

**Zeitschrift:** Tracés : bulletin technique de la Suisse romande  
**Herausgeber:** Société suisse des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 131 (2005)  
**Heft:** 23: Avalanches

**Artikel:** Avalanches mesurées dans la Vallée de la Sionne  
**Autor:** Sovilla, Betty / Dufour, François / Bartelt, Perry  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-99432>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Avalanches mesurées dans la Vallée de la Sionne

RISQUES NATURELS

Dans le domaine des avalanches, les expériences à grande échelle sur des sites expérimentaux jouent un rôle essentiel. Scientifiquement, les résultats obtenus servent à calibrer et valider des simulations numériques, à comprendre les processus physiques fondamentaux impliqués et à établir les liens entre les différents paramètres qui influencent la dynamique des avalanches. Ils contribuent ainsi indirectement à l'élaboration de produits qui facilitent la tâche des bureaux d'ingénieurs chargés de la réalisation d'un concept de protection ou de l'élaboration des cartes de dangers.

Si le présent article se consacre essentiellement aux expériences à grande échelle, il faut savoir que, du point de vue empirique, l'étude des avalanches au SLF (voir encadré) ne repose pas que sur les avalanches du site de la Vallée de la Sionne (VdS), mais également sur des expériences en laboratoire. Ces dernières permettent en effet de multiplier le nombre des essais dans des conditions définies : des événements spécifiques peuvent être répétés en modifiant systématiquement la valeur de certains paramètres. Le SLF réalise ainsi deux types d'essais en laboratoire. Il dispose d'une part d'une rampe de glissement de 30m de longueur - située au

Weissfluhjoch, au-dessus de Davos - sur laquelle plusieurs mètres cube de neige peuvent être mis en mouvement pour simuler une avalanche. D'autre part, des expériences sont réalisées directement dans un laboratoire du SLF, où des petites billes de verre - remplaçant la neige - sont lâchées sur une rampe plus courte.

## Mesures en vraie grandeur

Le site expérimental de la VdS, au nord de la ville de Sion dans le Canton du Valais, est géré par le SLF depuis 1997. C'est le site le plus important de ce type au niveau mondial (fig. 1). Les avalanches qui y sont engendrées sont généralement de grandes dimensions - de l'ordre de celle survenue à Evolène en 1999 - et peuvent être denses ou poudreuses. On peut d'ailleurs souvent les considérer comme mixtes, c'est-à-dire constituées d'un noyau dense et d'un aérosol (partie poudreuse) plus ou moins développé. Un des problèmes étudiés consiste justement à comprendre comment une avalanche dense se transforme partiellement ou totalement en une puissante avalanche poudreuse<sup>1</sup>.

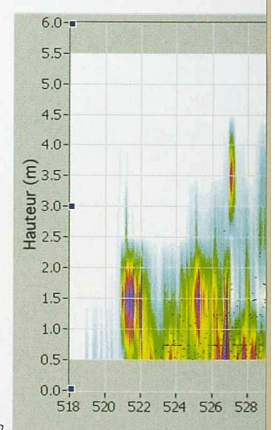
<sup>1</sup> Considérées à tort comme moins destructrices, les avalanches poudreuses ont fait l'objet de moins d'études que les avalanches denses. L'élaboration de modèles simulant leur dynamique avec précision est en outre sensiblement plus délicate.



1



2



3

Fig. 1 : Le site expérimental de la Vallée de la Sionne au-dessus de Sion (Photo F. Dufour, SLF)

Fig. 2 : Pylône de mesure avec ses capteurs (Photo F. Dufour, SLF)

Fig. 3 : Mesures de la pression dans une avalanche lente et dense, en fonction de la hauteur et sur une période d'environ une minute (Document SLF)

Fig. 4 : Signaux de pression dans une avalanche en fonction de la hauteur (Document SLF)

Le site de la VdS est équipé de capteurs de vitesse, de pression, de densité et de hauteur d'écoulement. Des films vidéo enregistrés lors des essais sont en outre utilisés pour vérifier l'ordre de grandeur des mesures. Ces dernières permettent de mieux cerner les paramètres influençant la dynamique des avalanches. Par ailleurs, on étudie également les bilans de masse et les volumes impliqués (situation avant, pendant et après l'avalanche), grâce à des techniques de photogrammétrie et de vidéogrammétrie (voir article pp. 19-20). La figure 2 montre une partie de l'instrumentation installée sur un pylône de 21 mètres de hauteur : les capteurs supérieurs enregistrent les caractéristiques des avalanches poudreuses et les capteurs inférieurs celles des avalanches denses.

