

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

Artikel: Avalanches en laboratoire...
Autor: Ancey, Christophe / Cochard, Steve / Rentschler, Martin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99433>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.01.2026

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

Avalanches en laboratoire...

Un des enjeux fondamentaux de la recherche sur les avalanches concerne le développement d'outils de calcul pour prédire les caractéristiques de leur propagation. Il s'agit à dire vrai d'un vieux problème que l'on ne cesse de revisiter... Ces modèles, sensés rendre compte d'un phénomène complexe, ne peuvent que difficilement être validés directement sur des avalanches réelles, raison pour laquelle certaines expériences en laboratoire sont imaginées. Voici un aperçu des pistes explorées actuellement au Laboratoire d'Hydraulique Environnementale (LHE) de l'EPFL.

Dans le domaine de la modélisation des avalanches, il semble que le premier modèle soit dû à un ingénieur français, Paul Mougin, qui exploita en 1922 l'analogie avec un bloc glissant pour calculer la vitesse d'une avalanche. Les principes de base utilisés par Mougin n'ont guère changé depuis : quelle que soit l'approche choisie, on exploite une analogie avec un phénomène connu, on en extrapole les équations du mouvement, puis on ajuste les éventuels paramètres à l'aide d'un calage sur des événements passés documentés. Cette procédure appelle cependant un certain nombre de questions. Que vaut l'analogie ? Quel crédit accorder à des paramètres issus d'événements passés pour anticiper le futur ?

Par ailleurs, l'étude des risques naturels diffère de sciences comme la physique ou la biologie, car elle implique des phénomènes difficilement reproductibles, tant en laboratoire qu'*in situ*, et pour lesquels on ne dispose que d'une information fragmentaire. Provoquer une avalanche en aérosol est difficile et, lorsqu'on y parvient, la mesure des caractéristiques dynamiques et la connaissance des conditions initiales restent très délicates. En ce sens, et contrairement aux sciences évoquées précédemment, l'étude des avalanches ne peut pas s'appuyer sur une étude expérimentale poussée.

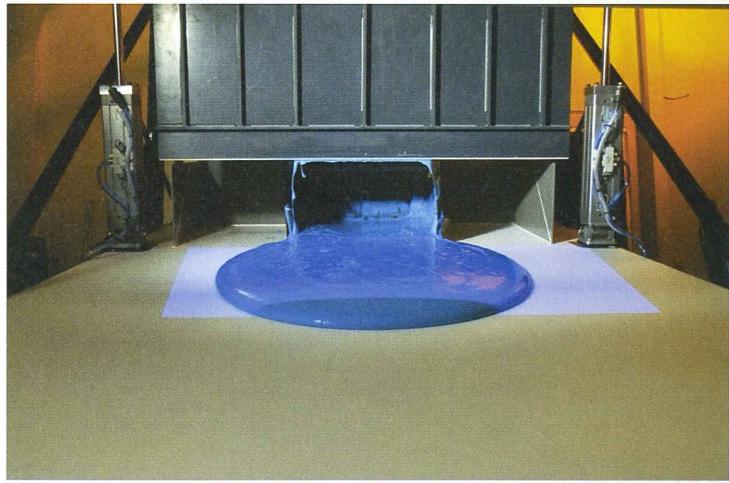
Valider en laboratoire

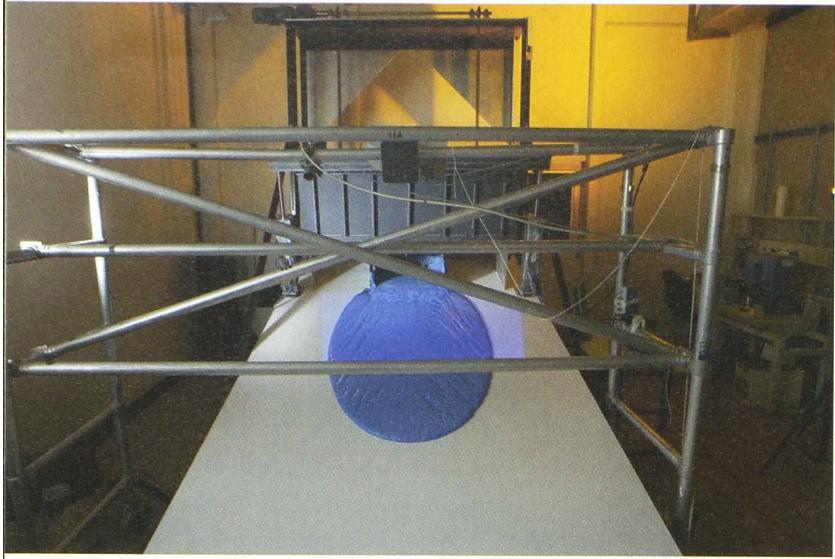
Avant de s'attaquer à la modélisation de phénomènes naturels complexes aux caractéristiques mal définies comme

