Etude diagnostic du transport solide et de l'évolution du fond du lit de la rivière des Pluies, Ile de La Réunion

BRGM/RP-52841-FR
décembre 2003

Etude réalisée dans le cadre du projet de Service Public du BRGM 03 RES B37

Pouget R. et Garcin M.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

direction départementale de l'Équipement Réunion

Géosciences pour une Terre durable
brgm

LISTE DE DIFFUSION DU RAPPORT RP-52841-FR

- Direction de l'Equipement de La Réunion. Service de l'Eau et

de l'Equipement des Collectivités Locales 3 ex

BRGM/REU

- Auteurs (M. GARCIN et R. POUGET) 2 ex
- Archives SGR REU 3 ex

BRGM/ORLEANS

Bibliothèque centrale 3 ex

TOTAL..... 11 exemplaires

Mots clés : Alluvions, Hydrologie, Ile de La Réunion, Rivières des Pluies, Transport solide.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Garcin M. et Pouget R. (2003) – Etude diagnostic du transport solide et de l'évolution du fond du lit de la rivière des Pluies, Ile de La Réunion. Rapport BRGM/RP-52841-FR, 48 p., 18 fig., 6 tab.,1 ann hors texte.

© BRGM, 2003. Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le lit de la rivière des Pluies a subi dans sa partie aval d'importantes perturbations (extractions de matériaux alluvionnaires), et a été l'objet de nombreux aménagements au cours des dernières décennies (endiguement par épis, protection de berges, ouvrages de franchissement). Cette pression anthropique va augmenter dans l'avenir avec la construction d'un nouveau pont dans le prolongement du boulevard Sud de Saint Denis. Dans ce contexte, le Service de l'Eau et de l'Equipement des Collectivités Locales de la Direction Départementale de l'Equipement de La Réunion a chargé le BRGM, dans le cadre de ses missions de service public, de réaliser une étude du transport solide et de l'évolution du fond du lit de la rivière des Pluies, visant à diagnostiquer le fonctionnement actuel de cet hydrosystème, et à estimer les tendances d'évolution futures. Par ailleurs, afin d'assurer la sécurité des personnes et des biens et étant donné les enjeux associés au chantier de transfert des eaux ou à celui du futur pont du boulevard Sud, il est envisagé de mettre en œuvre un système d'alerte afin de prévenir dans les meilleurs délais les aléas naturels propres à la rivière des Pluies (inondation, éboulement, glissement, érosion de berge, embâcle/débâcle).

Les documents, photographies et rapports d'études existants sur le bassin versant de la rivière ont tout d'abord été rassemblés et analysés. Ce rapport synthétise les résultats des principales études et l'historique de l'acquisition des connaissances relatives à ce cours d'eau, ainsi que l'évolution de ses aménagements et des crises climatiques.

L'analyse géomorphologique du cours d'eau, réalisée dans le cadre de cette étude, est basée sur les différents documents recueillis, sur l'interprétation d'anciennes photographies aériennes prises à différentes dates entre 1961 et 2002, sur des observations de terrain (au sol et héliportées), et sur l'analyse de la topographie actuelle du lit de la rivière. Le croisement de ces différentes approches a permis de délimiter trois segments géomorphologiquement distincts, propres à tout torrent. Cet « état des lieux » est retranscrit sous la forme d'un profil en long renseigné du fil d'eau d'étiage, d'une carte géomorphologique, et d'un diagramme synthétique

Ces documents de synthèse ont été conçus dans le but de servir d'éléments de comparaison avec les résultats des études à venir, afin de mieux comprendre le fonctionnement et l'évolution du lit du cours d'eau lors des prochains évènements climatiques majeurs.

Sommaire

Synthèse **3**

Sommaire **4**

Liste des figures **6**

Liste des tableaux **7**

Annexe hors texte **7**

1. Objet de l'étude **8**

2. Synthèse des données existantes **9**

2.1 Caractéristiques du bassin versant de la rivière des Pluies 9

2.2 Evolutions morphologiques du lit de la rivière des Pluies 12
2.2.1 Evolution en plan 12
2.2.2 *Evolution du profil en long* 12

2.3 Hydraulique 12

2.4 *Hydrologie* 13
2.4.1 Historique des études déjà réalisées 13
2.4.2 Historique des crues et des aménagements de la rivière des Pluies 16

2.5 Granulométrie des alluvions 18

2.6 Transport solide 19
2.6.1 Fourniture de matériaux (source : document [6]) 19
2.6.2 Quantification des apports solides 21

2.7 Aménagements 21

2.8 Extractions de matériaux alluvionnaires 22

3. Etude géomorphologique **24**

3.1 Méthodologie 24

3.2 Eléments de photo-interprétation 25
3.2.1 Secteur du Grand Eboulis 25
3.2.2 Secteur des gorges 26
3.2.3 Cône de déjection 26

3.3 Etude de terrain 27
3.3.1 Segment 1 27
3.3.2 *Segment 2* 34
3.3.3 Segment 3 38

3.4 Caractérisation géomorphologique 40

3.4.1 Profil en long 40
3.4.2 Carte géomorphologique 43
3.4.3 Diagramme synthétique 43
3.4.4 *Evolution possible* 43

4. Conclusions et recommandations 46

5. Bibliographie 48

Liste des figures

Figure 1 – Hydrographie du bassin versant de la rivière des Pluies. 11

Figure 2 – Processus d'érosion et cônes d'éboulis au pied du Grand Eboulis (vue vers l'amont). 28

Figure 3 – Cicatrices de l'effondrement d'Ilet Quinquina en 2002 et vestiges du barrage créé. 29

Figure 4 – Lit de la rivière des Pluies au pied du Grand Eboulis..... 29

Figure 5 – Dépôt de type coulée de boue en rive droite de la rivière des Pluies (à l'aval du Grand Eboulis)..... 30

Figure 6 – La rivière des Pluies à l'aval du barrage 2002 suite à I 'effondrement de l'Ilet Quinquina (vue vers l'amont). 31

Figure 7 – Fort engravement à l'aval du Grand Eboulis (vue vers l'amont)..... 32

Figure 8 – Fort engravement en amont des premières gorges (vue vers l'aval). 32

Figure 9 – Les gorges à l'amont du chantier de la prise d 'eau (vue vers l'amont).... 33

Figure 10 – Zone d'accumulation modérée en amont du verrou à la côte 178 m. 35

Figure 11 – Dépôt de terrasse alluviale (T1) en rive droite au droit du verrou. 35

Figure 12 – Le verrou vu de l 'aval 36

Figure 13 – Aval du verrou. Noter la forte emprise de la piste sur le lit de la rivière.. 36

Figure 14 – Aval du verrou. Noter la forte emprise de la piste sur le lit de la rivière et les perturbations générées..... 37

Figure 15 – Cône de déjection. Incision du lit dans la terrasse T0b (niveau de dépôt attribué aux effets de la dépression tropicale Hyacinthe, en 1980)..... 39

Figure 16 – Profil en long de la rivière des Pluies - 2002/2003 (Source DDE). 42

Figure 17 – Diagramme synthétique de la rivière des Pluies 44

Figure 18 – Tendances d'évolution du lit dans le cône de déjection de la rivière des Pluies 45

Liste des tableaux

Tableau 1 – Caractéristiques du bassin versant de la rivière des Pluies 10

Tableau 2 – Débits caractéristiques en m^3/s issus du STPC de la rivière des Pluies (SOGREAH, 1990)..... 15

Tableau 3 – Débits caractéristiques issus de « l'étude sur modèle réduit du franchissement de la rivière des Pluies (Hydrétudes/ETRM/CNR, 2000). 16

Tableau 4 – Données granulométriques des alluvions du lit de la rivière des Pluies issues du rapport SOGREAH de 1966. 18

Tableau 5 – Données granulométriques (en cm) des alluvions du lit de la rivière des Pluies issues du rapport SOGREAH de 1978..... 19

Tableau 6 – Volume de matériaux extraits du lit de la rivière des Pluies (m^3/an déclarés)..... 22

Annexe hors texte

Carte géomorphologique de la rivière des Pluies au 1 / 12 500.

1. Objet de l'étude

La connaissance des processus de transport de matériaux dans le lit de la rivière des pluies constitue un enjeu important en termes d'aménagement du territoire et de protection des biens et des personnes. L'évolution du niveau du lit de cette rivière est conditionnée par différents facteurs, à la fois anthropiques (extractions de matériaux alluvionnaires), et naturels (mouvements de terrain à partir des rives abruptes de la rivière, pouvant engendrant eux mêmes des phénomènes d'embâcle/débâcle). Au cours des dernières années, la partie basse de la rivière des pluies a fait l'objet d'importants prélèvements qui sont à l'origine d'une baisse de 7 mètres du niveau du lit et d'un phénomène d'érosion régressive vers l'amont. En mars 2002, un éboulement de plus de 500 000 m^3 de roches volcaniques altérées et d'alluvions anciennes a barré le lit de la rivière au lieu-dit « Grand Eboulis », 2 km en amont du chantier de creusement de la galerie Salazie amont. La rupture de ce barrage quelques jours plus tard a donné naissance à une lave torrentielle qui emporta trois personnes. A terme, l'ampleur et la combinaison de ces différents facteurs est susceptible d'avoir un impact sur les aménagements de la rivière, en particulier sur le chantier de la galerie de transfert de eaux et sa piste d'accès, sur les trois ponts dans la partie basse, ainsi que sur les zones d'habitations présentes sur les berges et dans le lit mineur. De plus, la construction d'un ouvrage de franchissement supplémentaire est prévue entre le pont métallique et le pont de la RN2. Dans ce contexte, le Service de l'Eau et de l'Equipement des Collectivités Locales de la Direction Départementale de l'Equipement de La Réunion a manifesté son intérêt pour l'étude des phénomènes de transport solide et des tendances futures d'évolution du lit de la rivière des Pluies.

Cette étude a été cofinancée par la DDE et par le BRGM, dans le cadre de sa dotation de service public (fiche 02 RES B37). Elle a été réalisée à partir des documents d'archives disponibles, d'entretiens divers, de survols aériens et de reconnaissances de terrain au cours desquels de nombreuses photographies ont été prises.

2. Synthèse des données existantes

La rivière des Pluies est l'une des rivières de La Réunion les plus marquées par les activités humaines. Parmi les aménagements réalisés, on peut citer l'endiguement par épis du cône de déjection aval pour récupérer des terrains et protéger la piste de l'aéroport de Gillot, les franchissements routiers, les protections de berges visant à limiter les risques d'érosion et d'inondation, ainsi que les extractions de matériaux alluvionnaires. Du fait de ces nombreux projets, les sources de données disponibles sur la rivière des Pluies sont très diverses. Nous présentons ici une synthèse des données existantes concernant :

- les caractéristiques du bassin versant;
- les évolutions morphologiques du lit de la rivière ;
- l'hydraulique ;
- l'hydrologie (débit de crues) ;
- la granulométrie du lit ;
- les données concernant le transport solide ;
- les aménagements ;
- Les extractions de matériaux alluvionnaires.

