

DEAL Réunion – Service Eau et Biodiversité

Expertise transport solide préalable à l'EDD de l'endiguement de protection de l'aéroport Roland Garros contre les crues de la Rivière des Pluies

Rapport d'étude
I.01101.001 – CACOH 21-503_01



Expertise transport solide préalable à l'EDD de l'endiguement de protection de l'aéroport Roland Garros contre les crues de la Rivière des Pluies

Rapport d'étude

I.01101.001 – CACOH 21-503_01

PORTEUR DU PROJET	DEAL Réunion – Service Eau et Biodiversité 12 Allée de la Forêt – Parc de la Providence – 97400 ST-DENIS
CHEF DE PROJET	Sabine STAAL
CODE DU PROJET	
NIVEAU CONFIDENTIALITÉ	Confidentiel
PORTEUR DU LOT	CNR Ingénierie, DCOS-CACOH 4 rue de Chalon-sur-Saône, 69007 Lyon
RESPONSABLE DU LOT	Sébastien Roux - 04 78 61 60 09
RÉFÉRENCE DU CONTRAT	I.01101.001

CONTRÔLE QUALITÉ	NOM	DATE	SIGNATURE
RÉDACTION	Sébastien Roux	12/03/2021	
CONTRÔLE TECHNIQUE	Christophe Peteuil	13/03/2021	
VALIDATION	Christophe Peteuil	17/03/2021	

VERSION	DATE	COMMENTAIRE
_00	12/03/2021	Phase 1 - Analyse des données
_01	26/04/2021	Phase 1 - Analyse des données – Mise à jour suite aux remarques DEAL/CEREMA

Sommaire

1 Contexte et objectifs de l'étude	7
2 Collecte et analyse des données disponibles	8
2.1 Données recueillies.....	8
2.2 Premier aperçu des données analysées	10
2.3 Aperçu général du bassin versant	10
2.3.1 Hydrographie et géologie	10
2.3.2 Apports en sédiments.....	15
2.3.2.1 Aperçu des principaux ouvrages.....	19
2.3.2.2 Affleurement du substratum	21
2.3.2.3 Eléments en lien avec les travaux d'extraction	22
2.3.2.4 Récapitulatif des principaux faits marquants	23
2.3.2.5 Inventaire des données topographiques	26
2.3.2.6 Evolution du profil en long sur le cône de déjection.....	30
2.4 Données hydrologiques	36
2.4.1 Débits caractéristiques de crue.....	36
2.4.2 Mesures des hauteurs et des débits sur la Rivière des Pluies	38
2.4.3 Crues marquantes.....	39
2.5 Données hydro-sédimentaires	41
2.5.1 Granulométrie.....	41
2.5.2 Lois débit solide en fonction du débit liquide et quantification des apports solides.....	42
3 Visite de terrain et échanges avec les parties prenantes	45
3.1 Objectifs et intérêts	45
3.2 Synthèse des échanges avec les parties prenantes	46
4 Etude des affouillements en pieds des structures de protection	46
5 Etude des évolutions systématiques à plus ou moins longs termes	46
5.1 Présentation du code EVOFOND	46
5.2 Données nécessaires à la mise en œuvre d'EVOFOND.....	46
5.2.1 Hydrogramme.....	46
5.2.2 Sédimentogramme	46
5.2.3 Granulométrie.....	46
5.2.4 Bathymétrie	47
5.2.5 Paramétrage des calculs.....	47
5.3 Scénarios envisagés.....	47
5.4 Résultats et analyses.....	48
6 Points d'attention	48
6.1 Mise à jour des données disponibles.....	48
6.2 Simulations numériques.....	48
6.3 Gestion des données	48

Figure 1 : emprise du périmètre de l'étude (à gauche) et dynamique spécifique à l'hydraulique des écoulements de la Rivière des Pluies en période de crue (à droite).	7
Figure 2 : profil en long général du bassin versant (source Sogreah).	11
Figure 3 : aperçu de la morphologie du lit en amont du cône de déjection.	12
Figure 4 : limites et réseau hydrographique du bassin versant (source Sogreah).	13
Figure 5 : carte géologique du bassin versant (source Sogreah).	14
Figure 6 : coupe interprétative de l'effondrement dans la Rivière des Pluies (source BRGM) et localisation des principales zones actives.	15
Figure 7 : (a) vue sur la zone d'arrachement et (b) barrage produit par le glissement (source BRGM).	16
Figure 8 : cartographie de la zone d'éboulement et du barrage (source BRGM).	16
Figure 9 : atterrissement en aval du Grand Eboulis en 2003 (source BRGM).	16
Figure 10 : déplacement des apports sédimentaires issus du Grand Eboulis entre mars 2002 et mars 2006 (source Sogreah).	17
Figure 11 : bilan sédimentaire en aval du Grand Eboulis en janvier 2007 (source Sogreah).	18
Figure 12 : Pont Domenjod, vu depuis l'amont (source Structurae).	19
Figure 13 : vues en coupe et en plan du nouveau pont Desbassyns (source : CINOR).	20
Figure 14 : Vue d'amont en aval, depuis l'amont, sur le Pont de la RN102 (Pont métallique ou Pont Neuf), le Pont du Boulevard Sud et le Pont de la RN2 (pont de Gillot) lors d'une petite crue intervenue en 2018.	21
Figure 15 : Vue aérienne de 1973 montrant le système de protection par endiguement et épis marteaux construit sur le cours aval de la Rivière des Pluies (source IGN).	21
Figure 16 : bilan des extractions réalisées entre 1979 et 2006.	22
Figure 17 : numérotation des profils dans les levés réalisés entre 2008 et 2020 (Source : Rapport « Analyse topographique du lit de la Rivière des Pluies – Cerema – Décembre 2020 »).	28
Figure 18 : synthèse des évolutions observées entre 1965 et 2008 (source Sogreah).	31
Figure 19 : profil en long de la Rivière des Pluies entre la RN102 et l'Océan Indien en 1965, 1978, 1981, 2000 et 2014 (partiel).	32
Figure 20 : évolution du profil en long entre 1966 et 1978 (source Sogreah).	33
Figure 21 : évolution du profil en long entre 1978 et 1989 (source Sogreah).	33
Figure 22 : évolution du profil en long entre 1989 et 1998 (source Sogreah).	34
Figure 23 : évolution du profil en long entre 1998 et 2002 (source Sogreah).	34
Figure 24 : évolution du profil en long entre 2002 et 2006 (source Sogreah).	35
Figure 25 : évolution du profil en long entre 2006 et 2007 (source Sogreah).	35
Figure 26 : évolution du profil en long du thalweg entre 2017 et 2018 (source CEREMA).	36
Figure 27 : évolution du profil en long du thalweg entre 2018 et 2020 (source CEREMA).	36
Figure 28 : Courbe de tarage en vigueur à la station Pluies-Domenjod (source : CVH).	38
Figure 29 : rareté des crues de la Rivière des Pluies dépassant 200 m³/s au Pont Domenjod.	40
Figure 30 : courbes granulométriques des prélèvements réalisées entre 1977 et 2007 à l'aval de la confluence de la Rivière des Pluies et de la Ravine Bachelier (source Sogreah).	41
Figure 31 : comparaison des lois débit solide/débit liquide mises en œuvre lors des études sur modèle physique (source Sogreah).	43
Figure 32 : comparaison entre la loi Débit solide/débit liquide utilisée sur le modèle physique de 1983 avec les formules de Lefort et Meyer Peter.	43
Figure 33 : Granulométrie réalisée par comptage de surface dans le lit de la Rivière des Galets - CNR.	45

Tableaux

Tableau 1 : recensement des principaux faits marquants.....	26
Tableau 2 : inventaire des données topographiques disponibles avant 2008.	27
Tableau 3 : tableau récapitulatif des données topographiques collectées lors de la phase 1 de l'étude	29
Tableau 4 : débits caractéristiques de crue de la Rivière des Pluies au droit du Pont Domenjod.....	37
Tableau 5 : Synthèse des valeurs de la crue centennale.....	37
Tableau 6 : chronogramme des crues de la Rivière des Pluies dépassant 200 m ³ /s au Pont Domenjod.	39
Tableau 7 : bilan des granulométries réalisées entre 1977 et 2000 à l'aval de la confluence de la Rivière des Pluies et de la Ravine Bachelier (source Sogreah).....	41
Tableau 8 : granulométries retenues au cours des études sur modèles physique	42
Tableau 9 : évaluation des apports en matériaux sur la Rivière des Pluies.....	44
Tableau 10 : Proposition de scénarios envisagés dans le cadre de l'étude	47

1 Contexte et objectifs de l'étude

Le CEREMA sollicite CNR pour réaliser une expertise transport solide sur le tronçon aval de la Rivière des Pluies. Cette expertise est un préalable à la révision de l'Etude De Dangers (EDD) du système d'endiguement réalisé pour la protection de l'aéroport Roland Garros contre les crues de la Rivière des Pluies. Elle constituera une donnée d'entrée de la nouvelle version de l'EDD.



Figure 1: emprise du périmètre de l'étude (à gauche) et dynamique spécifique à l'hydraulique des écoulements de la Rivière des Pluies en période de crue (à droite).

Le but principal de cette expertise est d'objectiver les hypothèses d'évolutions morphologiques probables de la Rivière des Pluies à plus ou moins long terme, soit sur des échelles de temps allant de l'événement de crue à quelques décennies.

Le périmètre d'intérêt principal du CEREMA correspond à l'emprise du système d'endiguement défini au sens de l'EDD. Néanmoins, le périmètre d'étude sera étendu jusqu'aux zones de production sédimentaire et l'analyse détaillée des évolutions attendues à long terme portera sur un linéaire allant du pont Domenjod jusqu'à l'Océan Indien. Cette approche est en effet nécessaire pour pouvoir intégrer toute la complexité de ce système torrentiel et les fortes interactions amont-aval typiques des cours d'eau de montagne caractérisés par un transport solide intense.

La démarche proposée consiste ainsi à réaliser :

- Une collecte et une analyse des documents mis à disposition pour réaliser cette expertise,
- Une préanalyse de l'évolution globale du profil en long à partir de ces données,
- Une étude des affouillements susceptibles d'affecter localement le pied des structures constituant le système d'endiguement de la Rivière des Pluies,
- Une modélisation numérique des évolutions systématiques du profil en long attendues à plus ou moins longs termes à l'aide du logiciel EVOFOND.

Le présent document correspond à la version provisoire du premier livrable prévu pour ce projet. Dans ce cadre, il a ainsi été convenu de produire une note de synthèse présentant les éléments disponibles à date ainsi que les éventuelles données manquantes qui seraient utiles pour l'étude des affouillements et pour l'étude de l'évolution à plus long terme du lit de la Rivière des Pluies.

2 Collecte et analyse des données disponibles

2.1 Données recueillies

La première phase de l'étude consiste en une recherche des données disponibles sur les événements marquants (crues, travaux...), l'hydrométrie, la morphologie et l'hydraulique torrentielles de la Rivière des Pluies. Les rapports utilisés viennent de différents organismes (CEREMA, DEAL, BRGM, CNR, Artelia...).

La liste des rapports, études, données récupérées à date est détaillée ci-dessous :

• Rapports CEREMA

- Rapport « Endiguement rive droite de la Rivière des Pluies - Visite Technique Approfondie 2020 - Novembre 2019 »
- Rapport « Analyse morphologique Rivière des Pluies - Île de la Réunion Décembre 2020 »
- Rapport « Analyse morphologique Rivière des Pluies - Île de la Réunion Juillet 2019 »
- Rapport « Endiguement rive droite de la Rivière des Pluies - Visite Technique Approfondie 2019 - Septembre 2019 »
- Rapport « Endiguement rive droite de la Rivière des Pluies - Visite Technique Approfondie 2018 - Novembre 2018 »
- Rapport « Endiguement rive droite de la Rivière des Pluies - Visite Technique Approfondie 2017 - Septembre 2017 » (disponible sur le site du CEREMA)
- Etude de sécurité et sûreté des ouvrages - hydrauliques de protection de la zone aéroportuaire - Rivière des Pluies – Juin 2016 »
- Etude PGRI 2008 - Protection contre les crues de la Rivière des Pluies - Phase 1 : synthèse biblio et analyse des connaissances disponibles - Juillet 2008
- Etude PGRI 2008 - Protection contre les crues de la Rivière des Pluies - Phase 2 : Etude hydro-géomorphologique de la Rivière – Caractérisation des processus physiques - Juillet 2008
- Etude PGRI 2008 - Protection contre les crues de la Rivière des Pluies - Phase 3 : -Proposition de solutions de gestion et/ou d'aménagements - Septembre 2008
- Rapport « Endiguement rive droite de la Rivière des Pluies - Visite Technique Approfondie 2018 - Novembre 2018 »

• Rapports DEAL

- Rapport d'expertise - Débit de référence Q100 - Bassin versant de la Rivière des Pluies - CVH - Avril 2016
- Fiche questions - Annexe au courrier CVH 24/08/15 sur le rapport RE14-103 du 13/07/15 - Expertise hydrologique sur la Rivière des Pluies
- Rivière des Pluies - Reconnaissance des sols - Laboratoire départemental de l'équipement de La Réunion - Octobre 1987

• Rapports BRGM

- Etude diagnostic du transport solide et de l'évolution du fond du lit de la Rivière des Pluies - BRGM/RP – 52841 - FR – Décembre 2003
- Inventaire des mouvements de terrain historiques à La Réunion – BRGM/RP – 52913 – FR – Décembre 2003
- Projet DYNTOR Synthèse – Rapport final – BRGM/RP – 54591 – FR – Mars 2006
- Projet DYNTOR Modélisation hydrologique globale pluie-débit des crues des rivières de La Réunion – Rapport final – BRGM/RP – 54593 – FR – Mars 2006
- Projet DYNTOR Carte géomorphologique de la Rivière des Pluies – Etude du transit des matériaux issus du Grand Eboulis en mars 2002 – Rapport final – BRGM/RP – 54598 – FR – Mars 2006
- Etude géomorphologique de la Rivière des Pluies – Rapport final BRGM/RP – 56311 – FR – Avril 2008
- Analyse des modes d'effondrement en masse sur plusieurs sites de La Réunion – Rapport - BRGM/RP – 56729 – FR – Juin 2008
- Complément d'inventaire départemental des mouvements de terrains de La Réunion – Rapport final - BRGM/RP – 62530 – FR – Juin 2013
- Evaluation et cartographie de l'aléa « mouvement de terrain » à l'échelle du 1/25 000 sur la commune de St-Marie – BRGM – R 40252 – Juillet 1999

• Rapports CNR

- Boulevard Sud de Saint Denis - Etude sur modèle réduit du franchissement de la Rivière des Pluies – ETRM-CNR – Juin 2000
- Validation sur modèle réduit du projet de pont sur la Rivière des Pluies - Octobre 2001

- 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, CNR, Octobre 2006, BRL ingénierie (Ile de la Réunion)
- **Rapports Artelia**
 - Etude hydraulique de la protection de la piste contre les crues de la Rivière des pluies - Mars 1990
 - Etude de dimensionnement des ouvrages d'endiguement de la Rivière des Pluies sur modèle physique - SOGREAH - 1966
 - Ouvrage de protection contre les crues de la Rivière des Pluies - secteur Ilet Quinquina - Pont de la RN102 - Mise à jour des études préliminaires - Juin 2018
 - Complément d'étude relative à la protection contre les crues de la Rivière des Pluies - Proposition de modalité de gestion des inondations pour les secteurs aval de la RN102 et à l'amont de l'école de l'Ilet Quinquina - Rapport définitif - Mars 2011
 - Etude de faisabilité géotechnique des ouvrages de protection contre les crues de la Rivière des Pluies dans les secteurs situés entre Ilet Quinquina et le pont de la RN102 - ANTEA - Juin 2012
- **Rapports Cemagref**
 - Prédétermination des débits de crue sur l'île de La Réunion par la méthode SHYPRE - Février 2006
- **Rapports Hydrétudes**
 - Etude préliminaire relative au redimensionnement du pont Desbassyns sur le Rivière des Pluies - Rapport définitif - Novembre 2016
 - Note relative aux demandes de compléments de la CINOR sur l'EPOA Pont Desbassyns
- **Rapports Hydoreex**
 - Etude de définition de repères de crue sur le bassin versant de la RdP – 2014
- **Rapports IPGP (Institut de Physique du Globe de Paris)**
 - Thèse - Suivi sismologique de l'impact des cyclones sur la charge de fond de la Rivière des Pluies et de la Rivière du Mât à La Réunion - Alicia Gonzalez – Juin 2019
 - Monitoring the transport of sediment during tropical cyclones from high-frequency seismic noise in two rivers of La Réunion Island -A. Gonzalez, F. R. Fontaine, A. Burtin, G. Barruol, A. Recking, J-L. Join, E. Delcher - Août 2016
 - Seismological quantification of the impact of cyclones on the bedload rivers and erosion in La Reunion (présentation PPT) - Alicia Gonzalez - Août 2016
- **Rapports Office de l'eau**
 - Eléments de synthèse du transport solide à la Réunion – David MOREL – Etude réalisée pour le compte de la DIREN Réunion – Juin 1998
 - Les crues de février 1998 à La Réunion – Synthèse hydrologique – F. Bocquee – Octobre 1998
 - INTRACRUE - Conception d'une Instrumentation pour le suivi des TRANSferts de matière et des débits de CRUE dans les rivières à lit mobiles – Phase 3 – Rapport de fin de projet – E. Augereau, C. Delacourt, L. Michon, N. Villeneuve, A. Stumpf, P. Allemand, E. Delcher, E. Gayer, J. Amman, P. Bachèlery, E. Lajeunesse – Septembre 2015
- **Rapports divers**
 - Morphologie et transport solide des rivières à forte pente – M/ Ramette – La Houille Blanche – n°3/4 – 1988
 - Mesure des débits par photogrammétrie adaptée aux rivières torrentielles - André STUMPF, Emmanuel AUGEREAU, Julien BONNIER, Christophe DELACOURT, Eric DELCHER – La Houille Blanche - n° 5-6, 2018
 - Eléments d'hydrologie des principaux torrents de l'île de La Réunion - R. Robert
 - Expertise relative à la prévention des inondations sur l'Île de La Réunion et à la programmation des travaux de protection - P. Balland, D. Laurens, JP Lalande, JL Ravard, Y Cassayres, R. Lazerges - Juillet 2006
 - Isabelle Mayer Jouanjean, historienne des risques naturels, auteure d'une thèse de Doctorat en Histoire : L'île de La Réunion sous l'oeil du cyclone au XXème siècle. Histoire, Société, et catastrophe Naturelle, Université de La Réunion, 23 novembre 2011
 - Typologie et sectorisation des cours d'eau de La Réunion - Rapport final - Décembre 1998 - Jean-René Malavoi
- **Photos**

Photos de 1950

2.2 Premier aperçu des données analysées

Sur l'ensemble des documents collectés, les rapports fournissant les données les plus complètes au regard de la finalité de l'étude sont :

- BRGM
 - Etude diagnostic du transport solide et de l'évolution du fond du lit de la Rivière des Pluies - BRGM/RP – 52841 - FR – Décembre 2003
 - Projet DYNATOR Carte géomorphologique de la Rivière des Pluies – Etude du transit des matériaux issus du Grand Eboulis en mars 2002 – Rapport final – BRGM/RP – 54598 – FR – Mars 2006
 - Etude géomorphologique de la Rivière des Pluies – Rapport final BRGM/RP – 56311 – FR – Avril 2008
- CEREMA :
 - Endiguement RD de la Rivière des Pluies – VTA Septembre 2017
 - Endiguement RD de la Rivière des Pluies – VTA Novembre 2018
 - Endiguement RD de la Rivière des Pluies – VTA Septembre 2019
 - Endiguement RD de la Rivière des Pluies – VTA Septembre 2020
 - Analyse morphologique de la Rivière des Pluies – Juillet 2019
 - Analyse morphologique de la Rivière des Pluies – Décembre 2020
- CNR : Boulevard Sud de Saint Denis : Etude sur modèle réduit - 2000
- DEAL : Rapport d'expertise – Débit de référence (Q100) – BV de la Rivière des Pluies Avril 2016
- SOGREAH :
 - Etude des ouvrages d'endiguement sur modèle physique - 1966
 - Etude PGRI : Protection contre les crues de la Rivière des Pluies – 2008
 - Ouvrage de protection contre les crues - Secteur Ilet Quinquina - 2018

L'étude de protection contre les crues de la Rivière des Pluies (Sogreah – 2008) présente notamment une excellente synthèse des données nécessaire à la mise à jour de l'EDD ; les éléments contenus dans ces rapports doivent bien entendu être complétés par les données collectées sur la période 2008-2020.