les avalanches, il semble nécessaire de se poser la question de la pertinence et de la performance des modèles qu'on souhaite utiliser. En d'autres termes, est-on capable de simuler des écoulements complexes avec une précision suffisante dans l'environnement bien contrôlé d'un laboratoire ?

Si les outils classiques de la mécanique des fluides permettent généralement de calculer un écoulement de fluide en régime permanent, la situation devient nettement moins claire au fur et à mesure que l'on s'éloigne du régime d'équilibre. Ainsi, un problème apparemment aussi simple que le glissement d'une goutte d'eau le long d'une vitre recèle une physique extrêmement riche et très compliquée à formaliser sous forme d'équations.

Le Fonds national suisse (FNS) a financé un important projet de recherche au LHE dans l'optique de tester des modèles à l'échelle du laboratoire. Le projet vise à étudier des avalanches de fluide sur un plan incliné. Deux doctorants ont mis en place un dispositif expérimental et réalisent des expériences dites de « rupture de barrage » : on lâche subitement un fluide sur un plan incliné, puis on suit son évolution au cours du temps (fig. 1 et 2).





2

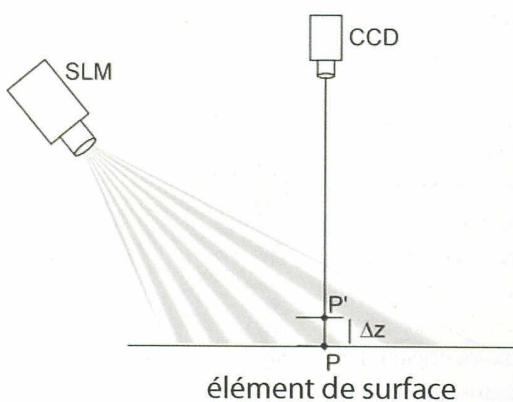
Différents fluides sont testés : des fluides newtoniens de consistance proche du miel, qui peuvent parcourir tout le plan incliné mais dont le front est instable (développement de digitations), ou alors des fluides viscoplastiques assez proches du gel pour cheveux (mais peu plus dilués), qui cessent généralement de s'écouler après quelques secondes si la pente n'est pas suffisante. Enfin, des expériences plus complexes - avec des mélanges concentrés de particules dans un fluide - sont prévues pour mieux comprendre les interactions entre fluide et particules au cours du mouvement.

Concevoir une instrumentation adaptée à la mesure de l'évolution d'un fluide en mouvement rapide est loin d'être aisé. C'est avec l'aide du professeur Jacquot (Laboratoire de Nanophotonique et de Métrologie) que le LHE a choisi d'utiliser des caméras rapides (45 images par seconde), qui sont capables de reconstruire une image tri-dimensionnelle en examinant comment la surface libre du fluide déforme un rayon lumineux (fig. 3a et 3b).

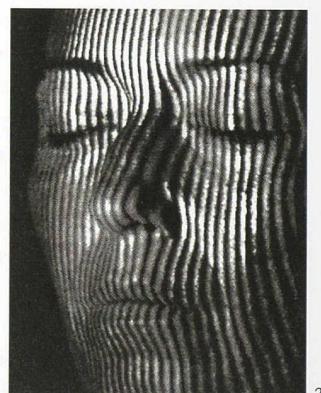
Sur le plan théorique, le problème de rupture de barrage est très instructif puisque le fluide passe par diverses phases traduisant des équilibres relatifs, sans jamais atteindre un état d'équilibre complet. Ainsi, dans les premiers instants après le lâcher, le fluide se déforme sous l'effet de la forte accélération. Cela induit un gradient de pression au sein de l'écoulement dont l'effet est de lutter contre des déformations trop importantes de la surface libre. Dans ce cas, la dynamique

de l'écoulement est gouvernée essentiellement par l'équilibre relatif entre le gradient de pression et l'inertie du fluide. A plus long terme, on observe que le matériau ralentit fortement sous l'effet d'un nouvel équilibre entre dissipation d'énergie et gradient de pression ; la dynamique est alors dictée par l'équilibre entre force motrice (la gravité) et force de dissipation. Si la dissipation d'énergie est suffisante, le fluide peut s'arrêter, même sur un plan incliné.

