Estimation des laves torrentielles

Autor(en): **Rickenmann, Dieter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **123 (1997)**

Heft 19

PDF erstellt am: **02.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79145

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Estimation des laves torrentielles

Par Dieter Rickenmann, ing. dipl. EPFZ-SIA, Dr. sc. techn., Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage Zürcherstrasse 111 8903 Birmensdorf

Durant les orages violents de l'été 1987, des laves torrentielles se sont fréquemment manifestées en relation avec des conditions de précipitations extrêmes. De tels événements torrentiels peuvent entraîner de gros dégâts, surtout s'il y a des constructions sur le cône de déjection ou lors d'un important transport solide. A cause de la complexité des processus, les laves torrentielles n'ont été comprises jusqu'à maintenant que d'une manière qualitative et limitée. Dans ce qui suit, on tente de dresser un état des connaissances du point de vue des applications pratiques.

Dans les Alpes, les laves torrentielles – qui constituent un transport d'un mélange grossier de pierres et d'eau – représentent une source certaine de danger. Elles se manifestent surtout sur des pentes d'éboulis en montagne et dans les lits de torrents. En ce qui concerne la composition du matériau, les laves se situent entre les phénomènes issus de glissements de terrain ou d'écroulements, avec une proportion prédominante de blocs rocheux, et les crues de torrents ou de rivières, avec une proportion prédominante d'eau. Les laves torrentielles se caractérisent par leur écoulement pulsé « en coup de bélier » : on trouve concentrés sur le front de lave un grand nombre de blocs, alors que la suite de l'écoulement est beaucoup plus fluide et sa hauteur plus faible. On peut comparer l'écoulement d'une lave torrentielle à celui d'une avalanche de neige humide ; les dépôts sur le cône de déjection du Val Varuna dans le Puschlav l'illustrent très clairement (fig. 1). La similitude dans le processus d'écoulement entre laves torrentielles et avalanches laisse imaginer quel danger représente une telle masse de matériaux grossiers se déplaçant rapidement.

Des données précises sur des laves torrentielles ainsi qu'une description minutieuse de quelques événements survenus en 1987 se trouvent dans Haeberli et al. [1][1], dans VAW[2] [2] et dans Rickenmann [3]. Durant les épisodes de mauvais temps de l'été 1987, une grande partie des dégâts fut imputable à l'importance du transport de matériaux solides par les torrents. Plus récemment, de grosses laves torrentielles se sont formées dans la vallée de Bavona (1992), dans la vallée du Mater (Rittigraben, 1993) ainsi que dans le village du Simplon (Lowigrabu, 1994).

L'exposé qui suit donne un aperçu des critères les plus importants pour savoir si un torrent est capable de générer des laves torrentielles et avec quel ordre de grandeur on peut estimer, à l'aide de calculs rudimentaires, les paramètres les plus importants d'une lave torrentielle. La connaissance du volume présumé de matériaux solides transportables (potentiel en matériaux solides) lors d'un événement donné est l'élément de base de l'estimation du danger représenté par la lave, outre la pente du chenal d'écoulement (plus facile à mesurer). Départ, écoulement et dépôt de laves torrentielles sont des processus complexes, qui n'ont pas été quantifiés de façon complète jusqu'à présent. De ce fait, une estimation ne doit pas se faire uniquement au moyen de formules, mais doit être menée en parallèle avec une analyse géomorphologique du bassin versant. Cela est valable tout spécialement pour l'appréciation du potentiel en matériaux solides et pour la proposition d'éventuelles mesures de protection ou de recommandations de correction.

Estimation de la capacité à générer des laves

La discussion ci-dessous porte sur un lit de torrent à l'état naturel, non aménagé. L'influence des aménagements sur le risque généré par les laves est traitée plus loin, bien qu'une quantification de cette influence ne soit guère possible.

Inclinaison du lit et potentiel en matériaux solides

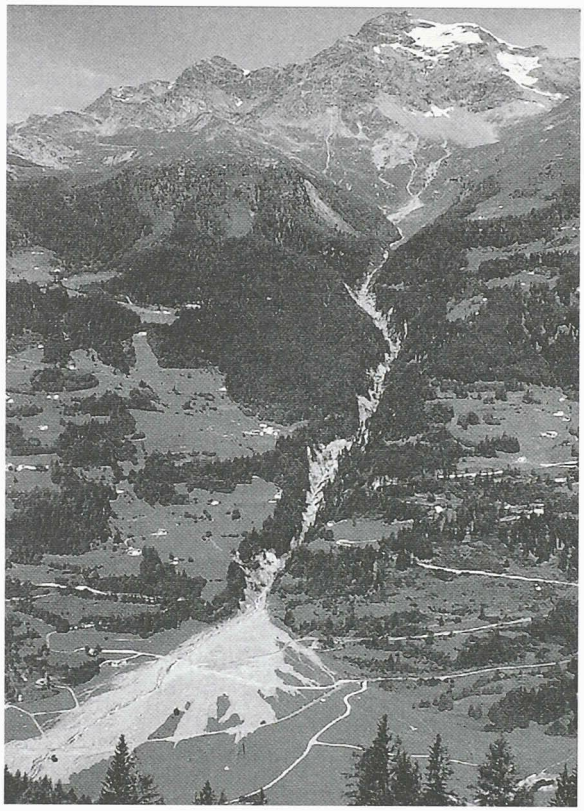
Une pente de lit minimale et un potentiel en matériaux solides suffisamment important sont les conditions nécessaires à l'apparition de laves torrentielles. Ces deux facteurs sont également les deux critères les plus importants pour l'estimation du danger qu'un torrent est susceptible de représenter.