Une des finalités de cette étude étant la mise en œuvre de la modélisation numérique du fonctionnement morphologique de la Rivière des Pluies à l'aide du modèle EVOFOND, il est nécessaire d'extraire des documents et rapports disponibles les données d'entrées du modèle ainsi que les informations utiles à la réalisation de simulations sous EVOFOND.

Comme annoncé précédemment, l'étude et la modélisation ne portent que sur le tronçon de la Rivière des Pluies situé à l'aval du pont Domenjod mais les données d'entrées portent sur un périmètre beaucoup plus large, prenant en compte les différents affluents et les ravines alimentant la Rivière des Pluies ainsi que leurs bassins versants respectifs.

2.3 Aperçu général du bassin versant

2.3.1 Hydrographie et géologie

La Rivière des Pluies draine, au Nord de Saint-Denis, un bassin versant de près de 46 km² à son exutoire dans l'Océan Indien. D'un point de vue hydrologique, il peut être divisé en trois entités distinctes (Figure 4 page 13).

- La zone centrale, qui est aussi la principale zone d'apport du bassin versant, est composée par le cours de la Rivière des Pluies lui-même. Elle se présente sous la forme d'une vallée encaissée issue d'un vaste amphithéâtre à très forte pente drainé par de multiples ruisseaux et ourlé latéralement d'une zone de pseudo plateau. Ce dernier aboutit à la Roche-Ecrite, point culminant du bassin versant à 2 276 m d'altitude. Les pentes latérales de la vallée sont de l'ordre 100 à 140% dans ce secteur. Cet encaissement résulte de l'effondrement des caldeiras du massif du piton des Neiges.
- A l'est, un réseau hydrographique dense s'est constitué au travers d'une planèze, dont les principales ravines sont la ravine du Bachelier, la ravine Mère Canal, la ravine du Bras Mussard, la ravine Kiwi. Cette zone du bassin versant culmine au piton de la Plaine des Fougères à 1 802 m d'altitude. Les pentes sont orientées globalement du sud au nord, et les écoulements principaux, qui constituent un maillage dense, présentent des capacités modestes.
- A l'ouest, on retrouve encore une planèze aux caractéristiques comparables à la planèze Est. Les principales ravines sont la ravine Montauban et la ravine Cadet. Cette zone culmine à 1 850 m d'altitude.

Sur le plan géologique, les sommets immédiats des remparts à l'amont de la rivière des Pluies sont majoritairement constitués par des basaltes à feldspaths (Figure 5 page 14). Ils réalisent la transition entre les basaltes andésites, qui constituent la majeure partie des formations de Planèze du Piton des Neiges, et les basaltes à olivine de la combe de la Rivière des Pluies. En fond de combe aux abords du Grand Eboulis, des brèches chloritisées et zéolitisées sont observées.

Dans sa partie terminale, la Rivière des Pluies a formé un cône de déjection. Son apex est approximativement localisé à la confluence entre la rivière des Pluies et la ravine du Bachelier. Il s'étend jusqu'à l'Océan Indien et est bien entendu constitué de matériaux alluvionnaires. En rive gauche, cependant, des basaltes à andésites sont visibles sur tout le cours aval tandis qu'en rive droite ils laissent la place aux basaltes à feldspaths. Dans cette zone, des affleurements réguliers de tufs soudés sont également observés sous les alluvions. C'est le cas notamment au droit du pont de Domenjod où ils en constituent l'assise.

La pente longitudinale moyenne du lit montre une décroissance régulière tout à fait remarquable, passant progressivement de 7% environ au droit de la zone très active du Grand Eboulis à un peu plus de 2% en amont immédiat du débouché dans l'Océan Indien (Figure 2). La morphologie du lit alterne entre des faciès de lit à blocs et de gorges rocheuses en partie haute, et devient de plus en plus alluvionnaire à mesure que l'on se rapproche de l'exutoire (Figure 3).

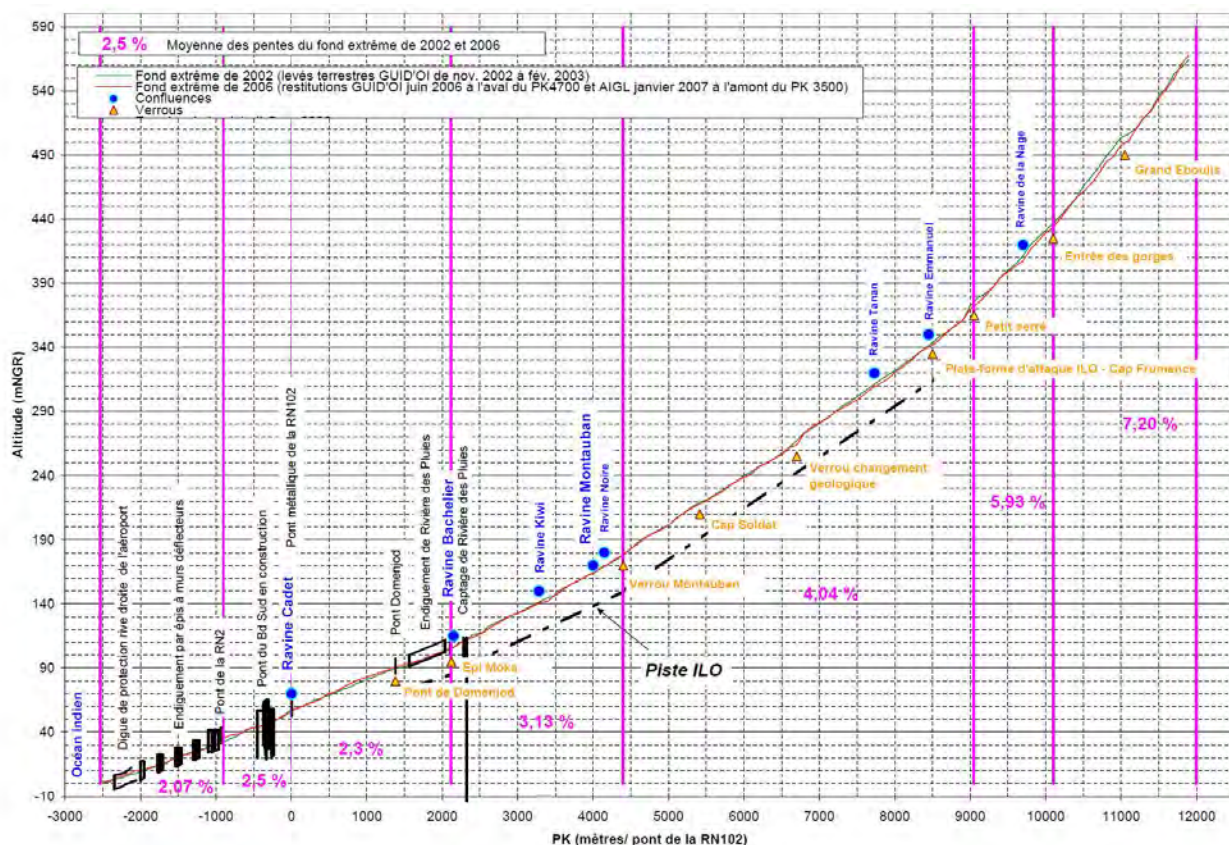


Figure 2 : profil en long général du bassin versant (source Sogreah).





Figure 3 : aperçu de la morphologie du lit en amont du cône de déjection.

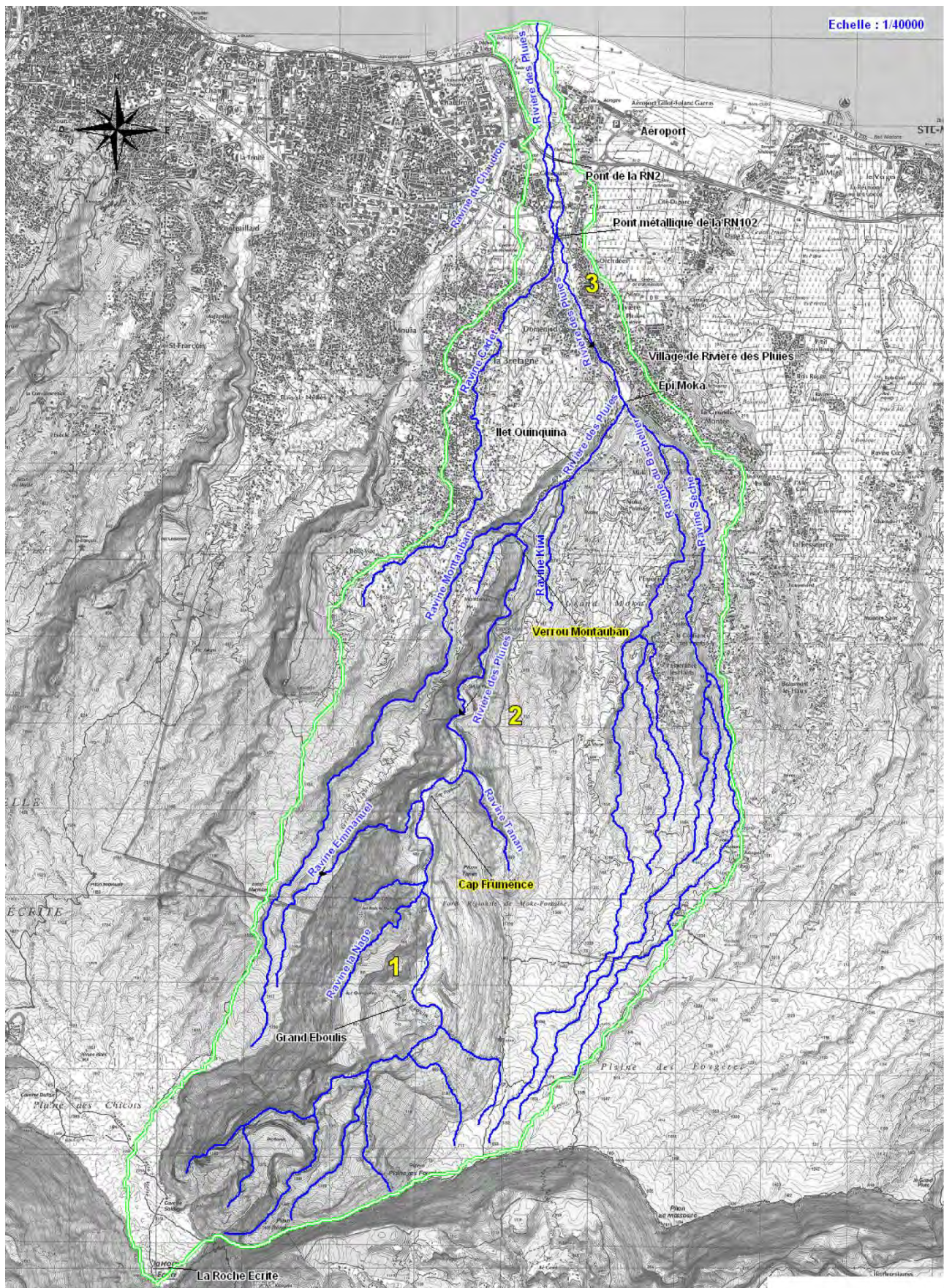
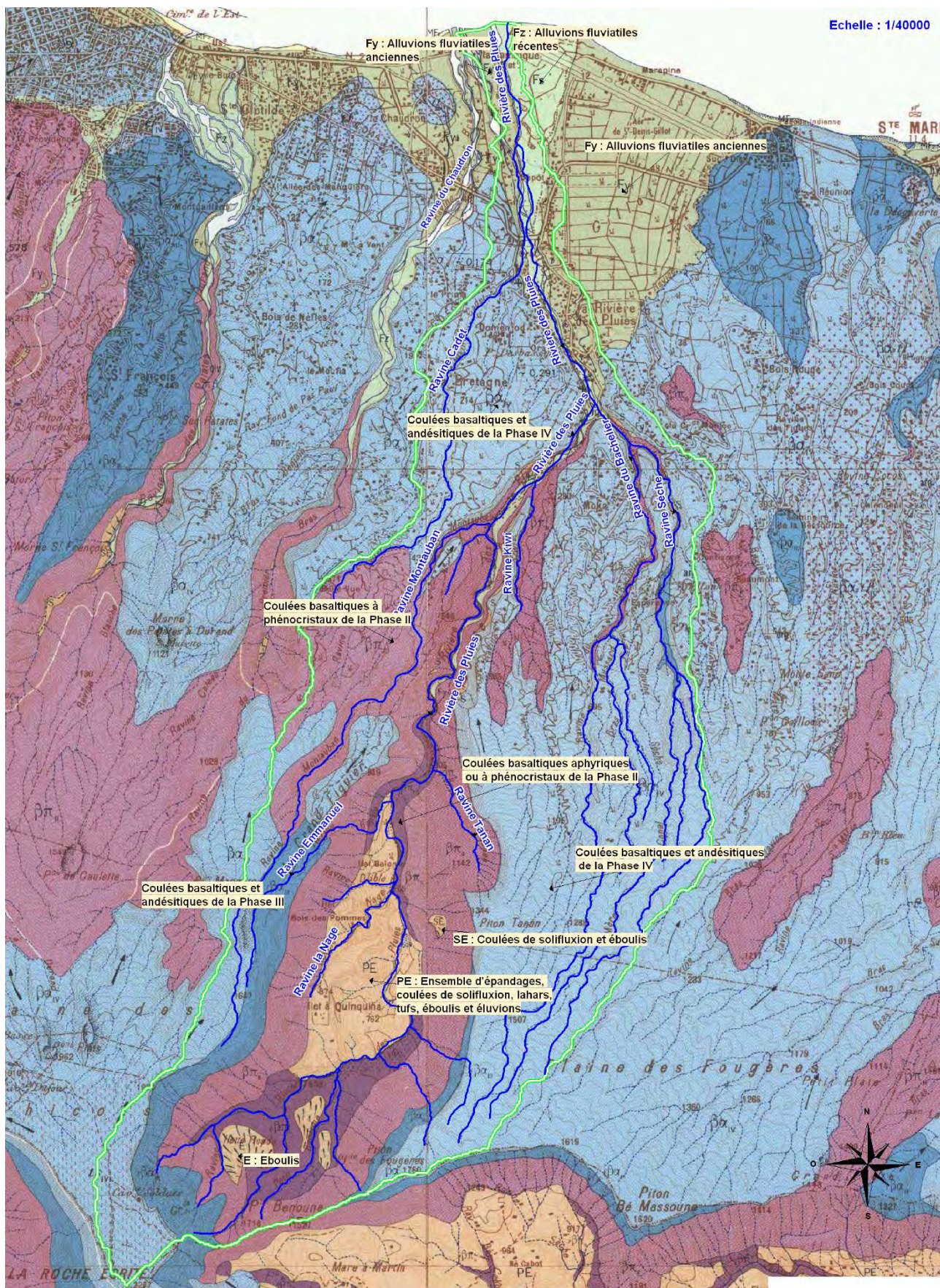


Figure 4 : limites et réseau hydrographique du bassin versant (source Sogreah).



2.3.2 Apports en sédiments

2.3.2.1 Secteur en amont du Grand Eboulis

En tête de bassin, la Rivière des Pluies draine une partie de la Plaine des Chicots en aval de la Roche Ecrite (2 277 m d'altitude). Cependant, elle ne se forme réellement qu'au pied des remparts, plus de 1 000 mètres en aval. Elle est alors encaissée dans un cirque peu large avoisinant 2 kilomètres en crête, mais très abrupt et limité par des remparts de plus de 1 000 mètres de hauteur.

L'érosion est alors relativement limitée, même si des éboulements de remparts alimentent de temps à autre le lit de la rivière. Des traces d'éboulement réguliers sont notamment visibles en rive gauche, en face de l'Îlet Ronde. La morphologie du lit traduit un transport solide significatif, mais l'on n'observe pas de dépôts très importants dans le chenal. De tels dépôts pourraient en revanche se former en cas d'éboulement massif des remparts, ce qui ne peut être exclu.

Ce secteur amont contribue donc à des apports significatifs au transport solide de la Rivière des Pluies.

2.3.2.2 Secteur du Grand Eboulis

Le Grand Eboulis constitue le reste d'un vaste éboulement du rempart sud-est qui se serait produit il y a plusieurs millions d'années (Figure 6). Le volume accumulé en pied de rempart du fait de cet affaissement atteint pratiquement 800 Mm³ selon Fèvre et al (2001). Dans ce secteur, l'érosion visible à la surface de la masse instable est historiquement active à deux niveaux :

- Un éboulement dirigé vers le nord alimente directement la Rivière des Pluies. Il est très actif et, même en période ordinaire, il apporte des matériaux.
- Une érosion de versant couvre également une surface plus étendue dans la masse du dépôt, au pied de l'Îlet Quinquina. Cette érosion n'est pas liée directement à la Rivière des Pluies mais les matériaux sont transportés par une petite ravine très active.

En 2002, un éboulement issu de cette deuxième zone instable s'est déclenché à la fin février, un mois après le passage du cyclone Dina. 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 (Figure 7 et Figure 8). Le volume glissé a été estimé à 500 000 m³ en mars 2002. Les matériaux de ce barrage et ceux stockés dans la pente ont été en grande partie ravinés entre 2002 et 2006. Les matériaux apportés sont en effet de taille relativement modeste (moins d'un mètre pour la grande majorité) et ont ainsi pu être repris par la rivière.

En 2003, un an après la formation du barrage, 5 zones d'atterrissement principales se distinguaient à l'aval du barrage, entre le Grand Eboulis et le Cap de Frumence, sur une distance de 2 km (Figure 9). En 2007, il a été constaté que la majorité des dépôts situés entre le « Grand Eboulis » et le Cap Frumence avaient été remobilisés et transportés jusqu'au cône de déjection lors des crues de février et mars 2006 provoquée par le cyclone Diwa (Figure 11). Quelques zones d'accumulation subsistaient encore en amont de verrous rocheux étroits. Ils contribuent par leur présence à une régulation du transport solide durant les crues.

La nature instable du Grand Eboulis et la composition des accumulations mobilisables qui y sont stockées permet d'exclure un ralentissement de l'érosion dans cette zone. Cette hypothèse semble par ailleurs confortée par le stock de matériaux en place dans le lit en aval de cette instabilité.

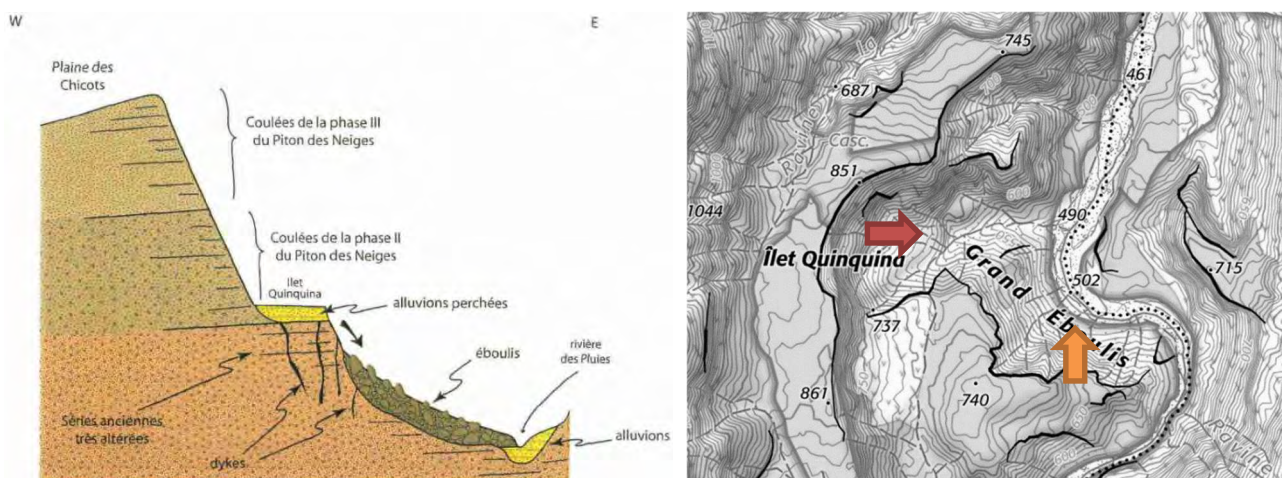


Figure 6 : coupe interprétative de l'effondrement dans la Rivière des Pluies (source BRGM) et localisation des principales zones actives.



