtiment touché, dommage nul.

2. Pour une crue trentennale (Q30) : seul le poste de garde subit des dommages (LE04B14), 2 000€ de dommages.

3. Pour une crue cinquantennale (Q50) : seul le poste de garde subit des dommages (LE04B14), 2 000€ de dommages.

4. Pour une crue centennale (Q100) : 29 000 000€ de dommages (5M€ de dommages directs et 24 M€ de dommages indirects) :

- Salle des Machines (LE04B08) impliquant chaudière, cheminée, atelier mécanique, transfo, et matériels divers : 3 500 000€
- 2 unités de production dans la salle des machines : 1 000 000€
- Salle de traitement des eaux usées (LE04B10) :100 000€
- Diverses machines dans les bâtiments LE04B11, LE04B12, LE04B14, LE04B18 : 400 000€
- Dommages indirects dus à l'arrêt des 2 unités de production et 4 mois de remise en état : 24 000 000€

Cependant la 3ème unité de production se trouve dans un autre bâtiment non touché par une crue centennale, ainsi la société reste dans la capacité de produire de l'énergie pour l'ensemble du réseau.

L'évaluation des dommages pour la crue exceptionnelle n'a pas été communiquée par ALBIOMA. Cette société a été sollicitée à plusieurs reprises sans succès pour transmettre ces données.

Sans cette évaluation, l'analyse des dommages (calcul DMA et DEMA) serait donc tronquée. Actuellement, au regard des données disponibles et du caractère de l'activité de la société ALBIOMA, il est impossible d'évaluer les dommages pour une crue exceptionnelle sur la société ALBIOMA via un diagnostic individuel ni même la méthode recommandée par le guide « *dommage.total = dommage.bati + dommage.equipement.stock ».*

Nous proposons donc d'appliquer un coefficient multiplicateur de 2,45 par rapport aux dommages évalués pour une crue centennale pour déterminer les dommages de la Q10 000.

Ce coefficient multiplicateur a été fixé via la comparaison des valeurs des dommages obtenus en Q100 et en Q10 000 pour la société TEREOS (respectivement en Q100 : 11 989 401 € et en Q10 000 : 29 369 073 €). A noter que le ratio obtenu entre ces deux crues à partir de l'estimation des coûts issus du diagnostic est de 1,5 (dommages directs).

Une analyse spécifique a été menée pour quantifier le poids du choix de ce coefficient sur le DMA global obtenu. Elle est présentée dans le tableau suivant :

Tabl. 77 - $QDO\VH GH O•LPSDFW GX FKRL[GX FRHIILFLHQW PXOWLSO global

Coefficient appliqué à pour évaluer Q10000	DMA pour toute la zone d'étude	Δ(%)
1.5	4 364 044.10 €	-0.54%
2.45	4 387 556.60 €	-
3	4 401 169.10 €	0.31%

Cette analyse montre que le coefficient multiplicateur a a peu d'influence sur les Dommages Moyens Annuels (DMA) calculés pour l'ensemble de la zone de Bois Rouge.

Le guide demandant d'utiliser prioritairement la méthode « *dommage.total = dommage.bati + dommage.equipement.stock »,* nous retenons le ratio issu de l'application de celle-ci sur le site de TERREOS.

Ainsi les dommages directs pour une crue exceptionnelle sont estimés à : 5 000 000x2.45 = **12 250 000** €.

Concernant les dommages indirects, ils ont été estimés par ALBIOMA pour une crue centennale : pour rappel, ils correspondent à l'arrêt des 2 unités de production et 4 mois de remise en état.

Pour une crue exceptionnelle, les conséquences seront les mêmes puisque la 3ème unité de production n'est pas touchée par une crue exceptionnelle.

En effet, la 3ème unité de production d'Albioma se situe hors zone inondable quel que soit le scénario envisagé. De ce fait, la société restera en capacité de produire de l'énergie même après avoir perdu les deux premières unités. Notons également qu'Albioma possède un stock de charbon situé à l'intérieur de ses bâtiments et protégé des inondations. Ainsi ce stock « au sec » pourrait être utilisé si le stock extérieur est inondé. Ce stock est variable, il donc difficile d'estimer combien de temps ce stock permettrait de remplacer le stock extérieur.

On considèrera donc que les dommages indirects sont identiques à ceux estimés pour la crue centennale, soit 24 M€ (pas d'application de coefficient ici).

❖ SYNTHESE DES DOMMAGES POUR LE SITE INDUSTRIEL DE BOIS ROUGE

Le tableau suivant présente la synthèse de l'estimation des coûts de dommages pour les trois industriels présents sur le site de Bois Rouge. La méthode retenue pour estimer ces coûts est également rappelée dans ce tableau de synthèse.

Tabl. 78 - 6\QWKqVH GH O•pYDOXDWLRQ GHV GRPPDJHV UHWHQXH SRX industriel de Bois Rouge

Société concernée	Occurrence	TEREOS	ALBIOMA	SAVANNA
Dommages directs	Q_{10}	410 000 €	- €	- €
	Q_{30}	770 000 €	2 000 €	- €
	Q_{50}	2 270 000 €	2 000 €	- €
	Q_{100}	10 270 000 €	5 000 000 €	- €
	Q_{10000}	15 000 000 €	12 250 000 €	*2 027 826 €*
Dommages indirects	Q_{10}	- €	- €	- €
	Q_{30}	500 000 €	- €	- €
	Q_{50}	5 000 000 €	- €	- €
	Q_{100}	15 000 000 €	24 000 000 €	- €
	Q_{10000}	30 000 000 €	24 000 000 €	*Non estimés*
Total des dommages	Q_{10}	410 000 €	- €	- €
	Q_{30}	1 270 000 €	2 000 €	- €
	Q_{50}	7 270 000 €	2 000 €	- €
	Q_{100}	25 270 000 €	29 000 000 €	- €
	Q_{10000}	45 000 000 €	36 250 000 €	*2 027 826 €*

Nota : les valeurs en bleues ont été estimées via l'application de la méthode recommandée par le guide, les valeurs en rouge ont été estimées via un diagnostic individuel à dire d'expert des industriels concernés.

❖ SYNTHESE DES DOMMAGES POUR LES ACTIVITES POUR L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ETUDE

Finalement, les coûts retenus pour les dommages aux activités sur les sous-secteurs du territoire d'étude sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tabl. 79 - Coût des dommages directs aux activités pour Q 100

	Nombre de bâtiments d'activités inondés	Coût des dommages aux activités inondées (€)	
Marine	2	111 996	*0,4%~*
Quartier Français	10	565 230	*1,9%*
Centre	119	13 032 406	*44.1%*
Bois Rouge	8	15 867 329	*53.6%*
TOTAL	139	39 576 960	

Constats sur le coût de dommages directs aux activités :

Le site industriel de Bois Rouge connaitrait de lourds dommages aux activités en cas d'inondation centennale.

Le centre de Saint André présente aussi un grand nombre d'activités impactées par les inondations, et le plus souvent concentrées au niveau d'une même zone où les hauteurs d'eau peuvent être importantes (Avenue de la République, Avenue Bourbon).

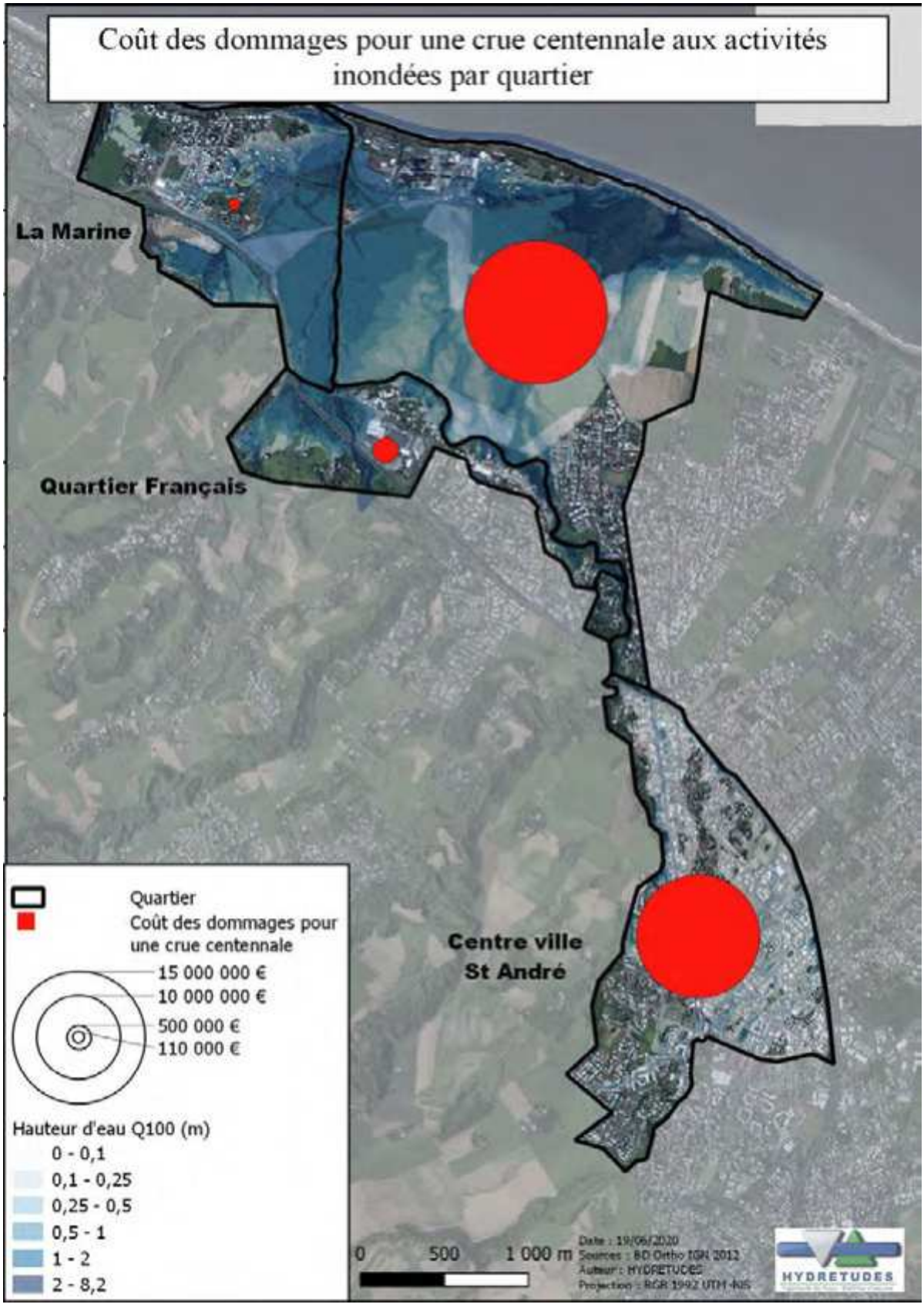


Fig. 229. Coût des dommages aux activités

❖ LIMITES DE L'EVALUATION DES DOMMAGES POUR SITE INDUSTRIEL DE BOIS ROUGE ET PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES DES EVALUATIONS DANS L'ANALYSE DE SENSIBILITE DES ACB

L'évaluation des dommages pour le site industriel de Bois Rouge reposent sur des diagnostics individuels à dire d'expert (sociétés ALBIOMA et TERREOS). Ces diagnostics individuels représentent, pour une crue centennale (15,27 M€), 96 % environ des dommages directs aux activités sur le quartier de Bois Rouge et 52% des dommages directs aux activités pour l'ensemble de la zone d'étude.

Pour une crue exceptionnelle, ces diagnostics individuels représentent (27,250 M€), 87 % environ des dommages directs aux activités sur le quartier de Bois Rouge et 46% des dommages directs aux activités pour l'ensemble de la zone d'étude.

Les coûts des dommages issus de diagnostics individuels ne sont donc pas négligeables sur l'évaluation globale des dommages directs aux activités. Ils présentent une incertitude importante quant à leur fiabilité (cf. comparaison des méthodes sur le site TERREOS). Les incertitudes associées à cette méthode sont évaluées à environ **-95% à +130 %.** (via la comparaison des évaluations des dommages directs par méthode du guide et par diagnostic individuel)

Par conséquent, les gammes d'incertitudes prises en compte pour les analyses de sensibilité réalisées en Phase 4 sont définies de la manière suivante :

- Incertitudes sur l'évaluation des dommages calculés par la méthode du guide : -50 % à + 50%, en cohérence avec les incertitudes recommandées par le guide et les experts AMC de l'IRSTEA (société SAVANNA et autres activités du quartier Bois Rouge),
- Incertitudes sur l'évaluation des dommages estimés via un diagnostic individuel (sociétés ALBIOMA et TERREOS) : -95% à +130% sur la base des écarts observés sur le site TERREOS entre les deux méthodes mises en œuvre.

Le tableau suivant présente la synthèse de l'application de cette méthodologie sur le coût des dommages sur les industries du site de Bois Rouge. Au final, à l'échelle du site de Bois Rouge, la gamme de variation sur les coûts des dommages qui sera appliquée lors de l'étude de sensibilité à ce paramètre dans l'ACB menée en Phase 4 sera de : [-50% ; +64%].