### Validation des modèles

Les liens entre les valeurs récoltées sur le site expérimental et les modèles numériques de calcul sont multiples. L'usage le plus courant est d'utiliser directement les mesures pour valider les modèles et les théories de calcul. La comparaison des vitesses, des hauteurs du flux dense, des pressions et des distances d'arrêt des avalanches permet de mettre en évidence les imprécisions des modèles. A titre d'exemple, la figure 3 illustre le résultat d'une mesure de la pression dans une avalanche dense très lente (environ 10 m/s). Les théories de calcul basée sur une analogie avec l'hydraulique admettent que la pression est proportionnelle au carré de la vitesse : elles ne permettent donc pas d'expliquer les très fortes pressions (jusqu'à 200 kPa) mesurées lors de cet événement.

Si les mesures peuvent souligner certaines incohérences des modèles, elles ne fournissent pas pour autant une explication directe des écarts observés. Une telle explication est toutefois impérative pour envisager d'améliorer le modèle de calcul, ce qui implique de s'intéresser à la physique du processus.

### Le SLF en quelques mots

L'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF) se consacre depuis plus de 70 ans à la recherche sur la neige et les avalanches. Depuis de nombreuses années, il est responsable de la prévision des avalanches dans les Alpes suisses. Occupant près de 130 personnes, son siège se situe à Davos et il possède une antenne à Sion.

Avec le temps, les domaines de recherche du SLF se sont diversifiés : actuellement, en plus des avalanches, le SLF traite les différents dangers naturels liés à la montagne comme les laves torrentielles, les chutes de pierres ou les torrents de montagnes. Le SLF oriente sa recherche vers « la gestion intégrale des risques », une notion qui vise à considérer les dangers naturels dans leur ensemble et à étudier les mesures de protection du point de vue de la prévention, de l'intervention et de la remise en état.

L'antenne valaisanne répond aux besoins spécifiques de la Suisse romande et assure le fonctionnement des sites de recherche de la Vallée de la Sionne (étude de la dynamique des grandes avalanches) et de l'Illgraben (étude des laves torrentielles). En plus des sites valaisans, le SLF exploite un centre de recherche pour les chutes de pierres à Walenstadt, ainsi que des sites dans la région de Davos où est étudiée l'interaction entre la neige et le vent. Pour l'étude des avalanches, le SLF utilise aussi des résultats d'essais de laboratoire, notamment ceux obtenus au Weissfluhjoch au-dessus de Davos, à l'aide d'une rampe de glissement de 30 m de long sur laquelle plusieurs mètres cube de neige représentant une avalanche sont mis en mouvement.

Pour plus d'informations : <[www.slf.ch](http://www.slf.ch)>

Dans l'exemple des mesures de pression, la procédure pour remonter jusqu'à la physique de l'impact avalanche-obstacle recourt à une combinaison complexe de diverses mesures et techniques d'analyse. La figure 4 montre le détail d'un signal typique des pressions mesurées à différentes hauteurs

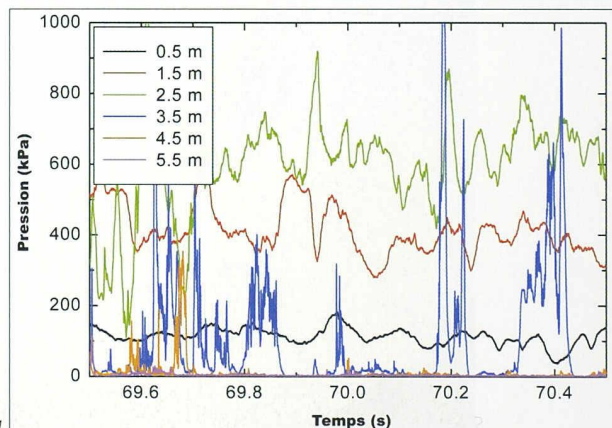
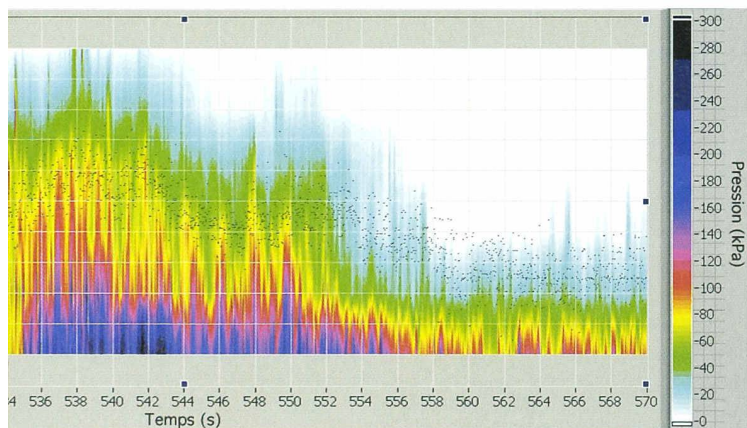
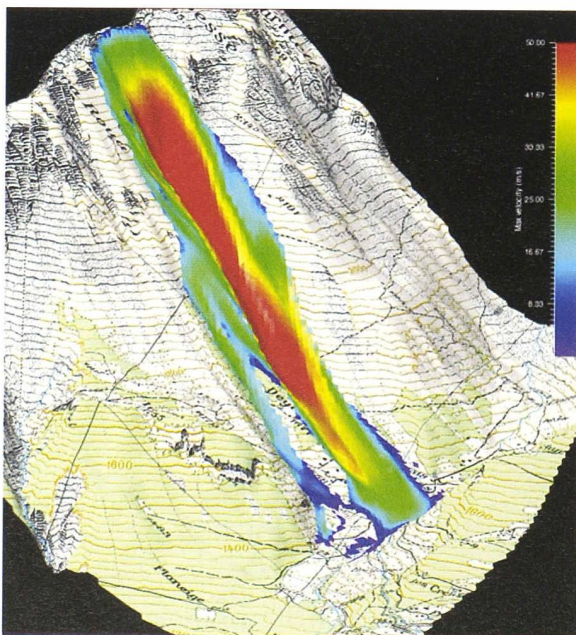


