



HAL
open science

Installation d'un suivi en continu des crues et laves torrentielles dans les Alpes françaises

O. Navratil, F. Liébault, H. Bellot, J. Theule, X. Ravanat, F. Ousset, D.
Laigle, V. Segel, M. Fiquet

► To cite this version:

O. Navratil, F. Liébault, H. Bellot, J. Theule, X. Ravanat, et al.. Installation d'un suivi en continu des crues et laves torrentielles dans les Alpes françaises. Journée de Rencontre sur les Dangers Naturels, Institut de Géomatique et d'Analyse du Risque, Feb 2011, Lausanne, Suisse. 8 p. hal-00615484

HAL Id: hal-00615484

<https://hal.science/hal-00615484v1>

Submitted on 19 Aug 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Installation d'un suivi en continu des crues et laves torrentielles dans les Alpes françaises

Oldrich Navratil¹, Frédéric Liébault¹, Hervé Bellot¹, Joshua Theule¹, Xavier Ravanat¹, Frédéric Ousset¹, Dominique Laigle¹, Vincent Segel², Marc Fiquet³

¹ *Unité de Recherche "Erosion Torrentielle Neige et Avalanches", Cemagref de Grenoble; oldrich.navratil@cemagref.fr, +33 (0)4 76 76 28 40*

² *Service de Restauration des Terrains de Montagne des Alpes-Maritimes, Office Nationale des Forêts, vincent.segel@onf.fr*

³ *Conseil Général des Alpes-Maritimes, mfiguet@cg06.fr*

Résumé

Ce papier présente les enjeux scientifiques, opérationnels et techniques d'un observatoire de mesure des crues et laves torrentielles installé en 2010 sur cinq torrents des Alpes françaises (Isère et Alpes-Maritimes). Couplée à des relevés topographiques à haute-résolution et des données pluviométriques spatialisées, ce type d'installation, encore inédite en France, permettra d'observer, mesurer et analyser plus précisément les mécanismes de déclenchement et de transfert des écoulements torrentiels en milieu montagneux.

Mots clefs: *Géophones, imagerie vidéo, morphodynamique, recharge sédimentaire, torrents*

1. Introduction

La prévision des crues et laves torrentielles représente en France un enjeu majeur en terme de sécurité civile en montagne. Près de

4500 communes sont concernées par le risque torrentiel en France (BOURRELIER, 1997). Les crues des torrents constituent des éléments essentiels vis-à-vis de l'aménagement et de la gestion des territoires de montagne, de part leur potentiel dommageable au niveau économique et humain. Ainsi l'urbanisation actuelle des cônes de déjec-

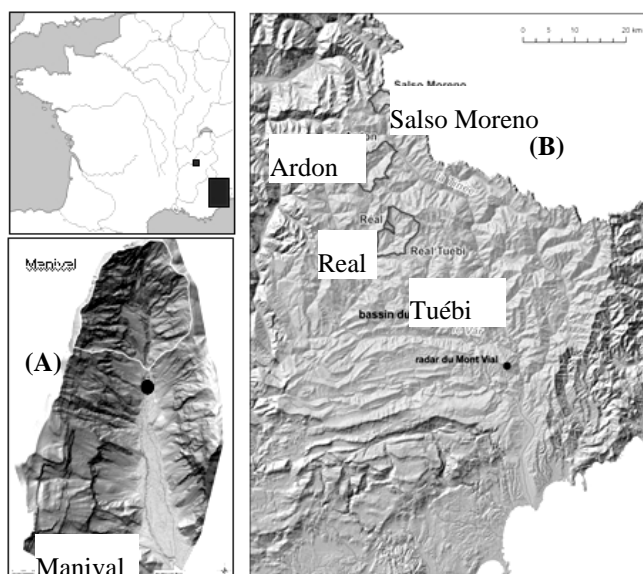


Figure 1 : Localisation des bassins versants d'étude. Le bassin du Manival dans les Alpes du Nord (Fig 1a). Les bassins du Réal, Tuébi, Ardon et Salso Moreno dans les Alpes du Sud (Fig. 1b).

tion accroît considérablement la vulnérabilité des zones concernées et la pression anthropique a pu également favoriser l'activité érosive de ces milieux.

Cependant, les mécanismes de déclenchement et de propagation des crues et des laves torrentielles restent encore mal connus. Cette méconnaissance est en partie due à la complexité même de ces écoulements très particuliers et des processus mis en jeu (BARDOU, 2002). Elle peut aussi s'expliquer par les difficultés liées à l'observation *in situ*, en raison du caractère peu prévisible et dévastateur de ces phénomènes naturels (ITAKURA et al., 2005). Ainsi, ces 20 dernières années, de nombreuses initiatives de suivi en continu et d'installation de stations d'alerte ont vu le jour en Europe, Etats-Unis et Asie (e.g., MARCHI et al., 2002 ; HÜRLIMANN et al. 2003 ; MCCOY et al., 2010 ; TAKAHASHI, 2009). En France, de tels exemples demeurent encore rares, voir inexistant en ce qui concerne les laves torrentielles.

