

L'APPLICATION DU MODELE SAMOS POUR AVALANCHES EN VUE DE LA PROTECTION DES ROUTES EN HIVER

Horst Schaffhauser

Institute For Avalanche And Torrent Research, Innsbruck

Federal Forest Research Centre, Vienna

Phone: +43 (0)512 573933, Fax: +43 (0)512 573933-5250

e-mail: Horst.Schaffhauser@uibk.ac.at

Résumé

Un modèle multidimensionnel couplé pour avalanches catastrophiques a été développé en coopération avec le Service autrichien de Correction Torrentielle et des Avalanches (WVL), l' AVL (Institut de recherche pour les Engins de Combustion Interne) à Graz, le Département de la Dynamique des Fluides de l'Université technique de Vienne, et l'Unité de recherche Erosion Torrentielle et Avalanches du Centre fédéral autrichien des Recherches Forestières (FBVA) à Innsbruck. Les résultats du modèle correspondent aux études de terrain géoréférenciées des catastrophes naturelles (H. J. Hufnagl, 1986). Ce modèle mathématique est utilisé pour prédire la zone d'arrivée, le débit et le culot d'avalanche résidu ainsi que la distribution verticale des densités, les vitesses et les pressions totales. L'année dernière ce modèle a été utilisé pour résoudre les problèmes techniques surgissant dans la construction des téléferries, tels que par exemple l'incidence de la forme sur le comportement des avalanches catastrophiques.

Les résultats obtenus à l'aide du modèle SAMOS sont documentés par trois études de cas (Galtür 1999, pont du tunnel de la vallée de Gröber et la performance d'une paravalanche pour la protection des routes)

Le modèle SAMOS pour avalanches catastrophiques

Les avalanches catastrophiques se caractérisent par une partie d'écoulement dense présentant un élément poudreux assez élevé. Selon le modèle SAMOS les avalanches de neige sèche sont décrites comme masse de particules non-cohésives avec des densités d'écoulement allant de 70 à 350 kg/m³. Dans le régime d'écoulement dense le transfert de quantité de mouvement est causé par les collisions particules-paroi, dans le régime de la neige poudreuse le transfert se produit par turbulence. Pour les implémentations numériques (Sampl, P. et Zwinger, Th. 1998) un schéma de volume fini (>103 éléments de volume) est appliqué et les lois de conservation de la masse et de la force d'impulsion sont intégrées au volume matériel de contrôle qui se précipite avec la partie dense de l'avalanche (formulation lagrangienne). Pour de plus amples informations se reporter aux travaux de Sampl et de Zwinger (1999).

Pour simuler une avalanche poudreuse le mouvement tourbillonnaire d'une phase de gaz des avalanches poudreuses est reproduit suivant un modèle de site tridimensionnel. La simulation par ordinateur des processus d'écoulement fait intervenir les équations de conservation de la masse, de l'énergie et de la force d'impulsion (Brandstätter, Wieser, Schaffhauser, 1992). Ces équations sont universellement valables ne pouvant pas être considérées comme un problème d'écoulement spécial. Ainsi, le comportement d'une avalanche poudreuse qui se précipite en aval dans la zone de glissement peut être décrit à l'aide de ces équations en tant que gaz dense influencé par l'action de la gravité et l'interaction avec l'air ambiant. Les deux modèles sont couplés par un module de transfert de masse entre la partie d'écoulement dense et la partie poudreuse.

Les équations mentionnées ci-dessus sont résolues à l'aide d'un schème 3D eulérien mise en place par la transformation des coordonnées sur la surface de la zone d'arrivée d'une avalanche et de l'algorithme selon SIMPLE (Patankar, 1980).

Le programme modifié de SAMOS comprend la phase de pré-traitement, le programme principal, et la phase de post-traitement. Après le pré-traitement, les effets de l'avalanche sur la topographie, la zone de déclenchement potentielle de l'avalanche, au-dessus des coordonnées limitants, la hauteur, la densité et le volume de neige sont introduits. Les isohypses sont modifiés à l'aide d'une utilité de système. Les repères géographiques, les points du réseau, la rugosité du terrain et la perméabilité des bâtiments (p.ex. les barrages de déviation) et la végétation (surfaces boisées) sont déterminés et pourvus de numéros clés différents. Avant de délimiter la grille géométrique de calcul, l'axe principale de l'avalanche doit être déterminé. Après avoir entré la taille des grilles et le temps admissible (temps d'exécution variable de la simulation, intervalles entre 0.1 et 0.4 sec), les grilles de calcul sont engendrés. Entre temps, la phase de pré-traitement est déterminée et après avoir sauvé le projet, le programme est prêt à l'exécution. Immédiatement après avoir initié le processus de calcul et les paramètres d'entrée (le volume de neige, les étapes de répétition, la densité de gaz) peuvent être vérifiés à tout moment.

