



HAL
open science

Risques naturels et accessibilité territoriale : le cas des debris flows dans les Alpes

Frédéric Leone, Julien Deymier, Chapelon Laurent, Vincent Jomelli

► **To cite this version:**

Frédéric Leone, Julien Deymier, Chapelon Laurent, Vincent Jomelli. Risques naturels et accessibilité territoriale : le cas des debris flows dans les Alpes. CIST2011 - Fonder les sciences du territoire, Collège international des sciences du territoire (CIST), Nov 2011, Paris, France. pp.290-296. hal-01353343

HAL Id: hal-01353343

<https://hal.science/hal-01353343>

Submitted on 11 Aug 2016

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.

Risques naturels et accessibilité territoriale : le cas des *debris flows* dans les Alpes

AUTEURS

Frédéric LEONE, GRED (France)
Julien DEYMIER, GRED (France)
Laurent CHAPELON, GRED (France)
Vincent JOMELLI, LGP (France)

RÉSUMÉ

Cet article développe une approche de la vulnérabilité des réseaux routiers et de l'accessibilité territoriale sur trois départements alpins français (Savoie, Hautes-Alpes, Alpes de Haute-Provence). Les événements dommageables sont recensés depuis 1950 pour chaque tronçon routier. Ils sont hiérarchisés selon une échelle d'intensité des dommages. La dégradation de l'accessibilité routière est ensuite modélisée pour différents scénarios de coupure et à différentes échelles. On utilise pour cela la théorie des graphes dans un environnement SIG. Les résultats s'expriment au moyen de cartes et de courbes de temps d'accès pour plusieurs types d'enjeux (population, journées-skieurs, mailles territoriales).

ABSTRACT

This paper develops a study of vulnerability of roads network and territorial accessibility in three French alpine departments (Savoie, Hautes-Alpes, Alpes de Haute-Provence). The damaging events are listed since 1950 for each road section. They are treated on a hierarchical basis according to a scale of damage intensity. The degradation of road accessibility is then modeled for various scenarios of cut and on various scales. These models are GIS-based and use the graph theory. The results are displayed with maps and curves of access time for several types of stakes (population, day-skiers, territorial grid).

MOTS CLÉS

Coulées de débris, vulnérabilités, accessibilité, Alpes.

INTRODUCTION

Les *debris flows* (coulées de débris ou laves torrentielles dans les Alpes) sont des écoulements hyper-concentrés affectant les versants à des vitesses allant de quelques km/h à quelques dizaines de km/h. Ces écoulements sont assez bien chenalisés dans leur partie amont mais ont tendance à s'étaler en aval, si bien qu'ils occasionnent très souvent des dégâts et engravements. A la différence des coulées boueuses, ils peuvent transporter des blocs de gros calibre alors que la part de la fraction argileuse dans la masse totale est souvent très réduite. C'est la raison pour laquelle ils peuvent exister en haute montagne où les argiles sont très peu présentes. Le déclenchement des *debris flows* est associé le plus souvent à des précipitations de forte intensité. C'est pourquoi il s'agit d'un phénomène essentiellement estival, la fonte nivale pouvant être un facteur aggravant. Cependant, les seules précipitations ne suffisent pas à entraîner un déclenchement : en effet les *debris flows* supposent aussi l'existence d'une quantité de matériaux mobilisables suffisante pour que la masse imbibée puisse commencer à