Tabl. 80 - Calcul des incertitudes à prendre en compte pour la sensibilité dans l'analyse des résultats

	Incertitudes appliquées		Montant des dommages concernées				
			Q10	Q30	Q50	Q100	Q10000
Evaluation des dommages calculés par la méthode du guide	-50 % à +50%	Estimation dommage Valeur basse	2 031 348 €	4 725 209 €	6 345 756 €	7 153 480 €	14 532 215 €
		Valeur estimée	**4 062 696 €**	**9 450 417 €**	**12 691 513 €**	**14 306 960 €**	**29 064 431 €**
		Estimation dommage Valeur haute	6 094 044 €	14 175 626 €	19 037 269 €	21 460 441 €	43 596 646 €
Evaluation des dommages estimés via un diagnostic individuel	-95% à +130 %	Estimation dommage Valeur basse	20 500 €	38 600 €	113 600 €	763 500 €	1 362 500 €
		Valeur estimée	**410 000 €**	**772 000 €**	**2 272 000 €**	**15 270 000 €**	**27 250 000 €**
		Estimation dommage Valeur haute	943 000 €	1 775 600 €	5 225 600 €	35 121 000 €	62 675 000 €
Total évaluation des dommages	-	Estimation dommage Valeur basse	2 051 848 €	4 763 809 €	6 459 356 €	7 916 980 €	15 894 715 €
		Valeur estimée	4 472 696 €	10 222 417 €	14 963 513 €	29 576 960 €	56 314 431 €
		Estimation dommage Valeur haute	7 037 044 €	15 951 226 €	24 262 869 €	56 581 441 €	106 271 646 €
Valeurs des incertitudes à retenir pour l'analyse de sensibilité des ACB	**-50% à 91 %**		-46 % à +57%	-47 % à +56%	-43 % à +62%	-27 % à +91%	-28 % à +89%

9.5.3.3. SOURCE 2/8 : INONDATION DES BÂTIMENTS ET MOBILIERS DES ÉTABLISSEMENTS PUBLICS

L'inondation des bâtiments des établissements publics génère, comme pour les autres bâtiments, des dommages au bâti et à son contenu.

Pour calculer le coût de ces dommages, on utilise une 'Courbe de dommages fluviales établissements publics', (guide AMC 2018) qui prend en compte la hauteur d'eau et la hauteur de seuil des locaux, la durée de submersion (supposée <48h), ainsi que le type d'établissement (soins, municipaux, scolaires …).

Tabl. 81 - Coût des dommages aux ERP

	Nombre d'ERP inondé	Coût des dommages aux ERP inondés (€)	
Marine	2	141 690	1,9%
Quartier Français	3	474 553	6,3%
Centre	18	6 871 596	91,8%
TOTAL	20	7 487 839	

Pour le quartier de Bois Rouge, les ERP ne se situent pas dans la zone inondable et sont concernés uniquement par des phénomènes d'enclavement. Le coût des dommages associés à l'inondation est donc nul.

Constats sur les dommages aux ERP :
Le secteur du centre-ville de Saint-André, de la Marine et de Quartier Français sont les seuls concernés par cette source de vulnérabilité avec un nombre relativement important d'ERP touchés.

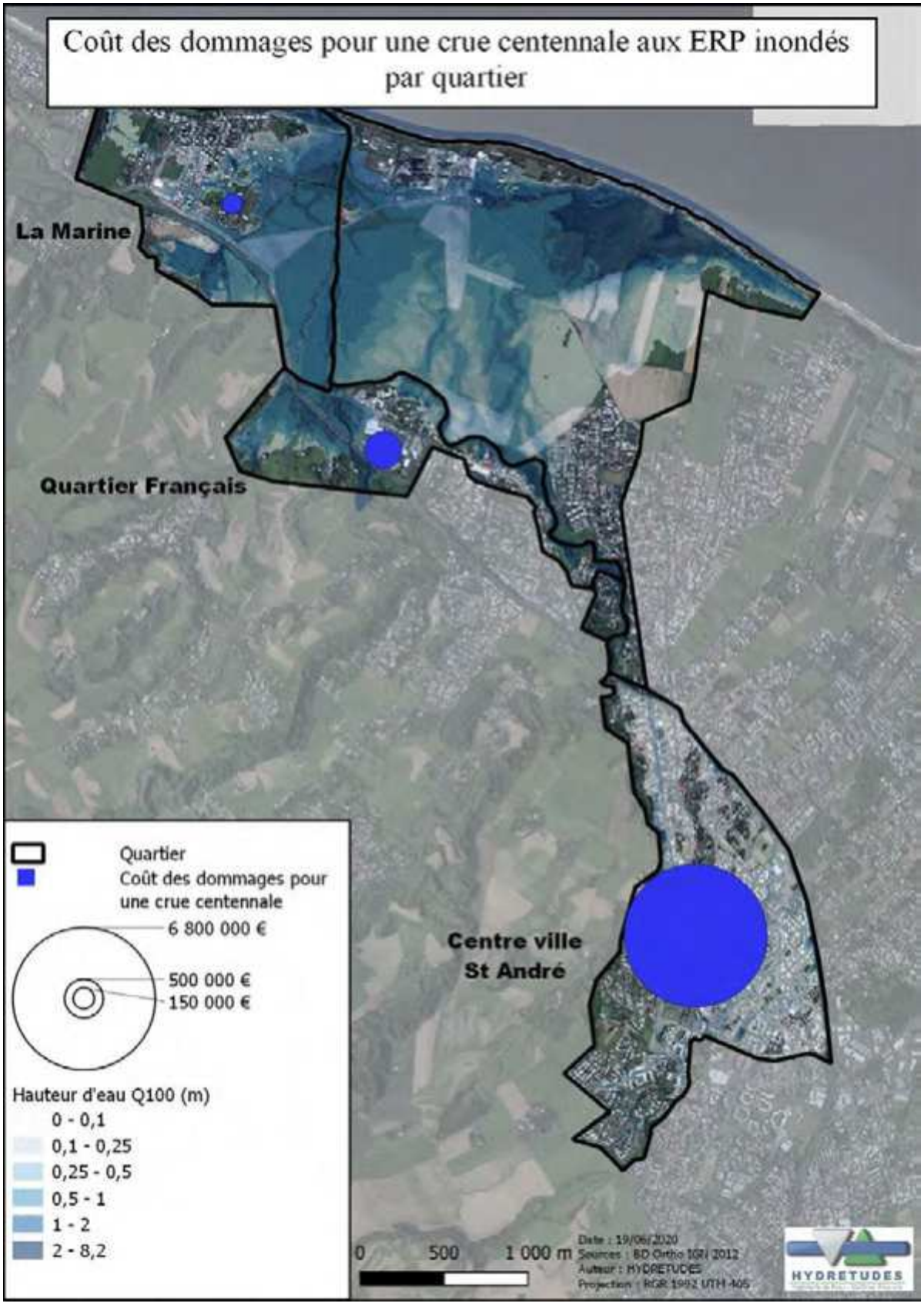


Fig. 230. Coût des dommages aux ERP

9.5.4. Axe 2.4 : Les dommages aux infrastructures et aux réseaux

L'évaluation du degré d'exposition, des points névralgiques du territoire et la nature des dommages sont des éléments dont il faut tenir compte.

A noter que pour la suite de l'étude, le coût des dommages aux réseaux n'est pas pris en compte dans les ACB. Source 2/10 : Vulnérabilité intrinsèque des réseaux

Les dommages aux réseaux intègrent les impacts sur les ouvrages (usines de traitement des eaux, postes de relevage, usines de production d'énergie, postes de transformation d'électricité, etc.) ainsi que les impacts sur les infrastructures de liaison (routes, lignes électriques, conduites d'eau, d'assainissement, etc.).

a) Réseau routier

La vulnérabilité du réseau routier sur toute la zone d'étude peut être qualifiée de forte puisque, durant la période d'inondation :

- La RN2 est inondée au niveau du centre-ville de Saint-André,
- Les principaux axes routiers du centre-ville (avenue de Bourbon, Avenue Ile de France, Avenue de la République, chemin Lagourgue) sont inondés rendant les déplacements dangereux, voire impossibles ; des vitesses d'écoulement importantes (pouvant atteindre localement 5m/s) sont localement observées, ce qui peut provoquer l'arrachement des revêtements, voire déstabiliser les couches de base de la route,
- Les itinéraires d'accès vers les quartiers de La Marine et Bois Rouge sont coupés (enclavement des quartiers),
- Les routes longeant la Petite Rivière Saint-Jean sont submergées par le débordement de cette dernière, notamment au niveau du pont de la PRSJ, ayant pour conséquence d'amplifier l'enclavement de la Marine et de Quartier Français et également des quartier à l'amont commune Ango et commune Carron,
- L'avenue Mahatma Gandhi est coupé par le débordement de la Grande Rivière Saint Jean,
- La dégradation des ouvrages hydrauliques du centre-ville de Saint André qui sont submergés à des occurrences fréquentes (T=10 ans) peut occasionner des coupures durables du réseau routier, au-delà de la période d'inondation.

Ce diagnostic établi à partir d'un scénario ne prenant en compte que les débordements de cours d'eau est aggravé par des phénomènes tels que :

- La création d'embâcles sur les ouvrages hydrauliques du centre-ville de Saint-André (cf. S1/11),
- Les problèmes de ruissellement urbains.

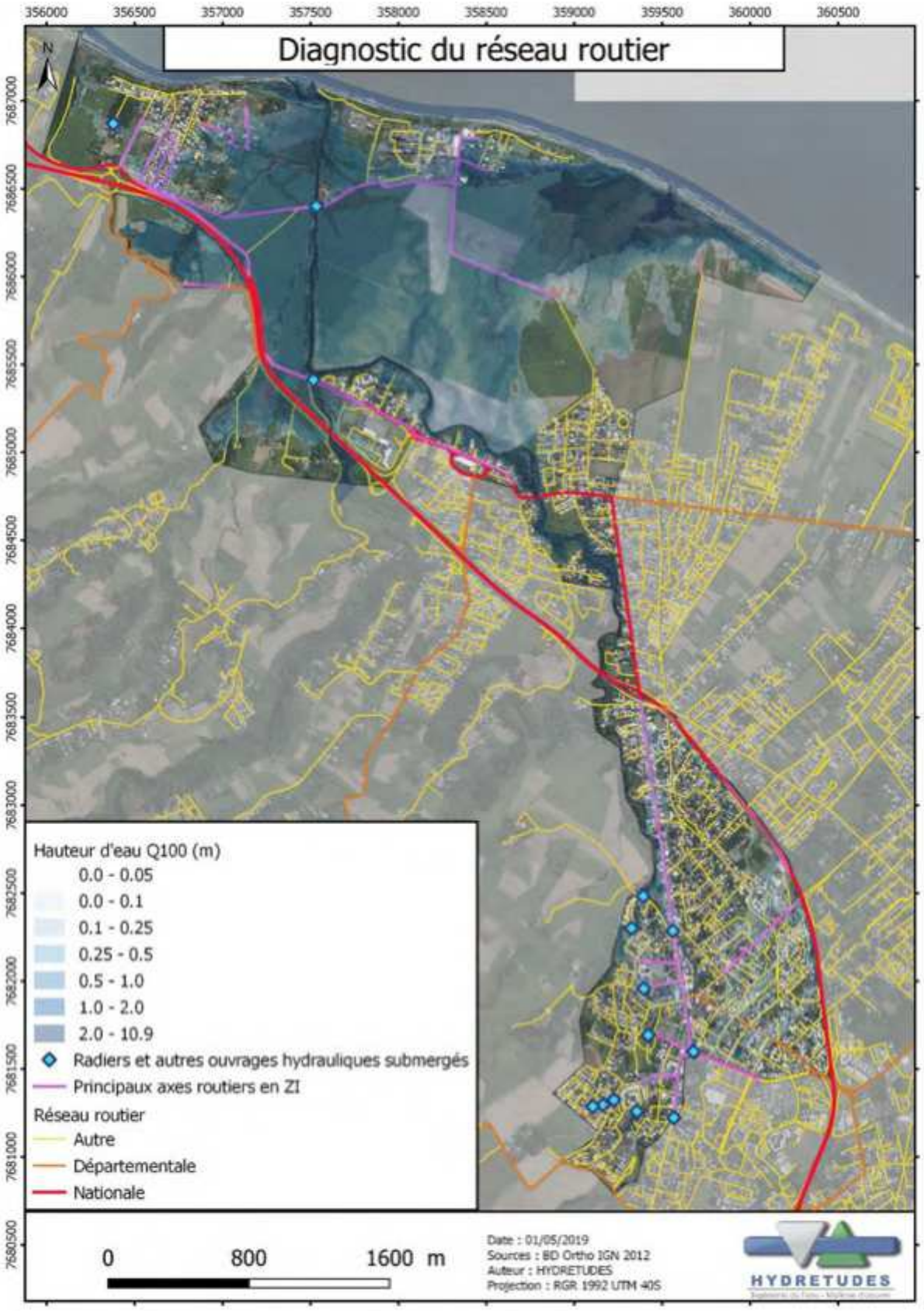


Fig. 231. Diagnostic du réseau routier

A partir de ces données, une analyse croisée des données SIG des emprises des zones inondables et des réseaux viaires a été effectué.

En prenant comme référence les coûts des dommages des voiries entre 20 et 91 €/m² (source : évaluation économique des dommages liés aux inondations – Synthèse et résumé – Février 2006 – Agence de l'Eau Artois-Picardie), et en affinant le coût des dommages selon le type de voirie et selon l'aléa inondation considéré via le tableau suivant :

Tabl. 82 - Grille de coût des dommages pour les voiries

Voirie revêtue	€/m²	2	20	90
		dommage à la voirie [€/ml]		
Type route	*largeur voirie [m] / Aléa inondation*	*faible*	*modéré*	*fort*
Communale	7	-	-	-
Départementale	12	-	-	-
Nationnale (2 x 1 voie)	15	-	-	-
Nationnale (2 x 2 voies)	32	-	-	-

L'IRSTEA préconise de ne pas utiliser ces données car il n'existe pas de trace permettant de comprendre les chiffres indiqués. En l'espèce, les dommages sont indiqués comme fonction de la hauteur d'eau uniquement alors que les dommages constatés aux voiries sont en règle générale liés à la vitesse de l'eau.

Une estimation des coûts à tout de même été réalisé via la grille de coûts indiquée ci-dessus mais les résultats ne sont pas issus d'une méthodologie validée par les guides références en vigueur.