Dans la phase de post-traitement, on peut appeler la pression totale maximale et minimale, les vecteurs de vitesse et les densités au sein des axes d'intervalle vide en section longitudinale et transversale ainsi que la projection horizontale pour chaque moment choisi et pour chaque numéro d'élément.

Validation

En février 1999 une grande avalanche poudreuse a tué 37 personnes dans le village de Galtür, Tyrol faisant des dégâts considérables. Les conditions météorologiques du mois février 1999 se caractérisaient par un anticyclone sur l'Atlantique et un cyclone sur l'Europe du Nord-Est. a

caractérisaient les conditions météorologiques en mois de février. Des masses de l'aire chaude humide en provenance de l'Atlantique et des masses de l'aire polaire se succédèrent à faible intervalle avançant vers les Alpes avec des vents forts du Nord-Est. Pendant cette période, le manteau neigeux a augmenté de 80 cm à Galtür au début du mois jusqu'à atteindre 200 cm vers la fin du mois.

L'augmentation de la hauteur de neige correspond à une précipitation de 245 mm en février 1999, voire 422 % du moyen mensuel en février. C'était la plus grande déviation positive de la valeur mensuelle jamais enregistrée dans la région. La zone de déclenchement de l'avalanche a été évaluée par le Service autrichien de Correction Torrentielle et des Avalanches, Tyrol, en s'appuyant sur les observations et les données météorologiques rapportées ci-dessus. Selon ces estimations, une masse totale de neige de 136 kilotonnes (kt) a été déclenchée à une altitude de 300 à 1300 m au-dessus du village. La Figure 1 montre le modèle de terrain et les contours de la zone de déclenchement (en bleu clair) utilisé pour la simulation conjointement avec la diffusion calculée des pressions maximales résultant de la partie dense d'écoulement (à l'échelle de 0-250 kPa). La partie centrale de l'écoulement dense calculé traverse une route nationale avant d'atteindre le village, tel qu'observé aussi en réalité. La pression calculée là où les bâtiments ont été détruits était de l'ordre de 100 kPa. La concordance peut-être qualifiée de très satisfaisant. Les déviations au voisinage des bâtiments sont dues largement à leur représentation approximative sur le modèle de terrain. La Figure 2 montre les pressions provenant de la partie poudreuse de l'avalanche à une hauteur de 2.4 au-dessus du sol (à l'échelle de 0-25 kPa) conjointement avec la zone observée de l'impact de la neige poudreuse. Les pressions calculées des masses poudreuses sont beaucoup inférieures aux pressions d'écoulement dense, tant dans la simulation qu'en réalité. Toutefois, la zone concernée peut être beaucoup plus grande. Selon la simulation, 36 des 136 kilotonnes de neige déclenchées ont été transférées à la partie poudreuse de l'avalanche.

Evaluation des effets sur un pont de tunnel

Une application spécifique du modèle SAMOS est la simulation des forces de la partie poudreuse exercées sur un pont de tunnel. Le pont de tunnel a été construit 40 m au-dessus du fond de la zone de glissement de l'avalanche de Gröber afin d'améliorer la sécurité le long de la route d'accès à Bsclaber (Außerfern, Tyrol; Fig. 3).

Un poids statique admissible de 20 kPa a été admis pour la planification. Dans la zone de déclenchement de cette avalanche les pentes sont inclinées entre 25° à 48° et la zone de glissement est incliné à 40°. La zone de glissement s'étend de Sud-Est à Sud-Ouest, avec une zone de départ de 1.4 km². La grille tridimensionnelle pour le calcul de la neige poudreuse renfermait 60.000 éléments. Le volume de neige déclenché estimé pour la simulation était de 23 kt. La simulation a été conçue comme s'il n'existait pas de pont de tunnel. Pour évaluer la limite supérieure des pressions exerçant sur le pont, les pressions dynamiques d'avalanches à la position considérée ont été prises en compte. Tout le long de la phase d'impact calculée, 40 secondes après le déclenchement, la partie poudreuse atteindrait la

vitesse maximale de 70 m/s avec une pression dynamique maximale de 17.5 kPa à la position du pont (Fig. 4). Par conséquent, la pression calculée était au-dessous de la limite admissible. Cependant, puisqu'aucune avalanche de cette taille n'a pas encore touché le pont, il n'était pas encore possible de valider cette hypothèse.