Sur le plan numérique, le calcul d'évolution du fluide est extrêmement difficile (fig. 4). Les modèles numériques les plus complets (éléments finis) nécessitent plusieurs dizaines d'heures de calcul sur des ordinateurs très puissants pour des géométries d'écoulement et des fluides pourtant simples. De ce fait, il est nécessaire de développer des modèles simplifiés, un peu moins précis mais beaucoup plus rapides pour les applications en ingénierie. En principe, de tels modèles existent déjà, mais les hypothèses introduites pour simplifier le problème induisent parfois des comportements étranges. Ainsi, pour la plupart des codes numériques, un fluide fortement dissipatif ne s'arrête jamais complètement, mais continue à s'étaler de plus en plus lentement, alors qu'expérimentalement on observe un arrêt brutal. Les numériciens utilisent des astuces pour arrêter l'écoulement, mais le résultat final diffère significativement selon l'astuce employée ; les modèles numériques ne savent donc pas calculer précisément la distance d'arrêt, ce qui est gênant si on veut utiliser ces modèles.



3a



3b

Fig. 1 et 2 : Expérience dite de «*rupture de barrage*» sur un fluide polymérique (pas très différent du gel pour cheveux) coloré en bleu pour les besoins de la prise d'images. (Photos Alain Herzog)

Fig. 3 : Pour reconstruire la surface tridimensionnelle de l'écoulement à différents instants, on projette un motif (des franges parallèles) et on filme l'écoulement depuis le dessus (a). En rencontrant la surface de l'écoulement, les franges sont déformées. En évaluant leur taux de déformation, il est possible d'obtenir l'épaisseur de l'écoulement en tout point de la surface. On voit clairement la déformation de franges projetées sur un visage (b).

Fig. 4 : Simulation numérique d'une *rupture de barrage* par la méthode dite SPH (Smooth Particule Hydrodynamic)

Fig. 5 : Domaine physiquement occupé par le fluide et résultat numérique

Fig. 6 : L'*avalanche* du 9 février 1999 à Montroc (commune de Chamonix-Mont-Blanc, Haute-Savoie) est un exemple typique d'*avalanche* catastrophique (12 personnes tuées dans leur habitation) causé par des conditions météorologiques non extrêmes (chutes de neige de période de retour 3-5 ans). (Photo Christophe Ancey)

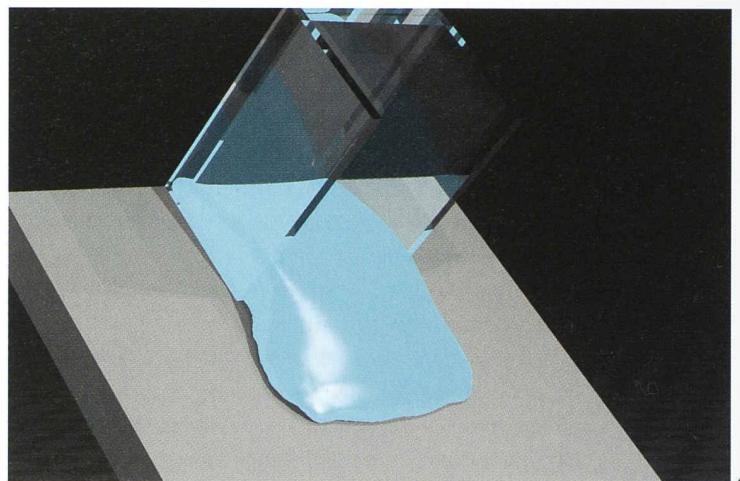
pour faire du zonage de risque. L'équipe du LHE a expliqué récemment pourquoi les méthodes numériques classiques échouaient dans ce type de problème. La raison principale est qu'elles ne permettent pas de calculer exactement la position du front de l'écoulement. En effet, le front est un point particulier en mouvement, où l'épaisseur de fluide devient nulle; numériquement l'épaisseur zéro n'est jamais atteinte car les modèles numériques divergent près du front de telle sorte qu'on ne parvient pas à le localiser (fig. 5).