Les références des documents sources sont listées et numérotées en bibliographie.

2.1 CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DES PLUIES

La rivière des Pluies draine un bassin versant de 45 km² dont les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau 1 (source : documents [2], [6] et [7]).

Altitude maximale	2000 m (2270 m à la Roche Ecrite)
% d'altitude > 1500 m	16 %
% d'altitude > 1500 m	44 %
Temps de concentration	1h40'
Précipitation inter-annuelle	3 400 mm
Longueur du lit	18.5 km
Pente de la gorge	22 m/km
Pente du cône de déjection	25 m/km

Tableau 1 – Caractéristiques du bassin versant de la rivière des Pluies

La zone d'apport principale est constituée par la vallée encaissée de la rivière des Pluies aboutissant à l'amont en amphithéâtre sur une combe de pente forte surmontée d'un pseudo plateau. Ce dernier se prolonge jusqu'à la Roche Ecrite qui constitue le point culminant du bassin topographique. Les pentes latérales de la vallée sont de l'ordre de 100 à 140 %. De part et d'autre de cette vallée principale, se trouvent deux planèzes aux caractéristiques comparables culminant à environ 1800 m d'altitude, sur lesquelles s'est constitué un réseau hydrographique dense mais de capacité modeste. Les principales ravines de la planèze Est sont la ravine du Bachelier, la ravine Mère Canal, la ravine du Bras Mussard et la ravine Kiwi. Sur la planèze Ouest, se sont creusées la ravine Montauban et la ravine Cadet.

En terme d'apport liquide, les principaux affluents de la rivière des Pluies sont, d'amont en aval (voir figure 1):

- la ravine Montauban, débouchant en rive gauche, dont la superficie du bassin versant en amont de la confluence est de 5,3 km² ;
- la ravine du Bachelier, débouchant en rive droite au droit du village de Grande Montée. La superficie de son bassin versant (incluant celui de la ravine Sèche, son affluent), est de 11,65 km² ;
- la ravine Cadet, débouchant en rive gauche dans la partie avale, dont le bassin versant couvre une superficie de 6,91 km².

Ainsi, la rivière des Pluies draine, en amont de la confluence avec la ravine du Bachelier, un bassin versant de 26,5 km².

Figure 1 :
Hydrographie du bassin versant de la Rivière des Pluies
(extraits cartes IGN 4402 RT
à 1/ 25 000)

Figure 1 – Hydrographie du bassin versant de la rivière des Pluies.

2.2 EVOLUTIONS MORPHOLOGIQUES DU LIT DE LA RIVIERE DES PLUIES

2.2.1 Evolution en plan

Le document [2] présente, sur la base d'une série de photographies aériennes prises entre 1950 et 1992, l'évolution en plan du cours d'eau, du pont Domenjod jusqu'à l'océan. Au cours de cette période, le cône de déjection de la rivière des Pluies a subi de nombreuses et profondes perturbations. Ces modifications du lit ont été causées en premier lieu par les activité humaines ; extractions de matériaux et aménagements hydrauliques.

2.2.2 Evolution du profil en long

Ce même document comprend un graphique comparatif de l'évolution des points bas de la rivière des Pluies entre 1965 et 1996. Ici encore, cette analyse ne couvre que la partie avale du cours d'eau, de l'épi Moka jusqu'à l'océan. La pente moyenne du fond est comprise entre 2.2 et 2.3 %. Le niveau du fond du lit de la rivière sur ce tronçon s'est abaissé de plusieurs mètres entre 1981 et 1996 (jusqu'à 7 mètres environ en amont immédiat du pont de la RN2). Cet abaissement s'explique par le basculement du profil en long dû d'une part à l'endiguement aval du cours d'eau, et d'autre part à la suppression des radiers de Gillot, mais surtout par le déficit en matériaux engendré par les extractions massives. Aucune donnée de base ne permet de rendre compte de l'évolution passée du profil en long de la rivière en amont de l'épi Moka.

2.3 HYDRAULIQUE

Le secteur en amont du pont métallique a fait l'objet d'un modèle numérique sur une distance de 4500 m (document [9]). Ce travail a permit de définir :

- des sections en travers du lit de la rivière avec les niveaux des plans d'eau atteints pour des crues de temps de retour de 10, 30 et 100 ans ;
- des lois hauteurs-débits des sections caractéristiques du point de vue de l'hydraulique ;
- des profils en long et des lignes d'eau en régime critique et uniforme ;
- des zones submergées en plan pour une crue centennale.

Sur ce tronçon, les écoulements sont torrentiels et occupent en crue tout le lit de la rivière. A l'aval du pont métallique, on se trouve en présence d'un lit en tresses. Aux différents débits modélisés, les variations de niveaux sont faibles, de 0.30 à 0.40 m, du fait des vitesses d'écoulement assez élevées comprises entre 3 et 5 m/s pour le débit centennal. Le pont Domenjod est une section particulière où les vitesses très élevées atteignent 9,30 m/s, avec des risques de mise en charge.

2.4 HYDROLOGIE

2.4.1 Historique des études déjà réalisées

- En 1961, M. Le Gourieres (ORSTOM) a estimé l'ordre de grandeur du débit spécifique de la crue cinquantennale à 30 $m^3/s/km^2$. Il a évalué ainsi, pour un bassin versant de 46 km^2, une valeur de débit cinquantennale de 1380 m^3/s.

- En 1966, SOGREAH fut chargé de réaliser une étude sur modèle réduit afin de définir les « Protections à réaliser dans la rivière des Pluies pour l'allongement de l'aérodrome de Saint Denis Gillot » (document [10]). Dans cette étude, la protection de l'aéroport est étudiée vis à vis d'un débit maximal de 1350 m^3/s, considéré comme débit de la crue centennale.

- En 1978, dans le cadre de « l'étude de la protection du village de la Rivière des Pluies contre les crues de la rivière des Pluies » (document [11]), SOGREAH s'est basé sur une superficie de bassin versant de 43 km^2 et sur les données pluviométriques journalières des stations de Gillot, Le Chaudron, Rivière des Pluies, Moka et Hell-Bourg, pour définir, à l'aide de la méthode rationnelle, les débits de crue suivants :

  Q30 = 798 m3/s

  Q50 = 930 m3/s

  Q100 = 1090 m3/s

  Dans cette étude, les débits de projet de 800 et 1000 m^3/s ont été retenus respectivement pour la crue trentennale et la crue de période de retour de 50 à 100 ans.

- En 1980, SOGREAH a ré-estimé les débits caractéristiques au pont Domenjod (pour un bassin versant de 26,5 km^2), de la manière suivante :

  Q10 = 370 m3/s

  Q30 = 760 m3/s

  Q100 = 1000 m3/s

- En 1981, le LCHF a réalisé la « Monographie de la rivière des Pluies entre la ravine Bachelier et la mer » (document [7]).

- En 1982, SOGREAH a réalisé une étude sur modèle réduit au 1/70 de la « Protection du village de la Rivière des Pluies » (document [12]). Les débits testés ont élé ceux définis par l'étude de 1980.

- En 1985, les observations de la DDE ont mis en évidence (« Contextes hydrologique et hydraulique du pont de la rivière des Pluies (Gillot)») qu'il y a crue dès que les conditions suivantes sont simultanément remplies :

  - Volume précipité > 100 mm

➢ *Intensité précipitée > 200 mm/h*

- En 1988, SOGREAH et le LCHF ont réalisé un schéma d'extraction de la rivière des Pluies (document [13]).

- En 1989 , ont commencé les études d'avant-projet pour le futur pont du boulevard Sud de Saint-Denis. Les éléments d'hydrologie ont été identiques à ceux déjà calculés lors des études antérieures.

- En 1990, SOGREAH a réalisé le « Schéma Technique de Protection contre les Crues » (document [9]) de la rivière des Pluies, ainsi que l'étude hydraulique de la protection de la piste de Gillot contre les crues de la rivière des Pluies. Les éléments hydrologiques de base ont été ceux issus des études de 1978, 1980 et 1988.

  Concernant la pluviométrie, des informations nouvelles ont été exposées dans cette étude. Les pluies journalières ont été étudiées à partir de 8 postes pluviométriques situés sur les communes de Sainte-Marie et Sainte-Suzanne. En revanche, les informations sur les intensités de pluie sont peu nombreuses (poste de Gillot et poste de Menciol, à 10 km à l'est de la commune de Sainte-Marie). Il a été supposé ici que les intensités étaient proportionnelles aux pluies journalières, et donc qu'elles suivaient la même loi de variation avec l'altitude.

  Les pluies journalières suivantes ont été retenues :

  $P(10) = 293 + 0{,}115.Z$ pour Z<600 m

  $P(10) = 367 + 0{,}431.(Z-600)$ pour Z>600 m

  $P(100) = 462 + 0{,}163.Z$ pour Z<600 m

  $P(100) = 569 + 0{,}745.(Z-600)$ pour Z>600 m

  Pour les postes de Gillot et Menciol, une analyse statistique du type Gumbel a été réalisée sur les pluies journalières maximales annuelles. Pour des durées d'averses inférieures à 2 heures, les coefficients A et B de la formule de Montana ($i = A.t^B$), sont :

T = 10 ans	A = 65.89	B = -0.30 à Gillot
	A = 94.66	B = -0.34 à Menciol
T = 100 ans	A = 96.50	B = -0.27 à Gillot
	A = 141.81	B = -0.31 à Menciol

  Une variation de l'intensité avec l'altitude a également été mise en évidence :

T = 10 ans	A = 65.60 + 0.026.Z	pour Z<600 m
	A = 82.00 + 0,096.(Z-600)	pour Z>600 m

T = 100 ans $A = 95.90 + 0{,}026.Z$ pour Z<600 m

$A = 116.00 + 0{,}0155.(Z-600)$ pour Z>600 m

A partir des ces résultats, et en considérant :

- les coefficients de ruissellement suivants :

  $C_{(10)} = 0{,}7$ et $C_{(100)} = 0{,}8$;

- les superficies des sous-bassins versants présentés au paragraphe 2.1 ;

- des temps de concentration moyens calculés à partir des formules classiques (Passini, Giandotti et Kirpich).

Les débits spécifiques suivants ont été calculés par la formule rationnelle :

- 10 à 17 $m^3/s/km^2$ en crue décennale, 11,5 en valeur médiane ;

- 16 à 29 $m^3/s/km^2$ en crue centennale, 20 en valeur médiane.

Le rapport Q100/Q10 est de l'ordre de 1,7.

Ces résultats permettent de construire le tableau suivant :

BV considéré	Q10	Q30	Q100
Montauban	110	150	190
Bachelier (amont)	360	480	625
Bachelier (aval)	485	650	845
Gillot (amont)	570	760	1000

Tableau 2 – Débits caractéristiques en m^3/s issus du STPC de la rivière des Pluies (SOGREAH, 1990).

On retrouve donc à Gillot, les débits calculés pour un bassin versant de 26,5 km^2 (c'est à dire au droit du pont Domenjod, plus en amont), au début des années 1980. Les données pluviométriques plus précises utilisées dans le cadre de cette étude permet donc de revoir à la baisse les résultats calculés quelques années auparavant. Ce résultat est mis en évidence par l'application des anciens résultats en un point situé quelques kilomètres plus à l'aval (Gillot).