Pour qu'une lave torrentielle se forme dans le lit d'un torrent ou sur une pente, l'inclinaison minimale doit y être d'au moins 25 à 30 %. Toutefois, certains facteurs favorisant la formation des laves torrentielles (rétrécissement, embâcle) peuvent déjà permettre leur naissance sur des pentes de 15 à 25 %. Pour des lits de torrents d'inclinaison inférieure à 15 %, la formation d'une lave est en revanche peu probable.

La majeure partie des matériaux mobilisables se trouve principalement sous la forme de dépôts dans le lit du cours d'eau (par exemple derrière un dépôt causé par une embâcle ou de gros blocs) ou bien dans des pentes latérales menaçant de glisser. L'analyse des événements parmi les plus importants de l'été 1987 a montré qu'environ les deux tiers du volume de lave mobilisé provenait d'une érosion du fond et des berges dans le voisinage immédiat du lit. Le potentiel en matériau du lit mineur peut être estimé à partir de l'importance présumée des dépôts de matériaux mobilisables ce qui, pour des estimations correctes, peut nécessiter la réalisation de mesures géophysiques. Si, durant une lave torrentielle, les pentes menaçant de glisser contribuent au volume de lave de manière moins significative que les matériaux non cohésifs dans le voisinage du lit, le potentiel en matériaux des pentes latérales est

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

[2] Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich



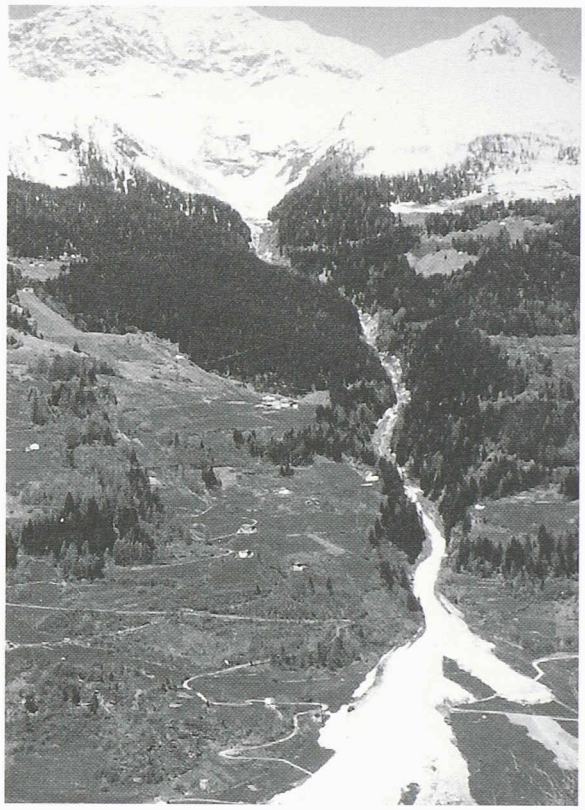


Fig. 1.- La zone d'écoulement et le cône de déjection du Val Varuna sur le versant ouest de la vallée de Poschiavo. Les photographies montrent une ressemblance frappante des dépôts d'une lave et d'une avalanche: (a) dépôts de la lave torrentielle du 19.07.1987 (photographie A. Godenzi, Chur), (b) dépôt d'une avalanche de neige humide, cliché du 08.05.1978 (photo R. Godenzi, Poschiavo).

en revanche d'une grande importance pour le comblement ultérieur du lit, qui peut intervenir entre deux épisodes. Des informations détaillées sur l'estimation géomorphologique du potentiel en matériaux et sur la question de la rupture de versants sont réunies dans le manuel [4].