Figure 7 : (a) vue sur la zone d'arrachement et (b) barrage produit par le glissement (source BRGM).

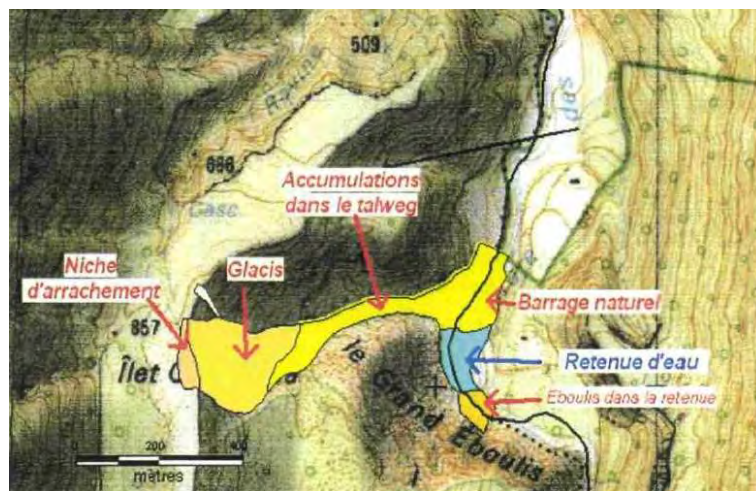


Figure 8 : cartographie de la zone d'éboulement et du barrage (source BRGM).

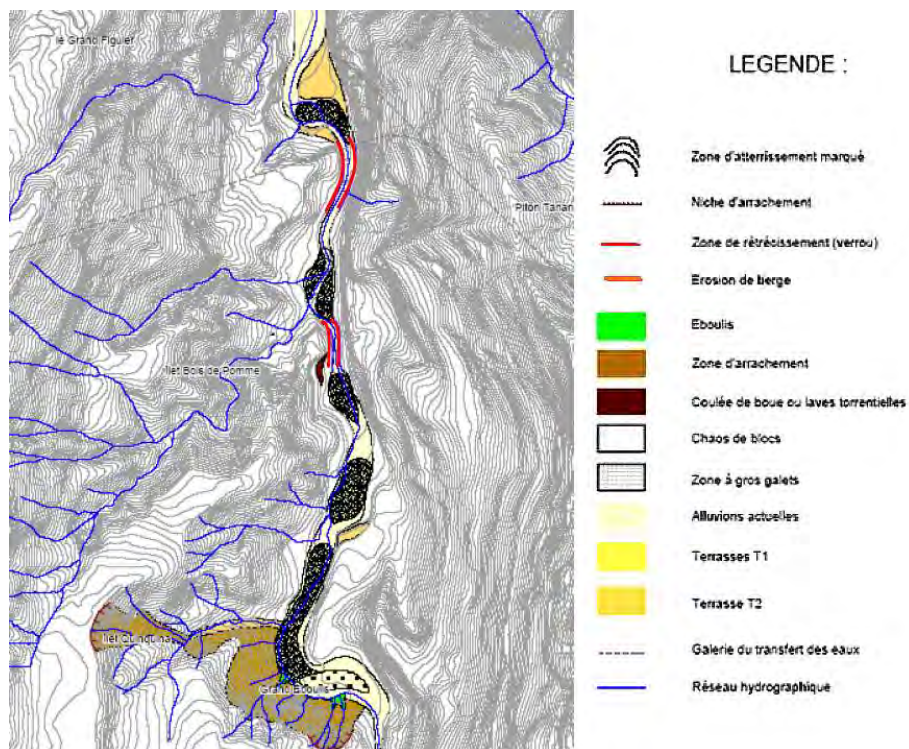


Figure 9 : atterrissement en aval du Grand Eboulis en 2003 (source BRGM).

Figure 55 - Transit des matériaux issus de l'éboulement de 2002

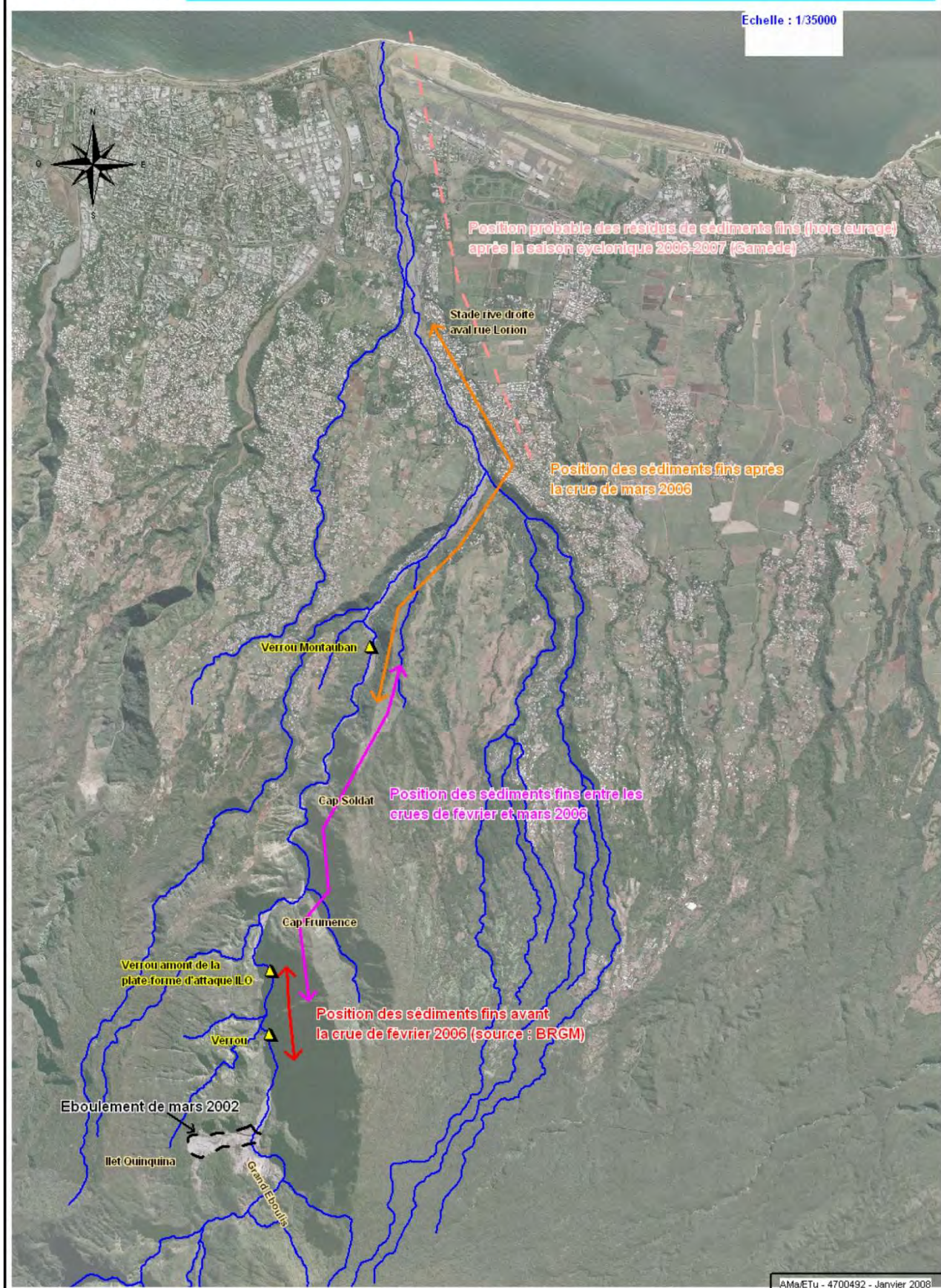


Figure 10 : déplacement des apports sédimentaires issus du Grand Eboulis entre mars 2002 et mars 2006 (source Sogreah).

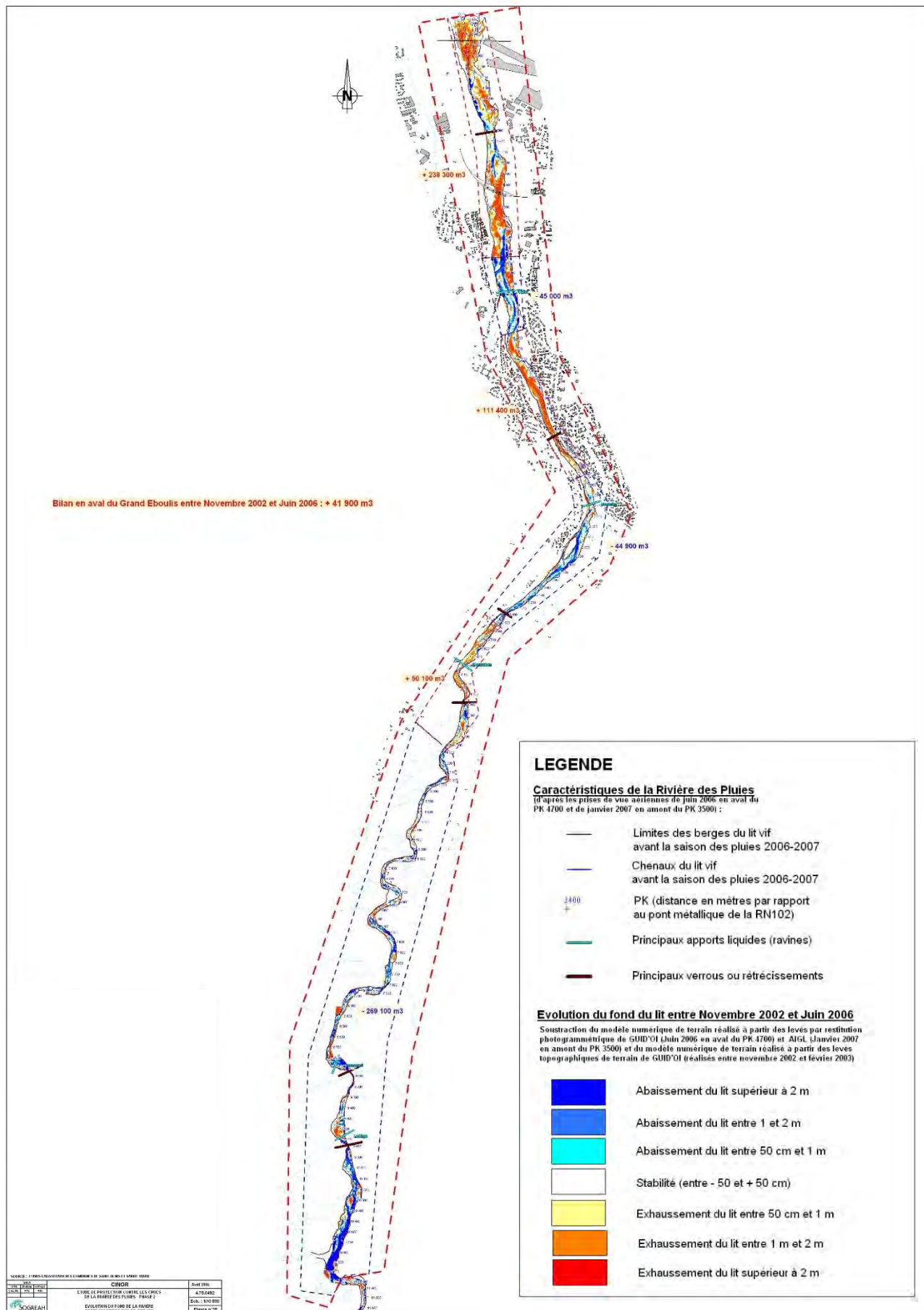


Figure 11 : bilan sédimentaire en aval du Grand Eboulis en janvier 2007 (source Sogreah).

2.3.2.3 Gorges en aval du Grand Eboulis

Une seconde zone de dépôt est située en amont des travaux de réalisation du basculement des eaux. Les dépôts à l'amont immédiat de ces travaux sont encore importants, même s'ils sont nettement plus modestes qu'en amont.

En aval, la route d'accès au chantier a très sensiblement modifié le fond de vallée, la piste étant construite dans le lit qui était autrefois bien plus méandreux. On observe alors une succession de rétrécissements rocheux (moins étroits que ceux situés en aval du Grand Eboulis) et d'anciennes terrasses, souvent très hautes (3 à 8 mètres) et cultivées. Cette route a été supprimée à l'issue du projet en 2014.

Les apports dans ce secteur sont plus modestes et sont liés directement aux éboulements de remparts. D'autre part, les anciennes terrasses forment un stock alluvionnaire important mais difficilement mobilisable.

Ainsi, à la sortie des remparts, la Rivière des Pluies peut être alimentée par des volumes très importants de matériaux, la limitation des apports étant essentiellement liée aux conditions hydrauliques et à la capacité de transport de la rivière.

2.3.2.4 Ravine du Bachelier

L'examen du lit de la Ravine du Bachelier conduit à des conclusions très différentes. En effet, cette ravine est pavée par de très gros blocs et le substratum rocheux est souvent présent. Il n'apparaît pas de terrasse en matériaux alluvionnaires.

D'autre part, les traces d'érosion dans le haut bassin versant sont très rares.

Ainsi, les apports solides de cette ravine sont nettement plus modérés que ceux de la Rivière des Pluies. Cette différence explique, pour l'essentiel, la rupture de pente des profils en long que l'on peut observer sur la Rivière des Pluies au confluent avec la Ravine du Bachelier.

1.1.1 Aperçu des principaux ouvrages

Le cône de déjection de la Rivière des Pluies est situé à cheval entre les communes de Saint-Denis à l'Est et Sainte-Marie à l'Ouest.

Sur le cône de déjection, la rivière est franchie par plusieurs ponts (Figure 1).

Le pont Domenjod (ou Pont Desbassyns) est à la fois le plus ancien, le plus en amont et le plus court (Figure 12). Il franchit la rivière au niveau d'un rétrécissement naturel. Il comporte 2 arches, une principale à travers laquelle s'écoule la rivière, et une arche de décharge en rive droite reposant sur une coulée de débris volcaniques. La morphologie du lit en aval de ce pont témoigne bien de l'élargissement du lit de la rivière lorsqu'elle arrive sur son cône de déjection. Ce pont est franchi par une route départementale à seulement deux voies. Ce pont a été réalisé en 1900 et la chaussée a été élargie en 1990.



Figure 12 : Pont Domenjod, vu depuis l'amont (source Structurae)

Un projet afin de construire un nouveau pont à l'amont du pont historique est actuellement à l'étude par la CINOR (étude au stade AVP/PRO). Ce nouveau franchissement permettra d'élargir la section d'écoulement à une quarantaine de mètres et doit permettre le passage de la crue centennale (débit retenu 1 100 m³/s d'après l'étude réalisée par Hydrétudes) sans mise en charge de l'ouvrage ; le pont actuel ayant été dimensionné pour la crue trentennale, il constitue aujourd'hui un verrou à l'écoulement. La mise en service du nouveau pont est prévue en 2024 ; le pont actuel sera alors démolé.

La Figure 13 détaille la section et l'implantation de l'ouvrage.

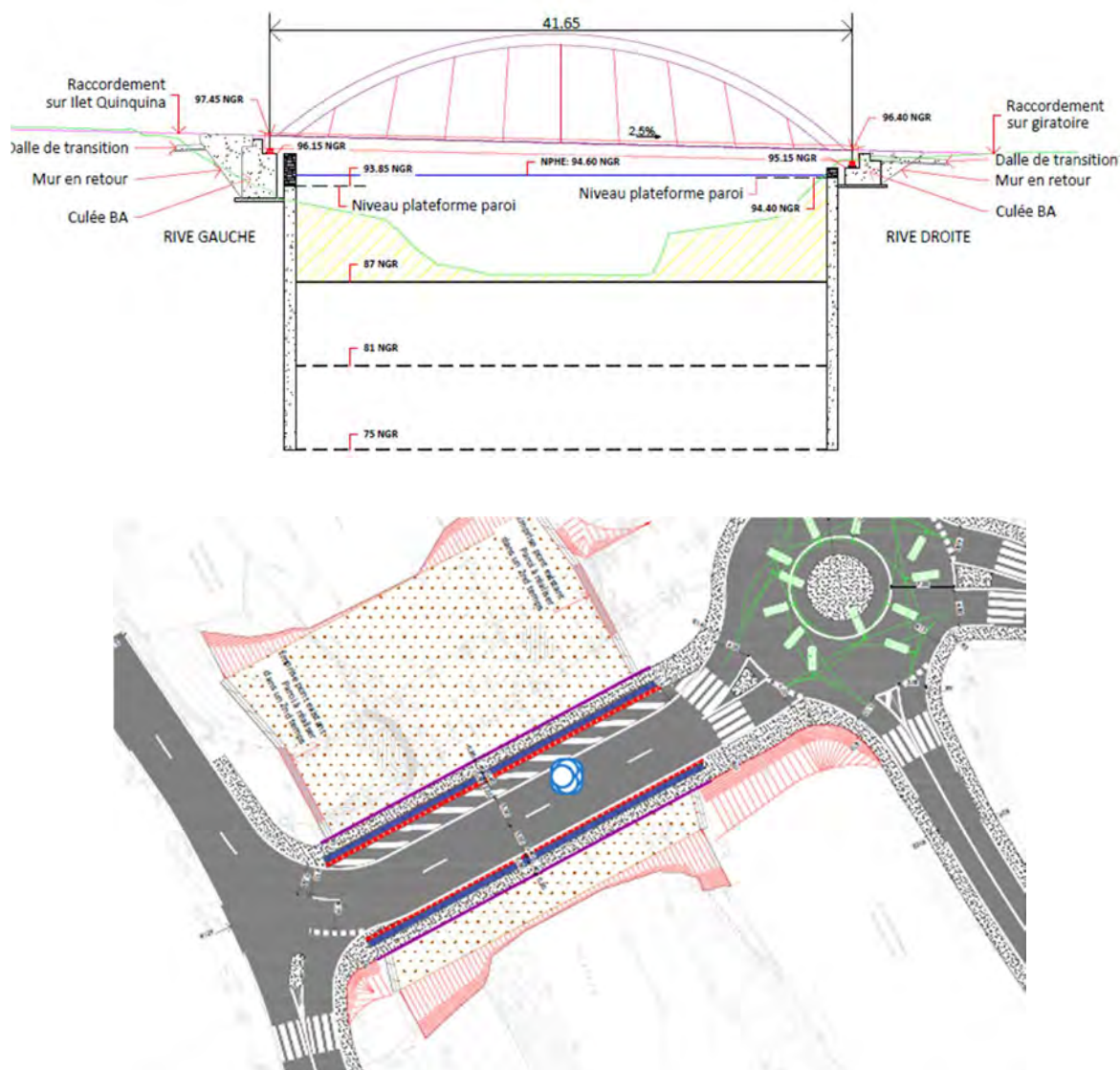


Figure 13 : vues en coupe et en plan du nouveau pont Desbassyns (source : CINOR)

Le pont Neuf, ou pont métallique de la RN102, est situé nettement plus en aval. Là encore, un massif rocheux en rive droite a facilité l'implantation de cet ouvrage qui présente 3 piles dans le lit. Sa construction a débuté en 1935. Cet ouvrage offre une ouverture nettement supérieure à celle du pont ancien. On observe en rive droite une travée différente. Elle correspond à un allongement de l'ouvrage suite à la destruction du remblai d'accès durant le cyclone de 1948. La portée de cet ouvrage est aujourd'hui de 190 mètres.

Le pont de la RN2, ou pont de Gillot, permet le franchissement d'une route à 2 fois 2 voies et assure une part importante du trafic. Cet ouvrage imposant a été réalisé en 1987. Il succède à un radier submersible construit en 1971 et démantelé en 1990.

Dans le cadre du projet du boulevard Sud, un nouvel ouvrage de franchissement a été construit dans la deuxième moitié des années 2000 entre le pont métallique et le pont de Gillot. Cet ouvrage imposant présente un tablier très large pour pouvoir supporter de nombreux modes de circulation (route à 2 fois deux voies, pistes cyclables, trottoirs...). Les contraintes de tracé routier ont imposé un franchissement biais de la Rivière des Pluies.



Figure 14 : Vue d'amont en aval, depuis l'amont, sur le Pont de la RN102 (Pont métallique ou Pont Neuf), le Pont du Boulevard Sud et le Pont de la RN2 (pont de Gillot) lors d'une petite crue intervenue en 2018.

