

La dynamique torrentielle et sédimentaire du Torrent du Prêcheur (Martinique, Petites Antilles) suite aux lahars de 2010

Anouk VILLE

La Martinique est une île volcanique située dans l'arc des Petites Antilles et est caractérisé par un climat tropical, impliquant une pluviométrie élevée, avec des précipitations pouvant atteindre 6 000 mm/an.

La rivière du Prêcheur, située dans le Nord-Ouest de l'île de la Martinique (Petites Antilles), est un torrent volcanique appartenant au massif de la Montagne Pelée.

Ce torrent est régulièrement soumis à un type de mouvement de terrain : les lahars.

Les lahars constituent des coulées de boue qui se produisent dans le réseau hydrographique d'un volcan.

Ils ont pour origine le remaniement par l'eau des matériaux volcanoclastiques (précipitations, fonte des neiges, rupture d'une retenue d'eau naturelle ou artificielle...).

En milieu volcanique tropical, les lahars sont considérés comme le principal agent morphogène qui incisent les vallées parfois sur des dizaines de mètres (Lavigne, 1998; Lavigne *et al.*, 2000). Ces derniers possèdent une forte concentration sédimentaire (supérieure à 60% en volume, Lavigne, 1998) et une granulométrie très étendue (du mètre au micron), les rendant potentiellement dommageables. La présence du Bourg du Prêcheur à l'aval de la rivière, dont il sera question dans cette étude, constitue un enjeu socio-économique important, confronté à ce risque.

L'histoire de ce cours d'eau (Bouloc, 1981; Sedan *et al.*, 1998; Meunier, 1999; Saffache, 2001; Lalubie, 2010, Aubaud *et al.*, 2013) fait état de plusieurs crises liées à l'occurrence de nombreux lahars de différents types. En effet, le torrent du Prêcheur, comme de nombreuses autres rivières du flanc Ouest de la Montagne Pelée, a été affecté par des lahars syn-éruptifs et post-éruptifs pendant et après les éruptions de 1902 et 1929 (Lacroix, 1904, 1908; Chrétien, 1983; Chrétien et Brousse, 2002), la première étant tristement célèbre du fait des dégâts engendrés (destruction totale de la ville de Saint-Pierre).

Depuis 1929, l'activité volcanique ayant cessé pour le moment, le bassin du Prêcheur est affecté par un autre type de phénomène morphologique à l'origine de lahars non éruptifs depuis le début des années 1950. Un escarpement de 300 m de hauteur présent à l'amont du bassin versant, dans le principal affluent de la rivière du Prêcheur (la rivière Samperre), est soumis à des instabilités à l'origine d'importants éboulements. Ces derniers apportent des matériaux mobilisables à l'amont de la rivière Samperre, à 900 m d'altitude, là où les précipitations peuvent atteindre 6 000 mm/an. Ces éboulements engendrent des lahars d'origine non éruptive.

La période d'étude s'étend de 2010 à 2015, 2010 étant l'année où une sérieuse crise a eu lieu avec un éboulement majeur survenu le 11 mai 2010 sur l'escarpement de la rivière Samperre, qui a été à l'origine de nombreux lahars (Clouard *et al.*, 2013; Aubaud *et al.*, 2013). Le lahar du 19 juin 2010 constitue l'évènement le plus important ayant inondé le village et détruit le pont de la route départementale n°10, qui constitue le seul itinéraire routier pour rejoindre le Nord de l'île (Aubaud *et al.*, 2013).

La méthodologie

Dans un premier temps, des données issues de géophones (ou réseau AFM), ont été traitées afin d'identifier et d'analyser les principaux lahars survenus en 2010.

Une station AFM est constituée d'un sismomètre, qui enregistre les vibrations du sol émises lors d'un lahar ou un écoulement liquide important, ainsi que d'un microprocesseur qui analyse le signal émis.

Le microprocesseur enregistre alors chaque seconde les vibrations émises par le sismomètre. Le signal est ensuite amplifié, afin de pouvoir être décomposé en trois bandes de fréquences :

(1) *low-gain broad frequency band* (canal FULL: 10-300 Hz), correspondant au signal toutes fréquences;

(2) *high-gain low-frequency band* (canal HILO: 10-100 Hz), correspondant au signal des basses fréquences;

(3) *high-gain high-frequency band* (canal HIHI: 100-300 Hz), correspondant au signal des hautes fréquences.

Les basses fréquences (HILO) permettent de détecter des coulées de débris ou les écoulements hyperconcentrés alors que les hautes fréquences (HIHI) détectent les écoulements liquides de faible intensité (Hadley et La Husen, 1983; Lavigne *et al.*, 2000).

Le rapport entre l'intensité des signaux des bandes de haute fréquence et ceux de basse fréquence peut fournir une indication sur la concentration sédimentaire d'un écoulement (Lavigne *et al.*, 2000).

