

## **Analyse de l'occurrence de laves torrentielles dans des bassins à forte susceptibilité à partir d'un jeu de données issu de stations de mesure**

Coraline Bel, thèse soutenue le 16 juin 2017

En montagne, les crues qui atteignent les zones urbanisées peuvent causer d'importants dégâts (*e.g.* engendrer de sévères dommages aux infrastructures, inonder des zones industrielles ou agricoles, engraver des bâtiments, obstruer des routes, affecter les réseaux électriques ou d'approvisionnement en eau potable) voire faire des victimes. En effet, en raison de la proximité entre des pentes fortes et des sources sédimentaires, ces crues sont capables de mobiliser de grande quantité de sédiments. Elles peuvent prendre la forme de charriage intense ou encore de lave torrentielle. Ces événements, reconnus « catastrophes naturelles », sont principalement déclenchés par des précipitations extrêmes et/ou la fonte importante de neige. Afin de réduire le risque torrentiel, l'anticipation de ces crues et notamment le développement de système d'alerte devient aujourd'hui un sujet d'intérêt grâce aux progrès de la mesure et de la prévision météorologique. Pour atteindre ces objectifs opérationnels, il est crucial de mieux comprendre les conditions dans lesquelles se produisent ces crues, les processus physiques en jeu ainsi que leurs interactions avec leur environnement.

En particulier, il est important d'identifier le niveau minimum de pluie nécessaire pour initier une lave torrentielle. Ce dernier prend souvent la forme d'un seuil intensité-durée (ID) de pluie. Ces seuils ID présentent néanmoins des limites : il existe une forte variabilité (i) entre différents sites – comme en témoigne la multitude de seuils empiriques dans la littérature – et (ii) au sein d'un même site avec la présence d'événements de pluie sans épisode de transport au-dessus du seuil. La variabilité des conditions de déclenchement peut avoir plusieurs origines. Tout d'abord, elle peut avoir une cause physique (*e.g.* différence de potentiels morphométrique et sédimentaire, ou des conditions antécédentes d'humidité). Elle peut également être liée au jeu de données qui est utilisé (*e.g.* représentativité de la mesure de pluie, résolution temporelle, taille de l'échantillon, difficulté de classification des écoulements). Finalement, elle pourrait être due au cadre méthodologique employé, c'est-à-dire à la façon dont le jeu de données est utilisé (absence de cadre méthodologique standardisé).

Mes travaux de thèse visaient à caractériser les conditions d'occurrence de lave torrentielle en exploitant deux observatoires de terrain : les torrents très actifs du Manival près de Grenoble (38) et du Réal à Péone (06). Pour y parvenir, il s'agissait d'une part, de fournir un cadre méthodologique rigoureux pour l'établissement des seuils ID, afin de limiter les sources de variabilité ; et d'autre part, d'améliorer leurs performances, en considérant à la fois les facteurs de déclenchement et de prédisposition. Ces torrents présentent des caractéristiques physiques différentes, représentatives d'une certaine variabilité régionale. Ainsi, le régime climatique, l'historique de correction torrentielle et la nature du bassin conduisent les occurrences de lave à être limitées par les conditions d'alimentation sédimentaire sur le Manival, et par les conditions de transport (la pluie) sur le Réal. Ces sites ont été équipés de stations de mesure qui recueillent, à l'échelle locale, des images et des informations sur la pluie, la hauteur de l'écoulement, les vibrations générées par le transport solide. Au cours de ma thèse, les données collectées entre 2011 et 2015 ont ainsi été analysées dans le but de détecter et de mieux caractériser les crues à fort transport solide et leurs conditions d'occurrences.

Dans un premier temps, il s'agissait d'identifier les occurrences de laves torrentielles sur la période de monitoring. Pour cela, l'enjeu était de discriminer les laves des autres processus torrentiels. Pour appréhender le continuum de processus sédimentaire – charriage, lave immature et lave torrentielle – une classification phénoménologique basée sur les images et signaux de monitoring a été réalisée. Les données illustrent bien la complexité des processus torrentiels et soulignent notamment que la nature de l'écoulement peut varier à la fois temporellement et spatialement. Les caractéristiques des crues enregistrées (*e.g.* volume, débit de pointe ou fréquence de retour) ont également été estimées et comparées à la littérature. Finalement, la confrontation des occurrences de laves au régime annuel de précipitations a montré qu'une année humide n'entraînait pas nécessairement la propagation d'un plus grand nombre de laves jusqu'à l'exutoire.

Dans un second temps, un seuil ID a été établi objectivement afin de qualifier la condition minimum de pluie requise pour déclencher une lave torrentielle. Au préalable, il a été nécessaire de proposer une méthode de segmentation automatique des chroniques de précipitations. Une étude de sensibilité sur la définition d'un épisode de pluie a été menée. Elle a montré que cette définition était essentielle puisqu'elle pourrait expliquer une large part de la variabilité présente dans la littérature. Ainsi, la durée minimum d'interruption de pluie considérée et le lieu de détection dans le bassin versant sont particulièrement influents. Cela souligne l'importance d'un cadre méthodologique rigoureux lors de l'établissement des seuils de pluie, et encourage l'adoption d'une définition standard pour assurer la comparabilité des seuils de différents sites. Cette thèse a finalement permis d'établir le premier seuil ID issu données de monitoring des Alpes françaises, et a montré que ce seuil était représentatif des systèmes limités par la condition de transport.

Dans un troisième temps, l'objectif était de discriminer les épisodes de pluies critiques (*i.e.* les épisodes au-dessus du seuil) qui n'ont pas engendré de lave torrentielle. Pour cela, un modèle statistique de régression logistique a été implémenté, ainsi qu'une procédure de sélection de la meilleure combinaison de variables explicatives. De nouvelles variables représentatives des facteurs de déclenchement et de prédisposition ont ainsi été testées. Le meilleur modèle obtenu considère l'intensité maximum sur 10min, le cumul de pluie de l'événement, le cumul de pluie 48h avant l'événement ainsi qu'un proxy des fluctuations saisonnières du stock de sédiments mobilisables (*i.e.* le nombre de jours écoulés depuis la fin de l'hiver). Finalement, ce nouveau modèle améliore significativement les performances des seuils de pluie avec des variables physiquement pertinentes, et apportent une contribution quantitative.

Pour conclure, ces travaux ont permis d'améliorer, à l'échelle locale, la compréhension des conditions de déclenchement d'une lave torrentielle dans les têtes de bassins versants à forte susceptibilité. Ils ont également mis en évidence une augmentation de la complexité de la réponse torrentielle aux fortes précipitations avec la taille du bassin versant. Des pistes de travail ont finalement été avancées en perspectives d'une application au sein d'un système d'alerte dédié aux risques hydrométéorologiques. Ainsi, il serait intéressant de chercher à étendre ce modèle local à l'échelle régionale. Il faudrait également améliorer notre capacité à prédire la propagation des laves torrentielles pour prédire leur occurrence dans les zones à enjeux.