



PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 : ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

DEFINITIF

JUILLET 2008

N°4700492 R2

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	2
1.1. CONTEXTE	2
1.2. OBJECTIFS DE LA PHASE 2	3
2. DONNEES.....	4
2.1. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES	4
2.2. DONNEES TOPOGRAPHIQUES	4
3. CARACTERISTIQUES GENERALES DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	6
3.1. RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET BASSINS VERSANTS.....	6
3.1.1. <i>Segment 1 – cours amont</i>	6
3.1.2. <i>Segment 2 – cours intermédiaire</i>	6
3.1.3. <i>Segment 3 – cours aval</i>	7
3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL.....	10
3.3. PROFIL EN LONG GENERAL DU LIT	13
4. ETAT DES LIEUX PLURIDISCIPLINAIRE DE LA RIVIERE	16
4.1. ETAT DES LIEUX DE L'OCCUPATION DE L'ESPACE.....	16
4.2. ETAT DES LIEUX DES PROTECTIONS CONTRE LES CRUES.....	19
4.2.1. <i>Recensement des protections</i>	19
4.2.2. <i>Recensement des enjeux vis-à-vis de la protection</i>	21
4.3. NATURE DES BERGES	25
4.3.1. <i>Les berges rocheuses</i>	25
4.3.2. <i>Les berges formées de brèches</i>	28
4.3.3. <i>Les berges formées d'alluvions</i>	31
4.3.4. <i>Sensibilité des berges vis-à-vis de l'érosion</i>	33
4.4. ETAT DES LIEUX ENVIRONNEMENTAL ET PAYSAGER	41
4.4.1. <i>Etat des lieux environnemental</i>	41
4.4.2. <i>Etat des lieux paysager</i>	54
4.4.3. <i>Définition des potentialités au regard des aménagements projetés</i>	65
4.4.4. <i>Analyse des incidences prévisibles de la modification du fonctionnement physique de la rivière sur le milieu écologique</i>	65
4.4.5. <i>Pré-évaluation des mesures d'atténuation des incidences paysagères et écologiques</i>	67
4.5. CONTEXTE REGLEMENTAIRE.....	68
4.5.1. <i>Documents d'urbanisme et de planification</i>	68
4.5.2. <i>Le plan de Prévention des Risques</i>	75
4.5.3. <i>Servitudes techniques et portés à connaissance</i>	77

5. HISTORIQUE DU SECTEUR D'ETUDE	83
6. CARACTERISATION DE L'EVOLUTION MORPHODYNAMIQUE RECENTE	92
6.1. PRINCIPES D'EVOLUTION MORPHODYNAMIQUE DES RIVIERES	92
6.2. EVOLUTION DU PROFIL EN LONG ET DES BERGES (1966-2007)	93
6.2.1. Avant 1966 : une rivière à fort transport solide dans son état naturel	95
6.2.2. 1966-1978 : L'endiguement de l'exutoire	98
6.2.3. 1978-1989 : Les premières extractions, des cyclones marquants et la poursuite des protections	101
6.2.4. 1989-1998 : Les extractions massives à l'exutoire	104
6.2.5. 1998-2002 : Le chantier ILO et l'impact persistant des extractions	108
6.2.6. 2002-2006 : Le pont du Boulevard Sud et les fortes crues de février-mars 2006	111
6.2.7. Juin 2006-Mai 2007 : Les travaux d'urgence suite aux crues de février et mars 2006 et le cyclone GAMEDE (mars 2007)	116
6.3. EVOLUTION DU FOND EXTREME AU DROIT DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT	118
6.3.1. Le pont de Domenjod (PK 1380)	118
6.3.2. Le pont de la RN 102	119
6.3.3. Le pont de la RN2	120
7. HYDROLOGIE	122
7.1. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS	122
7.2. ANALYSE REGIONALE DES PLUIES	124
7.2.1. Les station pluviométriques	124
7.2.2. Le pivot	126
7.2.3. Choix d'une station de référence	128
7.2.4. Comparaison de la station de Gillot avec les autres stations	130
7.2.5. Les pluies journalières caractéristiques	142
7.3. ANALYSE DES DEBITS	144
7.3.1. Données disponibles	144
7.3.2. Exploitation des données disponibles	145
7.3.3. Estimations des débits de pointe en hydrogrammes de crue	156
7.4. ANALYSE DES DEBITS REDUITS ET RELATION PLUIE DEBIT	157
7.4.1. Transformation en débits réduits	157
7.4.2. Relation pluie débit au droit du pont Domenjod	158
7.4.3. Débits caractéristiques de crue de la Rivière des Pluies au pont Domenjod	162
7.4.4. Débits caractéristiques à d'autres points du bassin versant de la rivière des pluies	163
7.5. MODELISATION PLUIE-DEBIT	164
7.5.1. Découpage en sous-bassins versants	165
7.5.2. Schéma topologique du modèle pluie-débit	168
7.5.3. Fonction de propagation dans les biefs	171
7.5.4. Résultats pour les crues modélisées	172

8.	EVALUATION DES VOLUMES SOLIDES TRANSPORTES ET BILAN SEDIMENTOLOGIQUE.....	189
8.1.	GANULOMETRIE DES MATERIAUX DU LIT	189
8.1.1.	<i>Données granulométriques</i>	<i>189</i>
8.1.2.	<i>Granulométrie modèle</i>	<i>195</i>
8.2.	ORIGINE DES MATERIAUX DU LIT ET QUANTIFICATION DES APPORTS	197
8.2.1.	<i>Les apports de versant</i>	<i>198</i>
8.2.2.	<i>Les apports ponctuels par les mouvements de terrain de grande ampleur du site de Grand Eboulis....</i>	<i>201</i>
8.3.	MODE DE TRANSPORT DES MATERIAUX.....	206
8.4.	TRANSIT DES MATERIAUX ISSUS DE L'ÉBOULEMENT DE MARS 2002	207
8.4.1.	<i>Etat des lieux en octobre 2003</i>	<i>207</i>
8.4.2.	<i>Evolution des matériaux entre le 14 février 2006 et décembre 2007.....</i>	<i>211</i>
8.5.	ESTIMATION DU DEBIT SOLIDE	224
8.5.1.	<i>Estimation par les modèles réduits physiques.....</i>	<i>225</i>
8.5.2.	<i>Estimation du débit solide par des formules empiriques.....</i>	<i>228</i>
8.6.	ESTIMATION DES VOLUMES SOLIDES TRANSPORTES EN CRUE ET EVOLUTION DU PROFIL EN LONG	231
8.6.1.	<i>Construction et étalonnage du modèle de transport solide.....</i>	<i>231</i>
8.6.2.	<i>Détermination des volumes solides transportés en crue</i>	<i>239</i>
8.6.3.	<i>Evolution du profil en long de la Rivière des Pluies</i>	<i>240</i>
8.6.4.	<i>Extractions</i>	<i>244</i>
9.	TENDANCE D'EVOLUTION FUTURE DES APORTS DU BASSIN VERSANT.....	248
9.1.	LES MOUVEMENTS DE GRANDE AMPLEUR	248
9.1.1.	<i>Définitions.....</i>	<i>248</i>
9.1.2.	<i>Les éboulements en masse à La Réunion et leur fréquence</i>	<i>249</i>
9.2.	CAS DE LA RIVIERE DES PLUIES	250
9.2.1.	<i>Recensement des mouvements de terrain historiques avérés et des indices.....</i>	<i>250</i>
9.2.2.	<i>Evolution de l'amont du bassin versant.....</i>	<i>253</i>
10.	EVALUATION DES ALEAS	256

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 – TABLEAU DE REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE 2 – TABLEAU DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES

ANNEXE 3 – CARTES GEOMORPHOLOGIQUES AU 1/6000 DE LA RIVIERE DES PLUIES

ANNEXE 4 – LISTE DES ESPECES

ANNEXE 5 – REPONSE DE LA DIREN

LISTE DES FIGURES

FIGURE N° 1 – HYDROGRAPHIE ET BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES	9
FIGURE N° 2 – GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	12
FIGURE N° 3 – PROFILS EN LONG STRUCTUREL DU LIT DE LA RIVIERE DES PLUIES	15
FIGURE N° 4 – OCCUPATION DES SOLS EN BORDURE DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	17
FIGURE N° 5 – PROFILS EN LONG HABILLES RIVE DROITE ET RIVE GAUCHE DE LA RIVIERE DES PLUIES	18
FIGURE N° 6 – UNITES DE VEGETATION.....	47
FIGURE N° 7 – SENSIBILITE ECOLOGIQUE	52
FIGURE N° 8 – CARTE PAYSAGERE	64
FIGURE N° 9 – SAR.....	71
FIGURE N° 10 – POS ET PLU	74
FIGURE N° 11 – PLAN DE PREVENTION DES RISQUES	76
FIGURE N° 12 – ZNIEFF DU BASSIN VERSANT	78
FIGURE N° 13 – SCHEMA TYPE DE POSITIONNEMENT DES SERVITUDES.....	80
FIGURE N° 14 – EVOLUTION DES PENTES DU FOND EXTREME DE LA RIVIERE DES PLUIES (1966-2007).....	94
FIGURE N° 15 – EVOLUTION DU PROFIL EN LONG DE 1966 A 1978	100
FIGURE N° 16 – EVOLUTION DU PROFIL EN LONG DE 1978 A 1989	103
FIGURE N° 17 – EVOLUTION DU PROFIL EN LONG DE 1989 A 1998	106
FIGURE N° 18 – EVOLUTION DU FOND DU LIT DE 1998 A 2002	110
FIGURE N° 19 – EVOLUTION DU PROFIL EN LONG DE NOVEMBRE 2002 A JUIN 2006	112
FIGURE N° 20 – EVOLUTION EN PLAN DU FOND DU LIT ENTRE 2002 ET 2006 (MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN).....	113
FIGURE N° 21 – EVOLUTION DU PROFIL EN LONG DE JUIN 2006 A MAI 2007.....	117
FIGURE N° 22 – EVOLUTION DU FOND EXTREME SOUS LES PONTS DE LA RIVIERE DES PLUIES	119
FIGURE N° 23 – BASSINS VERSANTS DE LA RIVIERE DES PLUIES	123
FIGURE N° 24 – PLUVIOMETRES UTILISEES POUR L'ANALYSE REGIONALE	125
FIGURE N° 25 – REPARTITION DES PLUVIOMETRIES POUR LES STATIONS METEOROLOGIQUES RETENUES.....	127
FIGURE N° 26 – AJUSTEMENT – STATION DE GILLOT	129
FIGURE N° 27 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM) STATIONS GILLOT-AERO ET BRULE-VAL FLEURI	130
FIGURE N° 28 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM) (STATIONS DE GILLOT-AERO ET BRULE-VAL FLEURI).....	131
FIGURE N° 29 – AJUSTEMENT – STATION DU BRULE – VAL-FLEURI	132
FIGURE N° 30 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM) (STATIONS DE GILLOT AERO ET ST-FRANÇOIS).133	133
FIGURE N° 31 – AJUSTEMENT – STATION DE SAINT-FRANÇOIS	134
FIGURE N° 32 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM) (STATIONS DE MOKA ET GILLOT AERO).....	135
FIGURE N° 33 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM) (STATIONS DE MOKA ET GILLOT AERO).....	136
FIGURE N° 34 – AJUSTEMENT STATION DE MOKA	137
FIGURE N° 35 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM) (STATIONS BEAUMONT ET GILLOT AERO).....	138
FIGURE N° 36 – AJUSTEMENT – STATION DE BEAUMONT	139
FIGURE N° 37 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM) (STATIONS PLAINE DES CHICOTS ET GILLOT AERO).....	140
FIGURE N° 38 – AJUSTEMENT STATION DE LA PLAINE DES CHICOTS	141
FIGURE N° 39 – RELATION DES PLUIES JOURNALIERES AVEC L'ALTITUDE A PARTIR DES AJUSTEMENTS REALISES.....	143
FIGURE N° 40 – SITUATION DES DONNEES DISPONIBLES SUR LES ESTIMATIONS DE CRUE	146
FIGURE N° 41 – CONNAISSANCES SUR LA RELATION HAUTEUR / DEBIT AU PK 1730	150
FIGURE N° 42 – CONNAISSANCES SUR LA RELATION HAUTEUR / DEBIT AU PONT DOMENJOD (PK 1382).....	155
FIGURE N° 43 – CORRELATION Q_{re} PONT DOMENJOD ET PLUIES JOURNALIERES A L'ALTITUDE MEDIANE DU BASSIN VERSANT (ENSEMBLE DES VALEURS)	159

FIGURE N° 44 – CORRELATION QRE PONT DOMENJOD ET PLUIES JOURNALIERES A L'ALTITUDE MEDIANE DU BASSIN VERSANT (SUR 30 ANNEES).....	160
FIGURE N° 45 – AJUSTEMENT DES DEBITS DU PONT DOMENJOD DEDUIT DES PLUIES JOURNALIERES A L'ALTITUDE MEDIANE DU BASSIN VERSANT.....	161
FIGURE N° 46 – DECOUPAGE EN SOUS-BASSINS VERSANTS DU MODELE PLUIE-DEBIT	167
FIGURE N° 47 – SCHEMA TOPOLOGIQUE DU MODELE PLUIE-DEBIT	168
FIGURE N° 48 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT DINA AU PONT DOMENJOD	174
FIGURE N° 49 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE LA CURE DE DECEMBRE 2004 AU PONT DOMENJOD	177
FIGURE N° 50 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE LA CRUE DE FEVRIER 2006 AU PONT DOMENJOD	180
FIGURE N° 51 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT DIWA AU PONT DOMENJOD.....	183
FIGURE N° 52 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT GAMEDE AU PONT DOMENJOD.....	186
FIGURE N° 53 – COURBES GRANULOMETRIQUES DE LA RIVIERE DES PLUIES	193
FIGURE N° 54 – LOCALISATION DES PRINCIPALES ZONES D'ATTERVISSEMENT VISIBLE EN 2003 DANS LA PARTIE AMONT DE LA RIVIERE DES PLUIES (EXTRAIT DE LA CARTE GEOMORPHOLOGIQUE AU 1/11500, BRGM 2006).....	209
FIGURE N° 55 – TRANSIT DES MATERIAUX ISSUS DE L'EOULEMENT DE MARS 2002	210
FIGURE N° 56 – RELATIONS DEBIT SOLIDE – DEBIT LIQUIDE ETABLIES PAR LES MODELES PHYSIQUES DE LA RIVIERE DES PLUIES	228
FIGURE N° 57 – RELATIONS DEBIT SOLIDE – DEBIT LIQUIDE ETABLIES PAR LES FORMULES EMPIRIQUES	230
FIGURE N° 58 – LOCALISATION DES PROFILS EN TRAVERS UTILISES LORS DE LA MODELISATION AVEC CAVALCADE.....	233
FIGURE N° 59 – EVOLUTION DE L'EOULEMENT ENTRE LES CRUES DE DECEMBRE 2004 ET DE FEVRIER 2006.....	236
FIGURE N° 60 – EVOLUTION DE L'EOULEMENT ENTRE LES CRUES DE FEVRIER 2006 ET DE MARS 2006 (DIWA).....	237
FIGURE N° 61 – EVOLUTION DU FOND DE LIT AVANT ET APRES LA CRUE LIEE A DINA.....	238
FIGURE N° 62 – EVOLUTION DES FONDS ENTRE DINA ET LES CRUES DE 2006.....	241
FIGURE N° 63 – EVOLUTION DES FONDS ENTRE DINA ET GAMEDE.....	243
FIGURE N° 64 – CARTE DES PHENOMENES AVERES ET DES INDICES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	252
FIGURE N° 65 – EXTRAIT DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN D'UNE PARTIE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES (REALISE SOUS ARCVIEW)	255
FIGURE N° 66 – EVALUATION DES ALEAS.....	258

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU n° 1 – POINTS DE REFERENCES GRADUES.....	5
TABLEAU n° 2 – PROTECTIONS DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	19
TABLEAU n° 3 – ENJEUX ET PROTECTIONS	22
TABLEAU n° 4 – TABLEAU RECAPITULATIF DE LA VULNERABILITE DES BERGES DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	40
TABLEAU n° 5 – ORGANISMES CONSULTES ET SYNTHESE DES REPONSES	42
TABLEAU n° 6 – PRINCIPAUX TEXTES UTILES POUR L'EVALUATION PATRIMONIALE	44
TABLEAU n° 7 – LISTE DES ESPECES D'INTERET PATRIMONIAL DE LA FLORE, AVEC LEURS STATUTS DE RARETE ET DE MENACE	46
TABLEAU n° 8 – STATUT DES OISEAUX D'INTERET PATRIMONIAL (ET PROTEGES)	48
TABLEAU n° 9 – SYNTHESE DES DONNEES ECOLOGIQUES PERMETTANT DE JUSTIFIER DE LA SENSIBILITE DES MILIEUX	53
TABLEAU n° 10 – GRILLE REGLEMENTAIRE MULTIRISQUE.....	75
TABLEAU n° 11 – CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES BASSINS VERSANTS DE LA RIVIERE DES PLUIES	122
TABLEAU n° 12 – LISTE DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES TRAITEES.....	124
TABLEAU n° 13 – ESTIMATION DES PLUIES JOURNALIERES CARACTERISTIQUES (MM).....	142
TABLEAU n° 14 – DONNEES DISPONIBLES SUR LES ESTIMATIONS DE DEBITS DE CRUE	144
TABLEAU n° 15 – DONNEES HAUTEUR / DEBIT ISSUES DU MODELE PHYSIQUE DE 1982 EN RIVE DROITE AU NIVEAU DU PK 1730	147
TABLEAU n° 16 – MISE A JOUR DES ESTIMATIONS DES DEBITS DE CRUE	156
TABLEAU n° 17 – DEBITS DE POINTES RETENUS DU PONT DOMENJOD	158
TABLEAU n° 18 – DEBITS CARACTERISTIQUES DE CRUE	162
TABLEAU n° 19 – DEBITS CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES	163
TABLEAU n° 20 – CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS POUR LA MODELISATION PLUIE-DEBIT	166
TABLEAU n° 21 – RELATIONS RETENUES POUR LE CALCUL DES PERTES INITIALES ET DE CN	170
TABLEAU n° 22 – FONCTION DE TRANSFERT DES SOUS-BASSINS VERSANTS	171
TABLEAU n° 23 – PARAMETRE DE PROPAGATION DANS LES BIEFS	172
TABLEAU n° 24 – PARAMETRAGE DU MODELE PLUIE-DEBIT POUR DINA	173
TABLEAU n° 25 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT DINA – PRINCIPAUX RESULTATS.....	175
TABLEAU n° 26 – PARAMETRAGE DU MODELE PLUIE-DEBIT POUR LA CRUE DE DECEMBRE 2004.....	175
TABLEAU n° 27 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE LA CRUE DE DECEMBRE 2004 – PRINCIPAUX RESULTATS	178
TABLEAU n° 28 – PARAMETRAGE DU MODELE PLUIE-DEBIT POUR FEVRIER 2006.....	178
TABLEAU n° 29 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE LA CRUE DE FEVRIER 2006 – PRINCIPAUX RESULTATS	181
TABLEAU n° 30 – PLUIES JOURNALIERES A LA PLAINE DES CHICOTS POUR L'EVENEMENT DIWA.....	182
TABLEAU n° 31 – PARAMETRAGE DU MODELE PLUIE-DEBIT POUR DIWA.....	182
TABLEAU n° 32 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT DIWA – PRINCIPAUX RESULTATS	184
TABLEAU n° 33 – PARAMETRAGE DU MODELE PLUIE-DEBIT POUR GAMEDE.....	185
TABLEAU n° 34 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT GAMEDE – PRINCIPAUX RESULTATS	187
TABLEAU n° 35 – DONNEES GRANULOMETRIQUES DISPONIBLES SUR LA RIVIERE DES PLUIES.....	191
TABLEAU n° 36 – DIAMETRES CARACTERISTIQUES DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES REALISEES PAR PESEE	194
TABLEAU n° 37 – DIAMETRES MINIMUM MODELISABLES	196
TABLEAU n° 38 – GRANULOMETRIES EQUIVALENTES DES MATERIAUX UTILISES POUR LES MODELES REDUITS DE LA RIVIERE DES PLUIES	197
TABLEAU n° 39 – EVALUATION DES VOLUMES SOLIDES PAR BASSIN VERSANT.....	239
TABLEAU n° 40 – EVALUATION DES DEBITS ET VOLUMES SOLIDES PAR EVENEMENT.....	239
TABLEAU n° 41 – VOLUMES DES EXTRACTIONS REALISEES DANS LE LIT DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	245
TABLEAU n° 42 – RECENSEMENT DES MOUVEMENTS DE GRANDE AMPLEUR AYANT AFFECTE LES GRANDES RAVINES DE L'ILE (BRGM, 2007).....	250
TABLEAU n° 43 – DONNEES DISPONIBLES BIBLIOGRAPHIE.....	261
TABLEAU n° 44 – DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES.....	274

LISTE DES PHOTOS

PHOTO N° 1 – TERRASSE HABITEE D'ÎLET LA PLUIE LES BAS, EN RIVE DROITE.....	7
PHOTO N° 2 – BERGE ROCHEUSE SITUÉE EN FACE DE L'ÎLET QUINQUINA AMONT (FORMATION D'UN POINT DUR ET DEVIATION DE L'ÉCOULEMENT)	26
PHOTO N° 3 – AFFLEUREMENTS DU SUBSTRATUM ROCHEUX DANS LE LIT MINEUR EN AVAL DU PONT DOMENJOD	27
PHOTO N° 4 – AFFLEUREMENT EN RIVE GAUCHE DES DERNIÈRES BARRES ROCHEUSES SUR LE COURS AVAL	27
PHOTO N° 5 – ALTERATION "EN BOULES" DU SUBSTRATUM SUR LE COURS AVAL	28
PHOTO N° 6 – DEPOT D'AVALANCHE DE DEBRIS PRESENTANT UNE TEXTURE ORIGINELLE PRESERVÉE EN AMONT DU CHANTIER DU TRANSFERT DES EAUX	29
PHOTO N° 7 – DEPOT D'AVALANCHE DE DEBRIS PRESENTANT UN FACIES MÉLANGE AVEC APPARITION DE MATRICE ENTRE LES CLASTES (AU DROIT DU DEPOT DE MARINAGE DU CHANTIER DE TRANSFERT DES EAUX).....	29
PHOTO N° 8 – ÎLOT DE COULÉE DE DEBRIS PRESENTANT UN FACIES À GROS BLOCS (SECTEUR D'ÎLET QUINQUINA)	30
PHOTO N° 9 – DEPOTS CIMENTES DE COULÉES DE DEBRIS AU NIVEAU DU PONT DE DOMENJOD.....	30
PHOTO N° 10 – DEPOT D'ALLUVIONS ACTUELLES AU NIVEAU DU FORAGE DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	31
PHOTO N° 11 – DEPOT D'ALLUVIONS RECENTES SUR LE COURS INTERMEDIAIRE (TERRASSE EN AVAL DU CAP SOLDAT)....	32
PHOTO N° 12 – ESCARPEMENT D'ALLUVIONS ANCIENNES AU DROIT DU "GOULET DE MONTAUBAN"	33
PHOTO N° 13 – BERGES "RESISTANTES" DE COULÉES DE DEBRIS COHESIVES AU DROIT DU PONT DOMENJOD.....	34
PHOTO N° 14 – DÉBUT D'AFFOUILLEMENT À LA BASE DU PILIER RIVE GAUCHE DU PONT DOMENJOD.....	35
PHOTO N° 15 – SOUS-CAVAGE DANS DES DEPOTS D'ALLUVIONS ANCIENNES HÉTÉROGÈNES	36
PHOTO N° 16 – DEPOT DE COULÉE DE DEBRIS NON-COHESIVE SUR LE COURS INTERMEDIAIRE.....	37
PHOTO N° 17 – SAPEMENT DE LA BASE DE LA TERRASSE ALLUVIALE EN FACE DE LA CONFLUENCE DE LA RAVINE MONTAUBAN	38
PHOTO N° 18 – TERRASSE ALLUVIALE DU LOTISSEMENT SINDRAMA	38
PHOTO N° 19 – ÉROSION DE LA TERRASSE D'ALLUVIONS ACTUELLES EN FACE D'ÎLET QUINQUINA AMONT	39
PHOTO N° 20 – DEPOTS D'ALLUVIONS ACTUELLES MEUBLES	40
PHOTO N° 21 – VUE DEPUIS LE PONT MÉTALLIQUE DE LA RN102	54
PHOTO N° 22 – LIT VIF EN AVAL DU PONT DOMENJOD	55
PHOTO N° 23 – ENTRE LE PONT DOMENJOD ET LA RAVINE BACHELIER	55
PHOTO N° 24 – ENTRE LA RAVINE BACHELIER ET L'ÎLET QUINQUINA.....	56
PHOTO N° 25 – PONT DOMENJOD	56
PHOTO N° 26 – FAMILLE LAVANT SON LINGE	57
PHOTO N° 27 – EMBALLAGES DE LESSIVE ABANDONNÉS.....	58
PHOTO N° 28 – CASCADE DE LA RAVINE KIWI.....	59
PHOTO N° 29 – ÎLET LA PLUIE LES BAS (VU DEPUIS LA ROUTE D'ÎLET QUINQUINA)	59
PHOTO N° 30 – VERGER EN AVAL DU PONT DOMENJOD.....	60
PHOTO N° 31 – PARCOURS DE SANTÉ.....	60
PHOTO N° 32 – BATIMENTS EN HAUT DE REMPART À DOMENJOD	61
PHOTO N° 33 – ARRIÈRE COUR DANS LE QUARTIER DE RIVIERE DES PLUIES	61
PHOTO N° 34 – TERRAIN VAGUE EN AVAL DU PONT DOMENJOD	62
PHOTO N° 35 – PRES DE LA RAVINE BACHELIER	62
PHOTO N° 36 – LA RIVIERE DES PLUIES EN AMONT DU PONT DESBASSYNS APRES HYACINTHE (SOURCE : LCHF, 1981).....	85
PHOTO N° 37 – ÉROSION DU DEPOT DE VOUSOIRS SUITE À DIWA (10 MARS 2006).....	90
PHOTO N° 38 – PARTIE AVAL DE LA RIVIERE DES PLUIES (IGN, 1961)	96
PHOTO N° 39 – PARTIE AMONT DE LA RIVIERE DES PLUIES (IGN, 1961).....	97
PHOTO N° 40 – STATION 21101 APRES LA CRUE DE DÉCEMBRE 2004 (OLE).....	148
PHOTO N° 41 – STATION 21101 APRES LA CRUE DE FÉVRIER 2006 (OLE).....	148
PHOTO N° 42 – STATION 21101 PENDANT LA CRUE LIÉE À DIWA (OLE).....	149
PHOTO N° 43 – ÉCOULEMENT ONDULANT (PRÉSENCE D'ANTI-DUNES) EN AMONT IMMÉDIAT DE LA STATION PENDANT GAMEDE (LE 27/02/07 À 10 H).....	149
PHOTO N° 44 – CRUE DE FÉVRIER 2006 – PONT DE DOMENJOD (18/02/06 À 16H30 – SOGREAH).....	152
PHOTO N° 45 – CRUE DE FÉVRIER 2006 – PONT DE DOMENJOD – LAISSE DE CRUE	152
PHOTO N° 46 – DIWA – PONT DE DOMENJOD (6 MARS 2006, HEURE NON CONNUE – DDE)	153
PHOTO N° 47 – PONT DE DOMENJOD APRES DIWA (AVRIL 2006 – SOGREAH)	153
PHOTO N° 48 – GAMEDE – PONT DE DOMENJOD (27/02/07 À 10H11 – SOGREAH)	154
PHOTO N° 49 – PONT DE DOMENJOD APRES GAMEDE (NOVEMBRE 2007 – SOGREAH	154

PHOTO N° 50 – ARRACHEMENTS DANS LE REMPART EST DOMINANT LE GRAND EBOULIS	199
PHOTO N° 51 – TRACES D'ÉBOULEMENTS AFFECTANT LA BORDURE DE L'ÎLET RONDE.....	200
PHOTO N° 52 – INSTABILITES DE VERSANT AU DROIT DE L'ÎLET LA PLUIE	200
PHOTO N° 53 – CHAOS PROVENANT D'UN ÉBOULEMENT A L'ÎLET LA PLUIE	201
PHOTO N° 54 – ETUDE PHOTO INTERPRETATIVE DU SITE DU GRAND EBOULIS (Y. FEVRE, 2005)	202
PHOTO N° 55 – LOCALISATION DE LA NICHE D'ARRACHEMENT SUR IMAGERIE GOOGLE	203
PHOTO N° 56 – LA ZONE D'ARRACHEMENT SUPPOSEE VUE DEPUIS LA RIVIERE DES PLUIES (CLICHE 2007).....	203
PHOTO N° 57 – BARRAGE NATUREL DU GRAND EBOULIS (CLICHE BRGM DU 05 MARS 2002).....	204
PHOTO N° 58 – EVOLUTION DU RELIEF DU GRAND EBOULIS DEPUIS 1966 (PHOTOS IGN).....	205
PHOTO N° 59 – EROSION DU FLANC NORD-EST DU RELIEF DU GRAND EBOULIS (CLICHE NOVEMBRE 2007)	206
PHOTO N° 60 – FRONT DU BARRAGE EN 2002.....	208
PHOTO N° 61 – CRUE DE FEVRIER 2006 – ATTAQUE DES DEPOTS CIMENTEES DU TALUS SUD DE L'ÎLET DE LA PLATEFORME (24 FEVRIER 2006)	211
PHOTO N° 62 – CRUE DE FEVRIER 2006 – EROSION DE LA BERGE RIVE DROITE EN PARTIE AVAL DE LA PLATEFORME AU NIVEAU DU BASCULEUR (20 FEVRIER 2006)	212
PHOTO N° 63 – CRUE DE FEVRIER 2006 – DESTRUCTION DE LA PROTECTION DU DEPOT DE MARINAGE ET DEPART DE MATERIAUX (22 FEVRIER 2006).....	212
PHOTO N° 64 – VUE DU DEPOT DE MARINAGE ACTUEL ET DE L'EXTENSION « ONF » (12/01/07).....	213
PHOTO N° 65 – CRUE DE FEVRIER 2006 – DEPOT DE MATERIAUX FINS EN AMONT DE LA PLATEFORME (TALUS SUD) (24 FEVRIER 2006).....	213
PHOTO N° 66 – CRUE DE FEVRIER 2006 – DEPOT DE MATERIAUX FINS EN PARTIE AMONT DE LA PLATEFORME, AU NIVEAU DE LA "DZ" (25 FEVRIER 2006)	214
PHOTO N° 67 – CRUE DE FEVRIER 2006 – DEPOT DE MATERIAUX FINS EN PARTIE AVAL DE LA PLATEFORME ET EN AMONT DU DEPOT DE MARINAGE (1ER MARS 2006)	214
PHOTO N° 68 – DIWA – ABAISSEMENT DU LIT EN PARTIE AMONT DE LA PLATEFORME (AU NIVEAU DE LA "DZ") (28 MARS 2006).....	215
PHOTO N° 69 – DIWA – ABAISSEMENT DU LIT AU NIVEAU DE LA PLATEFORME, DECHAUSSEMENT DE LA PROTECTION EN ENROCHEMENTS LIES ET AFFLEUREMENT DE MATERIAUX CIMENTES (11 AVRIL 2006).....	216
PHOTO N° 70 – L'ÎLET LA PLUIE – DEPOT DE SEDIMENTS FINS APRES LA CRUE DE FEVRIER 2006 (25 FEVRIER 2006).....	217
PHOTO N° 71 – ÎLET RIVE GAUCHE EN AVAL DE L'ÎLET LA PLUIE EN 2003.....	218
PHOTO N° 72 – ÎLET RIVE GAUCHE EN AVAL DE L'ÎLET LA PLUIE APRES DIWA (7 MARS 2006).....	218
PHOTO N° 73 – PARTIE AMONT DE L'ÎLET QUINQUINA – VUE VERS L'AMONT APRES DIWA (7 MARS 2006).....	219
PHOTO N° 74 – PARTIE AMONT DE L'ÎLET QUINQUINA – VUE VERS L'AVANT APRES DIWA (7 MARS 2006).....	220
PHOTO N° 75 – ENGRAVEMENT DU LIT DE LA RIVIERE DES PLUIES A L'AVANT DU BARRAGE (CLICHE 2003).....	221
PHOTO N° 76 – LIT DE LA RIVIERE A L'AVANT DU GRAND EBOULIS (CLICHE DU 14 FEVRIER 2006)	221
PHOTO N° 77 – CREUSEMENT DU LIT A L'AVANT IMMEDIAT DU BARRAGE EN 2007 (CLICHE DECEMBRE 2007)	222
PHOTO N° 78 – ZONE D'ATERRISEMENT ENTRE LES DEUX VERROUS (GALETS ANGULEUX ZEOLITISES), A LA CONFLUENCE DE LA RAVINE LA NAGE ET DE LA RAVINE DU DIABLE (CLICHE DECEMBRE 2007)	222
PHOTO N° 79 – DEPOTS DE MATERIAUX FINS LITES (SABLES, GRAVIERS) A 1 KM EN AVAL DU "GRAND EBOULIS" (CLICHE DECEMBRE 2007)	223
PHOTO N° 80 – DEPOTS A LA SORTIE DU VERROU SITUÉ EN AMONT DU CHANTIER DU TRANSFERT DES EAUX EN DECEMBRE 2003	223
PHOTO N° 81 – VERROU SITUÉ EN AMONT DU CHANTIER DU TRANSFERT DES EAUX EN DECEMBRE 2007.....	224
PHOTO N° 82 – VUE D'ENSEMBLE DE L'ÉBOULEMENT DE MARS 2002 (CLICHE DECEMBRE 2007).....	253

VOLET I
–
ETAT DES LIEUX GENERAL
DU SECTEUR D'ETUDE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

1.1. CONTEXTE

La Rivière des Pluies draine un bassin versant de 46 km² environ sur les communes de Saint-Denis et de Sainte-Marie. C'est l'un des cours d'eau majeurs de l'île de La Réunion du fait non seulement de la superficie de son bassin versant mais aussi du très fort transport solide qu'elle présente et des fortes crues auxquelles elle est soumise.

Les pluies intenses sur le bassin versant de la Rivière de Pluies les 17 et 18 février 2006 et les 5 et 6 mars 2006 (tempête tropicale modérée DIWA) ont provoqué des dégâts importants aux berges des rives droite et gauche du cours d'eau avec destruction de plusieurs habitations et mise en péril d'autres logements.

Le secteur principalement concerné par ces dégradations s'étend du village de l'Ilet Quinquina (en amont) au pont métallique de la RN102 en aval (cf. figure n°4, page 17).

Suite à ces événements, des travaux d'urgence ont été réalisés et l'engagement de lancer les études préliminaires et opérationnelles en vue de travaux de protection pérennes contre les crues ont été pris.

Par ailleurs, suite à ces crues, une mission d'expertise a été effectuée sur l'ensemble de l'île du 9 au 14 avril 2006 par des inspecteurs généraux.

Celle-ci a préconisé une réflexion globale tenant compte des débits liquides et solides comprenant :

- ↳ L'espace de divagation latérale suffisant ;
- ↳ Un profil en long acceptable ;
- ↳ Les travaux à réaliser.

C'est dans ce contexte que la CINOR a lancé sur demande de la Préfecture de La Réunion la présente étude de protection contre les crues de la Rivière des Pluies. Celle-ci comprend 3 phases :

- ↳ Phase 1 : Analyse des études et des données existantes sur la Rivière des Pluies ;
- ↳ Phase 2 : Etude du fonctionnement hydrogéomorphologique de la rivière sur l'ensemble de son bassin versant ;
- ↳ Phase 3 : Propositions de solution de gestion et d'aménagement de protections pérennes contre les crues depuis l'école de l'Ilet Quinquina jusqu'au pont métallique de la RN102.

La première phase de cette étude a été finalisée fin octobre 2007 et a fait l'objet d'un premier rapport.

Le rapport ci-après correspond au premier volet du rendu définitif de la phase 2 de l'étude (la phase 2 est composée de 4 volets présentés dans le paragraphe suivant).

1.2. OBJECTIFS DE LA PHASE 2

L'objectif de la phase 2 est de comprendre le fonctionnement hydrogéomorphologique de la rivière afin d'estimer au mieux les aléas liés à sa dynamique torrentielle (submersion, érosion, résistance des ouvrages, etc.).

En d'autres termes, il s'agit d'expliquer la morphologie actuelle et passée de la rivière (largeur, pente, profondeur) et de prévoir ses évolutions futures en fonction des paramètres principaux suivants :

- ✚ **L'hydrologie** : la pluviométrie et les débits correspondants qui façonnent la rivière au fil des années ;
- ✚ **La géologie** du secteur : la nature des terrains du bassin versant, des berges et du lit implique des apports en matériaux plus ou moins importants (transport solide) et une résistance plus ou moins importantes des berges ;
- ✚ **Les aménagements** (protections, endiguements, urbanisation) ou interventions humaines réalisées dans le lit (extractions, travaux).

Cette phase donnera les clés pour pouvoir formuler les propositions de gestion et d'aménagement pour la protection des riverains, objet de la phase 3.

La phase 2 comprend les 4 volets suivants :

- ✚ **Volet 1/4 : Etat des lieux général du secteur d'étude.** Il dresse un état des lieux pluridisciplinaire de la rivière et de ses abords au moment de l'étude ;
- ✚ **Volet 2/4 : Historique et évolution morphodynamique récente** comprenant :
 - Un rappel de **l'historique du secteur d'étude** en termes d'aménagements et de crues remarquables ;
 - Une analyse de l'évolution récente en plan et en altitude de la rivière permettant de comprendre la **dynamique morphologique** de la rivière.
- ✚ **Volet 3/4 : Hydrologie.** Il consiste en une **étude hydrologique** approfondie afin de mieux connaître les entrées du système : les crues (débits liquides) ;
- ✚ **Volet 4/4 : Dynamique torrentielle et aléas hydrauliques** comprenant :
 - Une évaluation du **transport solide**, de ses variations et des causes de ces variations) ;
 - Une estimation de la **tendance d'évolution future du profil en long** du lit ;
 - Une actualisation en conséquence des **aléas hydrauliques et de mouvements de terrain** (submersion, érosion, résistance des ouvrages) liés à la rivière.

2. DONNEES

2.1. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

La phase 1 a permis de recueillir un maximum d'informations et notamment de lister l'ensemble des études (hydrauliques, hydrologiques, géologiques et environnementales) déjà réalisées sur la Rivière des Pluies. Afin de pouvoir s'y référer dans ce rapport, elles sont listées et référencées dans le tableau réalisé en phase 1 et joint en Annexe 1 de ce rapport.

2.2. DONNEES TOPOGRAPHIQUES

La phase 1 a également permis de rechercher les données topographiques récentes et anciennes disponibles (photographies aériennes, fonds de plan, levés topographiques : profils en travers, semis de points). Ces données ont également été listées et référencées dans un tableau précisant la date du levé, l'auteur du levé, le type de données et l'emprise du levé.

Ce tableau réalisé en phase 1 est joint en Annexe 2 de ce rapport.

Pour plus de facilité, l'ensemble du linéaire de la Rivière des Pluies a fait l'objet d'un tracé fictif (passant de façon moyenne au centre du lit) et gradué en repères kilométriques (Points Kilométriques). Il y sera constamment fait référence dans ce rapport. **Le point caractéristique de référence est le pont métallique de la RN102** (également appelé Pont Neuf) **au point Kilométrique Zéro**. Vers l'aval les kilomètres sont comptés négativement et vers l'amont les kilomètres sont comptés positivement. Le tableau ci-dessous donne les PK de référence de certains points importants.

Tableau n°1 – POINTS DE REFERENCES GRADUES

Lieu	PK en mètres / pont de la RN102
Trait de côte actuel (exutoire)	- 2 535
Aéroport de Gillot	- 2 100
Pont de la RN2	- 900
Plate-forme Bourbon	- 700
Pont du Bd Sud (en construction)	- 300
Pont Métallique de la RN102	0
Pont de Domenjod	1380
Plate forme Desbassyns (accès piste ILO)	1600
Passerelle canal La Mare	1825
Epi Moka	2120
Confluence Ravine Bachelier	2150
Captage de la rivière des Pluies	2280
Ecole de l'îlet Quinquina	3000
Confluence Ravine Kiwi	3284
Confluence Ravine Montauban	4000
Verrou Montauban	4400
Cap Soldat	5415
Ilet La Pluie	6400
Plate forme d'attaque ILO	8500-8900
Grand Eboulis	11050
Naissance de la Rivière des Pluies au pied de la caverne Soldat	14900

3. CARACTERISTIQUES GENERALES DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES

3.1. RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET BASSINS VERSANTS

(cf. figure n°1).

Le bassin versant de la Rivière des Pluies culmine à 2 276 m NGR (La Roche Ecrite) et présente une superficie de 46 km² environ à l'exutoire.

D'un point de vue géomorphologique, le cours de la Rivière des Pluies peut être divisé en trois segments distincts.

3.1.1. SEGMENT 1 – COURS AMONT

La tête de bassin est marquée par un secteur d'effondrement majeur géologiquement "jeune" au pied de la Roche Ecrite, du Piton Bénoune et du Piton Plaine des Fougères. La Rivière des Pluies naît de la confluence de petits ruisseaux qui drainent ce cirque d'effondrement très encaissé.

Le réseau hydrographique présente une ramification dense en éventail du fait de nombreuses ravines perchées qui entaillent les remparts avant d'être récoltées par la rivière qui présente une pente forte et irrégulière avec une succession de cascades.

Elle s'écoule alors dans ce cirque sur 4 km environ en pied de versant (1000 m de hauteur environ), avec une pente de l'ordre de 7 %, avant de rencontrer un secteur de production de matériaux très important : le Grand Eboulis en rive gauche au pied du lieu-dit îlet Quinquina. La limite aval du cirque se situe environ 2,5 km en aval, au lieu-dit Cap Frumence.

3.1.2. SEGMENT 2 – COURS INTERMEDIAIRE

La rivière poursuit alors son cours sur 4 kilomètres environ dans des gorges plus ou moins resserrées (quelques dizaines à une centaine de mètres de large) et de plusieurs centaines de mètres de haut jusqu'au verrou Montauban (10 km en aval de la naissance de la ravine). La pente s'adoucit peu à peu atteignant des valeurs proches de 3,7 % au verrou Montauban. La Rivière des Pluies reçoit peu d'apports conséquents sur ce secteur jalonné de basses terrasses cultivées mais non habitées. Ce secteur est également marqué par la présence de la piste du chantier de basculement des eaux (Irrigation du littoral Ouest que nous désignerons par ILO par la suite). Les versants encaissés sont formés essentiellement par des successions laves / scories de la phase II et III.

3.1.3. SEGMENT 3 – COURS AVAL

Le verrou naturel de Montauban ainsi que la confluence avec la Ravine Montauban, marquent l'entrée d'une zone où les terrasses alluviales sont beaucoup plus urbanisées. Le lit s'élargit légèrement, les berges sont plus basses (notamment en rive gauche) et les écoulements se font en tresses. La pente continue à s'adoucir, passant successivement de 3,2 % à des pentes proches de 2,4 % en amont du pont de la RN2.

Ce segment aval peut être scindé en 2 tronçons :

↳ De la confluence avec la Ravine Montauban à l'épi Moka

Le lit majeur de la rivière est encore restreint de part et d'autre de son cours par des berges rocheuses d'une centaine de mètres de hauteur. Des terrasses habitées et/ou cultivées se sont développées au pied de ces versants (Ilet Quinquina, Ilet la Pluie les bas).



Photo n°1 – TERRASSE HABITEE D'ILET LA PLUIE LES BAS, EN RIVE DROITE

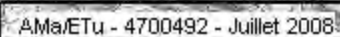
↳ A partir de l'épi Moka

Début la plaine alluviale de la rivière des Pluies qui coule à l'extrémité occidentale de son ancien cône de déjection sur lequel est installé le village de la rivière des Pluies. Ainsi le substratum rocheux n'apparaît plus que sous forme de quelques pointements, en rive gauche au niveau du quartier Domenjod, et en rive droite en aval du pont.

Sur ce secteur de 5,3 km environ, la Rivière des Pluies reçoit les apports très importants de la Ravine Bachelier (environ 40 % du bassin versant total) en rive droite en amont de l'îlet Quinquina, puis de la Ravine Cadet en amont rive gauche du pont métallique de la RN102.

Trois ouvrages permettent le franchissement de la rivière : le pont dit de Domenjod (pont Desbassyns), le pont métallique de la RN102 (ou pont Neuf) et enfin le pont de la RN2. Un quatrième pont, le pont du Boulevard Sud, est en construction entre le pont métallique de la RN102 et le pont de la RN2. Les berges ont fait l'objet de nombreux aménagements dont des protections contre les crues (épi, perrés en enrochements, etc.).

En aval du pont de la RN2, le lit a été modifié de façon irréversible sur les derniers 1,6 km avant son exutoire par l'endiguement réalisé pour les besoins de l'allongement de l'aéroport en 1966-1967. La pente est désormais proche de 2 % et le lit confiné entre 9 épis, présente une largeur comprise entre 100 et 150 m.



3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL

(cf. figure n°2)

La partie amont du bassin versant, en amont de la confluence avec la Ravine Montauban, est constituée :

- ↳ D'un cirque d'effondrement implanté dans la planèze issue de la Roche Ecrite. Ce cirque laisse successivement apparaître les différentes couches géologiques issues des différentes phases éruptives du Piton des Neiges des plus récentes sur les planèzes aux plus anciennes en fond de cirque :
 - Les hauts de versant sont constitués de coulées de la phase IV : coulées basaltiques et andésitiques (Hawaïtes, mugéarites) aphyriques ou à phénocristaux de pheldspath et d'olivine généralement peu abondants ($\beta\alpha IV$) ;
 - Les flancs du cirque d'effondrement sont constitués successivement des coulées de la phase III ($\beta\alpha III$) : coulées basaltiques et andésitiques à phénocristaux de pheldspath dominants (Hawaïtes, mugéarites) puis des coulées de la phase II ($\beta\pi II$) : coulées basaltiques aphyriques ou à phénocristaux d'olivine et chloritisées et zéolitisées (basaltes, basaltes à olivine et océanites) ;
 - Le fond du bassin est marqué par la présence de formations superficielles : des éboulis (E) faits d'accumulations caillouteuses et terreuses sur les pentes et en pied d'escarpement, de coulées de solifluxion qui en dérivent (SE), éléments basaltiques divers cimentés par des produits silto-sableux ou cendreaux, et enfin d'ensembles d'épandages, de coulées de solifluxion, de lahar, tufs éboulis et éluvions (PE).
- ↳ De gorges resserrées en aval de ce cirque. Les falaises de ces gorges sont constituées essentiellement de coulées de la phase II ($\beta\pi II$), tandis que le lit s'écoule au fond sur des alluvions fluviales anciennes (Fy) constituées de graviers, galets et blocs basaltiques altérés cimentés par des produits argileux rouges ;
- ↳ Le bassin versant de la Ravine Montauban est constitué de coulées basaltiques des phases III et IV sur sa partie amont et de la phase II sur sa partie aval, en amont de la confluence avec la Rivière des Pluies. Il ne présente pas de secteurs d'effondrement comme la partie amont de la Rivière des Pluies.

De l'aval de la confluence avec la Ravine Montauban jusqu'à la confluence avec la Ravine Bachelier, les falaises sont moins hautes et le lit moins resserré :

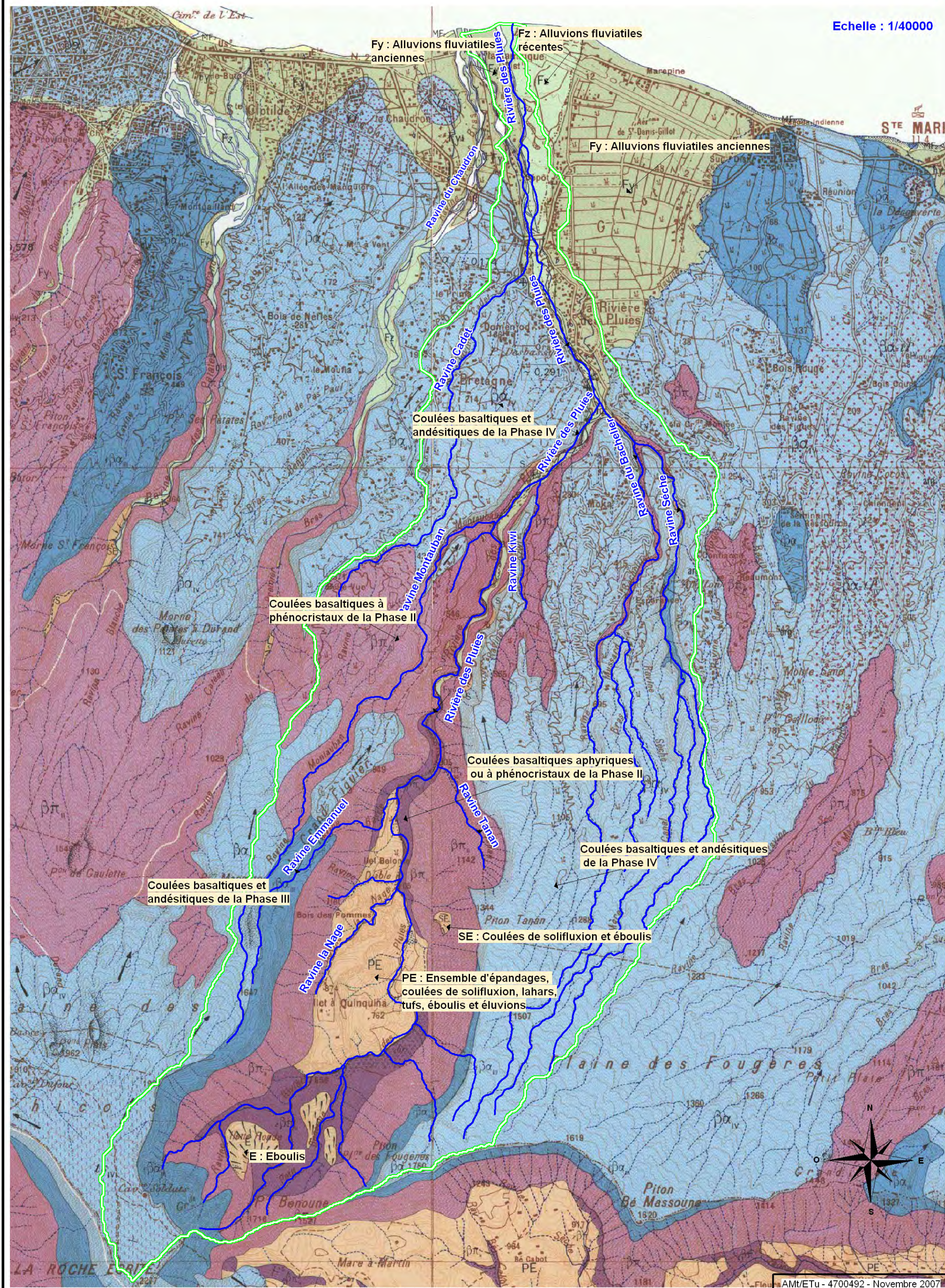
- ↳ Les falaises sont toujours constituées de coulées de la phase II ($\beta\pi II$) et les hauts de falaises de coulées de la phase IV ($\beta\alpha IV$) ;
- ↳ Le lit et les terrasses en pied de falaises restent constitués d'alluvions fluviales anciennes (Fy) ;
- ↳ Les bassins versants des principaux affluents sont quant à eux implantés sur des terrains de phases plus récentes sans secteur d'effondrement majeur :
 - Ravine Bachelier : Phase IV essentiellement ($\beta\alpha IV$) ;
 - Ravine Kiwi : Phase IV ($\beta\alpha IV$).

La confluence avec la Ravine Bachelier marque le début du cône de déjection de la Rivière des Pluies constitué de formations superficielles issues de la dégradation des coulées volcaniques du Piton des Neiges :

- ↳ Des alluvions fluviales anciennes (Fy) sur la partie amont du cône ;
- ↳ Des alluvions fluviales anciennes (Fy) en aval en rive gauche, accumulées lorsque le cône de déjection de la Rivière des Pluies était commun avec celui de la Ravine Chaudron autrefois appelée Ravine Premier Bras ;
- ↳ Des alluvions fluviales récentes (Fz) constituées de sables, galets, graviers et de blocs basaltiques en aval en rive droite immédiate du lit actuel et d'alluvions fluviales anciennes (Fy1) au-delà sur le cône de déjection plus ancien de rive droite ;
- ↳ Les affluents de rive gauche sur ce secteur drainent des bassins versants implantés essentiellement sur des terrains jeunes des coulées de phase IV (βaIV).

Figure 02 - Géologie

Echelle : 1/40000



3.3. PROFIL EN LONG GENERAL DU LIT

La forme générale du profil en long de la Rivière des Pluies a été réalisée par comparaison des fonds extrêmes réalisés à partir :

- ✎ Des levés altimétriques les plus récents (2006-2007) concernant l'ensemble du lit (PK 12000 à PK -2535) :
 - Du semis de points établi par restitution des prises de vue aériennes de GUID'OI faites en juin 2006 pour la section aval : PK -2535 (exutoire) au PK 4700 (amont du verrou Montauban) ;
 - Du semis de points établi par restitution des prises de vue aériennes de AIGL faites en janvier 2007 pour la section amont : PK 3500 (amont de la confluence de la Ravine Kiwi) au PK 12000 (1 km en amont du Grand Eboulis) ;
 - Des profils en travers levés plus récemment entre le pont de Domenjod et le pont métallique de la RN102 par TOPEX et LAW-YAT en novembre 2006 (avant et après curage), mars 2007 et juin 2007 entre les PK 1370 (10 m en aval du pont de Domenjod) et PK -10 (10 m en aval du pont métallique de la RN102) ;
 - Du semis de points établi par restitution des prises de vue aériennes de GUID'OI faites en mai 2007, de l'aval du pont métallique de la RN102 (500 m en aval) à l'exutoire (PK -2535) ;
- ✎ Des levés altimétriques terrestres réalisés de novembre 2002 à février 2003 par GUID'OI sur l'ensemble du lit sous forme de profils en travers (PK 11900 à l'exutoire : PK -2525).

La figure n° 3 ci après présente les profils en long de ces deux périodes (2002-2003 et 2006-2007) ainsi que les pentes que présente le lit par secteurs homogènes. Cette figure permet de distinguer les secteurs de pente homogène suivants :

- ✎ Sur le **secteur du Grand Eboulis** (PK 11 050) et environ 1 000 m en amont et 1 000 m en aval, la pente du lit est **de l'ordre de 7,2 %** (7,1 % en 2002 et 7,3 % en 2006) ;
- ✎ La rivière quitte alors véritablement le cirque d'effondrement caractéristique de l'amont du bassin versant pour entrer dans des **gorges profondes (PK 10 100) jusqu'au serré** situé environ 500 m **en amont de la plate-forme d'attaque ILO**. La pente sur ce linéaire encaissé et étroit de 1 km environ est **de l'ordre de 5,9 %** (5,97 en 2002 et 5,9 % en 2006) ;
- ✎ En aval **de ce petit serré** (PK 9 050), le lit reste encaissé mais s'élargit légèrement, présentant **jusqu'au verrou Montauban (PK 4 400)** des secteurs plus ou moins étroits selon la présence de verrous naturels et/ou de terrasses alluviales. La pente, sur ce secteur de 5 km environ, s'abaisse progressivement du fait du changement progressif de la géologie du fond du lit (de coulées de la phase II à des alluvions fluviales anciennes) et surtout de la confluence de quelques ravines importantes apportant peu de transport solide (Ravine Emmanuel, Ravine Tanan). Elle est **de l'ordre de 3,7 %** en amont du verrou Montauban (3,76 % en 2002 et 3,7 % en 2006) : La pente moyenne est de 4 % sur l'ensemble du secteur (PK 9050 à 4400) ;
- ✎ A l'aval du verrou Montauban, la pente générale du lit continue de s'abaisser à la faveur de confluences importantes (Ravine Noire, Ravine Montauban et Ravine Kiwi). Elle est

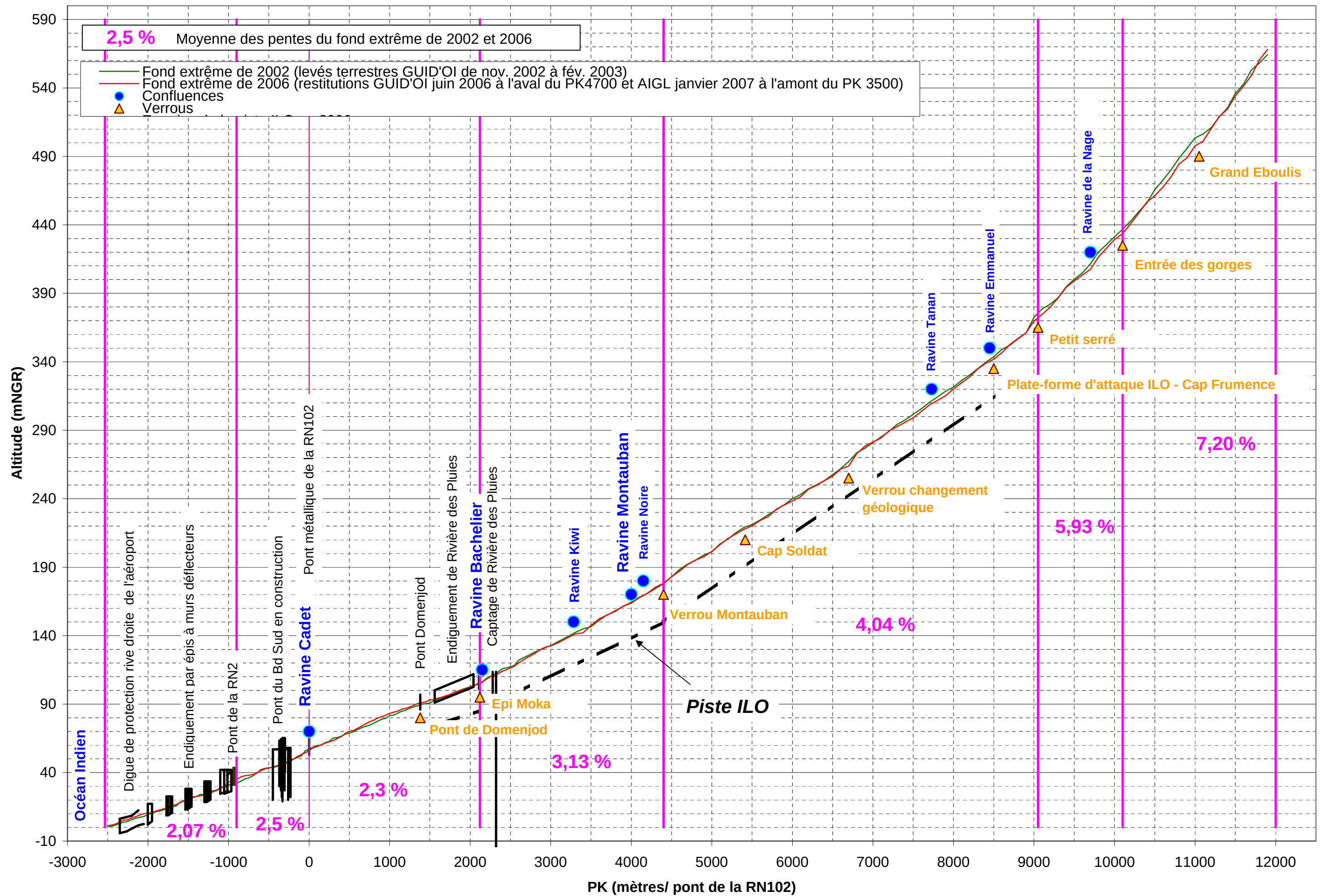
de 3,1 % sur le secteur **du verrou Montauban (PK 4 400) à la confluence avec la Ravine Bachelier (PK 2150)** ;

- ↳ La **confluence avec la Ravine Bachelier** marque le **début du cône de déjection de la Rivière des Pluies**. Du fait des divagations passées et récentes, des aménagements successifs dans le lit, et des atterrissements qui caractérisent en général les cônes de déjection, le profil en long du fond extrême est beaucoup plus irrégulier qu'à l'amont de la confluence. La pente générale du lit **entre ce point et l'exutoire (PK 2 535)** est toutefois relativement constante entre 2002 et 2006, **valant 2,37 %**. Sur ce vaste secteur de 4,7 km environ, on peut toutefois distinguer :
- Le secteur de la confluence Bachelier au pont de Domenjod (pente de l'ordre de 2,1 % : 2,2 % en 2002 et 2 % en 2006) ;
 - Le secteur entre le pont de Domenjod et le pont métallique de la RN102 où la pente s'accroît et est de l'ordre de 2,2 % à 2,6 % (2,36 en 2002, 2,56 % en 2006, 2,44 % suite au curage de novembre 2006, puis 2,19 % en mars 2007 suite au cyclone GAMEDE, confirmé par les 2,23 % des levés de juin 2007 sur ce secteur) ;
 - Le secteur compris entre le pont métallique de la RN102 et le pont de la RN2 où la pente est très irrégulière comprise entre 2,56 % (2002) et 2,2 % (2006) ;
 - Le secteur situé en aval du pont de la RN2 qui a été endigué par 9 épis en enrochements et sur lequel la pente s'adoucit légèrement, proche de 2 % (2,1 % en 2002 et 2,05 % en 2006 et 2,02 % en mai 2007).

Les pentes moyennes des principaux affluents sont plus importantes que la Rivière des Pluies. Elles ont été estimées sur la base du MNT de l'IGN de 1997 :

- ↳ Pente moyenne de la Ravine **Montauban** de l'ordre de **17,8 % à 12,7 %** ;
- ↳ Pente moyenne de la Ravine **Bachelier et Sèche** de l'ordre de **13,6 % à 16,5 %** ;
- ↳ Pente moyenne de la Ravine **Cadet** de l'ordre de **11,5 % à 6,8 %** ;

Figure n°3 : Profil en long structurel du lit de la Rivière des Pluies



4. ETAT DES LIEUX PLURIDISCIPLINAIRE DE LA RIVIERE

Le paragraphe suivant a pour objectif de présenter un état des lieux pluridisciplinaire de la rivière au moment de l'étude, c'est-à-dire avant la saison des pluies 2007-2008.

Il a pour but de recenser :

- ✚ Les enjeux humains, environnementaux matériels et situés le long de la rivière ;
- ✚ Les aménagements réalisés dans le lit et qui peuvent influencer sur la dynamique morphologique de la rivière (épis, ponts) ;
- ✚ Les protections contre les crues existantes ;
- ✚ Les statuts réglementaires qui s'appliquent le long de la rivière (POS/PLU, PPR, ZNIEFF, DPF, etc.) ;
- ✚ La nature géologique et géolithique des terrains.

Cet état des lieux s'appuie à la fois sur de nombreuses visites de terrain et sur les données numériques disponibles fournies par les différents services de l'Etat, les collectivités territoriales et autres structures privées détenant des informations.

4.1. ETAT DES LIEUX DE L'OCCUPATION DE L'ESPACE

Les enjeux humains et matériels situés en bordure immédiate ou dans le lit de la rivière sont présentés sur la figure n° 4, page 17 (vue en plan), et sur la figure n° 5, page 18 (profils en long habillés rive gauche et rive droite).

Ils sont également listés dans le tableau n°3, page 22.

Ils ont été classés en plusieurs catégories, des enjeux les plus forts (habitations, zones recevant du public) aux enjeux matériels supposés moins forts bien que très importants.

Les figure n°4 et figure n°5 suivantes mettent en évidence la quantité importante d'enjeux forts situés en bordure immédiate du lit et susceptibles d'être soumis à des risques d'inondation ou d'érosion.

Figure n°4 – *OCCUPATION DES SOLS EN BORDURE DE LA RIVIERE DES PLUIES*

Figure n°5 – *PROFILS EN LONG HABILLES RIVE DROITE
ET RIVE GAUCHE DE LA RIVIERE DES PLUIES*

4.2. ETAT DES LIEUX DES PROTECTIONS CONTRE LES CRUES

La figure n° 4, page 17 et le tableau n° 2, ci-après, recensent et situent les différentes protections qui ont été réalisées dans le lit et sur les berges en aval du verrou Montauban (PK 4 400), afin de protéger ces enjeux.

4.2.1. RECENSEMENT DES PROTECTIONS

Les protections artificielles aujourd'hui en place, réalisées anciennement ou très récemment, sont des différents types suivants :

- ↪ Mise en place de blocs de grande taille en vrac (en général 600 – 1 000 mm) ;
- ↪ Perré d'enrochements libres (non liaisonnés au béton) et rangés ;
- ↪ Perré d'enrochements liaisonnés au béton ;
- ↪ Murs en maçonnerie ;
- ↪ Epis constitués de blocs en enrochements liaisonnés au béton.

Tableau n°2 – PROTECTIONS DE LA RIVIERE DES PLUIES

Lieu	Description	PK Aval	PK Amont	Rive	Date de construction
Aéroport	Perré en enrochements liés	-2450	-2020	Droite	1966-67
Epi n°10	Epi-mur + digue en terre	-2000	-1780	Droite	1966-67
Epi n°9	Epi-mur + digue en terre	-1755	-1560	Droite	1966-67
Epi n°8	Epi-mur + digue en terre	-1330	-1510	Droite	1966-67
Epi n°7	Epi-mur + digue en terre	-1270	-1080	Droite	1966-67
Epi n°6	Epi-mur + digue en terre	-1080	-1000	Droite	1966-67
Epi n°1	Epi-mur + digue en terre	-880	-1010	Gauche	1966-67
Epi n°2	Epi-mur + digue en terre	-1240	-1180	Gauche	1966-67
Epi n°3	Epi-mur + digue en terre	-1485	-1240	Gauche	1966-67
Epi n°4	Epi-mur + digue en terre	-1735	-1680	Gauche	1966-67
Pont RN2	Mur en enrochements liés pour protection de culée (= épi 1)	-1000	-930	Gauche	1986-88
Plate-forme Bourbon	Perré en enrochements libres rangés	-800	-650	Droite	2006
Bd sud Rive Droite	Perré en enrochements liés	-575	-375	Droite	2007
Bd sud Rive Droite	Perré en enrochements liés	-375	-260	Droite	2007 - en cours
Bd sud Rive Gauche	Perré en enrochements liés	-380	-200	Gauche	2007 - en cours
Amont pont RN102	Gros blocs d'enrochements en vrac	30	60	Gauche	? récents
Amont pont RN102	Gros blocs d'enrochements en vrac	30	60	Droite	? récents
Amont virage RD45	Perré en enrochements libres rangés	210	290	Droite	2006
Amont Parking Moutoussamy	Haut mur en maçonnerie	525	560	Gauche	<1990
Aval rue Lorion	Gros blocs d'enrochements en vrac	500	630	Droite	? anciens
Amont et aval rue Lorion	Perré en enrochements libres rangés	625	950	Droite	2006

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Lieu	Description	PK Aval	PK Amont	Rive	Date de construction
Aval Pont Domenjod	Perré en enrochements liés	1130	1315	Gauche	2006
Aval Pont Domenjod	Perré court en enrochements liés	1360	1375	Gauche	< 1980?
Amont Pont Domenjod	Gros blocs d'enrochements en vrac	1425	1460	Gauche	? anciens
Amont Pont Domenjod	Gros blocs d'enrochements en vrac	1470	1545	Droite	? anciens
Epi Moka	Epi en enrochements liés	2100	2140	Droite	1981
Rivière des Pluies	Perré en enrochements liés	1545	2040	Droite	1983-84
Rivière des Pluies	Haut de talus du perré en enrochements libres	1545	2040	Droite	1983-1984
Plate-Forme Desbassyns (accès ILO)	Perré en enrochements libres rangés	1560	1790	Gauche	2006
Amont et aval parcelle M. Hoareau	Perré en enrochements libres peu rangés	1785	1860	Gauche	2006 ou 2007
Amont et aval parcelle M. Hoareau	Perré en enrochements libres rangés	1765	1790	Gauche	2006 ou 2007
Lotissement Sindrama aval	Court perré en enrochements liés	1975	2010	Gauche	? anciens
Piste ILO au niveau du lotissement Sindrama	Perré en enrochements libres rangés pour protection de la piste	1970	2120	Gauche	2006
Lotissement Sindrama	Vieux perré en enrochements liés	2050	2400	Gauche	? anciens
Lotissement Sindrama	Perré de renforcement du pied en enrochements liés	2050	2400	Gauche	2006
Canal Rive Gauche	Anciens gabions	2355	2400	Gauche	? anciens
Ilet La Pluie les bas	Perré en enrochements libres rangés en pied de terrasse	2700	2800	droite	2006
Aval de l'ilet Quinquina	Gros blocs d'enrochements en vrac	2755	2840	Gauche	? anciens
ilet Quinquina Aval	Gros blocs d'enrochements en vrac	2860	3160	Gauche	? anciens
Ilet Quinquina Amont	Perré en enrochements libres rangés sur plusieurs mètres de haut	3180	3780	gauche	2006
Face à ilet Quinquina Amont	Gros blocs d'enrochements en vrac	3485	3535	Droite	? anciens
Aval de la confluence Montauban	Gros blocs d'enrochements en vrac	3875	3980	Gauche	? anciens

La figure n° 4, page 17 et le tableau n° 2 précédent t appellent les observations suivantes en aval de la confluence avec la Ravine Montauban :

- ↪ La rivière a fait l'objet de protections depuis un certain nombre d'années avec des moyens mis en œuvre plus ou moins importants (des épis ou perré en enrochements liés à la disposition de blocs en vrac) ;
- ↪ Les protections le long des berges présentent une forte hétérogénéité ;
- ↪ Un certain nombre d'enjeux ne sont pas protégés. Nous verrons toutefois dans le paragraphe 4.3 suivant que certains d'entre eux sont protégés naturellement par la nature résistante des berges. D'autres au contraire présentent des natures de berge érosives et ne sont pas protégées ;

- ⇒ Certains enjeux ont été protégés de différentes façons successives prouvant que la solution adéquate n'avait pas encore été trouvée (essentiellement enrochements libres affouillés en pied et reconstruits) ;
- ⇒ Certains enjeux sont protégés de longue date sans réfection majeure, la protection étant adaptée.

4.2.2. RECENSEMENT DES ENJEUX VIS-A-VIS DE LA PROTECTION

Suite aux paragraphes précédents, on peut faire l'état des lieux des enjeux vis-à-vis de leur protection (*cf. tableau n°3*) :

La validité de la protection est indiquée également au regard de l'aléa. Celle-ci a été évaluée par rapport aux observations de leur résistance lors des événements passés, sur la base de constats simples, mais sans calcul de résistance. Les cellules surlignées en grisé indiquent que l'enjeu n'est que partiellement protégé, soit parce que la longueur de protection est insuffisante, soit parce que les caractéristiques de la protection sont insuffisantes (hauteur, enrochements non liés, etc.). Notons que des données topographiques complémentaires seront nécessaires sur certains secteurs afin de déterminer si la protection est suffisante au regard des aléas. La phase 3 permettra de définir les enjeux à protéger et comment.

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES
PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES
RAPPORT

Tableau n°3 – ENJEUX ET PROTECTIONS ENTRE LA CONFLUENCE RAVINE MONTAUBAN ET L'EXUTOIRE

Dénomination	Rive	Protection des berges		
		Linéaire protégé	Type (naturelle/perré...)	Validité de la protection vis-à-vis de l'aléa
Habitations¹				
Commune Prima	G	une partie	enrochements liés (culée RG du Bd Sud)	insuffisante (partielle)
Village de Rivière des Pluies	D	une partie	enrochements en vrac, libres ou liés ou naturelle ²	insuffisante (partielle)
Domenjod	G	Aucun		
Lotissement aval du pont de Domenjod	G	tout le linéaire	enrochements liés	insuffisante (affouillable en pied)
Lotissement Sindrama	G	tout le linéaire	enrochements en vrac, libres ou liés ou naturelle	insuffisante
Ilet La Pluie Les Bas	D	une partie	enrochements libres en pied de terrasse	insuffisante (haut de talus non protégé)
Ilet Quinquina	G	tout le linéaire	enrochements en vrac, libres ou protection naturelle	A vérifier en fonction de données topo et des aléas actualisés
Habitations Ravine Montauban	G	Aucun		
Ilet La Pluie	D	Aucun		
Etablissements recevant du Public				
Aéroport de Gillot	D	tout le linéaire	enrochements liés	bonne
Base aérienne de l'armée de l'air	D	tout le linéaire	enrochements liés	bonne
Poney Club Hippique	D	tout le linéaire	enrochements liés	bonne
Temple Tamoul de Rivière des Pluies	D	tout le linéaire	enrochements liés	bonne
Sentier sportif de Rivière des Pluies	D	une partie	enrochements en vrac ou libres	insuffisante
Stade et kiosques aval rue Lorion	D	tout le linéaire	enrochements en vrac ou libres	insuffisante (affouillable)
Groupe Scolaire Sainte-Madeleine	D	Aucun		
Mairie annexe de la Rivière des Pluies	D	Aucun		

¹ Habitations situées directement en bordure de berges

² Naturelle = protection par la nature résistante des berges (cf. § 4.3)

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Poste de la Rivière des Pluies	D	Aucun		
Kiosques aval de l'épi Moka	D	tout le linéaire	épi en amont	bonne
Circuit de Trial 4x4 de la Jamaïque	G	Aucun		
Circuit de Karting de la Jamaïque	G	Aucun		
Temple Tamoul de Commune Prima	G	Aucun		
Ecole Primaire de Domenjod	G	Aucun		
Ecole Primaire de Quinquina	G	tout le linéaire	enrochements en vrac	insuffisante (hauteur trop faible)
Aire de loisirs et parking de l'îlet Quinquina	G	tout le linéaire	enrochements en vrac	insuffisante (hauteur trop faible)
Voiries et ponts				
Pont de la RN2	G et D	tout le linéaire	enrochements liés et épis	bonne
Pont du Bd Sud (en construction)	G et D	tout le linéaire	enrochements liés et libres	bonne
Pont métallique de la RN102	G et D	Aucun		
Virage du RD45	D	Aucun		
Pont de Domenjod	G et D	tout le linéaire	protection naturelle	bonne
Chemin Quinquina amont Pont Domenjod	G	une partie	enrochements en vrac ou protection naturelle	bonne
Chemin Quinquina amont Lotissement Sindrama	G	tout le linéaire	enrochements en vrac, libres ou protection naturelle	insuffisante
Equipement et Réseaux Divers				
Passerelle Canal La Mare	G et D	tout le linéaire	enrochements liés	bonne
Captage de la Rivière des Pluies	D	Aucun		
Prise du canal rive gauche	G	tout le linéaire	protection naturelle	bonne
Station de pompage de Sindrama	G	tout le linéaire	protection naturelle	bonne
Lignes HT 63 kV	G et D	tout le linéaire	protection naturelle (lignes en hauteur)	bonne
Ligne BT aérienne traversant le lit	G et D	tout le linéaire	protection naturelle (poteaux loin des berges)	bonne
Ligne BT enterrée perpendiculaire à la berge	D	tout le linéaire	enrochements libres	bonne

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Ligne BT aérienne traversant le lit	G et D	une partie (Gauche)	protection naturelle (poteau de Rive gauche en hauteur)	insuffisante (Rive droite non protégée)
Ligne BT aérienne le long de la berge	G	une partie	enrochements en vrac ou protection naturelle	bonne
Ligne BT aérienne traversant le lit	G et D	tout le linéaire	enrochements libres ou liés	bonne
Ligne BT aérienne traversant le lit	G et D	tout le linéaire	protection naturelle (poteaux loin des berges)	bonne
Ligne BT aérienne le long de la berge (alim captage)	D	Aucun		
Ligne BT aérienne traversant le lit (alim captage)	G et D	une partie	protection naturelle (poteau rive gauche loin des berges)	insuffisante (poteau Rive droite dans lit)
Ligne BT aérienne le long de la berge	G	une partie	enrochements en vrac ou protection naturelle	insuffisante
Ligne BT aérienne traversant le lit (alim ilet La Pluie les bas)	G et D	une partie	enrochements libres ou protection naturelle	insuffisante (rive droite peu protégée)
Canal AEP PVC (Diamètre 160 mm) dans chemin Quinquina	G	une partie	enrochements en vrac ou protection naturelle	bonne
Canal AEP fonte (Diamètre 100 mm) dans chemin Quinquina	G	tout le linéaire	enrochements en vrac, libres ou protection naturelle	insuffisante
Zones industrielle ou de travaux				
Ancienne décharge de la Jamaïque réhabilitée	G	Aucun		
Stockage de déchets inertes / Paintball	G	Aucun		
Zone de brûlage de déchets CINOR	G	Aucun		
Plate-forme Bourbon	D	tout le linéaire	enrochements libres	insuffisante
Plate-formes de travaux pour le pont du Bd Sud et SCPR	D	une partie	enrochements liés	insuffisante (érodée partiellement en février 2006)
Parking Moutoussamy	G	Aucun		
Piste ILO	G et D	une partie	enrochements libres	bonne (destinée à être fusible)
Plate-forme Desbassyns (nouvel accès ILO)	G	tout le linéaire	enrochements libres	bonne
Dépôt de marinage du chantier ILO	G	tout le linéaire	enrochements libres	insuffisante
Plate-forme d'attaque ILO	D	tout le linéaire	enrochements liés	insuffisante

4.3. NATURE DES BERGES

Comme on l'a vu dans le paragraphe précédent, un certain nombre d'enjeux ne font l'objet d'aucune protection ou enrochements.

Toutefois, la nature des berges peut parfois faire office de protection naturelle.

C'est pourquoi une analyse géomorphologique poussée a été réalisée.

La carte géomorphologique de la rivière des Pluies a été réalisée à partir de levés de terrain (report cartographique à l'aide de points GPS dans les secteurs les moins encaissés) couplés aux données topographiques disponibles (photographies aériennes, fonds topographiques).