Depuis 1998, suite à de nombreux lahars, notamment en 1980, l'OVSM/IPGP a équipé le bassin versant du Prêcheur de deux géophones

(figure 2): CPMA, situé à Case Petit à environ 300 m de la rivière en rive droite à 150 m d'altitude, et RPRE à l'amont de la rivière Samperre, situé à une trentaine de mètres du lit à 450 m d'altitude, en rive gauche. D'après la chronologie des lahars de 2010 recensée dans l'article d'Aubaud *et al.* (2013), le signal émis par les géophones pendant cet événement a pu être analysé.

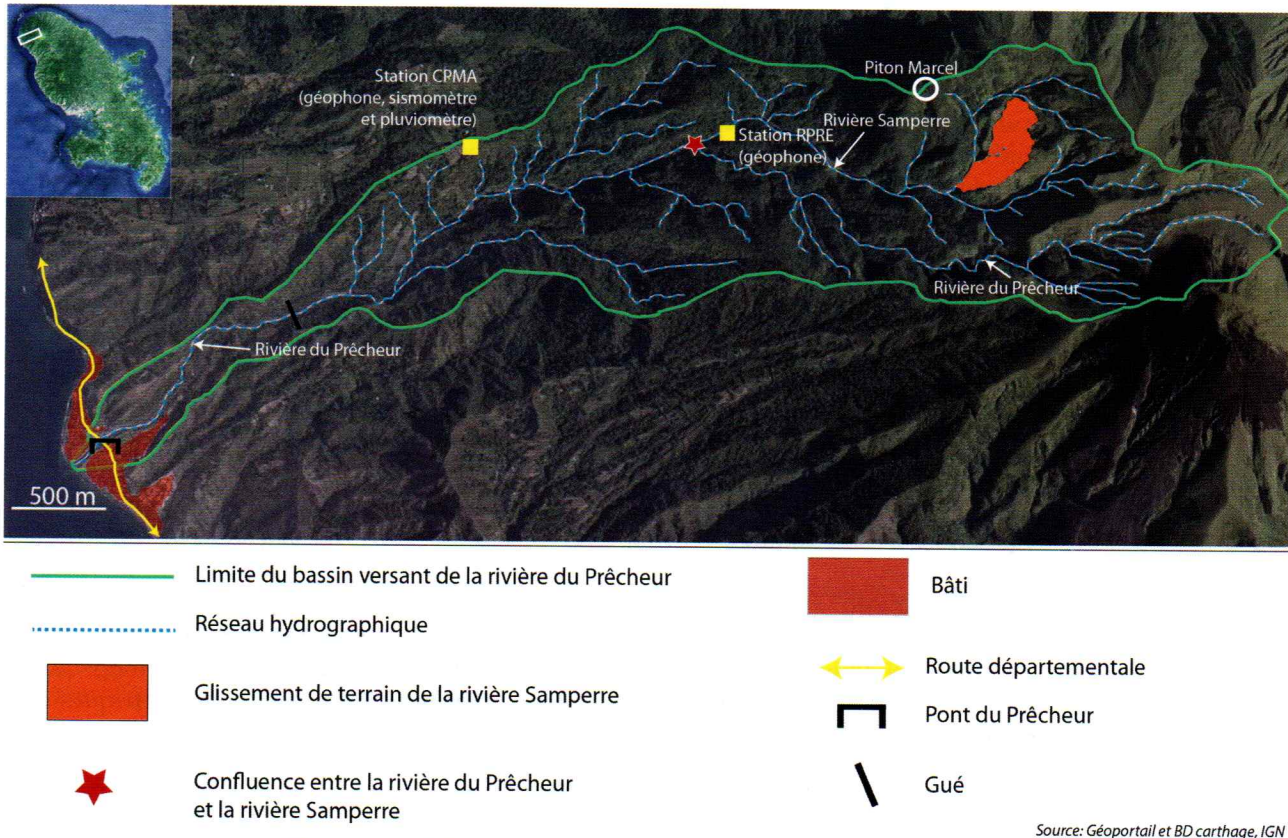


Figure 1: le bassin du Prêcheur: aléas et enjeux. Source © IGN.

D'autre part, le géophone CPMA, à l'aval de la vallée (figure 1), est associé à un pluviomètre à auget d'une résolution de 0,5 mm, dont les données ont permis de caractériser les événements pluvieux à l'origine d'un lahar (quantité, durée, intensité des pluies). Dans une seconde partie, les évolutions géomorphologiques de la rivière du Prêcheur suite aux éboulements et aux lahars de l'année 2010 ont été étudiées.

Deux Modèles Numérique de Terrain (MNT), issus de données LiDAR (*light detection and ranging*), ont permis une analyse dans le temps de la morphologie de la rivière entre mars 2010 (avant les lahars) – MNT réalisé dans le cadre du projet Litto 3D® – et juillet 2010 (après les lahars) – MNT financé par la DEAL Martinique. Un MNT est une représentation en trois dimensions d'une portion de la surface terrestre. La technologie LiDAR consiste à effectuer un balayage latéral au sol qui fournit les distances entre un support aérien (avion) et la sur-

face terrestre grâce à l'émission d'un faisceau laser. Cette technique permet en outre de produire un grand nombre de points 3D géoréférencés ayant pour finalité la création de MNT.

