

Abstract. The design of avalanche protection dams relies on the understanding and modelling of physical processes related to the formation of jumps that form when a thin and fast flow meets an obstacle high enough to slow down and thicken the incoming flow. The jump height is nowadays calculated through equations that are strictly valid for non-frictional incompressible flows on a horizontal and smooth bottom. However, dense-snow avalanches are compressible granular flows taking place on a slope, and inside which energy is dissipated through enduring frictional contacts and collisions between grains. It is then essential to decipher the behaviour of jumps formed during granular flows down inclines. To this extent, the thesis relies on several approaches. Standing granular jumps are first studied in a purely theoretical way, with the help of depth-averaged mass and momentum conservation equations, in order to find a relation to predict the height of the jumps regardless of the input conditions. A great number of granular jumps are then simulated by varying several parameters (the slope angle of the incline, the discharge, the grain diameter, the grain-grain friction) thanks to the discrete element method. This method allows us to access to the internal structure of the jumps, and in particular to the spatial distributions of velocity, volume fraction and energy dissipation. Those simulations are done in two dimensions. Finally, an innovative measurement technique using dynamic X-ray radiography was adapted to an existing small-scale laboratory device to produce standing granular jumps. This technique allows in particular the measurement of the width-averaged spatial distribution of volume fraction before, inside and after the granular jumps. The comparison between the new theoretical framework proposed and both the experimental and numerical data, allows us to evidence a rich variety of granular jump patterns as a function of the input conditions. For each type of jump pattern, the shortcomings of the classical theoretical framework, which does not account for the forces at stake within the jump volume nor the compressibility, are well established.

Résumé. Le dimensionnement des digues paravalanches s'appuie sur la connaissance des processus physiques liés au ressaut, qui se forme lorsqu'un écoulement fin et rapide rencontre un obstacle suffisamment haut pour ralentir et épaissir l'écoulement incident. La hauteur du ressaut est aujourd'hui calculée à partir d'équations strictement valides pour des écoulements de matériaux non frictionnels et non compressibles tels que l'eau, sur fond plat et lisse. Or, les avalanches de neige dense sont des écoulements compressibles qui ne peuvent avoir lieu qu'en pente, et au sein desquels se produit de la dissipation d'énergie par friction et collisions entre les grains. Il est donc essentiel de mieux connaître le comportement des ressauts dans les écoulements granulaires en pente. Pour cela, la thèse s'appuie sur plusieurs approches. Les ressauts granulaires stationnaires sont d'abord étudiés de manière purement théorique, à l'aide des équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement moyennées dans l'épaisseur, afin de trouver une relation générale pour prédire la hauteur des ressauts quelques soient les conditions d'entrée. Nous simulons ensuite numériquement un grand nombre de ressauts granulaires en faisant varier plusieurs paramètres (la pente du plan incliné, le débit, le diamètre des grains, la friction entre les grains) à l'aide de la méthode aux éléments discrets. Cette méthode permet d'accéder à la structure interne des ressauts, et notamment à la mesure des champs de vitesse, de fraction volumique, ou encore de la dissipation d'énergie. Les simulations sont réalisées en deux dimensions. Enfin, un dispositif de mesure innovant, qui utilise la radiographie à rayons X dynamique, a été adapté à une expérience de laboratoire existante pour créer des ressauts granulaires stationnaires. Cette technique de mesure permet, en particulier, de mesurer la distribution spatiale moyennée dans la largeur de l'écoulement de la fraction volumique avant, à l'intérieur et après le ressaut granulaire. La comparaison du nouveau cadre théorique proposé avec les résultats expérimentaux et numériques nous permet de mettre en évidence une grande diversité des types de ressauts granulaires en fonction des conditions initiales. Pour chaque type de ressaut, les lacunes du cadre théorique classique, qui ne tient pas compte des forces mises en jeu dans le ressaut ni de la compressibilité, sont clairement établies.