Tabl. 83 - 'pWDLOV GHV FR WV GHV GRPPDJHV SRXU OHV YRLULHV VXU]RQH G•pWXGH SDU RFFXUUHQFH

Quartiers	Sénarios	Vories
		Dommages
Marine	Q10	252 567 €
	Q30	989 067 €
	Q50	1 423 824 €
	Q100	1 876 136 €
	Q10000	2 415 042 €
Quartier Français	Q10	1 145 622 €
	Q30	1 824 686 €
	Q50	2 064 697 €
	Q100	2 295 079 €
	Q10000	2 867 374 €
Commune Bègue	Q10	212 €
	Q30	2 828 €
	Q50	12 842 €
	Q100	13 594 €
	Q10000	19 264 €
Centre-Ville	Q10	1 045 095 €
	Q30	2 566 638 €
	Q50	3 826 935 €
	Q100	8 004 431 €
	Q10000	8 842 242 €
Bois Rouge	Q10	824 445 €
	Q30	3 299 586 €
	Q50	4 050 829 €
	Q100	5 664 439 €
	Q10000	6 054 297 €
Total pour le TRI	**Q10**	**3 267 940.39 €**
	Q30	**8 682 803.71 €**
	Q50	**11 379 128.01 €**
	Q100	**17 853 678.87 €**
	Q10000	**20 198 218.30 €**

Ces coûts sont donc donnés à titre indicatif et ne seront pas comptabilisés dans la suite de l'étude.

b) Réseau électrique

Le réseau de distribution d'électricité comprend relève d'une compétence des collectivités territoriales, qui est systématiquement concédée auprès d'ERDF (dans 95 % des cas) ou d'entreprises locales de distribution (entreprises non nationalisées). À la Réunion, la SIDELEC (Syndicat Intercommunal d'Électricité de la Réunion) est la structure, regroupant l'ensemble des communes de l'île, propriétaire du réseau électrique. La SIDELEC concède l'exploitation du réseau à EDF.

De nombreux postes de distribution électrique se trouvent en zone inondable et des coupures électriques sont donc possibles sur l'ensemble du territoire. Les plans fournis par EDF avec la position des postes de distribution sont représentés ci-dessous.

Tout part du poste source, où l'électricité haute tension fournie par RTE est transformée en moyenne tension. De là, des lignes aériennes ou enterrées rejoignent soit des postes privés d'usagers nécessitant un approvisionnement en moyenne tension (industries, hôpitaux…), soit des postes de transformation, également appelés postes de distribution publique (DP), qui transforment en basse tension. C'est de là que partent les lignes qui alimentent les compteurs de tous les autres usagers.

EDF n'a pas souhaité nous transmettre les plans du réseau basse tension, cependant des données SIG du réseau ont pu être récupérées avec la CIREST pour le secteur de Saint-André.

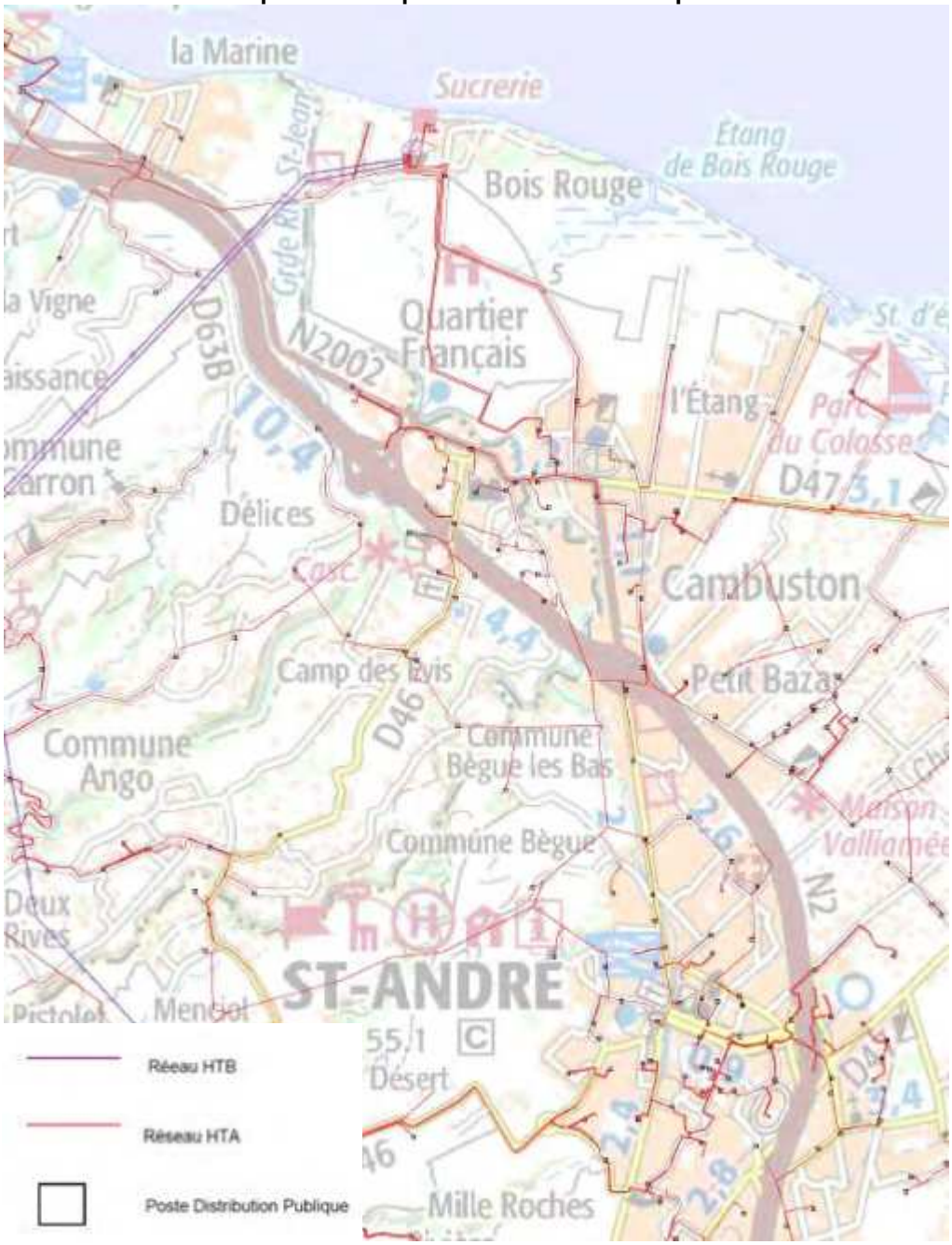


Fig. 232. Réseau électrique HTA et HTB

c) Réseau d'assainissement collectif des eaux usées

On distingue sur la zone d'étude deux réseaux d'assainissement des eaux usées :

- pour Sainte Suzanne : le réseau d'assainissement des eaux usées de la CINOR exploité par CISE Réunion,
- pour Saint André : le réseau d'assainissement des eaux usées de Saint André exploité également par CISE Réunion.

Les eaux usées collectées sont traitées :

- À la station d'épuration des 3 frères pour le réseau de Sainte Suzanne,
- À la station d'épuration de Cambuston pour le réseau de Saint André.

Ces deux stations d'épuration se situent en dehors du périmètre d'étude et ne sont pas touchées par le scénario d'inondation étudié.

Néanmoins, le réseau présente des vulnérabilités :

- Cinq postes de relevages se situent en zone inondable :
  - Dans le centre-ville de Saint André, sur l'avenue ile de France au niveau de Petit Bazar (hauteur d'eau <10cm),
  - **Sur le Quartier de la Marine, sur la rue de l'Adour (hauteurs d'eau comprise entre 0,25m et 0,5m). Ce poste est particulièrement vulnérable car il se situe au bord d'un petit canal qui déborde fréquemment. Il assure le transport vers la STEP d'une large zone couvrant la partie de la commune de sainte Suzanne se trouvant à l'Est de la Rivière Sainte Suzanne (Quartier Français, Commune Carron, Commune Ango, Commune Begue),**
  - **Les deux PR Ango se situant près de la petite rivière Saint-Jean, très vulnérables et souvent inondés par le débordement de la rivière,**
  - Le PR Carron situé en bordure de la zone inondable et moins impacté par les débordements.
- De nombreuses canalisations en encorbellement qui peuvent être partiellement ou totalement endommagées par les écoulements, surtout sur les ouvrages hydrauliques du centre-ville de Sainte Suzanne qui sont submergés pour une crue centennale,
- Des canalisations se trouvant dans des zones de fort écoulement pouvant être endommagé par érosion,
- Les voies d'entrée sont nombreuses sur ce type de réseau (exutoire, chambre de visite, avaloir). Cela pose problème car les flots venant de l'inondation peuvent apporter des dépôts dans le réseau, le mettre en charge ou générer des refoulements, comme cela a été observé pendant fakir dans le centre-ville de Saint André.

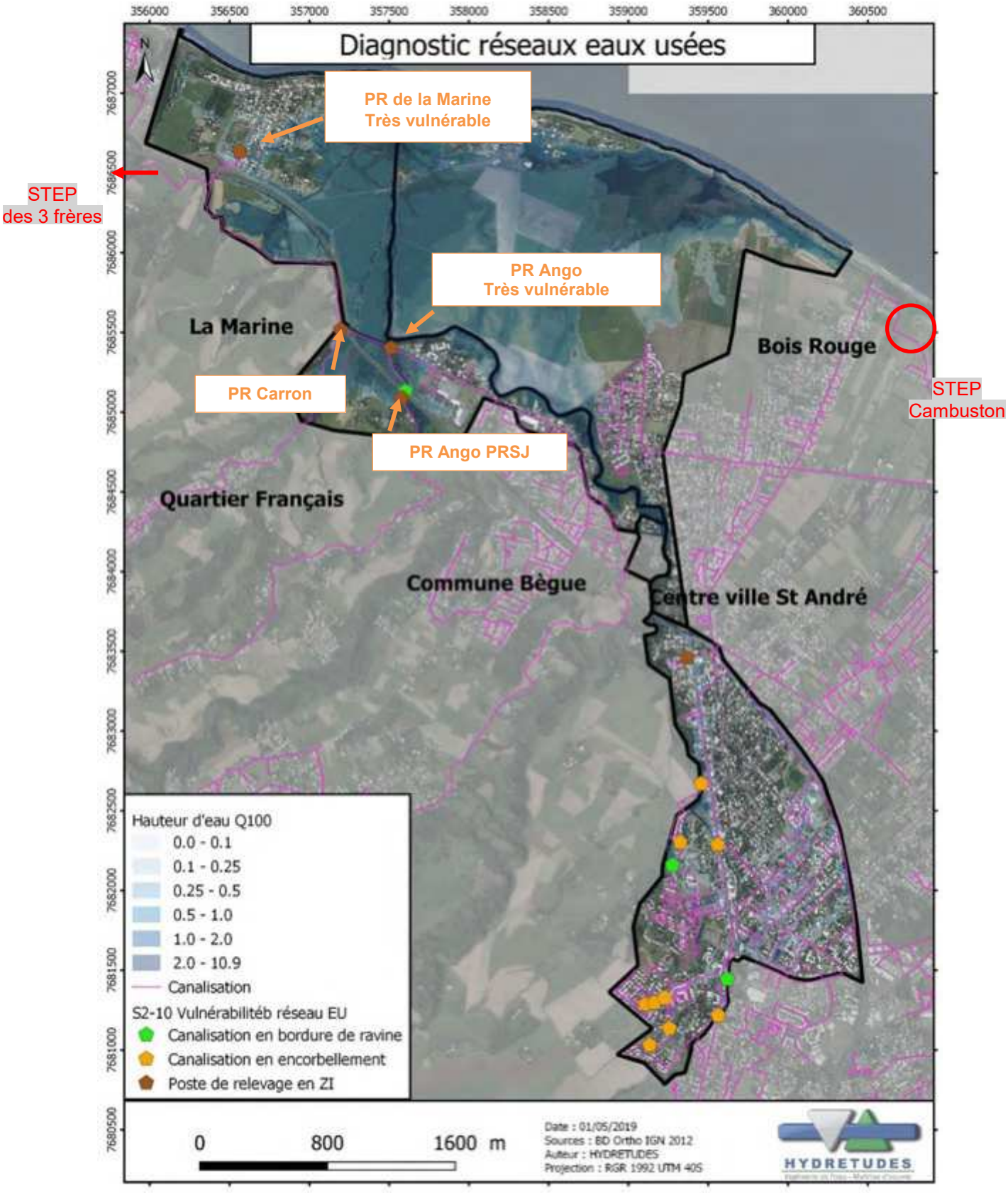


Fig. 233. 'LDJQRVWLF GX UpVHDX G•HDX[XVpHV

d) Réseau d'approvisionnement en eau potable

On distingue sur la zone d'étude deux réseaux d'approvisionnement en eau potable :

- pour Sainte Suzanne : le réseau d'eau potable de sainte Suzanne exploité par RUNEO,
- pour Saint André : le réseau d'eau potable de Saint André exploité également par CISE Réunion.

Ces réseaux sont alimentés par des captages et des forages se trouvant tous en amont de la zone d'étude. Le scénario étudié n'a donc pas d'impact sur ces installations. Par ailleurs, aucun équipement comme les postes de pompage ou les réservoirs ne se trouve sur la zone d'étude. Ces installations ne sont donc pas impactées par le scénario d'inondation étudié.

La principale vulnérabilité du réseau AEP se situe au niveau des canalisations en encorbellement sur les ouvrages hydrauliques du centre-ville de Saint-André qui sont submergés dans le scénario d'inondation étudié.

De plus des canalisations se trouvent en zone de fort écoulement (ravine Payet, petite Rivière Saint Jean), ce qui peut endommager les canalisations par érosion (sape, arrachement).