Sur la base de l'analyse des laves torrentielles de 1987 dans les Alpes suisses et en suivant l'exemple de l'estimation semi-quantitative du risque représenté par les laves torrentielles d'après Aulitzky [5] et Nakamura [6], on peut proposer une classification fondée à la fois sur les critères essentiels d'inclinaison lit-versant et de potentiel en matériaux, conformément au tableau 1. Par inclinaison de versant, respectivement du lit, il faut ici comprendre la valeur moyenne sur un secteur, soit sur un bief où la formation d'une lave est possible. Le potentiel en matériaux *F* représente la quantité maximale de matériaux mobilisables lors d'un événement depuis le point de départ jusqu'à la zone de dépôt. Les classes de risque correspondent à une combinaison de l'intensité vraisemblable de l'événement et de sa fréquence possible. L'énoncé se réfère cependant en tout premier lieu à l'intensité maximale attendue d'un événement. Par exemple, dans le cas d'un important potentiel en matériaux et d'une forte inclinaison, dans la classe de risque A, peuvent également se produire des laves torrentielles plus petites, ce qui dans l'ensemble amène à une fréquence plus élevée que pour la classe C, pour laquelle seules de petites laves sont à craindre. L'interprétation des classes de risque peut être formulée de la manière suivante:

A1 fort risque de lave torrentielle
A2 risque de lave torrentielle;
B faible risque de lave torrentielle
C risque peu probable de lave torrentielle.

Tableau 1: influence de la pente du torrent et du potentiel en matériaux sur le danger de lave torrentielle. La signification des classes de risque est donnée dans le texte.

Zone de départ: pente du lit/ du versant	*Caractéristiques du chenal et potentiel en matériaux (versant+chenal), F*	*Classe de risque*
J>25%	Chenal constitué de matériaux mobilisables, potentiel élevé de rupture de pente (F>10 000 m³)	A1
	Chenal majoritairement constitué de matériaux sans cohésion, potentiel élevé de rupture de pente (F=1000 à 10 000 m³)	A2
	Lit majoritairement en rocher (F<1000 m³)	B
15 %<J<25%	Lit composé de rochers schisteux ou de type flysch, rupture potentielle de versant (F> 10 000 m³)	A1
	Autres types de rochers, lit avec possibilité d'embâcle (F>10 000 m³)	A2
	Lit sans possibilité d'embâcle (F=1000 à 10 000 m³)	B
	Lit majoritairement en rocher	C
J<15%	Non pertinent	C

Pour la classe A, on doit s'attendre généralement à la formation de laves lors de précipitations de pluie extrêmes. Si les deux conditions de pente forte et de potentiel en matériaux élevé sont réunies, un fort risque existe en principe. Pour la classe B, l'intensité aussi bien que la probabilité d'un événement sont moindres.

Généralement, on peut estimer plus clairement l'influence de la pente que celle du potentiel en matériaux; de ce fait, les valeurs de ce potentiel mises en parenthèses doivent être comprises comme des ordres de grandeur. Dans le cas d'une inclinaison décroissante et avec des tronçons longs, une lave torrentielle transportant un fort volume de matériaux arrivera plus loin qu'une lave transportant un faible volume de matériaux. Dans le cas de biefs à fond plat et s'étendant sur une grande longueur, de petites laves peuvent soit s'arrêter soit perdre tous les matériaux. Le matériau potentiellement mobilisable est également en étroite relation avec les caractéristiques du lit.

Précipitations et écoulement

Dans la plupart des cas, ce sont les précipitations qui sont à l'origine des laves torrentielles. Comme seuil limite, c'est essentiellement une combinaison critique de l'intensité et du cumul de pluie qui apparaît comme prépondérante. Cette limite est cependant fonction du bassin versant (et notamment de la qualité du sol) et, dans une certaine mesure, elle ne peut être définie que par le biais d'un nombre suffisant de données. Lors de la formation de la lave dans le lit du torrent (« liquéfaction du lit »), l'importance de l'écoulement joue également un rôle essentiel. Une quantification de cette influence n'a toutefois pas encore été possible jusqu'ici.

Facteurs favorisant la formation des laves

- Etroitesse, par exemple ressaut ou grosse accumulation de blocs rocheux
- Embâcle, en relation entre autres avec une étroitesse comme cause possible d'embâcle
- Processus de versant, avec apports latéraux en matériaux
- Affluence et/ou ravines avec apport de matériaux

En ce qui concerne la pente du lit comprise entre 15 et 25 %, la formation de laves torrentielles par « liquéfaction du lit » apparaît comme peu vraisemblable [1]. Cependant, si plusieurs des facteurs énumérés sont combinés, des laves peuvent se former dans cette plage de pentes, de même que des laves venues de plus haut peuvent s'y renforcer.

Facteurs défavorables

Les facteurs suivants peuvent ralentir la formation de laves torrentielles ou leur écoulement:

- profil en long nettement sous forme de gradins,
- biefs à fond plat de grande taille sans reprise de matériaux par érosion, avec possibilités de dépôt,
- berges plates (perte de matériaux par formation de bourrelets latéraux),
- dépôts de gros blocs (prélèvement d'eau).

A l'exception des pertes en matériaux à travers la formation de bourrelets latéraux ou de divers gros dépôts dans des replats, la quantification de cette influence n'est pas possible.