fluer. Si la masse critique n'est pas atteinte, de violentes précipitations entraîneront un écoulement torrentiel "simple" aux conséquences très différentes (inondations). Les *debris flows* sont, pour cette raison, caractérisés par un temps de retour lui-même lié à la vitesse d'érosion dans le bassin versant (Pech & Jomelli, 2001 ; Jomelli et al., 2003). La vulnérabilité des réseaux routiers peut être analysée a posteriori ou a priori, sous plusieurs de ses formes : vulnérabilité physique (matérielle) de l'infrastructure routière, vulnérabilité fonctionnelle du réseau routier, vulnérabilité territoriale liée aux pertes d'accessibilité routière de différents types d'enjeux vitaux mis en relation par ces réseaux routiers (populations, activités économiques, centres de secours...). Les réseaux routiers ont une répartition spatiale spécifique : objets linéaires immobiles, ils sont le support d'échanges entre différents lieux. Cette implantation linéaire les expose particulièrement aux aléas naturels. Une première étape de notre travail a consisté à mesurer la fréquence et la gravité des dommages directs imputables aux *debris flows* (laves torrentielles) sur le réseau routier de trois départements français (Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Savoie) depuis 1950. Elle a permis de construire des indicateurs de risque de dysfonctionnement de chaque tronçon qui intègrent les fréquences de coupure et la valeur fonctionnelle des tronçons. L'identification de ces tronçons vulnérables permet de justifier plusieurs scénarios de dégradation de l'accessibilité routière et d'évaluation de ses conséquences, notamment territoriales. Ainsi, plusieurs scénarios de coupure d'accès ont été modélisés, à différentes échelles spatiales et sur base SIG, en s'appuyant sur la théorie des graphes pour le calcul automatique des temps et distances d'accès par les plus courts chemins (algorithme de Dijkstra, 1959).

1. CARACTÉRISATION DES VULNÉRABILITÉS PHYSIQUE ET FONCTIONNELLE DU RÉSEAU ROUTIER ALPIN

1.1. Impacts physiques et fonctionnels depuis 1950

Une première phase de cette étude s'intéresse à la vulnérabilité physique et fonctionnelle du réseau routier de trois départements alpins de moyenne et haute montagne : Alpes-de-Haute-Provence (04), Hautes-Alpes (05), Savoie (73). Nous nous sommes focalisés sur les bassins versants actifs et sur les tronçons routiers exposés qui les traversent. La délimitation des principaux bassins versants actifs (285) a été fournie par l'équipe du LPG de Meudon (BD BV) avec une première extraction des événements recensés depuis 1950 dans les bases des Services de Restauration des Terrains en Montagne (BD RTM) de l'Office National des Forêts (ONF). Cette base a ensuite été épurée, puis complétée et recoupée avec les bases du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM, BDmvt) et du Conseil Général des Hautes-Alpes (BD CG05, Direction des Infrastructures). Nous en avons ensuite extrait tous les événements signalant un impact physique ou fonctionnel sur le réseau routier entre 1950 et 2009. Au final, ce sont essentiellement les données RTM qui ont été intégrées dans nos bases de données (97,6% des événements).

La base « BD impacts routes » comporte 298 événements dommageables (30%). Au total, on recense 111 tronçons impactés au moins une fois en un ou plusieurs endroits, dont 94 tronçons avec un impact physique décrit et 103 tronçons avec un impact fonctionnel décrit. Cette base comporte une typologie des dommages maximums conforme à l'échelle d'intensité des mouvements de terrain de Leone (1996). Cette différenciation a été réalisée à partir des descriptions littérales des différentes bases de données. Ainsi, nous avons été en mesure d'agrèger le nombre d'événements dommageables par tronçon routier de la base SIG Route500 de l'IGN avec différenciation du niveau d'endommagement, physique ou fonctionnel. Cela débouche

sur première famille d'indicateurs permettant de cartographier les tronçons les plus vulnérables depuis 1950. Il s'agit d'une évaluation a posteriori et empirique de la vulnérabilité, mesurée par l'endommagement constaté.