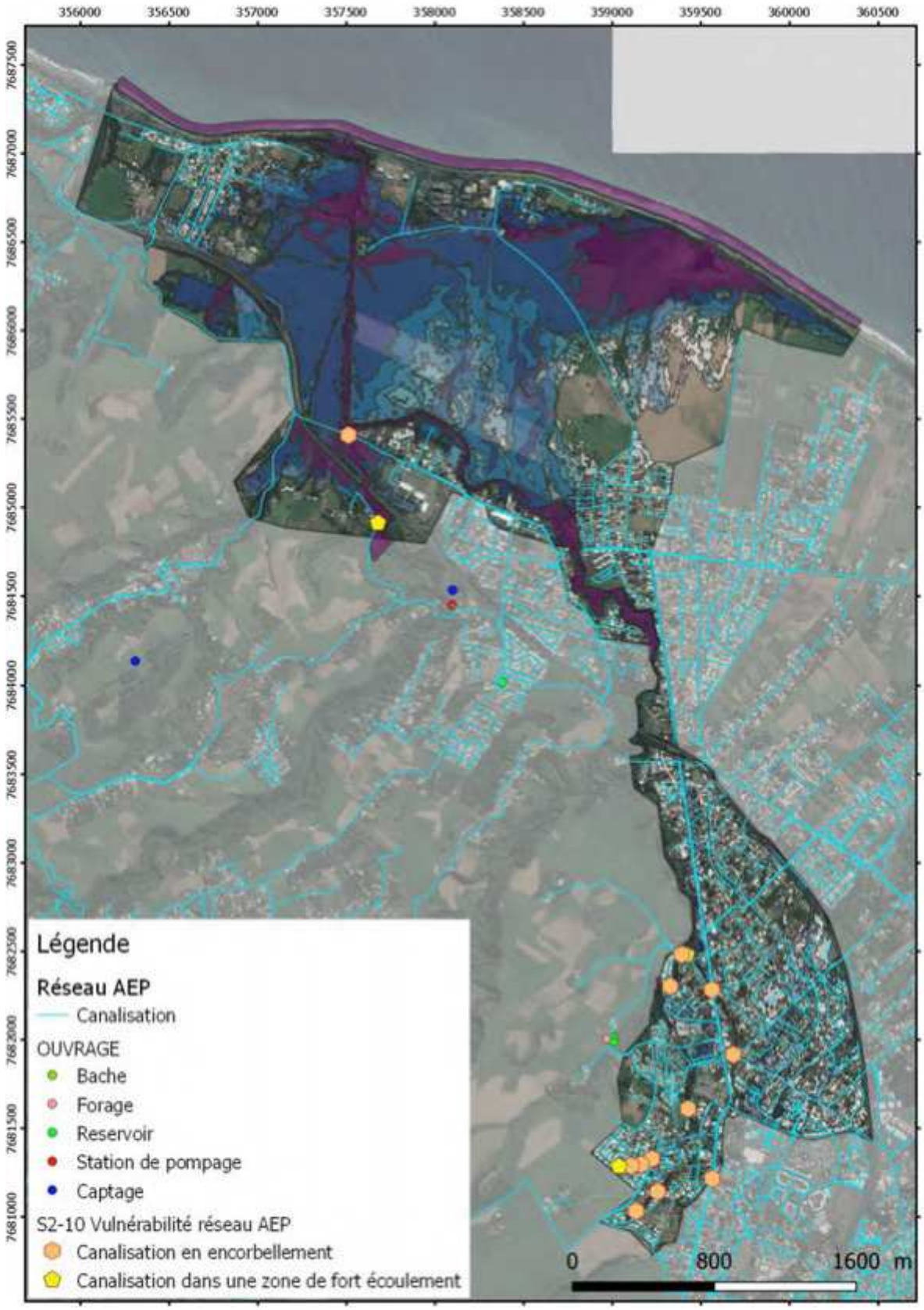


Fig. 234. 'LDJQRVWLF GX Ueau Vhd7ax6 G•

e) Réseau de collecte des déchets

La déchetterie de Saint André se trouve légèrement touchée par le débordement de la Ravine Payet.

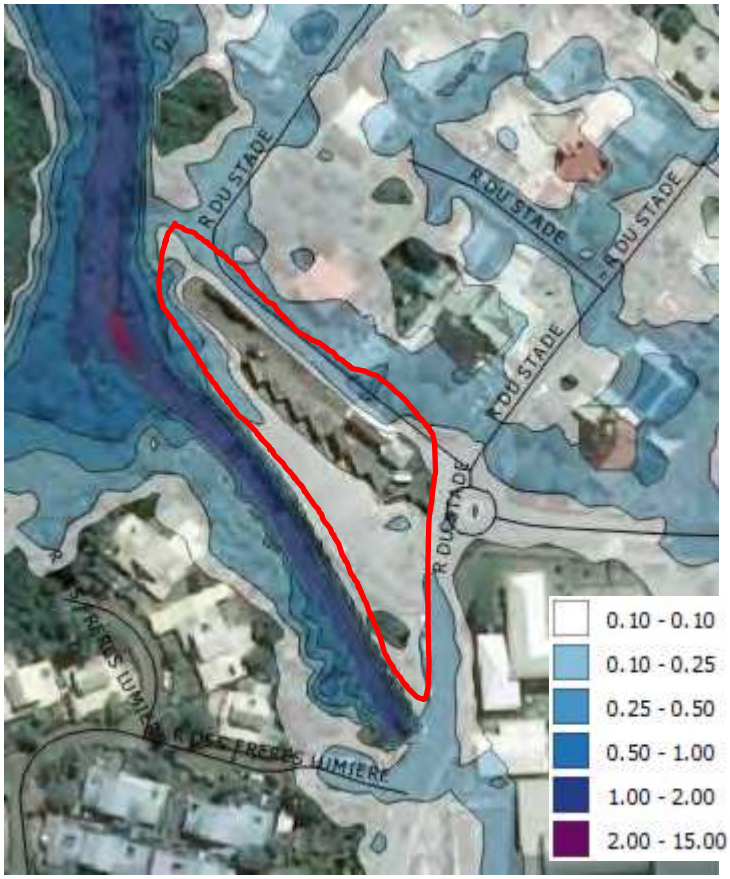


Fig. 235. Emprise de la déchetterie de Saint André touché par les débordements de la Ravine Payet

f) Réseau de téléphonie

France Télécom n'a pas voulu nous transmettre de données dans le cadre de cette étude.

Constats sur la vulnérabilité intrinsèque des réseaux :

- le réseau routier :
Les principaux axes routiers sont touchés par l'inondation : RN2, axes principaux du centre-ville, Avenue M.Gandhi, voies d'accès aux quartiers de La Marine et Bois Rouge. Durant l'inondation, le réseau routier de ces quartiers est quasiment impraticable. Les ouvrages hydrauliques du centre-ville sont submergés et peuvent être endommagés, ce qui impliquerait une coupure du réseau plus longue.

- le réseau électrique :
La centrale thermique de Bois Rouge se trouve en zone inondable. De nombreux postes de distribution se trouvent en zone inondable, ce qui représente une source de fragilité pour le réseau.

- le réseau d'assainissement collectif :
Le poste de relevage de la Marine représente un point de vulnérabilité importante car des hauteurs d'eau de 0,5m peuvent y être observées. Les canalisations en encorbellement sur le centre-ville de Saint-André sont une autre cause de vulnérabilité importante.

- le réseau d'approvisionnement en eau potable :
La ressource en eau n'est pas touchée par le scénario d'inondation. Les canalisations en encorbellement dans le centre-ville de Saint-André représentent la principale cause de dysfonctionnement identifiée.

- le réseau de collecte des déchets :
La déchetterie de saint André est légèrement touchée par le débordement de la Ravine Payet.

9.5.4.1. SOURCE 2/11 : DOMMAGES DUS AUX DYSFONCTIONNEMENTS DES RÉSEAUX PAR EFFETS DOMINOS

Étant données les fortes interactions qui existent entre les différents réseaux et le degré de dépendance des services publics au fonctionnement de ces infrastructures, la moindre perturbation peut se propager à la fois d'un type de réseau à l'autre mais aussi, sur le plan géographique, en dehors de la seule zone inondée. On parle alors d'effet domino ou d'effet en cascade. C'est, pour le territoire concerné, une potentielle aggravation de la situation, laquelle est déjà critique en période d'inondation. Il est donc essentiel de limiter au minimum les problèmes supplémentaires que peut constituer l'atteinte des réseaux par l'inondation.

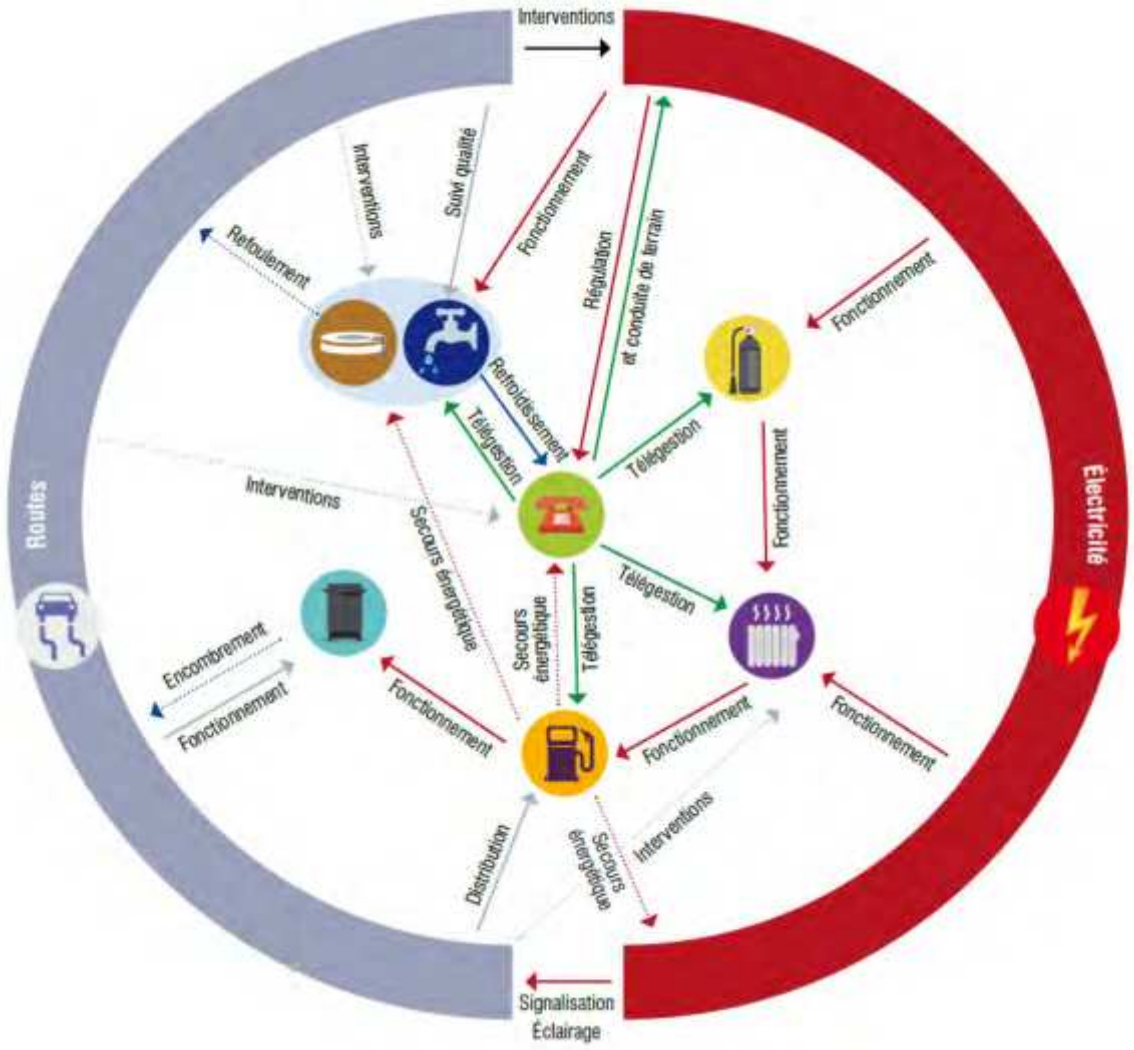


Fig. 236. Schéma des interdépendances entre réseaux (source : CEPRI)

Constats sur les dommages dus aux dysfonctionnements des réseaux par effets dominos :
Liste non exhaustive des principales conséquences envisageables de la vulnérabilité des réseaux :
- Interdépendance des réseaux,
- Fonctionnement dégradé des établissements sensibles (annexe de l'hôpital, EPHAD),
- Fonctionnement dégradé des équipements de gestion de crise (Mairie, Centres d'accueil, etc.)
- …

9.5.5. Axe 2.5 : Le manque de préparation à la crise.

Pour limiter les dommages, une inondation nécessite d'être anticipée et préparée. Cela passe notamment par la mise en œuvre de démarches à la fois individuelles et collectives de préparation à la crise.

9.5.5.1. SOURCE 2/12 : PRÉPARATION INDIVIDUELLE À LA CRISE

Une culture du risque insuffisante entraîne des habitudes et des comportements susceptibles d'augmenter les dommages aux biens : stockages inappropriés en zone inondable, réhabilitations de bâtiments avec des matériaux sensibles à l'eau, etc. En revanche, certains comportements permettent une réduction des dommages : utilisations de batardeaux, mise à l'abri de biens, adaptation du bâti, etc.

A noter qu'un réseau de repères de crues doit être mis en place par la CIREST et la CINOR **sur le bassin versant de la Grande rivière Saint Jean et ses affluents (études de définition du réseau de repères de crues réalisée).**

Constats sur la préparation individuelle à la crise :
Actions de sensibilisation du PIROI (cf. S1/13)
A priori, il n'existe pas d'actions de communication ou d'incitation pour la réalisation de travaux de réduction de vulnérabilité à l'échelle du logement en vue de réduire les coûts des dommages.

9.5.5.2. SOURCE 2/13 : PRÉPARATION COLLECTIVE À LA CRISE

À l'échelle collective, il est possible de prendre des mesures réduisant les impacts sur les biens. La mise en place de mesures de financement ou d'aides techniques pour des travaux sur le bâti, ou la gestion efficace des ouvrages de protection permet de réduire les dommages aux biens. Cette préparation passe notamment par des démarches dont certaines sont consignées dans des documents réglementaires: plan communal de sauvegarde (PCS), document d'information communal sur les risques majeurs (DICRiM), etc.

Constats sur la préparation collective à la crise :

PCS des deux communes (cf. S1/14)

ORSEC 2018

PPMS Groupe scolaire de La Marine

9.5.5.3. SOURCE 2/14 : ÉVOLUTION DE LA VULNERABILITE DANS LE TEMPS

Les politiques d'aménagement d'aujourd'hui conditionnent la vulnérabilité humaine de demain. La mise en place de PPR, comme l'intégration du risque dans les différents documents d'urbanisme, permet d'agir à terme sur le niveau de coût des dommages.