Déclenchement de laves torrentielles en haute montagne

Il faut s'attendre à des déclenchements de laves dans les zones suivantes:

- dans les lacs pro-glaciaires, qui sont formés dans la masse glaciaire ou morainique, il y a la possibilité d'une rupture qui, en un temps bref, peut libérer une grosse quantité d'eau (voir aussi Haeberli [7]); généralement, la rupture conduit à la formation de laves torrentielles;
- dans les zones morainiques, le potentiel en matériaux est le plus souvent important; avec des matériaux mobilisables faiblement consolidés, on doit s'attendre à des départs de laves pour des pentes comprises entre 27 et 38°; les régions péri-glaciaires, où le permafrost peut agir comme une barrière à l'écoulement d'eau, sont particulièrement dangereuses;
- dans les pentes raides faiblement consolidées avec des inclinaisons comprises entre 27 et 38°, des laves peuvent se déclencher par concentration de l'écoulement, particulièrement au pied du talus.

Evénements historiques documentés

C'est souvent à partir de sources écrites ou de témoignages oraux que les laves torrentielles antérieures sont connues et c'est souvent le critère le plus important pour décider si de tels événements peuvent se manifester. Des épisodes historiques documentés peuvent avant tout livrer un témoignage sur l'importance présumée de l'événement et sur les zones de dépôts.

Indices du passage de vieilles laves torrentielles dans le paysage

Les indices les plus importants d'un dépôt de laves torrentielles sont:

- la surface fortement tourmentée du cône de déjection;
- la quantité de gros blocs (notamment sur le cône de déjection);
- des bourrelets latéraux (notamment dans le lit, éventuellement sur le cône);
- un front de lave (souvent au niveau d'un élargissement local du lit ou sur le cône de déjection).

Les indices du passage de vieilles laves sur le cône de déjection et dans le lit peuvent être observés en s'appuyant sur une liste de contrôle du manuel « Recommandations pour l'évaluation des volumes de matériaux » [4].

Influence des aménagements

Des aménagements ont souvent été construits à la suite d'un évé-

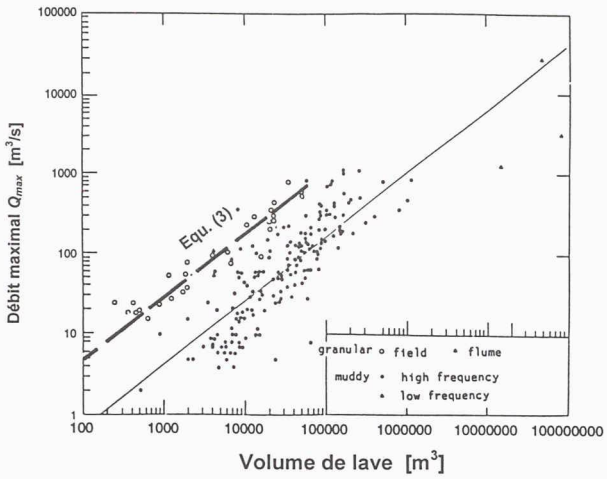


Fig. 2.- Débit maximal d'un mélange eau-matériaux en fonction du volume de lave [9]. Quelques événements analysés de l'été 1987 suivent à peu près l'équation (3) pour les laves torrentielles granulaires.

nement torrentiel majeur et, de ce point de vue, ils représentent un indice de l'activité antérieure en transport de matériaux. La construction de seuils ou le remplacement de la couverture végétale ont peut-être déjà aidé à améliorer la stabilité des pentes menaçant de glisser. Dans la mesure où les aménagements de correction torrentielle sont en bon état, ils limitent l'érosion due au creusement du lit et réduisent ainsi la quantité de matériaux mobilisables. En diminuant la pente entre deux barrages, on rend peu probable ou on empêche complètement la formation de laves torrentielles. Un endiguement et un agrandissement du lit sur le cône de déjection augmentent quant à eux la capacité d'écoulement et de stockage et repoussent ainsi les limites extrêmes pour les laves majeures.

Parallèlement, on doit être attentif au fait qu'une succession de seuils en mauvais état (surtout en cas de constructions surannées ou mal entretenues) représente un danger élevé de rupture. En cas de rupture de seuils avec libération brutale d'une grande quantité de matériaux, on doit s'attendre à la formation d'une lave torrentielle pour des pentes de lit supérieures à 15 %. Dans ce cas, le danger représenté par les laves peut être plus important que si le lit était dans son état naturel, dépourvu de seuils.

Formules d'estimation et règles d'approximation pour les paramètres clés

Les formules indiquées ici doivent servir à évaluer l'ordre de grandeur des paramètres importants d'une lave torrentielle. Etant donné la complexité du processus et la grossièreté des données dont on dispose le plus souvent, aucune méthode précise de calcul n'a jusqu'ici pu être élaborée. Dans tous les cas, les valeurs déterminées ci-dessous doivent être confrontées à une estimation sur le terrain.