Sur la carte géomorphologique, sont distingués :

- ↳ Les ouvrages de protection : endiguement, enrochements cimentés et enrochements libres ;
- ↳ Les formations présentes dans le lit mineur et majeur, de nature sédimentaire ou volcanique ;
- ↳ Les principaux traits morphologiques et hydrologiques : fil d'eau actuel (terrain de décembre 2007), zones en engraissement (atterrissements marqués), berges en érosion, zones de rétrécissement (verrous), arrachements issus de phénomènes récents.

La carte géomorphologique est présentée au format A0 en Annexe 3 sous forme de deux planches : la première à l'échelle du 1/6 000 du Grand Eboulis jusqu'à l'Ilet Quinquina et du pont Métallique jusqu'au débouché en mer, la seconde à l'échelle du 1/2 000 du Pont Métallique de la RN102 à l'Ilet Quinquina Amont.

4.3.1. LES BERGES ROCHEUSES

Les berges rocheuses sont formées par un empilement de coulées de laves et de niveaux scoriacés. Elles sont largement représentées dans les gorges du Cap Frumence à la confluence avec la ravine Montauban, là où la rivière est la plus encaissée dans les formations volcaniques du Piton des Neiges.

Dans le secteur de l'Ilet Quinquina, les berges rocheuses affleurent principalement en rive droite (*cf. photo n°2*), de l'« éperon rocheux » jusqu'au forage de la rivière des Pluies et au niveau de la falaise située en arrière de l'épi Moka. En rive gauche, le substratum rocheux affleure au PK 3 800³, en amont de l'Ilet Quinquina sous forme d'un pointement rocheux et au début de l'Ilet Quinquina aval (sous la première maison de l'Ilet et en contrebas d'une portion de la route située juste avant celle-ci).

³ Les PK (points kilométriques) expriment la distance par rapport au pont de la RN102



*Photo n°2 – BERGE ROCHEUSE SITUEE EN FACE DE L'ILET QUINQUINA AMONT
(FORMATION D'UN POINT DUR ET DEVIATION DE L'ECOULEMENT)*

De l'épi Moka jusqu'au pont métallique le substratum rocheux est beaucoup moins représenté : il affleure soit sous forme de talus rocheux (de 3 à 5 m de hauteur) (*cf. photo n° 4*) formant quatre épis naturels au niveau des berges de la rive gauche (PK1530, PK740, entre le PK500 et 600 et enfin au PK350 et 450), soit de façon ponctuelle dans le lit mineur en aval du pont Domenjod (au PK1100 et PK1300).

Les coulées dans le lit mineur sont peu épaisses et présentent une altération en "boules" bien marquée (*cf. photo n° 5*). Elles ont été mises à nu récemment par la crue engendrée par le passage du cyclone Gamède.

Un écoulement superficiel apparaît en rive droite à 250 m environ en aval du pont Domenjod, ce qui confirme le fait que la rivière coule sur son substratum rocheux imperméable dans ce secteur.



*Photo n°3 – AFFLEUREMENTS DU SUBSTRATUM ROCHEUX DANS LE LIT MINEUR
EN AVAL DU PONT DOMENJOD*



*Photo n°4 – AFFLEUREMENT EN RIVE GAUCHE DES DERNIERES
BARRES ROCHEUSES SUR LE COURS AVAL*



Photo n°5 – ALTERATION "EN BOULES" DU SUBSTRATUM SUR LE COURS AVAL

4.3.2. LES BERGES FORMEES DE BRECHES

Les brèches rencontrées dans la Rivière des Pluies sont des dépôts issus d'écoulements gravitaires.

Ces dépôts se répartissent en deux catégories :

- **Les dépôts d'avalanches de débris⁴** définies comme un écoulement "à sec" et les "lahars" caractérisés par une saturation en eau de leur écoulement. Ces derniers ont une grande variabilité spatiale et temporelle induisant des dépôts aux faciès très changeants. On retrouve des dépôts d'avalanche de débris depuis le Grand Eboulis jusqu'au Cap Frumence présentant une évolution presque continue d'un pôle préservé (cf. photo n°6) à un pôle mélangé (cf. photo n°7).

⁴ Les avalanches de débris sont des phénomènes rapides (phase de déclenchement) qui résultent d'un mouvement en masse (glissement de plusieurs km³) d'une partie du flanc d'un volcan. Le matériel déstabilisé se désintègre, les particules les plus fines formant la matrice qui porteront les plus gros blocs. Le degré de bréchification augmente en fonction de la distance parcourue depuis la zone source. On distingue ainsi, lorsque l'écoulement est canalisé dans une vallée, une multitude de faciès différents d'amont en aval allant d'un pôle préservé (riche en blocs) à un pôle mélangé (riche en matrice).

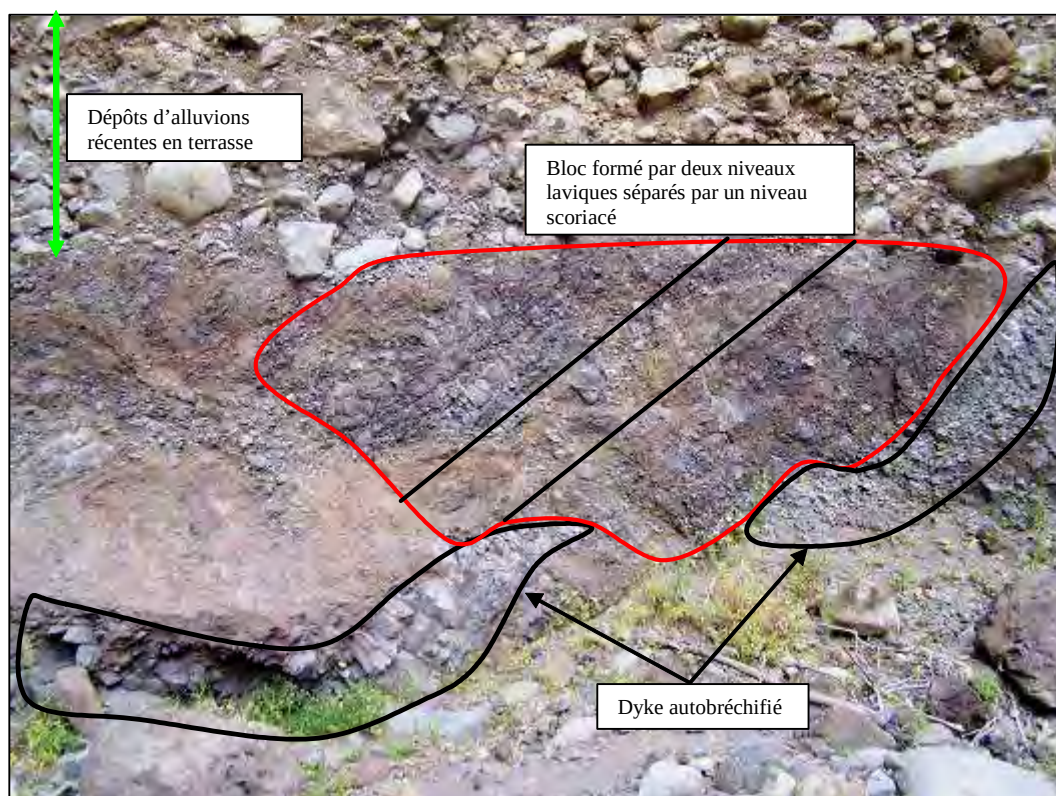


Photo n°6 – DEPOT D'AVALANCHE DE DEBRIS PRESENTANT UNE TEXTURE ORIGINELLE PRESERVEE EN AMONT DU CHANTIER DU TRANSFERT DES EAUX



Photo n°7 – DEPOT D'AVALANCHE DE DEBRIS PRESENTANT UN FACIES MELANGE AVEC APPARITION DE MATRICE ENTRE LES CLASTES (AU DROIT DU DEPOT DE MARINAGE DU CHANTIER DE TRANSFERT DES EAUX)

- ↪ Les **dépôts de coulées de débris** sont constitués de brèches cimentées formées de fragments rocheux anguleux (taille centimétrique à plurimétrique) (cf. *photo n° 8* et *photo n° 9*) et d'une matrice indurée dont la proportion peut varier en fonction des dépôts. Ces dépôts sont largement représentés sur tout le linéaire du cours d'eau depuis le Grand Eboulis jusqu'au pont de la RN 2. Au cours de leur écoulement, ces coulées de débris ont incorporé les matériaux présents dans le lit de la rivière des Pluies (alluvions anciennes, éboulis, etc.). En effet, plus on s'éloigne de la zone proximale plus la proportion en matrice augmente avec une diminution de la proportion en blocs issus du matériel originel au profit des matériaux secondaires présents dans le lit de la rivière.



*Photo n°8 – ILOT DE COULEE DE DEBRIS PRESENTANT UN FACIES A GROS BLOCS
(SECTEUR D'ILET QUINQUINA)*



Photo n°9 – DEPOTS CIMENTES DE COULEES DE DEBRIS AU NIVEAU DU PONT DE DOMENJOD

4.3.3. LES BERGES FORMEES D'ALLUVIONS

Ce sont les berges en limite des terrasses rencontrées de part et d'autre du lit vif de la rivière.

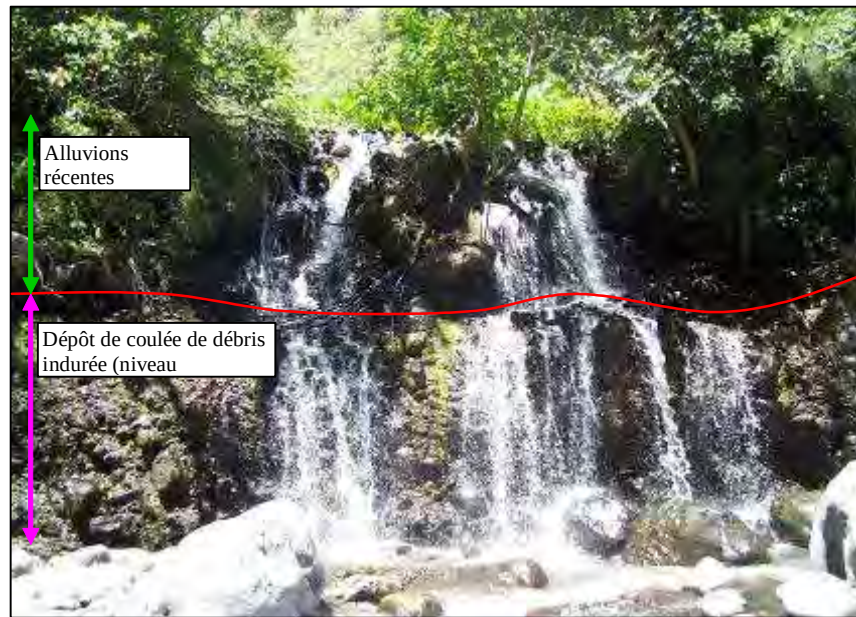
Les terrasses d'alluvions actuelles (cf. photo n° 10), de même nature que les sédiments présents dans le lit vif, forment des terrasses ou des plages de dépôts légèrement surélevées par rapport au lit actuel.



Photo n°10 – DEPOT D'ALLUVIONS ACTUELLES AU NIVEAU DU FORAGE DE LA RIVIERE DES PLUIES

Les terrasses d'alluvions récentes sont surélevées de 3 à 5 m par rapport au lit vif (cf. photo n° 11). Ce sont la majorité des terrasses basses du cours intermédiaire (Ilet La Pluie) et aval (Ilet Quinquina et Ilet La Pluie les Bas). Les alluvions ont une granulométrie de diamètre allant de 0-500 mm ($\varnothing$ moyen 150mm) et sont emballées dans une matrice sablo-graveleuse voir sablo-limoneuse localement.

Ces alluvions récentes en terrasse reposent sur des dépôts de coulées de débris qui constituent l'embase de ces terrasses.



*Photo n°11 – DEPOT D'ALLUVIONS RECENTES SUR LE COURS INTERMEDIAIRE
(TERRASSE EN AVAL DU CAP SOLDAT)*

Les terrasses d'alluvions anciennes qui forment des berges abruptes sur une hauteur variant entre 5 et 10 m au dessus du lit actuel (cf. photo n°12). Elles reposent en général sur le substratum volcanique. La granulométrie s'étale de 0-1000mm ($\varnothing$ moyen 200 mm) et peuvent présenter un litage gravelo-sableux (alluvions anciennes de la RD45) ou des intercalations de lentilles sableuses. Souvent très altérées (liée à des circulations d'eau météoritiques), elles présentent une matrice jaunâtre sablo-limoneuse.

Elles sont le plus représentées dans le cours aval où elles forment des terrasses hautes sur lesquelles sont installées les populations (lotissement aval pont Domenjod en rive gauche).



*Photo n°12 – ESCARPEMENT D'ALLUVIONS ANCIENNES AU DROIT
DU "GOULET DE MONTAUBAN"*

4.3.4. SENSIBILITE DES BERGES VIS-A-VIS DE L'EROSION

La sensibilité à l'érosion des berges de la Rivière des Pluies dépend de la nature de ces berges qui peuvent être rocheuses, constituées de matériaux cimentés ou meubles (voir tableau récapitulatif en fin de paragraphe).

↳ **Les berges rocheuses**

Les berges rocheuses de la Rivière des Pluies correspondent :

- Soit au pied des remparts délimitant la Rivière des Pluies sur les tronçons amont et intermédiaires ;
- Soit au pied des versants rencontrés sur le tronçon aval.

Ces berges sont dures et présentent plusieurs types de morphologies : elles peuvent être rectilignes et verticales, sous-cavées, ou en relief formant des éperons ou pointements rocheux comme ceux rencontrés en rive gauche de part et d'autre du pont de Domenjod.

↪ **Les berges formées par des dépôts cimentés (brèches et alluvions)**

En fonction de la proportion (par rapport au volume total) des particules fines (silts, limons et argiles) les coulées de débris peuvent être subdivisées en coulées de débris cohésives et en coulées de débris non-cohésives (ou granulaires).

Les coulées de débris cohésives (avec une quantité importante de fines) ont une forte résistance à l'érosion sur le cours terme. Caractérisée par une matrice indurée rosée, elles présentent un relief positif sur une hauteur maximale de 2 m. On les retrouve essentiellement sur le cours aval où elles affleurent en face du lotissement Lorion, au droit du Pont Domenjod (cf. photo n°13) et du Canal la Mare.



*Photo n°13 – BERGES "RESISTANTES" DE COULEES DE DEBRIS
COHESIVES AU DROIT DU PONT DOMENJOD*

Lors des crues de février et mars 2006, ces formations ont bien résisté aux affouillements par la rivière (cf. photo n° 14). La résistance de ces matériaux peut être assimilée à celle d'un béton maigre. Sur le moyen et le long terme, L'érodabilité de ces berges est mal connue.



*Photo n° 14 – DEBUT D'AFFOUILLEMENT A LA BASE DU PILIER
RIVE GAUCHE DU PONT DOMENJOD*

Les alluvions anciennes cimentées affleurent principalement en rive gauche sur le cours aval de la rivière sous forme de terrasses hautes. D'un point de vue mécanique, leur résistance vis-à-vis de l'érosion dépend de l'agencement des dépôts, de leur degré d'altération (circulation des eaux de ruissellement) et de l'interstratification ou non de dépôts de coulées de débris.

Les alluvions anciennes les plus cimentées peuvent former des escarpements abrupts d'une dizaine de mètres de haut ; tel est le cas au droit du Goulet de Montauban et en face de l'Îlet la Pluie les bas.

Lors des crues de 2006, des affouillements se sont produits dans les alluvions anciennes plus ou moins cimentées avec un recul significatif de la tête du talus de 5 à 10m (parking de la RD 45). Cette fragilité des alluvions anciennes vis-à-vis de l'érosion peut s'expliquer par une hétérogénéité des dépôts à l'échelle du talus ou au sein d'un même horizon. En effet, les alluvions anciennes peuvent présenter des intercalations de lentilles sableuses plus facilement affouillables (cf. photo n° 15). Ces dernières

représentent des fragilités mécaniques d'autant plus vulnérables lorsqu'elles sont situées en pied de berge. Ainsi leur érosion par les eaux en crue peut engendrer un "éboulement" en surplomb ce qui explique le recul rapide de la tête de talus.



Photo n°15 – SOUS-CAVAGE DANS DES DEPOTS D'ALLUVIONS ANCIENNES HETEROGENES

↳ Les berges formées par des dépôts meubles ou faiblement cimentées

Certains faciès bréchiques des dépôts d'avalanche de débris ont une très faible cohésion (brèche meuble non soudée). **Les faciès constitués de fragments rocheux (roche broyée) avec une faible proportion de matrice sont facilement érodables par les eaux en crue.** A l'opposé les dépôts du pôle mélangé ont une meilleure résistance par l'apparition d'une matrice argileuse qui enveloppe les fragments rocheux. Néanmoins l'injection de cette matrice n'est pas homogène, c'est pourquoi ces dépôts peuvent présenter un aspect « en gryère » suite à l'érosion des parties les plus friables (cf. photo n°16).

Les coulées de débris présentent parfois une matrice moins indurée donc plus vulnérables lors des crues. On retrouve localement sur le cours intermédiaire ces brèches où elles ont recouvertes par des alluvions récentes en terrasses.

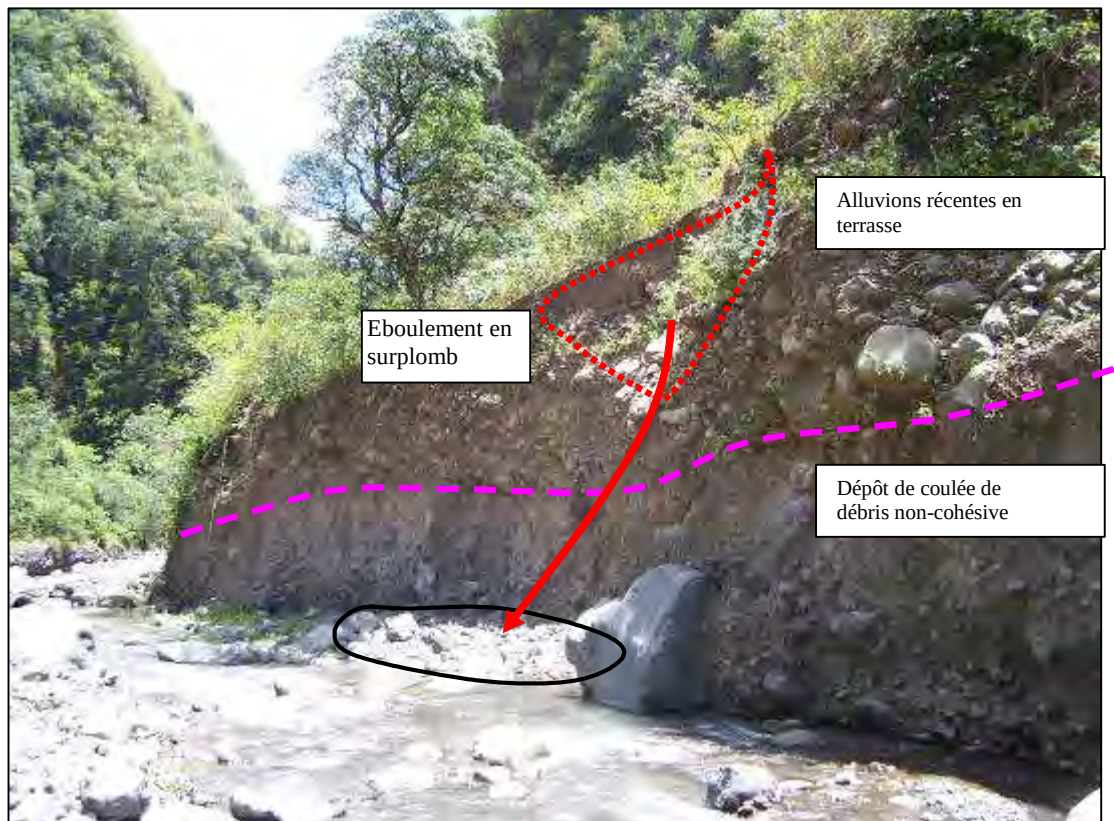


Photo n°16 – DEPOT DE COULEE DE DEBRIS NON-COHESIVE SUR LE COURS INTERMEDIAIRE

Au cours des crues de 2006, toutes les terrasses formées d'alluvions récentes ont été attaquées et ont reculé.

La terrasse située en rive droite en face de la confluence avec la ravine Montauban a été la plus touchée : une habitation a été emportée à la suite d'un recul de la berge sur près de 20 m. Suite aux crues de 2006, on a pu observer un nouvel affouillement de la terrasse au même endroit avec un recul de près de 10 m et la destruction d'une nouvelle habitation suite au passage du cyclone Gamède en 2007.

La grande vulnérabilité de cette terrasse s'explique par :

- La nature de ces dépôts : alluvions grossières emballées dans une matrice sablo-limoneuse ouverte meuble ;
- Sa position dans le lit de la rivière : en période de crue, l'écoulement est dévié vers la terrasse par le substratum rocheux qui affleure en amont en rive gauche et par le flux de la ravine Montauban.

Actuellement, ces terrasses présentent des talus de 3 à 5 m de haut qui sont en situation d'équilibre précaire et donne lieu à des éboulements fréquents (*cf. Photo n° 17*).



Photo n°17 – SAPEMENT DE LA BASE DE LA TERRASSE ALLUVIALE EN FACE DE LA CONFLUENCE DE LA RAVINE MONTAUBAN

Dans le cas de la terrasse haute sur laquelle s'est installée le Lotissement Sindrama, la vulnérabilité de ses dépôts résulte d'une hétérogénéité à plus grande échelle avec une superposition d'horizons de natures diverses et dont le comportement vis-à-vis de l'érosion est très variable. Elle est composée de trois horizons de 2 à 3 m d'épaisseur avec des alluvions de pied sablo-graveleuses lâches qui ont été très facilement érodées par les eaux en crues. Seuls les deux premiers horizons plus cohésifs sont visibles de nos jours ; la base du talus a été protégée par un enrochement en partie cimenté (cf. photo n°18).



Photo n°18 – TERRASSE ALLUVIALE DU LOTISSEMENT SINDRAMA

Il est important de préciser que le talus actuel en limite de stabilité fait l'objet de déchaussements des plus gros blocs (de taille métrique) et peut donner lieu à des petits éboulements. Ces phénomènes naturels contribuent à diminuer la pente du talus jusqu'à atteindre une pente d'équilibre de 45° environ.

Sur le cours intermédiaire, entre le Cap Frumence et la ravine Montauban, le cours d'eau étant fortement encaissé dans des gorges d'une cinquantaine de mètres de large, les bordures des terrasses d'alluvions récentes sont mobilisables à chaque crue importante.

Globalement les alluvions récentes présentant une granulométrie allant de 0-600mm ($\emptyset$ moyen 150mm) peuvent être remobilisées au cours des crues décennales.

Les terrasses constituées par les alluvions actuelles se situent soit dans des zones « maîtrisées » (terrasse basse de l'Ilet Quinquina) soit dans des zones délaissées protégées par des berges rocheuses (terrasse boisée au droit de la confluence avec la Ravine Montauban). Ainsi en fonction de l'importance de la crue (hauteur d'eau et vitesse d'écoulement), certaines terrasses vont être recouvertes par des dépôts d'alluvions dans les secteurs d'élargissement du lit (et former des plages d'atterrissements) ou être en érosion (cf. photo n°19).



*Photo n°19 – EROSION DE LA TERRASSE D'ALLUVIONS ACTUELLES
EN FACE D'ILET QUINQUINA AMONT*

Les bordures des terrasses constituées d'alluvions actuelles sont très vulnérables étant situées au même niveau que le lit actuel. Les alluvions grossières (0-500 mm, $\emptyset$ moyen 100 mm) sont emballées dans une matrice ouverte sableuse meuble (cf. photo n°20). Un recul important de la bordure des terrasses formées d'alluvions actuelles peut être enregistrée à chaque crue importante.



Photo n°20 – DEPOTS D'ALLUVIONS ACTUELLES MEUBLES

Tableau n°4 – TABLEAU RECAPITULATIF DE LA VULNERABILITE DES BERGES DE LA RIVIERE DES PLUIES

Nature des berges	Vulnérabilité vis-à-vis de l'érosion			Exemples
	Court terme	Moyen terme	Long terme	
Alluvions actuelles	×			Bordure de terrasse au droit du forage de la Rivière des Pluies
Alluvions récentes	×			Terrasse en face de la confluence de la Ravine Montauban Terrasse du Lotissement Sindrama
Alluvions anciennes ± cimentées avec intercalation de lentilles sableuses		×		Soubassement de la RD 45 En amont rive gauche de la passerelle du canal La Mare
Alluvions anciennes cimentées		×		Au droit du Goulet de Montauban En face de l'ilet la Pluie les bas, rive gauche
CD non-cohésives	×			Base des terrasses du cours intermédiaire
CD cohésives		×	×	Au droit du Pont Domenjod
AD faciès bréchiq	×	×		Cours Amont : en amont du chantier du transfert des eaux
AD faciès mélangé		×		Cours Amont : au droit des dépôts de marinage
Rocheuses			×	Berge rocheuse en face d'ilet Quinquina

(CD : Dépôts de Coulées de Débris ; AD : Dépôts d'Avalanche de Débris)

4.4. ETAT DES LIEUX ENVIRONNEMENTAL ET PAYSAGER

4.4.1. ETAT DES LIEUX ENVIRONNEMENTAL

4.4.1.1. METHODES

4.4.1.1.1. LES SOURCES D'INFORMATION

Afin d'évaluer au mieux les impacts d'un projet sur l'environnement un état initial fiable de la zone d'étude et des différentes zones d'influence spécifiques, doit être réalisé. Par conséquent, les sources de données exploitées sont à la fois des ressources bibliographiques disponibles (rapports d'étude, monographies, etc.) et des organismes ou des personnes connues pour avoir une bonne des enjeux environnementaux de la zone d'étude (spécialistes, collectivités locales, services de l'état, associations, etc.). De surcroît plusieurs visites de terrain ont été menées par des spécialistes de la faune et de la flore.

Les sources bibliographiques et les consultations ont été présentées précédemment dans le volet « analyse des études existantes ». Nous renvoyons le lecteur à ce chapitre pour plus de renseignements. A titre d'information complémentaire, nous présentons dans le tableau suivant la liste des organismes consultés et une synthèse des réponses.

Tableau n°5 – ORGANISMES CONSULTES ET SYNTHESE DES REPONSES

Organismes consultés	Synthèse des réponses
APN (Amis des plantes et de la nature)	Pas de réponse
ARDA (association pour la recherche et le développement de l'aquaculture)	Mise à disposition de données
ARE (Association écologie Réunion)	Pas de réponse
Conservatoire botanique de Mascarin	Pas de réponse
Conservatoire du littoral et des espaces lacustres	Pas de réponse
DIREN (Direction régionale de l'environnement)	Prescriptions du SAR, ZNIEFF, cf. courrier en annexe
DRAC (Direction régionale des affaires culturelles)	Proximité du "Domaine Bang" Cf. Courrier en annexe
Fédération des Pêcheurs et de Protection des Milieux aquatiques (FPPMA)	Pas de réponse
Insectarium de la Réunion	Pas d'inventaire dans la zone
OLE (Office de l'eau)	Mise à disposition de données
ONF	Pas de réponse
Parc national de la Réunion	Pas de réponse
SDAP (Service départemental de l'architecture et du patrimoine)	Pas de réponse
SEOR (Société d'études ornithologiques de la Réunion)	Pas de réponse
SREPEN (Société réunionnaise d'étude et de protection de l'environnement)	Pas de réponse

4.4.1.1.2. EXPERTISES DE TERRAIN

METHODOLOGIE RETENUE POUR LA FLORE

📖 Nomenclature

La nomenclature des plantes à fleurs et des fougères utilisée est celle de *l'Index commenté de la flore vasculaire de la Réunion (Trachéophytes)* du Conservatoire botanique national de Mascarin (CBNM, 2006).

La nomenclature des habitats est *la Typologie des Milieux Naturels de la Réunion* (validé par le CSRPN, avril 2007), une adaptation de la typologie CORINE Biotope

utilisée en France métropolitaine pour la description et la codification des habitats, réalisée par l'Université de la Réunion et le CBNM.

↳ **Méthodologie de terrain et cartographie**

La méthodologie employée lors de ces prospections est celle du relevé floristique systématique, en présence/absence. Les espèces protégées et patrimoniales ont été recherchées méthodiquement. Des relevés phytosociologiques simplifiés ont été conduits dans des structures de végétation homogènes, de manière à rattacher celles-ci à la typologie des milieux naturels terrestres de la Réunion. La localisation a été assurée par GPS, photo aérienne du site et carte IGN au 1/25000.

Le tronçon entre le pont de la Rivière des Pluies et l'école Ilet Quinquina a été parcouru par la piste d'accès au chantier ILO dans le lit de la rivière ; les berges et le rempart ont fait l'objet d'une prospection visuelle à partir du bas du rempart.

Ces prospections réalisées le 16 septembre 2007 ont été complétées par l'analyse de photographies aériennes pour délimiter les continuums de végétation, par les inventaires existants sur le secteur d'étude et par les consultations.

La cartographie présente les groupements de formations végétales identifiés.

METHODOLOGIE RETENUE POUR LA FAUNE

↳ **Nomenclature**

La nomenclature de la faune suit celle de PROBST (2001)⁵ pour les amphibiens, reptiles, oiseaux et mammifères, et celle de KEITH *et al.* (2006)⁶ pour les poissons et les macrocrustacés.

↳ **Méthodologie de terrain et cartographie**

Les prospections se sont concentrées sur la recherche d'oiseaux et de reptiles d'intérêt patrimonial, sur la base de prospections réalisées les 13 et 16 octobre 2007. Elles n'ont pas concerné la faune aquatique, déjà recensée avec suffisamment de précision dans la zone d'étude (*cf. rapport de phase 1 de cette étude*).

4.4.1.1.3. **METHODOLOGIE DE BIO-EVALUATION**

REFERENTIEL REGLEMENTAIRE

- ↳ Arrêté du 6 février 1987 fixant la liste des espèces végétales protégées dans le département de la Réunion ;
- ↳ Arrêté du 17 février 1989 fixant des mesures de protection des espèces animales [insectes, reptiles, oiseaux, mammifères] représentées dans le département de la Réunion.

⁵ PROBST J.-M. (2001) L'île de La Réunion possède combien de Vertébrés ? Classification des Poissons – Amphibiens – Reptiles – Mammifères et Oiseaux de La Réunion. *Bulletin Phaethon* 13, 1-13.

⁶ KEITH Ph., MARQUET G., VALADE P., BOSC P. & VIGNEUX E. (2006) *Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce des Comores, Mascareignes et Seychelles*. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 250 p.

AUTRES REFERENTIELS

Au sujet de la faune, nous utilisons généralement d'autres références que les listes d'espèces protégées réglementairement pour évaluer le degré de rareté ou de menace de chaque espèce. En effet, la situation juridique qui prévaut actuellement en France fait que les listes d'espèces protégées reflètent de manière imprécise leur intérêt patrimonial.

L'intérêt patrimonial prend en compte habituellement des critères tels que le nombre de stations connues, la taille et la dynamique de la population, le degré d'endémisme, etc. Ils se déclinent en plusieurs catégories : *en danger d'extinction*, *vulnérable*, *rare*, etc.

Tableau n°6 – PRINCIPAUX TEXTES UTILES POUR L'EVALUATION PATRIMONIALE

	A l'échelle mondiale	A l'échelle régionale
Espèces de la flore	Pas de données	Index commenté de la flore vasculaire de la Réunion (Trachéophytes) : Statuts, Menaces et protections (CBNM, 2004)
Espèces de la faune des vertébrés et des macrocrustacés aquatiques	Liste rouge des espèces menacées (IUCN)	Synthèse des premiers éléments de connaissance de la faune des vertébrés et des macrocrustacés indigènes des Hauts de La Réunion (SEOR & ARDA/Mission Parc national, 2003) PROBST (1999)
Groupes de la faune des invertébrés terrestres	Pas de données	Eléments pour une synthèse des connaissances sur l'entomofaune endémique des Hauts de la Réunion (CIRAD/Mission Parc national, 2003)

4.4.1.2. LA FLORE

4.4.1.2.1. LES UNITES DE VEGETATION

Le milieu naturel de la zone d'étude particulière est fortement anthropisé, notamment à l'aval du pont Domenjod. En effet, la rivière est bordée de part et d'autres de zones habitées des quartiers de Domenjod, de la Rivière des Pluies et d'Ilet Quinquina.

Dans le lit de la rivière, les bancs de sables et de graviers régulièrement recouverts par les crues ne permettent pas une végétation pérenne de s'installer. On rencontre des herbacées et des arbustes peu couvrants, localisées notamment près des sources et le long des canaux : ce sont des graminées (fataque, gros chiendent), des herbacées rudérales (paritéaire, etc.), du bois de chapelet... Cette végétation est emportée lors des grosses crues et se renouvelle régulièrement après la baisse du niveau d'eau.

Sur les îlets et les berges à l'abri des crues les plus fréquentes, des formations secondaires constituées d'espèces exotiques sont présentes :

- ✦ Savanes herbacées à fataque ou à canne fourragère ;
- ✦ Fourrés secondaires « purs » (faux poivrier, cassi) ou « en mélange » : espèces exotiques naturalisées (faux poivrier, cassi, avocat marron...), espèces « échappées »

des jardins (bougainvillier, liane *Thunbergia*, etc.), ou espèces cultivées (letchi, bananier, manguiers, manioc) ;

- ↳ Boisements composés d'arbres fruitiers (manguiers, longanis, letchi, etc.) ;
- ↳ Cultures sur les îlets, entretenus ou à l'abandon (songe, bananier, manioc, etc.).

Quelques fougères indigènes sont présentes en sous bois dans les secteurs humides à l'amont du pont Domenjod, notamment la fougère rivièr *Nephrolepis bisserata* ou le patte Lézard (*Phymatosorus scolopendria*).

Dans les remparts situés en amont de la confluence de la rivière des Pluies avec la ravine Bachelier, se développent des formations secondaires constituées principalement d'espèces exotiques :

- ↳ Boisements secondaires à arbres fruitiers (manguiers, longanis, letchi), d'exotiques en mélange, ou hétérogènes associant exotiques et indigènes : manguiers, longani, faux poivrier et bois d'olive blanc, bois d'olive noir ;
- ↳ Végétation humide des cascades à petit Bambou et autres espèces.

Les formations végétales rencontrées sont secondaires et principalement constituées d'espèces exotiques.

4.4.1.2.2. LES HABITATS D'INTERET POUR LA FLORE

BOISEMENT SECONDAIRE "HETEROGENE" A BOIS D'OLIVE

Cette formation résulterait de la dégradation des formations indigènes de forêt semi-sèche, en forte régression dans l'île. Le boisement a été localisé sur le rempart en rive droite de la rivière des Pluies en amont de la cascade d'Ilet Quinquina, rempart peu accessible à l'Homme et dont les berges n'ont pu être aménagées.

Si le boisement en bas du rempart est principalement constitué d'espèces exotiques, il devient plus intéressant lorsqu'on remonte dans le rempart où les espèces présentes sont indigènes : bois d'olive (*Olea lancea*, *Olea europaeae ssp africana*) ainsi que bois de gaulette, bois de chandelle. Les observations ayant été réalisées depuis le bas du rempart, nous ne disposons pas d'un inventaire exhaustif des espèces remarquables éventuellement présentes sur le site. Les espèces indigènes, situées relativement haut sur le rempart, ne devraient pas être sensibles au projet de sécurisation de la rivière.

VEGETATION HUMIDE DES CASCADES

La cascade d'Ilet Quinquina présente une formation humide particulière constituée principalement d'espèces exotiques dont le petit bambou. Cependant, elle pourrait contenir des espèces indigènes comme des fougères et mousses qui peuvent avoir un certain intérêt patrimonial. Les difficultés de détermination des espèces de petite taille depuis le bas de la cascade ont empêché l'identification des fougères et mousses.

Les habitats d'intérêt sont localisés en rive droite de la rivière et en amont du pont Domenjod, généralement dans des remparts peu accessibles.

4.4.1.2.3. LA FLORE REMARQUABLE

(cf. liste des espèces, en Annexe 4)

(cf. figure n°6 – unités de végétation et flore remarquable)

En majorité les espèces rencontrées sont des espèces exotiques qui ne présentent pas d'intérêt patrimonial particulier.

Les espèces d'intérêt patrimonial présentes dans la zone d'étude particulière sont listées dans le tableau suivant. Ce sont des espèces indigènes relativement communes et peu menacées sur l'île.

De plus, quelques arbres exotiques ont un caractère remarquable : il s'agit notamment de vieux arbres de taille imposante, d'arbres ornementaux typiques des jardins créoles (flamboyant, mouffia) et d'arbres fruitiers qui rappellent la mise en valeur traditionnelle des îlets (manguiers, letchis, longanis, tamarins, etc.). Elles sont localisées au niveau des îlets, autour des habitations et sur les remparts. Un repérage exhaustif des individus devra être réalisé avant les travaux afin de conserver les plus remarquables.

Notons qu'aucune espèce protégée n'a été identifiée dans la zone d'étude particulière.

La flore présente un intérêt patrimonial modéré à faible. Toutefois, la présence d'arbres remarquables par leurs âge et dimensions sera à prendre en compte.

*Tableau n°7 – LISTE DES ESPECES D'INTERET PATRIMONIAL DE LA FLORE,
AVEC LEURS STATUTS DE RARETE ET DE MENACE*

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Localisation dans la zone d'étude	Rareté dans l'île	Menace dans l'île
Bois d'olive blanc	<i>Olea lancea Lam.</i>	Rempart en rive droite en amont de la Cascade Ilet Quinquina	Peu commun ?	Taxon de préoccupation mineure
Bois d'olive noir	<i>Olea europaea L. subsp. africana (Mill.) P.S. Green</i>	Rempart en rive droite en amont de la cascade d'Ilet Quinquina	Assez rare ?	Taxon de préoccupation mineure
Bois de chandelle	<i>Dracaena reflexa Lam.</i>	Rempart en rive droite en amont de la cascade d'Ilet Quinquina	Commun ?	Taxon de préoccupation mineure
Bois de gaulette	<i>Doratoxylon apetalum (Poir.) Radlk.</i>	Rempart en rive droite en amont de la cascade d'Ilet Quinquina	Assez commun ?	Taxon de préoccupation mineure
Fougère Patte Léopard	<i>Phymatosorus scolopendria (Burm. f.) Pic. Serm.</i>	Berge et lit de la rivière en amont du pont Domenjod	Commun	Taxon de préoccupation mineure
Fougère rivière	<i>Nephrolepis biserrata (Sw.) Schott</i>	Berge et lit de la rivière en amont du pont Domenjod	Commun	Taxon de préoccupation mineure

Figure n°6 – UNITES DE VEGETATION



4.4.1.3. PRESENTATION DU PEUPLEMENT FAUNISTIQUE

Les espèces indiquées en caractères gras sont protégées par l'arrêté du 17 février 1989 (J.O. du 24 mars 1989).

Les espèces marquées d'un astérisque sont issues de la bibliographie (cf. *Anex 1*).

Il convient de rappeler que les enjeux faunistiques identifiés dans le volet précédent "analyse des études existantes" sur la zone d'étude particulière concernent la faune aquatique (12 espèces de poissons et 4 de macrocrustacés) et l'avifaune. Les prospections ont concerné principalement l'avifaune, la faune aquatique étant connue.

4.4.1.3.1. RESULTATS

OISEAUX

Trois cortèges d'espèces d'oiseaux fréquentent la zone d'étude particulière :

- ↳ Un cortège d'espèces terrestres communes/assez communes à caractère ubiquiste : foudi de Madagascar, moineau domestique, géopélie striée, martin triste, **tourterelle malgache**, **oiseau blanc**, bellier, bulbul orphée, **salangane**, **tec-tec** et **papangue** (celles-ci plus en amont dans la ravine principalement) ;
- ↳ Un cortège d'espèces terrestres assez communes/assez rares liées à la rivière : **butor** et limicoles hivernants divers (**chevalier guignette***, **tournepierre à collier***, etc.) ;
- ↳ Un cortège d'espèce marines communes/assez communes associés aux remparts plus en amont que la zone d'étude particulière : **paille-en-queue à brins blancs**, **puffin de Baillon***, **puffin du Pacifique*** (rare) et **pétrel de Barau*** (occasionnel).

Le tableau n° 8 dresse la liste des espèces d'intérêt patrimonial recensées lors des prospections ou signalées dans la bibliographie dans la zone d'étude particulière, et indique leur mode "d'utilisation" des biotopes présents dans la zone.

Tableau n° 8 – STATUT DES OISEAUX D'INTERET PATRIMONIAL (ET PROTEGES)

Espèces	Biotope	Utilisation de la zone d'étude	Vulnérabilité à la Réunion ⁷
Papangue	Ubiquiste	Alimentation	Exceptionnelle
Pétrel de Barau	Remparts	Aucun (survol)	Forte
Tec-tec	Ubiquiste	Alimentation (présent en hiver)	Assez forte
Salangane	Ubiquiste	Alimentation	Assez faible
Oiseau blanc	Ubiquiste	Reproduction (probable)	Assez faible
Butor	Rivière	Alimentation	Faible
Paille-en-queue à brins blancs	Remparts	Aucun (survol)	Faible
Puffin du Pacifique	Remparts	Aucun (survol)	Faible
Puffin de Baillon	Remparts	Aucun (survol)	Très faible

⁷ Adapté de PROBST (1999)[Essai de détermination d'une valeur patrimoniale donnée aux oiseaux endémiques et indigènes de l'île de La Réunion (Bull. Phaethon 9, 16-21)].

Espèces	Biotope	Utilisation de la zone d'étude	Vulnérabilité à la Réunion ⁷
Tourterelle malgache	Ubiquiste	Reproduction (probable)	Très faible
Limicoles (2 espèces)	Rivières	Alimentation	Très faible

Les couleurs utilisées dans le tableau précédent se rapportent à la vulnérabilité des espèces à la Réunion.

La zone d'étude particulière est fréquentée ou survolée par au moins 12 espèces d'oiseaux d'intérêt patrimonial. Parmi elles, seules deux (oiseau blanc et tourterelle malgache) nichent localement, généralement dans les fourrés et les boisements. Leur intérêt est faible, mais leur nid est protégé réglementairement. Les autres espèces ne sont pas sensibles à l'aménagement de la rivière.

REPTILES

La zone d'étude accueille un cortège de geckos nocturnes à caractère ubiquiste, sans intérêt patrimonial. La présence de **l'endormi** n'est pas certifiée mais reste probable.

L'endormi est une espèce protégée qui fréquente potentiellement la zone d'étude. Il serait dans ce cas vulnérable lors des travaux d'aménagement de la rivière.

MAMMIFERES

Le **petit molosse** et la **chauve-souris à ventre blanc*** s'alimentent dans la zone d'étude particulière. Aucun gîte ni aucune colonie n'a été localisée localement.

Ces deux espèces ne sont pas concernées par l'aménagement de la rivière.

POISSONS

Rappelons que 11 espèces indigènes de poissons fréquentent la rivière : anguilles (*Anguilla marmorata*, *A. bicolor*, *A. mossambica*), chiite (*Agonostomus telfairii*), doule de roche (*Kuhlia rupestris*), cabots noirs (*Eleotris fusca*, *E. mauritanus*), loche (*Awaous commersoni*), cabots bouche ronde (*Cotylopus acutipinnis*, *Sicyopterus lagocephalus*) et cabot rayé (*Stenogobius polyzona*). Elles utilisent le tronçon de la zone d'étude pour l'alimentation et le transit, entre le milieu marin et les cours d'eau en amont (frai).

Rappelons également que les densités de cabots bouche ronde étaient exceptionnelles en 2004-2005 et le sont certainement toujours à ce jour dans le tronçon de rivière situé dans la zone d'étude, ce qui témoigne de capacités d'accueil uniques dans l'île.

Le peuplement piscicole de la zone d'étude est exceptionnellement riche et abondant à l'échelle de l'île. Cet état, probablement transitoire, est lié au renforcement du débit grâce aux rejets des eaux de galerie par le chantier ILO.

CRUSTACES AQUATIQUES

Les macrocrustacés aquatiques sont représentés par six espèces dans la rivière des Pluies : crevette bouledogue (*Atyoida serrata*), chevaquine (*Caridina typus*), chevrettes (*Macrobrachium australe*, *M. lar*), écrevisse (*Macrobrachium lepidactylus*), crabe (*Varuna litterata*). Toutes sont vraisemblablement présentes dans le tronçon de la zone d'étude.

La rivière des Pluies accueille une des plus fortes densités de *Macrobrachium lepidactylus* dans l'île. Cette espèce étant en régression importante à la Réunion à cause du braconnage et de la destruction de son biotope, elle indique par sa présence un milieu aquatique de qualité exceptionnelle pour la faune piscicole dans son ensemble.

Le peuplement de crustacés aquatiques est d'intérêt exceptionnel. Voir la remarque du chapitre précédent relatif à l'impact du chantier ILO.

INSECTES

Aucune espèce d'intérêt patrimonial n'a été identifiée dans la zone d'étude particulière, en particulier chez les lépidoptères dont une espèce protégée est signalée plus en amont dans la ravine, et chez les odonates dont une espèce endémique est également signalée plus en amont (voir le volet « analyse des études existantes »). Les habitats des espèces précédentes sont en effet situés dans des secteurs plus préservés de la rivière des Pluies.

En conclusion, les enjeux de conservation de la faune dans la zone d'étude particulière concernent principalement les peuplements de poissons et de macrocrustacés aquatiques présents dans le lit mineur de la rivière.

4.4.1.4. SYNTHESE SUR LA SENSIBILITE ECOLOGIQUE

(cf. figure n° 7 : Sensibilité écologique)

(cf. tableau n° 9 : – Synthèse des données écologiques permettant de justifier de la sensibilité des milieux)

La définition de la sensibilité écologique des habitats est basée sur les éléments de la bibliographie et les résultats des prospections décrits aux chapitres précédents. Les habitats ou groupements végétaux font l'objet d'une hiérarchisation en quatre niveaux mettant en relief l'intérêt croissant et les zones d'enjeux prioritaires.

- ↳ Niveau 1 : zone de faible intérêt (espèces banales et peu fragiles) ;
- ↳ Niveau 2 : zones originales (artificialisées ou non) mais peu fragiles (pas de taxons patrimoniaux) ;
- ↳ Niveau 3 : zone contenant des taxons patrimoniaux et/ou une fonctionnalité écologique, mais dont la dynamique est peu vulnérable ;
- ↳ Niveau 4 : zone dotée de taxons patrimoniaux et dont la dynamique est vulnérable.

Les informations et données issues de la bibliographie, des consultations et des prospections de terrain ont permis d'établir une carte des sensibilités écologiques (cf. figure n° 7 et tableau n° 9).

En résumé :

- ↳ Le lit vif présente en enjeu **de niveau 3** basé sur la diversité et l'abondance de la faune aquatique (poissons et macrocrustacés) ;
- ↳ Le rempart en rive droite face à l'îlet Quinquina présente un enjeu **de niveau 2**, grâce à la présence probable de reliquats de l'ancienne végétation de forêt semi-sèche ; la situation épigée de ce groupement le rend peu vulnérable ;
- ↳ L'ensemble des autres secteurs sont en enjeu de niveau 1, car peu sensible.

Figure n°7 – SENSIBILITE ECOLOGIQUE



Sources et cartographie : Biotopie, 2007. Fond : Géoportail, juin 2006.

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES
PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES
RAPPORT

Tableau n°9 – SYNTHÈSE DES DONNÉES ÉCOLOGIQUES PERMETTANT DE JUSTIFIER DE LA SENSIBILITÉ DES MILIEUX

Localisation	Groupe de végétation	Type (corine biotope réunion, 2007)	Intérêt patrimonial	Sensibilité
Lit vif	Bancs de graviers et de sables avec et sans végétation Végétation immergée des rivières, bancs de vase des cours d'eau	Lits des rivières (24.10 dont 24.20, 24.30, 24.40, 24.50)	Poissons et de macrocrustacés exceptionnellement diversifiés et abondants	3
Rempart en rive droite en face d'îlet Quinquina	Boisements secondaires hétérogènes	Forêts dégradées (49.60)	Bois d'olive blanc, bois d'olive noir, bois de gaulette, bois de chandelle (espèces indigènes peu menacées) Reproduction potentielle d'espèces de faune protégées mais communes et très peu vulnérables : oiseau blanc, tourterelle malgache et endormi	2
Îlets et berges du lit majeur	Formations secondaires herbacées (savane), arbustives à arborées Formations à Faux poivriers Îlets cultivés	Terrains agricoles et paysages artificialisés : cultures traditionnelles, vergers et plantations d'arbres, villages (80.00 dont 83.00, 84.00, 86.20) Friches et terrains rudéraux : savanes herbacées, fourrés secondaires de diverses espèces exotiques, zones rudérales (87.00 dont 87.191, 87.193, 87.20)	Fougère rivière (indigène peu menacée), fougère Patte Léopard (indigène peu menacée) Reproduction potentielle d'espèces de faune protégées mais communes et très peu vulnérables : oiseau blanc, tourterelle malgache et endormi	1
Remparts divers en amont de la ravine Bachelier	Boisements secondaires sur rempart	Terrains agricoles et paysages artificialisés : vergers et plantations d'arbres (80.00 dont 83.00) Forêts dégradées (49.60)	Reproduction potentielle d'espèces de faune protégées mais communes et très peu vulnérables : oiseau blanc, tourterelle malgache, et endormi.	1

4.4.2. ETAT DES LIEUX PAYSAGER

4.4.2.1. CADRE GENERAL DE LA RIVIERE DES PLUIES

La Rivière des Pluies est à la rencontre de deux entités paysagères majeures à l'échelle de l'île, d'après Folléa & Gautier (1994) : l'entité des pentes de la Réunion "extérieure" qui descendent jusqu'à la mer, et l'entité des grandes ravines, que l'on rattache à la Réunion "intérieure" caractérisée par son relief gigantesque.

La grande ravine de la Rivière des Pluies est située aussi à l'intersection des pentes de Saint-Denis et de celles de Ste-Marie / Ste-Suzanne / St-André (Folléa & Gautier, 1994).

Elle est perçue immédiatement par les voyageurs dès leur sortie de l'aéroport de Gillot, mais aussi depuis de grands axes de communication qui franchissent la rivière (voie rapide, futur boulevard Sud). En effet, elle peut être décrite comme cette "large brèche obscure, porte de géant, coupée dans la montagne" (De Monforand in Roussin).

Elle laisse une perspective vers les Hauts par beau temps : Piton des Neiges, plaine Fougères, contreforts de la plaine des Chicots... assez admirable depuis les Bas.

4.4.2.2. LA ZONE D'ETUDE PARTICULIERE

Rappelons que la zone d'étude particulière est située entre le pont métallique de la RN102 en aval et l'école de l'îlet Quinquina en amont.

Le lit de la Rivière des Pluies est généralement constitué de galets parmi lesquels s'insinue un (parfois deux) bras en période d'étiage. Signalons que ce bras est habituellement asséché en aval du pont métallique en période d'étiage, mais qu'il est alimenté et maintenu en eau en permanence actuellement grâce au projet ILO.



Photo n°21 – VUE DEPUIS LE PONT METALLIQUE DE LA RN102



Photo n°22 – LIT VIF EN AVAL DU PONT DOMENJOD



Photo n°23 – ENTRE LE PONT DOMENJOD ET LA RAVINE BACHELIER



Photo n°24 – ENTRE LA RAVINE BACHELIER ET L'ILET QUINQUINA

Le lit de la Rivière des Pluies dans la zone d'étude particulière est généralement assez large, ce qui témoigne de la force des crues et du caractère préservé de la rivière. Cependant, il se rétrécit nettement dans la partie centrale du tronçon d'étude, grossièrement entre le pont Domenjod et la confluence de la ravine Bachelier. Dans ce tronçon des affleurements de roche massive apparaissent dans le fond de la rivière. Les piles du pont Domenjod sont bâties à l'endroit d'un rapprochement maximal des berges.



Photo n°25 – PONT DOMENJOD

Des travaux de confortement de berges par des enrochements et des maçonneries ont été réalisés dans le lit de la rivière (cf. § 4.2) :

Précisons que les aménagements liés au chantier ILO sont conçus pour pouvoir être démontés une fois que le chantier sera terminé, de même que la piste qui emprunte le lit.

Le lit est généralement dépourvu de végétation et offre donc un aspect principalement minéral, exception faite d'un îlot boisé proche de l'îlet Quinquina.

Outre le jeu de l'eau et quelques massifs de végétation disséminée, le lit est « animé » dans sa partie amont par la circulation des engins et des véhicules du chantier ILO et par le fréquentation de piétons – relativement nombreux - qui utilisent la rivière pour laver leur linge ou qui traversent le lit vif par des passerelles jusqu'à l'îlet Moka Fontaine.



Photo n°26 – FAMILLE LAVANT SON LINGE

Le lit présente globalement un aspect "sauvage", bien qu'il soit localement marqué par des signes d'activités humaines : pistes de chantier, lignes électriques coupant l'axe du lit, emballages de lessive abandonnés (cf. photo n°26), entre autres "points noirs".



Photo n°27 – EMBALLAGES DE LESSIVE ABANDONNES

Outre les deux ponts traversant la zone d'étude particulière dont le pont Domenjod, signalons la passerelle métallique Desbassayns – où passe toujours le canal du même nom (1861) - témoins de la période industrielle.

4.4.2.3. CONTEXTE

4.4.2.3.1. REMPARTS ET CASCADE EN AMONT DE LA RAVINE BACHELIER

Sur les remparts de la rive droite se niche une végétation luxuriante, d'où émergent au sommet, ça et là, des habitations « noyées » dans des jardins créoles.

La cascade de la ravine Kiwi, qui débouche en rive droite face à l'école de l'îlet Quinquina, possède un caractère pittoresque : grandes marches, végétation foisonnante de fougères, etc., en particulier lorsque son débit lui donne un aspect de voile de mariée.



Photo n°28 – CASCADE DE LA RAVINE KIWU

4.4.2.3.2. ILET ENTRE L'ECOLE D'ILET QUINQUINA ET LA RAVINE BACHELIER

Outre l'îlet Quinquina situé en limite de la zone d'étude, l'îlet la Pluies les Bas présente un aspect qui rappelle la Réunion « lontan » : quelques cases isolées en pied de rempart, accessibles à pied seulement, entourés d'arbres fruitiers et de carreaux de songe.



Photo n°29 – ÎLET LA PLUIE LES BAS (VU DEPUIS LA ROUTE D'ILET QUINQUINA)

4.4.2.3.3. VERGERS ET JARDINS CREOLES EN RIVE GAUCHE

Le long de la rive gauche entre l'îlet Quinquina et le pont Domenjod et localement dans le quartier de Domenjod, les rives abritent des jardins créoles qui dissimulent quelques cases, ainsi que des vergers et des jardins potagers.

Le contraste entre ces espaces d'aspect rural et la zone urbaine toute proche est assez saisissant. Il contribue à la qualité paysagère des rives.



Photo n°30 – VERGER EN AVAL DU PONT DOMENJOD

4.4.2.3.4. ZONES DE LOISIRS DU QUARTIER DE RIVIERE DES PLUIES

Entre la rivière et le quartier du même nom figure une zone de loisirs avec des kiosques, des terrains de jeux et un parcours sportif (en partie détruit par un incendie). Peu signalé, cet espace semble fréquenté par une population jeune issue du voisinage.



Photo n°31 – PARCOURS DE SANTE

4.4.2.3.5. **ZONES URBAINES**

Les quartiers de Rivière des Pluies et de Domenjod présentent un aspect essentiellement urbain, en particulier lorsque les bâtiments sont implantés en hauteur sur les remparts qui délimitent le lit de la rivière, quand aucun écran végétal ne les dissimule au regard.



Photo n°32 – BATIMENTS EN HAUT DE REMPART A DOMENJOD

Dans la portion où le lit se rétrécit, c'est-à-dire à proximité du pont Domenjod, l'impact visuel d'arrière courres sales et de dépôts divers en bord de berge est très fort.



Photo n°33 – ARRIERE COUR DANS LE QUARTIER DE RIVIERE DES PLUIES

4.4.2.3.6. *TERRAINS VAGUES*

Les marges des quartiers proches de la rivière des Pluies semblent localement dans un état d'abandon : zone pavillonnaire à Rivière des Pluies touchée par les crues de 2006, zones d'entrepôts et terrains vagues du côté de Domenjod. Des secteurs de berges effondrées ajoutent une note de désolation à proximité du pont métallique de la RN102.



Photo n°34 – TERRAIN VAGUE EN AVAL DU PONT DOMENJOD



Photo n°35 – PRES DE LA RAVINE BACHELIER

4.4.2.4. ELEMENTS PATRIMONIAUX

4.4.2.4.1. *LE PATRIMOINE GEOLOGIQUE ET PITTORESQUE*

Il se résume à la cascade de la ravine Kiwi, en rive droite face à l'école d'îlet Quinquina.

4.4.2.4.2. *LE PATRIMOINE BATI*

Le canal Desbassayns (ou canal "Payet") longe la rive gauche en amont de la passerelle du même nom avant de l'emprunter ; c'est l'un des deux canaux dans l'île franchissant une rivière sur une passerelle avec celui de Saint-Louis (*Le Patrimoine des Communes de La Réunion*). Toujours en service, il sert à l'irrigation.

La Rivière des Pluies est située à environ 500 mètres du monument inscrit "Domaine Bang". Trop éloigné, celui-ci est invisible depuis la zone d'étude.

4.4.2.4.3. *LES USAGES*

Le lit de la ravine sert à relier l'îlet la Pluies les Bas à pied, dont c'est l'accès principal.

4.4.2.5. ENJEUX PAYSAGERS

Les enjeux paysagers du tronçon de rivière étudié portent sur la préservation du caractère pittoresque des îlets, en particulier de l'îlet la Pluie les Bas, et plus généralement des "îlots" de jardins et vergers créoles disséminés sur les rives, afin de limiter les inconvénients d'une artificialisation exagérée des abords de la rivière.

L'aménagement des délaissés urbains de type "terrain vague" (en rive droite de la rivière principalement : Rivière des Pluies, Ravine Bachelier), doit permettre d'établir une transition harmonieuse entre la rivière et la ville, à l'instar de la zone de loisir présente.

Il conviendrait de supprimer certains "points noirs" (dépôts sauvages, habitat dégradé, etc.). La zone de loisirs, adjacente à des jardins créoles, peut être un exemple à développer.

Figure n°8 – CARTE PAYSAGERE



4.4.3. DEFINITION DES POTENTIALITES AU REGARD DES AMENAGEMENTS PROJETES

4.4.3.1. DEFINITION DES POTENTIALITES ECOLOGIQUES AU REGARD DES AMENAGEMENTS PROJETES

Comme on l'a vu précédemment, le patrimoine écologique des milieux terrestres est assez pauvre mais les travaux pourraient constituer une opportunité de reconquête paysagère et de fonctionnalité écologique via des plantations de tête adaptées.

Le développement d'une végétation terrestre composée de préférence d'espèces de la flore autochtone à la Réunion est favorable à l'accueil d'une faune de vertébrés et d'invertébrés représentative d'une nature « banale » indispensable au maintien d'une biodiversité urbaine (principe rappelé d'ailleurs au point 2.2 du PADD du SCOT Nord).

Il faudra veiller à ce que les aménagements envisagés, s'ils ne présentent que peu de potentialités en faveur du compartiment aquatique, ne diminuent pas celles-ci non plus. Toutefois, le projet constitue potentiellement une opportunité (cf. chapitre suivant).

4.4.3.2. DEFINITION DES POTENTIALITES PAYSAGERES AU REGARD DES AMENAGEMENTS PROJETES

D'un point de vue strictement paysager, un perré en enrochements libres sera préférable à un perré en enrochements liés car il permet l'implantation d'une végétation formant un écran qui « masque » ces ouvrages.

Les aménagements de protection des berges peuvent généralement "mimer" la forme, la texture et secondairement la couleur du lit des rivières pérennes à la Réunion.

De plus, des enrochements libres permettent l'implantation d'une végétation pionnière dans les interstices (si les jointements serrés étaient sans béton). Cela ne sera toutefois pas nécessairement compatible avec les caractéristiques techniques nécessaires dans le cas de protections par enrochements.

4.4.4. ANALYSE DES INCIDENCES PREVISIBLES DE LA MODIFICATION DU FONCTIONNEMENT PHYSIQUE DE LA RIVIERE SUR LE MILIEU ECOLOGIQUE

Les informations qui figurent dans ce chapitre sont principalement issues du document suivant : WASSON J.G., MALAVOI J.R., MARCHIET L., SOUCHON Y. & PAULIN L. (1998) : Impact écologique de la chenalisation des rivières. Editions Quae, 160 p.

Les méthodes qui ont pour but de limiter les processus érosifs des rivières (protection des berges, entretien, etc.) créent les conditions d'une **chenalisation** du cours d'eau.

Ce terme désigne ici "**tous les phénomènes conduisant à une accélération de l'écoulement par modification du tracé en plan, de la géométrie en travers et de la pente d'un cours d'eau**".

4.4.4.1. INCIDENCES GENERALES DE LA CHENALISATION SUR LA FAUNE AQUATIQUE

Un grand nombre d'étude ont fait ressortir les impacts de la chenalisation sur les peuplements d'invertébrés et de poissons. Dans un certain nombre de cas, les tronçons chenalisés ne montrent aucune récupération 50 ans après les travaux d'aménagement. Les impacts écologiques sont aussi peu réversibles que l'artificialisation du milieu. Pourtant, les cas d'étude disponibles sont en grande majorité dans des milieux de type continental et caractéristiques des moyennes latitudes de l'hémisphère nord.

Les incidences sur la faune sont diverses et leurs « poids » respectifs sont mal connus : disparition des abris (reproduction, refuge), accentuation de la sévérité des épisodes critiques (crues, étiages), réduction des peuplements d'invertébrés (sources de nourriture des poissons), homogénéisation des conditions d'écoulement et disparition d'habitats particuliers (bordures, zones profondes, radiers à blocs, bancs de sables)...

S'agissant des poissons, les causes principales de déclin sont liées à la réduction de l'habitabilité du chenal, elle-même liée à l'homogénéisation des faciès d'écoulement. Au sujet des invertébrés, la régression des peuplements s'explique, entre autres, par la diminution de la taille moyenne des éléments minéraux qui entraîne une réduction des abris hydrauliques à l'échelle des organismes, et par une perte de rétention des débris végétaux qui constituent leur nourriture. Dans les zones lentes, le colmatage par des sédiments fins est connu comme un facteur particulièrement limitant. Parmi les groupes particulièrement sensibles figurent les macrocrustacés et certains insectes (éphémères, trichoptères, diptères... ressources alimentaires pour de nombreux poissons).

Parmi les causes les plus graves d'altération des capacités d'accueil de la faune par le processus de chenalisation, figurent **la perte des séquences de faciès et la déstructuration du substrat**. Par conséquent, ces deux phénomènes devront être considérés avec une attention toute particulière lors de l'étude d'impacts.

4.4.4.2. ANALYSE DES INCIDENCES PREVISIBLES DU PROJET

Des indices montrent que les habitats aquatiques ne sont pas au maximum de leurs capacités d'accueil (en dépit de l'abondance des peuplements provoquée par l'augmentation artificielle du débit de la rivière, (cf. chapitre 4.4.1.3.) :

- ↳ La section de la rivière à l'étude comporte peu de mouilles (zones profondes) importantes, qui constituent l'habitat ordinaire des poissons de grande taille et de pleine eau, ainsi qu'un refuge pour de nombreuses espèces (anguilles entre autres) en période d'étiage ;
- ↳ Les suivis de macroinvertébrés dans la station « Rivière des Pluies Ilet Quinquina » indiquent que l'abondance et la richesse en taxons sont faibles et que la variété globale est moyenne, contrairement aux deux tiers de l'ensemble des 33 stations suivies dans l'île, qui affichent des classes de variété « élevées » ou « très élevées » (source : site internet OLE).

Les causes de la détérioration probable des habitats sont mal connues : influence des travaux de basculement des eaux ? des derniers travaux de confortement suite au crues de 2006 ? des aménagements de protection des berges des années 1980 ?... Néanmoins, il est possible que le projet finisse par « pérenniser » cette détérioration.

Le projet est donc l'occasion de produire une réflexion sur la reconquête d'une hétérogénéité physique de la rivière des Pluies dans sa partie aval, de même que sur l'accompagnement paysager et "écologique" des berges. Logiquement, les chances de "reconquête écologique" dépendent de l'intensité et de la rémanence de l'altération physique du milieu, de la répétition des interventions éventuelles dans le lit de la rivière plus en amont (cf. curages d'entretien) et de la cumulation de ces impacts.

4.4.5. PRE-EVALUATION DES MESURES D'ATTENUATION DES INCIDENCES PAYSAGERES ET ECOLOGIQUES

4.4.5.1. PRE-EVALUATION DES MESURES D'ATTENUATION DES INCIDENCES PAYSAGERES

Ces mesures reposeront sur le principe de l'implantation d'une végétation couvrante et à croissance rapide (composée d'espèces indigènes) afin de masquer les aménagements. Une quantité suffisante de terre serait à prévoir pour faciliter la prise de cette végétation.

Les confortements de berges seront aménagés si possible dans la continuité des rives actuelles et empièteront au minimum sur le lit majeur.

Lors de la phase de travaux, on veillera à la préservation (voire à la récréation) de cordons boisés qui font la plupart du temps le lien entre les milieux environnants et les berges de la rivière.

4.4.5.2. PRE-EVALUATION DES MESURES D'ATTENUATION DES INCIDENCES ECOLOGIQUES

4.4.5.2.1. EN PHASE PROJET

Ces mesures reposeront sur le principe de l'implantation d'une végétation couvrante et à croissance rapide (composée d'espèces indigènes) afin de masquer les aménagements. Une quantité suffisante de terre serait à prévoir pour faciliter la prise de cette végétation.

Les confortements de berges seront aménagés si possible dans la continuité des rives actuelles et empièteront au minimum sur le lit majeur.

Lors de la phase de travaux, on veillera à la préservation (voire à la récréation) de cordons boisés qui font la plupart du temps le lien entre les milieux environnants et les berges de la rivière.

4.4.5.2.2. EN PHASE TRAVAUX

Pendant la phase de travaux, des précautions seront prises pour limiter au minimum nécessaire les traversées de chenaux en eau et les travaux dans le milieu aquatique. On veillera particulièrement à limiter les départs de fines dans la rivière.

Des pêches de sauvegarde de la faune aquatique seront réalisées autant que de besoin dès lors que des déviations de chenaux seraient envisagées.

De manière élémentaire, les précautions nécessaires seront mises en œuvre pour prévenir tout risque de fuites d'huiles et d'hydrocarbures et pour mettre en place des procédures opérationnelles en cas de pollution accidentelle du milieu naturel, du fait d'une avarie des matériels ou des process de construction.

Les travaux ne doivent pas non plus favoriser de manière indirecte des comportements agressifs vis-à-vis des milieux en particulier aquatiques : accès/fréquentation augmentant les risques de braconnage, de dépôts de déchets, de vandalisme de matériel en zones sensibles...

Une information rigoureuse et précise des services instructeurs, un suivi et une coordination environnementale du chantier seront également à préconiser.

4.5. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

4.5.1. DOCUMENTS D'URBANISME ET DE PLANIFICATION

4.5.1.1. SAR – SCHEMA D'AMENAGEMENT REGIONAL

(cf. figure n°9)

Le SAR approuvé par décret n°95-1169 le 6 Novembre 1995, est en cours de révision. Il a valeur de prescriptions d'aménagement et d'urbanisme, et fixe les orientations fondamentales en matière de développement, de mise en valeur du territoire et de protection de l'environnement. Un tel contenu l'apparente à un Schéma directeur (art. L. 122-1 du code de l'urbanisme), ce qui le distingue nettement du POS et du SCOT qui sont des documents à caractère réglementaire.

Le lit majeur de la rivière des Pluies est classé par le SAR en "**Espace naturel remarquable du Littoral à préserver**" entre l'embouchure de la rivière et le pont Domenjod, en "**Espace naturel de Protection forte**" entre le pont Domenjod et l'îlet Quinquina.

Dans les espaces remarquables du littoral à préserver, seuls les aménagements légers énumérés à l'article L.146-2 du code de l'urbanisme sont autorisés (cf. ci-après). De plus ces aménagements entraînent une procédure d'enquête publique.

Dans les espaces naturels de protection forte, les aménagements ne doivent en aucune manière porter atteinte à des intérêts majeurs de protection écologique et paysagère.

Le SAR s'oppose à un projet de protection contre les crues de la Rivière des Pluies, sur le tronçon de la rivière situé entre l'embouchure et le pont Domenjod.

DEFINITION D'UN "ESPACE NATUREL REMARQUABLE DU LITTORAL A PRESERVER"

Selon l'article L. 146-6 du code de l'urbanisme, sont définis comme tel, les espaces terrestres et marins, sites et paysages remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel et culturel du littoral, et les milieux nécessaires au maintien des équilibres biologiques.

Un décret fixe la liste des espaces et milieux à préserver, comportant notamment, en fonction de l'intérêt écologique qu'ils présentent, les dunes et les landes côtières, les plages et lidos, les forêts et zones boisées côtières, les îlots inhabités, les parties

naturelles des estuaires, des rias ou abers et des caps, les marais, les vasières, les zones humides et milieux temporairement immergés ainsi que les zones de repos, de nidification et de gagnage de l'avifaune désignée par la directive européenne no 79-409 du 2 avril 1979 concernant la conservation des oiseaux sauvages et, dans les départements d'outre-mer, les récifs coralliens, les lagons et les mangroves. Toutefois, des aménagements légers peuvent y être implantés lorsqu'ils sont nécessaires à leur gestion, à leur mise en valeur notamment économique ou, le cas échéant, à leur ouverture au public. Un décret définit la nature et les modalités de réalisation de ces aménagements.

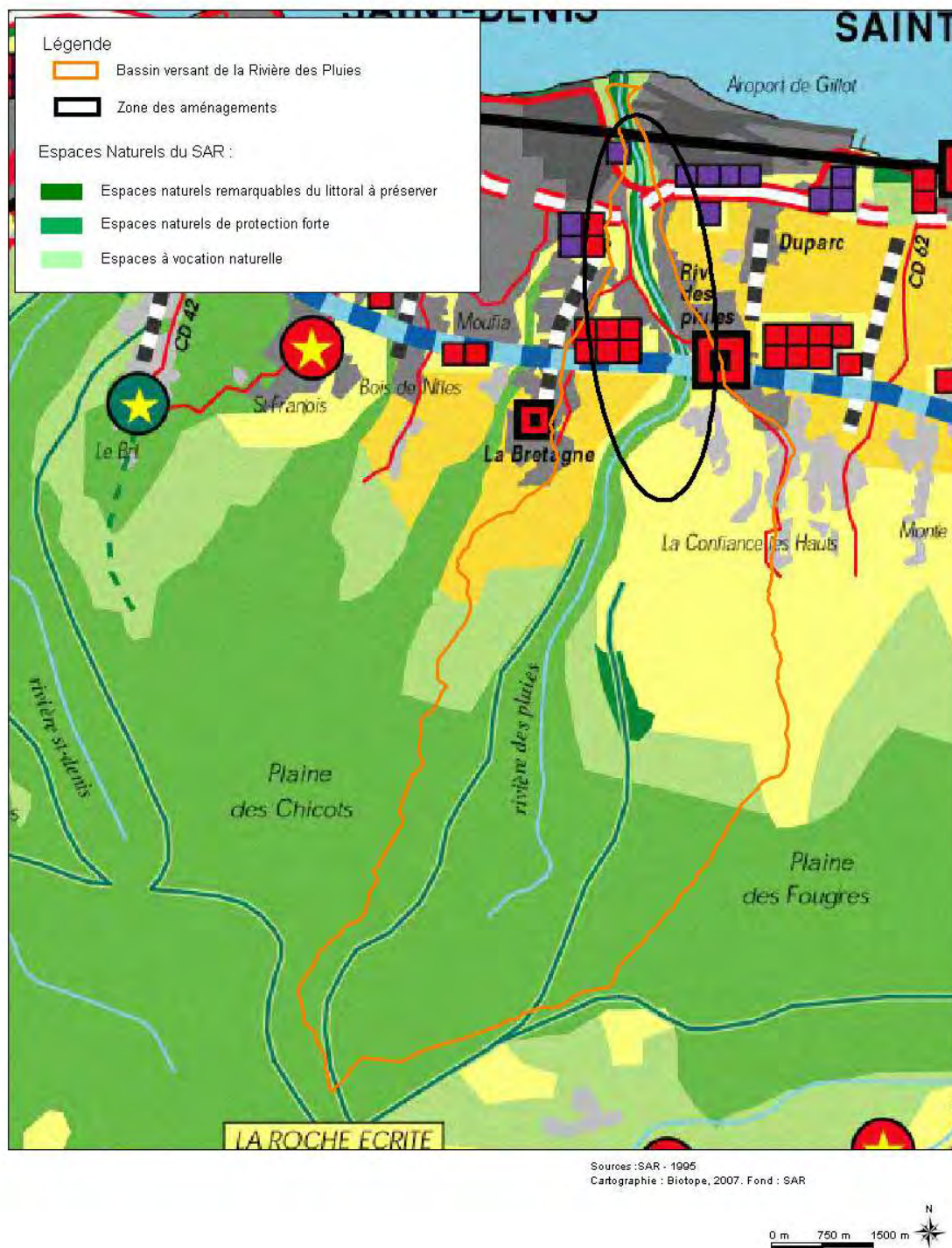
En outre, la réalisation de travaux ayant pour objet la conservation ou la protection de ces espaces et milieux peut être admise, après enquête publique.

L'article R*. 146-2.- (D. no 2004-310, 29 mars 2004, art. 2) : En application du deuxième alinéa de l'article L. 146-6, peuvent être implantés dans les espaces et milieux mentionnés à cet article, **après enquête publique dans les cas prévus par le décret no 85-453 du 23 avril 1985, les aménagements légers suivants**, à condition que leur localisation et leur aspect ne dénaturent pas le caractère des sites, ne compromettent pas leur qualité architecturale et paysagère et ne portent pas atteinte à la préservation des milieux :

- a. Lorsqu'ils sont nécessaires à la gestion ou à l'ouverture au public de ces espaces ou milieux, les cheminements piétonniers et cyclables et les sentiers équestres ni cimentés, ni bitumés, les objets mobiliers destinés à l'accueil ou à l'information du public, les postes d'observation de la faune ainsi que les équipements démontables liés à l'hygiène et à la sécurité tels que les sanitaires et les postes de secours lorsque leur localisation dans ces espaces est rendue indispensable par l'importance de la fréquentation du public ;
- b. Les aires de stationnement indispensables à la maîtrise de la fréquentation automobile et à la prévention de la dégradation de ces espaces par la résorption du stationnement irrégulier, sans qu'il en résulte un accroissement des capacités effectives de stationnement, à condition que ces aires ne soient ni cimentées ni bitumées et qu'aucune autre implantation ne soit possible ;
- c. La réfection des bâtiments existants et l'extension limitée des bâtiments et installations nécessaires à l'exercice d'activités économiques ;
- d. A l'exclusion de toute forme d'hébergement et à condition qu'ils soient en harmonie avec le site et les constructions existantes :
 - Les aménagements nécessaires à l'exercice des activités agricoles, pastorales et forestières ne créant pas plus de 50 mètres carrés de surface de plancher ;
 - Dans les zones de pêche, de cultures marines ou lacustres, de conchyliculture, de saliculture et d'élevage d'ovins de prés salés, les constructions et aménagements exigeant la proximité immédiate de l'eau liés aux activités traditionnellement implantées dans ces zones, à la condition que leur localisation soit rendue indispensable par des nécessités techniques.
- e. Les aménagements nécessaires à la gestion et à la remise en état d'éléments de patrimoine bâti reconnus par un classement au titre de la loi du 31 décembre 1913 ou localisés dans un site inscrit ou classé au titre des articles L. 341-1 et L. 341-2 du code de l'environnement ;

- f. Les aménagements mentionnés aux a, b et d du présent article doivent être conçus de manière à permettre un retour du site à l'état naturel.

Figure n°9 – SAR



4.5.1.2. SCOT DE LA CINOR

Le schéma de cohérence territoriale (SCOT) fixe les orientations fondamentales de l'aménagement du territoire. Après l'approbation du SCOT, les communes disposent d'un délai de trois ans pour réviser tous leurs documents d'urbanisme et sectoriels et se mettre ainsi en compatibilité avec le SCOT.

Le SCOT Nord n'est pas encore approuvé et validé (l'évaluation environnementale est en cours d'élaboration).

Le projet d'aménagement et de développement durable (PADD) fixe des politiques publiques d'urbanisme en matière d'habitat, de développement économique, de loisirs, de déplacements des personnes et des marchandises, de stationnement des véhicules et de régulation du trafic automobile. Le PADD du SCOT Nord est approuvé et validé.

Suivant les recommandations du SAR, le PADD range le tronçon de la rivière des Pluies entre l'embouchure et le pont Domenjod **comme un espace naturel à protéger strictement** (cf. encadré ci-dessous).

Extraits du PADD du SCOT Nord

Objectifs de l'orientation 3 « Assurer attractivité territoriale et exigence environnementale » :

- « Mettre en place une politique de gestion environnementale pérenne ;
- « Préserver et valoriser les sites, paysages et patrimoine ; Promouvoir l'identité créole ».

Le point 2.1 « Protéger l'intégrité des milieux naturels terrestres et littoraux exceptionnel » recommande de considérer les espaces naturels terrestres et maritimes remarquables comme des sites nécessitant une protection forte. Ainsi, « **par exemple, les espaces littoraux remarquables repérés au SAR feront l'objet d'une protection stricte** ».

Les espaces naturels moins remarquables « ont une grande importance et participent au réseau vert de la CINOR (connexions, flux, échanges) ».

Le point 2.2 « Assurer la continuité des corridors écologiques majeurs au-delà des ravines (coulée verte, réseaux de jardins et parc urbains) » **identifie les rivière pérennes à des corridors écologiques préservés et d'une grande sensibilité**.