Constats sur l'évolution de la vulnérabilité dans le temps :
Trois projets d'aménagements d'envergure se situent dans la zone d'étude : le projet d'aménagement du site de Bois Rouge, le projet d'aménagement du quartier de la Marine, et le projet de Nouvelle opération de Renouvellement Urbain (PNRU) sur le centre-ville de Saint André.
On constate également que certaines zones destinées à être urbanisées selon le PLU sont en zone inondable selon la modélisation, imposant donc une réflexion sur ces secteurs pour éviter toute augmentation de la vulnérabilité.
Les deux communes sont dotées d'un PPRn.
Cf. S1/15.

9.5.6. Bilan du coût des dommages

Le coût total des dommages évalués précédemment est présenté ci-dessous.

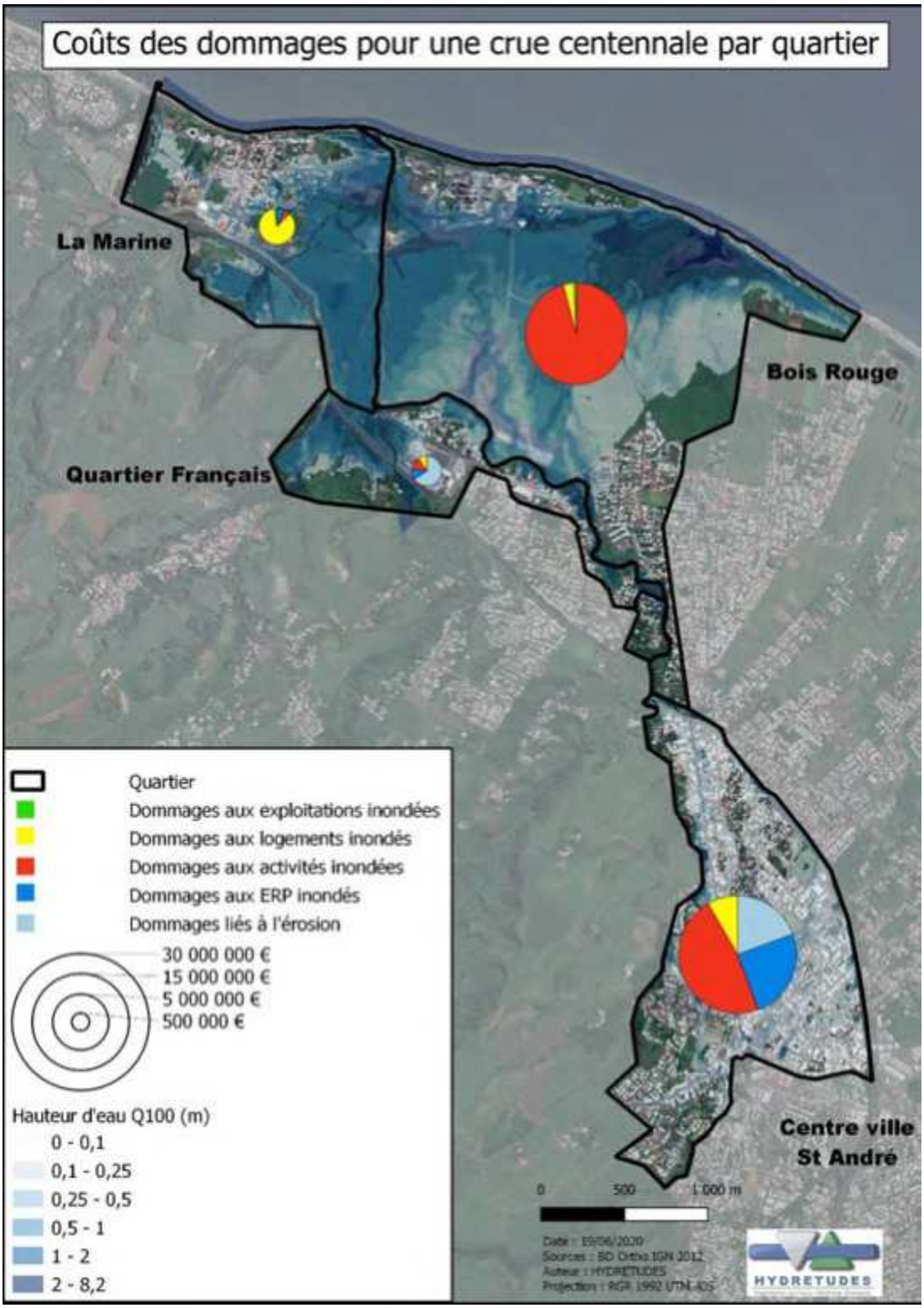


Fig. 237. Coût total des dommages estimés

Fig. 238. &R W WRWDO GHV GRPPDJHV GLUHFWV IF FR WV OLpV j O•pURVL voiries) pour Q100

	Coût des dommages (€)		Logements (€)	Agricoles (€)	Activités (€)	ERP (€)	Erosion (€)
Marine	2 081 866	4.1%	1 785 167	43 014	111 996	141 690	0
Quartier Français	4 204 460	8.3%	389 210	6 696	565 230	474 553	2 768 771
Centre	27 519 636	54.1%	2 295 788	532	13 032 406	6 871 596	5 319 315
Bois Rouge	16 560 314	32.6%	558 617	119 949	15 867 329	0	14 420
Commune Bègue	498 134	1.0%	498 134	0	0	0	0
TOTAL	50 864 411		5 526 916	170 190	29 576 960	7 487 839	8 102 506

Ces coûts ne comprennent pas les coûts de dommage aux réseaux ni des voiries (pas de méthode d'évaluation).

Dans le cadre des ACB qui sont réalisés dans la Phase 4 de l'étude, le coût des dommages aux voiries n'est pas considéré (cf. remarque DEAL/IRSTEA précisée précédemment).

Constats sur le coût total des dommages :

En étudiant l'ensemble des coûts qu'induirait une inondation, on constate que ce sont les dommages aux activités qui en sont la principale raison, dans le centre-ville de Saint André, ainsi qu'à Bois Rouge du fait de l'activité industrielle. Pour une crue centennale, cette activité industrielle représente environ 30% du coût des dommages directs totaux calculés. Si on enlève du calcul des dommages, les dommages aux activités du secteur de Bois Rouge, on obtient un coût total de dommages d'environ 35 M €.

Le quartier du centre-ville de Saint-André reste le plus lourdement touché en cas de crue centennale.

Les dommages aux logements ont toutefois leur importance dans ce coût, notamment sur le secteur de la Marine, présentant un réel enjeu d'urbanisme en périphérie de Saint André.

Le quartier Français quant à lui partage ses dommages entre activités et logements, mais la valeur du coût n'est que très faible relativement aux quartiers du centre-ville et Bois Rouge (pour les activités). Ce sont les dommages liés à l'érosion qui sont les plus importants dans ce quartier.

Les exploitations agricoles ne jouent qu'un rôle très faible dans les coûts (0,3 % du coût des dommages directs totaux calculés).

Tabl. 84 - Coût total des dommages (yc érosion) pour toutes les occurrences

Quartiers	Occurrences	Logements		Agricoles		Activités		ERP		Erosion	Total bâti		Total bâti (inondation +érosion)
		Nombre de bâtiments	Dommages	Surfaces (ha)	Dommages	Nombre de bâtiments	Dommages	Nombre de bâtiments	Dommages	Dommages	Nombres de bâtiments	Dommages	
Marine	Q10	4	77 304 €	40	22 259 €	0	- €	0	- €	- €	4	99 563 €	99 563 €
	Q30	29	413 812 €	43	35 157 €	1	60 426 €	1	22 055 €	- €	31	531 449 €	531 449 €
	Q50	51	841 243 €	43	38 930 €	1	73 997 €	1	22 055 €	- €	53	976 225 €	976 225 €
	Q100	88	1 785 167 €	46	43 014 €	2	111 996 €	2	141 690 €	- €	92	2 081 866 €	2 081 866 €
	Q10000	160	3 913 382 €	54	55 669 €	10	936 962 €	4	362 596 €	- €	174	5 268 609 €	5 268 609 €
Quartier Français	Q10	3	71 565 €	6	3 521 €	2	105 230 €	2	315 834 €	1 632 215 €	7	496 150 €	2 128 365 €
	Q30	4	88 670 €	7	5 350 €	2	131 323 €	2	315 834 €	2 174 490 €	8	541 177 €	2 715 667 €
	Q50	7	145 928 €	7	5 992 €	3	181 772 €	2	315 834 €	2 426 633 €	12	649 525 €	3 076 158 €
	Q100	19	389 210 €	8	6 696 €	10	565 230 €	3	474 553 €	2 768 771 €	32	1 435 689 €	4 204 460 €
	Q10000	60	1 254 001 €	9	9 941 €	22	2 161 465 €	7	1 354 574 €	4 417 063 €	89	4 779 981 €	9 197 044 €
Commune Bègue	Q10	19	217 483 €	0	- €	0	- €	0	- €	- €	19	217 483 €	217 483 €
	Q30	26	448 588 €	0	- €	0	- €	0	- €	- €	26	448 588 €	448 588 €
	Q50	26	468 304 €	0	- €	0	- €	0	- €	- €	26	468 304 €	468 304 €
	Q100	26	498 134 €	0	- €	0	- €	0	- €	- €	26	498 134 €	498 134 €
	Q10000	26	577 282 €	0	- €	0	- €	0	- €	- €	26	577 282 €	577 282 €
Centre-Ville	Q10	31	409 791 €	0	- €	53	3 890 058 €	7	544 175 €	3 047 433 €	91	4 844 023 €	7 891 456 €
	Q30	109	1 170 314 €	0.2	61 €	104	9 170 809 €	11	3 447 012 €	4 131 396 €	224	13 788 196 €	17 919 592 €
	Q50	129	1 723 861 €	1	258 €	119	12 346 116 €	13	5 576 278 €	4 635 410 €	261	19 646 513 €	24 281 923 €
	Q100	164	2 295 788 €	2	532 €	119	13 032 406 €	18	6 871 596 €	5 319 315 €	301	22 200 321 €	27 519 636 €
	Q10000	523	7 868 371 €	3	771 €	192	23 814 438 €	22	7 957 749 €	8 366 748 €	737	39 641 329 €	48 008 077 €
Bois Rouge	Q10	13	204 477 €	175	66 480 €	4	477 409 €	0	- €	8 610 €	17	748 366 €	756 976 €
	Q30	16	285 870 €	183	87 975 €	6	859 859 €	0	- €	11 382 €	22	1 233 703 €	1 245 085 €
	Q50	19	351 091 €	187	100 879 €	8	2 361 628 €	0	- €	12 671 €	27	2 813 597 €	2 826 268 €
	Q100	30	558 617 €	195	119 949 €	8	15 867 329 €	0	- €	14 420 €	38	16 545 894 €	16 560 314 €
	Q10000	58	1 237 314 €	215	173 684 €	9	29 401 565 €	0	- €	28 630 €	67	30 812 564 €	30 841 194 €
Total pour le TRI	**Q10**	**70**	**980 619 €**	**222**	**92 261 €**	**59**	**4 472 697 €**	**9**	**860 009 €**	**4 688 258 €**	**138**	**6 405 585 €**	**11 093 843 €**
	Q30	**184**	**2 407 254 €**	**233**	**128 543 €**	**113**	**10 222 417 €**	**14**	**3 784 900 €**	**6 317 268 €**	**311**	**16 543 114 €**	**22 860 382 €**
	Q50	**232**	**3 530 427 €**	**238**	**146 058 €**	**131**	**14 963 513 €**	**16**	**5 914 167 €**	**7 074 714 €**	**379**	**24 554 165 €**	**31 628 879 €**
	Q100	**327**	**5 526 916 €**	**250**	**170 190 €**	**139**	**29 576 960 €**	**23**	**7 487 839 €**	**8 102 506 €**	**489**	**42 761 905 €**	**50 864 411 €**
	Q10000	**827**	**14 850 350 €**	**280**	**240 066 €**	**233**	**56 314 430 €**	**33**	**9 674 918 €**	**12 812 441 €**	**1 093**	**81 079 765 €**	**93 892 206 €**

9.6. OBJECTIF N°3 : LE RETOUR A LA NORMALE

9.6.1. $[H /•LPSDFW DX WHUULWRLUH

Le nombre d'enjeux impactés par l'inondation ainsi que l'ampleur des dommages conditionnent les capacités de retour à la normale du territoire. Pour assurer ce retour à la normale, un certain nombre de fonctions importantes du territoire (habitat, services publics, activités économiques) doivent pouvoir être rétablies dans un laps de temps court.

9.6.1.1. SOURCE 3/1 : IMPACT POTENTIEL D'UNE CRUE SUR LE TERRITOIRE

La faculté de retour à la normale est directement liée au niveau des impacts évalués par les sources de vulnérabilité des objectifs 1 et 2, et à la proportion de personnes et enjeux touchés sur un territoire.

Un indicateur synthétisant l'impact de l'inondation sur le territoire est le nombre de personnes directement impacté par l'inondation (habitants + employés).

Le centre-ville de Saint André concentre une forte densité de population, impactée en cas d'inondation. Ce sont principalement des habitants dont les logements seraient touchés et fortement endommagés, imposant des travaux et donc un abandon occasionnel du logement durant une période plus ou moins longue. Certains commerces sont aussi touchés, ne permettant pas aux employés de travailler et n'assurant pas la continuité des services, parfois vitaux, aux habitants. La Marine et le Quartier Français voient aussi des habitants handicapés par cette situation.

Une inondation de Bois Rouge et de sa zone industrielle impacterait l'ensemble de l'activité de cette zone ainsi que les emplois en lien qui ne pourrait plus accéder au site au vu de la hauteur d'eau.