Evaluation de l'efficacité d'une paravalanche

Afin de démontrer le potentiel qui réside en l'utilisation de SAMOS pour l'évaluation et l'optimisation des paravalanches, l'écoulement d'une avalanche hypothétique a été calculé pour deux modèles de terrain différents, avec et sans barrage. La longueur du barrage considéré est d'environ 400 m, la hauteur est de 14 m, l'inclination est d'environ 70°. Les modèles de terrain diffèrent légèrement devant la paravalanche. La simulation a été réalisée seulement pour la partie d'écoulement dense de l'avalanche, qui revêt toujours un intérêt particulier dans le cas des dispositifs de protection. La perte de l'énergie due à l'impact de l'avalanche sur le mur perpendiculaire à sa direction d'écoulement est causée en partie par des effets tridimensionnels. Vu que la partie d'écoulement dense est bidimensionnelle ces effets tridimensionnels ne peuvent pas être calculés directement. Leur effet doit être modélisé en utilisant des coefficients de friction à déterminer au cours des travaux de recherche futurs. Il est prévu de réaliser une étude détaillée, y compris des expériences en laboratoire et sur le site, sur les effets supplémentaires de friction causés par les paravalanches et d'autres dispositifs de protection dans les prochains trois ans. Cependant, cette simulation d'essai a été réalisée sans tenir compte de la friction supplémentaire, ainsi l'effet du barrage est sous-estimé en quelque sorte. La Figure 5 montre le modèle de terrain pour la simulation, sans barrage, avec la zone de départ présomptive de l'avalanche (en bleu clair; masse déclenchée: 19 kt) et la distribution de pression calculée à partir de la partie d'écoulement dense. La Figure 6 montre le terrain, y compris le barrage et la diffusion de la pression d'écoulement dense calculée pour la même zone de départ. La pression se voit réduite de 220 à 200 kPa derrière le barrage. Le volume de neige déposé dans la zone d'arrêt se réduit aussi considérablement. La pression maximale sur le barrage même est de 250 kPa. La Figure 7 montre en détail le dépôt d'écoulement dense calculé.

Conclusions

Un mois avant la catastrophe de Galtür, le projet du modèle SAMOS a été terminé. Avec le cas de Galtür nous avons eu une des rares possibilités de valider les résultats et l'utilité d'un modèle sur la dynamique des avalanches.

Les résultats obtenus avec le modèle couplé de partie d'écoulement dense - neige poudreuse, décrit au-dessus correspondent très bien aux observations s'il l'on prend en compte les incertitudes des données d'entrée et la simplicité du modèle de transition utilisée. Le modèle est clairement supérieur au centre statistique ou unidimensionnel des modèles de masse puisqu'il prédit les zones de glissement et les pressions d'impact en deux ou trois dimensions, respectivement, tout en considérant l'écoulement

dense et la couche de neige poudreuse comme des parties séparées expressément. Les limites supérieures des pressions exercées sur les ouvrages peuvent être obtenues en considérant les pressions dynamiques d'avalanches prévues par le modèle.

D'autres améliorations du modèle peuvent être atteintes en réalisant une étude plus détaillée de la zone de transition entre la partie d'écoulement dense et la partie de neige poudreuse de l'avalanche. Le modèle actuel ne suffit pas pour calculer tous les effets physiques (p.ex. saltation, dépôt contrarié). Il sera aussi nécessaire d'inclure un modèle pour l'érosion de matériel directement du manteau neigeux restant, un module qui est mis en œuvre entre temps dans le modèle. Une autre tâche sera d'étudier l'interaction de la partie d'écoulement dense de l'avalanche avec les paravalanches et d'autres dispositifs de protection. Compte tenu du fait qu'un modèle ne peut être bien s'il est validé par les données de terrain ou des expériences, il est très important d'obtenir des données à partir des expériences en laboratoire et des études sur le site à conditions réelles (Sampl, Zwinger, Schaffhauser, 2000).

References

- BMFLUW, 1989: Lawinen in Österreich. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (BMFL), 1011 Wien.
- Brandstätter, W., Wieser, K., Schaffhauser, H. 1992: Three-dimensional Simulation of Powder Avalanches, Paper presented at the 2nd Conference on Snow Engineering, Santa, Barbara, California.
- Hufnagl, H. 1988: Ergebnisse einer rechnerischen Auswertung von fünf Lawinen des Katastrophenwinters 83/84. Proc. INTERPRAEVENT 88, Graz, Vol. 3, 227-249.
- Patankar, S.V. 1980: Numerical heat transfer and fluid flow. McGraw-Hill, New York.
- Sampl P., Zwinger T. 1999: A simulation model for dry snow avalanches, Proc. XXVIII IAHR Congress, Aug. 22-27, 1999, Graz, D.10, 287.
- Sampl, P., Zwinger, T., Schaffhauser, H. 2000: Evaluation of Avalanche Defense Structures with the Simulation Model SAMOS. In: Felsbau - Rock and Soil Engineering 1/2000, p. 41-46, Verlag Glückauf GmbH, Essen.