Sur la partie terminale, 9 épis marteaux et 1 digue longitudinale construits à la fin des années 1960 contraignent les divagations de la Rivière des Pluies sur une largeur de 180 m, protégeant notamment l'aéroport situé à proximité immédiate de son embouchure dans l'Océan Indien.



Figure 15 : Vue aérienne de 1973 montrant le système de protection par endiguement et épis marteaux construit sur le cours aval de la Rivière des Pluies (source IGN).

1.1.2 Affleurement du substratum

La connaissance précise des points d'affleurement du substratum en berge et au fond du lit est une donnée essentielle pour la modélisation à venir afin de préciser autant que possible l'épaisseur des fonds affouillables. Ce point devra être examiné en détail lors de la visite de terrain.

A ce stade de l'étude, les éléments tirés des études antérieures sont repris textuellement ci-dessous.

De l'épi Moka jusqu'au pont métallique le substratum rocheux affleure soit sous forme de talus rocheux (de 3 à 5 m de hauteur) 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. Elles ont été mises à nu par la crue engendrée par le passage du cyclone Gamède.

En berge, on trouve également des brèches cimentées formées de fragments rocheux anguleux (taille centimétrique à plurimétrique) 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 RN2. Ces brèches sont moins résistantes que les affleurements volcaniques mais beaucoup plus que les alluvions non-cohésifs qui sont plus facilement entraînés par les écoulements.

Lors des crues de février et mars 2006, ces formations ont bien résisté aux affouillements par la rivière. 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 matériaux est mal connue.

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

1.1.3 Eléments en lien avec les travaux d'extraction

Du fait de sa proximité avec Saint Denis, le cours aval de la Rivière des Pluies a de longue date fait l'objet de travaux d'extraction de matériaux. Ces matériaux ont surtout été extraits pour satisfaire les besoins des travaux de génie civil réalisés à La Réunion, dont ceux relatifs à la Rivière des Pluies sur son cours aval. Ainsi, les premières extractions massives ont certainement été réalisées pour l'allongement de l'aéroport dans la deuxième moitié des années 1960. Officiellement, le rythme de ces extractions était de l'ordre de 30 à 35 000 m³/an mais des chiffres bien supérieurs compris entre 80 et 150 000 m³/an sont aussi avancés.

En 1990, les extractions ont été interdites dans la rivière. Cependant pour la réalisation de la piste longue de l'aéroport, près de 800 000 m³ ont été extraits entre 1991 et 1995

Des curages d'entretien ont également été réalisés, notamment en 2006 pour réguler l'excès temporaire d'apports solides dû à l'événement du Grand Eboulis de mars 2002.

Ainsi, en se référant aux déclarations des carriers qui ont exploités ces différents gisements et aux évaluations des services de contrôle de l'Etat, le volume des matériaux extraits entre 1979 et 1995 atteindrait au moins 1.3 Mm³.

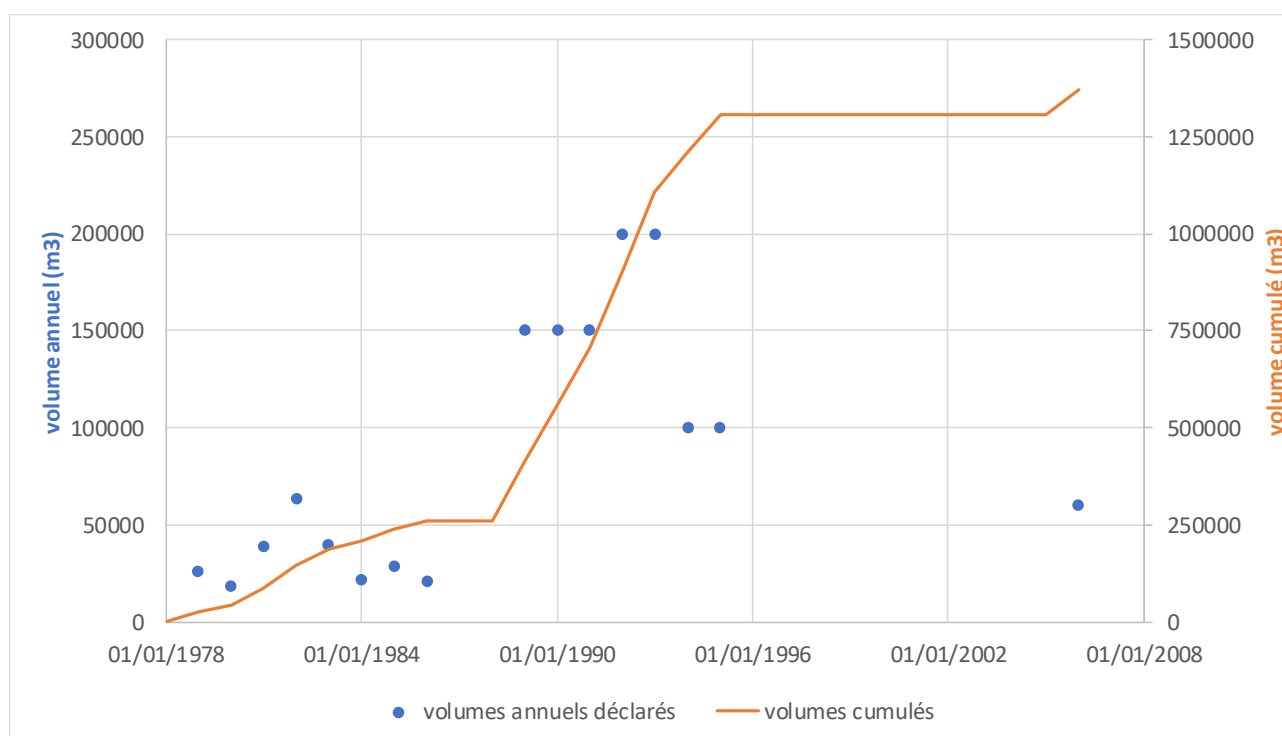


Figure 16 : bilan des extractions réalisées entre 1979 et 2006.

Cette situation a profondément bouleversé l'équilibre morphologique de la Rivière des Pluies en provoquant un enfoncement très important du lit. La comparaison des profils longitudinaux de 1965 et 2000 montre que cet enfoncement a atteint 8 mètres par endroits. Historiquement, les évolutions du lit ont donc été très importantes.

1.1.4 Récapitulatif des principaux faits marquants

Le tableau suivant récapitule les principaux faits marquants connus sur le secteur d'étude en termes d'événements de crue (en bleu), d'études (en orange) et de travaux d'aménagement (en rouge).

Année	Fait marquant
1900	Construction du pont Domenjod (ou Pont Desbassyns). La chaussée sera élargie en 1990.
1935	Construction du Pont Neuf (ou 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 au pont métallique de la RN102 (Pont Neuf) est emporté. Il est remplacé par une travée supplémentaire de 33 mètres, amenant la portée totale du pont à 190 mètres.
1962	Cyclone « JENNY » (du 26 février au 1er mars). Pas d'estimations du débit. Dégâts dus au vent.
1964	Cyclone « GISELE » (du 27 février au 1er mars). Le réseau routier est fortement endommagé au droit du village de la Rivière des 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 m ³ /s (estimation du Q ₅₀ à l'époque). 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.
1966	Premières extractions massives pour l'allongement de l'aéroport.
1966	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 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	Réalisation d'un nouveau franchissement pour la RN2 par un radier busé (radier Gillot) implanté en biais constitué de 24 buses Ø 1000 mm et situé légèrement en aval de l'actuel Pont de la RN2. Ce radier réalisé pour le passage des petites crues sans perturbations de la circulation 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 rive droite.
1977	Cyclone tropical « FIFI » (06 février). Le débit de pointe de crue est estimé à 625 m ³ /s (source : DAF/SOGREAH)
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 m ³ /s (source DAF/SOGREAH) réestimé à 1 050 m ³ /s par l'étude SOGREAH de 2011. 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, • Accumulation importante de matériaux en amont du radier, • Erosion importante du chemin Moka en rive droite.
1981	Cyclone FLORINE (7 janvier). Dégâts limités, éboulement en aval de la confluence avec la Ravine Bachelier en rive droite.
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.
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 1 000 m ³ /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.

Année	Fait marquant
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 1 300 m ³ /s.
1983-1984	Protection longitudinale au droit du village de 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.
1987	Dépression tropicale « CLOTILDA » (13 février). Le débit de crue de pointe est estimé à 500 m ³ /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. Dégradation du temple Tamoul en rive droite.
1987	Construction du pont de la RN2 actuelle (pont de Gillot).
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.
1988	Publication du schéma d'extraction de la Rivière des Pluies, première étude importante sur les extractions qui n'ont pas cessé depuis 1966.
1989	Cyclone tropical « FIRINGA » (29 janvier). Le débit de crue de pointe est estimé à 225 m ³ /s (source : DAF). Le Pont de la RN2 est mis en service.
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).
1991	Début des travaux pour la construction d'une 2 ^{ème} piste de plus grande longueur au niveau de l'aéroport conduisant à des extractions de matériaux alluvionnaires extrêmement importantes (source DDE).
1993	Cyclone COLINA (13 au 21 janvier, pic le 19 janvier). Débit estimé à 300 m ³ /s. La rivière se concentre dans un chenal étroit (12 à 15 mètres) suite à la propagation de l'érosion régressive. Une pile du pont de Gillot est presque déchaussée.
1993	Fortes pluies en février-mars. Débit estimé à 400 m ³ /s (réestimé à 350 m ³ /s par l'étude SOGREAH de 2011).
1993	Cyclone CECILIA (13 au 21 décembre). Débit estimé proche du cyclone HYACINTHE (570 m ³ /s, source : BRLi-SCP-SECMO, 2000). Ce débit est jugé douteux par l'étude SOGREAH de 2008 (incohérence avec la pluviométrie mesurée).
1994	Cyclone tropical « HOLLANDA » (11 février). Le débit de crue de pointe est estimé à 70 m ³ /s (source : HYDRETTUES, 2003).
1998	Fortes pluies (3 au 5 février avec pic le 4), débit estimé à 220 m ³ /s.
1998	Fortes pluies de février (du 19 au 27 février). Le débit de crue de pointe est estimé à 600 m ³ /s au Pont Desbassyns (source : OLE).
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	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 m ³ /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.
2001	Cyclone tropical intense « ANDO » (du 06 au 07 janvier). Estimation à 500 m ³ /s.
2002	Cyclone tropical « DINA » (du 22 au 23 janvier) dont le débit de crue de pointe est estimé à 330 m ³ /s par l'ORE, réestimé à 370 m ³ /s par l'étude SOGREAH de 2011.
2002	Cyclone tropical « HARY » (12 mars).
2002	Formation le 1er mars 2002 d'un barrage naturel à la suite d'un éboulement de 500 000 m ³ en bordure est de la zone du Grand Eboulis. Ce barrage donne naissance à un lac couvrant près d'un hectare et représentant 70 000 m ³ d'eau environ. 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.

Année	Fait marquant
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 l'étude SOGREAH de 2011 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.
2005	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 l'étude SOGREAH de 2011. Elles ont généré de fortes crues sur la Rivière des Pluies qui, sans provoquer d'inondations particulières, ont érodé les berges sur des linéaires importants 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) et du chantier du Boulevard Sud (entre le Pont Neuf et le Pont de la RN2), • Erosion de la berge gauche en aval du Pont de la RN2. Celle-ci progresse peu à peu du fait de la réalisation des épis de protection de l'aéroport. Mise en service de la station CVH de mesure des niveaux au pont Domenjod
2006	Travaux d'urgence de confortement de berges entre le pont Desbassyns et le pont métallique.
2007	Cyclone GAMEDE (24 au 28 février), débit estimé à 360 m³/s.
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.
2008	Remblais sans autorisation (volume estimé 50 000 m³) d'une parcelle en bordure et en amont de la ravine Cadet par Mr. Grondin. Ces remblais empiètent sur une largeur d'1/3 dans le lit majeur de la Rivière des Pluies.
2011	Fortes pluies du 27 au 31 janvier 2011. Débit estimé à 264 m³/s.
2012	Remblais Grondin – Retrait des dépôts susceptibles d'être remaniés par les crues selon une expertise du BRGM, soit environ 20 m de large par 180 m de long et réaménagement de la berge (travaux réalisés de juillet à octobre).
2013	Cyclone Dumile du 2 au 4 janvier. Débit estimé à 163 m³/s.
2014	Cyclone « BEJISA » du 1 au 3 janvier : Le débit de pointe estimé sur la Rivière des Pluies au cours de la période est de l'ordre de 210 m³/s (CVH). Les niveaux maximaux atteints n'ont pas provoqué de débordement du cours d'eau. Les radiers d'accès à l'îlet Quinquina ont été submergés et certains endommagés. Des érosions de berges ont été constatées.
2014	Suppression de la piste du chantier de basculement des eaux
2015	Cyclone « BANSI » le 12 janvier et tempête tropicale Haliba le 9 mars. Impact modéré sur l'Ile. Débit maximal enregistré au pont Domenjod estimé à 55 m³/s le 9 mars (source Vigicrue) – Valeur douteuse (sous-estimée) au regard des années suivantes (post 2017)
2016	Tempête tropicale Daya en février. Débit maximal enregistré au pont Domenjod estimé à 15 m³/s le 10 février (source Vigicrue) – Valeur douteuse (sous-estimée) au regard des années suivantes (post 2017)
2017	Trois événements hydrologiques remarquables : 7 février débit estimé à 145 m³/s (tempête tropicale Carlos), 14 mars débit estimé à 99 m³/s, 30 août débit estimé à 110 m³/s.
2017	Travaux d'urgence de confortement de berges au droit de la RD45
2018	Fortes pluies du 6 mars 2018. Débit estimé à 260 m³/s

	Deux autres événements hydrologiques remarquables : 4 janvier débit estimé à 90 m ³ /s, 24 avril débit estimé à 130 m ³ /s
2019	Année sèche. Débit maximal enregistré au pont Domenjod au cours de l'année estimé à 88 m ³ /s
2020	Année sèche. Débit maximal enregistré au pont Domenjod au cours de l'année estimé à 54 m ³ /s
2021	Tempête tropicale Danilo les 12 et 13 janvier (débit estimé non connu à ce jour) et tempête tropicale Iman le 7 mars (débit estimé non connu à ce jour)

Tableau 1 : recensement des principaux faits marquants.

1.1.5 Inventaire des données topographiques

Le tableau ci-dessous récapitule les principales données topographiques inventoriées en 2008 par Sogreah sur la zone d'étude.

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
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/Koulinisky-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 Fév 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	

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	txv 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

Tableau 2 : inventaire des données topographiques disponibles avant 2008.

Depuis cet inventaire réalisé en 2008, d'autres données ont été acquises à l'occasion de différentes études :

- Couverture globale :
 - Levé Lidar de l'IGN réalisé en 09/2008 dans le cadre du projet LITTO3D,
 - Levé Lidar 2014
 - Levé Lidar et Orthophotoplan réalisés par Sintégra en 06/2020 pour la DEAL entre l'Océan Indien et l'aval de la confluence avec la Ravine du Bachelier ;
- Données plus éparées :
 - Secteur aval : 9 profils en travers situés au niveau des 5 épis entre l'océan et la RN2. Les données proviennent de TOPEX. Les années étudiées sont 2014, 2016, 2017 et 2018.
 - Secteur intermédiaire : 9 profils en travers situés entre le pont de la RN2 et le pont de la RN102. Les données sont issues de levés, dits post-cycloniques, fournis par la Région. Les années étudiées sont 2008, 2009, 2014, 2015, 2016, 2017 et 2018.
 - Secteur amont : 19 profils en travers situés entre le pont neuf de la RN102 et le pont de la D45. Les données proviennent de TOPEX. Les années étudiées sont 2008, tous les ans depuis 2008, 2016, 2017 et 2018.

Cette mise à jour n'est probablement pas exhaustive.

Le Tableau 3 ci-dessous propose une synthèse des éléments collectés lors de la phase 1 de l'étude.

A noter qu'une modification de la numérotation des profils a été effectuée lors de l'étude réalisée en 2020 par le cabinet de Géomètre Expert Veyland. Les données de 2020 proviennent d'un levé Lidar réalisé en juin 2020 qui a également été récupéré.

L'implantation et les numéros de profils avant et après 2020 sont détaillés sur la Figure 17 :

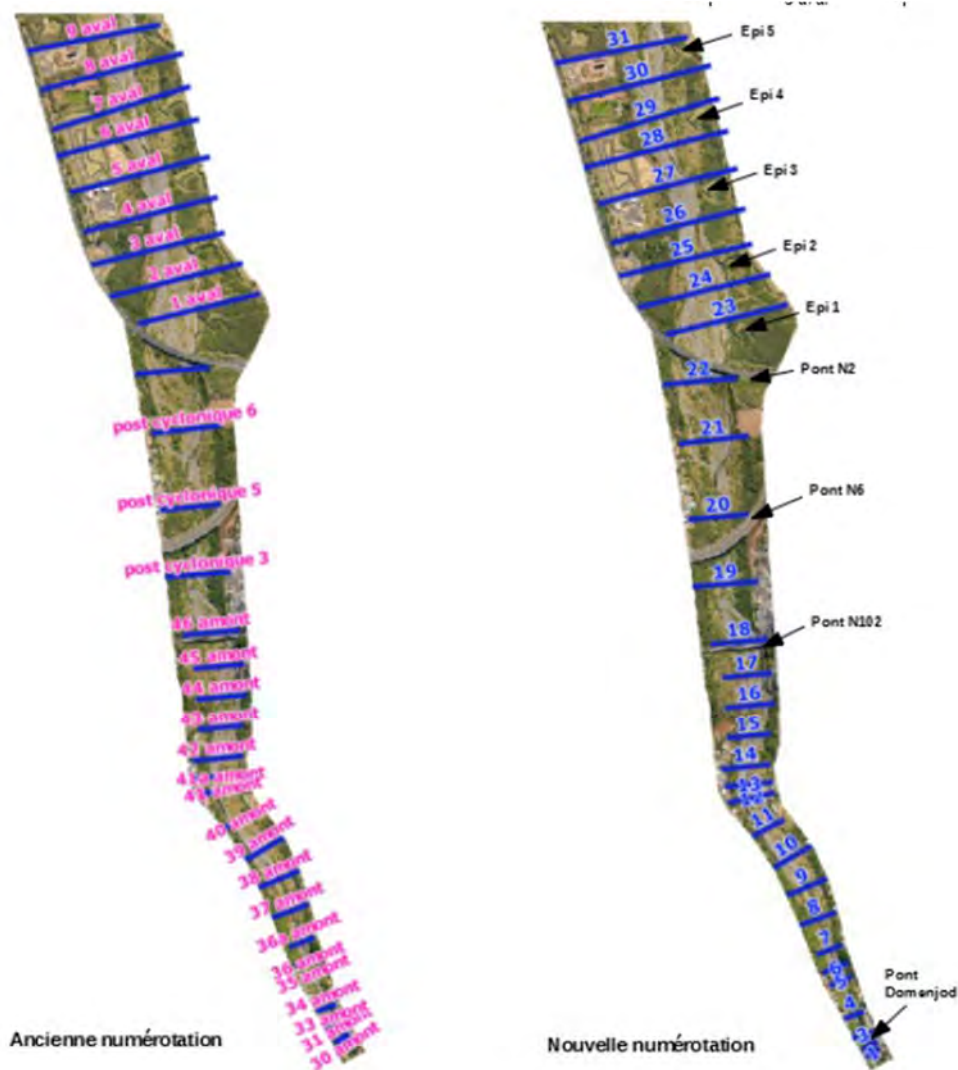


Figure 17 : numérotation des profils dans les levés réalisés entre 2008 et 2020 (Source : Rapport « Analyse topographique du lit de la Rivière des Pluies – Cerema – Décembre 2020)