- En 1996, le BCEOM a réalisé l'étude préliminaire du futur pont du boulevard Sud (document [2]).

- Enfin, en 2000, toujours dans le cadre de ce projet de franchissement, un groupement Hydretudes/ETRM/CNR réalisa une étude sur modèle réduit du site du futur pont du boulevard Sud (document [6]). Des débits caractéristiques ont été calculés suivant la méthode présentée dans le « Guide d'estimation des débits de crues » (document [3]), en considérant un bassin versant d'une superficie de 44,9 km². Les résultats sont donnés dans le tableau 3.

Temps de retour (années)	Débit (m3/s)	Débit spécifique(m3/s/km²)
10	650	14,5
100	1150	25,7

Tableau 3 – Débits caractéristiques issus de « l'étude sur modèle réduit du franchissement de la rivière des Pluies (Hydrétudes/ETRM/CNR, 2000).

Dans cette étude, le débit retenu pour les essais sur modèle réduit a été de 1300 m^3/s, correspondant à une crue de récurrence plutôt supérieure à la centennale.

2.4.2 Historique des crues et des aménagements de la rivière des Pluies

1900 Construction du pont Domenjod. La chaussée sera élargie en 1990.

1935 Construction du pont métallique en plusieurs étapes.

1948 Très fort cyclone. Le remblai d'accès au pont métallique est emporté. Il a été remplacé par une travée supplémentaire de 33 mètres de portée. La portée totale du pont est maintenant de 190 mètres.

1962 Cyclone Jennie. Pas d'estimation de débit.

1964 Cyclone Gisèle. Le réseau routier au droit de la rivière des Pluies est fortement endommagé.

1965-1966 Etude sur modèle réduit effectuée par la SOGREAH de la partie basse du cône de déjection dans le but de mettre la zone de prolongement de la piste de l'aéroport de Gillot à l'abri des divagations de la rivière.

Cyclone Denise en 1966. Ce sont surtout les infrastructures (routes, téléphone) qui furent touchées.

1967-1968 Allongement de la piste de l'aéroport de Gillot de 750 mètres. 25 Ha sont gagnés en rive droite au détriment du cône alluvionnaire de la rivière des Pluies. 9 épis sont construits au bas du cône de déjection (4 en rive gauche, 5 en rive droite), ainsi qu'une digue de protection directe de la piste. Les épis sont terminés par des déflecteurs fondés à 12 mètres de profondeur qui sont des murs de 60 m de longueur, et dont la hauteur décroît sur les 20 derniers mètres. Les talus des épis sont protégés par des gabions sur 25 m à partir des déflecteurs.

1970 Cyclone Hermine. Pas d'estimation de débit.

1971 Nouveau tracé de la RN 2 et construction du radier de Gillot (à quelques dizaines de mètres en aval du pont de Gillot actuel), constitué de 24 buses de diamètre 1000. Ce radier permet le passage des faibles crues sans perturbation de la circulation.

1977 Cyclone Jennie. Débit estimé à 625 m^3/s.

1980 Dépression tropicale Hyacinthe. Débit estimé à 650 m^3/s. Les dégâts suivants sont constatés :

- radier de Gillot en partie détruit ;
- ouverture d'une brèche dans le remblai routier ;
- épi n°1, en rive droite, fortement sollicité ;
- méandre entre les épis ;
- accumulation importante de matériaux en amont du radier.

1981 Cyclone Florine. Pas d'estimation de débit.

1983-1984 Protection longitudinale au droit du village de Rivière des Pluies.

Construction de l'épi déflecteur du chemin Moka, au confluent avec la ravine du Bachelier.

1987 Cyclone Clotilda. Débit estimé à 500 m^3/s. Ce cyclone endommage la piste de l'aéroport. A l'aval du pont métallique, une très grosse érosion en rive droite se produit, entraînant une nouvelle délimitation du domaine public.

1988 Construction du pont de la RN 2 actuelle (pont de Gillot).

1989 *Cyclone Firinga. Débit estimé à 225 m3/s. Mise en service du pont de* Gillot.

1993 Cyclone Colina. Débit estimé à 300 m3/s. Au droit du pont de Gillot, l'écoulement se concentre dans un chenal étroit (12 à 15 m) profond de 5 m. Une partie de la semelle d'une pile du pont de Gillot est découverte sur 1,50 m environ.

1994 Cyclone Hollanda. Débit estimé à 70 m3/s.

1998 Très forte crue février due à un épisode de fortes pluies. Le débit est estimé à 600 m3/s au pont Domenjod.

1999 Cyclone Davina. Pas d'estimation de débit.

2001 Cyclone Ando : Estimation de débit en cours par le BRGM.

2002 *Cyclones Dina : Estimation de débit en cours par le BRGM.*

Cyclones Hary. Pas d'estimation de débit. Le 01 mars 2002, suite à un éboulement de plus de 500 000 m^3 en bordure Est du plateau d'Ilet Quinquina, un barrage naturel s'est formé donnant naissance à un lac d'une superficie d'un hectare. Le 8 mars, une brèche s'est formée dans la partie haute du barrage permettant la libération soudaine d'une grande quantité d'eau, et provoquant la mort de 3 personnes qui s'étaient rendues sur le barrage. Cette lame a ensuite dévalé 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

2.5 GRANULOMETRIE DES ALLUVIONS

Les études déjà réalisées sur la rivière des Pluies ont conduit à des mesures de granulométrie de ses alluvions à au moins trois occasions.

- En 1966, une première série de mesures a été réalisée, lors de la réalisation du *modèle réduit pour l'allongement de la piste de l'aéroport*. Les *échantillons ont* donc été prélevés à l'extrémité aval du cours d'eau. Les données du tableau 4 sont tirées de la courbe granulométrique présentée dans le rapport de cette étude (document [10])

% de poids ne dépassant pas	Diamètre (cm)
10 %	0.2
20 %	0.6
30 %	1.6
40 %	4.0
50 %	8.5
60 %	14
70 %	21
80 %	30
90 %	40
100 %	80

Tableau 4 – Données granulométriques des alluvions du lit de la rivière des Pluies issues du *rapport* SOGREAH de 1966.

- En 1978, d'autres mesures ont été réalisées à l'amont du pont métallique à l'occasion d'une étude pour la protection du village de la Rivière des Pluies (document [11]). Elles sont basées sur cinq échantillons prélevés dans des tranchées de reconnaissance.

% de poids ne dépassant pas	Tranchée A	Tranchée B	Tranchée C	Tranchée F	Tranchée H
10 %	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
20 %	0.2	0.2	0.1	0.3	0.8
30 %	0.7	0.25	0.45	0.9	1.7
40 %	1.8	0.7	1	2	3
50 %	3.5	1.5	2	4	5
60 %	6	3	4	7	8
70 %	10	5	7	11	10
80 %	17	10	11	17	20
90 %	30	20	25	25	50
100 %	80	100	100	50	100

Tableau 5 – Données granulométriques (en cm) des alluvions du lit de la rivière des Pluies issues du rapport SOGREAH de 1978.

On remarque que la courbe granulométrique relevée pour le modèle réduit de l'aéroport n'est pas cohérente avec les données granulométriques acquises en 1978. Puisque la première correspond à la granulométrie en aval du cours d'eau, les matériaux devraient, *a priori*, être plus petits. Or le d50 est de 8.5 cm alors qu'il est de moins de 5 cm pour les mesures de 1978 réalisées plus en amont.

- Dans le cadre de l'étude réalisée en 2000 par le groupement Hydrétudes/ETRM/CNR, une vingtaine d'échantillonnages de surface ont été réalisés entre l'aval du pont Domenjod et l'amont des pistes de l'aéroport, afin de définir une granulométrie pour le modèle réduit du site du futur pont du boulevard Sud. Les résultats ne sont pas reportés ici, il apparaît que les écarts entre les sites sont faibles. Par contre, il ressort de ces analyses que les matériaux présents dans la zone avale sont, logiquement, plus grossiers. Cette observation semble donc recouper « l'incohérence » remarquée plus haut, identifiée par la comparaison des analyses de 1966 et de 1978. D'après les auteurs de cette étude « il est possible que cette différence s'explique par la fourniture, dans la zone d'érosion régressive, de matériaux relativement grossiers érodés dans les coulées boueuses ».

2.6 TRANSPORT SOLIDE

2.6.1 Fourniture de matériaux (source : document [6])

La partie amont de la rivière des Pluies est très encaissée dans un cirque peu large et limité par des remparts de plus de 1000 mètres de hauteur. Le lit de la rivière est donc alimenté principalement par des mouvements de terrain à partir des remparts (chutes de blocs, éboulements, glissements) dans ce secteur, formant d'importantes plages de dépôt, comme ce fut le cas en mars 2002 au lieu-dit le « Grand Eboulis », sous le plateau d'Ilet Quinquina. De par l'importance du volume éboulé (estimé à 500 000 m^3),

cet événement présente un caractère exceptionnel dans la vallée de cette rivière (document [4]). Cependant, en amont du chantier de basculement des eaux, la morphologie du lit traduisait déjà, antérieurement à l'éboulement de mars 2002, un transport solide significatif.

Le secteur du Grand éboulis dont la géologie est complexe, constitue donc actuellement la principale zone d'apport de matériaux rocheux du bassin versant de la rivière des Pluies. Il s'agit d'un vaste ensemble de matériaux bréchiques, probablement déplacés à partir du rempart en rive droite. Sa hauteur est de l'ordre de 200 à 300 mètres et sa superficie atteint un kilomètre carré. Ainsi, un volume de plusieurs centaines de millions de m^3 de matériaux volcaniques hétérogènes et hétérométriques, est disposé en pied de rempart. L'érosion y est active à deux niveaux :

- un système d'éboulements dirigé vers le nord alimente directement la rivière des Pluies. Il est très actif et apporte des matériaux même en dehors des périodes de fortes pluies ;

- une érosion de versant couvre une surface plus étendue dans la masse du dépôt, au pied de l'ilet Quinquina. Cette érosion n'est pas liée directement à la rivière des Pluies, mais les matériaux sont transportés par une petite ravine très active. Il est possible, en période cyclonique notamment, que des laves torrentielles et des coulées de boue se forment dans ce talweg. Cependant, le phénomène majeur survenu dans ce secteur en mars 2002, s'est lui produit en dehors d'une période de crise climatique.

Les matériaux ainsi apportés sont de taille relativement modeste (moins d'un mètre pour la grande majorité), et sont repris par la rivière. On observe ainsi, sur une longueur de 1,5 km environ, un remplissage de la vallée par les matériaux apportés que la rivière ne parvient pas à évacuer directement. Un défilé rocheux étroit (une dizaine de mètres de largeur) forme la limite aval de cette zone de dépôt. A l'aval de ces premières gorges, le lit de la rivière s'élargit à nouveau et une seconde zone de dépôt – *plus modeste – s'est formée au confluent de la ravine Nage. Un second défilé* rocheux limite de nouveau l'étendue des dépôts et permet une régulation du transport solide en crue. L'analyse des dépôts permet d'exclure un ralentissement de l'érosion dans cette zone, la tendance dans ce secteur étant nettement à l'engravement.