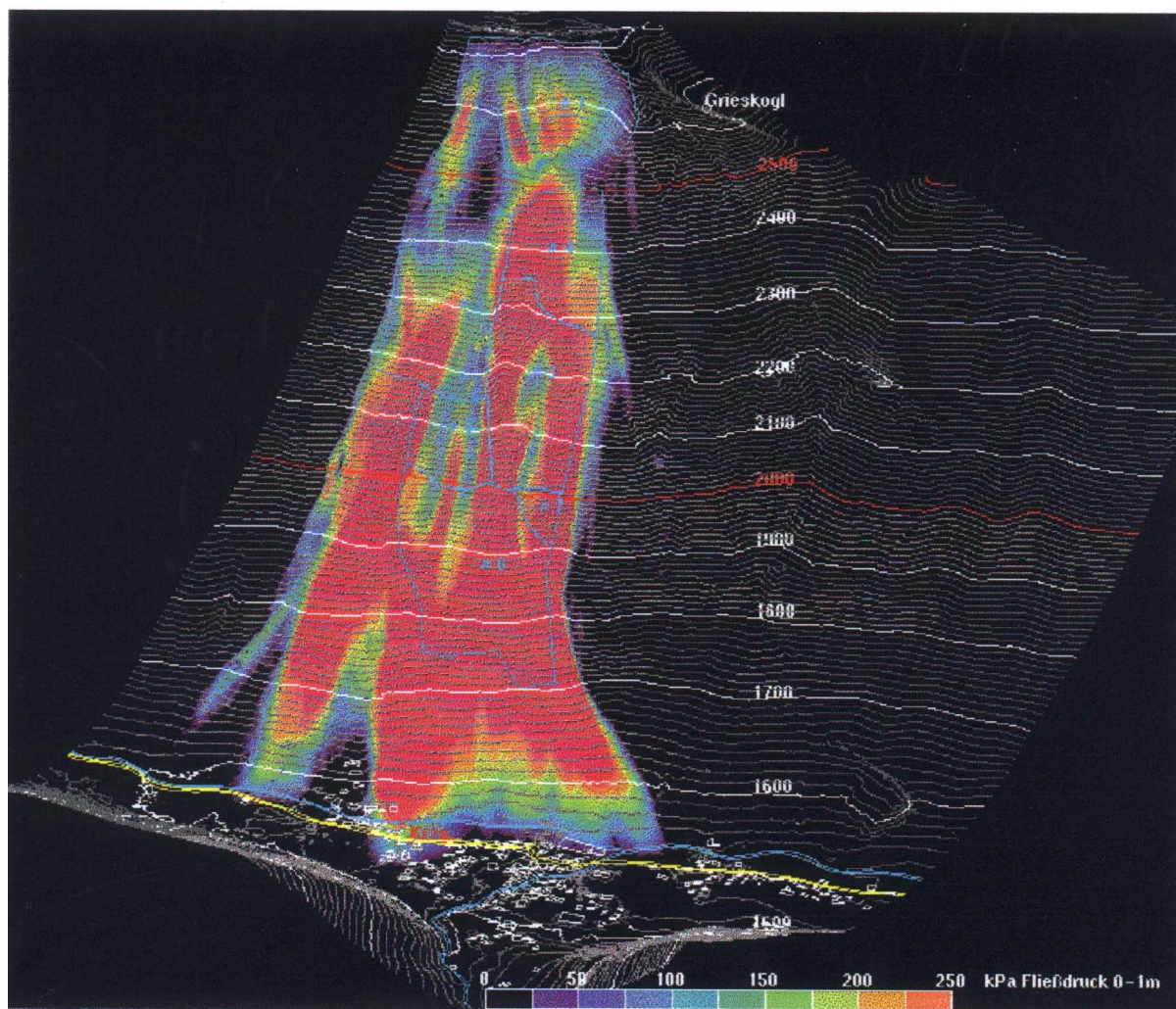


Fig. 1: Simulation de l'avalanche de Galtür 1999: modèle de terrain, zones de déclenchement (en bleu clair) et diffusion de la pression (échelle 0-250 kPa) provenant de la partie d'écoulement dense de l'avalanche.