L'objet de ce papier est de présenter 5 sites de mesure des crues et laves torrentielles déployés au cours de l'année 2010 dans les Alpes française par le Cemagref de Grenoble (Fig. 1 et 2, Tab. 1). Ce travail est mené en collaboration avec le service RTM (Restauration des Terrains de Montagne) de l'ONF (Office National des Forêts) et le Conseil Général des Alpes-Maritimes dans le cadre de projets européens (INTERREG RISKNAT-ALCOTRA et PARAMOUNT-ALPINE SPACE).

Nous présenterons dans ce papier notre démarche de recherche, les sites retenus, ainsi que l'instrumentation déployée sur le terrain. Un des sites localisé sur le torrent du Réal à Péone (Fig. 1a) sera décrit avec plus d'attention en raison de sa très forte activité torrentielle (2-3 laves torrentielles par an) et des caractéristiques de l'instrumentation déployée *in situ*, couplant les

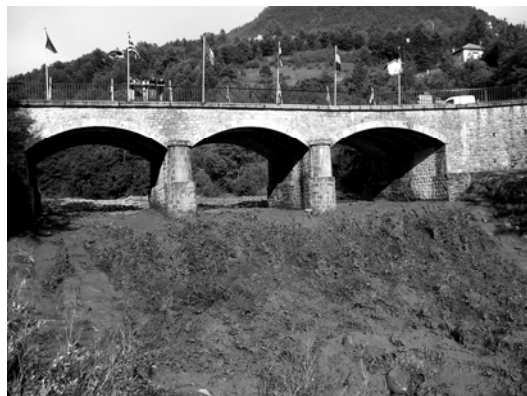


Figure 2 : Passage d'une crue torrentielle sur le Tuébi à Guillaumes le 26 juillet 2006 (cliché : RTM 06)

mesures de trois stations de mesure le long du torrent, des données topographiques haute-résolution (temporelles et spatiales) et des données issues de radars météorologiques (MERIAUX et al., soumis). Ce suivi en continu est fondé en outre sur l'utilisation de géophones, permettant d'enregistrer les vibrations du sol au passage des laves pour en déduire la vitesse moyenne du front de l'écoulement. L'utilisation de géophones avec des stations énergétiquement autonomes s'est révélée complexe ; le développement instrumental et les tests préliminaires de ce matériel seront présentés dans une dernière partie.

2. Notre démarche et les sites d'études

Les torrents de montagne sont caractérisés par des écoulements à fortes pentes, souvent dans des zones sensibles à l'activité érosive du



Figure 3 : Séquence photographique illustrant l'érosion du lit (torrent du Manival) sous l'effet du passage d'une lave torrentielle le 25 août 2009 (BACQ, 2010 ; cliché J. Theule).

milieu. Les bassins versants torrentiels constituent ainsi des systèmes géomorphologiques particulièrement actifs de par leur capacité à produire, mobiliser et exporter des quantités très importantes de matériaux. Les crues torrentielles assurent ainsi la continuité indispensable des transferts sédimentaires en mobilisant les stocks apportés par les versants. Ces événements peuvent présenter des caractéristiques et des intensités différentes, allant jusqu'à la formation de laves torrentielles capables de charrier des blocs de plusieurs mètres cubes et des vitesses de front pouvant atteindre 15 m s^{-1} .

De nombreuses questions se posent encore en ce qui concerne les facteurs de déclenchement d'une lave torrentielle, les facteurs contrôlant la production et les transferts sédimentaires, les volumes de matériaux susceptibles d'être mobilisés par un événement. Au cours de ce projet, une attention particulière sera apportée à la compréhension de ce type d'événement et de sa variabilité spatiale, notamment liés aux processus de stockage et de remobilisation des sédiments tout le long du torrent, et temporelle (crue, saison, interannuelle).

Dans le cadre de ce programme de recherche, nous avons donc opté pour une approche d'observation *in situ* à l'aide de stations hydrométriques autonomes avec transmission de données au laboratoire.

Cinq bassins d'étude ont été instrumentés dans les Alpes du Nord et les Alpes du Sud (Fig. 1, Tab. 1). Sur chacun de ces sites, des crues torrentielles sont observées chaque année par les services du RTM. Ces événements engendrent généralement un transport sédimentaire par charriage et chaque année, au moins une lave torrentielle est observée au niveau des petits bassins aux versants très dégradés : les torrents du Manival et du Réal (Fig. 1, Tab. 1). Ces laves engendrent alors des dépôts de matériaux souvent conséquents à l'aval de ces zones et alimentent en sédiment fins et grossiers les torrents d'ordre supérieur. Ces laves sont gé-

néralement déclenchées par des événements de pluie ou de grêle très intenses au printemps et/ou en été, et sont associées à des fronts d'orage ou des orages convectifs localisés et violents.