Si ce résultat est capital pour le LHE, il est également essentiel pour les mathématiciens de l'EPFL qui développent des codes de calcul numérique en mécanique des fluides - équipes des professeurs Quarteroni et Rappaz - avec lesquels le LHE entretient des contacts réguliers.

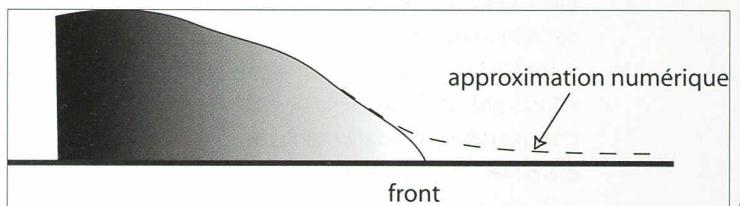
Avalanches et météorologie

Jusqu'à une date très récente, on pensait que les phénomènes extrêmes étaient générés par des conditions météorologiques elles-mêmes extrêmes et, dans une large mesure, tout le système de protection actuel est fondé sur ce postulat. Les événements récents - comme les crues en Suisse centrale d'août 2005 ou les avalanches de février 1999 en Valais - ont montré que des phénomènes d'ampleur exceptionnelles pouvaient être générés par une combinaison défavorable de conditions météorologiques qui, prises individuellement, ne revêtent aucun caractère exceptionnel: c'est souvent un concours de circonstances qui génère des catastrophes ayant un coût humain et économique considérable (fig. 6).

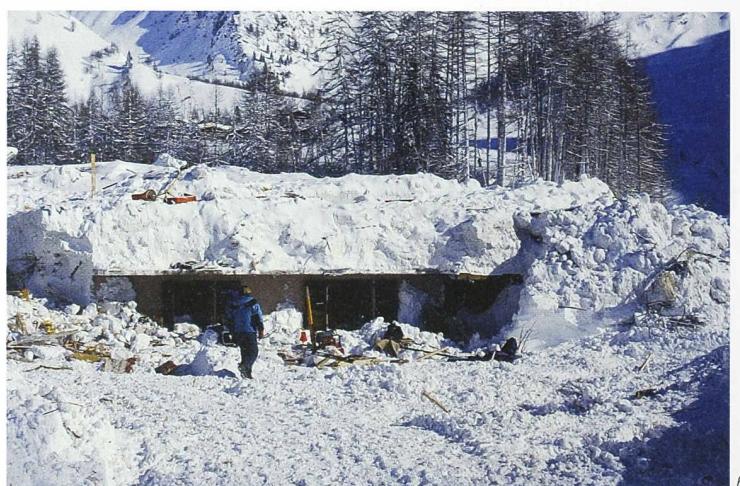
Ce constat est à l'origine de nouvelles recherches au LHE qui sont axées sur la compréhension de l'influence des conditions météorologiques passées et présentes sur l'activité avalancheuse. Dans ce domaine, la force de l'EPFL est de pouvoir combiner les compétences du LHE avec celles de groupes œuvrant dans des domaines complémentaires indispensables à l'étude d'une telle problématique. Il s'agit d'une part de l'équipe du professeur Anthony Davison, un expert pour les problèmes de statistique des extrêmes, et d'autre part de celle du professeur Marc Parlange, dont les compétences touchent aux problèmes d'hydrologie et de mécanique de l'atmosphère.



4



5



6

Fig. 7: Schéma de principe des simulations stochastiques d'avalanche où l'on tente de simuler l'activité avalancheuse sur un couloir donné sur de longues périodes de temps en générant des chutes de neige, puis des avalanches

(Sauf mention, tous les documents illustrant cet article ont été fournis par EPFL/LHE)

On en est encore aux premiers balbutiements, avec le développement de modèles simples où l'on cherche à reproduire l'activité avalancheuse en simulant statistiquement les chutes de neige, le départ d'une avalanche lorsque des conditions critiques sont rencontrées, et sa propagation à l'aide de modèles tirés de la mécanique des fluides (fig. 7). Mais à terme, on imagine une intégration plus poussée des processus météorologiques et de leurs influences sur l'activité avalancheuse, avec au moins deux débouchés importants sur le plan opérationnel.