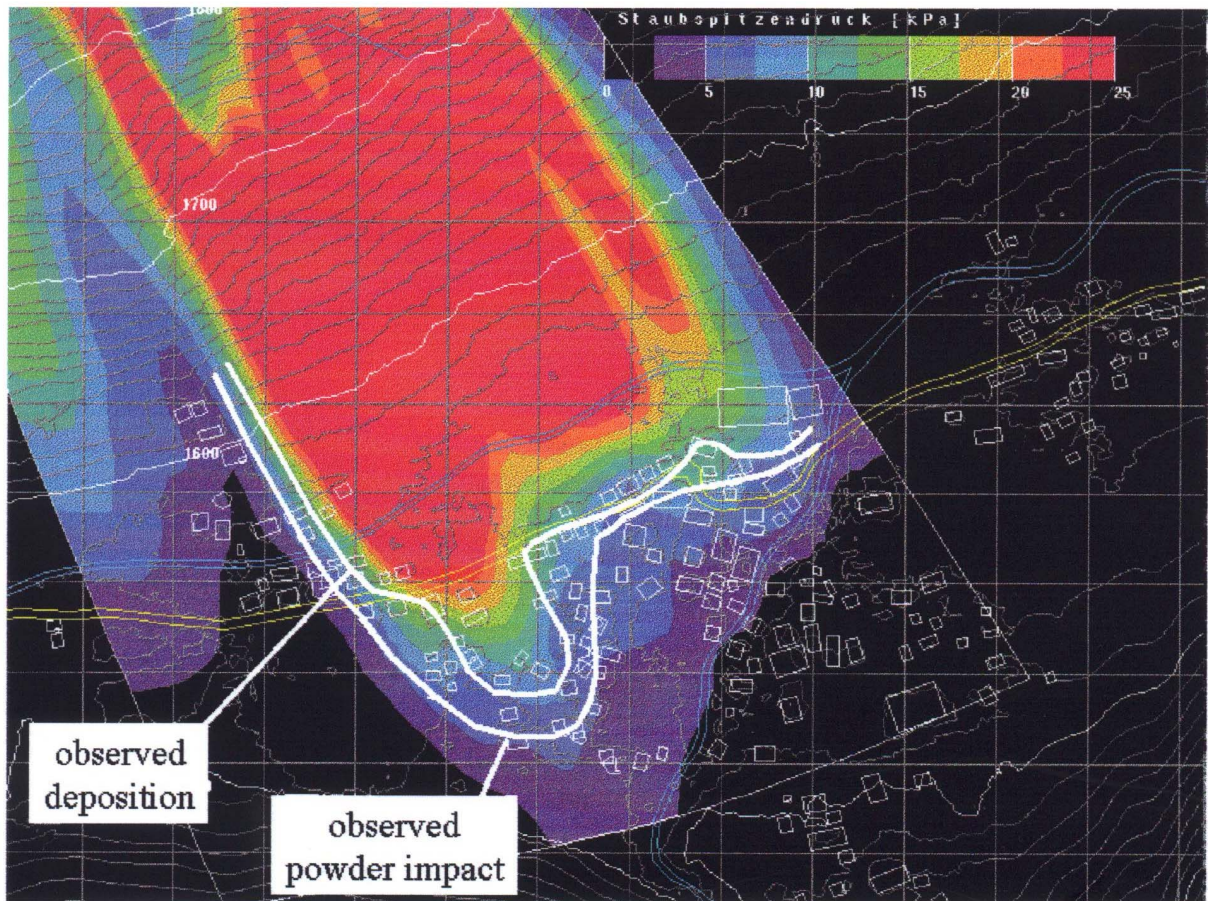


Fig. 2: Simulation de l'avalanche de Galtür 1999: diffusion de la pression calculée de la partie de neige poudreuse de l'avalanche, 2.4m au-dessus du sol/écoulement dense (échelle 0-25 kPa).

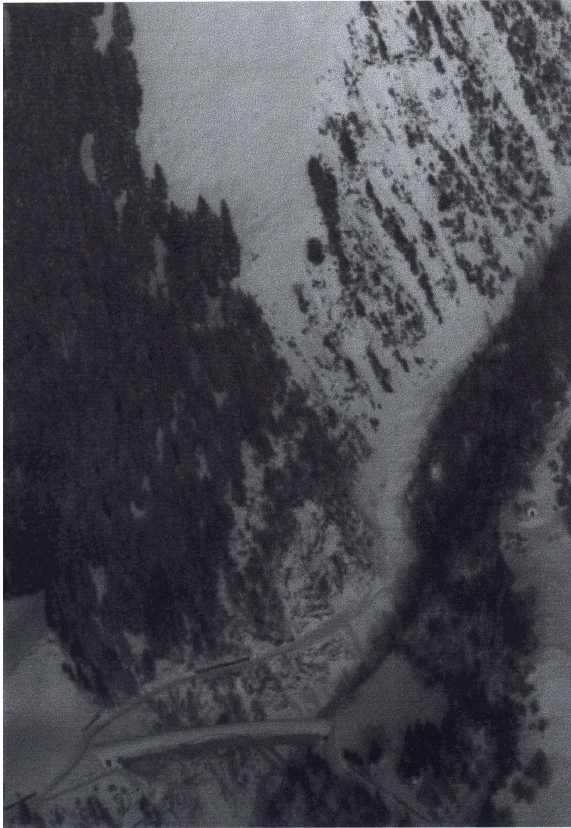


Fig. 3: Trajectoire d'avalanche à Gröber avec le pont du tunnel.