Les enjeux socio-économiques liés au transport sédimentaire dans ces zones sont essentiellement liés à la protection des infrastructures (voies de communication) et à la sécurité de village localisés à proximité de leur exutoire (Communes de Péone et de Saint-Ismier pour nos cas d'étude).

En ce qui concerne le suivi des crues torrentielles, les stations sont classiques (mesure de hauteur d'eau, suivi topographique de la section de mesure, jaugeages). En effet, ces événements sont généralement caractérisés par des écoulements très chargés en sédiment fins (plusieurs centaines de g L^{-1} dans certains cas) et la présence de charriage des sédiments plus grossiers au fond du lit (Fig. 2). Les laves torrentielles, de part leur particularité rhéologique (phases solide et liquide indissociables) demandent une attention plus particulière en termes d'instrumentation (voir les détails d'une installation à la section 3). L'instrumentation sera fondée sur l'utilisation de géophones (vibration du sol au passage de la lave), de capteurs radar et ultrason et d'imagerie (vidéo infrarouge et photographie haute résolution).

A ces données s'ajouteront un suivi topographique haute-résolution de tous les sites d'étude, à l'exception du torrent du Tuébi (chenal principal et des zones de dépôts). Ces relevés sont déjà réalisés après chaque crue par des levés Lidar ou théodolite dans le cadre de la thèse de Joshua THEULE (2009). Ces données permettent actuellement de calculer la production sédimentaire des torrents du Manival et du Réal ainsi que leur dynamique longitudinale de stockage et de déstockage des matériaux sédimentaires dans le chenal principal en lien avec la saisonnalité des pluies.

D'autre part, pour la région des Alpes-Maritimes, nous disposons de données radar précises (radar

Torrent	Aire drainée (km ²)	Altitude ASL (m)	Transport sédimentaire		Enjeux socio-économiques	Matériel de suivi			
			Charriage	Lave torrentielle		Niveau d'eau	Géophones	Camera	Pluviomètres
Ardon	35.7	1139-2829	X	O	Saint-Etienne-de-Tinée village	Sonde pression	0	0	1
Réal (3 sites)	2.3	1218-2069	X	X	Péone village	Radar et ultrason	9	1	4
Réal Tuébi	48.7	779-2582	X	O	Péone, Guillaumes villages	Sonde pression	0	0	3
Salso Moreno	12.6	1639-2868	X	X	Le Pra village, road RD64	Echelle à maximum	0	0	1
Manival	3.6	570-1738	X	X	St Nazaire les Eymes, N90	Ultrason	3	1	2