Année	Dossier	Nom du fichier	Type	Contenu
2006	2006-016 MAI-ORTHOPHOTO RIVIERE DES	2006-016-mairie	tif	Orthophoto satellite georéférencé
		2006-016-mairie2	tif	Orthophoto satellite georéférencé
		2006-016-mairie3	tif	Orthophoto satellite georéférencé
	2006-016 RIVIERE DES PLUIES-1	2006-016-ortho18	dwg	Vue en plan autocad des orthophotos du dossier ci-dessus
		2006-016-restit19	dwg	Vue en plan détaillé + bathy (Pont neuf jusqu'à + 5000m)
		situation	jpg	Plan de situation 1/25000
2007	Topo2007-06-11	2007-020 16 Profil rivière des pluies	dwg	Profils , élévation des profils et profil en long des profils N°33 au profil N°45
		mars2007-020 Profil rivière des pluies	dwg	Profils et élévation des profils N° 33,35,37,39,43,44
		2007-020 16 PROFIL	txt	Fichier de point xyz des profils de l'événement de Juin 2007
		RDP evolution bras vif 2006 2007	jpg	Analyse image satellite évolution du bras sur la periode 2006-2007
2008	Topo2008-05-18	Riv_Pluies_Profils_Pt.zip	MAP	données graphiques et des informations géographiques On a pas de logiciel pour voir ces données
		2007-020 3 éme interventions surveillance de la rivière des pluies	dwg	Profils , élévation des profils et profil en long des profils N°30 au profil N°46
		listing des points 2007-020 3 éme interventions surveillance de la rivière des pluies	txt	Fichier de point xyz des profils de l'événement de Juin 2007
		RDP evolution 2006 2008	jpg	Analyse image satellite évolution du bras sur la periode 2006-2008
2009	2008.zip		shp	Donnée SIG, impossible ouvrir ces fichiers
		2007-020 4 éme interventions surveillance de la rivière des pluies	dwg	Profils , élévation des profils et profil en long des profils N°30 au profil N°46
		2007-020B profil de la rivière des pluies du 26-10-10	dwg	Profils , élévation des profils et profil en long des profils N°30 au profil N°46
		2010-042 Plan topographique des parcelles BN 468 -363	dwg	Plan de situation + topo + PLU
2010		2010-042 Plan topographique + application du PLU des parcelles BN 468-363	pdf	Plan de situation + topo + PLU
		2010-042 Plan topographique des parcelles BN 468-363	pdf	Plan de situation + topo + PLU
		2007-020B profil de la rivière des pluies du 15-06-11	dwg	Profils , élévation des profils et profil en long des profils N°30 au profil N°46
		2011-06 vue en plan RDP	pdf	Plan de situation
2011		P en long	pdf	Profil
		P30	pdf	Profil
		P31	pdf	Profil
		P32	pdf	Profil
		P33	pdf	Profil
		P34	pdf	Profil
		P36 A 38	pdf	Profil
		P39,41a,44	pdf	Profil
		p40 a 46	pdf	Profil
2012		2007-020B profil de la rivière des pluies du 12-07-12	dwg	Profils , élévation des profils et profil en long des profils N°30 au profil N°46
		2007-020B P30 à 37	pdf	Plan de situation
		2007-020B P38 à 40	pdf	Profil
		2007-020B P41a à 45	pdf	Profil
		2007-020B P46	pdf	Profil
		2007-020B Profil en long	pdf	Profil en long
2013		2007-020E PROFILS EN TRAVERS ET LONG	dwg	Profils , élévation des profils et profil en long des profils N°30 au profil N°46
		2007-020E PROFIL EN LONG	pdf	Profil en long
		2007-020E PROFIL EN TRAVERS N°30 à 36	pdf	Profil
		2007-020E PROFIL EN TRAVERS N°36a à 41	pdf	Profil
		2007-020E PROFIL EN TRAVERS N°42 a à 46	pdf	Profil
2014		2007-020F PROFILS EN TRAVERS ET LONG	dwg	Profils , élévation des profils et profil en long des profils N°30 au profil N°46
		2007-020F PROFIL EN LONG	pdf	Profil en long
		2007-020F PROFIL EN TRAVERS N°30 à 36a	pdf	Profil
		2007-020F PROFIL EN TRAVERS N°37 à 41a	pdf	Profil
		2007-020F PROFIL EN TRAVERS N°42 à 46	pdf	Profil
2015		2007-020G	dwg	Profils , élévation des profils et profil en long des profils N°30 au profil N°46
		2007-020G PROFIL EN LONG	pdf	Profil en long
		2007-020G PROFIL EN TRAVERS N°41a à 46	pdf	Profil
		2007-020G PROFIL EN TRAVERS N°30 à 36	pdf	Profil
		2007-020G PROFIL EN TRAVERS N°36a à 41	pdf	Profil
		2011-06 vue en plan RDP	pdf	Plan de situation
2016		2007-020H	dwg	Profils , élévation des profils et profil en long des profils N°30 au profil N°46
		2007-020H PROFIL EN LONG	pdf	Profil en long
		2007-020H PROFIL EN TRAVERS N°30 à 37	pdf	Profil
		2007-020H PROFIL EN TRAVERS N°38 à 42	pdf	Profil
		2007-020H PROFIL EN TRAVERS N°43 à 46	pdf	Profil
2018		1224 - RDPluies	dwg	Vue en plan avec profil 1 à 8 (1200m en aval du pont neuf et 200 en amont du pont neuf)
		2007-020J 2018	dwg	Profils , élévation des profils et profil en long des profils N°30 au profil N°46
		2014-038D 2018	dwg	Vue en plan bathy + Epi + profil en travers en aval du pont de la RN2
2020		15128_Riv.DesPluies_TA-photo_UTM40S-rgr92	dwg	Tableau d'assemblage des photos (du delta jusqu'au pont Desbassyns)
		15128_Riv.DesPluies_TA-photo_UTM40S-rgr92	pdf	Tableau d'assemblage des photos (du delta jusqu'au pont Desbassyns)

Tableau 3 : tableau récapitulatif des données topographiques collectées lors de la phase 1 de l'étude

1.1.6 Evolution du profil en long sur le cône de déjection

L'évolution des fonds le long du cône de déjection a fait l'objet de nombreuses analyses réalisées à partir des données topographiques recueillies au fil du temps. Une synthèse des évolutions observées entre 1965 et 2008 a été proposée par Sogreah en 2008 (Figure 18). Cette synthèse est illustrée par la comparaison de plusieurs profils en long relevés de 1966 à 2014 (Figure 19 à Figure 27). Elle conduit à distinguer plusieurs séquences correspondant à des tendances homogènes du point de vue des évolutions longitudinales du lit :

- **Période 1935-1966** : la rivière étant encore dans un état proche de l'état naturel et les extractions probablement marginales, le lit témoigne d'une relative stabilité.
- **Période 1966-1978** :
 - En aval du pont de la RN2, les évolutions sont très importantes avec un enfoncement du lit par érosion régressive atteignant une profondeur de -5 m. Ces évolutions résultent de l'effet des extractions massives réalisées depuis les années 1960 pour l'allongement de la piste de l'aéroport mais aussi pour les besoins plus généraux des travaux de génie civil à La Réunion.
 - En amont de la RN2, le lit est également en incision mais de manière moins marquée du fait de la présence du radier Gillot qui agit encore comme un véritable « point dur ».
- **Période 1978-1997** : cette période est caractérisée par l'occurrence en 1980 du cyclone Hyacinthe, dont les cumuls de pluie et les dégâts restent bien ancrés dans les mémoires. Sur le plan morphologique, les observations montrent qu'après la suppression définitive du radier Gillot au début des années 1990, l'incision du lit se généralise en se propageant en amont de la RN2. Cet enfoncement atteint localement -7 m par rapport à la situation observée en 1966. En 1997, le lit en aval de la RN102 atteint alors un minimum historique.
- **Période 1997-1998** : le lit connaît un rééquilibrage de son profil longitudinal qui semble s'opérer de part et d'autre du Pont de la RN102. Concrètement, il se traduit :
 - En amont de la RN102 : par une érosion régressive qui continue visiblement à se propager vers l'amont mais avec une intensité relativement contenue ;
 - En aval de la RN102 : par un ré-engraissement du lit qui conduit à un exhaussement un peu supérieur à +5 m en aval immédiat du pont et de l'ordre de +1 m autour du pont de la RN2.
- **Période 1998-2007** : cette période est caractérisée en 2002 par le déclenchement d'un éboulement en masse ayant amené, 1 mois après un événement de crue, un volume de 500 000 m³ de matériaux dans le lit de la rivière (§2.3.2.2). Ces matériaux ont été progressivement repris par les écoulements et ont fini par atteindre le cône de déjection en 4 à 5 ans environ, notamment à la faveur de 3 crues intervenues en 2006 et 2007. Cette situation a conduit globalement à un exhaussement du lit de plusieurs mètres, hormis au niveau du tronçon situé de part et d'autre de la RN102 où la tendance à l'incision s'est poursuivie.
- **Période 2007-2020** : sur cette période, les données disponibles ne sont pas présentées de manière aussi homogène que sur la période 1966-2007. Une mise à jour selon un format convenu serait donc nécessaire. Les grandes tendances observées semblent néanmoins indiquer un lit globalement en exhaussement entre 2008 et 2018, et relativement stable entre 2018 et 2020. Ce constat sera à préciser et à étayer une fois l'intégralité des données disponibles.

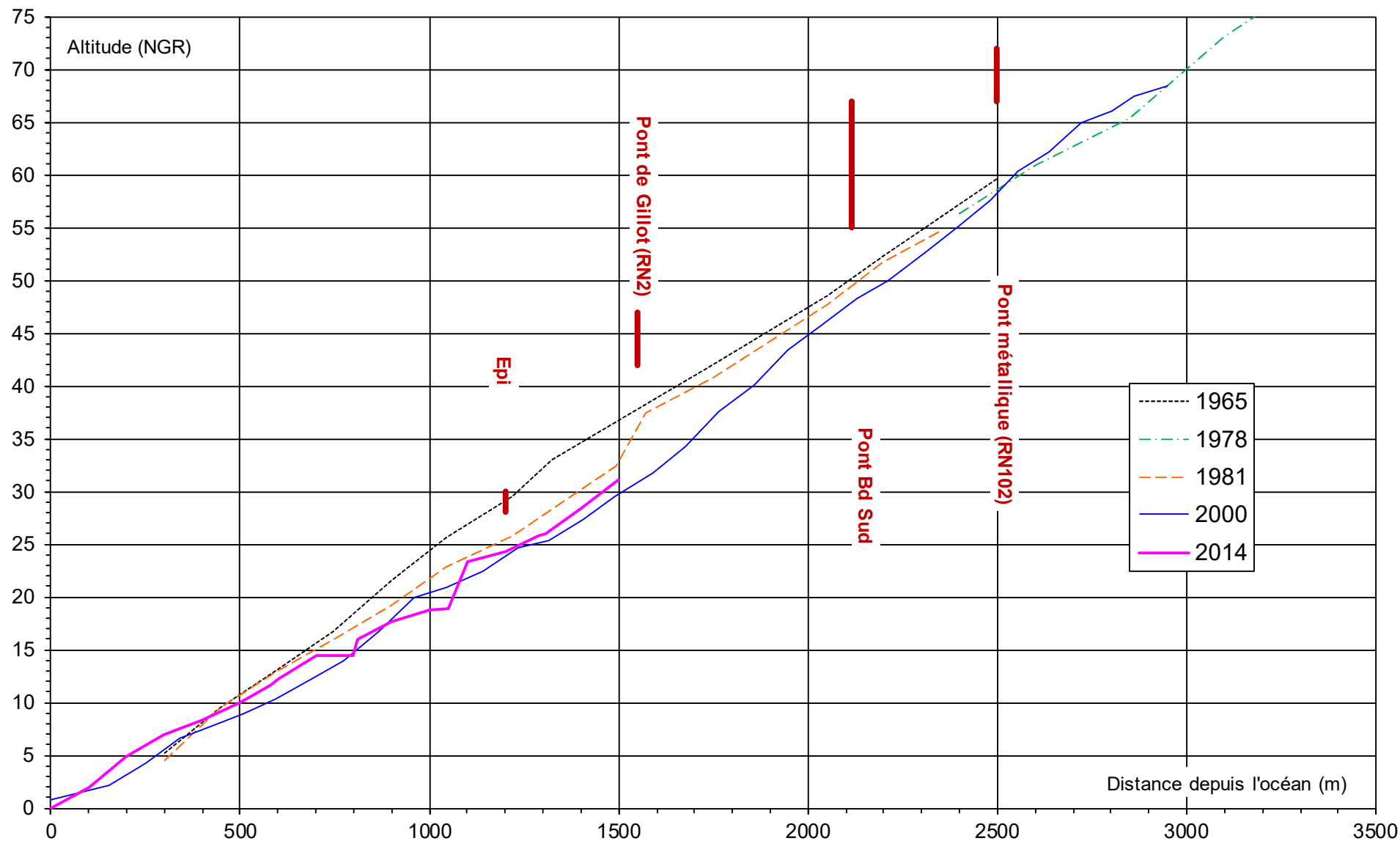
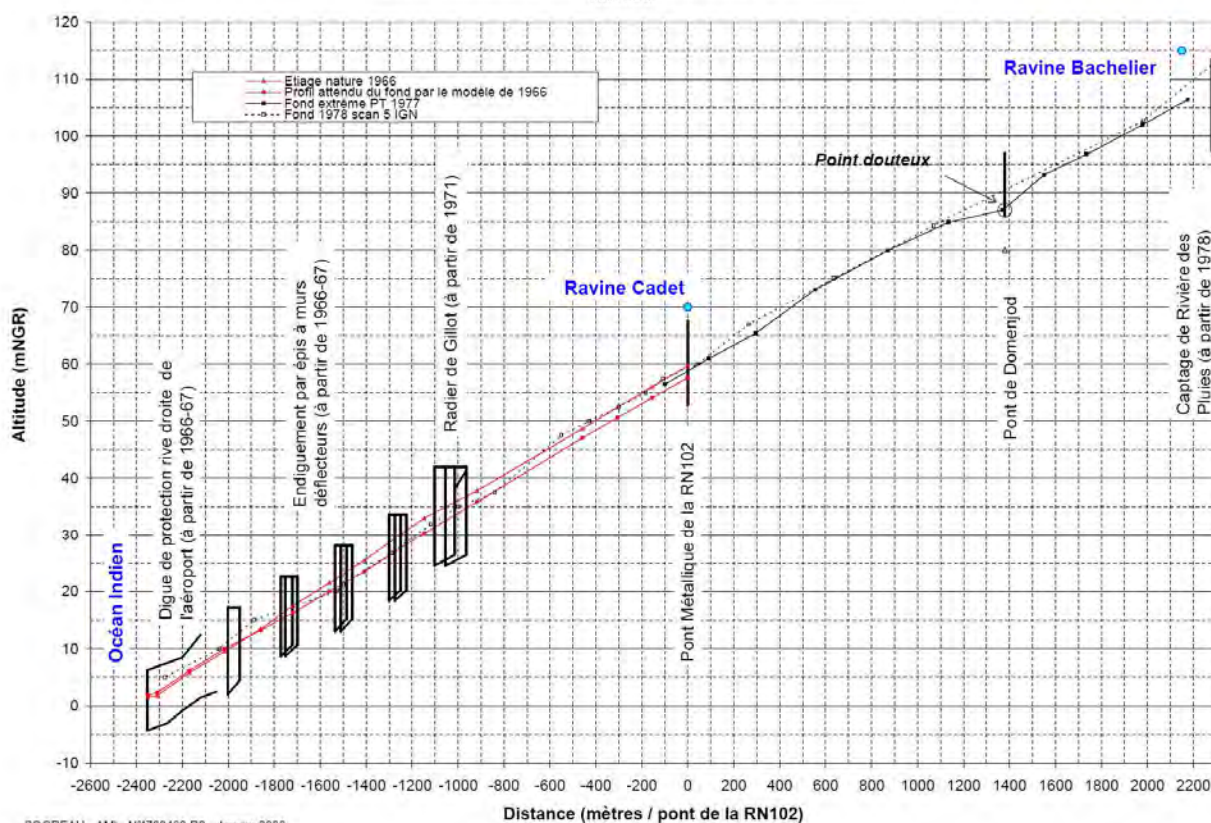


Figure 19 : profil en long de la Rivière des Pluies entre la RN102 et l'Océan Indien en 1965, 1978, 1981, 2000 et 2014 (partiel).

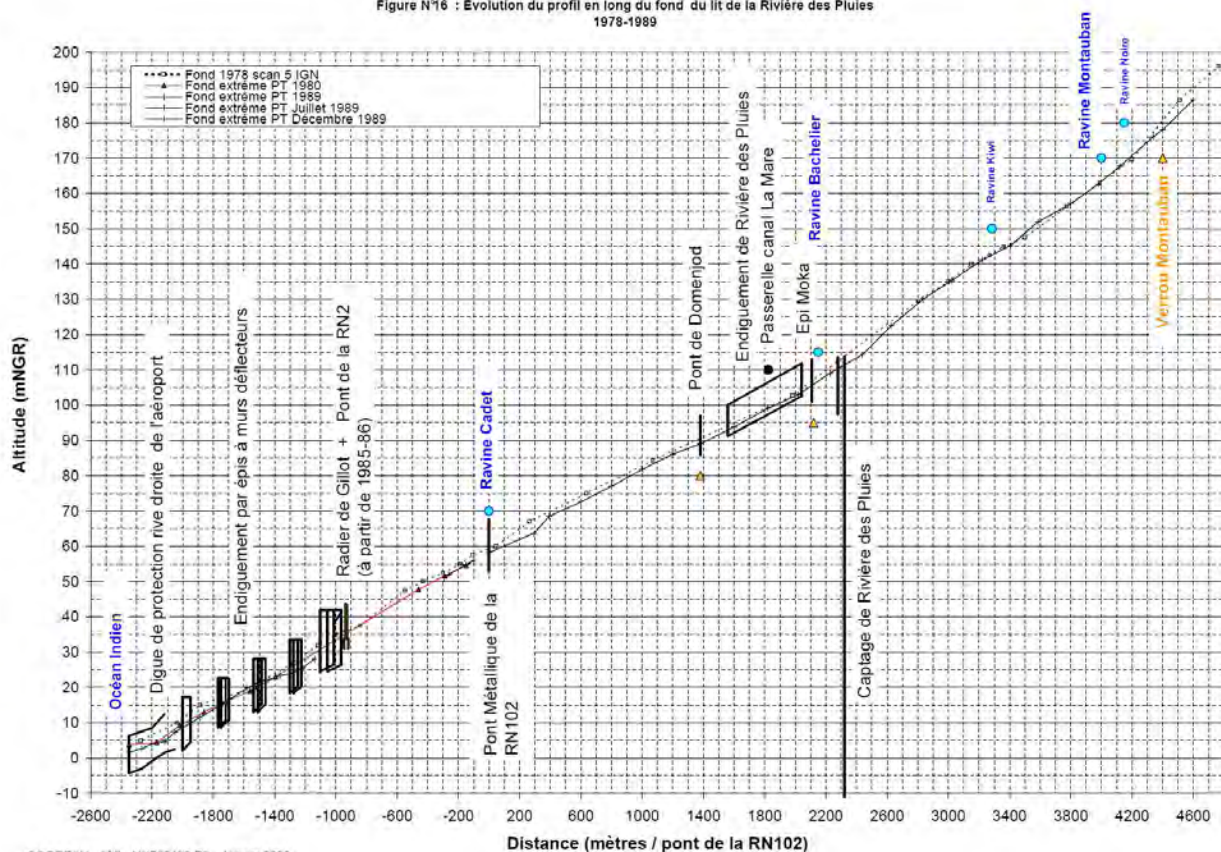
Figure N°15 : Evolution du profil en long du fond du lit de la Rivière des Pluies
1966-1978



SOGREAH - AMT - N°4700492 R2 - Janvier 2008

Figure 20 : évolution du profil en long entre 1966 et 1978 (source Sogreah).

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



SOGREAH - AMT - N°4700492 R2 - Janvier 2008

Figure 21 : évolution du profil en long entre 1978 et 1989 (source Sogreah).