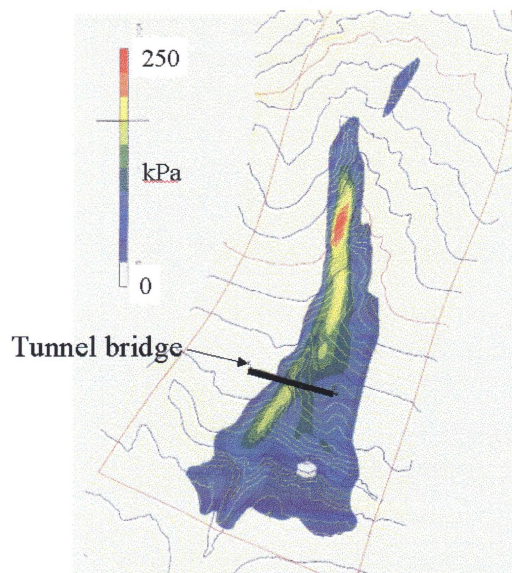


Fig. 4: Avalanche de Gröber: Pressions de la neige poudreuse calculées (échelle 0-25 kPa) 40 m au-dessus du sol; pont de tunnel indiqué par la ligne noire.

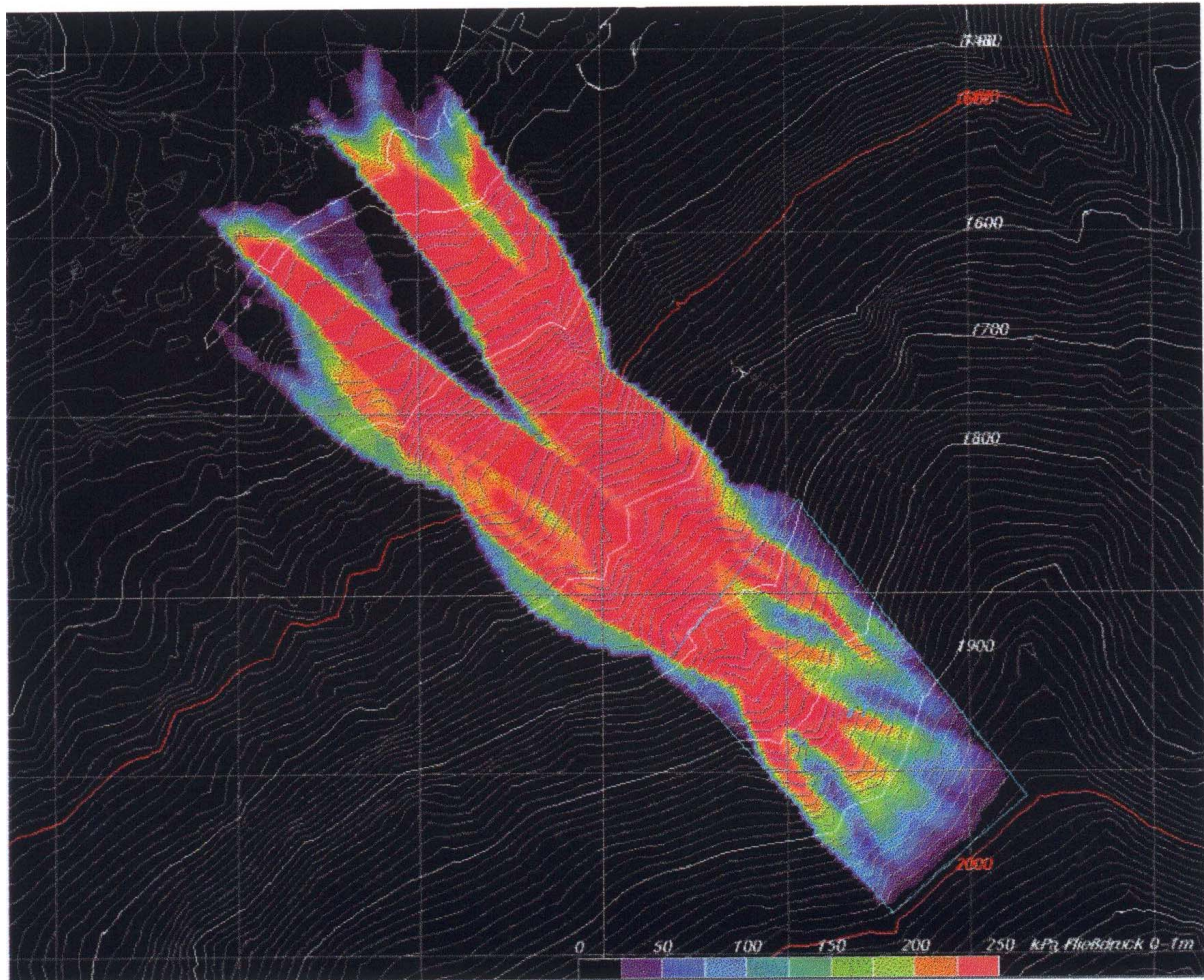


Fig. 5: Evaluation d'une paravalanche: modèle de terrain, zone de déclenchement (en bleu clair) et des pressions calculées