Fig. 5: Simulation des vitesses maximum d'écoulement d'une avalanche granulaire de neige sèche dans le site de la Vallée de la Sionne (Programme RAMMS). Les vitesses de la zone rouge sont comprises entre 40 et 50 m/sec. (Document SLF)

Fig. 6: Coulée de neige dans la Vallée de la Sionne (Photo Yann Gross, ECAL)

sur l'axe d'un pylône. Les hautes fréquences (7,5 kHz) utilisées par les capteurs de pression de la VdIS permettent d'enregistrer l'impact de blocs de neige isolés (visible surtout à la hauteur de 3,5 m). Grâce à des techniques de pointe en matière de traitement des signaux, la structure granulaire de l'avalanche peut être reconstituée. En effet, l'analyse combinée de la durée, de l'impulsion et de la fréquence d'un impact isolé permet d'estimer les dimensions des particules et la densité moyenne de l'avalanche. Lorsque les impacts ne sont plus identifiables dans les couches plus denses de l'avalanche (par exemple pour la hauteur de 0,5 m sur la figure 4), les techniques d'analyse permettent de souligner d'autres caractéristiques typiques des courants granulaires comme le phénomène de « stick-slip ». On sait que pour un courant granulaire, la distinction entre le mouvement subcritique et hypercritique joue un rôle important dans la détermination des forces sur un obstacle. Il est donc déterminant de pouvoir corrélérer les mesures de pression avec les mesures simultanées de vitesse pour établir des relations avec le régime de mouvement. La combinaison de toutes ces mesures offre ainsi l'occasion de déterminer le lien entre ces valeurs et de développer une théorie adéquate. Bien qu'il soit prématuré de donner une réponse définitive au problème de la détermination des pressions, les premiers résultats montrent clairement que la simple théorie hydraulique n'est pas suffisamment précise pour décrire l'impact complexe avalanche-obstacle. Dans le futur, un effort important doit être consenti pour améliorer nos connaissances sur le comportement des matériaux granulaires.



5

A noter que le principe consistant à ne pas utiliser les mesures de pression et de vitesse seulement en rapport avec le site où elles sont effectuées, mais à s'en servir également pour comprendre les processus physiques entrant en jeu dans les avalanches, confère aux informations récoltées dans la VdIS un caractère général qui autorise leur exploitation - à travers des modèles et des théories - pour d'autres situations avalancheuses.

### Calibrage des modèles

Dans le domaine des avalanches, la validation et le calibrage suivent des processus similaires - comparaison des données d'avalanches réelles mesurées et d'avalanches calculées - mais avec des objectifs différents. Le but de la validation est de vérifier la justesse théorique d'un modèle numérique, alors que le calibrage cherche à déterminer la valeur des paramètres - dits de calibrage - de ce modèle qui permettront de calculer correctement la distance d'arrêt et la vitesse d'une avalanche. Par ailleurs, la validation exploite toutes les avalanches mesurées alors que le calibrage ne se fait qu'en considérant des avalanches extrêmes, c'est-à-dire ayant un temps de retour de 30 à 300 ans<sup>2</sup>.