Grâce à ces MNT, les volumes d'accumulation et d'érosion liés aux matériaux des éboulements et des matériaux transportés par les lahars ont pu être estimés. Le MNT de juillet 2010 est associé à des images rectifiées d'une résolution de 0,2 m. Pour compléter ces données, une mission de terrain a été effectuée en février-mars 2015. Elle a consisté à réaliser des profils topographiques au télémètre laser.

Résultats

Les lahars conditionnés par le stock sédimentaire et les précipitations

L'occurrence d'un lahar dépend non seulement du stock de matériaux mobilisables en amont d'un bassin versant mais également de la pluviométrie ou de l'hydrologie du cours d'eau.

Ce lien entre le stock sédimentaire, l'occurrence d'un lahar et la pluviométrie est très net dans la rivière du Prêcheur en 2010. D'après la figure 2, il y a eu de nombreux éboulements de l'escarpement de la rivière Samperre entre avril et décembre 2010, avec 267 évènements au total,

dont 51 évènements d'intensité forte, et un évènement d'intensité très forte, à savoir l'éboulement paroxysmal du 11 mai 2010 à 2 h 12 (heure locale) qui a duré 72 secondes.

(source : webobsv2.ovmp.martinique.univ-ag.fr)

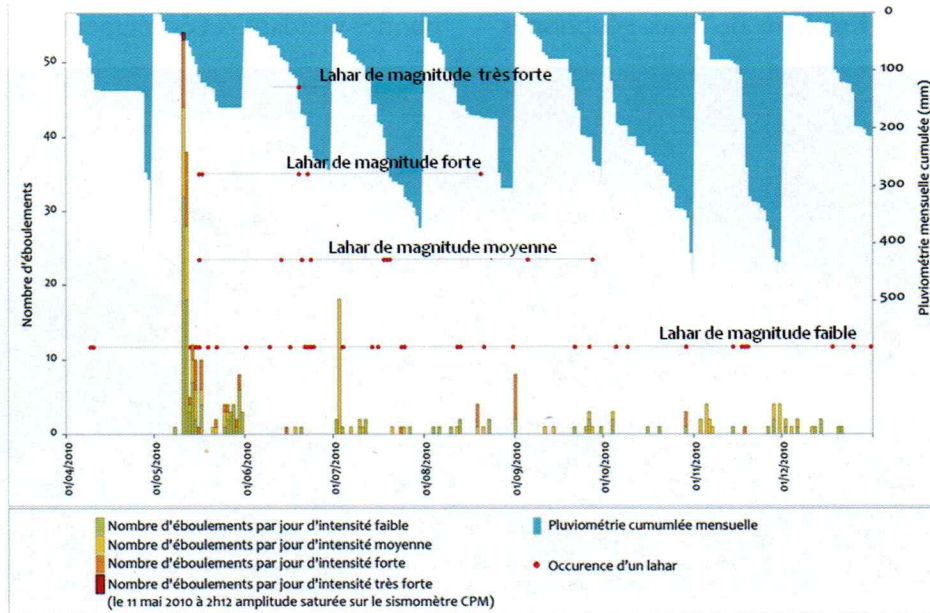


Figure 2: relation entre la pluviométrie, les éboulements et les lahars.

La figure 3 illustre le nombre d'éboulements journaliers selon leur intensité (l'intensité provient des données accessibles sur le site internet de l'OVSM), l'occurrence des lahars et leur mag-

nitude d'après la chronologie de Aubaud *et al.*, (2013), ainsi que la pluviométrie mensuelle cumulée d'après les données pluviométriques de la station CPM.