Une troisième zone de dépôt, de moindre importance que les deux premières, est située à l'amont immédiat du chantier de transfert des eaux. En aval, la route d'accès au chantier a modifié le fond de vallée, la piste étant construite dans le lit de la rivière. On observe alors une succession de rétrécissements rocheux (moins étroits que ceux situés en amont du chantier de transfert des eaux), et d'anciennes terrasses, souvent très hautes (3 à 8 mètres), et cultivées. Les apports dans ce secteur sont plus modestes et sont liés directement aux chutes de blocs et éboulements à partir des remparts. D'autre part, les anciennes terrasses alluvionnaires forment un stock 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.

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 terrasses alluvionnaires. D'autres part, les traces d'érosion dans le haut du bassin versant sont très rares. Ainsi, les apports solides de cette ravine sont nettement plus modérés que ceux de la rivière des Pluies.

2.6.2 Quantification des apports solides

D'après le document [13], le transport solide total de la rivière des Pluies peut être évalué à 3 300 T/km²/an (soit 87 000 T/an ou 43 000 m^3/an pour un bassin versant de 26,5 km²). Cette valeur est considérée comme une approche par excès du transport solide total engendré par la rivière des Pluies. L'approche quantitative des apports solide d'une telle rivière se base principalement sur l'observation topographique, l'importance et la fréquence des débits liquides, la granulométrie des fonds et le potentiel d'apports solides latéraux. Afin d'élaborer des hypothèses sur la respiration du lit de la rivière, il est nécessaire de disposer d'une collection de profils topographiques couvrant plusieurs années. Cependant, les études sur modèle réduit physique de la rivière des Galets et de la rivière des Pluies, par analogie, ont permis de gagner du temps en donnant des éléments quantitatifs originaux sur le transport solide.

Ainsi, une relation entre débit liquide et débit solide de la rivière des Pluies a été établie lors des études sur modèles réduits de la protection par épis de la piste de l'aéroport de Gillot en 1966 (document [10]). Cette loi a ensuite été reprise dans les études ultérieures, notamment pour l'étude du franchissement de la rivière des Pluies par la RN2. Des différentes études, on peut tirer les enseignements suivants :

- le débit d'entraînement généralisé des matériaux est estimé à 200 m^3/s ;
- une crue décennale apporterait 30 000 tonnes de matériaux, soit 15 000 m^3 environ ;
- le volume de matériaux qui a été injecté dans le modèle réduit de la rivière des Pluies pour maintenir son profil en long à la suite du passage de plusieurs cycles de crues représentatifs de l'histoire hydrologique sur 30 ans du bassin versant, a été d'environ 33 000 tonnes en moyenne annuelle, soit 16 000 m^3 environ. En moyenne, la rivière apporterait donc au maximum 43 000 m^3/an dont 16 000 m^3 participerait effectivement à la formation du profil d'équilibre du cours d'eau (document [13])
- Enfin, selon le LCHF, une pointe de débit de 600 m^3/s (dépression tropicale Hyacinthe) durant 10 heures entre deux passages à 200 m^3/s conduirait à un apport de 120 000 tonnes environ, soit 60 000 m^3.

2.7 AMENAGEMENTS

Les rives et le lit majeur de la rivière des Pluies comportent de nombreux aménagements visant à maîtriser ses effets ou à la franchir. Les principaux ouvrages de l'amont vers l'aval sont listés ci après :

- épi déflecteur du chemin Moka (1983 – 1984) ;
- protection longitudinale du village de la Rivière des Pluies ;

- Pont Domenjod (ou Desbassyns) ;
- Pont métallique ;
- pont de la RN 2, terminé fin 1987 ;
- radiers de Gillot (RN 2), supprimés en 1989 – 1990 ;
- 9 épis avec digues de fermeture ;
- digue longitudinale de protection de l'aéroport de Gillot ;

On peut également citer, actuellement, la piste longeant le lit de la rivière jusqu'au *chantier du transfert des eaux, ainsi que le futur pont du boulevard Sud.* Tous les autres ouvrages, tels que digues en remblai de matériaux de la rivière (curage), sont considérés comme fusibles alors même que leur réalisation a pu contribuer momentanément à fixer le lit mineur et influer sur l'évolution du profil en long du cours d'eau.

2.8 EXTRACTIONS DE MATERIAUX ALLUVIONNAIRES

En 1988, il existait trois points principaux d'extraction, selon « l'Inspection détaillée des ouvrages d'art : La rivière des Pluies » établie par le CETE d'Aix en Provence :

- aval du pont Domenjod (Entreprise Nayaranin) : points d'extraction dispersés et peu connus. L'une des conséquences probables fut l'érosion de la falaise ;
- aval du pont de la RN 102 : là se trouvait une installation dont la première activité, à l'origine, fut de reprofiler le lit et de protéger la rive droite endommagée par Clotilda en 1987 ;
- aval du cône de déjection: au niveau des deux derniers épis, en rive droite, les fines étaient exploitées localement par des extractions artisanales ;

Le Tableau 6 ci dessous présente les volumes déclarés (en m^3/an), de 1979 à 1986.

Année	**1979**	**1980**	**1981**	**1982**	**1983**	**1984**	**1985**	**1986**
Volume déclaré (m^3/an)	26 500	18 481	39 064	63 390	36 972	21 600	28 757	21 453

Tableau 6 – Volume de matériaux extraits du lit de la rivière des Pluies (m^3/an déclarés)

En 1990, les extractions furent interdites. En 1991, ont toutefois été extraits 150 000 m^3, en 1992 et 1993, 400 000 m^3 au total dans le cadre des travaux de la piste longue, en 1994 et 1995, 200 000 m^3 au total (source DDE). On note qu'il existe quasiment un rapport de 10 entre les volumes annuels déclarés par les exploitant et les volumes

« DDE » extraits pour l'allongement de la piste de l'aéroport. On peut donc penser que les volumes déclarés par les exploitants ont été très sous-évalués.

Le taux d'érosion est évalué à 3 300 T/km²/an, soit 87 500 tonnes sur les 26,5 km² de surface du bassin. Le volume de sédiments correspondant est de l'ordre de 43 000 m^3, volume qui englobe, d'une part les limons et sédiments fins transportés par suspension, et d'autre part les sédiments grossiers, graviers et blocs transportés par charriage. Ce sont ces sédiments grossiers qui contribuent à l'évolution de la morphologie du lit. Les études sur modèle réduit à fond mobile ont permis d'évaluer le transport solide annuel de ces sédiments grossiers à 16 000 m^3, soit 37% du transport solide total.

Entre 1965 et 1990, on peut estimer à 750 000 m^3 le volume prélevé (30 000 m^3/an), puis à 750 000 m^3 de 1991 à 1995. En 30 ans, de 1965 à 1995, un volume de 1 500 000 m^3 a donc été extrait, correspondant pour la quasi-totalité à des sédiments grossiers prélevés surtout en amont du pont de la RN2. Pendant cette période, les apports de la rivière en sédiments grossiers ont été de 30 x 16 000 m^3, soit environ 500 000 m^3.

Le volume déficitaire est donc estimé à un million de m^3, ce qui explique évidemment les abaissements de fond observés.

3. Etude géomorphologique

3.1 METHODOLOGIE

Une partie de la présente étude a consisté à affiner notre connaissance des processus géologiques, géodynamiques et géomorphologiques de la rivière des Pluies, afin, d'une part de caractériser l'évolution récente de cette rivière au cours des dernières décennies, et d'autre part de dégager des clés de compréhension de cet hydrosystème.

La méthodologie suivie a consisté en une analyse de l'évolution du lit de la rivière à partir de photographies aériennes IGN des années 1961, 1966, 1978, 1984 ,1997 et 2002, afin de mettre en évidence les tendances d'évolution de la rivière sur le long terme. Cette approche a été accompagnée d'études de terrain afin de recueillir des éléments d'information sur le lit actuel de la rivière, sur les éventuelles reliques d'alluvions plus anciennes et, enfin, d'analyser les relations entre les zones d'éboulis et le comportement de la rivière. L'objectif a, par ailleurs, visé à définir les éventuelles zones d'atterrissement (dépôts), ainsi que les zones éventuellement en incision (érosion du lit).

Une attention toute particulière a été portée à la zone du Grand Eboulis et à la confluence avec la zone de l'Ilet Quinquina. La partie située à l'amont du Grand Eboulis, n'apportant pas de quantités significatives de matériaux dans le lit de la rivière, n'a pas été étudiée.

Les reconnaissances de terrain ont été l'occasion du levé (octobre 2003), puis de l'élaboration d'une esquisse cartographique de la géomorphologie des formations superficielles, qui est jointe à ce rapport (plan hors texte en annexe). Sur cette carte figurent les principales observations effectuées sur le terrain et sur les photographies aériennes.

Les formations et structures géologiques suivantes ont été reportées sur la carte :

- alluvions actuelles (T0a) qui correspondent aux sédiments présents dans le lit vif et régulièrement mobilisés (totalement ou partiellement), lors des crues ;

- alluvions T0b : il s'agit le plus souvent de dépôts résiduels âgés de quelques décennies et végétalisés. La plupart de ces dépôts forment soit des bancs ou îlots isolés dans le lit mineur, soit de petites terrasses formant des berges ;

- terrasses T1 : il s'agit des terrasses situées à quelques mètres au dessus du lit vif actuel et ayant une morphologie bien marquée. L'épaisseur de ces dépôts alluviaux peut atteindre 6 à 8 m ;

- dans les alluvions actuelles, les atterrissements où zones en cours d'engraissement sont également notés ;

Nota : la zone médiane de la rivière qui est partiellement occupée par la piste d'accès au chantier du creusement de la galerie du transfert, n'a pas toujours permis de détecter ce type de structure. En effet, l'entretien permanent de la piste perturbe la « lecture » géomorphologique de cette zone ; peu d'indications sont donc portées sur la carte dans cette zone.

- érosion de « berge » ou de pied de rempart ;
- niche d'arrachement dans les remparts ;
- éboulis issus du démantèlement des falaises ou d'arrachement divers (Grand Eboulis) ;
- blocs glissés qui correspondent à des pans entiers de remparts effondrés en masse ;
- coulées de boue / laves torrentielles / Lahars : dépôts attribués aux coulées de boue et traces laissées par leur passage sur les berges de la rivière ;

zones de gorges ou de verrou.

L'ensemble des données recueillies durant cette étude est par ailleurs synthétisée sur la figure 17, dont l'objectif est de donner une vue synoptique des différents processus ou facteurs agissant sur l'évolution du lit de la rivière des Pluies.