Volume de l'événement

Une formule donne l'ordre de grandeur du volume maximal (en m³) d'une lave torrentielle à escompter lors d'un événement exceptionnel [3]:

$$M = (6{,}4\, J_c\,\% - 23)\, L \qquad 7\,\% < J_c < 15\% \qquad (1a)$$

$$M = (110 - 2{,}5\, J_c\,\%)\, L \qquad 15\,\% < J_c < 40\% \qquad (1b)$$

où J_c est la pente du cône de déjection (en %) et L (en m) la longueur du lit entre le point de départ potentiel et le point le plus bas dans la zone de dépôt. Sur un tronçon présentant des affleurements rocheux, la longueur du lit, qui tient compte de l'érosion ou de l'apport de matériaux, peut être réduite – pour l'obtention de la formule d'estimation, c'est toutefois la longueur totale d'écoulement qui a été retenue.

Une estimation comparative du potentiel en matériaux peut être réalisée selon le diagramme de Zeller [3]. A condition que le volume annuel se soit, pour la majeure partie, déposé au cours d'un seul épisode de lave torrentielle et dans le cas d'un très fort transport solide, on peut donner:

$$M = (17\,000 \ldots 27\,000)\, BV^{0{,}78} \qquad (2)$$

où BV est la superficie du bassin versant (en km²).

Les valeurs déterminées à l'aide de ces formules doivent absolument être confrontées à une estimation sur le terrain.

Débit maximal

On peut relier le débit maximal du mélange eau-matériaux Q_{max} (en m³/s) et le volume (en m³) de lave par:

$$Q_{max} = 0{,}135\, M^{0{,}78} \qquad (3)$$

Les données des laves torrentielles de 1987 en Suisse qui sont reproduites à la figure 2 correspondent à peu près à l'équation pour les laves « granulaires » selon la classification japonaise de Mizuyama et al. [9], l'équation (3) pouvant aussi être employée dans un contexte alpin.

Vitesse d'écoulement

A partir du débit maximal et de la géométrie du canal, on peut estimer une vitesse moyenne (en m/s):

$$V = 10\, R_h^{0{,}67}\, J^{0{,}5} \qquad (4)$$

où le facteur 10 correspond à un coefficient de Strickler (en m$^{1/3}$/s), R_h (en m) au rayon hydraulique et J à la pente dans la portion de lit considérée. Quoique dans la gamme de précision actuelle, une formule à la Strickler puisse également être utilisée pour l'estimation de la vitesse du front de lave, il faut garder à l'esprit que le processus d'écoulement d'une lave torrentielle se distingue de celui d'un écoulement d'eau claire.

Après un événement, à condition de trouver un endroit convenable, on peut risquer une estimation de la vitesse par la méthode de surélévation des courbes:

$$V = [g\ \mathrm{tg}(\beta)\, R_C]^{0{,}5} \qquad (5)$$

où g représente l'accélération gravitaire, β l'angle d'inclinaison de la surface libre (mesurée perpendiculairement à la direction d'écoulement) et R_C le rayon de courbure moyen.

Dépôts intermédiaires

Généralement, des dépôts sont possibles pour des pentes inférieures à environ 20 %. C'est surtout la variation relative dans la géométrie du chenal qui est importante: on peut escompter le dépôt d'un volume de lave torrentielle dès lors que la pente du lit diminue

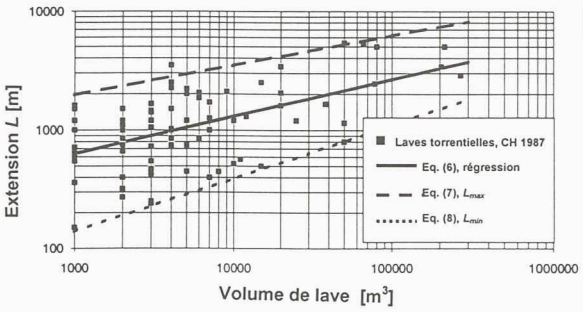


Fig. 3.- Extension (le long du chemin d'écoulement) en fonction du volume de lave pour 82 événements de lave durant l'été 1987 en Suisse

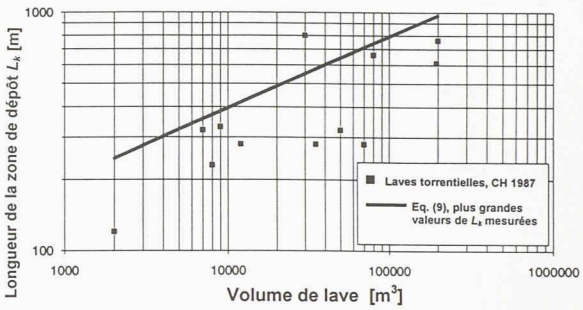


Fig. 4.- Longueur de la zone de dépôt de lave sur le cône de déjection en fonction du volume de lave, pour douze événements de lave durant l'été 1987 en Suisse

de moitié et/ou que la largeur du chenal double. A de tels endroits, on retrouve quelquefois des fronts de vieilles laves. Dans des biefs à berges plates, des bourrelets latéraux (frontières latérales de la lave torrentielle) se sont formés. Il faut comprendre ici par berge plate des inclinaisons jusqu'à environ 33° comme seuil pour la stabilité d'un talus composé de dépôts de matériaux granulaires. Pour des biefs de longueur importante, cette formation peut conduire à une perte considérable de matériaux. De petites laves (volume de lave jusqu'à 1000 m³) peuvent ainsi perdre tant de matériaux que finalement, elles s'arrêtent.