de l'écoulement dense (échelle 0-250 kPa) pour l'évaluation d'une paravalanche, scénario sans barrage.

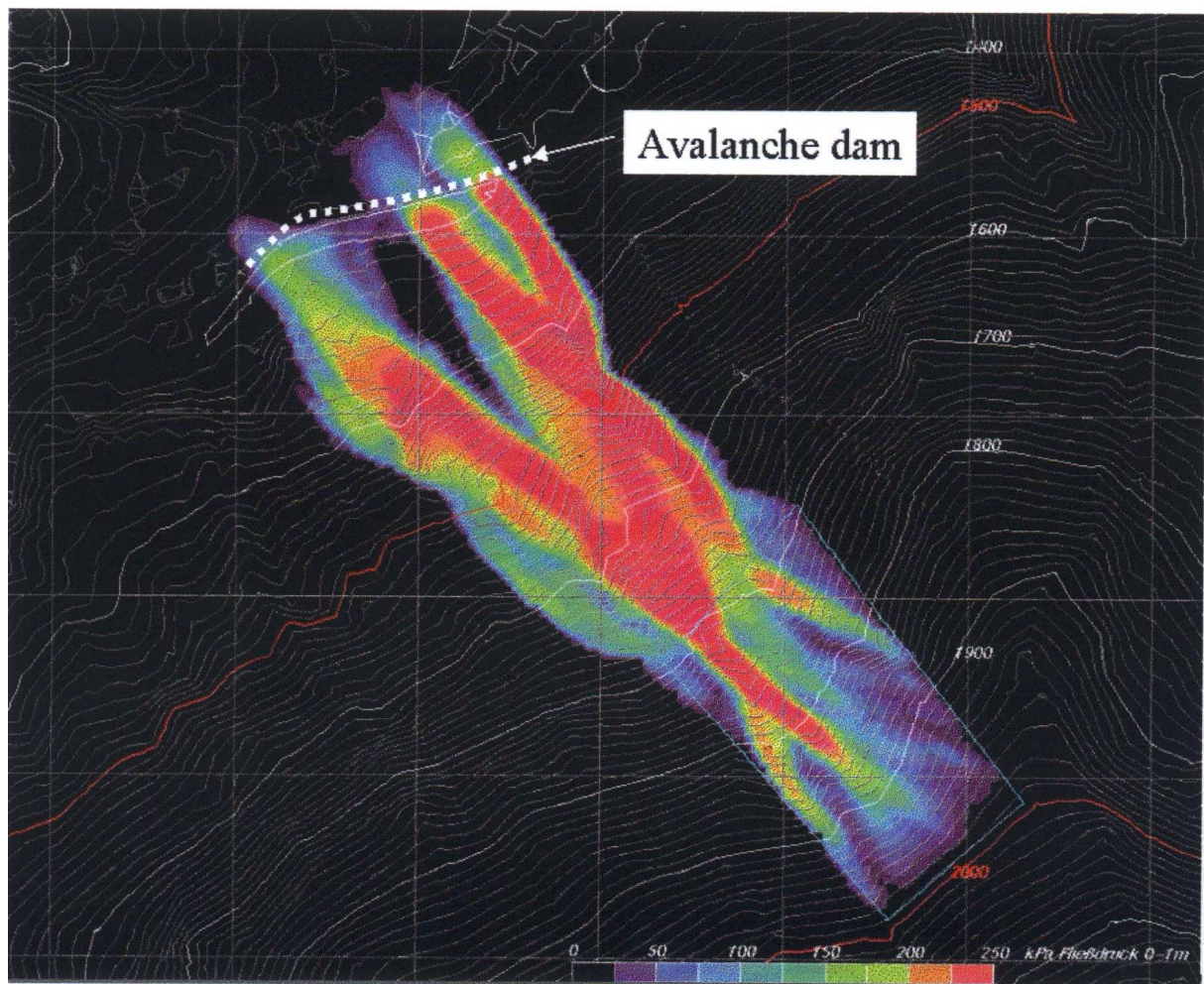


Fig. 6: Evaluation d'une paravalanche: modèle de terrain, zone de déclenchement (en bleu clair) et pressions calculées d'écoulement dense (échelle 0-250 kPa) pour l'évaluation d'une paravalanche, scénario sans barrage.

