

DISS. ETH NO. 17301

INTERACTION BETWEEN SNOW AVALANCHES AND CATCHING DAMS

A dissertation submitted to the
ETH ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF SCIENCE

presented by
MARC-ANDRÉ BAILLIFARD
Dipl. Mechanical Engineering EPF Lausanne
born 24th of February, 1978
Citizen of Bagneres, Switzerland

Accepted on the recommendation of
Pr. Dr. Paolo Burlando
Pr. Dr. Dave McClung
Dr. Martin Kern

Abstract

Avalanche catching dams are one of the many existing protective measures against snow avalanches. Their relative cost effectiveness has made them quite popular in some regions of the Swiss Alps. However, some of the existing dams overflowed during the catastrophic winter of 1998/99, putting into question the current design methods. This along with some other problems related to the design methods convinced the Swiss Federal Office for the Environment (FOEN) and the Canton Valais to begin a project focussing on improving the design method of avalanche catching dams.

Improving the design method of avalanche catching dams implies getting a better understanding of the physical processes involved when an avalanche hits a dam. More precisely, one wants to know how the energy of the incoming avalanche is dissipated, and how the dissipation can be maximized by choosing the best geometry for the dam.

In order to answer these questions, it was important primarily to identify the important physical characteristics of snow avalanches for the design issues, and to estimate their typical values. To this end, literature on avalanche dynamics was reviewed, along with the analysis of real avalanches measured at the test site of the Vallée de la Sionne, Switzerland. Furthermore the existing design methods of dams were reviewed, and the different methods were compared in a coherent way. In order to test the different methods to determine if one was satisfactory, and if none were found, to develop a new design method, it was necessary to collect some observations of the impact of avalanches on catching dams. To this end, full scale field experiments at the Vallée de la Sionne test site were conducted. As full-scale field experiments are difficult to conduct, it was also necessary to establish laboratory scale experiments, in order to get more information on the avalanche-dam interaction process. The design of these laboratory scale experiments required stating the laws of similitude the small scale experiments have to respect in order to yield consistent results. Two types of laboratory scale experiments were designed: experiments with snow, and experiments with granular material.

The comparison of the experimental results with the existing models showed that none of the existing models achieve an entirely coherent description of the avalanche-dam interaction process; each have minor, sometimes even major flaws, which justifies the development of a new design method. The analysis of the laboratory experiments has shown that the avalanche-dam interaction may be divided into three phases according to different types of energy dissipation: (i) the first front phase, where the energy dissipation is momentum driven, (ii) the granular bore formation phase and (iii) the granular bore phase itself, where the energy dissipation is gravity driven. It was also shown that these three phases do not all necessarily appear, depending on the size of the avalanche. The difficulty to conduct experiments with snow has prevented the design of an entirely physically based model. The model presented here is therefore semi-empirical, that is, based on physical observations made. Due to the lack of knowledge in the field of flowing snow rheology however, some empirical assumptions based on the performed experiments are also used.

When tested in real conditions, the developed model yields satisfactory results. Nevertheless, questions were raised concerning the processes taking place in avalanches with high Froude numbers, which were not investigated during this work. During the development of the model, the urgent need for a consistent theoretical framework for the description of the rheology of flowing snow became clearly evident.

Résumé

Parmi les nombreuses mesures de protection contre les avalanches existantes, les digues d'arrêt sont particulièrement appréciées dans certaines régions des Alpes Suisses à cause de leur coût relativement modéré. Cependant, durant l'hivers catastrophique 1998/99 plusieurs digues d'arrêt existantes ont été débordées, mettant en question la méthode de dimensionnement des digues actuellement utilisée. Ceci a poussé l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV) ainsi que le canton du Valais à démarrer un projet dans le but d'améliorer la méthode pour le dimensionnement des digues à avalanches.

L'amélioration de la méthode de dimensionnement des digues passe nécessairement par une meilleure compréhension des phénomènes physiques qui apparaissent lorsque une avalanche entre en contact avec une digue. Il est particulièrement important d'étudier comment l'énergie de l'avalanche est dissipée lors de l'impact, et si il est possible d'optimiser la géométrie de la digue pour maximiser cette dissipation d'énergie.

Afin de pouvoir répondre à ces questions, il a été nécessaire dans un premier lieu de déterminer quelles sont les caractéristiques physiques des avalanches pertinentes pour le dimensionnement des digues, ainsi que leurs valeurs typiques. Ceci a été fait à l'aide d'une revue de la littérature concernant la dynamique des avalanches, ainsi qu'en analysant des avalanches mesurées au site expérimental de la Vallée de la Sionne, en Valais. Dans un deuxième temps, les différentes méthodes de dimensionnement de digue existantes ont été étudiées et comparées de manière cohérente. Afin de déterminer si l'une de ces méthodes donne des résultats satisfaisants, et si ce n'est pas le cas de développer une nouvelle méthode de dimensionnement, il a été nécessaire de collecter des observations d'impacts entre des avalanches et des digues d'arrêt. Ces observations étant limitées, il a été décidé de réaliser des expériences sur modèle en laboratoire. La conduite d'expériences à échelle réduite a nécessité l'analyse des lois de similitudes que ces modèles doivent respecter. Deux types d'expériences à échelle réduite ont été réalisés: dans un cas de la neige a été utilisé pour simuler l'avalanche et dans l'autre cas des particules de verre.

La comparaison des modèles de dimensionnement existants avec les résultats expérimentaux a montré qu'aucun de ces modèles ne livre des résultats satisfaisants, montrant la nécessité de développer un nouveau modèle. L'analyse des expériences en laboratoire a montré que l'interaction entre l'avalanche et la digue peut être divisée en trois phases, selon le type de dissipation d'énergie qui est dominant: (i) La phase du premier front, où la dissipation d'énergie est dominée par des effets inertIELS, (ii) la formation d'une onde de choc gravitationnelle, et (iii) l'onde de choc gravitationnelle elle-même, où la dissipation d'énergie est principalement liée à aux forces de gravitation. Il a été aussi montré que ces trois phases n'apparaissent pas nécessairement toutes, cela étant fonction de la taille de l'avalanche. La difficulté liée aux expériences conduites avec de la neige a rendu impossible le développement d'un modèle basé entièrement sur des principes physiques. Le modèle présenté dans ce travail est dès lors semi-empirique, c'est à dire basé sur des observations physiques, mais faisant aussi appel à des notions empiriques.

Lorsque testé sur des digues réelles, le modèle développé dans le cadre de ce travail fournit des résultats satisfaisants. Cependant, ce modèle a montré la nécessité d'étudier avec plus de détails l'interaction digue-avalanche pour des avalanches avec de grands nombre de Froude. Il a aussi montré une fois de plus la nécessité d'approfondir les connaissances concernant la rhéologie des avalanches.