1.2. Répartition temporelle des impacts

Pour les trois départements ce sont les mois de juin, juillet et août qui ont enregistré le plus d'événements dommageables sur le réseau routier. D'un point de vue probabiliste, on peut ainsi minimiser l'influence des *debris flow* sur l'accès aux stations de ski en hiver, contrairement aux avalanches de neige. Il en va autrement en été, compte tenu de la forte fréquentation touristique de ces mêmes stations en juillet et août. L'année qui a connu le plus d'événements sur le réseau routier est 1965, avec un record pour la Savoie (23 événements sur un total de 24). Mais on remarque depuis 1986 une tendance à l'augmentation du nombre d'années dépassant les cinq événements dommageables par an. Cela peut s'expliquer entre autre par un meilleur recensement des dommages. Des épisodes de cette intensité peuvent provoquer des perturbations du réseau routier de plusieurs jours et/ou sur plusieurs localités. De fait, l'accessibilité routière se trouve fortement dégradée par une perte de la connectivité du réseau. C'est sur la base de tels événements que nous avons établi nos scénarios.

1.3. Distribution géographique des impacts

La répartition départementale des événements montre que les Hautes-Alpes ont été le plus impactées (48%), suivies de la Savoie et des Alpes de Haute-Provence. Cela n'est pas un reflet total de la réalité car ce département bénéficie de l'apport en événements dommageables de la base de données du CG 05, sans équivalent pour les autres départements. Néanmoins, compte tenu du faible emprunt à cette base (1,86%), le biais introduit est à minimiser et la hiérarchie préservée. Les Hautes-Alpes connaissent en effet des précipitations plus violentes, des roches souvent moins compétentes que la Savoie, et des longueurs de pente plus longues que les Alpes de Haute-Provence. Cela n'exclut pas d'autres biais ou carences liés à la collecte de l'information. C'est pour cette raison que nous avons fiabilisé nos données en ne retenant que les événements postérieurs à 1950, encore bien inscrits dans la mémoire collective. Une cartographie des impacts physiques et fonctionnels par tronçon routier montre que les vallées de la Haute tarentaise (Savoie), de la Maurienne (Savoie), du Briançonnais (Hautes-Alpes) et la vallée de l'Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence) ont été les zones les plus affectées depuis 1950. La portion de route la plus vulnérable de notre zone d'étude est la départementale D1006 (34 événements), sur un tronçon de 2,5 km exposé aux laves torrentielles du torrent de La Ravoire à Pontamafrey-Montpascal (73). Notons que cette départementale D1006, tout comme la D994G, cumule des impacts sur deux tronçons, soit respectivement 39 et 19 impacts physiques recensés au total sur chacune. C'est un tronçon de la D238 sur la commune de Freissinières (05) qui recoupe le plus de torrents (7) à *debris flows* dommageables.

2. INDICES DE RISQUE DE PERTURBATION FONCTIONNELLE

2.1. Les composantes des indices

Le risque de perturbation fonctionnelle d'un tronçon routier peut se définir par une probabilité de dysfonctionnement. Comme toute notion de risque, la mesure de ce risque doit intégrer une notion d'aléa (le phénomène potentiellement dommageable), une notion de vulnérabilité (de l'élément/tronçon exposé) et une notion de valeur fonctionnelle (ou stratégique, ou d'usage = l'enjeu) de ce tronçon au regard de

l'ensemble du réseau auquel il est connecté en temps normal. Nous différencierons ce risque de perturbation fonctionnelle d'un tronçon routier, du risque de dégradation de l'accessibilité territoriale assurée par un réseau routier. D'un point de vue théorique, l'aléa peut être considéré ici comme une fonction de trois probabilités dans un temps et sur un lieu donnés (Leone, 2007) :

- Une probabilité d'occurrence d'un phénomène potentiellement dommageable ;
- Une probabilité que ce phénomène a d'atteindre l'élément exposé ;
- Une probabilité que cet élément exposé a de se trouver présent au moment de l'arrivée du phénomène.

La vulnérabilité du tronçon routier peut être mesurée par un taux d'endommagement (ou de dysfonctionnement) potentiel. Pour la vulnérabilité physique, ce taux va dépendre de la magnitude du phénomène et de la nature du tronçon. Pour la vulnérabilité fonctionnelle, ce taux va dépendre de la vulnérabilité physique (intensité des dommages) et de la capacité de rétablissement du tronçon concerné. La valeur fonctionnelle d'un tronçon routier peut se définir au moyen de plusieurs critères : le gabarit de la route (son importance stratégique), son flux (sa fréquentation), sa possibilité ou non d'être remplacée (longueur de déviation), son poids pour l'ensemble du réseau routier.