Distance parcourue

Dans le cas de biefs de longueur significative avec dépôt, respectivement de biefs avec reprise, une petite lave torrentielle pourrait s'y immobiliser. L'estimation du volume de dépôt possible dans un tel tronçon et la comparaison avec le volume présumé de la lave permettent d'estimer si l'arrêt de la lave est probable ou non. Des dépôts et des débordements peuvent également être provoqués en amont des sections étroites.

Dans la plupart des cas, il faut bien s'attendre à ce que des laves torrentielles arrivent jusqu'au cône de déjection. A partir de l'analyse de 82 événements de laves torrentielles durant l'été 1987 en Suisse, on trouve:

(a) une pente globale minimale, qui nulle part n'était inférieure à 19 %. La pente globale représente la pente moyenne du chemin d'écoulement dans sa totalité entre la zone de départ jusqu'au point extrême de dépôt;

(b) une corrélation générale de l'extension L (en m) et du volume de lave M (en m³), comme le montre la figure 3. Les données sont dispersées autour de la tendance moyenne pour les laves d'environ 1000 m³, mais la dispersion diminue pour de plus grandes valeurs de M. L'extension moyenne (L), maximale (L_{max}) et minimale (L_{min}) peuvent être données par les équations suivantes:

$$L = 75\ M^{0,31} \qquad (6)$$

$$L_{max} = 350\ M^{0,25} \qquad (7)$$

$$L_{min} = 6,2\ M^{0,45} \qquad (8)$$

Dépôt sur le cône de déjection

Sur le cône de déjection, une valeur supérieure pour la longueur de dépôt (en m) peut être estimée en fonction du volume de lave M à l'aide de la formule suivante:

$$L_k = 25\ M^{0,3} \qquad (9)$$

où L est calculée à partir du point de débordement hors du chenal jusqu'au point le plus en aval du dépôt en forme de lave (sans compter les matériaux déposés de manière diffuse). Certes, la formule est fondée sur peu d'observations d'événements torrentiels en Suisse (fig. 4), mais les données sont distribuées de manière similaire à celles relatant des laves japonaises [6]. L'estimation devrait être comparée à des dépôts anciens (quand ils existent) et, le cas échéant, modifiées en conséquence.

Lorsqu'aucun indice de vieux dépôts n'existe, on peut supposer en première approximation, que la largeur de dépôt correspond à environ dix fois la largeur de l'écoulement de lave à son entrée sur le cône de déjection. L'épaisseur moyenne du dépôt de lave torrentielle sur le cône de déjection est souvent comprise entre 1 et 4 mètres environ. La géométrie du dépôt évalué est dans chaque cas à vérifier, voire à rendre plausible, en fonction du volume total de la lave évaluée.

Estimation du risque sur le cône de déjection

Si des traces de laves antérieures sur le cône de déjection ou des documents historiques existent, il faudrait baser l'estimation de la limite des zones dangereuses en priorité sur ces indices. En tout cas, la superficie des zones menacées est à adapter en fonction du volume de lave attendu. Lors de l'estimation des traces sur le cône de déjection (vieux dépôts), les facteurs suivants sont d'importance.

- Vieux dépôts: un rassemblement de pierres, voire de blocs avec des diamètres compris entre 0,5 et 1 m, permet de conclure à un dépôt de lave ancienne, tout spécialement, quand ces dépôts se retrouvent hors du chenal. Des bourrelets latéraux ou frontaux, dans la mesure où ils sont

encore reconnaissables, sont également des indices des endroits menacés par des laves torrentielles. Toutefois, à la suite d'un changement de topographie sur le cône de déjection (nouvelle direction du torrent, par exemple), une autre partie du cône peut alors être menacée, tandis que des zones auparavant menacées peuvent ne plus l'être à la suite d'un changement dans le régime d'écoulement (par exemple, écoulements plus pauvres en matériaux et lit bien plus creusé).

- Des chenaux d'écoulement inactifs ou des restes de vieux torrents témoignent généralement d'une activité antérieure avec transport solide, qui peut être due tout aussi bien à des laves torrentielles qu'à des crues normales.
- Couvert végétal : s'il existe des secteurs du cône qui présentent, d'une manière clairement différenciée, de vieux arbres, on peut rattacher ces parties aux événements passés correspondants.
- Affleurements de vieux dépôts : lorsque des affleurements sont présents, le type de stratification renseigne sur l'activité torrentielle antérieure et l'épaisseur des couches individuelles donne une indication sur l'importance de l'événement.