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

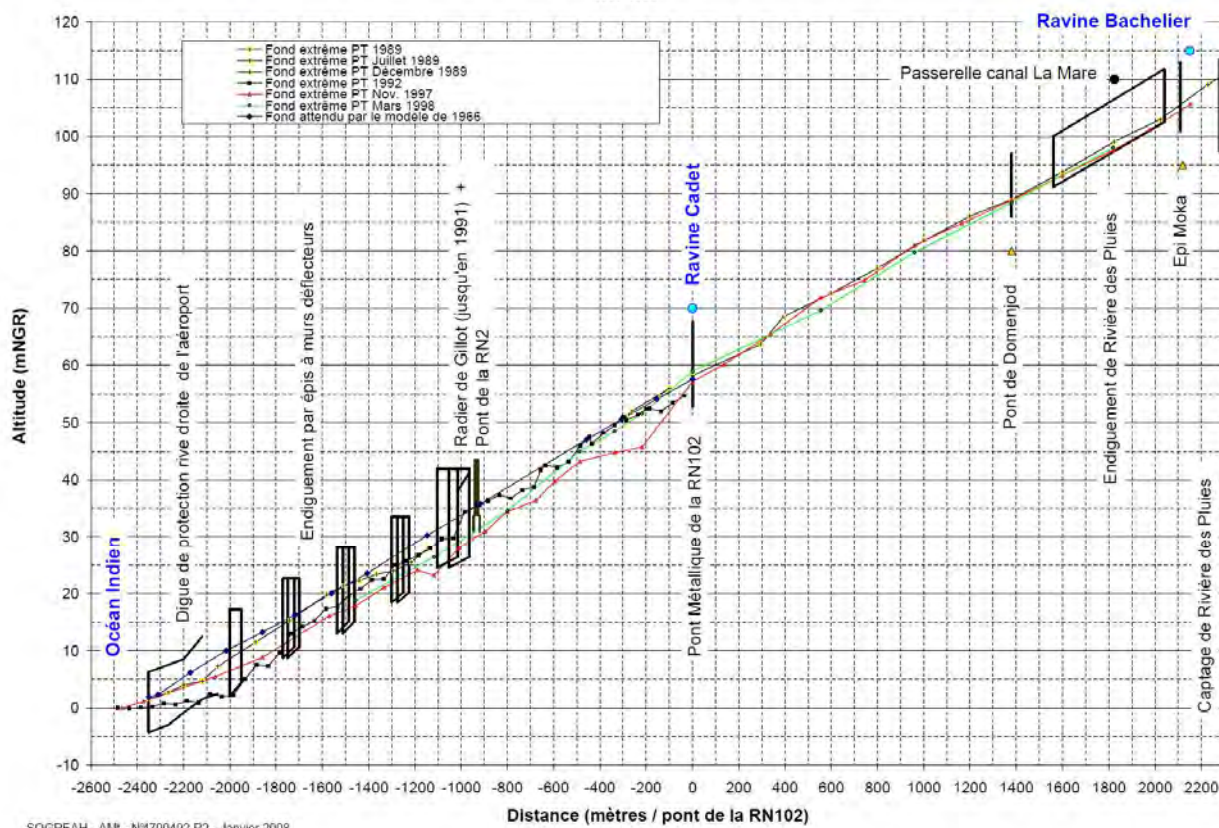


Figure 22 : évolution du profil en long entre 1989 et 1998 (source Sogreah).

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

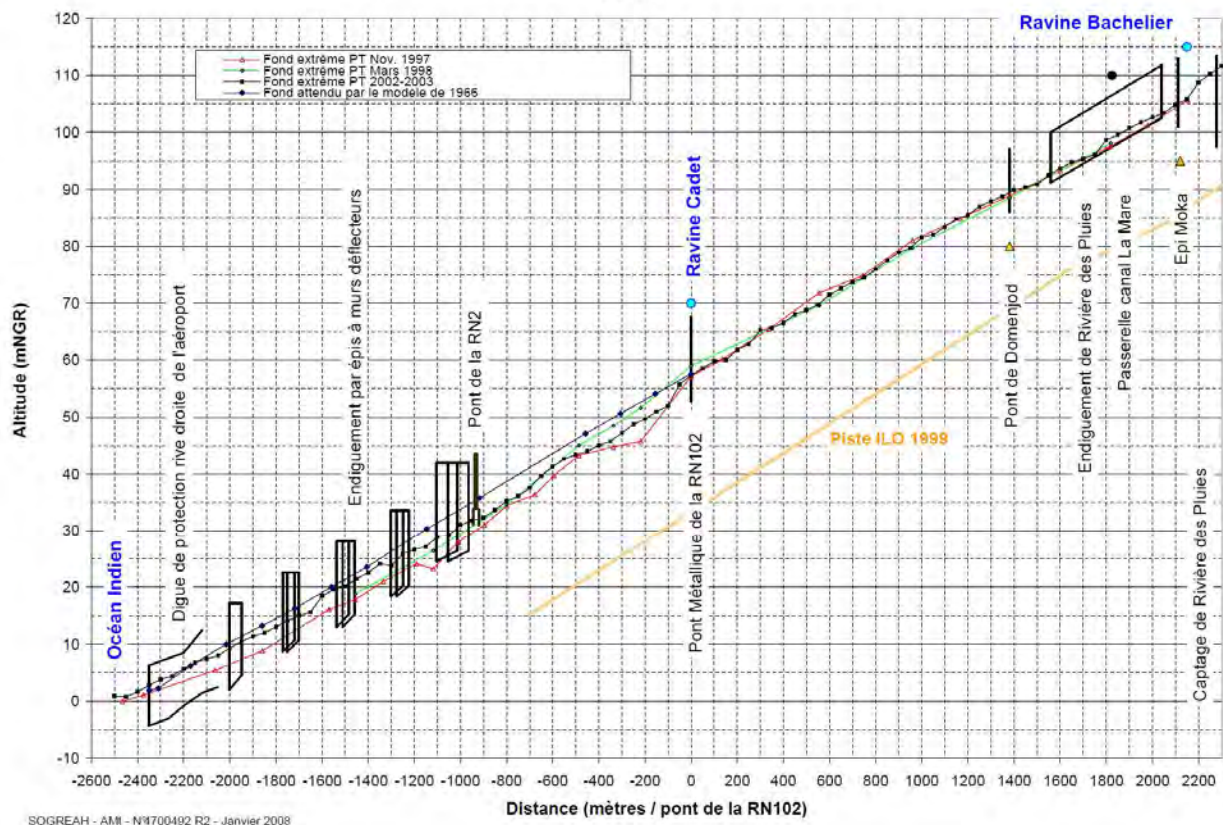


Figure 23 : évolution du profil en long entre 1998 et 2002 (source Sogreah).

Figure N19 : Evolution du profil en long du fond du lit de la Rivière des Pluies
2002-2006

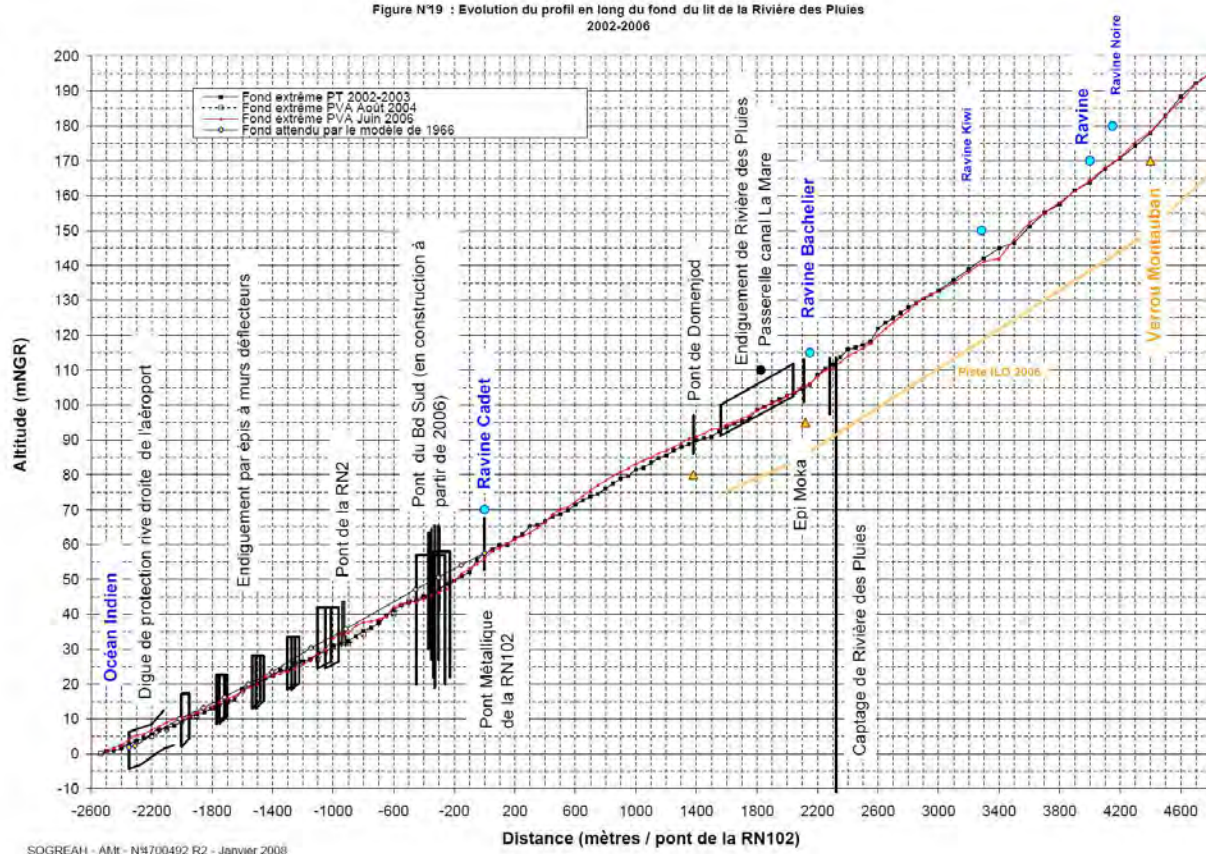


Figure 24 : évolution du profil en long entre 2002 et 2006 (source Sogreah).

Figure N21 : Evolution du profil en long du fond du lit de la Rivière des Pluies
2006-2007

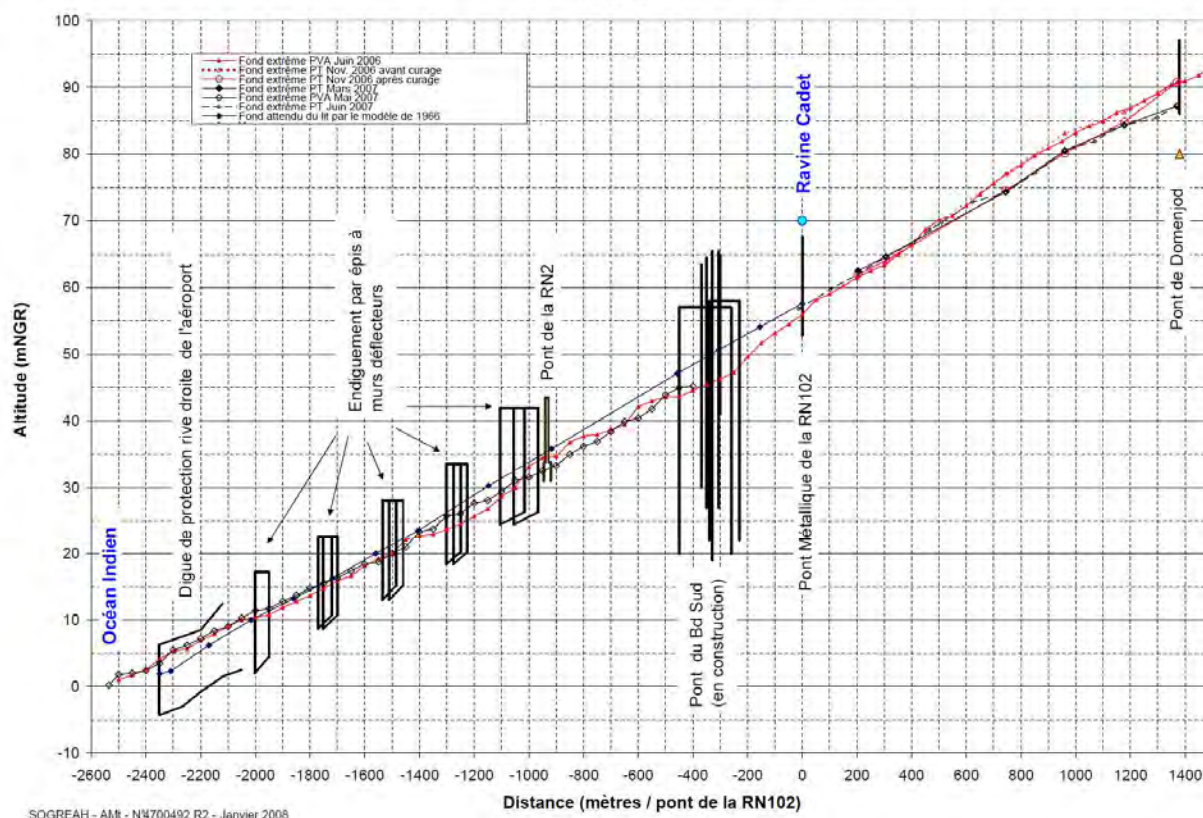


Figure 25 : évolution du profil en long entre 2006 et 2007 (source Sogreah).

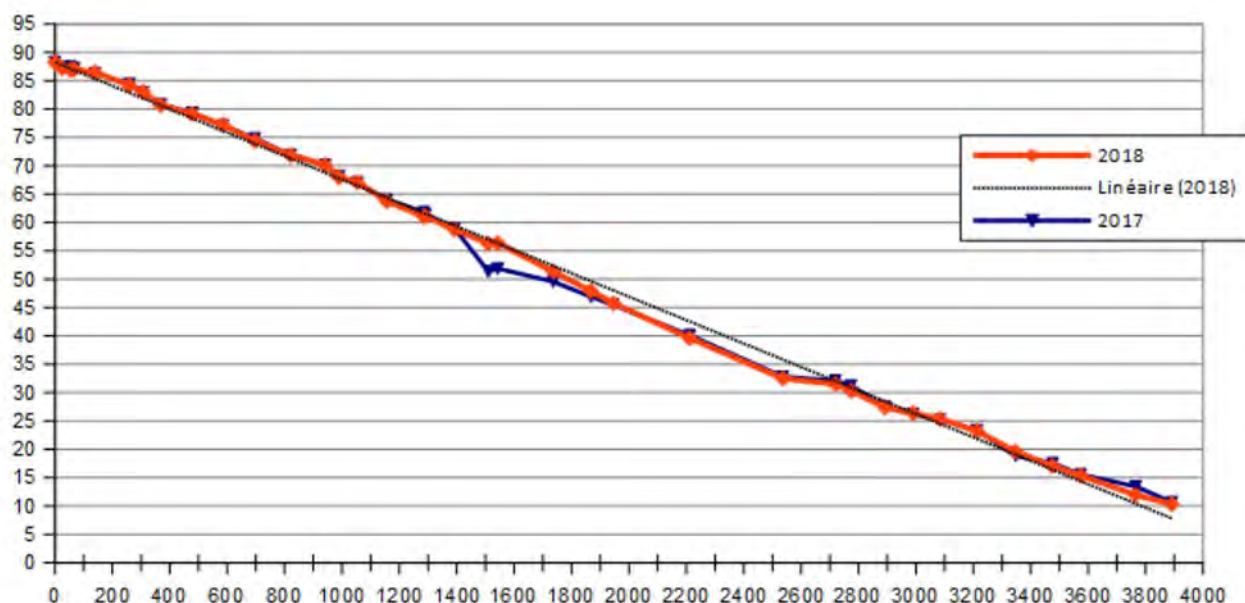


Figure 26 : évolution du profil en long du thalweg entre 2017 et 2018 (source CEREMA).

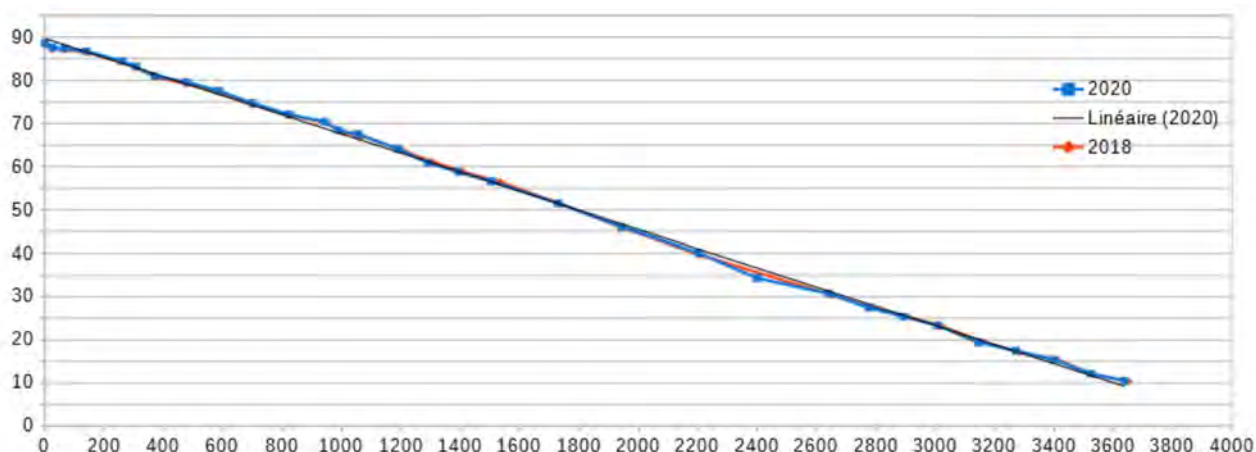


Figure 27 : évolution du profil en long du thalweg entre 2018 et 2020 (source CEREMA).

2.4 Données hydrologiques

2.4.1 Débits caractéristiques de crue

L'estimation des débits des épisodes de crues et des valeurs des crues de références est un exercice complexe en contexte torrentiel du fait de la difficulté de réaliser des mesures et d'obtenir des données fiables.

D'après le rapport de phase 1 de l'étude PGRI, les études ayant fait l'objet d'une véritable analyse hydrologique afin d'évaluer les débits caractéristiques de crues sont :

- L'étude de protection du village de la rivière des pluies contre les crues de la Rivière des Pluies (SOGREAH – Avril 1978) ;
- L'étude des ouvrages de protection sur la Rivière des Pluies – Rue et chemin Moka (SOGREAH – Décembre 1980) ;
- L'étude sur modèle réduit du franchissement de la Rivière des Pluies au niveau du Boulevard Sud de Saint-Denis (Hydrétudes / ETRM / CNR – Juin 2000) ;
- L'étude de protection contre les crues de la Rivière des Pluies – Aménagement de l'Illet Quinquina – Phase A (BCEOM – Mars 2005).

Dans le rapport de phase 2 de l'étude PGRI, un calcul des débits de crue caractéristiques est réalisé après recalage en utilisant la méthode SPEED qui donne la relation entre pluie journalière et débit réduit (exprimé en lame d'eau) de même fréquence.

Le tableau ci-dessous récapitule les débits caractéristiques de crue de la Rivière des Pluies au droit du Pont Domenjod estimés par Sogreah en 2008. La surface du bassin versant au droit de cet ouvrage est de 38.9 km².

Période de retour (année)	Débit de pointe (m ³ /s)
2	180
5	400
10	700
20	970
30	1130
50	1330
100	1610

Tableau 4 : débits caractéristiques de crue de la Rivière des Pluies au droit du Pont Domenjod

Ce rapport présente également une étude de calage d'un modèle pluie débit (fourniture des hydrogrammes au pont Domenjod). Il a été validé sur les 2 événements Gamède et Dyna et jugé satisfaisant d'après l'étude. Ce modèle doit pouvoir donner les hydrogrammes en entrée pour EVOFOND après validation des scénarios à tester.

Le Tableau 5 ci-dessous présente une synthèse des valeurs de la crue centennale estimée au droit du pont Domenjod pour les études intégrant une analyse hydrologique. Au-delà de la dispersion des valeurs des débits caractéristiques, il faut noter que la durée de crue est également à définir puisqu'il s'agit d'un élément essentiel qui conditionne les volumes de matériaux transportés.

Source	Réalisé par	Date	Q100 au Pont Domenjod en m ³ /s	Commentaire
Etude de protection du village de la rivière des pluies contre les crues de la Rivière des Pluies	SOGREAH	Avril 1978	1 080	Nouvelle estimation des débits par la méthode rationnelle (BV = 43 km ²)
Etude des ouvrages de protection sur la Rivière des Pluies – Rue et chemin Moka	SOGREAH	Décembre 1980	1 000	Réajustement des valeurs de 1978 par la méthode rationnelle
Etude sur modèle réduit du franchissement de la Rivière des Pluies au niveau du Boulevard Sud de Saint-Denis	Hydrétudes / ETRWCNR	Juin 2000	1 150	Débit de projet retenu pour l'étude 1 300 m ³ /s (> Q100)
Etude de protection contre les crues de la Rivière des Pluies – Aménagement de l'ilet Quinquina – Phase A	BCEOM	Mars 2005	1 220	
Protection contre les crues de la RdP - Phase 2	Sogreah / Biotope / BRGM	Juillet 2008	1 610	Valeur obtenue après recalage en utilisant la méthode SPEED
Etude de définition de repères de crue sur le bassin versant de la rivière des Pluies	Hydoreex	Juillet 2014	1 145	
Etude préliminaire relative au redimensionnement du pont Desbassyns sur la Rivière des Pluies	Hydrétudes	Novembre 2016	1 076	Valeur validée par le rapport d'expertise de la CVH en Avril 2016 - Débit de référence (Q100) - Bassin versant de la Rivière des Pluies

Tableau 5 : Synthèse des valeurs de la crue centennale

N.B : Il est intéressant de remarquer que la valeur de 1 300 m³/s, qui ne correspond pas à un débit caractéristique au droit du pont Domenjod, a été retenue quasi unanimement comme débit de projet pour tous les grands aménagements de la Rivière des Pluies (pont de la RN2, protections contre les crues de la Rivière des Pluies, pont du Boulevard Sud).