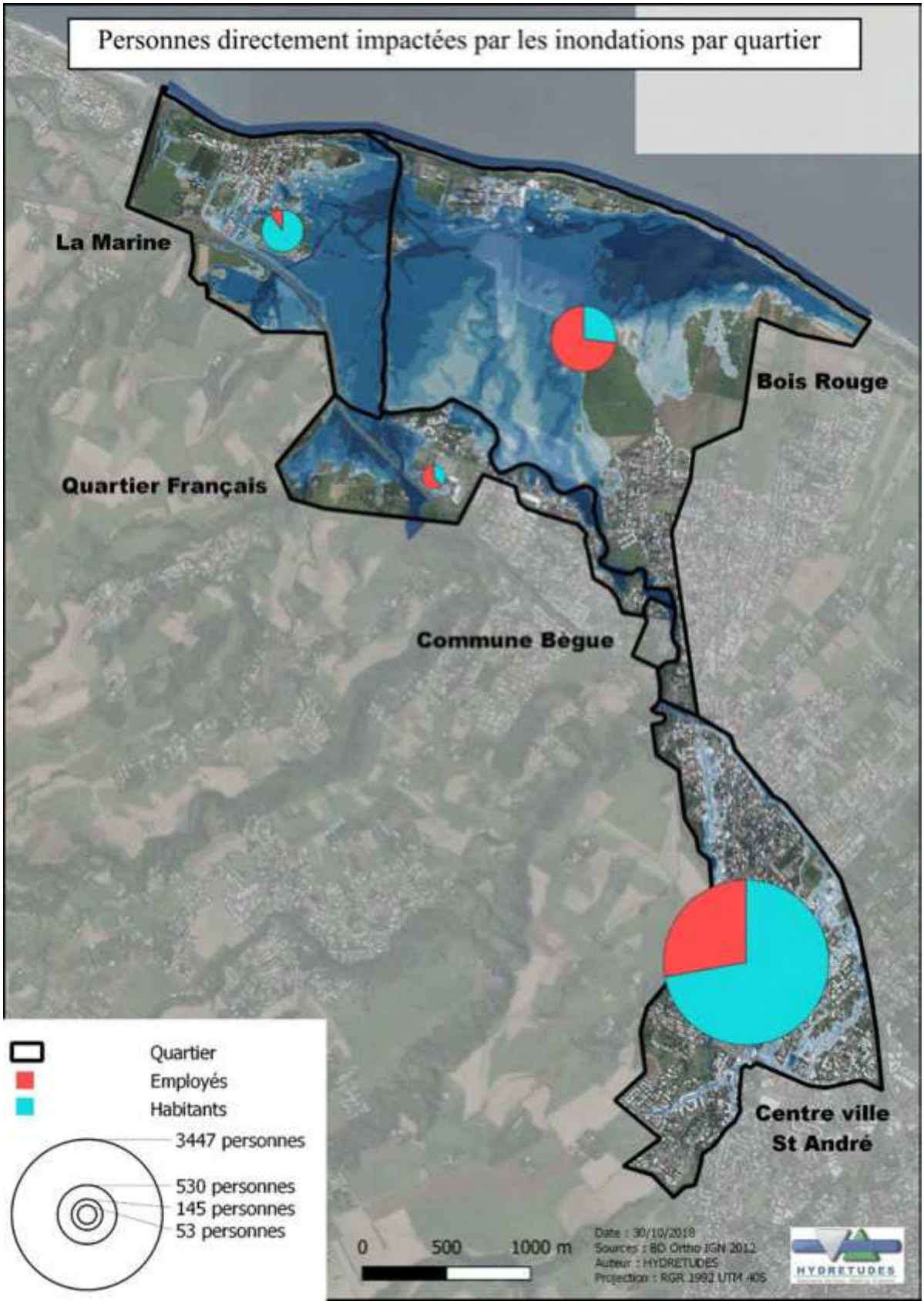


Fig. 239. Nombre de personnes directement impactées par la crue

Constats sur l'impact de la crue :
Suite à une inondation et aux dommages occasionnés, certains habitants ne pourraient plus occuper leur logement durant un certain temps. Aussi, les 1ers jours, des commerces touchés seraient obligés de fermer, diminuant l'offre de service dans le quartier et pouvant donc constituer un handicap.
Les activités du territoire seront touchées économiquement comme leurs employés qui ne pourront plus accéder à leur lieu de travail.

9.6.1.2. SOURCE 3/2 : CONFIGURATION DE L'HABITAT FACE À UNE INONDATION

Le retour à la normale est notamment conditionné au type d'habitat et à sa vulnérabilité à l'inondation (cf. objectifs 1 et 2). Par ailleurs, la capacité d'un territoire à faire face à une crise majeure est en partie liée aux capacités d'hébergement en dehors de la zone inondable, propices à trouver une solution provisoire aux sinistrés.

Le secteur dispose d'un ensemble de bâtiments de gestion de crise limitrophes qui sont accessibles par la route quand les axes routiers redeviennent praticables. Notons que certains centres se trouvent toutefois eux aussi inondés (notamment dans le centre-ville de Saint-André).

Constats sur la configuration de l'habitat face à l'inondation :
Les centres d'hébergement d'urgence du territoire permettent de pallier une éventuelle indisponibilité prolongée de l'habitat. Dans le centre-ville de Saint André, 5 de des bâtiments de gestion de crise sont situés en zone inondable, dont le collège Bédier notamment qui est durement touché.

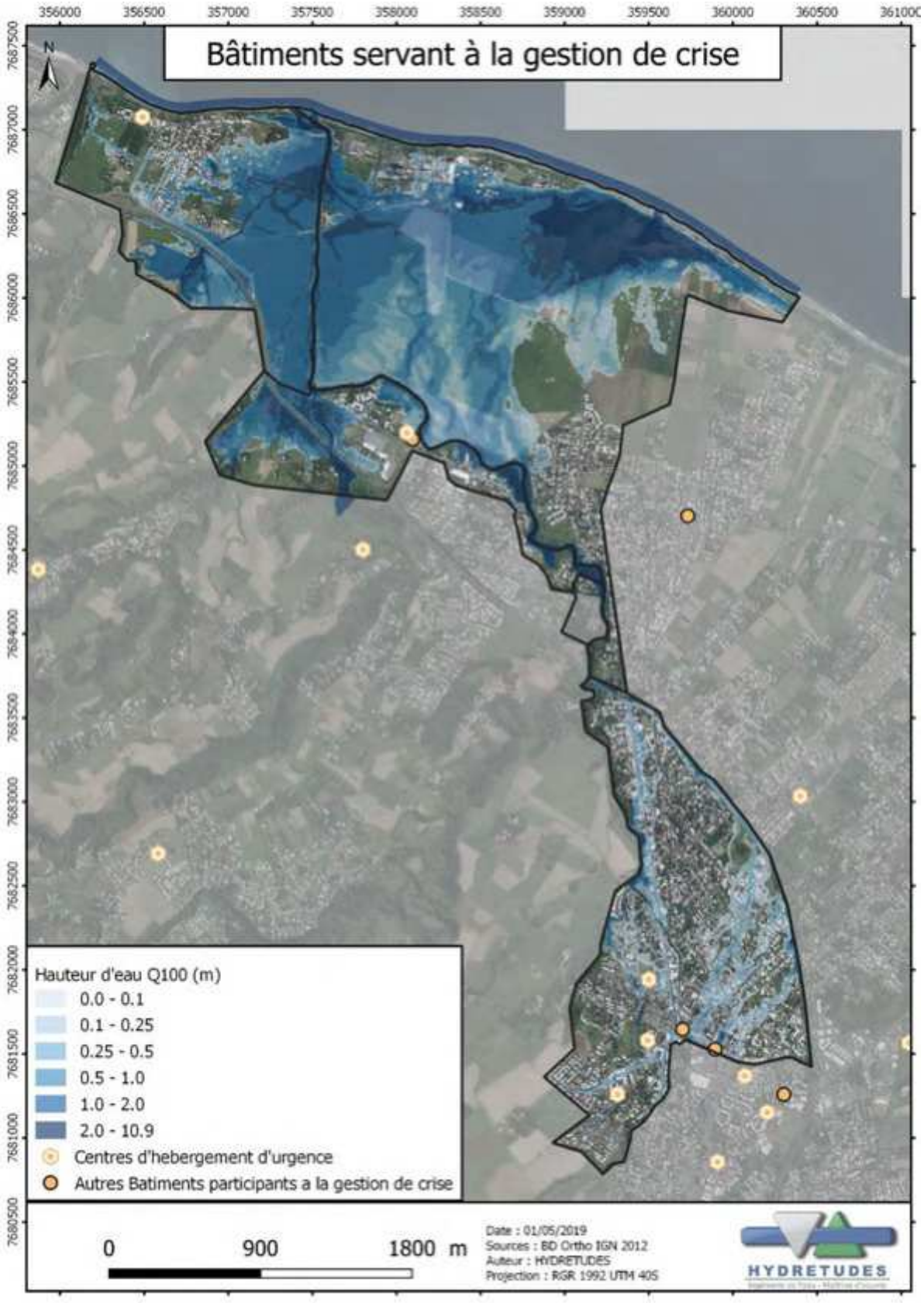


Fig. 240.Bâtiments servant à la gestion de crise

9.6.1.3. SOURCE 3/3 : CAPACITÉ À FAIRE FACE AUX CONSÉQUENCES SOCIALES ET PSYCHOLOGIQUES LIÉES À DES MISES EN DANGER OU À LA PERTE DE BIENS

Les situations de danger et la perte de biens personnels exposent de nombreuses personnes à des difficultés psychologiques. Aucun indicateur n'a été mis en place pour évaluer cette source de vulnérabilité.

9.6.1.4. SOURCE 3/4 : CAPACITÉ DES SERVICES PUBLICS PRIORITAIRES (HÔPITAUX, ETC.) À FAIRE FACE À L'INONDATION.

L'aide aux sinistrés, et plus généralement la reprise d'une vie normale, passe dans un premier temps par le rétablissement de certains services publics, que l'on qualifie ici de prioritaires.

Constats sur la capacité des services prioritaires à faire face aux inondations :
Il n'existe pas de Plan de Continuité d'Activité sur l'annexe de GHER de Saint-André.

9.6.1.5. SOURCE 3/5 : CAPACITÉ DES AUTRES SERVICES PUBLICS À FAIRE FACE À L'INONDATION

La reprise d'une vie normale passe à terme par le rétablissement de tous les services publics.

Constats sur la capacité des autres services publics à faire face à l'inondation :

Il n'existe pas de Plan de Continuité d'Activité formalisé pour les ERP inondés.

La reprise d'un fonctionnement normal est généralement intégrée dans l'organisation de la gestion de crise (et donc formalisée dans le PCS pour les ERP dépendant de la commune).

9.6.1.6. SOURCE 3/6 : CAPACITÉ DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES À FAIRE FACE À L'INONDATION

La reprise des activités économiques d'un territoire est le signe d'un retour à la normale. Il s'agit de caractériser toutes les composantes permettant une reprise rapide de ces activités.

Constats sur la capacité des activités économiques à faire face à l'inondation :

Il n'existe pas de Plan de Continuité d'Activité formalisé pour l'ensemble des activités du territoire.

9.6.1.7. SOURCE 3/7 : CAPACITÉ À FAIRE FACE AUX IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

La survenue d'une inondation va engendrer un charriage de matériaux et de déchets qu'il conviendra d'être en mesure de traiter.

Constats sur la capacité à faire face aux impacts environnementaux :
Il n'existe pas de plans de gestion des déchets post-inondation sur le territoire.

9.6.1.8. SOURCE 3/8 : CAPACITÉ À FAIRE FACE AUX IMPACTS PATRIMONIAUX

Une crue peut potentiellement impacter le patrimoine et les monuments d'un territoire. Le rétablissement des activités culturelles d'un territoire contribue au retour à la normale.

Constats sur la capacité à faire face aux impacts patrimoniaux :
Il n'existe pas de Plans de Continuité d'Activité pour les activités culturelles sur le territoire.

9.6.2. Axe 3.2 : Le rétablissement des infrastructures et des réseaux

Les infrastructures et les réseaux sont vitaux dans le fonctionnement des territoires. Ils sont à la fois des agents de propagation et d'amplification de la crise mais également des éléments dont le rétablissement est incontournable au fonctionnement du territoire.

9.6.2.1. SOURCE 3/9 : CAPACITE DES GESTIONNAIRES À MAINTENIR OU À RÉTABLIR LE FONCTIONNEMENT DES INFRASTRUCTURES

La coupure des réseaux de transport occasionne une gêne pour les flux et le fonctionnement du territoire pendant la durée de l'inondation. Il s'agit de définir la capacité à maintenir ou à rétablir la fonction de transport, qui passe par la mise en place d'itinéraires de substitution durant l'inondation, et par le nettoyage ou la réparation des dégâts après l'inondation.

Au niveau communal, il n'existe pas de dispositif d'intervention d'urgence sur le réseau routier autre que le PCS.

Le gestionnaire de voiries départementales dispose de documents d'organisation de gestion de crise (alertes cycloniques) :

- pour les subdivisions intervenant sur le terrain
- pour l'organisation générale au niveau COP et PC crise route depuis 2008.

Chaque année les documents sont mis à jour et une formation des cadres décisionnels est faite avant le début de la saison cyclonique.

La DRR (Direction Régionale des Routes) dispose également de différents plans :

- Plan de Gestion du Traffic – PGT, (mis en place suite à l'arrêté triparti de gestion de crise de 2007) pour les événements entraînant une coupure d'axe sur le réseau structurant de l'île (validation en 2009). Ce document est mis à jour si nécessaire en fonction des retours d'expérience ou des modifications du réseau,
- Plans d'intervention et de Sécurité (PIS) des tunnels réalisés à la mise en service des ouvrages (2008 et 2009) ensuite nous essayons de programmer un exercice par an.

Constats sur la capacité des gestionnaires de réseaux à maintenir ou rétablir le fonctionnement des infrastructures :
Le rétablissement du réseau routier est géré au niveau communal par l'intermédiaire du PCS.
La DRR dispose de documents pour l'organisation de la gestion de crise.

9.6.2.2. SOURCE 3/10 : CAPACITÉ À MAINTENIR OU REMETTRE EN ÉTAT LES OUVRAGES DE PROTECTION

Il s'agit d'être en mesure de réparer rapidement les ouvrages hydrauliques, permettant un maintien de la protection globale, notamment lorsque d'autres événements peuvent suivre dans un futur proche.