3.2 ELEMENTS DE PHOTO-INTERPRETATION

3.2.1 Secteur du Grand Eboulis

L'évolution de ce secteur peut être analysé par vision stéréoscopique des photographies aériennes IGN de 1961, 1978 et 1997, et sur les ortho-photoplans de 2002. Les photographies aériennes de 1984 ne sont ici pas exploitables du fait des zones d'ombre.

En 1961, l'érosion sur le secteur du Grand Eboulis était déjà très active, en particulier sur son versant Nord qui alimente directement la rivière des Pluies. La zone d'érosion au pied de l'ilet Quinquina, si elle est déjà très nettement identifiable, semble moins active que sur les photographies de 1978 et 1997. En effet, la végétation sur le rempart de l'Ilet Quinquina était plus dense en 1961, et le talweg rejoignant la rivière des Pluies était légèrement moins encaissé dans sa partie avale, et moins net dans sa partie amont. En 1978, ce talweg était beaucoup plus marqué, et ressemblait davantage à un canyon dans sa partie basse. En 1997, une niche d'arrachement au pied du rempart de l'Ilet Quinquina (sur le secteur de l'éboulement de mars 2002) était déjà visible.

Plus en aval, le lit de la rivière était déjà très engravé en 1961, et le cours d'eau s'écoulait dans des chenaux bien marqués, de plusieurs mètres de profondeur. Par vision stéréoscopique, on remarque, à mi-distance entre le Grand Eboulis et les premières gorges, quelques bancs végétalisés au milieu du lit. Ce secteur se trouvant dans une zone d'ombre sur les clichés de 1978 et 1997, leur présence n'est pas vérifiable à ces dates. En revanche, cette végétation a quasiment entièrement disparu

sur les photographies de 2002. Ceci tend à montrer qu'au cours des 40 dernières années, l'érosion sur le secteur du Grand Eboulis s'est accentuée, et que le lit de la rivière est en phase d'engravement. D'ailleurs, en aval immédiat du Grand Eboulis, les chenaux d'écoulement en 1978 et 1997 étaient beaucoup moins incisés qu'en 1961, et en juillet 2002, postérieurement à l'éboulement du mois de mars, l'écoulement se faisait plutôt en tresses dans des matériaux plus fins.

3.2.2 Secteur des gorges

Ce secteur s'étend du site de l'actuel chantier de transfert des eaux au confluent avec la ravine du Bachelier. L'analyse porte ici sur les photographies aériennes prises en 1978, 1984, et 1997, ainsi que sur les ortho-photoplans de 2002. D'une manière générale, du fait de l'échelle de prise de vue des photographies aériennes par rapport à la faible largeur du lit, et de la présence de nombreuses zones d'ombre sur les clichés due au fort encaissement de la vallée, il est difficile, à partir de ces documents, de dégager des tendances nettes d'évolution du lit de la rivière. De plus, ce secteur étant une zone de transfert des matériaux, les évolutions, en plan comme en altimétrie, sont moins marquées que sur la zone d'apport en amont, ou sur le cône de déjection. Toutefois, dans le secteur situé à l'amont immédiat de la confluence avec la ravine du Bachelier, la comparaison des clichés laisse apparaître une augmentation avec le temps de la divagation de l'écoulement, et une légère tendance à l'engravement caractérisée par la diminution de la surface des bancs végétalisés. On peut penser qu'il ne s'agit pas d'une évolution naturelle (c'est à dire liée à une augmentation des apports solides ou à un déficit d'apport liquide), mais plutôt de la conséquence de la construction de l'épi Moka (au milieu des années 1980), qui tend à piéger les matériaux en amont de la confluence. La diminution de la granulométrie entre l'amont et l'aval de l'épi est bien visible sur les photographies de 2002. L'analyse de l'évolution passée de cette zone de gorge nécessiterait la comparaison de données topographiques levées à différentes dates. Malheureusement, si le cône de déjection a fait l'objet de nombreux levés, seul le profil en long réalisé en 2002 couvre l'ensemble du lit de la rivière.

3.2.3 Cône de déjection

Le document [2] présente une analyse de l'évolution en plan du lit de la rivière de 1950 à 1992, entre le pont Domenjod et l'océan. En 1992, en aval du pont métallique, le lit de la rivière avait un aspect chaotique ; il a été sévèrement modifié par les extractions, notamment pour les travaux de la piste de Gillot, et on ne remarque plus aucun chenal principal. On note la présence d'une piste d'extraction dans le lit mineur, en rive droite, de la piste de Gillot jusqu'au pont Domenjod. L'une des conséquences de ces extractions massives est l'approfondissement très marqué des chenaux à l'approche du débouché en mer. En 1997, après l'arrêt des extractions, le lit a repris un aspect naturel. On remarque la présence de terrasses végétalisées de l'amont du pont métallique à l'aval du pont de Gillot, entre lesquelles s'écoule le chenal principal. En 2002, la superficie de ces terrasses a diminué, et leur géométrie a été sensiblement modifiée (notamment à l'aval immédiat du pont de la RN2). On peut penser que ces changements s'explique par le passage du cyclone Dina, au cours duquel le premier épis en rive droite a été fortement sollicité. En amont du pont métallique, le lit en 2002 est plus engravé qu'en 1997, et le chenal principal est beaucoup moins marqué. Ce changement de morphologie est du à la construction et à la maintenance permanente de la piste menant au chantier du transfert des eaux.

3.3 ETUDE DE TERRAIN

La classification par segment de la rivière des Pluies est rendue très délicate du fait de la présence de la piste et des travaux d'entretien opérés dans la partie moyenne et aval de la rivière, alors même que son lit est très étroit. Le remaniement des matériaux opéré pour cet entretien ne permet pas une lecture fiable dans le cadre de cette approche géomorphologique.

Malgré cette limitation, la rivière des Pluies semble être divisible en trois segments distincts en terme d'évolution du fond du lit et de stock de matériaux.

3.3.1 Segment I

Ce segment inclut une zone active de production de matériaux localisée au niveau de Grand Eboulis. Le relief du Grand Eboulis semble subir depuis un certains temps des processus érosifs qui aboutissent au rajeunissement permanent du relief. Ces érosions créent en pied de relief des cônes d'éboulis actifs dont les pieds sont dans le lit de la rivière. De ce fait, à chaque épisode hydrologique, une partie des matériaux est reprise par le torrent et transportée. Cette reprise en pied de relief contribue elle-même à déstabiliser les cônes et indirectement à réactiver les processus gravitaires. L'ensemble du flanc nord du Grand Eboulis est actuellement affecté par ces processus érosifs.

L'effondrement de mars 2002 de la bordure orientale du plateau d'Ilet Quinquina a amené un surplus brutal de matériaux dans le lit de la rivière. Leur volume a été évalué à 500 000 m^3 (source : document [4]). La morphologie et la faible couverture végétale présentes de part et d'autre de la zone effondrée en 2002 indiquent que des processus comparables se sont produits dans le passé. Cette zone de bordure de l'Ilet Quinquina est donc une source d'apport régulière de matériaux pour la rivière des Pluies, même si les processus générateurs de cet apport semble résulter d'un fonctionnement par « crise ». Les phénomènes qui se sont produits en 2002 sont donc très probablement reproductibles et susceptibles, selon l'ampleur des volumes mis en jeu, de conduire au même scénario (barrage de la vallée et formation d'une retenue d'eau en amont).

Les processus décrits précédemment, en apportant une quantité importante de matériaux dans le lit de la rivière, favorisent l'engraissement du lit dans la zone immédiatement à l'aval. Cette zone d'engraissement et de stockage de sédiments s'étend du barrage occasionné par l'effondrement d'une bordure de l'Ilet Quinquina jusqu'aux environs du chantier de transfert (Cap Frumence). Les sédiments présents dans le lit se caractérisent par la présence de gros galets et de gros blocs. Toutefois, la granulométrie n'y est pas homogène (hétérométrique), et nous avons noté la présence de galets, graviers, sables et silts en accompagnement de ces gros blocs. Par ailleurs, il faut noter la présence de chenaux qui entaillent et incisent localement très fortement les sédiments. Ces incisions indiquent que lors des événements hydrologiques ultérieurs au dépôt, les écoulements ont eu la capacité d'éroder et de transporter une partie des éléments présents dans le lit.

Les segments de rivière à forts atterrissements de matériaux sont entrecoupés de segments où les matériaux ne font essentiellement que transiter comme c'est le cas dans les deux gorges situées entre le Grand Eboulis et le chantier du transfert.

Localement, des affleurements, témoins d'anciennes coulées de boue / lahars ont été observés. Ces dépôts caractérisés par une matrice de couleur ocre à rougeâtre peuvent s'observer jusqu'à 2 à 3 m au dessus du fond du lit.

Figure 2 – Processus d'érosion et cônes d'éboulis au pied du Grand Eboulis (vue vers l'amont).

Figure 3 – Cicatrices de l'effondrement d'Ilet Quinquina en 2002 et vestiges du barrage créé.

Figure 4 – Lit de la rivière des Pluies au pied du Grand Eboulis.

Figure 5 – Dépôt de type coulée de boue en rive droite de la rivière des Pluies (à l'aval du Grand Eboulis)

Figure 6 – La rivière des Pluies à l'aval du barrage 2002 suite à l 'effondrement de l'Ilet Quinquina (vue vers l'amont).

Figure 7 – Fort engravement à l'aval du Grand Eboulis (vue vers l'amont).

Figure 8 – Fort engravement en amont des premières gorges (vue vers l'aval).

Figure 9 – Les gorges à l'amont du chantier de la prise d 'eau (vue vers l'amont).

3.3.2 Segment 2

Dans ce segment semble régner un certain équilibre et une certaine stabilité quant à l'évolution verticale du lit. Rappelons toutefois que le lit de la rivière des Pluies ne laisse jamais apparaître les formations géologiques du substratum, ceci plaidant contre une incision majeure de la rivière. Cette zone assez étroite s'étend du chantier de transfert des eaux jusqu'à l'aval du verrou situé à la côte 178 mètres. Ce segment présente dans l'ensemble un lit étroit (30 à 100 m de large environ), encaissé entre des remparts sub-verticaux. Sur les 3 kilomètres amont de ce segment, de nombreuses boucles ou méandres s'y développent. On y note la présence de terrasses alluviales pouvant atteindre 8 mètres d'épaisseur. Ces terrasses, probablement assez récentes, mais dont l'âge exact reste à déterminer, se localisent dans les concavités des boucles de la rivière. Des éboulis latéraux sont parfois présents en bordure de la rivière (par exemple : Cap Soldat en rive gauche).

Figure 10 – Zone d'accumulation modérée en amont du verrou à la côte 178 m.

Figure 11 – Dépôt de terrasse alluviale (T1) en rive droite au droit du verrou.

Figure 12 – Le verrou vu de l 'aval

Figure 13 – Aval du verrou. Noter la forte emprise de la piste sur le lit de la rivière.

Figure 14 – Aval du verrou. Noter la forte emprise de la piste sur le lit de la rivière et les perturbations générées.