« Ces espaces naturels se prolongeront au-delà des espaces de nature sauvage en espaces de respirations au cœur même du tissu construit par l'aménagement et la préservation des continuités végétales en milieu urbain ».

4.5.1.3. POS ET PLU

Le PLU et le POS s'imposent aux autorisations d'occuper et d'utiliser le sol, contrairement au SAR, tout en devant être compatibles avec ses prescriptions d'aménagement et d'urbanisme.

La limite communale entre Saint-Denis et Sainte-Marie passe dans l'axe de la Rivière des Pluies.

4.5.1.3.1. **PLU DE SAINT-DENIS**

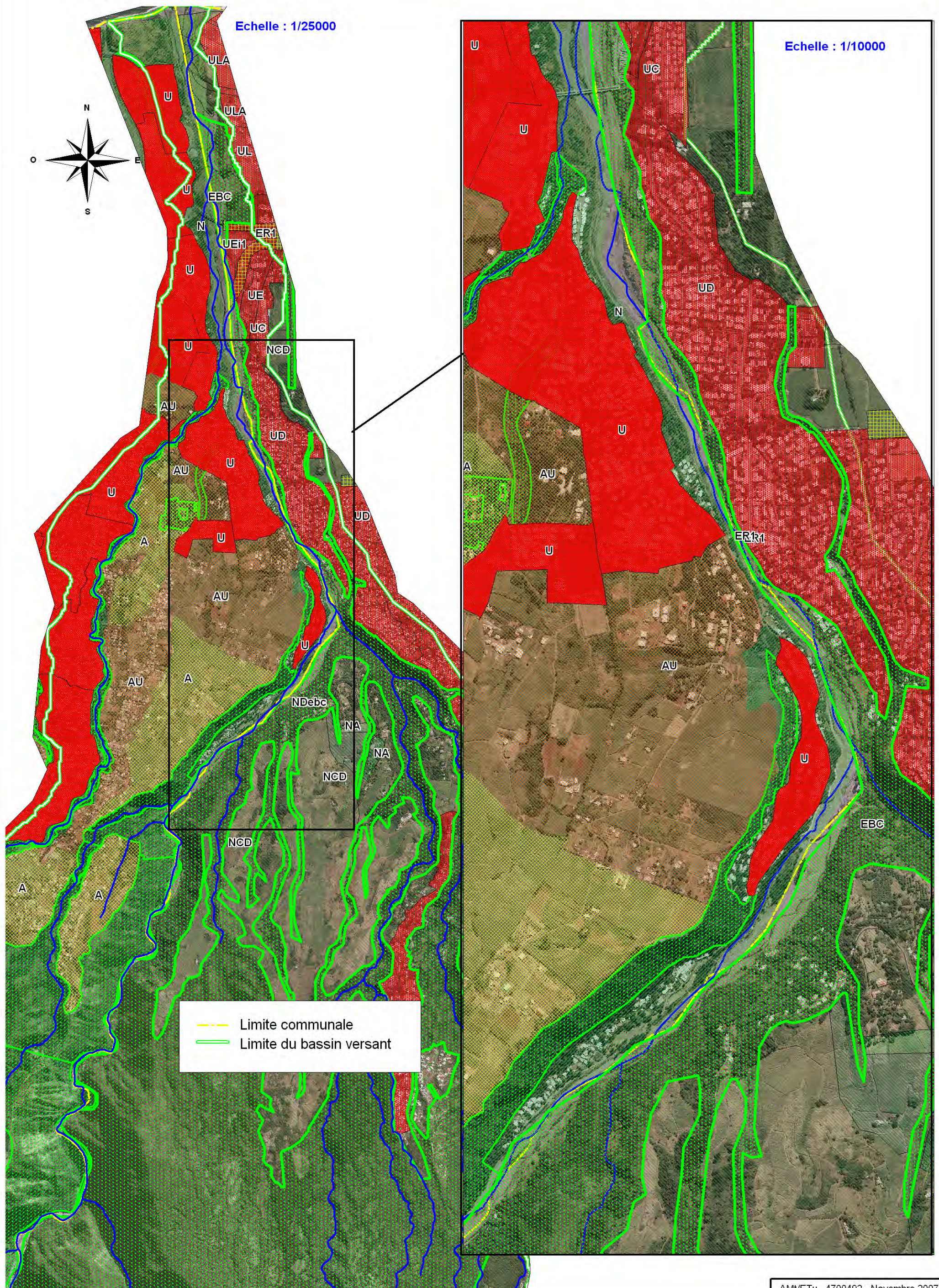
Le PLU de Saint-Denis a été approuvé le 17/12/2004. Les berges de la rivière des Pluies sont classées en zone N, d'intérêt écologique au titre du massif forestier, de la flore, de la faune et des paysages, et inconstructibles (article N.1). Une révision est en cours pour permettre la réalisation d'ouvrages d'intérêt public de protection contre les inondations.

4.5.1.3.2. **POS DE SAINTE-MARIE**

Le POS de Sainte-Marie est approuvé depuis décembre 1999.

Les berges de la rivière des Pluies en amont du pont Domenjod sont classées en NDebc soit en zone naturelle et en espace boisé classé : les défrichements y sont interdits, la coupe et l'abattage d'arbres soumis à autorisation. Toutefois les aménagements de protection contre les crues y sont autorisés.

Figure 10 - POS/PLU



4.5.2. LE PLAN DE PREVENTION DES RISQUES

RIVE GAUCHE (SAINT-DENIS)

La commune de Saint-Denis est dotée d'un Plan de Prévention des Risques inondations et mouvements de terrain.

La figure n° 11 présente la cartographie correspondante (rive gauche) approuvée par arrêté préfectoral du 14 décembre 2004. Celle –ci correspond aux zones inondables en crue centennale en considérant la résistance des berges.

La grille réglementaire multirisque correspondante est précisée dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°10 – GRILLE REGLEMENTAIRE MULTIRISQUE

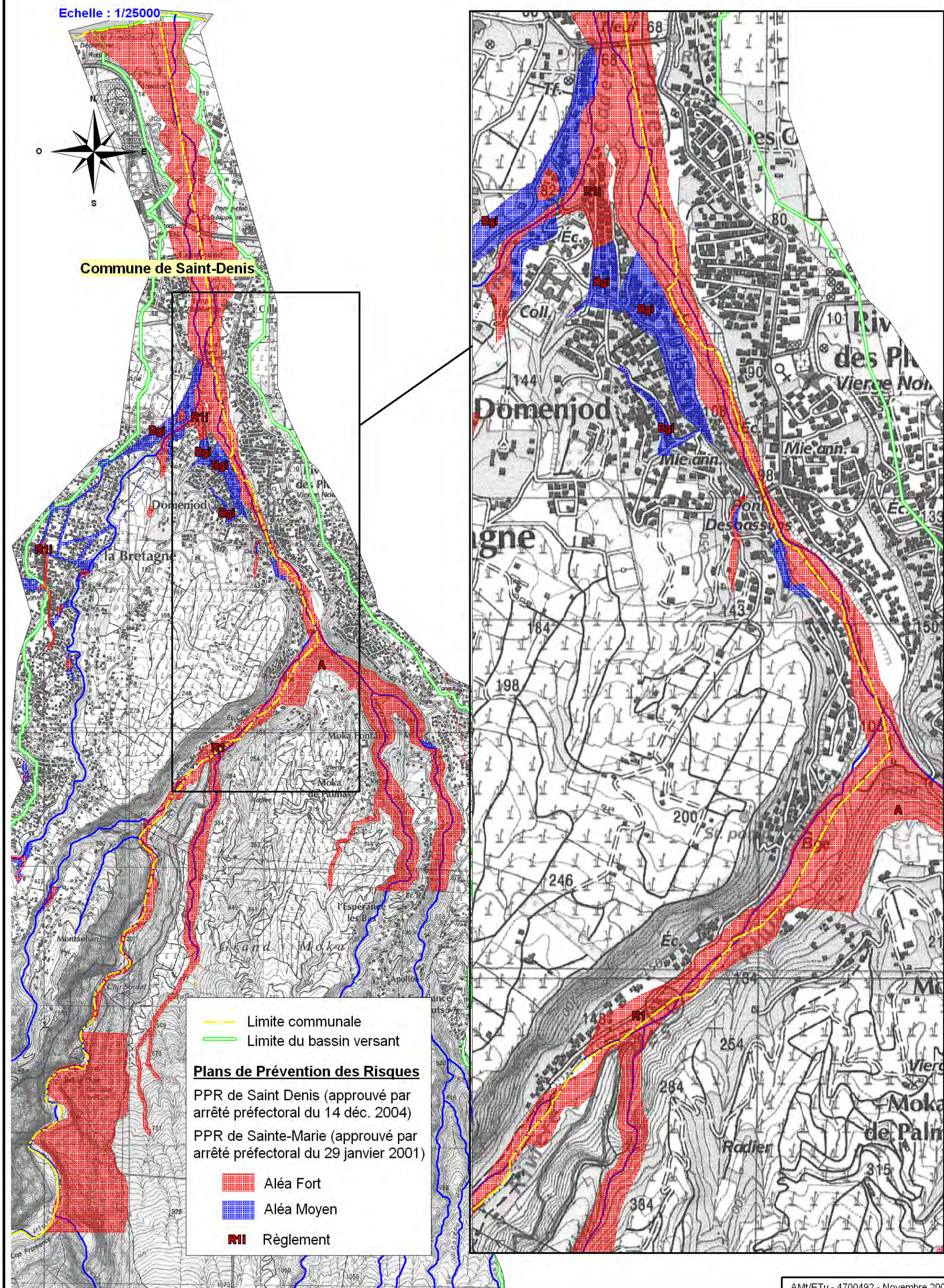
Aléa mouvement de terrain = géologique					
I	G				
	Nul ou pas de données	Faible à modéré	Moyen	Elevé à très élevé	
Aléa inondation = i	Faible ou pas de données		Bg	R2	R1
	Moyen	Bi	Bgi		R1
	Fort	R1i	R1i	R1i	R1 (et ponctuellement R1t)

RIVE DROITE (SAINTE-MARIE)

La commune de Sainte-Marie est dotée d'un Plan de Prévention des Risques Inondation.

La figure n° 11 présente la cartographie correspond ante (rive droite) approuvée par arrêté préfectoral du 29 janvier 2001. Celle-ci correspond aux zones inondables en crue centennale en tenant compte de l'aléa submersion uniquement. L'aléa mouvements de terrain (érosion) ne fait pas partie de ce PPR.

Figure 11 - Plan de Prévention des Risques



4.5.3. SERVITUDES TECHNIQUES ET PORTES A CONNAISSANCE

4.5.3.1. LES ZNIEFFS

(cf. figure n°12 – ZNIEFF du bassin versant)

Les ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique) sont des sites reconnus pour leur intérêt écologique, dont la localisation et la justification sont officiellement portées à la connaissance du public, afin qu'il en soit tenu compte dans tout projet pouvant porter atteinte aux espèces et aux milieux qu'ils abritent.

Il existe deux types de ZNIEFF :

- ↳ Les ZNIEFF de type I : zones de superficie limitée avec un intérêt biologique remarquable ;
- ↳ Les ZNIEFF de type II : grands ensembles naturels riches et peu modifiés ou qui offrent des potentialités biologiques importantes.

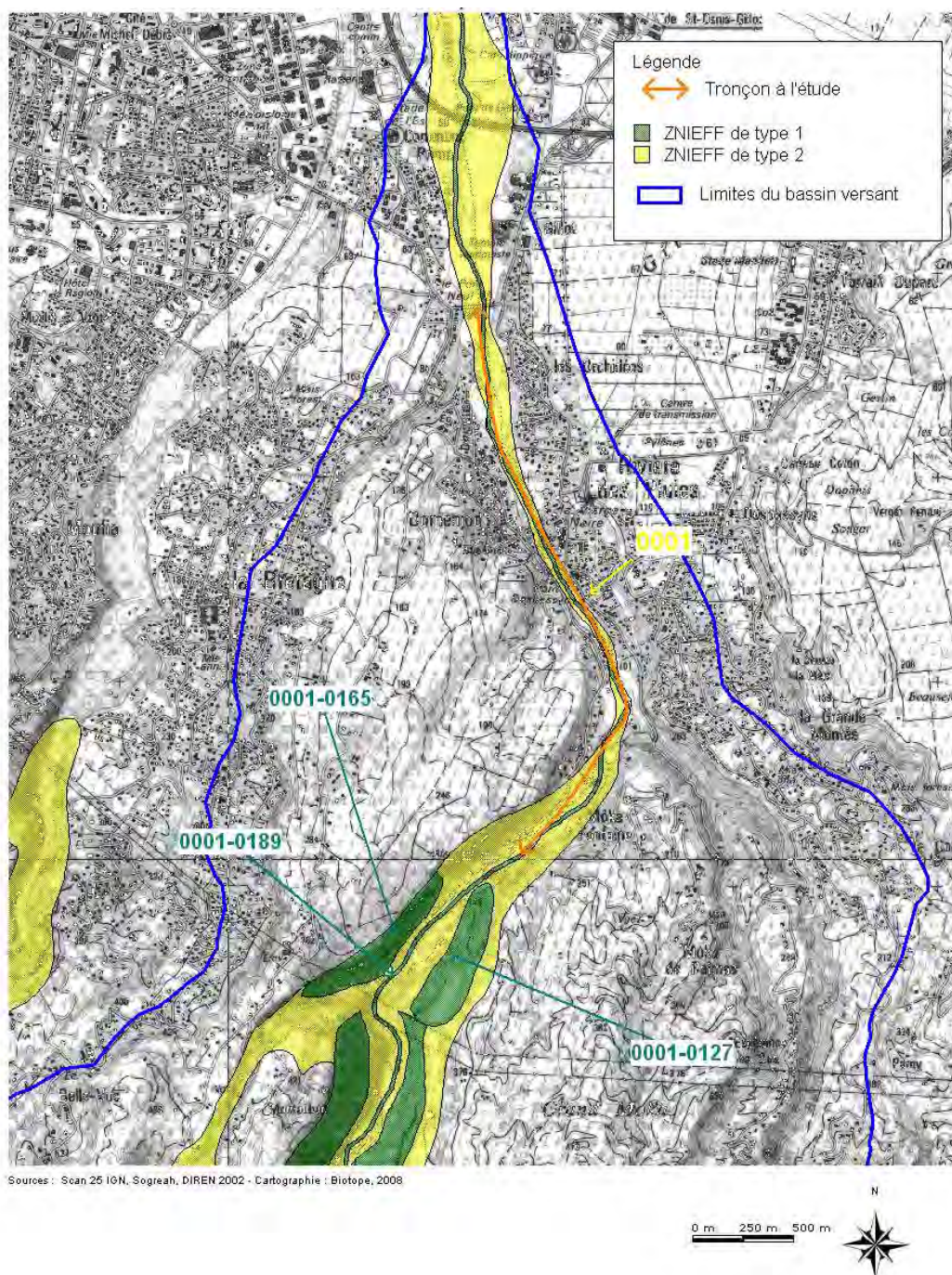
La zone d'étude particulière « recoupe » les périmètres des ZNIEFF suivantes :

- ↳ ZNIEFF de type I : Cours de la Rivière des Pluies N°0001-0189 ;
- ↳ ZNIEFF de type II : Hauts de la Réunion N°0001.

Les fiches de présentation de ces ZNIEFF sont annexées au présent rapport.

La ZNIEFF de type 1 "cours de la Rivière des Pluies" signale un milieu aquatique d'intérêt biologique remarquable (poissons et macro-crustacés).

Figure n°12 – ZNIEFF DU BASSIN VERSANT



4.5.3.2. MONUMENTS HISTORIQUES

Aucune contrainte réglementaire en relation avec les monuments historiques, sites et espaces protégés n'a été identifiée dans la zone d'étude particulière.

4.5.3.3. ARRETE MINISTERIEL DU 26 DECEMBRE 2006 RELATIF A L'IDENTIFICATION ET LA GESTION DU DPF DE L'ETAT A LA REUNION

La Rivière des Pluies est rattachée au Domaine Public Fluvial (DPF). La DDE (Direction départementale de l'Équipement) 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.

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. La cartographie correspondante n'existe pas pour la Rivière des Pluies.

4.5.3.4. SERVITUDES FORESTIERES (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.

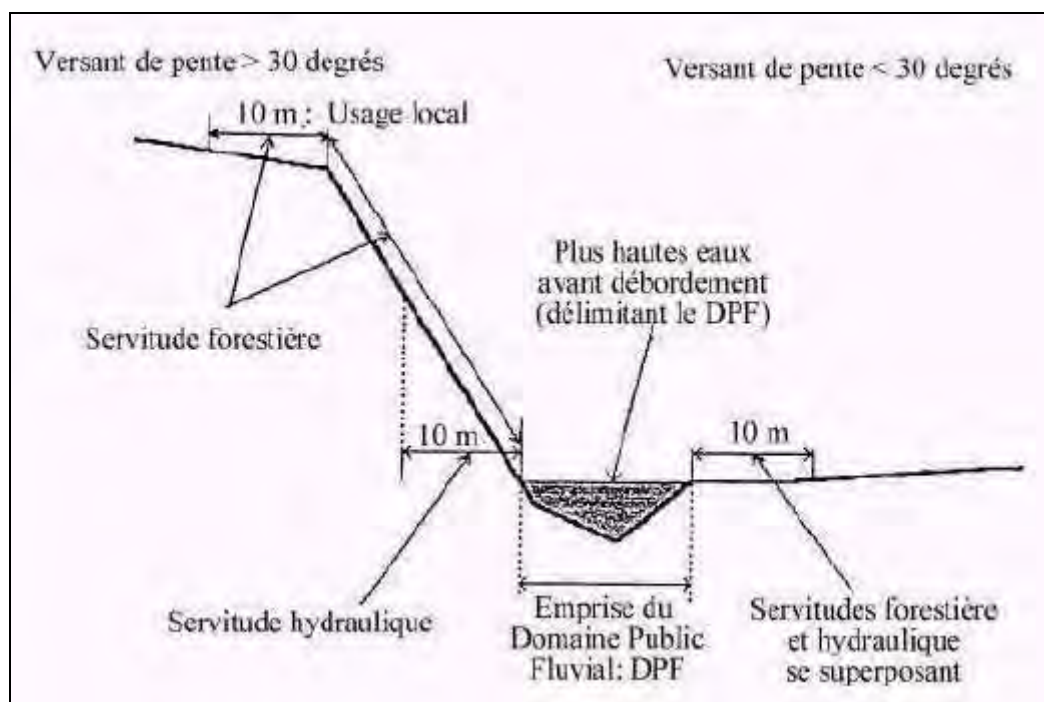
Il est d'usage à la Réunion d'appliquer cette servitude forestière sur une bande de 10 mètres à partir de la crête d'une ravine ou d'un versant de rivière dont la pente est supérieure ou égale à 30 grades. Cette servitude peut être réduite à 1 ou 3 mètres à la demande des riverains.

4.5.3.5. SERVITUDE HYDRAULIQUE

La servitude hydraulique ou servitude de passage, a été instituée par l'article 4 du décret n°48-633 du 31 mars 1948. Elle oblige les propriétés riveraines des dits fleuves et rivières à laisser libre une bande de 10 mètres de large, à compter de la limite domaniale, destinée au passage des services administratifs afin qu'ils puissent intervenir en vue du maintien du libre écoulement de l'eau. L'arrêté du 26 mars 1965 est venu compléter cette réglementation.

En effet, la distance de 10 mètres à laisser libre peut être, lorsque l'intérêt du service le permet, réduite par arrêté de Préfet sans toutefois être inférieure à un mètre.

Figure n°13 – SCHEMA TYPE DE POSITIONNEMENT DES SERVITUDES



VOLET II

–

HISTORIQUE ET EVOLUTION MORPHODYNAMIQUE RECENTE

5. HISTORIQUE DU SECTEUR D'ETUDE

L'historique de la Rivière des Pluies est capital pour comprendre les évolutions morphologiques qu'elle a subies ces dernières années.

Nous présentons ci-après les évènements principaux qui ont leur importance concernant :

- ↳ Les évènements naturels majeurs (cyclones, éboulement, etc.) ;
- ↳ Les aménagements et interventions dans le lit (urbanisation, franchissements, équipements, protections contre les crues, extractions, etc. ;
- ↳ Les études réalisées ces dernières années et qui ont permis de réelles avancées en termes de compréhension du fonctionnement du cours d'eau.

Quand cela a été possible, nous avons illustré cet historique de photos aériennes sur lesquelles ont été reportées les berges et les infrastructures (ponts) actuelles.

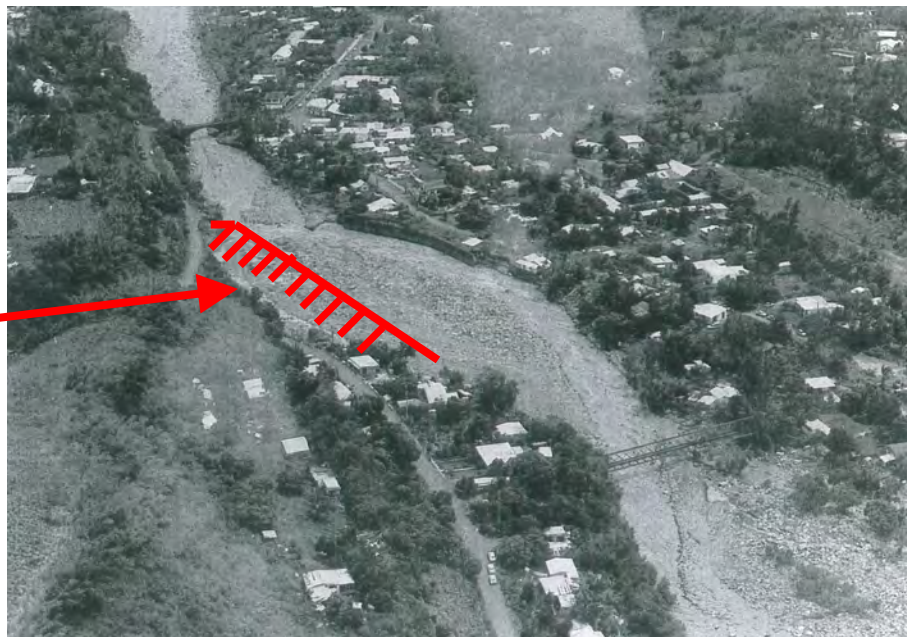
- ↳ 1848 Réalisation de canaux de captage de la rivière au niveau de l'actuel lotissement Sindrama.
- ↳ 1861 Construction du canal La Mare (initialement appelé canal Desbassyns).
- ↳ 1878-1881 Réalisation du Chemin de Fer Réunionnais (CFR) traversant la Rivière des Pluies au niveau de l'exutoire.
- ↳ 1900 Construction du Pont Desbassyns (ou Pont de Domenjod). La chaussée est élargie en 1990. Il marque, en quelque sorte, l'entrée du cône de déjection de la rivière. Il est construit au niveau d'un verrou rocheux.
- ↳ 1935 Construction du **Pont Neuf (pont métallique de la RN102)** en plusieurs étapes.
- ↳ 1948 Cyclone très fort (26 au 27 janvier), qui reste une référence dans la mémoire des Réunionnais. Le remblai d'accès (en rive droite très probablement) au Pont Neuf est emporté. Il est remplacé par une travée supplémentaire de 33 mètres, amenant la portée totale du pont à 190 mètres.
- ↳ 1951 Ouverture de la première station pluviométrique à proximité du bassin versant de la Rivière des Pluies (La Mare près de l'aérodrome de Gillot).
- ↳ 1961 Première étude hydrologique concernant la Rivière des Pluies (Le Gourrières, IRD-ORSTOM, réf. /1/).
- ↳ 1962 Cyclone « **Jenny** » (du 26 février au 1er mars). Pas d'estimations du débit. Dégâts dus au vent.
- ↳ 1963 Fermeture du Chemin de Fer Réunionnais sur le tronçon Saint-Benoît-Saint-Denis.

- ↪ 1964 Cyclone « **Gisèle** » (du 27 février au 1er mars). Le réseau routier est fortement endommagé au droit du village de la Rivière de Pluies.
- ↪ 1965-1966 Etude sur modèle réduit au 1/100 par SOGREAH de l'endiguement de la Rivière des Pluies visant à protéger la piste de l'aéroport de Gillot dont le prolongement est projeté dans le cône de déjection d'alluvions récentes. Le débit de crue de projet retenu est 1350 m³/s. Une solution de protection par dix épis (cinq sur chaque berge) est préconisée et retenue. Les épis en berge gauche seront réalisés dans les terrasses d'alluvions anciennes (cf. réf. /4/).
- ↪ 1966 Premières extractions massives pour l'allongement de l'aéroport.
- Cyclone « **Denise** » (du 03 au 11 janvier). Les infrastructures (route, téléphone, etc.) sont principalement touchées.
- ↪ 1967-1968 **Allongement de la piste de l'aéroport de Gillot** sur 750 mètres, se traduisant par une emprise de 25 hectares gagnée en rive droite sur le cône alluvial de la Rivière des Pluies. Les protections consistent en la **réalisation de neuf** épis, au lieu de dix étudiés (cinq en rive droite et quatre en rive gauche, le dernier épi aval en rive gauche n'est pas réalisé) et en **une digue le long de la piste**. Les épis sont terminés par des murs déflecteurs de 60 mètres de longueur et fondés à 12 mètres de profondeur et dont la hauteur décroît sur les 20 derniers mètres. Les talus des épis sont protégés par des gabions sur 25 mètres à partir des déflecteurs.
- ↪ 1970 Cyclone tropical « **Hermine** » (25 janvier). Pas d'estimations des débits.
- ↪ 1971 Construction du **radier de Gillot**, légèrement en aval de l'actuel Pont de la RN2 (cf. 1986-1988). Le radier est équipé de séries de buses de diamètre Ø1000 sur les deux bras vifs de la rivière pour le passage des petites crues sans perturbations de la circulation. Il s'avèrera avoir un fort impact sur le transport solide (accumulation de matériaux en amont) et sur les écoulements orientés de manière privilégiée vers la berge droite.
- ↪ 1977 Cyclone tropical « **Fifi** » (06 février). Le débit de pointe de crue est estimé à 625 m³/s (source : DAF/SOGREAH).
- ↪ 1978 Réalisation de 3 puits de captage de 10 à 15 m de profondeur environ sur une terrasse basse en rive droite en amont de la confluence avec la Ravine Bachelier. Ils sont aujourd'hui exploités par la CISE.
- Première étude de protection du village de Rivière des Pluies (cf. réf. /6/).
- Première restitutions photogrammétrique réalisée par l'IGN à l'échelle 1/5000 à partir de prise de vues aériennes.
- ↪ 1979 Prolongement du chemin Moka en rive droite depuis le futur épi Moka jusqu'au pont de la Ravine Bachelier.
- ↪ 1980 Cyclone tropical « **Hyacinthe** » (27 janvier). Il a fortement arrosé la Réunion sous la forme d'une tempête tropicale essentiellement (du 15

au 27 janvier). Le débit de crue de pointe est estimé à 650 m³/s (source DAF/SOGREAH) réestimé à 1 050 m³/s par la présente étude (cf. § 7.4). Le passage de cette tempête a généré de nombreux dégâts et des modifications du lit :

- Radier de Gillot en grande partie détruit ;
- Ouverture d'une brèche dans le remblai routier ;
- Sollicitation forte du premier épi en amont et en rive droite correspondant à l'épi n°6 du modèle physique de 1966 ;
- Accumulation importante de matériaux en amont du radier ;
- Erosion importante du chemin Moka en rive droite.

Remblais réalisés par
un privé (plateforme
Desbassyns actuelle)



*Photo n°36 – LA RIVIERE DES PLUIES EN AMONT
DU PONT DESBASSYNS APRES HYACINTHE (SOURCE : LCHF, 1981)*

Nouvelle étude de protection du village de Rivière des Pluies pour rechercher des solutions moins coûteuses qu'en 1978. Le principe de l'épi Moka et du perré de rive droite sont nés (cf. réf. /9/).

↪ 1981

Réalisation d'un **épi** (Epi Moka) plongeant en rive droite en aval de la confluence de la Rivière des Pluies avec la Ravine du Bachelier. Il fait partie d'une série d'aménagements destinés à protéger le village de la Rivière des Pluies le long de la rue et du chemin Moka (rive droite de la Rivière des Pluies). Il fait suite à une réflexion entamée dans la deuxième moitié des années 1970 et qui se poursuivra en 1982 (cf. réf. /10/ et /13/).

- Cyclone FLORINE (7 janvier). Dégâts limités, éboulement en aval de la confluence avec la Ravine Bachelier en rive droite.

- Réalisation de la première monographie de la Rivière des Pluies entre la Ravine Bachelier et la mer (LCHF/SOGREAH *réf. /11/*).

- ✉ 1982 Etude sur modèle réduit au 1/70 de la protection du village de la Rivière des Pluies, le débit de crue de projet est de 1000 m³/s. Plusieurs scénarios d'aménagements sont étudiés en prenant en compte les désordres en rive gauche (risque d'érosion de berge), accentués par la présence de l'épi Moka en rive droite (*cf. réf. /13/*).

- ✉ 1983 Etude sur modèle réduit au 1/85 d'un nouveau franchissement de la Rivière des Pluies par la RN2 (futur Pont de Gillot), le débit de crue de projet est de 1300 m³/s. (*cf. réf. /14/*).

- ✉ 1983-1984 Réalisation de la **protection longitudinale du village de la Rivière des Pluies**.

- ✉ 1985 Réalisation d'un forage de 140 m de profondeur à proximité des puits de captage de la Rivière des Pluies.

- ✉ 1986-1988 Construction du **Pont de Gillot**, nouveau franchissement de la Rivière des Pluies par la RN2. Il est long de 250 mètres et comporte quatre travées. Le radier de Gillot n'est pas détruit malgré les préconisations des études antérieures (*cf. réf. /12/, /14/, /17/, /18/, /22/, /24/*).

- ✉ 1987 Dépression tropicale « **Clotilda** » (13 février). Le débit de crue de pointe est estimé à 500 m³/s (source : DAF/SOGREAH). La piste de Gillot a été submergée, les protections et une partie du remblai d'extrémité ont été détruites. La berge droite a reculé sur le linéaire compris entre le Pont Neuf et les radiers de Gillot.
 - Octobre 1987 : Réparation de la digue de protection de la piste (*cf. réf. /22/*).
 - Elargissement du tablier du pont de Domenjod.
 - Installation d'un limnigraphe au pont de Domenjod (DDE). Il sera fermé en 1994.

- ✉ 1988 Travaux de protection de la culée en rive gauche du Pont de Gillot, construite à l'abri de l'épi n°1, en amont. Ils font suite aux dégâts générés sur le remblai de la route et du radier de Gillot lors du passage de Clotilda (*cf. 1987*), alors que la culée n'était pas encore réalisée.
 - 1^{ère} étude importante sur les extractions qui n'ont pas cessé depuis 1966 : le schéma d'extraction de la Rivière des Pluies (*cf. réf. /25/*).

- ✉ 1989 Cyclone tropical « **Firinga** » (29 janvier). Le débit de crue de pointe est estimé à 225 m³/s (source : DAF). Le Pont de la RN2 est mis en service.

Les extractions s'intensifient fortement (150 000 m³ en 1989, estimation DDE).

 - Première étude pour la réalisation du pont du Boulevard Sud (*cf. réf. /26/*).

- Etude relative au développement d'un lotissement artisanal en aval de la RN2 en rive gauche. Ce lotissement de la Jamaïque ne sera jamais réalisé (cf. réf. /27/).
- ✎ 1990 **Suppression définitive du radier de Gillot** (entamée fin 1989). Extraction de matériaux alluvionnaires interdite dans la Rivière des Pluies. Le Schéma Départemental des Carrières de la Réunion confirme pourtant en 2001 que les extractions y bénéficient de droits acquis.
 - Schéma technique de protection contre les crues. C'est l'occasion de la première modélisation numérique des écoulements (cf. réf. /30/).
- ✎ 1991 Début des travaux de la piste longue de l'aéroport.
- ✎ 1991-1995 **Extractions de matériaux alluvionnaires** extrêmement importantes dans le cadre des travaux de la piste longue de l'aéroport (source DDE) :
 - 1991 : 150 000 m³ extraits ;
 - 1992-1993 : 400 000 m³ extraits ;
 - 1994-1995 : 200 000 m³ extraits.
- ✎ 1993 Cyclone COLINA (13 au 21 janvier, pic le 19 janvier). Débit estimé à 300 m³/s.
 - Fortes pluies en février-mars. Débit estimé à 400 m³/s (réestimé à 350 m³/s dans la présente étude).
 - Cyclone CECILIA (13 au 21 décembre). Débit estimé proche de HYACINTHE (570 m³/s), dans la réf /51/. Ce débit est jugé douteux par la présente étude (incohérence avec la pluviométrie mesurée).
 - Construction du quartier de commune Prima en rive gauche en aval du pont de la RN102.
- ✎ 1994 Cyclone tropical « **Hollanda** » (11 février). Le débit de crue de pointe est estimé à 70 m³/s (source réf. /59/).
 - Fermeture et réhabilitation de la décharge d'ordures ménagères de la Jamaïque.
- ✎ 1995 Fermeture et engazonnement de l'ancienne gravière en amont de la décharge de la Jamaïque (site actuel du dépôt de déchets inertes, du site de brûlage de la CINOR et du site de Trial 4 x 4).
 - Fortes pluies (29-31 décembre), débit estimé à 390 m³/s dans la réf /51/. Ce débit est jugé douteux par la présente étude (incohérence avec la pluviométrie).
- ✎ 1997 Finalisation du **Plan de Prévention des Risques sur la commune de Saint-Denis**. Il sera remis à jour en 2004 (arrêté préfectoral du 14 décembre 2004).
 - Seconde restitution photogrammétrique d'importance réalisée par l'IGN (après celle de 1978).

- ↪ 1998 Fortes pluies (3 au 5 février avec pic le 4), débit estimé à 220 m³/s
- Fortes pluies de février (du 19 au 27 février). Le débit de crue de pointe est estimé à 600 m³/s au Pont Desbassyns (source : OLE).
 - Etude en vue de limiter le caractère érosif de la Rivière des Pluies et potentialités d'extraction (cf. réf. /34/).
- ↪ 1998 ? Finalisation du **Plan de Prévention des Risques sur la commune de Sainte-Marie**. Il sera remis à jour en 2001 (arrêté préfectoral du 29 janvier 2001).
- ↪ 1999 Début des travaux du projet d'Irrigation du Littoral Ouest (ILO).
- Création d'une piste de chantier dans la Rivière des Pluies au départ du Pont de Gillot en direction du chantier de percement de la galerie Salazie amont. La piste commence alors en amont du pont de la RN2 et présente une emprise jusqu'à la plate-forme d'attaque au niveau du Cap Frumence. Elle comporte 14 radiers busés qui traversent le lit.
- ↪ 2000-2001 Etudes sur modèle réduit de franchissement de la Rivière des Pluies par le Boulevard Sud (échelle : 1/80), le débit de crue de projet est 1300 m³/s. Le franchissement sera constitué de deux tabliers parallèles reposant chacun sur trois piles, en vue de supporter quatre voies routières, deux pistes cyclables et deux voies réservées au transport en commun en site propre. Son tracé en plan est courbe à l'approche de la berge droite (cf. réf. /51/).
- L'étude conclue notamment à la possibilité de réduire la portée du pont de 230 mètres à 185 mètres (c'est-à-dire de réduire la section hydraulique utile en ramenant la longueur utile de 185 mètres à 155 mètres), et à l'absence d'impact sur les risques d'érosion de la berge gauche.
 - Les études préconisent en outre de ne réaliser aucune extraction de matériaux.
- ↪ 2001 Cyclone tropical intense « **Ando** » (du 06 au 07 janvier). Estimation à 500 m³/s par la présente étude (pas d'estimation antérieure).
- ↪ 2002 Cyclone tropical « **Dina** » (du 22 au 23 janvier) et cyclone tropical « **Hary** » (12 mars). Le débit de crue de pointe lors de « Dina » est estimé à 330 m³/s par l'ORE, réestimé à 370 m³/s par la présente étude.
- Le 1er mars 2002, un barrage naturel se forme à la suite d'un **éboulement de 500 000 m³ en bordure est de la zone du Grand Eboulis** et donne naissance à un lac couvrant près d'un hectare et représentant 70 000 m³ d'eau environ (cf. réf. /54/).
 - Le 8 mars 2002, une brèche se forme dans la partie supérieure du barrage et libère brutalement une grande quantité d'eau qui dévale le lit de la rivière.

Les eaux tumultueuses et chargées en matériaux solides ont progressé à une vitesse estimée entre 25 et 30 km/h.

- ↪ 2002-2003 Levé terrestre important sur l'ensemble du linéaire de la Rivière des Pluies (GUID'OI).
- ↪ 2004 Fortes pluies de décembre (du 14 au 15, du 18 au 20 et du 25 au 29 décembre). Elles génèrent, le 15 décembre, une crue importante mais très brève de la rivière, estimée par la présente étude à 630 m³/s.
- ↪ 2005 **Fortes pluies de février** (du 15 au 19 février) et de mars (du 02 au 05 et du 17 au 25 mars) en partie liées à la forte tempête tropicale « Hennie », (maximale le 24 mars). Pas d'estimation des débits de crues.
- Début des travaux du pont du Boulevard Sud.
- ↪ 2006 Fortes pluies de février (du 17 au 18 février) et de mars (du 05 au 06 mars), liées pour les secondes au passage de la forte tempête tropicale « **Diwa** » (tempête tropicale modérée au plus près de la Réunion). Les débits sont estimés à 600 m³/s (ORE) pour février, et pour mars à 750 m³/s (ORE) ou 400 m³/s (SOGREAH). Ces crues ont été réestimées respectivement à 800 et 690 m³/s par la présente étude. Elles ont généré de fortes crues sur la Rivière des Pluies qui, sans provoquer d'inondations particulières, ont érodé les berges sur des linéaires importantes depuis l'Ilet Quinquina jusqu'à l'embouchure, dès le mois de février :
- Destruction de la route desservant Ilet Quinquina (recul de 5 à 8 m de la terrasse haute) ;
 - Forte érosion des deux berges entre l'amont du Pont Desbassyns et le Pont Neuf entraînant la destruction de plusieurs habitations en rive droite (au droit de la rue Lorion, recul effectif de la berge de 35 à 40 m) et la destruction partielle d'un parc d'autobus (Société Moutoussamy) en rive gauche (en amont de la confluence avec la Ravine Cadet). La berge a reculé d'une quinzaine de mètres. La RD45, desservant le village de la Rivière de Pluies, est fortement exposée sur son linéaire bordant la rivière en rive droite (en amont du Pont Neuf) ; un kiosque est détruit ;
 - Forte érosion de la berge droite sur la zone de stockage des voussoirs (prévus pour la réalisation des galeries de Salazie, cf. 1999) et du chantier du Boulevard Sud (entre le Pont Neuf et le Pont de la RN2) ;



Photo n°37 – EROSION DU DEPOT DE VOUSOIRS SUITE A DIWA (10 MARS 2006)

- Erosion de la berge gauche en aval du Pont de la RN2. Celle-ci progresse peu à peu comme il a été constaté auparavant et comme nous pouvions nous y attendre du fait de la réalisation des épis de protection de l'aéroport.

Travaux d'urgence dans le lit entre le pont Domenjod et le pont métallique de la RN102 (cf. réf. /72/). :

- Pose de perrés en enrochement libres et liés en différents endroits entre l'amont du pont métallique de la RN102 et l'amont de l'îlet Quinquina. Notamment :
 - ↳ 80 m en rive droite en amont du virage du RD45 (enrochements libres) ;
 - ↳ 300 m environ en rive droite au droit et en amont de la rue Lorion (village de Rivière des Pluies) en enrochements libres ;
 - ↳ 200 m environ en rive gauche en aval immédiat du pont de Domenjod (enrochements liés) ;
 - ↳ 320 m environ en rive gauche depuis la plate-forme Desbassyns jusqu'à l'amont de la passerelle canal la Mare (250 m en enrochements libres et 70 m en enrochements liés) ;
 - ↳ 325 m de confortement du pied du perré de protection en enrochements liés du lotissement Sindrama en rive gauche ;
 - ↳ 600 m environ en enrochements libres en rive gauche le long de l'îlet Quinquina.
- ↳ Curage par réalisation d'un chenal de 20 à 25 m de large et 1 m 50 à 3 m 50 de profondeur. Le linéaire curé est de 600 m environ entre 100 m en aval du pont de Domenjod et la rue Lorion (volume estimé à 35 000 m³ avec ces caractéristiques ;

- Restitution photogrammétrique importante sur toute la partie aval de la rivière (depuis l'amont de l'îlet Quinquina) par prises de vue aériennes de GUID'OI en juin.

↪ 2007

Modification du tracé de la piste ILO pour privilégier les passages sur les îlets. Celle-ci commence désormais en amont du pont de Domenjod par une nouvelle plate-forme d'accès créée sur une terrasse existante en rive gauche. La plate-forme Desbassyns. La nouvelle piste comporte 11 passages busés dans le lit de la Rivière (14 initialement). La plate-forme d'accès initiale (Bourbon) sert toujours de stockage.

Mise en place par la DDE d'un radar de mesure des vitesses et des hauteurs d'eau sur le pont de Domenjod (face amont).

Construction d'une piste de Trial 4 x 4 en remblais en amont du secteur de dépôt de déchets inertes (janvier).

Surcreusement des terrains pour réaliser une zone de brûlage des déchets de la CINOR en amont hydraulique du secteur de dépôt.

Début de stockage de déchets inertes en rive gauche de la Rivière des Pluies.

Cyclone GAMEDE (24 au 28 février), estimé à 360 m³/s par la présente étude (pas d'estimation antérieure).

Restitution photogrammétrique importante sur toute la partie amont de la rivière (depuis l'aval de l'îlet Quinquina). Les prises de vue aérienne sont faites par le cabinet AIGL en janvier.

6. CARACTERISATION DE L'EVOLUTION MORPHODYNAMIQUE RECENTE

L'évolution de la morphologie du lit depuis 1966 (date à laquelle on dispose d'un premier profil en long partiel) a porté sur l'analyse :

- ↳ De l'évolution en plan des berges (à partir des plans et photographies aériennes disponibles) ;
- ↳ De l'évolution des profils en long du fond extrême ;
- ↳ De l'évolution en plan des chenaux d'écoulement principaux.

6.1. PRINCIPES D'EVOLUTION MORPHODYNAMIQUE DES RIVIERES

Nous rappelons ci-après quelques principes de base concernant l'évolution morphologique en plan (retrait, avancée des berges, évolution des chenaux) et linéairement (variation des pentes et du profil en long). Ces principes nous permettront d'expliquer les variations observables.

Toute rivière tend vers un profil d'équilibre lui permettant d'assurer la continuité du transport des matériaux solides produits dans le bassin par érosion.

Les singularités topographiques (verrous, confluences) et géologiques d'un cours d'eau déterminent des tendances naturelles généralement observées pour le profil en long. Entre autres :

- ↳ Diminution de la pente en amont d'un verrou ;
- ↳ Augmentation de la pente en aval d'un verrou ;
- ↳ Diminution de la pente à la confluence avec un autre cours d'eau peu productif car la capacité de transport solide augmente.

Toutefois, mise à part ces singularités, les actions de l'homme peuvent influencer fortement sur les pentes et le profil en long :

- ↳ Un rétrécissement artificiel du lit (endiguement, culées resserrées d'un pont, remblais) provoque en général une incision du lit.

La rivière présente en effet une capacité de transport solide supérieure.

- ↳ Des extractions dans le lit provoquent des abaissements locaux du fond mais induisent également des abaissements en amont et en aval par érosion régressive (vers l'amont) ou progressive (vers l'aval).

6.2. EVOLUTION DU PROFIL EN LONG ET DES BERGES (1966-2007)

La figure n° 14 ci-après récapitule les pentes des différents tronçons de la Rivière des Pluies pour les dates à laquelle des levés sont disponibles.

Par ailleurs, les évènements naturels majeurs (cyclones ou éboulements) sont indiqués chronologiquement par rapport aux levés topographiques disponibles. Ils sont mentionnés en orange.

Pour chaque donnée de pente, on a également indiqué :

- ↪ En vert, une incision du profil par rapport au profil précédent sur le même secteur ;
- ↪ En rouge, un engraissement du lit par rapport au profil précédent ;
- ↪ En jaune, une absence d'évolution notable par rapport au levé précédent (ou lorsqu'il s'agit du premier levé disponible) ;
- ↪ En blanc, lorsque la tendance n'était pas claire : zones d'incisions et d'atterrissements juxtaposées.

Figure N°14 - EVOLUTION DES PENTES DU FOND EXTREME DU LIT DE LA RIVIERE DES PLUIES (1966 - 2007)

[illegible]

*R : Restitution photogrammétrique à partir de prises de vue aériennes, PT : profils en travers
 ** Valeur à considérer avec précaution (faible densité de points)

Evenement naturel majeur :

DINA (330 m3/s)	Nom et caractéristiques principales de l'événement
-----------------	--

Singularités topographiques :

Verrou Montauban	Verrou ou rétrécissement du lit
Ravine Montauban	Confluence de ravine

Evolution du lit par rapport au levé précédent :

vert	Incision, abaissement du lit par rapport au levé précédent
jaune	Pas de changement notable par rapport au levé précédent
rose	engraissement du lit, atterrissements par rapport au levé précédent
blanc	Pas de tendance claire - remaniements? - incision puis dépôt

Les paragraphes suivants décrivent l'évolution du lit et des berges par période de 10 ans environ.

6.2.1. AVANT 1966 : UNE RIVIERE A FORT TRANSPORT SOLIDE DANS SON ETAT NATUREL

Avant l'endiguement de l'exutoire de la Rivière des Pluies pour la réalisation de l'aéroport (1966), la rivière présentait les caractéristiques suivantes :

- ↪ Une morphologie en 3 tronçons homogènes : un cirque d'effondrement amont, des gorges étroites de 8 km environ, un cône de déjection à l'aval de la confluence avec la Ravine Bachelier s'étendant sur 4,8 km environ jusqu'à son exutoire ;
- ↪ La rivière divaguait fortement à la sortie des gorges en aval du pont de Domenjod, créant un cône de déjection vaste, commun à la Ravine Chaudron alors appelée Ravine Premier Bras. Le lit d'alluvions récentes qui représentait le cours naturel des divagations des lits de la Rivière des Pluies en crue était assez large, 400 m au droit du futur pont de Gillot – RN2 et plus de 1 km à l'estran. La largeur du cône en bordure était de 1 km 500 en incluant le cône de la Ravine Chaudron ;
- ↪ En aval de l'actuel pont de la RN2, la limite de la rive droite était relativement bien marquée par la présence proche des alluvions anciennes qui formaient l'essentiel de la bordure du lit actif. En rive gauche par contre, les matériaux alluvionnaires anciens bien que cimentés étaient traversés par un bras important qui prenait naissance à l'aval du pont métallique de la RN102 pour rejoindre le débouché en mer de la Ravine Chaudron. Le tracé de cet ancien bras est emprunté actuellement par la RN2 entre l'ancienne décharge de la Jamaïque et le Stade de l'Est.
- ↪ Les seuls aménagements alors en place étaient (*cf. photo n°38 et photo n°39*) :
 - Le Chemin de Fer Réunionnais (PK 2340) qui traversait le cône de déjection en ayant peu d'influence a priori sur les écoulements. Il sera fermé en 1963. Il comportait 12 ponts importants sur ce tronçon. On pouvait estimer à 230 m le débouché total offert par l'ensemble des ouvertures sous le remblai de la voie ferrée (*cf. réf. 27*) ;
 - Le pont métallique de la RN102 (construit en 1935) au PK 0. Celui-ci ne présente pas de culée mais 3 piles dans le lit ayant a priori peu d'influence sur les écoulements. En revanche, le pont marque le début du cône de déjection de l'époque (alluvions fluviales récentes constituant la géologie des terrains). Il occupe alors une superficie de 2,1 km² environ en aval du pont. Cette vaste zone sur laquelle le lit peut divaguer est extrêmement peu habitée. La piste de l'aérodrome du futur aéroport de Gillot marque la limite de la berge rive droite au niveau de l'exutoire ;
 - Le pont de Domenjod implanté sur un verrou naturel formé de coulées de débris. Il accentue encore l'étroitesse du lit du fait de la pile qu'il comporte en rive droite et des culées implantées dans le lit moyen ;
 - Les terrasses situées en amont du pont métallique sont en revanche déjà habitées (Domenjod en rive gauche et Rivière des Pluies en rive droite) ;
 - Les terrasses situées en amont du pont de Domenjod sont très peu habitées (Sindrama, Quinquina, îlet la Pluie les bas). Elles permettent à la rivière de divaguer par érosion des berges des terrasses ;
 - Aucune protection lourde contre les crues n'est alors en place.

Photo n°38 – PARTIE AVAL DE LA RIVIERE DES PLUIES (IGN, 1961)



Photo n°39 – PARTIE AMONT DE LA RIVIERE DES PLUIES (IGN, 1961)



6.2.2. 1966-1978 : L'ENDIGUEMENT DE L'EXUTOIRE

(cf. figure n°15).

Les évènements majeurs de cette période en termes d'aménagement sont :

- ✚ L'endiguement de la partie aval de l'exutoire (PK 900 à PK 2 500) par la réalisation de 9 épis à murs déflecteurs et d'une digue de protection de la piste de l'aéroport. Les épis contraignent la rivière sur une largeur de 180 m environ (espace entre les murs déflecteurs). Le système de défense est symétrique en amont (4 rangées de 2 épis qui se font face) puis dissymétrique à l'aval (1 seul épi en rive droite, épi n° 10). Il barre le tracé du lit qui rejoignait la Ravine Chaudron. Il est enfin destiné à contenir le recul de la terrasse ancienne de rive gauche, sollicitée par les coups de butoir des crues cycloniques successives. L'endiguement va modifier de façon irréversible la morphologie de la rivière à l'exutoire ;
- ✚ Le remblaiement consécutif de la partie rive droite du cône de déjection. La zone de divagation potentielle sur le cône de déjection à l'aval du pont métallique de la RN102 n'est plus que de 0,6 km² environ (contre 2,1 km² auparavant) ;
- ✚ La réalisation du radier de Gillot en 1971 (PK 960 qui crée un seuil artificiel en travers du lit. Ce radier construit après le passage du cyclone HERMINE (1970) traverse le lit actif de la rivière par des passages en radiers busés submersibles pour les fortes crues. L'orientation des radiers est biaisée par rapport à la direction générale du lit.

L'analyse de l'évolution morphodynamique se base sur les photos aériennes de l'IGN de 1966, 1973 et 1978 et sur les levés effectués en 1966 (étiage à l'aval du pont de la RN102, 1977 (profils en travers entre le pont métallique de la RN102 et la Ravine Bachelier), 1978 (restitution par prise de vue aérienne de l'IGN appelée communément scan 5 000 de l'IGN).

La figure n°14 et la figure n°15 permettent de faire les observations suivantes depuis la Ravine Bachelier jusqu'à l'exutoire :

- ✚ En aval du radier de Gillot, on note un basculement de la pente qui diminue (de 2,6 à 2,2 %). Elle est très probablement la conséquence attendue de l'endiguement aval de l'exutoire. En conséquence on observe un engraissement à l'exutoire (PK 2 500 à PK 1 800 et une incision au droit des 4 premières rangées d'épis qui se poursuit en amont du radier (sur au moins 200 à 300 m) ;
- ✚ Plus en amont, le lit semble avoir beaucoup moins évolué (constance en aval et en amont du pont de la RN102). On peut supposer, même si le fond de 1978 n'est pas un fond extrême, que le lit a peu bougé jusqu'à la confluence avec la Ravine Bachelier ;
- ✚ En amont immédiat du radier de Gillot, on ne note pas sur les profils en long d'engravement particulier du lit.

Toutefois, les études réalisées sur cette période mentionnent des atterrissements conséquents constatés sur le terrain en amont du radier de Gillot. Ces atterrissements indiquent une rétention de matériaux qui devraient participer à l'équilibre du profil à l'aval du radier. Ils participent au basculement et à l'incision du lit constaté en aval du radier.

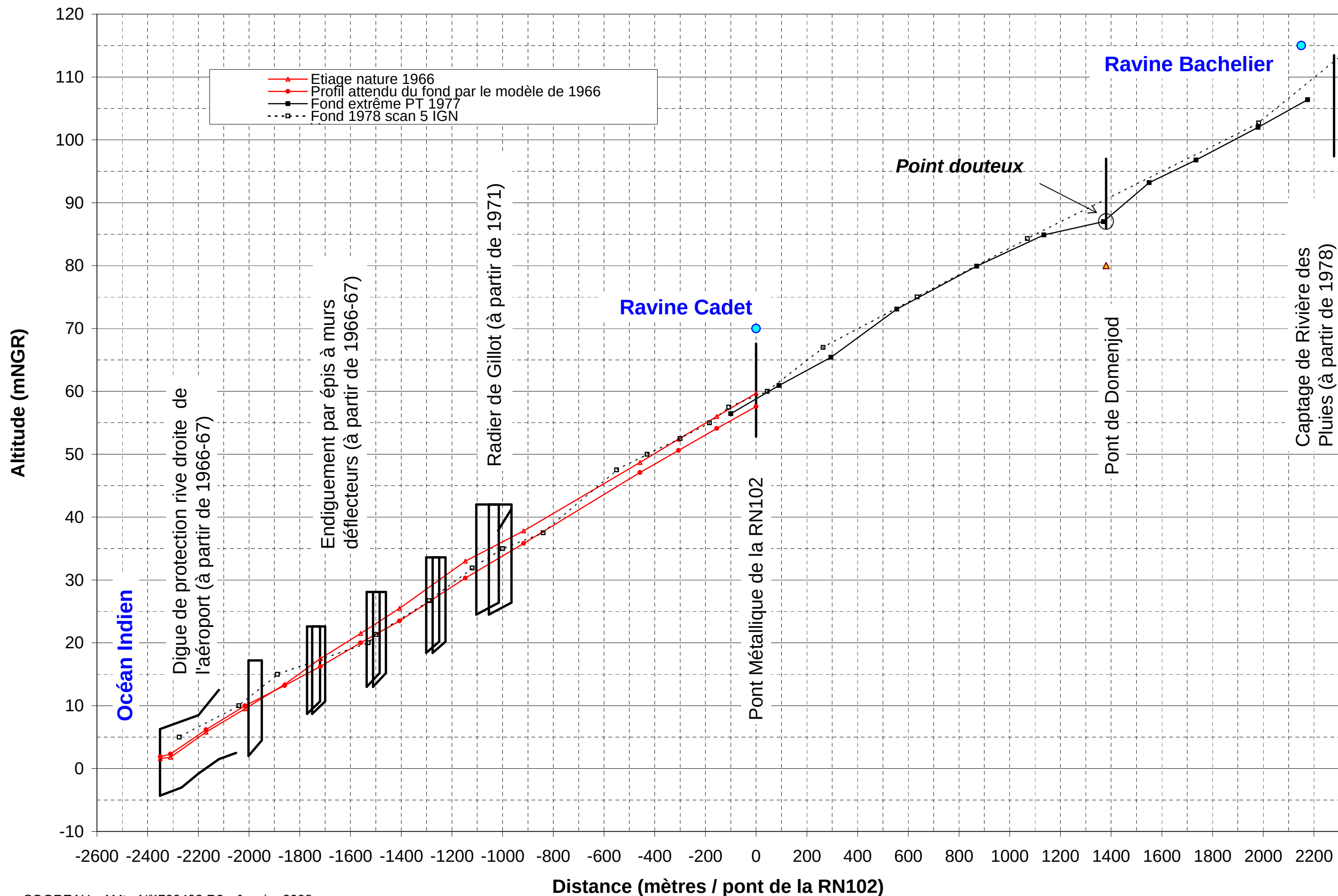
Dans le même temps, les berges évoluent peu en amont du pont de la RN2. En aval du radier de Gillot, si l'on considère le nouveau chenal de 180 m de large créé par

l'endiguement, on note une sollicitation légère de la berge de rive gauche du fait des protections existantes en rive droite.

Cette sollicitation est limitée du fait des chenaux principaux qui se maintiennent en rive droite sur ce secteur, durant toute la période. Les écoulements passent au pied des épis de rive droite (6, 7, 8, 9 et 10) et surtout du fait de l'orientation biaisée du radier de Gillot par rapport à la direction générale du lit.

Le radier favorise nettement les écoulements vers la rive droite dès l'amont du système de protection par épis. Le système de défense de rive gauche se trouve ainsi toujours très en recul du lit vif malgré le passage de crues cycloniques importantes.

Figure N°15 : Evolution du profil en long du fond du lit de la Rivière des Pluies
1966-1978



6.2.3. 1978-1989 : LES PREMIERES EXTRACTIONS, DES CYCLONES MARQUANTS ET LA POURSUITE DES PROTECTIONS

Cette période marque le début d'une urbanisation croissante du secteur aval de la Rivière des Pluies (aval de la confluence avec la Ravine Montauban). En parallèle, les cyclones HYACINTHE (1980, estimé à 650 m³/s et remarquable par sa durée), CLOTILDA (1987, estimé à 500 m³/s) et FIRINGA (1989, estimé à 220 m³/s) touchent fortement la zone faisant des dégâts proportionnels au développement d'enjeux sur les berges du lit.

Les aménagements susceptibles d'avoir une incidence pendant cette période sont les suivants :

- ↳ La réalisation du pont de la RN2 (1986-1988) qui vient s'ajouter au franchissement des radiers de Gillot encore en place. Il comporte trois piles dans le lit actif ;
- ↳ L'endiguement rive droite de Rivière des Pluies constitué par un perré en enrochements liés de 500 m de long environ (1983-1984) et un épi en enrochements liés, l'épi Moka (1981) ;
- ↳ Les premières extractions qui se font :
 - D'une part, en aval du pont de Domenjod sur un linéaire de 600 m environ par l'entreprise NAYARAMIN implantée sur la terrasse du captage de Rivière des Pluies (amont confluence Ravine Bachelier). Ces extractions sont diffuses (PK 780 à PK 1 380 environ), volume non connu ;
 - D'autre part, à l'exutoire en rive gauche (PK -1 800 à -2 400 environ) sur environ 10 ha (0,1 km²) exploités par la SCPR (potentiel de 280 000 m³/an spécifié dans le schéma d'extraction de la Rivière des Pluies) ;
 - Des extractions d'urgence suite à CLOTILDA pour la réfection de la berge rive droite comprise entre le pont de la RN102 et le radier de Gillot. Extractions faites a priori en aval immédiat du pont métallique en 1987 ;
 - Et enfin des curages d'entretien réalisés à l'aval du pont de Domenjod (PK 840 à 1 380) et mentionnés dans le schéma d'extraction de la Rivière des Pluies ;
 - Les extractions déclarées à la DDE pendant cette période s'élèvent à 256 217 m³ (1979-1986) à raison de 20 000 à 60 000 m³/an auxquels s'ajoutent 150 000 m³ (1989) estimés par la DDE, soit 306 217 m³.

L'analyse de l'évolution morphodynamique de cette période se base sur les levés topographiques réalisés en 1978 (restitution de l'IGN), 1980 (profils en travers levés après HYACINTHE), 1989 (profils en travers levés sur différents tronçons dans le courant de l'année) ainsi que sur les photos aérienne de l'IGN de 1978, 1984 et 1989.

La figure n°16 ci-après présente les profils en long correspondants.

On constate :

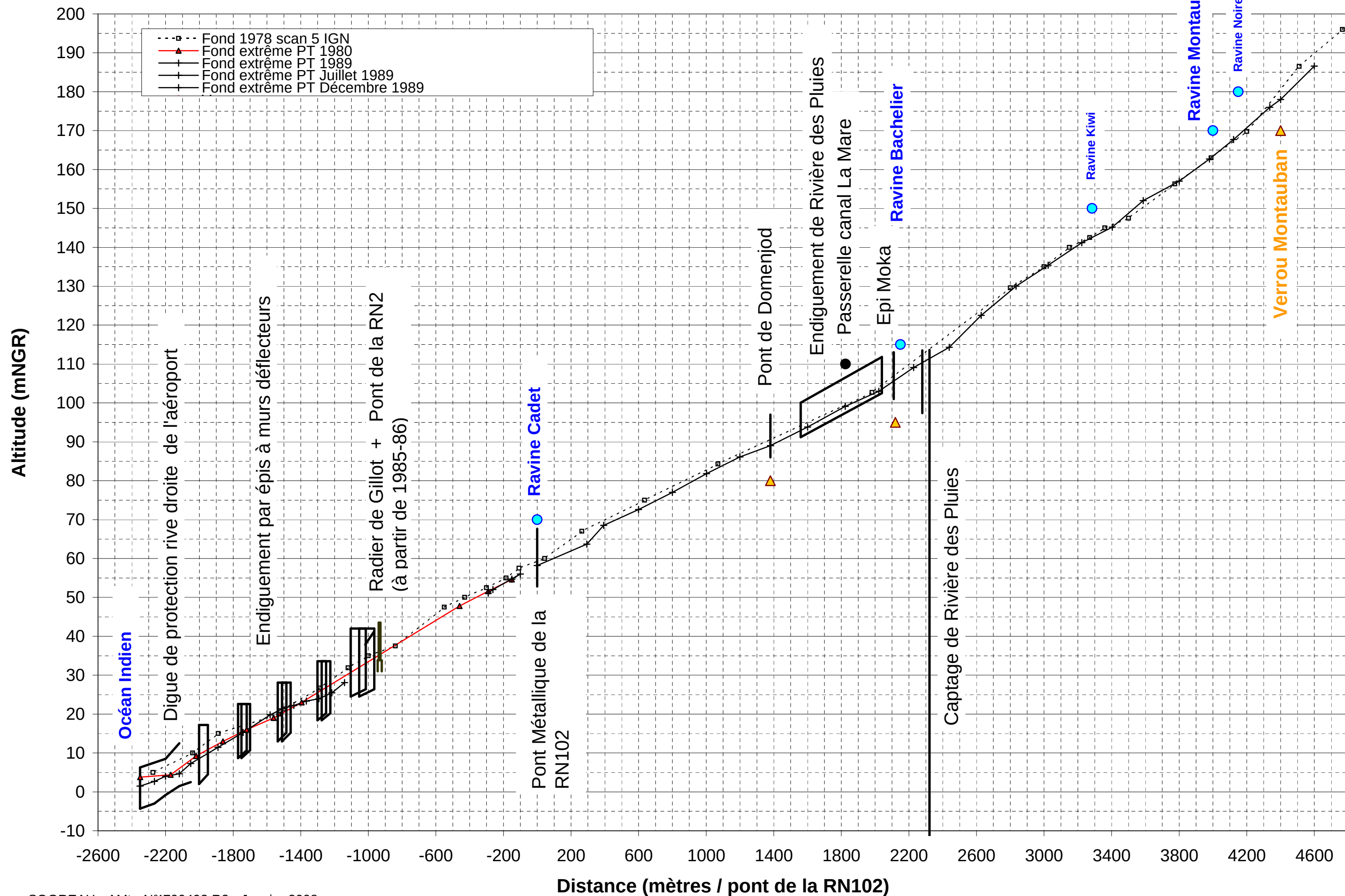
- ↳ Un abaissement généralisé du lit depuis l'exutoire jusqu'à la Ravine Bachelier dès 1980. Les pentes augmentent sensiblement sur l'ensemble des tronçons et particulièrement en aval du pont métallique de la RN102 (cf. figure n°14 page 94) ;

- ⇒ L'incision est particulièrement forte à l'exutoire (lieu des extractions les plus importantes) pouvant atteindre 3 m. Cette incision est la conséquence des extractions d'une part mais également du radier de Gillot qui continue à retenir une part très importante des matériaux transportés en crue, malgré le passage de fortes crues cycloniques (CLOTILDA, HYACINTHE) et malgré la rupture partielle de ce radier au cours de ces crues (cf. archives 295).

Cet atterrissement est évalué à 200 000 m³ environ entre 1971 et 1982. Il a été constaté sur le terrain à l'époque et par le modèle réduit de 1982 (cf. réf. 13). Il correspondait selon diverses approches (cf. réf. 11 et 12) à l'équivalent :

- De l'apport d'une crue cyclone centennale ;
 - De l'apport du cyclone HYACINTHE (245 000 m³) exceptionnel par sa durée ;
 - De l'ordre de 10 fois l'apport médian (20 000 m³) ;
- ⇒ L'incision est également sensible au droit de l'endiguement de Rivière des Pluies et ce jusqu'en amont de la Ravine Bachelier (augmentation de la pente de 2,17 % à 2,33 %, cf. figure n° 14 page 94). C'est sur ce secteur, l'endiguement et les extractions qui en sont probablement responsables ;
- ⇒ Entre la Ravine Bachelier et le verrou Mautaubon, le fond est relativement constant.

Figure N°16 : Evolution du profil en long du fond du lit de la Rivière des Pluies
1978-1989



6.2.4. 1989-1998 : LES EXTRACTIONS MASSIVES A L'EXUTOIRE

Cette période ne présente pas d'aménagement particulier dans le lit. Toutefois deux évènements vont avoir une incidence forte sur le profil en long du lit :

- ✦ La suppression définitive des radiers de Gillot (1990) ;
- ✦ La réalisation de la piste longue de l'aéroport qui vient s'ajouter à la piste existante. Cette nouvelle piste n'a aucune emprise dans le lit mais elle nécessite des volumes de remblais extrêmement importants qui vont être extraits en très grande partie du lit actif de la Rivière des Pluies au niveau de l'exutoire. Les travaux sont réalisés en 1991.

Les volumes extraits et déclarés à la DDE s'élèvent à 900 000 m³ entre 1989 et 1995. Ils sont concassés grâce à la gravière implantée en rive gauche de la Rivière des Pluies au niveau de l'exutoire (PK 2 100 environ). A partir de 1996, les extractions sont effectivement arrêtées.

A ces extractions viennent s'ajouter des curages d'entretien effectués par la SCPR et autorisés par la DDE entre 300 m en amont du pont métallique de la RN102 et 100 m en aval du pont de Domenjod. Les autorisations correspondantes sont de 43 000 à 55 000 m³/an.

En parallèle, plusieurs projets d'urbanisation sont à l'étude :

- ✦ Le lotissement artisanal de la Jamaïque en rive gauche en aval du pont de la RN2. Le lotissement ne sera jamais réalisé ni la protection correspondante, (*cf. réf. 36*) ;
- ✦ Le quartier de Commune Prima (1993) en amont rive gauche du pont métallique de la RN102. La protection préconisée ne sera jamais réalisée malgré la réalisation du quartier (*cf. réf. 33*).

Les cyclones qui touchent le secteur pendant cette période (mis à part FIRINGA en février 89) ne causent pas de dégâts notables comme cela avait été le cas lors de la décennie précédente et ne sont pas de la même ampleur :

- ✦ COLINA (1993, estimé à 300 m³/s) ;
- ✦ Fortes pluies de février-mars 1993 (400 m³/s) ;
- ✦ HOLLANDA (1994, estimé à 70 m³/s) ;
- ✦ Fortes pluies de décembre 1995 (estimés à 390 m³/s) ;
- ✦ Fortes pluies de février 1998 (estimées à 220 m³/s du 3 au 5 février et à 600 m³/s du 18 au 27 février).

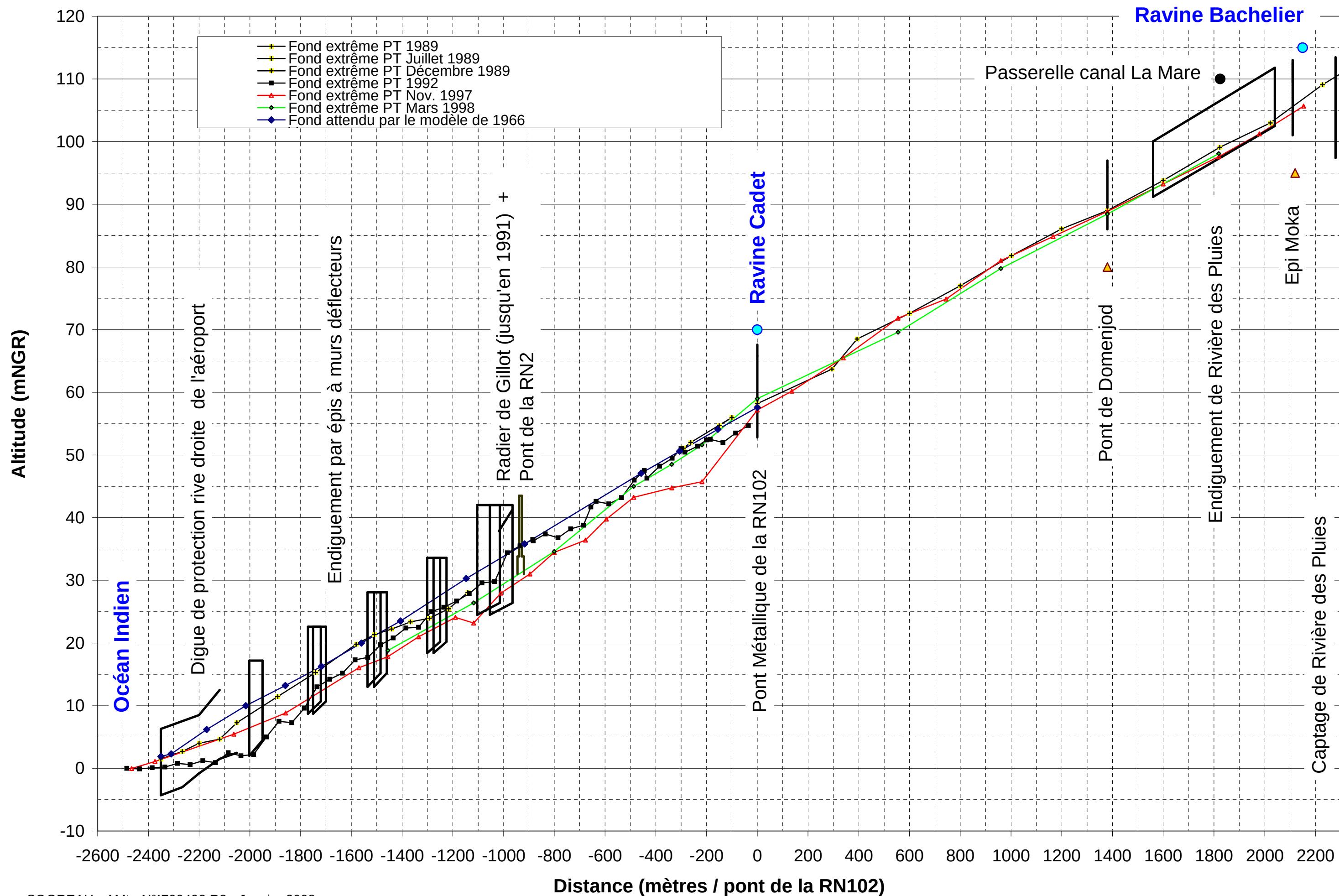
L'analyse de l'évolution morphologique sur cette période a été faite à partir :

- ✦ Des photographies aériennes de l'IGN disponibles (1989, 1997) ;
- ✦ Et des levés topographiques de 1989 (profils en travers sur divers tronçons au court de l'année), 1992 (profils en travers en aval du pont de la RN102), novembre 1997 (profils en travers levés depuis la Ravine Bachelier jusqu'à l'exutoire), mars 1998 (profils en

travers levés depuis l'amont de l'îlet Quinquina jusqu'à 500 m environ en aval du pont de la RN2.

La figure n°17 ci-après présente les profils en long correspondants.

Figure N°17 : Evolution du profil en long du fond du lit de la Rivière des Pluies
1989-1998



On note entre 1989 (post FIRINGA) et 1992 :

- ↪ Une incision très importante qui se poursuit en aval du radier de Gillot du fait de celui-ci et des extractions réalisées en aval de celui-ci. L'incision peut atteindre 4 à 5 m localement. Le profil est fortement modifié sur ce secteur ;
- ↪ En amont du radier de Gillot, l'atterrissement est encore extrêmement visible malgré la suppression des radiers. Il résulte de l'absence de crues fortes qui auraient pu emporter ces matériaux ;
- ↪ En aval du pont de la RN102, on note également une forte incision de plus de 2 m (extractions non déclarées ?) sur 200 m linéaires environ (cependant les levés en amont ne sont pas disponibles en 1992).

De 1992 à 1997, le passage de plusieurs crues moyennes redonne une certaine régularité au profil en long :

- ↪ Notamment l'atterrissement en amont du radier de Gillot, alors supprimé, n'est plus observable ;
- ↪ Toutefois, les extractions très importantes maintiennent un lit fortement incisé. On observe notamment un basculement du lit et une érosion régressive (se propageant vers l'amont) en aval du pont métallique de la RN102, s'ajoutant aux effets des extractions.
- ↪ En amont du pont de la RN102, la rivière s'est légèrement incisée mais garde sensiblement les mêmes pentes : atterrissement caractéristique en aval du pont de Domenjod, pente légèrement plus faible entre le pont de Domenjod et l'épi Moka s'accompagnant d'un léger abaissement du lit (inférieur à 1 m).

Les fortes pluies de 1998 permettent à nouveau une recharge du lit qui compense en partie les extractions et homogénéise le profil :

- ↪ En aval du pont de la RN2, la pente est beaucoup plus régulière mais le niveau du lit reste relativement bas ;
- ↪ Entre le pont de la RN2 et le pont de la RN102, l'incision est comblée et permet de retrouver des niveaux proches de ceux de 1989. L'incision très forte que l'on notait sous le pont de la RN102 n'est plus observable ;
- ↪ En amont du pont de la RN102, le profil est plus régulier et l'atterrissement aval du pont de Domenjod semble avoir été en partie emporté par les fortes crues ;
- ↪ En amont du pont de Domenjod au niveau de l'endiguement de Rivière des Pluies, le lit s'est légèrement rechargé et garde une pente relativement inférieure à celle de 1989.

Durant cette période (1989 post FIRINGA à 1998), les berges ont peu évolué. Les crues moyennes qui ont touché la zone n'ont pas provoqué de recul conséquent.

6.2.5. 1998-2002 : LE CHANTIER ILO ET L'IMPACT PERSISTANT DES EXTRACTIONS

Cette période est marquée :

- ✚ D'une part par le lancement du chantier d'Irrigation du Littoral Ouest (ILO) qui induit la réalisation d'une piste dès 1999 entre l'aval du pont métallique de la RN102 (PK 700) et plateforme d'attaque du Cap Frumence. Celle-ci présente une emprise dans le lit d'autant plus importante que le lit est étroit. La piste est fusible constituée de matériaux du lit ;
- ✚ D'autre part par l'absence d'extractions faites dans le lit.

En termes de phénomènes naturels, le cyclone DINA (janvier 2002, estimé à 330 m³/s) crée quelques désordres notables.

Un mois après ce cyclone, un éboulement de grande ampleur survient au droit du Grand Eboulis provoquant la formation d'un lac de barrage le 1^{er} mars. Le volume de matériaux mobilisés est estimé à 500 000 m³ de matériaux de granulométrie globalement plus fine que celle du fond du lit (*cf. réf. 54*).

Sa rupture donnera lieu à une crue brutale de 80 m³/s environ.

L'analyse de l'évolution morphologique du lit a été faite à partir des levés de mars 1998 et novembre 1997 (profils en travers en aval de la Ravine Bachelier), et de ceux de novembre 2002 à février 2003 (profils en travers levés sur l'ensemble du lit après DINA et après l'éboulement du Grand Eboulis).

Elle s'appuie également sur les photographies aériennes de l'IGN de 1997 et 2002.

La figure n° 19 ci-après présente les profils en long correspondants. Elle permet de faire l'analyse suivante :

- ✚ Sans extractions ni aménagement ayant une influence sur les crues importantes, la rivière a tendance à retrouver son profil d'équilibre naturel. La piste ILO, lorsqu'elle passe dans le lit, a une emprise qui concentre les écoulements pour les faibles crues uniquement ;
- ✚ Toutefois, les extractions des décennies précédentes ont induit un déficit en matériaux solides par rapport à ce que produit le bassin versant et à ce que transporte la rivière au cours d'une crue moyenne à forte (de débit supérieur au débit d'entraînement des matériaux proche de 200 m³/s) ;
- ✚ On observe ainsi un basculement de la pente à l'exutoire (diminution de la pente) qui s'accompagne d'une recharge du lit importante jusqu'en amont du pont de la RN2 (PK 600) ;
- ✚ Plus en amont, c'est-à-dire en aval du pont métallique de la RN102, on assiste à une érosion régressive : le déficit aval dû aux extractions, se propage et se résorbe peu à peu en remontant vers l'amont. Cette érosion régressive est sensible sur 1 km (PK -600 à PK 300) ;
- ✚ 300 m environ en amont du pont de la RN102 et en aval du pont de Domenjod, on constate une légère élévation du niveau du fond du lit par rapport à mars 1998 (inférieur

à 1 m). La pente augmente également (2,16 % à 2,36 %). Il semble que l'atterrissement qui a tendance à se former en aval du pont de Domenjod se reforme petit à petit ;

- ↳ En amont du pont de Domenjod, la pente évolue peu et le fond du lit est remarquablement constant. Le fond est quelque peu irrégulier, signe des remaniements très fréquents de ce secteur dans le cadre du chantier ILO ;
- ↳ Enfin en amont du PK 5 800 (environ 1 km 400 en amont du verrou Montauban) on constate que le fond s'est exhausé depuis 1978 (seule donnée topographique disponible sur le secteur avant 2002). Cet exhaussement ne s'observe pas entre la confluence Ravine Bachelier et le PK 5 800 (aval de l'îlet la Pluie) où le fond est soit constant soit légèrement plus bas qu'en 1978. Cette baisse relative du niveau du lit peut être explicable par le rétrécissement du lit dû à l'emprise de la piste ILO.

Celle-ci réduit de façon importante le lit actif pour les faibles crues et en concentrant les écoulements, elle peut induire un transport solide plus important.

Aussi l'exhaussement du lit en amont du PK 5 800 ne peut pas s'expliquer par la présence du chantier ILO. Il est la conséquence de l'éboulement survenu en mars 2002 au droit du Grand Eboulis.