Dans le cadre de cette étude et en attendant de disposer de données plus précises sur les conditions de déclenchement et de propagation des phénomènes (évaluation de l'aléa local), nous proposons deux premiers indices expérimentaux de risque de dysfonctionnement (IRd) de tronçon routier. Ils sont basés respectivement sur les fréquences historiques d'impacts depuis 1950 (Fi : indicateur combiné d'aléa et de vulnérabilité) et deux indicateurs de valeur fonctionnelle : la longueur minimale de déviation possible du tronçon (Ld) et l'indice de destruction (Id).

2.2. Indice de valeur fonctionnelle d'un tronçon par destruction des liens (Id)

L'indice proposé ici traduit la perte d'accessibilité globale subie par les nœuds d'un réseau, et donc par le territoire qu'ils irriguent, à la suite de la suppression de chacun des liens individuellement. La suppression d'un arc du graphe permet de simuler une coupure accidentelle du lien de réseau qu'il représente. Dans certains cas, cette suppression peut entraîner la perte de connectivité du réseau, c'est-à-dire l'impossibilité pour un automobiliste ou des secours de se rendre en tel ou tel lieu. L'accessibilité globale est évaluée par la somme des temps minimaux (en minutes) de parcours entre tous les nœuds du réseau (algorithme de Floyd). Il s'agit de calculer l'indice de dispersion d'un réseau. Trois grands types d'informations peuvent être dégagés de l'analyse des résultats de cet indice de valeur fonctionnelle par destruction.

- Perte de connectivité : cela signifie que la coupure du tronçon rendrait un ou plusieurs nœuds inaccessibles. Il s'agit d'une information essentielle car la connectivité est la propriété première d'un réseau. Ne plus pouvoir accéder signifie ne plus pouvoir approvisionner les habitations et ne plus pouvoir les secourir en cas de danger.
- Indice de valeur nulle : cela signifie que le tronçon n'est jamais emprunté par les cheminements optimaux. Sa coupure n'aurait donc aucune incidence fonctionnelle dans la mesure où un itinéraire alternatif, plus performant, lui est systématiquement préféré.
- Indice de valeur positive : cela signifie que la coupure du tronçon occasionnerait des détours aux automobilistes. Plus la valeur de l'indice est élevée plus les détours sont importants, plus le tronçon occupe une place stratégique dans le réseau. L'indice de destruction permet ici de hiérarchiser les tronçons en fonction de leur importance.

3. LA PERTE D'ACCESSIBILITÉ TERRITORIALE COMME RIQUE INDIRECT

3.1. Accessibilité et théorie des graphes

C'est Euler en 1737 qui est à l'origine de la théorie des graphes. Utilisée aujourd'hui en informatique ou en économie, la théorie des graphes trouve tout particulièrement son intérêt dans le domaine des transports. En effet, la transformation d'un réseau routier « réel » en graphe offre la possibilité de multiples applications. Si la théorie de graphes permet de simplifier le réseau visuellement, c'est avant tout dans les calculs et les représentations graphiques de l'accessibilité que la théorie des graphes devient la plus utile. Tout d'abord il faut transformer le réseau en graphe, c'est-à-dire en un objet mathématique composé de sommets et d'arcs. Les sommets (les points) peuvent être associés aux nœuds du réseau, et les arcs (les liaisons entre les points) sont associés aux tronçons routiers. Le graphe doit rendre compte fidèlement de la hiérarchie routière urbaine et donc distinguer les différents types de voies qui composent le réseau (Appert & Chapelon, 2006). Dans le cadre des réseaux routiers, il est important d'attribuer des valeurs aux graphes (graphe valué). En effet, les lieux de départs et d'arrivées sont situés dans l'espace et n'ont pas forcément le même poids : les routes ont des vitesses et des capacités différentes. Chaque arc est caractérisé par sa longueur en kilomètres (caractéristiques morphologiques) et par la vitesse de circulation automobile permise sur l'infrastructure qu'il représente (autoroute...) dans le respect du code de la route (caractéristiques qualitatives). Grâce à la théorie des graphes, il est possible d'intégrer la notion d'accessibilité dans les systèmes d'information géographique. La représentation graphique d'un réseau couplé aux nombreux calculs d'accessibilité permet d'insérer la perte d'accessibilité dans la visualisation géographique de la vulnérabilité des réseaux routiers et donc du territoire.