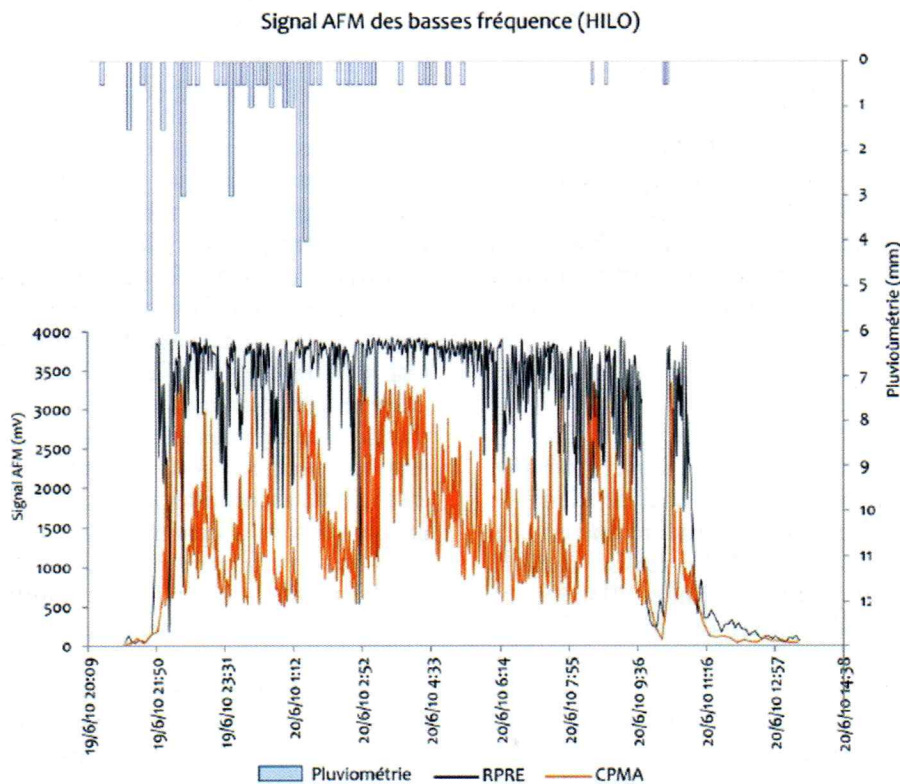


Figure 3: signal AFM du lahar du 19 juin 2010 et la pluviométrie associée.

Il en ressort que l'intensité et le nombre d'éboulements ne sont pas homogènes dans le temps. Le mois de mai est le plus touché avec 61 % des éboulements survenus sur la période étudiée. La majorité des lahars se sont, quant à eux, produits aux mois de mai (20 %) et de juin (28 %). Il y a donc une bonne concordance entre un apport massif de matériaux survenus entre le 8 et le 31 mai (où 44 % des éboulements sont d'intensité forte et très forte) et le nombre de lahars déclenchés entre le 13 mai et le 24 juin (48 % des lahars de 2010).

En mettant en relation ces observations avec la pluviométrie, il semble que les mois de mai et de juin soient les moins pluvieux de l'hivernage (avec respectivement 168 mm et 290,5 mm). À l'inverse, les deux mois les plus pluvieux sont ceux d'octobre (avec 487 mm) et de novembre (avec 453 mm). Néanmoins, ces deux mois concentrent seulement 12 % des lahars, tous de magnitude faible. L'apport sédimentaire est quant à lui très faible avec 8 % des éboulements dont une majorité peu intenses.

En conclusion, pour ce qui est de l'occurrence des lahars et de leur magnitude, la pluviométrie ne semble pas être une condition suffisante, la disponibilité de matériaux en amont étant le principal facteur. Néanmoins, une étude de la pluviométrie déclenchante des lahars doit être approfondie car elle est à l'heure actuelle fortement sous-estimée. Le pluviomètre actuel est situé à 300 m d'altitude, à l'aval de la vallée, alors que les précipitations sont deux fois plus importantes à l'amont, zone de déclenchement et de départ des lahars.

Analyse des données AFM

L'analyse des signaux AFM montre qu'il en existe plusieurs correspondant à une signature de l'écoulement (Lavigne et al., 2000; Van Westen et Daag, 2005). Ainsi, l'amplitude des basses fréquences d'un signal AFM coïncide aux écoulements fortement chargés, alors que les écoulements moins chargés sont représentés par les hautes fréquences. Faute de calibrage des géophones, il n'a pas été possible de quantifier les données AFM de la rivière du Prêcheur, et les analyses effectuées sont donc qualitatives.

Une typologie a pu être réalisée, différenciant les lahars caractérisés par une seule pulsation, de ceux caractérisés par plusieurs pulsations.

Le lahar du 19 juin (*figure 4*), évènement paroxysmal de la crise, est particulier dans la mesure où le signal est complètement saturé durant l'évènement. Le signal AFM du lahar du 19 juin 2010 a été déclenché brutalement, avec une intensité pluviométrique de 15 mm/h enregistrée sur CPM 40 minutes avant le début de

l'évènement. Le signal AFM est immédiatement saturé sur la station amont (RPRE) sur les trois bandes de fréquences. La vitesse du front est relativement lente avec 1,8 m/s. La pluviométrie est relativement constante pendant la durée du lahar: au total il a plu 47,5 mm entre 20 h 30 le 19 juin 2010, et 10 h 22 le 20 juin 2010.

Cette pluviométrie enregistrée, certainement plus intense en amont, a probablement permis au lahar de se maintenir sur une durée aussi longue, ce dernier ayant duré quinze heures et quinze minutes.

L'accumulation de matériaux depuis le début du mois de mai est probablement responsable de ce lahar, couplée à un épisode pluvieux très long d'après les données de la station CPM (station aval). Le signal AFM de ce lahar est très particulier. Une hypothèse d'un lahar possédant un très fort débit mais de type hyperconcentré (lahar avec une concentration sédimentaire entre 20 et 60 % en volume, Lavigne, 1998) est à envisager.