Tableau 1 : Caractéristiques des sites d'études

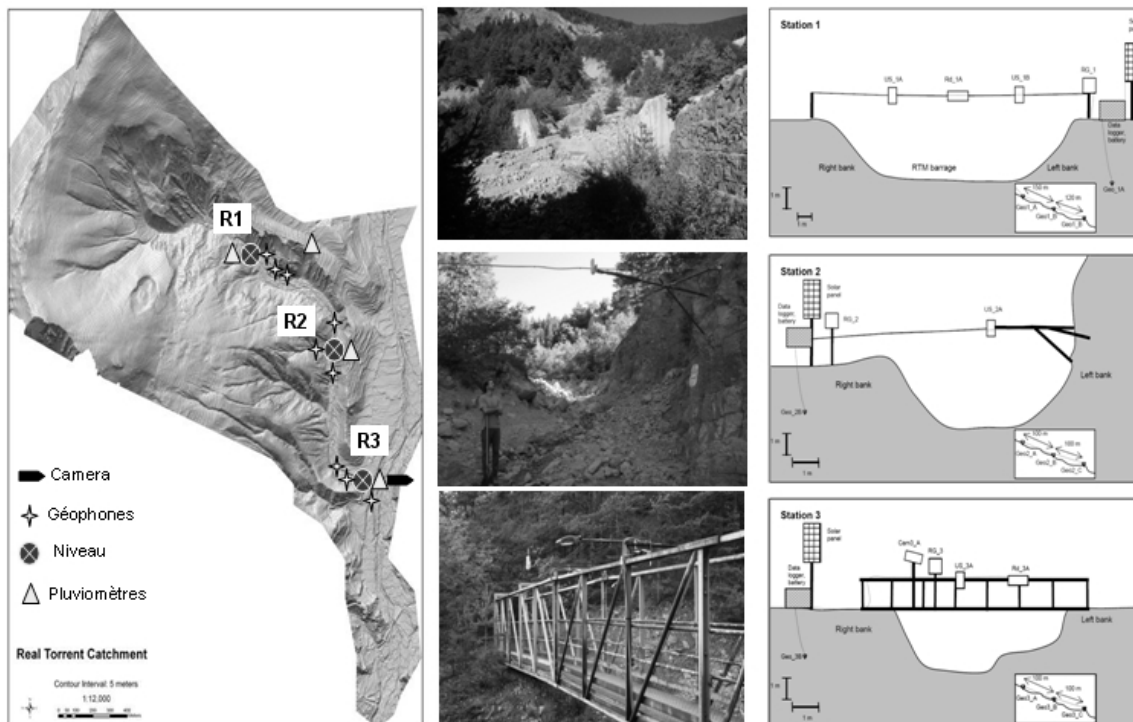


Figure 4 : Instrumentation en place sur l'observatoire du Réal (Alpes Maritimes, commune de Péone).
Cam : camera, US : ultrason, Rd : radar, Geo : géophone

bande X ; projet Cemagref-Météo France CRISTAL ; MERIAUX et al., soumis) permettant de fournir une spatialisation des laves d'eau et du type d'hydrométéores observés (au km² tous les ¼ d'heure). Ces données seront couplées à des informations spatialisées (SIG) : MNT, zones érodées, géologie pour une étude de la susceptibilité torrentielle à l'échelle régionale (BERTRAND, 2010) et fourniront des informations très précieuses pour nos sites d'étude.

Ainsi, le couplage entre ces données de forçage hydrométéorologique, le contexte physiographique, les relevés topographiques haute résolution et le suivi en continu du transfert des crues et laves torrentielles fourniront un jeu de données complet et original, qui nous l'espérons, nous permettra d'apporter des éléments de compréhension pertinents pour une meilleure prévision des crues en montagne.

3. L'observatoire du torrent du Réal (Alpes-Maritimes)

Trois stations de suivi des écoulements torrentiels ont été installées sur le torrent du Réal (Tab. 1; Fig. 2). La distance entre ces stations (notées R1, R2, R3) est d'environ 800 m. Les processus d'érosion des sédiments des zones

sources et l'initiation des laves de la partie amont sont enregistrés à la station R1. La station R2 fournit une estimation des transferts de sédiments mais aussi des processus d'initiation des laves dans le lit du torrent, i.e. attribuée à la remobilisation de dépôts apportés par les crues précédentes (généralement de charriage ; THEULE, 2009). La station R3 fournit un suivi juste à l'amont de la zone de confluence, dans une partie de dépôt de laves. Il sera ainsi possible de reconstituer l'évolution du volume des laves au cours de la propagation et d'étudier les phénomènes de recharge par incision du lit.

Une des contraintes majeure liée à ce type d'instrumentation est l'alimentation en énergie des stations. L'alimentation en courant ne pouvant être assurée sur secteur compte tenu de l'environnement étudié, elle est donc assurée pour chaque station par une batterie de 12 V (100 Ah) et un panneau solaire (55 Wcc), rendant alors ces installations autonomes.

Des capteurs à ultrason et radar (Paratronic®) fournissent le niveau de l'écoulement au niveau des sections de mesure (Fig. 4). Le passage d'une lave génère du bruit et des vibrations du sol très importantes pouvant se faire ressentir à plusieurs centaines de mètres de l'écoulement. Ainsi, sur chaque site, nous avons installé sur les berges trois géophones verticaux (GS20DX0, Geos-

pace®, fréquence naturelle de 8Hz) distants d'environ 100 m le long du chenal principal.

La contrainte d'alimentation des stations ne nous permet pas d'utiliser un ordinateur pour l'acquisition du signal à très haute fréquence (jusqu'à 1000 Hz pour le signal des géophones). Les géophones ont donc été couplés à un conditionneur de signal électronique permettant d'enregistrer l'enveloppe du signal des vibrations du sol au cours de la lave (voir la partie 5 pour plus de détail). L'enregistrement en continu des hauteurs d'écoulement, du signal des géophones se fait à 5Hz, à l'aide d'une Campbell® CR1000 et d'une carte mémoire de 2Go (module CFM100 ; autonomie de 80 jours). Ces données nous permettront alors d'estimer la vitesse moyenne du front de lave, qui sera ensuite utilisée pour calculer le débit et le volume de chaque lave.

Les pluies sont enregistrées sur chaque site à un pas de temps de 5 minutes. Un appareil photo (Campbell® CC640) a été placé sur le site R3; il est asservi aux géophones, au pluviomètre et aux limnimètres (résolution, 680*540 pixels) pour prendre des images pendant les crues.

Les stations sont visitées toutes les 3 semaines par les services du RTM. Un contrôle quotidien au laboratoire du bon fonctionnement des sites sera assurée prochainement à l'aide d'une connexion téléphonique (*via* le réseau GSM ou filaire).