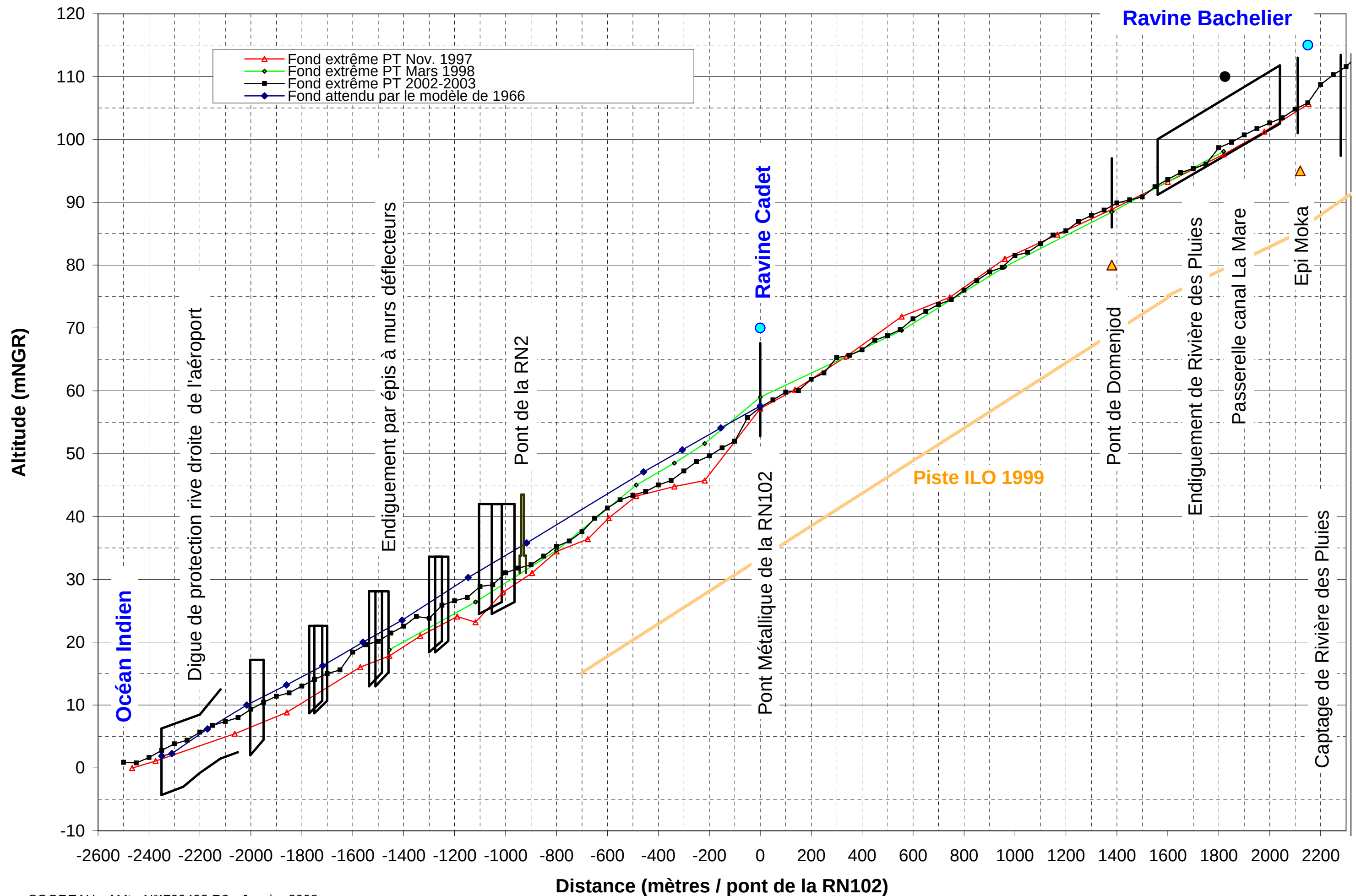
La crue provoquée par la rupture du barrage créé a transporté et étalé les matériaux mobilisés par l'éboulement sur environ 4,2 km.

Malgré le débit relativement faible ($80 \text{ m}^3/\text{s}$) de la crue de rupture du barrage, débit en tout cas inférieur au débit de début d'entraînement des matériaux de la Rivière des Pluies ($200 \text{ m}^3/\text{s}$), le transport a été possible car les matériaux issus du Grand Eboulis sont plus fins que les matériaux du fond naturel.

Les ordres de grandeur de l'exhaussement observé (1 à 3 m sur 4 200 m de cours d'eau ayant une largeur en pied de berges de 50 m environ, largeur réduite par la piste ILO) sont comparables aux ordres de grandeur du volume des matériaux mobilisés par l'éboulement.

Parallèlement pendant cette période (1998-2002), on observe une remarquable constance des traits de berge.

Figure N°18 : Evolution du profil en long du fond du lit de la Rivière des Pluies
1998-2002



6.2.6. 2002-2006 : LE PONT DU BOULEVARD SUD ET LES FORTES CRUES DE FEVRIER-MARS 2006

L'analyse réalisée sur cette période est plus fine du fait des informations topographiques beaucoup plus détaillées disponibles : levés topographiques de 2002 (profils en travers terrestres levés entre novembre 2002 et février 2003 depuis l'exutoire jusqu'à l'amont du Grand Eboulis) et photo aérienne correspondante, levé topographique de juin 2006 (restitution photogrammétrique en aval du PK 4 900 et levé topographique de janvier 2007 (restitution photogrammétrique en amont du PK 3 500) et photos aériennes correspondantes.

Les levés de 2002-2003 sont réalisés après le cyclone DINA et après l'éboulement de mars 2002 du Grand Eboulis et la crue que la rupture de barrage a engendré. Nous les dénommerons "levés de 2002" par la suite.

Les levés de juin 2006 (aval PK 4900) et janvier 2007 (amont PK 3500) sont réalisés après les crues de février et mars 2006. La partie concernée par les travaux d'urgence (aval du PK 3500) y est levée avant travaux. Nous les dénommerons "levés de 2006" ci-après.

Les levés ont permis de réaliser à la fois des profils en long du fond extrême et un modèle numérique de terrain (MNT) pour chacune des dates. Le modèle numérique de terrain est une cartographie point par point du terrain réalisée par extrapolation des points topographiques disponibles. Il n'est réalisable qu'avec une densité de points de base relativement importante comme c'est le cas ici.

Les événements majeurs à prendre en compte pour cette période entre novembre 2002 et juin 2006 sont :

- ↳ Les fortes crues de février 2006 (estimées à 600 m³/s) et de mars 2006 (tempête DIWA estimée à 400 m³/s) qui ont provoqué des dégâts très importants dans le lit actif..
- ↳ La modification du tracé de la piste ILO (septembre – novembre 2006). Celle-ci a un linéaire réduit par rapport au tracé initial. Elle passe de 9,2 km à 6,9 km et commence à la plateforme Desbassyns.
- ↳ Le début des travaux du pont du Boulevard *sud* en 2006. Celui-ci est implanté entre le pont de la RN2 et celui de la RN102 (culée rive droite au PK -370 et culée rive gauche au PK -300). Il comporte 2 rangées de 3 piles implantées dans le lit actif. Les culées sont protégées en rive gauche sur 110 m linéaires par une paroi moulée et des enrochements liés, et en rive droite sur un linéaire de 190 m par le même type de protection

La figure n° 19 jointe également ci-après correspond au modèle numérique de terrain de 2006 auquel on a soustrait le modèle numérique de terrain de 2002. Il indique donc en plan les secteurs où l'on observe un exhaussement du lit entre 2002 et 2006 (couleurs jaune à orange à rouge) et les secteurs où l'on observe une incision, un abaissement du lit entre ces deux dates (bleu clair à bleu foncé).

Les secteurs blancs correspondent à une variation inférieure à 50 cm.

Figure N°19 : Evolution du profil en long du fond du lit de la Rivière des Pluies
2002-2006

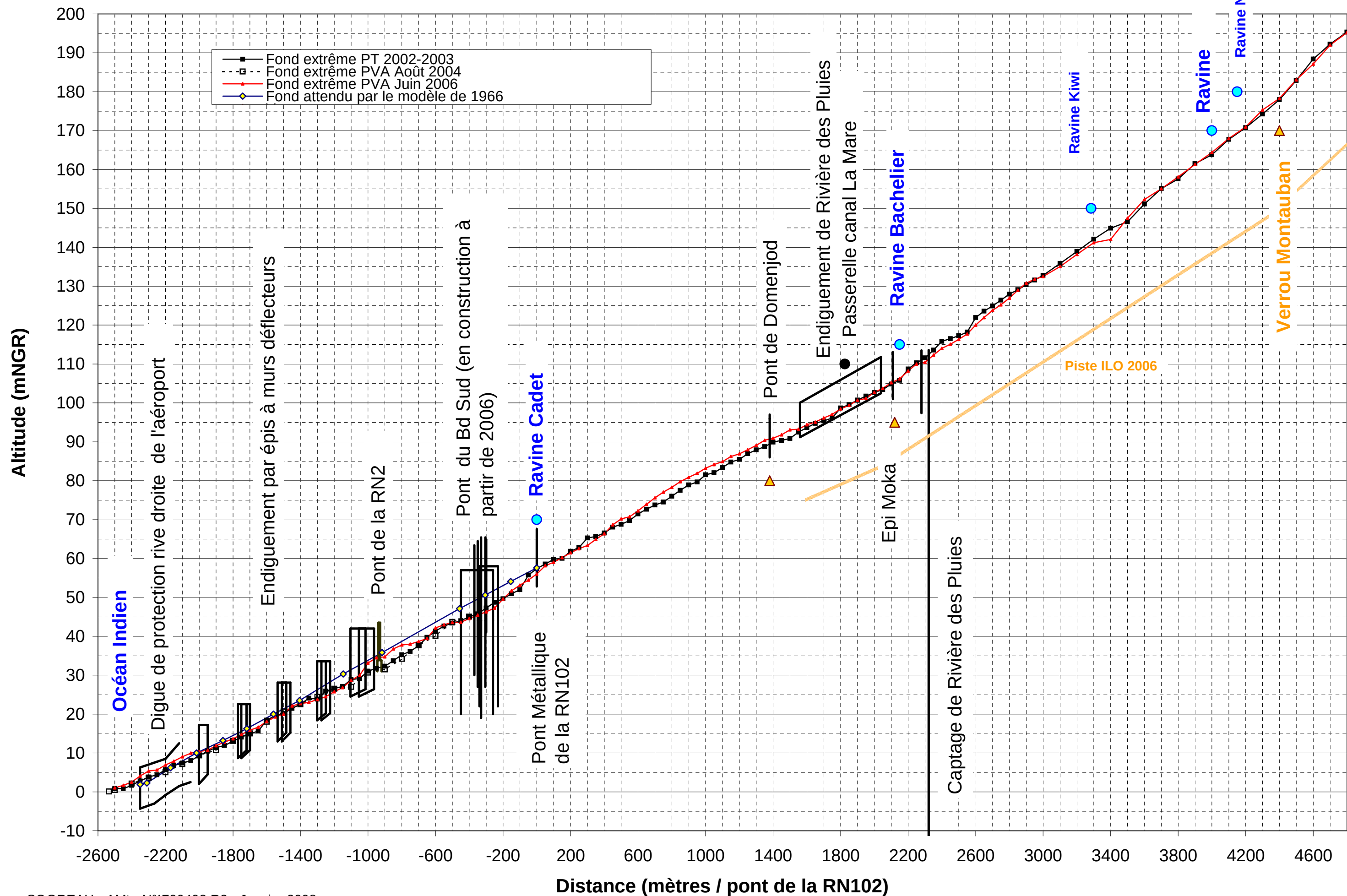


Figure n°20 – *EVOLUTION EN PLAN DU FOND DU LIT ENTRE 2002 ET 2006 (MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN)*

Ces deux figures permettent de faire l'analyse suivante de l'aval vers l'amont :

- ↳ En aval du pont de la RN2, le lit garde une pente relativement constante correspondant au profil d'équilibre attendu en 1966 (2,1 % en 2002 et 2,05 % en 2006). Le lit semble bel et bien tendre vers un retour de l'équilibre sur ce secteur. On observe toutefois en plan (*cf. figure n° 20 page 113*) un certain exhaussement à l'exutoire. Celui-ci est évalué grâce au MNT à 129 000 m³ entre le PK 1400 et le PK 2 535 (exutoire) ;
- ↳ Dans le même temps, la berge de rive gauche a été érodée sur 20 à 30 m de large sur ce secteur ;
- ↳ Entre l'aval du pont métallique de la RN102 et le pont de la RN2, on observe une diminution de la pente et des atterrissements importants. Les atterrissements sur ce secteur peuvent être estimés à 95 700 m³ (entre le PK -300 et le PK -1 400 en aval du pont de la RN2) grâce au MNT.

Ces atterrissements correspondent en réalité à une recharge progressive du lit par rapport à un état qui reste incisé par rapport au profil d'équilibre attendu en aval du pont de la RN102.

On observe d'ailleurs en parallèle sur la vue en plan que le lit reste fortement incisé par endroits notamment au droit des travaux du pont du Boulevard Sud. L'emplacement de cette incision est la conséquence du chenal régulièrement entretenu par les entreprises pour pouvoir travailler hors d'eau. Le chenal d'incision s'étend sur 1 000 m environ du PK 300 (300 m en amont du pont de la RN102, 150 m en aval du stade proche de la rue Lorion) au PK -600 (aval du pont du Boulevard Sud).

Dans le même temps sur ce secteur, les crues de 2006 ont provoqué de fortes érosions des berges :

- ↳ En rive gauche, sur 400 m environ au droit du pont de la RN2, recul d'une dizaine de mètres (PK -1 100 à PK -700) ;
- ↳ En rive droite au droit du pont de la RN2 sur 600 m environ (PK -1 100 à PK -500), recul de la berge de 10 à 30 m ;
- ↳ En rive droite au droit et en amont du pont de la RN102 (PK -150 à PK 300), recul de la berge de 10 à 30 m au niveau de la culée rive droite du pont et du virage du RD45 ;

En amont du PK 300 et jusqu'au PK 2 200 (confluence avec la Ravine Bachelier) on observe un atterrissement très important sur la vue en plan (*cf. figure n° 20 page 113*). L'exhaussement est évalué à 117 000 m³ grâce au MNT (**Notons que ce volume ne prend pas en compte l'érosion des berges sur ce secteur, topographie des berges érodées en 2006 non levées en 2002**). Cet atterrissement est particulièrement conséquent en aval du pont de Domenjod (PK 1 380). Il est d'ailleurs visible très clairement sur les profils en long de la figure n° 19 page 112 et peut atteindre plus de 3 m. En amont du pont de Domenjod, l'exhaussement est plus diffus au fur et à mesure que l'on remonte vers l'amont.

Ces atterrissements sont la conséquence des matériaux mobilisés par l'éboulement de 2002 au Grand Eboulis et qui ont avancé dans le lit à la faveur des fortes crues de février et mars 2006). Les observations de terrain de cette période (*cf. réf. 72*) ont en effet clairement mis en évidence la nature plus fine des matériaux constituant ces atterrissements.

Ceux-ci sont favorisés sur ce secteur par l'abaissement structurel de la pente dû à la confluence avec la Ravine Bachelier. Les berges ont dans le même temps été fortement érodées sur ce secteur :

- ↳ En rive gauche, érosion de la berge sur 400 m au droit du parking Moutoussamy (PK 250 à PK 650). Le retrait de la berge est de 20 m environ ;
- ↳ En rive droite, érosion très forte de la berge sur 700 m (PK 300 au PK 1 000) au droit du quartier incluant la rue Lorion. Le recul atteint 40 m au droit de la rue Lorion ;
- ↳ En rive gauche, en aval du pont de Domenjod, érosion plus modérée sur 550 m environ (PK 850 à 1 380), avec un recul de l'ordre de 5 à 10 m ;
- ↳ En rive gauche au droit de la plateforme Desbassyns et jusqu'à la passerelle canal La Mare sur 300 m environ, recul de 5 à 10 m également ;

En amont de la confluence avec la Ravine Bachelier et jusqu'au PK 3 500 environ (amont de la confluence avec la Ravine Kiwi et amont de l'éperon rocheux dans le lit au droit de îlet Quinquina amont), on observe un secteur qui s'est incisé entre 2002 et 2006. Il s'explique par les pentes plus fortes de ce secteur par rapport à l'aval de la confluence Bachelier et peut être par le déficit en matériaux de granulométrie courante du lit (la granulométrie des matériaux transportés à cette période correspond à celle, plus fine, de l'éboulement de mars 2002). Elles favorisent le transport solide des matériaux. L'incision est de 49 300 m³ environ. Sur ce secteur, la berge de rive gauche a reculé de 20 m au droit de l'îlet Quinquina sur 300 m environ (PK 3 000 à PK 3 300). La berge de rive droite a été fortement sollicitée au droit de l'îlet La Pluie les Bas (PK 2 800) ;

En amont du PK 3 500 et jusqu'au PK 4 900 (500 m en amont du verrou Montauban), on observe à nouveau une zone d'atterrissements très importante sur la vue en plan. Son volume est estimé à 49 000 m³ environ sur ce secteur. Il s'accompagne d'une forte érosion de la rive droite faisant face à la partie amont d'îlet Quinquina (PK 3 500 à PK 3 900). Le recul est de 15 à 30 m sur 400 m environ. La berge en amont de la confluence de rive droite avec la Ravine Bachelier a également été fortement sollicitée au niveau des terrasses érodables des îlets. Sur le profil en long, cet atterrissement n'est pas observable alors qu'il était identifié également visuellement. Ceci s'explique par les forts remaniements réalisés sur ce secteur entre les crues de février-mars 2006 et les levés de juin 2006 (modification des fonds extrêmes). L'exhaussement constaté après les crues sur ce secteur était constitué de matériaux fins, à la granulométrie semblable à celle des matériaux de l'éboulement de mars 2002 (et à celle des matériaux des atterrissements en aval et amont du pont de Domenjod) ;

Enfin en amont du PK 4 900 et jusqu'au Grand Eboulis (PK 11 050), on observe globalement une incision du lit visible à la fois en plan et sur le profil en long. Le déficit entre les deux levés est estimé à 256 300 m³ environ par le MNT. On observe également sur le profil en long que l'on retrouve en 2006 sensiblement le fond de 1978 (surtout en amont du Cap Soldat). Cet abaissement du lit est en réalité la « vidange » des matériaux produits par le Grand Eboulis en mars 2002. Ceux-ci étaient, avant les crues de février-mars 2006, visibles entre le PK 5 800 et le Grand Eboulis. Ils n'ont été mobilisés à nouveau réellement que lorsque ces crues d'importance sont survenues ;

En amont du Grand Eboulis, le bilan solide est positif estimé à 21 400 m³ environ. Il s'explique par la mobilisation de matériaux du cirque d'effondrement à l'occasion des crues de février et mars 2006.

Le bilan solide global de l'ensemble du cours d'eau est estimé à +73 900 m³ entre les levés de 2002 et ceux de 2006 (exhaussement).

6.2.7. JUIN 2006-MAI 2007 : LES TRAVAUX D'URGENCE SUITE AUX CRUES DE FEVRIER ET MARS 2006 ET LE CYCLONE GAMEDE (MARS 2007)

L'évolution du profil en long sur cette période n'a pu être réalisée que depuis l'aval du pont de Domenjod jusqu'à l'exutoire. En effet, les levés topographiques postérieurs à juin ne concernent que ce secteur :

- ↪ 6 Profils en travers levés en novembre 2006 avant et après curage entre le pont de Domenjod et l'amont du pont métallique de la RN 102 ;
- ↪ Les mêmes profils en travers levés en mars 2007 suite au cyclone GAMEDE puis en juin 2007 (avec cette fois-ci 16 profils allant du pont de Domenjod jusqu'à l'aval du pont métallique de la RN 102) ;
- ↪ Une restitution photogrammétrique réalisée en mai 2007 depuis l'aval du pont du Boulevard Sud jusqu'à l'exutoire.

Suite aux crues de février et mars 2006, des travaux d'urgence ont été entrepris. Ainsi, en novembre 2006, un curage a été réalisé entre l'aval du pont de Domenjod (PK 1200) et le stade de rive droite en aval de la rue Lorion (PK 400). Il a consisté, selon les informations disponibles, en la réalisation d'un chenal trapézoïdal de 800 m de long, de 20 m de large et de 1 à 2 m de profondeur. Le volume curé est estimé avec ces caractéristiques et les levés topographiques disponibles à 60 000 m³ environ¹.

Suite à ces travaux d'urgence, la Rivière des Pluies a subi la crue liée au passage du cyclone GAMEDE.

L'analyse des profils en long permet de faire le diagnostic suivant :

- ↪ En novembre 2006, les travaux de curage ont artificiellement abaissé le niveau du lit de 1 à 2 m en aval du pont de Domenjod. Suite au passage de GAMEDE, le chenal a conservé sa cote de fond et une incision par érosion régressive s'est produite au niveau du pont de Domenjod. L'abaissement du lit en aval immédiat du pont aurait été de 3,40 m depuis mars 2006 ;
- ↪ En aval du secteur de curage, le lit a conservé son niveau après le passage de GAMEDE. On constate un léger exhaussement d'une cinquantaine de centimètres, correspondant à l'homogénéisation de la pente par rapport aux curages amont ;
- ↪ En aval du pont de la RN 102, la crue liée à GAMEDE a légèrement régularisé la pente du fond extrême. L'incision en aval immédiat du pont métallique et au niveau du pont du Boulevard Sud est toujours visible. Les cotes du fond au niveau de l'exutoire ont peu évolué. On constate une très légère recharge (fin de transit de matériaux de l'éboulement ?).

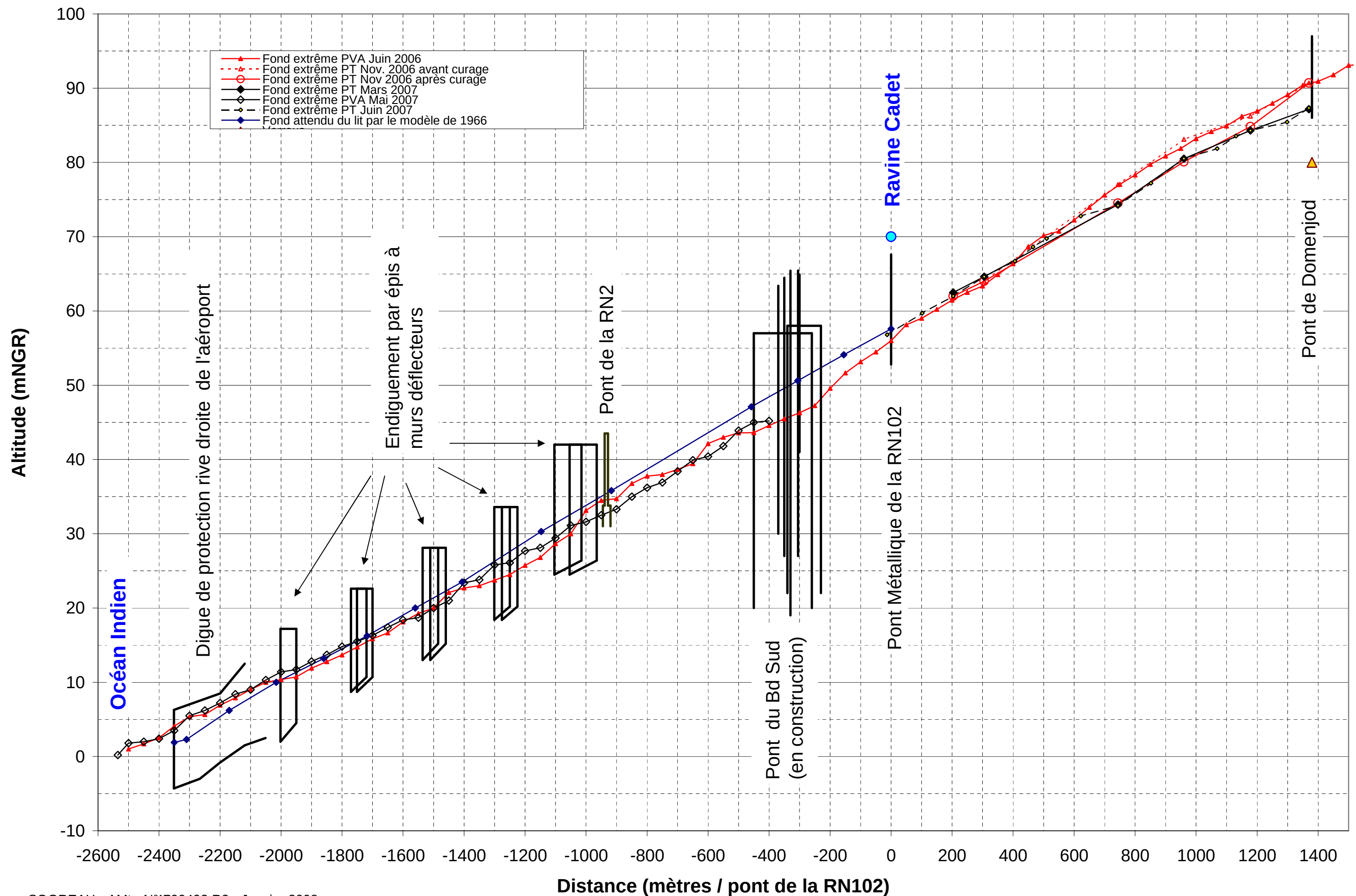
¹ Le curage modéré préconisé sur ce secteur suite à l'expertise de mai 2006 (réf. /72/) correspondait à un curage modéré des bancs hors chenaux d'étiage :

- ✓ De 1 m entre la passerelle canal La Mare et le Pont Domenjod avec raccordement progressif entre l'épi Moka et la passerelle ;

- ✓ De 1,50 m maximum entre le pont Domenjod et le stade rive droite avec raccordement progressif vers l'aval.

Le volume à évacuer était estimé entre 50 000 et 100 000 m³.

**Figure N°21 : Evolution du profil en long du fond du lit de la Rivière des Pluies
2006-2007**



6.3. EVOLUTION DU FOND EXTREME AU DROIT DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT

6.3.1. LE PONT DE DOMENJOD (PK 1380)

Comme le montre la figure n° 22, ci-après, le fond extrême du lit au niveau du pont de Domenjod a fluctué sur une amplitude de 3,50 m environ sur 30 ans (1978 – 2008).

La valeur la plus basse qui ait été mesurée correspond au fond actuel suite au passage de GAMEDE, à 87,17 m NGR. On ne tient pas compte de la valeur de 1977 qui est incohérente avec les mesures amont et aval pour cette même date (rupture de pente jamais observée pour les autres années).

La valeur la plus haute mesurée correspond au fond extrême suite aux crues de 2006 avec une cote à 90,7 m NGR.

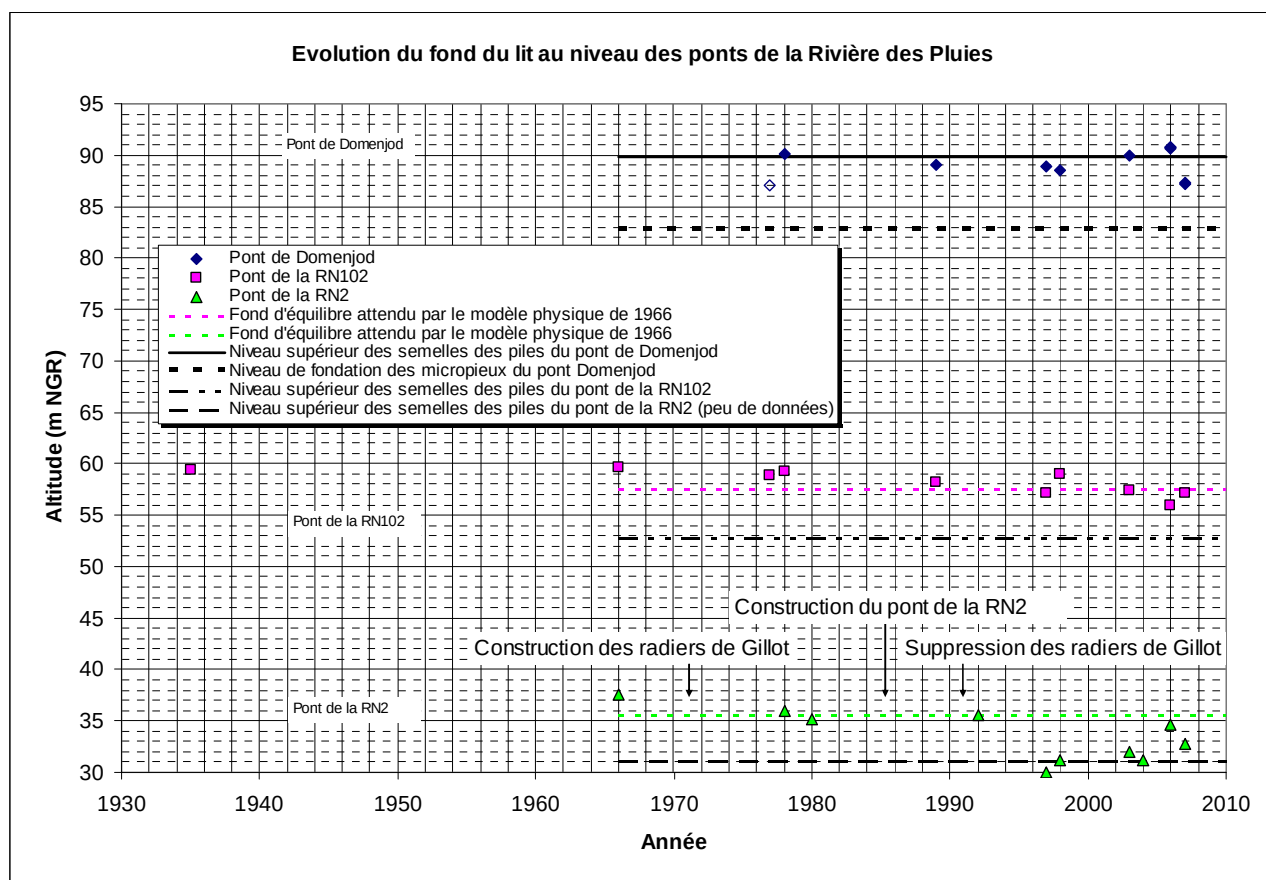
Si l'on considère que ces cotes sont dues à un phénomène exceptionnel (éboulement de mars 2002, transit des matériaux correspondants au niveau du pont lors des crues de 2006 puis curage en aval du pont), l'amplitude entre 1978 et 2003 est de 1,60 m avec des cotes maximales et minimales de 90,05 m NGR et 88,45 m NGR.

Ces dernières valeurs correspondent à des ordres de grandeur plus proches des références à retenir étant donné la relative constance observée des pentes au niveau du pont.

Toutefois, les valeurs extrêmes de 2006 et 2007 indiquent que ces cotes peuvent être atteintes dans le cas de phénomènes exceptionnels (apport massif de matériaux dû à l'éboulement de 2002).

Il est probable que le lit remonte lors des prochaines crues et que l'incision observée suite à GAMEDE se comble. Par contre, l'amont du pont Domenjod subira une érosion régressive.

Figure n°22 – EVOLUTION DU FOND EXTREME SOUS LES PONTS DE LA RIVIERE DES PLUIES



6.3.2. LE PONT DE LA RN 102

La figure n°22 permet de faire les remarques suivantes :

- ↪ Une cote très ancienne est connue sous le pont (1935) correspondant probablement à un état proche de l'équilibre du lit à cette époque : 59,4 m NGR ;
- ↪ La cote d'équilibre attendue par le modèle physique de 1966 suite à l'endiguement de l'exutoire est plus basse de 2 m environ : 57,6 m NGR ;
- ↪ La cote du fond extrême n'a pas cessé de baisser depuis la réalisation de l'endiguement, et s'est accentuée vers la fin des années 80, début des années 90. Elle a alors dépassé l'incision prévue par le modèle de 1966. Comme on l'a vu précédemment, ce sont les extractions massives à l'aval qui en sont principalement la cause. L'incision depuis 1966 est de 3,70 m environ ;
- ↪ Seule la cote et les pentes en amont du pont en juin 2007 (57,2 mNGR) semblent indiquer un début de remontée du lit sous le pont (55,99 mNGR en juin 2006) ;
- ↪ Le suivi de la cote, suite aux saisons cycloniques à venir est donc essentiel pour confirmer ou infirmer cette tendance.

6.3.3. LE PONT DE LA RN2

La figure n°22 permet de faire les remarques suivantes :

- ↪ Le fond du lit après 1966 au niveau du futur pont de la RN2 s'est incisé jusqu'à des cotes proches de celles attendues par le modèle physique de 1966. Cette incision correspond à un abaissement de 1,50 à 2 m environ jusqu'en 1992 ;
- ↪ Après 1992, on observe un abaissement brutal et exceptionnel du fond extrême. Celui-ci est à rapprocher des extractions massives des années 1990. Si les extractions antérieures (années 1980) ont apparemment peu influencé le niveau du lit entre les années 1970 et le début des années 1990, c'est très probablement à cause de la présence des radiers de Gillot qui provoquaient des atterrissements sur 700 m environ en amont. La suppression de ces radiers en 1991 a permis une érosion régressive très importante durant les années 1990. L'incision résultante atteint localement 6 m entre le fond attendu de 1966 et le fond mesuré en 1997 ;
- ↪ Depuis 1998, on observe une tendance à la remontée du niveau du lit. De fortes crues (1998, 2002 et 2006) ont permis d'amorcer une recharge du lit. Toutefois celui-ci ne semble pas avoir retrouvé tout à fait son niveau d'équilibre à l'heure actuelle malgré les apports exceptionnels de l'éboulement de mars 2002 qui a pu atteindre l'exutoire suite aux crues de 2006 et de 2007 (GAMEDE) pour le solde après travaux de curage. Les niveaux extrêmes les plus récents nivelés sont de 34,6 mNGR en juin 2006 et 32,8 mNGR en mai 2007.

VOLET III
–
HYDROLOGIE

7. HYDROLOGIE

Ce chapitre s'articule suivant les étapes suivantes :

- ↪ Caractéristique des bassins versants et analyse régionale des pluies ;
- ↪ Exploitation et interprétation des mesures de débits ou hauteurs d'eau observées pour les crues remarquables ;
- ↪ Etablissement d'une relation Pluies-Débits pour les débits observés ;
- ↪ Reconstitution, à l'aide du modèle pluie – débit, d'une chronique des débits maximaux annuels ;
- ↪ Détermination des débits caractéristiques de crue.

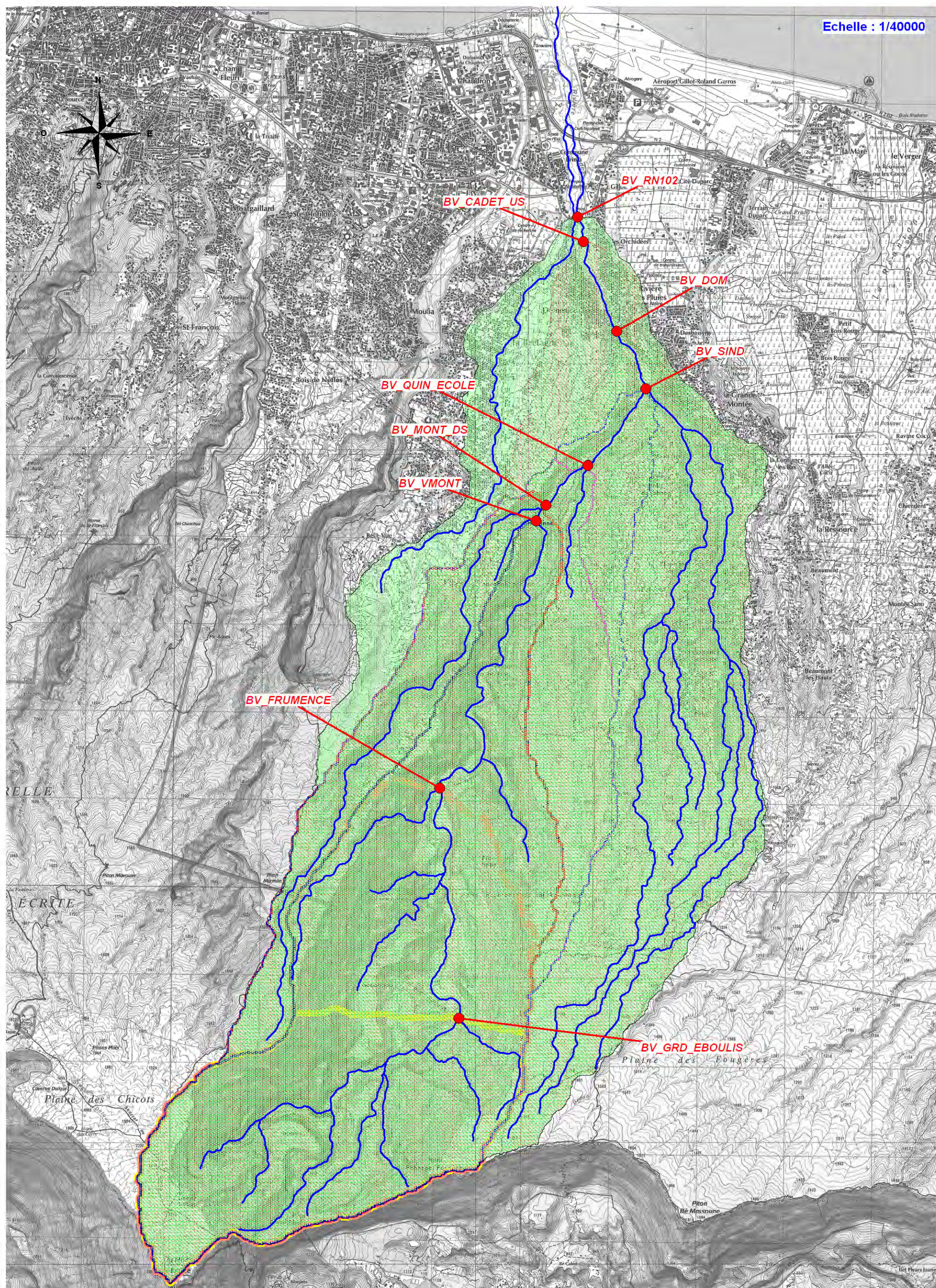
7.1. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS

La carte page suivante présente le découpage en bassins versants successifs de la Rivière des Pluies. Ce découpage a pour objectif de caractériser le bassin versant de la Rivière des Pluies à chaque point remarquable de son cours. Les bassins versants sont donc indiqués au fur et à mesure du cheminement de la rivière vers l'aval. Ces éléments sont repris dans le tableau suivant.

*Tableau n°11 – CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES BASSINS VERSANTS
DE LA RIVIERE DES PLUIES*

Nom réduit	Exutoire	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Alt médiane (m NGR)
BV_GRD-BOULIS	Limite amont Grand Eboulis	8,48	15,85	1 347
BV_FRUMENCE	Cap Frumence – Limite amont zone de dépôt ILO (aval Ravine Emmanuel)	14,41	21,67	1 141
BV_VMONT	Verrou Montauban – Amont confluence Ravine Montauban	18,30	29,42	1 010
BV_MONT-DS	Aval confluence Ravine Montauban	21,91	30,14	993
BV_QUIN-ECOLE	Limite amont zone étude – Ecole îlet Quinquina	25,34	31,80	954
BV_SIND	Amont confluence Ravine Bachelier – Lot Sindrama	26,97	34,27	913
BV_DOM	Pont Domenjod – Aval confluence Ravine Bachelier	38,90	37,23	906
BV_CADET-US	Amont confluence Ravine Cadet	41,02	38,85	865
BV_RN102	Limite aval zone étude – aval confluence Ravine Cadet	44,76	40,31	807

Figure 23 - Bassins versants



7.2. ANALYSE REGIONALE DES PLUIES

7.2.1. LES STATION PLUVIOMETRIQUES

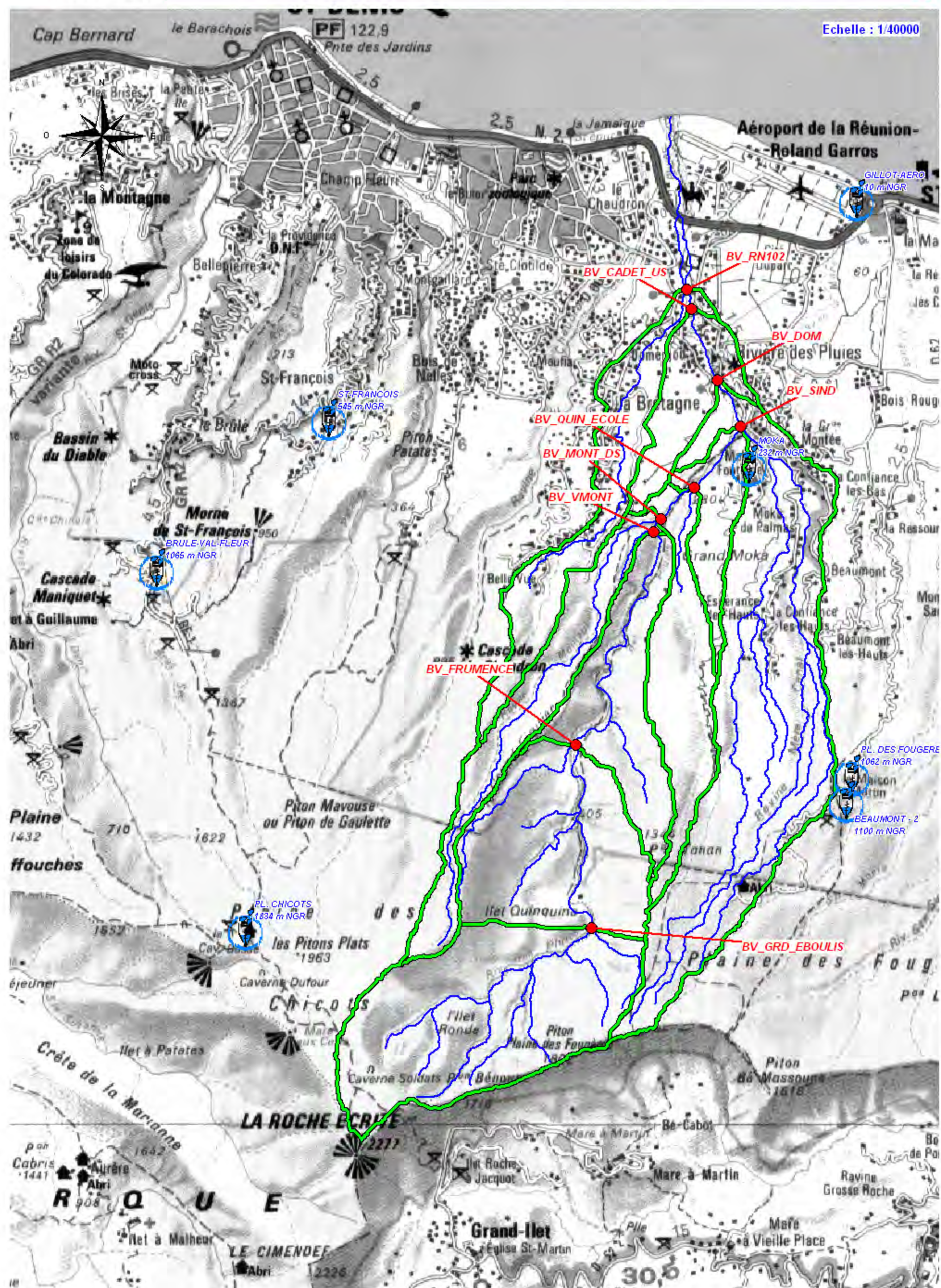
Les six stations pluviométriques analysées sont listées dans le tableau ci-dessous et localisées sur la Figure n°24.

Tableau n°12 – LISTE DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES TRAITEES

Code	Nom station	Altitude (m NGR)	Ouverture	Fermeture	Nbre d'année de référence
97418110	GILLOT-AERO	10	01/01/1953	En fonctionnement	54
97418160	MOKA	232	01/01/1967	31/01/02001	33
97418190	BEAUMONT 2	1 100	01/01/1988	30/11/1993	17
97418170	PL. FOUGERES	1 062	01/06/1993	En fonctionnement	17
97411150	ST-FRANCOIS	545	01/03/1953	En fonctionnement	50
97411164	BRULE-VAL FLEURI	1 065	01/09/1956	En fonctionnement	51
97411170	PL. CHICOTS	1 834	01/01/1982	En fonctionnement	17

Il n'existe pas de station pluviométrique réellement représentative des bassins versants de la Rivière des Pluies, c'est-à-dire présentant les caractéristiques suivantes :

- ↪ Longue période d'observation ;
- ↪ Incluse dans le bassin versant ;
- ↪ Située à une altitude comprise dans la gamme des altitudes médianes (800 à 1 400 m).



7.2.2. LE PIVOT

Les données, à partir desquelles l'analyse se base, sont les pluies journalières maximales annuelles, l'année étant comptée comme hydrologique (année n : du 01/09 de l'année n-1 au 31/08 de l'année n).

L'analyse selon la loi de Gumbel de l'ensemble des échantillons est présentée sur la figure n°25.

Pour les stations disposant d'un grand nombre d'années, on constate qu'il y a systématiquement une cassure dans les ajustements.

L'étude de la répartition des pluies à La Réunion a pu mettre en évidence deux types de phénomènes à l'origine de la formation des crues :

- ↳ Les pluies d'origine cyclonique directe ;
- ↳ Les autres pluies.

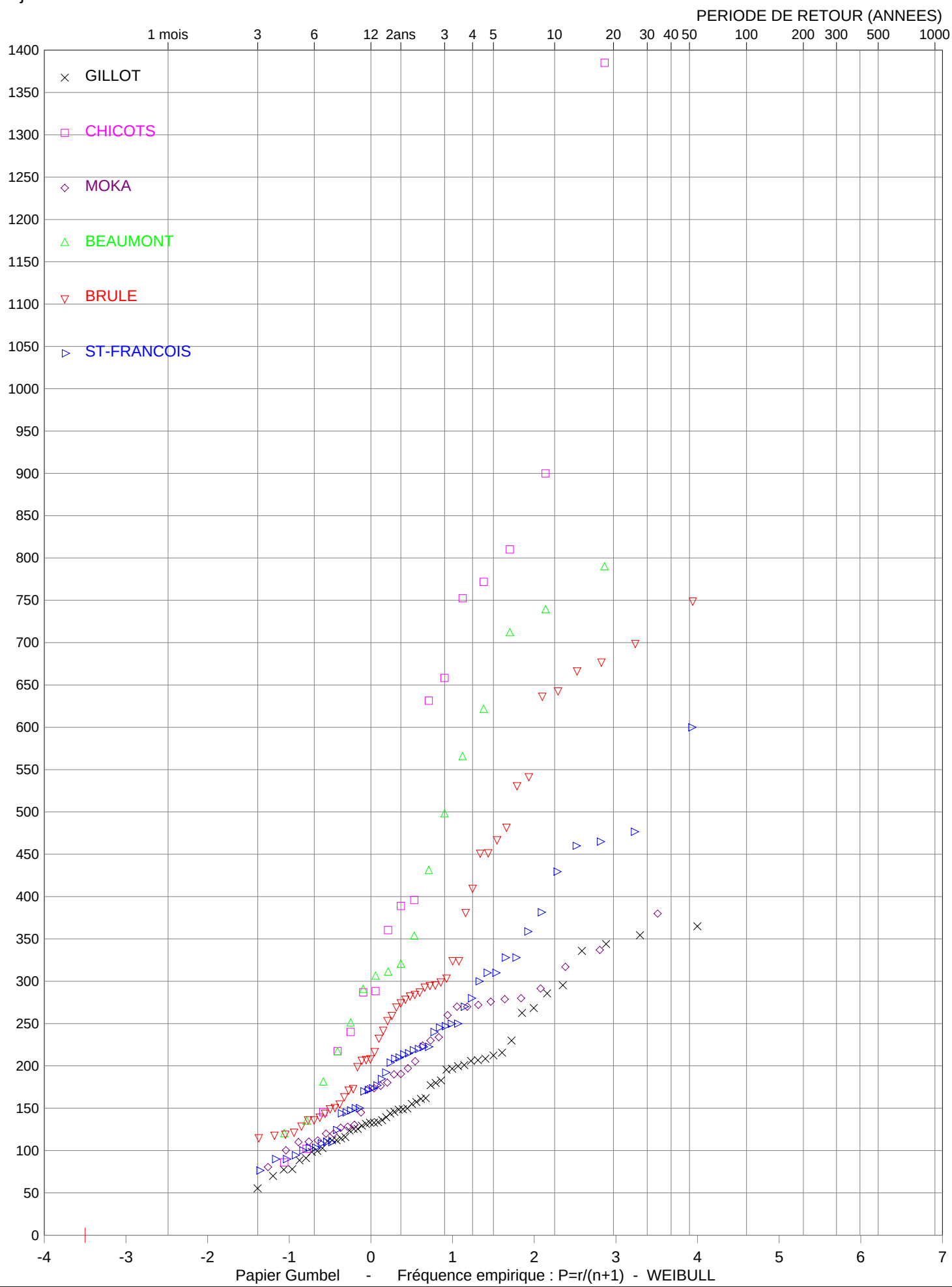
Les cassures constatées apparaissent pour une période de retour comprise entre 2 et 5 ans.

SOGREAH 24-12-2007 / 08:08

Analyse régionale des maxima annuels des pluies journalières

Répartition des pluviométries pour les stations météorologiques retenues

Pjmax



7.2.3. CHOIX D'UNE STATION DE REFERENCE

Faute d'une station adaptée à la Rivière des Pluies, notre choix pour une station de référence se porte sur la station de Gillot, qui dispose d'une longue série de données, qui est situé au niveau du bassin versant de la Rivière des Pluies par rapport à un éventuel gradient pluviométrique *est* → *ouest*, et pour laquelle l'échantillon de données s'ajuste bien à la loi de Gumbel. On y décèle les pivots suivants :

↳ $Y_{0-1} = -2,5$;

↳ $Y_{0-2} = -0,5$.

La droite de corrélation définie pour la station de GILLOT va servir d'ajustement de référence pour l'analyse des autres stations prises en compte.

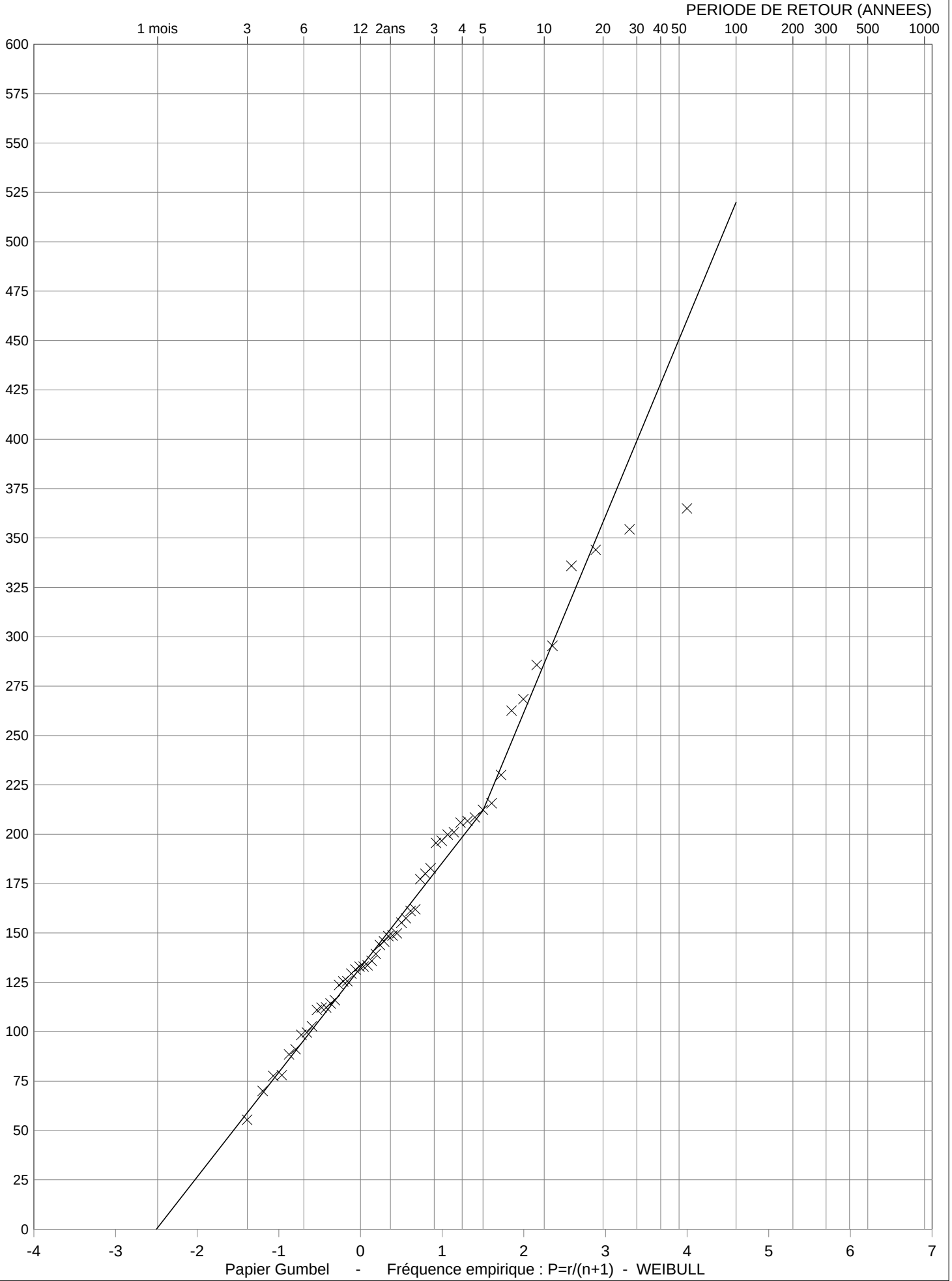
Pour les autres stations pluviométriques, une analyse de leur corrélation par équifréquence avec la station de GILLOT est donc proposée.

SOGREAH 15-11-2007 / 18:50

GILLOT

Traitement de 54 valeurs sur 54 années

Pluies journalières



7.2.4. COMPARAISON DE LA STATION DE GILLOT AVEC LES AUTRES STATIONS

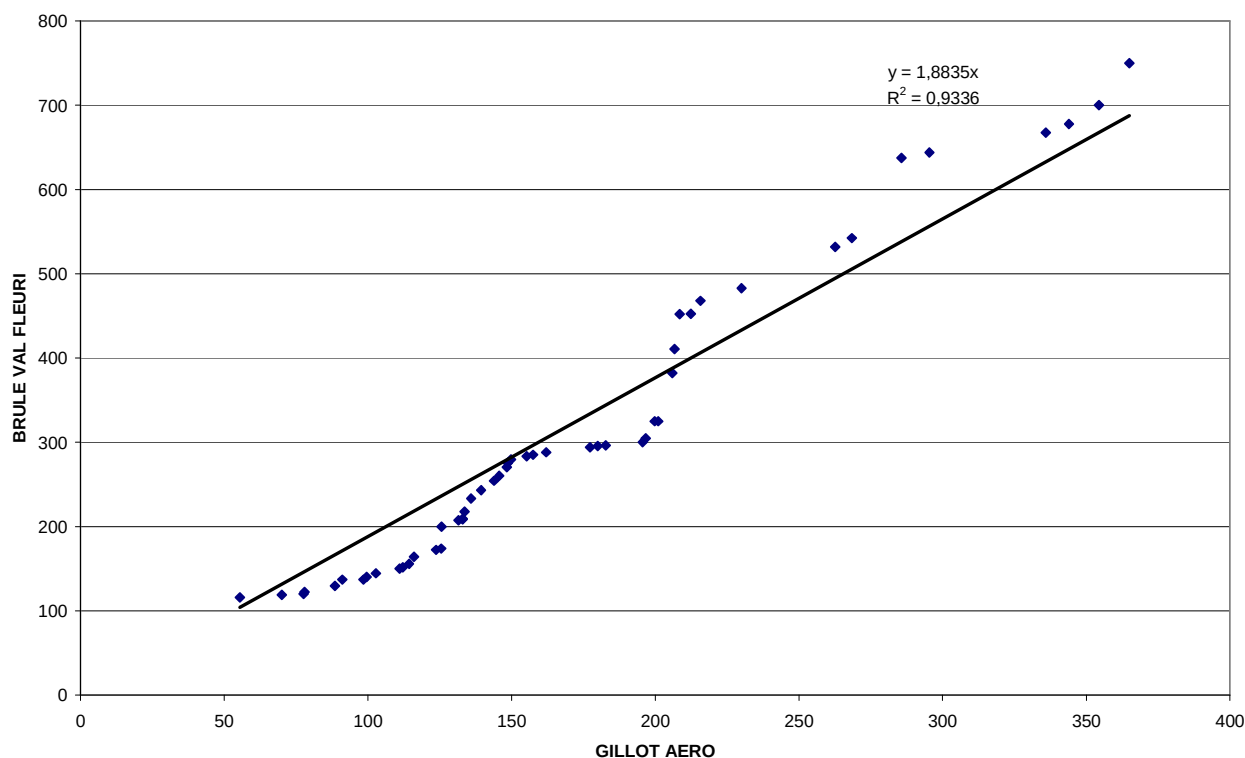
AVEC LA STATION DU BRULE – VAL-FLEURI

L'analyse de corrélation des données sur la période commune d'exploitation, année par année, aboutit à une corrélation assez médiocre.

Une comparaison par équifréquence est donc proposée. Une première analyse sur la période commune de mesures donne la relation suivante :

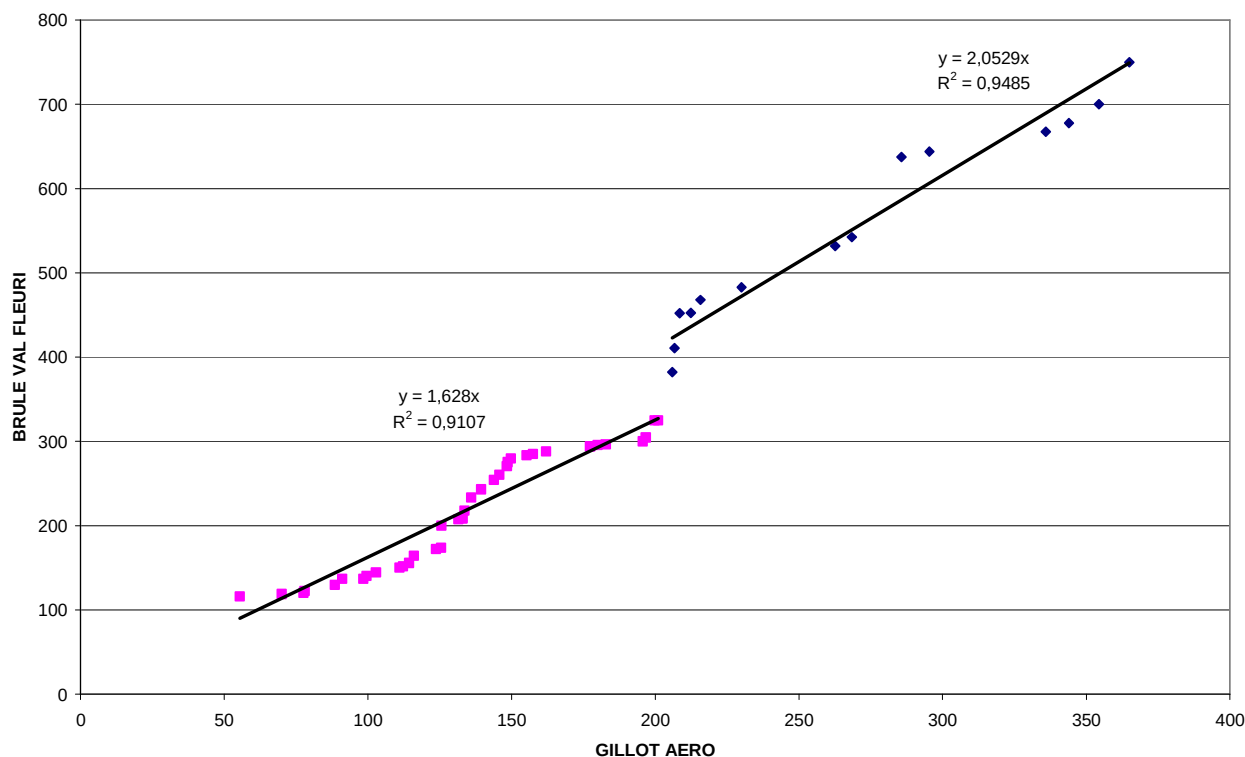
↳ Pluies BRULE VAL FLEURI = 1,88 x Pluies GILLOT - AERO.

Figure n° 27 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM)
STATIONS GILLOT-AERO ET BRULE-VAL FLEURI



Ce rapport peut s'appliquer aux deux branches de l'ajustement. On observe cependant que pour les pluies inférieures à 350 mm au Brûlé, il pourrait y avoir une corrélation différente. Celle-ci est présentée sur la figure suivante.

Figure n°28 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM)
(STATIONS DE GILLOT-AERO ET BRULE-VAL FLEURI)



On obtient deux corrélations différentes :

- ⇒ Pj (Brûlé) < 350 mm : Le coefficient de proportionnalité entre les pluies à la station du Brûlé – Val-Fleuri et les pluies à la station de Gillot Aéroport de 1,63 ;
- ⇒ Pj (Brûlé) > 350 mm : Le coefficient de proportionnalité entre les pluies à la station du Brûlé – Val-Fleuri et les pluies à la station de Gillot Aéroport de 2,05.

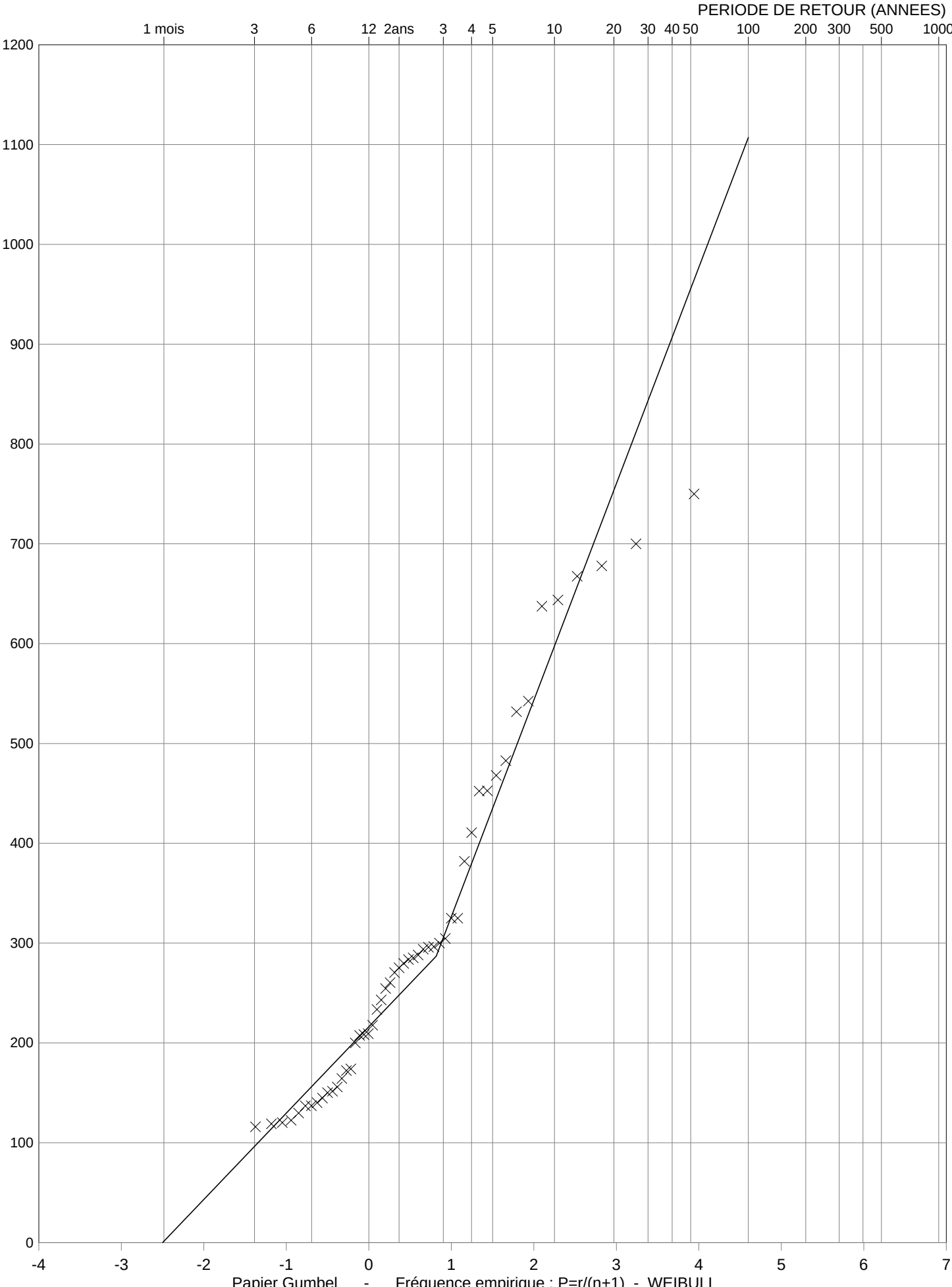
En appliquant ces coefficients aux deux segments d'ajustement, on obtient la droite d'ajustement modifiée présentée sur la figure n°29 , page suivante.

SOGREAH 30-11-2007 / 11:01

BRULE

Traitement de 51 valeurs sur 51 années

pluies journalières

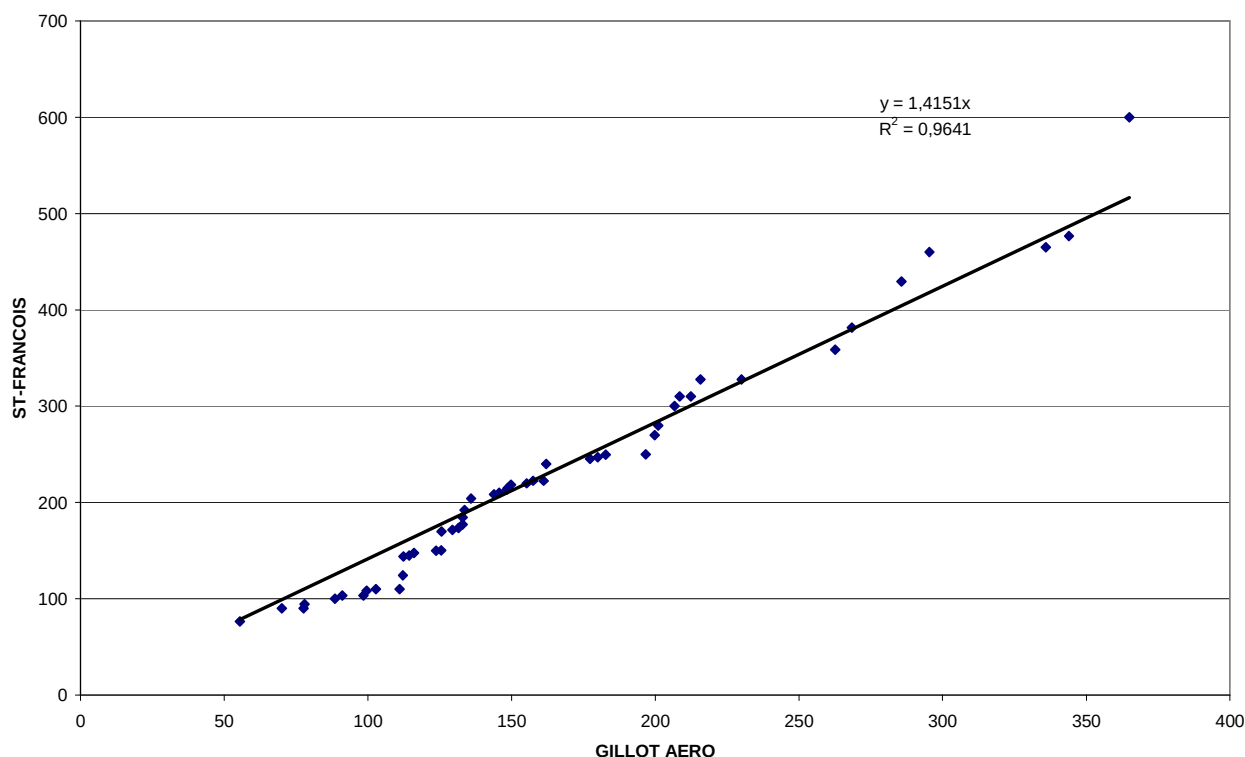


AVEC LA STATION DE SAINT-FRANÇOIS

Une comparaison par équifréquence est proposée, l'analyse sur l'ensemble de l'échantillon commun (50 ans) donne la relation suivante :

↳ Pluie St-François = 1,42 x pluies Gillot Aéro.

Figure n° 30 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM)
(STATIONS DE GILLOT AERO ET ST-FRANÇOIS)



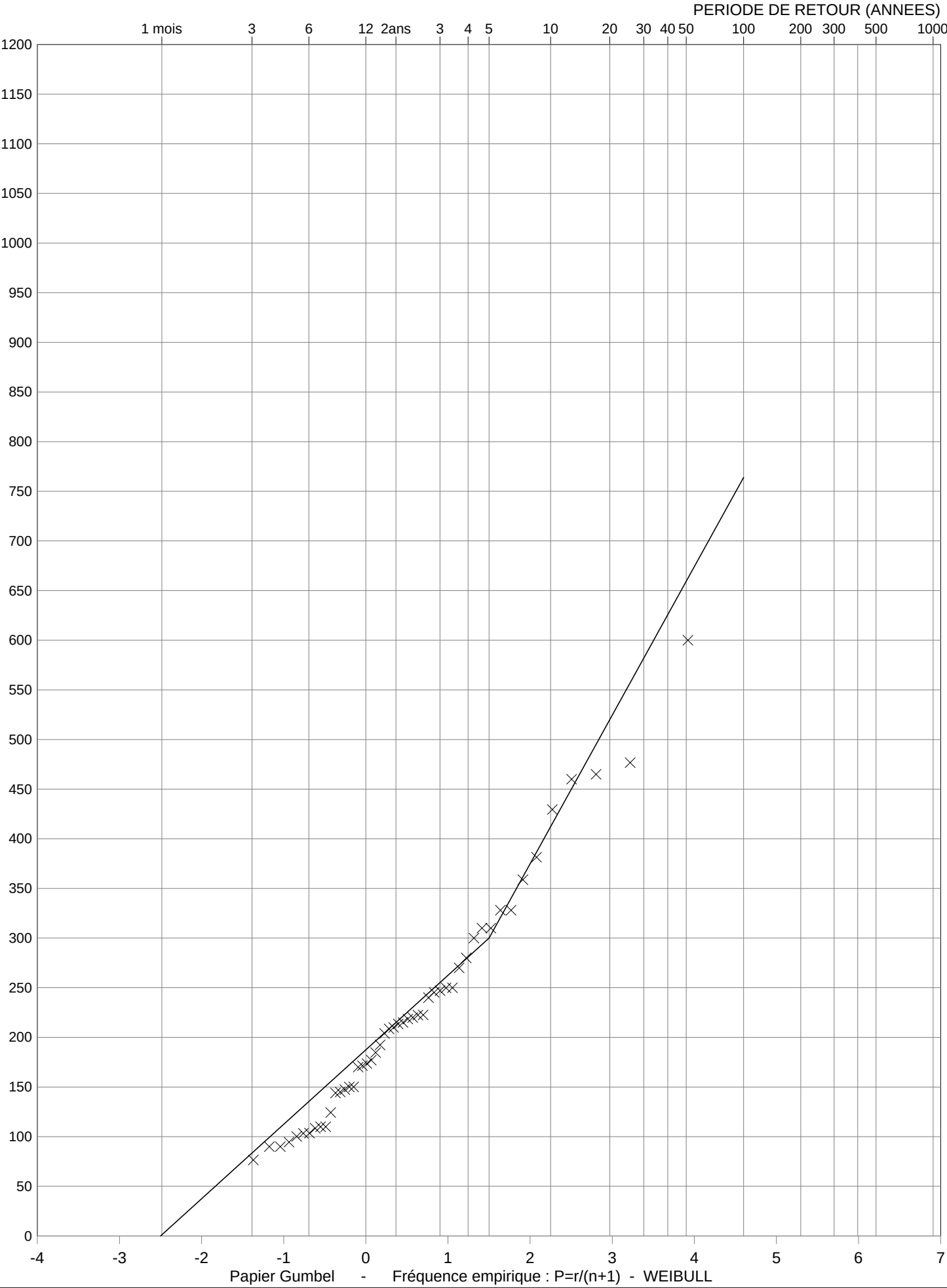
En appliquant ce coefficient à la droite d'ajustement, on obtient la droite d'ajustement modifiée présentée sur la figure n°31, page suivante.

SOGREAH 30-11-2007 / 11:07

ST-FRANCOIS

Traitement de 50 valeurs sur 50 années

pluies journalières

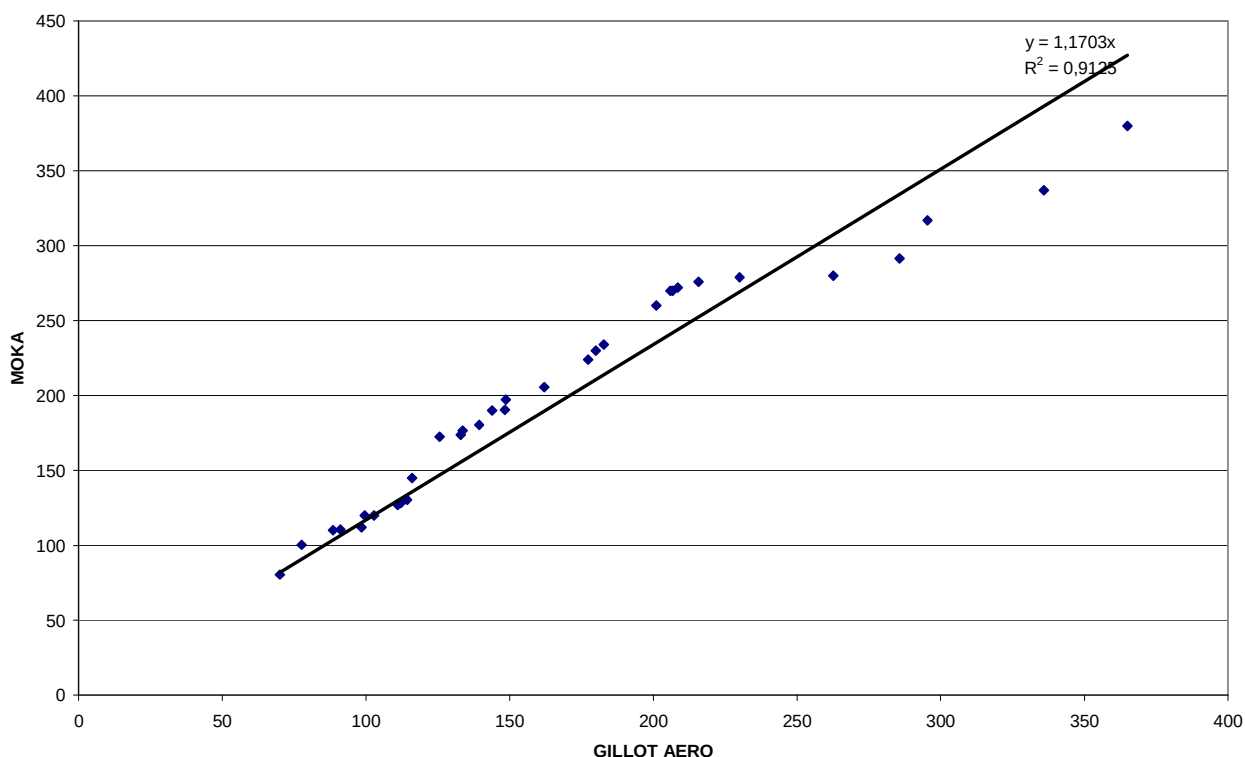


AVEC LA STATION DE MOKA

Une comparaison par équifréquence est proposée, l'analyse sur l'ensemble de l'échantillon commun (33 ans) donne la relation suivante :

↳ Pluie Moka = 1,17 x pluies Gillot Aéro.

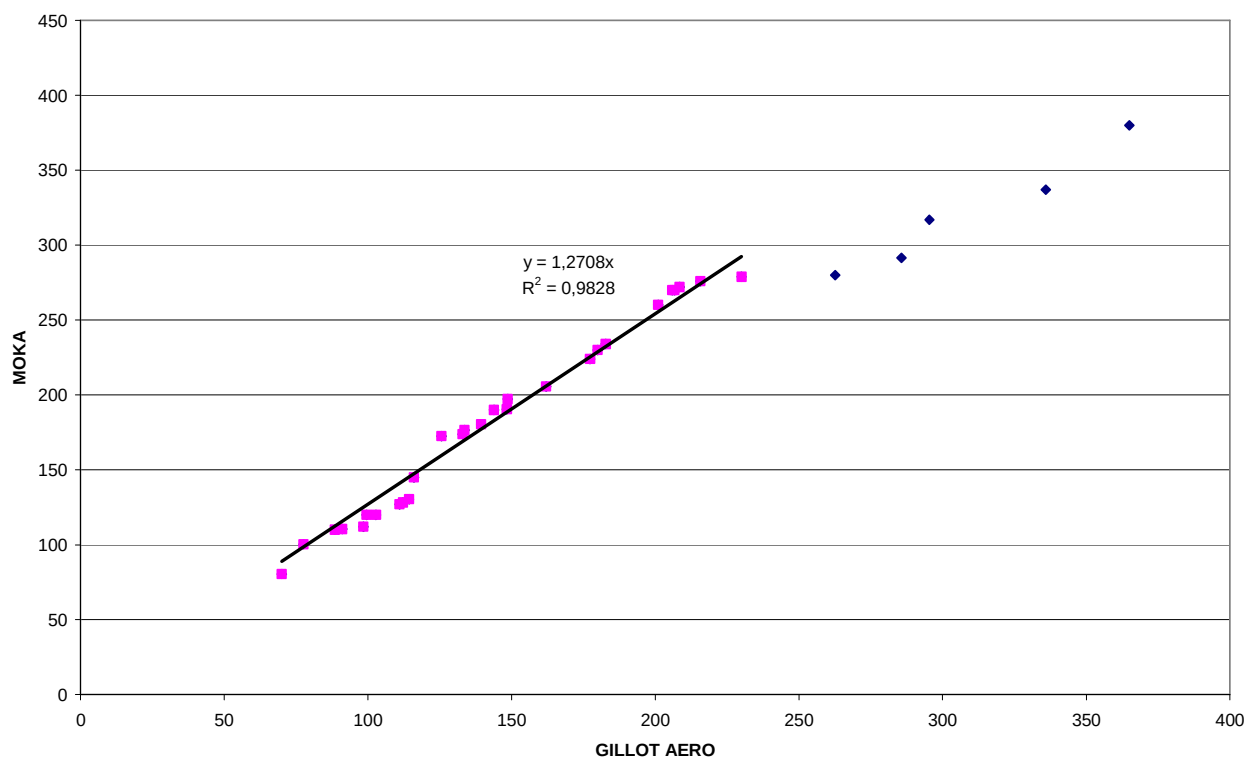
Figure n° 32 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM)
(STATIONS DE MOKA ET GILLOT AERO)



Pour les valeurs de pluies inférieures à 280 mm à Moka, on constate qu'il peut y avoir une corrélation différente.