Si, à partir de vieux dépôts de lave torrentielle, on peut distinguer les secteurs éventuellement menacés à l'avenir, il faut faire attention à la manière dont la situation a été modifiée en cas de correction du torrent ou de nouvelles constructions. En outre, de vieilles traces sur le cône de déjection peuvent avoir été effacées à la suite d'une exploitation agricole ou autre. Si aucune trace ou indice d'anciens événements n'est présente, on doit apprécier les zones de dépôt potentiel en fonction du volume de lave attendu, pris isolément, puis conjointement avec des hypothèses sur la géométrie du dépôt. La manière dont se sont formés les dépôts est influencée de façon cruciale par la prépondérance du processus de transport, par lave ou charriage. En ce qui concerne les laves torrentielles, tous les matériaux granulaires sont répartis de manière plus ou moins uniforme sur la surface du dépôt, les plus gros blocs se trouvant sur le bourrelet frontal du dépôt ou dans les environs immédiats. Dans le cas d'un transport solide lors de crues, les composants grossiers sont déposés sur des pentes raides, tandis que les particules les plus fines sont transportées jusqu'à un replat sur le cône de déjection. Quelquefois, l'écoulement d'eau consécutif peut retransporter les matériaux fins déposés par la lave.

Résumé

Les aspects les plus importants pour une estimation grossière du danger de lave torrentielle peuvent être résumés par les mots clés suivants :

- inclinaison du lit/de la pente, potentiel en matériaux (classe de danger) ;
- traces de laves torrentielles antérieures ;
- facteurs favorables, respectivement défavorables, au déclenchement de lave ;
- éventuellement déclenchements dans une zone de haute montagne.

L'estimation plus détaillée des quelques aspects importants nécessite une analyse du site (géomorphologie, traces). Avec les formules et les règles d'approximation présentées ci-dessus, on peut opérer les estimations suivantes :

1) apprécier le volume attendu de lave, rendre l'estimation plus plausible et la déterminer au plus juste sur le terrain ;
2) apprécier le débit maximal d'écoulement et rendre l'estimation plus plausible (est-ce que la valeur estimée est à l'intérieur du domaine de la figure 2 ?) ;
3) apprécier la capacité d'écoulement du chenal sur le cône, puis la comparer au débit maximal afin de repérer les possibles points d'engorgement voire de débordement ;
4) calculer la capacité de stockage du chenal et la comparer au volume attendu de lave en considérant le processus de dépôt auquel on doit s'attendre (éventuellement seulement une partie du chenal sera remplie) ;
5) calculer l'étalement du volume (restant) de lave ; outre l'utilisation de formules d'estimation et de règles, on doit s'appuyer sur la délimitation des dépôts antérieurs, dans le cas où la topographie ou le régime d'écoulement n'ont pas changé de manière significative. Une comparaison avec des formes de dépôt connues sur des cônes de déjection similaires avec des volumes de lave comparables peut fournir des indices intéressants.

Sur la base d'une estimation d'ensemble de toutes les informations existantes (détermination *in situ*, traces, estimation quantitative), il faut choisir le scénario le plus vraisemblable/le plus plausible parmi toute la gamme d'événements possibles.

Les formules proposées ne doivent cependant pas occulter le fait qu'il ne s'agit que d'un ordre de grandeur des paramètres les plus importants. Une estimation plus juste du danger de lave torrentielle nécessite des analyses *in situ* et ne peut que profiter de l'avis d'un expert.

Bibliographie

[1] Haerberli, W., Rickenmann, D., Rösli, U., Zimmermann, M. : « Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Ergebnisse der Untersuchungen » (Analyse des causes de la crue de 1987, Résultats des recherches). Communication de l'Office fédéral de l'économie des eaux N° 4, Berne, Communication hydrologie et géologie N° 14, pp. 77-88, 1991 (en allemand et en français)

[2] VAW : « Murgänge : Dokumentation und Analyse. Ursachenanlyse der Hochwasser 1987 » (Laves torrentielles : documentation et analyse.

Analyse des causes de la crue de 1987); projet partiel « Laves torrentielles », in « Bericht der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (VAW), 622 pp, 1992 (en allemand)

[3] RICKENMANN, D.: « Murgänge: Prozess, Modellierung und Gefahrbeurteilung » (Laves torrentielles: processus, modélisation et estimation du risque), in Oddsson, B. (éd.) « Instabile Hänge und andere risikorelevante natürliche Prozesse », Nachdiplomkurs in angewandten Erdwissenschaften, Boston, Berlin, Basel, Birkhäuser, 397-407,1996

[4] LHG / BWW: « Empfehlung zur Abschätzung von Festofffrachten in Wildbächen » (Recommandations pour l'estimation du volume solide dans les torrents), Landeshydrologie und -geologie (LHG), Berne, et Office fédéral de l'économie des eaux, Berne, 1995

[5] AULITZKY, H.: « Berücksichtigung der Wildbach- und Lawinengefahrgebiete als Grundlage der Raumordnung von Gebrigsländern » (Considérations sur les zones de risques pour les torrents et les avalanches comme éléments de base pour une organisation spatiale des régions de montagne), 100 Jahre Hochschule für Bodenkultur, tome IV, partie 2, p. 81-177, 1973