4. Utilisation des géophones pour le suivi des laves torrentielles : conditionnement du signal et tests

Présentation des géophones

Les géophones sont couramment utilisés pour le suivi des laves torrentielles (e.g. MARCHI, 2002 ; HÜRLIMANN, 2003 ; ITAKURA, 2005). Ces capteurs sont composés d'un aimant pouvant vibrer dans une bobine, soit verticalement (notre cas), soit horizontalement. En vibrant, ce capteur génère alors un courant très faible, proportionnel à l'amplitude de vibration du sol au passage de la lave. Leur fréquence naturelle de résonance se situe généralement autour de 5-10 Hz (10 Hz pour le cas de la Figure 5); la réponse du capteur est donc linéaire au-delà de cette fréquence.

Les méthodes d'acquisition du signal et la méthode adoptée

Les vibrations générées par les laves torrentielles ont des fréquences variant entre 50 et

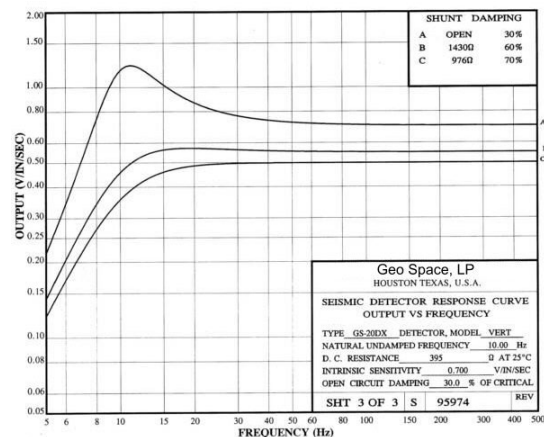


Figure 5 : Réponse du géophone (en volt par inch par seconde) en fonction de la fréquence de vibration (notice technique Géospace®, GSDX20)

300 Hz (FUANG et al., 2007 ; HUANG et al., 2007). Différentes méthodes peuvent être utilisées pour enregistrer ces vibrations : (1) une acquisition haute fréquence du signal à 500 Hz (FUANG, 2007) ou 1000 Hz (HUANG, 2007) permettant de prendre en compte toute la richesse du signal, mais toutefois incompatible avec une utilisation de station autonome de type environnementale, fonctionnant sur panneau solaire ; (2) une moyenne des amplitudes du signal (100 mesures/s ; TECCA, 2003) présentant l'avantage d'un échantillonnage du signal à une fréquence plus importante (100Hz) mais qui risque d'être trop faible par rapport aux fréquences générées par les laves (non respect du critère de Shannon); (3) une transformation du signal en comptage d'impulsions (en nombre et durée) au dessus d'un seuil fixé (HURLIMANN et al., 2003 ; BADOUX et al., 2008) ; cette méthode présente l'avantage d'être simple, mais pose le problème du choix du seuil et du sens physique du signal ainsi enregistré.

Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi de

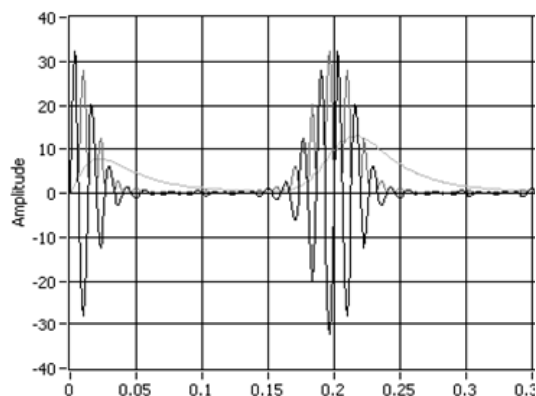


Figure 6 : Exemple théorique de conditionnement du signal proposé dans le cadre de ce projet : signal brut (en noir) et signal intégré (en gris)

conditionner électroniquement le signal analogique en sortie des géophones (Figure 6 ; signal noir) en le redressant via un montage redresseur sans seuil avec des ampliopes, puis en le filtrant (signal gris). La fréquence de coupure F_c de conditionnement des signaux respecte le critère de Shannon, soit $F_c=2.5$ Hz pour une fréquence d'acquisition à 5 Hz (fréquence critique d'acquisition admissible pour les CR1000 avec 6 capteurs). Ce signal est ensuite amplifié et conditionné dans une boucle de courant pour que le signal puisse être transporté sans perte sur une grande distance. Il est ensuite lu sur la centrale d'acquisition à travers une résistance de haute précision de 100 Ohms ($0.01\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Cette méthode de traitement du signal présente l'avantage d'enregistrer sur une centrale environnementale un signal discrétisé qui peut être relié linéairement à l'intégrale du signal analogique du géophone et donc à l'énergie de vibration générée au passage de la lave.