3.2. Modélisation de l'accessibilité à l'état normal

Afin de mettre en évidence l'altération de l'accessibilité nous avons dû préalablement définir l'accessibilité à l'état normal, c'est-à-dire en présence d'un réseau routier « sain » avec tous les cols ouverts (situation estivale). En utilisant un réseau non altéré nous pouvons ainsi établir une accessibilité optimale et théorique de référence, idéale pour établir des comparaisons avec des accessibilités dégradées par coupures de voies et/ou fermeture de cols. Les lieux de départ choisis sont les villes de plus de 10 000 habitants et les lieux d'arrivée sont variables suivant les enjeux territoriaux pour lesquels on a cherché à définir cette accessibilité : les sites de stations touristiques, les centroïdes des communes, les mailles territoriales de 2 km de côté. Pour notre étude, le choix des lieux d'arrivées s'est fait en fonction de leur importance dans la structure territoriale des départements alpins. En effet leur vitalité est directement liée au maintien d'une bonne accessibilité. Ces lieux et leurs attributs sont donc considérés comme des enjeux. Nous avons retenu pour nos scénarios 3 familles d'enjeu : la population communale, le nombre de journées-skieurs des principales stations touristiques, la surface territoriale.

3.3. Modélisation de la dégradation de l'accessibilité face aux *debris flows*

3.3.1. Scénarios explicatifs

Nous avons choisi deux scénarios explicatifs (reconstitution d'évènements) en fonction de divers critères. On a tout d'abord opéré un tri suivant les durées des épisodes pluviométriques, le nombre de tronçons touchés pour un même épisode, et l'intensité des dommages et des perturbations. Puis nous avons effectué une rapide phase de test pour déterminer le nombre approximatif de lieux affectés. Enfin, suite à un autre test basé cette fois-ci sur le temps d'accès, nous avons gardé les scénarios dont au moins

l'un des tronçons coupés entraînait une déviation d'au moins 30 minutes, considérée comme pénalisante pour un automobiliste. Par ailleurs, nous avons recherché des scénarios impactant des territoires différents. Le premier scénario retenu correspond à l'évènement du 24 juillet 1996, ciblé sur la Savoie. Le second scénario a une emprise spatiale et temporelle plus importante. Il rejoue des évènements qui ont affecté les départements des Hautes-Alpes et des Alpes-de-Haute-Provence du 19 au 21 juin 2005, donc durant trois jours. Les résultats s'expriment sous forme de cartes et de graphiques. Les cartes donnent la perte de temps (en mn) pour atteindre chaque lieu considéré (maille, station de ski ou centre de commune) depuis les principales agglomérations voisines. Plusieurs modes de représentation cartographique de ces indicateurs de perte d'accessibilité ont été testés (carroyage, symboles, lignes) afin d'optimiser la communication des résultats. Les courbes apportent une seconde information quantitative permettant de mesurer le préjudice induit par la perte d'accessibilité : elles donnent le volume d'enjeux (personnes, surface, etc.) accessible en fonction du temps. Ces traitements graphiques des résultats permettent de visualiser l'écart par rapport à une situation normale d'accessibilité.