Celle-ci est présentée sur la figure n°33, page suivante.

Figure n°33 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM)
(STATIONS DE MOKA ET GILLOT AERO)



La station de Moka présente la particularité de ne pas présenter de cassure dans l'ajustement des pluies, alors que cette cassure est observée dans les ajustements des autres stations. Suspectant des valeurs douteuses pour les fortes pluies, nous retiendrons le coefficient de proportionnalité mise en évidence pour les pluies inférieures à 280 mm à Moka, soit :

↳ Pluie Moka = 1,27 x pluies Gillot Aéro.

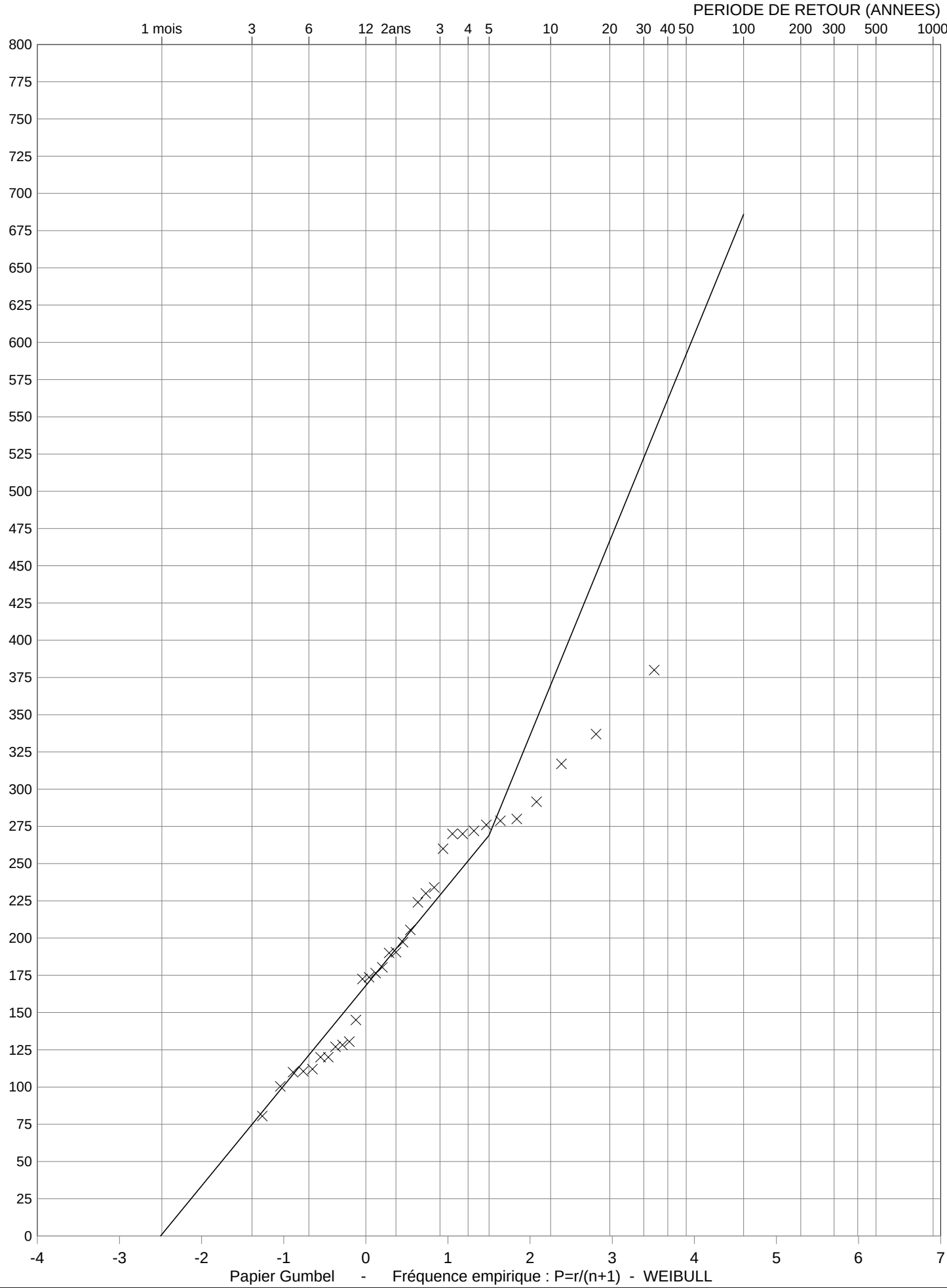
En appliquant ce coefficient à la droite d'ajustement, on obtient la droite d'ajustement modifiée présentée sur la figure n°34, page suivante.

SOGREAH 30-11-2007 / 11:11

MOKA

Traitement de 33 valeurs sur 33 années

pluies journalières

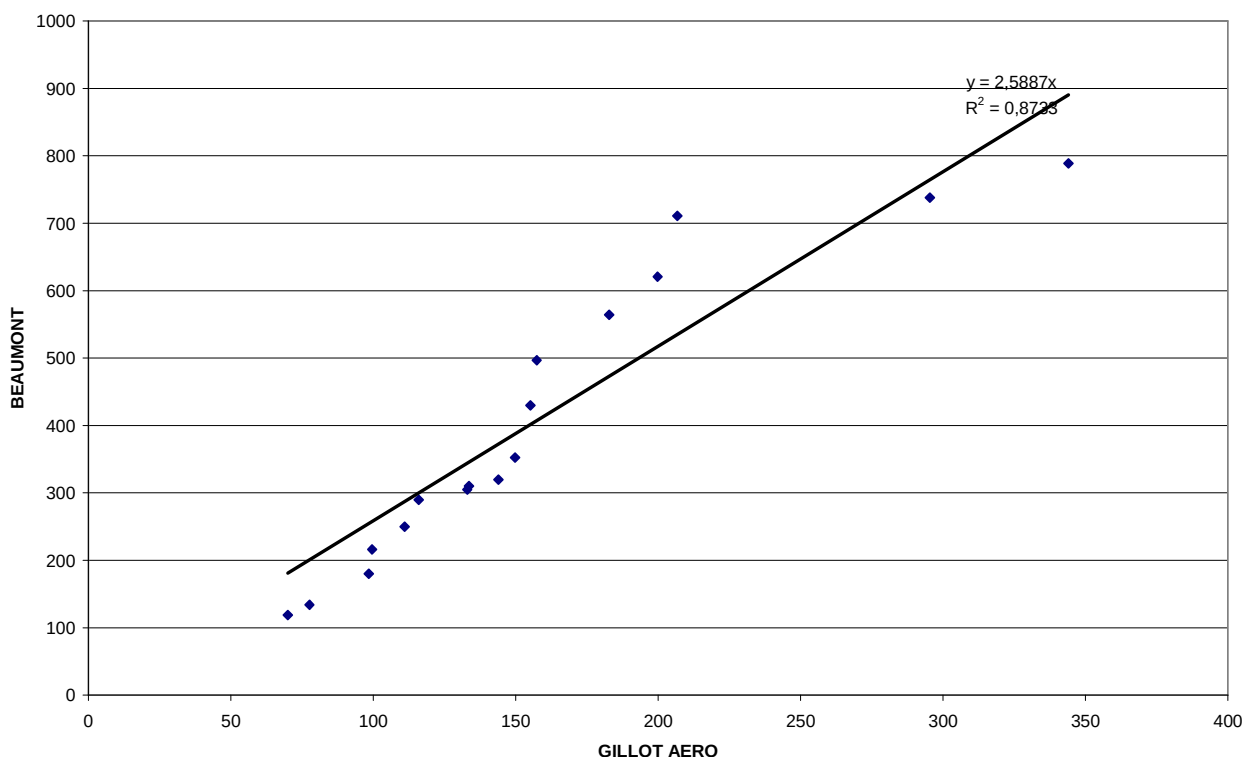


AVEC LA STATION DE BEAUMONT

Une comparaison par équifréquence est proposée, l'analyse sur l'ensemble de l'échantillon commun (17 ans) donne la relation suivante :

↳ Pluie Beaumont = 2,59 x pluies Gillot Aéro.

Figure n° 35 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM)
(STATIONS BEAUMONT ET GILLOT AERO)



Une corrélation excluant les deux plus fortes valeurs n'apporte pas un meilleur ajustement.

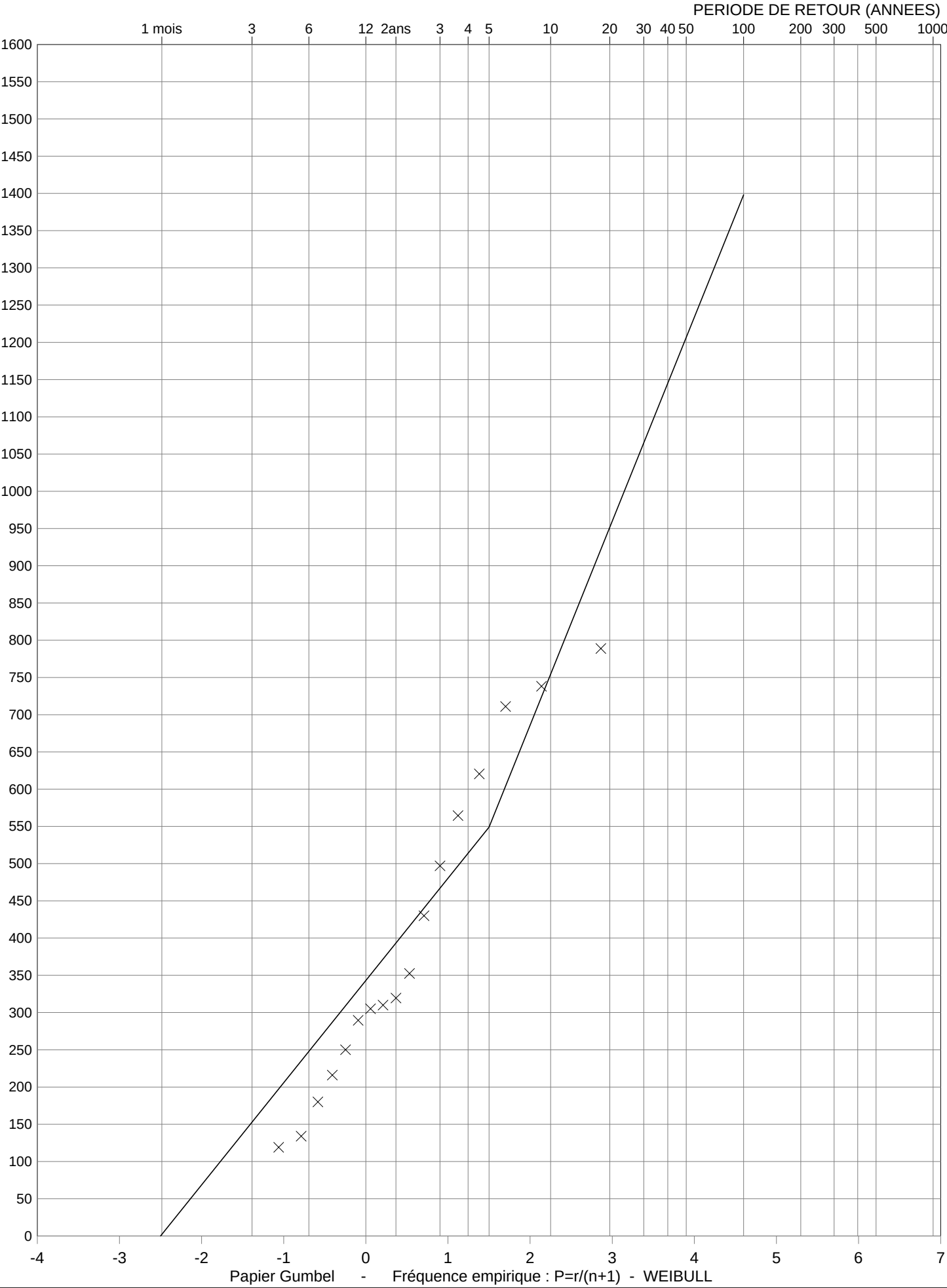
On retiendra le coefficient de 2,59. En appliquant ce coefficient, on obtient la droite d'ajustement modifiée présentée sur la figure n° 36 , page suivante.

SOGREAH 30-11-2007 / 12:56

BEAUMONT

Traitement de 17 valeurs sur 17 années

pluies journalières

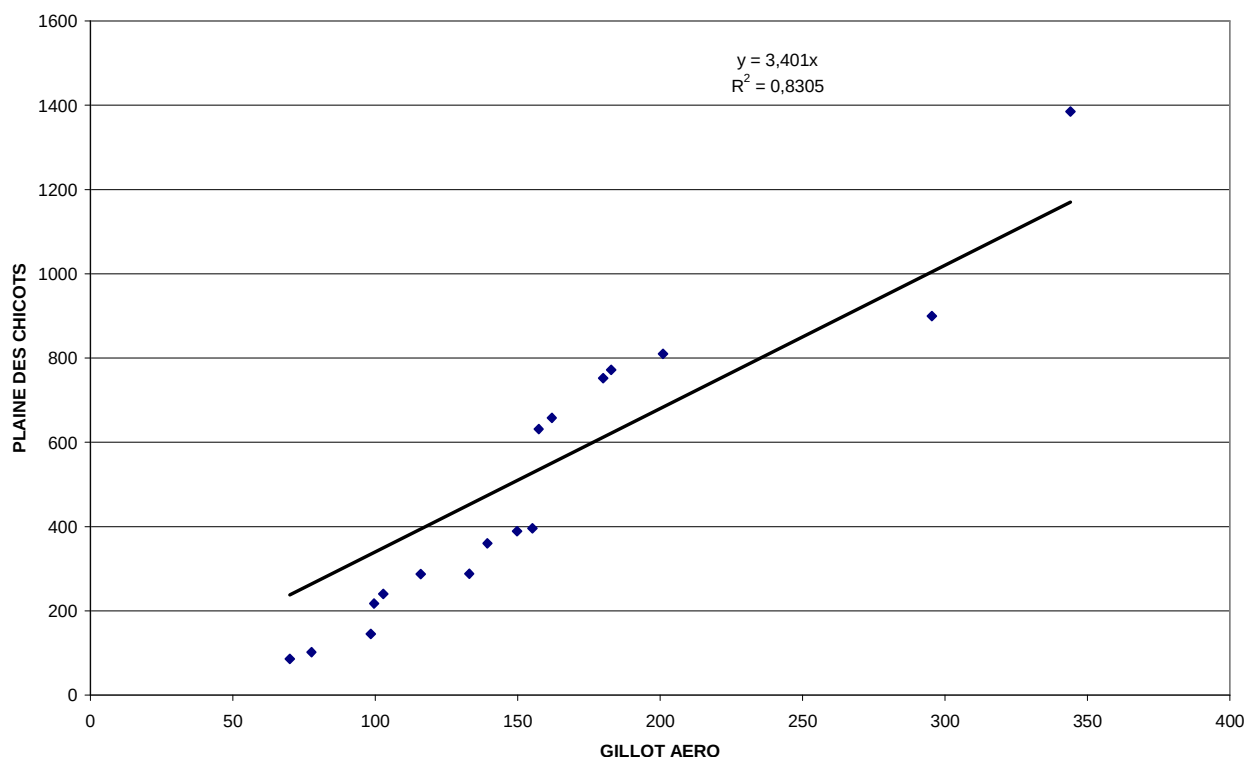


AVEC LA STATION DE LA PLAINE DES CHICOTS

Une comparaison par équifréquence est proposée, l'analyse sur l'ensemble de l'échantillon commun (17 ans) donne la relation suivante :

☞ Pluie Plaine des Chicots = 3,40 x pluies Gillot Aéro.

Figure n°37 – COMPARAISON PAR EQUIFREQUENCE DES PLUIES (MM)
(STATIONS PLAINE DES CHICOTS ET GILLOT AERO)



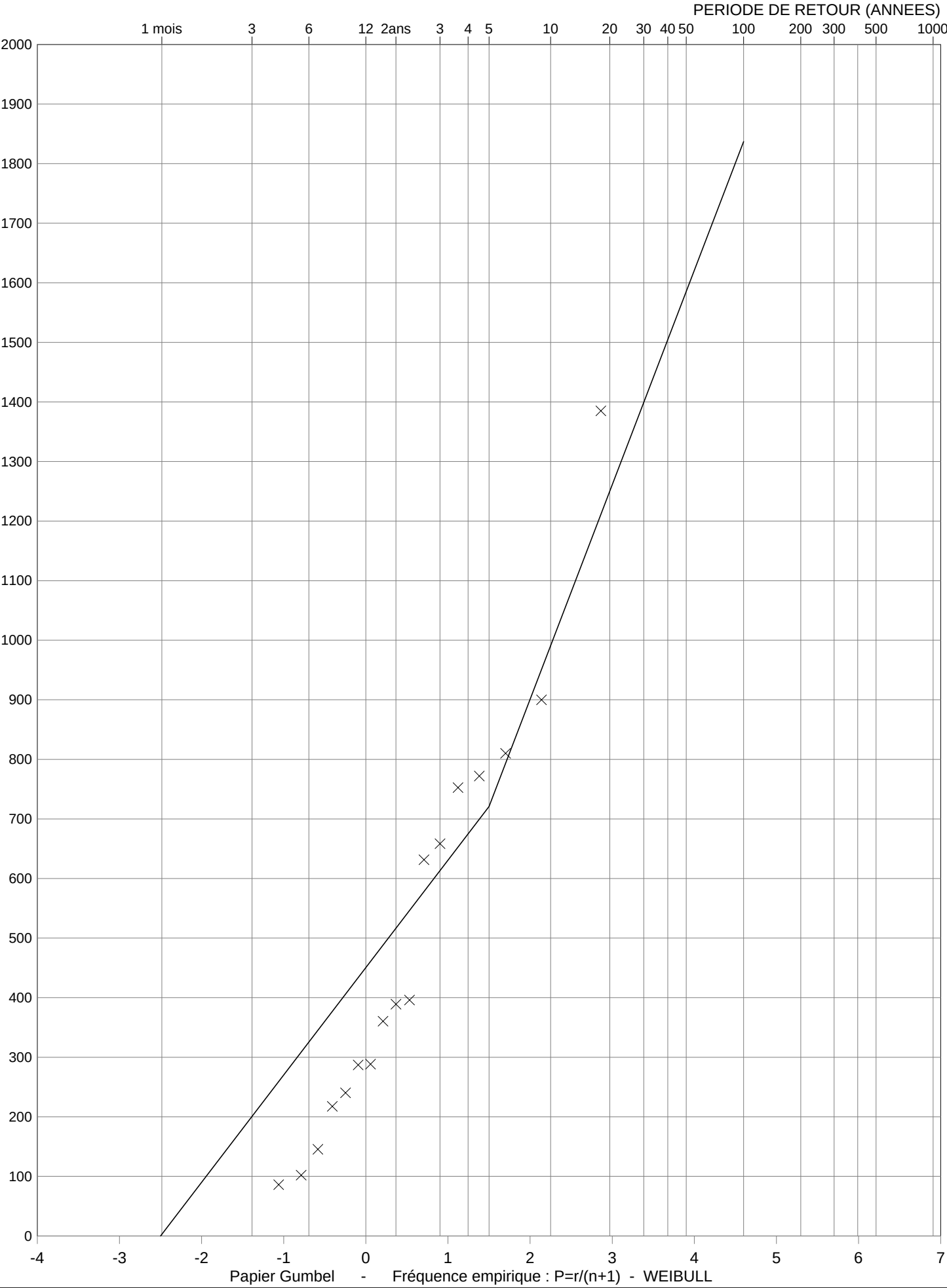
Malgré la corrélation plutôt médiocre, liée notamment au faible nombre de valeurs communes, on retiendra ce coefficient de 3,40. En appliquant ce coefficient, on obtient la droite d'ajustement modifiée présentée sur la figure n°38, page suivante.

SOGREAH 30-11-2007 / 12:58

CHICOTS

Traitement de 17 valeurs sur 17 années

pluie journalière



7.2.5. LES PLUIES JOURNALIERES CARACTERISTIQUES

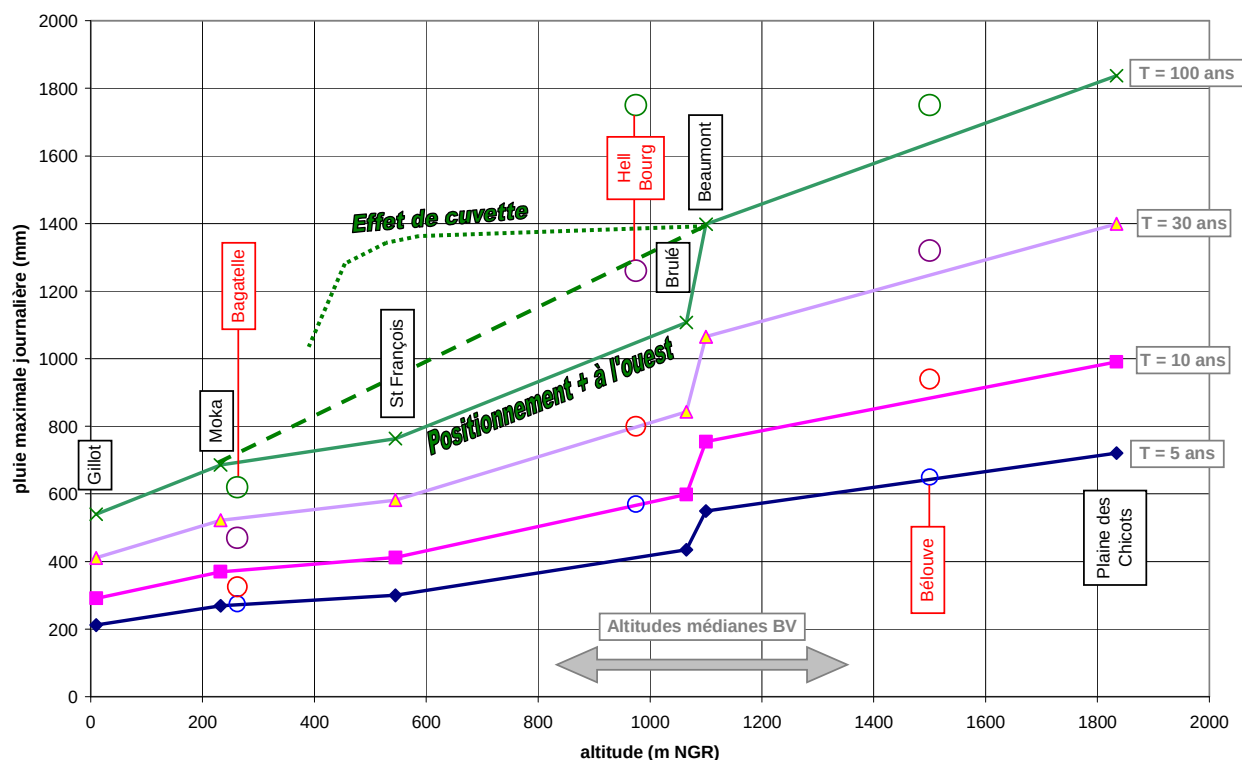
Nous constatons que l'on ne peut définir une seule valeur de pluie journalière de période de retour donnée pour l'ensemble du bassin versant. L'altitude joue un rôle déterminant dans la répartition des pluies.

Tableau n°13 – ESTIMATION DES PLUIES JOURNALIERES CARACTERISTIQUES (MM)

Station	Altitude (m NGR)	P _{j5}	P _{j10}	P _{j30}	P _{j100}
Gillot	10	212	291	411	540
Moka	232	269	370	522	686
St François	545	300	412	582	764
Brûlé – Val-Fleuri	1 065	435	598	843	1 107
Beaumont	1 100	549	755	1 065	1 398
Plaine des Chicots	1 834	721	991	1 399	1 837

La figure suivante présente graphiquement ces résultats, en y ajoutant les données, à titre d'information, des stations de Bagatelle, Hell-Bourg et Bélouve.

Figure n°39 – RELATION DES PLUIES JOURNALIERES AVEC L'ALTITUDE
A PARTIR DES AJUSTEMENTS REALISES



Nous pouvons faire les constats suivants :

- ↗ En plus de l'évolution en fonction de l'altitude, apparaît une évolution selon un axe est → ouest ;
- ↗ L'effet de "cuvette" (renforcement des précipitations maximales en fond de vallée incisant profondément la planèze) n'est pas connu ici, faute de poste présent en fond de vallée ;
- ↗ Les exemples déjà mis en évidence dans d'autres vallées de l'île (entre Grand Coude et Grand Galet sur le bassin versant de la Rivière Langevin, et entre Hell Bourg et Bélouve dans le cirque de Salazie) montrent une pluviométrie maximale similaire en fond de vallée et en sommet de rempart alors que l'écart de dénivelé atteint 600 m ;
- ↗ Il est proposé de prendre en compte cet effet pour le bassin versant de la Rivière des Pluies.

7.3. ANALYSE DES DEBITS

7.3.1. DONNEES DISPONIBLES

Des estimations de débit de crue sont disponibles de 1977 (Fifi) à ce jour.

Ces données disponibles sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau n°14 – DONNEES DISPONIBLES SUR LES ESTIMATIONS DE DEBITS DE CRUE

Date et événement	Nature de la donnée	Source
1977 (Fifi)	✓ Estimation de débit et d'hydrogrammes – pas de données sources (pont Domenjod)	DAF/SOGREAH
1980 (Hyacinthe)	✓ Relevé de laisses de crue (pont RN102, pont Domenjod, amont pont Domenjod)	SOGREAH
	✓ Estimation de débits et d'hydrogrammes (pont Domenjod)	SOGREAH
1987 (Clotilda)	✓ Estimation de débit – pas de données source (pont Domenjod)	DAF/SOGREAH
1989 (Firinga)	✓ Estimation de débit – pas de données source (pont Domenjod)	DDE
1993 (fortes pluies en mars)	✓ Estimation de débit – pas de données source.	OLE
	✓ Photos post-crues avec laisses au pont Domenjod	DDE
1994 (Hollanda)	✓ Estimation de hauteur d'eau au pont Domenjod	OLE
1998 (fortes pluies de février)	✓ Estimation de débit – pas de données source (pont Domenjod)	OLE
2000 (Connie)	✓ Mesure de hauteur d'eau station 21101	OLE
2001 (Ando)	✓ Mesure de hauteur d'eau station 21101	OLE
2002 (Dina)	✓ Mesure de hauteur d'eau station 21101	OLE
2004 (fortes pluies du 15/12)	✓ Laisses de crue station 21101	OLE
2006 (Fortes pluies de février)	✓ Laisses de crue station 21101	OLE
	✓ Laisses de crue pont Domenjod	OLE
	✓ Photos durant l'événement	SOGREAH

Date et événement	Nature de la donnée	Source
2006 (Diwa)	✓ Photos et vidéos durant l'événement	OLE et SOGREAH
2007 (Gamède)	✓ Mesures hauteurs d'eau et vitesses pont Domenjod	DDE
	✓ Photos et vidéos durant l'événement	SOGREAH

Notons :

- ✚ Qu'il n'a pas été possible de retrouver les données des mesures DDE effectuées au pont Domenjod (stations limnigraphique) entre 1986 et 1994 ;
- ✚ Que les données associées aux mesures de hauteurs d'eau (ancienne station OLE 21101, radar DDE pont Domenjod) sont souvent partielles et imprécises :
 - Absence de nivellement précis de la station et de ses abords ;
 - Absence de rattachement précis au système NGR du "zéro" de la station ;
 - Modifications fréquentes et non précisées de ce zéro.

Ces manques ont été comblés, avec des incertitudes, en fonction des données topographiques disponibles, des archives concernant les plans du pont Domenjod, des observations en crue, et par divers recoupements.

Pour la station en service du pont de Domenjod, nous recommandons :

- ✚ Un rattachement précis au système NGR du "zéro" ;
- ✚ Un suivi régulier et précis des modifications de ce zéro ;
- ✚ Des levés réguliers de la section d'écoulement.

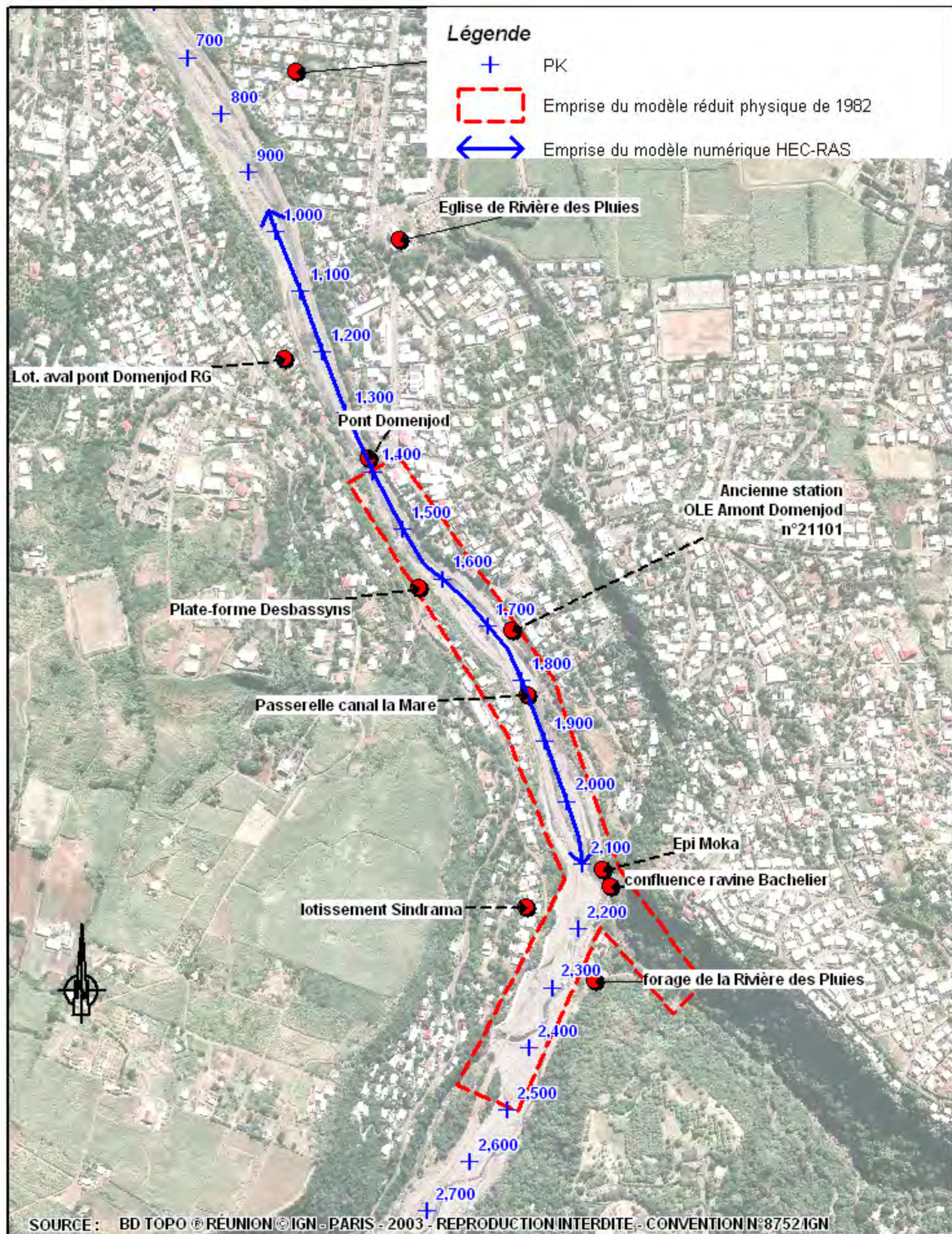
7.3.2. EXPLOITATION DES DONNEES DISPONIBLES

Ces données disponibles, outre les estimations de débits sans mention des données source (hauteurs d'eau par exemple) sont localisées au pont Domenjod (PK 1380) et à la station 21101 de l'OLE (PK 1730, rive droite).

Deux outils sont utilisés pour exploiter ces données :

- ✚ Un modèle numérique hydraulique 1D construit du PK 2100 au PK 960 dans le cadre de la présente mission ;
- ✚ Le modèle réduit physique réalisé en décembre 1982 (réf. /13/) et s'étendant du PK 2 500 au PK 1 400.

La figure n° 40, page suivante situe les différents éléments.



VISA			CINOR	Avril 2008
DATE	Etabli par	Vérifié par		
04/2008	ETu	ETu	ETUDE DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIÈRE DES PLUIES - PHASE 1 LOCALISATION DES DONNÉES ET OUTILS POUR L'ÉVALUATION DES CRUES OBSERVÉES	4.70.0492
				Ech. : 1/25 000
				Figure n°40

7.3.2.1. EXPLOITATION DU MODELE REDUIT PHYSIQUE DE 1982

La station 21101 se situe entre les profils P11 et P12 de l'étude de 1982, à 65 m en aval du profil P11. Deux débits (570 et 1 000 m³/s) ont fait l'objet d'une représentation des lignes d'eau, en distinguant rive droite et rive gauche. En effet, la rive droite, située au niveau de la station en extrados de courbe, présente des niveaux d'eau plus élevés que la rive gauche.

Ces données sont les suivantes pour un fond moyen à 97,70 m NGR évoluant à 99,00 m NGR en cours d'essai.

*Tableau n°15 – DONNEES HAUTEUR / DEBIT ISSUES DU MODELE PHYSIQUE DE 1982
EN RIVE DROITE AU NIVEAU DU PK 1730*

Débit (m ³ /s)	Cote (m NGR)
570	100,8
1 000	101,8

7.3.2.2. CONSTRUCTION ET EXPLOITATION DU MODELE NUMERIQUE

Ce modèle, développé à l'aide du logiciel HEC-RAS version 4 comporte 14 sections principales, 14 interpolées et un ouvrage de type pont pour la représentation du pont de Domenjod.

Plusieurs hypothèses de niveau de fond du lit ont été utilisées pour les calculs de lignes d'eau :

- ↪ Hypothèse moyenne (niveaux stables du lit sur la période 1990 – 2005) ;
- ↪ Hypothèse haute (fond du lit après Diwa) ;
- ↪ Hypothèse basse (fond du lit 2007 après curage et passage de Gamède).

7.3.2.3. CONSTATS AU DROIT DU PK 1730

La figure n° 41, page 150, synthétise la connaissance acquise au droit de la station de l'OLE :

- ↪ Données hauteur / débit issues du modèle réduit ;
- ↪ Courbes de tarage issues du modèle numérique selon plusieurs hypothèses de niveau de lit ;
- ↪ Variations observées et estimées du fond du lit ;
- ↪ Plus hautes eaux selon laisses de crues (2004 et postérieures) ou mesures station (2002 et antérieures).

Les photos suivantes illustrent différentes configuration de ce site.



Photo n°40 – STATION 21101 APRES LA CRUE DE DECEMBRE 2004 (OLE)



Photo n°41 – STATION 21101 APRES LA CRUE DE FEVRIER 2006 (OLE)

Les laisses de crue atteignant le sommet du socle cylindrique en béton de la station.

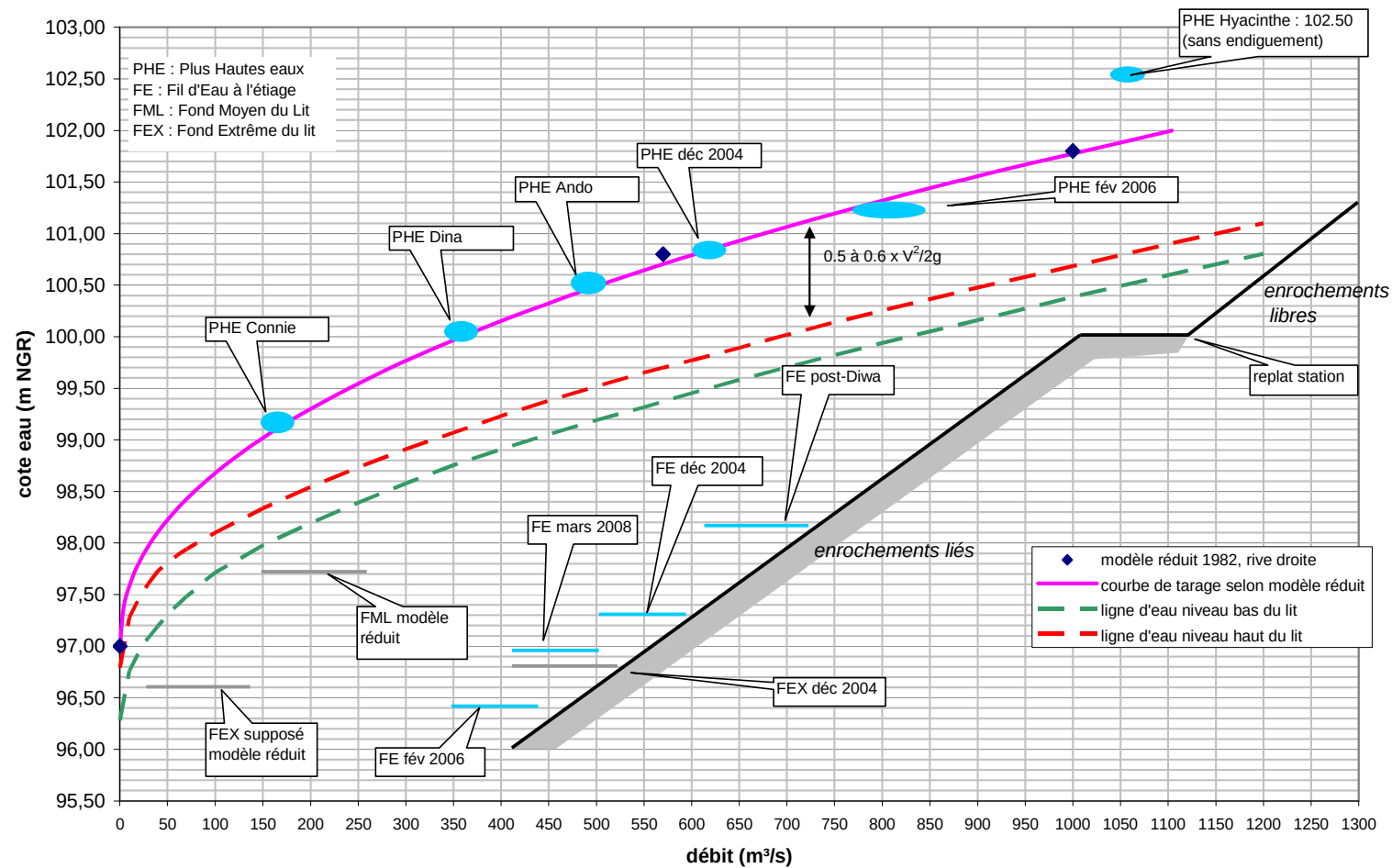


Photo n°42 – STATION 21101 PENDANT LA CRUE LIEE A DIWA (OLE)



*Photo n°43 – ECOULEMENT ONDULANT (PRESENCE D'ANTI-DUNES) EN AMONT
IMMEDIAT DE LA STATION PENDANT GAMEDE (LE 27/02/07 A 10 H)*

Figure n°41 – CONNAISSANCES SUR LA RELATION HAUTEUR / DEBIT AU PK 1730



Cette figure amène les interprétations suivantes :

- ↗ Les lignes d'eau calculées par HEC-RAS fournissent des cotes moins importantes que celles du modèle réduit. Cela peut s'expliquer par une surcote (soit une fraction de $\frac{V^2}{2g}$) observée en extrados de courbe ;
- ↗ Cette surcote est plus importante pour Hyacinthe, où l'absence de protection et les dégâts à ce niveau ont engendré une perte de charge plus importante. Le point (H, Q) pour Hyacinthe est positionné en cohérence avec les analyses faites au niveau du pont Domenjod ;
- ↗ Les fonds pour Connie, Ando, Dina, Décembre 2004 sont relativement stables et correspondent à ceux retenus pour le modèle réduit ;
- ↗ Le point (H, Q) de février 2006 a été positionné en fonction :
 - Des laisses de crues observées à cette station et confirmées par l'OLE ;
 - D'une légère décote par rapport à la courbe modèle réduit pour tenir compte de fonds légèrement plus bas ;
 - En cohérence avec les estimations faites au droit au pont Domenjod.
- ↗ Il n'existe pas de relevé de laisses de crue pour Diwa.

7.3.2.4. CONSTATS AU DROIT DU PONT DOMENJOD

La figure n° 42, page suivante synthétise la connaissance acquise au droit du pont de Domenjod (face amont) :

- ↗ Courbes de tarage issues du modèle numérique selon plusieurs hypothèses de niveau du lit et d'affouillements locaux en crue ;
- ↗ Variations observées et estimées du fond du lit ;
- ↗ Plus hautes eaux selon laisses de crues (Hyacinthe, 1993, 2006) et mesures station (Gamède).

Les photos suivantes illustrent différentes configuration de ce site.



*Photo n°44 – CRUE DE FEVRIER 2006 – PONT DE DOMENJOD
(18/02/06 A 16H30 – SOGREAH)*



Photo n°45 – CRUE DE FEVRIER 2006 – PONT DE DOMENJOD – LAISSE DE CRUE



Photo n°46 – DIWA – PONT DE DOMENJOD (6 MARS 2006, HEURE NON CONNUE – DDE)



Photo n°47 – PONT DE DOMENJOD APRES DIWA (AVRIL 2006 – SOGREAH)

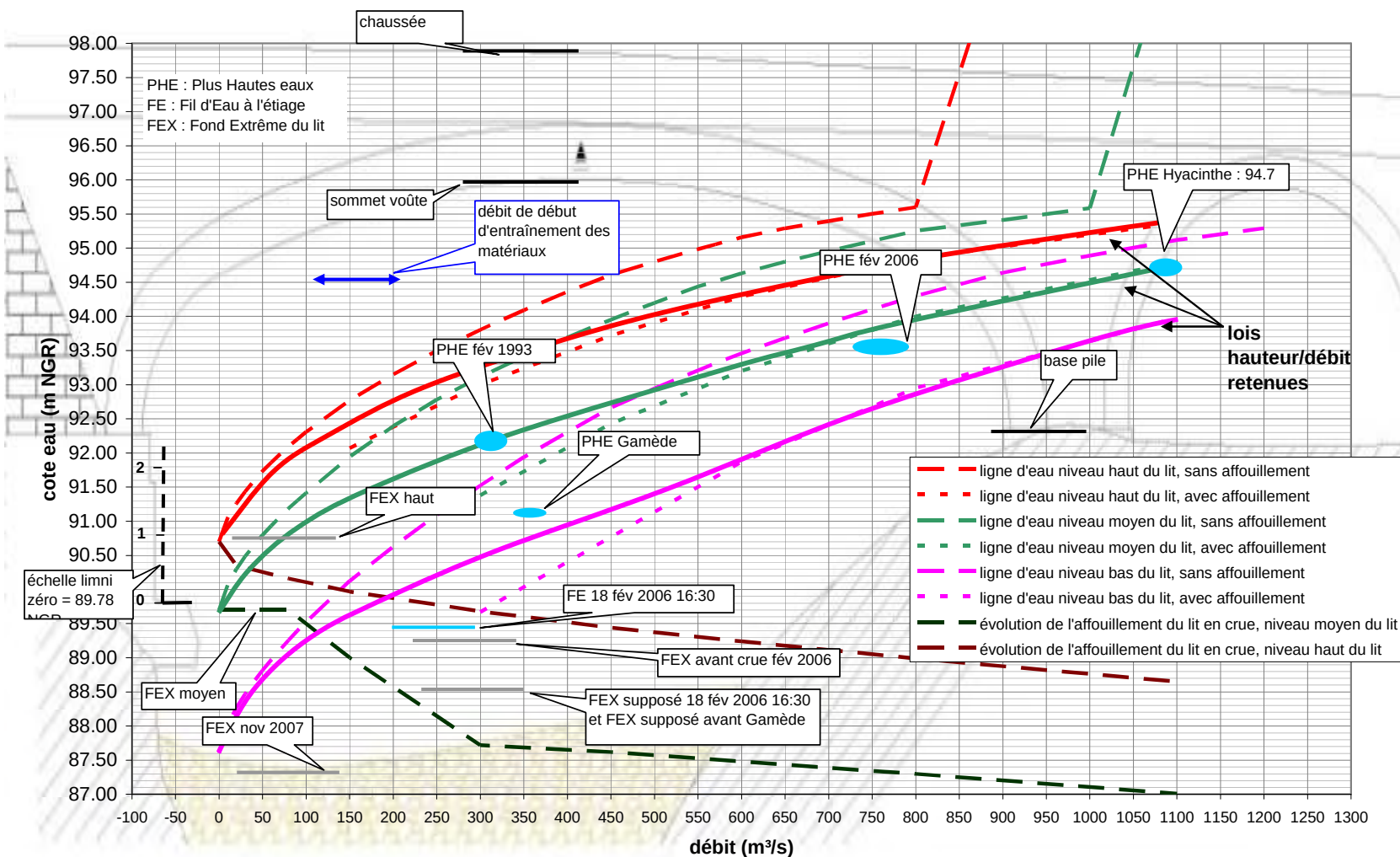


Photo n°48 – GAMEDE – PONT DE DOMENJOD (27/02/07 A 10H11 – SOGREAH)



Photo n°49 – PONT DE DOMENJOD APRES GAMEDE (NOVEMBRE 2007 – SOGREAH)

Figure n°42 – CONNAISSANCES SUR LA RELATION HAUTEUR / DEBIT AU PONT DOMENJOD (PK 1382)



Cette figure amène les commentaires et interprétations suivantes :

- ↪ Les simulations avec un paramétrage classique montrent un ressaut et passage en régime fluvial juste en amont du pont, même pour des débits de quelques centaines de m^3/s . Ce régime d'écoulement n'est pas observé en réalité (cf. photo n° 46) du fait notamment des coulées de débris qui réalisent un entonnement progressif. Les courbes hauteur / débit représentées correspondent ainsi à un régime critique ou torrentiel d'écoulement ;
- ↪ Le rétrécissement du lit induit, à partir d'un certain débit, un affouillement local des fonds pendant la crue (visible en fin de crue sur la photo n° 44). Cet affouillement est quantifié en faisant l'hypothèse d'une continuité du transport solide au passage de l'ouvrage en appliquant la formule de MEYER – PETER, et en re-simulant le résultat sous HEC-RAS ;
- ↪ Les lois hauteur / débit pour les trois configurations du niveau du lit sont ensuite tracées (pas d'affouillement en dessous de la plage de débit de début d'entraînement des matériaux, affouillement au-delà) ;
- ↪ Le point (H, Q) de février 2006 a été positionné en fonction :
 - Des laisses de crues observées à cette station ;
 - D'une légère décote par rapport à la loi (H, Q) moyenne pour tenir compte de fonds légèrement plus bas ;
 - En cohérence avec les estimations faites au PK 1730.
- ↪ Le point (H, Q) de Gamède a été positionné en fonction :
 - De la mesure DDE recalée ($PHE_{MAX} = 91,1$ m NGR) ;
 - De fonds évoluant en crue de 88,60 à 87,30 m NGR ;
 - De la cohérence entre les vitesses mesurées par le radar et celles données par le modèle numérique (avec un rapport de 0,8 entre vitesse maximale de surface et vitesse moyenne) ;
- ↪ Il n'existe pas de relevé de laisses de crue pour Diwa.

7.3.3. ESTIMATIONS DES DEBITS DE POINTE EN HYDROGRAMMES DE CRUE

Le tableau suivant récapitule les estimations de débits réalisées à partir de l'exploitation des mesures et observations disponibles.

Tableau n° 16 – MISE A JOUR DES ESTIMATIONS DES DEBITS DE CRUE

Evénements	Date et heure maxi.	Débit estimé (m^3/s)	Source
Fifi	Février 1977	625	DAF / SOGREAH
Hyacinthe	Janvier 1980	1 050	Mise à jour présente étude
Clotilda	12/02/2007	500	DAF / SOGREAH

Evénements	Date et heure maxi.	Débit estimé (m ³ /s)	Source
Firinga	29/01/1989	225	?
1993	01/03/1993	350	OLE
1998	25/02/1998	600	OLE Mise à jour présente étude
Connie	29/01/00 à 12h00	170	Mise à jour présente étude
Ando	7/01/01 à 6h42	500	Mise à jour présente étude
Dina	22/01/02 à 22h10	370	Mise à jour présente étude
Décembre 2004	15/12/04 entre 6 et 8h	630	Mise à jour présente étude
Février 2006	18/02/06 vers 10h30-10h45	800	Mise à jour présente étude
Diwa	Du 5 au 8/03/06	?	Données non disponibles
Gamède	27/02/07 à 8h40	360	Mise à jour présente étude

Ces estimations de débits représentant les plus fortes valeurs observées ou estimées depuis 1976. L'analyse des données des annuaires hydrologiques de l'OLE et des autres données disponibles (études, dégâts sur la piste ILO, etc.) montrant en effet que les autres années de cette période n'ont pas connus de crues supérieures 150 m³/s au Pont Domenjod.

7.4. ANALYSE DES DEBITS REDUITS ET RELATION PLUIE DEBIT

7.4.1. TRANSFORMATION EN DEBITS REDUITS

La méthode SPEED établit une relation entre pluie journalière et débit réduit de même fréquence. Le débit réduit est un débit exprimé en lame d'eau (mm) à l'aide de la formule suivante :

$$Q_{re} = \frac{12 \times Q}{S^{0,75}} \text{ avec}$$

↪ Q_{re} en mm

↪ Q en m³/s

↪ S superficie du bassin versant en km².

Le coefficient 12 dépend notamment du calcul du temps de concentration, avec utilisation de la formule suivante :

$$t_c = 10,48 S^{0,417} \text{ avec } t_c \text{ en min et } S \text{ en ha}$$

Cette constante de 10,48 a été fixée expérimentalement et donnerait, au droit du pont Domenjod un temps de concentration de 5h30 environ.

L'analyse des hydrogrammes disponibles et un calcul de temps de concentration par les formules habituelles donnerait plutôt des valeurs de 2h30 à 3h.

On retient ainsi la formule du temps de concentration suivante :

$$t_c = 5,24 S^{0.417} \text{ (avec les mêmes unités).}$$

Avec ces hypothèses, le débit réduit s'écrit :

$$Q_{re} = \frac{8Q}{S^{0.75}}$$

L'analyse des données sur les crues du précédent chapitre a permis d'établir une chronique des crues les plus importantes (12 valeurs) sur 32 années. Ces valeurs sont reportées dans le tableau suivant.

Tableau n°17 – DEBITS DE POINTES RETENUS DU PONT DOMENJOD

Année hydrologique	Q m³/s	Q _{re} mm
1977	625	321
1980	1 050	539
1987	500	257
1989	225	116
1993	350	180
1993	600	308
2000	170	87
2001	500	257
2002	370	190
2005	630	324
2006	800	411
2007	360	185

7.4.2. RELATION PLUIE DEBIT AU DROIT DU PONT DOMENJOD

Afin de disposer d'une référence applicable aux autres bassins versants du secteur d'étude, les données de la station de Gillot sont transformées fictivement en données à l'altitude médiane du bassin versant au droit du pont Domenjod (906 m NGR).

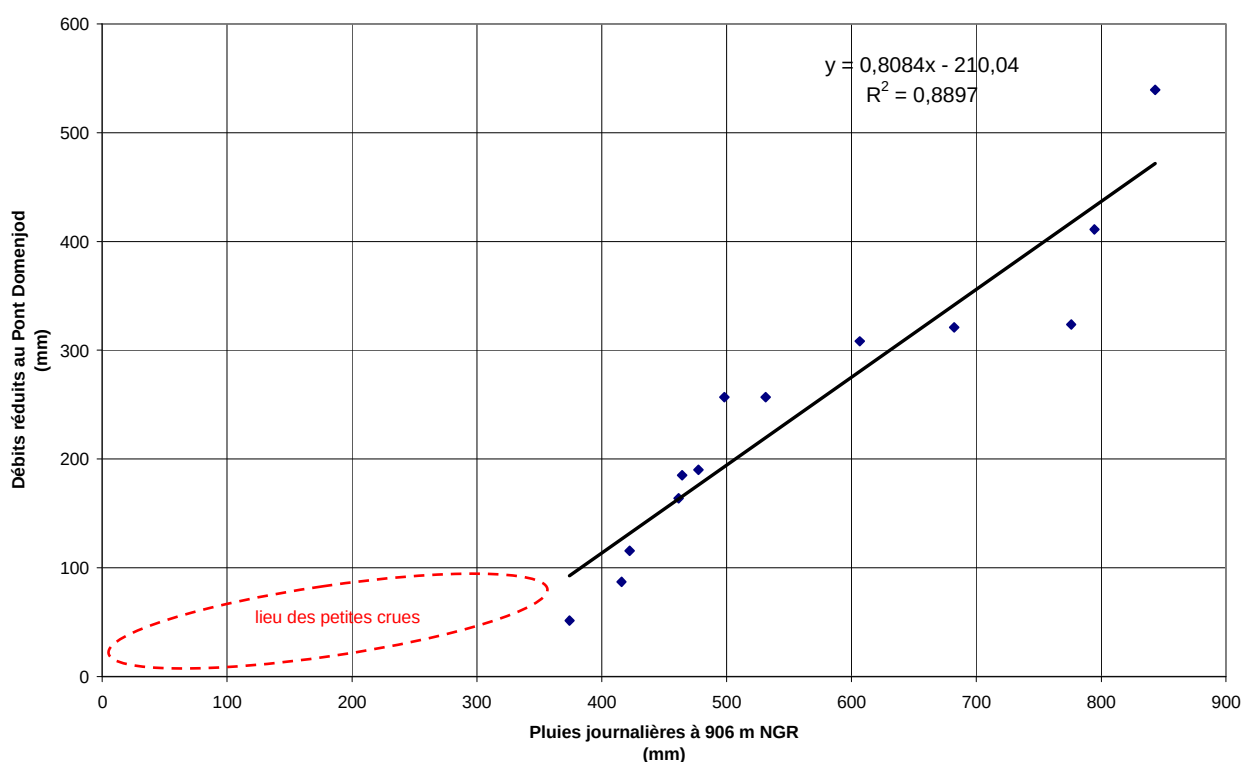
Cette transformation est réalisée à l'aide du gradient mis en évidence entre les stations de Gillot et Beaumont.

L'analyse consiste alors à comparer les chroniques de débits réduits disponibles avec les chroniques de pluies journalières maximales annuelles à l'altitude médiane du bassin versant associé, sur la même période, à savoir de 1976 à 2007.

La comparaison des données est réalisée par équifréquence : les données de pluies et de débit sont classées par valeurs croissantes et tracées sur un graphique (chaque point correspond à des valeurs équifréquentes).

On en déduit ainsi la corrélation qui existe entre les valeurs de débits réduits et de pluies.

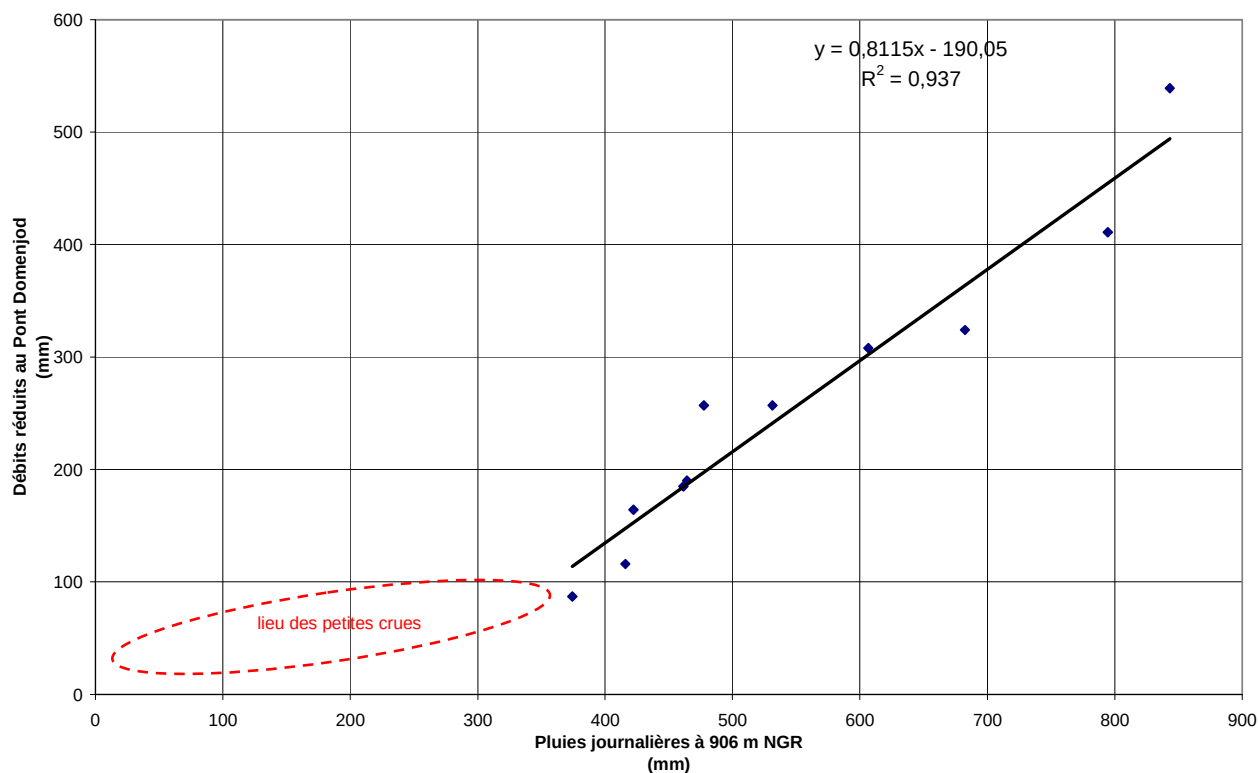
Figure n°43 – CORRELATION Q_{RE} PONT DOMENJOD ET PLUIES JOURNALIERES A L'ALTITUDE MEDIANE DU BASSIN VERSANT (ENSEMBLE DES VALEURS)



Le graphique des valeurs équifréquentes montre une corrélation qualifiée de moyenne ($R^2 = 0,89$).

Un autre essai a été réalisé en considérant 30 années et 11 valeurs (en enlevant l'évènement Fifi, dont l'estimation de débit paraît entachée de beaucoup d'incertitudes).

Figure n°44 – CORRELATION Q_{re} PONT DOMENJOD ET PLUIES JOURNALIERES A L'ALTITUDE MEDIANE DU BASSIN VERSANT (SUR 30 ANNEES)



La corrélation est ainsi meilleure avec un coefficient de corrélation $R^2=0,94$.

La relation $Q_{re} = 0,81^{2,0} P_j - 190$ (avec Q_{re} et P_j en mm) a été appliquée à l'ajustement des pluies tel que supposé dans le § 7.2 pour la station de Gillot corrigé à l'altitude médiane du bassin versant, sur l'ensemble de la période disponible pour cette station (population « mère » de 54 années).

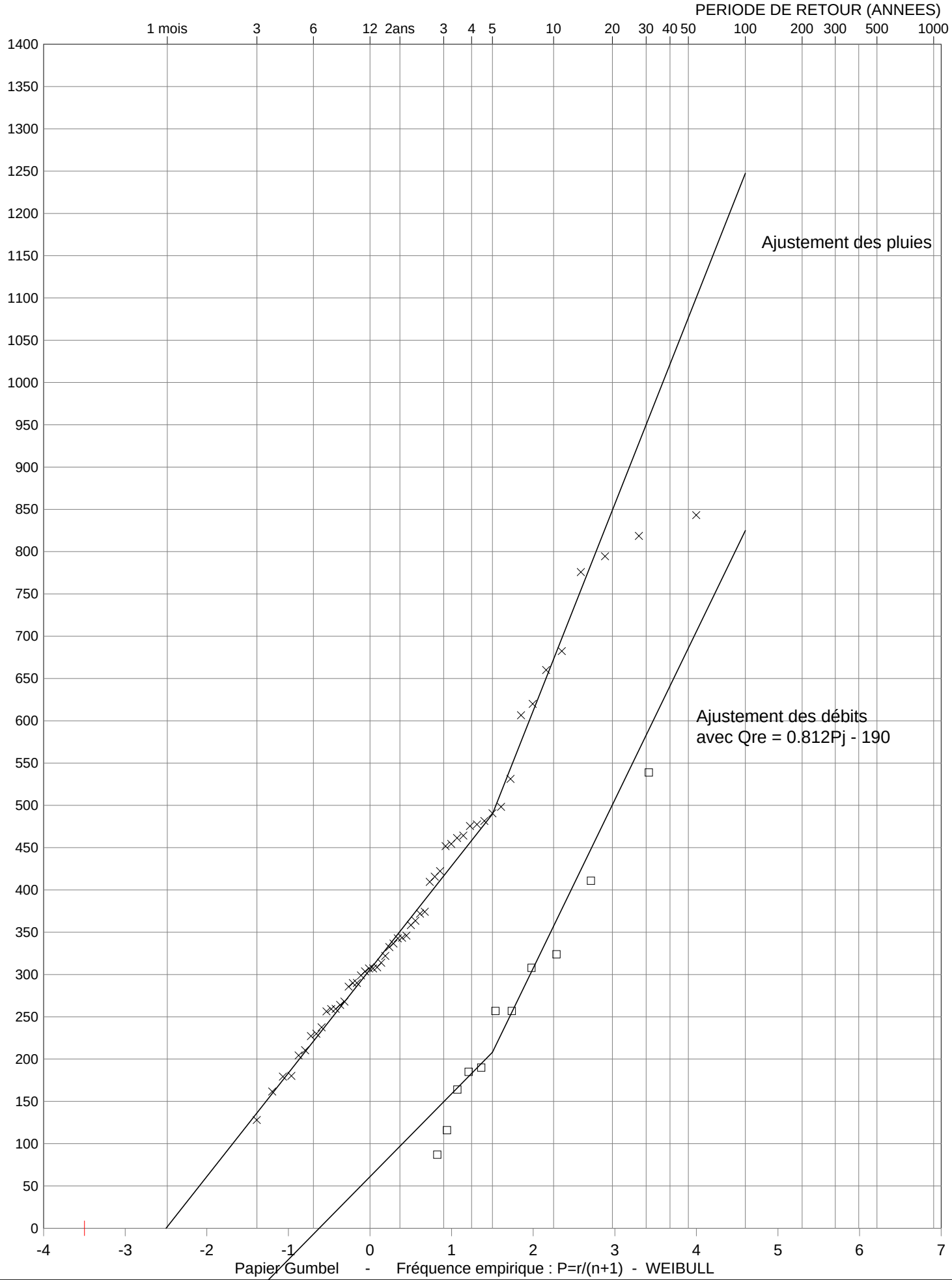
On en déduit l'ajustement sur les débits réduits de la figure page suivante.

SOGREAH 07-04-2008 / 15:49

la Rivière des Pluies au Pont Domenjod

Ajustement des débits déduit des pluies journalières à l'altitude médiane du bassin versant

Débits réduits (coef. 8) ou pluies journalières (mm)



On observe sur ce graphe :

- ✎ Que le pivot des débits réduits n'est pas confondu avec celui des pluies, le décalage (234 mm pour $Q_{re} = 0$) correspondant à la quantité d'eau perdue en infiltration profonde dans les basaltes ;
- ✎ Que la corrélation n'est pas très bonne entre les pluies et les débits. Cela peut provenir d'une variabilité spatiale des pluies relativement forte sur le bassin versant qui fait que des phénomènes intenses peuvent se produire sur un espace relativement réduit du bassin versant et ne pas concerner l'ensemble. Il faut également tenir compte du hasard de l'échantillonnage des débits : l'ajustement de l'échantillon des débits ne suit pas forcément celui de la population mère. Plus la taille de l'échantillon est grande, plus on a de chances de s'approcher de la population mère (celles aux caractéristiques "exactes") ;
- ✎ Qu'il est difficile de distinguer les deux relations (proportionnalité aux pluies pour les petites crues, parallélisme aux pluies pour les grosses crues) du fait des fortes infiltrations de départ et de la cassure dans l'ajustement des pluies.

7.4.3. DEBITS CARACTERISTIQUES DE CRUE DE LA RIVIERE DES PLUIES AU PONT DOMENJOD

Les débits réduits correspondant à différentes périodes de retour sont déduits de la droite d'ajustement des débits comme définie sur la figure n°45 précédente.

Le calcul des débits caractéristiques de crue découle ensuite des débits réduits en utilisant la formule suivante :

$$Q = Q_{re} \times \frac{S^{0,75}}{8} \text{ avec } S = 38,9 \text{ km}^2.$$

On obtient donc les débits caractéristiques suivants :

Tableau n°18 – DEBITS CARACTERISTIQUES DE CRUE

Période de retour (ans)	P_j	Q_{re} (mm)	Q (m ³ /s)
2	350	94	180
5	490	208	400
10	675	358	700
20	850	500	970
30	950	581	1 130
50	1 076	684	1 330
100	1 250	825	1 610

7.4.4. DEBITS CARACTERISTIQUES A D'AUTRES POINTS DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES

Pour estimer les débits caractéristiques de crue des bassins versants du secteur d'étude, caractérisés dans le tableau n°11 page 122, la dém arche est la suivante pour une période de retour donnée :

↪ Calcul de la pluie journalière maximale à l'altitude médiane du bassin versant par le gradient mis en évidence par l'analyse régionale des pluies ;

↪ Calcul du débit réduit en fonction de la relation

$$Q_{re} = 0,812 P_j - 190 \text{ (avec } Q_{re} \text{ et } P_j \text{ en mm) ;}$$

↪ Calcul du débit caractéristique (m3/s) avec la formule suivante :

$$Q = Q_{re} \frac{S^{0,75}}{8}$$

Tableau n°19 – DEBITS CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES

Bassin versant		BV_GRD_EBOULIS	
Exutoire		Limite amont – Grand Eboulis	
Superficie (km ²)		8,48	
Altitude de médiane (m NGR)		1 347	
Période de retour	P _j (mm)	Q _{re} (mm)	Q _p (m ³ /s)
2	448	174	110
5	627	319	200
10	864	512	320
20	1 088	693	430
30	1 216	797	500
50	1 377	928	580
100	1 600	1 109	690

Bassin versant		BV_FRUMENCE	
Exutoire		Cap Frumence – Limite amont zone dépôt ILO	
Superficie (km ²)		14,41	
Altitude de médiane (m NGR)		1 141	
Période de retour	P _j (mm)	Q _{re} (mm)	Q _p (m ³ /s)
2	403	137	130
5	563	267	250
10	776	440	410
20	978	604	560
30	1 093	697	640
50	1237	815	750
100	1438	977	900

Bassin versant		BV_SIND	
Exutoire		Amont confluence ravine Bachelier	
Superficie (km ²)		26,97	
Altitude de médiane (m NGR)		913	
Période de retour	P _i (mm)	Q _{re} (mm)	Q _p (m ³ /s)
2	350	94	140
5	490	208	310
10	675	358	530
20	850	500	740
30	950	581	860
50	1 076	684	1 010
100	1 250	825	1 220

Bassin versant		BV_RN 102	
Exutoire		Aval confluence ravine Cadet	
Superficie (km ²)		44,76	
Altitude de médiane (m NGR)		807	
Période de retour	P _i (mm)	Q _{re} (mm)	Q _p (m ³ /s)
2	329	77	170
5	460	184	400
10	635	325	700
20	799	459	990
30	893	535	1 160
50	1 011	631	1 370
100	1 175	764	1 650

7.5. MODELISATION PLUIE-DEBIT

Pour permettre de reconstituer le plus grand nombre d'hydrogrammes de crue (en fonction des données disponibles) et mieux comprendre la genèse des crues, nous avons mis en œuvre une modélisation pluie-débit des bassins versants de la Rivière des Pluies.

La modélisation est réalisée à l'aide du logiciel HEC-HMS (version 3.1.0).

Elle s'inspire de celle mise en place pour l'étude sur la Rivière du Mât (bassin versant de la Rivière du Mât – Estimation des volumes fréquentiels de crues, SOGREAH, 2004) sur un bassin similaire en ce qui concerne la géologie, et de celles récemment effectués sur le bassin versant de la Rivière Saint-Etienne (SOGREAH, 2007) et de la Rivière des Galets (SOGREAH, en cours).

La modélisation antérieure sur la Rivière du Mât avait bénéficié de données de calage plus complètes (hydrogrammes disponibles, à la fois en terme de débits de pointe, mais aussi au niveau temporel (occurrence des pointes de crues et des montées de crues)).

7.5.1. **DECOUPAGE EN SOUS-BASSINS VERSANTS**

Le découpage en sous-bassins versants utilisé pour la modélisation pluie-débit est réalisé en prenant en compte :

- ↳ La géologie des bassins versants ;
- ↳ Les points de calcul souhaités.

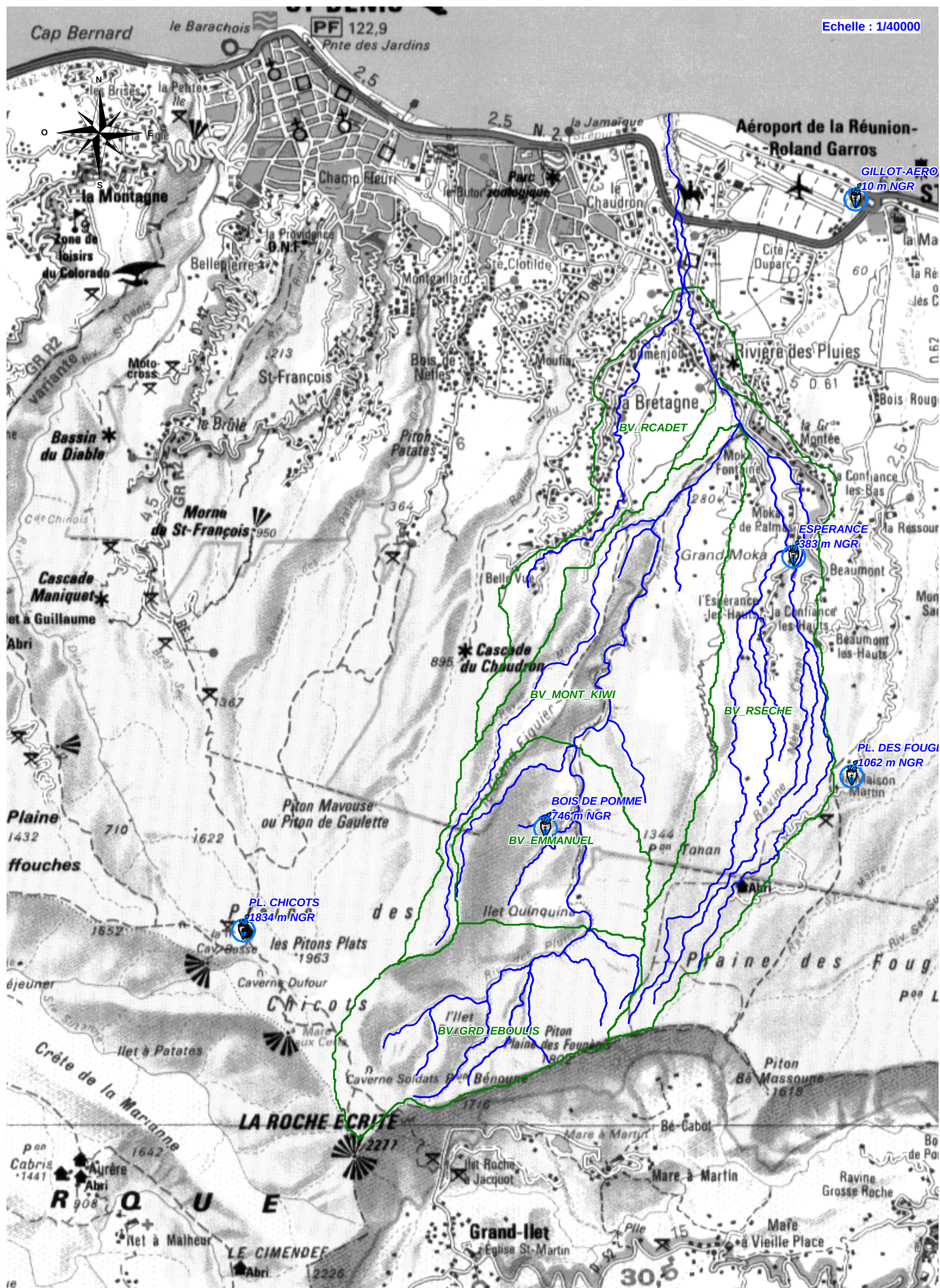
Il est présenté sur la carte page suivante. A l'instar de ce qui avait été retenu pour le bassin versant de la Rivière du Mât et celui de la Rivière Saint-Etienne, la partie « cirque » a été divisée en deux bassins versants homogènes du point de vue de leur géologie.

*Tableau n°20 – CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS
POUR LA MODELISATION PLUIE-DEBIT*

Sous-bassin versant	Description	Exutoire	Superficie (km²)	Altitude médiane (m NGR)
BV_GRD_EBOULIS	Bassin versant de la Rivière des Pluies en amont du Grand Eboulis	Limite amont Grand Eboulis	8,5	1 347
BV_EMMANUEL	Bassin versant de la Rivière des Pluies au cap Frumence	Limite amont zone de dépôt ILO	5,9	829
<i>BV_EMMANUEL - ILET</i>	<i>Partie des formations détritiques (selon géologie)</i>		1,9	
<i>BV_EMMANUEL - REMPART</i>	<i>Partie des formations basaltiques (selon géologie)</i>		4,0	
BV_MONT_KIWI	Bassin versant de la Rivière des Pluies entre le Cap Frumence et l'îlet Quinquina aval	Lot. Sindrama	12,6	648
BV_RSECHE	Bassin versant de la Ravine Sèche	Confluence avec la Rivière des Pluies	11,9	882
BV_RCADET	Bassin versant de la Ravine Cadet	RN 102	5,9	218

La pluie modélisée pour chaque sous-bassin versant est fonction de la disponibilité des données pluviométriques.

Figure 46 - bassins versants pour la modélisation pluie - débit, pluviomètres et pluviographes

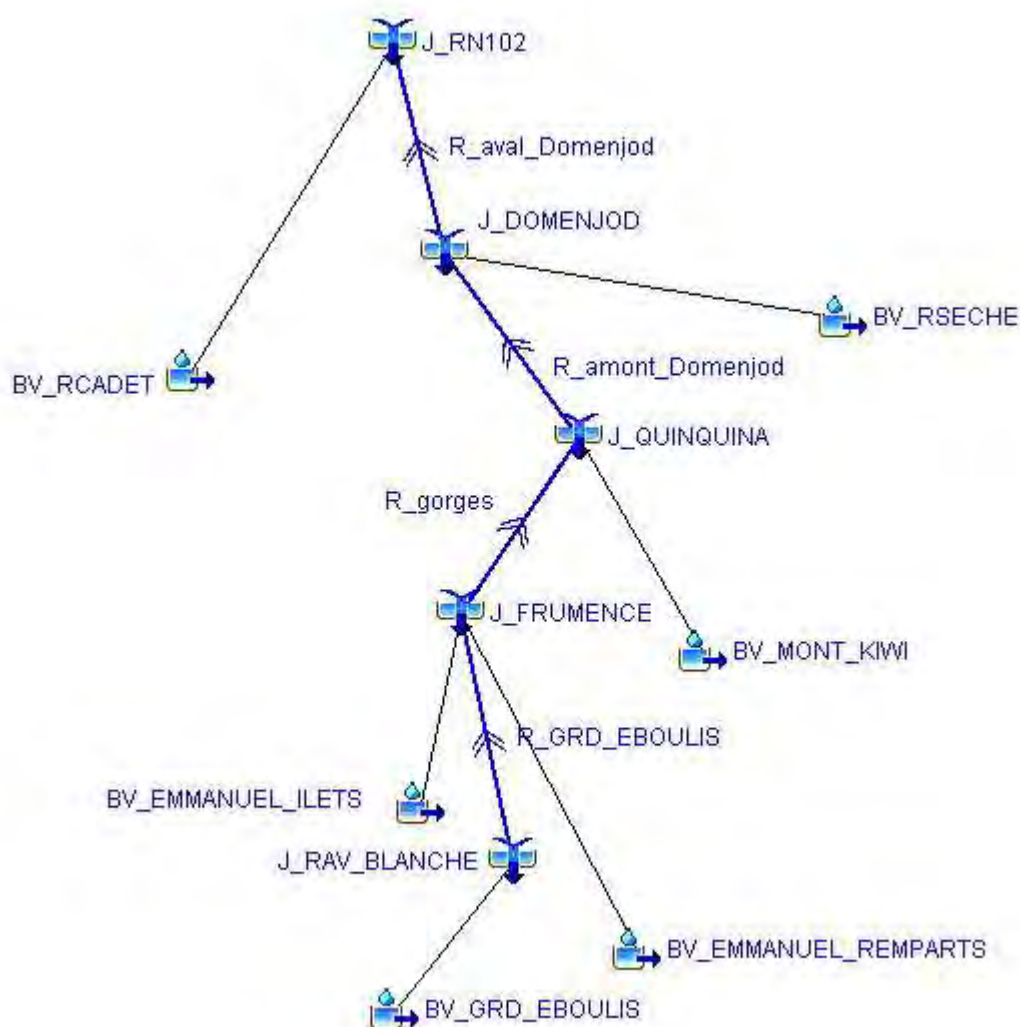


7.5.2. SCHEMA TOPOLOGIQUE DU MODELE PLUIE-DEBIT

La figure suivante présente le schéma topologique du modèle pluie-débit. Outre les 6 sous-bassins versants précédemment décrits (BV... sur la figure), nous avons :

- ↪ Des points de jonction : J_RAV_BLANCHE, J_FRUMENCE, J_QUINQUINA, J_DOMENJOD, J_RN102 ;
- ↪ Des tronçons de liaisons (ou biefs) entre ces points de jonction :
 - R_GRD_EBOULIS : de l'amont du Grand Eboulis au Cap Frumence ;
 - R_GORGES : du Cap Frumence à l'îlet Quinquina ;
 - R_AMONT_DOMENJOD : de l'îlet Quinquina au pont de Domenjod ;
 - R_AVAL_DOMENJOD : du pont de Domenjod à la RN102.