D'autre part, l'offset et le gain du signal peuvent être réglés sur le terrain individuellement pour chaque géophone, permettant de prendre en compte les caractéristiques de sol et d'implantation des capteurs (e.g. distance au chenal, lithologie). On peut aussi noter que le gain de ce montage sera constant pour la gamme de fréquences générées par le passage d'une lave ($F \gg 50$ Hz).

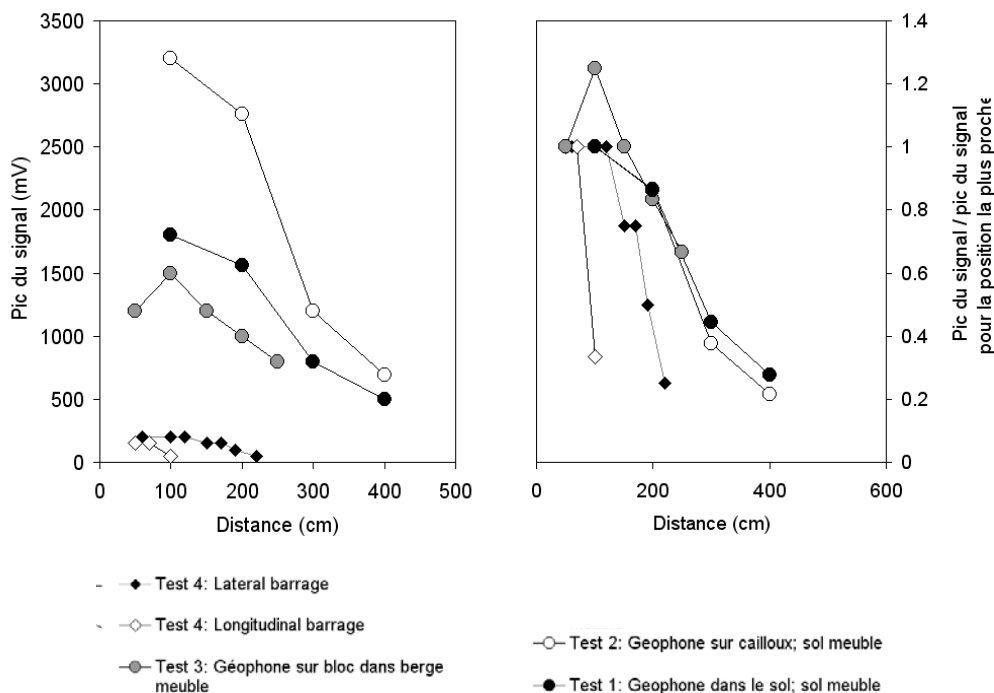


Figure 8 : Résultats des tests des géophones de 1 à 4

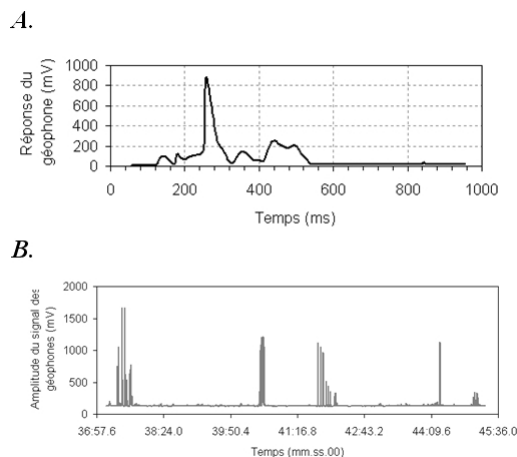


Figure 7 : Signal d'un géophone sur le Manival. A. Signal en sortie du conditionneur des géophones pour le test 5. B. Signal enregistré au niveau de la Campell pour les tests 6.

Premiers tests *in situ*

Nous avons réalisé plusieurs tests préliminaires pour contrôler le signal en sortie du conditionneur des géophones:

Test 1 : le géophone est placé sur un terrain meuble, un poids de 10 kg est lâché d'une hauteur de 2 m à différentes distances du géophone ;

Test 2 : le même test en plaçant le géophone sur un bloc posé sur ce même terrain meuble ;

Test 3 : le géophone est posé sur un bloc de la berge du Manival et des blocs (env. 10 kg) sont lâchés de 2 m de haut à différentes distances ;

Test 4 : identique au test 3, mais le géophone est placé sur un barrage RTM ;

Test 5 : on déclenche un effondrement de berge à quelques mètres d'un géophone situé sur un bloc coincé dans la berge composée de matériaux meubles ;

Test 6 : comme pour le test 3, mais cette fois-ci en lâchant de gros blocs ($\gg 10$ kg) de 4-5 m de haut dans le lit du cours d'eau ou en créant des effondrements de berge (distance d'environ 5 m du géophone).

Ces tests montrent d'une part que notre installation permet de mesurer des signaux lors de la chute de bloc individuel ou d'effondrement de berges (Figures 7, 8). Ces résultats sont rassurants et nous permettent de penser que ce système sera adapté au suivi des laves qui génèrent des vibrations plus soutenues.