Premièrement, on a de plus en plus recours à des moyens de protection temporaires (par exemple ouverture/fermeture d'une route en cas de danger d'avalanche) comme techniques de protection. Pour cet objectif, on a besoin d'outil de diagnostic plus précis que l'avis donné par les services de météorologie, qui ne sont valables qu'à l'échelle du massif, et moins onéreux que les outils de prévision locale utilisés sur les domaines skiables. Ce type de recherche devrait permettre de répondre à cette demande croissante.

Deuxièmement, dans les pays occidentaux, les cartes de danger se fondent de plus en plus sur la notion de phénomène centennal, c'est-à-dire un phénomène qui a en moyenne une chance sur cent de se produire chaque année. Jusqu'à maintenant, cette probabilité d'occurrence est estimée à « dire d'expert », avec toute la part de subjective que cette estimation peut comporter. Pour tenter d'aller plus loin, il faut des outils qui combinent à la fois des aspects statistiques - probabilité de déclenchement d'une avalanche - et déterministes - une fois l'avalanche déclenchée, jusqu'où va-t-elle ? C'est précisément ce qu'on tente de faire avec cette approche combinée.

Se confronter à la réalité

Le LHE participe également aux recherches concernant le lien entre expériences de laboratoire et phénomènes naturels. On bénéficie en Suisse d'atouts exceptionnels avec le site de la Sionne dans le Valais, géré par SLF, où des avalanches de grande ampleur peuvent être déclenchées artificiellement et documentées de façon assez précise (voir article pp. 10 à 13). Un des problèmes actuels concerne les mesures à l'intérieur même de l'écoulement, des mesures rendues très difficiles par la puissance des grandes avalanches. En plus de capteurs disposés sur un mât, le SLF utilise des radars, mais l'interprétation de leurs signaux reste délicate.

A l'EPFL, le professeur Edoardo Charbon, spécialiste de photonique au Laboratoire d'Architecture des Processeurs (LAP), a émis l'idée d'utiliser, à la place des radars, des réseaux de capteurs. Le principe est relativement simple : avant le déclenchement de l'avalanche, on dissème des capteurs pas plus gros qu'un œuf sur le manteau neigeux, qui seront entraînés par l'avalanche. Une fois l'avalanche déclenchée, on les excite à l'aide d'ondes électromagnétiques. En triangulant le signal émis par les capteurs excités, on peut reconstruire les vitesses à l'intérieur de l'avalanche. Si le principe des capteurs est maintenant bien établi, il reste à vérifier qu'ils fonctionnent dans l'environnement naturel. Dans le cadre du centre de compétence suisse *Mobile Information and Communication System*¹, un projet commun entre le LAP et le LHE vise à développer cette technologie, tout d'abord pour mesurer le profil de vitesses au sein d'une avalanche, puis pour d'autres applications comme la recherche de victimes ensevelies sous une avalanche.

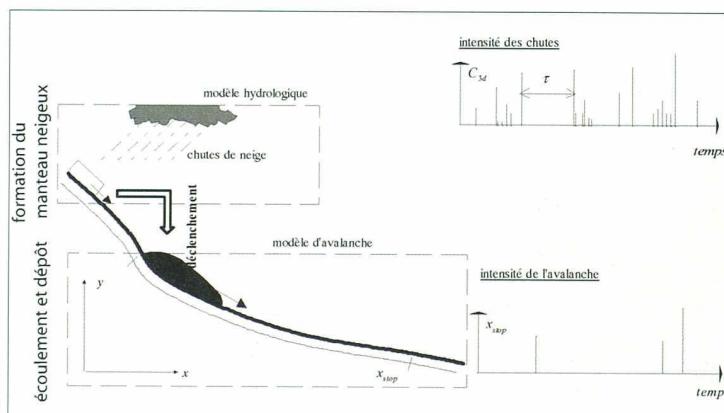
Christophe Ancey, prof., dr méc. (ECP), ing. méc. (INPG)

Steve Cochard, ing. méc. dipl. EPFL

Martin Rentschler, lic. math. Uni de Bonn

Sébastien Wiederseiner, ing. méc. dipl. EPFL

Laboratoire d'hydraulique environnementale
EPFL-ENAC-ICARE-LHE, Bâtiment GC, Station 18, CH - 1015 Lausanne



¹ <www.mics.ch>