3.3.3 Segment 3

Il s'étend de l'aval du verrou de la côte 178 m jusqu'à la mer. Sur ce segment, la rivière semble avoir un comportement en incision et donc une tendance à l'encaissement. Cette tendance est progressive et son ampleur va en augmentant au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'océan. Les terrasses T1 sont présentes aussi bien en rive gauche qu'en rive droite de la rivière. Elles sont assez développées et allongées et sont généralement aménagées, voire urbanisées. Ce segment débute à l'aval du « verrou » situé en contrebas et au Nord Est du lieu-dit Montauban. Des zones à érosion de berge s'y observent dans sa partie amont, en rive droite, et affectent des dépôts de terrasses T1. Seule une zone semble plutôt en accumulation dans ce segment ; il s'agit de la portion de rivière située au niveau du quartier des Orchidées entre le Pont Domenjod et le Pont Neuf.

A l'amont du pont Desbassyns, apparaît localement des affleurements d'un lahar. Ce lahar s'observe essentiellement en rive gauche et plus rarement en fond du lit. Le pont Desbassyns apparaît d'ailleurs comme un point de rétrécissement marqué du lit (une vingtaine de mètres de large), d'autant plus étroit que le pont en réduit la section d'écoulement (*voir paragraphe 2.3*).

Dans la partie aval, après le coude de la confluence avec la ravine du Bachelier, le lit devient quasi-rectiligne, et on y note l'apparition de plus en plus fréquente vers l'aval de lambeaux de basses terrasses en cours de végétalisation. Ces terrasses pourraient être attribuées au niveau de dépôt consécutif au passage de la dépression tropicale Hyacinthe en 1980.

L'encaissement du lit actuel par rapport à cette terrasse est, au niveau du pont métallique, de 2 m environ. Ces basses terrasses sont à des hauteurs variant du mètre à plusieurs mètres au dessus du lit vif actuel. Cet encaissement confirmerait que la rivière a tendance dans ce secteur à s'inciser dans des sédiments très récents.

Figure 15 – Cône de déjection. Incision du lit dans la terrasse T0b (niveau de dépôt attribué aux effets de la dépression tropicale Hyacinthe, en 1980).

3.4 CARACTERISATION GEOMORPHOLOGIQUE

3.4.1 Profil en long

Un levé topographique complet du lit de la rivière des Pluies a été réalisé entre novembre 2002 et février 2003 (donc postérieurement à l'éboulement du Grand Eboulis, survenu en mars 2002), par le cabinet Guid Ol à la demande de la DDE. Ce levé consiste en un profil en travers tous les 50 mètres environ. Il s'étend de l'embouchure de la rivière jusqu'à l'amont du Grand Eboulis, à la côte 566 m. La figure 16 montre le profil en long issu de ce levé topographique. L'analyse croisée de ce profil avec les photographies aériennes prises en 2002 permet de décomposer la rivière par *tronçons d'amont en aval, de la manière suivante :*

- de l'amont du profil jusqu'au coude situé à mi-distance de la zone de dépôt entre le Grand Eboulis et la deuxième gorge (côte 444 m), la pente est relativement régulière et a une valeur de 7,7 %. Sur ce tronçon, on observe les traces du barrage formé par l'éboulement de mars 2002. La rivière n'ayant pas encore eu le temps de reprendre la totalité des matériaux apportés, on note une diminution ponctuelle de la pente au droit de la zone d'apport du Grand Eboulis ;

- du coude situé au milieu de la zone de dépôt jusqu'à l'amont de la troisième gorge, la pente est de 6,5 %. On note une diminution ponctuelle de la pente au droit de la seconde gorge. En effet, la réduction de la largeur du lit conduit localement à une augmentation de la capacité de transport, qui provoque un basculement du profil (diminution de la pente par érosion en amont des gorges). Afin de « récupérer » la pente d'équilibre sur ce tronçon, la pente s'accroît ensuite fortement à l'aval immédiat de cette singularité. Ce phénomène est également visible au niveau de la première gorge, en amont du Grand Eboulis ;

- il l'est encore plus au droit de la troisième gorge, qui s'étend sur un linéaire plus long (220 m), que les deux premières. Au droit du rétrécissement, la pente n'est que de 3,9 %, puis passe à 8,7 % de la sortie des gorges à l'amont de la zone du chantier de transfert des eaux ;

- plus en aval, du chantier de transfert des eaux à la côte 225 mètres (soit sur 3 km de distance), le lit de la rivière est très encaissé et très sinueux, et à une largeur relativement stable de l'ordre de 30 à 50 mètres. Nous sommes ici dans une zone de transport des matériaux, où la pente est stabilisée à 4,4 %. Les variations de largeur se traduisent par de légères irrégularités sur le profil en long, les zones de convergence (rétrécissement) se manifestant par une réduction de pente ;

- à la sortie des gorges, de la côte 225 m au verrou situé à l'altitude 178 m, se trouve une zone de dépôt dont la pente moyenne est de 3,9 %. L'engravement de cette zone, visible sur le profil en long, est due au blocage des matériaux au niveau du verrou, où la largeur du lit est réduite à moins de 5 mètres. Ici encore, les variations de largeur du lit se traduisent par des irrégularités du profil en long. C'est le cas, par exemple, au niveau du replat situé à la côte 200 m, qui correspond à un rétrécissement marqué du lit de la rivière. En amont immédiat du verrou, la zone d'accumulation est très nette sur les photographies aériennes, et le lit de la rivière

s'élargit brusquement, passant de 10 mètres à la côte 195 m à 50 mètres à la côte 187 m.

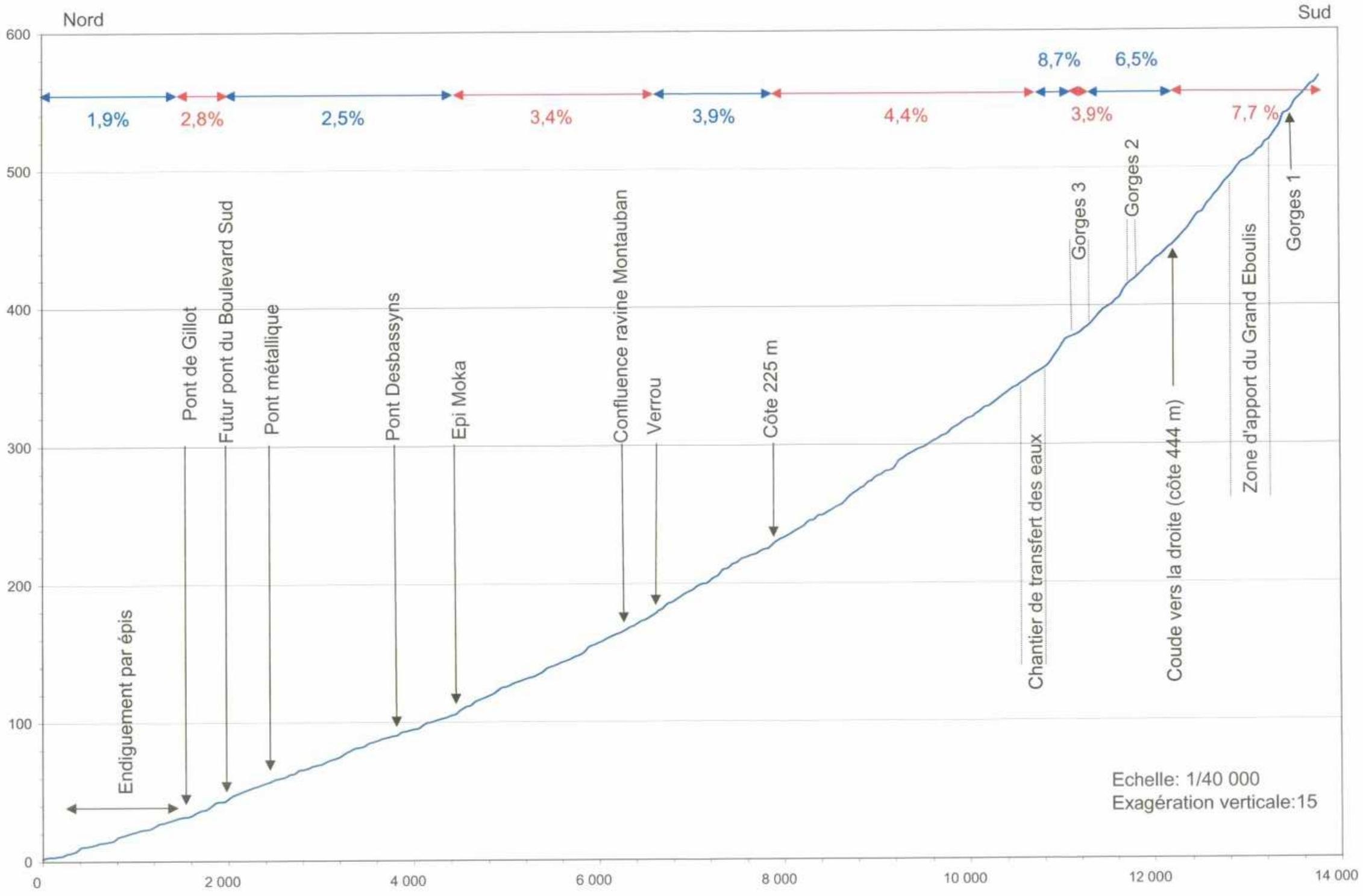
- à l'aval de ce tronçon, du verrou jusqu'à l'épi Moka, la pente est remarquablement stable à 3,4 %, et le lit de la rivière est moins encaissé et moins sinueux. Il s'agit d'une zone de transition entre la sortie des gorges et le début du cône de déjection (ce secteur correspond à l'extrémité aval du segment 2 décrit au paragraphe 3.3). Le profil de ce tronçon est caractérisé par trois ruptures de pente équidistantes de 500 mètres aux côtes 154, 140 et 125 m. On peut les interpréter comme étant les limites des langues de dépôts ayant franchi le verrou situé en amont lors des forts évènements hydrologiques. En effet, les matériaux grossiers stockés en amont du verrou ne peuvent être transportés vers l'aval que par « bouffées », lors des fortes crues. Après avoir franchi ce verrou, les matériaux sont de nouveau stockés dans la zone de dépôt en amont de l'épi Moka. On remarque que la confluence avec la ravine Montauban, dont les apports en matériaux solides sont quasiment nuls, n'est pas caractérisée par une variation significative du profil en long ;

- de l'épi Moka jusqu'au droit du futur pont du Boulevard Sud, la pente est de 2,5 %, et la tendance à l'engravement est de moins en moins nette à mesure que l'on progresse vers l'aval. A partir du pont Desbassyns le lit de la rivière s'élargit progressivement, et en aval du pont métallique, l'écoulement se fait en tresses. L'interprétation des variations du profil en long est ici plus difficile, car le lit a été fortement modifié par les extractions passées. On remarque sur le terrain, ainsi que sur le profil en long, une limite nette d'érosion régressive au droit du futur pont du boulevard Sud ;

- la pente du lit de la rivière augmente d'ailleurs localement puisqu'elle passe à 2,8 % entre la section au droit du future pont et le pont de la RN2 ;

- du pont de la RN2 à la mer, la pente est de 1,9 %. Cette valeur est conforme aux prévisions faites lors des essais sur modèle réduit pour l'allongement de la piste de l'aéroport. On peut donc penser que la rivière a atteint sa pente d'équilibre suite à la construction des épis. Enfin, l'influence de ces épis sur la pente du cône de déjection est bien identifiable sur le profil.