Constats sur la capacité à maintenir ou remettre en état les ouvrages de protection :
A priori, il n'existe pas de dispositif d'intervention d'urgence formalisés sur les ouvrages de protection hydraulique.

9.6.2.3. SOURCE 3/11 : CAPACITÉ DES GESTIONNAIRES A MAINTENIR OU RÉTABLIR LES RÉSEAUX

Cette capacité recouvre la mise en place des dispositifs visant à assurer la fonction du réseau, éventuellement dans un mode dégradé.

Constats sur la capacité des gestionnaires à maintenir ou rétablir les réseaux :
À notre connaissance, les gestionnaires de réseau disposant d'un PIGC (Plan Interne de Gestion de Crise) sont les suivants :
- CISE RÉUNION,
- EDF.

9.6.3. Axe 3.3 : Le manque de préparation de la crise

Pour faciliter le retour à la normale, une inondation nécessite d'être anticipée et préparée. Cela passe notamment par la mise en œuvre de démarches à la fois individuelles et collectives de préparation à la crise.

9.6.3.1. SOURCE 3/12 : PRÉPARATION INDIVIDUELLE AU RETOUR À LA NORMALE

La culture du risque (cf. S1/13) de la population permet aux individus de disposer d'atouts utiles pour un retour à la normale.

Par ailleurs, au-delà des mécanismes informels de solidarités ou des dispositifs assurantiels classiques, il est possible de prendre des mesures permettant d'accélérer le retour à la normale telles que la planification de l'alimentation et de l'hébergement d'urgence, la mise en place de mesures de financement ou de guichet pour les travaux de réparation, etc.

A la Réunion, les particuliers, ainsi les entreprises familiales ou artisanales et les exploitants agricoles sont éligibles au dispositif FSOM (Fonds de Secours pour l'Outre-Mer) porté par la DEAL. Les opérations éligibles sont destinées aux secours aux sinistrés se trouvant dans une situation économique et sociale fragile mis en situation de grande précarité par une catastrophe. Le financement des secours à partir de ce programme se décompose en deux catégories :

- le dispositif de secours d'extrême urgence pour verser une aide limitée mais immédiate aux sinistrés afin de leur permettre d'acquérir des produits de première nécessité (produits alimentaires, vêtements, bâches pour la couverture de maisons, etc.) ;
- le fonds de secours proprement dit pour aider les particuliers (sous condition de ressources), les entreprises à caractère artisanal ou familial dont les biens non assurés ont subi d'importants dommages : les exploitants agricoles peuvent aussi en bénéficier pour leurs pertes de fonds et de récolte.

Constats sur la préparation individuelle au retour à la normale :

Actions de sensibilisation du PIROI permettant d'améliorer la culture du risque de la population.
Fonds de Secours pour l'Outre-Mer à destination des particuliers et des entreprises familiales ou artisanales et des exploitations agricoles.

9.6.3.2. SOURCE 3/13 : PRÉPARATION COLLECTIVE AU RETOUR À LA NORMALE

Le retour à la normale est facilité sur les territoires disposant de ressources non vulnérables à l'inondation. Celles-ci peuvent alors intervenir dans la phase de nettoyage/ reconstruction.

A la Réunion, les conséquences des cyclones en termes d'inondation étant généralement limitées à un nombre restreint de bassins versants, des mécanismes opérationnels de solidarité intercommunaux peuvent être mis en place pour la phase post-inondation. Néanmoins, ceux-ci ne sont pas formalisés à l'heure actuelle.

Par ailleurs, il existe des dispositifs financiers à destination des collectivités locales et des EPCI en vue de faciliter le retour à la normale :

- **Le dispositif FSOM (fonds de secours pour l'Outre-Mer)** pour le patrimoine non assurable (ponts, routes, murs de soutènement, signalisation, digues, réseaux d'adduction d'eau potable, réseaux d'assainissement, mobilier urbain en particulier),
- **Le dispositif FARU (Fonds d'Aide au Relogement d'Urgence) :** hébergement d'urgence, relogement temporaire, réalisation de travaux interdisant l'accès aux locaux dangereux.

Constats sur la préparation collective au retour à la normale :

Le retour à la normale est géré de manière opérationnelle par l'intermédiaire du PCS. Il n'existe pas spécifiquement d'autres dispositifs collectifs au retour à la normal de manière formalisé.

Du point de vue du financement, les fonds d'urgence FSOM et FARU permettent de favoriser le retour à la normale.

9.6.3.3. SOURCE 3/14 : MOYENS DISPONIBLES POUR LE NETTOYAGE ET LE RETOUR À LA NORMALE

Le retour à la normale est facilité sur les territoires disposant de ressources non vulnérables à l'inondation. Celles-ci peuvent alors intervenir dans la phase de nettoyage/ reconstruction.

Constats sur les moyens disponibles pour le nettoyage et le retour à la normale :
A priori, il n'existe pas de réserve communale permettant d'aider les secouristes et les pompiers en cas de catastrophes naturelles de sécurité civile sur le territoire.

9.7. CONCLUSION SUR LE DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE

Les principales vulnérabilités à l'inondation affectant le territoire sur lesquelles il conviendra d'agir ont été identifiées :

- La mise en danger des personnes au sein des bâtiments de logement, principalement sur le quartier de la Marine et sur certains secteurs du centre-ville de saint André, du Quartier Français, et de Commune Bègue.
- Les dommages aux activités, principalement dans le centre-ville de Saint-André et sur la sucrerie / distillerie / centrale thermique de Bois Rouge,
- L'impact d'un potentiel dysfonctionnement de la centrale thermique de Bois-Rouge sur le territoire Réunionnais dans son ensemble.

Par ailleurs, les données recueillies lors de ce diagnostic de vulnérabilité seront utilisées pour la réalisation d'une analyse multicritère des mesures envisagées.

*Nota : selon les PCS consultés, seul le PCS de Saint-André mentionne une entreprise, actuellement, il s'agit de FENELON BTP située au 3, ZONE ARTISANALE GRD CANAL 97440 SAINT-ANDRE - **hors zone d'étude**. Le PCS de Sainte-Suzanne ne mentionne pas d'entreprise de reconstruction. Ainsi l'indicateur P6, « Part d'entreprises aidant à la reconstruction après une inondation dans les communes exposées », est nul.*

Conformément à la méthodologie en vigueur et ne disposant pas de données concernant le traffic journalier des principaux axes routiers, cet indicateur a été remplacé par le nombre d'axes routiers situés en zone inondable.

Les indicateurs élémentaires à retenir pour la crue centennale sont les suivants :

Tabl. 85 - ,QGLFDWHXUV j XWLOLVHU GDQV O•$0&

Indicateurs élémentaires	La Marine	Quartier Français	Centre Saint-André	Bois Rouge	Commune Bègue	TOTAL
P1 : Nombre de personnes habitant en ZI	385	75	5 749	416	92	**6 625**
P2 : Part des personnes habitant dans des logements de plain-pied (sans étage) en ZI	302	49	1 076	74	80	**1 501**
P3 : Capacités d'accueil des établissements sensibles en ZI	122	273	2 766	0	0	**3 161**
P4 : Bâtiments participant directement à la gestion de crise situés en ZI	1	2	5	0	0	**8**
P5 : Nombre d'axes routiers situés en zone inondable	15	11	80	7	4	**117**
P6 : Part d'entreprises aidant à la reconstruction après une inondation dans les communes exposées	0	0	0	0	0	**0**
M1 : Dommages aux habitations (€)	1 785 167	389 210	2 295 788	558 617	498 134	**5 526 916**
M2 : Dommages aux entreprises (€)	111 996	565 230	13 032 406	15 867 329	0	**29 576 961**
M3 : Dommages aux activités agricoles (€)	43 014	6 696	532	119 949	0	**170 191**
M4 : Dommages aux établissements publics (€)	141 690	474 553	6 871 596	0	0	**7 487 839**
P7 : Nombre d'emplois en ZI	20	37	781	384		**1 222**
P8 : Stations de traitement des eaux usées en ZI	0	0	0	0	0	**0**
P9 : Déchets capacités de traitement et de stockage en ZI	-	0	300 m^3	0	0	**300 m^3**
P10 : Nombre de sites dangereux en ZI	1	1	7	3	0	**12**
P11 : Nombre de bâtiments patrimoniaux et de sites remarquables en ZI	1	1	13	4	0	**19**
P11 : Nombre de bâtiments patrimoniaux et de sites remarquables en ZI	1	1	13	4	0	**19**

10. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

Les figures en pages suivantes présentent le contexte environnemental du secteur d'étude.

Les contraintes sont les suivantes :

- Grande Rivière Saint-Jean :
  - dans l'espace naturel remarquable du littoral (secteur exutoire à quartier français)
  - en Espace boisé classé (EBC)
  - dans l'emprise de l'aire d'adhésion au parc National
  - ZNIEFF de type 1 et 2
- Petite Rivière Saint-Jean :
  - dans l'espace naturel remarquable du littoral
  - dans l'emprise de l'aire d'adhésion au parc National
  - ZNIEFF de type 1 et 2
- Etang de Bois Rouge
  - dans l'espace naturel remarquable du littoral
  - en Espace Boisé Classé (EBC)
  - ZNIEFF de type 1 et 2
  - Zone des 50 pas géométriques
  - Zone humide et réserve naturelle (Etang de bois Rouge)
- Ravines sèches et Payet :
  - en Espace Boisé Classé (EBC)