La charge solide aurait été suffisante pour transporter de gros blocs par traction et par salutation, d'où la présence de très nombreux pics sur le signal AFM, mais pas suffisante pour transporter ces blocs par suspension (flottage des blocs), auquel cas le signal aurait été moins intense. La durée très longue de l'évènement serait également un élément appuyant l'hypothèse d'une très forte crue de type hyperconcentrée, les coulées de débris (lahar avec une concentration sédimentaire supérieure à 60 % en volume, Lavigne, 1998) étant généralement plus brèves.

L'intensité des lahars se reflète bien à travers l'amplitude du signal, avec, par exemple, la présence de plusieurs pulsations, ou la saturation du signal. Les vitesses d'un écoulement sont également faciles à déterminer grâce à ce type d'instrumentation. Néanmoins, la détermination d'une typologie détaillée indiquant qu'une forme spécifique du signal AFM puisse correspondre à un type de lahar reste complexe, en l'absence de calibrage des appareils.

L'impact de l'éboulement du 11 mai 2010 et des lahars

La *figure 4* est le résultat de la soustraction altimétrique entre le MNT de mars 2010 et celui de juillet 2010. Les dépôts apparaissent en jaune/rouge et l'érosion en vert/bleu.

Cette carte, et les données qui en sont issues montrent d'une part que le volume de dépôt est très important, avec $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ de dépôts sur l'ensemble de la rivière (*figure 4*). D'autre part que la zone glissée (section 1) de la paroi de l'escarpement (principal éboulement du 11 mai 2010), correspond à un volume de plus de $2 \times 10^6 \text{ m}^3$, accumulés en pied de pente, avec une érosion

verticale atteignant 133 m (correspondant au recul de l'escarpement suite au décrochage d'un pan de « falaise »). D'après différents rapport de l'OVSM/IPGP, qui a effectué des survols de la zone en hélicoptère, l'extension des dépôts éboulés s'arrêterait non loin de la zone d'escarpement (figure 4). Ces dépôts atteignent 40 m d'épaisseur pas endroits. D'autre part, il a été calculé qu'environ $1,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ de matériaux avait été remobilisés par les lahars, et que $1 \times 10^6 \text{ m}^3$, soit 56 % des dépôts avaient été évacués en mer.

À l'aval, entre 400 m d'altitude environ et la confluence entre la rivière du Prêcheur et la rivière Samperre (260 m d'altitude), le lit est étroit et est bordé de hauts versants abrupts. Cet espace est fortement encombré en juillet 2010 par des dépôts de lahar compris entre 10 et 30 m (section 3). Quelques zones d'érosion d'une

dizaine de mètres sur les marges du lit mineur sont visibles, pouvant correspondre à des effondrements de berge. En aval de la confluence avec la rivière du Prêcheur et jusqu'à l'embouchure, la dynamique de dépôt par les lahars est dominante sur l'ensemble du lit avec très peu de zones d'érosion et une aggradation en majorité comprise entre 1 et 5 m (section 4).

Ainsi, les lahars ont très peu érodé l'ensemble du lit, contrairement à ce que l'on peut observer sur d'autres rivières volcaniques touchées par les lahars (Lavigne, 1998). Cette dynamique particulière de dépôt sur l'ensemble du profil longitudinal peut être attribuée au déséquilibre entre l'importante quantité de matériaux éboulés puis remobilisés, par rapport à la longueur de la rivière qui mesure moins de dix kilomètres, ce qui est faible.