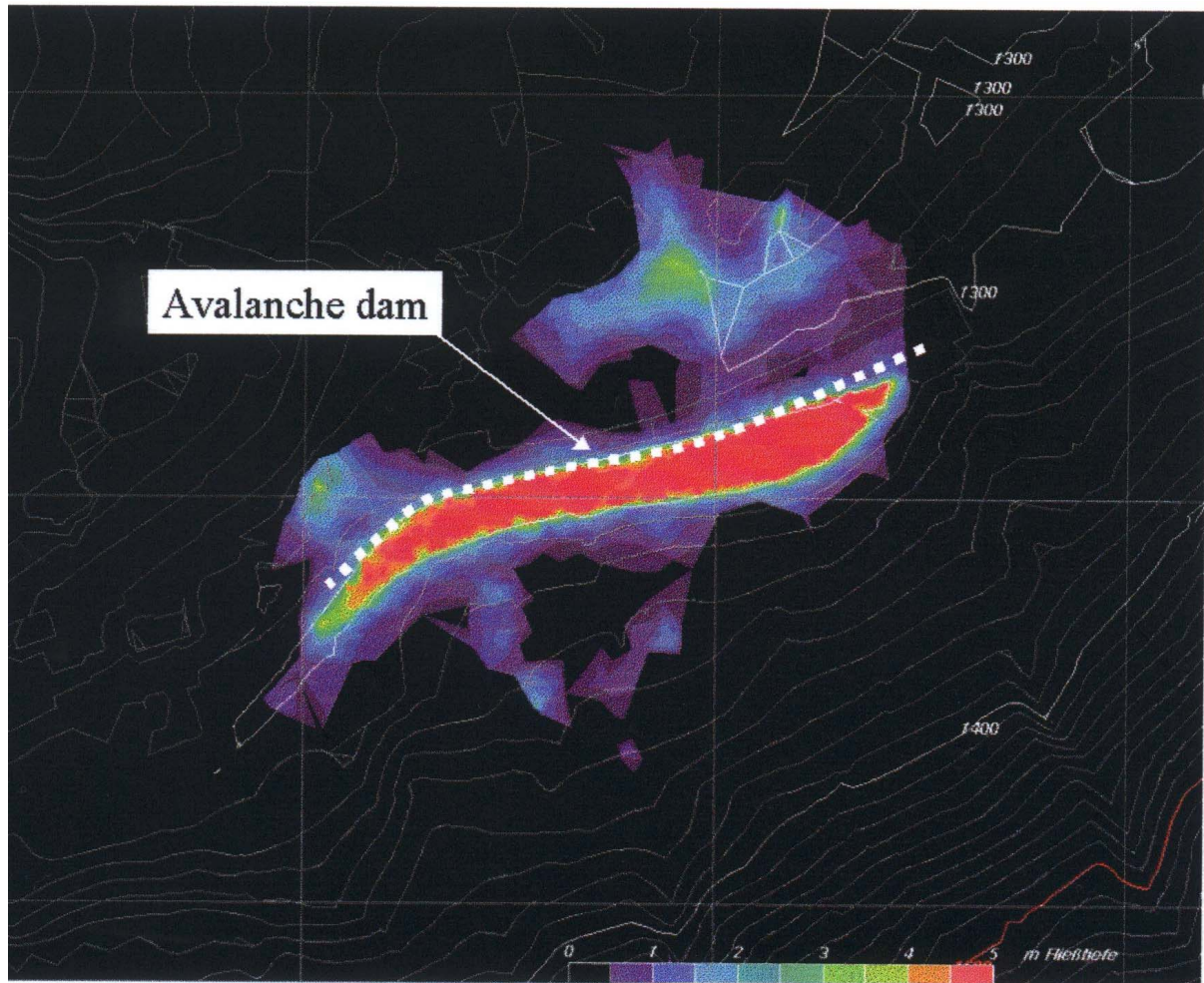


Fig. 7: Evaluation d'une paravalanche: Hauteurs de dépôt d'avalanche calculées (échelle 0-5 m) dans la zone d'arrêt, scénario avec barrage.