Cela signifie qu'il n'y a que peu d'avalanches mesurées qui peuvent être utilisées pour le calibrage (par exemple les avalanches mesurées lors de l'hiver catastrophique de février 1999), il est ainsi nécessaire, pour calibrer un modèle, d'avoir accès à d'autres données que celles de la VdIS. Ces données proviendront de sites ayant des caractéristiques différentes et dans lesquels des avalanches de grandes dimensions auront eu lieu et dont on connaîtra suffisamment de paramètres.

Les modèles sont en général calibrés en effectuant un calcul inverse d'événements catastrophiques : on cherche les paramètres à introduire dans le modèle pour calculer la distance d'arrêt d'avalanches catastrophiques enregistrées dans le passé (cette distance est souvent la seule donnée dont on dispose). Les modèles validés sont alors en mesure de définir d'autres valeurs dynamiques (hauteurs d'écoulement, vitesses et pressions).

### Outils de modélisation

Développé par le SLF, AVAL-1D est un outil de modélisation de la dynamique des avalanches largement utilisé au niveau mondial. Il traite l'avalanche comme un fluide visqueux incompressible à partir de l'équation de St-Venant. Les praticiens y recourent pour évaluer les distances de

<sup>2</sup> Selon les directives pour la prise en considération du danger d'avalanches lors de l'exercice d'activités touchant l'organisation du territoire (Office Fédéral des Forêts, Institut Fédéral pour l'Étude de la Neige et des Avalanches, 1984).

#### « LAVINA »

La rédaction de *TRACÉS* est heureuse de présenter une nouvelle fois les photographies d'un étudiant de l'Ecole cantonale d'art de Lausanne (ECAL).

Yann Gross a entrepris ce travail dans le cadre de l'unité photographie de la section communication visuelle et le poursuit depuis la fin de ses études à titre personnel. Il s'est rendu à plusieurs reprises sur le site de la Vallée de la Sionne pour y photographier les avalanches (qui se dit « lavina » en Engadine, lieu d'origine du jeune photographe) déclenchées par le SLF. Un extrait de son travail est présenté ci-contre, aux pages 4 et 14 ainsi qu'en couverture.



6

propagation et les vitesses d'écoulement des avalanches. Le modèle décrit, dans une topographie en deux dimensions, la dynamique d'une avalanche dense, de la zone de déclenchement à la zone de déposition.

Bien que *AVAL-1D* soit très utile, il reste trop simple pour résoudre certains problèmes liés aux avalanches. Ce modèle ne permet par exemple pas de calculer la largeur de la coulée - cette caractéristique étant considérée a priori comme connue. Il est en outre inefficace pour décrire la complexité des avalanches, puisqu'il n'intègre pas le mouvement des particules au sein de l'avalanche, un processus important pour caractériser la dissipation de l'énergie.

Les récents résultats obtenus sur le site expérimental de la VdIS sont actuellement exploités pour développer un nouveau modèle physique bidimensionnel : *RAMMS (RAPid Mass Movements)*, figure 5). Ce modèle assimile la coulée de neige à une masse de particules agitées en collision. L'agitation granulaire résulte de l'interaction de l'avalanche avec le substratum irrégulier et rugueux.

Le modèle implémenté intègre une composante granulaire qui rend possible la prédiction des collisions à l'intérieur de la masse neigeuse. Plus important encore, ce modèle physique montre que l'agitation granulaire est à l'origine de la formation d'une couche de fluidification à la base de l'ava-

lanche. La présence de cette couche explique pourquoi les avalanches (de neige ou rocheuses) ou les laves torrentielles peuvent atteindre de telles distances de propagation.

#### L'avenir

Malgré ces progrès, de nombreux problèmes demeurent non résolus dans le domaine de la dynamique des avalanches. Les domaines fondamentaux dans lesquelles la recherche doit encore fournir des réponses sont les suivants :

- la compréhension des processus d'interaction obstacles/avalanches, avec une attention particulière sur les digues et les structures de formes et de dimensions différentes ;
- la compréhension de la rhéologie et des régimes de mouvement qui caractérisent les différentes composantes de l'avalanche ;
- la compréhension des processus d'érosion et de dépôt dans le parcours de l'avalanche, c'est-à-dire la définition correcte du bilan de masse.

Betty Sovilla, dr sc. tech., ing. civil Uni. Padova

François Dufour, ing. civil dipl. EPF

Perry Bartelt, dr sc. tech., ing. civil Uni. Maryland

Birgit Ottmer, ing. environnement dipl. EPF

Alexandre Badoux, dr sc. nat., ing. dipl. sc. nat. EPF

Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches (SLF)  
Antenne ENA-Valais, Rue de l'Industrie 45, CH - 1950 Sion