Figure n°47 – SCHEMA TOPOLOGIQUE DU MODELE PLUIE-DEBIT



Fonctions de production et de transfert adoptés

7.5.2.1. FONCTION DE PRODUCTION

Il s'agit, pour chaque sous-bassin, de la transformation de la pluie brute en pluie efficace pour l'écoulement.

La fonction de production est le modèle de perte « SCS » (Soil Conservation Service) :

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Avec :

- ↗ P_e : cumul de la pluie efficace (mm) ;
- ↗ P : cumul de la pluie brute (mm) ;
- ↗ I_a : perte initiale (mm) ;
- ↗ S : rétention potentielle maximale (mm).

S s'écrit en fonction de CN ("Curve Number") :

$$S = \frac{25\,400 - 254\,CN}{CN}$$

Cette fonction de production est variable en fonction de l'état de saturation des bassins versants au démarrage du calcul.

Les simulations de calage ont été démarrées sur la base des relations mises en évidence sur le bassin versant de la Rivière Saint-Etienne pour des géologies similaires.

Les paramètres de production des bassins versants ont donc été estimés en fonction de la géologie pour les premiers essais, puis ajustés au cours de la phase de calage. Le tableau suivant présente les valeurs finalement retenues.

Tableau n°21 – RELATIONS RETENUES POUR LE CALCUL DES PERTES INITIALES ET DE CN

Bassin versant	Superficie (Km²)	Pertes initiales (mm)	CN
BV_GRD_EBOULIS	8,5	30 – P _{5j} précédents	Ip<50 : CN=15 50<=Ip<150 : CN=25 Ip>=150 : CN=50
BV_EMMANUEL_ILETS	1,9	100-P _{5j} précédents	Ip<50 : CN=5 50<=Ip<150 : CN=10 Ip>=150 : CN=30
BV_EMMANUEL_REMPARTS	4,0	30- P _{5j} précédents	Ip<50 : CN=15 50<=Ip<150 : CN=25 Ip>=150 : CN=50
BV_MONT_KIWI	12,6	30- P _{5j} précédents	Ip<50 : CN=15 50<=Ip<150 : CN=25 Ip>=150 : CN=50
BV_RSECHE	11,9	100 - P _{5j} précédents	Ip<50 : CN=15 50<=Ip<150 : CN=25 Ip>=150 : CN=50
BV_RCADET	5,9	30- P _{5j} précédents	Ip<50 : CN=15 50<=Ip<150 : CN=25 Ip>=150 : CN=50

Ip : indice de pluviométrie antérieure, définit comme suit :

$$Ip = P_{10j \text{ précédents}} + \frac{P_{30j \text{ précédents}}}{2}$$

7.5.2.2. FONCTION DE TRANSFERT

Il s'agit de transformer la pluie efficace en débit à l'exutoire du bassin versant.

La fonction de transfert est basée sur le modèle d'hydrogramme unitaire de Clark :

- ↳ Translation du hyétogramme de pluie efficace depuis son origine jusqu'à l'exutoire du bassin versant ;
- ↳ Atténuation par stockage dans le bassin versant.

Ces paramètres sont invariants pour chaque sous-bassin versant. Ils s'inspirent des paramètres précédemment calés sur le bassin versant de la Rivière du Mât, en fonction de la géologie présente.

Tableau n°22 – FONCTION DE TRANSFERT DES SOUS-BASSINS VERSANTS

Bassin versant	Superficie (Km²)	Temps de concentration (heures)	Coefficient de stockage (heures)
BV_GRD_EBOULIS	8,5	0,8	0,4
BV_EMMANUEL_ILETS	1,9	2	0,8
BV_EMMANUEL_REMPARTS	4,0	0,7	0,3
BV_MONT_KIWI	12,6	1,0	0,5
BV_RSECHE	11,9	1,0	0,5
BV_RCADET	5,9	0,8	0,3

7.5.3. FONCTION DE PROPAGATION DANS LES BIEFS

C'est le modèle de l'onde cinématique (« kinetic wave ») qui est utilisé, pour tenir compte des pentes relativement fortes des biefs.

Un test de sensibilité a été réalisé par emploi du modèle de Muskingum – Cunge, plus adaptée à des écoulements lents. Les délais de propagation sont plus réduits pour le modèle de l'onde cinématique, mais l'écart demeure toutefois relativement réduit.

Les paramètres adoptés sont tout d'abord estimés à partir des topographies disponibles.

Le coefficient de rugosité est celui correspondant à un lit alluvial. Il est volontairement assez élevé pour ne pas surestimer le temps de propagation de la crue.

RETOUR D'EXPERIENCE DE LA RUPTURE DU BARRAGE NATUREL DE MARS 2002

Source : BRGM / RC – 51755-FR et l'Oréole n°39

L'observation par les équipes de l'ORE (aujourd'hui Office de l'Eau) de la propagation de l'ordre de rupture du barrage naturel, le 8 mars 2002, permet de vérifier la cohérence de la fonction de propagation pour une crue brutale.

En croisant les informations issues du support BRGM de mars 2002 et de la topographie GUID-OI de 2002 (et le MNT réalisé dans le cadre de cette étude), les données quantitatives approchées liées au barrage naturel seraient les suivantes :

↳ Le 5 mars 2002 :

- Cote plan d'eau ≈ 508 m NGR ;
- Hauteur moyenne ≈ 2,7 m ;
- Superficie ≈ 1,4 ha ;

- Volume $\approx 38\,000\text{ m}^3$.
- ↪ Supposé avant surverse le 8 mars 2002 :
 - Cote plan d'eau $\approx 511\text{ m NGR}$;
 - Hauteur moyenne = 4,14 m ;
 - Surface $\approx 2\text{ ha}$;
 - Volume $\approx 90\,000\text{ m}^3$;
 - Hauteur max $\approx 7\text{ m}$.

Le débit maximum lors de la rupture serait de l'ordre de $80\text{ à }90\text{ m}^3/\text{s}^1$.

- ↪ Chronologie de déplacement de l'onde de rupture :
 - 11h00 (ORE) ou 10h50 (BRGM) passage à la plate-forme ILO ;
 - 11h30 (ORE) arrivée pour Domenjod.

En se basant sur un hydrogramme type respectant ce débit de pointe et le volume total ($80\,000\text{ m}^3$ pour tenir compte du volume résiduel après rupture), simulé sous HEC-HMS, il s'est avéré que le coefficient de Strickler de 30 donnait une crue trop rapide.

Un coefficient de Strickler de 20 respecte mieux les temps de propagation.

Les valeurs adoptées sont les suivantes :

Tableau n°23 – PARAMETRE DE PROPAGATION DANS LES BIEFS

Bief	Longueur (km)	Pente (%)	Coefficient de rugosité ($K_s, \text{m}^{1/3}/\text{s}$)	Largeur de fond (m)	Pente des berges ($\alpha\text{ H/1V}$)
R_GRD_EBOULIS	3,16	6,5	14	16	6
R_GORGES	5,40	3,8	20	8	3,4
R_AMONT_DOMENJOD	1,62	2,6	20	10	10
R_AVAL_DOMENJOD	1,38	2,3	20	10	10

7.5.4. RESULTATS POUR LES CRUES MODELISEES

ABREVIATIONS UTILISEES

- ↪ Station de Gillot GIL
- ↪ Station de la Plaine des Chicots CHI

¹ $Q = 0,93\text{ L h}_0^{1,5}$ en tenant compte d'une largeur de 5 m et de $h_0 = 7\text{ m}$ (Inondation en aval d'une rupture de digue : bilan des connaissances et des outils – CETE Méditerranée – mars 2005)

↗. Station de Bois de Pomme.....BDP

↗. Station de la Plaine des FougèresFOU

↗. Station Espérance ESP

7.5.4.1. DINA, JANVIER 2002

DONNEES PLUVIOMETRIQUES

- ↗ Données pluviographiques disponibles : Gillot, Plaine des Chicots, Bois de Pomme ;
- ↗ Données pluviométriques disponibles : stations précédentes +Plaine des Fougères

PARAMETRAGE DU MODELE

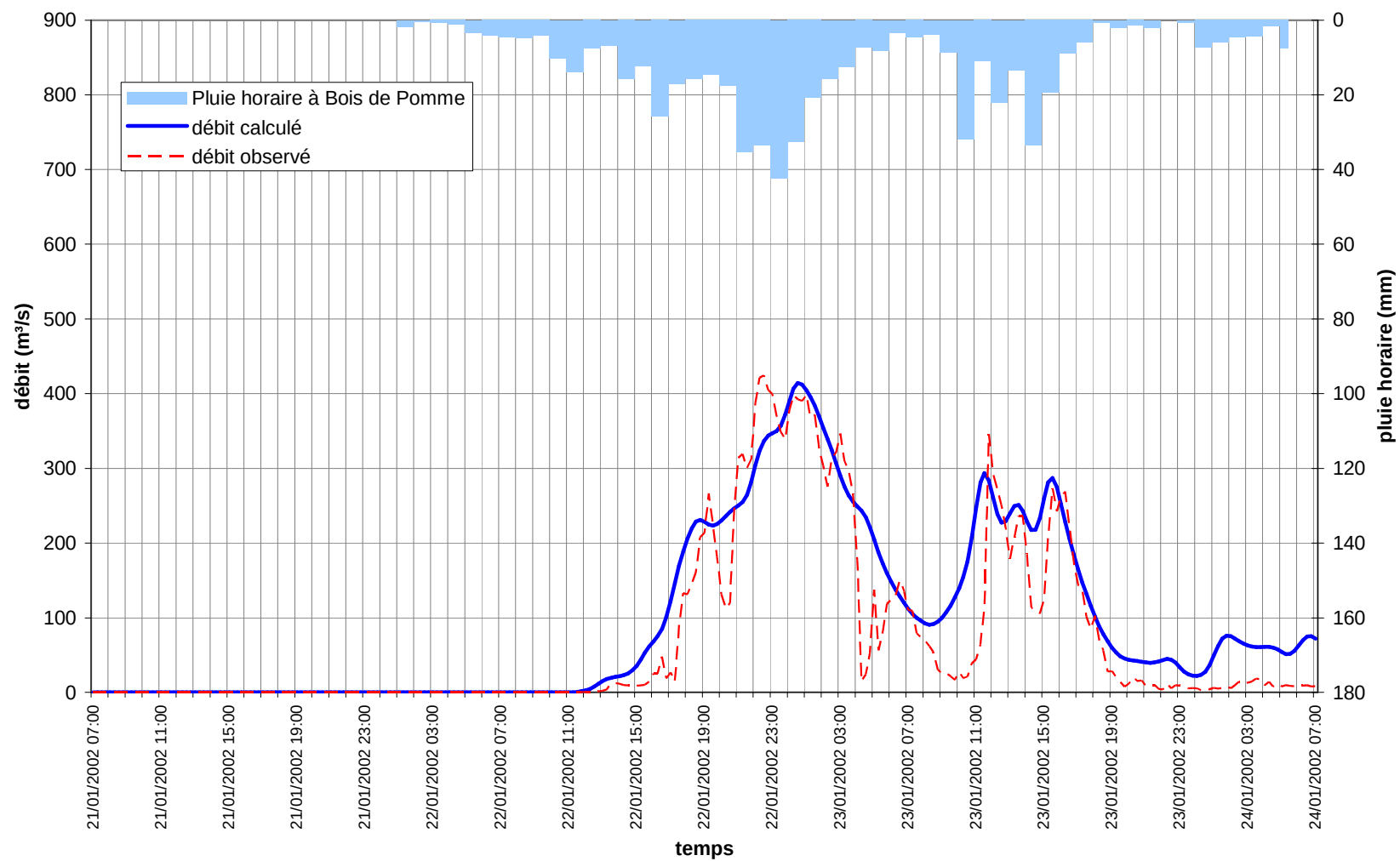
Tableau n°24 – PARAMETRAGE DU MODELE PLUIE-DEBIT POUR DINA

Bassin versant	Pluie considérée	P _{sj}	Pertes initiales (mm)	I _p (mm)	CN
BV_GRD_EBOULIS	0,5 BDP + 0,5 CHI	0,4	30	> 150	50
BV_EMMANUEL_ILETS	BDP	0	100	> 150	30
BV_EMMANUEL_REMPARTS	BDP	0	30	> 150	50
BV_MONT_KIWI	0,85 BDP + 0,15 GIL	0	30	> 150	50
BV_RSECHE	FOU (hyétogramme modèle : 0,5 BDP + 0,5 CHI)	0	30	> 150	50
BV_RCADET	0,9 GIL + 0,1 CHI	0	30	50 à 150	25

RESULTATS

La figure suivante compare le débit calculé à celui observé au pont Domenjod et indique un hyétogramme caractéristique (celui de Bois de Pomme).

Figure n°48 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT DINA AU PONT DOMENJOD



Le tableau suivant présente les débits de pointe et les volumes de crue de chaque bassin versant.

*Tableau n°25 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT DINA –
PRINCIPAUX RESULTATS*

Bassin versant	Débit de pointe (m³/s)	Volume de la crue (Mm³)
BV_GRD_EBOULIS	136	9,0
BV_EMMANUEL_ILOTS	9,1	0,43
BV_EMMANUEL_REMPARTS	34	1,6
BV_MONT_KIWI	97	4,6
BV_RSECHE	143	8,7
BV_RCADET	27	1,3

Au pont Domenjod, le volume écoulé est de 24 Mm³.

7.5.4.2. CRUE DU 15 DECEMBRE 2004

DONNEES PLUVIOMETRIQUES

- ↗ Données pluviographiques disponibles : Gillot seulement (lacunes à Espérance et Plaine des Chicots) ;
- ↗ Données pluviométriques disponibles : Gillot, Plaine des Fougères, Plaine des Chicots.

PARAMETRES DU MODELE

Tableau n°26 – PARAMETRAGE DU MODELE PLUIE-DEBIT POUR LA CRUE DE DECEMBRE 2004

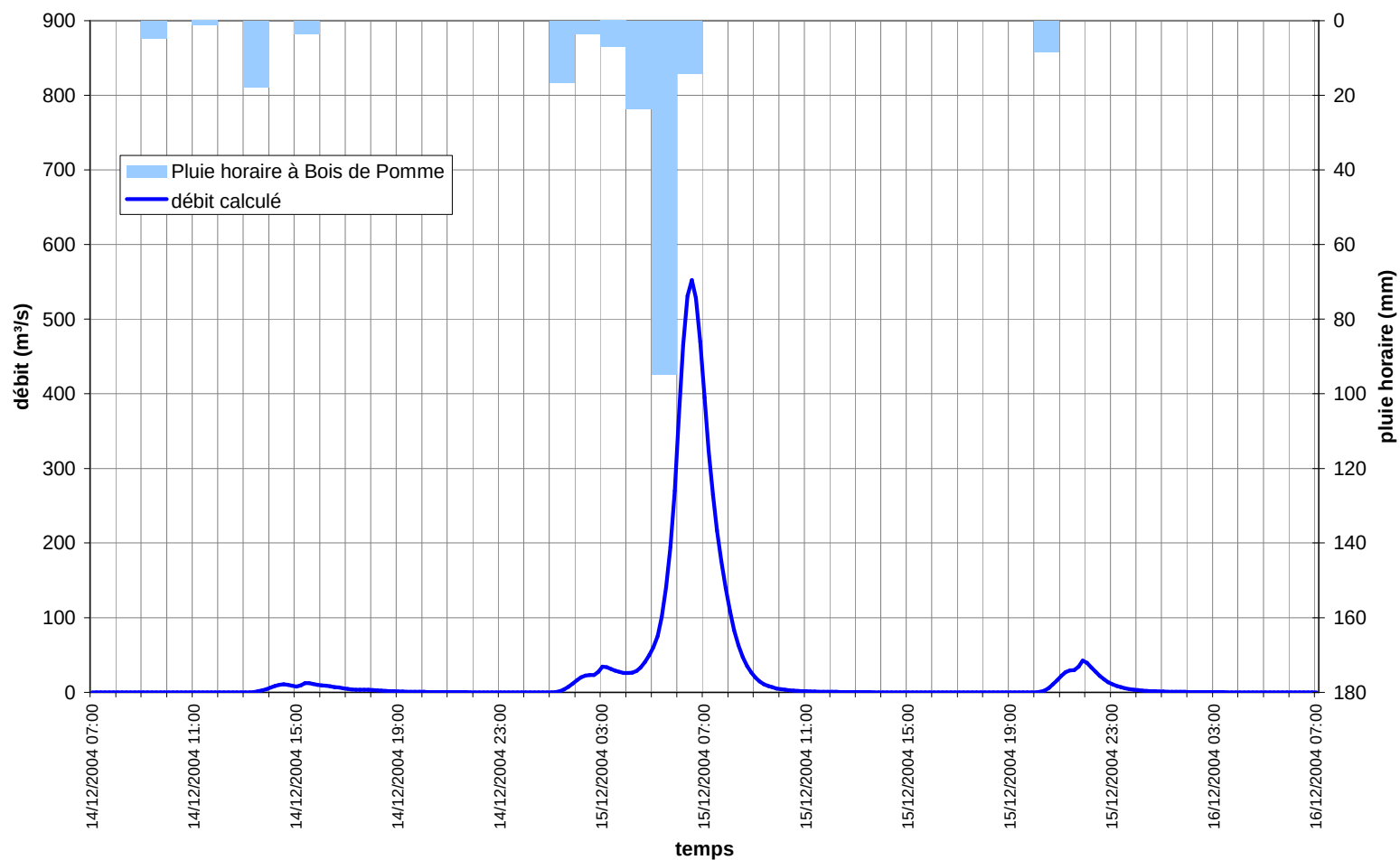
Bassin versant	Pluie considérée	P _{5j}	Pertes initiales (mm)	I _p (mm)	CN
BV_GRD_EBOULIS	0,6 FOU + 0,4 CHI	80	0	> 150	50
BV_EMMANUEL_ILOTS	0,3 FOU + 0,3 CHI + 0,4 GIL	51	49	> 150	30
BV_EMMANUEL_REMPARTS	0,3 FOU + 0,3 CHI + 0,4 GIL	51	0	> 150	50
BV_MONT_KIWI	0,35 BDP + 0,65 GIL	29	1	50 à 150	25
BV_RSECHE	FOU	94	6	> 150	50
BV_RCADET	0,9 GIL + 0,1 CHI	17	13	50 à 150	25

Pour chaque bassin versant, le hyétogramme « modèle » est celui de Gillot.

RESULTATS

La figure suivante montre le débit calculé au pont Domenjod et le hyétogramme caractéristique (pluie considérée pour le bassin versant Emmanuel).

Figure n°49 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE LA CURE DE DECEMBRE 2004 AU PONT DOMENJOD



Le débit de pointe (550 m³/s calculé) et l'heure de la pointe (le 15/12/04 à 6h30) sont cohérents avec les observations.

Le tableau suivant présente les débits de pointe et les volumes de crue de chaque bassin versant.

*Tableau n°27 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE LA CRUE DE DECEMBRE 2004
– PRINCIPAUX RESULTATS*

Bassin versant	Débit de pointe (m ³ /s)	Volume de la crue (Mm ³)
BV_GRD_EBOULIS	203	1,4
BV_EMMANUEL_ILETS	6,9	0,06
BV_EMMANUEL_REMPARTS	54	0,34
BV_MONT_KIWI	27	0,20
BV_RSECHE	280	2,1
BV_RCADET	2,6	0,01

Au pont Domenjod, le volume écoulé est de 4,2 Mm³. Il s'agit d'une crue « éclair » produite par une pluie courte et intense.

7.5.4.3. FEVRIER 2006

DONNEES PLUVIOMETRIQUES

- ↪ Données pluviographiques disponibles : Gillot, Plaine des Chicots, Espérance ;
- ↪ Données pluviométrique disponibles : stations précédentes + Plaine des Fougères.

PARAMETRAGE DU MODELE

Tableau n°28 – PARAMETRAGE DU MODELE PLUIE-DEBIT POUR FEVRIER 2006

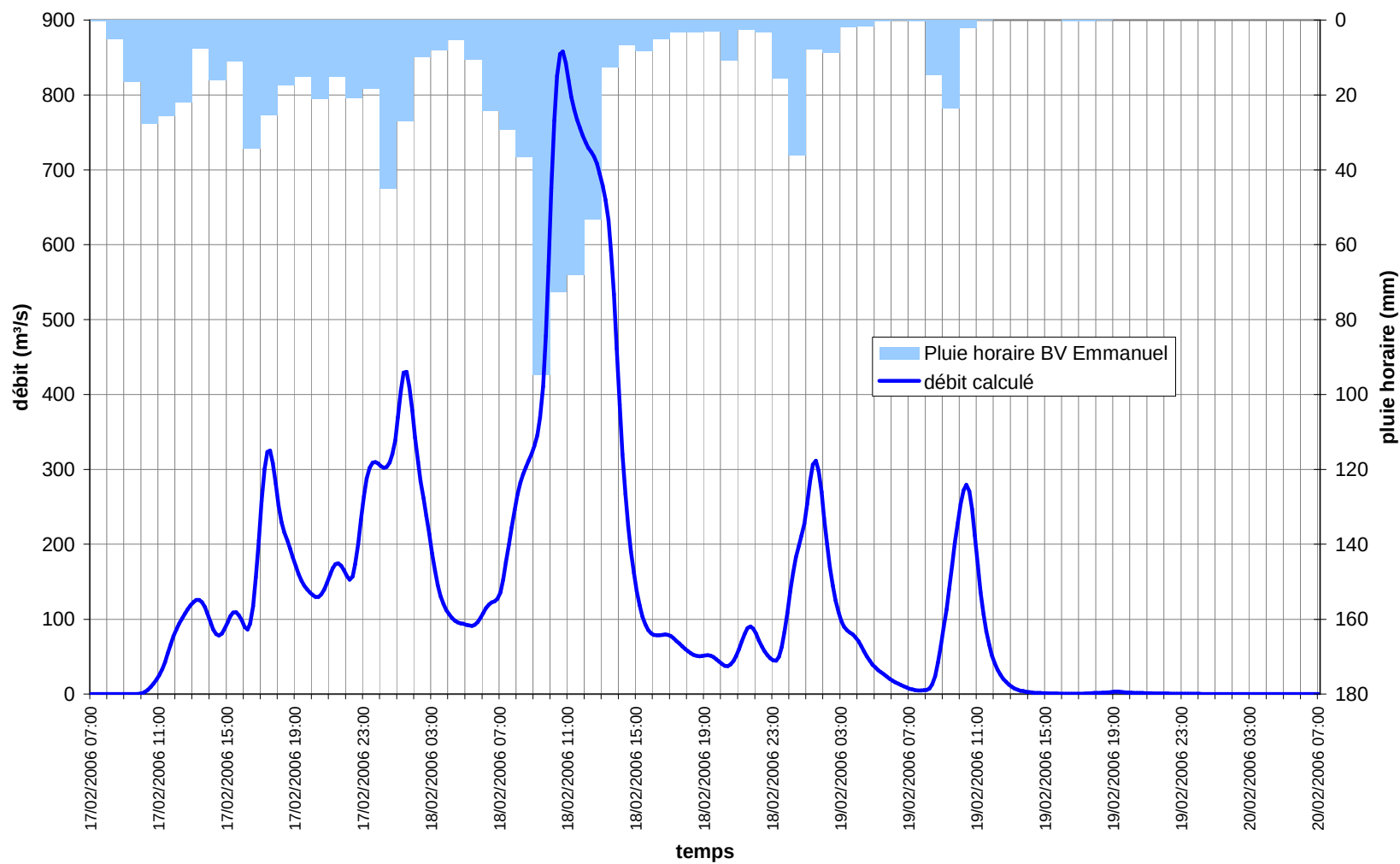
Bassin versant	Pluie considérée	P _{sj}	Pertes initiales (mm)	I _p (mm)	CN
BV_GRD_EBOULIS	0,6 FOU + 0,4 CHI	52,5	0	> 150	50
BV_EMMANUEL_ILETS	0,2 CHI + 0,25 FOU + 0,55 ESP (hyétogramme modèle : 0,5 CHI + 0,5 ESP)	36,8	63	> 150	30
BV_EMMANUEL_REMPARTS	0,2 CHI + 0,25 FOU + 0,55 ESP (hyétogramme modèle : 0,5 CHI + 0,5 ESP)	36,8	0	> 150	50

Bassin versant	Pluie considérée	P _{5j}	Pertes initiales (mm)	I _p (mm)	CN
BV_MONT_KIWI	0,2 CHI + 0,8 ESP	42,6	0	> 150	50
BV_RSECHE	FOU (hyétogramme modèle : ESP)	68,4	32	> 150	50
BV_RCADET	0,9 GIL + 0,1 CHI	24,1	6	50 à 150	50

RESULTATS

La figure suivante montre le débit calculé au pont Domenjod et le hyétogramme caractéristique (pluie considérée pour le bassin versant Emmanuel).

Figure n°50 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE LA CRUE DE FEVRIER 2006 AU PONT DOMENJOD



Le débit de pointe (860 m³/s) vu l'heure de la pointe (le 18 février à 10h40) sont cohérents avec les observations.

Le tableau suivant présente les débits de pointe et les volumes de crues de chaque bassin versant.

*Tableau n°29 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE LA CRUE DE FEVRIER 2006 –
PRINCIPAUX RESULTATS*

Bassin versant	Débit de pointe (m ³ /s)	Volume de la crue (Mm ³)
BV_GRD_EBOULIS	300	9,5
BV_EMMANUEL_ILETS	29	1,0
BV_EMMANUEL_REMPARTS	90	3,0
BV_MONT_KIWI	178	7,4
BV_RSECHE	274	13,5
BV_RCADET	13	0,69

Au pont Domenjod, le volume écoulé est de 34 Mm³.

7.5.4.4. DIWA

DONNEES PLUVIOMETRIQUES

- ↪ Données pluviographiques disponibles : Gillot, Espérance ;
- ↪ Données pluviométriques disponibles : stations précédentes + Plaine des Fougères. Météo France propose des valeurs journalières à la Plaine des Chicots mais il s'agit de valeurs reconstituées.

En se basant sur ces valeurs, les débits calculés paraissent forts par rapport aux observations. De plus, la pluviométrie de l'évènement DIWA montre une décroissance des cumuls d'est en ouest (selon pluviométrie comparée de la Plaine des Fougères, Brulé Val-Fleuri, Saint-François). Nous avons ainsi été amenés à proposer d'autres valeurs pour reconstituer les cumuls de la Plaine des Chicots.

Tableau n°30 – PLUIES JOURNALIERES A LA PLAINE DES CHICOTS POUR L'EVENEMENT DIWA

Date	Données Météo-France reconstituées (mm)	Valeurs SOGREAH proposées (mm)
4/03/2006	500	300
5/03/2006	900	600
6/03/2006	300	200
7/03/2006	150	150
8/03/2006	150	100
9/03/2006	30	30
Cumul sur 6 jours	2 030	1 380

PARAMETRAGE DU MODELE

Tableau n°31 – PARAMETRAGE DU MODELE PLUIE-DEBIT POUR DIWA

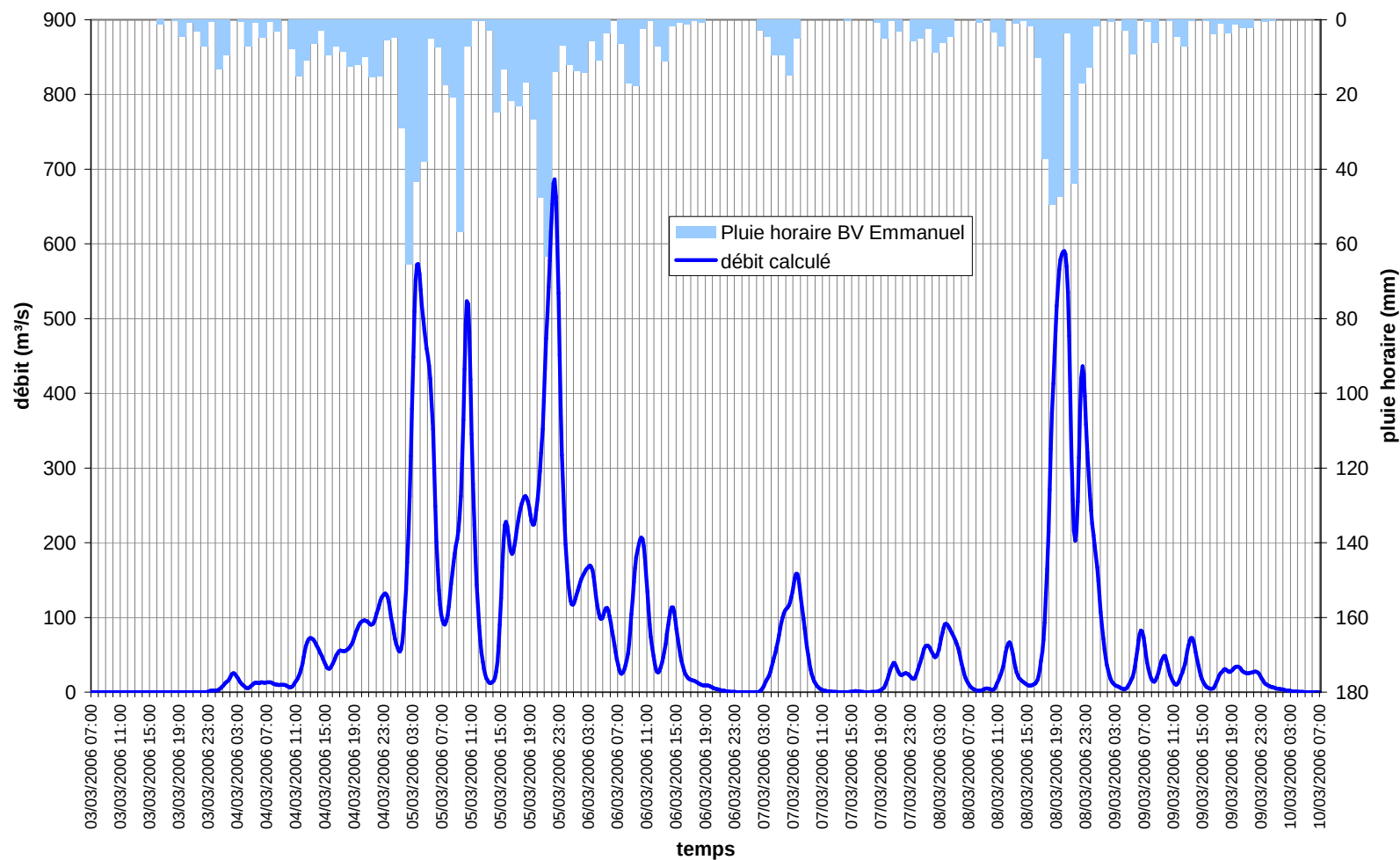
Bassin versant	Pluie considérée	P _{5j}	Pertes initiales (mm)	I _p (mm)	CN
BV_GRD_EBOULIS	0,6 FOU + 0,4 CHI	61,9	0	> 150	50
BV_EMMANUEL_ILOTS	0,2 CHI + 0,25 FOU + 0,55 ESP	48	52	> 150	30
BV_EMMANUEL_REMPARTS	0,2 CHI + 0,25 FOU + 0,55 ESP	48	0	> 150	50
BV_MONT_KIWI	0,4 CHI + 0,8 ESP	38	0	> 150	50
BV_RSECHE	FOU	79	21	> 150	50
BV_RCADET	0,9 GIL + 0,1 CHI	27	3	> 150	50

Le hyétogramme modèle est celui de la station Espérance, sauf pour BV_RCADET (station de Gillot).

RESULTATS

La figure suivante montre le débit calculé au pont Domenjod et le hyétogramme caractéristique (pluie considérée pour le bassin versant Emmanuel).

Figure n°51 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT DIWA AU PONT DOMENJOD



Le débit de pointe est de 690 m³/s, le 5 mars à 22h20. Il est difficile de vérifier la cohérence des valeurs maximales avec les observations du fait :

- ↳ De l'occurrence des pointes principales la nuit ;
- ↳ De l'absence de relevé de laisses de crue spécifiques à cet événement.

Néanmoins, les débits calculés sont cohérents avec les observations réalisées entre les pointes, pour des débits de 20 à 350 m³/s.

Le tableau suivant présente les débits de pointe et les volumes de crues de chaque bassin versant.

Tableau n°32 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT DIWA – PRINCIPAUX RESULTATS

Bassin versant	Débit de pointe (m ³ /s)	Volume de la crue (Mm ³)
BV_GRD_EBOULIS	186	13
BV_EMMANUEL_ILOTS	22	1,6
BV_EMMANUEL_REMPARTS	63	4,2
BV_MONT_KIWI	141	9,9
BV_RSECHE	285	20,5
BV_RCADET	88	2,4

Au pont Domenjod, le volume écoulé est de 49 Mm³.

7.5.4.5. GAMEDE

DONNEES PLUVIOMETRIQUES

- ↳ Données pluviographiques disponibles : Gillot et Plaine des Chicots ;
- ↳ Données pluviométriques disponibles : Stations précédentes + Plaine des Fougères.

PARAMETRE DU MODELE

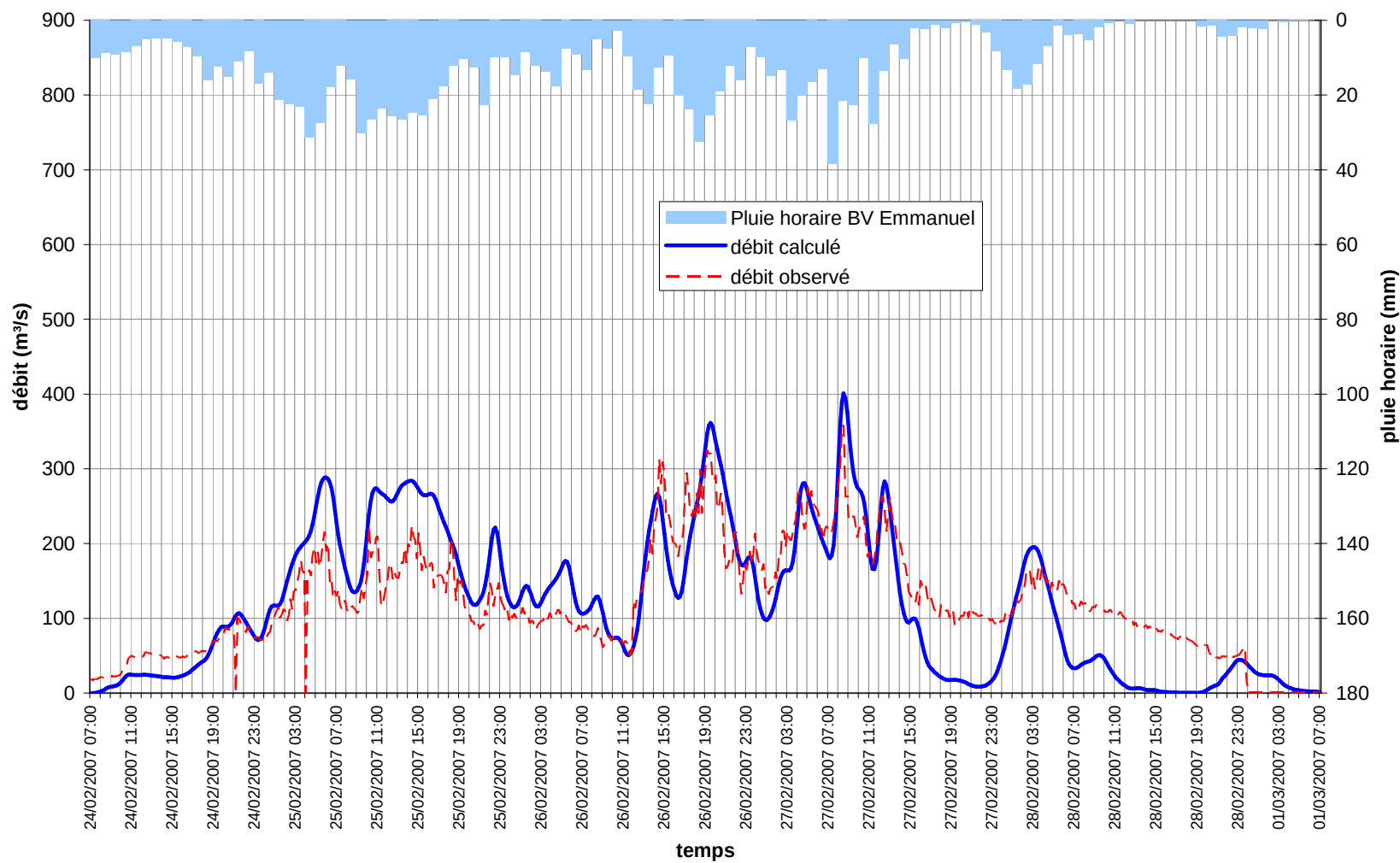
Tableau n°33 – PARAMETRAGE DU MODELE PLUIE-DEBIT POUR GAMEDE

Bassin versant	Pluie considérée	P _{5j}	Pertes initiales (mm)	I _p (mm)	CN
BV_GRD_EBOULIS	0,6 FOU + 0,4 CHI (hyétogramme modèle : CHI)	> 100	0	> 150	50
BV_EMMANUEL_ILOTS	0,3 FOU + 0,3 RHI + 0,4 GIL (hyétogramme modèle : 0,75 CHI + 0,25 GIL)	> 100	0	> 150	30
BV_EMMANUEL_REMPARTS	0,3 FOU + 0,3 CHI + 0,4 GIL (hyétogramme modèle : 0,75 CHI + 0,25 GIL)	> 100	0	> 150	50
BV_MONT_KIWI	0,35 CHI + 0,65 GIL	> 100	0	> 150	50
BV_RSECHE	FOU (hyétogramme modèle : 0,54 GIL + 0,5 CHI)	> 100	0	> 150	50
BV_RCADET	0,9 GIL + 0,1 CHI	> 100	0	> 150	50

RESULTATS

La figure suivante compare le débit calculé à celui observé au pont Domenjod et indique un hyétogramme caractéristique (celui Bois de Pomme)

Figure n°52 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT GAMEDE AU PONT DOMENJOD



Le tableau suivant présente les débits de pointe et les volumes de crue de chaque bassin versant.

*Tableau n°34 – MODELISATION PLUIE-DEBIT DE L'EVENEMENT GAMEDE
– PRINCIPAUX RESULTATS*

Bassin versant	Débit de pointe (m ³ /s)	Volume de la crue (Mm ³)
BV_GRD_EBOULIS	109	15
BV_EMMANUEL_ILOTS	14	1,9
BV_EMMANUEL_REMPARTS	39	4,6
BV_MONT_KIWI	93	10,2
BV_RSECHE	156	2,3
BV_RCADET	33	20

Au pont Domenjod, le volume écoulé est de 51 Mm³.

7.5.4.6. CONCLUSIONS

Cette modélisation pluie-débit donne des résultats satisfaisants et va permettre :

- ↳ De disposer des hydrogrammes des bassins versants pour injection dans le modèle de transport solide (cf. § 8.6.) ;
- ↳ De disposer de premiers éléments sur un système de prévision de crue.

VOLET IV
–
**DYNAMIQUE TORRENTIELLE
ET ALEAS HYDRAULIQUES**

8. EVALUATION DES VOLUMES SOLIDES TRANSPORTES ET BILAN SEDIMENTOLOGIQUE

Afin de réaliser un bilan sédimentologique de la rivière, il est nécessaire de comprendre :

- ↳ D'où proviennent les apports en matériaux et en quelle quantité (volume entrant) ;
- ↳ Ce que peut transporter la rivière (volume sortant). Cette capacité est fonction de la granulométrie des matériaux, de la pente et des débits liquides ;
- ↳ Ce qui a été artificiellement transporté, extrait du lit, sans apport liquide.

Le bilan sédimentologique sur une période donnée s'exprime alors :

$$\Delta V = \text{Volume entrant} - \text{Volume transportable par la rivière} - \text{Volume extrait.}$$

En fonction de ces trois paramètres :

- ↳ Le lit peut être en équilibre ;
- ↳ Le lit peut présenter des secteurs prépondérants d'exhaussement (bilan positif) ;
- ↳ Le lit peut présenter des secteurs prépondérants d'incision (bilan négatif).

8.1. GRANULOMETRIE DES MATERIAUX DU LIT

L'estimation et la connaissance de la granulométrie d'un cours d'eau a une grande importance dans la détermination du transport solide.

En effet, le débit de début d'entraînement d'un matériau considéré est entièrement dépendant de sa taille : plus un matériau est fin, plus le débit nécessaire pour l'entraîner sera petit.

Dans le même esprit, pour un même débit, le volume solide transporté par un cours d'eau sera d'autant plus grand que sa granulométrie est petite.

Les incertitudes sur la granulométrie d'un lit entraînent directement des incertitudes sur l'estimation des volumes transportés.

8.1.1. DONNEES GRANULOMETRIQUES

Un certain nombre de mesures granulométriques ont été réalisées dans le lit de la Rivière des Pluies à l'occasion de projets et études menées entre la confluence avec la Ravine Bachelier et l'exutoire.

Le tableau ci-après récapitule l'ensemble des données qui ont pu être exploitées et recueillies :

- ↳ On distingue les granulométries et blocométries réalisées par pesée (1966 ?, 1977, 1985, 1992) et les granulométries réalisées par comptage de surface. Ces dernières sont moins précises mais donnent un bon aperçu de la granulométrie du lit. Elles sous-estiment cependant souvent la part des fines. Des granulométries par comptage ont été réalisées pour le modèle réduit du pont du Boulevard Sud (en 2000, cf. réf. /51/) et pour la présente étude ;
- ↳ Les mesures ont été réalisées entre 1966 et 2007 entre l'amont de la confluence avec la Ravine Bachelier et l'exutoire.

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES
PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES
RAPPORT

Tableau n°35 – DONNEES GRANULOMETRIQUES DISPONIBLES SUR LA RIVIERE DES PLUIES

Date	Source (n°archive SOGREAH)	Auteur	Mode opératoire	Référence	Position ou PK
1966 Avril	Modèle physique de l'endiguement de l'aéroport (290-1)	Inconnu	Inconnu	Courbe "Nature" de référence pour le modèle physique	Entre le pont de la RN2 et l'exutoire (-900 à -2535)
1977 octobre	Première étude de l'endiguement du village de Rivière des Pluies (301)	LDER	8 Tranchées de reconnaissances à la pelle retro et analyses granulométriques des échantillons recueillis dans ces tranchées	Tranchées A, B, C, F et H	Entre la confluence Ravine Bachelier et l'amont du pont métallique de la RN102 : A (PK50), B (PK170), C (PK720), F (PK1835), H (PK2200)
1982 Décembre	Modèle physique de l'endiguement de la protection de Rivière des Pluies (1144)	Inconnu	Inconnu (très proche de tranchée H de 1977)	Courbe "Nature" de référence pour le modèle physique	Entre le pont de Domenjod et l'amont de la confluence Ravine Bachelier (PK1380 à 2570)
1983 Juillet	Modèle physique du pont de la RN2 (288)	Inconnu	Inconnu (très proche de courbe "nature" du modèle de 1966)	Courbe "Nature" de référence pour le modèle physique	Pont de la RN2 (PK -920)
1985 Juillet	Etudes d'avant-projet du pont de la RN2 (292)	SIF-Bachy	24 analyses blocométriques et granulométriques mètre par mètre sur les matériaux extraits lors d'un essai de creusement de barette réalisé en amont du futur pont (profondeur de creusement =23,90 m, donc)	Analyses de surface et à 1m, 2m, 3m et 5m de profondeur (retenues pour l'analyse)	Amont du pont de la RN2 (PK -800)
1987 octobre	Etude d'élargissement du pont de Domenjod (300)	SIF-Bachy	3 sondages mécaniques carottés de 15 m de profondeur en amont immédiat du pont, nature des matériaux mais pas d'analyse granulométrique poussée	Sondage 1 (culée rive droite), 2 (Pile Centrale) et 3 (culée rive droite)	Amont du pont de Domenjod (PK 1380)

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Date	Source (n°archive SOGREAH)	Auteur	Mode opératoire	Référence	Position ou PK
1992 juillet	Etude d'avant-projet de l'endiguement de la Jamaïque (rive gauche face à l'aéroport) (366)	LDER	Fosse de 100 m3 de 3m de profondeur et 6m de coté	Courbe de référence	Entre le pont de la RN2 et l'exutoire
2000 Juin	Modèle physique du pont du Bd Sud (1007)	Hydrétudes/ETRM/CNR	Une vingtaine de granulométries par comptage de surface sur différents endroits du lit (dépôts, chenaux, etc.)	Courbes par comptage identifiées par une altitude	Entre l'aval du pont de Domenjod et l'amont des pistes de l'aéroport : de 84 NGR à 10 NGR (soit approx. PK 1000 à -2000)

La figure n° 53 ci-après présente les granulométries réalisées par pesée en différents points du linéaire de la rivière. Les données des granulométries par comptage sont indiquées à titre de comparaison.

Les diamètres caractéristiques correspondants sont indiqués dans le tableau qui suit cette figure.

Figure n°53 – *COURBES GRANULOMETRIQUES DE LA RIVIERE DES PLUIES*

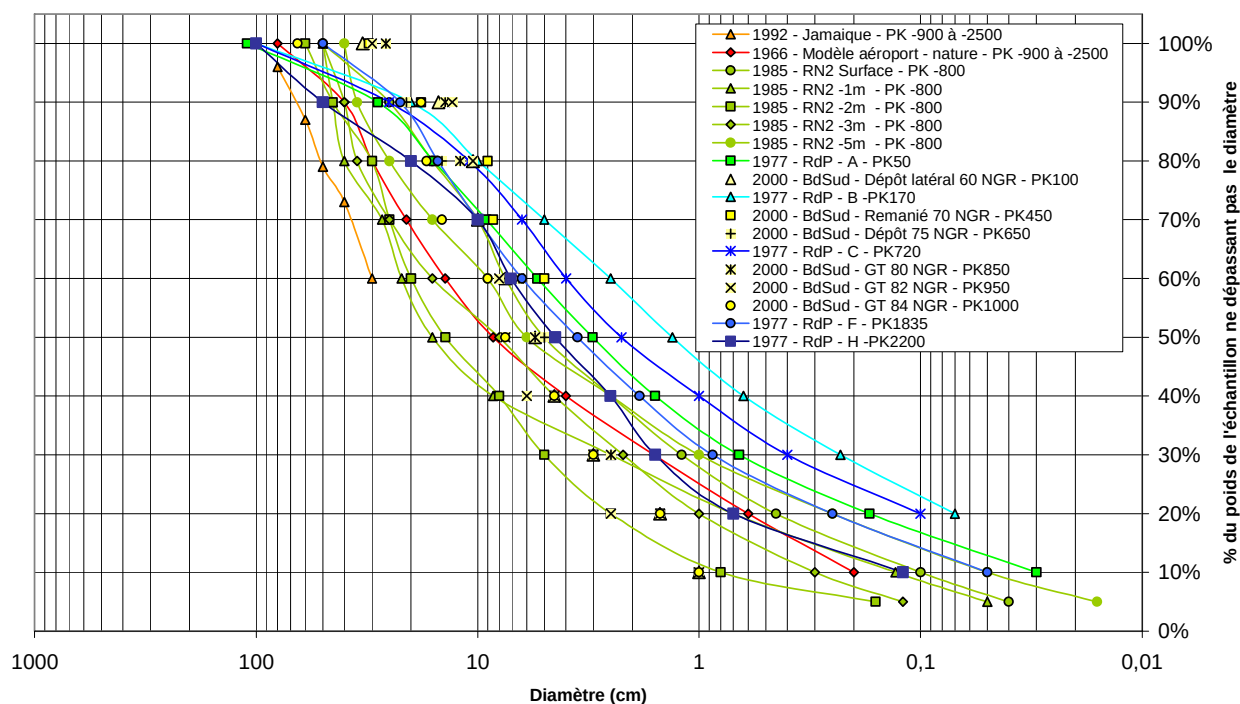


Tableau n°36 – DIAMETRES CARACTERISTIQUES DES ANALYSES
GRANULOMETRIQUES REALISEES PAR PESEE

Référence courbe	1966 - Modèle aéroport - nature	1977 - RdP - A - PK50	1977 - RdP - B - PK170	1977 - RdP - C - PK720	1977 - RdP - F - PK1835	1977 - RdP - H - PK2200	1982 - Modèle RdP - nature	1983 - Modèle RN2 - nature	1985 - RN2 Surface	1985 - RN2 -1m	1985 - RN2 -2m	1985 - RN2 -3m	1985 - RN2 -5m	1992 - Jamaïque	2000 - BdSud - GT 84 NGR - PK1000	2000 - BdSud - GT 82 NGR - PK950	2000 - BdSud - GT 80 NGR - PK850	2000 - BdSud - Dépôt 75 NGR - PK650	2000 - BdSud - Remanié 70 NGR - PK450	2000 - BdSud - Dépôt latéral 60 NGR - PK100
% de poids inférieur au diamètre	Diamètre (cm)																			
5%								0,1	0	0,1	0,2	0,1	0							
10%	0,2	0			0,1	0,1		0,2	0,1	0,1	0,8	0,3	0,1		1	1	1	1	1	1
20%	0,6	0,2	0,1	0,1	0,3	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7	2,5	1	0,3		1,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5
30%	1,6	0,7	0,2	0,4	0,9	1,6	1,2	1,6	1,2	2,5	5	2,2	1		3	3	2,5	3	3	3
40%	4	1,6	0,6	1	1,9	2,5	2,5	4	2,5	8,5	8	4,5	2,5		4,5	6	4,5	4,5	4,5	4,5
50%	8,5	3	1,3	2,2	3,5	4,5	4,5	8,5	5	16	14	8	6		7,5	7,5	5,5	5	4,5	5,5
60%	14	5,4	2,5	4	6,3	7,1	6,8	14	7,5	22	20	16	9	30	9	8	6,5	7,5	5	7,5
70%	21	9,1	5	6,3	10	10	10	21	10	27	25	25	16	40	15	10	10	10	8,5	10
80%	30	16	10	11	15	20	16	30	16	40	30	35	25	50	17	11	12	15	9	11
90%	40	28	20	25	22	50	32	40	25	45	45	40	35	60	18	13	14	21	18	15
100%	80	110	100	100	50	100	100	100	50	50	60	50	40	80	65	30	26	30	31	33
Diamètre moyen estimé : 15 cm en aval du pont de Domenjod																				

Ces différentes courbes permettent de faire l'analyse suivante :

✚ **Depuis la confluence avec la Ravine Bachelier jusqu'en amont du pont métallique de la RN 102 (PK 170)**

Sur la base des analyses granulométriques et blocométriques de 1977, il semble que la granulométrie diminue de l'amont vers l'aval, ce qui concorde avec ce que l'on observe dans la plupart des rivières : Les matériaux du lit en aval ont été plus charriés et érodés que les matériaux que l'on trouve en amont.

Le diamètre caractéristique d50 (correspondant au diamètre des matériaux dont le poids ne dépasse pas 50 % du poids total de l'échantillon) varie de 4,5 cm (au PK 2200) à 1,3 cm (PK 170).

Les granulométries de surface réalisées en 2000 sur ce secteur confirment globalement cette tendance ainsi que l'ordre de grandeur du diamètre d50 variant de 7,5 cm (PK

1000 à 4,5 cm (PK450). Les diamètres plus élevés s'expliquent par la méthode de comptage qui sous-estime les fines.

↳ De l'amont du pont métallique à l'exutoire

Sur la base des granulométries réalisées en 1977 (tranchée A), 1985 (en amont du pont de la RN2), 1966 (sur le secteur de l'endiguement de l'exutoire sans réelle précision du lieu exact ni de la méthode de prélèvement) et 1992 (même secteur sans réelle précision du lieu exact), il apparaît une tendance à l'augmentation de la granulométrie de l'amont vers l'aval.

D'un d50 valant 2,5 cm au PK 170 (donnée 1977), on passe à un d50 valant 5,5 cm au PK 100 (donnée 2000), puis 5,37 cm au PK 50 (donnée 1977), 5 à 16 cm au PK 800 (donnée 1985 sur les 5 premiers mètres), 8,5 cm à proche de 10 cm sur le secteur de l'endiguement de l'aéroport (donnée 1966 et 1992).

Cette observation inhabituelle a été soulignée dans plusieurs études. Elle pourrait s'expliquer (*cf. réf. 51*) par la "fourniture dans la zone d'érosion régressive, de matériaux relativement grossiers érodés dans les coulées boueuses" qui constituent les berges sur ce secteur.

8.1.2. GRANULOMETRIE MODELE

Afin de modéliser le transport des sédiments, on a vu que quatre modèles physiques réduits avaient été réalisés :

- ↳ 1966, modèle au 1/100 depuis la rue Lorion jusqu'à l'exutoire (PK 700 à PK -2500 environ) pour modéliser l'endiguement de l'aéroport ;
- ↳ 1982, modèle au 1/70 depuis le pont de Domenjod (PK 1380) jusqu'à l'amont de la confluence avec la Ravine Bachelier (au PK 2500 environ) pour modéliser l'endiguement du village de Rivière des Pluies ;
- ↳ 1983, modèle au 1/85 depuis le pont métallique de la RN102 (PK 0) jusqu'à la deuxième série d'épis de l'aéroport (PK -1300) pour modéliser le pont de la RN2 ;
- ↳ 2000, modèle au 1/80 entre l'amont du pont métallique de la RN 102 (au PK 500) jusqu'à la 2ème série d'épis de l'aéroport (PK -1300).

Dans un modèle physique réduit, afin que les écoulements à surface libre soient correctement représentés, il est nécessaire de respecter la similitude de Froude en tenant compte des forces de gravité et d'inertie et en négligeant les effets de la viscosité et de la tension superficielle.

Les distorsions dues à la tension superficielle apparaîtraient à partir d'échelle de similitude proche de 1/125 (du fait de la granulométrie du lit).

Le modèle ne présentant pas de distorsion, toutes les échelles de similitude se déduisent de l'échelle en plan.

En ce qui concerne la granulométrie, la taille du matériau modèle se déduit directement de la taille du matériau nature en lui appliquant le facteur d'échelle :

$$D_{\text{modèle}} = \lambda \times d_{\text{nature}}$$

En pratique, on ne peut utiliser sur le modèle un matériau de diamètre inférieur à 0,1 mm (voire 0,5 – 0,6 mm).

Cela correspond donc selon les échelles à des diamètres nature minimum que l'on peut modéliser.

Tableau n°37 – DIAMETRES MINIMUM MODELISABLES

Modèle	Facteur d'échelle	Diamètre nature minimum modélisable (cm)
1966	1/100	1
1982	1/70	0,7
1983	1/85	0,85
2000	1/80	0,8

La plupart des modèles ont donc réalisé une courbe "modèle" qui suit relativement bien la courbe "nature" mais qui est en revanche légèrement faussée pour les petits matériaux.

On prend pour tous les diamètres inférieurs au diamètre minimum modélisable, le diamètre minimum.

On sous-estime de cette façon la part des fines (matériaux fins). Or celles-ci sont plus facilement transportables. **Les modèles réduits ont donc tendance à sous-estimer le transport solide total.**

Dans les modèles physiques précités, les granulométries nature équivalentes aux granulométries du modèle diffèrent des granulométries nature de référence dans des proportions plus ou moins grandes (*cf. tableau n°38*).

Tableau n°38 – GRANULOMETRIES EQUIVALENTES DES MATERIAUX UTILISES POUR LES
MODELES REDUITS DE LA RIVIERE DES PLUIES

Date		1966		1982		1983		2000	
		Diamètre (cm)							
		Modèle	Nature	Modèle	Nature	Modèle	Nature	Modèle	Nature (PK100)
Diamètre nature mini modélisable		1 cm		0.7 cm		0.85 cm		0.8 cm	
% de poids inférieur au diamètre	5%	1				1,36	0,125		
	10%	2	0,2			2,125	0,2	1,2	1
	20%	4	0,6	1,62	0,45	4,165	0,6	1,5	1,5
	30%	7	1,6	2,24	1,2	7,225	1,6	2	3
	40%	10	4	3,16	2,51	11,9	4	3	4,5
	50%	16	8,5	5	4,47	15,3	8,5	4,5	5,5
	60%	22	14	7,24	6,76	18,7	14	7	7,5
	70%	27	21	11,22	10	25,5	21	10	10
	80%	35	30	17,78	16,21	31,45	30	27	10,5
	90%	45	40	35,48	31,62	42,5	40	44	15
100%	80	80	100	100	85	100	100	33	

Cette observation sera à prendre en compte dans l'estimation ultérieure des volumes transportés par les modèles réduits.

8.2. ORIGINE DES MATERIAUX DU LIT ET QUANTIFICATION DES APPORTS

Sur l'île de la Réunion, les facteurs géologiques, climatologiques et hydrologiques, hydrogéologiques et d'occupation du sol concourent à créer une situation favorable à une érosion exceptionnelle tant par sa rapidité que par son ampleur et à des mouvements de terrain.

Cette érosion est à la base des apports en matériaux que l'on observe dans le lit de la rivière.

Les apports en matériaux se font toujours de l'amont vers l'aval selon le schéma : Erosion – Transport – Sédimentation.

Dans le cas de la Rivière des Pluies (cf. réf. 62, BRGM, juin 2004):

- ↪ L'érosion se fait essentiellement au niveau du cirque d'effondrement de la tête du bassin versant. Dans une moindre mesure, il se fait dans les gorges qui le suivent ;
- ↪ Les gorges sont le lieu du phénomène de transport qui se poursuit jusqu'à l'exutoire ;
- ↪ Le cône de déjection est le lieu des phénomènes de sédimentation par création de zones d'atterrissement et d'érosions.

L'érosion est à la fois le fait du vent et de la pluie. Sur le bassin versant de la Rivière des Pluies, elle a fait l'objet d'une cartographie de l'aléa érosion en fonction :

- ↳ D'une analyse de l'érodabilité (fonction de la géologie, de la pédologie, de l'occupation des sols) ;
- ↳ De la topographie ;
- ↳ De la pluviométrie ;
- ↳ D'autres facteurs particuliers.

Cette analyse sur le bassin de la Rivière des Pluies a permis de mettre en évidence que l'érosion se concentre essentiellement en amont du verrou Montauban (superficie de 18,5 km²).

On distingue :

- ↳ "Le bruit de fond de l'érosion", érosion des versants ;
- ↳ Les apports en masse ponctuels dus à des mouvements de terrain du type de l'éboulement de mars 2002 qui s'est produit à proximité du Grand Eboulis ;
- ↳ Les matériaux entreposés à proximité du lit et mobilisés à l'occasion d'une érosion de berge. Par exemple mobilisation de matériaux du dépôt de marinage lors des crues de février – mars 2006 (50 000 m³). Ces apports, non souhaités, sont également facilement quantifiables par analyse du stock restant.

8.2.1. LES APPORTS DE VERSANT

L'érosion diffuse correspond au décapage de la couverture superficielle de sols recouvrant les zones de planèze, les pentes d'encaissement des ravines et des remparts. Ils constituent le "bruit de fond" de l'érosion.

8.2.1.1. L'EROSION DES PLANEZES

Une grande partie du territoire du bassin versant présente un couvert végétal dense qui a un rôle stabilisateur de l'érosion des sols, en particulier sur les planèzes peu pentues.

Les matériaux issus des planèzes sont de nature argileuse et sont évacués directement vers la mer (eau boueuse de couleur marron). Les dépôts argileux et limoneux sont quasiment absents dans le lit de la rivière des Pluies : ils ne participent pratiquement pas à la recharge du lit des ravines affluentes et de la rivière des Pluies.

Parmi les affluents de la Rivière des Pluies, seules les ravines Montauban et Bachelier présentent des bassins versants pentus. Toutefois n'ayant que très peu incisé les planèzes, ces ravines ne font pas l'objet d'une érosion intense. Ce faible potentiel d'apport par les ravines affluentes est confirmé par les faibles stocks de matériaux visibles dans leurs lits et à leurs confluences avec la Rivière des Pluies.

8.2.1.2. L'EROSION DES REMPARTS

Les pentes du bassin versant de la Rivière des Pluies sont très abruptes. Il s'agit de remparts avec des pentes moyennes supérieures à 50° bordant la rivière sur plus de 9 km. Ces versants sont fortement ravinés par les nombreuses ravines perchées qui font leur apparition à chaque forte pluie. De nombreuses traces d'arrachements sont alors visibles le long des versants laissant de grandes traînées marron dans le paysage (cf. photo n° 50).

Ces apports annuels en provenance des remparts ont été estimés à 47 000 m³ pour la partie du bassin versant de la rivière des Pluies située à l'amont du pont Domenjod (38Km²). Il s'agit d'une valeur estimée moyenne donnant un ordre de grandeur des volumes mobilisés par l'érosion diffuse au niveau des remparts chaque année (DYNTOR-BRGM 2006). Cette estimation a été effectuée à partir des volumes de matériaux retirés par la DDE dans les fosses de la route du littoral (entre 1990 et 2000) où l'érosion de la falaise représente une pellicule de terrain de 1 à 4 mm par an.



Photo n°50 – ARRACHEMENTS DANS LE REMPART EST DOMINANT LE GRAND EBOULIS

Les versants rocheux les plus abrupts (cf. photo n° 51) donnent lieu à des chutes de blocs/éboulements qui vont fournir à la rivière des gros blocs pouvant atteindre plusieurs mètres cubes.



Photo n°51 – TRACES D'ÉBOULEMENTS AFFECTANT LA BORDURE DE L'ÎLET RONDE

Lorsque les volumes mobilisés sont importants (plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètres cubes), il se forme un cône d'éboulis en pied de rempart (cf. photo n°52 et photo n°53). Le chaos de blocs recouvre la partie amont de l'îlet.



Photo n°52 – INSTABILITES DE VERSANT AU DROIT DE L'ÎLET LA PLUIE

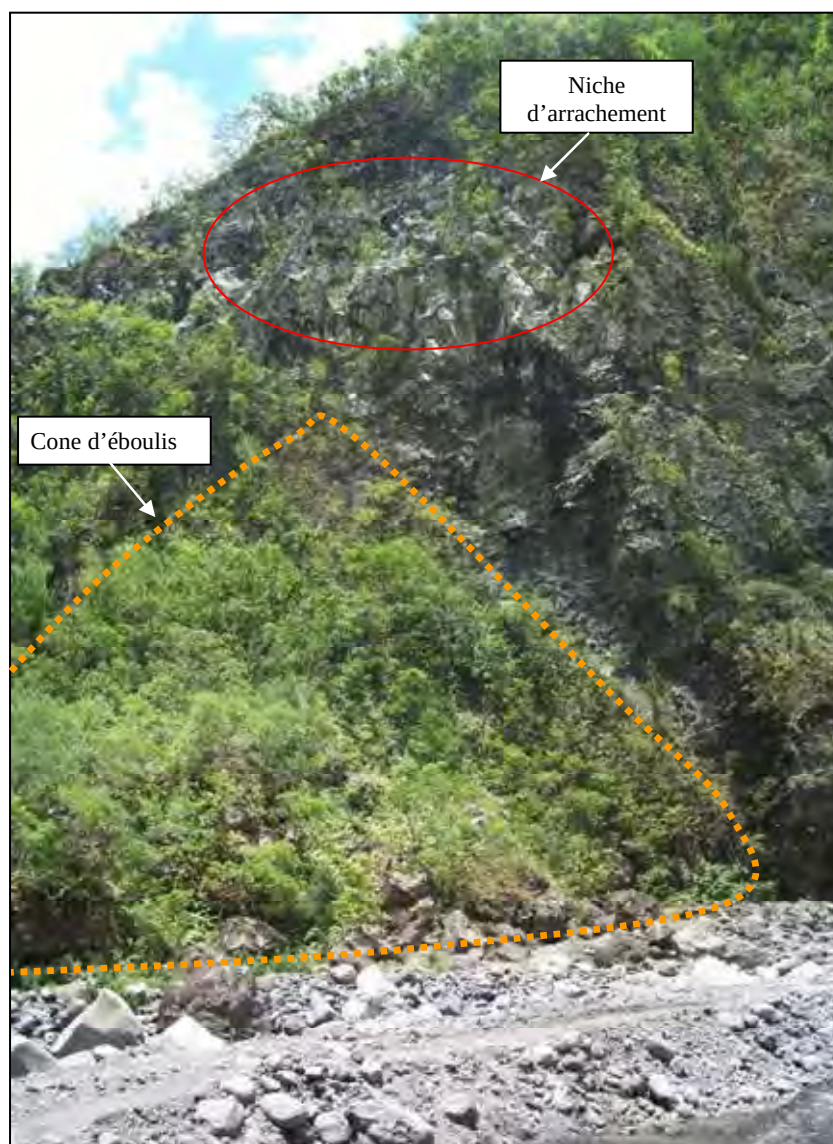


Photo n°53 – CHAOS PROVENANT D'UN EBOULEMENT A L'ILET LA PLUIE

8.2.2. LES APPORTS PONCTUELS PAR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN DE GRANDE AMPLEUR DU SITE DE GRAND EBOULIS

Les mouvements de terrain en grande masse connus dans le bassin versant de la Rivière des Pluies sont localisés dans le secteur du Grand Eboulis.

Trois types de mouvement peuvent être distingués sur ce secteur. Il s'agit, par ordre d'ampleur décroissante, de :

- ↳ L'éboulement **de très grande ampleur** du rempart du Grand éboulis qui a évolué en avalanche de débris ;
- ↳ L'éboulement de grande ampleur du Grand Eboulis survenu en **mars 2002** ;

↳ Les phénomènes d'érosion du site **du Grand Eboulis**.

8.2.2.1. L'ÉBOULEMENT DE TRÈS GRANDE AMPLEUR DU REMPART

Ce mouvement, non daté, se serait produit il y a plusieurs milliers d'années. Il est à l'origine des dépôts d'avalanche de débris à méga-blocs observés dans la vallée depuis le Grand Eboulis jusqu'au Cap Frumence. Ces matériaux proviendraient de l'effondrement du rempart SE, situé en rive droite, (Y. Fèvre - 2005 / Dyntor BRGM 2006).

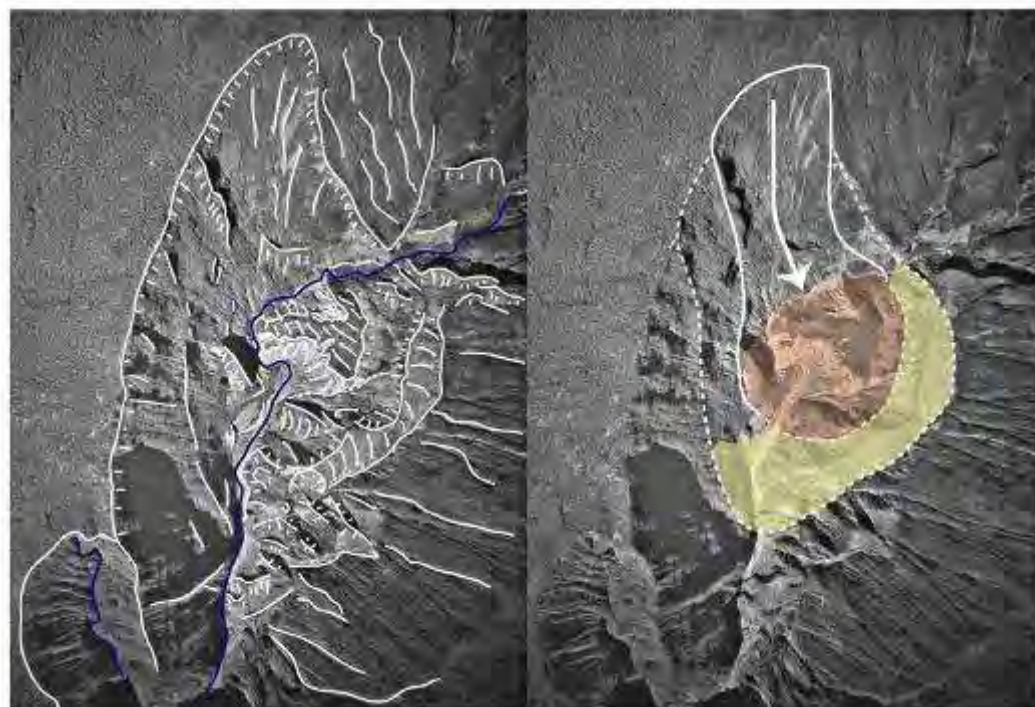


Photo n°54 – ETUDE PHOTO INTERPRETATIVE DU SITE DU GRAND EBOULIS (Y. FEVRE, 2005)

Le volume en jeu est supérieur à la centaine de millions de m^3 (*estimation de 770 Mm³ Fèvre et al 2001*).

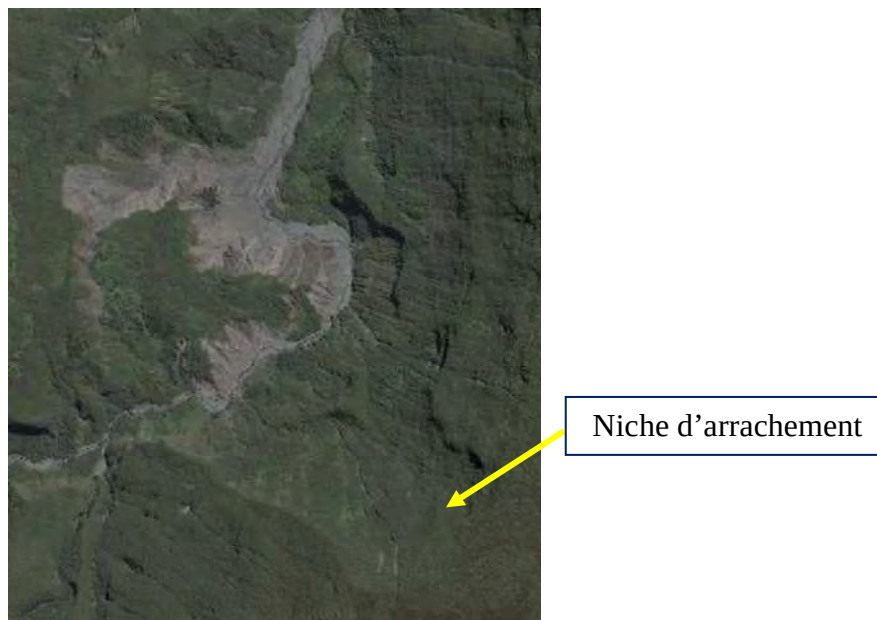
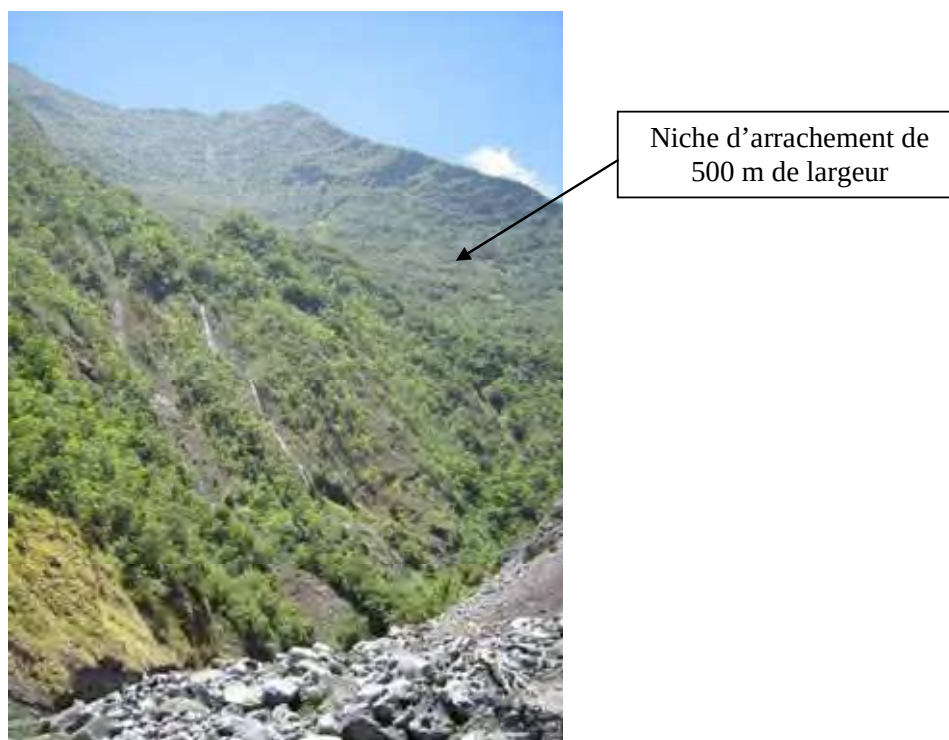


Photo n°55 – LOCALISATION DE LA NICHE D'ARRACHEMENT SUR IMAGERIE GOOGLE



*Photo n°56 – LA ZONE D'ARRACHEMENT SUPPOSEE VUE DEPUIS
LA RIVIERE DES PLUIES (CLICHE 2007)*

Ces dépôts issus de ce mouvement en grande masse ont été largement remaniés depuis leur mise en place. Les différentes coulées de débris rencontrées dans le lit de la Rivière des Pluies jusqu'à l'embouchure proviennent en partie du remaniement de ces dépôts. Deux datations effectuées sur des bois contenus dans les coulées de débris par le LSTUR ont donné les âges suivants : 7758 ans et 5823 ans (Y Fèvre - 2005).

8.2.2.2. L'ÉBOULEMENT DE MARS 2002

En 2002, un éboulement s'est déclenché un mois après le passage du cyclone Dina à 2 km en amont du chantier du transfert des eaux (au lieu-dit « Grand Eboulis »). La niche d'arrachement est localisée sur la bordure est du plateau d'Ilet Quinquina. Les matériaux ont glissé depuis la bordure du plateau puis se sont propagés jusqu'à la rivière des Pluies, formant un barrage naturel et une retenue d'eau d'un à deux hectares (volume d'eau estimé entre 40 000 et 90 000m³).

La propagation entre la niche et la rivière relève à la fois de l'éboulement dans la partie haute sous la niche d'arrachement et du glissement dans la partie aval. Ceci explique la morphologie en bourrelet de la masse qui est venue barrer la rivière (cf. photo n°57). Les matériaux de la semelle du glissement sont constitués d'argiles plastiques noires. Dans un premier temps, l'éboulis est venu recouvrir des formations de pentes argileuses. Dans un deuxième temps, la surcharge générée par le poids des matériaux a déclenché, un glissement lent vers la Rivière des Pluies.



*Photo n°57 – BARRAGE NATUREL DU GRAND EBOULIS
(CLICHE BRGM DU 05 MARS 2002)*

Le volume éboulé a été estimé à 500 000 m³. Ce phénomène constitue l'événement historique de référence dans cette rivière depuis que l'île est habitée.

Le 08 mars 2002, la retenue s'est remplie lors de fortes pluies et a débordé formant une brèche dans le barrage.

La vitesse atteinte par la lame d'eau a été estimée au droit de l'ilet La Pluie entre 25 et 30 km/h.

Le débordement a provoqué une montée soudaine du niveau de la rivière. La lame d'eau a atteint 2 m de hauteur au niveau du chantier du transfert des eaux. Les eaux étaient boueuses, chargées en matières solides. Trois personnes, se rendant sur le site malgré les interdictions, ont trouvé la mort, emportées par les eaux.

8.2.2.3. L'EROSION DU RELIEF DU GRAND EBOULIS

L'étude des photographies aériennes prises à différentes époques (1966, 1978, 1997 et 2003) permet de confirmer que le principal lieu de production sédimentaire du bassin versant de la rivière des Pluies se situe dans le secteur du Grand Eboulis dont le relief tourmenté évolue constamment d'une année à l'autre.