D'autre part, ce signal est cohérent avec les différentes sollicitations (Figures 8) : par exemple, le pic d'intensité décroît rapidement avec l'éloignement de la sollicitation. L'amplitude du pic de vibration et cette décroissance dépendent fortement de la nature du matériau se trouvant entre la sollicitation et le géophone (berge ou barrage). Il semblerait que la meilleure installation du géophone soit dans un matériau meuble ; nous avons donc choisi de placer nos géophones sur des blocs ancrés dans les berges le long du torrent. Cette première conclusion est-elle pertinente pour des géophones verticaux ; elle serait probablement à revoir pour des géophones

horizontaux.

Calculs d'incertitudes et positionnement des géophones sur le terrain

Les principales incertitudes liées à l'estimation du volume de la lave sont les suivantes :

- (1) l'erreur sur la mesure de H ponctuelle par le radar ; de l'ordre de la taille des sédiments ;
- (2) l'erreur sur la mesure de la section initiale et de sa variation avec le temps ; il sera nécessaire de vérifier sa stabilité après la lave. Privilégier une section stable permettra de réduire fortement cette incertitude ;
- (3) l'erreur sur la mesure du tirant d'eau moyen, liée à la non-représentativité des points de mesures ; un réseau dense de mesure par section permet de diminuer cette incertitude ;
- (4) l'erreur sur la mesure de la vitesse, essentiellement liées à la résolution.

Cette dernière incertitude peut être estimée à partir du calcul d'erreur suivant :

$$R = \frac{V^2}{F * d} \quad [1]$$

avec R la résolution de la mesure de la vitesse, V la vitesse de l'écoulement (de $1-15 \text{ m s}^{-1}$ pour les laves) et d la distance entre les géophones.

Ainsi, une acquisition à 5 Hz et une distance minimum entre les géophones de 100 m permettrait d'obtenir une résolution variant de 0.002 à 0.5 m s^{-1} (Figure 9), soit une incertitude inférieure à 4 % sur toute la gamme des vitesses ($1-15 \text{ m s}^{-1}$). La distance de 100 m entre les géophones a donc été retenue lors de leur installation sur le terrain.

D'autre part, compte tenus des tests précédents sur le signal (Figures 7 et 8), nous avons choisi de placer les géophones sur les berges meubles à environ 5-10 m du chenal principal. Nous avons disposé les géophones sur une équerre en aluminium fixée sur des blocs insérés dans les berges, dans la mesure du possible, à l'aval de seuils ou de barrages RTM. Les géophones sont conditionnés sous une plaque en aluminium indépendante, limitant ainsi les impacts directs de la pluie ou de la grêle ; le câble du géophone est fixé au niveau de la plaque afin de prévenir d'éventuels frottements liés au vent. Dans la mesure du possible, nous avons installé les géophones sur des parties de berges horizontales, permettant ainsi de limiter le bruit généré par le ruissellement de surface lors des fortes pluies.

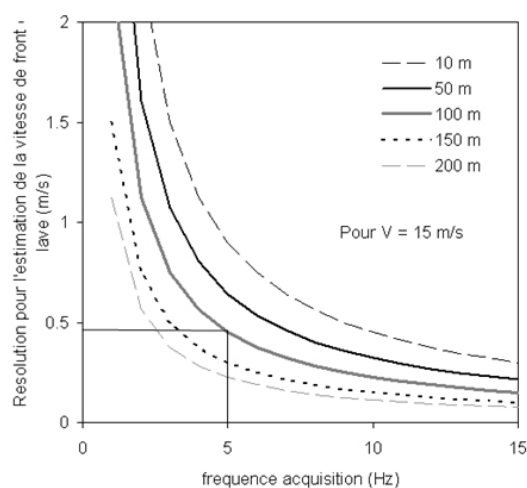


Figure 9 : Abaques pour l'estimation de la résolution de la vitesse de propagation de la lave en fonction de la fréquence d'échantillonnage au niveau de la Campbell.

5. Conclusions

La combinaison entre des suivis haute-fréquence des flux de sédiments à différents points dans le réseau, des suivis topographiques avant et après chaque crue fourniront des informations nécessaires pour une meilleure compréhension des processus mis en jeu lors des crues et des laves torrentielles: de leur zone d'initiation, en passant par leur transfert (érosion/dépôt) dans le chenal jusqu'aux zones de dépôts dans les trappes à sédiments, le chenal ou leur transit vers l'aval.

Deux sites d'étude (les torrents du Manival et du Real) seront équipés prochainement de caméras infrarouges pour suivre les événements de jour comme de nuit (50% des événements en moyenne). Ces images permettront de valider les résultats obtenus et de fournir des informations quantitatives (vitesses de surface, granulométrie) et qualitatives (nature de l'écoulement : écoulement de boue, visqueux, granulaire) indispensables pour une bonne interprétation des mesures.