[6] NAKAMURA, J.: « Investigation manual on prediction of occurrence of Dosekiryu [debris Flow], Delineation of dangerous zone affected by Dosekiryu and arrangement of warning and evacuation system in moutain torrents in Japan » (Manuel de recherches sur la prédiction de l'occurrence de laves torrentielles, délimitation de la zone dangereuse concernée par les laves torrentielles, mise en place de l'alerte et du système d'évacuation pour les torrents de montagne au Japon), International Symposium Interpraevent Bad Ischl, tome 3, p 41-81, 1980 (en anglais)

[7] HAEBERLI, W.: « Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps » (Fréquence et caractéristiques des crues glaciaires dans les Alpes suisses), *Annals of Glaciology* 4 (1983) pp. 85-90 (en anglais)

[8] ZELLER, J.: « Feststoffmessung in kleinen Gebirgseinzuggebieten » (Mesures en matériaux dans les petits bassins versants), *Wasser, Energie, Luft*, 77. Jg., H. 7/8, p 246-251, 1985

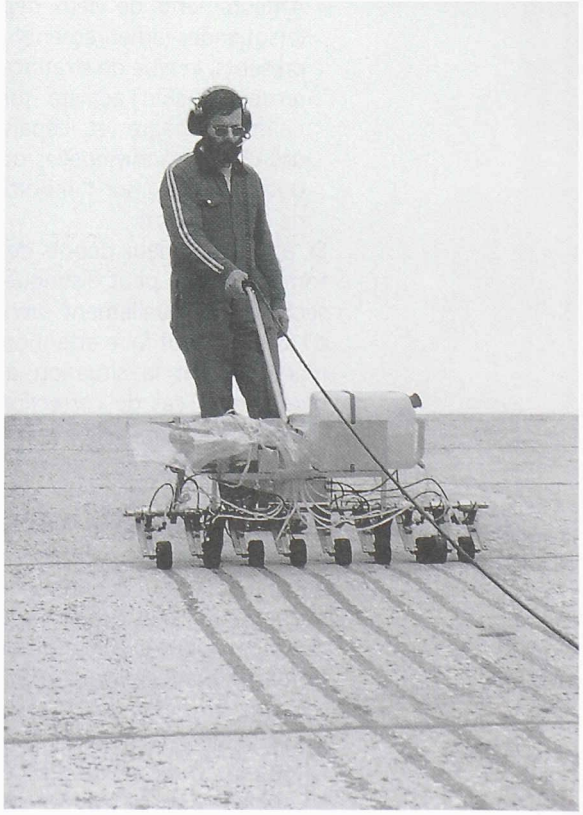
[9] MIZUYAMA, T., KOBASHI, S., OU, G.: « Prediction of debris flow peak discharge » (Prédiction du pic de débit pour les laves torrentielles), Internationales Symposium Interpraevent Berne, vol. 4, p 99-108, 1992 (en anglais)

[10] ZIMMERMANN, M., RICKENMANN, D.: « Beurteilung von Murgängen in der Schweiz: Meteorologische Ursachen und charakterische Parameter zum Ablauf », Internationales Symposium Interpraevent Berne, vol. 2, p 153-163, 1992

Article paru dans *Schweizer Ingenieur und Architekt* 48/1995 sous le titre « Beurteilung von Murgängen »; traduction: Christoph Ancey, Cemagref, Division protection contre les érosions, 1996, revue et corrigée par l'auteur

Nouvel instrument pour connaître l'état de corrosion des armatures dans les ouvrages en béton

Au cours d'un hiver normal, quelque 20 000 tonnes de sel sont répandues sur le réseau autoroutier suisse, soit plus de 6 kg par voiture, mais cette quantité peut être plus que doublée si l'hiver est long et rude. Or une partie de ce sel pénètre dans le béton où les chlorures attaquent l'armature. Afin de connaître l'état de corrosion de cette dernière dans les ouvrages d'art, l'*Institut pour la chimie et la corrosion des matériaux* de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich, sous la direction du professeur Hans Böhni, a mis au point et testé avec succès un nouvel instrument de diagnostic. L'appareil se déplace sur huit roues disposées côte à côte avec un espacement de 15 cm. Chaque roue est couplée à une électrode pour mesurer le potentiel électrique induit dans le béton par la corrosion du fer et une mesure est effectuée tous les 15 cm. L'interprétation de ces mesures permet de dresser une carte précise et complète de l'état du béton armé, jusqu'à une profondeur de 80 cm. Cette méthode non-destructive présente aussi l'avantage de la rapidité: une surface de 200 m^2 peut ainsi être analysée en une heure.

Si la nouvelle méthode ne dispense pas entièrement du prélèvement de carottes, elle en limite l'emploi aux endroits critiques.

(Source: Centre de documentation et d'information scientifiques, Carouge)