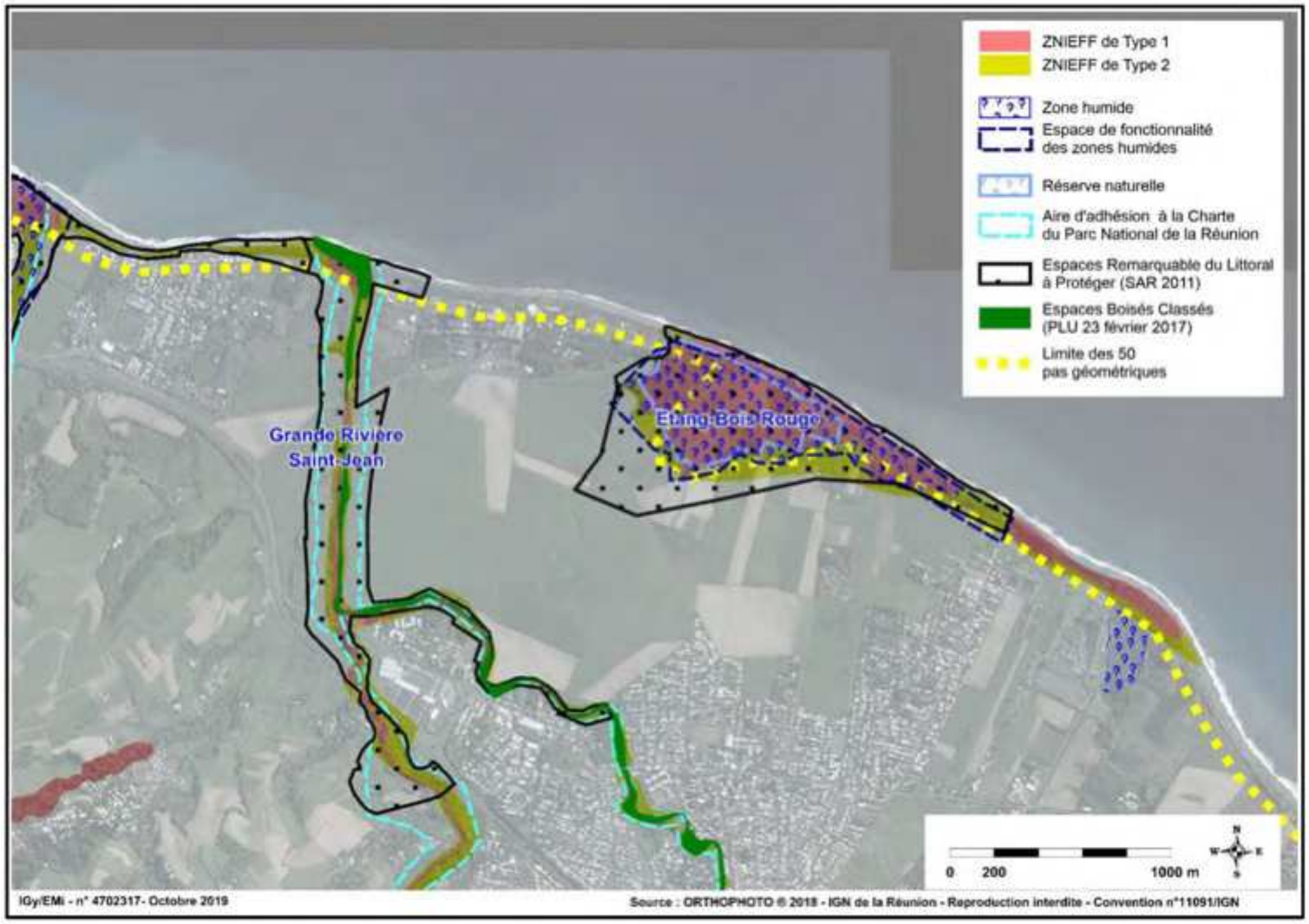


Fig. 241. Contexte environnemental †secteur aval

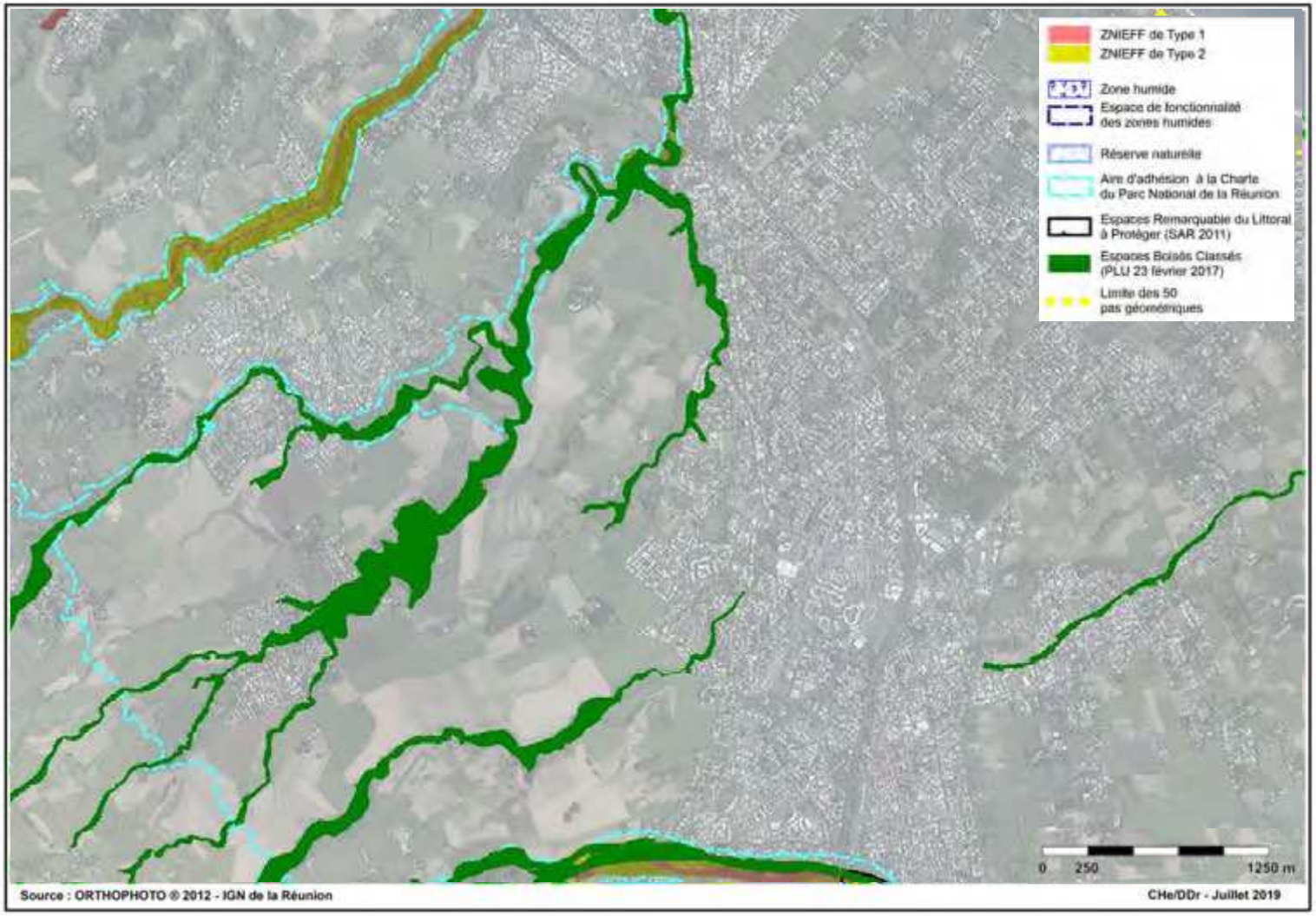


Fig. 242. Contexte environnemental †secteur amont

11. CONCLUSION GENERALE

Le secteur d'étude fait l'objet d'inondations récurrentes, et les évènements récents (Fakir) viennent rappeler le danger lié à ces inondations. Ces évènements ont également eu un impact sur la géomorphologie des cours d'eau, avec d'importantes zones constatées d'érosion de berge à proximité notamment de zones à enjeux.

Le présent diagnostic a permis de réaliser une analyse de la vulnérabilité à l'échelle de la zone d'étude et donc d'identifier les secteurs les plus vulnérables aux inondations et érosion de berges en termes de conditions hydrauliques, de densité de la population et de l'implantation et des caractéristiques des bâtis et infrastructures.

Ce diagnostic a été mené à partir des 3 objectifs du SNGRI (Stratégie Nationale de Gestion du Risque Inondation) puis décliner en axes.

Le premier objectif traite de la sécurité des personnes. On constate, concernant la mise en danger des personnes au sein du bâtiment (axe 1.1), la présence de nombreux enjeux en zone inondable sur l'ensemble du territoire, que ce soit des habitations, des bâtiments commerciaux, des industriels ou des établissements publics.

Cette mise en danger des personnes peut également être due au dysfonctionnements des infrastructures et des réseaux (axe 1.2). Il a notamment été identifié que de nombreux axe routiers servent d'axes d'écoulements préférentiels notamment dans le centre-ville de St André avec de forts risque accidentogène lors de la crue ou des axes inondés qui créent des zones d'enclavement pour la population (plaine de Bois Rouge, quartier de la Marine, …).

Le troisième axe concerne la mise en danger des personnes liée aux suraléas. (axe 1.3) Le premier risque principal identifié concerne la création d'embâcles au niveau des différents ouvrages hydrauliques qui peuvent provoquer une surinondation au droit de ces points singuliers (phénomène constaté lors de l'épisode Fakir). Un second risque identifié concerne le risque sanitaire lié à la pollution, notamment celle liée à l'inondation d'enjeux industriels (pôle industriel de Bois Rouge, stations-services présentes sur le territoire,…).

Enfin, le quatrième axe concerne le manque de préparation à la crise (axe 1.4). Bien que les 2 communes disposent de PCS, certains points nécessiteraient des adaptations, notamment la présence de bâtiments pour la gestion de crise en zone inondable.

Le second objectif concerne le coût des dommages, dont les axes sont sensiblement identiques à ceux du premier objectif.

Enfin, le troisième objectif concerne le retour à la normale. Ainsi, sur l'impact des inondations sur le territoire (axe 3.1), on constate qu'une proportion importante des établissements publics sont situés en zone inondable, mais ne dispose pas d'un plan de continuité (PCA).

L'inondation du réseau routier (axe 3.2) peut provoquer des dommages importants avec un délai de retour à la normale de plusieurs semaines, voire plusieurs mois en cas de rupture d'un ouvrage hydraulique. Les gestionnaires des voiries disposent de dispositifs organisationnels permettant d'optimiser un retour à la normale du réseau routier en priorisant les secteurs à remettre en état. La plupart des gestionnaires de réseau sont munis de Plans Internes de Gestion de Crise permettant d'optimiser également le délai de retour à la normale.

Enfin, le retour à la normale post-inondation (axe 3.3) est géré par l'intermédiaire des PCS. Il n'existe pas d'autres dispositifs opérationnels et techniques formalisés permettant d'optimiser le retour à la normale, que ce soit à l'échelle individuelle ou collective.

A partir de ce diagnostic, il est nécessaire de proposer une stratégie globale de gestion des risques inondation qui s'opère autour des 4 piliers suivants :

Protection	Réduction de l'aléa	Ouvrages de protection, surveillance du niveau du lit et/ou des berges, curages préventifs
Prévention	Réduction de la vulnérabilité	Acquisition à l'amiable, modification des documents d'urbanisme (inconstructibilité, niveaux 1er plancher, etc.)
Prévision	Aléa et vulnérabilité inchangés	Systèmes d'alerte et évacuation (zones refuge, surveillance de la montée des niveaux d'eau, etc.)
Information	Aléa et vulnérabilité inchangés	Communication auprès des riverains, des services de secours (pompiers, gendarmerie), des Services de l'Etat et des collectivités territoriales (panneaux informatifs, porters à connaissance, réunions d'information, etc.)

La suite de la présente étude (phases 2 et 3 notamment) porte plus particulièrement sur la protection des biens et la réduction de l'aléa, dont les premières pistes de réflexions par quartier sont présentées ci-dessous. Elles permettent notamment de limiter les risques identifiés dans les objectifs 1 et 2 de la présente étude de vulnérabilité.

Cependant, ce diagnostic approfondi doit également permettre de compléter et améliorer les actions menées actuellement par la collectivité, notamment sur les piliers prévention, prévision et information de la stratégie globale de gestion du risque.

Le quartier de Bois Rouge est impacté par des débordements généralisés liés aux débordement de la Grand Rivière Ste Jean en rive droite (39 bâtiments pour Q 100). La particularité de ce secteur est la présence d'enjeux industriels indispensables à l'échelle du territoire réunionnais (notamment production d'énergie) avec des dommages importants. Un autre enjeu important dans le fonctionnement hydraulique de ce secteur est l'Etang Bois Rouge et son espace fonctionnel. Il s'agit d'une zone humide important en terme de biodiversité. Elle fait fonction d'éponge naturelle (stockage de l'eau puis restitution) et de filtre des pollutions.

Pour ce secteur, 2 orientations pour la gestion du risque peuvent être envisagées :

1. Protection collective avec mise en place d'un endiguement éloigné ou non pour protection de la zone. Cet endiguement devra être couplé à un endiguement rive gauche pour ne pas basculer une partie des débordements sur le quartier de La Marine.

   Cet aménagement sera coûteux et pourrait impacter l'espace fonctionnel et la zone humide de Bois Rouge. Il pourrait cependant être pertinent dans le cadre du projet d'Eco-technoport porté par la CIREST sur la plaine de Bois Rouge.

2. Une protection sur mesure pour les enjeux industriels (avec le déploiement d'un endiguement éloigné autour du site par exemple couplé à des mesures de réduction de la vulnérabilité) afin

de garantir le fonctionnement du site. Ce scénario permettrait de maintenir le fonctionnement hydraulique du cours d'eau et de la zone humide de Bois Rouge.

Le quartier de La Marine est impacté par les inondations de la Grande Rivière St Jean (débordement rive gauche) et de la Rivière Ste Suzanne (débordement rive droite). La présente étude traite principalement des débordements de la Grand Rivière St Jean, mais intègre dans son analyse les débordements de la Rivière Ste Suzanne. Le nombre de bâtiments impactés est important (48 logements et 2 activités pour la partie inondée par la Grande Rivière St Jean).

Les orientations de gestion du risque sont sensiblement identiques à ceux présentés pour le quartier de Bois Rouge, avec mise en place d'une protection collective (endiguement) et/ou de protections individuelles sur mesure. Ces aménagements devront tenir compte des apports de la Rivière Ste Suzanne et ne pas créer une augmentation des risques liés aux débordements de cette rivière.

Le quartier Français est impacté par les débordements de la Grande et de la Petite Rivière Saint-Jean. Le nombre de bâtiment inondé est moindre.

Les orientations de gestion du risque présentées seront identiques à ceux présentés précédemment. Ils seront couplés avec des aménagements sur les berges pour lutter contre l'érosion.

Ainsi, la solution collective (endiguement) devra être étudiée de manière globale en terme de dommages sur les quartiers de la Marine, Bois Rouge et Quartier Français ainsi que sur le fonctionnement du quartier et la problématique d'érosion régressive en amont des ouvrages de protection.

Sur la commune Bègue, au regard des enjeux, moins important dans ce quartier, des mesures de réduction de la vulnérabilité couplés avec des aménagements de berge pour lutter contre l'érosion seront envisagées.

Sur le centre-ville de Saint-André, ce quartier est impacté par des débordements importants et ponctuels liés à une insuffisance de gabarit de la ravine Sèche et de la ravine Payet. Compte tenu des contraintes foncières importantes, il apparaît difficilement réalisable techniquement de vouloir redimensionner le lit sur tout le linéaire du centre-ville.

3 orientations de gestion du risque peuvent être envisagés :

1. Protection globale privilégiée et mesures de réduction complémentaires ponctuelles (médiane) :
   - Adaptation de la capacité de l'ouvrage et du lit sur un linéaire maximum,
   - Création d'ouvrages de protection,
   - Traitement des points d'érosion,
   - Proposition de mesures de réduction de vulnérabilité sur les zones inondables résiduelles.
2. Combinaison entre réduction de l'aléa par dévoiement de la ravine, protection globale et mesures de réduction complémentaires ponctuelles :
   - Création de la déviation de la ravine Sèche,
   - Adaptation de la capacité de l'ouvrage et du lit (sur les tronçons foncièrement accessibles),
   - Création d'ouvrages de protection,
   - Traitement des points d'érosion,

- Proposition de mesures de réduction de vulnérabilité sur les zones inondables résiduelles.

3. Mesures de réduction de la vulnérabilité :
   - Application de mesures de réduction de la vulnérabilité sur les zones inondables
   - Traitement des points d'érosion.

Les points hydrauliquement défavorables seront traités de manière particulière selon les scénarii retenus dans les différents quartiers.

Les risques d'érosion de berges seront également intégrés dans ces orientations de gestion du risque. De nombreuses zones ont été constatées sur la ravine Sèche et sur la Grande Rivière St Jean, aussi bien en rive gauche qu'en rive droite, avec des conséquences irréversibles sur les habitations situées à proximité immédiate des berges.

Enfin, ce diagnostic ne doit pas faire oublier les autres dysfonctionnements hydrauliques qui ont été également révélés par les enquêtes de terrain auprès de multiples habitants notamment les dysfonctionnements dans la gestion du ruissellement urbain et des réseaux d'eau pluviale provoquant des inondations avant même les débordements des cours d'eau.

Cette phase de travail a permis de préparer les conditions d'une analyse partagée par les acteurs locaux, en vue d'envisager les actions de réductions de vulnérabilité appropriées.

Ceux-ci disposent maintenant de données organisées, structurées, ainsi que d'éléments de réflexion qu'ils pourront conforter et faire évoluer, dans le but d'identifier et de hiérarchiser les besoins d'intervention.

Ce travail de priorisation doit encore être réalisé par l'ensemble des acteurs locaux et non pas uniquement par les techniciens ayant réalisé ce diagnostic. En effet, le plan d'actions qui sera élaboré doit être cohérent avec l'analyse partagée. De plus, les acteurs locaux seront parties prenantes du financement, du portage et de la mise en œuvre des actions ainsi définies.

ANNEXE 1

LEVES LIDAR †RAPPOR7 '•(;(&87,21

ANNEXE 2

CARTOGRAPHIES DES ZONES INONDABLES

ANNEXE 3

&$57('(52'$%,/,7Q DES BERGES DE LA GRANDE RIVIERE SAINT ET DE SES AFFLUENTS

ANNEXE 4

FICHE BATI (FICHES ENQUETES)

ANNEXE 5

NOTE METHODOLOGIQUE CALCUL DES DOMMAGES

ANNEXE 6

NOTE METHODOLOGIQUE '•$287