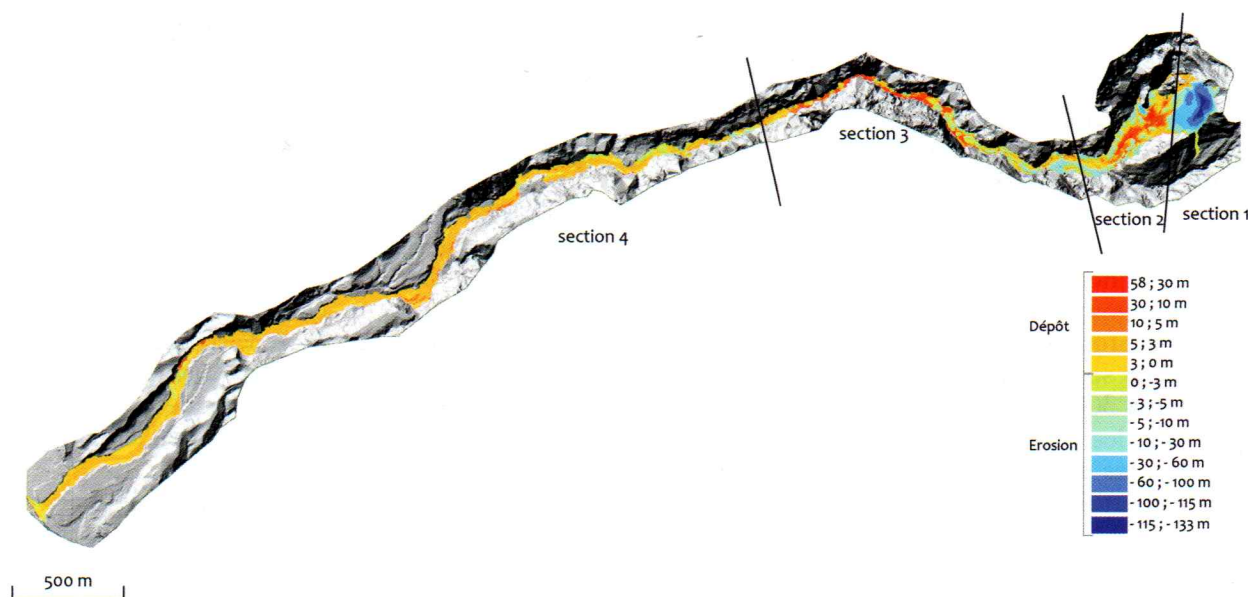


Figure 4: cartographie des zones de dépôt et des zones d'érosion.

Évolution morphologique entre 2010 et 2015: une incision contrastée

Après 2010, des lahars de faible magnitude ont continué de se produire et ont eu comme impact avec les écoulements quotidiens depuis cinq ans d'inciser les dépôts de lahar.

Actuellement, cette incision est visible dans le paysage mais est assez faible. Le lit est donc en cours d'incision dans les dépôts de lahar récents mais il n'a, presque nul part, atteint son niveau de mars 2010, en dehors de l'aval lorsque des extractions ont eu lieu pour curer le lit de la rivière très encombré. Cette érosion verticale n'est pas homogène sur le profil en long et elle est localement accentuée par les curages.

L'incision à l'amont du gué (figure 5) est en effet assez faible, de l'ordre de 1 à 2 m, alors que l'incision en aval du gué est plus forte, de l'ordre

de 3 à 5 m (figure 5), et plusieurs terrasses sont visibles. Ainsi, l'activité morphologique du cours d'eau est bien réelle mais doit être considérée comme relativement lente.

Étant donnée la présence de grandes plages de dépôts très grossiers à l'amont, nous supposons qu'aucune crue, ni lahar suffisamment intense, n'a pu évacuer ces blocs. Ils sont d'ailleurs en cours de végétalisation (figure 6).

La fréquence des lahars jusqu'en 2011 et leur apport régulier de matériaux auraient donc empêché la végétation de coloniser ces plages de dépôts jusqu'à cette date.

Ensuite, l'occurrence des lahars aurait fortement diminué et les crues de faible intensité auraient lessivé les matériaux les plus fins, laissant les blocs grossiers visibles, désormais peuplés d'une végétation arbustive récente.

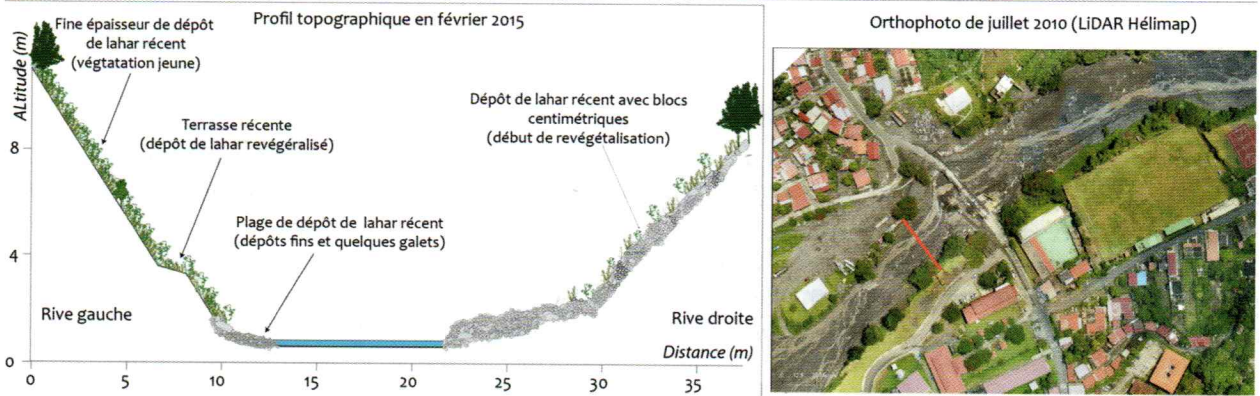
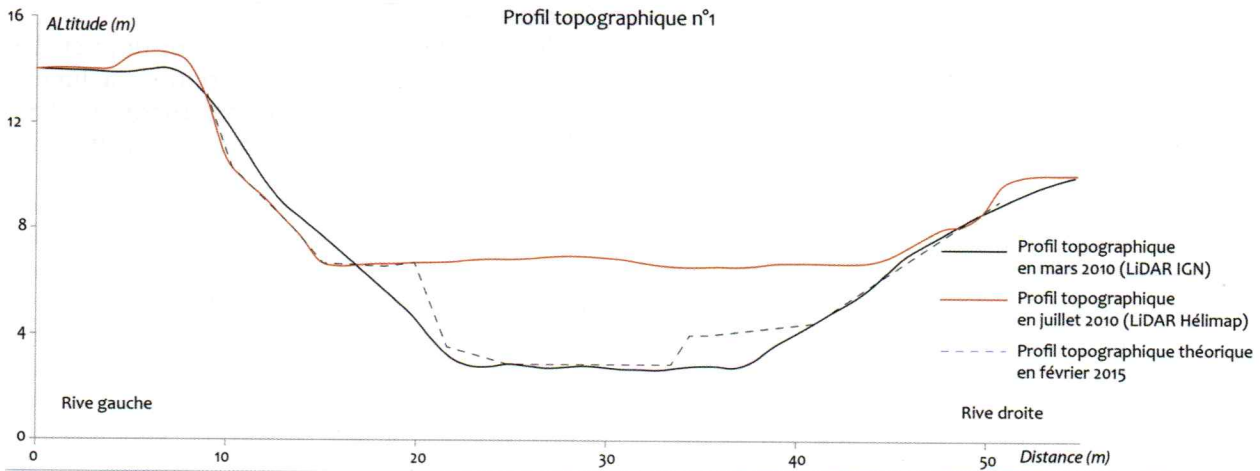