Figure 16 - Profil en long de la Rivière des Pluies - 2002/2003 (Source DDE)



3.4.2 Carte géomorphologique

Voir annexe hors texte.

3.4.3 Diagramme synthétique

La figure 17 présente un diagramme synthétique de la rivière des Pluies. Contrairement à la figure 16, les valeurs de pente ont ici été calculées entre les différents points de repère remarquables (ponts, aménagements, affluents). On remarque que la pente passe de 2,5 % entre le pont Domenjod et le pont neuf à 2,8 % entre le pont neuf et celui de la route nationale. Cette augmentation est due au phénomène d'érosion régressive dont la limite amont est actuellement située entre ces deux derniers ouvrages. Ce diagramme résume également l'évolution du fond du lit sur tout le linéaire du cours d'eau, à savoir un net engravement en amont du chantier de transfert des eaux, une zone d'atterrissement plus modeste de part et d'autre du verrou, et une zone en érosion dans la partie aval. Le type d'écoulement, l'épaisseur supposée des alluvions, les principaux aménagements et les aléas potentiels y ont également été représentés.

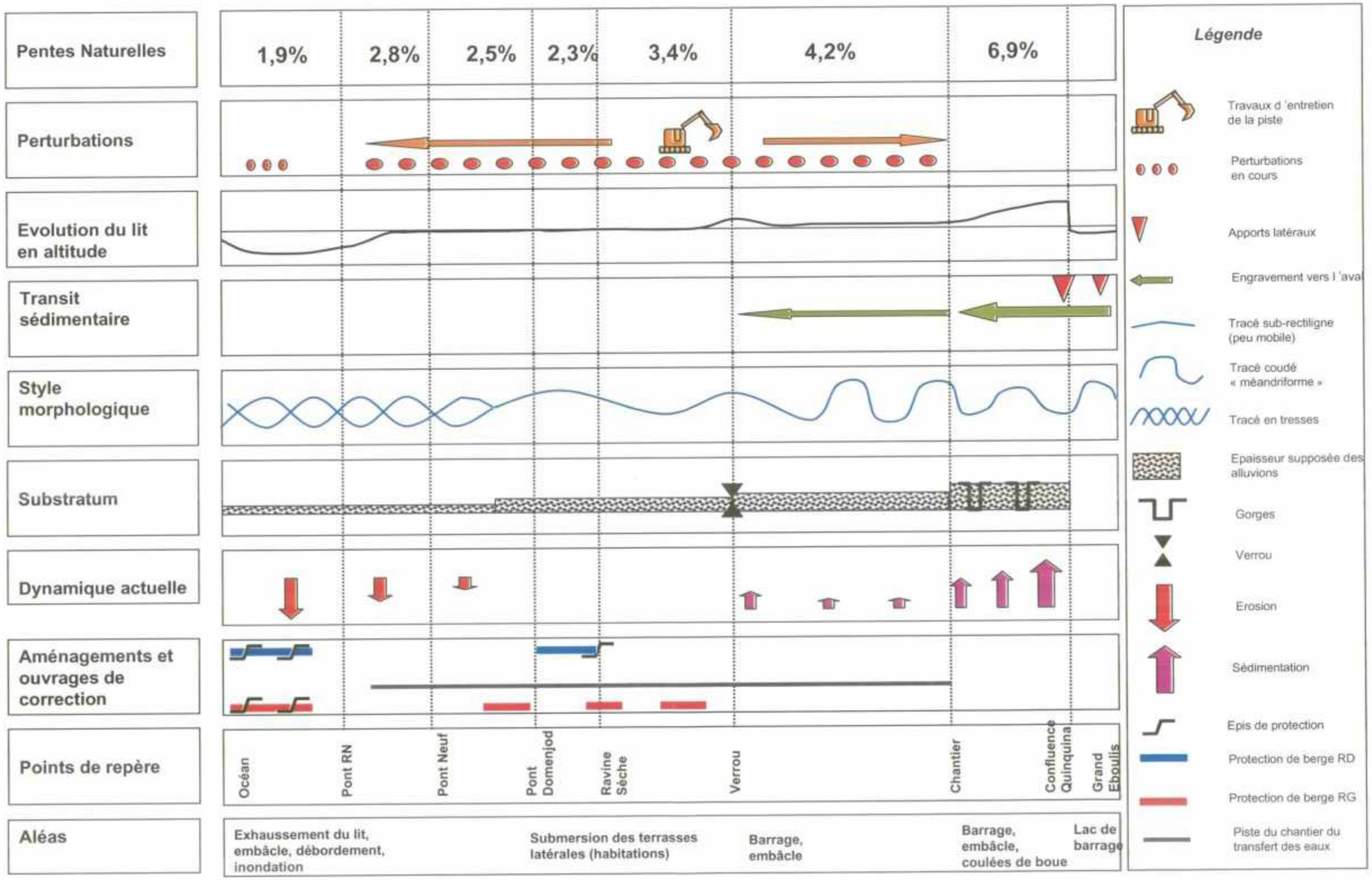
3.4.4 Evolution possible

Un stock important de matériaux est présent en fond de lit dans la zone du Grand Eboulis jusqu'au chantier du transfert des eaux. Ces sédiments sont hétérométriques et présentent donc une granulométrie variée (silts, sables, graviers galets et blocs). Du chantier jusqu'au verrou, sans être très engraissé, le lit semble être, soit stable, soit en léger engravement. Les processus d'incision du lit dans ses alluvions n'apparaît qu'aux environs amont de la confluence avec la ravine Sèche. Compte tenu du fait que les processus érosifs se poursuivent sur les flancs du Grand Eboulis et que la survenance d'autres effondrements en bordure de l'Ilet Quinquina est à attendre, la production de matériaux mis à la disposition de la rivière se poursuivra. Même en l'absence de nouveaux effondrements en bordure de l'Ilet Quinquina, l'érosion des reliefs mis à nu et des déblais occasionnés par l'effondrement de 2002 sera une source de production.

Si des événements hydrologiques importants se produisent, la mobilisation des sédiments de fond de lit à l'amont, aboutira à leur transfert progressif vers l'aval. La présence de gorges resserrées à l'amont du chantier pourra occasionner le blocage de gros blocs favorisant le piégeage de sédiments pouvant faire barrage. Les espaces à l'amont des gorges pourront alors être le siège de pièges à sédiment. Ces barrages peuvent, par ailleurs, être responsables de la création d'une retenue d'eau en amont dont la rupture brutale représente toujours un aléa majeur.

Si les événements hydrologiques ne sont pas extrêmes, seule la fraction fine et moyenne pourra être transportée. Dans ce cas les plus gros galets et blocs resteront dans la zone amont. Par contre, si les événements hydrologiques sont intenses, ou si suite à des phénomènes d'embâcle / débâcle brutaux des laves torrentielles se produisent, une partie de ces gros blocs et galets pourra être transportée.

Figure 17 - Diagramme synthétique de la Rivière des Pluies



Le transfert des matériaux dans un contexte hydrologique non exceptionnel se fera probablement progressivement au fur et à mesure des crues et conduira à un réhaussement progressif du fond du lit à l'aval. La présence de nombreuses boucles dans le tracé de la rivière entre le chantier du transfert et le verrou, pourrait conduire à de fortes accumulations locales de matériaux séparées par des biefs à accumulations beaucoup plus faibles. Ces taux non homogènes d'accumulation des sédiments sont à relier aux variations de vitesse de l'eau qui modifient la capacité de transport de la rivière dans cette zone sinueuse.

Le verrou à la côte 178 m, s'il se retrouvait obstrué par des gros blocs, pourrait se transformer en barrage qui transformerait ainsi le bief à l'amont immédiat en piège sédimentaire. Ceci conduirait à une élévation rapide du fond du lit dans ce secteur.

Dans la zone à l'aval du verrou, le transit de sédiments occasionnera probablement une remontée progressive du lit de l'amont vers l'aval. Cette remontée possible sera à surveiller car elle pourrait être préjudiciable aux habitations et à la voirie situées sur les terrasses latérales, quelques mètres au dessus du lit actuel. L'apport de matériaux issus de l'amont pourrait, de ce fait, amoindrir les processus d'incision, les annihiler ou même les inverser selon leur position dans le profil longitudinal et selon l'ampleur des transports solides qui se produiront.

A l'extrémité aval de la rivière (figure 18), le lit est actuellement en phase d'incision du fait des phénomènes d'érosion régressive consécutive aux extractions massives de matériaux alluvionnaires.

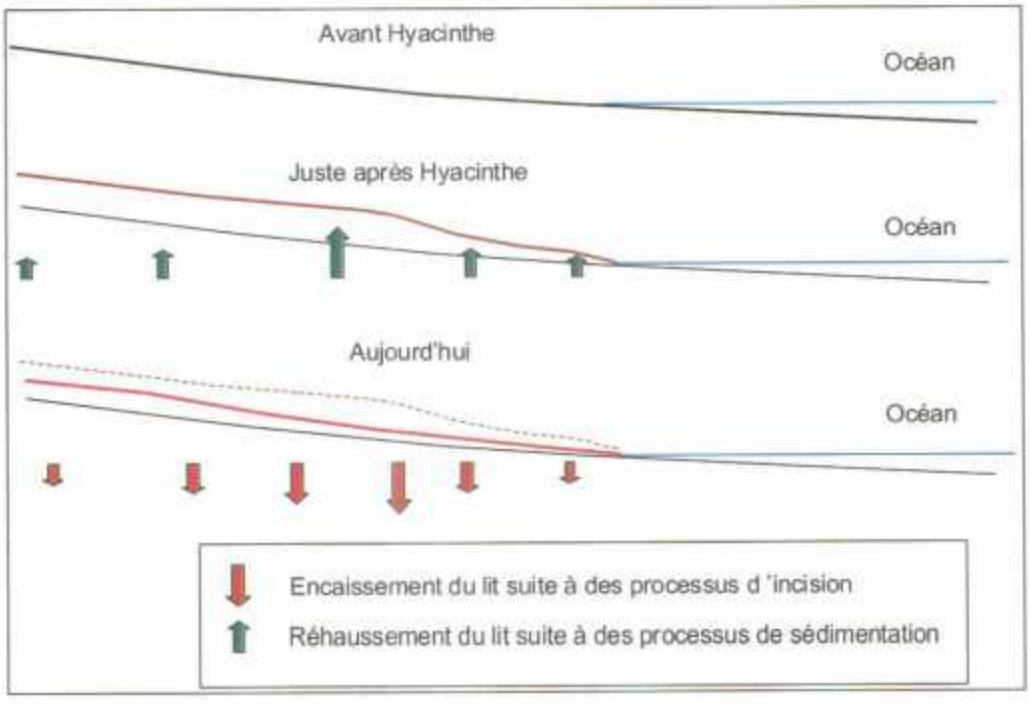


Figure 18 – Tendances d'évolution du lit dans le cône de déjection de la rivière des Pluies.