Remerciements : Ces recherches sont financées par les projets européens Interreg-Alcotra-Risknat et Interreg-Alpine Space-Paramount. Nous remercions tout particulièrement Jean-Luc Demirdjian, Thierry Eme, Thierry Lièvre, Philippe Chavignon, Mathieu Schmitt et Nathalie Andreis pour leur aide lors de l'installation des stations, le suivi de terrain et les mesures topographiques, ainsi que Luc Pouyadou pour son assistance lors de la confection des conditionneurs des géophones ; Christian Eymond-Gris, Sébastien Klotz, Bruno Bacq et Aurélien Chartier pour leur aide lors de la conception et l'installation des stations sur le terrain.

Références

- ARATTANO, M., MARCHI, L. (2008) : *Systems and Sensors for Debris-flow Monitoring and Warning*. Sensor, 8, 2436-2452
- BACQ, B. (2010) : *Caractérisation des états de surface en lit torrentiel à partir du LiDAR terrestre et liens avec la morpho-dynamique Application au torrent du Manival (Isère)* ; Mémoire de fin d'étude, Cemagref de Grenoble ; Université de Provence, 52p.
- BADOUX, A., GRAF C., RHYNER J., KUNTNER R., MCARDELL, B.W.(2008) : *A debris-flow alarm system for the Alpine Illgraben catchment: design and performance* Nat Hazards. DOI 10.1007/s11069-008-9303-x
- BARDOU, E. (2002) : *Méthodologie de diagnostic des laves torrentielles sur un bassin versant alpin*. Thèse de l'École Polytechnique de Lausanne. 382pp.
- BERTRAND M., (2010) : *Approches régionales de la susceptibilité torrentielle (Alpes du sud)*. Thèse en cours au Cemagref ; années 2010-2013.
- BOURRELIER, P.H., 1997. *Evaluation de la Politique Publique dans le Domaine des Risques Naturels, Rapport Interministériel. Conseil National de l'Evaluation, Commissariat Général au Plan, La Documentation Française, Paris, 138p.*
- COE, J.A., KINNER, DA., GODT, JW. (2008) : *Initiation conditions for debris flows generated by runoff at Chalk Cliffs, central Colorado*. Geomorphology. doi:10.1016/j.geomorph.2007.03.017
- FANG YM., LEE B.J., CHOU TY., LIEN HP., CHANG YH, HSIAO TC, LIN YI, LIEN YC, YIN HY. (2007): *Analysis and Maintenance of Debris Flow Monitoring System - A Case Study of Events in Aiyuzih River*. 2nd International Conference on Urban Disaster Reduction November 27~29, 2007
- GENEVOIS, A, CALGARO, R. TECAC, PR. (2001) : *Image Analysis for Debris Flow Properties Estimation*. Phys. Chem. Earth (C), 26 (9), 623-631
- HUANG CJ., YIN HY., CHEN CY., YEH CH., WANG CL. (2007): *Ground vibrations produced by rock motions and debris flows*. Journal of Geophysical research. 112, F02014, doi:10.1029/2005JF000437
- HÜRLIMANN M., RICKENMANN, D., GRAF, C. (2003) : *Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps.. Can. Geotech. J.* 40: 161–175
- ITAKURA, Y. INABA, H. AND SAWADA, T. (2005) : *A debris-flow monitoring devices and methods bibliography*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 971–977, 2005
- MARCHI L., ARATTANO M., DEGANUTTI A.M. (2002) : *Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps)*. Geomorphology 46, 1 –17.
- MCCOY, SW., KEAN, JW., COE JA., STALEY DM., WASKLEWICZ TA., AND TUCKER, GE (2010) : *Evolution of a natural debris flow: In situ measurements of flow dynamics, video imagery, and terrestrial laser scanning*. Geology, 38 (8), 735–738
- MERIAUX P., WESTRELIN S., CHEZE J.L., TABARY P., JAVELLE P., DEFRANCE D. (soumis). *RHYTMME Project: a Radar Network dedicated to Hydrometeorological Risk Management in Mediterranean Mountains*. Colloque SHF "Eaux en montagne"
- TAKAHASHI, T. (2009) : *A Review of Japanese Debris Flow Research*. International Journal of Erosion Control Engineering, Vol. 2, 1, 1- 14
- TECCA PR., GALGARO A., GENEVOIS R. AND DEGANUTTI AM. (2003): *Development of a remotely controlled debris flow monitoring system in the Dolomites (Acquabona, Italy)*. Hydrol. Process. 17, 1771–1784
- THEULE, J., (2009) : *The coarse sediment yield of torrent catchments during flow events*. Thèse en cours au Cemagref: 2008-2011. Rapport technique, 11p.