Figure 5: profils topographique n°1 à l'aval.

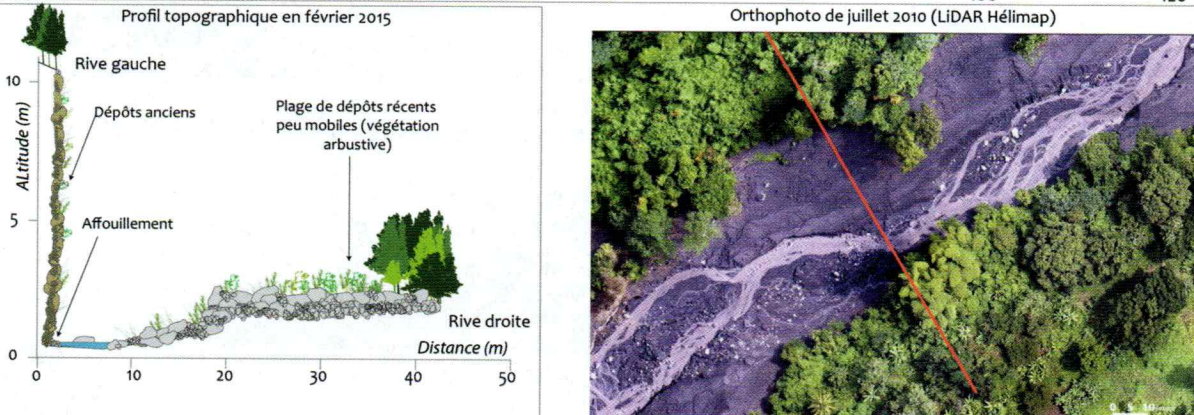
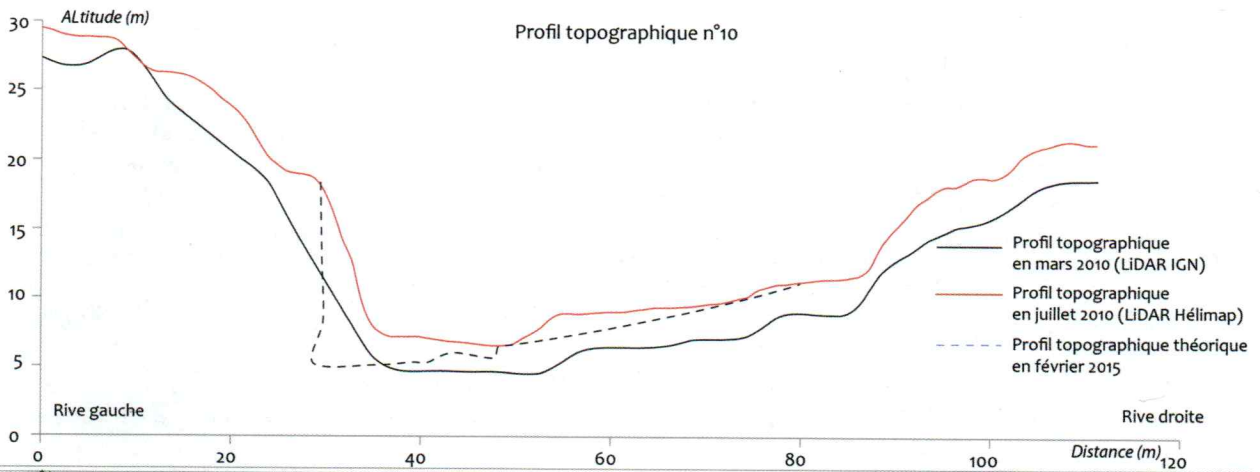


Figure 6: profils topographique à l'amont.