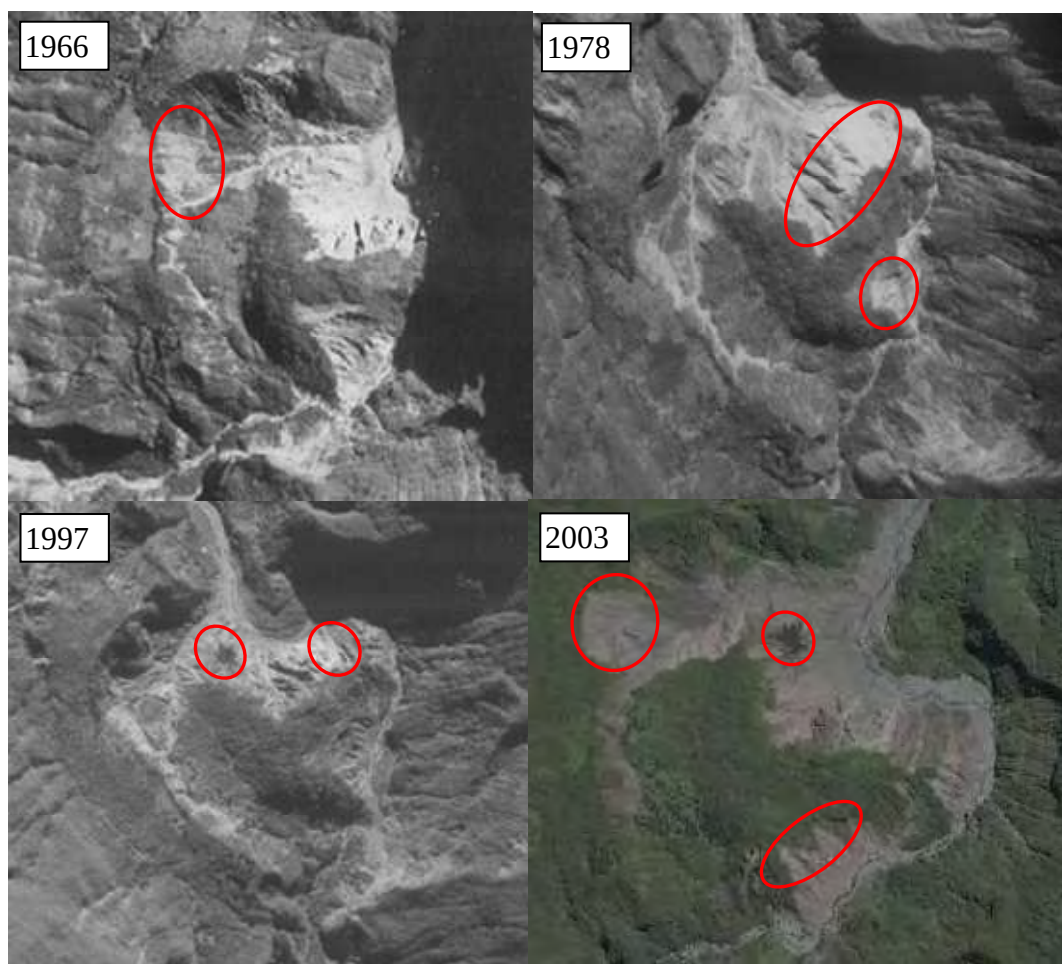


Photo n°58 – EVOLUTION DU RELIEF DU GRAND EBOULIS DEPUIS 1966 (PHOTOS IGN)

En 1966, deux principales niches d'arrachements sont visibles : une qui affecte la totalité du versant *nord-est* du relief du « Grand Eboulis » et une seconde qui affecte le versant *sud-est* de plus faible extension.

Entre 1966 et 1978, on note l'apparition de traces d'instabilités (éboulis de faible ampleur et arrachements) à la jonction entre le relief du « Grand Eboulis » et du plateau de l'Ilet Quinquina.

Entre 1978 et 1997, le flanc *sud-est* semble s'être plus ou moins stabilisé (début de végétalisation de la partie sommitale de la niche d'arrachement) alors que le flanc *nord-est* est toujours le siège d'une érosion intense avec des petits compartiments qui semblent glisser vers le lit de la rivière. L'érosion de la jonction entre les deux reliefs continue, avec un stockage des matériaux dans le talweg situé au *nord* du « Grand Eboulis ».

En 2003, apparaît la niche d'arrachement parallèle à la bordure du plateau de l'Ilet Quinquina, trace de l'éboulement de 2002.

De nos jours le flanc *nord-est* du Grand Eboulis est toujours le siège d'une érosion intense et présente un paysage en « badlands » sans cesse ravivé par les eaux de ruissellement empêchant la végétation de s'y implanter (cf. photo n°59).

La sensibilité du relief du Grand Eboulis à l'érosion s'explique principalement par la nature de ses matériaux. Ce relief est composé de formations volcaniques disloquées intensément fracturées provenant de l'éboulement de très grande ampleur qui s'est déclenché dans le rempart *sud-est*.



*Photo n°59 – EROSION DU FLANC NORD-EST DU RELIEF DU GRAND EBOULIS
(CLICHE NOVEMBRE 2007)*

8.3. MODE DE TRANSPORT DES MATERIAUX

Les matériaux issus des érosions des versants atteignent dans un premier temps le lit de la rivière.

Dans un deuxième temps, les matériaux ayant rejoint le lit de la rivière sont repris par les eaux et migrent vers l'embouchure de la rivière à la faveur de crues, plus ou moins rapidement selon l'importance et la fréquence des crues.

Le transport dans le lit de la rivière se fait selon 2 processus dynamiques différents en fonction de l'intensité et de la durée de la crue d'une part et de la taille des matériaux disponibles. On distingue ainsi :

- ↳ Le charriage de fond : c'est un transport sur le lit des alluvions les plus grossières qui roulent les uns sur les autres ;

↪ Le transport en suspension : c'est le transport des matériaux les plus fins en suspension dans l'eau (argiles, limons, parfois sables dans les rivières les plus rapides).

Ces modes de transport sont simultanés en crue. Les matériaux les plus légers sont transportés en suspension et les plus lourds par charriage. Selon la granulométrie du lit, la part de l'un ou l'autre de ces modes peut varier. Cette dualité rend difficile l'évaluation des volumes transportés.

L'érosion fluviale concerne uniquement le lit de la rivière et contribue à évacuer les produits issus de l'érosion de versant ou au remaniement des alluvions des terrasses du cours intermédiaire.

8.4. TRANSIT DES MATERIAUX ISSUS DE L'ÉBOULEMENT DE MARS 2002

L'analyse du transit des matériaux issus de l'éboulement de mars 2002 permet de mieux comprendre le fonctionnement du transport solide de la Rivière des Pluies. C'est pourquoi il est détaillé ci-après (*cf. figure n°55, page 210*).

8.4.1. ETAT DES LIEUX EN OCTOBRE 2003

L'éboulement de mars 2002 a amené un surplus brutal et conséquent de matériaux dans le lit de la rivière. En 2003, un an après la formation du barrage, cinq zones d'atterrissement principales se distinguaient à l'aval du barrage, entre le Grand Eboulis et le Cap Frumence, sur une distance de 2 km environ (*cf. figure n°54*) :

- ↪ Trois zones d'atterrissement sur le premier km en aval de l'ancien barrage. Le tracé de la rivière est rectiligne et ne présente pas de resserrlements ;
- ↪ Une zone d'atterrissement à 1 250 m du barrage du Grand Eboulis à la sortie des premières gorges, à la confluence de la ravine La Nage et la ravine du Diable ;
- ↪ La dernière zone d'atterrissement située au débouché du verrou en amont du chantier de basculement des eaux, à 1 800 m environ du barrage.

Les zones d'atterrissement où les matériaux sont stockés provisoirement, correspondent à des zones élargies du lit séparées par des segments rétrécis (verrous rocheux).

Les matériaux de l'éboulement de mars 2002 sont presque exclusivement constitués de laves zéolitisées friables. Ce critère pétrographique permet ainsi de caractériser les dépôts en provenance de l'éboulement.



Photo n°60 – FRONT DU BARRAGE EN 2002

Noter la granulométrie fine des matériaux de l'éboulement par rapport aux alluvions de la Rivière des Pluies

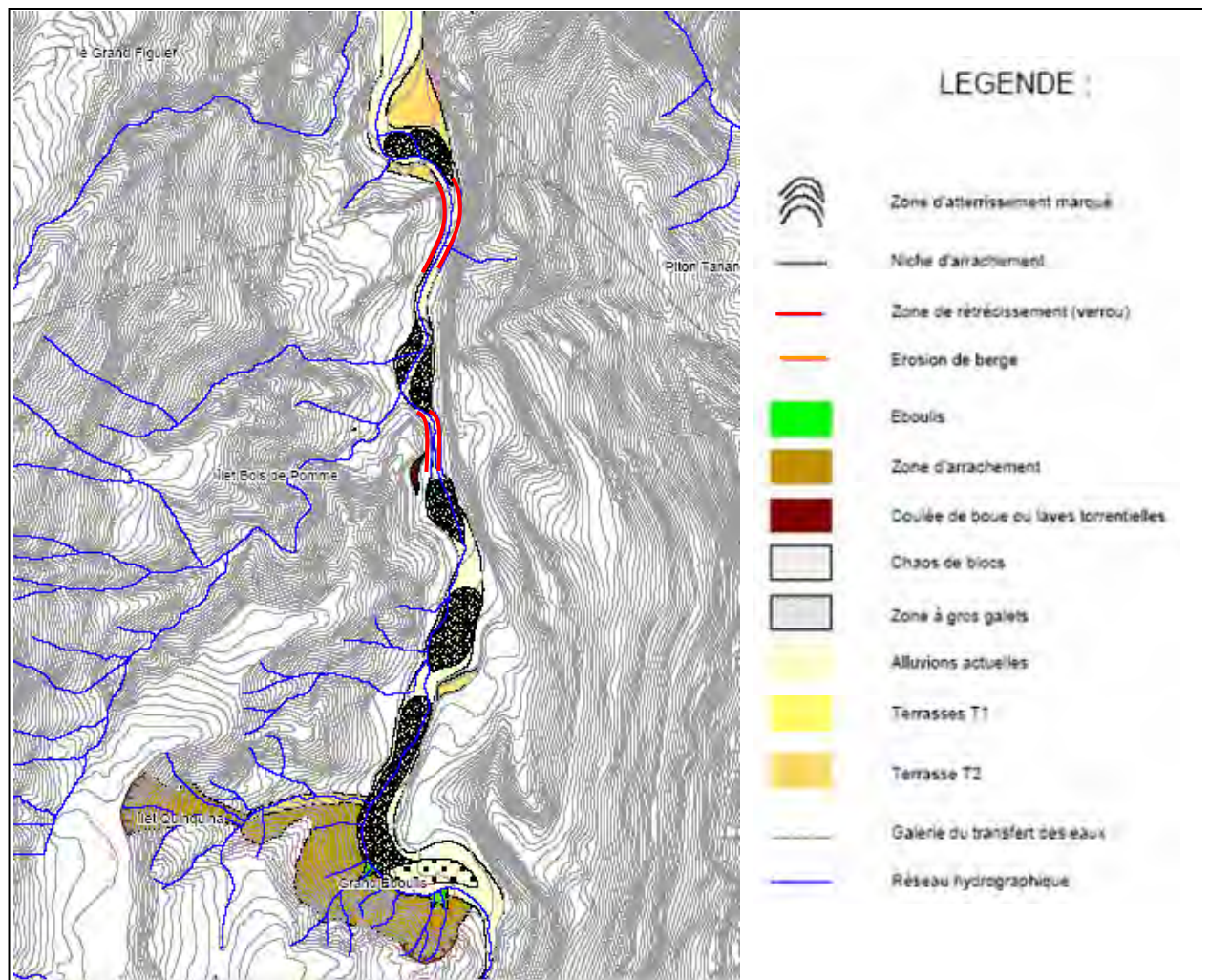
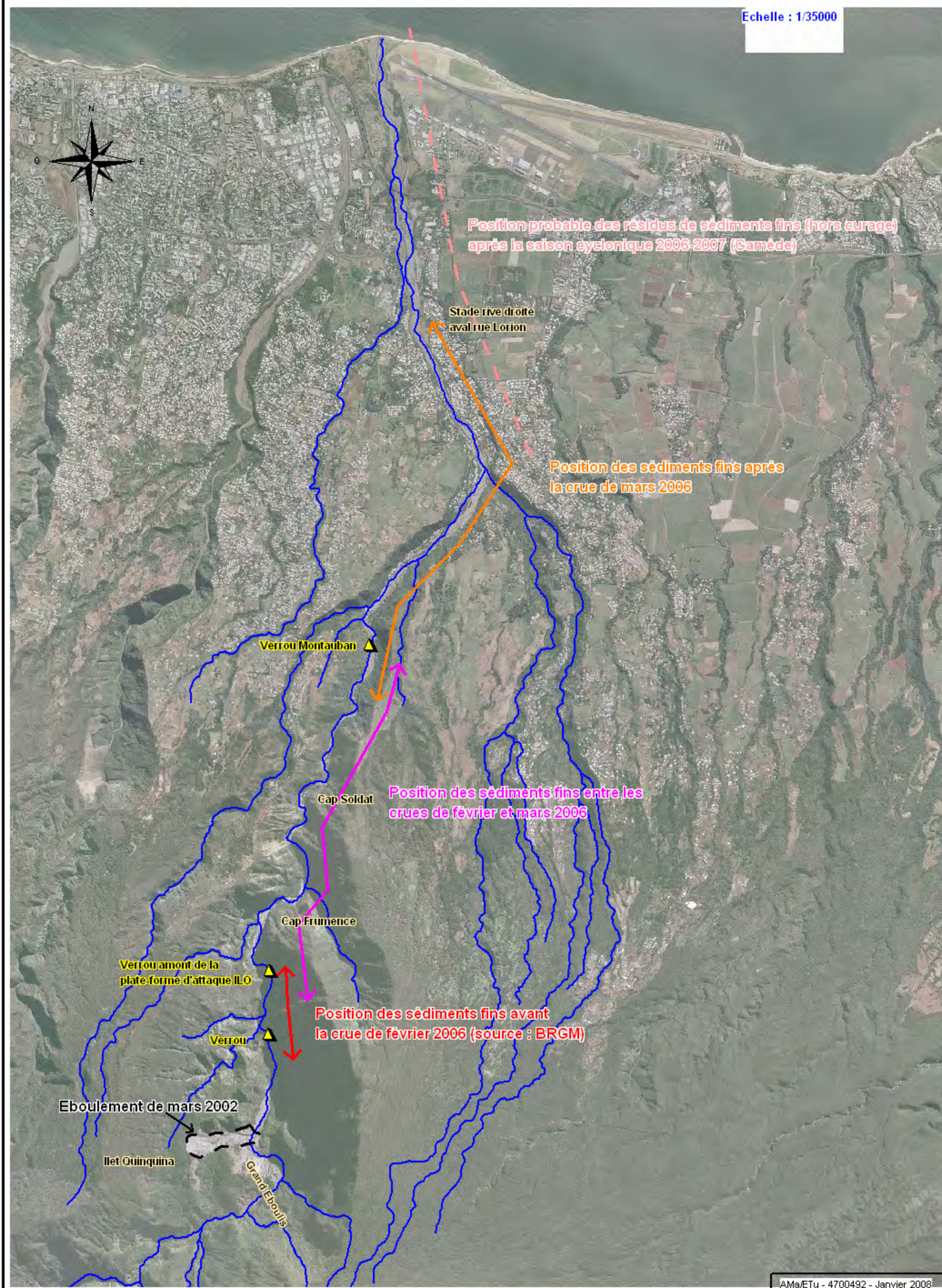


Figure n°54 – LOCALISATION DES PRINCIPALES ZONES D'ATTERDISSEMENT VISIBLE EN 2003
DANS LA PARTIE AMONT DE LA RIVIERE DES PLUIES (EXTRAIT DE LA CARTE GEOMORPHOLOGIQUE
AU 1/11500, BRGM 2006)

Figure 55 - Transit des matériaux issus de l'éboulement de 2002



8.4.2. EVOLUTION DES MATERIAUX ENTRE LE 14 FEVRIER 2006 ET DECEMBRE 2007

Dans le cadre du projet DYNTOR, une visite de terrain a été réalisée le 14 février 2006, avant la crue survenue quelques jours plus tard (fortes pluies du 17 et 18 février).

Les restes du barrage et ceux stockés dans la pente avaient été en grande partie ravinés entre 2002 et 2006. Les atterrissements de matériaux observés en 2003 dans le lit mineur étaient toujours présents mais avaient été en partie érodés en surface : les éléments les plus fins (diamètre inférieur à 200 mm environ) avaient été emportés tandis que les éléments les plus grossiers étaient restés sur place (pavage).

De même la rivière commençait à inciser les dépôts mettant à jour dans le lit « vif » de gros blocs arrondis de lave à feldspath de taille métrique appartenant à l'ancien lit de la rivière (ante2002).

Entre octobre 2003 et le 14 février 2006, les matériaux issus de l'éboulement de mars 2002 n'avaient encore franchi le Cap Frumence que partiellement.

EVOLUTION LORS DE LA CRUE DES 17 ET 18 FEVRIER 2006

La crue du 18 février 2006, estimée à 800 m³/s par l'Office de l'Eau au pont Domenjod a entraîné des changements morphologiques importants au niveau de la plateforme d'attaque et du dépôt de marinage.

Des points d'attaque des chenaux et des érosions de berges ou destruction de protection se sont produits.



*Photo n°61 – CRUE DE FEVRIER 2006 – ATTAQUE DES DEPOTS CIMENTEES
DU TALUS SUD DE L'ILET DE LA PLATEFORME (24 FEVRIER 2006)*



Photo n°62 – CRUE DE FEVRIER 2006 – EROSION DE LA BERGE RIVE DROITE EN PARTIE AVAL DE LA PLATEFORME AU NIVEAU DU BASCULEUR (20 FEVRIER 2006)



Photo n°63 – CRUE DE FEVRIER 2006 – DESTRUCTION DE LA PROTECTION DU DEPOT DE MARINAGE ET DEPART DE MATERIAUX (22 FEVRIER 2006)

Le site de l'extension du dépôt de marinage (partie « ONF ») a été moins sollicitée, avec cependant une érosion de la basse terrasse.

Dépôt de marinage

Eperon

Dépôt ONF



Photo n°64 – VUE DU DEPOT DE MARINAGE ACTUEL ET DE L'EXTENSION « ONF » (12/01/07)

L'évolution la plus remarquable concerne cependant **l'exhaussement du lit en amont et au droit de la plateforme par des éléments relativement fins.**



*Photo n°65 – CRUE DE FEVRIER 2006 – DEPOT DE MATERIAUX FINS
EN AMONT DE LA PLATEFORME (TALUS SUD) (24 FEVRIER 2006)*



*Photo n°66 – CRUE DE FEVRIER 2006 – DEPOT DE MATERIAUX FINS
EN PARTIE AMONT DE LA PLATEFORME, AU NIVEAU DE LA "DZ" (25 FEVRIER 2006)*



*Photo n°67 – CRUE DE FEVRIER 2006 – DEPOT DE MATERIAUX FINS
EN PARTIE AVAL DE LA PLATEFORME ET EN AMONT DU DEPOT DE MARINAGE (1ER MARS 2006)*

EVOLUTION LORS DE LA CRUE LIEE A DIWA (5 AU MARS 2006)

Cette crue, visiblement moins forte mais plus longue que celle de février a également entraîné d'importantes modifications morphologiques.

Par rapport au lit laissé par la crue de février 2006, Diwa a provoqué un fort abaissement en amont et au niveau de la plateforme, avec un retour à une forte granulométrie. Cet abaissement a provoqué un déchaussement d'une partie de la protection en enrochements liés de la plateforme.

Le dépôt de marinage, non protégé depuis la crue de février, a subi une poursuite de son érosion.



*Photo n°68 – DIWA – ABAISSEMENT DU LIT EN PARTIE AMONT DE LA PLATEFORME
(AU NIVEAU DE LA "DZ") (28 MARS 2006)*



Photo n°69 – DIWA – ABAISSEMENT DU LIT AU NIVEAU DE LA PLATEFORME, DECHAUSSEMENT DE LA PROTECTION EN ENROCHEMENTS LIES ET AFFLEUREMENT DE MATERIAUX CIMENTES (11 AVRIL 2006)

COMMENTAIRES

Au niveau de la plateforme d'attaque :

- ↪ L'évolution constatée au niveau de la plateforme d'attaque est différente de celle observée **en aval de l'îlet Quinquina**, où l'exhaussement et l'apport de matériaux fins s'est produit **lors de Diwa** et non en **février 2006** ;
- ↪ L'érosion du dépôt de marinage a entraîné le départ d'un volume de matériaux estimé à 56 000 m³ (BRL – SCP – SECMO, 2006) dont 2/3 pour l'événement de février 2006 et 1/3 pour DIWA, estimation sommaire faite par comparaison de photographies disponibles ;
- ↪ **L'origine** des matériaux fins déposés en amont et au droit de la plateforme en février 2006 est **le Grand Eboulis**, et en particulier les matériaux issus de l'éboulement de mars 2002 ;
- ↪ Ces matériaux étaient situés entre le premier verrou en aval du Grand Eboulis et la plateforme d'attaque avant la crue de février 2006 (BRGM, 2006) (*cf. 55 page 204*) ;
- ↪ En considérant une stabilité des apports en matériaux en amont du site (ce qui n'est pas le cas), on observerait une tendance à l'abaissement du lit au niveau de la plateforme pour les raisons suivantes :
 - Effet de rétrécissement et de la chenalisation qui tend à accroître la capacité de transport, qui devient supérieure aux apports amont : la rivière répond par une diminution de la pente du lit pour retrouver la capacité de transport initiale ;

- Effet de la rectification du lit qui entraîne une pente plus importante que la pente naturelle : la rivière aura tendance à retrouver la pente naturelle.

Ainsi, pour ces deux raisons, si l'on considère l'adoption d'une pente de 4 %, l'abaissement qui en résulte s'élève à 3,6 m en amont du recalibrage. Cet ordre de grandeur montre la sensibilité des fondations des protections de la plateforme.

- ✎ On pourrait ainsi donner à chaque événement une explication de l'évolution du lit :
 - Pour la crue de février 2006 : exhaussement par apports inhabituels d'éléments fins en provenance de l'éboulement de mars 2002 ;
 - Pour la crue de Diwa : abaissement sous le niveau projeté suite au recalibrage et à la rectification du lit.

De la plateforme d'attaque à l'amont de l'îlet Quinquinna, les crues de février et mars 2006 ont eu les conséquences suivantes :

- ✎ La migration d'éléments fins en provenance de l'amont, progressivement vers l'aval : partie amont de ce secteur pour la crue de février, partie aval et secteur Quinquinna / Rivière des Pluies pour la crue de Diwa (les sédiments fins sont apparus en fin de décrue de février dans le secteur du pont Domenjod) ;



*Photo n°70 – L'ILET LA PLUIE – DEPOT DE SEDIMENTS FINS
APRES LA CRUE DE FEVRIER 2006 (25 FEVRIER 2006)*

↪ Une tendance plus nette à la divagation du lit et à l'augmentation de son emprise.



Photo n°71 – ILET RIVE GAUCHE EN AVAL DE L'ILET LA PLUIE EN 2003



**Passage de
chenaux
secondaires
sur l'îlet**

*Photo n°72 – ILET RIVE GAUCHE EN AVAL DE L'ILET LA PLUIE APRES DIWA
(7 MARS 2006)*

En amont d'îlet Quinquina :

Lors des crues et mars 2006, le lit a coulé sur toute la largeur du lit. Les terrasses alluviales très hautes (6 m) en rive droite ont été attaquées et ont entraîné la destruction d'une habitation.

On constate un fort rechargement du lit qui semble plutôt consécutif à la crue de mars. Le fait marquant est la présence majoritaire d'éléments fins et très fins (sables et graviers, d_{90} visiblement inférieur à 200 mm).

Partie amont d'îlet Quinquina :

C'est un des secteurs ayant subi les plus forts dégâts lors des dernières crues. Le recul de la terrasse alluvionnaire en rive gauche, très haute (6 m), a pu dépasser 10 m par endroits. La terrasse a subi des attaques frontales ou avec une incidence suffisante pour éroder la berge. La majeure partie des attaques eu lieu lors de la crue du 18 février. La crue des 5 et 6 mars a provoqué l'essentiel de l'exhaussement du lit. La terrasse rive droite, plus basse, a également subi un recul significatif. Avant ces dernières crues, ce secteur présentait en rive gauche un début d'érosion. Il s'agit d'une terrasse alluviale naturellement sensible à cet aléa hydraulique.



*Photo n°73 – PARTIE AMONT DE L'ILET QUINQUINA –
VUE VERS L'AMONT APRES DIWA (7 MARS 2006)*



*Photo n°74 – PARTIE AMONT DE L'ILET QUINQUINA –
VUE VERS L'AVAL APRES DIWA (7 MARS 2006)*

Les éléments fins sont toujours présents, mais leur proportion tend à diminuer vers l'aval.

Au niveau d'îlet la Pluie les Bas :

En aval de l'îlet Quinquina, la morphologie change et on retrouve des matériaux de plus grande taille, visiblement plus conformes à la granulométrie connue par des mesures passées (d_{90} de l'ordre de 200 à 500 mm). L'implantation des bras n'a pas globalement changé : un bras rive droite contre le rempart, un bras rive gauche contournant un dépôt végétalisé (bras d'implantation de la prise du Canal la Mare). Le lit présente un aspect chaotique avec présence de nombreux flottants (troncs d'arbres).

EVOLUTION SUITE AU PASSAGE DE GAMEDE (24 – 28 FEVRIER 2007)

Entre le 14 février 2006 et décembre 2007, on note une nette incision du lit dans les dépôts de 2002. Cette tendance à l'incision qui est la plus marquée sur la cours amont de la Rivière des Pluies est confirmée par la comparaison des photographies prises en 2006 et en 2007 (cf. photo n°76 et photo n°77).



*Photo n°75 – ENGRAVEMENT DU LIT DE LA RIVIERE DES PLUIES
A L'AVANT DU BARRAGE (CLICHE 2003)*



*Photo n°76 – LIT DE LA RIVIERE A L'AVANT DU GRAND EBOULIS
(CLICHE DU 14 FEVRIER 2006)*



*Photo n°77 – CREUSEMENT DU LIT A L'AVAL IMMEDIAT DU BARRAGE EN 2007
(CLICHE DECEMBRE 2007)*

Les alluvions grossières masquées en 2003 sous les dépôts issus de l'éboulement réapparaissent suite à l'érosion et au transport des matériaux les plus fins vers l'aval.

En 2007, la majorité des zones de dépôts situées entre le « Grand Eboulis » et le Cap Frumence ont été remobilisées. Deux principales zones de stockage subsistent encore en amont des deux verrous rocheux.

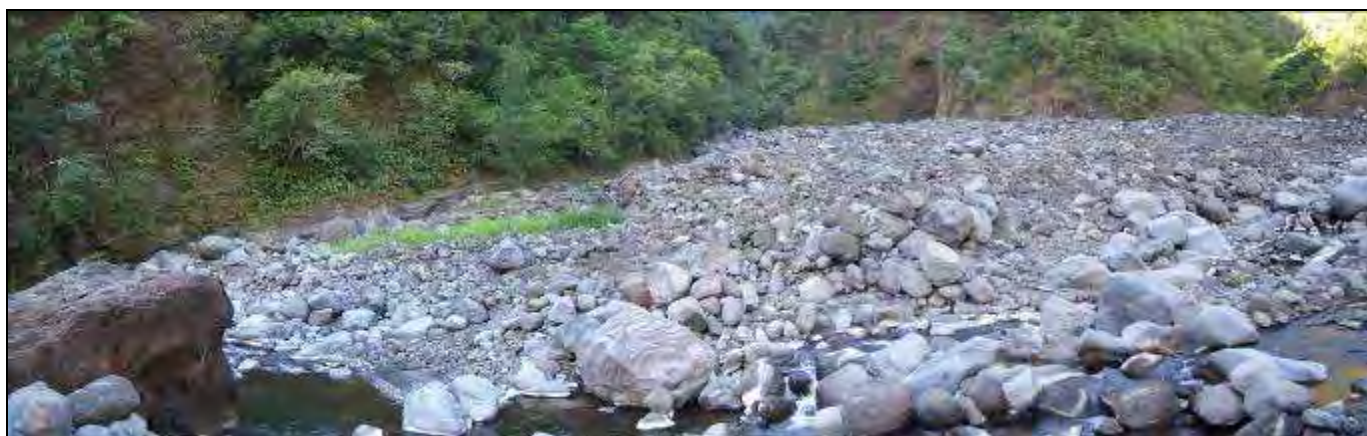


Photo n°78 – ZONE D'ATTERVISSEMENT ENTRE LES DEUX VERROUS (GALETS ANGULEUX ZEOLITISES), A LA CONFLUENCE DE LA RAVINE LA NAGE ET DE LA RAVINE DU DIABLE (CLICHE DECEMBRE 2007)

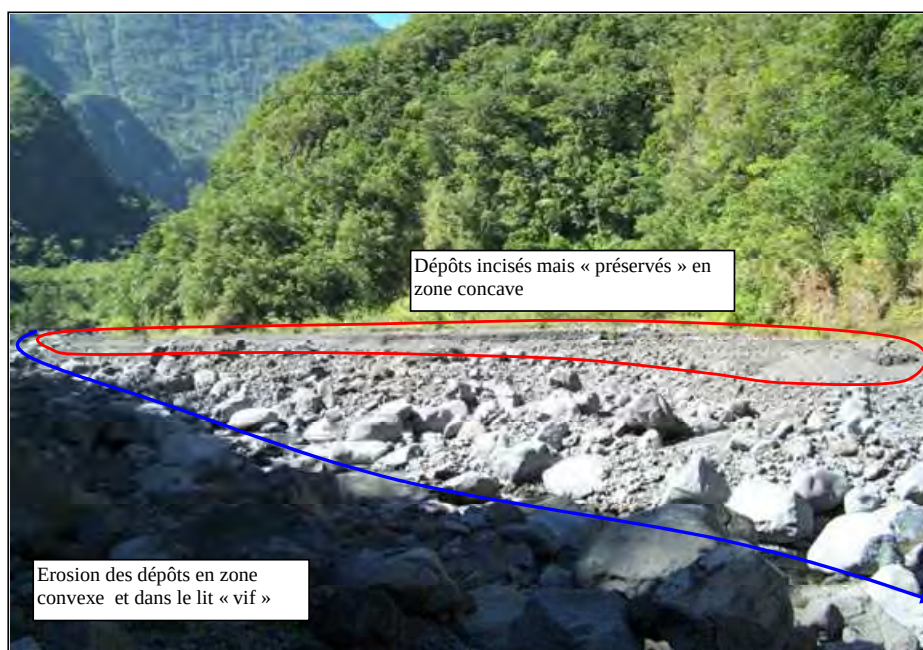


Photo n°79 – DEPOTS DE MATERIAUX FINS LITES (SABLES, GRAVIERS) A 1 KM EN AVAL DU "GRAND EBOULIS" (CLICHE DECEMBRE 2007)

Cette incision a mis à jour des dépôts d'avalanche de débris qui affleurent à l'aval immédiat du Grand Eboulis et au débouché du goulet en amont du chantier du transfert des eaux où l'incision du lit est également très marquée (apparition d'une chute d'eau).



Photo n°80 – DEPOTS A LA SORTIE DU VERROU SITUE EN AMONT DU CHANTIER DU TRANSFERT DES EAUX EN DECEMBRE 2003



*Photo n°81 – VERROU SITUE EN AMONT DU CHANTIER DU TRANSFERT DES EAUX
EN DECEMBRE 2007*

8.5. ESTIMATION DU DEBIT SOLIDE

Le débit solide est le volume de matériaux transportés par le courant par unité de temps. Il s'exprime en m^3/s .

Pour une vitesse donnée, le cours d'eau a une capacité de transport solide liée à l'énergie du cours d'eau. Le cours d'eau transporte toujours autant de matériaux qu'il est capable d'en transporter, à condition que ces matériaux soient disponibles sur place, c'est-à-dire sur le fond et les berges.

Cette capacité de transport est fonction de la pente du cours d'eau, des vitesses (et donc des débits liquides) et de la granulométrie. Elle augmente avec la pente et les débits et diminue quand la taille des matériaux augmente.

Il y a toujours continuité du transport solide : le débit solide entrant est égal au débit solide sortant :

- ↪ Si le débit solide sortant est inférieur (diminution de la capacité de transport), il y a dépôt dans le tronçon considéré. C'est le cas par exemple lorsque l'on a un abaissement de la pente.
- ↪ Si le débit solide sortant est supérieur (augmentation de la capacité de transport), on a érosion du fond et des berges dans le tronçon considéré. C'est le cas si la pente augmente ou si la granulométrie des matériaux devient plus fine (mobilisation d'un banc de matériaux plus fins type éboulement de mars 2002).

Il n'existe pas de formule universelle du transport solide bien que de nombreux hydrauliciens aient cherché à établir des relations permettant d'estimer le débit solide. Toutefois :

- ↳ Les modèles physiques réduits peuvent permettre d'obtenir des relations entre débit solide et débit liquide pour peu que les granulométries du modèle soient représentatives de la réalité ;
- ↳ Un certain nombre de formules ont été établies empiriquement en laboratoire et sur la base d'observations de nombreuses rivières réelles. Chacune d'elle a été établie dans un domaine particulier (fourchette de pente ou granulométrie, mode de transport prédominant). Les relations les plus pertinentes dans notre cas sont :
 - La formule de MEYER PETER qui prend en compte uniquement le transport par charriage et est fonction d'un nombre de paramètres important (largeur, pente, granulométrie, etc.) permettant de décrire le lit ;
 - La formule de SOGREAH-LEFORT qui s'applique particulièrement bien aux rivières à écoulement torrentiels. Elle ne prend en compte que le transport solide par charriage. Elle ne comporte pas la largeur du lit comme paramètre.

8.5.1. ESTIMATION PAR LES MODELES REDUITS PHYSIQUES

8.5.1.1. ETUDE SUR MODELE REDUIT DE L'ENDIGUEMENT DE L'AEROPORT (1966)

La relation entre débit solide et débit liquide a été établie en cherchant :

- ↳ Par approximation successive, pour un débit liquide donné, le débit solide à introduire en amont du modèle pour obtenir un profil en long d'équilibre moyen du cône correspondant à l'état naturel ;
- ↳ Par observation pour différents débits liquides, le débit liquide nécessaire au début d'entraînement généralisé du matériau du fond ;
- ↳ Par vérification de la stabilité du profil en long en soumettant le modèle à une longue histoire de crues dont la plus importante a un débit de pointe égal à 1 350 m³/s.

La relation obtenue est la suivante (déduite de la courbe présentée dans le rapport) :

$$Q_s = 0,00769.Q - 1,54$$

Avec Q : débit liquide en m³/s et Q_s : débit solide en m³/s, et pour une masse volumique apparente des matériaux de 2 T/m³.

Le débit de début d'entraînement est estimé à 200 m³/s. Cette relation a été établie sur la base d'une granulométrie sous estimant fortement les fines. Il faut donc considérer que le débit solide ainsi calculé est inférieur au débit solide total réel.

La série d'hydrogrammes de calage est par ailleurs basée sur les estimations hydrologiques de cette époque (Q₅₀ = 1 350 m³/s) surestimées.

8.5.1.2. MONOGRAPHIE DE LA RIVIERE DES PLUIES ENTRE LA RAVINE BACHELIER ET LA MER (1981)

La relation entre le débit solide et le débit liquide est présentée sous forme de tableau. Elle est issue du modèle de 1966.

La formule déduite de ce tableau est toutefois légèrement différente mais donne des valeurs de débit solide très proches de celles de 1966 :

$$Q_s = 0,0089.Q - 1,8934$$

Avec Q_s , débit solide en m^3/s , Q : débit liquide en m^3/s et pour une masse volumique apparente des matériaux de 2 T/m^3 .

Le débit d'entraînement est estimé à $200 \text{ m}^3/s$.

8.5.1.3. ETUDE SUR MODELE REDUIT DE L'ENDIGUEMENT DU VILLAGE DE RIVIERE DES PLUIES (1982)

La loi affine du modèle de 1966 est reprise et présentée sous forme de courbe.

Aucun calage particulier complémentaire n'est mentionné.

8.5.1.4. ETUDE SUR MODELE REDUIT DU NOUVEAU FRANCHISSEMENT DE LA RIVIERE DES PLUIES PAR LA RN2 (1983)

La relation entre débit solide et débit liquide a été établie à partir de la relation du modèle réduit de l'extension de l'aéroport, et adaptée au cours de la phase de réglage du modèle réduit.

La relation retenue fixe un seuil de début d'entraînement à $200 \text{ m}^3/s$, puis à partir de ce seuil un rapport débit solide / (débit liquide – seuil de début d'entraînement). Cette relation utilise les unités suivantes : t/s pour le débit solide, m^3/s pour le débit liquide. En prenant en compte une densité en volume apparent des matériaux de $2,1 \text{ t/m}^3$, cette relation s'écrit :

$$Q_s = 0,0076.Q - 1,52 \text{ pour } Q > 200$$

Avec Q_s , débit solide en volume apparent des matériaux (m^3/s), Q débit liquide (m^3/s).

Cette relation est en fait très proche de celle utilisée pour l'extension de l'aéroport. Elle représente correctement les phénomènes apparus entre 1971 (avant construction du radier de Gillot) et 1980 (après passage du cyclone Hyacinthe) : dépôt de matériaux en amont du radier, équilibre de la partie amont, configuration des chenaux.

8.5.1.5. ETUDE SUR MODELE REDUIT DU FRANCHISSEMENT DE LA RIVIERE DES PLUIES PAR LE BOULEVARD SUD DE SAINT-DENIS (2000)

Deux types d'hydrogrammes ont été retenus pour les tests sur modèle réduit de l'ouvrage d'art projeté :

- ↳ Un hydrogramme "court" d'une durée de 18 heures, avec un débit de pointe centennal ($1\,300 \text{ m}^3/s$). Le volume de matériaux transporté est de l'ordre de $360\,000$ à $390\,000 \text{ m}^3$;

- ↳ Un hydrogramme "long" d'une durée de 50 heures, avec un débit de pointe centennal. Le volume de matériaux transporté est de l'ordre de 0,9 à 1,1 Mm³.

Seul le premier hydrogramme a été retenu pour les essais sur modèle.

Cette relation est dite confirmée par les essais sur modèle. Cependant le réglage n'a pas porté sur la reconstitution des évolutions du lit sur une période donnée, mais sur la stabilisation d'une pente d'équilibre évaluée de 2,2 à 2,3 %.

L'étude mentionne graphiquement les débits solides injectés dans le modèle pour chaque débit liquide injecté.

A partir de ces informations, on peut déduire une loi affine (coefficient de corrélation : 0,9901) :

$$Q_s = 0,0127 \times Q - 0,9604$$

Avec Q_s , débit solide en m³/s et Q , débit liquide en m³/s.

Le débit de début d'entraînement généralisé des matériaux avec cette formule est proche de 75 m³/s.

Une loi potentielle permet également une bonne corrélation ($R^2 = 0,9917$) entre les débits solides et les débits liquides injectés :

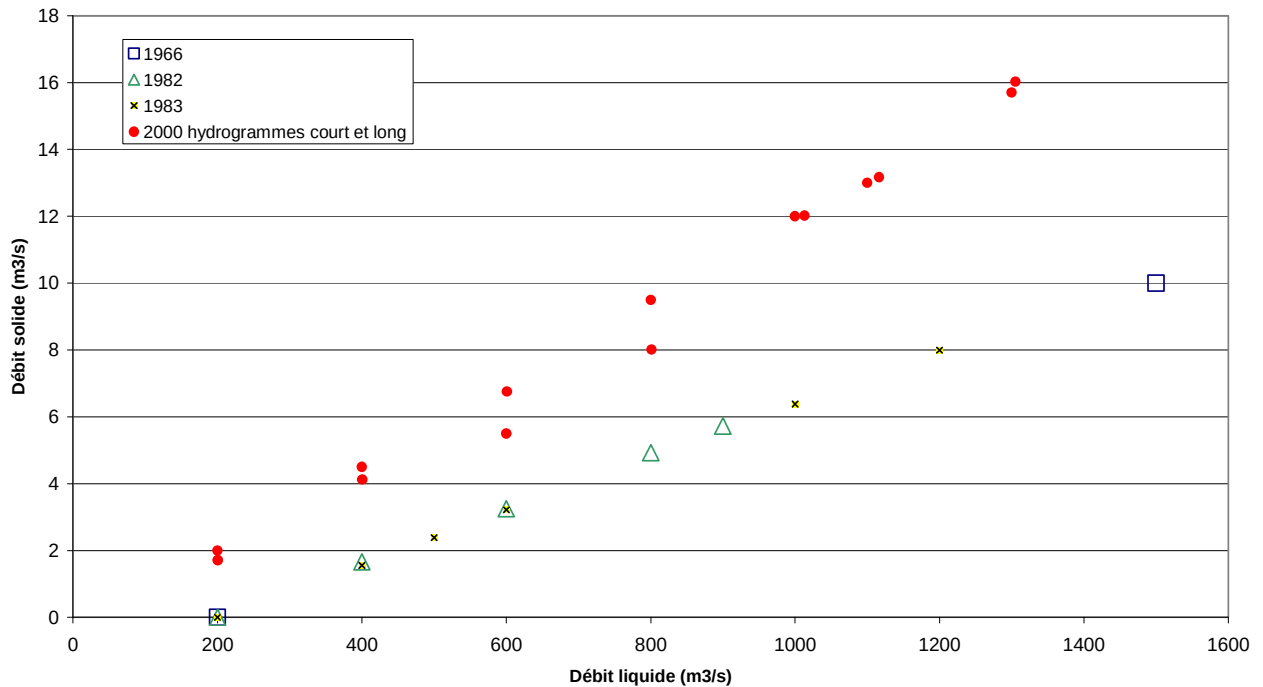
$$Q_s = 0,0041 \cdot Q^{1,1516}$$

Avec Q_s , débit solide en m³/s et Q , débit liquide en m³/s.

Il est important de noter que cette loi donne des valeurs de débit solide très différentes de celles obtenues avec les formules précédentes.

Pour un même débit liquide, le débit solide injecté est approximativement le double de celui qui était injecté dans les modèles précédents (1966, 1982, 1983).

Figure n°56 – *RELATIONS DEBIT SOLIDE – DEBIT LIQUIDE ETABLIES
PAR LES MODELES PHYSIQUES DE LA RIVIERE DES PLUIES*



8.5.2. ESTIMATION DU DEBIT SOLIDE PAR DES FORMULES EMPIRIQUES

Dans le cadre du programme de recherche DYNATOR du BRGM, une valorisation des études sur modèle réduit, appliqué au cas de la Rivière des Galets, a été réalisé. Ce travail a en particulier porté sur la recherche de relation théorique liant débit solide et débit liquide cohérente avec les relations retenues au terme des essais sur modèle.

Deux relations théoriques ont été utilisées :

↳ La formule de MEYER-PETER ;

↳ La formule de SOGREAH-LEFORT.

Comme on l'a mentionné auparavant, elles constituent les formules théoriques les mieux adaptées à la Rivière de Pluies.

Dans le cas de la Rivière des Galets, les paramètres de ces lois ont été ajustés pour concorder avec la relation retenue par expérimentation sur modèle réduit.

A titre d'information, une troisième formule a été employée dans le cadre de la présente étude. Il s'agit de la formule de Lefort datée de mai 2005 qui est détaillée au chapitre 8.6.

8.5.2.1. FORMULE DE MEYER-PETER

La formule de MEYER-PETER est relativement complexe. Elle nécessite d'estimer une largeur d'écoulement en fonction du débit et prend en compte :

- ↪ Le diamètre moyen de la granulométrie ;
- ↪ La densité des matériaux du lit ;
- ↪ La pente du cours d'eau ;
- ↪ La rugosité des matériaux du lit ;
- ↪ Une relation entre le débit et la largeur d'écoulement établie par analogie avec la Rivière des Galets ;
- ↪ Des paramètres supplémentaires, dans notre cas, calés par les recherches effectuées sur la Rivière des Galets.

Avec une pente de 2,3 %, une densité apparente de 2 T/m^3 , et un diamètre moyen de 14,9 cm, on obtient la formule :

$$Q_s = 0,0089.Q - 0,5001$$

Avec Q_s , débit solide en m^3/s et Q , débit liquide en m^3/s .

Le débit liquide de début d'entraînement est estimé à $56,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

8.5.2.2. FORMULE DE SOGREAH-LEFORT

La formule de SOGREAH-LEFORT a l'avantage d'être une formule intégrée sur l'ensemble du cours d'eau. La relation largeur d'écoulement – débit difficile à établir, n'est plus nécessaire.

Cette formule est basée sur :

- ↪ Les diamètres caractéristiques d_{30} et d_{90} ;
- ↪ La densité des matériaux ;
- ↪ Le débit de début d'entraînement (fonction de la pente, du diamètre moyen et de la densité des matériaux) ;
- ↪ La pente du cours d'eau ;
- ↪ Des coefficients calés empiriquement.

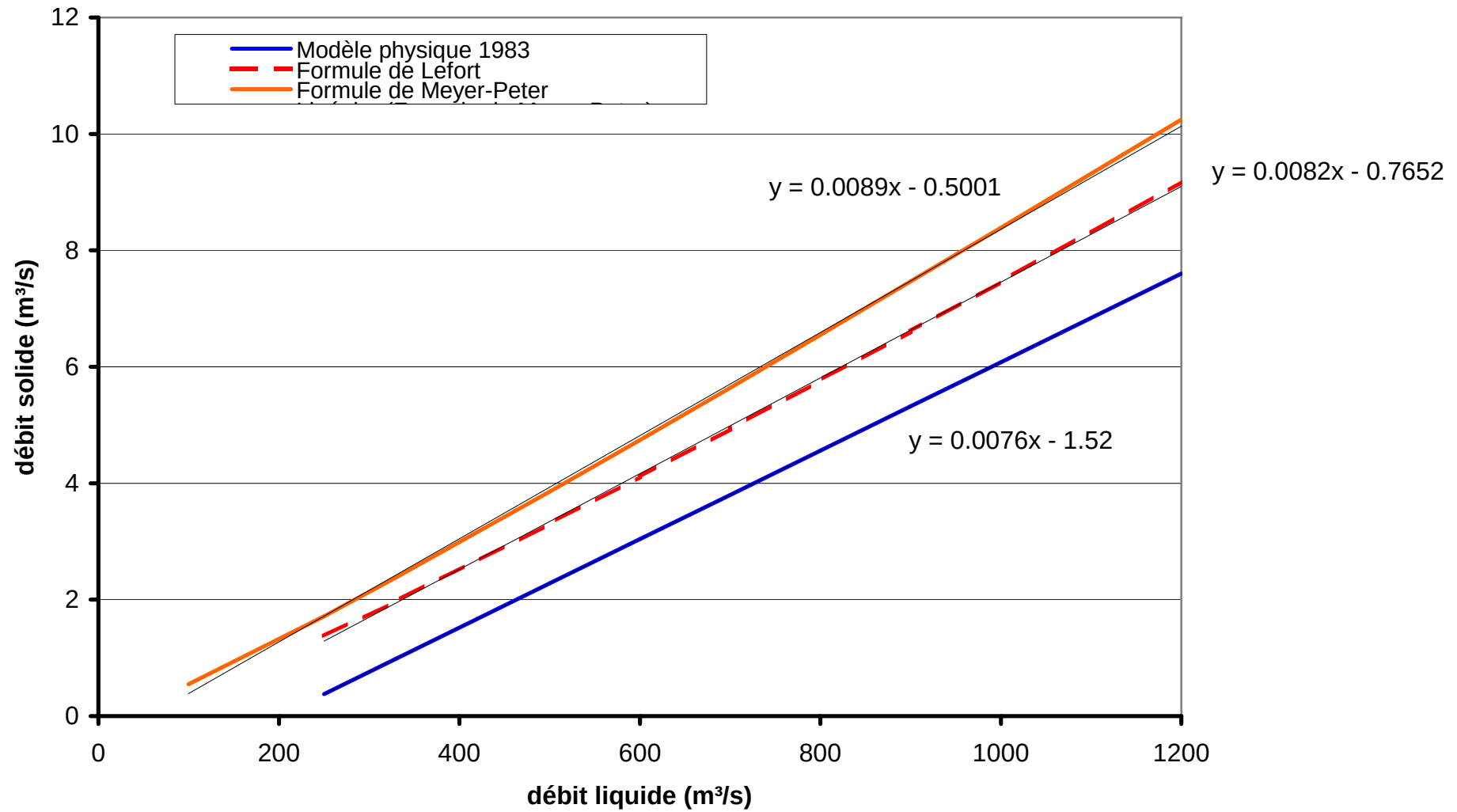
La formule obtenue sur la base de la granulométrie nature de 1966, une densité réelle de $2,8 \text{ T/m}^3$ et avec une pente de 2,3 % est la suivante :

$$Q_s = 0,0082.Q - 0,7652$$

Avec Q_s , débit solide en m^3/s et Q , débit liquide en m^3/s .

Le débit liquide de début d'entraînement est gardé à $93,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (Meyer-Peter).

Figure n°57 : Relations débit solide - débit liquide établies par les formules empiriques



8.6. ESTIMATION DES VOLUMES SOLIDES TRANSPORTES EN CRUE ET EVOLUTION DU PROFIL EN LONG

Les principaux objectifs de ce volet d'étude sont :

- ✎ D'estimer le volume de matériaux produit par le bassin versant de la rivière des Pluies pour différents événements de crue ;
- ✎ D'apprécier la répartition spatio-temporelle de ces volumes sur le profil en long du cours d'eau ;
- ✎ De dégager une tendance de l'évolution du profil en long pour les prochaines décennies.

Pour y parvenir, nous nous sommes appuyés sur le programme CAVALCADE, développé par SOGREAH, qui permet d'établir un bilan de volume de matériaux sur un profil en long.

Les différentes analyses qui ont été menées sont décrites dans les paragraphes qui suivent.

8.6.1. CONSTRUCTION ET ETALONNAGE DU MODELE DE TRANSPORT SOLIDE

8.6.1.1. CONSTRUCTION DU MODELE

Comme évoqué plus haut, le fonctionnement morpho-sédimentaire de la Rivière des Pluies a été apprécié à l'aide d'un modèle mathématique.

Sa construction s'est appuyée sur les données topographiques et granulométriques existantes sur la rivière des Pluies (plans topo datés de 2002-2003 et de juin 2006 et courbes granulométriques, essentiellement disponibles sur le tronçon "confluent ravine Sèche – pont de la RN102) ainsi que sur les hydrogrammes de crues récentes issues de l'analyse hydrologique du § 7 : cyclone Dina (mars 2002, période de retour ~ 4 ans), pluies de décembre 2004 (période de retour ~ 7 ans) et de février 2006 (période de retour ~ 12 à 15 ans), cyclones Diwa (mars 2006, période de retour ~ 10 ans) et Gamède (février 2007, période de retour ~ 4 ans).

Plus précisément, le programme CAVALCADE fait appel aux paramètres suivants :

- ✎ Choix d'une formule de transport solide parmi celle de Meyer-Peter, Sogreah-Lefort, Smart et Jaeggi ou Lefort ;
- ✎ Largeur et profil en long initial du lit (mineur) ;
- ✎ Présence ou non du substratum rocheux qui peut limiter l'ampleur des érosions ;
- ✎ Diamètre moyen des matériaux observés dans le lit du cours d'eau ;
- ✎ Etendue granulométrique exprimée ici par le rapport d_{90}/d_{30} ;
- ✎ Densité des matériaux en présence ;

⇒ Hydrogrammes de crues, qui correspondent ici à des événements historiques reconstitués sur la base de la pluviométrie relevée sur ou à proximité du bassin versant de la Rivière des Pluies (cf. chapitre 7.2).

La formule de transport solide retenue dans le cadre des modélisations est celle de Lefort étant donné qu'elle présente le domaine de validité le plus adapté aux caractéristiques de la Rivière des Pluies. Il s'agit en outre de la plus récente (mai 2005) et repose sur les différents paramètres suivants : largeur et pente du lit, débit liquide, diamètre moyen et densité des matériaux, étendue de la courbe granulométrique.

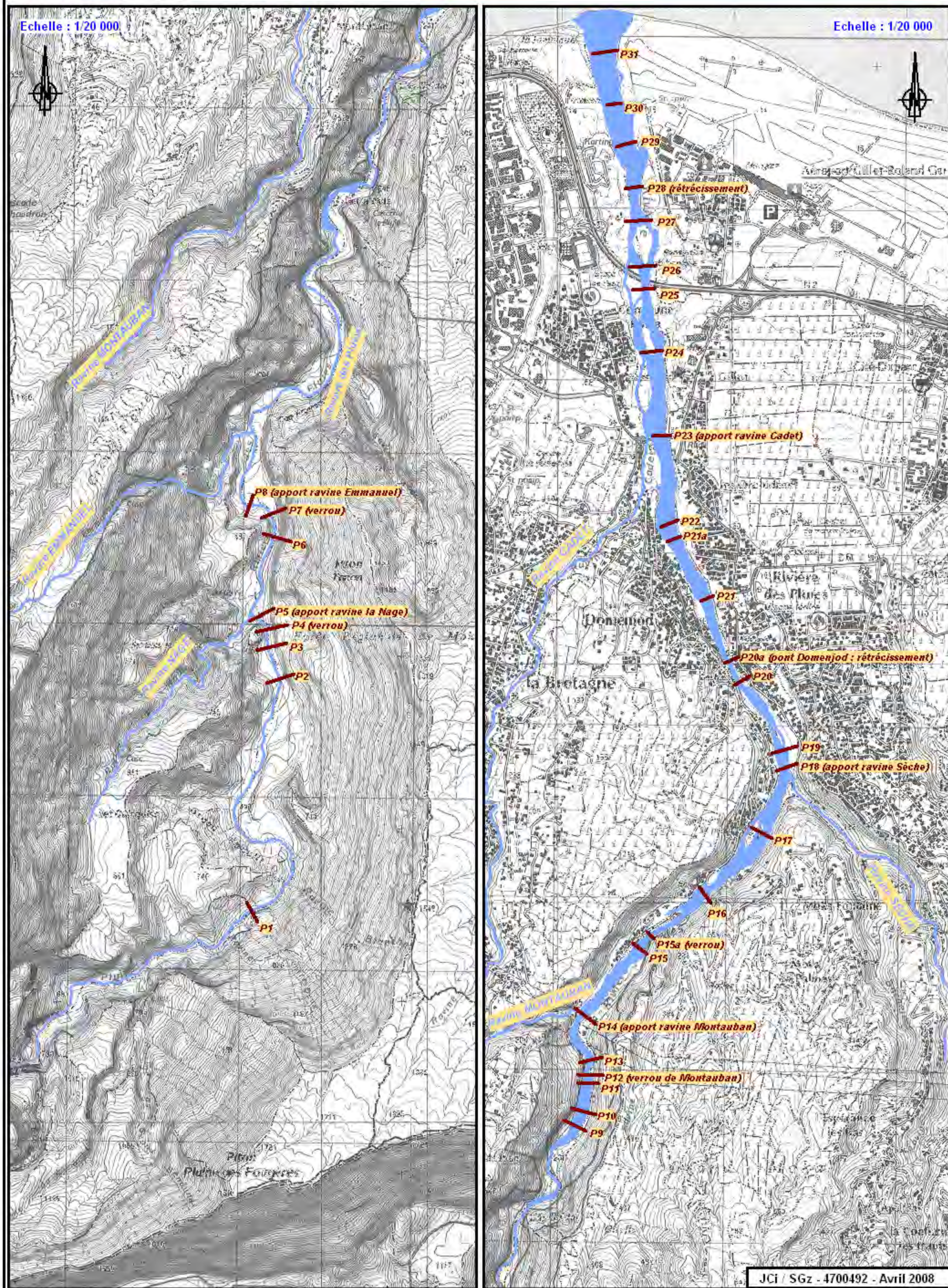
Sur le tronçon de Rivière des Pluies pour lequel nous disposons de courbes granulométriques, soit globalement entre le confluent avec la ravine Sèche et le pont Neuf, le diamètre moyen des matériaux du lit est compris entre 12 et 17 cm. La valeur retenue ici est 15 cm. Sur l'amont, ce diamètre augmente sensiblement (phénomène de tri granulométrique qui dépend de la pente du lit). Dans ce contexte, une augmentation progressive du diamètre d'aval en amont de 15 cm à 25 cm au droit du site du Grand Eboulis a été considérée.

L'analyse de ces mêmes courbes granulométriques met enfin en évidence une particularité sur la Rivière des Pluies qu'est la forte étendue granulométrique. On relève en effet la présence d'une grande hétérogénéité des diamètres de matériaux qui oscillent entre 1 mm (sables) et 1 m (blocs). Le rapport d_{90}/d_{30} s'avère donc compris entre 22 et 100, ce qui est supérieur à la valeur limite proposée par la plupart des formules, y compris celle de Lefort : ≤ 20 . Nous avons donc décidé de retenir la valeur maximale de 20.

La description de la géométrie du lit, en termes de largeur et de pente, s'est appuyée sur notre connaissance du terrain et les documents cartographiques et topographiques en notre possession. Ainsi, ce sont près de 40 points de calculs qui ont été définis pour construire le modèle. Ces points sont répartis sur un linéaire de plus de 14 km de cours d'eau entre les PK -2 300 (embouchure dans l'océan Indien) et 11 900 (site du Grand Eboulis). Ils permettent ainsi de décrire toutes les singularités du lit, telles que ses élargissements ou ses rétrécissements (verrous), qui influent sur les phénomènes de dépôts et d'érosions. Une cartographie, présentée sur la figure n° 58, page 233, localise les points de calculs, les singularités rencontrés et les principales confluences.

Sur le tronçon étudié, peu d'informations font état de la présence du substratum rocheux. On peut néanmoins citer quelques photos prises au droit de verrous entre deux crues qui mettent en évidence son affleurement ainsi que les observations du BRGM qui mentionnent un affleurement local en aval du pont Domenjod atteint suite aux travaux de curage effectués postérieurement à la crue de Diwa (PK 1 000 – Cote 81 m NGR).

Figure 58 - Localisation des profils en travers utilisés lors de la modélisation avec CAVALCADE



8.6.1.2. ETALONNAGE DU MODELE

PRINCIPE GENERAL DE L'ETALONNAGE

L'exploitation du modèle Cavalcade, pour déterminer l'évolution des fonds au cours d'une crue donnée, nécessite au préalable un réglage. En théorie, celui-ci pourrait être réalisé en simulant successivement les crues observées entre les deux relevés topographiques, c'est-à-dire de Dina à Diwa, puis en comparant le profil en long obtenu à l'aide de CAVALCADE avec celui issu de la topographie de juin 2006 et en ajustant, le cas échéant, certains paramètres du modèle pour que ces deux derniers "collent" au mieux.

Or, comme évoqué au cours des précédents chapitres, un éboulement s'est produit à la suite de Dina (mars 2002) sur le site du Grand Eboulis avec des matériaux dont la granulométrie diffère fortement de celle observée dans la Rivière des Pluies : 5 cm environ de diamètre moyen contre 25 cm en rivière des Pluies sur ce secteur.

Le programme ne pouvant gérer directement de telles variations de diamètres, une simulation uniquement destinée à suivre la progression de ce dépôt vers l'aval (en occultant dès lors les apports de matériaux amont et latéraux et le phénomène de respiration du lit – succession d'engrèvement et d'érosion du fond de lit) a été engagée.

En revanche, ont été considérés ici les apports de matériaux issus des érosions de berges. En effet, les crues de février 2006 et de mars 2006 (Diwa) ont été marquées par d'importants effondrements de berges répartis entre la confluence avec la Ravine Montauban et le pont de la RN102.

Les volumes de matériaux issus de ces érosions ont été évalués par nos soins sur la base des topographies aériennes et atteignent près de 40 500 m³, dont les ¾ sont dus à la seule crue de février. 21 500 m³ proviennent de la rive droite, le restant 19 000 m³ de la rive gauche.

SIMULATIONS ET RESULTATS DE L'ETALONNAGE

Deux événements de crue ont été simulés dans cette configuration : un regroupant les crues de décembre 2004 et de février 2006, après lesquelles le dépôt s'étale principalement autour du Cap Frumence (PK 8 400), et un correspondant à la crue liée à Diwa. Les matériaux sont alors surtout observés entre le confluent avec la ravine Montauban et l'aval du pont Domenjod.

↳ Globalement, le premier calcul reproduit assez bien la réalité avec un dépôt s'étalant essentiellement entre le PK 9 200 (amont du verrou de la ravine Emmanuel) et le PK 7 500 (900 m en aval du cap Frumence). Sa hauteur atteint jusqu'à 3 m au droit du verrou évoqué ci-avant. Toutefois des dépôts sont également observés plus en aval, entre les PK 4 400 et 1 000 (verrou de Montauban → aval Pont Domenjod) avec une hauteur maximale calculée de près de 2 m à hauteur de cet ouvrage, alors que sur ce secteur les observations montrent plutôt un maintien de la cote de fond de lit voire même un creusement.

Ces dépôts sont en partie dus au transit des matériaux issus des érosions de berges mais aussi et surtout au transit d'une partie des matériaux de l'éboulement.

Du point de vue volume, on note que sur les 530 350 m³ de départ (éboulement+érosions des berges), 170 000 m³ ont déjà atteint l'océan. Un profil en long illustrant ces résultats est joint sur la figure n°59, page 236.

- ↳ La seconde simulation, qui consiste à reproduire la crue de Diwa sur un fond de lit initial calculé post crue de février 2006, ne permet en revanche pas de retrouver les zones de dépôts qui se sont principalement concentrés autour du pont Domenjod et ont d'ailleurs nécessité par la suite des curages. Rappelons à ce titre que la simulation de la crue de février 2006 avait déjà mis en évidence un important dépôt sur ce secteur qui n'a pas évolué à la suite de la crue de Diwa (*cf. figure n°60, page 237*).

Une principale zone de dépôt a été en revanche calculée entre les PK 4 400 et 2 500, c'est-à-dire entre l'amont du verrou de Montauban et la confluence avec la Ravine Sèche, avec un exhaussement moyen du fond de lit de 80 cm.

- ↳ Globalement, on peut retenir de ces différentes simulations que l'étalonnage du modèle de la Rivière des Pluies sur la base des récents événements de crue, qui inclut en particulier un éboulement dont la granulométrie diffère fortement de celle du lit de la rivière, n'apparaît pas envisageable.

La complexité du phénomène de mélange des matériaux, tel qu'il se produit de façon naturelle dans le cours d'eau, ne peut manifestement pas être reproduite à l'aide des outils de calcul dont nous disposons à ce jour.

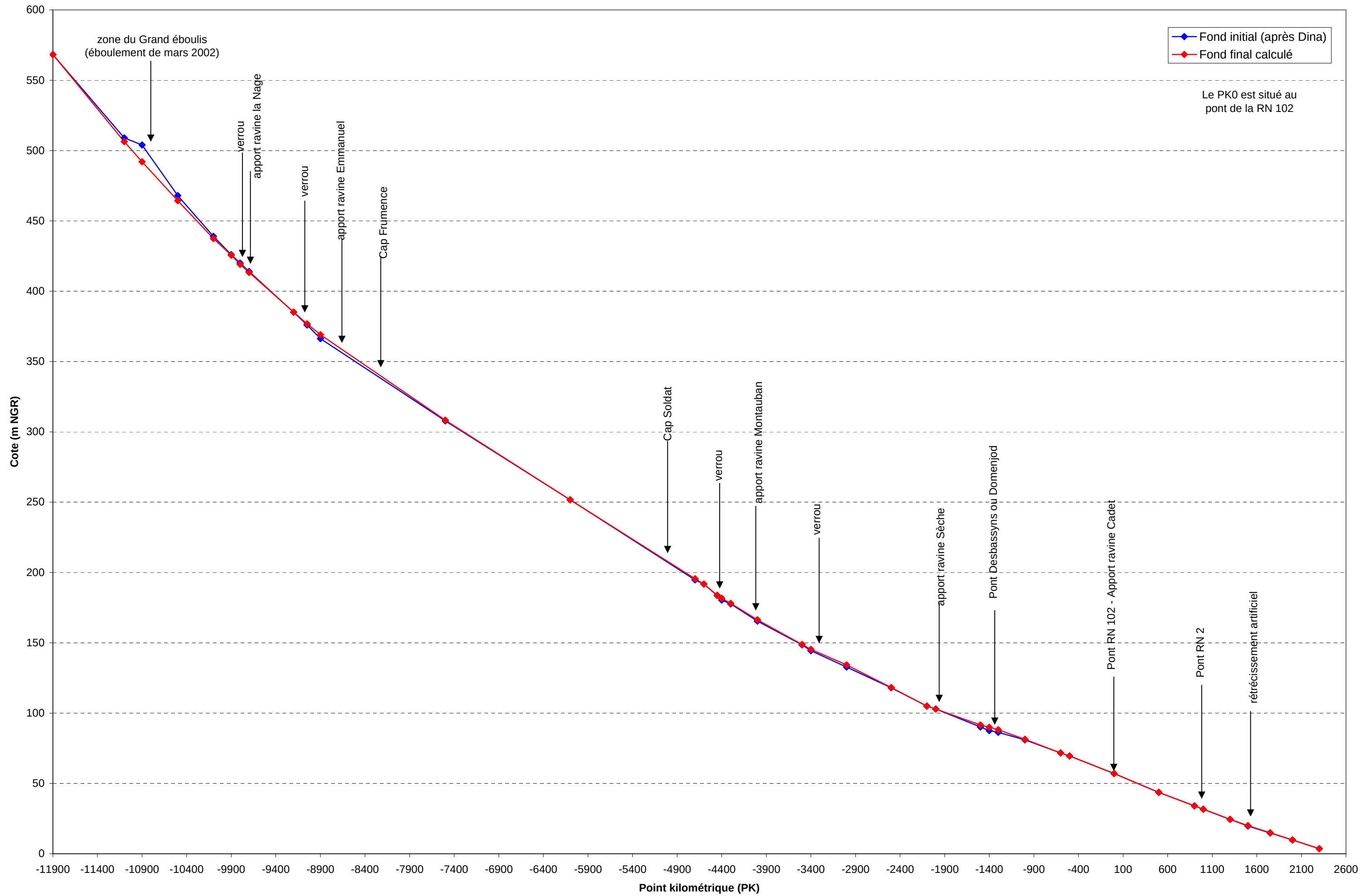
- ↳ L'étalonnage s'est donc limité à une comparaison des profils en long avant et après passage de la crue liée à Dina pour laquelle nous possédons quelques informations telles que :
 - ↳ La relative stabilité du fond de lit en amont de la confluence avec la Ravine Sèche ;
 - ↳ Une variation plus prononcée du fond de lit en aval de cette dernière et notamment en amont du pont de la RN2 où un exhaussement a été observé.

L'analyse du profil en long calculé après crue fait effectivement apparaître ces observations (*cf. figure n°61, page 238*).

Dans ces conditions, on peut admettre que le modèle est globalement représentatif de la réalité.

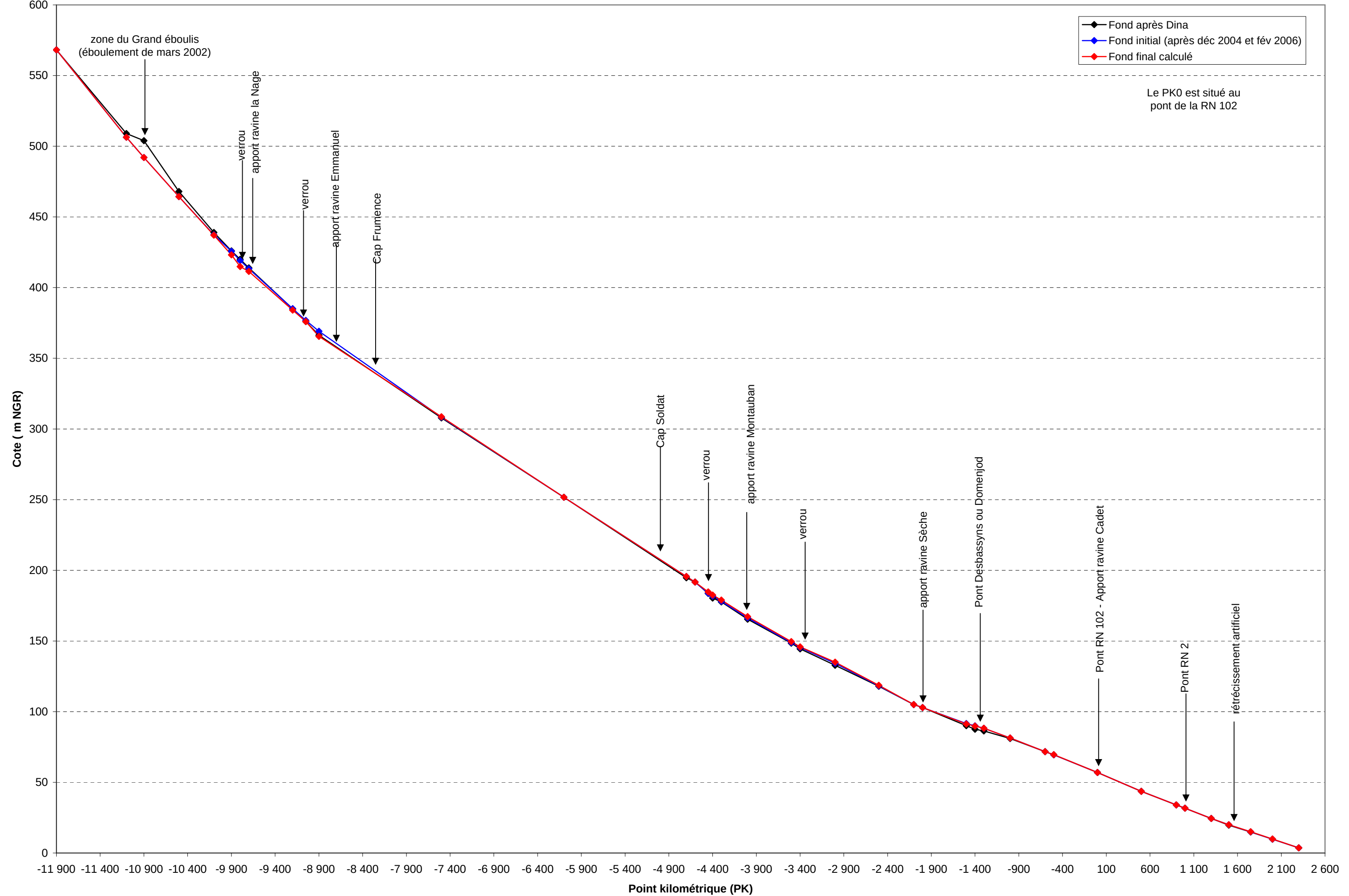
Profil en long de la rivière des Pluies
Evolution de l'éboulement observé au Pk -11 000 suite aux crues de décembre 2004 et de février 2006

FIGURE N°59



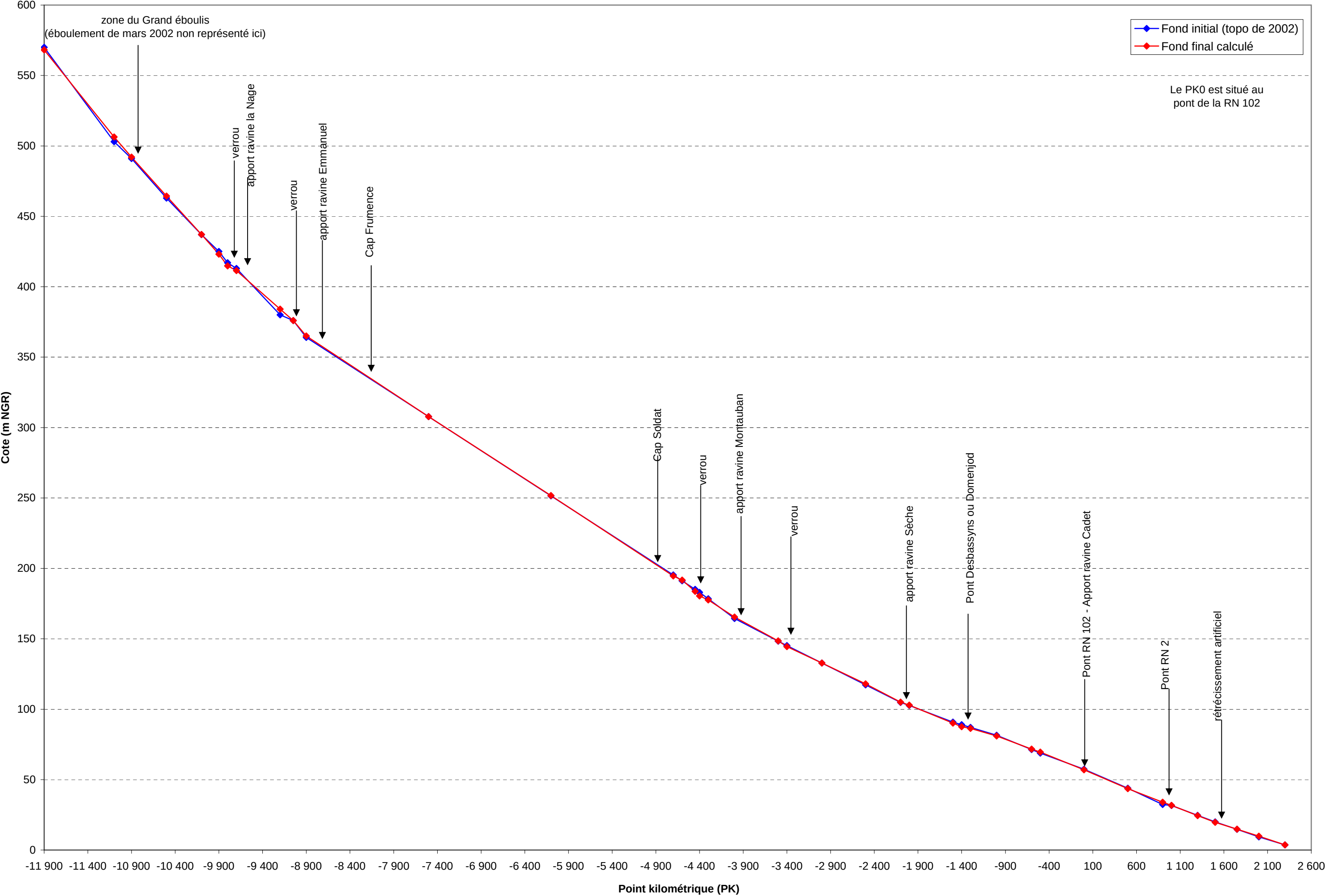
Profil en long de la rivière des Pluies
Evolution de l'éboulement observé au Pk -11 000 suite aux crues de décembre 2004, de février et de mars 2006 (Diwa)

FIGURE N°60



Profil en long de la rivière des Pluies
Evolution du fond suite au cyclone Dina (janvier 2002)

FIGURE N°1



8.6.2. DETERMINATION DES VOLUMES SOLIDES TRANSPORTES EN CRUE

L'application de la formule de Lefort, au sein du programme Cavalcade, permet d'évaluer le volume de matériaux transportés dans le cours d'eau lors des différents événements de crue précédemment cités.

Dans le cas présent, 6 principaux bassins versants susceptibles d'apporter des matériaux à la rivière des Pluies ont été distingués. D'amont en aval, il s'agit des bassins versants de la modélisation pluie-débit : amont au Grand Eboulis, ravine Emmanuel (remparts et ilets), des ravines Montauban-Kiwi, de la ravine Sèche (Bachelier) et de la ravine Cadet. Les valeurs de volumes solides obtenues sont reportées dans les tableaux suivants ainsi que les débits liquides correspondants. Signalons enfin que ces valeurs font abstraction du volume généré par l'éboulement post-Dina.

Tableau n°39 – EVALUATION DES VOLUMES SOLIDES PAR BASSIN VERSANT

	Grand Eboulis		Emmanuel-remparts		Emmanuel-ilets		Montauban		Sèche		Cadet	
	Ql (m³/s)	Volume (m³)	Ql (m³/s)	Volume (m³)	Ql (m³/s)	Volume (m³)	Ql (m³/s)	Volume (m³)	Ql (m³/s)	Volume (m³)	Ql (m³/s)	Volume (m³)
Dina	136	217 000	34	45	9	325	97	4 500	143	1 650	27	-
Déc 2004	202	35 000	54	280	7	25	27	-	279	2 000	2,5	-
Fév 2006	300	255 000	90	3 400	29	2 750	178	10 600	273	10 400	13	-
Diwa	186	267 000	63	2 600	22	2 950	141	10 600	285	12 300	88	1 250
Gamède	108	296 000	39	125	14	2 600	93	7 500	156	2 100	33	25

Tableau n°40 – EVALUATION DES DEBITS ET VOLUMES SOLIDES PAR EVENEMENT

	Valeur obtenue à l'embouchure		Volume solide total (m³)	
	Q _{liquide} maximal (m³/s)	Q _{solide} (m³/s)	Entrant	Déposé
Dina	403	0,90	223 500	190 500
Déc 2004	489	1,15	37 500	39 000
Fév 2006	811	2,75	282 500	223 000
Diwa	717	2,35	296 500	217 500
Gamède	400	1,05	308 000	240 000

8.6.3. EVOLUTION DU PROFIL EN LONG DE LA RIVIERE DES PLUIES

Face à la difficulté de reproduire l'évolution d'un éboulement similaire à celui de mars 2002, l'évolution probable du profil en long de la Rivière des Pluies peut être évaluée selon deux hypothèses :

- ↳ Simulation de la tendance d'évolution du profil sans éboulement ;
- ↳ Simulation de la tendance d'évolution du profil avec éboulement d'une granulométrie identique à celle du lit mineur.

La seconde simulation n'est pas développée ici mais fera l'objet d'une réflexion particulière au cours du rapport de phase 3. Les calculs réalisés dans le cadre de la première simulation reposent sur :

- ↳ Une succession des crues enregistrées entre 2002 et 2006 de Dina à février 2006 et de Dina à Diwa ;
- ↳ Une succession des crues enregistrées entre 2002 et 2007 de Dina à Gamède, dont une simulation qui inclut dix cycles de ces crues, soit une période de 50 ans particulièrement active (sur 5 ans, 2 crues décennales et 3 crues quinquennales).