4. Conclusions et recommandations

La rivière des Pluies, au nord de l'île de La Réunion, marque la limite administrative entre les communes de Saint Denis et de Sainte Marie. La partie aval de son bassin versant traverse une zone fortement urbanisée, et en développement rapide. Ce contexte anthropique associé à l'ampleur et à la fréquence de ses aléas naturels (inondations, érosion de berge, mouvements de terrain), font que la rivière des Pluies est l'un des cours d'eau de l'île les plus marqué par les activités humaines. Au cours des 40 dernières années, les extractions de matériaux et les constructions d'ouvrages de protection et de franchissement sur son cône de déjection se sont multipliées. Aujourd'hui, la quasi totalité du lit de la rivière est occupé par les aménagements linéaires ou ponctuels du chantier du transfert des eaux (piste d'accès, etc.). De plus, la réalisation d'un nouvel ouvrage de franchissement, dans le prolongement du boulevard Sud, entre le pont de la RN2 et le pont métallique, est actuellement à l'étude.

La présente étude a eu comme objectif de diagnostiquer le fonctionnement passé et actuel de l'hydrosystème de la rivière des Pluies, afin de dégager des tendances d'évolution futures.

Dans un premier temps, les documents, photographies et rapports d'étude existants ont été rassemblés et analysés. Plusieurs reconnaissances de terrain, couvrant l'ensemble du lit de la rivière, du site du Grand Eboulis jusqu'à l'océan, ont été conduites à plusieurs mois d'intervalle, au cours desquelles de nombreuses photographies ont été prises. Ce travail a également bénéficié des nombreux survols héliportés réalisés par le BRGM dans le cadre de la surveillance et de la prévention des risques d'embâcle/débâcle menaçant la sécurité du chantier de transfert des eaux. Dans le cadre de l'analyse bibliographique des documents existants, nous nous sommes particulièrement intéressé à l'historique des données quantitatives influençant l'évolution des fonds (débits liquides, débits solides et leur relation, granulométrie, pentes). On remarque tout d'abord que la quasi totalité des études et données existantes concernent le cône de déjection (à l'aval de la confluence avec la ravine du Bachelier), qui fait l'objet de la plupart des aménagements. Seul, le plan photogrammétrique réalisé en 2002 par le cabinet GUID OI à la demande de la DDE, et bien sûr les anciennes photographies aériennes IGN, couvrent l'ensemble du linéaire de la rivière. Au cours des études antérieures, les débits caractéristiques en différents points remarquables ont été calculés à plusieurs reprises. Avec le temps, l'exploitation des chroniques pluviométriques de plus en plus longues et de plus en plus précises a permis de revoir les débits de crue à la baisse, par rapport aux premières estimations datant du début des années 1960. Aujourd'hui, les différentes études semblent s'accorder sur un débit de pointe centennal de l'ordre de 1000 m^3/s. En revanche, la quantification des débits solides est beaucoup plus rare, et seul le document [13] fournit des estimations à l'échelle du bassin versant. L'étude du transport des matériaux par charriage et de l'évolution du lit a surtout été menée à l'aide d'essais sur modèles réduits physiques. On note que les techniques de similitude, qui consistent à extrapoler les résultats obtenus sur le modèle physique d'une autre rivière (notamment la rivière des Galets), sont parfois employées. Une relation entre débit liquide et débit solide, nécessaire à la conduite des essais sur modèle réduit, a été évaluée pour la première fois par Sogreah en 1966, puis a été

reprise dans les différentes études ultérieures. Enfin, on note que les mesures granulométriques sont relativement rares par rapport au nombre d'études réalisées sur cette rivière.

L'analyse géomorphologique de la rivière a fait l'objet d'une triple approche, par photo-interprétation de clichés aériens IGN, reconnaissances de terrain et création et interprétation d'un profil en long. Il est important de noter que la « lecture » géomorphologique du cours d'eau est actuellement rendue difficile par les importantes perturbations engendrées par la construction et l'entretien permanent de la piste du chantier de transfert des eaux. De plus, le lit de la rivière étant étroit et encaissé très profondément entre des remparts, certaines photographies aériennes sont inexploitables du fait de la présence de zones d'ombre, pour l'étude de cette rivière. Cette analyse a permis de délimiter trois secteurs géomorphologiquement distincts, et propres à tout torrent ; une zone de production en amont (secteur du Grand Eboulis), une zone de transfert des matériaux dans des gorges encaissées, et une zone de dépôt à l'aval sur le cône de déjection. La comparaison de différentes séries de photographies aériennes datant de 1961 à 2002 montre que le secteur amont a toujours été très actif au cours de ces 40 dernières années. L'éboulement « majeur » d'une bordure de l'Ilet Quinquina, survenu en mars 2002, qui apporta un volume de matériaux estimé à 500 000 m^3, n'est donc pas considéré, du moins à l'échelle de vie humaine, comme exceptionnel, et est susceptible de se reproduire. Les évolutions du lit dans le secteur des gorges est plus difficile à mettre en évidence. Cependant, ce tronçon étant une zone de transit, les évolutions sont moins marquées que sur les secteurs amont et aval. Enfin, les photographies montrent que le cône de déjection a considérablement évolué au cours des dernières décennies, du fait des activités humaines (extractions de matériaux et aménagements divers). La dynamique actuelle de ce secteur est aujourd'hui encore très influencée par les conséquences de ces perturbations passées. Les extractions massives de matériaux dans la partie aval du cône (de l'ordre de 1 500 000 m^3 en 30 ans), ont provoqué un abaissement du niveau du lit de plusieurs mètres, et ont donné naissance à un phénomène d'érosion régressive dont la limite amont est aujourd'hui située entre le pont de la RN2 et le pont métallique. Dans les années à venir, ce front va poursuivre sa progression vers l'amont et devra être surveillé.

A la côte 178 mètres, soit dans la zone de transition entre la fin des gorges et le début du cône de déjection, le cours d'eau est caractérisé par un « verrou » rocheux très étroit, au droit duquel la largeur du lit est de l'ordre de 5 mètres. Cette singularité joue un rôle important dans la régulation du transport de matériaux. Dans le cadre de la mise en place d'un système d'alerte pour la sécurité du chantier du transfert des eaux, ou du futur ouvrage de franchissement du Boulevard Sud, cette section de contrôle pourrait être équipée pour réaliser des mesures de débits du cours d'eau. Cet appareillage, muni d'un système de transmission des données, pourra être associé à un ou plusieurs pluviomètres installés à l'amont du bassin versant.

Un profil en long du fil d'eau de la rivière a été réalisé à partir du plan photogrammétrique de 2002. L'analyse détaillée de ce profil (paragraphe 3.4.1) permet de mettre en évidence les relations existantes entre la pente, la granulométrie, les apports liquides et solides qui influencent l'équilibre dynamique du cours d'eau.

L'ensemble des éléments de cette analyse a été retranscrit sur une carte géomorphologique présentant un état des lieux actuel de la rivière, et synthétisé sur un diagramme schématique (paragraphe 3.4.3).

5. Bibliographie

[1] Agence de l'Eau Rhône – Méditerranée – Corse (1999). La gestion des rivières, transport solide et atterrissements. Guide méthodologique.

[2] BCEOM (1996). Boulevard Sud. Raccordement Est Gillot. Etude du tracé routier – Etude préliminaire. B – 4. Sous-dossier étude hydraulique.

[3] BCEOM, SOGREAH (1992) – Guide d'estimation des débits de crue à La Réunion.

[4] Cruchet M et Chevalier P. (2002) - Eboulement et embâcle en mars 2002 dans le lit de la rivière des Pluies au lieu-dit « Grand Eboulis ». Analyse des phénomènes et évaluation des risques. Rapport BRGM/RC-51755-FR. 15 p., 2 fig., 3 ann.

[5] Graf W et Altinakar M. (2000). Hydraulique fluviale. Ecoulement et phénomènes de transport dans les canaux à géométrie simple. Presses polytechniques et universitaires Romandes.

[6] Hydrétudes, ETRM, CNR (2000). Boulevard sud de Saint-Denis. Etude sur modèle réduit du franchissement de la rivière des Pluies.

[7] Laboratoire Central d'hydraulique de France (1981). Monographie de la rivière des Pluies entre la ravine du Bachelier et la mer. Rapport d'étude.

[8] Réménieras G (1999). L'hydrologie de l'ingénieur. Editions Eyrolles.

[9] SOGREAH (1990). Rivière des Pluies. Schéma Technique de Protection contre les Crues.

[10] SOGREAH (1966). Protections à réaliser dans la rivière des Pluies pour l'allongement de l'aérodrome de Saint Denis Gillot. Volume 1 : Etude sur modèle réduit. Rapport R 9221.

[11] SOGREAH (1978). Etude de la protection du village de la rivière des Pluies contre les crues de la rivière des Pluies. Rapport R 36 0747.

[12] SOGREAH (1982). Protection du village de la rivière des Pluies. Etude sur modèle réduit au 1/70. Rapport R 36 1646.

[13] SOGREAH, LCHF (1988) – Schéma d'extraction de la rivière des Pluies.

Annexe 1

Carte géomorphologique de la Rivière des Pluies au 1/12 500

Cartographie réalisée dans le cadre de l'étude: "étude du transport solide et de l'évolution du fond du lit de la Rivière des Pluies"

Décembre 2003

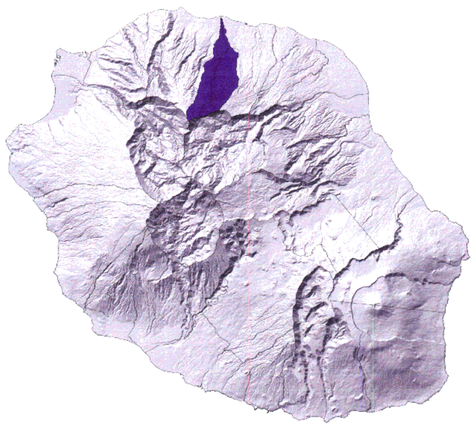
Rapport BRGM/RP-52841-FR

direction départementale de l'Équipement Réunion

brgm Géosciences pour une Terre durable

Ile de La Réunion

Bassin versant de la Rivière des Pluies



LEGENDE

Levés de terrain par Manuel Garcin et Richard Pouget - année 2003

- Zone d'arrachement
- Niche d'arrachement
- Eboulis
- Cône d'éboulis
- Coulées de boue ou laves torrentielles
- Chaos de blocs
- Alluvions actuelles
- Zone à gros galets
- Alluvions "anté-actuelles"
- Zone d'atterrissement marqué
- Erosion de berge
- Terrasses anciennes
- Zone de rétrécissement (verrou)

Piton Gabou Toponymie (BD Topo IGN)

Courbes de niveau (BD Topo IGN), équidistance: 10 m

Réseau hydrographique (BD Topo IGN)

Réseau routier et chemins (BD Topo IGN)

IGN

BD TOPO® REUNION