3.3.2. Scénarios prédictifs

Plusieurs scénarios prédictifs ont été élaborés à une échelle plus locale sur la moyenne vallée de l'Ubaye dans les Alpes-de-Haute-Provence (région de Barcelonnette). Ils sont basés sur une modélisation des pertes de temps d'accès des secours vers plusieurs sites à risque torrentiel élevé. Ces sites ont préalablement fait l'objet d'un diagnostic de risque intégré (approche multicritère) sur près de 300 bâtiments et 25 ponts susceptibles d'être coupés par des laves torrentielles. La modélisation repose sur un réseau routier plus détaillé et utilise également l'emploi de l'outil RouteFinder© dans l'environnement logiciel MapInfo©. La dégradation de l'accessibilité des secours y a été exprimée en rallongement des temps de parcours depuis le centre de secours principal de Barcelonnette. Une représentation par carroyage des pertes de temps d'accès offre la possibilité de créer des géo-indices de risque agrégés combinant les probabilités de pertes humaines (risque humain) et les temps d'accès des secours.

CONCLUSION : AIDE À LA DÉCISION

Outre son caractère innovant dans le couplage des diagnostics de risque naturel avec la modélisation de l'accessibilité routière sur base SIG, cette approche conduit à des cartes et des indicateurs à forte valeur décisionnelle pour les pouvoirs publics. Elle a permis d'explorer plusieurs protocoles méthodologiques, différentes bases de données routières, divers types d'indicateurs et plusieurs modes de représentation cartographique, afin d'optimiser la communication des résultats à différentes échelles spatiales. Ce travail a également permis d'explorer la notion de risque reporté (ou indirect) par diffusion spatiale des vulnérabilités, notamment fonctionnelles, en s'attachant à caractériser les risques imputables aux *debris flows* en dehors des seules zones d'exposition directe.

Les premiers résultats obtenus vont être transmis aux différents gestionnaires de réseau routiers (DDT, Conseil Généraux) afin de susciter une réflexion sur les moyens et avantages de réduire la vulnérabilité de l'accessibilité routière dans les Alpes face à ces aléas naturels. Nous espérons pouvoir contribuer de la sorte à augmenter la résilience fonctionnelle de ces territoires montagnards et transfrontaliers fortement sollicités, en particulier dans un contexte de changements climatiques influençant les aléas morpho-dynamiques.

RÉFÉRENCES

- Appert M. & Chapelon L., 2006, La vulnérabilité des réseaux routiers urbains face aux risques d'altération, In : *La mise en carte des risques naturels*, Géorisque, 2, collection du laboratoire GESTER, Université Montpellier 3, 47-58.
- Jomelli V., Chochillon, C., Brunstein, D et P. Pech, 2003, Hillslope debris flows frequency since the beginning of the 20th century in the French Alps, In : *Debris flow hazards mitigation*, Rickenmann & Chen (ed), Millpress Rotterdam, 127-137.
- Leone F., 1996, *Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain*, Thèse de doctorat, spécialité géographie, Université J. Fourier, Grenoble, publiée dans les Documents du BRGM, 250, Ed. BRGM, Orléans, 286 p.
- Leone F., 2008, *Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque (mouvements de terrain, séismes, tsunamis, éruptions volcaniques, cyclones)*, Ed. Edilivre, Paris, 336 p.
- Pech P. & Jomelli V., 2001, Caractéristiques et rôle du cône apical dans le déclenchement des coulées de débris, *Géographie physique et Quaternaire*, 55, 1, 47-61.

AUTEURS

Frédéric Leone
UMR 0007 GRED,
Université Montpellier 3
frederic.leone@univ-montp3.fr

Julien Deymier
UMR 0007 GRED,
Université
Montpellier 3
julien.deymier@g
mail.com

Laurent Chapelon
UMR 0007 GRED, Université
Montpellier 3
laurent.chapelon@univ-
montp3.fr

Vincent Jomelli
Laboratoire de Géographie Physique, UMR
8591, CNRS, Meudon
vincent.jomelli@cnrs-bellevue.fr