EVOLUTION DES FONDS ENTRE LES CRUES DE 2002 ET 2006

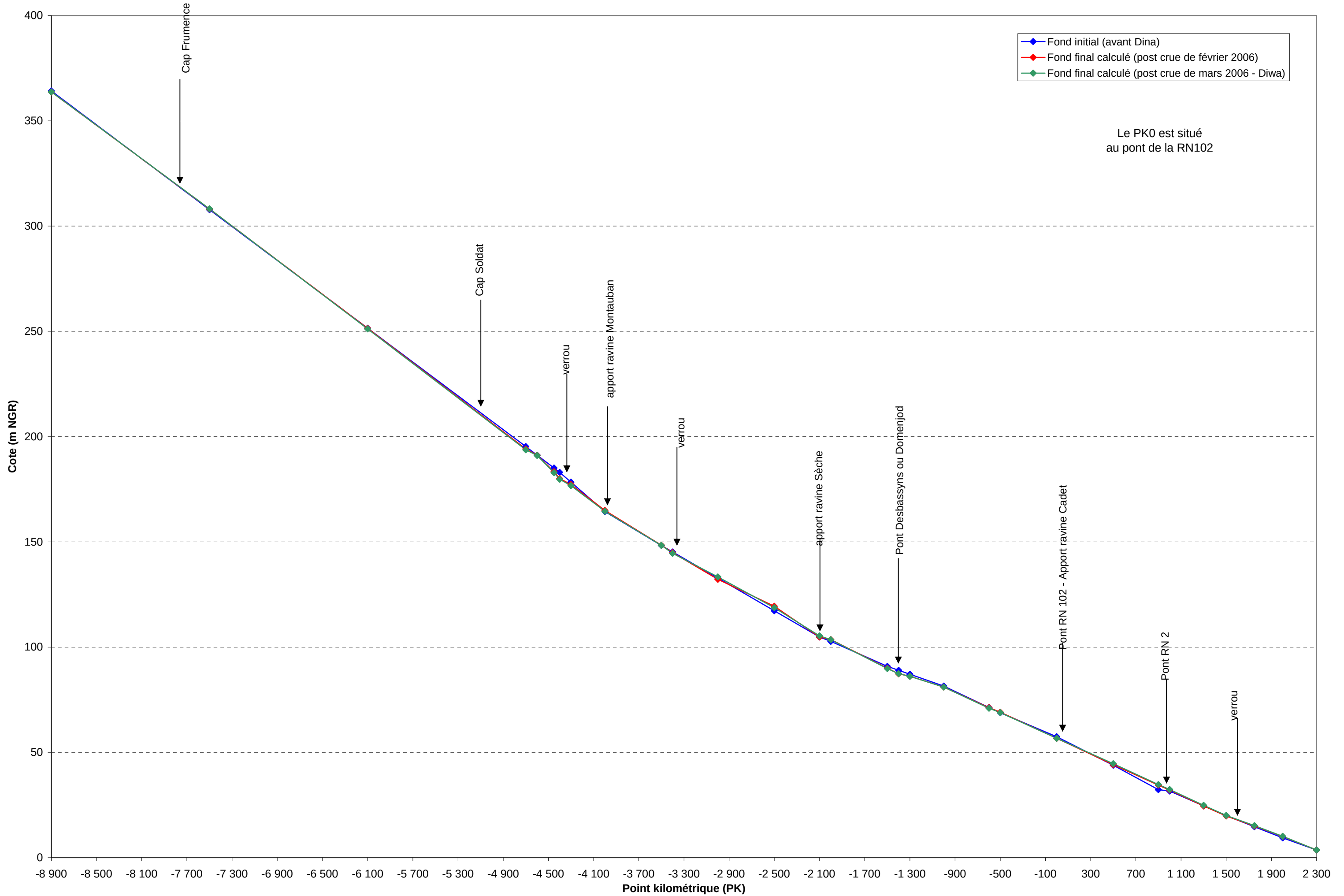
Les calculs réalisés ici et illustrés par un profil en long fourni sur la figure n°62, page 241, mettent clairement en évidence qu'en l'absence d'apport exceptionnel de type éboulement :

- ↳ Une érosion des fonds s'observe sur trois principaux secteurs décrits ci-dessous :
 - Sur le tronçon situé en amont du confluent avec la ravine Montauban (PK 4 300 à 6 000) où l'on note un creusement du lit compris entre 15 cm et près de 3 m, le maximum étant atteint au droit du verrou de Montauban ;
 - Au droit du verrou de l'îlet Quinquina (PK 3 400) avec une érosion des fonds atteignant 30 à 60 cm ;
 - Autour du pont Domenjod (PK 1 000 à 1 500) avec une profondeur comprise entre 50 cm et 1,7 m.
- ↳ Un rehaussement des fonds s'effectue également sur trois secteurs :
 - A proximité du confluent de la ravine Montauban (15 à 50 cm) ;
 - Entre le verrou de l'îlet Quinquina et l'amont du pont Domenjod (PK 1 500 à 3 000) avec 50 cm à 2 m de dépôt. Le maximum est atteint ici au PK 2 500 (amont confluence avec la ravine Sèche) ;
 - Au-delà du PK 600 (P21a) et jusqu'à l'embouchure avec un dépôt maximum en amont immédiat du pont de la RN 2 (PK - 900) où le dépôt atteint une hauteur de près de 2,5 m – ce comblement correspond à un retour progressif à l'équilibre d'une zone d'extractions passées.

Les érosions au niveau des verrous s'expliquent par la réduction de section induite. Dans la réalité, ces érosions sont progressivement comblées en fin de crues.

Profil en long de la rivière des Pluies Evolution des fonds entre Dina et les crues de 2006 (hors éboulement)

FIGURE N°62



EVOLUTION DES FONDS ENTRE LES CRUES DE 2002 ET 2007

Les tendances décrites au paragraphe précédent sont également observées avec l'ajout de la crue liée au cyclone Gamède.

Dans le cas de la simulation d'un cycle de crues représentant une période de 5 ans particulièrement active (de Dina à Gamède, sur 5 ans, 2 crues décennales et 3 crues quinquennales), l'ampleur des phénomènes de dépôt et d'érosion du lit est accentuée.

A titre d'exemple, l'incision du lit en amont de la confluence avec la Ravine Montauban atteint désormais 3,5 m quand l'exhaussement du lit en amont du pont de la RN2 atteint ici près de 2,8 m.

Ces résultats traduisent l'amorce d'un retour progressif à un état d'équilibre du profil en long qui conduit :

↳ **A une incision du fond du lit en amont de l'îlet Quinquina ;**

↳ **Et un rehaussement du fond du lit en aval du même îlet**

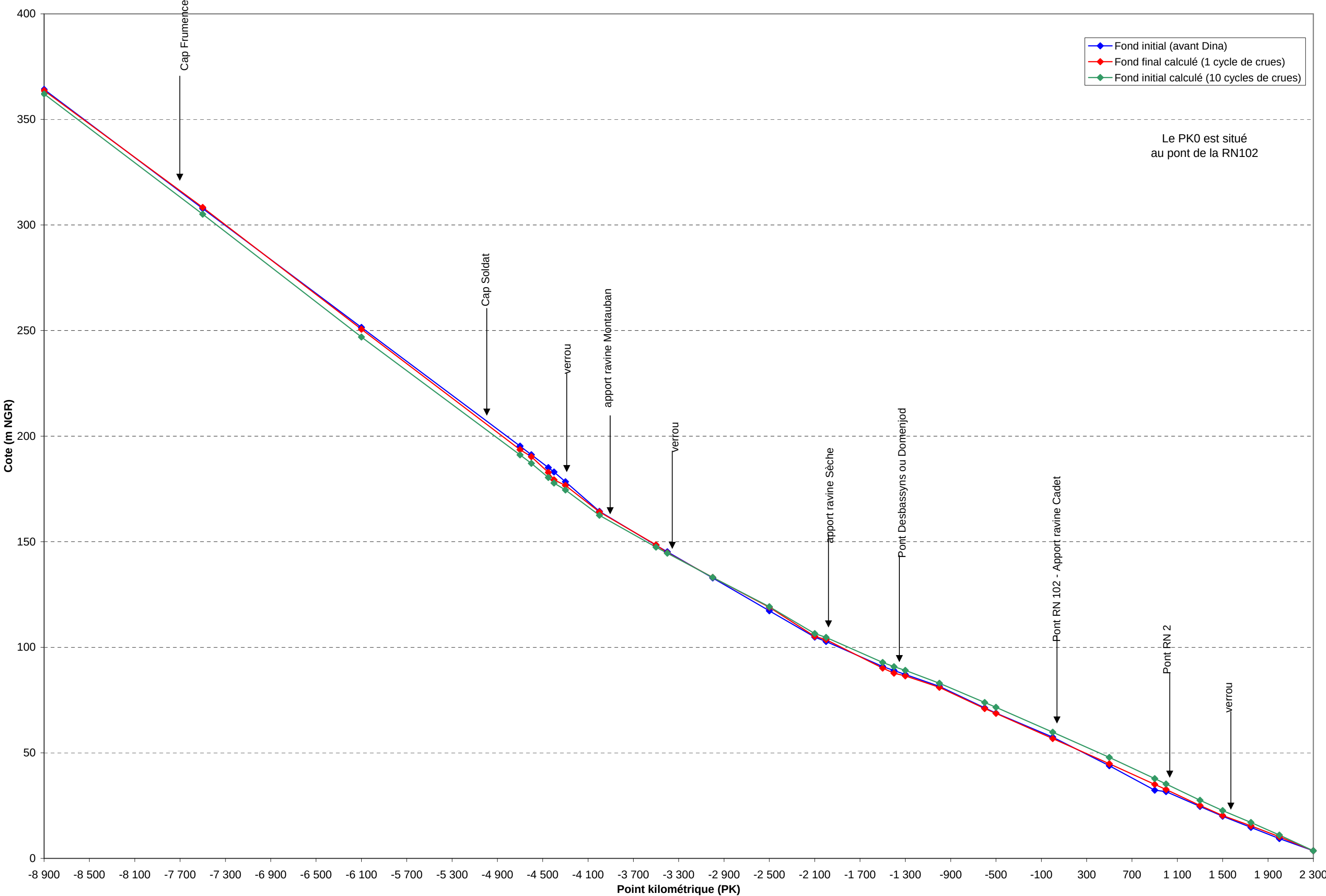
Cette hypothèse se vérifie notamment avec une simulation correspondant à une période de 50 ans particulièrement active, représentée par dix cycles de crues observées entre 2002 et 2007.

On constate en effet qu'en amont d'un point "fixe" situé à proximité du verrou de l'îlet Quinquina, le lit s'abaisse jusqu'à 4,5 m autour des PK 4 300 et 6 000 (par rapport à un niveau représentatif de 2002) alors qu'il s'exhausse en aval y compris dans le secteur du pont Domenjod, sur une hauteur maximale équivalente au creusement amont, soit 4,5 m environ en amont du pont de la RN2.

Le profil en long présenté sur la Figure n°63, page 243, illustre ces résultats.

Profil en long de la rivière des Pluies
Evolution des fonds entre Dina et Gamède (hors éboulement)

FIGURE N°63



8.6.4. EXTRACTIONS

Un certain nombre d'extractions ont été faites dans le lit de la Rivière des Pluies. Elles ont été faites essentiellement entre 1979 et 1995 sous forme d'extractions diffuses ou massives.

Le lieu des extractions est souvent peu précis mais il concerne l'ensemble du linéaire depuis le pont de Domenjod jusqu'à l'exutoire. Le tronçon compris entre l'actuel pont de la RN2 et le pont métallique de la RN102 semble avoir fait l'objet de beaucoup moins d'extractions.

Le tableau ci-après récapitule les données retrouvées en termes d'extractions autorisées ou estimées (toujours supérieur ou déclaré).

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Tableau n°41 – VOLUMES DES EXTRACTIONS REALISEES DANS LE LIT DE LA RIVIERE DES PLUIES

Source	Extractions dans le lit des cours d'eau (BRGM 2004)	Estimations sogreah	Monographie de 1981 (réf. /11/) volumes déclarés	Monographie de 1981 (réf. /11/) volumes estimés	Schéma d'extraction (réf. /25/)	Potentialités d'extractions de la rivière (réf. /43/)
1979	26 500	750 000 (1965 à 1990) soit 30 000 / an				
1980	18 481					
1981	39 064		36 000 / an avant cette date	80 000 à 150 000 / an avant cette date		
1982	63 390					
1983	36 972					
1984	21 600					
1985	28 757					
1986	21 453					
1987						
1988					Identification de fosses d'extractions potentielles à l'exutoire de 280 000 m ³ au total	
1989	150 000	800 000 (entre 1991 et 1995) soit 160 000 / an				
1990	150 000					
1991	150 000					
1992	400 000					
1993						
1994						
1995	200 000					43 000 à 55 000 m ³ / an autorisés en curage de régulation (aval pont Domenjod)
1996						
1997						
1998						

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Source	Extractions dans le lit des cours d'eau (BRGM 2004)	Estimations sogreah	Monographie de 1981 (réf. /11/) volumes déclarés	Monographie de 1981 (réf. /11/) volumes estimés	Schéma d'extraction (réf. /25/)	Potentialités d'extractions de la rivière (réf. /43/)
1999						
2000						
2001						
2002						
2003						
2004						
2005						
2006		60 000 m ³ (curage d'urgence à l'aval du pont Domenjod)				

	Volumes déclarés
	Estimations DDE
	Données DDE
	Volume autorisé
	Estimations SOGREAH

On peut observer qu'il existe une certaine incertitude sur les volumes effectivement prélevés. Pour pouvoir réaliser le bilan volumique sédimentaire nous ferons donc les estimations suivantes basées sur le recoupement des infos disponibles :

- ↳ Entre 1979 et 1988 : 35 000 m³/an en moyenne soit 350 000 m³ en 10 ans ;
- ↳ Entre 1989 et 1995 : 150 000 m³/an en moyenne soit 1 050 000 m³ en 7 ans ;
- ↳ Entre 1996 et 1998 : 50 000 m³/an en moyenne soit 150 000 m³ en 3 ans ;
- ↳ En 2006 : 60 000 m³ de curage d'urgence.

9. TENDANCE D'EVOLUTION FUTURE DES APORTS DU BASSIN VERSANT

L'évolution future du profil en long du lit est fonction :

- ↳ De la tendance d'évolution des apports du bassin versant ;
- ↳ Des lois de transport solide qui tentent d'estimer le transit des matériaux.

Ces deux points sont abordés ci-après.

L'évolution morphologique des grandes ravines de La Réunion est guidée par deux types de processus d'érosions :

- ↳ L'érosion issue des processus de versant qui comprend l'érosion diffuse des remparts formant les cours intermédiaire et amont et la déstabilisation en masse de la bordure des remparts par érosion régressive en tête de bassin versant contribuant à l'évolution à grande échelle de la rivière ;
- ↳ L'érosion et le transport torrentiel qui ne concernent que le lit de la rivière.

9.1. LES MOUVEMENTS DE GRANDE AMPLEUR

9.1.1. DEFINITIONS

Les chutes de blocs et éboulements sont des phénomènes rapides et événementiels, mobilisant des masses rocheuses plus ou moins homogènes à partir d'une paroi verticale ou présentant une forte pente (supérieur à 45°). Il s'agit de la libération par gravité, de blocs formés dans des roches rigides fracturées.

Le volume total de matériaux mobilisés permet de différencier les phénomènes entre eux. Ainsi on peut distinguer :

- ↳ Les chutes de pierres ou de blocs (volume maximal de quelques m³ ne concernant que quelques éléments isolés) ;
- ↳ Les éboulements (volume total inférieur à 10 000m³) ;
- ↳ Les éboulements en masse (10 000m³ < V < 1 000 000m³) ;
- ↳ Les écroulements (volume total supérieur à 1 000 000 m³ pouvant atteindre plusieurs dizaines de millions de m³).

Les facteurs naturels favorables au déclenchement de ces mouvements sont :

- ↳ L'apparition d'un contraste de compétence induit par l'intercalation de niveaux scoriacés plus facilement érodables, entre les coulées laviques ;
- ↳ La présence de discontinuités structurales (diaclasses, dykes, sills ou ancienne surface d'érosion) qui fragilise l'ossature du relief ;
- ↳ L'action mécanique de l'eau (pressions hydrostatiques dues à l'infiltration des eaux météoritiques dans les interstices ou fissures de la roche).

9.1.2. LES EBOULEMENTS EN MASSE A LA REUNION ET LEUR FREQUENCE

Dans le cadre du projet de recherche MVTerre, le BRGM a établi une base de données regroupant les mouvements de terrain survenus à La Réunion depuis 1849 (glissements, éboulements/écroulements, coulées de débris...). Certains sites, sièges de mouvements de grande ampleur, font l'objet d'un suivi régulier de leur évolution (stations GPS permanentes, extensomètres) afin de mieux comprendre leur mode de fonctionnement.

Pratiquement tous les reliefs abrupts de l'île sont producteurs de chutes de blocs et d'éboulements surtout à la suite d'événements pluvieux importants. Néanmoins, certains reliefs sont plus propices à la survenance d'éboulements en masse ou d'écroulements : les remparts des cirques (exemple du Rempart du Mado), les berges des grandes ravines (exemple du Bras de Mahavel) ou encore les falaises côtières (exemple de la route en corniche).

Ces événements ne sont pas rares à La Réunion et représentent 12% des éboulements recensés. Sur 100 ans, on recense 27 événements de plus de 10 000 m³, soit une fréquence d'un éboulement en grande masse tous les 3 à 4 ans. Cependant pour les phénomènes ayant eu lieu en contexte de grandes ravines (qui représente 33% de l'ensemble des événements) la fréquence est d'un événement tous les 10 ans, éboulements en masse et écroulements confondus.

Néanmoins ces résultats ne sont pas exhaustifs, ils ne donnent qu'un ordre d'idée de la fréquence de survenue des éboulements de grande ampleur, plus ou moins biaisée en fonction du volume mobilisable.

En effet, tous les mouvements de terrain ne font pas l'objet d'un recensement systématique suite au passage des cyclones ou dépressions ; certains éboulements en masse (ceux localisés dans des zones naturelles reculées) peuvent donc passer inaperçus car évacués rapidement par les rivières. De plus, un grand nombre d'événements ont été répertoriés sans indication de volume.

Les écroulements, de par leur ampleur et de par le danger qu'ils représentent pour les populations installées en aval, ont fait l'objet d'études plus poussées. Cependant, le faible nombre d'écroulements connus et l'état actuel des connaissances, ne permettent pas d'établir une fréquence significative. En effet, l'écroulement du Bras de Mahavel en 1965 reste l'unique événement de référence historique ayant mobilisé le volume de matériaux le plus important connu à ce jour (estimé à 50 millions de m³).

Des éboulements en masse ont eu lieu récemment (Décembre 2006 et Février 2007) au Bras de la Plaine mais d'ampleur limitée ayant mobilisé des volumes < 1 millions de m³.

*Tableau n°42 – RECENSEMENT DES MOUVEMENTS DE GRANDE AMPLEUR AYANT AFFECTE
LES GRANDES RAVINES DE L'ILE (BRGM, 2007)*

Source	Lieu-dit	Date de survenue	Ampleur	Volume global (en m³)
12700936	BRAS DE MAHADEL	06/05/1965	kilométrique	50 000 000
12701210	BRAS DE MAHADEL	09/01/1996	kilométrique	5 000 000
12701209	REMPART DE MAHADEL	18/01/2001	kilométrique	1 000 000
appui	RIVIERE DES PLUIES - GRAND EBOULIS	01/03/2002	hectométrique	500 000
appui	ROCHES NOIRES - BRAS DE LA PLAINE	XX/12/2006	hectométrique	> 150 000
12701211	ILET MORIN	13/09/1998	hectométrique	50 000
12700658	BRAS CABOT	01/06/1983	hectométrique	50 000
appui	ROCHES NOIRES - BRAS DE LA PLAINE	30/02/2007	hectométrique	50 000
appui	ROCHES NOIRES - BRAS DE LA PLAINE	30/02/2007	hectométrique	40 000
MVTerre	BRAS TABAC - FORET DE BEBOUR	XX/XX/1983	hectométrique	> 10 000

9.2. CAS DE LA RIVIERE DES PLUIES

9.2.1. RECENSEMENT DES MOUVEMENTS DE TERRAIN HISTORIQUES AVERES ET DES INDICES

Sept mouvements de terrains avérés, recensés ont été répertoriés dans le bassin versant de la Rivière des Pluies depuis un siècle (*cf. figure n°64*) dont cinq événements ont affecté directement les berges de la Rivière (les deux autres ayant eu lieu sur la zone de planèze au niveau de Montauban).

Parmi eux, on ne retrouve que deux événements notables :

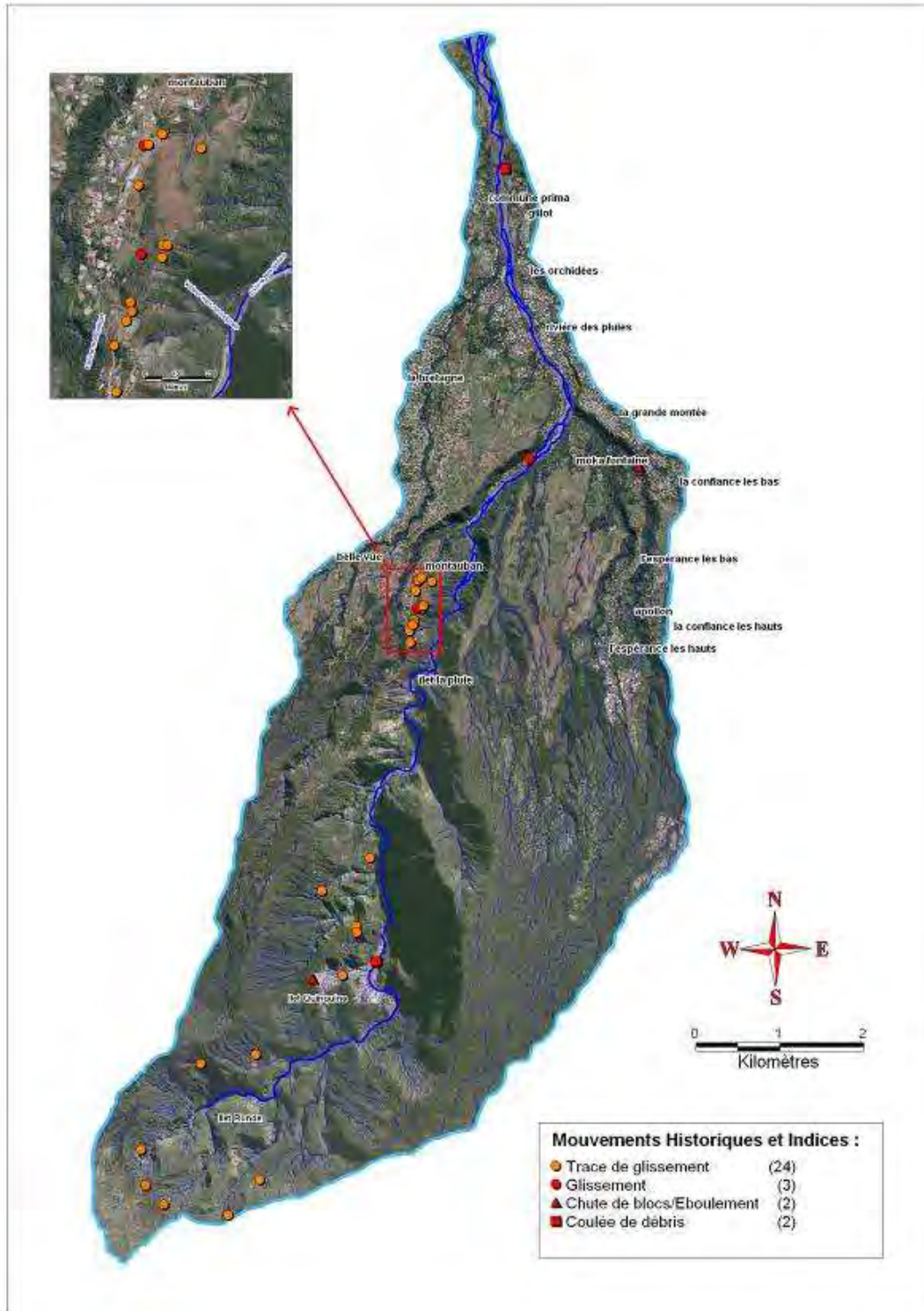
- ↳ Une "coulée boueuse" qui a formé deux brèches dans le radier de Gillot en février 1987 (clotilda) ;
- ↳ L'éboulement de mars 2002 qui a entraîné une lave torrentielle, suite à la vidange de la retenue du barrage formée dans le lit de la rivière.

De nombreux indices de glissements de terrain sont visibles en bordure de planèze ou dans les remparts. Dans ce dernier cas, il s'agit de traces d'arrachements formées par la déstabilisation de la couche superficielle de sols, mélange de blocs pris dans une matrice terreuse. Au cours de leur propagation, les matériaux déstabilisés arrachent la végétation, laissant une traînée marron visible le long des versants. Ces événements ont lieu essentiellement au cours des fortes précipitations de la période cyclonique et la nécessité d'apport d'une grande quantité d'eau explique le fait qu'ils se situent souvent à proximité d'un axe d'écoulement préférentiel de circulation des écoulements (ravines perchées).

Ces événements de faible ampleur ($v < 1000 \text{ m}^3$), mais de fréquence annuelle, participent à l'érosion diffuse des versants.

Des éboulis de faible ampleur prennent naissance au niveau des remparts et viennent recouvrir le plus souvent les lambeaux de terrasses. La déstabilisation des coulées massives apporte des gros blocs à la rivière.

Figure n°64 – CARTE DES PHENOMENES AVERES ET DES INDICES DE MOUVEMENTS
DE TERRAIN DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES



9.2.2. EVOLUTION DE L'AMONT DU BASSIN VERSANT

L'essentiel des apports de la rivière proviennent du démantèlement des reliefs présents en fond de vallon dans la partie amont du bassin versant. L'érosion du relief du Grand Eboulis apporte de façon continue des matériaux à la rivière. Ponctuellement des éboulements apportent de façon brutale une quantité considérable de matériaux entraînant un engravement important du lit de la rivière.

L'éboulement de 2002 restant l'unique phénomène de référence, il n'est pas possible d'établir avec exactitude une période de retour d'un tel événement. De même, une étude plus détaillée du secteur du Grand Eboulis serait nécessaire afin de déterminer les mécanismes à l'origine du déclenchement de ce phénomène. A l'échelle du bassin versant de la rivière des Pluies, en tenant compte de la survenance d'un événement connu depuis 3 siècles, on peut considérer que le type d'événement mobilisant de l'ordre du million du m³ se produit tous les siècles en moyenne. Il est important de noter que le volume de matériaux mobilisés au cours de l'éboulement de 2002 reste très inférieur à celui de Mahavel (50 millions de m³). Ce volume a été rapidement assimilé par la rivière des Pluies.

La bordure du plateau de l'îlet Quinquina (au dessus du Grand Eboulis) reste encore très abrupte (pente avoisinant 60°). Il est donc probable que d'autres éboulements viennent déstabiliser l'escarpement. Les observations réalisées depuis le lit de la rivière ne nous a pas permis de relever des indices laissant présager une déstabilisation à court terme ou moyen terme de la bordure du Plateau d'Îlet Quinquina.

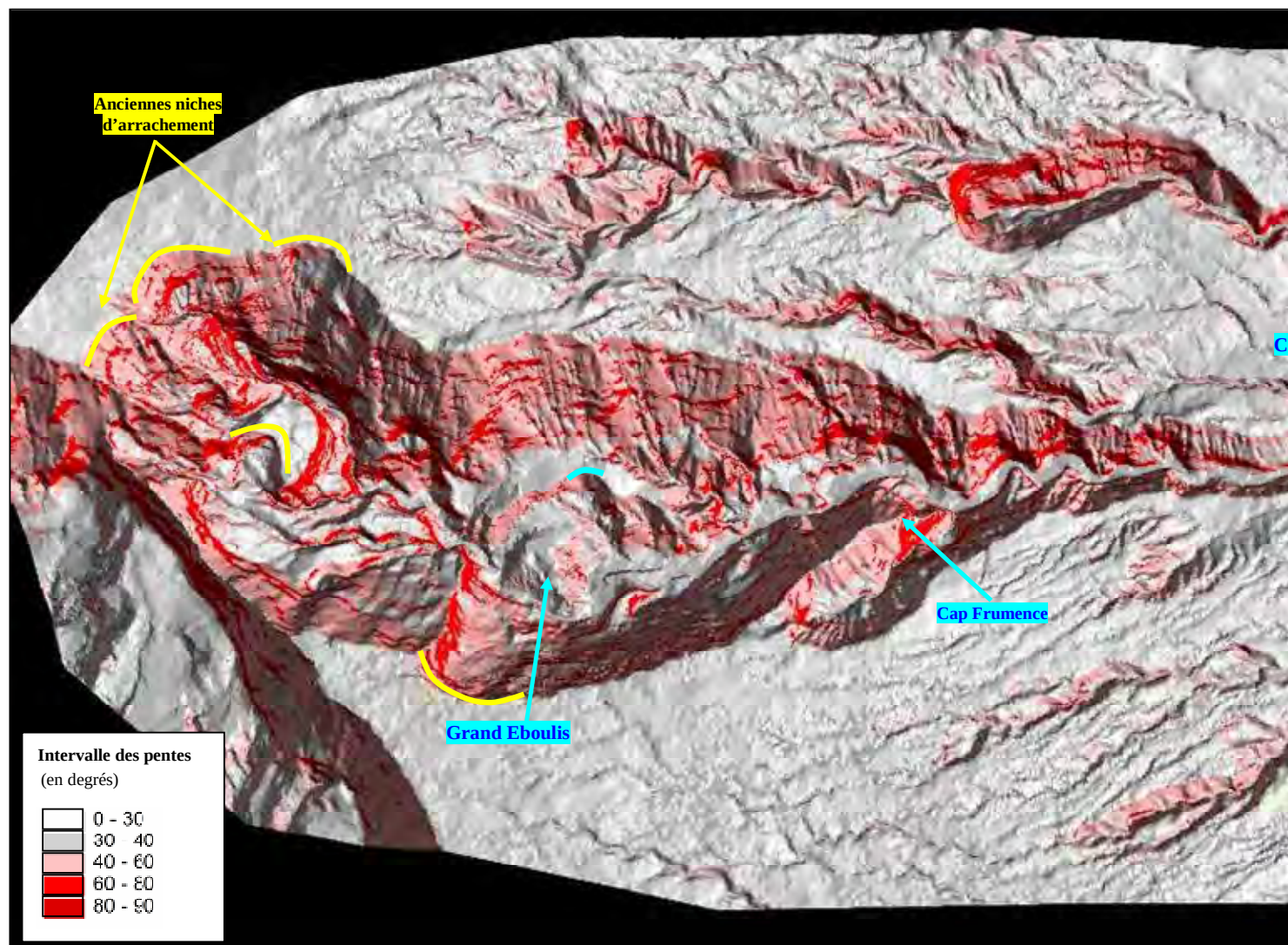


*Photo n°82 – VUE D'ENSEMBLE DE L'ÉBOULEMENT DE MARS 2002
(CLICHE DECEMBRE 2007)*

La section de la rivière située en amont du Grand Eboulis n'a pas été explorée. Néanmoins les pentes les plus abruptes situées en tête de ravine montrent encore des traces d'anciennes niches d'arrachement. La grande dimension de ces niches témoignent de l'ampleur des mouvements de terrain qui s'y sont déroulés et qui sont à l'origine du vaste encaissement en amphithéâtre de l'amont du bassin versant. Ce sont les bordures du Plateau de la Roche Ecrite qui sont les plus susceptibles d'être déstabilisés sur le long terme (voir très long terme) et donner lieu à des mouvements de grande ampleur par érosion régressive qui contribue à agrandir le bassin versant. Le volume de ces éboulements dans les remparts de plusieurs centaines de mètres de hauteur, atteint ou dépasse fréquemment le million de m³. Soulignons que l'éboulement du grand Eboulis en 2002, ne s'est pas produit dans un rempart et que ses dimensions restent modestes vis-à-vis de celles des remparts environnants le site.

Sur la figure n° 65, sont reportées les anciennes niches d'arrachement d'échelle plurihectométrique qui ont donné des mouvements de très grande ampleur, exceptionnels, tel celui à l'origine de la formation du Grand Eboulis. Ces mouvements affectent le rempart sur toute leur hauteur. La fréquence de ces événements mobilisant des volumes proches ou supérieurs à 100 millions de m³ est très faible, période de retour millénaire. Le seul événement historique connu à La Réunion est celui de Mahavel avec un volume de 50 millions de m³.

Figure n°65 – EXTRAIT DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN D'UNE PARTIE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES (REALISE SOUS ARCVIEW)



10. EVALUATION DES ALEAS

Dans ce chapitre sont présentés les aléas sur le secteur d'aménagement étudié depuis l'école de l'Ilet Quinquina en amont (PK 3000) jusqu'au pont de la RN102 (PK 0) en aval.

Rappelons qu'un aléa est la caractérisation des phénomènes naturels sans considération des enjeux.

La figure n°66 page 258 juxtapose :

- ✎ **Une cartographie de l'aléa inondation par submersion des berges sans considération de leur érodabilité.**

Les zones inondables en crue décennale, trentennale et centennale ont été déterminées :

- Sur la base des débits caractéristiques déterminés dans l'analyse hydrologique ;
- A partir des niveaux d'eau calculés par le modèle physique HEC-RAS entre les PK 2 100 et 960 avec un fond correspondant à une configuration moyenne (levés de 2002-2003) par opposition au fond de configuration haute (juin 2006 après les crues de février et mars 2006 et avant curage) et au fond de configuration basse (après le curage de novembre 2006 et la crue de Gamède en mars 2007) ;
- Par extrapolation des lignes d'eau calculées entre les PK 3 000 et 2 100 et les PK 960 et 0 ;
- En tenant compte de la topographie fine levée par le cabinet AIGL en juin 2006 (photogrammétrie, semis de points et courbes de niveaux) au niveau des berges ;
- En complétant sur les secteurs non levés par les levés topographiques de 1978 de l'IGN (scan 1/5000).

- ✎ **Une cartographie de l'aléa érosion des berges sans considération des crues pouvant survenir.**

L'érodabilité des berges est indiquée selon 3 catégories issues du tableau n°4 page 45 :

- A court terme (alluvions récentes, actuelles, remblais ou coulée de débris non cohésifs) ;
- A moyen terme (alluvions anciennes plus ou moins cimentées) ;
- A long terme (coulée de débris cohésive ou substratum rocheux).

La cartographie s'appuie :

- Pour les berges immédiates, sur les levés de terrain présentés sur les cartes géomorphologiques jointes en annexe 3 de ce rapport ;
- Pour les terrasses en retrait, sur la topographie levée par le cabinet AIGL en juin 2006, les levés de l'IGN au 1/5000 de 1978 et la carte géologique du BRGM au 1/100000 (1974).

Sur ces secteurs en retrait des berges immédiates, l'interprétation est à considérer comme probable. La nature et la délimitation exacte des secteurs ne pourront être validées que par des sondages complémentaires.

↳ Les protections de berges existantes à l'heure actuelle.

Cette cartographie sera utilisée pour la phase 3 des aménagements ou mesures préventives à préconiser selon les aléas et la vulnérabilité des secteurs.

Figure n°66 – *EVALUATION DES ALEAS*

ANNEXES

ANNEXE 1 – TABLEAU DE REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE 2 – TABLEAU DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES

ANNEXE 3 – CARTES GEOMORPHOLOGIQUES AU 1/6000 DE LA RIVIERE DES PLUIES

ANNEXE 4 – LISTE DES ESPECES

ANNEXE 5 – REPONSE DE LA DIREN

ANNEXE 1

–

TABLEAU DE REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES
PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES
RAPPORT

Tableau n°43 – DONNEES DISPONIBLES BIBLIOGRAPHIE

Réf.	N° archivage SOGREAH	N° étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
Etudes techniques								
77	En cours	4700506	Actualisation de l'étude d'impact ILO		SOGREAH	CG974		2007 (en cours)
76	N/A mais dispo	4700389	IRRIGATION DU LITTORAL OUEST – Modification du tracé de la piste d'accès au chantier de la Rivière des Pluies	Dossier de demande d'autorisation – code de l'environnement (livre II – Titre 1er) : Volet 1 : Notide explicative, Volet 2 : Document d'incidences, Volet 3 : Moyens de surveillance et d'intervention	SOGREAH/BIOTOPE	CG94	Janvier	2007
75	BIOTOPE		Rapports des pêches de sauvegarde en Rivière des Pluies (déc. 2006, mai et juin 2007)	Environnement	Fédération de Pêche de la Réunion (FAAPPMA)	CG974		2006-2007
74	N/A mais dispo	x	Irrigation du Littoral Ouest - Transfert de Salazie - Expertise hydraulique des plates- formes et piste de la rivière des Pluies et de la plate-forme projet de la Rivière du Mât	Rapport d'expertise (Version définitive)	CNR	BRL/SCP/SECMO	Octobre	2006
73	BRGM	RP-54597-FR / SGH 4700280	Carte géomorphologique de la Rivière des Pluies. Etude du transit de matériaux issus du grand éboulis en mars 2002.		J.Bonnier, M.Cruchet		Juin	2006
72	N/A mais dispo	4700343	Rivière des Pluies – Travaux d'urgence suite aux pluies de février et mars 2006	Propositions de principes généraux et de recommandations	BCEOM/BRGM/SOGREA H	CINOR	Mai	2006
71	BRGM	x	Note d'expertise suite aux désordres causés par DIWA		BRGM	?	Avril	2006
70	N/A mais dispo	4700042	Parcs de stationnement et extension du circuit de sports mécaniques – berges de la Rivière des Pluies - Rapport provisoire	Etude de faisabilité	SOGREAH	Commune de St- Denis	Avril	2006
69	BRGM	02REU11	Etude du transit de matériaux, issus du Grand Eboulis en mars 2002, réalisée dans le cadre du projet DYNATOR		BRGM		Mars	2006

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES
PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES
RAPPORT

Réf.	N°archivage SOGREAH	N°étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
68	BIOTOPE		Boulevard Sud - ouvrage d'art sur la rivière des Pluies et protection des berges - mission de contrôle externe environnement : état des lieux environnemental avant travaux	Environnement	BIOTOPE	Région Réunion		2006
67	N/A mais dispo	x	Protection contre les crues de la Rivière des Pluies – Aménagement de l'Ilet Quinquina - Phase B	Etude préliminaire - Etude du risque inondation	BCEOM	Commune de Saint-Denis / DDE 974	Août	2005
66	N/A mais dispo	x	Protection contre les crues de la Rivière des Pluies – Aménagement de l'Ilet Quinquina - Phase A	Etude préliminaire - Analyse des données et hydrologie	BCEOM	Commune de Saint-Denis / DDE 974	Mars	2005
65	BIOTOPE		Compte rendu des pêches de sauvetage réalisées sur la rivière des Pluies le 29 avril et le 10 mai 2005	Environnement	ARDA	Département de la Réunion		2005
64	N/A mais dispo	2850098	Programme de recherche sur l'érosion, les transports solides et la dynamique torrentielle des rivières de la Réunion (DYNTOR) - Synthèse bibliographique des connaissances disponibles		SOGREAH	CR974 / CG974 / BRGM	Juin	2004
63	N/A mais dispo	x	Projet de recherche sur l'érosion, le transport solide et la dynamique torrentielle des rivières de La Réunion - Apport de matériaux dans les rivières de la Réunion		BRGM	CR974 / CG974 / BRGM	Juin	2004
62	BRGM	RP-53236-FR	Projet de recherche sur l'érosion, le transport solide et la dynamique torrentielle des rivières de La Réunion - Extraction de matériaux dans le lit des cours d'eau		BRGM	CR974 / CG974 / BRGM	Juin	2004
61	BRGM	RP53233	Projet de recherche sur l'érosion, le transport solide et la dynamique torrentielle des rivières de La Réunion - Etat d'équilibre, évolution du lit des cours d'eau	Analyse de la dynamique de deux rivières de la Réunion - Compte-Rendu d'activité à l'issue de la première année	BRGM / ETRM	CR974 / CG974 / BRGM	Mai	2004
60	BRGM	04REU06	Proposition d'un dispositif de surveillance destiné à anticiper les crues de la rivière des Pluies et observer l'évolution du site du "Grand Eboulis.		C.Mathon			2004
59	BRGM	03REU14	Etude diagnostic du transport solide et de l'évolution du fond du lit de la Rivière des Pluies, Ile de la Réunion		BRGM (Pouget, Garcin)	DDE 974	Décembre	2003

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Réf.	N°archivage SOGREAH	N°étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
58	NA mais dispo	x	Boulevard sud de Saint-Denis – Raccordement est à Gillot	Dossier de demande d'autorisation de travaux et de rejets au titre du code de l'environnement (loi sur l'eau)	HYDRETTUES	Ministère de l'Equipeent, des Transports et du Logement	Mai	2003
57	1008	x	Boulevard sud de Saint-Denis - Etude sur modèle réduit du franchissement de la Rivière des Pluies	Etude hydraulique complémentaire de protections courtes	HYDRETTUES / ETRM / CNR	CR 974 / DDE 974	Avril	2003
56	N/A mais dispo	850114	Dossier préparatoire à la définition des mesures de protection des captages et forages de Sainte-Marie - Rapport Forages		SOGREAH	Commune de Sainte-Marie	Octobre	2002
55	1228	x	Etude préliminaire de l'impact de la galerie du transfert sur la ressource en eau du secteur de la Rivière des Pluies	Etude d'impact	ORE	CG 974	Septembre	2002
54	BRGM	02REU11	Eboulement et embâcle en mars 2002 dans le lit de la rivière des pluies au lieu dit « Grand Eboulis ».	Analyse des phénomènes et évaluation des risques.	M.Cruchet, P.Chevalier			2002
53	1008	x	Validation sur modèle réduit du projet de pont sur la Rivière des Pluies (<i>dossier modifié</i>) - Rapport de 2ème phase		HYDRETTUES / ETRM / CNR	CR 974 / DDE 974	Octobre (Décembre)	2001
52	1235	x	Etude pour la réutilisation du canal rive gauche de la Rivière des Pluies		SODEXI/Paysag'Ylang	CINOR/SDI/SODIA C	Mai	2001
51	1007	x	Boulevard sud de Saint-Denis – Etude sur modèle réduit du franchissement de la Rivière des Pluies - Rapport et Annexes de la première Phase	Etude préliminaire - Etude hydraulique sur modèle réduit au 1/80	HYDRETTUES / ETRM / CNR	CR 974 / DDE 974	Juin	2000
50	BIOTOPE	x	Transfert des eaux pour l'irrigation du littoral Ouest. Dossier d'enquête préalable à la Déclaration d'Utilité Publique. Volume 3 : Annexe à l'étude d'impact	Environnement	BRLi-SCP-SECMO	Département de la Réunion		2000
49	BIOTOPE	x	Transfert des eaux pour l'irrigation du littoral Ouest. Dossier d'enquête préalable à la Déclaration d'Utilité Publique. Volume 2 : Actualisation de l'étude d'impact	Environnement	BRLi-SCP-SECMO	Département de la Réunion		2000
48	BIOTOPE	x	Transfert des eaux pour l'irrigation du littoral Ouest. Dossier d'enquête préalable à la Déclaration d'Utilité Publique. Volume 1 : Rapport de présentation	Environnement	BRLi-SCP-SECMO	Département de la Réunion		2000

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Réf.	N°archivage SOGREAH	N°étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
47	N/A mais dispo	x	Galerie Salazie Aval - Fenêtre d'attaque de la Rivière des Pluies - Etude de la Protection de la plate-forme contre les crues de la Rivière des Pluies		ETRM - V. Koulinski		Novembre	1999
46	BIOTOPE	x	Irrigation du littoral Ouest. Dossier de demande d'autorisation au titre de la Loi sur l'Eau. B/C documents d'incidences	Environnement	BRL ingénierie	Département de la Réunion		1999
45	BIOTOPE	x	Irrigation du littoral Ouest. Dossier de demande d'autorisation au titre de la Loi sur l'Eau. A/C dossier réglementaire	Environnement	BRL ingénierie	Département de la Réunion		1999
44	BIOTOPE	x	Irrigation du littoral Ouest. Déclaration d'Intérêt général. Additif	Environnement	BRL ingénierie	Département de la Réunion		1999
43	482	514542	Etude en vue de limiter le caractère érosif de la Rivière des Pluies et potentialités d'extraction	Etude de faisabilité	SOGREAH	SCPR	Avril	1998
42	BIOTOPE	x	Etude d'intégration environnementale de la piste d'accès provisoire de la Rivière des Pluies	Environnement	CYATHEA	Département de la Réunion		1998
41	312	517221	Etude d'actualisation de l'aléa hydraulique préalable à la finalisation du PPR de Saint-Denis	Reconnaissance de terrain	SOGREAH	DDE/PROSPET Cadre de Vie	Novembre	1997
40	294	514523	Cuves de kérosène dans la Rivière des Pluies – Protection contre les crues du site proposé par la DDE		SOGREAH	CCIR / DDE 974	Avril	1997
39	311	517221	Etude d'actualisation de l'aléa hydraulique préalable à la finalisation du PPR de Saint-Denis	Reconnaissance de terrain	SOGREAH	DDE/PROSPET Cadre de Vie	Février	1997
38	445	304094	Construction de cuves de stockage de kérosène dans la Rivière des Pluies – Etude hydraulique		SOGREAH	CCIR / DDE 974	Novembre	1995
37	291	304063	Rivière des Pluies – Dépôt de matériaux en rive droite	Rapport d'étude	SOGREAH	PHENIX	Février	1994
36	366	34048	Endiguement de la Jamaïque – Rivière des Pluies	Avant Projet Détaillé	SOGREAH	Commune de Saint-Denis / SODIAC	Août	1993

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Réf.	N°archivage SOGREAH	N°étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
35	367	340048	Endiguement de la Jamaïque – Rivière des Pluies – Réseau d'assainissement pluvial	Avant Projet Sommaire	SOGREAH	Commune de Saint-Denis / SODIAC	Avril	1993
34	284	34039	Extraction dans la Rivière des Pluies - Etude hydraulique des potentialités		SOGREAH	CCIR / DDE 974	Octobre	1992
33	316	34014	DSQ Prima – Etude d'inondabilité		SOGREAH	Commune de Saint-Denis	Août	1992
32	441	60623	Endiguement de la Jamaïque – Rivière des Pluies	Avant Projet Sommaire	SOGREAH	Commune de Saint-Denis / SODIAC	Janvier	1991
31	N/A non dispo		Aéroport de Saint-Denis - Gillot – Construction d'une piste d'envol (3200 m x 45 m)	Avant Projet Sommaire	SOFREAVIA / EDF	CCIR / DDE 974	Novembre	1990
30	289	605260	Schéma Technique de Protection contre les Crues – Rivière des Pluies		SOGREAH	DDE 974	Mars	1990
29	286-2	60469	Aéroport de Gillot – Etude hydraulique de la protection de la piste contre les crues de la Rivière des Pluies	Rapport Définitif	SOGREAH	DDE 974	Mars	1990
28	286-1	60469	Aéroport de Gillot – Etude hydraulique de la protection de la piste contre les crues de la Rivière des Pluies	Rapport Provisoire	SOGREAH	DDE 974	Juillet	1989
27	295	60089	Lotissement artisanal de la Jamaïque – Emprise dans le lit de la Rivière des Pluies - Risques dus aux inondations	Faisabilité des aménagements de protection contre les crues	SOGREAH	Commune de Saint-Denis / DDE 974	Juillet	1989
26	287	60089	Boulevard sud de Saint-Denis – Tranche U1 – Avant Projet Franchissement de la Rivière des Pluies	Pré-dimensionnement hydraulique	SOGREAH	DDE 974	Avril	1989
25	308	84001	Schéma d'extraction de la Rivière des Pluies		SOGREAH / LCHF	DDE 974	Août	1988
24	296	CEA156	Pont de la RN2 sur la Rivière des Pluies à Gillot – Protection de la culée rive gauche	Dossier de Consultation des Entreprises	DDE 974	CR974 / DDE 974	Février	1988
23	297	x	Réparation de la digue de protection du seuil 14 en rive droite de la Rivière des Pluies	Marché de travaux (AE, CCAP, CCTP, DQE, plans)	DDE 974	DDE 974	Octobre	1987
22	298	45147	Pont Gillot – Culée rive gauche – Définition d'une protection du remblai		SOGREAH	DDE 974	Octobre	1987

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Réf.	N°archivage SOGREAH	N°étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
21	300	x	Rivière des Pluies - CD45 - reconnaissance de sols	Reconnaissance des sols	Cellule Ouvrages d'Art DDE	DDE 974	Octobre	1987
20	299	60256	Réfection des dégâts Clotilda – Rivière des Pluies : piste de l'aéroport Saint-Denis Gillot – Rivière Saint-Denis : quai est		SOGREAH	DDE 974	Août	1987
19	349	60089 R1	Expertise dégâts Clotilda	Diagnostics d'ouvrages et recommandations	SOGREAH	DDE 974	Mars	1987
18	293	460906	Pont de la Rivière des Pluies – Etude hydraulique des travaux de protection du chantier		SOGREAH	SBTPC	Juin	1986
17	292	x	RN2 Pont de Gillot - Franchissement de la Rivière des Pluies	Note complémentaire (géotechnique) au rapport de mai 1985	DDE 974 / LDER	DDE 974	Juillet	1985
16	BRGM	85SGN121GE G	Les systèmes érosifs des grandes ravines "Au Vent" à l'île de la Réunion - Leurs conséquences sur l'aménagement du littoral et des Hauts - Volume 1		BRGM (Humbert)	Ministère de l'Intérieur et de la décentralisation	Juillet	1985
15	N/A non dispo	x	Contexte Hydrologique et hydraulique du Pont de la Rivière des Pluies (Gillot)		DDE 974			1985
14	288	361848	Nouveau franchissement de la Rivière des Pluies par la RN2 – Etude sur modèle réduit au 1/85	Rapport final (et compléments) - Etude hydraulique sur modèle réduit au 1/85	SOGREAH	DDE 974	Juillet (Janvier et juillet 1984)	1983
13	1144	361646	Protection du village de la Rivière des Pluies – Etude sur modèle réduit au 1/70	Etude hydraulique sur modèle réduit au 1/70	SOGREAH	Commune de Sainte-Marie	Décembre	1982
12	285	361449	Etude de franchissement de la Rivière des Pluies par la RN2	Etude préalable (et additif)	SOGREAH	DDE 974	Janvier (Avril)	1982
11	1145	x	Monographie de la Rivière des Pluies entre la Ravine du Bachelier et la mer – Rapport d'études		LCHF	DDE 974	Novembre	1981
10	446	361384	Ouvrages de protection sur la Rivière des Pluies – Rue et chemin Moka - Rapport 2	Avant Projet Sommaire	SOGREAH	Commune de Sainte-Marie	Décembre	1980
9	440	361384	Etude des ouvrages de protection sur la Rivière des Pluies – Rue et chemin Moka - Rapport 1	Etude hydraulique	SOGREAH	Commune de Sainte-Marie / DDE 974	Décembre	1980

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES
PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES
RAPPORT

Réf.	N°archivage SOGREAH	N°étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
8	N/A mais dispo	6361336	Commentaires sur diverses divagations observées par M. Duvoisin au cours d'une mission entre le 31 janvier et le 7 février 1980 - Rivière du Chaudron, Rivière des Pluies, Rivière des Galets, Rivière des Remparts, Rivière du Mât	Observations et avis d'expert	SOGREAH	?	Mars	1980
7	347	361054	Mission SOGREAH d'hydraulique fluviale sur la commune de Saint-Denis	Etude préliminaire	SOGREAH	Commune de Saint-Denis	Novembre	1978
6	301	360747	Etude de la protection du village de la Rivière des Pluies contre les crues de la Rivière des Pluies		SOGREAH	DDE 974	Avril	1978
5	1014	Note technique n°1369	Dixièmes Journées de l'Hydraulique – Sujet n°5 : correction des torrents – Etude sur modèle réduit de l'endiguement de la Rivière des Pluies et de la Ravine des Patates à Durand sur leur cône de déjection à l'île de la Réunion	Présentation de congrès	SOGREAH	Société Hydrotechnique de France	Janvier	1968
4	290-1	9221	Protection à réaliser dans la Rivière des Pluies pour l'allongement de l'aérodrome de Saint-Denis Gillot	Etude hydraulique sur modèle réduit au 1/100	SOGREAH	Ponts et chaussées	Avril	1966
3	290-2	9221	Protection à réaliser dans la Rivière des Pluies pour l'allongement de l'aérodrome de Saint-Denis Gillot	Etude de la stabilité des murs en béton disposés aux extrémités des épis	SOGREAH	Ponts et chaussés	Avril	1966
2	N/A non dispo	x	Etude hydrologique de M. Boyer, ingénieur en chef du Bureau Technique du Plan à La Réunion	Etude hydrologique	M. BOYER	Bureau Technique du Plan à La Réunion		1963
1	N/A mais dispo	x	Hydrologie superficielle de la Réunion : caractères généraux : rivières de la région "sous le vent"	Etude hydrologique	M. LEGOURRIERES	ORSTOM		1961
Références techniques hydrologiques et hydrauliques								
/T11			Le Transport solide à La Réunion		ORE / DIREN	?	?	
/T10			Régionalisation des pluies et des débits à La Réunion par la méthode SHYPHRE		Météo France / MEDD / Cemagref		?	?
/T9			Guide Méthodologique des Plans de Prévention des Risques Inondations		METT - MATE	Ed. La documentation Française		?

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Réf.	N°archivage SOGREAH	N°étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
/T8			Doctrine d'élaboration des PPR dans le bassin Rhin-Meuse et son complément					?
/T7			Cartographie des zones inondables de la Seille (Départements 54 et 57) selon l'approche hydrogéomorphologique : analyse des résultats et utilisation pour l'élaboration de PPR inondations		DIREN Lorraine - CAREX			2004
/T6			Guide méthodologique pour les études de faisabilité des aménagements d protection contre le sinondations		DDE/SEECL		Octobre	2000
/T5			Analyse menée sur les solutions alternatives dan le cadre des projets d'endiguement à La Réunion		DDE/SEECL		Octobre	2000
/T4			Cartographie informative à la cartographie des aléas. Une démarche technique en Midi-Pyrénées.		GEOSPHAIR	DIREN Midi Pyrénées		1999
/T3			Cartographie des Zones inondables. Approche hydrogéomorphologique		METT - MATE	Ed. Villes et Territoires		1996
/T2			Méthodologie pour une cartographie informative des zones inondables en région Midi-Pyrénées					1995
/T1			Guide d'Estimation des Débits de Crue à la Réunion		BCEOM / SOGREAH	CR 974	Janvier	1992
Documentation et Bases de données								
/DOC43			L'annuaire hydrologique	Climatologie et hydrologie	OLE	OLE		2003 à 2004
/DOC42			L'annuaire hydrologique	Climatologie et hydrologie	ORE	ORE		1997 à 2002
/DOC41			Plan de Prévention des Risques d'Inondation – Commune de Sainte-Marie	Documents communaux ou à l'échelle communale	BCEOM	DDE 974	36920	?
/DOC40			Schéma Départemental des Carrières de la Réunion	Documents départementaux / régionaux ou à l'échelle départementale / régionale	BRGM	MEFI / MATE / DRIRE 974	37081	?
/DOC39			Plan de Prévention des Risques naturels "inondations et mouvements de terrain" – Commune de Saint-Denis	Documents communaux ou à l'échelle communale	DDE 974 / BRGM	DDE 974 / MEDD	38335	?
/DOC38			Plan Local d'urbanisme - Commune de Saint-Denis	Documents communaux ou à l'échelle communale				?

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES
PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES
RAPPORT

Réf.	N°archivage SOGREAH	N°étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
/DOC37			Plan Local d'urbanisme - Commune de Sainte-Marie	Documents communaux ou à l'échelle communale				?
/DOC36	BIOTOPE		Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles du département de La Réunion (PDPG)	Environnement	Fédération de Pêche de la Réunion (FAAPPMA)			2006
/DOC35	BIOTOPE		Profil environnemental de la Réunion	Environnement	ASCONIT & ARVAM	DIREN Réunion		2006
/DOC34	BIOTOPE		Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce des Comores, Mascareignes et Seychelles	Environnement	Keith P., Marquet G., Valade P., Bosc P. & Vigneux E.	Muséum national d'Histoire naturelle		2006
/DOC33	BIOTOPE		Synthèse des premiers éléments de connaissance de la faune des vertébrés et des macrocrustacés indigènes des Hauts de La Réunion pour une stratégie de conservation à développer dans le projet de Parc national des Hauts de La Réunion : 2ème partie : ARDA	Environnement	Ricou J.-Fr. & Grondin P.-H. (ARDA)	Mission de Création du Parc national des Hauts de la Réunion		2003
/DOC32	BIOTOPE		Protocoles de suivi des incidences du projet d'irrigation du Littoral Ouest sur l'Environnement et le Paysage	Environnement	BIOTOPE	Département de la Réunion		2003
/DOC31	BIOTOPE		Eléments pour une synthèse des connaissances sur l'entomofaune endémique des Hauts de La Réunion.	Environnement	CIRAD 3P	Mission de Création du Parc national des Hauts de la Réunion		2003
/DOC30	BIOTOPE		Synthèse des premiers éléments de connaissance de la faune des vertébrés et des macrocrustacés indigènes des Hauts de La Réunion pour une stratégie de conservation à développer dans le projet de Parc national des Hauts de La Réunion : 1ère partie : SEOR	Environnement	Salamolard M. & Ghestemme Th.	Mission de Création du Parc national des Hauts de la Réunion		2003
/DOC29			IGN	BD Topo				2003
/DOC28			IGN	BD Ortho				2003
/DOC27	BIOTOPE		Les Odonates de la Réunion : éléments de biogéographie et de biologie, atlas préliminaire, reconnaissance des espèces, synthèse bibliographique.	Environnement	Couteyen S. & Papazian M.			2002

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Réf.	N°archivage SOGREAH	N°étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
/DOC26	BIOTOPE		Light-induced mortality of petrels: a 4-year study from Réunion Island (Indian Ocean)	Environnement	Le Corre M., Ollivier A., Ribes S. & Jouventin P.			2002
/DOC25			Dictionnaire de Géologie – 5 ^e édition – MASSON	Géologie et hydrogéologie	Alain Foucault / Jean-François Raoult	DUNOD		2001
/DOC24	BIOTOPE		Audubon's Shearwaters Puffinus Iherminieri on Réunion Island, Indian Océan: behaviour, census, distribution, biometrics and breeding biology.	Environnement	Bretagnolle V., Attié C. & Mougeot Fr.			2000
/DOC23	BIOTOPE		Le Patrimoine des communes de la Réunion	Environnement	Flohic J.L. (dir.)			2000
/DOC22	BIOTOPE		Distribution, population size and habitat use of the Réunion Marsh Harrier, Circus m. maillardi	Environnement	Bretagnolle V., Ghestemme Th., Thiollay J.-M. & Attié C.			1999
/DOC21	BIOTOPE		Données Réseau Piscicole de la Réunion 2000-2006	Environnement	ARDA	ARDA, DIREN, Région Réunion, Département Réunion, Office de l'Eau de la Réunion		2007
/DOC20	BIOTOPE		Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de la Réunion	Environnement	Keith P., E. Vigneux & P. Bosc	Muséum d'Histoire Naturelle, CSP, ARDA		1999
/DOC19			Atlas climatique de la Réunion	Climatologie et hydrologie	Météo France	CG 974 / CR 974 / DDE 974 / Météo France	Août	1997
/DOC18			IGN	BD Ortho				1997
/DOC17	BIOTOPE		Carte de répartition actuelle de la saison de nidification 1995-1996 du Tuit-tuit ou Echenilleur de La Réunion	Environnement	Probst J.-M. / Nature & Patrimoine			1996

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Réf.	N°archivage SOGREAH	N°étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
/DOC16	BIOTOPE		Note sur plus de 40 colonies de nidification nouvelles de deux espèces de Procellariiformes indigènes de La Réunion : Puffinus pacificus et Puffinus lherminieri bailloni	Environnement	Probst J.-M. / Nature & Patrimoine			1995
/DOC15			Schéma d'Aménagement Régional	Environnement		Conseil Régional de la Réunion		1995
/DOC14	BIOTOPE		Etude pour la valorisation des grands paysages de l'île de la Réunion. Deuxième partie : les grandes entités de paysage de la Réunion. Propositions d'actions locales	Environnement	Follea B., Gauthier C.	DDE		1994
/DOC13	BIOTOPE		Directive locale d'aménagement, Ile de la Réunion	Environnement	Office national des Forêts	ONF		1993
/DOC12	BIOTOPE		Flore en détresse. Le livre rouge des plantes indigènes menacées à La Réunion.	Environnement	Dupont J., J.-C. Girard & M. Guinet (SREPEN)	Conseil Régional de La Réunion		1989
/DOC11			Histoire géologique de l'île de la Réunion	Géologie et hydrogéologie	Pierre RIVALS	Azalées Editions		1989
/DOC10	BIOTOPE		Programme d'étude et de conservation des oiseaux marins de La Réunion 1996-1988. Rapport final.	Environnement	Jouventin P. (ed)	C.E.B.C. (C.N.R.S.), DIREN Réunion		1998
/DOC9			Guides géologiques régionaux – La Réunion Ile Maurice – Géologie et aperçus biologiques	Géologie et hydrogéologie	L.MONTAGGIONI / P.NATIVEL	MASSON		1988
/DOC8			Pluies génératrices de crue à la Réunion	Climatologie et hydrologie	DDE 974	DDE 974	Mars	1985
/DOC7			(et son supplément 1)	Climatologie et hydrologie	Michel DURET		Juillet	1982
/DOC6	BIOTOPE		La végétation de l'île de la Réunion. Etude phytocéologique et phytosociologique	Environnement	Cadet Th.			1980
/DOC5	BIOTOPE		Fiche d'Inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique, floristique (Ministère de l'environnement) : Zone 0001-0037/Moka-Fontaine	Environnement	Dupont J. (Comité IZNIEFF)	DIREN 974	Janvier	1990
/DOC4	BIOTOPE		Fiche d'Inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique, floristique (Ministère de l'environnement) : Zone 0001-0127/Ravine Kiwi	Environnement	Dupont J. (Comité IZNIEFF)	DIREN 974	Janvier	1991
/DOC3	BIOTOPE		Fiche d'Inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique, floristique (Ministère de l'environnement) : Zone 0001-	Environnement	Dupont J. (Comité IZNIEFF)	DIREN 974	Janvier	1991

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Réf.	N° archivage SOGREAH	N° étude Auteur	Intitulé	Type d'étude	Auteurs	Maître d'ouvrage	Mois	Année
			0127-1/Ravine Kiwi					
/DOC2	BIOTOPE		Fiche d'Inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique, floristique (Ministère de l'environnement) : Zone 0001-0030-1/Plaine d'Affouches	Environnement	Dupont J. (Comité IZNIEFF)	DIREN 974	Janvier	1988-1987
/DOC1	BIOTOPE		Le Patrimoine des communes de la Réunion	Culture	Flohic J.L. (dir.)			2000
Textes législatifs et réglementaires principaux								
		Réf.	Intitulé	Textes		Journal Officiel		
		Code de l'environnement		Annexe à l'ordonnance n°2000-914 du 18 septembre 2000		JO du 21/09/2000		

ANNEXE 2

–

TABLEAU DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Tableau n°44 – DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES

Réf.	PK aval*	PK amont*	Nom du fichier numérique ou n° d'archivage de l'étude où figure le plan (papier)	type**	Auteur	Année du levé	Mois du levé	Rives concernées	Observations
1	950	2450	Archive n°1235	VP	?	1867		Droite et Gauche	
2	0	0	Exemplaire papier DDE du Pont de la RN102	PT	TP de l'Etat	1935	Août	Droite et Gauche	
3	-2350	740	réunion_1950.tab	Photo aérienne	?	1950		Droite et Gauche	
4	-2350	-1750	réunion_1961.tab	Photo aérienne	?	1961		Droite et Gauche	
5	-2535	13800	Campagne aérienne IGN 1961	Photo aérienne	IGN	1961		Droite et Gauche	
6	-2535	13800	Campagne aérienne IGN 1966	Photo aérienne	IGN	1966		Droite et Gauche	Couverture de la partie amont et du Cône de la rivière
7	-2350	1540	réunion_1973.tab	Photo aérienne	?	1973		Droite et Gauche	
8	-250	3200 - 2175	Archive n°301	VP - PT	Dezaubris	1977	Janvier	Gauche	
9	-2535	13800	Campagne aérienne IGN 1978	Photo aérienne	IGN	1978		Droite et Gauche	
10	-2535	13800	Scan 5 IGN	Restitution	IGN	1978		Droite et Gauche	Topo de 1978, mise à jour de l'urbanisation de 1978 à 1989
11	1380	2300	Archive n°440	VP	Dezaubris	1980	Mars	Droite	
12	-2535	2150	Archive n°1145	VP - PT	?	1980	Nov.	Droite et Gauche	nov 1980 et oct 1981
13	-1300	-800	Archive n°285	VP	?	1982	Janvier	Droite et Gauche	Plan présent dans étude de janvier 1982 mais pas de date précisée
14	-1000	-850	Archive n°288	VP	?	1983		Droite et Gauche	
15	-2535	13800	Campagne aérienne IGN 1984	Photo aérienne	IGN	1984		Droite et Gauche	
16	-2535	-900	Archive n°441	Restitution VP	?	1986	Février	Gauche	
17	1380	1380	Archive n°300	VP	?	1987	Juin	Droite et Gauche	Plan présent dans étude de juin 1987 mais pas de date précisée

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Réf.	PK aval*	PK amont*	Nom du fichier numérique ou n° d'archivage de l'étude où figure le plan (papier)	type**	Auteur	Année du levé	Mois du levé	Rives concernées	Observations
18	-2400	-2050	Archive n°299	VP - PT	?	1987	Juillet	Droite	
19	-1000	-850	Archive n°296	VP	SOGREAH	1988		Gauche	
20	-2535	-900	Archive n°295	PT	?	1989	Juillet	Droite et Gauche	
21	-2535	13800	Campagne aérienne IGN 1989	Photo aérienne	IGN	1989		Droite et Gauche	
22	-600	0	Archive n°287	PT	DDE	1989		Droite et Gauche	
23	0	5050	Archive n°289	PT	?	1990		Droite et Gauche	
24	-900	-200	Archive n°316	PT	Méchy	1992	Juillet	Droite et Gauche	
25	-2535	0	Archive n°284	PT	Méchy	1992	Juillet	Droite et Gauche	Sept. et Juillet 1992
26	-2100	-900	Archive n°366	VP	Méchy	1992	Juillet	Gauche	
27	-1050	-900	Archive n°291	VP - PT	?	1993	Juin	Droite	
28	-1300	-1050	Archive n°294	VP - PT	?	1997	Avril	Droite	
29	-2535	2200	Archive n°482	PT	?	1997	Nov.	Droite et Gauche	Novembre 1997 et mars 1998
30	-2535	13800	Orthophoto de 1997 de l'IGN	Photo aérienne	IGN	1997		Droite et Gauche	
31	-2350	2200	profils_fin_1997.dwg	PL-PT	?	1997		Droite et Gauche	
32	-2320	-1060	10983b zone commerciale de la Jamaïque.dwg	Restitution	MECHY	1998	Août	Gauche	Berges uniquement, sans le lit
33	8600	8700	Protection plate-forme ILO (ETRM/Koulinsky-1999)	VP	?	1999		Droite et Gauche	
34	-2535	965	Archive n°1007	PL	?	2000		Droite et Gauche	
35	-2350	12100	profils_2003.dwg	VP	GUID'OI	2002	Nov.	Droite et Gauche	
36	3530	12010	dessin-profil-2002-2006-fin.dwg	PT	AIGL	2002		Droite et Gauche	
37	-2535	12100	2002-073-pl1-5.dwg	VP	GUID'OI	2002		Droite et Gauche	Levés terrestres de Nov 2002 à Fev 2003
38	-600	-150	Boulevard Sud (Hydrétudes - Mai 2003)	VP	?	2003	Mai	Droite et Gauche	Plan présent dans étude de mai 2003 mais pas de date précisée
39	12100	-2535	8 Tables Mapinfo (planche1-4.tab à 28-34.tab)	Photo aérienne	?	2003	Juin	Droite et Gauche	8 photos aériennes réparties sur ce linéaire
40	3530	12010	2002-073 profils b du 24.07.06.dwg	PT	GUID'OI	2003	Juin	Droite et Gauche	

CINOR

PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES

PHASE 2 – ETUDE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIERE – CARACTERISATION DES PROCESSUS PHYSIQUES

RAPPORT

Réf.	PK aval*	PK amont*	Nom du fichier numérique ou n° d'archivage de l'étude où figure le plan (papier)	type**	Auteur	Année du levé	Mois du levé	Rives concernées	Observations
41	-2535	13800	Orthophoto de 2003 de l'IGN	Photo aérienne	IGN	2003		Droite et Gauche	
42	-2350	-380	courbe_restitution_1000°_MNT_a_justé_livré.dwg	Restitution	GUID'OI	2004	Août	Droite et Gauche	
43	1500	1900	tvx d'urgence rdp.dwg	VP-PL-PT	SARL LAW-YAT	2006	Juillet	Droite et Gauche	plan non ajusté mais localisé sur la zone probable
44	3530	11680	ortho-final-ecw.tab	Photo aérienne	AIGL	2006	Sept.	Droite et Gauche	
45	4880	1500	2006-016-mairie.TAB	Photo aérienne	?	2006	Sept.	Droite et Gauche	3 fichiers .tab ; date : Septembre à Octobre 2006
46	-2535	3530	2006-054-mnt.dwg	Restitution	DDE	2006		Droite et Gauche	cartouche erroné et date précise inconnue
47	3530	12100	mnt2-pluies-amont-13-04-07.dwg	Restitution	AIGL	2007	Janvier	Droite et Gauche	
48	-2350	-380	2007-022b-restit-1-1-6334.dwg	Restitution	GUID'OI	2007	Mai	Droite et Gauche	
49	204	1367	2007-020 profils rivière des pluies.dwg	PT	LAW-YAT/TOPEX	2007		Droite et Gauche	
50	-12	1370	juin2007-020 16 profil rivière des pluies.dwg	PT	TOPEX	2007	Juin	Droite et Gauche	comparaison profils nov 2006 et juin 2007

*PK 0 au pont métallique de la RN102

** **VP** : Vue en Plan (levé terrestre), **PT** : Profil en travers, **Restitution** : Semis de points par photogrammétrie (prise de vue aérienne), **PL** : Profil en Long

ANNEXE 3

–

CARTES GEOMORPHOLOGIQUES AU 1/6000 DE LA RIVIERE DES PLUIES

ANNEXE 4
–
LISTE DES ESPECES

Liste des espèces floristiques inventoriées sur la zone d'étude

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Statut	Caractéristique
Pariétaire	<i>Amaranthus viridis</i>	Exotique	Rudéral
Bambou	<i>Bambusa sp</i>	Exotique	
Bégonia	<i>Begonia cucullata</i>	Exotique	Envahissant
Bois de chapelet	<i>Boehmeria penduliflora</i>	Exotique	Envahissant
Bougainvillier	<i>Bougainvillea sp</i>	Exotique	Ornemental
Papaye	<i>Carica papaya</i>	Exotique	Arbre fruitier
Filao	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Exotique	Envahissant
Graminées	<i>Chloris barbata</i>	Exotique	Rudéral
Cocotier	<i>Cocos nucifera</i>	Exotique	Arbre fruitier
Songe	<i>Colocasia esculenta</i>	Exotique	Cultivé
Teck	<i>Cordia africana</i>	Exotique	
Longani	<i>Dimocarpus longan</i>	Exotique	Arbre fruitier
Bois de gaulette	<i>Doratoxylon apetalum</i>	Indigène	Indigène
Bois de chandelle	<i>Draceana reflexa</i>	Indigène	Indigène
Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	Exotique	Ornemental
Choca vert	<i>Furcraea foetida</i>	Exotique	Envahissant
Grevillaire	<i>Grevillea robusta</i>	Exotique	
Liane papillon	<i>Hiptage benghalensis</i>	Exotique	Envahissant
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Exotique	Ornemental
Cassi	<i>Leucaena leucocephala</i>	Exotique	Envahissant
Letchi	<i>Litchi sinensis</i>	Exotique	Arbre fruitier
Avocat marron	<i>Litsea glutinosa</i>	Exotique	Envahissant
Manguier	<i>Mangifera indica</i>	Exotique	Arbre fruitier
Manioc	<i>Manihot esculenta</i>	Exotique	Cultivé
Grand Lilas	<i>Melia azaderach</i>	Exotique	
Margose	<i>Momordica charantia</i>	Exotique	Rudéral
Bananier	<i>Musa sp</i>	Exotique	Arbre fruitier
Fougère rivière	<i>Nephrolepis bisserata</i>	Indigène	Indigène
Bois d'olive noir	<i>Olea europaea subsp africana</i>	Indigène	Indigène
Bois d'olive blanc	<i>Olea lancea</i>	Indigène	Indigène
Fataque	<i>Panicum maximum</i>	Exotique	Envahissant
Fougère Patte lézard	<i>Phymatosorus scolopendria</i>	Indigène	Indigène
Petit bambou	<i>Pogonatherum paniceum</i>	Exotique	
Mouffia	<i>Raphia farinifera</i>	Exotique	Ornemental
Arbre voyageur	<i>Ravenala madagascariensis</i>	Exotique	Ornemental
Ricin	<i>Ricinus communis</i>	Exotique	Rudéral
Raisin marron	<i>Rubus alceifolius</i>	Exotique	Envahissant
Faux poivriers	<i>Schinus terebenthifolius</i>	Exotique	Envahissant
Trainasse	<i>Setaria barbata</i>	Exotique	Envahissant
Lastron	<i>Sonchus oleraceus</i>	Exotique	Rudéral
Jamblon	<i>Syzygium cumini</i>	Exotique	Arbre fruitier
Tamarin	<i>Tamarindus indica</i>	Exotique	Arbre fruitier
Bois caraïbe	<i>Tecoma stans</i>	Exotique	Envahissant
Laurier jaune	<i>Thevetia peruviana</i>	Exotique	Ornemental
Liane mauve	<i>Thunbergia grandiflora</i>	Exotique	Rudéral
Fleur soleil	<i>Verbesina encelioides</i>	Exotique	Rudéral

ANNEXE 5
–
REPONSE DE LA DIREN

PRÉFECTURE DE LA REUNION

Direction régionale
de l'environnement
DE LA REUNION
Service Protection de la Nature
et de l'Aménagement Durable

Saint-Denis, le

11 FEV. 2008

Monsieur,

Vous réalisez pour le compte du bureau d'étude SOGREAH une expertise écologique relative à une étude de protection contre les crues de la rivière des pluies. Ce projet, porté par la CINOR se situe sur les communes de Sainte Marie et de Saint Denis.

1. Droit des sols : SAR et documents d'urbanisme

• **SAR**

Le Schéma d'Aménagement Régional définit la rivière des pluies et ses berges comme un Espace Naturel Remarquable du littoral à préserver. Les projets sur cet espace sont soumis à l'article L. 146-6 du code de l'urbanisme qui autorise des aménagements légers. L'article R 146-2 de ce code définit de façon limitative les types d'aménagement ainsi qualifiables de « légers ». Il précise par ailleurs que « *les aménagements doivent être conçus de manière à permettre un retour du site à l'état naturel* ».

• **PLU de Saint- Denis**

Le document d'urbanisme en vigueur sur la commune de Saint Denis classe en zone N la rive gauche de la rivière des pluies.

La partie amont de votre secteur d'étude (rive gauche) est inscrite en Espace boisé classé (EBC) au document d'urbanisme. Le classement en espace boisé entraîne une restriction de la jouissance du droit de propriété et empêche « *tous changements d'affectation ou les modes d'occupation du sol de nature à compromettre la conservation, la protection ou la création des boisements* » (article L.130-1 du code de l'Urbanisme).

Le règlement d'urbanisme de cette commune ne prévoit pas les aménagements projetés sur les espaces ND et NDebc.

BIOTOPE

Agence Océan Indien
969 chemin cent Gaulettes
97440 Saint-André

- **POS de Sainte Marie**

Le POS de Sainte Marie en vigueur sur la commune inscrit en ND EBC la rivière des pluies. Le règlement afférent à cette zone soustrait graphiquement des EBC les aménagements de protection contre les risques et autorise en zone N ces aménagements.

2. Enjeux patrimoniaux

- **ZNIEFF**

A toutes fins utiles, je vous rappelle que les zones inventoriées en ZNIEFF de type I sont des secteurs caractérisés par leur intérêt biologique remarquable. Les zones inventoriées en ZNIEFF de type II sont des grands ensembles naturels riches et peu modifiés ou qui offrent des potentialités biologiques importantes. Le principe général est de proscrire les travaux en ZNIEFF de type I et dans tous les cas, qu'il s'agisse de ZNIEFF I ou II, de ne rien entreprendre sans une étude naturaliste préalable.

La partie amont de la rivière des pluies et de votre secteur d'étude est inventoriée en ZNIEFF I :

- ZNIEFF N°0001-0035 *Ravine Montauban*
- ZNIEFF N°0001-0042 *Fond de la rivière des pluies*
- ZNIEFF N° 0001-0080 *Rempart de Montauban*
- ZNIEFF N°0001-0165 *Confluent de la rivière des pluies et de la ravine Montauban*
- ZNIEFF N°0001-0189 *Cours de la rivière des Pluies*

Ces espaces sont caractérisés le long de la rivière par des remparts à fortes pentes propices à la nidification d'oiseaux d'eau de mer (Puffin de Baillon, Paille en Queue). Sur les pentes moins abruptes ces zones sont caractérisées par la présence de milieux forestiers (forêts tropicales de différents étages) et de formations pionnières à différents étages et différents stades de recolonisation d'éboulis. Ces espaces présentent des vestiges de végétation indigène généralement bien conservés sur les accès difficiles.

Le lit aval de la rivière des pluies présente des milieux naturels plus dégradés inventoriés en ZNIEFF II les hauts de la Réunion.

- **Insertion paysagère du projet**

La rivière des pluies traverse d'amont en aval différentes unités paysagères. Les aménagements de protection contre les crues devront être conçus tout en préservant l'ambiance paysagère du secteur.

3. Analyse des variantes

Compte tenu de ces enjeux patrimoniaux l'analyse des variantes d'ouvrage de protection contre les crues devra prendre en compte explicitement l'impact de chacune d'elles sur le milieu naturel et le paysage.

En conclusion, à ce stade d'étude préalable, je vous invite vivement à :

- conduire un inventaire sur les zones d'intérêt naturel ;
- prendre en compte les enjeux environnementaux dans les solutions envisagées
- reprendre contact avec notre service dès que vous serez en mesure de proposer un document de travail plus complet.

Je vous prie d'agréer, l'expression de mes sincères salutations.

La Directeur régional de l'environnement

Bertrand GALTIER