2.4.2 Mesures des hauteurs et des débits sur la Rivière des Pluies

Aujourd'hui, les débits de la Rivière des Pluies sont déterminés des façons suivantes :

- Au moyen de la station de mesure de la CVH Pluies-Domenjod installée sous le pont Domenjod

Cette station a été installée en Août 2006. Elle est équipée d'un radar situé dans l'axe de la voûte principale du pont. Le zéro échelle est calé à 89,46 m NGR (Relevé 2010) mais les derniers relevés topo le donne à 89,61 m NGR (un relevé complémentaire de contrôle est prévu lors d'une prochaine campagne topo).

Cette station mesure donc la hauteur d'eau et l'application d'une loi hauteur/débit permet d'estimer le débit. Cette courbe est mise à jour après chaque événement dont le débit dépasse 200 m³/s (débit considéré comme le seuil de début d'entraînement).

La courbe de tarage actuellement en vigueur est la courbe établit le 12 janvier 2021. Son actualisation a été réalisée à l'aide d'un modèle numérique 2D et de relevés topographiques.

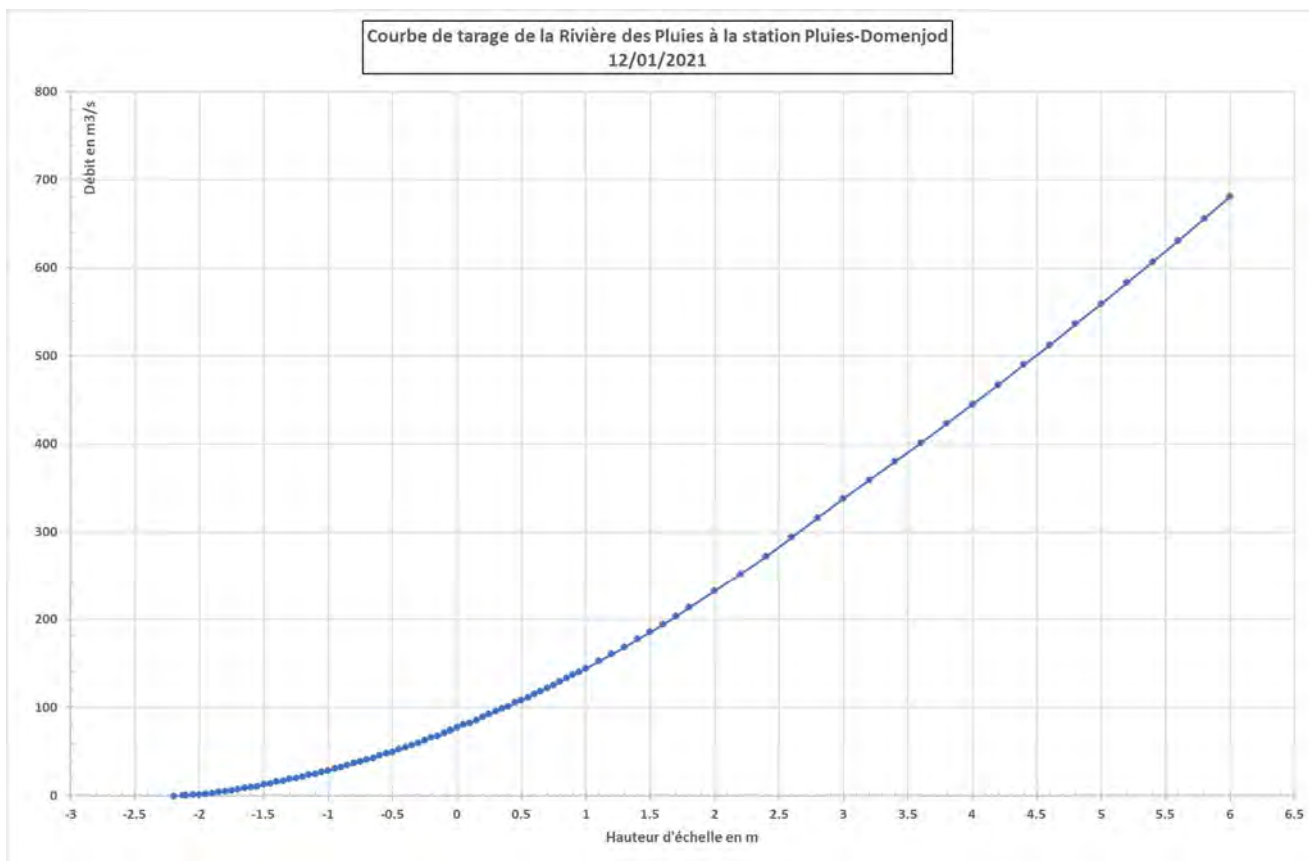


Figure 28 : Courbe de tarage en vigueur à la station Pluies-Domenjod (source : CVH)

La CVH ne disposant pas de relevé fiable antérieur à 2010 les courbes de tarages n'ont pas été actualisées pour les années 2007 à 2009.

Cette station n'est pas une station de basses eaux. Les courbes de tarage, dans leur partie basse sont ajustées par rapport aux jaugeages de l'Office de l'eau réalisés au moulinet environ 1 fois par mois 100 m en amont du pont Desbassyns. La station, de par sa situation et son positionnement, n'a qu'une très faible sensibilité aux variations des basses eaux, et les valeurs des bas débits constituent plus un ordre de grandeur qu'une valeur exacte mesurée.

Depuis le début de l'année 2021, le radar de hauteur est complété d'un radar de vitesse situé au même endroit et qui vise vers l'amont.

- Par des mesures directes réalisées par système vidéo LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry).

Ce système est développé et mis en œuvre par l'Office de l'eau Réunion et les universités de Bretagne Occidentale et de La Réunion dans le cadre du projet MEDIVI (MEsure de Débits par Imagerie Vidéo).

Une station LSPIV a été installée au niveau du pont Domenjod à proximité de la station de la CVH. Des données complémentaires sont à recueillir auprès de l'Office de l'Eau.

2.4.3 Crues marquantes

Le tableau suivant synthétise les principales crues marquantes connues sur la période 1980-2020, ainsi qu'une estimation des débits de ces événements. Ce tableau est complété par un graphe chronologique.

L'intérêt ici n'est pas la valeur en elle-même, qui est très incertaine et sera probablement à rediscuter, mais son ordre de grandeur et sa date d'occurrence. Cette approche permet d'identifier les périodes où des événements marquants sur le plan morphologique ont pu avoir lieu.

Année	Débit de pointe en m ³ /s
06/02/1977	625
27/01/1980	1050
13/02/1987	500
29/01/1989	225
13/01/1993	600
01/03/1993	350
13/12/1993	300
19/02/1998	600
03/02/1998	220
06/01/2001	500
22/01/2002	370
15/12/2004	630
24/03/2005	630
17/02/2006	800
05/03/2006	690
24/02/2006	360
27/01/2011	264
01/01/2014	210
06/03/2018	260

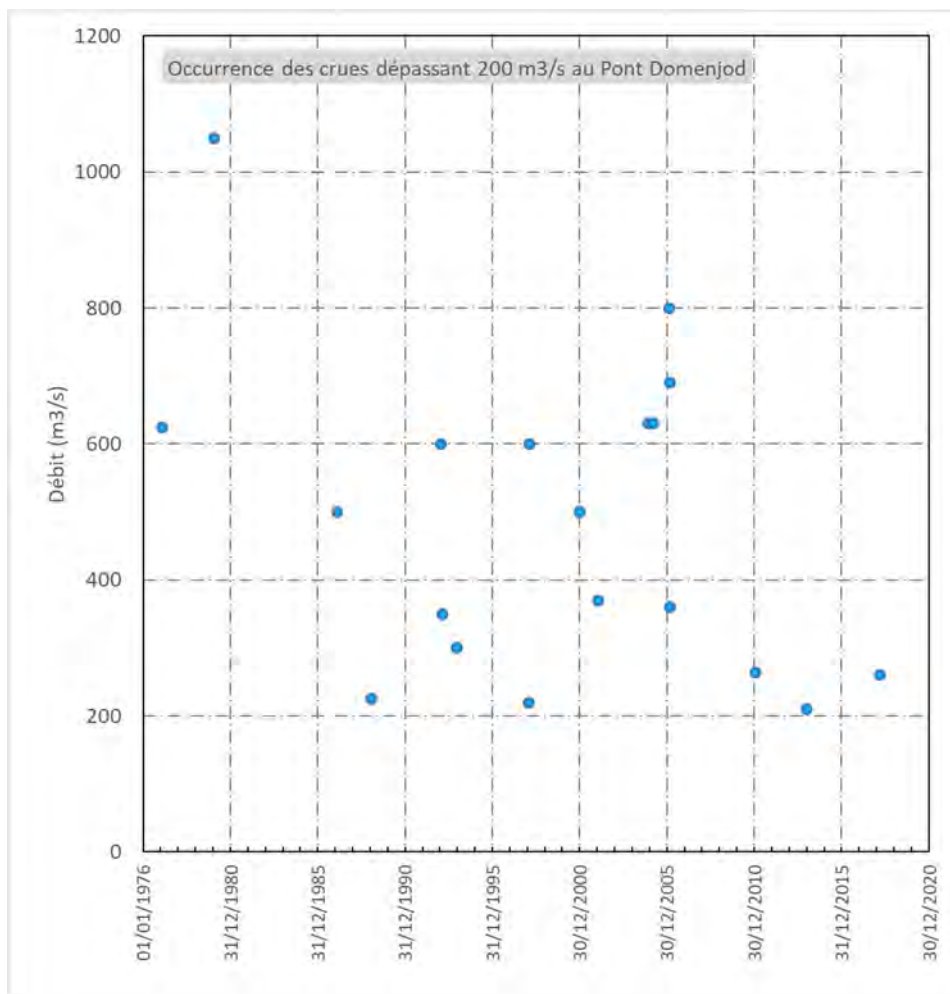


Tableau 6 : chronogramme des crues de la Rivière des Pluies dépassant 200 m³/s au Pont Domenjod.

Ces données ont également été présentées un peu différemment sur le graphe présenté Figure 29 ci-dessous.

Tous ces éléments permettent de tirer plusieurs enseignements :

- Au cours des 40 dernières années, la plus forte crue connue est celle qui a été provoquée par le cyclone Hyacinthe en 1980. Sa période de retour est comprise entre 20 et 30 ans (sous réserve de la pertinence du débit réestimé en 2008).
- Sur cette même période de 40 ans, la Rivière des Pluies a connu :
 - 1 crue de période de retour comprise entre 10 et 20 ans (lors du cyclone Diwa en mars 2006) et même 1 crue qui s'en est très fortement approché (même année en février) ;
 - 7 crues de période de retour comprise entre 5 et 10 ans ;
 - 9 crues de période de retour comprise entre 2 et 5 ans ;
- Les années 1993, 1998 et 2006 ont été particulièrement actives sur le plan hydrologique avec plusieurs événements se succédant à intervalles rapprochés.
- Depuis 2008, l'hydrologie a plutôt été assez calme, ce qui est cohérent avec le niveau relativement faible des évolutions morphologiques constatées lors de la dernière décennie, comparativement à celles caractérisant la période 1978-2008.

Cette chronique permet aussi d'imaginer un premier scénario hydrologique en vue de modéliser l'effet à long terme d'une succession de crues significatives d'un point de vue morphologique.

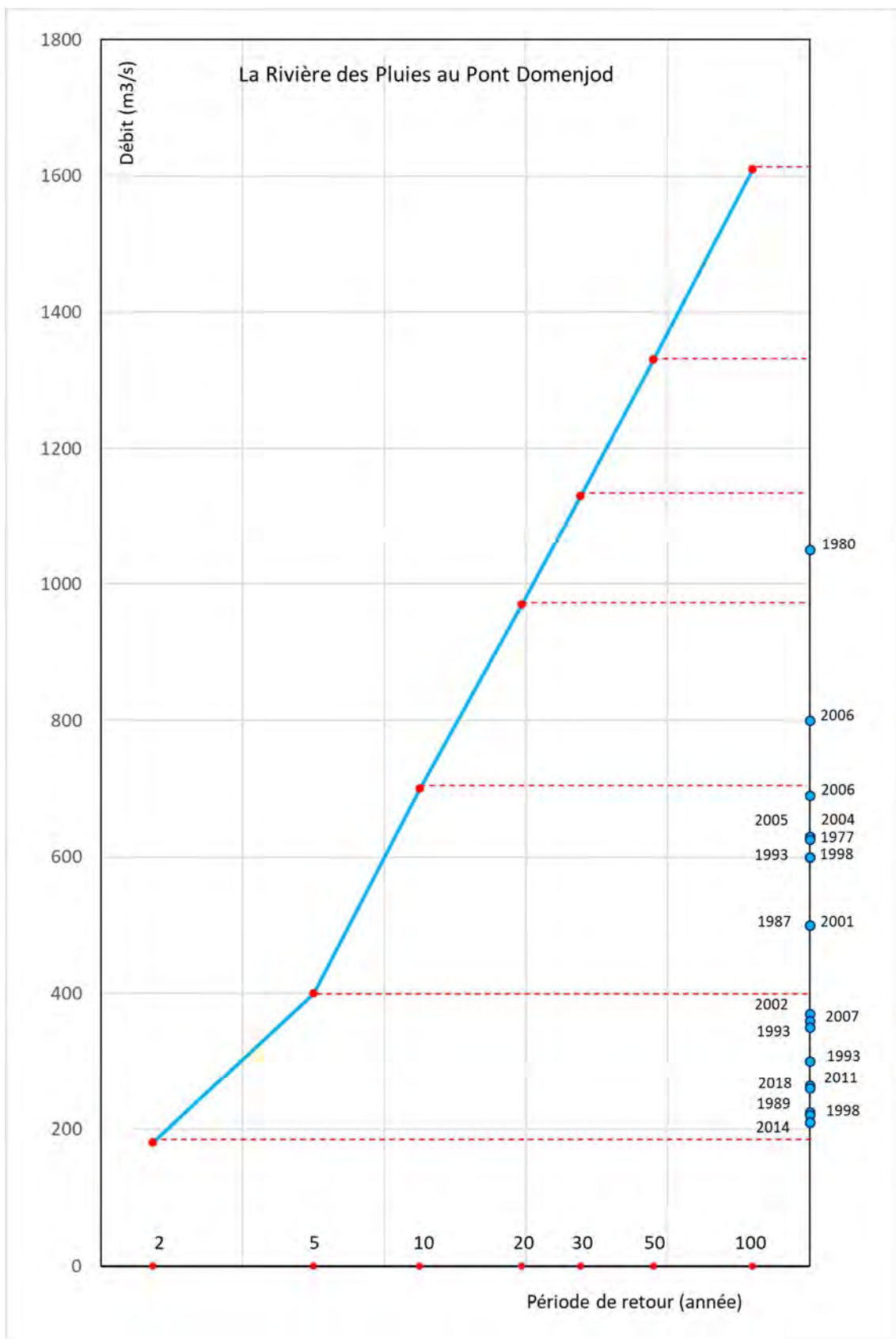


Figure 29 : rareté des crues de la Rivière des Pluies dépassant 200 m³/s au Pont Domenjod.

2.5 Données hydro-sédimentaires

2.5.1 Granulométrie

Le rapport de phase 2 de l'étude PGRI présente une synthèse des granulométries réalisées depuis 1966.

Ces dernières ont toutes été réalisées exclusivement à l'aval de la confluence de la Ravine Bachelier et les dernières mesures disponibles datent de l'étude Hydrétudes/ETRM/CNR de 2000. Entre temps, l'événement du Grand Eboulis a eu lieu avec les conséquences que l'on sait sur les apports et la morphologie du lit.

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 gauche)	Amont du pont de Domenjod (PK 1380)
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 côté	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)

Tableau 7 : bilan des granulométries réalisées entre 1977 et 2000 à l'aval de la confluence de la Rivière des Pluies et de la Ravine Bachelier (source Sogreah)

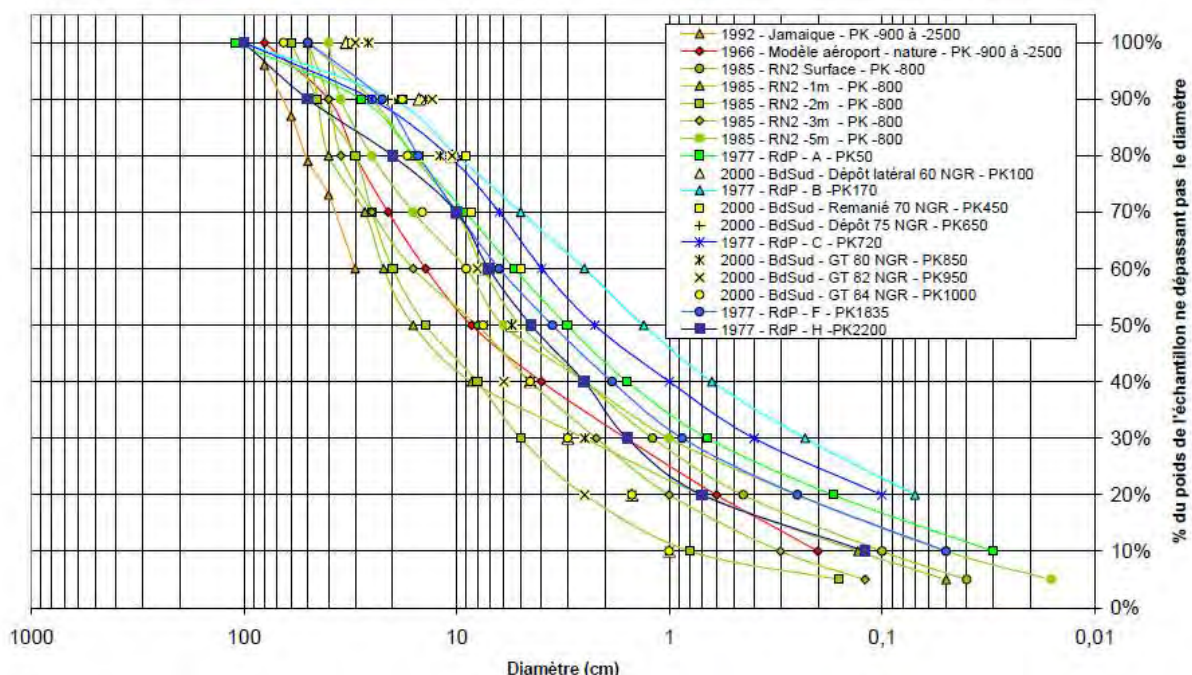


Figure 30 : courbes granulométriques des prélèvements réalisées entre 1977 et 2007 à l'aval de la confluence de la Rivière des Pluies et de la Ravine Bachelier (source Sogreah)

On constate une hétérogénéité importante du D₅₀ (qui varie entre 2 et 15 cm) sur l'ensemble des analyses et quelques « incohérences » puisque certains prélèvements réalisés sur les secteurs aval montrent des matériaux plus grossiers que d'autres réalisés sur les secteurs amont.

Ces incohérences peuvent s'expliquer par la variabilité de la spatialisation et des modes de prélèvements (comptages de surface, analyses blocométriques et granulométriques à partir de sondages mécaniques).

On retrouve cette disparité dans les courbes granulométriques retenues pour les 4 études sur modèle physique (ce qui au passage impacte nécessairement les volumes transportés mesurés au cours des essais) comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

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

Tableau 8 : granulométries retenues au cours des études sur modèles physique

Les données collectées ne permettent donc pas de retenir aujourd'hui une granulométrie représentative des matériaux sur le secteur aval.