Conclusion

La dynamique des lahars de la rivière du Prêcheur, encore mal connue, semble plus complexe par rapport aux autres torrents, du fait de la présence de sources de sédiments variées. Générateur d'importants dommages matériels comme en 2010 mais aussi humains dans le cas des lahars éruptifs de 1902, les lahars possèdent d'importantes capacités de transport et de submersion, couplées à des vitesses d'écoulement élevées à l'origine d'une forte capacité d'impact. L'analyse des signaux émis par les instruments, outre le fait de constituer un système de détection, est une source d'information qui ne fait actuellement pas l'objet d'étude particulière.

En effet, les géophones peuvent donner des indications quant à la concentration sédimentaire des écoulements, paramètre important dans la détermination du potentiel destructeur d'une coulée.

Couplé à l'acquisition des données pluviométriques intervenant dans le déclenchement des lahars, grâce à des données météorologiques radar et à l'installation d'un pluviomètre à l'amont du bassin par exemple, cette instrumentation constitue une source de données nécessaires à la caractérisation des coulées et des crues, menant à une meilleure connaissance scientifique de l'aléa. □

Remerciements

Je remercie Franck Lavigne et Frédéric Gob pour avoir dirigé mes travaux de Master 2.

Je remercie Vincent Tamisier et Clément Virmoux qui ont pris part au projet et m'ont apporté leur aide et l'OVSM/IPGP pour avoir mis à ma disposition les séries temporelles de données et pour m'avoir accueillie pendant ma mission de terrain.

Merci à Cyril Aubaud pour son aide, et à Pascal Marras (DEAL), Laure Fossorier (DEAL) et Guillaume Lalubie pour le temps qu'ils m'ont accordé en Martinique.

Je remercie enfin l'association L.A.V.E qui m'a permis de financer la mission de terrain.

Orientation bibliographique

- Aubaud C., Athanase J.-E., Clouard V., Barras A.-V., Sedan O. (2013) – *A review of historical lahars, floods and landslides in the Precheur river catchment, Montagne Pelée volcano (Martinique, Lesser Antilles)*. Bulletin de la société géologique de France., 184, n°1-2 – pp. 137-154.
- Chrétien S. (1983) – *Identification et analyse des phénomènes précédant l'éruption du 8 mai 1902 de la Montagne Pelée (Martinique)* d'après les documents d'époque. Thèse de doctorat, Université Paris-Sud – 241 p.
- Chrétien S., Brousse R. (2002) – *La Montagne Pelée se réveille, comment se prépare une éruption cataclysmique*. 2^e édition. Paris, Édition Boubée – 243 p.
- Clouard V., Athanase J.-E., Aubaud C. (2013) – *Physical characteristics and triggering mechanisms of the 2009-2010 landslide crisis at Montagne Pelée volcano, Martinique: implication for erosional processes and debris-flow hazards*. Bulletin de la Société Géologique de France, 184, n°1, pp. 155-164.
- Hadley K.C., La Husen R.G. (1993) – *Technical manual for acoustic flow monitoring*. U.S Geological Survey – 19 p.
- Lacroix A. (1904) – *La Montagne Pelée et ses éruptions*. Paris, Éd. Masson & Cie – 662 p.
- Lacroix A. (1908) – *La Montagne Pelée après ses éruptions avec observations sur les éruptions du Vésuve en 79 et en 1906*. Paris, Éd. Masson & Cie – 136 p.
- Lalubie G. (2010) – *Les cours d'eau du massif de la Montagne Pelée: une approche multiscalaire pour appréhender les risques hydro-volcano-géomorphologiques*. Thèse de doctorat, Université des Antilles et de la Guyane, Faculté des lettres et des sciences humaines, vol. 1, 318 p. et vol. 2, 308 p.
- Lavigne F. (1998) – *Les lahars du volcan Merapi, Java Central, Indonésie: déclenchement, budget sédimentaire, dynamique et zonage des risques associés*. Thèse de doctorat, Université Clermont-Ferrand II Blaise Pascal, 603 p.
- Lavigne F., Thouret J.-C., Voight B., Suwa H., Sumaryono A. (2000) – *Lahars at Merapi volcano, Central Java: an overview*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, n°100, pp. 423-456.
- Lavigne F., Thouret J.-C., Voight B., Young K., La Husen R., Marso J., Suwa H., Sumaryono A., Sayudi D.S., Dejean M. (2000) – *Instrumental lahar monitoring at Merapi volcano, Central Java, Indonesia*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, n°100, pp. 457-478.
- Meunier M. (1999) – *Les torrents du Nord-Ouest de la Martinique. Hydrologie des crues, érosion, hydraulique et dynamique torrentielles*. Paris, Cemagref Édition, 404 p.
- Saffache P. (2001) – *Les rivières du Carbet et du Prêcheur: deux siècles d'écoulements torrentiels*. Éditions Naturellement, Collection Nature – 83 p.