D'autre part et comme évoqué précédemment, il n'y a aucune donnée disponible sur les matériaux constitutifs du lit à l'amont de la confluence entre la Rivière des Pluies et la Ravine Bachelier. Ces données seraient utiles pour évaluer la capacité des apports venant de l'amont et la nature des matériaux charriés au cours des crues.

Il est donc préconisé de réaliser de nouvelles mesures granulométriques par comptage de surface :

- Sur le secteur entre la confluence avec la Ravine Bachelier jusqu'au secteur du Grand Eboulis selon les conditions d'accès ;
- Sur le secteur d'étude entre le pont Domenjod et l'océan afin d'actualiser les données collectées jusqu'en 2000 et d'avoir une meilleure idée des matériaux en place sur le secteur d'intérêt.

Les sites et le nombre de mesures à effectuer sont à préciser.

2.5.2 Lois débit solide en fonction du débit liquide et quantification des apports solides

Les lois donnant le débit solide en fonction du débit liquide ont été déterminées à partir des quatre études sur modèle physique réalisées :

- Un 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 – 1966 ;
- Un 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 – 1982 ;
- Un 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 - 1983 ;
- Un 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) pour dimensionner les fondations du pont du Boulevard Sud - 2000.

Le rapport de phase 2 de l'étude du PGRI cale des lois affinées sur les relations débit solide/débit liquide données dans les rapports des études réalisées sur modèles physiques.

Les lois utilisées lors des études de 1966, 1982 et 1983 sont très similaires, elles prennent en compte un débit de début d'entraînement de 200 m³/s (valeur seuil en dessous de laquelle on considère qu'il n'y a pas de transport par charriage).

La loi utilisée lors de l'étude de 2000 est déduite de l'hydrogramme "court" (d'une durée de 18 heures, une durée de montée de 7h et un débit de pointe de 1 300 m³/s) mis en œuvre au cours des essais qui conduit à un débit de début d'entraînement de 95 m³/s.

Une comparaison graphique de ces 4 relations est présentée ci-dessous :

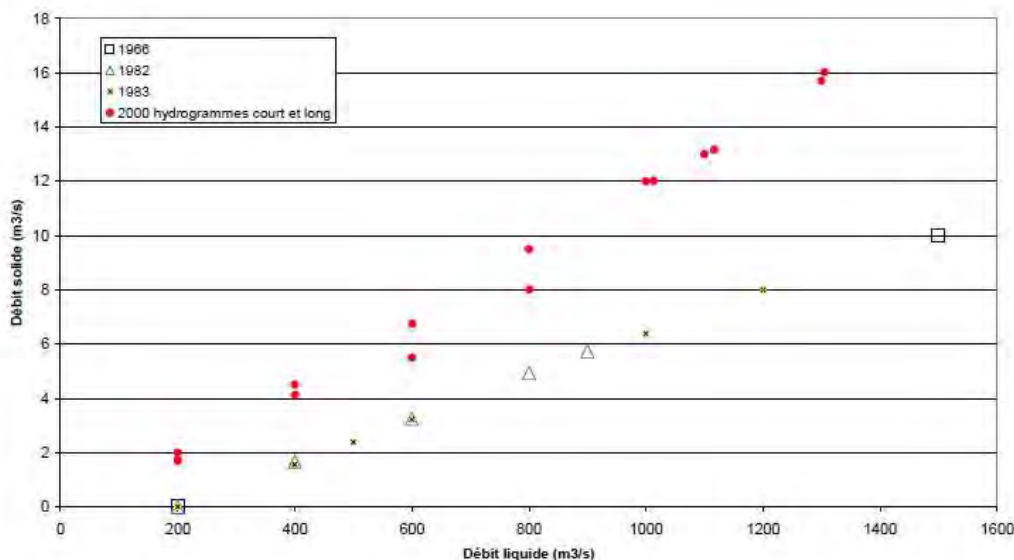


Figure 31 : comparaison des lois débit solide/débit liquide mises en œuvre lors des études sur modèle physique (source Sogreah)

On constate un écart conséquent entre les lois retenues sur un même secteur, la loi utilisée au cours de l'étude 2000 conduisant à quasiment 2 fois plus de débit solide pour un même débit liquide.

Toutefois, la comparaison des lois d'alimentation solide ne peut pas être effectuée sans prendre en compte les éléments survenus sur la période écoulée entre les différentes études et en particulier les extractions massives réalisées dans la partie aval de la Rivière des Pluies sur la période 89-98 qui ont modifié de manière conséquente le profil en long.

Une comparaison entre la loi du modèle de 1983 avec les formules de Lefort (2005) et de Meyer Peter (bien que cette dernière ne soit pas particulièrement adaptée aux rivières torrentielles) a également été effectuée et montre des écarts de l'ordre de 30 à 40 % sur le débit solide pour un même débit liquide.

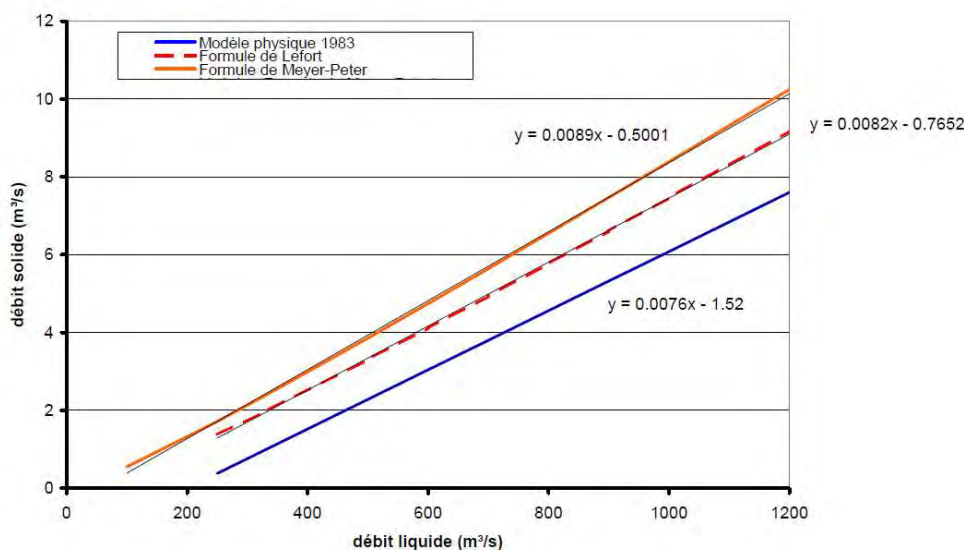


Figure 32 : comparaison entre la loi Débit solide/débit liquide utilisée sur le modèle physique de 1983 avec les formules de Lefort et Meyer Peter

Le tableau ci-dessous présente les évaluations des apports solides a été effectuée dans différentes études :

Source	Auteur - Année	Apports
Etude diagnostic du TS et de l'évolution du fond du lit de la Rivière des Pluies	BRGM Décembre 2003	Apport de 30 000 T soit 15 000 m ³ pour une crue décennale (débit non précisé) Estimation réalisée sur la base des études sur modèle de Sogreah de 1966 et 1982
		Apport de 120 000 T soit 60 000 m ³ pour une pointe de débit de 600 m ³ /s durant 10h entre deux passages à 200 m ³ /s (Hyacinthe)
Schéma d'extraction de la Rivière des Pluies	Sogreah, LCHF 1988	Transport solide total de la RdP évalué à 3 300 T/km ² / soit 87 000 T/an ou 43 000 m ³ /an pour un BV de 26.5 km ²
Boulevard Sud de Saint Denis - Etude sur modèle réduit du franchissement de la Rivière des Pluies	Hydretudes/ERTM/CN 2000	Apport de 360 000 m ³ pour un hydrogramme représentant une Q100 : débit de pointe de 1 300 m ³ /s, temps de montée 7h, durée totale 18h, pente de 2.2%. L'apport est de 390 000 m ³ pour le même hydrogramme avec une pente de 2.3%
Etude PGRI	Sogreah 2008	Apports calculés par application de la formule de Lefort dans le programme Cavalcade pour plusieurs évènements : - Dina (403 m³/s) – 223 500 m³ - Crue de décembre 2004 (489 m³/s) – 37 500 m³ - Crue de février 2006 (811 m³/s) – 282 500 m³ - Diwa (717 m³/s) – 296 500 m³ - Gamède (400 m³/s) – 308 000 m³ Ces volumes correspondent à la somme des apports de matériaux des 6 principaux BV : Grands Eboulis, Emmanuel-remparts, Emmanuel-ilets, Montauban, Sèche et Cadet

Tableau 9 : évaluation des apports en matériaux sur la Rivière des Pluies

Les apports étant dépendants du débit de pointe, de la durée de l'évènement, de la granulométrie des matériaux et de la pente des tronçons considérés, il est impossible d'extraire une tendance sur la simple base de ces données.

Il est donc nécessaire de poursuivre cette analyse afin de déterminer la loi hydro-sédimentaire la plus adaptée pour les calculs à venir avec en particulier la mise en œuvre de formules plus récentes (Recking 2016-2017, Lefort 2015...) et de déterminer les apports sur le tronçon d'étude pour les scénarios hydrologiques envisagés.

3 Visite de terrain et échanges avec les parties prenantes

Avant-propos : Compte-tenu des conditions sanitaires, il est difficile de planifier un déplacement sur l'Ile à ce jour. S'il nous paraît indispensable de réaliser une visite de terrain, nous pensons que celle-ci peut être décalée en dernier recours jusqu'au démarrage des calculs avec EVOFOND.

Dans le cas où la situation ne s'améliorerait pas d'ici là, une solution « dégradée » sera envisagée avec une sous-traitance des observations et mesures à réaliser à des personnes sur place.

3.1 Objectifs et intérêts

Une visite de terrain est nécessaire afin (1) de prendre connaissance plus en détail du secteur d'étude et (2) de réaliser des observations spécifiques. Elles concernent principalement :

- Le faciès de la Rivière des Pluies sur le secteur d'étude, voir plus en amont ;
- La granulométrie des alluvions dans les différents secteurs de la Rivière (chenaux actifs, plages de dépôts, terrasses) ;
- L'état des ouvrages de protection ;
- L'état du lit et des berges ;
- Les conditions d'affouillement en pieds des ouvrages existants ;
- La situation et les équipements de la station hydrométrique.

En ce qui concerne les données granulométriques, une première lecture des rapports permet d'obtenir quelques éléments sur les matériaux en place mais les dernières données datent d'une vingtaine d'années (étude CNR de juin 2000). La visite de terrain sera l'occasion de réaliser de nouvelles granulométries, en particulier dans les secteurs ayant connu des évolutions morphologiques significatives depuis l'étude CNR réalisée sur modèle réduit physique en 2000.

Ces relevés seront réalisés par comptage, à la fois au niveau de la surface mais aussi de la couche de subsurface débarrassée des éléments constituant l'armature. Les sites de prélèvement seront judicieusement choisis en fonction de la lecture morphologique du lit et de l'objectif ultime de la mesure : conditions d'écoulement, résistance du lit, flux solides transportés...

Cette méthode a déjà été appliquée à la Réunion dans le cadre des expertises morphologiques et des études sur modèle réduit physique réalisées par CNR sur la Rivière des Galets.



Figure 33 : Granulométrie réalisée par comptage de surface dans le lit de la Rivière des Galets - CNR

Ce déplacement sur l'Ile donnera également l'opportunité de rencontrer et d'échanger avec les gestionnaires de la rivière et des équipements qui y sont installés, ainsi que les différentes parties prenantes de l'étude de dangers :

- DEAL (Cellule de Veille Hydrologique, Service de Prévention des Risques Naturels et Routiers) ;
- Office Réunionnais de l'Eau ;
- Laboratoire GéoSciences Réunion – IPGP/Université de la Réunion ;
- CINOR.

L'annexe 1 du rapport PGRI de 2008 comporte un compte rendu de la visite de terrain réalisée en le 13/10/07 avec des riverains. Ce documents intègre des éléments historiques intéressants en ce qui concerne les évolutions morphologiques observées depuis une vingtaine d'années et sur la stabilité du lit et des berges.

3.2 Synthèse des échanges avec les parties prenantes

4 Etude des affouillements en pieds des structures de protection

5 Etude des évolutions systématiques à plus ou moins longs termes

5.1 Présentation du code EVOFOND

EVOFOND est un modèle numérique développé par le service RTM de l'ONF depuis 2018 pour prendre la suite d'outils aux capacités un peu plus limitées déployés depuis le début des années 2000 au sein de ce service. EVOFOND est un modèle 1D codé en langage Python et interfacé sous Excel. Il permet la modélisation 1D de l'évolution systématique du niveau du fond de lit sous l'effet d'écoulements torrentiels avec charriage ou charriage hyper concentré. Il couple :

- Pour le transport solide : l'équation de conservation de la masse d'Exner, les débits solides pouvant être calculés avec de nombreuses formules de transport solide par charriage adaptées aux cours d'eau à forte pente (Rickenmann, Recking, Lefort...) ;
- Pour l'hydraulique : un calcul de hauteur d'écoulement en régime critique sans propagation d'onde de crue, la hauteur critique étant une approximation acceptable en contexte torrentiel de la hauteur d'écoulement dans le domaine des rugosités moyennes.

L'originalité du code par rapport aux codes existants est liée à la prise en compte de deux aspects sur les processus de dépôt ou érosion :

- (a) Les points ou tronçons non affouillables, ce qui permet de limiter l'incision du fond du lit pour prendre en compte des points fixes comme les barrages de correction torrentielle ou des affleurements de substratum ;
- (b) Les rétrécissements et élargissements brusques. Les débits solides sont calculés avec la pente de la ligne d'énergie et non la pente du fond, ce qui permet de modéliser plus fidèlement les évolutions altitudinales du fond de lit dans un contexte où les variations de largeur du lit peuvent potentiellement être brutales.

Malgré la relative simplicité des hypothèses hydrauliques réalisées, le test du modèle EVOFOND sur un jeu de données provenant d'essais sur modèle réduit physique a montré que la hauteur maximale de dépôt à l'amont de contractions à fond fixe était modélisée avec une erreur moyenne de ± 20 % qui est considérée comme acceptable au vu des incertitudes inhérentes au contexte torrentiel.

Le modèle EVOFOND a déjà été appliqué avec succès pour l'étude de plusieurs torrents et rivières torrentielles du nord des Alpes françaises. Il constitue un outil de calcul très efficace qui permet d'enrichir les données de réflexion de l'expert par la simulation de scénarios permettant de tester plusieurs hypothèses ou combinaisons de conditions aux limites.

5.2 Données nécessaires à la mise en œuvre d'EVOFOND

5.2.1 Hydrogramme

5.2.2 Sédimentogramme

5.2.3 Granulométrie

5.2.4 Bathymétrie

5.2.5 Paramétrage des calculs

5.3 Scénarios envisagés

Une première phase de calage sédimentaire du modèle doit être réalisée sur la base de chroniques existantes (données hydrologiques et topographiques) afin de déterminer la sensibilité du modèle aux différents paramètres (loi de transport, densité des profils, discrétisation des hydrogrammes, méthodes de résolution, conditions limites aval...)

Le nombre de scénarios résulte de la combinaison entre configurations topographiques et hydrologiques. En ce qui concerne ce dernier paramètre, CNR estime qu'il est autant primordial de tester des hydrogrammes de crues de durées plus ou moins longues autour d'une valeur standard que de moduler la valeur maximale de la crue, le paramètre « durée d'événement » ayant un impact souvent au moins aussi prépondérant que le débit de pointe.

Le tableau ci-après est une première proposition des scénarios à simuler. Elle intègre la simulation d'une douzaine de scénarios. Bien entendu, ces scénarios sont à ajuster en concertation avec le Maître d'Ouvrage pour s'assurer que tous les besoins essentiels identifiés par le commanditaire de l'étude sont bien couverts.

Situation topo à To → Scénario hydrologique ↓	Actuelle - To (Juillet 2020)	Equilibre futur à To + 20 ans	Reprise littorale considérée	Objectif	Nombre minimal de simulations
To+10 ans	X		Oui	Définition de la situation d'équilibre à To + 10 ans	1
To+20 ans	X		Oui	Définition de la situation d'équilibre à To + 20 ans	1
Scénario type crue morphogène (Q2 ou Q5)	X		Non	Scénario crue morphogène standard - Topo juillet 2020	1
	X		Non	Scénario crue morphogène longue - Topo juillet 2020	1
		X	Non	Scénario crue morphogène standard – Topo équilibre à To + 20 ans	1
Scénario type crue de référence PPRI (Q100)	X		Non	Scénario crue centennale standard – Topo juillet 2020	1
	X		Non	Scénario crue centennale longue - Topo juillet 2020	1
		X	Non	Scénario crue centennale standard – Topo équilibre à To + 20 ans	1
Scénario type crue de référence EDD (Q1000)	X		Non	Scénario crue millénale standard – Topo juillet 2020	1
	X		Oui	Scénario crue millénale standard – Topo juillet 2020	1
	X		Non	Scénario crue millénale longue - Topo juillet 2020	1
		X	Non	Scénario crue millénale standard – Topo équilibre à To + 20 ans	1
				Nombre total de simulations :	12

Tableau 10 : Proposition de scénarios envisagés dans le cadre de l'étude

Plusieurs points sont à souligner :

- Pour les évolutions à long moyen/long terme, il est indispensable de tenir compte, même de manière simplifiée, du potentiel de reprise des apports issus de la Rivière des Pluies par les courants littoraux. Les analyses menées par CNR sur la Rivière des Galets montrent en effet que les crues peuvent conduire à des avancées significatives, mais néanmoins temporaires, du delta vers la mer. Sur le moyen/long terme, le trait de côte oscille autour d'une position d'équilibre qu'il est nécessaire de préciser. Pour tenir compte de ce fonctionnement, nous considérerons plusieurs hypothèses encadrantes paraissant réalistes concernant les conditions limites aval.
- Deux situations topographiques seront également prises en compte : d'une part la topographie représentative de l'état actuel ; d'autre part, une topographie théorique issue de la modélisation des évolutions morphologiques à long terme. Dans ce dernier cas, nous considérerons en concertation avec le maître d'ouvrage une chronique hydrologique synthétique représentative de la succession d'événements susceptibles d'intervenir sur la période de temps considérée.
- Pour les évolutions à l'échelle événementielle, trois situations hydrologiques seront modélisées :
 - 1 situation hydrologique permettant de représenter les évolutions prévisibles dans le cas d'une crue morphogène (Q2 ou Q5), de manière à apporter une compréhension fine des mécanismes d'évolution morphologique conduisant aux travaux de maintenance courante de l'ouvrage ;
 - 1 situation hydrologique permettant de représenter les évolutions prévisibles pour la crue de référence du PPRI (crue centennale a minima) pour alimenter les réflexions sur la prise en compte des aléas torrentiels dans l'occupation des sols potentiellement exposés aux débordements de la Rivière des Pluies ;
 - 1 situation hydrologique permettant de représenter les évolutions prévisibles pour la crue de référence de l'EDD (débit de 1 300 m³/s retenu dans le projet initial) qui permettra d'alimenter en données d'entrée les réflexions à venir sur le scénario de défaillance du système d'endiguement.
- Enfin, deux durées de crues seront a minima considérées : d'une part, une durée standard conforme aux événements moyens observés dans les chroniques hydrologiques récentes ; d'autre part, une durée plus longue représentative d'événements cycloniques comparables à Hyacinthe.

5.4 Résultats et analyses

6 Points d'attention

1.2 Mise à jour des données disponibles

L'analyse des données disponibles met en lumière un besoin mettre à jour et/ou compléter ces dernières avec de nouvelles mesures ou observations :

- Réalisation de mesures granulométriques complémentaires sur le secteur d'étude et en amont de la Ravine Bachelier,
- Précision des zones de substratum non affouillables,

1.3 Simulations numériques

- Précision des débits de crue et des hydrogrammes à prendre en compte dans les scénarios modélisés,
- Définition des apports amont,
- Choix de la période retenue pour le calage du modèle dépendante de la qualité des informations disponibles sur un même créneau de temps (hydrologie, topographie, granulo...),
- Détermination des sections en travers (largeur active du lit) en fonction des événements hydrologiques.

1.4 Gestion des données

- Recalage des abscisses des profils en long entre les différentes campagnes (notamment pré et post 2008) afin de permettre une comparaison objective,
- Numérisation par le Maître d'Ouvrage des données historiques antérieures à 2008 (profils en long notamment) pour faciliter les suivis futurs,
- Standardisation des processus de levé des fonds et d'archivage des données (cf. établissement d'un référentiel technique pour le suivi topographique de la Rivière des Galets produit pour le TCO).